GOVP1200211679

2000-N-NI-03-A-04

교통류 평가기술 개발

Development of Technique for Evaluating
Traffic System Performance

교통정보제공에 따른 사용자 반응행태모델 개발

Development of User Response Model
under Traffic Information

서 울 대 학 교

과 학 기 술 부

제 출 문

과학기술부 장관 귀하

본 보고서를 " 교통류 평가기술 개발"과제 (세부과제 "교통정보제공에 따른 사용자 반응행태모델 개발") 의 보고서로 제출합니다.

2001. 11 .

주관연구기관명 : 서울대학교

주관연구책임자 : 전 경 수

연 구 원 : 이 장 호

" : 유 병 석

" : 박 민 철

" : 이 제 인

" : 오 정 은

" : 김 광 호

여 백

요 약 문

Ⅰ. 제 목

교통정보제공에 따른 사용자 반응행태 모델 개발

Ⅱ. 연구의 목적 및 필요성

1990년대에 들어 지능형 교통체계(ITS)의 구축을 위한 연구가 활발하게 진행되면서, ITS의 첨단교통정보체계(ATIS), 첨단교통관리체계(ATMS)의 평가를 위한 시뮬레이션 모형의 개발 및 적용이 진행되고 있다. 이 중 ATIS의 평가를 위해서는 교통정보 제공체계와 제공된 정보에 반응하는 통행자의 의사결정 행태를 모사해야 한다.

본 연구는 중과제에서 개발하는 미시적 교통 시뮬레이션 모형에 이러한 모사기능을 부여하기 위한 것으로 다양한 교통정보 제공체계에 대한 분석 및 통행자 의사결정 행태의 분석을 통해 교통정보 제공에 따른 통행자의 반응행태 모형을 개발하는 것을 목적으로 한다.

Ⅲ. 연구의 내용 및 수행범위

중과제에서 개발하는 모의실험모형의 부모형으로서 교통정보 제공에 따른 통행자의 반응행태가 구현될 수 있도록, 본 연구에서는 교통정보 제공체계와 통행자 행태에 대한 분석을 토대로 교통정보 제공에 따른 통행자 반응행태를 모의실험모형에 구현하기 위한 연구를 수행하였다. 세부적인 연구내용은 다음과 같다.

1. 기존 시뮬레이션 모형 검토 및 교통정보 제공체계에 대한 분석
   - 기존 시뮬레이션 시스템 기능 및 구조 검토
   - 교통정보 제공체계 관련 자료 수집
   - 교통정보 제공체계의 분류 및 특성 규정

2. 통행자 의사결정의 행태분석

- 통행자 행태분석을 위한 기존 연구결과의 분석
- 연구방향 설정 및 연구 방법론 정립
- 경로선택의 대안특성 및 통행자 특성 분석

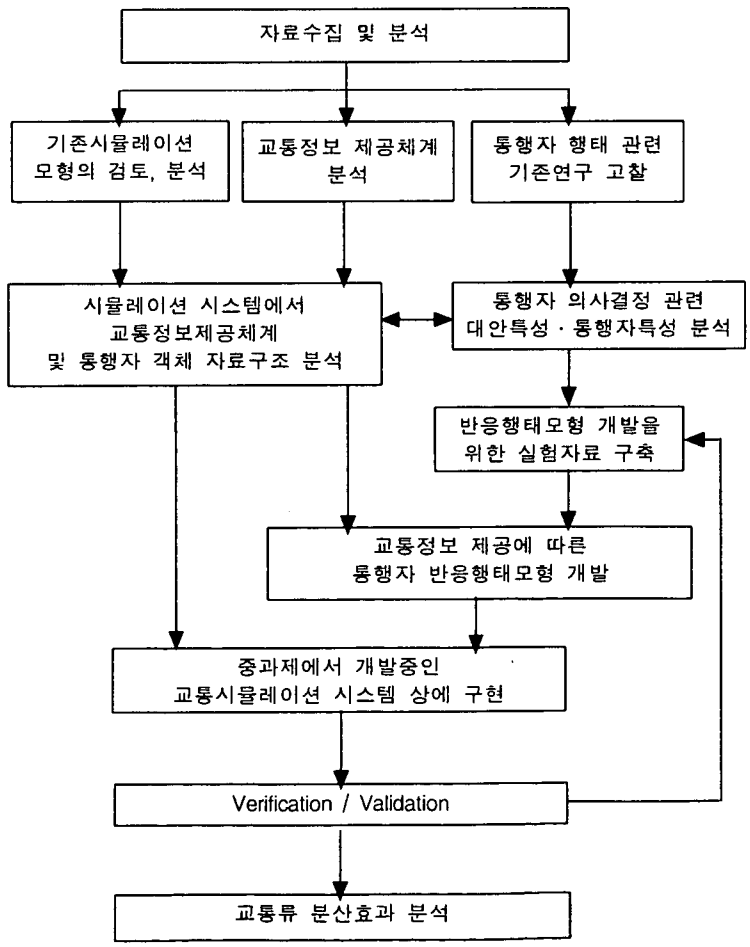
3. 통행자 경로선택 및 경로전환 모형의 구축

- 통행자 반응행태모형의 연구
- 교통정보제공에 따른 통행자 반응행태 모형의 개발
- 시뮬레이션 시스템에서의 통행자 행태 구현방안 연구

4. 교통정보 제공에 따른 통행자 반응행태 모형의 검증

- 시뮬레이션을 이용한 모형의 검증
- 교통류 분산효과 분석

연구개발의 수행과정을 정리하면 아래의 흐름도와 같다.



Ⅳ. 연구개발결과

세부적인 연구개발의 결과를 정리하면 다음과 같다.

- ATIS를 중심으로 다양한 교통정보 제공매체에 대해 기능과 특성을 분석하고, 제공되는 정보의 내용과 종류 등을 조사하였으며, 통행자 행태의 관점에서 정보이용시기, 정보제공대상, 제공되는 정보의 내용, 제공정보의 범위 등을 기준으로 교통정보 제공체계를 분류하고 특성을 규정하였다.
- 통행자 행태관련 국내외의 기존 연구를 고찰하고, 이를 바탕으로 출발전 경로선택과 통행중 경로선택을 연구대상으로 설정하였으며, 개별 통행자의 다양성을 설명할 수 있도록 임의효용이론에 입각한 개별행태모형을 근간으로 하여 반응행태모형을 개발토록 하였다.
- 통행자 경로선택모형의 구조는 선택확률의 계산과 모수추정이 용이하고, 효용함수의 독립변수와 모수를 외부입력치로 설정하였을 경우 모형의 전이성을 높일 수 있는 다항로짓모형을 기본적인 함수형태로 선정하였다.
- 경로선택의 의사결정 영향요소를 추출하고, 이를 대안특성과 통행자 특성으로 구분하여 모형의 독립변수로 설정하였다. 대안특성요소는 통행시간, 지체시간과 같은 link-additive한 속성과 회전수 등과 같은 non-link-additive한 속성으로 구분되며, 통행자 특성요소는 시간가치, 교통정보에의 접근성, 제공정보의 신뢰도, 통행목적 등으로 구분된다.
- 운전자에 대한 RP 조사를 통해 경로선택에 관한 실험자료를 수집하고, 모수를 추정하였다. 추정결과 대안특성으로 고려된 요소들 중 통계적 유의성을 확보한 지체시간, 회전수, 경로길이를 독립변수로 하여 다음과 같이 최종적인 통행자의 경로선택모형을 구축하였다.

$$P(k)=\frac{e^{V_k}}{\sum_{n=1}^{K} e^{V_n}}$$

$P(k)$: 경로 k를 선택할 확률

n : 기점 i 에서 종점 j 까지의 가능한 경로대안들의 선택집합

$n=\{1, 2, \cdots K\}$

V_k : 경로 k의 효용함수

$V_k = -0.3056 \cdot [\text{지체시간(분)}] - 0.6430 \cdot [\text{회전수}] - 0.0902 \cdot [\text{경로길이}(km)]$

- 통행자 경로전환모형의 경우, 통근자를 대상으로 한 출발시간변경 및 경로전환모형의 구축, 그리고 교통정보의 이용빈도모형, 끝으로 교통정보의 제공에 따른 통행자의 순응도 모형 등을 개발하였다. 그러나 현 단계의 시뮬레이션 시스템 상에서는 입력자료의 한계로 인해 이를 구현하지 못하였다. 따라서 향후 이를 반영할 수 있는 시스템의 개선작업이 필요하다.
- 민감도 분석결과는 독립변수 값의 변화에 대해 경로선택확률이 합리적인 방향으로 적정하게 변화하는 것으로 나타났고, 검증자료와의 비교분석결과 또한 현실에서의 선택확률을 근사하게 모사하였다.
- 교통류의 분산효과분석을 위해 강남구의 4×4 네트워크 상에서 유고를 발생시키고, 유고 발생 전후의 경로선택확률을 살펴보았는데, 상황의 모사가 적절하게 이루어지고 있는 것으로 분석되었으며, 동일한 네트워크에서 정보이용자의 비율이 30-40%일 때 교통망의 조건이 최적화 되는 것으로 나타났다.

이상의 연구개발성과들은 중과제에서 개발하는 미시적 교통 시뮬레이션 시스템의 부모형으로 구현되었으며, 교통정보 제공에 따른 통행자의 경로선택행태를 모사하는 역할을 수행한다.

V. 연구개발결과의 활용계획

개발된 통행자의 반응행태 모형과 이를 구현한 시뮬레이션 시스템은 현재 도입이 진행되고 있는 지능형 교통시스템(ITS), 특히 첨단교통정보시스템(ATIS) 및 첨단교통관리시스템(ATMS)의 평가 및 구축사업에 이용될 수 있다. 따라서 향후 현재 ITS사업의 일환으로 여러 곳에 설치되고 있는 가변정보판(VMS)과 같은 다양한 형태의 교통정보 제공매체의 효과를 사업시행 이전에 분석하여 평가하는데에 적용가능한 것으로 판단된다.

또한 본 연구과제에서 개발된 반응행태 모형과 중과제 상의 시뮬레이션 시스템은 교통관리, 교통정보 제공체계 및 전략의 개발 평가, 그 외 관련한 연구

의 분석도구로서 사용할 계획이다.

또한 본 연구를 통해 개발한 시뮬레이션 모형의 현실성 확보와 정확도 향상, 활용범위의 확대 등을 위해서는 다음과 같은 추가적인 연구가 요구되며, 향후 이러한 연구를 추진할 계획이다.

모형의 유연성이 높은 통행자 반응행태 모형을 개발하고 이를 통해 다양한 교통조건과 도로조건에서 모형을 검증하고 개선하기 위한 연구가 필요하다.

적합도와 전이성이 높은 모수추정을 위해 보다 광범위한 자료의 구축이 필요하며, 다양한 목적통행, 수단통행에 적용할 수 있는 다양한 반응행태 모형의 개발이 요구된다.

모형의 검증·개선작업을 통해 신뢰성을 높이고, 다양한 현장에서 적용하여 모형의 현실부합성을 검증하며, 개발된 모형의 적용성을 제시하여야 한다.

중과제에서 개발한 시뮬레이션 시스템의 입력변수, 수행성능 등을 보다 정교화하여 교통정보에 따른 통행자의 반응행태를 보다 자세하게 모사할 수 있도록 한다.

이상에서 언급된 향후 연구계획이 원만히 수행되어 진다면, 개발된 통행자 반응행태 모형과 교통 시뮬레이션 시스템의 활용범위는 더욱 확대될 것으로 판단된다.

여 백

SUMMARY

Ⅰ. Subject

Development of User Response Models under Traffic Information

Ⅱ. Objectives and Motivations of Research

With affluent research of ITS in 1990's, development and application of simulation models are attracting attention for evaluation of ATIS (Advanced Traffic Information System) and ATMS (Advanced Transportation Management System). Among them, for evaluation of ATIS, travelers' decision-making behavior should be properly represented as responses to traffic information and information system.

This research, which intends to provide behavioral modeling capability to microscopic traffic simulation, purposes to suggest travelers' behavior model through analysis of various traffic information system and travelers' decision-making process.

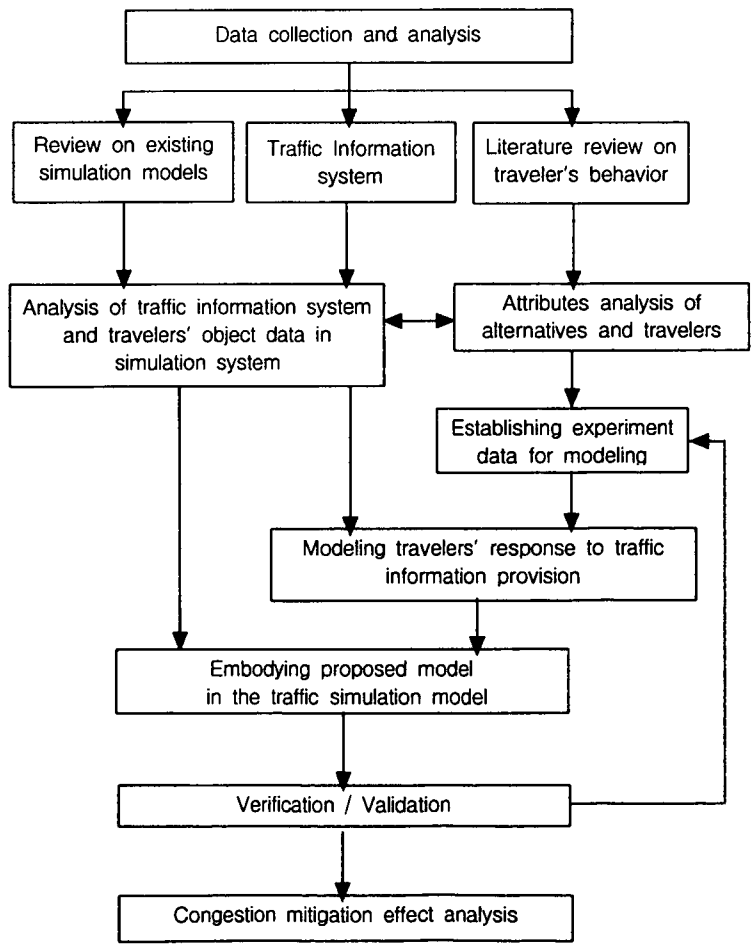
Ⅲ. Contents and Scope of Research

As a sub-model of simulation systems, research for modeling travelers'. response to traffic information was accomplished based on analysis of information system and travelers' behavior. Details are as follows.

1. Review of existing simulation models and traffic information systems
   - Investigation on functions and structures of existing simulation systems
   - Collecting data for traffic information systems
   - Classification and description of traffic information systems

2. Analysis of travelers' decision-making behavior
   - Literature review on travelers' behavior analysis
   - Establishing research direction and methodology
   - Attributes analysis of alternatives and travelers in route choice
3. Modeling of travelers' route choice and route diversion
   - Study on travelers' behavior models
   - Modeling travelers' behavior with traffic information provision
   - Study on embodiment of travelers' behavior model in simulation system
4. Validation of travelers' behavior model with information provision
   - Model validation using simulation
   - Analysis of congestion mitigation effects

Research process can be summarized as following flow chart.



Ⅳ. Research Results

Final outcomes of research can be summarized as follows.

- For various traffic information providers with special focus on ATIS, their functions, features, contents, and types were observed and analyzed. In travelers' point of view, traffic information systems were classified according to time to use, target travelers, contents, coverages of information.
- Based on literature review of travelers' behavior studies, it was decided to model pre-trip route choice and en-route diversion. And in order to model diversity of individual travelers, discrete choice model, which is based on random utility theory, was adopted in modeling process.
- As a basic functional form, multinomial logit model was selected because it is easier to calculate choice probability and to calibrate parameters, and it has high transferability with parameters as exogenous values.
- Factors, which have influence on route choice decision, were divided into attributes of alternatives and travelers, and explanatory variables of the model were established. Alternative-specific attributes include link-additive ones, such as travel time and delay, and non-link-additive ones, such as number of turns. Traveler-specific attributes include value of time, accessibility to information, reliability of information, and trip purpose.
- Route choice data was collected by RP survey on drivers to estimate parameters. Estimation results show that following model including delay, number of turns, and travel distance as explanatory variables, all of which are statistically significant, is the most recommendable.

$$P(k) = \frac{e^{V_k}}{\sum_{n=1}^{K} e^{V_n}}$$

$P(k)$: probability to select route k

n : number of routes in choice set from origin i to destination j

$n = \{ 1, 2, \cdots K \}$

V_k : utility function of route k

$V_k = -0.3056 \cdot [\text{delay(min)}] - 0.6430 \cdot [\text{\# of turns}] - 0.0902 \cdot [\text{distance(km)}]$

- As for route diversion model, departure time change and route diversion model for commuters, information usage frequency model, and compliance rate model were developed. However, because of limitation of input data, it was hard to including them in the current simulation system. Thus, system improvement is needed as further works.
- Sensitivity analysis shows that changes in explanatory variables yield reasonable changes in route choice probability. In addition, validation results also show that proposed model is close to reality.
- For investigation of congestion mitigation effects, an incident was occurred in 4×4 network in Gangnam-gu, and route choice probabilities were observed before and after the incident. The result shows that the simulation results are plausible and congestion mitigation is maximized with the ratio of information users as 30-40%.

Research contributions mentioned above were included in microscopic simulation model as one of sub-models, and takes the role of describing travelers' route choice behavior with information provision.

V. Application of Research Results

Proposed model for travelers' behavior and simulation system including it can be used to accomplish and evaluate ITS, especially, ATIS and ATMS. Therefore, they seem to be applicable in beforehand evaluation of the VMS effects, which are now being equipped in many places.

Moreover, behavior model and simulation system are planned to support researches related to traffic management, traffic information strategies, and

others relevant.

For enhancement of reality, accuracy, and applicability of simulation system, more works should be completed. Further works can be summarized as follows.

It is needed to develop more flexible models for travelers' behavior and to validate them under various traffic and road conditions.

For higher goodness-of-fit and transferability of model, large-scale data is needed. Also various behavior models that can be applied to various purposes and modes of trips are needed to be developed.

It is needed to enhance reliability of models through validation and improvement, to validate reality by applying models to various situations, and to confirm applicability of proposed models.

By equipping more elaborated input module and performance capability of simulation model, more details of travelers' behavior should be described.

Provided that further works mentioned above are accomplished, proposed travelers' behavior model and simulation system will be applied to a greater extent.

여 백

CONTENTS

Chapter 1. Introduction 1

1.1 Backgrounds and Objectives 1

1.2 Research contents and Performing process 3

Chapter 2. Review of existing simulation models and traffic information systems 9

2.1 Investigation of existing simulation models 9

2.2 Analysis of traffic information system 19

Chapter 3. Analysis of Travelers' Decision-Making Behavior 33

3.1 Literature review on travelers' route choice 34

3.2 Literature review on travelers' route diversion 50

3.3 Analysis of traffic information system and travelers' behavior 55

Chapter 4. Formation of Travelers' Route Choice Model 61

4.1 Data collection for model formation 61

4.2 Review of functional forms 68

4.3 Formation of route choice model 77

4.4 Representation of route choice model in simulation models 86

Chapter 5. Formation of Travelers' Route Diversion Model 93

5.1 Analysis of route diversion behavior 93

5.2 Formation of route diversion model 102

5.3 Travelers' compliance rate model with information provision 125

Chapter 6. Validation of Travelers' Behavioral Models 147

6.1 General theory of model validation 147

6.2 Sensitivity analysis of travelers' behavioral models 149

6.3 Validation of route choice model with actual data 155

6.4 Validation of route choice model with simulation system 160

6.5 Analysis of congestion mitigation effect 165

Chapter 7. Conclusions 169

7.1 Research results 169

7.2 Research contribution 172

7.3 Further works 172

Chapter 8. Bibliography 175

차 례

제 1 장 서 론 1

1.1 연구개발의 배경 및 목적 1

1.2 연구개발의 내용 및 수행과정 3

제 2 장 기존 시뮬레이션 모형의 검토 및 교통정보 제공체계 분석 9

2.1 기존 시뮬레이션 모형의 검토 9

2.2 교통정보 제공체계의 분석 19

제 3 장 통행자 의사결정 행태분석 33

3.1 통행자 경로선택관련 기존연구고찰 34

3.2 통행자 경로전환관련 기존연구고찰 50

3.3 교통정보제공과 통행자 의사결정 특성분석 55

제 4 장 통행자 경로선택모형의 구축 61

4.1 경로선택모형의 구축을 위한 실험자료 확보 61

4.2 경로선택모형의 함수형태 고찰 68

4.3 경로선택모형의 구축 77

4.4 시뮬레이션 모형에서의 구현 86

제 5 장 통행자 경로전환모형의 구축 93

5.1 경로전환 특성분석 93
5.2 경로전환모형의 구축 102
5.3 교통정보에 대한 통행자의 순응도(Compliance Rate) 모형 125

제 6 장 통행자 반응행태모형의 검증 147

6.1 모형 검증의 일반적 방법론 147
6.2 통행자 반응행태 모형의 민감도 분석 149
6.3 실제 검증자료를 통한 경로선택모형의 검증 155
6.4 시뮬레이션 시스템을 통한 경로선택모형의 검증 160
6.5 교통류 분산효과 분석 165

제 7 장 결 론 169

7.1 연구개발의 결과 169
7.2 연구결과의 활용분야 172
7.3 향후 연구계획 172

제 8 장 참 고 문 헌 175

표 차 례

<표 2.1> 미시 시뮬레이션 모형과 그 특성 11
<표 2.2> CORSIM 운전자 유형별 특성 12
<표 2.3> MITSIM 운전자 유형별 특성 13
<표 2.4> INTEGRATION 운전자 유형별 특성 13
<표 2.5> ATIS의 각 부문별 서비스 기능 및 정보제공기능 20
<표 2.6> 정보제공매체별 기능 21
<표 2.7> RDS-TMC와 DARC 방송을 이용한 교통정보 제공 23
<표 2.8> RDS-TMC와 DARC 방송을 이용한 문자정보 표현방법의 예 23
<표 2.9> VMS와 Tele-terminal 상의 메시지 표현방법의 예 24
<표 2.10> VMS와 Tele-terminal을 이용한 교통정보 제공 25
<표 2.11> PC 통신과 인터넷에 의한 공간적-시간적 정보제공의 기본기능 26
<표 2.12> PC 통신과 인터넷을 이용한 교통정보 제공 26
<표 2.13> 주행안내시스템의 정보내용 28
<표 2.14> RGS를 이용한 교통정보 제공 29
<표 2.15> 교통정보 제공매체별 속성구분 31
<표 3.1> 조사에 사용된 SP 선택집합 44
<표 4.1> 설문조사된 경로선택상황 64
<표 4.2> 모수추정결과 81
<표 4.3> 교통정보 제공매체의 구현 87
<표 5.1> 적용변수 요약 104
<표 5.2> 대상자들의 사회경제적 특성 109
<표 5.3> 통근자의 모험성향 111
<표 5.4> 대상자들의 출·퇴근시 교통정보이용특성 113
<표 5.5> 교통정보에 대한 신뢰성 114
<표 5.6> 대상자들의 업무특성 115
<표 5.7> 대상자들의 전환비율 116
<표 5.8> 출근시 출발시간 변경 및 경로 전환모형 (괄호 안은통계량을 의미) 118

<표 5.9> 출근시 교통정보이용빈도 모형(괄호 안은 값) 120
<표 5.10> 퇴근시 출발시간 변경 및 경로전환모형 (괄호 안은 통계량을 의미) .. 122
<표 5.11> 퇴근시 통행 전 및 통행 중 교통정보이용빈도 모형(괄호 안은 값) 123
<표 5.12> 조사대상자 현황 133
<표 5.13> 직접모형에서의 , 계수추정 137
<표 5.14> 직접모형에서의 , 계수추정 137
<표 5.15> 직접모형에서의 , 계수추정 138
<표 5.16> 직접모형에서의 ,, 계수추정 139
<표 5.17> 직접모형(lag=1)의 추정결과 140
<표 5.18> 개인특정오차항 를 포함하는 직접모형(lag=2, 3)의 추정결과 142
<표 5.19> 가중치에 따른 모형의 적합도 비교 (개인특정오차항 포함시) 143
<표 5.20> 가중치 모형()의 추정결과 143
<표 5.21> 모형 추정결과의 비교 144
<표 6.1> 민감도 분석대상 가로망특성 149
<표 6.2> 지체시간 변화에 따른 민감도 분석 151
<표 6.3> 회전수 변화에 따른 민감도 분석 152
<표 6.4> 경로길이 변화에 따른 민감도 분석 154
<표 6.5> 경로선택모형의 검증자료 155
<표 6.6> 경로선택모형의 산출물과 검증자료와의 비교 159
<표 6.7> 시뮬레이션을 통한 경로선택모형의 검증 대상경로 160
<표 6.8> 시뮬레이션 결과와 경로선택모형값의 비교 (기종점 1) 162
<표 6.9> 시뮬레이션 결과와 경로선택모형값의 비교 (기종점 2) 163
<표 6.10> 교통류 분산효과 분석 166

그 림 차 례

<그림 1.1> 연구개발의 수행과정 7
<그림 2.1> MITSIM의 동적 교통관리시스템의 구조 15
<그림 2.2> 올림픽대로의 교통정보 - 현재소통상황 및 화상정보 27
<그림 2.3> 인터넷을 통한 최적경로안내 및 도로의 구간정보 27
<그림 2.4> 고속도로의 문자정보 및 교통상황예보지도 27
<그림 3.1> 운전자 의사결정과정 분석방법 개념도 33
<그림 3.2> E. Hato et. al.(1999) 조사에 대한 요약 37
<그림 3.3> 선택빈도와 표준편차의 관계 44
<그림 4.1> 조사에 선정된 경로선택상황 67
<그림 5.1> 통근자행태 개념도 102
<그림 5.2> 대상자들의 연령분포 109
<그림 5.3> 대상자들의 직업분포 110
<그림 5.4> 대상자들의 동일경로이용년수(minN)분포 (단위:년) 110
<그림 5.5> 출·퇴근시 평균통행시간분포 112
<그림 5.6> 출·퇴근시 교통정보 이용분포 113
<그림 5.7> 출근시 선호도착시간분포 116
<그림 5.8> 출·퇴근시 경로 전환 및 출발시간 변경비율 116
<그림 5.9> 순응비율 예측모형의 구조적 틀 130
<그림 5.10> 정보제공 및 경로선택 화면 (예시) 134
<그림 5.11> 경로선택 이후 실제통행정보 화면 (예시) 134
<그림 6.1> Correlated Inspection Approach 148
<그림 6.2> 민감도 분석대상 가로망도 149
<그림 6.3> 민감도 분석결과(지체시간) 151
<그림 6.4> 민감도 분석결과(회전수) 153
<그림 6.5> 민감도 분석결과(경로길이) 154
<그림 6.6> 시뮬레이션을 통한 경로선택모형의 검증대상 교통망 161
<그림 6.7> 시뮬레이션 결과와 경로선택모형값의 비교 (기종점 1) 162

<그림 6.8> 시뮬레이션 결과와 경로선택모형값의 비교 (기종점 2) 164
<그림 6.9> 교통류 분산효과 분석 - 평균통행시간과 평균지체시간 166
<그림 6.10> 교통류 분산효과 분석 - 교통량 167
<그림 6.11> 교통류 분산효과 분석 - 평균통행속도 168

제 1 장 서 론

1.1 연구개발의 배경 및 목적

1. 연구개발의 배경 및 필요성

교통이 심각한 사회·경제적 문제로 대두되면서, 이를 해결하기 위한 방안들이 모색되고 있다. 기간교통시설의 건설을 통한 교통혼잡의 해소에서부터 지구의 교통환경개선에 이르기까지 다양한 규모와 방법의 해결책이 시도되고 있다.

1990년대에 들어 지능형 교통체계(ITS)의 구축을 위한 연구가 활발하게 진행되면서, ITS의 첨단교통정보체계(ATIS), 첨단교통관리체계(ATMS)의 평가를 위한 시뮬레이션 모형의 개발 및 적용이 진행되고 있다. 특히 ATIS의 평가를 위해서는 교통정보 제공체계와 제공된 정보에 따라 반응하는 통행자의 경로선택 의사결정 행태를 모사할 필요가 있다. 따라서 시뮬레이션 모형 내에서 교통정보 제공에 따른 통행자 행태를 정확히 모사하기 위해서는 교통정보 제공체계 분석, 통행자 의사결정 행태 분석 등을 기초로 한 체계적이며 계량적인 접근이 필요하다.

지금까지의 국내외 연구개발 실적을 보면 국내의 경우는 주로 차량항법장치의 단말기에 대한 연구가 대부분이었고, 부분적으로 가변정보판(VMS)에 대한 우회경로 및 권장속도 수용정도에 관한 연구가 수행되었다. 국외의 경우는 일본, 미국, 유럽 등지에서 자국의 ITS 평가를 위해 다양한 교통정보 제공방식과 종류에 따라 운전자의 반응행태를 면밀히 분석하여 왔다. 이러한 분석결과를 바탕으로 시뮬레이션 시스템을 통해 통행자 행태를 구현하고자 하는 노력이 이전부터 진행되어 왔다.

그러나 아직 시뮬레이션 모형의 신뢰성과 성능에 관련하여 개선의 여지가 많은 것으로 평가되고 있다. 시뮬레이션 모형에 사용되고 있는 통행자 반응행태 모형들의 모수가 충분한 현장조사를 기반으로 추정되지 못하였고, 모형의 정확성 또한 충분히 검증되지 않았다.

따라서 본 연구과제는 다양한 교통정보 제공체계에 대한 분석 및 통행자의 사결정 행태의 분석을 통해 통행자의 반응행태 모형개발을 위한 방향을 정립하고, 다양한 방식의 심도 깊은 자료수집을 통해 교통정보 제공체계와 정보를 이용하는 통행자의 반응행태간의 관계를 규명하며, 이를 근간으로 기존 연구결과들의 한계점을 극복하고, 국내에서도 적용가능한 적절한 통행자의 반응행태 모형을 개발토록 한다.

2. 연구개발의 목적

본 세부과제는 중과제에서 개발하고자 하는 교통 시뮬레이션 시스템에서 교통정보 제공시스템과 교통정보제공에 따른 통행자의 반응행태를 모사할 수 있도록 교통정보의 사용자인 통행자의 반응 행태 모형 개발을 목적으로 한다.

3년간의 연구개발 과정을 통한 연차별 세부목표는 다음과 같다.

1) 1차년도 연구개발목표

- 교통정보 제공체계의 조사 및 분석
- 사용자 행태 분석 및 교통류 분산효과 분석을 위한 기초자료의 확보
- 기존 시뮬레이션 시스템의 구조 분석 및 사용자 행태 구현방안 연구

2) 2차년도 연구개발목표

- 사용자 행태모형의 연구
- 교통정보 제공체계 및 사용자 반응행태의 객체모형 개발
- 시뮬레이션 시스템 구현 및 실험적 검증

3) 3차년도 연구개발목표

- 사용자 행태분석을 위한 기초 실험자료의 추가적 확보
- 추가적 자료와 시뮬레이션을 이용한 검증을 통한 모형의 개선
- 교통류 분산효과 분석

1.2 연구개발의 내용 및 수행과정

1. 연구개발의 내용

지난 3년간의 연구개발 과정동안 교통정보제공에 따른 통행자 반응행태모형의 개발은 아래와 같은 내용을 가지고 이루어졌다.

우선 기존 연구결과를 기초로 하여 기존 교통시뮬레이션 시스템에 대한 분석을 수행하고 이를 통해 중과제 상에서 개발되는 시뮬레이션 시스템 내에서 교통정보제공에 따른 통행자의 반응행태가 모사될 수 있도록 모형화 방안을 검토하였다.

교통정보 제공체계에 대한 분석을 통해 매체별로 정보의 종류와 내용들을 검토하고 이를 정보제공의 가능범위와 제공대상, 정보이용시기별로 속성을 구분하여 시뮬레이션 시스템 내에서 구현될 수 있도록 하였다.

통행자의 반응행태에 관한 본 연구과제 내에서의 구현범위를 출발전 경로선택과 통행중 경로전환으로 설정하고, 이와 관련한 기존 연구의 결과를 고찰하였으며 통행자 경로선택 의사결정의 대안특성 및 통행자 특성을 살펴보았다.

설문 및 면접조사와 웹기반(web-based) 방식의 조사를 통해 현시선호(RP), 잠재선호(SP) 자료를 수집하고, 개별행태모형을 근간으로 지체시간, 회전수, 경로길이 등의 경로특성을 독립변수로 하는 경로선택모형을 개발하였다. 경로선택모형 이외에 경로전환 특성과 관련한 출발시간 변경 및 경로전환모형을 개발하였고, 교통정보이용빈도 모형과 교통정보에 대한 통행자의 순응도 모형을 함께 개발하였다.

개발된 모형을 가지고 중과제 상에서 개발 중인 교통 시뮬레이션 시스템에 구현되도록 하였고, 교통 시뮬레이션 시스템을 가지고 경로선택모형의 민감도 분석 등을 통해 검증작업을 수행하였다.

최종적으로는 교통정보 이용자의 비율을 달리 하면서 그에 따라 시뮬레이션 시스템의 출력물(효과척도, MOE)을 분석함으로써 교통정보 제공에 따른 교통류 분산효과를 분석하였다.

이상의 내용을 정리하면 다음과 같다.

가. 기존 시뮬레이션 모형 검토 및 교통정보 제공체계에 대한 분석

- 기존 시뮬레이션 시스템 기능 및 구조 검토
  - · CORSIM, MITSIM, INTEGRATION 등의 기존 교통 시뮬레이션 모형을 중심으로 교통정보제공 및 사용자 행태 모사기능 검토
  - · 객체지향 시뮬레이션 구조 내에서의 교통정보제공체계와 사용자 행태 구현방안 연구
- 교통정보 제공체계에 대한 관련 자료 수집
  - · ITS 기본계획 및 표준화 연구, ATIS 제3수준 아키텍쳐 구상 등 검토
  - · 교통정보 제공매체별로 정보의 종류, 내용 등을 조사
- 교통정보 제공체계의 분류 및 특성 규정
  - · 연구대상 교통정보 제공체계 설정
  - · 사용자 행태의 관점에서 정보이용시기, 제공대상, 정보의 내용, 범위 등을 기준으로 교통정보 제공체계를 분류하고 특성을 규정

나. 통행자 의사결정의 행태분석

- 통행자 행태분석을 위한 기존 연구결과의 분석
  - · 통행자 행태분석 관련하여 연구대상, 연구방법론, 연구결과에 대한 검토
  - · 현장실험, 모의실험기, 면접 및 설문조사 등의 방법론 검토
- 연구방향 설정 및 연구 방법론 정립
  - · 사용자 반응분류 : 출발전 경로선택 및 통행중 경로전환
  - · 사용자 의사결정 영향요소 추출
- 경로선택의 대안특성 및 통행자 특성 분석
  - · 대안특성 : link-additive 속성과 non-link-additive 속성
  - · 통행자특성 : 시간가치, 교통정보에의 접근성, 제공정보의 신뢰도, 통행목적 등

다. 통행자 경로선택 및 경로전환 모형의 구축

- 사용자 반응행태모형의 연구
  - 사용자 반응행태모형의 틀 선정 - 기존 함수형태의 비교 및 평가
  - 기초적 실험자료의 확보 - RP, SP, Web-based 방식의 조사 등을 통해 통행자 경로선택과 경로전환 모형 구축을 위한 자료 확보
- 교통정보제공에 따른 사용자 반응행태 모형의 개발
  - 경로선택, 출발시간 변경 및 경로전환, 정보이용빈도, 정보제공에 대한 순응도 모형 개발
  - 구축된 자료와 통계처리 프로그램을 이용하여 모수추정
  - 정산된 모수의 통계적 유의성 검토
- 시뮬레이션 시스템에서의 사용자 행태 구현방안 연구
  - 객체속성과 연산 및 입력자료 규정

라. 교통정보 제공에 따른 통행자 반응행태 모형의 검증

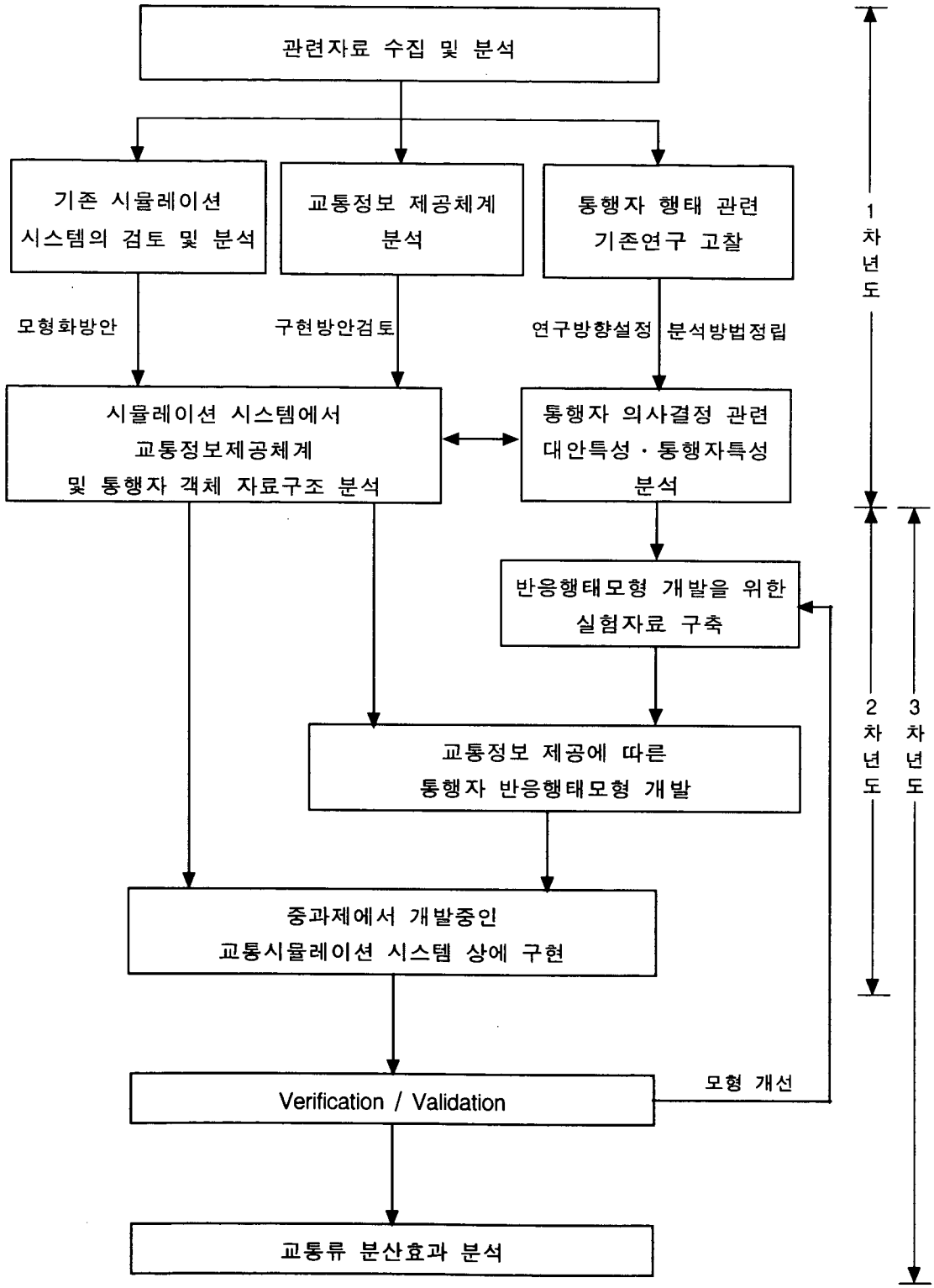
- 시뮬레이션을 이용한 실험적 검증
  - 교통망 및 관련 교통자료 입력을 통한 시뮬레이션의 구동
  - 시뮬레이션 구동결과 분석을 통한 문제점 도출 및 개선방안 검토
  - 개발된 모형의 민감도 분석
  - 검증자료와의 비교분석을 통한 검증작업 수행
- 교통류 분산효과 분석
  - 개발된 모형의 적용성 검토
  - 정보이용자 비율의 변화에 따른 효과척도의 변화를 분석

2. 연구개발의 수행과정

교통정보제공에 따른 사용자 반응행태모형 개발은 다음과 같은 과정을 통해 수행되었다.

1) 기존 교통 시뮬레이션 모형, 교통정보 제공체계, 통행자 행태 관련 자료를 수집하고 분석
2) 기존 시뮬레이션 모형들을 분석하여 이를 평가하고 본 연구에서의 구현 (모형화) 방향 설정
3) 통행자 의사결정과 관련한 대안 특성과 통행자 특성을 분석
4) 교통정보 제공체계와 통행자 반응 행태를 시뮬레이션 상에 구현하기 위한 방안을 검토
5) 교통정보 제공에 따른 통행자의 반응 행태 분석을 위한 분석방법 정립 및 실험계획을 수립
6) RP, SP, Web-based 방식의 설문조사를 통해 기초적 실험자료 확보
7) 경로선택모형, 출발시간변경 및 경로전환모형, 교통정보이용빈도모형, 교통정보에 대한 통행자의 순응도 모형 개발
8) 추가적인 자료수집과 시뮬레이션 검증을 통한 모형의 검증 및 개선
9) 교통류 분산효과 분석

연구개발의 수행과정을 정리하면 <그림 1.1>과 같이 도시할 수 있다.



<그림 1.1> 연구개발의 수행과정

여 백

제 2 장 기존 시뮬레이션 모형의 검토 및 교통정보 제공체계 분석

2.1 기존 시뮬레이션 모형의 검토

교통 시뮬레이션 모형 상에서 교통정보 제공에 따른 통행자의 다양한 반응 행태를 구현하기 위해서는 이들에 대한 체계적이고 계량적인 분석이 요구되며, 이와 같은 분석이 없이는 시뮬레이션 모형을 이용하여 실제 상황을 모사한다는 것이 불가능하다.

따라서, 본 절에서는 앞서 기존에 개발되었던 시뮬레이션 모형들을 통행자 반응 행태가 어떠한 형태로 구현되었는가를 중심으로 하여 살펴보고 이를 분석하여 본 연구개발의 기본방향을 설정하는 토대를 마련한다.

기존 시뮬레이션 모형의 검토 방향은 크게 세 가지로 나누어 살펴본다.

첫째, 가변정보판(VMS)과 같은 정보매체의 구현여부와 경로안내의 구현방안 등을 중심으로 하여 교통정보제공에 따른 통행자 반응행태가 어떻게 구현될 수 있는지 기존 시뮬레이션 모형의 구조를 분석하고,

둘째, 기존 시뮬레이션 모형이 미시적 시뮬레이션 모형에서의 통행자인 운전자를 유형별로 어떻게 나누어 구현하고 있는지 그 특성을 분석하며,

끝으로, 경로안내전략에 따라 동적으로 통행자를 배정하는 기존 시뮬레이션 모형의 동적 통행배정전략을 검토한다.

1. 기존 시뮬레이션 구조 분석

국외에서 개발된 교통류 시뮬레이션 모형은 그 기능 및 활용영역에 따라 수십종에 이르며, 이 중 대표적인 것으로는 지방부 2차선도로의 운영 분석을 위한 TWOPAS(미국, 1986), 고속도로 유고감지 및 관리제어를 위한 FRESIM(미국, 1990), 도시부 교차로 신호 운영 분석을 위한 TRAF-NETSIM(미국, 1989), 교차로의 신호최적화 및 과포화 상태의 교통류 분석을 위한 SATURN(영국,

1980), CONTRAM(영국, 1986), INTEGRATION(캐나다, 1988)이 있으며, 이외에도 FREQ, SCOT, TRAFLO, CORQ, DYNEV 등이 있다.

그러나, 상기 모형들은 대부분 현재 전세계적으로 가장 큰 연구의 대상이 되고 있는 ITS의 ATMS와 ATIS와 관련된 여러 시스템과 기능들을 평가하고, 기대되는 효과를 종합적으로 분석하는데 사용하기에는 부적합하다는데 인식을 같이 하고 있다. 따라서, 최근 각 나라에서는 기존의 모형을 수정 보완하거나, 기존의 모형에서 사용되지 않은 새로운 개념의 기법들을 도입하여 ITS의 교통관리·운영 전략과 통행자 정보제공체계의 수립 및 평가를 위한 실험적 단계의 모의실험 모형들을 계속적으로 개발하고 있다.

이러한 연구의 결과로 최근에 개발되었거나 개발되고 있는 교통 시뮬레이션 모형으로, NETSIM과 FRESIM을 통합한 CORSIM(미국, 1997), PARAMICS (영국, 1997), MITSIM(미국, 1997), SITRA-B+, 미국 Los Alamos 연구소에서 개발중인 TRANSIM 등이 있다.

ATIS를 모사 평가하기 위해서는 출발전 통행정보에 의한 통행자의 통행출발시각 선택, 통행수단 및 경로선택과 통행 중 가변정보판, 차내 경로안내시스템 등에 의한 운전자의 경로전환 등에 대한 모형화가 필요하다. 이러한 관점에서 실시간 교통정보제공에 따른 영향을 분석하기 위한 기능이 포함된 모형들도 있는데, 이러한 모형들은 교통 모의실험에 수단/경로선택행태를 다루는 계획모형의 요소를 수용하고 있다. 이러한 통행자의 의사결정과정은 아직 이론적인 연구가 활발히 진행되는 단계에 있으며, 이를 지원하는 모형들은 경로 및 수단선택 행태에 대한 많은 가정에 기반하고 있으므로, 현실의 운전자 의사결정과정을 신뢰성 있게 모사하지는 못하고 있다. 또한 내부적으로 어떤 모형을 사용하는 지와 어떻게 작용을 하게 되는지 정확히 알기 어려운 상황이다.

다음 <표 2.1>는 현재 상용되는 시뮬레이션 모형과 그 모형상에서 교통정보와 통행자 행태에 대한 사항이 반영되는지의 여부를 나타낸다.

<표 2.1> 미시 시뮬레이션 모형과 그 특성

모 형	제작국	VMS	지역교통정보	정적경로안내	동적경로안내	Autonomous 차량	시험용 차량	검지기
AIMSUN2	스페인	O		O	O			O
ANATOLL	프랑스							
AUTOBAHN	독일	O	O	O	O	O	O	O
CASIMIR	프랑스							O
CORSIM	미국							
DRACULA	영국							O
FLEXSYT II	네덜란드							O
FREEVU	캐나다						O	O
FRESIM	미국							O
HUTSIM	핀란드	O		O		O	O	O
INTEGRATION	캐나다	O		O	O		O	O
MELROSE	일본			O	O	O	O	O
MICROSIM	독일			O	O			
MICSTRAN	일본			O	O			O
MITSIM	미국	O		O	O		O	O
MIXIC	네덜란드					O		
NEMIS	이태리	O		O	O		O	O
NETSIM	미국							O
PADSIM	영국				O			O
PARAMICS	영국	O	O	O	O		O	O
PHAROS	미국							
PLANSIM-T	독일	O	O	O	O		O	
SHIVA	미국					O		O
SIGSIM	영국					O	O	O
SIMDAC	프랑스							
SIMNET	독일	O		O	O			O
SISTM	영국	O		O				O
SITRA-B+	프랑스			O	O		O	O
SITRAS	오스트레일리아			O	O			O
THOREAU	미국			O	O		O	O
VISSIM	독일						O	O

자료 : Eric Bernaer et al, A Review of Micro-Simulation Models, Institute of Transport Studies University of Lees, 1998

2. 운전자 유형별 특성

주요한 시뮬레이션 모형의 운전자 유형별 특성을 분석한 결과를 정리하면 다음과 같다.

가. CORSIM

CORSIM에서 운전자는 10개의 유형으로 나뉘어 그 속성이 부여된다. CORSIM은 연속류 도로를 위한 FRESIM과 단속류 도로를 위한 NETSIM으로 구분되는데, FRESIM과 NETSIM에서 적용되는 운전자 속성이 다르게 부여된다.

FRESIM의 경우 차량 추종 모형에서 인접 차량간 차두간격에 대한 특성치가 운전자 유형에 따라 0.6초에서 1.5초로 다양하게 부여되고, NETSIM의 경우 교차로에서의 수락간격이 2.0초에서 5.6초로 다양하게 부여된다. 또한 비보호좌회전이나 적색현시에서 우회전시 수락간격이 2.7초에서 7.8초로, 자유속도에 대한 분포가 75%에서 127%까지 다양하게 부여된다. 또 차로변경을 시작하는 앞차량과의 거리분포는 기본값의 75%에서 125%까지 부여된다.

<표 2.2>는 CORSIM에서 각 운전자 유형에 따른 특성치이다.

<표 2.2> CORSIM 운전자 유형별 특성

운전자 유형	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
차량추종민감도(0.1초)	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6
교차로 수락간격(0.1초)	56	50	46	42	39	37	34	30	26	20
비보호시 수락간격(0.1초)	78	66	60	54	48	45	42	39	36	27
자유속도 배수(%)	75	81	91	94	97	100	107	111	117	127
차로변경 시작지점 배수(%)	125	121	116	108	100	97	93	85	80	75

자료 : FHWA/KAMAN, Traffic Software Integrated System 97, User's Guide, Federal Highway Administration, McLean, Virginia, 1997

나. MITSIM

MITSIM에서 운전자는 5개의 유형으로 구분되며, 각 유형에 따라 희망속도 계수가 다르게 나타난다. 희망속도는 다음 식에 의해 결정되는데, 여기서 ν_n은 <표 2.3>와 같다.

$v_n^0 = \min\{v_n^{sign} + \nu_n, \widetilde{v_n}\}$

v_n^0 = 운전자 n의 희망속도

v_n^{sign} = 구간의 제한속도

ν_n = 운전자 n의 행태 parameter 희망속도분포에 따라 할당됨

$\widetilde{v_n}$ = 구간에서 낼 수 있는 최대속도, 차종과 구배의 함수

<표 2.3> MITSIM 운전자 유형별 특성

운전자 유형	1	2	3	4	5
운전자 비율(%)	5	25	45	20	5
ν_n (mph)	0	5	10	15	20

자료 : Qi Yang, A Simulation Laboratory for Evaluation of Dynamic Traffic Management Systems, Massachusetts Institute of Technology, 1997

다. INTEGRATION

INTEGRATION에서 운전자는 5개의 군으로 구분되며, 각 운전자군은 경로선택 형태의 차이와 통행시간정보에 대한 접근의 차이에 따라 <표 2.4>와 같이 구분되며 각 운전자군별로 경로선택이 이루어진다. 이에 근거해 여행자정보체계 및 경로유도에 따른 영향을 분석하게 된다.

<표 2.4> INTEGRATION 운전자 유형별 특성

운전자군	운전자형	정보접근	경로선택의 수
1	기본 교통	실시간 자료에 접근 불가	5
2	RGS 장착	실시간 정보에 접근	1
3	Enhanced RGS	실시간 정보 및 예측정보에 접근	2
4	TravTek	해당없음 N.A	N.A.
5	HOV	실시간정보에 접근	2

자료 : Van Aerde and the Transportation Systems Research Group, Integration Release 2: User's Guide, Queen's University, 1995

3. 기존 시뮬레이션 모형의 동적 통행 배정

가. PARAMICS

Paramics는 신호, 램프미터링, 다양한 속도 표지판과 연결된 루프 검지기, 가변정보판(VMS), CMS 표지 전략, 차량내 교통망 상태 표시 기기, 교통망의 문제나 노선조정제안과 같은 차량내 안내 기기 등을 모델링할 수 있다.

또한 Paramics는 차량의 경로 재설정 기능(intelligent re-routing fuctionality)이 주요한 특징이다. 차량의 경로 재설정 기능은 표준 노선-비용표 외에 운전자 경로-비용 개념을 모사하기 위해, 그리고 통행자에 의해 제어되는 노선비용 혼란이나 실시간 차량 정보에 따른 영향, 노선학습을 모사하기 위해서 포함되었다.

경로의 재설정은 통행자 정의 빈도에 따라 경로비용을 재산정하거나, 유고시 경로비용 재산정, 가로망에 대한 지식이 다른 운전자를 위한 대안 경로-비용표 등을 통해 이루어진다. 이를 통해 경로가 ITS나 가로망 상황에 반응해 동적으로 갱신되도록 하였다. 경로재설정 기능은 매우 큰 네트워크에서는 계산시간의 문제가 발생할 수 있기 때문에 완전 병렬화된 경로비용 계산 모듈을 포함하고 있다.

통행배정은 전통적인 통행배정 모델을 적용하지 않고, 노선비용표에 근거하여 노선을 선택하고 비용이 변함에 따라 동적으로 노선이 조정되는 과정을 따른다.

나. MITSIM

MITSIM의 경우 통행수요는 시간대별 OD 또는 개별 차량의 출발에 대한 입력자료를 사용한다. 차량들은 다양한 신호, 표지판, 유고, toll booths 등에 따라 서로 상호작용을 한다. 또한 실시간 교통정보와 교통신호와 표지판에 대해 반응하는 운전자행태를 표현한다.

모사 수준은 차로수준에서 모형화 된다. 검지기, 신호등, 표지판 표시, 차로이용과 차로변경규정, toll plaza, 차로 감소(lane drops), 합류 구간 등의 표시가 가능하다.

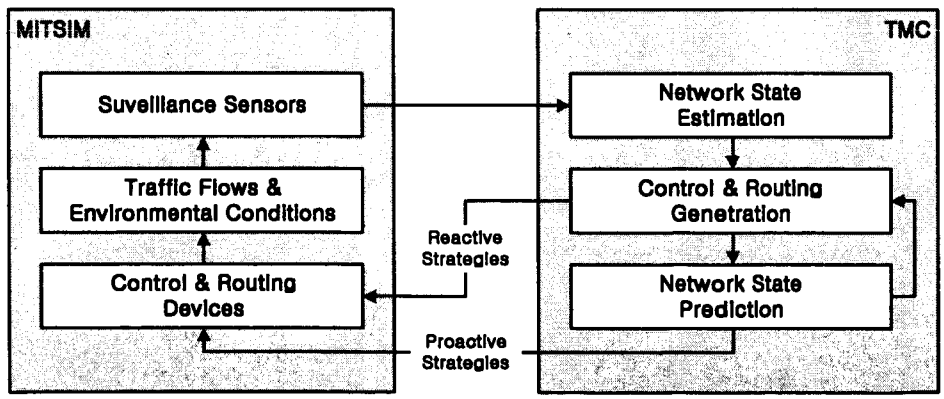
통행배정의 경우 차량은 경로 선택 모형에 의해 경로를 선택하도록 구축되

었으며, 각 OD와 개별 차량은 미리 정해진 경로에 배분된다. 이 경로는 on-line에서 생성되거나 미리 정의할 수 있다. 차량이 네트워크로 들어올 때 경로선택모형에 의해 주어진 확률에 근거하여 경로를 선택한다. 경로선택시 사용되는 자료는 차량유형, 시간의존적 링크/경로 통행시간, 경로유형(freeway, arterial or urban street), 교차로 회전규제 등을 포함한다. 물론 경로선택모형은 사용자에 의해 변경가능토록 되어 있다.

