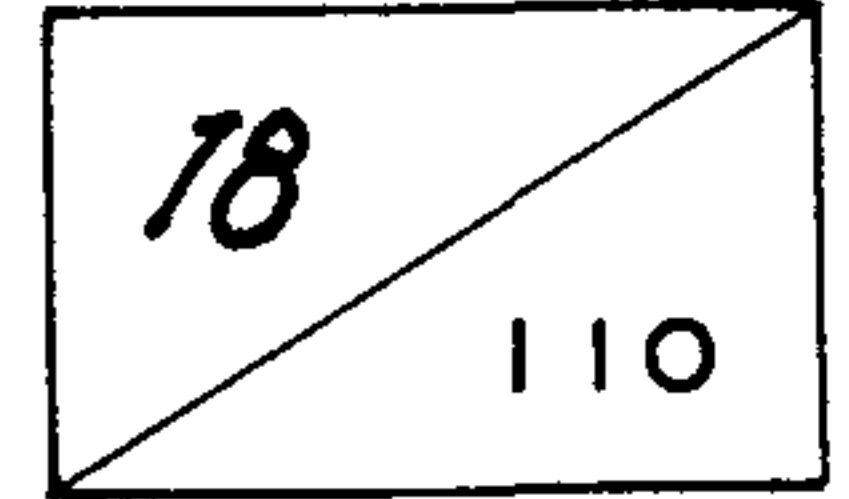


'88국책연구개발사업과제
"CIM기술에 의한
사출금형공장 자동화"
사업의 세부과제



사출성형금형의 생산자동화 CIM모델 플랜트

CIM Model Plant for Injection Molding

연구기관
한국과학기술연구원

寄贈	
과학기술처 과학기술 처 본	一九九〇年 二月 / 日

과 학 기 술 처

제 출 문

과학기술처 장관 귀하

본 보고서를 “CIM 기술에 의한 사출금형 공장 자동화” 사업의 세부과제인 “사출 성형 금형의 생산 자동화 CIM 모델 플랫폼” 과제의 최종보고서로 제출합니다.

1989. 7. 24

주관연구 기관명: 한국 과학 기술 연구 원

총괄연구 책임자: 강무진 (KIST CAD/CAM 연구실 선임연구원)

김상국 (// //)

연구 원 : 노형민 (// //)

박세형 (// //)

김문상 (// //)

박종오 (// //)

홍예선 (// //)

김태수 (// //)

위탁연구과제책임자: 신호철 (서울공대 기계설계 과 부 교수)

이건우 (// 조 교수)

이재원 (인하공대 자동화공학과 부 교수)

김창현 (KIST SERI 선임연구원)

여 백

요 약 문

I. 제 목

사출성형금형의 생산자동화 CIM 모델 플랜트

II. 연구개발의 목적 및 중요성

CIM은 재래 생산의 3대요소인 Land, Labor, Capital 이외에 Information의 요소를 추가적으로 활용하여, 설계, 가공과 조립, 검사, 저장 및 운반, 그리고 생산관리간의 정보교환을 통합적으로 제어, 응용함으로써, 전 생산공정의 자동화를 통해 총체적 최적 생산을 추구하는 생산형태로서, 선진국들에서는 CIM 기술개발에 막대한 투자를 하여 기술적 우위의 확보와 동시에 기술이전을 회피함으로써 경쟁력의 회복과 유지를 기하고자 연구노력을 기울이고 있다.

생산성 (Productivity) 과 유연성 (Flexibility) 을 동시에 추구함은 더욱 더 짧아지는 제품개발주기 (Product life cycle), 다품종 소량 생산형태 (Many-Item-Small-Quantity) 에 필수적인 연구노력이며, 통합생산자동화 (Computer Integrated Manufacturing) 는 이를 이루기 위한 첨단 생산기술의 집약임은 잘 알려져 있다. 그러나 CIM 기술에 의한 실제 생산공장은 아직 실용화 단계에 있지 못하고, 생산기술을 세계적으로 주도하는 소수의 연구기관 및 기업에서 모델 플랜트를 시험운영하고 있을 뿐이다.

우리나라에서는 전문인력의 부족과 효율적 연계를 통한 연구 개발 사업의 부재, CIM에 대한 인식의 부족으로 CIM기술에 대한 연구 개발이 전무하였으나, “CIM기술에 의한 사출금형공장 자동화” 연구사업의 추진을 통하여 CIM기술의 조기 확보와 동시에 과학적인 금형의 생산, 나아가 국내 제조업의 경쟁력 확보를 이룩하고자 하며, “사출금형 생산자동화 CIM 모델 플랜트”는 이를 추진하기 위한 10개의 세부과제 연구결과를 hardware, software적으로 implement하고, 실제적인 missing link들을 찾아내 상호연결(integrate)하며, 필요 장비 및 software를 합리적으로 공동구입/위탁용역 하는 “CIM기술에 의한 금형 공장 자동화 연구” 사업의 조관적 연구과제이다.

Ⅲ. 연구개발의 내용 및 범위

재래의 금형생산방법은 설계, 가공, 검사의 단계마다 information gap이 있어서 합리적인 정보 및 물류의 흐름이 불가능하며, 시간과 노력이 매우 많이 요구되는 금형가공 및 prototype을 통한 시험을 한후에나 그 성능을 알 수 있는 관계로 설계 및 가공의 매 단계마다 경험적인 지식에 의존할 수 밖에 없었다.

합리적인 금형의 생산을 위한 사출금형의 CIM plant는 제품설계에서 부터 설계의 해석 및 평가, 금형설계, 공정설계, 가공, 사상 및 측정 검사에 이르기까지의 제반 생산행위를 Computer를 통한 생산정보의 통합적 제어에 의하여 연계시키고 관리할 수 있어야 한다.

이와같은 관점에서 CIM 금형공장을 위한 연구개발은 아래와 같이 크게 5개의 연구분야로 추진되고 있다.

- 설계합리화

설계합리화란 좋은 설계를 함으로써 그 제품의 생산에 소요되는 인적, 물적 자원 및 정보의 소모를 최소화 하고자 하는 설계기술 향상노력이며, 금형설계의 합리화를 위해서는 금형설계 전용 Modular CAD system 개발, 설계결과를 가공전에 논리적 및 과학적으로 평가할 수 있는 CAE system의 개발, 표준화된 금형부품의 Data base 구축, 복잡한 자유 곡면(Sculptured Surface)을 효과적으로 생성시키고 NC 가공을 가능하게 하는 Advanced Surface Modeler의 개발 등이 포함된다.

- 공정설계 및 NC 가공

CAD system에 의하여 생성된 도형정보를 가공정보로 변환하는데 있어서 Manual Input 을 최소화 하고, 전산정보의 이용을 극대화 하기 위한 공정설계기술 및 CAD/CAM Integration 기술의 개발이 주 목적이다.

- 연마, 사상 자동화

금형의 생산공정중 연마, 사상 등 마무리 작업의 수행은 대부분 수작업에 의하여 이루어지고 있어 많은 가공시간과 인력이 소요되는 병목 공정으로 공정자동화의 큰 장애물이다. CAD 에서의 전산 도형정보를 효과적으로 사상 및 연마작업의 자동화에 이용하

여 획기적으로 생산성 향상을 추구하는 것이 본 연구분야의 목표로서, Robotic tool의 개발, Robot 응용기술 개발, Off-line programming 기술의 개발 등이 연구되게 된다.

- 측정 및 검사 자동화

가공된 금형의 정밀도를 신속, 정확히 측정·검사할 수 있는 고속측정장치의 개발과 CAD 도형정보와의 연계를 통한 Off-line programming, 평가 Software의 개발 등, 측정 및 검사의 자동화를 통한 생산성 및 품질향상이 추구된다.

- 시스템 통제기술개발

금형생산 시스템의 생산성 및 유연성을 극대화 하기 위한 시스템 관리, 작업관리, 일정계획, 공구 및 NC 프로그램관리 등의 기능을 갖는 시스템 통제 Software 개발이 주 목적이다.

이상의 5개분야에서 도출된 10개의 세부과제들은 다음과 같으며, CIM 모델 플랜트는 이상적인 CIM 금형공장의 실현을 위하여 단계별 Integration 목표를 설정하여 연구수행을 추진하게 된다

- 세부 과제

- 사출제품 설계, 해석 및 평가 시스템
- 금형설계전용 Modular CAD 시스템 개발
- 정밀금형의 설계 및 생산을 위한 Advanced Surface Modeler 개발

- 금형가공의 자동화를 위한 공정설계 프로그램 개발
- 로봇을 이용한 금형의 연마작업 자동화 연구
- 연마, 측정 자동화를 위한 로봇 Off-line Programming System 개발
- 공압 Servo system을 이용한 3차원 고속정밀 측정 장치 개발
- 금형부품 표준화 및 조립용이화를 위한 설계기술 개발
- 플랜트 통제 시스템 개발

IV. 연구개발 결과 및 활용에 관한 건의

본 연구과제의 1차년도 사업으로서는 금형생산 CIM 모델 플랜트의 기능적 구성과 hardware and software architecture, intermediate integration planning, 위탁용역 연구사업 등으로 추진되었다.

1. 사출금형 생산 CIM 모델 플랜트의 기능적 구성

사출금형의 생산을 위한 CIM 모델은 제품설계에서 출발하여 설계 해석 및 평가, 금형설계, 공정설계, 가공, 사상 및 측정·검사 에 이르기까지의 제반 생산행위를 컴퓨터를 통한 생산정보의 통합적 제어에 의하여 연계시키고 관리할 수 있어야 한다. CIM 개념에 의한 금형 생산을 위하여는, 이 외에도 표준화, 플랜트 통제, Offline programming 기술의 지원이 필요하다. 모델 플랜트를 구성하는 기능 단위를 크게 분류하면

- CAD/CAE Station
- 공정설계 및 NC Station
- 연마 Cell
- 측정검사 Station, 그리고
- 시스템 통제 Station

의 5개로 나눌 수 있다.

2. CIM 모델 플랜트의 Hardware Architecture

CIM 모델 플랜트를 구성하는 주요 Hardware component는

- 컴퓨터
- 공작기계
- 산업용 로봇
- 사출성형기
- 3차원 측정기, 그리고
- 운송 및 저장 설비

들이다.

이들의 구성 및 규모는 모델 플랜트가 수행해야 할 기능, 즉 모델 플랜트를 통하여 달성하고자 하는 기술적 목표에 따라 달라질 것이다. 본 연구에서는 산업현장적인 금형공장의 운영이 아니라, CIM 기술에 의한 금형공장을 실현하여 실제로 보여주고자 하는 것이므로, 모델 플랜트의 규모를 최소한으로 축소하였다. 모델 플랜트의 구성을 위하여 선정된 Hardware는 구체적으로,

- MicroVAX II
- IRIS Workstation 910-447
- 4 축 제어 Machining Center KV40A
- 산업용 로봇 FANUC-A1, PUMA750
- 공압 Servo 에 의한 자체 제작 3 차원 측정기
- IBM PS/2 model 70
- 사출성형기

들이며, 이들은 모두 Ethernet 과 MAP Local Area Network 에 의해 연결되게 된다.

3. CIM System Software Architecture

모델 플랜트를 구성하는 단위 Station 들을 세부적으로 서술하면 설계를 위한 CAD/CAE Station, 공정설계 및 NC 가공 Station, 연마 Station, 측정검사 Station 및 시스템 통제 Station 으로 구성되어진다.

CAD/CAE Station 은 사출제품의 설계 및 해석, 평가를 위한 지식 베이스 모델화와 유동해석, 구조해석 등의 해석 S/W 들로 이루어지게 되고, 제품생산을 위한 금형의 전용 CAD 시스템, 표준화된 부품 및 Mold Base 들의 Library 등이 포함되었다.

공정설계 및 NC Station 은 CAD/CAE Station 에서 생성된 설계 정보를 가공정보로 변환시키는 곳으로, GT 기법을 이용하여 interactive 하게 공정정보를 code화하여 생성하고 NC 프로

그램을 만들어 낸다. 이 Station에서 생성된 공정정보는 모델 플랜트내에서의 생산관리를 위하여 시스템 통제 Station으로 전달된다.

연마 Cell은, 대부분 수작업으로 이루어지고 있어 병목공정이 되고 있는 금형의 마무리 작업을 산업용 로봇과 Robotic tool을 이용하여 자동화 하고자 하는 것으로,

- 금형의 형상정보로부터 Robot program을 생성하는 Offline programming system
- 로봇의 정밀도 보장을 위한 Calibration system 및
- 공차 자동보정 기구

등이 연마 Station의 중요한 S/W 구성요소이다.

측정검사 Station은 3차원 고속측정장치를 이용하여 가공·연마된 금형의 정밀도를 신속·정확하게 검사하기 위한 것으로

- CAD/CAE Station으로부터의 형상정보를 이용하여 측정 프로그램을 생성하는 Module과
- 측정결과를 해석·평가하는 Module

을 가지고 있다.

시스템 통제 Station은 금형생산 플랜트의 생산성과 유연성을 극대화하기 위한 운용 소프트웨어를 가지고, 작업오더, 공정, 공구, NC 프로그램, 설비, 재고 등의 정보를 적시에 적소로 제어한다. 공정설계 및 NC Station 외에도 생산관리 시스템 및 공작기계, 로봇, 측정기 등 실제 Process와 Interface를 가진다.

SUMMARY

Today, the enterprises are confronting a large of demand from the market, technology, legislation and society. The growing national and international competition and the necessity to comply with the specific customer requests not only lead to a severe pressure on cutting prices but to shorter delivery periods with a variety of product types and high quality of the products. Automation has been sought by all the industrial enterprises as a decisive factor of the factory of the future.

To survive in the current competitive environment by adapting to the requirements of the market, the production plant should have adequate flexibility in all its areas with maximum productivity. This means that the capability to adapt to the market(economy of scope) plays a much more important role than the productivity alone(economy of scale). The traditional production philosophy, rigid automation, is no longer suitable for this requirement and then a new production philosophy, flexible or programmable automation, is emerging in all the industrial sectors.

Computer Integrated Manufacturing(CIM) is the one and only

form of the factory of the future which is a goal all the enterprises are striving for. It comprises the concept of programmable automation and the integrated use of computers in all areas of production, such as Computer Aided Design(CAD), Computer Aided Manufacturing(CAM), Computer Aided Process Planning(CAPP), and Computer Aided Inspection and Testing(CAI and CAT). The most important aspect of CIM is the interlinking individual islands of automation and the realization of a continual information and material flow for the whole plant, both vertically and horizontally. The inclusion of information as a factor of production in addition to the classic ones, such as land, labor and capital, can yield more flexibility in production, shorter throughput time, and lower inventories without sacrificing productivity and capacity utilization. Having both of the conflicting goals in conventional manufacturing technology, productivity and flexibility, short throughput time and full utilization of capacity, CIM will be a revolutionary technological change rather than evolutionary change in every industrial sector.

The manufacture of die and mold includes huge amount of information, which is mostly unstructured, from the initial design to the final inspection and actual use of them. The flood of unstructured information and the typical many-item-

single-quantity characteristics have left the die and mold manufacturing technology in the realm of empiricism for which the individual computer-aided technology still remains least productive.

The purpose of this project is to interlink the individual islands of computeraided technology and to realize the concept of CIM into the enhanced productivity, shorter delivery time and stabilized quality of the die and mold manufacturing.

The KIST model plant builds on a foundation of innovative research in the following five directions:

1. Rational Design System

The purpose of this research area is to build a scientific synthesis system to minimize the design effort and to maximize reward of good design in the subsequent manufacturing processes. Specific research issues are the developments of the mold-oriented modular CAD system, the mold-design evaluation system, and the advanced surface modeler for molds having complex sculptured surfaces.

2. Process Planning and NC Machining

Computerized transformation of the design information to the machining information without the intervention of manual judgements is the key issue in this area. Topics included are

the CAPP system for mold manufacturing, CAD/CAM integration, and multi-axis NC machining technology.

3. Mold Polishing Automation

Polishing of mold is heavily dependent on experienced human hands and is one of the severe bottleneck process of mold manufacturing. The application of robots in polishing is being investigated with the development of proper robotonomic tools and off-line programming technique to use CAD information directly.

4. Automated Mold Inspection and Testing

The inspection and testing is the inevitable process to assure the quality of molds produced. The use of current coordinate measuring machines, however, is an ineffective and expensive way for the most mold manufacturers. Research issues in this area are the development of a high-speed 3-D coordinate measuring machine, CAD interface system and measuring software.

5. Plant Information System

In order to yield more productivity and flexibility on the plant-wise scale, system management, MRP(I & II), load balancing, tool and NC program management, and totalized plant information system is being investigated.

CONTENTS

Chapter 1. CIM Model Plant for Injection Molds	19
1. Introduction	19
2. Recent Progress	20
2.1 Planning for CIM Plant	20
2.2 Conceptual Design of CIM Model Plant for Injection Molds	24
2.3 Integration of CIM Islands	30
2.3.1 CAD/CAE Station	33
2.3.2 Process Planning and NC Station	42
2.3.3 Plant Control Station	44
2.3.4 Mold Polishing Station	45
2.4 Model Plant Configuration	52
2.5 Supplementary Research Projects-Developments and Results	58
3. Future Works	59
Appendix: Supplementary Research Projects	61
1. Development of Flow Simulation Software inside Injection Mold Cavity	63
2. CAD System for Plastic Injection Mold Design	123
3. Tool Management System for Milling Operations	165

여 백

목 차

제 1 장 사출성형 금형의 CIM 모델 플랜트	19
1 . 연구개요	19
2 . 연구진행 상황	20
2.1 CIM을 위한 Planning	20
2.2 금형생산의 CIM 모델 플랜트 개념적 구성	24
2.3 과제간의 Integration	30
2.3.1 CAD/CAE Station	33
2.3.2 공정설계 및 NC Station	42
2.3.3 플랜트 통제 Station	44
2.3.4 금형의 연마 사상 Station	45
2.3.5 측정·검사 Station	47
2.4 모델 플랜트 구성	52
2.5 위탁용역 연구과제들의 도출 및 수행	58
3 . 향후 연구계획	59
 부록 : 위탁 연구과제 보고서	 61
1 . 사출성형금형 내에서 유동해석을 위한 S/W 개발.....	63
2 . 플라스틱 사출금형 설계를 위한 CAD 시스템 개발	123
3 . 밀링작업을 위한 공구관리에 관한 연구	165

여 백

제1장 사출성형금형의 CIM 모델 플랜트

1. 연구개요

CIM은 재래 생산의 3대요소인 Land, Labor, Capital 이외에 Information의 요소를 추가적으로 활용하여, 설계, 가공과 조립, 검사, 저장 및 운반, 그리고 생산관리간의 정보교환을 통합적으로 제어, 응용함으로써, 전 생산공정의 자동화를 통해 총체적 최적 생산을 추구하는 생산형태로서, 선진국들에서는 CIM 기술개발에 막대한 투자를 하여 기술적 우위의 확보와 동시에 기술이전을 회피함으로써 경쟁력의 회복과 유지를 기하고자 연구노력을 기울이고 있다.

생산성(Productivity)과 유연성(Flexibility)을 동시에 추구함은 더욱 더 짧아지는 제품개발주기(Product life cycle), 다품종 소량 생산형태(Many-Item-Small-Quantity)에 필수적인 연구노력이며, 통합생산자동화(Computer Integrated Manufacturing)는 이를 이루기 위한 첨단 생산기술의 집약임은 잘 알려져 있다. 그러나 CIM 기술에 의한 실제 생산공장은 아직 실용화 단계에 있지 못하고, 생산기술을 세계적으로 주도하는 소수의 연구기관 및 기업에서 모델 플랜트를 시험운영하고 있을 뿐이다.

우리나라에서는 전문인력의 부족과 효율적 연계를 통한 연구개발 사업의 부재, CIM에 대한 인식의 부족으로, CIM 기술에 대한 연구 개발이 전무하였으나, "CIM 기술에 의한 사출금형공장 자

동화” 연구사업의 추진을 통하여 CIM기술의 조기 확보와 동시에 과학적인 금형의 생산, 나아가 국내 제조업의 경쟁력 확보를 이룩하고자 하며, “사출 금형 생산자동화 CIM 모델 플랜트”는 이를 추진하기 위한 10개의 세부과제 연구결과를 hardware, software 적으로 implement 하고, 실제적인 missing link 들을 찾아내 상호연결 (intergrate) 하며, 필요 장비 및 software를 합리적으로 공동구입 / 위탁용역하는 “CIM기술에 의한 금형공장자동화 연구” 사업의 조관적 연구과제이다.

본 연구과제의 1차년도 사업으로서는 금형생산 CIM 모델 플랜트의 기능적 구성과 hardware and software architecture, intermediate integration planning, 위탁용역 연구사업 등으로 추진되었다.

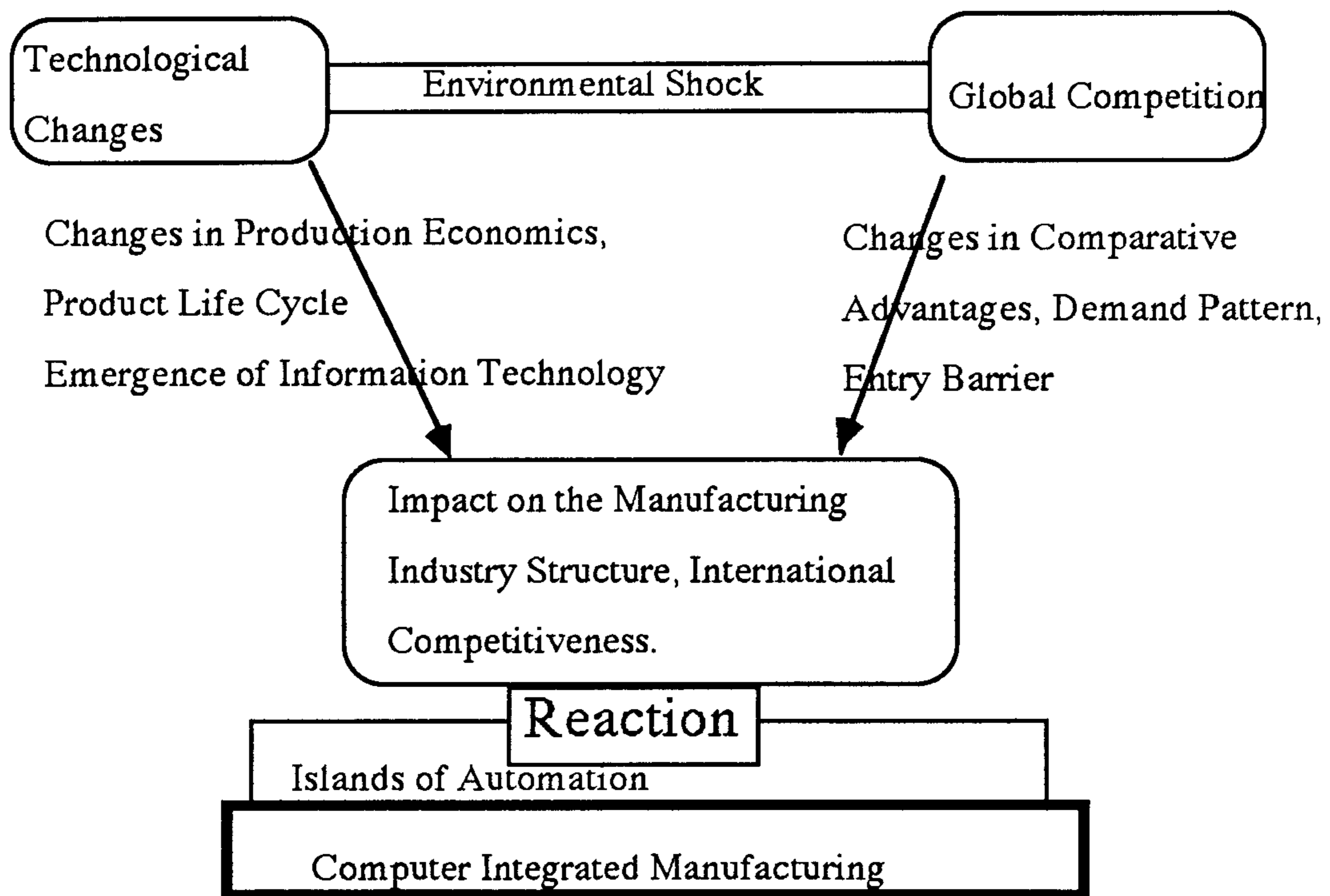
2. 연구진행 상황

2.1 CIM을 위한 Planning

통합생산 자동화 시스템 (Computer Integrated Manufacturing)이란 생산의 요소인 설계, 가공과 조립, 검사, 저장 및 운반, 그리고 생산관리간의 정보교환을 통합적으로 제어함으로써, 전 생산공정의 통합적 자동화를 통해 총체적 최적 생산을 추구하는 첨단적 생산 방식이다.

CIM기술개발의 배경은 생산경제의 변화, 제품주기의 단축, 정보기술 혁신 등의 기술적 배경과 국제 경쟁 pattern의 변화, 국

제간 보호무역주의의 팽배 등의 비기술적 배경에 의한 환경 변화 속에서 생산기술의 혁신만이 국제경쟁력의 유지와 향상을 이룰 수 있다는 점이며 (그림 1), 개별적인 생산자동화 노력들이 상호보완적 결합을 이루는 CIM 기술만이 생산성과 동시에 유연성을 얻게된다는 경험적 실패 사례들에서 세계 각국의 선진기업, 연구소들이 개발에 박차를 가하고 있다.



1972, Joseph Harrington of ADL used the term "CIM" in his book "Computer Integrated Manufacturing"

그림 1 . CIM 기술의 개발배경

CIM 기술의 잇점은 응용하는 범위에 따라서 Factory Level, Corporate Level, Industry Level, National Level로 볼 수 있으며 각 Level에서의 직 간접적 Benefit들은 그림 2에서와 같이 도시될 수 있다.

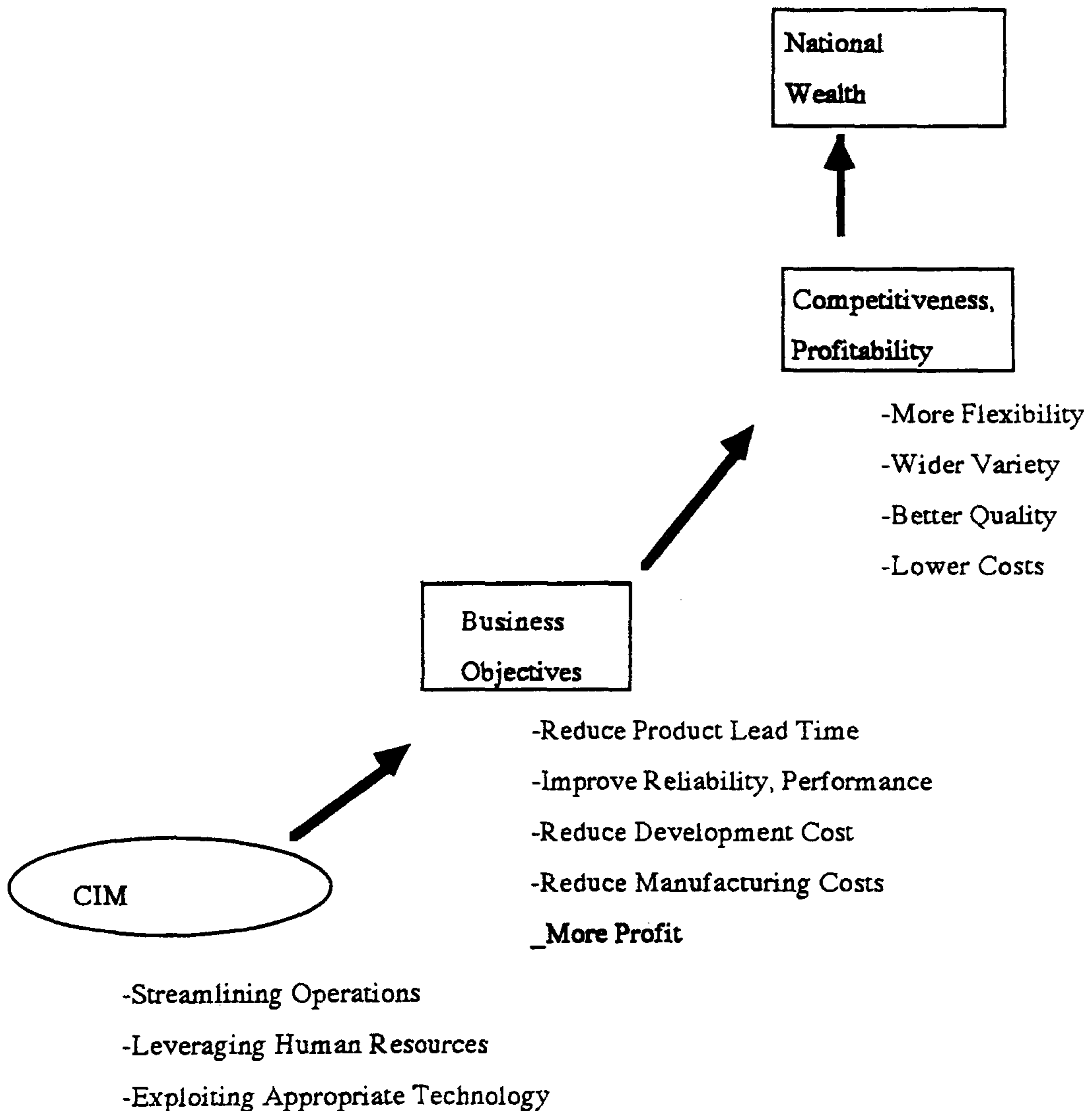


그림 2 . CIM 기술의 Benefit
(Source: Roy M. Salzman, ADL)

CIM 기술개발에 있어서 가장 중요한 선결조건은 주어진 응용 Level에서의 Plant Identification 과, 이에 따르는 CIM 시스템의 Top-Down Planning이라고 생각되는데, 그 이유로서는 이와 같은 선행연구 및 Planning 노력의 유무, 양불에 따라 수백억불에 이르기도하는 CIM기술 투자에 대한 회수가 결정이 될 수도 있기 때문이며, 선진국에서의 사례를 통해서도 알 수 있었다.

대표적인 실패 사례로써 미국의 General Motors 를 들 수 있으며, 무인자동화 자동차 생산공장에 투입되었던 400 억불에 달하는 시설 및 연구 투자가 소기의 목표인 “Factory of the Future”에 이르지 못한점을 최근 인정하고 그동안 축적되어온 CAD, CAM, Robots, MAP 등의 단위 기술들을 CIM 시스템으로 재구성 및 통합하는 단계로 알려져 있다.

반면에 Peugeot 자동차사 같은 경우는 shop floor tracking system에 역점을 두어 136대의 work station들과 200대의 NC 공작기계, 650대의 Robot를 연결 통합한 시스템을 구성하여 28 vehicles/man/year의 생산성을 46 vehicles/man/year로 끌어올렸고(2년간) 4%의 warranty cost를 2%이하로, 11일의 inventory를 $5\frac{1}{2}$ 일로 감소시키는 결과를 얻었다.

앞의 두 사례에서 보듯이 CIM기술은 막대한 시설 및 연구 투자가 필요하게 되며, 여기에 좋은 planning과 plant identification을 함으로써 이와같은 투자를 유용한 benefit으로 연결시킬 수 있음을 본 연구의 수행에 있어서도 중시하고 있으며, 사출공장의 특성 identification 및 적절한 초기 planning에

역점을 두게 되었다.

2.2 금형생산의 CIM 모델 플랜트의 개념적 구성

재래의 금형생산방법은 설계, 가공, 검사의 단계마다 information gap이 있어서 합리적인 정보 및 물류의 흐름이 불가능하며, 시간과 노력이 매우 많이 요구되는 금형가공 및 prototype을 통한 시험을 한후에나 그 성능을 알 수 있는 관계로 설계 및 가공의 매 단계마다 경험적인 지식에 의존할 수 밖에 없었다(그림 3).

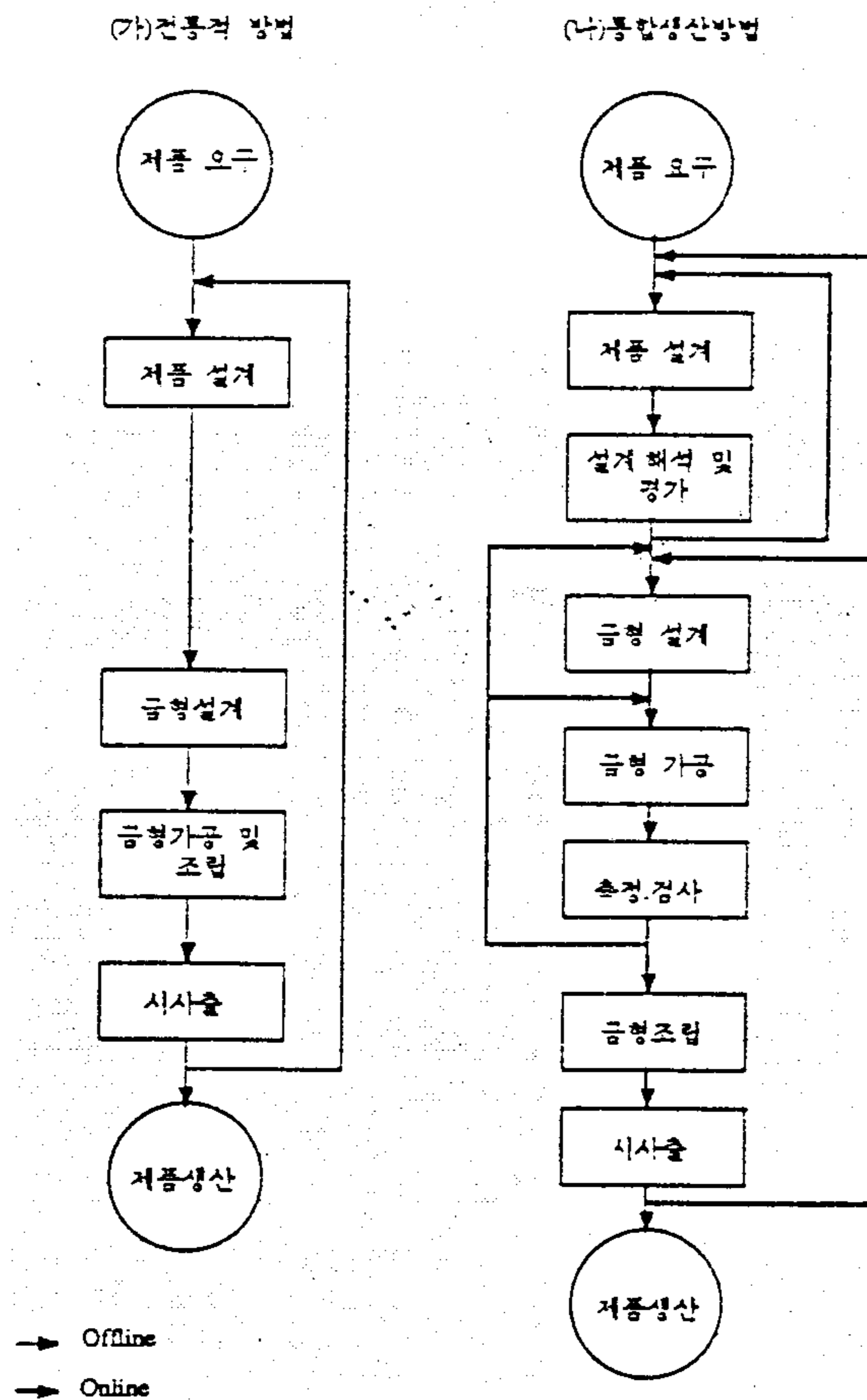


그림 3. 금형의 생산 방법

합리적인 금형의 생산을 위한 사출금형의 CIM plant는 제품설계에서 부터 설계의 해석 및 평가, 금형설계, 공정설계, 가공, 사상 및 측정 검사에 이르기까지의 제반 생산행위를 Computer를 통한 생산정보의 통합적 제어에 의하여 연계시키고 관리할 수 있어야 한다.

이와같은 관점에서 CIM 금형공장을 위한 연구개발은 아래와 같이 크게 5개의 연구분야로 추진되고 있다.

- 설계합리화

설계합리화란 좋은 설계를 함으로써 그 제품의 생산에 소요되는 인적, 물적 자원 및 정보의 소모를 최소화 하고자 하는 설계기술 향상노력이며, 금형설계의 합리화를 위해서는 금형설계 전용 Modular CAD system개발, 설계결과를 가공전에 논리적 및 과학적으로 평가할 수 있는 CAE system의 개발, 표준화된 금형부품의 Data base 구축, 복잡한 자유곡면 (Sculptured Surface)을 효과적으로 생성시키고 NC가공을 가능하게 하는 Advanced Surface Modeler의 개발 등이 포함된다.

- 공정설계 및 NC가공

CAD system에 의하여 생성된 도형정보를 가공정보로 변환하는데 있어서 Manual Input을 최소화 하고, 전산정보의 이용을 극대화 하기 위한 공정설계기술 및 CAD/CAM Integration 기술의 개발이 주 목적이다.

- 연마, 사상 자동화

금형의 생산공정중 연마, 사상 등 마무리 작업의 수행은 대부분 수작업에 의하여 이루어지고 있어 많은 가공시간과 인력이 소요되는 병목 공정으로 공정자동화의 큰 장애물이다. CAD에서의 전산 도형정보를 효과적으로 사상 및 연마작업의 자동화에 이용하여 획기적으로 생산성 향상을 추구하는 것이 본 연구분야의 목표로서, Robotonomic tool의 개발, Robot 응용기술 개발, Off-line programming 기술의 개발 등이 연구되게 된다.

- 측정 및 검사 자동화

가공된 금형의 정밀도를 신속, 정확히 측정 검사할 수 있는 고속측정 장치의 개발과 CAD 도형정보와의 연계를 통한 Off-line programming, 평가 Software의 개발 등, 측정 및 검사의 자동화를 통한 생산성 및 품질향상이 추구된다.

- 시스템 통제기술개발

금형생산 시스템의 생산성 및 유연성을 극대화 하기 위한 시스템 관리, 작업관리, 일정계획, 공구 및 NC 프로그램 관리 등의 기능을 갖는 시스템 통제 Software개발이 주 목적이다.

이상의 5개분야에서 도출된 10개의 세부과제들은 다음과 같으며, CIM 모델 플랜트는 그림 4에서와 같은 이상적인 CIM 금형공장의 실현을 위하여 그림 5에서와 같이 단계별 Integration 목표를 설정하였다.

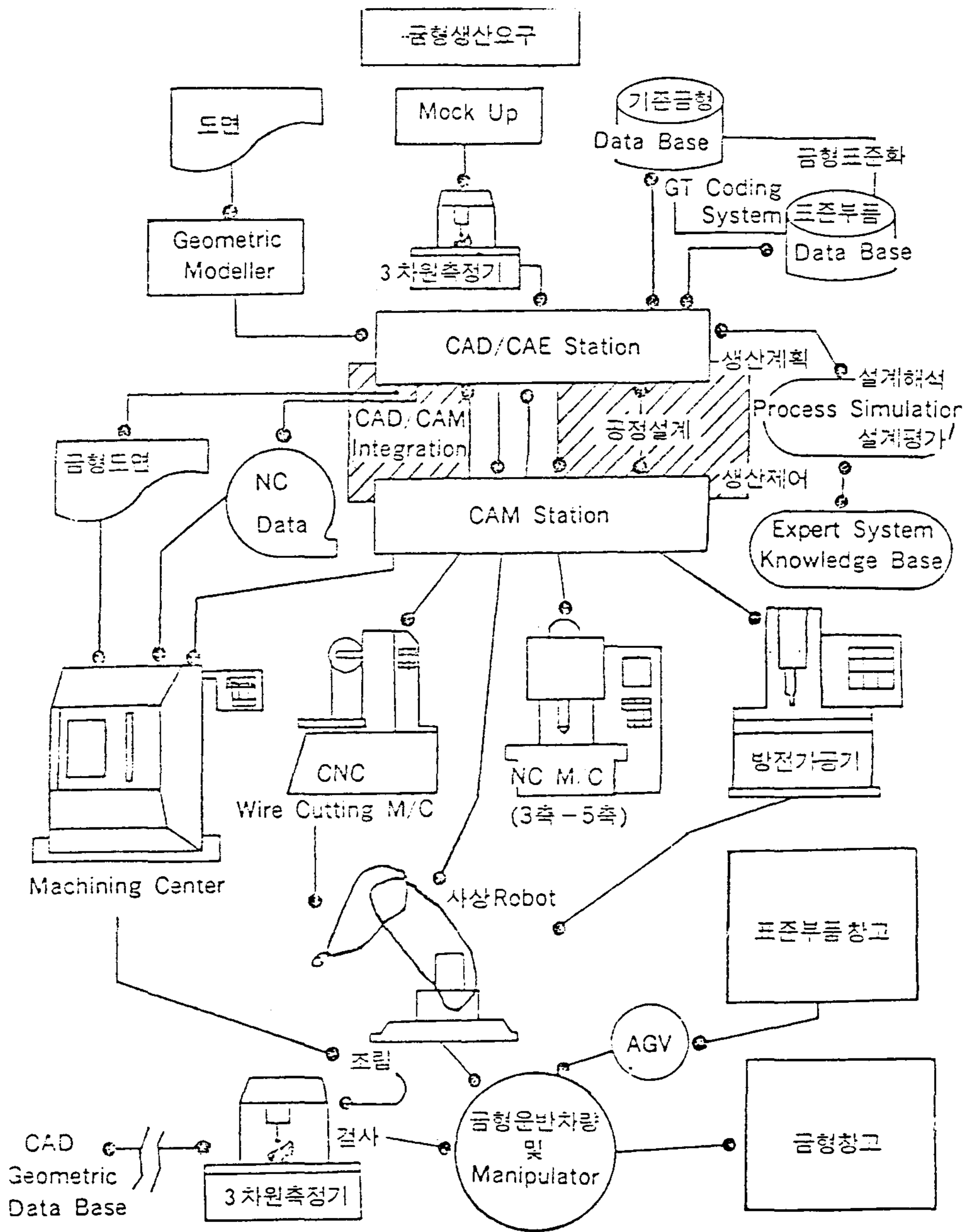


그림 4 . CIM 기술에 의한 이상적 사출 금형공장

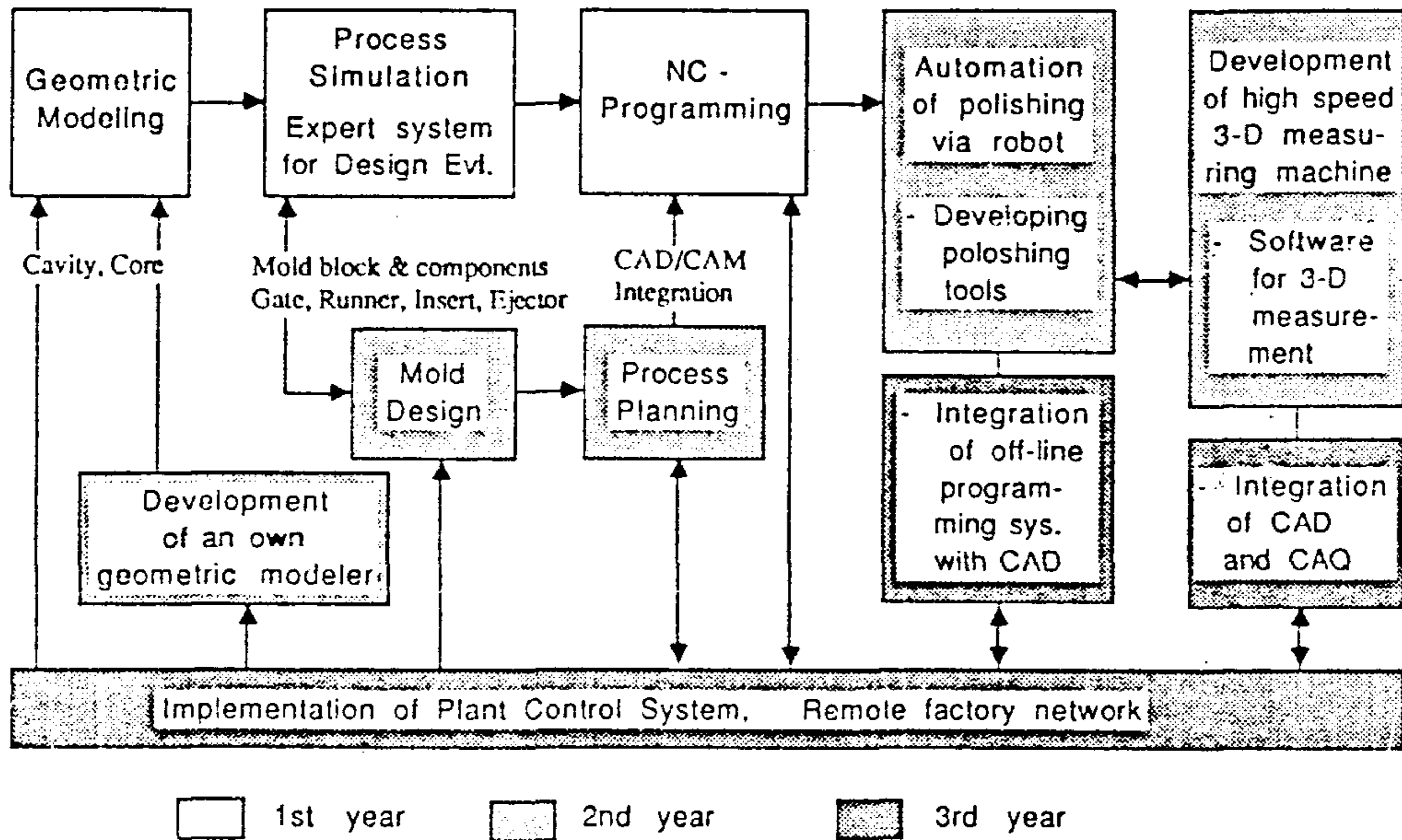


그림 5 . CIM에 의한 사출금형 공장 자동화의 단계별 목표

- 세부과제

- 사출제품 설계, 해석 및 평가 시스템
- 금형설계전용 Modular CAD 시스템 개발
- 정밀금형의 설계 및 생산을 위한 Advanced Surface Modeler 개발
- 금형가공의 자동화를 위한 공정설계 프로그램 개발
- 로봇트를 이용한 금형의 연마작업 자동화 연구
- 연마, 측정 자동화를 위한 로봇트 Off-line Programming System 개발
- 공압 Servo system을 이용한 3차원 고속정밀 측정 장치 개발

- 금형부품 표준화 및 조립용이화를 위한 설계기술개발
- 플랜트 통제 시스템 개발

그림 5에서의 단계별 목표는 그림 6에서와 같은 생산 단계별 Information Flow와 Material Flow를 근거로 중단위의 통합 생산 station을 구성하는 데에 주안점을 두고 계획되었으며, 1, 2차 년도의 모델 플랜트 구성은 이를 기초로 하여 Software, Hardware적으로 설계 되었다.

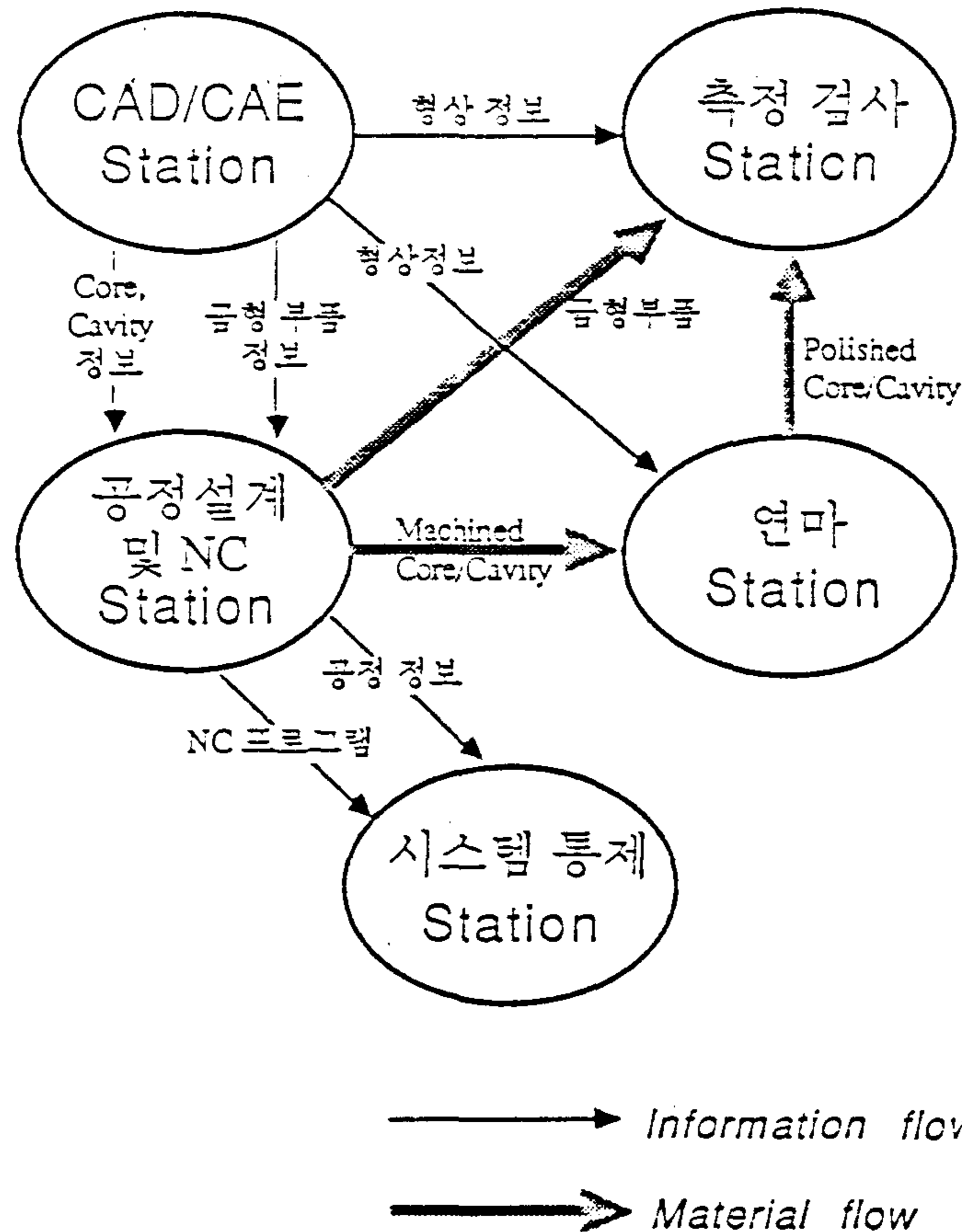


그림 6 . CIM 금형공장의 중단위 통합 Station

2.3 과제 간의 Integration

사출금형 공장의 CIM 모델 플랜트의 1차년도 사업으로서는 앞 절에서 설명된 각 과제 간의 data 및 information flow, hardware 및 software 간의 공유와 compatibility를 종합적으로 통제, 조정하는데 역점을 두었으며 전체적으로 그림 7 과 같은 과제간 상관관계를 planning 하였고 이를 implement 할 수 있는 software 및 hardware 시스템을 구성케 되었다. 각 과제 별 연구개요와 주요결과를 바탕으로 5개의 중단위 통합 station 이 구성되었으며 각 station 간의 정보흐름은 그림 8 과 같다.

각 station 별 연구내용 및 결과는 다음과 같다.

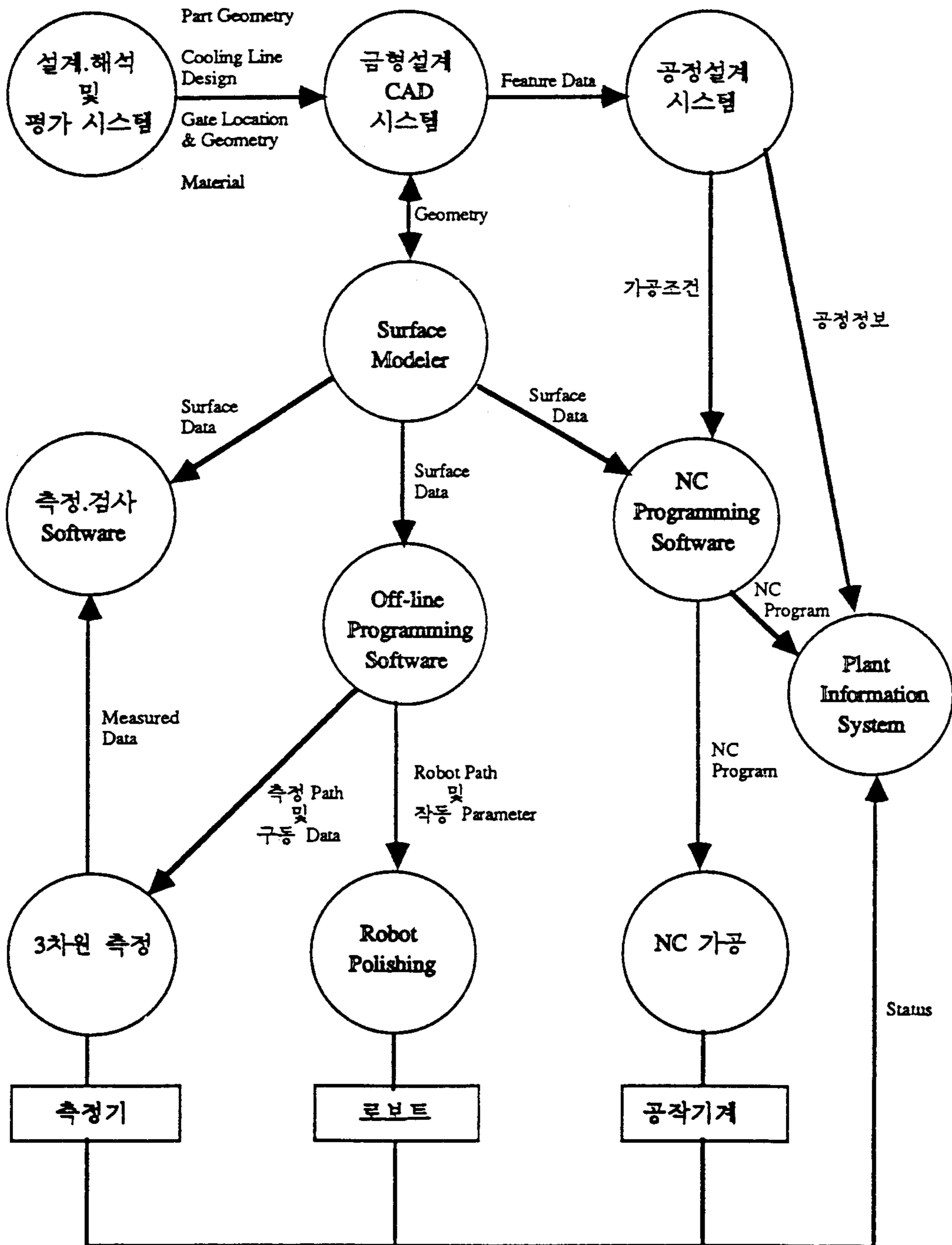


그림 7. 사출금형 공장 자동화를 위한 세부 연구 과제간의 data interface

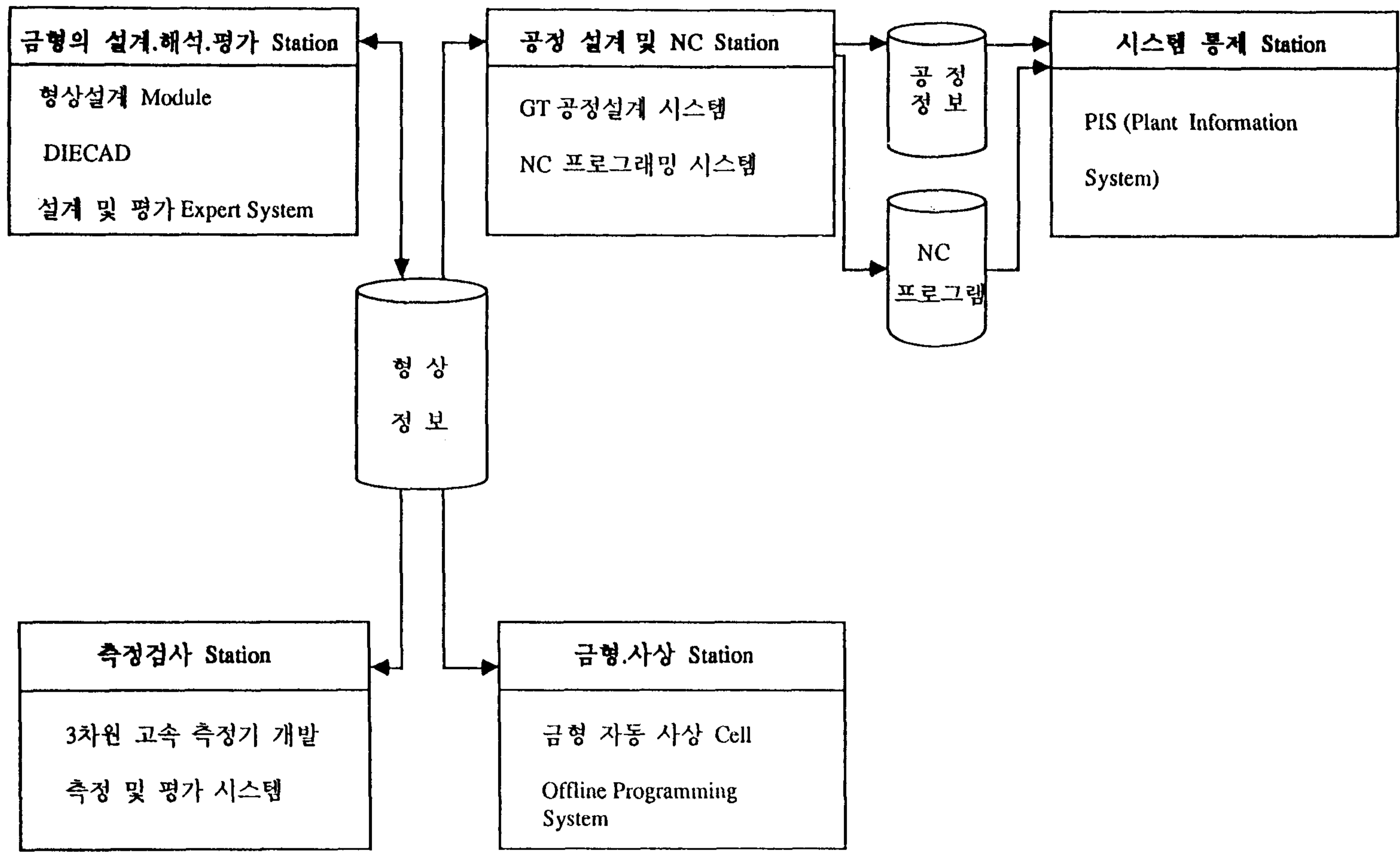


그림 8 . 금형의 CIM 시스템을 이루는 중단위 통합 station 들

2.3.1. CAD/CAE station

가) 사출제품의 설계, 해석 및 평가시스템개발

본 연구는 사출성형제품의 설계에 대단히 중요한 2차적 형상의 최적설계를 위한 대화식 컴퓨터 원용 설계 시스템에 관하여 기술하였으며, 이 시스템은 크게 3개의 기능적 그룹, 즉 기하학적 모델러, 전문가 시스템, CAE 프로그램으로 구성되어 있다. 기하학적 모델러는 형상베이스 기하학적 모델러 (features-based geometric modeler)의 개념을 사용하여 효과적으로 제품의 1차적 형상과 2차적 형상을 그래픽으로 표현하게 되며 여기서 생성된 그래픽 정보는 초점성유동해석 및 구조해석을 위한 입력데이터로 제공되게 된다. 1차적 형상에 적합한 리브, 보스등을 부가하기 위한 전문가의 경험적 지식이 본 연구에서 개발된 전문가시스템 모듈인 RIBBER 안에서 프로덕션 룰 (production rule)의 형태로 구성되었으며, RIBBER는 1차적인 형상의 단순화된 특성, 재료, 하중조건 및 구조적 필요성을 종합적으로 고려한 규칙으로 부터 최적의 리브구조를 위한, 리브위치, 형상, 갯수등을 결정하게 된다. RIBBER는 필요한 경우 성형성 검토를 위한 초점성유동해석 프로그램, 기계적 거동 해석을 위한 미세조직 예측프로그램, 리브보강 효과를 검증하기 위한 구조해석 프로그램등의 CAE 프로그램 모듈을 불러내게 되며, 해석 결과를 전달받아 제안된 설계를 평가하게 된다. 이와같은 방법으로 전문가의 판단과 CAE 프로그램 구동을 위한 지식 및 노력이 최소화되게 된다.

부형상 설계를 위한 지식형 설계 시스템은 해석적 지식을 위한 CAE 프로그램과 그래픽 정보를 위한 형상베이스 솔리드 모델러 (features-based solid modeler)를 전문가 시스템의 제어 기능을 이용하여 효과적으로 결합하여 이루어졌다.

전문가 시스템의 제어기능과 형상베이스 설계 (features-based design) 개념에 의하여 사출제품의 설계 및 가공이 통합적인 방식으로 수행가능하게 될 수 있을 것이다. 본 연구에서 제안된 설계시스템을 사용하면 사출제품 설계 전문가 뿐만 아니라 비전문가라 할지라도 사출제품을 쉽게 설계할 수 있다. 전문가 시스템의 모듈을 별 구조는 파팅라인 결정, 언더컷기구 설계, 비등방성 수축률 보상등을 고려하기 위해 쉽게 확장될 수 있다.

그림 9에 본 연구에서 추구하는 지식형 CAD 시스템의 개념도를 표시하였다.

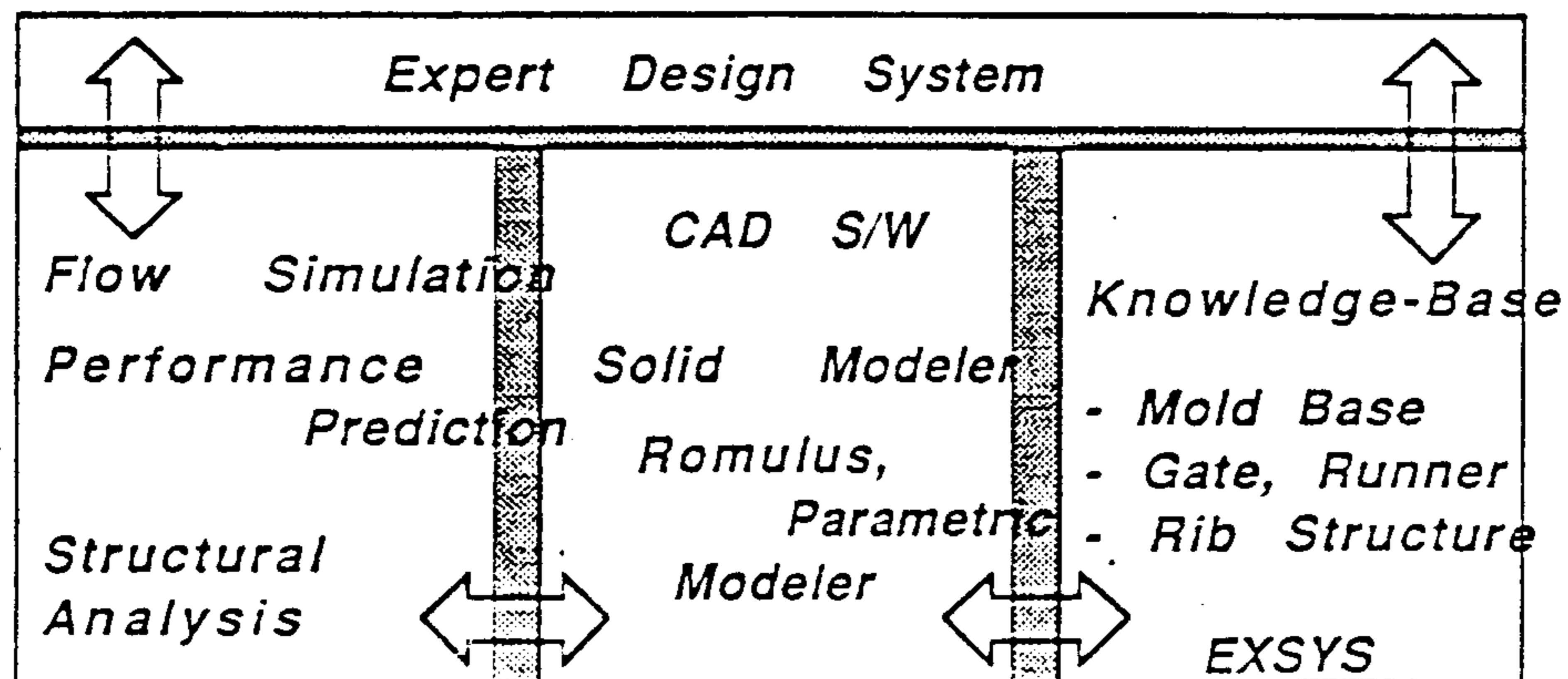


그림 9. Knowledge-based Design Evaluation System for Injection Molding

나) 금형설계용 Modular CAD 시스템 개발

본 연구는 사출금형의 CIM을 위한 금형설계용 Modular CAD System 개발에 그 목적을 둔다. 현재 국내 기업들의 금형공장 자동화를 추진하려는 추세는 증가하고 있으나 전문기술자들이 크게 부족하여 금형의 구상이나 설계시간이 길어지고 설계 생산의 feedback에 의한 수정, 보완이 어려워 금형 전용 System에 대한 필요성과 그에 의한 표준화가 먼저 시급한 실정이다. 현재 국내의 대부분의 금형산업은 수작업에 의한 사용업체의 자체 금형 설계와 제작으로 이루어지고 있는 형편이고 이에 따라 금형설계, 제작, 수정 작업이 원활, 신속하게 이루어지지 못하고 각 사용업체의 설계, 제작자들의 그때그때의 현장경험에 의존, 금형기술의 Know-how가 축적되지 못하므로 금형산업의 효율성 및 경제성 증대의 필수조건인 형, 가공방법, 치구의 표준화를 이루지 못하는 중대한 장애요인이 되고있다. 특히, 플라스틱 금형경우 전문 생산업체의 발달이 요구되고, 일본의 경우 사업업체 자체 제작은 14.9%에 불과하며 전체 부품의 30% 이상을 표준부품으로 사용, 부품에 따라서는 완전한 표준화도 이루어 설계의 용이, 설계시간의 단축은 물론 표준화에 따른 금형의 품질향상이라는 면에 있어서도 상당한 성과를 거두고 있다. 그러므로 본 연구를 통하여 설계 Process 표준화, 부품 및 형구조가 표준화 된다면 금형가공과 금형정보 역시 표준화되어 축적된 Know-how에 의한 전체 금형산업의 생산성 향상을 기대할 수 있다고 본다.

다) Advanced Surface Modeler의 개발

사출제품의 고급화 및 고정도화에 따라 외관형상이 복잡해지고 자유곡면을 포함하는 형상이 급증하고 있다. 종래의 자유곡면 설계 및 가공은 단면의 곡선을 일정한 간격으로 도면화 하고 이를 바탕으로 모델을 제작, Copy Milling으로 가공하는 방법이 주로 쓰였었다. Computer의 발달과 함께 자유곡면을 갖는 제품의 설계 및 가공을 위한 CAD/CAM시스템들이 개발되어 곡면설계의 효율이 향상되고 있으며, 가공도 NC화 해가는 추세이다. 따라서 Computer를 이용한 자유곡면의 설계 및 가공은 금형설계를 위한 필수요건이 되어가고 있다.

본 과제는 정부의 특정연구개발사업의 일환으로 추진되고 있는 “CIM기술에 의한 사출금형공장 자동화” 과제의 세부과제로서, 고가의 턴키 CAD/CAM시스템을 국산화하여 외화를 절약하고 각 기업의 특성에 맞는 시스템의 개발로 CAD/CAM사용 효율을 향상시키며, 미래형 공장의 필수기술인 CAD와 CAM을 연계시키는 기술개발을 추진함을 목적으로 한다.

본 과제는 주로 곡면의 모델링기능의 개발에 주력할 것이며, NC, Robotics, 측정 기능 등 응용프로그램들은 타과제로 개발되고 있다. 이런 응용프로그램들은 모델러의 기본기능들을 그대로 이용하고 모델러와 데이터베이스를 공유하며, 같은 작업방법을 이용하게 되는 통합시스템으로 구축되어, 설계 및 가공, 측정작업의 효율을 극대화할 수 있을 것이다. 이밖에 금형전용설계시스템 및 설계해석시스템과의 데이터 Transfer기능도 개발하여, 설계해석에서부터 마지막 검사공정까지의 금형생산의 전과정을 통합화하는데 필요한 Softw-

are 로 발전시킬 것이다.

