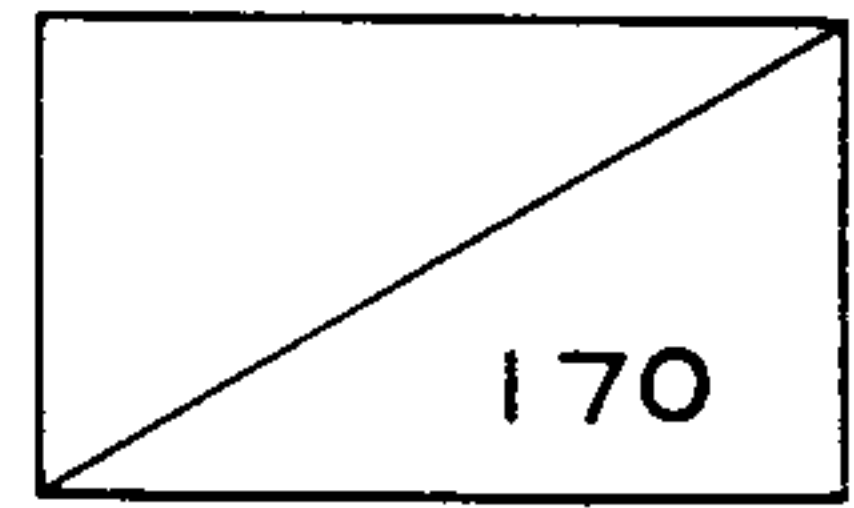


'88국책연구개발 사업
“인공지능 기술개발연구”
의 세부과제



전문가 시스템 환경하의 계량적 모델의
사용에 관한 연구 : UNIK의 개발과
석유산업에의 응용

Development of UNIK for the Integration of
Knowledge and Optimization Models
and its Application to Petroleum Industry

연구기관
한국과학기술원

寄贈
一九八九年十二月五日
과학기술처
寄贈本

과 학 기 술 처

제 출 문

과학기술처 장관 귀하

본 연구서는 "인공지능 기술 개발" 사업 과제의 세부과제 "전문가시스템 환경하의 계량적 모델의 사용에 관한 연구"의 제 3차년도 최종 연구보고서입니다.

1989월 5월

연구기관명 : 한국과학기술원

총괄책임자 : 이재규(한국과학기술원
경영과학과 조교수)

연구원 : 서민수(한국과학기술원
경영과학과 박사과정)

오상봉(상동)

김민용(상동)

권영식(상동 및 동국대학교
산업공학과 조교수)

이윤성(유공 운영개발부 과장)

윤한성(유공 사무개선팀)

연구 조원 : 정재부(한국과학기술원
경영과학과 석사과정 졸)

신중철(상동)

송용욱(한국과학기술원
경영과학과 석사과정)

연구행정원 : 정명화

여 백

Summary

This research has investigated the possibility of integrated use of knowledge-based systems with optimization and statistical models. After having developed conceptual and theoretical framework, we have developed a prototype tool UNIK (Unified Knowledge). The UNIK is applied to the planning and control for the petroleum industry. The Part II of this report explains about the generic functions of UNIK, and the Part III deals with its applications to petroleum industry. The published papers and the table of contents of two books on writing, which are the by-products of this research, are attached in the appendix.

The UNIK consists of three major subsystems: Knowledge, optimization, and integration of knowledge and optimization. The functions of key components of UNIK, as described in Part II, are as follows:

UNIK-FRAME: Generation and deletion of frames and their values, definition of inheritance and demons, and other functions for the management of frames.

[Part II Ch. 2]

UNIK-BWD: Backward Chaining Control System; transformation of the rules represented using the third rule-based shell like SKI 2 to UNIK-FRAME format. [Part II Ch. 3]

UNIK-FWD: Forward Chaining Control System like OPS 5; working memory in frames; conflict resolution by users and/or meta-rules. [Part II Ch. 4]

UNIK-OPT: Organization of linear knowledge and constraints; knowledge-assisted linear programming model formulation support. [Part II Ch. 5]

UNIK-TRANS: Transformation of knowledge to a piece of linear programming model. [Part II Ch. 6]

UNIK-PMA: Tradeoffs among the objectives in knowledge base and linear programming models. [Part II Ch. 7]

UNIK-WINDOW: Definition and recall of windows; support frame manipulation in windows. [Part II Ch. 8]

To apply the UNIK to petroleum industry, the Yukong Co. which is the leader in the industry has joined the research. The problems tackled are the optimal monthly crude oil purchase plan, crude oil delivery schedule, operational scheduling for refinery plant, and knowledge-assisted adjustment of statistical forecasts. The following four systems are developed for the above problems.

UNIK-LP: Knowledge and data can be shared by multiple linear programming models. The formulation and maintenance of model is easy. It is applied for the modeling for optimal monthly crude oil purchase plan. [Part III Ch. 2]

UNIK-PCS: To implement the monthly crude oil purchase plan, the delivery schedule should be established considering the feasible delivery quantity, long-term delivery contract made, assignment of tankers, and status of crude oil inventory at refinery plant. [Part III Ch. 3]

UNIK-SCHD: Based on the crude oil delivery schedule made by UNIK-PCS, the operational schedule of refinery plant is made considering the capacity of facilities, blending, and product inventory levels. If the adjustment of delivery schedule is unavoidable, UNIK-PCS will be invoked. [Part III ch. 4]

UNIK-FCST: The demand forecasting is the foundation of good planning. Currently, the time series model X-11 ARIMA is used. However, the forecasting experts always adjust the statistical forecasts using extra knowledge. Thus the expert's judgmental process is formalized as an expert system. [Part III Ch. 5]

The UNIK can be used not only for the petroleum industry but also for the wide spectrum of process industry. The UNIK should contribute to the propagation of Artificial Intelligence technology both demestically and abroad.

요 약 문

본 연구는 전문가시스템 환경하에 최적화 모형과 통계모형의 활용방안을 이론적으로 연구하고, 그 이론을 구현할 수 있는 도구인 UNIK(Unified Knowledge)를 개발하였으며, UNIK를 석유산업에 응용하여 그 효과를 입증하였다. 본 보고서는 제II부에서 UNIK에 관한 설명을 하고, 제III부에서 UNIK의 석유산업에 대한 응용을 싣고 있다. 부록에는 본 연구와 관련하여 국제적 학술지에 게재된 논문과 집필중인 영문 저서 2권의 목차를 정리했다.

UNIK는 크게 지식관리 부문, 최적화 부문, 지식과 최적화의 연결 부문으로 구성되어 있으며, 각 요소들의 기능은 각각 다음과 같다. (참조 제II부)

UNIK-FRAME : 프레임의 생성 및 삭제; 프레임값의 입력, 수정, 삭제; 프레임간의 관계 정의 및 정보 상속; 필요시 자동작동 기능(Demon)의 정의 등의 프레임 관리 도구이다. (제II부 제2장)

UNIK-BWD : 외부 도구 (예 SKI 2)로 표현된 규칙을 프레임의 규칙으로 구조를 변경시키고, 목적중심으로 역방향 추론을 해 주는 추론기관이다. (제II부 제3장)

UNIK-FWD : OPS 5와 같은 종류의 정방향 추론기관이나 Working Memory를 프레임에 저장된 구조로 지식관리를 할 수 있다. 사용자가 규칙간의 상충(Conflict)의 해소에 참여할 수도 있고, 메타규칙을 이용할 수도 있다. (제II부 제4장)

UNIK-OPT : 최적화 모형을 지식과 연결시키기 위해서는 최적화 모형자체가 지식의 표현수단으로 나타내 져야 한다. UNIK-OPT는 최적화 모형에 관련된 지식을 체계적으로 유지하고 그 지식을 이용하여 최적화 모형을 자동생성 시켜주며, 또 UNIK-PMA와의 연결을 가능하게 하여 최적화 모형과 지식의 연결을 가능하게 해 준다. (제II부 제5장)

UNIK-TRANS : 지식을 최적화 모형으로 변환시킬 수 있는 경우 지식을 최적화 모형의 제약식 등의 형태로 변환시켜 주는 기능을 갖고 있다. (제II부 제6장)

UNIK-PMA : 지식에 포함되어 있는 목적과 최적화 모형에 포함되어 있는 목적식간의

상호질충을 통해 의사결정을 하도록 지원해 주는 기능이다. (제II부 제7장)

UNIK-WINDOW : UNIK-WINDOW는 WINDOW의 선언과 호출이 가능하며, WINDOW 상에서 프레임을 처리 할 수 있다. UNIK-WINDOW는 대형전문가 시스템의 개발시 개발능률을 향상 시켜준다. 현재 PC용과 SUN용이 개발되어 있다. (제II부 제8장)

UNIK를 석유산업에 응용하기 위해서 (주)유공의 협조를 받았다. 유공과 공동으로 개발한 응용문제는 최적원유구매를 위한 월간계획 모형구축지원, 원유도입일정 계획수립, 정유공장 운영일정 계획수립, 통계적 수요예측의 수정지원 문제이다. 이 문제에 대해 개발된 네 개의 시스템은 다음과 같다. (참조 제III부)

UNIK-LP : 최적원유구매를 위한 월간 계획을 수립하기 위해 상업적 소프트웨어를 이용하여 선형계획 모형이 구축되고 있었다. 그런데 기존의 시스템보다 데이터와 모형의 수정을 용이하게 하고 여러 모형에서 지식을 공유할 수 있게 하며 선형계획 모형이 자동적으로 구축 될 수 있는 UNIK-LP를 개발하여 석유산업에서 이용할 수 있는 제반 선형계획 모형의 생성에 이용하였다. (제III부 제2장)

UNIK-PCS : UNIK-LP에 의해 구해진 월간 최적 원유 구매계획을 구현할 수 있도록 구매물량의 현실적 조정, 구매계약분의 반영, 선박의 수배, 정유공장의 원유재고 상태를 고려한 도입 일정계획 등을 수립하는 시스템이다. (제III부 제3장)

UNIK-SCHD : UNIK-PCS에 의해 구해진 원유도입일정 계획에 따라 정유공장의 작업 일정계획을 수립해 주는 시스템이다. 이 과정에서 제품 재고의 수준이 고려되고, 만일 원유도입일정이 공장운영에 중대한 차질을 가져오면 UNIK-PCS에 이를 반영한 원유도입일정 계획을 수립하도록 상호작용한다. (제III부 제4장)

UNIK-FCST : 원유도입 및 정유생산계획의 출발점은 정확한 수요예측에 있다. 현재 X-11 ARIMA 모형을 사용하여 수요예측을 하고 있는 바 그 결과의 신빙성이 낮아서 예측전문가들이 통계적 예측치를 판단에 의해 수정하고 있다. 이 과정을 전문가 시스템으로 구성하여 과거사례로부터 미래의 유사한 상황에 대한 수정제시를 하도록 해 준다. (제III부 제4장)

UNIK는 석유산업뿐만 아니라 제반 장치산업의 계획 및 통제에 널리 활용될 수 있음이 입증되었다. 따라서 UNIK를 국내외에 보급할 기업이 결정되면 인공지능의 보급에 기여하는 바 적지 않으리라 생각된다.

여 백

Table of Contents

(Detailed Table of Contents is at the Beginning of Each Part)

Part I. Introduction	I-0-1
1. Objective of The Research	I-1-1
2. Scope of The Research	I-2-1
3. Organization of The Report	I-3-1
Part II. User's Manual of UNIK	II-0-1
1. Introduction to UNIK(Unified Knowledge)	II-1-1
2. UNIK-FRAME: Frame-based System	II-2-1
3. UNIK-BWD: Backward Chaining System	II-3-1
4. UNIK-FWD: Forward Chaining System	II-4-1
5. UNIK-OPT: Optimization Model Builder	II-5-1
6. UNIK-TRANS: Knowledge Translator	II-6-1
7. UNIK-PMA: Post-Model Analyzer	II-7-1
8. UNIK-WINDOW: Windor Manager	II-8-1
Part III. UNIK in Petroleum Industry	III-0-1
1. Application of UNIK to Petroleum Industry	III-1-1
2. UNIK-LP: Optimal Crude Purchase Modeling Support	III-2-1
3. UNIK-PCS: Crude Delivery Scheduler	III-3-1
4. UNIK-SCHD: Operation Scheduler	III-4-1
5. UNIK-FCST: Forecasting Advisor	III-5-1
Part IV. Concluding Remarks	IV-0-1
1. Application Potential of UNIK	IV-1-1
2. Conclusion	IV-2-1

여 백

목 차

(세부목차는 각부의 서두에 있음)

제 I 부. 서론	I-0-1
1. 연구의 필요성과 목적	I-1-1
2. 연구의 추진단계와 범위	I-2-1
3. 보고서의 구성	I-3-1
제 II 부. UNIK의 사용자 설명서	II-0-1
1. UNIK 시스템 개론	II-1-1
2. UNIK-FRAME	II-2-1
3. UNIK-BWD	II-3-1
4. UNIK-FWD	II-4-1
5. UNIK-OPT	II-5-1
6. UNIK-TRANS	II-6-1
7. UNIK-PMA	II-7-1
8. UNIK-WINDOW	II-8-1
제 III 부. UNIK의 석유산업에 대한 응용	III-0-1
1. 석유산업에 대한 UNIK의 응용 구조	III-1-1
2. UNIK-LP : 최적 원유구매 계획	III-2-1
3. UNIK-PCS : 원유도입 일정계획	III-3-1
4. UNIK-SCHD : 공장운영 일정관리	III-4-1
5. UNIK-FCST : 수요예측	III-5-1
제 IV 부. 결론	IV-0-1
1. UNIK의 활용방안	IV-1-1
2. 결론	IV-2-1

<부록>

 관련 경제 논문 및 집필중인 저서

여 백

<Appendix>

Related Published Papers and Books on Writing

1. Lee, Jae K. and E. G. Hurst, "Multiple Criteria Decision Making Including Qualitative Factors : The Post-Model Analysis Approach", Decision Sciences, Vol. 19, No. 2, Spring 1988, pp. 334-352.
2. Lee, Jae K. and Ho G. Lee, "Integration of Strategic Planning and Short-term Planning : An Intelligent DSS Approach by the Post-Model Analysis Approach", Decision Support Systems, Vol. 3, No. 2, June 1987, pp. 141-154.
3. Lee, Jae K. and Byung S. Kang, "Intelligent Production Planning System Using the Post-Model Analysis Approach", Applied Expert Systems, (ed) E. Turban and P. R. Watkins, North-Holland, 1988, pp. 87-106.
4. Lee, Jae K., S. C. Chu, S. H. Shim and M. Y. Kim, "A Knowledge-based Formulation of Linear Programming Models using UNIK-OPT", 2nd International Workshop on Artificial Intelligence in Economics and Management, North-Holland, 1989.
5. Lee, Jae K. and M. S. Shin, "Integration of Linear Programming with Rule-based Systems by the Post-Model Analysis Approach", On Revision to appear in Management Science, 1989.
6. Lee, Jae K., S. B. Oh, J. C. Shin, "UNIK-FCST: Knowledge-assisted Adjustment of Statistical Forecasts", submitted to Journal of Forecasting, 1989.
7. Turban, E. and Jae K. Lee, Expert Systems and Manufacturing, McGraw-Hill Publishing Co., forthcoming in 1989. (Table of Contents Attached)
8. Lee, Jae K., Knowledge-based Systems and Optimization, Addison Wesley Publishing Co., forthcoming in 1990. (Table of Contents Attached)

<부 록>

관련 게재 논문 및 집필중인 저서

1. 이재규, E. G. Hurst, "Multiple Criteria Decision Making Including Qualitative Factors : The Post-Model Analysis Approach", Decision Sciences, Vol. 19, Vo. 2, Spring 1988, pp. 334-352.
2. 이재규, 이호근, "Integration of Strategic Planning and Short-term Planning : An Intelligent DSS Approach by the Post-Model Analysis Approach", Decision Support Systems, Vol. 3, No. 2, June 1987, pp. 141-154.
3. 이재규, 강병선, "Intelligent Production Planning System Using the Post-Model Analysis Approach", Applied Expert Systems, (ed) E. Turban and P. R. Watkins, North-Holland, 1988, pp. 87-106.
4. 이재규, 주석진, 심성훈, 김민용, "A Knowledge-based Formulation of Linear Programming Models using UNIK-OPT", 2nd International Workshop on Artificial Intelligence in Economics and Management, North-Holland, 1989.
5. 이재규, 신민수, "Integration of Linear Programming with Rule-based Systems by the Post-Model Analysis Approach", On Revision to appear in Management Science, 1989.
6. 이재규, 오상봉, 신중철, "UNIK-FCST: Knowledge-assisted Adjustment of Statistical Forecasts", submitted to Journal of Forecasting, 1989.
7. Turban, E. and 이재규, Expert Systems and Manufacturing, McGraw-Hill Publishing Co., forthcoming in 1989. (Table of Contents Attached)
8. 이재규, Knowledge-based Systems and Optimization, Addison Wesley Publishing Co., forthcoming in 1990. (Table of Contents Attached)

그림 목 차

제 II 부

<그림 3-1> UNIK-BWD 규칙 문법	II-3-3
<그림 3-2> 예제 규칙들	II-3-7
<그림 3-3> AND/OR 그래프	II-3-7
<그림 3-4> 프레임으로 표현된 AND/OR 그래프 지식	II-3-8
<그림 3-5> 프레임으로 표현된 사실 베이스 지식	II-3-9
<그림 3-6> 전문가 시스템 개발 메뉴	II-3-15
<그림 3-7> 지식 베이스 선택 화면	II-3-16
<그림 3-8> 지식 베이스 컴파일 화면	II-3-17
<그림 4-1> UNIK-FWD 의 구조	II-4-1
<그림 5-1> UNIK-OPT 시스템의 전체적 구조	II-5-4
<그림 5-2> 세수준의 모형화 관점	II-5-5
<그림 5-3> 선형계획 모형의 일반적 구조	II-5-9
<그림 5-4> MATERIAL-BALANCES 제약식의 계층구조	II-5-13
<그림 5-5> 예제 제약식 네트워크	II-5-19
<그림 5-6> 관련분야 명확화	II-5-23
<그림 6-1> UNIK-TRANS의 기능	II-6-2
<그림 6-2> 제약식 생성함수의 호출과 제약식 프레임	II-6-4
<그림 7-1> UNIK 시스템 최상위 화면	II-7-6
<그림 7-2> UNIK-PMA 최상위 화면	II-7-6
<그림 7-3> 선형 계획 모형 선택 화면	II-7-7

<그림 7-4> UNIK-PMA 추론 방향 설정 화면	II-7-7
<그림 7-5> UNIK-PMA 추론 결과 화면	II-7-9
<그림 7-6> UNIK-PMA 추론 결과 이름 설정 화면	II-7-9
<그림 7-7> Rule 함수 키 화면 - (a)	II-7-10
<그림 7-8> Rule 함수 키 화면 - (b)	II-7-10
<그림 7-9> Fact Base 함수 키 화면	II-7-11
<그림 7-10> Solution Set 함수 키 화면	II-7-12
<그림 7-11> MRS Comparison 함수 키 화면	II-7-12
<그림 7-12> Goal Range 함수 키 화면 - (a)	II-7-13
<그림 7-13> Goal Range 함수 키 화면 - (b)	II-7-14
<그림 7-14> Goal Range 함수 키 화면 - (c)	II-7-14
<그림 8-1> 화면에 나타난 window 형태	II-8-3

제 III 부

<그림 2-1> 원유에 관한 지식	III-2-10
<그림 2-2> 공정에 관한 지식	III-2-10
<그림 2-3> 예제 제약식 네트워크	III-2-14
<그림 2-4> UNIK-LP Main Menu	III-2-18
<그림 2-5> LP Model Formulation (a)	III-2-18
<그림 2-6> Context Identification - Raw Materials	III-2-19
<그림 2-7> Raw Materials - Index Selection	III-2-19
<그림 2-8> H/S Crude Oil Selection	III-2-20
<그림 2-9> Context Identification - Process Units	III-2-20
<그림 2-10> CDU Unit - Logical CDU Spec. (a)	III-2-21
<그림 2-11> CDU Unit - Logical CDU Spec. (b)	III-2-21
<그림 2-12> Context Identification - RECURSION AND POOLING	III-2-22

<그림 2-13> Recursion and Pooling - Attribute Error Tracking	III-2-22
<그림 2-14> LP Modeling Viewpoint (a)	III-2-23
<그림 2-15> Modeling Viewpoint - Terms (a)	III-2-23
<그림 2-16> Modeling Viewpoint - Terms (b)	III-2-24
<그림 2-17> LP Modeling Viewpoint (b)	III-2-24
<그림 2-18> Modeling Viewpoint - Constraints (a)	III-2-25
<그림 2-19> Modeling Viewpoint - Constraints (b)	III-2-25
<그림 2-20> Semantic Model View	III-2-26
<그림 2-21> Constraints Elicitation	III-2-26
<그림 2-22> Ambiguity Elimination	III-2-27
<그림 2-23> Individual Equation Level	III-2-27
<그림 3-1> 지식 기초 완화의 개념	III-3-7
<그림 3-2> 원유 구매 계획과 관련된 정보의 흐름	III-3-18
<그림 3-3> 원유 프레임 예	III-3-20
<그림 3-4> 지역별 선박 할당 규칙의 예	III-3-24
<그림 3-5> UNIK-PCS 최상위 화면	III-3-46
<그림 3-6> 초기 구매 및 처리 계획의 입력	III-3-47
<그림 3-7> 물량 조정 화면	III-3-48
<그림 3-8> 구매 원유 프레임 조정 화면	III-3-48
<그림 3-9> 수정된 물량 조정 화면	III-3-49
<그림 3-10> 고정된 구매 일정 메뉴	III-3-50
<그림 3-11> 고정된 구매 일정 입력 화면	III-3-50
<그림 3-12> 고정된 구매 일정 확인 화면	III-3-51
<그림 3-13> 고정된 구매 일정 수정 화면	III-3-51
<그림 3-14> 원유 처리 일정 수립을 위한 제약 조건 입력 화면	III-3-52
<그림 3-15> 상압 증류탑에서의 처리 일정	III-3-53

<그림 3-16> 원유 재고 추이 보고 화면	III-3-54
<그림 3-17> 선박 할당 보고 화면	III-3-54
<그림 3-18> 수립된 구매 일정 보고 화면	III-3-55
<그림 4-1> 의사 결정의 흐름도	III-4-7
<그림 4-2> 프레임 형태의 지식 표현의 예	III-4-9
<그림 4-3> 프레임 사이의 관계	III-4-9
<그림 4-4> Demon 의 기능	III-4-10
<그림 4-5> 일정 계획용 규칙 표현의 예	III-4-11
<그림 4-6> class-based 추론 방법	III-4-12
<그림 4-7> 시스템 추론 과정	III-4-13
<그림 4-8> 배합 모형에 관한 지식의 예	III-4-14
<그림 4-9> 외부적 지식의 예	III-4-15
<그림 4-10> 주 화면	III-4-16
<그림 4-11> 월간 자료 입력 화면	III-4-16
<그림 4-12> 월간 생산 계획 화일을 프레임으로 변환	III-4-17
<그림 4-13> 일정 계획 시스템	III-4-17
<그림 4-14> 일정 계획에 필요한 초기자료 입력	III-4-18
<그림 4-15> 초기 상압 증류탑별 원유 처리 계획 화면	III-4-18
<그림 4-16> 초기 원유 처리 계획의 규칙 수행 화면	III-4-19
<그림 4-17> 시스템이 제시한 초기 원유 처리 계획 화면	III-4-19
<그림 4-18> 최종 원유 처리 및 처리 원유 선택 화면	III-4-20
<그림 4-19> 원유 처리 계획 화면	III-4-20
<그림 4-20> 원유 탱크의 운영 계획	III-4-21
<그림 4-21> Blending optimizer	III-4-21
<그림 4-22> Blending guide 의 예제 화면	III-4-22
<그림 4-23> 현재의 일정 계획 평가 및 보고서 작성	III-4-22
<그림 4-24> 제품 생산과 재고 변화에 대한 화면	III-4-23

<그림 4-25> 상황 변화에 대한 재계획 시스템	III-4-23
<그림 4-26> 상황 변화에 대한 재계획 예제 화면	III-4-24
<그림 4-27> 매일의 자료 변화 입력	III-4-24
<그림 4-28> 제품 출고와 재고 변화에 대한 자료 입력 예	III-4-25
<그림 5- 1> UNIK-FCST 의 구조	III-5-7
<그림 5- 2> UNIK-FCST 의 지식구조	III-5-8
<그림 5- 3> 예측대상의 지식표현	III-5-9
<그림 5- 4> 판단대상의 형태	III-5-11
<그림 5- 5> 판단대상의 지식표현	III-5-13
<그림 5- 6> UNIK-FCST 의 구성도	III-5-14
<그림 5- 7> UNIK-FCST 의 최상위 화면	III-5-19
<그림 5- 8> Forecasting Subsystem 의 화면 (1)	III-5-19
<그림 5- 9> Forecasting Subsystem 의 화면 (2)	III-5-20
<그림 5-10> Forecasting Subsystem 의 화면 (3)	III-5-20
<그림 5-11> Forecasting Subsystem 의 화면 (4)	III-5-21
<그림 5-12> Forecasting Subsystem 의 화면 (5)	III-5-21
<그림 5-13> Forecasting Subsystem 의 화면 (6)	III-5-22
<그림 5-14> Forecasting Subsystem 의 화면 (7)	III-5-22
<그림 5-15> 실적치와 통계적 예측치의 그래프	III-5-23
<그림 5-16> Forecasting Subsystem 의 화면 (8)	III-5-24
<그림 5-17> Forecasting Subsystem 의 화면 (9)	III-5-24
<그림 5-18> Judgmental Factor Adjustment 의 화면 (1)	III-5-26
<그림 5-19> Judgmental Factor Adjustment 의 화면 (2)	III-5-26
<그림 5-20> Judgmental Factor Adjustment 의 화면 (3)	III-5-27
<그림 5-21> Judgmental Factor Adjustment 의 화면 (4)	III-5-27
<그림 5-22> Judgmental Factor Adjustment 의 화면 (5)	III-5-28

<그림 5-23>	Judgmental Factor Adjustment 의 화면 (6)	III-5-28
<그림 5-24>	Judgmental Factor Adjustment 의 화면 (7)	III-5-29
<그림 5-25>	Forecasting Bias Adjustment 의 화면 (1)	III-5-30
<그림 5-26>	Forecasting Bias Adjustment 의 화면 (2)	III-5-30
<그림 5-27>	Forecasting Bias Adjustment 의 화면 (3)	III-5-31
<그림 5-28>	Forecasting Bias Adjustment 의 화면 (4)	III-5-31
<그림 5-29>	Show Final Forecasting Result 의 화면 (1)	III-5-32
<그림 5-30>	Show Final Forecasting Result 의 화면 (2)	III-5-33
<그림 5-31>	Show Final Forecasting Result 의 화면 (3)	III-5-33
<그림 5-32>	Show Final Forecasting Result 의 화면 (4)	III-5-34
<그림 5-33>	Show Final Forecasting Result 의 화면 (5)	III-5-34
<그림 5-34>	Show Final Forecasting Result 의 화면 (6)	III-5-35
<그림 5-35>	Show Final Forecasting Result 의 화면 (7)	III-5-35
<그림 5-36>	Learning 의 화면 (1)	III-5-36
<그림 5-37>	Learning 의 화면 (2)	III-5-37
<그림 5-38>	Learning 의 화면 (3)	III-5-37
<그림 5-39>	Learning 의 화면 (4)	III-5-38
<그림 5-40>	Learning 의 화면 (5)	III-5-38
<그림 5-41>	Learning 의 화면 (6)	III-5-39
<그림 5-42>	Database Manager 의 화면 (1)	III-5-40
<그림 5-43>	Database Manager 의 화면 (2)	III-5-40
<그림 5-44>	Database Manager 의 화면 (3)	III-5-41
<그림 5-45>	Database Manager 의 화면 (4)	III-5-41
<그림 5-46>	Saving Result 의 화면	III-5-42

표 목 차

제 II 부

<표 6-1> Heater-1의 데이터베이스 내용	II-6-11
<표 6-2> Heater-2의 데이터베이스 내용	II-6-12

제 III 부

<표 3-1> 구매 관련 RPMS 출력 화일 형식	III-3-19
<표 3-2> 처리 관련 RPMS 출력 화일 형식	III-3-20
<표 3-3> 일간 처리량 제약	III-3-36
<표 5- 1> X11/ARIMA 예측치와 보정된 예측치의 비교	III-5-3

제 I 부 서 론

제 I 부. 서론	I-0-1
1. 연구의 필요성과 목적	I-1-1
2. 연구의 추진단계와 범위	I-2-1
2.1. 연구 제1차년도	I-2-1
2.2. 연구 제2차년도	I-2-2
2.3. 연구 제3차년도	I-2-4
3. 보고서의 구성	I-3-1

1. 연구의 필요성과 목적

인공지능 연구의 가장 핵심분야인 전문가시스템(Expert Systems)의 개발도구는 점점 복합적 기능을 갖춘 형태로 발전하고 있다. 즉 규칙(Rule)중심의 도구에서 사용상 융통성이 많은 종합적 도구(Hybrid Tool)로 발전하였으며 상업적으로는 KEE, ART, Knowledge Craft, Goldworks 등이 선진국에서 보급되고 있다. 이들 종합적도구는 규칙을 이용한 지식표현과 다양한 추론 뿐만 아니라 프레임(Frame)과 LISP 언어를 함께 이용하여 정보 상속(Inheritance) 및 필요한 작동의 자동 호출기능(Demon)을 제공함으로써, 전문가시스템이 보다 다양한 문제해결에 활용될 수 있게 하는데 기여하였다. 그러나 이들 도구들을 실제 문제에 응용하는 단계에서 경험하게 되는 것은 각 응용분야별로 그동안 연구축적 되어온 방법론과의 관계정립의 필요성이었다. 특히 많은 분야에서 널리 활용되고 있는 최적화 모형과의 관계는 매우 중요하다고 할 수 있다. 이러한 문제에 대한 학계의 관심은 비상하나 아직까지 이렇다할 연구가 선진국에서도 보고된 바 없는 실정인 것을 감안하면 본 연구는 이 문제에 관한 최초의 연구라 칭해도 좋을 듯하다. 이와 같은 사실은 본 연구의 중심명제인 "지식과 최적화의 결합구조"에 관한 연구결과를 저서출판 하도록 Addison Wesley 출판사가 본 연구진에게 제의해 온 것으로도 입증되며, 또 본 보고서의 부록에 첨부된 학술논문의 발표로도 재 확인할 수 있을 것이다.

본 연구는 지식과 최적화 이론을 결합한 구조의 전문가시스템 개발도구인 UNIK(Unified Knowledge)를 개발하고, 이 개념과 도구의 활용가능성을 예시하기 위하여 (주)유공과 공동으로 석유화학공업에서의 응용을 시도 하였다. UNIK은 UNIK-FRAME(프레임 관리 시스템, Frame-based System), UNIK-BWD(역방향 추론기관, Backward Chaining System), UNIK-FWD(정방향 추론기관, Forward Chaining System), UNIK-OPT(최적화 모형의 자동 구축 시스템, Optimization Model Builder), UNIK-TRANS(지식을 최적화 모형으로 변환, Knowledge Translator), UNIK-PMA(지식과 최적화

모형의 상호작용 분석, Post-Model Analyzer), UNIK-WINDOW(UNIK의 화면처리기능, Window Manager), UNIK-DB(데이터 관리, Data Manager)로 구성되어 있다. UNIK의 이들 기능은 제II부에서 상세히 다루었다. 그리고 UNIK를 석유산업에 이용한 예로는 원유의 최적구매계획 모형 구축(UNIK-LP), 원유도입 일정계획(UNIK-PCS), 정유공장운영 일정관리 (UNIK-SCHD), 지식을 이용한 시계열 분석의 예측치 수정(UNIK-FCST)을 개발하였으며, 이들은 제III부에서 각각 상세히 다루었다. 이로서 본 연구는 3년간의 연구를 통해 지식과 계량적 기법의 결합이론의 개발, 이론을 구현하는 도구인 UNIK의 개발, UNIK의 활용 예로 석유산업에의 응용을 달성하였다.

2. 연구의 추진단계의와 범위

본 연구보고서는 1986년 부터 1988년에 걸친 3년간의 연구결과를 총망라하여 작성된 것이다. 본 연구의 년도별 연구과제는 다음과 같았다.

2.1. 연구 제1차 년도 (1986년 4월 4일 ~ 1987년 4월 3일)

연구 제1차년도는 전문가시스템이 최적화모형, 통계적모형, 의사결정모형, 모의실험 모형등의 계량적 방법론과 어떻게 보완적으로 결합될 수 있는지 기존의 문헌고찰 중심으로 연구를 수행하였다. 그리고 객체지향(Object Oriented) 언어의 활용방안과 모형관리 시스템(Model Management System)에 전문가시스템이 어떻게 활용되고 있는지를 조사 분석하였다. 본 연구보고서에는 다음의 내용들이 담겨 있다.

제2장에서는 전문가시스템과 최적화의 관계를 전문가시스템이 최적화 모형의 앞부분으로 결합된 형태, 뒷부분으로 결합된 형태, 전문가시스템이 모형화 과정을 도와 주는 과정으로 분류하여 조사하였다. 소개된 시스템은 FOLIO, 모형후 분석(Post-Model Analysis)방법, 주식투자 자문시스템, 선형계획모형 구축 지원등에 관한 것이다.

제3장에서는 통계분석에서 전문가시스템의 활용을 통계적 자문 프로그램과 유형 발견 프로그램에 이용된 형태로 분류하여 분석하고, 불확실성하에서의 추론을 위해 통계적 방법과 Fuzzy Set 이론의 활용를 고찰하였다. 소개된 시스템은 REX, Twosamp, STUDENT PHASE I 이다.

제4장에서는 의사결정분석 문제에 전문가시스템을 활용한 연구를 정적접근법과 점진적 접근법으로 분류하였고, 의사결정분석 방법은 의사결정나무와 AND/OR graph로 하였다. 활용된 시스템은 GODESS, GIMAS 등이다.

제5장에서는 지식베이스를 이용한 모의실험시스템인 Knowledge-based Simulation

System, 모의실험 Life Cycle 에서 인공지능적 접근법, 비계량적 모의실험법(Qualitative Simulation)을 고찰하였다. 소개된 시스템은 Knowledge-based Simulation과 Simulation Craft 이다.

제6장에서는 Object Oriented Programming (OOP)의 개념과 이를 이용한 시스템 들을 LOOPS를 중심으로 상호비교하고, OOP를 이용한 정보추출 시스템인 RUBRIC III와 Smallworld를 소개하였다.

제7장에서는 모델관리의 필요성, 역할 및 기능, 관계모형에 의한 모델관리, 구조적 모델링의 개념, 인공지능과 모형관리와의 관계등을 논하고 제8,9장에서의 세부적 고찰 에 발판을 놓았다.

제8장에서는 논리형의 Resolution, Graph 및 Production Rule을 이용한 모델 관리 시스템을 고찰하고 GDSS, Rochester 연구, TIMMS, ACS, MCDSS, INSIGHT 2를 소개하였다.

제9장에서는 프레임을 이용한 모델관리시스템으로서 선형계획 모형 수립, Meta-level 구조로서의 프레임, 다중지식 표현에 의한 모델관리의 개념을 고찰하고 LP Formulator, GXMP, GUTS, SPMMS를 소개하였다.

제10장에서는 앞으로 연구방향에 관해 언급하였다.

2.2. 연구 제2차 년도 (1987년 4월 16일 ~ 1988년 4월 15일)

연구 제2차년도는 최적화 기법과 전문가시스템의 결합에 초점을 맞추어 연구를 진행하였다. 우선 Knowledge Craft와 같은 유형의 종합적 전문가시스템 개발도구인 UNIK-FRAME, UNIK-BWD, UNIK-FWD를 개발하고, 최적화기법과의 결합을 위해 UNIK-OPT, UNIK-INTERPRETER (연구 제3차년도에 UNIK-TRANS라 재 명명됨),

UNIK-PMA를 개발하여 종합적인 도구인 UNIK(Unified Knowledge)를 구축하였다. 그리고 UNIK의 활용방안을 제시하고, 일차적으로 석유산업에 응용가능함을 보였다. UNIK의 부문별 기능은 다음과 같다.

UNIK-FRAME : 프레임의 생성 및 삭제; 프레임값의 입력, 수정, 삭제; 프레임간의 관계 정의 및 정보 상속; 필요시 자동작동 기능(Demon)의 정의 등의 프레임 관리 도구이다.

UNIK-BWD : 외부 도구 (예 SKI 2)로 표현된 규칙을 프레임의 규칙으로 구조를 변경시키고, 목적중심으로 역방향 추론을 해 주는 추론기관이다.

UNIK-FWD : OPS 5와 같은 종류의 정방향 추론기관이나 Working Memory를 프레임에 저장된 구조로 지식관리를 할 수 있다. 사용자가 규칙간의 상충(Conflict)의 해소에 참여할 수도 있고, 메타규칙을 이용할 수도 있다.

UNIK-OPT : 최적화 모형을 지식과 연결시키기 위해서는 최적화 모형자체가 지식의 표현수단으로 나타내 져야 한다. UNIK-OPT는 최적화 모형에 관련된 지식을 체계적으로 유지하고, 그 지식을 이용하여 최적화 모형을 자동생성 시켜주며, 또 UNIK-PMA와의 연결을 가능하게 하여 최적화 모형과 지식의 연결을 가능하게 해 준다.

UNIK-TRANS : 지식을 최적화 모형으로 변환시킬 수 있는 경우 지식을 최적화 모형의 제약식 등의 형태로 변환시켜 주는 기능을 갖고 있다.

UNIK-PMA : 지식에 포함되어 있는 목적과 최적화 모형에 포함되어 있는 목적식간의 상호결충을 통해 의사결정을 하도록 지원해 주는 기능이다.

UNIK는 IBM PC AT의 환경에서 개발되었다.

2.3. 연구 제3차 년도 (1988년 5월 26일 ~ 1989년 5월 25일)

연구 제3차년도는 연구 제2차년도에 개발된 UNIK의 기능을 실제적 문제에 활용하면서 더 정교하게 가다듬고, Work Station 환경인 SUN 3로 옮겼으며, 석유산업의 제반 계획 통제 문제에 응용하였다. 본 연구를 위해 (주)유공이 연구에 참여하여 SUN 3를 임대해주고 지식을 제공하였다. 최종본 UNIK의 설명서를 작성하는 데는 연구 제2차년도의 보고서의 내용이 참고되었으나 UNIK-WINDOW 기능이 추가설명되었다. 석유산업에 대한 UNIK의 활용 부문은 아래와 같다.

UNIK-LP : 최적원유구매를 위한 월간 계획을 수립하기 위해 상업적 소프트웨어를 이용하여 선형계획 모형이 구축되고 있었다. 그런데 기존의 시스템보다 데이터와 모형의 수정을 용이하게 하고 여러 모형에서 지식을 공유할 수 있게 하며 선형계획 모형이 자동적으로 구축 될 수 있는 UNIK-LP를 개발하여 석유산업에서 이용할 수 있는 제반 선형계획 모형의 생성에 이용하였다. 개발에 사용된 주된 도구는 UNIK-FRAME과 UNIK-OPT 이다.

UNIK-PCS : UNIK-LP에 의해 구해진 월간 최적 원유 구매계획을 구현할 수 있도록 구매물량의 현실적 조정, 구매계약분의 반영, 선박의 수배, 정유공장의 원유재고 상태를 고려한 도입 일정계획 등을 수립하는 시스템이다. 개발에 사용된 주된 도구는 UNIK-FRAME과 UNIK-FWD이다.

UNIK-SCHD : UNIK-PCS에 의해 구해진 원유도입일정 계획에 따라 정유공장의 작업 일정계획을 수립해 주는 시스템이다. 이 과정에서 제품 재고의 수준이 고려되고, 만일 원유도입일정이 공장운영에 중대한 차질을 가져오면 UNIK-PCS에 이를 반영한 원유도입일정 계획을 수립하도록 상호작용한다.

UNIK-FCST : 원유도입 및 정유생산계획의 출발점은 정확한 수요예측에 있다. 현재 X-

11 ARIMA 모형을 사용하여 수요예측을 하고 있는 바 그 결과의 신빙성이 낮아서 예측전문가들이 통계적 예측치를 판단에 의해 수정하고 있다. 이 과정을 전문가시스템으로 구성하여 과거사례로부터 미래의 유사한 상황에 대한 수정제시를 하도록 해 준다.

3. 보고서의 구성

본 보고서는 다음과 같이 구성되어 있다. 제II부에는 UNIK 시스템을 사용설명서의 관점으로 이용될 수 있도록 작성하였다. 세부적인 목차는 제II부의 서두에 위치해 있으며, UNIK-FRAME, UNIK-BWD, UNIK-FWD, UNIK-OPT, UNIK-TRANS, UNIK-PMA, UNIK-WINDOW가 설명되어 있다. 제III부에는 UNIK를 석유공업에 이용한 예가 설명되어 있으며, UNIK-LP, UNIK-PCS, UNIK-SCHD, UNIK-FCST가 포함되어 있다. 제IV부에는 UNIK의 활용가능성이 고찰되어 있고, 부록에는 본 연구기간중에 본 연구와 관련하여 게재된 6편의 논문과 집필증인 2편의 저서의 목차가 첨부되어 있다.

제 II 부 UNIK 사용자 설명서

제 II 부. UNIK의 사용자 설명서	II-0-1
1. UNIK 시스템 개론	II-1-1
2. UNIK-FRAME	II-2-1
2.1 UNIK-FRAME 개요	II-2-1
2.1.1 프레임의 내부구조	II-2-1
2.2 기본적인 기능 설명	II-2-2
2.2.1 명령어의 구조	II-2-2
2.2.2 사용되는 명령어	II-2-3
2.2.3 스위치에 관한 설명	II-2-13
2.3 프레임간의 관계표현	II-2-14
2.3.1 시스템에서 정의된 관계	II-2-15
2.3.2 사용자가 정의하는 관계	II-2-15
2.4 프레임간의 정보 상속(Inheritance)	II-2-16
2.5 Demon의 역할 및 표현 방법	II-2-18
2.5.1 Demon의 역할	II-2-18
2.5.2 Demon의 표현	II-2-18
3. UNIK-BWD	II-3-1
3.1 UNIK-BWD 개요	II-3-1
3.2 지식 표현	II-3-1
3.2.1 규칙 형태의 지식 표현	II-3-1
3.2.2 프레임 형태의 지식 표현	II-3-6
3.3 규칙을 프레임으로 변환시키는 지식 컴파일러	II-3-9
3.4 추론 방법	II-3-10
3.4.1 역방향 추론 방법	II-3-10

3.4.2 추론 예제	II-3-11
3.5 사용 예	II-3-14
3.5.1 지식 베이스 편집 기능	II-3-15
3.5.2 지식 베이스 선택 기능	II-3-15
3.5.3 지식 베이스 컴파일 기능	II-3-16
3.5.4 컴파일된 지식 베이스 편집 기능	II-3-17
3.5.5 추론 기능	II-3-17
4. UNIK-FWD	II-4-1
4.1 UNIK-FWD 개요	II-4-1
4.2 Working Memory 의 형성	II-4-2
4.2.1 Frame-literalize 에 의한 변화	II-4-2
4.2.2 Demon 에 의한 변화	II-4-3
4.3 규칙의 표현	II-4-3
4.3.1 조건 부분의 Value-pattern	II-4-4
4.3.2 행위 부분의 표현	II-4-6
4.4 메타 규칙의 표현	II-4-6
4.5 해를 구하는 방법	II-4-7
4.5.1 실행된 요소의 제거	II-4-7
4.5.2 메타 규칙의 적용	II-4-7
4.5.3 사용자에게 의한 해결	II-4-8
4.5.4 Default 의한 해결	II-4-8
4.5.5 규칙의 수행결과에 의해 변화된 요소의 제거	II-4-8
4.6 UNIK-FWD 의 고유 명령어	II-4-8
5. UNIK-OPT	II-5-1
5.1 UNIK-OPT의 개요	II-5-1
5.2 UNIK-OPT의 구조	II-5-3
5.3 모형화 관점	II-5-5

5.3.1	의미론적 관점	II-5-6
5.3.2	표기적 관점	II-5-6
5.3.3	테이블 관점	II-5-7
5.4	모형화 지식의 표현	II-5-7
5.4.1	선형계획의 모형화 구조	II-5-8
5.4.2	관련분야 지식표현	II-5-12
5.4.3	제약식의 표현	II-5-16
5.4.4	생성된 모형의 재사용	II-5-20
5.5	선형계획 모형의 생성과정	II-5-21
5.5.1	관련분야의 명확화 및 결정변수의 선택	II-5-22
5.5.2	목적함수의 생성	II-5-23
5.5.3	제약식의 유도	II-5-24
5.5.4	표기적 형태의 모형생성	II-5-25
5.5.5	계수 수치의 공급 - 데이터 베이스와의 연결	II-5-27
6.	UNIK-TRANS	II-6-1
6.1	UNIK-TRANS의 개요	II-6-1
6.2	UNIK-TRANS의 기능	II-6-1
6.2.1	제약식 생성기능	II-6-1
6.2.2	질의(Query) 기능	II-6-4
6.3	선형계획모형관련 규칙문장의 구조	II-6-5
6.3.1	개관	II-6-5
6.3.2	제한된 문법	II-6-6
6.4	UNIK-TRANS의 사용예	II-6-7
6.4.1	제약식 생성의 사용예	II-6-8
6.4.2	질의(Query)의 사용예	II-6-10
7.	UNIK-PMA	II-7-1
7.1	UNIK-PMA의 개요	II-7-1

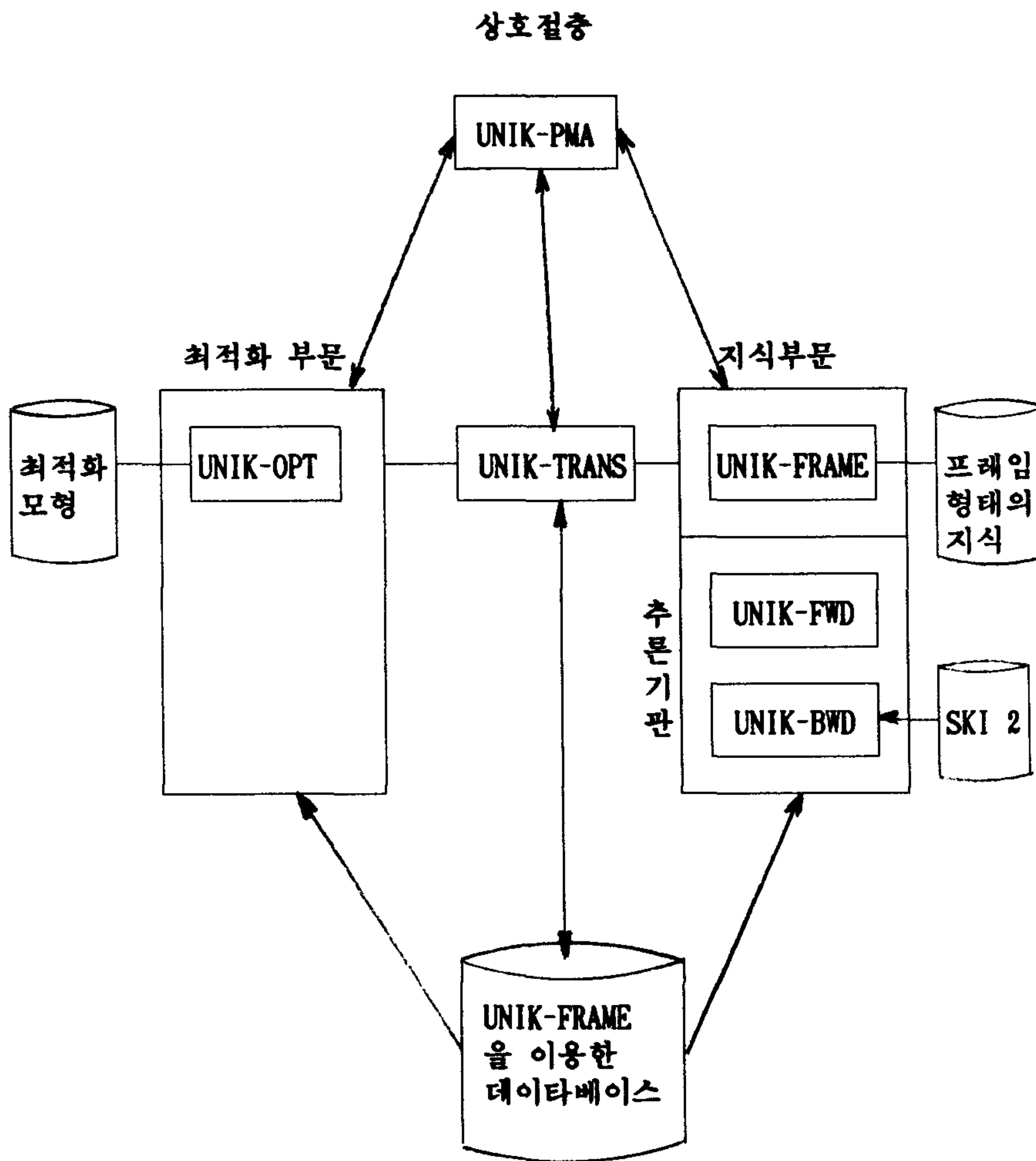
7.2 PMA 개요	II-7-1
7.2.1 PMA(0,t)	II-7-1
7.2.2 PMA(1,t)	II-7-1
7.3 주요기능	II-7-2
7.3.1 Rule	II-7-2
7.3.2 Fact Base	II-7-3
7.3.3 Solution Set	II-7-3
7.3.4 MRS Comparison	II-7-3
7.3.5 Goal Range	II-7-3
7.3.6 Interrupt	II-7-4
7.4 사용례	II-7-4
7.4.1 전체 시스템 화면	II-7-4
7.4.2 UNIK-PMA 관련 화면	II-7-7
8. UNIK-WINDOW	II-8-1
8.1 UNIK-WINDOW 의 개요	II-8-1
8.2 PC 용 UNIK-WINDOW 명령어	II-8-1
8.2.1 WINDOW 선언	II-8-2
8.2.2 WINDOW 선언에 사용되는 슬랏	II-8-6
8.2.3 WINDOW 호출 및 정적 메뉴 사용 명령어	II-8-11
8.2.4 동적 메뉴 사용 명령어	II-8-14
8.2.5 WINDOW 상에서 Frame 처리 명령어	II-8-17
8.2.6 WINDOW 입.출력 기본 명령어	II-8-18
8.3 SUN 용 UNIK-WINDOW 명령어	II-8-21
8.3.1 PC 용과의 차이점	II-8-21
8.3.2 WINDOW 선언	II-8-22
8.3.3 WINDOW 선언에 사용되는 슬랏	II-8-22
8.3.4 WINDOW 호출 및 정적 메뉴 사용 명령어	II-8-24
8.3.5 동적 메뉴 사용 명령어	II-8-25

8.3.6 WINDOW 상에서 Frame 처리 명령어	II-8-26
8.3.7 WINDOW 입.출력 기본 명령어	II-8-26

1. UNIK 시스템 개론

UNIK(Unified Knowledge)는 전문가시스템과 최적화 모형이 체계적으로 연결되도록 준비한 시스템으로서 전체적 구성도는 <그림 1-1>과 같다. UNIK를 이루는 구성 요소들은 다음과 같은 기능이 있다.

- 1) UNIK-FRAME : 프레임의 생성 및 삭제; 프레임값의 입력, 수정, 삭제; 프레임 간의 관계 정의 및 정보 상속; 필요시 자동작동 기능(Demon)의 정의 등의 프레임 관리도구이다. 상세한 설명은 제2장에 있다.
- 2) UNIK-BWD : 외부 도구 (예 SKI 2)로 표현된 규칙을 프레임의 규칙으로 구조를 변경시키고, 목적중심으로 역방향 추론을 해 주는 추론기관이다. 상세한 설명은 제3장에 있다.
- 3) UNIK-FWD : OPS 5와 같은 종류의 정방향 추론기관이나 Working Memory를 프레임에 저장된 구조로 지식관리를 할 수 있다. 사용자가 규칙간의 상충(Conflict)의 해소에 참여할 수도 있고, 메타규칙을 이용할 수도 있다. 상세한 설명은 제4장에 있다.
- 4) UNIK-OPT : 최적화 모형을 지식과 연결시키기 위해서는 최적화 모형자체가 지식의 표현수단으로 나타내 져야 한다. UNIK-OPT는 최적화 모형에 관련된 지식을 체계적으로 유지하고 그 지식을 이용하여 최적화 모형을 자동생성 시켜주며, 또 UNIK-PMA와의 연결을 가능하게 하여 최적화 모형과 지식의 연결을 가능하게 해 준다. 상세한 설명은 제5장에 있다.
- 5) UNIK-TRANS : 지식을 최적화 모형으로 변환시킬 수 있는 경우 지식을 최적화 모형의 제약식 등의 형태로 변환시켜 주는 기능을 갖고 있다. 상세한 설명은 제6장에 있다.



<그림 1-1> UNIK의 전체 구성도

- 6) UNIK-PMA : 지식에 포함되어 있는 목적과 최적화 모형에 포함되어 있는 목적
 식간의 상호결충을 통해 의사결정을 하도록 지원해 주는 기능이다. 상세한 설명
 은 제7장에 있다.
- 7) UNIK-WINDOW : UNIK-WINDOW는 WINDOW의 선언과 호출이 가능하며,
 WINDOW 상에서 프레임을 처리 할 수 있다. UNIK-WINDOW는 대형전문가
 시스템의 개발시 개발능률을 향상 시켜준다. 현재 PC용과 SUN용이 개발되어 있
 다. 상세한 설명은 제8장에 있다.

UNIK는 그 목적에 따라 다음과 같은 부문적 결합에 의해 다양한 목적으로 활용할
 수 있다.

- 1) 프레임 관리 시스템 : UNIK-FRAME 만 사용
- 2) 역방향 추론의 규칙형 지식틀(shell) : UNIK-FRAME과 UNIK-BWD
- 3) 정방향 추론의 규칙형 시스템 : UNIK-FRAME과 UNIK-FWD
- 4) 최적화 모형의 자동 구축 시스템 : UNIK-OPT
 (UNIK-FRAME과 UNIK-TRANS는 내재적으로 포함됨)
- 5) 최적화 모형과 지식속에 포함된 목적간의 결충 : UNIK-PMA
 (UNIK-FRAME, UNIK-BWD, UNIK-OPT, UNIK-TRANS는
 내재적으로 포함됨)

물론 UNIK-WINDOW는 항상 소요된다. UNIK는 PC 환경에서는 GCLISP, SUN
 환경에서는 SUN COMMON LISP을 이용해서 개발되었으며 LISP과 Pascal, C 및
 Operating System (MS DOS 및 UNIX) 와의 연결도 가능하다.

2. UNIK-FRAME

2.1 UNIK-FRAME 의 개요

UNIK의 모든 시스템은 UNIK-FRAME을 사용하여 개발 되었다. UNIK-FRAME은 프레임의 형태로 모든 자료를 저장하고 사용함으로써 효율적인 데이터의 관리를 가능하게 한다. 프레임의 형태로 자료를 표현하면 관련된 프레임으로부터 정보를 상속받거나 Demon을 이용하여 정보를 얻을 수도 있다. UNIK-FRAME에서의 자료 표현 방법인 프레임의 형태는 심볼의 프레임이라는 PROPERTY LIST에 다음과 같이 저장된다.

```
((SLOT1 값11 값12 .....)  
(SLOT2 값21 값22 .....)  
(.....))
```

2.1.1 프레임의 내부구조

UNIK-FRAME 내에서의 프레임의 구조는 심볼 (Symbol) 의 'frame 이라는 Property 에 다음과 같이 표현된다.

```
(( slot1 value11 value12 value13 ... )  
( slot2 value21 value22 value23 ... )  
( slot3 value31 value32 value33 ... ))
```

이러한 형태는 다음과 같은 LISP 명령어를 이용하여 표현된다.

```
예) (setf (get 'henry 'frame ) '((is-a man)  
                                (height 1.78)
```



```
(weight 75)
(hobbies jogging skiing)
('location ('zip-code 999)
           ('address 'New-York))))
```

위의 예에서 보면 프레임의 이름은 henry 이고 slot 은 is-a, height, 그리고 hobbies 이다. 그리고 각 slot 의 나머지 부분은 그 slot 의 값이 된다.

2.2 기본적인 기능 설명

2.2.1 명령어의 구조

UNIK-FRAME 의 명령어들은 심볼의 Property List 에 프레임을 저장함으로써, 같은 심볼의 Value, Function 부분을 다른 용도로 이용할 수 있다. UNIK-FRAME 명령어 중에서 프레임을 정의하는 Deframe 은 매크로 명령어로서 내부구조는 다음과 같다.

```
예) (defmacro deframe (frame
  (if (null slot-value)
      '(create-frame ',frame)
      (do* ((args (reverse slot-value) (cdr args))
            (var (first args) (first args))
            (slot '(create-slot ',frame ',(car var))
                  '(create-slot ',frame ',(car var))))
            (value '(new-values ',frame ',(car var) ',(cdr var))
                  '(new-values ',frame ',(car var) ',(cdr var))))
      (accm '(,slot ,value) (append '(,slot ,value) accm))))
```

```

((null (cdr args))
 (setq accm (cons '(create-frame ',frame) accm))
 '(prog1 ',frame
      (mapcar 'equal ',accm))))))

```

2.2.2 사용되는 명령어

(1) Deframe

프레임을 만드는 기능으로서 명령어의 각 인자는 평가되지 않는다. 이때, 이미 같은이름의 프레임이 있으면, 같은 이름의 SLOT이 있는가를 조사하여, 존재하면 그 SLOT에 값을 넣어주고, 그러한 SLOT이 없으면 새로운 SLOT을 만든다. 그리고, 각 SLOT이 프레임간의 관계를 표현 하는가도 조사하여, 관계를 표현하는 SLOT이라면 상위 프레임에 역의 관계를 표현하는 SLOT을 만들어 준다.

```

예) (deframe man      (age      35)
      (sex      male))

```

--> man (명령어가 돌려주는 값)

(2) Cframe

기능은 Deframe 과 같으나, 모든 명령어의 인자들이 평가된다는 점이 다르다.

```

예) (cframe 'henry ('is-a 'man)
      ('height 1.78)
      ('weight 75)

```

```
('hobbies 'jogging 'skiing)
('location ('zip-code 999)
('address 'New-York)))
```

--> henry

(3) Deframed

기능은 Deframe 과 유사하나, 이미 같은 프레임이 있으면 그 프레임을 없앤뒤 새로운 프레임을 만든다.

(4) Cframed

기능은 Cframe 과 유사하나, 이미 같은 이름의 프레임이 있으면 그 프레임을 없앤뒤, 새로운 프레임을 만든다.

(5) Create-frame

주어진 이름의 프레임을 만들어 준다. 만일 같은 이름의 프레임이 이미 있으면 아무것도 하지 않는다.

예) (create-frame '프레임-이름)

--> 프레임-이름

(6) Framep

주어진 이름의 프레임이 만들어져 있는가를 조사한다.

예) (Framep '프레임-이름)

--> t (또는 nil의 Boolean 값)

(7) Create-slot

프레임에 하나의 SLOT을 만들어 준다. 만약 그 프레임에 같은 이름의 SLOT이 있으면 아무것도 하지 않고, 같은 이름의 프레임이 없으면 새로운 프레임을 만든뒤, SLOT을 만들어 넣어 준다.

예) (create-slot '프레임-이름 'SLOT-이름)

--> SLOT-이름

(8) Delete-frame

같은 이름의 프레임의 모든 것을 없앤다. 만약 프레임이 없으면 아무것도 하지 않는다.

예) (delete-frame '프레임-이름)

--> 프레임-이름

(9) Delete-slot

프레임에 SLOT이 있으면 그 SLOT을 없애주고, 그러한 SLOT이 없으면 아무것도 하지 않는다.

예) (delete-slot '프레임-이름 'SLOT-이름)

--> SLOT-이름

(10) Delete-all-value

프레임의 SLOT에 있는 모든 값을 없앤다. 만약 그러한 SLOT이 없으면 에러가 발생한다.

예) (delete-all-value '프레임-이름 'SLOT-이름)

--> SLOT-이름

(11) ps

프레임의 모든 내용을 보여준다. 이때 관계있는 프레임으로부터 상속되는 정보는 보여주지 않는다.

예) (ps 'henry)

--> {{ henry

is-a: man

height: 1.78

weight: 75

hobbies: jogging skiing

location: (zip-code 999)

(address NewYork) }}

(12) Get-local-slots

프레임의 모든 SLOT을 돌려준다. 이때 관계 SLOT을 통해 상속되는 정보를 포함하는 SLOT은 돌려주지 않는다.

예) (Get-local-slots 'henry)

--> (hobbies weight height is-a)

(13) Local-slot-p

그 SLOT이 프레임에 있는가를 조사한다. 그러나 관계 SLOT을 통해서 상속되는 정보를 포함하는 SLOT에 대해서는 조사하지 않는다.

예) (Local-slot-p 'henry 'weight)

--> t (또는 nil 의 Boolean 값을 돌려준다.)

(14) Get-local-values

프레임의 SLOT에 있는 값들을 돌려준다. 그러나 관계 SLOT을 통해서 상속되는 정보는 포함되지 않는다.

예) (get-local-values 'henry 'hobbies)

--> (jogging skiing)

(15) Relationp

주어진 이름의 SLOT이 관계 SLOT인가를 조사한다.

예) (relationp 'SLOT-이름)

--> t (또는 nil)

(16) Slotp

위의 명령어 Local-slot-p 와 유사하나, 관계 SLOT을 통해서 상속되는 정보를 포함하는 SLOT까지 조사한다.

예) (slotp 'henry 'age)

--> t (또는 nil)

시스템이 제공하는 관계 SLOT인 is-a SLOT을 통해서 프레임 man 과 henry 가 관계를 가지므로, man 의 SLOT인 age 는 프레임 henry에 정보를 상속할 수 있는 SLOT이 된다.

(17) Get-values

위의 명령어 Get-local-values 와 유사하나, 관계 SLOT을 통해서 상속되는 정보 까지 포함하여 돌려준다. 즉, 프레임에 SLOT이 있으면 그 SLOT의 값을 돌려주고, SLOT이 없으면 관계를 갖는 상위 프레임의 SLOT 으로부터 값을 가져와 돌려준다. 뿐만 아니라, 그 SLOT에 DEMON이 있는가도 조사하여 DEMON이 있으면 그것을 작동하여 값을 돌려준다.

예) (Get-values 'henry 'age)

--> (35)

(18) Get-value

위의 명령어인 Get-values와 유사하나, 값들의 첫번째 것을 ATOM으로 돌려준다.

예) (get-value 'henry 'hobbies)

--> jogging

(19) Delete-value

주어진 프레임의 SLOT에서 하나의 값을 없앤다. 이때, DEMON을 가지는 SLOT이면 DEMON이 작동한다.

예) (delete-value 'henry 'hobbies 'jogging)
--> jogging

(20) New-value

주어진 프레임의 SLOT의 값을 새로운 것으로 대체한다. 이때, DEMON을 가지는 SLOT이면 DEMON이 작동한다.

예) (new-value 'henry 'height 1.79)
--> 1.79

(21) New-values

주어진 프레임의 SLOT의 값을 새로운 여러 값으로 대체한다. 이때, DEMON을 가지면 DEMON이 작동한다.

예) (new-values 'henry 'hobbies '(jogging hiking))
--> (jogging hiking)

(22) Add-value

주어진 프레임의 SLOT에 하나의 값을 더 넣어준다. 이 새로운 값은 기존의 값들 앞에 들어가며, 만일 그 SLOT에 DEMON이 있으면 그것이 작동한다.

예) (add-value 'henry 'hobbies 'swimming)

--> swimming

(23) Add-values

위의 명령어 Add-value와 유사하나, 여러개의 값을 동시에 넣어줄 때, 이용한다.

예) (add-values 'henry 'hobbies '(reading working))

--> (reading working)

(24) Get-slots

위의 명령어 Get-local-slots와 유사하나, 관계를 갖고 있는 모든 상위 프레임으로부터 정보를 상속해주는 SLOT을 포함하여 돌려준다.

예) (Get-slots 'henry)

--> (hobbies weight height is-a sex age)

(25) Set-switch

시스템에서 정의된 3개의 스위치인 \$DEMON, \$INVERSE, 그리고 \$FWD 의 작동여부를 정해준다. 이때, 값이 t 이면 작동하고, nil 로 주면 작동하지 않는다.

예) (set-switch '\$inverse 'relation)

(26) Let-switches

위의 명령어 Set-switch와는 달리 스위치가 그 S-expression 내에서만 작동하게 하는 기능을 한다.

예) (let-switches ((\$demon t)

(\$inverse all))

.....)

(27) Get-switch

현재 스위치의 작동상태를 돌려준다.

예) (get-switch '\$demon)

--> t (또는 nil)

(28) Print-switches

모든 스위치의 현재의 작동 상태를 보여준다.

예) (print-switches)

--> \$demon: nil

\$inverse: relation

\$fwd: t

(29) Get-facet-value

프레임의 FACET 에 있는 첫번째 값을 돌려준다.

예) (get-facet-value 'henry 'location 'zip-code)

--> 999

(30) Get-facet-values

Get-facet-values 와 기능은 동일하나 돌려주는 값은 리스트 형태이다.

예) (get-facet-value 'henry 'location 'zip-code)

--> (999)

(31) New-facet-value

프레임의 해당 FACET 의 값을 새로운 것으로 대체한다.

예) (new-facet-value 'henry 'location 'zip-code 888)

--> 888

(32) New-facet-values

프레임의 해당 FACET 의 값을 새로운 여러 값으로 대체한다.

예) (new-facet-values 'henry 'location 'zip-code '(000 111))

--> (000 111)

(33) Add-facet-value

프레임의 해당 FACET 의 값에 하나의 새로운 값을 추가한다.

예) (add-facet-value 'henry 'location 'zip-code 'zip)

--> zip

(34) Add-facet-values

프레임의 해당 FACET 의 값에 여러개의 값을 추가한다.

예) (add-facet-values 'henry 'location 'zip-code '(zip zap))

--> (zip zap)

(35) Create-facet

해당 프레임에 하나의 FACET 을 만들어 준다. 만약 그 프레임에 같은 이름의 FACET 이 있으면, 아무것도 하지 않는다. 프레임이 존재하지 않으면 FACET 을 만들기 전에 프레임을 만든다.

예) (create-facet '프레임-이름 'SLOT-이름 'FACET-이름)

--> FACET-이름

(36) Delete-all-facet-value

프레임의 FACET에 있는 모든 값을 없앤다. 만약 그러한 FACET이 없으면 에러가 발생한다.

예) (delete-all-facet-value '프레임-이름 'SLOT-이름 'FACET-이름)

--> FACET-이름

2.2.3 스위치에 관한 설명

시스템에서 정의된 스위치는 다음의 3 가지가 있다.

(1) \$DEMON

\$DEMON 스위치는 t 와 nil 의 두가지 값을 가질 수 있다. 만약 그 값이 t 이 라면 DEMON이 있는 어떤 SLOT의 값에 변화가 생기면 DEMON 명령어가 작동하게

되고, 그 값이 nil 일 때는 작동하지 않는다.

(2) \$INVERSE

\$INVERSE 스위치는 Slot의 값에 변화가 생길때, 그 값에 해당하는 프레임에 역의 관계를 갖는 Slot을 만들어 주는가의 여부를 결정하는 것으로서, all, relation, 그리고 none의 세가지 값을 가질 수 있다. 스위치의 각값의 내용은 다음과 같다.

. all : Slot 에 하나의 값이 더해질때마다 그 값에 해당하는 프레임에 역의 관계를 갖는 Slot을 만든다.

. relation : 관계 Slot 인 경우에만 그 Slot에 값이 더해지면, 그 값에 해당하는 프레임에 역의 관계를 갖는 Slot 을 만든다. 다른 Slot 에 대해서는 아무것도 하지 않는다.

.none : 어떠한 Slot 에 대해서도 역의 관계를 갖는 Slot을 만들지 않는다.

(3) \$Fwd

이 스위치는 UNIK-FWD의 규칙을 표현한 S-expression 이 있는가를 점검하는데 이용된다. 이 스위치는 T 와 NIL 의 두 값을 가질 수 있으며, T 이면 그러한 표현을 점검하고, NIL이면 점검하지 않는다.

2.3 프레임간의 관계표현

프레임간에 정보를 교환하는 방법은 먼저 프레임간의 관계를 규정해 놓음으로서 가능하다. 이러한 프레임간의 관계는 시스템에서 제공하는 관계와 사용자에 의해서 정의된 관계로 구별된다.

2.3.1 시스템에서 정의된 관계

시스템에서 정의된 관계로는 IS-A 와 INSTANCE 의 두가지가 있다. 이러한 관계를 갖는 프레임간에는 상위 프레임으로부터 관계 Slot 을 제외한 모든 Slot 의 정보가 하위 프레임에 상속된다.

2.3.2 사용자가 정의하는 관계

사용자는 임의의 프레임간의 관계를 정의할 수 있다. 이것은 다음과 같은 프레임을 정의함으로써 정보를 상속할 수 있는 Slot 을 지정할 수 있다.

예)

```
(deframe south-of
  (is-a relation)
  (inverse north-of)
  (exclusion do-not-inherit-age)
  (inclusion inherit-view-incl))
```

```
(defun inherit-view-incl (x)
  (if (eq x 'view)
      t))
```

```
(defun do-not-inherit-age (x)
  (if (eq x 'age)
      t))
```

위의 예에서 보면, 먼저 south-of 가 관계 Slot 임을 정의하고, 그 역의 Slot 은

north-of 임을 정의한다. 그런뒤에 exclusion 과 inclusion 을 이용하여, 이 관계를 갖는 프레임간에는 age 라는 Slot 의 정보는 상속하지 않고, view 라는 Slot 의 정보는 상속하라는 상속의 범위를 지정해 준다. 시스템에서는 inclusion 보다는 exclusion 을 먼저 점검하므로써 exclusion 과 inclusion 에 의해 동시에 같은 Slot 이 정의 되면, 그 Slot 을 통해서 정보는 전달되지 않는다.

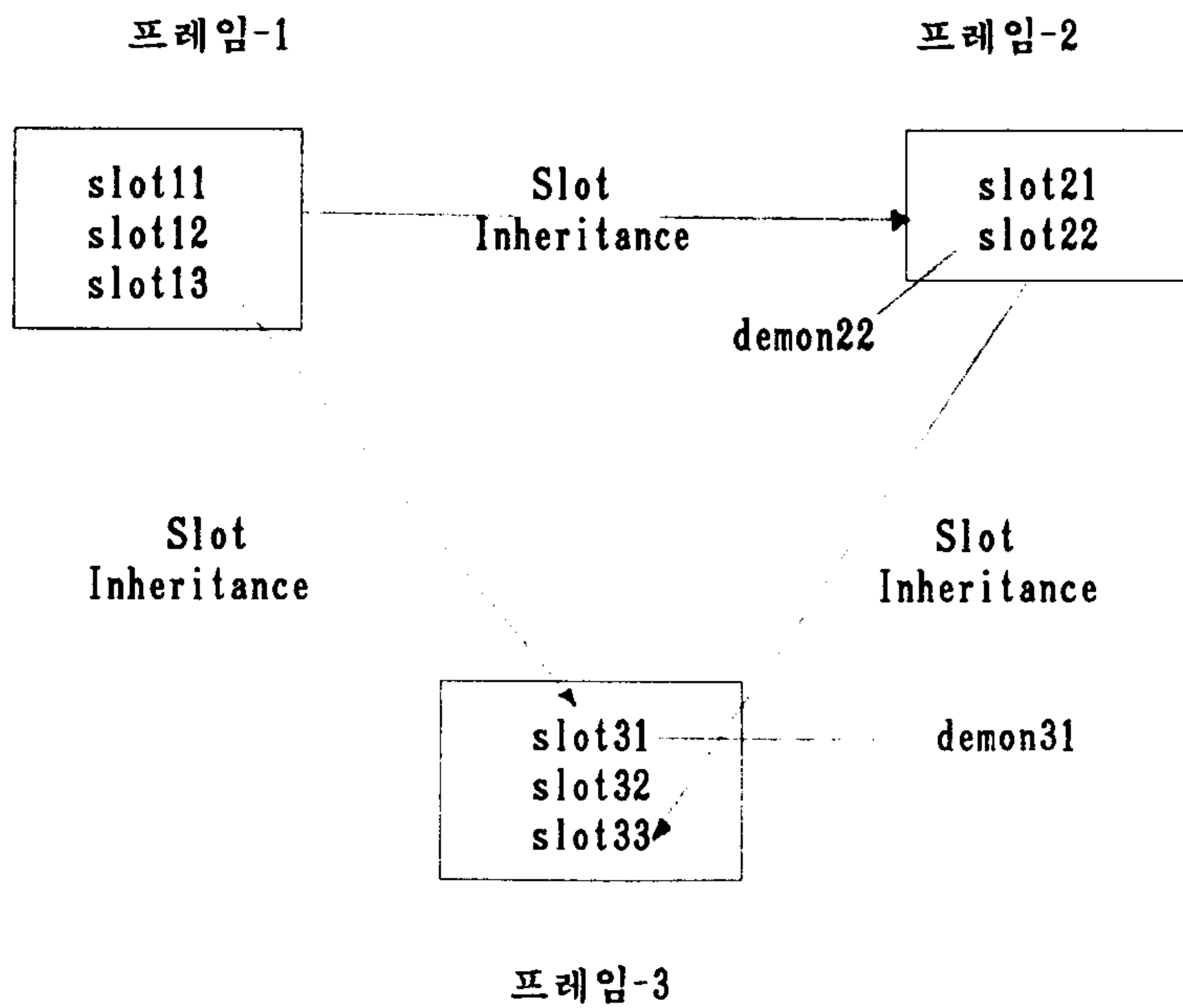
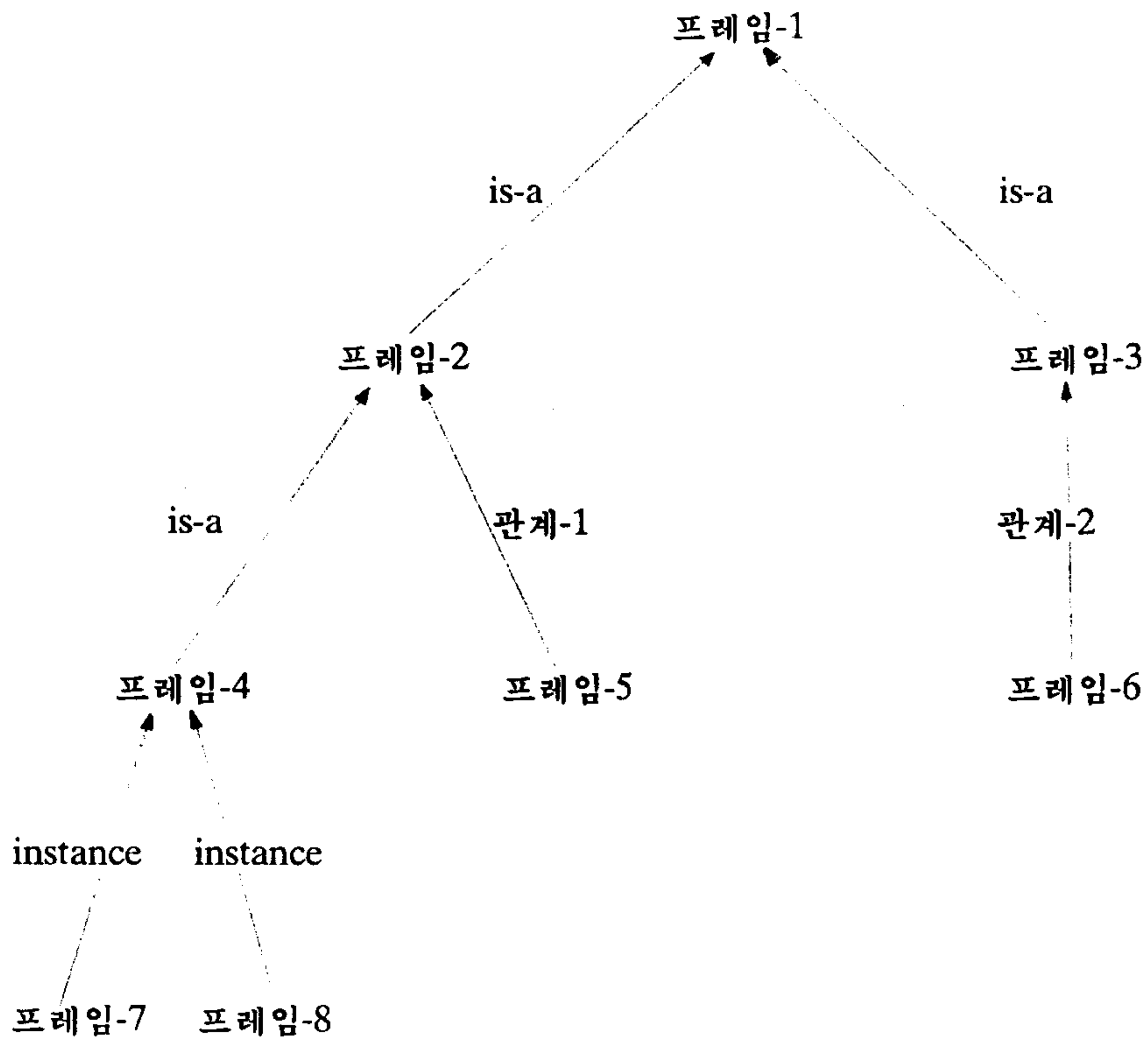
2.4 프레임간의 정보상속 (Inheritance)

프레임간에 정보의 상속은 하나의 관계를 따라서 이루어 진다. 단, 시스템에서 정의된 관계인 IS-A 나 INSTANCE 관계를 통해서 관계 Slot 을 제외한 모든 Slot 의 정보가 상속된다. 그리고 Instance 관계는 Is-a 관계를 따라서 정보의 상속이 이루어 진다. 그러나 사용자가 정의하는 관계를 통한 Slot 정보의 상속은 같은 이름을 가지는 관계를 통해서만 정보가 상속된다. 즉, 사용자가 정의한 관계를 갖는 두 프레임중에서 상위 프레임이 또 다른 프레임과 시스템에서 정의한 Is-a 나 Instance 관계로 연결되어 있다고 할지라도, 시스템에서 정의한 관계와 사용자가 정의한 관계를 동시에 통하여 Slot 의 정보가 상속되지는 않는다. 사용자는 상속받을 값을 가지는 Slot 들을 미리 정의해 놓을 수 있다. 즉, 정의된 Slot 의 값만이 상속되고, 나머지 Slot 의 값들은 상속되지 않도록 사용자가 미리 지정할 수 있는 것이다.

위의 예에서 보면 프레임-1에서는 is-a 관계와 instance 관계를 통해 프레임-7 이나 프레임-8에 Slot 들의 정보가 상속된다. 프레임-2에서는 관계-1을 통해서 프레임-5나 프레임-6에 Slot 들의 정보가 상속된다. 프레임-3에서는 프레임-6에 관계-2를 통해서 Slot 의 정보가 상속된다.

각 프레임의 Slot 에는 Demon 이나 프레임간의 정보 상속여부에 관한 내용이 붙어 있을 수 있다. 이들의 관계는 아래의 그림과 같다.

예)



2.5 Demon의 역할 및 표현방법

2.5.1 Demon의 역할

Demon 이란 객체지향적 (Object-Oriented) 프로그래밍기법의 일환으로서, 어느 한 프레임의 Slot 에 Demon 기능을 붙여 놓음으로서, 그 Slot 에 어떠한 값의 변화가 생기면 Demon 의 기능이 작동한다. 이러한 Demon 의 기능은 가능한 모든 LISP 명령어 나 UNIK-FRAME 의 명령어를 이용하여 정의할 수 있다.

2.5.2 Demon 의 표현

Demon 프레임은 다음과 같은 구조로 되어있다.

```
{ { demon
      access :
      when :
      action :
      effect :      } }
```

위의 구조에서 Access 는 어느 명령어를 사용할 때 Demon 이 작동하는가를 나타내며, 사용가능한 명령어는 Get-values, Get-value, Delete-value, New-value, New-values, Add-value, 그리고 Add-values 등이 있다.

When 이란 그 Demon 이 언제 작동 되는가를 나타내며, Before 와 After 의 두가지 값을 줄 수 있다. After 일때는 Demon 이 작동되기 전에 Access 의 명령어를 수행하고, Before 일 때는 Demon 이 먼저 작동된 뒤 Access 의 명령어를 수행한다.

Action 이란 Demon 이 작동될 때의 기능을 정의한 명령어의 이름으로서, LISP

Function 으로 미리 정의해야 한다.

Effect 는 Demon 이 어떤 종류의 역할을 하는지를 나타내는 것으로, Alter-value, Side-effect, 그리고 Block 의 세가지 값을 가질 수 있다. Alter-value 는 그 Slot 의 값을 변화시킬 때 사용하며, Side-effect 는 Demon 이 붙어 있는 Slot 의 값에는 변화가 없이 다른 기능을 수행할 때 사용하며, Block 은 Demon 기능을 수행한 뒤 돌려받는 값을 초기에 준 Slot 의 값으로 받을 때 사용한다.

예-1) (deframe material-1

(is-a material)

(width 22)

(weight))

(deframe weight

(is-a slot)

(demon conversion-demon))

(deframe conversion-demon

(is-a demon)

(access new-value)

(when before)

(action convert-to-english-unit)

(effect alter-value))

(defun convert-to-english-unit (frame slot demon

accessor accessor-values)

(* (car accessor-values) 2.2))

```
(new-value 'material-1 'weight 2)
```

```
--> 4.4
```

```
(ps 'material-1)
```

```
--> {{ material-1
```

```
    is-a : material
```

```
    weight : 4.4    }}
```

위의 예에서는 material-1 이라는 프레임에서 weight 라는 Slot 에 conversion-demon 이라는 Demon 을 붙여 놓았다. 이 Demon 은 weight 라는 Slot 에 새로운 값을 줄 때, 사용자가 준 값에 2.2 를 곱한 값을 내부의 값으로 기억 시키기 위한 것이다. 이러한 경우는 킬로그램 (Kg) 과 파운드 (pound) 등의 weight 의 단위 간에 보정을 해 줄 필요가 있을 때 유용하다.

```
예-2) (deframe width
```

```
      (is-a slot)
```

```
      (demon width-demon))
```

```
(deframe width-demon
```

```
      (is-a demon)
```

```
      (access new-value)
```

```
      (when after)
```

```
      (action insert-weight-value)
```

```
      (effect side-effect))
```

```
(defun insert-weight-value (frame slot demon
```

```
                           accessor access-values)
```

```
(if (< car access-values) 20)
      (add-value frame 'weight 40)
      (add-value frame 'weight 50))
```

```
(new-value 'material-1 'width 25)
```

```
--> 25
```

```
(ps 'material)
```

```
--> {{ material-1
```

```
      is-a : material
```

```
      width : 25
```

```
      weight : 50      }}
```

위의 예는 예-1)에서의 material-1 이라는 프레임의 width 라는 Slot 에 width-demon 을 붙여 놓은 것이다. 이 Demon 은 new-value 라는 명령어가 width 라는 Slot 에 적용될 때 작동되는 것으로서, width 라는 Slot 에는 아무 작용도 하지 않고, Side-effect 로서 weight 라는 Slot 의 값에만 영향을 미친다. 즉 weight 라는 Slot 에 20 보다 작은 값을 넣어 주면 weight 라는 Slot 에 40을 넣어 주고, 그렇지 않으면 50의 값을 넣어준다.

3. UNIK-BWD

3.1 UNIK-BWD 개요

UNIK-BWD는 지식 표현 방법으로 규칙을 사용하여 역방향(Backward chaining) 추론을 가능하게 하여주는 전문가 시스템 개발 도구이다. 규칙으로 표현된 지식은 다시 프레임(Frame)으로 재 편성되어 AND/OR 그래프(Graph) 방식의 역방향 추론에 이용되며, 다양한 설명 기능도 제공한다. UNIK-BWD는 7 장의 UNIK-PMA의 추론 기능에 증추적 역할을 하게 된다.

3.2 지식 표현

UNIK-BWD는 계층적인 지식 표현 방법을 갖고 있다. 지식 공학자(Knowledge Engineer)나 일반 사용자는 규칙을 이용하여 지식 베이스(Knowledge Base)를 구축한다. UNIK-BWD는 초기 지식 베이스를 컴파일(Compile)하여 프레임으로 변환된 지식 베이스를 생성한다. 일단 프레임으로 컴파일된 지식 베이스를 화일(File)로 보존해 두면 추후에는 규칙형 지식 베이스를 다시 컴파일 할 필요없이 컴파일된 지식 베이스를 이용하면 된다. UNIK-BWD는 역방향 추론을 위하여 프레임 지식 베이스를 이용하므로 규칙 지식 베이스는 일반 사용자가 이용하며, 프레임 지식 베이스는 프레임 및 역방향 추론 방법에 정통한 지식 공학자가 이용할 수 있다.

3.2.1 규칙 형태의 지식 표현

UNIK-BWD는 지식 베이스를 구성하기 위해 조건(IF)절과 결론(THEN)절로 이루어진 규칙을 이용한다. 규칙의 문법은 <그림 3-1>에 나타나 있다. 규칙은 크게 다

음 3 가지 부분으로 이루어진다.

```
<rule> ::= ( RULE <rule identifier or comment> ( <if part> <then part> ) )
<rule identifier or comment> ::= <rule identifier> |
                                <rule identifier> ; <comment>
<rule identifier> ::= <identifier>
<identifier> ::= <letter> { <letter or digit> }
<letter or digit> ::= <letter> | <digit>
<comment> ::= { <string> }
<string> ::= <word> { { <blank> } <word> }
<word> ::= <letter or digit> { <letter or digit> }
<if part> ::= IF ( <antecedent> ) { AND ( <antecedent> ) }
<antecedent> ::= <condition> | ( <condition> ) { OR ( <condition> ) }
<condition> ::= <fact type> | <OAV type> | <numeric type>
<fact type> ::= <string>
<OAV type> ::= <object string> ISA <value type>
<object string> ::= <string>
<value type> ::= <string> | <number>
<number> ::= <unsigned integer> | <sign> <unsigned integer> |
             <unsigned real> | <sign> <unsigned real>
<sign> ::= + | -
<unsigned real> ::= <unsigned integer> . <digit> { <digit> }
<numeric type> ::= <value type> { <arithmetic operator> <value type> }
                 <relational operator> <value type>
<arithmetic operator> ::= + | - | * | /
```

<relational operator> ::= = | < | > | <= | >=

<범례> ::= ; consists of

| ; can be used alternatively

◇ ; defined symbol

{ } ; zero or more occurrence

X ; Reserved word is underlined

<그림 3-1> UNIK-BWD 규칙 문법

. 규칙 이름(Rule Name)

규칙에 이름을 붙인다.

. 조건절(Condition)

결론에 이르기 위한 조건들을 기술한다.

. 결론절(Conclusion)

조건절이 모두 만족되면 결론을 유도한다.

예)

(RULE Workinh-hour-1 ; rule for the status of over time

(IF (Work environment ISA good)

AND (Average overtime <= 9000)

THEN (Status of overtime ISA very good)))

(1) 주요 특징

UNIK-BWD 규칙이 가지고 있는 주요 기능들은 다음과 같다.

i) OR 표현 기능

규칙의 조건절에 AND문과 더불어 OR문을 표현할 수 있다.

ii) 사칙 연산 기능

규칙의 조건절에서 곱셈이나 나눗셈 등의 사칙 연산이 가능하도록 되어 있다.

iii) 자동 목적(Goal) 생성 기능

규칙의 결론절들을 조사하여 최종 목적과 중간 목적(Sub Goal)들을 자동적으로 구별해주므로 따로이 목적들을 구별해서 표현할 필요가 없다.

iv) OAV 형태 지식의 표현 기능

OAV 형태의 지식들은 ISA 라는 고유어(Reserved Word)를 이용하면 해당 객체 (Object)에 대응되는 값들을 보존하여 추론에 이용될 수 있도록 한다.

(2) 지식 형태

지식 형태는 다음 3 가지로 나눌 수 있다.

i) 사실형(Factual) 지식

사용자에게 특정 사실이 참(True)인지 거짓(False)인지 질문하고 응답받는다.

예)

(RULE Welfare

(IF (Lobby room exists)

THEN (Degree of welfare ISA good)))

--->

Answer the following fact : Lobby room exists
True False

ii) OAV(Object-Attribute-Value)형 지식

특정 객체가 여러 개의 값들 중에서 하나를 선택해야 하는 경우, 여러 값들을 메뉴(Menu) 형태로 질문하여 사용자가 선택하도록 한다.

예)

(RULE Work-environment-1

(IF (Payment level ISA very good)

THEN (Labor condition ISA good)))

(RULE Work-environment-2

(IF (Payment level ISA good)

THEN (Labor condition ISA fair)))

(RULE Work-environment-3

(IF (Payment level ISA bad)
THEN (Labor condition ISA bad)))

--->

Select one of the following values for the object : Payment level
Very good Good Bad

iii) 수치형(Numeric) 지식

수치값을 질문하고 그 값을 해당 변수에 할당한다.

예)

(RULE Wage-competativeness
(IF (Normal wage rate <= 700000)
AND (Normal wage rate >= 500000)
THEN (Wage competativeness ISA good)))

--->

Answer the following item : Normal wage rate
> _____

3.2.2 프레임 형태의 지식 표현

UNIK-BWD는 추론을 위한 내부 자료 구조(Data Structure)를 위하여 규칙 형

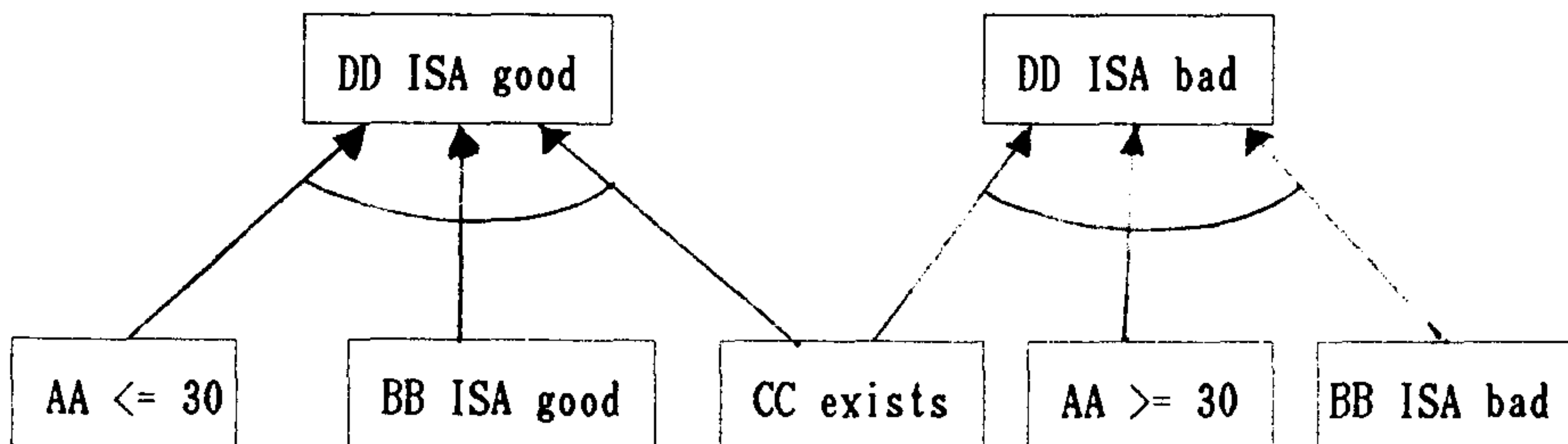
태의 지식을 프레임 형태의 지식으로 변환한다. 변환 과정은 3.3 에 상술되어 있다. 프레임 형태로 변환된 지식은 역방향 추론에 이용되는 AND/OR 그래프를 구현하기 위한 것과 사실 베이스(Fact Base)를 구성하기 위한 2 가지로 분류할 수 있다.

(1) AND/OR 그래프 마디(Node) 표현

지식 베이스를 AND/OR 그래프로 나타내면 역방향 추론에 매우 편리하게 이용할 수 있다. 규칙형 지식 베이스의 각 규칙이 가지고 있는 조건절의 각 조건문이 AND/OR 그래프의 각 마디에 대응하게 된다. <그림 3-2> 의 규칙을 AND/OR 그래프로 나타낸 것이 <그림 3-3> 이며, 이 AND/OR 그래프의 마디에 대응되는 프레임으로 변환된 형태가 <그림 3-4> 에 나타나 있다.

(RULE Example-1 (IF (AA <= 30) AND (BB ISA good) AND (CC exists) THEN (DD ISA good)))	(RULE Example-2 (IF (CC exists) AND (AA >= 30) AND (BB ISA bad) THEN (DD ISA bad)))
---	---

<그림 3-2> 예제 규칙들



<그림 3-3> AND/OR 그래프


```

{{ Node-1
  Type : Numeric
  Fact base: Fact-1
  A-operator :
  R-operator : <=
  Test value : 30
  True-or-false : unknown
  Parent : Node-4
  Children :
  Rule id : (Example-1 IF)
  Rule statement : (AA <= 30)
}}

{{ Node-3
  Type : Fact
  Fact base : Fact-3
  True-or-false : unknown
  Parent : (Node-4 Node-7)
  Children :
  Rule id : (Example-1 IF)
  Rule statement : (CC exists)
}}

{{ Node-5
  Type : Numeric
  Fact base: Fact-1
  A-operator :
  R-operator : >=
  Test value : 30
  True-or-false : unknown
  Parent : Node-6
  Children :
  Rule id : (Example-2 IF)
  Rule statement : (AA >= 30)
}}

{{ Node-7
  Type : OAV
  Fact base: Fact-4
  Test value : bad
  True-or-false : unknown
  Parent :
  Children : (Node-5 Node-6)
  Rule id : (Example-2 THEN)
  Rule Statement : (DD ISA bad)
}}

{{ Node-2
  Type : OAV
  Fact base: Fact-2
  Test value : good
  True-or-false : unknown
  Parent : Node-4
  Children :
  Rule id : (Example-1 IF)
  Rule statement : (BB ISA good)
}}

{{ Node-4
  Type : OAV
  Fact base: Fact-4
  Test value : good
  True-or-false : unknown
  Parent :
  Children : (Node-1 Node-2 Node-3)
  Rule id : (Example-1 THEN)
  Rule statement : (DD ISA good)
}}

{{ Node-6
  Type : OAV
  Fact base: Fact-2
  Test value : bad
  True-or-false : unknown
  Parent : Node-7
  Children :
  Rule id : (Example-2 IF)
  Rule statement : (BB ISA bad)
}}

```

<그림 3-4> 프레임으로 표현된 AND/OR 그래프 지식

(2) 사실 베이스 표현

사실 베이스는 추론 중 사용자와의 대화를 통해 얻어진 결과 및 이로 인해 규칙으로부터 유도된 결과를 보존하기 위해 이용된다. 사실 베이스의 지식 표현은 프레임을 이용한다. <그림 3-2> 의 규칙들과 관련된 사실 베이스가 <그림 3-5> 에 나타나 있다.

<pre> {{ Fact-1 Object name : AA Type : numeric Result value : unknown Nodes : Node-1 Node-5 }}</pre>	<pre> {{ Fact-2 Object name : BB Type : OAV Test values : (good) (bad) Result value : unknown Nodes : Node-2 Node-6 }}</pre>
<pre> {{ Fact-3 Object name : CC Type : fact Result value : unknown Nodes : Node-3 }}</pre>	<pre> {{ Fact-4 Object name : DD Test values : (good) (bad) Type : OAV Result value : unknown Nodes : Node-4 Node-7 }}</pre>

<그림 3-5> 프레임으로 표현된 사실 베이스 지식

3.3 규칙을 프레임으로 변환시키는 지식 컴파일러

지식 컴파일러는 지식 공학자나 사용자가 작성한 규칙형 지식들을 전문가 시스템 내부 추론에 이용하기 위하여 내부적인 자료 구조로 변환하는 역할을 수행하는데, UNIK-BWD는 프레임을 자료 구조로 이용하여 내부 자료 구조 뿐만 아니라 지식 표현 방법으로도 이용할 수 있도록 하고 있다. <그림 3-4> 및 <그림 3-5> 의 프레임 지식들은 <그림 3-3> 의 규칙형 지식들을 지식 컴파일러가 컴파일하여 얻어진 것이다.

3.4 추론 방법

UNIK-BWD는 역방향 추론 방법을 채택하고 있다. 역방향 추론 방법은 AND/OR 그래프를 이용하는 추론 방법으로 전문가 시스템 개발의 추론 방법으로 가장 널리 이용되고 있다. AND/OR 그래프를 이용하여 추론하는 방법과 간단한 예로써 <그림 3-2>의 규칙으로 이루어진 지식 베이스를 이용하여 역방향 추론 방법을 알아본다.

3.4.1 역방향 추론 방법

UNIK-BWD의 역방향 추론 방법은 다음과 같은 단계로 나타낼 수 있다.

(1) 목적 마디 선택

Parent 마디를 갖고 있지 않은 Root 마디들이 모여 있는 목적 집합(Goal set)으로 추론하고자 하는 목표 목적(Target goal)을 추출한다. 추출 순서는 객체가 다른 경우에는 집합에 속해 있는 순서로 하고, 같은 객체 내에서는 단계(Level)가 높은 목적에 우선 순위를 준다.

(2) Children 마디 선택

목표 목적의 달성 여부를 알아 보기 위해, 목표 목적이 AND/OR 그래프 상에서

Children 마디들을 조사한다. OR 관계로 연결된 여러 개의 AND절이 있는 경우에는 AND/OR 그래프의 가장 왼쪽에 있는 AND절을 선택한다. 같은 AND절 내에서는 가장 왼쪽에 있는 마디를 추론 마디로 선택한다.

(3) Subgoal 또는 Leaf 여부 조사

추론 마디가 Leaf 마디인지 Subgoal 마디인지를 조사한다. Children 마디를 갖지 않으면 Leaf 마디이며, Children 마디를 갖고 있으면서 목적 마디가 아니면 Subgoal 마디가 된다. 추론 마디가 Children 마디면 이 추론 마디의 참(True), 거짓(False) 상태 여부를 확인한다. 아직 결과가 알려지지 않은 마디인 경우, (2), (3) 단계를 Leaf 마디에 도달할 때까지 반복적으로 수행한다. 결과가 참인 경우에는 현재 마디와 AND관계로 연결된 마디를 확인하기 위해, Parent 마디로 가서 (2) 단계를 거친다. 결과가 거짓인 경우에는 현재 마디와 OR 관계로 연결된 마디를 확인하기 위해 (2) 단계를 거친다.

(4) 사용자에게 질문

추론 마디가 Leaf 마디에 도달한 경우, 이 마디의 참,거짓 여부를 알아 위해 사용자에게 질문을 하고 결과를 받아서 사실 베이스에 저장한다. 이 결과를 이용하여 추론 마디의 참,거짓 여부를 평가한다. 평가가 끝난 후, Parent 마디로 돌아가서 (2) 단계를 수행한다.

3.4.2 추론 예제

<그림 3-2> 의 예제 규칙들을 예로써 설명한다. <그림 3-4> 의 컴파일된 지식 베이스에서 목적 마디는 Node-4 - (DD ISA good) - 와 Node-7 - (DD ISA bad) - 이다. 목적 마디의 객체는 같으므로, 단계가 높은 목적 마디인 Node-4를 목표 마디를 선택한다. 최초로 추론하는 경우이므로 Node-4의 True-or-false slot 값은 Unknown이다. Children 마디를 살펴보면 Node-1, Node-2 Node-3 가 AND 관계로 연결되어 있으므로 Node-1을 추론 마디로 선택한다. Node-1 프레임의 True-or-false slot 값이 Unknown 이므로 Children 마디를 점검한다. Children 마디가 없으므로 이 마디는 Leaf node 이다. 그러므로, 사용자에게 AA 변수값을 입력하도록 한다. 만약 사용자가 AA 값으로 30 을 입력했다면 Fact-1 프레임과 Node-1 프레임은 다음과 같이 된다.

<pre> {{ Fact-1 Object name : AA Type : numeric Result value : 30 Nodes : Node-1 Node-5 }}</pre>		<pre> {{ Node-1 R-operator : <= Test value : 30 True-or-false : t . . }}</pre>
--	--	---

Node-1이 참이 되었으므로 Node-4의 다음 AND 마디인 Node-2 - (BB ISA good) - 를 추론 마디로 결정한다. Node-2 도 Leaf 마디이므로 사용자에게 BB 변수에 대한 값을 메뉴 형식으로 보여주고 - 이 경우, 값은 good 과 bad 이다 - 선택하도록 한다. 만약 사용자가 bad 를 선택한 경우, Fact-2 프레임과 Node-2 프레임은 다음과 같다.

<pre> {{ Fact-2 Object name : BB Type : OAV Test values : (good) (bad) Result value : (bad) Nodes : Node-2 Node-6 }}</pre>	<pre> {{ Node-2 . . Test value : good True-or-false : nil . . }}</pre>
--	--

현재 목적 마디인 Node-4 의 AND 마디 중의 하나인 Node-2 의 결과가 거짓이 되었으므로 다음 목적 마디로 Node-7 를 선택한다. Node-7의 Children 마디는 Node-3, Node-5, Node-6 인데 Node-3 이 추론 마디가 된다. Node-3 은 Leaf 마디이고 Result value 가 Unknown이므로 사용자에게 "CC exists" 가 참인지의 여부를 질문한다. 만약 사용자가 참이라고 대답했다면, Fact-3의 Result value 는 t 가 되고 Node-2의 True-or-false 값은 t 가 된다. 다시 Node-5가 추론 마디가 되어 사실 베이스를 점검한 결과 Node-5와 관련된 Fact-1 의 AA 변수의 Result value 값이 30 이므로 사용자에게 질문할 필요없이 이 값을 이용하여 Node-5의 True-or-false 값을 평가한다. 그 결과 Node-3의 True-or-false 값은 t 가 된다. 추론 Node-6 도 마찬가지로 사실 베이스의 Fact-2에 Result value 값이 bad 이므로 True-or-false 값으로 t 값을 가진다. 그러므로, 목적 마디 - Node-7 -는 AND로 연결된 Children 마디들이 모두 참값을 가지므로 결론으로 인정된다. 이 예제 추론 결과 "DD ISA bad"라는 결론을 내리게 된다.

다시 추론을 하고 싶은 경우에는 다음 2 가지 경우를 생각할 수 있다.

- (1) 사실 베이스를 새로 구축하는 경우

이 경우에는 <그림 3-5> 에 있는 사실 베이스의 모든 프레임의 Result value slot 값을 Unknown으로 대체한다. 또한 <그림 3-4> 에 있는 프레임의 True-or-false slot 값들을 모두 Unknown으로 대체한다. 이 과정은 UNIK-BWD가 자동적으로 수행한다.

(2) 기존의 사실 베이스를 이용하는 경우

기존의 사실 베이스를 이용하는 경우에는 과거에 추론 결과를 보존한 사실 베이스를 선택하여 추론한다.

3.5 사용 예

UNIK-PMA가 UNIK-BWD를 이용하여 전문가 시스템을 사용하는 화면(Screen)을 설명한다. UNIK-BWD는 전문가 시스템의 지식 표현 및 추론의 내부 기능을 담당하며, 사용자와의 대화(Dialog)를 담당하는 부분은 UNIK-PMA가 전문가 시스템을 총괄하는 입장에서 관리한다. 이 절에서는 전문가 시스템 각 기능별로 <그림 3-6> 의 화면을 예로 들어 설명한다.

UNIK-BWD		Top Level
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 10px auto; width: 80%;"> <p>The UNIK-BWD system supports the following functions Select one of the followings</p> </div> <p style="text-align: center; margin-top: 20px;">Editor</p> <p style="text-align: center;">Select knowledge base</p> <p style="text-align: center;">Compile knowledge base</p> <p style="text-align: center;">Edit compiled knowledge</p> <p style="text-align: center;">Inference</p>		
[F1] Help		[ESC] Previous

<그림 3-6> 전문가 시스템 개발 메뉴

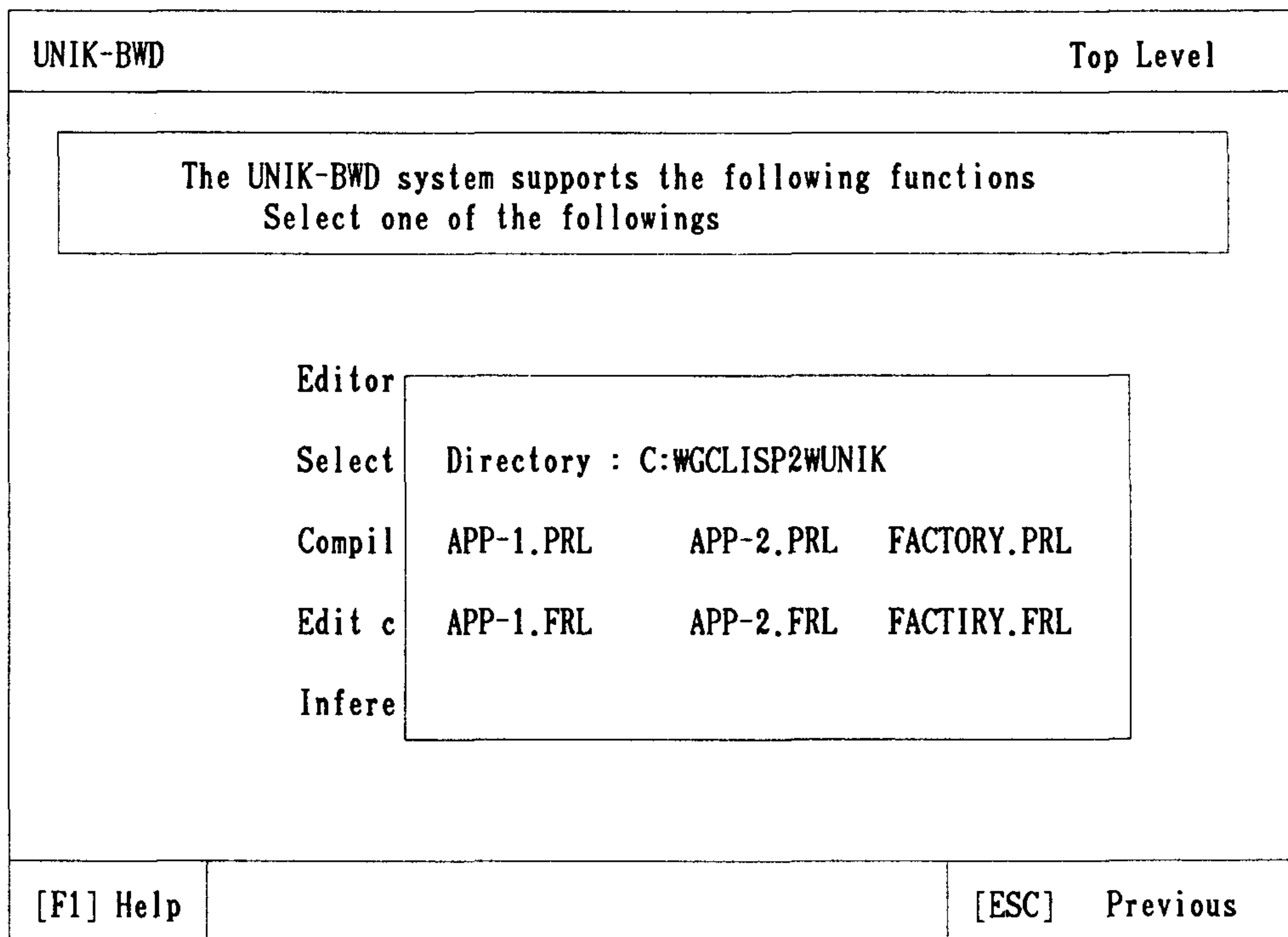
3.5.1 지식 베이스 편집 기능

<그림 3-6> 의 "Editor" 라는 메뉴 항목에 해당된다. 사용자가 지식 베이스 편집을 용이하게 하기 위해 편집기(Editor)를 제공한다. 이 편집기는 GCLISP 에 있는 GMACS 편집기를 이용하였다. GMACS 사용 방법은 참고 문헌 [GCLISP(1985)] 을 이용하기 바란다.

3.5.2 지식 베이스 선택 기능

<그림 3-6> 의 "Select Knowledge Base" 메뉴 항목에 해당된다. 사용자가 지식 베이스를 여러 개 만들어서 디스크(Disk)에 보관한 경우, 보관된 지식 베이스 화일

중에서 선택해서 추론에 이용하고 싶은 경우에 이 항목을 택한다. 예제 화면이 <그림 3-7>에 나타나있다. 이 화면에서 "PRL"로 파일 이름이 끝나는 것은 규칙형 지식 베이스이며, "FRL"로 파일 이름이 끝나는 것은 규칙형 지식 베이스가 컴파일되어 프레임으로 표현된 지식 베이스를 의미한다.

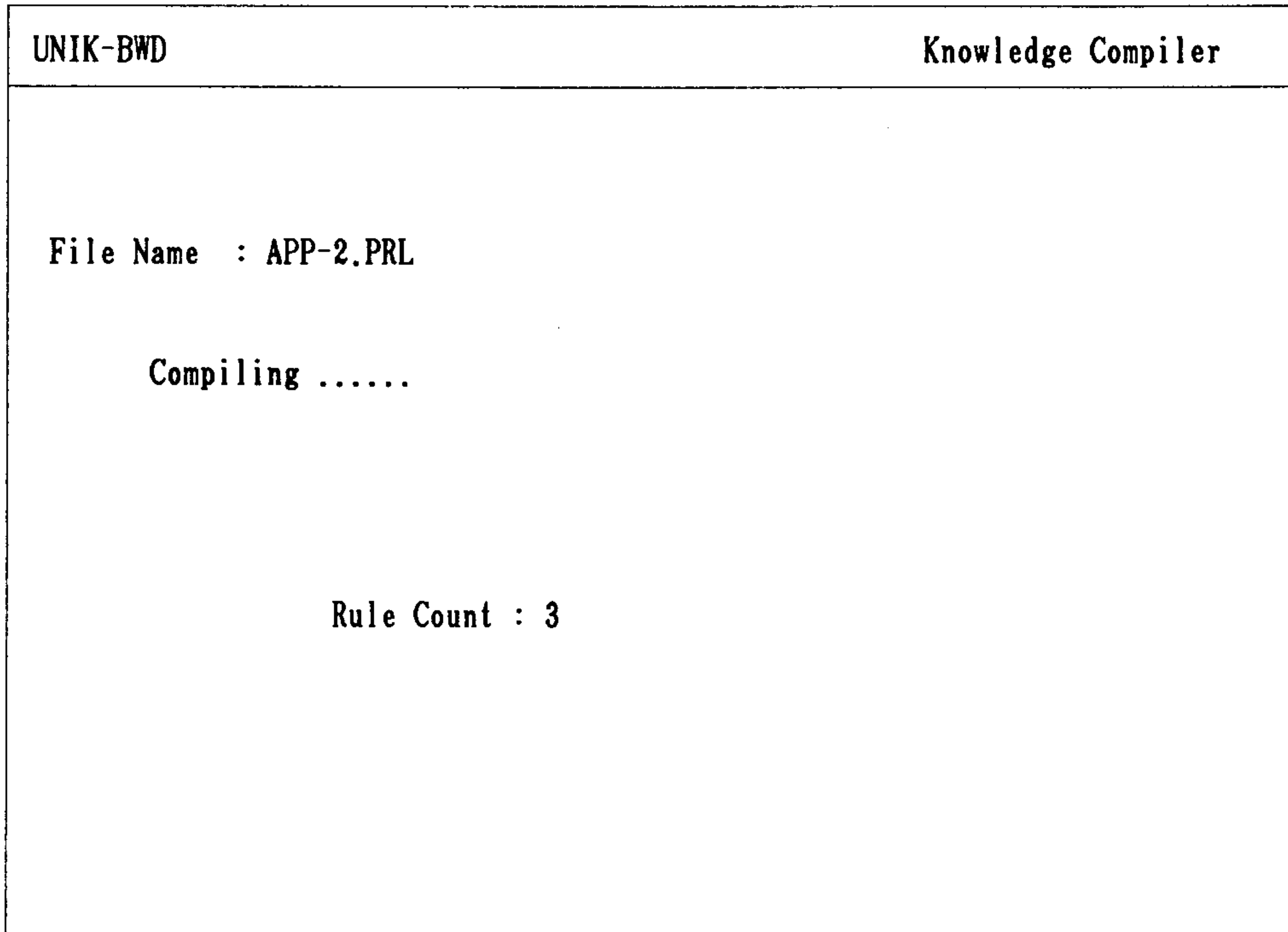


<그림 3-7> 지식 베이스 선택 화면

3.5.3 지식 베이스 컴파일 기능

<그림 3-6>의 "Compile Knowledge Base" 메뉴 항목에 해당된다. 규칙형 지식 베이스를 프레임 지식 베이스로 변환시키는 기능으로, 이 항목을 선택하 3.5.2에서 선택한 파일이 "PRL" 파일인 경우, <그림 3-8>과 같은 화면이 나타난다. "FRL"

화일인 경우에는 규칙을 컴파일하지 않고 컴파일된 프레임 지식을 바로 로드(Load)한다.



<그림 3-8> 지식 베이스 컴파일 화면

3.5.4 컴파일된 지식 베이스 편집 기능

<그림 3-6> 의 "Edit Compiled Knowledge Base" 메뉴 항목에 해당된다. 컴파일되어서 프레임으로 표현된 지식 베이스를 편집하는 경우에 이용한다. 컴파일된 지식 베이스에 관한 자세한 내용은 3.2.2 에 서술되어 있다. 컴파일된 지식 베이스는 프레임 사용법과 역방향 추론에 정통한 지식 공학자들을 위해 제공되고 있다.

3.5.5 추론 기능

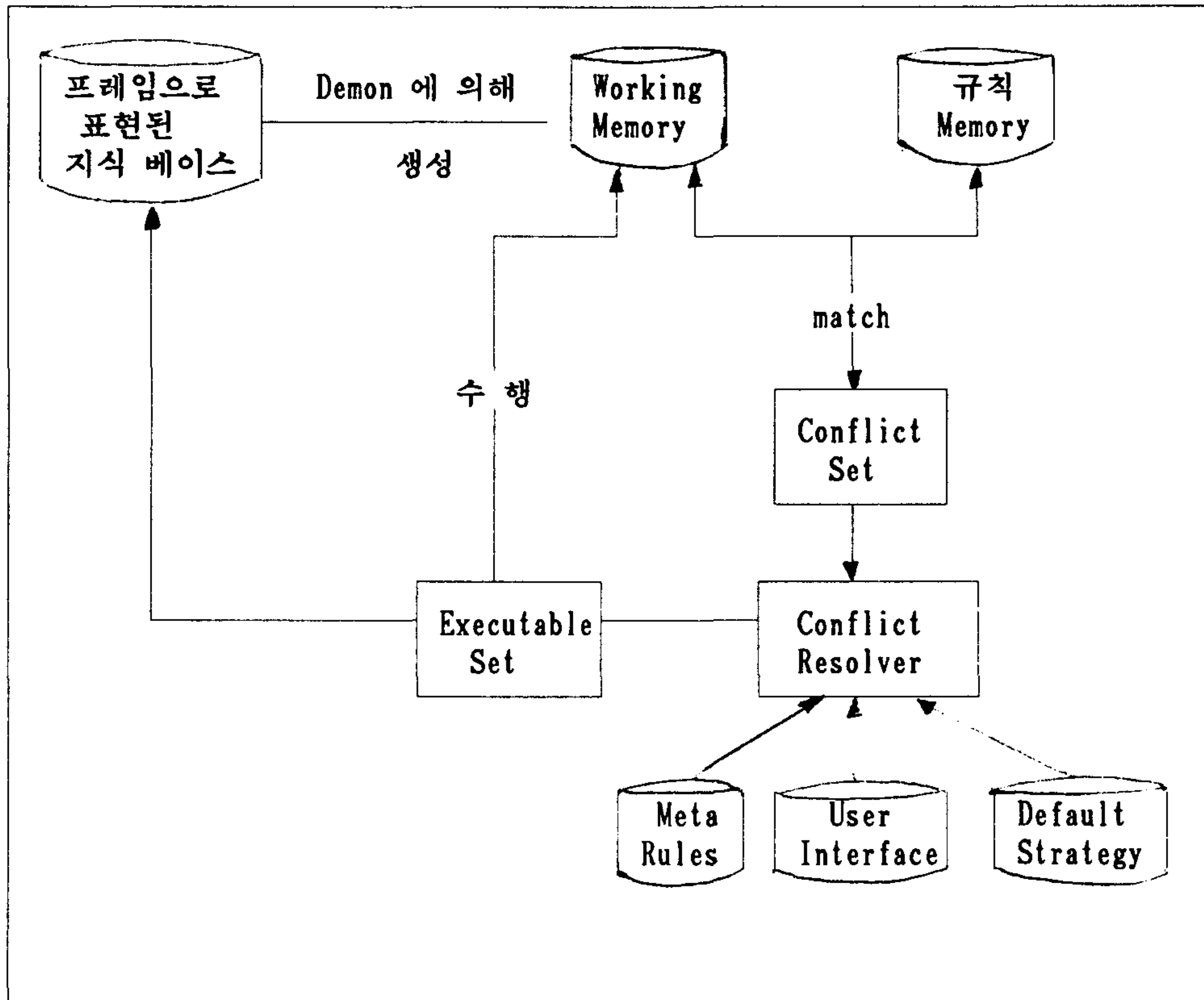
<그림 3-6> 의 "Inference" 메뉴 항목에 해당된다. 사용자가 지식 베이스를 편집하거나, 또는 과거에 작성한 지식 베이스를 선택하여 컴파일 과정이 모두 끝마친 경우, 전문가 시스템 추론을 시작하게 된다. 추론과 관련된 기능들은 7.4 에 상술되어 있다.

4. UNIK-FWD

4.1 UNIK-FWD의 개요

UNIK-FWD는 정방향 추론 기능을 갖는 시스템 도구(Tool)로서 선언적 지식(Declarative knowledge)은 UNIK-FRAME을 이용하여 프레임으로 표현하고, 순차적(Procedural) 지식은 규칙으로 표현하며, 규칙간의 상충을 해결하기 위해서는 메타(Meta) 규칙을 이용한다.

UNIK-FWD의 구조는 <그림4-1>과 같다.



<그림 4-1> UNIK-FWD 의 구조

4.2 Working Memory 의 형성

선언적 지식은 프레임으로 표현되고, 순차적인 지식은 규칙의 형태로 표현되므로, 프레임으로 표현된 지식과 규칙을 Matching 하기 위해서는 프레임을 Working Memory로 변환하는 것이 필요하다. 이때 프레임을 Working Memory로 만들어 주는 기능은 Frame-literalize를 통해서 이루어지며, 추론도중의 Working Memory는 Demon에 의해서 변화한다.

4.2.1 Frame-literalize에 의한 변화

이는 규칙에 관련되는 프레임과 Slot들을 선언하는 명령어로서, 이것을 평가하면 명시된 프레임과 Is-a 또는 Instance의 관계를 갖는 모든 하위 프레임의 Slot을 점검하여 정보를 상속하고 Working Memory 요소를 만든다. 이때, 각 프레임에서 time-tag, frame-name, is-a, 그리고 instance 등 4개의 Slot은 자동으로 만들어 진다.

예) (frame-literalize JOB Slot-1 Slot-2)
(frame-literalize MC Slot-3 Slot-4)
(frame-literalize MTL Slot-5 Slot-6)

이때, Working Memory의 내용은 다음과 같이 형성된다.

(JOB ((job1 (time-tag 10) (frame-name job1) (instance JOB)
(Slot-1 값-1 값-2 값-3) (Slot-2 값-4))
(job2 (time-tag 11) (frame-name job2) (instance JOB)
(Slot-1 값-2) (Slot-2 값-3)))
MTL ((mtl1 (time-tag 13) (frame-name mtl1) (instance MTL)
(Slot-5 값-5) (Slot-6 값-6)))

```
MC ((mcl (time-tag 12 ) (frame-name mcl) (instance MC)
      (Slot-3 값-7) (Slot-4 값-8 값-9)))
```

4.2.2 Demon에 의한 변화

UNIK-FRAME의 명령어인 New-value, Add-value, Delete-value, Deframe, Cframe 등에 의해, 위에서 Frame-literalize에서 정의된 Slot에 변화가 생기면, 그 Slot에 붙어 있는 Demon에 의해 자동적으로 해당되는 Working Memory의 내용이 바뀌고, time-tag 이 1 만큼 증가한다. 이러한 역할을 하는 Demon을 특별히 Fwd-demon이라 하며, Frame-literalize에서 정의된 각 Slot에 대해서 다음과 같이 만들어 진다.

```
{ { wm-demon
  is-a: Fwd-demon
  access: new-value new-values new-values-eval add-value add-values
  delete-value delete-all-value
  when: after
  action: make-wm-elt
  effect: side effect }}
```

UNIK-FWD를 이용하지 않을 때는, 즉 Working Memory 요소를 만들 필요가 없을 때는 항상 \$Fwd 스위치를 Nil 로 해 두어야 한다.

4.3 규칙의 표현

UNIK-FWD에서의 규칙의 표현은 다음과 같다.

```
(RULE rule-name
```

```
" This is the comment about the rule. But this is optional"
```

[slot1 value1]

[slot2 value2]

[slot3 value3]

(prototype-frame1 slot1 value-pattern1 slot2 value-pattern2 ...)

(prototype-frame2 slot3 value-pattern3 slot4 value-pattern4 ...)

[-] (prototype-frame3 slot5 value-pattern5 slot6 value-pattern6 ...)

->

(call-method ...)

(new-value ...)

(any-lisp-function))

위의 규칙에서 RULE은 고유어(Reserved Word)이며, rule-name은 사용자가 주는 규칙의 이름이며, "This" 는 해당 규칙에 대한 설명으로서 필요하지 않다면 없어도 되는 부분이다. 그리고 [.....] 부분은 메타 규칙을 적용하기 위한 부분으로서 규칙 간의 우선 순위를 결정하기 위한 것이다. 그외에, ' -> ' 앞 부분은 규칙의 조건 (Ifs)문이며, 뒷 부분은 조건이 만족되면 수행되어야 할 행위(Action)의 부분이다. 조건문 중에서 앞에 [-]가 붙은 조건은 만족되어서는 안되는 조건을 나타낸다.

4.3.1 조건 부분의 Value-pattern

조건 부분의 Value-pattern 부분은 다음과 같이 여러가지 형태를 취할 수 있다.

(1) 상수 (Constants)

상수로는 Lisp의 심볼이나, 숫자가 올 수 있다.

(2) 변수 (Variables)

변수는 Lisp의 변수와 같으며, 한 규칙내에서만 사용된다. 이때, 제일처음 나타나는 Slot의 값이 변수의 값이 된다. 변수의 형태는 <변수명> 이다.

(3) 관계 연산자 (Relational Operator)

관계 연산자는 숫자에 대해서만 적용되면, 그 이외의 심블등의 비교는 nil 값으로 처리된다. 사용할 수 있는 연산자는 <>, >, >=, <, <= 등이 있다.

(4) Lisp 명령어 (predicates)

Lisp 명령어로는 Lisp 고유의 명령어와 UNIK-FRAME의 어떠한 명령어도 사용될 수 있고, 이때, 인자들(Arguments)중의 <> 형태의 변수에는 해당 Slot의 값이 들어가 있다.

예) Slot-이름 (명령어 인자1 인자2 <> 인자3)

(5) OR 관계의 표현

OR 관계의 표현도 가능한데, 이는 해당 Slot 의 값이 명시된 여러개의 값들 중의 하나이면, 만족이고, 그렇지 않으면 만족되지 않는다.

예) Slot-이름 <<값-1 값-2 값-3>>

(6) AND 관계의 표현

위에서 언급된 어떠한 것의 조합도 가능하다. 이는 해당 Slot의 값이 명시된 모든 내용을 만족해야만 참이 된다.

예) Slot-이름 {<변수-1> <1000> = <변수-2> (명령어 인자..)}

4.3.2 행위부분 (Action) 의 표현

이 부분에는 어떠한 Lisp명령어나, UNIK-FRAME 의 명령어도 가능하고 Call-method 라는 명령어를 사용하여 객체 지향적인 프로그래밍을 가능하게 할 수 있다.

예) (Lisp-명령어 인자-1)
(new-value <job> 'status 'scheduling)
(add-value)
:
:
(call-method <job> 'assign-to-idle-slot <oper> <idle> <ready>)

위의 예에서 Call-method의 변수 <job>은 규칙의 조건부분에서 만족된 프레임의 이름이고, 'assign-to-idle-slot은 그 프레임의 Slot이다. 이때, 그 Slot의 값에는 3개의 인자를 가지는 미리 정의된 명령어가 들어가 있어야 한다.

4.4 메타 규칙의 표현

메타 규칙이란 규칙을 Working Memory와 Matching 하는 과정에서, 규칙간에 상충(Conflict)이 생겼을 때, 먼저 실행되어야 할 규칙을 선택해 주는 역할을 한다. 따라서 메타 규칙 간에는 상충이 발생하여서는 안되므로, 메타 규칙은 상호배타적(Exclusive)이어야 한다. 메타 규칙은 다음과 같이 표현된다.

예) (META_RULE append-prefer-idle

" This rule is used to select a rule to assign a job
to the idle slot of preferred machine. "


```

(RULE ^name <name>
  ^do 'append
  ^machine 'prefer
  ^slot 'idle)
->
(fire <name>))

```

위의 예에서 META-RULE 과 RULE은 시스템의 고유어이며, 규칙의 예에서와 같이 "This..." 부분의 설명어는 필요한 경우만 이용한다. 그리고 행위부분의 Fire라는 명령어에 의해 조건절에서 변수 <name>에 들어간 규칙이 수행된다.

4.5 해를 구하는 방법

규칙과 Working Memory 의 요소간에 Matching이라는 과정을 통해서 규칙의 모든 조건절이 만족되면, 해당 규칙과 Working Memory 요소는 Conflict Set이라는 집합에 포함된다. 만약 Conflict Set의 요소가 하나뿐이면 그에 해당하는 규칙이 실행되고, 하나 이상이면 요소들간의 상충을 해결하여 먼저 실행될 규칙을 선택하여야 한다. 이러한 상충해결(Conflict Resolution)의 방법으로는 다음과 같은 것이 있다.

4.5.1 실행된 요소의 제거

한번 선택되어 실행된 Working Memory 요소에 해당하는 정보는 Conflict Set으로 부터 제거해 버린다.

4.5.2 메타 규칙의 적용

앞에서 언급된 것처럼 Conflict Set 의 각 요소에 대해, 추론 기관은 메타 규칙을 차례로 적용하여 최초로 만족되는 요소에 해당하는 규칙을 수행하고, 메타 규칙의 적용

을 멈춘다.

4.5.3 사용자에게 의한 해결

메타 규칙으로 해결이 되지 않으면 사용자에게 Conflict Set 의 내용을 보여주고 먼저 실행될 규칙을 선택하게 한다.

4.5.4 Default 의한 해결

사용자가 모르겠다고 답하는 경우, 다음과 같은 전략에 의해 상충의 해결이 이루어진다.

1) 전략이 MEA인 경우로서, 규칙의 조건절 중에서 첫번째 요소에 Match된 Working Memory 요소의 Time-tag이 가장 높은 것을 선택한다.

2) 전략이 LEX인 경우로서, 모든 요소중의 Time-tag 이 가장 높은 것을 선택한다.

3) 특별한 요소를 선택하는 전략으로서, 조건절의 요소의 갯수와 각 조건절내의 조건문의 합이 가장 많은 것에 해당하는 Conflict Set 의 요소를 선택한다.

4.5.5 규칙의 수행결과에 의해 변화된 요소의 제거

수행된 규칙의 행위로 인해서, Working Memory 요소의 내용이 변화된 것과 관련된 conflict Set 모든 요소를 제거한다.

4.6 UNIK-FWD 의 고유 명령어

UNIK-FWD에서 사용가능한 명령어는 다음과 같다.

1) Watch

만약 이 값을 T 로 놓으면 Matching의 매 주기마다 Conflict Set의 내용과 선택된 규칙 및 규칙의 실행 결과를 사용자에게 보여주고, Nil로 놓으면 보여주지 않는다.

예) (watch t) 또는 (watch nil)

2) Wm

Working Memory 의 내용을 사용자에게 보여 준다.

예) (wm)

3) Cs

Conflict Set의 내용을 사용자에게 보여 준다.

예) cs

4) Strategy

상충의 해결시 Default 해결의 전략을 정하는데 이용된다.

예) (strategy 'mea) 또는 (strategy 'lex)

5. UNIK-OPT

5.1 UNIK-OPT 의 개요

선형계획법 (Linear Programming : LP) 은 여러 응용분야에서 다양한 최적화 문제를 해결하는 유용한 수리계획법이다.

컴퓨터 기술의 발전과 함께 다양한 선형계획법 알고리즘과 이런 알고리즘을 해결하는 소프트웨어가 매우 빠른 속도로 개발되어 왔다. 그러나, 선형계획법 모형개발 과정에서 모형화 단계를 자동적으로 지원하는 방법의 개발에 관심이 증대되고 있다. 선형계획 모형의 응용은 모형작성, 관리, 그리고 해석상의 어려움으로 인해서 제한되어 왔다. 효율적 계산 알고리즘의 개발을 포함하는 일련의 발전의 효과를 최대화하기 위해서는 모형형성의 비용과 시간을 절약하고 모형관리를 개선하는 것이 필요하다.

모형화에 대한 연구중에는 의미론적 형태의 선형계획 모형을 컴퓨터에서 수행가능한 계수행렬 형태로 전환시킬 목적으로 개발된 행렬 generator 와 모형화 언어가 있다. 행렬 generator 를 사용하기 위해서 사용자는 모형화 domain 과 프로그래밍에 대한 지식을 모두 갖고있어야만 한다. 이것은 행렬 generator 를 사용하기 이전에 사용자가 모형을 직접 만들어야함을 뜻한다. 잘 알려진 행렬 generator 에는 APEX-II, MRG, DATAFORM, GAMMA, MAGEN, OMNI/PDS, IBM MGRW, MPSX, MODELER 등이 있다. 모형화 언어는 비순차적 (nonprocedural) 이고, 문제에 보다 자연스러운 용어를 사용하고, 데이터에 대한 정확한 규정이 필요없다는 점에서 행렬 generator 보다는 발전된 형태의 도구이다. 그러나 모형화의 관점에서 보면 행렬 generator 와 모형화 언어는 모형화 과정자체를 지원하고 있는 것은 아니다. 특히 경영과학 (Operations Research : OR) 에 문외한인 사용자들에게는 이러한 것들은 모형화를 지원할 수 없다. 모형화 언어에는 ALPS, GAMS LMA, LPMODEL, MAGIC, MGG, UIMP, EZLP, LINDO, MPOS, UHELP, PAM, LAMP, RPMS, LAMP 등이 있다.

최근에 경영과학에 익숙하지 못한 사용자가 모형을 작성할 수 있도록 지원하는 지식에 기초하며 화면상으로 인터페이스 (Interface) 하는 방법론들이 제시되고 있다. 인공지능 (Artificial Intelligence : AI) 기법을 이용한 선형계획 모형화를 지원하는 연구가 Binbasioglu 와 Jarke 에 의해서 행해졌다. 그들의 접근법은 현재의 인공지능의 기법으로는 경영과학에 문외한인 최종 사용자가 사용할 수 있는 일반화된 - 즉, 응용분야와는 독립적인 - 모형화 도구를 만든다는 것은 불가능하다는 기본 가정으로부터 출발하고 있다. 대신에 그들은 특정한 응용분야지식에 기초한 모형화 접근법을 제시하고 있다. 이 접근법은 선형계획법의 구문론적 (syntactic) 지식을 특정 응용분야지식에 의해서 의미론적 (semantic) 가이드선스와 연결하는 것이다. 이런 구성하에서 그들은 선형계획 모형개발의 과정에서 개념적 개발과 상징적(symbolic) 모형화에 중점을 두고 있다. Ma, Murphy 와 Stohr 는 대규모의 복잡한 선형계획 모형을 작성함에 있어서의 어려움을 극복하기 위해서 다섯개의 하부시스템이 느슨하게 결합된 총체적 시스템을 제안하였다. 이 연구는 모형화의 과정중에 대상문제의 내재적인 네트워크 구조를 사용하는 것이다. 그러나, 규칙 베이스를 이용한 LPFORM 은 주로 경영과학에 전문가들이 주로 사용할 수 있는 것이다.