MITSIM의 동적 교통관리시스템은 실시간으로 현재의 또는 예상되는 교통상황에 대응하는 능력을 가진다. 어떻게 이러한 기능을 제공할 지에 대해서는 아직 광범위하게 받아들여지는 접근법은 없다. 이러한 이유로 실험을 위해서 반응하는 시스템과, 사전에 대응하는 시스템 둘 다의 표현이 용이한 구조를 사용한다.

<그림 2.1>은 동적교통관리시스템의 주요요소와 MITSIM과의 상호작용을 나타낸다. 이를 보다 자세히 살펴보면, 다음과 같다.

가로망 상태 추정(network state estimation)은 검지기 자료로부터 현재 가로망 상태를 가장 잘 추정하는 기능이며, 이러한 추정된 상태에 근거해 제어와 경로안내 전략을 수립하게 되는데 여기서는 2가지 접근법(반응(reactive), 사전반응(proactive))이 있다.



<그림 2.1> MITSIM의 동적 교통관리시스템의 구조

반응법(reactive approach)은 현재의 가로망 상태에 대해 적용되는 기 정해진 규칙이나 제어법칙이 존재하는 방법으로, ALINEA 램프미터링모형(Papageorgiou et al,1990), CA/T 유고반응계획(De Leuw Cather, 1996) 등을

예로 들 수 있다.

반면, 사후반응법(proactive approach)은 1) 검지시스템에서 제공되는 실시간 교통정보를 이용할 수 있고, 2) 미래 교통상태를 예측할 수 있고, 3) 제어와 경로전략을 최적화할 수 있는 시스템을 표현할 수 있다. 기존에 문헌상으로 제안된 사후반응법의 대다수는 제어와 경로안내를 만들기 위해 반복적인 수행과정을 사용하는 순차적 접근법에 근거를 둔다. 참고문헌으로는 Gershwin et al(1978), Gartner et al(1980), Reiss and Gartner(1991), Papageorgiou(1980) 등을 꼽을 수 있다.

최근에는 Mahmassani et al(1994), FHWA(1995), Ben-Akiva et al(1996, 1997) 등이 반복수행을 통한 사후반응 제어와 경로전략을 개발하려 시도하고 있다. 본 접근법에서는 예측 미래 교통상황을 설명하는 제어와 경로전략이 만들어진다. 제안된 전략하에, 가로망의 교통상황이 예측되고 대안 전략의 운영이 convergence test에 근거해 평가된다. 1) 만약 만족스러운 전략으로 생각되면, 전략은 수행되고, 2) 추가적인 전략이 필요하다고 평가되면, 다른 발생-예측 반복수행이 행해진다.

동적교통관리시스템의 구조는 순차적 방법에 근거해 교통관리시스템의 평가를 뒷받침하기 위해 설계되었으며, 제공되는 주요함수로는 경로안내, 교통제어, 유고관리 등이 있다.

경로안내에는 reactive route guidance와 predictive route guidance로 구분되며, 각각에 대해 다음과 같은 과정을 거친다.

(1) Reactive Route Guidance

현재의 교통상황에 기반한 경로안내를 하는 시스템으로 각 링크에 대한 평균여행시간은 감시센서에 의해 측정된 속도나 시험차량(probe vehicle)에 의한 실제속도에 근거해 주기적으로 갱신되며, (예: 매5분마다) 적합한 경로에 대해 각 링크에서 목적지로의 여행시간은 갱신된 링크 여행시간에 근거하여 계산된다. 각 링크에서 모든 목적지까지의 최단 경로는 갱신된 여행시간에 근거해 label correcting shortest path algorithm의 개정된 버전을 이용하여 계산하고, 갱신된 정보에 접근하는 운전자는 갱신된 경로 여행시간과 최단경로 table에 근거해 경로를 선택하고, 경로결정을 한다.

(2) Predictive Route Guidance

경로안내는 제공된 경로안내에 대한 운전자의 반응을 고려하는 예측된 상황에 근거해 이루어져야 하는데, 이러한 Predictive route guidance는 제공된 정보와 운전자의 경험사이의 불일치를 최소화할 수 있고, overreaction 문제를 피할 수 있다.(Kaysi et al., 1993) 우선 검지체계에서 얻어진 자료에 근거해 현재의 교통 상태를 파악하고, 현재의 상태, 제안된 제어와 경로 전략, 예측된 OD flow에 근거해 미래 교통상태를 예측한다. 끝으로 교통예측모듈과의 반복적인 과정을 통해 경로안내를 발생시킨다.

다. INTEGRATION

INTEGRATION은 운전자 유형과 관련되어 경로선택 모형이 선택된다. 운전자 유형과 접근 가능한 정보에 따라 각 운전자군은 다양한 경로를 선택할 수 있다. 이는 <표 2.4>에 제시되어 있다.

각 운전자군은 다음과 같은 경로선택과정을 거치게 된다.

운전자군 1은 기본 운전자형을 나타내며, 운전자는 5가지의 설정된 경로선택방법 중에 하나를 선택할 수 있다.

운전자군 2는 실시간 링크 통행시간정보를 제공받아 최단경로를 재계산한다. 이를 통해 경로안내의 다양한 형태 또는 단순한 동적평형을 모형화한다. 다만 하류의 교통상황은 예측하지 못하며 현재의 교통상황이 통행하는 동안 유지된다고 가정한다.

운전자군 3은 실시간 정보에 접근하고 장래의 교통망상황에 대한 정보를 얻는 운전자를 나타낸다. 실시간 통행시간 자료와 예측자료의 조합에 기반하여 경로를 선택한다.

운전자군 4는 TravTek 차량의 특성을 모사하고, 운전자군 5는 HOV차량을 나타낸다.

4. 기존 시뮬레이션 모형의 평가

이상에서 기존 교통 시뮬레이션 모형들이 어떻게 통행자 반응 행태를 구현하였는가 아래와 같은 사항들을 중심으로 살펴보았다.

- 교통정보 제공매체와 경로안내 등에 대한 구현여부 및 구현방법
- 통행자의 운전자별 특성 구현
- 경로안내전략에 따른 동적 통행배정전략의 검토

검토한 결과를 정리하면 교통 시뮬레이션 모형을 개선하고 개발하기 위한 연구가 진행되고 있음에도 불구하고, 시뮬레이션 모형의 신뢰성과 성능과 관련하여 개선의 여지가 많은 것으로 판단된다.
시뮬레이션 시스템에서 사용되고 있는 통행자 반응모형들의 모수가 충분한 현장조사를 기반으로 추정되지 못하였고, 모형의 정확성이 충분히 검증되지 않았다. 또한 모형의 전이성도 확보되지 못하였기 때문에 기존의 시뮬레이션 시스템에서 구현되는 통행자 반응 행태 모형들을 그대로 수용할 수 없다.

기존 시뮬레이션 모형에 대한 검토를 통해 본 연구개발을 통해여 수행된 교통정보 제공에 따른 통행자 반응행태 모형의 개발을 위한 기본방향을 설정하고 개선방향을 제시하면 다음과 같다.

첫째, 다양한 교통정보 제공매체의 기능 및 특성에 대한 분석과 이를 시뮬레이션 시스템 내에서 구현하는 것이 요구된다. 현재까지 개발된 교통정보 제공매체들을 시뮬레이션 시스템 내에 수용할 수 있어야 하고, 향후 개발될 수 있는 매체들도 적용될 수 있도록 통행자 행태와 관련하여 매체의 특성을 표현할 수 있는 기준을 마련하고 그에 따라 매체들을 구분하여 표현토록 한다.
둘째, 통행자의 반응행태 중 본 연구과제에서 모형화할 반응행태의 구현범위를 설정하고, 구현범위에 해당하는 기존의 연구결과를 고찰하여 통행자의 반응행태에 영향을 미치는 대안특성과 통행자 특성을 분석토록 한다.
셋째, 분석된 대안특성과 통행자 특성을 고려하여 통행자의 의사결정 행태가 모형화 될 수 있도록 한다. 또한 개별 통행자의 다양한 반응 행태가 모사될 수 있도록 임의효용이론에 근거한 개별행태모형에 따라 통행자의 반응행태 모형을 개발한다.
넷째, 국내의 여건에 부합하는 적정한 모형을 개발하기 위해 모수의 추정에 사용될 실험자료를 수집한다. 또한 모수 추정에 적합한 실험방법과 대안특성 규명을 위한 독립변수의 선정이 요구된다.
끝으로 이상에서 검토된 기본방향을 가지고 교통정보 제공에 따른 통행자 반응행태 모형을 개발하고 이를 중과제에서 개발하는 시뮬레이션 시스템 내에 구현될 수 있도록 한다.

2.2 교통정보 제공체계의 분석

교통 시뮬레이션 모형을 통해 지능형 교통체계의 평가 등이 이루어 질 수 있도록 하기 위해서는 우선적으로 ATIS 상의 교통정보 제공체계에 대한 면밀한 검토가 요구된다. 본 절에서는 이에 대한 분석을 수행한다.

교통정보 제공체계는 PC, TV, 가변정보표지판 등과 같은 매체를 통하여 운전자 및 승객들에게 최적 통행을 위한 운행시간, 운행수단, 운행경로의 선택을 위한 정보 등을 제공한다. 이외에도 대중교통의 환승정보, 주차예약 및 안내 등 다양한 정보를 제공하여 개별 운전자의 운행시간 감소와 교통량의 분산을 통한 도로의 이용효율 증대를 꾀한다.

교통정보제공체계에 관한 분석은 교통정보 제공매체의 개념과 기본 기능, 그리고 교통정보 제공매체의 특성분석을 중심으로 검토한다. 교통정보 제공매체는 국내 지능형교통시스템 기본계획에서 고려하고 있는 RDS, 노측방송, 가변전광판(VMS), RGS, PC통신, FAX 및 인터넷 등을 중심으로 한다. 교통정보 제공매체의 특성 분석은 제공정보의 내용, 정보제공가능범위 등에 대한 검토를 통해 수행한다.

지능형 교통시스템의 첨단교통정보시스템에서 제공되는 서비스와 그에 따른 매체를 살펴보면 <표 2.5>와 같다.

<표 2.5> ATIS의 각 부문별 서비스 기능 및 정보제공기능

정 보 센 터	서비스 부문	제공정보/기능	비 고
교통정보센터 (TRIC)	En-Route Driver Info	* 전방상황 예고 * 우회도로 이용권장 * 도로차단, 차선통제 * 최적/안전속도 * 기상/노면상태 * 유고상황	VMS, ARS, RDS, RS, PC-Internet
출발전 교통안내 시스템 (PTGS)	Pre-Trip Info	* 이용가능 대안경로 * 과거통행량/여행시간 - 출발시간 기준 예측정보 * 도로조건(차선수, 포장상태) * 기후/노면상태 * 대안교통수단 * 환승주차정보 * 여행경비 추정	ARS, FAX, PC-Internet
최적경로안내 시스템 (RGS)	실시간 교통상황정보	* En-Route Driver Info. * Incident Info. * 동적주차정보	차내장치, 위성방송, RDS, RS 등
	Route Guidance	* 최적경로 - 최단경로 - 대안경로 * 경로여행시간 - 현재상태 및 예측정보 * 거리통행유도(좌/우회전) * 대중교통연계 정보 * 환승주차정보	
여행자 정보시스템 (TSIS)	관광여행정보 서비스 차량긴급정보 서비스 문화행사정보 서비스 지역교육정보 서비스	* 식당, 관광지, 호텔 * 주유소, 차량정비소 * 관공서, 병원, 주차정보 * 지역 문화행사 관련정보 * 긴급차량 견인 연계정보 * 지역문화교육정보	ARS, FAX, PC-Internet

자료 : 지능형교통시스템 기본계획(안) 수립을 위한 교통정보 수집·처리·전달 시스템 연구
- 2단계 최종보고서

1. 교통정보 제공매체의 개념과 기능

교통정보 제공매체의 개념과 기능을 매체별로 분석한 결과는 다음의 표와 같다.

<표 2.6> 정보제공매체별 기능

시스템		개 념	기 능
교통정보안내시스템	TIBS (교통방송)	· 교통방송을 통한 교통상황정보제공	· 정체상황, 운행지연상황, 환승정보 제공 · 이외에 주차장, 기후 및 대중교통 운행상황정보 제공
	RDS-TMC DARC	· FM 부반송파를 이용하여 교통정보 문자전송	· 자동동조, 교통방송인식 기능
	VMS Tele-terminal	· 도로변 및 터미널에 설치되어 다중 메세지 표시방식으로 교통정보제공	· 터치스크린 및 가변정보표지판을 통해 data, text, graphic 형태의 정보제공
	PC통신	· 가정, 직장에서 PC통신을 통해 교통정보 수신	· 목적지까지의 경로, 소요시간, 주차정보, 관광지 안내 등 사전통행 정보제공
	Car Navigation System (차량항법시스템)	· 차량내 전자지도망상에 현재위치 및 목적지까지의 경로안내	· 차량의 운행방향과 잔여거리 산출 · Deadreckoing이나 GPS를 통해 차량위치정보 및 목적지까지의 주행방향 제공
	Route Guidance System (주행안내시스템)	· 차량, 외부송수신시설, 주행안내센터간의 양방향통신에 의해 주행관련정보제공	· 차량장비-외부정보 송·수신시설-주행안내센터간의 정보교류를 통해 실시간 최적경로제공

자료 : 지능형교통시스템 기본계획(안) 수립을 위한 주행안내시스템 및 평가모형 연구
- 2단계 최종보고서 제5권

2. 매체별 제공정보 및 방식

주요한 정보제공매체의 매체별 제공정보와 정보의 제공방식을 검토한 결과는 다음과 같다.

가. RDS-TMC, DARC

RDS는 기존의 FM방송에 별도의 디지털 정보를 보내 주는 부반송파로, 1990년 CENELEC(EN 50067)의 유럽표준으로 채택되었으며, 현재 서유럽 대부분의 방송국이 이 서비스를 제공하고 있고 RDS 수신기능을 가진 라디오도 대중화되어 있다.

RDS를 이용해 교통정보를 제공하는 RDS-TMC(RDS-Traffic Message Center)는 기존의 라디오 채널에 간섭받지 않고 계속적인 교통정보 전송이 가능한 시스템이다.

미국 - RBDS(Radio Broadcasting Data System), 일본의 DARC(Digital Radio Channel) 등을 예로 들 수 있다.

스웨덴의 Volvo & SNRA(Sweden National Road Association)는 RDS/Radiotext System을 통하여 1989~1990년 50대의 차량에 2행×40열의 문자 디스플레이 장치를 장착하여 전국규모의 FM방송을 통해 정보 제공하였다. 1992년에는 DYNAGUIDE가 장착된 70대의 차량을 Guthenburg에서 운행하였고, 이를 통해 통행자와의 친근성, 정보의 품질(내용의 정확성 및 정보갱신 신속성)의 중요성이 부각되었다.

미국에서도 DYNAGUIDE에 대한 현장시험이 수행되었고, 1993년 미국 Minnesota 주 Minneapolis에서 현장시험이 이루어졌다. 이후 운영단계의 연구를 거쳐 1994년 12월 실질적인 운영에 들어갔다.

RDS의 기능적 요구사항으로는 광역정보의 실시간 전달을 위해 최소 16Kbps 이상의 전송속도를 갖고 있어야 하며, 별도의 차내 수신기와 별도의 차내장치를 이용하여 교통 정보를 제공받을 수 있어야 한다.

<표 2.7> RDS-TMC와 DARC 방송을 이용한 교통정보 제공

제공매체	제공정보	취득방법	표현방법
RDS-TMC DARC	- 교통혼잡정보 ·지체정보 ·도로차단 ·차선통제 ·도로공사 ·우회도로안내 - 교통유고정보 ·사고지점 ·사고영향범위 ·재해발생 위치 - 기상/노면결빙구간 ·풍향, 풍속, 강우, 강설 ·노면결빙구간 ·노면적설구간	- 검지기, 비콘으로 교통량, 속도, 점유율 등을 측정 - 자자체, 도로공사로부터 기 예정된 차선통제, 도로공사 등 정보제공 - CCTV, 교통경찰, 교통정보통신원이 제공 - 관측장비, 기상청 등이 제공	- 지체구간, 도로공사, 우회도로 안내 등을 교통방송/문자방송으로 제공 - 도로명, Landmark 등으로 위치표시 및 영향반경, 심각성을 교통방송/문자방송으로 제공 - 기상/노면결빙구간 등을 교통방송/문자방송으로 제공

<표 2.8> RDS-TMC와 DARC 방송을 이용한 문자정보 표현방법의 예

제공정보	표 현 방 법			
	장 소	원 인	영 향	대 안
교통혼잡정보 교통사고정보 기상/노면상태	·잠실대교 ·천호대교 ·올림픽대로 ·신갈 I.C 등	·도로공사 ·추돌 및 충돌사고 ·산사태발생 ·폭설, 폭우 ·기온급하강	·도로차단 ·차선통제 ·사고지점으로부터 Xkm 지체 ·노면 적설 및 결빙	·우회도로이용 ·감속운행 및 월동장비 지참

나. VMS(가변정보판)와 Tele-terminal

가변정보판은 도로의 유입 및 유출부 또는 mid-block에 설치하여 전(前)방향 교통상황 및 가변차선에 대한 유도신호등의 정보를 제공하는 장비로 현재 도로상에서 널리 사용되는 정보제공수단의 하나이다. 개발 초기 몇 개의 정적인 표지를 보여주던 가변전광판은 다중 메시지표시, 동화상 표시 등의 추가 기능을 갖게 되었다. 정보이용료의 부담이 없으며 교통관제용으로도 사용할 수 있는 장점이 있는 반면 다양한 정보를 제공할 수 없다는 단점이 있다.

VMS를 설치하고 시행 중인 예는 여럿 있으나 대표적으로 프랑스 파리지역의 SIRIUS project를 꼽을 수 있다. SIRIUS 프로젝트는 VMS를 사용하는 여행자 정보시스템 및 지능형 교통관리의 효과를 분석하기 위해서 수행되었다. 파리의 국가교통운영부서인 SIER(Service Interdepartmental d'Exploitation Routiere)에서 VMS를 설치하였는데, 1992년 파리지역 북동쪽 고속도로에 루프검지기 및 비디오카메라와 174대의 VMS를 설치하였다. 1994년말에는 파리 전 지역에 340개의 VMS를 설치하였고, 5000여개의 루프검지기에서 얻어지는 자료는 교통관리센터로 보내지며 처리를 거친 실시간 정보는 VMS를 통해 운전자에게 제공된다.

우리나라의 경우도 한국도로공사 FTMS 프로젝트를 예로 들 수 있다. 1992년 기본설계 및 시범구간 실시설계를 완료하여 95년 2월에 시범구간 교통관리 시스템을 구축하였다. 경부선, 중부선, 외곽순환선(판교-구리간)과 그 주변도로에 VMS를 설치하였다.

이후 올림픽대로에도 VMS와 영상검지기가 설치되어 운영되고 있으며, 내부순환로에도 유사한 시스템이 설치될 계획이다.

<표 2.9> VMS와 Tele-terminal 상의 메시지 표현방법의 예

제공정보		표현방법
교통상황정보	유고상태	· 500m전방 4중추돌사고 발생, 감속운행. · 1㎞전방 적재물추락. 주행주의.
	도로조건	· 1㎞전방 도로포장공사로 지체발생. 우회도로이용.
	기상조건	· 신갈-양재구간 20㎝ 폭우로 위험. 50% 감속운행
	교통상태	· 사당동사거리 정체심함. 우회도로 이용.
	차선폐쇄	· 좌측차선폐쇄
	우회도로 이용	· 1㎞전방 4중추돌사고 발생. 300m 전방의 국도로 우회이용. · 고속도로 상황 3km 지체. 국도 및 지방도로 우회이용.
	감속운행	· 최대속도 100㎞/시 최저속도 50㎞/시 운행.
대중교통정보	대중교통	· 30번 버스 배차간격 20분. OO정거장 출발. 대기시간 5분. (노선은 그래픽으로 표시)
	환승정보	· 삼성역에서 지하철 2호선으로 환승 (환승지점 및 수단을 그래픽과 함께 표시)

<표 2.10> VMS와 Tele-terminal을 이용한 교통정보 제공

제공매체	제공정보	취득방법	표현방법
VMS	- 교통혼잡정보 · 지체정보 · 도로차단 · 차선통제 · 도로공사 · 우회도로안내 - 운행정보 · 최적속도, 안전속도 · 감속운행 - 교통유고정보 · 사고지점 · 사고영향범위 · 재해발생 위치 · 재해영향범위 - 기상/노면결빙구간 · 풍향, 풍속, 강우, 강설 · 노면결빙구간 · 노면적설구간	- 검지기, 비콘으로 교통량, 속도, 점유율 등을 측정 - 자자체, 도로공사로부터 기 예정된 차선통제, 도로공사 등 정보제공 - 구간별 속도측정 - CCTV, 교통경찰, 교통정보통신원이 제공 - 관측장비, 기상청 등이 제공	- 교통사고, 정체, 도로공사중, 좌측차선폐쇄, 우회도로이용 정보를 문자나 그래픽으로 표현 - 최고·최저속도(km/시), 감속운행 표시 - X km전방에 X중 충돌사고 발생. 감속운행 - 노면결빙/적설, 미끄럼주의, 체인부착 등의 주의문
Tele-terminal	- 대중교통정보 · 대중교통노선, 요금 · 배차간격, 대기시간 · 환승지점, 환승수단	- 대중교통정보센터의 DB자료 및 검지기, 비콘 등으로 측정	- 00버스 배차간격 00분, 대기시간 00분 - 삼성역에서 00번 버스로 환승

다. PC통신과 인터넷

PC 통신과 인터넷을 통한 정보전달은 최근 개인용 컴퓨터의 광역적 보급으로, 정적정보전달은 물론이고 동적정보 전달에 있어서도 중요한 수단으로 부각되고 있다. PC 통신과 인터넷은 그 특성상 정적 정보에 준한 사항을 전달하는데 매우 효과적이며, 다양한 부가 정보를 전달할 수 있다. PC 통신의 활성화 및 인터넷의 보급으로 PC 통신을 이용한 교통정보 제공은 그 적용성이 매우 높다고 할 수 있다.

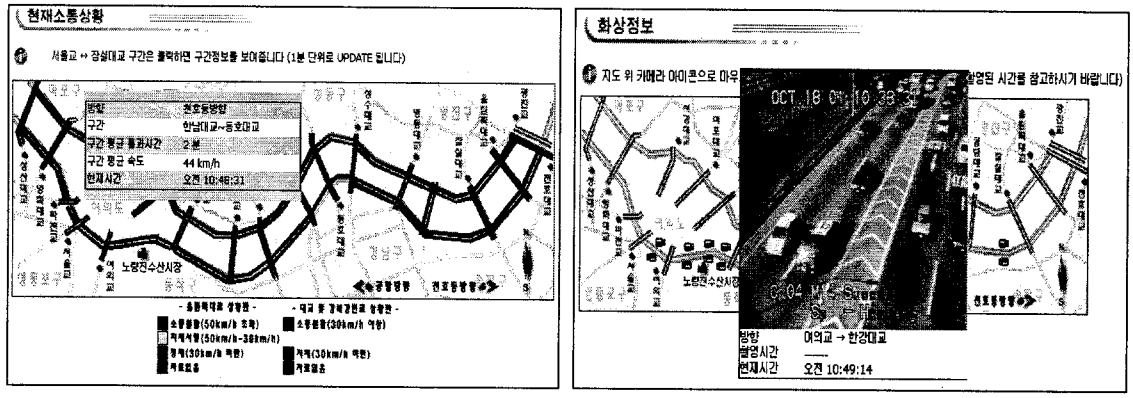
PC통신과 인터넷에 의한 정보제공의 기본 기능을 정리하면 <표 2.11>, <표 2.12>와 같고, 현재 인터넷 상에서 제공되는 교통정보의 예를 도시한 그림은 <그림 2.2>~<그림 2.4>와 같다.

<표 2.11> PC 통신과 인터넷에 의한 공간적-시간적 정보제공의 기본기능

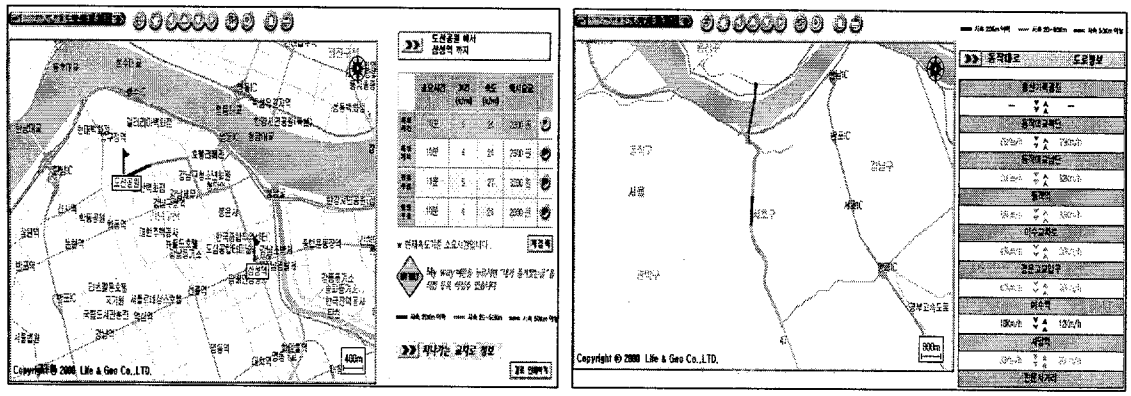
구분 / 분류	정보의 유형		공간적	시간적	비 고
교통상태	여행시간		노선 및 노선내 구간 (출발지-종착지)	현재상태 및 과거추이	
	평균속도				
	혼잡도				
	혼잡구간			예측정보	
교통수단	기차	배차		현재	
	버스	번호, 배차			
	택시	여부			
주차정보	민용, 공용			현재	
날씨정보	눈. 안개, 비			현재, 예정	
도면정보	약도(우회도로)			현재	
기타정보	사고, 공사, 행사			현재, 예정	사고다발구간 유고

<표 2.12> PC 통신과 인터넷을 이용한 교통정보 제공

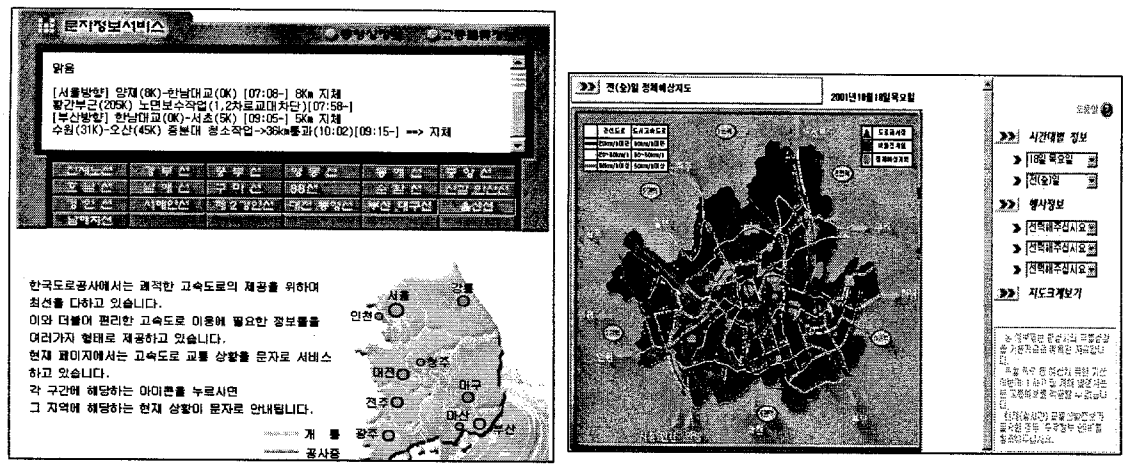
제공매체	제공정보	취득방법	표현방법
PC통신 및 인터넷	- 교통혼잡정보 - 교통유고정보 - 버스운행정보 · 노선망, 운임체계 · 배차간격, 대기시간 · 환승지점, 환승수단 - 화물차량운행정보 · 화물차 위치, 운행경로 · 공차여부, 운임 - 주요시설 위치정보 · 식당, 호텔, 관광지, 병원, 관공서 등 - 여행자 서비스 정보 · 여행사정보 · 관광지위치, 경로 · 과거통행 추정시간 (시간, 요일, 월, 계절별) · rent-car위치, 요금 대여차종, 여유차종 - 도로조건 정보 · 차선수, 포장상태 - 주차정보 · 주차장 위치, 요금, 예약, 여유주차공간 - 기상/노면정보	- 검지기, 비콘, 자자체, 도로공사로부터 제공 - CCTV, 교통경찰, 교통정보통신원이 제공 - 노선, 운임 등 DB자료 및 검지기, 비콘으로 정보취득 - 노선, 운임 등 DB자료 및 차량-비콘간의 교류를 통한 정보취득 - DB자료 - 여행자서비스 담당기관이 제공 - 도로공사가 제공 - 주차장 DB자료 및 주차정보제공기관이 제공 - 관측장비, 기상청 등이 제공	- 지도상에 점/선/색/굵기 등으로 표현 - 위치와 영향반경을 지도상에 표시 - 노선, 도착시간, 배차간격 등을 지도와 함께 제공 - 위치, 이동경로, 공차율을 도면으로 제공 - 지도로 표시 - 지도로 표시 - 지도로 표시 - 도면으로 표시



<그림 2.2> 올림픽대로의 교통정보 - 현재소통상황 및 화상정보



<그림 2.3> 인터넷을 통한 최적경로안내 및 도로의 구간정보



<그림 2.4> 고속도로의 문자정보 및 교통상황예보지도

라. RGS(경로안내시스템)

실시간 교통상황을 고려한 최적 경로안내에 관한 정보를 산출하기 위해서는 주행안내센터에서 수행되는 동적통행배정모형(Dynamic Traffic Assignment Model)에서 적용될 교통변수를 결정하여야 한다. 기존 통행배정모형의 경우에는 정확한 도로용량 산출뿐만 아니라 도로의 특성별로 적합한 교통량-속도 곡선을 구하기가 사실상 불가능하므로 정확한 통행배정이 이루어질 수가 없었다. 그러나 주행안내시스템이 구축될 경우 차량은 자체에 구비된 운행거리 측정기와 방향각 탐지기 등을 활용하여 미리 정해진 구간의 운행시간과 교차로에서의 지체시간을 정확하게 측정할 수 있으며 이 정보를 정보수신시설을 통하여 종합교통정보센터/주행안내센터로 제공함으로써 실시간 교통상황을 고려한 교통분산이 가능하게 된다.

정보송수신시설에서 차량에게 제공되는 목적지까지의 안내를 위한 정보에 관한 사항은 차내 CPU를 통하여 운전자가 쉽게 이해할 수 있도록 그래픽이나 음성형태로 제공된다. 목적지 안내정보의 구성방법에 따라 차량유도의 질뿐만이 아니라 교류되는 정보의 종류와 양을 결정하게 된다.

RGS를 통해 제공되는 정보와 제공방식을 정리하면 다음의 표와 같다.

<표 2.13> 주행안내시스템의 정보내용

유 형		세부내용
실시간 교통정보	위치정보	- 비콘간 차량 운행을 위한 유도벡터 좌표 - 차량의 유도준수 여부 파악을 위한 운행오차 범위 - 유도벡터간 연결을 위한 파라미터 - 교차로 위치정보 - 목적지 영역좌표 - 도로상황 정보(교통사고/공사정보)
	도로망정보	- 연결부분 구간 - 목적지부분/출구 -교차로 형태
최적 경로정보	최적 경로정보	- 출발지에서 목적지까지의 부분적/전체적 최적경로 - 교차로 번호/이름 - 도로구간 번호 - 목적지부분 번호
	디스플레이 정보	- 유도차량의 회전방향과 진행방향 지시정보 - 운행중인 도로의 차선현황/이용차선 지시정보 - 위험, 안개, 공사장 등에 관한 시청각정보 - 차선이용과 회전방향을 나타내는 픽토그램에 의한 방향과 잔여거리 안내정보

<표 2.14> RGS를 이용한 교통정보 제공

제공매체	제공정보	취득방법	표현방법
RGS	- 교통혼잡정보 · 도로차단, 도로공사 · 우회도로안내 - 교통유고정보 · 사고지점 · 사고영향범위 · 재해발생 위치 · 재해영향범위 - 주차정보 · 주차장 위치, 요금, 예약, 여유주차공간 - 기상/노면결빙구간 · 풍향, 풍속, 강우, 강설 · 노면결빙구간 · 노면적설구간 - 실시간 주행안내정보 · 최적경로, 주행시간 · 좌·우회전 유도 · 진·출입부 유도 · 차량위치 인식	- 검지기, 비콘, 자자체, 도로공사로부터 교통정보 제공 - CCTV, 교통경찰, 교통정보통신원이 제공 - 주차장 DB 및 주차정보제공기관이 제공 - 관측장비, 기상청 등이 제공 - 차량장비와 비콘을 이용하여 교통정보 수집	- 차량장비를 통해 차선통제. 공사구간 등을 시각/청각적으로 표시 - 차량자비를 통해 유고지점 및 영향범위를 시각/청각적으로 표시 - 도면상에 위치 및 여유주차대수 표시 - 비콘 통과시 차량장비로 제공 - 차내 디스플레이어에 목적지까지의 방향, 거리 및 최적경로 제공

3. 교통정보 제공매체의 특성분석

교통정보 제공매체의 특성분석은 다양한 교통정보 제공매체를 수용하고 향후의 개발되는 새로운 매체들도 적용될 수 있도록 통행자 행태와 관련해서 매체의 특성을 표현할 수 있는 기준을 정하고 그 기준에 따라 매체를 분류, 표현한다.

- 제공정보
- 정보제공의 가능범위
- 정보제공 매체에 대한 신뢰도

가. 제공정보

해당되는 교통정보 제공매체에 접근 가능한 통행자가 제공 정보의 수용여부를 결정하게 된다. 또한 각 매체별로 제공정보에 대한 통행자의 신뢰도가 다르게 나타나므로 같은 종류의 정보라도 매체별 구분이 필요하다.

본 연구에서 구현하는 출발전 교통정보와 통행중 교통정보에 대해 각 교통정보 제공매체를 구분하면 다음과 같다.

- 출발전 교통정보 : PC통신 및 인터넷, 호출기 및 휴대폰, ARS, FAX, 교통방송, 경로안내장치(RGS)
- 통행중 교통정보 : 가변정보판(VMS), FM다중방송, 경로안내장치(RGS), 호출기 및 휴대폰, ARS, 교통방송

나. 정보제공가능 범위

통행자가 각 정보제공매체를 이용할 수 있는지의 여부를 결정한다. 전체차량에 제공 가능한 매체가 있는 반면, RGS와 같이 특정 장비 소유자 또는 가변정보판(VMS)과 같이 교통망에서 특정 위치에 있는 통행자에게만 제공 가능한 정보제공매체가 있다.

본 연구에서는 여러 다양한 속성을 지닌 정보제공매체들을 다음의 객체속성에 따라 구분하여 구현될 수 있도록 설정한다.

교통정보 제공매체의 객체속성

- 정보제공가능범위 : 지역적 / 광역적
- 정보제공대상 : 매체소유자 / 매체영향권내 통행자 / 정보요청자

다. 정보제공매체에 대한 신뢰도

제공정보의 특성에서 통행자 및 정보제공매체에 대한 신뢰도를 출발전 경로선택과 통행 중 경로전환 단계에서 전환비율을 결정함으로써 시뮬레이션 모형에 반영토록 한다.

여러 교통정보 제공매체들을 위의 속성에 따라 구분하여 제시한 결과는 다음과 같다.

<표 2.15> 교통정보 제공매체별 속성구분

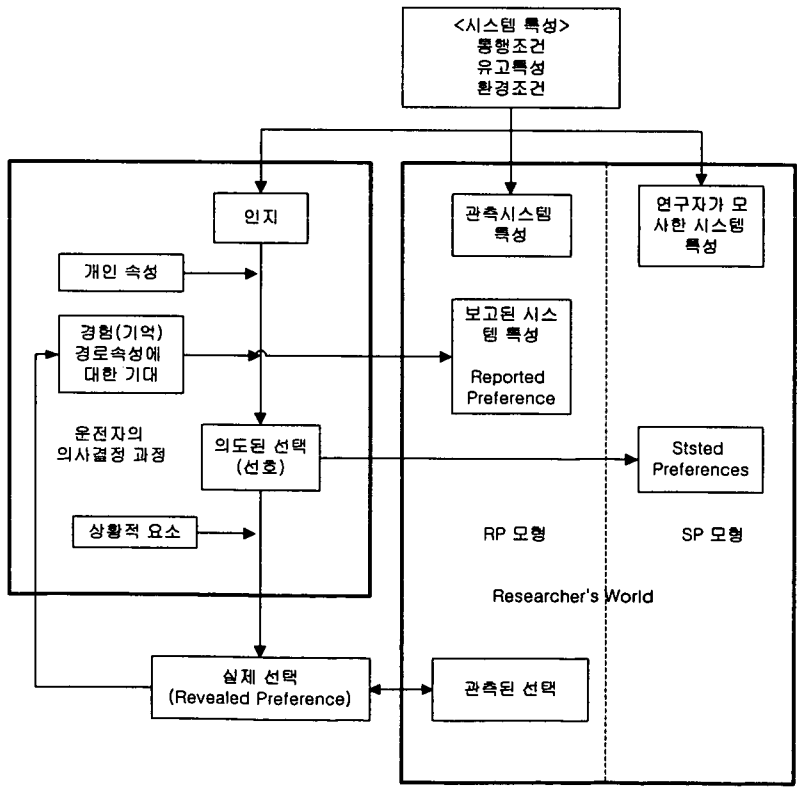
매체종류	정보제공가능범위	정보제공대상	정보이용시기	
			출발전	통행중
가변정보판(VMS)	지역적	매체영향권내 통행자	☐	☑
경로안내장치(RGS)	광역적	매체소유자	☑	☑
PC통신, 인터넷	광역적	정보요청자	☑	☐
ARS,휴대폰,호출기	광역적	정보요청자	☑	☑
FAX	광역적	정보요청자	☑	☐
교통방송	광역적	정보요청자	☑	☑
FM 다중방송	광역적	매체소유자	☐	☑

여 백

제 3 장 통행자 의사결정 행태분석

통행자는 과거의 경험과 현재교통상황 또는 예측되는 교통상황에 대한 정보에 기초하여 출발시간, 통행수단, 통행경로 등을 결정을 하게 된다. 최근에는 지능형 교통시스템(ITS)에 대한 연구 및 일부 시스템의 도입이 진행됨에 따라 이러한 시스템을 통해 통행자의 합리적인 의사결정을 도와줌으로써 교통체계의 효율성을 높이고자 한다. 이에 따라 교통정보제공이 통행행태에 미치는 영향을 측정·평가하기 위한 여러 연구가 진행되고 있다. 여기서는 교통정보제공에 따른 통행자의 의사결정을 시뮬레이션 모형에 반영하기 위해 지능형 교통시스템과 관련한 교통정보제공체계와 통행자 의사결정에 관한 연구 분석을 수행한다.

통행자의 의사결정과정을 분석하는 방법에 대한 개념도를 도시하면 <그림 3.1>과 같다.



<그림 3.1> 운전자 의사결정과정 분석방법 개념도

통행자의 의사결정과정은 통행자가 과거의 통행에서 얻은 경험과 정보매체를 통해 얻은 정보에 의해서 개념화 될 수 있다. 교통정보는 통행자로 하여금 시스템에 대한 특성을 고려하여 인식토록 하며, 여기에 과거의 경험에서 얻어진 자신의 판단기준을 가지고 선택상황에서 자신의 선호를 나타내게 된다. 실제의 선택은 이러한 통행자의 선호에 상황적 요인이 추가되어 결정된다.

3.1 통행자 경로선택관련 기존연구고찰

교통정보 제공에 대한 통행자의 의사결정행태는 통행수단선택, 출발시간선택, 통행경로선택 등으로 구분할 수 있다.

통행자의 수단선택은 각 통행자의 수단특성에 대한 분석에 따라 선택이 이루어진다. 그러나, 본 연구과제에서 개발하는 교통 시뮬레이션 모형의 경우는 차량을 대상으로 하기 때문에 수단선택 의사결정은 구현범위를 벗어나게 된다. 즉, 대중교통의 수단특성(예 : 대중교통의 노선특성, 환승시간, 대기시간 등)을 고려할 수 없기 때문에 통행자 의사결정에 있어 수단선택 행태는 분석대상에서 제외한다.

통행자가 목적지로 향하는 출발시간을 선택하는 행태는 통행목적, 통행수단선택, 통행경로선택과 맞물려 이루어지며, 이러한 교통체계들 간의 평형상태에서 통행자 자신의 출발시간을 변경함으로써 이루어진다. 그러나 중과제상의 시뮬레이션 모형은 시간의 흐름에 따라 구현되도록 되어 있기 때문에 시간의 feed-back을 요구하는 출발시간 선택행태는 구현범위를 벗어나게 된다.

따라서, 본 절에서는 시뮬레이션 모형의 구현범위에 적합하도록 출발 전 경로선택과 주행 중 경로전환을 중심으로 통행자 의사결정 행태와 관련된 기존의 연구결과를 고찰한다.

기존의 연구는 분석방법론에 따라 크게 세 가지로 대별된다. 첫째, 현장실험을 통한 연구, 둘째, 경로모의실험기를 통한 연구, 셋째, 설문 및 면접조사를 통한 연구로 구분된다. 본 절에서는 기존의 연구결과들을 이러한 분석방법론에 따라 나누어 고찰토록 한다.

1. 현장실험을 통한 연구

가. 올림픽대로의 가변정보판(VMS)에 대한 연구

강정규, 정철훈(1999)은 가변정보판을 이용한 경로우회 및 속도관리 등 적극적인 교통관리 방안의 도입 타당성 검토를 위한 연구를 수행하였다. 서울 올림픽 대로를 대상으로 가변정보판에 혼잡상황 정보를 표출하고 우회 교통량을 측정하는 현장 실험을 수행하였다.

가변정보판을 이용한 교통량 분산방안 평가에서는 정보제공시와 미제공시의 우회율을 구하였고, 모의실험모형(Integration)을 이용하여 우회에 따른 통행시간 단축효과를 추정하였다.

분석결과, 우회경로에 대해 "소통원활"이라는 정보 제공시 4%의 본선교통량이 추가로 진출, 1.7%의 본선교통량이 추가로 우회한 것으로 분석되었다. 또한 그에 따른 통행시간 단축효과는 3.7% 정도로 추정되었다.

다만, 조사의 한계점으로는 주변도로의 정체가 너무 빨리 진행되어 교통환경에 따른 우회율을 판별할 수 없었고, 대상 가변정보판 상류부의 정보판은 5km 이상 떨어진 곳에 1개소만 설치되어 있었으며, 이 사이에 5개의 진입연결로가 있고, 진입교통량도 많아서 가변정보판 제공정보를 인지하는 데에도 한계가 있었다. 또한 대상 가변전광판 하류부에 다른 가변전광판이 없어 대상 전광판에서 장거리 구간정보 제공에 따른 인접구간 정보 누락 가능성 있었다.

가변정보판을 이용한 속도관리방안 평가에서는 제시문구로서 교통상황정보와 영상검지기의 평균속도 자료를 근거로 관측된 현재 속도보다 10km/h의 속도를 줄이도록 권장하거나 '속도를 줄이시오'란 메시지를 제시하였는데, 측정시간은 가변정보판 주변은 정상상태이고, 하류부는 혼잡상태일 때로 제한하였다.

현장실험결과, 권장속도를 제시할 경우 약 3.8km/h의 속도 감소효과가 나타났다. 그리고 가변전광판 주변에서 운전자의 행태가 관측되었다. 이로서 가변정보판을 이용한 속도관리방안이 국내에도 도입가능함을 보였다.

나. 프랑스 SIRIUS project 분석

프랑스에서는 SIRIUS Project를 통해 파리의 국가교통운영부서인 SIER(Service Interdepartmental d'Exploitation Routiere)에서 1992년 파리지역 북동쪽 고속도로에 루프검지기 및 비디오카메라와 174대의 VMS 설치하였으며, 1994년말에는 파리 전지역에 340개의 VMS 설치하였다. 5000여개의 루프검지기에서 얻어지는 자료가 교통관리센터로 보내지며 처리를 거친 실시간 정보는 이들 VMS를 통해 운전자에게 제공되었다.

이 VMS 정보제공의 효과를 분석하기 위해 운전자들이 가변전광판의 실시간 교통정보에 반응하는 정도와 이로 인한 구간교통량 변화 정도를 측정하는 실험이 수행되었다. 구체적으로 대기행렬길이 정보를 1km 단위로 제시하고 자유류 상태에서 초기 혼잡상태로 전환하는 시기에는 0.5km단위로 정보를 제시하여 운전자의 반응을 측정하였다. 연구결과는 다음과 같다.

- 혼잡이 심각할수록 운전자의 반응 민감
- 대기행렬길이가 3km를 초과할 경우의 전환율이 두드러지게 높게 나타남.
- 파리 수도권(Ile de France) 도로망을 대상으로 혼잡정보를 제공한 결과 2~6% 가량의 교통량이 우회하고, 2% 노선우회시 총통행시간이 12% 감소하는 것으로 분석되었다.
- 가변전광판을 이용한 소통상태 안내 → 과속 및 사고의 감소 (교통사고 사망자수 감소 140명(91년), 112명(92년), 80명(97년))

다. Tokyo Metropolitan Expressway에서 다중 정보매체를 통한 정보의 습득과 이용에 관한 연구

E. Hato et. al.(1999)는 운전자가 다중 정보매체가 제공되는 ATIS 환경에서 운전자가 정보를 이용하는 과정을 고려하는 경로선택 모형을 제안하였다. 이 모형에 대한 검증은 실제 운전자 행태 자료를 이용하여 수행되었으며, 경로 선택의 과정에서 다양한 정보매체로부터 정보를 취득하고 참조하는 운전자의 행태를 고려하는 경험적인 연구결과가 제시되었다.

사용된 다양한 정보 제공 매체는 다음과 같다.

- 지역 라디오 방송국의 교통정보에 대한 정규방송

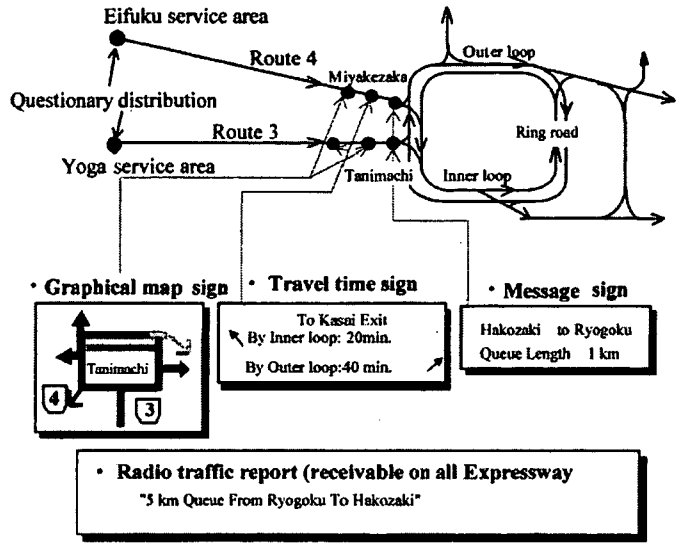
- 가변정보판 : 세가지 유형

1) 도해적 지도표시 : 혼잡도에 따라 색깔을 달리 사용

2) 대기행렬길이를 문자로 표시

3) 특정 목적지까지의 통행시간을 표시

조사의 내용을 간략하게 그림으로 표시한 것이 아래와 같다.



<그림 3.2> E. Hato et. al.(1999) 조사에 대한 요약

우선 cross-sectional 분석을 통해 운전자의 정보 취득율과 정보 이용율이 사회-경제적 특성과 통행 특성에 따라 얼마나 다양하게 나타나는지 살펴보았는데, 정보 취득율은 정보를 보거나 듣거나 하는 특정한 장치들로부터 정보를 얻은 운전자의 비율을 나타낸다. 그리고, 정보 이용율은 교통정보를 듣고 경로선택을 한 운전자의 비율을 의미한다.

분석결과, 가변정보판을 통한 세 개의 교통정보에 대한 취득율은 90% 이상인데 반하여 라디오 교통방송의 취득율은 75% 정도로 나타났다. 반대로 정보 이용율의 경우는 가변정보판의 경우 다소 낮게 나타났다. 즉, 라디오 방송의 경우 정보 취득율은 낮게 나타나는 반면, 정보 참조율이 높다.

이는 라디오 방송의 경우 모든 경로에 대한 혼잡에 대하여 정보를 제공하기

때문에 운전자는 그들이 종점에 도달하기 위한 정보를 보다 많이 얻을 것이라는 사실에 기인하는 것으로 분석되었다.

경로 선택에 있어 모든 정보를 이용하는 운전자는 30%에 불과하였고, (취득율의 절반 정도) 이 결과는 많은 운전자들이 다중 매체로부터 정보를 얻고 있는 반면 실제 경로 선택 과정에서 참조하는 경우는 제한되어 있다는 사실을 의미한다. 나아가 어떠한 정보도 참조하지 않는 운전자의 비율은 20%로 1/5의 운전자가 경로를 선택하는 데 있어 교통조건에 대한 정보보다는 경험에 기반한다는 사실을 의미한다.

정보 취득과 이용에 대한 행태를 고려하여 경로선택모형을 구축한 결과, 정보 취득 행태는 개별적인 운전 경험 및 개인 특성들에 의해 결정되는 잠재된 내생변수의 영향을 받는다는 사실을 밝혀냈고, 도해적 지도 표지로부터 정보를 얻은 운전자는 다른 정보매체의 경우보다 개별적인 정보처리 능력의 영향을 적게 받는 것으로 나타났다. 이는 현재 정보가 얼마나 쉽게 이해될 수 있는 형태인가를 보여준다는 점에서 중요한 의미를 갖는다.

또한 가변정보판에서 제시되는 정보의 범위는 운전자가 정보를 취득하고 이용하는 데에 영향을 미치는 것으로 나타났다. 정보 표지에서 제시되는 정보의 범위를 결정하기 위해서는, 특정한 기종점에 대한 교통량과 같은 횡단면 (cross-section) 교통 특성에 대한 연구가 수행되어야 한다.

2. 경로선택 모의실험기를 이용한 연구

Bonsall 등(1997)은 VLADIMIR 라는 경로선택 모의실험기를 이용해 사용자 행태에 관한 연구를 수행하였다. 이들은 운전자의 경로선택 행태를 연구하기 위한 대화식 컴퓨터 기반 (interactive computer-based)의 모의실험기인 VLADIMIR(Variable Legend Assesment Device for Interactive Measurement of Individual Route choice)의 결과를 검증하기 위한 실험 및 연구를 수행하였다.

현장실험을 통한 가변정보판에 대한 연구는 주의깊게 설계된 주어진 상황에서 주어진 표지의 효과성에 대한 설득력 있는 증거를 제시해 왔지만 얻을 수

있는 결과에는 한계가 있었다. 이는 실험적 설계와 운전자와의 접촉을 포함하는 실제적 문제라는 두 가지 문제에서 기인한다.

또다른 방법으로서 차량번호판을 통해 차량소유자에게 보내는 우편회수 질문법을 들 수 있는데 앞서 언급한 문제를 극복할 수 있게 하지만, 비용이 많이 들고, 가변정보판을 운전자가 보고 질문지를 받는데 까지 소요시간이 많아 제한된 결과값이 된다.

이런 문제들을 극복하기 위해, 경로선택 모의실험기를 광범위한 환경에서 다양한 가변정보판 메시지를 시험하는데 사용하였다. 현장에서 사용하기에 가장 효과적인 메시지를 실내에서의 실행결과로 이용하기 위해서, 실제 인터뷰, 질문법, 기타조사를 통해서 이 하부집합의 성능을 감시하였다.

경로선택 모의실험기는 교차점과 진출입부를 선택하는 네트워크를 통행 '운전하는' 주제를 허용하는 PC기반 프로그램이다. PC 화면상에 보이는 각 링크를 따라 움직이면서 적당한 사진 연속물과 교통조건 모사가 보여진다. 모의실험기에서 각 링크로 전환되는 시간은 주어진 현재 교통조건이 실제처럼 나뉘어진다. 시뮬레이션된 계기판 상의 도구를 이용하여 속도, 통행거리, 통행시간을 모니터링할 수 있다.

특정 목적지로의 통행을 만들 것인지 물어보고, 거기에 필요한 내용이 주어진다. VMS 설치기를 통과할 때마다 VMS 메시지를 보는 시간이지만 VMS없이 각 통행을 만들기 위해 반복하여 질문한다. 그리고 VMS가 있거나 없는 경로를 선택하는 것을 비교한다. 주어진 VMS 메시지에 반응하든 하지 않든, 주제는 왜 그렇게 반응했는지를 물어보는 것이다. 마지막으로 약 30분의 session은 실제 경로선택원칙과 네트워크의 유사성, VMS에 대한 이전경험, 개인적 특성(연령, 성, 운전경험) 실행의 현실성 평가에 대한 질문으로 종결된다.

VLADIMIR로 부터의 자료분석은 인간의 경로선택 변화에 효과적이거나 비효과적인 메시지를 결정할 수 있고, 그러한 이유에 관한 근거를 제공할 수 있다. 분석은 물론 특정운전자 유형에게 어떠한 메시지기 문제가 되는지 나타내고 특정 상황에서 특정 메시지의 효과성을 예측하는 방정식을 개발할 수 있었다.

실험 대상 운전자가 특정 기종점 사이에서 정해진 시나리오의 범위 안에서 통행하고 실험기를 이용해 이들의 경로선택을 기록하는 형태로 1994년 여름부

터 1995년 가을까지 검증실험을 수행하였으며, VLADIMIR의 모의실험환경 하에서 선택된 경로와 실제에서 선택된 경로를 비교하였다. 그 결과 경로선택 모의실험기인 VLADIMIR는 네트워크를 잘 알고 있는 운전자의 경로선택을 정확하게 표현할 뿐 아니라 발생한 오류의 종류와 네트워크를 잘 알지 못하는 운전자의 경로선택전략도 나타낼 수 있으며, 특히 도로상의 VMS 정보에 대한 경로선택반응을 정확하게 표현하는 것으로 나타난 것으로 제시되었다.

3. 설문 및 면접 조사를 통한 연구

Wardnan, Bonsall, Shires는 설문조사 자료를 기초로 잠재적 선호(Stated Preference) 접근방법을 이용하여 VMS에 의해 제공되는 정보가 운전자의 경로선택에 미치는 영향을 평가하였다.