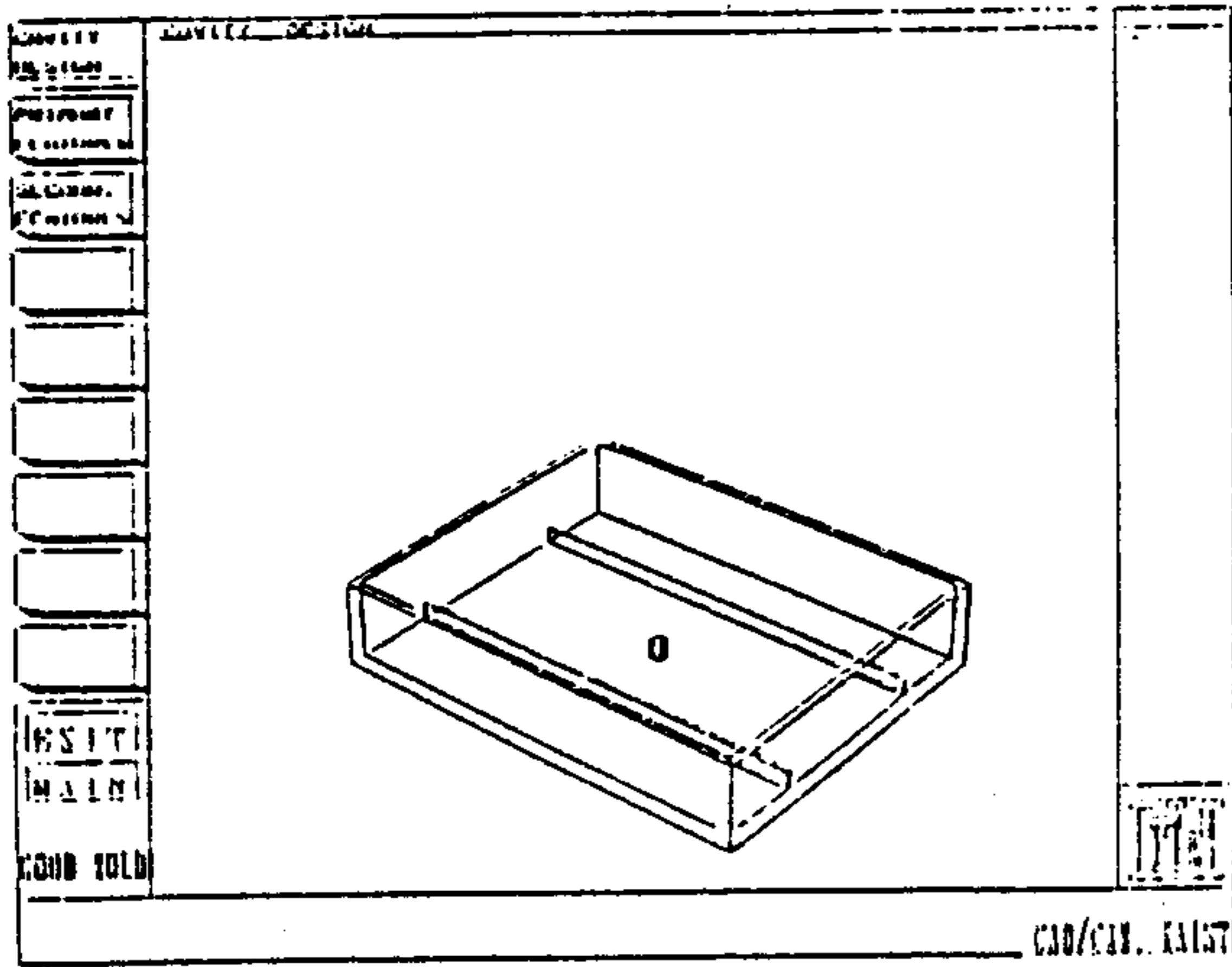
금년도에는 Super Micro 급의 Computer (Micro VAX II) 를 중심으로한 시스템을 구축하고 Software 를 대화형입출력, 데이터 베이스관리, 수식앨고리즘, 기본도형처리, NC, Robotics, 측정 등으로 Module 화하여 설계하고, 기본기능들의 개발을 완성하였으며, 앞으로 곡면 모델링 방법의 다양화, 금형전용 모델링 방법 개발, 응용 프로그램들과의 연계를 완성하여 통합시스템으로 구축 보급할 계획이다.

라) 연구결과

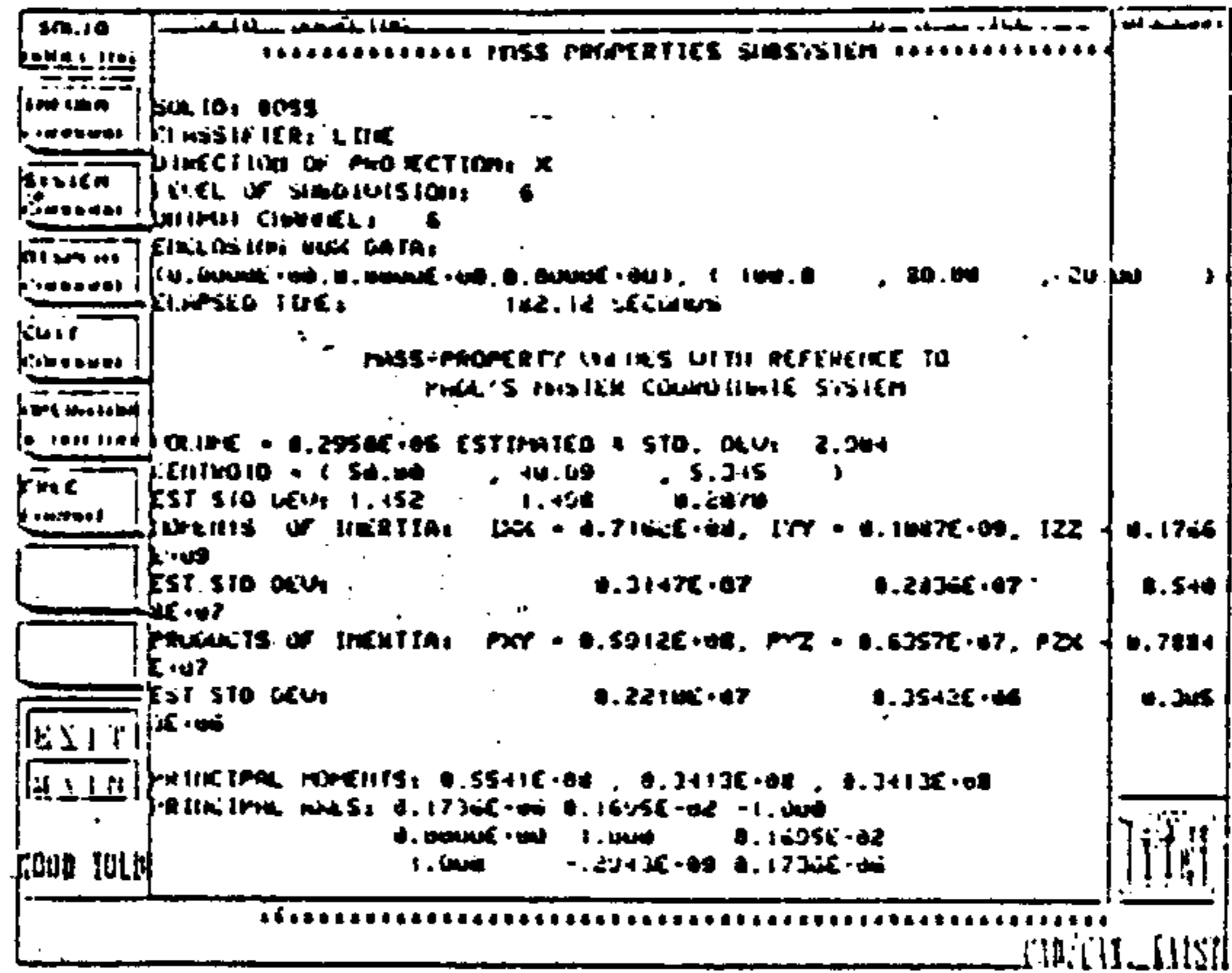
제품설계는 주어진 주형상에 알맞는 부형상들 (Rib, Boss, Gate 등)을 붙이는 지식형 CAD 시스템에 의하여 이루어지고 (그림 10), 그 설계의 평가는 그림 11에서와 같은 구조적 해석, 그림 12에서와 같은 유동해석 등을 통하여 이루어짐을 볼 수 있다.

평가가 이루어진뒤에 제품형상정보는 금형에 필요한 mold-specific geometry 가 부가되게되는데, 이는 금형설계전용 CAD 시스템인 DIECAD에서 이루어진다. 표준화된 금형부품과 알맞은 몰드베이스의 parametric design, cooling line의 배치등이 신속히 이루어질수 있는 전용 CAD 시스템이다 (그림 12).

정형의 곡면이외의 복잡한 자유곡면을 포함하는 제품의 설계는 Advanced Surface Modeler의 여러가지 곡면생성 방법들을 사용하여 이루어지게 되며 (그림 13), 이 정보는 금형곡면의 NC 가공, 사상연마, 측정등에서 이용되게 된다.

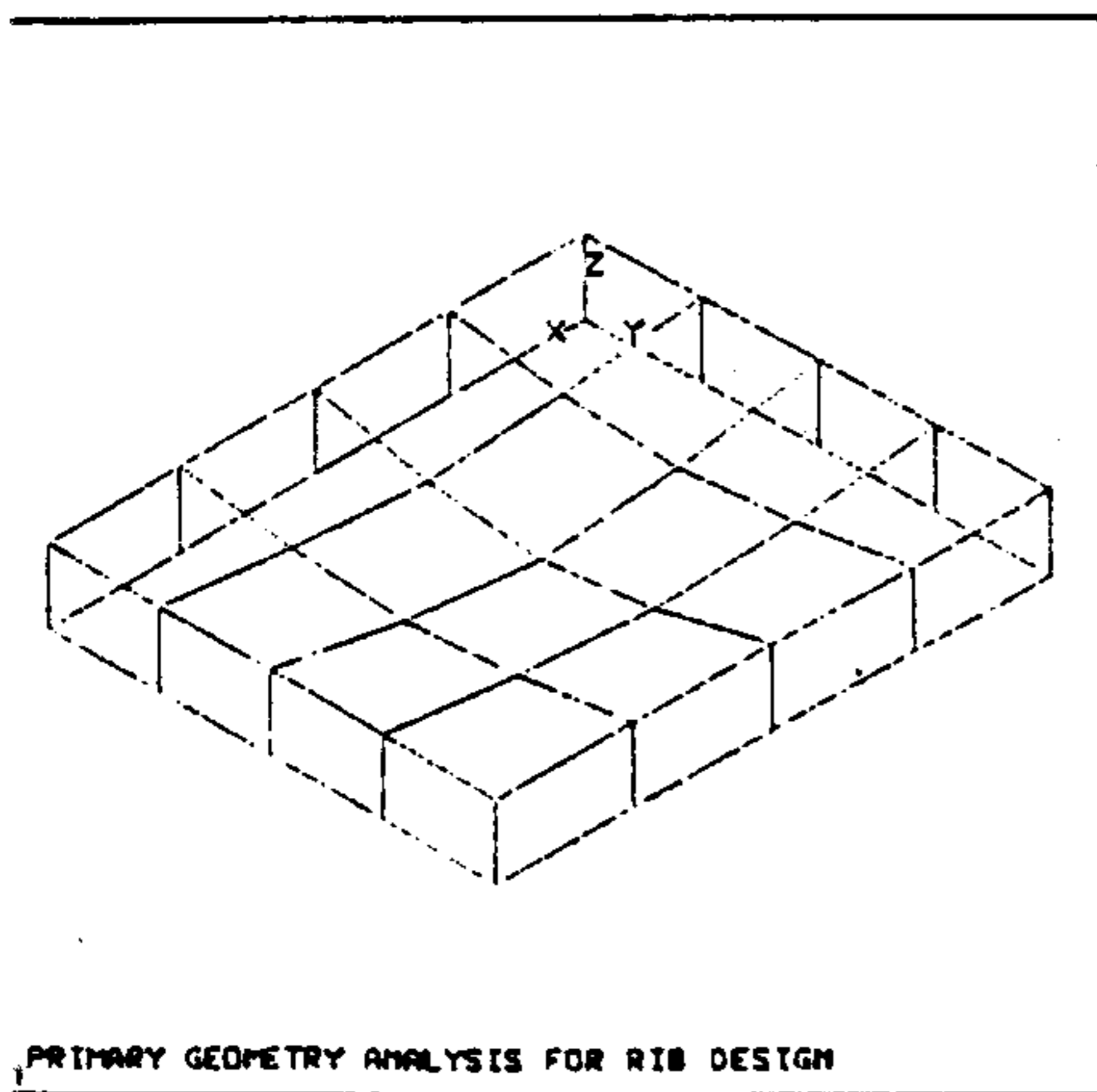


(a)

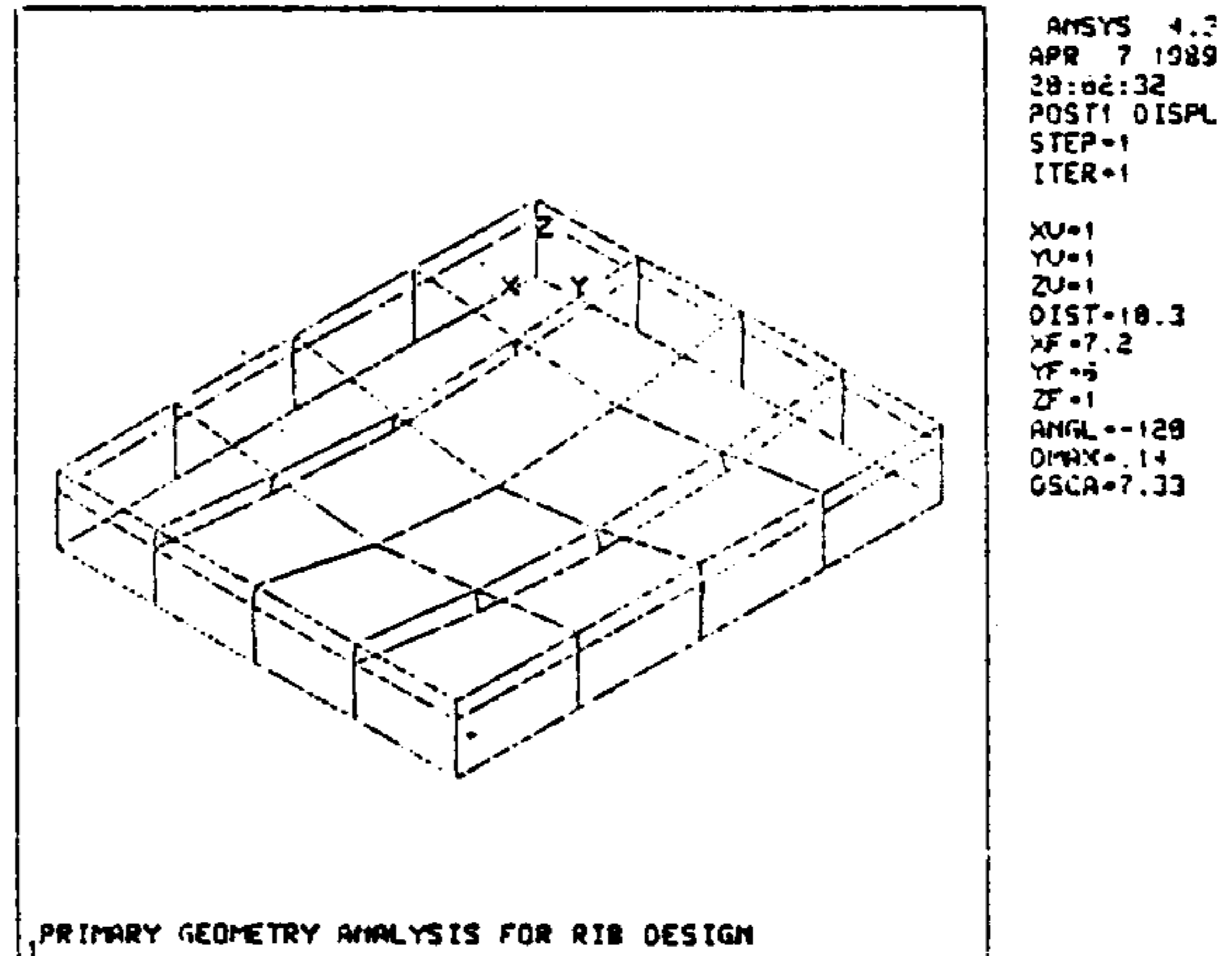


(b)

그림 10. (a) An Example of Supplementary Features on a Plastic Housing generated through the Knowledge-based CAD System
(b) Mass Properties of the Features of Fig.5 (a)



(a) Unribbed Structure



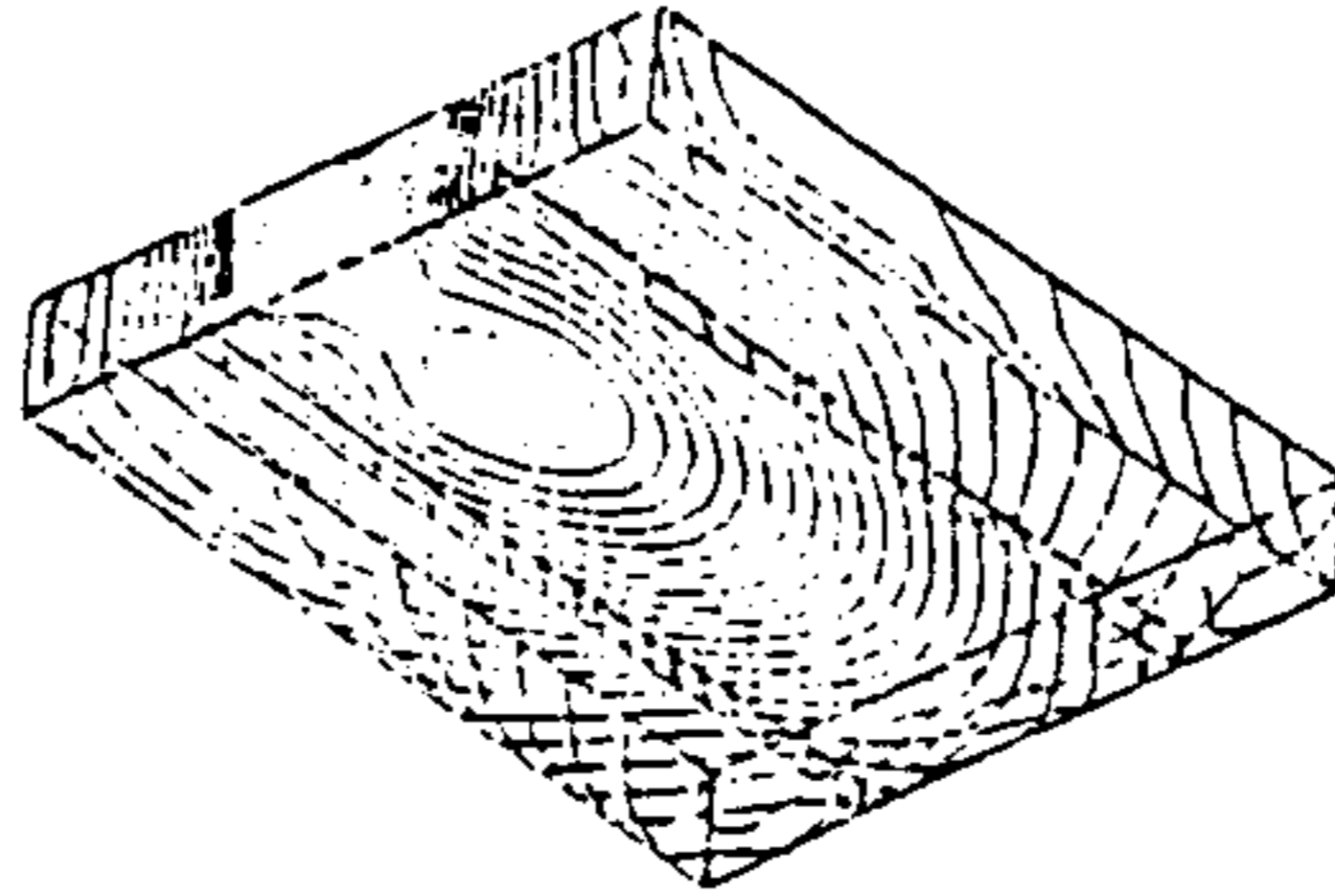
(b) Ribbed Structure

그림 11. ANSYS 를 통한 구조해석 결과

NO. DATA CONTROL, 1988 PREVIEW

1.00
BULK-TEMP. DISTRIBUTION
TIME = 1.98 (sec)
MAX. VALUE = 220.00 (C)
MIN. VALUE = 214.46 (C)
STEP INCR. = 0.14 (C)

1000
25
25
1000



CONTOUR PLOTS
SECTION PLOTS
TEMP PLOTS
VIEW
EXIT

TIME
CONTOUR NO.
HARD COPY

TEMP FRONT
PRESSURE
TEMPERATURE
SHEAR-RATE
SHEAR-STRESS

NEW MIN-TMX
AUTO MIN-TMX

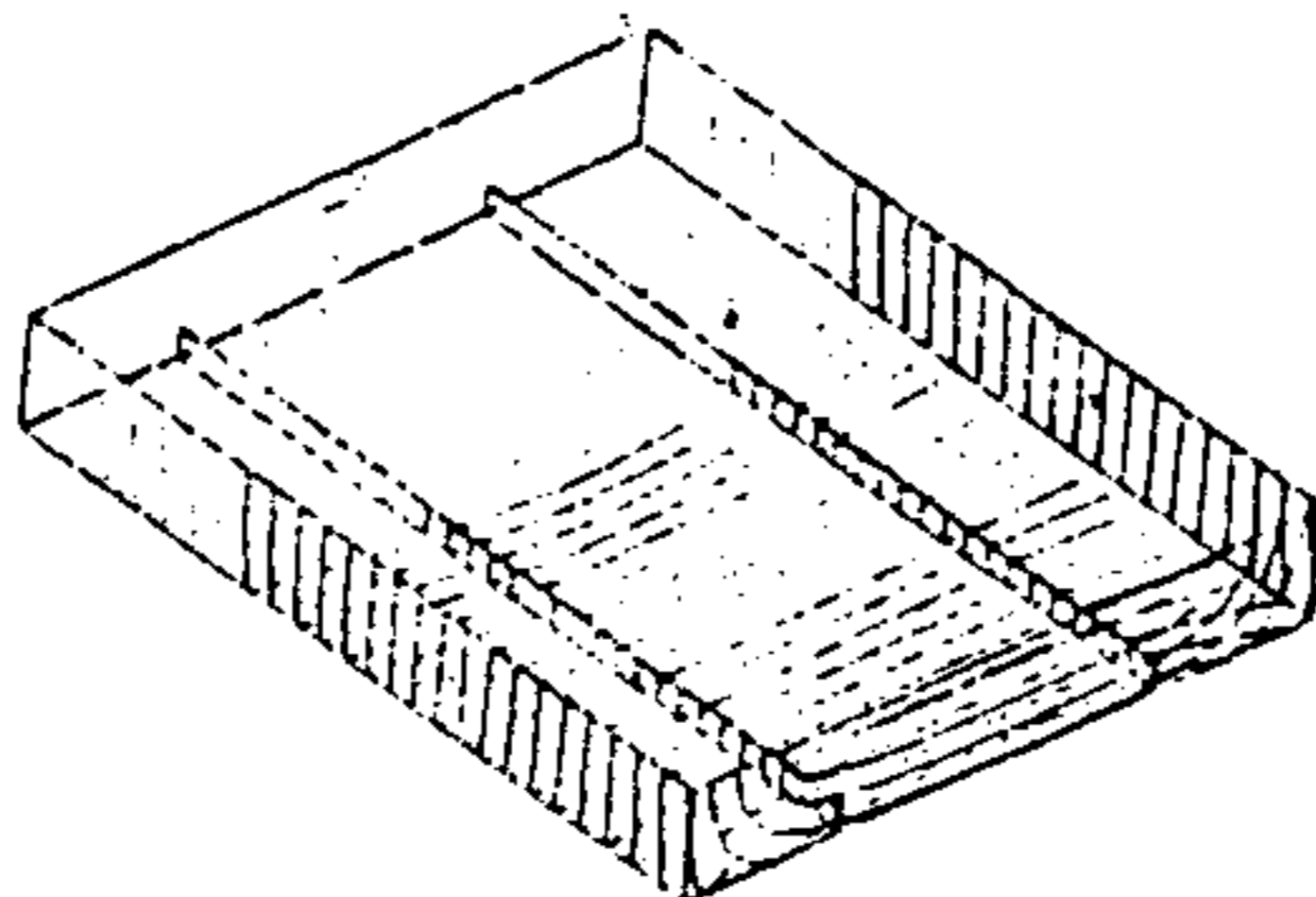
15
35
25

(a)

NO. DATA CONTROL, 1988 PREVIEW

1.00
PRESSURE DISTRIBUTION
TIME = 1.98 (sec)
MAX. VALUE = 29.81 (lba)
MIN. VALUE = 0.98 (lba)
STEP INCR. = 0.70 (lba)

1000
25
25
1000



CONTOUR PLOTS
SECTION PLOTS
TEMP PLOTS
VIEW
EXIT

TIME
CONTOUR NO.
HARD COPY

TEMP FRONT
PRESSURE
TEMPERATURE
SHEAR-RATE
SHEAR-STRESS

NEW MIN-TMX
AUTO MIN-TMX

15
35
25

그림12. Flow Simulation Results of an Example in Fig.5 (a) by C-FLOW
(a) Predicted Isotherms
(b) Predicted Constant Pressure Contoures

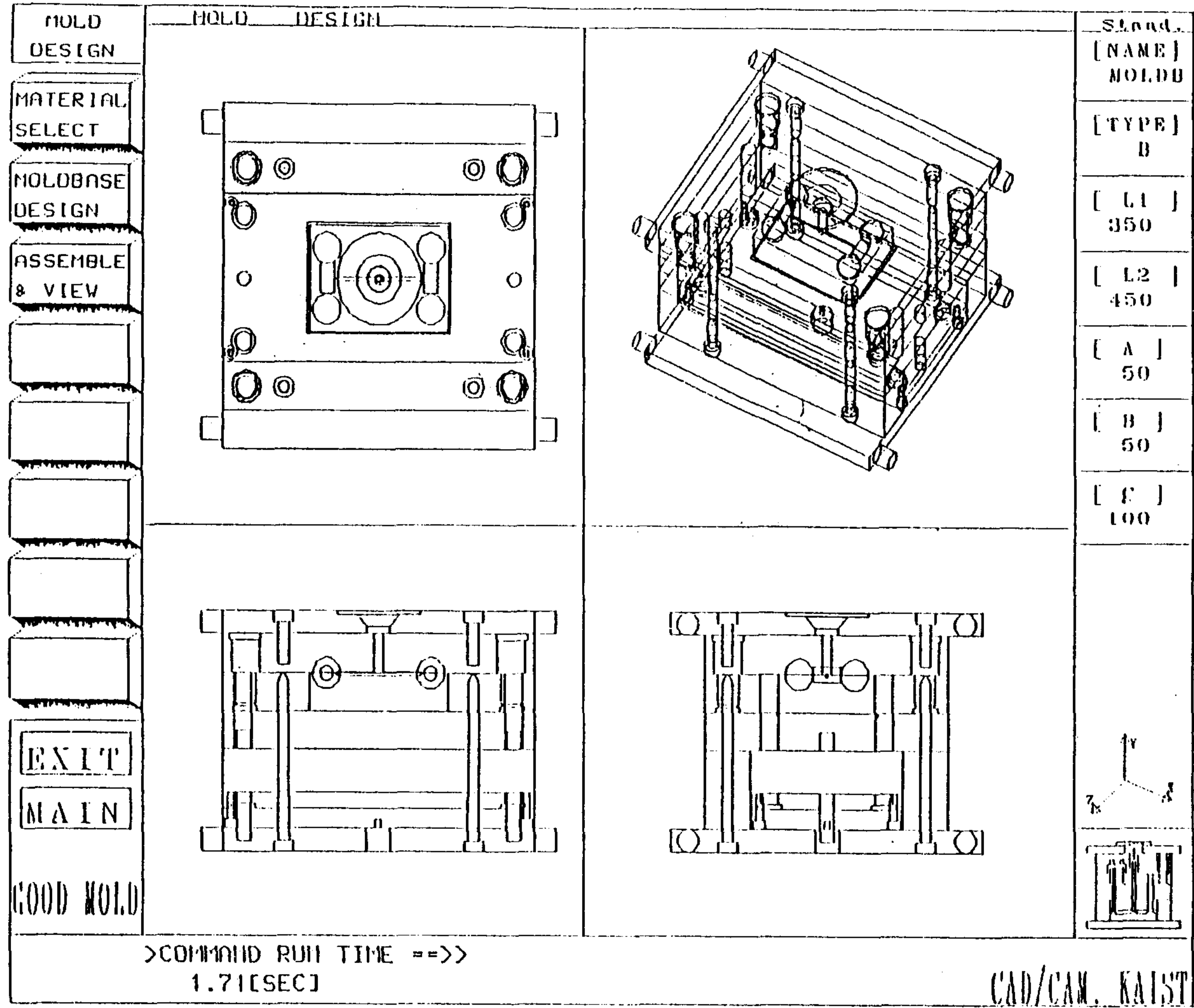
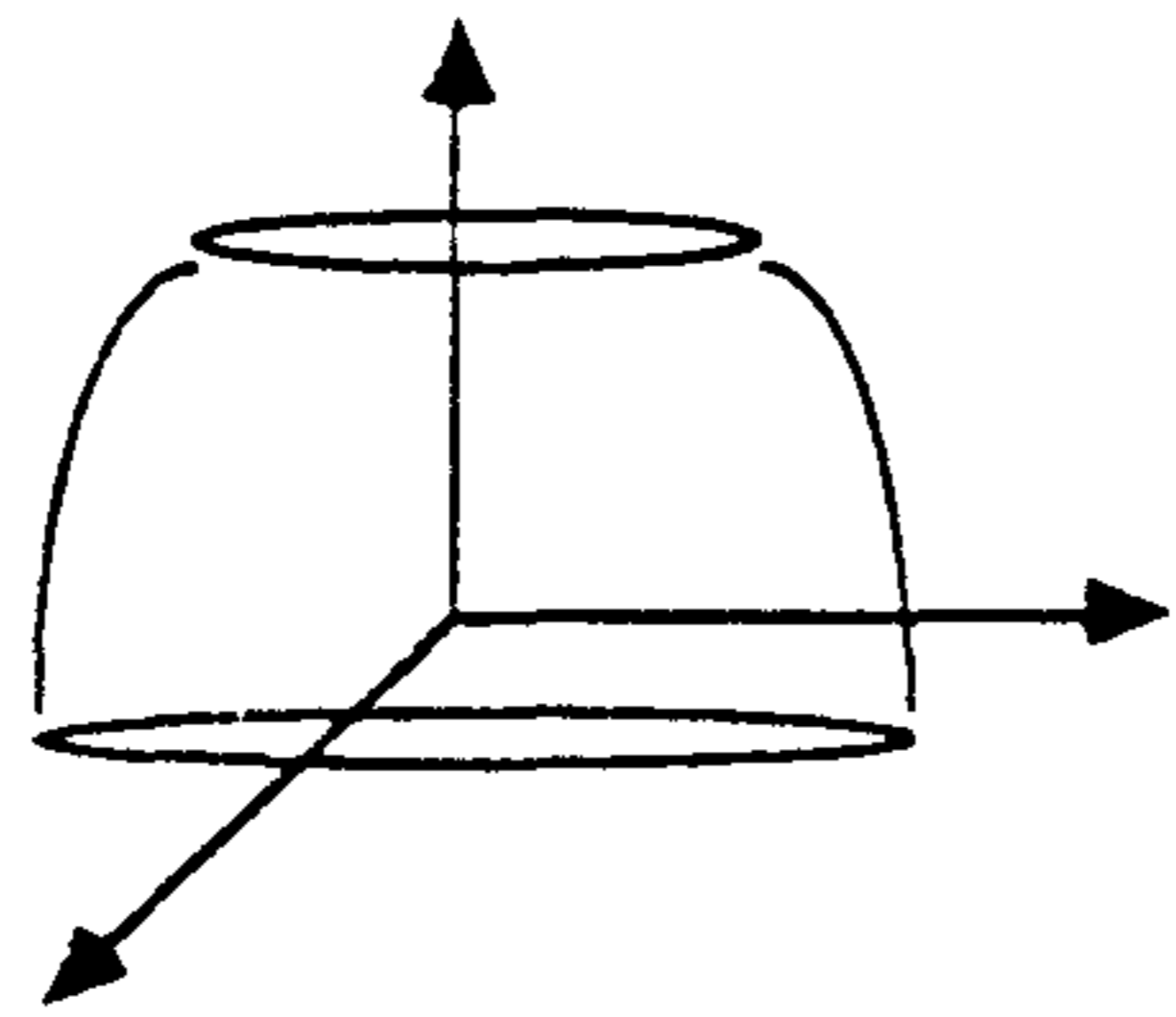
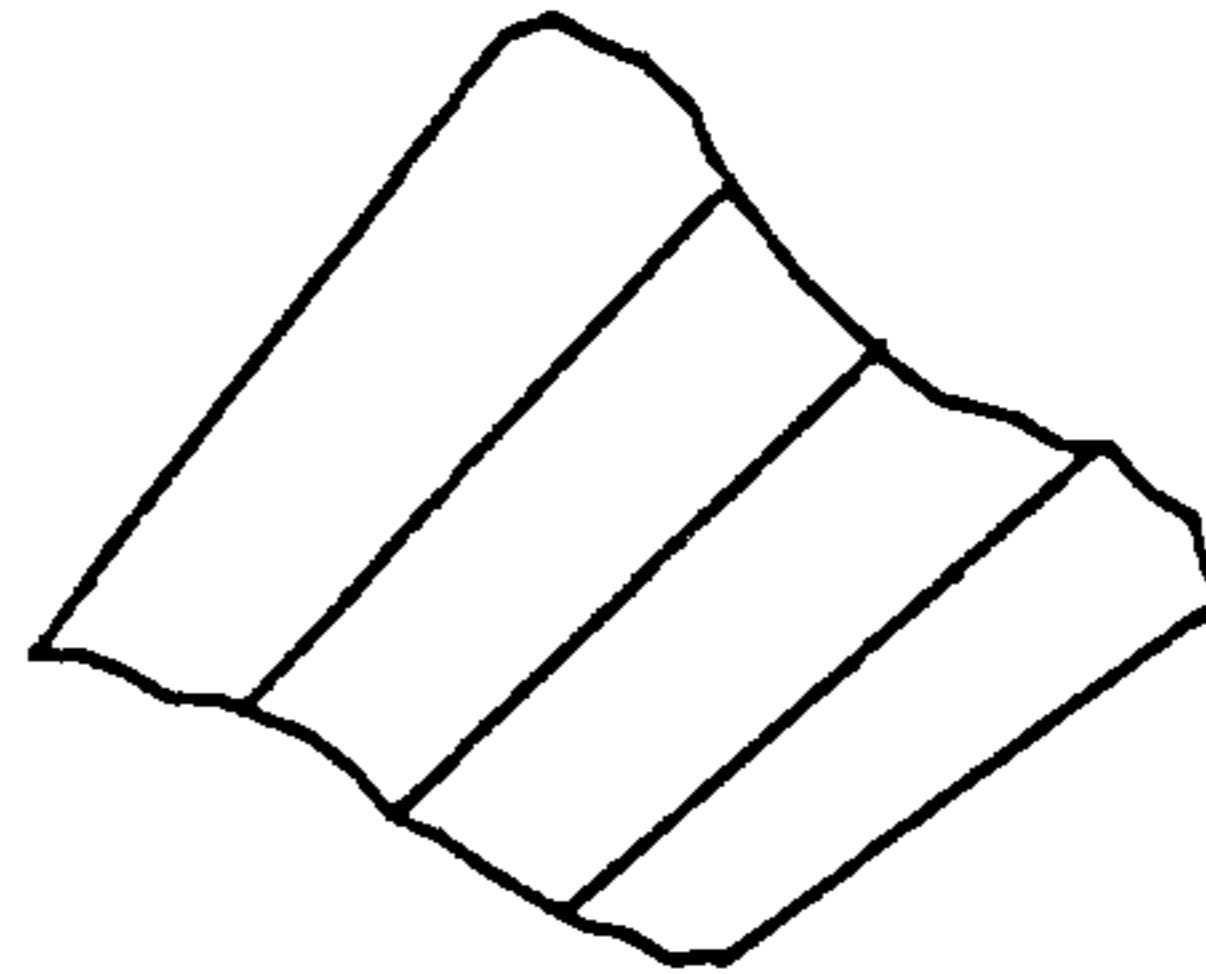


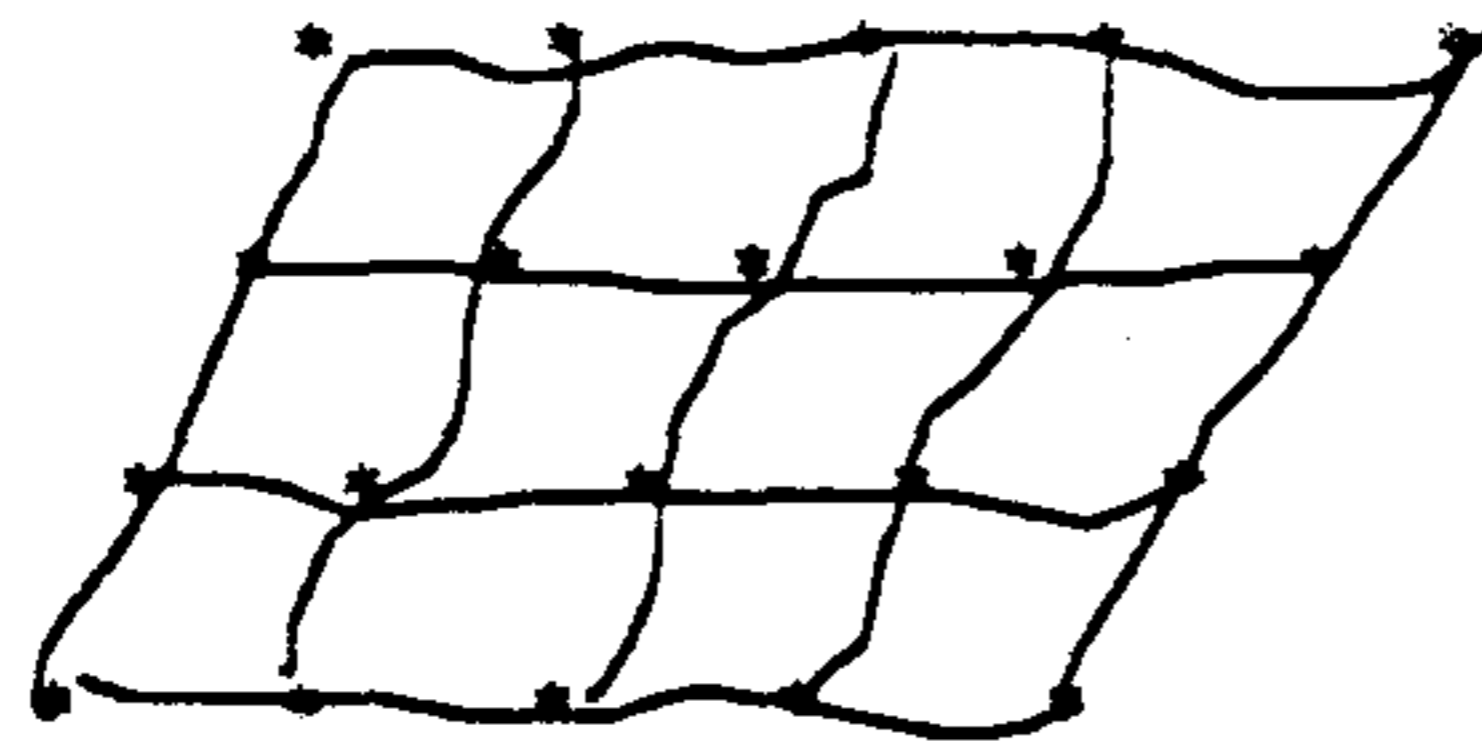
그림 13. 금형설계 전용 CAD system - DIECAD



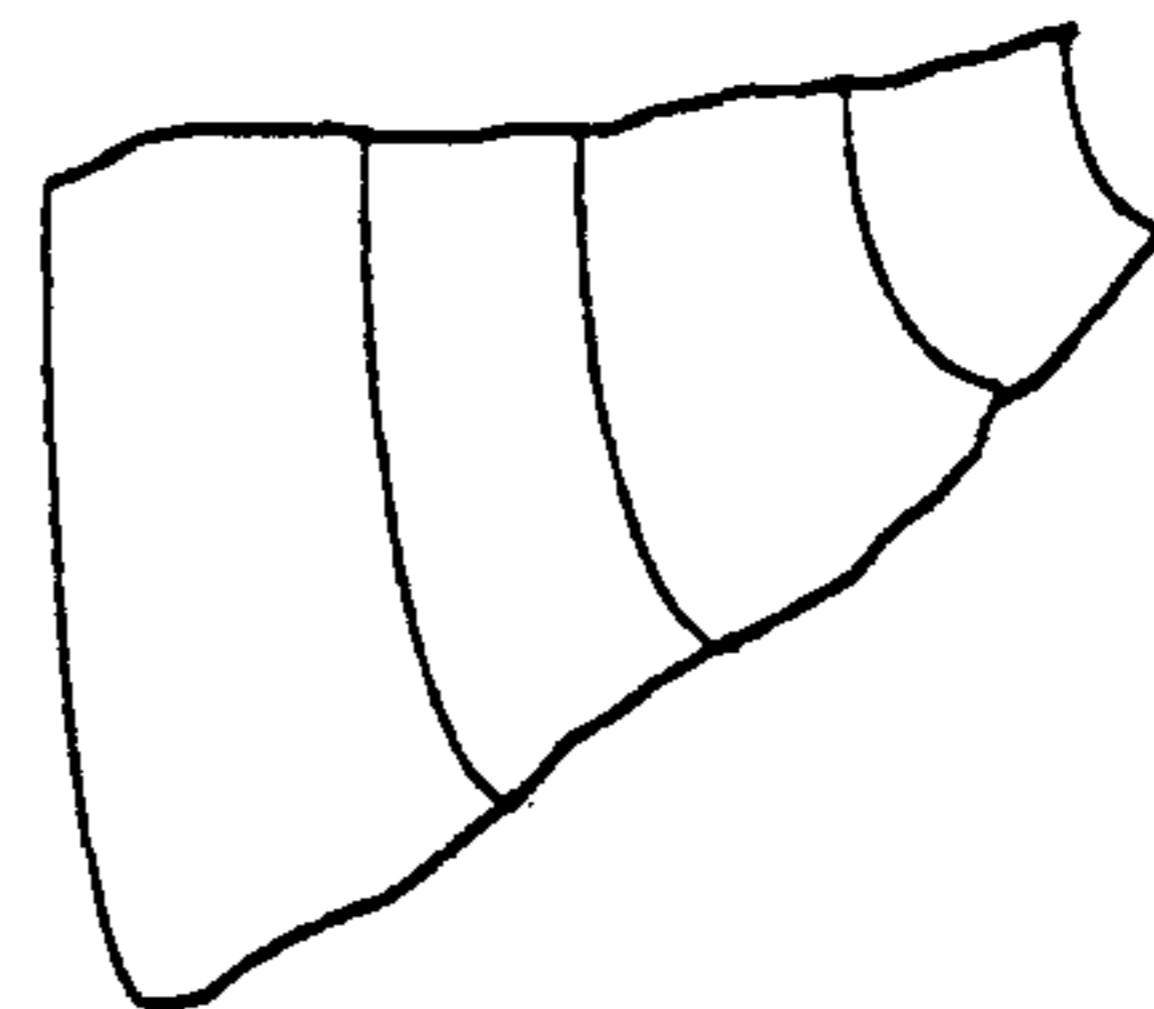
Surface of Revolution



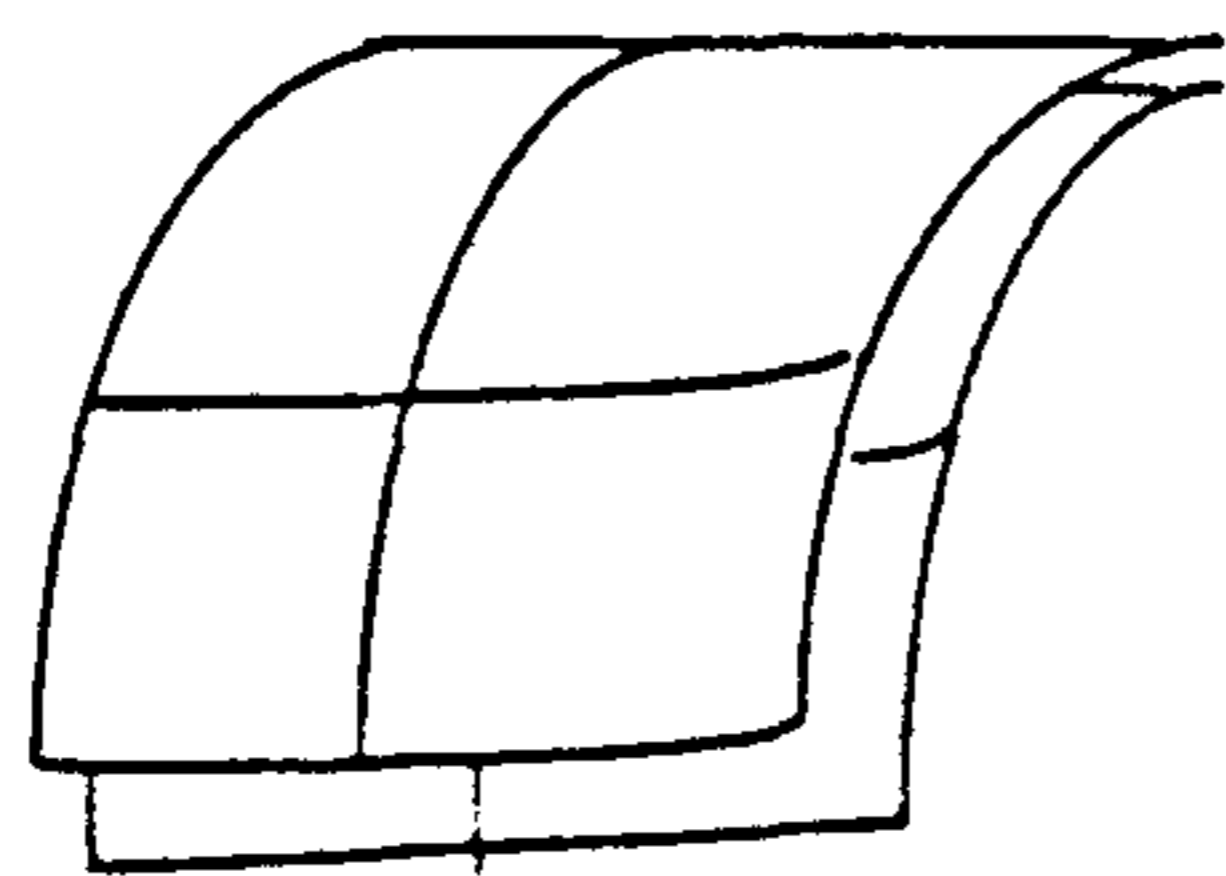
Ruled Surface



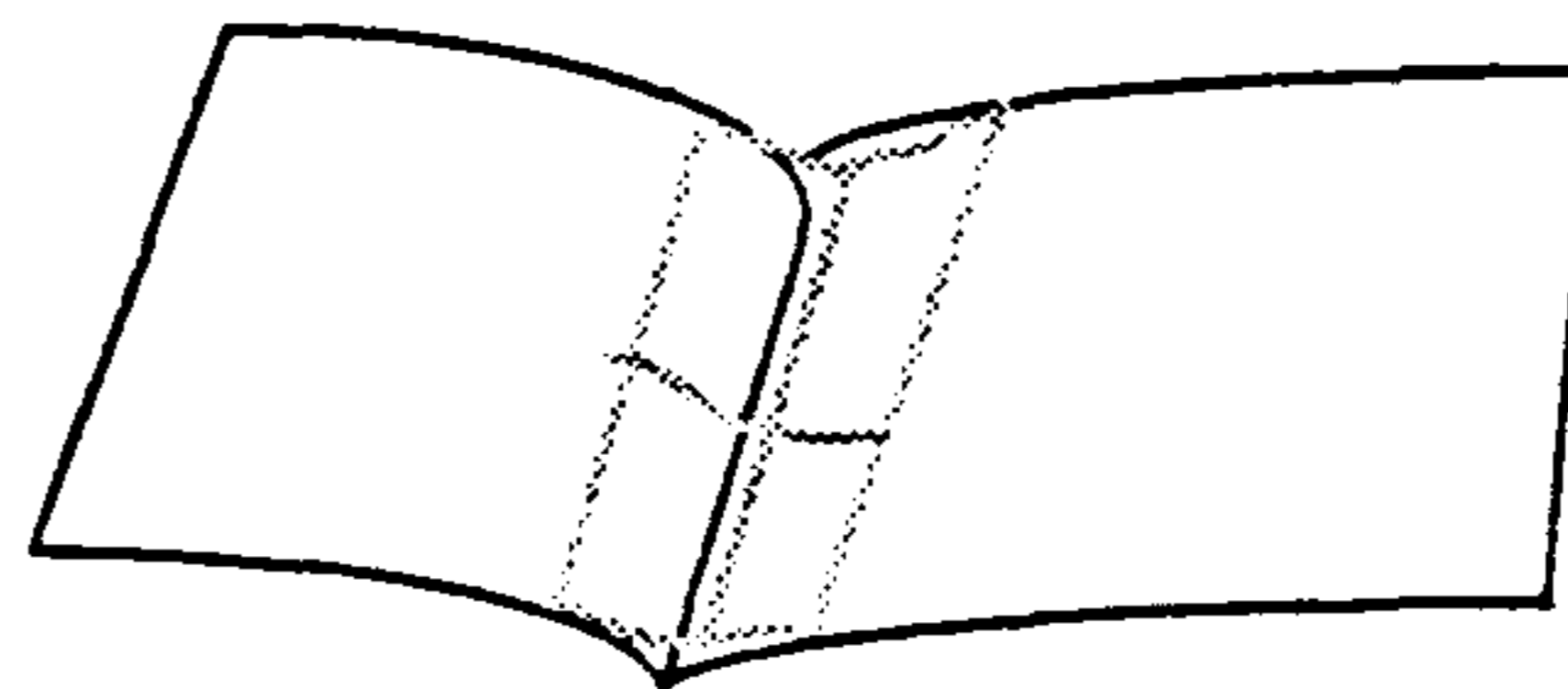
Point Grid (Tensor Product)



Curve Net (Lofted Surface)



Offset Surface



Blending Surface

그림 14. Surface Modeler의 곡면생성 방법들

2.3.2 공정설계 및 NC station

공정설계는 CIM 시스템에 있어서 설계 (Solid modeller) 와 생산통제 (Plant control) 의 연결 기능을 한다. 즉 설계 도면을 통해 부품의 기하형상과 가공정밀도 (깊이, 면조도, 형상) 에 대한 정보가 입력되면 가공이 수행되는 공장의 가공기계, 공구, 부품, 소재 정보와 납기, 가공선행도 정보를 고려하여 공정 설계정보를 출력한다. 이 정보중에서 가공기계 및 순서결정, 공구선택, 가공시간 예측은 공정 관리의 기초자료로 이용되고 최적 가공조건은 NC tape 작성의 입력자료로 이용된다. 금형 가공 공정에서의 이러한 공정설계 전산화 응용은 금형 제조공정 및 건적공수의 표준화가 어려워 실현시키기 어려운 것으로 알려져 있다.

공정설계의 전산화는 절삭가공을 주로하는 제조업체에서 과거 20년간 꾸준히 실현되어 오고 있다. 이는 표준공정설계에 의존하는 Variant type에 국한되지 않고 공정설계 원리 및 Know-how를 포함하여 임의 형상 부품에 대해서도 공정설계가 가능한 Generative type으로 발전되고 있다. 최근에는 Artificial Intelligence 언어 개발의 도움으로 Expert 시스템개발이 시도되고 있다. 이러한 Expert 시스템은 Working Memory에 부품을 나타내는 형상정보 및 가공정밀도 정보가 필요하고 Knowledge base에 공정설계 원리 및 Know-how에 기초한 의사결정 규칙이 필요하다.

본 연구에서는 사출금형 부품의 형상정보 및 가공정밀도 정보를 체계화하였다. 사출금형 구조 특성 및 Core, Cavity 형상특성

조사를 위해 국내금형가공업체를 통해 금형부품에 대한 통계, 분석을 실시하였다. 그리고 형상정보 및 가공정밀도정보는 금형의 주요 부품별로 체계화하여 Data base를 설계하였다. 이 Data base에 입력된 형상 및 가공정밀도정보는 2차년도에 개발할 공정설계의사결정 규칙의 기초자료로 이용될 것이다. 프로그램은 C언어를 사용하여 workstation 용으로 작성하였다.

그림 14는 자동공정설계 시스템의 입출력 자료 관계도를 보여주게 되며 이를 바탕으로 CAD에서 만들어진 도형정보의 가공을 위한 NC가공정보가 처리되게 된다.

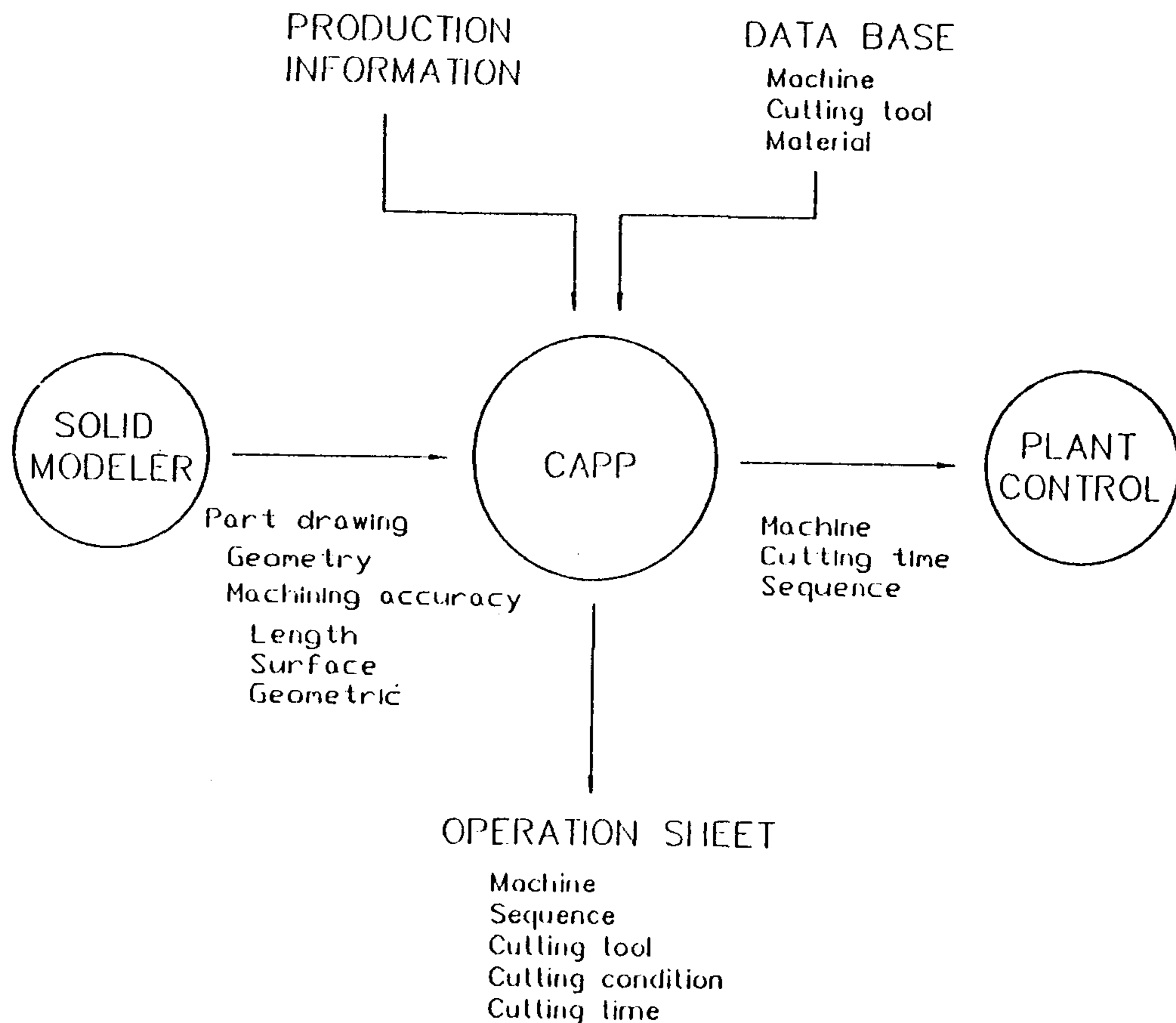


그림 14. 자동 공정설계 시스템 (CAPP)의 입·출력자료 관계도

2.3.3 플랜트 통제 station

생산의 제반 기능인 제품설계, 공정설계, 가공제작 및 생산관리 등을 정보처리의 통합화를 통하여 최적으로 조화시키고자 하는 CIM (Computer Integrated Manufacturing)의 관점에서 볼 때, 생산통제는 생산관리의 Subset으로서 MRP (Manufacturing Resource Planning)와 함께 생산정보의 흐름을 적시에 적소로 보내주고 제어하는 역할을 한다. CIM 기술에 의한 금형공장의 자동화에 있어서 실제적으로 여러개의 다양한 금형이 제조오더의 형태로 금형공장에서 처리되어야 할 때에, 각 기계의 이용률을 최대한으로 유지하고 생산성 향상 및 원가 절감을 이루기 위하여는 작업 (Order) 과 자재 (Material), 기계들이 효율적으로 관리·제어되어야 한다. 이 관리·제어기능은 그 대상, 목적, 계획의 주기 및 정밀도, time horizon 등에 따라 장기, 중기, 그리고 단기 기능으로 구분될 수 있다. 금형공장의 운용에 있어 중장기적으로 생산을 계획하고 자재 수급을 관리하는 기능들은 상품화되어 있는 MRP 시스템들이 잘 수행할 수 있는 반면에, 작업의 단기적인 분배, 제어 및 최적화 기능은 매우 취약한 형편이며, 상품화되어 있는 소프트웨어들도 미진한 실정이다. 따라서, 이를 보완할 수 있는 단기 생산통제 시스템의 개발이 시급히 요구되고 있다. 금형공장을 모델로 한 CIM의 실현을 위하여 missing link의 하나인 플랜트 통제 소프트웨어를 개발하여 금형공장 운용의 최적화를 기하고자 함이 본 연구과제의 목표이다.

그림 15는 플랜트 통제 시스템의 연차별 개발계획을 도시하고 있다.

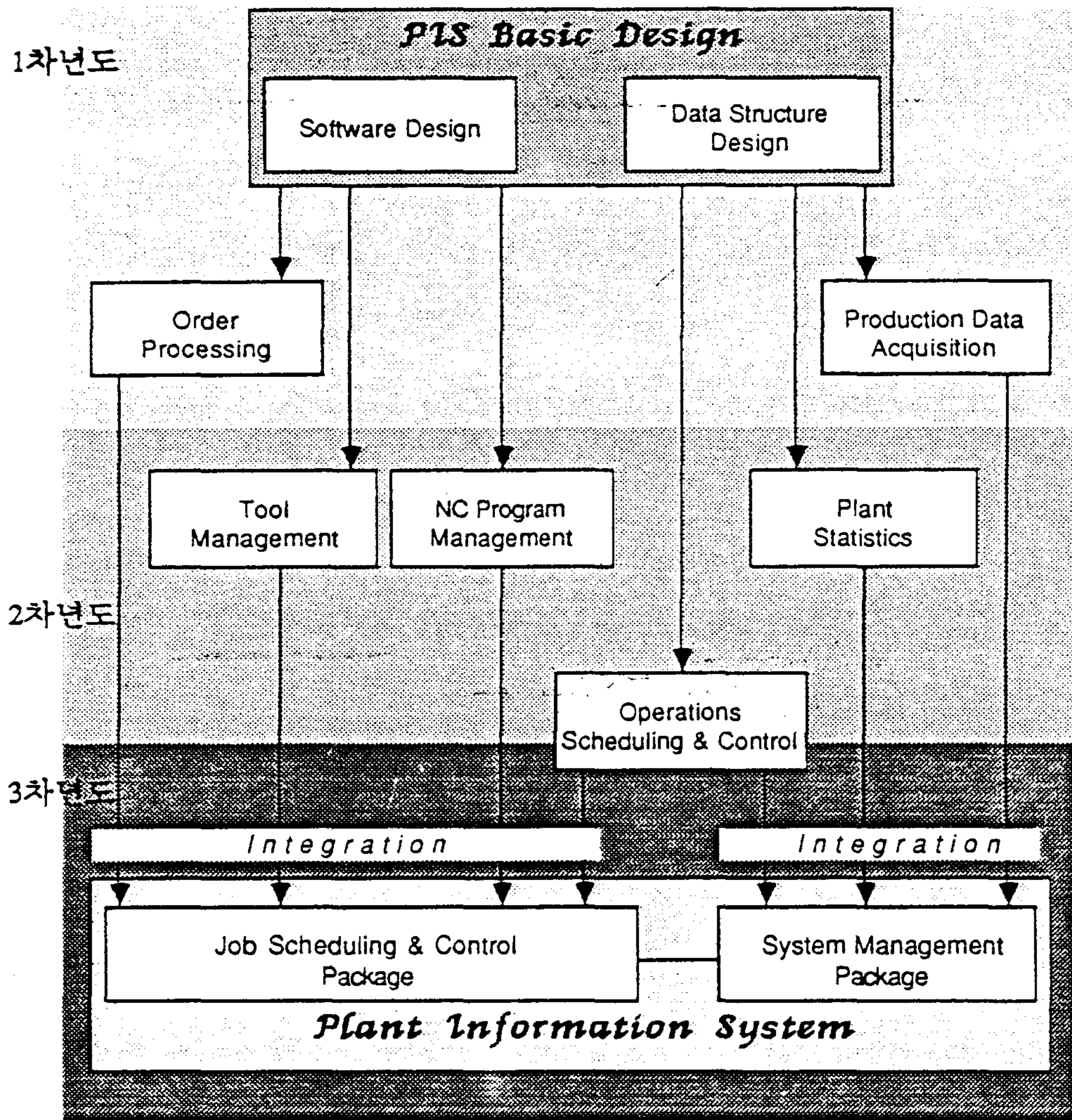


그림 15. 플랜트 통제 시스템 개발 연차별 추진 계획

2.3.4 금형의 연마·사상 station

금형생산라인은 각 단위공정의 자동화와 더불어 집적화가 꾸준히 진전되고 있다. 각 공정기술 중에서 금형마무리 공정이 자동화 및 집적화 관점에서 제일 뒤떨어진 분야이다. 그러나, 금형마무

작업은 금형제작 공정중 소요시간 및 인원비율이 제일 큰 분야중의 하나로서 생산성 향상을 위한 단위공정 자동화 및 전체라인 자동화에의 집적화가 요구된다. 금형 연마작업의 특징으로서 긴 가공시간, 반복작업, 많은 인원소요, 힘든작업환경을 들 수 있으며, 이들은 바로 로봇을 이용한 금형의 연마작업 자동화의 필요성이라 할 수 있다. 본 연구는 금형제작 LEAD TIME을 획기적으로 단축시키기 위해 로봇기술을 이용하여 고속성 및 지능성을 갖춘 전자동 금형연마 CELL 개발을 최종 목표로 하였고, 이에 필요한 Robotonic Tool, 연마작업의 고속화, 유연화 및 지능화로 추진되고 있다. 또한 금형의 마무리 작업중 Polishing 작업을 로봇을 이용하여 자동화함에 있어, 3차원 곡면형상에 대한 로봇작업 Program을 기존 CAD System으로부터 Position 및 Orientation Vector를 취득하여 오프(off-line)적인 방식으로 만드는 방식이 제시되었다.

PROP (Polishing Robot off-line Programming System)는 먼저 Micro VAX에서 금형의 형상을 CAD System으로부터 받은 후 금형의 재질과 graphic library에 내장되어 있는 공구를 interactive하게 선택한다. 공구의 dimension과 path width가 정해짐으로 가공 path를 generation하게 된다. Micro VAX에서 만들어진 path와 정보들은 personal computer인 PS/2로 넘어온다. PS/2는 내장되어 있는 relational data base와 presentation manager를 이용하여 표면의 roughness, 가압력과 같은 parameter를 결정한다. 위의 input

을 이용하여 인공지능기술(AI)을 이용한 expert system을 사용하여 공구의 r.p.m, 구동속도 등의 robot polishing parameter를 계산해 낸다. 이러한 polishing parameter를 이용하여 robot 구동 program을 완성하고, Calibration Process를 통하여 Kinematical parameter를 정확하게 identify 한다 (그림 16). 설계정보를 토대로 만들어진 사상로봇을 구동하는 정보는 그림 17,18 에서와 같이 workstation 상에서 simulate 될 수 있으며, 실제의 작업은 그림 19 와 같은 Robot 금형사상 cell에서 그림 20,21 과 같은 Robotonomic Tool들을 사용하여 이루어지게 된다.

2.3.5 측정검사 station

사출금형의 생산자동화에서 측정은 대상에 따라 모델측정, 가공된 금형측정, 사출후 시제품측정의 3 과정에 걸쳐서 수행된다.