비록 이런 연구들이 의사결정 지원시스템의 관점에서는 발전한 것이지만, 모형화 도구로서는 모형의 지식표현, 지식베이스로부터의 다양한 수준의 모형생성, 기작성된 모형의 재사용, 그리고 모형의 수정 등 모형관리의 측면에서 약점을 갖고 있다. 또한 주로 경영과학의 전문가들을 위해서 개발된 것이다. 선형계획 모형의 작성에 있어서, 응용분야의 지식과 선형계획 모형의 구조적 지식을 모두 이용하여, 모형생성과 관리의 기능이 통합된 형태의 접근법이 가장 소망스러운 형태가 된다. 5 장의 주요 목적은 UNIK-OPT (UNified Knowledge OPTimization) 라고 불리우는 지식 베이스된 선형계획 모형화 도구의 구조 (architecture) 를 디자인하고, 선형계획 모형의 개념적 프레임워크를 제시하고, 선형계획 모형화 과정을 지원하는 지식 베이스된 구성을 제시함으로써 모형화 과정의 어려움을 극복하고자 하는데 있다.

UNIK-OPT 시스템에서는 선형계획 모형을 전체적 지식 베이스에서 관련된 선형 지식을 추출하는 것으로 간주한다. 이를 위해서 지식 공학자는 지식 베이스를 사전에 갖추고 있어야만 한다. 비록 지식 베이스의 사전적 준비가 쉽지는 않지만, 갖추어진 지식 베이스는 많은 다른 사용자가 상이한 목적을 갖고 공유할 수 있으므로 그 타당성이 있다고 할 수 있다.

5.2 UNIK-OPT 의 구조

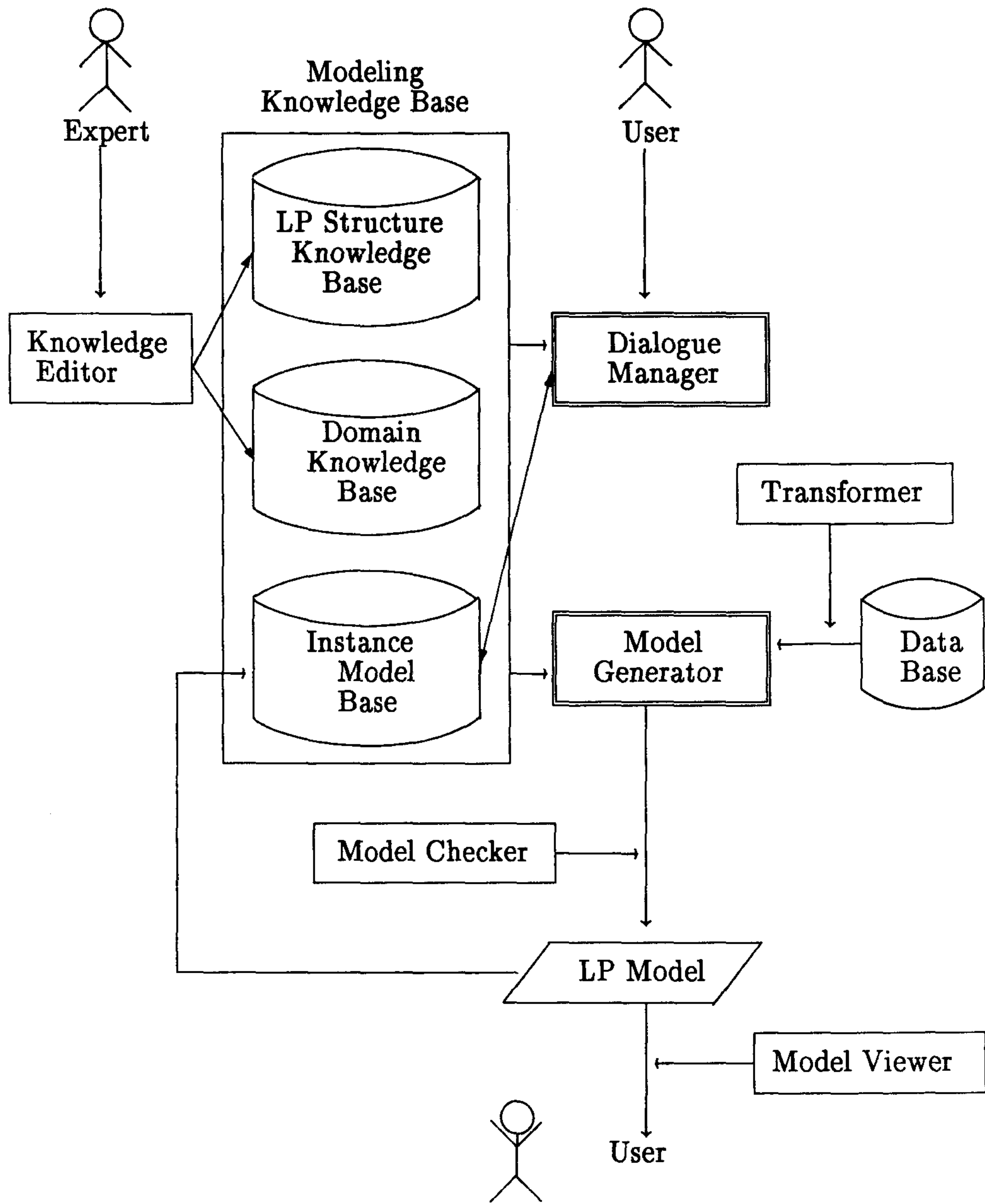
UNIK-OPT 시스템은 지식에 기초한 선형계획 모형생성을 지원하는 의사결정 지원 시스템이다. UNIK-OPT 시스템의 전체적 구조는 < 그림 5-1 > 에 나타나 있다. 이러한 구조는 다른 응용분야의 지식 베이스가 미리 갖추어져있는 경우에 적용될 수 있도록 일반적으로 디자인되어 있다. UNIK-OPT 의 주요 구성요소는 다음과 같다.

(1) 모형 지식 베이스 (Modeling Knowledge Base)

지식 베이스에는 선형계획 지식베이스 (LP Structure knowledge base), 응용분야 지식베이스 (Domain knowledge base), 그리고 예제 모델 베이스 (Instance model base) 등 세가지 형태로 조직되어 있다. 다양한 응용분야 지식은 응용분야 지식베이스에 저장되어 있다. 사용자는 선형계획 지식베이스와 특정 응용분야 지식베이스를 사용하여 예제 모형을 만들고 이를 예제 모델 베이스에 저장한다. 예제 모델 베이스에는 사전에 만들어진 모형을 포함하고 있으며, 사용자가 이를 재사용 (Reuse) 하고자할 때 이를 지원한다. 선형계획모형의 구조적 지식과 응용분야 지식은 지식 편집기 (Knowledge Editor) 를 통해서 경영과학의 전문가와 응용분야의 전문가로부터 얻어질 수 있다.

(2) 대화 매니저 (Dialogue Manager)

대화 매니저는 모형 지식 베이스에 따라서 시스템 주도 (System-driven) 의 대화를 만들고, 사용자의 모형 기술 (description) 을 받아 들인다. 대화는 사용자의 모형작



< 그림 5-1 > UNIK-OPT 시스템의 전체적 구조

성 목적과 사용자 수준에 맞게 적절하게 생성된다. 대화 매니저에 의해서 생성된 메뉴를 선택함으로써, 사용자는 선형계획 모형을 생성할 수 있다. 모형화과정에서 설명기능은 각 메뉴에 대한 메시지와 에러 상태를 표시해 줌으로써 사용자의 모형작성을 도와준다. 대화 매니저는 사용자에게 문제상황을 자연스럽게 의미론적 수준에서 표현하도록 함으로, 사용자의 관점은 문제에 집중되도록한다. 대수적 조작은 모형 생성기 (Model Generator) 에서 수행된다.

(3) 모형 생성기 (Model Generator)

모형 생성기는 예제 모델 베이스를 사용하여 특정한 선형계획 모형을 만들어 낸다. 외우기 쉬운 심볼과 데이터 계수를 포함하는 대수적 항목들을 생성하고 이것들을 대수적 문장상의 적절한 위치에 결합하는 역할을 하는 것이 선형계획 모형 생성기이다. 모형생성기는 예제 모델 베이스에 저장되어있는 특정 모형에 관한 기술과 내부적으로는 테이블 형태를 이용한다. 테이블의 행은 제약식을, 열은 항목을 나타낸다. 모형 생성기는 각 항목에서 합 (Summation) 을 해야할 지수의 카아티잔 프리덕트 (Cartesian Product) 을 평가한다. 또한 부족한 항목을 체크하고, 애매한 정보에 대해서는 사용자에게 명확한 정보의 제공을 요구한다. 데이터가 공급되지 않은 대수적 항목이 표기적 형태의 선형계획 모형을 생성하는 데 사용된다. 계수와 우변상수에 공급될 데이터 값은 외부 데이터 베이스에 저장되어 있다. 모형과 데이터 베이스간의 단위의 상이함을 보정하기 위해서, 변환기 (Transformer) 에 의해서 데이터의 단위를 변환 시킨다.

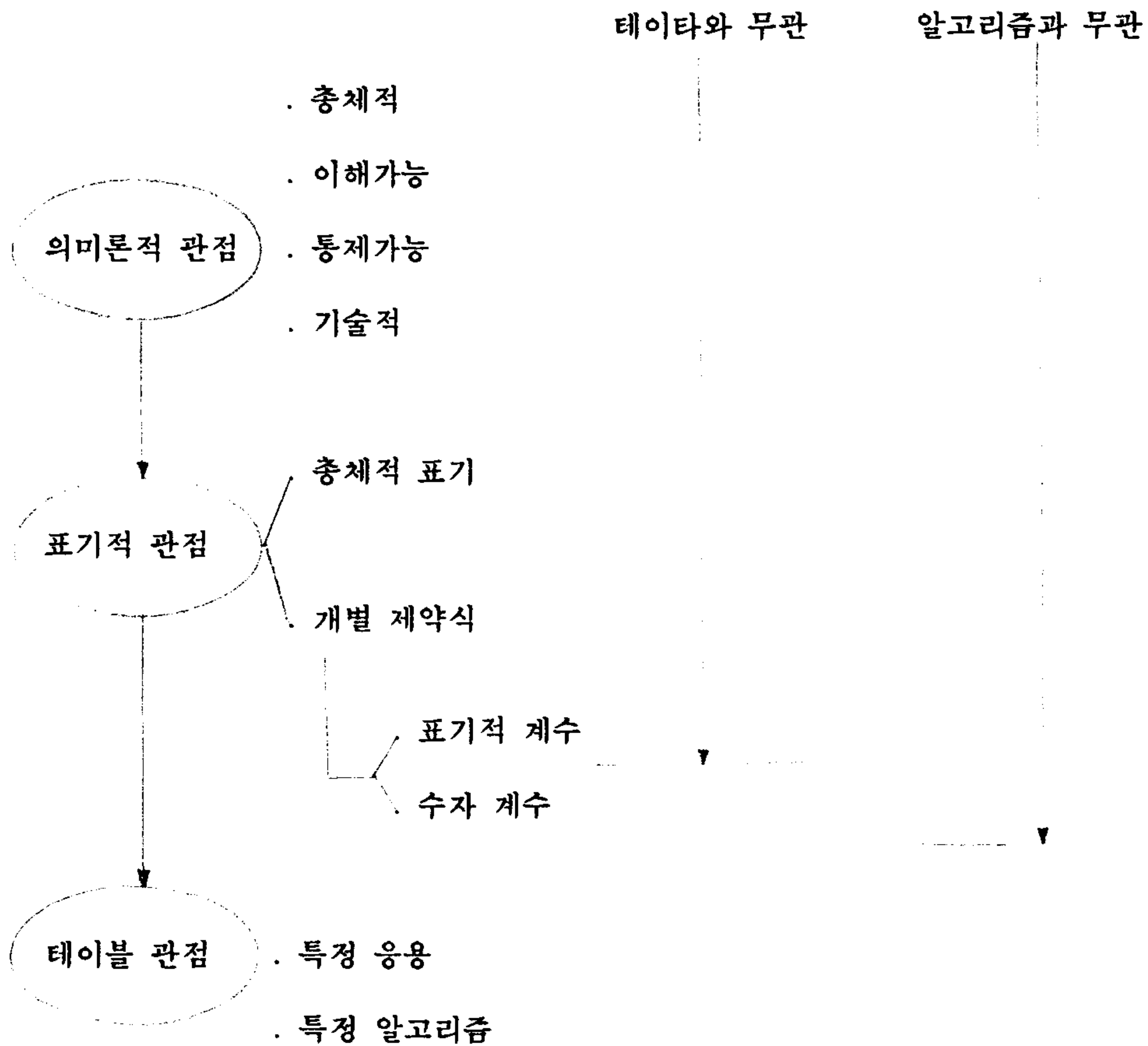
(4) 모형 체커와 조감 (Model Checker and Viewer)

모형 체커는 부족한 우변상수나 좌변항목 등과 같은 제약식의 완전성 검사와 항목간의 사이클링 또는 중복성등을 체크하는 기능을 한다. 중복된 항목은 제거되고 부족한 항목은 사용자로부터 그 항목에 관한 보다 자세한 정보를 요구하여 보강하게 된다. 세가지 형태의 모형 표현, 즉 의미론적 표현, 표기적 표현 그리고 테이블 표현등이 사

용자의 수준과 최적해를 구하기 위한 목적으로 생성된다. 사용자는 모형 조감 기능을 통해서 형성된 동일 모형에 대한 세가지 형태의 표현을 볼 수 있다.

5.3 모형화 관점 (Modeling Views)

모형형성의 과정을 체계화하기 위해서 세수준의 모형화 관점을 제시한다. 그것에는 의미론적 관점, 표기적 관점, 그리고 테이블의 관점이다. 이들간의 그래픽한 관계는 < 그림 5-2 > 와 같다.



< 그림 5-2 > 세수준의 모형화 관점

5.3.1 의미론적 관점

의미론적 관점은 문제를 총체적이고, 기술적이며 의사결정자가 이해가능한 항목으로 표현한다. 따라서 이 관점에서 모형을 형성하거나, 모형을 수정하는 것은 매우 소망스러운 것이다. 그러나, 의미론적 수준의 관점은 가끔 제거해야만하는 '애매성 (ambiguities)' 를 포함하는 경우가 많다. 예를 들어서, 하나의 제약식은 다음과 같이 표현된다. "생산량과 재고와 판매량은 반드시 균형을 이루어야만 한다." 의미론적 수준에서 이 제약식은 관련된 제품이나 생산계획 기간등에 대해서는 아무런 정보도 제공하지 않고 있다. 이 수준에서 모형은 알고리즘이나 데이터와는 독립적으로 표현된다.

5.3.2 표기적 관점

표기적 관점은 총체적 표기 관점과 개별적 표기 관점으로 대별해 볼 수 있다.

(1) 총체적 표기 관점

"총체적"이라는 용어는 항목이나 제약식을 집합적으로 표현한다는 뜻이다. 항목에 대해서 총체적이라고 하는 것은 합 (Summation) 을 의미한다. 이와는 상이하게, 제약식에서의 총체적은 개별 합 지수에 대해서 제약식을 집합적으로 표현함을 뜻한다.

(2) 개별적 표기 관점

총체적 표기는 개별 제약식과 항목으로 좀더 세분화할 수 있다. 이는 총체적 표기를 각각의 지수에 대해서 전개한 것으로 볼 수 있다. 이때 제약식의 계수가 공급되어 있느냐 아니냐에 따라서, 개별제약식은 표기적 계수 또는 수자 계수로 대별된다. 모형에 데이터를 공급하기 위해서는 데이터 베이스에서 추출한 값이 선형계획 모형상의 포맷과 일치하도록 변환이 이루어져야 한다.

5.3.3 테이블 관점

테이블 관점은 특정 알고리즘의 초기 테이블 형태이다. 이것은 심플렉스 방법이나, Revised 심플렉스 또는 MPSX 의 입력 포맷등이 될 수 있다. 따라서 테이블 관점은 특정 알고리즘이나 응용에 한정된다. 전체적 관점에서 보면, 모형화의 과정은 의미론적 관점으로 부터 테이블 관점으로의 변환 과정을 의미한다고 볼 수 있다.

5.4 모형화 지식의 표현

모형화 지식 베이스를 만들기 위해서, UNIK-OPT 시스템에서는 프레임 지식표현 방법을 채택하고 있다. 개념적으로 프레임은 객체 (Object) 또는 개념 (Concept) 을 나타낸다. 모형화 지식 베이스는 개념적 수준의 추상화 (Levels of Abstraction) 에 의해서 층을 형성한다. 따라서 프레임 표현방법은 지식 베이스가 계층적 구조를 갖추고 있는 응용분야에 매우 적절하다. 선형계획 모형에 있어서도 경영과학의 전문가가 범주와 차원 분석을 통해서 복잡성을 줄인다. 이때 추상화의 개념이 주요한 역할을 한다. 프레임에 기초한 시스템은 상이한 추상화 수준에서 작업이 가능하다는 데에 강점이 있다. 프레임 표현의 장점에는 다음과 같은 것들이 있다.

- (1) 지식 베이스의 확장성을 높이는 클래스 (class) 와 예제 (instance) 의 구별
- (2) 사용자의 지식 베이스의 구조 이해를 용이하게하는 프레임간의 그래픽한 관계
- (3) 추상화의 개념을 표출하는 예제간의 계층구조
- (4) 지식 베이스의 중복성을 줄이는 슬롯이나 슬롯 값의 상속
- (5) 응용과정에서 지식 베이스를 수정하는 동적능력

프레임 표현방법의 가장 큰 불만요소는 효율성과 처리속도에 있다. 프레임의 사용법은 2부 2장의 UNIK-FRAME 을 참조하기 바란다.

지식에는 선형계획의 모형화 구조, 관련분야 지식, 제약식, 그리고 생성된 모형의 재사용 등이 있다.

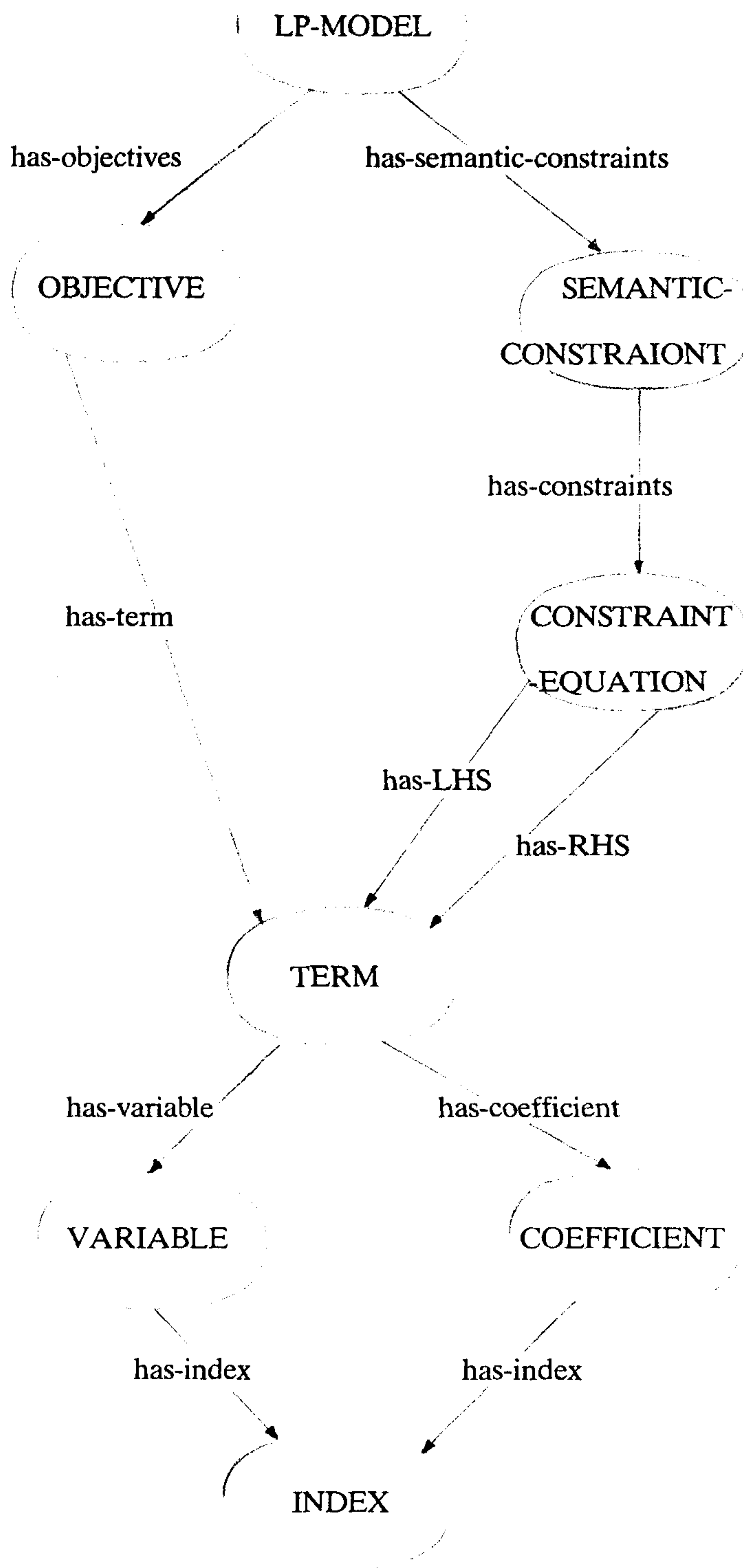
5.4.1 선형계획의 모형화 구조

선형계획 문제는 부등호나 등호 형태의 선형 제약이 존재하는 상황에서 선형함수를 최소화하거나 최대화하는 문제를 의미한다. 이는 수학적으로 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{array}{ll}
 \text{최소화/최대화} & \text{SUM}\{j\} c\{j\} X\{j\} \\
 \text{제약조건} & \text{SUM}\{j\} a\{i;j\} X\{j\} \leq b\{j\} \quad i=1,2,\dots,m \\
 & X\{j\} \geq 0 \quad j=1,2,\dots,n
 \end{array}$$

수학적으로 볼때, 모형화의 문제는 지수 집합 i 와 j , 의사결정변수, 그리고 계수 데이터를 결정하는 문제로 볼 수 있다. UNIK-OPT 시스템을 개발하기 위해서, 선형계획의 모형화 구조를 < 그림 5-3 > 과 같이 분석하였다.

여기서 제안하고있는 모형화 구조는 선형계획 모형의 개념을 보다 세분화된 요소로 분해하는 구조적 추상화에 기초하고있는 것이다. 선형계획의 모형화 구조에는 두가지 수준의 구조적 추상화가 있다. 첫번째의 추상화는 "최적화 문제" 그 자체에 해당하는 것이다. 최적화 문제는 몇가지의 표준화된 모형 - 예를 들면, 배합문제, 수송문제, 제품믹스 문제 등 - 또는 이들의 결합으로 특징지을 수 있다. 다른 하나의 추상화는 제약식, 항목 그리고 지수 수준에서의 추상화이다.



< 그림 5-3 > 선형계획 모형의 일반적 구조

< 그림 5-3 > 에서 노드는 클래스 프레임을 나타내고 아크 (arc) 는 클래스 프레임간의 관계를 의미한다. 클래스 프레임은 많은 수의 예제 프레임을 갖을 수 있는 일반적 객체 이다. 선형계획 모형의 모형화 구조는 여덟개의 클래스 프레임을 갖고 있다. 이것들은 LP-MODEL, OBJECTIVE, SEMANTIC-CONSTRAINT, CONSTRAINT-EQUATION, TERM, VARIABLE, COEFFICIENT, 그리고 INDEX 이다. 이들 클래스 프레임은 프레임 표현 방법으로 다음과 같이 표시된다.

```

{{ LP-MODEL
  is-a : CLASS
  has-objectives :
  has-semantic-constraints : }}

{{ OBJECTIVE
  is-a : CLASS
  has-terms :          }}

{{ SEMANTIC-CONSTRAINT
  is-a : CLASS
  has-constraints :    }}

{{ CONSTRAINT-EQUATION
  is-a : CLASS
  has-LHS :
  has-RHS :            }}

{{ TERM

```

```

is-a : CLASS
has-variable :
has-coefficient :      }}

{{ VARIABLE
  is-a : CLASS
  has-index :          }}

{{ COEFFICIENT
  is-a : CLASS
  has-index :          }}

{{ INDEX
  is-a : CLASS        }}

```

일반적 선형계획의 모형화 구조에 따라서, 예제 모형인 CRUDE-SELECTION-MODEL 은 다음과 같이 표현된다.

```

{{ CRUDE-SELECTION-MODEL
  instance-of : LP-MODEL
  has-objectives : COST-MINIMIZATION
                  PROFIT-MAXIMIZATION
  has-semantic-constraints : MATERIAL-BALANCES
                           CAPACITY-LIMITS
                           BLEND-QUALITY-CONSTRAINTS  }}

{{ MATERIAL-BALANCES
  instance-of : SEMANTIC-CONSTRAINT

```

```

lower-instances : MATERIAL-BALANCES-FOR-CRUDE
                MATERIAL-BALANCES-FOR-STREAM
                MATERIAL-BALANCES-PRODUCTS      }}

{{ MATERIAL-BALANCES-FOR-CRUDE
instance-of : CONSTRAINT-EQUATION
higher-instances : MATERIAL-BALANCES
has-LHS : CRUDE-CHARGE
has-RHS : CRUDE-PURCHASE      }}

{{ CRUDE-CHARGE
is-a : TERM
related-constraints : MATERIAL-BALANCES-FOR-CRUDE
symbol : MBUY      }}

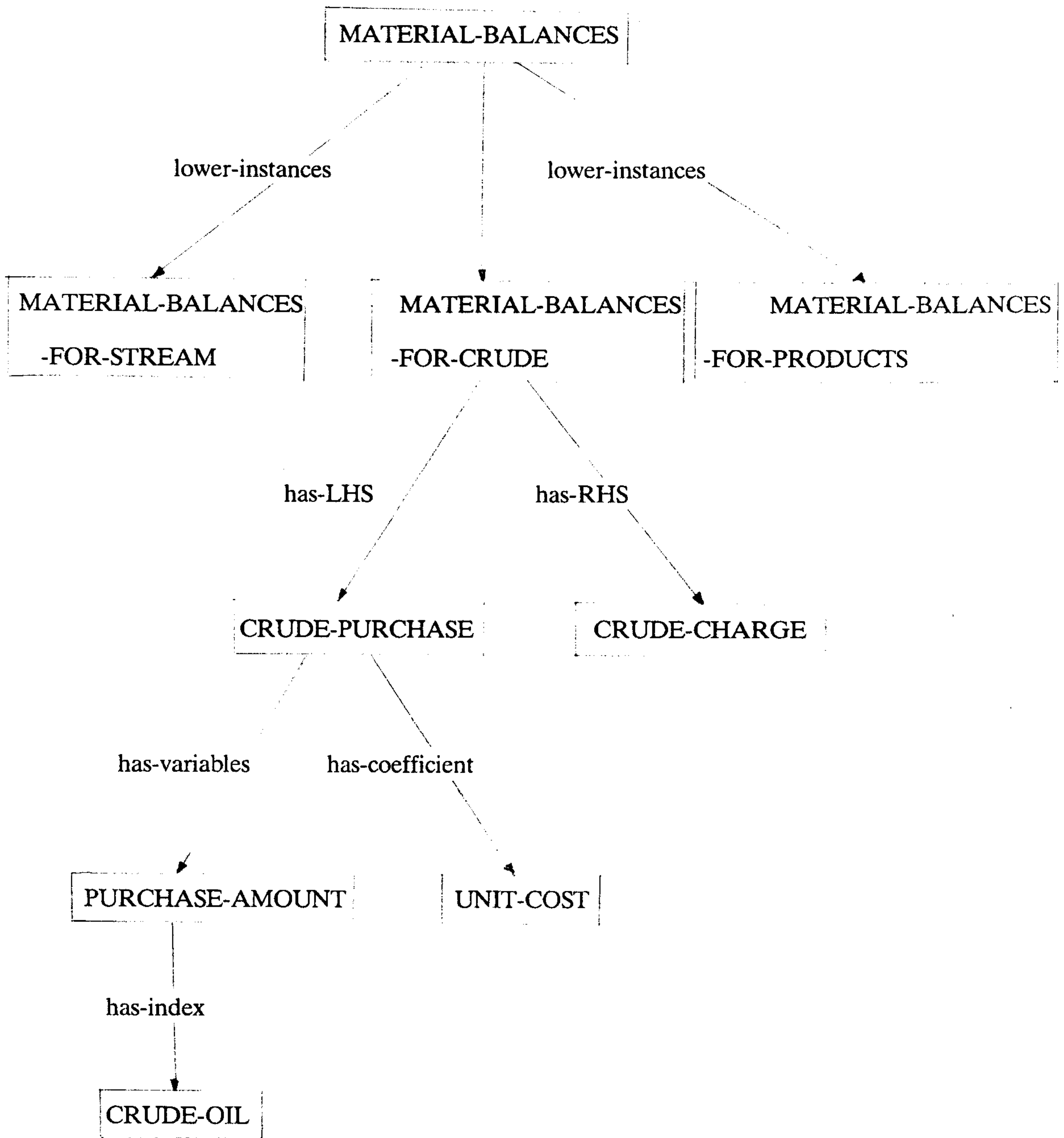
```

CRUDE-SELECTION-MODEL 프레임은 LP-MODEL 클래스 프레임의 예제 (instance) 이다. MATERIAL-BALANCES 프레임과 MATERIAL-BALANCES-FOR-CRUDE 프레임은 SEMANTIC-CONSTRAINTS 프레임의 예제 프레임에서의 계층구조를 보여주고 있다. 예제 계층구조에 대한 논리는 제약식에서의 하위 예제 프레임들의 총합을 의미한다.

< 그림 5-4 >에서는 MATERIAL-BALANCES 프레임의 계층구조와 예제 항목의 구성을 보여주고 있다.

5.4.2 관련분야 지식표현

관련분야의 지식은 UNIK-OPT 시스템의 구조에서 살펴본 응용분야 지식베이스에 저장된다. 관련분야의 지식은 총합화 (aggregation) 과 일반화 (generalization) 등과



< 그림 5-4 > MATERIAL-BALANCES 제약식의 계층구조

같은 추상화 기법을 사용하여 표현한다. 이 지식의 대부분은 선형계획 모형에서 각 제

약식, 목적함수, 그리고 의사결정변수의 지수로 사용된다. 또한 대화를 생성하고 모형을 만드는 과정에서 중요하게 사용되는 정보를 포함하고 있다. 관련분야의 지식은 프레임의 형태로 나타내고, 그것들은 IS-A 나 INSTANCE 와 같은 시스템에서 정의하는 관계 또는 사용자가 정의한 관계에 의해서 계층구조를 이루며 연결되어 있다. 프레임에서 슬롯은 관계 슬롯과 기술 슬롯으로 구분한다. 관계 슬롯은 프레임간의 관계를 나타낸다. 반면에 기술 슬롯은 특정 프레임의 특성을 표현하기 위해서 사용한다. 관계슬롯은 다시 시스템이 정의한 관계와 사용자가 정의한 관계로 대별된다. IS-A 나 INSTANCE 는 시스템이 정의한 것이고, 그 이외의 관계슬롯은 사용자가 정의한 것이 된다. 어떤 주어진 수준의 프레임은 관계슬롯을 통해서 보다 일반적인 프레임과 긴밀히 연결된다. 모든 슬롯과 슬롯 값은 시스템이 정의한 관계를 통해서 하위 프레임으로 상속되지만, 사용자가 정의한 관계에 의해서는 선택적 상속이 가능하다.

이러한 프레임간의 관계와 슬롯 및 슬롯 값의 상속은 응용분야의 지식을 효율적이고 사용자가 이해하기 용이하게 표현하는 것을 가능하게한다. 즉 계층구조상의 상위 프레임에는 공통적 사항만을 정의하고, 하위 프레임에는 그것의 특성만을 나타냄으로써, 총합화와 일반화를 가능하게 한다. 관련분야의 지식표현은 응용분야의 상이함에 따라서 그 구조나 성격이 달라지므로, 3부 2장 UNIK-LP 에서 석유산업을 대상으로한 UNIK-OPT 시스템의 응용에서 자세히 살펴 보기로 하고, 여기서는 시간단위를 표현하는 지식에 대해서만 살펴 보기로 하겠다.

시간 단위는 많은 선형계획 모형에서 매우 중요한 지수로 사용된다. 생산계획 문제에서 계획기간중에 공휴일이나 작업이 없는 날등을 고려하려면, 달력 정보 (Calendar information) 이 필요하다. 또한 데이터 베이스에 저장된 데이터가 일간 또는 월간 단위로 되어 있고 이 것을 모형상에서는 주간 또는 다른 단위로 사용할 경우에, 이들간의 부조화를 해결하기 위해서도 시간 단위는 중요하게 사용된다. 시간 단위에 대한 프레임의 예는 다음과 같다.

{{ 1989


```

{{ NO-WORKING-DAY
    days : SUNDAY HOLIDAYS          }}

{{ HOLIDAYS
    days : NEW-YEAR THANKSGIVING X-MAS }}

{{ NEW-YEAR
    instance : HOLIDAYS
    DATE : (JAN 1 2 3)              }}

```

5.4.3 제약식의 표현

선형 제약식은 일반적으로 다음의 형태를 갖는다.

$$\text{SUM}_{j=1,2,\dots,n} a_{i:j} X_{i:j} \leq b_{i:} \quad i=1,2,\dots,m$$

제약식은 좌변항 (left-hand side : LHS) 과 부등호, 그리고 우변상수 (right-hand side : RHS) 로 구성된다. 부등호는 { \leq (LE), $=$ (EQ), \geq (GE) } 중에서 하나의 값을 갖는다. LHS 와 RHS 는 항목으로 구성되고, 각 항목은 의사결정 변수와 계수 그리고 선택적인 합 (SUM) 심볼로 구성된다.

(1) 제약식의 종류와 수준

제약식은 항목간에 반드시 성립되어야만 하는 "MUST" 관계이다. 개별 항목은 형태와 공간 또는 시간의 관점에서 다른 활동과 구분되는 선형계획상의 활동 (Activity) 이다. 이 활동은 시간상으로 반복될 수 있다. 예를 들어서 원유를 구매하는 활동과 원유를 처리하는 활동은 "일정기간 동안의 원유 구매와 처리는 균형을 이루어야 한다." 는

원유에 대한 원재료 균형식을 형성하는 것이다.

항목은 계층적 항목과 순차적 항목으로 더욱 세분할 수 있다. 계층적 항목들은 그들의 총합화로 보다 상위의 항목을 이룬다. 예를 들면, "경유의 판매량" 과 "등유의 판매량" 은 합해져서 두가지 석유제품의 "판매량" 을 이룬다. 반면에 순차적 항목은 일련의 흐름을 갖는 공정 (process) 등을 나타낼 때 사용한다.

제약식들은 < 그림 5-4 > 에서 보듯이 추상화 수준에 따라서 표현된다. 즉 상위의 클래스 프레임은 하위에 많은 예제 제약식 프레임을 갖는다. 사용자는 제약식을 상위 프레임수준에서 집합적으로 선정할 수도 있고, 하위 프레임수준에서 개별적으로 선정할 수도 있다.

제약식의 표현방법을 보다 자세하게 살펴보기 위해서 다음의 제약식을 살펴보자.

$$\text{SUM}_{j=1,2,\dots,n} a_{i:j} X_{i:j} \leq b_i \quad i=1,2,\dots,m$$

제약식에서 '지수 집합' 은 항목과 연결된 지수를 나타내는 심볼의 모임으로 정의한다. 각각의 개별 지수는 항목의 차원을 결정한다. 위에 주어진 제약식에서 다음의 네 가지 형태의 지수집합을 정의한다.

- . 개별 제약식 지수집합 (individual-constraint-index)
= { 개별 제약식을 구별하는 지수들 }
- . 결정변수 지수집합 (variable-index)
= { 결정변수의 지수들 }
- . 계수 지수집합 (coefficient-index)
= { 변수 계수의 지수들 }
- . 합계 지수집합 (sigma-index)

= { 전체 혹은 부분 항목에 대해서 합계를 하는 지수들 }

위의 표기법을 이용하여 MATERIAL-BALANCES-FOR-CRUDE 를 프레임으로 나타내면 다음과 같다.

```
{ { MATERIAL-BALANCES-FOR-CRUDE
instance-of : CONSTRAINT-EQUATION
higher-instances : MATERIAL-BALANCES
operator : LE
individual-constraint-index : I
has-LHS : ( CRUDE-CHARGE (variable-index K)
(coefficient-index K)
(sigma-index J))
has-RHS : CRUDE-PURCHASE }
```

여기에서 제시하고 있는 모형화 구조는 데이터와는 무관하다는 것을 주지할 필요가 있다. 즉 제약식 집합의 구조는 지수집합 원소의 갯수에는 상관 없다. 비록 사용자가 지수를 결정하지 않았더라도, 제약식은 결정되어질 수 있다.

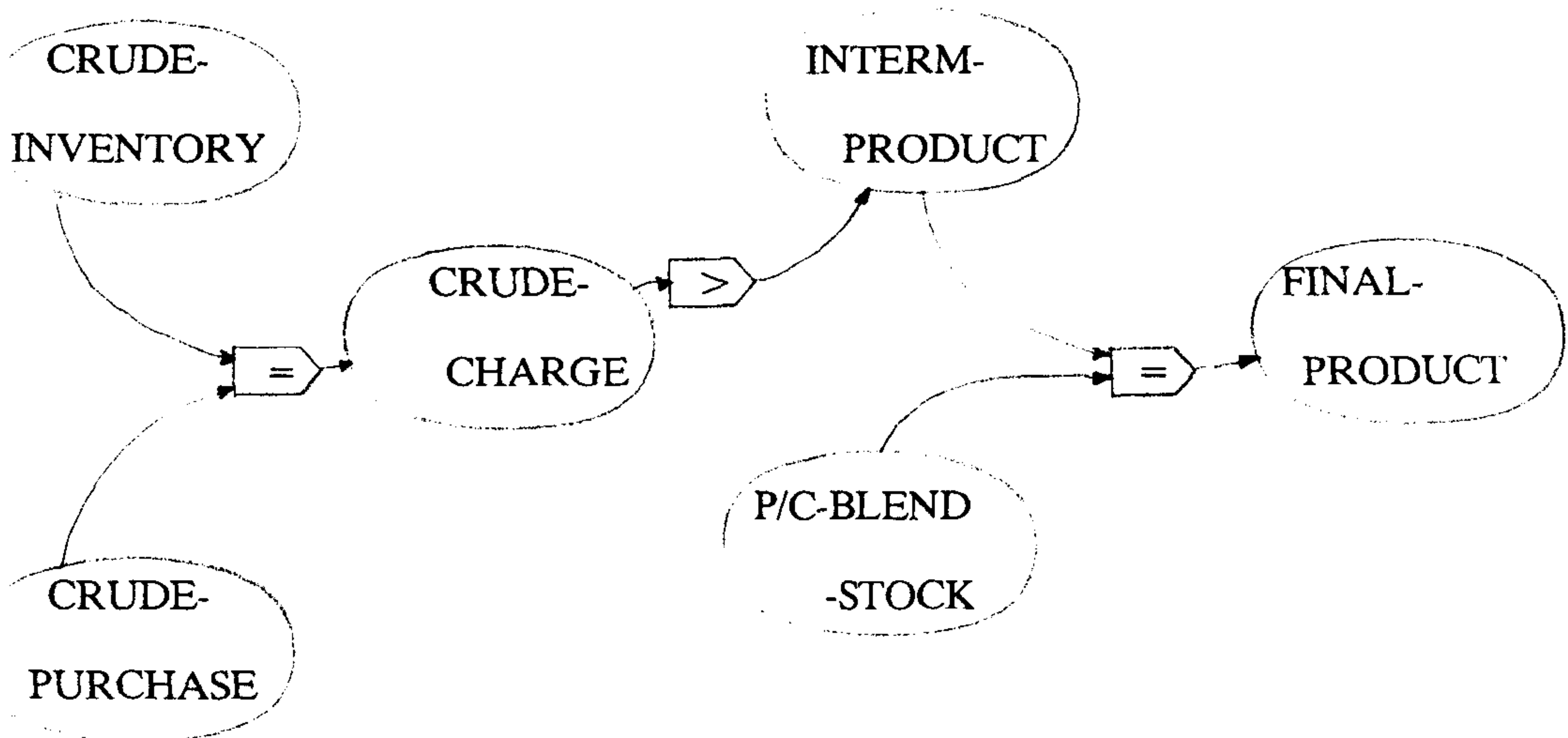
(2) 제약식과 항목간의 관계

선형계획 제약식의 내부적 표현의 기본 요소는 "항목 (terms)" 이다. 이것들은 합계 심볼을 포함하고 있는 대수적 항을 의미한다. 최상위의 제약식은 지수에의해서 구분 지워지지 않는 항목들에 의해서 구성된다. 모델의 관점이 더욱 세분화되어감에 따라서, 제약식의 수준도 하위 프레임으로 내려가게되고 제약식에 관계된 지수집합의 원소도 이에 따라서 정의된다. 항목은 의사결정변수와 계수의 결합으로 구성되어지고, 의사결정

변수와 계수는 상징 (attribute) 과 지수의 조합으로 이루어 진다. 각 항목은 그와 관련된 하나의 프레임을 갖고, 슬롯에는 각기 상이한 제약식에서의 사용에 대한 정보가 저장되어 있다. 항목을 만들 수 있는 가능한 결정변수와 계수의 결합은 미리 정의되어 있어 선형계획모형을 만들고자하는 사용자가 적절한 것들을 선정할 수 있도록하고 있다. 항목은 다른 모델에서도 사용이 가능하도록 되도록이면 일반적으로 정의되어 있다.

제약식은 항목들간의 네트워크로 나타낼 수 있다. 제약식은 입력 (LHSs) 과 출력 (RHSs) 그리고 단일의 연산자로 정의할 수 있다. 그러나 모형화의 관점에서 자연스러운 경우에는 RHS 에 항목이 올수도 있도록 하였다. 항목들을 연결하는 링크는 형태, 공간 또는 시간의 변환을 의미하는 활동을 나타낸다.

제약식 네트워크의 그래픽한 표현이 < 그림 5-5 > 에 예시되어 있다.



< 그림 5-5 > 예제 제약식 네트워크

< 그림 5-5 > 는 왼쪽에서 오른쪽으로 원유, 상압증류공정, 그리고 최종제품의 원재료 균형식을 나타내고 있다. 이는 단일 시간에 대한 네트워크인데, 복수 시간에대

해서는 위와 같은 네트워크가 시간축을 중심으로 반복적으로 나타난다.

5.4.4 생성된 모형의 재사용

만들어진 예제 선형계획 모형은 재사용을 위해서 저장할 수 있다. 예제 모형 베이스에 저장되어 있는 모형을 재사용하기 위해서는, 미리 생성되어 있는 특정의 모형들은 모델이름, 모델 설명, 작성일자, 작성자, 작성자 부서, 그리고 작성목적등을 관리하는 슬롯들을 유지하고 있어야 한다. 예제 모형의 이름간에도 관계슬롯에 의해서 계층구조를 형성한다. 따라서 사후적으로 이를 사용하고 싶은 사용자는 그들 나름의 기준에 의해서 예제 모형 베이스로부터 모형을 선정할 수 있게 된다. 사후 사용자는 새로운 모형을 만들때 소요되는 시간과 노력을 미리 만들어진 모형을 재사용함으로써, 크게 절약할 수 있다.

기작성된 모형을 재사용하고자 할때에 사용자는 이 모형을 수정해야할 필요성을 느끼는 경우가 발생하게 된다. 모형의 수정은 단순한 지수집합 원소의 추가, 삭제로부터 보다 복잡하게는 제약식이나 항목등의 수정을 들 수 있다. 모형의 수정은 선정된 예제 모형에 대해서 행해진다. 선정된 모형은 작성될 당시의 상황을 반영하고 있으며, 선형계획 모형을 작성하는 데에 필요한 모든 정보를 포함하고 있다. 즉, 모형에서 사용하는 지수집합과 각 집합의 원소, 선정된 제약식, 목적함수, 항목, 그리고 그외에 작성자의 정보등을 저장한다. 따라서 모형의 수정은 이들의 내용을 수정하는 것에 한하며, 모형의 구조적 수정은 UNIK-OPT 시스템을 사용하여 다시 생성하도록 제한하고 있다. 수정된 모형은 UNIK-OPT 시스템의 구성요소인 모형 생성기에 의해서 선형계획 모형으로 만들어진다. 또한 데이터 베이스와는 모형을 생성할때 연결 되므로 그동안의 데이터의 변화를 반영할 수 있다.

수정된 모형은 한번만 사용이 되고 폐기될 수도 있고, 재사용을 위해서 다시 예제 모형 베이스에 저장될 수 있다. 그러나 모형의 수정은 모형자체의 의미를 상실하게

되거나 최적해를 얻을 수 없게될 위험성이 존재 한다. 따라서 모형의 수정을 가이드해주는 기능이 필요하게 된다. 현재의 UNIK-OPT 시스템에서는 모형의 수정은 가능하나, 위에서 언급한 위험성을 사전에 체크하는 기능은 갖추고있지 않다.

5.5 선형계획 모형의 형성과정

기본적으로 모형생성은 대상문제에 대해서 논리적 구조를 나타내는 것으로 간주할 수 있다. 이것은 복잡한 요소를 다루기 쉬운 요소로 분해해내는 전략을 필요로 한다. 경영과학의 전문가들은 이러한 전략으로서 문제의 범주화, 적절한 변수선정, 그리고 차원 분석등을 응용한다. UNIK-OPT 시스템의 디자인 원리는 Orlikowski 의 실험적 결과에 바탕을 두고있는 일반적 선형계획 개념의 추상적 표현에 있다. 그러나, UNIK-OPT에서는 이를 좀 더 세분화하고 정교화함으로써, 경영과학 전문가와 응용분야 전문가들의 지식을 조화시키고자 하였다.

사용자 인터페이스의 주요한 아이디어는 문제의 기술을 메뉴형태의 대화로 바꾸는 것이다. 사용자 인터페이스는 모형의 추상화 정도에 따라서 사용자 주도형과 시스템 주도형으로 변환 된다. 사용자 주도형 대화에서 사용자는 그의 모형화 목적에 맞는 수준에서 대화를 시작할 수 있다. 예를 들어서, 전략적 의사결정을 위한 모형생성의 대화의 수준은 공장운영 의사결정을 위한 것보다는 높게 된다. 그러나, 대화의 수준은 모형작성 과정에서 변화될 수 있다. 어떤 모형화 단계에서 애매성이 존재하면 대화의 수준은 낮은 것으로 수정되고, 애매성을 제거하고 난 다음에 대화의 수준은 원래대로 환원된다.

UNIK-OPT 시스템을 이용한 모형화의 과정은 다음과 같다.

1. 관련분야의 명확화및 결정변수의 선택
2. 목적함수의 생성
3. 제약식의 유도

4. 표기적 형태의 모형생성

5. 계수수치의 공급 - 데이터 베이스와의 연결

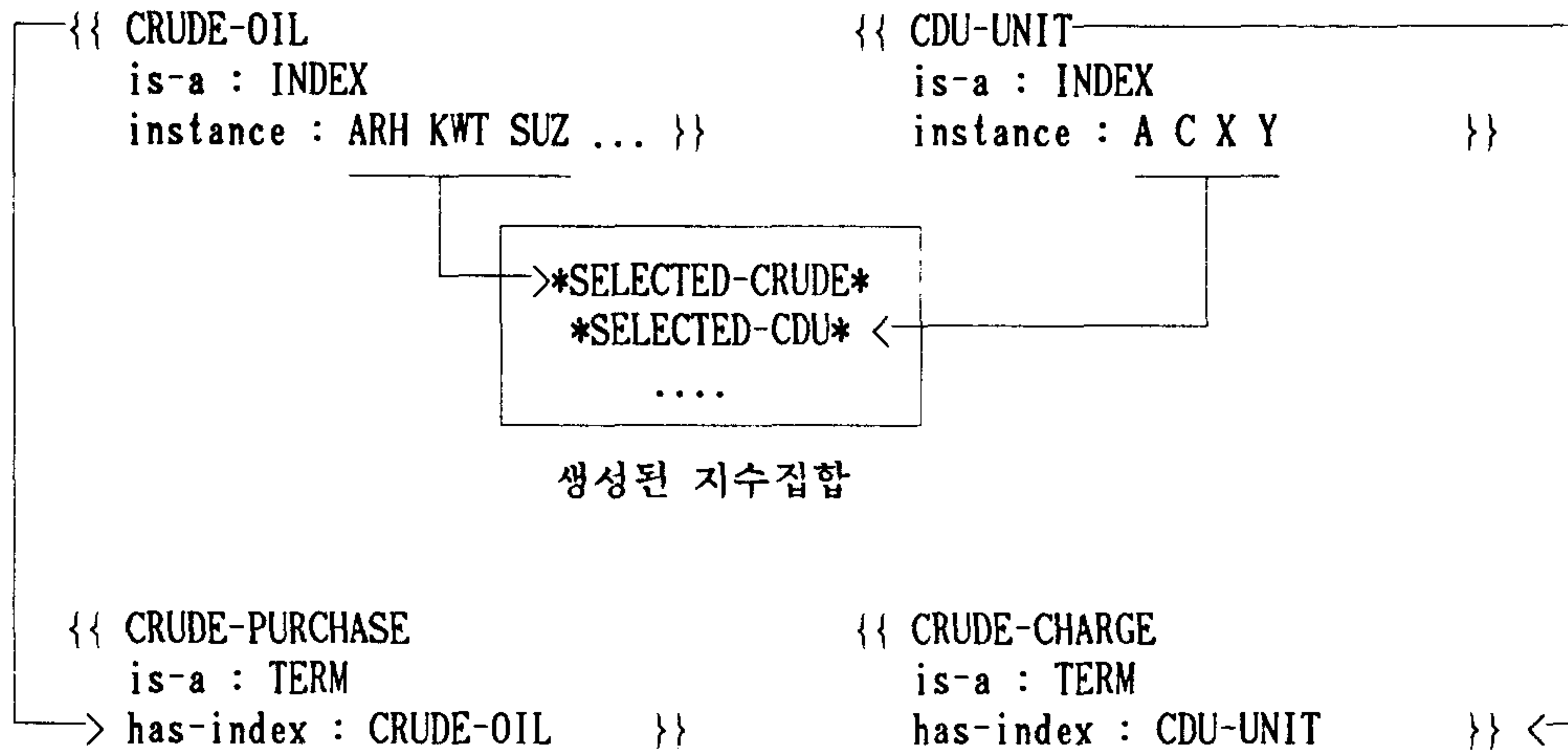
5.5.1 관련분야의 명확화 및 결정변수의 선택

관련분야 명확화의 기능은 지식 베이스내에서 관심이되는 중요한 부분을 정함으로써, 이것으로부터 보다 상세한 분석이 가능하도록 하기위한 것이다. 사용자는 시스템 주도의 대화를 통해서 문제를 정의한다. 관련분야 지식 베이스의 프레임을 이용하여, 지수로 사용될 분야를 결정한다. UNIK-OPT 시스템은 관련분야의 지식 중에서 최상위로 추상화된 분야 (예를 들면, 원유, 제품, 공정등) 를 보여준다. 만약에 사용자가 이 수준에서 선정을 하면, 선정된 분야의 하위에 존재하는 모든 예제가 모형에 포함된다. 그러나 사용자는 분야의 범주화 또는 계층화에 의해서 보다 상세하게 예제를 포함시킬 수도 있다. 예를 들어서, 사용자는 그의 모형화의 범위를 명백하게 정함으로써 특정 범주에 속하는 원유만을 모형에 포함시킬 수 있다. 지수집합은 응용분야에 대한 사용자의 기술에 따라서 만들어 진다. 지수집합은 related-attributes 관계에 의해서 결정변수와 관계지워진다. 지수들을 일반화하고 related-attributes 관계를 추적함으로써, 관련성을 갖는 의사결정 변수가 확정된다. 이는 제약식 네트워크를 통해서 가능하다. 이러한 과정이 < 그림 5-6 > 에 예시되어 있다.

만약에 사용자가 "고유황 원유" 를 선택하면, 고유황 타입의 모든 예제 유종이 *SELECTED-CRUDE* 지수집합의 원소가 된다. CRUDE-PURCHASE 와 CRUDE-CHARGE 항목이 has-index 관계를 통해서 모형에 자동적으로 포함되게 된다.

지금까지 시스템은 사용자로부터의 정보를 받아들여서 모든 중요한 지수집합을 모형에 포함시켰다. 모형화의 범위를 개략적으로 파악하기 위해서, 사용자는 그가 표현할 수 있는 문제의 수준에 따라서 항목, 제약식 또는 목적함수로부터 모형화를 시작할 수 있다. 이것은 제약식을 항목들간의 네트워크 구조로 표현하였기 때문에 가능하다.

모형화의 시발점으로 항목이 선택되면, 시스템은 사용자에게 현재 지식베이스에 포함되어 있는 모든 항목들을 보여준다. 사용자가 이들중에서 모델에서 고려하고자하는 항목들을 선정하면, 시스템은 내부적인 모형화 지식 베이스의 네트워크 구조를 추적함으로써 관련되는



< 그림 5-6 > 관련분야 명확화

제약식과 목적함수를 자동적으로 도출한다. 또한 시스템은 사용자에게 선택한 항목의 주위에 있는 다른 항목도 관심의 대상에 포함되는가를 묻고, 포함여부를 결정한다. 제약식으로 부터 모형화를 시작하는 경우도 이와 유사한 논리를 따른다. 이시점까지는 선형계획 모형은 의미론적으로 정의되고 있다. 그러나, 수치 계수를 갖는 개별 제약식을 유일하게 정의하기 위해서는 필요하다면 애매성을 제거하는 과정을 통해서 선형계획 모형을 더욱 정교화할 필요가 있다.

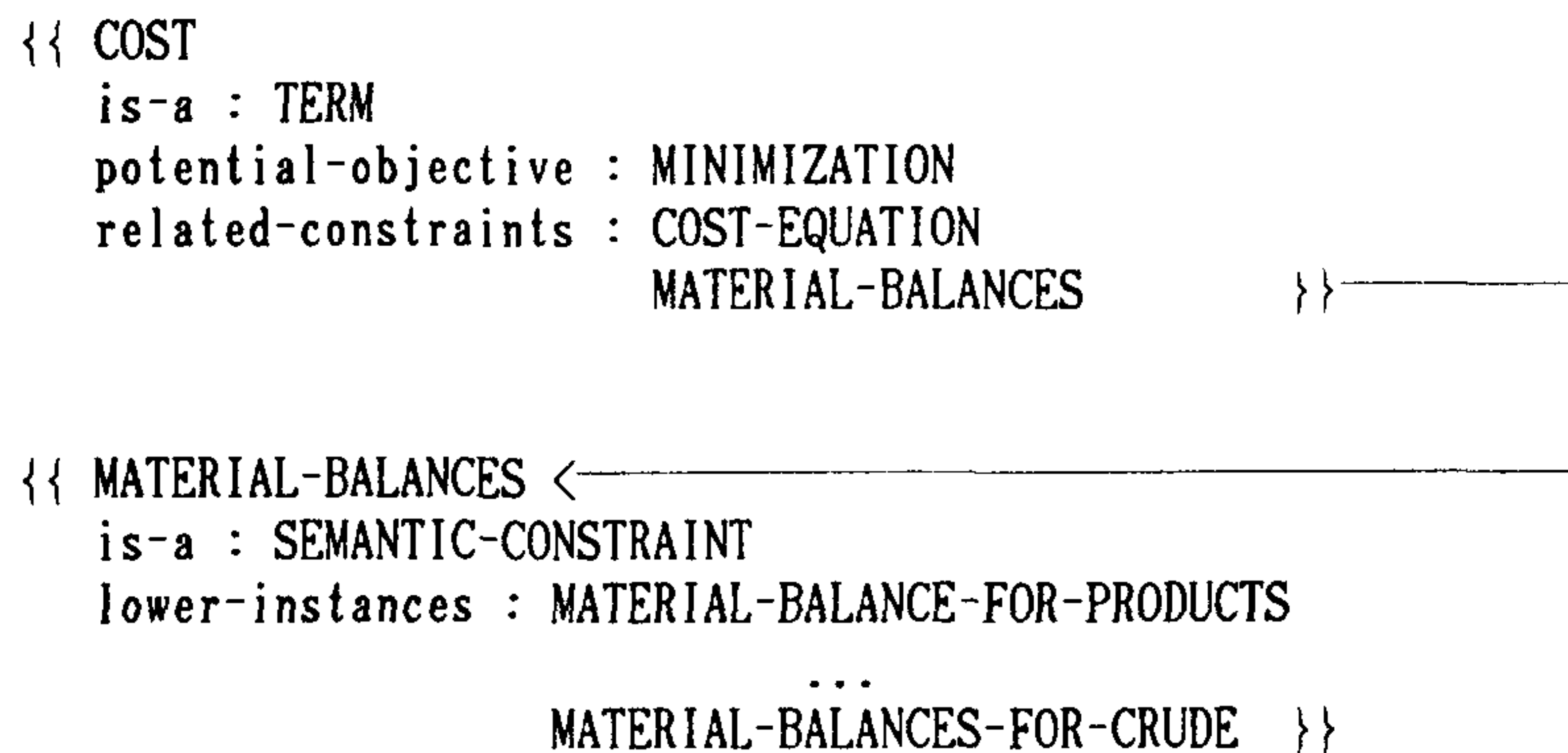
5.5.2 목적함수의 생성

제약식 네트워크를 사용하면 잠재적 목적함수들을 추적하여 선택할 수 있다. 전

단계에서 시스템은 사용자가 선택한 모든 중요한 항목들을 표시해 놓고 있다. 선택된 항목과 관련되는 목적함수들을 추적함으로써, 시스템은 자동적으로 목적함수를 제시한다. 만약에 목적함수가 두개 또는 그 이상일 경우에 시스템은 사용자에게 이중에서 하나를 주요 목적함수로 할 것을 요구한다. 주요 목적함수가 결정되고 나면, 주요 목적함수와 연결되어 있는 추가적인 항목과 제약식들이 자동적으로 모델에 포함된다. 그러나, 주요 목적함수와는 연결이 되어있지 않고, 다른 목적함수와 연결된 항목과 제약식은 모델에서 제외된다. 또한 관련된 다른 목적함수의 값들은 보고의 목적으로 주요 목적함수의 값을 기준으로 계산한다.

5.5.3 제약식의 유도

UNIK-OPT 시스템에서는 의사결정변수와 주요 목적함수와 연관 되어있는 제약식을 자동적으로 유도해 낸다. 이것은 제약식 네트워크의 고유한 특성에 의해서 가능하다. 다음의 예제는 이러한 논리의 과정을 보여준다.



관련분야 명확화의 단계에서 사용자에게 의해서 선택된 제약식이라 하더라도, 주요 목적함수와 관련이 없는 것들은 제외된다. 이 단계를 거치면, 주요 목적 함수와 제약식들은 선형계획 모형을 형성하게 된다. 각각의 제약식에 대해서, 모형의 작성자는 특정의 항목을 결정 변수로 취급할 것인가 아니면 상수로 간주할 것인가를 결정하게 된다.

또한 항목의 어떤 부분이 우변상수에 위치할 것인가도 결정할 수 있다. 항목의 합계나 제약식의 단위등에 애매성이 존재하면 이는 애매성을 제거하는 과정을 통해서 제거될 수 있다.

애매성 제거과정을 통해서, 지수들은 삭제되거나 첨가되어질 수 있다. 수정된 지수 집합을 사용하여 합계를 위한 순서쌍이 생성 된다.

5.5.4 표기적 형태의 모형생성

전 단계들을 통해서 만들어진 모형의 정의들을 기초로해서, 기술적이고 표기적 형태의 선형계획 모형을 합성할 수 있다. 선형계획 모형 생성기는 순서쌍을 평가하고, 각 제약식의 내부적 표현을 문법에 맞게 분할한다. 평가된 순서쌍을 중심으로, 각 항목의 심볼이 생성되어 표기적 제약식의 정해진 위치에 결합된다.

표기적 선형계획 모형은 다음의 순서를 따라서 생성된다.

단계1. 관련분야 명확화 단계를 통해서 정의된 지수집합들을 생성한다.

예를 들면,

$$*SELECTED-CDU* = \{ A, C, X, Y \}$$

$$*SELECTED-CRUDE* = \{ ARH, KWT, SUZ \}.$$

단계2. 생성된 지수집합에 대해서 카아티잔 합을 구하고, 이를 평가하여 새로운 지수집합을 정의한다.

SELECTED-CDU 와 *SELECTED-CRUDE* 의 카아티잔 합인 *CRUDE-CHARGE* 를 생성하고, 이를 평가한다.

$$*CRUDE-CHARGE* = \{ (A ARH), (C ARH), (A KWT), (C KWT), (A SUZ), (C SUZ) \}$$

평가는 관련분야 지식에 의해서 지원된다. 위의 카아티잔 합은 "고유황 원유는

상업증류 탑 A 와 C 에서 처리해야만 한다." 는 지식에 의해서 평가된 것이다.

단계3. 단계1과 단계2에서 생성된 지수집합을 제약식 프레임의 슬롯과 페시 (facet) 에 바인딩한다. 슬롯에는 전술한 바있는 individual-index, variable-index, coefficient-index, sigma-index 등이 있다.

```
{ { MATERIAL-BALANCES-FOR-CRUDE
instance-of : CONSTRAINT-EQUATION
higher-instances : MATERIAL-BALANCES
operator : LE
individual-constraint-index : *SELECTED-CRUDE*
has-LHS : ( CRUDE-CHARGE (variable-index *CRUDE-CHARGE*)
              (coefficient-index *CRUDE-CHARGE*)
              (sigma-index *SELECTED-CDU*))
has-RHS : CRUDE-PURCHASE }
```

단계4. 제약식 프레임과 관련 항목에 저장되어 있는 지수집합을 사용하여, LHS 와 RHS 의 표기적 심볼을 생성한다.

SELECTED-CRUDE = { ARH KWT SUZ }

```
{ { CRUDE-PURCHASE
is-a : TERM
related-constraints : MATERIAL-BALANCE-FOR-CRUDE
symbol : MBUY }
```

Generated symbols --> { MBUYARH MBUYKWT MBUYSUZ }

CRUDE-CHARGE = { (A ARH), (C ARH), (A KWT), (C KWT),

(A SUZ), (C SUZ) }

{{ CRUDE-CHARGE

is-a : TERM

related-constraints : MATERIAL-BALANCE-FOR-CRUDE

symbol : VCR }}

Generated symbols --> { VCRAARH VCRAKWT VCRCARH ... VCRCSUZ }

단계5. 생성된 LHS 와 연산자, 그리고 RHS 를 순차적으로 결합한다.

총체적 표기로는,

SUM{*SELECTED-CDU*}VCR{*CRUDE-CHARGE*}

<= MBUY{*SELECTED-CRUDE*} for all *SELECTED-CRUDE*

이것은 다음과 같은 개별 제약식으로 표시가 가능하다.

--> VCRAARH + VCRCARH <= MBUYARH

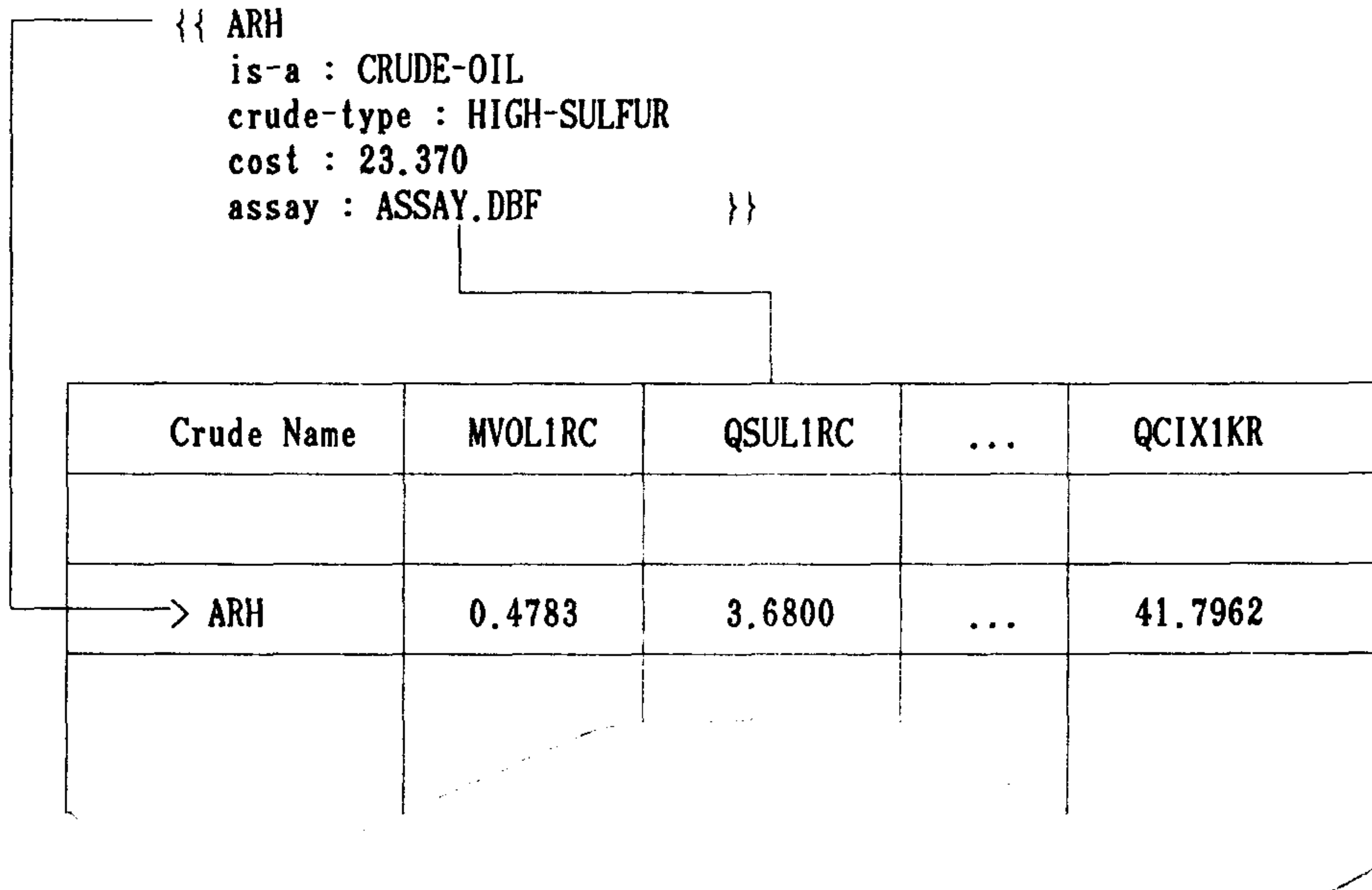
VCRAKWT + VCRCKWT <= MBUYKWT

...

5.5.5 계수 수치의 공급 - 데이터 베이스와의 연결

모형의 구조가 완성된 다음의 모형화 단계는 우변상수와 계수의 값을 주는 것이다. 데이터 값은 프레임으로 표현된 응용분야 지식과 외부 데이터 베이스에 저장되어 있다. 동적으로 변하는 데이터, 예를 들면 제품의 가격이나 원재료의 원가등, 는 프레임에 저장되어 있다. 반면에 원유의 성상, 제품의 수율등 정적인 데이터는 외부의 관계형 데이터 베이스에 저장되어 있다. 프레임과 외부 데이터 베이스의 구조가 다음에 예시되

어 있다.



만약에 숫자 값이 프레임에서 직접적으로 얻어지면 이를 이용한다. 그러나, 슬롯의 값이 외부의 데이터 베이스를 지정하고 있으면, 시스템은 자동적으로 이 데이터 베이스로부터 필요한 수치 데이터를 가져온다. 수치 데이터가 없으면 시스템은 사용자에게 이를 요구한다.

데이터 베이스로부터 공급되는 수치는 모형의 단위에 맞게 변환된다. 같은 데이터에 대한 필요는 단위의 변화에 따라서 매우 다양하다. 이것으로 모형의 작성은 완성된다. 이로부터 특정 알고리즘을 사용하기 위한 포맷으로 바꾸는 것은 간단한 변환으로 가능하다.

6. UNIK-TRANS

6.1 UNIK-TRANS의 개요

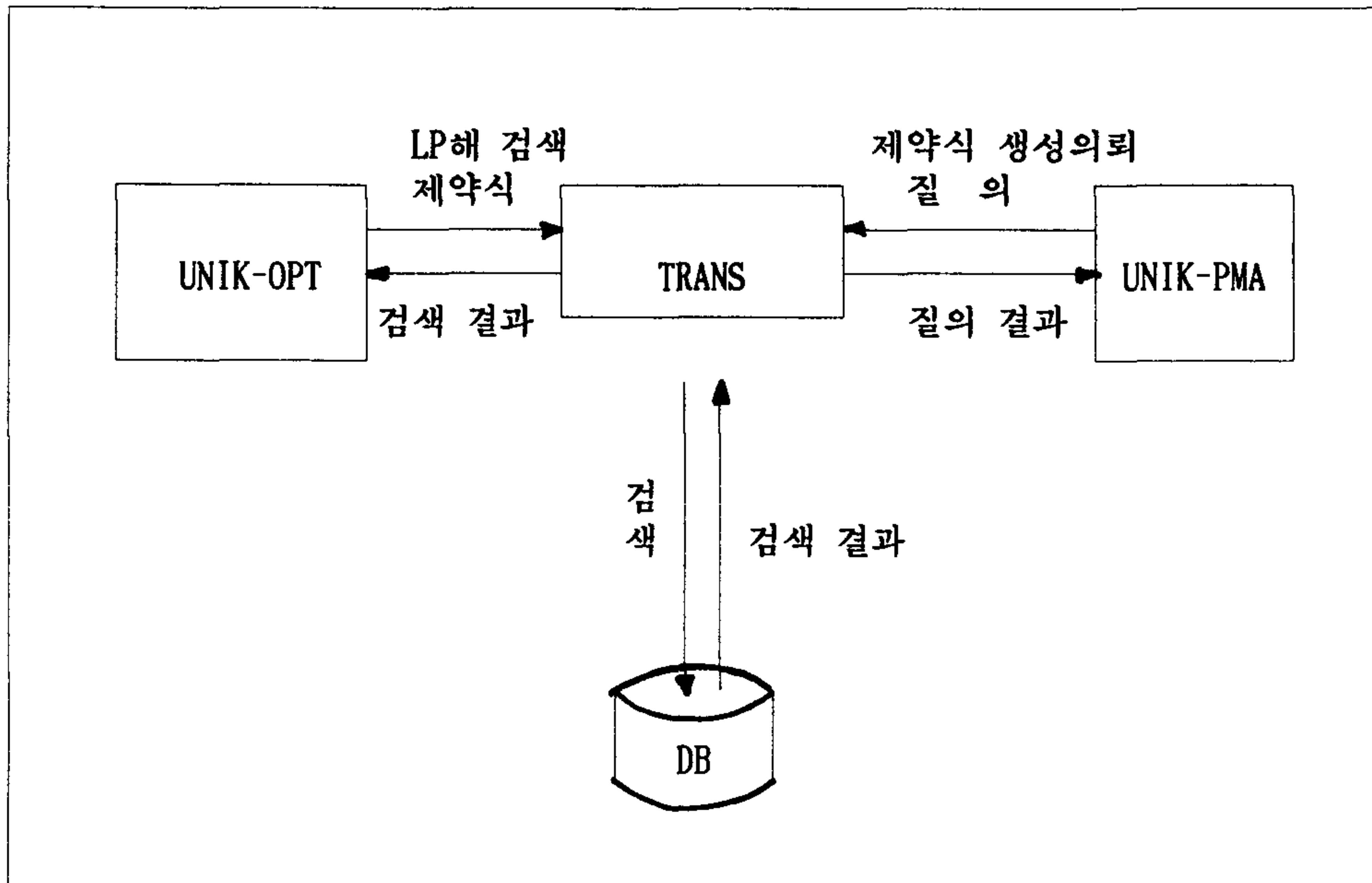
UNIK-TRANS는 규칙의 형태로 표현된 지식을 선형계획모형의 제약식으로 사용할 수 있도록 변환하거나, 규칙에서 사용하는 계량변수나 수치자료의 값을 데이터베이스나 선형계획모형의 해로부터 가져와 추론에 이용할 수 있도록 한다. 즉, UNIK-PMA는 질적(Qualitative) 요소와 계량적(Quantitative) 요소를 동시에 고려하여 해를 구하는 지식베이스 전문가 시스템이므로, 규칙으로 표현된 지식을 계량모형에 반영할 수 있는 형태로 변환할 필요가 생긴다. 또한 계량모형의 해를 전문가 시스템의 추론에 사용하여야 하는 경우가 생긴다. 이러한 목적을 달성하기 위한 수단이 UNIK-TRANS이다.

UNIK-TRANS의 기능은 크게 두가지로 나누어진다. 첫째는 전문가 시스템의 지식베이스에 있는 계량모형관련 규칙을 UNIK-OPT가 사용할 수 있도록 하는 제약식 생성(Constraint generation)기능이며, 둘째는 UNIK-PMA가 규칙에 포함된 변수의 실제 값을 알고자 할 때 그 값을 데이터베이스나 선형계획법의 해로부터 찾아 되돌려 주는 질의(Query) 기능이다.

UNIK 시스템에서 다른 요소와의 관점에서 UNIK-TRANS의 기능을 도식으로 표현하면 <그림 6-1>과 같다.

6.2 UNIK-TRANS의 기능

6.2.1 제약식 생성기능



<그림 6-1> UNIK-TRANS의 기능

(1) 규칙문장(Statement)의 파싱(Parsing)

UNIK-PMA는 추론과정을 거쳐 사용자에게 목적(Goal)의 만족여부를 묻게되는데, 사용자가 그 목적에 만족하지 못하는 경우 새로운 목적의 단계(Level)를 설정하고 그 목적을 만족시키기 위하여 기존의 계량모형에 새로운 제약식을 추가할 필요가 생기게 된다. 이 과정에서 변경된 목적과 관련된 선형계획관련 규칙을 제약식으로 변환하기 위하여 UNIK-TRANS가 사용된다.

제약식 생성기능은 UNIK-PMA가 전문가 시스템의 지식베이스에 있는 선형계획법 관련 규칙을 UNIK-OPT에 반영시키기 위해 제약식의 프레임으로 변환하는 기능이다. UNIK-PMA는 변환되어야 할 문장을 UNIK-TRANS에 넘겨 주게되며, UNIK-

TRANS는 파싱(Parsing)과 지수(Index)의 불일치부분 확인 (Inconsistency check)을 거쳐 제약식 프레임을 만들게 된다.

제약식 생성은 하나의 규칙문장(Statement)뿐만 아니라 다중의(multiple) 규칙문장(Statement)에 대해서도 한번에 가능하며 새로 생성되는 프레임의 이름에 번호를 붙여서 구분한다.

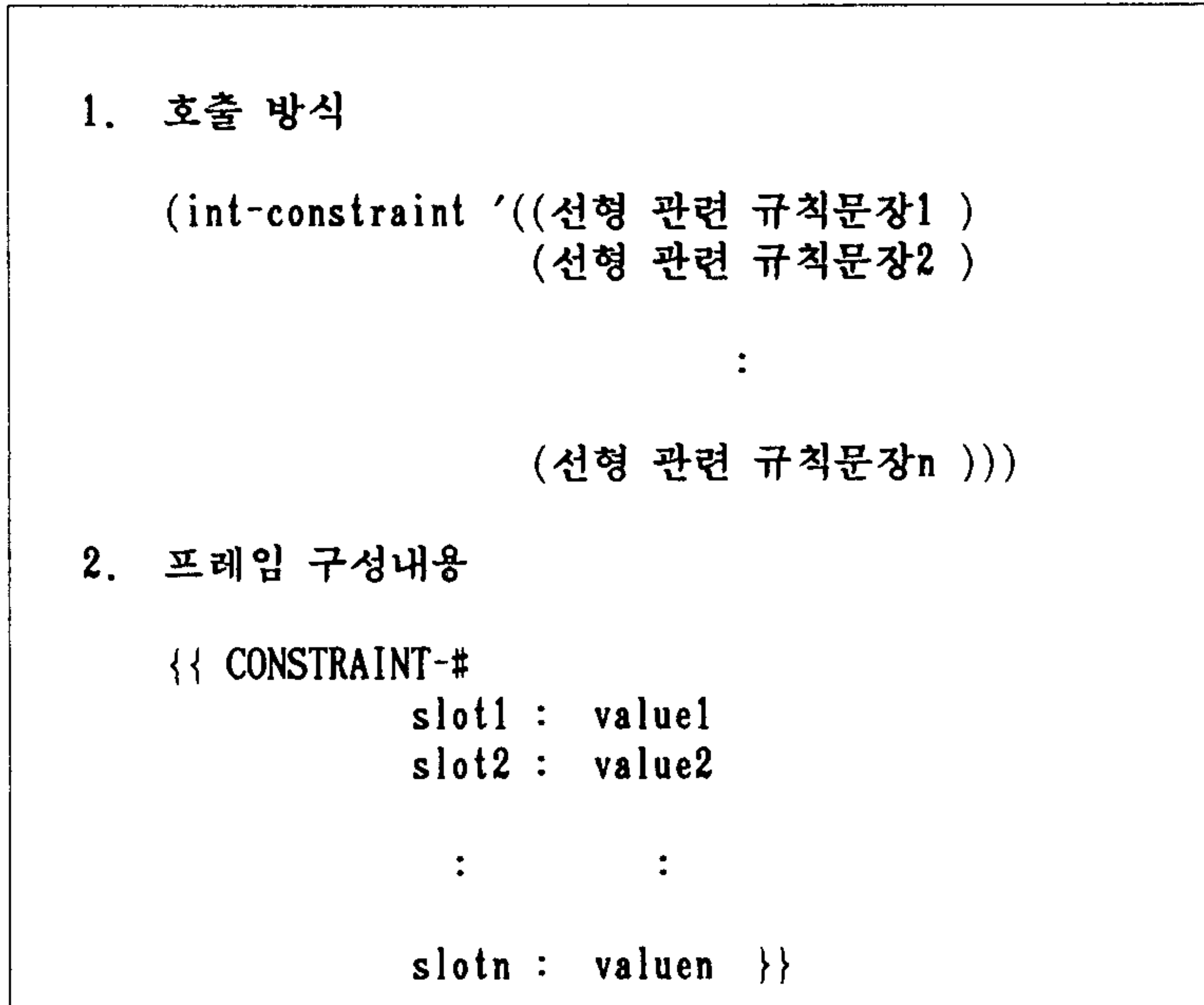
UNIK-TRANS는 우선 UNIK-PMA에서 넘어온 규칙문장(Statement)을 파싱(Parsing)을 통해 선형계획법에 관련된 요소로 분해하여 구분한 후 CONSTRAINT-# (#은 번호를 의미함)라는 새로운 제약식 프레임을 생성한다. 그런데 UNIK-TRANS가 규칙문장(Statement)를 각 구성요소로 구분하기 위해서는 Statement가 특별한 형식을 취해야 한다. 이 형식을 '제한된 문법'이라 하는데 이에 대해서는 다음 절에서 설명하도록 하겠다.

파싱(Parsing)의 구체적 내용에 대해서는 기술보고서에 나타나 있으므로 참조하기 바란다.

(2) 제약식 프레임의 생성

UNIK-TRANS에서 만들어지는 내용은 실제 선형계획법에서 사용하는 형식이 아니라 선형계획법 제약식의 각 요소를 의미론적인 형태의 프레임에 저장하게 된다. 이 프레임의 이름은 CONSTRAINT-#가 되며, 프레임의 slot에는 구성요소가, value에는 구성요소의 값이 들어 가게 된다. 이러한 프레임 형태의 제약식은 UNIK-OPT에 의해 일반적인 선형계획법이 사용하는 형태의 제약식으로 변환되어 새로운 해를 얻는데 이용된다.

제약식 생성을 위한 함수를 호출하는 방식과 그 결과로 생성된 프레임의 구성 내용은 <그림 6-2>와 같다.



<그림 6-2> 제약식 생성함수의 호출과 제약식 프레임

(3) UNIK-OPT와의 자료 교환(Interface)

UNIK-OPT와의 자료교환은 새로이 만들어진 CONSTRAINT-#라는 프레임을 통하여 이루어 진다. 즉 CONSTRAINT-#의 slot과 value를 이용하여 실제 필요한 제약식을 만들게 된다.

6.2.2 질의(Query) 기능

(1) 질의 문장(Statement)의 파싱(Parsing)

질의는 UNIK-PMA가 데이터 베이스와 관련된 규칙의 수치 지식값을 데이터 베이스에서 검색하거나 선형계획모형 관련 규칙의 계량변수 값을 선형계획법의 해로부터 얻고자 할 때, 대상이 되는 규칙을 UNIK-TRANS에 넘기게 되며, UNIK-TRANS는 규칙을 각 요소로 분해하여 필요한 값을 데이터 베이스나 선형 계획모형의 해에서 찾아 UNIK-PMA에 넘겨주는 것을 말한다. 질의의 결과로 돌아온 값은 추론과정에서 사용하게 된다.

질의도 하나의 규칙문장(Statement)뿐만 아니라 다중의(multiple) 규칙문장(Statement)에 대해서도 가능하며, 이 때는 여러 개의 값을 돌려받아 추론에 이용할 수 있다. 질의에서 사용하는 규칙문장(Statement)은 선형계획법 제약식을 위해 사용하는 규칙문장(Statement)과 매우 유사한데 이 규칙문장(Statement)에 대해서도 다음 절에서 설명하겠다.

(2) UNIK-PMA와의 자료교환(Interface)

UNIK-TRANS의 질의는, 제약식 생성과 달리 실제 값을 UNIK-PMA에 되돌려 줌으로써 곧바로 추론에 이용할 수 있다.

6.3 선형계획모형관련 규칙문장(Statement)의 구조

6.3.1 개관

UNIK-TRANS에서 사용할 수 있는 선형계획법관련 규칙문장(Statement)는 일반적인 규칙을 표현하는 모든 방식을 사용할 수는 없으며 '제한된 문법(Syntax)'이라는 특별한 형식을 가져야 한다.

6.3.2 제한된 문법(Syntax)

제한된 규칙의 구조는 다음과 같으며, 각각의 요소에 대해서 살펴보기로 하겠다.

(전체 고유어)	(결정 변수 또는 데이터베이스 항목)
(지수 부분)	(관계 연산자) (우변 상수RHS)

(1) 전체 고유어(Global primitive): 규칙문장(Statement) 전체와 관련된 고유어.

. ALL : 규칙문장에 나타난 결정변수나 데이터베이스의 항목 모두를 나타낼 때 사용.

. AVERAGE : 결정변수나 데이터 베이스항목들의 평균을 의미.

. SUM_OF : 결정변수나 데이터베이스 항목의 총합을 가리킬 때 사용.

. TOTAL : SUM_OF와 같은 의미로 사용.

(2) 결정변수(Decision Variables): 결정변수의 계수를 가진 결정변수가 오게 되는데 표현방식은 '계수가 고려된 결정변수'가 된다.

예) overtime_wage_rate

결정변수: overtime_labor_manhour

계수 : unit_overtime_labor_cost

(3) 데이터베이스 항목(Attribute): 결정변수가 아닌 경우 데이터베이스의 항목이
올 수 있다.

(4) 지수부분: 지수(index)를 나타내는 부분으로 맨 앞에 FOR가 온다.

FOR (고유어) <품목 지수> <시간 지수> (예외 지수)

. 고유어(primitive): 지수부분에 나타나는 고유어으로써 ALL, AVERAGE, SUM_
OF, TOTAL이 있다.

. 품목 지수(Product index): 상품의 종류를 나타낸다.

. 시간 지수: 기간을 나타내며 FROM <time> TO <time>의 형식을 가진다.

. 제외 지수(excluding index): 예외 항목을 나타내기 위해 사용하며 형식은
EXCEPT <product index> <time index> 이다.

(5) 관계 연산자(Relational operator) : 값을 비교하기 위해 사용하며, <, >,
<=, >=, =이 있다.

(6) 우변상수(Right hand side): 상수항이 온다.

6.4 UNIK-TRANS의 사용예

6.4.1 제약식 생성의 사용예

다음과 같은 형태의 규칙문장(Statement)을 UNIK-OPT가 사용할 수 있도록 프레임으로 만드는 것을 예로 들어 보자. 이 예에서는 두개의 규칙문장(Statement)를 제약식 프레임으로 변환하는 것을 보여 준다.

```
(int-constraint '((TOTAL firing FOR ALL heater  
  
FROM 1st_quarter TO 4th_quarter <= 100)  
  
(SUM_OF wage-rate FOR ALL heater  
  
FROM 1st_quarter TO 4th_quarter EXCEPT heater-1  
  
FROM 1st_quarter TO 2nd_quarter >= 50000))))
```

위의 예에 의해 만들어진 프레임은 두 개인데 그 내용은 다음과 같다.

```
{{ CONSTRAINT-1
```

```
DESCRIPTION: "Additional constraint generated from KB"
```

```
INSTANCE: CONSTRAINT
```

```
HAS-VARIABLES: REGULAR-FIRED-MANHOURL
```

```
HAS-COEFFICIENT: 1
```

```
RELATIONAL-OPERATOR: <=
```


RIGHT-HAND-SIDE: 100

HAS-INCLUDING-PRODUCT-INDICES: HEATER-1 HEATER-2

HAS-EXCLUDING-PRODUCT-INDICES:

GLOBAL_PRIMITIVE: TOTAL

PRIMITIVE: ALL

STARTING_TIME_INC-INDEX: 1ST_QUARTER

ENDING_TIME_INC-INDEX: 4TH_QUARTER

STARTING_TIME_EXC-INDEX:

ENDING_TIME_EXC-INDEX: }}

{ CONSTRAINT-2

DESCRIPTION: "Additional constraint generated from KB"

INSTANCE: CONSTRAINT

HAS-VARIABLES:

 REGULAR_LABOR_MANHOURS OVERTIME_LABOR_MANHOURS

HAS-COEFFICIENT:

 UNIT-REGULAR-LABOR-COST UNIT-OVERTIME-LABOR-COST

RELATIONAL-OPERATOR: >=

RIGHT-HAND-SIDE: 50000

HAS-INCLUDING-PRODUCT-INDICES: HEATER-1 HEATER-2

HAS-EXCLUDING-PRODUCT-INDICES: HEATER-1

GLOBAL_PRIMITIVE: SUM_OF

PRIMITIVE: ALL

STARTING_TIME_INC-INDEX: 1ST_QUARTER

ENDING_TIME_INC-INDEX: 4TH_QUARTER

STARTING_TIME_EXC-INDEX: 1ST_QUARTER

ENDING_TIME_EXC-INDEX: 2ND_QUARTER }}

이와 같은 프레임을 이용하여 UNIK-OPT에서는 다음과 같은 제약식을 만들게 된다.

$$\sum_{i=1}^2 \sum_{t=1}^4 F_{it} \leq 100$$

$$\sum_{t=3}^4 (r_{1t} W_{1t} + o_{1t} O_{1t}) + \sum_{t=1}^4 (r_{2t} W_{2t} + o_{2t} O_{2t}) \geq 50000$$

6.4.2 질의(Query)의 사용예

Heater의 종류가 Heater-1, Heater-2의 두 종류가 있으며, 두 Heater에 대한 자료가 각각 <표 6-1>과 <표 6-2>와 같이 주어질 때, 모든 Heater의 1월부터 10월

까지의 수요의 총합을 나타내는 규칙문장은 TOTAL demand OF ALL heater FROM jan TO oct이며, 이 값을 알고자 할 때는 다음과 같이 int-query function을 부른다.

(int-query '((TOTAL demand OF ALL heater FROM jan TO oct)))

--->

(4350)

이 때 int-query는 Heater-1의 1월부터 10월까지의 수요와 Heater-2의 1월부터 10월까지의 수요를 데이터베이스에서 모두 찾아 합한 값을 돌려 주게 된다.

<표 6-1> Heater-1의 데이터베이스 내용

	attribute-1	...	demand	unit-production -cost	unit-overtime- labor-cost	...
Jan.			400	1400	150	
Feb.			350	1400	140	
Mar.			300	1300	130	
Apr.			150	1300	120	
May			100	1100	120	
Jun.			200	1000	110	
Jul.			250	1300	110	
Aug.			300	1400	120	
Sep.			400	1500	130	
Oct.			550	1750	140	
Nov.			650	1800	150	
Dec.			800	2000	160	

한편 두개의 규칙문장(Statement)에 대해 동시에 질의하는 예는 다음과 같다. 첫 번째 규칙문장은 앞의 예와 동일하며 두번째 규칙문장은 모든 Heater의 단위 생산비의 평균을 알고자 하는 것이다. 이때 int-query는 Heater-1과 Heater-2의 자료로부터 단위 생산비를 찾아 그 평균을 계산하여 돌려주게 된다.

<표 6-2> Heater-2의 데이터베이스 내용

	attribute-1	...	demand	unit-production -cost	unit-overtime- labor-cost	...
Jan.			450	1300	150	
Feb.			300	1200	140	
Mar.			200	1100	130	
Apr.			150	1100	120	
May			150	1000	120	
Jun.			250	900	110	
Jul.			200	1100	110	
Aug.			350	1300	120	
Sep.			450	1400	130	
Oct.			650	1550	140	
Nov.			700	1700	150	
Dec.			850	1900	160	

(int-query '((TOTAL demand OF ALL heater FROM jan TO oct)

(AVERAGE unit-production-cost OF ALL heater)))

--->

(4350 136.6667)

여기에서 4350은 총 수요(TOTAL demand)를 가리키며, 136.6667은 평균 생산 비용을 의미한다.

7. UNIK-PMA

7.1 UNIK-PMA 개요

UNIK-PMA는 질적요소(Qualitative factor)와 계량적요소(Quantitative factor)가 혼재된 문제를 체계적으로 해결하기 위한 시스템이다. UNIK-PMA는 UNIK-BWD를 기본적인 시스템으로 채택하여 추론 기능을 담당하고, 계량 모형을 담당 하고 있는 UNIK-OPT와의 연결이 필요한 경우에는 UNIK-INTERPRETER를 이용한다. 계량 요소와 질적 요소간의 상호 절충(Trade-off)을 위하여 PMA(Post-Model Analysis) 이론을 이용한다. 그러므로, UNIK-PMA는 전문가 시스템과 계량 모형간을 체계적으로 연결해주는 시스템이다.

7.2 PMA 개요

PMA 이론은 1 차년도 보고서 및 논문 [Lee(1985) (1986) (1987)] 에 상술되어 있으며, UNIK-PMA에서 이용되는 이론을 살펴보면 다음과 같다.

7.2.1 PMA(0,t)

PMA(0,t) 는 계량 목적이 없고 질적 목적간의 상호 절충이 필요한 경우에 이용된다. 계량 모형과의 연결이 없고 전문가 시스템의 지식 베이스만을 이용하여 추론하는 경우에 해당된다. 목적 마디(Target Node)를 선택하는 경로(Path)에 따라 추론 결과가 달라질 수 있는 경우에 이 알고리즘(Algorithm)을 이용하면 체계적으로 여러 가지 대안(Alternative)을 제공하므로 열등하지 않은 해집합(Nondominated solution set)을 발견할 수 있다.

7.2.2 PMA(1,t)

PMA(1,t)는 계량 목적이 1 개이고 여러 개의 질적 목적간의 상호 절충이 필요한 경우에 이용된다. 전문가 시스템 추론시에 선형 계획 모형(LP model)의 목적값(Objective value)과 질적 목적들간의 상호 절충이 필요한 경우에 열등하지 않은 해집합(Nondominated solution set)을 발견하기 위해 이 알고리즘을 이용한다.

7.3 주요 기능

UNIK-PMA가 제공하는 주요 기능들은 다음과 같다. 각 기능들은 함수(Function) 키와 연결되어 있어서 사용자가 원하는 기능을 즉시 알아볼 수 있다. UNIK-PMA 는 자신의 고유 기능외에도 UNIK 시스템의 각 구성 시스템들의 수행 흐름을 총괄적으로 관리하는 기능도 갖고 있는데, 고유 기능과 함께 7.4 에 사용 예를 화면과 함께 설명하였다.

7.3.1 Rule

Rule 기능은 1번 함수 키에 대응된다. 이 기능이 이용되는 경우는 다음 2 가지이다.

- (1) 추론 중 질문하고 있는 특정 사실과 관련된 규칙을 알고자 하는 경우

UNIK-BWD를 이용하여 전문가 시스템 추론 도중에 특정 사실에 관하여 사용자에게 질문하는 경우, 이 사실과 관련된 규칙을 보여준다.

- (2) 추론 후 결론(Conclusion)과 관련된 규칙을 알고자 하는 경우

추론이 끝난 후에 결론을 사용자에게 보여줄 때, 특정 목적과 관련된 규칙을 알고자 하는 경우에 이용한다.

7.3.2 Fact Base

Fact Base 기능은 2번 함수 키에 대응된다. 이용되는 경우는 7.3.1 의 Rule 과 마찬가지로, 추론 중이거나 또는 추론 후 결론 목적을 보여주는 시점에서 Fact Base 키를 누르면 현재까지의 추론 결과로 얻어진 사실들을 보여준다. 이 사실들은 사실 베이스 안에 저장되어 있던 것으로 사용자가 입력한 값이나 추론 중 유추된 중간 목적(Subgoal)으로 이루어져 있다.

7.3.3 Solution Set

Solution Set 기능은 3번 함수 키에 대응된다. 이 기능은 추론이 끝난 후 결론 목적들을 보여줄 때, 사용자가 현재의 결론 목적들에 만족하지 않고 현재의 결론 목적 집합과 비교해서 열등하지 않은 다른 결론 목적 집합을 추출하고 싶은 경우에 이용한다.

7.3.4 MRS Comparison

MRS(Marginal Rate of Substitution) Comparison 기능은 4번 함수 키에 대응된다. 이 기능은 서로 다르지만 상호 열등하지 않은 관계에 있는 두 개의 결론 목적 집합을 비교할 때 이용한다. 화면을 2 개로 나누어서 두 개의 목적 집합을 비교할 수 있도록 해준다.

7.3.5 Goal Range

Goal Range 기능은 5번 함수 키에 대응된다. 이 기능은 현재 결론 목적들을 사용자가 만족하지 않는 경우에, 사용자가 목적의 단계(Level)를 변화시키고 싶은 경우에 이용한다.

7.3.6 Interrupt

Interrupt 기능은 10번 함수 키에 대응된다. 이 기능은 추론 중이나 추론 후 결론 목적을 보여 주는 경우에 수행을 정지하고 주 메뉴로 돌아가고자 할 때 이용한다.

7.4 사용 예

7.4.1 전체 시스템 화면

UNIK-PMA는 UNIK 시스템을 구성하는 각 시스템을 필요시에 연결해주는 역할을 하고 있으므로 <그림 7-1> 의 UNIK 시작 화면부터 UNIK-PMA 가 관리한다. 이 화면은 GCLISP 명령어 대기 상태 - 에서 "(unik-start)" 를 수행했을 때 처음으로 나오는 화면이다. 사용자가 선형 계획 모형을 이용하고 싶은 경우에는 메뉴에서 "Optimization Modeling" 항목을 선택한다. 이 경우, UNIK-OPT 가 모형의 선택, 생성 및 해를 구하는 과정을 담당하게 된다 - 이 과정은 5장을 참조하기 바란다 -. 전문가 시스템을 이용하고 싶은 경우에는 메뉴에서 "Expert System" 항목을 선택한다. 이 경우에는, UNIK-BWD 및 UNIK-PMA 가 지식 베이스의 생성 및 추론 기능을 담당하게 된다 - UNIK-BWD 부분은 3.5 를 참조하기 바란다 -. 전문가 시스템과 계량 모형을 함께 추론 할 필요가 있는 경우에는, "Integrated System" 항목을 선택 한다. 이 때는 UNIK-OPT, UNIK-BWD, UNIK-INTERPRETER, UNIK-PMA 등 UNIK 전 시스템들이 동원된다. 이 항목을 택하면 <그림 7-2> 의 화면이 나타난다.

(1) 계량 모형의 선택

<그림 7-2> 의 화면에서 "Select Optimization Model" 을 선택하면 추론에 필요한 계량 모형을 선택하는 <그림 7-3> 의 화면이 나타난다. 이 모형들은 UNIK-OPT

를 이용하여 사용자가 만들어 놓은 모형들이다. 만일 새로운 모형을 만들고 싶은 경우에는 "ESC" 키를 이용하여, 현재 화면을 취소하고 <그림 7-1> 의 화면으로 돌아가서 "Optimization Modeling" 항목을 선택해서, 모형을 생성한 후 다시 <그림 7-2> 의 화면으로 돌아오면 된다.

(2) 전문가 시스템 지식 베이스 선택

<그림 7-2> 의 화면에서 "Select Knowledge Base" 를 선택하면 추론에 필요한 지식 베이스를 선택하는 <그림 7-3> 과 같은 종류의 화면이 - Directory 와 화일은 다르다 - 나타난다. UNIK-BWD 를 이용하여 작성되어 디스크에 보존되어 있는 지식 베이스를 선택하도록 한다. 만약, 선택한 지식 베이스가 "PRL" 화일 - 화일 이름의 첨자가 "PRL"로 끝나는 화일을 의미한다 - 즉 규칙형 지식 베이스인 경우는 컴파일된 후 추론에 이용된다. "FRL" 화일 - 화일 이름 첨자가 "FRL"로 끝나는 화일을 의미한다 - 즉 프레임으로 이미 컴파일된 지식 베이스인 경우에는 바로 추론에 이용할 수 있다. 과거에 만들어 놓은 것이 아닌 새로운 지식 베이스를 생성해서 이용하고 싶은 경우에는 "ESC" 키를 이용해서 현재 화면을 취소하고 <그림 7-1> 의 화면으로 돌아가서 "Expert System" 항목을 선택해서, UNIK-BWD 를 이용하여 지식 베이스를 생성한 후, <그림 7-2> 의 화면으로 돌아오면 된다.

(3) 추론 방향 설정

<그림 7-2> 의 화면에서 "Inference" 항목을 선택하면 <그림 7-4> 의 화면이 나타난다. 이 화면은 추론을 시작하기 전에 계량 모형의 해를 먼저 구할 것인지, 아니면, 추론을 일단 시작한 후, 계량 모형을 필요로 하는 시점에서 계량 모형의 해를 구할 것인지 여부를 선택한다. 이 선택은 전문가 시스템 추론 중에 계량 모형 관련 변수 값을 필요로 하는 규칙들이 얼마나 많은가의 여부에 달려 있다. 전문가 시스템 지식 베이

스의 많은 규칙들이 계량 변수와 관련된 문장을 가진 경우에는 사전에 미리 선형 계획 모형의 해를 구해 놓는 것이 좋다. 만일, 계량 모형 관련 문장을 가진 규칙이 적어서 추론 중에 그 규칙이 이용되지 않을 가능성이 높은 경우에는 전문가 시스템의 추론을 바로 시작하는 것이 좋다.

UNIK	Top Level
<p>The UNIK system has the following sub-systems. Select one of the followings.</p> <p>Optimization Modeling Expert System Integrated System Quit</p>	
[F1] Help	

<그림 7-1> UNIK 시스템 최상위 화면

UNIK-PMA	Top Level
<p>UNIK-PMA integrates optimization models with expert systems. Select one of the followings.</p> <p>Select Optimization Model Select Knowledge Base Inference</p>	
[F1] Help	[ESC] Previous

<그림 7-2> UNIK-PMA 최상위 화면

UNIK-PMA		Top Level						
UNIK-PMA integrates optimization models with expert systems. Select one of the followings.								
Select Directory : C:WUNIKWLP-KB								
Select	<table border="1"> <tr> <td>APP-1</td> <td>APP-2</td> <td>APP-3</td> </tr> <tr> <td>PLANT-1</td> <td>PLANT-2</td> <td></td> </tr> </table>		APP-1	APP-2	APP-3	PLANT-1	PLANT-2	
APP-1	APP-2	APP-3						
PLANT-1	PLANT-2							
Infer								
[F1] Help		[ESC] Previous						

<그림 7-3> 선형 계획 모형 선택 화면

UNIK-PMA		Top Level		
UNIK-PMA integrates optimization models with expert systems. Select one of the followings.				
Select Optimization Model				
Select Knowledge Base				
Inference	<table border="1"> <tr> <td>Optimization Model --> Expert System</td> </tr> <tr> <td>Expert System --> Optimization Model</td> </tr> </table>		Optimization Model --> Expert System	Expert System --> Optimization Model
Optimization Model --> Expert System				
Expert System --> Optimization Model				
[F1] Help		[ESC] Previous		

<그림 7-4> UNIK-PMA 추론 방향 설정 화면

7.4.2 UNIK-PMA 관련 화면

UNIK-PMA 관련 화면은 <그림 7-2> 의 화면에서 "Inference" 항목을 선택하여 추론을 시작하여, 사용자와의 질의를 통하거나, 계량 모형의 해 또는 데이터 베이스

를 이용하여 목적(Goal) 달성 여부를 평가하게 된다. 예로써, 현재 전문가 시스템 지식 베이스에서 사용자가 평가하고자 하는 목적이 Q1, Q2, Q3 라고 하자.

(1) 추론 결과 얻어진 해와 관련된 화면

UNIK-PMA 를 이용하여 추론한 결과 <그림 7-5> 와 같은 화면을 얻었다고 하자. 선형 모형의 목적 함수 값은 58000 이며, Q1 과 Q2 는 "GOOD" 의 목적 단계를 얻었고, Q3 는 "BAD" 의 목적 단계를 얻었다. 이 결론은 PMA 알고리즘을 이용하여 여러가지 대안들을 평가하여 열등하지 않은 해집합을 구한 후 첫 번째 해 - 여기서의 해는 계량 목적값과 전문가 시스템의 질적 목적 모두를 포괄하는 의미로서 PMA(1,t) 이론을 이용하여 얻어진 결과이다 - 를 사용자에게 제시한 후 만족 여부를 알아본다. 만약 사용자가 현재의 해에 만족하여 'y' 를 입력하면 <그림 7-6> 의 화면이 나타나서 해의 이름을 주고 그 해를 보존하게 된다. 사용자가 현재의 해를 만족하지 않는 경우에는 3 번 함수 키를 - 함수 키 사용은 (2) 참조 - 이용하여 열등하지 않은 해집합 중에서 다른 해를 찾아볼 수 있다. 만약, 해집합에 있는 모든 해들에 관해 만족하지 않는 경우에는 5번 함수 키를 이용하여 사용자가 원하는 목적 단계를 설정한 후, UNIK-PMA 가 새로운 해를 달성하는 것이 가능한가의 여부를 평가하도록 할 수 있다.

(2) 함수 키 사용 화면

7.3 에서 설명된 UNIK-PMA 의 주요 기능을 구현하는 함수 키는 6 개가 있다. <그림 7-5> 의 화면 상황을 계속 가정하고 각 함수 키에 대하여 알아본다.

i) Rule (1번)

<그림 7-5> 에서 1 번 함수 키를 누르면, 현재 해의 각 목적과 관련된 지식 베

이스 내의 규칙들을 관찰할 수 있다. 이 규칙들을 봄으로써, 어떻게 현재의 결론에 도달했는지를 알아볼 수 있다. 예제 화면이 <그림 7-7> 과 <그림 7-8> 에 나타나 있다. 원하는 목적과 관련된 규칙들을 본 후에는 "ESC" 키를 누르면 상위 메뉴로 계속 올라가서 <그림 7-5> 의 화면으로 다시 오게 된다.

UNIK-PMA					Conclusion																								
UNIK-PMA infers the following conclusions.																													
The 1st NDS																													
<table border="1"> <tr> <td colspan="2">Quantitative objective value :</td> <td colspan="4">58000</td> </tr> <tr> <td>Q1</td> <td>GOOD</td> <td colspan="4"></td> </tr> <tr> <td>Q2</td> <td>GOOD</td> <td colspan="4"></td> </tr> <tr> <td>Q3</td> <td>BAD</td> <td colspan="4"></td> </tr> </table>						Quantitative objective value :		58000				Q1	GOOD					Q2	GOOD					Q3	BAD				
Quantitative objective value :		58000																											
Q1	GOOD																												
Q2	GOOD																												
Q3	BAD																												
Do you satisfy this conclusion ? [y] _																													
1 Rule	2 Fact Base	3 Sol Set	4 MRS Comp	5 Goal Range	10 Interrupt																								

<그림 7-5> UNIK-PMA 추론 결과 화면

UNIK-PMA					Conclusion																								
UNIK-PMA infers the following conclusions.																													
The 1st NDS																													
<table border="1"> <tr> <td colspan="2">Quantitative objective value :</td> <td colspan="4">58000</td> </tr> <tr> <td>Q1</td> <td>GOOD</td> <td colspan="4"></td> </tr> <tr> <td>Q2</td> <td>GOOD</td> <td colspan="4"></td> </tr> <tr> <td>Q3</td> <td>BAD</td> <td colspan="4"></td> </tr> </table>						Quantitative objective value :		58000				Q1	GOOD					Q2	GOOD					Q3	BAD				
Quantitative objective value :		58000																											
Q1	GOOD																												
Q2	GOOD																												
Q3	BAD																												
Do you satisfy this conclus					<table border="1"> <tr> <td>Write the name of this solution :</td> </tr> <tr> <td>NDS-1</td> </tr> </table>	Write the name of this solution :	NDS-1																						
Write the name of this solution :																													
NDS-1																													
1 Rule	2 Fact Base	3 Sol Set	4 MRS Comp	5 Goal Range	10 Interrupt																								

<그림 7-6> UNIK-PMA 추론 결과 이름 설정 화면

UNIK-PMA					Conclusion	
UNIK-PMA infers the following conclusions.						
The 1st NDS						
Quantitative objective value : 58000						
Q1		GOOD		Select the goal whose rules you want to see		
Q2		GOOD				
Q3		BAD				
Do you satisfy this conclus					Q1 Q2 Q3	
1 Rule	2 Fact Base	3 Sol Set	4 MRS Comp	5 Goal Range	10 Interrupt	

<그림 7-7> Rule 함수 키 화면 - (a)

UNIK-PMA					Conclusion	
UNIK-PMA infers the following conclusions.						
The 1st NDS						
Quantitative object					Q1 is good	
Q1		GOOD		Rule 2		
Q2		GOOD		IF X1 > 100		
Q3		BAD		AND AA ISA good		
Do you satisfy this con					THEN BB ISA good	
					Rule 6	
					IF BB ISA good	
					AND CC is true	
					THEN Q1 ISA good	
1 Rule	2 Fact Base	3 Sol Set	4 MRS Comp	5 Goal Range	10 Interrupt	

<그림 7-8> Rule 함수 키 화면 - (b)

ii) Fact Base(2 번)

Fact Base 함수 키를 누르면, 현재까지 얻어진 사실들을 보여준다. <그림 7-9>에 예제 화면이 나타나 있다.

UNIK-PMA				Conclusion	
UNIK-PMA infers the following conclusions.					
The 1st NDS			Fact Base		
Quantitative object					
Q1	GOOD		X1 = 100		
Q2	GOOD		X2 = 50		
Q3	BAD		AA ISA good		
			BB ISA good		
			CC is true		
Do you satisfy this con					
1 Rule	2 Fact Base	3 Sol Set	4 MRS Comp	5 Goal Range	10 Interrupt

<그림 7-9> Fact Base 함수 키 화면

iii) Solution Set(3 번)

Solution Set 함수 키를 누르면, 열등하지 않은 해집합에 들어 있는 해들을 보여 주고 내용을 보고 싶은 해를 선택하도록 해준다. <그림 7-10>에 예제 화면이 나타나 있다. 화면에서 "*"를 표시한 해는 현재 화면에 나타나 있는 해를 의미한다.

UNIK-PMA		Conclusion			
UNIK-PMA infers the following conclusions.					
The 1st NDS		Select one of the following nondominated solutions that you want to consult			
Quantitative object					
Q1	GOOD	NDS-1(*)	NDS-2		
Q2	GOOD	NDS-3	NDS-4		
Q3	BAD	NDS-5			
Do you satisfy this con					
1 Rule	2 Fact Base	3 Sol Set	4 MRS Comp	5 Goal Range	10 Interrupt

<그림 7-10> Solution Set 함수 키 화면

iv) MRS Comparison(4 번)

MRS Comparison 함수 키를 누르면, 서로 다른 두 개의 해를 목적별로 비교하여 사용자로 하여금 비교가 용이하도록 만들어 준다. <그림 7-11> 에 예제 화면이 나타나 있다.

UNIK-PMA		MRS Comparison	
	The 1st NDS	The 2nd NDS	
Quantitative Objective value	58000	59000	
Q1	GOOD	GOOD	
Q2	GOOD	BAD	
Q3	BAD	GOOD	
			[ESC] Previous

<그림 7-11> MRS Comparison 함수 키 화면

v) Goal Range(5 번)

Goal Range 키를 누르면, 사용자가 원하는 목적의 단계를 변화할 수 있도록 해 준다. <그림 7-12> 및 <그림 7-13> 의 예제 화면은 "Q3" 목적 단계를 "BAD" 에서 "FAIR" 단계로 변화시키는 과정을 보여주고 있다. 목적 단계는 1 단계뿐만 아니라 여러 단계의 범위 - 예를 들면, "FAIR" 부터 "VERY GOOD" 까지 - 를 지정할 수도 있다. "Q3" 목적 단계를 변화함에 따라 다른 목적 단계도 변화할 수 있으므로, <그림 7-12>의 1 번 함수 키를 이용하여 다른 목적 단계들은 현재 단계로 고정할 수도 있다. <그림 7-14> 에 예제 화면이 나타나 있다. 원하는 목적들의 단계를 조정 한 뒤, 2 번 함수 키 "Inference" 를 누르면, 현재의 목적 단계를 가진 목적 해가 가능한지 를 UNIK-PMA 가 재추론을 하여 평가한다.

UNIK-PMA		Goal Range	
Select the goal whose level you want to change.			
The 1st NDS			
Quantitative objective value : 58000			
Q1	GOOD		
Q2	GOOD		
Q3	BAD		
[F1] Fixed	[F2] Inference		[ESC] Previous

<그림 7-12> Goal Range 함수 키 화면 - (a)

UNIK-PMA	Goal Range										
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 5px auto; width: 80%;"> Select the goal whose level you want to change. </div>											
The 1st NDS <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 5px auto; width: 80%;"> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">Quantitative objective value : 58000</td> <td></td> </tr> <tr> <td style="width: 30%;">Q1</td> <td style="width: 30%;">GOOD</td> <td rowspan="3" style="width: 40%; vertical-align: top; padding-left: 10px;"> Q3's goal level range VERY GOOD GOOD FAIR BAD VERY BAD </td> </tr> <tr> <td>Q2</td> <td>GOOD</td> </tr> <tr> <td>Q3</td> <td>BAD</td> </tr> </table> </div>		Quantitative objective value : 58000			Q1	GOOD	Q3's goal level range VERY GOOD GOOD FAIR BAD VERY BAD	Q2	GOOD	Q3	BAD
Quantitative objective value : 58000											
Q1	GOOD	Q3's goal level range VERY GOOD GOOD FAIR BAD VERY BAD									
Q2	GOOD										
Q3	BAD										
[F1] Fixed	[F2] Inference	[ESC] Previous									

<그림 7-13> Goal Range 함수 키 화면 - (b)

UNIK-PMA	Goal Range								
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 5px auto; width: 80%;"> Select the goal whose level you want to fix. </div>									
Target NDS <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 5px auto; width: 80%;"> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">Quantitative objective value : 58000</td> </tr> <tr> <td style="width: 30%;">Q1</td> <td style="width: 70%;">GOOD</td> </tr> <tr> <td>Q2</td> <td>GOOD</td> </tr> <tr> <td>Q3</td> <td>FAIR</td> </tr> </table> </div>		Quantitative objective value : 58000		Q1	GOOD	Q2	GOOD	Q3	FAIR
Quantitative objective value : 58000									
Q1	GOOD								
Q2	GOOD								
Q3	FAIR								
[F1] Fixed	[F2] Inference	[ESC] Previous							

<그림 7-14> Goal Range 함수 키 화면 - (c)

vi) Interrupt(10 번)

Interrupt 함수 키를 누르면, 현재 상태에서 모든 활동을 중지하고, <그림 7-2>의 UNIK-PMA 최상위 화면으로 돌아간다.

8. UNIK-WINDOW

8.1 UNIK-WINDOW 의 개요

UNIK-WINDOW 는 LISP 환경하에서 Window 의 선언 및 사용을 지원하는 시스템이다. UNIK-WINDOW 가 Window 의 저장, 수정, 화면 출력 등 제반 기능을 맡게 되므로, 프로그래머가 사용자 Interface 를 구현하기가 매우 용이하다. UNIK 프로젝트의 모든 시스템들의 사용자 Interface 는 UNIK-WINDOW 로 개발되었다. 현재 UNIK-WINDOW 는 PC/AT, 386 PC, SUN 기종에 사용하도록 각각 개발되어있다.

8.2 PC 용 UNIK-WINDOW 명령어

PC/AT 및 386 PC 에서 UNIK-WINDOW 를 사용하기 위해서는 각기 다음 소프트웨어가 필요하다.

(1) PC/AT 의 경우

- . GCLISP 2.0
- . UNIK-FRAME
- . UNIK-WINDOW for PC/AT

(2) 386 PC 의 경우

- . GCLISP 386 Developer
- . UNIK-FRAME
- . UNIK-WINDOW for 386 PC

기종간의 Window version 의 차이점은 LISP version 의 차이로 인한 내부적인 것이므로, 프로그래머가 사용하는 Window 명령어는 동일하므로 기종에 따라 한 시스템만을 선택하면 된다.

8.2.1 Window 선언

UNIK-WINDOW 의 Window 선언 명령어는 UNIK-FRAME 의 Frame 선언 명령어와 유사한 형태를 갖고 있다. Window 선언 명령어는 전부 4 개로 구성되어 있다.

(1) Defwindow

```
(Defwindow <window-name>
  (<window-slot1> <value-1> <value-2> ... )
  (<window-slot2> <value-1> <value-2> ... )
  ...
)
```

(예)

```
(defwindow p-main
  (type hbox-window 2 22)
  (use-win-ftn (one-line-window 2 3 76 4))
  (str (3 17 "The UNIK-PCS supports the following items")
    (4 17 "  Select one of the followings"))
  (input-str (7 20 "Interface with other systems")
    (9 20 "Show the initial purchase plan")
    (11 20 "Generate the delivery schedule"))
```

```

(13 20 "Edit the knowledge base")
(15 20 "Access to the database")
(17 20 "Quit"))
(status-line (*reverse-attr* 0 "UNIK-PCS" "Top Level")
  (*reverse-attr* 22 "[F1] Help [ESC] Redisplay" ""))
(bar (22 12) (22 30)))

```

<그림 8-1> 에 위에서 선언된 Window 가 화면에 나타난 모양을 나타내었다.

UNIK-PCS		Top Level
<p>The UNIK-PCS supports the following items Select one of the followings</p> <p>Interface with other systems</p> <p>Show the initial purchase plan</p> <p>Generate the delivery schedule</p> <p>Edit the knowledge base</p> <p>Access to the database</p> <p>Quit</p>		
[F1] Help	[ESC] Redisplay	

<그림 8-1> 화면에 나타난 window 형태

사용자가 Defwindow 명령어를 이용하여 Window 를 선언한 경우, 이 Window 이름에 대응하는 Frame 을 생성한다. <window-name> 이 Frame 이름이 되며, <window-slot> 이 Frame 의 슬롯(Slot) 에 대응하며, <value> 가 각기 대응하는 슬롯의 값으로 저장된다. 그러므로, LISP Top Level 에서 'ps' 명령어를 이용하여 선언된 Window 의 내용을 확인 할 수 있다. <window-slot> 에 관한 설명은 다음 각 절에

나타나 있다.

```
* (ps 'p-main)
{{ P-MAIN
* IS-A : *MOTHER-WINDOW*
TYPE : HBOX-WINDOW 2 22
USE-WIN-FTN : (ONE-LINE-WINDOW 2 3 76 4)
STR : (3 17 "The UNIK-PCS supports the following items")
      (4 17 "   Select one of the followings")
INPUT-STR : (7 20 "Interface with other systems")
            (9 20 "Show the initial purchase plan")
            (11 20 "Generate the delivery schedule")
            (13 20 "Edit the knowledge base")
            (15 20 "Access to the database")
            (17 20 "Quit")
STATUS-LINE : (*REVERSE-ATTR* 0 "UNIK-PCS" "Top Level")
              (*REVERSE-ATTR* 22 "[F1] Help  [ESC] Redisplay" "")
BAR : (22 12) (22 30)
* MAINSIZE : (1 1 78 23 7)
* BORDER-WIN : #<DYNAMIC CLOSURE 18C:4A0A>
}}
```

* 표시된 부분은 UNIK-WINDOW 가 내부적인 관리를 위해 자체적으로 생성하는 슬랏들이다.

(2) Defwindowd

Defwindowd 는 Defwindow 와 내부 구조 및 방법이 동일하다. 차이점은, 기존에 선언하고자하는 Window 이름이 이미 있는 경우, Defwindowd 는 기존 Window 를 삭제하고 새로이 Window 를 생성하지만, Defwindow 는 기존 Window 에 슬랏을

추가하거나 값들을 변경할 수 있을 뿐, 기존 Window 를 삭제할 수는 없다는 것이다. 개념적으로, Defwindow 는 Deframe 과, Defwindowd 는 Deframed 와 대응되는 명령어이다.

(3) Cwindow

Cwindow 의 내부 구조 및 사용 방법은 Defwindow 와 거의 동일하다. 차이점은 Cwindow 는 Function 으로 정의되어 있으며, Defwindow 는 Macro 로 정의되어 있기 때문에 Cwindow 로 선언할 경우, LISP Evaluator 가 모든 함수 인자들을 평가 (Evaluation)하므로 값을 가지지 않는 심볼(Symbol)은 전부 quote(') 를 붙이도록 해야 한다.

(예)

```
(cframed '*mother-window*  
  ('size 0 0 80 25)  
  ('type 'one-line-window)  
  ('input-char *SEMO*)  
  ('multi-key *F10*)  
  ('border-attr *normal-attr*)  
  ('interrupt-key *ESC*)  
  ('scroll nil)  
  ('auto-newline nil))
```

SEMO, *F10*, *normal-attr*, *ESC* 는 Global 변수로 정의되어 있기 때문에 quote 를 붙이지 않았다. *mother-window* 는 사용자가 정의하는 모든 Window 의 기본이 된다. 즉, 사용자가 만일 scroll 슬랏을 선언하지 않은 경우 *mother-window* 의 scroll 값 - nil - 을 갖는 것으로 인정한다. 사용자가 정의하는 모든 Window 이름은 *mother-window* 의 IS-A+INV 슬랏에 등록된다.

(4) Cwindowd

Cwindowd 와 Cwindow 의 차이점은 Defwindowd 와 Defwindow 의 차이점과 같다. 개념적으로 Cwindowd 는 Cframed 와 Cwindow 는 Cframe 과 대응되는 명령어이다.

8.2.2 Window 선언에 사용되는 슬랏

8.2.1 절의 p-main 선언에서 알 수 있듯이, Window 에는 여러가지 슬랏들을 선언할 수 있다. 이 슬랏들은 Window 의 위치, 크기, 모양, 출력할 내용, scroll 여부 등을 표시하기 위해 선언하도록 되어 있다.

(1) Size

(size <left> <top> <width> <height> &optional <attributte>)

Size 슬랏은 Window 가 화면에 나타나는 위치, 크기 및 색깔을 나타내기 위해 사용한다. 화면의 좌측에서 <left> 만큼 우측으로 이동하고, 하면 상단에서 <top> 만큼 하단으로 이동한 지점에서, 폭이 <width> 이고, 높이가 <height> 인 Window 를 나타내게 된다. <attribute> 는 Window 의 내부 색깔을 주고 싶은 경우에 이용할 수 있다. 사용자가 size 슬랏을 지정하지 않은 경우, *mother-window* 의 size 슬랏 값 - (size 0 0 80 25 7) - 을 이용하도록 되어 있다.

(2) Type

(Type <window-type> &optional <position-1> <position-2> ...)

Type 슬랏은 Window 의 형태를 결정하기 위해 사용하며, 다음 5 가지 형태를 이용할 수 있다.

a) One-line-window

이 type 은 외곽선이 한줄로 이루어져 있는 Window 를 나타낸다.

b) Double-line-window

이 type 은 외곽선이 두 줄로 이루어져 있는 Window 를 나타낸다.

c) One-line-box-window

(type one-line-box-window 2 22)

이 type 은 외곽선이 한 줄이며, 2 번째 row 와 22 번째 row 에 한줄이 수평으로 각각 그려져 있는 Window 를 나타낸다.

d) Hbox-window

(type hbox-window 2 22)

이 type 은 외곽선이 두 줄이며, 2 번째 row 와 22 번째 row 에 두줄이 수평으로 각각 그려져 있는 Window 를 나타낸다.

e) VBox-window

(type vbox-window 2 22)

이 type 은 외곽선이 두 줄이며, 2 번째 column 와 22 번째 column 에 두줄이 수직으로 각각 그려져 있는 Window 를 나타낸다.

만일 사용자가 type 슬랏을 정의하지 않은 경우, *mother-window* 의 type 슬

랫 값 - (type one-line-window) - 을 이용하도록 되어 있다.

(3) Use-win-ftn

```
(use-win-ftn (one-line-window <left> <top> <width> <height>))
```

or

```
(use-win-ftn (double-line-window <left> <top> <width> <height>))
```

이 슬랫은 기 정의되어 있는 Window 안에 one-line-window 형태나 double-line-window 형태의 sub-window 를 그려주고 싶은 경우에 이용한다. Sub-window 의 위치 및 크기는 슬랫의 값으로 넣어주어야 한다. 이 sub-window 는 box 를 그려주는 외에는 Window 기능이 작동하지 않는다.

(4) Str

```
(str (<row1> <column1> <string-to-print1> &optional <attribute1>)  
     (<row2> <column2> <string-to-print2> &optional <attribute2>)
```

...

```
)
```

Str 슬랫은 Window 안에 지정된 위치에 출력하고자 하는 문자열을 저장하는 기능을 한다. <attribute> 는 출력되는 문자열들의 속성을 나타내므로, 색깔, 역상(reverse), 번쩍거림(blinking) 등 다양하게 출력할 수 있다.

(5) Input-str

```
(input-str (<row1> <column1> <string-to-print1> )  
          (<row2> <column2> <string-to-print2> )
```

...

```
)
```

Input-str 슬랏은 Window 안에 지정된 위치에 출력하고자 하는 문자열을 저장하는 기능은 str 과 같으나, 이 문자열들을 메뉴(menu) 상의 항목으로 인정하여, 메뉴 선택이 가능하다는 점이 다르다. 메뉴 사용법은 8.2.3 절에 나타나 있다.

(6) Status-line

```
(status-line (<attribute1> <row1> <string-to-print-from-left1>
              <string-to-print-from-right1>)
              (<attribute2> <row2> <string-to-print-from-left2>
              <string-to-print-from-right2>)
              ...
)
```

이 슬랏은 Window 의 특정 row 에 왼쪽부터 또는 오른쪽부터 각각 원하는 문자열을 출력하기 위한 슬랏이다. Window 의 첫번째 row - 0 - 에 Title 을 정해주는 경우와 마지막 - (size 0 0 80 25) 인 경우, 22 번째 - row 에 함수(Function) 키를 정의해 주고 싶은 경우에 이용한다.

(7) Bar

```
(bar (<row1> <column1> &optional <attribute1>)
     (<row2> <column2> &optional <attribute2>)
     ...
)
```

Bar 슬랏은 지정된 위치에서 두줄 수직선을 그어주는 역할을 한다. 이는 함수 키 등의 문자열을 Status-line 에 출력하는 경우, 서로 다른 문자열간의 구별을 해주기 위해 이용한다. 색깔을 지정하고 싶은 경우, <attribute> 를 지정하면 된다.

(8) Border-attr

(border-attr <attribute>)

이 슬랏은 Window 의 외곽선 attribute 를 지정하기 위해 사용한다. Window 내부의 attribute 는 size 슬랏의 5 번째 인자로 결정되지만, 외곽선의 색깔 등을 변화시키고 싶은 경우, 이 슬랏을 이용하면 유용하다. 사용자가 지정하지 않은 경우, *mother-window* 의 값 - *normal-attr* (7) - 을 이용한다.

(9) Scroll

(scroll t) or (scroll nil)

Window 에 출력되는 내용이 한 화면을 넘칠 경우 scroll 가능 여부를 지정할 수 있다. 사용자가 이 슬랏을 지정하지 않은 경우 *mother-window* 의 scroll 값 - nil - 을 이용한다.

(10) Auto-newline

(auto-newline t) or (auto-newline nil)

Window 의 한 줄에 출력되는 내용이 그 줄을 넘칠 경우, 이 슬랏이 t 로 지정되면 다음 줄로 연속해서 출력되지만, 이 슬랏이 nil 로 지정되면 다음 줄로 넘어 가지 않는다. 사용자가 이 슬랏을 지정하지 않은 경우 *mother-window* 의 auto-newline 값 - nil - 을 이용한다.

(11) Interrupt-key

(Interrupt-key <key-code1> <key-code2> ...)

Window 를 이용하여 메뉴를 선택하다가 이 Window 를 취소하고 빠져나가고

싶은 경우, Interrupt-key 로 사용하고 키에 대응되는 코드(code) 를 이 슬랏에 지정하면 된다. 사용자가 이 슬랏을 지정하지 않은 경우, *mother-window* 의 값 - *ESC* - 을 이용한다.

(12) Multi-key

(multi-key <key-code1> <key-code2> ...)

query-multi-menu 나 query-multi-menu-lattice 등 여러 개의 항목을 선택하고 싶은 경우에, 항목 선택 키는 리턴(Return) 키이므로 여러 개를 선택한 후에는 multi-key 를 누르면 전부 선택한 것으로 인지하고 Window 를 빠져나가게 된다. 사용자가 지정하지 않은 경우, *mother-window* 의 값 - *F10* - 을 이용하게 된다.

(13) Input-char

(input-char <char-code>)

query-menu 등 메뉴 이용시에 메뉴 항목 앞을 향하고 있는 커서(Cursor) 의 모양을 변경하고 싶은 경우에 이 슬랏을 이용한다. 사용자가 이 슬랏을 지정하지 않은 경우, *mother-window* 의 값 - *SEMO* - 을 이용한다.

8.2.3 Window 호출 및 정적 메뉴 사용 명령어

8.2.2 절의 명령어를 이용하여 Window 를 정의한 후, 실제로 이 Window 를 화면 상에 나타내고자 하는 경우와, 메뉴 선택을 하고자 하는 경우에 다음 명령어를 이용하면 된다. 정적(static) 메뉴의 의미는, Window 선언시에 input-str 슬랏에 선택하고자 하는 메뉴 항목을 사전에 지정해 놓았다는 것이다. 동적(Dynamic) 메뉴는 Window 의 슬랏에 미리 지정된 메뉴가 아니고, 외부에서 프로그램 실행 중에 메뉴 항목이 들어

있는 리스트(list) 를 인자로 지정해 주면, 그것을 이용하도록 되어 있다.

Window 호출 및 정적 메뉴 사용 명령어는 기본적으로 다음 형태를 갖고 있다.

```
(call window-mc :<option> <window-name>)
```

or

```
(window-mc ':<option> (eval <window-name>))
```

(1) (call window-mc :display <window-name>)

정의된 Window 의 외곽 선을 size 슬롯에 지정된 위치에 출력한다. Str, input-str 에서 정의된 문장들은 출력하지 않는다.

(2) (call window-mc :display-content <window-name>)

Window 의 Str, input-str 슬롯에 지정된 문자열들을 지정된 위치에 출력한다. 외곽선은 그리지 않는다.

(3) (call window-mc :display-all <window-name>)

(1), (2) 기능을 합친 기능이다. 즉, Window 외곽선을 지정된 위치에 그리고, 지정된 위치에 정의된 문자열들을 출력한다.

(4) (call window-mc :clear-content <window-name>)

Window 에 출력되어 있는 문장들을 화면에서 삭제한다. Window 외곽선은 지우지 않는다.

(5) (call window-mc :clear-all <window-name>)

Window 자체를 - 내용 및 외곽선 - 화면에서 삭제한다.

(6) (call window-mc :query-menu <window-name> &optional <current-row>)

메뉴 선택을 위한 명령어이다. (2) 나 (3) 의 명령어로 지정된 위치에 지정된 문자열들을 출력한 다음, 메뉴 선택을 위해 이 명령어를 이용하면 된다. 이 때, 메뉴 항목들은 Window 선언시 input-str 슬롯에 위치와 문자열이 지정되어 있어야 한다. 이 명령어를 수행시키면, 커서가 <current-row> 가 지정한 위치 - 미 지정시 0 번째 항목의 위치 - 에서 대기하고 있으며, 해당 항목이 역상으로 바뀌어져 있다. 사용자는 방향 (arrow) 키를 이용하여 메뉴 항목간을 이동할 수 있다. 매 이동시 커서가 위치하고 있는 메뉴 항목은 역상으로 변해서 현재 어느 항목을 선택할 수 있는 지 가르켜 준다. 사용자가 선택하고자 하는 메뉴 항목에 커서를 옮긴 다음, 리턴 키를 누르면 그 항목이 선택되면서 위 명령어를 빠져 나오게 된다. 위 명령문의 리턴 값은 3 개이므로 multiple-value-bind 문을 이용하여 값을 돌려 받아야 한다. 첫번째 값은 선택한 메뉴 항목의 상대적 위치이며 - 0 부터 시작 -, 두번째 값은 선택한 메뉴 항목의 문자열이며, 세번째 값은 메뉴 항목 선택시에는 nil 이 돌아온다. Interrupt key 를 누른 경우에는 첫번째 값은 nil 이며, 두번째 값은 interrupt key 의 코드 값이 돌아오며, 세번째 값은 현재 커서가 위치하고 있는 메뉴 항목의 상대적인 위치 값이 돌아온다. 사용자가 이 리턴 값을 이용하여 Window 이용자가 무슨 메뉴 항목을 선택했는지를 알아내고, 대응하는 프로그램을 호출할 수 있다.

(7) (call window-mc :query-multi-menu <window-name> &optional <current-row>)

여러 개의 메뉴 선택이 가능한 명령어이다. (2) 나 (3) 의 명령어로 지정된 위치에 지정된 문자열들을 출력한 다음, 메뉴 선택을 위해 이 명령어를 이용하면 된다. 이때, 메뉴 항목들은 Window 선언시 input-str 슬랏에 위치와 문자열이 지정되어 있어야 한다. 이 명령어를 수행시키면, 커서가 <current-row> 가 지정한 위치 - 미 지정시 0 번째 항목의 위치 - 에서 대기하고 있으며, 해당 항목이 역상으로 바뀌어져 있다. 사용자는 방향(arrow) 키를 이용하여 메뉴 항목간을 이동할 수 있다. 매 이동시 커서가 위치하고 있는 메뉴 항목은 역상으로 변해서 현재 어느 항목을 선택할 수 있는 지 가르켜 준다. 사용자가 선택하고자 하는 메뉴 항목에 커서를 옮긴 다음, 리턴 키를 누르면 그 항목이 선택된다. 이와 같은 방법으로 원하는 메뉴 항목을 모두 선택한 다음, multi-key 를 누르면 위 명령어를 빠져 나오게 된다. 위 명령문의 리턴 값은 3 개이므로 multiple-value-bind 문을 이용하여 값을 돌려 받아야 한다. 첫번째 값은 선택된 메뉴 항목들의 상대적 위치가 지정되어 있는 리스트이며, 두번째 값은 선택한 메뉴 항목의 문자열이 저장된 리스트이며, 세번째 값은 메뉴 항목 선택시에는 nil 이 돌아온다. Interrupt key 를 누른 경우에는 첫번째 값은 nil 이며, 두번째 값은 interrupt key 의 코드 값이 돌아오며, 세번째 값은 현재 커서가 위치하고 있는 메뉴 항목의 상대적인 위치 값이 돌아온다.

8.2.4 동적 메뉴 사용 명령어

8.2.3 의 (6), (7) 명령문은 Window 의 input-str 슬랏에 기 정의된 문자열들만을 메뉴 항목으로 이용할 수 있다. 그러므로, 프로그램 전체를 통제하기 위한 Window 이용시에 편리한 장점이 있으나, 메뉴 항목을 사전에 정의할 수 없고, 프로그램을 수행한 결과로만이 메뉴 항목 값을 알 수 있는 경우에는 input-str 에 정의해 놓을 수 없는 단점이 있다. 이 때 다음 명령문들을 이용하면 유용하다.