조사방법으로서 잠재적 선호(SP)를 택한 배경은 외부영향을 배제한 상태에서 넓은 범위의 VMS 정보에 대한 반응을 분석하기 위해서 그리고, 운전자의 실제 선택에 기반한 현시선호(Revealed Preference) 접근법은 현실적으로 어렵기 때문이었다. 왜냐하면, VMS 운영자를 설득하여 우리가 원하는 범위의 정보를 표시하도록 했다 하더라도 외부요소를 제어할 방법이 없으며 면접조사의 비용이 매우 크기 때문이다.

이 연구에서 VMS 정보의 효과에 영향을 미치는 요소를 다음과 같이 규정하였다.

정보의 내용 - 지체의 이유나 정도

local circumstances - 비혼잡시 대비 상대통행시간

운전자 특성 - 나이, 성별, 현가로망에 대한 기존지식 등

이전의 연구에서 경로선택에 영향을 주는 요소에 대하여 Bonsall(1992)은 다음과 같은 요소들은 언급하였고,

- 총 예측 통행시간(overall expected journey time)
- 지체 / 혼잡
- 통행료
- 표지판에 따른 경로

- 위험지역
- 경로 친숙도 및 경관

Bonsall과 Palmer(1998)의 연구결과에서는 유고, 지체, 혼잡에 대한 VMS 정보는 운전자 경로선택에 중요한 영향을 미치며 그 효과는 전달 메시지의 어투(phrasing of the message)의 영향을 크게 받는다고 하였다.

실험은 Warrington에서 Manchester City Center로 가는, 네 개의 서로 다른 경로가 존재하는 약 34km의 통행을 대상으로 하였으며, 1995년 여름에 North East Warrington의 M62도로 주변 가정에 900개의 질문서를 발송하여 314개를 회수하였다.(응답률 34.9%) 자료의 분석에는 다항로짓모형을 이용하였으며 다음과 같은 결과를 제시하였다.

연구결과 전방 교통상황에 대한 적절한 지점에서의 정보제공은 운전자의 경로선택에 큰 영향을 미치는 것으로 밝혀졌다. 지체(additional delay) 정보는 통상적인 예측통행시간 정보보다 큰 영향을 미치는 것으로 분석되었으며, 지체정보의 영향력은, 일정 범위의 지체시간 내에서는 지체의 크기에 비례하는 것으로 나타났다.

또한, 지체의 원인에 따라 영향이 달라지는 것으로 나타났다. 유고에 의한 지체의 영향이 가장 크게 나타났으며, 지체의 원인을 표시하지 않은 경우에는 상대적으로 작은 효과를 나타냈다. 이는 운전자가 유고에 의한 지체에 높은 신뢰도를 가지고 있음을 의미하며 원인을 표시하지 않는 경우 운전자는 VMS관리자가 수요관리를 위해 의도적으로 지체 표시를 하는 것으로 생각할 수도 있기 때문이다.

대기행렬의 시각적 표시(visible queue)는 경로선택에 중요한(significant) 영향을 미치는 것으로 나타났으며, 특히, 경험이 많은 운전자와 VMS 정보를 믿지 않는다고 밝힌 운전자들에 대해서 더 큰 영향이 있었다.

Polydoropoulou, Ben-Akiva, Khattak, Lauprete(1995)는 통행자가 예상하지 못한 혼잡에 어떻게 대처할 것인가와, 질적, 양적, 예측 정보에 어떻게 반응할 것인가 분석하기 위한 연구를 수행하였다. 이들은 연구대상지역인 California

Bay 지역 자동차 통근자들로부터 여행자들의 경로전환결정에 관한 자료를 수집하였으며, 혼잡 정보의 제공원(라디오 정보 혹은 직접 관찰 등에 의한 정보), 통행 특성, 예상하지 못한 혼잡 등과 같은 다양한 요소의 효과를 조사하였다.

통행자는 예상하지 못한 지체에 대한 반응으로서 경로전환을 하는데, 이의 주요한 요인으로 통상적인 경로에서의 예상된 지체, 대안경로의 통행시간, 대안경로에 예상되는 혼잡정도, 정보제공원(information source)이 선택되었으며, 통행자 반응에 관련된 RP(revealed preferences)와 SP(stated preferences)의 혼합모형을 개발하였다. 개발된 모형은 경로 선택시 경험과 습관적인 행동(behavioral inertia)의 영향을 규정하고 SP 반응 고유의 편의(bias)를 해결하는 방법을 채택하였다.

연구결과 통행자의 대부분은 특정한 양적 지체정보에 잘 반응하는 것으로 나타났으며 구체적으로 다음과 같은 결과를 제시하였다.

- 정확한 지체 정보가 주어지면 통근자들은 예상하지 못한 혼잡이 발생했을 때 습관적인 경로선택에서 벗어날 것이다.
- ATIS 메시지의 정보전달방식에 대한 반응이 매우 이질적으로 나타났다.
- 대안경로에 대한 정보는 대안경로의 인식부족으로 인한 경로전환의 회피를 막는데 결정적인 요소이다.
- 운전자 반응행태모형은 교통 모의실험에 직접 적용되고 ATIS의 유형을 평가하는데 이용할 수 있다.

Mohamed A., Abdel-Aty, Ryuichi Kitamura & Paul P. Jovanis(1997)는 교통정보와 통행시간의 편차가 경로선택에 미치는 영향을 중심으로 경로선택에 영향을 미치는 요소들을 조사하였다. 경로선택의 영향요소에 대한 기존 연구 고찰에서는 아래와 같은 요소들을 언급하였다.

- 통행시간
- 경로의 직진성
- 혼잡 정도
- 운전자의 사회경제적 특성
- 신뢰성

자료수집은 5개의 SP선택집합에 대하여 CATI(Computer-Aided Telephone

Interview)를 통해 통행시간의 편차가 경로선택에 미치는 영향을 조사하였고, CATI조사의 하위표본에 3개의 SP시나리오에 대하여 우편물 조사를 실시하였다. 여기서 'ATIS를 통한 교통정보의 제공'을 비롯한 요소들의 선호도가 조사되었다.

1992년과 1993년에 2번 CATI조사가 수행되었는데, 이는 1) 운전자 경로선택 행동을 보다 정확히 조사하기 위해, 2) 1년 전과 비교하기 이해, 3) 몇 가지 통근특성에 대한 통근자들의 인지와 태도를 조사하기 위해, 4) 통행시간의 편차가 경로선택에 미치는 영향을 이해하기 위해서였다. 특히 4) 항목의 경우는 통행시간은 길지만 신뢰성이 높은 경로, 또는 짧지만 불확실한 도로 중 어떤 것을 선택하는가를 살펴보고, 불확실성을 줄이기 위한 교통정보의 제공이 경로선택에 어떠한 영향을 미치는가. 곧, 통행시간 편차가 경로선택에 미치는 영향에 관한 모형, 통행시간 편차, 교통정보, 경로선택간의 상관관계를 규명하고자 하였다.

<표 3.1>의 선택빈도를 보면, 사례 2, 4, 5의 경우 응답자의 대다수는 경로1을 선택하였다. 이 경우 경로2의 표준편차가 크고(>10분), 평균은 28-30분이다. 평균과 표준편차가 작은 경우(case 3)에는 대다수의 응답자들이 경로2를 선택하였다.

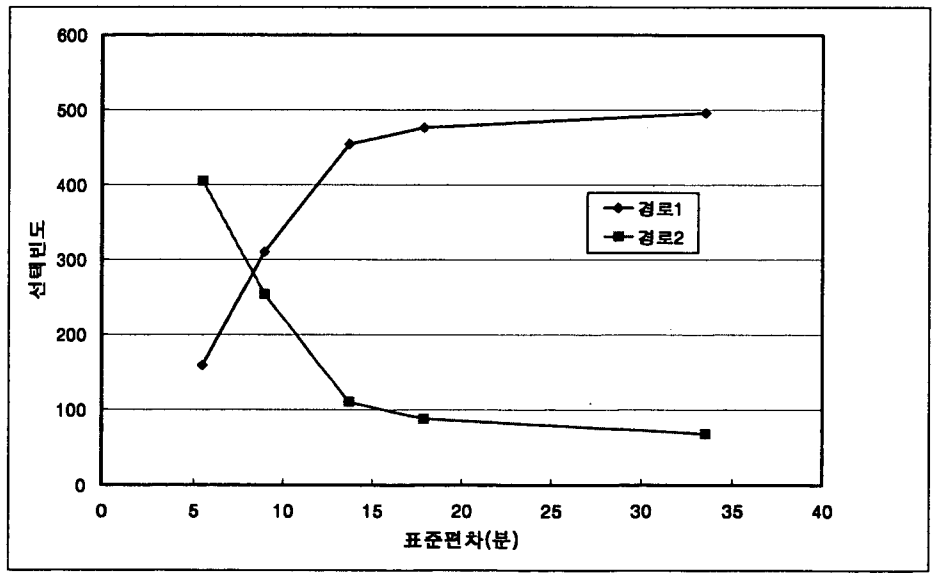
<그림 3.3>은 경로2의 통행시간 표준편차와 각 대안의 선택빈도사이의 관계를 보여주고 있다. 이상의 조사결과로부터 응답자들이 통행시간절감과 편차의 정도를 올바르게 이해하고 있음을 알 수 있으며, 어느 정도 이상의 통행시간 편차는 수용하려 하지 않음을 알 수 있다.

<표 3.1> 조사에 사용된 SP 선택집합

case	경로	경로상황	통행시간		지체/일(분)	경로2의 주당 시간 절약(분)	관측결과
			평균(분/일)	표준편차(분)			
1	1	30 min everyday	30	0	0	-	310
	2	20 min 4days/wk 40 min 1day/wk	24	8.94	4	30	254
2	1	30 min everyday	30	0	0	-	476
	2	20 min 4days/wk 60 min 1day/wk	28	17.89	8	10	88
3	1	30 min everyday	30	0	0	-	159
	2	20 min 3days/wk 30 min 2days/wk	24	5.48	4	30	405
4	1	30 min everyday	30	0	0	-	454
	2	20 min 3days/wk 45 min 2days/wk	30	13.69	10	0	110
5	1	30 min everyday	30	0	0	-	496
	2	20 min everyday 120 min 1dy/2wks	30	33.54	10	0	68

• 지체/일 = 평균 - 보통 통행시간(최빈값)

• 경로2의 주당시간절약 = 경로1의 주당통행시간 - 경로2의 주당통행시간



<그림 3.3> 선택빈도와 표준편차의 관계

경로선택의 세 번째 조사는 앞서의 CATI조사에 응답한 사람들을 대상으로 하였다. 우편설문조사를 통행 이루어졌다. 조사는 크게 두 부분으로 나뉘다. 1) RP section, 2) ATIS의 영향을 평가하는 SP 질문 section. 조사는 다음의 정보를 얻을 수 있도록 설계되었다.

첫째, 개인의 경로선택 의사결정에서 중요하게 고려되는 도로의 특성은 무엇인가?

둘째, 통근자들이 주변 고속도로/도로의 네트웍에 익숙한가? 익숙한 정도가 경로선택에 미치는 영향은 어떠한가?

셋째, 통근자들은 ATIS를 이용하고자 하는가? (이용여부와 이용정도)

끝으로, 경로선택에 교통정보가 미치는 영향은 어떠한가?

우편설문지에는 CATI조사에서 얻어진 응답자의 주된 경로와 GIS에 의해 생성된 최단경로가 제시되며, 응답자의 주된 경로와 통행시간에 따른 SP 선택시나리오가 주어진다. 회수용 봉투를 동봉하여 전체 143명으로부터 질문지를 회수하였다. (응답율 : 54.4%)

이상에서 수집된 자료를 통해 통행시간편차와 교통정보의 효과를 포함하는 경로선택모형이 구축되었다. 모수추정 결과, 통근자의 인지정도와 특성이 경로선택에 중요한 영향을 미침을 알 수 있었고, 통행시간 표준편차는 음의 계수를 가지는 것으로 나타났다. 이는 직관적 판단과 일치한다. 이로서 통근자들이 통행시간편차를 인식하고 있으며, 편차가 심한 경로를 피하려는 경향이 있음을 알 수 있다. 또한 기대통행시간의 차이가 클수록 대안 경로를 선택한다. 통근자들이 시간절약을 인식하고 있으며, 최소통행시간을 가지는 경로를 선택하려 함을 알 수 있다. 그리고 통근자들은 최소시간경로를 선호하지만, 그 편차가 받아들일만한 수준이어야 한다는 점도 밝혀졌다.

ATIS의 영향을 포함한 경로선택모형에서는 나이가 많을수록 낯선 경로를 택하려 하지 않는다는 것과 통근자가 인식하는 기존 이용도로에 대한 통행시간 신뢰도가 높을수록 대안경로를 이용하려 하지 않는다는 것 등이 분석되었다.

Ben-Akiva, Bergman, Daly, Ramaswamy(1984)는 경로선택에 관한 기존의 연구를 세 가지 범주로 구분하였다.

1) 경로와 네트웍에 관한 정보와 지식에 관한 연구

장거리 여행자는, 지역 가로망에 대한 지식이 거의 없고 고속도로에 대한 정보의 구득이 쉽다는 이유에서, 주로 고속도로에 한정된 통행을 한다. (Ueberschauer, 1971 and Tagliacozzo and Pirzio, 1973)

정보의 부족으로 인하여 운전자들은, 종종 시간이나 거리 등 경로에 관한 단순한 정보를 얻지 못한다. 그렇게 되면, 시간이나 거리를 최소화하려는 경로선택에서의 목적을 충족시키기 못하게 된다. (Burrell, 1968 ; Dial, 1970 ; Aashtiani and Powell, 1978)

여행자들은 다른 대안경로를 알지 못하기 때문에 어떤 특정 경로를 이용하기도 한다. (Wright, 1976)

운전자들은 위계적인 방식으로 통행을 계획하기도 한다. ; 가로망에서 가장 낮은 수준인 local streer에서 시작하여, 위계를 높여 대부분의 통행이 이루어지는 고속도로로 이동하고, 그들의 목적지에 도달하기 위하여 다시 낮은 위계의 도로로 접근한다. (Aashtiani and Powell, 1978 and Hidano, 1983)

Bovy(1979)는 도시부 통행의 표본을 이용하여 약 60%의 통행자가 이와 같은 유형의 위계경로를 따른다는 것을 보였다.

2) 의사결정과정 :

사전계획: 운전자들은 통행을 시작하기 전에 경로에 대한 plot out (도면을 작성하는) 것으로 가정한다.

마르코프 과정: 운전자들의 의사결정과정은 통행 중 만나는 교차로에서 이루어지며, 이전의 의사결정에 대하여 독립이다.

중간과정: 사전계획과 즉각적인 결정이 동시에 일어난다. (Hamerslag, 1977)

일반적으로 이러한 가정들은 테스트를 수행할 정도로 구체화된 것이 아니다. 그러나 마르코프 과정은 일면, 운전자가 도로표지판을 따라가는 상황에서 주어지는 도로망에 관한 적절치 못한 정보에서 기인한다고 할 수 있다.

3) 경로특성과 경로선택선호에 관한 연구

경로선택에 영향을 주는 요인을 다음의 두 가지 유형으로 구분할 수 있다.

- 경로 자체의 특성요소
- 운전자의 개인적인 특성

이 중 경로 자체의 특성요소에 대하여 정리하면

- 통행시간 / 통행거리
- 정지수와 교통신호
- 미적요소 : 업무목적과 같은 필수적인 통행보다 방문 목적과 같이 선택적인 통행의 경우에 있어 보다 경관을 중요시 하는 것으로 나타났다.
- 접근이 제한된 고속도로에서의 시간과 거리 : 거리가 증가할수록, 운전자의 나이가 적을수록, 운전자의 교육수준이 낮을수록, 또한 첨두시의 운전자일수록 접근이 제한된 고속도로에 대한 선호가 높다. (Washs, 1967)
- 안전
- 중심업무지역 : 혼잡을 피하기 위해서 중심업무지역을 회피한다.
- 혼잡
- 도로의 quality
- 도로표지판 : 장거리 영행과 같은 어떤 종류의 통행에서는 운전자들이 경로를 선택함에 있어 도로변의 표지판에 의존하게 된다. (Wootton, Ness and Burton, 1981) 이러한 가정은 대안경로의 정보에 대한 가정과 마르코프 의사결정과정에 대한 가정에 양립하는 것이다.

위의 연구에서 경로선택에 영향을 주는 특성요소들을 가지고 대안경로의 범위를 정의하기 위해서 라벨을 사용하였다.(Labelling Method) 그 다음단계로 라벨집합에서 선택경로를 예측하는 데에 이 방법이 적용되는데 여기서 네스티드 로짓모형(nested ligit model)의 형태를 취하였다.

모형 추정에 사용된 자료는 네덜란드의 Utrecht와 Amersfoort 사이 지역에서 수집되었다. 이 지역에서는 많은 운전자들이 하나의 월등한 대안을 강요받기보다는 가능한 경로범위 내에서의 선택에 직면하게 된다. 운전자들에 의해 선택된 경로에 대한 자료는 1979년 동안 이루어진 설문조사로부터 얻어졌다. 승용차 통행은 코든라인을 형성하는 노변 조사지점에서 조사되었다. 일부 코든라인 통과지점에서 차를 멈추고 질몬지를 운전자들에게 나누어준 다음, 우편으로 보내도록 하였다. 다른 지역에서는 차량 번호판을 기록하여 차량 주인들에게 질문지를 우편으로 발송하였다.

1) 통행시간 최소화
2) 통행거리 최소화
3) 최적의 경로경관
4) 교통신호 수의 최소화
5) 고속도로 이용의 최대화
6) 혼잡한 경로이용의 최소화
7) 상업지역 통과 최대화
8) 포장상태가 좋은 도로에서의 운행
9) 용량이 큰 도로에서의 운행
10) 계층적인 경로의 운행
11) 표지판에 의해 안내되는 경로로의 진행
12) 안전한 도로로의 운행

고려된 특성요소는 앞에서 언급한 12가지로 정리된다. 선택모형의 추정결과를 보면 경로선택에 있어서 통행시간과 통행거리가 중요한 역할을 하며, 그 계수도 유의하게 나타났다. 그 외의 다른 속성들, 경관이나 용량, 고속도로의 거리 등도 경로선택의 효용함수에 영향을 주는 것으로 나타났다. 반면 신호수는 그다지 큰 영향을 주지 않는 것으로 나타났는데, 이는 신호에 의한 영향은 통행시간 요소에 포함되었기 때문으로 해석된다.

이상에서 교통정보제공과 그에 따른 통행자 반응행태에 관한 국내외 연구를 정리하며, 가변전광판(VMS)을 중심으로 ATIS를 구성하는 다양한 교통정보제공 매체 중 특정 매체를 대상으로 하여 현장실험 및 설문·면접조사를 통해 잠재선호(stated preference) 또는 현시선호(revealed preference) 자료를 수집 분석한 연구가 주를 이루고 있다. 수집 자료의 분석에는 통계적인 기법이 적용되고있으며 통행자 반응행태의 영향요소를 독립변수로 하는 로짓 형태의 모형을 통해 분석을 수행하고 있다.

이러한 연구의 내용 및 결과를 살펴보면, 각각의 연구는 특정지역, 특정 정보제공매체를 대상으로 하고 있으며 그 결과도 통행자 행태에 관한 전형적인 모형의 구축보다는 대상시스템에서 설정한 영향변수가 통행자 의사결정에 미치는 영향의 정도를 측정 또는 예측하고 결과적으로 나타나는 정보제공의 효과를 분석하고 있다.

3.2 통행자 경로전환관련 기존연구고찰

통행자의 경로전환관련 기존연구는 주로 통근자들을 대상으로 하여 이루어졌다. 이는 통근목적통행이 목적통행에 있어 가장 주요한 부분을 차지하고 있을 뿐만 아니라 첨두시에 주로 통행이 이루어짐으로 경로전환에 대한 분석이 용이하기 때문이다. 본 절에서도 통근자를 대상으로 하여 경로전환에 관한 기존의 연구를 고찰한다.

1. 경로전환관련 기존연구

Mahmassani, et al.(1990)는 출근과 퇴근시의 경로전환을 구분하여 분석하였다. 이 연구에서는 행태변화에서의 시스템적인 유형이 존재하지 않고 유동적인 출근시간을 갖는 표본을 많이 얻기 어렵다는 이유로 고정적인 업무시간을 가진 표본에 대해서 모형을 추정하였다. 출근시에는 통행시간, 대안경로의 유용성, 나이가 유의한 영향을 주었고 퇴근시에는 이와 더불어 지각수용여부도 유의한 영향을 주었다. 그리고 라디오 교통정보의 영향을 출·퇴근시에 모두 유의한 영향을 주었다.

Mannering(1989)의 연구에서는 통행시간뿐만 아니라 통상 사용하는 경로의 혼잡수준과 대안경로의 부가적인 통행시간 추가도 경로전환에 유의한 영향을 준다는 결과가 나왔다.

Khattak, et al.(1993)은 통근자의 전환성향을 연구하기 위해 잠재선호기법을 적용하였다. 운전자는 그들의 정상 경로의 예상 지체가 증가할 경우, 사고로 인한 혼잡이 있을 경우, 실제 관측보다는 라디오로부터 지체정보를 전해 들었을 때, 출근통행시에 전환의지(Willingness to divert)가 더 높았다. 응답자들은 대안 경로가 친숙하지 않거나 안전하지 않거나 정지수가 많을 경우 전환하길 꺼렸다. 또한 사회경제적인 특성도 전환성향에 유의한 영향을 주었다.

Polydoropoulou, et al.(1994)은 경로전환행태에 교통정보가 주는 영향을 알아보기 위한 연구를 수행하였다. 그 결과 위험을 감수하는 경향이 있는 사람일수록, 경로를 자주 변경하는 사람일수록, 현재의 교통상황이 일상적인 경우보다 나쁘다는 것을 관측했을 때, 경로를 변경하려 한다고 하였고 대안경로의 교통상황이 나쁘다는 교통정보를 받았을 때는 경로전환을 하지 않으려 한다고 하

였다. 특히 경로전환에서 가장 중요한 요인을 통행시간으로 간주하였다.

Abdel-Aty, et al.(1994)는 통행전 정보와 통행 중 정보를 제공받을 때를 구분하여 한 달동안 경로전환을 한 회수를 모형화하였다. 교통조건의 변화가 심하거나 통근자가 인지하고 있는 교통정보의 정확도가 경로전환에 유의한 영향을 주었다. 이 연구에서는 Khattak, et al.(1991)의 연구에서와 같이 로그통행시간을 사용하였으며 그 통행시간은 경로전환에 정의 영향을 주는 것으로 밝혀졌다.

Khattak, et al.(1991)은 통근시 사용된 대안경로수를 도입함으로써 운전자들의 인지도뿐만 아니라 전환을 위한 인지대안의 지표로 사용하였다. 또한 운전자의 잠재선호에 관한 물음에 대한 응답을 표준화하기 위해서 잠재선호지표(stated preference index)를 사용하였고 경로전환의 위험을 감수하거나 변경을 즐기는 모험성향을 수치로 정형화하여 사용하였다. 특히 이 연구에서는 연구에서 사용한 표본의 사회경제적 특성과 통행특성이 동일지역을 운전하는 표본이외의 다른 통근자들의 특성과 비교하였는데 사회경제적 특성에서는 차이가 없었지만, 다른 측면(행태패턴, 성향, 인지지도 등)에서 생기는 편이는 배제하지 못했다고 하였다.

이 외에도 Mannering, et. al.(1994)은 통근자의 경로, 수단, 출발시간 유동성에 대한 통계적 분석을 수행하였는데, 이 연구에 따르면 통근자의 통행시간이 길면 예기치 않은 혼잡을 겪을 확률이 커지므로 교통정보를 얻는데 대한 이득이 더 커진다고 하였다. 그래서 혼잡이 자주 일어나는 간선도로나 예기치 않은 혼잡이 발생할 때 교통정보의 제공은 더 많은 영향을 준다고 하였다.

경로전환에 관한 선행연구들에서 통행자의 경로전환에 영향을 주는 것으로 알려진 요인들을 요약하면 다음과 같다.

	Abdel-Aty, et al.(1994)	Mahmassani, et al.(1990)	Mannering (1989)	Khattak, et al.(1991)	Khattak, et al.(1993)	Mannering, et al.(1994)
통행시간	+	+	+	+	+	+
통행속도		-				-
교통정보	+	+				
혼잡수준 (지체정도)			+	+	+	
교통상황 변동정도	+					
유용한 대안경로수				+	+	
대안경로의 유용성		+				
대안경로의 친숙성					+	+
대안경로의 지체증가			-	-		-
전환성향				+		
회전수					+	
재차인원					+	
조사위치	LA	Austin	Seattle	Chicago	Chicago	Seattle
관측수(N)	238, 443	372, 362	117	286	7588	2182, 2281
방법론	RP	RP	RP	RP	SP	RP

+=경로전환을 야기 ; -=경로전환을 억제
SP=잠재선호접근법(가상적 시나리오)
RP=현시선호접근법(반응자가 답한 실제상황)
기타, 현장조사 등이 있다.

2. 출발시간 변경에 관한 연구

Mannering(1989)은 혼잡한 도시부에서 통근자들의 출근 통행시 경로와 출발시간 변경의 유동성을 알아보기 위해 변경회수를 모형화하였다. 통근자가 사전경험에 의한 정보와 실시간 정보를 가지고 있다고 전제하고 분석한 결과, 나이

가 많은 사람일수록 출발시간변경을 하지 않으려 하고, 통행시간이 길수록 출발시간을 변경하려 하였다. 또한 대안경로의 통행시간의 증가는 경로변경에 매우 강한 음의 영향을 주었고 남성일수록 경로변경을 더 잘 하는 것으로 나타났다.

Mahmassani, et al.(1990)의 연구에서는 통근자의 출발시간 변경과 경로전환을 모두 다루었는데 퇴근시보다 출근시에 출발시간변경을 더 많이 하는 것으로 드러났다. 이 연구의 결과를 살펴보면, 출근시에는 경로보다는 출발시간을 더 많이 변경하려 하였고 퇴근시에는 출발시간보다 경로변경을 더 많이 하였다. 특히 퇴근시에는 어떤 사람도 그들의 출발시간만을 변경하지는 않았고 대부분 경로변경을 함께 수행하였다. 그리고 퇴근시에는 많은 사람이 아무런 변경도 하지 않으려 하였다. 출근시 출발시간선택은 지각수용여부, 직위, 개인특성에 영향을 받았다. 그리고 퇴근시에는 혼잡이 변경의 주된 원인이 되었다. 퇴근시의 출발시간 변경만을 제외하고는 교통정보는 정의 영향을 주었다.

이 연구에서는 지각수용여부라는 변수로써 지각에 대한 강제를 모형에 포함시켰다. 지각을 수용하는 사람 중에서 선호도착시간이 0이 아닌 사람 즉, 정시보다 약간 일찍 도착하고자 하는 사람은 정시에 도착하려는 사람보다 전환성향이 더 강하였다. 그러나 이 사람도 지각을 전혀 수용하지 못하는 사람보다는 전환성향이 약하다고 하였다.

Mannering, Hamed(1990)는 퇴근시의 출발시간 연기에 대한 연구를 하였다. 이 연구는 자가용 출근자뿐만 아니라 출근을 하는 모든 사람들을 대상으로 수행되었는데 출발시간을 당기는 것은 고려하지 않았다. 이 연구에서 출근시와 퇴근시의 출발시간 의사결정의 차이를 크게 세 가지로 요약하고 있는데 우선, 퇴근통행은 집까지의 도착시각이 고정된 것이 아니라 단지 선호된 시각이고, 집에 늦게 도착함으로 인한 손해(penalty)와 출근시 지각으로 인한 손해(penalty)와는 차이가 있으며, 퇴근시의 출발시간 지연은 직장 주변에서 다른 활동을 하게끔 한다는 것이다. 연구결과, 응답자의 47.06%가 혼잡을 피하기 위해 직장에서 출발시간을 지연하였고 주당 평균 출발시간지연 회수는 1.83회였다. 그리고 퇴근시 출발시간지연은 교통시스템 특성, 사회경제적 특성, 업무지 주변의 토지이용특성에 의해 영향을 받는다고 하였다.

Hatcher, Mahmassani(1992)는 업무속성, 개인특성, 교통시스템특성이 퇴근시 출발시간변경행태에 영향을 준다고 하였다. 퇴근시에 대한 연구이지만 지각수용이 출발시간변경 확률을 증가시켜 주었다. 대상지인 Austin의 퇴근시의 첨두가 6시15분에서 6시30분 사이에 없어지는 관계로, 6시15분 이후에 업무가 끝나는 사람들은 출발시간변경을 하지 않으려 하였다. 특히 귀가통행 중에 적어도 하나 이상의 부과 활동이 있는 사람들은 그 활동에 의해 제약을 받기 때문에 출발시간 변경을 하지 않으려 하였고 44세 이상의 나이가 많은 남성 운전자들은 변경을 하지 않으려 하였다.

Palma, et al.(1997)은 브뤼셀 통근자들의 출발시간 결정에 대한 연구를 수행하였다. 이들은 특히 통행시간과 스케줄 지체의 균형(trade-off)에 대해 많은 논의를 하였다. 통근자는 발생하는 지체와 스케줄 지체의 적정 수준을 달성하기 위해 출발시간을 선택하는데 결국 첨두시 출발시간 변경은 대기로 인한 지체는 감소시키지만 스케줄 지체는 증가시킨다고 주장하였다. 또한 브뤼셀 통근자들은 출근이 유동적인 사람들도 혼잡을 피하기 위해 출발시간을 변경하지는 않았다. 즉 이러한 사실은 통행시간의 감소가 개인적인 편이나 요구사항처럼 출발시간 변경을 야기하는 주요한 원인이 되지는 못하는 것을 의미한다고 하였다.

3.3 교통정보제공과 통행자 의사결정 특성분석

앞에서 기술한 바와 같이 ATIS에는 다양한 교통정보제공체계가 존재하며 이에 따른 통행자의 반응행태도 다양하고 그 각각의 행태에 영향을 미치는 여러 영향 요소가 존재한다. 이러한 다양한 교통정보제공체계 및 통행자 행태를 모두 수용한 종합적인 모형의 구축은 거의 불가능한 것으로 보이며, 구축한다 할지라도 그 결과의 신뢰성을 보장하기 어려울 것이다. 또한 통행자의 반응행태라는 것은 대상지역, 시점, 대상교통정보제공체계, 그 외의 여건 등에 따라 다르게 나타나므로 대략적인 경향과 모형의 틀은 설정할 수 있지만 공간적, 시간적으로 전이성이 있는 보편적인 모형을 만드는 것은 어려울 것이다.

이에 따라 이 분야에 대한 현재까지의 국내외 연구를 보면, 각 연구마다 대상 지역을 선정하여 특정 교통정보제공(예를 들면 VMS) 한가지에 대한 분석을 수행하고 있으며 통행자 행태도 경로선택, 수단선택 등 특정 행태에 국한시킨 연구가 이루어지고 있다.

여기서는 이러한 현실과 본 연구의 중과제에서 개발하고 있는 시뮬레이션 모형의 목적에 비추어 적절한 교통정보제공 및 통행자 의사결정 모형의 구현 범위를 설정하고 그 모형화 및 구현방안을 제시한다.

1. 구현 범위설정

본 연구에서 개발하고자 하는 시뮬레이션 모형은 다음과 같은 형태로 이용되는 것을 목표로 한다. 어떤 교통정보제공체계의 효과를 분석하고자 할 경우, 분석자는 대상지역의 통행자 행태에 대한 조사 및 연구분석을 통해 통행자 반응행태를 표현할 모형을 선정하거나 개발하고 정산(calibration)과정을 통해 관련 파라메터 값을 결정하고 이를 시뮬레이션 모형에 반영하여 정보제공의 효과를 분석한다.

전술한 바와 같이 교통관리 및 정보제공에 대한 통행자의 반응행태는 출발시간선택, 출발전 경로선택, 통행중 경로전환, 출발전 수단선택, 통행중 수단선택, 그 외 주행 속도선택 등 다양한 형태로 나타나게 되는데, 이 중 통행시간선택 및 통행수단선택은 O/D에 영향을 미치는 통행자 행태로, 본 연구에서 대

상으로 하는 보통의 시뮬레이션 모형에서는 입력된 차량 기준의 O/D를 가정한 상태에서 시뮬레이션을 수행하게 된다. 따라서 본 연구에서도 차량 기준의 O/D를 입력받는다는 가정하에 통행시간 및 수단선택의 두 가지 행태는 모사하지 않고 출발전의 통행경로선택과 통행중 이루어지는 동적통행전환을 모사할 수 있는 기능을 제공하는데 초점을 맞춘다.

이를 위해 본 연구에서는 고려대상이 될 수 있는 다양한 교통정보제공체계를 수용하고 그에 따른 통행자 반응행태를 모사할 수 있도록 시뮬레이션 모형의 구조를 설계한다.

2. 구현방안

시뮬레이션 모형을 위해 정보제공매체별로 제공정보의 종류 및 특성을 정의하고 각 통행자는 정보제공매체에 대한 접근성, 시간가치 등을 특성으로 갖도록 한다. 이러한 통행자 특성은 차량 발생시 입력된 자료(확률분포, 평균값 등)에 따라 확률적으로 할당되도록 한다. 통행자는 현재 위치에서 접근 가능한 정보를 활용하며, 통행자의 경로선택은 임의효용이론(random utility theory)에 입각한 개별선택모형에 따라 이루어지도록 한다.

3. 경로선택행태의 대안특성분석

운전자의 경로선택에 영향을 주는 요소, 즉 경로선택의 대안특성은 다음과 같이 크게 두 가지로 대별할 수 있다.

가. link-additive 특성

경로의 속성이 경로를 구성하는 개별 링크속성의 합으로 구성되는 경우를 뜻한다. 즉, 경로 i 가 링크 $a \in \Gamma_i$ 들로 구성된다면, 경로 i 의 link-additive 특성은 다음과 같다.

$$x_i = \sum_{a \in \Gamma_i} x_a$$

여기서 x_a 는 해당되는 링크 a의 속성

link-additive 속성을 갖는 경로선택의 대안특성요소로는 다음과 같은 요소들을 꼽을 수 있다.

- 통행시간 : 효용함수에 포함되는 많은 대안특성들 중에는 통행시간이 가장 중요한 변수가 된다. 통행자들의 통행시간에 대한 불확실성과 변동성을 효용함수에 반영하기 위해 결정론적 효용함수가 아닌 확률적 효용함수를 통해 접근한다.
- 통행길이 : 관측이 용이하나 비혼잡 교통망에서는 통행시간과 밀접한 상관관계를 갖는다.
- 통행비용 : 통행료나 혼잡세의 효과를 분석하기 위해서 필요하다. 대개 통행료와 같은 직접비용(out-of-pocket cost)와 차량운영비와 같은 간접비용(general cost)를 구분해서 사용한다.
- 장애물 : 신호교차로수, 정지수 등이 고려된다.

나. Non Link-additive 속성

경로의 속성이 구성하고 있는 링크속성의 합으로 표시되지 않는 경우의 대안특성으로 정성적(Qualitative)인 특성들은 대개 이 범주에 속한다. 예를 들면 이항변수로 어떤 경로가 평소 통행하던 경로인 경우는 1, 아닌 경우는 0으로 처리한다. 또한 대중교통에 있어서는 환승이나 운임과 같은 변수는 non-link-additive 특성이 된다.

non-link-additive 속성을 갖는 대안특성의 요소들은 다음과 같다.

- 대중교통 : 대중교통의 경로선택에 있어서는 환승이나 대기시간, 도보시간, 배차간격 등이 포함된다.
- 교통조건 : 혼잡수준, 상충되는 교통량의 수 등이 포함될 수 있다.
- 경로의 직진성 : 회전수 (좌회전수)
- 도로유형 : 고속도로나 전용도로의 포함비율이나 포함여부 등을 가변수(dummy variable)로 처리하여 고려한다.
- 도로조건 : 포장수준이나 차로수, 도로폭 등을 사용한다.

- 미적요소 : 주변 경관
- 안전성

이상의 대안특성들 중에서 자료의 이용가능성과 통행자의 행태특성을 고려하여 효용함수에 포함시킨다.

4. 경로선택 의사결정 관련 통행자 특성

경로선택 의사결정과 관련하여 통행자 특성은 다음의 4가지로 구분하여 살펴 볼 수 있다.

가. 시간가치 : 사회경제적 특성치

대안 경로의 선택에 있어서 통행시간이 가장 핵심적 사항이다. 그러나 이는 개인에 따라 그 정도의 차이가 있는데 개인에 대한 통행시간의 민감도를 시간가치를 통해 반영한다. 이 시간가치는 연속적인 값으로 표현될 수 있으며 분당 얼마, 또는 상/중/하 같은 형태로 표현 할 수도 있다.

그러나 아직까지는 모집단을 분류(Classification)할 수 있는 사회경제적 특성변수의 분류기준이 모호하고 그에 따른 통계적 유의성을 확보하기 어려워 현 단계에서는 고려하지 않는다. 다만 향후 분류된 Class별로 경로선택모형의 모수를 서로 달리 추정함으로써 사회경제적 특성에 대한 차이를 반영할 수 있을 것이다.

나. 교통정보 접근성

도로망 상태에 대한 정보의 입수 여부와 입수 가능한 정보의 종류 및 수준은 결정자가 경로선택을 하는데 중요한 영향을 미친다. 정보입수와 정보불입수의 두 가지 형태로 간단히 구분될 수도 있으나 다양한 교통정보제공 매체의 특성을 반영하기 위해 통행전 정보, 실시간 정보, 예측정보 등 정보의 형태에 따라 여러 가지로 구분되어 모형에 적용할 수 있다.

본 과업에서는 통행자의 정보 접근성을 정보 입수와 불입수, 그리고 출발전 정보와 실시간 통행 중 정보로 구분하여 시뮬레이션 모형에 반영한다. 예측정보의 경우는 현실적으로 현재 사용되지 않고 있으며, 예측정보를 생성하고 적

용할 수 있는 모형들이 일부 개발되었으나 일반적으로 인정받을 수 있는 모형이 현재까지는 없기 때문에 구현범위에서 제외하였다.

다. 각 정보제공매체의 제공정보에 대한 신뢰도

제공된 교통정보에 의해 특정 경로의 효용이 높은 것으로 나타났을 경우 그 경로를 최종 선택하는데는 효용의 판단에 이용된 정보에 대한 통행자의 신뢰도가 중요한 영향을 미치게 된다.

따라서 본 중과제에서 개발되는 시뮬레이션 모형에서는 경로선택의 의사결정단계에서 경로선택모형을 통해 대안경로의 효용을 계산토록 하고, 이를 그대로 반영하는 것이 아니라 통행자 및 교통정보 제공매체에 대한 신뢰도를 가지고 전환비율을 결정토록 한다.

라. 통행목적

통행목적 또한 경로선택에 영향을 주는데 예를 들어 지각에 대한 벌칙이 주어지는 출근통행과 그렇지 않은 쇼핑통행의 경우 다르게 나타난다. 그러나 대개의 경우 통행목적은 시간가치와 높은 상관관계를 갖게 된다.

통행목적에 따른 구분은 시뮬레이션의 입력단계에서 목적별로 구분되어 기종점(O/D)이 입력되지 않는다면 그 의미를 잃게 된다. 따라서 목적별 기종점이 입력되지 않는 현 단계에서는 통행목적에 따른 통행자의 특성을 반영하지 않는다.

여 백

제 4 장 통행자 경로선택모형의 구축

4.1 경로선택모형의 구축을 위한 실험자료 확보

가. 구현 범위설정

교통정보제공에 대한 통행자의 반응행태는 출발시간선택, 출발전 경로선택, 통행중 경로선택, 출발전 수단선택, 통행중 수단선택, 그 외 주행 속도선택 등 다양한 형태로 나타나게 된다. 그러나 본 연구에서 대상으로 하는 보통의 시뮬레이션 모형에서는 입력된 차량 단위의 O/D를 가정한 상태로 시뮬레이션을 수행하게 되고, 본 연구에서도 이러한 가정은 동일하게 유지되므로 수단특성이나 시간선택을 반영할 수 없다. 따라서 수단선택 및 출발시간 선택은 모사하지 않고 출발전의 통행경로선택과 주행중 이루어지는 동적 통행경로전환을 모사할 수 있는 기능을 제공하는데 초점을 맞춘다.

이를 위해 본 연구에서는 고려대상이 될 수 있는 다양한 교통정보제공체계를 수용하고 그에 따른 사용자 반응행태를 모사할 수 있도록 시뮬레이션 모형의 구조를 설계한다.

나. 구현방안

시뮬레이션 모형을 위해 정보제공매체별로 제공정보의 종류 및 특성을 정의하고 각 통행자는 정보제공매체에 대한 접근성 등을 특성으로 갖도록 한다. 이러한 통행자 특성은 차량 발생시 입력된 자료에 따라 확률적으로 할당되도록 한다. 통행자는 현재 위치에서 접근 가능한 정보를 활용하며, 통행자의 경로선택은 임의효용이론(random utility theory)에 입각한 개별선택모형에 따라 이루어지도록 한다.

다. 모형구축을 위한 실험방법의 선정

모수추정을 위한 실험자료를 확보하는 방법에는 기존문헌고찰에서 살펴 본

바와 같이 현장 실험을 통한 방법, 경로선택 모의실험기를 이용하는 방법, 운전자에 대한 직접 면접조사, 혹은 전화면접 등을 이용한 설문조사 등을 이용할 수 있다.

현장 실험 방법의 경우 현실적 제약이 많이 따르기 때문에 관련 연구에서 이러한 방법을 채택한 경우는 거의 찾아보기 어렵다. 또한 대안적인 방법으로서 검토된 경로선택 모의실험기를 이용하는 방법은 피실험자에게 현장감을 주기 어렵기 때문에 취득되는 자료의 왜곡가능성이 존재한다.

따라서 본 과업에서는 위의 2가지 방법을 제외하고 경로선택과 관련한 기존의 연구에서 주로 사용한 방법인 운전자에 대한 직접면접조사와 설문조사 방법을 통해 현시선호자료(Revealed Preference Data)를 확보하였다. 현시선호자료는 잠재선호자료(Stated Preference Data)에 비해 편의(bias)가 발생할 수 있는 위험이 낮아 분석의 정도를 높일 수 있는 장점이 있다.

라. 대안특성규명을 위한 독립변수의 선정

앞장에서 검토된 바와 같이 경로선택에 영향을 주는 대안특성요소와 통행자 특성을 나누어 이러한 요소들이 경로선택에 어느 정도 영향을 미치는가 규명할 수 있도록 실험을 설계하였다.

다만 통행자 특성 중 교통정보의 접근성과 신뢰도는 시뮬레이션 모형의 설계 단계에서 구현토록 하며, 사회경제적 특성변수는 아직까지 모집단을 분류(Classification)할 수 있는 사회경제적 특성변수의 분류기준이 모호하고 그에 따른 통계적 유의성을 확보하기 어려워 현 단계에서는 고려하지 않는다. 다만 향후 분류된 Class별로 경로선택모형의 모수를 서로 달리 추정함으로써 사회경제적 특성에 대한 차이를 반영할 수 있을 것으로 판단된다.

경로선택에 영향을 미치는 경로대안의 특성들은 앞장에서 검토한 바와 같이 link-additive 속성과 non link-additive 속성으로 나누어 살펴 볼 수 있는데 이들 중에서 계량화하기 어렵거나 가변수(dummy variable)로 처리할 수 없는 요소들(예: 포장수준, 안전성, 주변 경관)을 제외하고, 현실적인 자료의 구득가능성이나 시뮬레이션 모형의 구현가능성 등이 어려운 요소들을 제외시켰다. 최종적으로 다음의 6가지 요소들을 선정하였다.

- 통행시간
- 지체시간 : 지체시간 = 통행시간 - 자유류 통행시간 (제한속도기준)
- 경로길이
- 신호교차로수 : 단위길이(km)당 신호교차로수
- 회전수 : 좌회전, 우회전 모두 포함
- 고속도로 혹은 전용도로의 포함비율 : 전용도로길이 / 전체경로길이

통행시간의 경우 각 통행자가 인지하고 있는 통행시간으로, 지체시간의 경우는 인지한 통행시간에서 자유류 통행시간(free-flow travel time)을 빼서 산정하였다. 여기서 자유류 통행시간은 운전자의 희망속도가 아닌 제한속도(규정속도)로 주행했을 때의 통행시간을 의미한다. 교차로 통과도 지체나 정지없이 주행하였을 경우를 자유류 통행시간으로 보았다.

신호교차로수의 경우는 통행시간과 마찬가지로 운전자가 인지하고 있는 신호교차로수를 조사하고, 모수추정을 위한 독립변수로는 단위길이(km)당 신호교차로수를 사용하여 경로길이의 차이로 인한 편의를 제거하였다.

이상의 대안특성요소들과 결과로 나타나는 운전자의 선택간의 관계를 규명할 수 있도록, 선정된 대안특성요소들이 다양하게 분포하고 운전자들의 인지도가 높으며, 주요하게 경합되는 경로가 존재하는 기종점을 선정하여 실험조사를 수행하였다.

마. 현시선호자료의 구득

대안경로집합에서 특정 대안의 특성과 선택간의 관계를 규명하기 위해서는 경로선택모형에 입력되는 모수의 추정이 필요하고, 이를 위해서는 현시선호자료의 확보가 필요하다.

앞서 실험 설계한 바와 같이 현실적 조사가능성, 대안경로의 명확성, 대안특성들의 규명가능성 등 여러 가지 여건들을 고려하여 선택상황의 모사가 잘 이루어질 수 있도록 기종점 5군데를 선정하였고, 대상지역은 과업의 구현범위와 일치될 수 있도록 서울시와 인접 신도시로 하였다.

또한 설문조사의 대상자는 선정된 경로선택상황에 대해 답변이 가능하도록, 경로에 대한 지식이 풍부한 운전자(예: 영업용차량 운전자)로 하였다. 다만 영

업용차량 운전자의 경우 영업목적 통행이 아니라 개인목적 통행임을 사전에 주지시킴으로써 영업목적의 통행에서 나타날 수 있는 경로선택의 편의를 미연에 방지하였다.

본 과업에서 선정한 경로선택상황은 <표 4.1>, <그림 4.1>과 같다.

(구체적인 설문내용은 <부록>의 설문조사지 참조)

<표 4.1> 설문조사된 경로선택상황

기종점	가능한 대안경로		대안 특성				
			신호 교차로수	회전수	거리 (km)	전용도로 길이(km)	전용도로 비율
김포공항 -당산역	대안 1	올림픽대로 이용 (행주대교남단진입)	7	5	15.294	11.173	0.731
	대안 2	올림픽대로 이용 (가양대교남단진입)	8	5	12.94	5.249	0.406
	대안 3	공항로 이용	6	1	10.405	0.0	0.0
김포공항 -서울대	대안 1	올림픽대로 이용	15	5	24.918	15.193	0.610
	대안 2	남부순환로 이용	28	2	20.061	0.0	0.0
서울대- 국회의사당	대안 1	상도터널 경유	13	5	13.965	4.02	0.288
	대안 2	신대방삼거리 경유	17	3	9.304	0.0	0.0
시청앞- 일산백석역앞	대안 1	자유로 이용	12	5	29.457	23.186	0.787
	대안 2	수색로 이용	20	2	21.184	0	0.0
대치역- 분당구청	대안 1	분당-수서간 고속도로 이용	5	4	17.045	13.65	0.801
	대안 2	분당-내곡간 고속도로 이용	10	3	15.557	12.103	0.778

실제 설문조사에 들어가기에 앞서 응답자에게 대안경로의 특성치에 대한 사전정보를 주지 않았으며, 통행시간과 신호교차로수는 응답자 개인이 인식하고 있는 대안특성을 조사하기 위해 직접 조사를 하였고, 그 외의 기타 변수들을 자료조사를 통해 실제값을 구하고 이를 이용하여 모수를 추정하였다. 지체시간 변수의 경우는 조사된 개인별 통행시간에서 제한속도를 준수하면서 자유류 교

통조건으로 주행하였을 때의 자유류 통행시간을 뺀 값으로 산정하였다. 이 때 신호교차로에서의 지체시간도 포함되도록 하였다.

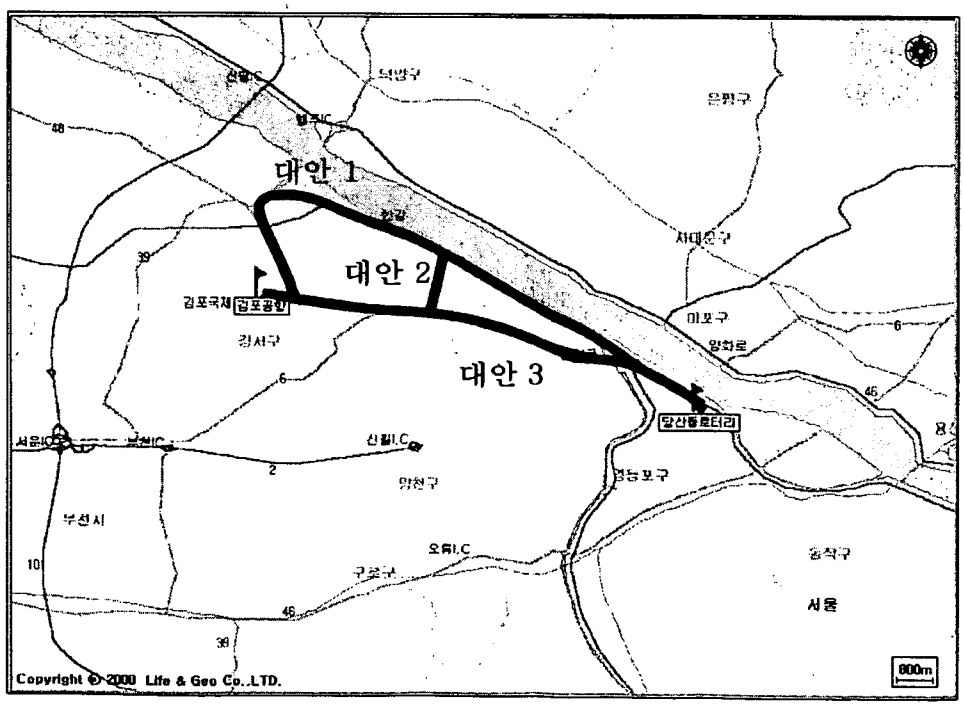
조사된 표본 중에서 모형의 구축에 사용된 유의한 표본의 수는 5개 상황에 대하여 총 845개였으며, ALOGIT Version 3.8과 LIMDEP Version 7.0 프로그램을 이용하여 모수를 추정하였다.

1) 김포공항-당산역

대안 1 : 김포공항-행주대교남단-올림픽대로-노들길-당산역

대안 2 : 김포공항-강서구청사거리-가양대교남단-올림픽대로-노들길-당산역

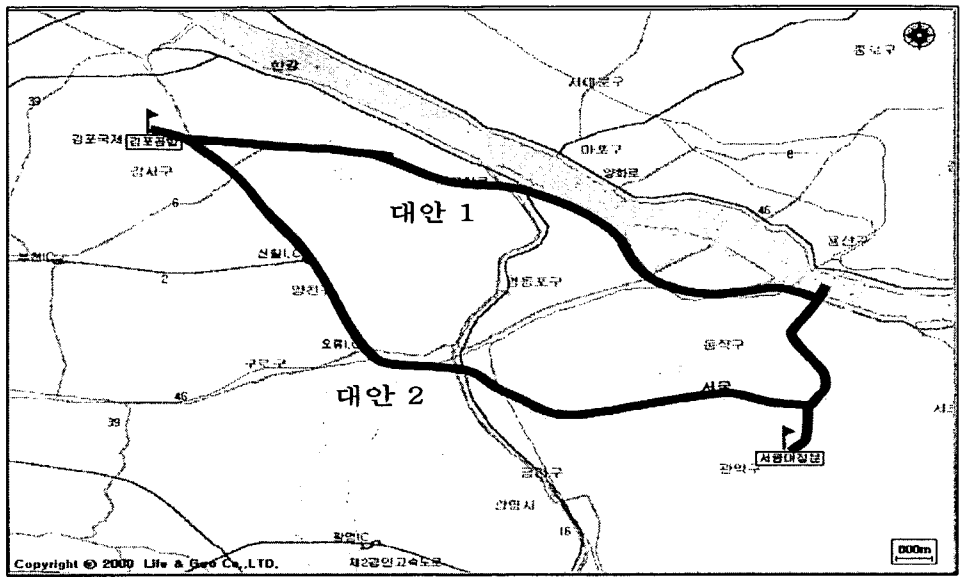
대안 3 : 김포공항-발산역-강서구청사거리-인공폭포앞-노들길-당산역



2) 김포공항-서울대

대안 1 : 김포공항-공항로-노들길-상도터널-숭실대역-봉천사거리-서울대

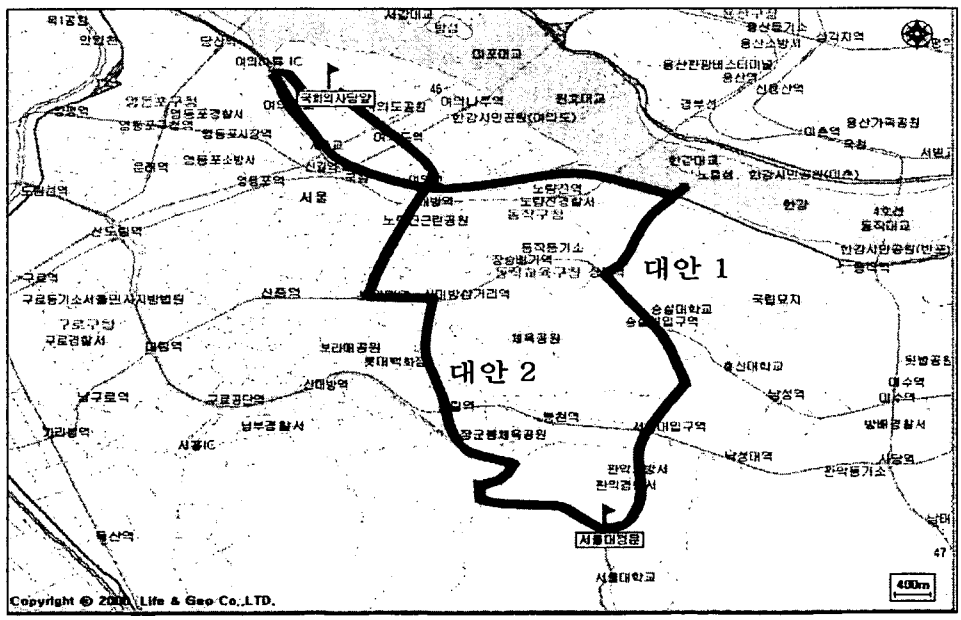
대안 2 : 김포공항-남부순환로(신월IC-시흥IC-신림사거리-봉천사거리)-서울대



3) 서울대-국회의사당

대안 1 : 서울대-봉천사거리-숭실대역-상도터널-한강대교-노들길-국회의사당

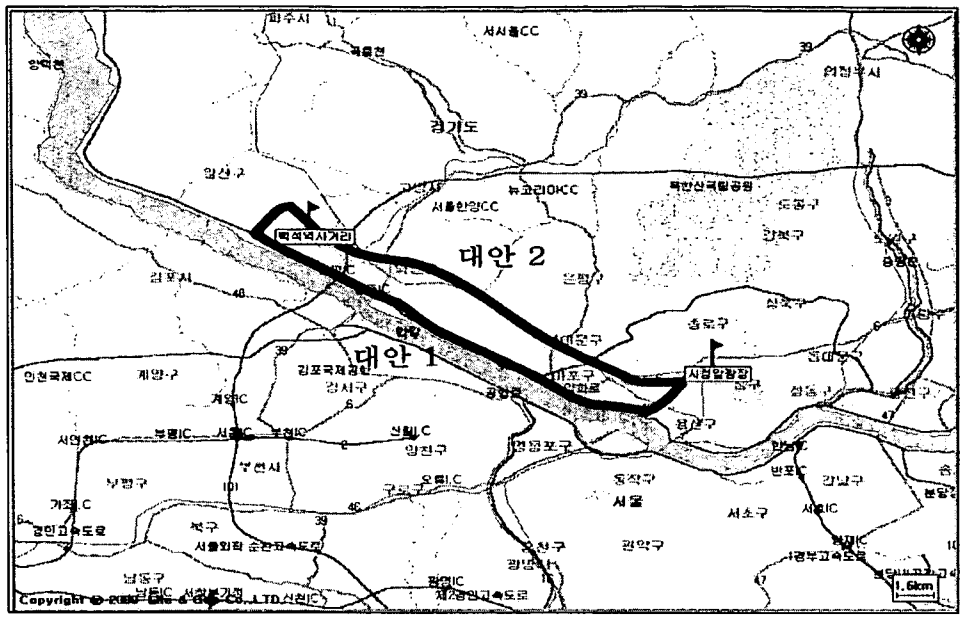
대안 2 : 서울대-신림사거리-신대방삼거리-대방로-대방지하차도-국회의사당



4) 시청앞-일산 백석역앞

대안 1 : 시청앞-아현교차로-마포대교북단-강변북로-자유로-장항IC-백석역

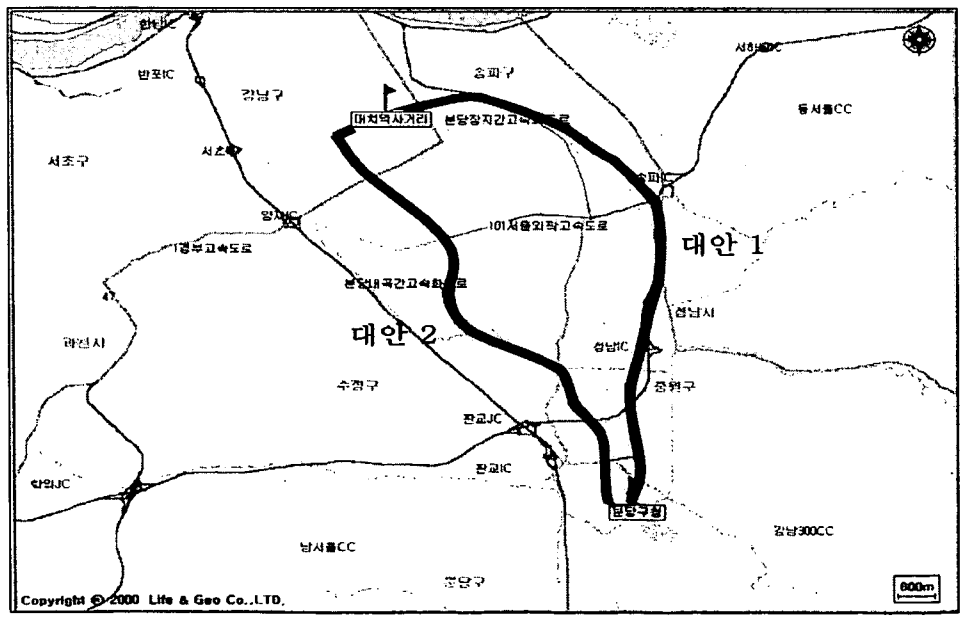
대안 2 : 시청앞-연세대-연희교차로-수색로-능곡지하차도-토당육교-백석역



5) 대치역-분당구청

대안 1 : 대치역-학여울역-수서IC-분당장지간고속화도로-분당구청

대안 2 : 대치역-숙명여고앞-구룡터널-분당내곡간고속화도로-분당구청



<그림 4.1> 조사에 선정된 경로선택상황

4.2 경로선택모형의 함수형태 고찰

경로선택모형은 그 결정규칙(decision rule)에 따라 여러 가지 형태로 표현될 수 있다.