모델측정은 그 형상측정치를 CNC 공작기계의 CL Data로 계산변환하여 자동절삭가공을 하기위한 것이 대부분이다. 모델은 주로 나무, 점토, 왁스, 석고 등 변형이 쉬운 재료로 만들어 진다. 모델의 형상측정은 모방공작기계의 모델 또는 Template의 탐촉과 유사한 기능이다. 탐촉 Stylus 구슬의 직경과 공작기계공구 Tip의 직경이 동일한 경우에는 CNC 가공 좌표값을 직접 이용할 수 있으나, 서로 직경차이가 있는 경우 계산처리가 필요하다. 정밀하고 복잡한 모델의 형상데이터 측정에는 기존의 접촉식 탐촉자가 사용되기 곤란하다. 광학식 삼각법 Laser Beam Probe, Mesh 영상을 비

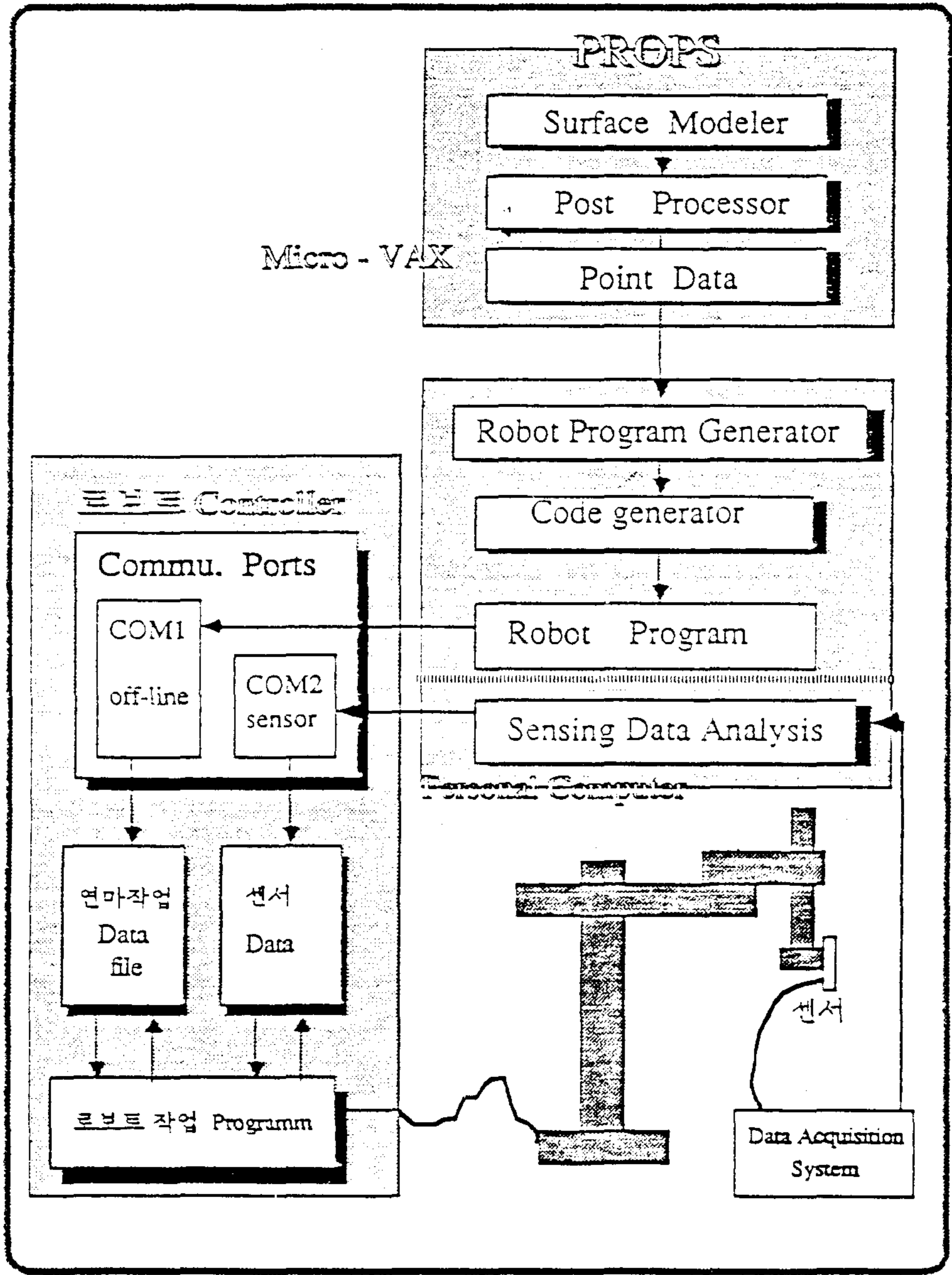


그림 16. 연마 cell을 위한 off-line programming system의 구조

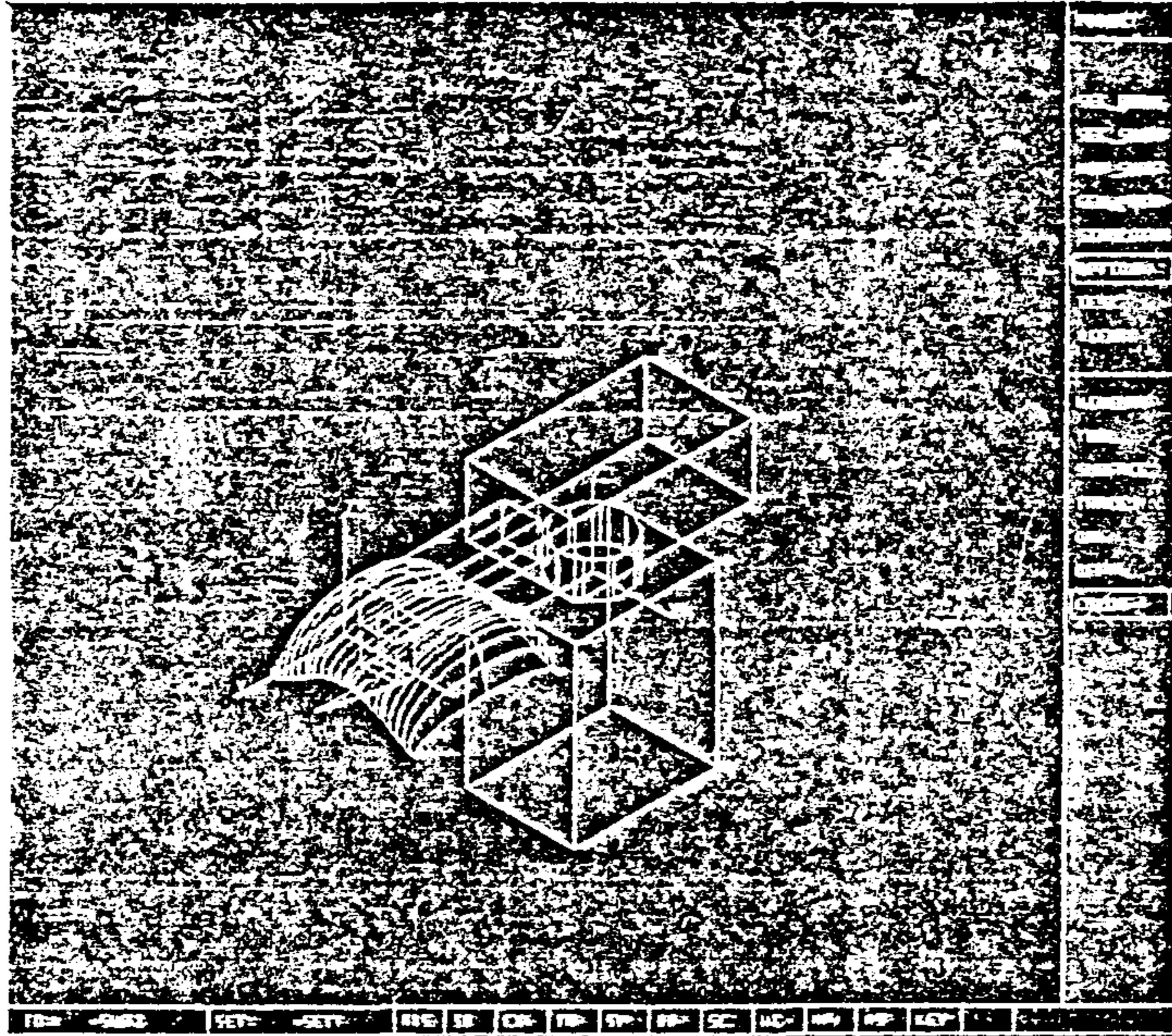


그림 17. GEN PATH 에 의한 path generation

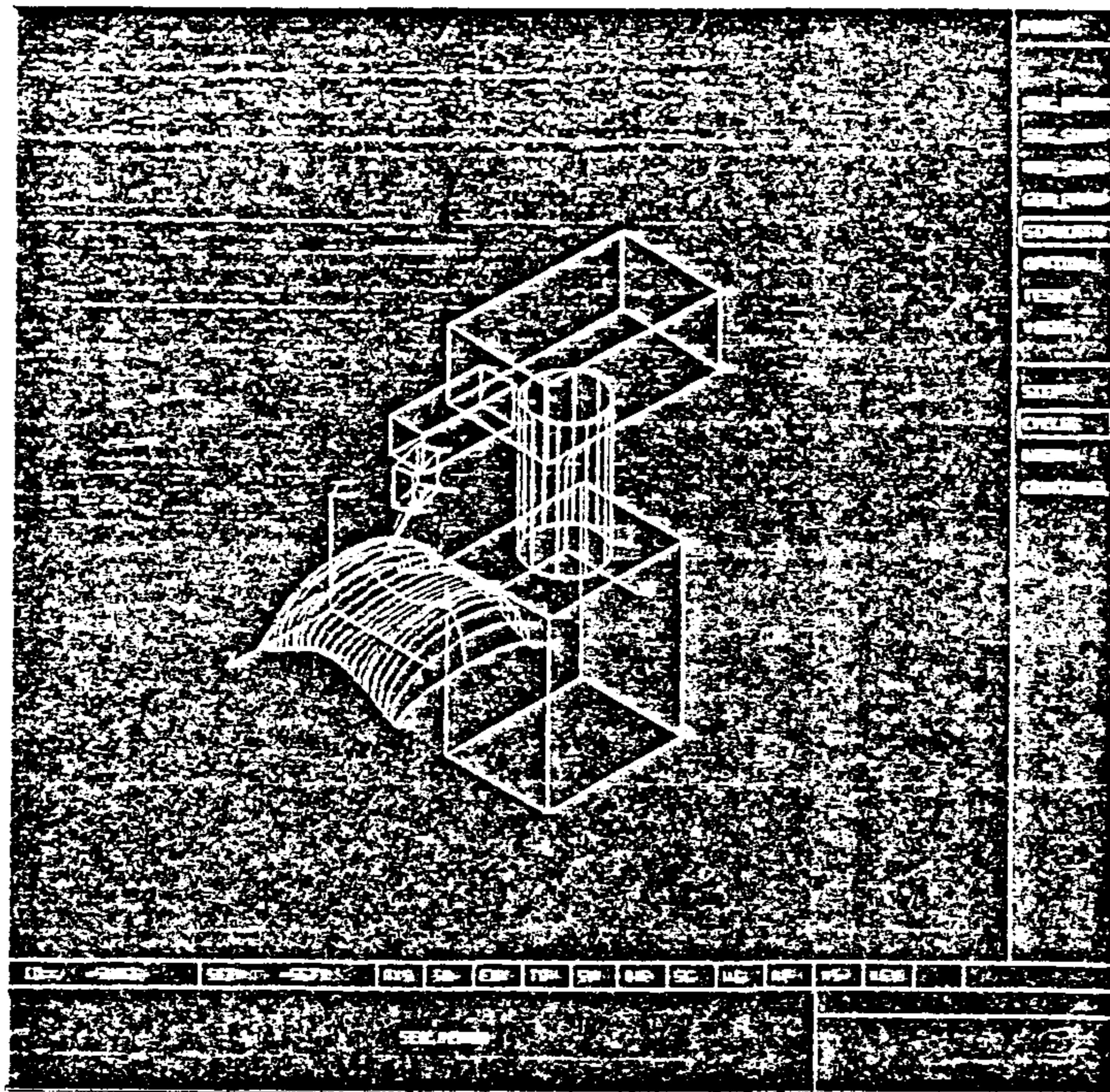


그림 18. SIMULATION 의 Cycle 과정

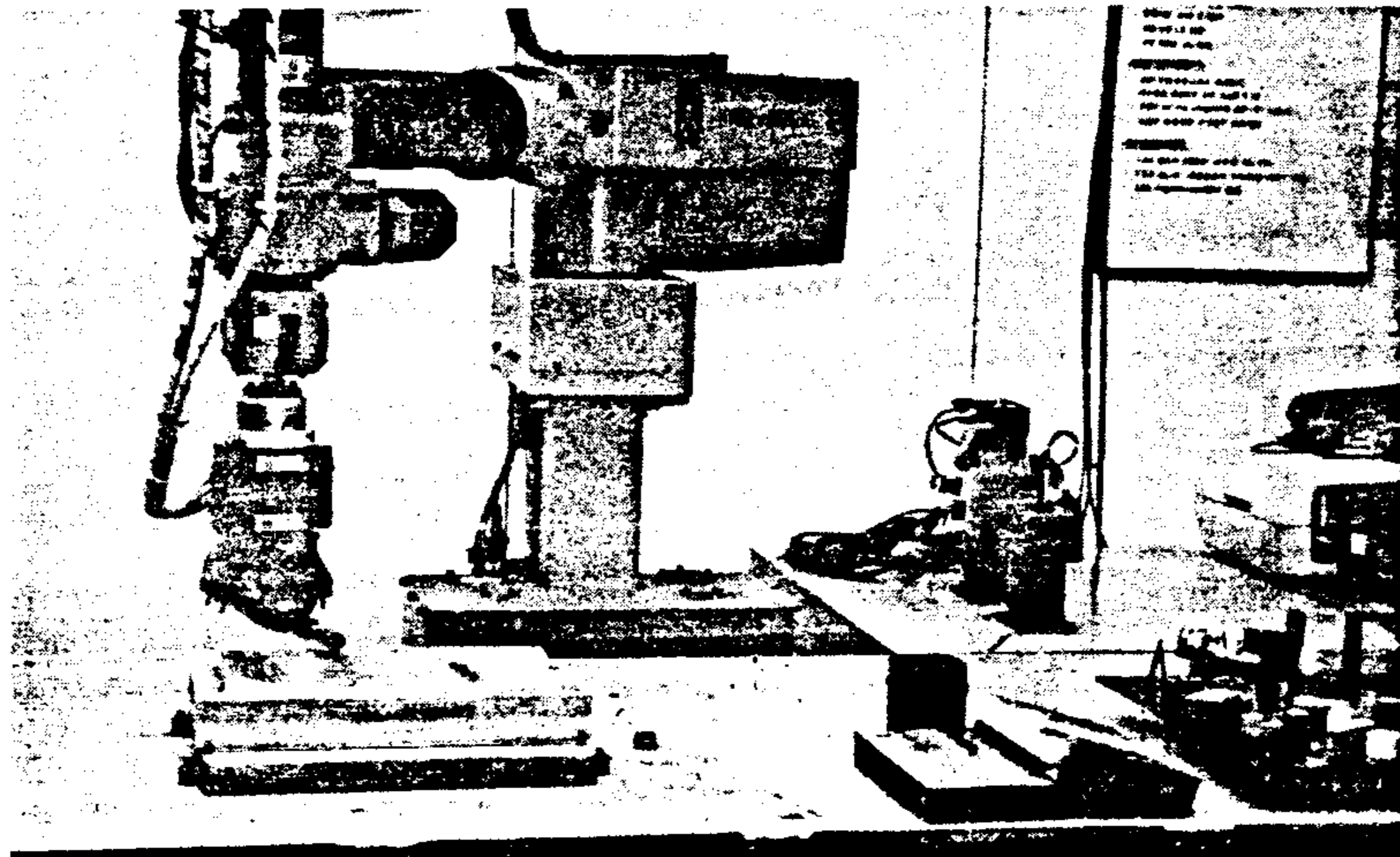


그림 19. 로봇사상 Cell Layout

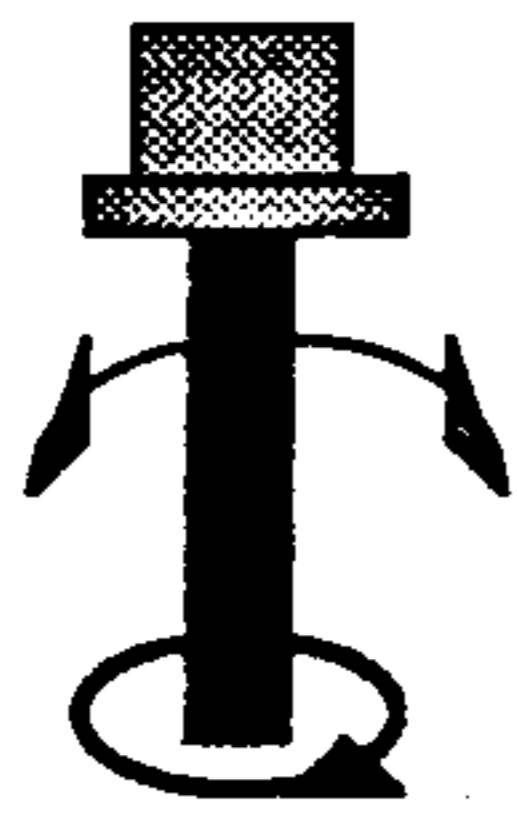
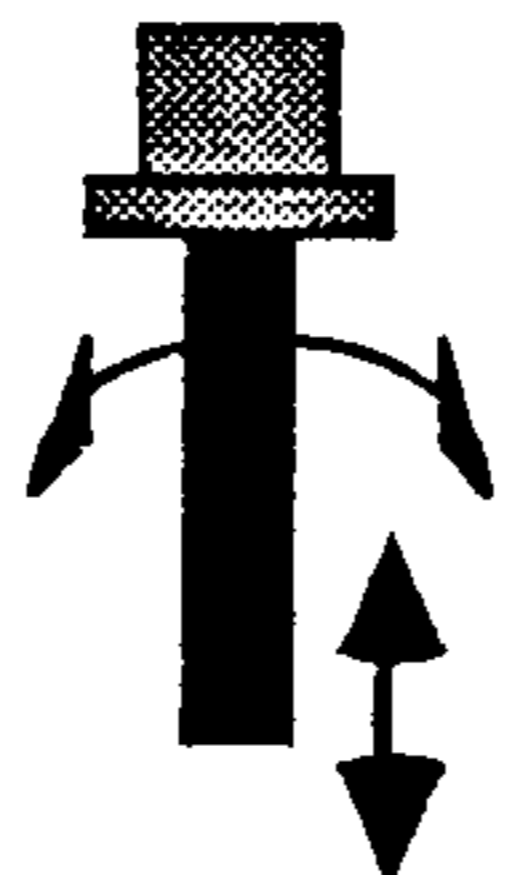

No. 항목	A	B	C
축/운동 방향	로봇 플랜지 	로봇 플랜지 	로봇 플랜지 
구동	공압 회전(6 - 8 bar)	공압 왕복(6 - 8 bar)	전동 회전(0-300Hz)
형상 인식 방식	공압COMPLIANCE방식 자력흡인 방식 스프링COMPLIANCE 방식	공압COMPLIANCE방식 스프링COMPLIANCE 방식	공압COMPLIANCE방식 스프링COMPLIANCE 방식 F/T센서제어방식
공정 제어 방식	동일압력 가압방식 압력변환 제어방식	동일압력 가압방식 압력변환 제어방식	동일압력 가압방식 가공출력 제어방식 CONTOUR제어방식

그림 20. 개발된 Robotonomic Tool의 사양

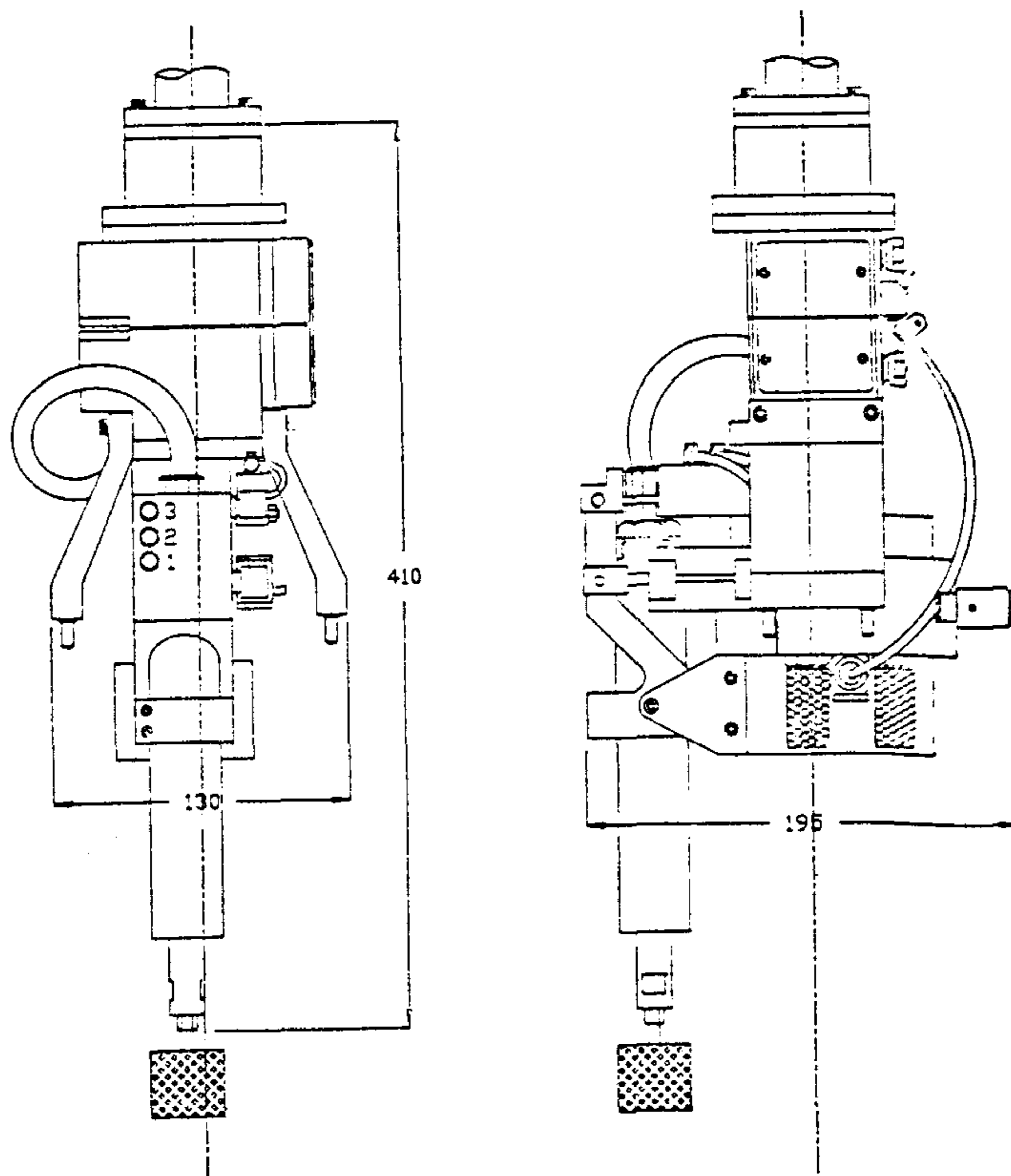
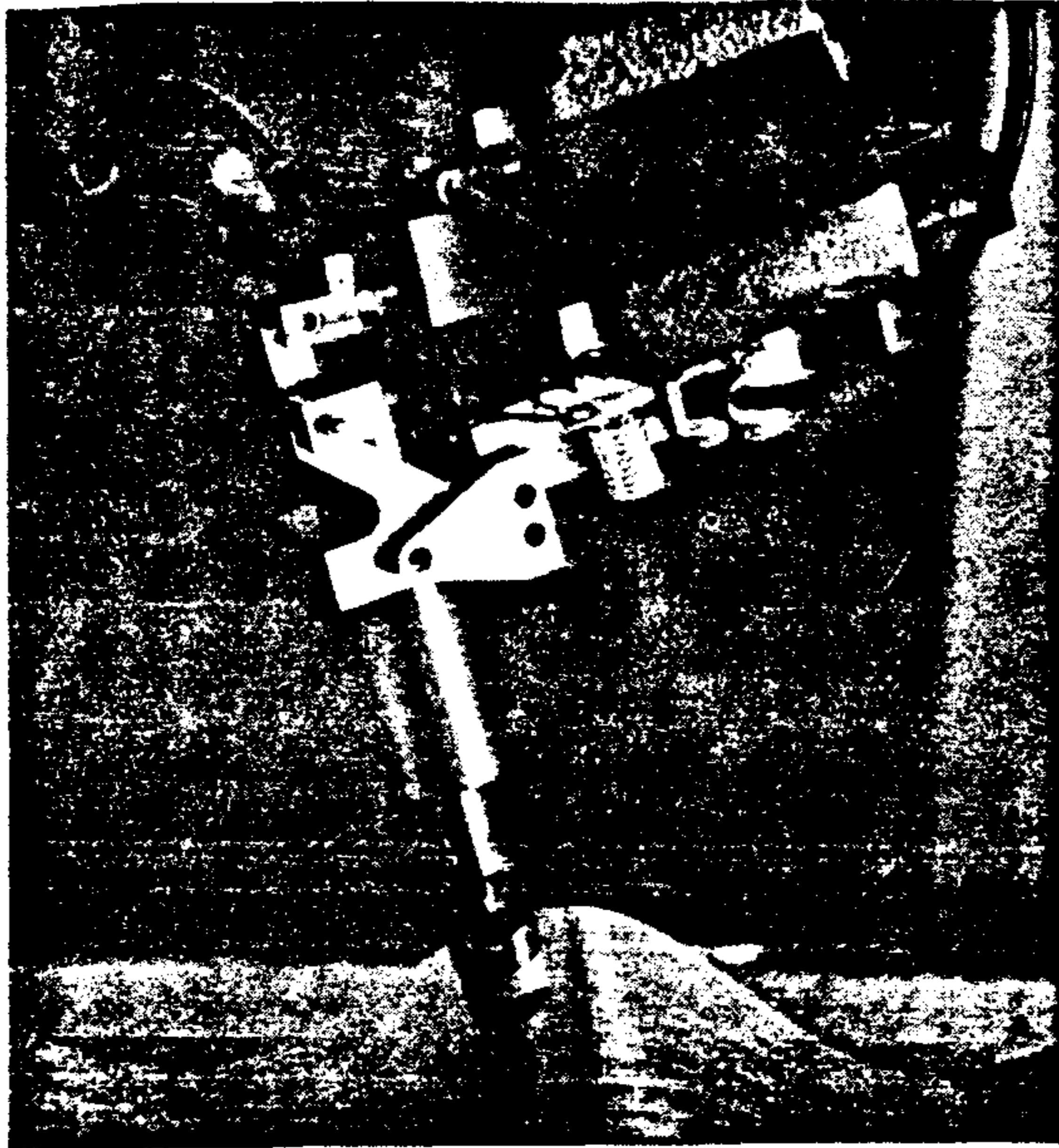


그림 21. A형 Robotomic Tool의 외형구조

추어 Vision System으로 형상측정하는 법 등도 개발되어 있다. 정밀한 곡면을 얻기 위해서는 곡선 및 곡면의 정형이 요구되기도 한다.

본 모델 플랜트의 측정검사 station은 직선구동 및 고속구동이 용이하고 구조가 매우 간단한 공압 servo 시스템을 CNC 제어 3차원 직교좌표형 정밀측정장치의 구동시스템으로 개발 구성하였고, 곡면형상 data로부터 측정기 구동정보를 off-line programming하여 비접촉식 광학센서를 이용한 표면측정치를 구하고 이를 평가하는 software를 개발하였다. 그림 22는 공압정보를 이용한 고속측정시스템의 구성도를 보여주며, 그림 23,24는 측정경로의 생성과 simulation 결과를 나타낸다. 그림 25는 고속측정기의 구조를 보여준다.

2.4 모델플랜트 구성

그림 24에서의 중단위 통합 Station은 Computer H/W, S/W를 중심으로 CAD Model plant, Machining Center, CMM, Robot를 중심으로 하는 CAM Model Plant의 두개로 구성이 되었다 (그림 26).

CAD Model Plant의 구성은 그림 27과 같으며, 전반적으로 Solid Modeling base 연구는 UNIX workstation인 IRIS (CYBER 910B-447), CAE analysis 및 설계평가시스템 개발은 DEC VAX station 3100/M30, Advanced Surface Modeler 및 측정, 사상을 위한 Off-line programming system 개발은 Micro

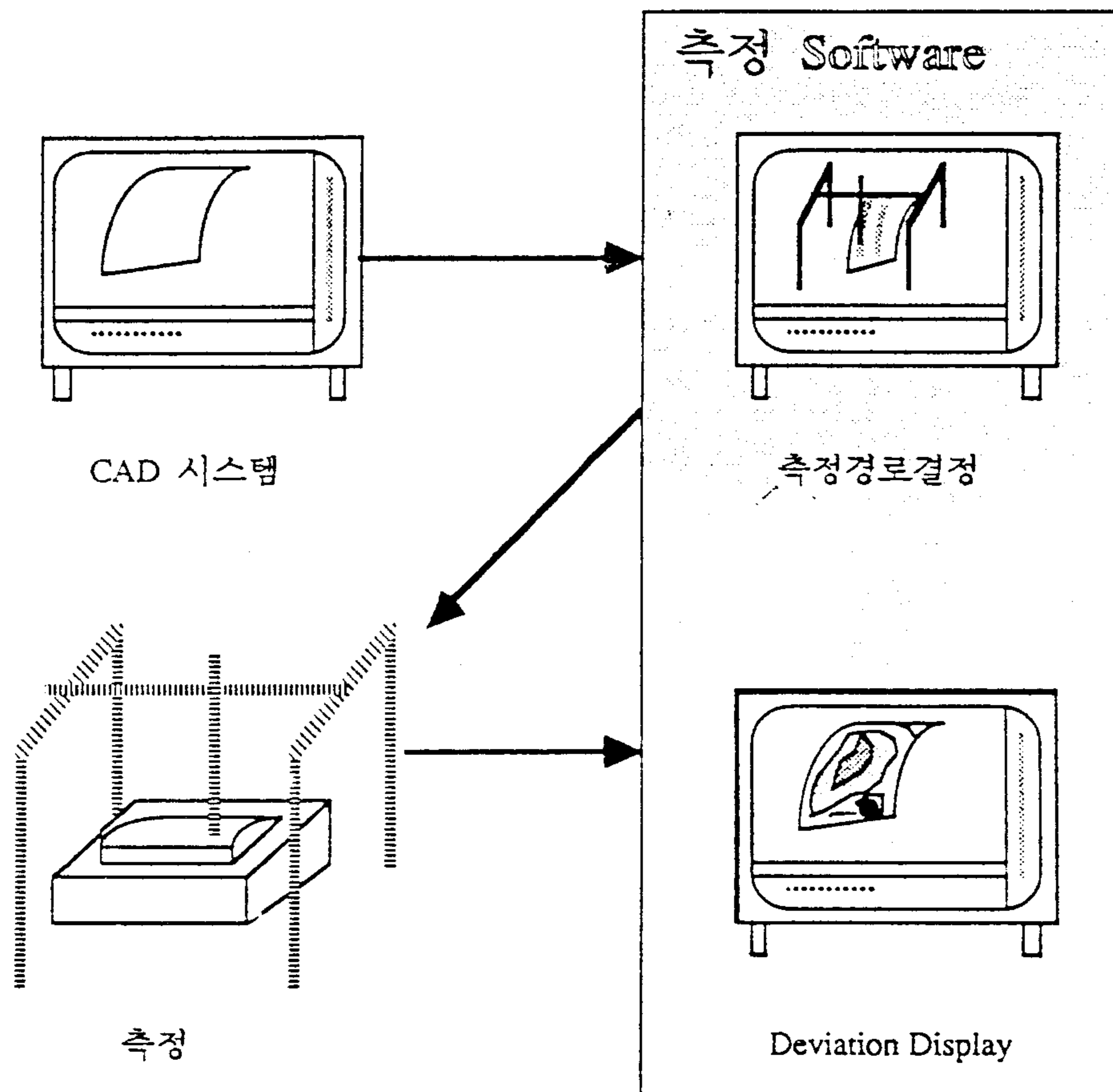


그림 22. 공압서보를 이용한 고속측정기를 위한 측정프로그램의 구성

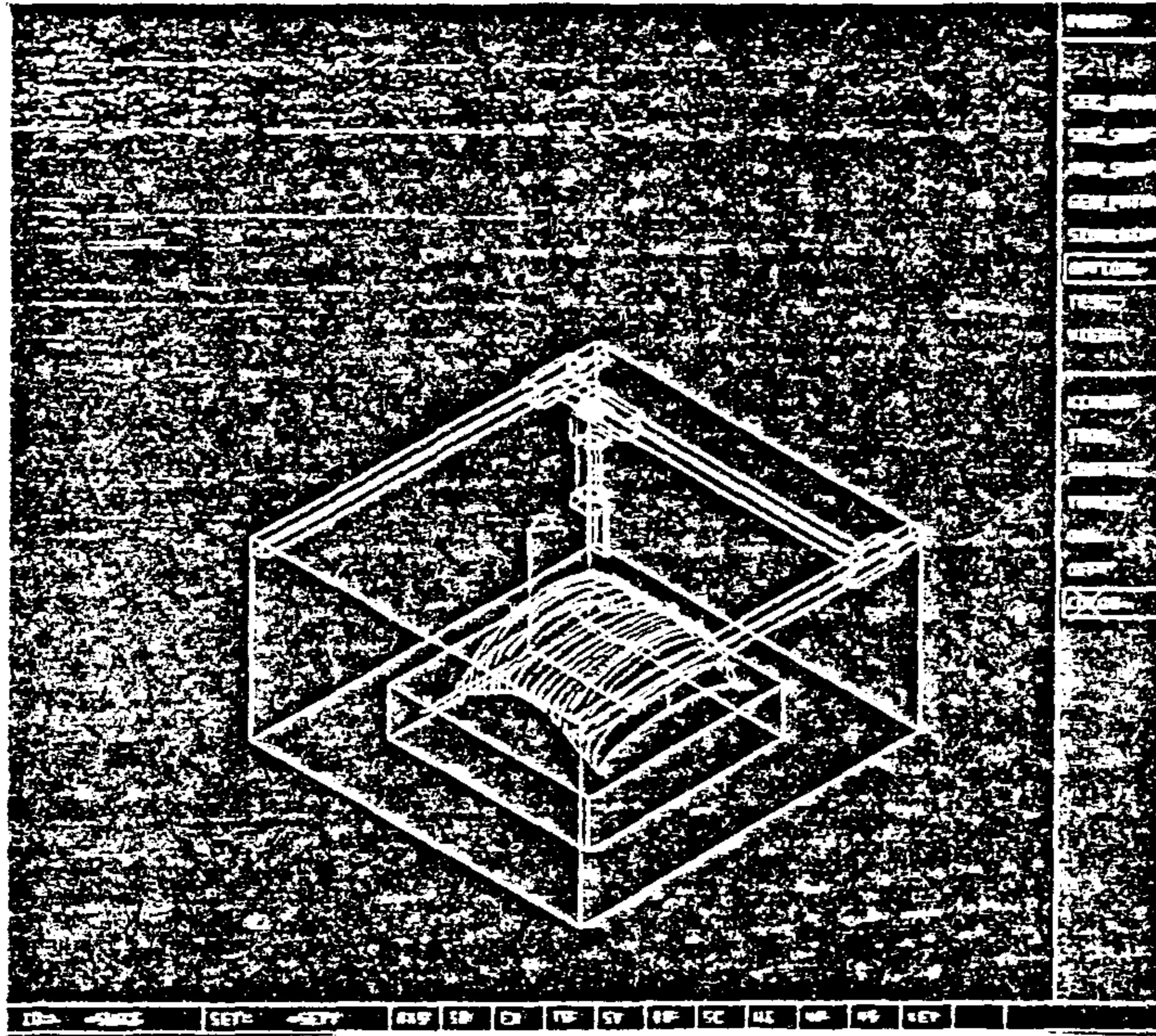


그림 23. GEN PATH에 의한 초기형상

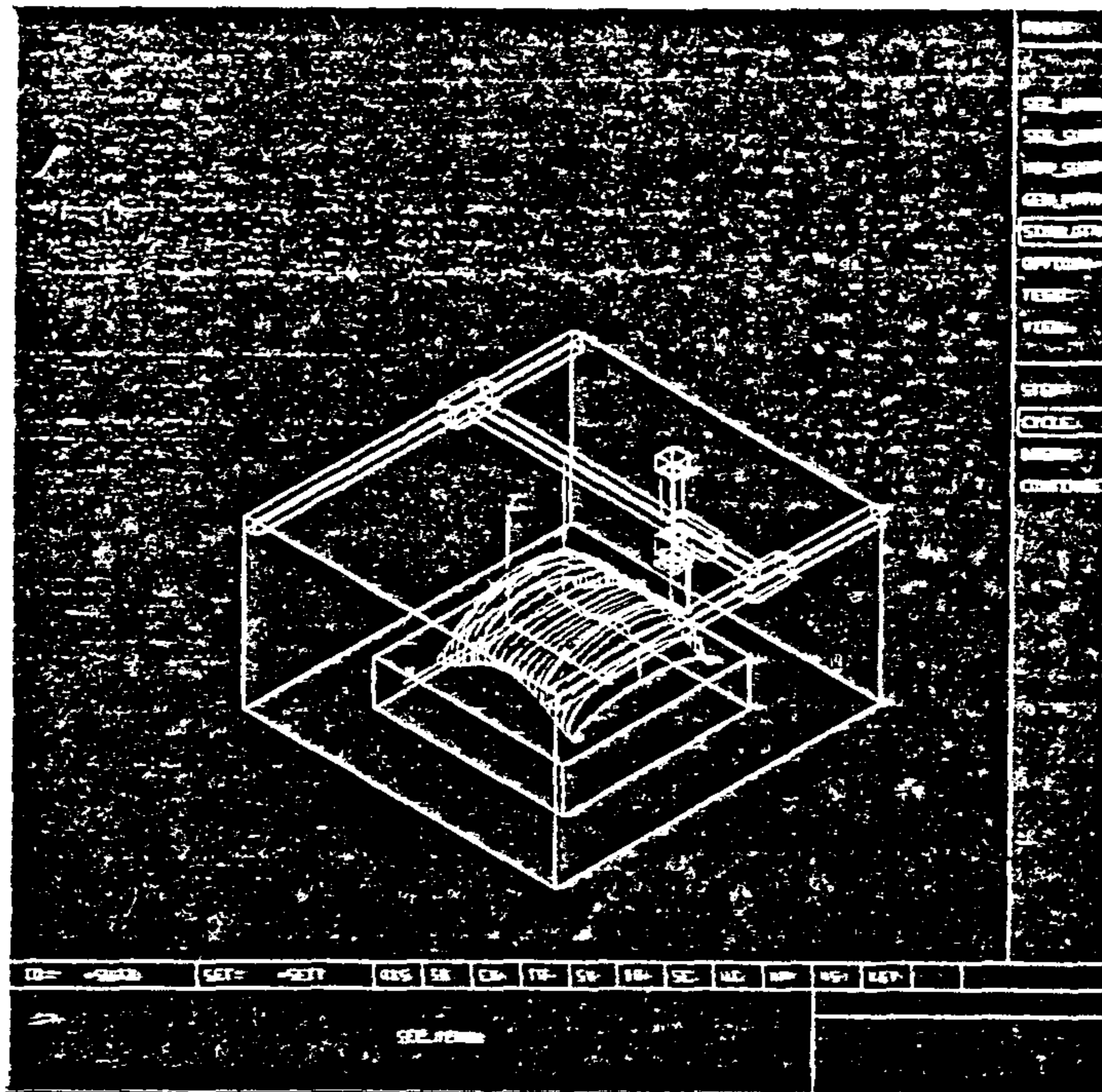


그림 24. SIMULATION

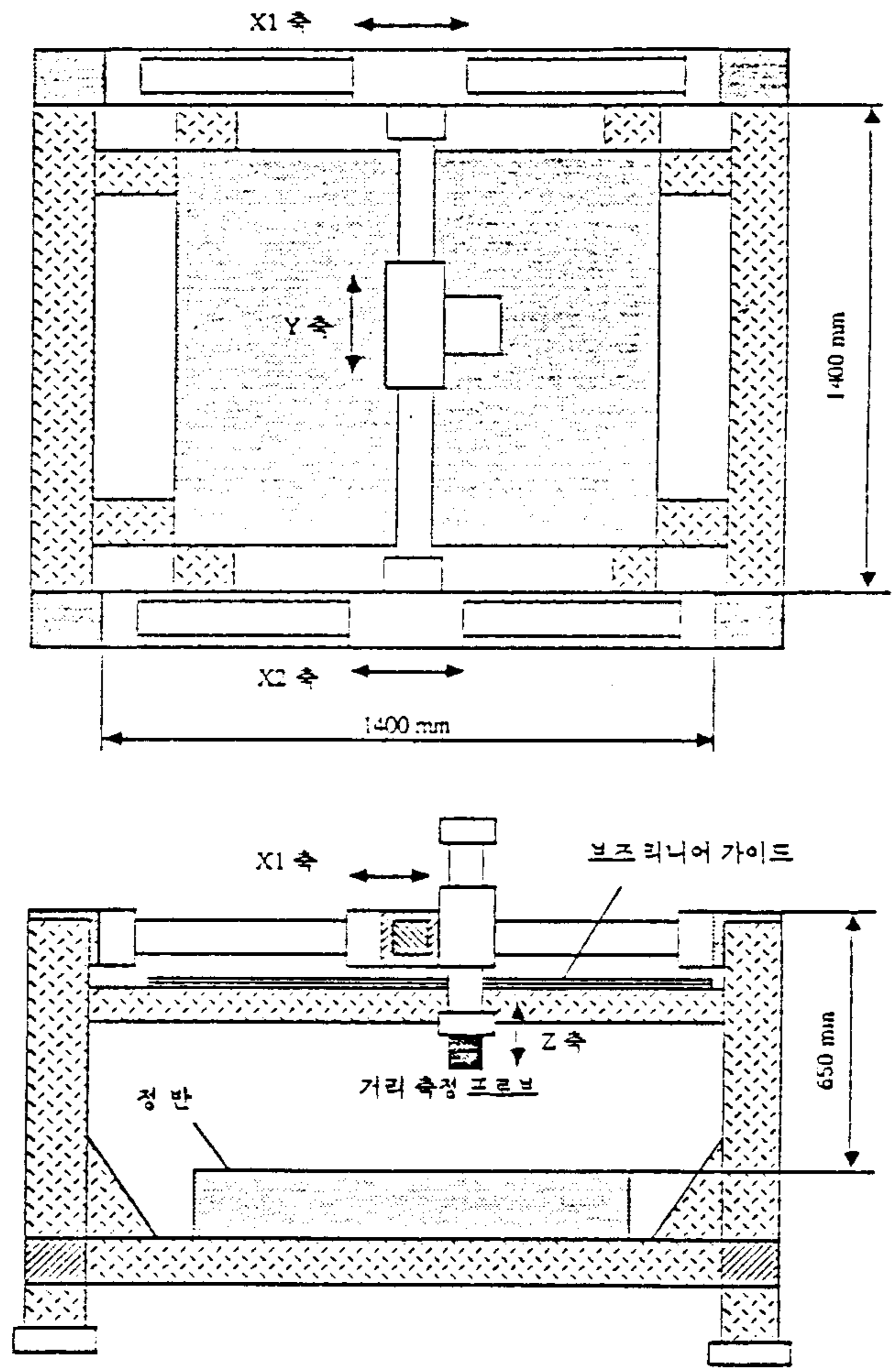


그림 25. Gantry 형식의 3 차원 직교좌표형
측정기의 구조

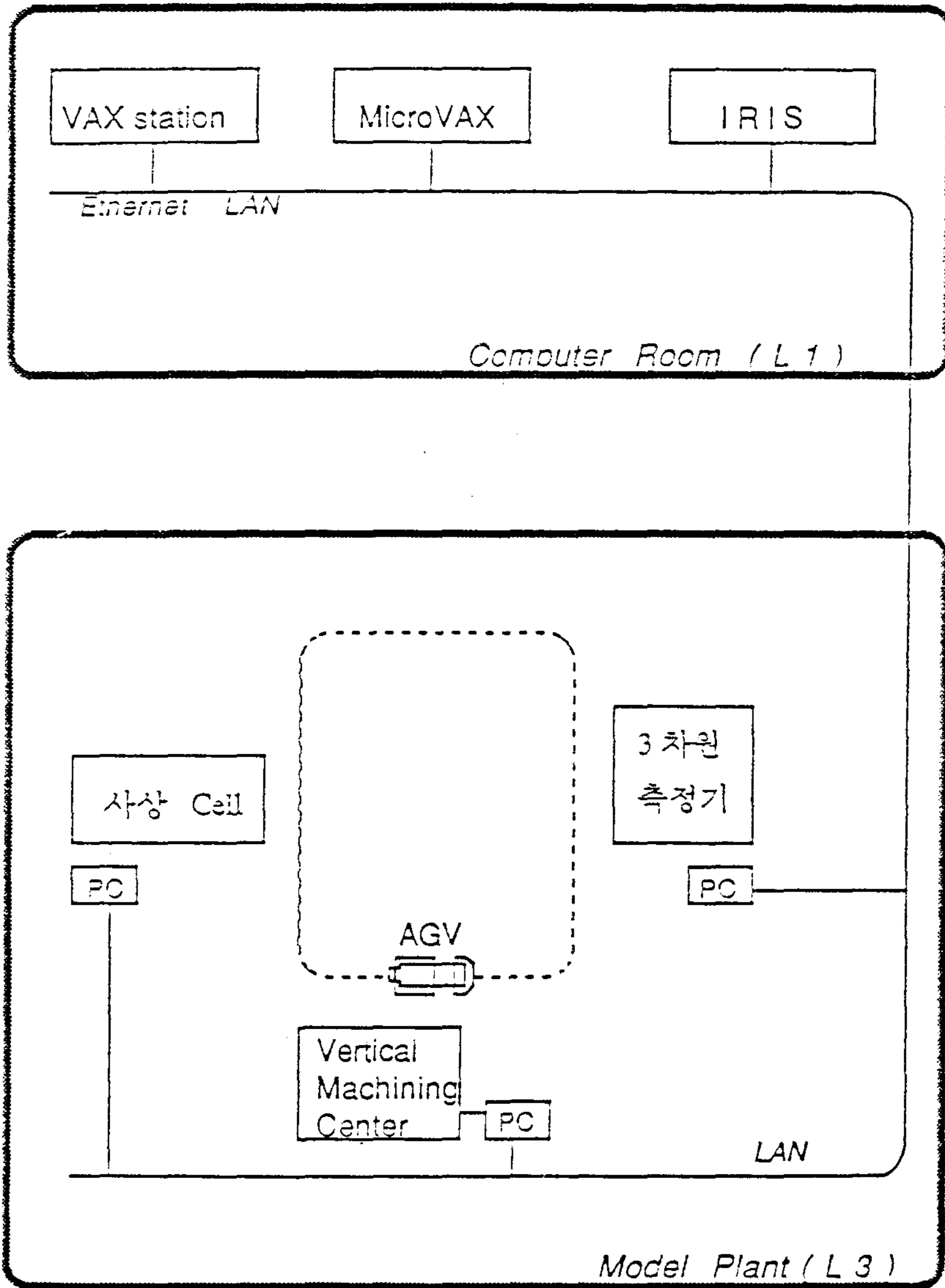
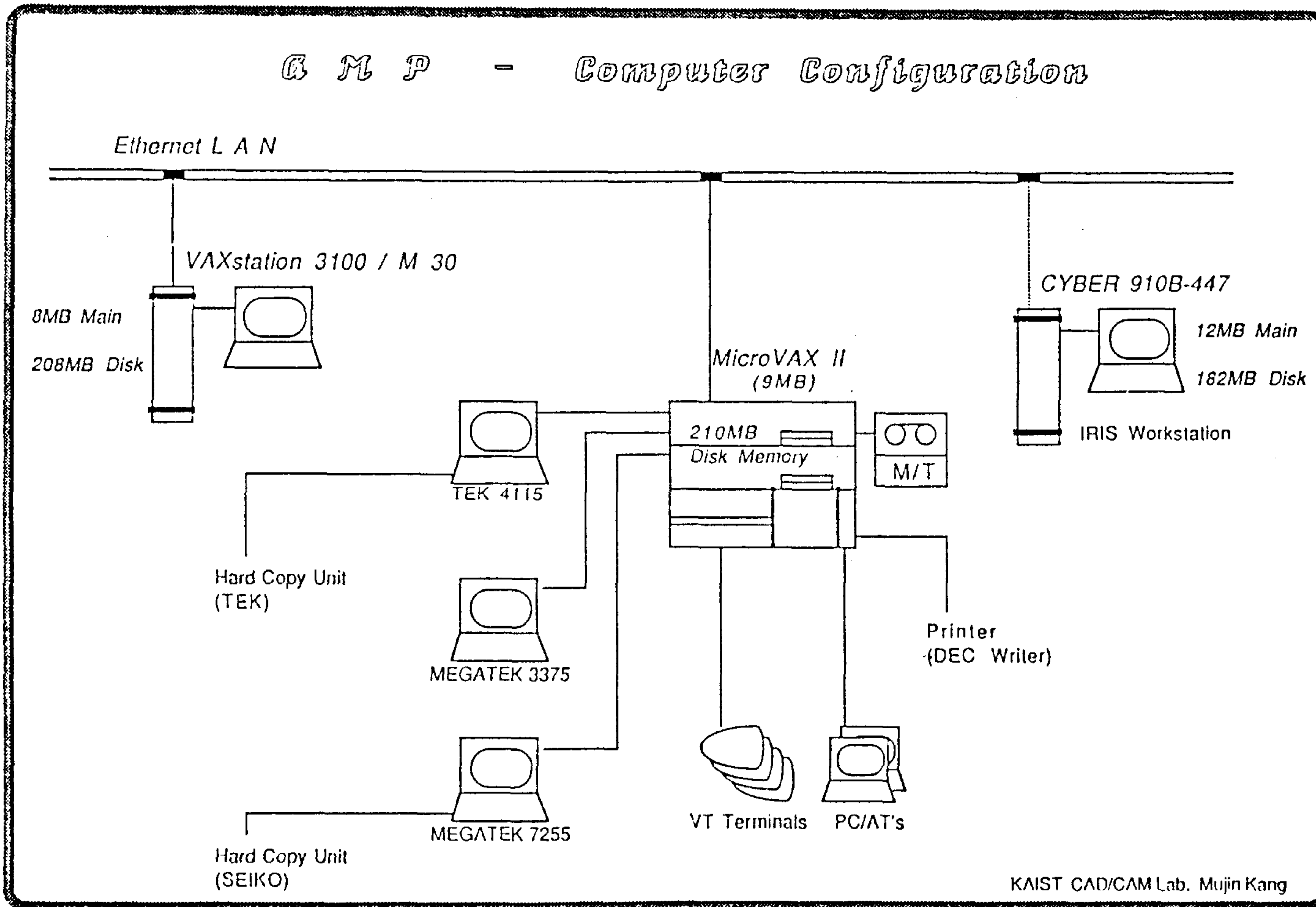


그림 26. KIST 사출금형 생산 Model Plant

C M P - Computer Configuration



57

그림 27. KIST CAD Model Plant

VAX II BA 123 을 근간으로 하는 Megatek Station 으로 하도록 Resource 분배가 되어있으나, H/W 납기지연등의 사유로 인하여 현재는 Micro VAX에 집중되어 있는 상황이다. Software의 분산 개발의 의도는 Hardware availability 등의 문제로 인한 점등도 있으나, speed 와 효율적 programming, 이기종간의 Interface 해결등을 위하여 그 Configuration이 고안되었다.

KIST CAM Model Plant는 그림 26에서와 같이 NC 가공 station, Robotic 사상 Station, High-speed 3차원 측정 station의 3개 station으로 구성되며, LAN을 통하여 NC code로 변환되거나, 사상로봇 구동정보 또는 측정기 구동정보로 변환된 도형정보를 받게된다.

향후 중단위 통합 Station들을 연결하는 Networking 방식은 ETRI에서 개발중인 중소형 공장용 Bit map bus를 이용할 계획으로 있다.

2.5 위탁용역 연구과제들의 도출 및 수행

“ CIM 기술에 의한 금형공장 자동화 ”의 세부과제에 포함이 안되었으나 전체적인 통합시스템 구성을 위하여 필요한 연구과제들을 specify하여 외부의 전문 연구팀에 위탁 의뢰하였다.

1. 사출성형시 Cavity 내에서의 유동해석 S/W 개발

- 서울대학교 공과대학

2. 사출금형설계를 위한 Solid Modeling System

- 서울대학교 공과대학

3. 밀링작업을 위한 공구관리시스템 개발

- 인하대학교 공과대학

4. 사출금형 가공 자동화를 위한 공정설계용 의사결정 규칙 개발

- 부산대학교 공과대학

위탁연구 과제들의 연구 결과는 5개 Integrated Station의 component들로서 포함되게 된다. 각 과제들의 연구결과는 본 보고서의 부록으로서 수록되어 있다.

3. 향후 연구 계획

그림 5와 6에서 도시된 대로 2차년도에서의 Model Plant는 표 1에서와 같은 Island별 연구결과의 Interface 기술과 Product Maturization을 바탕으로 중단위 Station들의 통합과 그 Level에서의 실용화를 금형의 생산을 통하여 test 하고 완료하고자 하며, 이에 필요한 Hardware/Software의 구성과 연구위탁 support를 계속할 예정이다. 나아가 중단위 Island들의 연결에 필요한 핵심기술들의 개발을 집중적으로 할 수 있는 special task force를 구성하여 3차년도의 총체적 통합 시스템 구성을 이루도록 할 예정이다.

표 1. 2차년도에 Model Plant에서 Integrate될 세부과제별 HW/SW

분 야	자 체 개 발	사 용 기 자 재	
		H/W	S/W
Modeling	KAIST-Modeler	Micro VAX	PADL
Analysis/ Evaluation	Expert System	Micro VAX VAX station	EXSYS C-FLOW
Mold Design	Solid-based DIECAD	IRIS (Micro VAX)	Parametric Modeler, PADL
Process Planning	Process Planner	Micro VAX	Rdb ADMS/Tool Master
Machining	SURF/NC (3차원 곡면의 NC Module)	TNV-40 Micro VAX	
Polishing	금형사상 Cell Offline 사상 프로그램	FANUC A-1 PC/AT Micro VAX	
Inspection	3차원 고속 측정기 측정 및 평가 프로그램	공압 Servo 모듈 Micro VAX	
Plant Control	PIS (Plant Information System)	Micro VAX VAX station	Rdb

부 록

1. 사출성형 금형 내에서 유동해석을 위한 S/W 개발
2. 플라스틱 사출금형설계를 위한 CAD 시스템 개발
3. 밀링작업을 위한 공구관리에 관한 연구

여 백

부 록 1

사출성형 금형내에서 유동해석을 위한 software 개발

1988. 9 - 1989. 7

연구 기관 : 서울대학교 공과대학 생산기술 연구소

연구책임자 : 신 호 철

연구 원 : 구 본 흥

여 백

목 차

제 1 절 서론

1.1 연구 목적

1.2 현재까지의 연구 방향 및 연구 성과

1.2.1 두께 방향으로의 유동 해석

1.2.2 평면 방향으로의 유동 해석

1.3 연구 내용

제 2 절 평면 방향으로의 유동 해석

2.1 지배방정식

2.2 지배방정식의 유한요소화

제 3 절

3.1 Lay Flat Process

3.2 유동 해석

3.3 실험 및 검토

3.4 결론

제 4 절 FAN 에 의한 평면 유동 해석

4.1 서론

4.2 FAN 방법

4.3 지배방정식의 유한요소화

4.4 선단의 진전

4.5 유동해석

4.5.1 포인트 게이트를 갖는 원형 cavity

4.5.2 두께가 변하면서 인서트가 있는 cavity

4.6 계산 시간의 비교

4.7 결론

제 5 절 향후 연구 방향

참고 문헌

제 1 절 서 론

1.1 연구 목적 및 내용

최근 수지(Polymer) 사용량의 급격한 증가와 함께 성형품의 생산 공정이 매우 중요하게 취급되고 있으며 특히 단일 공정만으로 높은 정밀도의 제품을 얻을 수 있고 생산 속도가 빠른 사출 성형 공정 연구가 활발하게 연구되어 왔다.

금속에 비하여 무게는 가벼우나 강도가 매우 높은 고분자 재료의 개발로 인하여 일반 전기 제품은 물론 자동차 및 항공기의 부품 생산에 이르기까지 수지 제품의 사용 범위가 넓어졌다. 따라서 사출 성형 공정 연구의 중요성은 더욱 가속화되고 있다.

과거에는 대부분 사출 성형에서의 과학적이고 체계적인 이해의 부족으로 인해 생산 공정에서 얻어진 경험과 시행착오적인 방법에 주로 의존해 왔으며 따라서 다양한 고분자 재료의 성질, 금형의 복잡한 형상 및 성형 조건등의 변화에 대처하는데 상당한 어려움을 겪지 않을 수 없었다. 특히 오늘날 급증하고 있는 고도의 정밀도 및 기계적인 강도에 대한 요구를 충족시키고 원가 절감을 통한 생산성을 향상시키기 위해서는 각종 설계 조건에 따라서 성형 공정중 수반되는 복잡한 제 현상을 예측하고 해석할 수 있는 정확한 수학적 모델링 및 그 해석 기법이 필요하게 되었다. 결국 그러한 모델을 통해서 재질 및 성형 조건과 성형품의 기계적인 성능 사이의 복잡한 상관관계를 이해하여 금형제작 이전에 최적의 설계변수 및 성형조건을 결

정할 수 있는 것이다.

수년간 고분자 물질의 유동해석은 사출 성형 공정에서 특히 중요한 과제가 되어왔으며 각종 성형 조건에 의한 실험적인 관찰을 통해 충전 과정이 성형품의 최종적인 기계적 성능에 매우 큰 영향을 끼치고 있음이 잘 알려져 있다[1,2]. 뿐만 아니라 충전 과정 해석은 계속되는 압입(Packing) 과정의 초기 조건이 되기 때문에 사출 성형의 전 과정을 이해하는데 매우 중요하다.

1.2. 현재까지의 연구 방향 및 연구 성과

고분자물질의 유동 해석은 성형 조건에 의해서 성형품의 최종적인 기계적 성능에 매우 큰 영향을 끼치고 있음이 알려져있으므로 열가소성 (thermoplastic) 고분자물질의 충전과정에 관한 유체역학적 및 열역학적인 특성을 해석하고 특히 자유 표면 (free surface) 을 동반하는 이동경계문제 (moving boundary) 의 해결에 역점을 두었다. [16, 19]

특히 사출성형품은 3 차원 형상을 갖지만 두께가 얇은 경우가 대부분이고 싱크 마크 (sink mark), 뒤틀림 (distortion), 잔류 응력 (residual stress) 등을 피하기 위해서는 가능하면 두께가 균일해야 한다. 그러므로 3 차원 형상에 대해서 기계적인 성능과 관련된 두께 방향으로의 2 차원 유동 해석과 쇼트 샷 (short shot), 월드라인 (weld line) 및 충전시간 (Filling time) 등의 예측에 더욱 중요한 평면 방향으로의 준 3 차원 유동해석으로 분리하여 연구하였다.

1.2.1 두께 방향으로의 유동 해석

Schmit [1] 에 의해 고분자물질이 진전하면서 벽쪽으로 흘러지는 현상, 즉 " fountain effect " 가 실험적으로 발견되었으나 실제적 적용에는 큰 어려움이 있었다. 따라서, 두께 방향에 따른 유동 해석을 하는데 " fountain effect " 및 열전달 현상을 동시에 고려하면서 진전하는 자유 표면의 형상을 정확히 구하기 위하여 유한요소법을 이용한 수치해석법을 제안하였고 그 방법을 사용하여 속도, 압력, 온도 및 두께면에서의 자유 표면 형상을 관찰하였다. 뿐만아니라 중요한 성형 조건중의 하나인 금형벽의 온도를 변화시켜가면서 구체적인 유동 특성을 해석하여 모델링의 실효성을 입증하였다.

1.2.2 평면 방향으로의 유동 해석

사출성형품은 두께가 얇은 경우가 대부분이므로 두께 방향으로의 유동 특성을 무시한 2 차원 유동 모델을 사용하여 이동경계문제에서 매순간 자유 표면의 위치 및 형상을 정확히 계산하고 구체적인 유동 해석을 할 수 있는 유한요소법 (Iterative-reflection-Method) 를 개발하였고 실제 예에 사용하여 선단의 형상, 웰드 라인의 위치 및 압력을 구한 후 실험 결과와 비교, 잘 일치함을 확인하였다.

1.3 연구 내용

현재까지의 연구 [16, 19] 를 바탕으로 실제적 3 차원 성형품에 대하여 Lay Flat Process 를 이용하여 2 차원 유동에서의 Iterative-Reflection-Method 를 사용하여 매 순간 진전하는 선단의 형상, 압

력 분포 및 웰드 라인을 예측한 후 실험을 통한 비교를 하였다.

또한, 평면 유동의 경우 선단의 형상을 구하는 문제가 많은 어려움을 포함하므로 이동경계문제의 해결과 계산시간의 단축을 위하여 고정된 메쉬를 통한 FAN 방법을 사용하여 선단의 형상, 웰드 라인의 위치, 압력 및 온도 분포를 계산하였다.

제 2 절 평면 방향으로의 유동해석

평면 ($x y$ 평면) 방향으로의 해석 영역은 Fig.2.1 과 같다.

여기서는 두께방향 (z 축방향) 으로의 속도성분은 무시하고 그에 따른 전단변형을만을 고려하기 때문에 속도와 전단면은 수직이다.

Spencer 와 Gilmore [3] 의 실험적인 연구를 시작으로 평면 방향으로의 유동에 관한 거시적인 연구가 상당히 진행되었으며 특히 유동 진행과정에 대한 실험적이 관찰이 Han [4], Kamal 등 [5 , 6] 에 의하여 행해졌다. Harry 와 Parrot [7], Load 와 Williams [8] 등은 운동방정식에 에너지방정식을 고려한 1 차원 유동해석을 하여 큰 진전을 가져왔으며 Kamal 과 Kenig [5 , 6], Berger 와 Gogos [9] 는 축대칭 1차원 유동에 대해 연구하였다. White [10] 는 2차원 유동장을 해석하여 해석적인 해를 얻었으며 Kamal, Kuo 와 Doan [11], White [12], Gutfinger, Broyer 및 Tadmor [13] 등에 의하여 Hele - Shaw Flow 모델이 사용되었다. 또한 Hieber 와 Shen [14] 은 유한요소법 / 유한차분법을 이용하여 일반적인 2 차원 형상에 까지 확장하였다. 그러나 위 방법들은 지나친 근사화 또는 적절하지 못한 경계조건 등으로 인하여 진전하는 자유표면의 위치 및 형상을 구하는데는 많은 문제점을 포함하고 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 Wang 등 [20] 은 매 순간의 경계조건을 만족하도록 예측된 선단을 재배열하기 위하여 사용자의 수작업을 이용하였다. 이 때 2 가지 조건을 근거로 하였는 데, 그것은 질량 보존의 법칙과 경계면의 직교성 (Orthogonality) 이다. 이러한 2 가지 조건을 근거로 하여 경계면을

침해한 절점을 실제 경계면에 위치하도록 예측된 선단의 위치를 재배열하였으나, 직교성 조건의 사용은 불합리한 면을 갖고 있다. [16] 한편, Kim [21] 은 실제 경계면에서 가상 압력을 생각하여 Boundary Pressure Reflection Method 를 제안하였다. 그것은 매 순간 사용자의 수작업에 의존하였던 Wang 등 [20] 의 문제점을 일부 개선하여 충전 과정 해석을 자동적으로 할 수 있도록 한 것이다. 그러나 이 때의 수식 유도과정에서 경계면에 위치한 절점들이 2개 요소를 갖고 있는 경우만을 고려하므로 재배열된 선단의 모양이 부정확하고 사용상의 제약이 받게된다. 그러므로 이 호상 [16, 18] 은 위에서 기술한 재반 문제점들을 해결하여 경계면에 침해한 절점이 실제 경계면에 존재하도록 속도와 압력 구배 사이의 관계를 구한 후 자동적인 유동 해석을 하고 정확한 해석 결과를 얻을 수 있는 Iterative- Reflection Method 를 제안하고, 이를 사용하여 cavity 경계면을 침해한 절점 수에 관계없이 선단을 재배열하여 실험 결과와 잘 일치되는 결과를 얻었다.

2.1 지배방정식

사출성형 공정 중 수지의 충전 과정을 해석하기 위해 본 연구에서는 다음과 같은 가정을 하였다.

- . 유체는 비압축성 (incompressible) 이다.
- . 유체는 비탄성 (inelastic) 이다.

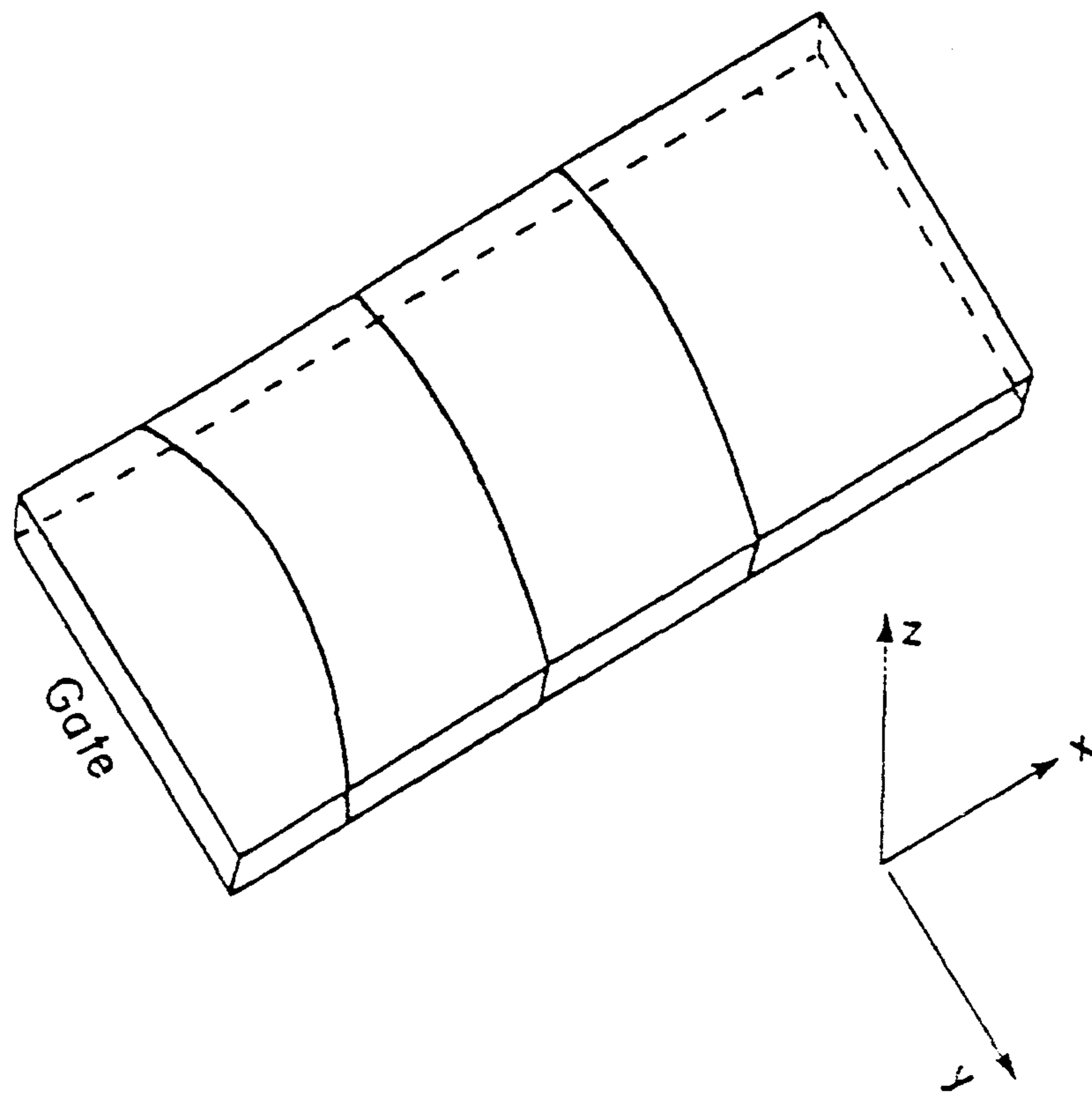


Fig. 2.1 Flow along the plane direction

- 유체의 유동은 Reynolds 수가 작은 크리핑(creeping) 유동이다
- 두께가 상대적으로 작으므로 두께방향으로의 압력 구배는 무시한다.
- z 방향으로의 속도 성분은 무시한다.
- 상대적으로 작은 두께를 갖는 cavity 안에서 유동이 일어나므로 수지(polymer)의 비뉴턴(non-Newtonian) 성질 중 전단률(shear rate)이 가장 지배적이다.
- Melt 선단 근방에서의 Fountain 효과를 무시한다. 아울러 그로 인한 온도 분포에 대한 영향도 무시한다.
- 두께 방향의 온도 대류는 무시한다.

앞에서의 가정들에 의거하여 Hele - Shaw 모델을 사용한 유체의 지배 방정식은 다음과 같다.

연속 방정식

$$\frac{\partial}{\partial x} (b\bar{u}) + \frac{\partial}{\partial y} (b\bar{v}) = 0 \quad (2.1)$$

운동 방정식

$$-\frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial z} \left(\eta \frac{\partial u}{\partial z} \right) = 0 \quad (2.2)$$

$$-\frac{\partial p}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial z} \left(\eta \frac{\partial v}{\partial z} \right) = 0 \quad (2.3)$$

에너지 방정식

$$\rho C_p \left[\frac{\partial T}{\partial t} + u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} \right] = k \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} + \eta \dot{\gamma}^2 \quad (2.4)$$

여기서 \bar{u} , \bar{v} 는 두께 방향으로 평균한 속도

$$\eta = \eta(\dot{\gamma}, T) \quad (2.5)$$

$$\dot{\gamma} = \sqrt{\left(\frac{\partial u}{\partial z}\right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial z}\right)^2} \quad (2.6)$$

또한 두께 방향으로의 경계 조건은 다음과 같다.

$$\bullet \quad z = b \text{에서} \quad u = 0, \quad v = 0, \quad T = T_w \quad (2.7)$$

$$\bullet \quad z = 0 \text{에서} \quad \frac{\partial u}{\partial z} = 0, \quad \frac{\partial v}{\partial z} = 0, \quad \frac{\partial T}{\partial z} = 0 \quad (2.8)$$

여기서 T_w 는 금형 벽의 온도, b 는 Cavity 두께의 반, P 는 두께에 독립적이므로 (2.2) (2.3) 식을 적분하여 정리하면

$$u = A_x \int_z^b \frac{\bar{z}}{\eta} d\bar{z} \quad (2.9)$$

$$v = A_y \int_z^b \frac{\bar{z}}{\eta} d\bar{z}$$

여기서

$$\Lambda_x = - \frac{\partial p}{\partial x}$$

$$\Lambda_y = - \frac{\partial p}{\partial y}$$

가 된다. 이는 Hele - Shaw 모델 유동의 기본적인 특성으로 속도 벡터는 $-\nabla P$ 의 방향으로 정해 진다는 것을 보여준다. 식 (2.6), (2.9)로부터

$$\begin{aligned} \dot{r} &= \frac{\Lambda z}{\eta} \\ &= \sqrt{\Lambda_x^2 + \Lambda_y^2} \end{aligned} \quad (2.10)$$

가 유도된다. 두께에 대한 평균 속도를 구하면

$$\begin{aligned} \bar{u} &= \frac{\Lambda_x}{b} \int_0^b \frac{z^2}{\eta} dz = \frac{\Lambda_x}{b} S \\ \bar{v} &= \frac{\Lambda_y}{b} \int_0^b \frac{z^2}{\eta} dz = \frac{\Lambda_y}{b} S \end{aligned} \quad (2.11)$$

여기서

$$S = \int_0^b \frac{z^2}{\eta} dz \quad (2.12)$$

로 되고 식(2.1), 식(2.11)을 대입하면

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(S \frac{\partial P}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(S \frac{\partial P}{\partial y} \right) = 0 \quad (2.13)$$

와 같은 압력에 대한 지배 방정식이 구해진다.