(1) (query-menu-lattice <window-name> <row> <column> <item-no-per-row>
<variable-list> &optional <option> <modify-col> <except-cell>)

a) option 이 query 인 경우

Window 에 <row>, <column> 으로 지정된 위치에서부터 <variable-list> 에 저장되어 있는 메뉴 항목들을 한 행당 <item-no-per-row> 갯수만큼 출력한 다음, 사용자가 메뉴 항목을 선택하도록 한다. 커서 이동은 방향 키뿐만 아니라, 메뉴 항목이 Window 의 한 화면을 초과할 경우, Home, PgUp, PgDn, End 키 등을 이용하여 화면을 이동하면서 항목을 선택할 수 있다. 리턴 키 또는 interrupt-key 를 누르면 위 명령문을 빠져 나오게 된다. 리턴 값은 2 개이다.

. 메뉴 항목을 선택한 경우

1 번째 리턴 값 -- 선택된 항목의 리스트내에서의 상대적 위치

2 번째 리턴 값 -- 선택된 항목의 값

. Interrupt key 를 누른 경우

1 번째 리턴 값 -- nil

2 번째 리턴 값 -- interrupt key 코드 값

사용자가 (1) 명령문에서 <option> 값을 지정해 주지 않은 경우에, query 가 default 값이 된다.

b) option 이 display 인 경우

이 경우에는 메뉴 선택의 기능은 없고, 화면에 출력하는 기능만 있다. 사용자는 방향 키 및 Home, PgUp, PgDn, End 키등을 이용하여 메뉴 항목들을 본다음 interrupt-key 를 눌러서 명령문을 빠져 나오게 된다.

c) option 이 input 인 경우

이 경우에는 선택 기능 뿐만 아니라, 메뉴 항목 값을 변경할 수 있는 기능이 있다. 변경하고자 하는 메뉴 항목 위치에서 리턴 키를 누르면 현재 항목 값을 변경할 수 있다. 변경 도중, ESC 키를 누르면 원래의 항목 값으로 돌아온다. 이 option 을 이용할 경우 <modify-col>, <except-cell> 의 두개 기능을 추가적으로 이용할 수 있다. <modify-col> 은 특정 열(column) 에 위치한 항목들만 변경하고 싶은 경우, 리스트 형식으로 지정해 주면 된다. <except-cell> 은 특정 위치에 위치한 항목들은 변경하지 못하도록 하는 역할을 한다. 인자는 리스트 형식으로 준다.

(2) (query-multi-menu-lattice <window-name> <row> <column> <item-no-per-row>
<variable-list>)

여러 개의 메뉴 항목을 선택하고 싶은 경우에 이용한다. 사용 방법은 (1) 과 같다. 여러 개의 메뉴 항목을 선택한 다음 multi-key 나 interrupt-key 를 누르면 위 명령문을 빠져 나오게 된다. 이 명령문의 리턴 값은 2 개이다.

. multi-key 를 누른 경우

1 번째 리턴 값 -- 선택된 항목들의 위치를 저장한 리스트

2 번째 리턴 값 -- 선택된 항목들의 값을 저장한 리스트

. Interrupt key 를 누른 경우

1 번째 리턴 값 -- nil

2 번째 리턴 값 -- interrupt key 코드 값

8.2.5 Window 상에서 Frame 처리 명령어

Window 상에서 Frame 내용을 보거나 슬랏 이름, 값 등을 변경하고자 하는 경우에 다음 명령어들을 이용하면 된다.

(1) (frame-view <window-name> <frame-name>)

<window-name> 에 대응하는 Window 를 화면에 나타낸 다음, <frame-name> 에 대응하는 frame 의 슬랏 이름과 슬랏 값들을 출력한다. Interrupt key 를 누르면 빠져 나오게 된다. 변경 기능은 없다.

(2) (frame-f-s-v-modify <window-name> <frame-name>)

<window-name> 에 대응하는 Window 를 화면에 나타낸 다음, <frame-name> 에 대응하는 frame 의 슬랏 이름과 슬랏 값들을 출력한다. 방향 키를 이용하여 원하는 슬랏 이름이나 슬랏 값에 커서를 위치한 다음에 리턴 키를 치면 값을 변경할 수 있다. 변경 도중 ESC 키를 누르면 원래의 값으로 돌아온다. 이 명령문은 슬랏 이름과 슬랏 값뿐만 아니라, Frame 이름까지 변경할 수 있다. Interrupt-key 를 누르면 변경내용을 기록하고 명령문을 빠져 나온다.

(3) (frame-s-v-modify <window-name> <frame-name>)

(2) 의 명령문과 같은 기능을 갖고 있으나, Frame 이름은 변경할 수 없고, 슬랏

이름 및 슬랏 값만을 변경할 수 있다. Interrupt-key 를 누르면 변경내용을 기록하고 명령문을 빠져 나온다.

(4) (frame-v-modify <window-name> <frame-name>)

(3) 의 명령문과 같은 기능을 갖고 있으나, 슬랏 값을 변경할 수 있다.

8.2.6 Window 입.출력 기본 명령어

Window 상에서 입.출력을 위한 기본 명령어(primitives) 들을 요약하였다. 전절의 window 명령어들에서 입.출력 기능은 내부적으로 이 기본 명령어들로 구현하고 있다.

(1) (read (eval <window-name>))

이 명령문은 일반적인 read 문과 같으나, window 이름을 인자로 줌으로써, 해당 window 에서 입력을 받도록 한다.

(2) (read-char (eval <window-name>))

(1) 과 같은 용법이나, 한 문자만을 리턴 키를 누르지 않고 이용할 수 있다.

(3) (wcur (eval <window-name>) <row> <column>)

해당 window 에 지정된 위치에 커서를 이동시킨다.

(4) (wpos-x (eval <window-name>))

현재 커서가 Window 안에 있는 행의 위치를 돌려 준다.

(5) (wpos-y (eval <window-name>))

현재 커서가 Window 안에 있는 열의 위치를 돌려 준다.

(6) (wattr (eval <window-name>) <attribute>)

Window 안에 출력되는 문자열들의 속성을 <attribute> 로 변경시킨다.

(7) (wchar (eval <window-name>) <char-code> &optional <attribute>)

Window 의 현재 커서가 있는 위치에서 <char-code> 에 대응되는 한 개의 문자를 출력한다. <attribute> 인자를 줄 경우, 출력되는 문자의 속성을 변화시킬 수 있다. 사용자가 속성을 지정하지 않은 경우에는 *normal-attr* 로 지정되어 있다. 아래의 모든 명령어에서도 마찬가지이다.

(8) (wchar1 (eval <window-name>) <row> <column> <char-code>
&optional <attribute>)

Window 에 커서를 지정된 위치에 이동시킨 후에 문자를 출력한다. wcur 와 wchar 명령문을 합한 기능을 수행한다.

(9) (wstr (eval <window-name>) <string-to-print> &optional <attribute>)

Window 의 현재 커서가 있는 위치에서 지정된 문자열을 출력하고 싶은 경우에 이용한다. 출력하고자 하는 변수 값이 문자열이 아닌 경우에는 (format nil "~S" 변수) 문을 <string-to-print> 인자 위치에 넣어주면 된다.

(10) (wstr1 (eval <window-name>) <row> <column> <string-to-print>)

&optional <attribute>)

커서를 Window 의 지정하는 위치에 이동시킨 후에 지정된 문자열을 출력하는 기능을 한다. wcur 와 wstr 을 합친 기능을 갖고 있다.

(11) (winput (eval <window-name>) &optional <interrupt-key>)

지정된 Window 에서 입력을 받는 기능을 갖고 있다. 입력 도중 취소하고 싶은 경우에는 <interrupt-key> 로 정의된 키를 누르면 명령문을 빠져나간다. 리턴 값은 2 개를 돌려 준다.

. 입력을 마친 경우

1 번째 리턴 값 -- T

2 번째 리턴 값 -- 입력된 값

. Interrupt key 를 누른 경우

1 번째 리턴 값 -- nil

2 번째 리턴 값 -- interrupt key 코드 값

(12) (winput-n (eval <window-name>) &optional <interrupt-key>)

(11) 번과 동일한 기능을 수행한다. 차이점은 이 명령문은 숫자만을 입력받을 수 있다. 사용자가 숫자 이외의 값을 입력한 경우에는 입력을 무시한다. 리턴 값 방식도 (11) 번과 같다.

8.3 SUN 용 UNIK-WINDOW 명령어

SUN Workstation 에서 UNIK-WINDOW 를 사용하기 위해서는 다음 소프트웨어가 필요하다.

- . SUNTOOLS
- . SUN Common Lisp 2.0
- . SUN Common Lisp Graphics Tool Kit
- . UNIK-FRAME
- . UNIK-WINDOW for SUN

8.3.1 PC 용과의 차이점

PC 용과 SUN 용 UNIK-WINDOW 의 근본적인 차이점은 window 자체의 성격 및 내부 구조가 다르다는 점이다. SUN LISP 하에서의 window 는 bitmap 으로 이루어지고 관리가 되므로, 기억 용량이 PC window 보다 많이 필요하게 되는 단점이 있는 반면에 window 에 출력된 내용은 모두 기억하고 있기 때문에 window 가 중첩되어 있는 경우, 전면의 window 를 나타나지 않게 했을 때(deactivate), 후면의 window 가 자동적으로 나타나게 된다(activate). 또한 SUN graphics terminal 의 최대 화면 크기가 1152 * 900 인 관계로 PC window 보다 화면 크기가 크기 때문에 한 화면안에 10여개 이상의 window 를 동시에 나타낼 수 있는 장점이 있다. 결론적으로 기억 용량이 충분하다면 SUN window 가 보다 강력한 기능을 갖고 있다고 말할 수 있다. SUN UNIK-WINDOW 는 마우스(mouse) 를 이용할 수 있도록 되어 있으나, 마우스 이용시 기억

용량의 소모가 심하기 때문에 PC UNIK-WINDOW 방식처럼 방향키를 이용하도록 되어 있다.

다음 각 절에서 PC version 과의 차이점을 위주로 정리하였다.

8.3.2 Window 선언

PC 용과 명령어 형태가 같으며, window 내용이 frame 에 저장되는 내부 구조도 같다.

8.3.3 Window 선언에 사용되는 슬랏

PC UNIK-WINDOW 에서 이용하는 슬랏과 차이가 많이 발생한다. PC UNIK-WINDOW 에서 이용되는 슬랏 중에서 사용되지 않는 슬랏이 많으므로 주의를 요한다. SUN UNIK-WINDOW 에서 유의해야 할 점은 반드시 처음에 root window 를 설정해 주어야 한다는 것이다. 모든 사용자 window 는 이 root window 내에서 나타나게 된다. Root window 설정은 wintest 화일을 참조해서 변경하면 된다.

(1) Size

(size <left> <top> <height> <width>)

Window 가 화면상에 나타나는 위치 및 크기를 지정한다.

(2) Bitmap-size

(bitmap-size <left> <top> <height> <width>)

Window 의 내부 크기를 의미한다. 만약 window 의 내부 크기가 (1) 에서 정의

한 화면 크기보다 클 경우에는 scroll bar 가 window 하단 - <width> 가 더 큰 경우 - 및 window 우측 - <height> 가 더 큰 경우 - 나타나게 되어 - (scroll t) 인 경우 - 한 화면 상에 나타나지 않는 내용도 scroll bar 를 마우스의 3 번째 버튼(button) 을 눌러서 볼 수 있도록 되어 있다. Scroll bar 는 PC 에서 PgUp, PgDn 키 역할을 한다. Bitmap-size 가 클수록 기억 용량의 부담이 심하므로 불필요하게 bitmap-size 또는 size 를 크게 설정하지 않도록 하는 것이 garbage collection 이 자주 발생하지 않도록 하는 방법이다.

(3) Title

```
(title <title-string>)
```

Window 상단에 흰 줄이 그어주고 <title-string> 이 출력된다. PC UNIK-WINDOW 의 status-line 슬랏과 유사한 기능을 한다.

(4) Box-region

```
(box-region (<left> <top> <height> <width>
             (<x-pos> <y-pos> <string-to-print>)
             (<x-pos-2> <y-pos-2> <string-to-print>))
             ....)
             (<left2> <top2> <height2> <width2>
             ...))
```

Window 안에 지정된 위치에 box 를 그리고 그 box 안에 지정된 위치에 문자열을 출력하고 싶은 경우에 이용한다. PC UNIK-WINDOW 의 use-win-fts 과 비슷한 기능이다.

(5) Input-region

(input-region (<left> <top> <height> <width>))

Window 상에서 입력을 받는 경우, 입력을 받기 위한 sub-window 지역을 설정하기 위해 이용한다.

(6) Str

PC UNIK-WINDOW 와 사용 방법이 같다.

(7) Input-str

PC UNIK-WINDOW 와 사용 방법이 같다.

(8) Scroll

PC UNIK-WINDOW 와 사용 방법이 같다.

8.3.4 Window 호출 및 정적 메뉴 사용 명령어

PC UNIK-WINDOW 와 명령어 형태가 유사하며 사용 방법 및 리턴 값이 같다. Window 사용시에는 항상 마우스가 해당 window 또는 root window 안에 있어야만 한다.

(1) (call window-mc :display-all <window-name>)

or

(wact (eval <window-name>))

(2) (call window-mc :clear-all <window-name>)

or

(wdeact (eval <window-name>))

(3) (wclear (eval <window-name>))

(2) 번 명령문은 화면 상에서 window 가 나타나지 않게 하는 것이며, window 에 출력된 내용이 지워지는 것은 아니다. 이 점이 PC UNIK-WINDOW 와의 중요 차이점이다. Window 안의 내용을 지우고 싶은 경우에는 이 명령문을 이용해야 한다.

(4) (call window-mc :query-menu <window-name> &optional <current-row>)

(5) (call window-mc :query-multi-menu <window-name> &optional <current-row>)

8.3.5 동적 메뉴 선택 명령어

PC UNIK-WINDOW 와 명령어 형태가 유사하며 사용 방법 및 리턴 값이 같다.

(1) (query-menu-lattice <window-name> <row> <column> <item-no-per-row>
<variable-list> &optional <option>)

1) option 이 'query 인 경우

PC UNIK-WINDOW 와 용법이 같다.

2) options 이 'modify 인 경우

PC UNIK-WINDOW 에서 option 이 'input 인 경우와 같은 용법이다. 차이점

은 메뉴 항목 변경시에 input-region 슬랏에서 지정한 sub-window 가 나타나서 이 sub-window 에서 입력을 기다리게 된다. Sub-window 에서 입력 중, ESC 키를 누르면 입력을 중지하고 원래의 항목 값으로 돌아가며, 리턴 키를 누르면 변경된 값으로 바뀌게 된다.

(2) (query-multi-menu-lattice <window-name> <row> <column> <item-no-per-row>
<variable-list>)

PC UNIK-WINDOW 와 용법이 같다.

8.3.6 Window 상에서 Frame 처리 명령어

(1) (frame-view <window-name> <frame-name> &optional <x-pos> <y-pos>)

<window-name> 으로 지정된 window 를 화면에 출력하고 지정된 위치에
<frame-name> 에 대응하는 frame 을 출력한다.

(2) (frame-v-modify <window-name> <frame-name> &optional <x-pos> <y-pos>)

<window-name> 으로 지정된 window 를 화면에 출력하고 지정된 위치에
<frame-name> 에 대응하는 frame 을 출력한 후, 슬랏 값을 변경할 수 있다.

8.2.7 Window 입.출력 기본 명령어

SUN UNIK-WINDOW 에서 window 상에서 입력을 원하는 경우에는 반드시 (keyboard-setup (eval <window-name>)) 문을 실행시켜야 한다. 또한 마우스가 해당

window 또는 root window 안에 있어야 한다.

(1) (read (eval <window-name>))

이 명령문은 일반적인 read 문과 같으나, window 이름을 인자로 줌으로써, 해당 window 에서 입력을 받도록 한다.

(2) (read-char (eval <window-name>))

(1) 과 같은 용법이나, 한 문자만을 리턴 키를 누르지 않고 이용할 수 있다.

(3) (wcur (eval <window-name>) <row> <column>)

해당 window 에 지정된 위치에 커서를 이동시킨다.

(4) (wchar (eval <window-name>) <char-code>)

Window 의 현재 커서가 있는 위치에서 <char-code> 에 대응되는 한 개의 문자를 출력한다.

(5) (wchar1 (eval <window-name>) <row> <column> <char-code>)

Window 에 커서를 지정된 위치에 이동시킨 후에 문자를 출력한다. wcur 와 wchar 명령문을 합한 기능을 수행한다.

(6) (wstr (eval <window-name>) <string-to-print>)

Window 의 현재 커서가 있는 위치에서 지정된 문자열을 출력하고 싶은 경우에 이용한다. 출력하고자 하는 변수 값이 문자열이 아닌 경우에는 (format nil "~S" 변수) 문을 <string-to-print> 인자 위치에 넣어주면 된다.

(7) (wstr1 (eval <window-name>) <row> <column> <string-to-print>)

커서를 Window 의 지정하는 위치에 이동시킨 후에 지정된 문자열을 출력하는 기능을 한다. wcur 와 wstr 을 합친 기능을 갖고 있다.

(8) (winput (eval <window-name>) &optional <x-pos> <y-pos> <option>)

지정된 Window 에서 입력을 받는 기능을 갖고 있다. <row>, <column> 으 로 지정된 위치에서부터 그 이하의 화면을 전부 삭제한 다음 - option 이 'partial-clear 인 경우, option 이 'complete-clear 인 경우에는 window 전체 내용을 삭제 - 입력을 받게 된다. 입력을 취소하고 싶은 경우에는 ESC 키를 누르면 된다. 리턴 값은 2 개를 돌려 준다.

. 입력을 마친 경우

1 번째 리턴 값 -- T

2 번째 리턴 값 -- 입력된 값

. ESC 를 누른 경우

1 번째 리턴 값 -- nil

2 번째 리턴 값 -- #\ESC

(9) (wclear-region (eval <window-name>) <left> <top> <height> <width>)

지정된 Window 내의 특정 지역에 출력되어 있는 문자열이 있는 경우, 그 문자열을 전부 삭제한다. Window 전체 내용을 삭제하고 싶은 경우에는 8.3.4 의 wclear 명

령어를 이용한다.

제 III 부 UNIK의 석유산업에 대한 응용

제 III 부. UNIK의 석유산업에 대한 응용	III-0-1
1. 석유산업에 대한 UNIK의 응용 구조	III-1-1
1.1 문제의 제기	III-1-1
2. UNIK-LP : 최적 원유구매계획	III-2-1
2.1 UNIK-LP 시스템의 개요	III-2-1
2.2 UNIK-LP 시스템의 특징	III-2-1
2.3 UNIK-LP의 개발목적	III-2-3
2.3.1 대상기업의 RPMS 모델	III-2-5
2.3.2 RPMS 시스템 이용상의 어려움	III-2-6
2.3.2 문제해결 방법	III-2-7
2.4 UNIK-LP의 지식표현	III-2-8
2.4.1 선형계획모형에 대한 지식	III-2-8
2.4.1 석유산업관련 지식	III-2-8
2.4.2 선형 제약식	III-2-12
2.4.3 데이터 베이스	III-2-15
2.5 UNIK-LP 시스템의 화면예제	III-2-16
3. UNIK-PCS : 원유 구매 일정 계획 수립	III-3-1
3.1 UNIK-PCS의 개요	III-3-1
3.1.1 시스템의 성격	III-3-1
3.1.2 UNIK-PCS의 목적	III-3-2
3.1.3 원유 구매일정 수립 전 확인, 조정 사항	III-3-3
3.1.4 구매 원유 결정 및 선박 할당에 대한 제약 조건	III-3-4
3.2 지식에 기초한 완화(Knowledge-based Relaxation)	III-3-6
3.2.1 지식 기초 완화의 개념	III-3-6

3.2.2	완화의 과정	III-3-7
3.3	UNIK-PCS의 구조	III-3-17
3.3.1	다른 시스템과의 관계	III-3-19
3.3.2	원유 구매 일정 수립 전 조정	III-3-21
3.3.3	구매 원유 결정 및 선박 할당	III-3-23
3.4	UNIK-PCS의 지식	III-3-24
3.4.1	개관	III-3-24
3.4.2	선언적 지식	III-3-24
3.4.3	순차적 지식	III-3-31
3.5	원유 구매 일정 수립 과정	III-3-33
3.5.1	월간 총 구매량의 입력	III-3-33
3.5.2	과대, 과소 물량 조정	III-3-33
3.5.3	고정된 구매 일정의 입력	III-3-34
3.5.4	기초 재고의 입력	III-3-34
3.5.5	월간 원유 처리 계획의 수립	III-3-34
3.5.6	원유 구매 일정의 수립	III-3-39
3.5.7	생성된 구매일정의 display	III-3-44
3.6	UNIK-PCS의 사용예	III-3-45
3.6.1	월간 총 구매량의 입력예	III-3-46
3.6.2	과소, 과대 물량의 조정예	III-3-47
3.6.3	고정된 구매 일정의 입력예	III-3-49
3.6.4	월간 원유 처리 계획의 수립예	III-3-52
3.6.5	원유 구매 일정의 수립예	III-3-53
3.6.6	생성된 구매 일정의 예	III-3-55
4.	UNIK-SCHD : 정유 공정 일정 계획 시스템	III-4-1
4.1	연구의 배경과 목적	III-4-1
4.1.1	1 개월 계획	III-4-2

4.1.2	3 개월 계획	III-4-2
4.2	시스템의 구성	III-4-3
4.2.1	시스템 분석 및 문제 해결 방법	III-4-3
4.2.2	시스템의 구성도	III-4-6
4.3	기술적 사항	III-4-8
4.3.1	선언적 지식의 표현	III-4-8
4.3.2	순차적 지식의 표현	III-4-10
4.3.3	Class-Based 추론 방법	III-4-11
4.3.4	Matching 과 Conflict Resolution	III-4-12
4.3.5	배합 모형과의 인터페이스	III-4-13
4.3.6	외부 기능과 인터페이스	III-4-15
4.4	화면 구성	III-4-15
5.	UNIK-FCST : 수요예측	III-5-1
5.1	UNIK-FCST 의 개요	III-5-1
5.1.1	유공에서의 수요예측의 성격	III-5-1
5.1.2	UNIK-FCST 의 개발타당성	III-5-2
5.1.2.1	이론적 타당성	III-5-2
5.1.2.2	현실적 타당성	III-5-2
5.2	UNIK-FCST 의 목적과 구조	III-5-5
5.2.1	UNIK-FCST 의 목적	III-5-5
5.2.2	UNIK-FCST 의 구조	III-5-6
5.3	UNIK-FCST 의 지식표현	III-5-6
5.3.1	지식의 구조	III-5-6
5.3.2	예측대상 (Forecasting target) 의 지식표현	III-5-9
5.3.3	판단대상의 지식표현	III-5-9
5.4	예측과정	III-5-12
5.4.1	통계적 예측과정	III-5-12
5.4.2	비율분석에 의한 예측	III-5-12

5.4.3 판단요인의 고려	III-5-15
5.4.4 예측자의 편기조정	III-5-16
5.4.5 예측결과의 제시	III-5-16
5.5 학습	III-5-16
5.5.1 User-driven 학습	III-5-16
5.5.2 System-driven 학습	III-5-17
5.6 Database 와의 연결	III-5-17
5.7 사용예	III-5-18
5.7.1 통계적 예측과정의 사용예	III-5-18
5.7.2 비율분석에 의한 예측예	III-5-23
5.7.3 판단요인의 고려예	III-5-25
5.7.4 예측자의 편기조정예	III-5-25
5.7.5 예측결과의 display	III-5-32
5.7.6 학습의 예	III-5-36
5.7.7 Data 관리의 예	III-5-39
5.7.8 저장과 Report 의 예	III-5-39

1. 석유산업에 대한 UNIK의 응용 구조

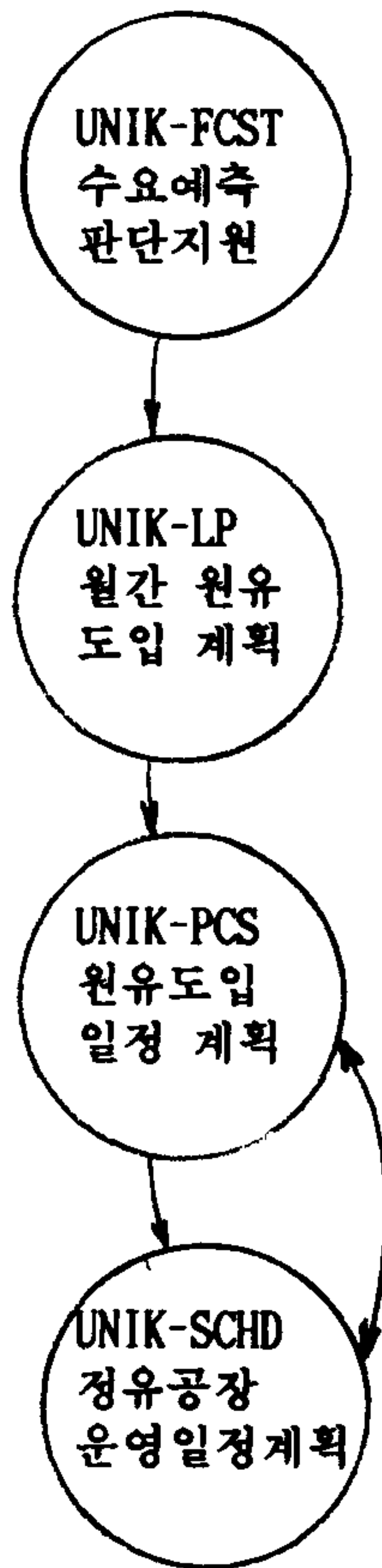
UNIK의 응용을 위해서 석유산업을 선택한 것은 석유산업분야에서 원유도입 계획 수립을 위해 최적화를 활용하고 있으나 구체적 일정계획을 수립하는 데는 많은 추가적 지식이 반영되어야 하기 때문이다. 최적화 모형은 지식과 데이터와 일관성 있게 관리 되어야 하는 바 UNIK의 도움 없이는 이와 같은 개발의 효율성과 일관성의 보장을 기대하기 어렵다. 그래서 (주)유공도 이 연구의 중요성을 인식하고 연구원, 연구장비 및 연구비의 부분적 지원을 결정하게 되었다.

1.1. 문제의 제기

- (1) 원유도입의 최적화를 위해서는 최적화 모형을 이용하고 있다. 그런데 기존의 상업화된 최적화 모형구축시스템은 모형 구조와 데이터의 수정이 어렵고, 구축된 모형이 완전한지 개념적 차원에서 확인하기가 어렵다. 그래서 UNIK-OPT를 이용하여 이 과정을 지원하는 것이 도움이 될 것으로 판단되었으며 이 부분이 UNIK-LP로 개발되었다. 이 내용은 제2장에 설명되어 있다.
- (2) 월간 원유도입 계획을 원유도입일정계획으로 변환시키기 위해서는 선박수배, 원유재고 상태유지, 수송가능 물량 등을 감안하여야 하는 복잡한 과정이다. 이를 위해 UNIK-FRAME과 UNIK-FWD를 이용하여 UNIK-PCS를 개발하였으며, 그 내용은 제3장에 설명되어 있다.
- (3) 원유도입일정계획이 결정되면 이 계획에 따라 정유공장의 운영을 해야 한다. 이 과정에서는 가용원유유지, 정유설비활용, 제품혼합, 제품 재고 수준유지 등을 고려하여 일정계획이 수립되어야 하고 유사시 기동성있게 수정되어야 한다. 경우에 따라서는 원유도입일정계획의 수정을 요구할 수도 있다. 이 부분을 위해 UNIK-SCHD를 개발하였으며, 그 내용은 제4장에 설명되어 있다.

(4) 수요예측을 위해 이용되고 있는 시계열 분석 모형인 X-11 ARIMA는 신뢰도가 낮아서, 그 통계적 예측치를 바탕으로 예측전문가들이 수정판단을 하고 있다. 실험적 평가 결과 수정판단은 예측의 정확성을 높히는데 기여한 것으로 판명이 되었다. 그래서 이 판단 지식을 체계화하여 추후의 판단에서 활용될 수 있도록 하였다. 이 부분이 UNIK-FCST인데 제6장에 설명되어 있고 UNIK-FRAME을 이용하여 개발되었다.

이들 네 부분의 관계는 <그림 1-1>에 나타나 있다.



<그림 1-1> UNIK의 석유화학에서의 활용관계도

2. UNIK-LP : 최적 원유구매계획

2.1 UNIK-LP 시스템의 개요

UNIK-LP 는 UNIK-OPT 를 석유산업에 응용하여 구매가능한 유종에 대해서 최적의 원유들을 구매하는 선형계획 모형의 작성을 지원하는 시스템이다. 적용대상 기업에서는 수요예측에 따른 최적의 월간 생산계획과 원유사용계획을 수립하고 이를 가능하도록 하는 최적 유종을 선택하는 선형계획 모형을 RPMS 시스템으로 구축해 놓고 있다. RPMS 시스템은 테이블로 선형계획 모형을 작성하는 모형화 언어 (Modeling Language) 의 일종으로 볼 수 있다.

2.2 UNIK-LP 시스템의 특징

1) 모형화의 과정은 화면을 통한 사용자와의 대화로 이루어진다.

a) RPMS에서의 선형계획모형화는 PC Editor 에서 제공하는 스프레드시트 (spread sheet) 형태의 입력양식에 맞추어 원하는 모형을 테이블 (table) 의 형태로 작성함으로써 이루어진다. 그러나 사용자가 모형을 작성하기 위해서는 테이블의 입력포맷을 잘 알고 있어야하고, 또한 적용분야에 대한 지식을 충분히 갖고 있어야 한다. 테이블에 포함되어야하는 지식은 매우 전문적인 성격을 띠고 있으며, 그 범위가 매우 광범위하므로 기본 모형의 작성을 위해서는 여러분야에 걸친 전문가들의 전문지식이 필요하게 된다. UNIK-LP 시스템은 사용자가 테이블을 작성해야하는 부담을 줄이기 위해서 모형화에 필요한 정보를 대화를 통해서 획득한다.

b) 대화는 대화관리 모듈 (dialog manager) 에 의해서 생성된다. 모형화의 순서는 관련 분야에 대한 명확화로부터 시작된다. 선정된 분야지식은 이후의 제약식생성의 지수 (index) 로 사용된다.

c) 대화는 사용자의 Initiative 에 따라서 진행순서가 변경될 수 있다. 즉 모형화의 관점에 따라서 사용자는 목적함수를 우선적으로 고려할 수도 있고, 제약식이 우선하기도하고 결정변수를 포함하는 항이 우선하기도한다. 이는 사용자가 모형화 하고자하는 상황을 정확하게 모르는 경우에도 모형의 생성이 가능하게 하고, 충분히 고려하고있지 못한 사항에 대한 가이드를 해줄 수 있다는 것을 의미한다.

d) 이것이 가능하기 위해서는 목적함수, 제약식 그리고 결정변수들이 유기적으로 표현되어야 한다. UNIK-LP 시스템에서는 이것이 가능하도록 하기위해서 지식을 네트워크 (network) 형태로 관리하고 있다.

2) 관련 분야에 대한 지식이 확장됨에 따라 유종 선정모델뿐만 아니라 수송모형, 제품배합모형등으로 확장될 수 있다.

RPMS 모형은 모형의 확장성의 관점에서는 제약이 있고, 추가적인 모형의 표현도 수월하지 못하다. UNIK-LP 시스템은 특정목적의 다양한 모델을 만들 수 있도록 확장성에 대한 고려를 충분히하여 지식을 표현한다.

3) "Level of Abstraction" 개념에 의해서 사용자 필요에 맞는 대화수준으로 모델을 형성한다.

사용자의 요구및 전문지식의 정도에 따라서 모형화의 단계나 대화의 깊이가 달라질 수 있는 모형화과정의 특징은 사용자 그룹에 대한 구분이 선행되면 모형화 단계에서 고려되어야 한다. UNIK-LP 시스템에서는 이를 최대한으로 반영하여 상이한 사용자 그룹에 대해서 최소한의 대화를 통해서 모형의 형성이 가능하도록 하고 있다.

예를 들어서, 경영자가 신속하게 직접 모형을 구축하고 수정할 수 있도록 하기 위해서는 의미론적으로 높은 수준의 대화가 필요하고, 대화의 수가 적은 것이 소망스러우므로 낮은 수준의 대화가 필요한 것은 최대한 디폴트 (default) 값으로 처리한다. 그

러나 공장의 운영이나 유종의 도입을 위한 모형의 생성에는 대화의 수준은 낮으나 대화의 수가 많아지고 개별 제약식 수준에서의 명확화를 위한 대화가 필요하게 된다. 이 과정에서는 제약식의 애매성을 없애는 과정이 필요하므로 대화의 깊이가 깊어지게 된다.

모형이 완성되고 알고리즘과 연결되어 최적해가 구해지고, 이에 대한 감도분석 (sensitivity analysis) 을 하는 경우에도 이 개념이 적용될 수 있다.

4) 모형화에 있어서는 신축성 (Flexibility) 가 중요하므로 UNIK-LP 에서는 이를 가능한 범위에서 최대한 지원하도록 관련분야지식과 제약식 생성 규칙을 표현한다.

대상기업의 모형화에서는 실제 상황을 모형화하는 경우에, 논리적으로 각 공정의 전부 또는 일부를 합치거나 분할하고 1차유분을 합치는 모형상의 조작을 가하는 경우가 발생한다. 또한 실제하지 않는 공정을 추가하거나, 모형의 크기에 따라서는 실제하는 공정을 삭제하기도 하므로 실제상황을 그대로 반영한 지식의 표현은 이를 충분히 나타낼 수 없다.

따라서 UNIK-LP 시스템에서는 이런 변화를 반영할 수 있도록 공통 지식베이스 (common knowledge base) 의 내용을 가장 일반적인 경우로 하고, 이로부터 사용자의 모형형성 목적에 맞는 예제를 포함하는 특정 지식베이스 (specific knowledge base) 에는 이런 상황이 표현 되도록 구성되어있다.

5) UNIK-LP 시스템에는 기작성된 모형을 관리하고, 사용자가 이를 재사용하고자하는 경우도 지원한다.

이미 만들어진 모형의 선정에는 작성자, 작성일자 또는 작성부서 등이 고려된다. 예를 들어서 지난달의 모형이나 특정 작성자의 모형을 재사용하는 과정을 시스템에서 지원한다.

2.3 UNIK-LP 시스템의 개발목적

UNIK-LP (Unified Knowledge Linear Programming) 시스템은 대상기업에서 사용중인 RPMS (Refinery and Petrochemical Modeling System) 패키지의 여러기능 중에서 퍼스널컴퓨터에서 RPMS 모델을 작성 및 유지하는 PC Editor 의 기능을 대체하고, 더 나아가서는 대상기업의 선형계획모형을 MPSX 입력포맷 (format) 에 맞게 생성할 수 있도록 하는 것을 그 개발 목적으로 한다.

이런 개발목적을 달성하기 위해서는 다음과 같은 것들이 선행되어야 한다.

1) 선형계획모형에 대한 지식과 정유산업에 관련된 지식을 표현하는 지식 베이스를 구축한다.

선형계획모형지식에는 목적함수, 제약식 그리고 의사결정변수와 이들간의 관계가 계층구조를 이루며 표현된다.

2) 모형화과정에서 사용되는 데이터를 저장, 관리하는 데이터 베이스를 설계, 구축한다.

데이터는 UNIK-DB (Unified Knowledge Database) 에서 관리하게 된다. UNIK-DB는 UNIK-LP 시스템에서뿐만 아니라, 원유구매를 지원하는 UNIK-PCS 시스템과 정유공정작업 일정계획을 지원하는 UNIK-SCHD 시스템에서도 같이 공유하며 사용한다. 데이터는 자동적으로 모형화과정에서 연결되도록하여 사용자가 데이터를 직접 관리함으로써 발생가능한 에러와 복잡성을 줄이고, 데이터의 중복성을 없앤다.

UNIK-LP 시스템은 정유산업에 대한 지식과 선형계획 모형화 지식을 기초로하여 사용자와 시스템간의 인터페이스 (interface) 를 통해서 관련분야에대한 전문지식은 갖고있으나 선형계획기법을 잘 사용하지못하는 사용자가 보다 쉽게 원하는 선형계획 모형을 작성할 수 있도록 지원하게 된다.

2.3.1 대상기업의 RPMS 모델

1) RPMS 시스템은 미국의 Bonner

소프트웨어 (software) 로 정유산업과 석유화학분야의 지식을 기초로하여 정제와 석유화학산업의 기술과 경제성을 반영하는 수리적 모형의 개발과 분석을 지원하는 시스템이다.

이 시스템은 기술지향적 (technology-oriented) 문장, 논리적 요구 그리고 숫자 표등을 입력으로 받아 이를 선형계획 매트릭스 (matrix) 로 변환하고 경영자들에게 필요한 각종의 보고서를 만들어 낸다. 주요 기능은 최적화를 위한 모형의 생성과 관련된 보고서를 만드는 것이다. 최적화를 위해서는 IBM 컴퓨터 에서는 MPSX 와 같은 수리 모형 시스템의 지원이 필요하다. 대부분의 매트릭스 생성과 보고를 위한 RPMS 프로그램은 Bonner

2) RPMS 를 이용한 유종선정 모형의 구성은 PC Editor 를 통해서 작성된다. 모형은 각기 다른 범주에 속하는 테이블들로 구성된다.

테이블은 크게 다음의 범주로 나뉜다.

- a. 모형에 공통적으로 적용되는 사항
- b. 원유, 제품, 유틸리티등을 포함하는 원재료에 관한 사항
- c. CDU, Gas plant 및 2차 공정등을 표현하는 테이블
- d. CDU 에서 나오는 1차유분과 이에 대한 논리적 운영에 관한것
- e. Recursion 을 위한 테이블
- f. 제품배합 (blending) 에 관한 사항

각 테이블은 시스템에 사용자가 공급하는 데이터를 나타내기 위한 것들과 정유 및 석유화학 산업의 기술을 표현하기 위한 것들 그리고 실재하는 공정과 유분 (Down Stream)에 대한 논리적 조작에 관한 것등으로 구분할 수 있으나, 대부분의 테이블은 이것들이 혼용되어 나타나 있다. 예를 들어서 가스회수공정 (Gas Concentration Unit)에 관한 "VGP" 테이블에는 입력가스유분과 출력가스유분의 관계가 표시된 기술적 내용을 나타내고 있으나, 더불어 유틸리티와 운전용량에 대한 데이터가 함께 표현되어 있다.

2.3.2 RPMS 시스템 이용상의 어려움

여러분야에 걸친 전문지식의 필요, 문법에 맞는 테이블의 작성 그리고 숫자자료의 직접 입력등이 일반 사용자의 RPMS 패키지 사용을 어렵게하는 요인이 되고있다.

1) RPMS 시스템으로 모형을 작성하기 위해서는 PC 편집기 (editor)를 사용한다. 이를 위해서는 편집기의 사용법을 익혀야 한다.

편집기는 스프레드시트형태인데 이런 환경은 구조의 표현 뿐만아니라 숫자자료 (numeric data)를 입력하여야 하므로 일이 복잡하고 지루해지기 쉽다는 단점이 있다.

2) 모델의 구성은 관련분야에 대한 전문지식이 충분하고 RPMS 소프트웨어의 문법을 잘 아는 전문가에 의해서만 가능하다.

사용자는 정유산업의 선형계획모형을 이해하고 있어야 한다. 그러나 규모가 크고 복잡한 모형을 이해하는데는 많은 시간과 노력이 요구된다. 또한 RPMS의 문법을 교육하고, 습득하는 것도 상당기간이 소요된다.

3) 기작성된 모형에 대한 수정작업이 용이하지 못하다.

기작성된 모형에 대한 수정작업은 단순히 데이터를 바꾸어주는 것에서 부터 모형

을 구조적으로 수정하는 것에 이르기까지 매우 다양하다. 데이터를 수정하는 작업은 비교적 단순하지만, 모형의 구조적 수정은 전문지식이 없이는 거의 불가능하다.

4) RPMS 시스템은 모형관리의 기능이 부족하다.

모형을 구성하는 테이블은 그 성격상 한번 작성된 것이 현재의 기술상태를 반영하고있어서 사용자가 이에 대한 고려없이도 모형에서 사용가능한 것이 있고, 가격이나 재고 상태와 같이 변화가 잦아서 매번의 모형화때마다 수정을 가해야하는 것이있다. 그러나 RPMS의 PC Editor 에서는 이에 대한 가이드가 부족해서 사용자가 모형을 작성하였어도 작성된 모형이 원하는 형태로 모형화가 이루어졌는지를확인하기 어렵다.

2.3.3 문제 해결 방법

RPMS 시스템의 이용상의 어려움을 해결하고, 제시된 UNIK-LP 시스템의 특징을 최대화 하기 위해서 다음과 같은 문제 해결방법이 요구된다.

1) RPMS 의 PC 편집기를 사용하는 부담을 없애기 위해서 모형화의 과정은 PC 상에서의 화면을 통한 대화로 진행한다. 대화에는 메뉴를 선택하는 경우와 시스템이 가이드하는 상태에서 사용자가 입력을 하는 형태로 대별된다.

2) UNIK-LP 에서 선형계획모형의 구조적 지식과 정유관련 분야의 전문지식을 제공함으로써 비전문가인 사용자의 부담을 줄인다.

3) 시스템이 제공하는 대화를 통해서 모델에서 중요 결정변수, 제약식등이 누락되는 사항이 없도록 가이드한다.

4) UNIK-DB 에서 데이터를 관리함으로써 여러 사용자가 중복적으로 데이터를 관리하는 번거러움을 방지하고 모델에 직접 숫자를 공급하는 과정에서 발생하기 쉬운 에러를 방지한다. UNIK-DB 에서는 모형화 과정에서 필요한 데이터를 자동적으로 공

급하고, 변화되는 데이터를 자동적으로 변경한다. 데이터의 공급과정에서는 상이한 단위 - 무게와 부피 - 는 제약식에 따라서 적절하게 조절한다.

2.4 UNIK-LP 의 지식표현

문제해결방법을 실현할 시스템환경이 가능하도록 UNIK-LP 에서는 선형계획모형의 기본구조와 대상기업의 모형을 위한 여러분야의 전문지식 그리고 테이블 문법에 대한 지식등을 시스템 내부적으로 프레임 (frame) 을 통해서 표현하고 지식베이스 (Knowledge Base) 에 이를 저장하고 있다.

2.4.1 선형계획모형에 대한 지식

선형계획 모형은 목적함수와 제약식으로 구성되고, 각 식은 항 (term) 으로 이루어져 있는 것으로 가정하고 있다. 각 제약식은 대상기업의 실제문제를 반영하여 구성되어 있으며 몇 단계의 수준으로 나뉘어져 있어서, 개별 제약식의 생성에 있어서 사용자와의 대화의 수와 깊이를 최소화할 수 있도록 구성되어 있다. 현재 시스템에는 기본 모형에 대한 제약식이 포함되어있으며, 모형이 확장되면 제약식이 추가될 수 있고 이 과정을 용이하게 지원할 수 있게 하고있다. 제약식은 투입/산출의 관계로 표현되며, 이 관계는 투입/산출의 형태(form) 적, 시간적 또는 공간적 변화에 따라서 구분된다. 선형계획 모형에 대한 구조는 2부 5장의 UNIK-OPT 에서 설명한 바와 같다.

2.4.2 석유산업관련 지식

UNIK-LP 의 응용분야는 최적의 원유구매에 관한 것이다. 이는 원재료의 선정과 분배, 정유공장의 운영 수준, 원유 배합, 원유 혼합, 그리고 이들의 조합을 포함하는 방대한 문제이다.

석유산업관련 지식의 예로 설명할 내용은 원유, 제품 및 공정에 관한 사항이다. 이러한 지식은 결정변수와 계수의 지수로 사용된다.

1) 원유에 관한 지식

원유는 크게 고유황원유와 저유황원유의 두가지 형태로 나누어 진다. 그러나 원유는 생산 지역등의 다른 기준에 의해서도 범주화될 수 있다. 각 형태의 원유는 < 그림 2-1 > 에 나타나 있듯이 많은 예제를 갖을 수 있다.

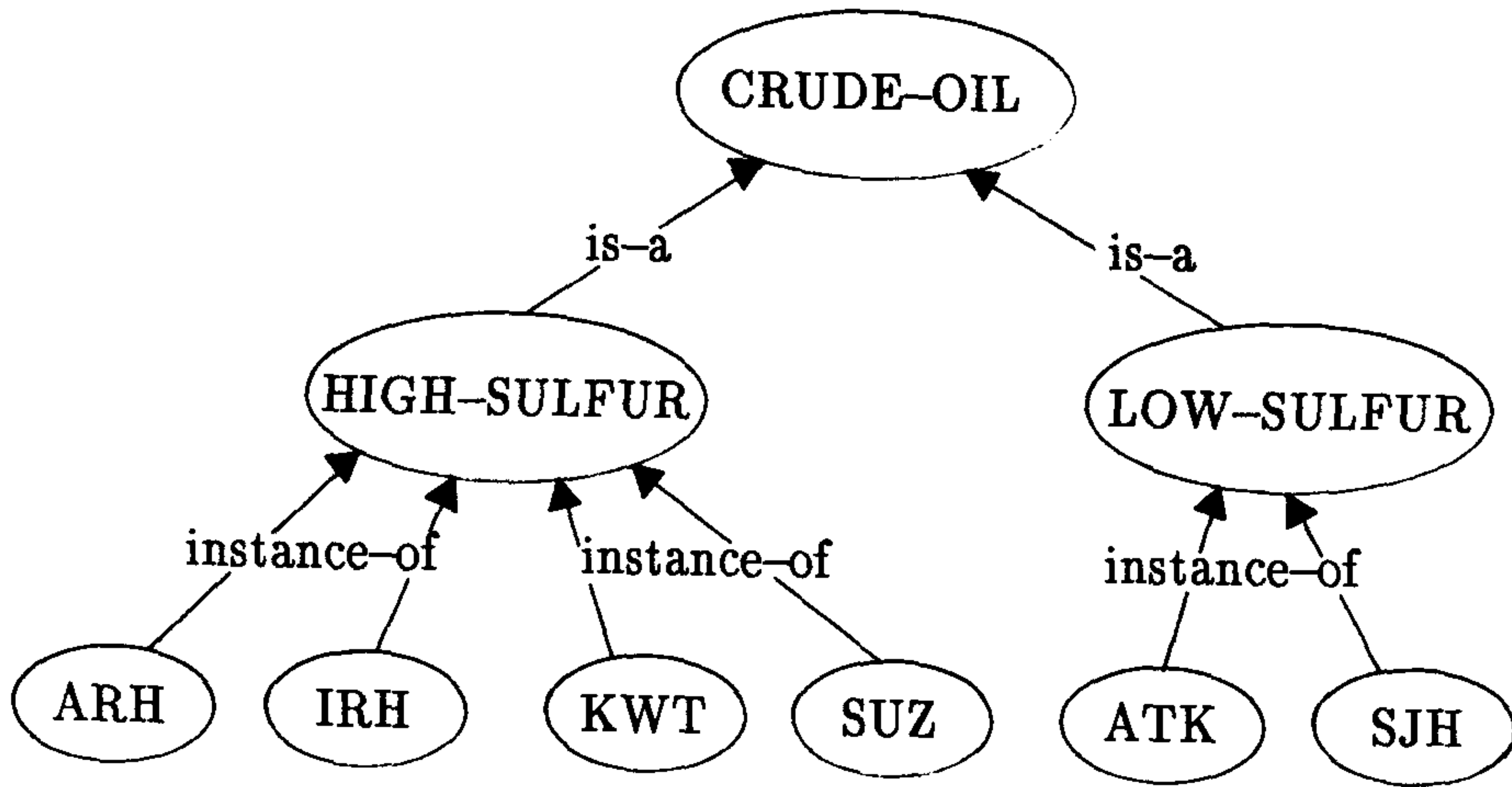
```
{{ CRUDE-OIL
  is-a : RAW-MATERIAL
  index-symbol : I
  related-terms : CRUDE-PURCHASE
                  CRUDE-CHARGE    }}
```

```
{{ HIGH-SULFUR
  is-a : CRUDE-OIL    }}
```

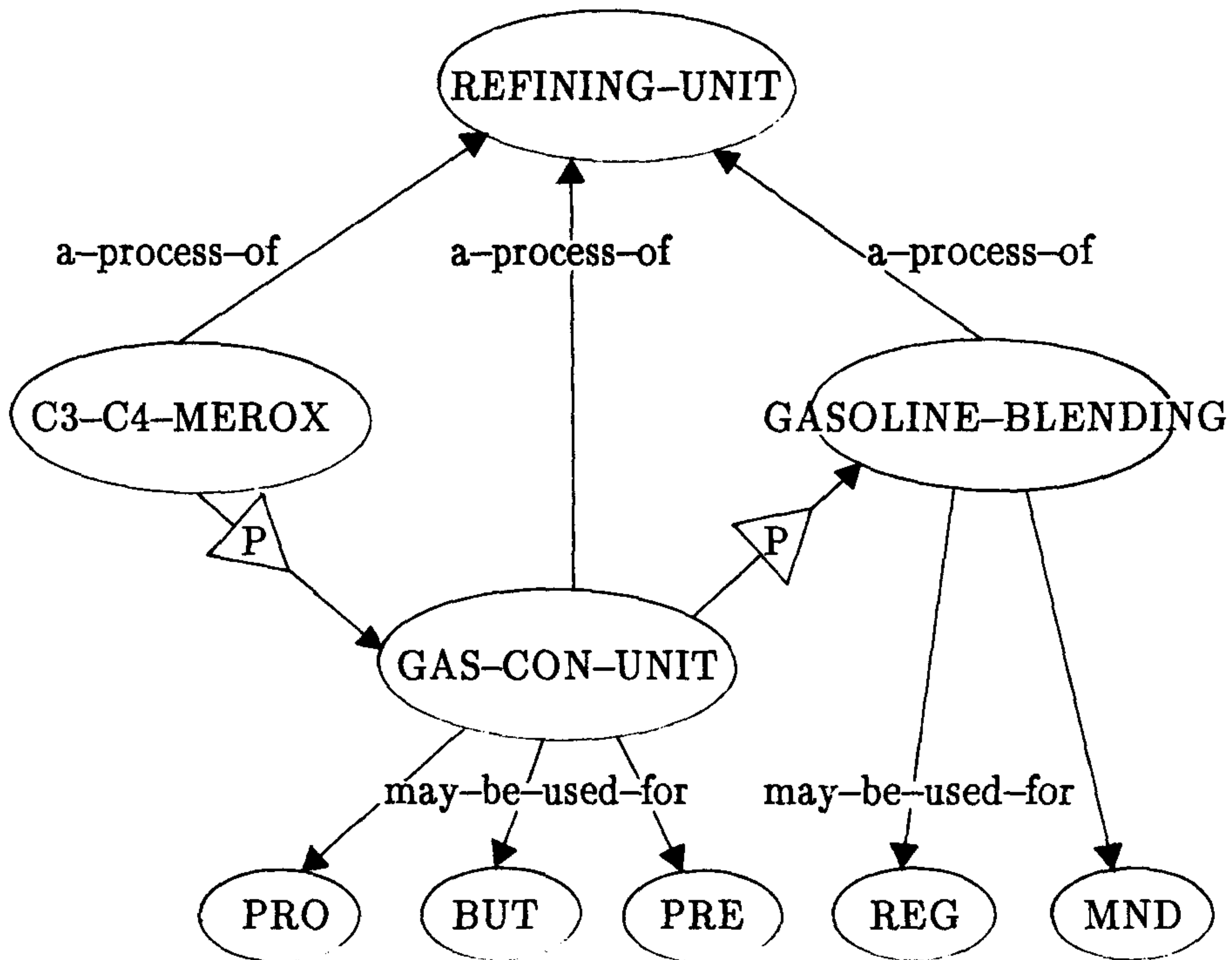
```
{{ LOW-SULFUR
  is-a : CRUDE-OIL    }}
```

```
{{ ARH
  description : "Arabian Heavy"
  instance : HIGH-SULFUR
  region : MIDDLE-EAST    }}
```

```
{{ SJH
  description : "Sharjah"
  instance : LOW-SULFUR
  region : MIDDLE-EAST    }}
```

< 그림 2-1 > 원유에 관한 지식



< 그림 2-2 > 공정에 관한 지식

이 예에서, CRUDE-OIL 과 HIGH-SULFUR 는 클래스이고, ARH 는 HIGH-SULFUR 의 예제이다. 어떤 주어진 추상화 수준의 원유는 is-a 와 instance 의 계층구조를 통해서 보다 일반적인 범주와 연결된다. 계층구조를 사용하는 것은 개념적 복잡성과 저장의 중복성을 줄이기 때문이다. 이는 일반적 객체의 특성을 더욱 구체적인 것에 상속함으로써 이루어진다. 슬롯 이름과 디폴트 값의 상속이 필요하다. related-terms 슬롯은 항목을 형성하기 위한 연결을 제공한다. 제품에 대한 지식도 이와 비슷한 방법으로 표현이 가능하다.

2) 공정에 관한 지식

공정에 대한 지식을 표현하는 프레임에는 a-process-of, succeed, precede, 그리고 may-be-used-for 와 같은 특별한 슬롯이 있다. Succeed 와 precede 슬롯은 공정 단위간의 순차적 관계를 표현하고 있다. 공정의 프레임은 다음과 같이 표현되고, 이들간의 관계는 < 그림 2-2 > 에 나타나 있다.

```
{{ FACILITY
```

```
  is-a : PROCESS-UNIT
```

```
  index-symbol : F
```

```
  related-terms : PRODUCTION-AMOUNT
```

```
  a-process-of :
```

```
  precede :
```

```
  succeed :          }}
```

```
{{ PLANT
```

```
  is-a : FACILITY
```

```
  has-process : DISTILLATION-UNIT  REFINING-UNIT }}
```

```

{{ DISTILLATION-UNIT
  a-process-of : PLANT
  index-symbol : F1
  precede : REFINING-UNIT  }}

{{ REFINING-UNIT
  a-process-of : PLANT
  index-symbol : F2
  succeed : DISTILLATION-UNIT  }}

{{ C3-C4-MEROX-UNIT
  a-process-of : REFINING-UNIT
  precede : GAS-CONCENTRATION-UNIT  }}

{{ GAS-CONCENTRATION-UNIT
  a-process-of : REFINING-UNIT
  succeed : C3-C4-MEROX-UNIT
  precede : NAPHTHA-BLENDING-UNIT
           GASOLINE-BLENDING-UNIT
  may-be-used-for : PROPANE BUTANE  }}

```

< 그림 2-2 > 는 a-process-of 관계를 통해서 프레임간의 계층구조를 나타내며, 공정간의 순차적 관계를 보여주고 있다. 여기서는 $\triangleleft P \triangleright$ 심볼을 사용하여 공정간의 순차적 관계를 모형화 하였다. $a \triangleleft P \triangleright b$ 는 'a 는 b 에 선행다' 또는 'b 는 a 의 다음이다' 를 표시한다. 여기서 적용하고 있는 순차 (sequence) 개념은 von Wright 의 '변화의 논리 (logic of change) ' 와 Allen 의 구간대수 (interval algebra) 를 적용한 것이다. 저장시설에 대한 지식도 이와 비슷하게 표현할 수 있다.

2.4.3 선형제약식

일반적인 정유산업의 선형계획 모형의 제약식은 500 에서 1500개 정도로 이루어져 있다. 이것들은 대부분 원재료 균형식, 성상 균형식 그리고 공정의 능력제약등이다. 정유산업의 제약식을 클래스 수준에서 표현한 것이 < 그림 2-3 > 에 나타나 있고, 이를 프레임으로 표현한 것은 다음과 같다.

(deframed CAPACITY-LIMITS

(description "Process Unit Capacity Limits")

(is-a SEMANTIC-CONSTRAINT))

(deframed MATERIAL-BALANCES

(description "Material Balances Constraints")

(is-a SEMANTIC-CONSTRAINT))

(deframed COST-MINIMIZATION

(description "Cost Minimization Objective Function")

(is-a OBJECTIVE)

(has-LHS (CRUDE-PURCHASE (variable-index *selected-crude*))

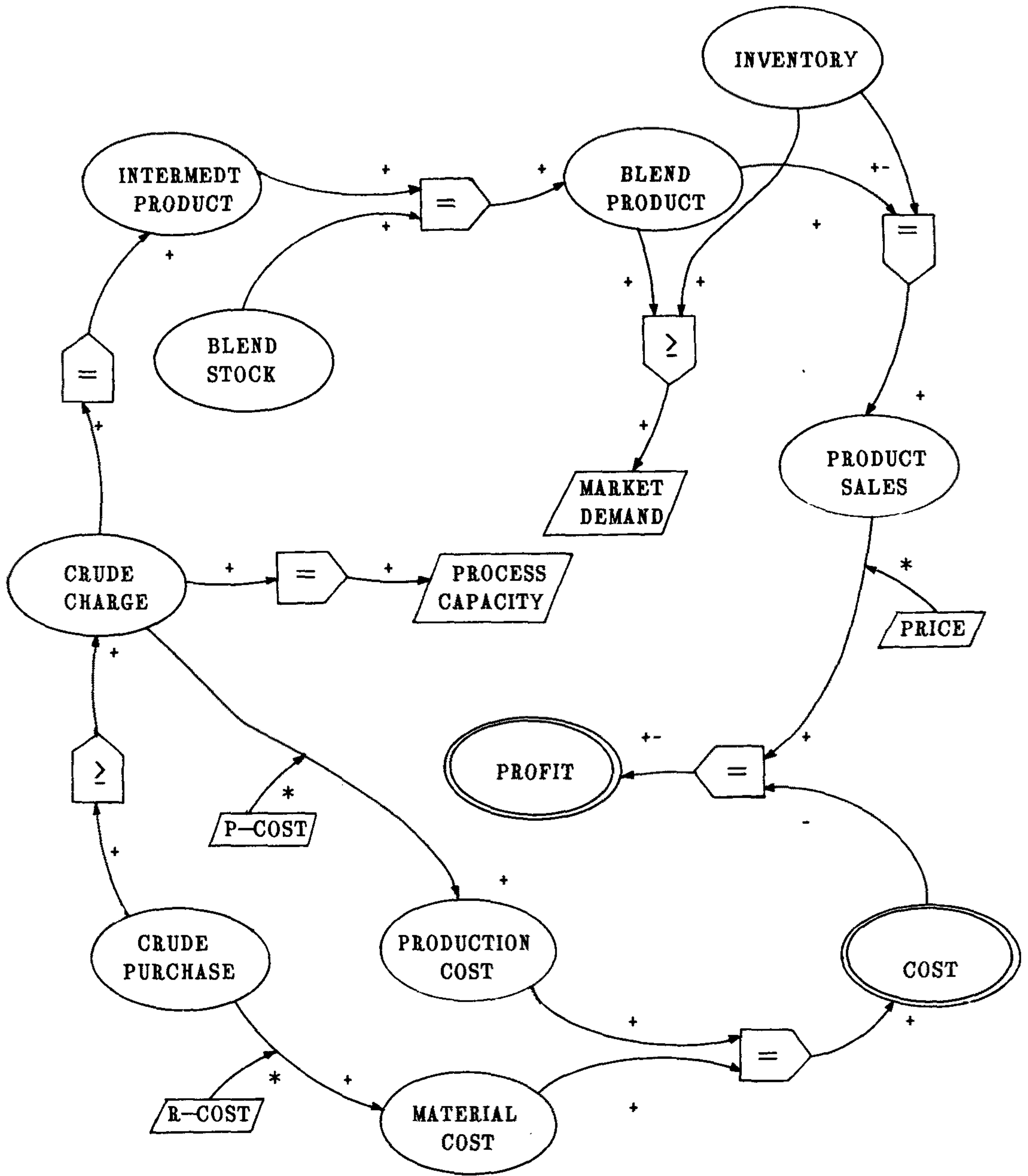
(FINAL-PRODUCT-SALES (variable-index *selected-final-prod*))))

(deframed CDU-UNIT-CAPACITY-LIMITS

(description "Crude Unit Capacity Limit Constraints")

(is-a CAPACITY-LIMITS)

(operator LE)



< 그림 2-3 > 예제 제약식 네트워크

(deframed CRUDE-CHARGE

(description "Crude Charge Possibilities")

(is-a TERM)

(prefix-symbol VCR)

(suffix-symbol NIL)

(related-constraints CDU-UNIT-CAPACITY-LIMITS

MATERIAL-BALANCE-FOR-CRUDE-OIL

TREAT-CONV-CAPACITY-LIMITS

UTIL-BALANCE-CONSTRAINTS

GAS-PLANT-DRIVERS-CONSTRAINTS

QUALITY-ERROR-CONSTRAINTS

QUALITY-VOLUME-ERROR-CONSTRAINTS))

(deframed PROCESS-CAPACITY-LIMIT

(description "Process Capacity Max Limit")

(is-a DATA)

(related-constraints CDU-UNIT-CAPACITY-LIMITS))

(deframed CRUDE-PURCHASE

(description "Purchase Crude Oils")

(is-a TERM)

(prefix-symbol MBUY)

(suffix-symbol NIL)

(related-constraints MATERIAL-BALANCE-FOR-CRUDE-OIL))

(deframed FINAL-PRODUCT-SALES

(description "Final Products Sales")

(is-a TERM)

(prefix-symbol MSEL)

(suffix-symbol NIL)

(related-constraints MATERIAL-BALANCE-FOR-FINAL-PRODUCT))

2.4.4 데이터 베이스

데이터 베이스는 UNIK-DB 를 사용한다. UNIK-DB 에는 다른 시스템 - UNIK-SCHD, UNIK-PCS - 에서 공통적으로 사용하는 데이터를 저장하고 있다. 따라서 한 시스템에서의 데이터의 변화는 다른 시스템에도 영향을 준다. UNIK-DB 는 Library 데이터와 사용자가 모형화 과정에서 제시하는 데이터를 저장한다. UNIK-LP 는 각 원유의 성상, 수율 등의 데이터와 각 공정에서 사용하는 유틸리티, 유분등의 데이터와 원유 및 중간제품, 최종제품에 대한 원가 자료를 사용한다. 대부분의 원가자료는 동적으로 변화하므로 석유산업분야 관련 지식베이스의 프레임에 저장되어 있어, 직접 사용할 수 있도록하고 있다.

데이터 조정기는 모형상의 계수를 결정함에 있어서, 데이터의 합계, 평균, 단위상의 변환을 자동적으로 조정한다. 예를 들어서, 월단위의 데이터는 분기별 데이터나 연간 단위의 형태로 변환 사용될 수 있다. 데이터 베이스내의 검색에서 값을 찾을 수 없으면, 이것을 사용자에게 묻는다.

2.5 UNIK-LP 시스템의 화면예제

UNIK-LP System
<p>UNIK-LP supports the knowledge-based formulation of LP models. Move arrow keys for selection!</p>
<p>→ Linear Programming Model Formulation Knowledge Base Maintenance System Access to UNIK-DB Exit from UNIK-LP</p>

< 그림 2-4 > UNIK-LP Main Menu

LP Model Formulation					
<p>LP Model Formulation module can formulate a new LP model from Common Knowledge-base or reuse the previous models.</p>					
<p>→ Formulate a New LP Model Reuse the Previous</p>					
<table border="1"><tr><td>MODEL-INFORMATION</td></tr><tr><td>MODEL-NAME : 4-MODE</td></tr><tr><td>BUILT-BY : KIM</td></tr><tr><td>DEPARTMENT : PLANNING</td></tr><tr><td>BUILT-WHEN : 1989/05/05</td></tr></table>	MODEL-INFORMATION	MODEL-NAME : 4-MODE	BUILT-BY : KIM	DEPARTMENT : PLANNING	BUILT-WHEN : 1989/05/05
MODEL-INFORMATION					
MODEL-NAME : 4-MODE					
BUILT-BY : KIM					
DEPARTMENT : PLANNING					
BUILT-WHEN : 1989/05/05					

< 그림 2-5 > LP Model Formulation (a)

Context Identification

This module identifies the modeling context and selects the decision variables.

- > Raw Materials
- Process Units
- Final Products
- Utilities
- Planning Time
- Recursion and Pooling

< 그림 2-6 > Context Identification - Raw Materials

Raw Materials

In Raw Materials context, select the indices to be considered in the model.

- > High-Sulfur Crude Oils
- Low-Sulfur Crude Oils
- Petrochemical Return
- Imported Products

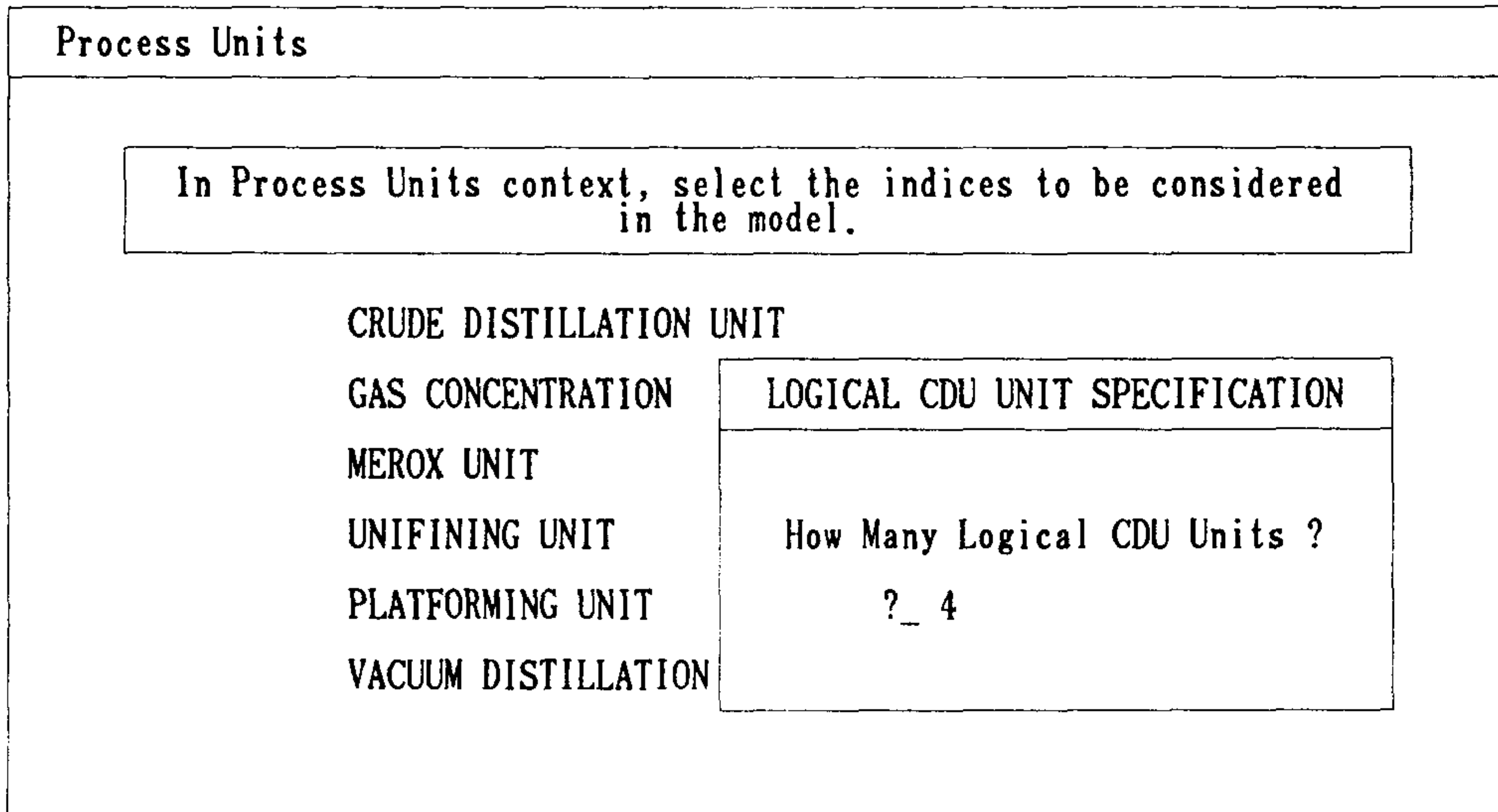
< 그림 2-7 > Raw Materials - Index Selection

H/S-Crude Oils						
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> Which High-sulfur crude oil should be considered in the model? Select all indices please! </div>						
* ABK	* ARH	* ARM	* ARL	BAL	COL	DKN
FTH	GSM	* IRH	* IRL	IST	* KWT	LZK
* MAN	* MUR	* RBD	SEN	* SUZ	USF	UZK

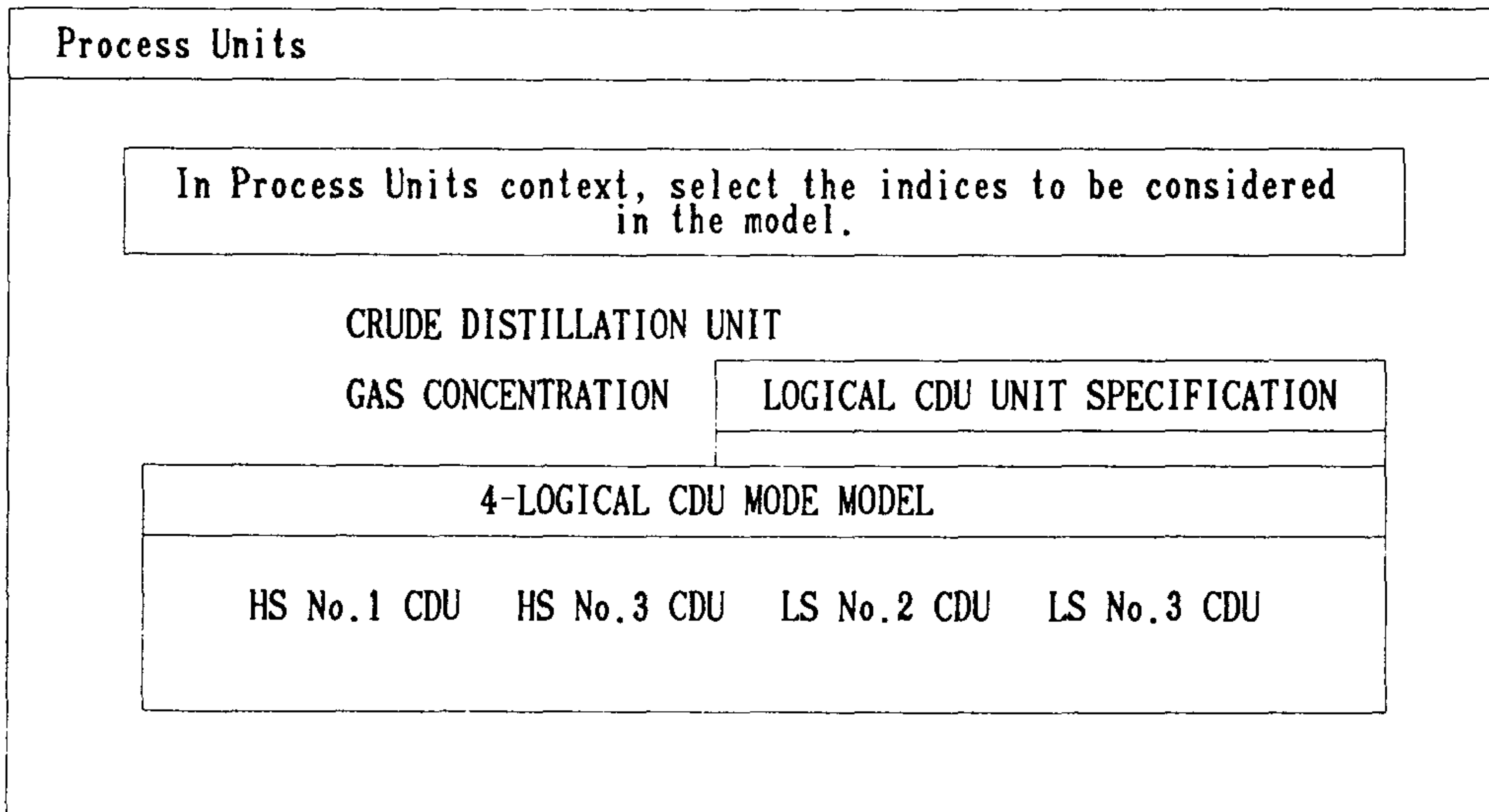
< 그림 2-8 > H/S Crude Oil Selection

Context Identification
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> This module identifies the modeling context and selects the decision variables. </div>
Raw Materials → Process Units Final Products Utilities Planning Time Recursion and Pooling

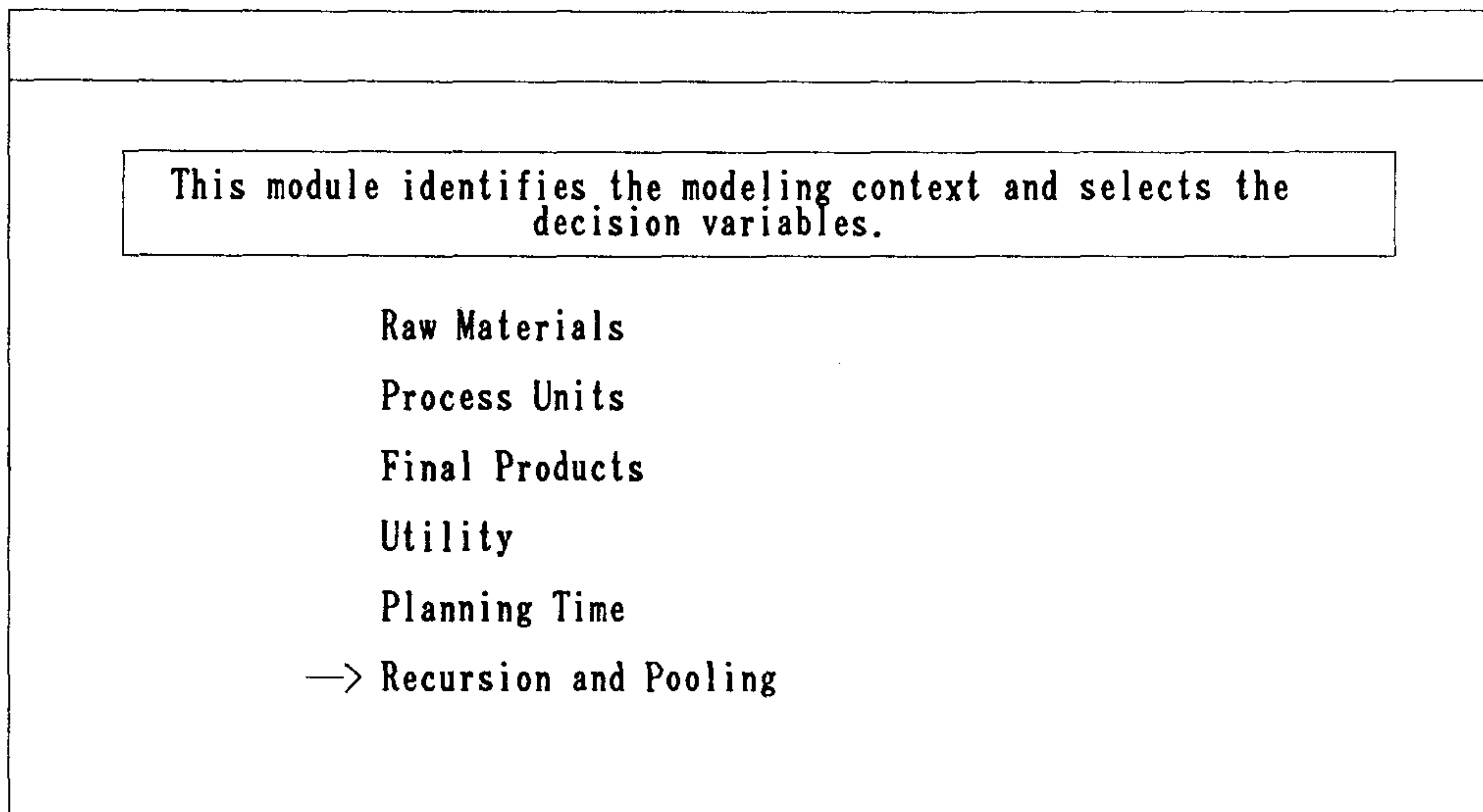
< 그림 2-9 > Context Identification - Process Units



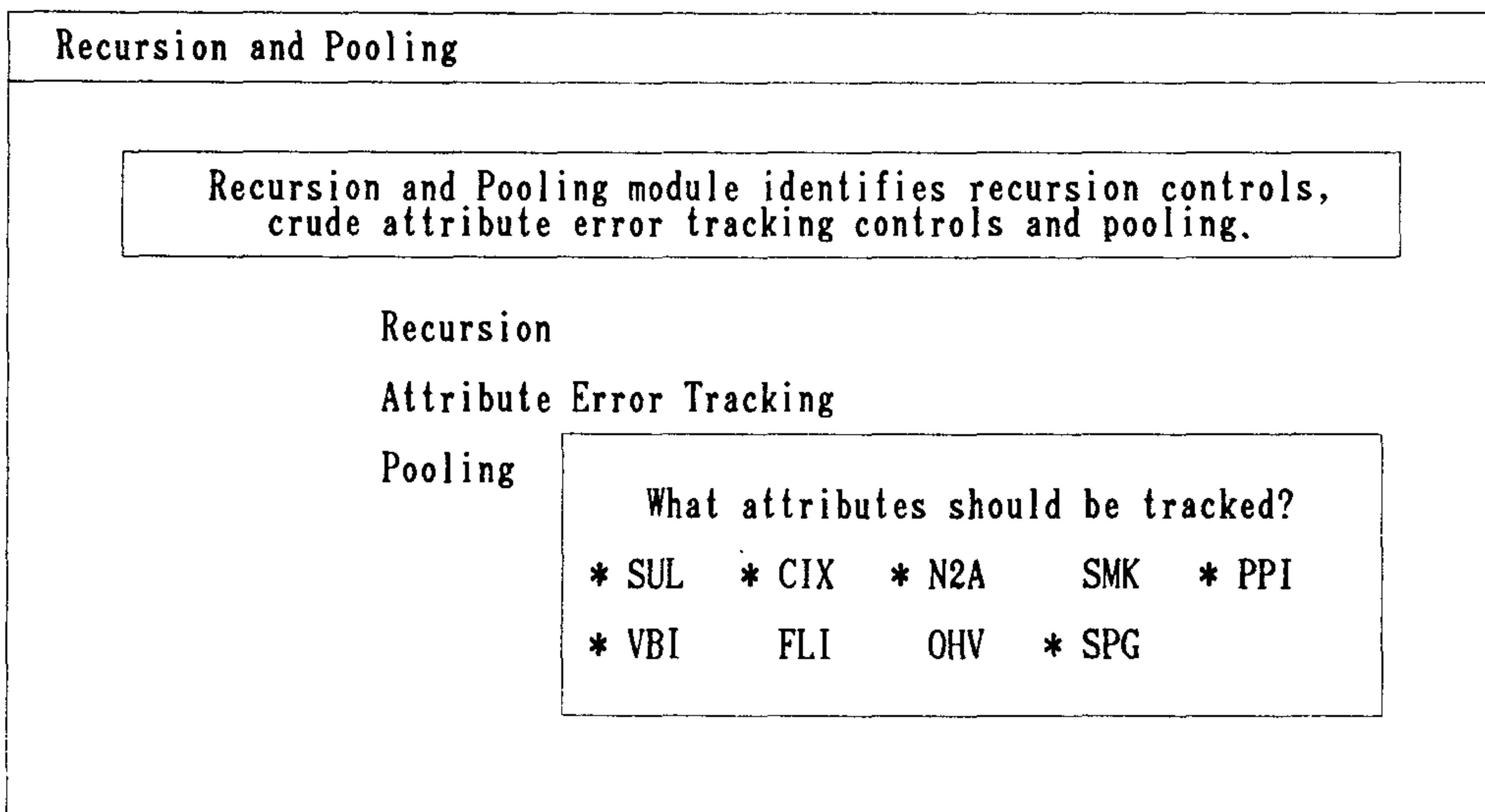
< 그림 2-10 > CDU Unit - Logical CDU spec. (a)



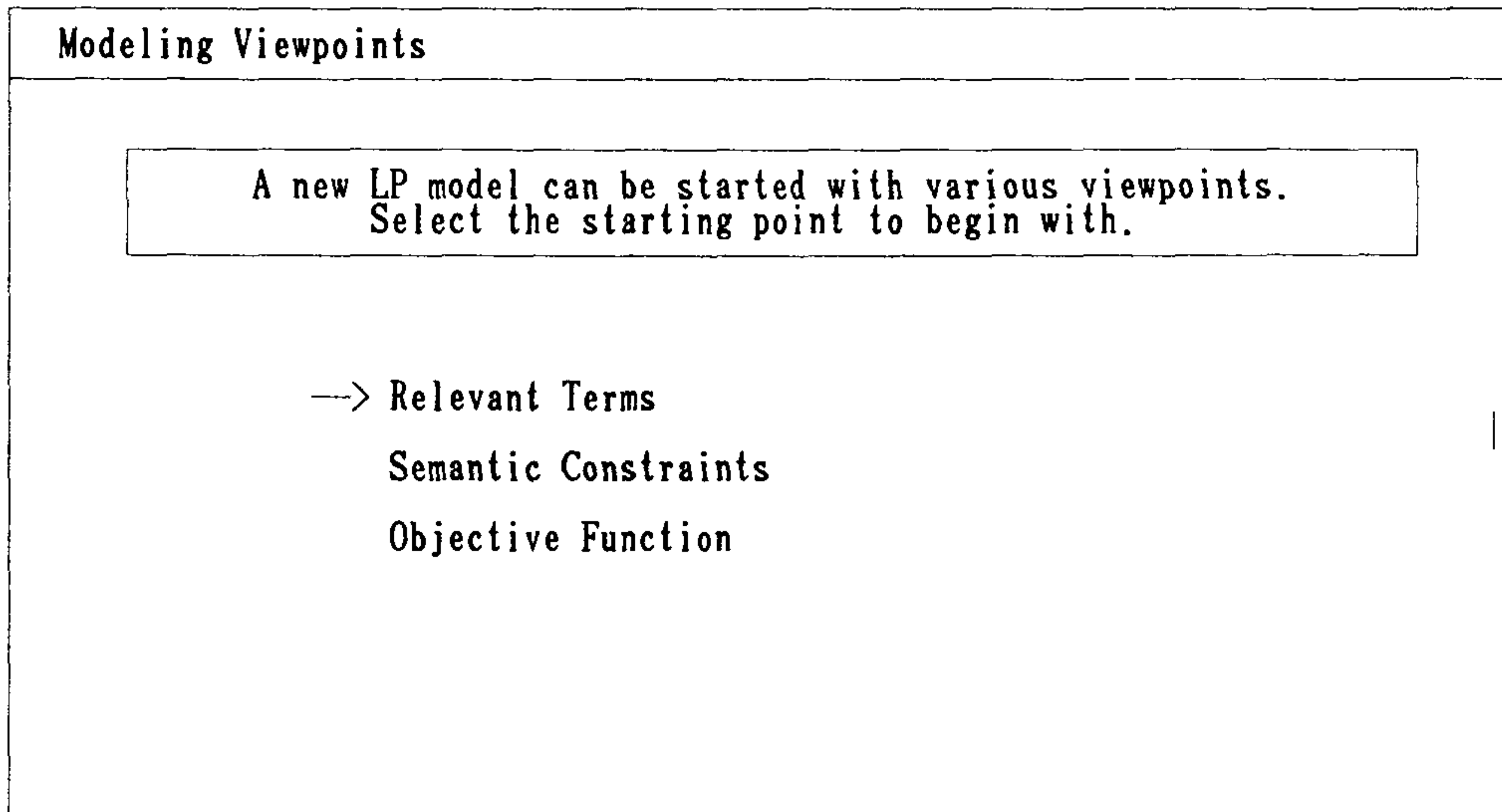
< 그림 2-11 > CDU Unit - Logical CDU spec. (b)



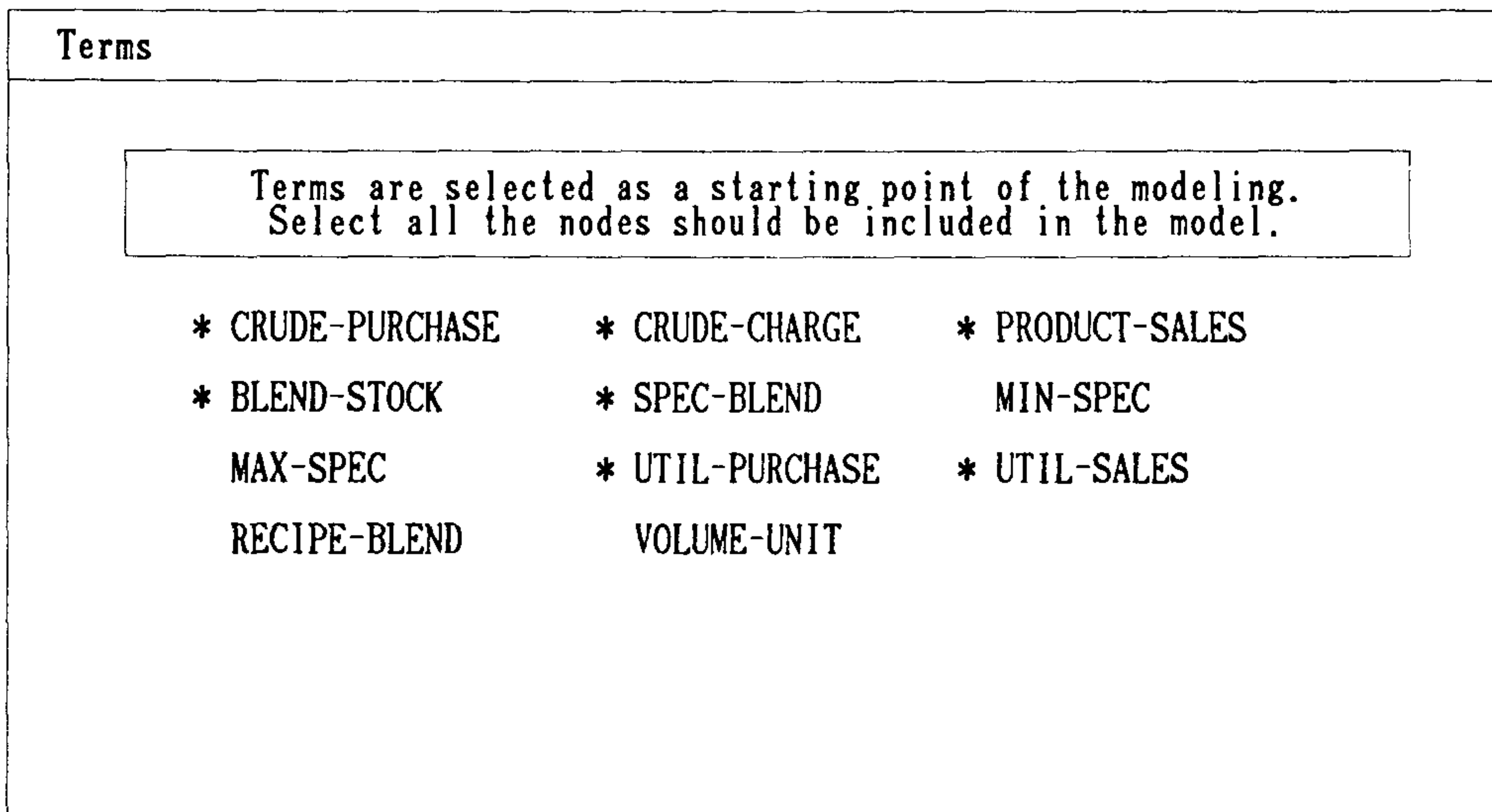
< 그림 2-12 > Context Identification - RECURSION AND POOLING



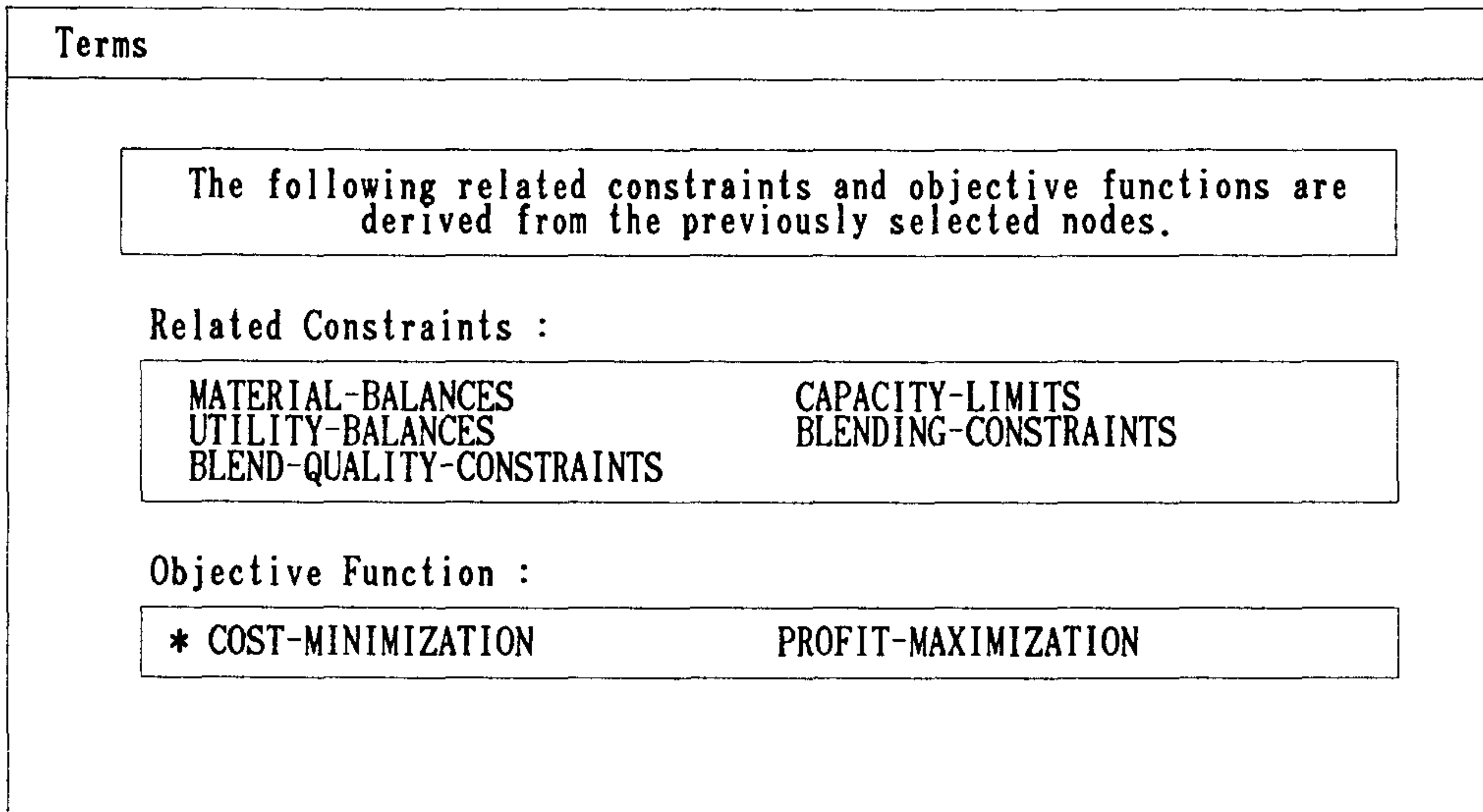
< 그림 2-13 > Recursion and Pooling - Attribute Error Tracking



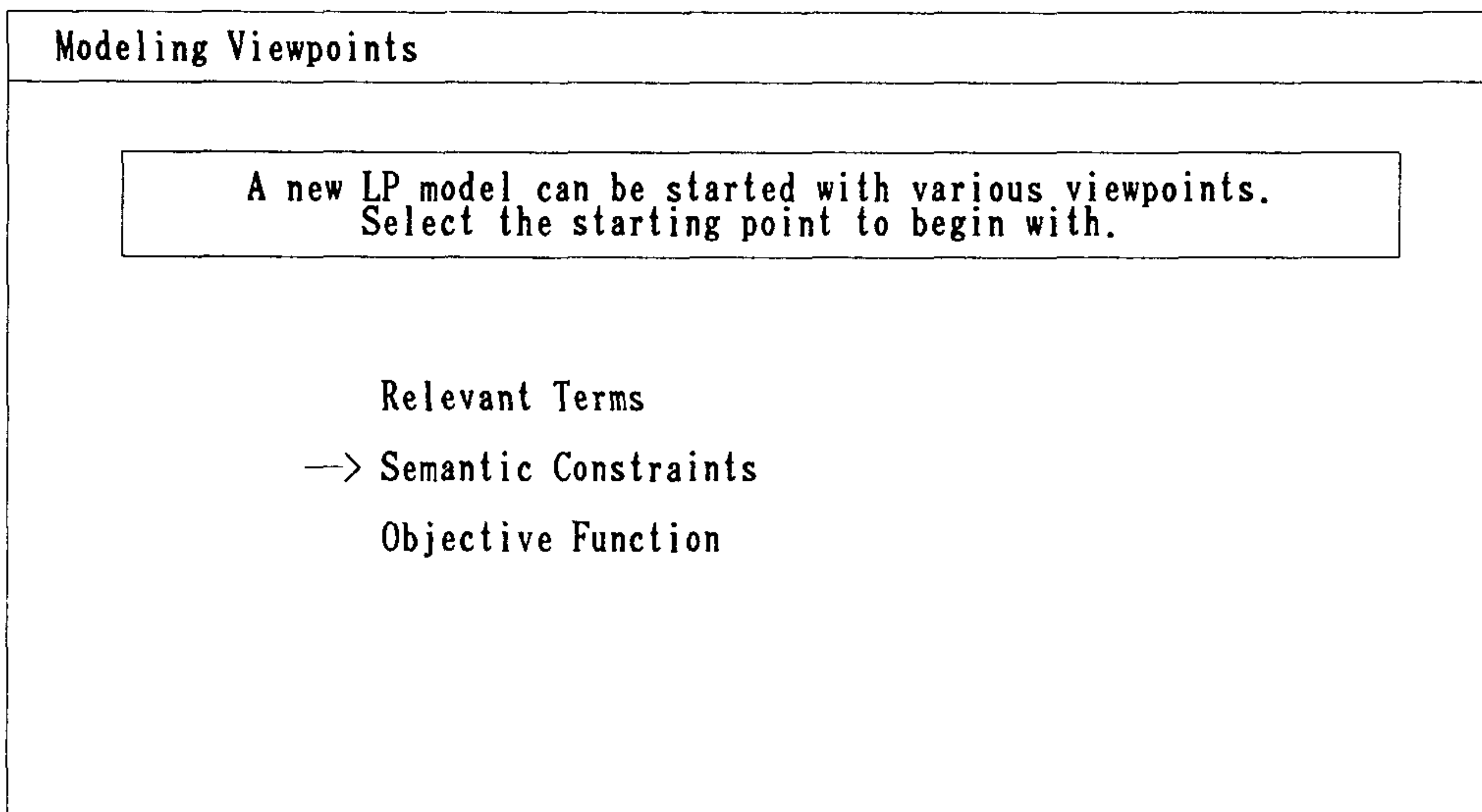
< 그림 2-14 > LP Modeling Viewpoint (a)



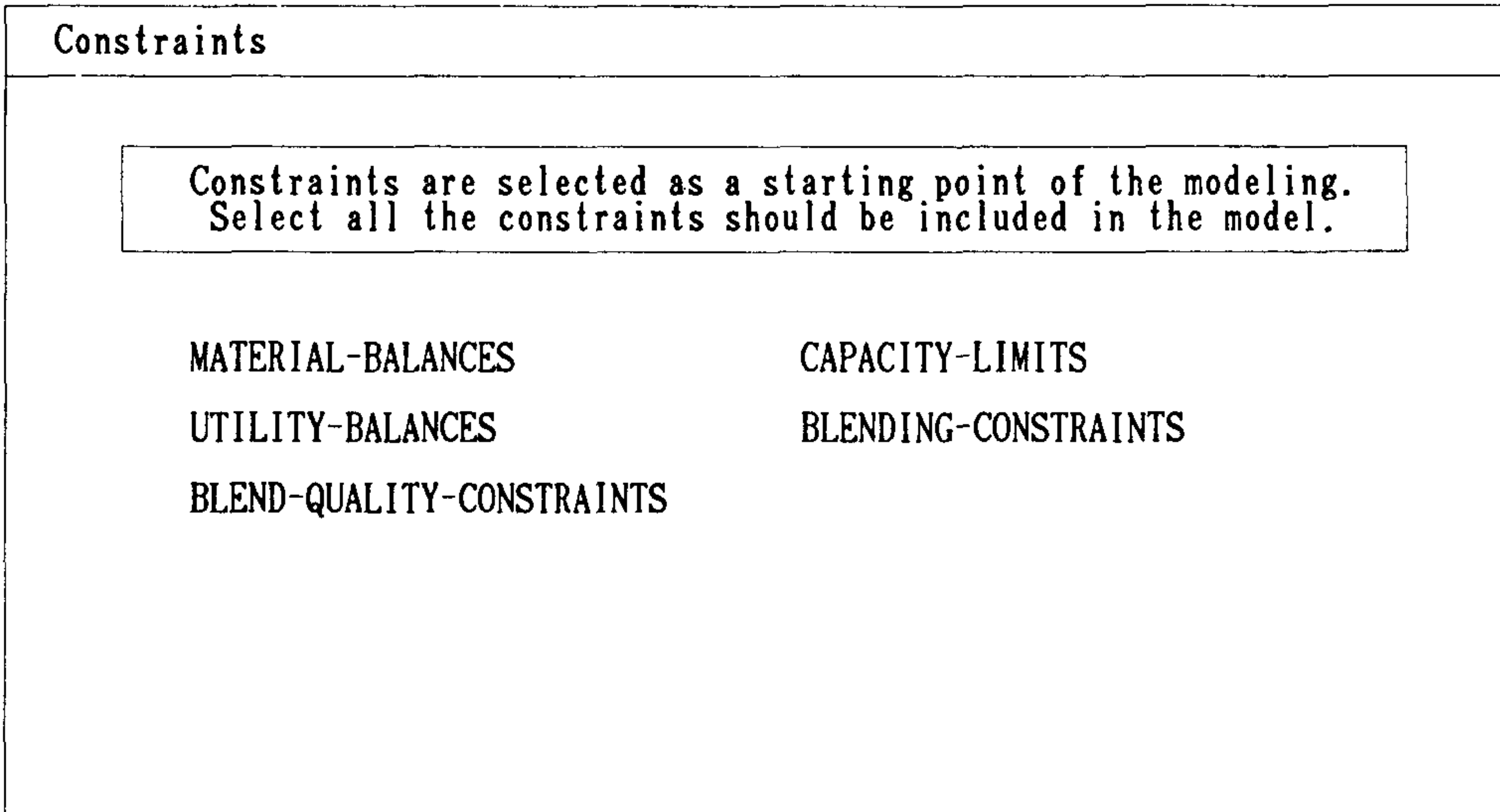
< 그림 2-15 > Modeling Viewpoint - Terms (a)



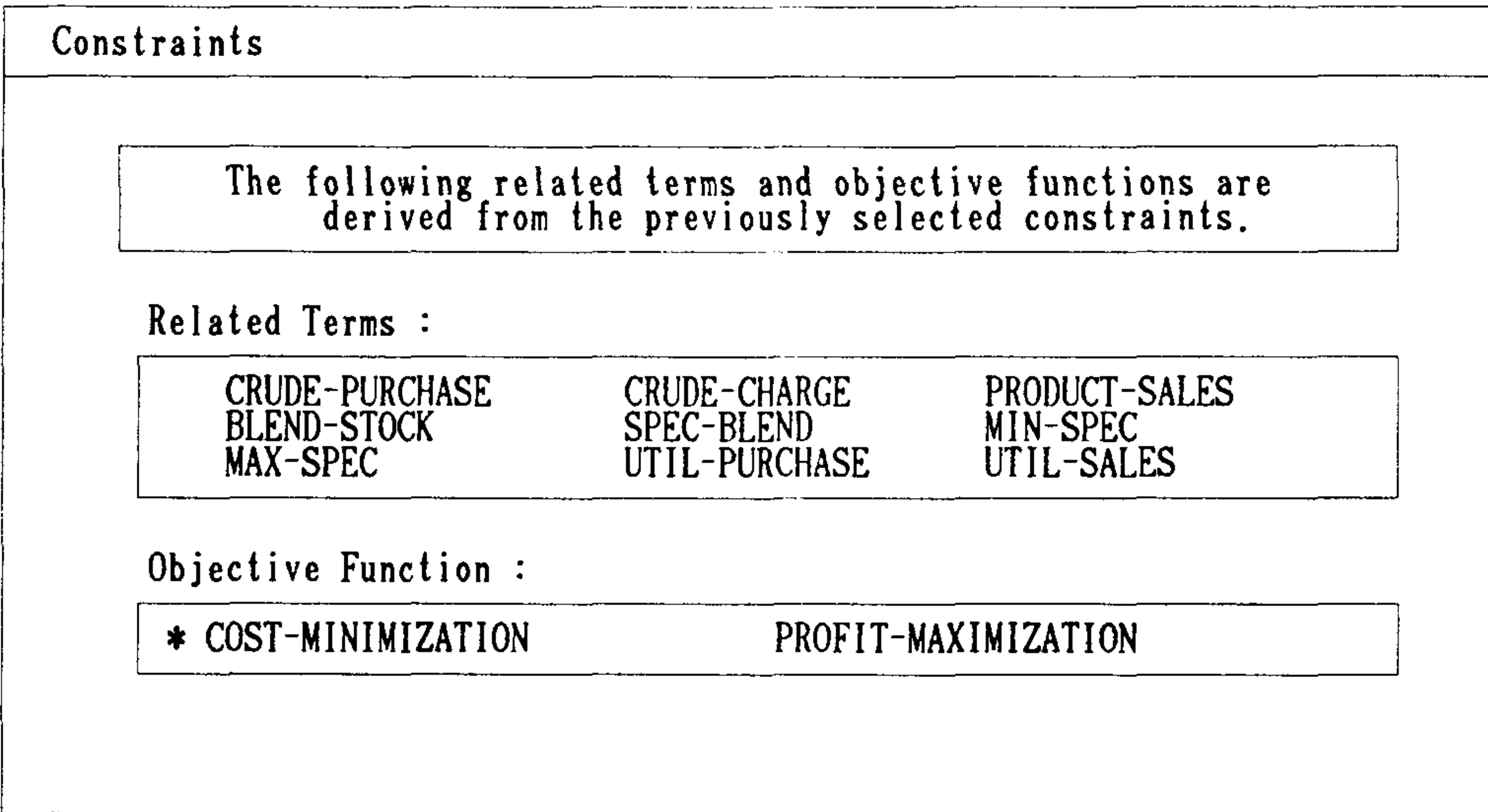
< 그림 2-16 > Modeling Viewpoint - Terms (b)



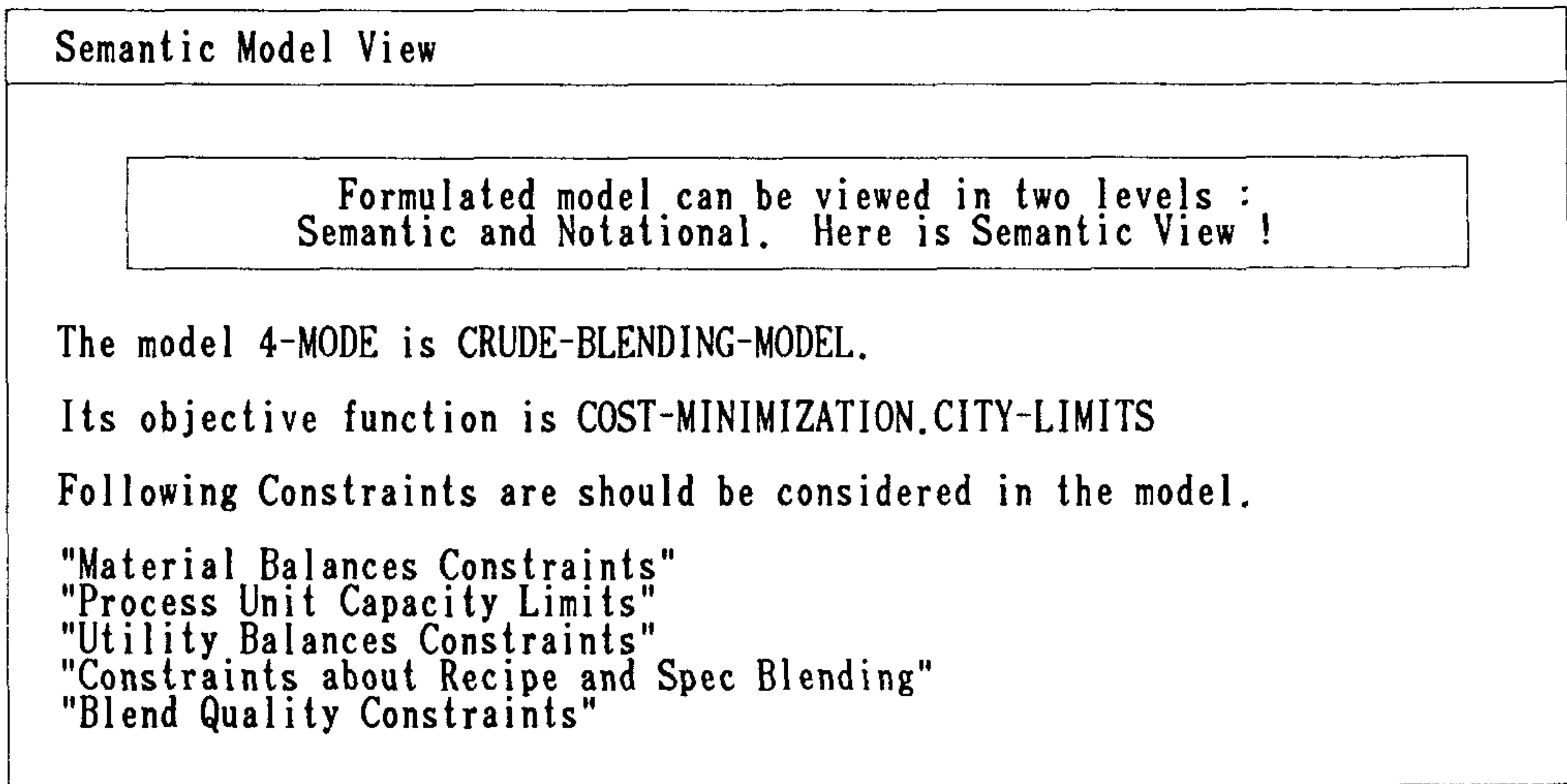
< 그림 2-17 > LP Modeling Viewpoint (b)



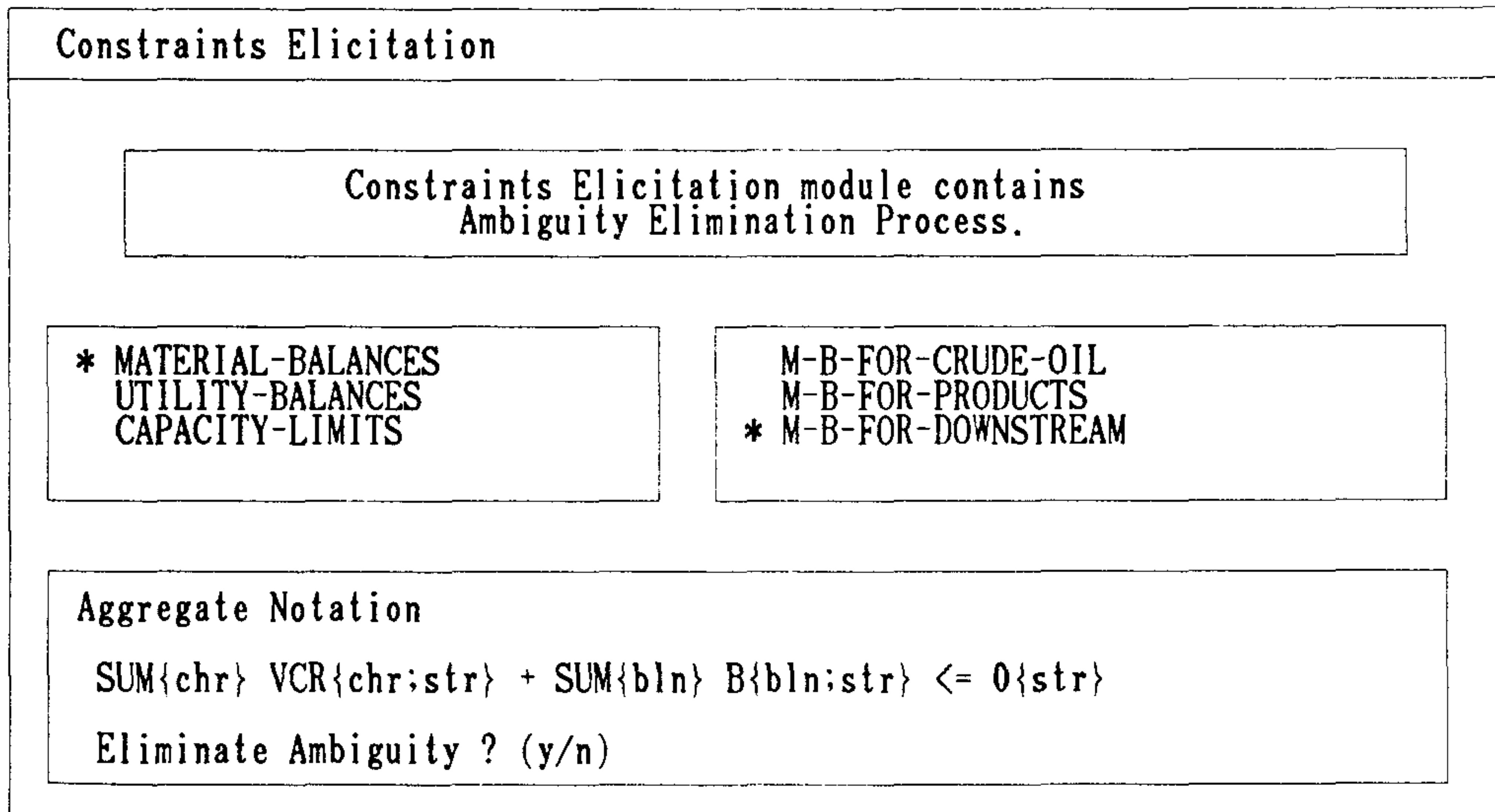
< 그림 2-18 > Modeling Viewpoint - Constraints (a)



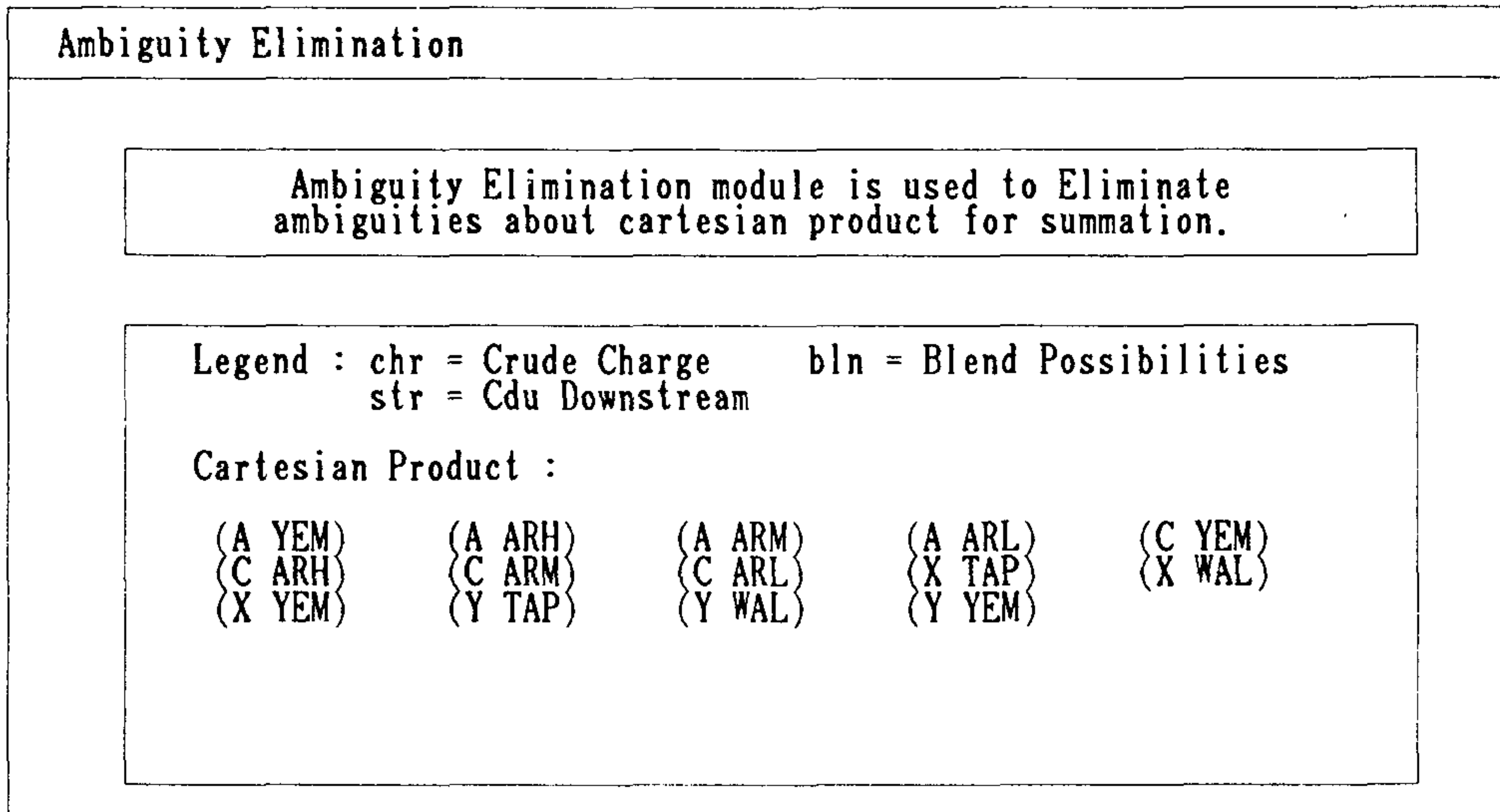
< 그림 2-19 > Modeling Viewpoint - Constraints (b)



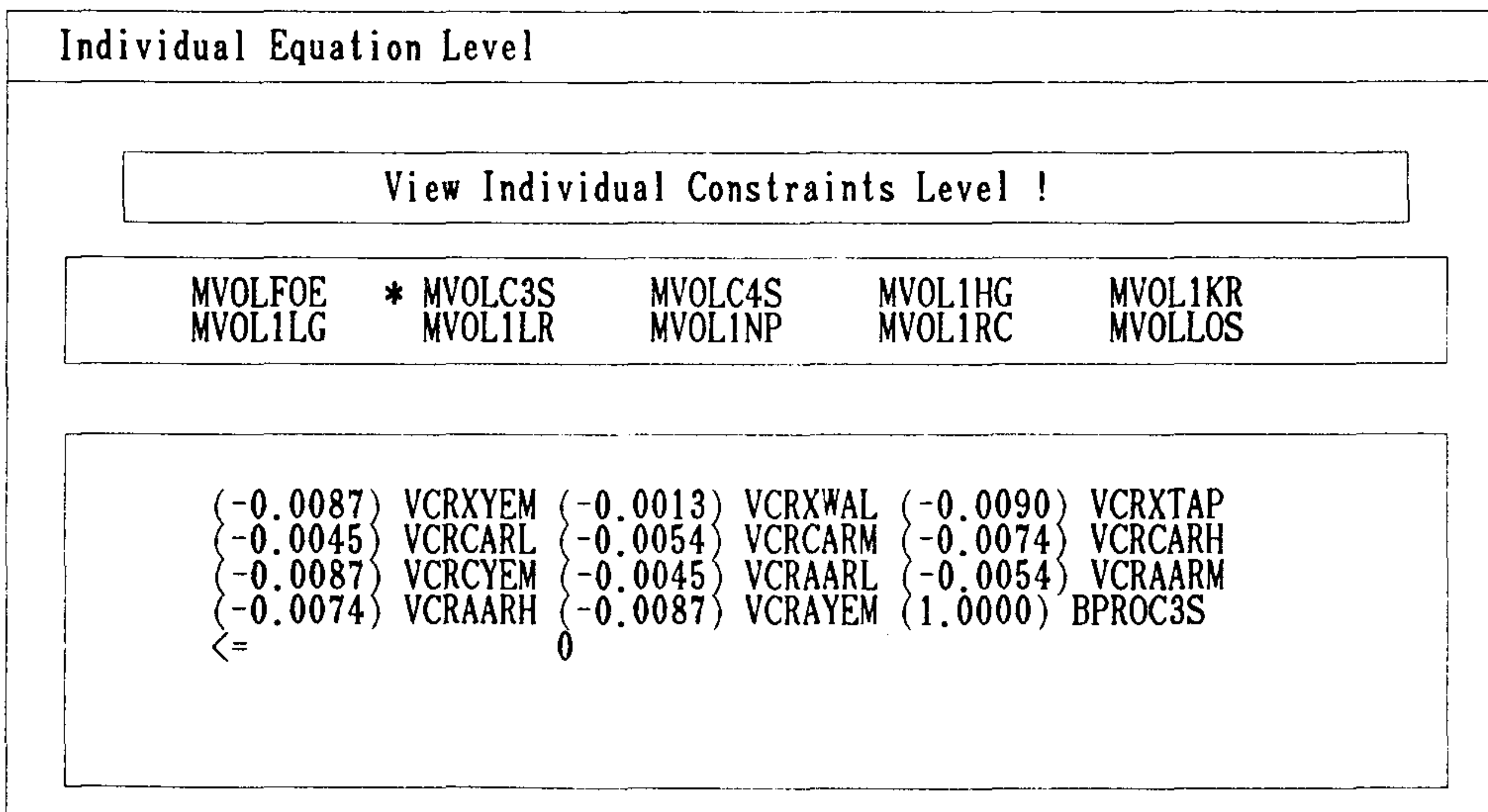
< 그림 2-20 > Semantic Model View



< 그림 2-21 > Constraints Elicitation



< 그림 2-22 > Ambiguity Elimination



< 그림 2-23 > Individual Equation Level

이상의 과정을 거쳐서 생성된 모형을 예시하면 다음과 같다.

MIN

-25.21 MSELPRO -28.62 MSELBUT -49.94 MSELPRE -43.4 MSELMND
-38.5 MSELREG -30.2 MSELDS4 -33.32 MSELKRO -34.56 MSELJP4
-29.6 MSELDS1 -21.85 MSELL30 -19.46 MSELB10 -24.54 MSELBLW
-19.46 MSELB16 -18.54 MSELB40 24.27 MBUYBAL 24.79 MBUYARL
24.1 MBUYARM 23.37 MBUYARH 25.85 MBUYEM 25.88 MBUYWAL
26.32 MBUYTAP 25.17 MBUYSJH

ST

-0.0011 VCRYEM -0.0002 VCRYWAL -0.0013 VCRYTAP -0.0016 VCYSJH
-0.0011 VCRXYEM -0.0002 VCRXWAL -0.0013 VCRXTAP -0.0016 VCRXSJH
-0.0008 VCRCBAL -0.0008 VCRCARL -0.0012 VCRCARM -0.0017 VCRCARH
-0.0011 VCRCYEM -0.0016 VCRCSJH -0.0008 VCRAABAL -0.0008 VCRAARL
-0.0012 VCRAARM -0.0017 VCRAARH -0.0011 VCRAEM -0.0016 VCRAJH

<= 0

-0.0087 VCRYEM -0.0013 VCRYWAL -0.009 VCRYTAP -0.012 VCYSJH
-0.0087 VCRXYEM -0.0013 VCRXWAL -0.009 VCRXTAP -0.012 VCRXSJH
-0.0039 VCRCBAL -0.0045 VCRCARL -0.0054 VCRCARM -0.0074 VCRCARH
-0.0087 VCRCYEM -0.012 VCRCSJH -0.0039 VCRAABAL -0.0045 VCRAARL
-0.0054 VCRAARM -0.0074 VCRAARH -0.0087 VCRAEM -0.012 VCRAJH

1.0 BPROC3S <= 0

-0.022 VCRYEM -0.0087 VCRYWAL -0.0238 VCRYTAP -0.0539 VCYSJH
-0.022 VCRXYEM -0.0087 VCRXWAL -0.0238 VCRXTAP -0.0539 VCRXSJH

-0.0154 VCRCBAL -0.0183 VCRCARL -0.0135 VCRCARM -0.0178 VCRCARH
-0.022 VCRCYEM -0.0539 VCRCSJH -0.0154 VCRABAL -0.0183 VCRAARL
-0.0135 VCRAARM -0.0178 VCRAARH -0.022 VCRAAYEM -0.0539 VCRASJH
1.0 BBUTC4S 1.0 BPREC4S 1.0 BMNDC4S 1.0 BREGC4S <= 0
-0.0223 VCRYEYEM -0.0097 VCRYSJH -0.0223 VCRXYEM -0.0097 VCRXSJH
-0.0216 VCRCBAL -0.0226 VCRCARL -0.0212 VCRCARM -0.0197 VCRCARH
-0.0223 VCRCYEM -0.0097 VCRCSJH -0.0216 VCRABAL -0.0226 VCRAARL
-0.0212 VCRAARM -0.0197 VCRAARH -0.0223 VCRAAYEM -0.0097 VCRASJH
1.0 BDS41HG 1.0 BDS11HG 1.0 BL301HG 1.0 BB161HG 1.0 BB401HG <= 0
-0.1613 VCRYEYEM -0.1878 VCRYSJH -0.1613 VCRXYEM -0.1878 VCRXSJH
-0.1443 VCRCBAL -0.1447 VCRCARL -0.1291 VCRCARM -0.1127 VCRCARH
-0.1613 VCRCYEM -0.1878 VCRCSJH -0.1443 VCRABAL -0.1447 VCRAARL
-0.1291 VCRAARM -0.1127 VCRAARH -0.1613 VCRAAYEM -0.1878 VCRASJH
1.0 BDS41KR 1.0 BKRO1KR 1.0 BJP41KR 1.0 BDS11KR 1.0 BL301KR <= 0
-0.2259 VCRYEYEM -0.1555 VCRYSJH -0.2259 VCRXYEM -0.1555 VCRXSJH
-0.2153 VCRCBAL -0.2195 VCRCARL -0.1982 VCRCARM -0.1903 VCRCARH
-0.2259 VCRCYEM -0.1555 VCRCSJH -0.2153 VCRABAL -0.2195 VCRAARL
-0.1982 VCRAARM -0.1903 VCRAARH -0.2259 VCRAAYEM -0.1555 VCRASJH
1.0 BDS41LG 1.0 BDS11LG 1.0 BL301LG 1.0 BB161LG 1.0 BB401LG <= 0
-0.0298 VCRYEYEM -0.1586 VCRYSJH -0.0298 VCRXYEM -0.1586 VCRXSJH
-0.0584 VCRCBAL -0.0559 VCRCARL -0.0438 VCRCARM -0.0488 VCRCARH
-0.0298 VCRCYEM -0.1586 VCRCSJH -0.0584 VCRABAL -0.0559 VCRAARL
-0.0438 VCRAARM -0.0488 VCRAARH -0.0298 VCRAAYEM -0.1586 VCRASJH
<= 0
-0.2245 VCRYEYEM -0.3727 VCRYSJH -0.2245 VCRXYEM -0.3727 VCRXSJH

-0.1172 VCRCBAL -0.1136 VCRCARL -0.1005 VCRCARM -0.0928 VCRCARH
-0.2245 VCRCYEM -0.3727 VCRCSJH -0.1172 VCRABAL -0.1136 VCRAARL
-0.1005 VCRAARM -0.0928 VCRAARH -0.2245 VCRAAYEM -0.3727 VCRASJH
<= 0

-0.3026 VCRYYEM -0.0464 VCRYSJH -0.3026 VCRXYEM -0.0464 VCRXSJH
-0.4213 VCRCBAL -0.4183 VCRCARL -0.4853 VCRCARM -0.507 VCRCARH
-0.3026 VCRCYEM -0.0464 VCRCSJH -0.4213 VCRABAL -0.4183 VCRAARL
-0.4853 VCRAARM -0.507 VCRAARH -0.3026 VCRAAYEM -0.0464 VCRASJH
1.0 BB161RC 1.0 BB401RC <= 0

-0.0249 VCRYWAL -0.0229 VCRYTAP -0.0249 VCRXWAL -0.0229 VCRXTAP
1.0 BDS42HG 1.0 BDS12HG 1.0 BL302HG 1.0 BB162HG 1.0 BB402HG <= 0

-0.1647 VCRYWAL -0.2004 VCRYTAP -0.1647 VCRXWAL -0.2004 VCRXTAP
1.0 BDS42KR 1.0 BKRO2KR 1.0 BJP42KR 1.0 BDS12KR 1.0 BL302KR <= 0

-0.265 VCRYWAL -0.295 VCRYTAP -0.265 VCRXWAL -0.295 VCRXTAP
1.0 BDS42LG 1.0 BDS12LG 1.0 BL302LG 1.0 BB162LG 1.0 BB402LG <= 0

-0.0316 VCRYWAL -0.0471 VCRYTAP -0.0316 VCRXWAL -0.0471 VCRXTAP
<= 0

-0.154 VCRYWAL -0.2061 VCRYTAP -0.154 VCRXWAL -0.2061 VCRXTAP
<= 0

-0.3478 VCRYWAL -0.1926 VCRYTAP -0.3478 VCRXWAL -0.1926 VCRXTAP
1.0 BB162RC 1.0 BB402RC <= 0

-0.0018 VCRYYEM -0.0018 VCRYWAL -0.0018 VCRYTAP -0.0018 VCRYSJH
-0.0018 VCRXYEM -0.0018 VCRXWAL -0.0018 VCRXTAP -0.0018 VCRXSJH
-0.0018 VCRCBAL -0.0018 VCRCARL -0.0018 VCRCARM -0.0018 VCRCARH
-0.0018 VCRCYEM -0.0018 VCRCSJH -0.0018 VCRABAL -0.0018 VCRAARL

-0.0018 VCRAARM -0.0018 VCRAARH -0.0018 VCRAAYEM -0.0018 VCRASJH

<= 0

3. UNIK-PCS :

원유 구매 일정 계획 지원 시스템

3.1 UNIK-PCS의 개요

3.1.1 시스템의 성격

UNIK-PCS는 원유 구매와 관련된 의사 결정을 지원해주는 시스템으로서, UNIK-OPT 및 UNIK-SCHD와 밀접한 관련을 맺고 있다. 원유 구매와 관련하여 각 시스템의 역할을 살펴보면 다음과 같다.

(1) UNIK-OPT의 역할

UNIK-OPT는 원유 구매, 제품 생산 및 판매 등 제반 요인들을 모두 고려하여 전체적 경제성(Global Economics)의 관점에서 초기 원유 구매 계획 및 상압 증류탑에서의 처리 계획을 RPMS를 이용하여 수립한다. 이 초기 계획에 포함되는 정보는 다음과 같다.

- . 구매 유종(Crude)
- . 구매 물량(Activity)
- . 최소 구매 물량(Min)
- . 최대 구매 가능 물량(Max)
- . 한계 비용(Reduced Cost)
- . 각 상압 증류탑에서의 처리량(VCRA, VCRC, VCRX, VCRY, VCRZ, VCRW)

(2) UNIK-PCS 의 역할

UNIK-PCS 는 UNIK-OPT 로 부터 초기 원유 구매 계획을 제공 받아서 이를 기초로 하여 3.1.2 에 나열한 구매 부서의 관점에서 초기 원유 구매 계획을 평가하여 조정이 필요한 가를 점검한다. 점검해야 할 요인들은 3.1.3 에 나타나 있다. UNIK-PCS 에서 조정된 원유 구매 계획에는 UNIK-OPT 가 제공하는 초기 원유 구매 계획에 다음 정보들이 추가로 포함되어 있다.

- . 수송 선박 할당(Vessel Assignment)
- . 원유 수송 계획(Crude Delivery Schedule)

원유 수송 계획은 생산 부서의 생산 계획과 밀접한 관계가 있기 때문에 UNIK-PCS 에서 조정된 원유 구매 계획은 UNIK-SCHD 로 제공된다.

(3) UNIK-SCHD 의 역할

UNIK-SCHD 는 UNIK-PCS 로 부터 제공 받은 원유 구매 계획을 생산 부서 관점에서 재평가하여 조정이 필요한 사항들 - 구매 유종 변경 또는 구매 일자 변경 등 - 을 UNIK-PCS 로 보내어 조정을 거치도록 한다.

3.1.2 UNIK-PCS 의 목적

UNIK-PCS 의 다음 사항들을 만족하는 원유 구매 계획을 작성하는 것을 목적으로 한다.

- (1) 구매 부서 관점에서는 적정 재고 유지를 목표로 한다.

(2) 공장에 도착하는 원유가 기존 원유재고에 합해질 때, 그 혼합 원유의 성상이 일정 조건을 만족해야한다.

(3) 공장에서 기피하는 원유들의 조합이 있는 경우, 사전에 정보를 입수하여 이를 원유 구매 계획에 반영해야 한다.

(4) 원유 구매시 원산지, 선적항 및 운송 거리를 고려하여 가능한 수송비를 절감할 수 있도록 해야 한다.

3.1.3 원유 구매 일정 수립 전 확인, 조정 사항

구매원유 결정 및 선박 할당을 하기 전에 다음의 사항들을 고려하여 확인,조정해 주어야 한다.

(1) 장기 계약 물량(Fixed Quantity)

장기 계약이 체결된 원유는 일정량을 반드시 구매해야 한다.

(2) 소량 구매(Tiny Quantity)

유종별로 1 회 구매시에 선적할 수 있는 최소량 및 최대량이 있으므로, UNIK-OPT가 제공한 초기 원유 구매 계획에서 잘못된 점이 있으면 이를 조정한다. 구매 물량이 작은 경우에는 구매량을 0 로 처리하거나 또는 필요한 경우, 구매 기간을 연장하여 구매량을 증가시키는 방법도 있다.

(3) 확정된 원유 구매 일정

원유 구매일정이 확정된 것은 그 날짜와 유종 및 양을 미리 입력해 주어서 원유

구매 일정 수립시 반영되도록 해야 한다.

(4) 상압 증류탑 가동 정지 일정

RPMS의 결과는 상압 증류탑 가동 정지 일정을 감안한 것이지만, 그 처리량의 값들은 한달 총처리량을 가동정지 일정에 맞추어 최적화한 후 그달의 날짜 수로 나누어 준 것이므로 UNIK-PCS가 상압 증류탑에서의 처리 계획을 수립할 때는 상압 증류탑 가동 정지 일정 자료가 필요하다.

3.1.4 구매 원유 결정 및 선박 할당에 대한 제약 조건

원유 구매 일정을 수립하는데 있어서 다음의 제약 조건들을 만족해야 한다.

(1) 선박 할당

산지로부터의 원유 운송비는 최소화 되어야 한다. 그러나, 다른 여러 제약 조건까지 포함하여 생각할 때 이 목적을 수리 계획모형으로 형성하는 것이 어렵기 때문에 다음과 같은 기준을 세웠다. 즉, 한 선박은 한 지역의 원유들에만 할당된다. 단, 홍해와 동남 아시아의 원유들은 중동산 원유들이 포함될 경우 한 선박에 할당될 수 있다.

하역 시설의 제한 때문에 한번에 한 배만 항구에 들어올 수 있으며, 또한 하역 시간때문에 한 선박이 도착한 후 적어도 이틀 후에 다른 선박이 들어올 수 있다. 용선 기간이 길어질 수록 비용이 많이 들기 때문에 한 선박이 해안에 도착하였을 때 다른 배가 하역을 끝내기를 기다리는 일이 없도록 해주어야 한다. 단, Super Dolphin급 선박은 이 제한을 받지 않는다. 다만, 한번에 접안할 수 있는 선박의 수만 제한 된다.

(2) 원유 재고

고유황 원유, 저유황 원유 각각에 대해 최대/최소 탱크 용량이 있다. 따라서 재고는 이것에 의해 제한된다. 또한, 정책적으로 아스팔트 생산용 고유황 원유는 항상 있어

야 한다.

고유황 원유와 저유황 원유 모두 총체적인 기초 재고와 기말 재고가 주어져 있다. 보다 구체적으로 말하면, 구매한 원유는 다 처리되어야하기 때문에 기초 재고와 기말 재고는 같아야 한다.

