

2006년도 「국가교통DB구축사업」

여객 O/D 신뢰성 제고 및 첨단조사방법론 기초연구

10

제 출 문

건설교통부장관 귀하

본 보고서를 국가정보화사업 중 「2006년도 국가교통DB구축사업」의
최종보고서로 제출합니다.

2007년 4월

한국교통연구원

원장 강 재 홍

본 『국가교통DB구축사업』은 다음 연구진에 의해 수행되었습니다.

참 여 연 구 진

<한국교통연구원>	
◦ 국가교통DB센터장 :	이상민
◦ 연구진	
- 연구위원	: 정승주
- 책임연구원	: 박인기, 추상호, 김찬성, 정경옥, 최정민, 이현주, 마강래, 한상용, 장원재, 정성봉, 성현곤, 배준봉, 임재경, 안강기
- 연구원	: 이창렬, 최애심, 신영권, 박용일, 엄우학, 이향숙, 박정하, 이태신, 오연선, 허 겸, 허 경, 조완기, 김동호, 성홍모, 김진돈, 권세나, 남혜경, 권선아, 권혁구
◦ 센터관리 및 지원 :	안 석, 이종열, 김상곤, 손희진
<부문별 사업자>	
◦ 교통시설물조사·교통주제도 및 교통분석용 네트워크 구축	
- (주)위아	
◦ DB시스템 구축 및 운영	
- (주)유비스티	
◦ 동북아지역의 해상화물 교통조사 자료의 상세분석	
- 한국해양수산개발원	
◦ 광역권 여객통행실태조사	
- (주)드림이엔지, (주)대건이앤씨, 한밭대학교, 공주대학교, (주)서영엔지니어링, (주)코리아데이터네트워크, (주)대현이앤씨, (주)유티엔디, 전주대학교	
◦ 화물 기종점통행량 전수화를 위한 보완조사	
- (주)지알아이리서치	
◦ 전국 지역간 여객 기종점통행량 보완조사	
- (주)케이티아이티	
◦ 설·추석 등 특별연휴기간 중 지역간 통행량 및 통행특성 분석	
- (주)리서치랩	
◦ 국가교통DB 정보화전략계획(ISP) 및 중장기 발전방향	
- 한국생산성본부	

< 부문별 보고서 구성 >

제 1권 요약보고서

제 2권 교통통계 및 문헌조사

제 3권 교통시설물조사·교통주제도 및 교통분석용 네트워크 구축

제 4권 광역권 여객통행실태조사

제 5권 전국 지역간 여객 기종점통행량 자료의 전수화

제 6권 전국 지역간 화물 기종점통행량 자료의 전수화

제 7권 전국 지역간 여객 기종점통행량 조사자료의 상세분석

제 8권 전국 지역간 화물 기종점통행량 조사자료의 상세분석

제 9권 설추석 등 특별연휴기간 중 지역간 통행량 및 통행특성 분석

제10권 여객 O/D 신뢰성 제고 및 첨단조사방법론 기초연구

제11권 화물 O/D 신뢰성 제고 및 첨단조사방법론 기초연구

제12권 동북아지역의 해상화물 교통조사 자료의 상세분석

제13권 DB시스템 구축 및 운영

제14권 국가교통DB 정보화전략계획(ISP) 및 중·장기 발전방향

목 차

요 약

제1장 과업의 개요	1
제1절 과업의 배경 및 목적 / 3	
제2절 과업의 범위 / 4	
제3절 주요 과업 내용 / 5	
제2장 첨단기술을 활용한 교통조사 방안	7
제1절 개요 / 9	
제2절 국내 · 외 선행연구 검토 / 11	
제3절 첨단교통조사의 필요성 / 25	
제4절 첨단교통조사 방법론 / 30	
제5절 시스템 설계 / 36	
제6절 현장테스트 / 50	
제7절 향후 확장가능성 검토 / 59	
제8절 소결론 / 68	
제3장 도로의 통행비용함수 파라미터 보완 및 검증	71
제1절 개요 / 73	
제2절 국내 · 외 선행연구 검토 / 76	
제3절 통행비용함수의 파라미터 추정 및 검증 방법론 / 96	
제4절 고속도로 통행비용함수 파라미터 검증 / 115	
제5절 통행비용함수 파라미터 종합검증 / 123	
제6절 소결론 / 141	
제4장 결론 및 향후 연구과제	147

표 목 차

<표 2- 1> 청주시 택시 운행현황(2004년 1월~2월)	18
<표 2- 2> 위치 정확도별 인식률	20
<표 2- 3> 첨단교통조사로 인한 개선점	27
<표 2- 4> 기존 교통조사와의 비교	28
<표 2- 5> 조사 단말기 재원	30
<표 2- 6> GPS 장착 이동전화 시스템의 장·단점	34
<표 2- 7> 일반 이동전화 조사시스템의 장·단점	35
<표 2- 8> 통행정보 저장 요청 프로토콜	40
<표 2- 9> 전화번호 정보 상세내용	41
<표 2-10> 문자 정보 상세내용	41
<표 2-11> 날짜 정보 상세내용	41
<표 2-12> 시간 정보 상세내용	41
<표 2-13> 통행목적 코드 테이블	42
<표 2-14> 통행수단 코드 테이블	42
<표 2-15> 요금정보	43
<표 2-16> 조사일자별 조사인원	53
<표 2-17> 통행목적별 통행수 비교	54
<표 2-18> 통행수단별 통행수 비교	55
<표 2-19> 대안별 예상 소요비용 비교	67
<표 3- 1> 도로유형별 자유통행속도와 용량	83
<표 3- 2> 도로별 BPR함수의 파라미터 추정값	83
<표 3- 3> 도로위계별 일교통량 검증기준	84
<표 3- 4> 개별링크별 일교통량 검증기준	84
<표 3- 5> 도로위계별 VMT 검증기준	85
<표 3- 6> 영국의 검증기준	87
<표 3- 7> 서선덕이 도출한 BPR식의 파라미터	88

<표 3- 8> 주정열이 도출한 도로용량함수의 파라미터	89
<표 3- 9> 장덕형이 도출한 BPR식의 파라미터	89
<표 3-10> 강호익이 도출한 BPR식의 파라미터	90
<표 3-11> 전국 기반의 도로 유형별 VDF 함수 파라미터값	91
<표 3-12> 1999년 수도권 자료의 도로 유형별 VDF 함수 파라미터 값과 차로 용량	92
<표 3-13> 2004년 수도권 자료의 도로 유형별 VDF 함수 파라미터 값과 차로 용량	93
<표 3-14> 5대광역시 자료의 도로 유형별 VDF 함수 파라미터 값과 차로 용량 ...	94
<표 3-15> 국내 기존연구	95
<표 3-16> 국도 기능별 위계구조 정립방안	107
<표 3-17> 국도 노선의 분류체계	107
<표 3-18> 2002년 기준 전국 도로망 위계별 체계 구축 내용	108
<표 3-19> 고속도로 기본 구간의 서비스수준	109
<표 3-20> 다차로도로 서비스수준	110
<표 3-21> 서비스 수준	110
<표 3-22> 5대 광역시 자료의 도로 유형별 VDF 함수 파라미터 값과 차로 용량	111
<표 3-23> 다차로 도로의 속도보정	111
<표 3-24> 2차로 사업의 용량보정	112
<표 3-25> 4차로 사업의 용량보정	112
<표 3-26> LOS D에서의 고속도로용량	112
<표 3-27> 기존 고속도로 용량연구	113
<표 3-28> 고속도로 용량제안(안)	113
<표 3-29> 기존 국도 용량연구	114
<표 3-30> 국도 용량제안(안)	114
<표 3-31> 2005년 고속도로 차선별 통행지체함수 추정 결과	117
<표 3-32> 고속도로 파라미터 검증을 위한 지점별 현황	118
<표 3-33> 차로별 검증결과	120
<표 3-34> 주요 고속도로축별 검증결과	121
<표 3-35> 정산지점별 오차율	122
<표 3-36> 최종적으로 추정된 고속도로 차로별 파라미터	128

<표 3-37> 고속도로 파라미터 검증 결과	128
<표 3-38> 최종적으로 추정된 국도 차로별 파라미터	133
<표 3-39> 국도 파라미터 검증 결과	133
<표 3-40> 고속도로 통행배정시 오차율	134
<표 3-41> 국도 통행배정시 오차율	136
<표 3-42> 통행배정시 오차율(전체)	138
<표 3-43> RMSE 및 Theil 부등계수 비교	139
<표 3-44> 다차종 통행배정 실시 결과(고속도로)	139
<표 3-45> 다차종 통행배정 실시 결과(국도)	140
<표 3-46> 연구결과 정리	141
<표 4- 1> 연구결과 정리	150

그림목차

<그림 2- 1> 이동전화 정보를 이용한 O/D 산출 방법	13
<그림 2- 2> 자료수집 과정	14
<그림 2- 3> 기지국과 GPS 위치	16
<그림 2- 4> 기지국 커버리지와 행정동	16
<그림 2- 5> 전수화 과정	17
<그림 2- 6> 도로 구분율	20
<그림 2- 7> 고속도로와 주요 도로 구분	20
<그림 2- 8> 본 과업에 사용된 조사기기	31
<그림 2- 9> 통행조사 단계별 프로그램 실행화면	32
<그림 2-10> 이동전화 GPS 측위방식	33
<그림 2-11> GPS수신기가 장착된 이동전화에서 작동하는 프로그램 화면	34
<그림 2-12> 전체 시스템 구성도	36
<그림 2-13> GIS 맵의 확대, 축소, 이동 기능바	44
<그림 2-14> GIS 맵의 거리산출 기능	45
<그림 2-15> GIS 맵의 면적산출 기능	45
<그림 2-16> GIS 맵의 화면저장 기능	46
<그림 2-17> 통행조회 기능(1)	47
<그림 2-18> 통행조회 기능(2)	47
<그림 2-19> 이동전화 기지국 위치 정보 표시	48
<그림 2-20> 조사 결과를 통한 O/D표	49
<그림 2-21> 제주시 행정동 구분	51
<그림 2-22> 현장테스트 조사방법 설명서	52
<그림 2-23> 기지국 기반과 GPS 기반의 위치정보 비교	56
<그림 2-24> ‘친구찾기’서비스 화면	57
<그림 3- 1> 이론적인 통행비용함수	76
<그림 3- 2> 단조증가 통행비용함수	76

<그림 3- 3> 기존연구에서 파라미터의 변화추이	95
<그림 3- 4> 정산치의 검증결과에 대한 feedback과정	97
<그림 3- 5> 열거법에 의한 파라미터 산출과정	104
<그림 3- 6> 고속도로 검지기 자료 분류 절차	116
<그림 3- 7> 고속도로 파라미터 검증을 위한 지점	119
<그림 3- 8> 종합검증과정	123
<그림 3- 9> 고속도로 파라미터 추정 지점	124
<그림 3-10> 고속도로 편도 1차로 파라미터 추정과정	125
<그림 3-11> 고속도로 편도 2차로 파라미터 추정과정	126
<그림 3-12> 고속도로 편도 3차로 이상 파라미터 추정과정	127
<그림 3-13> 국도 파라미터 추정 지점	129
<그림 3-14> 국도 편도 1차로 파라미터 추정과정	130
<그림 3-15> 국도 편도 2차로 파라미터 추정과정	131
<그림 3-16> 국도 편도 3차로 이상 파라미터 추정과정	132
<그림 3-17> 관측교통량대 배정교통량 비교(고속도로 차로별)	135
<그림 3-18> 관측교통량대 배정교통량 비교(국도 차로별)	137
<그림 3-19> 관측교통량대 배정교통량 비교(고속도로 및 국도 전체)	138
<그림 3-20> 권역별 파라미터 추정	143
<그림 3-21> 기타도로 파라미터 추정방안	144

요약

요 약

1. 과업의 개요

가. 과업의 배경 및 목적

- 여객 기종점통행량(O/D)자료는 교통정책의 연구 및 개발, 교통시설의 타당성 평가에 필수적인 기초자료이므로, 자료의 신뢰성을 제고하기 위한 지속적인 연구가 필요한 실정임
- 이를 위해 「2005년 국가교통DB구축사업」중 ‘여객 O/D 신뢰성 제고를 위한 분석방법론 연구’에서는 새로운 교통조사를 통한 교통조사비용 절감 방안과 통행비용함수(VDF) 파라미터정산에 관한 연구를 수행하였음
- 연구결과 조사비용절감 및 조사자료의 신뢰성 증대를 위해서 교통조사에 첨단 정보통신기술(이동전화나 네비게이션 단말기 등)을 활용하는 방안을 제안하였으며, 고속도로 기준 통행비용함수의 파라미터를 갱신 하였음
- 본 과업은 2005년 과업의 후속단계로 교통조사의 비용과 오류를 최소화하기 위해 첨단교통조사 시스템 구축에 관한 방안을 제시하고, 여객 O/D의 신뢰성 제고를 위해 2005년 고속도로 통행비용함수의 파라미터를 정산한 결과 검증 및 보완과 국도의 통행비용함수의 파라미터를 갱신하는 것임
- 이를 위해 첨단 기술을 이용하여 신뢰성을 향상시킬 수 있는 구체적인 조사방안을 제안하고, 현장테스트를 통해 구축된 첨단교통조사 시스템을 검증하여 향후 시범사업 및 전국단위 교통조사로의 확장 가능성을 검토함
- 또한 2005년에 고속도로 통행비용함수의 파라미터를 검증 및 보완하고 국도에 적합한 통행비용함수를 정산하며, 이를 전국 지역간 여객 O/D 및 네트워크에 적용하여 신뢰성을 향상시키는 방안을 제시함

나. 과업의 범위

1) 공간적 범위

- 전국 지역간
 - 전국 시·군 단위(165개 존)

2) 시간적 범위

- 2005년

다. 주요 과업 내용

1) 첨단기술을 활용한 교통조사 방안

- 첨단조사방법 구현을 위한 시스템 구축
 - 첨단 조사방법의 기술적 및 실용적 측면의 상세 검토
 - 조사비용 및 실용 가능성에 대한 검토 후 상세조사방법 결정
 - 시험조사장비(Prototype) 개발
 - 시험조사장비(Prototype) 검증 및 보완
 - 조사결과 분석용 프로그램 개발 및 검증
 - 현장테스트를 통한 첨단조사시스템 검증
- 첨단 교통조사장비를 활용한 조사방법 제시
 - 시험조사장비(Prototype)를 통한 구체적인 조사방법 제시
- 적용 가능성 검토
 - 개발된 시스템을 향후 시범사업 및 전국 단위 조사로의 적용 가능성에 대한 검토

2) 도로의 통행비용함수 파라미터 보완 및 검증

- 2005년 고속도로의 파라미터 보완
 - 보완 자료를 통한 통행비용함수 파라미터 재정산 및 특성 반영
 - 고속도로 최종 파라미터 정산

- 2005년 기준 국도의 통행비용함수 파라미터 정산
 - 국도의 용량 재정립 검토
 - 통행비용함수의 파라미터 정산 실시
 - 정산된 통행비용함수 파라미터의 해석
- 2005년 기준 네트워크 및 O/D를 통한 국도 및 고속도로의 통행비용함수 검증
 - 2006년 과업에 구축된 O/D 및 네트워크 자료의 활용
 - 정산된 통행비용함수 파라미터를 이용한 통행배정실시
 - 관측교통량을 이용한 검증