압력과 온도에 대한 지배방정식은 각각 식(2.13)과 식(2.4)로 주어지고 온도에 대한 지배방정식을 풀기위한 변수 η 와 \dot{r} 은 각각 식(2.6)과 식(2.10)으로 주어진다.

$$\begin{aligned} \eta &= m(T) \dot{r}^{n-1} \\ &= m_0 g(T) \dot{r}^{n-1} \end{aligned} \quad (2.14)$$

여기서

$$m_0 = A \exp\left[\frac{T_0}{T_0}\right], \quad g(T) = \exp\left[\frac{T_0}{T} - \frac{T_0}{T_0}\right] \quad (2.15)$$

2.2 지배방정식의 유한요소화

(2.1), (2.2), (2.3) 식으로 부터

$$\nabla \cdot (S \nabla P) = 0 \quad (2.16)$$

속도는
$$\bar{u} = -\frac{1}{b} \frac{\partial P}{\partial x} S \quad \bar{v} = -\frac{1}{b} \frac{\partial P}{\partial y} S \quad (2.17)$$

(2.16)식에 가중잔류치법을 (WRM) 을 적용하면

$$\int_{\Omega} \psi_i \nabla \cdot (S \nabla P) d\Omega = - \int_{\Omega} \nabla \psi_i \cdot (S \nabla P) d\Omega + \oint_C [\psi_i S \frac{\partial P}{\partial n}] ds = 0 \quad (2.18)$$

압력 P를 형상함수를 이용하여 다음과 같이 근사화하면

$$P = \sum_{j=1}^M \psi_j P_j$$

결국 (2.18) 식은

$$A_{ij} P_j = R_i \quad (2.19)$$

여기서

$$A_{ij} = \int_{\Omega} S \psi_{j,x} \psi_{i,x} d\Omega + \int_{\Omega} S \psi_{j,y} \psi_{i,y} d\Omega \quad (2.20)$$

$$R_i = \oint_C \psi_i S \frac{\partial P}{\partial n} ds \quad (2.21)$$

정의된 유동영역에서 (2.19)식을 풀면 압력을 구할 수 있고 (2.17)식으로부터 속도를 구하고 이의 결과를 이용하여 (2.4)식을 유한차분법

으로 풀면 온도분포를 알 수 있으며 이는 다음 시간 step 에서의 data 로 사용된다.

제 3 절 준 3 차원 유동 해석

성형품의 형상이 평면이 아닌 경우에 대해서 성형품을 평면으로 펼치는 Lay Flat Process 을 이용하여 3 차원 형상을 2 차원으로 만든 후 앞 절에서 기술한 평면 방향으로 유동해석과 I.R.M. 방법에 Lagrange line 을 이용하여 2 차원적 해석을 하는 준 3 차원 해석을 하였다.

3.1 Lay Flat Process

3차원 성형품에 대한 충전과정 해석의 경우 CIMP에서 개발한 Lay Flat Process를 이용하여 본 연구에서 제안한 2차원 유동에서의 Iterative Reflection Method 가 그대로 적용될 수 있다.

Fig. 3.1 과 같은 3차원 물체는 두께가 작으므로 그 방향으로의 속도를 무시할 수 있으며, 특히 일반적으로 성형속도가 작다. 따라서 Lay Flat Process 를 적용하여 펼치면 Fig 3.2 와 같이 등일평면 상에 놓인 2 차원형상으로 모델링될 수 있다. 그러나 Fig. 3.2 에서 가령 \overline{ab} 와 \overline{cb} 는 3차원 형상에서 같은 선분이므로 유체가 침해할 수 없는 벽과는 구별되어야 한다. 즉 \overline{ab} 를 통해 나간 유체는 같은 양만큼 곧바로 \overline{cb} 를 통하여 들어가게 되어 $\overline{ad} = \overline{ce}$ 가 성립된다. 이때 \overline{ad} 와 \overline{ce} 의 모든 절점은 다음과 같은 경계 조건을 만족해야 한다.

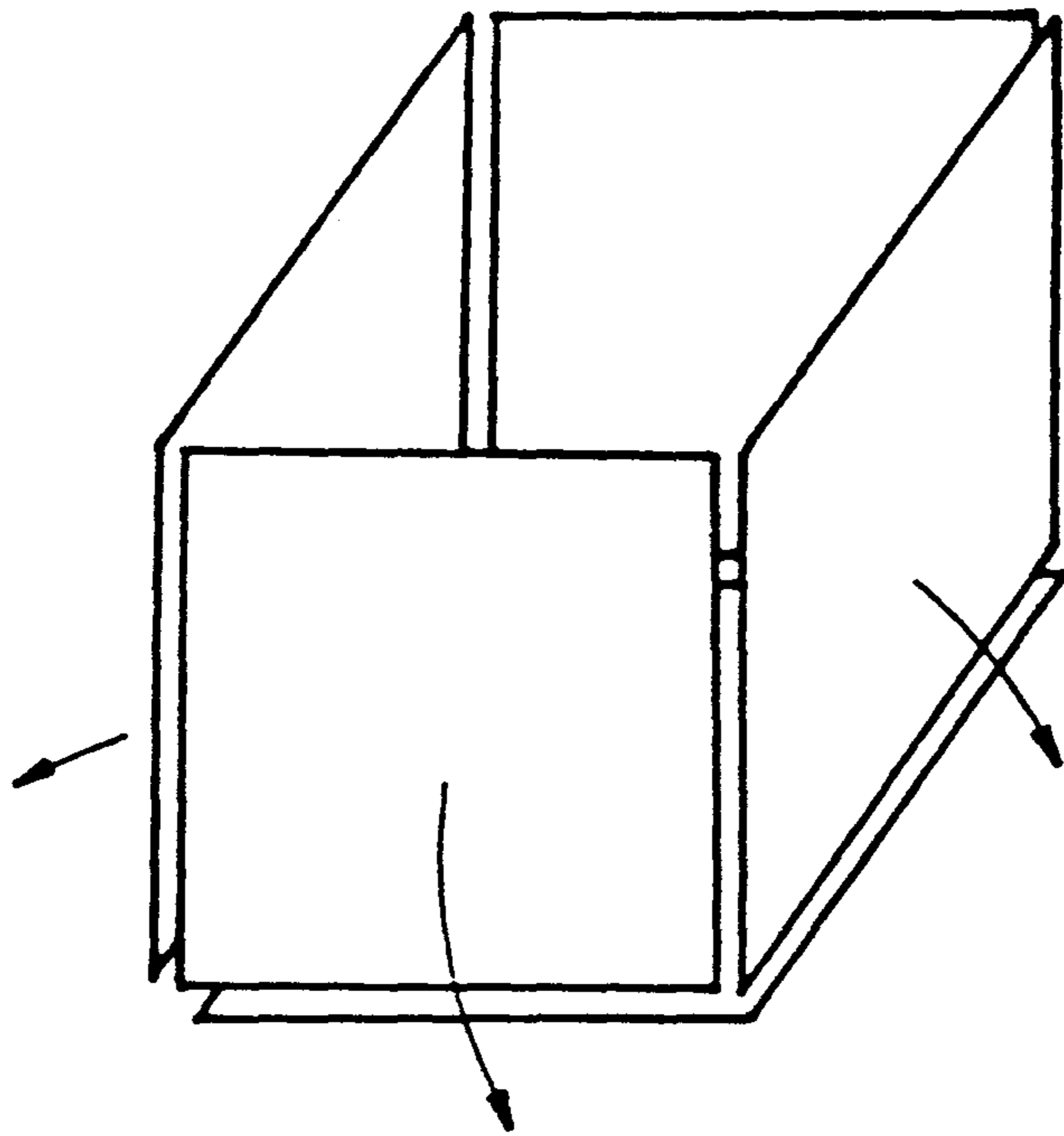


Fig. 3.1 Original 3-D object

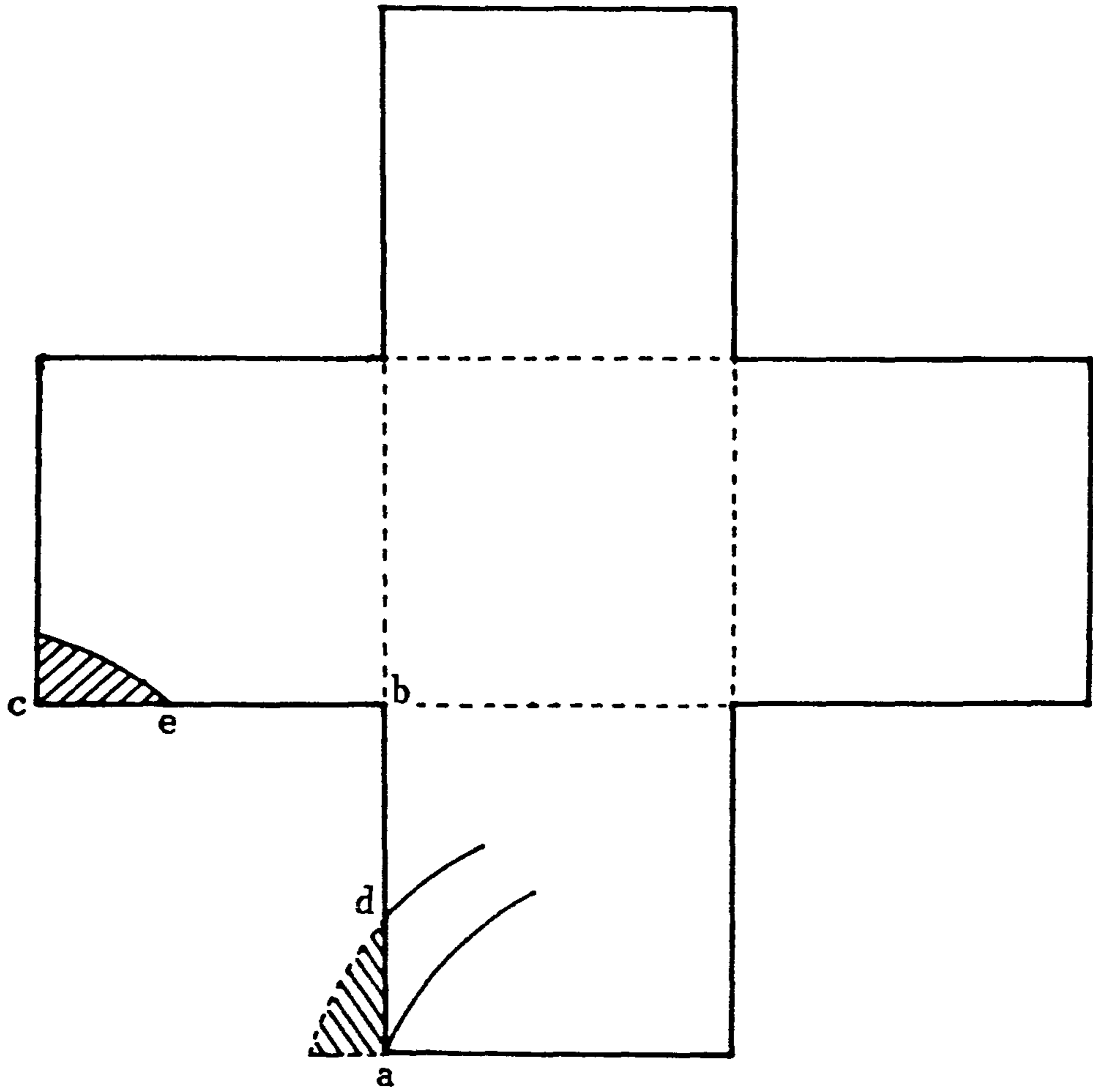


Fig. 3.2 2-D Flattened object

$$P^+ = P^-$$

(3.1)

$$\bar{V}_n^+ = -\bar{V}_n^-$$

여기서 +, - 는 각각 \overline{ad} 와 \overline{ce} 를 나타내고 \bar{V}_n^+, \bar{V}_n^- 는 \overline{ad} 와 \overline{ce} 상에서 밖으로 향하는 법선방향 속도성분을 나타낸다.

결국 경계 조건 (3.1) 식과 함께 2 차원 유동해석이 그대로 적용될 수 있다.

3.2 유동해석

본 연구에서 3 차원 모델로 선정된 Fig. 3.2 는 두 개의 나사 구멍을 갖고 있는 덮개이며 두께는 0.318 cm 로 일정하다. 계산 및 실험에 사용된 재질은 비결정성이면서 상업용으로 널리 사용되고 있는 폴리스티렌으로 한남화학에서 생산된 GP-125이다. 계산을 위해 유변학적인 물성치는 참고문헌에 있는 측정 데이터를 온도가 고려된 power law 모델에 linear least-squares 방법으로 fitting하여 구하였으며 열적 물성치는 참고 문헌에 있는 값을 택하였다. 본 계산에 사용된 물질 상수 및 성형 조건이 Table 3.1과 Table 3.2 에 각각 나타나 있다.

Fig. 3.3 에서 보는 바와 같이 편 포인트 게이트가 원점에 위치하고 있으며 x 축과 y 축에 관해 대칭이므로 1/4 부분만 해석할 수 있다.

Fig. 3.5 (a) 와 같이 가정된 초기 형상에 대해 2차원 유동 해석을 통해 매순간 자동적으로 생성된 메쉬를 Fig. 3.5 (b) - (d) 에서 보여주고 있다.

이러한 계산과정을 통해 매순간 예측된 선단의 위치 및 형상이 Fig. 3.6 에 도시되고 있으며 이 결과 웰드라인의 길이 및 Air-Trapping 의 위치가 예측되고 있다.

Fig. 3.7 는 Fig. 3.6 에서 표시된 3 지점에서의 시간에 따른 압력 변화로 1 지점에서의 압력은 게이트 압력을 나타낸다. 계산된 압력 분포를 이용하면 분할면(Parting Plane) 에 수직하게 작용하는 힘, 즉 금형을 지지하기 위해 요구되는 체결력(Clamping - Force) 이 시간의 함수로 Fig. 3.8 과 같이 정해질 수 있다.

3.3. 실험 및 검토

3 차원 형상의 모델에 대한 유동해석 결과를 검토하기 위하여 다음과 같이 정성적인 실험을 수행하였다.

본 실험에서는 사출용량 5.7 oz., 체결력 110 ton 인 왕복스crew형 사출성형기(DJ-110T) 를 사용하였다. 금형은 재질 SM55C로 가공하였으며 성형 중 금형의 온도 변화는 Thermocouple 과 Digital Thermometer 를 이용하여 측정하였다.

충전 완료 전까지 매순간 진전하는 유동 선단의 모양을 관찰하기 위하여 Table 3.2 와 동일한 성형조건을 유지한 상태에서 성형기의 스크류 회전수를 조절하면서 short-shots 실험을 수행하였다.

Fig. 3.9 은 동일 평면으로 펼쳐진 상태에서 계산과 실험의 결과를 비교한 있는 것이다. 진전하는 선단의 모양에 대한 계산 결과가 실험과 매우 유사하고 특히 충전완료 직전의 모양이 잘 일

Table 3.1 Material Properties

n	0.364
T_0 (°K)	2110
A ($g/(cm s^{2-n})$)	1079
ρ (g/cm^3)	1.05
C_p ($erg/(g^\circ K)$)	2.0×10^7
k ($erg/(cms^\circ K)$)	1.2×10^4

Table 3.2 Processing Conditions

Q (cm^3/s)	T_0 (°K)	T_w (°K)
16.4	473	323

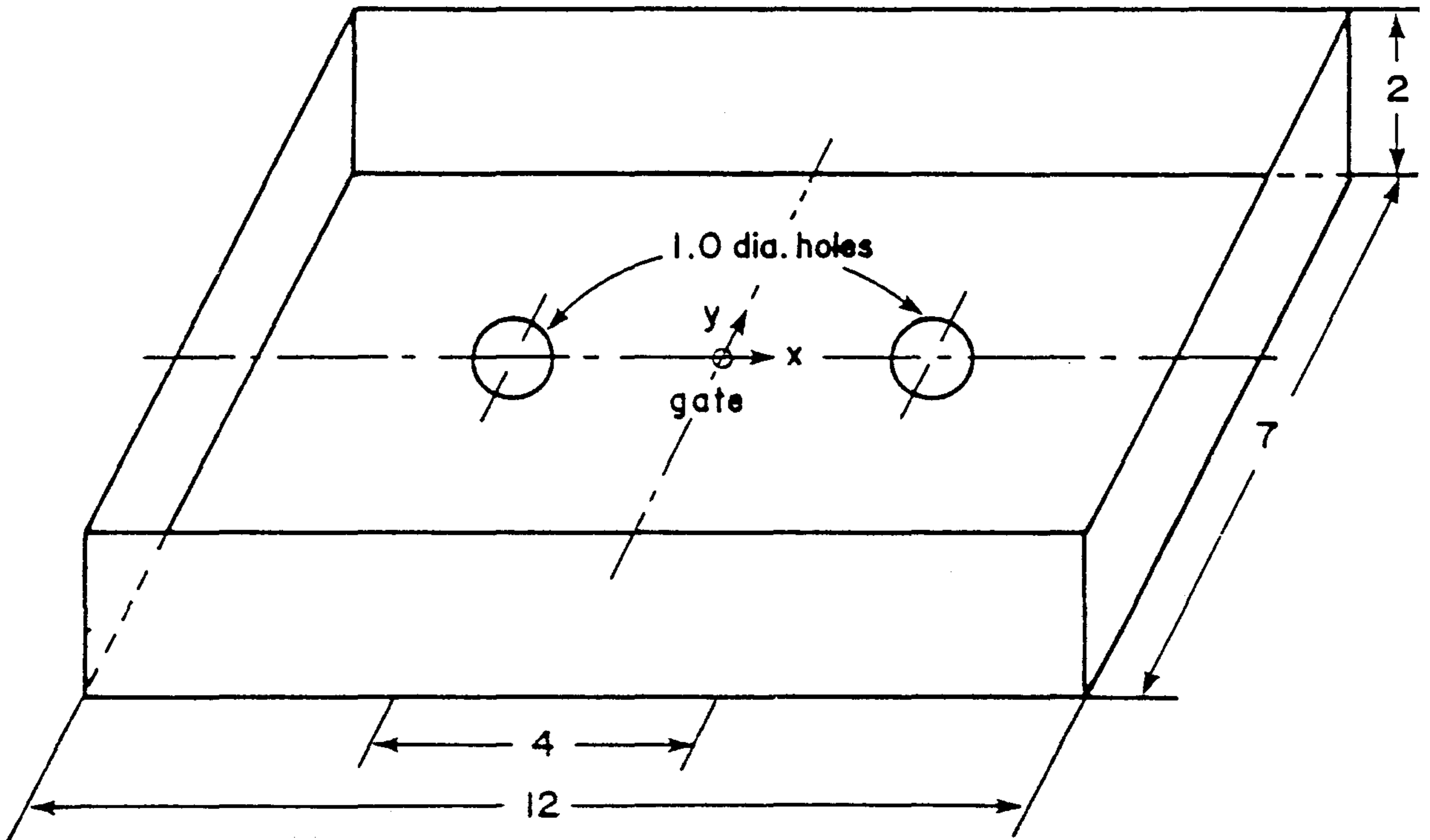


Fig. 3.3 Cover with two screw holes;
indicated dimensions are in units of cm

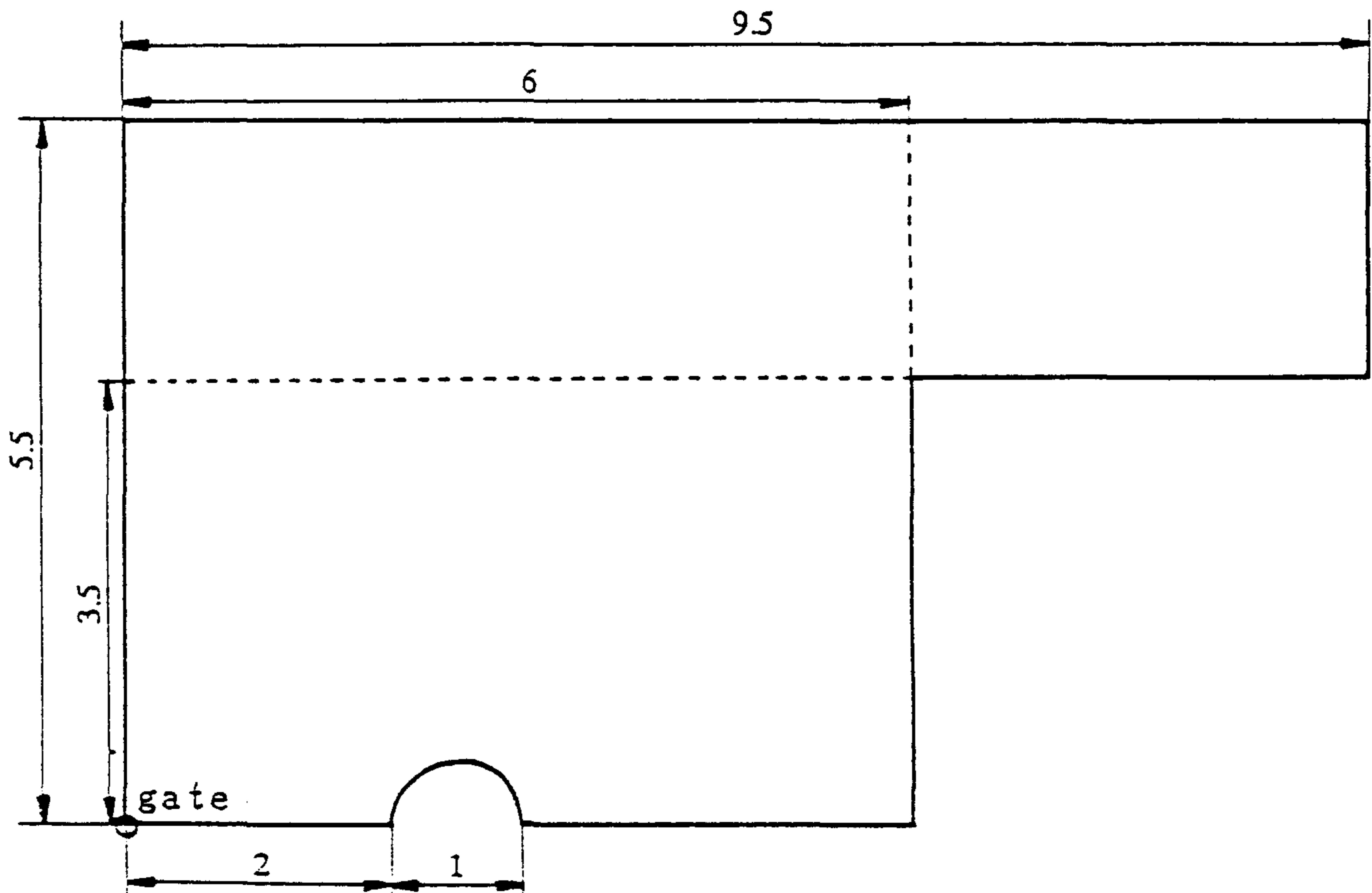
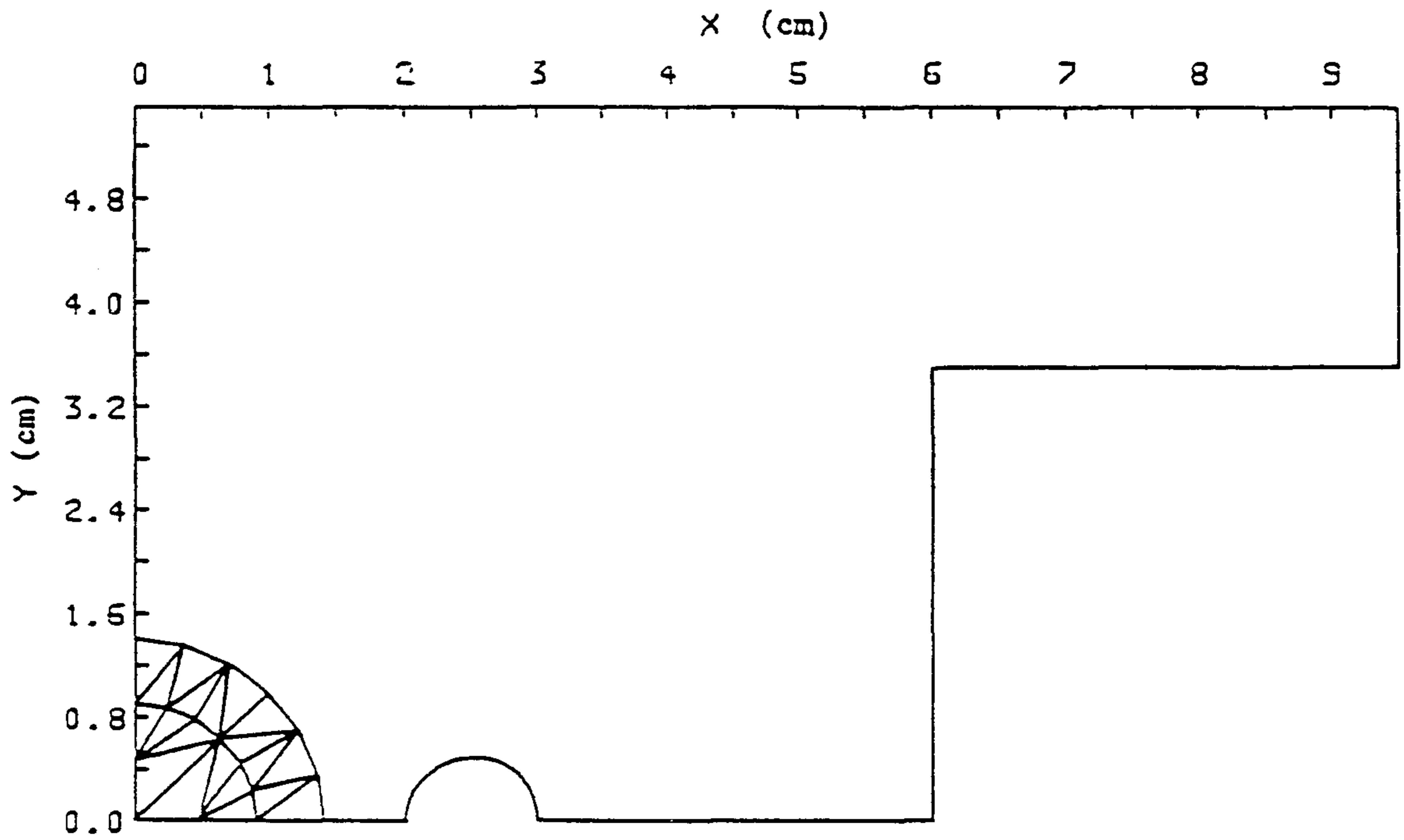


Fig. 3.4 A half flattened cover



(a) *FILLING TIME = 0.119 sec*

Fig. 3.5 Mesh configuration during the filling simulation;
cover with two screw holes

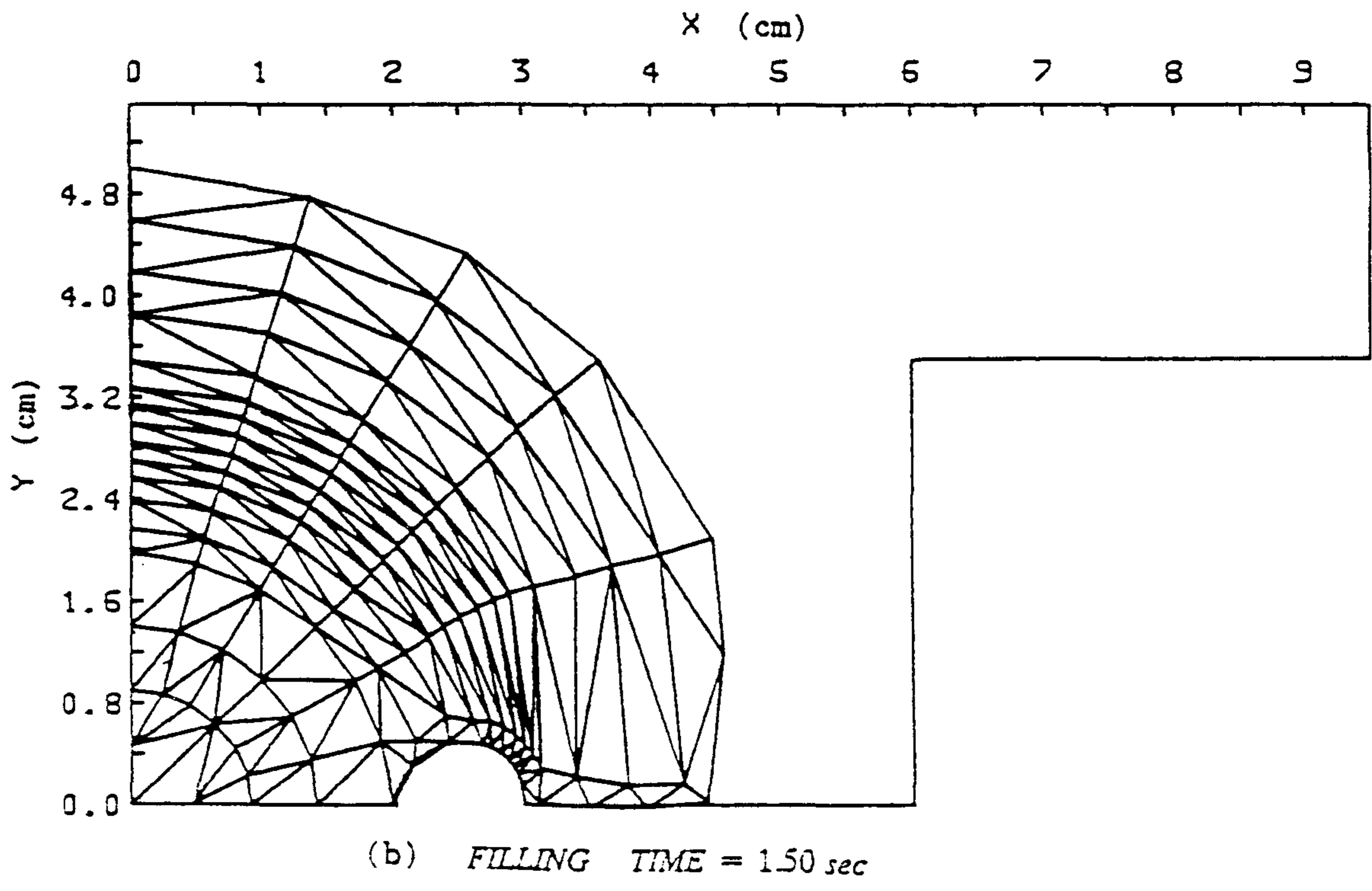
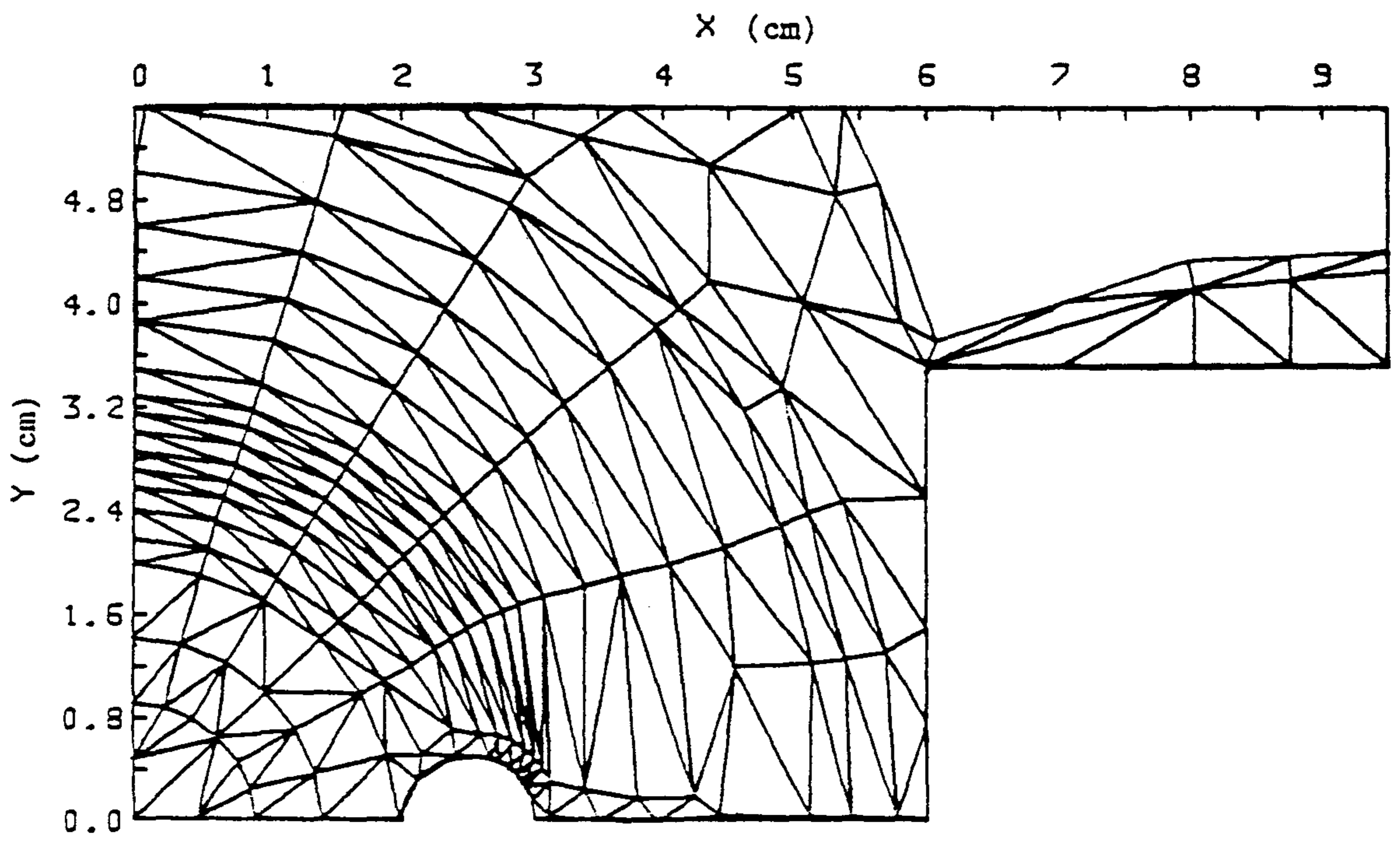
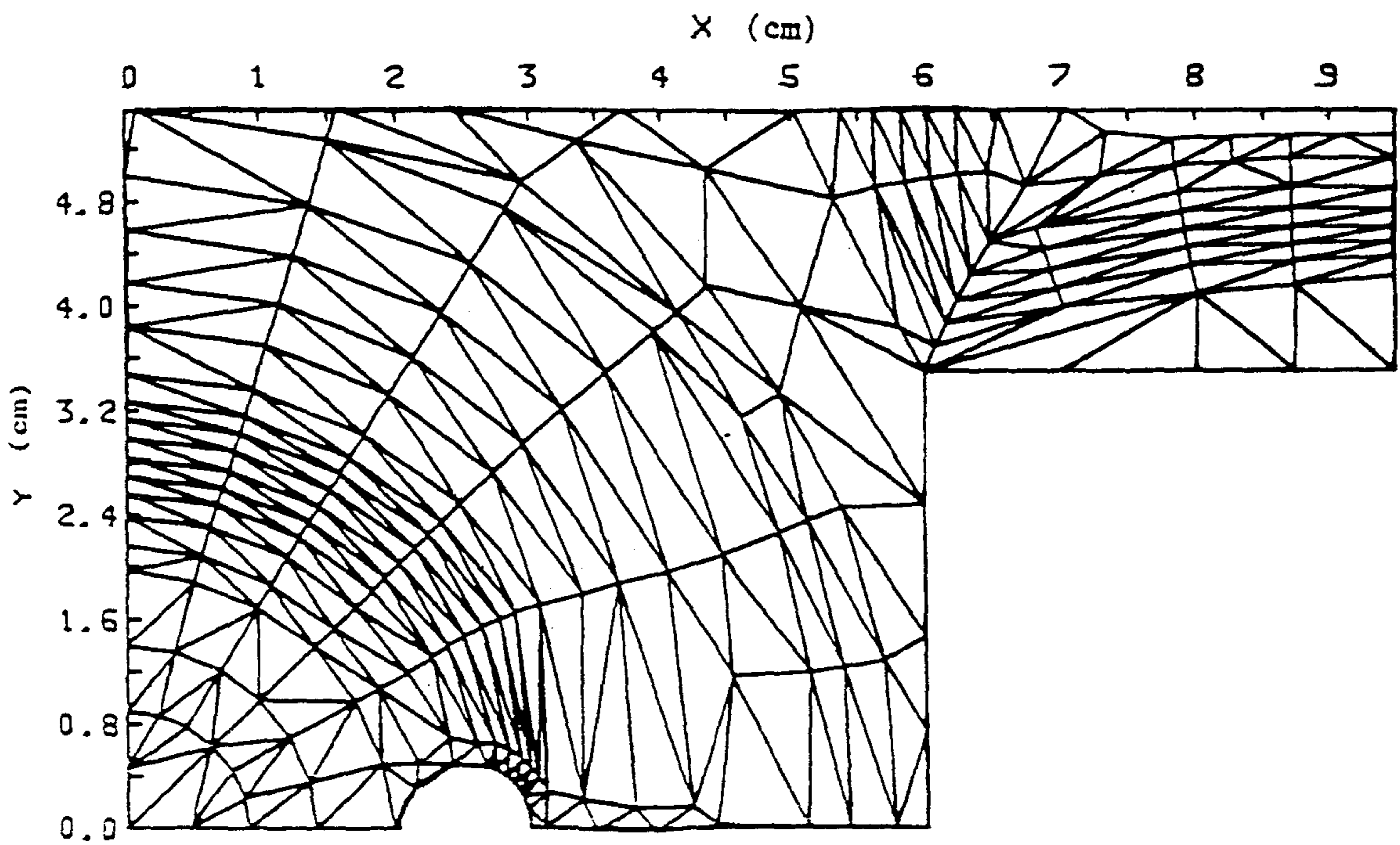


Fig. 3.5 (continued)



(c) FILLING TIME = 2.850 sec

Fig. 3.5 (continued)



(d) FILLING TIME = 3.220 sec

Fig. 3.5 (continued)

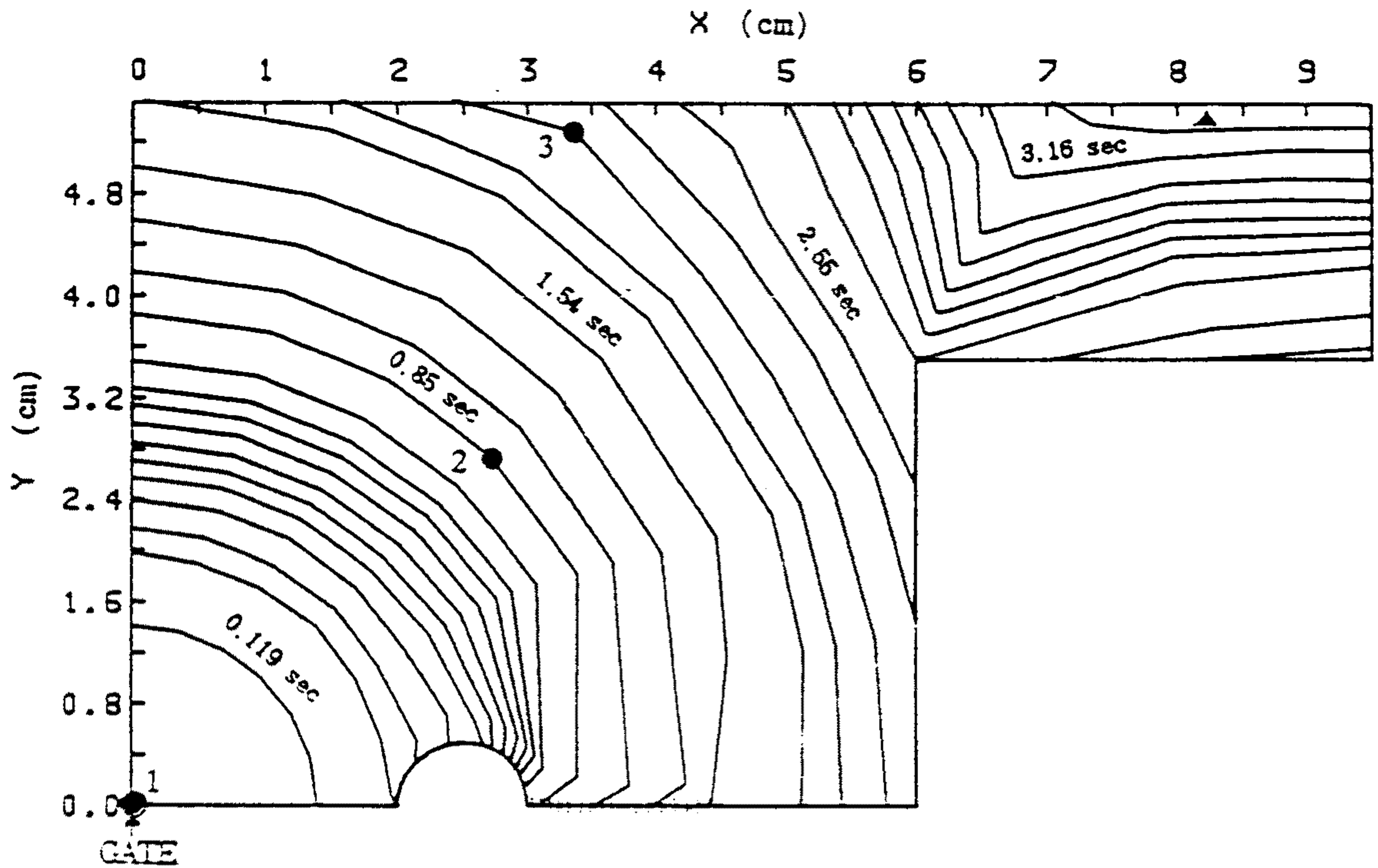


Fig. 3.6 Predicted melt fronts at $t = 0.119, 0.227, 0.227, 0.337,$
 $0.337, 0.387, 0.427, 0.47, 0.52, 0.57, 0.62, 0.70, 0.85,$
 $0.02, 1.24, 1.54, 1.83, 2.0, 2.2, 2.4, 2.55, 2.75, 2.85,$
 $2.92, 2.98, 3.04, 3.10, 3.16, 3.22$ sec, respectively.
Weld line denoted by + + + + . Air trapping denoted by ▲.
The 3 points are designated to plot the pressure traces
in Fig. 3.7.

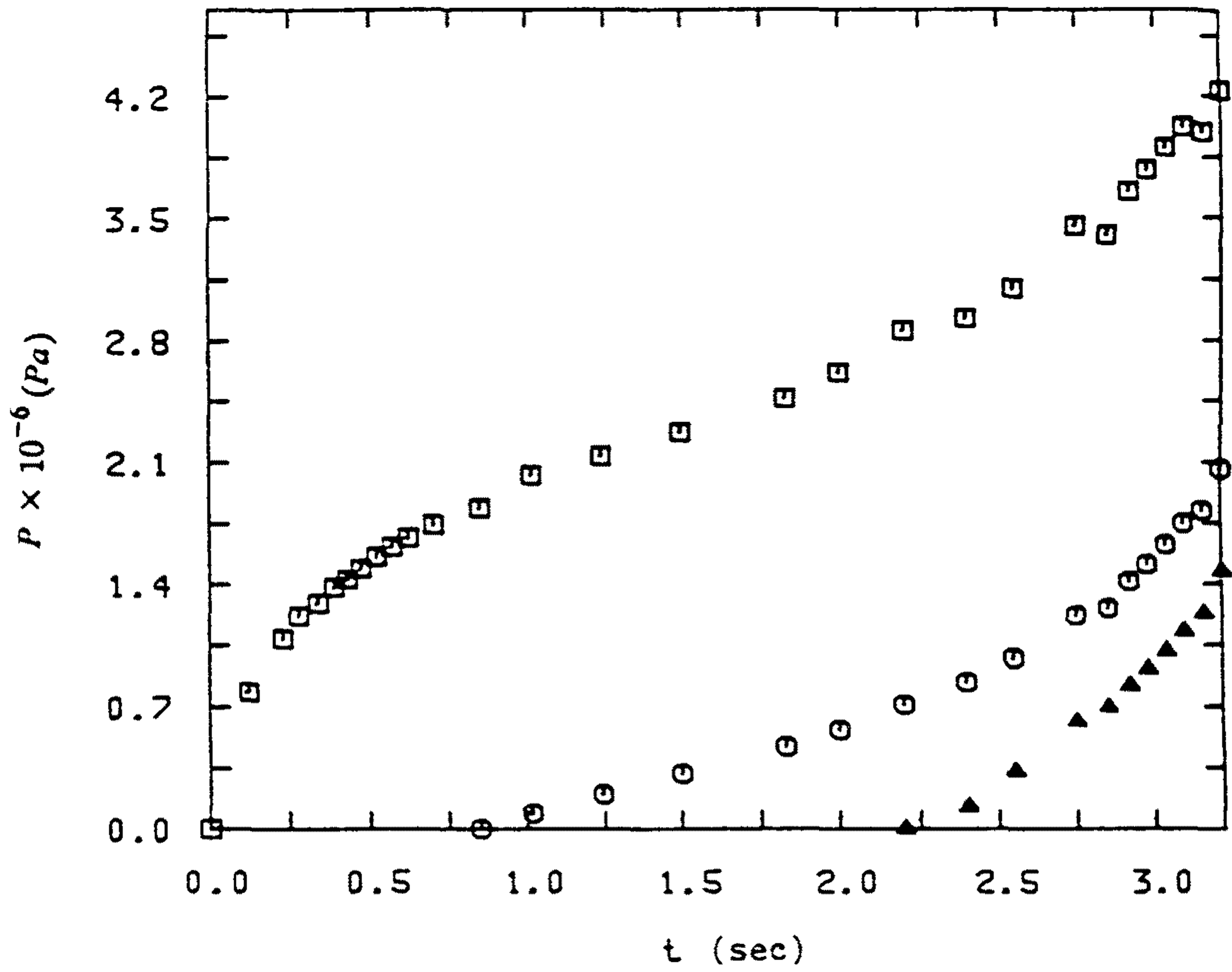


Fig. 3.7 Predicted pressure traces at gate(□), point 2(⊙) and 3(▲) in Fig. 3.6.

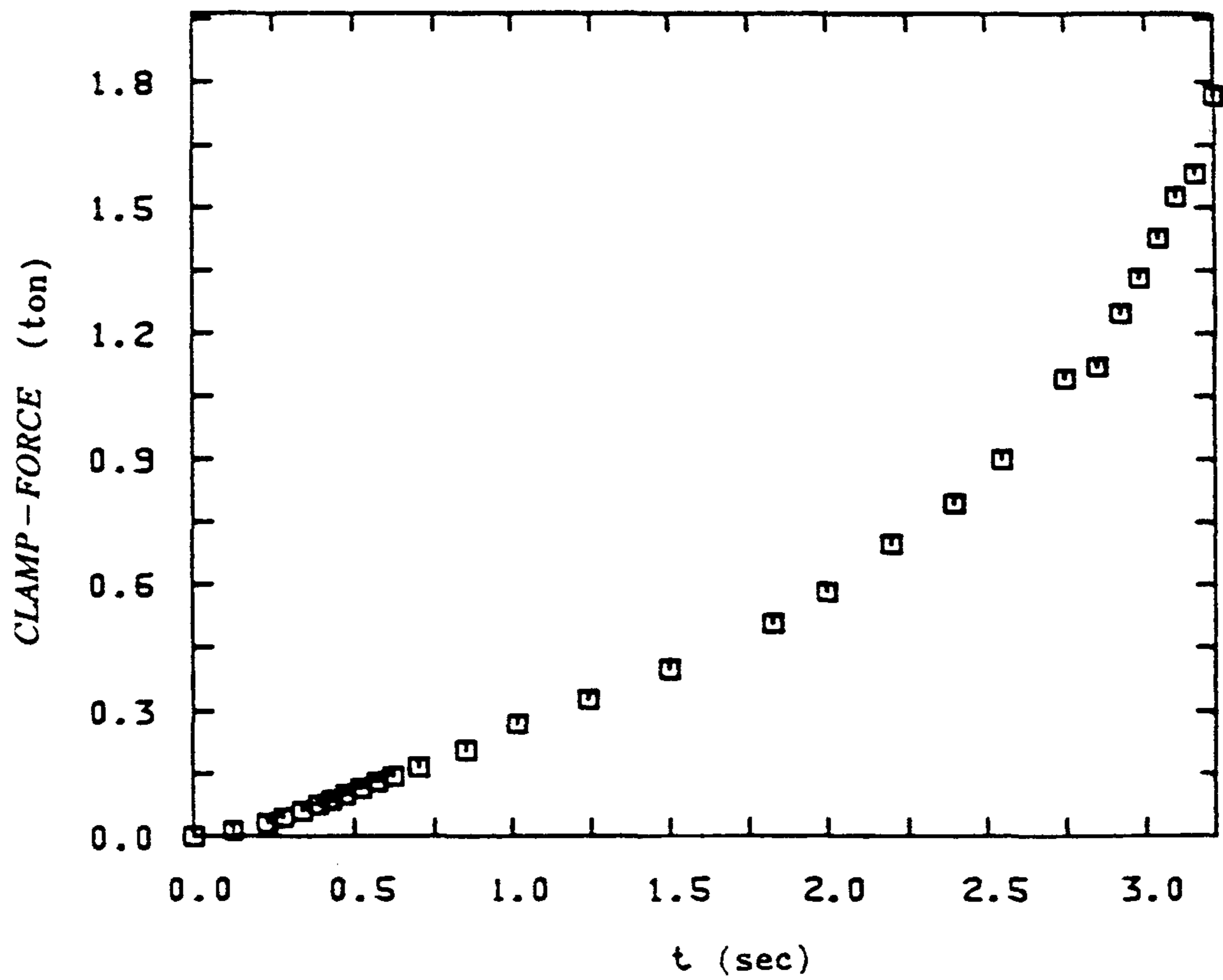


Fig. 3.8 The required clamp-force versus time

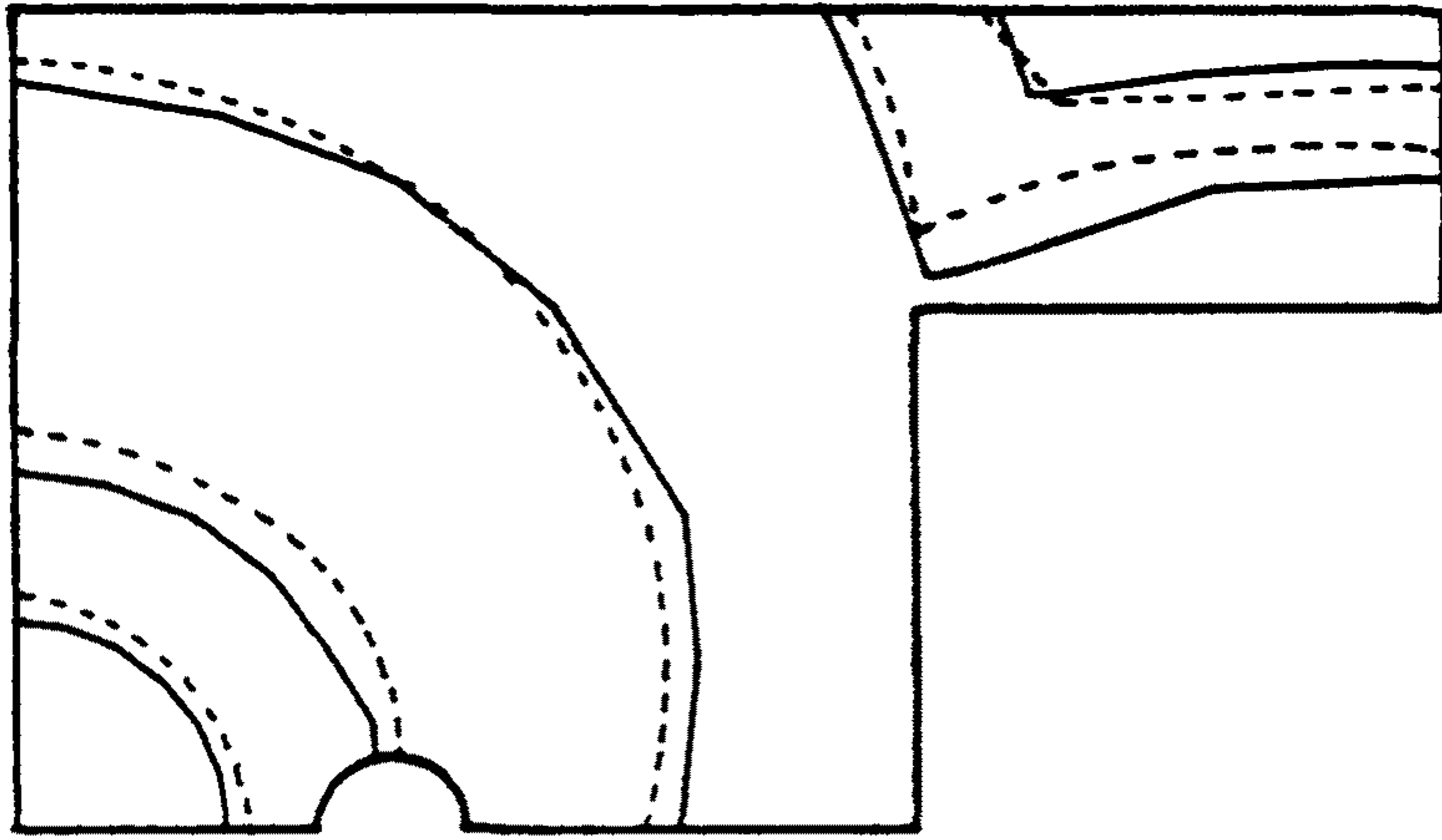


Fig. 3.9 Comparison with experimental short shots (dashed) and calculated melt fronts (solid)

치하고 있다.

3.4 결 론

주로 경험과 수 작업에 의존해 왔던 사출성형용 금형 설계 변수 및 성형조건등의 결정을 좀 더 과학적으로 합리화하고 그 이론적인 체계를 세우기 위해서는 기본적으로 충전과정에서의 유동해석이 중요하다고 할 수 있다.

그러나 고분자 물질은 비뉴턴 유체이고 심한 열전달과 함께 이동 자유표면을 동반하면서 유동이 진행되기 때문에 그 현상의 정확한 해석은 매우 어렵다.

본 연구에서는 두께가 얇은 3 차원 형상의 캐비티 내에서의 유동해석을 위해 Lay Flat Process 를 이용하여 준 3 차원 해석을 하였으며 그로부터 얻어진 결과는 다음과 같다.

- (1) 성형품의 형상이 3 차원 평면을 구성하는 경우에 대해서도 본 연구에서 제시한 Iterative Reflection Method 를 적용하여 평면 유동 해석을 수행할 수 있도록 하였다. 이를 이용하여 2 개의 나사 구멍을 갖고 있는 덮개에서의 유동해석을 수행한 결과 매 순간 진전하는 선단의 위치, 압력의 분포 뿐만 아니라 금형을 지지하기 위해 요구되는 체결력등을 예측할 수 있었다. 아울러 동일한 조건 하에서 실제 실험을 수행한 결과와 매우 유사함을 알 수 있었다.

(2) Lay Flat Process 는 동일 평면 상에 존재하지 않는 복잡한 3 차원 형상에 관한 유동해석에서의 적용이 매우 곤란하다. 따라서 이와 같은 경우에 있어서 3 차원 형상 그대로의 모델링을 위하여 좌표변환을 이용한 지배방정식의 유도 및 수치해석, 2 차원 유동해석 방법을 이용하기 위한 새로운 경계조건식의 개발 등에 대한 앞으로의 지속적인 연구가 필요하다. 또한 Iterative Reflection Method 는 반복계산으로 인해 컴퓨터 수행시간이 긴 단점을 안고 있으므로 이에 대한 연구도 아울러 진행되어야 할 것이다.

제 4 절 FAN 에 의한 평면 유동 해석

4.1. 서 론

비등온 상태하에 inelastic, non-Newtonian 유체에 대한 일반화된 Hele - Shaw 모델을 사용하여 일반적인 2차원 형상을 갖는 cavity 에서의 유동해석을 위한 연구가 최근까지 상당히 진행되어왔다. Hieber 와 Shen [14] 은 유한요소법/유한차분법을 이용하여 유동해석을 실시하여 매 시간마다 선단의 위치를 재배열하고 요소를 새롭게 생성하여 좋은 결과를 얻었으나 일반적인 적용이 곤란하고 사용자의 상당한 작업을 요구하므로 일반적인 실용화에 어려움이 있다. 한편, Mac (Marker - And - Cell) 방법을 기반으로한 유한차분법을 이용하여 Gogos 와 Huang [15] 등이 유동해석을 하였으나 이 방법도 복잡한 형상의 cavity 에 대해서는 적합치 못한 것이 단점이다. 반면, 앞 절에서 기술한 I.R.M. (Iterative - Reflection - Method) 은 melt 선단에서의 속도 성분을 이용하여 매 순간에서의 요소를 생성하므로 매우 정확하고 훌륭한 해석결과를 얻을 수 있으나 계산시간이 길다는 단점이 있다.

Tadmor [17] 등은 Hele - Shaw 모델을 사용하되 미리 cavity 내를 유한 개의 요소로 분할한 후 사각형요소의 중심에 대해서 국부유동해석 (local flow analysis) 을 통해 충전 문제를 다루었으며, Wang 등 [18] 은 검사채적 개념을 도입하여 유동해석을 수행하였다. 그러나 이들 방법으로는 각 절점의 속도 성분을 알 수 없으므로 성형품에서 기계적 성질이 가장 떨어지는 웰드라인 (Weldline) 근방의 온도 및 속도 분

포를 정확히 구할 수 없다.

본 연구에서는 FAN 방법을 이용하여 짧은 시간에 더욱 정확하게 유동 해석을 하여 선단의 모양, 압력 및 온도 분포 등을 해석하였다

4.2. FAN (Flow - Analysis - Network) 방법

수지가 채워야 할 cavity 내부를 미리 작은 요소들로 분할한 후 Fig. 4.1 과 같이 각 절점주위에 검사체적 (control volume) 과 검사체적 경계 (control volume boundary) 를 구성한 후, 검사체적에 대한 국부유동해석 (local flow analysis) 를 실시한다.

수지는 비압축성이라고 가정하고 검사체적경계를 통하는 유동의 전체질량의 합은 0 이라는 질량보존의 법칙을 적용한다. 모든 절점의 검사체적에 대하여 압력을 미지수로 사용하여 모든 절점에 대한 선형 방정식이 세운다. 주어진 시간에 대한 온도 분포와 melt 의 영역을 알고 있다면 요소내의 압력은 그 요소에 대응하는 선형 형상함수에 의해 근사적으로 구해지며, 이를 통해서 flow rate 를 구하므로 melt 의 진전상태를 알 수 있다.

4.3. 지배 방정식의 유한 요소화

식 (2.13) 으로부터

$$F \cdot (SVP) = 0 \quad (4.1)$$

식 (4.1) 에 가중잔류치법(WRM)을 적용하면 식 (2.18) 이 되며 압력 P 를

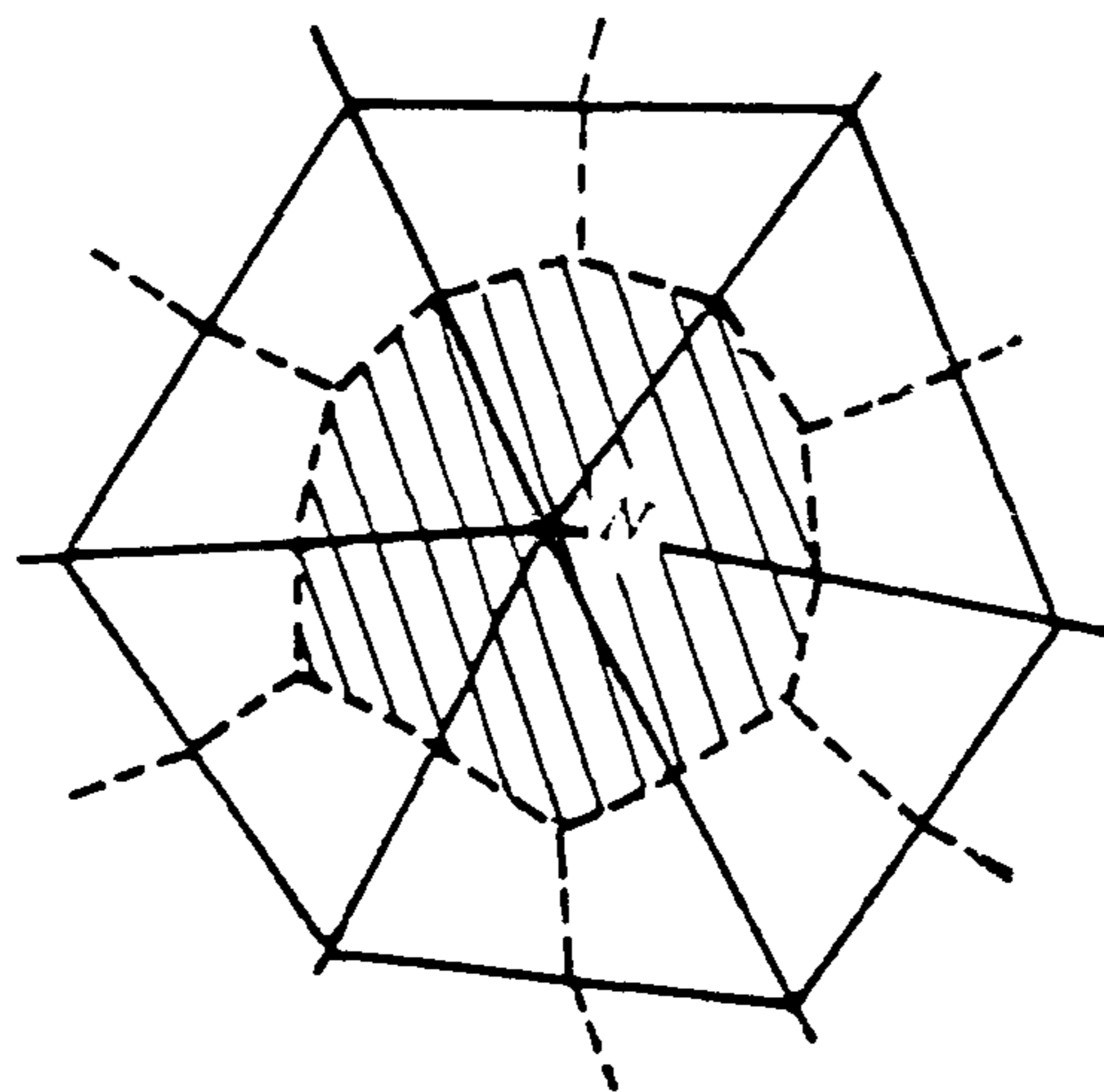


Fig. 4.1 The configuration of control volume

형상함수를 이용하여 근사화한 후 이를 식 (2.18) 에 대입하면

$$\int_c \psi_i S \left[\sum_{j=1}^M (\psi_{j,x} P_j \hat{n}_x + \psi_{j,y} P_j \hat{n}_y) \right] ds - \int_\Omega \nabla \psi_i \cdot \left(S \sum_{j=1}^M \nabla \psi_j P_j \right) d\Omega = 0 \quad (4.2)$$

여기서 \hat{n}_x, \hat{n}_y 는 검사체적경계에 대한 x, y 방향의 수직벡터성분이다.

식 (4.2)는 절점 N 을 둘러싸고 있는 요소들 l 에 대해서

$$\sum_l S^{(l)} \left[\sum_{j=1}^M \left\{ \int_c \psi_i^{(l)} (\psi_{j,x}^{(l)} \hat{n}_x^{(l)} + \psi_{j,y}^{(l)} \hat{n}_y^{(l)}) ds - \int_{A^{(l)}} \nabla \psi_i^{(l)} \cdot \nabla \psi_j^{(l)} dA^{(l)} \right\} P_j \right] = 0 \quad (4.3)$$

이 성립하며, 각 절점에 대한 질량 보존 법칙을 적용하면

$$\sum_l q^{(l)} = \sum_l S^{(l)} \sum_{m=1}^3 \phi_{im}^{(l)} P_N = 0 \quad (4.4)$$

여기서

$$\phi_{im}^{(l)} = \int_c \psi_i^{(l)} (\psi_{j,x}^{(l)} \hat{n}_x^{(l)} + \psi_{j,y}^{(l)} \hat{n}_y^{(l)}) ds - \int_{A^{(l)}} \nabla \psi_i^{(l)} \cdot \nabla \psi_j^{(l)} dA^{(l)} \quad (4.5)$$

이다. 그러나 부분적으로 채워진 검사체적, 즉, melt 의 선단은 제외된다.

정의된 영역에서 식 (4.4) 를 풀면 압력을 구할 수 있고, 식 (2.11) 로부터 속도를 구할 수 있고, 이의 결과를 이용하여 식 (2.4)를 유한차분법으로 풀면 온도 분포를 구할 수 있으며 또한, 검사체적에 대한 flow rate 를 구하여, melt 의 선단을 진전시킨다.

4.4. 선단의 진전

Melt 의 선단의 진전은 각 절점 검사체적이 완전히 차는 경우에 이루어지며, 이는 스칼라 변수인 f 값으로 조절된다. 변수 f 는 검사체적의 전체 체적중 유체가 차지하는 비율을 나타내는 것으로, 만약 압력 분포를 알고있다면, 부분적으로 차있는 검사체적으로 유입되는 총 flow rate 를 계산할 수 있으며, 그로 인하여 f 값을 결정한다.

선단의 진전은 f 값에 의해 결정되며, 이 f 값의 상태에 따라 4 가지의 절점 (검사체적) 으로 나뉘질 수 있다.

- 입구절점 : cavity 안으로 들어오는 melt 의 절점
- 내부절점 : 검사체적이 완전히 melt 로 채워진 절점 ($f = 1$)
- 선단절점 : 검사체적이 부분적으로 채워진 절점 ($0 < f < 1$)
- 빈 절점 : melt 가 아직 계산상 필요한 검사체적을 구성하지 못한 절점 ($f=0$)

Fig. 4.2 는 이들 4 가지 종류의 절점을 보여주고 있다.

주어진 시각에 melt 의 선단 절점은 0 게이지 압력으로 가정하며, 내부 절점은 식 (4.4) 를 만족해야한다. 압력 분포를 구한후, 식 (4.4) 를 이용하여 선단절점의 검사체적으로 들어오는 총 flow rate 를 계산하여 주어진 시간동안에 검사체적이 수지로 차는 정도 (즉 f 값) 를 구한다. 이때 melt 의 선단이 진전해나가는 시간 간격은 한 개의 선단절점이 완전히 차도록 선택한다. 이때 주위의 빈 절점은 새로운 선단절점이 된다. 이러한 방법으로 cavity 가 완전히 찰때까지 압력, 온도 및 속도 분포를 계산한다.