가. Shortest Path - 결정론적 방법

경로선택에 있어 가장 간단한 결정원칙으로 각 개인은 비용이 가장 작은 경로를 선택하는 방법이다. 이 모형은 결정적(deterministic) 효용 극대화에 의거하여 최단경로(일반화된 비용 최소경로)를 탐색하는 효율적인 알로리즘을 사용한다. 그러나 이 접근방법은 임의효용이론에 의거한 확률적 모형과는 달리 통행자 행태의 불확실성, 변동성을 고려하지 못하는 단점이 있다.

(예) 일반화된 비용을 최소화

일반화된 비용 = β_1 · 통행시간 + β_2 · 비용 + β_3 · 거리...

나. 다항로짓모형(Multinomial Logit Model)

다항로짓모형은 효용함수의 임의효용부분에 있어 그 확률분포가 독립적이며 동일하게 Gumbel 분포를 따르는 것으로 보는 가정에서 유도된다. Gumbel분포의 누적확률분포와 확률밀도함수는 아래와 같다.

$$F(\varepsilon_n) = \frac{1}{1+e^{-\mu\varepsilon_n}}, \quad \mu > 0, \quad -\infty < \varepsilon_n < \infty$$

$$f(\varepsilon_n) = \frac{\mu e^{-\mu\varepsilon_n}}{(1+e^{-\mu\varepsilon_n})^2}$$

여기서, μ 는 scale parameter를 의미한다.

다항로짓모형의 중요한 특성은 비관련대안간 독립성(Independence of Irrelevant Alternatives)이다. 이는 유한집합 C_n의 모든 부분집합에 대하여 정의된 선택확률의 집합은 모든 i, $\tilde{C}_n, C_n (i \in \tilde{C}_n \subseteq C_n)$에 대하여 조건부확률이

존재하는 모든 경우에 다음의 조건을 만족하는 것에서 출발하여 유도된다.

$$P(i \mid \tilde{C}_n \subseteq C_n) = P(i \mid \tilde{C}_n)$$

이는 선택집합에서 일부 대안이 제외되더라도 축소된 선택집합에서의 상대적인 선택확률은 변하지 않는다는 것이다. 즉, 부분집합의 선택확률은 이 부분집합에 포함되어 있는 대안들에만 영향을 받을 뿐, 그 밖의 다른 대안에 대해서는 독립적이라는 의미이다.

$$P(i \mid C_n) = P(i \mid \tilde{C}_n) P(\tilde{C}_n \mid C_n), \qquad i \in \tilde{C}_n \subseteq C_n$$

즉, C_n에서 대안 i를 선택할 확률은 부분선택집합 $\tilde{C}_n$에서 i를 선택할 확률과 그 선택이 $\tilde{C}_n$내에서 이루어질 확률의 곱이다. 이는 $\tilde{C}_n$의 정의와 독립적이므로 다음과 같은 IIA(Independence from irrelevant alternatives) 특성을 얻을 수 있다

$$\frac{P(i \mid \tilde{C}_n)}{P(j \mid \tilde{C}_n)} = \frac{P(i \mid C_n)}{P(j \mid C_n)}$$

경로선택에 있어 로짓모형의 적용을 처음 제안한 것은 Dial(1971)로 "합리적인 경로(reasonable path)" 개념을 사용하여 선택집합을 정의하고, 경로대안 선택집합 구성과정(path enumeration)을 생략하기 위하여 link-additive 경로특성을 이용하였다.

다항로짓모형은 계산과 해석의 용이성, 모형의 전이성의 측면에서 다른 모형들에 비해 우수하다는 장점을 가지고 있어 그동안 보편적으로 교통부문의 행태분석에 널리 적용되어 왔다. 이를 식으로 정리하면 아래와 같다.

$$P(r \mid Q_d) = \frac{e^{U_r}}{\sum_{r \in Q_d} e^{U_r}}$$

Q_d = 기점에서 종점까지의 경로대안 선택집합,

$U_r = V_r + \varepsilon$: 경로 r의 총 효용함수 = 관측가능한 효용 + 임의효용

$V_r = \alpha + \beta \cdot x_1 + \gamma \cdot x_2 + \cdots$: 관측가능한 효용(systematic utility)

x_1, x_2, … : 통행시간, 신호교차로수 등 효용함수의 독립변수

α, β, γ, … : 모수(parameter)

ε : 임의효용(random utility) : i.i.d Gumbel distribution

다만 다항로짓모형의 비관련대안간 독립성(IIA, Independence Irrelevant Alternatives)은 중첩되는 경로가 존재하는 경우에 비현실적인 선택확률을 산정하는 단점이 있다. 따라서 중첩되는 경로가 없거나 중첩문제가 그다지 중요하지 않은 교통망에서 사용가능하다. 또한 로짓모형은 Labeling Approach와 같은 경로선택집합 결정에도 사용할 수 있다.

다. 프로빗 모형(Probit Model)

로짓모형의 결점을 보완하기 위해 Burell(1968), Daganzo and Sheffi(1977)등이 프로빗모형을 제안하였다. 로짓모형과는 달리 임의효용의 확률분포가 정규분포를 따르는 것으로 가정하는 모형이다. 오차항 벡터(disturbance vector) $\varepsilon_n=[\varepsilon_{1n}, \varepsilon_{2n}, \cdots, \varepsilon_{J_n}]'$ 이 평균 0이고, $J\times J$ 분산-공분산 행렬 Σ_ε 를 갖는 다변량 정규분포를 따른다고 가정한다.

그러나, 이 모형에서 선택확률을 구하기 위해서는 J_n-1 차원 적분의 해가 필요하다. 이러한 배경에서 Hausman과 Wise(1978)는 차원을 J_n-2 로 낮추기 위해 변환을 사용하였다.

또한 다항 프로빗 모형은 효용의 관측가능(systematic) 요소가 선형일 때 random taste variation을 쉽게 결합(incorperate) 시킬 수 있다는 점에서 유용하다. 이를 보이기 위해 개인 n의 모수 β_n 을 다음과 같이 정의한다.

$$\beta_n = \beta + \Psi_n$$

$$U_{in} = \beta_n' x_{in} + \varepsilon_{in} = \beta' x_{in} + (\Psi_n' x_{in} + \varepsilon_{in})$$

여기서 Ψ_n : (개인 n의 모수 - 모집단의 평균)을 정하는 편향(deviation) 벡터

Ψ_n 은 K개를 갖고 평균이 0인 벡터, Σ_Ψ 은 Ψ_n 의 $K\times K$ 분산-공분산 행렬을 의미한다. 만약 ε_n 과 Ψ_n 이 다 정규분포를 따른다면 각 효용의 결

합된 오차항(composite disturbance)은 정규변량(normal variate)의 선형조합이고 결과적으로 정규분포를 따른다.

보다 자세히 $\varepsilon^{*}_{in} = \varepsilon_{in} + \Psi_n' x_{in}$ 이면, 벡터 $\varepsilon^{*}_{n} = [\varepsilon^{*}_{1n}, \varepsilon^{*}_{2n}, \cdots, \varepsilon^{*}_{J_n}]'$ 은 평균이 0인 다변량 정규분포를 따른다. X_n 가 열 $x_{1n}, x_{2n}, \cdots x_{J_n}$ 을 가진 $K \times J_n$ 행렬이면 ε^{*}_{n} 의 분산-공분산 행렬은 $\Sigma_\varepsilon + X_n' \Sigma_\Psi X_n$ 가 된다. 따라서 선형의 관측가능한 효용을 가진 다항 프로빗모형은 정규분포하는 taste variation을 수용할 수 있다.

그러나 1927년 다항프로빗 모형이 처음 등장한 이후 계산의 어려움으로 최근까지 사용되지 못하다가 1970년대 말 계산상의 문제를 어느 정도 해결하였으나 아직까지 교통수요예측에는 극히 제한적으로 적용되고 왔고, 아직까지 어떤 경우에 추가적인 계산을 감수하면서 다항 프로빗 모형을 사용해야 하는지에 대해 추천할 만한 근거는 없다. 더욱이 경로선택과 같이 대안의 수가 많은 경우에는 적용이 어렵다.

다만, 공분산 구조는 경로효용을 link-additive 하게 설정하고, 링크효용의 분산을 효용자체에 비례하도록 하며, 서로 다른 두 링크효용의 공분산은 0으로 놓음으로써 단순화하여 적용할 수 있다. 또한 분석적 접근의 어려움을 다소 완화하기 위해 Monte-Carlo Simulation 방법을 사용하기도 한다. Yai 등(1997)은 공분산 구조를 완화하여 대안의 수가 제한된 대중교통의 경로선택에 적용하기도 하였다. 그러나 프로빗 모형은 대안의 수가 많은 경우 현재의 시스템 성능을 고려할 때, 모의실험모형 내에서 동적 통행자 반응행태를 모사하기에는 아직 한계가 있다.

라. 네스티드 로짓모형(Nested Logit Model)

네스티드 로짓모형은 Ben-Akiva(1983,1984)에 의해 처음 제안되었는데, 다항로짓모형에 있어 대안간 상관관계를 어느 정도 설명할 수 있는 모형이다.

만약 대안 i가 nest C_{mn} 에 포함되어 있다면 효용함수를 아래와 같이 구성할 수 있다.

$$U_{in} = \widetilde{V_{in}} + \widetilde{\varepsilon_{in}} + \widetilde{V_{C_{mn}}} + \widetilde{\varepsilon_{C_{mn}}}$$

$$V_{C_{mn}} = \widetilde{V_{C_{mn}}} + \frac{1}{\mu_m} \ln \sum_{j \in C_{mn}} e^{\mu_m \widetilde{V_{jn}}}$$

대안 i 를 선택할 확률은 아래의 식으로 구성된다.

$$P(i \mid C_n) = P(C_{mn} \mid C_n) P(i \mid C_{mn})$$

여기서, $P(C_{mn} \mid C_n) = \frac{e^{\mu V_{C_{mn}}}}{\sum_{l=1}^{M} e^{\mu V_{C_{ln}}}}$, $P(i \mid C_{mn}) = \frac{e^{\mu_m \widetilde{V_{in}}}}{\sum_{j \in C_{mn}} e^{\mu_m \widetilde{V_{jn}}}}$

이 때, $0 \leq \frac{\mu}{\mu_m} \leq 1$ 가 되는데, 만약 이 값이 1이 되면 다항로짓모형과 동일한 모형구조를 갖게 된다.

네스티드 로짓모형이 다항로짓모형의 비관련대안간 독립성문제를 다소 완화할 수 있어 중첩경로의 문제를 부분적으로 해결할 수 있는 모형이다. 그러나 복잡하게 중첩되어 구성될 수 있는 현실적 경로를 반영하기에는 위계구조의 구성이 어렵고, 같은 위계(level) 상에서는 비관련대안간 독립성 문제가 여전히 남게 되어 현실모사에 있어 한계가 있다. 또한 모사능력에 비해 추정모수의 수가 증가하는 단점이 남는다.

마. C-로짓모형(C-Logit Model)

Cascetta(1996)가 제안한 C-로짓모형은 결정론적 방법을 통해 다항로짓모형의 대안간 상관관계 문제를 다소 완화시켰다. 효용함수의 관측가능한 부분에 "commonality factor"를 추가함으로써 대안간의 유사성의 정도를 반영하여 중첩된 경로간의 문제를 해결하고자 하였다. 이의 함수형태는 다음과 같다.

$$P(i \mid C_n) = \frac{e^{\mu(V_{in} + CF_{in})}}{\sum_{j \in C_n} e^{\mu(V_{jn} + CF_{jn})}}$$

$$CF_{in} = -\beta_{CF} \ln \sum_{j \in C_n} \left(\frac{L_{ij}}{\sqrt{L_i L_j}}\right)^{\gamma}$$

L_{ij} : i에서 j까지의 링크 길이 혹은 또다른 link-additive 특성

β_{CF} : 추정계수

γ : 추정계수 또는 제한적으로 1 또는 2를 사용

어떤 한 대안의 Commonality Factor는 그 대안의 특성이 되지는 않는다. 다만 그 대안이 전체 선택집합 안에서 어떻게 인식되는가 하는 문제에 대한 척도가 된다. 따라서 Commonality Factor 역시 몇 가지 다른 형태가 존재한다.

$$CF_k = \beta_0 \ln \sum_{i \in k} w_{ik} N_i$$

$$CF_k = \beta_0 \sum_{i \in k} w_{ik} \ln N_i$$

$$CF_{in} = -\beta_{CF} \ln \sum_{j \in C_n} \left(\frac{L_{ij}}{\sqrt{L_i L_j}}\right)^{\gamma}$$

w_{ik} : 노선 k에 대한 i 링크의 가중비

N_i : 같은 기·종점을 연결하고 링크 i를 공유하는 노선수

C-로짓모형은 다항로짓모형의 장점을 유지하면서 경로 중첩의 문제를 다소 완화시킬 수 있다. 그러나 추정할 모수가 증가하고, Commonality Factor에 대한 일반적 적용성에 대한 검토가 불충분하여 모형의 전이성이나 일반성이 떨어진다.

바. Path-Size 로짓모형 (Path-Size Logit Model)

Path-Size 로짓모형은 대안의 집계화 과정과 관련된 size variable을 도입하여 중첩된 경로의 문제를 접근하였다. 경로선택에 있어서는 중첩된 경로의 경우 서로 별개의 대안으로 인식할 수 없다. 현실적으로 어떤 경로는 다른 경로들과 공유되는 링크가 존재하게 된다. 따라서 공유된 링크를 가진 경로의 Size는 1보다 작게 된다. 이러한 size variable을 경로의 효용함수에 포함시켜 다음과 같은 식을 구성한다.

$$P(i|C_n) = \frac{e^{\mu(V_{in} + \ln PS_{in})}}{\sum_{j \in C_n} e^{\mu(V_{jn} + \ln PS_{jn})}}$$

$$PS_{in} = \sum_{a \in \Gamma_i} \frac{l_a}{L_i} \frac{1}{\sum_{j \in C_n} \delta_{aj} \frac{L^*_{C_n}}{L_j}}$$

Γ_i : 경로 i를 구성하는 링크집합

l_a , L_i : link a 와 path i 의 길이

δ_{aj} : link-path incidence variable

$L^*_{C_n}$: 선택집합(C_n) 중 최단경로의 길이

Path-Size 로짓모형은 C-로짓모형과 개념적으로 유사하다. 앞서 검토한 C-로짓모형에서 완전히 중첩된 경로나 완전히 배타적인 경로의 두 극단적인 경우와 동일한 식을 구성하게 된다. 그러나 중첩의 정도가 중간적인 경우는 다른 선택확률을 계산하게 된다. 모형의 적용성 측면에서는 C-로짓모형과 마찬가지로 일반화되기 어렵고 계산이 증가하며 추정할 모수가 증가한다는 단점이 있다.

사. 링크-네스티드 로짓모형(Link-Nested Logit Model)

링크-네스티드 로짓모형은 Vovsha(1998)가 제안한 모형으로 수단선택에 있어 적용되었던 크로스-네스티드 로짓모형(Cross-Nested Logit)을 차량경로선택에 적용한 모형이다. 크로스-네스티드 로짓모형은 네스티드 로짓모형의 직접적인 확장이며, 각 대안은 하나 이상의 nest에 포함될 수 있다. 이는 McFadden(1987)에 의해 제안되었고, Small(1987)은 출발시간 선택에 적용하였고, Vovsha는 수단선택과 경로선택에 적용하였다. 크로스-네스티드 로짓모형의 효용함수는 네스티드 로짓모형과 거의 유사한 형태를 가지며, 다만 α_{im} 이라는 nest에 대한 degree of membership parameter 가 추가된다.

$$U_{in} = \widehat{V_{in}} + \widetilde{\varepsilon_{in}} + \widehat{V_{C_{mn}}} + \widetilde{\varepsilon_{C_{mn}}} + \ln \alpha_{im}$$

대안 i 를 선택할 확률은 아래의 식으로 구성된다.

$$P(i \mid C_n) = \sum_{m=1}^{M} P(C_{mn} \mid C_n) P(i \mid C_{mn})$$

여기서, $P(C_{mn} \mid C_n) = \frac{e^{\mu V_{C_{mn}}}}{\sum_{l=1}^{M} e^{\mu V_{C_{ln}}}}$, $P(i \mid C_{mn}) = \frac{\alpha_{im} e^{V_{in}}}{\sum_{j \in C_{mn}} \alpha_{jm} e^{V_{jn}}}$

$$V_{C_{mn}} = \widehat{V_{C_{mn}}} + \ln \sum_{j \in C_{mn}} \alpha_{jm} e^{V_{jn}}$$

크로스-네스티드 로짓모형은 네스티드 로짓모형의 nest 구성을 일반화한 것으로 제안한 방법으로 선택위계의 하단(lower level)을 링크들로 구성하고, 하단(upper level nests)에서 경로를 대안으로 구성한다. 여기서 링크를 공유하는 경로의 상관관계를 찾아내는 방법을 적용하였다. 그러나 이 방법에 있어서도 각 Link-Nest의 일반화된 비용산정을 위해서는 복잡한 계산이 요구된다. 따라서 계산상의 효율성은 여전히 각 기종점에 대한 대안경로가 많아질수록 떨어지는 문제를 가지고 있어 시뮬레이션 모형에의 적용에 있어서는 그 한계가 있다.

아. Implicit Availability/Perception Logit (IAP Logit) 모형

Cassetta and Papola(1998)가 도입한 모형으로 경로에 대한 인식(awareness) 정도를 경로선택모형 안에 용이하게 포함시켰다. 따라서 별도로 선택집합을 구성하는 문제가 발생하지 않는다.

IAP 로짓모형은 잘 모르는 경로에 대해서 그리고 이용할 수 없는 경로에 대해서 해당 경로의 선택확률을 줄이는 방향으로 보정항(correction term)이 추가된다.

IAP 로짓모형의 선택확률은 아래의 식과 같다.

$$P_n(i) = \frac{e^{V_i + \ln \mu_n(i)}}{\sum_{j \in M} e^{V_j + \ln \mu_n(j)}}$$

여기서, M 은 모든 가능한 경로의 집합을 의미하고, $\mu_n(i) = 1$ 이면 경로 i

가 이용가능하다는 것을 나타낸다. 반면, $\mu_n(i)=0$ 은 경로를 이용할 수 없거나, 통행자가 해당 경로를 모르는 경우를 나타낸다.

그러나 분석가는 $\mu_n(i)$의 값을 정확히 모르고, 따라서 이를 평균 $\overline{\mu_n}(i)$를 갖는 확률변수로 처리해야 한다. Cassetta and Papola 는 $\mu_n(i)$의 최대분산을 가정하고, 베르누이의 분포로부터 2차의 테일러급수를 통해 근사식을 구했다.

$$P_n(i)=\frac{\exp[\,V_i+\ln\overline{\mu_n}(i)-\frac{1-\overline{\mu_n}(i)}{2\overline{\mu_n}(i)}\,]}{\sum_{j\in M}\exp[\,V_j+\ln\overline{\mu_n}(j)-\frac{1-\overline{\mu_n}(j)}{2\overline{\mu_n}(j)}\,]}$$

또한, 이항로짓모형을 이용하여 $\overline{\mu_n}(i)$ 를 가정하였다.

$$\overline{\mu_n}(i)=\frac{1}{1+\exp(\sum_{k=1}^{K}\gamma_k Y_{ink})}$$

여기서, γ_k 는 추정해야할 모수이고, Y_{ink} 는 경로 i 에 대한 통행자 n의 인식을 나타내는 k번째 변수를 의미한다.

다만, IAP 로짓모형의 경우 별도의 경로 선택집합 구성을 하지 않아도 되는 장점이 있으나, 모수 γ 를 추정하기 위한 또다른 모형이 요구되고, 중첩경로에 대한 문제가 해결되지도 않는다.

본 과업에 있어서 경로선택모형의 함수형태는 다항로짓모형을 선정한다. 다항로짓모형은 중첩된 경로에서의 문제점이 남아 있지만, 본 과업의 구현범위나 시뮬레이션 시스템에서의 구현가능성, 모수추정의 용이성, 모형의 전이성 측면에서 다른 함수형태에 비하여 우수하므로 이를 채택한다. 다항로짓모형은 현 단계에서 뿐만 아니라 향후 C-로짓모형, Path-size 로짓모형, IAP 로짓모형 등과 같은 중첩된 경로의 문제를 완화하기 위한 모형이나 보다 개선된 형태의 모형으로 확장이 용이하다.

4.3 경로선택모형의 구축

가. 모수추정 방법

위에서 언급한 다항로짓모형의 모수를 추정하기 위한 방법으로는 최우추정법(Maximum Likelihood Estimation)과 최소자승법(Least Square) 등이 있으나, 대개 최우추정법을 사용하여 모수를 추정한다.

여기서는 다항로짓모형의 최우추정법을 통한 모수추정방법에 관하여 설명한다.

N 을 표본의 크기라고 하고 다음을 정의하자. choice indicator y_{in} 을 아래와 같이 정의하면,

$$y_{in}=\begin{cases}1 & \text{관측된 } n\text{이 대안 } i\text{를 선택하면}\\ 0 & \text{그외의 경우}\end{cases}$$

일반적인 다항선택모형의 우도함수는 다음과 같다.

$$L^{*}=\Pi_{n=1}^{N}\Pi_{i\in C_n}P_n(i)^{y_{in}}$$

선형모수를 갖는 다항로짓모형에서 선택확률과 로그우도함수는 아래와 같이 유도된다.

$$P_n(i)=\frac{e^{\beta' x_{in}}}{\sum_{j\in C_n}e^{\beta' x_{jn}}}$$

$$L=\sum_{n=1}^{N}\sum_{i\in C_n}y_{in}(\beta' x_{in}-\ln\sum_{j\in C_n}e^{\beta' x_{jn}})$$

윗 식에 1계 미분의 필요조건을 구하면 아래의 식과 같다.

$$\frac{\partial L}{\partial \hat{\beta}_k}=\sum_{n=1}^{N}\sum_{i\in C_n}y_{in}(x_{ink}-\frac{\sum_{j\in C_n}e^{\beta' x_{jnk}}x_{jnk}}{\sum_{j\in C_n}e^{\beta' x_{jn}}})=0,\quad \text{for } k=1,\cdots,K$$

$$\sum_{n=1}^{N}\sum_{i\in C_n}[y_{in}-P_n(i)]x_{ink}=0,\quad \text{for } k=1,\cdots,K$$

로그우도함수의 2계 미분값은 아래와 같다.

$$\frac{\partial^2 L}{\partial \hat{\beta}_k \partial \hat{\beta}_l} = -\sum_{n=1}^{N} \sum_{i \in C_n} P_n(i)[x_{ink} - \sum_{j \in C_n} x_{jnk} P_n(j)][x_{ink} - \sum_{j \in C_n} x_{jnk} P_n(j)]$$

McFadden은 로그우도함수가 오목함(globally concave)을 보였고, 유일해가 존재함을 보였다. 최대우도추정량 β 는 일관되고, 점근적으로 정규분포를 따르며, 점근적으로 효율적인 추정량이 된다.(consistent, asymptotically normal and asymptotically efficient)

1계 미분조건은 다음과 같이 다시 쓸 수 있다.

$$\frac{1}{N} \sum_{n=1}^{N} \sum_{i \in C_n} y_{in} x_{ink} = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^{N} \sum_{i \in C_n} P_n(i) x_{ink} , \quad k = 1, \cdots, K$$

이것은 선택된 대안에 대한 속성의 평균값이, 추정된 선택확률 예측치의 평균과 같다는 것을 의미한다. 특별히 만약 대안특정상수(alternative-specific constant)가 대안 i에 대해 정해진다면, MLE에서 아래의 식이 성립하게 된다.

$$\sum_{n=1}^{N} y_{in} = \sum_{n=1}^{N} P_n(i)$$

이는 대안 i의 선택확률의 합은 표본에서 i를 선택한 수와 같다는 것을 의미한다.

나. 모형의 적합도 검정방법

모형전체의 적합도(goodness of fit)는 추정된 모형이 관측된 자료를 얼마나 잘 설명하는가를 나타내는 지표로서 최우추정법에서는 ρ^2 : 우도비 지표(likelihood ratio index, rho-squared)를 사용하는 것이 보편적이다.

$$\rho^2 = 1 - \frac{L(\hat{\beta})}{L(0)}$$

여기서 $L(0)$는 모형의 모든 계수의 값이 0일 경우의 로그우도함수의 값이다. 예를 들어, 대안이 2개인 이항선택모형에서는 두 가지 대안(0 혹은 1)이 선택될 확률이 각각 0.5인 모형의 우도함수로 볼 수 있다. 한편 $L(\hat{\beta})$은 로그우도

함수의 값이 최대일 때의 로그우도함수값이다.

여기서 언급되지는 않지만, $L(c)$의 값도 존재하는데, 이는 대안특정상수만 존재하는 경우의 로그우도함수값을 의미한다. 이는 각각의 대안에 대한 선택확률은 표본에서 그 대안이 선택된 경우의 비율과 같은 경우의 로그우도함수를 말한다.

우도비지표는 선형회귀분석의 R^2와 마찬가지로 0과 1 사이의 값을 갖고, 1의 값에 가까운 경우 보다 적합도가 높다고 결론 내릴 수 있다. 대개 선형회귀분석의 경우는 자료에 따라 차이는 있지만 R^2가 0.8~0.9 정도의 값을 갖는 경우에 적합도가 높다고 결론 내릴 수는 없다. 그러나 개별행태모형의 경우는 모집단을 구성하는 개인의 변동성과 다양성을 모두 반영하기 때문에 ρ^2 가 그렇게 높은 값을 갖는 경우에만 적합도가 높다고 결론 내릴 수는 없다. 과거의 기존 연구결과들을 살펴보면 대략 0.3~0.5의 정도 범위의 값을 보이는 것으로 알려져 있다.

$\overline{\rho^2}$: 조정 우도비 지표(adjusted likelihood ratio index, rho-squared bar)는 ρ^2과 유사한 또다른 통계량으로서 추정되는 계수의 수에 대해 ρ^2를 보정한 값이다. 이는 모형의 효율성을 함께 고려하기 위해 사용된다. 통상의 경우 모수의 수가 증가하면, 즉, 설명변수의 수가 증가하면 ρ^2값은 증가한다. 따라서 모수의 수가 많은 모형을 최적의 모형으로 선정하게 되는 문제점을 해결할 수 있다.

$$\overline{\rho^2} = 1 - \frac{\{L(\hat{\beta}) - K\}}{L(0)}$$

여기서 K는 모수의 수를 의미한다.

ρ^2가 대개 약식으로 사용되기는 하지만, $\rho^2/(1-\rho^2)$값은 점근적으로 자유도가 (K, K)인 F분포를 따른다. 종종 $\rho^2 = 1 - L(\hat{\beta})/L(c)$로 정의되기도 하는데, 이 경우에는 $\beta = c$ 라는 귀무가설 하에 $[K/(K-1)]\rho^2/(1-\rho^2)$는 자유도 (K-1, K)인 F분포를 따른다.

ρ^2 이외의 적합도 지표로서는 적합성을 나타내는 또 다른 척도로써

$\%\,\text{right} = (\frac{100}{N}) \cdot \sum_n \hat{y_n}$ 를 들 수 있다. $\hat{y_n}$은 가장 높은 선택확률이 대안으로 선택된 경우에 1이고 그렇지 않으면 0이다. 그러나 이 통계량의 민감도는 좋지 않으며, 따라서 완전히 잘못된 결론을 도출하게 될 수 있으므로 사용하지 않는 것이 좋다. % right을 구하는 또다른 방법은 $\frac{100}{N} \sum_n \sum_i p_n(i)^{y_{in}}$으로 위의 방법보다 합리적인 값이다.

다. 가설의 검정

가설의 검정은 크게 두 가지로 대별된다. 첫째가 개별 계수들에 대한 검정이고, 둘째가 모형에 대한 가설 검정이다.

개별 계수들의 추정치가 통계적으로 어느 정도 신뢰성이 있는지 살펴보기 위해 개별 계수에 대해 가설을 설정하고 이를 검정한다. 이를 검정하는 검정통계량으로 각 계수가 0이라는 귀무가설에 대한 검정통계량인 t통계량을 사용한다. t통계량은 (추정값/추정값분산)으로 정의된다.

모형에 대한 가설검정의 경우 최우추정법에서 전체모형의 통계적 유의성을 검정하기 위한 가설과 검정통계량을 살펴보면, 대안특정상수를 포함한 모든 모수(parameter)가 0이라는 귀무가설을 검정할 때 $-2[L(0)-L(\hat{\beta})]$을 검정통계량으로 사용한다. 이 값은 점근적으로 자유도가 K(추정된 모수의 수)인 χ^2분포를 따른다. 한편, 대안특정상수를 제외한 나머지 모수가 0이라는 가설을 검정하는 경우에는 $-2[L(c)-L(\hat{\beta})]$을 검정통계량으로 사용한다. 이 또한 χ^2분포를 따르며 자유도는 K-1이다.

라. 모수추정결과

앞서 경로선택모형의 구축과정에서 검토된 6개 독립변수에 대한 분석결과는 다음과 같다.

<표 4.2> 모수추정결과

독립변수	모형 1			모형 2		
	추정값	표준오차	t-통계량	추정값	표준오차	t-통계량
통행시간	0.1102	0.379	0.3	*	*	*
지체시간	-0.4135	0.384	-1.1	-0.3027	0.042	-7.2
신호교차로수	-0.7837	0.738	-1.1	-0.7462	0.726	-1.0
회전수	-0.6247	0.141	-4.4	-0.6331	0.129	-4.9
전용도로비율	-0.9918	1.680	-0.6	*	*	*
경로길이	-0.1343	0.228	-0.6	-0.0142	0.151	-0.1
모수의 수	6			4		
조정우도비지표	0.4788			0.4895		

독립변수	모형 3			모형 4		
	추정값	표준오차	t-통계량	추정값	표준오차	t-통계량
통행시간	-0.2967	0.041	-7.2	-0.2980	0.041	-7.3
지체시간	*	*	*	*	*	*
신호교차로수	-0.6575	0.725	-0.9	-0.7174	0.647	-1.1
회전수	-0.6164	0.128	-4.8	-0.5987	0.083	-7.2
전용도로비율	*	*	*	*	*	*
경로길이	0.0301	0.165	0.2	*	*	*
모수의 수	4			3		
조정우도비지표	0.4862			0.4916		

독립변수	모형 5			모형 6		
	추정값	표준오차	t-통계량	추정값	표준오차	t-통계량
통행시간	*	*	*	*	*	*
지체시간	-0.2972	0.041	-7.4	-0.3056	-0.042	-7.3
신호교차로수	-0.5750	0.647	-0.9	*	*	*
회전수	-0.6836	0.083	-7.6	-0.6332	0.128	-4.9
전용도로비율	*	*	*	*	*	*
경로길이	*	*	*	-0.0902	-0.089	-1.0
모수의 수	3			3		
조정우도비지표	0.4942			0.4976		

(1) 모형 1

6개의 독립변수에 대해 모두 모수를 추정한 결과, t-통계량이 낮은 변수는 통행시간, 전용도로비율, 경로길이 세 변수로 나타났다. t-통계량이 낮다는 것은 모수추정값이 0과 유의하게 차이가 나지 않는다는 것이고, 이는 모형으로서의 설명력이 없는 독립변수임을 의미한다.

우선, 통행시간 변수의 추정결과를 분석하면, 통행시간의 추정값이 (+)부호를 갖는 것으로 결과가 도출되었다. 이는 통행시간이 경로를 더 선호하는 것으로 직관적 판단과 위배된다. 통행시간에 대한 모수의 추정결과가 이렇게 직관적 부호와 다르게 나타나는 것은 통상의 경로선택에서 그러한 바와 같이 지체시간 및 경로길이와 서로 상관관계가 높기 때문인 것으로 해석된다.

전용도로 비율의 추정결과도 (-)부호를 갖는 것으로 결과가 도출되어, 전용도로가 포함된 경로를 회피하는 것으로 분석되었다. 이는 기존의 연구결과와 위배된다. 통행시간의 경우와 마찬가지로 경로길이와의 상관관계가 문제가 되는 것으로 판단된다. 또한 조사된 경로대안의 특성상 전용도로가 포함된 경로대안이 대체적으로 다른 경로에 비해 경로길이가 긴 것으로 인해서 이 같은 결과가 도출되었다.

따라서 이후의 분석에서는 통행시간과 전용도로비율, 경로길이 세 변수를 동시에 사용하지 않고 모수를 추정하였다.

(2) 모형 2와 모형 3

모형 2의 경우는 모형 1의 모수들 중에서 직관 혹은 기존 연구결과와 위배된 결과를 보인 통행시간 및 전용도로 비율 변수를 제외하고 모수를 추정하였다.

추정결과 직관과 위배되는 부호를 갖는 변수는 없었고, 경로길이의 변수가t-통계량 값이 낮게 나와 모수가 0인 경우와 통계적으로 유의한 차이가 없는 것으로 분석되었다.

모형 3의 경우는 모형 1의 모수들 중에서 통행시간과 상관관계가 높을 것으로 추정되는 지체시간 변수와 기존 연구결과와 위배된 결과를 보인 전용도로 비율 변수를 제외하고 모수를 추정하였다.

모수추정결과, 경로길이의 모수의 부호가 (+)로 나와 경로길이가 긴 경로를

선호하는 것으로 분석되기 때문에 직관과 위배되는 결과를 보였다. 또한 신호교차로수의 t-통계량이 낮게 나와 통계적으로 0과 유의한 차이를 보이지 않았다. 이는 회전수 변수와의 상관관계 때문인 것으로 판단된다.

모형 2와 모형 3을 비교하면 모형 3의 경우는 직관과 위배된 부호가 도출되어 적용할 수 없을 뿐만 아니라 조정우도비지표를 비교한 경우에도 모형 2가 더 설명력이 높은 것으로 분석되었다.

(3) 모형 4와 모형 5

모형 4는 모형 3의 모수추정결과를 근간으로 t-통계량이 낮고, 직관과 위배되는 부호를 갖는 경로길이를 제외하고 모수를 추정하였다.

추정결과를 살펴보면, 신호교차로수의 t-통계량이 다소 낮게 나타나는 것을 제외하면 대체적으로 만족스러운 결과를 보였다. 앞서 언급한 바와 같이 신호교차로수의 t-통계량이 다소 낮게 나타나는 것은 회전수 변수와의 상관관계 때문인 것으로 판단된다.

모형 5는 통행시간 변수와 지체시간 변수간의 설명력을 비교하기 위해서 모형 4의 변수 중 통행시간을 제외하고 대신 지체시간 변수를 추가하여 모수를 추정하였다.

추정결과를 보면 모형 4의 경우에서와 마찬가지로 신호교차로수의 t-통계량이 다소 낮게 나와 통계적으로 0과 유의한 차이가 없는 것으로 분석되었다.

모형 4와 모형 5를 비교하면 모수의 부호나 t-통계량에서는 큰 문제가 없는 것으로 판단된다. 두 모형을 비교하기 위해 조정우도비지표를 비교하면 모형 4가 0.4916, 모형 5가 0.4942로 나타나 모형 5가 설명력이 높은 것으로 나타났다. 이로서 경로선택에 보다 더 큰 영향을 미치는 요소는 전체 경로의 통행시간 보다는 지체시간인 것으로 나타났다. 즉, 통행시간은 좀 증가되더라도 지체시간이 짧은 경로가 있다면 보다 선호될 수 있음을 의미하고, 또한 지체시간을 변수를 사용함으로 해서 전용도로 이용비율의 변수를 동시에 사용하는 것은 중복될 우려가 있음을 유추할 수 있다,

(4) 모형 6

모형 5의 결과를 바탕으로 t-통계량이 낮은 신호교차로수 대신에 경로길이를 추가하여 모수를 추정하였다.

추정결과를 살펴보면, 모수의 부호와 t-통계량이 모두 만족스러운 것으로 나타났다. 경로길이의 t-통계량이 다소 낮기는 하지만 다른 변수와의 관계로 판단할 때 경로길이의 변수를 제외하는 것은 경로선택모형의 구성상 문제가 될 소지가 있어 이를 제외하지는 않는다. 경로길이 변수가 제외되는 경우 지체시간은 짧지만, 통행시간은 상당히 큰 경로가 선택될 우려가 있기 때문이다.

조정우도비지표를 비교할 때도 모형 4, 모형 5, 모형 6의 경우 모형 6의 조정우도비지표가 0.4976으로 가장 높게 나타나 모형 6의 최종적인 경로선택모형으로 선정하였다.

마. 추정된 모수의 타당성 및 모형의 적합도 검정

최종적으로 구축된 경로선택모형을 정리하면 아래와 같다.

$$P(k)=\frac{e^{V_k}}{\sum_{n=1}^{K} e^{V_n}}$$

$P(k)$: 경로 k를 선택할 확률

n : 기점 i 에서 종점 j 까지의 가능한 경로대안들의 선택집합

$n=\{ 1, 2, \cdots K \}$

V_k : 경로 ki의 효용함수

$V_k=-0.3056 \cdot (\text{지체시간}) - 0.6430 \cdot (\text{회전수}) - 0.0902 \cdot (\text{경로길이})$

조사된 6개의 모수 중에서 통행시간, 신호교차로수, 전용도로비율을 제외하고, Link-additive한 속성의 경로길이와 지체시간, Non-link-additive 속성의 회전수 독립변수를 가지고 모수를 추정한 결과가 통계적 유의성이 가장 높은 모형이 도출되었다.

전술한 바와 같이 통행시간 변수는 지체시간과 경로길이 변수에 내재되는

것으로 판단되고, 신호교차로수와 전용도로비율의 경우는 교차로에서의 지체시간이 포함된 지체시간 변수에 내재되는 것으로 판단된다.

또한 회전수는 경로의 직진성, 단순성 혹은 인지 용이성을 나타내는 요소로서 지체시간이나 경로길이와 상관관계가 낮아 모형의 설명력이 높아진다. 회전수의 경우도 경로길이에 대한 영향을 고려하기 위하여 회전수/경로길이의 변수로 대체하여 모형을 추정하여 보았는데 그 결과, 오히려 모형의 적합도가 크게 떨어졌다.

모수의 상대적 값을 비교하면 독립변수간 관계를 규명할 수 있는데, 회전수의 모수 / 통행시간의 모수 = -0.6332 / -0.3056 = 2.07 로 계산되어 회전수 1회가 대략 통행시간 2분 정도의 효용과 동일하게 나타남을 알 수 있다.

또한 경로길이의 경우도 -0.3056 / -0.0902 = 3.3 로 계산되어 지체시간 1분이 경로길이 3.3km와 동일한 효과를 나타내는 것으로 분석되었다. 이를 주행시간으로 환산하면 60km/h를 기준으로 보면 지체시간 1분이 주행시간 3분20초 정도와 대등한 영향을 미치는 것으로 나타났다. 이러한 결과 역시 일반적인 차량 운전자의 직관과 위배되지 않는 것으로 판단된다.

또한 본 연구에서 추정된 모형의 조정 우도비 지표도 0.4976 정도로 모형의 적합도에 있어 상당히 우수하다고 판단된다. 다만, 시뮬레이션 모형의 전이성과 사용자 편의성을 높이기 위해 모수 추정치 자체는 외부입력치로서 설정하였다.

4.4 시뮬레이션 모형에서의 구현

앞서 구축된 경로선택모형과 3장에서 검토된 통행자의 의사결정 행태분석 결과를 바탕으로 시뮬레이션 모형에서 경로선택 및 경로전환을 구현하는 방안을 검토한다.

시뮬레이션 모형에서 구현하는 통행자(운전자)의 반응행태는 아래와 같다.

- 출발 전 경로선택
- 통행 중 경로전환

교통정보제공에 따라 출발전 경로선택과 통행중 경로전환을 시뮬레이션 모형에 구현하기 위해서 요구되는 사항들을 나열하면 아래와 같이 정리될 수 있다.

1) 교통정보 제공체계를 구현
2) 경로선택모형을 구축
3) 출발전 경로선택과정 구현
4) 통행중 경로전환과정 구현
5) 입력자료 정리

가. 교통정보 제공체계 구현

우선 교통정보체계를 구현하기 위해서는 2장에서 검토된 바와 같이 교통정보 제공매체를 분석된 객체속성별로 구분하여야 한다. 이를 정리한 결과는 <표 4.3>과 같다.

광역적 정보를 제공하는 매체 - 가변정보판(VMS)를 제외한 나머지 매체 - 의 경우는 광역적 정보를 제공하므로 교통망의 모든 정보 취득 가능하도록 구현하며, 궁극적으로 차이가 나지 않는 매체소유자와 정보요청자를 별도로 구현하지 않는다. 또한 입력변수에 정보이용비율을 추가하여 전체 통행자 중 일부(%)가 해당매체의 정보를 이용하는 것으로 구현한다.

정보제공항목은 경로선택에 직접적으로 영향을 주는 통행시간(지체시간)만을 제공하는 것으로 하며, 각 통행자가 해당 경로(현 경로 및 대안 경로)의 통행시간 정보를 얻을 수 있도록 구현한다.

매체별로 갱신주기가 달라지면 정보의 내용도 매체별로 달라지며, 매체간 정보 정확도의 차이를 구현하기 위해서 시뮬레이션 참값의 정보에 인위적으로 오차항을 추가시켜 제공토록 설계한다. 이를 위해 매체별로 오차의 범위를 지정한다.

<표 4.3> 교통정보 제공매체의 구현

매체종류	정보갱신 주기(예)	정보제공 가능범위	정보제공 대상	정보제공시기	
				출발전	통행중
가변정보판 (VMS)	1분	지역적	매체영향권내 통행자	☐	☑
경로안내장치 (RGS)	1분	광역적	매체소유자	☑	☑
PC통신, 인터넷	5분	광역적	정보요청자	☑	☐
ARS, 휴대폰	5분	광역적	정보요청자	☑	☑
FAX	5분	광역적	정보요청자	☑	☐
교통방송	30분	광역적	정보요청자	☑	☑
FM 다중방송	5분	광역적	매체소유자	☐	☑

지역적 정보를 제공하는 가변정보판(VMS)의 경우는 가변정보판 설치지점을 통과하는 모든 차량에게 통행정보를 제공하는 것으로 구현하며, 정보의 내용은 지정된 특정 링크 혹은 경로의 통행시간 정보를 제공하는 것으로 하고 이를 위해서는 정보가 제공되는 링크가 통행자의 경로에 포함되는 경우 통행정보를 가변정보판의 갱신주기에 따라 경로 전체가 아닌 해당 링크가 포함된 구간의 통행시간을 부분적으로 갱신토록 한다. 예를 들어 어떤 통행자의 통행경로가 링크1 + 링크 2 + 링크 3 로 구성되고, 가변정보판에서 링크 2의 통행시간 정보를 얻을 수 있다면, 통행자는 링크 1과 링크 3은 기존의 정보를 이용하고,

링크 2는 가변정보판의 정보를 이용하여 전체 경로의 통행시간을 계산토록 한다. 이 경우 다른 매체에서도 링크 2의 통행시간 정보가 올라오게 되는데 이 때는 지역적 정보매체를 우선적으로 처리하도록 설계한다.

정보제공시기에 따른 구현은 아래와 같이 이루어지도록 한다.

첫째, 출발 전, 통행 중 정보제공매체를 이용하는 통행자는 출발전과 통행 중에 통행정보를 모두 이용하는 것으로 구현하며,

둘째, 출발 전 정보제공매체만을 이용하는 통행자는 출발 전 경로선택에만 영향을 주고, 통행 중의 경로전환은 없는 것으로 한다.

셋째, 통행 중 정보제공매체를 이용하는 통행자는 위와는 반대로 통행 중의 경로전환에만 영향을 미치는 것으로 본다.

넷째, 정보제공매체를 이용하지 않는 통행자는 출발 전 기본통행시간에 기초해 선택한 경로를 이용하고 통행 중 경로전환은 없는 것으로 구현한다.

또한 각각의 통행자는 매체의 이용비율에 따라 정보제공매체를 지정 받게 되므로 그에 따라 구현토록 한다.

정보의 갱신의 매 time step마다 경과시간을 갱신하고, 매체별로 정보갱신주기가 되었는지 확인하여 정보를 갱신한다. 각 정보제공매체는 각각의 정보갱신주기에 따라 해당시간의 실시간 정보를 이용하여 효용함수를 재설정한다.

나. 경로선택모형의 구축

통행자는 현재 위치에서 각각 가능한 대안경로를 선택할 확률을 계산한다. 여기서 가능한 대안경로라 함은 해당 기종점에 대해 구성된 대안경로 중에서 현재링크(노드)에서 이용가능한 경로를 의미한다.

가능한 대안경로별로 대안특성값(지체시간, 경로길이, 회전수)가 생성되어야 하며, 통행 중 경로전환의 경우 현재 위치에서 목적지까지 남은 경로의 비용만으로 경로선택확률을 재계산한다.

그리고 위에서 추정된 모수값은 범용의 적용을 위해서 외부입력치로서 설정한다.

다. 출발전 경로선택과정 구현

출발전 정보가 없는 통행자는 기본통행비용(초기 효용함수)에 의해 산정된 확률대로 경로에 배정하며, 위의 경로선택모형에서 선정된 독립변수에 따르면 회전수와 경로길이는 시간이나 교통조건에 따라 변화하지 않으므로 지체시간만이 영향을 끼친다. 다만 지체시간의 계산을 위해서는 통행시간과 자유류 통행시간의 계산이 요구된다.

출발 전 정보 없이 통행하는 차량

= 차량발생량 × (1 - 출발 전 정보제공매체의 정보이용비율 합)

정보이용자 중 순응도(매체신뢰도) 비율만큼의 통행자는 제공되는 정보에 따라 통행비용을 산정하고 그에 따른 배정확률로 경로에 배정한다.

정보를 받고 정보를 이용한 차량대수

= 차량발생량 × 출발 전 정보제공매체 이용비율 × 매체신뢰도(반응율)

정보이용자 중 1- 순응도(매체신뢰도) 만큼의 통행자는 출발 전 정보가 없는 통행자와 동일한 확률로 배정된다.

정보를 받았으나 이용하지 않은 차량대수

= 차량발생량 × 출발전 정보제공매체 이용비율 × (1 - 순응도)

라. 통행중 경로전환과정 구현

현재 링크 혹은 노드에서 선택할 수 있는 다른 대안경로가 없는 통행자의 경우는 기존에 선택된 경로를 그대로 이용하여 목적지까지 통행하고, 다른 대안경로가 존재하는 경우에도 통행 중 정보를 이용할 수 없는 통행자는 역시 마찬가지로 기존에 선택된 경로를 그대로 이용하여 목적지까지 통행토록 구현한다.

만일 다른 대안경로가 존재하고, 통행중 정보제공매체에 의해 새로운 교통정보를 받는 통행자의 경우는 그 통행자 중 순응도(매체신뢰도) 비율만큼의 통행자는 새롭게 계산된 통행비용에 따라 산정된 확률대로 배정하고, (1-순응도) 비율만큼의 통행자는 갱신된 정보를 무시하고 기존에 선택된 경로를 그대로 이용하여 목적지까지 통행토록 구현한다.

마. 입력자료 예시

(1) 경로선택모형

```
[입력변수의 수]
[변수명1] [변수명2] [변수명3] …
[변수1의 모수] [변수2의 모수] [변수3의 모수] …
------------------------------------------------------------------------
{
    3
    DELAY    TURNS    LENGTH
    -0.3056  -0.6332  -0.0902
}
------------------------------------------------------------------------

* 입력변수명 : TRTIM(통행시간) / DELAY(지체시간) /
               TURNS(회전수) / INTER (교차로수) /
               LENTH(경로길이) / HIGHW(전용도로비율) / TOLLS(통행료) /
               LANES(차로수) / WIDTH(도로폭) / SPEED(통행속도)
```

(2) 정보제공매체

- 정보제공매체수 ; 정보를 제공하는 매체종류의 수
- 제공정보의 범위 ; 제공되는 정보의 범위가 지역적(0)인지, 광역적(1)인지를 나타냄
- 정보제공대상 ; 제공되는 정보가 매체영향권내 통행자(0)에게 제공되는지, 매체소유자(1)에게 제공되는지, 정보요청자(2)에게 제공되는지를 나타냄
- 정보이용시기 ; 통행 전에 정보를 이용하는지(1), 통행 중에 정보를 이용하는지(2), 통행 전, 중 둘 다 정보를 이용하는지(3)를 나타냄
- 갱신간격(초) ; 정보를 갱신하는 시간간격 (time step의 배수)
- 이용비율(%)
- 순응도 (매체 신뢰도) ; 정보제공매체에 대한 이용자의 순응도 (신뢰도) (%)
- 오차의 범위 : 제공정보의 오차범위를 지정 (%), 0이면 100% 정확한 값을 제공하고, 10이면 10%의 오차범위를 줌

```
[정보제공매체수]
[제공정보의범위] [정보제공대상] [정보이용시기]  [갱신간격] [이용비율] [순응도] [정보 정확도]
-------------------------------------------------------------------------------
{
    6
    0 0  2   60    0  30  0              // 가변정보판(VMS)
    1 1  3   60    5  50  0              // 경로안내장치(RGS)
    1 1  1   300  20  30  5              // PC통신, 인터넷
    1 2  3   300  10  30  5              // ARS,휴대폰,호출기
    1 2  3   1800 20  30 10              // 교통방송
    1 1  2   300  10  30  0              // FM 다중방송
}
-------------------------------------------------------------------------------
* 제공정보의범위   : 지역적/광역적 (0/1)
* 정보제공대상     : 매체영향권내통행자/매체소유자/정보요청자 (0/1/2)
* 정보이용시기     : 통행전정보/통행중정보/둘다 (1/2/3)
```

- 가변정보판(VMS)

```
[VMS 설치대수]
[VMS설치 링크번호] [From node로부터 거리] [정보대상 링크의 수]  [정보대상 링크번호]
-------------------------------------------------------------------------------
{
    4
    11    200      1    15
    21    500      3    23 24 25
    28    500      3    30 31 32
    41    1000     2    51 52
}
```

여 백

제 5 장 통행자 경로전환모형의 구축

통행자의 경로전환 특성은 경로선택과는 달리 통행자의 특성이 중요한 역할을 수행한다. 즉, 최대효용을 갖는 대안경로가 재계산 되었다 하더라도 통행자의 기존 경로에 대한 관행성, 정보제공원에 대한 신뢰도 등의 영향으로 인해 경로선택모형의 결과대로 전환되지는 않는다. 이에 따라 통행자 경로전환모형의 구축이 별도로 요구된다고 하겠다. 다만 현 단계의 시뮬레이션 모형에서는 통행자 특성에 대한 세분이 불가능하고 통행목적별로 별개의 기종점을 입력하지 않으므로 본 연구에서는 통행자 경로전환에 대한 특성분석에 제한하고, 개발된 시뮬레이션 모형에서는 정보제공을 받는 통행자 중 외부입력치로 설정된 순응율에 따라 경로의 효용을 재계산하고 경로전환이 이루어지도록 하였다.