2. 첨단기술을 활용한 교통조사 방안

가. 국내·외 선행연구 검토

1) 국내 연구

① 이동전화 기지국 데이터를 이용한 교통정보 생성

- 국내에서 PCS¹⁾ 기지국 자료를 이용하여 교통정보를 생성하고자 하는 연구는 이창진 (2002)²⁾에 의해서 시작되었음
- 서울시 테헤란로, 강변북로, 올림픽대로를 대상으로 1명의 Probe를 대상으로 2002년 5월중 5일간의 기지국 단위 위치추적을 통해 통행시간 정보를 추출하였음
- 위치추적 결과의 검증을 위하여 기지국 자료와 GPS 자료를 비교 분석하였음

② 이동전화 기지국 기반의 정적 O/D 산출 기법 연구

- 김시곤(2005)³⁾은 이동전화 기지국 단위의 위치 정보로부터 정적 O/D를 산출하는 방안을 제시하고 실제 자료를 통해 검증하였음
- 청주시에서 운행 중인 택시를 시험차량으로 이용하여 이동전화 기지국 위치와 GPS 위치좌표를 수집하여, GIS 수치지도 상에 맵매칭하여 이동전화 기지국 기반 O/D와 GPS 위치 기반 행정동 O/D를 산출하였음

1) Personal Communication Services의 약자

2) 이창진 외 2인, “PCS 기지국 데이터를 이용한 교통정보 생성”, 대한교통학회 학술대회, 2002

3) 김시곤 외 2인, “휴대폰 기지국 정보를 이용한 O/D 추정기법 연구”, 대한교통학회지, 2005년 2월

- 또한 이동전화 기지국 기반 O/D를 행정동 기반 O/D화하는 기법을 제시하고, 그 결과 변환된 O/D를 참값으로 간주할 수 있는 GPS 위치기반 행정동 O/D와 비교하여 통계적으로 검증하였으며, 표본 O/D를 전수화 하는 방안도 제시하였음

2) 국외 연구

① GPS와 Cellular Phone Tracking의 위치정확도

- Yim과 Cayford(2002)⁴⁾는 Probe 차량에 장착된 GPS와 이동전화 위치를 추적하여 교통자료를 수집한 결과를 평가하였음
 - San Francisco Bay 지역 Alameda, Contra Costa County에서 29,000Km(고속도로 1,100Km, 주요간선도로 5,700Km, 국지도로 22,000Km) 도로구간을 대상으로 함
- San Francisco Bay 지역 연구결과, 20m 보다 정확도가 낮은 경우 고속도로와 측도의 구분 어려움
- 일반적으로 GPS는 15m의 위치정확도를 가지고, 이동전화 위치시스템인 E911의 경우는 100m의 위치정확도를 가지고 있음

② 교통정보 생성을 위한 이동전화 위치추적에 영향을 미치는 요인

- Cayford et al(2003)⁵⁾는 이동전화 위치추적에 영향을 주는 요소들에 대한 분석과 실험을 수행하였음
- 일반적인 통행자료를 수집하기 위해 익명 사용자들의 이동전화 위치정보를 대상으로 하였음
- 이동전화 위치정보를 이용한 교통관측시스템(Traffic Monitoring System)의 운영에서 효율성에 영향을 미치는 위치의 정확도, 위치 측정 시간간격, 주어진 지역의 Probe 이동전화들의 위치를 한 번에 감지할 수 있는 능력(용량)과 같은 요소들의 영향을 설명하였음

4) Yim, Y. & C. Randall, "Positional Accuracy of GPS and Cellular Phone Tracking for Probe Vehicles", 8th TRB Annual Meeting, 2002.

5) Randall, C. et al., "Operational Parameters Affecting Use of Anonymous Cell Phone Tracking for Generating Traffic Information", 82th TRB Annual Meeting, 2003.

③ 모바일을 이용한 개인 통행행태 추적

- 개인의 통행행태를 추적하기 위해 위치추적 시스템인 PHS(Personal Handy phone System)를 이용하였음
- Off-line 자료수집 기구인 PEAMON(Personal Activity Monitor)를 개발하였고, 이 기구를 이용하여 3차원의 가속파동을 관측하여 Spectrum 분석을 통해 차종을 구분하였음
- PHS에서 올라오는 자료를 이용하여 통행여부를 판별하기 위해 시공간 경로 다이어그램을 이용하여 추정하였음
- 일련의 위치자료를 이용하여 지도에 맵핑하는 과정을 거쳐 통행 경로를 추정

나. 첨단교통조사의 필요성

1) 기존 교통조사의 문제점

① 조사운용의 효율성 문제

- 기존 교통조사는 조사원에 의한 직접 관측이나 설문조사 방법으로 수행하고 있으며, 따라서 조사원의 선발, 교육, 관리에 있어 시간과 비용이 많이 소요됨. 최근에는 조사에 대한 협조의식이 점차 낮아지고 있어 자료를 취득하는데 어려움이 있음

② 조사예산의 문제

- 현장조사, 조사집계 및 입력 인건비, 현장관리비, 조사표 등 소모성 예산의 비중이 대부분이며, 비용도 막대하게 소요될 뿐만 아니라, 이러한 예산들은 경제 여건에 따라 민감하기 때문에 안정적인 조사계획 수립과 수행에 불확실성을 내포하고 있음

③ 조사자료의 신뢰성 문제

- 기존 교통조사는 인적 요소로 인한 우연적, 필연적 오류가 발생할 확률이 크며, 이는 조사자료를 취득하는 단계에서 조사원이 조사에 임하는 태도나 환경적 요건에 따라 우연하게 오류가 발생할 수 있음

④ 조사자료의 처리 문제

- 자료의 구축단계에서 기존의 경우는 일반적으로 조사된 데이터를 입력하여 전산화하고 특이값 제거 및 통계적 분석을 통해 유효데이터를 구축하게 됨
- 데이터 처리의 단계가 많을수록 오류가 발생할 수 있는 확률이 커질 뿐 아니라 이를 위한 비용과 업무 수행상 비효율적인 요소가 발생하게 됨

⑤ 조사분석자료의 활용 문제

- 자료의 수집에서 구축까지 여러 단계의 처리과정을 거침으로써 많은 시간이 소요되어 현시점의 반영도가 떨어짐
- 조사기간도 특정일, 특정시간으로 한정되어 있어 정책적 활용에 한계가 존재함

2) 첨단교통조사의 필요성

① 기존 교통조사의 개선점

- 첨단교통조사 방법을 활용함으로써 기대되는 기존 교통조사방식의 개선점은 <표 1>와 같음

<표 1> 첨단교통조사로 인한 개선점

검토항목	첨단교통조사로 인한 개선점
조사수행의 효율성	<ul style="list-style-type: none"> • 인력 의존도 감소 • 조사원의 모집절차 및 운용 간소화 • 조사노동의 감소
조사 예산	<ul style="list-style-type: none"> • 조사 인건비 감소 • 조사 장비의 반복 사용가능
자료의 신뢰성	<ul style="list-style-type: none"> • 실시간 집계가능 • 필연적, 우연적 오류 감소
자료의 처리 과정	<ul style="list-style-type: none"> • 조사자료의 자동 입력 및 디지털화 • 자료처리의 용이
자료의 활용성	<ul style="list-style-type: none"> • 요일별, 24시간 조사가능 • 활용분야 확대 • 생성 자료 다양

② 첨단교통조사의 필요성 및 기대효과

○ 첨단교통조사의 필요성

- 기존 조사방법은 세부적인 정책수립에 필요한 정밀한 데이터를 얻는 데는 한계가 있으며, 조사비용 또한 막대하게 소요되고 있음
- 매 5년 단위로 수행되는 교통조사가 기존의 방법으로 계속된다면 재정적 제약과 국민의 협조의식의 저하로 인해 교통데이터의 구축에 한계가 있음
- 최근 정보통신 기술의 발전과 함께 GPS 등을 활용한 위치정보 파악기술 등이 실용화되고 있어 이를 활용함으로써 기존 교통조사방법 문제의 원인이 되는 사항들을 개선하여 신뢰성 높은 교통데이터를 구축할 필요가 있음

○ 기대효과

- 조사원의 모집, 교육 등의 절차가 간소해지며, 피조사자와의 조사협조로 인한 마찰요소가 제거되며 조사물량과 조사기간 등의 조사 진행의 효율성 증대
- 소모성 예산인 인건비 항목이 대폭 축소되며 조사장비의 재활용으로 향후 예산 측면에서도 유리함
- 조사과정 중 발생하는 인적 오류들을 최소화 함으로 조사자료의 신뢰성 향상
- 조사 결과가 별도의 집계과정 없이 정리됨으로써 자료의 검수, 분석 등의 과정이 효율적이고 요일별, 24시간 조사가 가능해지므로 생성 데이터가 다양해지고 그에 따른 활용분야도 확대됨
- 초기 구축비용이 크지만 모든 조사과정이 자동화 되므로 기존 조사방법에 비해 신뢰성 높은 자료의 구축이 가능해지며 조사장비의 재활용으로 장기적 안목에서 재정적 효율성도 가져오게 됨

③ 기존 교통조사와의 비교

- 기존 교통조사의 문제점에 대한 진단과 이를 첨단기술을 활용한 교통조사 방법으로 대체한 개선점은 <표 2>와 같음

<표 2> 기존 교통조사와의 비교

구분	기존 교통조사의 문제점	첨단교통조사로 인한 개선점
조사수행의 효율성	<ul style="list-style-type: none"> • 조사노동강도 큼 • 조사원 모집, 운용절차 복잡 	<ul style="list-style-type: none"> • 인력의존도 경감 • 조사원모집,운용절차 간소화
조사예산	<ul style="list-style-type: none"> • 조사 인건비 다량 소모 • 공공투자 예산감소 추세 	<ul style="list-style-type: none"> • 조사 인건비 감소 • 조사 장비의 반복 사용
자료의 신뢰성	<ul style="list-style-type: none"> • 인적,필연적,우연적 오류발생 	<ul style="list-style-type: none"> • 조사 자료의 집계시간단축 • 필연적,우연적 오류 경감
자료의 처리 과정	<ul style="list-style-type: none"> • 비효율적인 자료의 전산화 작업 	<ul style="list-style-type: none"> • 자료입력자동화 및 디지털화 • 자료처리 용이 과정
자료의 활용성	<ul style="list-style-type: none"> • 단일용도 제한된 자료 생성 	<ul style="list-style-type: none"> • 요일별, 24시간 조사가능 • 다양한 자료 생성

주: 2005년 국가교통DB구축사업 중 「여객 기종점통행량(O/D) 자료의 신뢰성 제고를 위한 분석방법론 연구」

④ 첨단교통조사의 제약요인

- 첨단교통조사를 위한 단말기 및 장비 등의 시스템 구축비용이 기존 교통조사보다 많이 소요되므로, PDA 단말기를 기존 교통조사의 유효표본수 만큼 확보하기 어려움
- 노약자의 경우 단말기 소지 및 작동상의 문제와 단말기 작동 이상 문제 등의 발생 가능
 - 이런 문제를 해결하기 위해 단말기의 회전율을 고려한 조사계획을 수립하고 조사 장비의 유지관리를 위한 기술인력 확보, 노약자를 위한 별도의 보완조사 병행
- 개인정보 노출에 대한 피조사자들의 비협조
 - GPS를 이용하므로 통행 경로 및 이동 시간 등이 자세히 기록됨
 - 피조사자들에게 사정 양해, 연구목적외 사용 불가 명시, 각종 경품 제공을 통한 참여 유도

다. 첨단교통조사 방법론

1) PDA(내장/외장 GPS)를 이용한 첨단교통조사

① PDA 조사단말시스템

- 본 과업을 수행하기 위한 PDA는 GPS수신기가 내장되어 있거나 외장 GPS 수신기의 활용이 가능해야 하며, 저장된 개인의 통행데이터를 온라인으로 전송하기 위해서는 무선통신기기가 장착되어 있어야 함. 단, 오프라인 전송인 경우에는 PDA 자체의 동기화기능을 이용하여 PC를 통해 서버로 전송할 수 있음
- PDA를 이용한 통행조사 방법
 - i) PDA 전원을 키고, 교통조사 프로그램을 실행함
 - ii) 통행시작 전에 통행목적/교통수단/출발지에 대한 정보를 입력함
 - iii) 프로그램을 통해 GPS 수신기로부터 현재 위치 좌표를 수신함
 - iv) 통행시작(이동)
 - v) 도착하면 도착지를 선택하고, 통행비용(톨비, 대중교통비용) 및 주차비용을 입력하고 통행종료 선택함
 - vi) 통행이 발생할 때마다 위 과정을 반복함

② GPS 장착 이동전화 단말시스템

- PDA보다 친숙한 장비인 이동전화를 이용함으로써 조사자로 하여금 적극적인 조사를 할 수 있도록 함
- 이동전화에는 조사 수행을 위해 GPS기기가 내장되어야 하며, 위치 및 경로의 파악은 S-GPS (Standalone-GPS) 방식으로 파악한다는 가정하에, WIPI 2.0 기반의 프로그램으로 에뮬레이터 환경에서 개발하였음
- S-GPS방식은 기존의 MS-Assisted GPS방식이나 A-GPS방식과는 달리 이동전화 내에서 GPS데이터를 받아 현재의 위치를 자체 계산하는 방식임

③ 일반 이동전화 조사시스템

- S-GPS, A-GPS와는 달리 GPS정보를 전혀 취득할 수 없는 일반적인 이동전화는 전 국민의 대다수가 사용하고 있으며, 이를 활용한 교통조사 방법론에 관한 연구가 많이 진행되어 왔음

- GPS 좌표를 취득할 수 없으므로, 기지국 기반의 위치정보를 바탕으로 이동경로를 파악하여야 하고 위치정보를 독립적으로 취득할 수 없으나, 통행에 관련된 통행목적/교통수단/통행비용을 입력할 수 있도록 WIPI기반에서 프로그램을 개발하였음
- 이는 앞서 개발한 S-GPS기반의 프로그램에서 좌표취득 및 저장을 제외한 부분과 동일한 과정으로 프로그램이 실행되며, 기본 통행정보를 저장하여 TCP/IP를 통해 서버로 저장함
- 이러한 프로그램들은, CDMA기반의 무선 인터넷을 통해 통행조사에 필요한 프로그램을 단말기에 설치하는 과정을 거치도록 설계하였음. 하지만, 위치기반사업자가 아닌 경우, 이동통신사의 적극적인 협조가 있어야만 이동전화에서 작동되는 프로그램을 이동전화에 설치할 수 있음
- 즉, 이동전화에서 작동할 수 있는 프로그램을 테스트하기 위해, 이동통신사에서는 해당 프로그램의 인증 및 배포에 대한 협조를 해주어야 함
- 하지만, 본 과제에서는 이동통신사의 협조를 얻지 못함으로 인해, 이동전화 프로그램을 단지 에뮬레이터에서만 작동되는 것을 확인하였으며, 현장 테스트를 위해서 ‘친구 찾기’와 같은 위치정보 확인 서비스를 사용하였음
- 일반 이동전화를 사용한 교통조사 프로그램은 조사원이 사용하고 있는 이동전화를 활용함으로써 조사자의 통행조사에 대한 거부감을 최소화할 수 있다고 판단됨