(3) 상압 증류탑에서 처리되는 원유의 성상

상압 증류탑에서 처리되는 고유황 저유황 원유는 각각 다음과 같은 조건을 만족해야 한다.

(a) 저유황 원유

- . 잔사유 함량은 30% 이상이어야 한다.
- . 잔사유 유황 함량은 1.5% 이하여야 한다.
- . 경질 가스유의 유황 함량은 0.45% 이하여야 한다.
- . 초경질 원유 비율은 20% 이하여야 한다.
- . 고유동점 원유 비율은 20% 이하여야 한다.

(b) 고유황 원유

- . 잔사유 함량은 35% 이상이어야 한다.
- . 초경질원유 비율은 25% 이하여야 한다.
- . 고유동점 원유 비율은 20% 이하여야 한다.

(4) 상압 증류탑에서의 처리

상압 증류탑에서의 처리 계획은 UNIK-SCHD의 영역이지만, 원유 재고의 추이와 떨어져서 생각되어질 수 없는 문제이므로 UNIK-PCS에도 포함된다. 상압 증류탑은 3개가 있어서 각각 No.1 CDU, No.2 CDU, No.3 CDU로 불리어진다. No.1 CDU는 고유황원유 생산 전용이며, No.2 CDU는 저유황 원유 생산 전용이고, No.3 CDU는 고유황 원유와 저유황 원유를 교대로 처리한다.

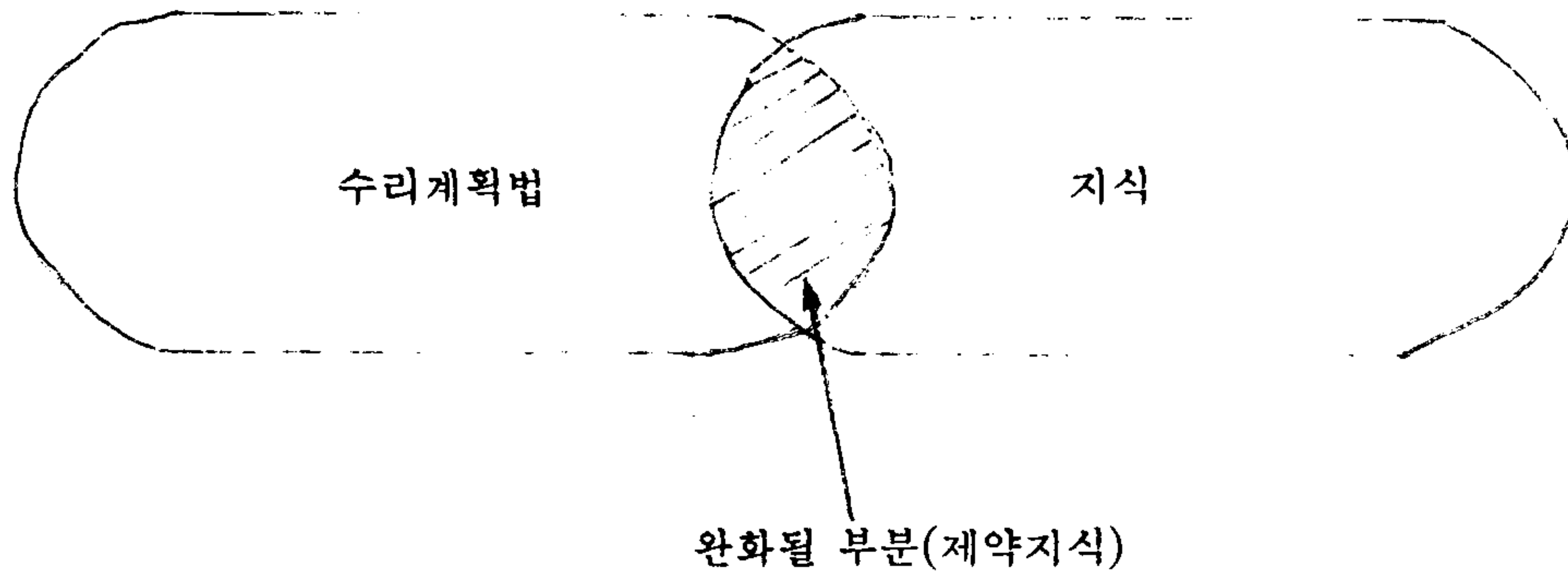
각 상압 증류탑에는 최대/최소 처리량이 있으며, No.3 상압 증류탑의 경우 고유황 처리일 때와 저유황 원유 처리일때의 최대/최소 처리량이 다르다. No.3 상압 증류탑에서 고유황 원유와 저유황 원유 간에 교대가 일어날 경우 손실이 발생하며 또한 제품 생산 목적상 그 교대는 적어도 이를 간격 이상이어야 한다. 또한, 상압 증류탑의 보수를 위해 가동 중지 시기가 있으며, 이때 그 상압 증류탑에서는 원유가 처리되지 않는다.

3.2 지식에 기초한 완화(Knowledge-based Relaxation)

이상의 UNIK-PCS의 문제는 그 변수의 수가 매우 많기 때문에 기존의 혼합 정수 계획법으로써는 해결할 수 없다. 따라서, UNIK-PCS에서는 지식 기초 완화의 개념을 도입하였다.

3.2.1 지식 기초 완화의 개념

IP 또는 Mixed-IP문제가 숫자적으로 계산하기 어려울 때, 그 계산하기 어려운 부분을 관련된 제약 지식을 이용하여 결정할 수 있다. IP 또는 Mixed-IP 문제에서의 정수 변수들이 유한개의 값을 갖는다면 유한개의 지식으로 그 값들을 결정할 수 있을 것이며, 또한 무한개의 값을 갖는 정수 변수 또는 실수 변수들도 문제에 따라서는 지식에 의해 그 값을 결정해 줄 수 있을 것이다. 이와같이 일부의 변수들에서 그 값이 결정된다면 나머지 결정안된 변수들은 보통의 IP문제 해법을 이용하여 쉽게 해결될 수 있을 것이다. 이상을 그림을 이용하여 설명하면 다음과 같다.



<그림 3-1> 지식 기초 완화의 개념

문제 해결에 지식 기초 완화의 방법을 도입할 때 떠오르는 문제는 다음과 같다.

- . 지식 기초 완화를 해야 할 부분은 무엇인가?
- . 완화된 문제를 해결하기 위한 전략은 무엇인가?
- . 현재의 제약 지식이 문제해결에 불충분할 때, 필요한 지식을 얻기 위한 질문을

어떻게 생성하도록 하는가?

이러한 문제들은 UNIK-PCS의 지식 기초 완화를 설명하면서 그 해결례를 보이도록 하겠다.

3.2.2 완화의 과정

(1) UNIK-PCS 문제의 혼합 정수계획 모델 형성

* 변수

$MBUYCRD_{dc}$ - d 일에 도착한 c 원유의 양
 $c \in \{ ABK, KWT, \dots \} \quad d = 1, \dots, 31$

$BCRD_{dc}$ - d 일의 c 원유의 도착 여부(0-1변수)

$BCARGO_{drv}$ - d 일에 r 지역의 v 선박 할당 여부(0-1변수)
 $r \in \{ \{Middle East, South East, Red Sea\}, South East, Red Sea, South Africa, \dots \}$

$BREG_{drv}$ - d 일에 중동, 동남아시아 및 홍해의 여러 지역으로부터의 원유를 함께 VLCC급 선박에 실었는가, 아니면 한 지역만의 원유를 그 지역의 선박에 실었는가의 여부(0-1변수)
 $r = l, s$

$MINVCRD_{dc}$ - d 일에 c 원유의 재고

$MINVCRDH_{dc}$ - d 일에 이중목적 원유 c의 고유황 원유 재고

$MINVCRDL_{dc}$ - d 일에 이중목적 원유 c의 저유황 원유 재고

$VCRHCRD_{dc}$ - d 일의 c 고유황 원유의 처리량(이중목적 원유 포함)

$VCRLCRD_{dc}$ - d 일의 c 저유황 원유의 처리량(이중목적 원유 포함)

$VCRCDU1_d$ - d 일에 No.1 상압 증류탑에서 처리되는 고유황 원유의 양

$VCRCDU2_d$ - d 일에 No.2 상압 증류탑에서 처리되는 저유황 원유의 양

$VCRCDU3H_d$ - d 일에 No.3 상압 증류탑에서 처리되는 고유황 원유의 양

$VCRCDU3L_d$ - d 일에 No.3 상압 증류탑에서 처리되는 저유황 원유의 양

$BCDU1_d$ - d일에 No.1 상압 증류탑에서 원유가 처리되는가의 여부(0-1 변수)

$BCDU2_d$ - d일에 No.2 상압 증류탑에서 원유가 처리되는가의 여부(0-1 변수)

$BCDU3H_d$ - d일에 No.3 상압 증류탑에서 고유황 원유가 처리되는가의 여부(0-1 변수)

$BCDU3L_d$ - d일에 No.3 상압 증류탑에서 저유황 원유가 처리되는가의 여부(0-1 변수)

$BHLSWT_d$ - d 일과 d+1 일간에 No.3 상압 증류탑에서 고유황 원유에서 저유황 원유로 교대되는지 여부(0-1변수)

$$d = 1, \dots, 30, \quad s = 1, 2$$

$BLHSWT_d$ - d 일과 d+1 일간에 No.3 상압 증류탑에서 저유황 원유에서 고유황 원유로 교대되는지 여부(0-1변수)

$$d = 1, \dots, 30, \quad s = 1, 2$$

제약식

a. 선박 할당

한달에 구매해야할 총 원유량은 RPMS의 결과로부터 주어져 있다.

$$\sum_{d=1}^{31} MBUYCRD_{dc} = MBUYCRD_c \quad \text{for all } c$$

각 원유 산지에서 한번에 구매할 수 있는 최대/최소 물량이 있다.

$$MBUYCRD_{dc} - MINBUYCRD_c * BCRD_c \geq 0 \quad \text{for all } d, c$$

$$MBUYCRD_{dc} - MAXBUYCRD_c * BCRD_c \leq 0 \quad \text{for all } d, c$$

. 한 선박은 한 지역의 원유들에만 할당된다. 단, 중동, 홍해, 동남아시아의 원유들은 중동원유가 포함될 경우 같이 한 선박에 할당될 수 있다. 또한 각 선박은 최대/최소의 선적량이 있다.

$$\begin{aligned} \sum_{c \text{ in } L} MBUYCRD_{dc} - \sum_v MINCARGOCAP_{Lv} * BCARGO_{dLv} &\geq \\ &-M * BREG_{dll} - M * BREG_{dls} \quad \text{for all } d \end{aligned}$$

where $L = \{\text{Middle East, Red Sea, South East}\}$

$$\begin{aligned} \sum_{c \text{ in } L} MBUYCRD_{dc} - \sum_v MAXCARGOCAP_{Lv} * BCARGO_{dLv} &\leq \\ &M * BREG_{dll} + M * BREG_{dls} \quad \text{for all } d \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sum_{c \text{ in } S} MBUYCRD_{dc} - \sum_v MINCARGOCAP_{Sv} * BCARGO_{dSv} &\geq \\ &-M * BREG_{dsl} - M * BREG_{dss} \quad \text{for all } d \end{aligned}$$

where $S \text{ in } \{\text{South East, Red Sea}\}$

$$\begin{aligned} \sum_{c \text{ in } S} MBUYCRD_{dc} - \sum_v MAXCARGOCAP_{Sv} * BCARGO_{dSv} &\leq \\ &M * BREG_{dsl} + M * BREG_{dss} \quad \text{for all } d \end{aligned}$$

$$\sum_{c \text{ in } O} MBUYCRD_{dc} - \sum_v MINCARGOCAP_{Ov} * BCARGO_{dOv} \geq 0 \quad \text{for all } d$$

where $O \text{ in } \{\text{South Africa, ...}\}$

$$\sum_{c \text{ in } O} MBUYCRD_{dc} - \sum_v MAXCARGOCAP_{Ov} * BCARGO_{dOv} \leq 0 \quad \text{for all } d$$

$$BCARGO_{dLv} + BREG_{dll} \leq 1 \quad \text{for all } d, v \neq \text{SuperDolphin}$$

$$BREG_{dll} \leq BCARGO_{dLv} + BCARGO_{dSv} \quad \text{for all } d, v \neq \text{SuperDolphin}$$

$$BCARGO_{dSv} + BREG_{dsl} \leq 1 \quad \text{for all } d, v \neq \text{SuperDolphin}$$

$$BREG_{dsl} \leq BCARGO_{dLv} + BCARGO_{dSv} \quad \text{for all } d, v \neq \text{SuperDolphin}$$

$$BCARGO_{dL\text{SuperDolphin}} + BREG_{dls} \leq 1 \quad \text{for all } d$$

$$BREG_{dls} \leq BCARGO_{dL\text{SuperDolphin}} + BCARGO_{dS\text{SuperDolphin}} \quad \text{for all } d$$

$$BCARGO_{dS\text{SuperDolphin}} + BREG_{dss} \leq 1 \quad \text{for all } d$$

$$BREG_{dss} \leq BCARGO_{dL\text{SuperDolphin}} + BCARGO_{dS\text{SuperDolphin}} \quad \text{for all } d$$

. 하역 시설의 제한 때문에 한번에 한 배만 항구에 들어올 수 있으며, 또한 하역 시간 때문에 한 선박이 도착한 후 적어도 이틀 후에 다른 선박이 들어올 수 있다. 단, Super Dolphin급 선박은 이 제한을 받지 않으며, 다만, 한번에 접안할 수 있는 선박의 수는 MAXSPDOLANCHR에 의해 제한된다.

$$BCARGO_{drv} + BCARGO_{d+1rv} + BCARGO_{d+2rv} \leq 1$$

$$\text{for all } d = 1, \dots, 29, \quad r, v \neq \text{SuperDolphin}$$

$$\sum_r \sum_{v \neq \text{SuperDolphin}} BCARGO_{drv} \leq 1 \quad \text{for all } d$$

$$\sum_r BCARGO_{dr\text{SuperDolphin}} \leq \text{MAXSPDOLANCHR} \quad \text{for all } d$$

b. 재고

d 일의 재고 + d-2 일의 구매량 = d 일의 처리량 + d+1 일의 재고

$$\text{MINVCRD}_{dc} + \text{MBUYCRD}_{d-2c} - \text{VCRHCRD}_{dc} - \text{MINVCRD}_{d+1c} = 0$$

for all c in H/S d=2, ..., 31

$$\text{MINVCRD}_{dc} + \text{MBUYCRD}_{d-2c} - \text{VCRLCRD}_{dc} - \text{MINVCRD}_{d+1c} = 0$$

for all c in L/S d=2, ..., 31

$$\text{MINVCRDH}_{dc} + \text{MINVCRDL}_{dc} + \text{MBUYCRD}_{d-2c} - \text{VCRHCRD}_{dc} - \text{VCRLCRD}_{dc} - \text{MINVCRDH}_{d+1c} - \text{MINVCRDL}_{d+1c} = 0$$

for all c in dual purpose crude, d=2, ..., 31

총 고유황 원유의 양에 대한 최대/최소 재고량이 있다.

$$\text{HMININV} \leq \sum_{c \text{ in HS}} \text{MINVCRD}_{dc} + \sum_{c \text{ in dual}} \text{MINVCRDH}_{dc} \leq \text{HMAXINV}$$

for all d

총 저유황 원유의 양에 대한 최대/최소 재고량이 있다.

$$\text{LMININV} \leq \sum_{c \text{ in LS}} \text{MINVCRD}_{dc} + \sum_{c \text{ in dual}} \text{MINVCRDL}_{dc} \leq \text{LMAXINV}$$

for all d

아스팔트 생산용 고유황 원유의 재고는 항상 MININVASPH 이상이어야 한다.

$$\text{MININVASPH} \leq \sum_{c \text{ in Asph.}} \text{MINVCRD}_{dc} \quad \text{for all d}$$

기초 재고와 기말 재고는 같아야 한다.

$$\sum_{c \text{ in HS}} \text{MINVCRD}_{0c} + \sum_{c \text{ in dual}} \text{MINVCRDH}_{0c} =$$

$$\sum_{c \text{ in HS}} \text{MINVCRD}_{31c} + \sum_{c \text{ in dual}} \text{MINVCRDH}_{31c}$$

$$\sum_{c \text{ in LS}} \text{MINVCRD}_{0c} + \sum_{c \text{ in dual}} \text{MINVCRDL}_{0c} =$$

$$\sum_{c \text{ in LS}} \text{MINVCRD}_{31c} + \sum_{c \text{ in dual}} \text{MINVCRDL}_{31c}$$

c. 성상

- . 처리되는 저유황 원유의 잔사유 함량은 30% 이상이어야 한다.

$$\sum_{c \text{ in LS}} \text{RCYLD}_c * \text{VCRLCRD}_{dc} \geq 0.3 * \sum_{c \text{ in LS}} \text{VCRLCRD}_{dc} \text{ for all } d$$

- . 처리되는 저유황 원유의 잔사유 유황 함량은 1.5% 이하여야 한다.

$$\sum_{c \text{ in LS}} \text{RCSULF}_c * \text{RCYLD}_c * \text{VCRLCRD}_{dc} \leq 1.5 * \sum_{c \text{ in LS}} \text{RCYLD}_c * \text{VCRLCRD}_{dc} \text{ for all } d$$

- . 처리되는 저유황 원유의 경질 가스유의 유황 함량은 0.45% 이하여야 한다.

$$\sum_{c \text{ in LS}} \text{LGOSULF}_c * \text{RCYLD}_c * \text{VCRLCRD}_{dc} \leq 0.45 * \sum_{c \text{ in LS}} \text{RCYLD}_c * \text{VCRLCRD}_{dc} \text{ for all } d$$

- . 처리되는 저유황 원유의 초경질 원유 비율은 20% 이하여야 한다.

$$\sum_{c \text{ in condensate}} \text{VCRLCRD}_{dc} \leq 0.2 * \sum_{c \text{ in LS}} \text{VCRLCRD}_{dc} \text{ for all } d$$

- . 처리되는 저유황 원유의 고유동점 원유 비율은 20% 이하여야 한다.

$$\sum_{c \text{ in high pour}} \text{VCRLCRD}_{dc} \leq 0.2 * \sum_{c \text{ in LS}} \text{VCRLCRD}_{dc} \text{ for all } d$$

. 처리되는 고유황 원유의 잔사유 함량은 35% 이상이어야 한다.

$$\sum_{c \text{ in HS}} \text{RCYLD}_c * \text{VCRHCRD}_{dc} \geq 0.35 * \sum_{c \text{ in HS}} \text{VCRHCRD}_{dc} \quad \text{for all } d$$

. 처리되는 고유황 원유의 초경질원유 비율은 25% 이하여야 한다.

$$\sum_{c \text{ in condensate}} \text{VCRHCRD}_{dc} \leq 0.25 * \sum_{c \text{ in HS}} \text{VCRHCRD}_{dc} \quad \text{for all } d$$

. 처리되는 고유황 원유의 고유동점 원유 비율은 20% 이하여야 한다.

$$\sum_{c \text{ in high pour}} \text{VCRHCRD}_{dc} \leq 0.2 * \sum_{c \text{ in HS}} \text{VCRHCRD}_{dc} \quad \text{for all } d$$

d. 상압 증류탑에서의 처리

. 고유황 원유는 No.1 상압 증류탑 또는 No.3 상압 증류탑에서 처리된다.

$$\sum_{c \text{ in HS}} \text{VCRHCRD}_{dc} = \text{VCRCDU1}_d + \text{VCRCDU3H}_d \quad \text{for all } d$$

. 저유황 원유는 No.2 상압 증류탑 또는 No.3 상압 증류탑에서 처리된다.

$$\sum_{c \text{ in LS}} \text{VCRLCRD}_{dc} = \text{VCRCDU2}_d + \text{VCRCDU3L}_d \quad \text{for all } d$$

. No.1 상압 증류탑에서 하루에 처리되는 최대/최소 원유량이 있다.

$$\text{VCRCDU1}_d - \text{MINCDU1} * \text{BCDU1}_d \geq 0 \quad \text{for all } d$$

$$\text{VCRCDU1}_d - \text{MAXCDU1} * \text{BCDU1}_d \leq 0 \quad \text{for all } d$$

. No.2 상압 증류탑에서 하루에 처리되는 최대/최소 원유량이 있다.

$$VCRCDU2_d - MINCDU2 * BCDU2_d \geq 0 \quad \text{for all } d$$

$$VCRCDU2_d - MAXCDU2 * BCDU2_d \leq 0 \quad \text{for all } d$$

. No.3 상압 증류탑에서 하루에 처리되는 최대/최소 원유량이 고유황 원유 및 저유황 원유 각각에 대해서 있다.

$$VCRCDU3H_d - MINCDU3H * BCDU3H_d \geq 0 \quad \text{for all } d$$

$$VCRCDU3H_d - MAXCDU3H * BCDU3H_d \leq 0 \quad \text{for all } d$$

$$VCRCDU3L_d - MINCDU3L * BCDU3L_d \geq 0 \quad \text{for all } d$$

$$VCRCDU3L_d - MAXCDU3L * BCDU3L_d \leq 0 \quad \text{for all } d$$

$$BCDU3H_d + BCDU3L_d \leq 1 \quad \text{for all } d$$

. No.3 상압 증류탑이 고유황 원유처리에서 저유황 원유처리로, 또는 저유황 원유 처리에서 고유황 원유처리로 변화되는 주기는 최소 이틀 이상이어야 한다.

$$BCDU3H_d + BCDU3L_{d+1} = BHLSWT_{d1} + 2 * BHLSWT_{d2} \quad \text{for all } d = 1, \dots, 30$$

$$BCDU3L_d + BCDU3H_{d+1} = BLHSWT_{d1} + 2 * BLHSWT_{d2} \quad \text{for all } d = 1, \dots, 30$$

$$BHLSWT_{d2} + BLHSWT_{d2} + BHLSWT_{d2} + BLHSWT_{d2} \leq 1 \quad \text{for all } d = 1, \dots, 30$$

(고정된 상압 증류탑 가동 정지 일정은 해당 BCDU1, BCDU2, BCDU3H, BCDU3L 값을 0으로 고정시켜주면 된다.)

* 모든 변수는 비음이다.

* 목적 함수 : 처리되는 저유황 원유의 잔사유 유황 함량과 경질 가스유의 유황 함량은 각각 1.5%, 0.45% 내에서 최대여야 하며, 1.5%, 0.45%에서 떨어질 수록 단위당 LSRC SULF, LSLGOSULF 만큼의 손실이 발생한다. 또한, No.3 상압 증류탑에서의 변환 때마다 SWTCOST만큼의 손실이 발생한다. 또한, 각 지역의 각 선박당 운송비는 CARGOCOST 이다.

$$\begin{aligned} \text{Minimize } & \sum_{d=1}^{31} (\text{LSRC SULF}(1.5 * \sum_{c \text{ in LS}} \text{RCYLD}_d * \text{VCRLCRD}_{dc} \\ & - \sum_{c \text{ in LS}} \text{RCSULF}_c * \text{RCYLD}_c * \text{VCRLCRD}_{dc}) \\ & + \text{LSLGOSULF}(0.45 * \sum_{c \text{ in LS}} \text{RCYLD}_c * \text{VCRLCRD}_{dc} \\ & - \sum_{c \text{ in LS}} \text{LGOSULF}_c * \text{RCYLD}_c * \text{VCRLCRD}_{dc})) \\ & + \text{SWTCOST} * \sum_{d=1}^{30} (\text{BHLSWT}_{d2} + \text{BLHSWT}_{d2}) \\ & + \sum_{\text{drv}} \text{CARGOCOST}_{\text{rv}} * \text{BCARGO}_{\text{drv}} \end{aligned}$$

(2) 문제의 완화

위의 혼합 정수계획법 문제는 0-1 변수의 수만 하더라도 3,000 여개로 보통의 정수 계획법 해법으로는 풀 수 없다. 따라서 위 문제를 풀기 위해서는 일부를 제약 지식을 기초로 완화시켜야한다.

위의 혼합 정수 계획법 모형을 보면, 선박 할당 부분과 상압 증류탑에서의 처리 부분에 0-1 변수가 나타나 있고, 따라서 이 부분이 지식을 바탕으로 완화되어야 한다. 이 완화된 부분에 대해서는 앞에서 말한 바와 마찬가지로 그 해를 찾기 위한 전략이 필요하며, 이것이 UNIK-PCS의 핵심이기도 하다. 이 전략은 3.5.4와 3.5.5 절에서 자세히 설명된다. 그리고, 필요한 지식의 획득을 위한 질문 생성 부분도 이들과 관련되어 후술될 것이다.

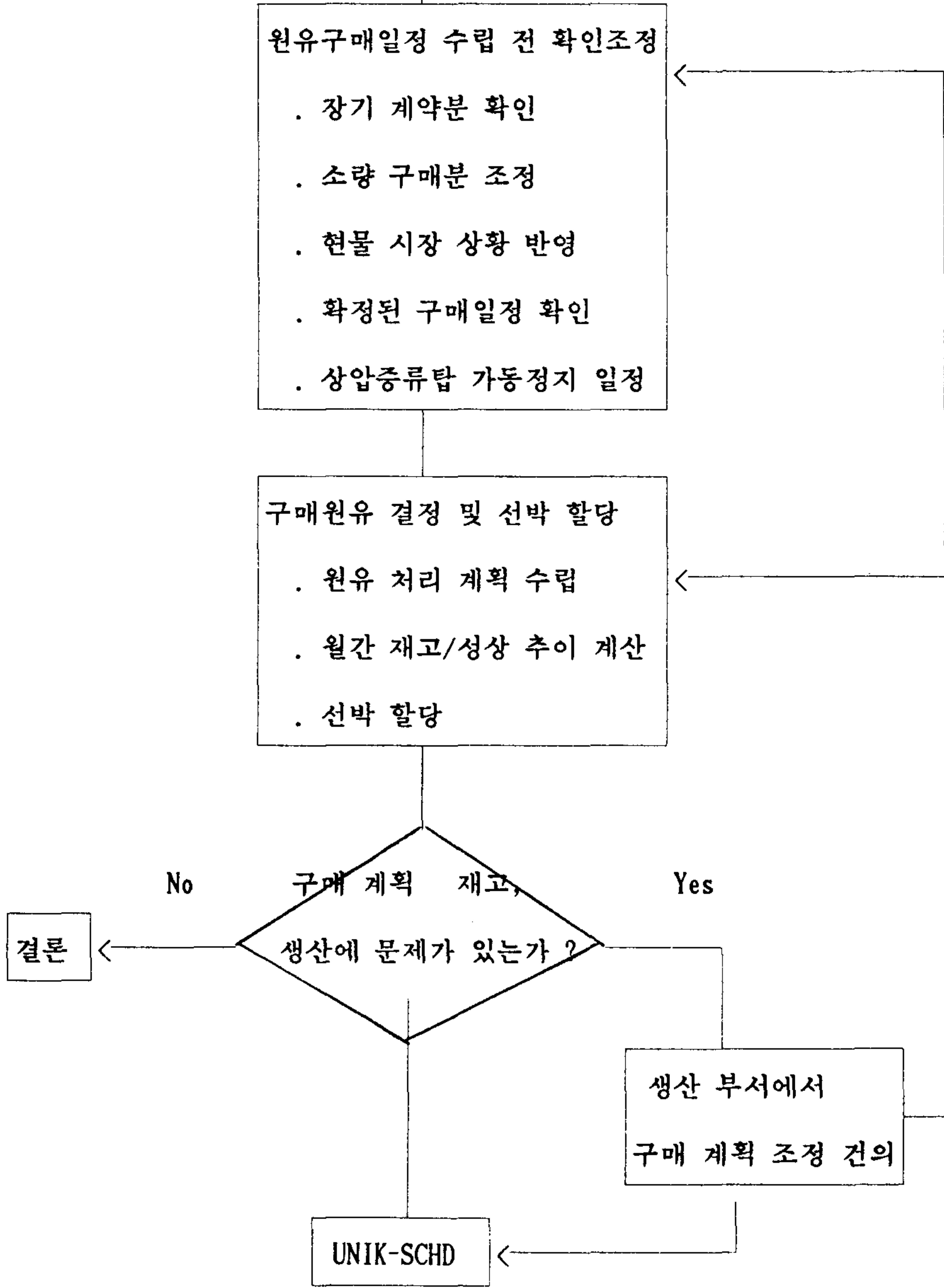
3.3 UNIK-PCS의 구조

UNIK-PCS 는 크게 다음 3 부분으로 이루어진다. <그림 3-2> 에 다른 시스템과 관련하여 UNIK-PCS 의 역할을 나타내었다. 관련 각 부분에 관한 설명은 각 절에 상술되어 있다.

- . 다른 시스템과의 관련 부분
- . 원유 구매 일정 수립 전 확인, 조정
- . 구매 원유 결정 및 선박 할당

UNIK-OPT

초기 원유 구매 계획



<그림 3-2> 원유 구매 계획과 관련된 정보의 흐름

3.3.1 다른 시스템과의 관계

1) UNIK-OPT 와의 관계

UNIK-PCS 는 UNIK-OPT 로 부터 초기 원유 구매 계획 및 초기 원유 처리 계획을 제공 받는다. 현재 이 초기 계획은 RPMS 화일(File)을 통하여 구매 관련 요약 보고서 (Purchase Basis Summary Report)를 받기 때문에 UNIK-PCS 의 내부 지식 표현 방법 (Knowledge Representation) 과 다르므로 변환 모듈(Module)이 필요하다. RPMS 출력 양식은 <표 3-1>과 <표 3-2>에 나타나 있다. 이 정보는 각 유종 프레임(Frame)에 대응하는 슬롯(Slot)에 저장한다. 그림 <3-3>에 원유 프레임의 예가 나타나 있다.

Column	Content
0 ~ 9	Crude Name
10 ~ 28	Crude Description
29 ~ 36	Activity
37 ~ 45	Minimum
46 ~ 54	Maximum
55 ~ 63	Objective Coefficient
64 ~ 72	Reduced Cost

<표 3-1> 구매 관련 RPMS 출력 화일 형식

Column	Content
3 ~ 11	Crude Name
12 ~ 21	No.1 CDU charge(H/S)
22 ~ 31	No.3 CDU charge(H/S)
32 ~ 41	No.2 CDU charge(L/S)
42 ~ 51	No.3 CDU charge(L/S)
52 ~ 61	No.2 CDU charge(L/S : LSWR)
Next Line 3 - 11	Crude Name
12 - 21	No.3 CDU charge(H/S : B-C)

<표 3-2> 처리 관련 RPMS 출력 화일 형식

```

{{ P-ABK
IS-A      : ABK
Description : "ABU AL KHOOSH"
Activity   : 16438
Min        : 0
Max        : 16438
ObjCost    : -25.86
RedCost    : 0.09
VCRA       : 9060    ;; No.1 CDU H/S
VCRC       : 7378    ;; No.3 CDU H/S
VCRX       : 0       ;; No.2 CDU L/S
VCRY       : 0       ;; No.3 CDU L/S
VCRZ       : 0       ;; No.2 CDU LSWR
VCRW       : 0       ;; No.3 CDU KERO
}}

```

<그림 3-3> 원유 프레임 예

2) UNIK-SCHD 와의 관계

UNIK-PCS 가 작성한 구매 계획을 UNIK-SCHD 에 제공하여 생산 부서 관점에서 다시 상세한 평가가 이루어지게 된다. 이 때 문제가 발생하여 구매 계획에 변경이 필요한 경우 - 구매 유종 변경 또는 구매 일자 조정 등 - 에는 다시 UNIK-PCS 로 조정을 요청한다. UNIK-PCS 와 UNIK-SCHD 는 내부 지식 표현 수단이 같으므로 별다른 변환 과정 없이 화일을 통하여 상호 연결을 꾀한다.

3.3.2 원유 구매 일정 수립 전 조정

(1) 장기 계약 물량

장기 계약 유종은 RPMS 출력 보고서에서 Activity 와 Minimum 값이 같은 유종을 확인하면 된다. 만약 이외에 다른 장기 계약 유종이 있으면 화면 상에서 입력 받아서 처리한다. 장기 계약 유종의 한 예를 들면 다음과 같다.

```

{{ P-KWT
  IS-A : KWT
  ...
  Activity : 28926 < 
  Min      : 28926 < 
  Max      : 53000
  Status   : "Fixed Quantity"
}}

```

(2) 소량 구매

원유마다 최소 구매량 및 최대 구매량의 한도가 있으므로 이를 평가하여 처리한다. 다음에 예제 프레임이 나타나 있다.

```

{{ P-FTH
  IS-A : FTH
  Activity : 200 < 
  Max     : 50000
  Min-Cargo-Size : 400 < 
}}

```

```
Max-Cargo-Size : 1000
}}
```

(3) 확정된 원유 구매 일정

확정된 원유 구매 일정 자료는 그달의 Delivery-sch 프레임의 Fixed-delivery-date, Fixed-delivery-crude 및 Why 슬롯에 나뉘어 저장된다. 각 슬롯의 값들은 그 순서에 준해서 한 확정 원유 구매 일정 자료를 나타낸다. 예를 들면, 다음과 같은 8월의 Delivery-sch 프레임이 있다고 하자.

```
{ { Aug-sch
  IS-A           : Delivery-sch
  Fixed-delivery-date : 88/08/05 88/08/10
  Fixed-delivery-crude : ((KWT 100)(OMN 80)) ((BN2 80))
  Why             : "" (Contract)
```

위의 예에서 88/08/05일에 KWT산 원유 100 MB와 OMN산 원유 80MB를 선적한 선박이 도착하도록 확정되어 있으며, 그때의 비고 사항은 없다. 또한 88/08/10일에 BN2산 원유 80MB이 계약상 도착하도록 확정되어 있음을 알 수 있다.

(4) 상압 증류탑 가동 정지 일정

상압 증류탑의 가동 정지 일정을 입력 받은 후 그 날짜들은 다음과 같이 조정된다. 상압 증류탑의 가동 정지 시작 일자가 그 달의 첫째 날 보다 작으면, 상압 증류탑 가동 정지 날짜를 그달의 첫째 날로 본다. 또한, 상압 증류탑의 가동정지가 끝나는 날짜가 그달의 마지막 날 이후라면, 상압 증류탑 가동정지가 끝나는 날짜는 그달의 마지막 날로 본다. 예를 들어 1988년 8월의 상압 증류탑 가동 정지 일정이 다음과 같다면 P-Shutdown-Interval 프레임은 다음과 같이 된다.

* 1988년 8월 상압 증류탑 가동 정지 일정

No.1 상압 증류탑 : 88/07/03 88/08/05

No.2 상압 증류탑 : 88/08/10 88/09/09

No.3 상압 증류탑 : 88/08/06 88/08/15

=>

```
{{ P-Shutdown-interval
  CDU1 : (From 88/08/01) (To 88/08/05)
  CDU2 : (From 88/08/10) (To 88/08/31)
  CDU3 : (From 88/08/06) (To 88/08/15)
}}
```

3.3.3 구매원유 결정 및 선박 할당

이 부분은 UNIK-PCS의 핵심으로서 주어진 월간 구매 총량을 바탕으로 원유 구매 일정을 생성하는 부분이다. 여기서는 앞에서 말한 바와 같이 원유재고를 적정 수준으로 유지하고, 또 원유들의 성상이 주어진 조건에 맞게 유지되도록 원유가 구매되도록 원유 구매 일정을 잡아야 한다. 따라서, 먼저 월간 원유 처리 계획을 제약 지식에 맞추어 수립한 후, 그 계획에 따라 원유가 상압 증류탑에서 처리된다고 가정하고 매일 매일의 재고와 성상을 계산해가면서 그에 따른 필요 원유를, 알맞은 선박을 이용하여 구매하도록함으로써 원유 구매 일정을 수립해 간다. 한편, 원유 구매 일정이 미리 결정된 경우가 있을 수 있으므로 이것은 그 날짜에 꼭 이루어지도록 되어야 한다. <그림 3-4>에 선박을 할당하는 규칙을 UNIK-FWD를 이용하여 나타내었다.

```
(RULE r3-l/s-and-h/s-inventory-level
  (delivery-template
    ^h/s-violation-date <date1>
    ^l/s-violation-date { <date2> (<= <> (- <date1> 2)) } ;;2-days before
    ^violation-date { <date> (= <> <date2>) }
    ^status 'not-assigned)
  (pur-crude
    ^frame-name 'p-BN2
    ^vessel-status <> 'assigned
    ^remained-qty <qty-1> )
```



```

(pur-crude
  ^frame-name 'p-CHN
  ^vessel-status <> 'assigned
  ^remained-qty <qty-2> )
(vessel
  ^frame-name <vess>
  ^instance 'LR2-SE
  ^min-cargo-size (>= (+ <qty-1> <qty-2>) <>)
  ^max-cargo-size (<= (+ <qty-1> <qty-2>) <>))
-->
(add-value 'p-delivery-template 'l/s-crude-group '(p-BN2 ,<qty-1>))
(add-value 'p-delivery-template 'l/s-crude-group '(p-CHN ,<qty-2>))
(add-value 'p-delivery-template 'status 'crude-assigned)
(new-value 'p-ORI 'vessel-status 'assigned))

```

<그림 3-4> 지역별 선박 할당 규칙의 예

3.4 UNIK-PCS의 지식

3.4.1 개관

UNIK-PCS의 지식은 크게 선언적 지식과 순차적 지식으로 대별될 수 있다. 선언적 지식은 프레임의 형태로 각 원유의 월간 총 구매량, 선박 관련 제약, 원유 재고, 원유 처리 계획, 고정구매 일정, UNIK-PCS가 수립한 구매일정 등을 표현한 것을 말하며, 순차적 지식은 규칙의 형태로 선박할당 등에 관한 지식을 표현한 것을 말한다.

3.4.2 선언적 지식

(1) 원유 산지의 지식 표현

각 산지에서의 원유의 성상, 항구명, 한번에 구매할 수 있는 최대/최소 원유량, 접안시의 제약 조건, 운송 시간, 지역, 지역 내에서의 우선순위 등을 표현한다. ABK 원유에 대한 예가 다음에 나와 있다.

```
{{ ABK
```

```

IS-A           : Crude
Sulfure-type   : H/S
Assay          : (RCYLD 40.93) (RCSULF 3.0) (LGOSULF 0.98)
Port           : "ABU AL KHOOSH"
Cargo-size     : (min 450) (max 550)
Port-restriction : (Max-Loa) (Max-Dwt 27000) (Max-Draft 30.5)
Delivery-interval : 210
Region         : ME
Priority-within-region : 2
}}

```

(2) 구매량의 지식표현

RPMS로부터 결정된 월간 총 구매량은 원유 구매 일정 수립의 근간이 되는 것으로서 이를 바탕으로 UNIK-PCS의 모든 수행이 이루어진다. RPMS로부터 오는 지식은 초기 원유 구매 계획뿐만 아니라, 상압 증류탑에서의 원유 처리일정을 수립하기 위해 각 상압증류탑에서 처리되는 각 원유별 일평균량에 관한 지식도 오게된다. 이 지식들은 초기 원유 구매 계획과 함께 구매 프레임에 표현된다.

또한 과대/과소 물량조정의 결과를 표현하기 위해 다음과 같은 슬롯이 첨가된다. 과대/과소 물량을, 그 원유의 사용 기간을 감소/증가시킴으로써 조정할 때는 그 기간이 Time-interval 슬롯에 표현되며, 과소 물량을 취소할 때는 P-status 슬롯 값이 No 로써 표현 된다. ABK 원유 구매 및 처리에 대한 프레임 예가 다음에 나와있다.

```

{{ P-ABK
IS-A           : ABK
Instance       : P-Crude
Description    : "ABU AL KHOOSH"
Activity       : 16438
Min            : 0
Max            : 16438
RedCost        : 0.090
VCRA           : 9060
VCRC           : 7378
VCRX           : 0
VCRY           : 0
VCRZ           : 0
VCRW           : 0
Status         : Tiny
Time-interval  : (From 88/08/01) (To 88/09/05)

```

```

P-status      : Yes
Remained-qty  : 591768
Vessel-Status : Not-assigned
}}

```

(3) 장기 계약분의 지식 표현

장기 구매 계약 원유에 대해서는 그 유종, 계약량, 계약 기간 및 비고의 지식이 표현된다. 장기 계약된 KWT산 원유에 대한 프레임 예가 다음에 나와 있다.

```

{{ KWT-LT
  IS-A      : Long-Term-Contract
  Instance  : KWT
  Quantity/d : 30
  Interval  : (From) (To)
  Contract-Term :
}}

```

(4) 선박의 지식 표현

선박에 관한 지식은 선박 유형에 관한 것과 구체적인 개별 선박에 관한 것이 있다. 선박의 유형에 관한 지식에서는 그 선박들이 사용가능한 지역, 선박의 최대/최소 용량 등이 표현되며, 개별 선박에 관한 지식에서는 구매 일정 수립 결과 그 선박에 할당된 유종과 그 양이 표현된다. VLCC급 선박 유형과 그 중의 한 선박인 VLCC-1에 대한 프레임 예가 다음에 나와있다.

```

{{ VLCC
  IS-A      : vessel-type
  Region    : ME
  Min-Cargo-Size : 1440000
  Max-Cargo-Size : 1920000
}}

{{ VLCC-1
  IS-A      : Vessel
  Instance  : VLCC
  Assigned-crude-qty :
}}

```

```

Assigned-crude      :
Status              : Not-assigned
}}

```

(5) 원유 재고의 지식 표현

원유재고와 관련된 지식으로는 고유황/저유황 원유 총량으로서의 적정/최대/최소 원유량에 대한 지식, 기초 재고 및 원유 구매 일정 수립 중의 각 날짜의 원유 재고 지식이 있다. 각 적정/최대/최소 원유에 대한 지식은 Proper-inv-level 프레임에 표현되어 있다.

```

{{ Proper-inv-level
  Proper-H/S-inv : 2000000
  Min-H/S-inv   : 1200000
  Max-H/S-inv   : 3000000
  Proper-L/S-inv : 2500000
  Min-L/S-inv   : 2000000
  Max-L/S-inv   : 4500000
  Max-Total-inv : 6800000
}}

```

기초 재고에 대한 지식은 Initial-inventory 프레임에 유종별로 표현된다.

```

{{ Initial-inventory
  ABK : 80000
  KWT : 100000
  .....
}}

```

원유 구매 일정 수립 알고리즘 상에서 각 날짜의 재고는 구매 일정 나무의 각 마디에서 표현된다. 구매 일정 나무에 대해서는 3.5.5 원유 구매 일정 수립에서 자세히 설명된다. 구매 일정 나무의 한 마디에서 현재의 재고를 표현한 예가 다음에 나와 있다.

```

{{ Purchase-tree-11
  Previous : Purchase-tree-1
  Date    : 88/08/08
  Inventory : (ABK 80000) (KWT 150000) ...
  .....
}}

```

(6) 원유 처리의 지식 표현

원유 처리와 관련된 지식으로는 상압 증류탑의 가동정지 계획과, 이 정보와 한달의 처리량 정보(구매량의 지식 표현에서 설명)를 바탕으로 수립된 한달의 처리 계획에 대한 지식이 있다. 상압 증류탑의 가동 정지 계획은 P-shutdown-interval 프레임에 표현된다.

```
{ { P-Shutdown-Interval
    CDU1 : (From) (To)
    CDU2 : (From) (To)
    CDU3 : (From) (To)
  }
```

한달간의 처리 계획은 고유황/저유황 원유별로 각 달의 처리 계획 프레임에 표현된다. 각 날짜 슬롯의 두 값은, 고유황 원유의 경우에는 첫번째 값은 그 날에 No.1 상압 증류탑에서 처리될 양이고 두번째 값은 그날에 No.3 상압증류탑에서 처리될 양이며, 저 유황 원유의 경우에는 첫번째 값은 그날에 No.2 상압증류탑에서 처리될 양이고 두번째 값은 그날에 No.3 상압증류탑에서 처리될 양이다. No.3 상압증류탑에서는 같은 날에 고유황 또는 저유황 어느 한 원유만 처리될 수 있음에 유의해야 하며, 또 No.3 상압증류탑에서 저유황/고유황 원유간의 처리 변환 기간은 적어도 이틀 이상임을 유의해야 한다.

또한, 원유 구매 일정 수립 중에 각 상압증류탑에서 처리됨으로써 없어지는 원유 재고량을 계산하기 위해 P-Cal-CDU-Charge라는 데몬이 Charge-Ftn 슬롯에 붙어 있다.

```
{ { Aug-H/S-Cdu
  IS-A      : H/S-Cdu
  Year      : 1988
  Charge-Ftn : P-Cal-CDU-Charge
  1         : 60000 140000
  2         : 60000 140000
  3         : 60000   0
} { Aug-L/S-Cdu
  IS-A      : L/S-Cdu
  Year      : 1988
  Charge-Ftn : P-Cal-CDU-Charge
  1         : 90000   0
  2         : 90000   0
  3         : 90000 140000
```



```

4          : 60000    0          4          : 90000 140000
.....
}}

```

(7) 고정된 구매 일정의 지식 표현

미리 구매 일정이 확정된 것은 그 날짜 및 유종들 각각의 양들에 대한 지식이 표현되어야 한다. 이것은 수립된 구매 일정과 함께 그 달의 delivery-sch 프레임에 표현된다.

```

{{ Aug-sch
  IS-A          : Delivery-sch
  Year          : 1988
  Fixed-delivery-date : 88/08/05          88/08/15  ...
  Fixed-delivery-crude : ((KWT 100000) (OMN 80000)) ((BN2 800000))
  Why           : (Contract)          (Contract)  ...
  1             :
.....
}}

```

(8) 구매 일정 나무의 지식 표현

구매 일정 나무는 원유 구매 일정 수립에서 분단분지법을 이용할 때 그 탐색 과정을 기억하기 위한 것이다. 구매 일정 나무의 각 마디는 프레임으로 표현되며, 가지는 윗 프레임을 값으로 갖는 슬롯을 통해 표현된다. 세개의 연결된 마디의 예가 다음에 나와있다.

```

{{ Purchase-tree-1
  Previous : purchase-tree-0
  Date : 88/08/04
  Statistic : 1.85
  Inventory : (abk 80) ...
  Usable-h/s-inv : 1000
  Usable-l/s-inv : 2300
  Violated : H
  H/S-crude-to-be-purchased : (kwt 500) (arh 300) ...
  L/S-crude-to-be-purchased : (omn 300) (bn2 80) ...

```

Purchable-crudes : ((kwt 500)(omn 300)) ... }

{{ Purchase-tree-12	{{ purchase-tree-11
Previous : purchase-tree-1	Previous : purchase-tree-1
Purchased : ((arh 300)(bn2 80))	Purchased : ((kwt 500)(omn 300))
Arrival-date : 88/08/02	Arrival-date : 88/08/02
Date : 1988/08/07	Date : 1988/08/08
Statistic : 3.5	Statistic : 2.3
Inventory : (abk 65) ...	Inventory : (abk 60) ...
Usable-h/s-inv : 1000	Usable-h/s-inv : 1500
Usable-l/s-inv : 2000	Usable-l/s-inv : 1800
Violated : H	Violated : L
H/S-crude-to-be-purchased :	H/S-crude-to-be-purchased :
(kwt 500) ...	(arh 300) ...
L/S-crude-to-be-purchased :	L/S-crude-to-be-purchased :
(omn 300) ...	(bn2 80) ...
Node-status : fathomed }}	Purchable-crudes
	((bn2 80)) ... }}

위의 예에서 Previous 슬롯의 값은 현 마디의 윗 마디를 나타낸다. 따라서, 이 슬롯은 가치를 표현한다. Date 슬롯은 원유 재고를 상압 증류탑에서의 처리만큼 제해 나가다가 그 재고가 최소 재고량을 넘어선 날짜를 나타낸다. Statistic 슬롯은 구매 일정 나무의 뿌리 마디부터 현 마디까지의 경로에 대한 평가 함수의 값이다. 구체적으로 말하면, 저유황 원유의 잔사유 유황 함량이 1.5%에서 떨어진 정도와 저유황 원유의 경질 가스유의 유황 함량이 0.45%에서 떨어진 정도를 합한 것으로, 최적 경로를 찾아가는데 있어서 기준이 되는 값이다.

Inventory 슬롯은 구매 일정 나무에서 현 마디까지의 경로를 밟아올 때의 각 유종별 재고량을 표현한다. 이 재고량들을 이용하여 우리는 사용가능한 고유황, 저유황 원유 재고를 계산해 낼 수 있으며, 이 값들은 Usable-H/S-inv, Usable-L/S-inv 슬롯에 저장 된다. Violated 슬롯은 현재 날짜에 어느 사용 가능 원유량이 최대 값보다 작은가를 표현한다. H/S-crude-to-be-purchased와 L/S-crude-to-be-purchased 슬롯은 RPMS에서 계획한 월간 구매 원유에서 현 날짜 전에 구매한 원유를 제외한 원유들을 고유황과 저유황 원유별로 구분해서 표현한 것이다. Purchable-crudes 슬롯은 현재 구매가능한 원유 중에서, 현재 구매가 필요한 원유들을 규칙을 이용하여 결정하여 선박 할당까지

마친 구매 계획들을 표현한다. 이것을 결정하는 규칙이 바로 UNIK-PCS의 순차적 지식이며 이것은 3.4.3 순차적 지식에서 상세히 설명된다.

프레임 Purchase-tree-11과 Purchase-tree-12에서 Purchased 슬롯은 현 마디의 윗 마디에서 여러 구매 계획 대안 중 선택한 구매 계획을 표현한다. 구체적으로보면, Purchase-tree-1 마디에서 구매 계획 대안은 ((KWT 500)(OMN 300)), ((ARH 300)(BN2 80)) 등의 구매 대안이 있었고, 이중에서 Purchase-tree-11은 ((KWT 500)(OMN 300))의 계획을 선택한 경우이고, Purchase-tree-12는 ((ARH 300)(BN2 80))의 계획을 선택한 경우이다. Arrival-date 슬롯은 그 계획에 따른 원유 선적 선박이 항구에 도착한 날을 표현하며, 선박의 도착이 원유 필요일자보다 이를 앞서야 함은 앞에서 설명한 바가 있다.

(9) 수립된 구매 일정의 지식 표현

최종적으로 수립된 구매 일정에 대한 지식은 어느 날짜에 어느 원유들을 얼마만큼 구매하느냐에 대한 지식이다. 이것은 그 달의 delivery-sch 프레임에 표현된다.

```

{{ Aug-sch
  IS-A           : Delivery-sch
  Year           : 1988
  Fixed-delivery-date : 88/08/05
  .....
  1              :
  2              :
  3              : ((CHN 35000) (BN2 50000))
  .....
}}

```

3.4.3 순차적 지식

UNIK-PCS에서 원유 구매 일정을 수립하는 방법은 3.4.2 절의 (8) 구매 일정 나무의 지식표현에서 설명되었고 자세한 것은 3.5.5절에서 설명될 것이다. 이와 같이 원유 구매 일정을 수립하는 데 있어, 구매 일정 나무의 한 마디에서 가능한 원유들의

선박 할당을 결정할 때 쓰이는 지식이 순차적 지식이다.

앞에서 말한 바와 같이 이 순차적 지식이 쓰이는 때는, 상압 증류탑에서의 원유 처리에 따라 고유황 원유 또는 저유황 원유 재고가 최소 재고점 아래로 떨어져서 그것을 보충하기 위해 원유를 구매해야 할 때 어느 원유를 얼마만큼 어떤 선박으로 어느 날 까지 사와야 하는가를 결정해야 할 때이다. 이 순차적 지식은 규칙(Rule)의 형태로 표현되며 UNIK-FWD를 이용하여 실행된다. UNIK-FWD에 대해서는 II부 4 장을 참조하라.

이 규칙들이 원유 결정 및 선박 할당을 할 때 고려해야 할 점을 구체적으로 말하면 다음과 같다.

- (1) 한 선박은 한 지역의 원유들에만 할당된다. 또한 각 지역별로 미리 결정된 할당 선박이 있다. 단, 홍해, 동남아시아의 원유들은 중동 원유가 포함될 경우 중동 원유와 함께 중동 지역의 선박인 VLCC급 선박에 할당될 수 있다.
- (2) 각 선박은 최대, 최소의 선적량이 있다.
- (3) 하역 시설의 제한 때문에 한번에 한 배만 항구에 들어올 수 있다. 단, Super Dolphin급 선박은 이 제한이 적용되지 않는다.
- (4) 하역 시간 때문에 한 선박이 도착한 후 적어도 이틀 후에 다른 선박이 들어올 수 있다. 따라서 다른 선박의 도착 시간은 한 선박의 도착한 이틀 후로 해야 한다. 또한, 하역 시간이 이틀 걸린다는 것은, 원유 재고가 최소 재고 이하로 떨어진 날 이틀 전에 필요한 원유를 선적한 선박이 도착해야 함을 의미한다. 단, Super Dolphin급 선박은 이 제한을 받지 않는다.

이러한 제약을 고려한 UNIK-FWD 규칙의 예가 다음에 나와 있다.

(RULE r3-l/s-and-h/s-inventory-level


```

(delivery-template
  ^h/s-violation-date <date1>
  ^l/s-violation-date { <date2> (<= <> (- <date1> 2)) } ;;2-days before
  ^violation-date { <date> (= <> <date2>) }
  ^status 'not-assigned)
(pur-crude
  ^frame-name 'p-BN2
  ^vessel-status <> 'assigned
  ^remained-qty <qty-1> )
(pur-crude
  ^frame-name 'p-CHN
  ^vessel-status <> 'assigned
  ^remained-qty <qty-2> )
(vessel
  ^frame-name <vess>
  ^instance 'LR2-SE
  ^min-cargo-size (>= (+ <qty-1> <qty-2>) <>)
  ^max-cargo-size (<= (+ <qty-1> <qty-2>) <>))
-->
(add-value 'p-delivery-template 'l/s-crude-group '(p-BN2 ,<qty-1>))
(add-value 'p-delivery-template 'l/s-crude-group '(p-CHN ,<qty-2>))
(add-value 'p-delivery-template 'status 'crude-assigned)
(new-value 'p-ORI 'vessel-status 'assigned))

```

3.5 원유 구매일정 수립 과정

3.5.1 월간 총 구매량의 입력

UNIK-OPT가 초기 원유 구매 계획을 제공함은 앞에서 설명한 바와 같다. UNIK-OPT가 수립한 초기 원유 구매 계획은 구매 관련 요약 보고서(Purchase Basis Summary Report)에 나타나며, 이것은 해당 변환 모듈을 통해 각 유종 프레임에 저장된다.

3.5.2 과대, 과소 물량 조정

산지에서의 사정 때문에 한번에 구매할 수 있는 최대, 최소량이 있다. 최대량을 넘은 과대 물량의 경우는 원유의 사용 기간을 줄여서 적정 물량으로 하거나, 그냥 두어서 원유 구매 일정 수립에서 2번에 걸쳐 사오도록 한다. 최소량에 모자라는 소량 구매

의 경우는 그 원유의 구매를 취소하거나 원유의 사용 기간을 늘려서 적정 물량이 되도록 한다.

3.5.3 고정된 구매 일정의 입력

미리 구매 일정이 확정된 것은 그 날짜와 유종들, 그리고 유종 각각의 양을 입력 받는다.

3.5.4 기초 재고의 입력

원유 구매 일정에서 원유 재고의 추이를 계산하는 데 바탕이 되는 기초 재고를 화면으로부터 입력받는다.

3.5.5 월간 원유 처리 계획의 수립

월간 원유 처리 계획의 수립은 초기 월간 처리계획 입력, 각 상압 증류탑에서의 일간 처리량 계산, No.3 상압 증류탑에서의 처리 주기 계산 및 최종 처리 계획 결정의 순서를 따른다.

(1) 초기 월간 처리 계획의 입력

이것은 월간 총 구매량의 경우와 마찬가지로 UNIK-OPT가 제공하는 것으로, 월간 총 구매량 계획과 함께 구매 관련 요약 보고서로부터 변환 모듈을 통해 입력한다.

(2) 각 상압 증류탑에서의 일간 처리량의 계산

(a) 초기 일간 처리량 계산

초기 일간 처리량은 No.2 상압 증류탑에서의 처리량 및 No.3 상압 증류탑에서의 고유황 원유 처리량과 저유황 원유의 처리량을 <표 3-3>에 나타난 적정 처리량으로 하여 다음의 각 상압 증류탑에서의 월간 처리량 계산 공식에 따라 No.1 상압 증류

탑의 월간 처리량을 구한 후 No.1 상압 증류탑의 월간 가동 일수로 나누어 No.1 상압 증류탑에서의 일간 처리량을 계산함으로써 얻어진다.

* 각 상압 증류탑에서의 월간 처리량 계산 공식

CDU2, CDU3H/S 및 CDU3L/S의 일간 charge량이 주어졌을 때,

월간 CDU2 charge량 = interval2 * 일간 CDU2 charge량

월간 CDU3L/S charge량 = 총 L/S charge량 - 월간 CDU2 charge량

CDU3 L/S charge 일수 = 월간 CDU3 L/S charge량 / 일간 CDU3 L/S charge량

CDU3 H/S charge 일수 = interval3 - CDU3 L/S charge 일수

월간 CDU3 H/S charge량 = CDU3 H/S charge 일수 * 일간 CDU3 H/S charge량

월간 CDU1 charge량 = 총 H/S charge량 - 월간 CDU3 H/S charge량

*** interval1, interval2, interval3 는 그 달의 날수에서 각 상압증류탑의 가동 정지 일수를 뺀 각 상압 증류탑의 가동일수를 말한다.

이것을 요약하면 다음과 같다.

일간 CDU2 charge량 = CDU2 opt

일간 CDU3H/S charge량 = CDU3H/S opt

일간 CDU3L/S charge량 = CDU3L/S opt

일간 CDU1 charge량 = 공식에 의한 월간 CDU1 charge량 / interval 1

	MIN	MAX	OPT
No1	30	60	-
No2	70	100	90
No3 H/S	120	160	140
No3 L/S	100	140	140

<표 3-3> 일간 처리량 제약(단위 : MB)

(b) 초기 일간 처리량의 조정

i) 일간 CDU1 charge량이 CDU1 max보다 크다면 goto ii)

일간 CDU1 charge량이 CDU1 min보다 작다면 goto iii)

ii) 일간 CDU2 charge량을 5MB씩 증가시키면서(max 100MB) 일간 charge량들을 다시 구한다. 일간 CDU1 charge량이 CDU1 max보다 크다면 goto ii-1). 아니면 Stop.

ii-1) 일간 CDU3 H/S charge량을 20MB씩 증가시키면서(max 160MB), 일간 charge량들을 다시 구한다. 일간 CDU1 charge량이 CDU1 max보다 크다면 FAIL, 아니면 Stop.

iii) 일간 CDU2 charge량을 5MB씩 감소시키면서(min 80MB) 일간 charge량들을 다시 구한다. 일간 CDU1 charge량이 CDU1 min보다 작다면 goto iii-1), 아니면 Stop.

iii-1) 일간 CDU3 H/S 및 L/S charge량을 각각 10MB씩 감소시키면서(min 각

120MB) 일간 charge량들을 다시 구한다. 일간 CDU1 charge량이 CDU1 min보다 작다면 goto iii-2), 아니면 Stop.

iii-2) 일간 CDU1 charge량 = CDU1 min

CDU3 H/S charge 일수 = $\max(0, (\text{총 H/S charge량} - \text{일간 CDU1 charge량}) / \text{일간 CDU3 H/S charge량})$

CDU3 L/S charge 일수 = $\max(0, (\text{총 L/S charge량} - \text{일간 CDU2 charge량}) / \text{일간 CDU3 L/S charge량})$

(3) No.3 상압 증류탑에서의 처리 주기 계산

(a) $\min(\text{CDU3 H/S charge 일수}, \text{CDU3 L/S charge 일수})$ 가 10보다 작다면 해당 crude(charge 일수가 작은 것)의 cycle은 2, 아니면 해당 cycle은 3.

(b) charge일수가 작은 것에 대하여,

switch 반복 수 = 해당 charge 일수 div cycle

Remain = 해당 charge 일수 mod cycle

(c) cycle일수가 큰 것에 대하여,

cycle = 해당 charge 일수 div switch 반복 수

Remain = 해당 charge 일수 mod switch 반복 수

(4) 최종 처리 계획 결정

앞에서 구한 No.3 상압 증류탑에서의 월간 고유황, 저유황 원유의 처리 일수와 각각의 주기를 이용하여 한달간의 No.3 상압 증류탑에서의 처리 계획을 다음과 같이

결정한다.

(a) CDU3 H/S charge 일수 \geq CDU3 L/S charge 일수인 경우,

i) 전월에 H/S를 2일 이상, 또는 L/S를 1일 charge 하고 있었을 때,

L Hi L Hi ... L Hi Lrem

where, Hi = H/S cycle + 1 when 현재 switch 반복 수 mod 증가 주기 = 0
= H/S cycle Otherwise

where, 증가 주기 = switch 반복 수 mod Hrem

의 순서로 처리 계획을 세운다.

ii) 전월에 L/S를 2일 이상, 또는 H/S를 1일 charge 하고 있었을 때,

Hi Li Hi Li ... Hi Li

where, Hi = H/S cycle + 1 when 현재 switch 반복 수 mod 증가 주기 = 0
= H/S cycle Otherwise

where, 증가 주기 = switch 반복 수 mod Hrem

where, Li = L/S cycle + 1 when 현재 switch 반복 수 mod 증가 주기 = 0
= L/S cycle Otherwise

where, 증가 주기 = switch 반복 수 mod Lrem

의 순서로 처리 계획을 세운다.

(b) CDU3 H/S charge 일수 $<$ CDU3 L/S charge 일수인 경우,

i) 전월에 L/S를 2일 이상, 또는 H/S를 1일 charge 하고 있었을 때,

H Li H Li ... H Li Hrem

where, $Li = L/S \text{ cycle} + 1$ when 현재 switch 반복 수 mod 증가 주기 = 0
= L/S cycle Otherwise

where, 증가 주기 = switch 반복 수 mod Lrem

의 순서로 처리 계획을 세운다.

ii) 전월에 H/S를 2일 이상, 또는 L/S를 1일 charge 하고 있었을 때,

Li Hi Li Hi ... Li Hi

where, $Hi = H/S \text{ cycle} + 1$ when 현재 switch 반복 수 mod 증가 주기 = 0
= H/S cycle Otherwise

where, 증가 주기 = switch 반복 수 mod Hrem

where, $Li = L/S \text{ cycle} + 1$ when 현재 switch 반복 수 mod 증가 주기 = 0
= L/S cycle Otherwise

where, 증가 주기 = switch 반복 수 mod Lrem

의 순서로 처리 계획을 세운다.

3.5.6 원유 구매 일정의 수립

이상과 같이 한달의 총 구매량과 한달의 원유 처리 계획이 수립된 하에서, UNIK-

PCS는 다음과 같이 해서 원유 구매 일정을 수립한다.

(1) 구매 일정 나무의 뿌리 마련

구매 일정 나무의 뿌리 마디는 Purchase-tree-0라는 이름의 프레임이다. 이 프레임은 date, statistic, inventory, usable-h/s-inv, usable-l/s-inv, H/S-crude-to-be-purchased, L/S-crude-to-be-purchased의 슬롯을 갖는다. date는 그달의 첫날을 값으로 가지며, statistic은 0를 값으로 갖는다. inventory 슬롯은 기초 재고 상태를 값으로 갖는다.

usable-h/s-inv 슬롯과 usable-l/s-inv 슬롯은 inventory 슬롯의 정보로부터 현재 사용 가능한 고유황 원유량과 저유황 원유량을 계산한 값이다. H/S-crude-to-be-purchased 슬롯과 L/S-crude-to-be-purchased 슬롯은 UNIK-OPT로부터 넘어온 초기 원유 구매 계획을 고유황 원유와 저유황 원유로 나누어 정리한 것이다.

구매 일정 나무의 뿌리의 예를 들면 다음과 같다.

```
{ { purchase-tree-0
  date : 88/08/01
  statistic : 0
  inventory : (abk 100) ...
  usable-h/s-inv : 2000
  usable-l/s-inv : 3500
  H/S-crude-to-be-purchased : (kwt 500) (arh 300) ...
  L/S-crude-to-be-purchased : (omn 300) (bn2 80) ...
}
```

(2) 구매 일정 나무의 마련

위와 같이 구매 일정 나무를 마련한 후, UNIK-PCS는 앞에서 수립한 각 상업 종류탑에서의 처리계획에 따라 원유가 처리된다고 가정하고 현 가용 재고로부터 재고량을 감해 나간다. 이와 같이 매일 매일 원유 재고를 감해 나가다가 가용재고가 최소 재고량을 넘는 날 새로운 프레임을 마련하는데 이것이 구매 일정 나무의 새로운 마디가 된다.

이 프레임에서 Previous 슬롯이 윗 프레임의 이름을 가짐으로써 윗 마디와의 연결을 표시하게 된다. 또한 date 슬롯은 최소 재고량이 깨진 날을 표현하며, statistic 슬롯은 구매 일정 나무의 뿌리부터 현재 마디까지의 경로를 따라 원유를 구매할 때 그 재고 및 처리되는 원유의 성상의 추이가 적정 수준에서 벗어나는 정도를 합한 것으로 이 값들이 분단 분지의 기준이 되며, 나아가 최적 구매 일정 수립의 척도가 된다. inventory 슬롯은 마찬가지로 구매일정 나무의 뿌리부터 현 마디까지의 경로를 따라 원유를 구매할 때 현 시점에서의 각 원유의 재고를 나타낸다. usable-h/s-inv와 usable-l/s-inv는 마찬가지로 현 원유 재고하에서의 고유황 원유 및 저유황 원유의 가용 재고를 표시한다. violated 슬롯은 최소 재고를 초과한 원유가 고유황 원유인가 저유황 원유인가를 표시한다. H/S-crude-to-be-purchased와 L/S-crude-to-be-purchased 슬롯은 구매 일정 나무의 뿌리 마디로부터 현 마디까지의 경로를 따라 오면서 각 최소 재고가 깨진 시점에서 초기 구매 계획 중에서 구매하고 남은 원유를 표시하며, 따라서 이 마디의 아랫 마디들에서 구매할 수 있는 원유들이다.

Purchable-crudes 슬롯은 UNIK-PCS의 규칙을 이용하여 최소 재고가 깨진 현 시점에서 구매할 필요가 있는 원유를 선박할당 등을 고려하여 몇가지 대안을 마련해 놓은 것이다. 이때 고려해야 할 요인들에 대해서는 3.4.3절에서 이미 설명된 바와 같다.

UNIK-PCS는 이러한 각 대안들에 대해서 그 밑으로 그 대안의 수 만큼 마디들을 마련해 가면서 다시 구매 일정 나무를 확대해 간다. 이때 계산의 수를 줄이기 위해 모든 아랫 마디들을 다 계산하는 것은 아니며, 이에 대해서는 (3) 절에서 상술하겠다.

구매 일정 나무의 연결에 대한 내용을 예를들어 좀더 자세히 설명하면 다음과 같다. 다음과 같은 3 개의 프레임이 구매 일정 나무의 일부분이라고 하자.

```

{{ purchase-tree-1
  previous : purchase-tree-0
  date : 88/08/04
  statistic : 1.85
  inventory : (abk 80) ...
  usable-h/s-inv : 1000

```

```

usable-l/s-inv : 2300
violated : H
H/S-crude-to-be-purchased : (kwt 500) (arh 300) ...
L/S-crude-to-be-purchased : (omn 300) (bn2 80) ...
Purchable-crudes : ((kwt 500)(omn 300)) ((arh 300)(bn2 80))
}}

```

```

{{ purchase-tree-12
previous : purchase-tree-1
purchased : ((arh 300)(bn2 80))
arrival-date : 88/08/02
date : 1988/08/07
statistic : 3.5
inventory : (abk 65) ...
usable-h/s-inv : 1000
usable-l/s-inv : 2000
violated : H
H/S-crude-to-be-purchased :
(kwt 500) ...
L/S-crude-to-be-purchased :
(omn 300) ...
Node-status : fathomed }}

{{ purchase-tree-11
previous : purchase-tree-1
purchased : ((kwt 500)(omn 300))
arrival-date : 88/08/02
date : 1988/08/08
statistic : 2.3
inventory : (abk 60) ...
usable-h/s-inv : 1500
usable-l/s-inv : 1800
violated : L
H/S-crude-to-be-purchased :
(arh 300) ...
L/S-crude-to-be-purchased :
(bn2 80) ...
Purchable-crudes
((bn2 80)) ... }}

```

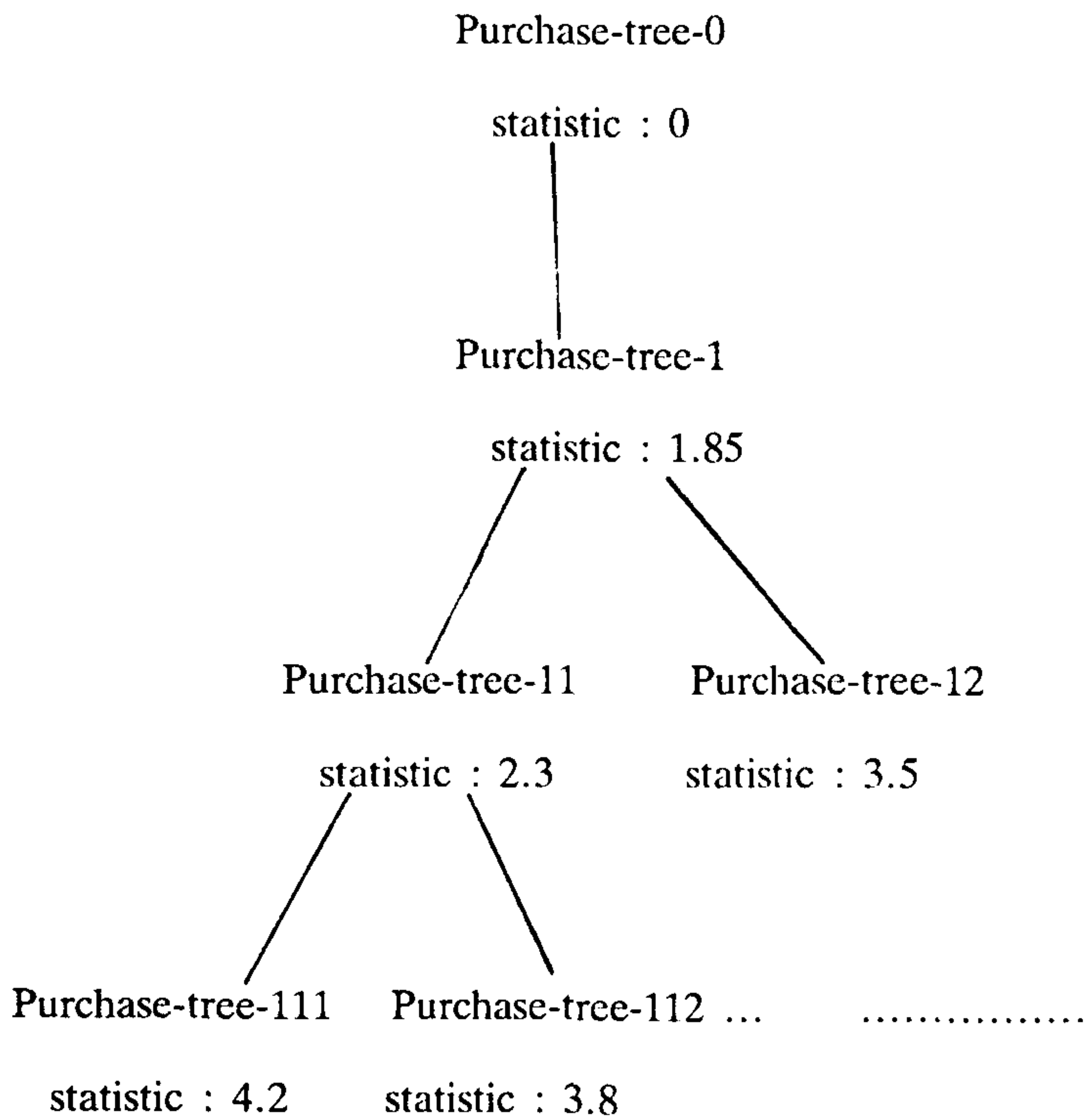
Purchase-tree-1의 date 슬롯과 violated 슬롯을 보면 88년 8월 4일 고유황 원유의 최소 재고가 깨어졌음을 알 수 있다. 따라서 UNIK-FWD를 이용하여 현재 구매할 것으로 남아 있는 원유에 대한 H/S-crude-to-be-purchased와 L/S-crude-to-be-purchased 슬롯의 정보로부터 현 시점에서 구매할 수 있는 - 또한 구매가 필요한 원유의 대안들로 KWT산 원유 500 MB과 OMN산 원유 300 MB를 사는 경우와 ARH산 원유 300 MB과 BN2산 원유 80 MB을 사는 경우의 두가지 대안이 있음을 알아 냈다. Purchase-tree-11은 위 두 대안들 중 KWT산 원유와 OMN산 원유를 사는 대안을 택한 경우의 마디임을 Purchase-tree-11의 Purchased 슬롯의 값에서 알 수 있고, 또한 UNIK-FWD가 결정한, 위 두 원유를 선적한 선박이 도착할 날짜가 88년 8월 8일임을 arrival-date 슬롯으로부터 알 수 있다.

Purchase-tree-12의 슬롯들도 마찬가지로 해석할 수 있으며, 나아가 Node-status 슬롯으로부터, 이 경로를 따라 왔을 때 UNIK-FWD가 선박 할당 대안을 마련할 수 없음을 알 수 있다.

(3) 구매 일정 나무에의 분단 분지법 적용

이상과 같이 구매 일정 나무를 마련해 가면서 UNIK-PCS는 계산의 수를 줄이기 위해 분단 분지법을 이용하여 최적해를 구해낸다. 즉, 구매 일정 나무의 모든 마디를 다 찾아가서 statistic을 계산할 수는 없으므로 분단 분지법을 원용하여 최적해를 구해낸다. 그 방법은 최소 원유가 깨진 시점에서 마디를 마련하고, UNIK-FWD가 제시하는 대안에 따라 아랫 마디를 마련한 후 그 아랫 마디에서의 statistic을 계산한 후, 모든 단말 마디에서의 statistic을 비교하여 가장 그 값이 작은 마디로부터 다시 구매일정 나무의 확장을 계산해 나가는 것이다.

이것을 예를들어 설명하면 다음과 같다.



구매 일정 나무의 뿌리 마디로서 Purchase-tree-0가 있었다고 하자. 그리고 재고 원유의 감소에 따라 Purchase-tree-1이 마련되었다고 하자. 이때 UNIK-FWD가 제시하는 2 대안에 따라 Purchase-tree-11과 Purchase-tree-12의 마디가 만들어졌다고 하자. 이 두 마디의 statistic을 비교해 보면 Purchase-tree-11의 그것이 2.3으로서 Purchase-tree-12의 3.5보다 작다. 따라서, Purchase-tree-11의 상황에서 다시 UNIK-FWD의 제안에 따라 Purchase-tree-111과 Purchase-tree-112 등의 아랫 마디들이 만들어진다. 이때, 다시 Purchase-tree-12 및 Purchase-tree-111, Purchase-tree-112 등의 statistic을 비교하여 그 값이 가장 작은 Purchase-tree-12 마디의 아랫 마디를 따라 다시 계산이 이루어진다.

이와같이 하여 한달치의 원유를 모두 구매했을 때, 또는 그 날짜가 그 달의 마지막 날이 되었을 때 원유 구매일정 수립은 끝나며 그때의 마디로부터 Previous 슬롯을 따른 뿌리 마디까지의 경로의 역순이 최적 구매일정이 된다.

3.5.6 생성된 구매일정의 display

이상과 같이 최종 구매 일정 계획이 수립되면 UNIK-PCS는 그 계획에 따라 원유를 구매할 경우의 월간 원유 재고 및 원유 성상의 추이를 화면에 display 해 준다. 그것을 구체적으로 정리하면 다음과 같다.

(1) 기초 재고

(a) 유종별 원유 재고

(b) 고유황, 저유황 원유 별 복합 유황 함량, 잔산유 수율, 잔산유 유황 함량, 경질 가스유의 유황 함량

(2) 기간 중 일별 재고

(a) 고유황, 저유황 원유 별 각 원유 함량

(b) 저유황 원유의 경우는 잔사유 수율, 유황 함량, 유동점, 점도와 경질 가스유의 수율 및 유황 함량

(c) 고유황, 저유황 원유 별 액화 석유 가스의 수율

(3) 기말 재고(이월 재고)

(a) 고유황, 저유황 원유 별 각 원유 함량

(b) 고유황, 저유황 원유 별 유황 함량, 잔사유 수율, 잔사유 유황 함량 및 경질 가스유의 유황 함량

3.6 UNIK-PCS의 사용예

여기서는 UNIK-PCS를 이용하여 하나의 원유 구매 일정을 수립하는 예를 설명한다. 먼저 <그림 3-5>의 UNIK-PCS 최상위 화면을 설명하겠다.

'Interface with Other System'을 선택하면 UNIK-OPT로부터 초기 구매 계획 및 처리 계획을 입력 받을 수 있고, 또한 UNIK-SCHD로 최종 구매 일정을 전달할 수 있다.

'Show the Initial Purchase Plan'을 선택하면 1번 메뉴를 선택하여 UNIK-OPT로부터 전달받은 초기 구매 계획을 일별, 월별로 볼 수 있다.

'Generate the Delivery Schedule'을 선택하면 소량 물량 조정 및 상압 증류탑에서의 월간 처리 계획 수립 후 월간 원유 구매일정을 수립해 준다.

'Edit the Knowledge Base'를 선택하면 구매 일정 나무 확장시 선박 할당 대안을 마련해 주는 UNIK-FWD의 규칙을 수정할 수 있다.

'Access to the Database'를 선택하면 원유 구매 일정을 수립 하는 달, 선박에 관한 정보, 원유 산지에 관한 정보, 장기 계약 물량에 관한 정보 등을 확인, 수정할 수 있다.

Top Level
--> 1. Interface with Other System
2. Show the Initial Purchase Plan
3. Generate the Delivery Schedule
4. Edit the Knowledge Base
5. Access to the Database
6. Quit

<그림 3-5> UNIK-PCS 최상위 화면

3.6.1 월간 총 구매량의 입력에

'Interface with Other System' 메뉴 선택 후 'UNIK-OPT(RPMS)' 메뉴를 선택 하면 UNIK-OPT가 제공하는 초기 월간 구매 계획 및 상압 증류탑에서의 초기 월간 처리량에 대한 정보를 입력받는다.

```

Reading RPMS File
File name : RPMS.LISP
Reading PURCHASE ...
ABK   ARH   ARM   ARL   BAL   COL   DKN   FTH   GSM   IRH
IRL   IST   KWT   LZK   MAN   MUR   RBD   SUZ   USF   UZK
ZEI   ALG   AMB   ARN   ATK   BIM   BKP   BN2   BRG   BRN
CAB   CHN   CIN   DJE   DUR   FOR   GIP   HAN   KKP   KOL
LAL   LBN   LOK   MAG   OMN   ORI   PAL   RAK   SEN   SJH
TAC   TAK   TAP   WAL   YEM

Reading CRCHG
ABK   ARH   ARM   ARL   BAL   COL   DKN   FTH   GSM   IRH
IRL   IST   KWT   LZK   MAN   MUR   RBD   SUZ   USF   UZK
ZEI   ALG   AMB   ARN   ATK   BIM   BKP   BN2   BRG   BRN
CAB   CHN   CIN   DJE   DUR   FOR   GIP   HAN   KKP   KOL
LAL   LBN   LOK   MAG   OMN   ORI   PAL   RAK   SEN   SJH
TAC   TAK   TAP   WAL   YEM

Finished. Press any key ... _

```

<그림 3-6> 초기 구매 및 처리 계획의 입력

3.6.2 과소, 과대 물량의 조정에

주 메뉴에서 'Generate the Delivery Schedule'을 선택한 후 'Quantity Adjustment' 메뉴를 선택하고 다시 'Cargo Size Constraints' 메뉴를 선택하면 <그림 3-7>과 같은 물량 조정 화면이 나온다.

여기서 소량 물량을 조정하기 위해 예를 들어 BAL를 선택 했다고 하자. 그러면, <그림 3-8>과 같은 프레임 수정 화면이 나온다. 이 프레임에서 'To' 슬롯의 날짜를 늘려서 물량을 적정 수준으로 하거나, 'Purchase-P' 슬롯의 값을 'No'로 고쳐서 구매를 취소할 수 있다. 예를 들어 'To' 슬롯의 값을 '88/09/10'으로 늘였다고 하자. 그러면, 그 결과를 <그림 3-9>과 같이 보여준다.

Determine whether the Crude be Purchased or not						
Interval : 88/08/01 - 88/08/31						
Crude	Activity	Min	Max	Status	Difference	
ABK	509578	450000	550000			
ARH	109058	500000	1800000	Tiny		-390942
--> BAL	419368	500000	1800000	Tiny		-80632
GSM	305754	300000	500000			
IST	509578	711000	8690000	Tiny		-201422
KWT	944043	200000	1800000			
LZK	509578	450000	1000000			
MUR	288300	450000	1000000	Tiny		-161700
ARN	435364	100000	550000			
BN2	468194	100000	550000			
BRG	204104	400000	430000	Tiny		-195896
CHN	417167	200000	500000			
LBN	235290	100000	550000			
LOK	393142	810000	990000	Tiny		-416858
OMN	921072	200000	1800000			
ORI	803706	600000	800000	Over		3706
SEN	31837	200000	500000	Tiny		-168163
SJH	509578	400000	460000	Over		49578

<그림 3-7> 물량 조정 화면

Determine whether the Crude be Purchased or not						
Interval : 88/08/01 - 88/08/31						
Crude	Activity	Min	Max	Status	Difference	
ABK	509578	450000	550000			
ARH						90942
BAL						80632
GSM						
IST						01422
KWT						
LZK						
MUR						61700
ARN						
BN2						
BRG						95896
CHN						
LBN						
LOK						16858
OMN						
ORI						3706
SEN						68163
SJH						49578

Modify P-Crude Frame

Press 's' or 'q' !

```

{{ Black-board
  Crude : BAL
  Quantity/D : 13528
  From : "88/08/01"
  --> To : "88/09/10"
  Purchase-P : Yes

```

<그림 3-8> 구매 원유 프레임 조정 화면

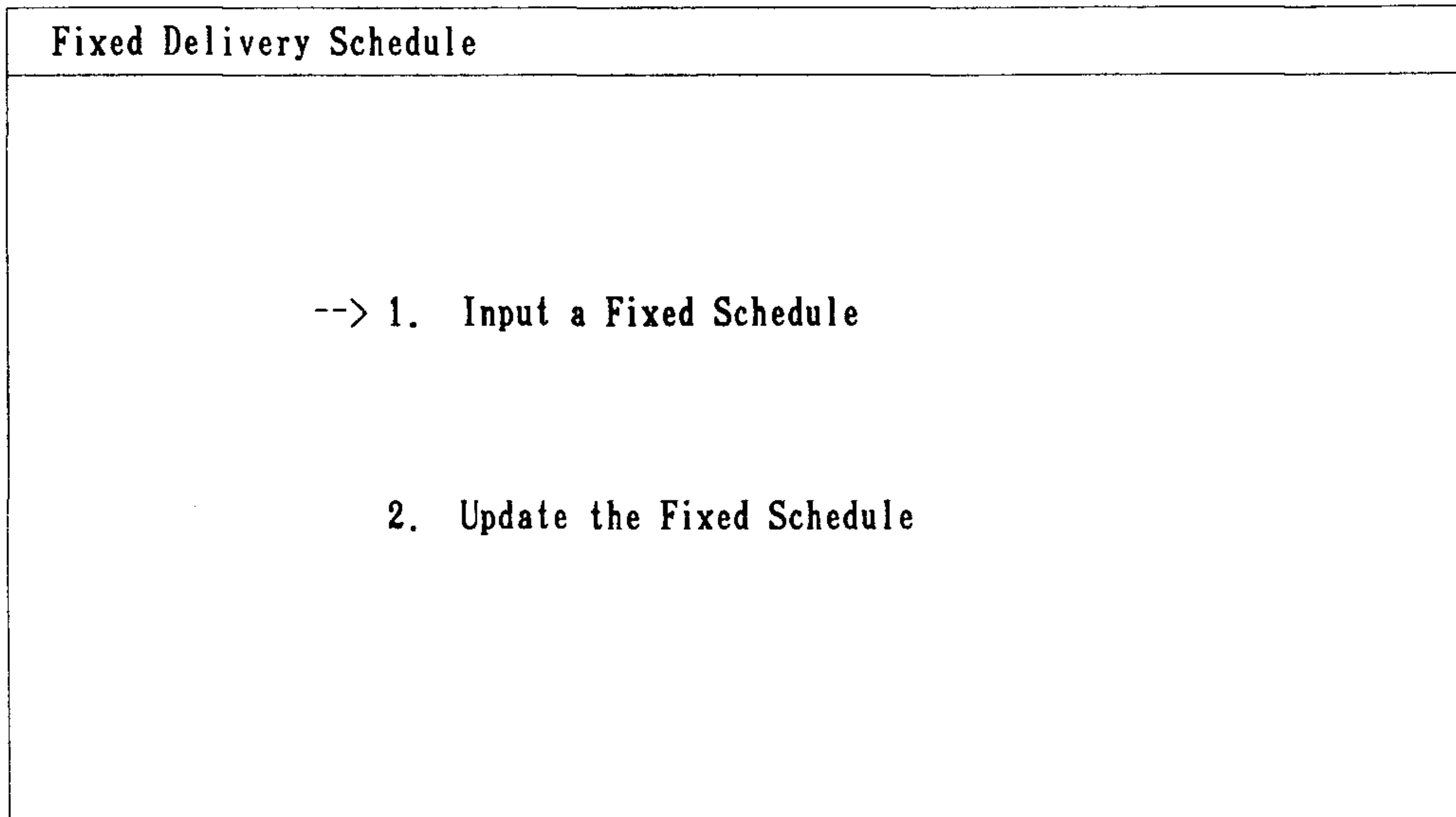
Determine whether the Crude be Purchased or not					
Interval : 88/08/01 - 88/08/31					
Crude	Activity	Min	Max	Status	Difference
ABK	509578	450000	550000		
ARH	109058	500000	1800000	Tiny	-390942
--> BAL	554648	500000	1800000		
GSM	305754	300000	500000		
IST	509578	711000	8690000	Tiny	-201422
KWT	944043	200000	1800000		
LZK	509578	450000	1000000		
MUR	288300	450000	1000000	Tiny	-161700
ARN	435364	100000	550000		
BN2	468194	100000	550000		
BRG	204104	400000	430000	Tiny	-195896
CHN	417167	200000	500000		
LBN	235290	100000	550000		
LOK	393142	810000	990000	Tiny	-416858
OMN	921072	200000	1800000		
ORI	803706	600000	800000	Over	3706
SEN	31837	200000	500000	Tiny	-168163
SJH	509578	400000	460000	Over	49578

<그림 3-9> 수정된 물량 조정 화면

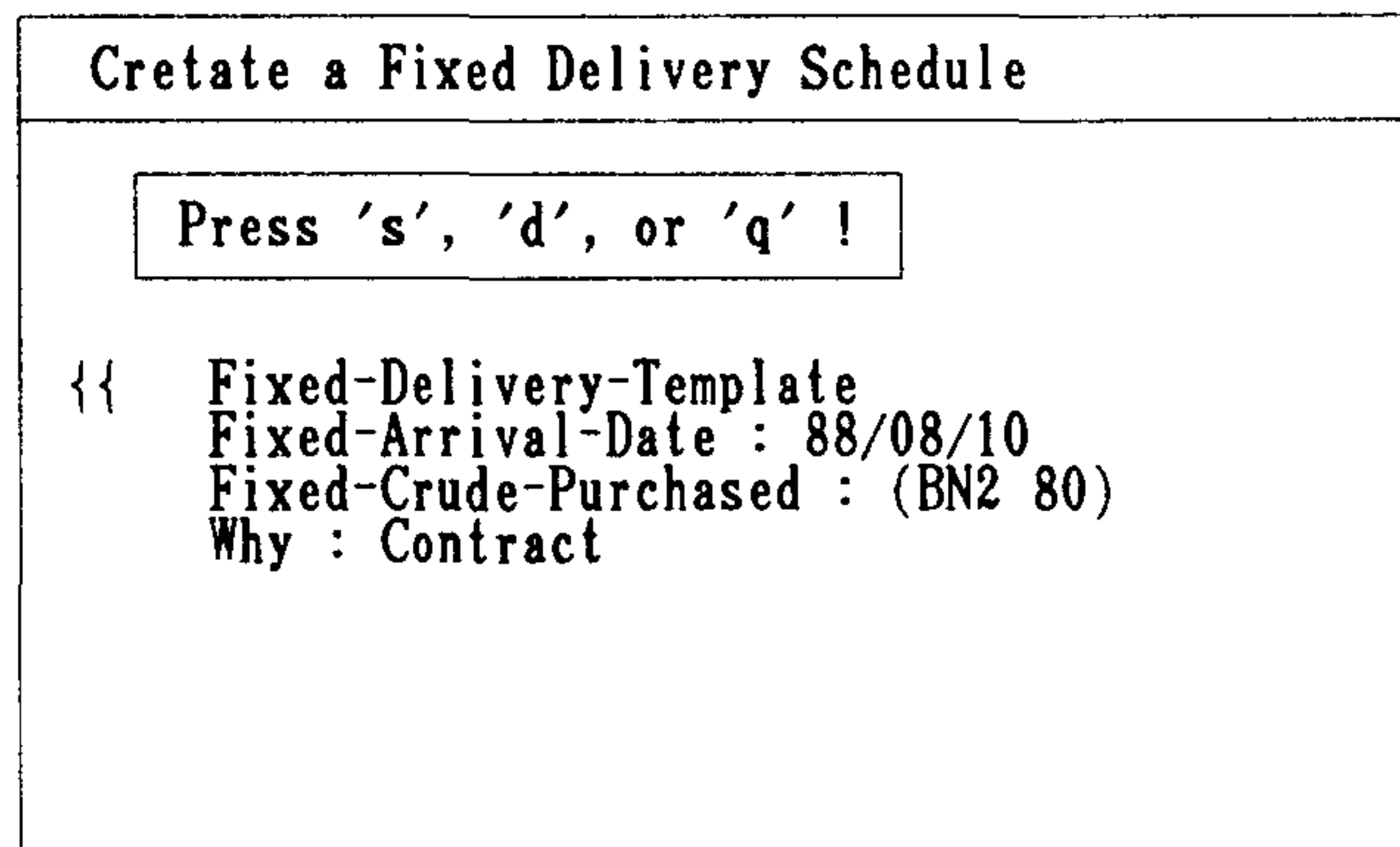
3.6.3 고정된 구매 일정의 입력에

주 메뉴에서 'Generate the Delivery Schedule'을 선택한 후 'Generation of Delivery Schedule' 항목을 선택하고, 다시 'Information of the Fixed Delivery Schedule' 항목을 선택하면 고정된 구매 일정에 대한 메뉴가 나온다.(그림 3-10)

여기서 'Input a Fixed Schedule' 항목을 선택하면 새로운 고정 구매 일정을 입력할 수 있다(그림 3-11). 'Update the Fixed Schedule'을 선택하면 현재까지 입력한 고정 구매 일정을 확인, 수정할 수 있다. 예를 들어 <그림 3-12>에서 첫번째 줄을 선택했다고 하자. 그러면, <그림 3-13>에서와 같이 수정 화면이 나온다. 수정을 하고자 하면 각 슬롯을 수정한 후 's' 키를 누르면 되고, 이 고정 구매 일정을 삭제하고자 하면 'd' 키를 누르면 된다.



<그림 3-10> 고정된 구매일정 메뉴



<그림 3-11> 고정된 구매 일정 입력 화면

Update the Fixed Delivery Schedule		
Date	Crude	Why
--> 88/08/10 88/08/23	{{(KWT 100)(OMN 80)) {(BN2 80)}	{Contract} {Contract}

<그림 3-12> 고정된 구매 일정 수정 화면

Update the Fixed Delivery Schedule					
Date	Crude	Why			
--> 88/08/10 88/08/23	{{(KWT 100)(OMN 80)) {(BN2 80)}	{Contract} {Contract}			
<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th>Cretate a Fixed Delivery Schedule</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">Press 's', 'd', or 'q' !</td> </tr> <tr> <td> <pre> {{ Fixed-Delivery-Template Fixed-Arrival-Date : 88/08/10 Fixed-Crude-Purchased : (BN2 80) Why : Contract </pre> </td> </tr> </tbody> </table>			Cretate a Fixed Delivery Schedule	Press 's', 'd', or 'q' !	<pre> {{ Fixed-Delivery-Template Fixed-Arrival-Date : 88/08/10 Fixed-Crude-Purchased : (BN2 80) Why : Contract </pre>
Cretate a Fixed Delivery Schedule					
Press 's', 'd', or 'q' !					
<pre> {{ Fixed-Delivery-Template Fixed-Arrival-Date : 88/08/10 Fixed-Crude-Purchased : (BN2 80) Why : Contract </pre>					

<그림 3-13> 고정된 구매 일정 수정 화면

3.6.4 월간 원유 처리 계획의 수립에

주 메뉴에서 'Generate the Delivery Schedule'을 선택한 후, 'Generation of the Delivery Schedule'을 선택하고, 다시 'Constraints considered to generate the Schedule'을 선택하면 원유 도입 일정 수립을 위해 필요한 제약 조건들을 입력하는 메뉴가 나온다. 이것들은 기초재고, 최대, 최소 재고에 관한 것들이며, 특히 'Generate the CDU Charge Schedule' 항목을 선택하면 한달간의 상압 증류탑에서의 처리 일정을 수립해 준다. 이때, 먼저 각 상압 증류탑에서의 가동 정지 일정과 전달의 No.3 상압 증류탑의 상황(무슨 원유를 얼마동안 처리했는가)을 입력해 주어야 한다.(그림 3-14)

상압 증류탑에서의 처리 일정이 수립된 한 예가 <그림 3-15>에 나와있다.

```
Input the Constraints for CDU Charge Schedule

Press 's', or 'q' !

{{ P-Switch-Data-Template
CDU1-Shutdown-From : 88/07/10
CDU1-Shutdown-To : 88/08/09
CDU2-Shutdown-From :
CDU2-Shutdown-To :
CDU3-Shutdown-From :
CDU3-Shutdown-To :
CDU3-Final-Crude : H
CDU3-Lasting-Days : 2
```

<그림 3-14> 원유 처리 일정 수립을 위한 제약 조건 입력화면

Schedule for Charge to CDU				
Date	CDU1	CDU2	CDU3H	CDU3L
88/08/01	0	900000	0	1400000
88/08/02	0	900000	0	1400000
88/08/03	0	900000	0	1400000
88/08/04	0	900000	1400000	0
88/08/05	0	900000	1400000	0
88/08/06	0	900000	1400000	0
88/08/07	0	900000	1400000	0
88/08/08	0	900000	0	1400000
88/08/09	0	900000	0	1400000
88/08/10	450000	900000	0	1400000
88/08/11	450000	900000	1400000	0
88/08/12	450000	900000	1400000	0
88/08/13	450000	900000	1400000	0
88/08/14	450000	900000	1400000	0
88/08/15	450000	900000	0	1400000
88/08/16	450000	900000	0	1400000
88/08/17	450000	900000	0	1400000
88/08/18	450000	900000	1400000	0
88/08/19	450000	900000	1400000	0

<그림 3-15> 상압 증류탑에서의 처리 일정

3.6.5 원유 구매 일정의 수립예

주 메뉴에서 'Generate the Delivery Schedule'을 선택한 후, 'Generation of the Delivery Schedule'을 선택하고, 다시 'Automatic generation of the Delivery Schedule'을 선택하면 주어진 제약 조건들을 고려하면서 원유 도입 일정을 수립해 간다.

<그림 3-16>를 보면 원유 구매 일정 나무의 한 마디에서 다음 마디를 확장 하기 위하여 원유 재고를 감소해 가다가 88년 8월 14일 고유황 원유가, 88년 8월 9일 저유황 원유가 각각 최소 재고를 넘어섰음을 알 수 있다. 따라서, UNIK-FWD가 작동하여 <그림 3-17>을 보면, BAL산 원유를 419000 B, GSM산 원유를 305000 B, OMN산 원유를 921000 B 선적한 선박이 88년 8월 8일까지 도착해야 함을 알 수 있다. 이에따라, UNIK-PCS 내부적으로는 구매일정 나무가 확장되면서 statistic이 계산되고, 이들의 비교에 따라 새로운 경로가 분단 분지법에 따라 모색된다.

Automatic Generation of Delivery Schedule	
High Sulfur Crude Inventory	Low Sulfur Crude Inventory
H/S Crude Inventory Level	L/S Crude Inventory Level
Date : 88/08/14 Charge : 450000 Current Inventory : 1300000 Max. Inventory : 3000000 Min. Inventory : 3000000	Date : 88/08/09 Charge : 900000 Current Inventory : 2100000 Max. Inventory : 4500000 Min. Inventory : 2000000
Violation Report	
Date : 88/08/15 Signal-type : Minimum inventory level of h/s-crude is violated Date : 88/08/10 Signal-type : Maximum inventory level of l/s-crude is violated	

<그림 3-16> 원유 재고 추이 보고 화면

Automatic Generation of Delivery Schedule	
High Sulfur Crude Inventory	Low Sulfur Crude Inventory
H/S Crude Inventory Level	L/S Crude Inventory Level
Date : 88/0 Charge : 450 Current Inve Max. Invento Min. Invento	Resolution of Violation H/S-Crude-Group : ((BAL 419000) (GSM 3050000)) L/S-Crude-Group : ((OMN 921000)) Arrival-Date : 88/08/08
Violation Re	000
Date : 88/08 Signal-ty Date : 88/08 Signal-ty	d d

<그림 3-17> 선박 할당 보고 화면

3.6.6 생성된 구매 일정의 예

이상의 과정을 거쳐 월간 구매 일정이 수립되면 UNIK-PCS는 화면과 화일을 통해서 그 결과를 보고하게 된다. 보고하는 자세한 항목들은 3.5.6절에서 설명한 바와 같다. 보고 화면의 일부를 예들들면 <그림 3-18>과 같다.

Report of Generated Delivery Schedule					
Date	Charge to L/S	CDU H/S	L/S	Inventory H/S	Total
1	90	190	3059	3421	6480
2	90	190	2969	3231	6200
3	90	190	2879	3041	5920
3	230	50	2789	2851	5640
5	230	50	2559	2801	5360
6	230	50	2329	2751	5080
7	230	50	2099	2701	4800
8	90	190	2319	3801	6120
9	90	190	2229	3611	5840
10	230	50	2139	3421	5560
11	230	50	3069	3891	6960
12	230	50	2839	3841	6680
13	230	50	2309	3791	6100
14	90	190	2079	3741	5820
15	90	190	3909	4351	8260
16	90	190	3819	4161	7980
17	225	50	3729	3971	7700
18	225	50	3504	3921	7425

<그림 3-18> 수립된 구매 일정 보고 화면

4. UNIK-SCHD :

정유공정 일정 계획 시스템

4.1. 연구의 배경과 목적

본 시스템은 인공지능 기법을 이용하여 정유공정의 작업 일정 계획을 수립하기 위한 것이다. 정유공정의 작업일정계획은 월간 생산계획을 만족시키기 위하여 각각의 상압증류탑 (Crude Distillation Unit) 에 매일 투입되어야 하는 원유의 량 결정과 상압증류탑으로 부터 나오는 1차 유분의 최종제품으로의 배합결정, 그리고 일일 최종 제품의 재고 상황의 예측을 포함하고 있다.

즉, 상위의 의사결정사항인 월간 제품 생산계획량과 각각의 상압증류탑에서의 월간 원유 처리량은 RPMS 모형으로 부터 얻어지며 이를 매일의 원유 처리 계획으로 변환시키는 것이 작업 일정 계획이다. 그러나 RPMS모형으로 부터의 최적해는 공장의 연속적 가동의 필요, 원유저장탱크 용량의 제한을 추가적으로 고려해야 실현가능성이 있으며 원유배합 (Crude Mix)과 원유처리 (Crude Charge) 의 최적의사결정을 수동적으로 관리하기가 어려우며 목표 생산량과의 차질 발생과 Quality Giveaway 의 발생 가능성이 존재하게 된다.

이러한 배경하에서 현장의 경험적 지식과 최적화(Optimization) 계산 기능을 효과적으로 조화시킴으로 효과적이고 효율적인 공정 작업 일정 계획은 다음과 같은 세부사항을 만족시키는 것을 목적으로 한다.

1) 최종 제품의 주요성상 (유황분, 점도, 유동성 등) 의 Quality loss 를 최소화 하면서 RPMS 모형에서 제시하는 월간 제품 생산계획량과 상압증류탑의 월간 원유 처리량을 만족시켜야 한다.

2) 제품 수요를 만족시키면서 최종 제품의 재고 비용을 최소화 한다.

3) 원유 도착 계획 변화와 같은 상황 변화에 대한 재 일정계획 (Rescheduling) 기능이 필요하다.

4) 3개월 일정 계획을 수립함으로써 구매부서에 대하여 변경가능한 원유도입일정을 제시하고 UNIK-PCS 와의 연결을 피한다.

계획기간에 따라 일정계획을 1개월과 3개월로 구분할때 각각의 부분 시스템의 특성은 다음과 같다.

4.1.1. 1 개월 계획

1개월 계획은 대부분 원유의 도착일정이 고정되어 있으므로 이를 제약조건으로 일정계획을 작성하여 최종 결과는 다음과 같은 내용을 포함한다.

1) 일일 원유 처리 계획

매일 각각의 상압중류탑의 원유처리량, 처리되는 원유의 혼합 형태 및 혼합된 원유가 저장된 탱크에 대한 정보가 포함된다.

2) 일일 주요제품의 배합 (Blending) 계획

매일의 상압중류탑으로 부터 나오는 유분의 량과 성상, 그리고 각 유분의 2차 처리 시설로 보내지는 량과 최종제품을 만들기 위해 배합되어야 하는 량 등에 대한 정보가 포함된다.

3) 일일 제품 재고의 예측

매일 각 제품에 대한 재고와 제품의 성상을 예측함으로써 제품 판매나 제품 탱크의 운영에 대한 지침을 제공한다.

4.1.2. 3개월 계획

원유의 구매로 부터 공장에 도착하기까지의 인도기간 (Lead time) 이 2개월-3개월 정도 걸리므로 공장의 운영관점에서 가능한 해를 제공할 수 있는 향후 3개월의 일정 계획이 필요하다. 이때는 고유황 원유와 저유황 원유의 처리량에 따른 처리 가능량의 변화만을 조사하여 가용원유가 안전재고 이하로 내려갔을때를 원유도입계획 변경시점

으로 보고, 구매 부서에 필요한 원유의 도입 일정 변경이 가능한가를 제안한다.

4.2 시스템의 구성

현재의 작업일정 계획 시스템은 1차적으로 1개월 일정 계획을 제시하는 것으로서 다음과 같이 구성되어 있다.

4.2.1. 시스템 분석 및 문제 해결 방법

정유공정의 의사 결정 사항은 크게 다음과 같이 구분해 볼 수 있다.

- 1) 상압 증류탑 별 일일 원유처리량의 결정
- 2) 원유선 도착시 원유 혼합
- 3) 일일 원유 처리 계획
- 4) 제품 배합 결정

위의 각 의사결정 사항에 대해 고려해야 할 사항과 의사결정 방법을 기술하면 다음과 같다.

1) 상압 증류탑별 초기 원유 처리 일정 수립(initial CDU schedule)

최초의 의사결정은 RPMS 모형의 최적해인 월간 생산계획량을 각각의 상압증류탑에 대하여 처리 용량의 제약하에서 최종제품의 수요를 만족하도록 매일의 고유황원유와 저유황원유의 처리량을 결정해 주는 것이다.

<고려 사항>

- . 각각의 상압증류탑에서의 월간 원유처리 계획량과 매일의 처리 용량
- . 전월말의 No.3 상압증류탑의 원유처리형태
- . 각 상압증류탑의 조업중단(shut-down)일정

<문제 해결 방법>

. 월간 생산계획량이 매일 균형적으로 처리되도록 하기 위하여 No.3 상압증류탑에서의 고유황원유와 저유황원유의 처리기간을 적절하게 결정해 준다.

. No.1 과 No.2 상압 증류탑에서는 월간 원유처리량을 처리일수로 나누어 일일 원유처리량으로 한다.

. No.3 상압증류탑에서는 먼저 고유황원유와 저유황원유의 처리 주기를 결정해 준 다음 전월의 원유처리 상황으로 부터 어떠한 유형의 원유를 먼저 처리 할 것인가를 결정한다.

. 각 원유 유형별로 총 처리 일수를 구한 다음 월간 처리량으로부터 총 처리 일수를 나누어 일일 원유 처리량으로 한다.

. 이와 같은 경험적인 처리방법을 일련의 룰(rule)의 형태로 만들어 시스템에서 이용한다 -->rule-based system

2) 원유선 도착시 원유 배합(Crude Mixing)

원유의 도착에 따라 기존의 원유들과 도착 원유간의 혼합을 해서 처리 가능한 원유로 바꾸어 준다.

<고려 사항>

- . 원유 탱크의 재고 상황및 원유 구성비
- . 각 상압증류탑에서의 일일 원유처리 계획
- . 원유 도입 일정 계획
- . 1차 유분의 월간 목표수율과 성상
- . 저장 탱크간의 원유 이동 제약

<문제 해결 방법>

- . 원유 도착시 마다 각 원유탱크와 도착원유, 그리고 비가용 원유의 성상을 구한

다. 월간 계획으로 부터 제시되는 1차 유분의 목표 성상과 혼합되었을 때의 목표 성상과의 차이가 최소화 되도록 각 원유의 혼합비를 구한다. 이것은 선형계획법(Linear programming)으로 해결한다.

만약 혼합된 원유의 성상과 목표성상과의 차이가 너무 크고 가용 원유가 충분하다면 도착원유의 혼합시기를 다음 원유의 도착시까지 늦춘다.

. 선형계획모형의 개략은 아래와 같다.

의사결정변수(X_{ij}) : 원유탱크 j 에 사용되는 원유 i 의 량

목적함수 : 각각의 가용 원유의 량을 최대화 하는것이 목적이 된다.

$$\text{MAX } \sum_i \sum_j X_{ij}$$

$$\text{제약조건 : 배합의 제약 : } \frac{\sum_i A_{ik} X_{ij} + A_{kj} Q_j}{\sum_i X_{ij} + Q_j} \quad (>, =, <) \quad S_{kj} \quad \begin{matrix} \text{for } j = 1, \dots, K \\ k = 1, \dots, T \end{matrix}$$

A_{ik} : the K th property of component crude i

A_{kj} : the K th property of a crude tank j

Q_j : inventory of a crude tank j

S_{kj} : specification of the k property of a crude tank j

공급의 제약 : $\sum_j X_{ij} \leq S_i$ for all i , S_i : 원유 i 의 량

수요의 제약 : $\sum_i X_{ij} \leq D_j$ for all j , D_j : 원유탱크 j 의 최대수요량

3) 일일 원유 처리 계획(Crude assignment)

고유황 원유와 저유황 원유의 일일 처리량과 처리가능한 원유 탱크 중에서 어떠한 원유를 처리할 것인가를 결정해 주는 것이다.

<고려 사항>

- 원유탱크의 가용재고량과 원유구성비
- 매일의 각 상압증류탑에서의 원유처리량

<문제 해결 방법>

- 초기 원유 처리 계획의 고유황원유나 저유황원유의 처리량으로 부터 처리 가능한 원유량을 가지고 있는 원유 탱크를 선택한다.
- 원유가 더 필요할경우, 비가용원유를 갖다가 처리가능한 가용원유로 만들어 준다.
- 원유 탱크는 미리 정해진 규칙(Rule)으로써 선택한다.

4) 제품 배합의 결정(product blending)

매일 상압증류탑으로 부터 나오는 1차 유분(intermediate product)으로 부터 최종 제품을 만들기 위한 배합과 처리 시설로 보내는 량의 결정이 필요하다.

<고려 사항>

- 일일 원유 처리 계획
- 매일의 최종제품의 재고량과 저장용량
- 최종제품의 배합구성및 성상
- 2차 처리 시설의 용량

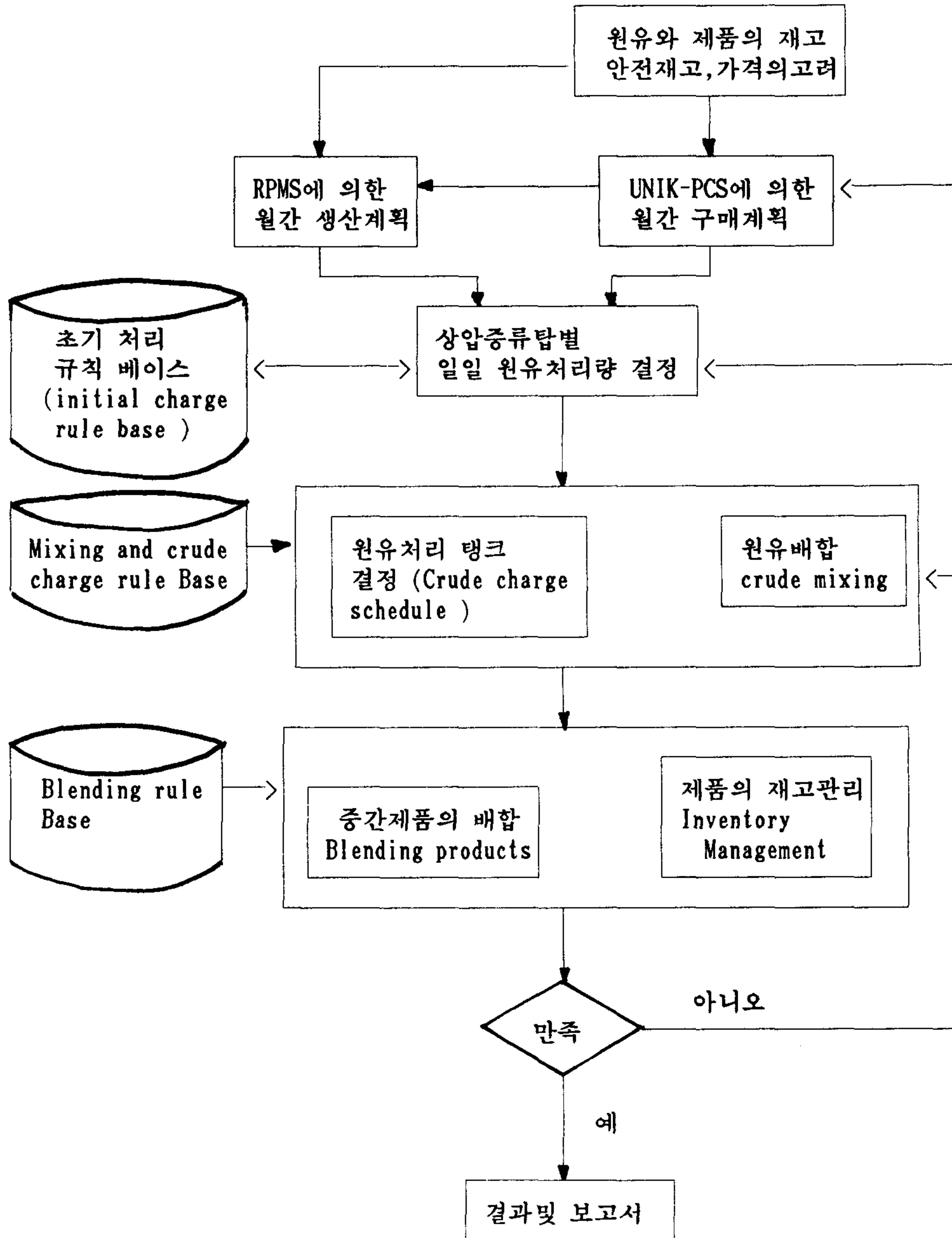
<문제 해결 방법>

- 주요 1차 유분인 Naptha, LGO, R/C 의 혼합계획은 규칙으로 처리한다.
- 전체의 제품 배합은 선형계획모형으로 문제를 해결한다.

4.2.2. 시스템의 구성도

각각의 의사결정 과정을 포함하는 전체적인 시스템 구성도는 아래 <그림 4-1>

과 같다.



<그림 4-1> 의사결정의 흐름도

4.3. 기술적 사항

시스템의 기술적 사항으로 지식표현과 규칙을 통한 추론 방법을 설명한다. 시스템에서는 선언적(declarative)지식을 표현하기 위하여 프레임(frame), 순차적(procedural)지식을 표현하기 위하여 생성률(production rule)을 이용 하였다.

4.3.1. 선언적(declarative)지식의 표현

시스템에 관련된 다양한 정보를 효율적으로 표현하는데 이용되는 프레임에 의한 지식표현방법은 UNIK-FRAME을 이용하는데 객체지향적(object-oriented) 프로그래밍의 장점도 살릴수 있다. 원유, 원유탱크, 상압증류탑, 최종제품, 제품탱크, 수학적모형 등 시스템에 관련된 사항들은 프레임에 의하여 표현 될수있다.

상압증류탑과 원유탱크에 관한 정보를 프레임으로 표현한 예를보면 다음의 <그림4-2>와 같다.

```
{ { CR3H
    DESCRIPTION : " No.3 crude column for H/S crude "
    IS-A : Physical-cdu
    CAPACITY : ( MAX 170 ) ( MIN 100 )
    PREFERRED-CRUDE-TYPE : H/S
    CONT-CHARGED-DAY : 3
    CURRENT-DATE : " 89/6/24"
} }

{ { CT-100
    DESCRIPTION : "CRUDE TANK No.100"
    IS-A : CRUDE - TANK
    INSTANCE : L/S-TANK
```



```

OPERATION-TYPE : STORAGE

CAPACITY : ( WORKING 473.0 ) ( SAFETY-STOCK 30.3 )
          ( AVAILABLE 440.0 )

INVENTORY : 440

CRUDE-COMPOSITION : ( ALG 0.09 ) ( SJH 0.11 ) ( OMN 0.38 )
                    ( ORI 0.02 ) ( MAR 0.19 ) ( CHN 0.14 )
                    ( BIN 0.07 )

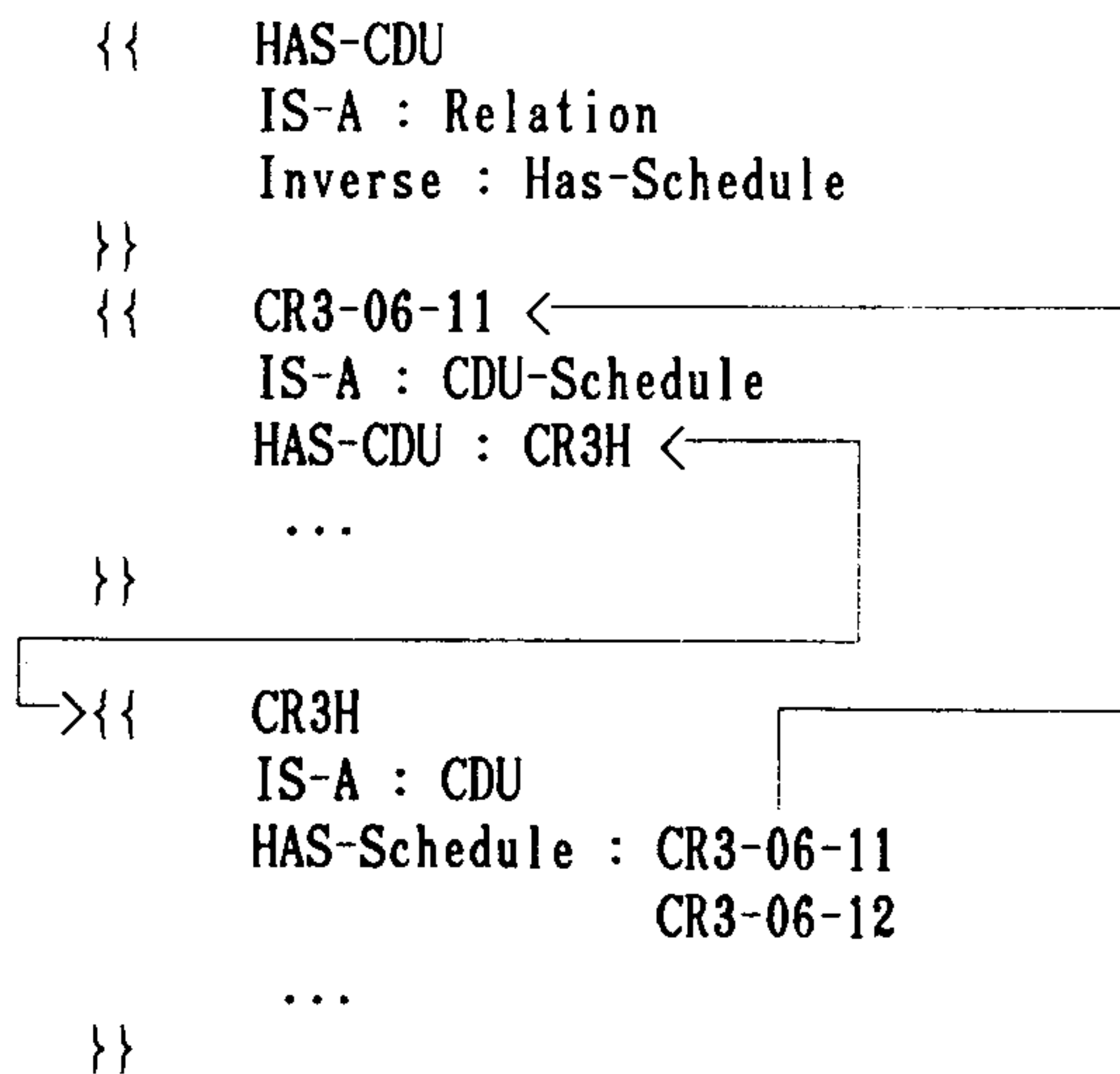
STATUS : AVAILABLE

CURRENT-DATE : "89/6/24"
}}

```

<그림 4-2> 프레임 형태의 지식표현의 예

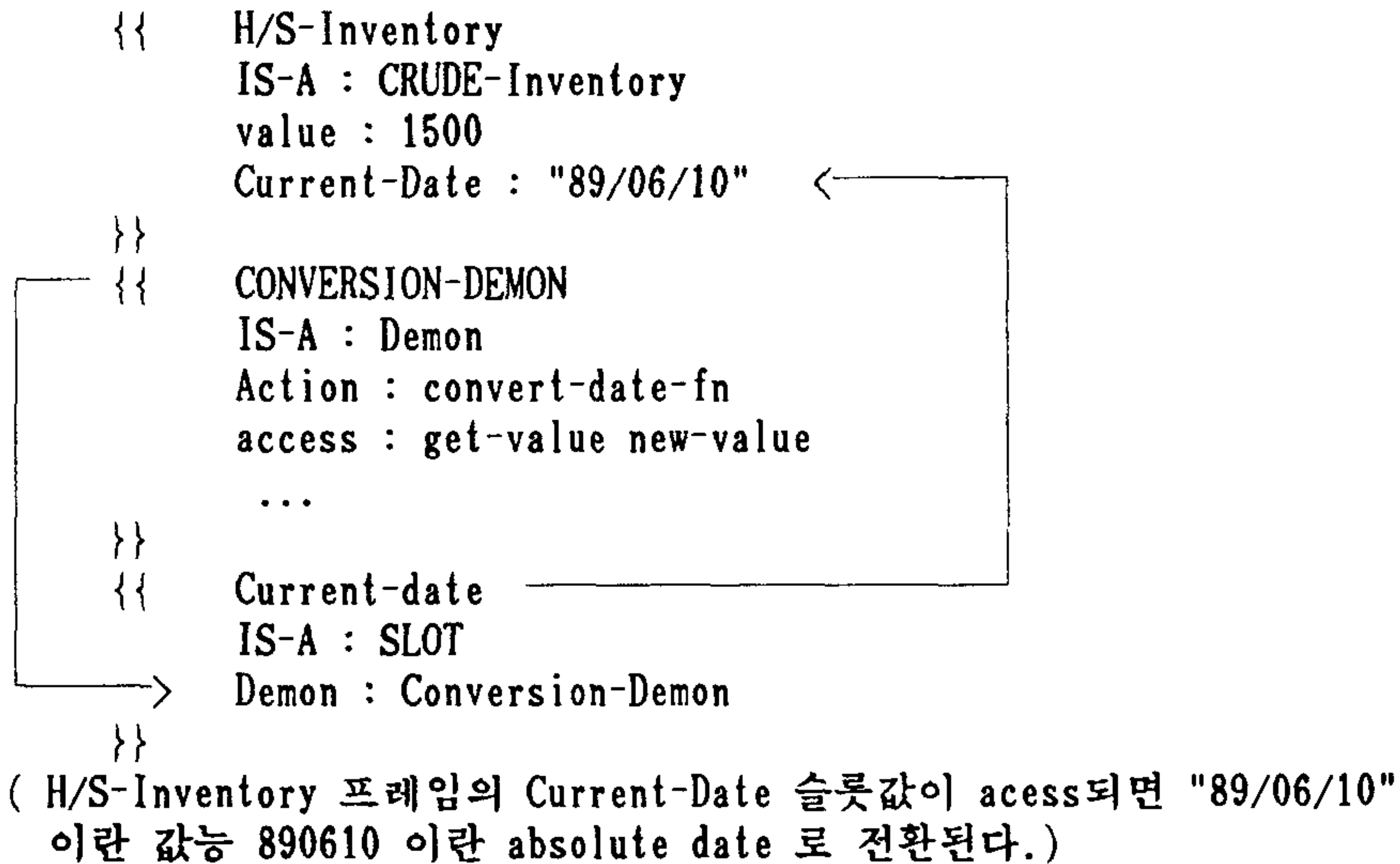
다음으로 프레임끼리의 관계도 표현 해야하는데 HAS-CDU 관계를 프레임으로 표현한 예가 <그림4-3> 과 같다. 이와 같이 함으로써 관련된 프레임끼리의 중복되는 정보가 inherit 될수 있다.



<그림4-3> 프레임 사이의 관계

프레임에 의한 지식표현의 다른 특징의 하나는 demon 기능을 갖게 되는데 demon 의 기능은 demon 함수를 갖는 slot 값이 access 됐을때 지식의 conversion 과 consistency check을 할수 있다는 것이다.

<그림4-4>는 demon 기능을 보이고 있다.



<그림4-4> Demon 기능의 예

4.3.2. 순차적 (procedual) 지식의 표현 (규칙의 표현)

시스템에서 문제를 해결하기 위한 Heuristic 은 규칙으로 표현되고 정방향추론 기능을 갖는 UNIK-FWD 를 이용하여 추론한다. 상압증류탑에서 원유처리량 결정을 위한 규칙은 다음 <그림 4-5>과 같이 표현되며 OPS5에서와 같은 Pattern matching 에 의해 수행되어야 할 규칙을 찾는다.

```
( Frame-literalize Physical-cdu cont-charge-day status )
```

```
( rule Initial-charge
```

```
  " This rule select physical cdu to charge and  
    provide initial charge schedule. "
```

```
  ( Physical-cdu ^frame-name <cdu>
```

```
    ^instance 'cdu3
```

```
    ^status 'unscheduled
```

```
    ^cont-charge-day {<day>(not(equal<day>0))})
```

```
  —>
```

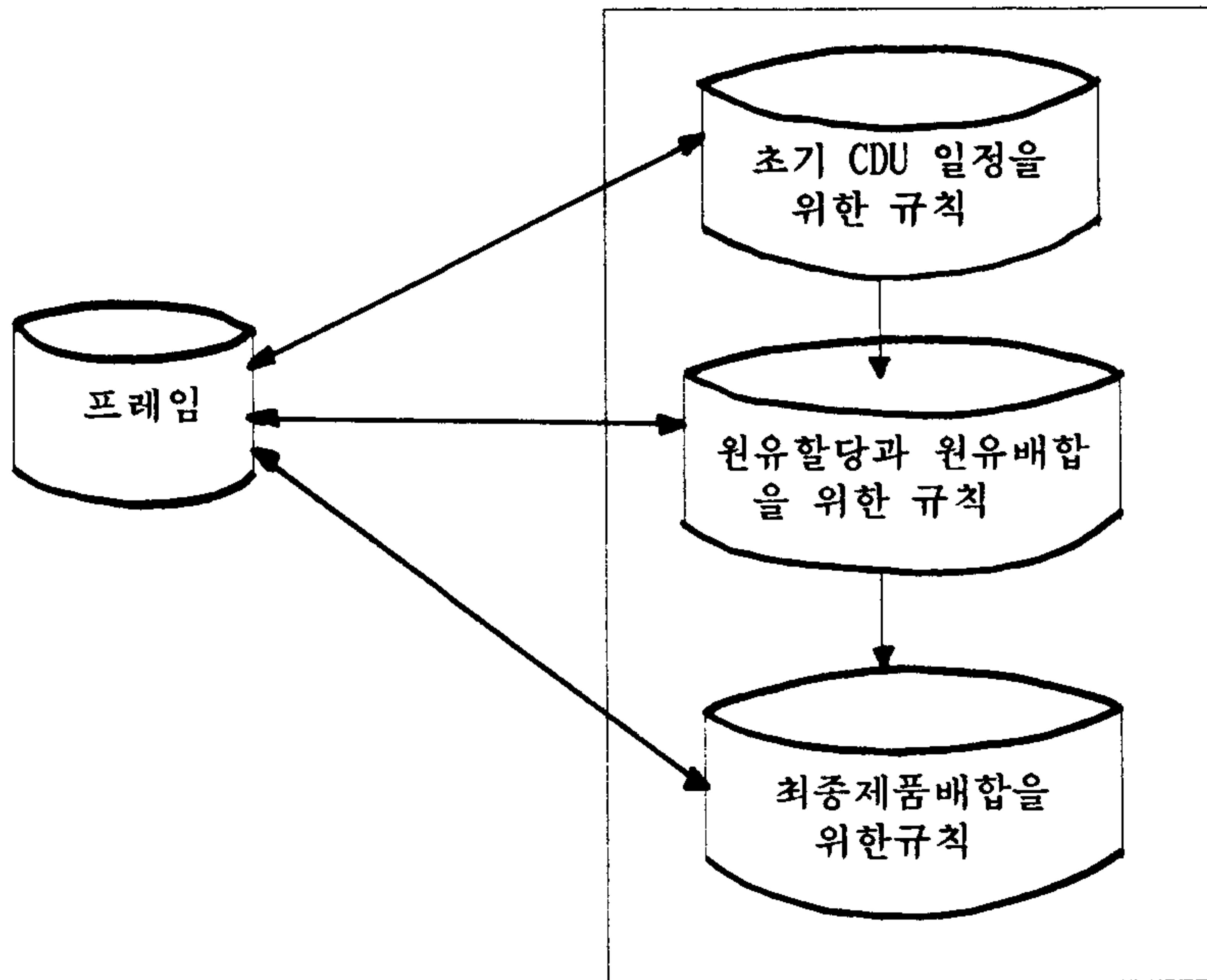
```
    ( call-method <cdu> 'charge-schedule <day>))
```

<그림 4-5> 일정 계획용 규칙표현의 예

4.3.3. Class-Based 추론 방법

많은 규칙들은 하나의 rule-class 로 조직되어 있고 모든규칙과 프레임이 매 matching 마다 이용되기 때문에 대부분의 규칙중심(rule-based) 시스템은 matching 에 많은 시간이 소요된다.

이러한 단점을 극복하기 위하여 규칙과 프레임이 선별적으로 이용될 필요가 있다. 이 시스템에서는 3개의 class 로 모든규칙을 분류하였다.

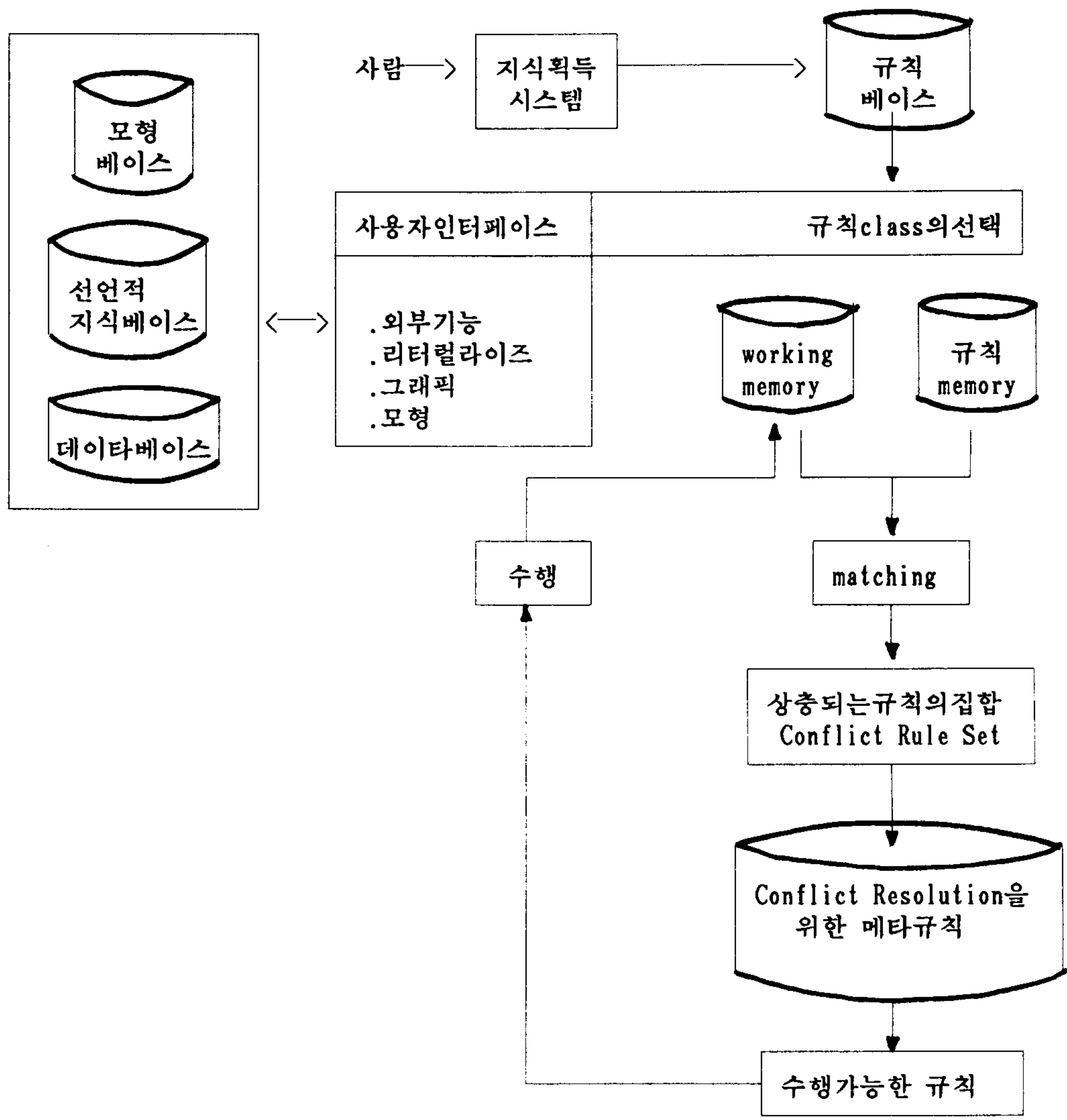


<그림4-6> class-based 추론 방법

class-based 추론에서는 우선 초기 CDU 일정에 관한 규칙이 고려되며 working memory 에는 연간의 조업중단(shut-down)일정과 각각의 CDU 의 상태가 저장된다. 그 다음에 원유할당(crude assignment) 과 원유배합(crude mixing) 에 관한 규칙이 고려되며 이때 working memory 는 전단계에서 구해진 초기 CDU 일정과 원유저장탱크, 원유도착일정 등에 관한 사항으로 구성된다. 이때 가용한 원유가 부족할경우, 원유 도착 일정이 결정되면 다음에 최종제품에 관한 규칙이 수행되며 이때 working memory 에는 전단계에서 얻어진 1차 유분(intermediate product) 에 관한 상황이 저장된다.

4.3.4. Matching 과 Conflict Resolution

시스템에서의 추론과정은 <그림4-7> 과 같다.



<그림4-7> 시스템 추론 과정

4.3.5. 배합모형(Mixing model) 과의 인터페이스

배합모형과의 인터페이스는 모형의 생성, 해의 도출, 해에 대한 설명, 그리고 working memory 변화의 4단계로 구성된다.