경로전환에 영향을 주는 요인들을 분석하기 위해서는 통행자의 사회경제적 특성, 통행특성, 교통시스템 특성 등이 고려되어야 한다. 특히 통행특성에 있어서는 통행목적에 따라 그 행태를 달리 할 수 있는데, 본 연구에서는 첨두시 통행이 빈번하여 경로전환의 상황이 발생할 수 있는 가능성이 높으며, 통행목적에 있어서도 가장 높은 비중을 차지하는 통근자의 출근, 퇴근통행에 대해서 출발시간 변경과 경로전환의 특성을 규명하고자 하였고, 더불어 교통정보 제공에 따른 정보사용자의 순응도(정보이용율)를 모형화 하였다.

5.1 경로전환 특성분석

대도시에서 흔히 나타나는 오전·오후 첨두시 혼잡은 주로 통근자들의 출·퇴근 통행으로 인하여 발생한다. 첨두시 수요집중으로 인한 혼잡을 해결하기 위해 최근에 ITS(Intelligent Transportation System)가 도입되었는데 특히 ATIS의 적용을 통해 교통정보제공에 의한 혼잡해소를 기대하고 있다.

그러나 첨두시 집중을 분산시키기에는 아직 그 효과가 미흡한 실정이고 특히 운전자 개인의 속성이나 통행특성 등을 제대로 고려하지 못한 채 도로네트웍 상황만을 보고 문제를 해결하려 하고 있어서 비현실적인 면이 다분하다.

이러한 현실에서 통근자의 출발시간 변경 및 경로 전환행태에 대한 이해는 출·퇴근 첨두시 네트웍 혼잡을 시·공간적으로 분산시키기 위한 중요한 시사점을 제공해 준다. 또한 교통정보를 제공받는 통근자들의 통행행태를 이해함으로써 출·퇴근 첨두시 ATIS의 보다 현실적이고 효과적인 적용에 이바지할 수 있으며, 이에 따라 출·퇴근 시간대의 도시부 도로네트웍조건의 향상을 기대할 수 있다.

따라서 본 연구에서는 통근자의 출발시간 변경 및 경로 전환행태에 영향을 주는 주요한 요인들에 대해서 고찰해 보고, 이산선택모형을 적용하여 혼잡한 출·퇴근 상황에서 통근자들의 출발시간 변경 및 경로 전환행태를 모형화한다. 아울러 도시통근자의 교통정보이용행태에 대한 이해를 돕기 위해 빈도모형을 적용하여 통근자들의 교통정보이용빈도모형을 구축한다. 또한 교통정보에 따른 통행자의 순응도모형을 구축한다.

1. 연구범위 및 수행방법

본 연구는 수도권에서 최근 몇 달간 자가용을 이용하여 출·퇴근을 한 적이 있는 통근자를 대상으로 행태를 분석하였다. 출발시간변경 및 경로전환모형의 경우는 통근자가 현실에서 실제로 보인 반응을 모형화하는 것이므로 접근방법으로는 RP(Revealed Preferences) 접근법을 사용하였다. 다만 교통정보 제공에 따른 순응도 모형의 경우는 정보매체를 통한 현장실험이 불가능한 점을 감안하여 SP(Stated Preferences) 접근법을 사용하였고, 더불어 자료구축의 효율성을 높이기 위해 인터넷을 이용한 Web-based 방식의 설문조사를 사용하였다.

자료수집은 설문조사를 통해서 이루어졌는데, 서울시 안의 어떤 특정한 공간에서 이동하는 통근자를 대상으로 한 것이 아니었기 때문에 공간적인 특수성이 반영되지 않도록 설문지를 임의로 분산시켜 배포하였고, 개별 통행자별로 자신의 경로를 대상으로 설문에 답변토록 하였다. 설문 문항은 각 운전자의 사회경제적 특성, 경로 자체의 특성, 통행특성, 업무특성, 교통정보이용 특성을 나타내 주는 것으로 선정하였다.

설문조사를 통한 자료 중에서 분석에 필요한 자료만을 추려내고, 누락자료(missing data)의 처리를 통해 분석에 유효한 자료만으로 분석을 시행하였다.

출발시간 변경 및 경로 전환모형, 교통정보 순응도 모형에는 이산선택모형인 이항프로빗(Binomial Probit) 모형을 적용하였고, 교통정보이용빈도 모형에는 빈도(Count) 모형인 포아송회귀(Poisson Regression)모형과 음이항회귀(Negative Binomial Regression)모형을 적용하였다. 또한, 모형의 모수(Parameter)를 추정하기 위해 최우추정법(Maximum Likliehood Estimation)을 사용하였으며 추정된 파라미터에 대한 분석을 통해 운전자의 행태를 논의하였다.

출·퇴근 시간이 유동적인 사람들은 그렇지 않은 사람들에 비해 첨두시간에 끼치는 영향력이 작을뿐만 아니라 그 사람들의 행태를 정형화시키는 것이 어렵기 때문에 출발시간 변경 및 경로 전환모형은 출·퇴근시간이 고정적인 통근자만을 대상으로 추정하였다. 교통정보이용빈도 모형과 교통정보 순응도 모형은 유동적인 출·퇴근 시간을 가진 사람들도 포함시켜서 추정하였다.

모형의 정산은 계량경제학적 모형의 추정 프로그램 중 하나인 LIMDEP 7.0을 사용하여 수행하였다.

2. 영향요인 분석

통근자의 행태에 영향을 주는 요인은 무수히 많다. 그러나 그 요인들을 모두 고려한다는 것은 불가능할 뿐만 아니라 효율성을 저해하는 원인이 되기도 한다. 여러 연구에서 통근자의 행태에 영향을 주는 요인으로서 사회경제적 특성, 통행특성, 교통시스템특성, 업무특성 등을 고려하였고 특히 최근에 들어 교통정보의 영향에 관심을 가지고 있다. 이 절에서는 선행연구를 참고로 하여 통근자 행태에 영향을 주는 일반적인 요인들에 대해 알아본다. 출발시간 변경 및 경로 전환 행태에 대해서는 다음 절에서 자세히 알아본다.

사회경제적 특성은 인구경제학적 특성이라고도 불리는데, 사회경제적 특성은 통근자 행태에 직접적인 영향은 주지 않지만 근래에 들어 그 영향력이 중요시되고 있다. 사회경제적 특성은 모든 다른 조건이 동일하다고 해도 개인에 따라 행태에 차이가 나는 것을 나타내주는 요인으로서 성별, 나이, 직업, 거주년수, 차량소유대수, 운전경력 등이 포함된다.

통행특성은 재차인원, 인지대안경로수, 운전자의 모험성향 등을 포함한다. 일반적으로 재차인원이 늘어나면 경로전환이나 출발시간 변경의 유동성에 많은

제약이 가해진다고 볼 수 있다. Khattak, et al.(1991)은 인지대안경로수를 통근자가 통행하는 경로의 인지지도를 나타내는 대리변수로 선택하였다. 인지지도는 물리적 환경에서 어떤 물체의 상대적 위치에 대해 알고있는 정보라고 보면 되는데 운전자의 인지지도가 전환행태에 영향을 준다는 것이 기존의 연구에 의해 밝혀진 바가 있다. 즉 네트웍과 대안경로의 친밀도 수준이 통근자의 행태에 영향을 준다고 볼 수 있다. 운전자의 모험성향은 경로전환의 위험부담을 감수하는지에 대한 개인의 원초적 성향을 나타내는 특성이다. Khattak, et al.(1991), (1993b)은 개인의 모험성향을 알아보기 위해 그 정도를 판단할 수 있는 여러 문항을 만들어 모형에 적용하였다.

교통시스템특성은 통행시간, 통행연장, 교차로수, 회전수, 교통혼잡정도, 간선도로의 연장비율 등을 들 수 있다. 통행연장과 통행시간이 밀접한 관계가 있기 때문에 기존의 연구들은 거의 대부분이 통행시간만을 사용하였다.

업무특성은 업무와 관련한 것으로 출·퇴근시간, 선호도착시간, 지각허용여부, 주당근무일수 등을 포함한다. 선호도착시간은 회사에 미리 도착하고자 하는 시간으로 이를 통해 통근자들이 회사에 정시에 도착하기보다 약간 일찍 도착하여 위험부담을 줄이려 하는 것을 반영한 것이다.

Mahmassani, et al.(1990)의 연구에서는 선호도착시간을 통근자가 경험한 혼잡에 대해 출발시간을 조정하는 목표이자 통근자가 스케줄지체를 수용하게 하는 지표로 보았다.

지각허용여부는 회사에 어느 정도 늦어도 허용이 되는지를 알아보는 요인으로서 지각이 일정수준 허용이 되면 출근시 시간적인 여유가 더 있다고 볼 수 있으므로 그렇지 않은 경우와 비교해서 통근자의 행태가 달라질 수 있다.

최근에 교통정보가 운전자의 행태에 많은 영향을 주고 있다. 이전의 경험만으로 통행에 대한 의사결정을 했던 운전자가 교통정보를 받음으로써 보다 다양한 의사결정이 가능해진 것이다. 개인마다 교통정보에 대해 가지는 신뢰도가 다르긴 하지만 교통정보의 이용이 통근자의 출발시간 및 경로전환에 상당한 영향을 줄 것이라는 것은 의심의 여지가 없다. ATIS의 교통정보제공의 효과를 평가하고 교통정보의 개선방안을 모색하기 위해 정보제공매체와 정보제공내용 등에 대한 운전자 행태 연구가 많은 연구자들에 의해 수행되어 왔고, 또 계속 수행되고 있다.

3. 방법론 고찰

가. 이산선택모형

이항선택이나 어떤 특정한 대안의 선택을 모형화할 때 사용되는 모형이다. 통행자의 경로선택이나 출발시간 선택은 이산선택모형이 적용되는 전형적인 예로 볼 수 있다. 이산선택에서 가장 일반적인 가정은 의사결정자는 최대의 효용을 가진 대안을 선택한다는 것이다. 따라서 개인 n이 대안 집합 I로부터 대안 i을 선택할 확률은 다음과 같다.

$$P_n(i) = P(U_{in} \geq U_{In}) \quad \forall I \tag{5.1}$$

P : 확률

U_{in} : 개인 n에게 대안 i가 주는 효용

이 확률을 예측하기 위해 효용함수는 일반적으로 다음과 같이 선형의 형태를 띤다고 가정한다.

$$U_{in} = \beta X_{in} + \varepsilon_{in} \tag{5.2}$$

X_{in} : 효용을 정의하는 관측가능한 특성벡터(나이, 성별 등)

β : 추정할 파라미터

ε_{in} : 관측되지 않는 요인을 고려한 오차항

(식 5.2)에 의해 (식 5.1)을 다시 쓰면 아래와 같다.

$$P_n(i) = P(\beta X_{in} + \varepsilon_{in} \geq \beta X_{In} + \varepsilon_{In}) \quad \forall I \quad \text{혹은,}$$

$$P_n(i) = P(\beta X_{in} - \beta X_{In} \geq \varepsilon_{In} - \varepsilon_{in}) \quad \forall I \tag{5.3}$$

위의 식에서 오차항의 분포형태를 가정함으로써 예측가능한 이산선택모형을 도출하게 된다. 참고로 본 연구에서는 정규분포를 가정한 이항 프로빗 모형을 사용한다. 이 모형에 대한 자세한 설명은 뒤에 설명하기로 한다.

나. 빈도(Count) 모형

비음의 정수값이라고 가정한 빈도자료는 운전자 의사결정을 모형화하는데 종종 사용된다. 그 전형적인 예로 운전자 경로전환 빈도와 출발시간 전환 회수를 모형화한 경우를 들 수 있다.

일반적인 회귀분석방법은 빈도자료를 모형화하기에 부적절하므로 보통 Poisson 회귀모형과 음이항(negative binomial) 회귀모형을 사용하여 빈도자료를 모형화한다.

운전자가 시스템을 사용할 빈도를 분석할 경우를 예로 들면, 운전자 i가 시스템을 $y_i(\geq 0)$회 사용할 확률은 다음과 같다.

$$P(y_i) = \frac{\exp(-\lambda_i)\,\lambda_i^{y_i}}{y_i!} \tag{5.4}$$

$P(y_i)$: 운전자 i가 시스템을 y_i회 사용할 확률

λ_i : 운전자 i가 시스템을 사용하는 평균수

Poisson 회귀분석은 λ_i를 설명변수의 함수로 둠으로써 자료를 적합시킨다.

$$\lambda_i = \exp(\boldsymbol{\beta} X_i) \tag{5.5}$$

$\boldsymbol{X_i}$: 설명변수의 벡터

$\boldsymbol{\beta}$: 추정할 모수(파라미터)의 벡터

위의 식에서 Poisson 회귀모형의 로그우도함수와 그 일계도함수는 아래와 같다.

$$L = \sum_i [-\lambda_i + \beta' x_i y_i - \ln y_i!] \tag{5.6}$$

$$\frac{\partial L}{\partial \beta} = \sum_i [y_i - \lambda_i] x_i \tag{5.7}$$

Poisson 회귀모형을 적용할 때는 부적절한 사용을 피하기 위해 아래의 두 가지 사항을 인지하여야 한다.

먼저, 대상자료가 truncated 자료를 가질 경우 right 혹은 left truncated 모형을 사용한다. Mannering, Hamed(1990)은 주당 출발시간 지체를 연구하기 위해

right truncated poisson 회귀분석을 사용하여 운전자의사결정을 모형화하였다.

두 번째로 poisson 분포는 분포의 평균과 분산이 동일하다고 제약하였기 때문에 평균과 분산이 동일하지 않다면 자료는 과도하게 분산되고, 적절한 조치를 취하지 않으면 모수벡터는 편의된 결과를 도출하게 된다. 이를 위해 아래와 같이 감마분포의 오차항을 도입한다.

$$\ln\lambda_i = \boldsymbol{\beta X}_i + \varepsilon \qquad (5.8)$$

이 오차항의 도입으로 평균이 분산과 다른 것을 허용하는 음이항모형이 만들어진다. 즉 음이항 모형은 poisson 분포의 확장된 형태라고 할 수 있다. 참고로 운전자의 행태를 모형화하기 위하여 Mannering(1989)과 Hatcher, et al.(1992)은 Poisson 회귀모형을 이용하였고 Abdel-Aty, et al.(1994)는 음이항 모형을 이용하였다.

본 연구에서는 교통이용빈도모형을 추정하기 위해 right truncated 음이항 회귀모형을 적용하였다. 이것은 교통이용빈도분포의 평균과 분산이 다르다고 가정한 것으로 추정결과 이러한 가정이 유의하지 않으면 포아송 회귀모형을 사용하였다. 또한 주중 출근일수가 제한되어 있기 때문에 교통이용빈도의 최대값도 제한되어 있다는 것을 고려한 것이다.

다. Duration 모형

Duration 자료는 어떤 사건이 발생하기까지의 시간자료를 의미하는 것으로, 이 자료를 적용한 예는 운전자가 경로전환을 하게 하는데 필요한 교통혼잡의 지속기간, 특정대안을 사용할 때 걸린 시간 등이다.

duration 문제에 대한 이해를 위해 hazard 함수에 기반한 모형이 많이 사용되었다. hazard 기반의 duration 모형의 개념은 duration이 t까지 연속적이라고 가정할 때, 어떤 시점 t에서 duration이 끝날 조건부 확률에 초점이 맞춰져 있다.

예로 차량내 네비게이션 시스템이 시점 t에 유용하다고 할 때, hazard 기반의 duration 모형은 개인이 시점 t, $t+1$, $t+2$에 시스템을 구입할 확률이 다르다는 것을 고려하는 것이다. 시스템이 소개된 이후로 시간이 지남에 따라, 시스템을 아직 구입하지 않은 운전자들이 이 시스템을 구입할 확률은 증가하거나 감소하거나 그대로이므로 이러한 시간에 따른 확률에서의 변화는 hazard 함수 분석에 적합하다고 할 수 있다.

수학적으로 hazard 함수는 누적분포함수 $F(t)$와 그 밀도함수 $f(t)$로 표현될 수 있다. 누적분포는 아래와 같다.

$$F(t) = P[T < t] \tag{5.9}$$

P는 확률이고 T는 임의의 시간변수, t는 특정시간을 의미한다.

새로운 시스템의 구입까지의 시간을 구할 때, 위의 식은 어떤 시간 t 전에 새로운 시스템을 도입할 확률이다. 위 식의 밀도함수와 hazard 함수는 다음과 같다.

$$f(t) = dF(t)/dt \tag{5.10}$$

$$h(t) = f(t)/[1 - F(t)] \tag{5.11}$$

$h(t)$는 시간 t까지 일어나지 않았다고 할 때, 어떤 사건이 시점 t와 $t + dt$ 사이에 일어날 조건부 확률이 된다. 앞서 말한 것처럼 $h(t)$는 사건이 시점 t까지 일어나지 않았다고 할 때, 사건이 시간 t에 일어날 확률을 주는 것이다.

라. 순위모형

순위가 있는 응답의 형태를 가진 자료에 적용하는 모형으로 운전자가 직면한 선택이 3가지 이상일 경우에 사용한다. 예로, '절대로', '종종', '자주' 등으로 순위를 매기거나 혹은 1에서 10까지 순서를 매기는 것 등을 모형화할 때 사용된다. 우선, 순위확률모형은 자료의 순위를 모형화하기 위해서 관측되지 않은 변수, z를 정의한다.

$$z = \beta X + \varepsilon \tag{5.12}$$

X : 순위카테고리에 대한 개인의 선택을 결정하는 특성벡터

β : 추정될 파리미터

ε : 임의 오차

위의 식을 사용하여 관측된 순위 y는 다음과 같이 정의한다.

$$\begin{aligned} y &= 0 \quad \text{if } z \le \mu_0 \\ &= 1 \quad \text{if } \mu_0 < z \le \mu_1 \\ &= 2 \quad \text{if } \mu_1 < z \le \mu_2 \\ &= \cdots \\ &= j \quad \text{if } z \ge \mu_{j-1} \end{aligned} \tag{5.13}$$

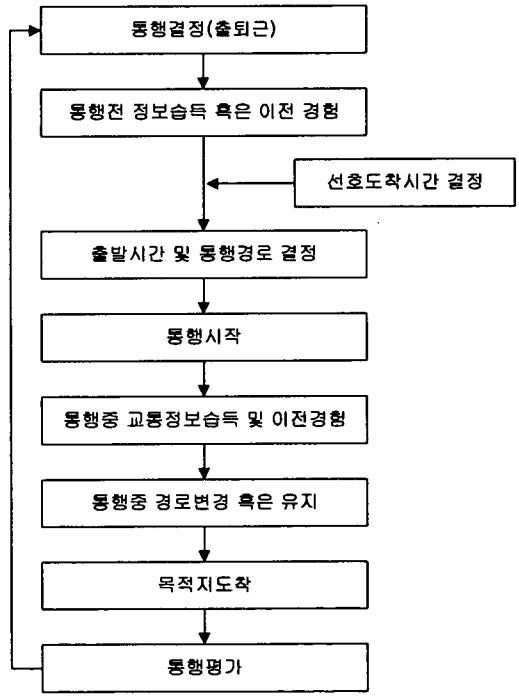
μ : 정수순위인 y를 정의하는, 추정될 파라미터

(식 5.12)의 오차항을 표준정규분포로 가정하면 순위프로빗 모형이 되고 오차항을 logistic 분포로 가정하면 순위로짓모형이 된다. 이산선택모형과는 다르게 순위로짓모형이 순위프로빗모형보다 계산상 이득이 있는 것은 아니다.

순위모형을 적용한 예는 순위로짓모형을 사용한 Mannering, et al.(1994)의 연구와 순위프로짓모형을 사용한 Khattak, et al.(1993a)의 연구를 들 수 있다.

5.2 경로전환모형의 구축

일반적으로 통근자들은 출·퇴근시에 지체를 경험하는데 이 지체는 대부분 교통수요의 집중으로 인해 발생한다. 자가용으로 통근하는 통근자들은 대부분이 출·퇴근시 혼잡이나 다른 요인으로 인한 지체를 경험하였을 것으로 생각이 되며, 그러한 경험을 가지고 있는 상황하에서 교통정보를 고려한 출·퇴근시 행태를 보이게 된다. 그리고 그런 통근자들의 행태 중에 출·퇴근시 출발시간 변경 및 경로전환도 포함되어 있다. 통근자들의 출·퇴근 행태의 개략적인 흐름이 <그림 5.1>에 나와있다.



<그림 5.1> 통근자행태 개념도

본 연구는 통근자가 교통상황에 대한 사전지식을 가지고 있다고 가정하고, 교통정보나 이전의 경험을 통해 출·퇴근시의 교통상황이 지체를 야기하는 혼잡한 상황임을 인지했을 때, 어떤 행태를 보이는지 알아보는 것이다.

1. 적용변수 선정

본 연구에서 사용할 변수들은 사회경제적 특성, 통행특성, 교통시스템 특성, 업무특성으로 나뉜다. 선행연구에서 고찰한 것과 마찬가지로 사회경제적 특성은 통근자의 행태에 간접적인 영향을 주는 것으로 성별, 연령, 혼인여부, 소유차량대수, 거주년수, 근무년수, 운전경력을 포함하고 있다. 성별, 연령이 통근자 행태에 유의한 영향을 준 경우는 많이 있다. 거주년수와 근무년수는 통근자가 출·퇴근 네트웍에 익숙한지의 여부를 의미하는 변수로 볼 수 있지만, 이사나 전근 등으로 인한 영향은 고려되지 못한 변수이므로 이를 위해 두 변수 중 최소값을 의미하는 동일경로이용년수를 사용하기로 하였다.

통행특성에는 평균탑승인원, 인지대안경로수, 주당 자가용이용회수, 통행전·통행중 교통정보이용회수, 개인의 전환성향이 포함된다. 인지대안경로수는 Khattak, et al.(1991)의 연구에서 통근자들의 인지지도뿐만 아니라 전환을 위한 인지대안의 지표로 활용한 바가 있다. 통근자들이 교통정보의 영향을 받는 것은 최근에 대부분의 연구들에서 밝혀진 것이므로 본 연구에서도 통행전과 통행중 교통정보이용회수를 모형에 포함시켰다. 그리고 모험성향이 강한 사람은 그렇지 않은 사람에 비해 전환을 할 경향이 높으므로 이것을 수치화하여 모형에 사용하였다.

교통시스템 특성으로는 출·퇴근시의 로그평균통행시간을 사용하였다. 통행시간에 로그를 취한 이유는 통행시간이 길어질수록 통행시간 증가에 대한 민감도가 떨어지기 때문이다. 즉 통행시간이 10분인 경우에 통행시간 5분 증가와 통행시간 60분인 경우에 통행시간 5분 증가는 통행자가 받아들이는 정도에 차이가 있다. 로그통행시간은 Khattak, et al.(1991)의 연구에서도 사용한 바가 있다

통근통행에서는 업무특성이 많은 영향을 준다. 업무특성에 포함되는 변수는 통근자의 통행목표가 되는 선호도착시간(Preferred Arrival Time)과 지각허용여부, 주당 근무일수를 선정하였다.

<표 5.1>에는 본 연구에서 적용한 변수들을 요약해 놓았다.

<표 5.1> 적용변수 요약

독립변수	사회경제적 특성	• 성별 • 연령 • 혼인여부 • 차량대수 • 동일경로이용년수 • 운전경력
	통행특성	• 출·퇴근 평균탑승인원 • 출·퇴근 인지대안경로수 • 주당 자가용이용율 • 개인의 모험성향
	교통시스템 특성	• 출·퇴근시 로그평균통행시간
	업무특성	• 지각허용여부 • 선호도착시간 • 출근시간제약여부
	교통정보이용특성	• 교통정보이용여부 • 교통정보이용빈도 • 교통정보에 대한 신뢰도
종속변수		• 출·퇴근시 출발시간변경여부 • 출·퇴근시 경로전환여부 • 출·퇴근시 통행전·통행중 교통정보이용빈도

연령, 동일경로이용년수, 운전경력은 카테고리화하였고 인지대안경로수, 로그평균통행시간, 전환성향, 선호도착시간 등은 연속변수로 사용하였다. 성별, 혼인여부, 지각허용여부, 교통정보이용여부는 더미변수로 처리하였다. 종속변수인 전환여부변수는 전환을 하면 1, 그렇지 않으면 0으로 설정하였다.

출발시간 변경 및 경로전환 모형에서는 교통정보이용빈도, 교통정보에 대한 신뢰도변수, 출근시간제약여부를 넣지 않았으며 교통정보이용 빈도 모형에는 교통정보이용여부변수를 제외하고 교통정보에 대한 신뢰도와 출근시간제약여부를 독립변수로 포함시켰다.

2. 적용모형 및 정산방법

가. 이산선택모형

현재 개발된 대표적인 이산선택모형은 로짓모형, 프로빗모형이다. 효용이 결정적 효용과 확률적 효용으로 구성된다는 확률효용이론을 기초로 했을 때 로

짓모형은 임의 효용이 Gumbel 분포를 가진다고 가정한 것이고 프로빗모형은 임의 효용이 정규분포를 가진다고 가정한 것이다.

다항 선택의 문제에서는 계산상의 어려움 때문에 로짓모형을 많이 사용하였으나 본 연구에서와 같은 이항 선택의 경우에는 계산이 빠른 로짓모형보다는 통계적으로 유의한 프로빗모형을 사용하는 것이 바람직해 보여 프로빗모형을 이용하기로 결정하였다.

통근자 n이 대안 i(출발시간 혹은 경로 전환)를 선택할 때 효용이론에 기반한 효용은 아래와 같다.

$$U_{in} = V_{in} + \varepsilon_{in}$$
$$U_{jn} = V_{jn} + \varepsilon_{jn} \qquad (5.14)$$

이항 프로빗모형에서, ε_{in}와 ε_{jn}는 평균 0, 분산 σ_i^2, σ_j^2인 정규분포를 보인다고 가정한다. σ_{ij}을 ε_{in}와 ε_{jn}의 공분산이라고 가정하면, $\varepsilon_{jn} - \varepsilon_{in}$는 평균 0, 분산 $\sigma_i^2 + \sigma_j^2 - 2\sigma_{ij} = \sigma^2$인 정규분포를 이룬다. 따라서 통근자 n이 대안 i(전환할지 말지)를 선택할 확률 $P_n(i)$는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} P_n(i) &= \Pr(\varepsilon_{jn} - \varepsilon_{in} \le V_{in} - V_{jn}) \\ &= \int_{\varepsilon=-\infty}^{V_{in}-V_{jn}} \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{\varepsilon}{\sigma}\right)^2\right] d\varepsilon \,,\ \sigma > 0 \\ &= \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{(V_{in}-V_{jn})/\sigma} \exp\left[-\frac{1}{2}u^2\right] du \\ &= \Phi\left(\frac{V_{in}-V_{jn}}{\sigma}\right) \end{aligned} \qquad (5.15)$$

Φ : 표준 누적 정규분포

이 모형을 이항 프로빗모형(binary probit model)이라 하며 계수 벡터 β와 특성벡터 x를 이용해서 확률을 표현하면 아래와 같다.

$$P_n(i) = \Phi\left(\frac{\beta'(x_{in} - x_{jn})}{\sigma}\right)$$
$$V_{in} = \beta' x_{in}, \quad V_{jn} = \beta' x_{jn} \tag{5.16}$$

프로빗모형에 대해 최우추정법(Maximum Likelihood Estimation)을 적용하면, 로그우도함수와 그 일계도함수는 아래와 같다.

$$L = \sum_{n=1}^{N} \{y_{in} \log \Phi(\beta' x_n) + (1 - y_{in}) \log[1 - \phi(\beta' x_n)]\} \tag{5.17}$$

$$\frac{\partial L}{\partial \beta_k} = \sum_{n=1}^{N} \left[\frac{y_{in}\phi(\beta' x_n)}{\Phi(\beta' x_n)} - \frac{(1-y_{in})\phi(\beta' x_n)}{1 - \Phi(\beta' x_n)}\right] x_{nk} \tag{5.18}$$

여기서 ϕ는 표준정규확률밀도함수이다.

모수추정은 (식 3.5)를 0으로 만들어주는 $\hat{\beta}_1, \hat{\beta}_2, \cdots, \hat{\beta}_k$를 구하면 된다.

나. 빈도(count) 모형

본 연구에서는 교통정보이용 빈도모형을 구축하기 위한 빈도모형으로 음이항(negative binomial) 모형을 사용하였다. 음이항 모형은 분산과 평균이 다르다는 것을 허용한 Poisson 모형의 확장으로서 아래와 같이 Poisson 모형에 오차항이 도입된 형태임을 선행연구고찰에서 밝혔힌 바 있다.

$\ln\lambda_i = \beta X_i + \varepsilon$

λ_i : 운전자 i가 주당 교통정보를 이용할 예상빈도

X_i : 설명변수의 벡터

β : 추정할 파라미터의 벡터

ε : 오차항, $\exp(\varepsilon)$는 평균 1이고 분산 α^2인 감마분포를 따름.

음이항 확률분포는 다음과 같다.

$$\Pr[Y = y_i|\varepsilon] = \exp[-\lambda_i \exp(\varepsilon)]\,\lambda_i^{y_i}/y_i! \tag{5.19}$$

y_i : 교통정보를 이용한 회수

위 식을 ε에 대해 적분하면 다음과 같이 조건부 분포를 벗어나게 된다.

$$\Pr[Y = y_i] = \Gamma(\theta + y_i)/[\Gamma(\theta)\,y_i!]\,u_i^2(1-u_i)^{y_i} \tag{5.20}$$

$\Pr[Y = y_i]$: 통근자 i가 주당 y_i번 교통정보를 들을 확률

$u_i = \theta/(\theta + \lambda_i)$

$\theta = 1/\alpha$

Poisson 분포와 비교했을 때, 이 모형은 다음과 같이 추가적으로 α가 들어간 형태이다.

$$Var[y_i] = E[y_i][1 + \alpha E[y_i]] \tag{5.21}$$

$$Var[y_i]/E[y_i] = [1 + \alpha E[y_i]] \tag{5.22}$$

(식 5.22)은 과분산율(overdispersion rate)을 의미하는 식으로, 여기서 α가 0과 유의하게 다르지 않다는 것은 자료가 과도하게 분산되지 않았다는 것을 의미하기 때문에 단순한 Poisson 회귀모형이 더 적절하다고 할 수 있다.

음이항 모형에 최우추정법을 적용할 경우, 로그우도함수와 그 일계도함수는 아래와 같다.

$\Gamma(\theta + y_i) = (\theta + y_i - 1)\Gamma(\theta + y_i - 1)$

$\Gamma(\theta + y_i) = \Gamma(\theta)\ \prod_{j=0}^{y-1}(\theta + j)$ 이므로,

(식 5.20)에 로그를 취하면 로그우도 함수와 그 일계도함수는 아래와 같다.

$$L_i = \sum_{m=0}^{i-1} \ln(\theta + m) - \ln y! + \theta \ln u_i + y_i \ln(1 - u_i) \tag{5.23}$$

$$\frac{\partial L_i}{\partial \beta} = [\theta(1 - u_i) - y_i u_i]\boldsymbol{x}_i \tag{5.24}$$

여기서 모수 추정을 위해 (식 5.24)를 0으로 놓고 $\hat{\beta}_1, \hat{\beta}_2, \cdots, \hat{\beta}_k$를 구한다.

본 연구에서처럼 빈도의 최대값이 존재하는 경우는 right truncated 모형을 사용하는데 right truncated 분포의 경우에 대한 로그우도함수는 다음과 같다.

$$L = \ln \Pr[Y_i = y_i] - \ln\left(\sum_{j=0}^{C-1} \Pr[Y_i = j]\right) \tag{5.25}$$

여기서, Y는 C보다 작은 값으로 제약된다.

3. 자료 수집 및 분석

가. 자료수집 방법

본 연구에서는 출발시간 변경 및 경로 전환행태와 교통정보이용 행태를 살펴보기 위해 서울시 통근자를 대상으로 설문조사를 실시하였다. 설문대상자들은 최근에 자가용으로 출·퇴근한 경험이 있는 서울시 통근자들을 대상으로 임의로 설정하였다.

설문은 총 22문항으로 앞에서 논의한 바대로 개인의 사회경제적 특성, 통행특성, 교통시스템 특성, 업무특성, 교통정보이용특성에 관한 변수를 얻을 수 있도록 구성하였다. 본 연구에서 사용한 설문 양식은 부록에 실어놓았다.

총 146부의 설문지가 배포되었고 그 중 본 연구에 전혀 합당치 않은 설문 3부를 제외하였다. 다음 절의 자료분석은 회수된 143부에 대해 수행된 결과이다. 그리고 회수된 143부 중 행태모형을 추정하기에 유효한 설문만을 다시 추려내어 모형에 적용하였는데 설문지 중에는 일부 문항에 대해서만 답을 하지 않은 것(missing data)이 있었기 때문에, 이러한 설문지는 적용가능한 모형에만 적용토록 하였다. 이 결과 각 모형에서 적용한 자료의 수는 조금씩 차이를 보였다.

나. 수집된 자료의 분석

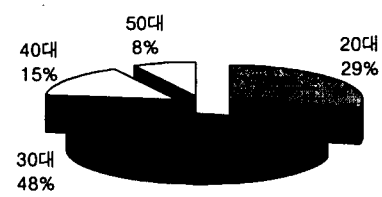
(1) 사회경제적 특성

설문에서 구한 대상자들의 사회경제적 특성이 아래의 표에 요약되어 있다.

<표 5.2> 대상자들의 사회경제적 특성

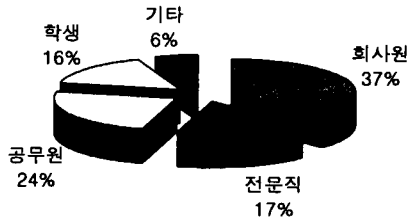
	구 성 비(%)
성 별	■ 남 : 81.1%(116) ■ 여 : 18.9%(27)
혼인여부	■ 기혼 : 67.1%(96) ■ 미혼 : 32.9%(47)
차량소유	■ 1대소유 : 81.7%(85) ■ 2대이상 소유 : 18.3%(19)
연 령	■ 20대 : 28.7%(41) ■ 30대 : 48.3%(69) ■ 40대 : 15.4%(22) ■ 50대 : 7.7%(11)
교육수준	■ 고졸 이하 : 12.6%(18) ■ 대졸 : 45.4%(65) ■ 대학원졸 이상 : 42.0%(60)
거주년수	■ 3년 미만 : 35.0%(50) ■ 3 ~ 10년 미만 : 37.7%(54) ■ 10 ~ 20년 미만 : 16.1%(23) ■ 20년 이상 : 11.2%(16)
근무년수	■ 3년 미만 : 28.7%(41) ■ 3 ~ 10년 미만 : 47.5%(68) ■ 10 ~ 20년 미만 : 19.6%(28) ■ 20년 이상 : 4.2%(6)
운전경력	■ 5년 미만 : 31.4%(45) ■ 5 ~ 10년 미만 : 41.3%(59) ■ 10 ~ 15년 미만 : 20.3%(29) ■ 15년 이상 : 7.0%(10)

설문에 응한 통근자들은 남성이 대부분으로 전체의 81.1%(116명)를 차지하였고, 기혼자도 과반수가 넘는 67.1%(96명)의 분포를 보였다. 23세에서 55세까지의 다양한 연령의 자가용소유자가 설문에 응하였는데, 설문에 응한 통근자들의 연령분포는 <그림 5.2>와 같다.



<그림 5.2> 대상자들의 연령분포

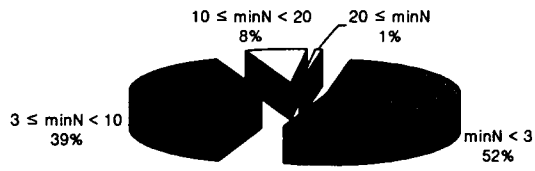
차량소유대수는 응답자 대부분이 한 대였고, 두 대이상 소유한 응답자는 전체의 16.8%(24명)를 차지하였다. 직업분포를 보면, 대상자의 37%(53명)가 회사원으로 가장 많았고 다음으로 공무원, 전문직, 학생 순서의 분포를 보였다. 이외에도 자영업자, 성직자, 군인, 학원강사 등의 기타 직업을 가진 사람들도 극소수 설문에 응하였다.



<그림 5.3> 대상자들의 직업분포

대상자들의 교육수준은 87%(125명)가 대학원 이상이었고 나머지 13%가 고졸이었다. 교육수준이 고학력자에 편중된 경향이 있기 때문에 모형추정시 교육수준를 포함시키는 것은 바람직하지 않을 것으로 보인다.

거주년수와 근무년수는 운전자가 현재의 집에서 직장까지의 경로를 얼마나 오랫동안 이용하였나를 보여주는 것으로서, 운전자가 해당 경로에 익숙한 정도를 나타내 줄 수 있는 지표라고 생각할 수 있다. 앞서 말한바대로 모형에는 거주년수와 근무년수 중 작은값을 의미하는 동일경로이용년수를 거주년수, 근무년수 대신 적용하였다.



<그림 5.4> 대상자들의 동일경로이용년수(minN)분포 (단위:년)

(2) 통행특성

운전자가 인지하고 있는 이용가능한 대안경로수는 출근시에 평균 2.0개였고 퇴근시에는 2.2개였다. 퇴근시가 근소하게 많긴 하지만 출·퇴근시의 인지대안경로수는 평균적으로 거의 같다고 할 수 있다. 출·퇴근시에 인지대안경로수 분포가 유사한지를 검정을 위해 x^2검정을 실시해 본 결과, 유의수준 5%에서 두 분포는 유사한 것으로 드러났다. 결국 본 연구의 대상자들의 인지대안경로수는 출·퇴근시에 다르지 않다는 것을 알 수 있다.

출·퇴근시 평균재차인원은 1.2인으로서 출·퇴근시에 거의 차이가 없었는데 이것은 대부분의 대상자들이 출·퇴근시 나홀로 통행을 한 것을 의미한다.

자가용이용률은 출근시 자가용을 이용할 확률이라고 할 수 있는데 자가용만으로 출근하는 통근자와 대중교통을 병행하는 통근자를 구분하기 위해 도입한 요소라고 할 수 있다. 자가용이용률은 주당자가용이용회수를 주당 근무일수로 나누면 구해진다.

<표 5.3> 통근자의 모험성향

항 목	평균값
① 새로운 길을 발견하기를 좋아한다	3.09
② 때로는 다른 길로 가는 위험을 감수한다	2.94
③ 내가 아는 경로만을 사용한다	2.62
④ 전체적으로	8.66

5=매우 그렇다, 4=그렇다, 3=보통이다, 2=아니다, 1=매우 아니다
(단. 항목 ③의 경우는 역순임)

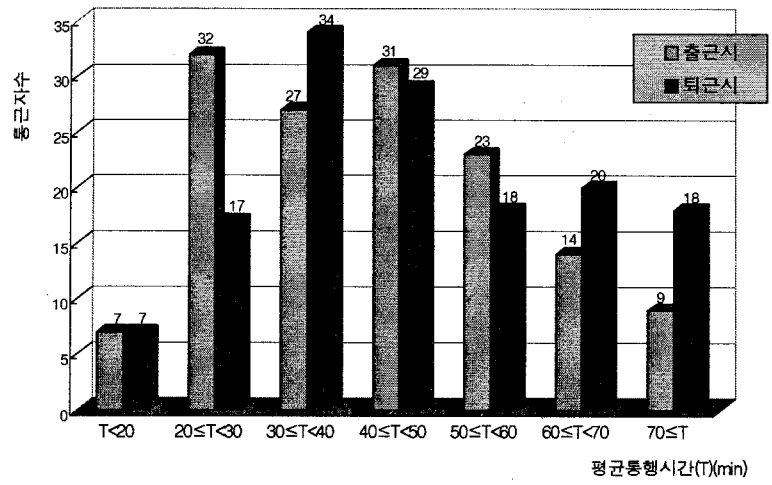
<표 5.3>은 통근자의 모험성향을 나타내는 지표이다. 개인의 잠재성향에 따라 경로를 전환하는 위험을 감수하는 통근자와 그렇지 못한 통근자는 뚜렷이 구별되므로 이를 모형에 포함시키는 것이 바람직하다. 각 문항에 대해 5를 최고점으로 하여 합이 총 15에 가까울수록 모험성향이 강하고 3에 가까울수록 모험성향이 없는 것으로 간주할 수 있다. 따라서 9.0을 중앙값으로 봤을 때, 대상자들의 평균값은 <표 5.3>과 같이 8.66으로 설문대상자들은 모험성향이 다소 없는 것으로 판단된다. 선행연구에서 고찰한 바와 같이 Khattak, et al.(1991), (1993b)는 통행자의 모험성향을 지표화하여 연구한 바가 있다.

(3) 교통시스템특성

출근시 평균통행시간은 39.35분이었고 퇴근시 평균통행시간은 44.48분이었다. 퇴근시의 평균통행시간이 약 5.13분 정도 더 크다. <그림 5.5>를 보면 평균통행시간이 60분 이상인 지점의 퇴근시 비중이 아주 높았고 대체로 퇴근시에 평균통행시간이 높은 경향을 보였다.

Mannering, et al.(1990)의 연구에서도 퇴근시간이 출근시간보다 크다는 결과가 나왔다. 퇴근시의 통행시간이 더 많이 걸리는 이유를 생각해 보면, 출근시에는 회사에 정시에 도착해야 하는 부담으로 인해 출근시간 안에 도착하려는 노력을 하지만 퇴근시에는 출근시보다 통행에 대한 부담이 적기 때문에 회사 퇴근시간을 애써 늦춘다거나 경로를 전환하는 등의 노력을 상대적으로 덜 한다고 볼 수 있다는 것이다. 다른 측면에서 보면 퇴근시가 출근시에 비해 혼잡이 심하다고 볼 수 있다.

대상자들의 출·퇴근시의 평균통행시간 분포의 유사성을 검정하기 위해 x^2 검정을 실시한 결과, 출·퇴근시의 평균통행시간은 유의수준 5%에서 서로 유사하지 않은 것으로 나왔다.



<그림 5.5> 출·퇴근시 평균통행시간분포

(4) 교통정보이용 특성

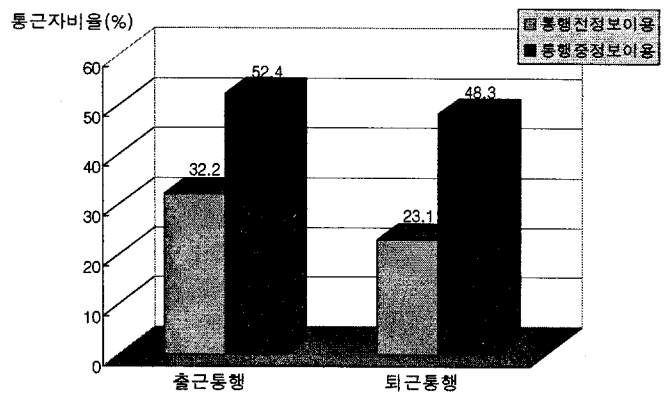
교통정보를 이용하는 통근자는 전체의 59.4%(85명)로서 교통정보를 이용하는 통근자가 더 많다. 교통정보를 이용하는 통근자 중에서는 대부분이 라디오 방송을 청취하였고, 일부는 가변정보판이나 TV를 이용하는 것으로 드러났다. 인터넷이나 유선전화 혹은 휴대폰을 이용한다고 답한 통근자는 거의 없었다.

<표 5.4> 대상자들의 출·퇴근시 교통정보이용특성

항 목	출근시	퇴근시
교통정보를 이용하는 통근자(%)		
통행 전 정보이용	32.2	23.1
통행 중 정보이용	52.4	48.3
교통정보를 이용하는 회수(회/주)		
0회	37.5	47.1
1-2회	39.5	29.8
3-4회	6.7	13.5
5회이상	16.3	9.6

교통정보를 이용하는 시기를 살펴보면, 퇴근시보다 출근시에 정보를 더 많이 이용했고 통행 전보다 통행 중에 교통정보를 더 많이 이용했다. 또한 통행 전 교통정보를 이용하는 사람은 대부분 통행 중에도 교통정보를 이용했다. 즉 출·퇴근 통행에서 통행 전 정보만을 듣는 사람은 드물다는 것을 알 수 있다.

교통정보이용분포는 <그림 5.6>에 나와있다



<그림 5.6> 출·퇴근시 교통정보 이용분포

교통정보를 이용하는 회수는 출근시에는 주당 1-2회로 답한 사람이 가장 많았으며 퇴근시에는 이용하지 않는 사람의 비중이 가장 높았다. 주당 3회 이상 이용한다고 답한 사람은 출·퇴근시 모두 23%정도로 상대적으로 작은 비율을 보였다. 이것은 매일 정기적으로 교통정보를 이용하는 사람은 거의 없다는 것을 보여 줄 뿐만 아니라 출·퇴근 통행의 경우, 교통정보보다 자신이 가지고 있는 사전 경험이 통행에 더 많은 영향을 준다는 것을 의미한다. 교통정보이용 빈도결과는 <표 5.5>에 나와있다.

통근자들이 교통정보에 대해 가지는 신뢰도를 살펴보면, 교통정보의 정확성과 연관성에 대해서는 대체로 만족하는 것으로 응답하였고 구체성, 신속성은 보통이라고 응답하였다. 전체적으로 교통정보의 신뢰도는 보통이라고 응답하였다.

<표 5.5> 교통정보에 대한 신뢰성

항 목	평균값
① 정보의 내용이 정확하다	3.50
② 정보의 내용이 구체적이다	3.13
③ 정보를 신속히 제공한다	3.06
④ 정보가 나와 관련이 있다	3.43
⑤ 전체적으로 신뢰성이 있다	3.02

5=매우 그렇다, 4=그렇다, 3=보통이다, 2=아니다, 1=매우 아니다

(5) 업무특성

대상자들의 75%(107명)가 주 6일 근무였고 나머지의 대부분은 주 5일 근무였다. 그리고 극소수 주 4일 혹은 주 7일 근무자도 포함되어 있었다. 대상자들은 한 주당 평균 5.8일 근무하였고 평균 4.2회 자가용을 이용하여 출근 통행을 하였다. 따라서 출근시 한 주에 자가용을 이용하는 평균 비율은 72.6%였다.

전체 응답자 중 83.9%(120명)가 출·퇴근시간이 정해져 있고 나머지는 일정한 출·퇴근 시간이 정해져 있지 않았다.

출근 통행시의 지각에 대한 수용정도는 '항상 정시에 도착해야 한다' 즉 지각수용이 0분인 통근자가 62.9%(90)로 가장 많았고, '어느 정도의 지각은 허용한

다'가 22.4%(32), '출·퇴근 시간에 제한이 없다'가 14.7%(21)의 구성비율을 보였다. 어느 정도의 지각을 허용한다라고 답한 대상자들이 지각을 수용하는 정도는 평균 19.94분이었고 표준편차는 15.39분이었다. 대상자 중 지각수용정도를 60분 이상으로 답한 사람이 3명 있었다. 60분 이상의 지각을 허용한다는 것은 지각수용에 제한이 거의 없는 것으로 볼 수도 있기 때문에, 이 표본을 제외하면 지각을 허용하는 정도는 평균은 15.79분, 표준편차는 8.52분이었다. 대상자들의 통근특성은 아래의 표에 요약되어 있다.

<표 5.6> 대상자들의 업무특성

항 목		결 과
업무성격	고정적인 업무시간(%)	83.9
	가변적인 업무시간(%)	16.1
지각에 대한 수용여부(%)	절대수용 못함	62.9
	어느 정도 수용	22.4
	제한없음	14.7
평균 선호 도착시간(분)		20.24

회사에 미리 도달하고자 하는 선호를 나타내는 선호도착시간은 평균 20.24분으로 대상자들은 대략 20분 정도 미리 회사에 도착하기를 선호하였다. 선행연구에서 고찰한 바와 같이 선호도착시간은 출근시 개인의 통행목표가 될 수 있고, 개인의 위험부담 정도를 나타낼 수도 있다는 점에서 본 연구에서도 중요한 변수로 간주된다. 대상자들의 선호도착시간 분포는 <그림 5.7>과 같다.

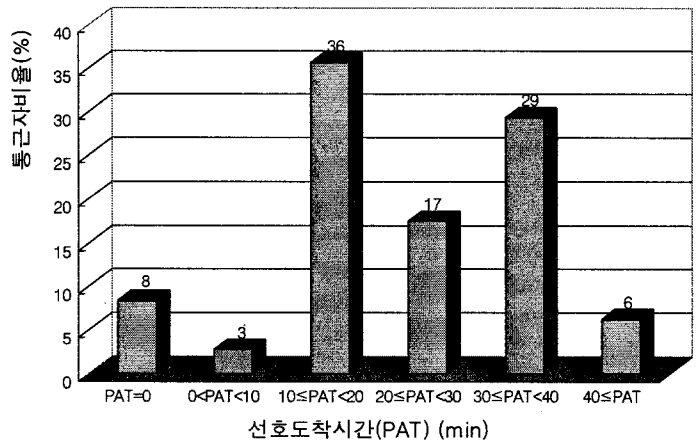
(6) 반응특성

여기서는 출·퇴근시 혼잡에 대해 통근자가 보이는 출발시간 및 경로 전환 반응을 다룬다. 통근자들은 출근시보다 퇴근시에 경로전환을 더 많이 하였다. 출발시간 변경도 퇴근시에 더 많이 하지만 그 차이는 거의 없다. 출근시에는 출발시간변경과 경로전환을 거의 동일하게 하는 것으로 밝혀졌고 퇴근시에는 출발시간변경보다 경로전환을 더 많이 하는 것으로 드러났다.

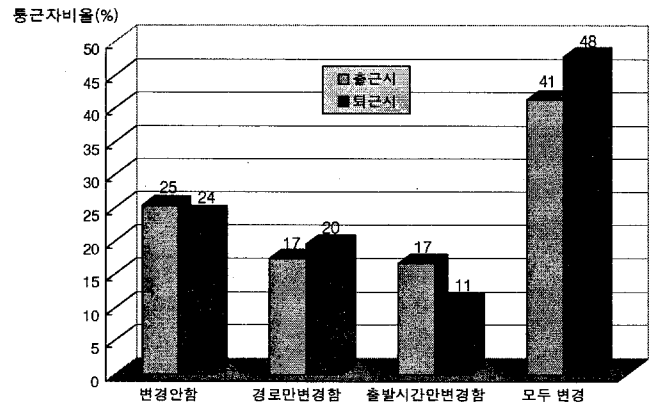
<표 5.7> 대상자들의 전환비율

출·퇴근시 통근자들의 반응		결과
경로를 전환하는 통근자(%)	출근시	58.7
	퇴근시	67.4
출발시간을 변경하는 통근자(%)	출근시	58.0
	퇴근시	58.7

출·퇴근시의 출발시간 및 경로전환 분포의 차이는 x^2검정 결과 1%에서 유의하게 나왔다. 즉, 출·퇴근시에 통근자가 보이는 변경 행태는 매우 다른 것으로 볼 수 있고 따라서 출·퇴근을 따로 고려하는 것이 바람직한 것으로 보인다. 대상자들의 변경분포는 <그림 5.8>에 나와있다.



<그림 5.7> 출근시 선호도착시간분포



<그림 5.8> 출·퇴근시 경로 전환 및 출발시간 변경비율

4. 모형 추정 결과

여기서는 모형 추정결과를 보여주고 추정된 모형에 대한 분석을 수행하였다. 앞에서 밝힌 바와 같이 출발시간 변경 및 경로 전환모형은 출·퇴근시간이 고정적인 통근자만을 대상으로 하였고 교통정보이용빈도 모형은 유동적인 출·퇴근 시간을 가진 통근자도 포함시켜서 모형화하였다.

모형에 들어가는 변수들 중 연령, 동일경로이용년수, 운전경력은 카테고리화하여 적용시켰고 성별이나 지각허용여부 등 이항선택변수는 더미변수로 처리하였으며 나머지 변수들은 연속변수로 취급하였다. 상관관계가 높은 변수들이 모형에 함께 들어가면 결과에 편이가 발생할 수 있으므로 변수들끼리의 상관분석을 실시하여 서로 상관성이 높은 변수들은 한 모형에 들어가지 않도록 하였다. 변수들끼리의 상관분석표는 부록에 제시한다.

가. 출근시 출발시간 변경 및 경로 전환모형

종속변수는 출발시간 변경여부와 경로전환여부로서 1은 전환을 한다는 것을 의미하고 0은 전환을 하지 않는다는 것을 의미한다. 즉 추정된 모수의 값이 양의 값을 가지면 그 모수는 전환을 하는데 (+)의 영향을 준다는 것을 의미하고 음의 값을 가지면 전환에 (-)의 영향을 준다는 것을 의미한다.

고정적인 출근시간을 가진 통근자들의 출근출발시간 변경 및 경로전환모형에 대한 모수의 추정결과가 아래 <표 5.8>에 주어져 있다.

출근시 출발시간 변경에 주요한 영향을 주는 변수는 교통시스템 특성, 업무특성, 교통정보이용특성과 관련한 변수들이었고 출근시 경로전환에 영향을 주는 변수는 교통시스템 특성, 통행특성, 교통정보이용특성 관련 변수들이었다. 출발시간변경 때에는 경로전환 때에 비해 업무특성에 관한 변수가 주된 영향을 주었고 경로전환 때는 통행특성이 상대적으로 더 큰 영향을 주었다.

교통시스템 변수인 로그통행시간은 출근시 전환 모형에서 유의한 정의 영향을 주었다. 이것은 통행시간이 긴 통근자가 짧은 통행시간을 가진 통근자보다 전환경향이 더 강하다는 것을 의미한다.