라. 시스템 설계

1) 단말시스템

① 단말조사시스템의 S/W 특성

- PDA용 조사시스템
 - PDA에서 가장 많이 사용되는 OS(운영체제)인 PocketPC 2003과 Windows Mobile 5.0에서 공통적으로 작동할 수 있도록 범용 API(Application Program Interface)만을 이용하여 프로그램을 설계함
 - GPS수신을 통해 저장된 좌표데이터는 내장 메모리에 저장하였다가, TCP/IP를 통해 서버로 전송하는 기능이 있음. 단, 단말시스템의 종류에 따라 CDMA/무선랜이 지원되지 않는다면, PC와의 싱크를 통해 서버로 전송할 수 있어야 함

- 즉, PDA는 CDMA 또는 무선랜을 통해 데이터 전송이 이루어진다고 가정하였으며, 이와 같은 환경이 제공되지 않을 경우 인터넷이 연결된 PC와 ActiveSync 기능을 이용하여 서버와 연결되는 것으로 가정하여 통신기능을 구현하였음
- GPS 수신을 위해 단말시스템의 GPS 수신 기능 구현의 경우, 2개의 프로세스가 GPS 수신을 할 수 있도록 하였으며, 이는 각 통행별 GPS 데이터 취득과 함께 통행에 대한 입력이 이루어지지 않았을 경우를 대비하여 조사원의 작동과는 상관없이 별도의 프로세스로 일일 총 GPS 수신을 할 수 있도록 하였음

○ 이동전화용 조사시스템

- 이동전화에서 공통적으로 작동 가능하도록 WIPI(Wireless Internet Platform for Interoperability)기반의 프로그램으로 설계함. 즉, 다양한 단말기에서 작동 가능하도록 특정 디바이스에 제한되지 않는 공용적인 API만을 사용하여 프로그램이 구현되어야 함
- 이동전화 단말기의 화면은 대부분 크기에 제약사항이 많음. 즉, 작은 화면에 많은 정보를 표시하고 사용자는 이 중에서 선택해야 하므로, 화면의 스크롤 기능 및 작은 화면내에서 색깔의 강조를 통해 선택항목을 쉽게 파악할 수 있도록 함

② 단말조사시스템의 H/W 특성

○ PDA용 조사시스템

- 현재 PDA는 다양한 H/W스펙으로 시중에 출시되고 있으며, 이중 본 과업을 수행하기에 적합한 GPS 수신기를 내장하고 있는 단말기를 선택함
- 단말기에 저장된 데이터를 실시간으로 서버로 보내기 위해서는 CDMA기기가 내장되어 있어야 하지만, 본 과업에서는 실시간 전송기능은 일단 보류하고 이를 대체할 수 있는 무선랜과 같은 대체 전송방식은 가지고 있는 단말기를 선택함
- 블루투스 기능이 내장되어 있고 GPS 수신기가 없는 단말기는 외장 GPS 수신기를 이용하여 조사용 기기로 활용할 수 있음
- 데이터의 제한 없는 저장을 위해, 기본적으로 100M정도의 기본 저장 공간이 제공되어야 함

- 이동전화용 조사시스템

- S-GPS방식을 이용한 조사시스템은 당연히 이동전화 단말기에 S-GPS방식의 GPS 디바이스가 장착되어야 함
- 일반 이동전화 조사시스템은 특별한 제약사항이 없으나, S-GPS방식과 함께 기본 메모리가 120K이상 제공되어야 함

2) 서버시스템

① 통신모듈

- TCP/IP기반의 소켓통신을 기본 통신모듈로 구현하고, 기본 접속자수를 100명으로 하고, 동시에 10개의 트랜잭션을 처리할 수 있도록 구현하였음
- CDMA기반의 소켓통신시 데이터 전송의 안정성을 위한 프로토콜로 설계하고, 이를 적절히 구현하였음
- 향후 타 시스템(예를 들어, 이동통신사의 위치정보 제공서버)과의 연계를 위한 확장성 있는 통신모듈을 구현하고, 서버의 부하를 줄일 수 있는 쓰레드(Thread)기반의 모듈로 구축함

② 자료처리모듈

- 데이터베이스 시스템과 연계되어 단말기로부터 전송된 데이터를 안정적으로 저장하고 처리할 수 있도록 설계하고 구현하였음
- 단말기의 요청사항에 대한 신속한 응답을 할 수 있도록 신속하고 안정적인 처리모듈을 설계하고 구현하였음

③ 단말/서버 통신 프로토콜

- 통행정보, 전화번호, 문자, 날짜, 시간, 통행목적, 통행수단, 요금 정보 저장 요청

3) 검증/관리 시스템

① GIS 일반기능

- 지도 확대/축소/이동
- 거리 및 면적 계산
- 지도화면 저장

② 통행데이터 조회기능

- 단말기와 서버를 통해 데이터베이스에 저장된 정보를 다양한 검색조건을 이용하여 조회할 수 있도록 기능을 제공하였음

③ 기지국데이터 조회기능

- 이동전화를 이용한 통행조사시스템의 타당성을 검토하기 위해 PDA 조사시스템을 사용하는 조사원의 이동전화 위치추적을 동시에 수행하였으며, 위치추적 결과를 나타내는 기지국 정보 조회 기능임

④ O/D정보 조회기능

- 데이터베이스를 조회하여 설정된 각 교통존(행정동)별 O/D표를 자동으로 생성할 수 있음
- 교통수단별, 통행목적별, 시간대별로 보다 상세한 O/D표를 조회하고 생성할 수 있음

마. 현장테스트

1) 현장테스트 개요

- 본 과업을 통해 개발된 첨단교통조사시스템의 현장 적용 가능성을 판단하고, 첨단조사기법을 적용함에 있어 실제 통행결과와 시스템의 통행결과를 비교하였으며, 통행조사의 궁극적인 목표인 O/D추정의 가능성을 판단함

① 테스트 기간

- 2007년 5월 8일(화) ~ 5월 10(목), 5월 15일(화)~5월 17일(목), 총 6일, 2주

② 테스트 지역

- 제주특별자치도 구제주시 행정동 19개 지역. 각 행정동을 교통존으로 설정

③ 테스트 인원

- 행정동별 각 2인, 총 38인
- 제주도내 정보신문, 취업사이트(아르바이트) 모집공고

④ 테스트 방법

- 개인당 하루 동안의 모든 통행에 대해 첨단조사시스템을 이용하여 각각의 통행에 대해 저장
- 통행 출발 전 조사프로그램을 시작하여 입력하고, 도착 후 입력을 종료함
- 출근/전환/귀가통행 등 모든 통행을 빠짐없이 기록하도록 조사원 교육
- 하루 동안의 모든 통행이 완료된 후, 조사단말시스템을 회수하고 익일 사용자에게 전달 배급
- 출발/목적지를 통행하는 동안 교통수단이 바뀌었을 경우, 각각의 통행정보를 입력
- 조사인원 중 행정동별 각 1인은 PDA와 이동전화 위치추적을 동시에 수행(총 19인)

2) 현장테스트 결과

① 조사인원 및 조사일자

- 각 조사일자별 조사인원은 <표 3>와 같음

<표 3> 조사일자별 조사인원

조사일자	5/8	5/9	5/10	5/15	5/16	5/17	계
조사인원	5	6	7	8	6	6	38명

② 통행분석

○ 총통행수 분석

- 조사원들의 설문조사 양식에 의한 총 통행수는 168통행이었으며, 시스템에 의해 저장 및 생성된 총 통행수는 179통행이었음
- 총 통행수를 비교한 결과 설문조사 양식에 의한 결과보다 조사시스템에 의한 결과가 약 6.5%정도 많았음
- GPS 수신을 실내/실외에 관계없이 지속적으로 하였을 경우, 좀 더 정확한 통행 O/D를 파악할 수 있었으며, 전체 통행중 누락통행이 발생하는 경우를 감지할 수 있었음
- 즉, 시스템을 활용한 조사결과는 사용자에게 의한 우연적/필연적 통행누락을 찾아낼 수 있었음

○ 통행목적별 분석

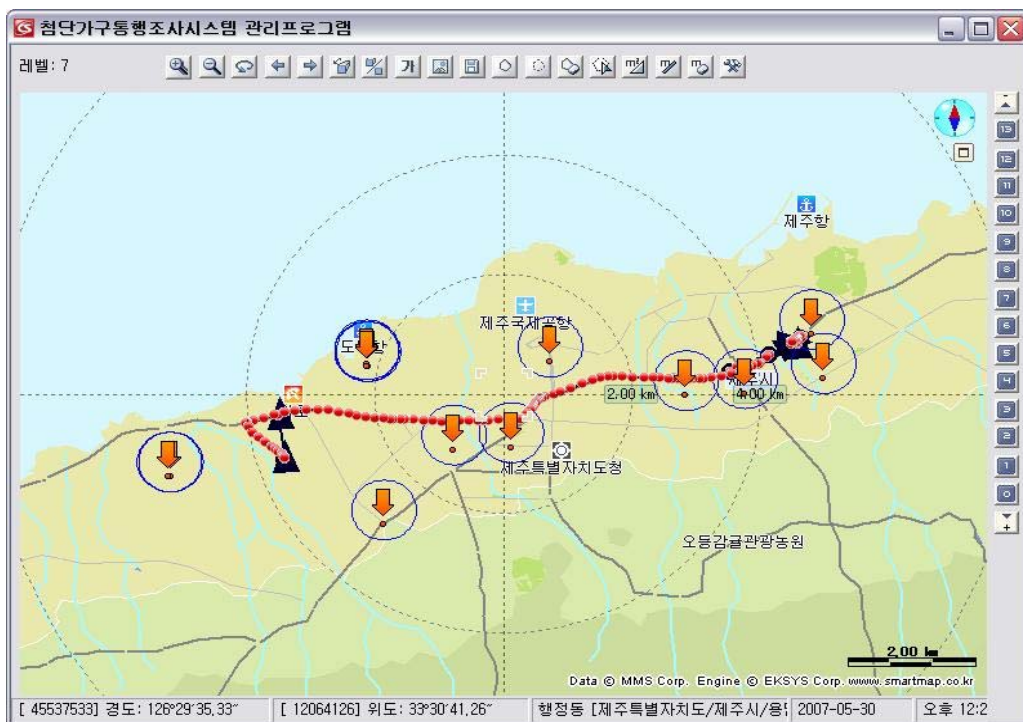
- 통행목적별로 가구통행조사와 시스템 결과를 비교한 결과, 그다지 큰 차이점을 발견할 수 없었음
- 설문에 의한 가구통행조사 방식은 지면의 한계성으로 인해, 통행목적은 일일이 열거하지 못하였으나, 시스템을 이용하여 보다 구체적인 통행목적을 선택할 수 있었음
- 하지만, 통행목적 선택에 대한 조사원들의 명확한 개념이 확립되지 않은 경우, 통행목적 선택이 애매모호한 경우가 발생하여 잘못 선택하는 경우가 발생하기도 하였음
- 환승목적의 경우, 조사 당시의 조사원의 착각으로 인해 제대로 선택하지 못한 경우가 발생한 것으로 판단됨
- 향후, 통행목적의 세분화에 따른 조사원들에 대한 명확한 교육이 이루어져야 정확한 통행결과를 도출할 수 있을 것으로 예상됨

○ 교통수단별 분석

- 교통수단별로 각 통행결과를 비교한 결과, 승용차를 직접 운전하는 경우를 제외하곤 거의 오차가 발생하지 않았음
- 이는 자가용 운전자들이 다수이고, 승용 직접 운전에 대한 교통수단 선택의 경우가 가장 빈번히 발생하였기 때문이라고 판단됨
- 따라서 직접 운전자들에게 출발전과 도착후에 자신의 통행정보를 바로 입력할 수 있도록 제공하고, 오류 발생의 소지를 줄여야만 보다 좋은 결과를 얻을 수 있을 것으로 판단됨

○ 이동전화 방식과 GPS 방식의 경로 비교

- 이동전화는 전국민의 대다수가 사용하고 있는 기기로서, 교통정보 수집을 위해 활용할 경우, 큰 시설투자를 하지 않고서도 다량의 교통정보를 수집할 수 있을 것으로 판단하고 있음
- 하지만, 이동전화를 이용한 교통정보 수집을 위해서는 ‘위치정보의 이용 및 보호 등에 관한 법률’과 관련된 문제들을 해결하여야 함
- 또한 셀 기반의 기지국 위치와 실제 이동전화의 위치 사이의 오차를 극복해야 하는 한계가 존재함
- 본 연구에서는 GPS 수신을 통한 조사원의 위치와 이동전화 기지국 위치를 기반으로 한 셀 위치를 개략적으로 상호 비교해 보았음
- 결론적으로, 현재의 상황에선 보다 정확한 위치정보를 취득하기 위해 이동전화를 사용한 기지국 기반의 위치취득 방법은 바람직하지 않다고 판단되었으며, 이를 기반으로 O/D를 추정하는 것도 다소 무리가 있을 것으로 사료됨
- 본 연구에선 조사기기(GPS장착 PDA)로 통행조사를 수행하면서, 조사원이 소유한 이동전화번호에 대해 실시간으로 ‘친구찾기’서비스를 통한 이동전화 위치추적을 수행하였으며, 이를 상호 비교하여 GIS Map상에 매핑하였음



<그림 1> 기지국 기반과 GPS 기반의 위치정보 비교

- 위 그림에서 보이는 원은 기지국 위치를 중심으로 반경 500m의 영역을 표현한 것이며, 화살표는 기지국 위치를 나타냄
- 각 기지국 위치는 '친구찾기'서비스의 결과에서 기지국 중심점 좌표를 본 GIS좌표체계에 맞게 변환하여 수동으로 저장한 것임



<그림 2> '친구찾기'서비스 화면

- 위 그림은 '친구찾기' 서비스 결과이며, 보이는 타원의 중심점의 좌표를 직접 추출하여 데이터베이스에 저장하였음. 이 타원의 중심점 위치가 기지국 위치임
- 반경 500m를 넘어서서 취득된 기지국 위치가 대부분이며, 이는 곧, 기지국 위치를 기반으로 취득된 정보를 이용하게 되면, 500m 이상의 위치 오차가 빈번하게 발생된다는 의미가 됨
- 즉, 기지국 위치(또는 중계기 위치)를 이용한 O/D추정은 매우 높은 위험성을 가지게 된다고 사료됨

3) GPS(PDA)를 이용한 조사방법의 가능성 및 한계성

① GPS(PDA)를 이용한 교통조사방법의 가능성

- 현장 테스트 결과 GPS(PDA)를 이용한 교통조사방법의 장점은 다음과 같음
 - 위치정보가 정확하며 통행(이동)경로 파악이 가능해 짐
 - 통행 누락빈도가 감소하고 통행시간의 정확성이 높아짐
 - 결과 자료의 처리시간이 단축되었음
 - 결과 자료의 활용성이 제고되었음

- GPS좌표를 통해 정확한 위치정보 수집이 가능해졌으며, 이를 GIS Map 위에 표시함으로써, 통행경로의 파악이 쉽게 이루어졌음
- 기존 교통조사방법에서는 통행 누락 문제가 대두되었으나, GPS(PDA)는 일정 주기마다 위치정보를 수집할 수 있어, 누락된 통행에 대한 보완이 가능해졌음
- 또한, 조사자료 수집부터 코딩, 기초분석 등의 과정이 자동화되어, 오류 자료의 생성을 최소화 할 수 있음
- 경로, 통행시간, 통행속도 등의 정보를 수집할 수 있게 됨으로써, 통행행태 연구, 혼잡구간 설정 등 다양한 연구분야의 기초자료로 활용될 수 있음