배합모형에 관한 지식은 <그림4-8> 과 같이 프레임으로 표현된다

```
{ MIXING-MODEL
  Package-Name : (SIMPLEX MPS)
                (LINDO Canonical-form)
  Has-objectives : Maximize available crude-oil
  Has-constraints : Low-sulfur-constraint
                  High-sulfur-constraint
}

{ LOW-SULFUR-CONSTRAINT
  Belong-to : MIXING-MODEL
  Has-constraints : L/S-assay-constraint
                  L/S-blending-restriction
}

{ L/S-ASSAY-CONSTRAINT
  Belong-to : SULFUR-CONSTRAINT
  MVOL1RC : (operator < )
            (value-0.3)
            (reason "CDU capacity limit")
  QSUL1RC : (operator < = )
            (value 1.50)
            (reason "B-C product spec.")
}
```

<그림4-8> 배합모형에 관한 지식의 예

4.3.6. 외부기능과의 인터페이스

일정계획과 상호작용하는 주요한 외부기능으로는 예측, 생산계획, 구매기능등을 들 수 있다. 이러한 외부기능에 의한 지식을 외부적지식(external knowledge)이라 하며 이러한 외부적 지식은 제품수요, 생산계획, 원유구매일정, 각 원유의 성상등을 포함한다. <그림4-9>은 이러한 외부적 지식의 예를 보이고 있다.

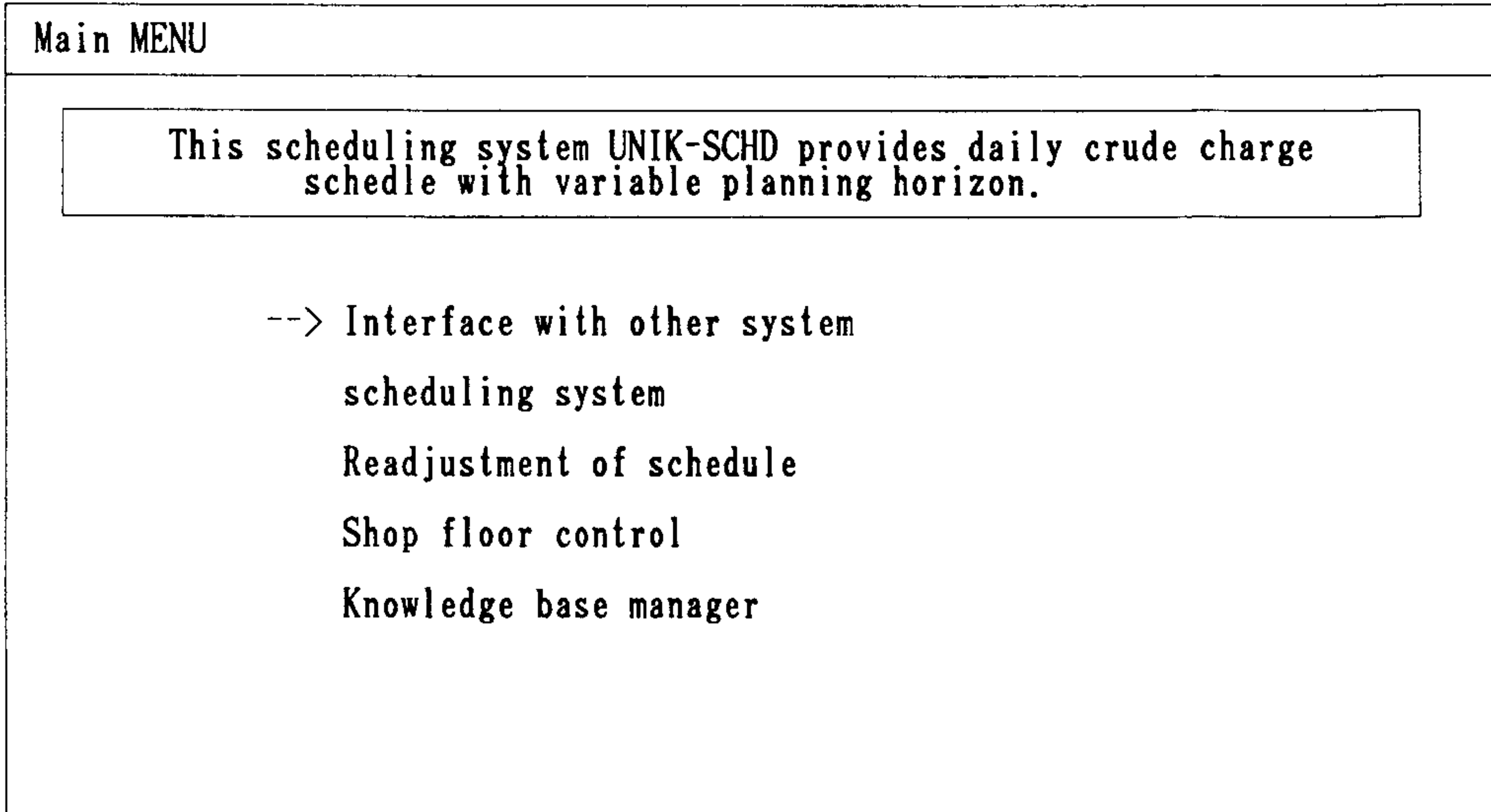
```
{ Monthly-planned-target
  H/S-crude : (ARH 969.00) (BAL 765.00)
              (KWT 774.00) (SJH 1.14) ...
  L/S-crude : (MUR 194.28) (ARN 85.20)
              (BN2 531.00) (CHN 499.20) ...
  H/S-Total : 2943.09
  L/S-Total : 5465.97
}
```

<그림4-9> 외부적 지식의 예

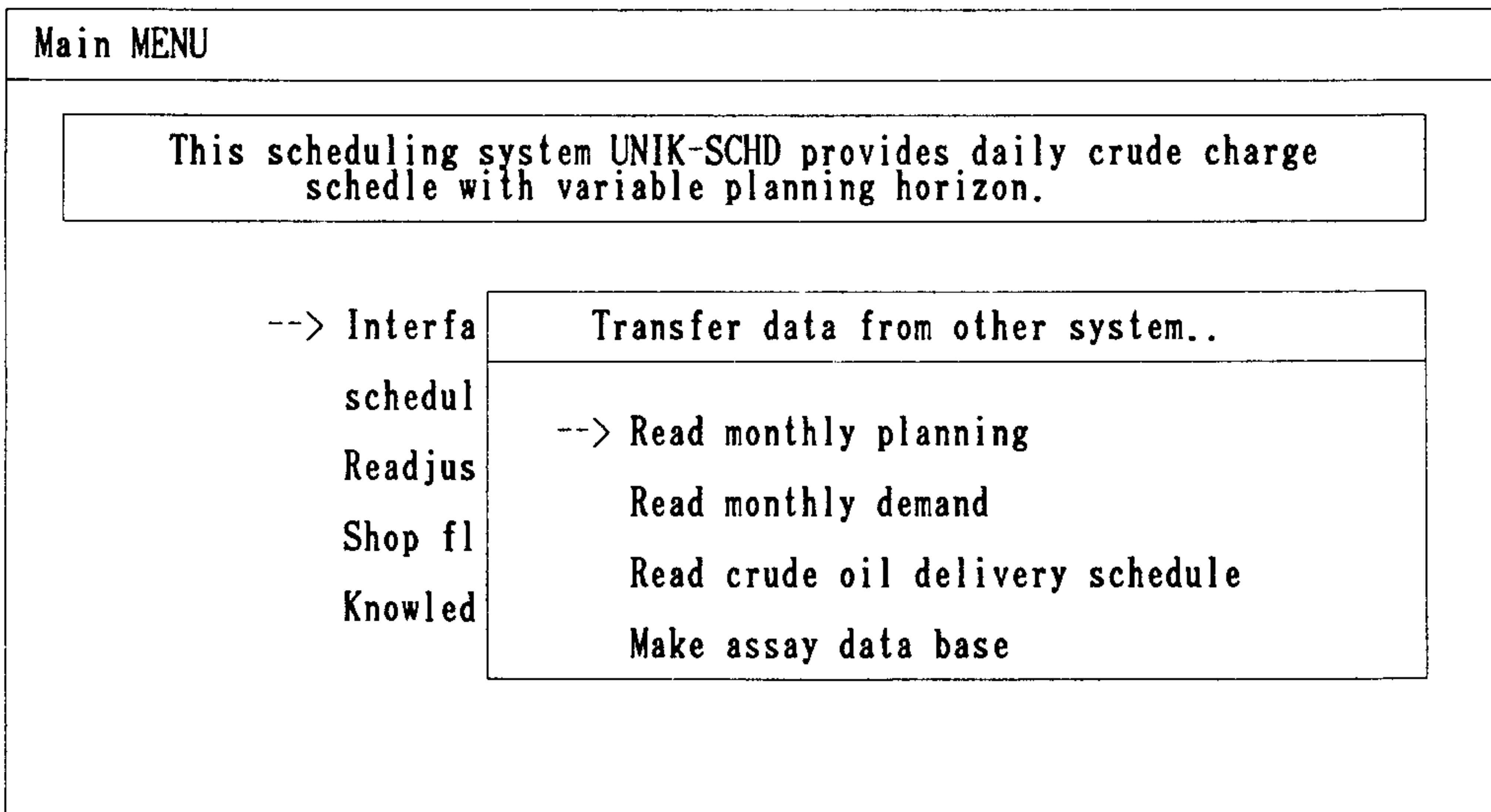
이와 같은 인터페이스 모듈의 기능은 일정계획 시스템과 상호 작용하는 외부기능으로 부터의 적절한 지식을 자동적으로 획득하는 것을 도와 주는 것이다.

4.4. 화면구성

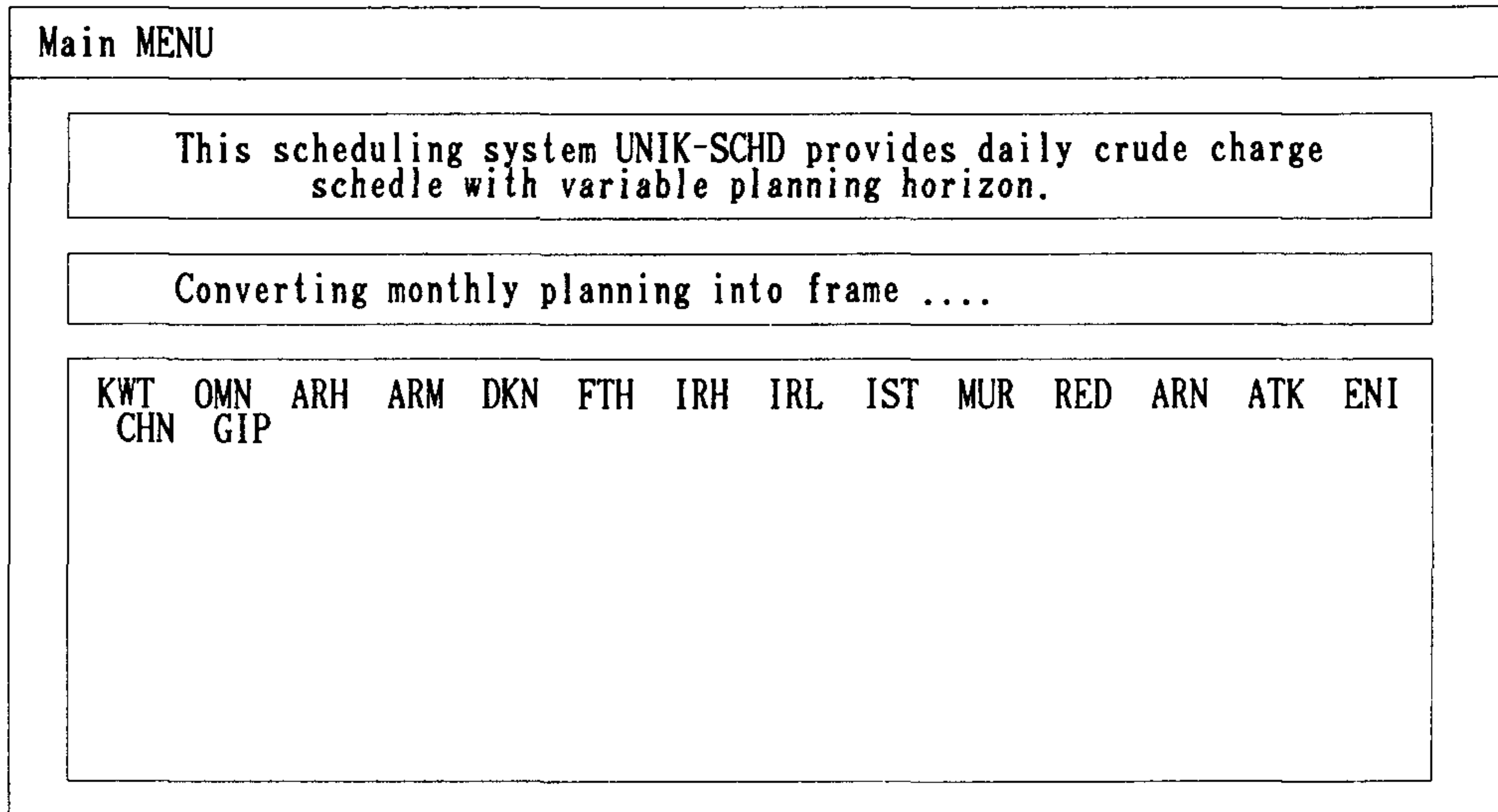
정유공정작업일정 계획의 화면구성은 다음과 같다.



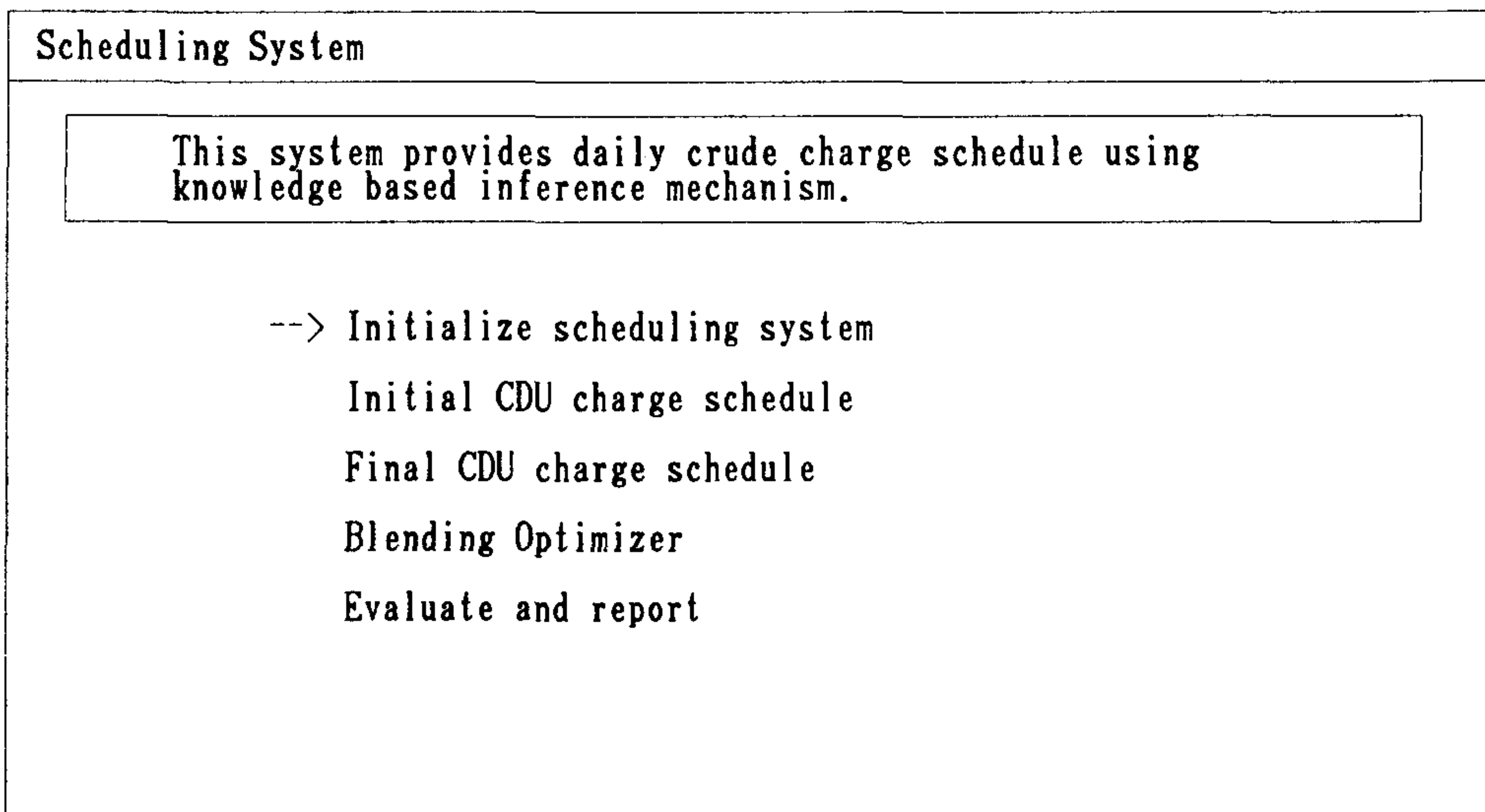
<그림 4-10> 주 화면



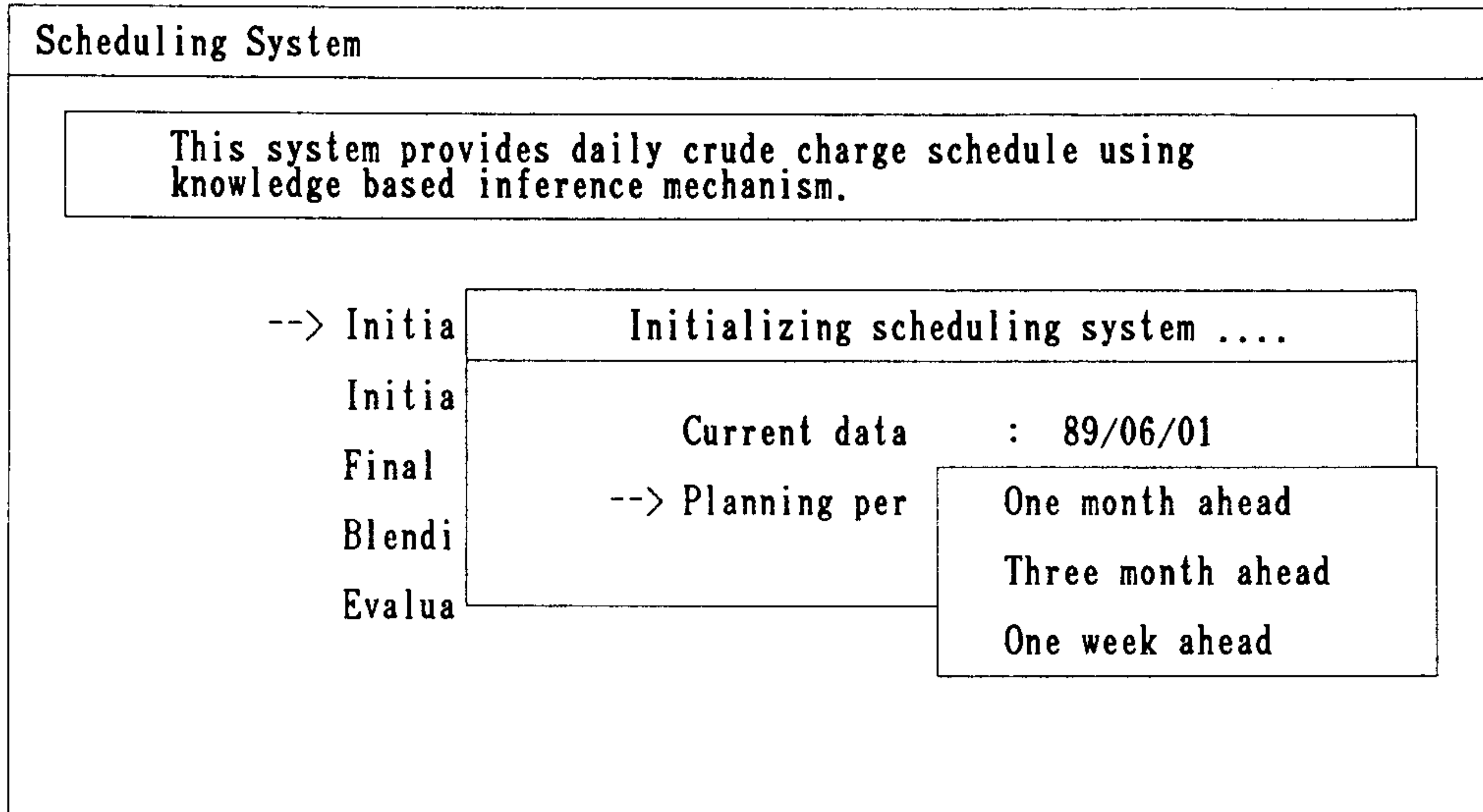
<그림 4-11> 월간 자료 입력 화면



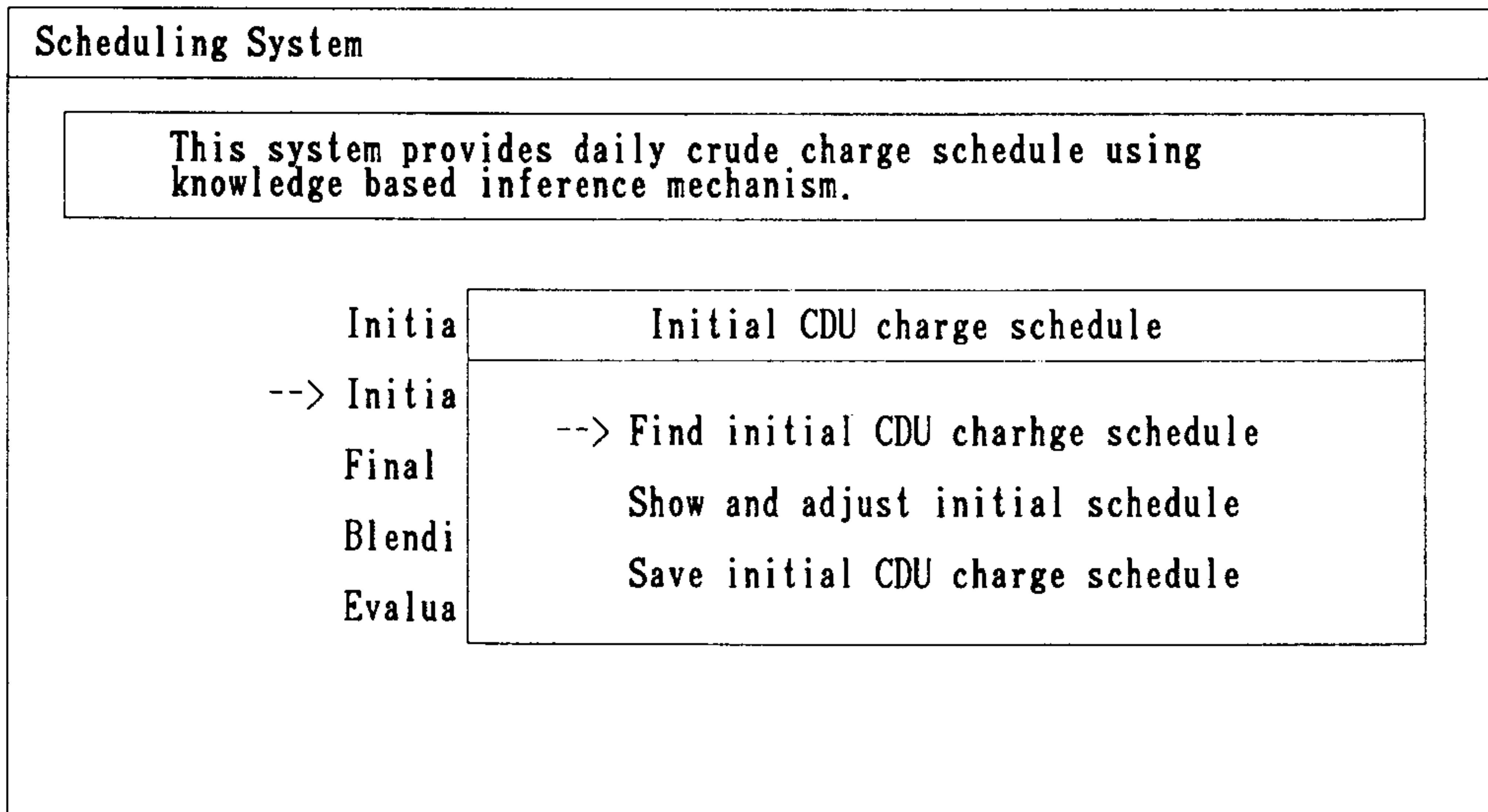
<그림 4-12> 월간 생산계획 화일을 프레임으로 변환



<그림 4-13> 일정 계획 시스템



<그림 4-14> 일정 계획에 필요한 초기자료 입력



<그림 4-15> 초기 상압 증류탑별 원유처리 계획 화면

Scheduling System

This system provides daily crude charge schedule using knowledge based inference mechanism.

Firing initial CDU charge rule

Firing rule name : --> Initial charge rule

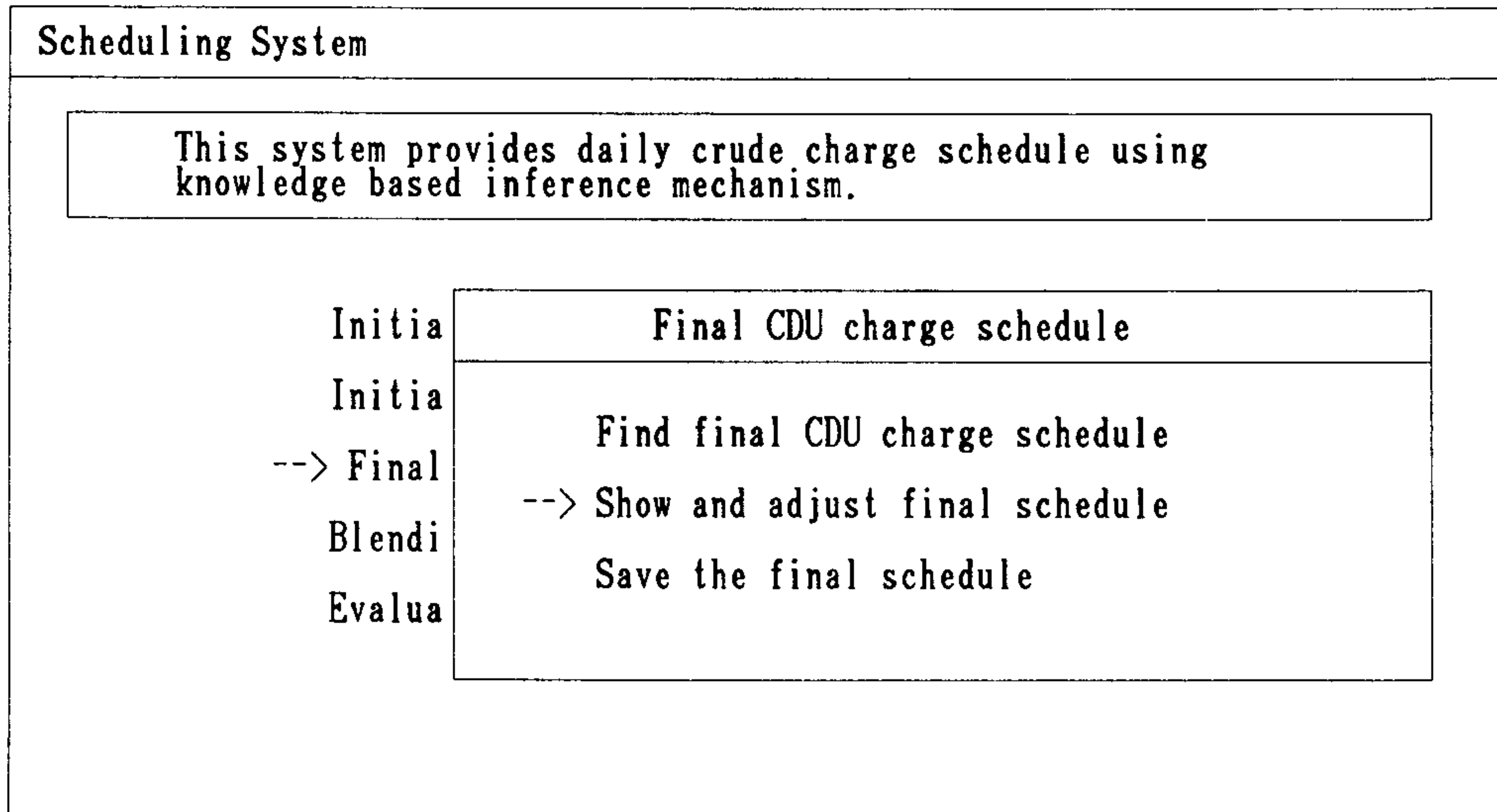
<그림 4-16> 초기 원유처리 계획의 규칙 수행 화면

Initial charge schedule

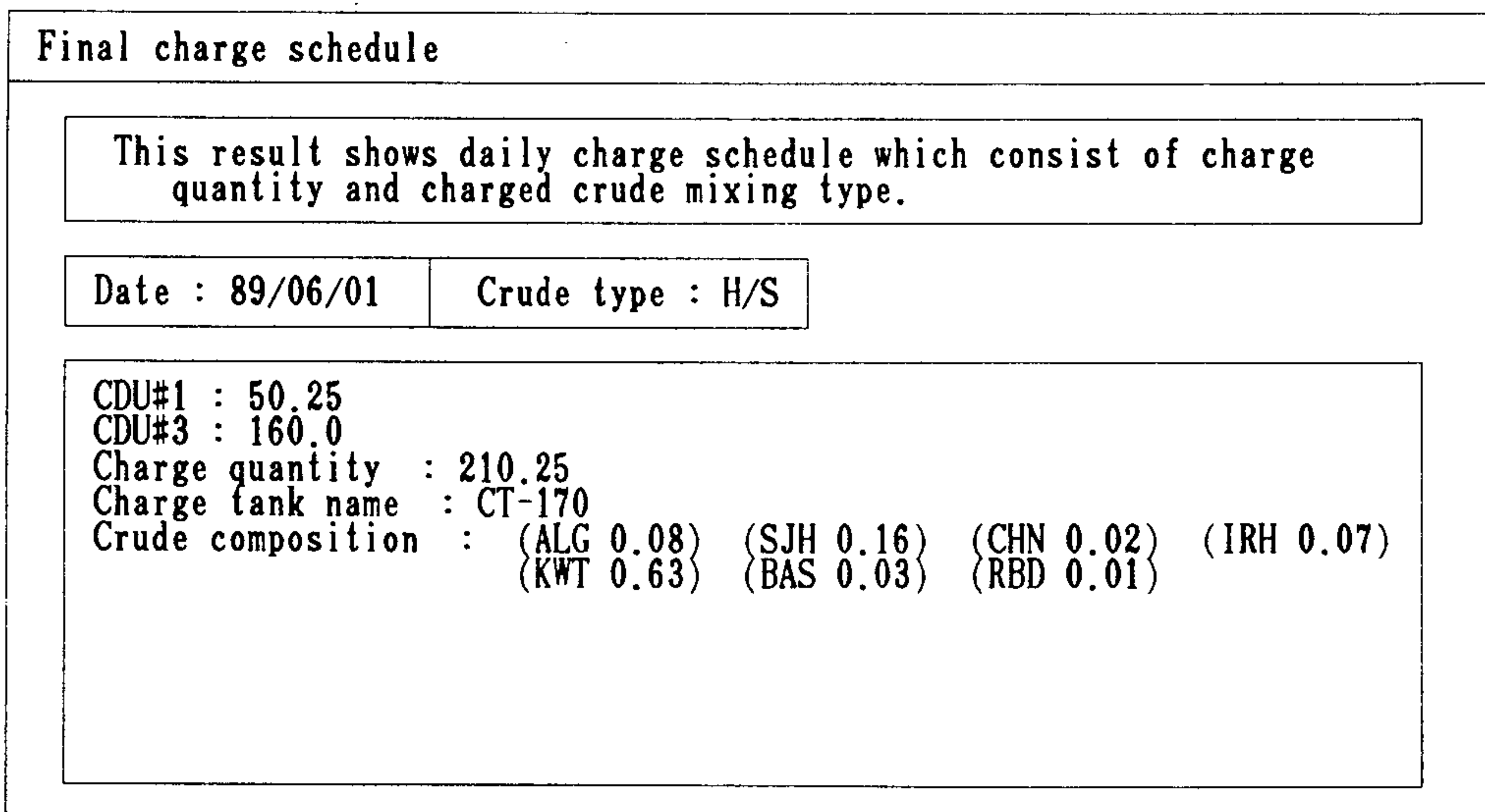
This result shows system driven initial CDU charge schedule.

Date	NO1 H/S	NO2 L/S	H/S	NO3 L/S	H/S	Total L/S
88/01/01	50.20	100.0	-->160.5	0	210.50	100.0
88/01/02	50.20	100.0	160.5	0	210.50	100.0
88/01/03	50.20	100.0	0	140.25	50.20	240.25
:	:	:	:	:	:	:
Total	1500.75	3000.70	2500.20	2350.75	4001.25	5351.45

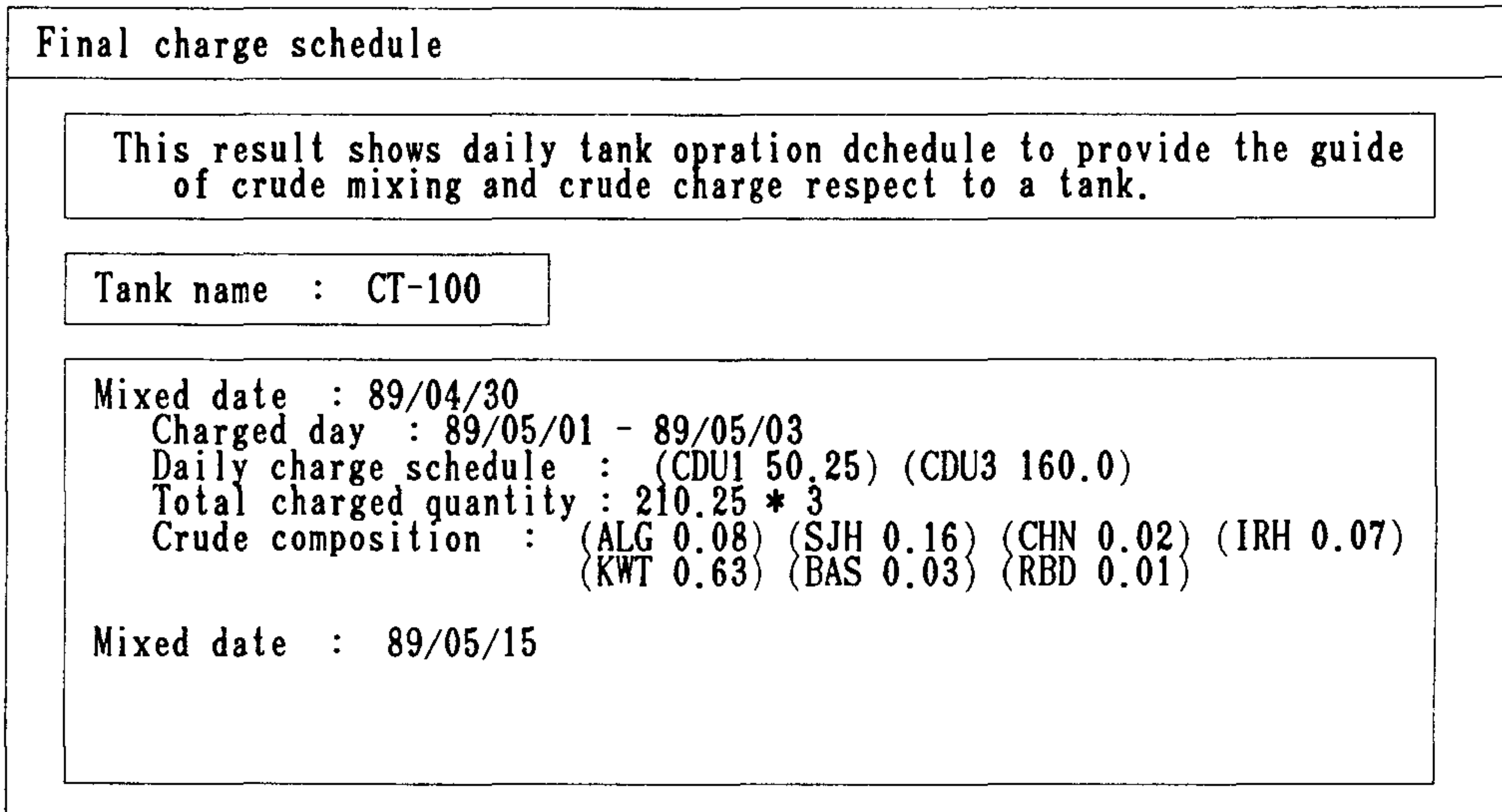
<그림 4-17> 시스템이 제시한 초기 원유처리 계획 화면



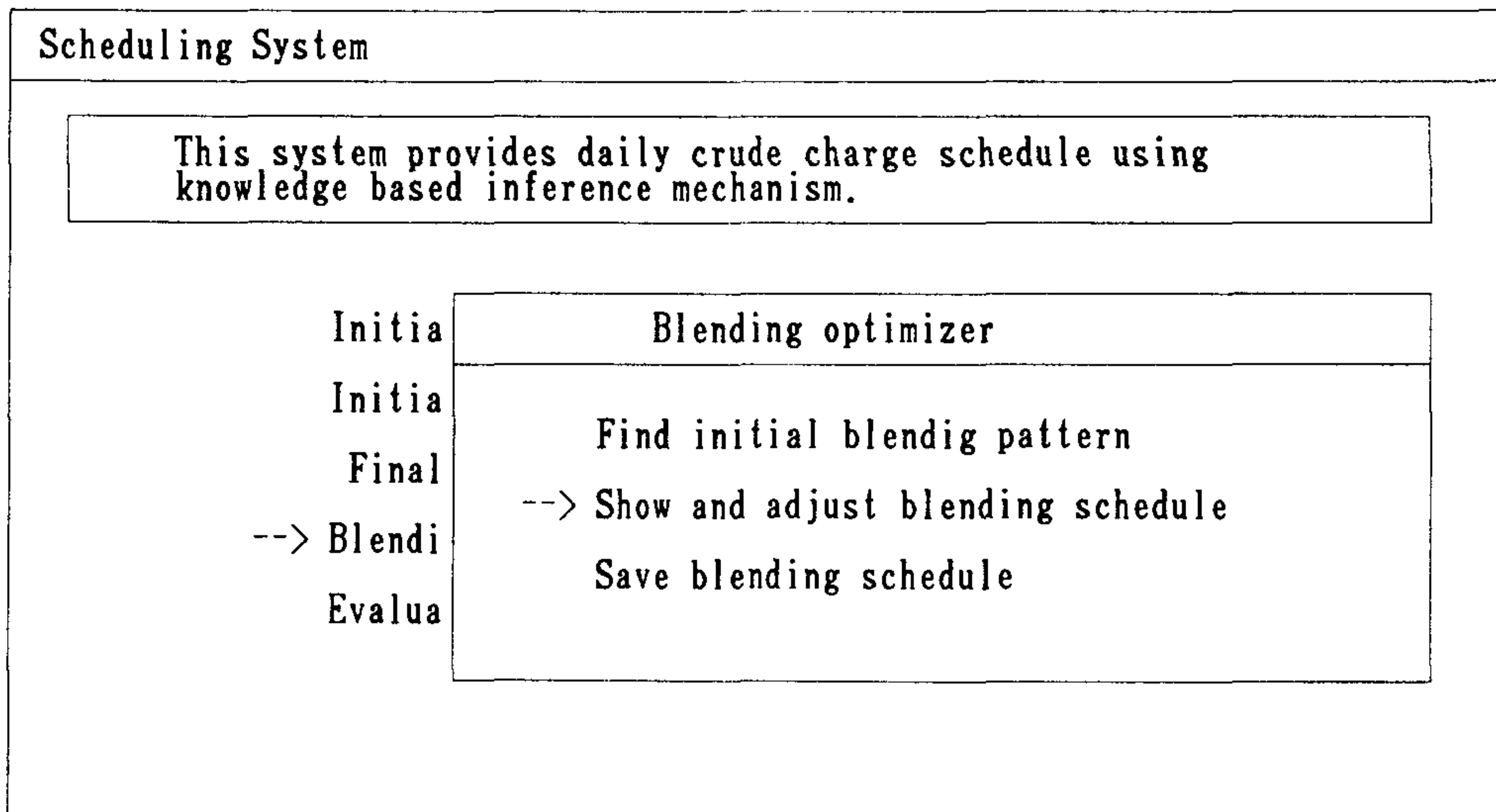
<그림 4-18> 최종 원유처리 및 처리 원유 선택 화면



<그림 4-19> 원유처리 계획 화면



<그림 4-20> 원유탱크의 운영 계획



<그림 4-21> Blending optimizer

Blendig optimizer

This subsystem show initial blending schedule with respect to final product.

Date : 89/06/01 Product : DS4

Product name : DS4
Quantity : 51.9
Property : (Sulfur 0.35)
Raw kerosene : (Quantity 14.0) (Sulfur 0.03)
Raw LGO : (Quantity 24.6) (Sulfur 0.28)
H/S LGO : (Quantity 10.0) (Sulfur 0.86)
: : :

<그림 4-22> Blending guide 의 예제 화면

Scheduling System

This system provides daily crude charge schedule using knowledge based inference mechanism.

Initia	Evaluate and reporting
Initia	--> Evaluate current schedule
Final	Generate report
Blendi	Re-run schedule system
--> Evalua	

<그림 4-23> 현재의 일정계획 평가 및 보고서 작성

Evaluate			
This system shows the inventory fluctuation with respect to final product.			
Product name : DS4		Monthly target : 2500	
Date	Quantity	Demand	Inventory
89/05/01	51.90	67.9	1250.0
89/05/02	52.30	67.9	1234.0
:	:	:	:
Total	2489.50	2500.0	

<그림 4-24> 제품 생산과 재고 변화에 대한 화면

Readjustment
This system readjust planned schedule to meet contingency Select one of following situation changed.
--> Change of crude delivery
Malfunction of facilities
Over stock of product inventory

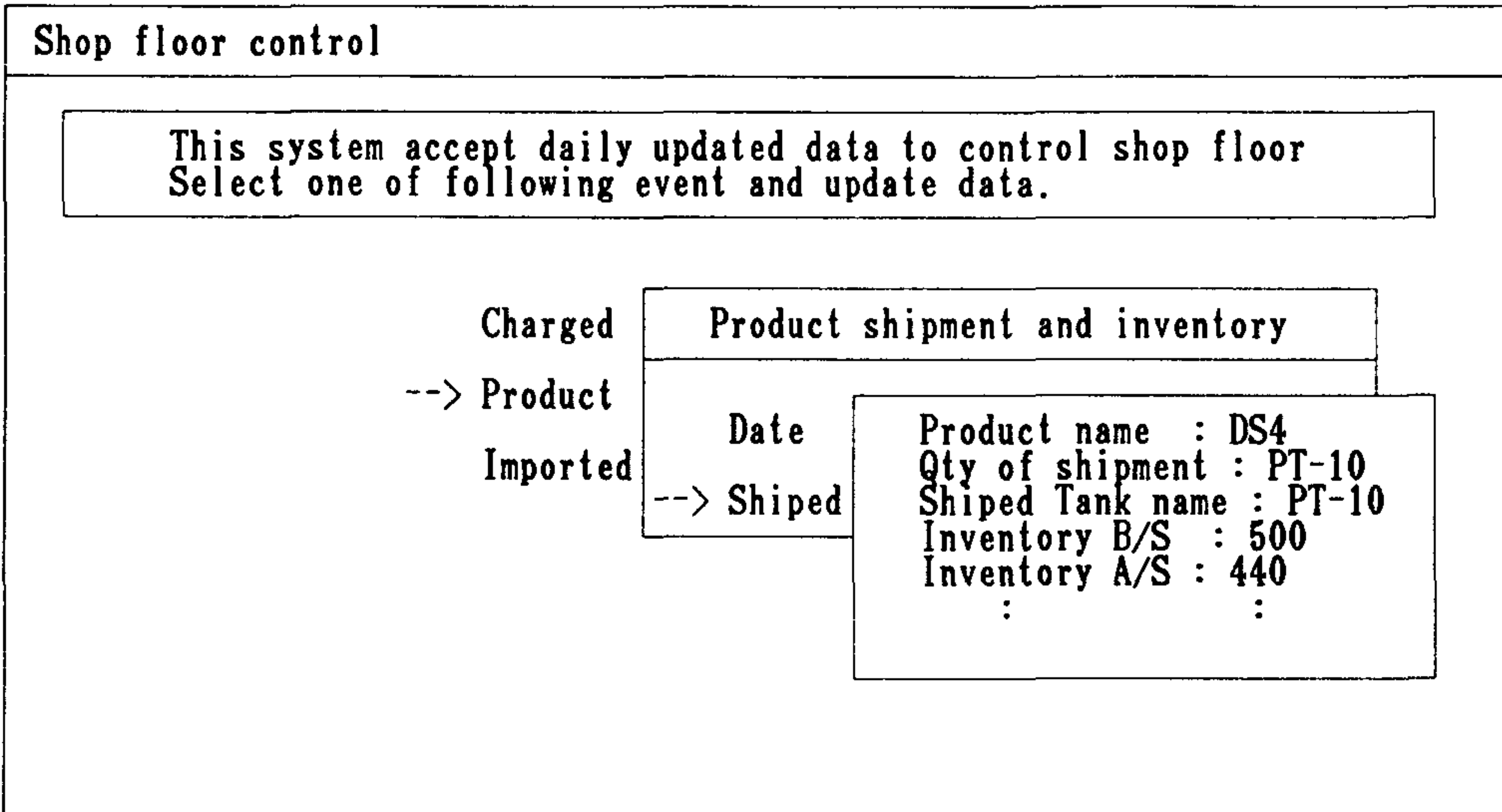
<그림 4-25> 상황 변화에 대한 재계획 시스템

Readjustment					
<p>This system readjust planned schedule to meet contingency Select one of following situation changed.</p>					
--> Change Malfunc Over st	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Change of planned oil delivery</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Changed vessel name : Monica</td> </tr> <tr> <td>Planned delivery day : 89/06/01</td> </tr> <tr> <td>Changed delivery day : 89/06/05</td> </tr> </tbody> </table>	Change of planned oil delivery	Changed vessel name : Monica	Planned delivery day : 89/06/01	Changed delivery day : 89/06/05
Change of planned oil delivery					
Changed vessel name : Monica					
Planned delivery day : 89/06/01					
Changed delivery day : 89/06/05					

<그림 4-26> 상황 변화에 대한 재계획 예제 화면

Shop floor control
<p>This system accept daily updated data to control shop floor Select one of following event and update data.</p>
--> Charged crude Product shipment and inventory Imported product

<그림 4-27> 매일의 자료변화 입력



<그림4-28> 제품출고와 재고변화에 대한 자료입력 예

5. UNIK-FCST : 수요예측

5.1 UNIK-FCST 의 개요

5.1.1 유공에서의 수요예측의 성격

유공에서 생산하는 여러 제품들의 판매량에 관한 예측은 이들 제품을 생산하는 생산일정계획, 원유구매계획, 그리고 재무계획등의 전반적인 운영계획의 기초가 되는 업무이다. 현재 유공에서 행해지고 있는 판매예측은 단기예측(12 개월 이하) 이 그 주를 이루고 있는데 12 개월 연동예측치들 중에서도 1 개월, 3 개월, 12 개월 예측치가 중요한 의미를 갖고 있다. 1 개월 예측치는 생산일정계획에 활용되고 있으며, 3 개월 예측치는 원유의 단기구매계획 (spot 시장에서의 원유구매), 12 개월 예측치는 원유의 장기구매계획에 이용되고 있다.

판매예측(유공에서 생산한 제품의 수요) 과 전체 시장에서의 수요예측사이의 관계는 아래의 식 (1) 로 나타낼 수 있다. 시장점유율이 일정한 상황하에서는 판매량과

$$\text{판매예측} = \text{전체시장수요예측} \times \text{시장점유율} \quad (1)$$

전체시장수요량은 같은 추계적 과정 (stochastic process) 을 보이기 때문에 판매예측치나 전체시장수요예측치를 얻은 후에 (1) 식에 의해 나머지를 구하면 된다. 그러나, 시장점유율이 변동하는 경우에는 판매량과 전체시장수요량의 추계적 행태가 서로 다르기 때문에 판매예측치와 전체시장수요예측치중 어느 하나를 알더라도 시장점유율에 관한 예측이 선행되어야만 나머지를 알 수 있다. 즉, 전자의 경우는 시장점유율을 상수로 취급하지만 후자의 경우는 추계적 과정으로 취급하는 경우이다. 우리는 유공의 시장점유율이 일정하다고 가정하고 전체시장수요에 대한 예측치에 시장점유율을 곱해서 유공의 판매량을 예측하고자 한다. 위의 가정은 현재 국내의 석유산업의 시장상황에 어느정도 부

합되는 가정이고 실제 유공내부에서의 판매예측도 위의 가정하에서 전체시장수요를 예측한 후에 (1) 식을 이용하여 이루어지고 있다. 현재의 원형 시스템에서는 일단 전체 시장수요예측을 대상으로 한다.

5.1.2 UNIK-FCST 의 개발타당성

5.1.2.1 이론적 타당성

시계열 모형은 통계적 예측기법으로 흔히 사용되고 있으며 여러형태의 컴퓨터에 구현되어 왔다. 이들을 이용한 예측이 순수한 판단에 의한 예측보다는 정확하다는 사실이 밝혀졌다 하지만 실제 현장에서 가장 널리 이용되고 있는 방법은 판단에 의한 예측인 것 또한 밝혀진 사실 중의 하나이다. 이러한 현상은 유공내부에서의 판매예측에서도 관찰할 수 있을 것이다. 여러 학자는 이러한 사실의 이유로써 예측에 있어서의 인적 요인을 들고 있다. 인적 요인으로서의 경험, 주관적 정보, 감각 등과 같은 것으로서 취득하는 데에 많은 시간을 요하는 것 들이며, 또한 다른 사람에게 전달하기가 쉽지 않은 것들이다. 시계열모형이 과거자료의 패턴의 extrapolation 임을 감안할 때, 미래의 정성적 요인이나 사건등은 모형에 반영할 수 없다. 따라서, 시계열모형으로부터 얻은 예측치를 위의 인적 요인에 따라 보정함으로써 예측치의 정확도를 높일 수 있을 것이다.

5.1.2.2 현실적 타당성

(1) 통계적 예측치와 보정된 예측치의 비교

전문가의 판단에 의한 예측치보정의 효과를 평가하기 위하여 시계열모형으로 부터 얻은 예측치와 보정된 예측치의 정확도를 평가하였다. 프로판 대리점수요, bunker-c 대리점수요, 중유 대리점수요에 대해 1986 년 1 월 부터 1988 년 5 월까지의 월간

수요를 대상으로 하여 X11/ARIMA 의 예측치와 이를 보정한 예측치를 비교한 결과가 <표 5-1> 에 나타나 있다.

평가기준으로써는 MSE(mean squared error), MAE(mean absolute error), maximal absolute error 의 세가지 척도가 이용되었다. <표 5-1> 에서 알 수 있는 바와 같이 보정된 예측치가 세가지 척도의 관점에서 통계적 예측치보다 정확도가 높은 것으로 나타났다. 우리는 이 결과로부터 전문가의 예측치보정과정을 도와주거나 대체해주는 전문가시스템의 개발타당성을 찾을 수 있다.

Bunker-c 대리점 수요			
	MSE	MAE	MAX
X11/ARIMA	14,084,141	2,726	11,693
보정된 예측치	10,634,105	2,525	6,673
프로판 대리점 수요			
X11/ARIMA	880,466	748	2,066
보정된예측치	667,204	612	1,970
중유 대리점 수요			
X11/ARIMA	32,560,744	4,383	16,876
보정된예측치	21,774,585	3,836	11,297

MSE : Mean Squared Error

MAE : Mean Absolute Error

MAX : Maximal Absolute Error

<표 5 - 1> X11/ARIMA 예측치와 보정된 예측치의 비교

(2) 판단요소 (Judgmental Factor) 의 체계화 필요성

위에서 언급한 요인들을 반영하기 위해서는 이러한 요인들에 관한 정확한 정의가 있어야 할 것이다. 판단요소를 다음과 같이 정의하자.

정의 : 판단요소 (Judgmental Factor)

새로 발생했거나 혹은 시계열자료의 extrapolation 으로서 그 효과를 나타낼 수 없어 시계열모형에 포함할 수 없지만 자료의 미래치에 영향을 주는 요인을 판단요소로 정의한다.

위에서 정의한 판단요소들은 그 동안은 주로 예측담당자의 머리속에만 존재하여 실제 예측할 때 통계적모델로 부터 얻은 예측치를 보정하는 데에 고려되어온 요인들이다. 그러나 이러한 요인들이 예측담당자가 바뀔 경우 사장되는 것이 일반적이고 설혹 담당자가 바뀌지는 않지만 그들의 머리속에만 존재하여 체계화되지 않아서 일관성을 유지하기 힘든 상황이다. 판단요인의 체계화에 대한 필요성은 다음과 같이 요약될 수 있다.

1) 판단요소의 재활용의 필요성 : 통계적 예측모델에 의한 예측치에 비해 예측담당자에 의해 판단요인을 고려한 보정된 예측치가 더 정확하다는 것이 위에서 밝혀 졌다. 그러나 이러한 판단요소가 체계화되어 있지 않음으로 인해 판단요소의 활용이 일시적이다. 따라서 후에 과거에 발생한 판단요소를 이용하여 예측치의 보정을 효과적으로 할 수 있도록 판단요소를 체계화할 필요가 있다.

2) 새로운 예측담당자를 위한 지침으로 활용 : 예측담당자가 승진이나 전보등으로 인해 바뀌게 되는 경우 예측의 연속성을 상실하게 되고 새로운 담당자는 판단요소에 대한 지식과 경험부족으로 인해 판단의 어려움을 겪게 되고 예측의 질이 저하되게 된다. 이러한 결점을 보완하기 위해서 후임자가 전임자의 지식이나 경험을 단절없이 습득하고 그 습득기간을 최소화할 수 있도록 해야 할 것이다. 이를 위해 전임자의 판단요소에 관한

경험과 지식을 시스템에 체계적으로 저장하여 예측의 질을 높이고 예측의 연속성을 꾀할 수 있을 것이다.

5.2 UNIK-FCST 의 목적과 구조

5.2.1 UNIK-FCST 의 목적

- 1) 판단요소를 반영할 수있는 전문가 시스템의 구축 : 현재의 수요예측과정에서 가장 큰 어려움은 환경변화, 정책변화 등의 판단요소들의 효과를 적절히 평가하여 예측에 반영하기 어렵다는 점인데, UNIK-FCST 는 전문가시스템의 방법론을 유공의 현실에 맞게 반영하여 판단요소를 평가하고 그 평가된 결과를 미래의 예측에 반영할 수 있는 시스템을 구축하고자 한다.
- 2) 수작업예측을 위한 지원 : 적절한 통계모델이 없어 전적으로 수작업에 의존하여 예측을 하는 경우가 있는 데 전년동월대비나 동년전월대비를 이용하는 경우가 이에 해당한다고 볼 수 있다. 이의 지원을 위해 자료간의 비율을 미리 보여주고 이 비율에 근거하여 쉽게 예측을 할 수 있도록 도와주고자 한다. 이때에도 사칙연산이 가능하게 함으로써 시스템내에서 수작업에 의한 예측을 가능한한 완전히 지원하고자 한다.
- 3) 예측담당자의 편기조정 : 예측담당자가 일정기간동안 예측시 과잉예측이나 과소예측이 반복되는 경우 이를 담당자에게 알려주어 시정할 수 있도록 한다. 과거 전체자료나 혹은 계절별로 편기가 있는 지를 알려 주는 시스템을 구축하고자 한다.
- 4) 예측의 오류로부터 판단요소의 발생가능성을 시사 : 과거 예측의 오류가 큰 경우를 사용자로부터 혹은 시스템이 자체적으로 찾아내어 혹시 누락된 판단요소가 있는 지를 사용자로 하여금 확인해 볼 수 있도록 해야 할 것이다. 이러한 기능은 지식의 학습 혹은 지식의 인지와 유사한 기능을 갖는다.

5) 사용자의 예측에 편리한 환경조성 : 위의 네가지 목적은 주로 예측의 질을 제고하기 위한 목적이지만 예측의 질만을 보장하는 시스템의 단점을 보완하기 위해 사용자가 사용하기에 편리하도록 그래프기능, 보고서 작성기능, 연산기능등을 갖는 시스템을 구축하고자 한다.

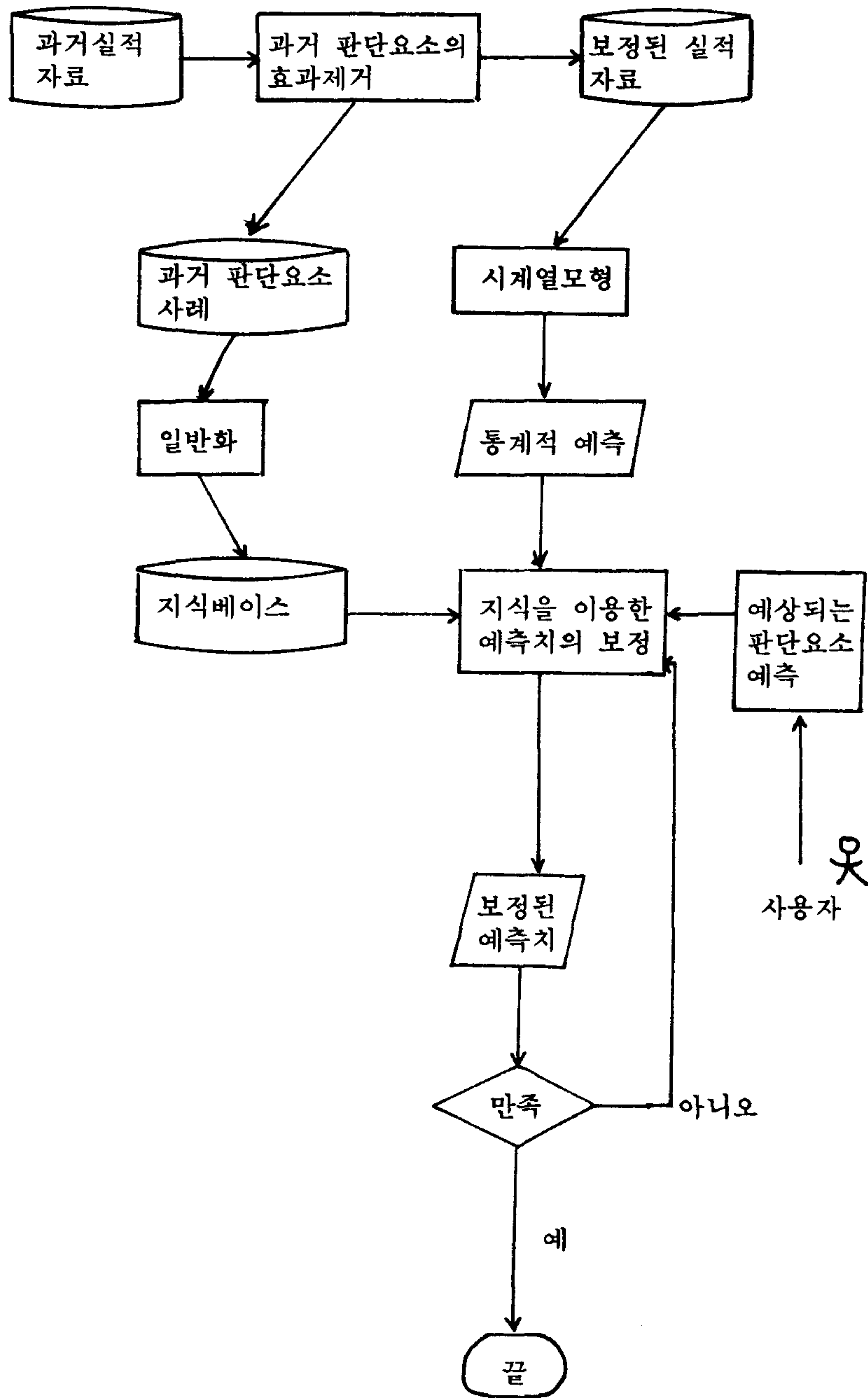
5.2.2 UNIK-FCST 의 구조

X11/ARIMA로 부터 얻은 예측치를 위에서 판단요소를 고려하여 보정하는 과정을 지원해 주는 원형시스템인(prototype) UNIK-FCST 를 유공과 공동 개발하였다. UNIK-FCST의 전반적인 구조는 <그림 5-1> 에 나타나 있다.

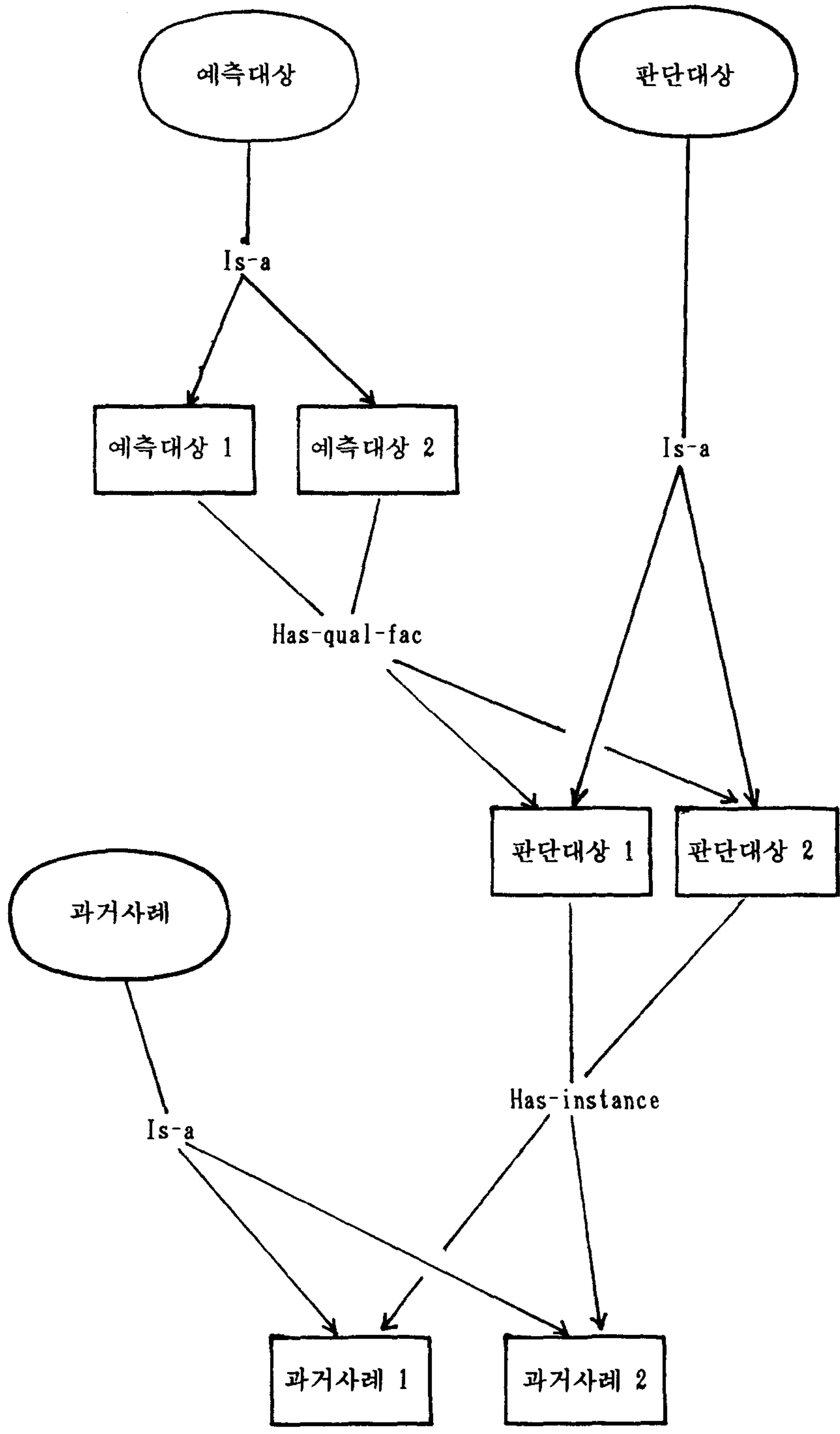
5.3 UNIK-FCST 의 지식표현

5.3.1 지식의 구조

UNIK-FCST 에서 필요로 하는 지식은 예측대상에 관한 지식과 판단대상에 관한 지식의 두개의 class 로 나눌 수가 있고 이들 사이의 관계는 <그림 5-2> 에 나타나 있다. 예측대상은 프로판 대리점용, 디젤 소비자용 등과 같이 유공에서 판매예측을 하는 하나하나의 대상이 되는 것을 의미하며 판단대상은 통계적 예측모델로 부터 얻은 예측치를 수정하는 데에 고려되어야 하는 요소인 것이다. 실제로 발생한 판단대상의 사례들은 (Instances) 판단대상 (Judgmental Factor) 과는 Has-instance 의 관계를 가지며 이들 사례들은 Instance 라는 class 의 일원이므로 Instance 와는 Is-a 관계를 갖게 된다. 이들 지식은 서로 독립적으로 존재하는 것이 아니고 일련의 관계를 갖고 있는 데 이러한 지식의 관계를 이용하여 통계적 예측의 보정이 이루어 진다.



<그림 5 - 1> UNIK-FCST 의 구조



<그림 5 - 2> UNIK-FCST 의 지식구조

5.3.2 예측대상 (Forecasting Target) 의 지식표현

예측대상에 관한 지식을 틀 구조로 예시하면 <그림 5-3> 과 같다. <그림 5-3> 은 프로판 대리점용에 관한 지식을 표현한 것으로 구체적인 내용은 슬랏에 나타나 있다. 통계적 모델에 관한 지식은 normal-forecasting-method 라는 슬랏에 나타나 있고 통계적 예측에 필요한 data file은 data-file 이라는 슬랏에 담겨 있다. 나머지 예측대상들도 <그림 5-3> 과 같은 틀하에서 나타낼 수 있고 다만 개개 슬랏의 내용만 바뀌면 되는 것이다.

5.3.3 판단대상의 지식표현

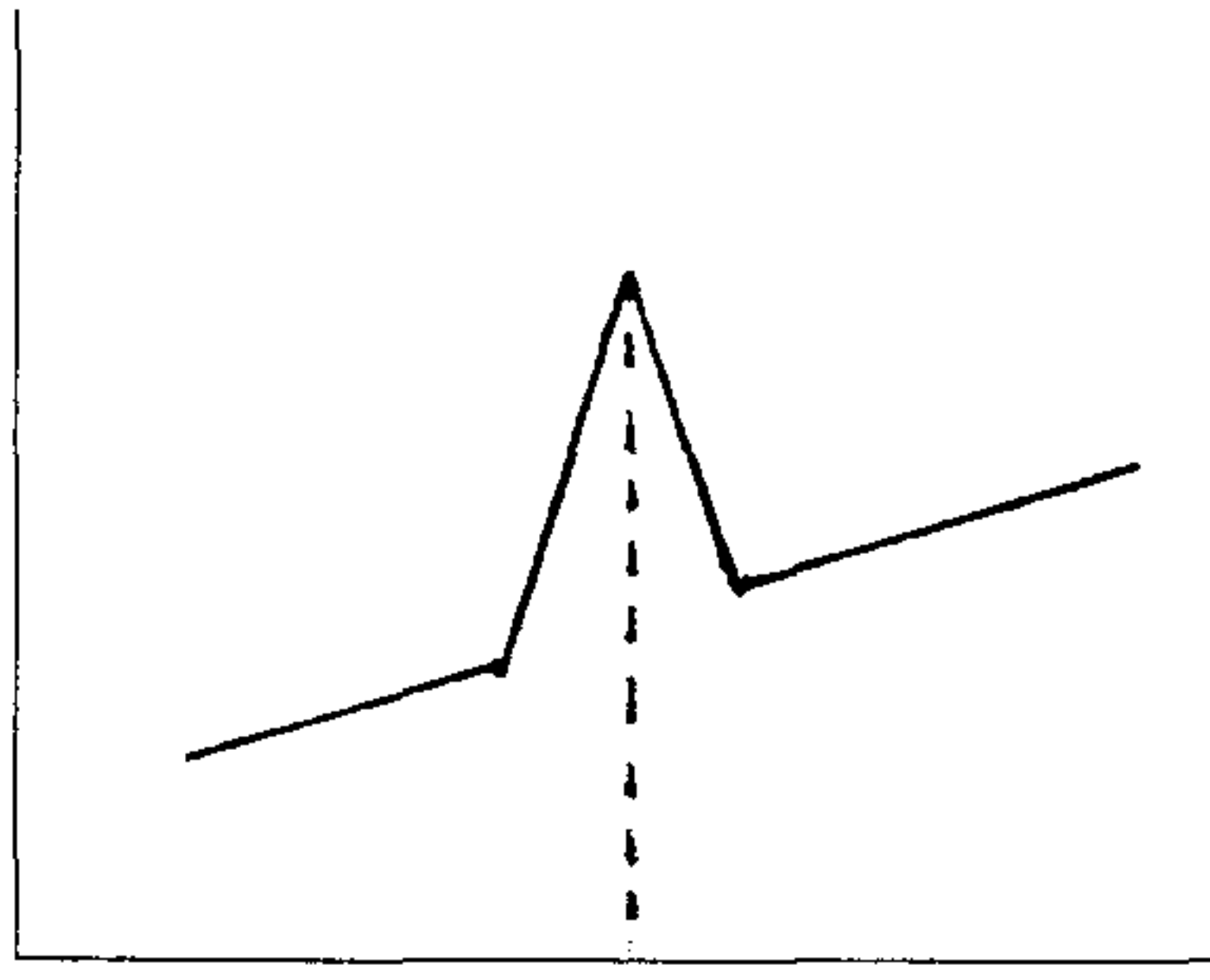
판단대상의 형태로는 1) 일시적 요인(transient factor), 2) 이전요인(transferred impact factor), 3) 계절적 요인(seasonal factor), 4) 고정증감요인(quantum jump factor), 5) 추세선변동 요인(trend changing factor) 을 들 수 있다.

```
{{ Propane-Agent
  Is-a : Oil-sales-class
  Class-of : Propane
  Normal-forecasting-method : X11/ARIMA L100100
  Data-file : "Prop_A.dat"
  Initial-data-point : 1978/01
  Real-data :
  Forecasts-from-model :
  Effect-adjusted :
  Has-instance :
  .....
}}
```

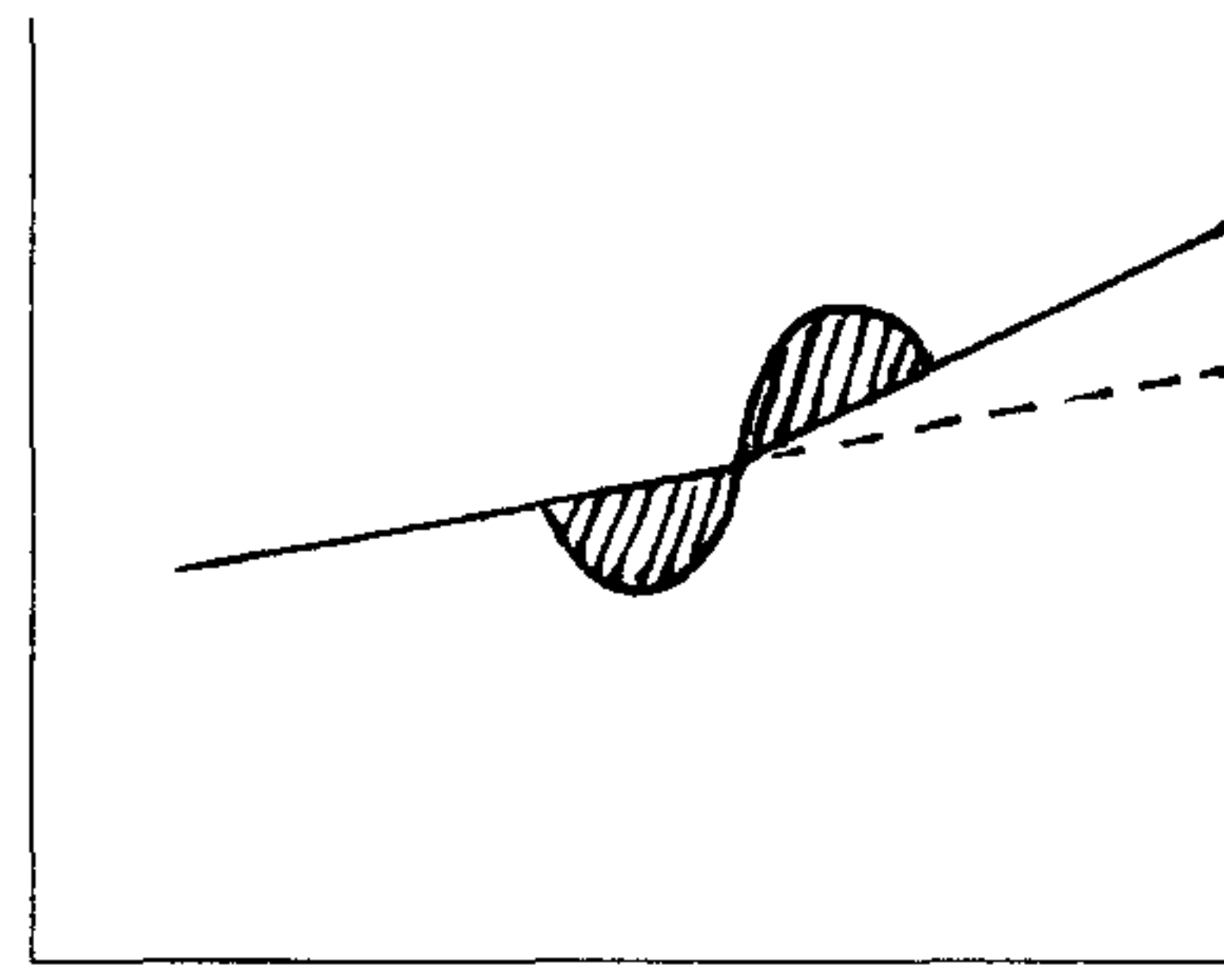
<그림 5 - 3> 예측대상의 지식표현

- 1) 일시적 요인 : 일시적 요인은 그것이 발생하는 순간에만 예측치에 영향을 주는 요인이다. 파업이나 올림픽과 같은 스포츠행사가 대표적인 예다. <그림 5-4(a)> 참고.
- 2) 이전요인 : 이전요인은 그것이 발생한 순간과 그 다음시점의 예측치에 영향을 주며 두 효과의 합이 영이 되는 요인으로 예시된 가격변화가 그 대표적인 예다. 가격변화가 미리 공표되면 실행되기 전에 수요가 감소하거나 증가하여 이러한 효과가 다음시점으로 이전된다. <그림 5-4(b)> 는 가격인하의 효과를 나타낸 것으로 이전요인과 추세선변동요인이 함께 나타난 경우를 예시한 것이다.
- 3) 계절적 요인 : 새로이 발생한 요인의 효과가 이후의 예측치에 계절적인 영향을 미치는 요인으로 새로이 개발된 난방기구등이 대표적인 예다. 이러한 요인이 장기간 반복될 경우 새로운 시계열모형을 추정함으로써 효과를 모형안에 포함시킬 수 있다. <그림 5-4(c)> 참고.
- 4) 고정증감 요인 : 새로이 발생한 요인의 영향이 향후 계속되고 영향의 크기가 일정한 요인으로 새로운 고객의 확보가 그 대표적 예다. 고정증감요인도 계절적 요인과 마찬가지로 장기간에 걸쳐 발생하는 경우에는 그 효과를 시계열모형안에 포함시킬 수 있을 것이다. <그림 5-4(d)> 참고.
- 5) 추세선변동 요인 : 가격변화가 대표적인 예로써 일정비율로 영향을 미치는 경우의 요인을 말한다. <그림 5-4(e)> 참고.

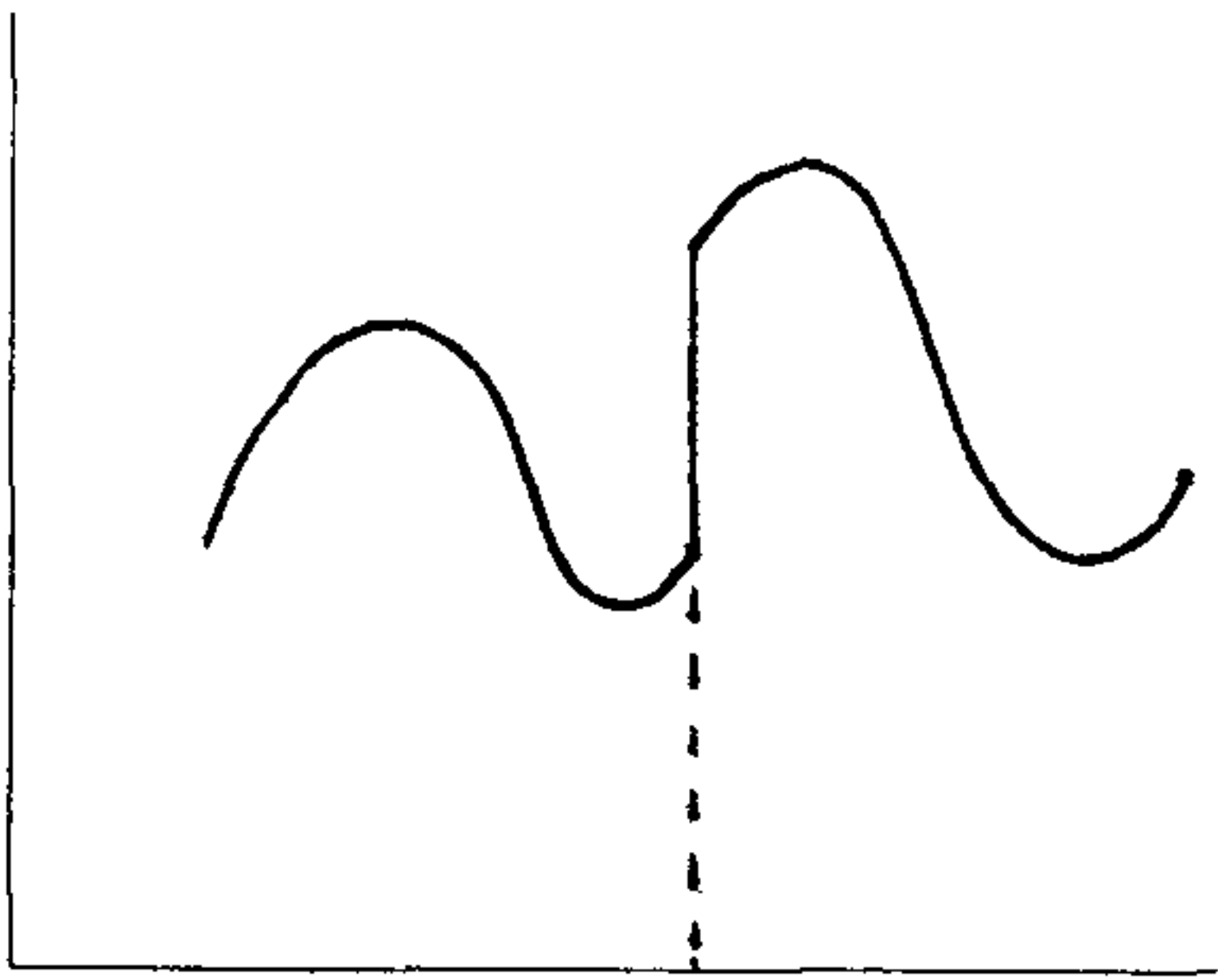
판단대상은 과거의 사례들(Instances)과 예측대상과 서로 간계를 갖고 있음은 앞에서 이미 언급한 바 있다. 판단대상은 class-of, type, qual-fac-of, major-consideration 등과 같은 슬랏들을 가지고 있다. 과거 사례들은 By-month Instance 와 By-factor Instance 의 두 종류로 구성되어 있는 데 전자는 어느 일정한 달에 어떠한 판단사례들이 발생했는가를 개략적으로 표현한 틀 구조의 지식이고 후자는 이들 하나하나에 관한



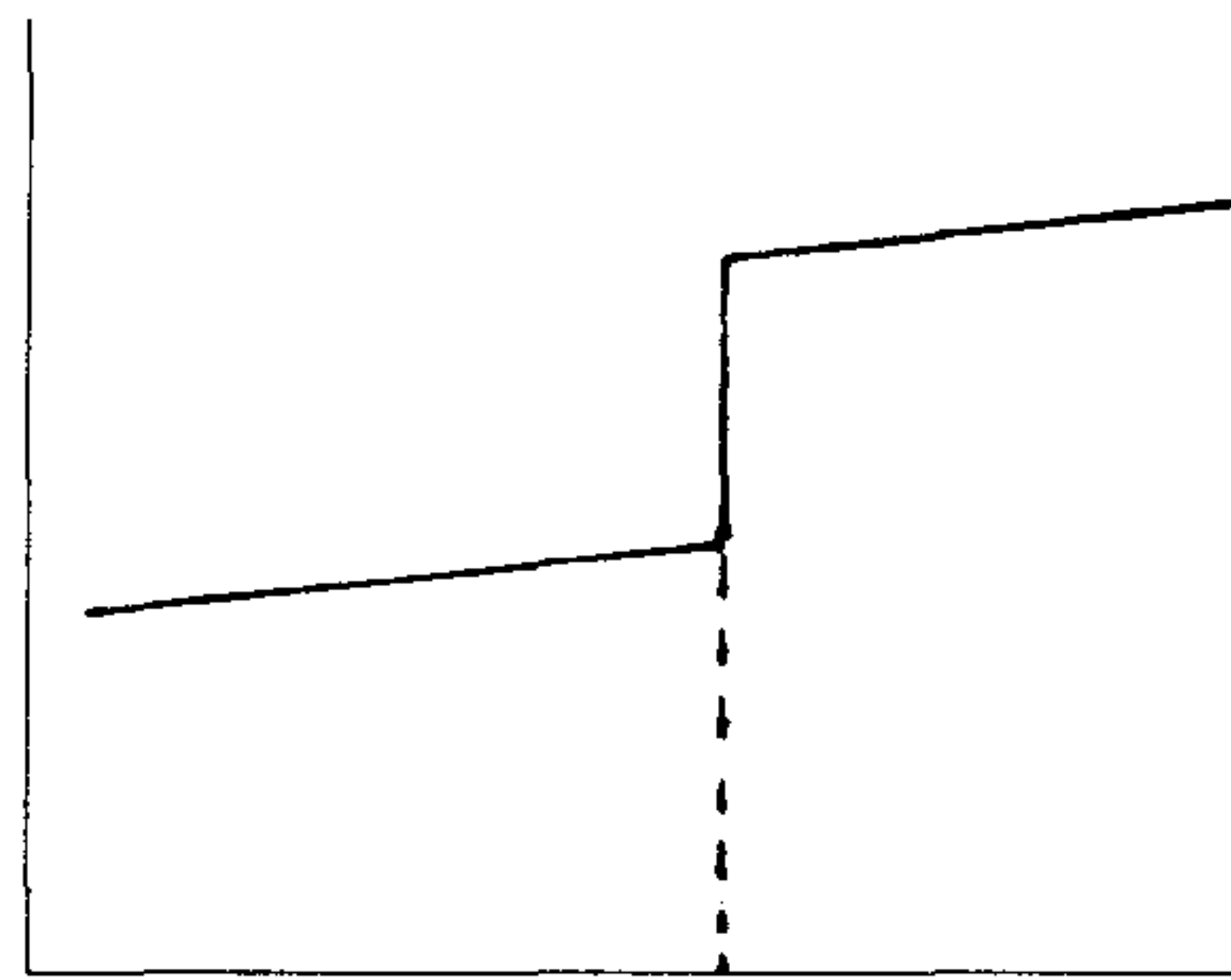
a. 일시적 요인



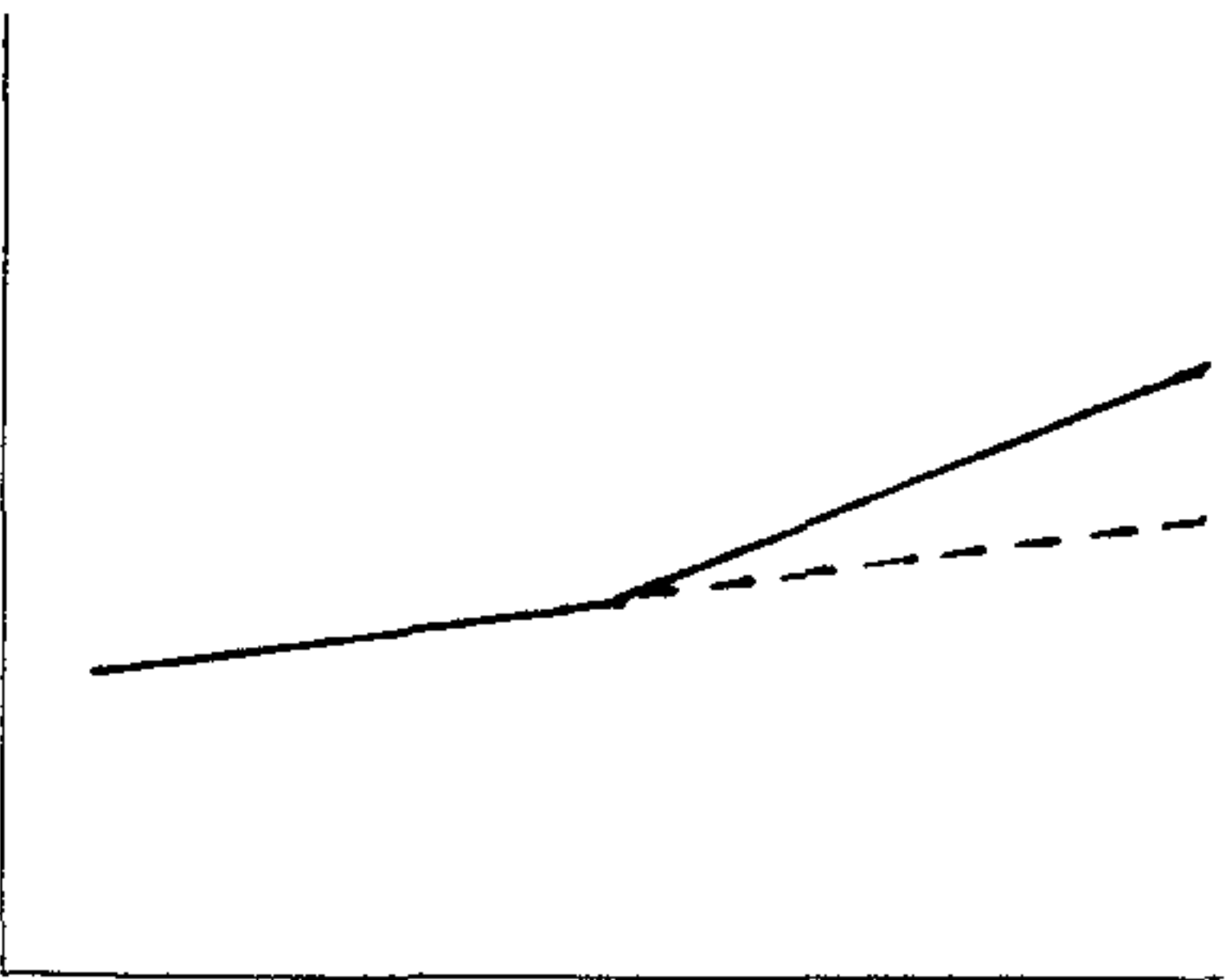
b. 효과이전 요인



c. 계절적 요인



d. 고정증감 요인



e. 추세선변동 요인

<그림 5 - 4> 판단대상의 형태

자세한 내용을 담고 있다. 이들에 관한 지식표현은 <그림 5-5> 에 나타나 있다.

5.4 예측과정

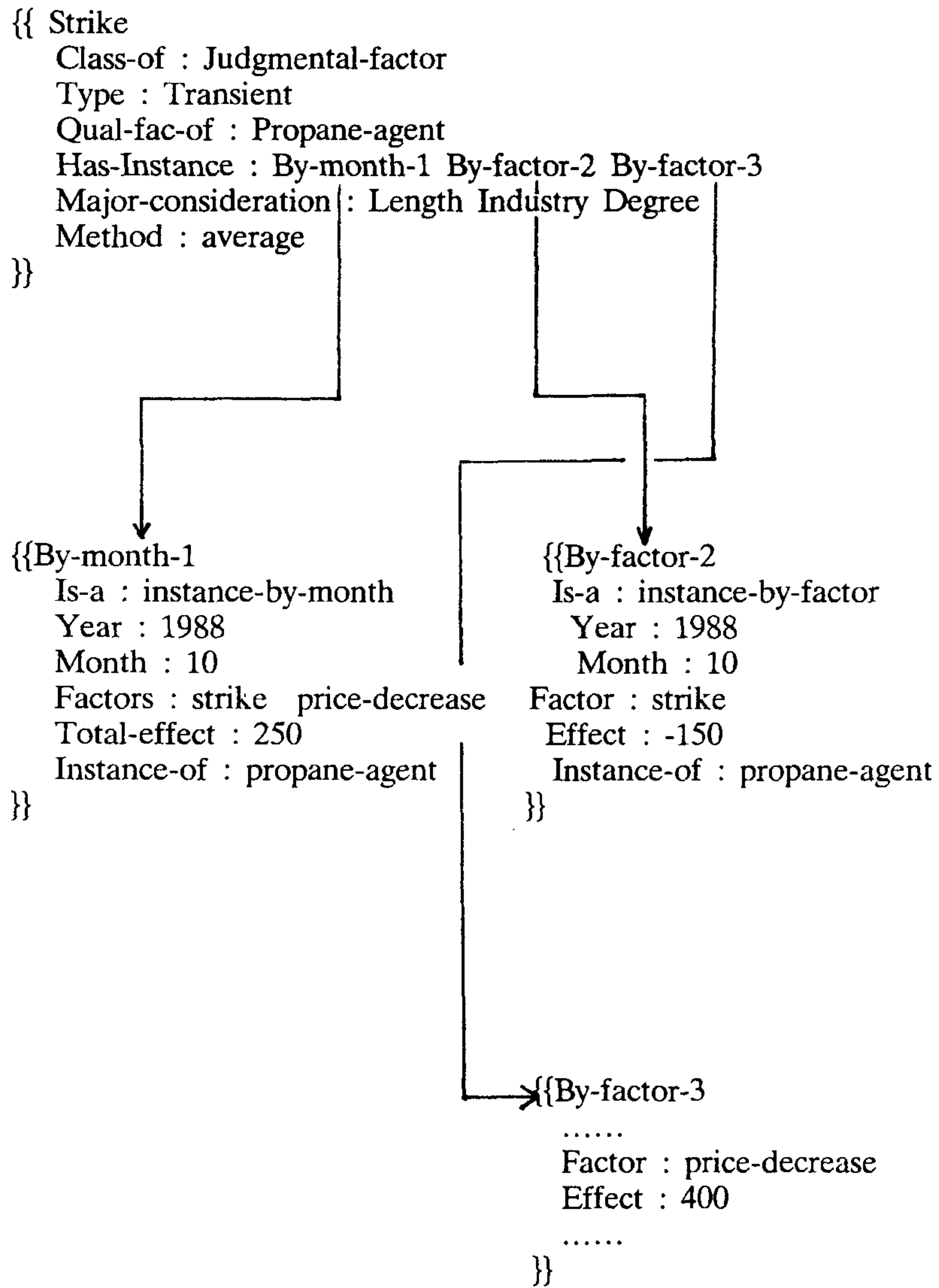
예측과정을 설명하기 앞서 UNIK-FCST 의 원형 시스템이 어떻게 구성되었는가를 살펴 보기로 하자. 원형시스템은 크게 Forecasting subsystem, Learning subsystem, Database Manager, Save Module, 그리고 Report Module 로 구성되어 있다. 이들은 각기 submodule 들로 구성되어 있는 데 자세한 구성은 <그림 5-6> 에 나타나 있다.

5.4.1 통계적 예측과정

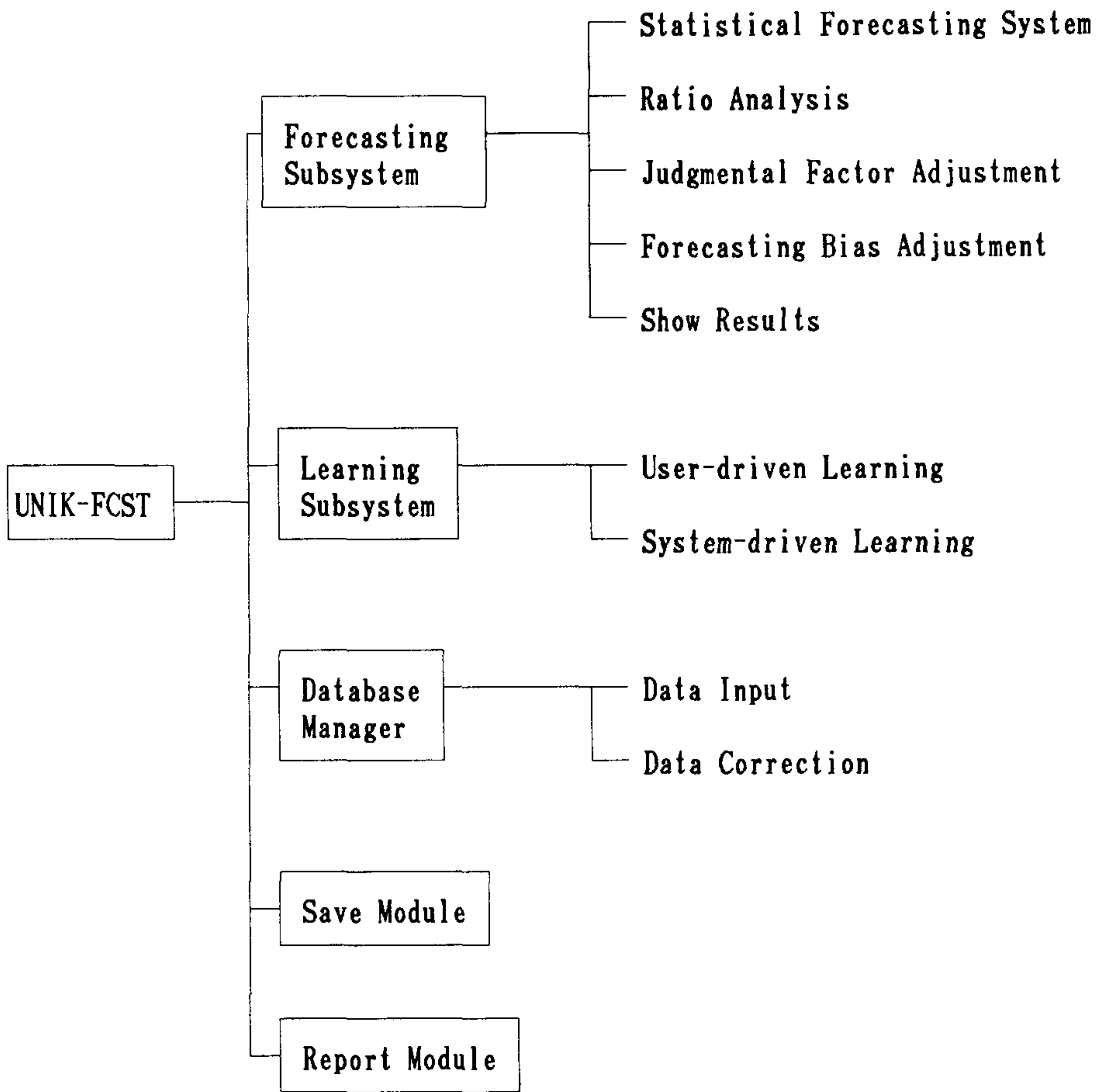
UNIK-FCST 에서의 통계적 예측과정이라 함은 통계적 예측모델을 이용하여 예측을 하는 것을 의미하고 있다. 특히 여러 통계적 예측모델과 예측방법중에서도 X11/ARIMA 를 이용한 협의의 의미로 사용된다는 것을 밝히고자 한다. 이 부분은 계속해서 확충되어야 할 부분으로서 통계적 예측모델의 다양화, 초보 사용자가 사용할 수 있도록 예측에 필요한 통계적 지식을 시스템에의 내재화, UNIK-FCST 내에서 통계적 예측모델을 이용한 예측을 가능하게 하는 것등이 이에 포함된다. 현재는 통계적 예측모델로써는 앞서 밝힌 바와 같이 X11/ARIMA 를 사용하고 있으며 실제 통계적인 예측은 외부로 부터 통계적 예측결과를 파일 (X11/ARIMA 의 output 파일) 을 통해 읽어드리는 방식을 사용하고 있다.

5.4.2 비율분석에 의한 예측

자료의 수가 너무 작거나 통계적 예측모델로 부터의 예측치가 부정확한 경우, 통계적 예측모델을 사용하기가 힘들게 된다. 이때에는 과거 자료의 패턴을 보고 예측을



<그림 5 - 5> 판단대상의 지식표현



<그림 5 - 6> UNIK-FCST 의 구성도

해야 하는 데 흔히 전년동월대비나 동년전월대비등의 비율에 근거하여 예측을 하게 된다. 이러한 예측방법은 실제 현장에서 담당자에 의해 많이 이용되고 있으나 예측에 필요한 많은 지식이 담당자의 머릿속에 있어 표출화하기 힘들기 때문에 담당자가 바뀔 경우 예측업무의 단절을 가져오게 된다. 이러한 지식을 가능한 한 시스템내에 내재화시켜 초보 사용자도 과거 전문적 예측담당자의 지식을 이용할 수 있도록 하고자 한다. 1 차 년도의 원형시스템에서는 이 부분이 담당자에게 과거자료로 부터 비율을 제공해주는 자료제공의 역할을 수행하고 있는 실정이다. 필요한 경우 예측담당자의 지식까지 포함하여 초보 사용자도 전문가의 지식을 이용하도록 하고자 한다.

5.4.3 판단요인의 고려

예상되는 판단요인의 영향이 어느정도인가를 예측하여 통계적 모델로 부터 얻은 예측치 혹은 비율분석에 의해 얻은 예측치를 보정하는 역할을 하는 부분이다. 이때에 과거에 발생한 사례를 이용하여 예상되는 사례의 효과를 추정하게 되는 데 (case-based reasoning), 과거사례의 양과 사례의 종류에 따라 효과의 추정방법이 다를 수 있을 것이다. 예를 들어, 효과와 사례의 특성들 사이에 함수적 관계가 존재하면 이러한 함수적 관계를 이용하여 예상되는 사례의 효과를 계산할 수 있을 것이다. 그러나 이러한 함수적 관계가 존재하지 않고 효과와 사례의 특성들 사이에 교란항이 있는 있는 경우에는 사례가 충분한 경우 회귀분석과 같은 통계적 절차를 이용하여 효과와 특성사이의 관계를 추정하여 이용할 수 있을 것이다. 가장 비정형화된 경우는 특성들 사이의 부분 매칭 (partial matching) 을 이용하여 예상되는 사례의 효과를 추정할 수 밖에 없다. 현 원형 시스템에서는 판단요인의 종류의 구분없이 일시적 요인에 적용되는 방법을 모든 종류의 판단요인에 적용하고 있으며 효과의 추정방법도 사용자가 과거 사례의 효과로 부터 직접 추정하거나 평균등의 몇가지 방법을 선택하도록 되어 있다. 이는 현 단계에서 과거 사례들에 관한 특성들을 알 수 없고 사례들이 부족하기 때문에 불가피하게 취한 방법으

로 앞으로 사례에 관한 지식이 축적되게 되면 (UNIK-FCST 의 Learning subsystem 이 이부분을 도와 줌) 가능할 것으로 사료된다.

5.4.4 예측자의 편기조정

예측담당자의 내적 성향으로 인해 과다하게 예측하거나 혹은 너무 적게 예측하는 경우가 장기간 반복되는 경우 이러한 예측자의 편기를 조정해 주어야 할 것이다. 이것을 위하여 비모수적 통계량인 Wilcoxon 의 부호붙은 순위검정 통계량을 이용하고 있다. 이 통계량은 표본의 수가 충분할 경우 정규분포에 근사하게 되어 가설검정이 가능하다. 귀무가설은 예측자의 편기가 없다는 것이고 대립가설은 예측자의 편기가 양의 방향이든 음의 방향이든 존재한다는 것이다. 전체 자료에 관하여 혹은 계절별 자료에 관한 예측에서 편기가 존재하는 가를 검정하여 사용자에게 알려주는 역할을 수행한다. 예측자의 편기를 두가지 측면에서 측정하는 데 예측오류의 비율과 그 양의 두가지중에서 사용자가 검정하고자 원하는 것을 선택할 수 있다.

5.4.5 예측결과의 제시

일단 통계적예측치를 판단요인의 효과를 고려하여 보정하게 되면 최종 예측치를 얻게 된다. 예측한 결과를 화면을 통해 보고 싶을 때 하나의 예측치에 관한 자세한 정보, 12 개월 연동예측에 관한 요약된 정보, 혹은 과거 자료의 그 당시 예측상황에 관한 요약된 정보등을 사용자에게 보여지는 메뉴를 선택함으로써 볼 수 있다.

5.5 학습 (Learning)

5.5.1 User-driven 학습

이 부분은 사용자가 어느 시점에 기록한 판단요인이 잘못 되었거나 판단요인의 효과가 잘못 추정되어 과거 사례를 넣거나 고치거나 뺄 경우에 이를 지원해 주는 모듈이다. User-driven 이라 함은 사용자가 직접 어느 시점을 결정하여 이 부분의 판단요인을 고치기 때문에 명명된 것이다. 이 때에 전체 지식베이스를 이에 따라 고쳐 주어야 하는데 사용자는 이 부분에 관하여는 고칠 필요없이 해당 판단요인만을 고치고 나머지는 시스템이 해당 지식베이스를 고치게끔 설계되어 사용자의 편의를 도모하고 있다.

5.5.2 System-driven 학습

이 모듈은 사용자가 직접 해당시점을 결정하는 것이 아니고 시스템에서 정정이 필요한 시점을 결정하여 사용자로 하여금 판단요인을 수정하도록 하는 역할을 수행한다. 이 때에 시스템에서 수정되어야 할 시점을 어떻게 결정하느냐가 중요한 데 현재 채택하고 있는 방법은 통계절차에서 흔히 이용되고 있는 것으로 통계적 예측과정상에서의 표준오차의 3배를 그 기준으로 삼고 있다. 따라서 예측오류의 절대값의 크기가 표준오차의 3배 보다 작은 경우는 무시하고 이 보다 큰 경우의 해당 시점을 사용자에게 제시하고 고치도록 지원해 주고 있다.

5.6 Database 와의 연결

실제 UNIK-FCST 에서 database 라 함은 부적절하나 장기적으로 data 부분을 database 화 해야 하기때문에 붙여진 이름임을 주지하고자 한다. 현재의 시스템에서는 통계적 예측에 필요로되는 과거 실적자료들을 파일의 형태로 보관하고 있다. 다만 사용자의 편의를 위해서 파일에 수록된 사항을 시스템안에서 쉽게 고칠 수 있도록 지원하고 있다. 그러나 예측해야할 대상이 많음을 감안할 때 이러한 단순한 지원형태도 큰 의미

를 갖게 된다.

5.7 사용예

5.7.1 통계적 예측과정의 사용예

UNIK-FCST 의 최상위 화면은 <그림 5-7> 에 나타나 있다. 사용자는 다섯가지의 subsystem 중에서 원하는 module 을 선택하면 된다. 본 예에서는 먼저 Forecasting subsystem 을 선택해 보자. <그림 5-8> 은 Forecasting subsystem 을 선택한 결과의 화면을 나타낸 것이다. 이 중에서 Statistical forecasting system 을 선택하면 <그림 5-9> 를 만나게 된다. 여러개의 예측대상으로 부터 하나를 선택하면, 예를 들어 propane-agent, <그림 5-10> 에서 나타난 바와 같이 예측대상의 default 자료 파일 이름을 보여 주면서 다른 파일로 부터 자료를 입력시키고자 하는 경우에는 파일 이름을 입력하도록 허용하고 있다. Prop_A.dat 에 자료가 수록되어 있다면 <Return> 키를 입력하면 된다. 자료 파일로 부터 데이터의 입력이 끝나면 통계적 예측모델에 관한 정보를 입력 받도록 <그림 5-11> 과 같은 화면이 나타난다.

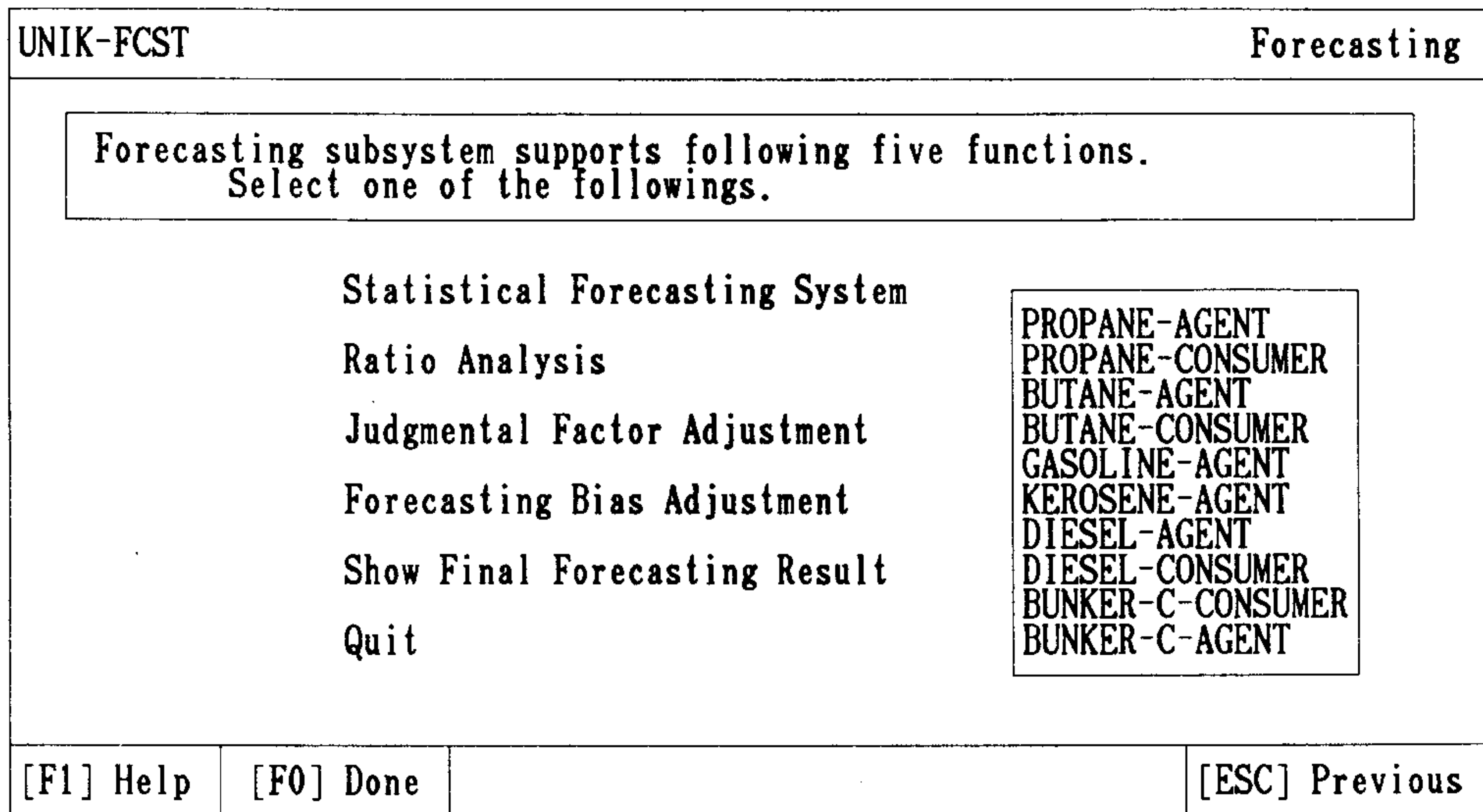
현재의 원형 시스템에서는 통계모델의 결과를 파일을 통해 시스템이 받아들여지게 되어 있기 때문에 실제로 UNIK-FCST 안에는 통계모델이 없는 것과 같다. 이 부분은 앞으로 보완되어야 할 부분이다. 통계모델로 부터의 예측치의 입력과정에 관한 화면은 <그림 5-12> 에 나타나 있다. 파일이름이 propagt.out 라고 가정해 보자. 일단 통계적 예측치를 읽고 난 후에는 <그림 5-13> 과 같은 화면이 나타나 예측결과에 관한 그래프를 보고 싶은가에 대해서 물어 본다. 보고 싶은 경우 Y(y) 를 입력하면 <그림 5-14> 에서와 같이 기간에 대해 입력을 받게 되고 예를 들어 1987 년 10 월 부터의 그래프를 보고 싶은 경우 <그림 5-15> 와 같은 그래프를 볼 수 있다. 그래프는 전체적인 개략을 보기에 적절하므로 사용자가 예측모델이 부적당하다고 판단되는 경우 다시 통계적

UNIK-FCST	Top level
<p>UNIK-FCST supports forecaster with many forecasting techniques. It also includes relevant judgmental factors.</p>	
<p>Forecasting Subsystem Learning Subsystem Database Manager Saving Results Report Exit from UNIK-FCST</p>	
[F1] Help	

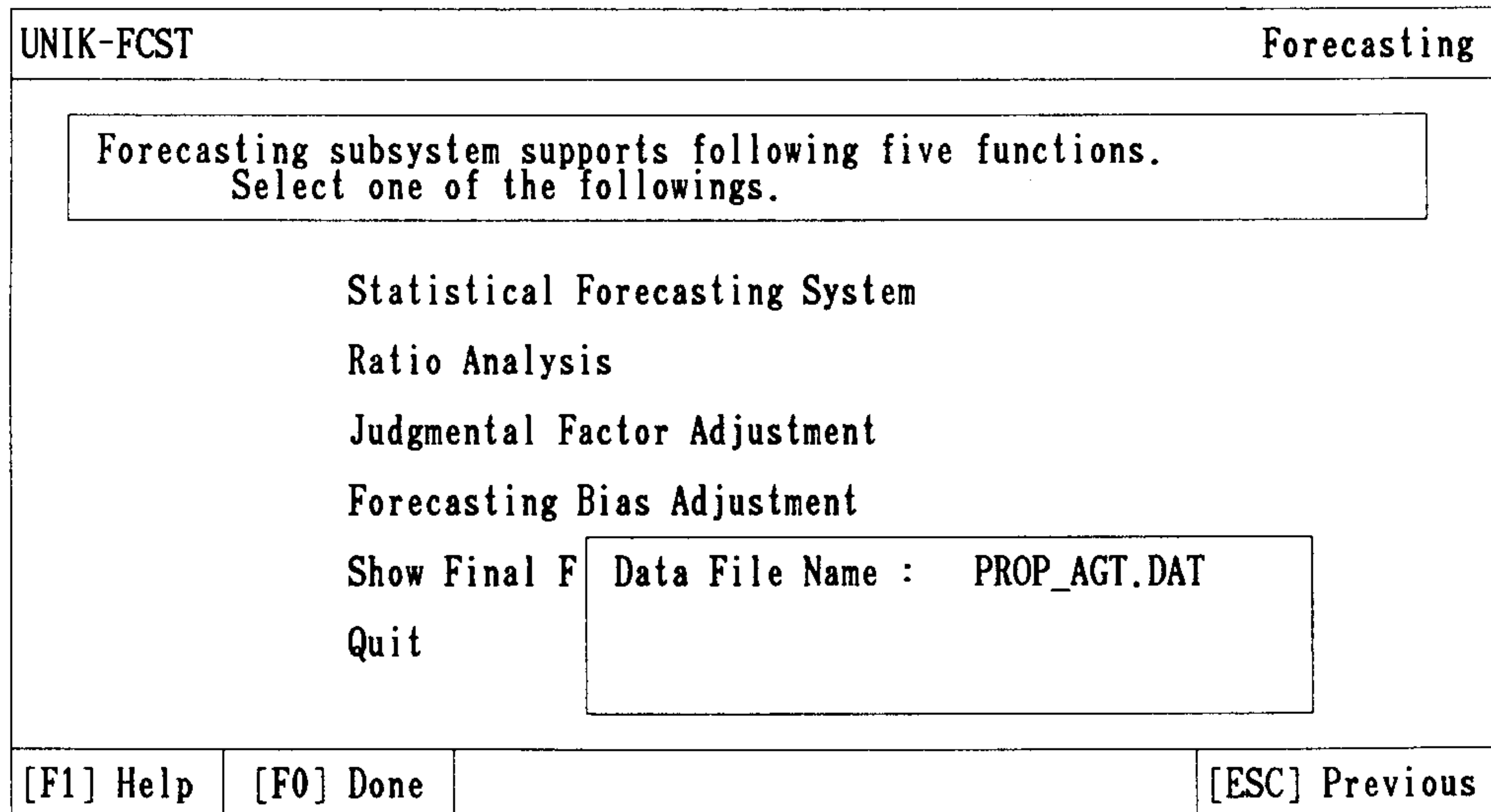
<그림 5-7 > UNIK-FCST 의 최상위 화면

UNIK-FCST	Forecasting
<p>Forecasting subsystem supports following five functions. Select one of the followings.</p>	
<p>Statistical Forecasting System Ratio Analysis Judgmental Factor Adjustment Forecasting Bias Adjustment Show Final Forecasting Result Quit</p>	
[F1] Help	[F0] Done
	[ESC] Previous

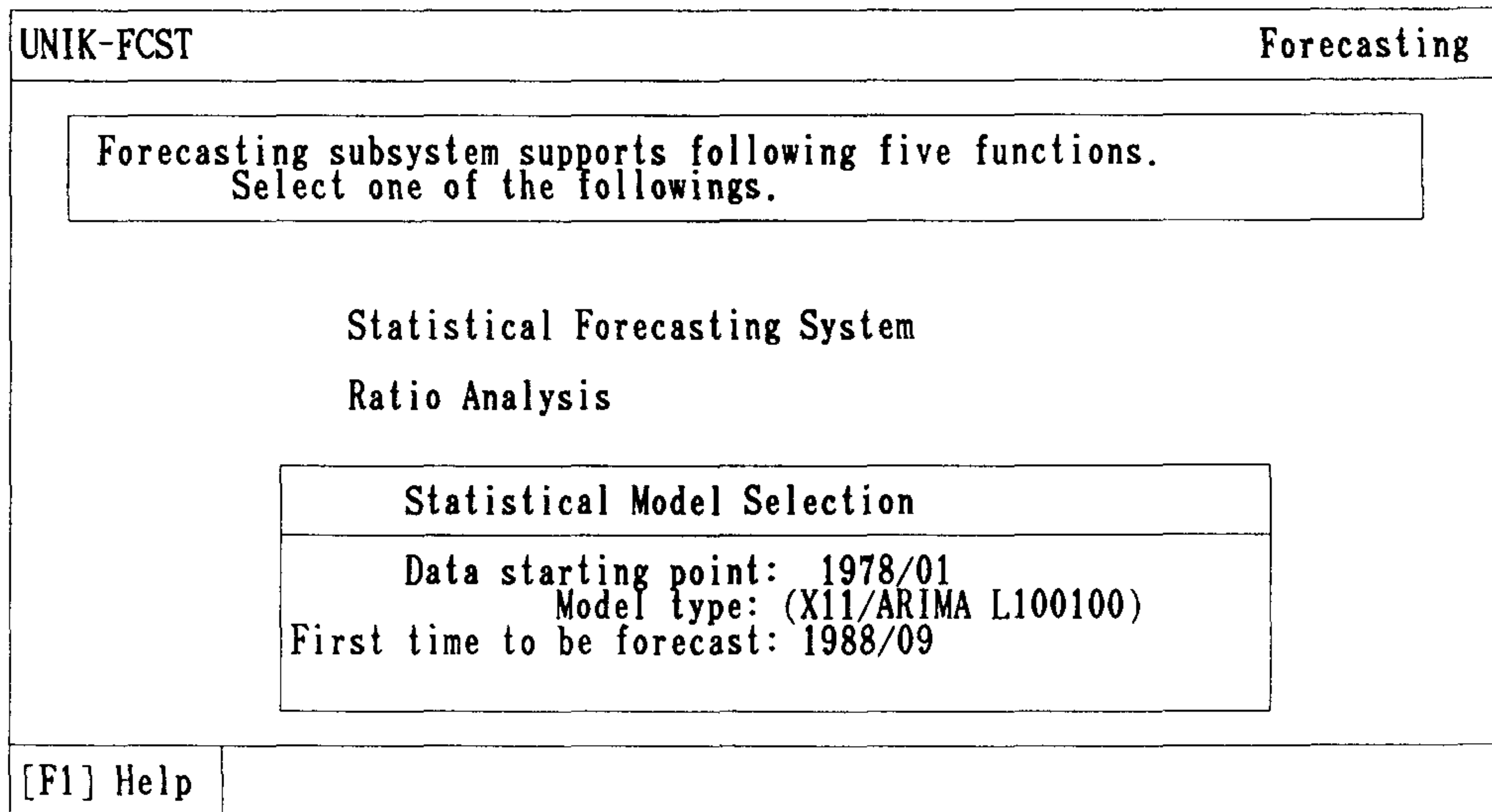
<그림 5-8> Forecasting Subsystem 의 화면 (1)



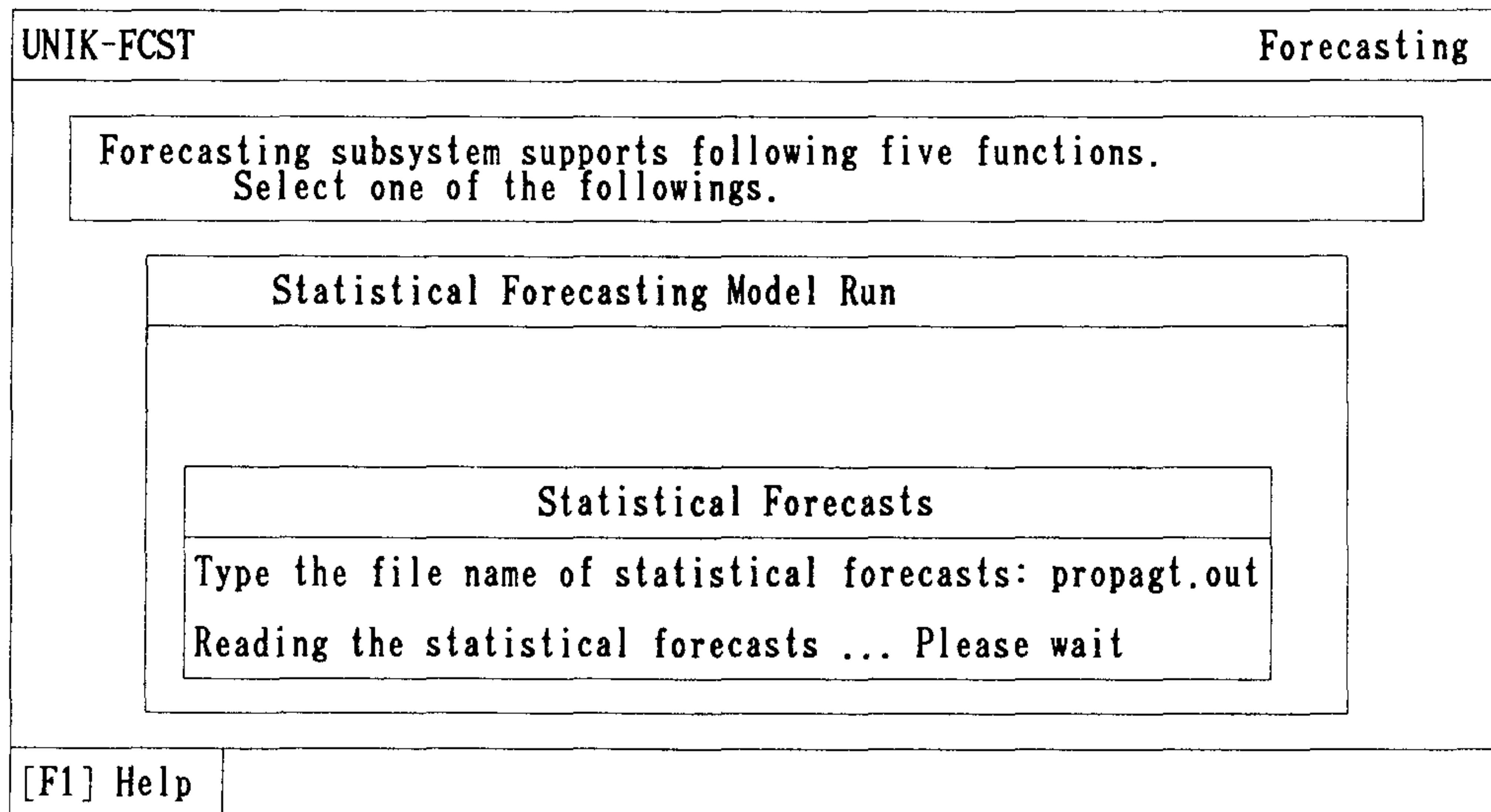
<그림 5-9> Forecasting Subsystem 의 화면 (2)



<그림 5-10> Forecasting Subsystem 의 화면 (3)



<그림 5-11> Forecasting Subsystem 의 화면 (4)



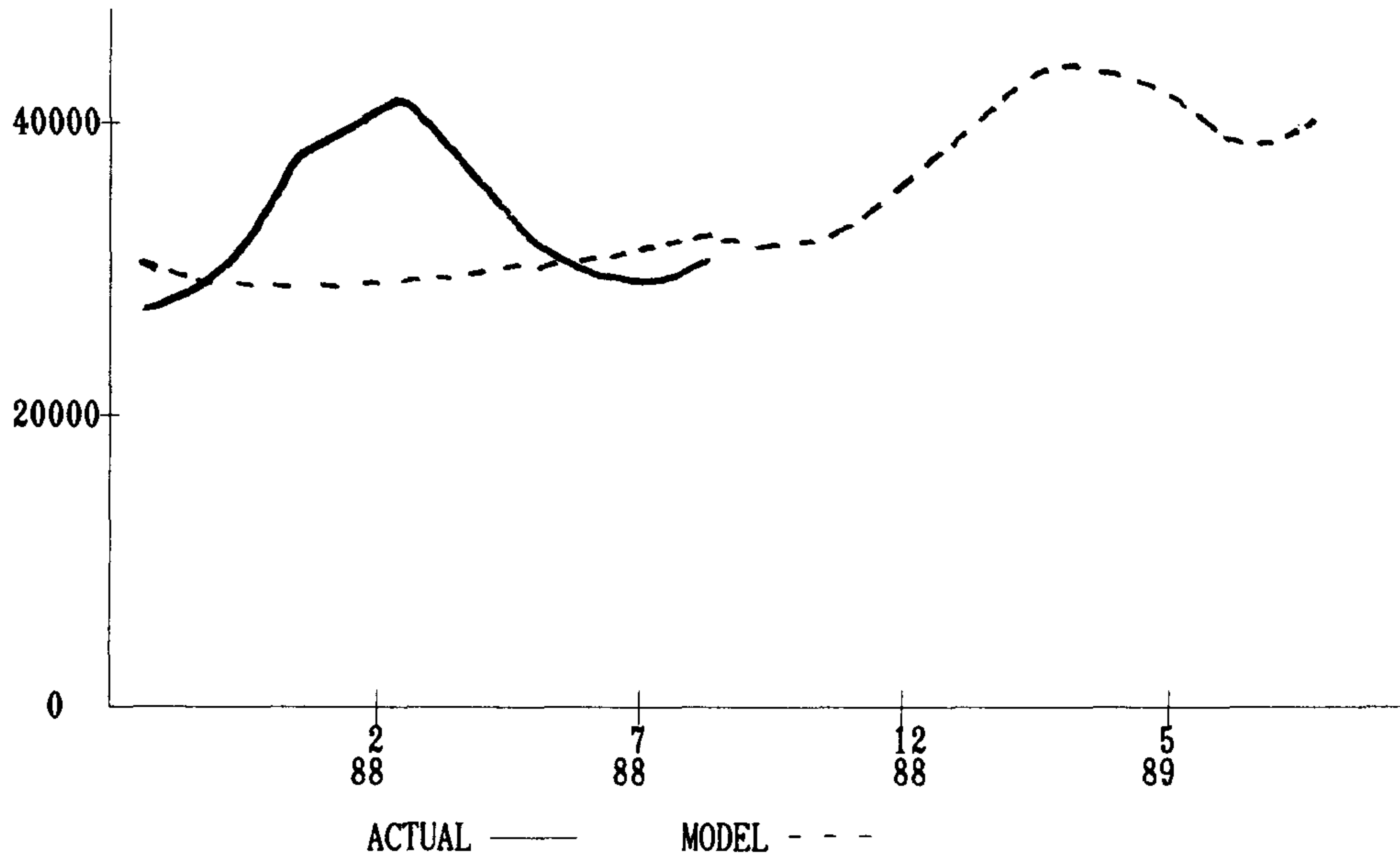
<그림 5-12> Forecasting Subsystem 의 화면 (5)

UNIK-FCST	Forecasting
<p>Forecasting subsystem supports following five functions. Select one of the followings.</p>	
<p>Statistical Forecasting Model Run</p>	
<p>Show the graph : forecasts and original series</p>	
<p>Do you want to see the graph ? (Y/N)</p>	
[F1] Help	

<그림 5-13> Forecasting Subsystem 의 화면 (6)

UNIK-FCST	Forecasting
<p>Forecasting subsystem supports following five functions. Select one of the followings.</p>	
<p>Statistical Forecasting Model Run</p>	
<p>Show the graph : forecasts and original series</p>	
<p>Type the starting year : 1987</p>	
<p>Type the starting month : 10</p>	
[F1] Help	

<그림 5-14> Forecasting Subsystem 의 화면 (7)



<그림 5-15> 실적치와 통계적 예측치의 그래프

예측모델을 구성할 수 있을 것이다.

5.7.2 비율분석에 의한 예측에

통계적 예측모델로 부터의 예측이 곤란한 경우 비율분석을 통해 예측하고자 하는 경우 <그림 5-8> 의 Ratio Analysis 를 선택하면 <그림 5-16> 과 같은 화면을 보게 된다. 이 그림에서 2nd : ratio (last-year) 는 전년동월대비를 의미하고 3rd : ratio (last-month) 는 동년전월대비를 의미한다. UNDEF 는 아직 발생하지 않아서 결정되지 않은 실적치이다. 이 경우는 통계적 예측치를 비율분석에 의해 고치고자 하는 경우이기 때문에 통계적 예측치가 나타나 있다. 그렇지 않고 비율분석에 의해 예측하고자 하는 경우에는 통계적 예측치 부분이 공란으로 나타날 것이다. 고치고자 하는 부분에 커서를

화살표 키를 이용하여 옮겨 놓고 lisp 표현을 이용하여 사칙연산을 할 수 있다. 이 경우의 화면은 <그림 5-17> 에 나타나 있다.

UNIK-FCST											Forecasting		
1987						1988							
30858	31554	33925	39450	40009	41393	38349	35530	34881	35466	35708	36500		
1.298	1.327	1.282	1.37	1.345	1.418	1.374	1.295	1.3	1.259	1.244	1.246		
1.054	1.023	1.076	1.163	1.015	1.035	0.927	0.927	0.982	1.017	1.007	1.023		
1st : actual values 2nd : ratio (last-year) 3rd : ratio (last-month)													
1988						1989							
38916	39473	43333	48854	49468	49382	46355	44013	43045	44053	44585	45027		
1.262	1.251	1.278	1.239	1.237	1.194	1.209	1.239	1.235	1.243	1.249	1.234		
1.067	UNDEF	UNDEF	UNDEF	UNDEF	UNDEF	UNDEF	UNDEF	UNDEF	UNDEF	UNDEF	UNDEF		
38916	39476	43333	48854	49468	49382	46355	44013	43045	44053	44585	45027		
1st : actual values 2nd : ratio (last-year) 3rd : ratio (last-month)													
[F1] Help			[F0] Done									[Esc] Previous	

<그림 5-16> Forecasting Subsystem 의 화면 (8)

UNIK-FCST											Forecasting		
1987						1988							
30858	31554	33925	39450	40009	41393	38349	35530	34881	35466	35708	36500		
1.298	1.327	1.282	1.37	1.345	1.418	1.374	1.295	1.3	1.259	1.244	1.246		
1.054	1.023	1.076	1.163	1.015	1.035	0.927	0.927	0.982	1.017	1.007	1.023		
1st : actual values 2nd : ratio (last-year) 3rd : ratio (last-month)													
1988						1989							
38916	39473	43333	48854	49468	49382	46355	44013	43045	44053	44585	45027		
1.262	1.251	1.278	1.239	1.237	1.194	1.209	1.239	1.235	1.243	1.249	1.234		
1.067	UNDEF	UNDEF	UNDEF	UNDEF	UNDEF	UNDEF	UNDEF	UNDEF	UNDEF	UNDEF	UNDEF		
38916		43333	48854	49468	49382	46355	44013	43045	44053	44585	45027		
1st : actual values 2nd : ratio (last-year) 3rd : ratio (last-month)													
(* 1.1 39473)													
[F1] Help			[F0] Done									[Esc] Previous	

<그림 5-17> Forecasting Subsystem 의 화면 (9)

5.7.3 판단요인의 고려예

판단요소를 고려하여 통계적인 예측치나 비율분석을 통해 얻은 예측치를 보정하고자 하는 경우에 <그림 5-8> 의 Judgmental Factor Adjustment 를 선택하여 예측대상을 결정하면 (이 경우는 계속 propane-agent 의 경우를 예로 들고 있음) <그림 5-18> 과 같이 기간을 결정하는 화면을 만나게 된다. 12 개월 연동 예측을 하기 때문에 데이터 파일의 최종 실적치로 부터 12 개월 앞의 예측치에 대한 기간으로 부터 하나를 선택하도록 되어 있다. (1988 SEP) 를 선택하면 <그림 5-19> 와 같은 화면이 나타나는데 Month-related Factor 화면은 같은 달에 발생한 판단요소가 어떠한 것이 있는 가를 보여주는 화면이다. 과거 9 월에 발생했던 판단요소가 없기 때문에 None. 이라는 내용이 보여 지고 있다.

다음으로 예상되는 판단요소를 선택하는 화면이 <그림 5-20> 과 같이 보여 진다. 이 중에서 발생하리라고 예상되는 판단요소를 고르면 (예를 들어 Strike) <그림 5-21> 과 같은 화면이 나타나 과거 판단요소를 고르도록 하고 있다. All Instances 는 과거에 발생한 모든 strike 의 사례를 고려하여 예상되는 strike 의 효과를 추정하겠다는 것이고 Show and Selection 은 하나하나의 내용을 보면서 선택하겠다는 것이고 Context Matching 은 일정한 조건을 주고 이 조건에 맞는 사례만을 고려하겠다는 것이다. 과거 사례들의 선택이 끝나고 난 후에는 (이 경우 All Instances) 효과를 추정하는 방법을 선택해야 하는 데 이 화면이 <그림 5-22> 와 <그림 5-23> 에 나타나 있다. 현재 구현된 방법은 average (default), moving average, recent value, arbitrary, new method, show instance 등이다. 최근치를 선택하면 <그림 5-24> 와 같은 화면을 만나게 되고 이 방법에 동의하면 Y(y) 를 입력하면 된다.