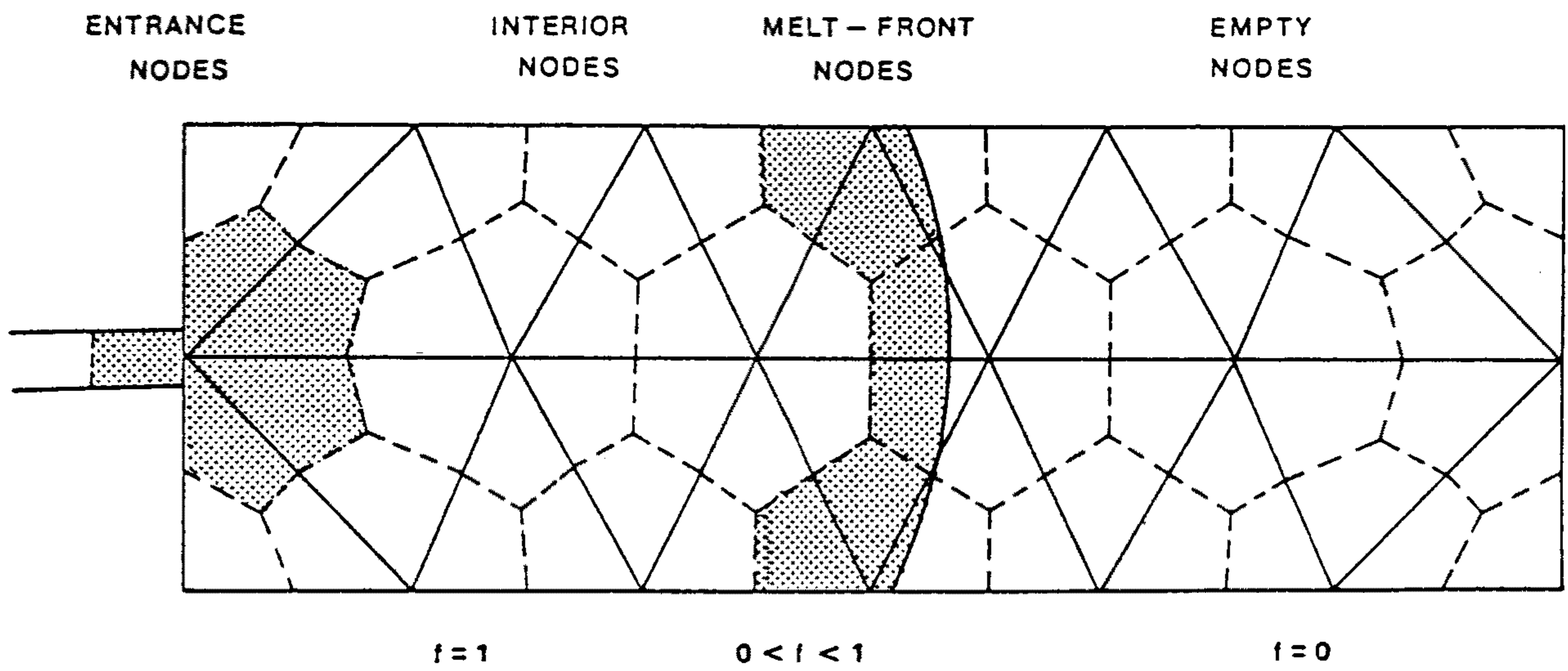


Fig. 4.2 Node (control volume) definition for filling flow computation

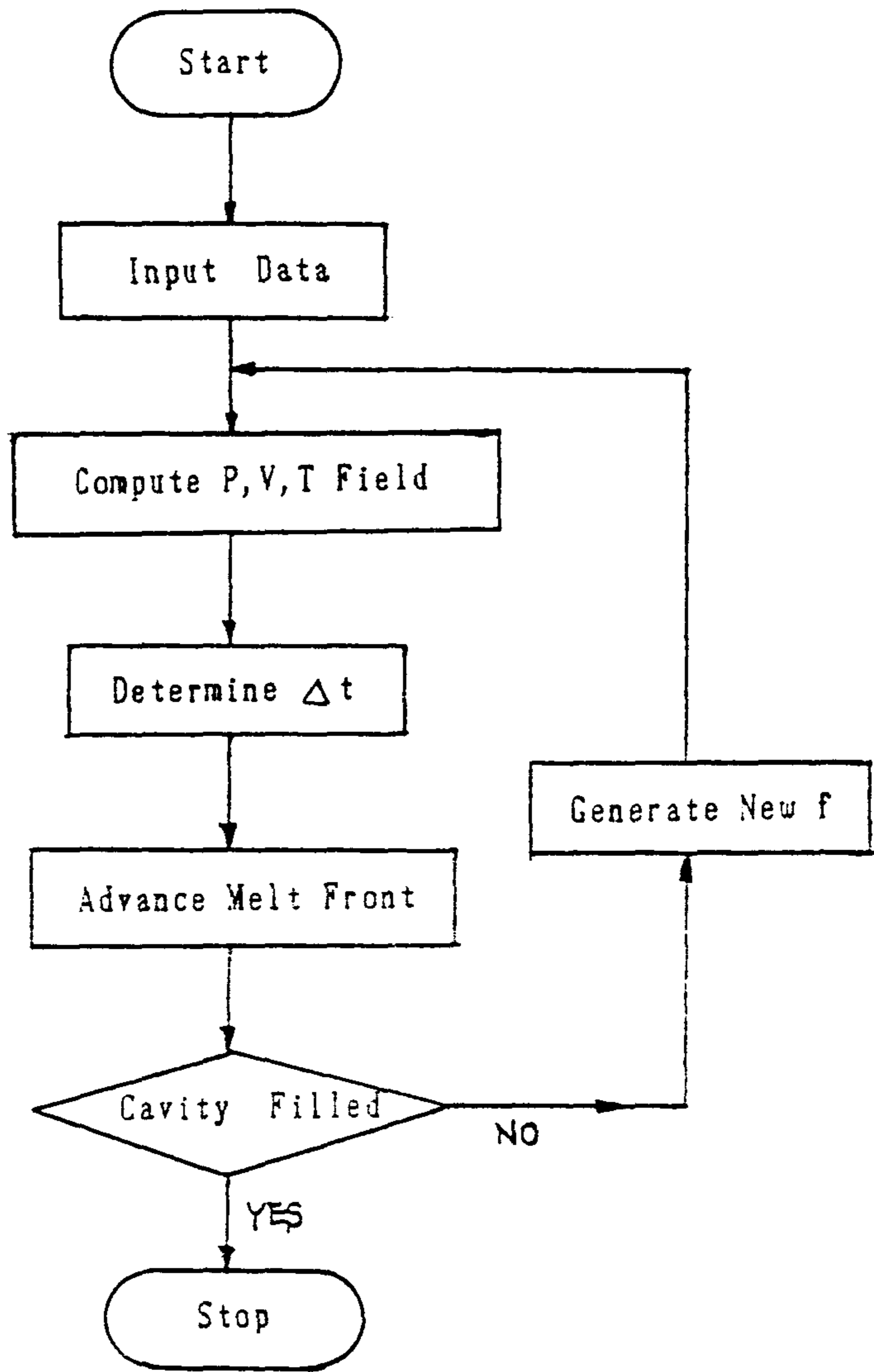


Fig. 4.3 Flowchart

4.5. 유동 해석

FAN 방법에 검사체적 개념을 도입한 위의 방법을 사용하여 충전 해석을 수행하였으며, 유체 역학적인 해석을 위해서는 유한요소법을, 열 전달해석을 위한 에너지 방정식은 유한차분법을 사용하여 2 가지 모델에 대해서 적용하였으며, 이를 I.R.M. 의 결과와 비교하였다.

4.5.1 포인트 게이트를 갖는 원형 cavity

두께가 0.159 cm 이고, 직경이 4.446 cm 인 원형 cavity 가 pin point 게이트를 통해서 충전이 되며, 사용된 재질은 폴리스티렌으로 사용된 재질 상수 및 성형 조건은 Table 4.1 과 Table 4.2 에 나타나있다.

초기에 충분히 작은 시간에 cavity 는 균일한 온도로 채워진다는 가정하에서 시간 $t = 0.03$ 초에서의 melt 의 선단의 위치를 등온해석을 통하여 가정한 후 유동해석을 한 결과가 Fig.4.4 에 도시되어있다. Fig.4.4 으로부터 FAN 에 의한 방법과 I.R.M. 에 의한 결과가 잘 일치함을 보여주고 있다. Fig.4.5 는 cavity 가 다 채워진 후 cavity 내의 수지의 압력 분포를 보여주고 있다.

4.5.2. 두께가 변하면서 인서트 가 있는 cavity

두께가 변하는 모델은 Fig.4.6 와 같으며 사용된 재질은 폴리스티렌으로 Table 4.3 에 재질상수가, Table 4.4 에 성형조건이 나타나있

다.

시간 $t = 0$ 에서 레저버 (reservoir) 가 완전히 찼다고 생각하고 초기에서의 온도의 영향을 무시하여 y 방향으로의 두께 변화에 비례하도록 선단의 위치를 가정하였다. Fig. 4.7 은 시간에 따라 진전하는 선단의 위치를 도시하였으며 I.R.M. 에 의해 얻어진 결과와 비교하였다. 예측된 선단의 모양과 예측된 웰드라인의 위치 및 모양이 비교적 잘 일치함을 알 수 있다.

Fig. 4.6 에 표시된 1, 2 및 3 지점에서 CIMP 에 의해 측정된 압력은 선단이 1 지점에 도착한 후 레저버가 완전히 채워질 때까지의 시간만큼 계산된 압력과 시간차이가 있다. 이에 계산된 결과를 0.145 초 이동시킨 후 실험치와 비교된 그림이 Fig. 4.8 에 나타나 있다. 1지점에서 측정된 압력이 계산치보다 1.7 MPa 정도 높은 것은 레저버 안에 있는 transducer #1 과 게이트사이에 압력강하가 있음을 짐작할 수 있다

Fig. 4.9 은 충전 후 등온선을 나타내는 것으로 하단경계선에서 온도가 낮게 나타난 이유는 그 부분의 유동속도가 느려 벽쪽에서의 충분한 열전달이 있었기 때문이고 반면에 상단경계면 부분에서는 유동속도가 커서 유체에 의한 convection 영향이 지배적이고 더우기 점성열발생 (viscous heat generation) 으로 인해 사출온도이상의 온도를 유지하고 있음을 알 수 있다.

4.6. 계산 시간의 비교

본 절에서 사용한 방법과 I.R.M. 을 같은 모델에 대해서 비교해 본 결과 계산 시간을 상당히 단축시킬 수 있음을 볼 수 있었다. 이 해석 방법의 특성은 계산 시간이 cavity 형상의 복잡성에 구애받지 않고 오로지 절점들의 수에 의존한다는 것으로 절점 수를 적절하게 채택함으로써 더욱 계산 시간을 줄일 수 있다는 장점이 있으나 절점수가 적어질수록 해석 결과가 부정확해진다는 점에 주의하여야한다. Table 4.5 는 모델 1 과 모델 2 에 대해서 계산시간을 비교한 것이다.

Table 4.1 Material properties of model 1

n	0.32
$T_s(^{\circ}\text{K})$	3635
$A(\text{g}/\text{cm s}^{2-n})$	80.1
$\rho(\text{g}/\text{cm}^3)$	1.02
$C_p(\text{erg}/\text{g}^{\circ}\text{K})$	2.35×10^7
$k(\text{erg}/\text{cm s}^{\circ}\text{K})$	1.84×10^4

Table 4.2 Processing conditions of model 1

$Q(\text{cm}^3/\text{s})$	$T_o(^{\circ}\text{K})$	$T_w(^{\circ}\text{K})$
2.705	528	341

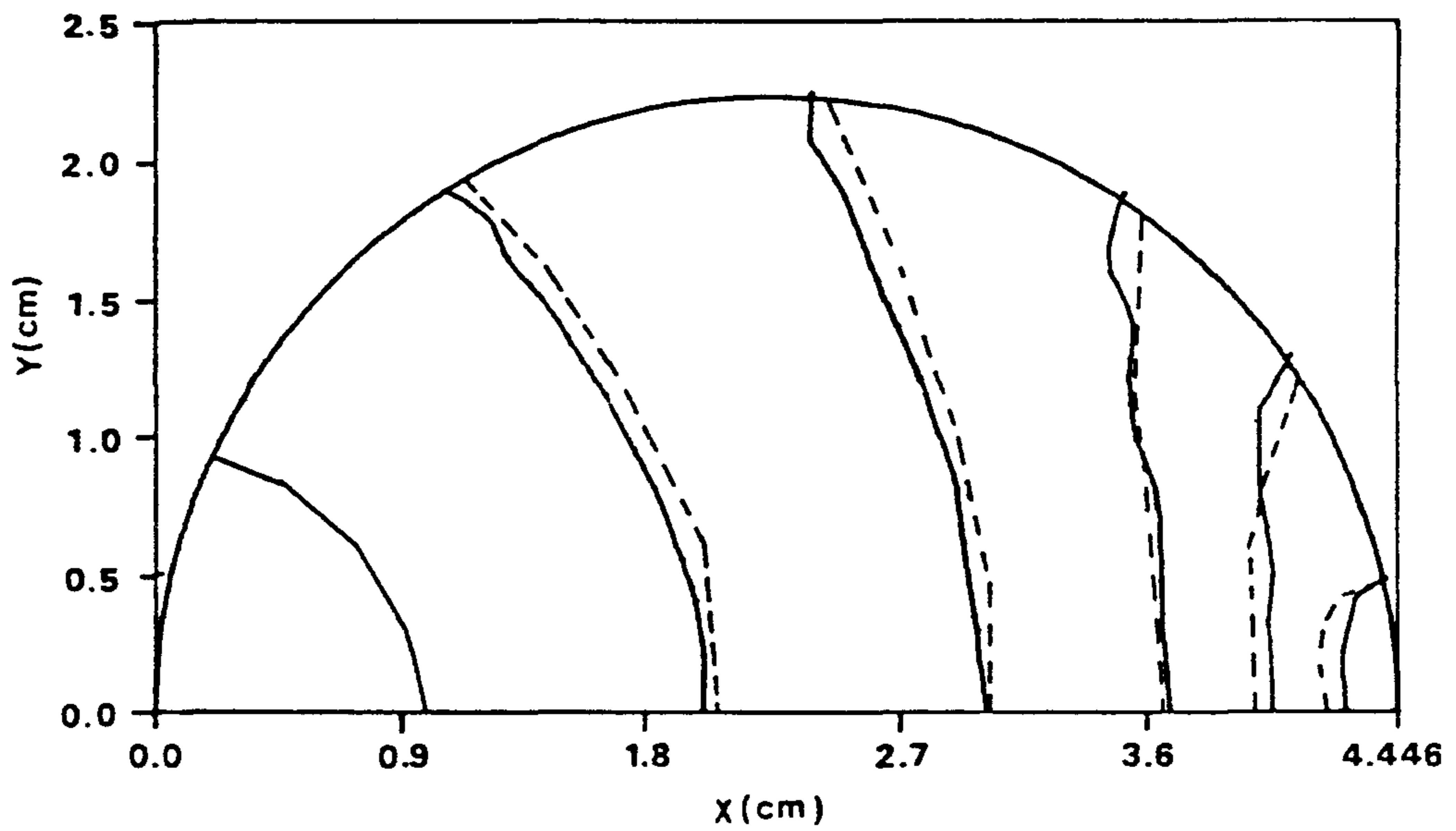


Fig. 4.4 Predicted melt fronts at $t=0.030, 0.150, 0.295, 0.390, 0.430, 0.450$ sec, respectively : Dashed line represents the results by I.R.M.

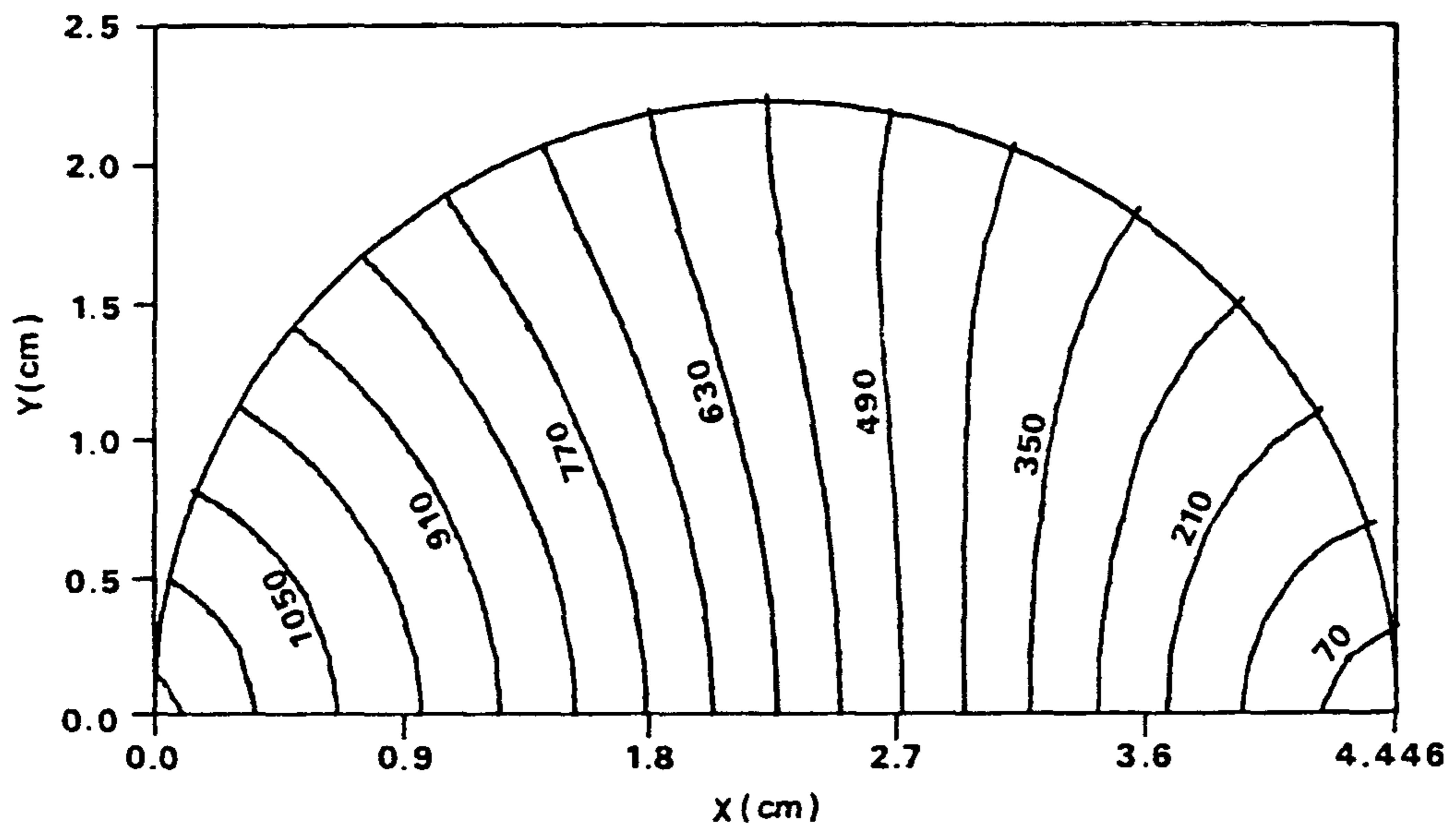


Fig. 4.5 Predicted constant pressure contours at time of fill
 (contour interval = 70 psi)

Table 4.3 Material properties of model 2

n	0.36
T_s (°K)	6000
A (g/cm s ²⁻ⁿ)	0.27
ρ (g/cm ³)	0.94
C_p (erg/g °K)	2.05×10^7
k (erg/cm s °K)	1.22×10^4

Table 4.4 Processing conditions of model 2

Q (cm ³ /s)	T_o (°K)	T_w (°K)
4.100	460	298

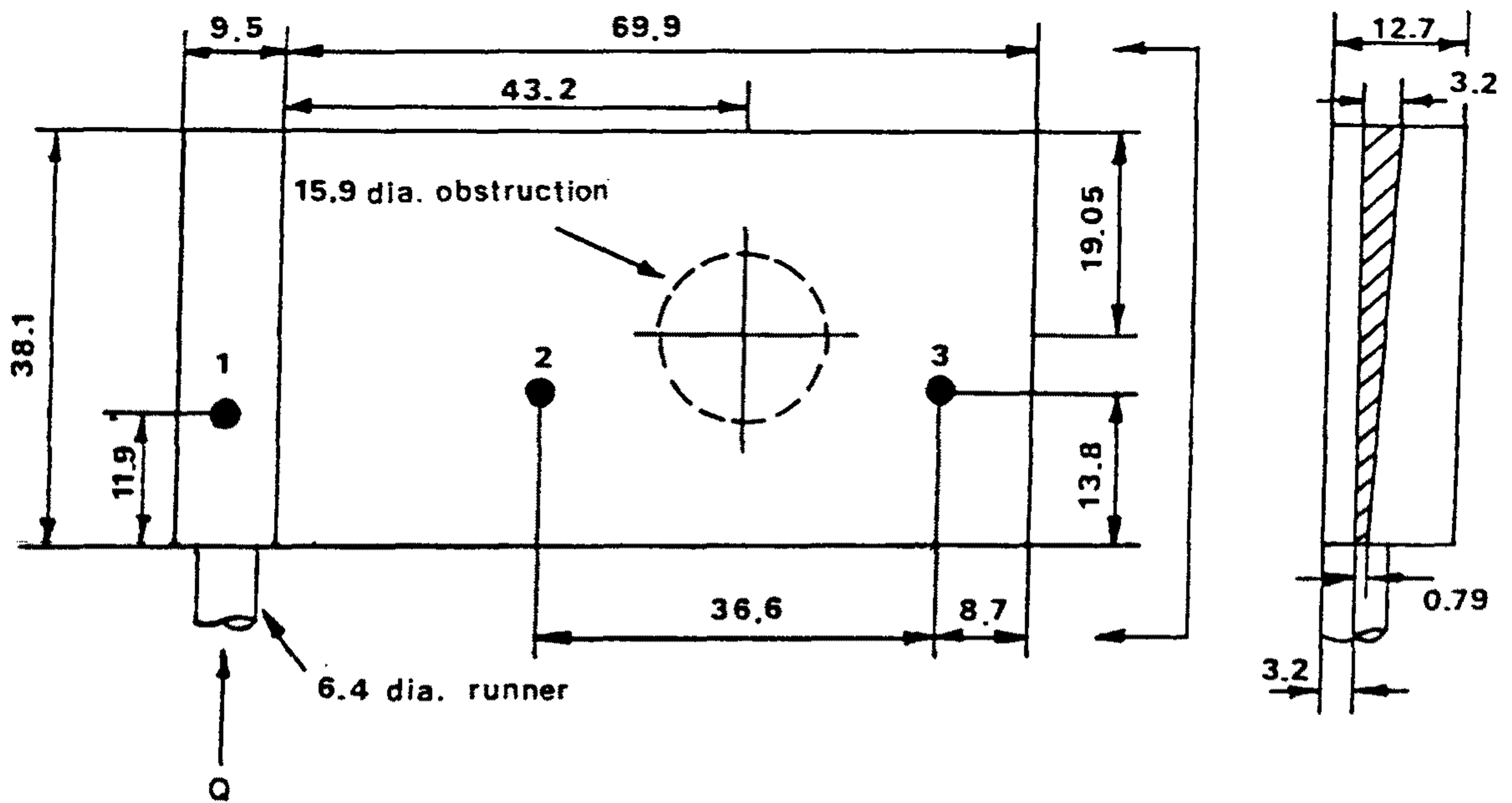


Fig. 4.6 Plane view and side view for the cavity including of three pressure transducers : indicated dimensions are in units of mm

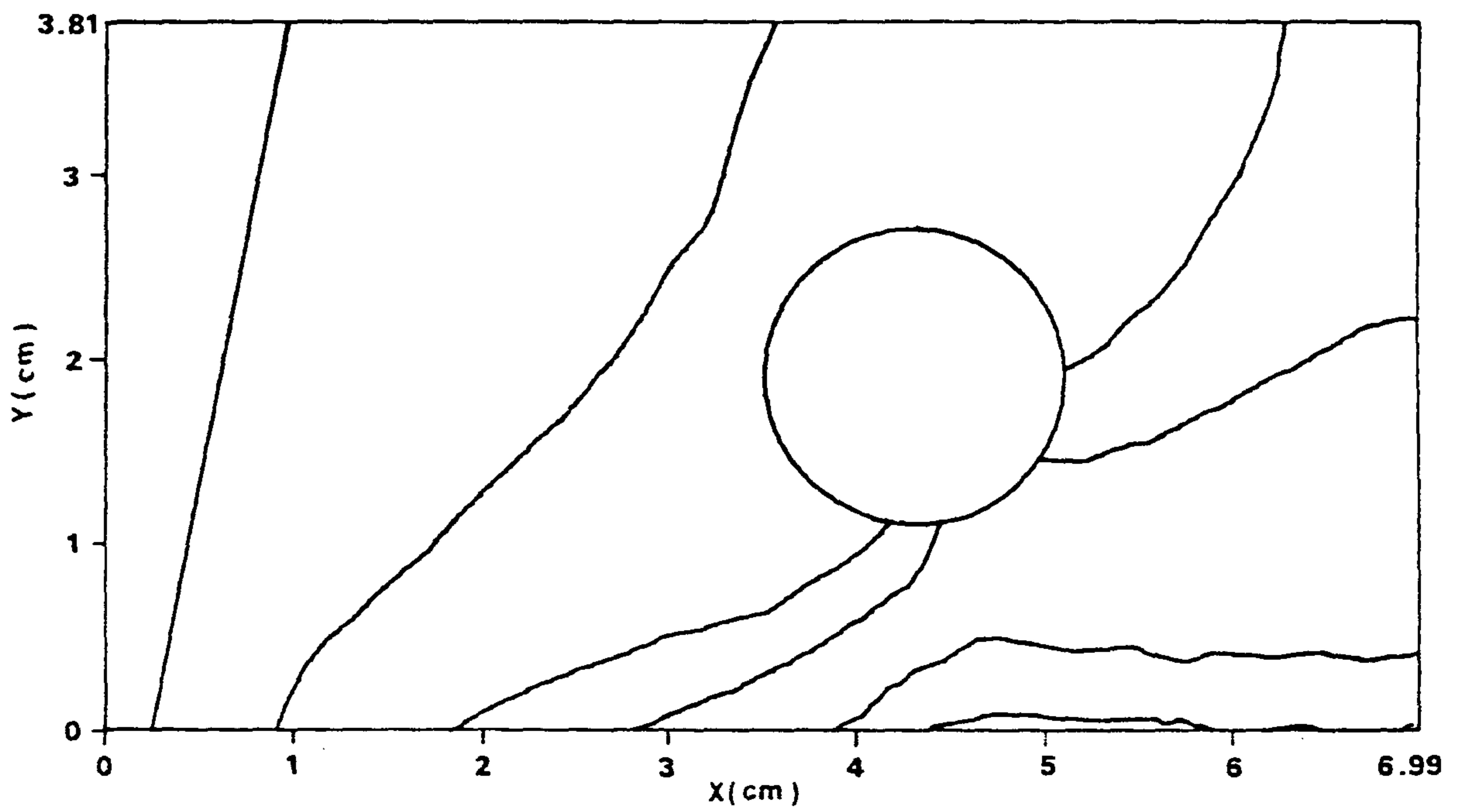


Fig. 4.7 Melt front configurations at $t = 0.125, 0.520, 0.910,$
 $1.060, 1.180$ sec, respectively.

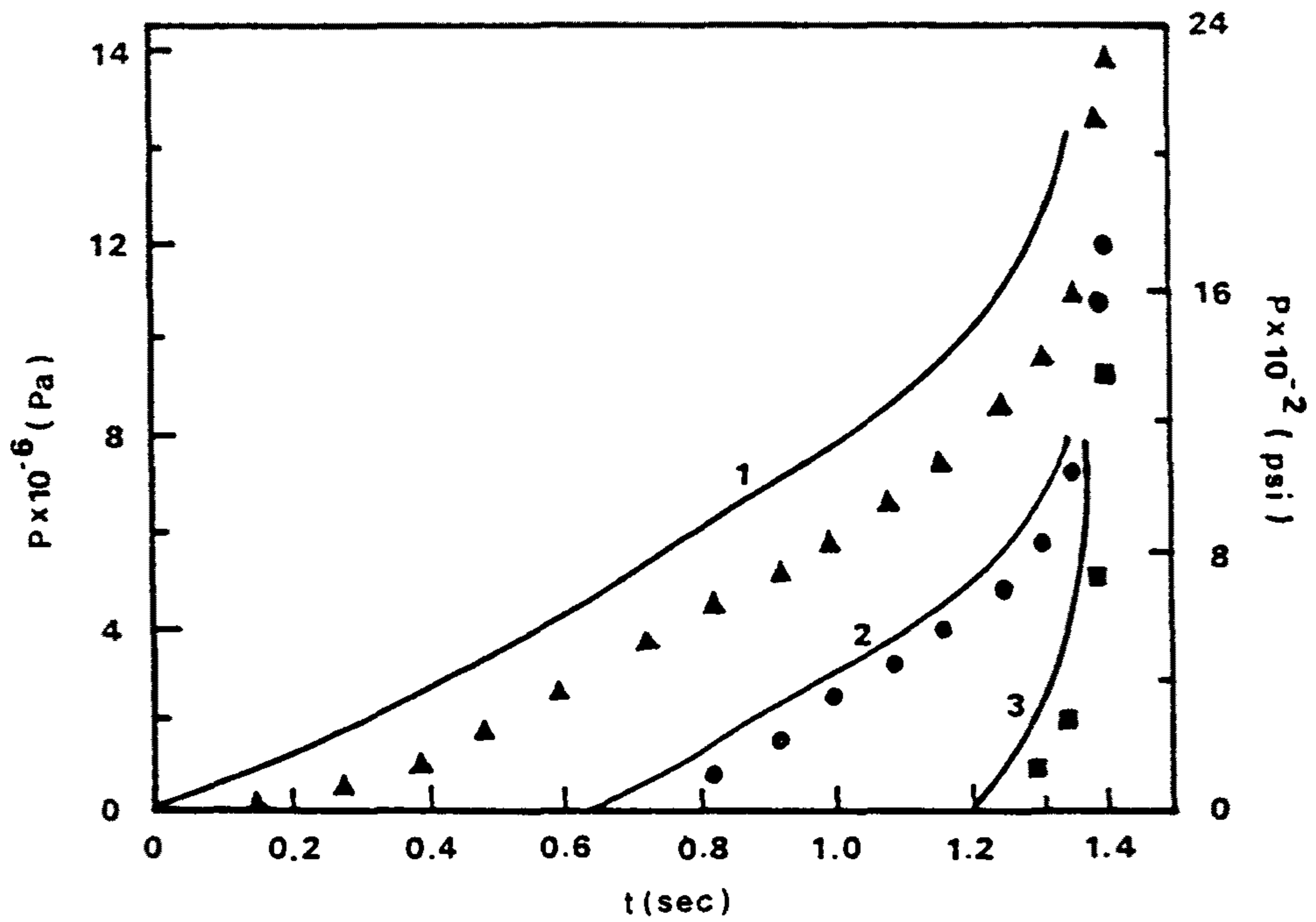


Fig. 4.8 Comparison with experimental pressures at gate (curve 1) , transducer2 (curve 2), and 3 (curve 3) by ref. [18] and predicted pressures by this study (▲ , ● and ■)

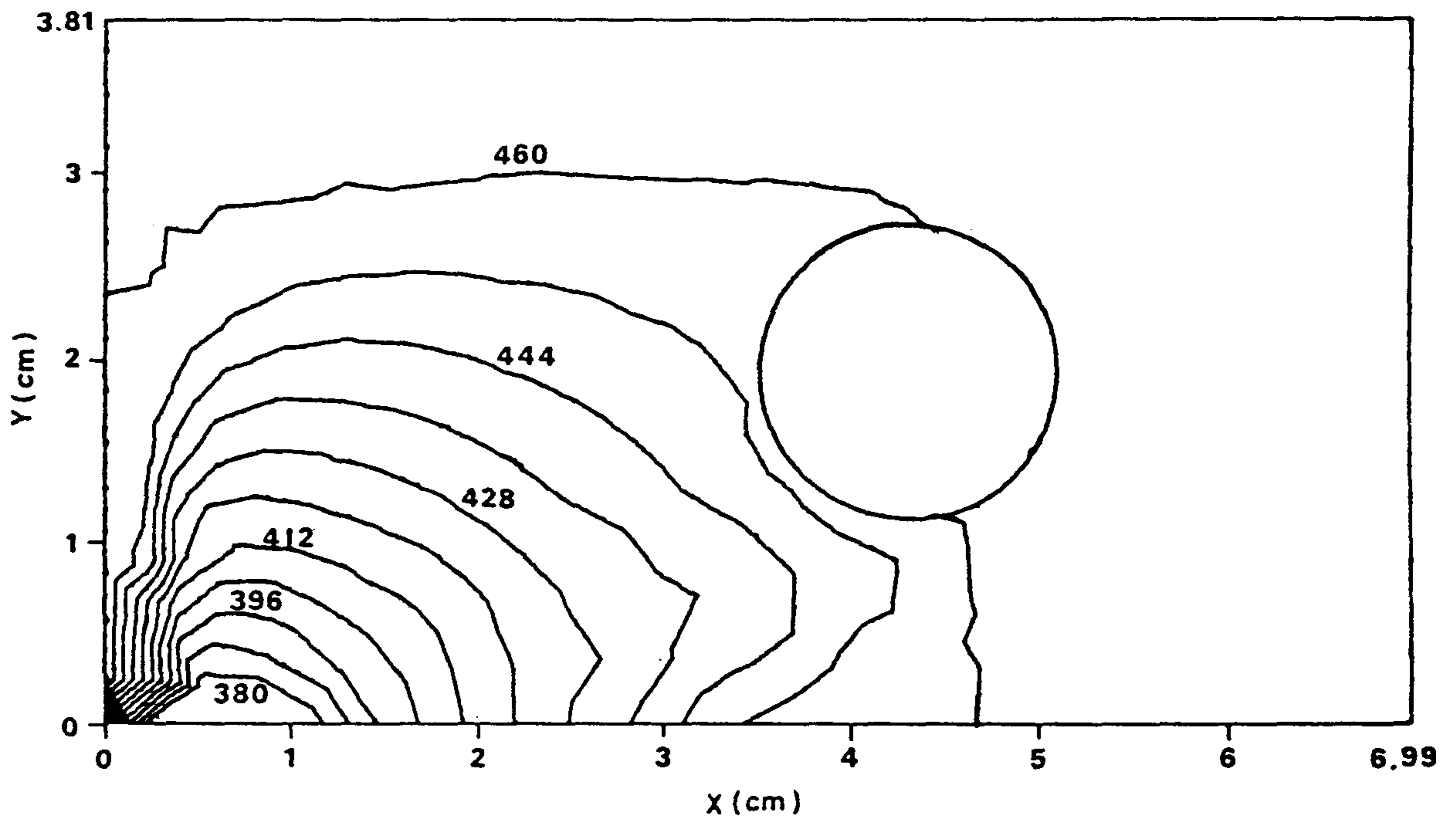


Fig. 4.9 Predicted isotherms at time of fill :
 $Z/b = 0.5$ (contour interval = 8°K)

Table 4.5 Computing time comparison (CPU time : VAX 750)

	Model 1	Model 2
Iterative - Reflection - Method	3 : 14 : 47	6 : 11 : 57
FAN Method	0 : 31 : 36	0 : 52 : 29

4.7. 결론

본 절에서는 FAN 방법에 검사체적 개념을 도입한 방법을 사용하여 짧은 시간으로도 복잡한 금형 cavity에 대한 유동해석을 가능하게 하였으며 연구결과 얻어진 결론은 다음과 같다.

- (1) 충전 과정에 대한 해석을 수행한 결과 압력, 온도 및 웰드라인 (Weldline) 의 형상 및 위치가 타당함을 알 수 있었다.
- (2) 사출 성형에서 충전 과정 유동 해석에서의 단점으로 지적되는 계산시간이 길다는 점을 본 절의 방법으로 1/6 로 단축시킬 수 있었다.
- (3) 본 연구에서는 고정되어 있는 매쉬를 사용하였기 때문에 melt 의 자유 표면에서의 유동 특성을 정확히 파악할 수 없었다.

제 5 절 향후 연구 방향

수 년간 고분자물질의 유동 해석은 사출성형공정에서 특히 중요한 과제가 되어왔으며 각종 성형 조건에 의한 실험적인 관찰을 통해 충전과정이 성형품의 기계적 성능에 매우 큰 영향을 끼치고 있음은 이미 잘 알려져 있는 사실이다.

뿐만아니라 충전과정의 해석은 계속되는 압입 (packing), 냉각 (cooling) 과정의 초기 조건이 되기 때문에 사출성형의 전 과정을 이해함과 아울러 금형설계를 자동화하는 데 필수적인 단계이다.

현재까지 본 연구에서는 다양한 고분자 재료의 성질, 각종 금형 형상 및 성형조건에 따른 변화에 쉽게 대처하고 각종 유동현상을 해석할 수 있는 I.R.M.을 개발하여 비교적 복잡한 형상의 금형에 대해서 만족할 만한 결과를 얻었으며 컴퓨터의 수행시간을 짧게하면서 실용성있는 결과를 얻기위해 FAN 방법을 개선하여 프로그램화하였다.

그러나 이를 실용화하는 단계에서는 프로그램을 더욱 일반화하고 사용자의 작업시간을 최소화하면서 아울러 정확한 해석결과를 얻는 것이 매우 중요하다. 이러한 관점에서 앞으로의 연구 방향은 다음과 같다.

- 1) 금형의 형상이 복잡해지고 다양해짐에 따라 형상을 정의하고 초기 입력 데이터를 마련해야하는 작업이 다소 번거러워지므로 유한요소법을 위한 automatic mesh generator를 개발하여 초기 작업을 줄인다.
- 2) 전달 시스템(Delivery system)에 대한 연구와 프로그램을 개발

하고 이를 충전해석 프로그램과 연결한다.

- 3) 충전후의 과정인 압입과정과 냉각과정에 대한 기초연구와 냉각구 (cooling channel) 의 위치 설정 및 수지의 냉각해석을 위한 3 - D /BEM code 를 개발한다.

참고 문헌

- (1) Schmidt, L.R., 1974, "A Special Mold and Tracer Technique for Studying Shear and Extensional Flows in a Mold cavity during Injection Molding", Polymer Engineering and Science, vol. 14, pp. 797-800.
- (2) Tadmor, Z., 1974, "Molecular Orientation in Injection Molding", Journal of Applied polymer Science, Vol. 18, pp. 1753-1772.
- (3) Spencer, R.S. and Gilmore, G.D., 1950, "Equation of State for High Polymers", Journal of Applied Physics Vol. 21, pp. 523-526.
- (4) Han, C.D., 1976, "Rheology in Polymer Processing", Academic Press.
- (5) Kamal, M.R. and Kenig, S., 1972, "The Injection Molding of Thermoplastics Part 2 : Experimental Test of the Model", Polymer Engineering and Science, Vol. 12, pp. 302-308.
- (6) Kamal, M.R. and Kenig, S., 1972, "The Injection Molding of Thermoplastics Part 1 : Theoretical Model", Polymer Engineering and Science, Vol. 12, pp. 294-301.
- (7) Harry, D.H. and Parrot, R.G., 1970, "Numerical Simulation of Injection Mold Filling", Polymer Engineering and Science, Vol. 10, pp. 209-214.

- (8) Lord, H.A. and Williams, G., 1975, "Mold-Filling Studies for the Injection Molding of Thermoplastic Materials Part 2 : The Transient Flow of Plastic Materials in the Cavities of Injection-Molding Dies", *Polymer Engineering and Science*, Vol. 15, pp. 569-582.
- (9) Berger, J.L. and Gogos, C.G., 1973, "A Numerical Simulation of the Cavity Filling Process with PVC in Injection Molding", *Polymer Engineering and Science*, Vol. 13, pp. 102-112.
- (10) White, J.L., 1975, "Fluid Mechanical Analysis of the Injection Molding Filling", *Polymer Engineering and Science*, Vol. 15, pp. 44-50.
- (11) Kamal, M.R., Kuo, Y. and Doan, P.H., 1975, "The Injection Molding Behavior of Thermoplastics in Thin Rectangular Cavities", *Polymer Engineering and Science*, Vol. 15, pp. 863-868.
- (12) White, J.L. and Dietz, W., 1979, "Some Relationships between Injection Molding Conditions and the Characteristics of Vitrified Molded Parts", *Polymer Engineering and Science*, Vol. 19, pp. 1081-1090.
- (13) Gutfinger, C., Broyer, E. and Tadmor, Z., 1975, "Melt Solidification in Polymer Science", *Polymer Engineering and Science*, Vol. 15, pp. 515-524.

- (14) Hieber, C.A. and Shen, S.F., 1980, "A Finite-Element/Finite Difference Simulation of the Injection-Molding Filling Process", Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics, Vol. 7, pp. 1-32.
- (15) Gogos, C.G. and Huang, C.F., 1986, "The Process of Cavity Filling Including the Fountain Flow in Injection Molding", Polymer Engineering and Science, Vol, 26, pp. 1457-1466.
- (16) 이호상, 1989, "유한요소법에 의한 사출성형의 충전과정에 관한 연구", 서울대학교, 공학박사학위논문.
- (17) Tadmor, Z., Broyer, E. and Gutfinger, C., 1974, "Flow Analysis Network (FAN) : A Method for Solving Flow Problems in Polymer Processing", Polymer Engineering and Science, Vol. 14, pp. 660-665.
- (18) Wang, K.K. et al., 1982, "Computer-Aided Injection Molding System", Progress Report No. 9.
- (19) Expert System 을 이용한 사출성형 설계용 Software 개발, 1988, 과학기술처.
- (20) Wang, K.K. et al., 1979, "Computer-Aided Injection Molding System", Progress Report No. 6.
- (21) Kim, S.G., 1985, " Knowledge Based Synthesis System for Injection Molding ", Ph. D. Thesis, MIT

부 록 2

과제명 : 플라스틱 사출 금형 설계를 위한 CAD시스템의 개발
(An Integrated CAD System for Mold Design in Injection
Molding Process)

연구기간 : 1988 년 9 월 6 일 -- 1989 년 7 월 5 일

연구 기관명 : 서울 대학교

연구 책임자 : 이 건 우

여 백

An Integrated CAD System for Mold Design in Injection Molding Processes

Sang Hun Lee and Kunwoo Lee

Department of Mechanical Design and Production Engineering
Seoul National University
Seoul, KOREA

ABSTRACT

A practically useful CAD system for mold design in the plastic injection molding processes has been developed. Even though many efforts have been tried to simulate the injection molding process, this is the first attempt toward an automatic mold design system, instead of a manufacturing or a simulation system. In this system the computational routines, the data base for mold design, and the routines for three dimensional modeling are blended together so that the designed mold is obtained as a solid model.

For this development, the following problems have been solved. First, the modeling capability of the plastic parts has been implemented by incorporating the modeling routines of a constructive solid geometric modeling system and developing a constant thickness modeling operation. Second, the data base of the plastic material properties and the associated molding conditions, and that of standard mold bases have been established. Third, the experimental know-how and the empirical formulae have been collected and blended together with the modeling routines of a geometric modeling system to provide the high level commands for designing a mold.

1. 서론

플라스틱 기계 부품의 사용과 대량 생산 체제의 필요성이 증가함에 따라 사출 성형은 중요한 제조 과정으로 인식되어 왔으나 그럼에도 불구하고 사출 금형의 설계와 제작은 주로 과거의 경험과 수동적인 작업 과정에 의존해 왔다. 이러한 수동적인 금형 작업을 고찰해 보면 금형 설계 과정이 최종 제품의 형상과 깊은 관계를 가지고 있다는 사실을 발견할 수 있으며, 이것은 CAD 분야에서 사용하는 기하학적인 도구를 채택함으로써 금형 설계 과정을 자동화 시킬 수 있는 가능성을 보여주고 있다.

실제로 금형의 설계 및 제조 과정의 자동화에 관한 연구가 현재까지 추진되어 왔으며, 기존의 몇몇 사출 금형에 대한 CAD / CAM 시스템에서는 다음과 같은 기능들이 제공되고 있다.

- 복잡한 형상의 자유 곡면과 금형 캐비티를 정의하는 기능 [1],
- 오프셋 표면 (offset surface)를 생성시키는 기능, 즉 금형 캐비티의 외측면으로부터 내측면을 생성시키는 기능,
- NC 공구 경로의 계산 기능과 NC 데이터를 NC 선반이나 밀링 기계에 전송시키는 기능 [1,2,3,4]
- 금형의 체적 및 표면적을 계산하는 기능 [5],
- 유한 요소 해석법을 사용하여 금형의 강도와 변형을 계산하는 기능 [5,6],
- 캐비티 내의 수지의 유동과 금형의 냉각과정을 시뮬레이션 하는 기능 [7,8].

본 연구에 의해 개발된 사출 금형 CAD 시스템은 다음 점들에서 기존의 상용 시스템들과 차이를 가지고 있다. 먼저, 대부분의 상용 시스템들은 금형 설계식들을 보유하거나 이를 이용하여 금형의 모델을 생성시키지 않고 적절히 설계된 금형의 모델이 이미 존재한다는 가정하에 응력 해석, 온도 분포, 유동의 해석에 중점을 두고 있으며, 또한 이러한 시스템에서 금형의 모델을 생성시킬 때는 기본 입체 (primitive) 나 집합 작업 (Boolean operation) 과 같은 기본적인 하위 모델링 명령을 사용하고 있다. 따라서 이들 상용 시스템들은 금형에 대해 계산을 수행하는 데는 적합하나, 단기간내에 유용한 금형을 설계해 내고자 할 때는 큰 도움을 주지 못 한다. 이에 반해 본 시스템에서는 모델링에 필요한 하위 명령들뿐만 아니라 모델링 기능과 계산 기능을 혼합해서 만든 상위 명령, 즉 금형의 캐비티 판과 코어 판 생성 명령, 구배 (draft) 부가 명령 등을 제공함으로써

양질의 금형을 단시일내에 설계해 낼 수 있도록 하였다.

본 시스템을 사용하여 금형을 설계할 경우, 설계자는 다음의 단계들에 따라가기만 함으로써 적절한 금형을 설계할 수 있다. 먼저, 첫째 단계에서 설계자는 본 시스템이 제공하고 있는 모델링 명령들을 사용하여 제품의 형상을 3차원 모델로 생성시킨다 [9]. 이 단계에서 제공되고 있는 모델링 명령들은 일정 두께 모델링 명령을 제외하고는 대부분의 CSG (constructive solid geometric) 모델링 시스템에서 제공하고 있는 그것들과 유사하며, 여기서 일정 두께를 가진 물체에 대한 모델링 기능은 대부분의 플라스틱 제품이 일정 두께를 가지고 있기 때문에 본 시스템에서 특별히 제공하고 있는 기능이다. 다음 단계에서 제품 형상의 모델은 성형 수축율을 고려하여 본 시스템에 의해 다시 일정 비율 확대되고, 여기에 설계자가 분할선 (parting line)을 지정하면 그에 따라 본 시스템은 코어판과 캐비티 판을 자동으로 생성시킨다. 일단 코어 판과 캐비티 판이 생성되면 스프루, 런너, 게이트 그리고 냉각수 회로를 차례대로 설계하여 이를 코어와 캐비티 판들로부터 빼냄으로써 금형을 만들어 낸다. 마지막 단계에서 표준 금형 부품들을 본 시스템의 데이터 베이스로부터 차례로 불러 들여 자동 혹은 대화식으로 이들에 대한 모델을 생성, 조합시킨다.

Fig.1은 본 시스템이 제품의 형상을 모델링하고 그것으로부터 어떻게 금형을 설계하는 지를 설명해 주고 있다. 본 연구의 범위는 Fig.1의 점선에 의해 둘러 싸인 부분이다. 즉 본 시스템의 모델링 기능을 사용하여 생성시킨 최종 제품 형상으로부터 적당한 몰드 베이스와 그에 장착되는 금형판을 설계 생성시키는 작업이다. 수지의 유동 해석과 NC 공구 경로의 계산은 개발 중에 있으며 이들과 함께 통합되면 완전한 CAD / CAM 시스템을 Fig.1 에서와 같이 구축할 수 있다.

Fig. 1 An integrated CAD/CAM system for mold design

2. 제품의 모델링

금형의 설계는 만들고자 하는 최종 제품의 형상에 의해서 결정되므로 최종 제품을 모델링하는 방법이 반드시 구비되어야 한다. 이를 위해 본 시스템에서는 3차원 물체에 대한 모델링 기능을 본 연구실의 CSG 시스템의 부 프로그램들을 결합시켜 제공하고 있다. 본 시스템의 모델링 기능은 기본 입체들에 집합 작업을 적용시켜 복잡한 형상을 만들어 내는 여타 상용 CSG 시스템의 경우와 유사하며 [10,11], 그 외에 본 시스템에서는 일정 두께 형상에 대한 모델링 기능을 제공하고 있는데

이는 대부분의 플라스틱 제품이 일정한 두께를 가지고 있기 때문이다.

일정한 두께의 물체에 대한 모델을 생성시키는 기본 생각은 Fig.2 에서와 같이 원래 물체로부터 그와 같은 형상이면서 크기가 작은 물체를 빼내는 것으로써 그 과정을 단계별로 설명하면 다음과 같다.

1. 원래 물체를 복제하여 새로운 물체를 만든다.
2. 설계자에게 두께를 선택하도록 한다. 만일 몇몇 면들이 다른 두께를 가져야 할 때에는 설계자가 그 면들과 각각에 대한 두께를 지정해 줄 수 있다. 바닥이 열려있는 물체를 생성시키고자 할 때에는 바닥면의 두께를 0으로 지정해 준다.
3. 새로운 물체의 각 면(face)에 대해 주어진 두께만큼 그 면을 포함하고 있는 곡면(surface)을 후퇴시킨다. 한 곡면을 후퇴시킬 때마다 인접한 면들의 곡면들과 교차시켜 새로운 모서리들을 구하여 이로써 수정된 면의 새로운 경계를 구성하게 한다. 수정된 면의 꼭지점들은 새로운 모서리들을 교차시켜 얻는다.
4. 형상이 축소 수정된 새로운 물체를 원래의 물체에서 빼낸다.

현재 본 시스템의 일정 두께 생성 기능은 평면, 원통형, 원뿔형, 구형 그리고 환형 곡면들로 둘러싸인 물체에 대해서만 가능하다. 만일 교차선을 구하는 부프로그램이 다양하게 개발된다면 일정 두께 모델링 기능은 임의의 형상을 가진 물체에 대해서도 적용할 수 있게 될 것이다.

Fig. 2 Constant thickness operation

3. 데이터 베이스의 구축

3.1 플라스틱 재료의 데이터 베이스

제품의 용도에 따라 적당한 수지를 선택하고 이를 바탕으로 적절한 금형을 설계하기 위해서는, 재료의 성형 수축율, 열 변형 온도, 비중등과 같은 물성치들을 데이터 베이스내에 저장시켜 놓아야 한다 [12,13]. 이에 대한 데이터 베이스의 한 예가 Fig.3에 소개되어 있다. Fig.3 에서 첫번째 필드(field)는 본 시스템에서 각 수지에 부여하고 있는 8자리 코드 (code) 이다. 이것의 앞 4자리 수는 수지의 종류를, 다음 두 자리수는 제조 회사, 끝의 두 자리 수는 등급 (grade) 을 표시하고 있다.

두번째 필드는 수지의 이름, 세번째와 네번째 필드는 성형 수축율의 최대값과 최소값, 다섯번째 필드는 비중, 여섯번째는 금형의 온도를 나타낸다. 본 시스템에서는 6개의 필드만을 사용하고 있으나, 설계자의 필요에 따라 증가시킬 수 있다.

Fig. 3 Data base of plastics and molding conditions

3.2 표준 몰드 베이스의 데이터 베이스

표준 몰드 베이스와 표준 금형 부품들의 각 치수와 형식을 데이터 베이스에 저장시켰다 [14]. 표준 몰드 베이스의 치수와 형식 [15,16] 들은 Fig. 4(a)에 나타나 있는 인덱스 화일 (index file) 에 저장되어 있다. Fig. 4(a)에서 각 레코드 (record) 의 첫번째 필드는 표준 몰드 베이스의 호칭을, 두번째 부터 26번째 필드까지는 Fig. 4(b)에 표시되어 있는 모든 치수들이 저장되어 있다. 27번째부터 35번째 필드까지는 코어판과 캐비티 판의 두께에 대한 표준 범위들이, 그리고 36번째부터 마지막 필드까지는 다리의 높이에 대한 표준 범위가 저장되어 있어 이들로부터 Fig. 4(b)의 A, B, C의 값들을 설계자가 선택하도록 되어 있다.

Fig. 4 (a) Indexed data file storing the standard mold bases.

(b) The dimensions defining standard mold base.

표준 금형 부품들에 대한 치수와 형상 [15,18,19] 은 몰드 베이스의 경우와 유사하게 각각의 데이터 화일에 저장되어 있다. Fig.5는 A형 가이드 핀을 저장하고 있는 인덱스 화일을 나타내고 있다. 이 그림에서 첫번째 필드는 가이드 핀의 호칭을, 그리고 나머지는 Fig. 5(b)에 표시되어 있는 가이드 핀의 치수들을 저장하고 있다. 데이터 베이스 내에 지정된 것 외에 금형 부품들의 위치와 길이는 선택된 몰드 베이스의 치수들로부터 유도된다.

Fig. 5 (a) Indexed data file for storing guide pins.

(b) The dimensions defining guide pins of type A.

4. 금형 설계의 CAD 화

4.1 표준 몰드 베이스의 모델링

표준 몰드 베이스와 표준 금형 부품들의 각 치수와 형식이 데이터 베이스에 저장되어 있어서 그들로부터 각각의 3차원 모델을 자동으로 생성시킨다. 후에 설계된 코어 판과 캐비티 판은 몰드 베이스의 3차원 모델에 각종 몰드 부품들과 함께 조립된다.

설계자는 몰드 베이스의 타이틀 번호, 형식, 캐비티 판과 코어판의 두께, 그리고 스페이스 블록의 높이를 화면의 메뉴로부터 선택하도록 한다. 그 다음 본 시스템은 선택된 몰드 베이스의 캐비티 판과 코어 판이 충분한 강도를 지니고 있는지를 계산하며, 이를 위해 설계자는 본 시스템에서 제공하는 화면의 메뉴로부터 표준 몰드 베이스내의 캐비티들의 갯수와 배열을 선택한다. 그러면 시스템에서는 몰드 베이스내의 캐비티의 크기를 모든 캐비티들을 둘러싸는 가장 작은 상자의 크기로 가정하여, 금형의 강도를 간단한 재료 역학 변형 방정식을 사용하여 계산한다 [17]. 이러한 가정은 몰드 베이스의 강도에 대해 정확한 해석을 필요로 하지 않는 경우 만족할 만한 결과를 예상할 수 있다. 이때 몰드 베이스의 강도가 충분하다고 확인되면, 몰드 베이스의 3차원 모델이 모델링 부프로그램을 이용하여 자동으로 생성되고, 그렇지 않으면 다른 몰드 베이스를 선택하도록 설계자에게 요구한다.

4.2 목형의 생성

금형내에 캐비티를 생성시키기 위해서는 금형으로부터 빼내야 할 대상 물체가 필요하다. 이러한 물체를 본 논문에서는 주물에서 사용하는 용어에 따라 목형 (pattern) 이라 이름지었다. 목형은 수축 여유와 빼기 구배 (draft) 를 고려하여 만들기 때문에 최종 제품의 형상과는 다르다. 수축 여유는 Fig.6(a) 에서 나타낸 바와 같이 $1 / (1 - \text{수축율})$ 만큼 최종 제품 형상을 확대시킴으로써 고려될 수 있다. 여기서 사용되는 수축율은 플라스틱의 데이터 베이스로부터 얻어 진다. 일부 사람들은 주물에서의 목형은 Fig.6(b)의 방법을 일반적으로 채택하고 있기 때문에 [20] Fig.6(a)와 같은 방법에 대해 다른 견해를 가질 수도 있으나, 이러한 방법이 사출 금형 설계시 사용되는 일반적인 방법이며, 또 경우에 따라서 코어를 수정하는 데 편리하기도 하다.

Fig. 6 The pattern for shrinkage allowance.

(a) The pattern in injection molding process

(b) The pattern in casting process

목형의 빼기 구배는 제품의 취출을 용이하게 하기 위해 빼내는 방향과 평행인 목형의 각 면들에 대해 인위적으로 주는 경사이다 [19]. 목형의 빼기 구배를 주기 위해서는 먼저 분할선 (parting line) 이 지정되어야 한다. 여기서 분할선이란 금형이 닫혔을 때 코어판과 캐비티판이 서로 맞닿는 분할면의 캐비티쪽 경계선을 뜻한다. 지정된 분할선에 대한 정보는 캐비티 판과 코어 판을 자동 생성시키는 데에도 사용되어 진다. 본 시스템에서는 분할선을 그래픽 터미널 상에서 Fig.7에 나타난 것과 같이 대화식으로 지정한다.

Fig. 7 Selection of the parting lines

분할선을 선택한 다음 설계자는 목형에 구배 작업 (draft operation) 을 행한다 [20]. 구배 작업을 위해 설계자는 금형의 개폐 방향과 평행인 각 면들에 대해 기준면과 빼기 구배의 각도를 지정해 준다. 구배 작업의 결과는 Fig.8에 기준면의 정의와 함께 잘 나타나 있다. 이와 같이 형 개폐 방향과 평행인 모든 면에 대해 구배 작업을 행함으로써 목형은 적당한 목형 구배를 갖게된다.

Fig. 8 Draft operation on the pattern

구배 작업의 기본 생각은 다음 단계들에 의해 설명될 수 있다.

1. 경사를 줄 면의 해당 곡면의 종류와 곡면의 방정식을 확인한다. 만일 해당 곡면이 평면이면 원래 곡면의 방정식을 평면의 법선을 빼기 구배의 각도만큼 회전시켜 얻어지는 곡면의 방정식으로 바꾸고, 만일 곡면이 원통형이나 원뿔형이면 적당한 경사각을 갖는 원뿔형 곡면으로 곡면의 방정식을 수정한다.
2. 수정된 곡면과 원래 면과 이웃하는 면들의 해당 곡면들간에 교차 곡선을 계산한다. 이 교차 곡선들은 경사진 면의 모서리에 대한 해당 곡선이 된다.
3. 교차 곡선들간의 교차점들을 계산하여 경사진 면의 모서리 점들의 좌표를 바꾸어 준다.

위의 설명에서 알 수 있는 바와 같이 현재 구배 작업이 적용될 수 있는 면의 형태는 평면형, 원통형, 원뿔형으로 제한되어 있으며, 기타 형태의 면에 대한 확장은 다음의 과제로 남겨 두었다.

4.3 캐비티판과 코어판의 생성

캐비티 판과 코어판을 생성시키기 위해서 캐비티 입자와 코어 입자가 목형으로부터 생성되어야 한다. 캐비티 입자들과 코어 입자들은 일체식 금형인 경우 각 금형판과 한 몸체가 되고, 입자식 금형인 경우는 금형판에 박히거나 볼트로 고정되어 캐비티 판과 코어 판을 이루게 된다. 캐비티 입자와 코어 입자를 생성시키는 과정은 Fig.9에 잘 나타나 있다. 이 그림에서 알 수 있듯이 캐비티 입자와 코어 입자는 통합 입자로 불리는 상자나 원통형 모델로부터 목형과 분할판을 빼냄으로써 생성시킬 수 있다. 통합 입자의 형상은 입자식 금형의 경우에 제작을 쉽게하기 위해 상자나 원통형 가운데 하나를 선택하도록 되어 있다. 통합 입자의 3차원 모델은 일체식 금형인 경우엔 목형을 간신히 둘러싸는 크기로 만들고, 입자식 금형인 경우엔 코어 입자와 캐비티 입자의 최종 형상을 고려하여 생성되도록 한다.

Fig. 9 Procedure for creating core insert and cavity insert

통합 입자와 목형은 앞의 설명에서와 같이 생성될 수 있으므로 이제 분할판을 생성시키는 방법에 대해 설명하도록 하겠다. 분할판을 생성시키는 기본 생각은 Fig.10에 설명되어 있는 바와 같다. 여기서 Fig.10은 형의 개폐 방향에서 본 통합 입자의 모습이며, 구멍 부분의 경계를 나타내는 굵은 선이 분할선이다. 그림에서 나타난 바와 같이 각 분할선을 통합 입자를 잘라 낼 수 있을 만큼 충분히 바깥 방향으로 확장을 시킨다음, 여기서 생성된 면을 형 개폐 방향으로 약간의 길이만큼 직선 이동 (sweep) 을 시켜서 분할판이라 부르는 3차원 입체를 만든다. 이렇게 분할선상의 각 모서리들에 대해서 얻어진 모든 분할판들을 통합 (union) 시켜서 통합된 분할판을 만든다. 분할판은 후에 캐비티 입자와 코어 입자를 만들기 위해 2개의 입체간에 빼기 작업 (subtraction) 을 수행해야 하기 때문에 판 (sheet) 이 아닌 약간의 두께를 가진 입체로 모델링 하였다. 분할판의 두께는 금형의 소정 오차보다 작은 값을 선택하여 금형 모델의 정도에 영향을 끼치지 않도록 하는데, 본 시스템에서는 10^{-6} 모델링 단위를 사용하였다.

Fig. 10 Principle of generating a parting fin

Fig.7에서 나타난 바와 같이 구멍을 가지고 있는 목형에 대해서는 구멍 부위에 코어 입자와 캐비티 입자를 분리시켜줄 또다른 분할판을 생성시켜야 한다. 이 경우의 분할판은 구멍 형상과

일치하는 판 (sheet) 을 생성시킨 다음 이를 판의 법선 방향으로 10^{-6} 모델링 단위의 두께만큼 직선 이동시켜 얻어낸다.

현재의 본 시스템에서는 직선과 원호로 이루어진 분할선에 대해서만이 자동적으로 분할판들을 생성시켜 주고 있다. 그러나 본 시스템은 계단이 진 분할면을 취급할 수 있으며, 또한 Fig. 11에서 처럼 과도한 분할판이 코어 부분을 손상시키는 경우도 해결할 수가 있다.

Fig. 11 Case where an excessive parting fin causes a trouble

이 경우 적절한 통합 분할판을 다음의 단계들로부터 얻어질 수 있다.

1. 목형과 통합 분할판을 통합 (union) 시킨다. 이해를 돕기 위해 통합 분할판을 Fig.12(a) 에 빗금으로 표시하였다.
2. 1의 단계에서 생성된 입체로부터 목형을 빼낸다.
3. 빼낸 결과가 하나의 입체이면 그 자체가 바로 적절한 통합 분할판이고, 만일 빼낸 결과가 여러 개의 입체들이면 (예를 들면 Fig. 12(b)의 입체 A 와 B) 분할선을 포함하는 입체가 적절한 통합 분할판이 된다 (예를 들면 Fig. 12(b)의 입체 A).

Fig. 12 Procedure for solving a excessive parting fin problem

일단 코어 입자와 캐비티 입자가 만들어지면 설계자는 입자들의 갯수와 위치를 각각 지정하고, 이에 따라 이들 입자들을 코어 판과 캐비티 판에 적절히 배열시킨다. 캐비티 판과 코어 판을 생성시키는 과정은 다음의 단계들과 Fig.13에 설명되어 있다.

1. 원래의 통합 입자 그리고 코어 입자와 캐비티 입자를 설계자가 지정한 캐비티의 갯수와 배열에 따라 복제하여 그 위치에 갖다 놓는다.
2. 원래의 통합 입자를 캐비티 판과 코어 판에서 빼낸다.
3. 금형판이 일체식인 경우에는 코어 입자들과 캐비티 입자들은 코어판과 캐비티 판에 각각 통합 (union) 되고, 입자식 금형판에서는 날밀식인 경우는 그대로 두고, 볼트 체결식인 경우는 볼트와 볼트 구멍을 모델링하도록 한다.

Fig. 13 Implanting of core insert onto core plate

4.4 게이트의 설계

게이트는 용융된 수지가 런너에서 게이트로 들어가는 통로로서, 이는 수지가 캐비티에 채워지는 과정에 중대한 영향을 준다. 게이트를 설계하는 데는 게이트들의 갯수, 형식, 위치 그리고 크기를 결정하는 과정이 포함된다. 본 시스템에서는 설계자가 게이트의 갯수, 형식, 위치들을 지정해 주면 적절한 게이트의 크기를 경험식들을 사용하여 계산한 다음 [16], 게이트의 3차원 모델을 생성시켜 주고, 이들을 코어 판과 캐비티 판에서 빼내 주도록 한다. 현재 게이트의 크기를 계산하고 모델링해주는 기능은 오버랩 게이트 (overlap gate) 에 한정되어 있다. 오버랩 게이트의 형상과 계산되어야 할 치수는 Fig. 14에 나타나 있다. 만일 본 시스템이 수지의 유동에 대한 시뮬레이션 프로그램을 구비하게 되면, 설계된 게이트들을 시뮬레이션의 결과를 근거로 수정할 수 있을 것이다.

Fig. 14 Overlap gate and its dimensions

4.5 런너의 설계

런너는 스프루에서 게이트까지 용융된 수지가 흐르는 통로이다. 런너의 설계는 런너의 배열, 런너의 단면 형상, 그리고 런너의 크기를 결정하는 과정을 포함한다. 런너의 배열은 사용자가 화면 상에서 주 런너와 보조 런너의 시작점과 끝점을 대화식으로 지적해 주거나 또는 화면에 나타난 여러 유형의 런너 배열에 대한 메뉴들 가운데 에서 하나를 선택하도록 한다. 그러면 시스템에서는 주어진 런너의 배열로 수터 런너의 방향이 바뀌는 곳에는 콜드 슬러그 웰 (cold slug well) 에 대한 길이를 고려하여 런너의 길이를 계산한다. Fig.15에서 런너에 대한 시작점과 끝점이 P1, P2, 그리고 P3로 표시되어 있으며, e 는 본 시스템에 의해 결정된 콜드 슬러그 웰의 길이를 나타내고 있다. 런너의 단면 형상은 Fig.16에 나타난 원형 또는 사다리꼴 단면 가운데에서 설계자가 선택하도록 되어 있는데 이는 이 두가지 형태가 가장 일반적으로 사용되고 있기 때문이다. 각 형상의 런너의 단면의 크기는 경험식에 의해 계산된 다음 [17], 금형 제작 업체의 표준 공구에 맞도록 수정된다. 각 런너들간의 압력 강하에 대한 균형을 고려하여 앞서 설계된 런너의 단면 크기를 수정하는 것은 다음의 과제로 남겨 두었다.

일단 런너의 배열, 단면 형상, 그리고 런너의 크기가 결정되면 런너 시스템에 대한 3차원 모델이 게이트의 경우와 마찬가지로 생성된다. 그 다음 이 3차원 모델을 코어판과 캐비티 판에서

빼내도록 한다.

Fig. 15 Runner layout and cold slug well

Fig. 16 Runner profiles

4.6 냉각수 회로의 설계

본 시스템에서는 냉각수 회로를 마치 금형에 냉각홈을 뚫을 때와 같은 효과가 나도록 구멍을 생성시킨다. 이들은 본 프로그램의 상위 모델링 기능의 하나인 드릴링 작업 (drilling operation) 을 통해 모델링된다. 설계자가 구멍을 생성시킬 때 본 시스템에서는 구멍의 총 표면적을 계산하여 그것을 경험식에 의해 구해진 소요 전열 면적과 비교한다. 그 결과를 바탕으로 설계자는 냉각홈의 직경과 갯수를 조정할 수 있으며, 따라서 적절한 냉각 시스템이 대화식으로 설계될 수 있도록 하였다. 여기서 보다 복잡한 냉각 시스템은 다음의 과제로 남겨 두었다.

4.7 이젝터 기구의 설계

이젝터 기구는 성형품을 금형으로부터 밀어서 빼내는 데 필요하다. 실제에선 이젝터 핀 (ejector pin) 외에 이젝터 슬리브 나 스트리퍼 플레이트 등도 사용되고 있으나 본 연구에서는 이젝터 핀에 국한시켰다. 이젝터 핀에 대한 3차원 모델을 생성시키기 위해서 설계자는 각 이젝터 핀들의 위치와 크기를 지정해 주어야 한다. 그러면 본 시스템에서는 주어진 이젝터 핀의 호칭치수를 사용하여 이젝터 핀의 데이터 베이스로부터 Fig.17에 나타난 D, H, 그리고 d 의 값을 읽어 들이고, 각 이젝터 핀의 적절한 길이를 계산한다. 이젝터 핀을 적당한 길이로 잘라내는 과정은 Fig.18에서 나타난 바와 같이 충분히 긴 이젝터 핀으로부터 캐비티판과 목형을 빼냄으로써 구해진다.

Fig. 17 Shape of ejector pin

Fig. 18 Cutting ejector pin to a proper length

일단 모든 이젝터 핀들이 모델링 되면, 그에 대응하는 핀 구멍들이 금형내에 생성되어야 한다. 이를 위해서 이젝터 핀 구멍들의 모델을 생성시킨 다음, 이들을 몰드 베이스로부터 빼내야 한다.

Fig.19는 Fig.17의 이젝터 핀들에 대응하는 이젝터 핀 구멍을 나타낸 것으로 여기서 S의 값은 10 - 15 mm 이다.

Fig. 19 Ejector pin hole [mm]

5. 응용 예

본 연구에서 개발된 시스템을 사용하여 Fig. 20에 나타난 그래픽 입력 장비의 하나인 마우스의 뚜껑에 대한 금형을 설계해 보았다. Fig. 20에 나타난 바와 같이 라운딩 (rounding or blending) 과 일정 두께 모델링 기능이 제품의 모델을 생성시키는 데 사용 되었다. 일단 제품의 모델이 만들어지면 설계자는 Fig.21의 메뉴로부터 수지를 선택하고, 이어 Fig.22의 메뉴로부터 표준 몰드 베이스를 선택한다. 그 다음 설계자는 화면에서 분할선을 선정하고, 이에 따라 코어 입자와 캐비티 입자가 자동 생성된다. 설계자가 대화식으로 지정한 캐비티의 배열과 위의 코어와 캐비티 입자들이 사용되어 Fig.23과 Fig.24에 나타난 바와 같은 코어 판과 캐비티 판들이 시스템에 의해 생성된다. 끝으로 런너, 게이트, 냉각수 회로, 그리고 이젝터 핀들이 설계된 후 몰드 베이스와 결합되어 Fig.25에 나타난 최종 금형을 만들어 낸다. 다음 게이트의 위치와 종류를 선택하여 이를 모델링 한 다음, Fig.25 에서와 같이 런너의 배열과 단면 형상을 선택하여 런너를 모델링한다. 끝으로 냉각수 회로와 이젝터 핀들이 설계된 후 몰드 베이스와 결합되어 Fig.26에 나타난 최종 금형을 만들어 낸다.