<표 5.8> 출근시 출발시간 변경 및 경로 전환모형 (괄호 안은 t통계량을 의미)

변 수	출발시간변경	경로전환
상수	-5.0979(-3.636)*	-5.5882(-3.892)*
성별(남성:1, 여성:0)		
연령		
동일경로이용년수		
운전경력		
평균탑승인원(인)		
인지대안경로수(개)		0.3983(2.418)*
자가용이용율(자가용이용회수/출근일수)		
모험성향		0.1876(3.145)*
로그통행시간	2.5857(3.167)*	1.7818(2.479)*
지각수용여부(지각수용:1, 그렇지 않으면:0)	1.2164(3.678)*	0.5639(1.759)
선호도착시간(분)	0.02788(2.426)*	
통행전정보습득(습득시:1, 그렇지 않으면:0)	0.53344(1.792)	
통행중정보습득(습득시:1, 그렇지 않으면:0)		0.5881(2.195)*
관측수	117	114
$L(0)$	-72.21729	-74.46663
$L(\beta)$	-54.35112	-59.17910
$-2[L(0)-L(\beta)]$	35.73233	30.57505
ρ^2	0.25	0.21

* = 유의수준 5%에서 만족
연령 - (A<30: 2, 30 ≤A<40: 3, 40 ≤A<50: 4, 50 ≤A<60: 5, A ≥60: 6)
동일경로이용년수 - (N<3: 1, 3≤N<10: 2, 10≤N<20: 3, 20≤N: 4)
운전경력 - (N<5: 1, 5≤N<10: 2, 10≤N<15: 3, 15≤N: 4)

지각수용여부는 출근에 대한 여유를 의미하는 변수로서 전환경향에 유의한 영향을 주었다. 즉 지각을 수용하는 통근자일수록 출발시간 변경 및 경로전환을 하려 하였다. 이 결과는 출발시간변경에서 지각을 수용하는 통근자가 그렇지 않은 통근자보다 전환할 경향이 더 작다는 Mahmassani, et al.(1990)의 연구와는 상반되는 결과인데, 본 연구의 대상자들은 출근시 지각에 대한 여유가 있을 때 전환을 더 잘 하는 것으로 드러났다. 회사에 정시에 도착해야 하는 통근자들은 전환으로 인하여 생기는 위험부담대신 일상적으로 선택하던 출발시간이나 경로를 선택한다고 볼 수 있다. 즉, 출근시에는 출발시간을 변경하거나 경로를 전환해서 정시에 도착하려 하지는 않는다는 것을 의미한다. 특히 지각수용여부는 경로전환 때보다 출발시간 변경 때에 더 큰 영향을 주었다.

선호도착시간은 출발시간변경에 유의한 영향을 주었다. 앞에서도 밝혔듯이 이 변수는 통근자가 가지는 위험부담정도를 나타내주는 것으로 이 변수가 양의 유의한 영향을 준다는 것은 회사에 미리 도착하고자 할수록 출발시간을 변경한다는 것을 의미한다.

출근시 경로전환에 주된 영향을 주는 변수는 통행특성변수였다. 인지대안경로수는 통근자가 가지는 인지지도를 의미하는 것으로 대안경로들에 대한 인지가 클수록 경로전환을 하려는 것으로 드러났다. 또한 개인의 모험성향이 높을수록 경로전환을 더 잘하였다.

교통정보이용변수는 출발시간 변경 및 경로전환에 모두 유의한 (+)의 영향을 주었다. 통행전 정보를 이용하는 사람은 출발시간변경을 하려 하였고, 통행중 정보를 이용하는 사람은 경로전환을 하려 하였다.

나. 출근시 교통정보이용빈도 모형

교통정보이용빈도 모형에는 출근시간제약여부를 나타내는 변수가 추가되었고 아울러 교통정보에 대해 느끼는 통근자의 신뢰도가 모형에 추가되었다. 또한 통행전 정보이용과 통행중 정보이용을 구분하여 모형화하였다.

본 연구에서는 출·퇴근시 주당 교통정보이용 빈도를 조사하였다. 주당 몇일정도 교통정보를 이용하는지가 조사되었기 때문에 빈도의 범위는 0에서 6까지가 된다. 이 경우는 오른쪽이 잘려진 분포가 되기 때문에 right truncated 분포를 사용하였다.

출근시 통행전과 통행중 정보이용에는 출근시간제약여부변수와 교통정보의 신뢰도 변수가 모두 (+)의 영향을 주었다. 이것은 출근이 고정된 통근자가 유동적인 출근시간을 가지는 통근자보다 교통정보를 더 많이 이용하고 교통정보에 대한 신뢰도가 높은 통근자일수록 교통정보를 더 많이 이용한다는 것을 의미한다. 이것은 출근시간이 유동적인 통근자가 고정된 출근시간을 가지는 통근자에 비해 교통정보의 필요성이 적다고 볼 수 있다.

특히 통행중 정보이용에는 통행전 정보이용에 비해 교통시스템특성과 통행특성관련변수가 주된 영향을 주었는데 운전경력이 많거나 인지대안경로수가 많은 통근자일수록 통행중 정보를 많이 이용하였고 자가용이용 출근비율이 높은 통근자가 통행중 정보를 더 많이 이용하였다.

α가 유의한 값을 가지므로 음이항 모형을 사용하는 것이 바람직한 것으로 보인다. 전체적으로 ρ^2값이 기대수준에 미치지 못하여 모형의 적합도는 다소 떨어지지만 통근자의 교통정보이용행태에 대해 논의하는데는 별 무리가 없을 것으로 보인다.

출근시의 교통정보이용 빈도모형의 결과는 <표 5.9>와 같다.

<표 5.9> 출근시 교통정보이용빈도 모형(괄호 안은 t값)

변 수	통행전 정보이용	통행중 정보이용
상수	-3.8252(-2.517)*	-5.3511(-2.945)*
성별(남성:1, 여성:0)		
연령		
차량대수(대)		
동일경로이용년수		
운전경력		0.5378(2.078)*
평균탑승인원(인)		
인지대안경로수(개)		0.3654(1.569)
자가용이용율(자가용이용회수/출근일수)		1.4175(1.916)
모험성향		
로그통행시간		
출근시간제약여부(있으면:1, 없으면:0)	2.1993(2.105)*	1.2531(2.145)*
지각수용여부(지각수용:1, 그렇지 않으면:0)		
선호도착시간(분)	-0.04870(-1.576)	
교통정보의 신뢰도	0.8068(2.037)*	0.5336(1.342)
alpha	2.2666(2.965)*	1.1315(2.922)*
관측수	122	122
$L(0)$	-142.7849	-183.6593
$L(\beta)$	-122.1372	-166.6283
$-2[L(0)-L(\beta)]$	41.29537	34.06198
ρ^2	0.14	0.10

* = 유의수준 5%에서 만족
연령 - (A<30: 2, 30 ≤A<40: 3, 40 ≤A<50: 4, 50 ≤A<60: 5, A ≥60: 6)
동일경로이용년수 - (N<3: 1, 3≤N<10: 2, 10≤N<20: 3, 20≤N: 4)
운전경력 - (N<5: 1, 5≤N<10: 2, 10≤N<15: 3, 15≤N: 4)

다. 퇴근시 출발시간 변경 및 경로전환모형

출근시와 마찬가지로 로그통행시간은 정의 유의한 값을 가졌다. 즉 퇴근 통행에서도 통행시간이 긴 통행자가 출발시간변경이나 경로전환을 더 잘하는 것으로 드러났다. 또한 인지대안경로수가 많을수록 퇴근시 출발시간 변경 및 경로전환경향이 높았고 통행전 정보와 통행중 정보를 이용하는 통근자는 각각 출발시간변경과 경로전환 경향이 강하였다.

퇴근시에는 출근시와는 달리 시간압력이 없기 때문에 업무관련 변수들이 유의한 영향을 주지 못하는 것으로 드러났다.

퇴근시 출발시간 변경에서 경로에 익숙한 정도를 나타내는 동일경로이용년수가 음의 유의한 결과를 보였다. 이것은 같은 경로를 오래 이용한 통근자는 출발시간을 변경하지 않으려 한다는 것을 의미한다.

퇴근시 경로전환모형에서 운전경력이 많거나 자가용이용 출근 비율이 높은 통근자일수록 퇴근시 경로전환을 하지 않으려 한다는 결과가 나왔다. 운전경력과 자가용이용률은 t통계량의 유의수준이 다소 낮은 값을 보였지만 전체적인 모형의 적합도를 위해 제외하지 않았다.

출근시와 마찬가지로 개인의 모험성향은 퇴근시 경로전환에도 (+)의 유의한 영향을 주었다.

전체적인 모형의 적합도를 보면 퇴근시 출발시간 변경모형의 적합도가 0.16으로서 가장 낮다. 퇴근통행에서는 귀가통행이외에 다른 목적의 통행이 결부될 가능성이 높고 출근시보다 시간제약이 심하지 않기 때문에 모형의 적합도가 떨어진 것으로 생각된다. 이를 위해 퇴근시에 영향을 줄 수 있는 변수를 추가적으로 고려해야 할 것으로 보인다.

<표 5.10> 퇴근시 출발시간 변경 및 경로전환모형 (괄호 안은 t통계량을 의미)

변 수	출발시간변경	경로전환
상수	-2.5373(-2.063)*	-3.3189(-2.300)*
성별(남성:1, 여성:0)		
연령		
차량대수(대)		
동일경로이용년수	-0.4270(-2.223)*	
운전경력		-0.2070(-1.238)
평균탑승인원(인)		
인지대안경로수(개)	0.2246(1.542)	0.3602(2.070)*
자가용이용율(자가용이용회수/출근일수)		-0.6048(-1.305)
모험성향		0.1307(2.065)*
로그통행시간	1.7716(2.461)*	1.5916(2.084)*
지각수용여부(지각수용:1, 그렇지 않으면:0)		
선호도착시간(분)		
통행전정보습득(습득시:1, 그렇지 않으면:0)	1.0311(3.089)*	
통행중정보습득(습득시:1, 그렇지 않으면:0)		0.7214(2.501)*
관측수	112	113
$L(0)$	-73.56515	-66.39024
$L(\beta)$	-61.81719	-52.95998
$-2[L(0)-L(\beta)]$	23.49592	26.86053
ρ^2	0.16	0.20

* = 유의수준 5%에서 만족
연령 - (A<30: 2, 30 ≤A<40: 3, 40 ≤A<50: 4, 50 ≤A<60: 5, A ≥60: 6)
동일경로이용년수 - (N<3: 1, 3≤N<10: 2, 10≤N<20: 3, 20≤N: 4)
운전경력 - (N<5: 1, 5≤N<10: 2, 10≤N<15: 3, 15≤N: 4)

라. 퇴근시 교통정보이용빈도 모형

퇴근시 통행전·통행중 교통정보이용빈도를 모형화하기 위해 음이항모형을 사용한 결과, α가 유의한 값을 가지지 못하였기 때문에 음이항모형 대신 Poisson 모형을 사용하였다.

상수는 출근시와 마찬가지로 두 모형 모두 음의 유의한 값을 가졌다.

출근시와 마찬가지로 출근시간제약여부, 교통정보의 신뢰도는 통행전·통행중 교통정보이용에 모두 유의한 영향을 주었다. 특히 퇴근시에는 통행시간이 긴 통근자가 그렇지 않은 통근자에 비해 통행전 정보나 통행중 정보를 더 많이 이용하는 것으로 드러났다. 아래에는 퇴근시 교통정보이용빈도모형 결과가 나와있다.

<표 5.11> 퇴근시 통행 전 및 통행 중 교통정보이용빈도 모형(괄호 안은 t값)

변 수	통행전 정보이용	통행중 정보이용
상수	-6.0426(-3.428)*	-7.9666(-7.130)*
성별(남성:1, 여성:0)	-0.6616(-1.792)	
연령		
차량대수(대)		
동일경로이용년수		
운전경력		0.4042(4.041)*
평균탑승인원(인)		
인지대안경로수(개)		0.2210(2.984)*
자가용이용율(자가용이용회수/출근일수)	1.4246(2.223)*	0.8745(2.707)*
모험성향		
로그통행시간	1.0400(1.307)	2.125(4.165)*
출근시간제약여부(있으면:1, 없으면:0)	1.7262(1.681)	1.2749(2.406)*
지각수용여부(지각수용:1, 그렇지 않으면:0)		
선호도착시간(분)		
교통정보의 신뢰도	0.3174(1.206)	0.4185(2.852)*
관측수	122	122
$L(0)$	-91.16554	-201.8337
$L(\beta)$	-81.66185	-158.6271
$-2[L(0)-L(\beta)]$	19.00738	86.41326
ρ^2	0.10	0.21

* = 유의수준 5%에서 만족
연령 - (A<30: 2, 30 ≤A<40: 3, 40 ≤A<50: 4, 50 ≤A<60: 5, A ≥60: 6)
동일경로이용년수 - (N<3: 1, 3≤N<10: 2, 10≤N<20: 3, 20≤N: 4)
운전경력 - (N<5: 1, 5≤N<10: 2, 10≤N<15: 3, 15≤N: 4)

결과를 보면 운전경력이 많거나 인지대안경로수가 많은 통근자가 퇴근시 통행중 정보를 더 많이 이용하였다. 퇴근시 경로전환 모형결과를 보면 운전경력이 많고 자가용이용률이 높을수록 경로전환을 하지 않는 것으로 드러났지만 통행 중 교통정보이용빈도 모형에서는 그와 반대로 운전경력이 많고 자가용이용률이 높을수록 통행중 교통정보를 많이 이용하는 것으로 드러났다. 이것으로 운전경력이 많고 자가용을 이용한 출근비율이 높은 통근자들은 교통정보를 많이 받아도 경로전환은 꺼린다는 것을 알 수 있다.

출근시와 마찬가지로 퇴근시 교통정보이용빈도 모형도 ρ^2의 값이 기대수준에는 미치지는 못하였다.

5. 모수 추정 결과 분석

본 연구에서는 이항프로빗모형과 음이항 회귀모형을 적용하여, 서울시 자가용 통근자들을 대상으로 혼잡한 출·퇴근 교통상황에서의 출발시간 변경 및 경로전환 행태모형과 통행전·통행중 교통정보이용빈도 모형을 추정하였다. 또한 개인의 사회경제적 특성, 통행특성, 교통시스템의 특성, 업무특성, 교통정보이용특성이 통근자의 출·퇴근 변경행태와 교통정보이용빈도에 미치는 상대적인 영향을 분석하였다.

모형에서 추정된 모수의 분석을 통해 얻어진 결론을 정리하면 다음의 6가지로 요약된다.

첫째, 교통정보는 출·퇴근시 출발시간 변경 및 경로전환모형에서 모두 유의한 영향을 주었다. 특히 통행전 교통정보를 이용하는 통근자가 출근시간 변경경향이 강하였고 통행중 교통정보를 이용하는 통근자는 경로전환경향이 강하였다.

둘째, 출근시 출발시간변경은 업무특성에 주된 영향을 받았고 출근시 경로전환모형은 교통시스템특성이나 통행특성에 주된 영향을 받았다.

셋째, 퇴근시 출발시간변경에는 업무특성을 제외한 다른 특성들이 고른 영향을 주었고 퇴근시 경로전환에는 출근시 경로전환과 마찬가지로 통행특성, 교통시스템 특성이 주된 영향을 주었다.

주목할 점은 로그통행시간은 출·퇴근 출발시간 및 경로 변경에 모두 유의한 정의 영향을 준다는 것이다. 이것은 통행시간이 긴 통근자일수록 지체를 겪을 가능성이 많다는 것을 시사해 준다고 볼 수 있다.

넷째, 출근시 통행전 교통정보이용에는 업무특성이 주요한 영향을 주었고 퇴근시 통행중 교통정보이용에는 통행특성이 주요한 영향을 주었다.

다섯째, 퇴근시 통행전 교통정보이용에는 사회경제적 특성과 교통시스템 특성이, 퇴근시 통행중 교통정보이용에는 통행특성과 교통시스템 특성이 유의한 영향을 주었다.

끝으로, 출·퇴근시간이 고정적인 통근자가 유동적인 출·퇴근시간을 가지는 통근자보다 교통정보이용빈도가 많고 교통정보에 가지는 신뢰도가 높을수록 교통정보이용빈도가 많았다.

5.3 교통정보에 대한 통행자의 순응도(Compliance Rate) 모형

교통정보제공에 따른 통행자 반응행태를 모사하기 위해서는 정보제공시 운영하기 위해서는 정보제공시 운전자의 반응을 이해할 필요가 있다. 예컨대, 경로안내 시스템에서는 현재의 교통조건(링크 조건 및 경로조건)으로부터 경로안내 메시지를 생성하여 장치를 장착한 차량에 해당 정보를 제공하게 된다. 경로안내 메시지를 받은 운전자들은 그에 반응하거나 그렇지 않을 수 있으며, 운전자들의 반응의 결과로 네트웍의 조건은 달라지게 된다. 이 때, 경로안내 메시지를 생성할 당시에 예측된 교통조건과 실제 운전자들의 반응에서 기인한 교통조건 사이에는, 일관성(consistency)이 달성되거나 정보제공자의 의도에 맞는 변화가 일어나야 한다.

또한, 교통시뮬레이션 상에서 정보시스템을 구현하기 위해서도 운전자 반응에 대한 이해가 필요하다. 교통정보의 제공에 따른 네트웍의 변화를 모의실험하고 그 효과성을 평가하기 위해서는 시뮬레이션 상에서 구현될 수 있는 적절한 모형이 필요하다.

1. 연구범위 및 방법

본 연구의 범위는 출근시에 도시통근자에게 제공되는 교통정보와 그에 대한 통근자의 반응을 포함한다. 자료의 수집은 SP 방법을 이용하여 이루어지는데, 정보 시스템에 대한 개별 응답자의 누적된 경험을 반영하기 위해 패널자료(panel data)의 형태를 띄게 된다.

우선, 조사에 참여할 도시통근자를 대상으로 사전설문조사를 수행하는데, 이 과정에서 각 응답자에 대한 사회경제변수, 경험 및 습관에 관련된 척도, 출근 기종점, 이용경로 등의 자료를 수집한다. 수집된 자료를 바탕으로 개별 응답자에게 맞춤 설계된 12일 동안의 시나리오를 구성하여 웹기반(web-based) 조사를 실시하게 된다. 조사기간동안 각 응답자는 매일 해당 사이트에 접속하여 자신의 출근경로와 교통정보를 확인하고 경로를 선택하게 된다.

이렇게 수집된 자료를 이산선택이론에 근거하여 분석하고 모형을 구성하며, 최우추정법에 의해 모형을 추정한다.

2. 연구의 방법론

가. SP(Stated Preference) 조사

초기 통계학의 RP 방법이 현상을 조사하고 그로부터 어떤 이론을 형성해 가는 과정이었다면, SP 방법은 심리학적 과정 또는 의사결정과정에 내재되어 있는 요소들간의 관계를 사전에 가정하고, 그러한 가정에 기반하여 통계적 실험을 설계한 다음, 실험결과로부터 모형을 도출하는 과정이다. 최근 10여 년간의 성공적인 연구결과들로부터 SP의 장점이 입증되고 있다. 이를 다음과 같이 정리할 수 있다(Jones, 1989; Pearmain and Kroes 1990[1])

1) 실제에서보다 넓은 범위의 trade-off에 대해 조사할 수 있으므로, 관심대상 변수의 변화에 대한 충분한 데이터를 수집할 수 있다.
2) SP 조사에서는 각 속성들이 서로 독립인 대안이 제시되므로 개별 파라미터들을 추정할 수 있다.
3) 각 응답자는 여러 번의 선택을 할 수 있으므로 RP보다 훨씬 적은 표본 수만으로도 여러 가지 다양한 분석을 할 수 있다. 이는 비용절감의 차원에서 분석가에게 의미가 있지만, 반복관측에 의해 얻어진 결과에는 문제가 발생할 수도 있다.
4) 관심대상 변수와 속성의 수준은 각 요소들 간의 trade-off 관계를 파악하기 위해 정의되기 때문에, 각 변수의 중요도를 보다 정확하게 측정할 수 있다.

그러나, 이러한 장점들과 동시에 SP 자료에서 기인할 수 있는 다양한 오류들이 있다.

1) 실제 상황에서와는 달리, 응답자가 각 대안에 대한 제약조건이나 효용을 모두 고려하지 못함으로 인해, 편의가 발생할 수 있다.
2) 조사에 참여하고 있다는 것을 인식하게 되면, 조사자의 의도나 조사의 결과에 의한 정책적 효과 등을 추측하고, 그에 따라 응답을 조정함으로써 편의가 발생할 수 있다.

---

1) Hye-Jin Cho(1998)에서 재인용

3) 조사내용에서 강조되는 몇몇 변수들에 특히 관심을 가지게 되어, 실제와는 다른 과잉 반응을 보일 수 있다.

4) 가상의 상황을 상상하고 판단하는 과정이 응답자에게 피로를 주면, 조사내용을 충분히 이해하지 못하거나 적절한 판단과정을 거치지 않은 채 응답하게 될 수 있다.

이와 같은 오류의 가능성 때문에, SP 조사의 설계에는 많은 주의점이 필요하다. 효율적인 모형의 추정을 위해서는 독립변수의 값이 넓게 분포해야 하지만, 너무 띄엄띄엄 분포하게 되면 오히려 정확한 추정에 방해가 될 수 있다. 또한, SP 조사에서 가정하는 상황들은 현실적이고 이해하기 쉬워야 하며, 가능한 한 많은 속성들이 정량화될 수 있도록 질문을 설계해야 한다. 이와 동시에, 응답자가 피로하지 않도록 조사를 설계하는 것도 중요하다.

앞에서 언급한 대로, SP의 장점 중 하나는 반복적인 질문에 의해 적은 수의 표본으로도 다양한 응답을 얻을 수 있다는 점이다. 그러나 이러한 방식으로 조사를 수행한 경우에는, 동일 개인에 대한 관측결과 사이에 상관관계가 존재할 가능성이 많으므로 이를 적절히 반영할 수 있는 자료처리 방법이 필요하다.

나. Panel Data의 분석

패널 데이터는 선택된 응답자 집단에 대해 반복적으로 관측(또는 조사)을 수행하여 얻어진 자료를 의미한다. 이러한 방식으로 얻어진 자료에는 동일 개인의 선택간에 상관관계가 존재한다. 즉, 개인특정 오차항(individual-specific error term)과 일반 임의항(generic random variable)이 포함된 다음과 같은 모형을 제안할 수 있다.

$$U_{nt} = \beta X_n + \alpha_n + \varepsilon_{nt}$$

여기서, n: 개별 응답자; t: 시각;

X_n: 설명변수 벡터; β: 파라미터 벡터;

α_n: 개인특정 오차항 (시간에 따라 변하지 않음);

ε_{nt}: 임의항 (개인별, 시간별로 달라짐)

오차항 사이에는 다음의 관계가 있다.

$$Var(\alpha_n + \varepsilon_{nt}) = \sigma_a^2 + \sigma_\varepsilon^2$$

$$Corr(\alpha_n + \varepsilon_{nt}, \alpha_n + \varepsilon_{nt'}) = \nu = \frac{\sigma_a^2}{\sigma_a^2 + \sigma_\varepsilon^2} (t \neq t')$$

위의 ν값은 동일 개인에 대한 반복관측 사이의 상관계수가 된다. 패널자료를 수집한 경우에 이러한 영향을 무시하게 되면, 계수의 추정값이 편의될 가능성이 있다. 제시된 모형은 개인간의 이질성 α_n을 임의변수로 다루므로 임의효과모형(random-effect model)의 범주에 속한다고 할 수 있다.

3. 순응도 모형의 구성

본 연구에서 제안하는 모형은, 교통정보에 대한 운전자의 반응이 운전자의 경험과 인식에 의해 영향을 받는다는 가정에 근거한다. 또한 이러한 과정은, 새로운 경험에 의해 정보 시스템에 대한 운전자의 인식이 달라질 수 있다는 점에서 동적인 구조를 가진다.

가. 운전자의 의사결정과정에 영향을 미치는 요소

운전자가 주어진 교통정보를 받아들일 것인가(comply or not)를 결정하는 요소들은 다음의 범주로 구분할 수 있다.

(1) 정보와 지식간의 편차

운전자는 정보 시스템을 통해 제시되는 상황과 자신이 가지고 있는 네트웍에 대한 지식을 비교하게 된다. 통행시간 정보를 제공하는 경우, 인지통행시간과 교통정보에 의해 제공된 통행시간의 차이 등이 그 예가 된다. 정보가 지식과 상충하는 경우에 대한 운전자의 반응은 상충의 정도에 따라 달라질 수 있다. 정보와 지식 사이에 차이가 크지 않은 경우에는 제공된 정보에 현실성이 있다고 느끼고 이를 수용할 것이며, 상충의 정도가 심한 경우에는 시스템의 오류 등을 의심하며 자신이 가지고 있는 지식에 근거하여 행동할 가능성이 크다.

(2) 사회경제변수(socioeconomic factors)

나이, 성별, 직업, 소득 등의 사회경제변수가 정보를 수용할 확률에 영향을

줄 수 있다. 이러한 요인들은 직접적으로 순응확률에 영향을 주기보다는 운전자의 태도 및 성향을 결정하는 요인으로 작용하게 된다.

(3) 습관 및 경험, 제약조건

운전경력이나 해당 네트웍에 대한 친숙도, 교통정보의 과거 이용경험 등 습관 및 경험의 척도들도 운전자의 순응확률에 영향을 미친다. 특히 통근자의 경우에는 네트웍에 대한 친숙도가 특정 경로에 대한 의존도와 깊은 관련을 가질 수 있으며, 이는 교통정보에 대한 태도에 영향을 미칠 것으로 보인다. 또한, 경유지의 유무나 출퇴근시간의 유연성 여부가 운전자의 의사결정과정에 영향을 줄 것으로 가정할 수 있다.

(4) 정보의 수준에 대한 인식(perceived quality)

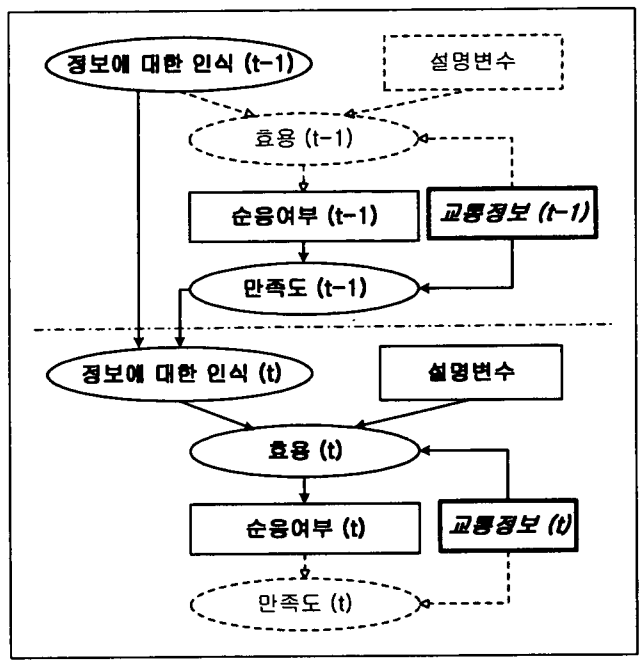
운전자가 가지는 정보의 수준에 대한 인식은 정보 시스템에 관한 새로운 경험이 축적되면서 달라지게 되므로, 그 형성과정은 기존의 인식에 최근의 경험으로부터 얻은 새로운 인식을 더하는 것으로 나타낼 수 있다. 반복적으로 교통정보를 이용하는 통근자의 경우에는, 전날까지 가지고 있던 인식과 전날의 정보이용으로부터 경험한 새로운 인식이 가중합되는 것으로 가정할 수 있다. 운전자가 새로운 자극에 의해 인식을 쉽게 바꾸는가, 비교적 일정하게 유지하는가의 여부는 그 가중치를 비교함으로써 알 수 있다.

나. 순응비율 모형의 제안

앞에서 언급한 요인들 간의 상호작용으로부터 다음과 같은 모형의 구조적 틀을 제안할 수 있다.

<그림 5.9>에서 (t-1), (t)는 각각 이산적인 시점을 나타내며, 사각형은 관측가능한 변수, 타원형은 관측불가능한 변수를 의미한다. 또한 실선으로 표현된 부분은 한 번의 관측에 포함되는 과정이다. 즉, 주어진 교통정보에 순응할 것인가의 여부는 정보와 지식의 상호작용, 정보수준에 대한 인식, 기타 설명변수 등에 의해 결정되는데, 그 중 정보수준에 대한 인식은 이전 시점에서의 정보에 대한 만족도와 기존에 가지고 있던 인식에 의해 결정된다.

이러한 구조적 틀을 수리적인 모형으로 구성하기 위해서는 타원으로 표시된 관측불가능한 부분을 계량화하는 작업이 필요하다. 계량화의 방법에 따라 다음과 같은 두 가지 유형의 모형을 제안한다. 여기서 제시하는 모형은 교통정보가 통행시간을 제공하는 경우를 다루는데, 변수를 조정하여 다른 형태의 정보시스템에 대해서도 적용할 수 있다.



<그림 5.9> 순응비율 예측모형의 구조적 틀

(1) 직접모형

운전자의 사고과정을 모사하는 것이 아니라, 의사결정에 영향을 줄 것으로 예상되는 요인들을 계량화하여 직접 변수로 사용하는 모형이다. 즉, 정보에 대한 만족도를 정보의 부정확도(inaccuracy)로 대신하게 되는데, 정보제공 통행시간과 실제통행시간의 차이를 실제통행시간에 대한 비율로 나타낸 것을 부정확도로 사용한다. 모형식은 다음과 같이 쓸 수 있다:

$$U_{nt} = \beta X_n + \gamma I_{nt} + \sum_{i=1}^{k} \phi_i Aover_{t-i} + \sum_{i=1}^{l} \psi_i Aunder_{t-i} + \alpha_n + \varepsilon_{nt}$$

여기서, X_n: 개인특정 설명변수벡터 - 사회경제변수, 습관 및 경험의 척도;

I_{nt}: 정보와 지식의 편차에 관한 변수벡터;

$$A_t = \frac{\text{정보제공 통행시간}_t - \text{실제통행시간}_t}{\text{실제통행시간}_t}$$

: t일의 정보 부정확성(inaccuracy);

$Aover_t = \max[A_t, 0]$; $Aunder_t = \min[A_t, 0]$

k, l: 현재 효용에 0과 유의하게 다른 영향을 미치는 과거 A_t의 최대 시간간격;

α_n: 개인특정 오차항 (individual-specific error term);

ε_{nt}: 임의 오차항 (random component)

제시된 모형은, 과거의 부정확도가 효용함수에 직접적으로 영향을 미치며, 그 영향은 시점에 따라 달라진다는 것을 기본가정으로 한다. 한편, 부정확도가 (+)인 경우와 (-)인 경우를 구분하고 있는데, 현재의 효용에 영향을 미치는 정도가 통행시간의 과대추정과 과소추정의 경우에 다르다고 하면, 이러한 가정은 현실적이다.

부정확도의 파라미터(ϕ_k, ϕ_l)가 유의하지 않은 것으로 나타날 때까지 k, l의 값을 증가시키면서 모형을 추정하여, 현재의 순응비율에 과거 얼마동안의 부정확도가 영향을 미치는가를 규명할 수 있다. 다만, 과거의 부정확도 사이에 상관관계가 높은 것으로 나타나면, 옳지 못한 결과가 나올 수 있다.

(2) 가중치 모형

과거의 경험이 일정한 규칙 하에 축적되어 현재의 효용에 영향을 미치는 과정을 나타내는 모형이다. 기존의 인식(historical perception)과 바로 전 시점에서의 충격(satisfaction yesterday)에 대해 각각 가중치를 부여함으로서, 운전자가 정보시스템에 대한 인식을 형성하는 과정을 설명할 수 있다. 모형식은 다음과 같다:

$$U_{nt} = \boldsymbol{\beta} \boldsymbol{X}_n + \boldsymbol{\gamma} \boldsymbol{I}_{nt} + \pi_1 Sover_t + \pi_2 Sunder_t + \alpha_n + \varepsilon_{nt}$$

$$Sover_t = w_1 Sover_{t-1} + (1 - w_1) Aover_{t-1} \qquad (0 < w_1 < 1)$$

$$Sunder_t = w_2 Sunder_{t-1} + (1 - w_2) Aunder_{t-1} \qquad (0 < w_2 < 1)$$

$Sover_2 = (1-w_1)Aover_1$; $Sunder_2 = (1-w_2)Aunder_1$

여기서, X_n, I_{nk}, A_i, $Aover_i$, $Aunder_i$: 직접모형식과 같은 변수를 표시함;

$Sover_i$: 정보통행시간이 실제통행시간보다 큰 경우의 불만족도;

$Sunder_i$: 정보통행시간이 실제통행시간보다 작은 경우의 불만족도;

w_1, w_2: 가중치

재귀적인 함수형태 때문에 w_1, w_2를 모형식 내에서 다른 파라미터와 함께 추정하는 것은 불가능하다. 다만, 가중치를 여러 가지 경우로 나누어서 가정하고 추정하여 가장 설명력이 좋은 모형을 선택할 수 있다. (e.g. $w=0.2$, $w=0.5$ ..., $w=1.0$)

위에서 제시한 모형은 각기 다른 접근법에 대한 전형적인 예일 뿐이며, 현실을 가장 잘 설명할 수 있도록 변수들을 조정하여 모형의 적합도를 높일 수 있다.

4. 자료수집

일부 수도권 지역을 포함한 서울지역에서 자가용을 이용하여 출퇴근하는 운전자들을 대상으로 조사를 수행한다. 사전설문조사를 통해 개별 운전자의 통근자료를 수집하고, 이로부터 운전자별로 맞춤 설계된(tailored) 시나리오에 따라 웹기반(web-based) 방식으로 실험을 수행한다.

가. 사전설문조사 (Preliminary Survey)

도시 통근자를 대상으로 사전설문지를 배포하여 122부를 회수하였으며, 이 가운데 경로가 명확하지 않은 경우를 제외하고 최종적으로 106명의 조사대상자를 확보하였다. 모든 개별 조사대상자에 대하여 출근통행의 기종점 및 주로 이용하는 경로(이하 주경로)와 대안경로를 파악하고, 사회경제변수, 인지통행시간, 출발시각 등의 자료를 수집하였다. 이를 간단히 정리하면 다음 표와 같다.

<표 5.12> 조사대상자 현황

성비	여자: 21명(20%), 남자: 85명(80%)
연령(평균)	32세 (24~41세 사이에 95%)
해당경로 이용기간(평균)	3년 3개월
운전경력(평균)	6년 7개월
인지통행시간(평균)	주경로: 62.5분; 대안경로: 65.8분
출근제약조건	지각허용시간에 제약이 없다: 14명(13%) 제약이 있는 경우, 지각허용시간(평균): 5.7분
경로이용비율(평균)	주경로 : 대안경로 = 7.22 : 1
정보이용빈도	거의 이용안함: 75명(71%) 주 1-2회: 18명(17%) 주 3회 이상: 13명(12%)
네트웍에 대한 친숙도	익숙하다 + 매우 익숙하다 : 69명(65%)

나. 본조사 (Main Survey)

조사대상자 106명에게 12일 동안 가상의 시나리오를 제공하여 교통정보에 대한 운전자의 순응여부를 관측한다. 시나리오 설계의 구체적인 방법은 다음과 같다

(1) 실제통행시간의 설계

응답자는 경로선택을 마친 다음, 선택한 경로의 실제통행시간을 확인하게 된다. 사전설문조사에서 얻어진 인지통행시간의 평균값과 범위 자료를 바탕으로 하여, 난수를 발생시켜 정규분포를 따르도록 주경로와 대안경로의 통행시간을 각각 설계하였다.

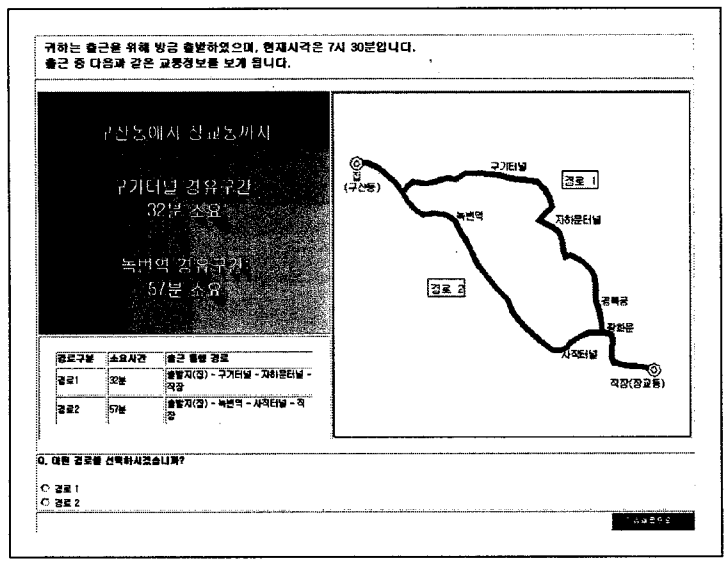
(2) 정보제공 통행시간의 설계

응답자는 안내 메시지의 형태로 두 경로의 정보제공 통행시간을 보게 된다. (1)에서 만들어진 실제 통행시간에 대하여 ±30% 이내의 정확도를 가지는 것으로 가정하고, 난수를 발생시켜 균일분포를 따르도록 주경로와 대안경로의 정보제공 통행시간을 각각 설계하였다.

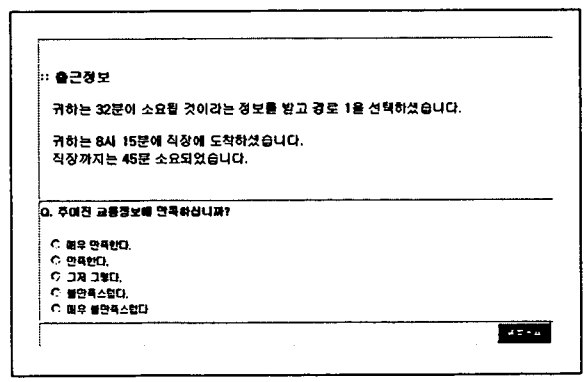
(3) 출발시각의 설계

실험에 현실감을 부여하기 위해 응답자가 특정한 시각에 출발하는 것으로 설계된다. 사전설문조사에서 얻어진 출발시각의 평균과 범위 자료를 바탕으로 하여, 각 실험일의 출발시각을 설계하였다.

실험은 인터넷을 이용한 웹 기반 방식으로 이루어지는데, 각 응답자는 로그인 ID와 비밀번호를 부여받아 자신의 통근경로에 맞추어 설계된 시나리오에 따라 실험에 참가하게 된다. 실험환경의 설계는 아래 그림과 같다.



<그림 5.10> 정보제공 및 경로선택 화면 (예시)



<그림 5.11> 경로선택 이후 실제통행정보 화면 (예시)

5. 모형추정 및 결과

가. 모수추정방법

개인특성오차항의 분포에 따라 선택확률을 계산하고 로그 우도함수(log likelihood function)를 유도하여 최우추정도법(maximum likelihood estimation)으로 모형을 추정한다. 먼저, 모형식에서 오차항 부분을 η_{nt}로 쓰면,

$$U_{nt} = \boldsymbol{\beta} \boldsymbol{X}_n + \alpha_n + \varepsilon_{nt} = \boldsymbol{\beta} \boldsymbol{X}_n + \eta_{nt}$$

이 때, 선택지표는 0 또는 1의 값을 갖게 된다.

$$y_{nt} = \begin{cases} 1 & \text{if } U_{nt} \geq 0 \\ 0 & \text{if } U_{nt} < 0 \end{cases}$$

우도함수는 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$L = \prod_{n=1}^{N} L_n$$

$$L^* = \log L = \sum_{n=1}^{N} \ln L_n$$

$$L_n = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{\eta_n^2}{2}} \prod_{t=1}^{T} \Phi(r_{nt} z_{nt}) d\eta_n$$

여기서, $r_{nt} = 2y_{nt} - 1$; $z_{nt} = \boldsymbol{\beta} \boldsymbol{X}_n + [\nu/(1-\nu)]^{1/2} \eta_n$

식 (5)를 (4)에 대입하고, 로그 우도함수의 값이 최대가 되는 파라미터 $\hat{\boldsymbol{\beta}}$를 추정한다.

나. 변수설정 및 모형의 identification

앞에서 언급한 각 항목별로 가장 타당한 변수를 설정하기 위해 여러 가지 대안에 대해 모형을 추정하고 그 결과를 비교, 평가한다.

(1) 정보와 지식간의 편차

정보통행시간과 인지통행시간의 차이가 순응과정에 미치는 영향은, 정보통행시간이 더 큰 경우와 인지통행시간이 더 큰 경우에 각기 다르며, 추천된 경로

(통행시간이 더 짧은 경로)가 주경로인 경우와 대안경로인 경우에도 각기 다르다. 또한 정보 상의 통행시간이 인지하고 있는 통행시간과 크게 차이나는 경우와 그렇지 않은 경우에도 그 영향이 다를 것으로 가정할 수 있다. 이에 다음과 같이 변수를 설정한다.

$$Iover1_{nt} = \begin{cases} 1 & \text{if } ITmain_{nt} < ITalt_{nt} \text{ 이고 } \max\left(\frac{ITmain_{nt} - PTmain_{nt}}{PTmain_{nt}}, 0\right) > \theta_1 \\ 0 & otherwise \end{cases}$$

$$Iunder1_{nt} = \begin{cases} 1 & \text{if } ITmain_{nt} < ITalt_{nt} \text{ 이고 } \max\left(\frac{PTmain_{nt} - ITmain_{nt}}{PTmain_{nt}}, 0\right) > \theta_2 \\ 0 & otherwise \end{cases}$$

$$Iover2_{nt} = \begin{cases} 1 & \text{if } ITalt_{nt} < ITmain_{nt} \text{ 이고 } \max\left(\frac{ITalt_{nt} - PTalt_{nt}}{PTalt_{nt}}, 0\right) > \theta_3 \\ 0 & otherwise \end{cases}$$

$$Iunder2_{nt} = \begin{cases} 1 & \text{if } ITalt_{nt} < ITmain_{nt} \text{ 이고 } \max\left(\frac{PTalt_{nt} - ITalt_{nt}}{PTalt_{nt}}, 0\right) > \theta_4 \\ 0 & otherwise \end{cases}$$

여기서, IT: Informed Travel time; PT: Perceived Travel time

$main$: 주경로; alt : 대안경로 ; θ_i $(i=1,2,3,4)$ 임계값

θ_i값들은 각각의 통행시간 차이가 순응확률에 부정적인 영향을 미치기 시작하는 임계값을 의미한다. 임계값을 찾기 위해 모형을 추정한 결과, <표 2>에서와 같이 $under$변수는 임계값이 낮은 경우와 높은 경우에 모두 부호가 (+)이고, t-통계량이 낮은 것으로 나타났다. 이는 정보통행시간이 인지통행시간보다 30%이상 작으면 정보에 순응할 확률이 높아지고, 또한 정보통행시간과 인지통행시간의 차이가 클수록 순응확률이 높아진다는 것을 의미하므로, 직관에 위배되는 것이다. 이러한 현상이 나타나게 되는 원인은, 정보 상의 통행시간이 인지통행시간보다 작은 경우에 대한 응답자들의 반응이 각기 다르기 때문에 뚜렷한 경향성이 나타나지 않으며, 추천된 경로가 주경로인가의 여부와 관련되어 있기 때문인 것으로 보인다. 이에, $Iunder1_{nt}$ $Iunder2_{nt}$의 두 변수를 모형에서 제외하기로 결정한다.

<표 5.13> 직접모형에서의 $Iunder1_{nt} Iunder2_{nt}$ 계수추정

모형		계수추정	t-통계량
$\theta_1 = \theta_3 = 0.3$ $\theta_2 = \theta_4 = 0.3$	$Iunder1_{nt}$	0.505	0.853
	$Iunder2_{nt}$	0.220	0.665
$\theta_1 = \theta_3 = 0.3$ $\theta_2 = \theta_4 = 0$	$Iunder1_{nt}$	0.113	0.482
	$Iunder2_{nt}$	0.059	0.398

한편, 정보 상의 통행시간이 인지통행시간보다 큰 값을 가지는 경우($Iover1_{nt}$ $Iover2_{nt}$)에 응답자의 순응확률을 살펴보기 위해 θ_1, θ_3의 값을 변화시키면서 모형을 추정하였으며, 그 중 $\theta_1 = 0.3$일 때의 결과가 아래 <표 5.14>에 제시되어 있다. $\theta_3 = 0.15$인 경우에 가장 유의미한 t-통계량을 가지는 것으로 나타났는데, 이는 대안경로의 통행시간이 더 짧은 것으로 제시된 경우, 대안경로의 정보통행시간이 인지통행시간보다 15% 정도 초과되면, 주어진 정보에 순응하지 않고 주경로를 이용할 가능성이 높아진다는 것을 의미한다.

<표 5.14> 직접모형에서의 $Iover1_{nt} Iover2_{nt}$ 계수추정

모형		계수추정	t-통계량
$\theta_1 = 0.3$ $\theta_3 = 0.3$	$Iover1_{nt}$	-0.231	-0.450
	$Iover2_{nt}$	-0.035	-0.036
$\theta_1 = 0.3$ $\theta_3 = 0.2$	$Iover1_{nt}$	-0.232	-0.453
	$Iover2_{nt}$	-0.170	-0.249
$\theta_1 = 0.3$ $\theta_3 = 0.15$	$Iover1_{nt}$	-0.232	-0.454
	$Iover2_{nt}$	-0.312	-0.840
$\theta_1 = 0.3$ $\theta_3 = 0.1$	$Iover1_{nt}$	-0.232	-0.453
	$Iover2_{nt}$	-0.089	-0.235

<표 5.15>에서는 $\theta_3 = 0.15$로 고정시키고 θ_1의 값을 변화시키면서 계수를 추정한 결과가 제시되어 있다. t-통계량을 보면 $\theta_1 = 0.3$일 때가 상대적으로 높지만 여전히 매우 낮은 수준이며, 특히 $\theta_1 = 0.25$이하가 되면 부호가 (+)로

바뀌는 것을 알 수 있다. 이는 주경로에 대해서는 정보통행시간과 인지통행시간의 차이가 크더라도 순응확률이 크게 떨어지지 않으며, 그 차이가 작을 경우에는 주경로에 대한 선호의 효과가 더 커서, 정보와 지식의 차이에서 기인한 정보에 대한 신뢰감 저하의 효과가 드러나지 않기 때문인 것으로 판단할 수 있다. 즉, $Iover1_{nt}$를 변수에서 제외하는 것이 타당할 것으로 보인다.

<표 5.15> 직접모형에서의 $Iover1_{nt}Iover2_{nt}$ 계수추정

모형		계수추정	t-통계량
$\theta_1 = 0.32$	$Iover1_{nt}$	-0.093	-0.136
$\theta_3 = 0.15$	$Iover2_{nt}$	-0.312	-0.837
$\theta_1 = 0.3$	$Iover1_{nt}$	-0.232	-0.454
$\theta_3 = 0.15$	$Iover2_{nt}$	-0.312	-0.840
$\theta_1 = 0.27$	$Iover1_{nt}$	-0.231	-0.040
$\theta_3 = 0.15$	$Iover2_{nt}$	-0.312	-0.837
$\theta_1 = 0.25$	$Iover1_{nt}$	0.075	0.136
$\theta_3 = 0.3$	$Iover2_{nt}$	-0.312	-0.836

결론적으로, 정보와 지식의 차이가 순응확률에 미치는 영향은 응답자가 인식하고 있는 것보다 나쁜 결과가 나왔을 때 보다 유의미하며, 응답자들은 주경로보다는 대안경로에 대해 보다 까다로운 판단기준을 적용한다고 할 수 있다.

(2) 출근제약조건

출근제약조건을 반영하는 데에는 크게 다음의 세 가지 방법을 제안할 수 있다.

$$arrive(\text{도착시각제약 더미변수}) = \begin{cases} 1 & \text{도착시각이 정해져 있다} \\ 0 & \text{그렇지 않다} \end{cases}$$

$$tardy1(\text{지각수용 더미변수}) = \begin{cases} 1 & \text{정시에 출근해야 한다} \\ 0 & \text{그렇지 않다} \end{cases}$$

$$tardy2(\text{지각수용 더미변수}) = \begin{cases} 1 & \text{지각수용시간에 제약이 없다} \\ 0 & \text{그렇지 않다} \end{cases}$$

위의 정의에 따르면, 직관적으로 *arrive*와 *tardy*1의 부호는 같고, *tardy*2의 부호는 다르게 추정되는 것이 타당하다. 각 변수를 사용하여 직접모형을 추정한 결과는 아래와 같다. *arrive*와 *tardy*1는 (-)의 부호를 가지고, *tardy*2는 (+)의 부호를 가지는 것으로부터, 도착시각에 제약이 있는 경우에는 주어진 정보에 순응하기보다 자신의 경험을 신뢰하는 경향이 있다고 할 수 있다. 또한, t-통계량이 낮은 *tardy*1보다는 *arrive*나 *tardy*2을 변수로 채택하는 것이 바람직할 것으로 보인다.

<표 5.16> 직접모형에서의 *arrive*, *tardy*1, *tardy*2 계수추정

	계수추정	t-통계량
arrive	-0.309	-1.912
*tardy*1	-0.056	-0.458
*tardy*2	0.287	1.690

지금까지의 검토결과에 근거하여 $Iover2_{nt}(\theta_3 = 0.15)$, *arrive* 또는 *tardy*2 등을 설명변수로 설정하고, 이를 적용하여 각 모형을 추정한다.

다. 모형추정결과

(1) 직접모형

먼저, 하루 전의 부정확도를 포함하는 모형을 추정한 결과는 다음 <표 5.17>과 같다. 하루 전의 부정확도 중 정보통행시간이 실제통행시간보다 길게 예측된 경우를 의미하는 $Aover_{t-1}$변수는 추정결과 유의미하지 않은 것으로 나타났으며, 모형의 설명력도 향상되지 않으므로 이 변수를 제외하기로 한다.

	계수추정	t-통계량	$\bar{\rho}^2$
$Aover_{t-1}$	-0.382	-0.522	0.2770

한편, 개인특정오차항을 포함하지 않은 경우보다 포함한 모형의 추정결과가 변수들의 유의성 측면이나 모형의 적합도 면에서 좋은 것으로 나타났다. $\nu = 0.284$ 로 추정된 것은 동일한 개인의 반복관측에 대한 상관계수가 0.284임을 의미한다.

아래 <표 5.17>의 결과에서, 전날 정보의 정확도가 떨어질수록 정보에 순응할 확률이 낮아진다는 것을 알 수 있다. 지각허용 더미변수로는 *tardy2*를 사용하였는데, 이는 지각이 허용되는 통근자일수록 정보에 순응할 확률이 높아진다는 것을 의미한다. 모든 변수들 가운데 가장 큰 값을 가지는 것은 추천경로의 이용비율로서, 이는 주경로의 통행시간이 짧다는 정보가 주어졌을 때 정보에 순응할 확률이 높아짐을 의미한다. 즉, 다른 어떤 요인들보다도 주경로인가의 여부가 통근자 의사결정에 가장 큰 영향을 미치는 것이다.

<표 5.17> 직접모형(lag=1)의 추정결과

개인특정오차항 α_n을 포함하지 않는 경우			[모형 1] 개인특정오차항 α_n을 포함하는 경우		
	계수추정	t-통계량		계수추정	t-통계량
$Iover2_{nt}(\theta_3 = 0.15)$	-0.286	-0.978	$Iover2_{nt}(\theta_3 = 0.15)$	-0.317	-0.909
$Aunder_{t-1}$	-0.509	-1.054	$Aunder_{t-1}$	-0.893	-1.387
지각수용더미변수	0.300	2.020	지각수용더미변수	0.338	1.499
추천경로의 이용비율	1.959	15.043	추천경로의 이용비율	2.367	15.865
			ν	0.284	4.116
응답자 수 = 91			응답자 수 = 91		
관측수 = 870			관측수 = 870		
Restricted log likelihood $L(0)$= -432.563			Restricted log likelihood $L(0)$= -432.563		
Log likelihood function $L(\hat{\beta})$= -321.724			Log likelihood function $L(\hat{\beta})$= -306.8799		
$\bar{\rho}^2$ = **0.2470**			$\bar{\rho}^2$ = **0.2790**		

2일전 및 3일전의 부정확도를 포함하는 모형을 추정한 결과는 다음 <표 5.18>에 제시되어 있다. 이 경우에는 1일전의 부정확도를 의미하는 변수 $Aover_{t-1}$의 부호가 (+)인 것으로 나타났는데, 이는 전날의 정보가 과다추정 되었을수록 정보에 순응할 확률이 높아진다는 것을 의미하므로 직관에 위배된다. 또한 과거로 거슬러 올라갈수록 계수의 절대값이 커지는 것은 시간이 지날수록 현재의 효용에 더 큰 영향을 미친다는 것이므로 역시 직관에 위배된다. 이

러한 현상이 나타나게 된 원인은, $Aover_{t-1}$이 2일전, 3일전의 부정확도 $Aover_{t-2}$ $Aover_{t-3}$등의 변수와 상호작용에 기인한 것으로 판단된다. 또한 이러한 현상은, 정보제공통행시간보다 실제통행시간이 짧게 걸린 경우에 느끼는 불만족은 통근자에게 뚜렷하게 기억되지 않으며, 그 영향이 크지 않다는 것을 의미한다. 이들 변수를 사용하면 전체적인 모형의 적합도는 증가하지만, 이러한 변수를 채택할만한 합리적인 근거들을 찾을 수 없으므로 제외하기로 결정한다.

모형		계수추정	t-통계량	$\overline{\rho}^2$
lag=2	$Aover_{t-1}$	0.269	0.320	0.2990
	$Aover_{t-2}$	-1.829	-2.305	
lag=3	$Aover_{t-1}$	0.456	0.484	
	$Aover_{t-2}$	-1.600	-1.821	0.2848
	$Aover_{t-3}$	-1.572	-1.742	

2일전의 부정확도를 포함하는 모형을 추정한 결과, 1일전의 부정확도와 2일전의 부정확도가 약 1.4:1(=0.670/0.488)의 비율로 순응확률에 영향을 주는 것으로 나타났다. 지각수용더미변수 및 추천경로의 이용비율 등의 변수추정결과는 <표 5.17>의 [모형 1]에서와 유사하며, 모형의 적합도는 [모형 1]보다 향상되었다. 한편, 동일 개인의 선택간의 상관계수는 0.358로, [모형 1]에서보다 더 큰 값을 가진다.

한편, 3일전의 부정확도를 포함하는 모형에서는 3일전의 부정확도의 계수부호가 (+)이고, 1일전보다 2일전의 계수 절대값이 더 크다는, 직관에 위배되는 결론이 도출된다. 이러한 결과는 이들 변수간에 상호작용이 있기 때문인 것으로 보인다. 즉, 모형의 적합도가 [모형 1]에 비해 개선되었음에도 불구하고, 이 모형을 지지할만한 타당한 근거가 없다.

<표 5.18> 개인특정오차항 α_n를 포함하는 직접모형(lag=2, 3)의 추정결과

[모형 2] 직접모형(lag=2)			직접모형(lag=3)		
	계수추정	t-통계량		계수추정	t-통계량
$Iover2_n(\theta_3 = 0.15)$	-0.219	-0.631	$Iover2_n(\theta_3 = 0.15)$	-0.099	-0.267
$Aunder_{t-1}$	-0.670	-0.975	$Aunder_{t-1}$	-0.592	-0.831
$Aunder_{t-2}$	-0.488	-0.728	$Aunder_{t-2}$	-0.711	-0.953
			$Aunder_{t-3}$	0.331	0.489
지각수용더미변수	0.374	1.412	지각수용더미변수	0.373	1.431
추천경로의 이용비율	2.669	14.072	추천경로의 이용비율	2.530	12.183
ν	0.358	4.811	ν	0.297	3.828
응답자 수 = 89			응답자 수 = 89		
관측수 = 779			관측수 = 690		
Restricted log likelihood $L(0)$= -385.900			Restricted log likelihood $L(0)$= -341.078		
Log likelihood function $L(\hat{\beta})$= -264.917			Log likelihood function $L(\hat{\beta})$= -237.910		
$\bar{\rho}^2$ = 0.2980			$\bar{\rho}^2$ = 0.2820		

(2) 가중치 모형

기존의 인식(historical perception)과 이전 시점에서의 경험(satisfaction yesterday)이 운전자의 정보시스템에 대한 인식을 형성하는 과정을 살펴보기 위해, 모형의 타당성이 가장 좋게 되는 가중치를 찾는다. 다른 변수가 모두 동일한 경우에, 가중치를 변화시키면서 모형을 추정하면, 어떤 모형에서도 일관되게 $w_1 = 0.4$ 일 때 t-통계량과 모형의 적합도가 가장 우월한 것으로 나타난다. 그 중 $\bar{\rho}^2$가 가장 높은 경우를 정리하면 <표 5.19>와 같다.