② GPS(PDA)를 이용한 교통조사방법의 한계성

- 본 과업에서 사용한 3종류의 단말기를 번갈아 가면서 사용한 결과, 가장 두드러진 문제점은 다음과 같음
 - 조사 단말기의 휴대성이 떨어짐
 - GPS 수신을 위한 초기화 시간이 너무 오래 걸림
 - 작동을 위한 배터리 사용문제
 - 통행정보 입력의 번거로움
- 조사원들에게 첨단조사시스템의 사용후기에 대한 설문결과, 대다수의 사용자가 휴대성 및 GPS수신 문제를 거론하였으며, 배터리, 정보입력의 순으로 불편함을 호소하였음
- 특히 PDA 내장형 장치의 GPS는 초기화 시간이 너무 오래 걸림으로 인해, 출발지에서 정확한 좌표수신을 하지 않은 채 주행중에 좌표를 취득하는 경우가 빈번하게 발생하였음
- 또한 PDA를 하루 종일(12시간 이상) 사용하지 못하는 경우가 많이 발생하였으며, 이는 일일 통행정보를 완전히 취득할 수 없게 된다는 문제점을 야기하는 것임

바. 향후 확장 가능성

1) 이동전화를 활용한 조사방안

① 현장테스트 결과에 따른 제약사항

- 비록 이동전화에 직접 개발한 프로그램을 탑재하여 조사하지는 못했지만, ‘친구찾기’와 같은 위치추적 서비스를 이용하여 테스트를 수행한 결과를 분석하면 다음과 같은 제약사항이 있었음
 - 기지국 기반의 위치정보로 위치 오차가 큼
 - 이동통신사의 비협조 문제
- 먼저, 현장테스트 결과에서도 나타났듯이 이동전화의 위치정보는 기지국에서의 신호의 세기로 결정되는 것이므로, 정확한 위치정보가 아니며 지역에 따라 설치 범위의 차이가 매우 큼
- 따라서, 이동전화를 활용하여 O/D나 통행경로를 정확히 파악하는 것은 매우 어려움
- 또한, 이동전화를 활용하여 향후 시범사업이나 전국단위의 교통조사를 확장하기 위해서는, 이동통신사의 적극적인 협조가 필요하지만, 보안상, 비용상의 문제로 인해 협조가 이루어지지 못하였음

② 현장테스트 결과에 따른 결론

- 현장테스트를 통해 수행한 결과를 종합적으로 검토하여 볼 때, 이동전화를 활용한 교통조사 방안은 이동통신사에 매우 의존적이 될 수 밖에 없음
- 또한 기지국 기반의 위치정보의 오차가 매우 커서 신뢰도를 중요시하는 교통DB의 구축에 매우 큰 위험요소를 내재하고 있음
- 따라서, 위치정보의 정확성 문제 및 이동통신사의 비협조로 인해, 향후 시범사업 적용에 어려움이 있을 것으로 판단됨

2) PDA(GPS)를 활용한 조사방안

① 현장테스트 결과에 따른 제약사항

- 현재 개발된 PDA기반의 GPS를 활용한 교통조사시스템의 확장을 위해서는 다음과 같은 제약사항이 따름
 - 높은 시스템 구축비용
 - 내장형 GPS의 수신률 및 전력 소모
 - 휴대성 문제

- 이런 제약사항을 해결하기 위해 조사에 필요한 기능만을 내장한 조사전용 단말기를 제작하는 방안을 검토함
- 지금까지의 결과만 보더라도, 기존의 가구통행실태조사 및 기타 교통조사의 신뢰성 향상, 효율성 제고 등 기존 교통조사방법의 문제점을 해소할 수 있는 시스템으로 발전 가능하다고 판단됨
- 또한 향후 제주도에서 시범사업을 확대할 경우, 조사를 위한 기기의 하드웨어 구매비용이 사업전체의 위험요소일 것으로 판단되나, 자가운전자에 한해서는 기존 제주도에서 기 시행된 텔레매틱스 사업에서 사용된 단말기를 일부 활용이 가능한 것으로 판단되었음

② 제약사항에 따른 보완사항

- 높은 H/W 구매비용
 - 일반PDA 및 조사전용기기를 이용하는 모든 침단조사방법은 하드웨어 구매비용이 발생함. 특히, 일반PDA는 휴대성을 고려하여 슬림한 모델로 선택하였을 경우, 대당 40~50만원의 가격대를 형성하고 있음
 - GPS수신 및 저장위주의 기능을 하는 조사전용기기를 개발하였을 경우, 국내 제조업체에 위탁 개발한다면, 대당 20만원 안팎의 가격으로 양산 가능할 것으로 조사되었음. 단, 초기 금형비용은 주문수량에 따라 많이 달라짐
 - 권역별 가구통행조사는 건교부에서 매 5년마다 수행하므로, 하드웨어에 대한 초기투자비용은 높지만, 재활용성을 고려한다면 높은 비용이라 볼 수는 없음
- 내장형 GPS 수신률 및 전력 소모
 - PDA에 내장된 소형 GPS 수신기인 경우, 소형화에 따른 수신률 저하 및 GPS 수신기 자체의 전력 소모량이 매우 큼
 - 또한 GPS 초기화를 위한 시간이 매우 오래 걸림으로 인해, 초기 통행정보의 신뢰성을 저하할 가능성이 있음
 - 조사 전용기기를 통해 고성능의 내장형 GPS 수신장비를 제작하게 된다면, 이와 같은 수신률 및 전력소모 문제점을 해결할 수 있을 것으로 판단됨
- 휴대성 문제
 - PDA를 이용한 통행조사자인 경우, 자신의 이동전화 외에 조사를 위한 PDA를 계속 소지함에 따른 불편함을 호소하였음

- PDA의 크기도 최근 판매되고 있는 이동전화의 크기에 비해 매우 크므로, 휴대성이 떨어질 수밖에 없음
- 소형화 및 슬림화한 조사전용기기를 개발한다면, 이와 같은 휴대성 및 크기에 따른 문제를 해결할 수 있다고 판단됨

③ 전용 조사단말기 제안

- 현장 테스트를 통해 앞에서 언급한 제약사항을 해결하기 위한 저가의 조사전용단말기의 제작을 제안하고자 함
- 제안되는 조사전용단말기는 다음과 같은 기능을 만족해야 함
 - 높은 GPS수신성공률 및 정확도
 - 수신된 GPS좌표를 특정 저장장치에 변환하여 저장
 - 일일 최소 16시간 동안 작동 가능한 전원공급
 - 메뉴선택 등을 편리하게 하기 위한 한글지원LCD
 - 사용자 선택을 위한 스크롤 버튼 및 선택버튼
 - 데이터 전송을 위한 인터페이스(RS232, RS485 등)
- 위의 기능을 만족하는 조사전용 단말기가 제작된다면, 조사대상자들에게 사전에 배급하고, 자동으로 GPS를 수신하게 함으로써, 통행 및 경로에 대한 정확한 정보를 취득할 수 있게 될 것으로 판단됨
- 조사 대상자들이 본 기기를 몸 또는 가방 등에 부착하여 가지고만 다녀도, GPS 좌표를 자동으로 취득하게 되며, 여기에 사용자의 통행목적/교통수단 등의 부가정보를 첨가하여 보다 상세한 O/D 정보를 생성할 수 있을 것으로 사료됨

사. 소결론

1) 이동전화를 활용한 조사방안의 한계점

- 이동전화를 활용한 교통조사방법의 경우, 범용 이동전화를 활용할 수 있기 때문에 조사비용 측면에서 가장 효율적인 것으로 예상되지만, 현장테스트 결과 셀 기반의 위치정보의 신뢰성의 한계가 증명되었음
- 또한 이동통신사의 협조가 어려워, 현실적으로 대규모 교통조사에는 부적합한 것으로 나타남

2) PDA(GPS)를 활용한 조사방안의 결과 검토

- PDA를 활용한 교통조사방법은 이동전화에 비해 위치정보가 매우 정확하고, 소프트웨어를 설치하기 쉽다는 장점이 있음
- 하지만, 본 과업의 현장테스트에 사용되었던 단말기는 대당 단가가 약 60만원 정도이며, 부가적인 기능들이 많이 포함되어 있어서, 향후 확장하기에는 구매에 따른 어려움이 있음
- 이에 따라, 조사전용 단말기를 제작한다면, 비용절감, 기기의 소형화로 인한 조사원의 부담감소, 전원 유지 등 현장테스트에 도출되었던 문제점이 해결될 것으로 예상됨

3) 결론

- 첨단기기를 활용한 통행조사시스템은 정확도나 운용에 있어 매우 유용한 것으로 분석되었음
- 조사표에 의한 가구통행조사보다는 첨단교통조사시스템에 의한 결과가 향상되었으며, 가구통행조사에서 발견하지 못하는 피조사자의 통행누락 부분을 본 시스템을 통해 검지할 수 있었음
- 따라서, 본 시스템을 통해 최종적으로는 가구통행조사에서 누락된 부분까지 누락통행을 생성해냄으로써, 전체 통행결과의 신뢰성을 향상시킬 수 있다고 판단됨
- 또한, 피조사자의 통행경로를 GIS 맵을 이용하여 표현함으로써, 기존 조사에서 불가능하였던 이동경로와 구간속도, 혼잡구간 등의 파악이 가능해지며, 조사자료의 활용영역 확대와 실시간 자료 서비스가 가능할 것으로 판단됨
- 버스 및 지하철과 같은 교통수단에 대해 많은 검토가 이루어지지 못한 부분이 아쉽지만, 대중교통망과 관련된 자료를 활용하여, 개인통행에 대한 추론을 할 수 있는 방법을 마련할 수 있음

3. 도로의 통행비용함수 파라미터 보완 및 검증

가. 국내·외 선행연구 검토

1) 국외 연구

① 수리함수

i) Irwin, Dodd와 Von Cube의 식

- Irwin, Dodd와 Von Cube(1961)는 다음과 같이 차로별 교통량과 용량 관계에 의해 불연속적으로 적용하는 두 개의 직선함수를 제안하였고, 이 함수를 다시 Irwin과 Von Cube에 의해 다음과 같은 세 개의 직선식으로 발전되었음

$$T = T_a + \alpha(Q' - C_p') \quad \text{for } Q' < C_p'$$

$$T = T_a + \beta(Q' - C_p') \quad \text{for } C_p' \leq Q' \leq C'$$

$$T = T_b + \gamma(Q' - C_p') \quad \text{for } Q' \leq C_s'$$

ii) Smock 식

- Smock(1962)는 DATS(Detroit Area Transportation Study)에 사용하기 위해 다음과 같은 지수형 식을 개발하였음

$$T = T_0 \exp(Q/C_c)$$

$$T \leq 5T_0$$

iii) Mosher식

- Mosher(1963)는 다음과 같은 log함수를 제안하였음

$$T = T_0 + \ln(\alpha) - \ln(\alpha - Q)$$

단, $Q \leq \alpha$

Hyperbolic 용량함수는

$$T = \beta - \frac{\alpha(T_0 - \beta)}{Q - \alpha}$$

단, $Q \leq \alpha$ 로 정의 되었음

iv) BPR식

- 현재 가장 많이 사용되는 식으로 미국의 공로국(Bureau of Public Roads)에서 1964년에 개발한 식이며 일반적으로 다음과 같이 나타낼 수 있음

$$T = T_0(1 + \alpha(Q/C_p)^\beta)$$

C_p : LOS C 에서의 용량(Practical Capacity)

$$= 0.75 \times \text{가능용량(LOS E 에서의 용량)}$$

여기서, T : 수정된 링크 통행시간

T_0 : 자유류 상태에서의 링크 통행시간

Q : 링크 통행량

C_p : 서비스수준 C 에서의 용량

v) 영국 교통부 식

- 영국 교통부(DOT, UK)에서는 1985년 도시부, 외곽부 및 도시간 도로 등 지역구분에 따라 여러 형태의 링크에 대하여 속도-교통량 관계의 상수를 제시하고 있음
- 또한 교통량 수준에 따라 다음과 같이 3단계로 시간-교통량 관계를 나타냄

$$T = d/S_0 \quad V < F_1$$

$$T = d/S(V) = \frac{d}{S_0 + SS_{01}F_1 - SS_{01}V} \quad F_1 \leq V \leq F_2$$

$$T = d/S_1 + (V/F_2 - 1)/8 \quad V < F_2$$

vi) Soltman 식

- Soltman(1965)은 다음과 같은 비선형 통행저항함수를 제안하여 PATS(Pittsburgh Area Transportation Study)에서 사용하였음

$$T = T_0 2^{Q/C_p}$$

단, $Q/C_p \leq 2$, 즉, $T/T_0 \leq 4$

vii) Overgaard 식

- 위의 Soltman식은 Overgaard(1967)에 의해 다음과 같은 일반식의 형태로 제시되었음

$$T = T_0 \alpha^{(Q/C)^\beta}$$

즉, Soltman식은 Overgaard식에서 $\alpha=2$, $\beta=1$ 일 경우임

viii) TRC 식

- TRC(Traffic Research Corporation)는 1966년 다음 식을 제안하여 캐나다 Winnipeg 지역에서 사용하였음

$$T = \alpha + \beta(Q_1 - \gamma) + \{\beta^2(Q_1 - \gamma)^2 + \delta\}$$

ix) Dafermos 식

- Dafermos(1967)는 다음과 같은 함수식을 제안하였음

$$T_a = \alpha_a \{\beta_a / (\beta_a + Z_a)\}^{U_a} X_a + B_a X_a$$

단, $\alpha_a, \beta_a > 0$

$$0 \leq U_a \leq 1$$

Z_a : a 구간에서 용량 증가분

$B_a(\cdot)$: 함수

x) Steenbrink 식

- Steenbrink(1974)는 BPR식의 Practical Capacity 대신에 서비스 수준 E 용량을 사용하여 네덜란드의 교통환경에 대하여 α 와 β 를 검증하였음

$$T = T_0 \{1 + \alpha(Q/C)^\beta\}, \quad \alpha = 2.62, \beta = 5$$

② 이론적 함수

i) Campbell, Keefer와 Adams 식

- Campbell, Keefer와 Adams는 현재 CATS 함수라고 알려져 있는 다음과 같은 식을 제안하였음

$$T = T_0 \quad \text{for } \frac{Q}{C} \leq 0.6$$

$$T = T_0 + \alpha\left(\frac{Q}{C} - 0.6\right) \quad \text{for } \frac{Q}{C} > 0.6$$

ii) Davidson 식

- Davidson(1966)에 의해 제안된 식으로 대기행렬 이론에 근거한 준 이론적 함수에 속하며 다음의 3개의 매개상수를 가지는 형태로 표현됨

$$T = T_0 \left(1 + J \frac{Q}{S - Q} \right)$$

- 여기서 J 는 링크유형과 링크의 환경에 의하여 결정되며 이를 추정하기 위해서는 최소 자승법 등 통계적인 처리가 필요함

iii) Wardrop 식

- Wardrop은 도로망의 전체 통행속도와 교통량과의 관계를 표시하는 지체함수를 개발하였음

$$T = \frac{T_0}{1 - \gamma Q} + \frac{\alpha \beta}{(\alpha - Q)D}$$

③ 국외 통행비용함수 파라미터의 정산 및 검증 현황

i) 미국사례

○ 파라미터 정산

- 미국의 경우 1970~1980년대 대중교통청(Urban Mass Transportation Administration)이 도시교통계획 프로그램(Urban Transportation Planning Software : UTPS)에서 최초의 링크 용량과 자유통행속도를 산출한 이후, BPR 함수식에서 용량, 자유통행속도, 파라미터를 보편적으로 사용하고 있음
- 이후 Horowitz (1991)는 HCM(1985)의 기준에 따라 BPR함수식의 파라미터를 추정하였는데, BPR함수식의 파라미터 α 값은 자유교통류(free speed)상태와 용량(LOS E)상태에서 BPR함수식과 속도 / 교통량 데이터를 일치시키는 점에서 결정했으며, 파라미터 β 값은 비선형 회귀분석(nonlinear regression)으로 구하였음.