Fig. 20 Product model of a mouse cover

Fig. 21 Selection of a resin

Fig. 22 Selection of a standard mold base

Fig. 23 Core plate

Fig. 24 Cavity plate

Fig. 25 Runner layout

Fig. 26 Completed design of a mold

6. 결과 및 추천 사항

본 연구에서 개발된 금형 CAD 시스템은 경험이 적은 설계자가 금형을 초기 설계할 때 대단히 유용한 도구가 될 수 있다. 이는 본 시스템에 저장되어 있는 데이터 베이스와 수집되어 프로그램화 된 경험적인 지식들 덕택이며, 만일 다음과 같은 기능들이 본 시스템에 첨가된다면 대단히 강력한 금형 설계 및 제조 시스템이 될 수 있을 것이다. 첫째, 자유 곡면에 대한 모델링 기능으로, 이는 많은 플라스틱 제품이 표면으로서 자유 곡면을 가지고 있기 때문이다. 둘째, 런너, 게이트, 그리고 이젝터 기구들의 레퍼토리가 확장되어 실제의 경우에 일어날 수 있는 모든 경우들을 조작할 수 있도록 한다. 셋째, 좀 더 많은 경험적인 지식과 경험식들을 수집하여 본 시스템에 첨가 시키도록 한다. 넷째, 본 시스템을 시뮬레이션 프로그램들과 연결 시켜서, 시뮬레이션의 결과를 금형 설계 과정에 반영시킴으로써 실제 제조 과정에서의 시험과 오차를 줄이도록 한다. 끝으로 본 시스템이 NC 공구 경로 계산 프로그램과 결합되면 통합 CAD / CAM 시스템의 훌륭한 실제 예가 될 수 있을 것이다.

REFERENCES

1. Kishnami T., et. al., 1983, "Development of Interactive Mold Cavity CAD/CAM System," *Annals of the CIRP*, Vol.32, No.11, pp.345-349
2. Kruth, J. P., 1986, "Steps Towards an Integrated CAD/CAM System for Mould Design and Manufacture: Anisotropic Shrinkage, Component Library and Link to NC Machining and EDM," *Annals of the CIRP*, Vol.35, No. 1, pp.83-88.
3. Walsham, P.A., and Knight, W.A., 1983, "Futher Developments of a Geometric Modelling System for the Computer Aided Manufacture of Dies and Moulds," *Annals of the CIRP*, Vol. 32, No. 1, pp.339-342.
4. Sata, T., et.al., 1981, "A New Method of NC Interpolation for Machining the Sculptured Surface," *Annals of the CIRP*, Vol. 30, No. 1, pp.369-372.
5. Zwigel, E., 1983, "How CAD/CAM Will Change Injection Moulding," *Plastics Technology*, Vol. 29, pp.55-58.
6. Abrahams, M., 1983, "CAD/CAM in der Kunststoffindustrie - eine Revolution in der

- Konstruktions - und Fertigungstechnik," *Kunststoffe German Plastics*, Vol. 73, No. 9, pp.529-533.
7. Wang, K.K., et.al., "Computer-Aided Design and Fabrication of Molds and Computer Control of Injection Molding," *Progress Report No. 1-11*, Cornell Univ.
 8. Schumacher, B., 1984, "Integration of Toolmaking into CAD/CAM Systems," *Annals of the CIRP*, Vol. 33, No. 1, pp.113-116.
 9. Kim, S.H., and Lee, K., "An Assembly Modeling System for Dynamic and Kinematic Analysis," To be published in *Computer Aided Design*.
 10. Requicha, A.A.G., 1980, "Representations for Rigid Solids: Theory, Methods, and Systems," *ACM Computing Surveys*, Vol. 12, No. 4.
 11. Chris Cary, 1983, *ROMULUS User's Reference Manual*, Shape Data Ltd..
 12. Bernhardt, E.C., et.al., 1983, *Computer aided engineering for injection molding*, Hanser publishers, New York.
 13. Calma Company, 1983, *PolyCool Package User's Manual*.
 14. Calma Company, 1984, *PolyMold Package User's Manual*.
 15. 신라교역 주식회사, 1987, *Silla Mold Bases*, 서울.
 16. Pye, R.G.W., 1983, *Injection Mould Design*, Pitman press.
 17. 한국 금형 공구 협동조합, 1986, *사출금형설계*, 서울.
 18. 한국 표준 협회, 1982, *한국 공업 규격*, pp. KS B 4151 - KS B 4157.
 19. 장한익 외5인, 1987, *Plastic Mold Designs*, 신도리코 기술 연구소, 서울.
 20. Smith, C.T., and Lee, K., 1986, "Computer-Aided Pattern Design for Casting Processes," *AFS Transactions*, Des Plaines, IL.

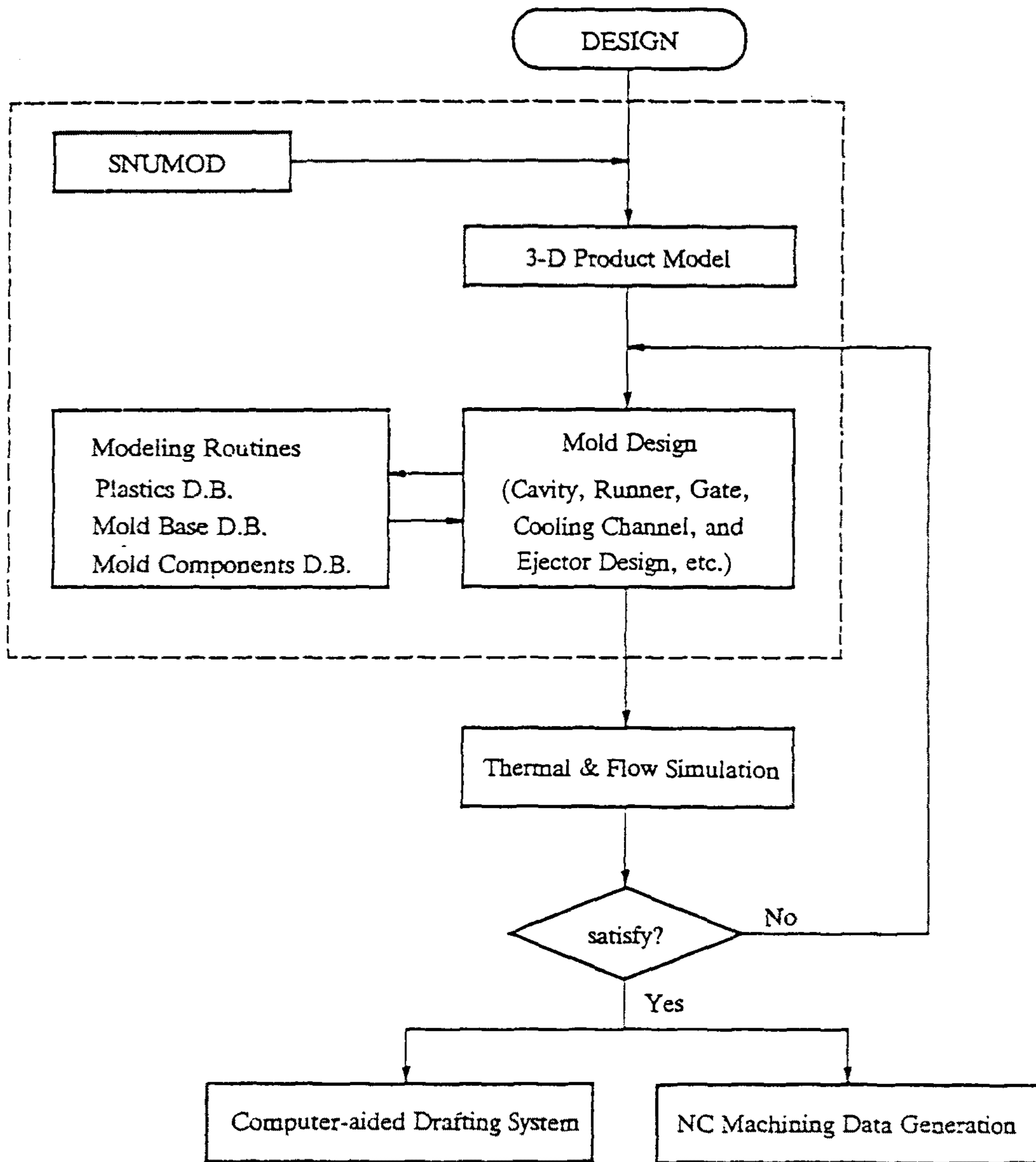


Fig. 1 An integrated CAD/CAM system for mold design

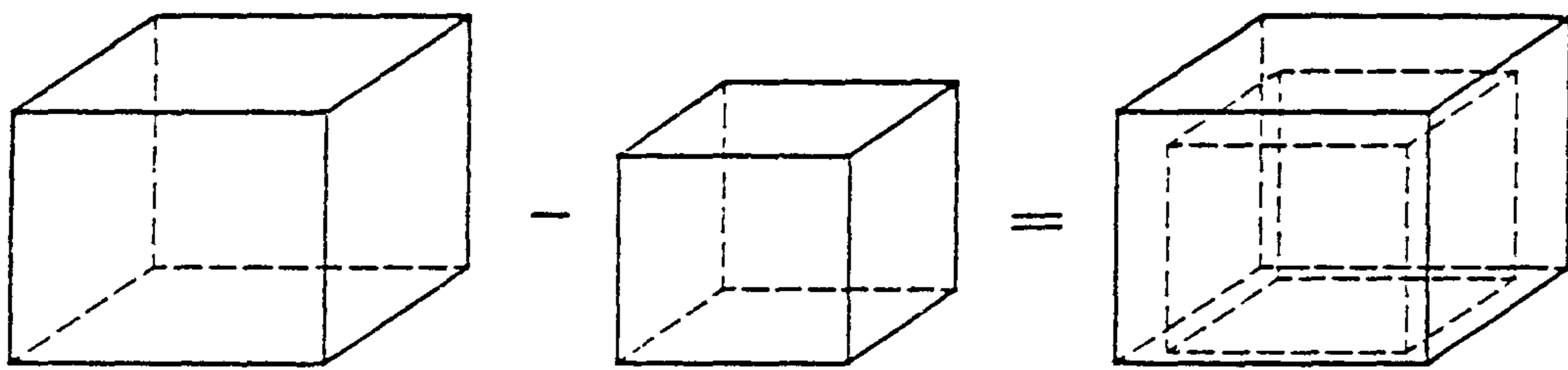


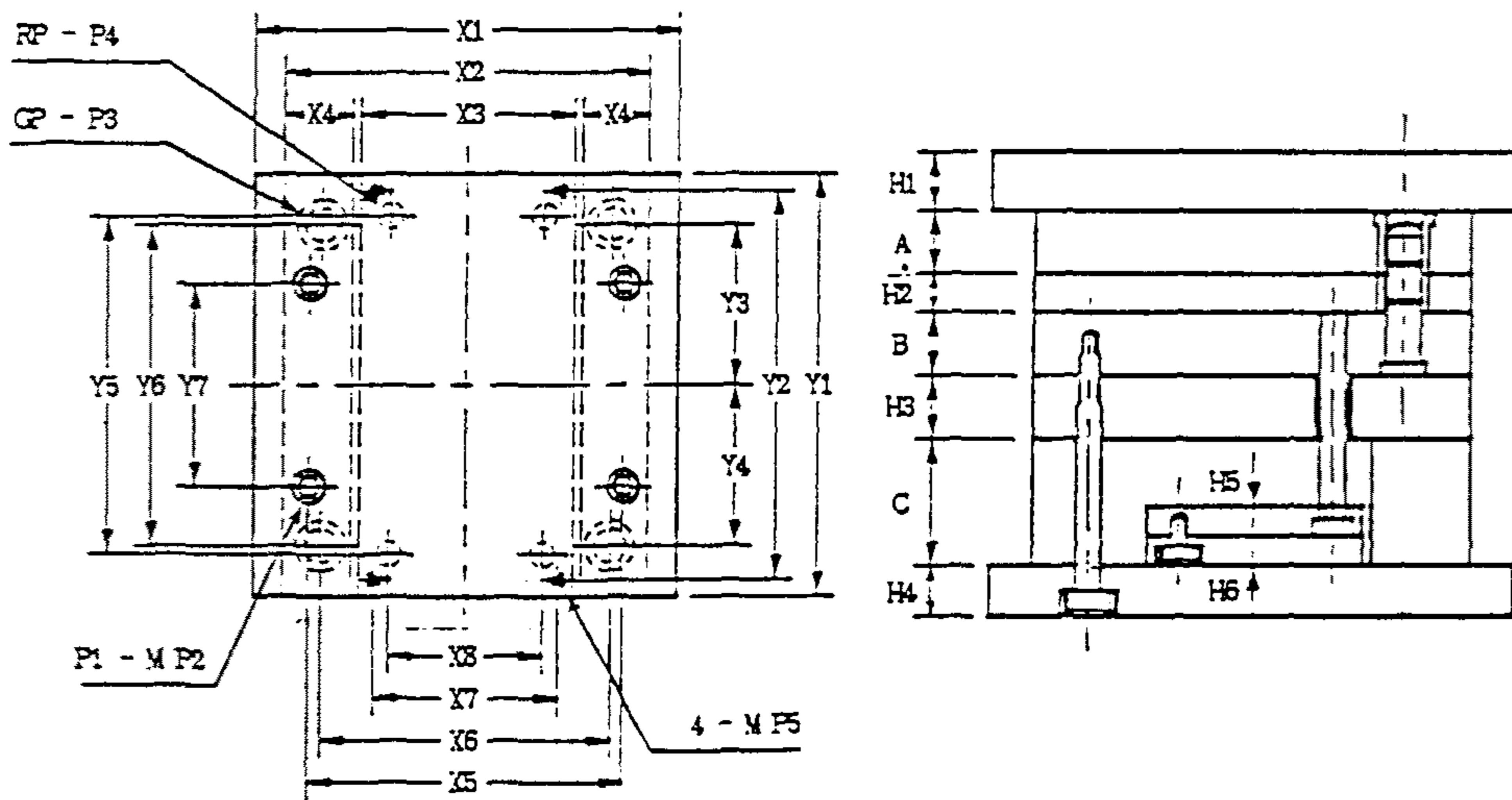
Fig. 2 Constant thickness operation

11010103	ABS-730	0.003	0.006	1.06	80
11010104	ABS-740	0.004	0.007	1.02	80
11010105	ABS-750	0.004	0.007	1.04	80

Fig. 3 Data base of plastics and molding conditions

Title	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6	Y7	P1	P2	P3	P4	P5	H1	H2	H3	H4	H5	H6	The range of A & B	The range of C											
1515	200	150	88	30	120	114	74	58	150	136	57	55	114	114	56	8	10	16	12	6	20	15	30	20	13	15	20	25	30	35	40	50	60	70	80	50	60	70	80
1518	200	150	88	30	120	114	74	58	180	160	67	65	133	134	64	8	10	16	12	6	20	15	30	20	13	15	20	25	30	35	40	50	60	70	80	50	60	70	80

(a)



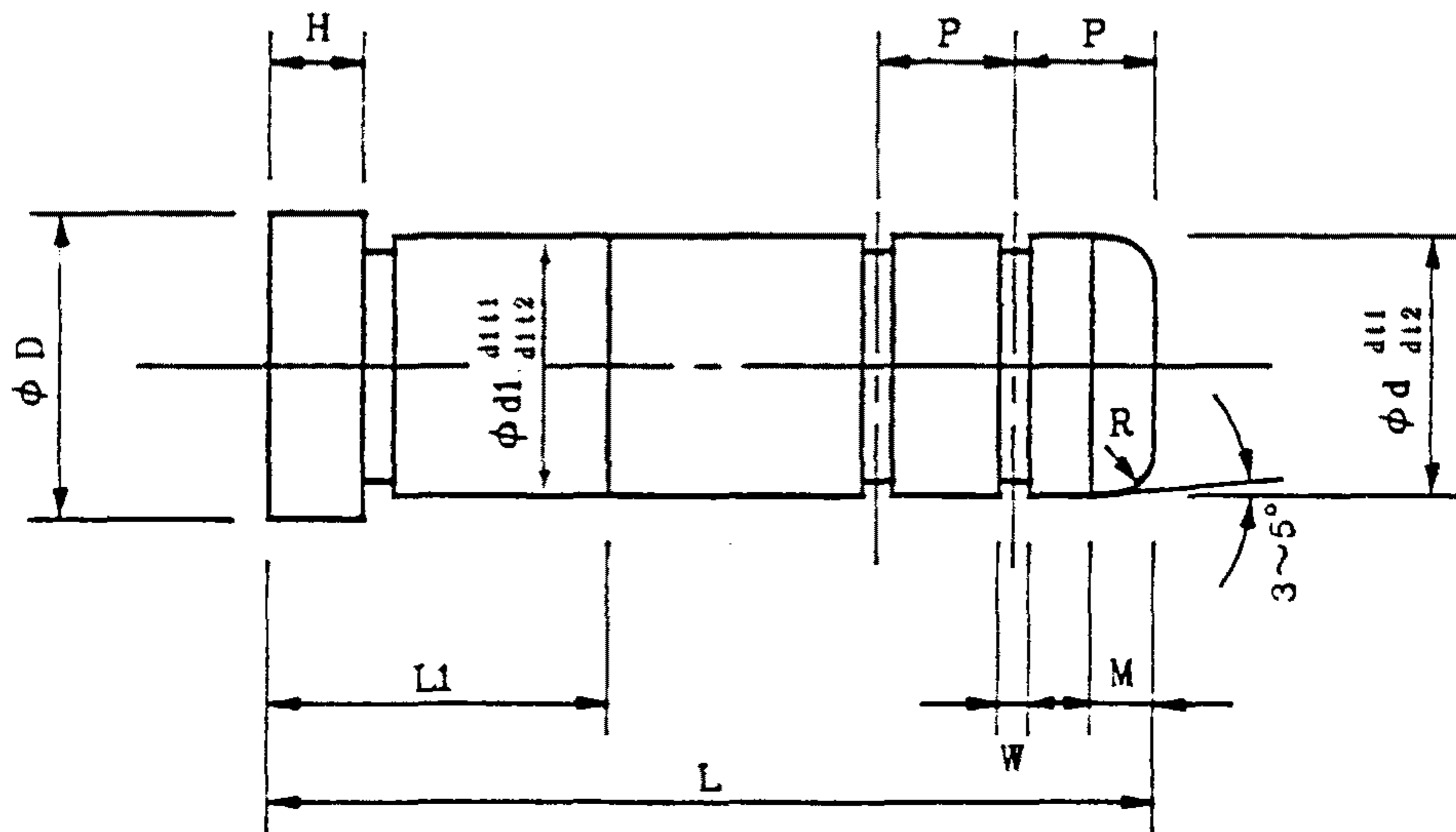
(b)

Fig. 4 (a) Indexed data file storing the standard mold bases [mm]

(b) The dimensions defining standard mold base.

Title	d	dt1	dt2	d1	d1t1	d1t2	D	H	M	R	W	P
16	16.	-0.016	-0.027	16.	+0.023	+0.012	21.	6.	20.	2.5	3.	16.
20	20.	-0.020	-0.033	20.	+0.028	+0.015	25.	6.	20.	2.5	3.	20.
25	25.	-0.020	-0.033	25.	+0.028	+0.015	30.	8.	20.	2.5	3.	25.
30	30.	-0.020	-0.033	30.	+0.028	+0.015	35.	8.	20.	2.5	3.	30.
35	35.	-0.025	-0.041	35.	+0.033	+0.017	40.	8.	20.	2.5	3.	35.
40	40.	-0.025	-0.041	40.	+0.033	+0.017	45.	10.	20.	2.5	3.	40.
50	50.	-0.025	-0.041	50.	+0.033	+0.017	50.	10.	20.	2.5	3.	50.

(a)



(b)

Fig. 5 (a) Indexed data file for storing guide pins [mm]

(b) The dimensions defining guide pins of type A.

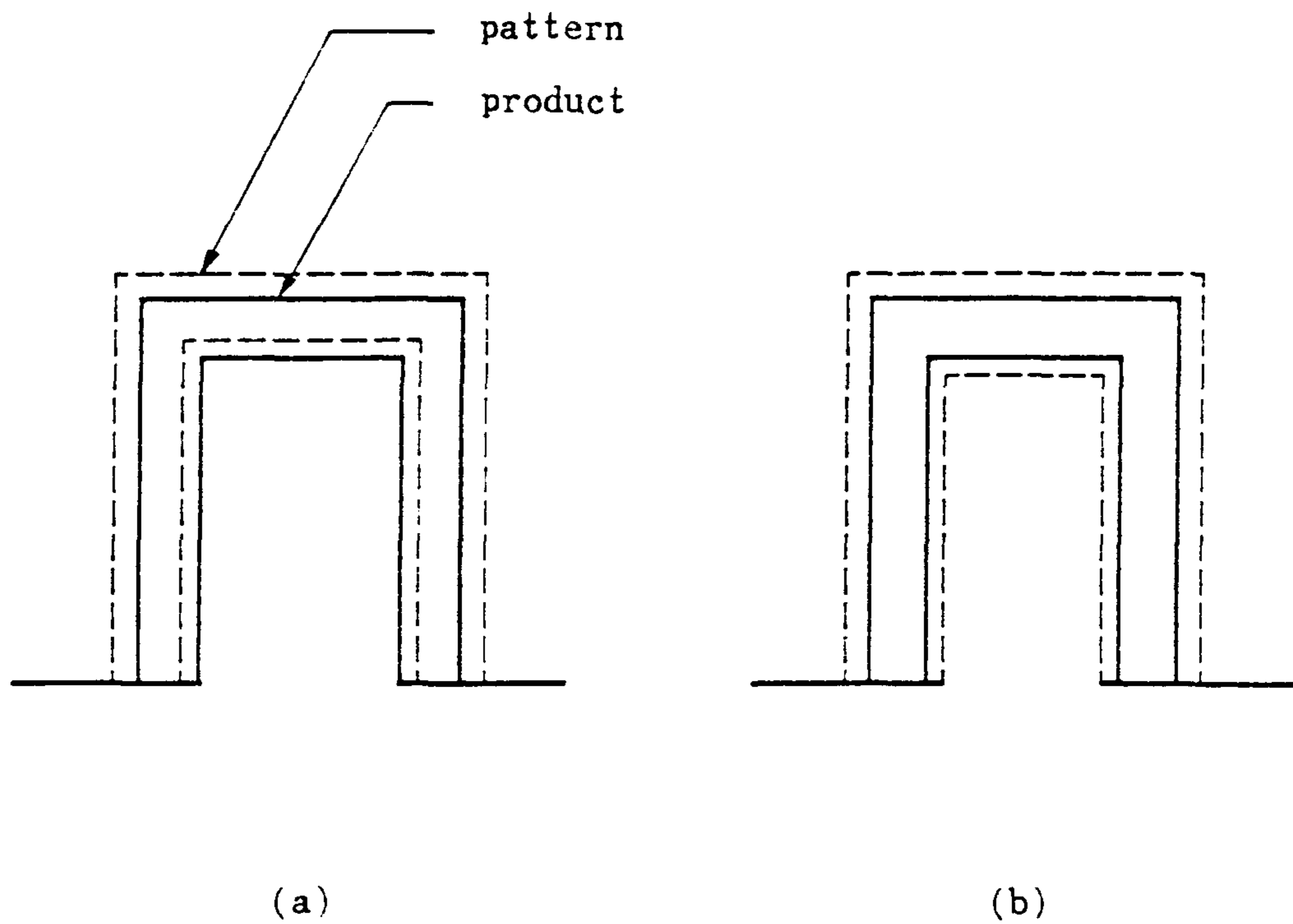


Fig. 6 The pattern for shrinkage allowance.

- (a) The pattern in injection molding process
- (b) The pattern in casting process

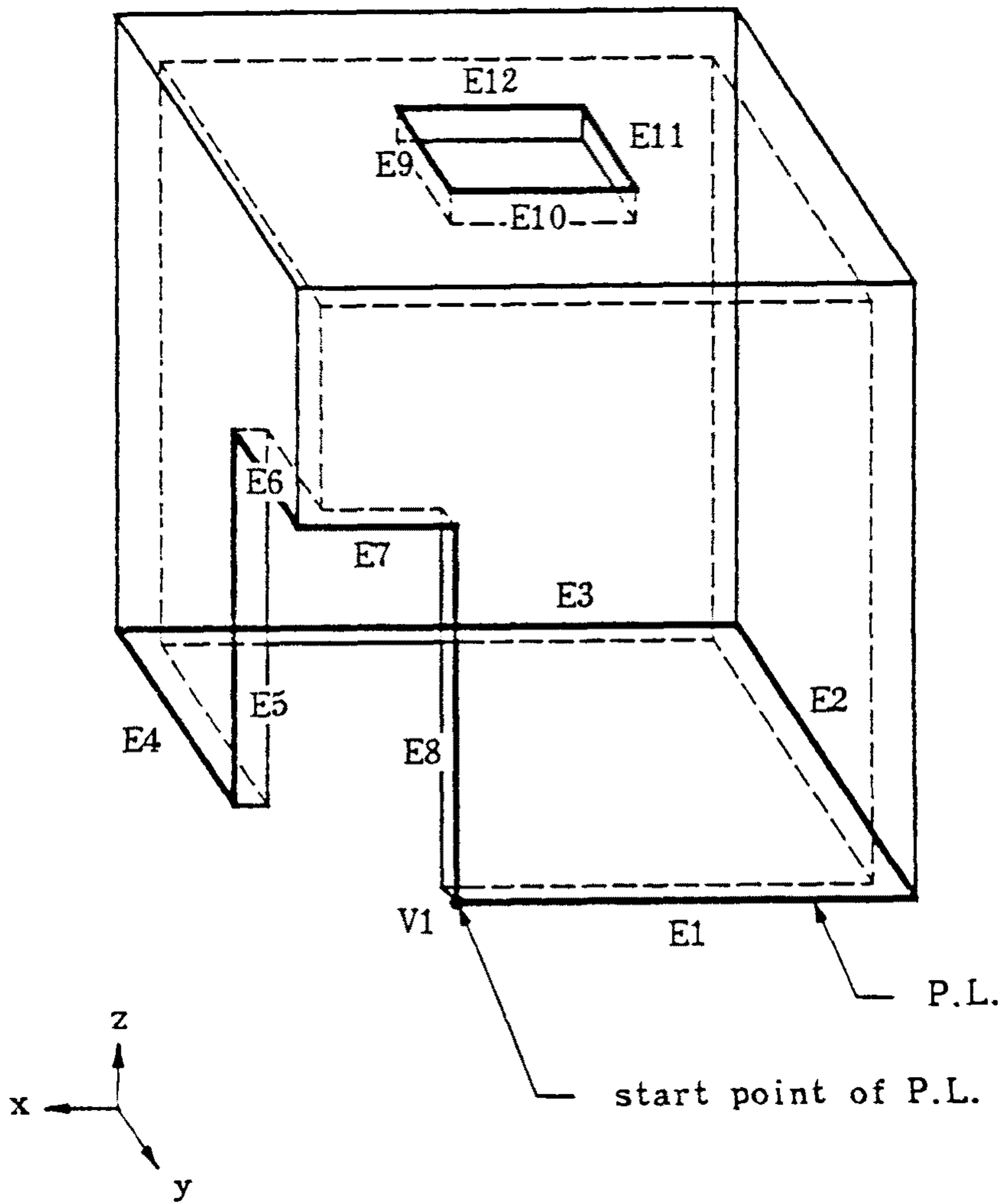


Fig. 7 Selection of the parting lines

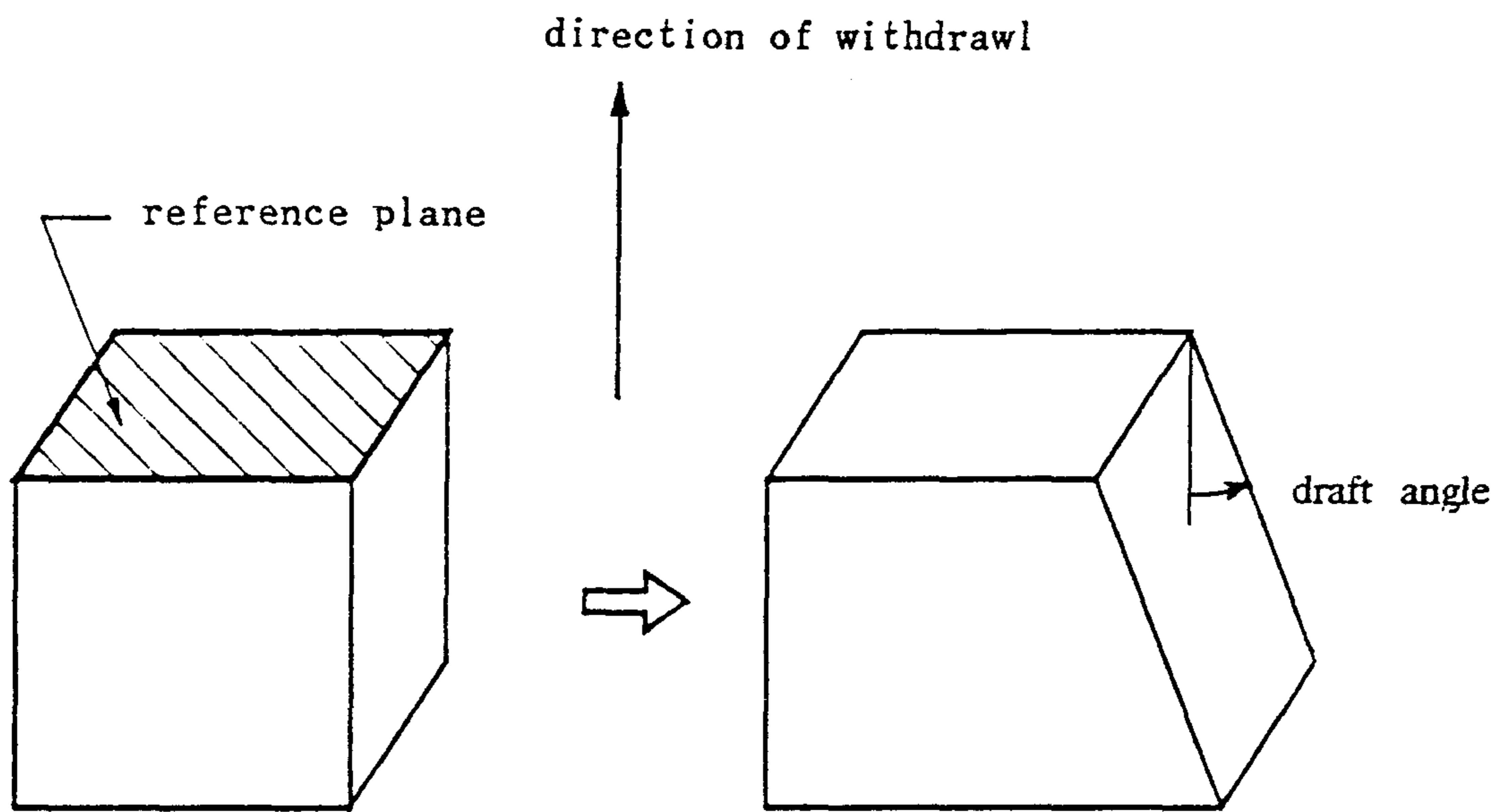


Fig. 8 Draft operation on the pattern

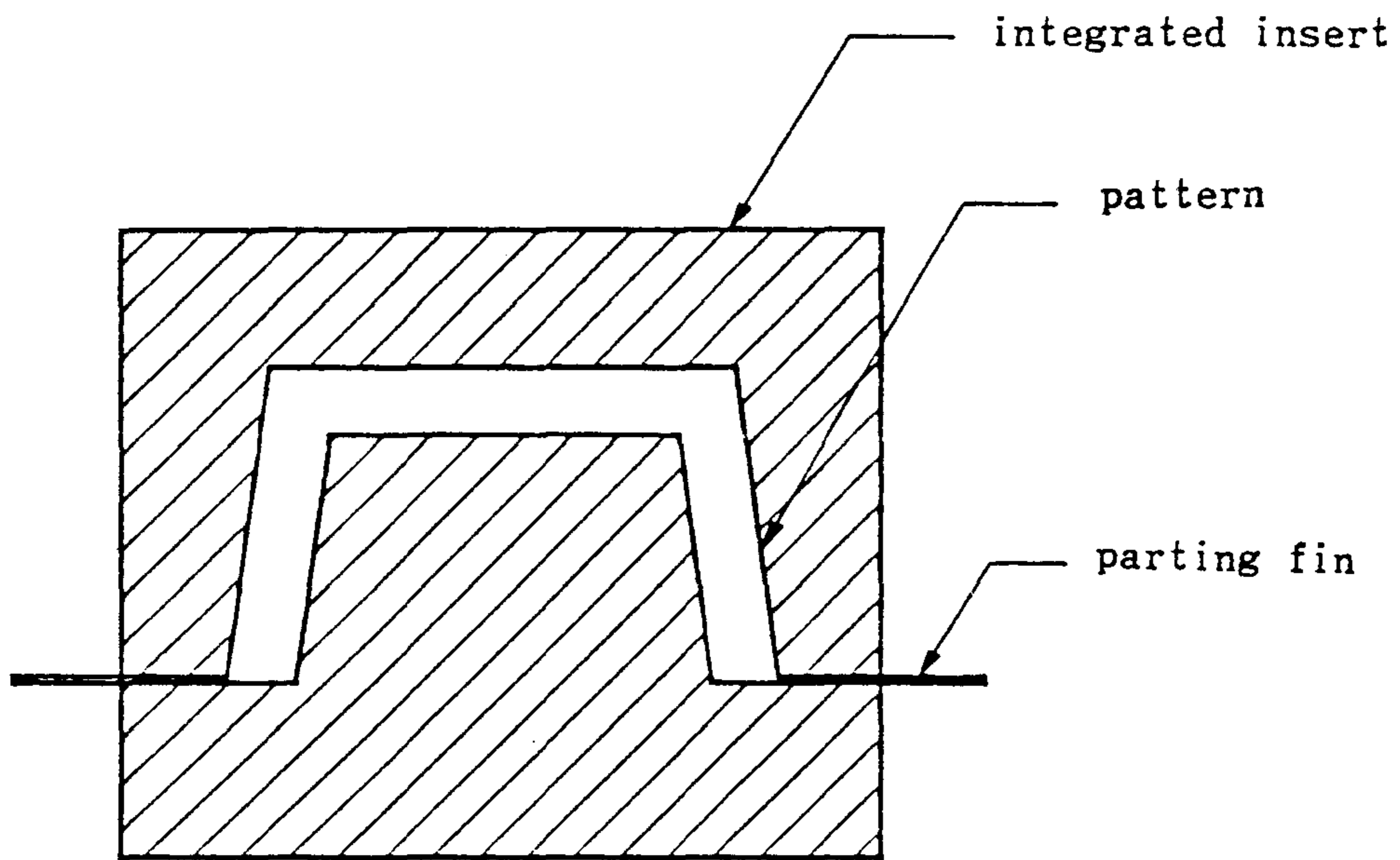


Fig. 9 Procedure for creating core insert and cavity insert

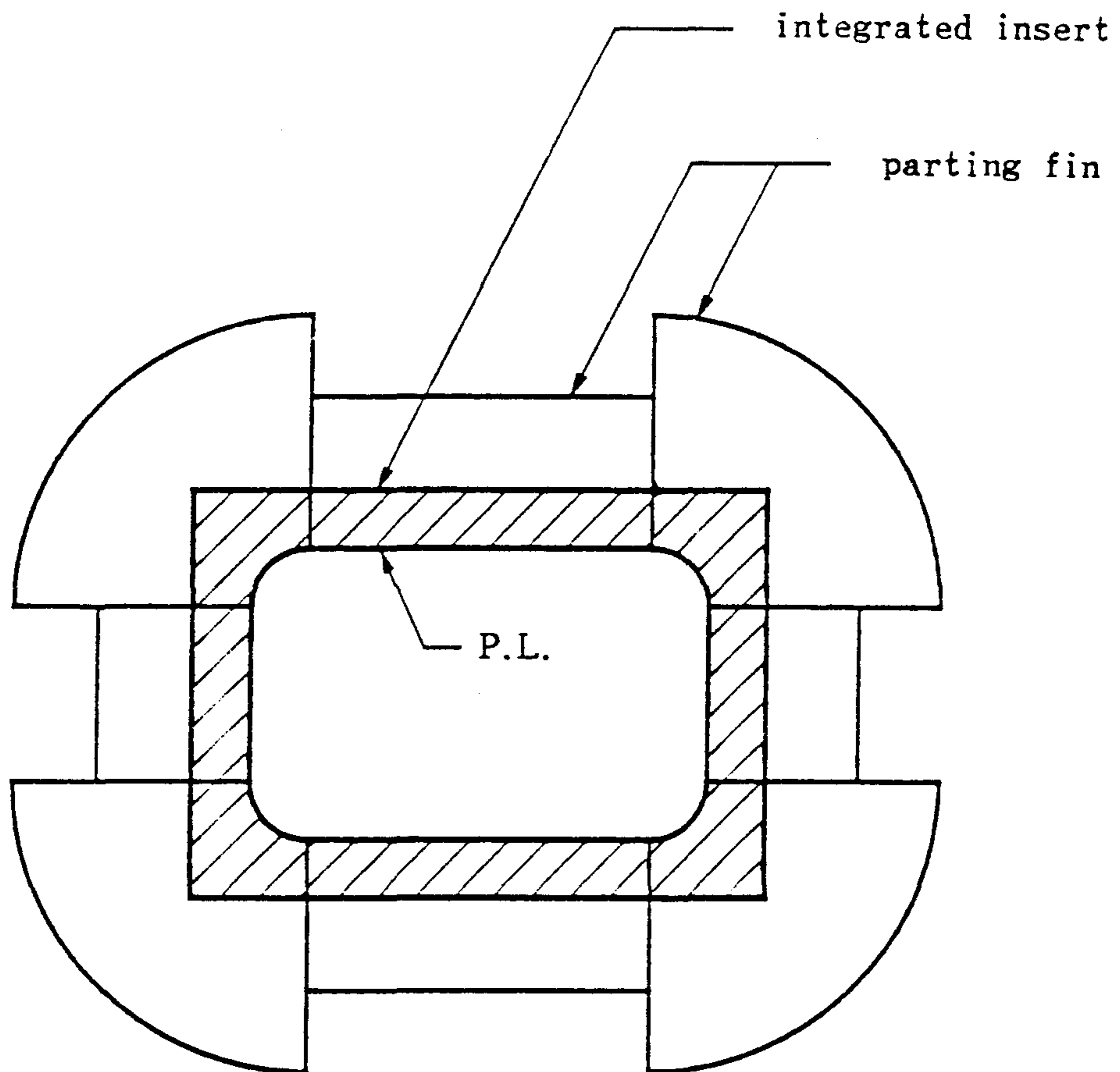


Fig. 10 Principle of generating a parting fin

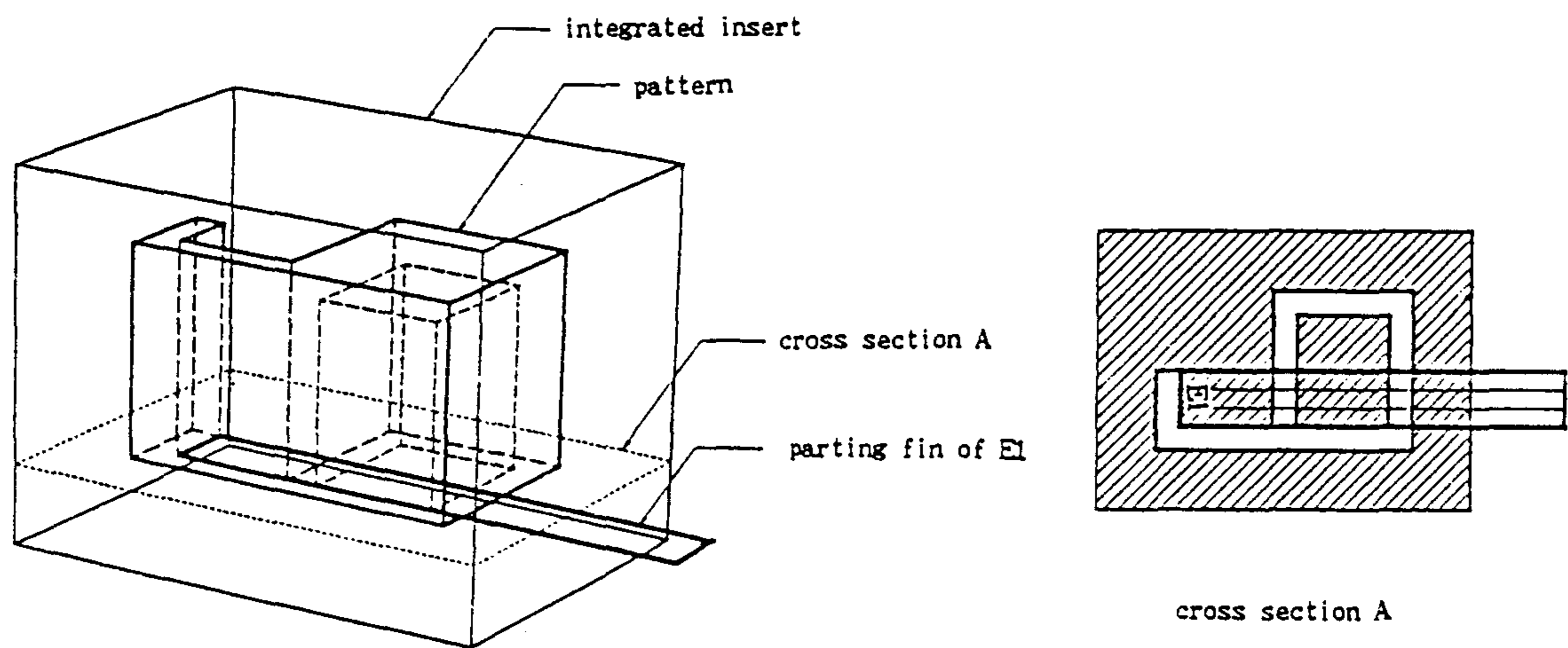
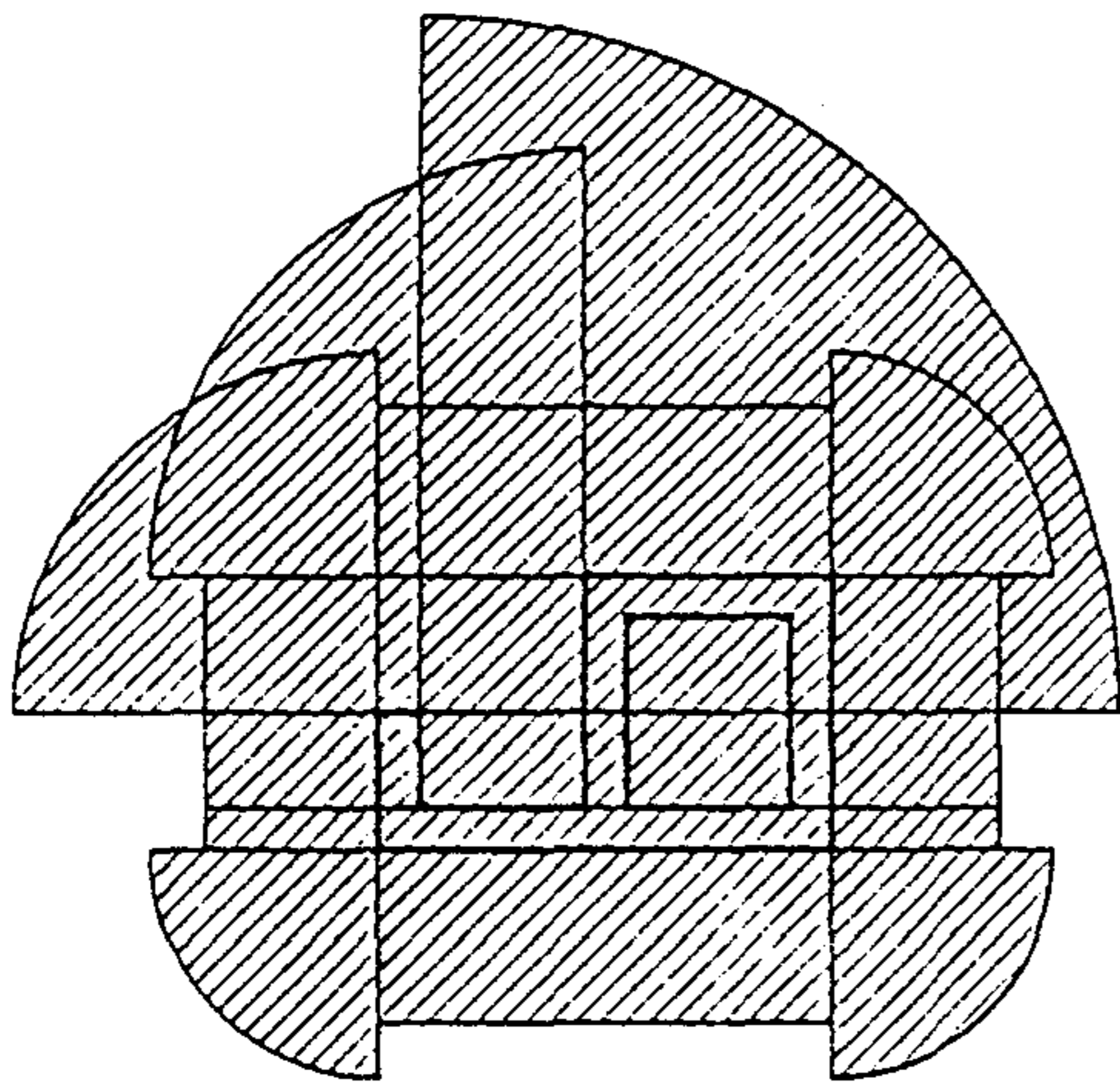
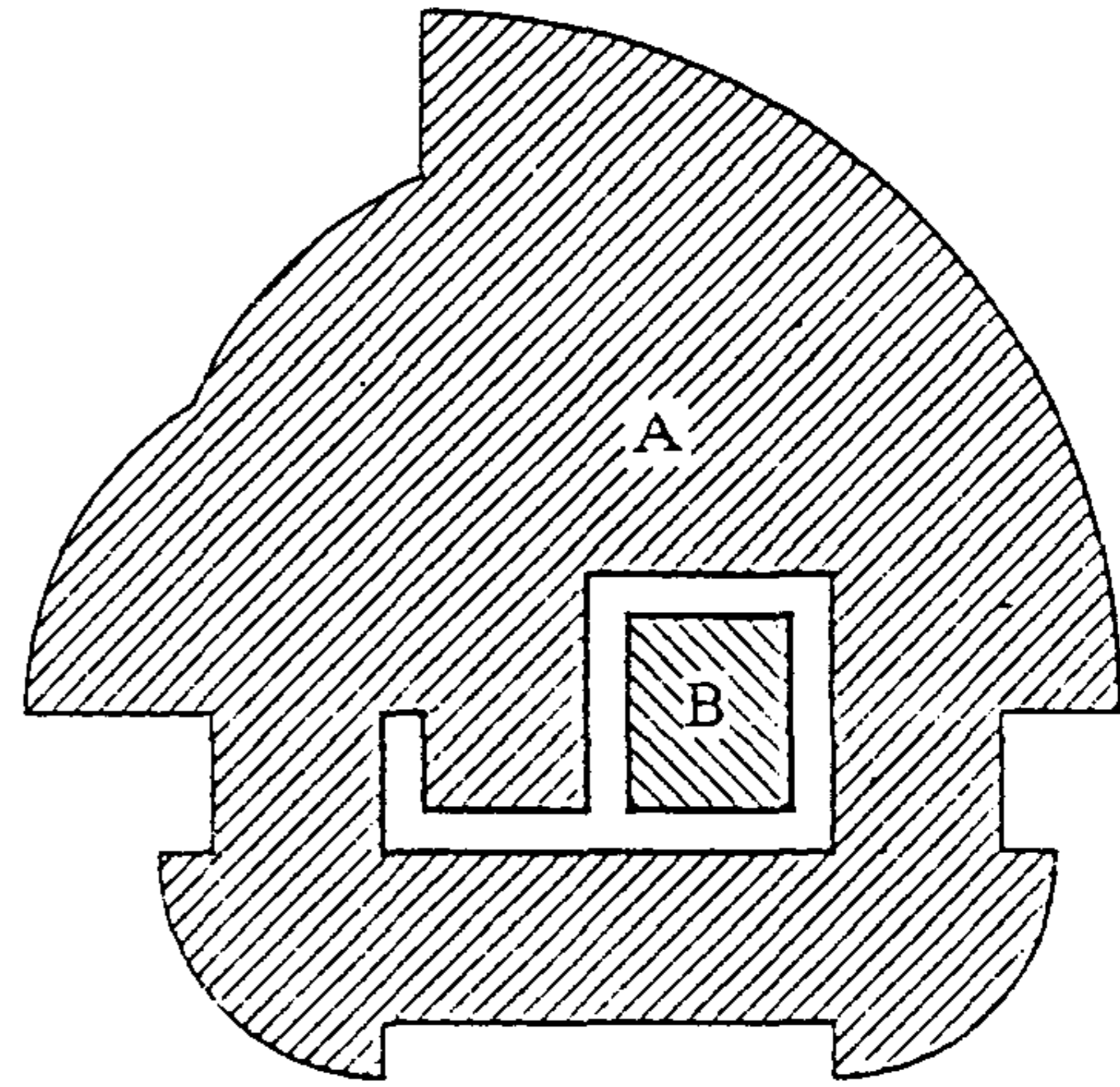


Fig. 11 Case where an excessive parting fin causes a trouble



(a)



(b)

Fig. 12 Procedure for solving a excessive parting fin problem

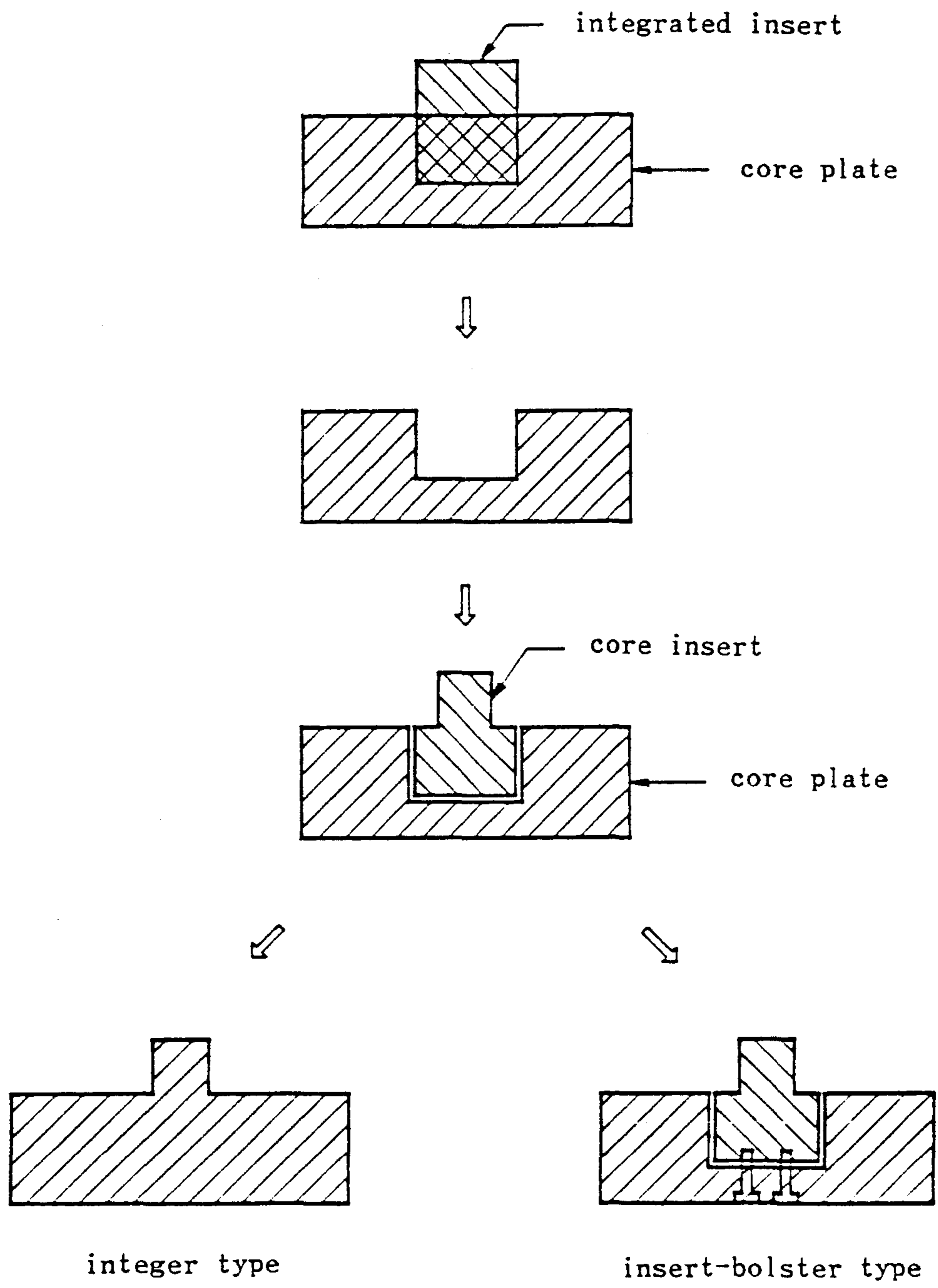


Fig. 13 Implanting of core insert onto core plate

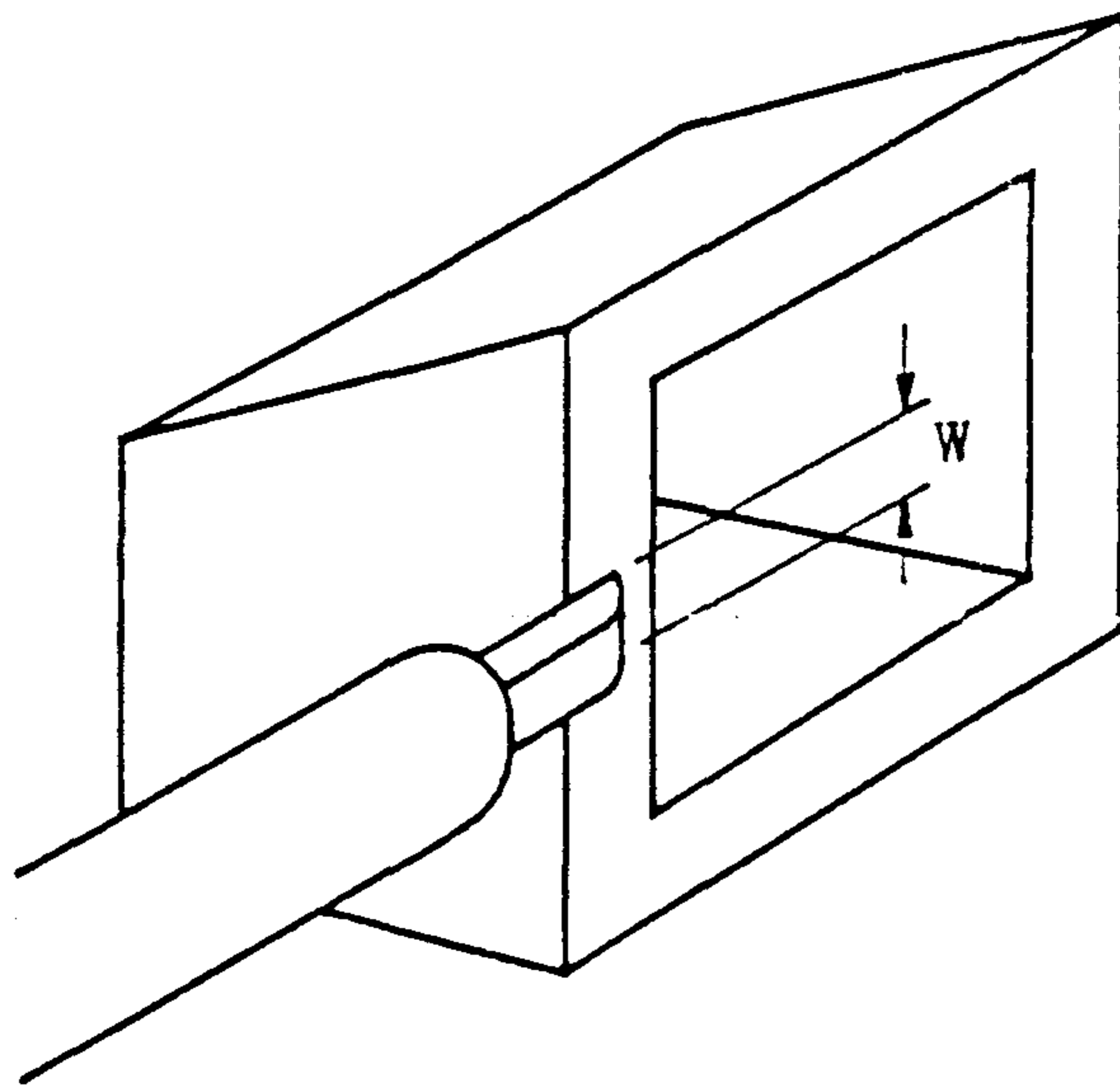
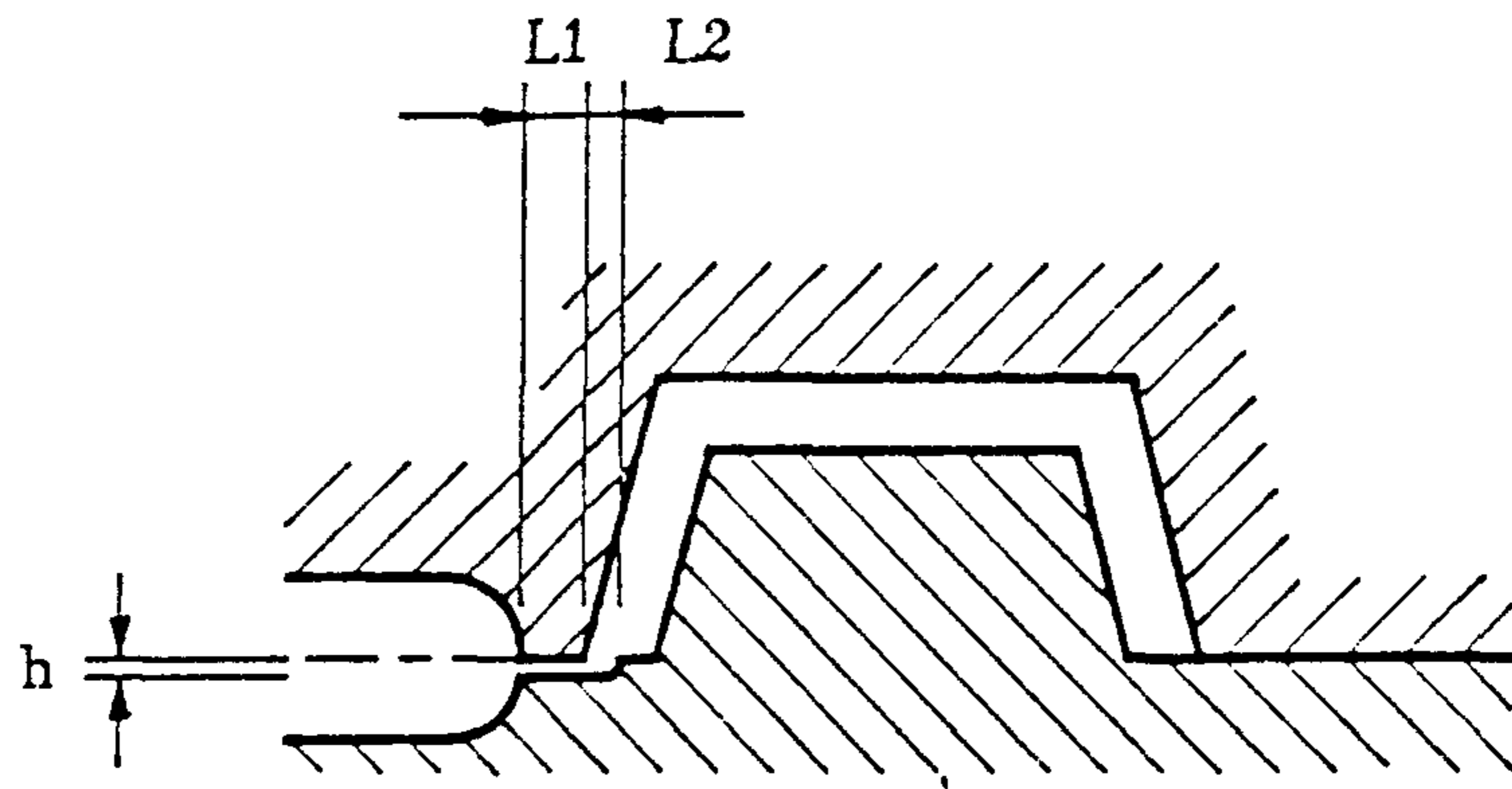


Fig. 14 Overlap gate and its dimensions

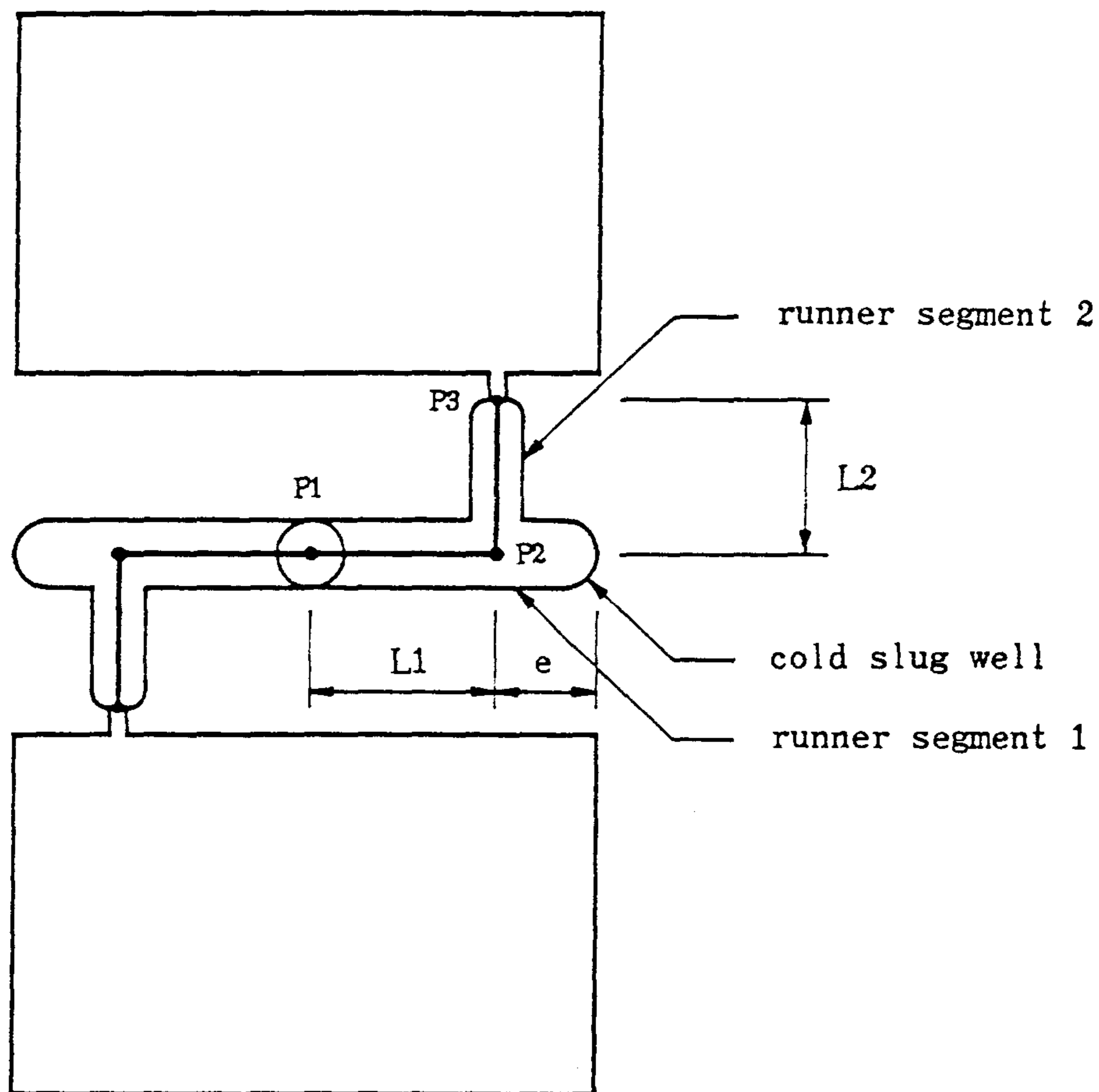
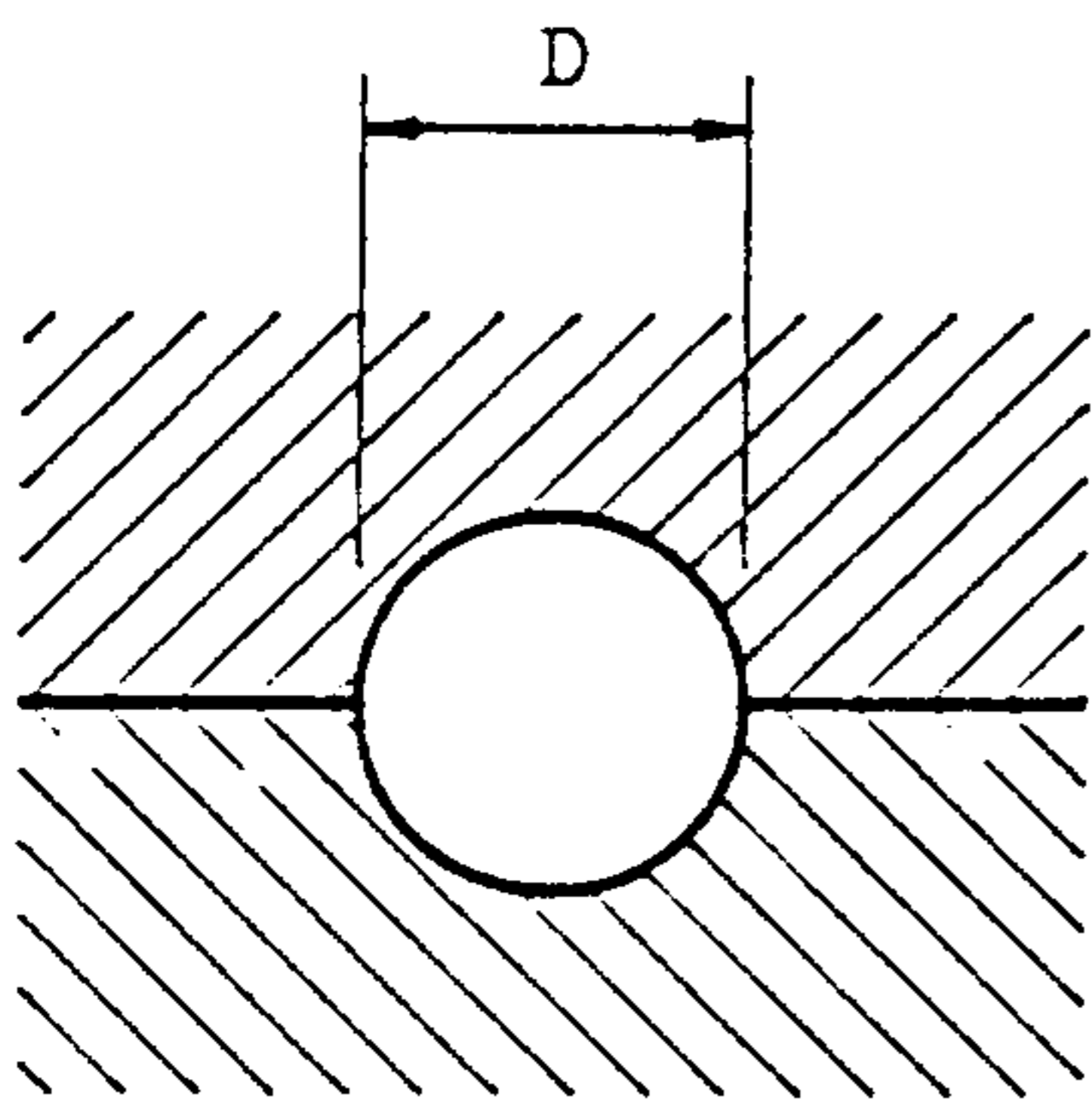
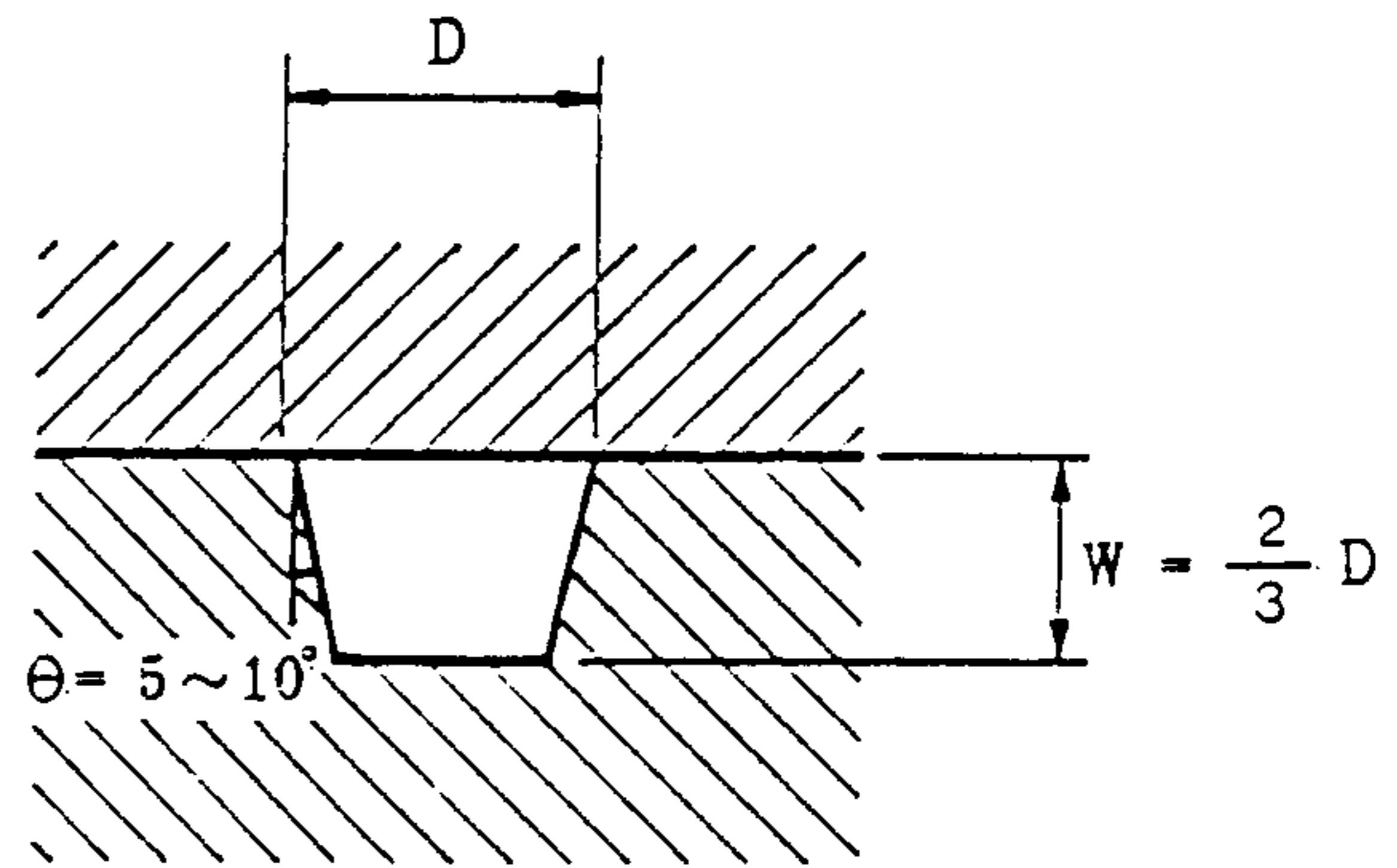