위의 결과로부터 기존의 인식에 대한 가중치를 0.4, 전날의 경험에 대한 가중치를 0.6으로 설정하고 모형을 추정하면, 아래 <표 5.20>과 같은 결과를 얻는다. 개인특성오차항을 포함하는 경우에 모형의 적합도가 훨씬 우월하며, 동일 개인에 대한 반복관측 간의 상관계수(0.281)도 유의하게 나타난다. 한편, *Sunder*와 *Sover*의 계수비가 1.87(=1.637/0.873) 인 것으로부터, 정보상의 메시지보다 실제통행시간이 더 오래 걸린 경우에 느끼는 불만족이 주어진 정보에 비해 짧은 통행시간을 경험했을 때 느끼는 불만족에 비해 2배에 가까운 영향을 미친다고 할 수 있다. 지각수용더미변수 및 추천경로이용비율 등의 다른 변수는 위의 [모형 1], [모형 2]와 유사한 것으로 나타났다.

<표 5.19> 가중치에 따른 모형의 적합도 비교 (개인특정오차항 α_n 포함시)

	계수추정	t-통계량	$\bar{\rho}^2$
Sover($w_1 = 0.1$)	-0.518	-0.662	0.2776
Sunder($w_2 = 0.1$)	-1.191	-1.692	
Sover($w_1 = 0.3$)	-0.775	-0.857	0.2786
Sunder($w_2 = 0.3$)	-1.514	-1.820	
Sover($w_1 = 0.4$)	-0.873	-0.881	0.2788
Sunder($w_2 = 0.4$)	-1.637	-1.823	
Sover($w_1 = 0.5$)	-0.911	-0.820	0.2786
Sunder($w_2 = 0.5$)	-1.709	-1.757	
Sover($w_1 = 0.7$)	-0.841	-0.524	0.2773
Sunder($w_2 = 0.7$)	-1.735	-1.424	
Sover($w_1 = 0.9$)	-0.681	-0.178	0.2758
Sunder($w_2 = 0.9$)	-2.262	-0.906	

<표 5.20> 가중치 모형($w_1 = 0.4$)의 추정결과

개인특정오차항 α_n을 포함하지 않는 경우			[모형 3] 개인특정오차항 α_n을 포함하는 경우		
	계수추정	t-통계량		계수추정	t-통계량
Iover2$_n$($\theta_3 = 0.15$)	-0.184	-0.613	*Iover2*$_n$($\theta_3 = 0.15$)	-0.256	-0.720
Sover($w_1 = 0.4$)	-1.452	-1.796	*Sover*($w_1 = 0.4$)	-0.873	-0.881
Sunder($w_2 = 0.4$)	-0.851	-1.305	*Sunder*($w_2 = 0.4$)	-1.637	-1.823
지각수용더미변수	0.339	2.224	지각수용더미변수	0.406	1.745
추천경로의 이용비율	2.102	13.702	추천경로의 이용비율	2.459	16.085
			ν	0.281	3.933
응답자 수 = 91			응답자 수 = 91		
관측수 = 870			관측수 = 870		
Restricted log likelihood $L(0)$= -432.563			Restricted log likelihood $L(0)$= -432.563		
Log likelihood function $L(\hat{\beta})$= -319.945			Log likelihood function $L(\hat{\beta})$= -305.967		
$\bar{\rho}^2$ = 0.2488			$\bar{\rho}^2$ = 0.2788		

(3) 모형의 비교

공통되는 변수들의 계수 추정값은 각 모형간에서 주목할만한 큰 차이가 나타나지 않는다. 전체적인 적합도(likelihood ratio)만으로 평가하면, [모형 2]가 가장 좋고, [모형 1], [모형 3]의 순서가 된다. 그러나 [모형 1], [모형 2]와는 달리, [모형 3]에서는 정보가 실제보다 과대추정된 경우(*Sover*)와 과소추정된 경

우(*Sunder*)의 효과에 대해서 비교설명이 가능하다는 이점이 있다. 또한 [모형 2]의 경우, 적합도는 높으나 다른 두 모형에 비해 변수들의 t-통계량이 낮다는 문제점이 있으므로, 특정한 모형이 가장 우월하다고 단정하기가 어렵다. 다만, [모형 3]에서는 어느 시점의 특정한 경험이 장래 언제까지 영향을 미칠 것인가에 대한 설명이 가능하다는 점을 지적할 수 있다. 예를 들어, 1일전의 정확도는 0.6, 2일전의 정확도는 0.24, 3일전의 정확도는 0.096의 가중치를 가지므로, 50%의 오류를 경험하고 3일이 지나면, 1일전에 8% 오류를 경험한 것과 동일한 효과를 가진다고 할 수 있다.

[모형 2]와 [모형 3]의 결과로부터 과거의 영향이 어떠한 방식으로 응답자의 인식을 형성하는가를 확인할 수 있다. 현재의 효용에 영향을 미치는 과거의 모든 영향요인을 1로 보았을 때, [모형 2]에서 1일전의 영향은 0.58, 2일전의 영향은 0.42 정도가 되며, [모형 3]의 경우, 1일전의 영향은 0.6, 2일 이상 지난 경험요인은 0.4의 비중을 차지한다. 상대적인 비율만을 비교했을 경우, 두 모형의 결과는 교통정보 이용자가 정보시스템에 대한 인식을 형성하는 과정을 유사하게 보여준다.

<표 5.21> 모형 추정결과의 비교

	[모형 1]		[모형 2]		[모형 3]	
	계수추정	t-통계량	계수추정	t-통계량	계수추정	t-통계량
$Iover2_{nt}(\theta_3 = 0.15$	-0.317	-0.909	-0.219	-0.631	-0.256	-0.720
$Aunder_{t-1}$	-0.893	-1.387	-0.670	-0.975		
$Aunder_{t-2}$			-0.488	-0.728		
$Sover(w_1 = 0.4$					-0.873	-0.881
$Sunder(w_2 = 0.4$					-1.637	-1.823
지각수용더미변수	0.338	1.499	0.374	1.412	0.406	1.745
추천경로의 이용비율	2.367	15.865	2.669	14.072	2.459	16.085
ν	0.284	4.116	0.358	4.811	0.281	3.933
$L(0)$	-432.563		-385.900		-432.563	
$L(\hat{\beta})$	-306.880		-264.917		-305.967	
$\bar{\rho}^2$	0.2790		0.2980		0.2788	

6. 모수추정결과 분석

운전자가 교통정보에 어떻게 반응하는가를 이해하는 것은 정보시스템의 설계에 있어서 매우 중요한 부분이다. 운전자의 경험이 축적되어 정보시스템에 대한 인식을 형성하게 되는 과정을 이해하고 주어진 교통정보에 반응할 확률을 예측할 수 있다면, 교통정보에 의해 네트웍을 효율적으로 제어하고 예측기반 교통정보를 제공하는 데에도 큰 도움이 될 것이다.

이에 본 연구에서는 동일한 개인들을 대상으로 개별 통근경로에 대한 교통정보 반응조사를 12일 동안 반복 수행하였다. 그 결과 운전자의 순응확률에 영향을 미치는 중요한 변수로서, 네트웍에 대한 지식과 주어진 정보간의 차이, 과거의 정확도 또는 만족도 등을 규명하고 그 영향을 정량화할 수 있었다.

주로 이용하는 경로에 대해서 통근자들은 정보통행시간과 인지통행시간의 차이를 심각하게 느끼지 않지만, 평소 이용비율이 낮은 대안경로의 경우에는 인식범위와 정보간의 차이가 정보에 대한 신뢰도에 영향을 주는 것으로 나타났다. 또한 그러한 효과는 자신의 인지통행시간 보다 더 큰 통행시간 정보를 받는 경우에 보다 두드러진다.

본 연구에서는 과거의 정보이용에서의 만족도를 정량화하는 데에 크게 두가지 방법을 적용하였다. 정보 상의 통행시간과 실제통행시간의 차이를 비율로 환산한 정확성의 척도를 그대로 사용하는 방법과, 전날까지 가지고 있던 정보에 대한 인식에 전날 경험한 정확도를 가중합하는 방법이 그것이다. 모형의 추정결과, 2일전까지의 정확도를 포함하는 모형의 설명력이 가장 좋은 것으로 나타났고, 한편, 가중치를 이용한 모형에서는 전날의 정확도와 정보시스템에 대한 기존의 인식이 현재에 영향을 미치는 비율이 0.6:0.4 정도인 것으로 나타났다. 가중치 모형의 결과에 의하면, 정보제공 통행시간보다 실제통행시간이 오래 걸린 경우의 불만족은, 실제통행시간이 적게 걸린 경우의 불만족보다 2배 가까이 큰 것으로 나타났다.

일련의 사실들은, 정보이용자가 특정한 날의 경험에 의해 인식을 바꾸지만, 그 효과는 그리 오래 지속되지 않는다는 점을 말해준다. 또한, 순응확률을 높이기 위해서는 교통정보를 약간씩 과대추정하여 주는 것이 과소추정하는 것보다는 유리하다는 점을 시사하기도 한다.

여 백

제 6 장 통행자 반응행태모형의 검증

6장에서는 교통정보 제공에 따른 통행자의 반응행태 모형과 이 모형을 수용한 시뮬레이션 시스템이 현실을 잘 표현하는지를 검증한다. 우선 모형을 검증하는 일반적 방법론을 검토하고 이를 토대로 본 연구에서 개발된 모형이 통행자의 경로선택행태를 잘 모사하는지 검증한다.

모형의 검증은 크게 네 가지로 나누어 이루어진다.

첫째, 경로선택모형의 민감도 분석을 시행한다. 민감도 분석은 모형에 사용된 독립변수들을 변화시켜가면서 선택확률을 산정하여 그 결과가 합리적인가를 검증한다.

둘째, 현장에서 조사된 검증자료를 이용하여 개발된 경로선택모형이 현실과 얼마나 부합되는 선택확률을 산정하는지 검증한다.

셋째, 강남구 네트워크를 이용하여 시뮬레이션을 구동시키고 특정 구간에 유고를 발생시켜 그 전후에 경로선택확률의 변화가 어떻게 이루어지는가를 분석하여 시뮬레이션을 통한 검증을 수행한다.

넷째, 강남구 네트워크를 대상으로 정보이용자의 비율을 증가시켜갈 때 교통류의 분산효과가 어떻게 나타나는지 분석함으로써 개발된 모형의 적용성을 검토한다.

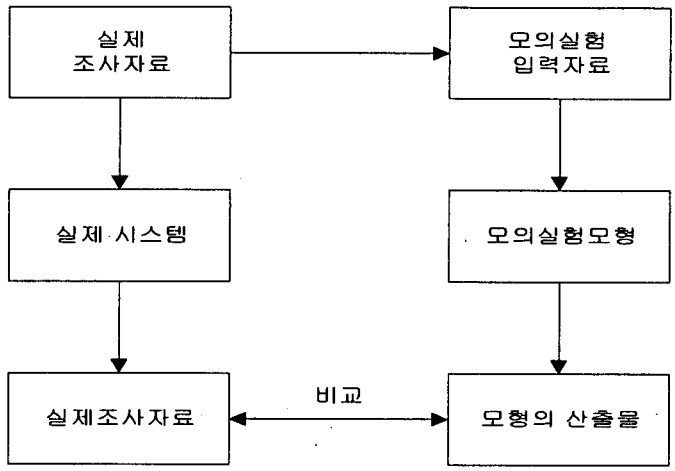
6.1 모형 검증의 일반적 방법론

모형의 검증은 모형이 현상을 합리적으로 설명하는지 살펴보는 verification과 모형을 통하여 얻은 결과가 현실을 잘 모사하는지 살펴보는 validation으로 나눌 수 있다. verification은 모형의 입력값을 변화시키면서 출력값의 변화를 고찰하는 민감도 분석에 의해 수행되지만, validation은 실측자료와 모형의 산출물에 대한 비교·분석을 수행해야하므로, 자료의 수집, 통계적 분석등의 노력이 필요하다.

본 연구에서는 Correlated Inspection Approach로 통해 검증을 수행한다. 이러한 검증방법의 내용을 간략히 기술하면 다음과 같다.

관측자료를 입력값으로 사용하여 모형에서 얻은 값과 실측값을 비교하는 것으로 무작위성에 따른 문제를 어느 정도 해결할 수 있다. 즉, 이 방법은 어떤 시뮬레이션 연구에 대해서도 시뮬레이션 모형의 현실모사정도를 파악할 수 있다. 사실상, 어떤 연구에 대해서 실제 시스템의 운영에 대해 이용 가능한 자료의 양이 극히 제한되어 있기 때문에 이 방법은 유일한 접근법이 될 수도 있다. 그러나, 이 접근법의 결과를 해석하는데는 주의가 필요하다.

Correlated Inspection Approach 방법을 도식화하면 아래의 그림과 같다.



<그림 6.1> Correlated Inspection Approach

6.2 통행자 반응행태 모형의 민감도 분석

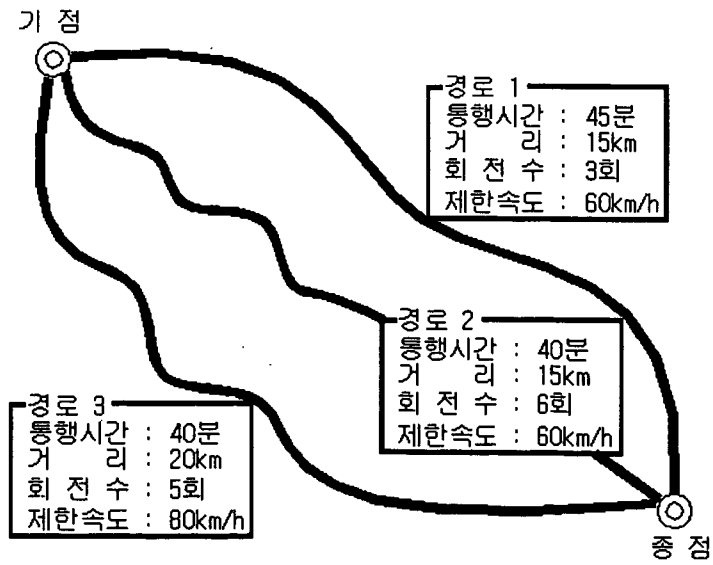
본 연구과제에서 개발된 통행자 반응행태 모형 즉, 경로선택모형을 검증하기 위해 우선 독립변수의 변화에 따라 합리적인 경로선택확률이 산정되는가 확인하는 과정으로서 민감도 분석을 시행한다. 이러한 민감도 분석을 위해서는 우선 가상의 도로망을 구성하고 그에 입력되는 독립변수를 설정한다.

다음 단계로 독립변수의 변화를 가정하고 그에 따라 변화되어 산출되는 경로선택확률을 검토한다. 분석대상으로 삼은 가상의 도로망은 다음과 같다.

<표 6.1> 민감도 분석대상 가로망특성

대안경로	통행시간	제한속도	경로길이	지체시간	회전수
경로 1	45분	60km/h	15km	30분	3회
경로 2	40분	60km/h	15km	25분	6회
경로 3	40분	80km/h	20km	25분	5회

주 : 지체시간 = 통행시간 - 자유류 통행시간 = 통행시간 - (경로길이/제한속도) 로 계산됨.
경로선택모형에 사용된 독립변수는 경로길이, 지체시간, 회전수임.



<그림 6.2> 민감도 분석대상 가로망도

1. 지체시간 변화에 따른 민감도 분석

지체시간은 앞서 언급한 바와 같이 통행시간에서 자유류 통행시간을 뺀 값을 의미하고, 자유류 통행시간은 경로길이를 제한속도로 나눈 값이다. 따라서 통행시간의 증감은 경로길이나 제한속도의 변화가 없는 한 지체시간의 변화로 이어진다.

여기서도 지체시간 변수의 민감도 분석을 위해 제한속도와 경로길이의 변화가 없다고 하고, 경로 1의 통행시간이 30분에서 60분까지 5분씩 증가하는 경우를 분석한다. 이는 경로 1의 지체시간이 15분에서 45분까지 5분씩 증가하는 경우 각각의 대안경로를 선택하는 확률은 어떻게 변화하는지 검토한다.

기준 상황에서의 선택확률은 경로 1이 40%, 경로 2가 27%, 경로 3이 33%로 나타난다.

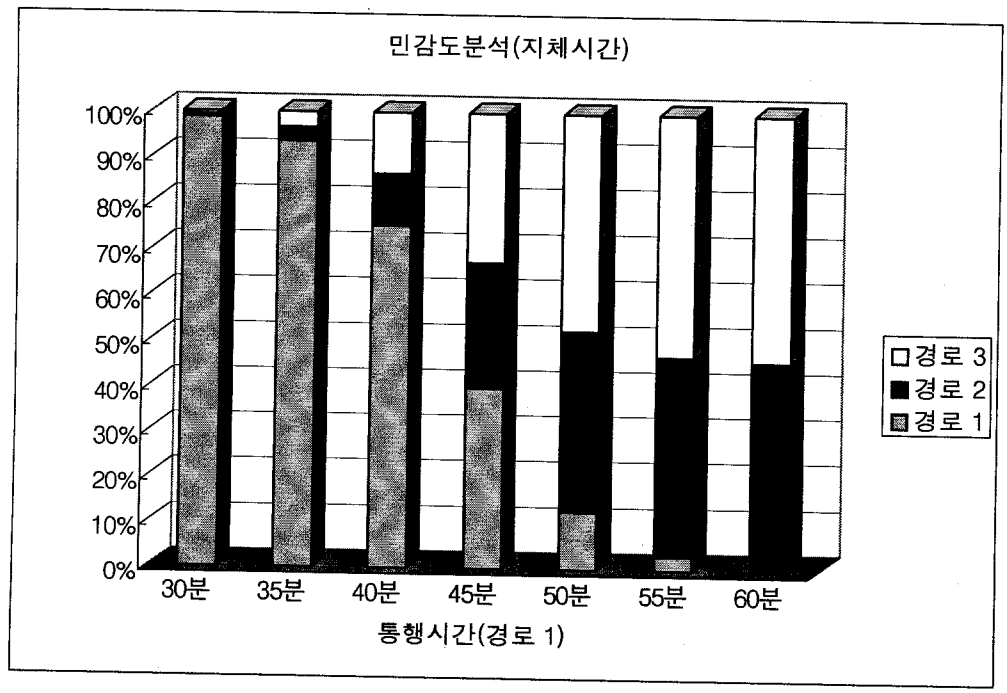
만약 경로 1의 통행시간이 30분으로 15분 단축되는 경우 지체시간도 30분에서 15분으로 줄어드는데, 그 결과 전체차량의 98%가 경로 1을 선택하게 되고, 경로 2와 3이 각각 1% 정도의 선택확률을 갖게 된다. 또한 경로 1의 통행시간이 40분으로 지체시간이 5분 단축되는 경우에는 경로 1의 선택확률은 75%, 경로 2가 11%, 경로 3이 14%의 선택확률을 보인다.

반면에 통행시간이 5분 증가되어 50분이 소요된다면 경로 1의 선택확률은 13% 정도로 낮아지며, 경로 2와 3은 각각 40%와 47%로 증가한다. 더 큰 혼잡상황을 가정하여 통행시간이 60분으로 지체시간 15분이 증가된다면 경로 1의 선택확률은 1% 정도로 크게 떨어지며 가장 우월한 대안인 경로 3의 확률이 54%, 경로 3의 확률은 45%가 된다.

이상에서 경로 1의 지체시간이 증가함에 따라 경로 1의 선택확률은 낮아지며, 경로 2와 3으로의 선택확률이 높아짐을 알 수 있다. 여기서 경로 2와 3의 대안속성이 변화하지 않는 한 경로 2와 3의 우열관계는 변화하지 않고, 경로 3의 선택확률이 경로 2의 선택확률 보다 크다.

<표 6.2> 지체시간 변화에 따른 민감도 분석

경로 1의 통행시간	경로 1 선택확률	경로 2 선택확률	경로 3 선택확률
30분	98.5%	0.7%	0.8%
35분	93.3%	3.1%	3.6%
40분	75.2%	11.3%	13.5%
45분	**39.7%**	**27.4%**	**32.9%**
50분	12.5%	39.8%	47.7%
55분	3.0%	44.1%	52.9%
60분	0.7%	45.2%	54.1%



<그림 6.3> 민감도 분석결과(지체시간)

2. 회전수 변화에 따른 민감도 분석

회전수 변수의 민감도 분석을 위해서 경로 1의 회전수가 주변 도로망의 변화에 따라 지체시간과 경로길이에는 변화가 없으나 회전수가 1회 혹은 2회 증감하는 경우를 가정하여 선택확률의 변화를 검토하였다.

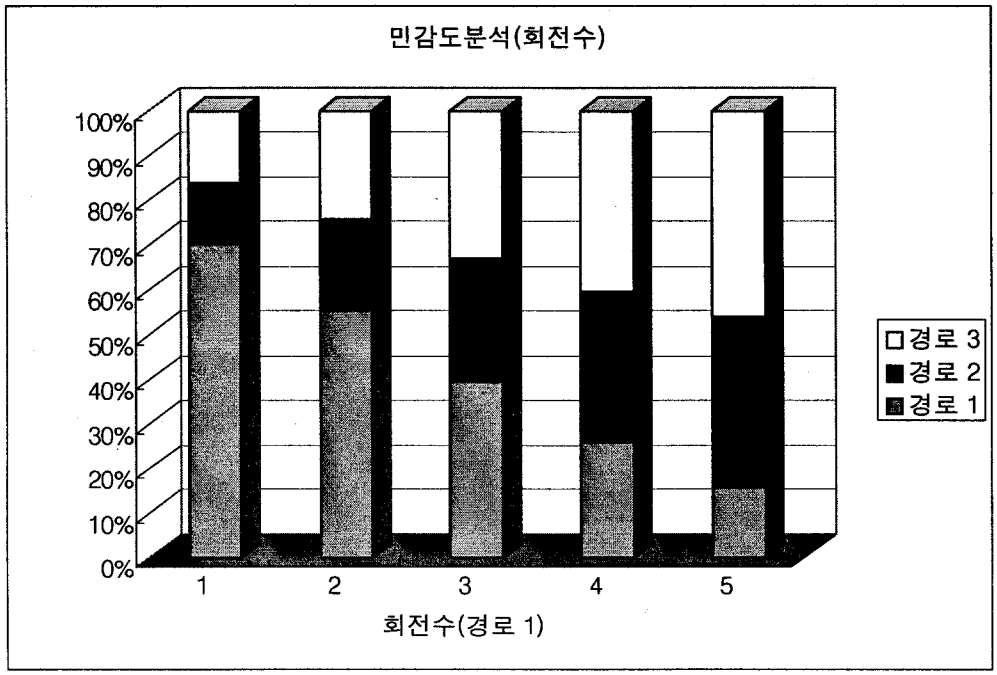
결과를 보면 회전수가 증가함에 따라 경로 1의 선택확률이 낮아지면, 상대적으로 경로 2와 경로 3의 선택확률은 높아짐을 알 수 있다. 지체시간의 변화에서와 마찬가지로 경로 2, 3은 속성의 변화가 없으므로 경로 2, 3간의 우열관계는 유지된다.

경로 1의 회전수가 기준값인 3회에서 1회로 줄어들면, 경로 1의 선택확률은 40%에서 70%로 증가하게 되고, 경로 2와 경로 3은 각각 27%, 33%에서 14%, 16%로 줄어든다.

반대로 경로 1의 회전수가 3회에서 5회로 증가하면, 경로 1의 선택확률은 40%에서 16%로 떨어지게 되고, 경로 2와 경로 3은 각각 38%, 46%로 높아진다.

<표 6.3> 회전수 변화에 따른 민감도 분석

경로 1의 회전수	경로 1 선택확률	경로 2 선택확률	경로 3 선택확률
1회	70.0%	13.7%	16.3%
2회	55.4%	20.3%	24.3%
3회	**39.7%**	**27.4%**	**32.9%**
4회	25.9%	33.7%	40.4%
5회	15.7%	38.3%	46.0%



<그림 6.4> 민감도 분석결과(회전수)

3. 경로길이 변화에 따른 민감도 분석

경로 1의 일시적인 도로폐쇄와 그에 따른 우회로 통행으로 인해 지체시간과 회전수에는 변화가 없으나 경로길이가 길어지는 경우, 그리고 선형개량을 통한 경로길이의 단축이 발생하는 경우 경로선택확률이 어떻게 달라지는가 분석하였다.

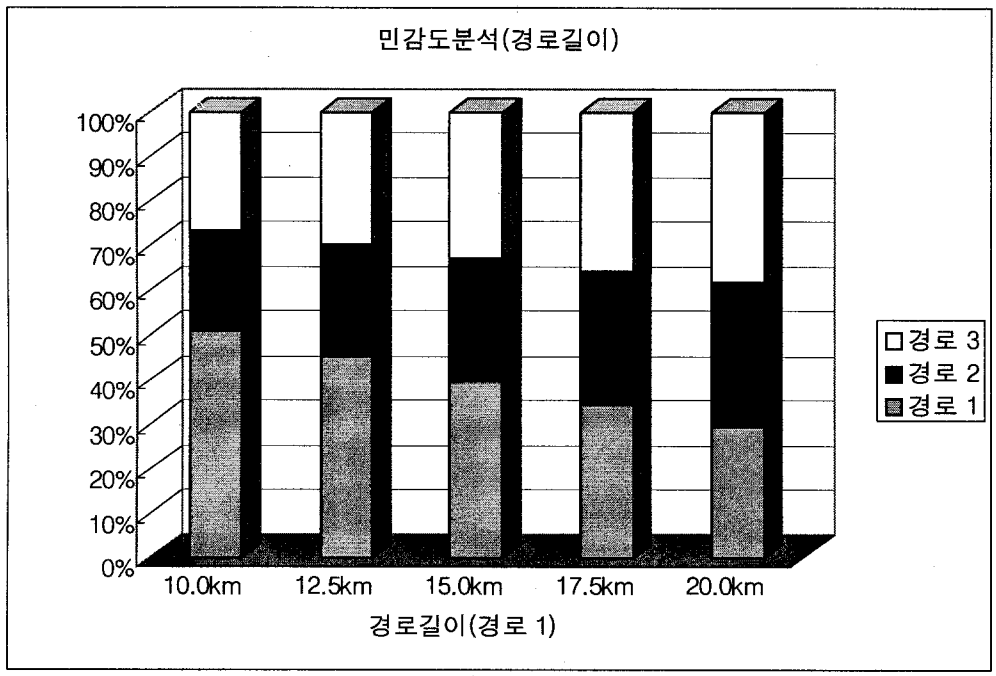
이를 위해 경로 1의 길이는 10km에서부터 20km까지 2.5km씩 증가시키면서 경로간의 선택확률을 분석하여 보았다.

경로 1의 길이가 15km에서 10km로 줄어드는 경우 선택확률은 40%에서 51%로 증가하게 되고, 경로 2와 경로 3은 각각 27%, 33%에서 22%, 27%로 약간 감소한다.

그러나 경로 1의 길이가 15km에서 20km로 늘어나는 경우 선택확률은 경로 1은 30%로 떨어지고, 경로 2와 경로 3은 각각 32%, 38%로 증가한다.

<표 6.4> 경로길이 변화에 따른 민감도 분석

경로 1의 길이(km)	경로 1 선택확률	경로 2 선택확률	경로 3 선택확률
10.0	50.9%	22.3%	26.8%
12.5	45.2%	24.9%	29.9%
15.0	**39.7%**	**27.4%**	**32.9%**
17.5	34.5%	29.8%	35.7%
20.0	29.6%	32.0%	38.4%



<그림 6.5> 민감도 분석결과(경로길이)

이상의 분석에서 경로선택모형의 독립변수로 입력되는 지체시간, 회전수, 경로길이가 각각 변화하는 경우 선택확률이 어떻게 변화하는지를 검토하였다. 지체시간과 경로길이는 통행자에게 통행저항으로 받아들여져 선택확률과 (-)의 관계가 있고, 경로의 단순성 혹은 인지용이성을 나타내는 회전수의 경우도 (-)의 관계가 있음이 밝혀졌다. 따라서 대안속성 변화에 따라 합리적으로 경로선택행태를 모사하는 것으로 결론 지을 수 있다.

6.3 실제 검증자료를 통한 경로선택모형의 검증

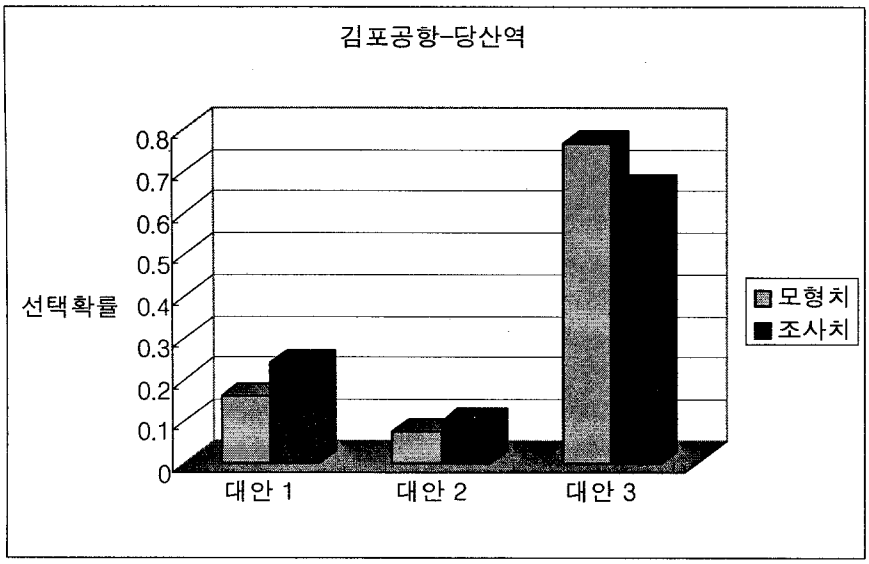
민감도 분석을 통해 독립변수의 변화에 따른 경로선택확률 산정결과가 합리적으로 계산됨을 알 수 있었다. 이러한 민감도 분석을 통한 모형의 검증 이외에 조사된 검증 자료를 가지고 모형치와 실제 조사치를 비교 분석하는 방법을 통해 모형을 검증할 수 있다. 이를 위해서는 모형에 입력되는 독립변수의 값이 중요한데, 입력되는 지체시간, 회전수, 경로길이의 세 변수 중 지체시간은 통행시간을 조사하고, 계산된 자유류 통행시간의 값을 빼서 산정하였다. 통행시간의 경우는 조사된 통행시간의 평균값을 사용하였고, 회전수와 경로길이는 실제 조사치를 적용하였다. 조사방법과 대상 기종점은 모수 추정단계에서 적용한 방법과 동일하며, 모수추정을 위한 자료와는 별도로 다른 표본집단(통행자)들을 대상으로하여 설문조사를 시행하였다. 조사된 표본수는 174개이며, 입력된 독립변수의 값을 정리한 결과는 다음과 같다.

<표 6.5> 경로선택모형의 검증자료

기종점	가능한 대안경로	입력된 독립변수		
		지체시간(분)	회전수	경로길이(km)
김포공항-당산역	올림픽대로 이용 (행주대교남단진입)	10.63	5	15.29
	올림픽대로 이용 (가양대교남단진입)	13.80	5	12.94
	공항로 이용	15.23	1	10.41
김포공항-서울대	올림픽대로 이용	20.81	5	24.92
	남부순환로 이용	25.58	2	20.06
서울대-국회의사당	상도터널 경유	21.53	5	13.97
	신대방삼거리 경유	24.64	3	9.30
시청앞-일산백석역앞	자유로 이용	16.92	5	29.46
	수색로 이용	26.30	2	21.18
대치역-분당구청	분당-수서간 고속도로 이용	13.72	4	17.05
	분당-내곡간 고속도로 이용	17.89	3	15.56

이상의 자료를 입력하여 산정한 경로별 선택확률과 조사된 선택확률을 비교하면 다음의 그림과 같다.

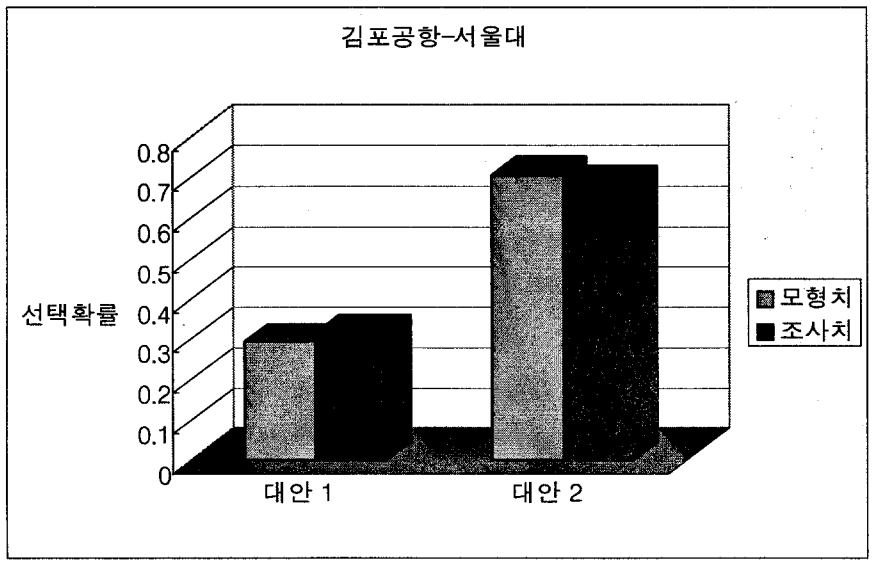
1. 김포공항-당산역



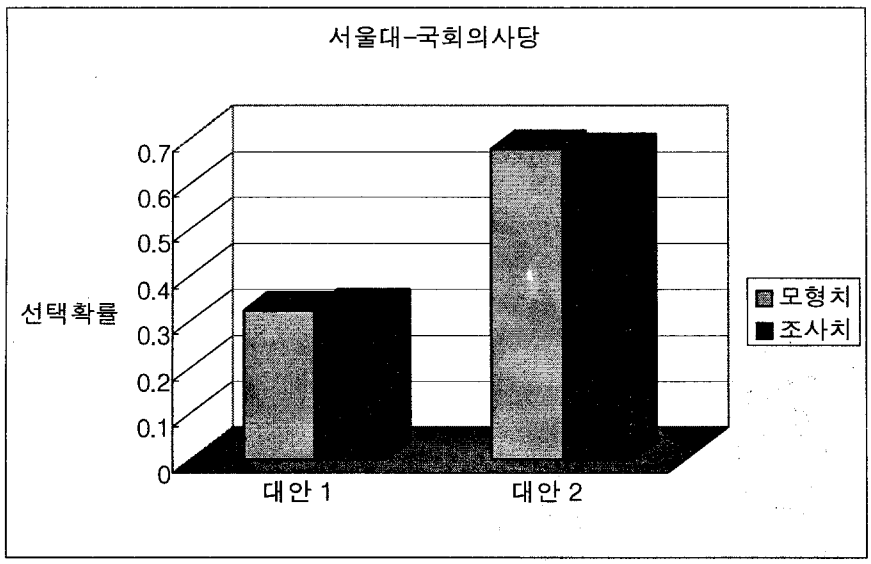
대안 2는 올림픽대로 가양대교 남단진입
대안 3은 공항로 이용

결과를 비교하면 올림픽대로를 이용하고 행주대교 남단에서 진입하는 대안 1의 경우가 상대적으로 조사결과에 비해 모형치가 낮게 나타났고, 올림픽대로를 전혀 이용하지 않는 대안 3의 경우는 높게 나타났다. 이는 모형의 독립변수에서 고속도로(전용도로)의 비율을 제외함으로써 생긴 차이라고 판단된다. 대안 1에 비하여 상대적으로 고속도로(전용도로)의 비율이 낮은 대안 2의 경우는 그 차이가 미미함을 알 수 있다. 모형의 추정에서 언급한 바와 같이 고속도로(전용도로)의 비율과 관련한 변수는 선택상황에 따라 그 영향력이 크게 차이가 나기 때문에 통계적 유의성을 확보할 수 없고, 따라서 독립변수의 선정에서 제외하였다. 따라서 향후 경로선택모형에 있어 이에 대한 보정이 이루어진다면 구축된 모형의 모사능력은 제고될 것으로 사료된다.

2. 김포공항-서울대 및 서울대-국회의사당



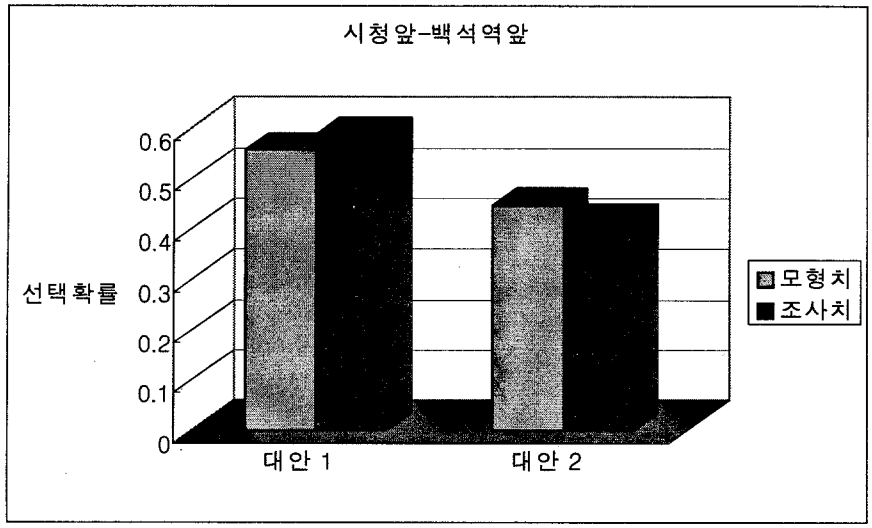
주 : 대안 1은 올림픽대로 이용
대안 2는 남부순환로 이용



주 : 대안 1은 상도터널 경유
대안 2는 신대방삼거리 경유

두 지점의 경우 조사된 결과와 모형이 산정한 결과가 상당히 유사한 값을 보여 제시된 모형이 어느 정도 현실을 잘 모사함을 알 수 있다. 특히 서울대-국회의사당간의 경우 5개 지점 중 가장 높은 적합도를 보였다.

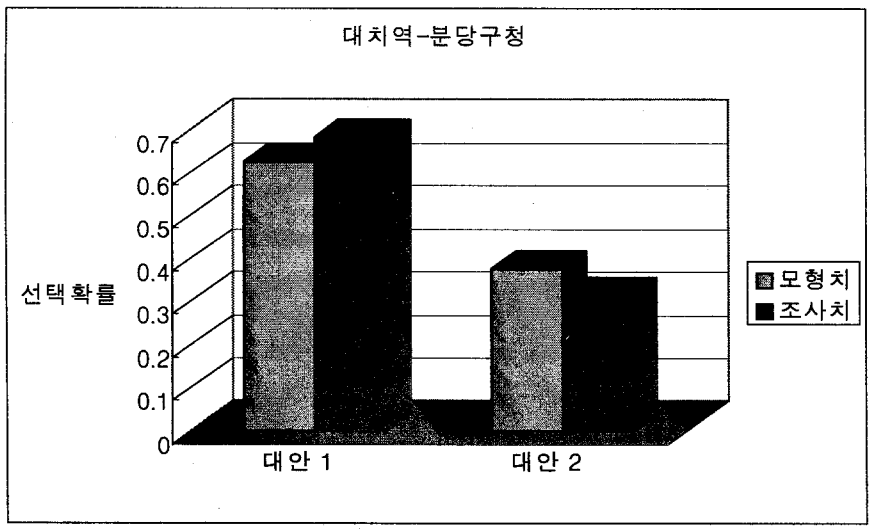
3. 시청앞-일산 백석역앞



주 : 대안 1은 자유로 이용 / 대안 2는 수색로 이용

전용도로의 비율이 높고 전체 경로길이도 커서 다른 4개 기종점에 비하여 전용도로의 영향력이 가장 크다고 판단된다. 김포공항-당산역의 경우와 마찬가지로 전용도로를 이용하는 대안 1에 있어서 모형치가 조사치에 비해 다소 낮은 값을 보인다.

4. 대치역-분당구청



주 : 대안 1은 분당-수서간 고속도로 이용
대안 2는 분당-내곡간 고속도로 이용

위의 다른 지역에서 마찬가지로 전용도로의 비율이 다소 높은 대안 1의 경우가 모형치가 조사치보다 낮은 것으로 분석되었다.

이상의 결과를 정리하면 일부 기종점(선택상황)에 있어 고속도로(전용도로)에 의한 효과에 따라 결과에 약간의 차이가 났을 뿐 전체적으로 모두 합리적인 결과를 보임을 알 수 있다.

고속도로(전용도로)의 비율에 의한 효과는 앞서 언급한 바와 같이 선택상황에 따라 그 영향력이 판이하게 차이가 나고 그에 따라 통계적 유의성이 확보되지 않아 변수에서 제외하였는데 향후 이에 대한 보완이 이루어진다면 모형의 적합도는 더욱 제고될 것으로 판단된다.

이상의 결과를 표로 정리하면 아래와 같다.

<표 6.6> 경로선택모형의 산출물과 검증자료와의 비교

기종점	가능한 대안경로	선택확률(%)	
		모형치	조사치
김포공항-당산역	올림픽대로 이용 (행주대교남단진입)	15.9	23.8
	올림픽대로 이용 (가양대교남단진입)	7.6	9.9
	공항로 이용	76.5	66.3
김포공항-서울대	올림픽대로 이용	29.4	31.6
	남부순환로 이용	70.6	68.4
서울대-국회의사당	상도터널 경유	32.4	32.9
	신대방삼거리 경유	67.6	67.1
시청앞-일산백석역앞	자유로 이용	55.4	58.6
	수색로 이용	44.6	41.4
대치역-분당구청	분당-수서간 고속도로 이용	62.4	68.4
	분당-내곡간 고속도로 이용	37.6	31.6

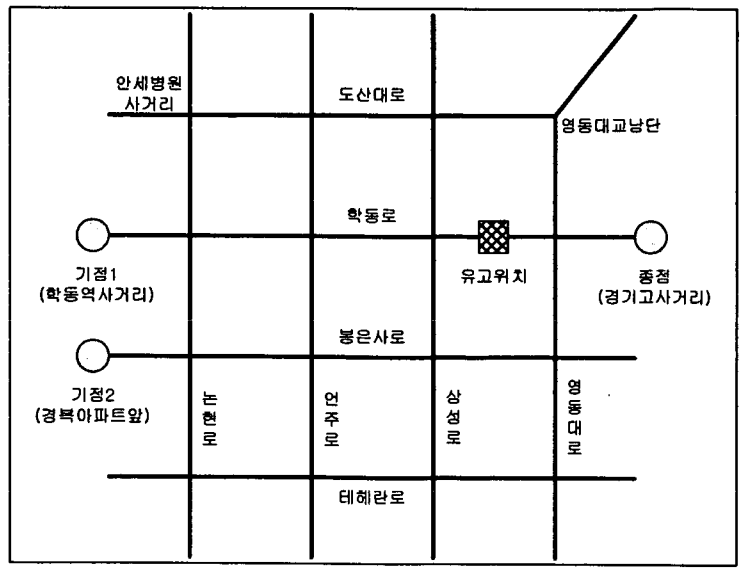
6.4 시뮬레이션 시스템을 통한 경로선택모형의 검증

앞서 검토된 민감도 분석과 검증자료를 통한 경로선택모형의 검증은 시뮬레이션 모형에 포함된 경로선택모형이 현실모사가 가능하도록 적정하게 구축되었는가를 검증하는 과정이다. 여기서는 경로선택상황을 기초로 전체 시뮬레이션의 구동결과가 모형의 계산결과와 어느 정도 부합하는가를 검증하고자 한다. 즉, 경로선택모형에서의 산정결과가 실제 시뮬레이션 모형에서 적정하게 구현되고 있는가를 검증한다.

I^3D^2 가 구현하는 강남구 4×4 교통망을 대상으로 하여 분석대상이 되는 두 개의 기종점을 선정하고, 각 기종점별로 2개씩의 대안경로를 설정하여 두 대안경로 간의 선택확률을 비교분석한다. 대상 기종점은 학동역사거리-경기고사거리, 경복아파트사거리-경기고사거리로 하였고, 실험시간은 2시간으로 정보제공에 따른 선택확률의 변화를 모사하기 위해 실험시간 0:30부터 1:00까지 30분동안 학동로 청담역구간에 유고를 발생, 지속시킴으로써 도로혼잡 상황이 야기되도록 하였다. 신호 현시는 고정식으로 운영하였고, 광역적 교통정보를 제공하는 매체를 사용하고, 20분마다 갱신된 교통정보를 제공하도록 하였다. 이때, 정보의 오차(정확도)와 매체신뢰도는 각각 0%, 100%로 설정하였다. 다만 정보이용자의 비율은 50%로 가정하였다. 대상기종점과 각 기종점별 대안경로를 살펴보면 다음과 같다.

<표 6.7> 시뮬레이션을 통한 경로선택모형의 검증 대상경로

기종점	대안경로	경로길이 (km)	회전수	초기 경로선택확률	경로구간
기종점 1 학동역사거리 -경기고사거리	경로 1	3.01	0	93.2 %	학동역사거리-학동로(관세청사거리-강남구청사거리-청담역)-경기고사거리
	경로 2	4.18	4	6.8%	학동역-논현로-안세병원사거리-도산대로-영동대교남단-경기고사거리
기종점 2 경복아파트사거리 -경기고사거리	경로 1	3.72	2	50.0%	경복아파트사거리-봉은사로(차관아파트앞-봉은사)-영동대로-경기고사거리
	경로 2	3.73	2	50.0%	경복아파트사거리-봉은사로(차관아파트앞)-삼성로-청담역-경기고사거리



<그림 6.6> 시뮬레이션을 통한 경로선택모형의 검증대상 교통망

대상 기종점별로 모형에 의해 계산된 경로선택확률과 시뮬레이션 결과로 나타난 경로선택확률을 비교하면 다음과 같다.

1. 학동역사거리 - 경기고사거리

학동역사거리와 경기고사거리를 기종점으로 하는 통행의 경우는 0:30~1:00의 30분동안 경로 1 상에서 유고가 발생되고 지속되었다. 아래 표의 지체시간은 종점에 도착한 차량을 기준으로 계산된 값이기 때문에 유고로 인한 지체의 효과는 0:45~1:15 시간대에 주로 반영되었다. 또한 정보매체의 갱신간격이 20분으로 시간대간격 15분보다 길기 때문에 발생한 것이기도 하다.

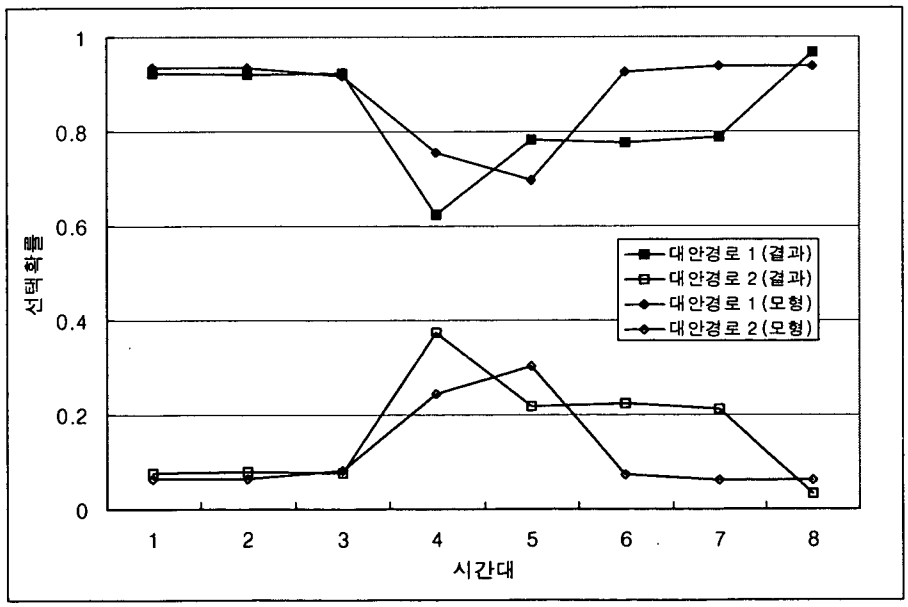
초기 경로선택확률은 경로 1 : 경로 2가 93 : 7 정도였으나, 유고가 발생하고 경로 1의 지체시간이 증가하면서 정보이용자의 선택확률은 46 : 54 까지 변화하였다. 그러나 전체 통행량 중 절반만이 정보를 이용하게 되고, 나머지 통행자의 초기 경로선택확률대로 배정되게 된다. 이렇게 해서 계산된 경로선택확률은 70 : 30 정도였으며, 이 때 실제로 배정된 교통량 비율은 78 : 22 정도로 나타났다. 유고지점을 우회하게 되는 확률이 계산된 선택확률보다 배정된 교통량에서 다소 낮게 나타났다. 이는 시뮬레이션 시스템이 확률적으로 통행을 발생시키고, 확률적으로 경로배정을 하기 때문인 것으로 생각된다. 또한 1:15-1:45 시간대의 선택확률과 배정비율은 다소 차이가 발생하였는데 이는 지체시간의

집계가 종점 도착차량을 기준으로 하였기 때문인 것으로 판단된다. 전체적으로 유고상황에 따른 경로전환이 큰 차이 없이 이루어졌음을 알 수 있다.

<표 6.8> 시뮬레이션 결과와 경로선택모형값의 비교 (기종점 1)

시간대	지체시간(분)		정보이용자의 선택확률		배정된 통행량		경로선택 비율(결과)		경로선택 확률(모형)	
	경로 1	경로 2	경로 1	경로 2	경로 1	경로 2	경로 1	경로 2	경로 1	경로 2
0:00-0:15	4.42	4.68	93.8%	6.2%	109	9	92.4%	7.6%	93.5%	6.5%
0:15-0:30	4.53	4.97	94.1%	5.9%	106	9	92.2%	7.8%	93.7%	6.3%
0:30-0:45	5.72	4.50	90.6%	9.4%	109	9	92.4%	7.6%	91.9%	8.1%
0:45-1:00	11.40	3.85	58.2%	41.8%	110	66	62.5%	37.5%	75.7%	24.3%
1:00-1:15	13.83	4.72	46.3%	53.7%	83	23	78.3%	21.7%	69.8%	30.2%
1:15-1:30	4.90	4.33	92.2%	7.8%	77	22	77.8%	22.2%	92.7%	7.3%
1:30-1:45	4.45	5.17	94.6%	5.4%	90	24	78.9%	21.1%	93.9%	6.1%
1:45-2:00	3.67	4.23	94.3%	5.7%	115	4	96.6%	3.4%	93.8%	6.2%

이상의 결과를 그림으로 표시하면 다음과 같다.



<그림 6.7> 시뮬레이션 결과와 경로선택모형값의 비교 (기종점 1)

2. 경복아파트사거리 - 경기고사거리

경복아파트사거리와 경기고사거리를 기종점으로 하는 통행의 경우는 0:30~1:00의 30분동안 경로 2 상에서 유고가 발생되고 지속되었다. 기종점 1의 경우와 마찬가지로 지체시간은 종점에 도착한 차량을 기준으로 계산된 값이고, 정보매체의 갱신주기(20분)가 시간대 간격(15분)보다 크기 때문에 유고로 인한 지체의 효과는 좀 늦게 0:45~1:15 시간대에 주로 반영되었다.

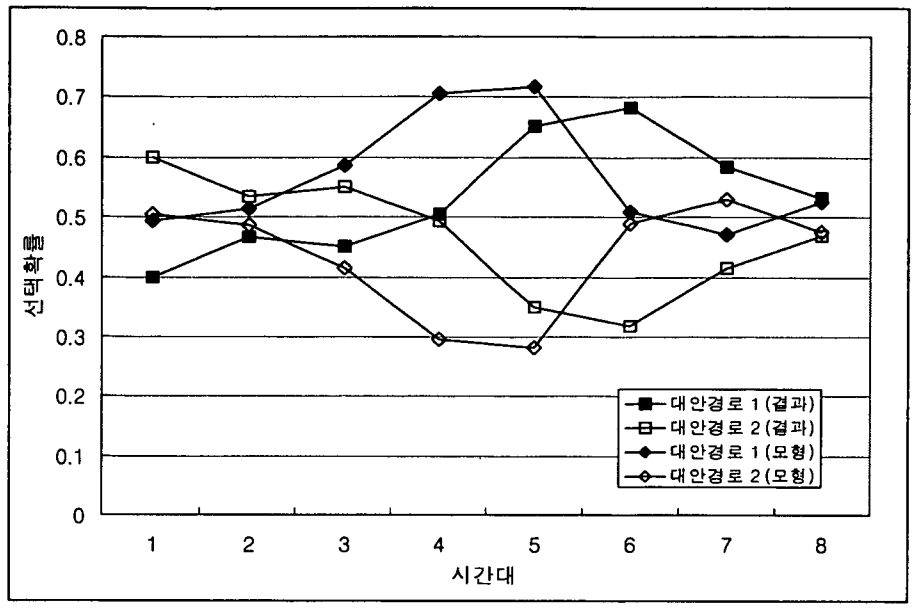
초기 경로선택확률은 경로 1 : 경로 2가 50 : 50 정도였으나, 유고가 발생하고 경로 2의 지체시간이 증가하면서 정보이용자의 선택확률은 93 : 7 까지 변화하였다. 그러나 전체 통행량 중 절반만이 정보를 이용하게 되고, 나머지 통행자의 초기 경로선택확률대로 배정되게 된다. 이렇게 해서 계산된 경로선택확률은 72 : 28 정도였으며, 이 때 실제로 배정된 교통량 비율은 68 : 32 정도로 나타났다. 유고지점을 우회하게 되는 확률이 계산된 선택확률보다 배정된 교통량에서 다소 낮게 나타났다. 이는 시뮬레이션 시스템이 확률적으로 통행을 발생시키고, 확률적으로 경로배정을 하기 때문인 것으로 생각되며, 종점 도착차량을 기준으로 지체시간을 계산하고 이를 통해 선택확률을 계산하였기 때문에 실제 시뮬레이션 시스템에서 배정된 비율보다 한 시간대 늦은 시간대에서 유사한 선택확률이 모사되었다.