<표 4> 도로유형별 자유통행속도와 용량

지 역		기능 분류				
		고속도로	class1 간선도로	class 2 간선도로	class 3 간선도로	collector 집분산도로
Urban	capacity	2,000	1,000	870	670	470
	free flow speed	50	35	25	20	15
Suburban	capacity	2,000	1,000	870	670	470
	free flow speed	55	40	35	25	20
Rural	capacity	2,000	1,000	870	870	470
	free flow speed	60	45	40	35	25

자료: A.J. Horowitz, Delay-volume relations for travel forecasting: Based on the 1985 Highway Capacity Manual, University of Wisconsin-Milwaukee, March 1, 1991

<표 5> 도로별 BPR함수의 파라미터 추정값

Facility		α	β	σ_v	R^2	n
Freeways	70 mph	0.88	9.8	1.90	91.8%	31
	60 mph	0.83	5.5	1.93	91.2%	31
	50 mph	0.56	3.6	0.70	98.4%	29
Multilane	70 mph	1.00	5.4	2.78	87.3%	21
	60 mph	0.83	2.7	1.50	95.8%	21
	50 mph	0.71	2.1	0.77	98.3%	19

자료: A.J. Horowitz, Delay-volume relations for travel forecasting: Based on the 1985 Highway Capacity Manual, University of Wisconsin-Milwaukee, March 1, 1991

○ 검증기준

- 미국의 검증척도는 주로 교통량과 VMT(Vehicle Mile of Travel)를 이용하고 있으며, 각 척도들이 만족해야할 검증수준을 제시하고 있음. 교통량의 경우 결정계수(R^2), %RMSE 그리고, 도로위계별 수준을 마련하고 있으며, VMT(Vehicle Mile of Travel)의 경우도 도로위계별로 기준을 제시하고 있음
- 교통량(traffic volume)
 - $R^2 \geq 0.88$
 - %RMSE = 30~40%
 - 도로 위계별 범위

<표 6> 도로위계별 일교통량 검증기준

Facility Type	FHWA Targets(+/-)	NCDOT Targets
Freeway	7%	5%
Major Arterial	10%	8%
Minor Arterial	15%	10%
Collector	25%	15%

자료: FHWA, Calibration and Adjustment of System Planning Models, 1990

<표 7> 개별링크별 일교통량 검증기준

Average Annual Daily	FHWA Desirable Percent Deviation	NCDOT Targets Desirable Percent Deviation
< 1,000	60	55
1,000 ~ 2,500	47	50
2,500 ~ 5,000	36	30
5,000 ~ 10,000	29	25
10,000 ~ 25,000	25	20
25,000 ~ 50,000	22	15
> 50,000	21	10

자료: TMIP, Model Validation and Reasonableness Checking Manual, 1997 and NCDOT, Model Specifications

- 교통량(traffic volume)

<표 8> 도로위계별 VMT 검증기준

Functional Classification	Urban Area Population		
	Small(50-200K)	Med(200K-1M)	Large(>1M)
Freeway / Expressways	18 ~ 23%	33 ~ 38%	40%
Principal Arterials	37 ~ 43%	27 ~ 33%	27%
Minor Arterials	25 ~ 28%	18 ~ 22%	18 ~ 22%
Collectors	12 ~ 15%	8 ~ 12%	8 ~ 12%

자료: Christopher Fleet and Patrick DeCorla-Souza, Increasing the Capacity of Urban Highways - The Role of Freeways, presented 69th Annual Meeting of the TRB, January, 1990

ii) 영국사례

○ 파라미터 정산 및 검증

- 영국의 경우, 통행비용함수에 사용되는 파라미터의 정산에 대해서 특별한 지침을 마련하고 있지 않음. 교통수요 예측시 EMME/2나 SATURN과 같은 상용화된 프로그램을 이용하지만 여기에 사용되는 비용함수에 대해서는 분석가의 판단에 맡기고 있음
- 이보다는 입력자료로 얼마나 신뢰성 있는 자료를 사용해야하는지와 통행배정모형에서 도출된 링크 통행량, 통행시간 등 결과의 검증에 훨씬 자세한 지침과 기준을 제시하고 있음. 즉, 모형의 정산보다는 검증에 중점을 두고 있으며, 검증방법과 허용되는 오차의 범위, 분석대상 자료수 등에 대해서 자세한 검증기준을 갖고 있음
- 오차의 측정 : 관측교통량과 배정교통량 사이의 오차는 다음과 같은 Chi-square 통계치로 판단함

$$\sum \frac{(Observed - Modelled)^2}{Modelled}$$

- 소규모 사업은 최소한 10개 지점의 관측 교통량과 배정교통량을 비교하고, 대규모 사업의 경우에는 20개 지점의 관측교통량과 배정교통량을 비교하며, 주요 지점은 다음과 같이 설정되는 것이 바람직함
 - 스크린라인과 코든라인 지점 (O-D 정산에 활용된 지점)
 - 그 밖의 다른 지점
 - 분석가의 식견에서 비교가 중요하다고 판단되는 지점
- 관측교통량과 배정교통량 사이의 오차를 감소시키기 위해서는 다음과 같은 차원에서 검토가 필요함
 - centroid connector의 추가 혹은 위치조정
 - 링크 길이의 조정
 - 링크 통행속도 및 교차로 지체에 대한 적절성 검토
 - 존 크기의 조정 (존을 세부화)
 - 영향권내 네트워크 수준의 조정
- 일반적으로 내부존 통행(intra zonal movement)은 통행배정이 이루어지지 않기 때문에 가급적 존을 세부적으로 쪼갤수록 통행배정의 결과가 좋게 나타날 수 있음을 염두해야 함

○ 검증기준

- 영국의 검증척도는 시간교통량과 통행시간임. 시간교통량의 경우, 교통량에 따라 상이한 기준을 제시하고 있는데, 교통량이 700-2,700(대/시)인 경우, 관측치와 추정치의 차이가 15%이내에 있어야 하며, 700대/시 보다 작은 경우는 오차가 100대/시 이하, 그리고 2,700대/시 이상인 교통상황에서는 400대/시 이하여야 함. 또한, 이 3가지 조건을 만족할 비율이 85%이상이어야 함
- <표 9>에서 보듯이 GEH통계치도 제시하고 있는데, GEH통계치는 1970년대 Geoffrey E. Havers에 의해 개발되어 교통공학이나 통행량예측 등에 주로 사용되고 있으며, 다음과 같이 표현됨

$$GEH = \sqrt{\frac{(M - C)^2}{0.5 \times (M + C)}}$$

여기서, M 은 모형에서 도출된 추정 교통량이며, C 는 관측교통량임

- 또한, 통행시간에 대해서도 관측치와 추정치의 차이가 15%이내에 6회 이상 만족되어야 하며, 경로의 85% 이상이 이 조건을 만족해야 함

<표 9> 영국의 검증기준

Criteria and Measures	Acceptability measures
<u>Assigned Hourly flows compared with observed flows</u> 1. Individual flows within 15% for flows 700–2,700 vph 2. Individual flows 100vph for flows < 700 vph 3. Individual flows 400vph for flows > 2,700 vph 4. Total screenline flows(normally>5links) to be within 5% 5. GEH statistic ① Individual flows : GEH < 5 ② Screenline totals : GEH < 4	> 85% of cases > 85% of cases All (or nearly all) screenlines
<u>Modelled journey times compared with observed times</u> 6 Times within 15% (or 1 minute, if higher)	> 85% of routes

자료: Design manual for roads and bridges, Traffic Appraisal of Roads Schemes (Volume 12), 1997.11

User-friendly multi-stage modelling advice item 9.2 : Modelling parameters, Calibratin and Validation, TRL, 2001

2) 국내 연구

① 이의은의 연구

- 이의은(1986)은 부산-울산간 국도와 지방도를 분석 대상으로 BPR식의 파라미터를 도출하였는데 $\alpha=0.3$, $\beta=2$ 에서 통행의 실상황을 잘 묘사하는 것으로 제시되었음
- 대체로 α 값이 커짐에 따라 R^2 값이 떨어지는 경향이 있다고 하였으며 지체함수를 통행자 구분, 지역유형, 교통시설 유형별로 세분화하여 적용하는 방안이 강구되어야 한다고 제안하였음

② 최기주의 연구

- 최기주(1986)는 서울의 도시가로인 영동지역을 대상으로 BPR, Smock과 Davidson 함수의 적합도를 검증하였는데 도시부 가로에서는 Davidson식이 우수하며, 이 때 파라미터 J 값이 0.09임을 제시하였음
- 또 지역별 특성에 따라 지체함수를 분별하여 선택하여야 한다고 제안하였음

③ 서선덕의 연구

- 서선덕(1990)은 처음으로 우리나라 전국 도로망에서 BPR 지체함수의 파라미터 산출을 시도하였음
- 계산의 초기값은 서비스수준 E, C 및 D에서의 용량에 대하여 BPR식의 $\alpha=0.15$, $\beta=4$, Steenbrink식의 $\alpha=2.62$, $\beta=5$ 를 사용하였음
- 여러 가지 초기 값과 용량에 대하여 계산한 결과는 서비스 수준 D일 때 $\alpha=2.72$, $\beta=6$ 이 우리나라의 도로망에 가장 적합한 값이라고 제시하였음

④ 주정열의 연구

- 주정열(1993)은 분석대상을 전국 규모의 지역간 도로망과 도시 가로망으로 구분하고 지역간은 고속도로, 국도, 지방도별로 도시내는 간선도로, 보조간선도로, 차로별(1~3)로 세분하여 BPR식과 Davidson식의 파라미터를 검증하였음
- 이 연구에서는 BPR식이 전반적으로 모든 차로에서 통행행태를 잘 묘사하고 Davidson 식은 도시부 3차로 도로의 통행행태를 잘 나타내는 것으로 분석하고 있으며, 도로에 따라 파라미터 값을 제시하였음

- 또한 이 파라미터 값을 통하여 차량 통행의 내부적 상충이 가장 심한 곳은 도시부의 2차로 도로이며 차량지체에 가장 민감한 곳은 3차로 도로라고 지적하였음

⑤ 장덕형의 연구

- 장덕형(1993)은 1971년부터 1991년까지 21년간의 고속도로 O-D자료를 사용하여 고속도로 통행의 지체함수 산출을 시도하였음
- 1992년 우리나라에서 제정된 도로용량편람에 근거하여 도로용량을 산출하고 고속도로에서 관측된 속도 등의 자료를 활용하여 BPR식의 파라미터를 검증하였는데 서비스수준에 따라 파라미터 값을 산출함

⑥ 강호익의 연구

- 강호익(1996)은 고속도로 교통관리 시스템의 차량검지 시스템에서 수집된 자료와 전국 국도에 설치된 상시 교통량 조사 장비에서 수집된 자료를 이용하여 BPR식의 파라미터를 정산함

⑦ 김병기의 연구

- 김병기(2002)는 전국의 국도상에 설치·운영중인 상시 교통량 조사 지점의 자료중 국도 기능분류 상으로 국도 I 이고, 4차로인 도로에서 교통량-속도 자료를 이용하여 회귀분석을 통해 도로 기하구조, 교통특성 및 주변 환경 등을 반영한 통행지체함수를 BPR 모형, 직선 모형, 지수 모형을 통하여 파라미터를 추정함

⑧ 국가교통DB 제공 VDF 함수 파라미터

i) 전국 네트워크

- 국가교통DB에서 제공하고 있는 전국 지역간 통행특성에 맞는 통행지체함수를 현재 제공하고 있고 도로종류별 차선별로 구분하여 자유속도 및 용량과 VDF 파라미터 값을 제시하고 있으며 구체적인 내용은 <표 10>과 같음

<표 10> 전국 기반의 도로 유형별 VDF 함수 파라미터값

도로위계(편도)	VDF	자유속도 (Km/h)	용량 (pcu)	BPR식	
				α	β
고속도로(1차로)	1	80	1,600	0.58	2.4
고속도로(2차로)	2	117	2,200	0.645	2.047
고속도로(3차로이상)	3	119	2,200	0.601	2.378
일반국도(1차로)	4	70	750	0.15	4
일반국도(2차로)	5	80	1,000	0.15	4
일반국도(3차로이상)	6	90	1,000	0.15	4
지방도, 국지도(1차로)	7	60	750	0.15	4
지방도, 국지도(2차로)	8	70	1,000	0.15	4
지방도, 국지도(3차로이상)	9	80	1,000	0.15	4
시군도	10	40	200	0.15	4
센트로이드 커넥터	11	20	99,999	-	-
도시고속화도로(3차로이상)	12	90	2,200	0.58	2.4
도시고속화도로(2차로이하)	13	90	2,000	0.15	4
고속도로 연결램프	15	50	1,600	0.15	4

자료: 교통개발연구원 『2002년 국가교통DB구축사업 최종보고서』

ii) 수도권 네트워크

- 1999년에 서울시정개발연구원은 도로위계를 10개의 타입으로 구분하고 α 와 β 값이 각각 0.5와 2로 모든 도로에 대하여 적용하였음

<표 11> 1999년 수도권 자료의 도로 유형별 VDF 함수 파라미터 값과 차로 용량

도로위계	VDF	자유속도 (Km/h)	용량 (pcu)	BPR식	
				α	β
고속도로	1	90	1,100	0.5	2
도시고속도로	2	80	1,000	0.5	2
간선도로	3	60	800	0.5	2
보조간선도로	4	50	700	0.5	2
집·분산도로	5	50	550	0.5	2
국도	6	70	800	0.5	2
지방도	7	70	700	0.5	2
교량/터널	8	70	1,000	0.5	2
램프	9	40	500	0.5	2
고가	10	70	900	0.5	2

자료: 서울시정개발연구원 『서울시 종합교통분석체계 정립 및 광역통행분석』 (1999)

- 또한, 2004년 서울시정개발연구원은 수도권 통행배정을 위해 Conical 함수로 통행비용 함수를 제시한바 있으며, 이를 통하여 연속류인 경우 BPR 함수식을 이용하며, 도시부 단속류는 Conical 함수식을 사용함