5.7.4 예측자의 편기조정에

UNIK-FCST		Judgmental Adjustment	
Forecasting Target : PROPANE-AGENT Period : (1988 SEP) ~ (1989 AUG)			
			(1988 SEP) (1988 OCT) (1988 NOV) (1988 DEC) (1989 JAN) (1989 FEB) (1989 MAR) (1989 APR) (1989 MAY) (1989 JUN) (1989 JUL) (1989 AUG)
[F1] Help	[F0] Done		[Esc] Previous

<그림 5-18> Judgmental Factor Adjustment 의 화면 (1)

UNIK-FCST		Judgmental Adjustment			
Forecasting Target : PROPANE-AGENT Period : (1988 SEP) ~ (1989 AUG)					
Working Month : (1988 SEP)					
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Month Related Factors</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>None.</td> </tr> </tbody> </table>		Month Related Factors	None.	(1988 SEP) (1988 OCT) (1988 NOV) (1988 DEC) (1989 JAN) (1989 FEB) (1989 MAR) (1989 APR) (1989 MAY) (1989 JUN) (1989 JUL) (1989 AUG)	
Month Related Factors					
None.					
[F1] Help	[F0] Done		[Esc] Previous		

<그림 5-19> Judgmental Factor Adjustment 의 화면 (2)

UNIK-FCST		Judgmental Adjustment					
Forecasting Target : PROPANE-AGENT Period : (1988 SEP) ~ (1989 AUG)							
		Working Month : (1988 SEP)					
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Month Related Factors</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>None.</td> </tr> </tbody> </table>	Month Related Factors	None.	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Select all expected factors</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td> STRIKE PRICE-INCREASE PRICE-DECREASE GAS-HEATING-INSTRUMENT ELECTION VERY-HOT-WEATHER New-Factors </td> </tr> </tbody> </table>			Select all expected factors	STRIKE PRICE-INCREASE PRICE-DECREASE GAS-HEATING-INSTRUMENT ELECTION VERY-HOT-WEATHER New-Factors
Month Related Factors							
None.							
Select all expected factors							
STRIKE PRICE-INCREASE PRICE-DECREASE GAS-HEATING-INSTRUMENT ELECTION VERY-HOT-WEATHER New-Factors							
[F1] Help	[F0] Done	[Esc] Previous					

<그림 5-20> Judgmental Factor Adjustment 의 화면 (3)

UNIK-FCST		Judgmental Adjustment			
Forecasting Target : PROPANE-AGENT Period : (1988 SEP) ~ (1989 AUG)					
Factor : STRIKE		Working Month : (1988 SEP)			
		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Instance Selection</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td> All Instances Show and Selection Context Matching </td> </tr> </tbody> </table>		Instance Selection	All Instances Show and Selection Context Matching
Instance Selection					
All Instances Show and Selection Context Matching					
[F1] Help	[F0] Done	[Esc] Previous			

<그림 5-21> Judgmental Factor Adjustment 의 화면 (4)

UNIK-FCST	Judgmental Adjustment	
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 0 auto; width: 80%;"> Forecasting Target : PROPANE-AGENT Period : (1988 SEP) ~ (1989 AUG) </div>		
Factor : STRIKE	Working Month : (1988 SEP)	
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 0 auto; width: 80%;"> Type : (TRANSIENT) We have 2 case(s). And we recommend -750.0 with average Do you agree with method ? (y/n) </div>	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 0 auto; width: 80%;"> Instance Selection All Instances Show and Selection Context Matching </div>	
[F1] Help	[F0] Done	[Esc] Previous

<그림 5-22> Judgmental Factor Adjustment 의 화면 (5)

UNIK-FCST	Judgmental Adjustment	
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 0 auto; width: 80%;"> Forecasting Target : PROPANE-AGENT Period : (1988 SEP) ~ (1989 AUG) </div>		
Factor : STRIKE	Working Month : (1988 SEP)	
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 0 auto; width: 80%;"> Type : (TRANSIENT) We have 2 case(s). And we recommend -750.0 with average Do you agree with method ? (y/n) </div>	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 0 auto; width: 80%;"> Suggestible Method AVERAGE MOVING-AVERAGE1 RECENT-VALUE ARBITRARY NEW-METHOD Show-Instances </div>	
[F1] Help	[F0] Done	[Esc] Previous

<그림 5-23> Judgmental Factor Adjustment 의 화면 (6)

UNIK-FCST		Judgmental Adjustment	
Forecasting Target : PROPANE-AGENT Period : (1988 SEP) ~ (1989 AUG)			
Factor : STRIKE		Working Month : (1988 SEP)	
Type : (TRANSIENT) We have 2 case(s). And we recommend -700 with RECENT-VALUE		Suggestible Method AVERAGE MOVING-AVERAGE1 RECENT-VALUE ARBITRARY NEW-METHOD Show-Instances	
Do you agree with method ? (y/n)			
[F1] Help	[F0] Done		[Esc] Previous

<그림 5-24> Judgmental Factor Adjustment 의 화면 (7)

Forecasting Bias Adjustment 를 위해서는 <그림 5-8> 의 해당 메뉴를 선택하면 <그림 5-25> 의 화면이 나타나 모든 예측치를 고려하겠느냐 아니면 계절별로 고려하겠느냐를 묻게 되고 계절별로 고려하겠다는 메뉴를 선택하면 <그림 5-26> 과 <그림 5-27> 이 나타나 예측오류의 양을 고려하겠느냐 혹은 예측오류의 비율을 고려 하겠느냐를 묻는다. 양을 선택하면 <그림 5-28> 과 같은 결과 화면이 나오게 된다. 앞서 언급한 바와 같이 T+ 는 Wilcoxon 의 부호불은 순위 통계량이다. 이 화면의 해석은 유의수준 0.0218 정도가 되어야만 예측편기가 존재하지 않는다는 것을 기각할 수 없게 된다. 우리가 흔히 받아들이는 95 % 수준에서는 귀무가설이 기각되어 예측편기가 존재한다는 결론이 나오게 된다.

UNIK-FCST		Forecasting	
<p>Forecasting subsystem supports following five functions. Select one of the followings.</p>			
<p>Statistical Forecasting System</p>			
<p>Ratio Analysis</p>			
<p>Consider Seasonal Forecasts</p>			
<p>Consider Whole Forecasts</p>			
<p>Quit</p>			
<p>Quit</p>			
[F1] Help	[F0] Done		[ESC] Previous

<그림 5-25> Forecasting Bias Adjustment 의 화면 (1)

UNIK-FCST		Forecasting	
<p>Forecasting subsystem supports following five functions. Select one of the followings.</p>			
<p>Statistical Forecasting System</p>			
<p>Ratio Analysis</p>			
<p>Spring (Mar Apr May)</p>			
<p>Summer (Jun Jul Aug)</p>			
<p>Autumn (Sep Oct Nov)</p>			
<p>Winter (Dec Jan Feb)</p>			
<p>Quit</p>			
<p>Quit</p>			
[F1] Help	[F0] Done		[ESC] Previous

<그림 5-26> Forecasting Bias Adjustment 의 화면 (2)

UNIK-FCST		Forecasting			
<p>Forecasting subsystem supports following five functions. Select one of the followings.</p>					
<p>Statistical Forecasting System</p>					
<p>Ratio Analysis</p>					
<table border="1"> <tr> <td>Amount</td> </tr> <tr> <td>Ratio</td> </tr> </table>				Amount	Ratio
Amount					
Ratio					
<p>Quit</p>					
[F1] Help	[F0] Done		[ESC] Previous		

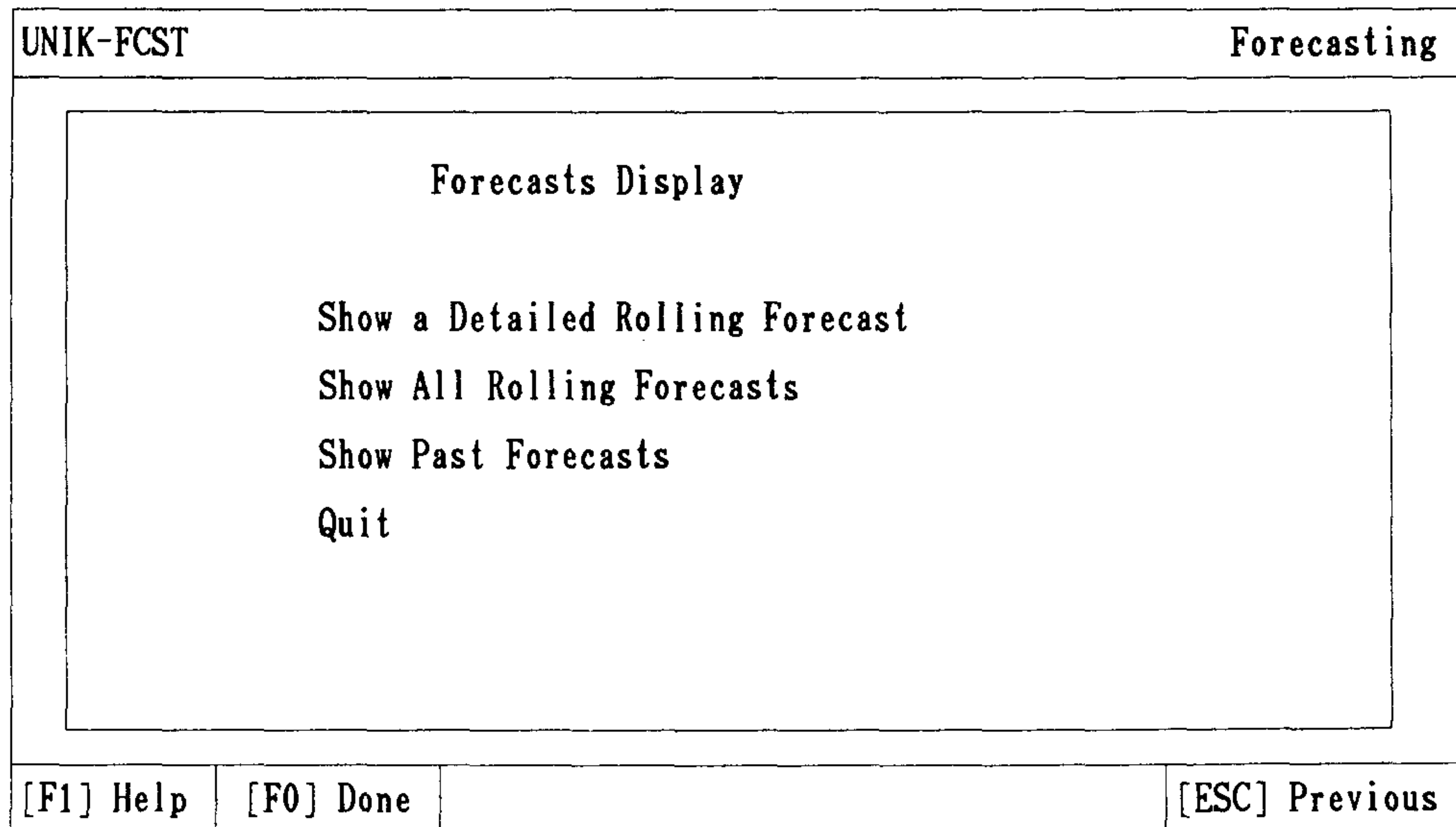
<그림 5-27> Forecasting Bias Adjustment 의 화면 (3)

UNIK-FCST		Forecasting	
<p>Forecasting subsystem supports following five functions. Select one of the followings.</p>			
Target : PROPANE-AGENT		Spring (3 4 5)	
<p>T+ : 157.0 Expectation : 280.5 Variance : 3132.25 Average : -375.576 Median : -162 Z score : -2.20668 Significance level : 0.9782</p>			
[F1] Help	[F0] Done		[ESC] Previous

<그림 5-28> Forecasting Bias Adjustment 의 화면 (4)

5.7.5 예측결과 display

위에서 얻은 예측결과를 화면으로 보고 싶은 경우 <그림 5-8> 에서 해당 메뉴를 선택하면 <그림 5-29> 와 같은 화면을 만나고 해당 메뉴에 따라서 <그림 5-29> 에서 <그림 5-35> 까지의 화면을 볼 수 있다. <그림 5-30>, <그림 5-31>, <그림 5-32> 는 첫번째 메뉴에 해당되는 화면들이고 <그림 5-33> 은 두번째 그리고 <그림 5-34> 와 <그림 5-35> 는 각기 마지막 메뉴에 해당되는 화면들이다.



<그림 5-29> Show Final Forecasting Result 의 화면 (1)

UNIK-FCST		Forecasting	
Forecasts Display			
Target : PROPANE-AGENT		Year : 1988 Month : SEP	
1. Statistical Forecast : 38916 2. Factor to Consider : (STRIKE -700) Total : -700 3. Adjusted Forecast : 38216 Change the forecast ? (y/n)			
[F1] Help	[F0] Done		[ESC] Previous

<그림 5-30> Show Final Forecasting Result 의 화면 (2)

UNIK-FCST		Forecasting	
Forecasts Display			
Target : PROPANE-AGENT		Year : 1988 Month : SEP	
1. Statistical Forecast : 38916 2. Factor to Consider : (STRIKE -700) Total : -700 3. Adjusted Forecast : 38216 Change the forecast ? (y/n) Enter Your Forecast : 39216			
[F1] Help	[F0] Done		[ESC] Previous

<그림 5-31> Show Final Forecasting Result 의 화면 (3)

UNIK-FCST		Forecasting	
Forecasts Display			
Target : PROPANE-AGENT		Year : 1988 Month : SEP	
1. Statistical Forecast : 38916 2. Factor to Consider : (USER-SUBJECTIVE 1000) (STRIKE -700) Total : 300 3. Adjusted Forecast : 39216 Change the forecast ? (y/n)			
[F1] Help	[F0] Done		[ESC] Previous

<그림 5-32> Show Final Forecasting Result 의 화면 (4)

UNIK-FCST		Forecasting			
YEAR	MONTH	STAT.FCST	JUDGMENTAL FACTORS	EFFECT	ADJ.FCST
1988	SEP	38916	USER-SUBJECTIVE STRIKE	300	39216
1988	OCT	39473	USER-SUBJECTIVE	3947.29	43420.3
1988	NOV	43333	PRICE-DECREASE	500	43833
1988	DEC	48854	NONE	0	48854
1989	JAN	49468	NONE	0	49468
1989	FEB	49382	NONE	0	49382
1989	MAR	46355	NONE	0	46355
1989	APR	44013	NONE	0	44013
1989	MAY	43045	NONE	0	43045
1989	JUN	44053	NONE	0	44053
1989	JUL	44585	NONE	0	44585
1989	AUG	45027	NONE	0	45027
[F1] Help	[F0] Done		[ESC] Previous		

<그림 5-33> Show Final Forecasting Result 의 화면 (5)

UNIK-FCST		Forecasting
Showing past forecasts with their actual values		
Type the starting period :		
Year : 1987		
Month : 10		
[F1] Help	[F0] Done	[ESC] Previous

<그림 5-34> Show Final Forecasting Result 의 화면 (6)

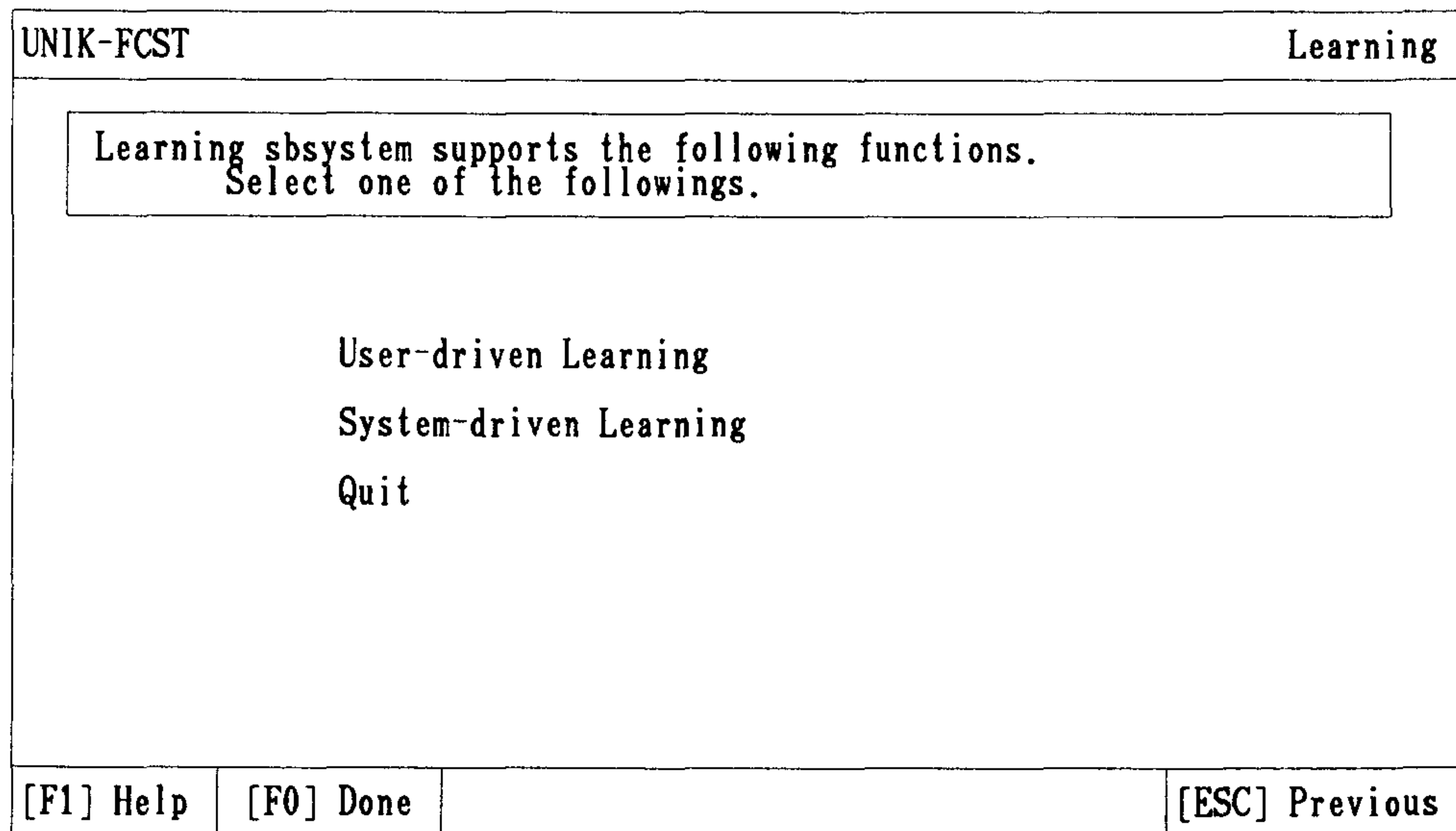
UNIK-FCST		Forecasting				
YEAR	MONTH	STAT.FCST	JUDGMENTAL FACTORS	EFFECT	ADJ.FCST	ACTUAL
1987	OCT	33179	PRICE-DECREASE	250	33429	31554
1987	NOV	32685	NONE	0	32685	33925
1987	DEC	34597	GAS-HEATING-INSTRUMENT	900	35497	39450
1988	JAN	35291	GAS-HEATING-INSTRUMENT	1100	36391	40009
1988	FEB	38038	GAS-HEATING-INSTRUMENT	1200	39238	41393
1988	MAR	37195	GAS-HEATING-INSTRUMENT	1000	38195	38349
1988	APR	36986	ELECTION	150	37136	35530
1988	MAY	37730	NONE	0	37730	34881
1988	JUN	38099	STRIKE	-700	37399	35466
1988	JUL	38497	STRIKE INCREASE-OF-AUTOMOBILE	-650	37847	35708
1988	AUG	39739	VERY-HOT-WEATHER	1000	40739	36500
1988	SEP	38916	USER-SUBJECTIVE STRIKE	300	39216	NIL
[F1] Help	[F0] Done				[ESC] Previous	

<그림 5-35> Show Final Forecasting Result 의 화면 (7)

5.7.6 학습의 예

최상위 메뉴에서 Learning Subsystem 을 선택하면 <그림 5-36> 의 화면을 만나게 되고 User-driven learning 을 선택하여 기간을 정하면 <그림 5-37> 과 같은 화면을 볼 수 있다. <그림 5-38> 의 세가지 메뉴중에서 Include instances 를 선택하면 <그림 5-39> 의 화면이 나오고 여러개의 판단요소중에서 선택하게 되면 <그림 5-40> 과 같은 화면이 나타나 해당 사례의 입력을 기다린다.

System-driven learning 을 선택하면 예측오류들 중에서 오차가 예측의 표준오차의 3 배가 넘는 경우에는 <그림 5-41> 와 같은 화면이 나타나고 이후 <그림 5-38> 이 나타나 입력을 기다린다. 이후의 과정은 user-driven learning 의 경우와 같다. 일단 고치고 난 후에는 다음달의 예측오류를 점검하고 오류가 적은 경우는 그 다음달로 넘어간다.



<그림 5-36> Learning 의 화면 (1)

UNIK-FCST		Learning
<p>Learning subsystem supports the following functions. Select one of the followings.</p>		
Target : PROPANE-AGENT		Year : 1987 Month : 10
<p>1. Statistical Forecast : 33179</p> <p>2. Factor to Consider : (PRICE-DECREASE 250) Total: 250</p> <p>3. Adjusted Forecast : 33429</p> <p>4. Real Value : 31554 (ERROR) : -1875</p>		
[F1] Help	[F0] Done	[ESC] Previous

<그림 5-37> Learning 의 화면 (2)

UNIK-FCST		Learning					
<p>Learning subsystem supports the following functions. Select one of the followings.</p>							
Target : PROPANE-AGENT		Year : 1987 Month : 10					
<p>1. Statistical Forecast : 33179</p> <p>2. Factor to Consider :</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td>Select one of the following</td> </tr> <tr> <td>Change the instances</td> </tr> <tr> <td>Include instances</td> </tr> <tr> <td>Exclude instances</td> </tr> <tr> <td>Quit</td> </tr> </table>			Select one of the following	Change the instances	Include instances	Exclude instances	Quit
Select one of the following							
Change the instances							
Include instances							
Exclude instances							
Quit							
[F1] Help	[F0] Done	[ESC] Previous					

<그림 5-38> Learning 의 화면 (3)

UNIK-FCST	Learning
<p>Learning subsystem supports the following functions. Select one of the followings.</p>	
<p>Target : PROPANE-AGENT Year : 1987 Month : 10</p>	
<p>1. Statistical Forecast : 33179</p>	<p>Select all expected factors</p>
<p>2. Factor to Consider :</p>	<p>STRIKE PRICE-INCREASE PRICE-DECREASE GAS-HEATING-INSTRUMENT ELECTION VERY-HOT-WEATHER New-Factors</p>
<p style="text-align: center;">Select one of the following</p>	
<p style="text-align: center;">Change the instances Include instances Exclude instances Quit</p>	
[F1] Help	[F0] Done [ESC] Previous

<그림 5-39> Learning 의 화면 (4)

UNIK-FCST	Learning
<p>Target : PROPANE-AGENT (1987 10) ERROR : -1875</p>	
<p>Target : PROPANE-AGENT Year : 1987 Month : 10</p>	
<pre> {{ By-Factor-19 IS-A : *INSTANCE-BY-FACTOR* YEAR : 1987 MONTH : 10 INSTANCE-OF : PROPANE-AGENT FACTOR : STRIKE EFFECT : 1000 }} </pre>	
[F1] Help	[F0] Done [ESC] Previous

<그림 5-40> Learning 의 화면 (5)

UNIK-FCST		Learning
Target : PROPANE-AGENT (1978 1)		ERROR : 235
Target : PROPANE-AGENT		Year : 1978 Month : 1
1. Statistical Forecast: 2106 2. Factor to Consider : Total : 0 3. Adjusted Forecast : 2106 4. Real Value : 2341 (ERROR) : 235		
[F1] Help	[F0] Done	[ESC] Previous

<그림 5-41> Learning 의 화면 (6)

5.7.7 Data 관리의 예

최상위 메뉴에서 Database Manager 를 선택하면 <그림 5-42> 의 화면이 나오
고 <그림 5-43> 과 <그림 5-44> 는 data input 을 선택했을 때의 화면으로 1989 년
9 월의 실적치 45678 의 입력에 관련된 화면이다. <그림 5-45> 는 data correction
의 경우로써 해당 부분에 가서 수정치를 입력하면된다.

5.7.8 저장과 Report 의 예

최상위의 Save Results 는 <그림 5-46> 에 나타나 있고 Report 모듈은
<그림 5-29> 의 각각에 대해서 선택된 내용을 프린터를 통해 하드카피로 결과를 받을
수 있도록 고안된 모듈이다. Report 의 종류가 결정되면 다양한 report 를 받을 수 있
을 것이다.

UNIK-FCST		Database Manager	
Data Base Manager subsystem supports following two functions. Select one of the followings.			
Data Input Data Correction Quit			
[F1] Help	[F0] Done		[ESC] Previous

<그림 5-42> Database Manager 의 화면 (1)

UNIK-FCST		Database Manager											
		Data Input						PROPANE-AGENT					
	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	
78	2341	2451	2483	2547	2407	2537	2406	2665	2789	2998	3478	3689	
79	3728	3854	3944	3881	3764	3780	3738	3542	4233	3976	4700	5304	
80	5505	4807	4671	4686	4492	4371	4521	4661	4663	5151	5419	6301	
81	6297	5828	5894	5684	5450	5377	5363	5468	5872	6271	7058	7073	
82	7560	6990	7070	6794	6554	6929	7163	7100	7756	8110	9140	10510	
83	10050	9300	9410	9054	9002	9125	9112	9071	9934	10348	11924	13739	
84	43270	12280	12530	11708	11600	11703	11750	11876	12916	13484	15118	17276	
85	17633	17400	16600	14991	14491	14981	15338	15185	16778	16772	18950	21262	
86	21709	22089	20024	20329	20353	20980	21944	21970	23778	23796	26468	28811	
87	29752	29206	27925	27454	26850	28187	28725	29303	30858	31554	33925	39450	
88	40009	41393	38349	35530	34881	35466	35708	36500	****				
[F1] Help	[F0] Done											[ESC] Previous	

<그림 5-43> Database Manager 의 화면 (2)

UNIK-FCST													Database Manager
	Data Input						PROPANE-AGENT						
	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	
78	2341	2451	2483	2547	2407	2537	2406	2665	2789	2998	3478	3689	
79	3728	3854	3944	3881	3764	3780	3738	3542	4233	3976	4700	5304	
80	5505	4807	4671	4686	4492	4371	4521	4661	4663	5151	5419	6301	
81	6297	5828	5894	5684	5450	5377	5363	5468	5872	6271	7058	7073	
82	7560	6990	7070	6794	6554	6929	7163	7100	7756	8110	9140	10510	
83	10050	9300	9410	9054	9002	9125	9112	9071	9934	10348	11924	13739	
84	43270	12280	12530	11708	11600	11703	11750	11876	12916	13484	15118	17276	
85	17633	17400	16600	14991	14491	14981	15338	15185	16778	16772	18950	21262	
86	21709	22089	20024	20329	20353	20980	21944	21970	23778	23796	26468	28811	
87	29752	29206	27925	27454	26850	28187	28725	29303	30858	31554	33925	39450	
88	40009	41393	38349	35530	34881	35466	35708	36500	45678				

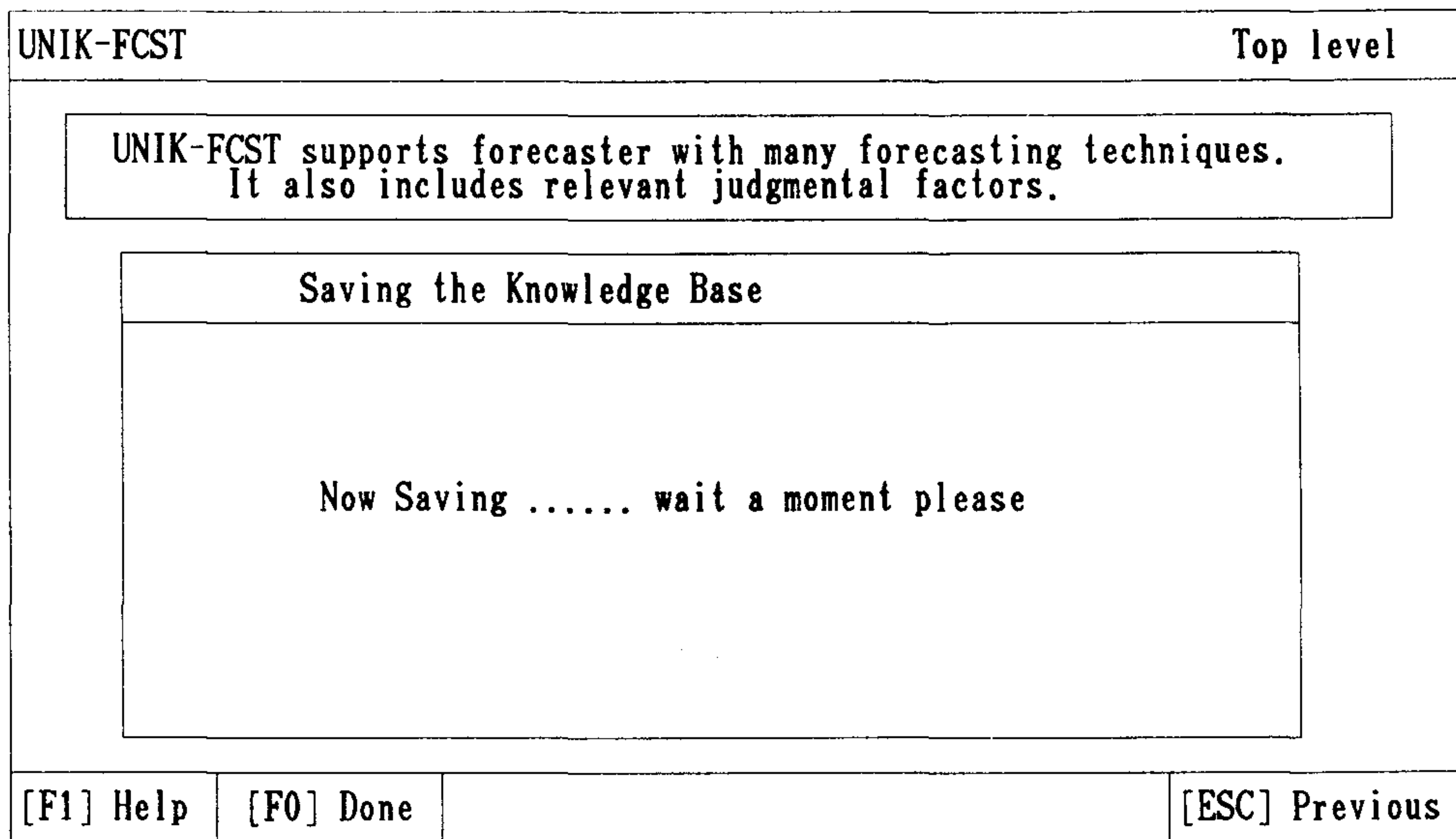
[F1] Help [F0] Done [ESC] Previous

<그림 5-44> Database Manager 의 화면 (3)

UNIK-FCST													Database Manager
	Data Correction						PROPANE-AGENT						
	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	
78	2341	2451	2483	2547	2407	2537	2406	2665	2789	2998	3478	3689	
79	3728	3854	3944	3881	3764	3780	3738	3542	4233	3976	4700	5304	
80	5505	4807	4671	4686	4492	4371	4521	4661	4663	5151	5419	6301	
81	6297	5828	5894	5684	5450	5377	5363	5468	5872	6271	7058	7073	
82	7560	6990	7070	6794	6554	6929	7163	7100	7756	8110	9140	10510	
83	10050	9300	9410	9054	9002	9125	9112	9071	9934	10348	11924	13739	
84	43270	12280	12530	11708	11600	11703	11750	11876	12916	13484	15118	17276	
85	17633	17400	16600	14991	14491	14981	15338	15185	16778	16772	18950	21262	
86	21709	22089	20024	20329	20353	20980	21944	21970	23778	23796	26468	28811	
87	29752	29206	27925	27454	26850	28187	28725	29303	30858	31554	33925	39450	
88	40009	41393	38349	35530	34881	35466	35708	36500	45678				

[F1] Help [F0] Done [ESC] Previous

<그림 5-45> Database Manager 의 화면 (4)



<그림 5-46> Saving Result 의 화면

제 IV 부 결 언

제 IV 부. 결언	IV-0-1
1. UNIK의 활용방안	IV-1-1
2. 결언	IV-2-1

1. UNIK의 활용 방안

UNIK은 독자적 전문가시스템 및 최적화 모형의 개발수단으로 활용될 수 있다. 이와 같은 활용을 보급하기 위해서는 관심 기업이 UNIK를 유지, 보수, 보급, 교육에 참여하여 상업화할 필요가 있겠다. UNIK은 국내의 산업계뿐만 아니라 선진국의 시장에서도 경쟁 상품이 없으므로 진출할 수 있다. 그러나 지식관리 부문만의 종합 도구로서는 KEE, ART, Knowledge Craft, Goldworks 등이 이미 시장을 선점하고 있으므로 이와같은 도구를 이용하여 OPT, PMA, TRANS 등의 기능을 개발 보급하는 것도 한 전략이 될 수 있다. 그러나 국내시장에서는 UNIK를 저렴한 가격으로 보급하여, 국내 전문가시스템 시장을 외국 상품에게 석권 당하는 것을 방지해야 할 것이다.

다른 한 방향으로의 발전방향은 UNIK를 각 산업분야에 응용하면서 각 산업중심의 활용유형을 개발하는 것이다. 이 유형들은 산업별 활용성도 촉진할 뿐만 아니라 산업별 활용형의 소위 Domain-Specific Expert System로서 외국기업에 판매가 가능할 것으로 사료된다. 그리고 국내 AI 교육기반의 취약성을 극복하기 위하여 염가로 교육기관에 보급하여 교육기재로 이용될 수 있도록 하는 데도 이용할 수 있을 것이다.

2. 결론

UNIK와 같은 종류의 연구는 3년만에 끝이 날 성질의 연구가 아니다. 우선 산업화 차원에서 각 산업제로의 확산과정이 뒤따라야 하기 때문이다. 그런데 이 과정에서는 지식의 관리도구가 산업별 특성에 따라 개발되어야 할 것이다. 그리고 On-line 실시간 처리의 도구가 되기 위해서는 하드웨어적인 개선과 소프트웨어적 시간처리 문제가 탐구되어야 할 것이다. 그리고 부호적 추론과 계량적 해법의 원천적 구조의 연결을 위한 연구도 계속되어야 할 것이다. 여기에 세포형태의 구조와의 연결에 관한 연구인 Neural Net의 연구와의 연관성도 탐구되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

[UNIK-FRAME]

Carnegie Group, Knowledge Craft Technical Manual, Vol. 1-3, Carnegie Group Inc., 1986.

Fikes, R., and Kehler, T., "The Role of Frame-Based Representation in Reasoning", Communications of ACM, Vol. 28, 1985.

Steel, G. L., JR., Common LISP Reference Manual, Digital, 1984.

Wilensky, R., Common LISP Craft, W.W.Norton & Company, 1986.

Waterman, D.A., A Guide to Expert System, Addison-Wesley, 1986.

Winston, P. H. and Berthold, K. P. H., LISP, 2-nd ed., Addison-Wesley, 1984.

Gold Hill Computers, GOLDEN COMMON LISP LM Version 2.00, Gold Hill Computers Inc., 1985.

[UNIK-FWD]

Brownston, L., R. Farrell, E. Kant, and N. Martin, Programming Expert Systems in OPS5 : An Introduction to Rule-Based Programming, Addison-Wesley, 1985.

Forgy, C. L., "Rete : A Fast Algorithm for The Many Pattern / Many Object Pattern Match Problem", Artificial Intelligence, Vol. 19, 1982, pp. 17-37.

Gupta, A., et al., "Parellel Algorithm and Architectures for Rule-Based Systems", Communications of ACM, 1986.

Park, B. K., "KAIS-2 : A Knowledge-based Job Shop Scheduling System Using Generate-and -Compare Procedure", Master's thesis, Dept. of Management Science, KAIST, 1988.

Rosenthal, Don, "Adding Meta Rules to OPS5 : A Proposed Extension", SIGPLAN Notices, Vol. 20, No. 10, Oct. 1985.

[UNIK-OPT]

Baldwin, D. and G. M. Kasper, "Toward Representing Management-domain Knowledge", Decision Support Systems, Vol. 2, No. 2, 1986, pp. 159-172.

Binbasioglu, M. and M. Jarke, "Domain Specific DSS Tools for Knowledge-Based Model Building", Decision Support Systems, Vol. 2, No. 3, 1986, pp. 213-223.

Fedorowicz, J. and d. B. Williams, "Representing Modeling Knowledge in an Intelligent Decision Support Systems", Decision Support Systems, Vol. 2, No. 1, March, 1986, pp. 3-14.

Fourer, R., "Modeling Languages Versus Matrix Generators for Linear Programming", ACM Transactions on Mathematical Software, Vol. 9, No. 2, June, 1983, pp. 143-183.

Gelders, Ludo F. and Luk N. Van Wassenhove, "Production Planning : A Review", European Journal of Operations Research, Vol. 7, No. 2, 1981, pp. 101-110.

Geoffrin, A., "Introduction to Structured Modeling", Management Science, Vol. 33, No. 5, May, 1987, pp. 547-588.

Jarke, M. and Y. Vassiliou, "Coupling Expert Systems and Data Base Management

Systems", in : W. Reitman, ed., Artificial Intelligence Applications for Business, Ablex Publishing, Norwood, N.J., 1984, pp. 65-85.

Kats, S., L. J. Risman and M. Rodeh, "A System for Constructing Linear Programming Models", IBM Systems Journal, Vol. 19, No. 4, 1980, pp. 505-520.

Mills, R., R. Fetter and R. Averill, "A Computer Language for Mathematical Programming Formulation", Decision Sciences, Vol. 8, No. 2, 1977, pp. 427-444.

Welch, J. S. Jr., "PAM : A Practitioner's Approach to Modeling", Management Science, Vol. 33, No. 5, May, 1987, pp. 610-625.

Shim, Sung Hoon, "Development of a Tool for Knowledge-based Linear Programming Formulation for Production Management Domain", Master's thesis, Dept. of Management Science, KAIST, 1988.

[UNIK-PMA]

이재규, "Expert System의 기초연구 : 전문가시스템과 계량적 방법론의 보완적 결합", 과학기술처, 1987.

Lee, Jae K., "Solving Semi-structured Problem and the Design of Decision Support System : Post-Model Analysis Approach", Ph. D. Dissertation, Department of Decision Science University of Pennsylvania, 1985.

Lee, Jae K., E. Gerald Hurst Jr. and Jae Sik Lee, "Multiple Criteria Decision Supporting System", working-paper, Department of Management Science, KAIST, 1985.

Lee, Jae K. and Woong K. Lee, "The Integration of Qualitative Models with the Rule Based System by Post-Model Analysis Approach", working-paper, Department

of Management Science, KAIST, 1986.

Lee, Jae K., "Goal Setting in Multiple Criteria Decision Making", The Korean Journal of Operations Research and Management Science Society, 11, 1986, pp. 51-68.

Lee, Jae K. and Ho G. Lee, "Integration of Strategic Planning and Short-term Planning : An Intelligent DSS Approach by Post-Model Analysis Approach", Decision Support Systems, 3, 1987, pp. 141-154.

Lee, Jae K. and E. G. Hurst, "Multiple Criteria Decision Making Including Qualitative Factors : The Post-Model Analysis Approach", Forthcoming in Decision Sciences, Spring, 1988.

Lee, Jae K. and Byung S. Kang, "Intelligent Production Planning System by Post-Model Analysis Approach", Forthcoming in Applied Expert Systems, (ed.) E. Turban and P. R. Watkins, North-Holland, 1988.

Shin, Min Soo, "Development of a Tool to Support Nondominated Tradeoffs in the Post-Model Analysis Environment", Master's thesis, Dept. of Management Science, KAIST, 1988.

Zeleny, Millan, "Multiple Criteria Decision Making", McGraw-Hill, 1982.

부 록

관련 계제 논문과 집필중인 저서

본 연구와 관련하여 게재된 논문 6편과 집필중인 2권의 저서를 다음의 순서로 첨부하였다.

<부 록>

관련 게재 논문 및 집필중인 저서

1. 이재규, E. G. Hurst, "Multiple Criteria Decision Making Including Qualitative Factors : The Post-Model Analysis Approach", Decision Sciences, Vol. 19, No. 2, Spring 1988, pp. 334-352.
2. 이재규, 이호근, "Integration of Strategic Planning and Short-term Planning : An Intelligent DSS Approach by the Post-Model Analysis Approach", Decision Support Systems, Vol. 3, No. 2, June 1987, pp. 141-154.
3. 이재규, 강병선, "Intelligent Production Planning System Using the Post-Model Analysis Approach", Applied Expert Systems, (ed) E. Turban and P. R. Watkins, North-Holland, 1988, pp. 87-106.
4. 이재규, 주석진, 심성훈, 김민용, "A Knowledge-based Formulation of Linear Programming Models using UNIK-OPT", 2nd International Workshop on Artificial Intelligence in Economics and Management, North-Holland, 1989.
5. 이재규, 신민수, "Integration of Linear Programming with Rule-based Systems by the Post-Model Analysis Approach", On Revision to appear in Management Science, 1989.
6. 이재규, 오상봉, 신중철, "UNIK-FCST: Knowledge-assisted Adjustment of Statistical Forecasts", submitted to Journal of Forecasting, 1989.
7. Turban, E. and 이재규, Expert Systems and Manufacturing, McGraw-Hill Publishing Co., forthcoming in 1989. (Table of Contents Attached)
8. 이재규, Knowledge-based Systems and Optimization, Addison Wesley Publishing Co., forthcoming in 1990. (Table of Contents Attached)

MULTIPLE-CRITERIA DECISION MAKING INCLUDING QUALITATIVE FACTORS: THE POST-MODEL ANALYSIS APPROACH

Jae Kyu Lee

Department of Management Science, Korea Advanced Institute of Science and Technology,
P.O. Box 150, Cheongryang, Seoul, Korea

E. Gerald Hurst, Jr.

Department of Decision Sciences, The Wharton School, University of Pennsylvania,
Philadelphia, PA 19104

ABSTRACT

As a method of solving multiple-criteria decision making problems with a single quantitative objective and multiple qualitative objectives, the post-model analysis (PMA) approach is proposed. The essence of PMA is to support the trade-offs between a quantitative objective and multiple qualitative objectives so that the decision maker can find a perceived most preferred nondominated solution. To this end, the optimal solution of a quantitative model is found first, without regard for qualitative factors. The solution is then evaluated in terms of qualitative objectives. When the initial quantitatively optimal solution is adjusted to allow improvement of qualitative goals, opportunity costs of achieving qualitative goals are incurred. In this process, an expert system and/or graphical display can be used. PMA therefore provides a way to incorporate quantitative models into knowledge-based expert systems.

Subject Areas: Bargaining Behavior, Decision Processes, Decision Support Systems, and Sensitivity Analysis.

INTRODUCTION

Among the types of multiple-criteria decision-making (MCDM) problems, multi-objective decision-making (MODM) problems are concerned with those cases that involve a large set of alternatives implicitly defined by constraints as formulated in equation (1), while multiple-attribute decision-making (MADM) problems require choosing from among a small explicit list of alternatives [9].

$$\max_{\mathbf{X}} [C_1(\mathbf{X}), \dots, C_k(\mathbf{X})] \quad (1)$$

subject to

$$\mathbf{X} \in S$$

where \mathbf{X} = n -dimensional vector of decision variables

$C_i(\mathbf{X})$ = objective function i , $i=1, \dots, k$,

S = $\{\mathbf{X} \mid g_j(\mathbf{X}) \leq b_j, j=1, \dots, m\}$: constraint set.

Numerous methods have been developed for the solution of MODM problems. There are few studies, however, that can incorporate qualitative factors in MODM; one exception is the method of alternative generation [1] [2]. For cases in which it is difficult to include all important objectives because of their qualitative nature, this method attempts to generate distinctive alternative solutions out of the feasible solution set of MODM problems. In other words, the MODM problems are converted into MADM problems. The method of alternative generation does not, however, include a formalized framework for considering qualitative factors. To make up for this shortcoming, the attempt to display the hidden attributes in graphical form [16] can be a complementary method. Goal programming with priority

[14] and fuzzy mathematical programming [19] have also provided important frameworks for incorporating qualitative factors into quantitative models.

We propose post-model analysis (PMA) as a framework to address qualitative factors in MODM problems [10]. PMA provides a framework for integrating the quantitative MODM models with important qualitative analysis tools, such as knowledge-based expert systems and graphical displays. This paper will focus on the case involving a single quantitative objective and multiple qualitative objectives, which will be denoted as MODM(1, t). The numbers "1" and " t " in parentheses refer to the number of quantitative and qualitative objectives, respectively. The particular PMA for MODM(1, t) is denoted PMA(1, t).

The essence of PMA(1, t) is to provide an environment for trade-offs between a quantitative objective and multiple qualitative objectives. To this end, the optimal solution of the quantitative model is found first and is then reviewed in terms of qualitative objectives. For this review, an expert system and/or graphical display may be used. We may adjust the initial quantitatively optimal solution in order to improve the qualitative objectives. This movement incurs the opportunity costs of qualitative goals in terms of the quantitative objective function. We can iterate this process until the decision maker is satisfied with the solution in terms of both the quantitative objective and the qualitative objectives. PMA(1, t) therefore raises the following issues:

1. The opportunity costs of qualitative goals in terms of the quantitative objective function should be efficiently computed.
2. When there are multiple qualitative objectives, the sequence in which the qualitative objectives are applied can influence the amount of opportunity cost incurred. This phenomenon causes path dependency.
3. The qualitative evaluation may require some supporting tools, such as expert systems and graphical displays. It is thus essential to develop intelligent decision support systems (DSS) that can provide information and graphs as well as computations of opportunity costs.

FORMULATION

To formulate the MODM(1, t) for PMA(1, t), let us define the notation in the following way:

\mathbf{X} = vector of decision variables.

\mathbf{X}_N = vector of quantitative decision variables.

\mathbf{X}_{NI} = vector of quantitative decision variables included in the quantitative optimization model.

\mathbf{X}_{No} = vector of quantitative decision variables not included in the quantitative optimization model.

\mathbf{X}_V = vector of qualitative decision variables, which may be represented in verbal form or on a numerically represented ordinal scale.

Thus,

$$\mathbf{X}_N = [\mathbf{X}_{NI}, \mathbf{X}_{No}], \quad (2)$$

and

$$\mathbf{X} = [\mathbf{X}_N, \mathbf{X}_V] = [\mathbf{X}_{NI}, \mathbf{X}_{No}, \mathbf{X}_V]. \quad (3)$$

- b** = right-hand side (RHS) vector of quantitative constraints;
 $\mathbf{b} = [b_1, b_2, \dots, b_m]$.
- S** = $\{\mathbf{X}_{NI} | g_j(\mathbf{X}_{NI}) \leq b_j, j=1, \dots, m\}$: quantitative constraints set, which may be either a convex or a nonconvex set.
- $C(\mathbf{X}_{NI})$ = quantitative objective function, which may be either linear or nonlinear.
- q** = qualitative goal vector; $\mathbf{q} = [q_1, q_2, \dots, q_t]$
- J(•)** = judgment functions for which there are no complete numerical relationships between decision variables and qualitative objectives (although the relationships may be partially represented by knowledge representation schemes, by graphical display, or by a data base structure); $\mathbf{J}(\bullet) = [J_1(\bullet), J_2(\bullet), \dots, J_s(\bullet)]$.
- I_o** = vector of outside information variables useful for judgments but not included in the optimization model.
- J(X|I_o)** = judgment functions for qualitative objectives that require the support of I_o.
- The relationship between **q** and **J(X|I_o)** is denoted as

$$\mathbf{J}(\mathbf{X} | \mathbf{I}_o) \perp \mathbf{q},$$

which means that the decision **X** using external information **I_o** "satisfies" the qualitative goals **q**.

Using the above notation, MODM(1, *t*) can be formulated as follows:

$$\max_{\mathbf{X}_N, \mathbf{X}_V} [C(\mathbf{X}_{NI}), \mathbf{J}(\mathbf{X}_{NI}, \mathbf{X}_{No}, \mathbf{X}_V | \mathbf{I}_o)] \quad (4)$$

subject to

$$\mathbf{X}_{NI} \in \mathbf{S}.$$

Let us call the form of equation (4) the representational model of MODM(1, *t*). The representational model is converted into the operational model of equation (6) to apply the PMA(1, *t*) approach. Suppose the qualitative goals **J(X|I_o)** in equation (4) are fixed to the level **q** as in equation (5):

$$\mathbf{J}(\mathbf{X} | \mathbf{I}_o) \perp \mathbf{q}. \quad (5)$$

The representational model in equation (4) can then be transformed into the operational model of equation (6):

$$\text{Max}_{\mathbf{X}_N, \mathbf{X}_V} C(\mathbf{X}_{NI}) \quad (6)$$

subject to

$$\mathbf{X}_{NI} \in \mathbf{S}$$

$$\mathbf{J}(\mathbf{X} | \mathbf{I}_o) \perp \mathbf{q}.$$

The operational model in equation (6) is a snapshot of the representational model with various **q** values. Therefore the optimal solution of the model in equation (6)

with optimal levels of \mathbf{q} , the \mathbf{q}^* , if known, is equivalent to the optimal solution of the representational model. The advantage of using the operational model is that it can provide the opportunity costs of qualitative goals evaluated in terms of the $C(\mathbf{X}_{NI})$ value. Knowing the opportunity costs of qualitative goals is, of course, very important for making the trade-offs between the quantitative goal and the qualitative goals. Although PMA(1, t) can also be applied to the case of a nonlinear objective function with a nonconvex constraint set, this paper covers only the case of a linear objective function with a convex constraint set.

The remaining sections are organized as follows. The next section investigates the implications of the solution obtained through PMA(1, t) and demonstrates that PMA(1, t) is a way to find the most preferred nondominated solution of MODM(1, t). The fourth section develops a method to compute the opportunity costs of a qualitative goal; the same method is generalized for the case of multiple goals in the fifth section. The sixth section investigates the conditions necessary for achieving path independence and develops strategies for the cases in which path dependence is unavoidable. The seventh section explains the types of supporting tools used for judgment functions. Finally, the PMA(1, t) is illustrated with a numerical example that involves trade-offs between strategic planning and short-term planning.

THE MOST PREFERRED NONDOMINATED SOLUTION

In MODM(1, t) problems, the solution that we are seeking is the most preferred nondominated solution. To develop the PMA(1, t) framework, let us define some additional terms and notation.

Definition. The optimal feasible solution \mathbf{X}_Q^* ; to equation (6) subject to $\mathbf{X}_{NI} \in \mathbf{S}$ is the quantitatively optimal solution.

Definition. The set $\mathbf{X}_J = \{\mathbf{X} \mid \mathbf{J}(\mathbf{X} \mid \mathbf{I}_0) \perp \mathbf{q}\}$ that satisfies the \mathbf{q} constraint is the qualitatively feasible solution set.

The optimal feasible solution \mathbf{X}_T , for the model in equation (6), given a certain level of \mathbf{q} (i.e., \mathbf{q}^0), is obviously a nondominated solution for both the quantitative objective and the qualitative objectives. (Assume that \mathbf{q}^0 satisfies the nondominancy requirement for multiple qualitative goals.) When it is assumed that the satisfied nondominated qualitative goals are known as \mathbf{q}^* , the optimal feasible solution, \mathbf{X}_T^* , to equation (6) is the most preferred nondominated solution for both the quantitative objective and the qualitative objectives. The PMA solution concept is illustrated by the following example of PMA(1,1), whose representational model is illustrated in equation (7):

$$\max_{x_1, x_2} [(3x_1 + x_2), J_1(x_1, x_2, x_v \mid \mathbf{I}_0)] \quad (7)$$

subject to

$$6x_1 + 4x_2 \leq 73$$

$$2x_1 + 7x_2 \leq 56$$

$$x_1, x_2 \geq 0.$$

Then, the operational model becomes:

$$\max_{x_1, x_2} 3x_1 + x_2 \quad (8)$$

subject to

$$6x_1 + 4x_2 \leq 73$$

$$2x_1 + 7x_2 \leq 56$$

$$x_1, x_2 \geq 0$$

$$\mathbf{X}_J = \{(x_1, x_2) \mid J_1(x_1, x_2, x_v \mid \mathbf{I}_0) \geq q_1\}.$$

In Figure 1A, the quantitatively optimal solution \mathbf{X}_Q^* and two illustrative indifference curves of q_1^o and q_1^* are depicted. The arrow points toward higher preference in terms of q_1 . The nondominated solution set for the quantitative objective and the qualitative objective is represented by the bold boundary lines. The optimal solution to equation (8) for the level of q_1^o is a nondominated solution \mathbf{X}_T . Assume that q_1^* is a satisfactory level of q_1 . Then the illustrative most preferred nondominated solution \mathbf{X}_T^* with q_1^* is the optimal feasible solution of equation (8). When we use a different contour of preference for q_1 , however, the nondominated solution set will also be changed to the set represented by the bold line in Figure 1B. In the third example, Case III in Figure 1C, $\mathbf{X}_T^* = \mathbf{X}_Q^*$, which is the only nondominated solution. From these graphs, we can see that PMA is a method of searching toward \mathbf{X}_T^* starting from \mathbf{X}_Q^* . The \mathbf{X}_T is just an attempted nondominated solution used in the searching process.

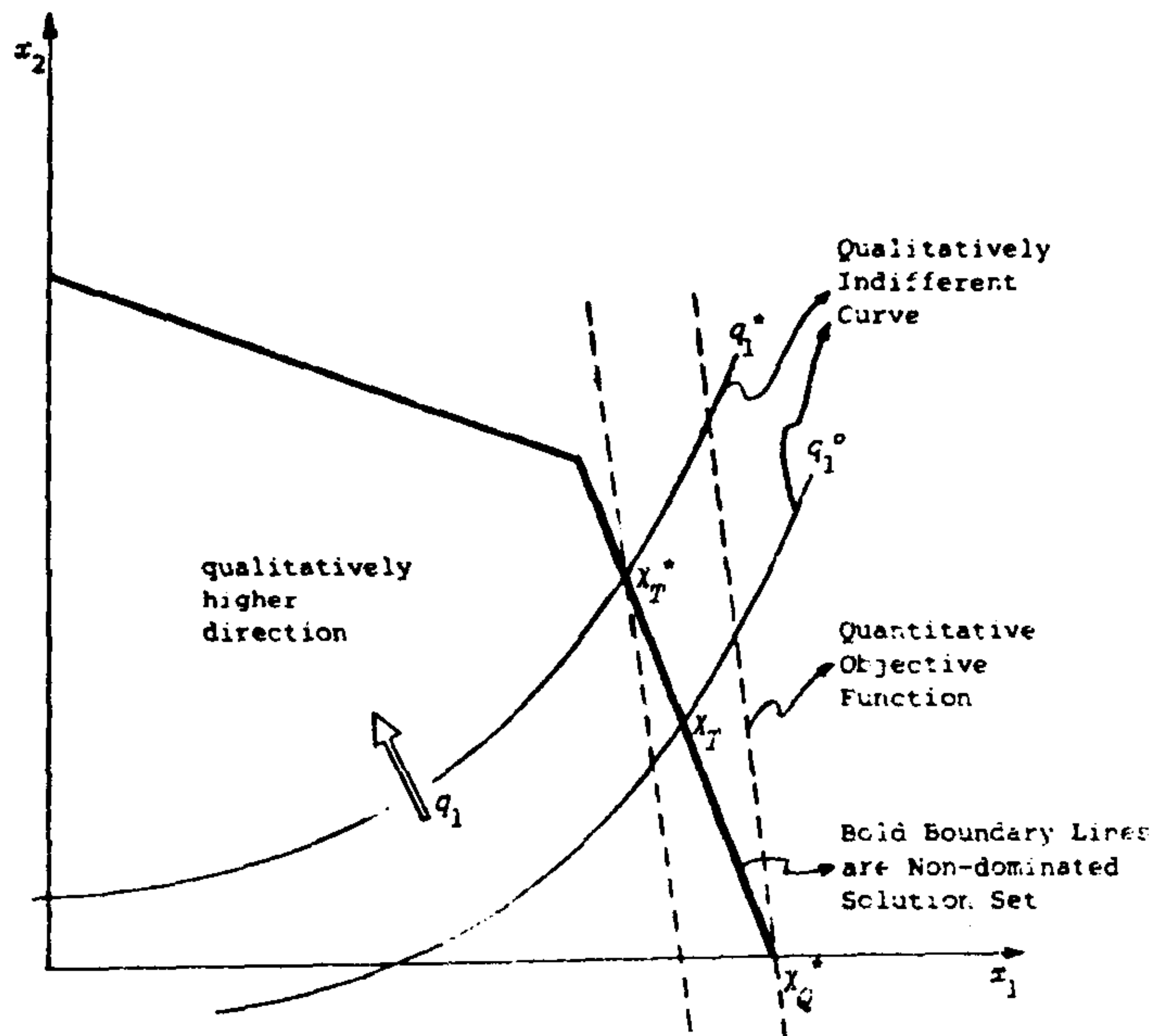
OPPORTUNITY COST OF A QUALITATIVE GOAL

Let us define some notation:

- $\mathbf{X}_{NI(i)}$ = a subset of the quantitative decision variables \mathbf{X}_{NI} associated with the judgment function $J_i(\bullet)$
- $\mathbf{X}_{\overline{NI}(i)}$ = a subset of the quantitative decision variables \mathbf{X}_{NI} not associated with the judgment function $J_i(\bullet)$ (these variables will be called free variables for $J_i(\bullet)$)
- $\mathbf{X}_{No(i)}$ = the subset of \mathbf{X}_{No} associated with $J_i(\bullet)$
- $\mathbf{X}_{V(i)}$ = the subset of \mathbf{X}_V associated with $J_i(\bullet)$
- $\mathbf{X}_{Q(i)}^t$ = an attempted solution of \mathbf{X}_{NI} for the qualitative goal q_i via the judgment function $J_i(\bullet)$
- $\mathbf{X}_{Q(1, 2, \dots, k)}^t$ = an attempted solution of \mathbf{X}_{NI} for the qualitative goals q_1, q_2, \dots, q_k via the judgment functions $J_1(\bullet), J_2(\bullet), \dots, J_k(\bullet)$
- $\mathbf{X}_{Q(i)}^*$ = a nondominated solution of \mathbf{X}_{NI} adjusted from $\mathbf{X}_{Q(i)}^t$ by the upward/downward adjustment process as described in the following paragraphs
- $\mathbf{X}_{Q(1, 2, \dots, k)}^*$ = a nondominated solution of \mathbf{X}_{NI} adjusted from $\mathbf{X}_{Q(1, 2, \dots, k)}^t$ by the upward/downward adjustment process
- $\Delta C(q_i)$ = the opportunity cost of qualitative goal q_i

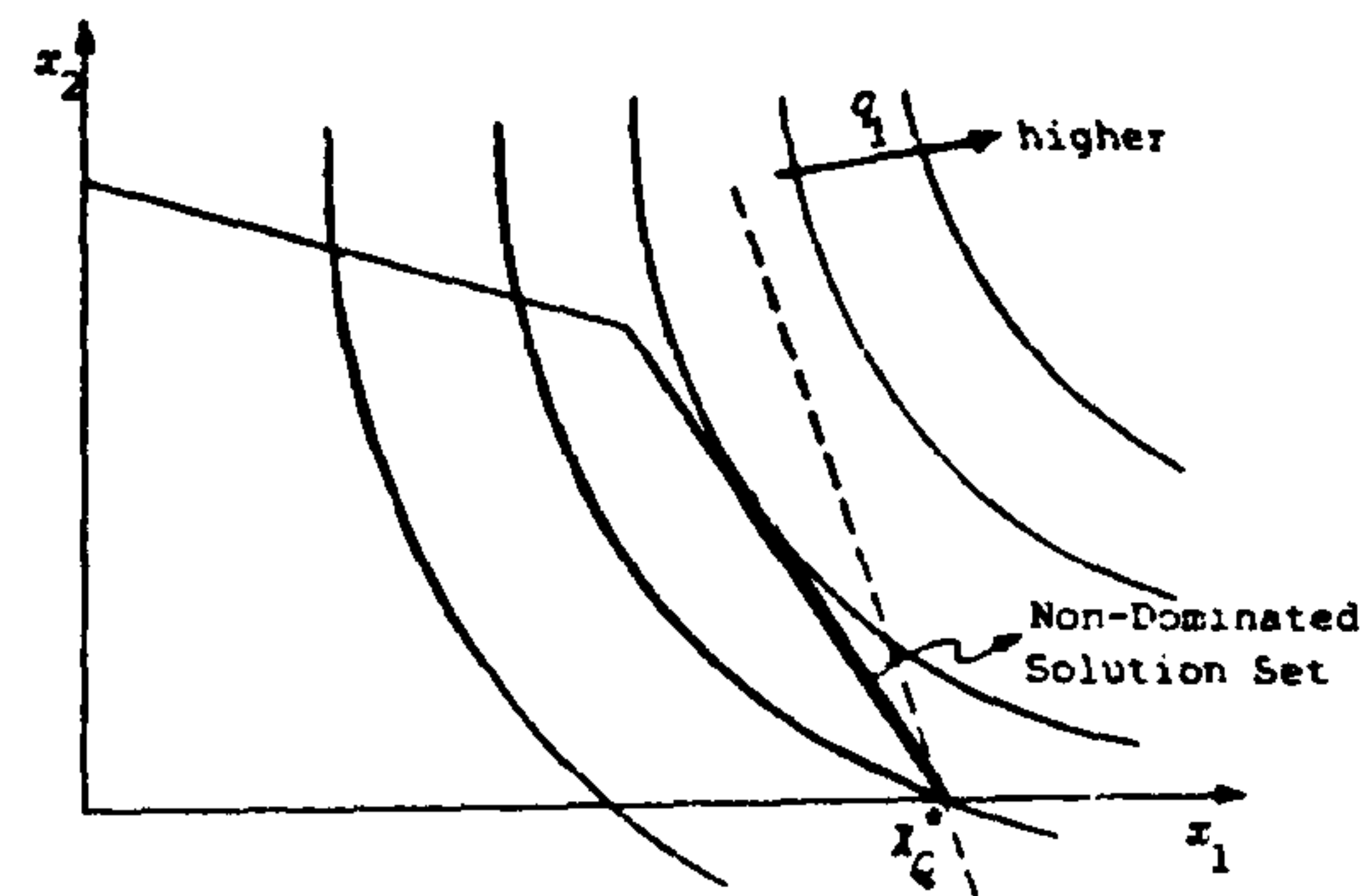
$$\Delta C(q_i) = C(\mathbf{X}_Q^*) - C(\mathbf{X}_{Q(i)}^*). \quad (9)$$

Figure 1: Examples of PMA solutions.

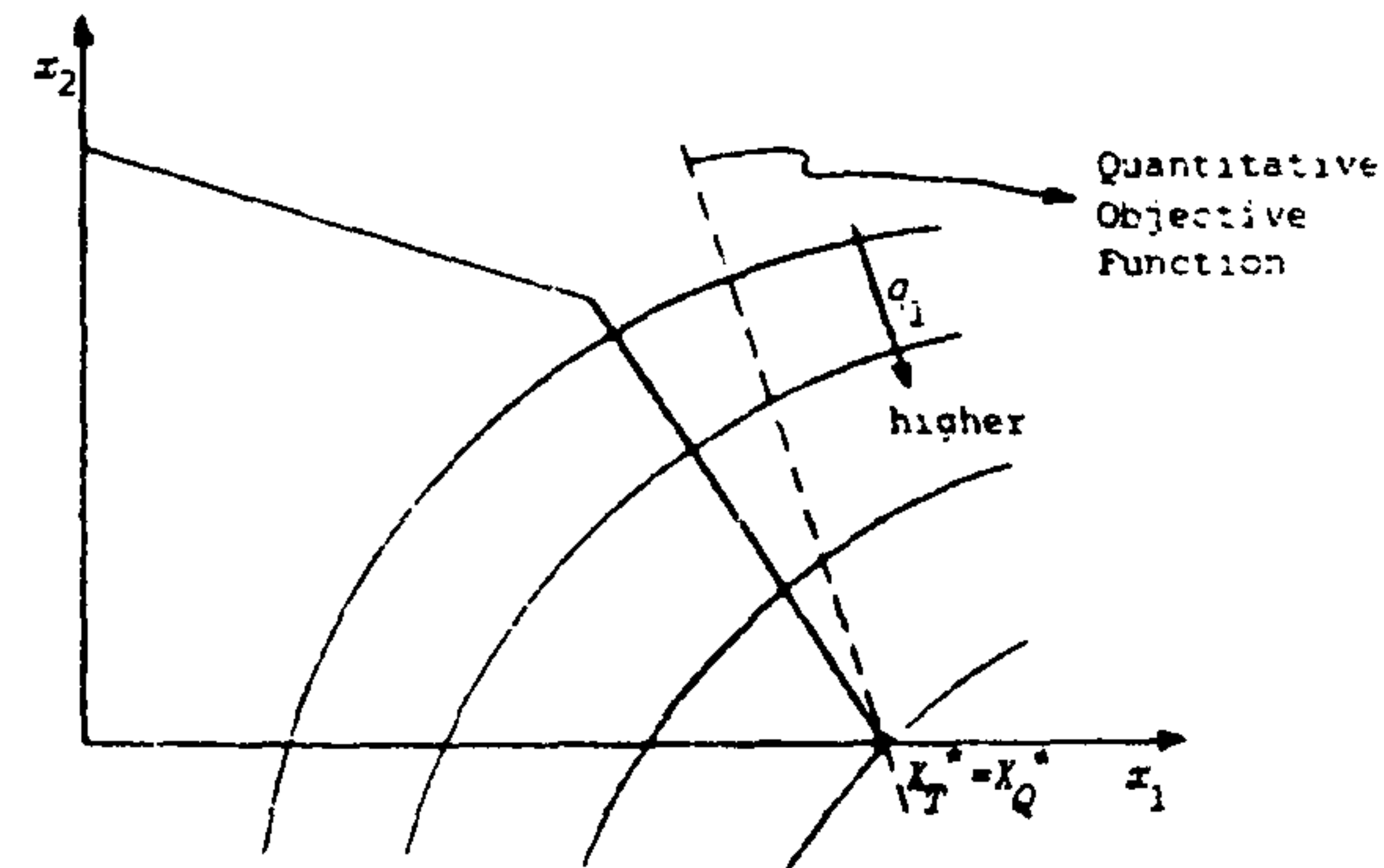


A Case I. The Most Preferred Non-dominated Solution.

x_T^* with q_1^*



B Case II. The Non-Dominated Solution set with Different Preference Contour



C Case III. The Non-Dominated Solution with Different Preference Contour

Suppose q_1 is the first qualitative goal chosen and is added to the purely quantitative model in equation (6) so that

$$J_1(\mathbf{X}_{NI(1)}, \mathbf{X}_{No(1)}, \mathbf{X}_{V(1)} | I_1) \geq q_1. \quad (10)$$

Let us denote the first attempted level of q_1 as q_1^0 . If

$$J_1(\mathbf{X}_Q^*, \mathbf{X}_{No(1)}, \mathbf{X}_{V(1)} | I_1) \geq q_1^0,$$

then the opportunity cost of the qualitative goal q_1^0 is zero. If the satisfaction of q_1^0 requires \mathbf{X}_Q^* to be $\mathbf{X}_{Q(1)}^t$, however, then the opportunity cost of q_1^0 is $C(\mathbf{X}_Q^*) - C(\mathbf{X}_{Q(1)}^t)$. This opportunity cost is called the initial opportunity cost, because we need a succeeding adjustment from $\mathbf{X}_{Q(1)}^t$ to $\mathbf{X}_{Q(1)}^*$. We will refer to the adjustment as upward or downward depending upon whether $\mathbf{X}_{Q(1)}^t$ is feasible or not.

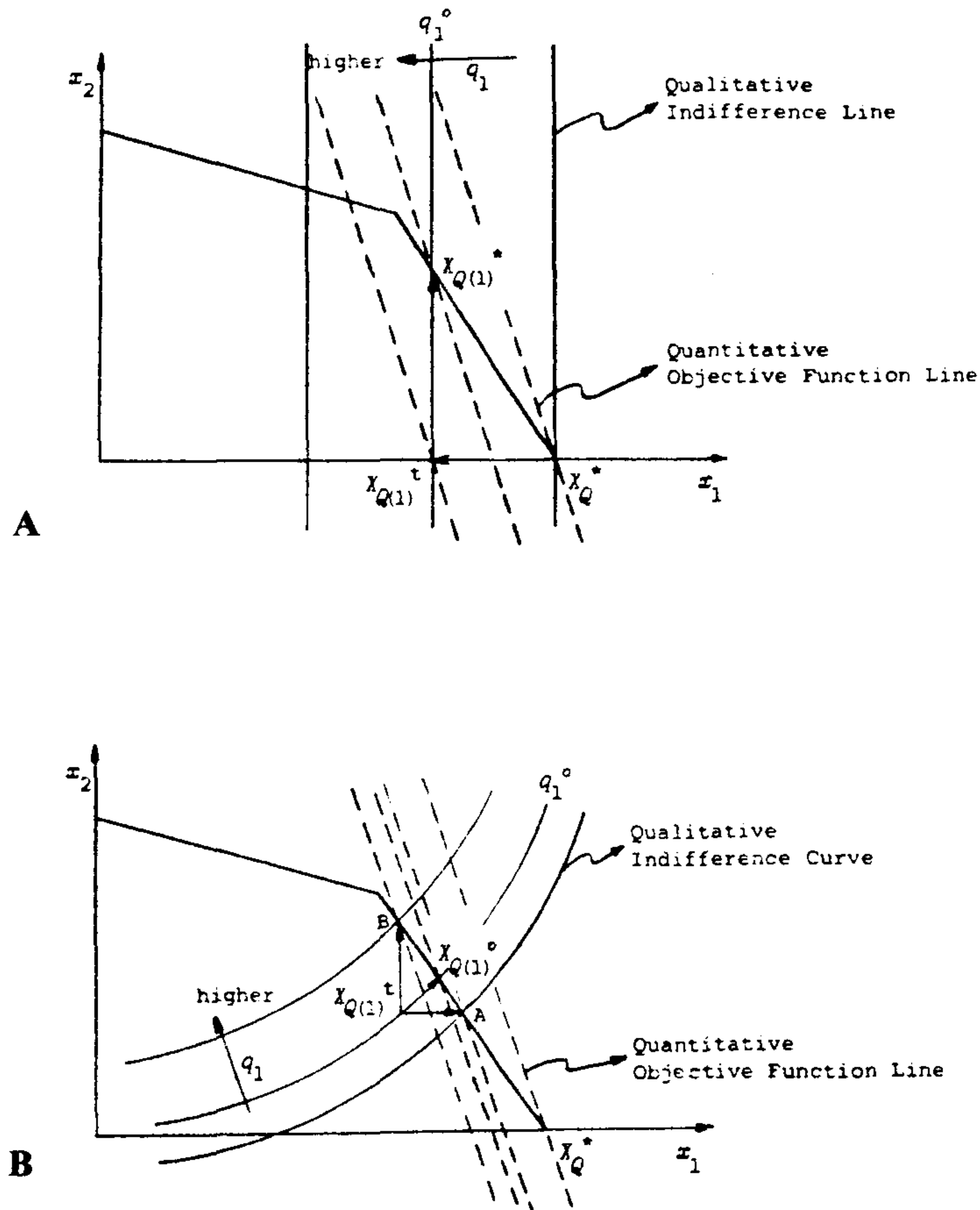
Upward Adjustment

When $\mathbf{X}_{Q(1)}^t$ is feasible but the optimality condition is not satisfied, the objective function $C(\mathbf{X}_{Q(1)}^t)$ may be improved by adjusting $\mathbf{X}_{NI(1)}$ while maintaining the level of q_1^0 . This process of improving the quantitative objective function and attaining $\mathbf{X}_{Q(1)}^*$ is called upward adjustment. Since $C(\mathbf{X}_{Q(1)}^*)$ is no less than $C(\mathbf{X}_{Q(1)}^t)$, $\Delta C(q_1^0)$ is no greater than the initial opportunity cost. In this sense, $\Delta C(q_1^0)$ is the minimum opportunity cost of q_1^0 . The process of upward adjustment is demonstrated in Figures 2A and B for the simple example with two quantitative decision variables (x_1, x_2).

In the case depicted in Figure 2A, the decision variable x_1 is adjusted in order to raise the qualitative objective q_1 to the level q_1^0 by $J_1(x_1, \mathbf{X}_{No(1)}^0, \mathbf{X}_{V(1)}^0 | I_1) \geq q_1^0$. Since $\mathbf{X}_{Q(1)}^t$ is a feasible solution, it is upwardly adjusted to $\mathbf{X}_{Q(1)}^*$ by changing the free variable x_2 . After the upward adjustment, the qualitative goal q_1^0 is maintained while the quantitative objective is improved. Therefore, $\mathbf{X}_{Q(1)}^t$ is dominated by $\mathbf{X}_{Q(1)}^*$. We also see that both \mathbf{X}_Q^* and $\mathbf{X}_{Q(1)}^*$ are nondominated solutions. Nevertheless, $\mathbf{X}_{Q(1)}^*$ could be a more preferred nondominated solution. Let us consider the case in which there is no free variable, as in Figure 2B. Ideally speaking, we would like to adjust $\mathbf{X}_{Q(1)}^t$ to $\mathbf{X}_{Q(1)}^0$ in Figure 2B, which would improve the quantitative objective function while maintaining the level of q_1^0 . In practice, however, we do not know the numerical function of the curve q_1^0 . We therefore may intentionally free at least one of the decision variables in the judgment function to allow upward adjustment. If x_1 is freed, $\mathbf{X}_{Q(1)}^*$ is the point A; while if x_2 is freed, $\mathbf{X}_{Q(1)}^*$ is the point B. The choice between A and B depends on the decision maker's preference.

It is very important to note that, after the upward adjustment, q_1 has deteriorated at point A whereas q_1 has improved at point B. In this example, we can recognize the importance of selection of free decision variables. If we choose the free variable(s) at random, we have to re-evaluate the qualitative goal after the upward adjustment to confirm that the q_1^0 level is sustained. Since this requirement may be very burdensome, we need to apply the policy of choosing free variables in such a way as not to diminish the qualitative goal after upward adjustment. The DSS for PMA should allow the identification of such decision variables. The decision maker may pre-specify the directional relationships between q_1 and the associated decision variables in the judgment function so that the DSS can guide the selection of free variables.

Figure 2: Examples of upward adjustment.



When the preference of a qualitative goal is monotonically increasing and the quantitative constraint is a convex set, we can utilize the property given by Theorem 1. For the proofs of all the theorems and derivations in this paper, see [10].

Theorem 1. If $\mathbf{X}_{Q(1)}^t$ is an interior point of the convex quantitative constraint set, the decision variables with positive relationships with q_1 can guarantee the nondeterioration of q_1 after the upward adjustment.

Corollary 1.1. To guarantee the nondeterioration of the qualitative goal after the upward adjustment, only the decision variables that have positive relationships with q_1 should be chosen as free variables.

Downward Adjustment

When $\mathbf{X}_{Q(1)}^t$ is infeasible, we have to find the feasible solution that incurs the minimum loss in the value of the objective function while maintaining the level of q_1 . Let us call this process the downward adjustment, because it usually reduces the current objective function value of $C(\mathbf{X}_{Q(1)}^t)$. The process of downward adjustment is demonstrated in Figure 3 for the same example used in the upward adjustment illustration.

In the case depicted in Figure 3A, the decision variable x_2 is adjusted to improve the q_1 to the q_1^o level by using $J_1(x_2, \mathbf{X}_{No(1)}^o, \mathbf{X}_{V(1)}^o | I_1) \perp q_1^o$. Since $\mathbf{X}_{Q(1)}^t$

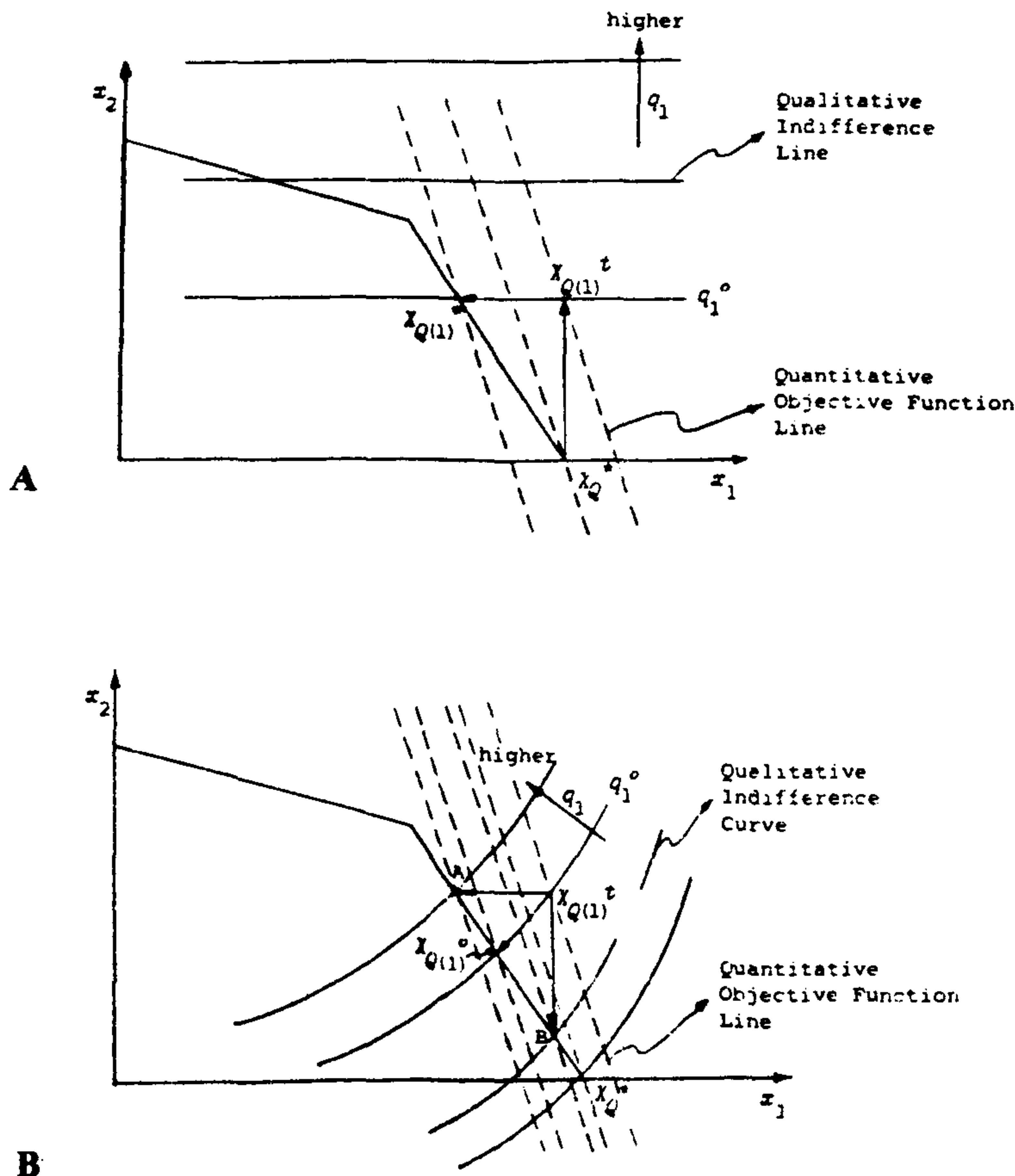
is quantitatively infeasible, it is adjusted downward. After the downward adjustment using free variable x_1 , we find feasible solution $X_{Q(1)}^*$, which maintains the level of q_1 at q_1^0 . The example in Figure 3B does not have free variables because both x_1 and x_2 are associated with the qualitative judgment. Ideally speaking, we would like to adjust downward to $X_{Q(1)}^0$ in Figure 3B as we did in the upward adjustment. Practically, however, this is not possible. We may therefore intentionally free x_1 or x_2 to attain point A or B, respectively. As in the upward adjustment cases, q_1 is improved at point A but diminished at point B. Once again, to reduce the burden of re-evaluating the qualitative goal after the downward adjustment, we need to choose the free variables in a way that does not decrease q_1 .

The other way of overcoming the infeasibility is by expanding the feasible region, if possible, with extra investment $\Delta INV(q_1)$. The best policy is then to find the point with minimum $(\Delta C(q_1) + \Delta INV(q_1))$.

When the preference for a qualitative goal is increasing monotonically and the constraint set is convex, the properties stated in Theorem 2 can be used.

Theorem 2. If $X_{Q(1)}^t$ is infeasible under the convex quantitative constraint set, then only the decision variables negatively related to q_1 can guarantee the nondeterioration of q_1 after the downward adjustment.

Figure 3: Examples of downward adjustment.



Corollary 2.1. To guarantee the nondeterioration of the qualitative goal after the downward adjustment, only the decision variables with negative relationships with q_1 should be chosen as free variables.

Once we acquire $\mathbf{X}_{Q(1)^*}$ through either type of adjustment, we can compute the opportunity cost of q_1 as $C(\mathbf{X}_Q^*) - C(\mathbf{X}_{Q(1)^*})$. This allows us to compare the achievement of the qualitative goal and its opportunity cost in terms of the quantitative objective value. The decision maker must manually or automatically decide at this point whether he prefers the current achievement of q_1 at the cost of $\Delta C(q_1)$. If the current solution is not satisfactory, the same procedure can be iterated with different levels of the qualitative goal such as q_1^1, q_1^2 , etc.

MULTIPLE QUALITATIVE GOALS

When there exist multiple qualitative goals, it is questionable whether decision makers can process the multiple qualitative goals simultaneously. If we adopt Simon's hypothesis that a human's mental processing is primarily sequential [17], this implies that the multiple judgment functions $J_i(\mathbf{X} | I_i) \perp q_i, i=1, \dots, s$, cannot be processed simultaneously. To deal with this situation, we need to distinguish the notion of incremental opportunity costs from that of full opportunity costs.

Definition. Full opportunity cost of a qualitative goal q_k is

$$\Delta C(q_k) = C(\mathbf{X}_Q^*) - C(\mathbf{X}_{Q(k)^*}). \quad (11)$$

In general, the full opportunity cost of the qualitative goals q_1, \dots, q_k is

$$\Delta C(q_1, \dots, q_k) = C(\mathbf{X}_Q^*) - C(\mathbf{X}_{Q(1, 2, \dots, k)^*}). \quad (12)$$

Definition. Incremental opportunity cost of qualitative goal q_2 in the presence of q_1 is

$$\Delta C(q_2 | q_1) = C(\mathbf{X}_{Q(1)^*}) - C(\mathbf{X}_{Q(1,2)^*}). \quad (13)$$

In general, the incremental opportunity cost of the qualitative goal q_k in the presence of q_1, \dots, q_{k-1} is

$$\Delta C(q_k | q_1, \dots, q_{k-1}) = C(\mathbf{X}_{Q(1, \dots, k-1)^*}) - C(\mathbf{X}_{Q(1, \dots, k)^*}). \quad (14)$$

Suppose we impose the second qualitative goal q_2 in addition to q_1 so that

$$J_2(\mathbf{X}_{NI(2)}, \mathbf{X}_{No(2)}, \mathbf{X}_{V(2)} | I_2) \perp q_2. \quad (15)$$

If $J_2(\mathbf{X}_{Q(1)^*}, \mathbf{X}_{No(2)}, \mathbf{X}_{V(2)} | I_2) \perp q_2$ is satisfied, then $\Delta C(q_2 | q_1) = 0$. However, if $\mathbf{X}_{Q(1)^*}$ is adjusted to $\mathbf{X}_{Q(1,2)^*}$ for q_2 and readjusted to $\mathbf{X}_{Q(1,2)^*}$ via upward or downward adjustment, the value of $\Delta C(q_2 | q_1)$ may become positive. The process of reaching $\mathbf{X}_{Q(1,2)^*}$ starting from $\mathbf{X}_{Q(1)^*}$ is basically the same as the process of achieving $\mathbf{X}_{Q(1)^*}$ starting from \mathbf{X}_Q^* , unless the previous adjustment on $\mathbf{X}_{NI(1)}$ for q_1 needs to be reconsidered for q_2 .

Theorem 3. The full opportunity cost of k qualitative goals is equal to the sum of the k consecutive incremental opportunity costs.

$$\begin{aligned} \Delta C(q_1, \dots, q_k) &= \Delta C(q_1) + \Delta C(q_2 | q_1) + \dots \\ &\quad + \Delta C(q_k | q_1, q_2, \dots, q_{k-1}). \end{aligned} \quad (16)$$

It is debatable whether there exists, in practice, a generic path-independent full opportunity cost of multiple qualitative goals. This issue will be discussed more fully in the next section in conjunction with the path dependency issue. In addition to the full and incremental costs, however, other useful indices are the following ratios.

Definition. Full opportunity cost ratio of the goal q_k is

$$\phi(q_k) = \frac{\Delta C(q_k)}{C(\mathbf{X}_{Q^*})}. \quad (17)$$

In general, the full opportunity cost ratio of goal q_1, \dots, q_k is

$$\phi(q_1, \dots, q_k) = \frac{\Delta C(q_1, \dots, q_k)}{C(\mathbf{X}_{Q^*})}. \quad (18)$$

Definition. Incremental opportunity cost ratio of goal q_k in the presence of q_1, \dots, q_{k-1} is

$$\phi(q_k | q_1, \dots, q_{k-1}) = \frac{\Delta C(q_k | q_1, \dots, q_{k-1})}{C(\mathbf{X}_{Q(1, \dots, k-1)^*})}. \quad (19)$$

The larger the opportunity cost ratio, the more expensive is the qualitative goal, as long as denominators are positive.

PATH DEPENDENCY

If multiple qualitative goals can be processed simultaneously, there is no need to worry about the path dependency. If they cannot, however, then path dependency is important, because the path of qualitative judgments may influence the final solutions. The implications of path dependency are

1. There is no generic opportunity cost of a goal. The opportunity cost of a certain qualitative goal is influenced by the existence of the other qualitative goals.
2. Different paths may provide different solutions because a decision maker may learn different things by different paths.

Therefore, the issues are

1. What conditions are required for path independence? We need to check the path independence before the execution of qualitative judgments. If the path is independent, we know that the path does not influence the final solution. In this case, we can arrive at a unique and consistent solution whatever the path is.
2. When path dependency exists, how can we determine the most desirable path? Can there be any rules or guidelines for making that determination?
3. If path dependency is unavoidable, how can we measure its seriousness? When the measured degree of path dependency is not seen as very serious, we do not have to iterate multiple paths.
4. If the path dependency is serious and there is no particularly preferred path, how can we support the posterior comparison of attempted paths so that the decision maker can choose the best among the multiple paths?

Let us discuss the above issues one by one. Assume that $\mathbf{X}_{\cdot(1)}$ and $\mathbf{X}_{\cdot(2)}$ are mutually exclusive in the model shown in equation 20. When the model has a decomposable structure, the judgments $J_1(\cdot)$ and $J_2(\cdot)$ can be path independent because the impact of upward or downward adjustment for $J_i(\mathbf{X}_{NI(i)}, \dots)$ is limited to the decision variables $\mathbf{X}_{\overline{NI(i)}}$.

$$\max C_1(\mathbf{X}_{NI(1)}, \mathbf{X}_{\overline{NI(1)}}) + C_2(\mathbf{X}_{NI(2)}, \mathbf{X}_{\overline{NI(2)}}) \quad (20)$$

subject to

$$q_1(\mathbf{X}_{NI(1)}, \mathbf{X}_{\overline{NI(1)}}) \leq b_1$$

$$q_2(\mathbf{X}_{NI(2)}, \mathbf{X}_{\overline{NI(2)}}) \leq b_2$$

$$J_1(\mathbf{X}_{NI(1)}, \mathbf{X}_{No(1)}, \mathbf{X}_{V(1)} | I_1) \succeq q_1$$

$$J_2(\mathbf{X}_{NI(2)}, \mathbf{X}_{No(2)}, \mathbf{X}_{V(2)} | I_2) \succeq q_2.$$

Extension of the above relationship to more than two qualitative goals is straightforward. This structure can be checked automatically before any qualitative judgments are made. Once the condition of path independence is identified a priori, we can take any sequence of qualitative judgments and still obtain the same solution. The path independence in this case is global. If the condition of global path independence is not met, we may use the information of local path independence, as defined in the following definitions and theorems.

Definition. The goals q_1 and q_2 are locally cost independent if

$$C(\mathbf{X}_{Q^*}) = \Delta C(q_1) + \Delta C(q_2) + C(\mathbf{X}_{Q(1,2)^*}). \quad (21)$$

In general, the goals q_{k-1} and q_k are said to be locally cost independent in the presence of q_1, \dots, q_{k-2} if

$$\begin{aligned} C(\mathbf{X}_{Q(1, 2, \dots, k-2)^*}) &= \Delta C(q_{k-1} | q_1, \dots, q_{k-2}) \\ &\quad + \Delta C(q_k | q_1, \dots, q_{k-2}) \\ &\quad + \Delta C(\mathbf{X}_{Q(1, 2, \dots, k-2, k-1, k)^*}). \end{aligned} \quad (22)$$

Theorem 4. If the goals q_1 and q_2 are locally cost independent, then

$$\Delta C(q_1) = \Delta C(q_1 | q_2) \quad (23)$$

and

$$\Delta C(q_2) = \Delta C(q_2 | q_1) \quad (24)$$

are satisfied.

Lemma 4.1. If two goals are locally cost independent, the two goals are also mutually path independent.

However, when the model has a special structure as in equation (25), path dependence is unavoidable.

$$\max C(\mathbf{X}_1, \mathbf{X}_2) \quad (25)$$

subject to

$$\mathbf{G}(\mathbf{X}_1, \mathbf{X}_2) \leq \mathbf{b}$$

$$J_1(\mathbf{X}_1) \geq q_1$$

$$J_2(\mathbf{X}_1, \mathbf{X}_2) \geq q_2.$$

The decision variables \mathbf{X}_1 are associated with both $J_1(\cdot)$ and $J_2(\cdot)$. In this case, if either q_1 or q_2 has preemptive priority, it can be judged first and then frozen. The remaining goals with lower priority should never be allowed to change the frozen variables for the goals with higher priority. If, however, there is no particular priority, \mathbf{X}_1 should be determined by considering both q_1 and q_2 simultaneously. Thus, \mathbf{X}_1 can be a linkage that allows trade-offs between q_1 and q_2 . Now let us measure the severity of path dependence.

Definition. The magnitude of correlation of qualitative goal q_i on q_j is

$$M(q_i:q_j) = \Delta C(q_i) - \Delta C(q_i|q_j). \quad (26)$$

Theorem 5. If $M(q_i:q_j)$ is positive, q_j is complementary with q_i . If $M(q_i:q_j)$ is negative, q_j is conflicting with q_i . If $M(q_i:q_j)$ is zero, q_i is indifferent from q_j .

Theorem 6. If there exists a unique full opportunity cost $\Delta C(q_i, q_j)$, then

$$M(q_i:q_j) = M(q_j:q_i) \quad (27)$$

is satisfied.

Theorems 5 and 6 are also true when there exist some other qualitative goals to be considered before the application of q_i and q_j . As a variation of magnitude of correlation, we can also use the ratio of correlation.

Definition. The ratio of correlation of qualitative goal q_i on q_j is

$$\zeta(q_i:q_j) = 1 - \frac{\Delta C(q_i|q_j)}{\Delta C(q_i)}. \quad (28)$$

In general, the ratio of correlation of qualitative goal q_k on q_{k-1} in the presence of q_1, \dots, q_{k-2} is

$$\zeta(q_k:q_{k-1}|q_1, \dots, q_{k-2}) = 1 - \frac{\Delta C(q_k|q_1, \dots, q_{k-2}, q_{k-1})}{\Delta C(q_k|q_1, \dots, q_{k-2})}. \quad (29)$$

Theorem 7.

$$\zeta(q_i:q_j) = \frac{M(q_i:q_j)}{\Delta C(q_i)} \quad (30)$$

Lemma 7.1. The range of ζ is $\zeta \leq 1$ unless $\Delta C(q_i) = 0$.

Lemma 7.2. If $\zeta(q_i:q_j)$ is positive, q_j is complementary with q_i . If $\zeta(q_i:q_j)$ is negative, q_j is conflicting with q_i .

Lemma 7.3. The larger the absolute value of ζ , the higher the correlation is.

Lemma 7.4. If $\zeta(q_i:q_j)=0$, then q_i and q_j are mutually cost independent.

Corollary 7.4.1. When $\Delta C(q_i)=0$ and $\Delta C(q_i|q_j)=0$ are satisfied, $\zeta(q_i:q_j)$ is mathematically indefinite. This case intuitively implies path independence, however.

Lemma 7.5. If $\zeta(q_i:q_j)=1$, then q_j is completely complementary with q_i .

Corollary 7.5.1. If q_j is completely complementary with q_i , q_i can be accomplished by achieving q_j without any extra cost.

Suppose a solution is found by a certain path. We can then check the severity of local path dependence by using $M(q_i:q_j)$ and $\zeta(\cdot)$. If the path dependence of other paths is not serious, we can accept the solution by the current path. Otherwise, we may need to try other paths and compare them with each other. When the path dependence is serious, the DSS for PMA should help in making a comparison of multiple paths.

SUPPORTING JUDGMENTS

The next important issue in PMA is how to support the judgments described in $\mathbf{J}(\cdot)$. This paper cannot completely cover this issue; for the comprehensive theory and an example, see [12] and [11], respectively. In summary, however, the typical types of support for judgments are inquiries to data base, graphical display, and knowledge-based expert systems.

1. Inquiry to a data base: The information \mathbf{I}_o in $\mathbf{J}(\cdot | \mathbf{I}_o)$ may be retrieved from the data base to facilitate the judgments. A desirable feature of the DSS that supports the inquiries to a data base is provision of multiple windows to serve the inquiries simultaneously with the qualitative judgments.
2. Graphical display: To complement the inquiries to a data base, some qualitative relationships in judgment functions may be formulated in graphical form. Many such diagrammatical schemes, for example, the growth-share matrix, have already been developed for strategic planning. To support efficient graphical display in the DSS, the pre-specified graphical formats should be prepared beforehand.
3. Knowledge-based expert system: The expert system has great potential for formalizing the qualitative judgments. The qualitative relationships in judgment functions and the guideline of trade-offs between quantitative goals and qualitative goals can be represented in rule form. A comprehensive study on this issue is now in progress [12]; for a review of expert systems themselves, see [18], [8], and [13].

As the above three supporting tools can be used synergetically, the ideal DSS for PMA must be capable of combining the three tools flexibly.

AN ILLUSTRATIVE EXAMPLE

To illustrate PMA, we provide a hypothetical sales mix problem (SMP) of a paper production company. In this problem, the manager's major concern is how to balance the short-term interests and the long-term interests of the firm—a major challenge of strategic planning [3]. To solve this problem, two different approaches have been used: one approach is the application of a linear programming model that maximizes current profit within the given production capacity [15], while the other approach is the use of standardized business portfolio models [7], such as the growth-share matrix.

The growth-share matrix, which was developed by the Boston Consulting Group in the late 1960s, uses three attributes (market growth rate, relative market share, and sales) to measure long-term profit [7] [6]. These attributes do not actually have numerically represented functional relationships with long-term profit; however, the relationships are displayed in graphical form. A common assumption of business portfolio models is that strategic business units (SBU) are autonomous. This assumption is not valid in many cases, however, because of shared resources, such as manufacturing facilities, R & D, and distribution channels. PMA, using growth-share matrix, is therefore an appropriate approach for handling this kind of situation.

In this example, there are five SBUs: book paper, coarse paper, container board, food board, and fine paper. Among them, fine paper is a new product. Assume that these products have to share the manufacturing facilities. SMP thus has the following characteristics:

1. The maximization of current profit can be formulated in a linear programming model.
2. The long-term profit cannot be represented in a numeric function. Therefore, the business portfolio should be evaluated through judgment, using various aids such as graphs and an expert system.

Suppose the operational model of this problem is formulated as follows:

$$\max C(\mathbf{X}) = 375x_1 + 260x_2 + 227x_3 + 307x_4 + 200x_5 \quad (31)$$

subject to

$$.12x_1 + .755x_2 + .64x_3 + .102x_4 + .15x_5 \leq 1750$$

$$.605x_1 + .186x_2 + .028x_3 + .68x_4 + .6x_5 \leq 500$$

$$.275x_1 + .059x_2 + .332x_3 + .218x_4 + 25x_5 \leq 1000$$

$$x_i \leq D_i \quad i=1, \dots, 5$$

$$x_i \geq 0 \quad i=1, \dots, 5$$

$$J_1(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5 | \mathbf{I}_0) \geq q_1$$

where q_1 = long-term profit

\mathbf{I}_0 = information that includes market growth rates and competitors' market shares

D_i = demand forecasts

x_1 = quantity of book paper produced

x_2 = quantity of coarse paper produced

x_3 = quantity of container board produced

x_4 = quantity of food board produced

x_5 = quantity of new product fine paper produced.

The first three constraints are the capacity limits; the fourth statement gives the demand constraints; and the last constraint is a qualitative goal of long-term profit. Since the increased market shares of the products can contribute to increased long-term profit, all x_i , $i=1, \dots, 5$, are positively related with q_1 . To solve this problem, it is very important for the decision maker to be able to assess the impact of qualitative goals on the corporate profit of this period.

As a first step of PMA, the quantitatively optimal solution of the model with the first five constraints is computed as follows:

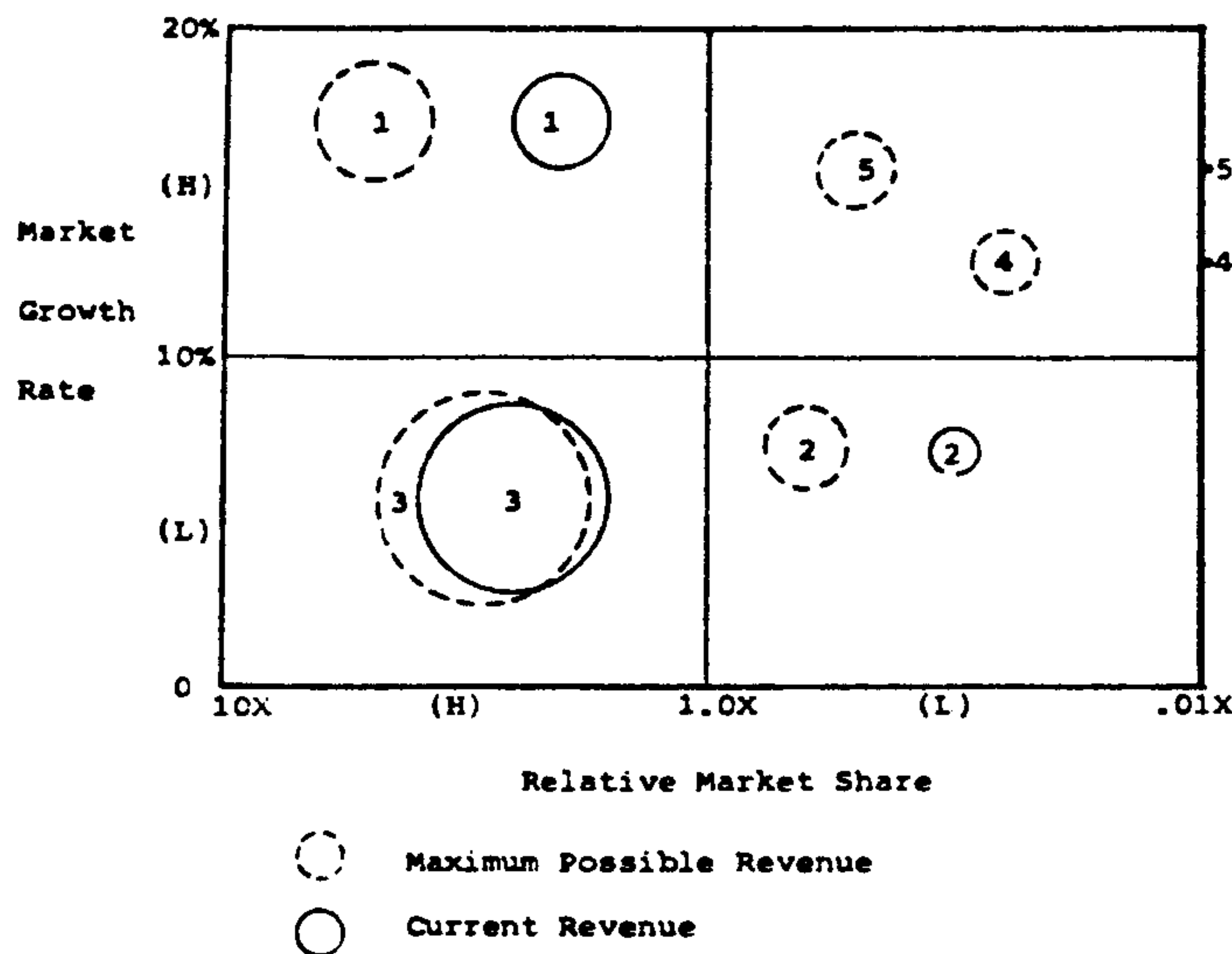
$$\begin{aligned}
 x_1 &= 667.68 \\
 x_2 &= 149.95 \\
 x_3 &= 2,432.27 \\
 x_4 &= .0 \\
 x_5 &= .0 ,
 \end{aligned}$$

and the objective function value (profit) is found to be

$$C(\mathbf{X}_Q^*) = 841,529.48.$$

The next step is the judgment routine of PMA. To evaluate long-term profit, the quantitatively optimal solution is displayed on the growth-share matrix in Figure 4. The numerical data concerning prices, market shares, competitors' market shares, and market growth rates may be retrieved upon request. The maximum possible revenue may also be superimposed on the growth-share matrix upon request.

Figure 4: Quantitatively optimal solution displayed on the growth-share matrix.



No.	SBU	Sales Plan (units)	Demand (units)	Revenue (\$1,000)
1	Book paper	667.78	1,000	1,002
2	Coarse paper	149.95	500	180
3	Container board	2,432.27	2,500	1,946
4	Food board	.0	300	0
5	Fine paper #1	.0	400	0
	Total			3,128

At this point, the expert system can be used to evaluate the current solution from the standpoint of long-term profits [11]. Suppose the expert system advises the manager to produce an amount of fine paper equivalent to at least 50 percent of the major competitor's production (which is 300 units) in order to maintain market share. The decision maker can make a tentative decision based on the advice of the expert system and the implications of the growth share matrix. Since the adjusted solution is infeasible to the quantitative constraints, we need to apply downward adjustment. If we treat x_1, \dots, x_4 as free variables, the new solution $X_{Q(1)}^*$ is

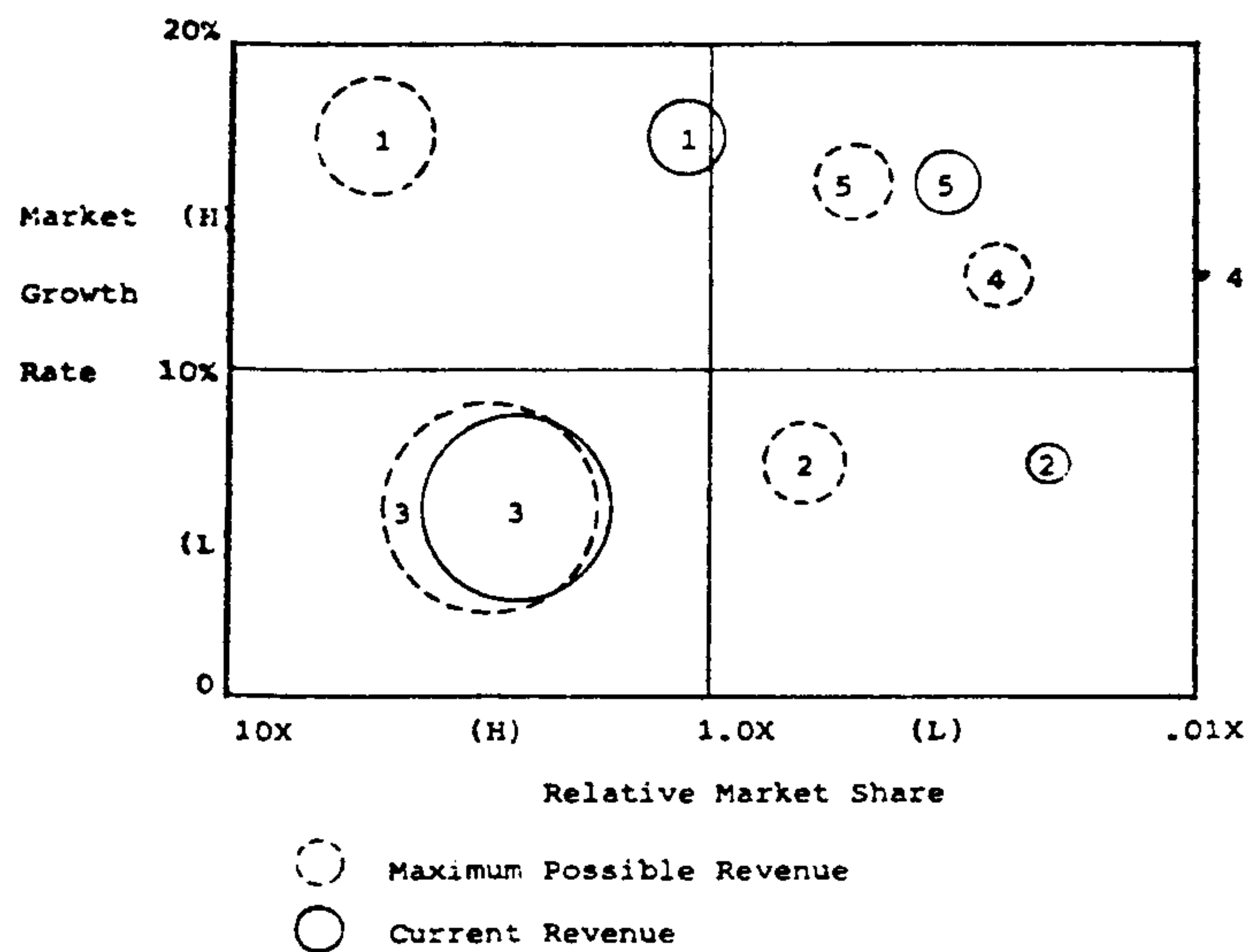
$$\begin{aligned} x_1 &= 378.51 \\ x_2 &= 120.38 \\ x_3 &= 2,451.25 \\ x_4 &= 0 \\ x_5 &= 300 \\ C(X_{Q(1)}^*) &= 789,673.8 \end{aligned}$$

and

$$\begin{aligned} \Delta C(q_1) &= 51,855.68 \\ \phi(q_1) &= 6.16\% \end{aligned}$$

Because of the positive relationships between all x_i and q_1 , the deterioration of q_1 is inevitable during the downward adjustment; the DSS should thus warn of

Figure 5: New solution displayed on the growth-share matrix.



No.	SBU	Sales Plan (units)	Demand (units)	Revenue (\$1,000)
1	Book paper	667.78	1,000	1,002
2	Coarse paper	149.95	500	180
3	Container board	2,432.27	2,500	1,946
4	Food board	.0	300	0
5	Fine paper #1	.0	400	0
	Total			3,273

possible deterioration of the qualitative goals. The business portfolio with the new quantitative solution is displayed on the growth-share matrix in Figure 5. The old solution X_{Q^*} and the new solution $X_{Q(1)^*}$ may be displayed simultaneously to contrast the difference. Succeeding judgments may be processed in the same way until the decision maker is satisfied with the result of the trade-off.

CONCLUDING REMARKS AND FUTURE RESEARCH

The framework for supporting trade-offs among the qualitative goals is not yet fully developed and deserves further research. The notion of knowledge-based qualitative sensitivity analysis could be used in this research. For the minimization of $(\Delta C(q_1) + \Delta INV(q_1))$, the notion of constraint-directed search [4] might be used to determine the investment needed for capacity expansion; this also holds potential for some very interesting research. Another direction in which PMA could be expanded is into the consideration of multiple quantitative objectives as well as multiple qualitative objectives. Since the integration of expert systems and optimizations can be an important way of integrating quantitative analyses with qualitative analyses, we hope that the PMA provides a framework for bridging the gap between expert systems and optimizations. [Received: December 16, 1985. Accepted: April 14, 1987.]

REFERENCES

- [1] Brill, E., Jr. The use of optimization models in public sector planning. *Management Science*, 1979, 25(5), 413-422.
- [2] Brill, E., Jr., Chang, S., & Hopkins, L. D. Modeling to generate alternatives: The HSJ approach and an illustration using a problem in land use planning. *Management Science*, 1982, 28(3), 221-235.
- [3] Chakravarthy, B. S., & Lorange, P. Managing strategic adaptation: Options in administrative systems design. *Interfaces*, 1984, 14(1), 34-46.
- [4] Fox, S., Allen, B., & Strohm, G. Job-shop scheduling: An investigation in constraint-directed reasoning. In *Proceedings of the Second National Conference on Artificial Intelligence*. Pittsburgh, PA: American Association for Artificial Intelligence, 1982.
- [5] Hammond, K. R., McClelland, G. H., & Mumpower, J. *Human judgement and decision making: Theories, methods, and procedures*. New York: Praeger, 1980.
- [6] Haspeslagh, P. Portfolio planning: Use and limits. *Harvard Business Review*, 1982, 60(1), 58-73.
- [7] Hax, A. C., & Majluf, N. S. The use of the growth-share matrix in strategic planning. *Interfaces*, 1983, 13(1), 46-60.
- [8] Hayes-Roth, F., Waterman, D. A., & Lenat, D. B. (Eds.) *Building expert systems*. Reading, MA: Addison-Wesley, 1983.
- [9] Hwang, C. L., Paidy, S. R., & Yoon, K. Mathematical programming with multiple objectives: A tutorial. *Computer and Operations Research*, 1980, 7, 5-31.
- [10] Lee, J. K. *Solving semi-structured problems and the design of decision support systems: Post-model analysis approach*. Unpublished doctoral dissertation, University of Pennsylvania, 1985.
- [11] Lee, J. K., & Lee, H. G. Interaction of strategic planning and short-term planning: An intelligent DSS by the post-model analysis approach. *Decision Support Systems*, 1987, 3(2), 141-154.
- [12] Lee, J. K., & Lee, W. K. *Integrating optimization models with rule-based systems by the post-model analysis approach*. Working Paper 86-06-18, Department of Management Science, Korea Advanced Institute of Science and Technology, 1986.
- [13] Reitman, W. (Ed.) *Artificial intelligence applications for business*. In *Proceedings of the NYU Symposium*. Norwood, NJ: Ablex Publishing, 1984.
- [14] Ringuest, J. L., & Gullledge, T. R., Jr. A preemptive value-function method approach for multi-objective linear programming problems. *Decision Sciences*, 1983, 14, 76-86.
- [15] Roy, A., Falomir, E. E. D., & Lagdon, L. An optimization-based decision support system for a product mix problem. *Interfaces*, 1982, 12(2), 26-32.
- [16] Schilling, D. A., McGarity, A., & ReVelle, C. Hidden attributes and the display of information in multiobjective analysis. *Management Science*, 1982, 28(3), 236-242.

- [17] Simon, H. A. *Models of thought*. New Haven, CT: Yale University Press, 1979.
- [18] Waterman, D. A. *A guide to expert systems*. Reading, MA: Addison-Wesley, 1986.
- [19] Zimmermann, H. J. Fuzzy mathematical programming. *Computer and Operations Research*, 1983, 10(4), 291-298.

Jae Kyu Lee is Assistant Professor of Management Information Systems in the Department of Management Science at the Korea Advanced Institute of Science and Technology. Dr. Lee received a Ph.D. in decision support systems from the University of Pennsylvania, an M.S. in industrial engineering from the Korea Advanced Institute of Science, and a B.S. in industrial engineering from the Seoul National University. His research interests include expert systems for managerial problems, decision support systems, post-model analysis for multiple criteria, and decision support. Dr. Lee has published in the *Korean Journal of Operations Research and Management Science Society*, *Decision Support Systems*, and *Applied Expert Systems*. He is a member of Decision Sciences Institute, American Association for Artificial Intelligence, TIMS, IEEE, Korean Operations Research and Management Science Society, Korean Institute of Artificial Intelligence, and Korean Institute of MIS.

E. Gerald Hurst, Jr. is Associate Professor of Decision Sciences at the Wharton School of the University of Pennsylvania. Dr. Hurst received his Ph.D. in management from the Sloan School at Massachusetts Institute of Technology. He is former chairman of the Department of Decision Sciences and was director of Wharton's Executive MBA program. Dr. Hurst is also co-founder and president of GH Software, Inc., a firm which offers information systems for designing, evaluating, and marketing residential mortgages. His research emphasizes applications of new techniques and technologies to decision support which bridge the gap between theory and practice, especially in the area of management control.

REPRINTED FROM:

Decision Support Systems

The International Journal

Volume 3, No. 2, June 1987

Interaction of Strategic Planning and Short-term Planning: An Intelligent DSS by the Post-Model Analysis Approach

Jae Kyu LEE * and Ho Geun LEE **

* *Department of Management Science, Korea Advanced Institute
of Science and Technology, Cheongryang, Seoul, Korea*

** *Planning Division, Data Communications Corp. of Korea,
Yeongdungpo-Ku, Seoul, Korea*

pp. 141-154

North-Holland

Interaction of Strategic Planning and Short-term Planning: An Intelligent DSS by the Post-Model Analysis Approach

Jae Kyu LEE * and Ho Geun LEE **

* *Department of Management Science, Korea Advanced Institute of Science and Technology, Cheongryang, Seoul, Korea*

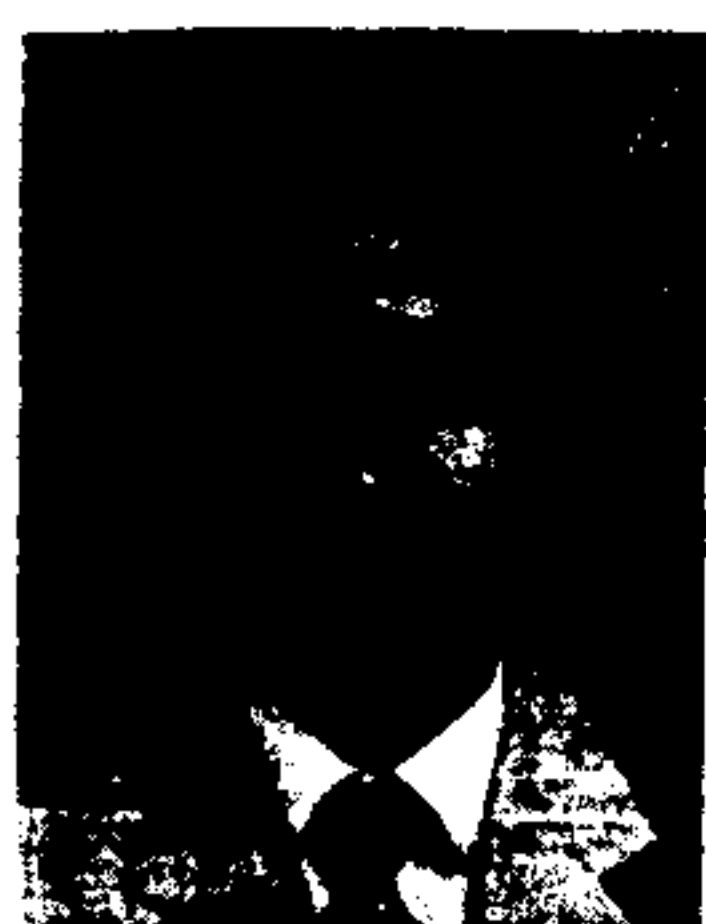
** *Planning Division, Data Communications Corp. of Korea, Yeongdungpo-Ku, Seoul, Korea*

The Extended Sales Mix Problem (ESMP) is a problem which considers the strategic impacts as well as the profits generated by the sales mix plan of the current period. To solve the ESMP, the trade-offs between qualitative strategic impacts and quantitative short-term profits are unavoidable. Therefore, the Post-Model Analysis (PMA) is adopted to explore the opportunity costs of qualitative goals and to support the qualitative judgments. For the support of qualitative judgments, the graphical schemes of strategic planning, like the growth share matrix, the GE matrix, and the trend graph are organized with the guide of a knowledge-based expert system. To implement the idea, an intelligent decision support system named SAM was designed and a prototype was developed on the microcomputer. The SAM has optimization models, knowledge, graphs, and data components. The SAM is illustrated via numerical examples and dialogue.



multiple criteria decision making.

Jae Kyu Lee is Assistant Professor of Management Information Systems at the Department of Management Science of the Korea Advanced Institute of Science and Technology. He holds a B.S. from Seoul National University, an M.S. from the Korea Advanced Institute of Science and a Ph.D. from the Wharton School, University of Pennsylvania. His research interests include decision support systems, building expert systems for managerial problems and Post-Model Analysis for



Ho Geun Lee holds a B.S. from Seoul National University and an M.S. from the Korea Advanced Institute of Science. His research background includes a working paper on the interactions of strategic planning and short-term planning using the Post-Model Analysis approach and a project involving the development of a financial management system using dBase III.

1. Introduction

In many studies, the business of planning is divided into two levels depending upon the relative length of the planning horizon: long-term planning and short-term planning. For the corporate's short-term planning, optimization models like sales mix models are widely used; while for the long-term planning, various qualitative analysis techniques of strategic planning are developed. Usually, these two approaches have been studied separately. The most common approach to associate two levels of planning is done by adding the constraints which reflect the important considerations of the long-term planning in the short-term optimization models. However, this approach is not satisfactory in many cases, for the following reasons:

- (1) It is not easy to 'quantify' the strategic considerations to fit the optimization model.
- (2) When conflicts exist between long-term profits and short-term profits, the trade-offs between the quantified short-term profits and the non-quantified long-term profits are unavoidable.

To overcome the difficulties, this study adopts the Post-Model Analysis (PMA) approach. The PMA is a framework which supports trade-offs between quantitative objectives and qualitative objectives. For this purpose, the PMA presents the opportunity costs of qualitative objectives in terms of the quantitative objective values and supports the evaluation of alternative solutions in terms of qualitative objectives. For the full review of PMA, please refer to [23], [24]. In this research, we focus on the following problems:

- (1) For short-term planning, the linear programming model of the Sales Mix Problem (SMP) is used.
- (2) For long-term planning, various qualitative

North-Holland

Decision Support Systems 3 (1987) 141-154

methods for strategic planning are used.

- (3) Let us formulate the target problem of the 'Extended Sales Mix Problem (ESMP)' which considers not only the profits of the current period but also the strategic impacts of the current sales mix.

The target of this research is to develop a framework for solving the ESMP by the PMA approach and to develop an Intelligent Decision Support Systems (IDSS) to utilize the framework. To accomplish the research target, the IDSS needs optimization models, graphical displays, data base, and a knowledge-based expert system which will help the strategic evaluation. To review the literature on the applications of expert systems to managerial problems, see [11,12,14,18,20,30,31]. The DSS is well described in [2,3,5,7,21,27,34], and the value of graphs for decision making is discussed in [19,25].

The structure of the remaining sections are as follows. The ESMP is formulated by the PMA approach in section 2. The methods of strategic evaluation are reviewed and a combination of methods are selected as tools to support qualitative judgements in section 3. The solution process of the ESMP by the PMA approach is shown in section 4. In section 5, the IDSS named Sales Mix

DSS (SAM) is developed to utilize the solution process developed in the previous section; finally, the functions of SAM are illustrated by an example in section 6.

2. Formulation of the ESMP by the PMA Approach

To formulate the ESMP by the PMA approach, the SMP is reviewed first.

2.1. Sales Mix Problem

The Sales Mix Problem is a very popular linear programming model (see [33]) whose objective function is the maximization of profits (or minimization of costs) subject to the capacity constraints. Mathematically, the SMP is formulated as (1)–(3):

$$\max_C CX \quad \text{subject to} \quad (1)$$

$$AX \leq b, \quad (2)$$

$$X \geq 0, \quad (3)$$

where

X = sales mix vector,

C = profit contribution vector,

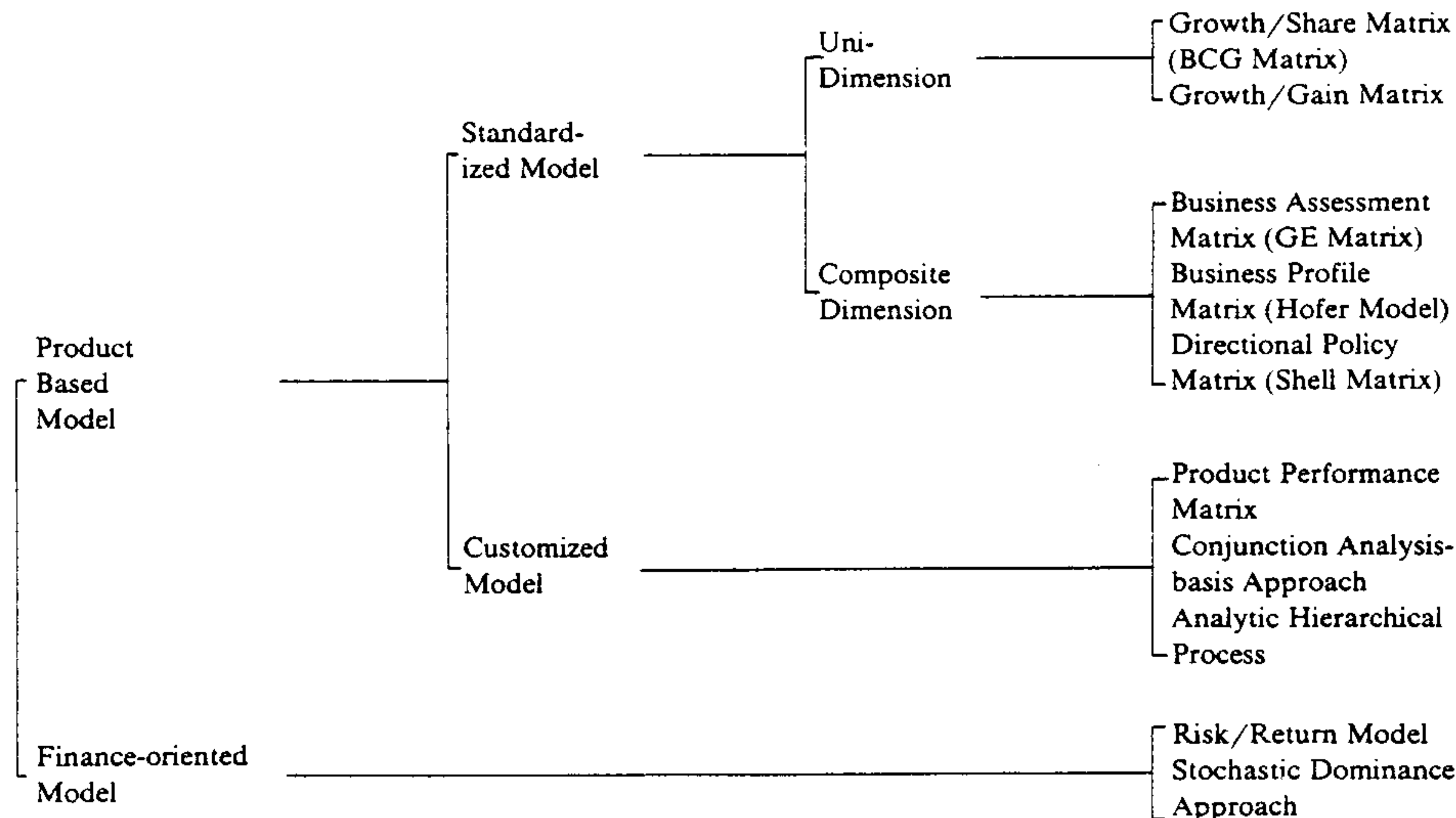


Fig. 1. Classification of Portfolio Models (quoted from [35]).

A = technological coefficient matrix,
 b = production capacity vector.

When there are additional constraints such as budgetary limits, demands, and so on, they can be included in the model in addition to (2)–(3).

2.2. Extended Sales Mix Problem

According to the PMA terminology, the representational form of the ESMP is as follows:

$$\max_X [CX, J_g(X|I)] \quad \text{subject to} \quad (4)$$

$$AX \leq b, \quad (5)$$

$$X \geq 0, \quad (6)$$

$$J_c(X|I) \geq q_c, \quad (7)$$

where

$J_g(\cdot)$ = Judgment function for the qualitative goal of long-term profit maximization

I = Additional information necessary for qualitative judgment

$J_c(\cdot) \geq q_c$ = Judgment functions for the qualitative constraints q_c , where the symbol \geq stands for satisfaction.

The conceptual objective function in (4) is the maximization of the short-term profit CX and the long-term profit $J_g(X|I)$. The judgment functions which utilize the additional information not included in the quantitative model may be formulated in graphical display form, by knowledge in expert system, and by ad hoc inquiry to the data base.

To solve the ESMP in (4)–(7), the operational form of ESMP is adopted as in (8)–(12)

$$\max_X CX \quad \text{subject to} \quad (8)$$

$$AX \leq b, \quad (9)$$

$$X \geq 0, \quad (10)$$

$$J_g(X|I) \geq q_g, \quad (11)$$

$$J_c(X|I) \geq q_c, \quad (12)$$

In the operational form, the qualitative goals q_g are treated as qualitative constraints as in (11). We adopted the operational form because the opportunity cost of q_g associated with judgement functions can be computed in terms of CX , while supporting the qualitative judgements. The oper-

ational form is thus good to support the interactive trade-offs between the short-term profit CX and the long-term profit q_g represented in $J_g(X|I)$.

3. Methods of Strategic Evaluation

As the next step, a framework for processing the judgement functions for the long-term profit was developed. For this purpose, the research done in the strategic planning area can provide a number of useful tools (see [1,4,8,9,13,15,16,17,22,26,29,32]). Since the function of most schemes in strategic planning is concerned with the evaluation of given alternative strategies, the combined usage with the optimization model as an alternative solution generator can extend the function of schemes to the strategic alternative generation as well as the evaluation. The available methods for strategic planning in the literature can be classified into three categories depending on their focuses

- (1) Portfolio Models,
- (2) PIMS Analysis,
- (3) Growth Vector Analysis.

The Portfolio Models are further classified as shown in fig. 1 (see [35]). It will be wasted effort to try to use all of the listed methods because these models have many redundant factors between each other. Therefore, parsimonious selection and complementary combination of the methods are essential to consider important factors, without losing the efficiency of strategic planning. Since our aim is to help the strategic judgements in (11)–(12), the Product-Based Standardized Models of the Portfolio Models as listed in fig. 1 are most appropriate according to the following reasons:

- (1) The Product Based Models can be used in determining the resource allocation strategy among products to maximize long-term profits [32]. This feature fits very well with the need of judgements for (11)–(12).
- (2) Since the Composite Dimensional Models in the Portfolio Models include most of the information that might have been provided by the PIMS analysis and Growth Vector Analysis, the latter methods can be skipped as far as

the Composite Dimensional Portfolio Models are effectively used.

- (3) Among the Product Based Models, the Standardized Models are selected because they are widely used and well known to many managers.

Among the five methods in the standardized models, the BCG matrix is the single most popular method. However, the BCG matrix alone is not complete. To compensate the weakness of the BCG matrix, the Business Assessment Matrix (GE Matrix) and the Growth/Gain Matrix can be used additionally. Since the Growth/Gain Matrix is concerned with the growth rate of products and markets, the graph which displays the trends of the products' sales and market size simultaneously may replace the role of the Growth/Gain Matrix, thus providing additional information about dynamic trend. The Business Profile Matrix is not adopted here, because the decision is not obvious concerning where a product should be located on the product evolution stage. The Directional Policy Matrix (DPM) is also dropped out, because the notion of market potential and company capability in the DPM is nearly a duplication of the notion of market attractiveness and business strength utilized in the GE Matrix. Therefore, the finally selected methods are as follows:

- (1) Growth/Share Matrix (BCG Matrix),
- (2) Business Assessment Matrix (GE Matrix),
- (3) Trend Graph.

The combined use of these three methods can provide most of the functions necessary to effectively evaluate the judgment functions with a minimum degree of duplication.

4. Solution Process of the ESMP by the PMA Approach

To solve the ESMP in (8)–(12), the PMA approach is applied. The solution process as depicted in fig. 2 can be described as follows:

- (1) First, maximize short-term profits by solving the linear programming (LP) model in (8)–(10). We call the solution the quantitatively optimal solution.

- (2) Next, the optimal solution of the LP model needs to be evaluated from the perspective of long-term profits. Since the qualitative goal of long-term profits cannot be represented in numeric functions, graphical displays with the guide of the expert system can be used to support the evaluation of the quantitatively optimal solution.
- (3) If the current solution is satisfactory from the strategic point of view, then the best solution has been found; go to step 10.
- (4) If the current solution is not satisfactory, identify the product that needs adjustment to effectively enhance the strategic benefits.
- (5) Once the product to be adjusted is identified, we have to decide the level of adjustment. This process may be aided by expert systems or by menu-driven, non-procedural graphical displays.
- (6) Using the preferred aids, the decision maker (DM) can obtain the adjusted solution and the opportunity cost of adjustment. The process of computing the opportunity cost is described in detail in fig. 3.
- (7) At this point, the DM has to decide whether the opportunity cost is acceptable to effectively enhance the strategic benefits.
- (8) If the DM wants to modify the adjustment level of the same product, the adjustment procedures may be similarly repeated; go to step 5.
- (9) If the DM is satisfied with current adjustment level, go to step 3 to check whether there are more products that need adjustments.
- (10) The best solution has been found; stop.

The process of computing the opportunity costs of an enhanced qualitative goal is depicted in fig. 3. In this process, the Upward Adjustment or Downward Adjustment is used to move from the dominated or infeasible solution to the non-dominated solution of both quantitative objectives and qualitative objectives depending on whether the adjusted solution is feasible to the original quantitative model or not [24]. In any case, the outcome of Upward/Downward Adjustment is the opportunity cost ΔC . When the adjusted solution is infeasible to the original quantitative model, the DM should decide whether to expand the capacity of production facilities to increase the

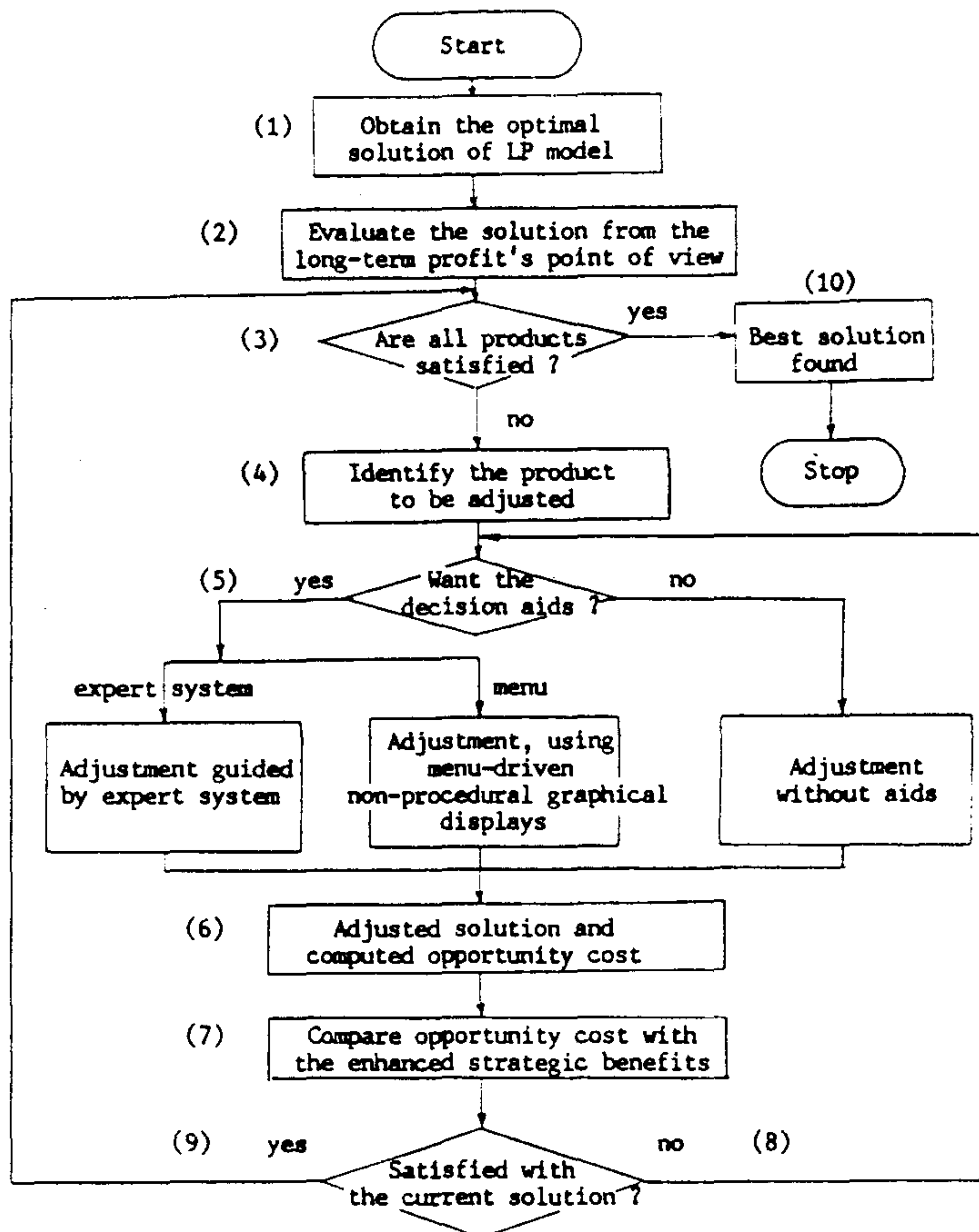


Fig. 2. Solution process of the ESMP by the PMA approach.

feasibility of the current solution. If the DM has intentions to expand capacity, the required additional investments should be included in calculating the opportunity costs.