Fig. 15 Runner layout and cold slug well



circular profile



trapezoidal profile

Fig. 16 Runner profiles

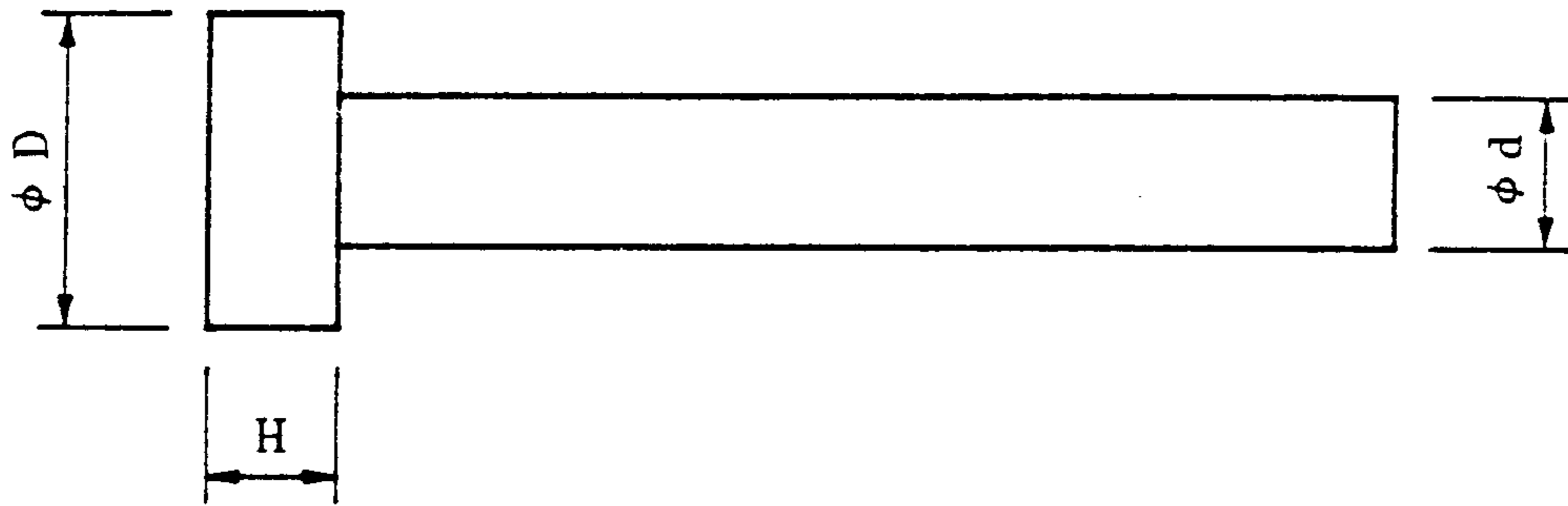


Fig. 17 Shape of ejector pin

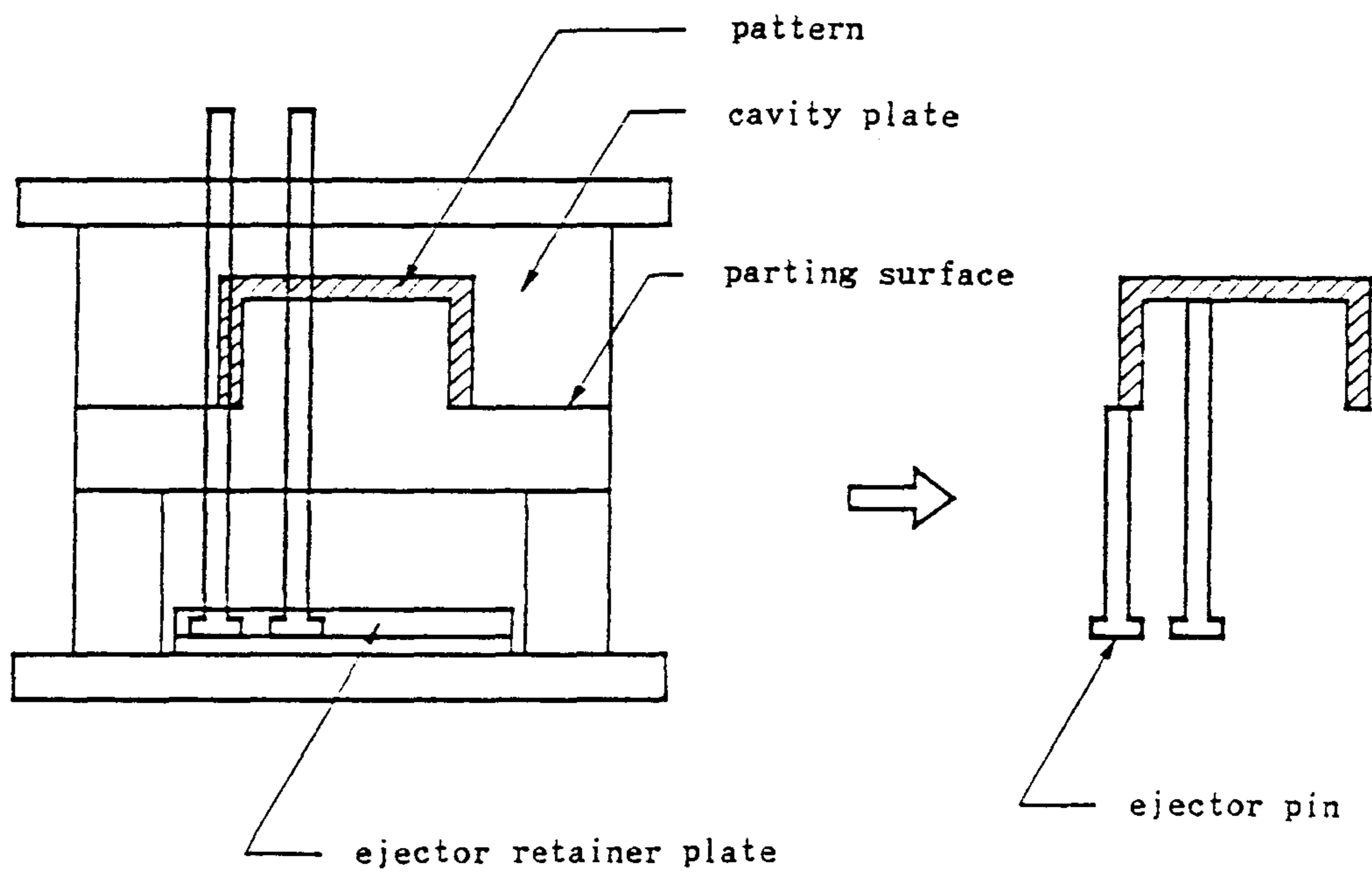


Fig. 18 Cutting ejector pin to a proper length

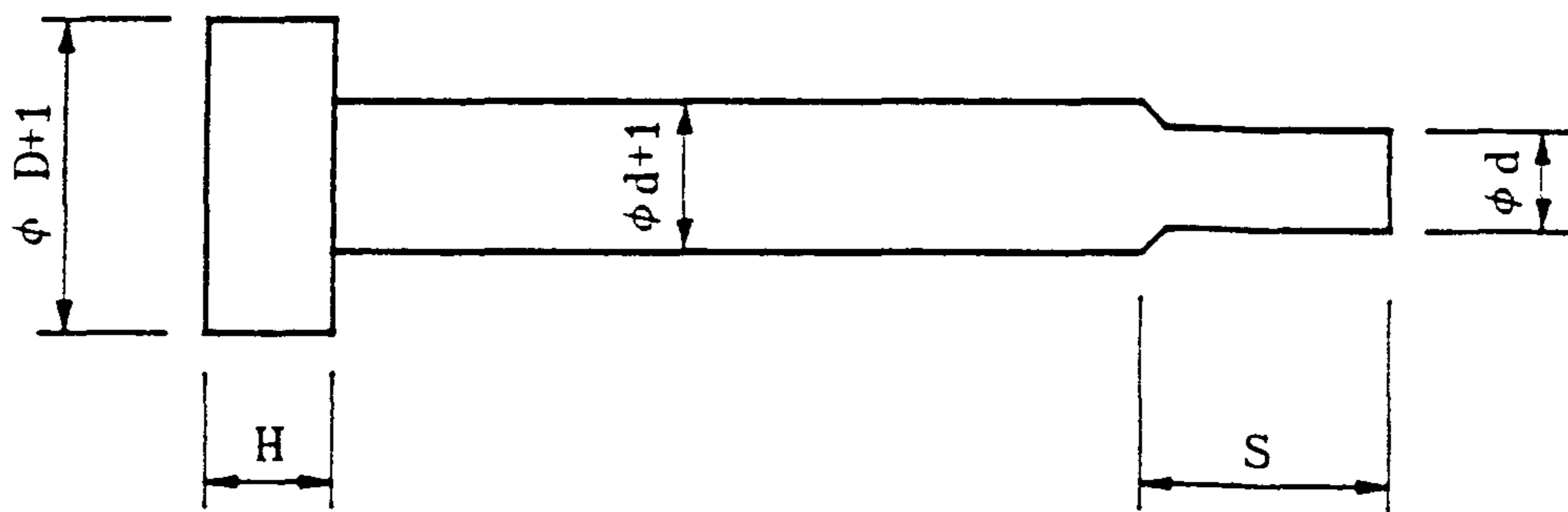


Fig. 19 Ejector pin hole [mm]

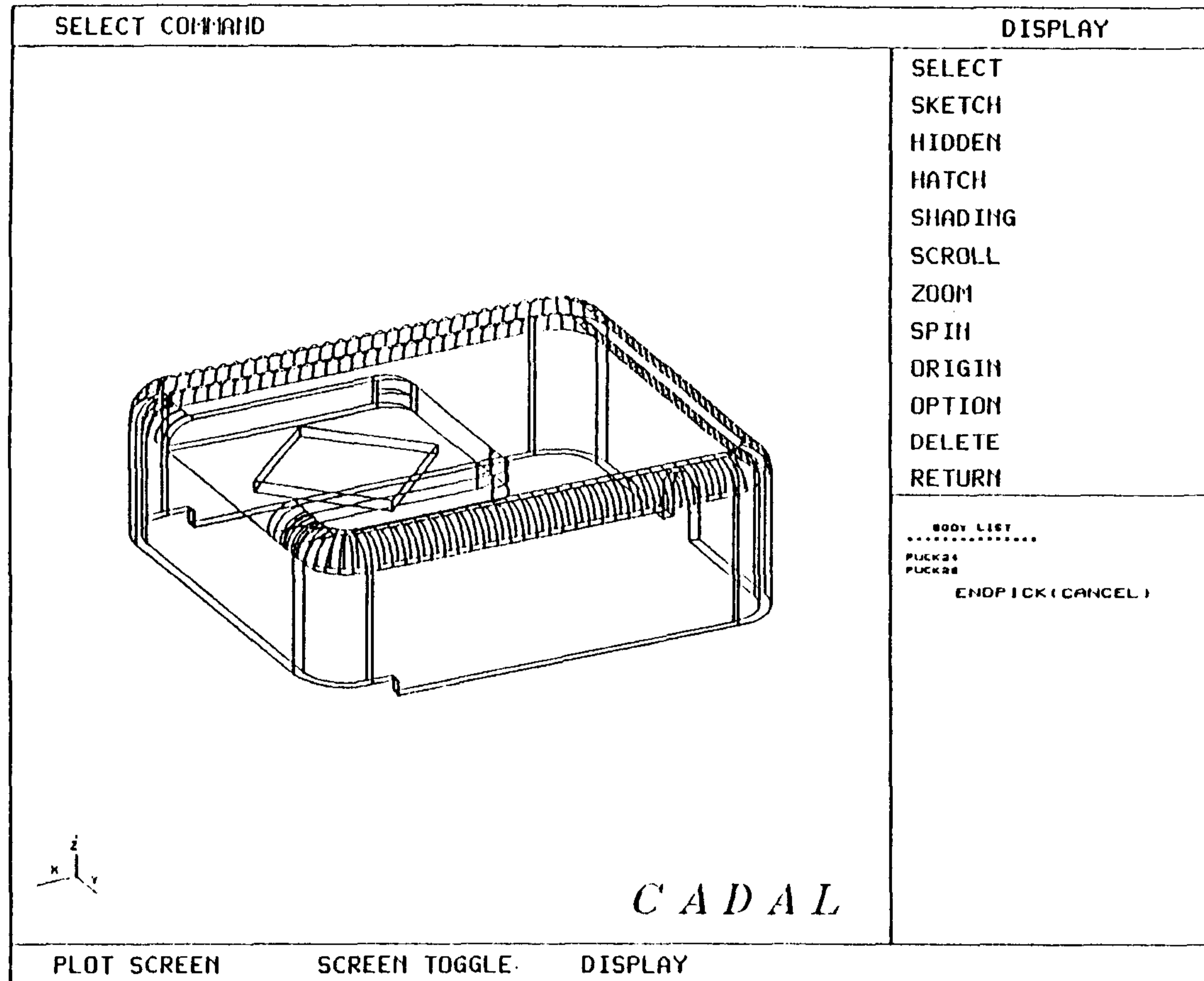


Fig. 20 Product model of a mouse cover

SELECT MENU	SELECT RESIN
<p>MOLD> SELECT A COMPANY :1</p> <p>-----</p> <p style="text-align: center;">A B S RESIN</p> <p>-----</p> <p>[1] HAN NAM CHEMICAL COR.</p> <p> 1. ABS - 710 (Metal Plating)</p> <p> 2. ABS - 720 (High Rigidity)</p> <p> 3. ABS - 730 (High Heat)</p> <p> 4. ABS - 740 (High Impact)</p> <p> 5. ABS - 750 (General Purpose)</p> <p> 6. ABS - 770 (Extrusion)</p> <p> 7. ABS - 780 (High Flow)</p> <p> 8. ABS - 790 (Extrusion)</p> <p> 9. ABS - 112938 (Super High Heat)</p> <p>10. HFA - 700 (Flame Retardant)</p> <p>MOLD> SELECT A GRADE :1</p> <p>-----</p> <p>NAME = ABS-710</p> <p>KEY NO. = 11010101</p> <p>MIN. SHRINKAGE = 4.0000002E-03</p> <p>MAX. SHRINKAGE = 7.0000002E-03</p> <p>SHRINKAGE = 5.5000004358589649E-03</p> <p>SPECIFIC GRAVITY = 1.0400000000000000</p> <p>MOLD TEMPERATURE = 80.00000000000000</p> <p>INJECT PRESS = 700.0000000000000</p> <p>-----</p>	<p>-----</p> <p>BODY LIST</p> <p>.....</p> <p>NO BODY</p> <p>ENDPICK (CANCEL)</p>
<p>PLOT SCREEN SCREEN TOGGLE DISPLAY</p>	

Fig. 21 Selection of a resin

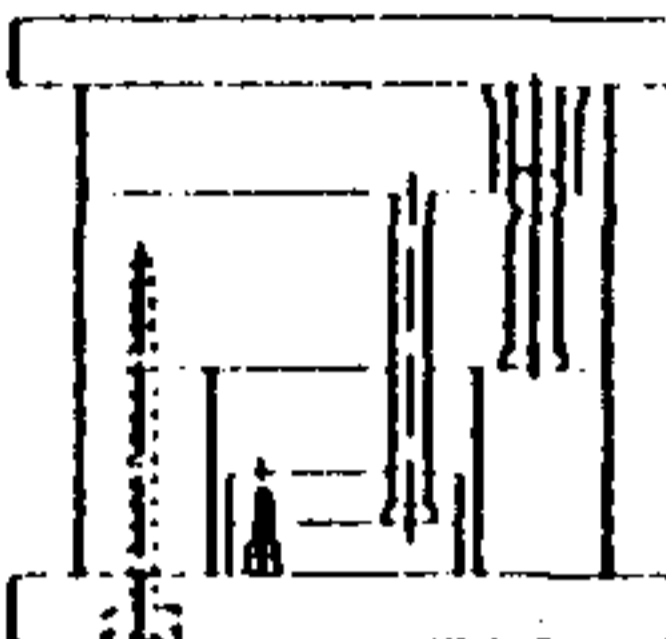
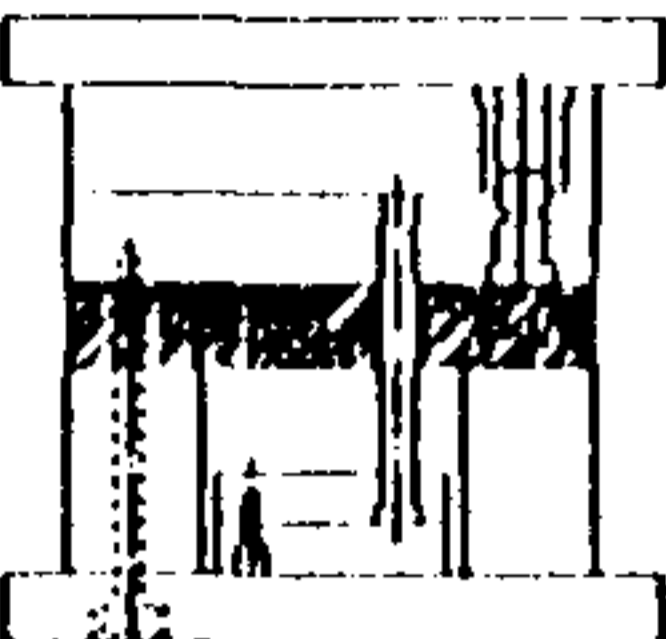
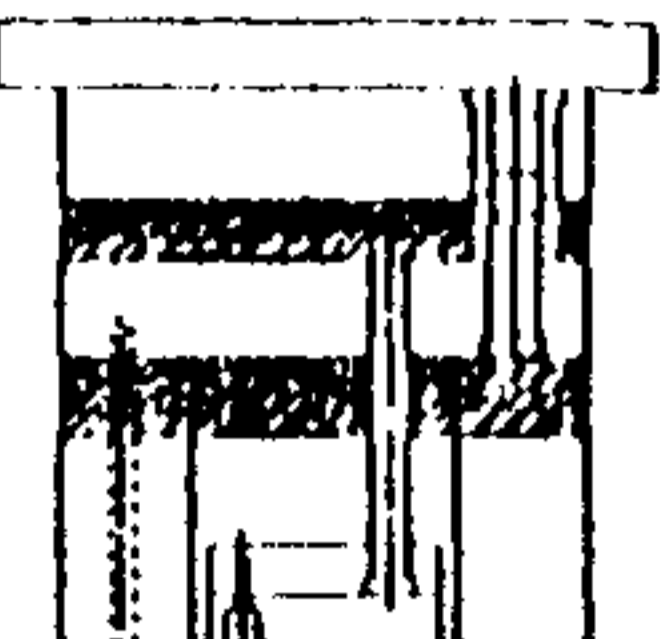
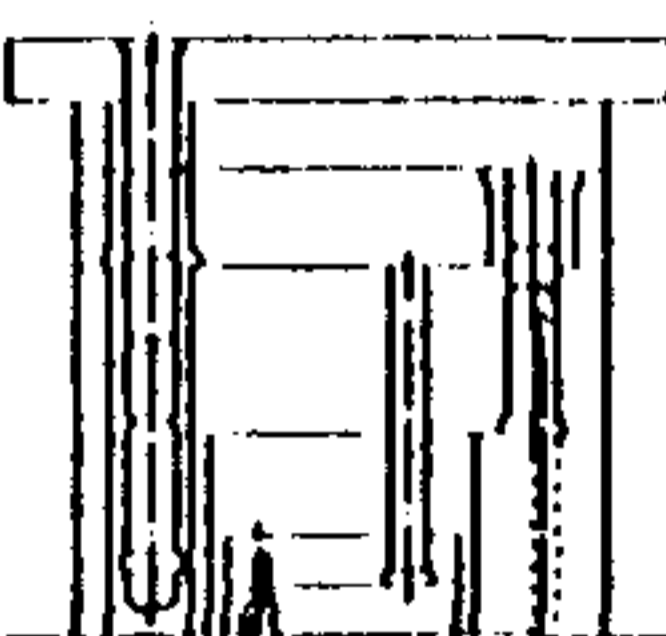
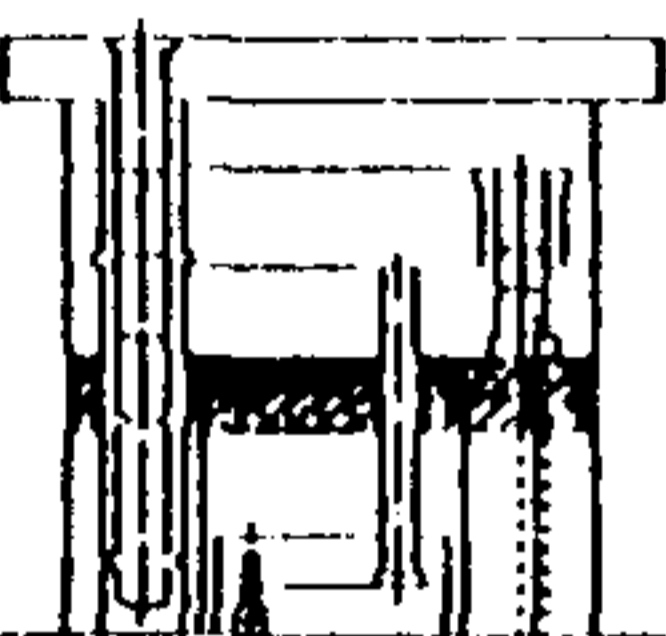
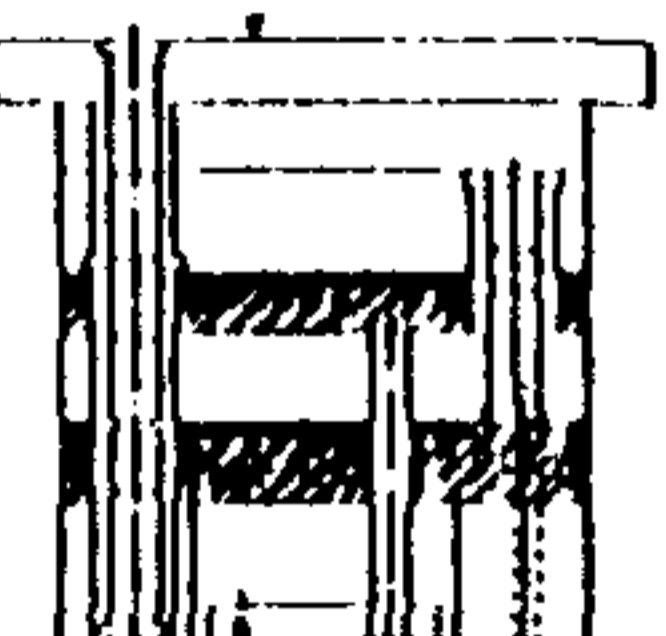
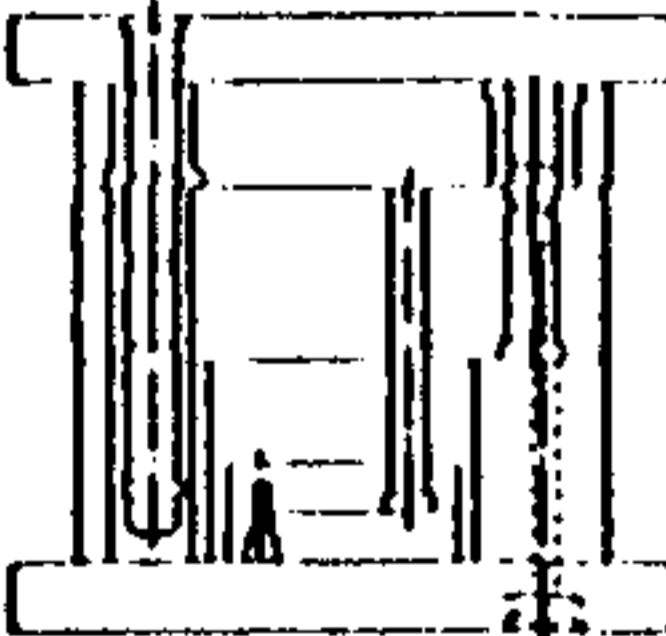
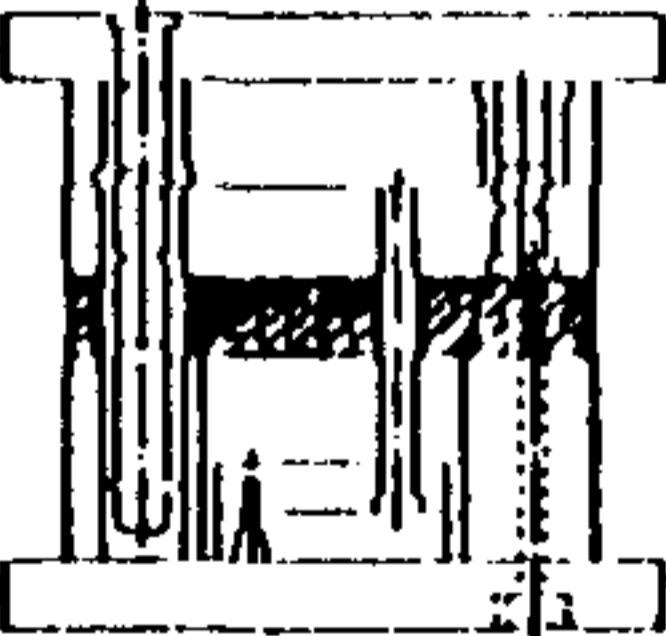
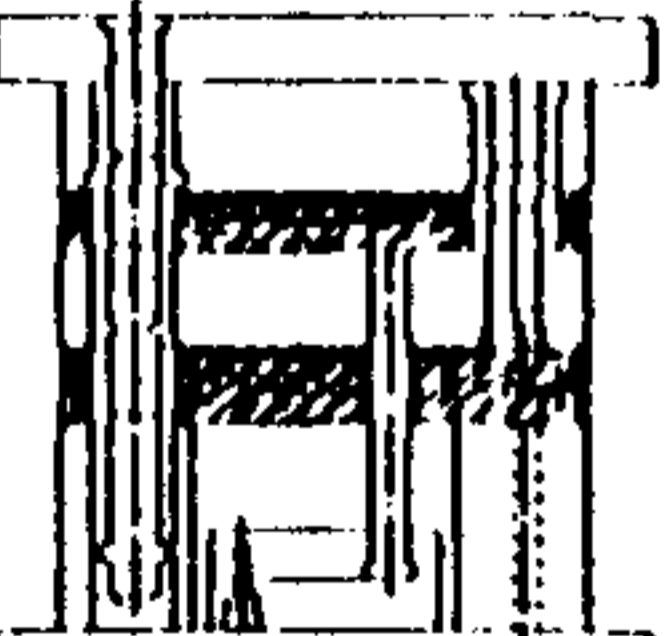
SELECT HOLD BASE TYPE				SELECT M.B.		
M.B. SPEC: <input style="width: 50px;" type="text" value="3040"/>		<input type="checkbox"/> TYPE	<input type="checkbox"/> A	<input type="checkbox"/> B	<input type="checkbox"/> C	<input type="checkbox"/> STANDARD
A Type	B Type	C Type				
						
DA Type	DB Type	DC Type				
						
EA Type	EB Type	EC Type				
						
PLOT SCREEN	SCREEN TOGGLE	DISPLAY				
			A TYPE B TYPE C TYPE DA TYPE DB TYPE DC TYPE EA TYPE EB TYPE EC TYPE RETURN			
			BODY LIST NO BODY ERIDPICK (CANCEL)			

Fig. 22 Selection of a standard mold base

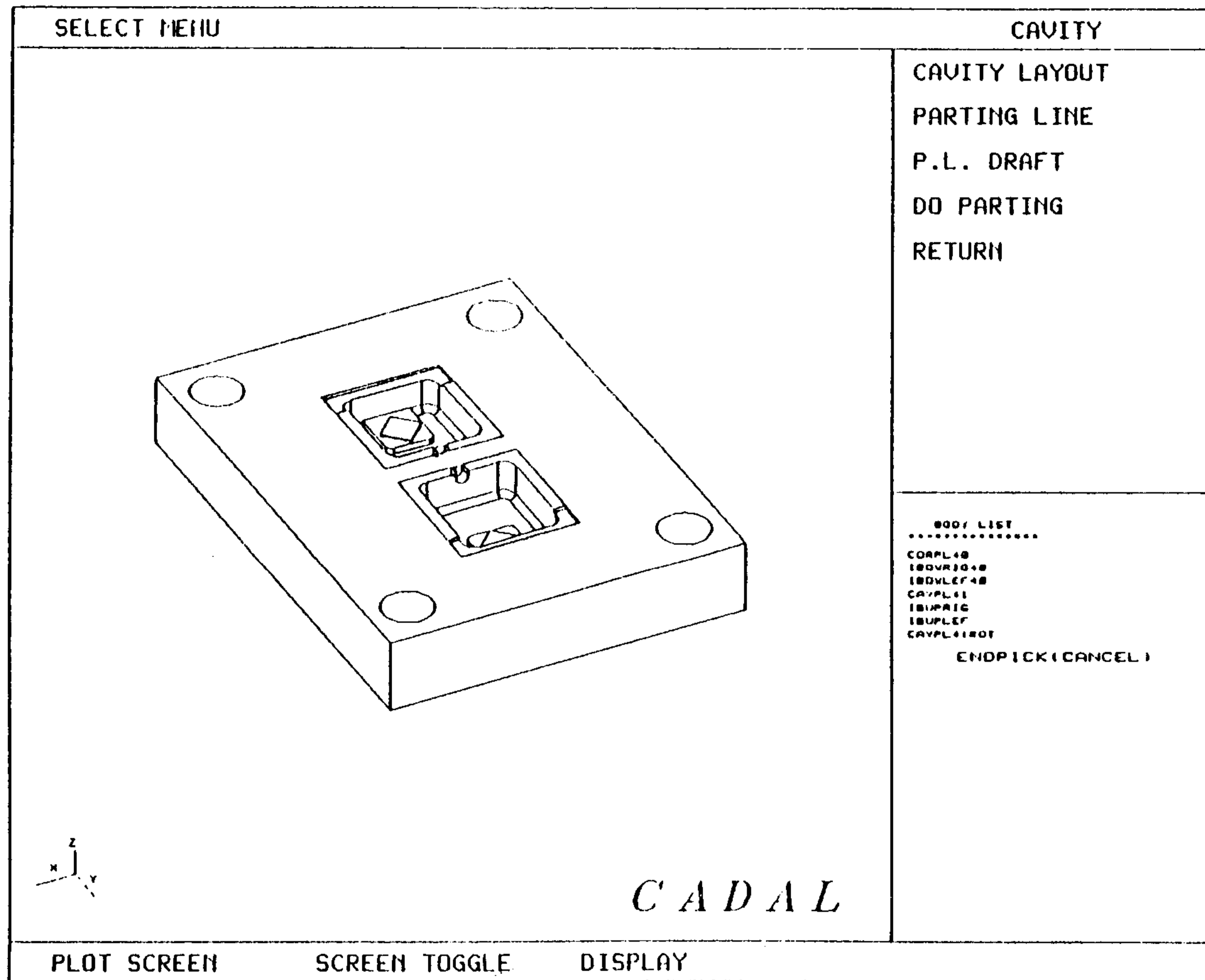


Fig. 23 Core plate

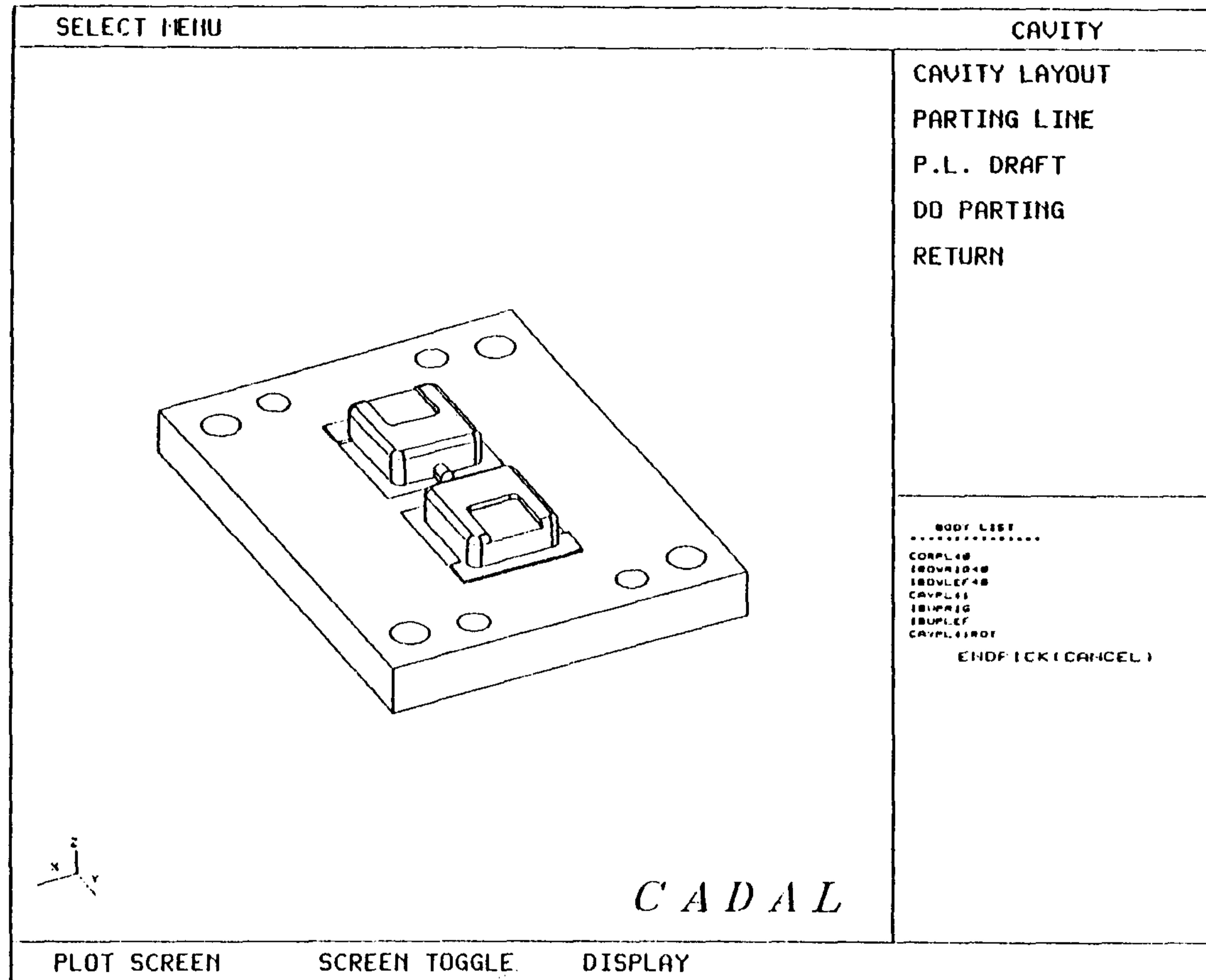


Fig. 24 Cavity plate

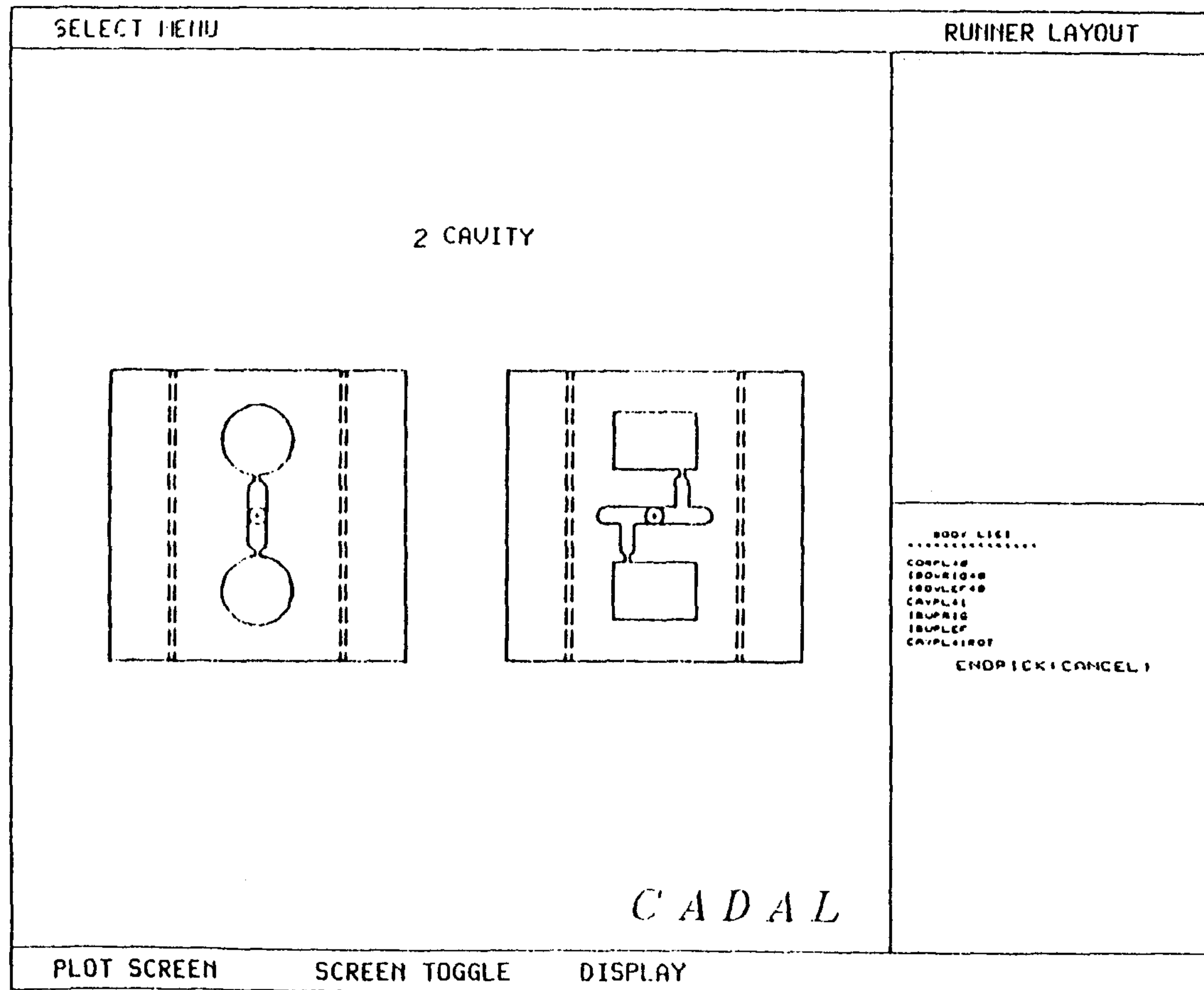


Fig. 25 Runner layout

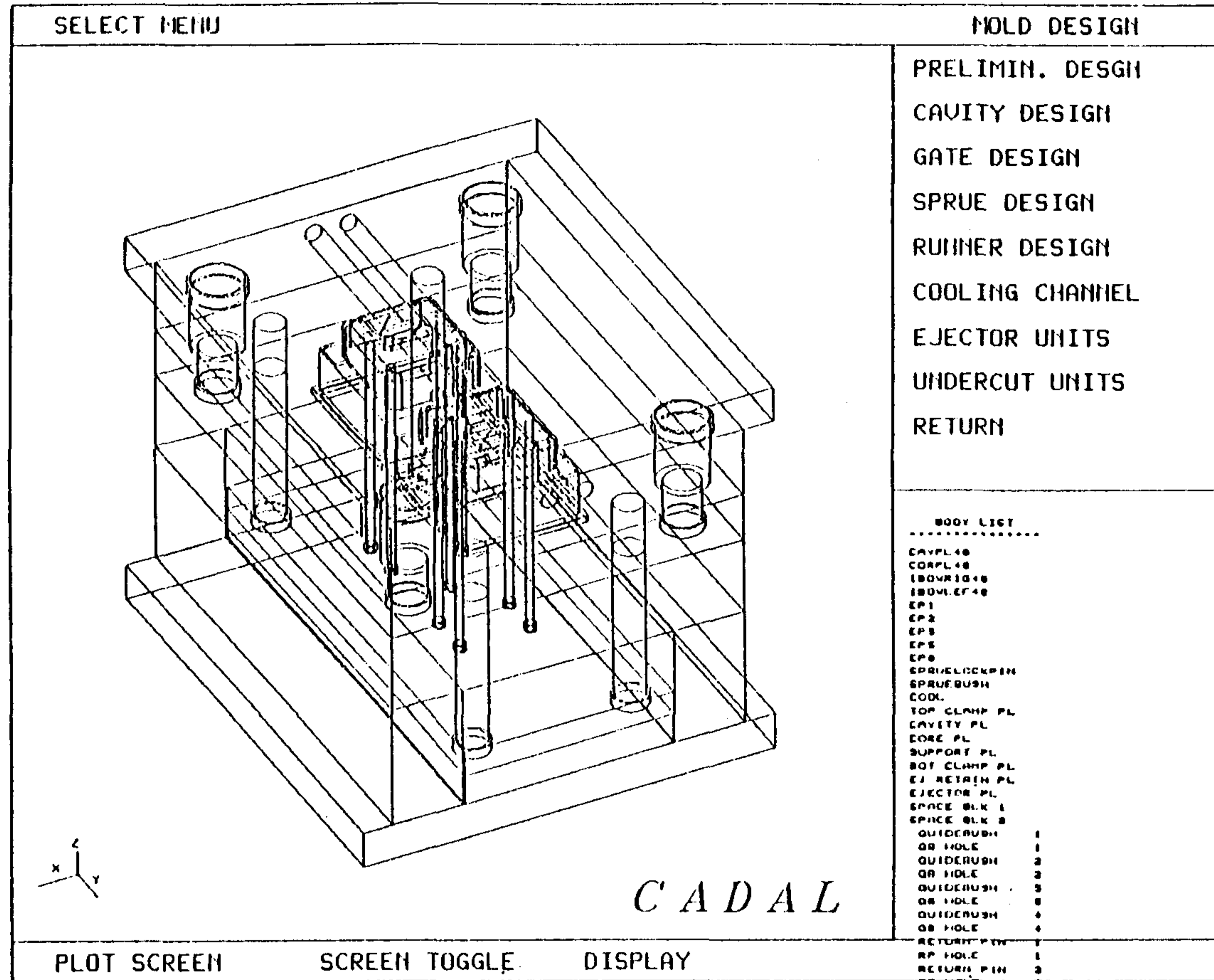


Fig. 26 Completed design of a mold

부 록 3

밀링작업을 위한 공구관리에 관한 연구

연구기간 : 1988년 9월 - 1989년 7월

연구책임자 : 성명 : 이 재 원

소속 : 인하대학교 자동화공학과

직위 : 부 교 수

여 백

목 차

제 1 장 서 론

제 2 장 공구관리시스템의 기능과 구조

제 1 절 사용목적별 공구관리기능

제 2 절 D.B 관리기능

제 3 절 D.B 의 구조

제 4 절 그래픽 기능

제 3 장 공구분류를 위한 코딩시스템

제 1 절 분류 목적

제 2 절 코딩 시스템

제 4 장 사례 연구

제 5 장 검 토

제 6 장 결 론

참고문헌

여 백

제 1 장 서 론

절삭 공구에 관련된 지금까지의 연구는 절삭성과 관련된 절삭 메카니즘이나 절삭의 경제성등과 같은 분야에 주로 수행 되어져 왔다. 그러나 다품종 소량 생산시스템으로의 생산시스템 변화 요구는 생산계획및 관리와 관련된 컴퓨터 활용 연구에 적극적으로 눈을 돌리게 하였으며 이는 CAD/CAM, FMS 및 CIM 연구라는 새로운 생산시스템 연구기술로 표현되어지고 있다.

컴퓨터를 이용한 공구 관리 시스템과 관련된 선행 연구를 살펴보면 설계와 가공을 통합한 NC 선반가공물 처리시스템에서 자동공구선정을 위한 기능연구(1,2)와 선반공구의 형상과 가공특성이 공구교환시간에 미치는 영향을 고려한 가공계획(scheduling) 연구(3)가 수행된 바 있지만 통합적인 관리면은 부족하다. 유연 생산시스템(FMS)에서 생산 계획(production planning), 생산 관리(production control) 및 NC 파트 프로그램(part program) 작성등 생산의 제 분야에서 사용할 수있는 공구관리 시스템에 대한 연구(4)가 있으며 솔리드모델러(solid modeler)를 이용한 그래픽 기능을 두어 공구형상 도시기능을 설정했다. 새로운 공구코드를 개발하여 데이터 관리를 한 것으로 드릴 공구를 형상에 따라 분류(classification) 하고 코드화(coding)하여 화일에 기록하고 작업종류와 공구의 기본형상, 치수값을 이용하여 공구 선정을 하기위한 연구(5)와 선반, 밀링, 드릴링 공구에 대한 분류와 새로운 코딩시스템을 개발하여 BLC(Binary Cutter Location) 데이터 생성을 지원한 연구(6)가 수행 되었지만 통합관리의 지원과 그래픽 기능이 부족하다. 유연생산 시스템에서 공구 관리기능을 집중 분석한 연구도 있다(7). 공구 사용자와 공구 제조자를 위한 독립된 데이터 베이스를 구축하여 전화 통신망(telephone network)을 이용, 상호 정보지원이 가능토록 한 연구가 최근에 수행된 바 있다(8). 일본에서는 가공정보가 내포된 그래픽 메뉴에 의한 CAPP(Computer

Aided Process Planing)에서 공구선정과 공구의 교환을 최소로 하기위한 최적 공구군 결정에 대한 연구가 있었고(9) 최근에는 개개의 공구에 대한 많은 정보를 각 공구에 메모리 칩(memory chip)를 설치하여 관리하는 새로운 방법도 연구가 되고있다(10,11). 이 분야에 대한 국내 연구는 매우 미흡한 편으로 NC 기계의 효율적인 사용을 위한 공구관리에 대한 연구가 있었으나 공구 형상에 대한 그래픽(graphic)기능면이 제공되지 않고, 데이터 베이스 관리시스템의 이용이 소홀히 되었다(12). 관계모형의 DBMS 를 이용한 공구관리 시스템의 연구로는 본 연구진의 연구가 선반가공및 밀링에 대하여 수행된 바 있다(13,14,15). 본 보고서는 특히 공구사용의 목적별 세부관리가 가능하도록 하였는바 시스템의 특성은 Fig. 1 에 요약되어 있다.

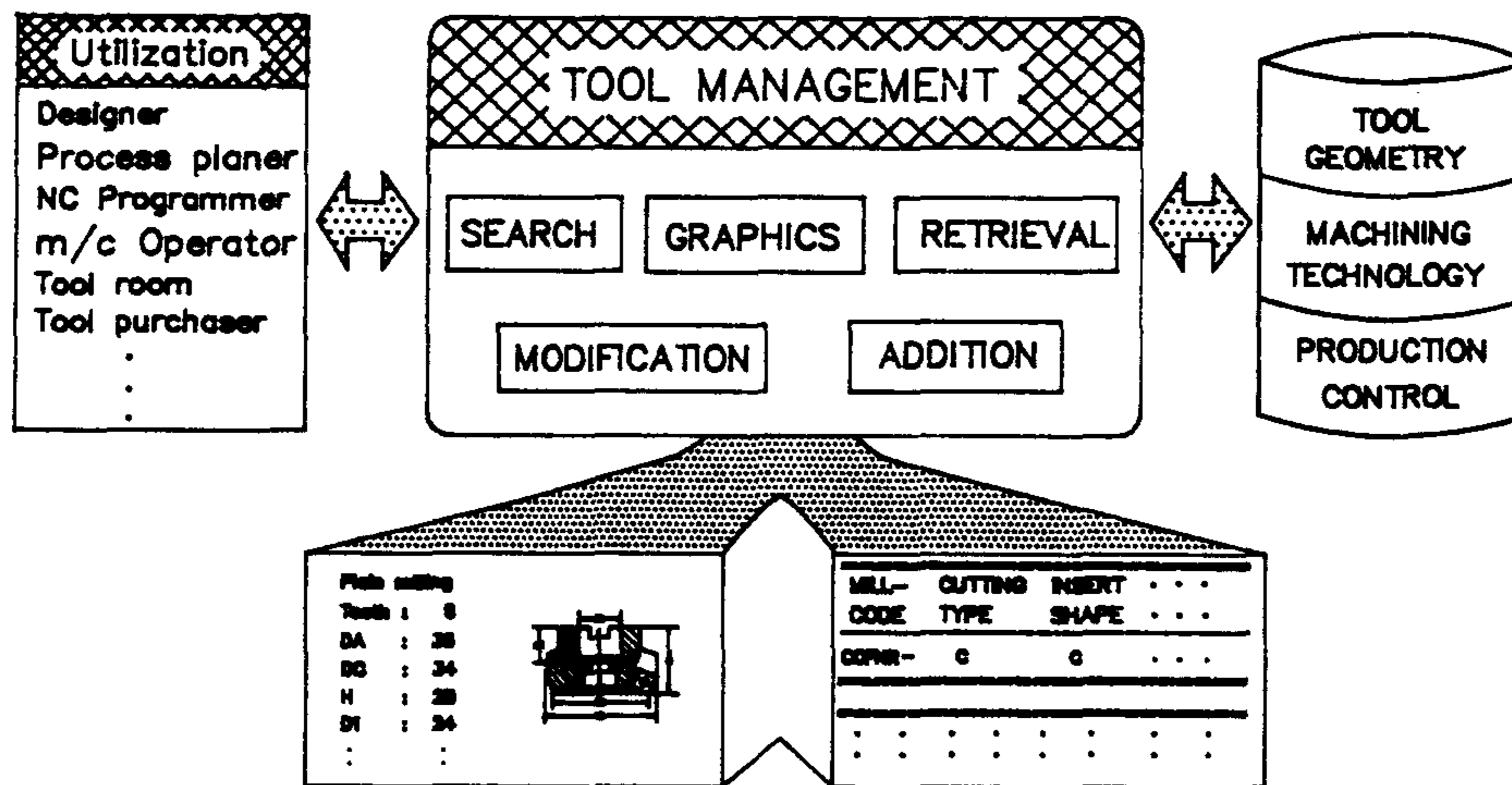


Fig. 1 Characteristics of the developed tool management system

제 2 장 공구관리 시스템의 기능과 구조

제 1 절 사용 목적별 공구관리 기능

밀링공구와 관련된 정보를 필요로 하는 기업내의 활동은 여러부서에서 각기 필요한 목적에 관련된 공구데이터를 대상으로 하게된다. 본 시스템은 이를 위하여 공구실 관리, 구매 관리, 매거진 관리, 동작기계별 관리 및 공구선택 등의 대 목적을 두었으며 각 목적의 세부 목적 관리사항들은 Table 1. 에서 보는바와 같다.

Table 1. 세부 목적별 관리사항

공구실 관리	반입/반출	반 출	111
		반 입	112
		반출 공구 LIST	113
		반입 공구 LIST	114
		미반입 공구 LIST	115
		반출자별 공구 LIST	116
	재연삭/ 폐기	UNICODE 를 이용 재연삭/폐기 공구를 선택	121
		TOOL LIFE 를 이용 재연삭/폐기공구를 선택	122
		연삭한 공구의 입력	123
		폐기공구 INPUT	124
		폐기공구 DISPLAY	125
	재고현황/ 구매요청	공구의 UNICODE 를 입력 해당공구의 재고/구매	131
		공구의 밀링 작업 코드를 이용 재고/구매	132
		새로운 공구의 구매요청	133
	공구의 사용현황	UNICODE 별 사용현황	141
		PART NAME 별 사용현황	142
	공구의 입고/현황	입고된 공구의 INPUT	151
		UNICODE 별 입고현황	152
		밀링 작업 코드 별 입고 현황	153

구매 관리	재고 현황	UNICODE 별 재고현황	211	
		밀링 작업 코드별 재고현황	212	
		모든 공구의 재고현황	213	
	공구의 주문		221	
	주문 현황	UNICODE 별 주문현황	231	
		COMPANY CODE 별 주문현황	232	
		VENDER NAME 별 주문현황	233	
	입고 현황	UNICODE 별 입고현황	241	
		COMPANY CODE 별 입고현황	242	
		VENDER NAME 별 입고현황	243	
	매거진 관리	반입/반출	TOOL ROOM 에서 반출해온 공구의 INPUT	311
			M/C TOOL 로 반출	312
M/C TOOL 로부터 반납			313	
매거진 공구 현황		공구 위치	321	
		TOOL ROOM 으로 반납예정 공구	322	
		M/C TOOL 로부터 미반납 공구	323	
공작기계별 공구관리	LOADING/ UNLOADING	LOADING 공구의 INPUT	411	
		공구 반납현황	412	
	M/C TOOL 공구 현황	공구 DATA	421	
		반납예정 공구	422	
		PART NAME 별 사용공구	423	
		잔여 공구수명	424	
공구 선택	밀링 작업별 선택	511		
	UNICODE 별 선택	521		

제 2 절 데이터베이스 관리기능

공구데이터의 관리는 자료의 검색,추출,추가,수정및 삭제의 5가지 기능이 처리될수 있도록 사용자에게 메뉴방식으로 제공되도록 하였다. 이중 추출항목은 이미 공구사용목적에 따라 공구속성(attribute)이 설정되어져 있으므로 결국 검색과 추출은 동시에 이루어져 하나로 간주될수 있다. Table 2.는 공구사용의 세부목적별 관리대상이 되는 공구속성에 관한것이다.

제 3 절 D.B 의 구조

목적별 공구관리가 대상으로하는 공구데이터는 현재 공구마다 45개의 속성(attribute)을 갖고 있다. 이들 데이터는 시간에 따라 변화되는 동적인 것들과 불변하는 것들로 나뉘어진다. 시간에 따라 변화되는 정보들은 데이터 베이스의 자료의 중복성(redundancy)을 피할 수 있도록 하기위하여 동적 데이터베이스(Dynamic D.B 라 칭함)와 정적 데이터베이스(Static D.B. 라칭함)로 분리 하였다 여기서 동적 데이터 베이스는 다시 나뉘수가 있는데 이는 특히 속성값(attribute value)의 변화가 자주 이루어지는 것들을 구별하기 위함이며 이를통하여 불필요 자료공간을 줄일 수 있다. 본 시스템은 2개의 Dynamic D.B.로 구성되어 있다.

Table 2. 에는 각 속성이 어떤 D.B.에 속하는지를 또한 알려준다.

Table 2. 세부 목적별 공구속성

D.B.	attribute	111	112	113	114	115	116	121	122	123	124	125
S/D	UNICODE	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
D	MULTI CODE	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
S	PROCESS TYPE											
S	밀링작업코드											
S	EFF. DIA.											
S	HOLE DIA.											
S	TEETH NO.											
S	DIRECTION											
S	INS. SHAPE											
S	CONER ANG.											
S	CLEAR ANG.											
S	INS. LENGTH											
S	AXIAL RAKE											
S	RADIAL RAKE											
S	COMPANY CODE											
S	ORDER CODE											
S	VENDER NAME											
S	UNIT COST											
S	SAFETY STOCK											
D	STOCK							•		•	•	
D	MAX. DEPTH									•		
D	TOOL LIFE	•						•	•	•		
D	연삭 횟수							•	•	•		
D	입고 일자											
D	반출일	•	•	•	•	•	•					
D	반출자	•	•	•	•	•	•					
D	반입 예정일	•	•	•	•	•	•					
D	반입일		•		•	•	•					
D	USED TIME				•	•	•					
D	MAGAZ. NO.	•	•	•	•	•	•					
D	MAGAZ. 위치											
D	M/C. NO.	•	•	•	•	•	•					
D	M/C. 위치											
D	PART NAME	•		•	•	•	•					
D	폐기 일자											•
S	주문 일자											
S	주문량											
S	구매담당자											
S	LEAD TIME											

* D : Dynamic D.B. / S : Static D.B.

D.B.	attribute	131	132	133	141	142	151	152	153
S/D	UNICODE	•	•	•	•	•	•	•	•
D	MULTI CODE	•	•		•	•		•	•
S	PROCESS TYPE								
S	밀링작업코드								
S	EFF. DIA.								
S	HOLE DIA.								
S	TEETH NO.								
S	DIRECTION								
S	INS. SHAPE								
S	CONER ANG.								
S	CLEAR ANG.								
S	INS. LENGTH								
S	AXIAL RAKE								
S	RADIAL RAKE								
S	COMPANY CODE	•							
S	ORDER CODE	•							
S	VENDER NAME	•						•	•
S	UNIT COST	•							
S	SAFETY STOCK	•	•						
D	STOCK	•	•				•		
D	MAX. DEPTH								
D	TOOL LIFE								
D	연삭 횟수								
D	입고 일자							•	•
D	반출일				•	•			
D	반출자				•	•			
D	반입 예정일								
D	반입일				•	•			
D	USED TIME								
D	MAGAZ. NO.								
D	MAGAZ. 위치								
D	M/C. NO.								
D	M/C. 위치								
D	PART NAME					•			
D	폐기 일자								
S	주문 일자							•	•
S	주문량	•		•				•	•
S	구매담당자								
S	LEAD TIME								

D.B.	ATTRIBUTE	211	212	213	221	231	232	233	241	242	243
S/D	UNICODE	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
D	MULTI CODE	•			•				•	•	•
S	PROCESS TYPE										
S	밀링작업코드										
S	EFF. DIA.										
S	HOLE DIA.										
S	TEETH NO.										
S	DIRECTION										
S	INS. SHAPE										
S	CONER ANGLE										
S	CLEAR ANGLE										
S	INS. LENGTH										
S	AXIAL RAKE										
S	RADIAL RAKE										
S	COMPANY CODE				•	•	•	•			
S	ORDER CODE				•	•	•	•			
S	VENDER NAME					•	•	•	•	•	•
S	UNIT COST				•						
S	SAFETY STOCK	•	•	•							
D	STOCK	•	•	•							
D	MAX. DEPTH										
D	TOOL LIFE										
D	연삭 횟수										
D	입고 일자								•	•	•
D	반출일										
D	반출자										
D	반입 예정일										
D	반입일										
D	USED TIME										
D	MAGAZ. NO.										
D	MAGAZ. 위치										
D	M/C. NO.										
D	M/C. 위치										
D	PART NAME										
D	폐기 일자										
S	주문 일자				•	•	•	•	•	•	•
S	주문량				•	•	•	•	•	•	•
S	구매담당자				•	•	•	•			
S	LEAD TIME				•	•	•	•			

D.B.	attribute	311	312	313	321	322	323	411	412	421	422	423	424
S/D	UNICODE	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
D	MULTI CODE	•	•	•	•	•		•	•	•	•	•	
S	PROCESS TYPE												
S	밀링작업코드												
S	EFF. DIA.												
S	HOLE DIA.												
S	TEETH NO.												
S	DIRECTION												
S	INS. SHAPE												
S	CONER ANG.												
S	CLEAR ANG.												
S	INS. LENGTH												
S	AXIAL RAKE												
S	RADIAL RAKE												
S	COMPANY CODE												
S	ORDER CODE												
S	VENDER NAME												
S	UNIT COST												
S	SAFETY STOCK												
D	STOCK												
D	MAX. DEPTH												
D	TOOL LIFE												•
D	연삭 횟수												
D	입고 일자												
D	반출일	•	•		•			•	•		•	•	
D	반출자	•	•		•	•		•	•		•	•	
D	반입 예정일	•	•		•	•		•			•	•	
D	반입일	•							•			•	
D	USED TIME												
D	MAGAZ. NO.	•	•		•	•							
D	MAGAZ. 위치		•			•							
D	M/C. NO.				•		•	•		•			•
D	M/C. 위치							•		•			
D	PART NAME	•	•	•	•				•	•	•	•	
D	폐기 일자												
S	주문 일자												
S	주문량												
S	구매담당자												
S	LEAD TIME												

D.B.	attribute	511	521
S/D	UNICODE		●
D	MULTI CODE		●
S	PROCESS TYPE		●
S	밀링작업코드	●	●
S	EFF. DIA.		●
S	HOLE DIA.		●
S	TEETH NO.		●
S	DIRECTION		●
S	INS. SHAPE		●
S	CONER ANG.		●
S	CLEAR ANG.		●
S	INS. LENGTH		●
S	AXIAL RAKE		●
S	RADIAL RAKE		●
S	COMPANY CODE		
S	ORDER CODE		
S	VENDER NAME		
S	UNIT COST		
S	SAFETY STOCK		
D	STOCK		
D	MAX. DEPTH		
D	TOOL LIFE		
D	연삭 횟수		
D	입고 일자		
D	반출일		
D	반출자		
D	반입 예정일		
D	반입일		
D	USED TIME		
D	MAGAZ. NO.		
D	MAGAZ. 위치		
D	M/C. NO.		
D	M/C. 위치		
D	PART NAME		
D	폐기 일자		
S	주문 일자		
S	주문량		
S	구매담당자		
S	LEAD TIME		

제 4 절 그래픽 기능

그래픽 기능의 설정은 밀링공구(cutter)의 형상과 인서트(insert)의 형상에 대하여 설정되어있다. 이들은 목적별 관리기능중 밀링작업에 의한 공구선정시 이용하게 된다. Fig. 2는 작업별 공구선정을 위한 그래픽 메뉴이며 Fig. 3 Fig. 4는 Fig. 2의 각 서브메뉴 그림들이다. 또 Fig. 5는 인서트의 ISO 규격에 따른 형상정보이며 시스템은 Help 기능을 설정하여 이들에 관한 설명이 제공될수 있도록 하였다.