<표 12> 2004년 수도권 자료의 도로 유형별 VDF 함수 파라미터 값과 차로 용량

도로의 위계		함 수
고속도로		$(\text{lenth}/90+1/180) \times 60 \times (1 + 0.5 \times (v/c)^2)$
도시고속도로		$(\text{lenth}/90+1/180) \times 60 \times (1 + 0.5 \times (v/c)^2)$
내부순환로		$(\text{lenth}/90+1/180) \times 60 \times (1 + 0.5 \times (v/c)^2)$
간선도로		$(\text{lenth}/60+1/180) \times 60 \times [2 + \sqrt{1.1 \times (1 - \frac{v}{c})^2 + 6^2} - 1.1 \times (1 - \frac{v}{c}) - 6]$
보조간선도로		$(\text{lenth}/50+1/180) \times 60 \times [2 + \sqrt{1.25 \times (1 - \frac{v}{c})^2 + 3^2} - 1.25 \times (1 - \frac{v}{c}) - 3]$
일반도로		$(\text{lenth}/50+1/180) \times 60 \times [2 + \sqrt{1.3^2 \times (1 - \frac{v}{c})^2 + 2.67^2} - 1.3 \times (1 - \frac{v}{c}) - 2.67]$
국 도		$(\text{lenth}/70+1/180) \times 60 \times [2 + \sqrt{1.05^2 \times (1 - \frac{v}{c})^2 + 11^2} - 1.05 \times (1 - \frac{v}{c}) - 11]$
지방도		$(\text{lenth}/50+1/180) \times 60 \times [2 + \sqrt{1.3^2 \times (1 - \frac{v}{c})^2 + 2.67^2} - 1.3 \times (1 - \frac{v}{c}) - 2.67]$
시군도		$(\text{lenth}/50+1/180) \times 60 \times [2 + \sqrt{1.3^2 \times (1 - \frac{v}{c})^2 + 2.67^2} - 1.3 \times (1 - \frac{v}{c}) - 2.67]$
램 프		$(\text{lenth}/40+1/180) \times 60 \times (1 + 0.5 \times (v/c)^2)$
센트로이드 커넥터		$(\text{lenth} / 10) \times 60$
교차로	좌회전	0.1
	우회전	0.1
	U 턴	0.1
우면산터널		8
Line Segment 함수	버스노선 구간	승용차통행시간 * 1.3
	1차 중앙버스차로제 구간	$(\text{lenth} / 40) \times 60$
	2차 중앙버스차로제 구간	$(\text{lenth} / 40) \times 60$

자료: 서울시정개발연구원 『서울시 장래교통수요 예측 및 대응방안 연구』(2004)

iii) 타 광역권 네트워크

- 도로위계를 9개로 구분하였고 고속도로를 제외한 파라미터값은 α 와 β 가 각각 0.15와 4를 적용하고 있음

<표 13> 5대광역시 자료의 도로 유형별 VDF 함수 파라미터 값과 차로 용량

도로위계		VDF	자유속도 (Km/h)	용량 (pcu)	BPR식	
					α	β
주간선	고속도로	1	100	2,200	0.645	2.047
	도시고속도로	2	90	2,000	0.58	2.4
	국도	3	60, 80	750, 1,000	0.15	4
	시도	4	70	800	0.15	4
	국지도·지방도	5	80	1,000	0.15	4
보조간선	국지도·지방도	6,7	60	750	0.15	4
집분산	시도	8	40	500	0.15	4
기타	교량, 램프	9	60	1,000	0.15	4
	터널, 고가	10				

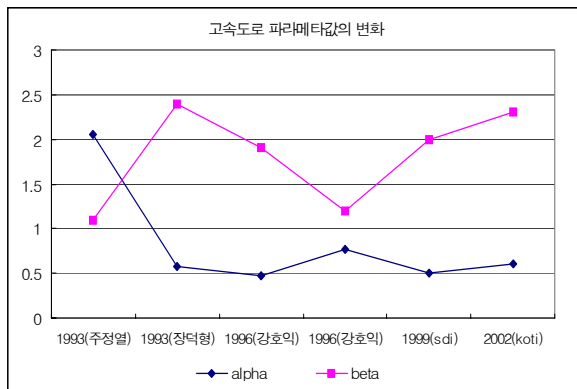
주: 자료 원출처 : 교통개발연구원 『2002년 국가교통DB구축사업 최종보고서』

iv) 기존 국내연구의 시사점

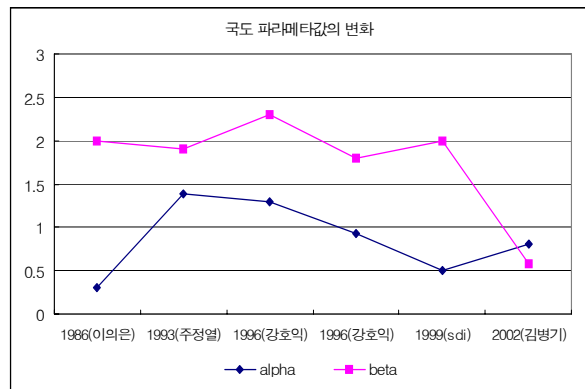
- 이들 기존 연구들을 분석방법에 따라 이를 크게 회귀분석과 수리모형으로 구분하여 정리하면 <표 14>와 같음. α 값의 경우, 수리모형으로 구한 값이 회귀분석으로 구한 값보다 큼을 알 수 있으며, β 값은 비슷함
- 사용된 자료와 분석시점들이 상이하여 각 연구결과를 직접적으로 비교하기는 곤란하나 고속도로의 경우, α 는 0.5~2.0사이의 값을 갖고 있으며, β 는 1.0~2.5사이의 값을 갖고 있음. 국도 역시 α 는 0.3~1.5, β 는 0.5~2.5사이의 값을 갖고 있어 고속도로와 대체로 비슷한 값을 갖고 있음
- 시계열에 따른 변화추이를 보면, 비록 뚜렷한 양상은 보이지 않으나, 최근 들어 α , β 값이 작아지는 경향을 보임. 이는 교통량 증가에 따른 속도 변화의 민감도가 작아지는 경향을 보여주는 결과라 해석할 수 있음 (그림 3 참조)

<표 14> 국내 기존연구

방 법 론		도로구분	α	β	비 고
회 귀 분 석	BPR 모형	고속도로	0.58	2.40	장덕형(1993)
		고속도로(8차로)	0.77	1.20	강호익(1996)
		고속도로(4차로)	0.48	1.91	강호익(1996)
		국도, 지방도	0.30	2.00	이의은(1986)
		국도(8차로)	0.93	1.80	강호익(1996)
		국도(4차로)	1.30	2.30	강호익(1996)
		국도(4차로)	0.80	0.58	김병기(2002)
	직선모형	국도(4차로)	25.06	-	김병기(2002)
	지수모형	국도(4차로)	0.43	-	김병기(2002)
수리모형		전 국	2.72	6	Suh et al. (1990)
		전 국	2.04	1.99	주정열(1993)
		고속도로	2.06	1.09	주정열(1993)
		국 도	1.38	1.91	주정열(1993)



(a) 고속도로 파라미터



(b) 국도 파라미터

<그림 3> 기존연구에서 파라미터의 변화추이

나. 통행비용함수의 파라미터 추정 및 검증 방법론

1) 파라미터 추정방법

① 기존 추정방법의 한계

○ 회귀분석

- 통행배정모형을 이용하지 않고 쉽게 추정이 가능하며 현실에 맞는 추정이 가능하지만, 통행배정모형을 이용하지 않으므로 실제 통행배정모형에 적용시 상이한 결과를 도출할 우려가 있음

○ 점증적 개선방법

- α, β 을 증가시키는 기준인 단위증가량(0.1과 1.0)에 대한 근거가 미약하고
- 이로 인해 최적해가 단위증가량 이내에 존재할 경우 최적해를 찾지 못하는 문제발생
- 설정된 모든 경우에 대하여 분석해야 하므로 상당한 시간이 소요
- 이론적인 근거를 갖지 못함

② 파라미터 추정방법

○ 수정된 회귀분석

- 기존연구에서 채택한 회귀분석을 통한 파라미터의 추정은 통행배정을 고려하지 않고 현장자료만으로 추정하기 때문에 이를 통행배정모형에 적용시 상이한 값을 도출할 우려가 큼
- 이는 구해진 통행비용함수가 궁극적으로 사용되는 통행배정모형과 별개로 파라미터가 추정되기 때문임. 따라서, 본 연구에서는 현장 자료와 통행배정모형을 함께 고려하여 추정하는 방법을 제시함
- 즉, Y 의 통행시간 t_a 를 통행배정에서 구한 값을 적용하고, X 의 v_a 대신 관측링크교통량(\bar{v}_a)을 사용하면, 위 선형함수는 관측 링크교통량과 통행배정으로부터 산출된 통행시간을 일치시키는 파라미터 α, β 를 구하는 함수식으로 해석할 수 있음

○ 수리 최적화 문제

- 파라미터 추정은 관측링크 교통량과 모형에서 추정된 교통량간의 차이를 최소화시키는 α, β 를 구하는 최소화문제로 구성할 수 있음. 여기서, 제약조건은 통행자의 경로 선택 행위를 나타내는 것으로 통행배정문제(traffic assignment)가 되며, 수리최적화 모형은 추정시 통행배정모형을 이용하므로 통행배정모형에 적합한 파라미터 추정이 가능함
- 이 최소화문제는 기존에 제시된 다양한 최적화기법으로 풀 수 있음. 미분을 이용하는 gradient 계열의 방법이 가장 신속히 해를 구할 것으로 예상되나, 목적함수를 미분하는게 쉽지 않다는 한계가 있음
- 따라서, 본 연구에서는 미분이 필요 없으며, 신속히 해를 산출하는 Hooke-Jeeves방법을 이용하여 최적해를 도출함

○ 열거법(구간단축법)

- 수리최적화 문제의 경우, 초기치에 따라 다수의 해(multiple solutions)가 존재할 가능성이 있음. 즉, 초기값을 어떻게 설정하느냐에 따라 여러 개의 해중 하나의 지역 해(local solution)에 수렴할 가능성이 있기 때문에 여기서는 가능영역내의 전 구간을 열거적으로 탐색하는 방법(enumeration)을 수행토록 함
- 그러나, 전 구간을 열거법으로 탐색하는 경우, 상당한 시간이 소요되기 때문에 이를 단축하기 위하여 황금분할법(golden section method)을 열거법에 결합시켜 해를 찾고자 함

○ 추정방법의 선정

- 수정된 회귀분석 : 쉽게 정산이 가능하나 단순회귀형태로 분석되기 때문에 통계적으로 관측교통량과 추정교통량간의 상관성이 높지 않으며, 이상치 제거시 분석자료수가 부족한 경우 발생
- 수리최적화 문제 : 수리적으로 최적해를 구할 수 있는 장점이 있으나, 앞에서 기술한 바와 같이 초기값에 따라 다수의 해가 존재하며, 모형의 속성상 파라미터 α 값이 β 값보다 큰 경우가 발생할 수 있음. (이에 대해서는 [부록 1]과 [부록 2] 참조)
- 열거법 : 분석시 전구간을 탐색해야 하기 때문에 상당한 시간이 소요된다는 단점이 있으나, 도출된 해에 대한 신뢰성이 높음
- 위의 특징들을 종합해 볼 때, 추정된 파라미터 값의 신뢰성을 확보할 수 있는 열거법을 본 과업의 추정방법으로 선정하여 고속도로와 국도의 파라미터를 추정코자 함

2) 검증기준 설정

① 기준척도의 설정

- 관측치와 통행배정에서 추정된 결과치를 검증하기 위해서는 다양한 척도를 사용하여 평가하는게 바람직함. 대표적으로 고려될 수 있는 척도로는 개별링크별 또는 노선별 통행량, 통행시간, 주요지점별 회전교통량, 주행차량-킬로미터(Vehicle Kilometer of Travel, VKT) 등이 있음
- 그러나, 현재 신뢰성 있는 관측자료로는 한국도로공사와 건설교통부에서 매년 제공하는 각 도로별 일별 교통량이 있으며, 속도나 통행시간 등 다른 자료는 2차적인 가공이나 정리가 필요함

- 따라서, 본 연구에서는 시간적인 한계와 과업의 범위를 고려하여 각 도로별 교통량을 기준으로 통행비용함수의 파라미터를 검증코자 함

② 검증척도

- 통계적 기준 : 평균제곱근측정(RMSE)
- 적합도 검증치 : 상관계수(correlation coefficient), Theil의 부등계수(Theil's Inequality Coefficient)
- 통계적인 검정(statistical test) : Paired t-검정, F-검정

3) 위계별 도로용량

① 도로위계

- 도로기능별 위계구조는 관련규정에서 정하는바와 같이 주간선도로, 보조간선도로, 집산도로, 국지도도로로 구분하고 있음. 국도는 이러한 규정에서 주간선 또는 보조간선도로로 구분되고 있으나 구간별로 기능이 불분명하며, 주간선도로는 고속도로를 제외하고 구체적으로 어떠한 도로 기능이어야 하는지도 세분화되어 있지 않음
- 건설교통부(1994) 『국도 기능분류 및 효율적 투자방안 연구』에서는 국도의 기능을 주간선도로와 보조간선도로로 현행 분류체계를 유지하되, 국도의 수행기능과 세부시설수준을 세분하기 위한 용어를 다음 <표 15>과 같이 설정하였음. 또한 국도를 수행하는 기능에 따라 다음 <표 16>과 같이 국도 I,Ⅱ,Ⅲ으로 분류하였음

<표 15> 국도 기능별 위계구조 정립방안

구분	대안 I	대안 II	대안 III
분류 방법	주간선(Ⅰ,Ⅱ), 보조간선	국도 Ⅰ,Ⅱ,Ⅲ	TYPE(또는 국도기능) Ⅰ,Ⅱ,Ⅲ (기능과 시설기준을 중심으로)
장점	<ul style="list-style-type: none"> • 현행 체계 유지 • 용어 자체로 기능구분 명확 • 기능위주의 시설기준정립 가능 	<ul style="list-style-type: none"> • 국도에 대한 개념정립이 용이 • 대상시설 구분이 명확 	<ul style="list-style-type: none"> • 기능분류와 시설기준을 동시 표현 가능 • 관련 법령과 용어 상충 최소화
단점	<ul style="list-style-type: none"> • 주간선(Ⅰ,Ⅱ)은 기존 도로법, 구조령 등의 구분과 상충 • 보조간선구간의 중앙/지방관할 오해 소지 	<ul style="list-style-type: none"> • 국도의 관리주체, 사업우선 순위 등으로 세분화 오해발생 • 기능 및 시설기준 세분화 개념 다소 미약 	<ul style="list-style-type: none"> • 용어에 대한 홍보가 필요 • 기능분류보다는 시설기준 위주

자료: 건설교통부, 국도 기능분류 및 효율적 투자방안 연구, 1994. 4

<표 16> 국도 노선의 분류체계

구 분	국 도 I	국 도 II	국 도 III
교통밀도	높 음	보 통	낮 음
교통기능	장거리	중거리	단거리
설계속도	80km/h~60km/h	80km/h~60km/h	70km/h~50km/h
목표여행속도	80km/h~60km/h	70km/h~50km/h	60km/h~50km/h
중앙분리대	전구간	필요시 설치	설치 최소화
교차로형식	입 체	필요시 입체	평 면
진출입 연결로, 측도	설 치	설치 최소화	설치 최소화
비 고	전국간선망보완	-	고속도로 인접 및 관광도로

자료: 건설교통부, 국도기능 분류 및 효율적 투자방안 연구, 1994. 4

○ 전국 국가교통DB 도로망 체계

- 전국 Network는 거의 모든 고속도로 및 국도를 포함하고 있으며 국가지원지방도, 지방도도 상당 부분 포함하고 있으나, 지역간 통행이 많이 이용되지 않는 광역시도 및 시·군도에 대해서는 일부 주요 구간만을 포함하고 있음. 다음 <표 17>은 2002년 기준 전국 도로망 위계별 체계 구축 내용임