기종점 1에 비해 시간대의 차이를 제외하고는 전체적으로 유사한 선택확률 값을 보였다.

<표 6.9> 시뮬레이션 결과와 경로선택모형값의 비교 (기종점 2)

시간대	지체시간(분)		정보이용자의 선택확률		배정된 통행량		경로선택 비율(결과)		경로선택 확률(모형)	
	경로 1	경로 2	경로 1	경로 2	경로 1	경로 2	경로 1	경로 2	경로 1	경로 2
0:00-0:15	4.15	4.00	48.9%	51.1%	32	48	40.0%	60.0%	49.4%	50.6%
0:15-0:30	4.10	4.47	52.8%	47.2%	41	47	46.6%	53.4%	51.4%	48.6%
0:30-0:45	4.48	6.80	67.0%	33.0%	37	45	45.1%	54.9%	58.5%	41.5%
0:45-1:00	4.88	12.52	91.2%	8.8%	46	45	50.5%	49.5%	70.6%	29.4%
1:00-1:15	4.93	13.67	93.5%	6.5%	56	30	65.1%	34.9%	71.8%	28.2%
1:15-1:30	4.80	5.07	52.1%	47.9%	58	27	68.2%	31.8%	51.0%	49.0%
1:30-1:45	4.92	4.13	44.1%	55.9%	45	32	58.4%	41.6%	47.0%	53.0%
1:45-2:00	3.30	3.93	54.8%	45.2%	43	38	53.1%	46.9%	52.4%	47.6%

이상의 결과를 그림으로 표시하면 다음과 같다.



<그림 6.8> 시뮬레이션 결과와 경로선택모형값의 비교 (기종점 2)

6.5 교통류 분산효과 분석

본 절에서는 교통정보제공체계와 통행자의 반응행태 모형을 구현한 시뮬레이션 시스템을 사용하여 교통류 분산효과를 분석한다.

교통정보 제공에 대하여 통행자는 경로선택 및 전환의 행태로 반응하게 되고, 통행자의 반응은 다시 교통망 전체로 그 영향을 미치게 된다. 이러한 현상들을 교통정보제공과 통행자의 반응행태모형을 통해 구현하고, 이를 개발된 시뮬레이션 시스템을 통해 모사할 수 있다. 또한, 시뮬레이션 시스템의 출력물(MOE)로써 교통정보제공에 따른 교통망의 개선효과 등을 계량화할 수 있다. 즉, 개발된 시뮬레이션 시스템이 ATIS의 평가 및 구축을 효율적으로 수행하는 데에 도움이 될 수 있다.

여기서는 교통정보 제공에 따른 교통망의 개선효과를 고찰함으로써 교통류의 분산효과를 분석한다.

교통류 분산효과의 실험을 위해서 I^3D^2 의 강남구 4×4 교통망을 대상으로 모의실험을 수행하였고, 입력자료는 앞 절의 "시뮬레이션 시스템을 통한 경로선택모형의 검증"와 동일한 조건으로 실험하였다.

대상 기종점은 학동역사거리-경기고사거리 및 경복아파트사거리-경기고사거리로 하였으며, 실험시간은 2시간으로 정보제공에 따른 교통류의 분산효과를 효과적으로 모사하기 위해 실험시간 0:30부터 1:00까지 30분동안 학동로 청담역구간에 유고를 발생, 지속시킴으로써 도로혼잡 상황이 야기되도록 하였다. 신호 현시는 고정식으로 운영하였고, 광역적 교통정보를 제공하는 매체를 사용하고, 20분마다 갱신된 교통정보를 제공하도록 하였다. 이때, 정보의 오차(정확도)와 매체신뢰도는 각각 0%, 100%로 설정하였다. 다만 정보이용자의 비율을 0%에서부터 100%까지 20%씩 증가시켜가면서 평균통행시간, 평균지체시간, 평균통행속도, 교통량 등의 효과척도(MOE)를 비교하였다.

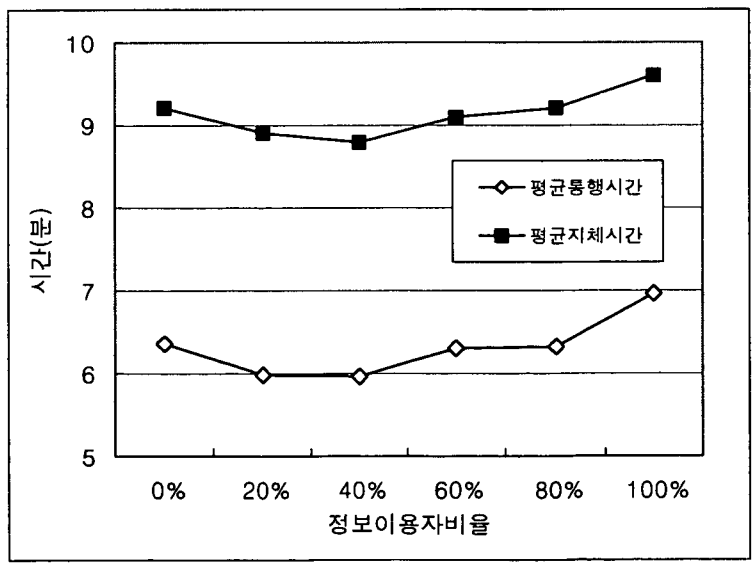
분석결과를 정리하면 다음의 표와 같다.

<표 6.10> 교통류 분산효과 분석

이용자비율(%)	평균통행시간	평균통행속도	교통량	평균지체시간
0	9분12초	21.85km/h	1570대	6.35분
20	8분54초	22.89km/h	1540대	5.99분
40	8분48초	22.81km/h	1491대	5.96분
60	9분6초	21.99km/h	1558대	6.30분
80	9분12초	22.02km/h	1504대	6.33분
100	9분48초	20.59km/h	1514대	6.96분

가. 평균통행시간과 평균지체시간

아래의 <그림 6.9>와 <표 6.10>의 결과에서 보듯이 정보이용자가 전혀 없는 0% 인 경우보다는 30-40% 부근에서 평균통행시간과 평균지체시간이 가장 짧게 나타났다. 반면 정보이용자의 비율이 80% 이상 되면 통행자 과잉반응(over-reaction)의 영향으로 오히려 정보이용자가 0%인 경우보다 나쁜 결과를 보였다.



<그림 6.9> 교통류 분산효과 분석 - 평균통행시간과 평균지체시간

유고발생의 정보를 받고 다른 경로로 우회하는 차량이 너무 많아지게 되면

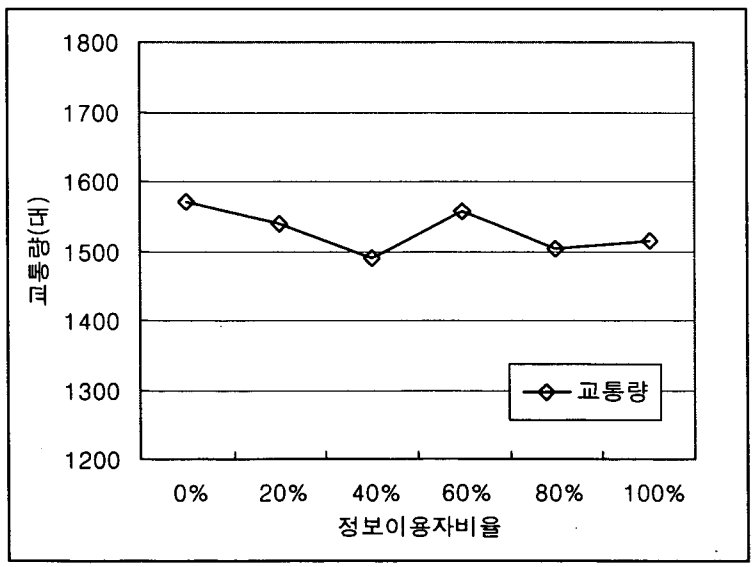
오히려 다른 경로 혹은 다른 도로망의 혼잡이 유고지점 이상으로 악화되어 평균통행시간이나 평균지체시간과 같은 효과척도가 악화되는 것으로 분석되었다.

나. 교통량

<그림 6.10>과 <표 6.10>의 결과를 보면, 교통량의 경우는 정보이용자의 비율에 따라 크게 차이가 나지 않는 것으로 나타났다. 종점을 도착한 차량의 대수를 기준으로 하였는데 오히려 교통정보를 전혀 받지 않는 경우와 60% 정도의 정보이용자 비율을 가질 때 다소 높게 나타났다.

이러한 결과는 교통정보제공에 따른 교통류의 분산효과라기 보다는 시뮬레이션의 특성상 확률적 통행발생이 이루어지는데 그러한 통행발생의 확률적 차이에 의해 편차가 발생한 것으로 보인다.

따라서, 교통량을 효과척도로 하여 교통정보제공에 따른 교통류의 분산효과를 분석하기에는 다소 무리가 있는 것으로 판단된다.



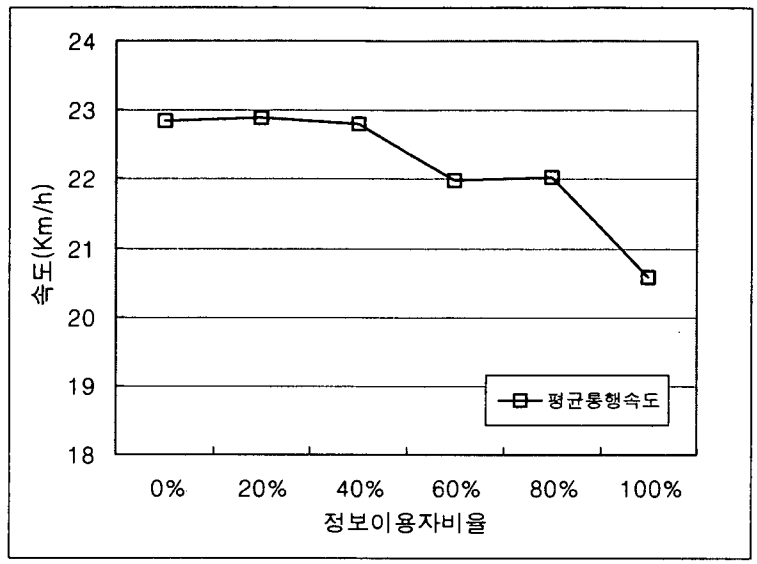
<그림 6.10> 교통류 분산효과 분석 - 교통량

다. 평균통행속도

아래의 <그림 6.11>과 <표 6.10>의 결과를 보면, 정보이용자가 20%인 경우에 평균통행속도가 가장 빠르게 나타났다. 반면 정보이용자의 비율이 60%이상

되면서 평균통행속도는 급격히 낮아지는 것으로 분석되었다.

평균통행속도의 경우도 평균통행시간이나 평균지체시간의 경우와 마찬가지로 정보이용자의 비율이 높아지면서 통행자 과잉반응(over-reaction)의 영향으로 오히려 정보이용자가 0%인 경우보다 나쁜 결과를 보였다.



<그림 6.11> 교통류 분산효과 분석 - 평균통행속도

이상에서 살펴 본 교통류 분산효과를 정리하면, 평균통행시간이나 지체시간 등을 기준으로 할 때 정보이용자의 비율이 30-40%인 경우 최적의 교통망상태를 갖는 것으로 분석되었으며, 평균통행속도를 기준으로 할 때는 20% 내외에서 가장 좋은 결과를 보였다.

결국 유고 발생의 정보를 받고 다른 경로로 우회하는 차량이 너무 많아지게 되면 정보제공에 따른 통행자의 과잉반응(over-reaction)으로 인해 오히려 다른 경로 혹은 다른 도로망의 혼잡이 유고지점 이상으로 악화되어 여러 교통류를 설명하는 효과척도들이 악화되는 것으로 분석되었다.

이러한 결과는 향후 ATIS의 구축이 확대되고, 정보제공매체의 보급이 활성화되는 경우, 통행자들에 대한 정보제공의 적정수준으로 이루어져야 함을 암시한다. 따라서, 교통정보제공시의 교통체계의 효율적 운영을 위해서는 최적의 교통정보 제공전략이 요구된다고 하겠다.

제 7 장 결 론

7.1 연구개발의 결과

본 세부과제는 중과제에서 개발하고자 하는 교통 시뮬레이션 시스템에서 교통정보 제공시스템과 교통정보 제공에 따른 통행자의 반응행태를 모사할 수 있도록 교통정보의 사용자인 통행자의 반응 행태 모형 개발을 목적으로 하였다.

연구개발은 연차별 세부목표에 맞게 진행되었으며, 세부목표별로 그 결과를 정리하면,

1차년도 연구개발을 통해 교통정보 제공체계의 조사 및 분석, 통행자 행태 분석을 위한 기초자료의 확보, 기존 시뮬레이션 시스템의 구조 분석 및 통행자 행태 구현방안 연구가 이루어졌다.

2차년도 연구개발에서는 통행자 행태모형의 연구와 교통정보 제공체계 및 통행자 반응행태의 객체모형 개발이 이루어졌고, 이를 중과제상의 시뮬레이션 시스템에 구현하고 이를 검증하였다.

최종 3차년도 연구개발을 통해 개발된 모형의 개선을 위해 통행자 행태분석을 위한 기초 실험자료를 추가적으로 수집하였고, 수집된 자료와 시뮬레이션을 이용한 검증을 통해 2차년도에서 개발된 모형을 개선시켜 나갔다. 또한 개발된 모형의 적용성 검토를 위해 정보제공에 따른 교통류 분산효과도 분석하였다.

3개년에 걸쳐 수행된 연구결과를 보다 자세히 살펴보면 다음과 같다.

기존 교통시뮬레이션 모형에 대한 검토 결과 많은 모형들이 매개변수 추정 및 현실검증과 관련하여 아직 충분한 신뢰성을 확보하지 못하고 있는 것으로 분석되었다. 특히, 교통정보제공에 따른 통행자 의사결정 등을 제대로 평가할 수 있는 기능을 가진 기존 모형은 거의 없으며, 최근 개발되는 모형들에 일부 기능이 포함되어 있는 것으로 파악되었다.

교통정보제공에 따른 통행자의 의사결정과정 및 반응행태의 모사를 위해 ATIS의 다양한 교통정보 제공체계를 조사·검토하여 그 특성을 파악하고 분류하였다. 교통정보의 제공매체별로 기능과 특성을 분석하고, 제공되는 정보의 내용과 종류 등을 조사하였다. 이를 바탕으로 연구대상 교통정보 제공체계를 설정하고, 통행자 행태의 관점에서 정보이용시기, 정보제공대상, 제공되는 정보의 내용, 제공정보의 범위 등을 기준으로 교통정보 제공체계를 분류하고 특성을 규정하였다.

교통정보 제공에 따른 통행자의 반응행태 모형개발을 위해서 우선 관련된 국내외의 기존 연구를 고찰하고, 이를 통해 연구대상, 연구 방법론 등에 대한 검토를 수행하였다. 교통정보 제공에 따른 통행자의 반응행태 중에서 출발전 경로선택과 통행중 경로전환을 중심적인 두 축으로 하여 중과제 상에서 개발되는 시뮬레이션 시스템에 구현될 수 있도록 하였고, 개별 통행자의 다양성을 설명할 수 있도록 임의효용이론에 입각한 개별행태모형을 근간으로 하여 반응행태모형을 개발토록 하였다.

통행자 행태에 대한 분석을 위해 경로선택의 의사결정 영향요소를 추출하고, 이를 대안특성과 통행자 특성으로 구분하여 분석하였다. 대안특성의 경우는 통행시간, 지체시간과 같은 link-additive한 속성과 회전수 등과 같은 non-link-additive한 속성으로 나누어 살펴보았으며, 통행자 특성의 경우 시간가치, 교통정보에의 접근성, 제공정보의 신뢰도, 통행목적 등에 대하여 구분하여 살펴보았다.

통행자 경로선택모형의 경우는 기존의 함수형태를 비교 평가하여, 선택확률의 계산이 용이하고, 모수추정이 쉬우며, 개선된 모형으로의 확장이 용이할 뿐만 아니라, 효용함수의 독립변수와 모수를 외부입력치로 설정하였을 경우 모형의 전이성을 높일 수 있는 다항로짓모형(Multinomial Logit Model)을 기본적인 함수형태로 선정하였다.

운전자를 대상으로 하여 경로선택에 관한 기초적 실험자료를 RP 자료 조사방법을 통해 확보하고, 확보된 자료를 가지고 모수를 추정하였다. 대안특성으로 고려된 요소들 중 통계적 유의성을 확보한 지체시간, 회전수, 경로길이를 독립변수로 하여 최종적인 통행자의 경로선택모형을 구축하였다.

통행자 경로전환모형의 경우, 현 단계의 중과제상 시뮬레이션 시스템에서는 경로전환 행태만을 구현토록 하였고, 향후 시뮬레이션 시스템 상에 포함될 수 있는 통행자의 반응행태 모형을 개발하였다. 구체적으로는 통근자를 대상으로 한 출발시간변경 및 경로전환모형의 구축, 그리고 교통정보의 이용빈도모형, 끝으로 교통정보의 제공에 따른 통행자의 순응도 모형 등을 구축하였다.

이를 통해 출발전 교통정보를 이용하는 통근자가 출근시간 변경경향이 강하고 통행중 교통정보를 이용하는 통근자는 경로전환경향이 강함을 알 수 있었다. 또한 출근시 경로전환은 교통시스템특성이나 통행특성에 주된 영향을 받았음을 알 수 있었다. 교통정보 이용빈도의 경우는 출·퇴근시간이 고정적인 통근자가 유동적인 출·퇴근시간을 가지는 통근자보다 이용빈도가 많고 교통정보에 가지는 신뢰도가 높을수록 교통정보이용빈도가 많은 것으로 밝혀졌다.

교통정보에 대한 통행자의 순응도는 제공되는 정보의 통행시간과 통행자 자신의 인지통행시간 차이의 영향을 받으며, 그 중에서도 주로 이용하는 경로보다는 자주 이용하지 않는 경로에 대해, 그리고 더 짧은 시간의 정보보다는 더 긴 통행시간의 정보에 대해 그 효과가 두드러진다. 또한 정보의 정확도 및 통근자의 지각수용여부도 순응도에 영향을 주었다. 그리고 정보제공 통행시간보다 실제통행시간이 오래 걸린 경우의 불만족은, 실제통행시간이 적게 걸린 경우의 불만족보다 2배 가까이 큰 것으로 나타났다.

개발된 통행자 반응행태 모형을 시뮬레이션 시스템 상에서 구현하고, 이를 검증하기 위해 독립변수의 값 변화에 따른 민감도 분석과 검증자료와의 비교분석을 통한 검증작업을 수행하였다.

강남구의 4×4 네트워크 상에서 유고를 발생시키고, 유고 발생 전후의 경로선택확률을 살펴 경로선택모형을 검증하였고, 동일한 네트워크에서 정보이용자의 비율을 높여가면서 교통류의 분산효과를 분석하였다.

분석결과, 유고 전후에 경로선택확률의 모형값과 시뮬레이션 된 통행배정결과가 거의 유사하게 나타났으며, 정보이용자의 비율을 증가시키면서 분석한 교통류 분산효과는 정보이용자의 비율이 30-40%일 때 효과척도가 가장 효율적인 것으로 결론지을 수 있다. 이는 정보이용자의 비율이 적정선 이상 많아지면 교통정보제공에 따른 통행자의 과잉반응(over-reaction)으로 인해 오히려 교통망의 효과척도는 나빠지는 것으로 분석되었다.

7.2 연구결과의 활용분야

이상의 내용을 통해 개발된 통행자의 반응행태 모형과 이를 구현한 시뮬레이션 시스템은 현재 도입이 진행되고 있는 지능형 교통시스템(ITS), 특히 첨단교통정보시스템(ATIS) 및 첨단교통관리시스템(ATMS)의 평가 및 구축사업에 이용될 수 있다. 현재 ITS사업의 일환으로 여러 곳에 설치되고 있는 가변정보판(VMS)과 같은 다양한 형태의 교통정보 제공매체의 효과를 사업시행 이전에 분석하여 평가할 수 있으며, 구축된 시설의 효율적 운영에도 반영될 수 있다.

뿐만 아니라 개발된 통행자 반응행태 모형과 시뮬레이션 시스템을 이용하여 도로망의 효율적인 교통관리가 가능해지며, 이는 궁극적으로 국가의 사회적 비용인 혼잡비용 및 물류비용 감소와 사회 구성원의 편익 증가 등 경제적 파급효과로 이어질 수 있다.

또한 본 연구과제에서 개발된 반응행태 모형과 중과제 상의 시뮬레이션 시스템은 현장에서 뿐만 아니라 학문적 용도로도 이용가능하여, 교통관리전략 및 교통정보제공체계 분석과 같은 교통공학, 계획, 관리와 관련한 연구에 있어서 그 결과를 뒷받침하는 한 도구로서 사용가능하다.

7.3 향후 연구계획

3년간의 연구개발 과정을 거치는 동안 교통정보 제공체계에 대한 분석과 정보 제공에 따른 사용자, 즉 통행자의 반응행태를 모사하기 위한 경로선택모형과 경로전환모형을 개발하였다. 이를 시뮬레이션 시스템 상에 구현하였고, 모형의 산출물에 대한 일부 검증작업이 수행되었으나, 본 연구를 통해 개발한 시뮬레이션 모형이 실용화되기 위해서는 다음과 같은 추가적인 연구가 수행되어야 할 것으로 판단된다.

1) 모형의 유연성이 높은 보다 개선된 함수형태의 통행자 반응행태 모형을 개발하고 이를 통해 다양한 교통조건과 도로조건에서 모형을 검증하고 개선하는 작업이 필요하다.

2) 적합도와 전이성이 높은 모수추정을 위해 보다 광범위한 자료의 구축이 필요하며, 다양한 목적통행, 수단통행에 적용할 수 있는 다양한 반응행태 모형의 개발이 요구된다.

3) 모형의 검증·개선작업을 통해 신뢰성을 높이고, 다양한 현장에서 적용하여 모형의 현실부합성을 검증하며, 개발된 모형의 적용성을 제시하여야 한다.

4) 중과제에서 개발한 시뮬레이션 시스템의 입력변수, 수행성능 등을 보다 정교화하여 현 단계에서 미반영된 출발시간변경, 정보제공에 따른 순응도 모형 등을 수용토록 하며, 이를 통해 교통정보에 따른 통행자의 반응행태를 보다 자세하게 모사할 수 있도록 한다.

여 백

제 8 장 참 고 문 헌

1. 강정규, 정철훈, "도시고속도로 교통류 관리를 위한 가변전광판 정보제공 방안", 대한교통학회지 제17권 제1호, 1999. 3
2. 교통개발연구원, 지능형 교통시스템 기본계획(안) 수립을 위한 교통정보 수집·처리·전달 시스템 연구 - 2단계 최종보고서, 1996
3. 윤대식·윤성순, "도시모형론", 홍문사, 1995.
4. 남궁문, 성수련 譯, "알기쉬운 비집계분석", 일본교통공학연구회 編, 명보문화사, 1997.
5. 김경환 외, "대학출근운전자의 노선선택 및 전환행태 모형", 대한교통학회지 제18권 제3호, 2000. 6, pp. 87~100.
6. Bonsall, P., et al, "Validating The Results of A Route Choice Simulator", TR-C, Vol 5, No. 6, pp.371-387, 1997
7. Polydoropoulou, A., Moshe Ben-Akiva, Asad Khattak, and Geoffrey Lauprete, "Modeling Revealed and Stated En-Route Travel Response to Advanced Traveler Information Systems", TRR 1537, 1995
8. Wardnan, M., Bonsall, P. W. and Shires, J. D., "Driver Response to Variable Message Signs:A Stated Preference Investigation", TR-C, Vol 5, No. 6, pp.389-405, 1997
9. Ben-Akiva, Bergman, Daly, Ramaswamy (1984), Modeling inter-urban route choice behavior, Proceedings from 9th international symposium on transportation and traffic theory, VNU Science Press, pp 299-330
10. Cascetta and Papola (1998), Random utility models with implicit availability/perception of choice alternatives for the simulation of travel demand, Technical Report, Universita degli Studi di Napoli Fedrico II

11. Cascetta, Nuzzola, Russo and Vitetta (1996), A modified logit route choice model overcoming path overlapping problems. Specification and some calibration results for interurban networks, Proceedings from 13th international symposium on transportation and traffic theory, VNU Science Press

12. Vovsha and Bekhor (1998), Link-nested logit model of route choice : Overcoming route overlapping problem, Transportation Research Record 1645, pp133-142

13. Mohamed A., Abdel-Aty, Ryuichi Kitamura & Paul P. Jovanis (1997), Using Stated Preferrence Data for Studying the Effect of Advanced Traffic Information on Driver's Route Choice, Transportation Research Part C Vol. 5, No.1, pp 39-50

14. T. Yai, S. Iwakura, S. Morichi (1997), Multinomial Probit with Structured Covariance for Route Choice BehaviorTransportation Research Part B Vol. 31 No. 3, pp 195-207

15. Ben-Akiva & R. Lerman, Discrete Choice Analysis : Theory and Application to Travel Demand, MIT Press, 1985.

16. Amalia Polydoropoulou, Moshe Ben-Akiva and Isam Kaysi. "Influence of Traffic Information on Drivers' Route Choice Behavior", Transportation Research Record 1453, TRB, National Research Council, Washington, D.C., pp. 56-65, 1994.

17. Andre De Palma, Asad J. Khattak and Deepak Gupta, "Commuters' Departure Time Decisions in Brussels, Belgium", Transportation Research Record 1607, TRB, National Research Council, Washington, D.C., pp. 139-146, 1997.

18. Asad J. Khattak, Joseph L. Schofer and Frank S. Koppelman. "Factor Information Commuters' En Route Diversion Behavior in Response to Delay", Transportation Research Record 1318, TRB, National Research Council, Washington, D.C., pp. 125-136, 1991.

19. Asad J. Khattak, Frank S. Koppelman & Jodeph L. Schofer, "Stated preference for investigating commuters' diversion propensity", Transportation 20 pp. 107~127, 1993.

20. Asad J. Khattak, Joseph L. Schofer and Frank S. Koppelman. "Commuters' Enroute Diversion and Return Decision : Analysis and Implication for Advanced Traveler Information Systems", Transportation Research, Part A, Vol. 27A, No. 2, pp. 101-111, 1993.

21. Fred L. Mannering, "Poisson Analysis of Commuter Flexibility in Changing Routes and Departure Times", Transportation Research B vol 23B No 1, pp. 53-60, 1989

22. Fred L. Mannering and Mohammad M. Hamed, "Occurence, frequency, and duration of commuters' work-to-home departure delay", Transportation Research, Part B, Vol. 24B, No. 2, pp. 99-109, 1990.

23. Fred Mannering and Soon-Gwan Kim, Woodrow Barfield and Linda Ng, "Statistical Analysis of Commuters' Route, Mode, and Departure Time Flexibility", Transportation Research, Part C, Vol. 2, No. 1, pp. 35-47, 1994.

24. Hani S. Mahmassani, Christopher G. Caplice and C. Michael Walton. "Chracteristics of Urban Commuter Behavior : Switching Propensity and Use Information", Transportation Research Record 1285, TRB, National Research Council, Washington, D.C., pp. 57-69, 1990.

25. Mohamed A. Abdel-Aty, Kenneth M. Vaughn, Ryuichi Kitamura, Paul P. Jovanis and Fred L. Mannering. "Models of Commuters' Information Use and Route Choice : Initial Results Based on Southern California Commuter Route Choice Survey", Transportation Research Record 1453, TRB, National Research Council, Washington, D.C., pp. 46-55, 1994.

26. Samer M. Madanat, C. Y. David Yang and Ying-Ming Yen, "Analysis of Stated Route Diversion Intentions Under Advanced Traveler Information Systems Using Latent Variable Modeling", Transportation Research Record 1485, TRB, National Research Council, Washington, D.C., pp. 10-17, 1995.

27. S. Gregory Hatcher and Hani S. Mahmassani, "Daily Variability of Route and Trip Scheduling Decisions for the Evening Commute", Transportation Research Record 1357, TRB, National Research Council, Washington, D.C., pp. 72-81, 1992.

28. William H. Greene, LIMDEP: User's Manual and Reference Guide, Version 7.0. Econometric software. Inc., 1998.

29. Bottom, J.A, 2000, "Consistent Anticipatory Route Guidance", Ph.D. Dissertation, MIT

30. Cho, Hye-Jin, 1998, "Route Choice Responses to Variable Road User Charges and Traffic Information", Ph.D. Dissertation, University of Leeds

31. Conquest, L., Jan Spyridakis, Mark Haselkorn, Woodrow Barfield, 1993, "The Effect of Motorist Information on Commuter Behavior: Classification of Drivers into Commuter Groups", Transportation Research Part C, Vol.1, No.2, pp.183-201

32. Emmerink, R., P. Nijkamp, P. Rietveld and J. Ommeren, 1996, "Variable message Signs and Radio Traffic Information: An Intgrated Imperical Analysis of Driver's Route Choice Behavior", Transportation Research Part A, Vol.30, No.2, pp.135-153

33. Hensher, D.A. and Kenneth J. Button, 2000, Handbook of Transport Modelling, Elsevier Science

부 록

(1) 경로선택모형 개발을 위한 설문조사

안녕하십니까?
본 설문은 **서울대학교**가 수행 중인
< 교통정보제공에 따른 사용자 반응행태모델 개발 >
연구와 관련한 조사입니다.

조사대상 : 서울시 및 신도시 경로에 익숙한 운전자
조사목적 : **경로선택**의 특성을 규명

운전자 여러분들의 적극적인 협조를 부탁드립니다.
조사결과는 본 연구 목적이외의 다른 용도로는 어떠한 경우에도 사용하지
을 것임을 약속드립니다.

※ **유의점** : 귀하께서 손님을 모시고 가는 경우가 아니라 **개인적 목적(쇼핑, 친지방문 따위)**으로 통행하시는 경우를 대상으로 하고 답변을 해 주십시오.

☞ 연구책임자 : 서울대학교 지구환경시스템공학부 교통연구실
☞ 조사관련 문의처 : ☎ 02-880-7372

■ 귀하의 연령과 운전경력을 적어 주십시오.

연령 : _____ 세 , 운전경력 : _____ 년

■ 조사내용 1

출발지	김포공항	목적지	당산역앞

대안 경로	경로 1	경로 2	경로 3
	올림픽대로 이용 (행주대교 남단진입)	올림픽대로 이용 (가양대교 남단 진입)	공항로 이용
주요경유지	김포공항 → 개화삼거리 → 행주대교남단 → <올림픽대로> → 여의하류IC → 당산 삼성아파트 → 당산역	김포공항 → 송정역 → 발산역사거리 → 강서구청사거리 → 가양동사거리 → 가양대교남단 → <올림픽대로> → 여의하류IC → 당산 삼성아파트 → 당산역	김포공항 → 송정역 → 발산역사거리 → 강서구청사거리 → 도시가스앞 → 양화교 → 인공폭포 → <노들길> → 양화대교남단 → 당산역

귀하께서는 **김포공항**에서 **당산역**까지 갈 때 위의 경로 중에서
어느 경로를 이용하시겠습니까?

이용 경로	경로 1	경로 2	경로 3

귀하께서 생각하시는 위의 세 경로의 **통행시간**을 모두 적어 주십시오.

통행 시간	분	분	분

귀하께서는 위의 세 경로의 **신호교차로 수**가
각각 몇 개라고 생각하십니까?

신호 교차로	경로 1	경로 2	경로 3
	① 3 개 ② 5 개 ③ 7 개 ④ 9 개 ⑤ 11 개	① 4 개 ② 6 개 ③ 8 개 ④ 10 개 ⑤ 12 개	① 4 개 ② 6 개 ③ 8 개 ④ 10 개 ⑤ 12 개

■ 조사내용 2

출발지	김포공항	목적지	서울대 정문

대안 경로	경로 1 올림픽대로/노들길, 상도터널 이용	경로 2 남부순환로 이용
주요 경유지	김포공항 → 개화삼거리/강서구청사거리 → 행주대교/가양대교 남단 → <올림픽대로/노들길> → 노량진수산시장 → 상도터널 → 상도동역 → 숭실대입구 → 봉천여중앞 → 봉천사거리 → 관악구청 → 서울대정문	김포공항 → 강서면허시험장 → 신월IC → 서부트럭터미널 → 오류IC → <남부순환로> → 시흥IC → 구로전화국앞 → 남부경찰서 → 난곡사거리 → 신림사거리 → [봉천사거리→관악구청 도림천변길→관악산입구] → 서울대 정문

귀하께서는 **김포공항**에서 **서울대 정문**까지 갈 때 위의 경로 중에서 어느 경로
이용하시겠습니까?

이용 경로	경로 1	경로 2

귀하께서 생각하시는 위의 두 경로의 **통행시간**을 모두 적어 주십시오.

통행 시간	분	분

귀하께서는 위의 두 경로의 **신호교차로 수**가
각각 몇 개라고 생각하십니까?

신호 교차로	① 9 개 ② 12 개 ③ 15 개 ④ 18 개 ⑤ 21 개	① 20 개 ② 25 개 ③ 28 개 ④ 30 개 ⑤ 35 개

■ 조사내용 3

출발지	서울대 정문	목적지	국회의사당앞

대안 경로	경로 1 **상도터널, 노들길/올림픽대로** 이용	경로 2 **신대방삼거리, 대방역** 경유
주요 경유지	서울대 정문 → 관악구청 → 봉천사거리 → 봉천여중 → 숭실대입구역 → 상도동역 → 상도터널 → 한강대교 U턴 → 노들길 → 여의상류IC → 여의하류 IC → 국회의사당	서울대 정문 → 도림천변길 → 신림사거리 → 당곡사거리 → 보라매공원 후문 → 신대방삼거리 → 서울공고앞 → 서울지방병무청앞 → 대방역 지하차도 → KBS 별관 → 라이프상가 → 국회의사당앞 지하차도 → → 국회의사당

귀하께서는 **서울대 정문**에서 **국회의사당 앞**까지 갈 때
위의 경로 중에서 어느 경로를 이용하시겠습니까?

이용 경로	경로 1	경로 2

귀하께서 생각하시는 위의 두 경로의 **통행시간**을 모두 적어 주십시오.

통행 시간	분	분

귀하께서는 위의 두 경로의 **신호교차로 수**가
각각 몇 개라고 생각하십니까?

신호 교차로	① 11 개 ② 13 개 ③ 15 개 ④ 17 개 ⑤ 19 개	① 11 개 ② 13 개 ③ 15 개 ④ 17 개 ⑤ 19 개

■ 조사내용 4

출발지	시청앞	목적지	일산신도시 백석역

대안 경로	경로 1	경로 2
	자유로 이용	수색로 이용
주요 경유지	시청앞 → 아현교차로 → [공덕동R→마포대교북단 신촌R →양화대교북단] → <강북강변로, 자유로> → 장항IC → 일산장항지하차도 → 일산한국통신사거리 → → 이마트 일산점 → 흰돌금호타운 → 백석역	시청앞 → 사직터널 → 금화터널 → 연세대 정문 → 연희입체교차로 → 모래내시장 → 북가좌삼거리 → 증산교차로 → 수색역 → 화전역 → 가라뫼 → 행신초등교 → 능곡지하차도 → 토당육교 → 지도IC → 백석역

귀하께서는 **시청앞**에서 **일산신도시 백석역앞**까지 갈 때
위의 경로 중에서 어느 경로를 이용하시겠습니까?

이용 경로	경로 1	경로 2

귀하께서 생각하시는 위의 두 경로의 **통행시간**을 모두 적어 주십시오.

통행 시간	분	분

귀하께서는 위의 두 경로의 **신호교차로 수**가
각각 몇 개라고 생각하십니까?

신호 교차로	① 8 개 ② 10 개 ③ 12 개 ④ 14 개 ⑤ 16 개	① 16 개 ② 18 개 ③ 20 개 ④ 22 개 ⑤ 24 개

■ 조사내용 5

출발지	대치동 은마아파트앞	목적지	분당구청

대안 경로	경로 1 분당-장지간 고속도로 이용	경로 2 분당-내곡간 고속도로 이용
주 요 경 유 지	대치동 은마아파트앞 → 학여울역 → 탄천하수처리사업소 → 수서IC → <분당-장지간 고속도로> → 장지IC → 낙생지하차도 → 서현지하차도 → 수내지하차도 → 분당구청	대치동 은마아파트앞 → → 숙명여고앞 → 현대체육관앞 → 구룡초등교 → 개포IC → <분당-내곡간 고속도로> → 내곡 널 → 수내지하차도 → 분당구청

귀하께서는 **대치동 은마아파트앞**에서 **분당구청**까지 갈 때
위의 경로 중에서 어느 경로를 이용하시겠습니까?

이용 경로	경로 1	경로 2

귀하께서 생각하시는 위의 두 경로의 **통행시간**을 모두 적어 주십시오.

통행 시간	분	분

귀하께서는 위의 두 경로의 **신호교차로 수**가
각각 몇 개라고 생각하십니까?

신호 교차로	① 4 개 ② 6 개 ③ 8 개 ④ 10 개 ⑤ 12 개	① 3 개 ② 5 개 ③ 7 개 ④ 9 개 ⑤ 11 개

※ 설문에 끝까지 응해 주셔서 대단히 감사합니다.

(2) 출발시간변경 및 경로전환모형과 교통정보이용빈도 모형의 변수간 상관분석표

◆ 변수설명

sex	성별	useR	출근시 자가용이용률	Tred	모험성향
age	나이	Peop	재차인원	ontime	출근시간제약여부
marr	결혼여부	Rout	인지대안경로수	all	교통정보에 대한 신뢰도
carN	자동차보유대수	logT	로그통행시간	info	교통정보이용여부
minN	동일경로이용년수	Late	지각수용여부	Info3	통행전 교통정보이용여부
driN	운전경력	PAT	선호도착시간	Info4	통행중 교통정보이용여부

◆ 출근시 출발시간변경모형

	sex	age	marr	carN	minN	driN	useR	Peop	Rout	logT	Late	PAT	info	Tred
sex	1.00													
age	0.22	1.00												
marr	0.11	0.57	1.00											
carN	0.03	-0.02	-0.23	1.00										
minN	-0.04	0.39	0.14	-0.14	1.00									
driN	0.37	0.45	0.33	0.06	0.16	1.00								
useR	-0.06	0.07	-0.01	0.18	0.07	0.01	1.00							
Peop	-0.21	0.04	-0.08	0.11	0.07	-0.15	-0.09	1.00						
Rout	-0.02	0.15	0.06	0.11	0.23	0.15	0.03	0.13	1.00					
logT	0.04	0.14	0.04	0.06	-0.05	0.01	-0.04	0.04	-0.03	1.00				
Late	-0.05	0.08	0.16	0.06	0.04	0.14	0.09	0.02	-0.04	-0.12	1.00			
PAT	-0.02	0.13	0.05	0.07	0.06	0.08	0.06	0.05	0.09	0.08	0.21	1.00		
info	-0.08	-0.16	-0.16	0.04	-0.10	0.12	0.03	0.02	0.02	-0.01	0.10	-0.09	1.00	
Tred	0.06	-0.19	-0.06	0.05	-0.04	0.06	0.18	-0.07	0.09	-0.01	-0.04	0.06	0.30	1.00

◆ 퇴근시 경로변경 모형

	sex	age	marr	carN	minN	driN	useR	Peop	Rout	logT	Late	PAT	Info3	Info4	Tred
sex	1.00														
age	0.23	1.00													
marr	0.09	0.51	1.00												
carN	0.12	-0.06	-0.20	1.00											
minN	-0.01	0.41	0.17	-0.24	1.00										
driN	0.37	0.47	0.30	0.11	0.19	1.00									
useR	-0.03	0.11	0.00	0.14	0.05	0.00	1.00								
Peop	-0.01	0.08	0.11	0.12	0.13	-0.05	0.06	1.00							
Rout	0.04	0.09	-0.03	0.15	0.21	0.09	-0.05	0.19	1.00						
logT	0.04	0.06	0.05	0.04	-0.02	0.07	-0.19	-0.20	0.05	1.00					
Late	-0.04	0.18	0.19	-0.01	0.05	0.14	0.01	0.02	-0.22	-0.05	1.00				
PAT	0.00	0.18	0.05	0.04	0.04	0.07	0.07	0.12	0.08	0.05	0.20	1.00			
Info3	-0.09	-0.13	-0.11	-0.16	0.01	0.02	0.00	-0.13	-0.06	0.01	-0.10	-0.14	1.00		
Info4	-0.03	0.12	0.09	0.04	0.20	0.22	-0.02	-0.09	0.08	0.18	0.00	-0.10	0.44	1.00	
Tred	0.10	-0.25	-0.06	0.05	-0.07	0.01	0.15	-0.02	0.03	0.07	-0.18	0.07	0.25	0.08	1.00

◆ 교통정보이용빈도 모형

	sex	age	driN	minN	useR	Peop	Rout	logT	ontime	late	PAT	all	tred
sex	1.00												
age	0.25	1.00											
driN	0.33	0.45	1.00										
minN	-0.06	0.40	0.15	1.00									
useR	0.00	0.01	-0.09	0.00	1.00								
Peop	-0.08	0.07	-0.12	0.07	-0.06	1.00							
Rout	0.00	0.09	0.05	0.23	-0.04	0.14	1.00						
logT	0.01	0.15	0.04	-0.03	-0.12	0.11	0.03	1.00					
ontime	-0.14	0.15	0.26	0.00	-0.19	0.12	-0.06	0.15	1.00				
late	-0.16	0.13	0.12	0.09	-0.03	0.01	-0.09	-0.05	0.43	1.00			
PAT	-0.02	0.12	0.03	0.02	0.06	0.07	-0.02	0.08	0.05	0.20	1.00		
all	0.11	0.04	0.08	0.12	0.16	0.08	-0.04	0.09	0.14	0.04	0.21	1.00	
tred	-0.09	0.17	-0.04	0.08	-0.11	-0.07	0.02	-0.09	-0.10	0.02	-0.03	-0.11	1.00

(3) 출발시간변경 및 경로전환모형과 교통정보이용빈도 모형의 개발을 위한 설문조사

안녕하십니까? 먼저 설문에 응해주셔서 감사합니다.
본 설문은 출·퇴근시 출발시간 및 경로 변경에 관한 통근자의 행태를 석하기 위한 것입니다. 귀하의 설문은 교통상황개선을 위한 연구에 움이 될 것입니다. 비록 귀하의 소중한 시간을 필요로 하겠지만, 부디 껏 답해 주시면 고맙겠습니다. 또한 본 설문자료는 연구 목적 이외의 어떤 경우에도 사용하지 않을 것임을 약속드립니다.

설문대상 : 최근 몇 달간 자가용으로 출·퇴근 경험이 있는 운전자

☞ 조사담당자 : 서울대학교 지구환경시스템공학부 교통연구실
☞ 조사관련 문의처 : ☎ 02) 880-7372 / 7377

성 별(남 , 여) 연 령(세) 혼인여부(기혼, 미혼) 가족차량소유(대)

1. 귀하의 직업은?

① 회사원 ② 전문직 ③ 공무원 ④ 학 생 ⑤ 근로자
⑥ 기타( )

2. 귀하의 학력은?

① 중졸 이하 ② 고졸 ③ 대졸 ④ 대학원이상

3. 현재 살고 계신 곳은 어디입니까? _____ 구 _____ 동

4. 현 거주지에 몇 년 동안 살고 계십니까? ( )년

5. 직장의 위치는 어디입니까? _____ 구 _____ 동

6. 현재의 직장에서 몇 년간 근무하셨습니까? (　　)년

7. 귀하의 운전경력은? (　　)년

8. 일주일 중 근무일수와 그 중 자가용을 이용한 출근회수는 얼마나 됩니까?

(　　)일/주 근무, (　　)회/주 자가용 이용 출근

9. 출·퇴근시 자가용의 평균 탑승인원은 각각 몇 명입니까?

(　　)명/**출근시**　　(　　)명/**퇴근시**

10. 귀하가 출·퇴근시에 이용가능한 경로는 각각 몇 개입니까?

(　　)개/**출근시**　　(　　)개/**퇴근시**

11. 귀하의 출·퇴근 평균 통행시간은 각각 얼마입니까?

시간　　분(**출근시**)　시간　　분(**퇴근시**)

12. 회사의 출·퇴근시간은 정해져 있습니까?

① 정해져 있다. - 출근시간 : 시　분　퇴근시간 : 시　분

② 출·퇴근 시간에 제한이 없다. (자기 마음대로)

③ 기타 (　　)

13. 귀하가 속한 직장의 지각수용정도는 어떻습니까?(②번 선택시 시간기입)

① 항상 정시에 도착해야 하는 편이다.

② 　　분 정도 늦는 것은 허용하는 편이다.

③ 아무리 늦어도 상관없다.

④ 기타(　　)

14. 출근시, 평소 직장 도착시각은 몇 시입니까?

시　　분

15. 귀하는 업무시작 전, 회사에 얼마나 미리 도착하기를 원하십니까?

_____분

16. 귀하는 출·퇴근시 다음 중 어떻게 교통상황정보를 취득하십니까?

①운전 중에 직접 지체를 관측 ②라디오 교통방송 ③가변정보판 ④TV

⑤인터넷 ⑥유선전화 또는 휴대폰 ⑦이용안함 ⑧기타( )

17. 출·퇴근시, 아래 네 경우에 대해 교통정보를 이용하는 회수는 주당 얼마나 됩니까?

	0회	1회	2회	3회	4회	5회	6회
출근 통행 전(前)에							
출근 통행 중(中)에							
퇴근 통행 전(前)에							
퇴근 통행 중(中)에							

18. 출·퇴근시 주로 이용하는 경로에 비하여 다른 경로의 통행시간이 얼마나 빠르면 그 경로로 변경하시겠습니까?

① 5분 ② 10분 ③ 20분 ④ 30분 ⑤ 30분 이상 ⑤ 기타( )

19. 통근시 혼잡에 대해서, 평소 주로 이용하던 경로 대신에 다른 경로를 이용하는 편입니까?

출근시 : ① 예 ② 아니오

퇴근시 : ① 예 ② 아니오

20. 통근시 혼잡에 대해서, 평소의 출발시각을 변경하는 편입니까?

출근시 : ① 예 ② 아니오

퇴근시 : ① 예 ② 아니오

21. 현재 제공되는 라디오 교통정보의 신뢰성에 대한 귀하의 견해는?

	매우 그렇다	그렇다	보통이다	아니다	매우 아니다
① 정보의 내용이 정확하다					
② 정보의 내용이 구체적이다					
③ 정보를 신속히 제공한다					
④ 나와 무관한 정보를 제공한다					
전체적으로 만족한다					

22. 아래에서 자신의 성향은 어떻다고 생각하십니까?

	매우그렇다	그렇다	보통이다	아니다	매우아니다
① 새로운 길을 발견하기를 좋아한다					
② 때로는 다른 길로 가는 위험을 감수한다					
③ 내가 아는 경로만을 사용한다					

(4) 교통정보에 대한 통행자의 순응도 모형 개발을 위한 사전설문조사

소중한 시간을 내어 설문에 응해주셔서 대단히 감사합니다.
본 설문은 교통정보의 제공에 따른 운전자의 반응을 분석하는 연구의 사전자료로 사용됩니다.
귀하의 설문은 효과적인 교통정보 제공을 위한 연구에 큰 도움이 될 것입니다.
본 설문의 내용은 연구 이외의 목적으로는 절대 사용하지 않을 것임을 약속드립니다.

설문대상: 자가용을 이용하여 출퇴근하는 운전자

조사담당자: 서울대학교 지구환경시스템공학부 교통연구실
조사관련문의: ☎ 02) 880-7372

1. 귀하의 현재 거주지는 어디입니까? (구체적으로) _____ 구 _____ 동 _____

2. 현재 거주지에서 얼마동안 거주하셨습니까? (년 개월)

3. 귀하의 현재 직장위치는 어디입니까? (구체적으로) _____ 구 _____ 동 _____

4. 현재 직장위치에서 얼마동안 근무하셨습니까? (년 개월)

5. 귀하의 운전경력은 얼마나 되십니까? (년 개월)

6. 귀하의 출근시간은 정해져 있습니까?
   ① 정해져 있다. (시 분) ② 정해져 있지 않다.

7. 직장의 지각수용정도는 어떻습니까?
   ① 정시에 도착해야 한다. ② ( )분 정도의 지각은 허용된다.
   ③ 아무리 늦어도 상관없다. ④ 기타 ( )

8. 주중(월~금) 출근시의 출발시각은 대략 언제입니까?
   (시 분) 에서 (시 분) 사이, 주로 (시 분)

<u>출근시에 주로 이용하는 경로</u>에 대하여 다음 물음에 답해 주십시오.

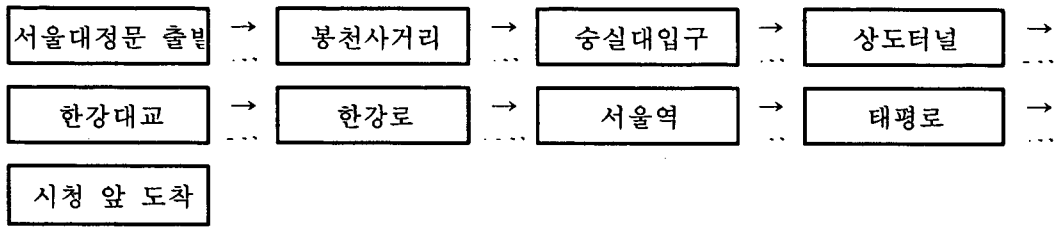
9-1. 거주지에서 직장까지의 통행시간은 어느 정도입니까?

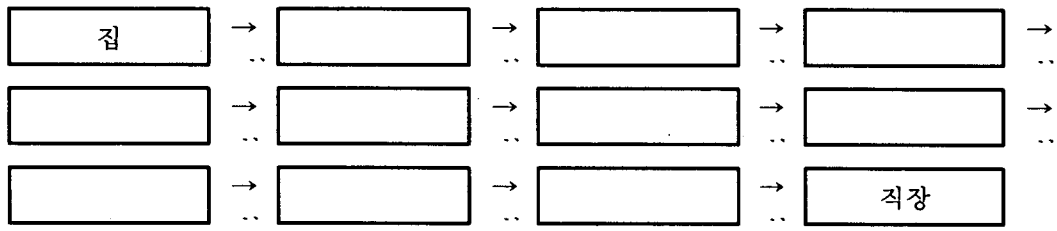
최소 (　　분)에서 최대 (　　분), 보통 (　　분)

9-2. 주요 <u>경유지, 또는 경유도로</u>를 나열해 주십시오.

또한, 경유지 사이의 평균적인 통행시간을 기억할 수 있으면 적어주십시오.

(예) 서울대정문 ~ 시청 앞





10. 주로 이용하는 경로 이외에 알고 계시는 다른 경로가 있습니까?　　(예/아니오,　　개)

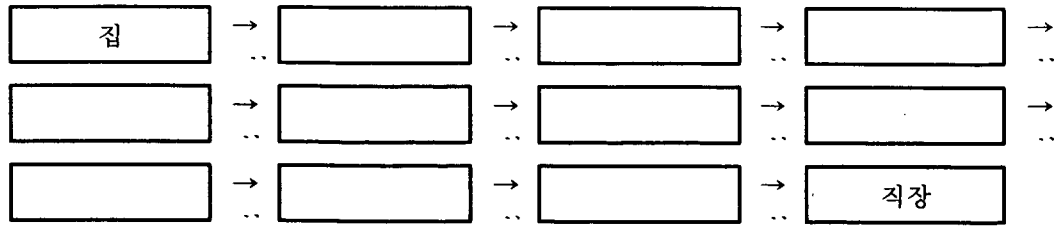
있다면, 그 중 <u>두 번째로 많이 이용하는 경로</u>에 대하여 다음 물음에 답해 주십시오.

11-1. 그 경로의 통행시간은 어느 정도입니까?

최소 (　　분)에서 최대 (　　분), 보통 (　　분)

11-2. 주요 <u>경유지, 또는 경유도로</u>를 나열해 주십시오.

또한, 경유지 사이의 평균적인 통행시간을 기억할 수 있으면 적어주십시오.



12. 두 경로의 이용비율은 어떻습니까? (예- 80:20 또는 70:30)　　(　　) : (　　)

*** 귀하의 경험과 관련하여 아래 물음에 답변하여 주십시오. (13~19)**

13. 출근시에 교통정보를 얼마나 자주 이용하십니까?

① 거의 이용 안함 ② 주 1-2회 ③ 주 3-4회 ④ 주 5회 이상

14. 주로 어떤 매체로부터 교통정보를 취득하십니까?

① 라디오 ② 인터넷 ③ 이동전화 서비스 ④ 도로변의 전광판 ⑤ 기타 ( )

15. 현재 귀하가 이용하고 있는 교통정보의 수준에 대해 어떻게 느끼십니까?

매우 불만족 ① ② ③ ④ ⑤ 매우 만족함

16. 현재 이용경로의 주변 도로망에 대해 얼마나 익숙하다고 느끼십니까?

다니는 길만 안다 ① ② ③ ④ ⑤ 매우 익숙하다

17. 출근시 예상치 못한 혼잡에 대해서 경로를 변경하시는 편입니까?

절대 변경안함 ① ② ③ ④ ⑤ 적극적으로 변경

18. 교통정보에 의해 경로를 변경할 것이 권장되는 경우, 이에 따르실 것입니까?

거의 무시함 ① ② ③ ④ ⑤ 그대로 믿고 따름

19. 자신의 성향이 어떻다고 생각하십니까?

- 새로운 길을 발견하기를 좋아한다.

매우 아니다 ① ② ③ ④ ⑤ 매우 그렇다

- 때로는 다른 길로 가는 위험을 감수한다.

매우 아니다 ① ② ③ ④ ⑤ 매우 그렇다

성심껏 답해 주셔서 감사합니다.

성 별 (남,여) 연 령 (세) 혼인여부 (미혼,기혼) 가족차량소유 (대)

직 업 ① 회사원 ② 공무원 ③ 자영업 ④ 전문직 ⑤ 학생 ⑥ 기타 ( )

학 력 ① 중졸 ② 고졸 ③ 대졸 ④ 대학원 이상

연간 가구소득

① 1,800만원 이하 (월평균 150만원 이하)　② 1,800~2,400만원 (월 150~200만원)
③ 2,400만원~3,100만원 (월 200~260만원)　④ 3,100~4,200만원 (월 260~350만원)
⑤ 4,200만원 이상 (월 350만원 이상)

*** 전자메일주소를 적어주십시오.　(　　)**

*** 전자메일주소는 본 설문지의 분석이 끝난 후, 웹 상에서 본조사를 수행할 때 귀하와 연락을 취하기 위해 사용됩니다. 조사 이외의 어떤 목적으로도 사용하지 않을 것이며, 절대 유출되는 일은 없을 것임을 약속드립니다.**

수고 많으셨습니다.