5. Intelligent Decision Support System: SAM

The next step in our analysis is to build an Intelligent Decision Support System named Sales Mix DSS (SAM) which can implement the solution process of the ESMP by the PMA approach. The architecture of SAM is depicted in fig. 4. SAM has the following five subsystems:

- (1) Quantitative model subsystem
- (2) Qualitative model subsystem
- (3) Trade-off supporting subsystem
- (4) Data base subsystem
- (5) Dialogue subsystem.

5.1. Quantitative Model Subsystem

The role of the quantitative model subsystem is the generation, storage, retrieval, and maintenance of optimization models for short-term profit maximization. The architecture of this subsystem is the same as the typical architecture of the Model Base and the Model Base Management System [10].

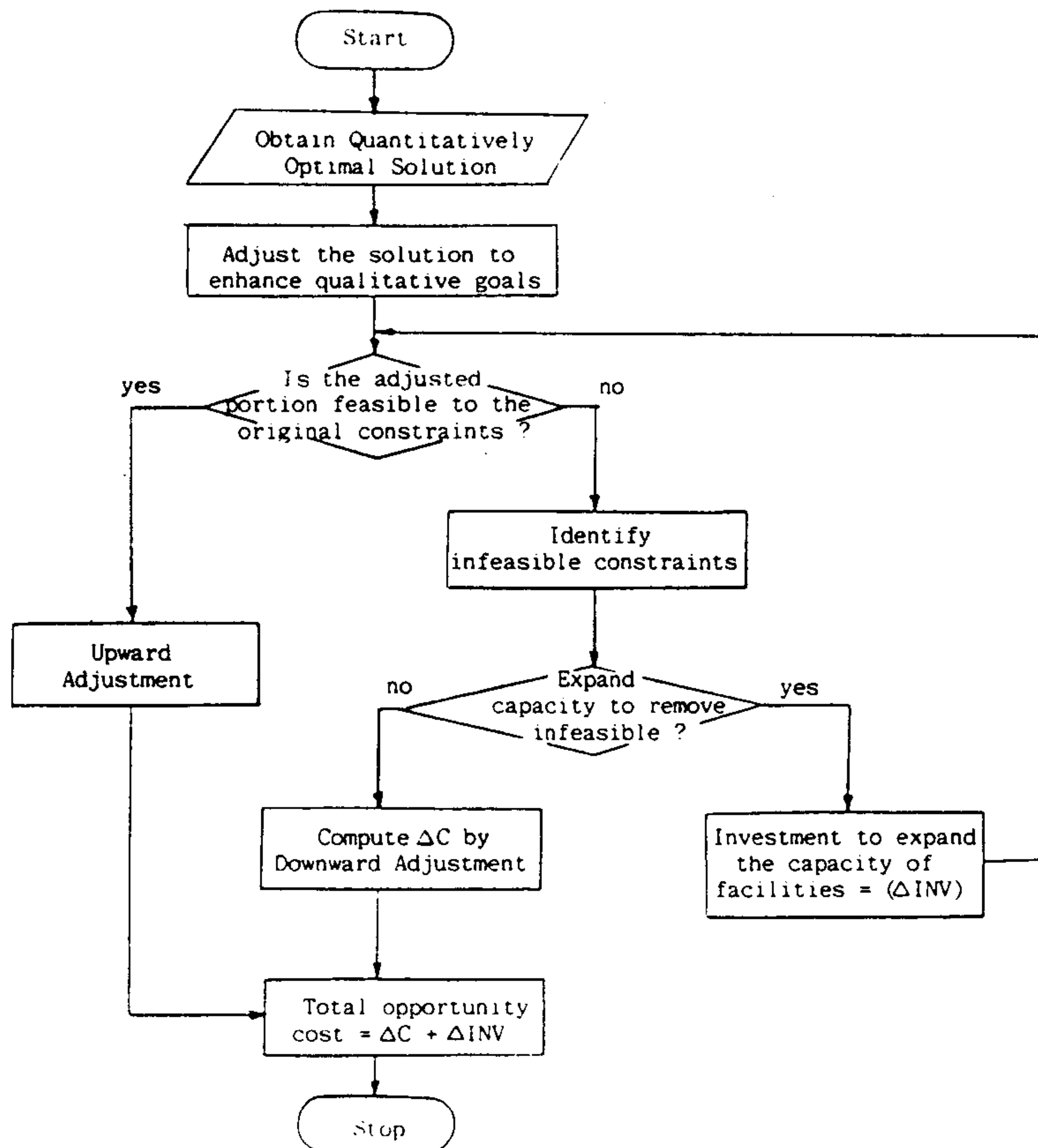


Fig. 3. Process of computing opportunity costs.

5.2. Qualitative Model Subsystem

The qualitative model subsystem consists of both a knowledge-based expert system and graphs.

5.2.1. Graphs

The graphical modules are prepared in the graph base, and the generation, maintenance, and display of graphs are managed by the graph manager. The graphs may be called up by the expert system as well as by menu-driven request. The graph base contains a set of graphs useful for strategic evaluation. The available graphs are as follows:

- (a) About the DM's own products
- BCG Matrix.
 - Dynamic BCG Matrix which shows the dy-

namic changes as shown in fig. 5.

- GE Matrix.
- (b) About the competitor's products
 - BCG Matrix,
 - Dynamic BCG Matrix.
- (c) Trend Graph for
 - the DM's sales versus the market size,
 - the competitor's sales versus the market size.
 - the DM's sales versus the competitor's sales.

Note that the GE matrix is used only for the DM's own company, because the GE matrix needs the manager's subjective judgement and the internal information of competitors which may not be readily available.

5.2.2. Expert System

The role of the expert system is mainly to help

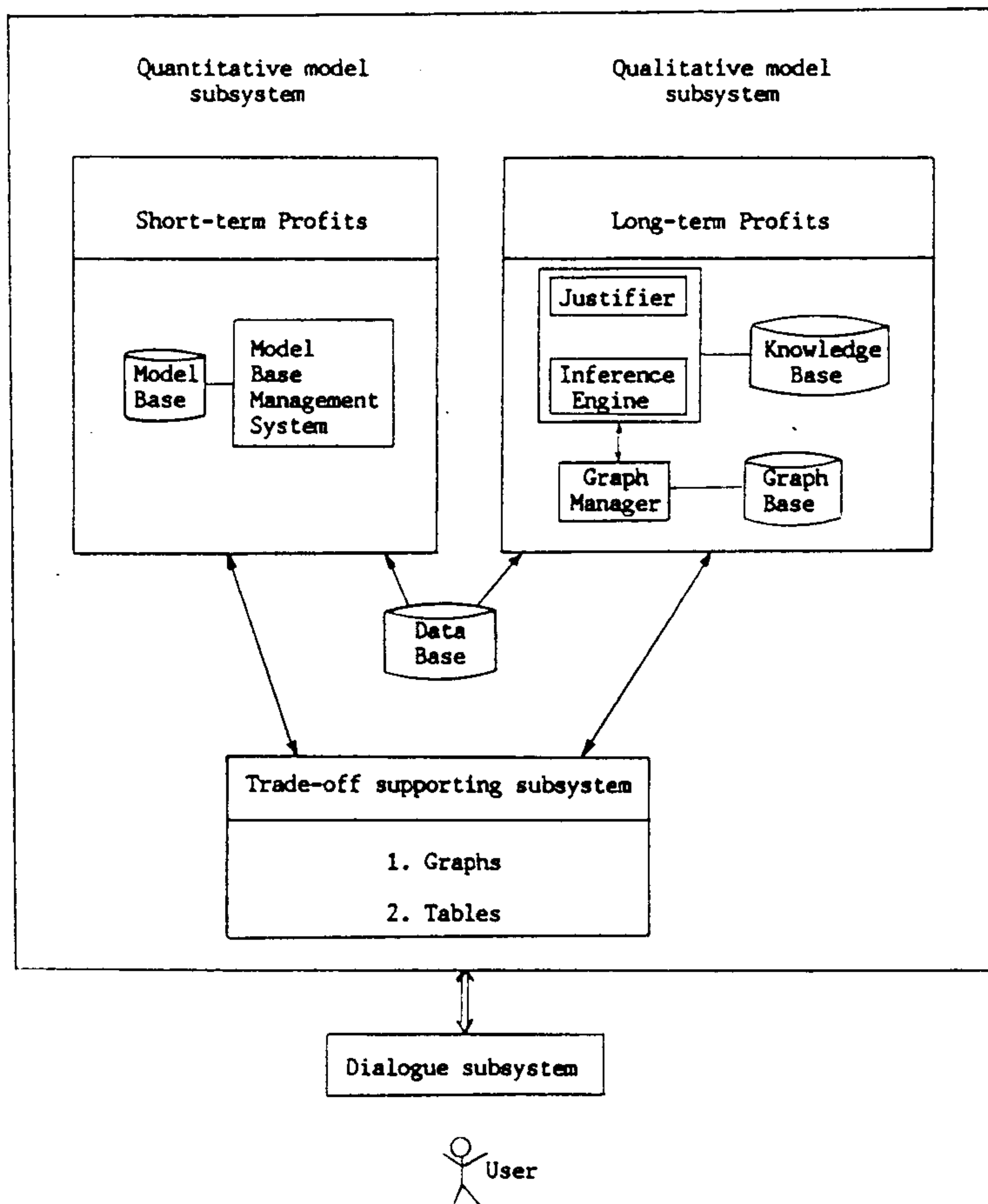


Fig. 4. Architecture of the SAM.

the DMs who cannot efficiently interpret the portfolio models. The expert system has the components of knowledge base, inference engine, and justifier as is the case with most expert systems.

(1) *Knowledge Base.* In the current prototype of SAM, the knowledge base contains fifty one production rules, sixteen hypotheses (conclusions), and sixteen explanations. For each hypothesis, there is one optional explanation. The attributes used in constructing the knowledge base include the following.

- (a) For the products of the DM's own company
 - position in the BCG Matrix,

- position in the GE Matrix,
- trend contrast of the product's sales against market size.
- (b) For the products of competitors
 - position in the BCG Matrix,
 - trend contrast of the product's sales against market size.

The conclusions are mainly about whether to increase or decrease the quantity of production amount with explanatory reasons. The knowledge of the current prototype is extracted from the literature about competitive strategies. Accordingly, it is general rather than specific. In order to apply this expert system to a specific firm in a

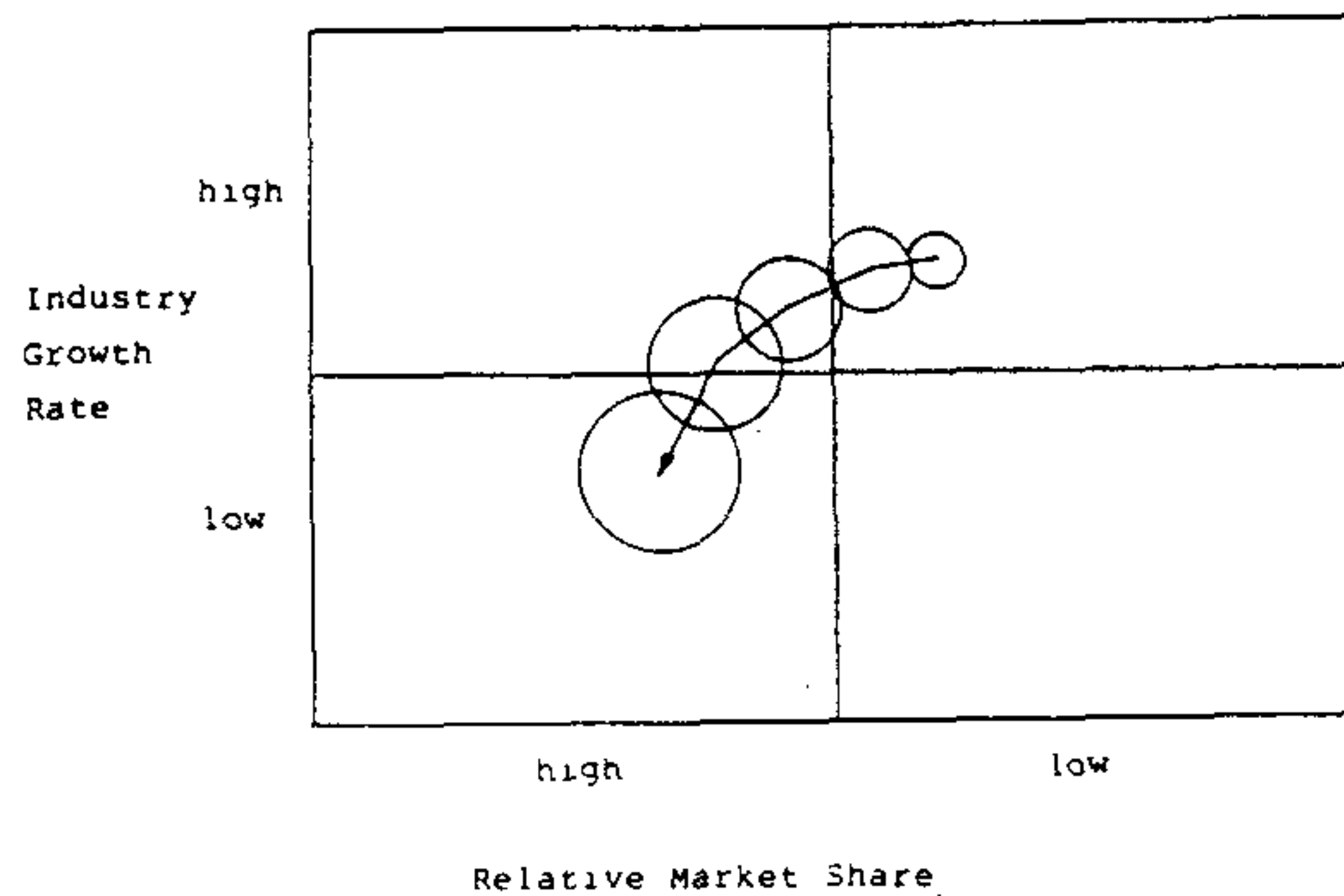


Fig. 5. Dynamic BCG matrix.

specific industry, additional knowledge should be added. Our aim at the current stage is to illustrate the potential contribution of the expert system for this kind of affair. Fortunately, the features of the expert system allow an augmentation of knowledge easy, when it is necessary to do so.

(2) *Inference Engine.* To infer the conclusion, the SAM adopts the backward chaining approach, because there are sixteen predefined alternative conclusions. In the backward chaining, a goal is chosen first. Then the inference engine scans the rules to find those rules whose consequential action can achieve this goal. Each rule is tried in turn. If the antecedents of the rule match with the existing facts in the knowledge base, the rule is satisfied and the problem is solved. If an antecedent is not matched with the list of facts, the condition to satisfy the antecedent becomes a new subgoal that should be satisfied beforehand. The same procedure is repeated recursively. During the inference, the inference engine calls graphs from the graph base for consultations whenever necessary.

(3) *Justifier.* The SAM has two justifiers. One is the 'why' justifier and the other is the 'conclusion' justifier. During the consultation, if the DM wants to know why the question is asked, the 'why' justifier explains the reasons. On the other hand, the explanation about a conclusion is the responsibility of the 'conclusion' justifier, which uses the 'explain' parts of the knowledge base in conjunction with the graphs.

Table 1
Contents of the Data Base.

LP Formulation

- (1) Number of decision variables
- (2) Number of constraints
- (3) Coefficients in the objective function
- (4) Technological coefficients
- (5) Available resource of right hand side
- (6) Forecast of demand for each product

Graphs

BCG Matrix

- (1) Relative market share of each product
 - DM's and competitor's product
- (2) Industry growth rate of each product
 - DM's and competitor's product
- (3) Sales of each product
 - DM's and competitor's product

GE Matrix

- (1) Market attractiveness of each product (weighted sum)
- (2) Product strength of each product (weighted sum)
- (3) Market size of each product

TREND graph

- (1) Sales history of
 - DM's products
 - competitor's products
- (2) History of market size of all products

5.3. Trade-off Supporting Subsystem

This subsystem supports the trade-offs between the achievement of qualitative goals and the opportunity costs. By displaying the opportunity costs with the graphs and expert system's consultation, the DM can effectively judge the trade-offs.

5.4. Data Base Subsystem

The data base contains all data required for the formulation of linear programming models and graphs. The contents in the data base are listed in table 1. These data can also be retrieved by direct inquiry.

5.5. Dialogue Subsystem

User-friendly features in the SAM are the menu-driven dialogue to guide the less skilled users with graphical aids.

The prototype of SAM is implemented in the IBM PC-XT with 512 KB of main memory. In the

next section, the current prototype of SAM is illustrated by an example.

6. Illustration of SAM by Example

6.1. Scenario

To illustrate the SAM, the following example is presented. Suppose a firm produces seven products in a competitive market and the top manager (John) wants to establish a plan to maximize his firm's profit. Based on his own experience, he knows the existence of conflicts between long-term profits and short-term profits. Therefore, his major concern is how to strike a balance between long-term profits and short-term profits.

To apply the PMA approach to this problem, we need the internal information about his own firm's available resource, as well as the external information about the market and the firm's competitors. The Operational Form of an illustrative ESMP is formulated as (13)–(21). The constraints (14)–(19) are the limitations of available resources (production capacity, capital budget, etc.), while the constraints (20) and (21) are the judgment functions for the qualitative goals of long-term profits and the associated strategic constraints, respectively.

$$\max Z = 47x_1 + 93x_2 + 72x_3 + 35x_4 + 84x_5 + 105x_6 + 95x_7 \quad (13)$$

subject to

$$3.0x_1 + 4.4x_2 + 7.5x_3 + 1.6x_4 + 5.9x_5 + 11.8x_6 + 7.3x_7 \leq 4,500, \quad (14)$$

$$35.8x_1 + 12.1x_2 + 23.9x_3 + 12.0x_4 + 35.5x_5 + 36.5x_6 + 95.8x_7 \leq 21,000, \quad (15)$$

$$4.75x_1 + 5.55x_2 + 2.38x_3 + 6.44x_4 + 3.15x_5 + 4.02x_6 + 1.58x_7 \leq 1,600, \quad (16)$$

$$72x_1 + 35x_2 + 144x_3 + 55x_4 + 126x_5 + 36x_6 + 72x_7 \leq 45,000, \quad (17)$$

$$2.1x_1 + 2.2x_2 + 1.0x_3 + 3.4x_4 + 1.5x_5 + 1.2x_6 + 3.5x_7 \geq 825. \quad (18)$$

$$x_i \geq 0 \text{ for all } i, \quad (19)$$

$$J_g(J_{g1}(x_1 | I_1), \dots, J_{g7}(x_7 | I_7)) \geq q_g, \quad (20)$$

$$J_c(J_{c1}(x_1 | I_1), \dots, J_{c7}(x_7 | I_7)) \geq q_c. \quad (21)$$

To simplify the example, the qualitative interrelationships between products are not considered in (20), which may not be realistic. As mentioned in the section 2, the notation ' I_i ' means the additional information about the market and competitors of the product i . The constraint (20) implies that each product should contribute to the firm for the maximization of long-term profits. However, the maximization of long-term profits may be constrained by some factors such as the regulation of government and the reaction of competitors as described in (21). As the first step of the PMA, the feasible quantitatively optimal solution of the model (13)–(19) is computed to maximize short-term profits. The optimal feasible solution is represented as follows:

Solution	Profit
$x_1 = 0$	$Z = \$46,601,410$
$x_2 = 28.40$	
$x_3 = 173.35$	
$x_4 = 0$	
$x_5 = 50.96$	
$x_6 = 183.37$	
$x_7 = 83.62$	

The next step is judgemental routine of the PMA. To evaluate from the long-term profit's point of view, the quantitatively optimal solution is displayed in the BCG Matrix as shown in fig. 6. In this example, we assume that the growth rate of 20% is the subjective threshold of a high growth rate. From the additional information in the data base, we come to know the following features of the product x_1 :

- (1) x_1 is a question mark product.
- (2) x_1 has a high potential in GE Matrix, owing to the high market attractiveness and intensive product strength.

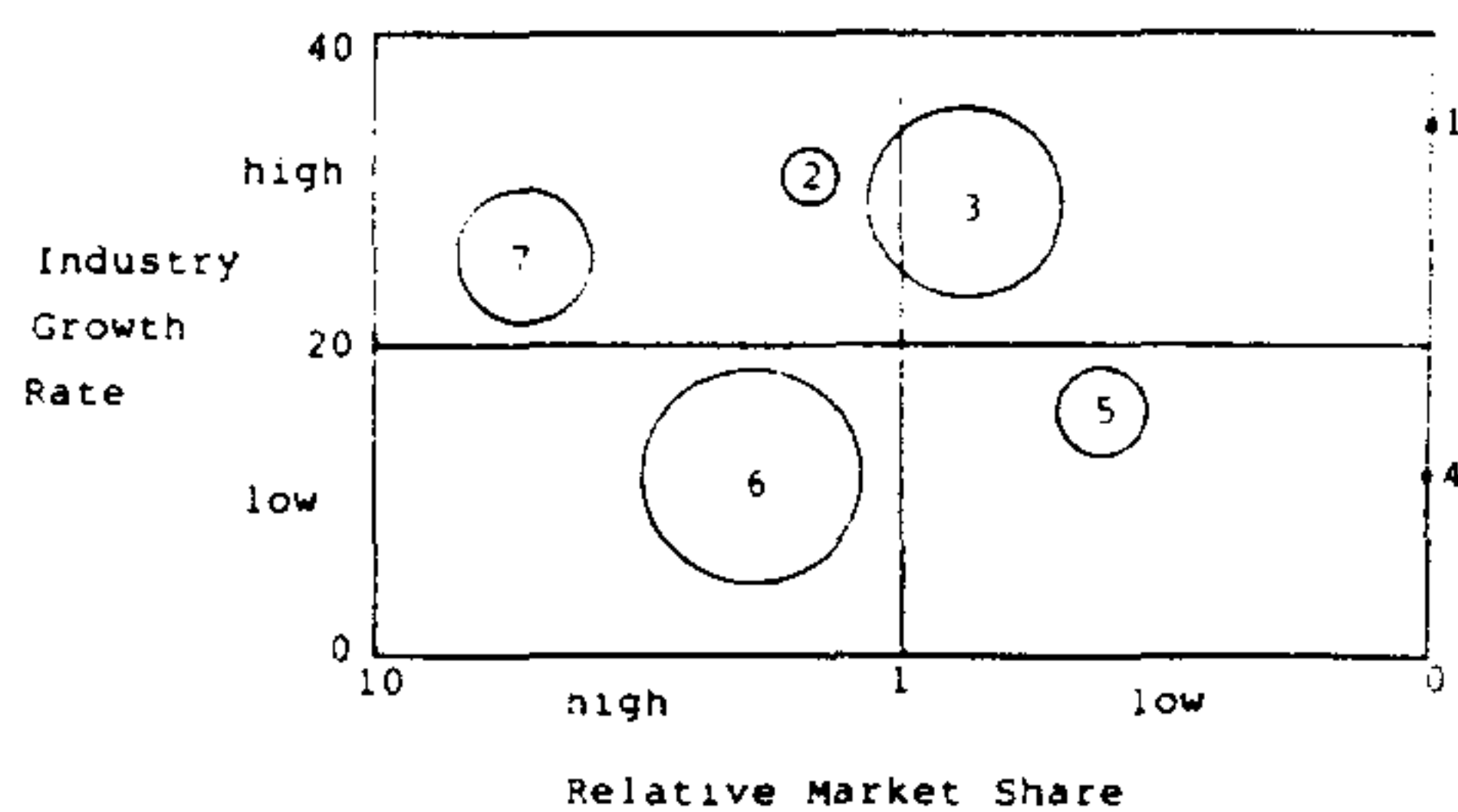


Fig. 6. Quantitatively optimal solution in BCG Matrix.

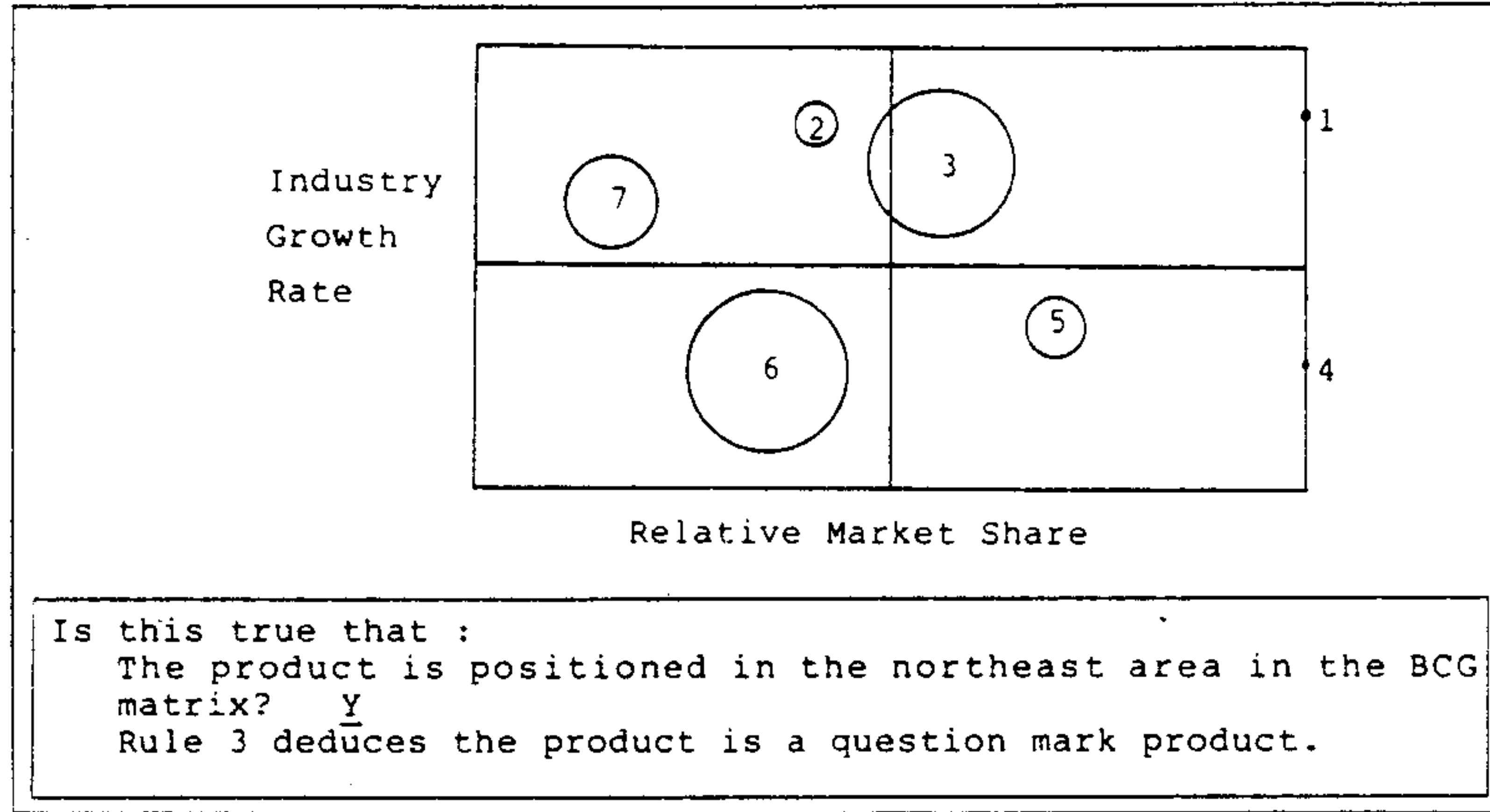


Fig. 7. BCG Matrix for product x_1 .

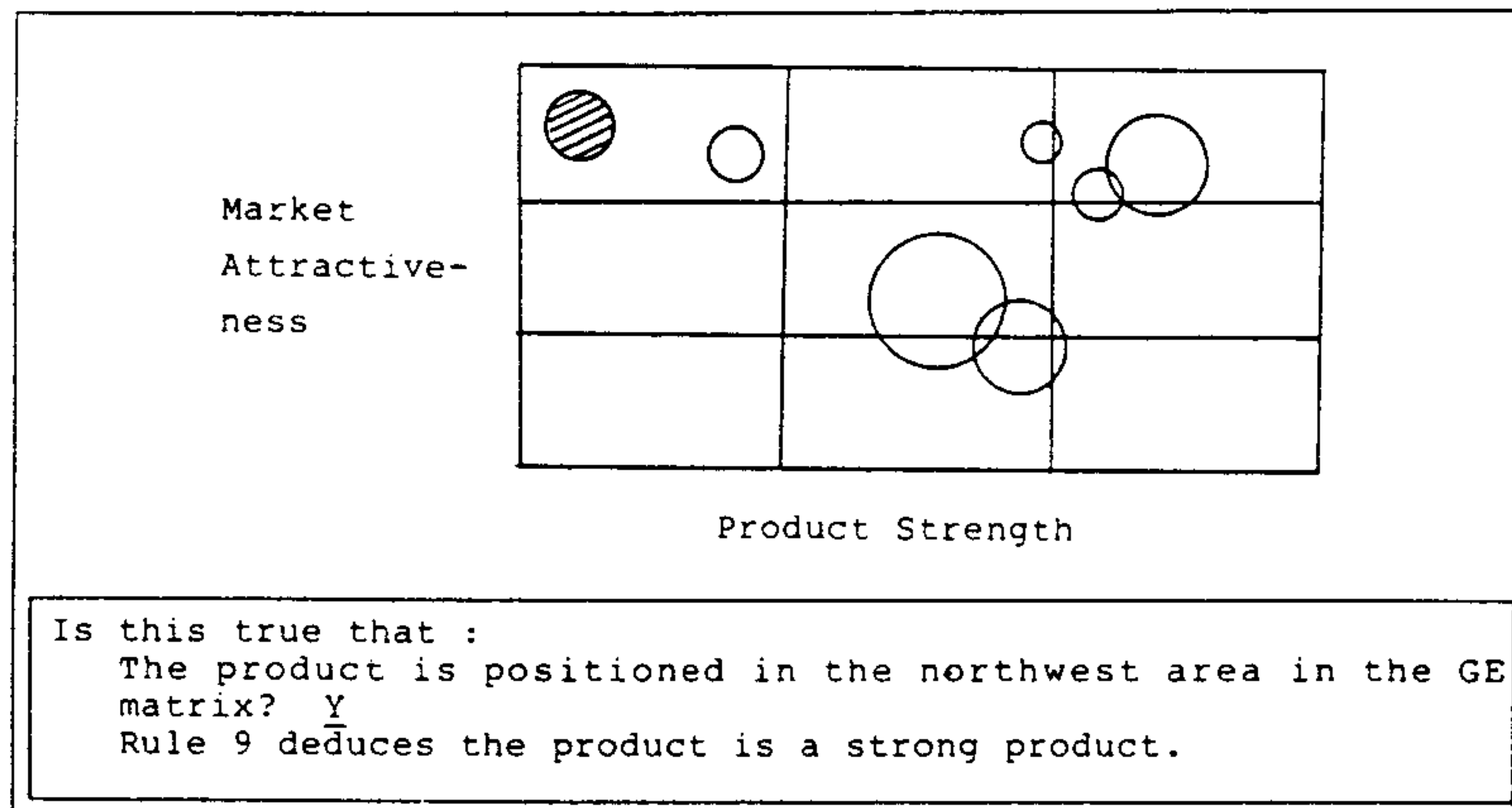


Fig. 8. GE Matrix for product x_1 .

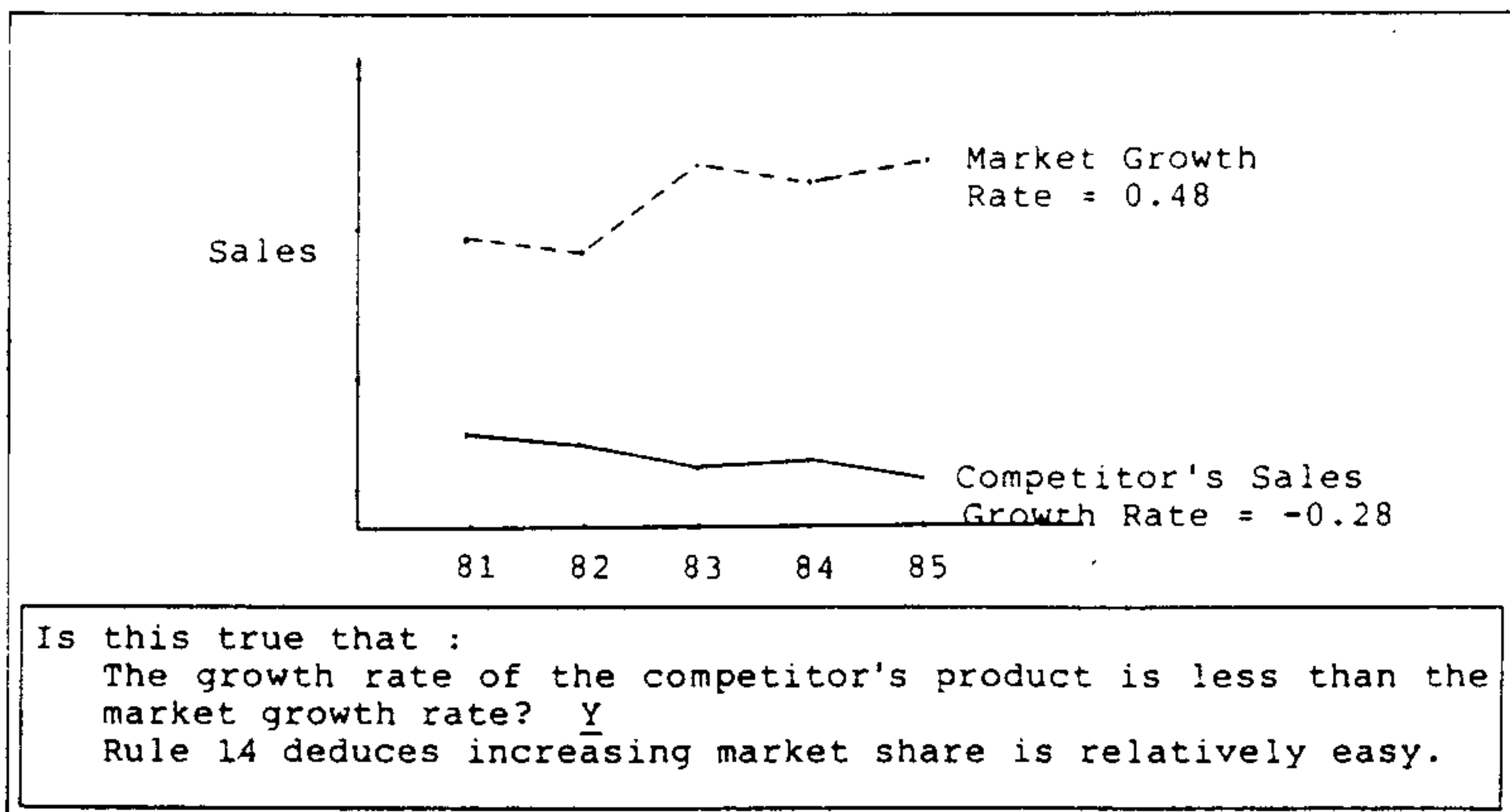


Fig. 9. Trend graph of competitor for product x_1 .

- (3) The competitor's product is a star product.
- (4) The competitor is losing its market share.
- (5) John's market share of this product is also decreasing.

should increase the market share of product x_1 by increasing production.

6.2. Aid of the Expert System

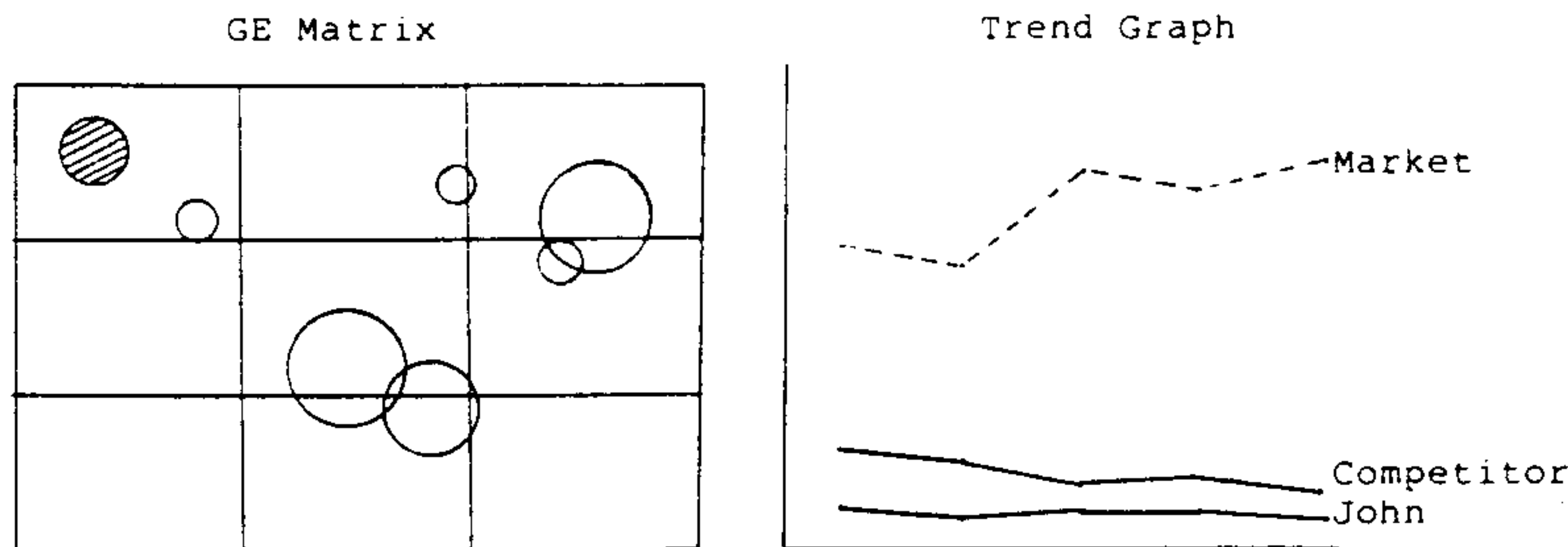
According to the above information, we can infer that the product x_1 has significant potential to be a star product in the future owing to its high market attractiveness and intensive product strength. Moreover, since the main competitor's product is losing its market share, it is relatively easy to increase the market share of this product unless there is a hidden trap. If the product x_1 is not produced at all in the current period, the market share will be lost further and that is not desirable from the perspective of long-term profits, though it may be the best decision from the perspective of short-term profits. Therefore, John

Now let's examine how the expert system of SAM works. Since the expert system asks a series of questions displaying helpful texts and graphs in answering these questions, John can communicate with the expert system with ease. An example of dialogue with positive answers is shown in fig. 7 through fig. 9. At the concluding stage, the expert system ends by showing the conclusion and explanation (fig. 10a and fig. 10b). Note that the explanation includes the two graphs together with the text. The seven rules – R3, R6, R9, R12, R14, R20 and R44 – are activated for this consultation. These rules are shown in table 2. Rule 44 includes

(CONCLUSION)

Augment the production of this question mark product to increase its market share

Fig. 10a. Conclusion for product x_1 .



(EXPLANATION)

Among the question mark products, some products should be selected and strongly invested to be a star product in the near future. It is desirable to select ones that are located at strong positions on the GE matrix. Since this question mark product has a strong potential on the GE matrix and its main competitor is losing its market share, there is a good chance of increasing its market share. We recommend to increase the market share of this product by augmenting production, because the growth rate is less than the market growth rate.

Fig. 10b. Explanation for the conclusion.

the final conclusion (goal) in the 'THEN' part. Though the quantitatively optimal solution suggests $x_1 = 0$, the expert system recommends to increase production of x_1 . This implies that a new constraint, for example, $x_1 \geq 30$ (thousand) will be added to the original problem automatically or manually. Thirty thousand units is the sales amount of the last period. The new optimal feasible solution and the opportunity cost of the additional constraint are computed as follows:

Solution	Profit
$x_1 = 30.00$	$Z = \$45,107,590$
$x_2 = 18.42$	
$x_3 = 204.89$	Opportunity cost
$x_4 = 0$	$= \$1,439,820$
$x_5 = 0$	
$x_6 = 182.40$	
$x_7 = 85.06$	

The SAM also displays this solution in the BCG Matrix form. If John is not satisfied with the current solution, he may try a different level of x_1 . If John is satisfied with the current level of x_1 , he may continue the same procedure for the other products, x_2, \dots, x_7 . Finally, the SAM contrasts the new solution with the old solution displaying the opportunity cost and BCG matrices together (fig. 11). If John prefers the current solution to the initially obtained quantitatively optimal solution, this means that the former solution is the more preferred non-dominated solution.

7. Concluding Remarks

The first contribution of this research is the development of a solution method for the Extended Sales Mix Problem using the Post-Model Analysis approach. However, the issue of path dependency in the PMA [24] is not treated in this illustrative example, so as not to dissipate the readers attention from the interactions between the optimization model and the expert system. Though the expert system needs additional knowledge acquisition and refinement for its application to a specific company, the current version of knowledge should give a clear idea how the expert system works. The second contribution of this paper is the illustration of the PMA approach for a practical problem. The third contribution is the

Table 2
Rules Used to Obtain the Conclusion.

R3 : IF	the product is positioned in the northeast area of the BCG matrix
THEN	the product is a question mark product
R6 : IF	the competitor's product is positioned in the northwest area on the competitor's BCG matrix
THEN	the competitor's product is a star product
R9 : IF	the product is positioned in the northwest area on the GE matrix
THEN	the product is a strong product
R12: IF	the growth rate of this product is less than the market growth rate
THEN	the product is losing its market share
R14: IF	the growth rate of the competitor's product is less than the market growth rate
THEN	increasing market share is relatively easy
R20: IF	the product is a question mark product
AND	increasing market share is relatively easy
AND	the competitor's product is a star product
THEN	the product is a potential star product
R44: IF	the product is a potential star product
AND	increasing market share is relatively easy
AND	the product is losing the market share
THEN	augment production of this question mark product to increase its market share

provision of architecture to integrate the knowledge and optimization models, which is a very important issue for the research of intelligent decision support systems.

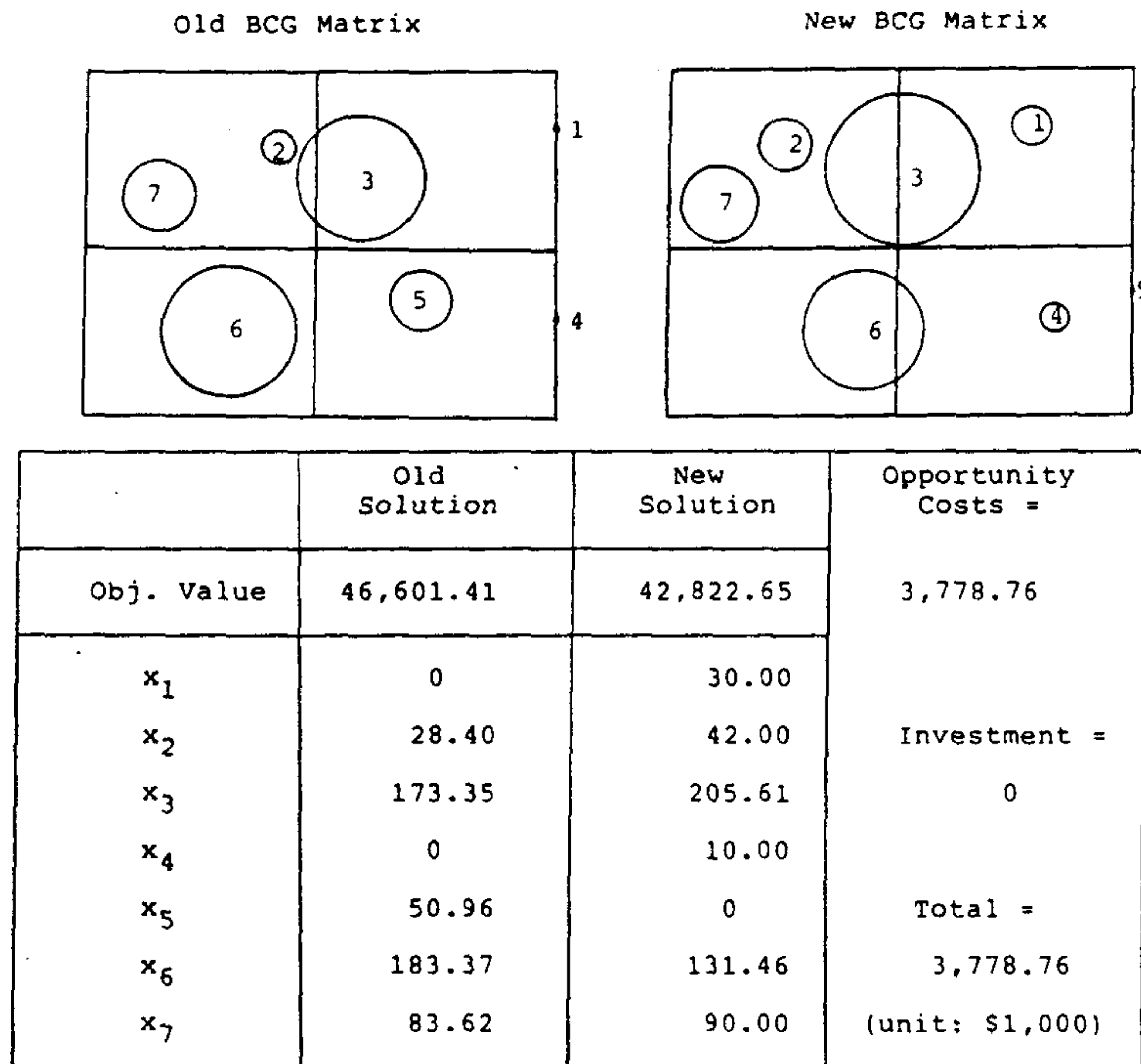


Fig. 11. Achievement of the long-term goals and opportunity costs.

References

[1] Abell, Derek, F. and John S. Hammond, Strategic Market Planning: Problems and Analytical Approach (Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1979).

[2] Alter, Steven L., A Taxonomy of Decision Support Systems, Sloan Management Review (1977) 39-56.

[3] Alter, Steven L., Decision Support Systems: Current Practice and Continuing Challenges (Addison-Wesley, Reading, MA, 1980).

[4] Bettis, Richard A. and William K. Hall, The Business Portfolio Approach - Where it Falls Down in Practice, Long Range Planning 16, Nr. 2 (1983) 95-104.

[5] Bonczek, Robert H., Clyde W. Holsapple and Andrew B. Winston, Computer-Based Support of Organizational Decision Making, Decision Sciences 10, Nr. 2 (1979) 268-291.

[6] Bonczek, Robert H., Clyde W. Holsapple and Andrew B. Winston, The Evolving Roles of Models in Decision Support Systems, Decision Sciences 11 (1980) 337-356.

[7] Bonczek, Robert H., Clyde W. Holsapple and Andrew B. Winston, Future Directions for Developing Decision Supporting System, Decision Sciences 11 (1980) 616-631.

[8] Coate, Malcolm, B., Pitfalls in Portfolio Planning, Long Range Planning 16, Nr. 3 (1983) 47-56.

[9] Derkinderen, Frans G.J. and Roy L. Crum, Pitfalls in Using Portfolio Techniques - Assessing Risk and Potential, Long Range Planning 17, Nr. 2 (1984) 129-136.

[10] Dyer, James S. and John M. Mulvey, Integrating Optimization Systems for Decision Support, in: John L. Bennett, ed., Building Decision Support Systems (Addison-Wesley, Reading, MA, 1983).

[11] Ford, F. Nelson, Decision Support Systems and Expert Systems: A Comparison, Information and Management 8 (1985) 21-26.

[12] Forsyth, Richard, Expert Systems: Principles and Case Studies (Chapman and Hall, 1984).

[13] Glueck, William F., Business Policy and Strategic Management, (McGraw-Hill, 1980).

[14] Gorry, G. Anthony and Rand B. Krumland, Artificial Intelligence Research and Decision Support Systems, in: John L. Bennett, ed., Building Decision Support Systems (Addison-Wesley, Reading, MA, 1983).

[15] Hambrick, Donald C., Ian C. MacMillian and Diana L. Day, Strategic Attributes and Performance in the BCG Matrix - A PIMS-based Analysis of Industrial Product Businesses, Academy of Management Journal 25, Nr. 3 (1982) 510-531.

[16] Hax, Arnolde and Nicolas S. Majluf, The Use of the

- Industry Attractiveness – Business Strength Matrix in Strategic Planning, *Interfaces* 13, Nr. 2 (1983) 54–71.
- [17] Hax, Arnoldo and Nicolas S. Majluf, The Use of the Growth-Share Matrix in Strategic Planning, *Interfaces* 13, Nr. 1 (1983) 46–60.
- [18] Hayes-Roth, Frederick, Donald A. Waterman and Douglas B. Lenat, *Building Expert Systems* (Addison-Wesley, Reading, MA, 1983).
- [19] Ives, Blakes, Graphical User Interfaces for Business Information Systems, *MIS Quarterly*, Special issue (1982) 15–46.
- [20] Kastner, J.K. and S.J. Hong, A Review of Expert Systems, *European Journal of Operational Research* 18 (1984) 285–292.
- [21] Keen, Peter G.W. and M.S. Scott Morton, *Decision Support Systems: An Organizational Perspective* (Addison-Wesley, Reading, MA, 1978).
- [22] Larreche, Jean-Claude and V. Srinivasan, STARTPORT: A Model for the Evolution and Formulation of Business Portfolio Strategies, *Management Science* 28, Nr. 9 (1982) 979–1001.
- [23] Lee, Jae K., Solving Semi-Structured Problems and the Design of Decision Support Systems: Post-Model Analysis Approach, Ph.D. dissertation, Department of Decision Science, The Wharton School, University of Pennsylvania (1985).
- [24] Lee, Jae K. and E. Gerald Hurst, Jr., Multiple Criteria Decision Making including Qualitative Factors: The Post-Model Analysis Approach, Forthcoming in *Decision Sciences*.
- [25] Lucas, Henry C., An Experimental Investigation of the Use of Computer-Based Graphics in Decision Making, *Management Science* 27, Nr. 7 (1981) 757–768.
- [26] McNamee, Patrick and Ulster Polytechnic, Competitive Analysis Using Matrix Displays, *Long Range Planning* 17, Nr. 3 (1984) 98–114.
- [27] Meador, Lawrence and David N. Ness, Decision Support Systems: An Application to Corporate Planning, *Sloan Management Review* (1974) 51–68.
- [28] Perry, C. and K.C. Crellin, The Precise Management Meaning of a Shadow Price, *Interfaces* 12, Nr. 2 (1982) 61–63.
- [29] Porter, Michael E., *Competitive Strategy: Techniques for Analyzing Industries and Competitors* (MacMillan, New York, 1980).
- [30] Reitman, Walter, *Artificial Intelligence Applications for Business* (Ablex, Norwood, NJ, 1984).
- [31] Rich, Elaine, *Artificial Intelligence* (McGraw-Hill, 1983).
- [32] Rowe, Alan J., Richard O. Mason and Karl. Dickel, *Strategic Management & Business Policy: A Methodological Approach* (Addison-Wesley, Reading, MA, 1982).
- [33] Roy, Asim, Emma E. De Falomir and Leon Lasdon, An Optimization-Based Decision Support Systems for a Product Mix Problem, *Interfaces* 12, Nr. 2 (1982) 26–33.
- [34] Sprague, R.H. and Eric D. Calson, *Building Effective Decision Support Systems* (Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1982).
- [35] Wind, Yoram, Vijaj Mahajan and Donald J. Swire, An Empirical Comparison of Standardized Portfolio Models, *Journal of Marketing* 47 (1983) 89–99.

REPRINTED FROM:

Applied Expert Systems

Edited by:

Efraim TURBAN

*School of Business
United States International University
San Diego, CA, U.S.A.*

and

Paul R. WATKINS

*School of Accounting
University of Southern California
Los Angeles, CA, U.S.A.*



1988

NORTH-HOLLAND
AMSTERDAM • NEW YORK • OXFORD • TOKYO

INTELLIGENT PRODUCTION PLANNING SYSTEM USING THE POST-MODEL ANALYSIS APPROACH

Jae Kyu Lee and Byung Sun Kang

Department of Management Science
Korea Advanced Institute of Science and Technology
P.O. Box 150, Cheongryang, Seoul, Korea

Department of Planning
Korea Mining Promotion Corporation
686-48 Shindaebang-Dong, Dongjak-Ku, Seoul, Korea

This paper proposes the use of the Post-Model Analysis(PMA) approach to handle qualitative factors in aggregate production planning problems. The PMA approach excludes qualitative factors such as employee's morale and customer's goodwill from the optimization model. Instead, these factors are represented in a rule-type knowledge base. This approach automatically evaluates the optimal feasible solution that minimizes the cost function in terms of employee's morale and customer's goodwill. If any of the currently achieved goals are unsatisfactory, the tradeoffs may be invoked under the support of the non-dominated opportunity costs that are generated.

The formulation and solution process of the aggregate production planning problem by the PMA approach and its decision support system named IPPS(Intelligent Production Planning System) is described. The IPPS consists of a model management system, a knowledge management system, a PMA controller, and a data management system. The paper also demonstrates an illustrated dialogue using IPPS.

1. INTRODUCTION

Aggregate Production Planning(APP) problems are concerned with the determination of production, inventory, and work force levels to accommodate demand and fluctuations. There have been numerous quantitative models for APP [2], [3], [4], [5], [6]. In these models, the parameters are quantified whether quantification is reasonable or not. This research adopts the Post-Model Analysis(PMA) approach to segregate the qualitative factors from the quantita-

tive model in the formulation process by placing the qualitative factors in the knowledge base [7], [8], [9], [10]. The PMA approach supports the tradeoffs between the quantified objective function in the optimization model and the qualitative factors in the knowledge-based system via a unified framework.

This paper describes the formulation and solution procedure of APP by the PMA approach, and it also proposes an architecture of a decision support system - named IPPS(Intelligent Production Planning System) - that uses the PMA approach for APP. The prototype of IPPS implemented on the microcomputer has a model management system, a knowledge management system, a PMA controller, and a data management system.

2. FORMULATION OF THE AGGREGATE PRODUCTION PLANNING PROBLEM BY THE PMA APPROACH

To illustrate the formulation of APP by the PMA approach, we select a typical linear programming model as in (1)-(7) [3].

Decision Variables:

- X_{it} = units of product i to be produced in period t
- I^+_{it} = units of ending inventory of product i in period t
- I^-_{it} = units of product i backordered at the end of period t
- H_t = manhours of regular work force hired in period t
- F_t = manhours of regular work force laid off in period t
- W_t = manhours of regular labor used during period t
- O_t = manhours of overtime labor used during period t

Parameters:

- v_{it} = unit production cost for product i in period t
- c_{it} = inventory carrying cost per unit of product i held in stock from period t to $t + 1$
- b_{it} = cost per unit of backorder of product i carried from period t to $t + 1$
- r_t = cost per manhour of regular labor in period t
- o_t = cost per manhour of overtime labor in period t
- h_t = cost of hiring one manhour in period t
- f_t = cost of laying off one manhour in period t
- d_{it} = forecast demand for product i in period t
- k_{it} = manhour required to produce one unit of product i

- p = overtime allowed as a fraction of the regular hours
 T = time horizon, in periods
 N = total number of products.

The model is:

$$\text{Minimize } Z = \sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T (v_{it}X_{it} + c_{it}I^+_{it} + b_{it}I^-_{it}) + \sum_{t=1}^T (r_tW_t + o_tO_t + h_tH_t + f_tF_t) \quad (1)$$

subject to:

$$X_{it} + I^+_{i,t-1} - I^-_{i,t-1} - I^+_{it} + I^-_{it} = d_{it} \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^N k_i X_{it} - W_t - O_t \leq 0 \quad (3)$$

$$W_t - W_{t-1} - H_t + F_t = 0 \quad (4)$$

$$-pW_t + O_t \leq 0 \quad (5)$$

$$X_{it}, I^+_{it}, I^-_{it} \geq 0 \quad (6)$$

$$W_t, O_t, H_t, F_t \geq 0 \quad (7)$$

$$i=1, \dots, N, \quad t=1, \dots, T$$

In this model, the cost coefficients for hiring(h_t), firing(f_t), and backordering should be quantified. In most cases, however, it is extremely difficult to quantify them completely, i.e. the impact of firing and hiring on the employee's morale and the impact of backordering on the customer's goodwill.

Furthermore, the decision variables in the optimization model(hiring, firing, backordering) are not the only factors that influence the qualitative objectives (employee's morale, customer's goodwill). For example, the employee's morale is also affected by work conditions, the average rate of labor turnover, economic conditions, supply and demand in the labor market, and so on. In the same manner, the customer's goodwill is influenced by factors such as monopoly, quality of the product, competitors' delay in delivery and so on. Therefore, these factors are organized together into an independent knowledge base. The linkage between the optimization model and the knowledge base is the common decision variables such as hiring, firing, and backordering.

To formulate the APP by the PMA approach, h_t , f_t and b_{it} are re-defined. The h_t and f_t represent the hiring and firing costs respectively; however, they no longer include qualitative factors such as lost customer's goodwill. Instead, the

qualitative goals are included in the two additional judgment functions as in (8) and (9):

$$J_G(\Gamma_{it}, i = 1, \dots, N, t = 1, \dots, T \mid E_G) \supseteq q_G \quad (8)$$

$$J_M(O_t, F_t, t = 1, \dots, T \mid E_M) \supseteq q_M \quad (9)$$

The symbol q_G denotes customer's goodwill, and q_M denotes the employee's morale. E_G and E_M in (8) and (9) denote the external factors relevant to q_G and q_M respectively. As mentioned earlier, in this case the structure of judgment functions is organized in the form of rules that are incorporated into the knowledge base independent of the optimization model. Therefore, the optimization model and the knowledge base can be maintained separately.

3. SOLUTION PROCEDURE OF APP BY THE PMA APPROACH

Using the formulation established in the previous section, the APP can be solved by the following procedure:

1. Prepare knowledge bases to include employee's morale and customer's goodwill.
2. Formulate the linear programming model manually or automatically. The IPPS supports the automatic formulation. If the model has been formulated previously, retrieve it.
3. Solve the linear programming model in (1) - (7) with the purely quantitative parameters.
4. Evaluate the optimal feasible solution of (1) - (7) using the knowledge base to account for the customer's goodwill and the employee's morale.
5. If the optimal feasible solution is satisfactory in terms of the customer's goodwill and the employee's morale, stop.
6. If the current solution is not satisfactory, then select the unsatisfactory qualitative goal(s) and set their target(s).
7. Identify the objectives that may be downgraded in return for the enhancement of unsatisfactory goals.
8. Compute the non-dominated opportunity cost which has the meaning of the best marginal rate of substitution. (This paper demonstrates a special type of tradeoff between a qualitative goal and a quantitative goal one at a time. In this case, the minimum opportunity cost is the non-dominated

unity cost. For a comprehensive review on the comparison of non-dominated opportunity costs encompassing objective function in the optimization model and qualitative objectives in the rule based system, see [10].)

The decision maker decide whether the opportunity cost is acceptable for the enhancement of unsatisfactory goals. If acceptable, the best solution is found, therefore stop; otherwise, modify the level of upgrade based on the advice from the knowledge-based system and repeat the step 8. In this process, support automatic modification of model to a maximum extent.

4. INTELLIGENT PRODUCTION PLANNING SYSTEM (IPPS)

The IPPS is an intelligent DSS designed to support the PMA approach for APP implemented on a microcomputer. Fig 1 depicts the overall architecture of IPPS. There are four subsystems in IPPS:

- 1) Model Management System
- 2) Knowledge Management System
- 3) PMA Controller
- 4) Data Management System

The following subsections describe each of the subsystems.

4.1. Model Management System

The role of the Model Management System(MMS) includes automatic formulation, optimization, storage and retrieval of optimization models.

(1) Automatic Formulation The automatic formulator [11], [12], [13] accepts distinguishing factors for production planning such as starting time, ending time, time interval, and policies such as whether overtime, firing, hiring, backordering and safety stock are allowed or not. Once all of the factors are entered, the automatic formulator identifies decision variables, objective function and constraints. The Matrix Generator then generates the coefficient values from the database. The formulation process is depicted in Fig 2.

For example, suppose the decision maker wants to plan for T periods of time and N products, and allows for inventory, overtime, firing, hiring and safety stock without backlog. Then the generated formulation is the model (1) - (7) excluding all I_{it}^- terms, but including (10):

$$I_{it}^+ \geq ss_{it} \quad (10)$$

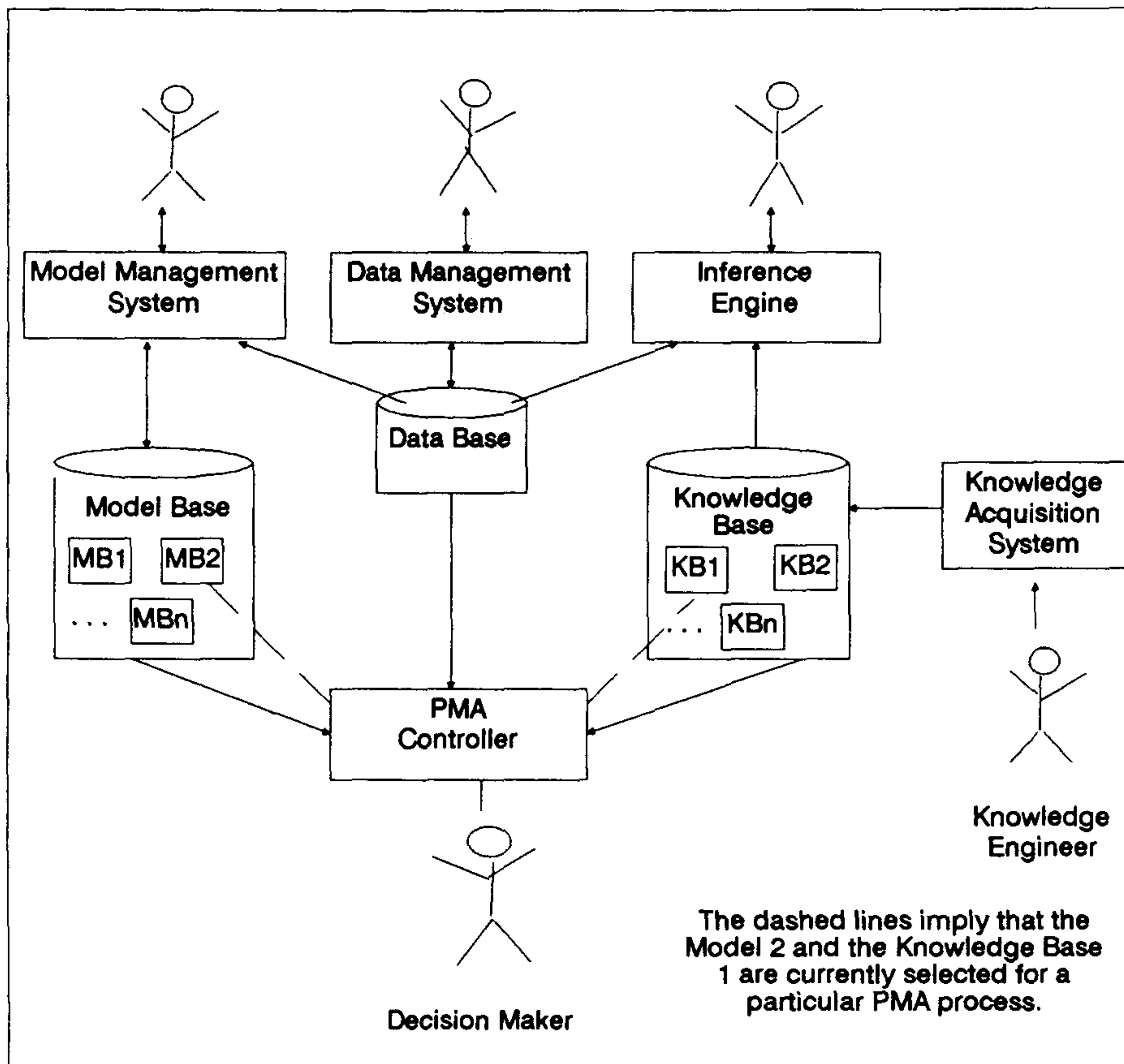


Figure 1

Overall Architecture of the Intelligent Production Planning System

where ss_{it} = safety stock of product i in period t .

(2) **Find Optimal Feasible Solution** Once the model is formulated completely, whether it is done automatically or manually, an algorithm such as the simplex method can find the optimal feasible solution, if it exists.

(3) **Storage and Retrieval** The formulated model can be saved for later use, or it can be retrieved if it already exists.

4.2. Knowledge Management System

Both the inference engine and the PMA controller use the knowledge base.

(1) **Syntax of Knowledge Representation** The knowledge is represented by rules using reserved words such as IF, THEN, ELSE, AND, OR, IS, NOT, =, and . Each statement is expressed in fact type (true or false), numeric type, or OAV (Object-Attribute-Value) type. A typical rule looks like the following:

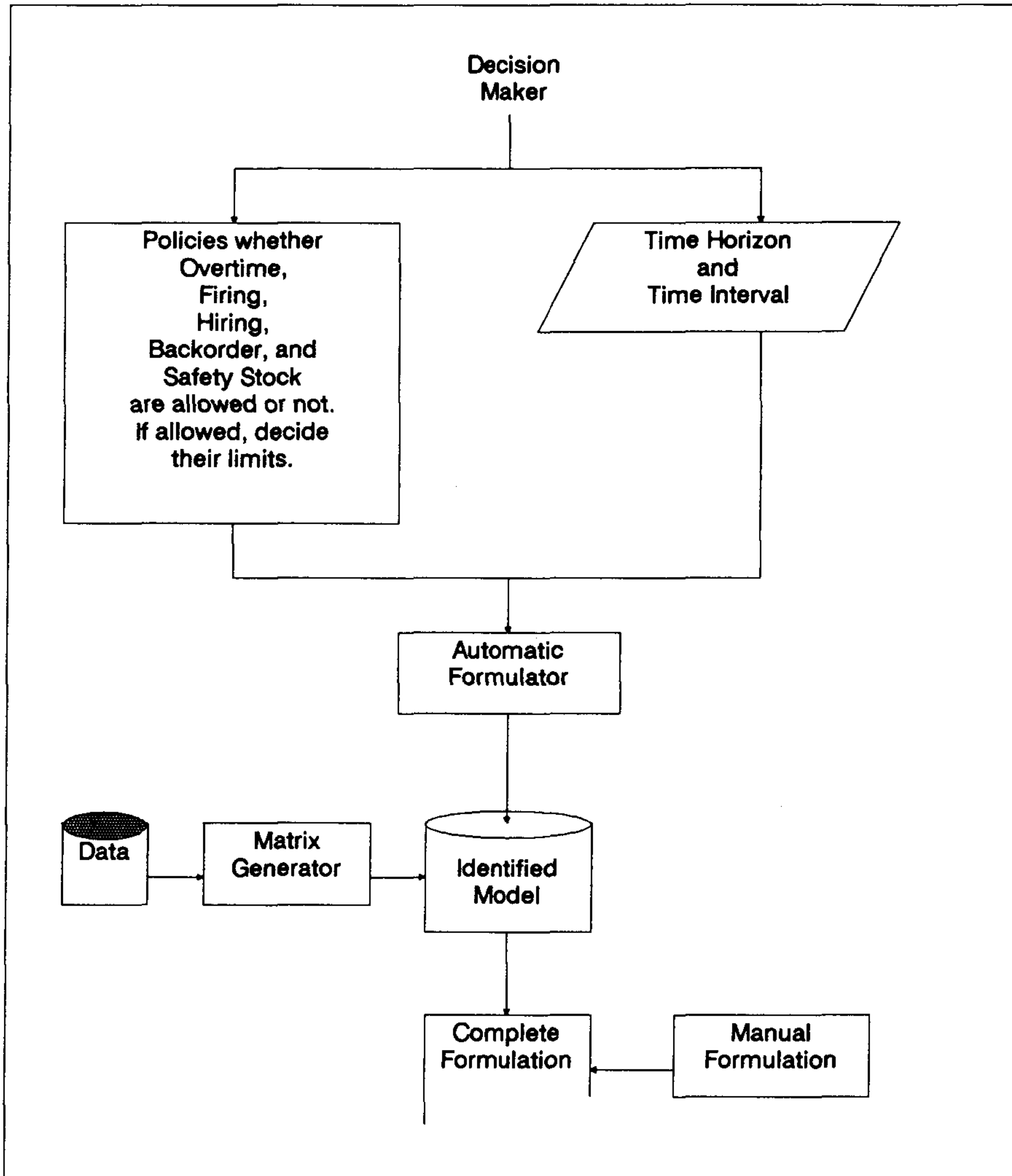


Figure 2
Automatic formulation process

RULE Goodwill 42
IF the product **IS** a staple item
AND status of competition **IS** almost perfect competition
AND after-sales-service **IS** very good
AND **AVERAGE BACKLOG 700**
THEN **GOODWILL IS VERY GOOD**

(2) **Primitive Functions** To represent the knowledge more compactly, TOTAL, ALL and AVERAGE are used in conjunction with the words FIRING, OVERTIME, HIRING, MORALE, GOODWILL and BACKLOG. To represent qualitative goals, the system uses 5 levels of marks : VERY BAD, BAD, UNDETERMINED, GOOD, and VERY GOOD.

For example,

TOTAL HIRING = sum of hiring over the all planning horizon

$$= \sum_{t=1}^N H_t$$

TOTAL BACKLOG = sum of backlog of all items over the all planning horizon

$$= \sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T I_{it}$$

AVERAGE BACKLOG of product i = TOTAL BACKLOG of product i / time horizon.

$$= \sum_{t=1}^T I_{it} / T$$

(3) **Inference** Inference is performed using backward chaining. For example, suppose the system reaches the conclusion "MORALE IS VERY GOOD", as depicted in the inference net in Fig 3. At the beginning, two facts about AVERAGE OVERTIME and AVERAGE FIRING should have been transferred from the solution of optimization model. However, the other statements in the leaf nodes about payment level and work environment should be asked unless they are already known. Fig 4 lists five rules that correspond to the inference net.

The conclusion about goodwill can also be obtained by using rules like the following ones :

RULE goodwill 5
 IF quality IS good
 AND AVERAGE BACKLOG competitor's average backlog
 THEN GOODWILL IS VERY GOOD

4.3. PMA Controller

The PMA Controller performs the following two functions.

valuation : automatically evaluates current solution (quantitatively optimal solution) in terms of reverse objectives described in the knowledge base.

Ratio of Substitutions(MRS) : generates the marginal variations caused by the upgrade of certain quantitative goals.

(1) **Qualitative Evaluation** The process of qualitative evaluation is the same as the process of inference explained in section 4.2. In this example, by selecting the appropriate knowledge base, the solution from the linear program-

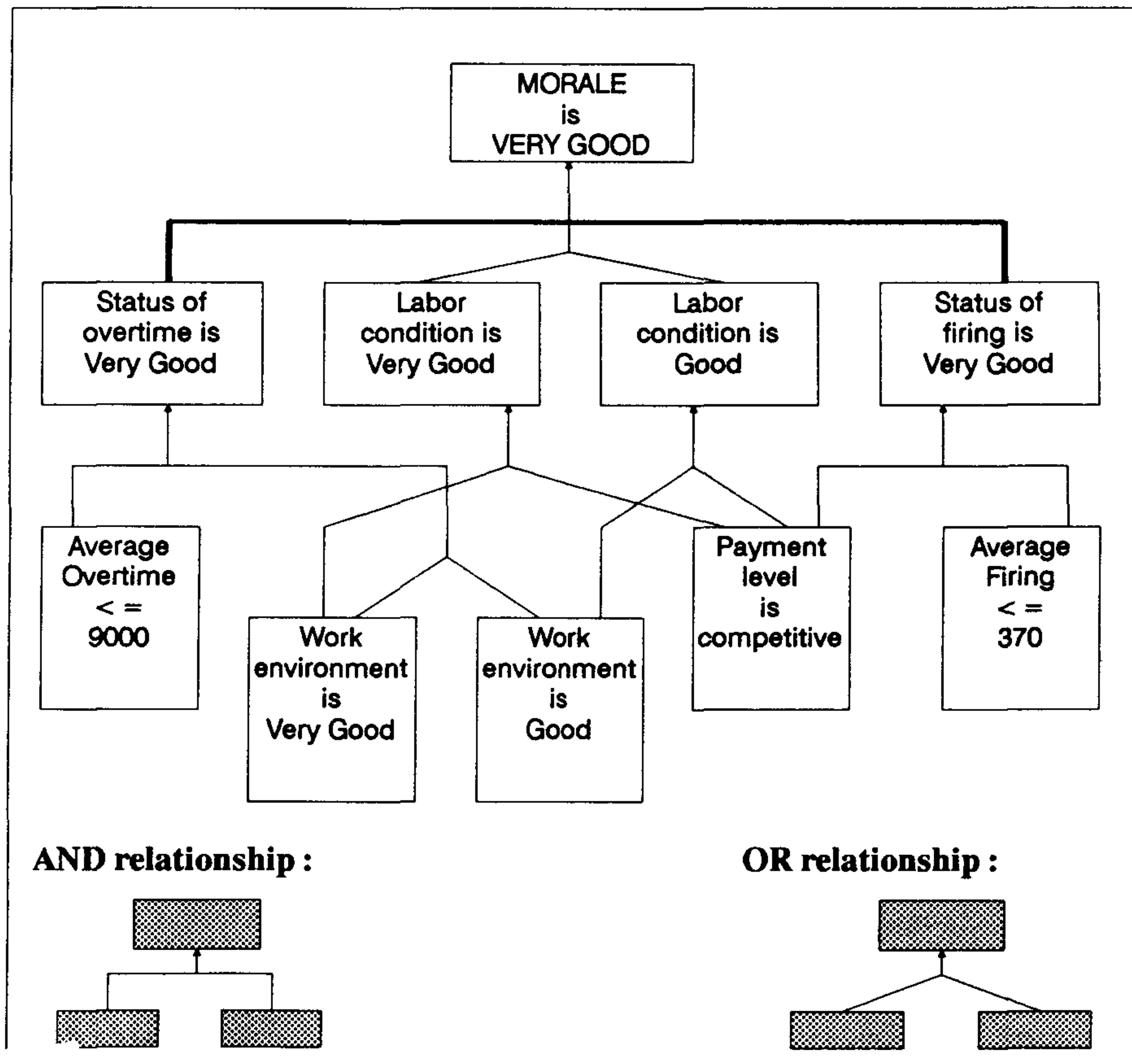


Figure 3
Inference Net

```

RULEmorale 1
IFwork environment IS GOOD
ORwork environment IS VERY GOOD
AND AVERAGE OVERTIME = 9000
THEN status of overtime IS VERY GOOD
RULEmorale 3
IF AVERAGE FIRING = 370
AND payment level IS competitive
THEN status of firing IS VERY GOOD
RULEmorale 15
IF payment level IS competitive
OR work environment IS GOOD
THEN labor condition IS GOOD
RULEmorale 20
IF payment level IS competitive
OR work environment IS VERY GOOD
THEN labor condition IS VERY GOOD
RULEmorale 32
IF status of overtime IS VERY GOOD
AND status of firing IS VERY GOOD
AND labor condition IS GOOD
OR labor condition IS VERY GOOD
THEN MORALE IS VERY GOOD

```

Figure 4
Selected Rules about Employee's Morale

ming model can be evaluated from the perspective of customer's goodwill, corporate strategy, employee's morale, the purchase plan, and so on.

(2) Marginal Rate of Substitutions

Suppose the solution that minimizes the costs is "BAD" in terms of employee's morale and customer's goodwill. In this case, the decision maker wants to improve employee's morale and customer's goodwill, which may increase the cost in return. In this process, the decision maker needs to know the minimum impact of qualitative upgrades on the cost which can be obtained by computing the minimum MRS (or non-dominated MRSs if multiple impacted goals exist). For a comprehensive review on the computation of MRS, see [10].

In this paper, the special cases of tradeoffs will be described for illustrative purpose.

Notation

ΔC : changes in cost function in the optimization model

Δq_M : changes in employee's morale

Δq_G : changes in customer's goodwill

q^* : fixed level of a qualitative goal

The right hand side of the vertical bar in (13) - (16) is the fixed condition to be satisfied. The types of tradeoffs used in IPPS are (11) - (16) :

$$\Delta C(\Delta q_M) \quad (11)$$

$$\Delta C(\Delta q_G) \quad (12)$$

$$\Delta C(\Delta q_M \mid q_G = q_G^*) \quad (13)$$

$$\Delta C(\Delta q_G \mid q_M = q_M^*) \quad (14)$$

$$\Delta q_M(\Delta C \mid q_G = q_G^*) \quad (15)$$

$$\Delta q_G(\Delta C \mid q_M = q_M^*) \quad (16)$$

For example, the notation (17) means that improving the goodwill from "BAD" to "VERY GOOD" while maintaining the morale at the "GOOD" level will cost \$80,000.

$$\Delta C(\Delta q_G = \text{VERY GOOD} - \text{BAD} \mid q_M = \text{GOOD}) = \$80,000 \quad (17)$$

The $\Delta C(\cdot)$ in (17) will be computed by the post-optimality analysis with the additional constraints generated from the knowledge base. If $\Delta C(\cdot)$ is acceptable to the decision maker for the upgrade of qualitative goals by Δq_M and Δq_G , the best solution has been found. If, however, $\Delta C(\cdot)$ is too big to accept, the decision maker may set a limit on ΔC (for instance, \$50,000) and may want to see how much Δq can be upgraded within that limit. For example, the MRS like (18) can be asked.

$$\Delta q_M(\Delta C = 50,000 \mid q_G = \text{GOOD}) \quad (18)$$

To compute $\Delta q_M(\cdot)$ in (18), the goal programming model can be used as illustrated in the model (53)-(57). Once the solution is found, the qualitative objectives are evaluated with the solution. Since the $\Delta C = 50,000$ may be reduced to some extent while maintaining the currently obtained qualitative goals, the minimum ΔC will be pursued as the next step. This step is called the Upward Adjustment Process [8]. An example of Upward Adjustment can be found in the step 10 of next section. By providing the types of MRSs in (11) - (16), the decision making via tradeoffs can be supported effectively.

4.4. Data Management System

The data base includes two groups of data: one necessary for the formulation of a linear programming model, the other for the knowledge-based system.

Data for the Formulation of Linear Programming Model The necessary data includes product titles, processing time per unit, demand forecast, inventory carrying cost, hiring cost, and so on. To generate the relevant data for the planning period, the data should have been identified by the time. For example, suppose the first model is formulated for the year 1986. To use the same model for the year 1987, the data set of the first model should be updated, though the structure of model is sustained.

Data for Knowledge-based System To provide the data for the knowledge-based system, three types of data should be maintained: fact, numeric, and OAV type. The OAV type is well matched with the structure of a relational data base. "Object" corresponds to the tuple, "Attribute" to attribute, and "Value" to one of predefined candidate values as shown in Fig 5(a). The fact type and numeric type data, however, may be stored in a record form as illustrated in Fig 5 (b)-(c).

5. ILLUSTRATIVE DIALOGUE

This section illustrates the IPPS with a numeric example.

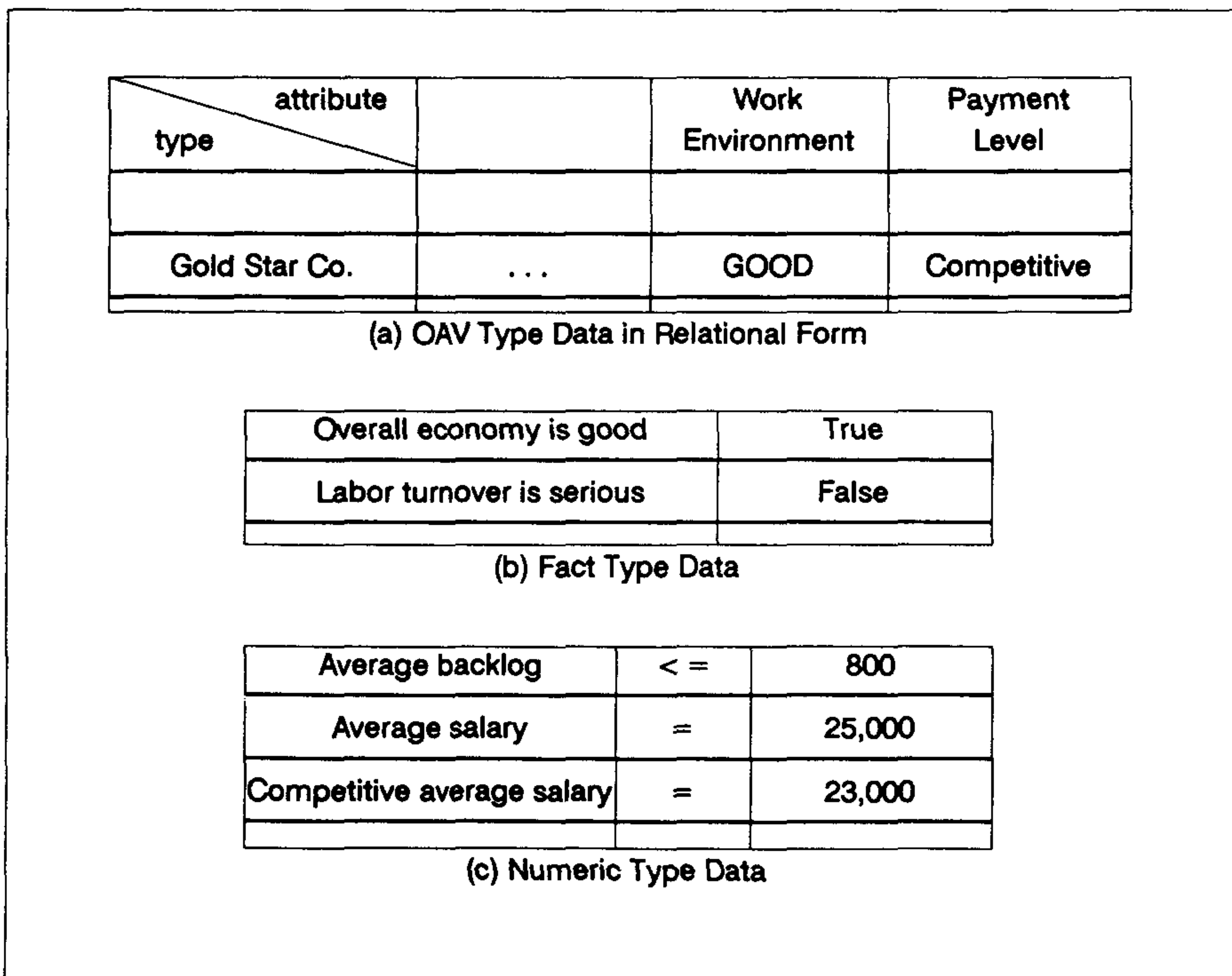


Figure 5
Three Types of Data for Knowledge-base System

(1) Preparation of Knowledge Base

The prototypical knowledge base consists of 33 rules for employee's morale and 10 rules for customer's goodwill. One should refer to the judgment functions (19)-(28) and (29)-(38) in order not to miss relevant rules.

(2) Automatic Formulation

The Aggregate Production Planning model is generated via the following dialogs. The user's responses are in italic, and comments follow semicolons.

(3) Obtain the optimal feasible solution of (19)-(46).

Cost = \$259,537.2

*** Title of items**

refrigerator
heater

*** Starting time (mon/year)**

Jan/1987

*** Interval (months)**

3

*** Ending time (mon/year)**

Dec/1987

*** Modeling Policy**

Inventory allowed ? (Y or N)

Y

Limit

refrigerator : 100

heater : 100

; Example of Limit

Overtime allowed ? (Y or N)

Y

Firing allowed ? (Y or N)

Y

Hiring allowed ? (Y or N)

Y

Backlog allowed ? (Y or N) *Y*

Safety stock cannot be arranged. ; Deduced statement

*** AUTOMATIC FORMULATION in PROCESS!**

Data Base does not have the following data.

Enter the ending inventory in Dec 1987

0

* FORMULATION GENERATED

LOOK ? (Y or N)

Y

 X_{1j} = refrigerator X_{2j} = heater

Minimize Z =

$$\begin{aligned}
& 8X_{11} + 8X_{12} + 8X_{13} + 8X_{14} \\
& + .5X_{21} + .5X_{22} + .5X_{23} + .5X_{24} \\
& + .7I^+_{11} + .7I^+_{12} + .7I^+_{13} \\
& + .2I^+_{21} + .2I^+_{22} + .2I^+_{23} \\
& + .5I^-_{11} + .5I^-_{12} + .5I^-_{13} \\
& + .1I^-_{21} + .1I^-_{22} + .1I^-_{23} \\
& + 1.0W_1 + 1.0W_2 + 1.0W_3 + 1.0W_4 \\
& + 1.5O_1 + 1.5O_2 + 1.5O_3 + 1.5O_4 \\
& + 7.0H_1 + 5.0H_2 + 5.0H_3 + 5.5H_4 \\
& + .5F_1 + .5F_2 + .5F_3 + .5F_4
\end{aligned} \tag{19}$$

subject to

$$\begin{aligned}
& X_{11} - I^+_{11} + I^-_{11} = 2799 && ;(20) \\
& X_{12} + I^+_{11} - I^-_{11} - I^+_{12} + I^-_{12} = 4000 && ;(21) \\
& X_{13} + I^+_{12} - I^-_{12} - I^+_{13} + I^-_{13} = 4500 && ;(22) \\
& X_{14} + I^+_{13} - I^-_{13} = 1000 && ;(23) \\
& X_{21} - I^+_{21} + I^-_{21} = 7000 && ;(24) \\
& X_{22} + I^+_{21} - I^-_{21} - I^+_{22} + I^-_{22} = 100 && ;(25) \\
& X_{23} + I^+_{22} - I^-_{22} - I^+_{23} + I^-_{23} = 1000 && ;(26) \\
& X_{24} + I^+_{23} - I^-_{23} = 7000 && ;(27) \\
& 5X_{11} + .5X_{21} - W_1 - O_1 = 0 && ;(28) \\
& 5X_{12} + .5X_{22} - W_2 - O_2 = 0 && ;(29) \\
& 5X_{13} + .5X_{23} - W_3 - O_3 = 0 && ;(30) \\
& 5X_{14} + .5X_{24} - W_4 - O_4 = 0 && ;(31) \\
& W_1 - H_1 + F_1 = 1000 && ;(32) \\
& -W_1 + W_2 - H_2 + F_2 = 0 && ;(33) \\
& -W_2 + W_3 - H_3 + F_3 = 0 && ;(34) \\
& -W_3 + W_4 - H_4 + F_4 = 0 && ;(35) \\
& -.2W_1 + O_1 = 0 && ;(36) \\
& -.2W_2 + O_2 = 0 && ;(37) \\
& -.2W_3 + O_3 = 0 && ;(38) \\
& -.2W_4 + O_4 = 0 && ;(39) \\
& I^+_{11} = 100 && ;(40) \\
& I^+_{12} = 100 && ;(41) \\
& I^+_{13} = 100 && ;(42) \\
& I^+_{21} = 100 && ;(43)
\end{aligned}$$

$I_{22}^+ 100$;(44)
$I_{23}^+ 100$;(45)
$X_{it}, I_{it}^+, \Gamma_{it}, W_t, O_t \quad 0 \leq i = 1, 2$ $t = 1, 2, 3, 4$;(46)

(3) Obtain the optimal feasible solution of (19)-(46).

Cost = \$259,537.2

Variables	Values	Variables	Values
X_{12}	4053.0	W_1	1000.0
X_{13}	4423.0	W_2	18845.8
X_{14}	3823.0	W_3	18845.8
X_{21}	2400.0	O_1	200.0
X_{22}	4700.0	O_2	3769.2
X_{23}	1000.0	O_3	3769.2
X_{24}	7000.0		
Γ_{11}	2799.0	H_2	17845.8
Γ_{12}	2746.0	F_4	18845.8
Γ_{13}	2823.0		
Γ_{21}	4600.0		

(4) Evaluate the current solution using the knowledge base.

The result with the current solution is :

<p>Goodwill on refrigerator is BAD. Goodwill on heater is BAD. Morale is BAD.</p>

(5) The current qualitative goals are unsatisfactory.

Suppose the decision maker wants to improve employee's morale to "VERY GOOD" level by the following dialog:

Do you want to improve ?		
Goodwill on refrigerator	BAD	
Goodwill on heater	BAD	
<input type="checkbox"/> Employee's morale	BAD	; Statement in the ; box is selected
Target of improvement		
VERY GOOD		
GOOD		
UNDETERMINED		
BAD		
VERY BAD		

Then the PMA Controller generates additional constraints in (47)- (48) by interpreting the condition of employee's morale to be "VERY GOOD".

$$\sum_{t=1}^4 O_t \leq 5,000 \quad (47)$$

$$\sum_{t=1}^4 F_t \leq 3,000 \quad (48)$$

(6) The opportunity cost is computed.

$$\Delta C(\Delta q_M = \text{VERY GOOD} - \text{BAD}) = \$10,969.4 \quad (49)$$

Suppose this opportunity cost is acceptable.

(7) Repeat the same procedure for goodwill.

The opportunity cost of goodwill on refrigerator is

$$\begin{aligned} \Delta C(\Delta q_{Gr} = \text{VERY GOOD} - \text{BAD} \mid q_M = \text{VERY GOOD}) \\ = \$5,693.7 \end{aligned}$$

because of the additional constraint in (50):

$$\sum_{t=1}^4 \Gamma_{1t} \leq 1,500.0 \quad (50)$$

In the same way, the opportunity cost of goodwill on heater is

$$\begin{aligned} \Delta C(\Delta q_{Gh} = \text{VERY GOOD} - \text{BAD} \mid \\ q_{Gr} = \text{VERY GOOD}, q_M = \text{VERY GOOD}) \\ = \$6,137.8 \end{aligned}$$

because of the additional constraint in (51):

$$\sum_{t=1}^4 \Gamma_{2t} \leq 700 \quad (51)$$

(9) If the decision maker cannot accept the opportunity cost, he may ask "WHY".

Then the knowledge-based system can show the rules used to infer $q_{Gh} = \text{VERY GOOD}$. Suppose the decision maker would like to set the bound on $\Delta C(\cdot)$ and wants to see the $\Delta q_{Gh}(\cdot)$ in (52):

$$\begin{aligned} \Delta q_{Gh}(\Delta C = 6,000 \mid q_{Gr} = \text{VERY GOOD}, \\ q_M = \text{VERY GOOD}) \end{aligned} \quad (52)$$

The $\Delta q_{Gh}(\cdot)$ can be computed by the following goal programming model in (20) - (48), (50) and (53) - (57).

$$\text{Minimize } Z = d_2 \quad (53)$$

subject to

$$\begin{aligned} & 8X_{11} + 8X_{12} + 8X_{13} + 8X_{14} \\ & + .5X_{21} + .5X_{22} + .5X_{23} + .5X_{24} \\ & + .7I^+_{11} + .7I^+_{12} + .7I^+_{13} \\ & + .2I^+_{21} + .2I^+_{22} + .2I^+_{23} \\ & + .5I^-_{11} + .5I^-_{12} + .5I^-_{13} \\ & + .1I^-_{21} + .1I^-_{22} + .1I^-_{23} \\ & + 1.0W_1 + 1.0W_2 + 1.0W_3 + 1.0W_4 \\ & + 1.5O_1 + 1.5O_2 + 1.5O_3 + 1.5O_4 \\ & + 7.0H_1 + 5.0H_2 + 5.0H_3 + 5.5H_4 \\ & + .5F_1 + .5F_2 + .5F_3 + .5F_4 \leq 282,200.3 \end{aligned} \quad (54)$$

$$+ I^-_{22} + I^-_{23} + I^-_{24} + d^+_2 - d^-_2 = 700 \quad (55)$$

$$X_{it}, I^+_{it}, \Gamma_{it}, W_t, O_t \quad 0 \leq i = 1, 2 \quad (56)$$

$$d^+_2, d^-_2 \quad 0 \leq t = 1, 2, 3, 4 \quad (57)$$

and (20)-(48) and (50).

The right hand side (RHS) value 282,200.3 in (54) is the sum of the minimized cost in Step 3 and the accumulated opportunity costs. Interestingly, at the optimal feasible solution of the above goal programming model, d^-_2 is 136.2. This implies that $\sum_{t=1}^4 \Gamma_{2t} = 836.2$, so q_{Gh} is GOOD according to the evaluation by the rules in knowledge base. Therefore the qualitative evaluation of the solution is as follows.

Goodwill on refrigerator is VERY GOOD
 Goodwill on heater is GOOD
 Morale is VERY GOOD

(10) The next step is the Upward Adjustment Process

[8], [10] which obtains the minimum C without deteriorating the current level of qualitative goals. According to the rules, the upper bound of stockouts for $q_{Gh} = \text{GOOD}$ is 2,500. To find the minimum ΔC which maintains $q_{Gh} = \text{GOOD}$, the model (19) - (48), (50) and (58) can be used.

$$\sum_{t=1}^4 \Gamma_{2t} \leq 2,500 \quad (58)$$

In this case,

$$\begin{aligned} & \Delta C(\Delta q_{Gh} = \text{GOOD} - \text{BAD} \mid q_{Gr} = \text{VERY GOOD}, q_M = \text{VERY} \\ & \text{GOOD}) \\ & = \$5,291.8. \end{aligned}$$

Therefore the Full Opportunity Cost, which is the sum of three Incremental Opportunity Costs [8], is

$$\begin{aligned} & \Delta C(q_M = \text{VERY GOOD}, q_{Gh} = \text{GOOD}, \\ & \quad q_{Gr} = \text{VERY GOOD}) \\ & = 10,969.4 + 5,693.7 + 5,291.7 = \$21,954.8. \end{aligned}$$

(11) Assume that the current solution is acceptable from the point of both qualitative goals and the opportunity cost.

Then the best solution is found. The current solution and goals achieved can be summarized as follows:

Cost = \$281,492
 Goodwill on refrigerator is VERY GOOD
 Goodwill on heater is GOOD
 Morale is VERY GOOD
 Full Opportunity Cost = \$21,954.8

Variables	Value	Variables	Value
X ₁₁	2851.8	W ₁	15955.7
X ₁₂	3829.4	W ₂	15955.7
X ₁₃	3235.6	W ₃	15955.7
X ₁₄	2382.2	W ₄	12955.7
X ₂₁	6566.7		
X ₂₄	8533.3	O ₁	1586.8
		O ₂	3191.1
I ⁺ ₁₁	52.8	O ₃	222.0
I ₁₂	117.8	H ₁	14955.7
I ₁₃	1382.2		
I ₂₁	433.3	F ₄	3000.0
I ₂₂	533.3		
I ₂₃	1533.3		

6. CONCLUSION

Using the optimization model and rules in the knowledge base, the Post-Model Analysis Approach solved the Aggregate Production Planning problem. Though the knowledge in the prototypical IPPS is not complete at this moment, more realistic knowledge can be organized for a specific company. The Aggregate Production Planning is not the only problem that can use the PMA approach. The PMA approach has a great deal of application potential, because the PMA can be used as a framework of integrating quantitative factors with qualitative factors by combining the optimization models with knowledge-based system.

REFERENCES

- [1] Bhatnagar, S. C., "Implementing Linear Programming in a Textile Unit : Some Problems and a Solution", *Interfaces*, Vol. 11, No. 2, April, 1981, pp. 87 - 91.

- [2] Boskma, K., "Aggregation and the Design of Models for Medium-term Planning of Production", *European Journal of Operational Research*, Vol. 10, 1982, pp. 244 - 249.
- [3] Hax, Arnaldo C. and Dan Candea, *Production and Inventory Management*, Englewood Cliffs, Prentice-Hall, Inc., 1984.
- [4] Oliff, Michanel D. and G. Keong Leong, "A Discrete Production Switching Rule for Aggregate Planning", forthcoming in *Decision Sciences*
- [5] Rakes, Terry R., Lori S. Franz and A. James Wynne, "Aggreagate Production Using Chance-Constrained Goal Programming", *International Journal of Production Research*, Vol. 22, No. 4, 1984. pp. 673 - 684.
- [6] Verhoeven, Kees J., "Corporate Manpower Planning", *European Journal of Operational Research*, Vol. 7., No. 4, 1981, pp. 341 - 344.
- [7] Lee, Jae K., "Solving Semi-Structured Problem and the Design of Decision Supporting Systems : Post-Model Analysis Approach", Ph. D. Dissertation, Department of Decision Sciences, The Wharton School, University of Pennsylvania, 1985.
- [8] Lee, Jae K. and E. Gerald Hurst, Jr., "Multiple Criteria Decision Making Including Qualitative Factors : The Post-Model Analysis Approach", forthcoming in *Decision Sciences*, 1987.
- [9] Lee, Jae K. and Ho G. Lee, "Integration of Strategic Planning and Short-term Planning : An Intelligent DSS Approach by the Post- Model Analysis Approach", forthcoming in *Decision Support Systems*, 1987.
- [10] Lee, Jae K. and Min S. Shin, Woong K. Lee, "The Integration of Optimization with Rule-based System by the Post-Model Analysis Approach", Working Paper, Department of Management Science, Korea Advanced Institute of Science and Technology, 1986.
- [11] Orlikowski, Wanda and Vasant Dhar , " Imposing Structure on Linear Programming Problems", An Empirical Analysis of Expert and Novice Models, Graduate School of Business Administration, New York University, 1986.
- [12] Binbasioglu M. and Jarke M., "Domain Specific DSS Tools for Knowledge Based Model Building", *Decision Support Systems*, 1986, pp. 213 - 223.
- [13] Murphy, Frederic H. and Edward A. Stohr, " An Intelligent System for Formulating Linear Programming", *Decision Support Systems*, Vol. 2, No. 1, 1986, pp. 39-47.

A Knowledge-based Formulation of Linear Programming Models using UNIK-OPT

Jae Kyu Lee, Seok Chin Chu, Min Yong Kim

Department of Management Science
Korea Advanced Institute of Science and Technology
P.O. Box 150, Cheongryang, Seoul, Korea

Sung Hoon Shim

S/W Quality Division, Quality Assurance Center
Korea Telecommunication Authority
100 Sejongno Chongno-gu, Seoul, Korea

To assist in the formulation of linear programming models, a knowledge-assisted formulation support framework is proposed. In developing this framework, modeling is viewed from three levels : semantic, notational, and tabular, and twelve normative evaluation criteria for modeling systems are discussed. A frame-based knowledge representation is adopted, and the prototype UNIK-OPT is developed. UNIK-OPT is applied to the case of petroleum industry. It supports both the formulation process and the management of multiple linear programming models.

1. INTRODUCTION

Though there have been numerous studies on the algorithmic efficiency of linear programming (LP) models, not enough attention have been paid to research on formulation support for LP models. Previous research on this topic can be classified into the following four categories.

- (1) Matrix Generators
- (2) Modeling Languages
- (3) Structured Modeling
- (4) Knowledge-based Approach

1) *Matrix Generators*

Matrix generators accept input data in a predefined format so that an initial table of algorithms can be generated. In this approach, there is no practical support for the formulation process itself. Well known matrix generators include APEX-II MRG, DATAFORM, DATAMAT, GAMMA, MaGen, OMNI/PDS, IBM MGRW, MPSX, MODELER[FOU 83].

2) *Modeling Languages*

In general, modeling languages are designed so that LP models can be easily formulated by using the modeling language. Since it is not easy, however, to become familiar with these languages, they can not be widely propagated among managers. Some modeling languages are ALPS, GAMS LMA[MIL 77], LPMODEL[KAT 80], MAGIC, MGG, UIMP, EZLP, LINDO, MPOS, UHELP, PAM[WEL 87], LAMP, RPMS.

3) *Structured Modeling*

The notion of structured modeling is a conceptual framework for the modeling process [GEO 87]. Recently, Park [PAR 88] has developed a language that uses the structured modeling approach.

4) *Knowledge-based Approach*

Ma, Murphy and Stohr [MUR 86, 87, MA 86a, 86b] have designed a graphical interface so that the problems associated with the development of large, complex LP models can be overcome. This rule-based system is mainly for OR experts. Stohr [STO 87] has tried to translate problem specifications to graphical notation rather than mathematical notation generating the algebraic terms and their subsequent combinations into constraint equations. Although the above studies are very important, they are all focused on supporting OR experts. Binbasioglu and Jarke [BIN 86], however, have suggested a domain-specific approach to supporting OR-naive users using both syntactic knowledge about LP and domain knowledge.

In this paper, we assume that LP formulation is an extraction of relevant linear knowledge from a corporate knowledge base. For this approach, knowledge engineers and LP modeling experts should, of course, prepare the knowledge base beforehand. Although the preparation of a knowledge base is not cheap, once formed it can be shared by many OR-naive users as well as OR experts whose models can be built as subsets of the knowledge base. The proposed process of knowledge-assisted LP formulation is graphically depicted in Figure 1. This approach also supports Post-Model Analysis which supports the tradeoffs between the objective function in the LP model and the objectives in the associated knowledge base [LEE 88, 87a]. So far, there has been no known knowledge-assisted LP formulator. We propose UNIK-OPT, which we apply here to the formulation of LP models in the petroleum industry.

2. MODELING VIEWS

To systematize the model formulation process, we propose three modeling views: *Semantic View*, *Notational View*, and *Tabular View* whose relationships are graphically shown in Figure 2.

2.1. Semantic View

The *semantic view* describes the problem in aggregate, descriptive and understandable terms for decision makers. Thus, it is desirable to be able to revise as well as formulate models at this level. The semantic view, however, often includes ambiguities which require resolution. For example, a constraint may be described as "the production, inventory and sales amount should be balanced". On a semantic level, this constraint does not say anything about associated products, time units, etc. At this level, the model is described independently of algorithms or data.

2.2. Notational View

The notational view can be further classified into two views : *aggregate notational view* and *individual equation view*.

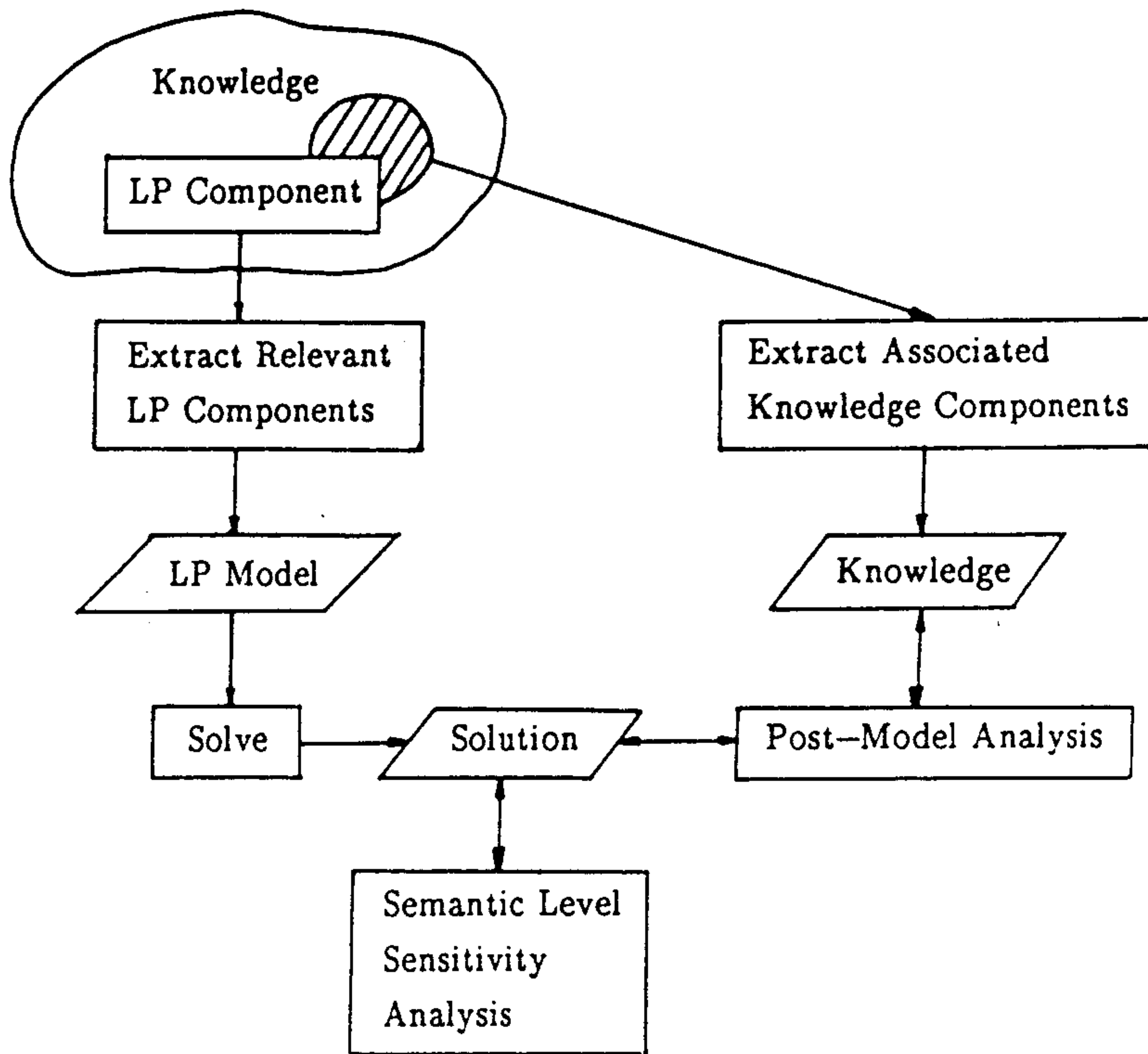


Figure 1. Knowledge-assisted LP Model Formulation Process

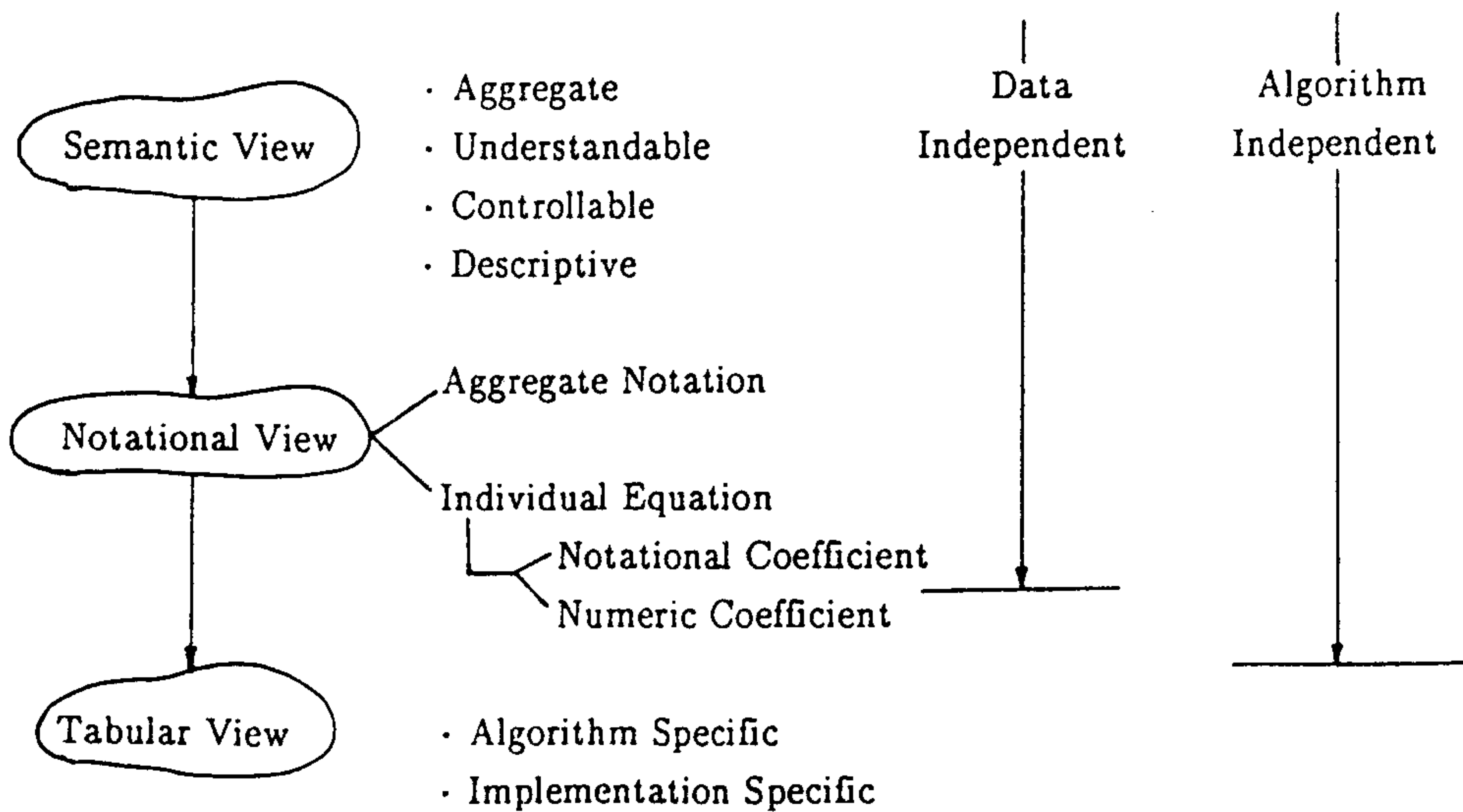


Figure 2. Three Modeling Views

(1) Aggregate Notational View

The term "aggregate" refers to aggregation with respect to constraints and terms. Aggregation with respect to terms implies summations as illustrated in equation (1).

$$\sum_{i=1}^m P_{it} + \sum_{i=1}^m I_{it}^+ + \sum_{i=1}^m I_{it}^- = \sum_{i=1}^m S_{it} \quad (1)$$

On the other hand, aggregation with respect to constraints implies aggregate representation of constraints in "for all $t=1, \dots, 12$ " form. For example, the equations in (2) are effective for m items and n time units.

$$P_{it} + I_{it}^+ - I_{it}^- = S_{it} \quad \begin{matrix} i=1, \dots, m \\ t=1, \dots, n \end{matrix} \quad (2)$$

(2) Individual Equation View

Aggregate notation can be further broken down into individual equations and terms as illustrated in (3) and (4).

$$P_{11} + P_{21} + \dots + P_{m1} + I_{11}^+ + I_{21}^+ \dots + I_{m1}^+ + I_{11}^- + I_{21}^- + \dots + I_{m1}^- = S_{11} + S_{21} + \dots + S_{m1} \quad (3)$$

$$\left. \begin{aligned} P_{11} + I_{11}^+ - I_{11}^- &= S_{11} \\ P_{12} + I_{12}^+ - I_{12}^- &= S_{12} \\ \dots & \\ P_{m,n-1} + I_{m,n-1}^+ - I_{m,n-1}^- &= S_{m,n-1} \\ P_{m,n} + I_{m,n}^+ - I_{m,n}^- &= S_{m,n} \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

In the above examples, all coefficients are fixed as constants. However, the coefficients a_{ij} 's in example (5) are notational.

$$\left. \begin{aligned} a_{11}P_1 + a_{12}P_2 + \dots + a_{1m}P_m &\leq b_1 \\ a_{21}P_1 + a_{22}P_2 + \dots + a_{2m}P_m &\leq b_2 \\ \dots & \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

Upto this point, the model is data independent. To feed data into the model, data from the database must be transformed into a format compatible with the coefficients in the LP model. Thus, after having fed in the data, model (5) becomes model (6).

$$\left. \begin{aligned} 0.1 P_1 + 0.2 P_2 + \dots + 0.1 P_m &\leq 1,000 \\ 0.2 P_1 + 0.3 P_2 + \dots + 0.4 P_m &\leq 1,500 \\ \dots & \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

2.3. Tabular View

The *tabular view* is the initial tabular form of an algorithm. It can be the initial table of the Simplex Method, Revised Simplex Method, or the input format of MPSX. The tabular view is thus algorithm-specific and implementation-specific. Roughly speaking,

the modeling process can be considered a conversion process from the semantic view to the tabular view of a model.

3. EVALUATION CRITERIA FOR MODELING SYSTEMS

To develop a good modeling system, we need to define reasonable evaluation criteria for modeling systems.

1) *Representational Adequacy* : The context, generic structure of the LP model, constraints, and specific models should be represented adequately.

2) *Cognitive Naturalness* : The model should be understandable and modifiable not only by OR experts but also by OR-naive decision makers.

3) *Algorithm Independence* : Different algorithms need different tabular input forms. However, decision makers should be free from an algorithm-specific input format.

4) *Data Independence* : Decision makers should not be required to transform data units or perform aggregations and disaggregations of data.

5) *Level of Abstraction* : The level of abstraction of LP models may be determined by the time unit and the aggregation levels for products and facilities. Thus, the level of abstraction of a model should be determined while identifying those factors.

6) *Semantic Level Dialogues for Sensitivity Analysis* : In traditional LP packages, sensitivity analysis is usually done by changing coefficients or RHS values. However, OR-naive managers may want to perform *WHAT-IF* analysis in a more natural way such as "*WHAT* is the change of cost *IF* the prices of all Iranian crude oils rise by 10%".

7) *Automatic Syntax Error Check* : Incomplete models due to missed RHS or LHS, inconsistent constraints, or redundant constraints should be automatically identified and explained to model builders.

8) *Reusability of Previously Built Models* : Previously built models should be saved so that they can be retrieved and modified for similar applications.

9) *Integration with Other Related Models* : The formulated LP model should be able to be integrated with associated knowledge and other LP models. For integration with associated knowledge, Post-Model Analysis (PMA) may be applied [LEE 85, 87b, 87c].

10) *Automatic Extraction of Relevant Linear Components* : Since LP formulation can be considered an extraction of linear components out of a corporate knowledge base, knowledge of constraints affecting decision variables and/or objectives of specific problems should be traced and extracted automatically.

11) *Guidance for the Ambiguity Elimination Process* : When the extracted linear knowledge has unresolved ambiguities, complete LP formulation demands that the formulator invoke questions necessary to eliminate the ambiguities.

12) *Distinguishability of Ontological Knowledge from Epistemological Knowledge* : Some knowledge, such as that of physical constraints, are ontological, and can reliably be used in related models. However, soft constraints like the availability of a certain crude oil may change depending upon the degree of acquisition effort. Whether to accept availability as a constraint depends upon subjective judgment. For such epistemological

knowledge, meta-knowledge which can answer "why, when, by whom" types of questions should be maintained so that the model builder can judge whether he/she accepts the knowledge for his/her own decision models.

4. REPRESENTATION OF MODELING KNOWLEDGE

To realize knowledge-assisted modeling support, a prototype UNIK-OPT (UNified Knowledge - OPTimization) is proposed. UNIK-OPT adopts a frame-based knowledge representation method. There are four categories of knowledge:

- (1) Modeling Structure of Linear Programming
- (2) Domain Context
- (3) Constraints
- (4) Reusable Models

We will illustrate these knowledge categories by examining the domain of the petroleum industry.

4.1. Modeling Structure of Linear Programming

Desirable features of frames in representing the LP modeling structure include the distinction between class and instances, graphical relationships between frames, and a hierarchy among the instances of a frame to reflect the level of abstraction. Class frames for LP model structure are shown in the syntax of UNIK-OPT.

```

{{ LP-MODEL
  is-a : CLASS
  has-objectives :
  has-semantic-constraints : }}

{{ SEMANTIC-CONSTRAINTS
  is-a : CLASS
  has-constraints : }}

{{ TERM
  is-a : CLASS
  has-coefficient :
  has-variable :
  has-index : }}

{{ VARIABLE
  is-a : CLASS
  has-attribute :
  has-index : }}

{{ OBJECTIVE
  is-a : CLASS
  has-term : }}

{{ CONSTRAINT-EQUATION
  is-a : CLASS
  has-LHS :
  has-RHS : }}

{{ COEFFICIENT
  is-a : CLASS
  has-attribute :
  has-index : }}

{{ INDEX
  is-a : CLASS }}

```

An instance model CRUDE-SELECTION-MODEL can be represented as follows:

```

{{ CRUDE-SELECTION-MODEL
  instance-of : LP-MODEL
  has-objectives : COST-MINIMIZATION
                  PROFIT-MAXIMIZATION
  has-semantic-constraints : MATERIAL-BALANCES
                           CAPACITY-LIMITS
                           BLEND-QUALITY-CONSTRAINTS }}

```



```

{{ MATERIAL-BALANCES
  instance-of : SEMANTIC-CONSTRAINTS
  lower-instances : MATERIAL-BALANCE-FOR-CRUDE
                  MATERIAL-BALANCE-FOR-CDU-STREAM
                  MATERIAL-BALANCE-FOR-FINAL-PRODUCT }}

```

```

{{ MATERIAL-BALANCES-FOR-CRUDE
  instance-of : SEMANTIC-CONSTRAINTS
  higher-instances : MATERIAL-BALANCES }}

```

The frames MATERIAL-BALANCES and MATERIAL-BALANCES-FOR-CRUDE show the hierarchy of instance within the SEMANTIC-CONSTRAINTS frame.

4.2. Domain Context

4.2.1. Knowledge about Indices

Illustrative types of domain knowledge for the petroleum industry include products, crude oils, facilities, and time units. This knowledge will be used as indices of decision variables.

(1) Knowledge about Products

There are two types of products : refining products and distillation products. Each type of product can have many instances as in the following examples.

```

{{ PRODUCT
  is-a :
  description :
  index-symbol : i
  related-attributes : PRODUCTION-AMOUNT INVENTORY }}

```

```

{{ REFINING - PRODUCT
  is-a : PRODUCT }}

```

```

{{ RC3
  description : "propane gas"
  instance-of : REFINING-PRODUCT }}

```

In this example, REFINING-PRODUCT is treated as a class, while RC3 is an instance of REFINING-PRODUCT. The inheritance of slot names and inheritance of default slot values are necessary. The *related-attributes* slots provide the links to possibly connective attributes in building the decision variables. Knowledge about crude oils can be represented in a similar way.

(2) Knowledge about Facilities

Knowledge about facilities has special slots like *a-process-of*, *succeed*, *precede* and *may-be-used-for*.

```

{{ FACILITY
  is-a :
  description :
  index-symbol : f
  related-attribute : PRODUCTION-AMOUNT
  a-process-of :
  precede :
  succeed : }}

```

```

{{ PLANT
  is-a : FACILITY
  has-process : DISTILLATION-UNIT REFINING-UNIT }}

{{ PLANT1
  is-a : PLANT
  description : "Plant in Ulsan"

{{ DISTILLATION-UNIT
  a-process-of : PLANT
  index-symbol : f1
  precede : REFINING-UNIT }}

{{ REFINING-UNIT
  a-process-of : PLANT
  index-symbol : f2
  succeed : DISTILLATION-UNIT }}

{{ C3-C4-MEROX-UNIT
  a-process-of : REFINING-UNIT
  precede : GAS-CONCENTRATION-UNIT }}

{{ GAS-CONCENTRATION-UNIT
  a-process-of : REFINING-UNIT
  succeed : C3-C4-MEROX-UNIT
  precede : NAPHTHA-BLENDING-UNIT GASOLINE-BLENDING-UNIT
  may-be-used-for : RC3 RC4 }}

```

Knowledge of storage facilities can be represented in a similar way.

(3) *Knowledge about Time Units*

Time units are important indices. To reconcile mismatches in the units in the model and data base, data units should be automatically transformed. Illustrative frames for time units are the following:

```

{{ 1988
  instance-of : YEAR
  has-quarter : 1ST-QUARTER 2ND-QUARTER 3RD-QUARTER
                4TH-QUARTER
  has-month : JAN FEB MAR APR MAY JUN JULY AUG SEP OCT NOV DEC
  has-weeks : WEEK1 WEEK2 WEEK3 ... WEEK52
  before : 1989
  after : 1987 }}

{{ 1ST-QUARTER
  instance-of : QUARTER
  year-of : 1988
  has-month : JAN FEB MAR
  before : 2ND-QUARTER
  after : }}

{{ FEB
  instance-of : MONTH
  description : Febraury
  year-of : 1988
  has-weeks : WEEK5 WEEK6 ... WEEK9
  has-days : 1 2 ... 29 }}

{{ WEEK5
  instance-of : WEEK
  beginning-month : JAN
  ending-month : FEB
  days-in-beginning-month : 31
  days-in-ending-month : 1 2 3 4 5 6
  has-days : }}

{{ WEEK6
  instance-of : WEEK
  beginning-month : FEB
  ending-month : FEB
  days-in-beginning-month :
  days-in-ending-month :
  has-days : 7 8 9 10 11 12 13 }}

{{ NO-WORKING-DAY
  days : SUNDAY
        HOLIDAYS }}

{{ HOLIDAYS
  days : NEW-YEAR THANKSGIVING X-MAS }}

```

```

{{ NEW-YEAR
  instance-of : HOLIDAYS
  date : (Jan (1 2 3)) }}

```

```

{{ CURRENT
  current-year : 1988
  current-month : OCT
  current-day : 20 }}

```

4.2.2. Knowledge about Attributes

Attributes like production amount, purchase amount, and inventory are important characteristics of decision variables. Notationally, an attribute is represented as the body "X" of a decision variable X_{ij} . To link attributes with indices, the *related-indices* slots can be utilized.

```

{{ ATTRIBUTE
  symbol :
  related-indices : }}

```

```

{{ PRODUCTION-AMOUNT
  symbol : X
  related-indices : PRODUCT FACILITY TIME-UNIT }}

```

```

{{ PURCHASE-AMOUNT
  symbol : P
  related-indices : TIME-UNIT CRUDE-OIL }}

```

```

{{ INVENTORY
  symbol : I
  related-indices : PRODUCT TANK CRUDE-OIL TIME-UNIT }

```

4.3. Constraints

4.3.1. Types and Levels of Constraints

Constraints are the must relationships between terms. They can be broken down in two types : *hierarchical terms* and *procedural terms*.

Hierarchical terms are the components which constitute the upper level term. For example, the terms "sales amount of gasoline" and "sales amount of kerosene" constitute the "sales amount" of both products.

On the other hand, procedural terms describe the processes that comprise the overall operation. By using the concept of level of abstraction [SMI 77], modeling for different levels of decision making can be supported.

4.3.2. Relationships among Constraints and Terms

Top level constraints are composed of terms described by attributes without making distinctions by indices. As the constraint level goes down to specify in greater detail the context and intention of models, indices are defined accordingly. Terms are eventually composed of decision variables and coefficients, while decision variables and coefficients are composed of attributes and indices. Possible variables and coefficients which can constitute terms can be pre-defined so that model builders can select the one appropriate for definition of a specific model.

4.4. Reusable Models

To reuse models, the formulated specific instance model needs to maintain its *Title*,

Description, Built-Date, Built-By, User-Department, and User-Level slots so that subsequent users can find the model according to these criteria. The titles of instance models may include relationships each other.

5. FORMULATION OF LP MODELS USING UNIK-OPT

The LP model formulation can be assisted by the following procedure.

1) *Context Identification and Selection of Decision Variables*

Using the frames on domain context, the context and aggregation level of decision models can be defined which will be used as indices. By tracing related-attributes, decision variables can be identified.

2) *Identification of Objective Functions*

Using the constraint net, potential objective functions can be traced and selected. Once an objective function is selected as a primal objective, related objective function values will be computed based on the primal objective function for reporting purposes.

3) *Elicitation of Constraints*

The UNIK-OPT automatically elicits constraints associated with the decision variables and objective functions. The model builder can decide whether certain terms will be treated as decision terms or as given constants. They can also decide which parts of terms will be located in the RHS. If ambiguities remain about summation of terms or about units of constraints, these ambiguities should be eliminated through dialogues with the decision maker.

4) *Generation of LP Models*

Based on the definitions made during the previous stages, descriptive and notational LP models can be synthesized.

5) *Provision of Coefficient Data*

Relevant data from the data base should be transformed into the values in the unit used by the models. Then input data should be generated that is suitable for the format of the appropriate algorithm.

6) *Saving and Reuse of the Model*

The model can be saved for later use. The saved model may be linked to the data base at the time of use to accommodate future data changes that may occur. The model may be changed in terms of context, level of decision, objective function, etc. Sensitivity analysis at the semantic level can be supported through context and data modification.

6. CONCLUDING REMARKS

This paper has proposed a framework for knowledge-assisted LP model formulation. The framework is applied to the petroleum industry, and a prototype UNIK-OPT is developed. By applying this approach, the assistance in the formulation and management of models can be effectively provided.

Acknowledgement

This research is funded by Korea Ministry of Science and Technology and Yukong Limited. We thank researchers of Yukong Limited for their cooperation in this research, particularly Mr. Youn-sung Lee who is almost a co-author of this paper.

REFERENCES

- [BIN 86] Binbasioglu, M. and M. Jarke, "Domain Specific DSS Tools for Knowledge-Based Model Building," *Decision Support Systems*, Vol. 2, No. 3, 1986, pp. 213-223.
- [FOU 83] Fourer, R., "Modeling Languages Versus Matrix Generators for Linear Programming," *ACM Transactions on Mathematical Software*, Vol. 9, No. 2, June, 1983, pp. 143-183.
- [GEO 87] Geoffrion, A., "Introduction to Structured Modeling," *Management Science*, Vol. 33, No. 5, May, 1987, pp. 547-588.
- [KAT 80] Katz, S., L. J. Risman and M. Rodeh, "A System for Constructing Linear Programming Models," *IBM Systems Journal*, Vol. 19, No. 4, 1980, pp. 505-520.
- [LEE 85] Lee, Jae K., "Solving Semi-Structured Problems and the Design of Decision Supporting Systems: Post-Model Analysis Approach," Ph.D. Dissertation, Department of Decision Sciences, The Wharton School, University of Pennsylvania, 1985.
- [LEE 87a] Lee, Jae K. and E. Gerald Hurst, Jr., "Multiple Criteria Decision Making Including Qualitative Factors : The Post-Model Analysis Approach," *Decision Sciences*, Vol. 19, No. 2, Spring, 1988, pp. 334-352.
- [LEE 87b] Lee, Jae K. and Ho Geun Lee, "Integration of Strategic Planning and Short-Term Planning: An Intelligent DSS Approach by the Post-Model Analysis Approach," *Decision Support Systems*, Vol 3, No. 2, 1987. pp. 141-154.
- [LEE 87c] Lee, Jae K. and B. S. Kang, "Intelligent Production Planning System by the Post-Model Analysis Approach," *Applied Expert Systems*, E. Turban and P.R. Watkins(eds.), North Holland, 1988, pp. 87-106.
- [LEE 88] Lee, Jae K., M. S. Shin and W. K. Lee, "The Integration of Linear Programming with Rule-based System by the Post-Model Analysis Approach," submitted to *Management Science*, 1988.
- [MA 86a] Ma, P., F. H. Murphy and E. A. Stohr, "Design of a Graphics Interface for Linear Programming," Graduate School of Business Administration, New York University, Working Paper Series, GBA #86-101, September, 1986.
- [MA 86b] Ma, P., F. H. Murphy and E. A. Stohr, "LPSPEC : A Language for Representing Linear Programs," Graduate School of Business Administration, New York University, Working Paper Series, GBA #86-104, October, 1986.
- [MIL 77] Mills, R., R. Fetter and R. Averill, "A Computer Language for Mathematical Programming Formulation," *Decision Sciences*, Vol. 8, No. 2, 1977, pp. 427-444.
- [MUR 86] Murphy, F. H. and E. A. Stohr, "An Intelligent System for Formulating Linear Programs," *Decision Support Systems*, Vol. 2, No. 1, March, 1986, pp. 39-47.
- [MUR 87] Murphy, F. H., E. A. Stohr and Ma, P., "Composition Rules for Building Linear Programming Models from Component Models," Graduate School of Business Administration, New York University, Working Paper Series, GBA #87-30, March, 1987.
- [ORL 86] Orlikowski, W. and V. Dahr, "Imposing Structure on LP Problem : An Empirical Analysis of Expert and Novice Models," *AAAI-86*, 1986, pp. 308-312.
- [PAR 88] Park, Sung J. and Jin Y. Park, "Structured Modeling Support System (SMSS) : A Computer-aided Tool for DSS Development," *APORS '88*, 1988, p. 181.
- [SMI 77] Smith, J. M. and D. C. P. Smith, "Database Abstraction : Aggregation," *Communications of the ACM*, Vol. 20, No. 6, 1977, pp. 405-413.
- [STO 87] Stohr, Edward A., "Automated Support For Formulating Linear Programs," Working Paper, Information Systems Area, Graduate School of Business Administration, New York University, October, 1987.
- [WEL 87] Welch, J. S. Jr., "PAM : A Practitioner's Approach to Modeling," *Management Science*, Vol. 33, No. 5, May, 1987, pp. 610-625.

**For submission to
Management Science**

**Integration of Linear Programming with
Rule-based Systems by
the Post-Model Analysis Approach**

**Jae Kyu Lee
Min Soo Shin
Woong Kyu Lee**

**Department of Management Science
Korea Advanced Institute of Science and Technology
P.O. Box 150, Cheongryang, Seoul, Korea**

Abstract

The integration of linear programming models with rule-based systems is very important because the integrated system can expand the limit of the modeling concept beyond what could be accomplished by either method alone. For the integration, the Post-Model Analysis(PMA) is applied as a framework for supporting the non-dominated tradeoffs among the objectives in the linear programming model and rule base. For this purpose, a typical structure of the rule-based system is defined, which is the same as the AND/OR graph. The structure and properties of rule base for PMA are investigated, and the treatments of causality, preference and conflicts are discussed. Finally, the method of computing a non-dominated solution set is proposed. There is still a great deal of research potential within this issue both for Operations Research and Artificial Intelligence researchers.

Table of Contents

1. Introduction
 - 1.1. Background
 - 1.2. Notation for Post-Model Analysis Approach using Rule Base
2. Post-Model Analysis Approach using Rule Base
 - 2.1. Procedure of Post-Model Analysis using Rule Base
 - 2.2. Types of Tradeoffs among Objectives
3. Representation of Rule Base
 - 3.1. Syntax of Rules
 - 3.1.1 Rules in Directed Acyclic AND/OR Graphic Form
 - 3.1.2 Types of Statements
 - 3.1.3 Decision Variable X_{NK}
 - 3.2. Structural Relationships
 - 3.2.1. Structural Analysis of AND/OR Graph
 - 3.2.2. Relationships between Decision Variables and Objectives
 - 3.2.3. Generation of Rule-type Judgment Functions
 - 3.2.4. Rule-based Evaluation
4. Properties of Rule Base
 - 4.1. Unsatisfiability, Completeness and Relevance
 - 4.1.1 Unsatisfiability
 - 4.1.2 Completeness
 - 4.1.3 Relevance

- 4.2. Conflicts within the AND/OR Graph
- 4.3. Causality and Preference
 - 4.3.1 Causality
 - 4.3.2 Preference
- 4.4. Conflict Resolution
 - 4.4.1 Specificity Principle
 - 4.4.2 Dominance Principle
 - 4.4.3 Information Gathering Principle
- 5. Non-dominated Solution Set
 - 5.1. The Solution of LP Model Given
 - 5.1.1 Left-Top-Down Approach with Pruning
 - 5.1.2 Algorithm-NDS1
 - 5.2 The Solution of LP Model Not Given
- 6. Concluding Remarks and Future Research Directions

Acknowledgement

References

1. Introduction

1.1. Background

The optimization models and the knowledge-based systems have attracted a great deal of research. There have been few studies, however, on the relationship between the optimization model and knowledge-based system although the integration of these two methodologies is very important. The purpose of this research is thus to develop, using the Post-Model Analysis (PMA) approach, a framework which can integrate linear programming (LP) models with rule-based systems (Lee and Hurst 1988). By integrating the two methodologies, we can expand the modeling concept beyond what could be accomplished by either method alone. For our research, we assume that linear programming modeling is an "extraction of linear type knowledge out of the global knowledge base". Since the formulation of the LP model in such a situation can be supported by the knowledge, it is natural to try to develop the knowledge-based LP model formulation supporting system (Binbasioglu and Jarke 1986; Fedorowicz and Williams 1986; Fourer 1983; Katz et al. 1980; Lee et al. 1989; Ma et al. 1986a, 1986b; Mills et al. 1977; Murphy and Stohr 1986; Murphy et al. 1987; Orlikowski and Dahr 1986; Welch 1987). An issue in the linear knowledge extraction process is that the linear components are not necessarily isolated from other parts of the knowledge base. The extraction of associated knowledge is thus essential to arrange the factors that should be considered simultaneously

with the LP model. Since the typical relationship between the LP model and the relevant knowledge base is the existence of shared decision variables, the PMA approach is useful in supporting the tradeoffs among the objectives in the LP model and rule base (Lee and Hurst 1987; Lee 1985). The process of LP formulation and PMA are graphically depicted in Figure 1.