<표 17> 2002년 기준 전국 도로망 위계별 체계 구축 내용

도로 유형	링크 수	도로연장 (단방향,km)
고속도로	744	2,807.7
국 도	5,738	12,741.9
국가지원 지방도, 지방도	6,380	13,838.5
도시고속도로	306	271.5
시·군도	582	912.8
고속도로 연결램프	444	164.3
계	14,194	30,736.6

② 위계별 도로용량 연구

○ 한국도로용량편람(KHCM)

- 1992년 재정된 도로용량편람에서는 도로용량을 “주어진 시간동안 주어진 도로 및 교통조건에서 도로나 차선의 일정구간 또는 지점을 승용차가 통행하리라 예상되는 최대 교통류율을 의미한다.”고 정의함. 즉, 주어진 조건에서 15분 동안 무리 없이 최대 통과할 수 있는 승용차 교통량을 1시간 단위로 환산한 값임. 서비스 수준은 교통류의 질에 따라 A에서 F까지 여섯 단계로 구분한다. 용량은 단위가 “교통량 (Volume)”에서 “교통류율(Flow Rate)”로 새롭게 정의되었음을 알 수 있음

<표 18> 고속도로 기본 구간의 서비스수준

서비스 수준	밀도(pcpkmp/l)	설계속도 120kph		설계속도 100kph		설계속도 80kph	
		교통량(pcp/hpl)	v/c	교통량(pcp/hpl)	v/c	교통량(pcp/hpl)	v/c
A	≤6	≤700	≤0.3	≤600	≤0.27	≤500	≤0.25
B	≤10	≤1,150	≤0.5	≤1,000	≤0.45	≤800	≤0.40
C	≤14	≤1,500	≤0.65	≤1,350	≤0.61	≤1,150	≤0.58
D	≤19	≤1,900	≤0.83	≤1,750	≤0.8	≤1,500	≤0.75
E	≤28	≤2,300	≤1.00	≤2,200	≤1.00	≤2,000	≤1.00
F	>28	-	-	-	-	-	-

주: 이 표의 교통량 관련 기준은 각 설계 속도 수준에서 이상적인 도로 및 교통 조건에서 정해진 것임

<표 19> 다차로도로 서비스수준

도로 유형	I		II	II, III	III
주어진 도로 조건에서 승용차의 최대 평균통행속도(SP1)	≥ 87kph		< 87kph		
신호등 밀도(개/km)	≤0.1	≤0.3	≤0.1	≤0.7	≤1.0
서비스수준	평균통행속도(kph)				
A	≥85	≥80	≥80	≥70	≥65
B	≥81	≥75	≥76	≥65	≥60
C	≥76	≥70	≥71	≥59	≥53
D	≥71	≥65	≥66	≥52	≥45
E	≥65	≥57	≥60	≥42	≥35
F	<65	<57	<60	<42	<35

○ 예비타당성조사 지침(한국개발연구원)

- 한국개발연구원(KDI) 『도로·철도 부문사업의 예비타당성조사 표준지침』에서 제공
하는 5대 광역시 차로용량은 다음과 <표 20> 같음

<표 20> 5대 광역시 자료의 도로 유형별 VDF 함수 파라미터 값과 차로 용량

구 분			속도(km/h)	용량(pcu/h)	BPR식	
도로기능	도로명	Type			α	β
주간선	고속국도	1	100	2200	0.645	2.047
	도시고속도로	2	90	2000	0.58	2.4
	국 도	3	60, 80*	750, 1000*	0.15	4.0
	시 도	4	70	800	0.15	4.0
	국지도·지방도	5	80	1000	0.15	4.0
보조간선	국지도·지방도	6,7	60	750	0.15	4.0
집분산	시 도	8	40	500	0.15	4.0
기 타	교량, 램프, 터널, 고가	10	60	1000	0.15	4.0

주: * : 4차로이상

자료: 교통개발연구원 『2002년 국가교통DB구축사업 최종보고서』

○ 제2차 국도건설 5개년(2006~2010) 계획(안) 검증사업 (KDI, 2005)

- 2005년 KDI에서 수행된 제2차 국도건설 5개년사업의 검증조사의 경우, 대부분의 사업내용이 선형개량, 확폭, 그리고 간이입체화사업이기 때문에 이를 고려하기 위하여, 2차로 및 4차로 국도사업의 교통수요분석시 사업구간의 특성에 따라 교통량-지체함수의 자유속도와 도로용량을 보정하여 사용함

③ 본 과업에서 적용할 위계별 도로용량

○ 고속도로

- 기존 고속도로 용량을 비교한 것으로서, 일반적으로 1차로는 2,000~2,300pcuphpl, 2차로는 1,800 ~ 2,087pcuphpl, 3차로는 1,700 ~ 2,071pcuphpl, 4차로는 1,700 ~ 1,908pcuphpl로 분석되었음(KHCM(2004)의 경우, 설계속도100kph에서 1,750pcupl)

<표 21> 기존 고속도로 용량연구

구 분	편도 차로별 용량(pcu/시/차로)				비 고
	1차로	2차로	3차로	4차로	
경부고속도로	2,242	2,087	1,981	1,908	천호영(1999년)
	-	-	-	1,850	강호익(1998년)
	2,200	-	-	-	최찬영(2000년)
중부고속도로	-	1,625	-	-	강호익(1998년)
	2,300	-	-	-	최찬영(2000년)
영동고속도로	2,202	1,996	2,071	-	천호영(1999년)
	2,200	-	-	-	최찬영(2000년)
	2,200	1,900	1,700	-	김한수(2007년)
서울외곽순환고속도로	-	1,800	-	-	강호익(1998년)
	2,200	2,000	1,800	1,700	김한수(2007년)
올림픽대로	2,000	-	-	-	최찬영(2000년)

- 기존 연구의 편도 차로별 용량값은 현재 사용되고 있는 차로당 2,200pcu/h값에 다소 못 미치는 것으로 나타나고 있음. 그러나 이에 대해서는 좀 더 깊이 있는 연구가 필요할 것으로 보임
- 따라서, 본 과업에서는 현재 사용되고 있는 차로당 2,200pcuphpl을 기본적인 고속도로 용량값으로 설정하여 분석함

○ 국도

- <표 22>는 기존 국도 용량을 비교한 것으로서, 1차로는 1,140~1,425대/시, 2차로는 1,820~4,050대/시로 분석되었음

- 기존 연구의 편도 차로별 용량값은 현재 사용되고 있는 값보다 크게 나타나고 있음.
그러나 이는 고속도로와 마찬가지로 추가 연구가 필요한 부분임. 또한, 국도의 등급
별로 용량을 산정하는 방법이 좀 더 타당할 것으로 판단됨
- 따라서, 본 과업에서는 기존 국도의 용량을 따르되, 편도 3차로 이상국도(대부분 국
도 I 등급에 해당)의 경우 대부분 입체화되었다는 가정하에 최근 수행한 KDI의 국도5
개년 계획 검증사업에 사용된 용량인 1,200pcu/h를 적용하여 분석함

<표 22> 기존 국도 용량연구

구 분		차로수	용량(대/시)	비 고
2호선	진전면-마산시	2	3,210	김병기(2002년)
3호선	곤지암-광주시	2	2,560	김병기(2002년)
	광주시-성남시	2	3,470	김병기(2002년)
	이천시-이천I.C	2	1,840	김병기(2002년)
	진주-사천	2	3,562	박달식(2002년)
6호선	팔당댐-양평읍	2	2,890	김병기(2002년)
	남양주시-화도읍	2	3,130	김병기(2002년)
7호선	부산시-웅상읍	2	2,990	김병기(2002년)
17호선	청원I.C-남이면	2	2,340	김병기(2002년)
	관촌면-전주시	2	2,900	김병기(2002년)
25호선	대구-경산	2	3,364	박달식(2002년)
36호선	내수읍-증평읍	2	3,640	김병기(2002년)
38호선	일죽I.C-안성	2	1,820	박달식(2002년)
46호선	화도읍-답내리	2	2,090	김병기(2002년)
48호선	김포시-김포I.C	2	3,930	김병기(2002년)
501호선		2	4,050	강호익(1998년)
606호선		2	3,610	강호익(1998년)
3호선	진주-사천	1	1,814	박달식(2002년)
25호선	대구-경산	1	1,816	박달식(2002년)
38호선	일죽I.C-안성	1	1,909	박달식(2002년)
456호선		1	1,140	강호익(1998년)
608호선		1	1,425	강호익(1998년)

다. 고속도로 통행비용함수 파라미터 검증

1) 2005년 고속도로 파라미터 검증 방법

- 앞에서 정산된 고속도로 파라미터를 검증하기 위하여, <표 23>로 정산된 파라미터를
통행비용함수에 적용하여 통행배정을 수행함. 이렇게 산출된 배정교통량과 관측교통
량의 비교를 통하여 파라미터를 검증함

<표 23> 2005년 고속도로 차선별 통행지체함수 추정 결과

차선별(편도)	LOS	α	β	R^2
2차선	C	0.083	2.283	0.55
	D	0.103	2.283	0.55
	E	0.124	2.283	0.55
3차선	C	0.044	4.278	0.52
	D	0.064	4.279	0.52
	E	0.088	4.276	0.52
4차선	C	0.263	1.986	0.67
	D	0.314	1.986	0.67
	E	0.367	1.986	0.67

2) 검증결과

- 2005년 고속도로 파라미터 정산값에 대한 각 차로별 검증결과가 <표 24>에 나타나 있음. 표에서 보듯이 관측치와 통행배정치와는 서로 차이가 있으며, 특히 2차로인 경우 평균값과 분산에 상당한 차이가 있음을 알 수 있음
- 상관계수 역시, 2차로의 경우 0.56, 3차로의 경우 0.04, 4차로이상은 0.35으로 상당히 낮은 값을 보이고 있어 관측치와 배정치사이에 상관성이 낮음을 알 수 있으며, paired t 검정결과를 보면, 2차로의 경우, 5%의 유의수준에서 기각되고 있어 각 개별 요소들이 서로 동일하지 않은 것으로 판단됨. 그러나 F-검정의 경우, 5% 유의수준에서 모두 채택되고 있어 두 집단의 분산값에는 차이가 없음을 알 수 있음

<표 24> 차로별 검증결과

비 교		차 로 수	2차로	3차로	4차로 이상
관 측 수			20	8	7
관 측 치	평 균		60,041	108,643	151,435
	분 산		2,422,883,513	969,876,233	5,886,122,946
배 정 치	평 균		100,527	107,845	199,099
	분 산		2,693,336,234	1,359,186,067	4,406,563,369
RMSE			61428.61	44340.62	89740.23
상관계수			0.5617	0.0361	0.3483
t-통계량			-3.8199	0.0477	-1.5355
Paired t-test $P(T \leq t)$			0.0006*	0.4817	0.0878
F-test			0.4100	0.3337	0.3671

주: '*' 유의수준 5%에서 기각

- <표 25>는 주요 고속도로축별로 검증한 결과를 정리한 내용임. 상관계수의 경우 대체로 낮은 편이며, 이중 경부축이 0.8로 상대적으로 높음
- paired t-검정과 F-검정의 경우, 수도권, 호남축, 영동강원축이 채택역에 있어, 통계적으로 관측치와 배정치간에 차이가 없음을 알 수 있음. 그러나 동서축의 경우 통계적으로 차이가 있음을 보여줌
- 2005년 정산지점별 관측 교통량과 통행배정 교통량간의 오차율을 살펴보면, 대부분 큰 차이가 있음을 알 수 있음. 이런 결과는 앞에서 살펴본 바와 같이 고속도로 정산시 관측교통량만을 고려해서 정산한데 기인한 것으로 판단됨. 즉, 통행배정량을 고려하지 않고 관측치만을 고려하여 정산했기 때문에, 통행배정결과와 다르게 나타난 것으로 보임

<표 25> 주요 고속도로축별 검증결과

비교		차로 수	수도권	경부축	호남축	동서축	영동강원축
관측 수			7	12	5	7	4
관측치	평균		150,174	89,087	55,911	56,603	83,492
	분산		4,112,168,908	4,968,831,840	1,434,737,901	528,070,748	2,636,711,261
배정치	평균		171,606	117,188	63,197	128,737	110,588
	분산		6,212,302,234	1,915,325,706	2,574,859,750	1,853,771,737	80,55,323,930
RMSE			71885.39	50870.30	47511.08	82328.00	73507.73
상관계수			0.4780	0.7978	0.3263	0.2754	0.4846
t-통계량			-0.7651	-2.1979	-0.3104	-4.4530	-0.6868
Paired t-test $P(T \leq t)$			0.2366	0.0251*	0.3859	0.0022*	0.2708
F-test			0.3145	0.0645	0.2925	0.0759	0.1918

주: 1) 수도권 1) : 서울외곽순환선, 경인선, 제2경인선

경부축 2) : 경부선, 중앙선, 중앙지선, 중부선, 제2중부선, 중부내륙선, 구마선

호남축 3) : 호남선, 서해안선

동서축 4) : 남해선, 남해제2지선, 마산외곽선

영동강원축 5) : 영동선, 동해선

2) '*' 유의수준 5%에서 기각

- 이런 결과들을 살펴볼 때, 2005년도 고속도로 파라미터 정산값은 실제 현장적용에 무리가 있을 것으로 판단되며, 새롭게 정산할 필요가 있음

라. 파라미터 종합검증

1) 고속도로 파라미터 추정 및 검증

① 고속도로 추정자료

- 고속도로 파라미터 재추정을 위하여 2005년도 고속도로 파라미터를 정산했을 때(TCS 자료 사용)와는 달리 2005 도로교통량통계연보에 있는 고속도로 지점 및 교통량을 사용함
- 총 674개 지점을 대상으로 분석함

② 파라미터 추정결과

- 차로별 파라미터 추정결과
 - α 의 경우는 0과 4사이, β 의 경우는 0과 6사이에서 최적값을 찾도록 함
 - 최종적으로, 1차로의 경우 $\alpha=3.931$, $\beta=5.316$, 2차로의 경우 $\alpha=1.459$, $\beta=1.943$, 3차로의 경우, $\alpha=3.210$, $\beta=5.936$ 에서 각각 최적값을 도출하였음

<표 26> 최종적으로 추정된 고속도로 차로별 파라미터

고속도로(편도)	자유속도 (Km/h)	용량/차로 (pcupl)	최종 결과	
			α	β
1차로	80	1,600	3.931	5.316
2차로	117	2,200	1.459	1.943
3차로이상	119	2,200	3.210	5.936

③ 추정된 파라미터의 검증

- 본 과업에서 새롭게 산출된 파라미터를 이용하여 배정된 교통량이 관측교통량과 얼마나 근접한지를 알아보기 위하여 검증을 실시함. 사용되는 파라미터는 먼저 <표 26>의 최종 결과값을 적용함
- <표 27>은 각 차로별로 파라미터 검증결과로써, paired t-검정, F-검정, Theil 부등계수, 상관계수를 보여주고 있음