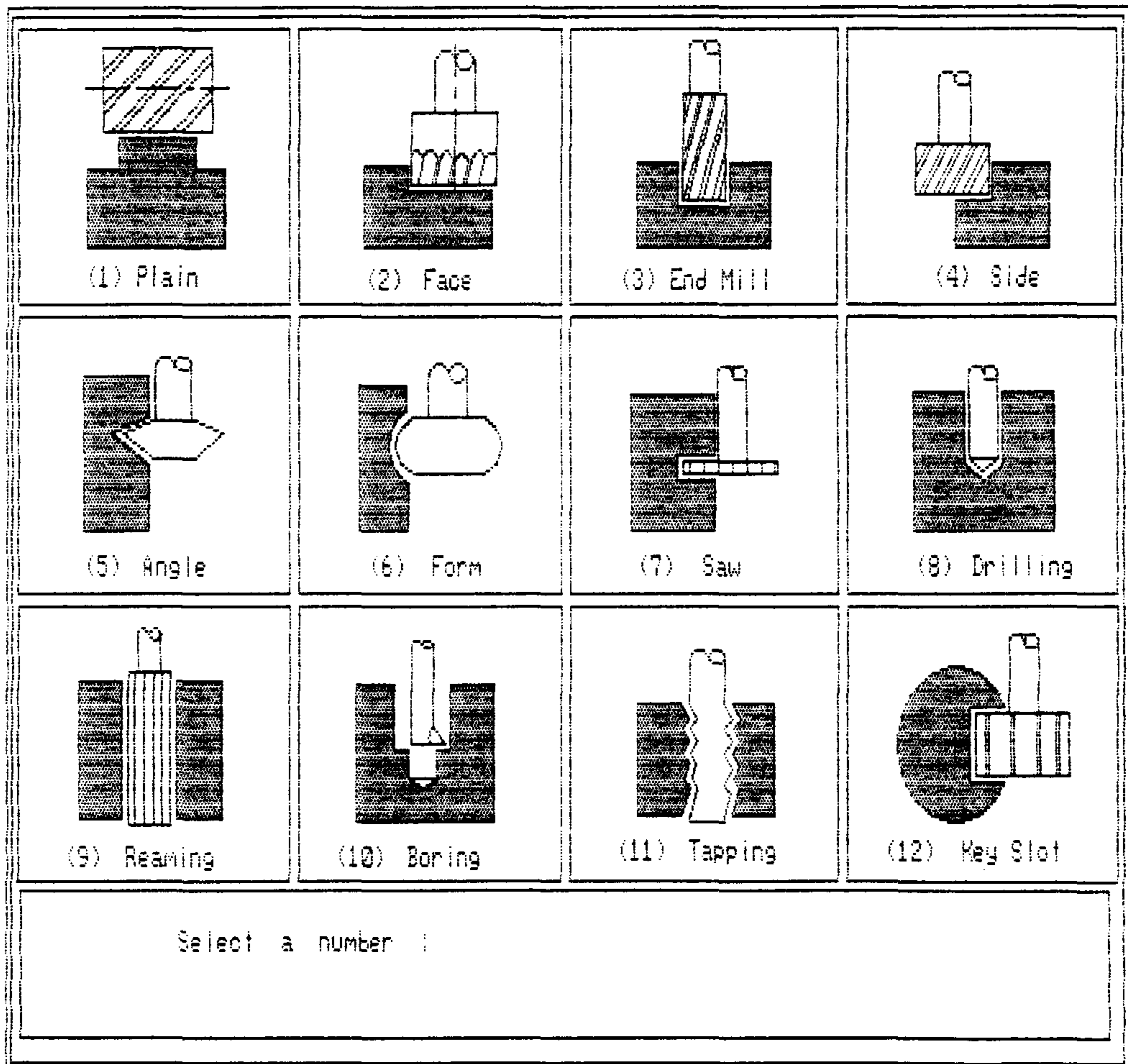


Fig. 2 Milling operation category menu

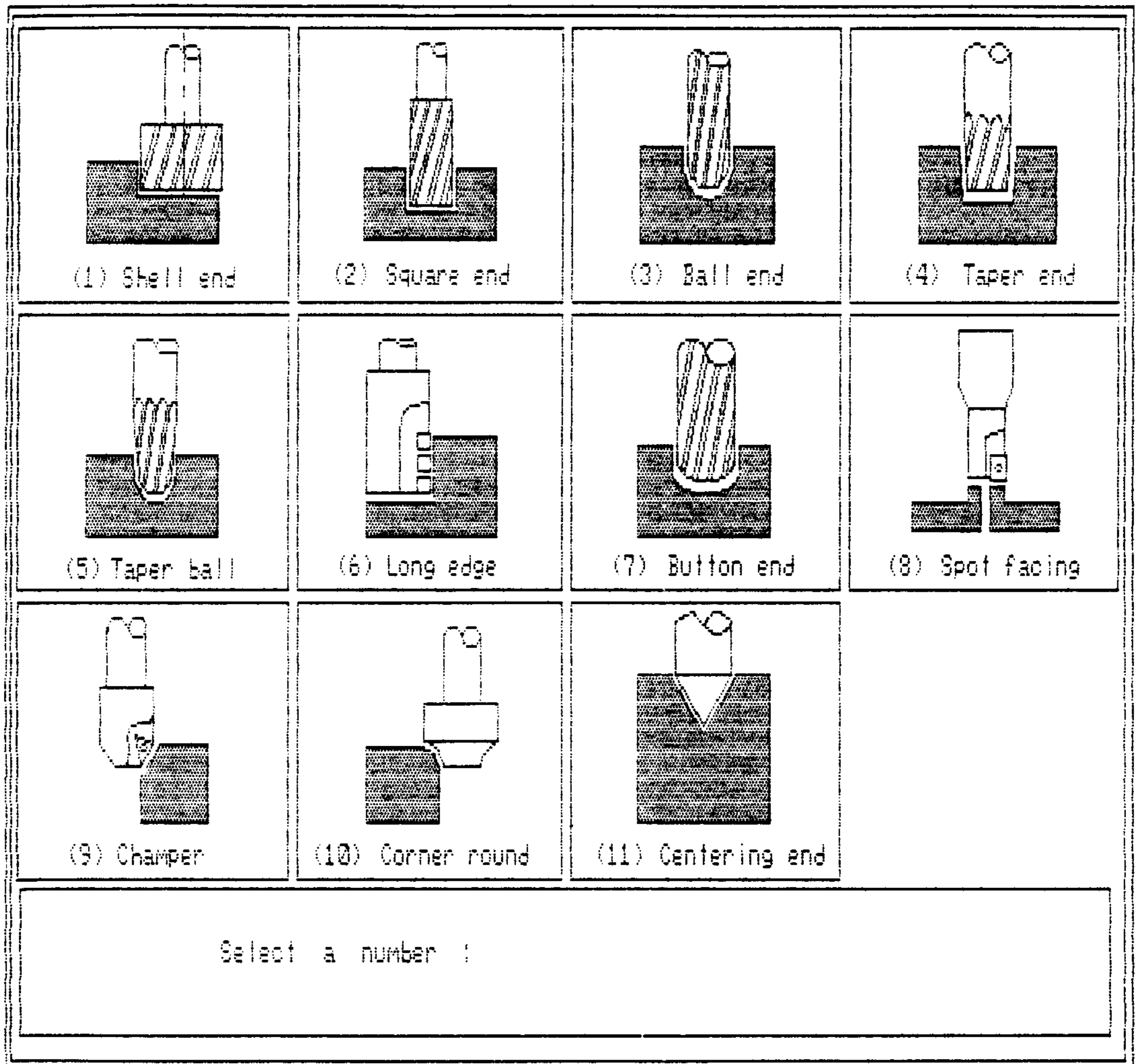


Fig. 3 Sub-menu for End mill

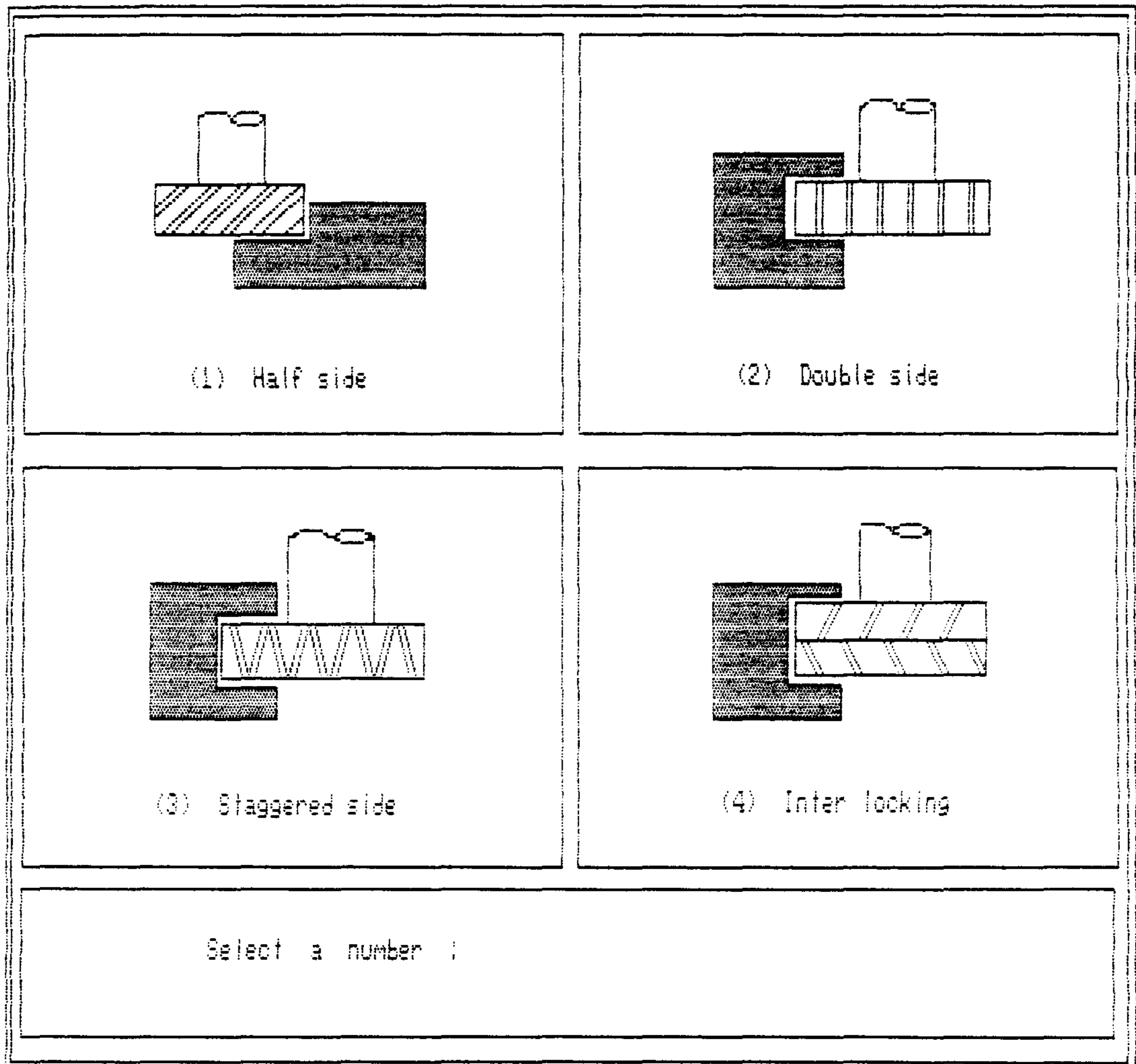


Fig. 4 Sub-menu for Side mill

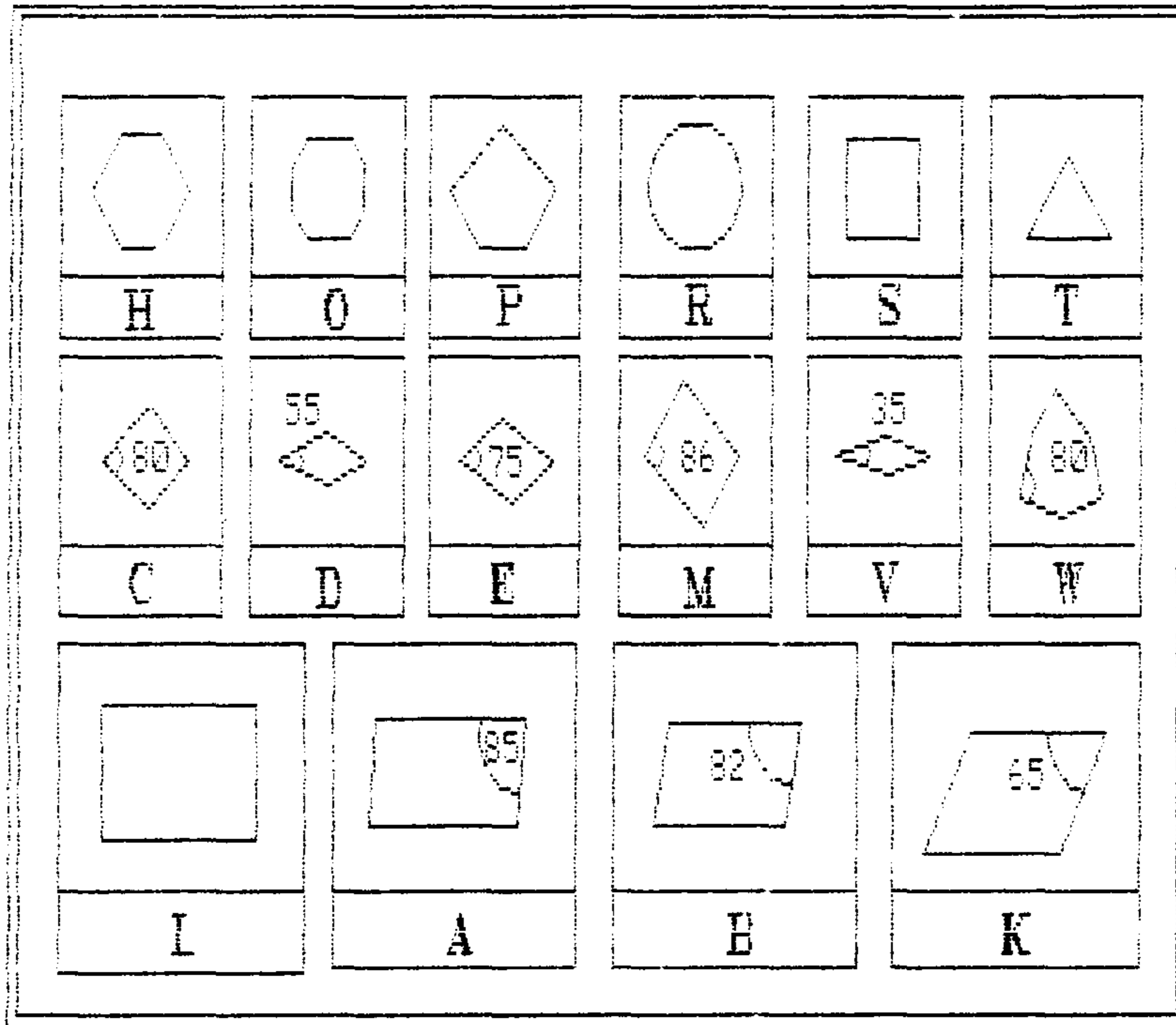


Fig. 5 Insert shape

제 3 장 공구분류를 위한 코딩 시스템

제 1 절 분류 목적

공구분류를 위한 코딩시스템 개발의 기준은 다음과 같다.

- 서로다른 공구메이커 제품을 사용할시 발생될 공구코드의 복잡성을 피할수 있도록 통합 공구코드를 개발토록 한다.
- 밀링커터가 갖는 중요한 정보들이 코드화 되어야 하며 같은성격의 데이터가 중복되는 것을 피해야한다.
- Insert의 정보도 포함하도록 한다.
- 밀링커터를 용도,기능에 따라 분류하여 공작물의 형상으로 공구를 선정할수 있도록 한다.
- 밀링커터는 Arbor나 Extention 과 결합하여 사용되는 경우가 있으므로 이들의 선정에 도움이 될수있는 정보도 포함시키도록 한다.

UNICODE는 ISO의 turning tool , insert 표기와 같은 alphanumeric 방법을 사용 밀링커터에 관한 11개의 기본적인 특성(attribute)을 18개의 digits로 표현하였다. 이때 각 특성은 다음과 같다. Fig. 15 은 UNICODE 체계를 종합하여 표현한 것이다.

제 2 절 코딩 시스템

1) 공정 분류 (1 digit)

Turning 공구나 drill등에 관한 데이터가 같은 시스템으로 통합(integration) 되어 관리될때 어떤공구인지를 구별하기 위한 것이다.
(Ex. 'Milling' ----> 'M')

2) 밀링커터의 용도 (2 digits)

공작물의 형상에 따라서 공구가 선정되므로 UNICODE에서는 밀링커터의 기능과 용도에 따라 형상을 구분하기 위한 항목(attribute)을 설정 공구관리에 체계적인 방법을 시도하였다. (참고. Table 3.)

Table 3. 밀링작업의 종류 및 코드

작업의 종류	코드	작업의 종류	코드
Plain milling	01	Double equal angle milling	31
Face milling	03	Unequal double angle milling	32
Half side milling	05	Convex form milling	35
Double side milling	06	Concave form milling	36
Staggered tooth side milling	07	T - slotting	37
Interlocking side milling	08	Dovetail formed milling	38
Shell end milling	10	Gear cutting	39
Square end milling	11	Woodruff keyslot milling	45
Ball end milling	12	Metal slitting saw	50
Taper end milling	13	Drilling	55
Taper ball end milling	14	Centering drill	56
Button end milling	16	Straight reaming	60
Spot facing end milling	17	Taper reaming	61
Chamfering end milling	18	Boring	65
Corner rounding end milling	19	Counter boring	66
Centering end milling	20	Counter sinking	67
Single angle milling	30	Tapping	70
Long edge end milling	15		

3) 공구 유효지름 (3 digits)

공구 유효지름(effective tool diameter)은 SME 기준으로 Fig. 6 와 같이 정의하며 이때 지름은 (mm)로 표시하여 3 개의 digits로 표현한다 [2].

(Ex. 80(mm)는 080 으로 표현함.)

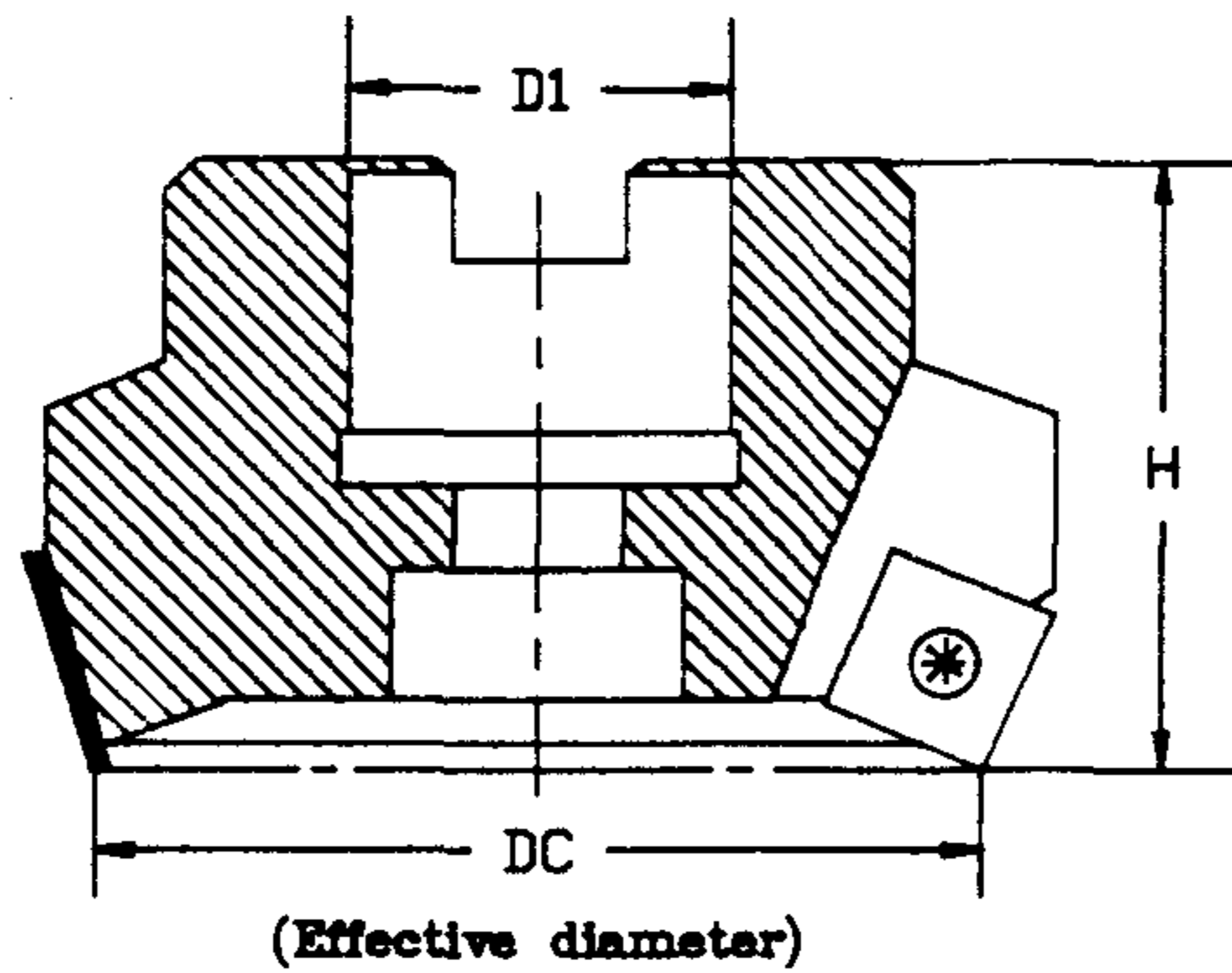


Fig. 6 Effective tool diameter

4) Lead angle (1 digit)

Lead angle 의 정의는 Fig. 7 과 같으며 Milling cutter의 Lead angle을 다음과 같이 구분하여 1 digit로 표시하였다.

Lead angle	
Symbol	Lead angle
0	0 - 10
1	10 - 20
2	20 - 30
3	30 - 40
4	40 - 50
5	50 - 60
6	60 - 70
7	70 - 80

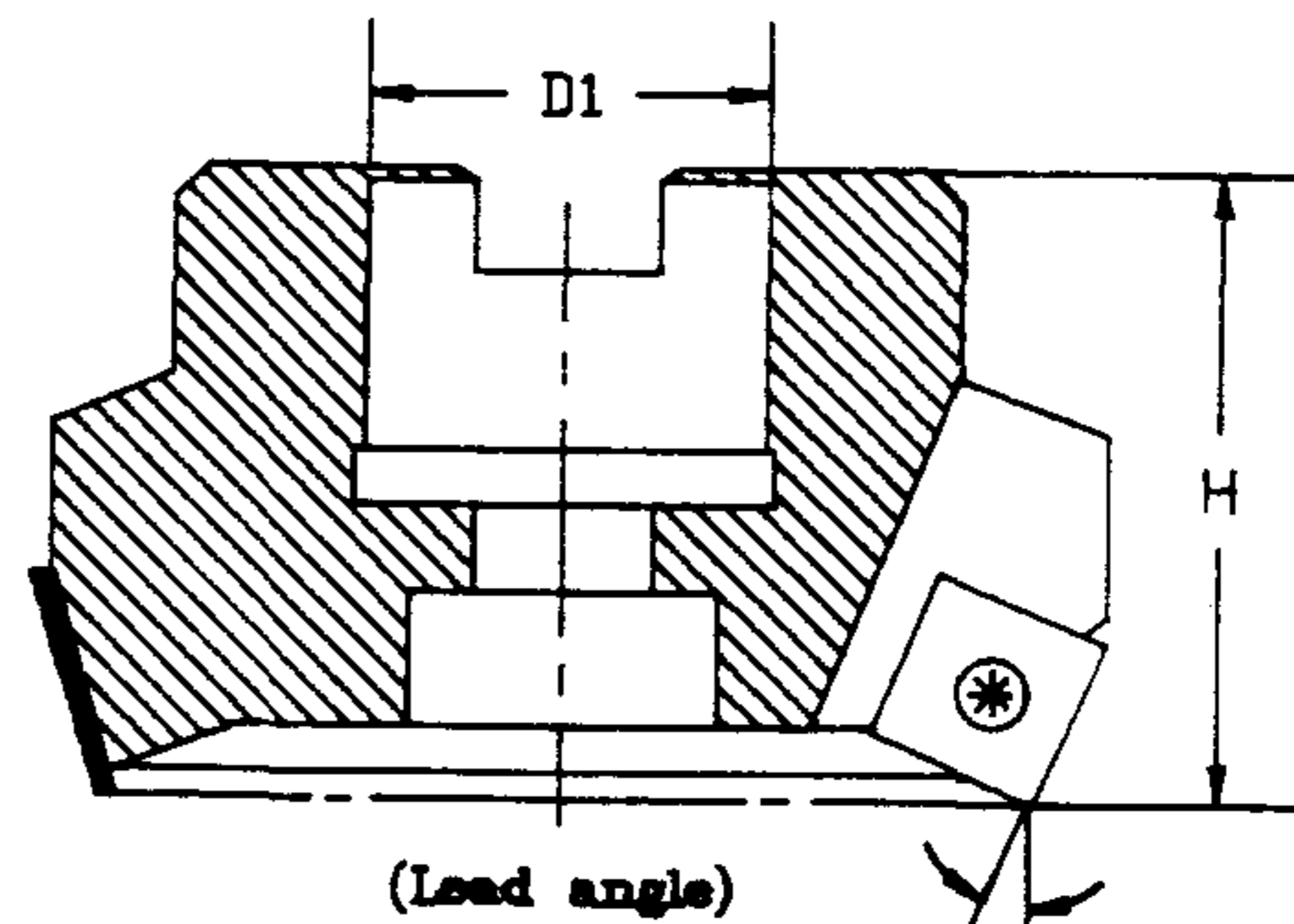


Fig. 7 Lead angle

5) Teeth (2 digits)

공구 날(insert)의 수를 표시하는 것으로 Flute type 의 공구는 Flute의 수를 나타낸다.

6) 절삭 방향 (1 digit)

절삭방향은 커터의 회전방향으로서 이에 따라 사용 insert의 유효 절삭날(edge) 방향이 결정된다. 이들 분류는 L, R, N symbol을 이용한다. (참고. Fig. 8)

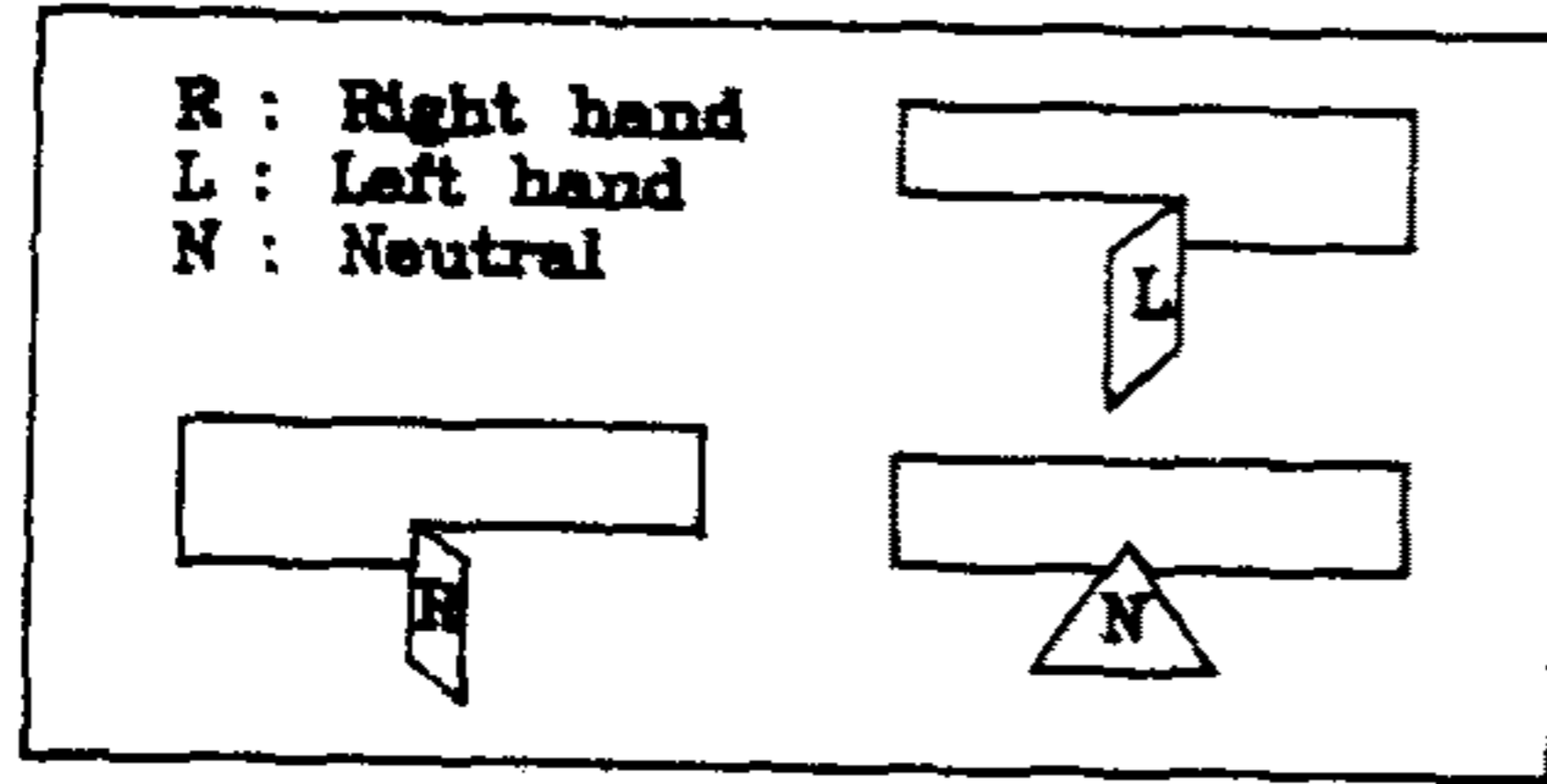


Fig. 8 Hand of tool

7) Shank diameter (2 digits)

공구의 hole 지름을 표시 하는것으로 shank type의 경우는 shank diameter를 표시한다. 이 데이터는 밀링공구가 Arbor 나 Extention 에 연결될때 사용하는 것으로 단위는 (mm)를 사용한다. (참고. Fig. 9)

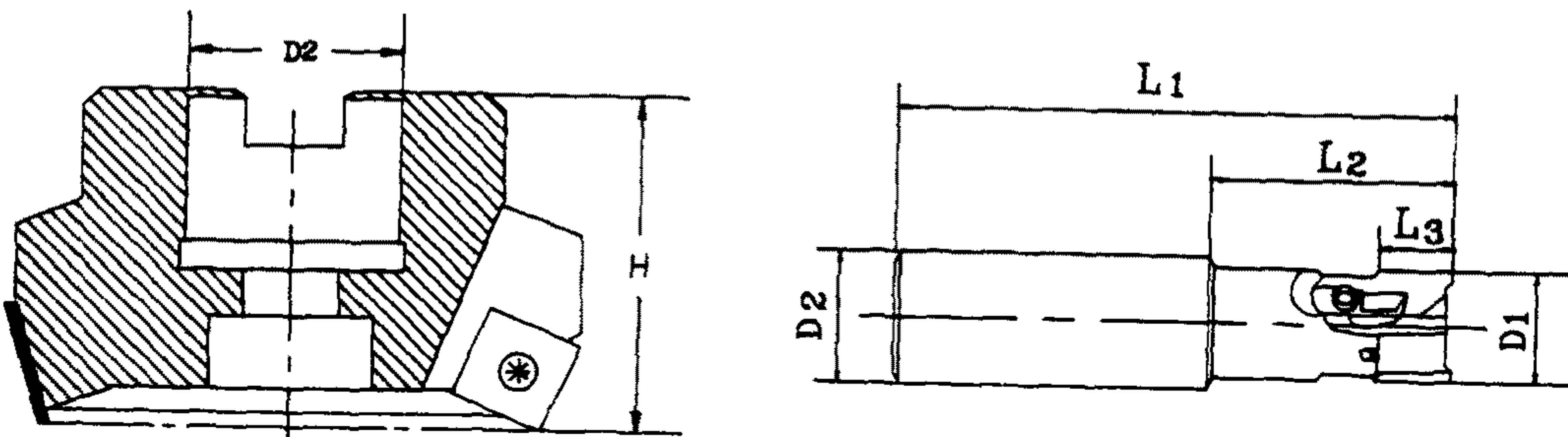


Fig. 9 Shank diameter(D2)

3) Axial Rake Angle (1 digit)

Axial Rake Angle 의 정의는 Fig. 10 과 같으며 이는 가공특성에 영향을 주므로 다음과 같이 구분하여 1 digit 로 표시하였다.

Axial rake angle	
Symbol	angle
0	-20 - -30
1	-10 - -20
2	-1 - -10
3	0
4	1 - 10
5	10 - 20
6	20 - 30

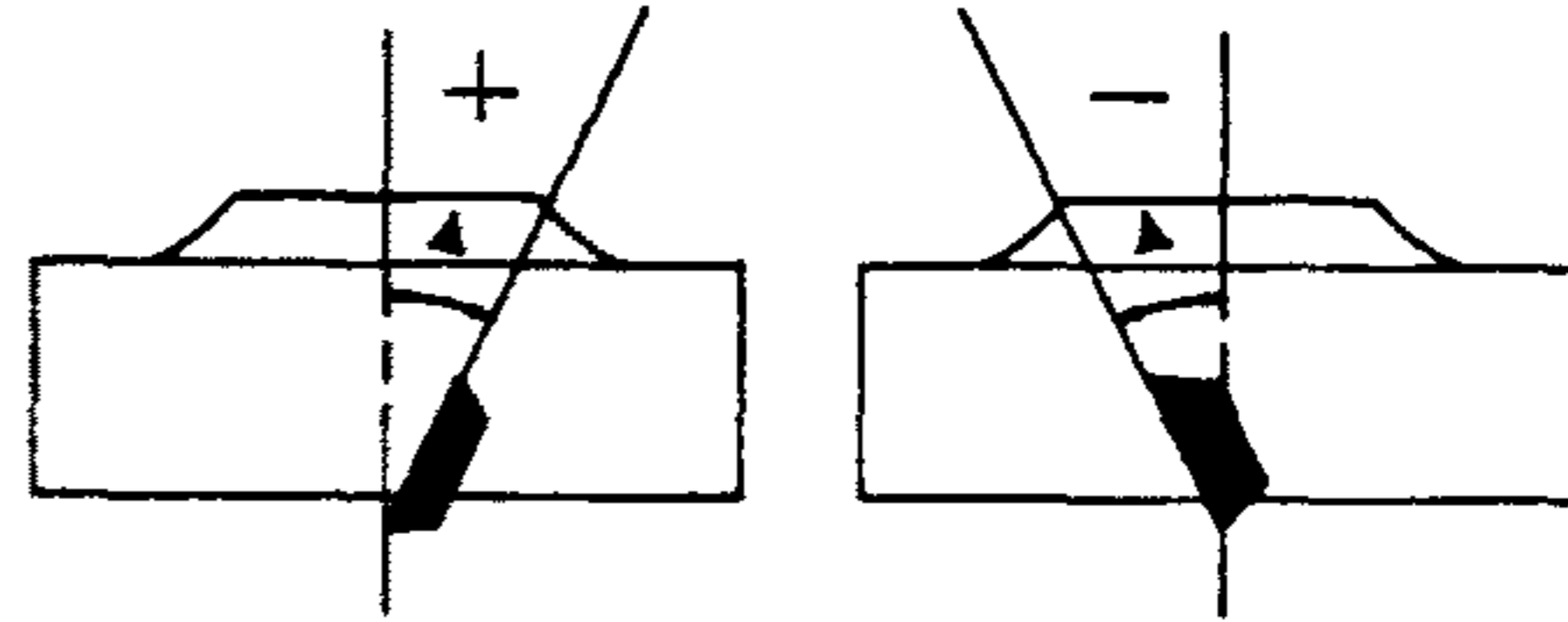


Fig. 10 Axial rake angle (A)

9) Radial Rake Angle (1 digit)

Radial Rake Angle 의 정의는 Fig. 11 과 같으며 이는 가공특성에 영향을 주므로 다음과 같이 구분하여 1 digit 로 표시하였다.

Radial rake angle	
Symbol	angle
0	-20 - -30
1	-10 - -20
2	-1 - -10
3	0
4	1 - 10
5	10 - 20
6	20 - 30

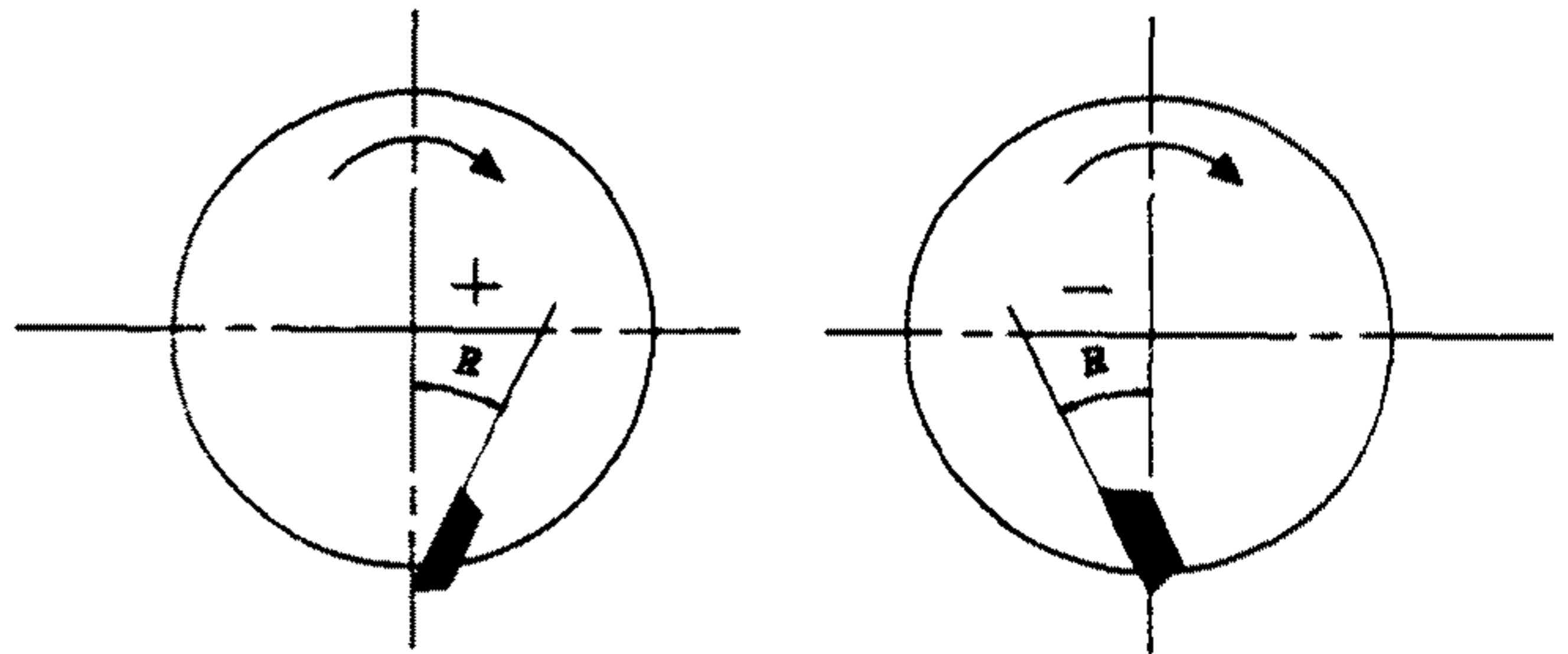


Fig. 11 Radial rake angle (R)

10) Insert shape (1 digit)

Insert shape는 ISO code로 규격화 되어 있으므로 호환성을 고려 ISO code를 이용하였으며 ISO의 insert shape code 는 Fig. 12 과 같다.

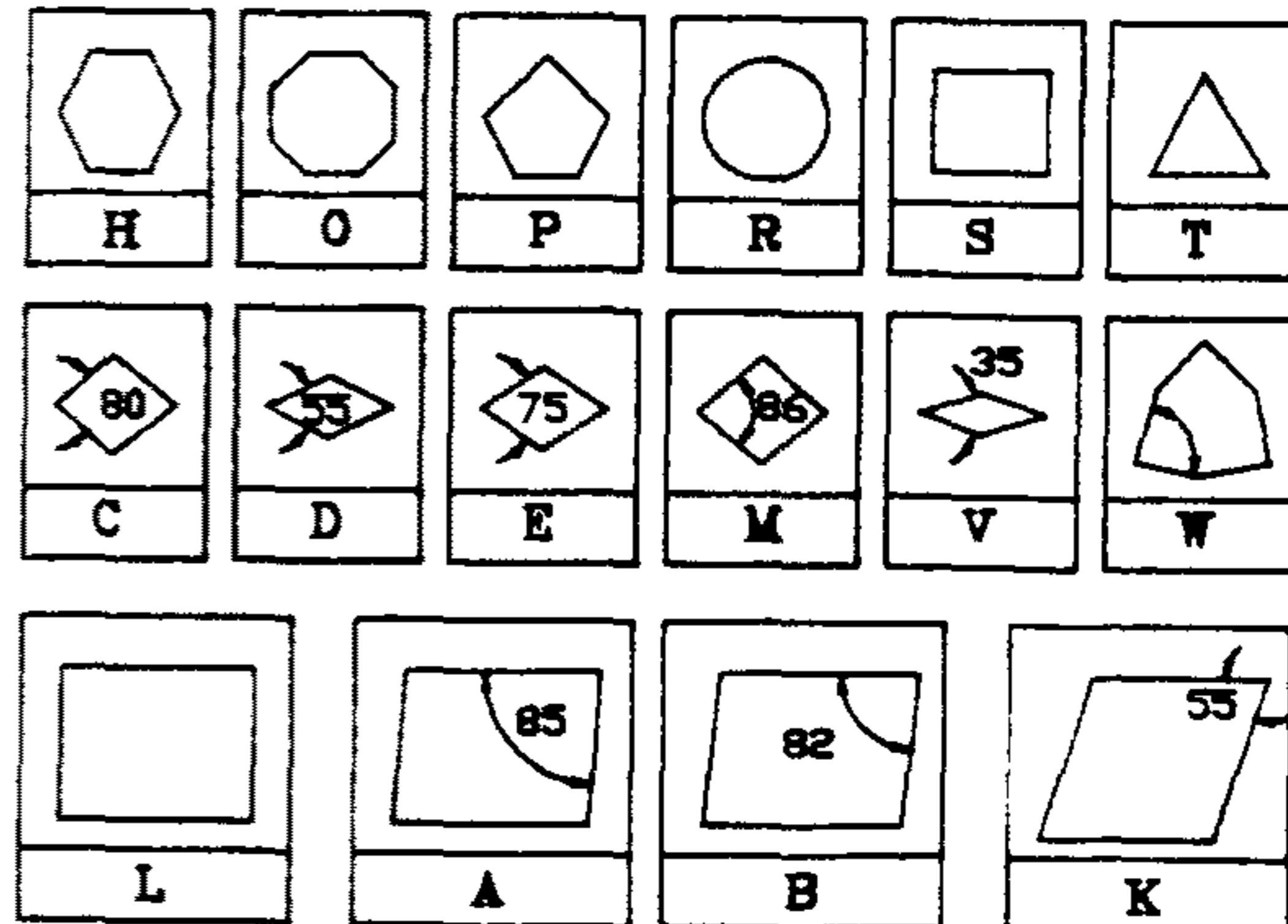


Fig.12 Insert shape (ISO)

11) Insert length (2 digits)

Insert length는 cutting depth에 영향을 주므로 이를 코드에 삽입하였으며 이 경우에도 ISO code를 이용하였다. (참고. Fig. 13)

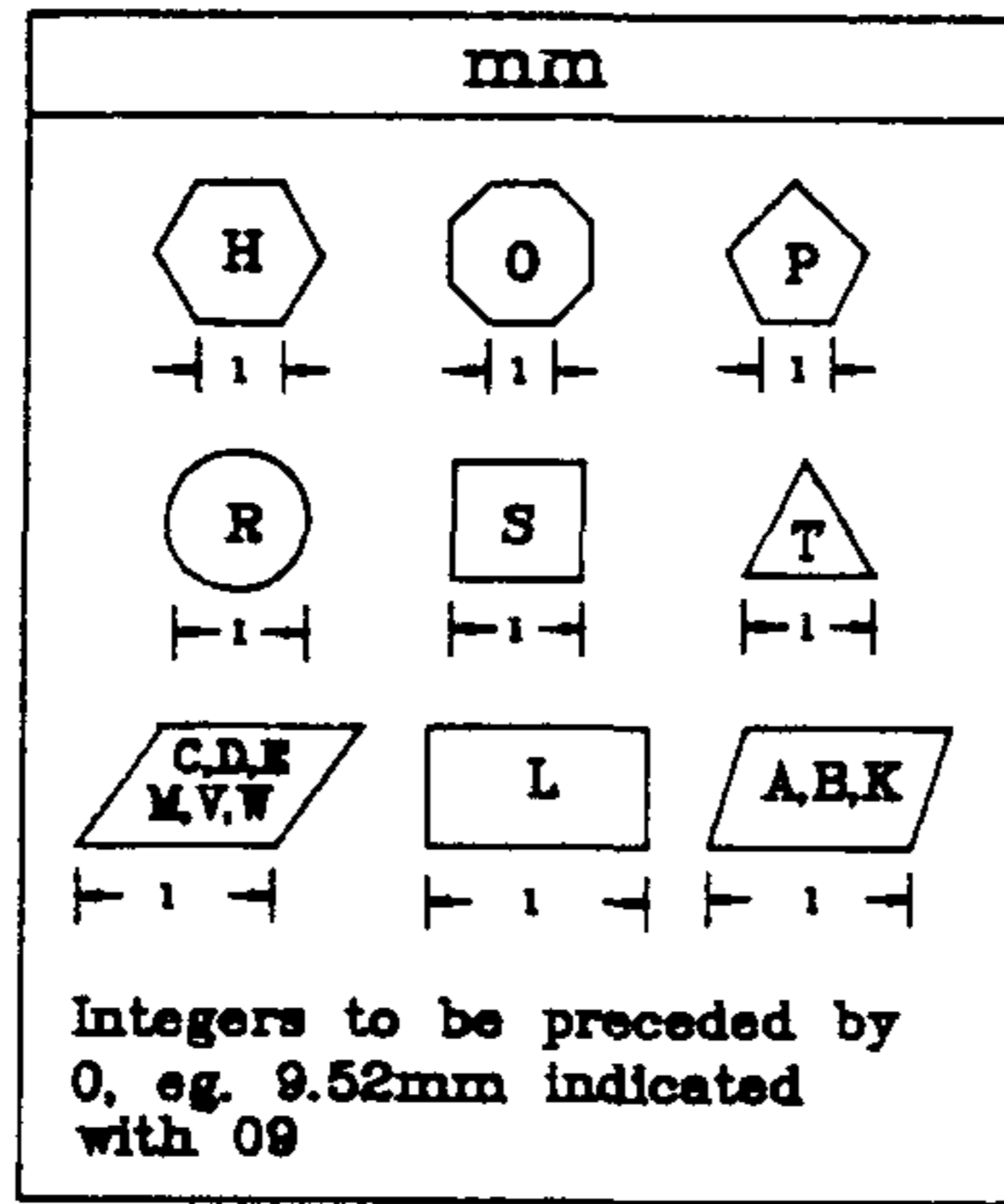


Fig. 13 Insert length

12) Cutting edge clearance angle (1 digit)

Insert의 clearance angle로 ISO code를 이용하였으며 ISO의 clearance angle code는 Fig. 14 와 같다.

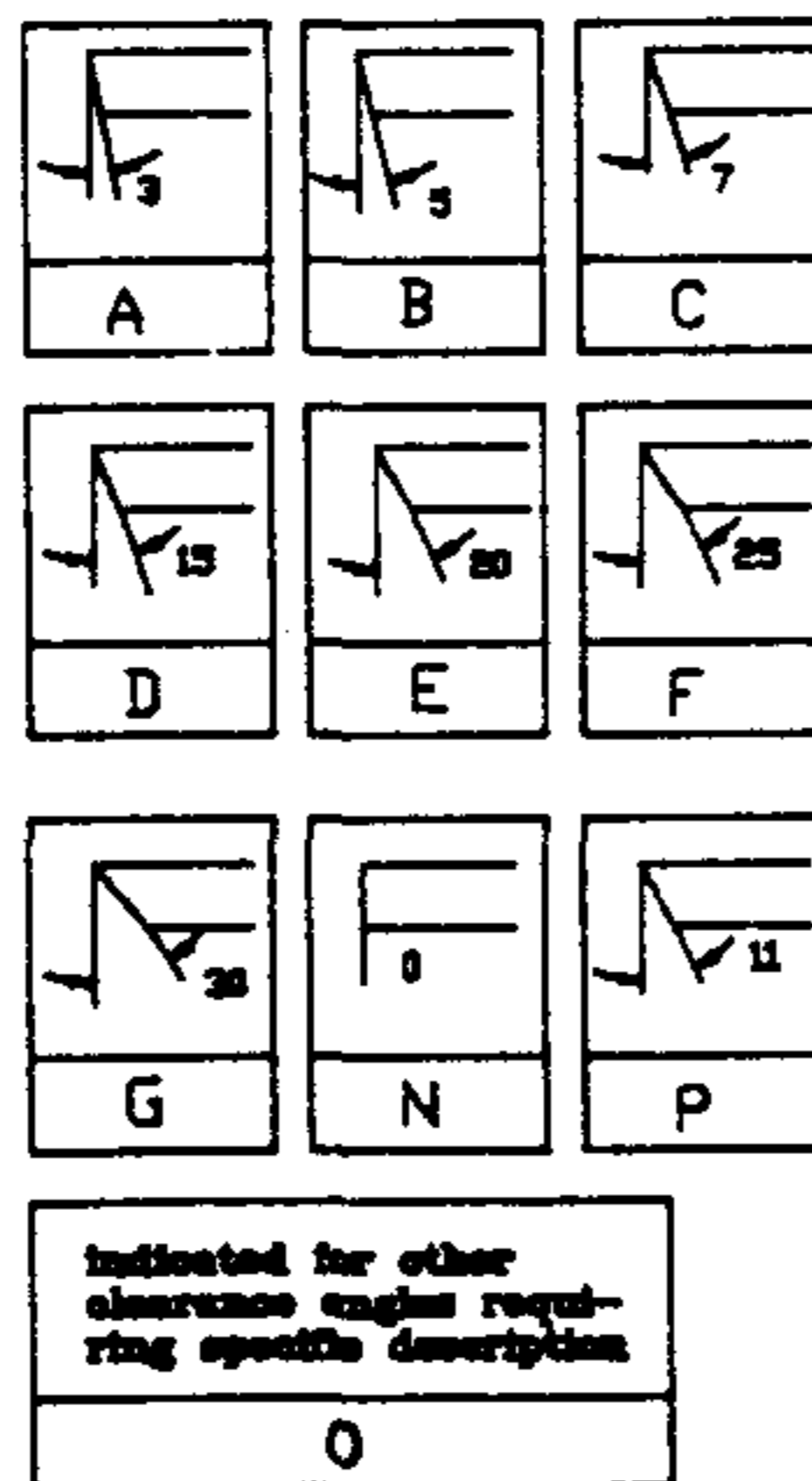


Fig. 14 Clearance angle (ISO)

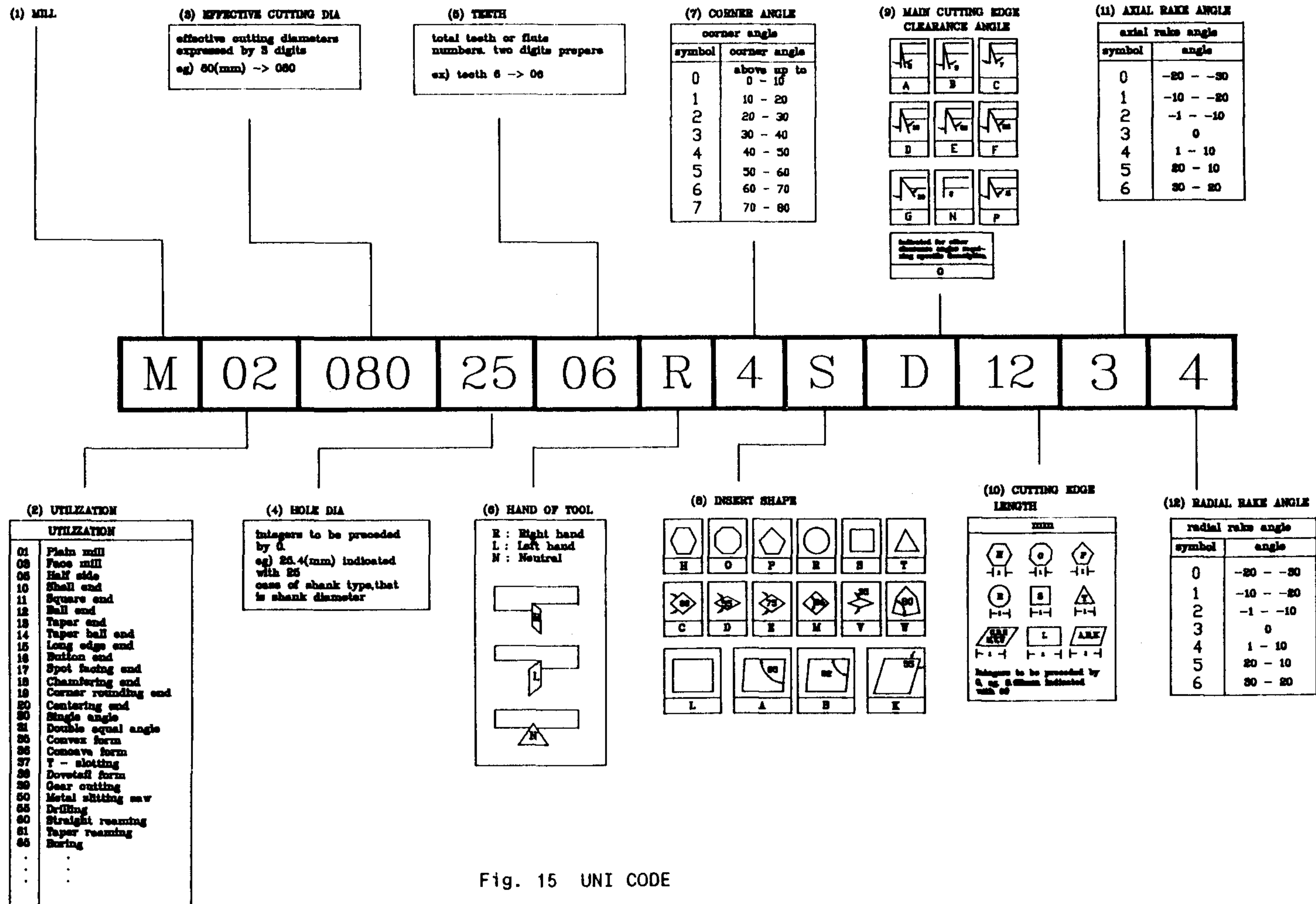


Fig. 15 UNI CODE

제 4 장 사례 연구

개발된 시스템의 기능 확인을 위한 사례연구는 평면 (flat surface)을 가공하기 위한 공구의 선정 및 공구정보를 검색, 추출하는 경우를 설정해보았다.

1) 시스템을 Load하면 Fig. 16 과 같이 Main menu가 제시된다.

```
-----  
*** MAIN MENU ***  
-----  
  
1. Tool selection  
2. Tool room management  
3. Tool purchasing management  
4. Tool magazine management  
5. M/C tool management  
6. EDIT data  
  
Q. Quit  
-----  
Enter : 1
```

Fig. 16 Main menu

2) Main menu에서 Tool selection을 선택하면 Fig. 17 과 같이 Sub menu가 제시된다.

```
-----  
*** TOOL SELECTION ***  
-----  
  
1. Cutter selection  
2. Tip selection  
  
P. Previous menu  
-----  
Enter : 1
```

Fig. 17 Sub menu for tool selection

3) Fig. 17 에서 Cutter를 선택하면 Fig. 18 과 같이 Cutter를 선정하는 방법이 제시된다.

```
-----  
*** CUTTER SELECTION ***  
-----  
1. UNICODE  
2. Milling operation type  
P. Previous menu  
-----  
Enter : 2
```

Fig. 18 Sub menu for cutter selection

- 4) Fig. 18 에서 Milling operation type을 선택하면 밀링공구의 형상과 작업에 따른 공구의 이용에 관한 Menu가 그래픽으로 제시된다. (Fig. 19)

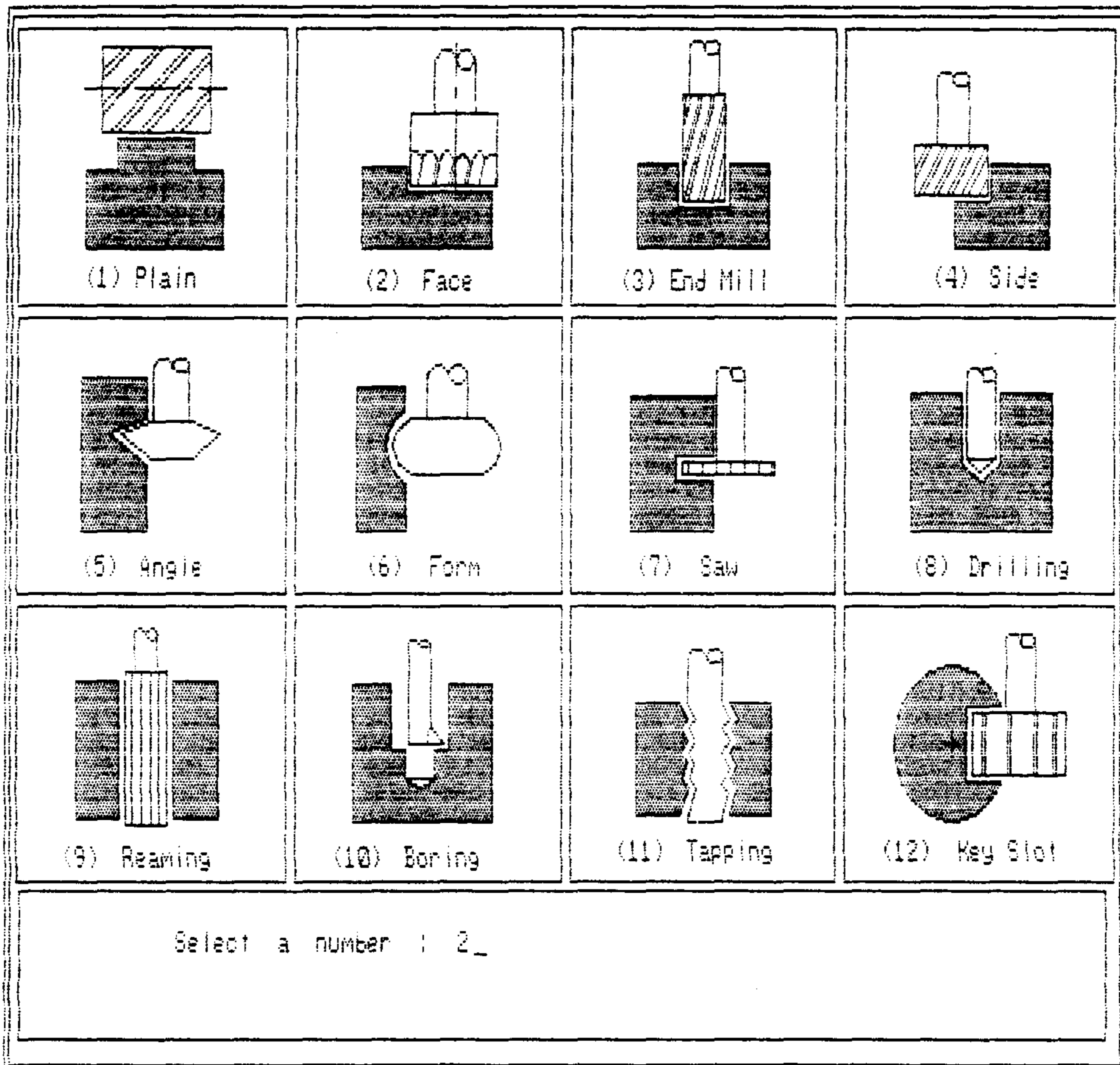


Fig. 19 Milling operation category menu

- 5) Face milling cutter를 사용 할 경우 Fig. 19 에서 Face를 선택하면 시스템은 Fig. 20 과 같이 Cutter에 대한 형상정보 중 기본적으로 사용자가 결정할수 있는 회전방향(cutter direction) , 유효지름(effective cutter diameter) , Cutter 날의 수(number of teeth)등의 데이터 결정을 허락한다.

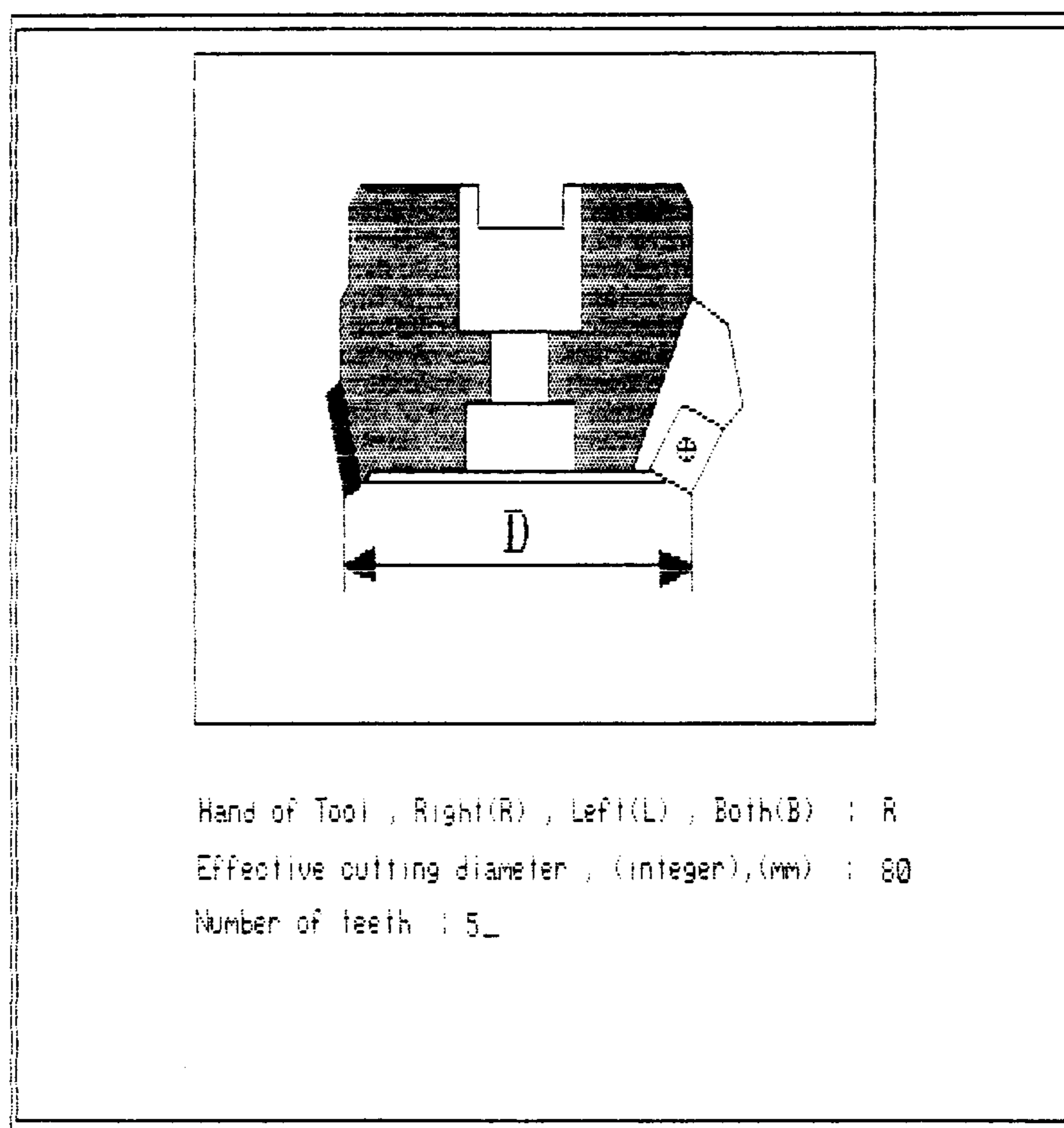


Fig. 20 Data input about fundamental geometry

6) 시스템은 데이터 베이스에서 해당하는 모든 공구를 추출하며 Fig. 21 은 추출된 공구들이다.

NO.	UNICODE	MULTI CODE	EFFECTIVE DIAMETER	SHANK DIAMETER	TEETH NO.	CUTTING DIRECTION	CUTTER LIFE	MAXIMUM DEPTH
10	M030802505R1SD1324	01	80.00	25.00	5	R	100.00	10.00
12	M030801005R1SP1344	03	80.00	9.50	5	R	50.00	9.80

INSERT SHAPE	INSERT LENGTH	CLEARANCE ANGLE	CORNER ANGLE	AXIAL RAKE	RADIAL RAKE
S	12.00	D	2	-6.00	10.00
S	12.70	F	1	7.00	1.00

SELECT A NUMBER (NO.) : 10_

Fig. 21 Retrived milling cutter

7) Fig. 21 에서 가장 적합한 공구를 선택 Fig. 22 과 같이 프린트 할 수 있다.

UNICODE : M030802506R1SD1324
 MULTI CODE : 01

EFFECTIVE DIAMETER	SHANK DIAMETER	TEETH NO.	CUTTING DIRECTION	CUTTER LIFE	MAXIMUM DEPTH	INSERT SHAPE	INSERT LENGTH
80.00	25.00	5	R	100.00	10.00	S	12.00

CLEARANCE ANGLE	CORNER ANGLE	AXIAL RAKE	RADIAL RAKE
D	2	-6.00	10.00

Fig. 22 Selected tool data

제 5 장 검 토

1) 데이터 베이스 관리 시스템 과 그래픽 PACKAGE 의 선정

시스템 개발을 위하여 IBM PC 호환기종에서 사용되는 관계구조형 데이터 베이스 관리 시스템인 dBASEIII PLUS를 이용하였고 그래픽 처리를 위해서는 Dr. HALO를 이용하였다.

2) 데이터 검색 방법

데이터 검색의 속도를 증가시키기 위하여 메인키(primary key)를 선정 인덱스(index) 파일을 작성 포인터(pointer)를 이용하여 데이터를 검색하였다.

3) Interface 모듈

Dr. HALO 와의 Interface module은 TURBO-C 를 이용 개발하였으며 실행파일의 80KB 이다. 이는 그래픽 기능이 없는 dBASEIII PLUS 에서 그래픽 처리를 가능하게 한다.

4) Graphic controller 의 선정

IBM PC / XT , AT 에서 사용되는 Graphic controller 는 여러 종류가 있으며 개발된 시스템은 일반적으로 많이 사용되고 있는 720 X 348 의 해상도(resolution) 갖는 Hercules Monochrom Graphics Card 를 사용하였다.

5) Clipper compiler 의 이용

Clipper compiler 는 Nantucket 사가 개발한 Software로서 dBASE program을 Compile 할수 있는 기능을 갖추고 있으며 Compile 된 Program 은 다음과 같은 장점을 가지고 있다.

- . Program error를 한꺼번에 식별하고 수정할수 있다.
- . 실행속도가 빠르다.
- . Source 의 보안성이 향상 되었다.
- . IBM PC / MS-DOS version 2.0 이상 과 Terminal I/O 를 지원하는 어떤 컴퓨터에서나 실행시킬수 있다.

개발된 시스템은 Clipper compiler 를 이용함으로써 Clipper의 장점을 이용하였다.

6) 컴퓨터 용량의 고려

개발된 시스템은 약 200KB 의 실행파일과 그래픽 Interface를 위한 모듈이 80KB 의 크기를 갖으므로 시스템을 실행하려면 DOS 의 35-60KB 크기를 고려함과 아울러 시스템 수행에 필요한 변수 메모리 할당을 위해서는 충분한 크기의 주기억 용량이 필요하다. 본 연구에서는 640KB 를 갖는 컴퓨터를 이용하였다.

제 6 장 결 론

본 연구는 컴퓨터를 이용한 밀링공구의 형상, 기술 및 생산관리 정보를 처리할 수 있는 시스템의 개발에 관한 것이다. 개발된 시스템의 특성은 다음과 같다.

- 목적별 공구에 관한 필요한 정보는 이용하는 부서나 사람에 따라 다르므로, 사용 목적에 따른 세부목적 메뉴를 설정하여 목적별 공구관리가 가능하도록 하였다.
- 시스템이 이용자(User)에게 편리하도록 하기 위하여 MSI(Man-System Interface)는 메뉴 유도방식으로 하였다.
- 공구의 형상정보는 공구의 종류, 공구의 선택등에 관한 자료처리시 필요한 정보로서 그래픽을 이용할 경우 매우 효과적이 될수 있다. 본 시스템은 이를 위하여 공구에 관한 그래픽 메뉴가 제공된다.
- 공구 속성(attribute) 자료를 크게 정적 및 동적으로 분류하여 D.B.를 설정하였다 이는 시간에 따라 기록되어야 할 정보를 분류한 것으로 통계자료를 추출하는데 유익하다.
- 공구자료는 검색 및 추출, 첨가, 수정 그리고 삭제가 가능하다.
- 시스템은 IBM PC/XT AT상에서 사용 가능하다.

추가 연구 과제로는 다음의 것이 필요할 것이다.

- Arbor, Collet 및 Chuck의 코딩 시스템 개발연구
- 상기 대상물 들에 관한 목적별 관리
- 공구 Scheduling 관리

개발된 시스템은 관계모델의 dBASE IV로 개발되었기 때문에, RDB 와 같은 관계 모델의 DBMS라면 Micro VAX 등과 같은 32 bits 상위 기종으로의 프로그램 변환은 큰 어려움이 없을 것이다.

참 고 문 헌

- 1) J. M. Shyu and Y. W. Chen , 1987 , " A Mini CIM system for Turning " Annals of the CIRP , Vol. 36/1 , pp. 277 - 280
- 2) Hinduja and G. Barrow , 1986 , " THECHTURN : a technologically oriented system for turned component " , International Conference on Computer Aided Engineering , Mechanical Engineering Publications Ltd. pp. 225 - 260
- 3) J. Elgomayel and v. Nader ,1983 , " Optimization of Machine Setup and Tooling using the Principles of Group Technology " , Computer and Industrial Engineering , Vol. 7 , No. 3 , pp. 187 - 198
- 4) P.Ranky , 1983 , " The Design and Operation of FMS " , IFS Ltd. of the CIRP , Vol. 36/1 , pp.277 - 280
- 5) T.R. crossley and P.M. Cosrello , 1984 , " Computer Aids for the Classification of Pre - Set Tooling for Numerical - Controlled Machine Tools " , Annals of CIRP , Vol. 33/1 , pp. 315 - 319
- 6) TSONG - DA CHOU , 1987 , " TOOLING - A BRIDGE TO THE BETTER WORLD OF BCL " , Association for integrated Manufacturing Technology / Numerical control society 24th Annual Meeting and Technical conference proceedings AIM TECH 87
- 7) A. Ber and D. R. Falkenburg , 1985 , " Tool Management for FMS " Annals of the CIRP , Vol. 34/1 , pp. 387 - 390
- 8) W.Eversheim , S.acobs , L.Wienand , 1987 , " Structure ans Application of a Universal Company-Independent Data Bank for Tools " , Annals of the CIRP , Vol. 36/1 , pp.321 - 325
- 9) MACOTO SATO , NAOHICO TOKUNAGA and WILLIAMG. HOWARD , 1987 , " CAPPS TOOL MANAGEMENT AND MAPPS IN FMS " , 19th CIRP International Seminar on Manufacturing Systems , June 1 - 2
- 10) SANDVIC - Coromant , Catalogue C - 1511 : 003 - ENG
- 11) KARL HERTEL GMBH , 1986 , " Newly developed cutting materials and tools for automation and flexible manufacturing " , German Technology Transfer Symposium , October 28th - November 4th , Seoul
- 12) 김 경 수 , 1986 , " NC 기계의 효율적인 활용을 위한 공구관리 시스템 개발 " 석사학위 논문 , KAIST
- 13) 김 광 만 , 1987 , " FMS 를 위한 공구관리 시스템의 개발 - NC 선반에의 응용을 중심으로 - " , 석사학위 논문 , 인하대학교
- 14) 이재원 ,이용표 ,김광만 , 1988 , " CIM 지원을 위한 선반 공구관리 시스템 ' TOOLMAN - I ' 에 관한 연구 " , 대한 기계학회 논문집 , 12(5)
- 15) 이용표 , 1989 , " FMS를 위한 밀링공구 관리 시스템 개발에 관한 연구 " , 석사학위논문 , 인하대학교