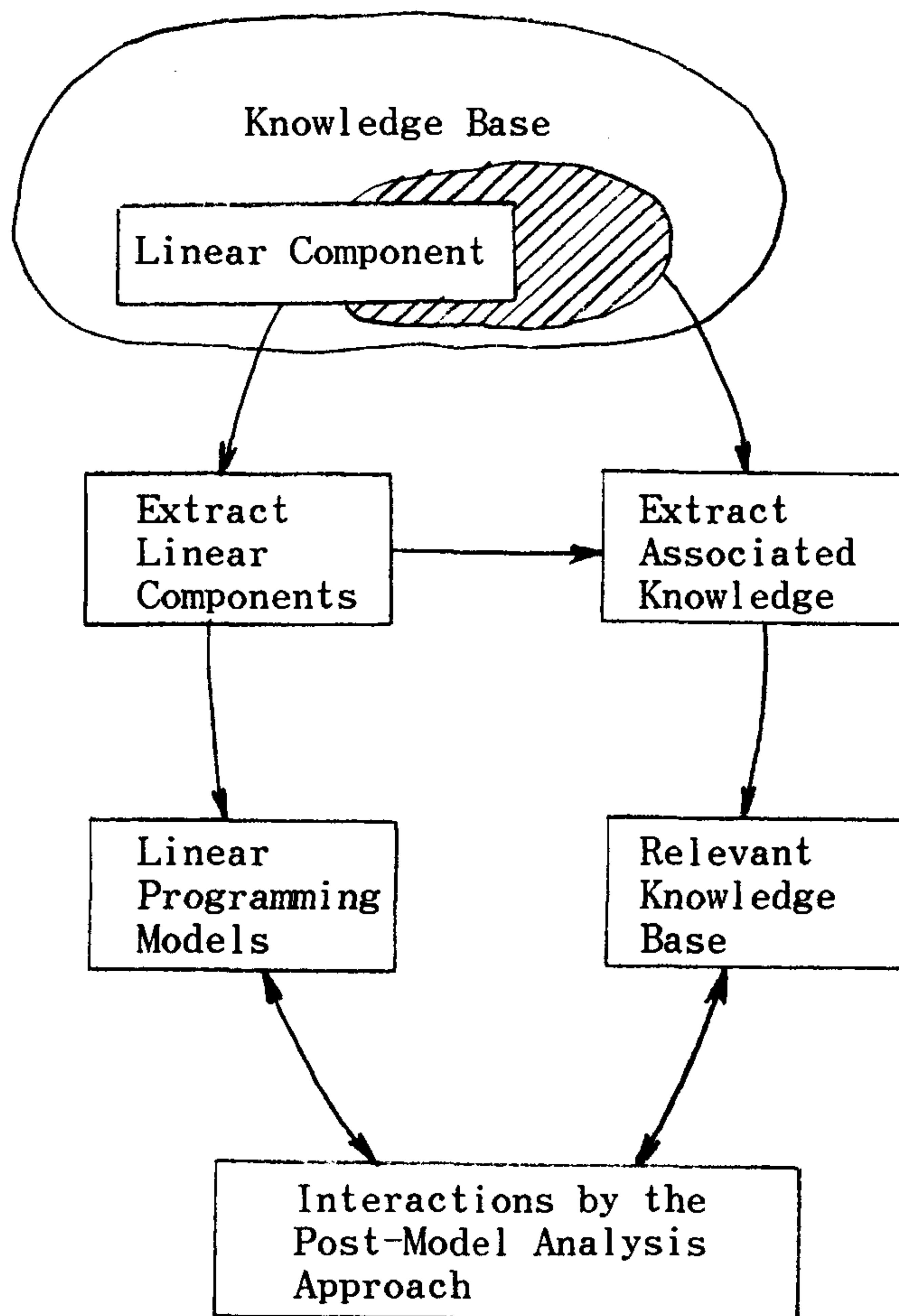


Figure 1. A View of Linear Programming Model Formulation and Post-Model Analysis.

1.2. Notations for Post-Model Analysis using Rule Base

The Post-Model Analysis (PMA) is a framework for supporting the tradeoffs among the objectives in the LP model and rule base. Since the problem in this case has a single objective in the LP model and multiple objectives in rule base, they are denoted as MODM(1,M), where the MODM stands for Multiple Objective Decision Making, and the indices are the number of objective(s) in the LP model and rule base respectively. The PMA for MODM(1,M) is particularly denoted as PMA(1,M).

To formulate the MODM(1,M) for the PMA(1,M) which uses rule base, let us define the notation in the following way:

- X : decision variable vector.
- X_N : numeric decision variables.
- X_{NL} : numeric decision variables included in the linear programming model.
- X_{NK} : numeric decision variables included in the rule base.
- X_{NLK} : numeric decision variables included both in the linear programming model and the rule base
- $$X_{NLK} = X_{NL} \cap X_{NK}$$
- $$X_N = X_{NL} \cup X_{NK}.$$
- X_{VK} : verbal decision variables included in the

rule base,

$$\mathbf{X} = [\mathbf{X}_N, \mathbf{X}_{VK}].$$

\mathbf{b} : right hand side (RHS) vector of linear constraints, $\mathbf{b} = [b_1, b_2, \dots, b_m]$.

$\mathbf{S} = \{ \mathbf{X}_{NL} \mid g_j(\mathbf{X}_{NL}) \leq b_j, j=1, \dots, m \}$: linear constraints set.

$c(\mathbf{X}_{NL})$: an objective function of linear programming model.

Δc : deviation from the current objective function value of LP model.

c^L : lower bound of objective function value.

c^U : upper bound of objective function value.

\mathbf{q}_g : goals included in the rule base. \mathbf{q}_g may be represented in either numeric or verbal form.

\mathbf{q}_c : qualitative constraints included in the rule base.

$$\mathbf{q} = [\mathbf{q}_g, \mathbf{q}_c].$$

Δq_k : deviation from the current level of the goal k

q_i^L : lower bound of goal i .

q_i^U : upper bound of goal i .

$\mathbf{R}(\cdot)$: The judgement functions that represent relationships in the form of rules. The rules can eventually be transformed into the AND/OR graph.

I_K : information necessary for judgments, but not included in the linear programming model. In the rule-based systems, the asserted facts correspond to I_K .

$R_g(X|I_K)$: rule-type judgment functions for the goals that need the support of I_K .

$R_c(X|I_K)$: rule-type judgment functions for qualitative constraints that need the support of I_K

$$R(.) = [R_g(.), R_c(.)].$$

The relationship between q and $R(X|I_K)$ is denoted as

$$R(X|I_K) \perp q,$$

which means that the decision X made by judgment function $R(.)$ using the information I_K in the form of rules, "satisfies" the goals q .

Using the above notation, the MODM(1,M) can be formulated as follows:

$$\max_X [c(X_{NL}), R_g(X_N, X_{VK} | I_K)] \quad (1)$$

subject to

$$X_{NL} \in S \quad (2)$$

$$R_c(X_N, X_{VK} | I_K) \perp q_c \quad (3)$$

1.3. Roads Ahead

A key issue in PMA(1,M) is the computation of various Marginal Rates of Substitution (MRS) encompassing not only the objective function of the LP model but also the objectives in the rule base. To achieve this, the procedure of PMA which uses rule base and the types of tradeoffs in MODM(1,M) are described in section 2. To develop the methods for PMA(1,M) using rules, a typical structure of rule-based system is defined and its properties are discussed in section 3 and 4 respectively. Finally, a method of computing the non-dominated solution set in MODM(1,M) is proposed in section 5 which will be used for the non-dominated tradeoffs.

2. Post-Model Analysis Approach using Rule Base

2.1. Procedure of Post-Model Analysis using Rule Base

The procedure of Post-Model Analysis which uses rule base for judgments is as follows: [see Figure 2]

1. Formulate the linear programming model either manually or automatically.
2. Generate rule-type judgment functions using the associated rules thus augmenting the model.

3. In the mean time, obtain the optimal feasible solution of the LP model.
4. Evaluate the current solution with respect to the objectives in the rule base.
5. If the objectives in the rule base are satisfied with the current solution, the final solution is found. Stop.
6. If the current solution is not satisfactory, invoke the non-dominated tradeoffs among the objectives encompassing the one in the LP model and the ones in the rule base.

2.2. Types of Tradeoffs among Objectives

The objectives in MODM(1,M) are $[c(\cdot), q_1(\cdot), \dots, q_M(\cdot)]$. The types of possible tradeoffs can be identified by the existence of bounds and priority, and the scope of associated objectives.

[Definition] The Lower Bound:

The goal level that should at least be satisfied. It should not be sacrificed even for the improvement of other goals.

[Definition] The Upper Bound:

The goal level that does not need to be improved further, sacrificing other goals.

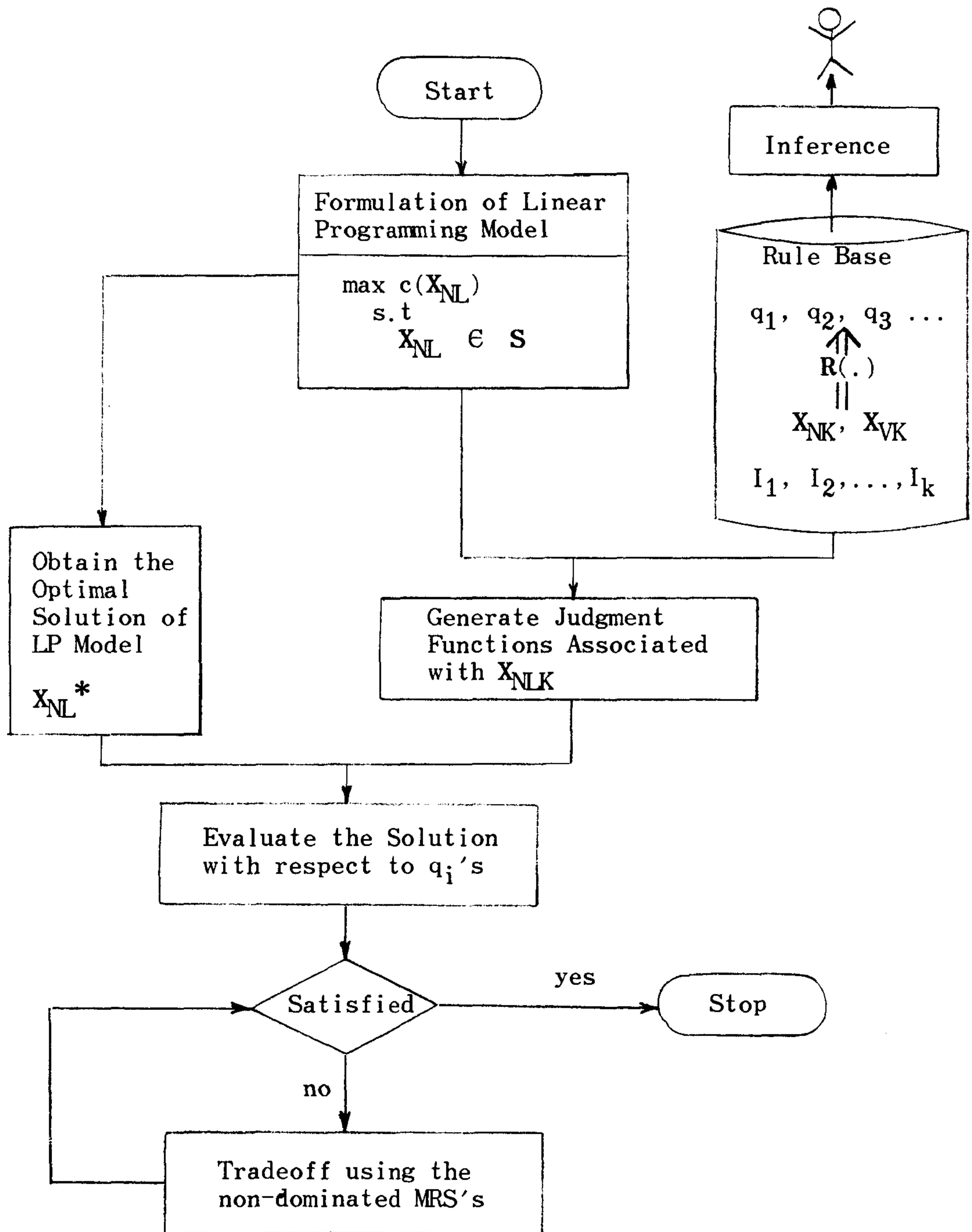


Figure 2. The Procedure of Post-Model Analysis using Rule Base

The range of goals may be either points, intervals, or infinite. The typical tradeoffs without priority can be classified as follows:

1) Impact of $(\Delta q_k(.), \Delta q_{k+1}(.), \dots, \Delta q_{k+s}(.))$ on $c(.)$:

This type of tradeoff shows the impact of $(\Delta q_k(.), \Delta q_{k+1}(.), \dots, \Delta q_{k+s}(.))$ on $c(.)$ while the other goals in the rule base are bounded. It can be denoted as (4).

$$\Delta c [\Delta q_k, \Delta q_{k+1}, \dots, \Delta q_{k+s} \mid q_i^L \leq q_i \leq q_i^U, \\ i \neq k, k+1, \dots, k+s] \quad (4)$$

2) Impact of $(\Delta q_k(.), \Delta q_{k+1}(.), \dots, \Delta q_{k+s}(.))$ on $(\Delta q_p(.), \Delta q_{p+1}(.), \dots, \Delta q_{p+r}(.))$:

It is assumed that there is no overlap between $(k, k+1, \dots, k+s)$ and $(p, p+1, \dots, p+r)$. This type of tradeoff shows the impact of goals in the rule base on some other goals in the rule base. The other goals in the rule base and the objective function value of the LP model should be maintained within a certain range. This kind of tradeoff is denoted as (5).

$$(\Delta q_p, \dots, \Delta q_{p+r}) [\Delta q_k, \dots, \Delta q_{k+s} \mid c^L \leq c(.) \leq c^U \\ q_i^L \leq q_i \leq q_i^U, i \neq k, \dots, k+s, i \neq p, \dots, p+r] \quad (5)$$

3) Impact of Δc on $(\Delta q_p, \dots, \Delta q_{p+r})$:

This type of tradeoff shows the impact of the change of the objective function value in LP on the objectives in the rule base. Notationally,

$$(\Delta q_p, \dots, \Delta q_{p+r}) (\Delta c \mid q_i^L \leq q_i \leq q_i^U, i \neq p, \dots, p+r) \quad (6)$$

The computation of non-dominated solutions for the various types of non-dominated tradeoffs will be discussed in section 5.

3. Representation of Rule Base

To develop a specific system for PMA, we need to define the structure of rule base specifically. This research adopts the structure of a typical rule-based system as described in section 3.1.

3.1. Syntax of Rules

3.1.1. Rules in Directed Acyclic AND/OR Graphic Form

The rule-based system logically corresponds to the directed acyclic AND/OR graph. For example, the rules in the Figure 3 can be converted into the AND/OR graph in Figure 4. The nodes N1 and N11 may be goals.

IF	N9	IF	N3
AND	N10	OR	(N12
THEN	N6		AND N13
			AND N14)
IF	N4	THEN	N11
OR	(N5		
	AND N6)		
THEN	N2	IF	N2
		OR	N3
IF	N6	THEN	N1
OR	N7		
OR	N8		
THEN	N3		

Figure 3. Illustrative Rules

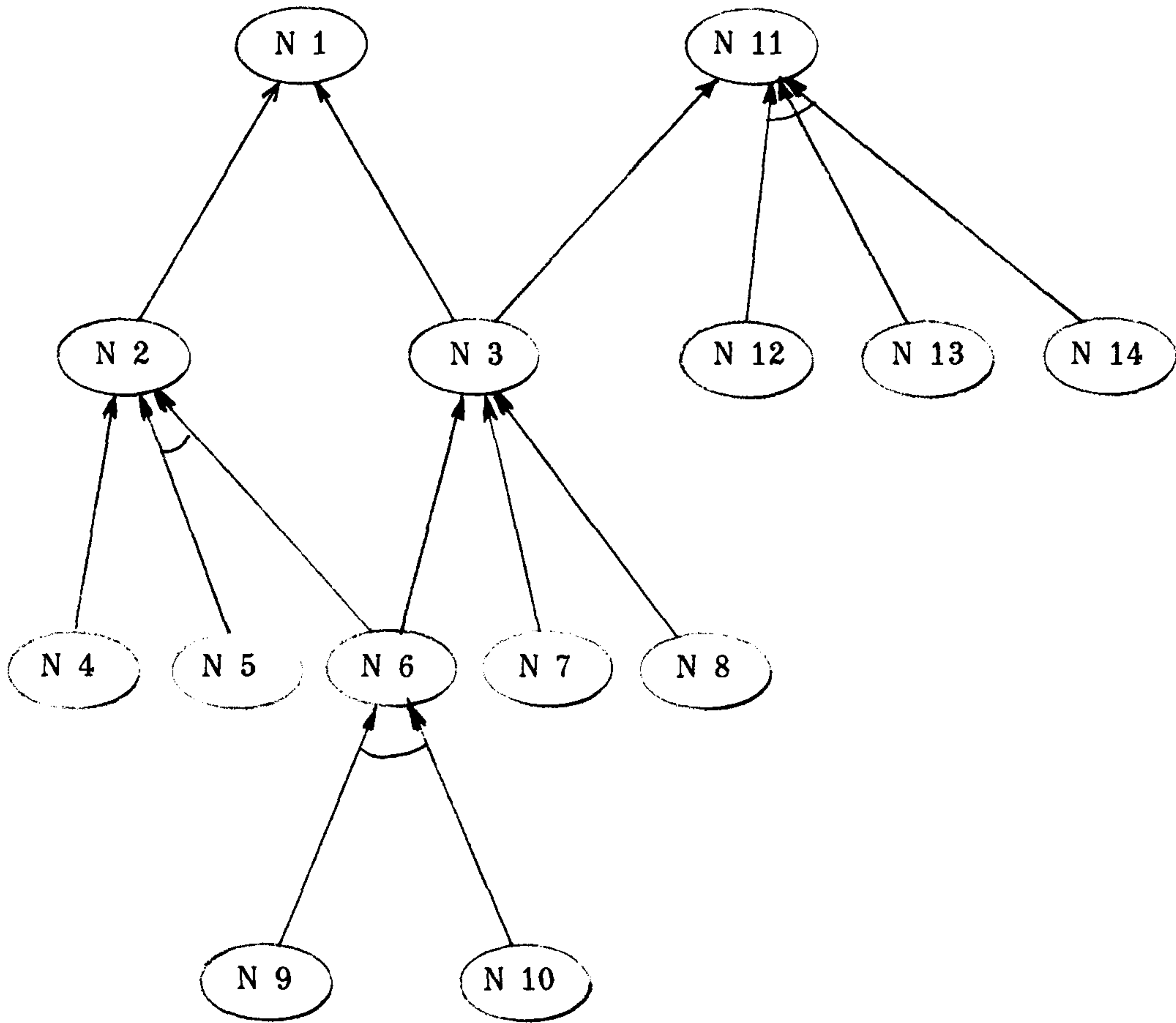


Figure 4. The AND/OR Graph of Rules in Figure 3.

3.1.2. Types of Statements

The statements, which correspond to the node in the AND/OR graph, in the rules have one of the following types:

- 1) Fact type : asserted facts in true or false form.

[Example] The statements in the IF and THEN parts of the following example rule are fact types.

IF the product is positioned in the northwest area of the BCG matrix

THEN the product is a star product

- 2) Numeric type : a variable has a numeric value.

[Example] The variable "the growth rate of the product" in the IF part of the following rule has a numeric type value.

IF the growth rate of the product < 10%

THEN the product is losing its market share

- 3) OAV (Object-Attribute-Value) type : the attribute has selective values.

[Example] The statements in the IF part of the following rule are the OAV types. The OAV types can be identified by the term "IS".

IF the highest level of education IS master

AND the major area of study IS business administration

THEN the applicant's educational background qualifies for a management position

The statements may include numeric operators such as +, -, *, / and parentheses.

3.1.3. Decision Variable X_{NK}

The decision variables of X_{NK} may exist in fact base or rule base. For example, the assertions in fact base are like the following:

$$\begin{aligned} f_1(x_1) &= 100 \\ 150 &\leq f_2(x_2) \leq 200 \end{aligned}$$

Similarly, the rule base may have the following form:

IF $f_3(x_3) = 300$
AND $350 \leq f_4(x_4) \leq 400$
THEN

Though the X_{NK} can have a functional form, it is assumed that more than one decision variable cannot exist in a statement. The numeric decision variables may appear in either IF part or THEN part of the rules.

3.2. Structural Relationships

3.2.1. Structural Analysis of AND/OR Graph

To generate the judgment functions and evaluate the objectives in rule base efficiently, a structural analysis of the AND/OR graph is necessary. Typical structural relationships are preceding and succeeding relationships. The locus of the node is either a root, intermediate, or leaf node. For example, in the Figure 4, the N9 and N10 precede N6, and N6 succeeds N9 and N10. The nodes N1 and N11 are root nodes; N4, N5, N9, N10, N7, N8, N12, N13, and N14 are leaf nodes; N2, N3 and N6 are intermediate nodes. To support the structural analysis, the logic programming can be used (Lee et al. 1987). The structural analysis can derive the relationships among the nodes, and can identify the locus of the node.

3.2.2. Relationships between Decision Variables and Objectives

The sensitivity of changed decision variables X_{NLK} on the objectives in the rule base is also necessary for PMA. If the relationship is insensitive, the evaluation of insensitive objectives by the change of X_{NLK} can be avoided.

The conditions of insensitivity are as follows:

- (a) If the objectives do not succeed the nodes with changed decision variables.
- (b) If the complementary-OR node(s) already satisfies the current goal.
- (c) If the impact of the changed decision variable is absorbed by any of the succeeding intermediate nodes.
- (d) If the change of the decision variable still does not satisfy the condition in the rule which was previously not satisfied.

3.2.3. Generation of Rule-type Judgment Functions

The process of generating rule-type judgment functions out of the rule base is as follows:

1. Obtain an alternative solution with respect to X_{NL} out of the LP model.
2. Search for the rules that include X_{NL} identifying X_{NLK} .
3. Identify the objectives directed by X_{NLK} , and organize a judgment function for each objective.
4. If the automatically generated judgment functions are complete enough to describe the problem, then stop.

Otherwise, add more judgment functions manually for temporary use. The added judgment functions may be stored in the rule base for permanent use.

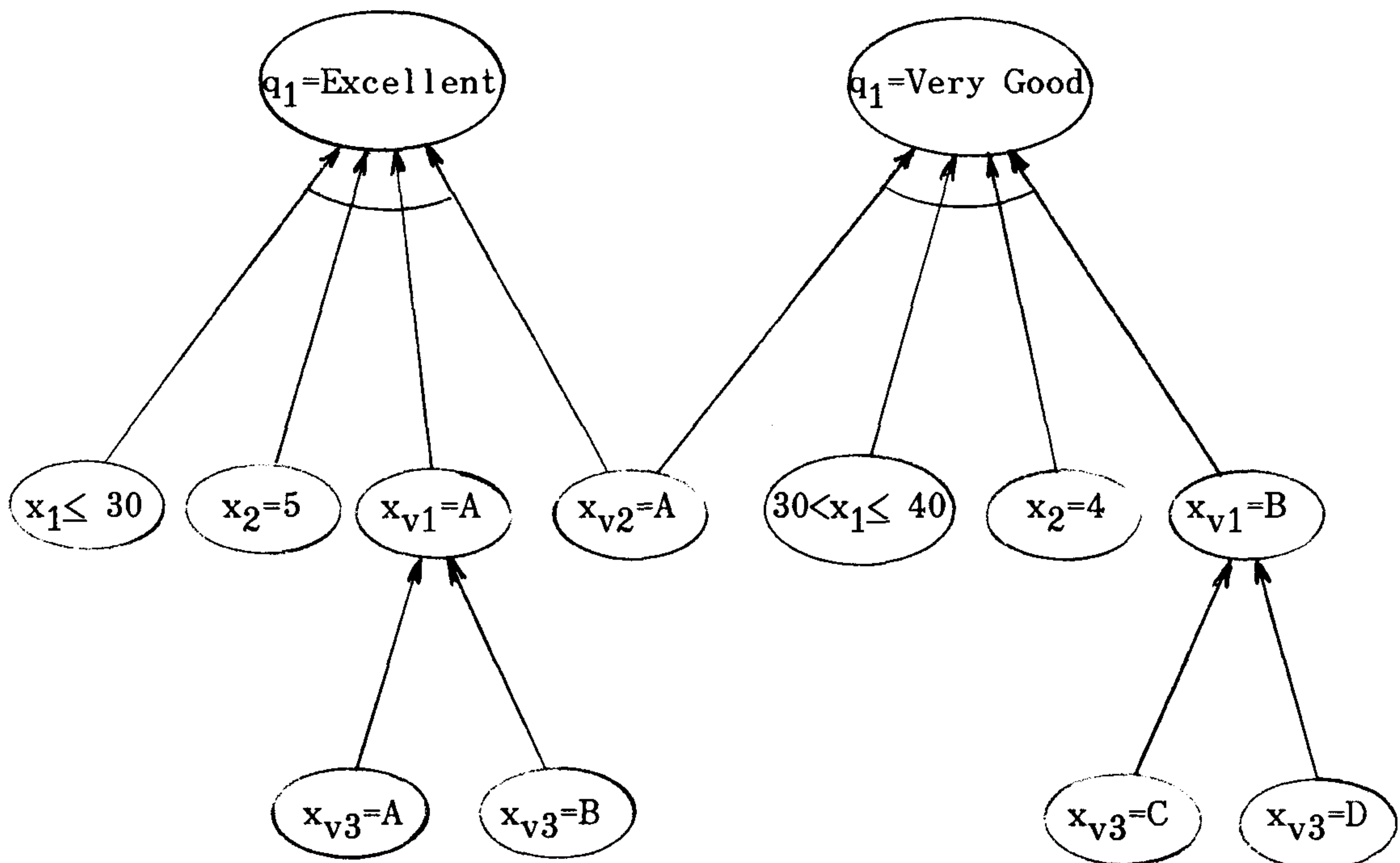
[Example]

1. $X_{NL} = (x_1, x_2, x_3, x_4)$ and $X_{NLK} = (x_1, x_2)$

Assume the solution obtained by the LP model is

$$x_1 = 35 \quad x_2 = 4$$

2. Extract a subgraph that includes the x_1 and x_2 as in the following example:



3. Construct judgment functions for each goal.

J_1 IF $x_{v3} = A$ OR $x_{v3} = B$ THEN $x_{v1} = A$ IF $x_1 \leq 30$ AND $x_2 = 5$ AND $x_{v1} = A$ AND $x_{v2} = A$ THEN $q_1 = \text{Excellent}$	J_2 IF $x_{v3} = C$ OR $x_{v3} = D$ THEN $x_{v1} = B$ IF $30 < x_1 \leq 40$ AND $x_2 = 4$ AND $x_{v1} = B$ AND $x_{v2} = A$ THEN $q_1 = \text{Very Good}$
--	---

4. If the additional judgment functions are necessary, add them manually as follows:

 J_3
 IF $x_1 > 40$
 AND $x_2 = 3$
 AND $x_{v2} = D$
 THEN $q_1 = \text{Bad}$

3.2.4. Rule-based Evaluation

The simplest rule-based evaluation method is the bottom-up approach which matches the fact base with rules and finds the satisfied nodes including all satisfied succeeding nodes.

For example, assume that the current fact base has the following statements:

$x_1 = 35$	$x_2 = 4$
$x_{v2} = A$	$x_{v3} = B$

Then the evaluated level of q_1 is "Very Good" due to the J_2 .

If the desired level of q_1 is "Excellent", then slack Δq_1 is

$$\Delta q_1 = \text{"Excellent"} - \text{"Very Good"}$$

For the evaluation of rule base, the monotone evaluation principle is assumed so that if a dominating goal is satisfied, we are indifferent to the fact that the dominated goals are unsatisfied.

4. Properties of Rule Base

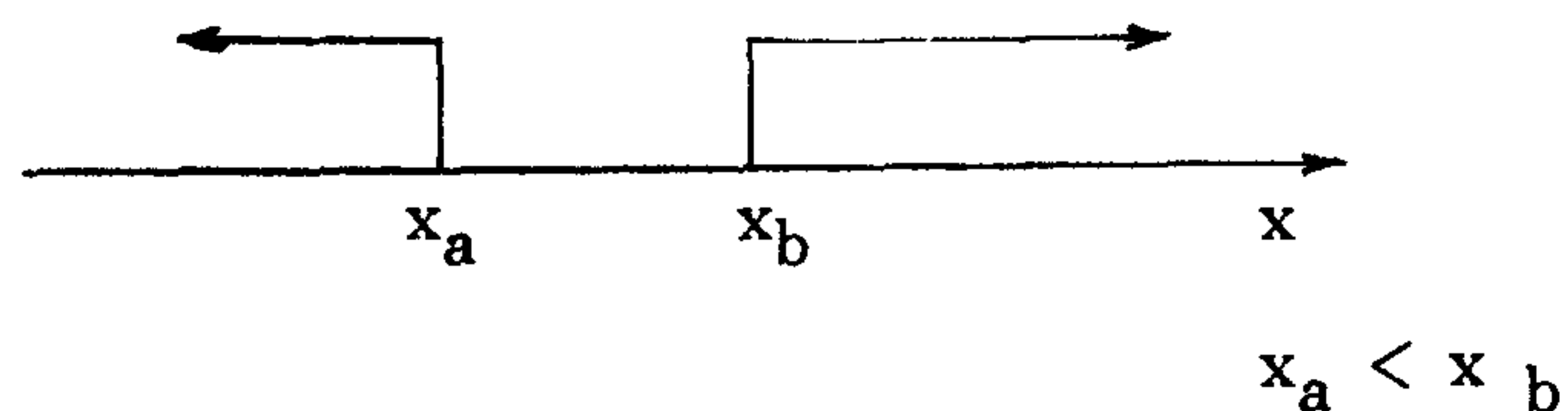
This section discusses the properties of rule-based knowledge.

4.1. Unsatisfiability, Completeness and Relevance

4.1.1. Unsatisfiability

[Definition] A rule is unsatisfiable if the conditions for the conclusion cannot be satisfied simultaneously.

[Example] The following rule is unsatisfiable.



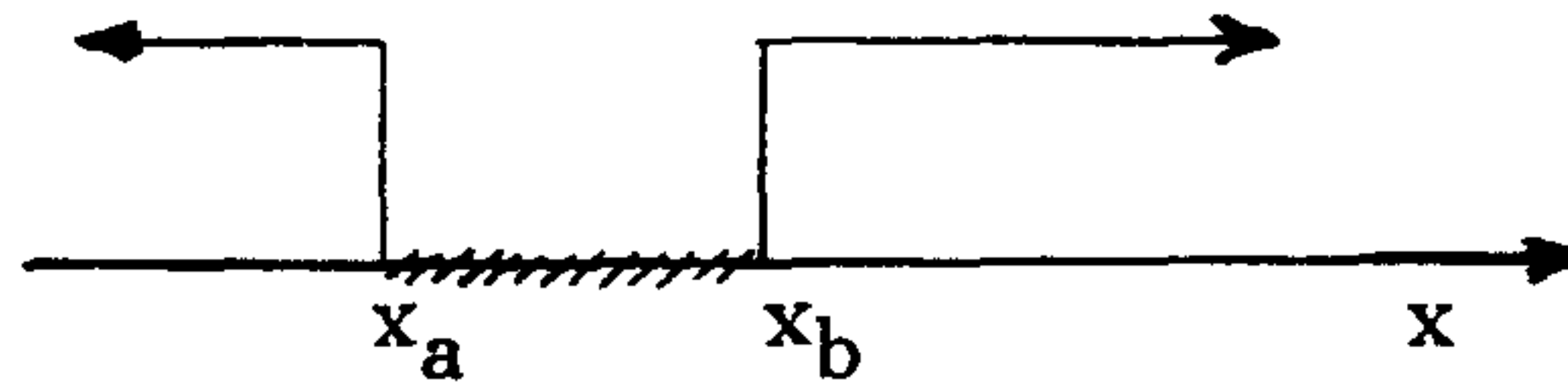
IF $x < x_a$
AND $x > x_b$
THEN $q_1 = A$

4.1.2. Completeness

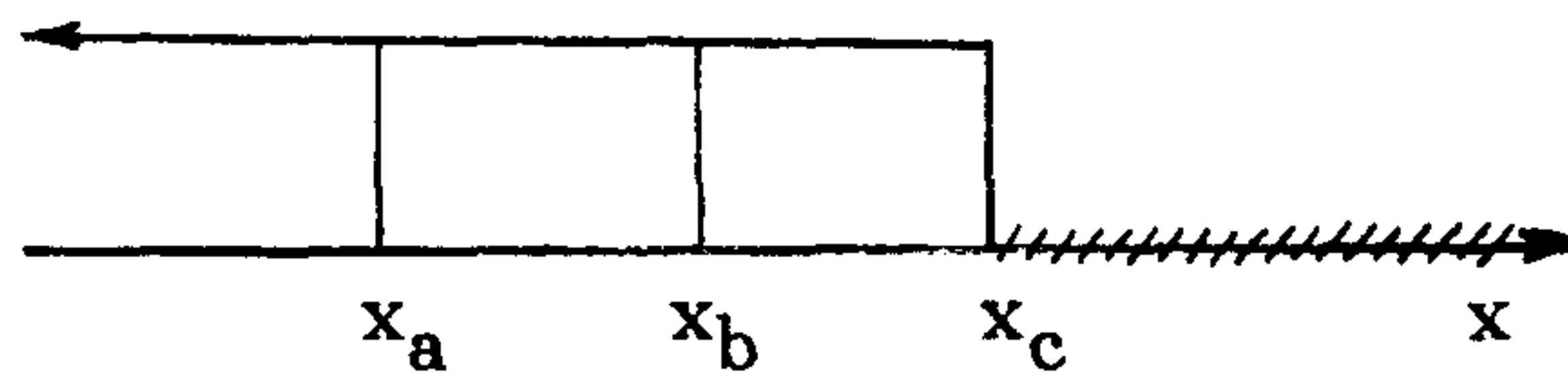
[Definition] The rules are probably incomplete if there are missed intervals or an open end.

[Example]

a) Missed interval



b) Open end



4.1.3. Relevance

[Definition] The x_i is fully relevant to q_k if the x_i 's precede all levels of q_k .

[Definition] The x_i is partially relevant to q_k if the x_i 's precede only certain level of q_k .

[Definition] The x_i is irrelevant to q_k if no x_i 's precede q_k .

4.2. Conflict within the AND/OR Graph

[Theorem 1] If any feasible range of x_i in the succeeding nodes is a superset of the feasible range in the preceding nodes, there exists a conflict. This conflict is a potential error of rules.

4.3. Causality and Preference

4.3.1. Causality

[Definition] If the decision variable x_i causes x_j , which are both in rule base, the causality will be denoted as (7).

$$x_i \rightarrow x_j \quad (7)$$

Suppose x_i and x_j are in X_{NLK} and a solution is obtained by the LP model. If the current solution values of x_i and x_j do not satisfy the causality in the rule base, then x_i and x_j are associated with conflicts between the linear constraints and causality. If there can exist any feasible solution for both the linear constraints and causality, the solution that we would like to find is the one that minimizes the objective function satisfying both the linear constraints and causality. For this purpose, an extra check for causality is necessary during the pivoting process of the simplex method. The causality will

invoke bounds on the caused variables whenever the values of causing variables are going to be changed.

4.3.2. Preference

The notion of preference may be included in the rule base. We will demonstrate the notion by the preference of product to processors in the manufacturing system.

[Definition] x_{ij} : production amount of product i by the processor j

$x_{ij} \succ x_{ij'}$: For the production of product i , processor j is preferred to processor j' .

One approach to handling preference is to use the modified pivoting process which selects the preferred processor with higher priority. If there is not a feasible solution that satisfies the preference requirement, however, the tradeoff between the objective function value and the preference requirement can also be made.

[Definition] Pre-emptive priority is a special type of preference that does not allow the tradeoff between the objective function value and the preference requirement.

4.4. Conflict Resolution

When there exists conflicts between the rules, the following conflict resolution principles can be applied:

- 1) Specificity Principle
- 2) Qualitative Dominance Principle
- 3) Information Gathering Principle

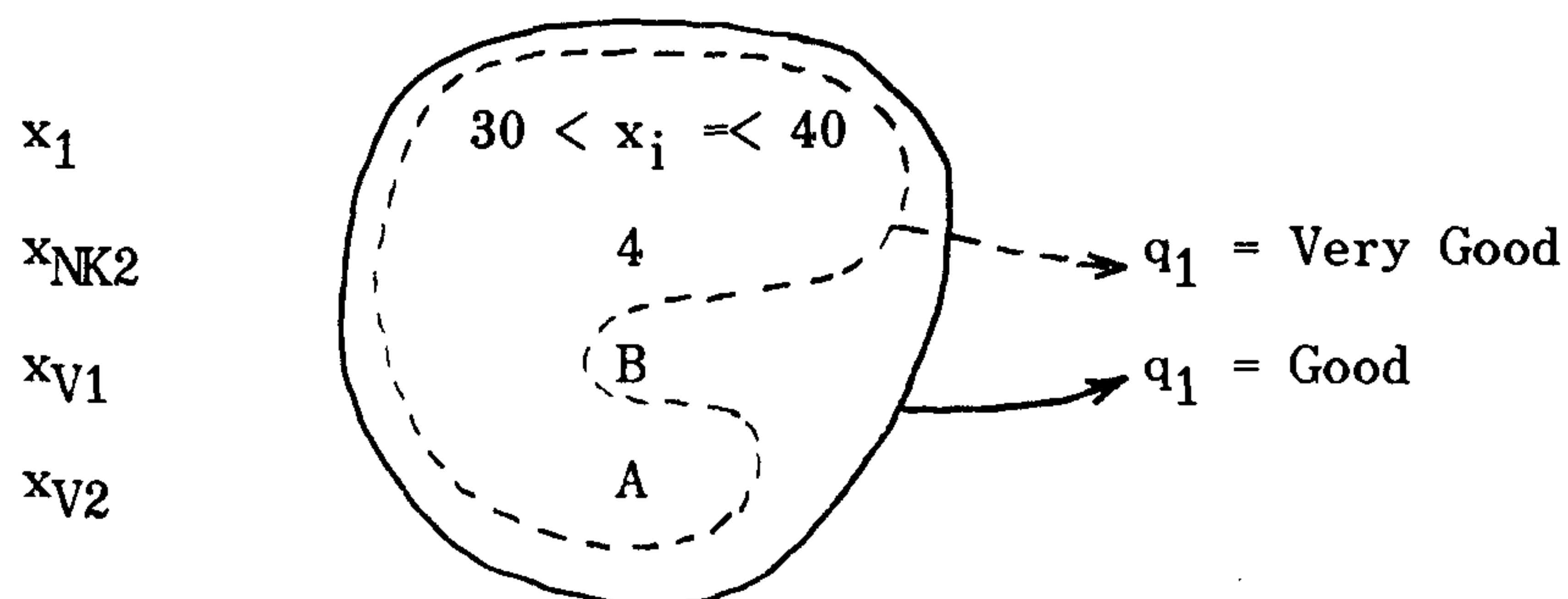
4.4.1. Specificity Principle

[Proposition] When the known facts satisfy more than one level of the same objective, it is reasonable to choose the rule that is satisfied by a more specific condition if the rule implies the other conflicting rule(s).

[Example] Suppose the current fact base has the following values:

$$x_1 = 35 \quad x_{NK2} = 4 \quad x_{V1} = B \quad x_{V2} = A$$

and there are two conflicting rules as follows:



In this case, the conflict will be resolved by the specificity principle resulting in $q_1 = \text{"Good"}$.

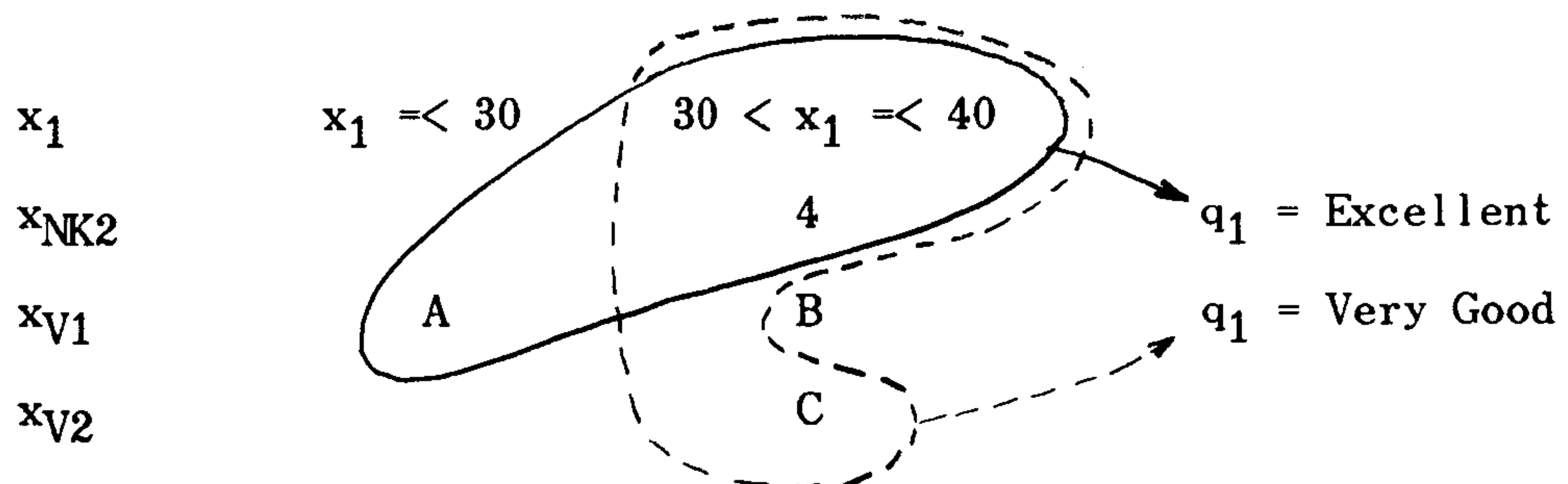
4.4.2. Dominance Principle

[Proposition] When the known facts satisfy multiple levels of an objective simultaneously, but the rules do not have implied relationships, it is reasonable to choose the best dominating goal.

[Example] Suppose the current fact base has:

$$x_1 = 35 \quad x_{NK2} = 4 \quad x_{V1} = A \quad x_{V2} = C$$

which satisfies the following two conflicting rules:



With the current solution, q_1 may be evaluated either as "Excellent" or "Very Good". In this case, however, q_1 will be evaluated as "Excellent" by the dominance principle.

4.2.3. Information Gathering Principle

When the conflict cannot be resolved by either of the above principles, additional information to help resolve the conflict should be obtained.

5. Non-dominated Solution Set

When more than one objective exists in the rule base, the

fact base may satisfy multiple non-dominated solutions. The process of finding the non-dominated solution (NDS) set can be classified depending upon whether the solution of the LP model is given a priori or not. We will assume that X_{VK} are given as fixed point values. The computation of the NDS set is very important in order to support the tradeoffs by the non-dominated MRSs.

5.1. The Solution of LP Model Given

The solution of the LP model may be given as points or intervals. When all the variables of X_{NLK} are given as points, the bottom-up matching approach, including the solution of the LP model in the fact base, can be applied for evaluation since the evaluation process does not influence the solution of the LP model. In this case, more than one non-dominated solution cannot exist. When the solution of LP includes some ranges however, the bottom-up evaluation cannot be used because the solution may be modified depending upon the condition of the goals in rule base.

[Example]

1. Suppose $X_{NLK} = (x_1, x_2)$ and the optimal feasible solution by the LP model is:

$$5 \leq x_1 \leq 15$$

$$20 \leq x_2 \leq 35.$$

And the objective function value is:

$$c(x_1, x_2) = 100.$$

Include the solution into the fact base, and match with the rules. Suppose the derived conditions necessary to be a non-dominated goal set $q_1 = \text{Excellent}$ and $q_2 = \text{Good}$ is:

$$10 \leq x_1 \leq 20$$

$$\text{and } 30 \leq x_2 \leq 40.$$

Assume that all other verbal decision variables are satisfied.

The final solution to meet

$$c(x_1, x_2) = 100, \quad q_1 = \text{Excellent}, \quad q_2 = \text{Good}$$

is the intersection of the LP solution and the conditions by the rules. Thus, a non-dominated solution is:

$$10 \leq x_1 \leq 15$$

$$30 \leq x_2 \leq 35.$$

2. Suppose there exists another non-dominated goal set,

$$q_1 = \text{Good} \text{ and } q_2 = \text{Excellent}$$

which requires the following conditions:

$$3 \leq x_1 \leq 7$$

$$15 \leq x_2 \leq 32.$$

Then the non-dominated solution to meet

$$c(x_1, x_2) = 100, \quad q_1 = \text{Good}, \quad q_2 = \text{Excellent}$$

is

$$5 \leq x_1 \leq 7$$

$$20 \leq x_2 \leq 32.$$

In this example, we can see that there are at least two different non-dominated solutions. If no overlapped range

between the LP solution and the conditions by the rules exists, the current goal set is not feasible.

When there are multiple non-dominated solutions, we cannot simply apply the bottom-up approach. Instead, a top-down iterative search of all possible NDS sets is necessary. When there are M objectives in the rule base with H levels of goals, the number of all possible combinations of solutions is H^M which increases exponentially. To reduce the burden of computing the NDS set, the Left-Top-Down Approach with Pruning is proposed. Some good news for resolving the computational complexity is that most MODM(1, M) do not need to consider a large number of objectives at a time.

5.1.1. Left-Top-Down Approach with Pruning

[Proposition] Left-Top-Down Approach:

To find the non-dominated solution set of MODM(1, M) with the given range solutions of the linear programming model, start the top-down iteration with a perfect goal set. Iterate the evaluation by downgrading the right-most objectives first.

For instance, the sequence of evaluation is:

(A, A, ..., A, A), (A, A, ..., A, B), ..., (A, A, ..., A, F)
 (A, A, ..., B, A), (A, A, ..., B, B), ..., (A, A, ..., B, F)

 (F, F, ..., F, A), (F, F, ..., F, B), ..., (F, F, ..., F, F)

where A is the best, B is the second best, and F is the worst. To prune the number of iteration during the Left-Top-Down approach, the following theorems can be applied:

[Theorem 2]

When the satisfied goal set has consecutive A's from i-th objective to M-th objective, the next iteration can skip to the downgrading of (i-2)th objective eliminating the evaluation of subsequent dominated solutions.

[Example]

Suppose the current goal set (A, B, D, A, A) is satisfied, the next iteration can skip to (A, C, A, A, A).

[Theorem 3]

When the current solution is a non-dominated solution, iterate with the one level downgraded goal of (M-1)th objective and reset M-th objective to "A" eliminating the evaluation of subsequent dominated solutions.

[Example]

Suppose (A B C B) is a NDS, the next iteration is (A B D A).

[Theorem 4]

If the current solution is dominated, the evaluation of

the subsequent dominated solutions can be eliminated.

[Example]

Suppose (A B C B) is a NDS, and the current solution (A D D B) is dominated. Then the evaluation of the current solution and the succeeding dominated solution such as (A D D C) and (A D D D) can be eliminated.

[Definition]

If a subset of goals is not feasible, it is called infeasible partial goal set.

[Definition]

If an infeasible partial goal set is the lowest of the infeasible partial goal sets, it is called the lower bound of the infeasible partial goal sets.

[Theorem 5]

If a solution includes the partial goal set higher than the lower bound of the infeasible partial goal sets, the evaluation of such infeasible solutions can be eliminated.

[Lemma 5.1]

If the infeasible partial goal set of right-most objectives is identified in the early stages of iteration, the elimination by partial infeasibility can be effectively used.

5.1.2. Algorithm - NDS1

We propose an algorithm NDS1 to compute the NDS sets for the case when the range solutions of the LP model are given. The algorithm NDS1 reflects the theorems mentioned in the previous section.

1. Iterate the top-down evaluation starting with $(A, -, -, -)$. If the leftmost goal is satisfied, add the next objective like $(A, A, -, -)$ until all goals are included. If the solution is infeasible, update the infeasible lower bound. Downgrade the rightmost feasible goal iteratively. Continue this process until the first NDS is found.
2. To utilize the elimination by partial infeasibility, find out the infeasibility lower bounds of the right-most goal sets at an early stage of iteration.
3. For each iteration, jump whenever there exists consecutive A's for the right-most objectives, avoid the evaluation of subsequent dominated solutions, and eliminate by infeasible partial goal set.
4. Continue the iteration finding all NDSs until the possible goal set is exhausted.

Due to this paper's page limit, the illustration of the

example and computational experience will be shown in a separate paper. From our experiments, we found that the computation time is acceptable unless the number of objectives are too large (Shin 1988).

5.2. The Solution of LP Model Not Given

When the solution of LP model cannot be assumed given, the LP model should be solved for each goal set with the additional constraints generated by the rule base. The causality and preference can also be considered by adopting the modified simplex algorithm. If a feasible solution can be found with the additional constraints, a NDS is found. In this case, the Left-Top-Down Approach and the notion of infeasibility by the partial goal set can also be used.

[Theorem 6]

If the derived constraints for the different goal sets are the same, the dominance by the goals in the rule base can guarantee the dominance by all goals including the objective in the LP model.

[Lemma 6.1]

If the rule-derived constraints for a goal set are tighter than those for the dominating goal set, the current goal set will also be dominated, including the objective function of the LP model.

[Theorem 7]

If the LP model with rule-derived additional constraints is infeasible, the current goal set is infeasible for the MODM(1,M) model.

[Lemma 7.1]

The infeasible constraints can be accumulated and used to confirm the infeasibility before the LP model really runs.

[Lemma 7.2]

If the rule-derived constraints are tighter than the infeasible constraints, the current goal set is infeasible.

6. Concluding Remarks and Future Research Directions

The system derived from the integration of linear programming models with rule-based systems is crucial as a means of expanding the limit of the modeling concept of both methods. By using the Post-Model Analysis environment, the model of linear programming, rule base, causality and preference can be considered simultaneously. Currently, the authors have developed a software UNIK (Unified Knowledge) which supports the implementation of the PMA approach (Lee et al. 1988). The PMA approach is applied to the integration of strategic planning with short-term

optimization planning(Lee and Lee 1987), and the production planning considering qualitative factors(Lee and Kang 1988).

Two areas in need of future research are the diversification of knowledge representations and optimization models. Though the current research has handled only the rule base, the knowledge may be represented in logic, frames, etc. The optimization model can also expand its scope beyond linear programming models to include integer programming and non-linear programming. We also need to pursue the development of more efficient algorithms in computing the non-dominated solution set, and of more effective way to implement the preference and causality. These issues contain a wealth of research potential both for Operations Research and Artificial Intelligence researchers.

Acknowledgement

This research is partially funded by the Korean Ministry of Science and Technology and Yukong Limited.

References

- Binbasioglu, M. and M. Jarke, "Domain Specific DSS Tools for Knowledge-Based Model Building", Decision Support Systems, Vol. 2, No. 3, 1986, pp. 213-223.
- Buchanan, Bruce G. and Edward H. Shortliffe (eds), Rule-based Expert Systems, Addison-Wesley Publishing Company, Reading Massachusetts, 1984.
- Fedorowicz, J. and D. B. Williams, "Representing Modeling Knowledge in an Intelligent Decision Support Systems", Decision Support Systems, Vol. 2, No. 1, March, 1986, pp. 3-14.
- Fourer, R., "Modeling Languages Versus Matrix Generators for Linear Programming", ACM Transactions on Mathematical Software, Vol. 9, No. 2, June, 1983, pp. 143-183.
- Katz, S., L. J. Risman and M. Rodeh, "A System for Constructing Linear Programming Models", IBM Systems Journal, Vol. 19, No. 4, 1980, pp. 505-520.
- Lee, Jae K., Solving Semi-structured Problems and the Design of Decision Support Systems: Post-Model Analysis Approach, Doctoral Dissertation, Department of Decision Sciences, The Wharton School, University of Pennsylvania, Philadelphia, 1985.
- Lee, Jae K. et al., Development of UNIK for the Integration of Knowledge and Optimization Models, (in Korean) Technical Report N324(3)-3078-7(1), Korea Advanced Institute of Science and Technology, Seoul, Korea, 1988.
- Lee, Jae K., Seok C. Chu, Sung H. Shim and Min Y. Kim, A Knowledge-based Formulation of Linear Programming Models using UNIK-OPT, will be presented in the 2nd International Workshop in Artificial Intelligence on Economics and Management, Singapore, Jan. 1989.
- Lee, Jae K. and E.G. Hurst, "Multiple Criteria Decision Making Including Qualitative Factors: The Post-Model Analysis Approach", Decision Sciences, Vol. 19, No. 2, Spring 1988, pp. 334-352.
- Lee, Jae K. and Ho G. Lee, "Integration of Strategic Planning and Short-term Planning: An Intelligent DSS by the Post-Model Analysis Approach", Decision Support Systems, Vol. 3, No. 2, June 1987, pp. 141-154.

Lee, Jae K. and Byung S. Kang, "Intelligent Production Planning System Using the Post-Model Analysis Approach", Applied Expert System, (ed) E. Turban and P. R. Watkins, North-Holland, 1988.

Lee, Jae K., Min S. Suh, and Chul K. Park, Structural Analysis of AND/OR Graph, Working Paper, Department of Management Science, Korea Advanced Institute of Science and Technology, Seoul, Korea, 1987.

Ma, P., F. H. Murphy and E. A. Stohr, "Design of a Graphics Interface for Linear Programming", Graduate School of Business Administration, New York University, Working Paper Series, GBA #86-101, September, 1986a.

Ma, P., F. H. Murphy and E. A. Stohr, "Design of a Graphics Interface for Linear Programming", Graduate School of Business Administration, New York University, Working Paper Series, GBA #86-104, October, 1986b.

Mills, R., R. Fetter and R. Averill, "A Computer Language for Mathematical Programming Formulation", Decision Sciences, Vol. 8, No. 2, 1977, pp. 427-444. [MUR 86] Murphy, F. H. and E. A. Stohr, "An Intelligent System for Formulating Linear Programs", Decision Support Systems, Vol. 2, No. 1, March, 1986, pp. 39-47.

Murphy, F. H., E. A. Stohr and Ma, P., "Composition Rules for Building Linear Programming Models from Component Models", Graduate School of Business Administration, New York University, Working Paper Series, GBA #87-30, March, 1987.

Orlikowski, W. and V. Dahr, "Imposing Structure on LP Program : An Empirical Analysis of Expert and Novice Models", AAAI-86, 1986, pp. 308-312.

Shin, Min S., Development of a Tool to Support Non-dominated Tradeoffs in the Post-Model Analysis Environment, Master's Thesis, Department of Management Science, Korea Advanced Institute of Science and Technology, 1988.

Welch, J. S. Jr., "PAM : A Practitioner's Approach to Modeling", Management Science, Vol. 33, No. 5, May, 1987, pp. 610-625.

Insight 2: User's Manual, Level Five Research, Inc., 4980 South A-1-A Melbourne Beach, Florida 32951

UNIK-FCST : Knowledge-Assisted Adjustment of
Statistical Forecasts

Jae Kyu Lee

Sang Bong Oh, Jung Cheol Shin

Department of Management Science

Korea Advanced Institute of Science and Technology

P.O. Box 150, Cheongryang, Seoul, Korea

Tel : (02) 966-1931, 967-0121 (ext) 3814

Telex : KISTROK K 27380

FAX : 82-2-962-8835

UNIK-FCST : Knowledge-Assisted Adjustment of Statistical Forecasts

Jae Kyu Lee is Assistant Professor of Management Information Systems in the Department of Management Science at the Korea Advanced Institute of Science and Technology. He holds a B.A. from Seoul National University, an M.S. from the KAIST and obtained his Ph.D. at the Wharton School, University of Pennsylvania. His research interest includes integration of knowledge with mathematical methods such as optimization and statistical analysis. Addison Wesley Publishing Company will publish his book Knowledge-based Systems and Optimization on this issue. In addition to his work in this paper, he has developed expert system tools specifically designed for the managerial problems such as tax advice, scheduling, and stock investment. He has published papers in Expert Systems, Decision Sciences, Decision Support Systems, Applied Expert Systems, etc. Professor Lee was awarded an Honorable Mention in the Doctoral Dissertation competition run by the Decision Sciences Institute in 1985.

Sang Bong Oh is a Ph.D. candidate at the Department of Management Science of the KAIST. He holds a B.A. from Seoul National University and an M.S. from the KAIST. His research centers on MIS, Intelligent DSS, and Expert System applications to managerial problems. He has published papers in International Social Work and Fuzzy Sets and Systems.

Jung Cheol Shin holds a B.A. from Seoul National University and an M.S. from the KAIST. He is a researcher in the Lucky Securities Co., Ltd. He is involved in the development of the Lucky-Folio which is a knowledge-based stock investment advisory system.

UNIK–FCST : Knowledge–Assisted Adjustment of Statistical Forecasts

Abstract : Time series models are deficient because they merely extrapolate past patterns in data without reflecting unexpected future events and other qualitative factors. To overcome this limitation, a knowledge–assisted adjustment of statistical forecasts is proposed and a prototype UNIK–FCST is developed. This paper presents five types of judgmental factors and proposes schemes to identify and evaluate the impacts of historical judgments. The issues in this research is learning from historical events by regression and analogy, case–based reasoning based on limited similar cases, and non–monotonic reasoning for the management of multiple judgmental factors. The UNIK–FCST is applied to the demand forecasting of oil products.

Key words : Forecasting expert system, Judgment aiding method, Knowledge–assisted adjustment, Non–monotonic reasoning, Learning from experiences.

Time series models are very useful tools in forecasting. Although we might expect them to be superior to manual judgmental techniques (Makridakis and Hibbon, 1979; Hogarth and Makridakis, 1981), it is surprising to find that manual judgmental techniques are more widely used in the real world (Wheelwright and Clarke, 1976; Render and Raine, 1988; Lawrence, 1983). This phenomenon occurs because human factors such as experience, craftsmanship, subjective information, and intuition are requisite for forecasting (Jenkins, 1982; Lawrence, 1983; Schultz, 1984; Young, 1982). In particular, time series models are deficient because they merely extrapolate past patterns in data without reflecting unexpected future events and other qualitative factors. Naturally, human judgmental adjustment of statistical forecasts (the statistical forecast in this paper is determined by a time series model) can enhance forecasting accuracy. Nevertheless, most past research on forecasting has focused on two extreme approaches: statistical method vs. judgmental assessment.

To overcome the limitations of each approach, this research pursues an integrated approach: knowledge-assisted adjustment of statistical forecasts. Since domain knowledge is required to demonstrate this approach, the demand forecasts for oil products produced by Yukong Company are used as a case study. Actually, Yukong Company uses the time series model X11/ARIMA. However, the statistical forecasts are always adjusted by forecasting experts. The objective of this research is thus to formalize the role of forecasting experts in an organized knowledge-based system that can learn from historical adjustment

experiences and assist novice users who may be new to forecasting.

Human Judgmental Adjustment

Let us see how effective human judgmental adjustment is and what kinds of judgmental factors can exist in the oil industry.

Effectiveness of Judgmental Adjustment

To illustrate the validity of judgmental adjustment, we have compared the performance of purely statistical forecasts and adjusted forecasts. For this purpose, we have examined the monthly demand from January 1986 to May 1988 for three oil products that are sold through agents : bunker-c, propane, and diesel, respectively. The time series models have used the X11/ARIMA model. To formalize the adjustment process, the following notational form is useful :

$$\hat{Y}(t+1)=f(Y(t), Y(t-1), \dots) \quad (1)$$

$$\hat{Y}_A(t+1)=\hat{Y}(t+1)+\Delta Y(t+1) \quad (2)$$

where $Y(t)$ =actual demand during period t ,

$\hat{Y}(t+1)$ =demand forecast for period $t+1$ by the X11/ARIMA model,

$e(t)$ =error of statistical forecast during period t ,

$\hat{Y}_A(t+1)$ = demand forecast for period $t+1$ after judgmental adjustment of $\hat{Y}(t+1)$, and

$\Delta Y(t+1)$ =amount of judgmental adjustment for period $t+1$.

The evaluation criteria adopted are MSE (mean squared error), MAE (mean absolute error), and maximum absolute error. The results are summarized in Exhibit 1. As we can see from Exhibit 1, the adjusted forecasts perform better than statistical forecasts by all three criteria. This justifies developing an expert system that can support the human judgmental adjustment process.

Exhibit 1 appears here

Judgmental Factors

The types of judgmental factors may vary from one domain to another. Nonetheless, the judgmental factors that are used for demand forecasting of oil products are typical and so are useful to examine.

[Definition] Judgmental Factors are defined as information that can not be expressed by the extrapolation of past patterns in data.

The types of judgmental factors used in this illustrative domain include: 1) transient factors, 2) transferred impact factors, 3) new seasonal factors, 4) quantum jump factors, and 5) trend change factor.

Transient Factors Transient factors influence time series data only for the time during which a particular event occurs. When the event is over, the effect does not last any longer. Therefore, the effect of transient factors can

be explicitly removed from the time series data. The effect of irregular strikes or special sporting events belong to this category. The detection of outliers can be useful in discovering transient factors. See Exhibit 2(a).

Transferred Impact Factors The impact of this kind of event is transferred from one point in time to another without changing the sum of the forecasts of the two consecutive periods. This kind of phenomenon happens when price changes are announced beforehand. In this case, the temporary change in demand due to the expected price change is transferred and compensated for in the succeeding time period. In the illustration Exhibit 2(b), the trend change factor due to the price decrease exists simultaneously with a transferred impact factor.

New Seasonal Factors New seasonal factors are factors that have not existed before, but will seasonally influence forecasts from the present time onward. The sales increase of propane gas during winter owing to the newly developed gas heater is a good example. When such new seasonal factors become entrenched, the effect can eventually be captured by time series models. The impact of a new seasonal factor is shown in Exhibit 2(c).

Quantum Jump Factors This kind of factor occurs when the effect of a non-repetitive new event is permanent. When time series models cannot implicitly consider the coming quantum change, it will be effective to consider the impact explicitly for a while. The impact of a new big customer

which can significantly shift the ordinary pattern of demand is a good example of a quantum jump factor. This kind of factor can also be absorbed into a time series model once its effect has become entrenched. The effect of a quantum jump factor is illustrated in Exhibit 2(d).

Trend Change Factors Some factors like price changes can change demand by a certain percentage. This kind of factor is shown in Exhibit 2(e).

Exhibit 2 appears here

Overall Design of UNIK-FCST

We have developed a prototype UNIK-FCST jointly with Yukong to assist human adjustments of forecasts provided by the X11/ARIMA model. The overall architecture of UNIK-FCST is shown in Exhibit 3. Key issues in UNIK-FCST are the following :

- 1) Identification of historical judgmental factors and evaluation of their impacts,
- 2) Learning from historical events,
- 3) Estimating the effects of expected judgmental factors,
- 4) Decomposition and composition of the effects of simultaneous judgmental events.

Exhibit 3 appears here

Identification and Evaluation of Historical Judgmental Factors

Judgmental events can usually be identified right before the event occurs or right after a significant deviation between the forecast and actual value is recognized. These are the most natural times for identifying judgmental events. However, since some judgmental factors might still be missed, we need a detection scheme. This is particularly necessary when we build a new system, because historical events are not yet known.

Detection and Evaluation of Judgmental Factors

Detection methods depend upon the nature of judgmental factors. Let us look at detection schemes useful in UNIK-FCST.

Transient Factors Transient factors can be effectively detected by identifying outliers. Outliers may be detected by the 3σ criterion when the distribution is known. Otherwise, the Chebyshev inequality may be used (Gardner 1988). The impact of transient factors can be identified by computing the deviation of the actual value from the fitted value without outliers.

Transferred Impact Factors Since this kind of event happens due to the delayed implementation of certain announced policies like price changes, these events can be detected by examining the history of price change

announcements and implementation. Precisely speaking, the impact is determined by the amount of price change and the time lag before implementation. If we have enough data, we may generate a functional relationship between daily-basis impact and their causal factors using regression analysis. Otherwise, we have to be satisfied with an average daily demand transfer between before and after the price change. Suppose a 5% price decrease is announced on January 20, 1989 and is implemented on February 10, 1989. The transferred demand from January to February is 11 days \times (average daily transferred demand due to the 5% price decrease).

New Seasonal Factors/ Quantum Jump Factors These factors can be detected by identifying when the magnitude of a demand shift from the previous month of the same year or from the same month of the previous year exceeds a certain threshold. Notationally speaking, the detection criteria are

$$\text{IF } (Y(t) - Y(t-1))/(Y(t-12) - Y(t-13)) \geq \alpha_1$$

$$\text{AND } (Y(t) - Y(t-12))/(Y(t-1) - Y(t-13)) \geq \alpha_2$$

where α_1 and α_2 are threshold values. Events can be determined by reviewing what happened at the detected time and by computing the forecast error.

Trend Change Factors Since the price can change demand trends, price change history can be useful in detecting trend changes. A regression of

$(Y(t)/Y(t-1))$ on $(P(t)/P(t-1))$ can estimate the impact of price changes, where $P(t)$ being defined as price at time t .

A crucial question is whether some judgmental factors can be incorporated into the structure of time series models or not. If a factor can be specified in the structure of a time series model, it should not be extracted out as a judgmental factor. We need further research to formalize this decision. The other question is whether the role of some judgmental factors can be replaced by adding causal variables to the time series model. We expect added causal variables such as price can replace the role of judgmental factors to some extent. This might be particularly true for new seasonal, quantum jump, and trend change factors. However, transient factors and transferred impact factors are difficult to be expressed as causal variables. This issue needs further research.

Effect of Simultaneous Judgmental Events

When multiple judgmental factors occur simultaneously, it is necessary to decompose forecast adjustment according to the effects of each individual judgmental event.

Notation

ΔY_A : magnitude of adjustment by the judgmental event A.

ΔY_B : magnitude of adjustment by the judgmental event B.

ΔY_{A+B} : magnitude of adjustment by the simultaneous judgmental

events A and B.

$\rho(A,B)$: correlation between the judgmental events A and B.

If the effect of individual events can be measured based on externally given theory and data, that is most desirable. Even in this case, however, we need to measure the relationship between events to compute the composite effect.

[Definition] The *correlation coefficient* between judgmental events A and B, $\rho(A,B)$, is defined as

$$\rho(A,B) = \{\Delta Y_{A+B}/(\Delta Y_A + \Delta Y_B)\} - 1 \quad (3)$$

[Definition] Events A and B are *independent* iff $\Delta Y_{A+B} = \Delta Y_A + \Delta Y_B$.

Intuitively and practically, ΔY_A and ΔY_B are non-zero.

[Theorem 1] Events A and B are *independent* if $\rho(A,B) = 0$.

[Definition] When the signs of ΔY_A , ΔY_B , and ΔY_{A+B} are equal, events A and B are *positively correlated* iff $|\Delta Y_{A+B}| > |\Delta Y_A| + |\Delta Y_B|$.

[Definition] When the signs of ΔY_A , ΔY_B , and ΔY_{A+B} are equal, events A and B are *negatively correlated* iff $|\Delta Y_{A+B}| < |\Delta Y_A| + |\Delta Y_B|$.

[Definition] When $\Delta Y_A \cdot \Delta Y_B < 0$ and $\Delta Y_{A+B} \cdot (\Delta Y_A + \Delta Y_B) > 0$, events A and B are *major-event-directedly-correlated* iff $|\Delta Y_{A+B}| > |\Delta Y_A + \Delta Y_B|$.

[Definition] When $\Delta Y_A \cdot \Delta Y_B < 0$ and $\Delta Y_{A+B} \cdot (\Delta Y_A + \Delta Y_B) > 0$, events A and B are *minor-event-directedly-correlated* iff $|\Delta Y_{A+B}| < |\Delta Y_A + \Delta Y_B|$.

[Proposition]

i) Simultaneous events are *strongly abnormal* if one of the following is satisfied :

- 1) $\Delta Y_{A+B} < 0$ when $\Delta Y_A > 0$ and $\Delta Y_B > 0$,
- 2) $\Delta Y_{A+B} > 0$ when $\Delta Y_A < 0$ and $\Delta Y_B < 0$,
- 3) $\Delta Y_{A+B} \cdot (\Delta Y_A + \Delta Y_B) < 0$ when $\Delta Y_A \cdot \Delta Y_B < 0$.

ii) Simultaneous events are *intermediately abnormal* if the events are not *strongly abnormal* and the following is satisfied :

$$\min(|\Delta Y_A|, |\Delta Y_B|) > |\Delta Y_{A+B}| \text{ when } \Delta Y_A \cdot \Delta Y_B > 0.$$

iii) Simultaneous events are *weakly abnormal* if the events are neither *strongly abnormal* nor *intermediately abnormal* and the following is satisfied :

$$\max(|\Delta Y_A|, |\Delta Y_B|) > |\Delta Y_{A+B}| \text{ when } \Delta Y_A \cdot \Delta Y_B > 0.$$

[Theorem 2] When the signs of ΔY_A , ΔY_B , and ΔY_{A+B} are equal, events A and B are *positively correlated* if $\rho(A,B) > 0$.

[Theorem 3] When the signs of ΔY_A , ΔY_B , and ΔY_{A+B} are equal, events A and B are *negatively correlated* if $\rho(A,B) < 0$.

[Theorem 4] When $\Delta Y_A \cdot \Delta Y_B < 0$ and $\Delta Y_{A+B} \cdot (\Delta Y_A + \Delta Y_B) > 0$, events A and B are *major-event-directedly-correlated* if $\rho(A,B) > 0$.

[Theorem 5] When $\Delta Y_A \cdot \Delta Y_B < 0$ and $\Delta Y_{A+B} \cdot (\Delta Y_A + \Delta Y_B) > 0$, events A and B are *minor-event-directedly-correlated* if $\rho(A,B) < 0$.

[Theorem 6] The simultaneous events A and B are *strongly abnormal* if $\rho(A,B) < -1$.

These theorems can be used for logical inference in detecting abnormal behavior of simultaneous events. Now suppose ΔY_{A+B} and ΔY_B are known while ΔY_A is not known. Then ΔY_A can be computed using formula (4).

$$\Delta \hat{Y}_A = \{\Delta Y_{A+B} / (1 + \hat{\rho}(A,B))\} - \Delta Y_B \quad (4)$$

In this case, $\hat{\rho}(A,B)$ should have been estimated using analogous cases. If $\hat{\rho}(A,B)$ is unknown, $\hat{\rho}(A,B)$ may be assumed to be zero. Suppose even ΔY_B

is not known. Then one of ΔY_A and ΔY_B should be assumed. Since the assumed values for $\hat{\rho}(A,B)$ and $\Delta \hat{Y}_A$ or $\Delta \hat{Y}_B$ cause non-monotonic reasoning (McDermott and Doyle, 1980; McDermott, 1982), the truth maintenance is necessary (Doyle, 1979). These issues will be discussed in detail later. When more than two events occur at the same time, we may divide the events into two groups and apply the above procedure recursively. In this case, path dependency is unavoidable.

Learning by Generalization

To organize judgmental cases as described in the previous section, we need to classify and generalize cases as knowledge for future use.

Classification of Cases

In the domain of oil products, cases can be classified by event type, industrial sector, product item, and so forth. Illustrative cases are shown in Exhibit 4. The impacts of the four illustrative cases in Exhibit 4 can be computed as a function of known data variables. However, in most cases, such a function is inexact and cannot correctly compute the impact. For this kind of situation, a generalization of cases is necessary as proposed in the following sections.

Exhibit 4 appears here

Generalization by Regression

When data describing an event cannot directly compute the event's impact, a regression analysis can be used. For the same class of cases, the impact can be computed by the regression function :

$$\Delta \hat{Y} = \beta_0 + \sum_i \beta_i X_i \quad (5)$$

where X_i 's are known causal variables and $\Delta \hat{Y}$ is the estimated impact computed by the regression function.

If the relationship can be more appropriately expressed in multiplicative form, a logarithmic function may be used. The regression function can be attached to the class frame so that estimation of cases of the same class type can share the same function. The regression results are reliable, however, only when the number of cases exceeds a certain minimum such as 20, and the coefficient of determination exceeds a certain level (for example 0.8). Otherwise, generalization by regression is premature. In this case, we may generate additional cases by using analogous cases. If the number of cases is still not enough, all we can do is use the case data to later apply case-based reasoning. An illustrative regression function is shown in Exhibit 5.

Exhibit 5 appears here

Analogy-based Case Generation

Suppose we need to generate more cases for a taxi strike's impact on

gasoline demand by using analogous cases. The first step would be identification of analogous cases. For general detection of analogous cases, we need additional meta-knowledge. However, for a particular domain, the identification of an analogous class can be a guide in identifying analogous cases. For example, truck strikes such as the one described in Case 1 of Exhibit 4 can be analogous to taxi strikes.

The next step is converting analogous cases using the IF-NEEDED demons. For example, Case 6 is generated from Case 1 as follows.

Case 6

```
{ { Judgmental_Event_6
  Event_Type : Strike
  Sector : Transportation
  Object : Taxi [A]
  Product_Item : Gasoline [B]
  Intensity(%) : 100
  Duration(days) : 7
  Units_Involved : 500
  Daily_Consumption : 15 [C]
  Market_Share : 30
  Impact : 15,750 [D]
} }
```

The process of generation is :

[A] The "Object" slot takes the value "Taxi".

[B] Step A invokes an IF-ADDED demon which assigns the associated product item. In this case, "Gasoline" is assigned.

[C] The next demon invoked is "Daily_Consumption" which is changed to 15 for taxi.

[D] Finally, the impact is computed either using an exact function if

direct computation is possible; or using a conversion function based on the ratio of daily consumption between taxis and trucks.

Reasoning for the Estimation

If we have already experienced a case which is exactly the same as the case that is going to occur, we can simply retrieve the historical case. However, if an exact counterpart does not exist, we need to check whether there exists a generalized regression function at the class level. If it exists, of course we can use it. If even a regression function is not available, try to generate more cases using the analogous cases. If none of the above approaches is possible, case-based reasoning is the only choice we have left.

Case-based Reasoning

Case-based reasoning is a problem solving strategy which utilizes analogy to previous or hypothetical cases (Kolodner, Simpson, and Sycara-Cyranski, 1985; Hammond, 1983). Einhorn and Hogarth (1982) have emphasized the importance of case-based analogy in forecasting. When there are several similar cases, we need to measure the similarity to estimate the impact of a future event.

When all the data values describing events of same class are numerics whether cardinal or ordinal, similarity between judgmental events can be represented as the distance between vectors. In this case, fuzzy mathematical programming provides a good basis for measuring similarities

between judgmental events. The fuzzy concept is employed because partial matching can be appropriately represented as soft constraints in fuzzy mathematical programming (Bellman and Zadeh, 1970; Hannan, 1981; Narasimham, 1980, 1981; Zimmermann, 1978, 1983). The similarity between judgmental events is formulated as (6) :

$$\begin{aligned} \sum_i w_i \cdot (a_{i1}, \dots, a_{in}) &\cong (t_1, \dots, t_n) & (6) \\ w_i &\geq 0 \end{aligned}$$

where (t_1, \dots, t_n) is the expected judgmental event vector,

(a_{i1}, \dots, a_{in}) is Case i vector, and

w_i 's measure similarity between the corresponding historical case and the expected case.

Once the similarities of past judgmental events are known, it is easy to compute the impact of the expected judgmental event as follows :

$$\Delta \hat{Y}_s = \sum_i w_i \cdot \Delta Y_i \quad (7)$$

where $\Delta \hat{Y}_s$ is the impact of the expected judgmental event S and ΔY_i 's are the impacts of past judgmental events.

For example, suppose we have two cases (Case 7 and Case 8) in the strike class which are described by numeric values (see Exhibit 6). Obviously, two cases are too small to apply regression analysis. Therefore, case-based reasoning is applied. The relationships between the two cases

and expected event 9 can be formulated as model (8) :

$$\begin{aligned} \text{Duration} & 10 \cdot w_1 + 20 \cdot w_2 \cong 15 \\ \text{Intensity} & 0.8 \cdot w_1 + 0.5 \cdot w_2 \cong 0.6 \\ & w_i \geq 0 \text{ for } i=1,2 \end{aligned} \tag{8}$$

Here, w_1 and w_2 are measures of similarity between the Case 7 and 8 and the expected event 9, respectively. The solutions to the model (8) yield $w_1 = 0.4090$ and $w_2 = 0.5454$. Using these weights, the impact of expected event 9, ΔY_9 , can be computed as follows :

$$\begin{aligned} \Delta Y_9 &= 0.4090 \cdot (-25100) + 0.5454 \cdot (-39400) \\ &= -31754 \end{aligned}$$

Exhibit 6 appears here

Non-monotonic Reasoning for Simultaneous Judgmental Factors

When there are multiple judgmental events, for example events a_1 and a_2 both occur during the prediction period, we need to determine the simultaneous effect. This process is a kind of non-monotonic reasoning because we have some assumed values, and thus require truth maintenance. Definitions and theorems are represented as rules in Prolog syntax.

$$\text{RELATION}(A,B,x,y,z,R) := \text{EVENT}(A,x), \text{EVENT}(B,y), \\ \text{EVENT}((A,B),z), R = z/(x+y) - 1.$$

$$\text{VALUE}(A,B,z) := \text{EVENT}(A,B,z)! \\ \text{EVENT}(A,x), \text{EVENT}(B,y), \text{RO}((A,B),r), \\ z = (r+1) \cdot (x+y).$$

$$\text{PROPERTY}(A,B,\text{Independent}) := \text{RELATION}(A,B,x,y,z,R), R=0.$$

$$\text{PROPERTY}(A,B,\text{Positive_Cor}) := \text{RELATION}(A,B,x,y,z,R), R > 0, \\ x \cdot y > 0.$$

$$\text{PROPERTY}(A,B,\text{Negative_Cor}) := \text{RELATION}(A,B,x,y,z,R), R < 0, \\ R \geq -1, x \cdot y > 0.$$

$$\text{PROPERTY}(A,B,\text{Major_Dir}) := \text{RELATION}(A,B,x,y,z,R), R > 0, \\ x \cdot y < 0.$$

$$\text{PROPERTY}(A,B,\text{Minor_Dir}) := \text{RELATION}(A,B,x,y,z,R), R < 0, \\ R \geq -1, x \cdot y < 0.$$

$$\text{PROPERTY}(A,B,\text{Strong_Abnormal}) := \text{RELATION}(A,B,x,y,z,R), \\ R < -1.$$

$$\text{PROPERTY}(A,B,\text{Intermediate_Abnormal}) := \text{RELATION}(A,B,x,y,z,R), \\ x \cdot y > 0, \\ (x-z) \cdot (y-z) > 0.$$

$$\text{PROPERTY}(A,B,\text{Weak_Abnormal}) := \text{RELATION}(A,B,x,y,z,R), \\ x \cdot y > 0, \\ (x-z) \cdot (y-z) < 0.$$

- 1) If we have a historical case which is the same as $\Delta \hat{Y}_{a_1+a_2}$, we can simply use the case. For example, suppose we know the following facts.

FACTS $\text{EVENT}((a_1, a_2), 20)$.

Then

? VALUE(a_1, a_2, X)

$X = 20$

This means $\Delta \hat{Y}_{a_1+a_2} = 20$.

2) If we know ΔY_A and ΔY_B but not ΔY_{A+B} , $\hat{\rho}(A,B)$ should be used to come up with a composite estimation :

$$\Delta Y_{A+B} = (\hat{\rho}(A,B) + 1) \cdot (\Delta Y_A + \Delta Y_B) \quad (9)$$

As mentioned earlier, one way to obtain the " $\hat{\rho}$ " value is from analogous cases. Even if an analogous " $\hat{\rho}$ " is not available, the decision maker should assume a value for " $\hat{\rho}$ " such as zero. However, the assumed " $\hat{\rho}$ " value should be replaced by the real value right after the simultaneous events are realized. For example, suppose we have

FACTS

EVENT($a_1, 15$)
EVENT($a_2, 10$)

ASSUMED FACTS

RO($a_1, a_2, -0.3$)

Then

? VALUE(a_1, a_2, X)

$X = 17.5$

The estimated $\Delta \hat{Y}_{a_1+a_2}$ is 17.5. However, when the actual $\Delta Y_{a_1+a_2}$

turns out to be 20, the new EVENT((a₁,a₂),20) will be added to the fact base. Then RO(a₁,a₂, -0.3) should be replaced by RO(a₁,a₂, -0.2) by the truth maintenance system.

- 3) If either ΔY_A or ΔY_B are not given (say ΔY_A is unknown), then ΔY_A should be assumed. The assumed value should be replaced by the computed value according to equation (10) right after the realization of ΔY_{A+B} .

$$\Delta \hat{Y}_A = \{\Delta Y_{A+B} / (1 + \hat{\rho}(A,B))\} - \Delta Y_B \quad (10)$$

When the estimate $\Delta \hat{Y}_A$ is obtained, all $\hat{\rho}(A,k)$ should be re-evaluated to see whether any abnormality exists. The same procedure is necessary when the realized ΔY_A is obtained. For example, suppose we have

FACTS	EVENT(a ₂ , 10) EVENT(a ₃ , -16) EVENT((a ₁ ,a ₃), -3)
-------	---

ASSUMED FACTS	RO(a ₁ ,a ₂ , -0.1) RO(a ₁ ,a ₃ , 2) EVENT(a ₁ , 18)
---------------	---

Then

? VALUE(a₁,a₂,X)

$X = 25.2$

The estimated $\Delta \hat{Y}_{a_1+a_2}$ is 25.2. When the real $\Delta Y_{a_1+a_2}$ is known to be 20, the assumed fact $\text{EVENT}(a_1, 18)$ should be replaced by $\text{EVENT}(a_1, 12.2)$. The next step is to re-evaluate $\hat{\rho}(a_1, a_3)$ to be -0.21 for truth maintenance.

FACTS

$\text{EVENT}(a_2, 10)$
$\text{EVENT}(a_3, -16)$
$\text{EVENT}(\{a_1, a_2\}, 20)$
$\text{EVENT}(\{a_1, a_3\}, -3)$

ASSUMED FACTS

$\text{RO}(a_1, a_2, -0.1)$
$\text{EVENT}(a_1, 12.2)$
$\text{RO}(a_1, a_3, -0.21)$

Now, let us see the property of two events a_1 and a_3 .

? $\text{PROPERTY}(a_1, a_3, P)$

$P = \text{Minor-Dir}$

In this example, the simultaneous events have minor-event-directed correlation. If the property becomes "Abnormal", the message should be conveyed to the decision maker for remedy.

The other issue to be investigated is conflict resolution when $\Delta \hat{Y}_A$ can be estimated in more than one way. The applicable strategies for

conflict resolution include averaging or selecting the most recently established path.

Concluding Remarks

Issues concerning knowledge-assisted adjustment of statistical forecasts are investigated, and a prototype UNIK-FCST is developed for demand forecasting of oil products. UNIK-FCST was developed on an IBM PC/AT using GCLISP and UNIK-FRAME, a research purpose frame-based system. The mathematical computation routines written in Fortran 77 are attached to LISP.

The key issues in this research are detection of historical judgmental events, learning by generalization of cases, learning from analogous cases, and non-monotonic decomposition and composition of simultaneous events. Preliminary evaluation of UNIK-FCST has shown that the system is useful and reliable. The next step for investigation is to extend the time series model by adding causal variables.

Acknowledgements

We would like to thank the research team at Yukong Company, particularly Director Tae Hyung Ahn, Manager Joon Oh Kwon, Manager Seung Ryol Yu, Assistant Manager Yoon Sung Yi, and Sang Ryol Shin.

Appendix

[Proof of Theorem 1]

By definition,

$$\rho(A,B) = \{\Delta Y_{A+B} / (\Delta Y_A + \Delta Y_B)\} - 1 = 0$$

$$\Delta Y_{A+B} = \Delta Y_A + \Delta Y_B.$$

[Proof of Theorem 2]

$$\rho(A,B) = (\Delta Y_{A+B} - \Delta Y_A - \Delta Y_B) / (\Delta Y_A + \Delta Y_B) > 0$$

Since $\Delta Y_A \cdot \Delta Y_B > 0$, there exist two cases :

i) When $\Delta Y_A > 0$ and $\Delta Y_B > 0$,

$$\Delta Y_{A+B} > \Delta Y_A + \Delta Y_B \text{ is satisfied.}$$

ii) When $\Delta Y_A < 0$ and $\Delta Y_B < 0$,

$$\Delta Y_{A+B} - \Delta Y_A - \Delta Y_B < 0 \text{ is satisfied.}$$

$$\text{Then, } \Delta Y_{A+B} < \Delta Y_A + \Delta Y_B < 0.$$

Therefore, $|\Delta Y_{A+B}| > |\Delta Y_A + \Delta Y_B| = |\Delta Y_A| + |\Delta Y_B|.$

[Proof of Theorem 3]

$$\rho(A,B) = (\Delta Y_{A+B} - \Delta Y_A - \Delta Y_B) / (\Delta Y_A + \Delta Y_B) < 0$$

Since $\Delta Y_A \cdot \Delta Y_B > 0$, there exist two cases :

i) When $\Delta Y_A > 0$ and $\Delta Y_B > 0$,

$$\Delta Y_{A+B} < \Delta Y_A + \Delta Y_B \text{ is satisfied.}$$

ii) When $\Delta Y_A < 0$ and $\Delta Y_B < 0$,

$$\Delta Y_{A+B} - \Delta Y_A - \Delta Y_B > 0 \text{ is satisfied.}$$

Then, $0 > \Delta Y_{A+B} > \Delta Y_A + \Delta Y_B$.

Therefore, $|\Delta Y_{A+B}| < |\Delta Y_A + \Delta Y_B| = |\Delta Y_A| + |\Delta Y_B|$

We can prove Theorems 4 and 5 as proofs for Theorem 2 and 3

[Proof of Theorem 6]

$$\rho(A,B) = (\Delta Y_{A+B} - \Delta Y_A - \Delta Y_B) / (\Delta Y_A + \Delta Y_B)$$

i) When $\Delta Y_A > 0$ and $\Delta Y_B > 0$, if $\rho(A,B) < -1$

$\Delta Y_{A+B} < 0$ is satisfied.

ii) When $\Delta Y_A < 0$ and $\Delta Y_B < 0$, if $\rho(A,B) < -1$

$\Delta Y_{A+B} > 0$ is satisfied.

iii) When $\Delta Y_A \cdot \Delta Y_B < 0$, there are two cases.

iii-1) If $\Delta Y_A + \Delta Y_B > 0$ and $\rho(A,B) < -1$,

$\Delta Y_{A+B} < 0$ is satisfied.

Therefore, $\Delta Y_{A+B} \cdot (\Delta Y_A + \Delta Y_B) < 0$.

iii-2) If $\Delta Y_A + \Delta Y_B < 0$ and $\rho(A,B) < -1$,

$\Delta Y_{A+B} > 0$ is satisfied.

Therefore $\Delta Y_{A+B} \cdot (\Delta Y_A + \Delta Y_B) < 0$.

References

- Bellman, R.E. and Zadeh, L.A., 'Decision Making in a Fuzzy Environment', Management Science, 17 (1970), 141-164.
- Einhorn, H.J. and Hogarth, R.M., 'Prediction, Diagnosis, and Causal Thinking in Forecasting', Journal of Forecasting, 1 (1982), 23-36.
- Doyle, J., 'A Truth Maintenance System', Artificial Intelligence, 12 (1979), 231-272.
- Gardner, Jr. E.S., 'A Simple Method of Computing Prediction Intervals for Time Series Forecasts', Management Science, 34 (1988), 541-546.
- Hammond, K. J., 'Planning and Goal Interaction : The use of past solutions in present situations', in Proceedings of the American Association for Artificial Intelligence, 1983, 148-151.
- Hannan, E.L., 'On Fuzzy Goal Programming', Decision Sciences, 12 (1981), 522-531.
- Hogarth, R.M. and Makridakis, S., 'Forecasting and Planning : an Evaluation', Management Science, 27 (1981).
- Jenkins, G.M., 'Some Practical Aspects of Forecasting in Organization', Journal of Forecasting, 1 (1982), 3-21.
- Kolodner, J.L., Simpson, R.L. and Sycara-Cyranski, K. 'A Process Model of Case-Based Reasoning in Problem Solving', in Proceedings of the International Joint Conference on Artificial Intelligence, 1985, 284-290.
- Lawrence, M.J. 'An Exploration of Some Practical Issues in the Use of Quantitative Forecasting Models', Journal of Forecasting, 2 (1983), 169-179.
- Makridakis, S. and Hibon, M., 'Accuracy of Forecasting : an Empirical Evaluation', Journal of Royal Statistical Society, Ser. A, 142 (1979), 97-145
- McDermott, D., 'Non-monotonic Logic II : non-monotonic modal theories', Journal of American Computing Machinery, 29 (1982), 33-57.
- McDermott , D. and Doyle, J., 'Non-monotonic Logic I', Artificial Intelligence, 13 (1980), 41-72.
- Narasimhan, R., 'Goal Programming in a Fuzzy Environment', Decision Sciences, 11 (1980), 325-336.

_____ 'On Fuzzy Goal Programming – Some Comments',
Decision Sciences, 12 (1981), 532–538.

Render, M. and Raine, J.E., 'Real Forecasters don't Use DSS', DSS-86 Transactions, 1986, 208–216.

Schultz, R.L., 'The Implementation of Forecasting Models', Journal of Forecasting, 3 (1984), 43–55.

Wheelright, S.C. and Clarke, D.G., 'Corporate Forecasting : promise and reality', Harvard Business Review, 54 (1976), 40–68.

Young, R.M., 'Forecasting with an Econometric Model : The Issue of Judgmental Adjustment', Journal of Forecasting, 1 (1982), 189–204.

Zimmermann, H.-J., 'Fuzzy Programming and Linear Programming with Several Objective Functions', Fuzzy Sets and Systems, 1 (1978), 45–55.

_____ 'Using Fuzzy Sets in Operational Research',
European Journal of Operational Research, 13 (1983a), 201–216.

_____ 'Fuzzy Mathematical Programming', Computers & Operations Research, 10 (1983b), 291–298.

Bunker-C

	MSE	MAE	Maximum Absolute Error
Statistical Forecast	14,084,141	2,726	11,693
Adjusted Forecast	10,634,105	2,525	6,673

Propane

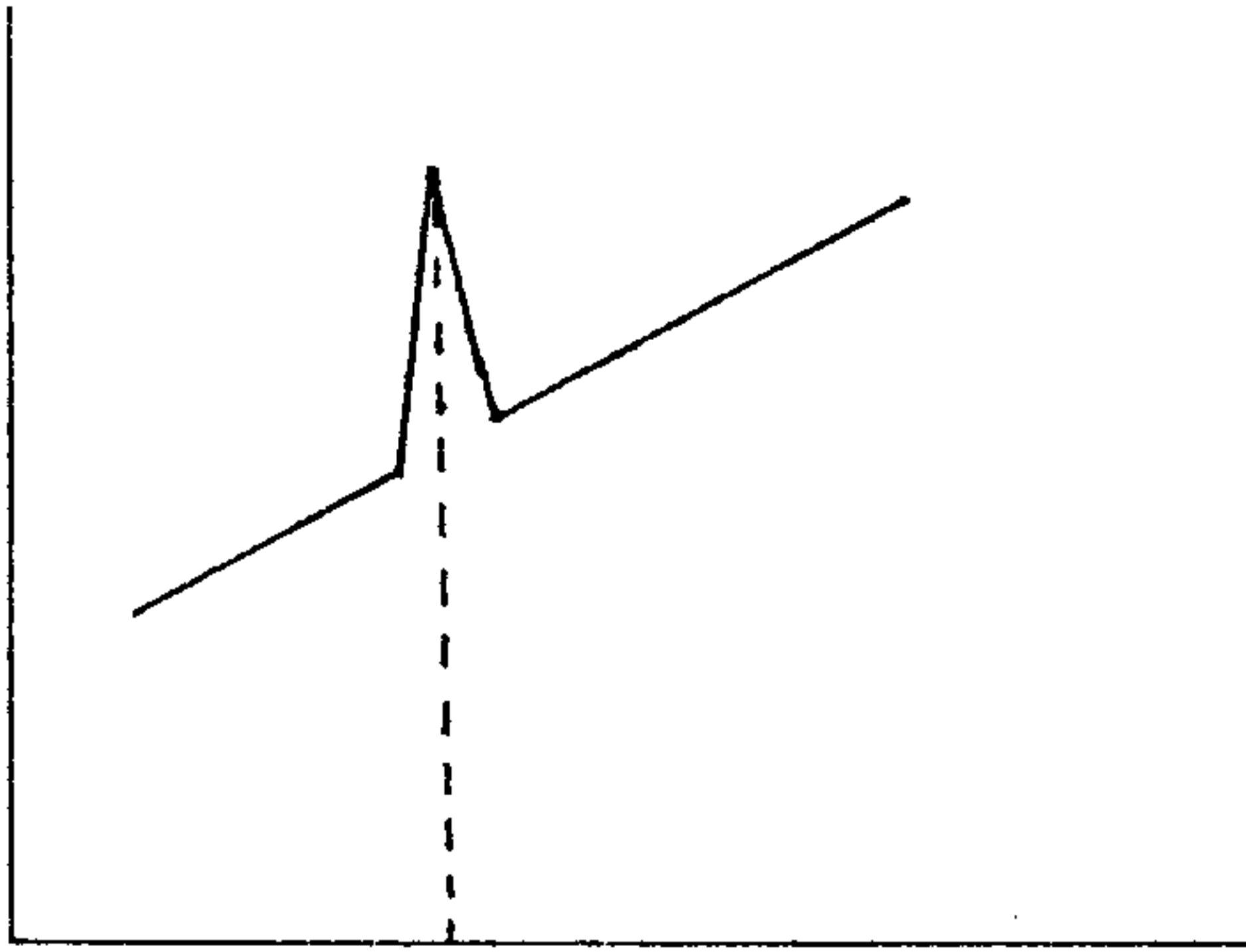
	MSE	MAE	Maximum Absolute Error
Statistical Forecast	880,466	748	2,066
Adjusted Forecast	667,204	612	1,970

Diesel

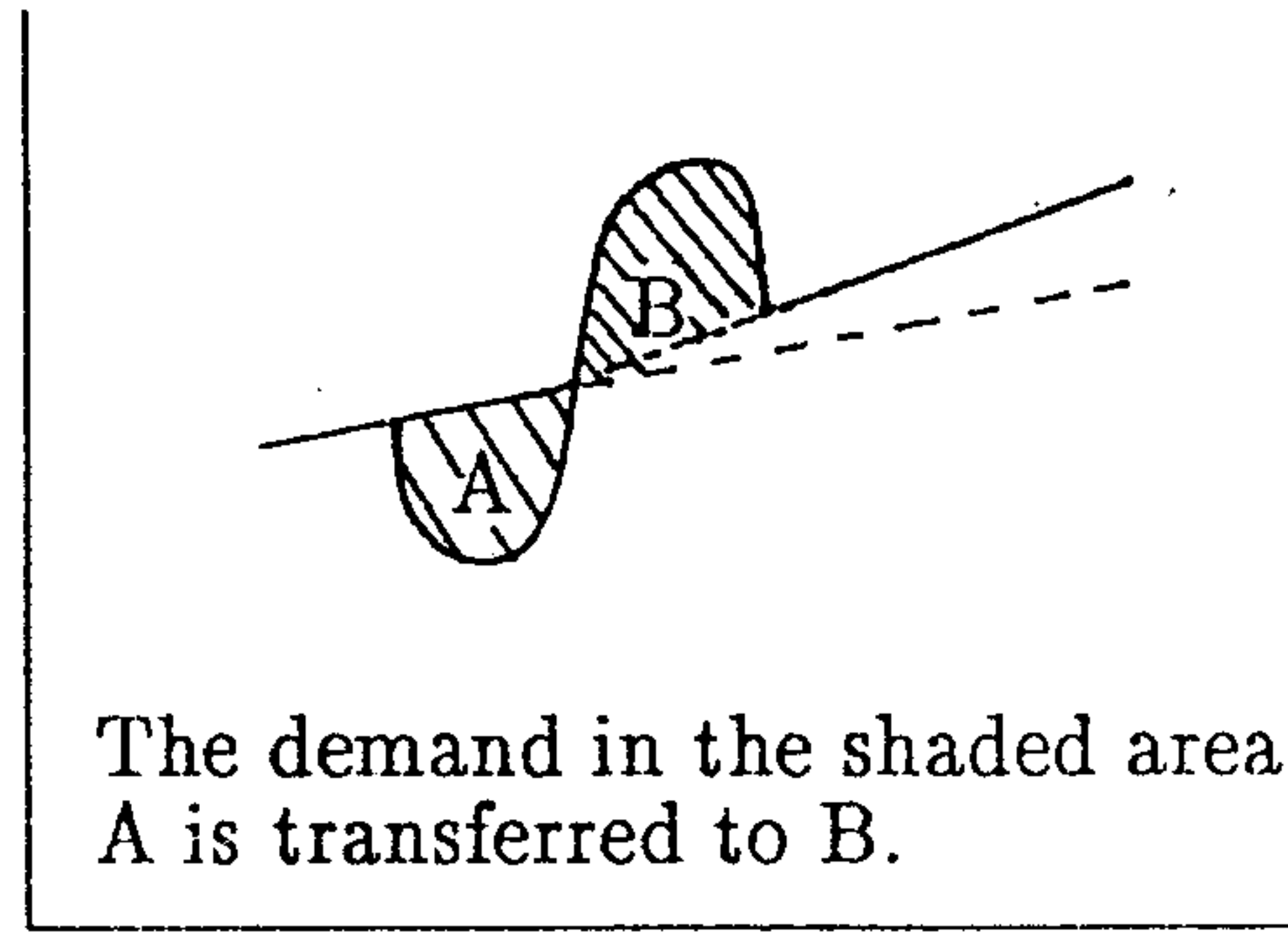
	MSE	MAE	Maximum Absolute Error
Statistical Forecast	32,560,744	4,383	16,876
Adjusted Forecast	21,774,585	3,836	11,297

Legend : MSE (Mean Squared Error) = $\Sigma[e(t)]^2/n$
 MAE (Mean Absolute Error) = $\Sigma|e(t)|/n$

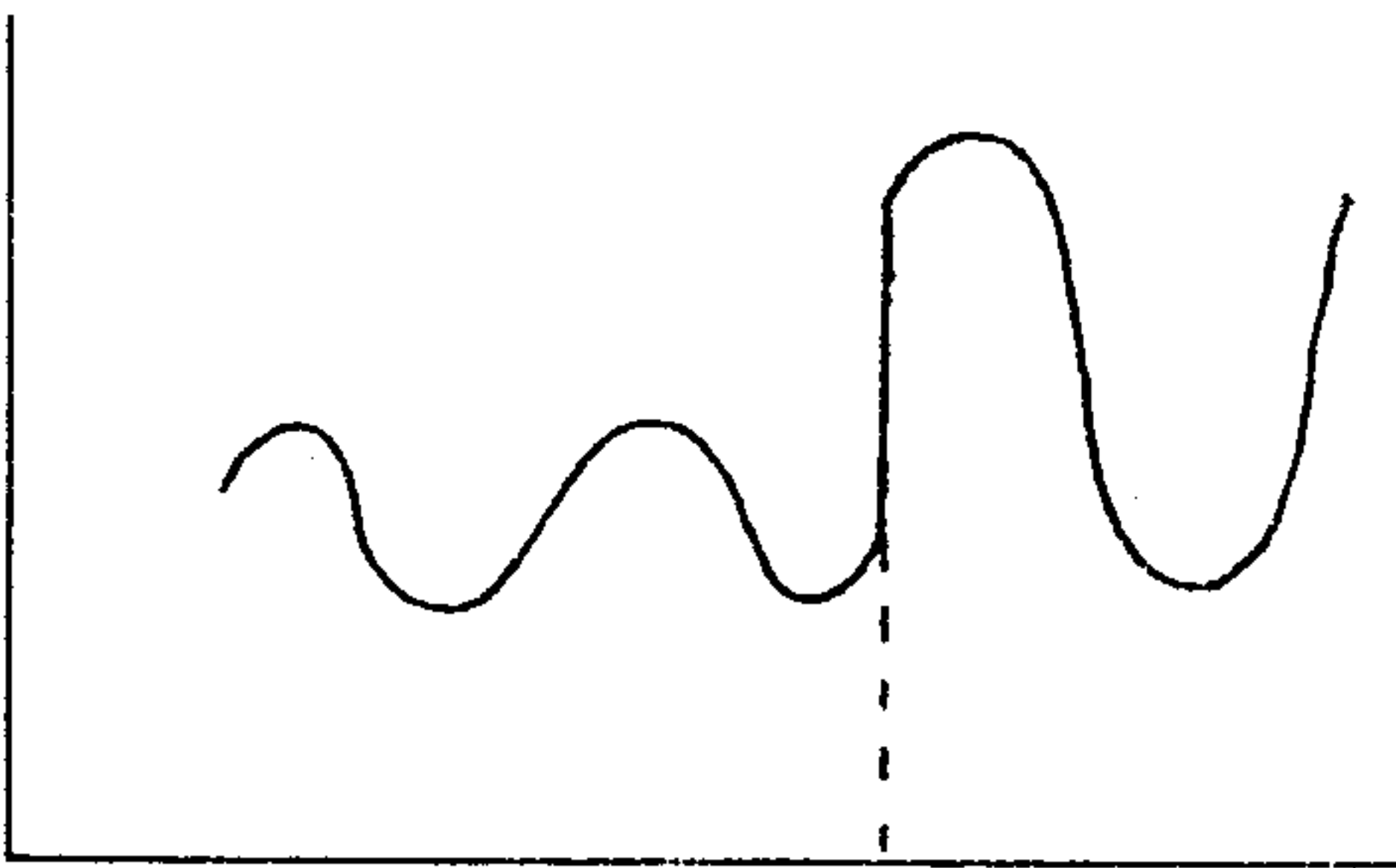
Exhibit 1 : Comparative Evaluation of Statistical Forecasts and Adjusted Forecasts



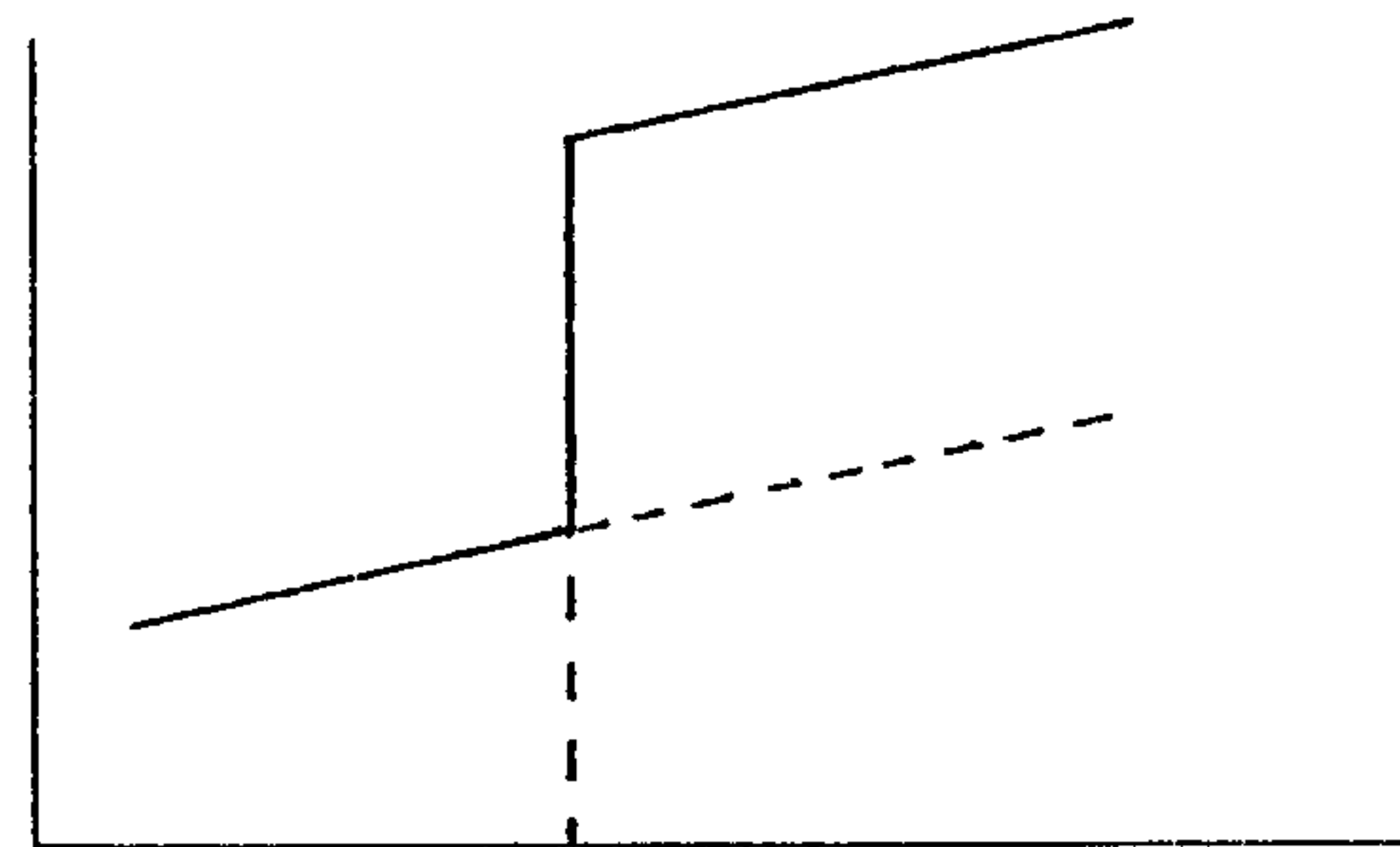
a. Transient Factor



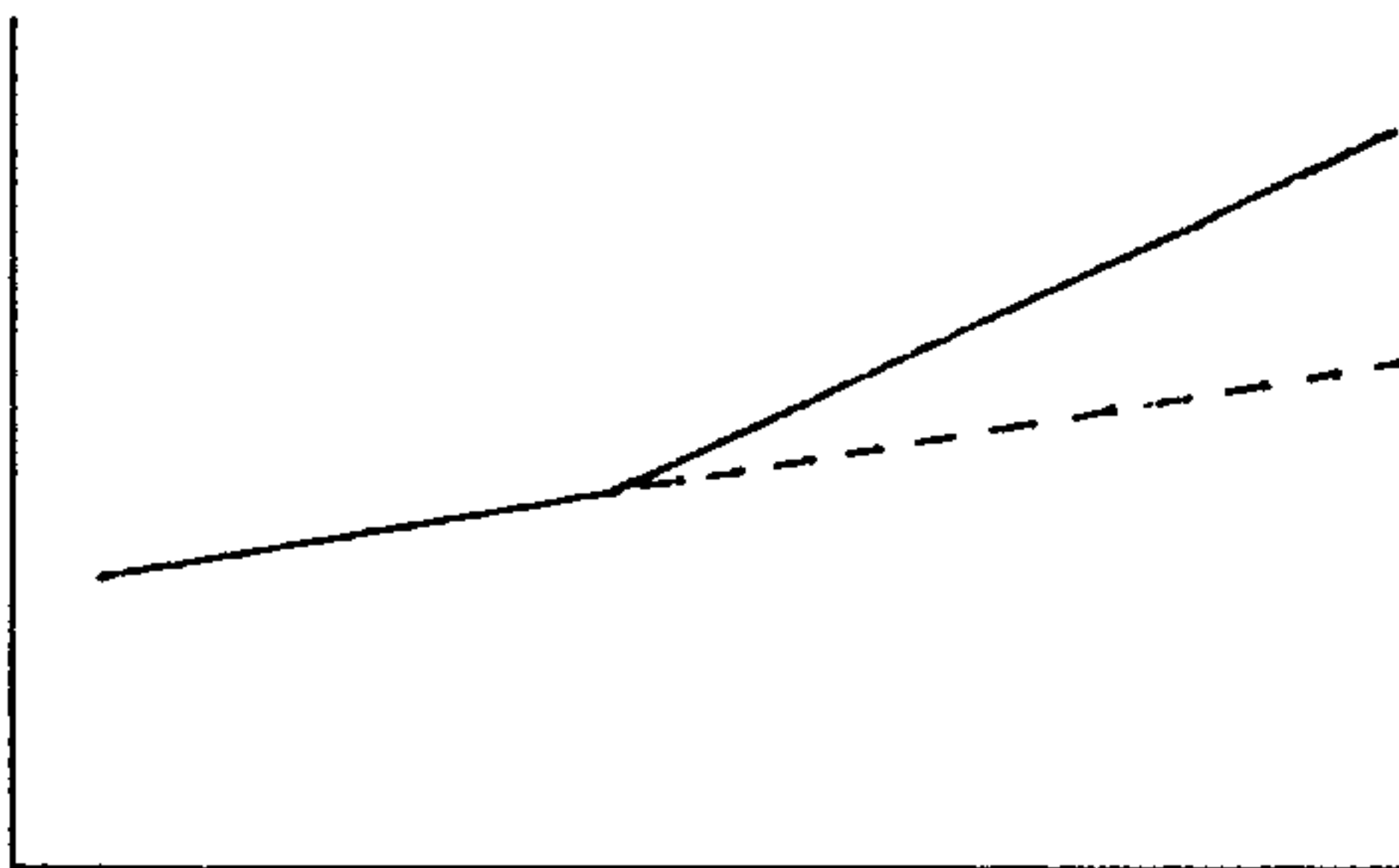
b. Transferred impact Factor



c. New Seasonal Factor



d. Quantum-jump Factor



e. Trend Change Factor

Exhibit 2 : The Types of Judgmental Factors

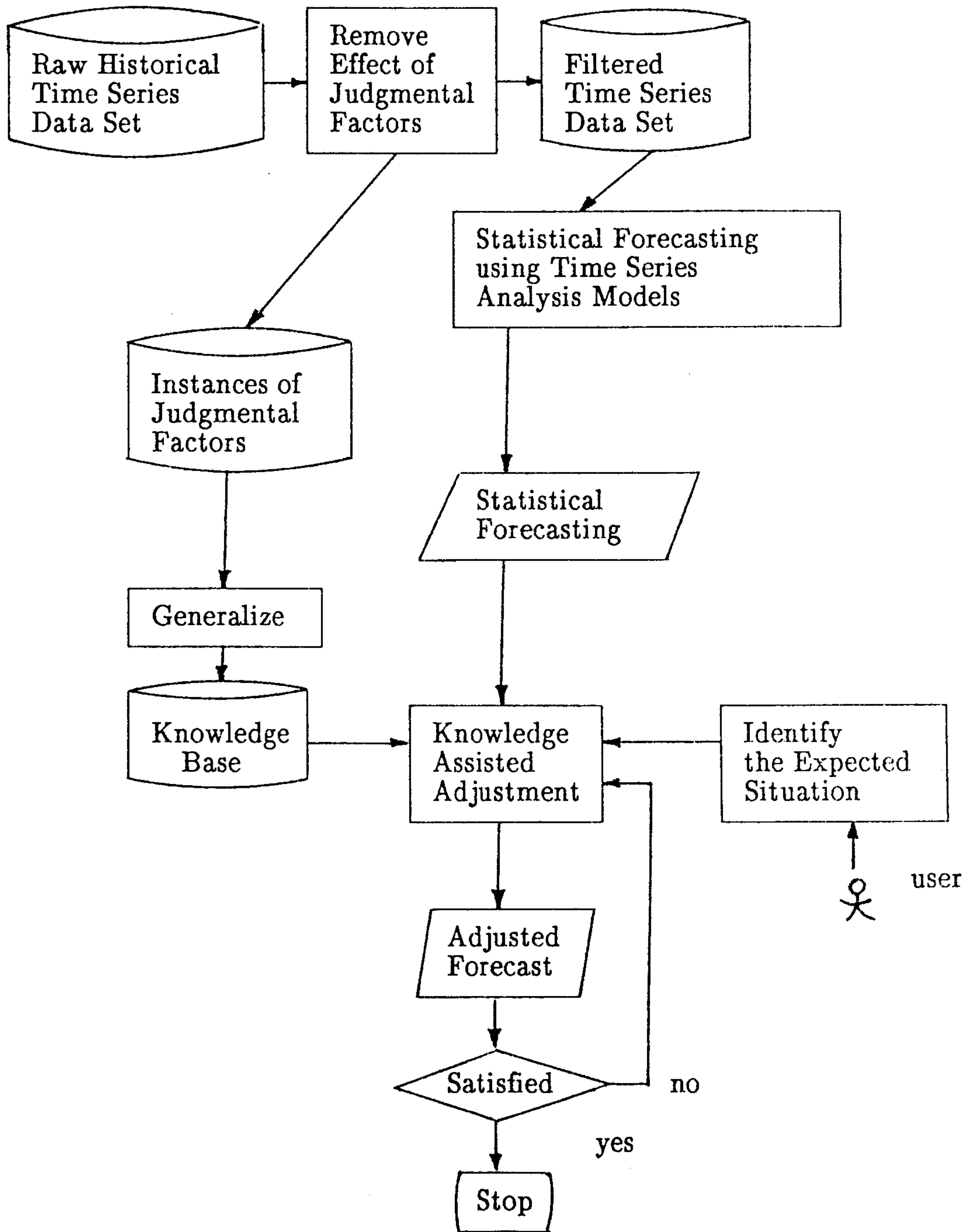


Exhibit 3 : Architecture of UNIK-FCST

Case 1

```

{{ Judgmental_Event_1
  Event_Type : Strike
  Sector : Transportation
  Product_Item : Diesel
  Object : Truck Company A
  Intensity(%) : 100
  Duration (days) : 7
  Units_Involved : 500
  Daily_Consumption : 50
  Market_Share(%) : 30
  Impact : -52500
}}

```

Case 2

```

{{ Judgmental_Event_2
  Event_Type : Strike
  Sector : Transportation
  Product_Item : Gasoline
  Object : Taxi Company B
  Intensity(%) : 80
  Duration(days) : 12
  Units_Involved : 5000
  Daily_Consumption : 15
  Market_Share(%) : 50
  Impact : -360,000
}}

```

```

{{ Demon_1
  Condition : .....
  Impact: Y = - (Intensity × Duration × Units
                × Market_Share × Daily_consumption)
}}

```

Case 3

```

{{ Judgmental_Event_3
  Event_Type : Strike
  Sector : Chemical Industry
  Object : Chemical Co. C
  Use_Item : Naphta
  Intensity : 50%
  Duration : 20 days
  Daily_Consumption : 200,000
  Market_Share(%) : 100
  Impact : -2,000,000
}}

```

Case 4

```

{{ Judgmental_Event_4
  Event_Type : Strike
  Sector : Chemical Industry
  Object : Chemical Co. D
  Use_Item : Bunk-C
  Intensity : 70%
  Duration : 20 days
  Daily_Consumption : 30,000
  Market_Share(%) : 50
  Impact : -210,000
}}

```

```

{{ Demon_2
  Condition : .....
  Impact : Y = - (Intensity × Duration
                × Market_Share × Daily_consumption)
}}

```

Exhibit 4 : Examples of Direct Computation
The demons compute the impacts.

Case 5

```

{{ Judgmental_Event_5
  Event_Type : Construction of Apartments
  Used_item: Kerosene
  # of households: 600
  Space of Apt.: 10000
  # of building: 3
  Impact:  $Y = 600a_1 + 10000a_2 + 3a_3$ 
}}

```

```

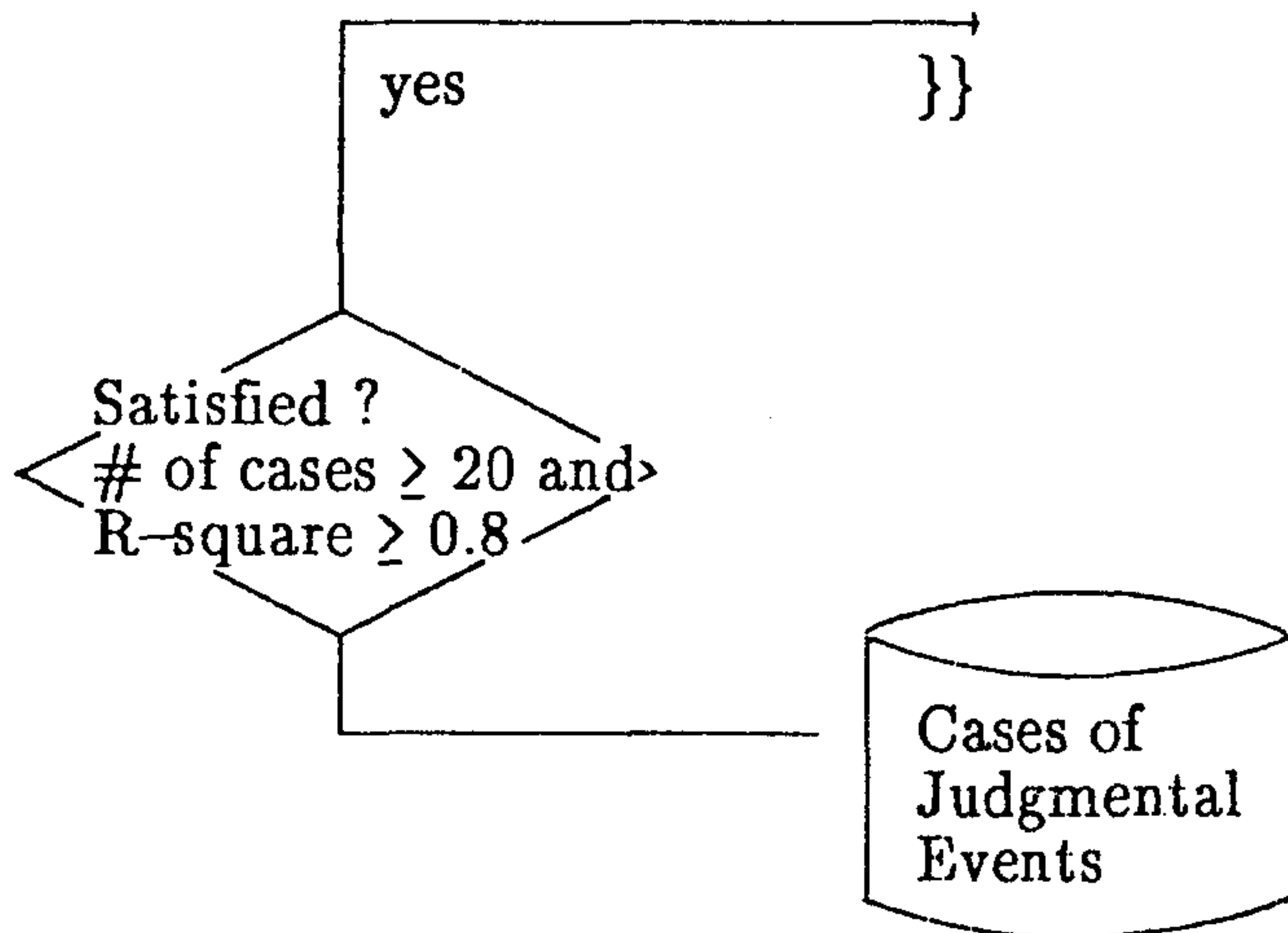
{{ Demon-5

```

```

  Impact :  $Y = a_1 \times (\# \text{ of households})$ 
             $+ a_2 \times (\text{space of Apt.})$ 
             $+ a_3 \times (\# \text{ of building})$ 
}}

```



Legend: a_i 's are regression coefficients.

Exhibit 5 : Example of Generalized Regression

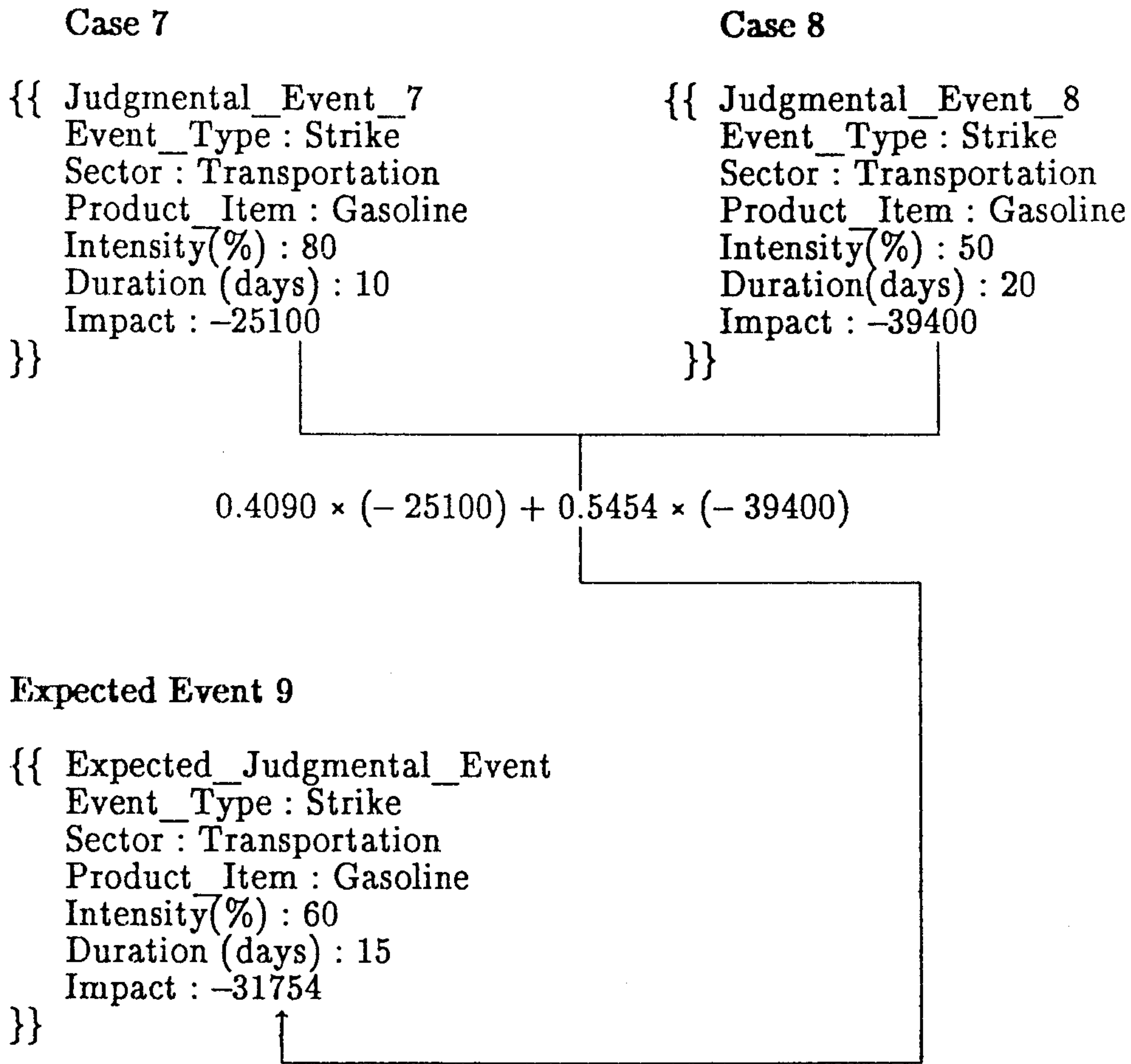


Exhibit 6 : Example of Case-based Reasoning

Expert Systems and Manufacturing

T : Turban's Chapter
L : Lee's Chapter
O : Oliff's Chapter

Table of Contents

- T 1. Fundamentals of ES
- T,L,O 2. What can ES do for mfr & why
- An overview
- T 3. How are ES constructed : Strategies, Processes, Software and
Hardware
- L 4. Manufacturing Strategy
 - 4.1. Mfring Strategy
 - 4.2. Forecasting
 - 4.3. Aggregate Capacity Planning
 - 4.4. New Product
 - 4.5. Plant Location
- L 5. Planning, Resource Allocation
 - 5.1. Maching Planning
 - 5.2. Make or Buy
 - 5.3. Assignment
 - 5.4. Transportation
 - 5.5. Product Mix
 - 5.6. Configuration
 - 5.7. Dispatcher
 - 5.8. Assembly
 - 5.9. Acquisition
- L 6. Scheduling
 - 6.1. Job Shop Scheduling
 - 6.2. Parallel M/C Scheduling
 - 6.3. Process Scheduling
 - 6.4. Methodologies
 - 6.4.1. Constraint Directed Search
 - 6.4.2. Opportnuistic Scheduling
 - 6.4.3. Multi-Agent Planning
 - 6.4.4. Temporal Reasoning
 - 6.4.5. Multiple Perspective
 - 6.4.6. Reactive Planning
 - 6.4.7. Conflict Resolution

- O 7. Design
 - 7.1. Product Design
 - 7.2. Process Design
 - 7.3. Factory Design
 - 7.4. Plant Layout
 - 7.5. Material Handling Design

- O 8. CIM and FMS
 - 8.1. CIM
 - 8.2. FMS
 - 8.3. Computer/MIS
 - 8.4. Process Industry
 - 8.5. Factory Simulation (KEE, SIMKIT)

- T 9. Robotics

- L 10. Maintenance and Trouble Shooting
 - 10.1. Maintenance
 - 10.2. Trouble Shooting

- O 11. Controls
 - 11.1. Quality Control
 - 11.2. Process Control
 - 11.3. Real Time ES
 - 11.4. Production Control

- L 12. Material Management and Logistics
 - 12.1. Material Management/MRP
 - 12.2. Logistics
 - 12.3. Inventory Control

- T 13. Decision Support: Project Management,
Waiting-line
Simulation

- O 14. Productivity Management, R&D, Industrial Engineering, Economic
Engineering, Training

- O 15. Implementation and Integration
 - 15.1. Implementation
 - 15.2. Integration

- T 16. Organizational Impacts

- T 17. The future of ES in Manufacturing

KNOWLEDGE-BASED SYSTEMS AND OPTIMIZATIONS

- Proposed Table of Contents of the Book -

September 1988

Jae Kyu Lee

Department of Management Science

Korea Advanced Institute of Science and Technology

P.O. Box 150, Cheongryang, Seoul, Korea

Table of Contents

Part I. Introduction

- 1. Introduction**
- 2. Review on Knowledge-based Systems**
- 3. Review on Optimization Models**
- 4. Architecture of Integrating Knowledge-based Systems with Optimization Models**

Part II. Using Knowledge as a Front-End of Optimization Models

- 5. Architectures of Front-End Knowledge**
- 6. Knowledge-based LP Model Formulation Support**
- 7. Translation of Knowledge onto the Formulated Optimization Model**
- 8. Knowledge-based Coefficient Generation**
- 9. Implications of Knowledge-based Front-End**

Part III. Unified Modeling Including Knowledge and Optimization

- 10. Concept of Unified Models**
- 11. Building Unified Model using UNIK-PMA**
- 12. Example I : Extended Sales Mix Problem**
- 13. Example II : Intelligent Production Planning**
- 14. Example III : Purchase Plan**

Part IV. Advanced Topics in Unified Modeling

- 15. Interpretation of the Outputs of Optimization Models**
- 16. Knowledge-based Relaxation**
- 17. Knowledge-based Optimization**
- 18. Uncertainty Handling**
- 19. Database Interface**

Part V. Toward Intelligent Decision Support Systems

20. Optimization-based IDSS

21. Coupling with Intelligent Estimation Components

22. Coupling with Simulation Models

23. Concluding Remarks

Reference

Index

Part I. Introduction

1. Introduction

- . Importance of integrating knowledge-based systems with optimization models
- . Organization of the Book

2. Review on Knowledge-based Systems

- . Knowledge Representation
- . Inference
- . Knowledge Acquisition and Machine Learning
- . Uncertainty Handling
- . Constraint Directed Search
- . Searches in Production Systems

3. Review on Optimization Models

- . Linear Programming
- . Goal Programming
- . Nonlinear Programming
- . Integer Programming
- . Fuzzy Mathematical Programming

4. Architecture of Integrating Knowledge-based Systems with Optimization Models

- 4.1. Knowledge used as a Front-End of Optimization Models
- 4.2. Knowledge used as a Back-End of Optimization Models
- 4.3. Unified Modeling Including Knowledge and Optimization
- 4.4. Optimization as a part of Knowledge-based Inference
- 4.5. Knowledge-based Model Management

- 4.6. Knowledge and Optimization as Components of Decision Making Process

Part II. Using Knowledge as a Front-End of Optimization Models

5. Architectures of Front-End Knowledge

- 5.1. Knowledge-based Formulation Support
- 5.2. Translation of Knowledge into Formulation
- 5.3. Knowledge-based Coefficient Generation

6. Knowledge-based LP Model Formulation Support

- 6.1. Concept
- 6.2. Literature Review
- 6.3. LP Model Elicitation Approach
- 6.4. UNIK-LP
- 6.5. Illustrative Dialog

7. Translation of Knowledge onto the Formulated Optimization Model

- 7.1. Concept
- 7.2. Translation of Knowledge to Formulation
- 7.3. UNIK-TRANS
- 7.4. Illustration

8. Knowledge-based Coefficient Generation

- 8.1. Knowledge-based Goal Setting
- 8.2. FOLIO
- 8.3. Illustrative Dialog

9. Implications of Knowledge-based Front-End

- 9.1. Selection of Algorithms

9.2. Integer Programming Formulation Support

- . **Computationally Feasible Formulation**
- . **Algorithm Selection**
- . **Knowledge-based Relaxation**

9.3. Implication on Model Management System

Part III. Unified Modeling Including Knowledge and Optimization

10. Concept of Unified Models

- 10.1. **MODM (s,t)**
- 10.2. **Definitions and Notations**
- 10.3. **Post-Model Analysis Approach**
- 10.4. **Non-dominated Solution Set**
- 10.5. **Algorithms as Pieces of Inference**

11. Building Unified Model using UNIK-PMA

- 11.1. **Architecture of UNIK-PMA**
- 11.2. **Procedure of using UNIK-PMA**
- 11.3. **Illustrative Dialog**

12. Example I : Extended Sales Mix Problem

- 12.1. **LP Model : Short-term Sales Mix**
- 12.2. **Knowledge : Strategic Planning**
- 12.3. **Illustrative Dialog**

13. Example II : Intelligent Production Planning

- 13.1. **LP Model : Aggregate Production Planning**
- 13.2. **Knowledge : Customer's Goodwill**
- 13.3. **Illustrative Dialog**

14. Example III : Purchase Plan

14.1. LP Model : Material Mix

14.2. Knowledge : Purchase Schedule

Production Schedule

14.3. Illustrative Dialog

Part IV. Advanced Topics in Unified Modeling

15. Interpretation of the Outputs of Optimization Models

15.1. Purpose of Report

15.2. Identification of Relevant Output

15.3. Synthesis of Display

15.4. Example

16. Knowledge-based Relaxation

16.1. Computational Complexity

16.2. Reduce Complexity by Knowledge-based Relaxation

16.3. Examples

17. Knowledge-based Optimization

17.1. Concept

17.2. Pattern Learning

17.3. Architecture

17.4. Illustration

18. Uncertainty Handling

18.1. Fuzzy Set Theory

18.2. Fuzzy Mathematical Programming

18.3. Fuzzy Knowledge

18.4. Translation of Fuzzy Knowledge into Fuzzy Mathematical Programming

18.5. Example

18.6. Discussion

19. Database Interface

19.1. Database and Optimization Models

19.2. Database and Knowledge Base

19.3. Unit Transparency

19.4. UNIK-DB

19.5. Illustration

Part V. Toward Intelligent Decision Support Systems

20. Optimization-based IDSS

20.1. Architecture of Optimization-based IDSS

20.2. Corporate Knowledge Acquisition from Multiple Sources

20.3. Knowledge Association

21. Coupling with Intelligent Estimation Components

21.1. Coefficient Estimation

21.2. Knowledge-based Forecast Adjustment

21.3. UNIK-FCST

21.4. Examples

22. Coupling with Simulation Models

22.1. Numerical Simulation

22.2. Knowledge-based Simulation

22.3. Qualitative Simulation

22.4. UNIK-SIM

22.5. Examples

23. Concluding Remarks

23.1. Lessons Learned

23.2. Discussions

23.3. Future Research Issues

Reference

Index