<표 27> 고속도로 파라미터 검증 결과

비 교		차로수		1차로		2차로		3차로 이상	
				현 VDF	본과업 VDF	현 VDF	본과업 VDF	현 VDF	본과업 VDF
관 측 수				36	36	404	404	234	234
관 측 치	평 균			7,165	7,165	29,389	29,389	80,890	80,890
	분 산			4,926,133	4,926,133	265,646,685	265,646,685	863,553,969	863,553,969
배 정 치	평 균			2,302	6,334	30,295	30,004	92,811	79,028
	분 산			20,322,355	18,593,481	246,593,489	201,904,210	1,870,452,896	838,520,488
RMSE				6,346	4,112	8,989	9,000	29,354	19,181
Theil 부등계수				0.5078	0.2720	0.1328	0.1348	0.1558	0.1127
t-통계량				7.0598	1.2215	-2.0333	-1.3749	-6.7836	1.4888
Paired t-test P(T≤t)				0	0.1150	0.0213	0.0850	0	0.0689
F-test				0	0.0001	0.2277	0.0030	0	0.4113
상관계수				0.4079	0.3571	0.8440	0.8349	0.7913	0.7850

2) 국도 파라미터 추정 및 검증

① 국도 추정자료

- 국도 파라미터 추정하기 위하여 2005 도로교통량통계연보에 있는 국도 지점 및 교통량을 사용함
- 편도 3,088개 지점을 대상으로 분석함

② 파라미터 추정결과

- 차로별 파라미터 추정결과
 - α 의 경우는 0과 4사이, β 의 경우는 0과 6사이에서 최적값을 찾도록 함
 - 최종적으로, 1차로의 경우 $\alpha=1.896$, $\beta=3.894$, 2차로의 경우 $\alpha=0.430$, $\beta=3.566$, 3차로의 경우, $\alpha=0.653$, $\beta=3.232$ 에서 각각 최적값을 도출하였음

<표 28> 최종적으로 추정된 국도 차로별 파라미터

고속도로(편도)	자유속도 (Km/h)	용량 / 차로 (pcupl)	최종 결과	
			α	β
1차로	70	750	1.896	3.894
2차로	80	1,000	0.430	3.566
3차로이상	90	1,200	0.653	3.232

③ 추정된 파라미터의 검증

- 본 과업에서 추정된 국도의 각 차로별 파라미터에 대한 검증결과는 <표 29>와 같음

<표 29> 국도 파라미터 검증 결과

차 로 수 비 교		1차로		2차로		3차로 이상	
		현 VDF	본과업 VDF	현 VDF	본과업 VDF	현 VDF	본과업 VDF
관 측 수		1,754	1,754	1,263	1,263	71	71
관 측 치	평 균	3,412	3,412	13,162	13,162	27,292	27,292
	분 산	6,126,701	6,126,701	76,203,721	76,203,721	333,588,264	333,588,264
배 정 치	평 균	3,732	3,137	13,803	13,017	24,415	23,824
	분 산	12,267,482	5,824,755	89,176,761	74,909,975	448,923,863	474,839,640
RMSE		3,183	2,680	7,137	6,820	9,584	10,242
Theil 부등계수		0.3411	0.3279	0.2195	0.2171	0.1475	0.1577
t-통계량		-4.2227	4.3180	-3.2046	0.7553	2.6330	3.0108
Paired t-test $P(T \leq t)$		0	0	0.0007	0.2251	0.0052	0.0018
F-test		0	0.1451	0.0026	0.3805	0.1083	0.0711
상관계수		0.4820	0.4051	0.6964	0.6921	0.9015	0.8973

3) 종합검증

① 종합검증 결과

i) 고속도로 검증결과

- 11차로의 경우, $\pm 30\%$ 이내(적정)의 오차비율이 8.4% → 58.3% 로 크게 증가되어 본 과업에서 구한 파라미터 값의 현실 재현력이 크게 개선되었음을 알 수 있으며, $\pm 60\%$ 이상(과대 및 과소추정) 오차비율은 91.6% → 22.3% 크게 감소되었음
- 2차로의 경우, $\pm 30\%$ 이내의 비율이 63.3% → 64.1% 로 증가되었고, $\pm 60\%$ 이상 오차 비율은 10.6% → 12.9% 증가되었음
- 3차로 이상의 경우, $\pm 30\%$ 이내의 비율이 68.0% → 81.7%로 크게 증가되어 3차로 역시 현실 재현력이 크게 개선되었으며, $\pm 60\%$ 이상 오차비율은 9.9% → 5.1% 감소되었음

<표 30> 고속도로 통행배정시 오차율

오차 범위(%)		고속도로 1차로				고속도로 2차로				고속도로 3차로 이상			
		현 VDF		본과업 VDF		현 VDF		본과업 VDF		현 VDF		본과업 VDF	
		관측 수	비율 (%)	관측 수	비율 (%)	관측 수	비율 (%)	관측 수	비율 (%)	관측 수	비율 (%)	관측 수	비율 (%)
과대 추정	300이상	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0
	100~300	1	2.8	1	2.8	9	2.2	14	3.5	6	2.6	3	1.3
	60~100	1	2.8	1	2.8	31	7.7	38	9.4	7	3.0	5	2.1
	30~60	0	0.0	2	5.6	59	14.6	56	13.9	44	18.8	18	7.7
	10~30	0	0.0	4	11.1	89	22.0	71	17.6	77	32.9	40	17.1
	0~10	1	2.8	5	13.8	52	12.9	53	13.1	24	10.3	40	17.1
			8.4		58.3		63.3		64.1		68.0		81.7
과소 추정	-10~0	2	5.6	6	16.7	51	12.6	43	10.6	28	12.0	43	18.4
	-30~-10	0	0.0	6	16.7	64	15.8	92	22.8	30	12.8	68	29.1
	-60~-30	0	0.0	5	13.8	46	11.5	37	9.1	8	3.3	13	5.5
	-100~-60	31	86.0	6	16.7	3	0.7	0	0	10	4.3	4	1.7
합 계		36	100	36	100	404	100	404	100	234	100	234	100

ii) 국도 검증결과

- 1차로의 경우, $\pm 30\%$ 이내(적정)의 오차비율이 23.7% \rightarrow 27.5%로 증가되었으며, $\pm 60\%$ 이상 (과대 및 과소추정)오차비율은 56.8% \rightarrow 50.2% 감소되었음. 이처럼 국도1차로의 오차비율이 상대적으로 다른 차로에 비해 낮은 이유는 1차로의 경우, 지역 간 통행보다는 지역내의 통행을 서비스하는 기능이 강하나, 이런 지역적인 도로 특성들을 고려하지 않고 전국단위의 파라미터 값을 추정하기 때문인 것으로 판단됨
- 2차로의 경우, $\pm 30\%$ 이내의 비율이 40.7% \rightarrow 43.4% 로 증가되었고, $\pm 60\%$ 이상 오차비율은 32.6% \rightarrow 29.6% 감소되었음
- 3차로 이상의 경우, $\pm 30\%$ 이내의 비율이 45.1% \rightarrow 46.4%로 증가되었고, $\pm 60\%$ 이상 오차비율은 22.5% \rightarrow 12.7% 감소되었음

<표 31> 국도 통행배정시 오차율

오차 범위(%)		국도 1차로				국도 2차로				국도 3차로 이상			
		현 VDF		본과업 VDF		현 VDF		본과업 VDF		현 VDF		본과업 VDF	
		관측 수	비율 (%)	관측 수	비율 (%)	관측 수	비율 (%)	관측 수	비율 (%)	관측 수	비율 (%)	관측 수	비율 (%)
과대 추정	300이상	108	6.2	92	5.2	21	1.7	17	1.3	0	0.0	0	0.0
	100~300	265	15.1	245	14.0	133	10.5	109	8.6	1	1.4	0	0.0
	60~100	148	8.4	130	7.4	111	8.8	121	9.6	3	4.2	1	1.4
	30~60	165	9.4	152	8.7	198	15.7	162	12.8	9	12.7	8	11.3
	10~30	133	7.6	136	7.8	169	13.4	174	13.8	5	7.0	10	14.1
	0~10	83	4.7	74	4.2	80	6.3	80	6.3	9	12.7	4	5.6
과소 추정	-10~0	64	3.6	91	5.2	90	7.1	98	7.8	8	11.3	5	7.0
	-30~-10	137	7.8	181	10.3	176	13.9	196	15.5	10	14.1	14	19.7
	-60~-30	175	10.1	239	13.6	139	11.0	179	14.2	14	19.7	21	29.6
	-100~-60	476	27.1	414	23.6	146	11.6	127	10.1	12	16.9	8	11.3
합 계		1,754	100	1,754	100	1,263	100	1,263	100	71	100	71	100

iii) 전체 검증결과

- 고속도로의 경우, $\pm 30\%$ 이내(적정)의 오차비율이 62.0% \rightarrow 69.8% 로 크게 증가된 반면, $\pm 60\%$ 이상(과대 및 과소추정) 오차비율은 14.7% \rightarrow 10.7%로 감소함
- 국도의 경우 역시, $\pm 30\%$ 이내(적정)의 오차비율이 31.2% \rightarrow 34.5% 로 증가된 반면, $\pm 60\%$ 이상 오차비율은 46.2% \rightarrow 41.0% 감소함
- 고속도로와 국도의 차로별 RMSE 및 Theil 부등계수 결과는 <표 33>와 같음
 - RMSE 변화율을 살펴보면, 고속도로 1, 3차로의 경우 각각 -35.2%, -34.66%로써 크게 감소한 반면, 고속도로 2차로는 0.12%로서 약간 증가하였음. 국도 1, 2차로 역시 -15.80%, -4.44%로 감소한 반면, 국도 3차로는 6.87%로 증가함
 - Theil부등계수를 살펴보면, RMSE의 변화율과 같이 대체로 감소하고 있으나, 국도 3차로인 경우 약간 증가하는데, 이는 앞에서 기술한 바와 같이 적은 표본수로 인한 한계로 판단됨

<표 32> 통행배정시 오차율 (전체)

오차 범위(%)		고속도로				국 도			
		현 VDF 파라미터		본과업 VDF 파라미터		현 VDF 파라미터		본과업 VDF 파라미터	
		관측수	비율 (%)	관측수	비율 (%)	관측수	비율 (%)	관측수	비율 (%)
과 대 추 정	300이상	0	0.0	0	0.0	129	4.2	109	3.5
	100~300	16	2.4	18	2.7	399	12.9	354	11.5
	60~100	39	5.8	44	6.5	262	8.5	252	8.2
	30~60	103	15.3	76	11.3	372	12.0	322	10.4
	10~30	166	24.6	115	17.1	307	9.9	320	10.4
	0~10	77	11.4	98	14.5	172	5.6	158	5.1
	-10~0	81	12.1	92	13.6	162	5.2	194	6.3
	-30~-10	94	13.9	166	24.6	323	10.5	391	12.7
	-60~-30	54	8.0	55	8.2	328	10.6	439	14.1
	-100~-60	44	6.5	10	1.5	634	20.6	549	17.8
합 계		674	100	674	100	3,088	100	3,088	100

<표 33> RMSE 및 Theil 부등계수 비교

도로위계(편도)	현 VDF 파라미터		RMSE (A)	Theil 부등계수	본 과업 파라미터		RMSE (B)	Theil 부등계수	RMSE변화율(%) $\frac{B-A}{A} \times 100$
	α	β			α	β			
고속도로(1차로)	0.58	2.4	6,346	0.5078	3.931	5.316	4,112	0.2720	-35.20
고속도로(2차로)	0.645	2.047	8,989	0.1328	1.459	1.943	9,000	0.1348	0.12
고속도로(3차로이상)	0.601	2.378	29,354	0.1558	3.210	5.936	19,181	0.1127	-34.66
일반국도(1차로)	0.15	4	3,183	0.3411	1.896	3.894	2,680	0.3279	-15.80
일반국도(2차로)	0.15	4	7,137	0.2195	0.430	3.566	6,820	0.2171	-4.44
일반국도(3차로이상)	0.15	4	9,584	0.1475	0.653	3.232	10,242	0.1577	6.87

② 다차종 통행배정(Multiple user class assignment)을 통한 종합검증

- 다차종 통행배정방법을 통하여 나온 결과를 분석하면, 승용차의 경우, 고속도로는 60.2% → 64.6%로 증가하였으나, 국도에서는 32.5% → 31.5%로 약간 감소하였음
- 버스의 경우, 고속도로에서 28.5% → 34.4%로 증가하였으며 국도에서도 15.9% → 17.2%로 증가하였음
- 트럭의 경우도 고속도로에서 50.8% → 59.1%로 증가하였으며 국도 역시 24.6% → 28.7%로 증가하였음

<표 34> 다차종 통행배정 실시 결과(고속도로)

오차 범위(%)		현 VDF 파라미터						본과업 VDF 파라미터					
		승용차		트럭		버스		승용차		트럭		버스	
		관측 수	비율 (%)	관측 수	비율 (%)	관측 수	비율 (%)	관측 수	비율 (%)	관측 수	비율 (%)	관측 수	비율 (%)
과대추정	300이상	0	0.0	0	0.0	37	5.5	0	0.0	1	0.1	35	5.2
	100~300	12	1.8	39	5.8	140	20.8	12	1.8	44	6.5	115	17.1
	60~100	42	6.2	43	6.4	63	9.3	40	5.9	43	6.4	68	10.1
	30~60	115	17.1	118	17.4	73	10.8	98	14.5	79	11.7	77	11.4
	10~30	143	21.2	111	16.5	54	8.0	106	15.7	121	18.1	71	10.5
	0~10	81	12.0	74	11.0	27	4.0	101	15.0	77	11.4	45	6.7
과소추정	-10~0	68	10.1	59	8.8	41	6.1	73	10.9	71	10.5	34	5.0
	-30~-10	114	16.9	98	14.5	70	10.4	155	23.0	129	19.1	82	12.2
	-60~-30	50	7.4	79	11.7	99	14.7	75	11.1	93	13.8	110	16.3
	-100~-60	49	7.3	53	7.9	70	10.4	14	2.1	16	2.4	37	5.5
합계		674	100	674	100	674	100	674	100	674	100	674	100

<표 35> 다차종 통행배정 실시 결과(국도)

오차 범위(%)		현 VDF 파라미터						본과업 VDF 파라미터					
		승용차		트럭		버스		승용차		트럭		버스	
		관측 수	비율 (%)	관측 수	비율 (%)	관측 수	비율 (%)	관측 수	비율 (%)	관측 수	비율 (%)	관측 수	비율 (%)
과대추정	300이상	94	3.0	233	7.5	364	11.8	85	2.8	212	6.9	322	10.4
	100~300	352	11.4	492	15.9	443	14.3	290	9.4	456	14.8	402	13.0
	60~100	211	6.8	300	9.7	198	6.4	205	6.6	266	8.6	179	5.8
	30~60	247	8.0	289	9.4	194	6.3	250	8.1	299	9.7	191	6.2
	10~30	275	8.9	228	7.4	155	5.0	244	7.9	275	8.9	172	5.6
	0~10	168	5.4	151	4.9	79	2.6	140	4.5	127	4.1	87	2.8
과소추정	-10~0	186	6.0	133	4.3	73	2.4	169	5.5	165	5.3	88	2.8
	-30~-10	376	12.2	246	8.0	182	5.9	419	13.6	322	10.4	185	6.0
	-60~-30	447	14.5	355	11.5	343	11.1	553	17.9	399	12.9	387	12.5
	-100~-60	732	23.8	661	21.4	1057	34.2	733	23.7	567	18.4	1075	34.9
합계		3,088	100	3,088	100	3,088	100	3,088	100	3,088	100	3,088	100

마. 소결론

1) 연구결과 요약

- 본 과업에서는 고속도로와 국도에 대한 통행비용함수의 파라미터를 추정하였으며, 이를 요약하면 다음과 같음
- 표에서 보듯이 고속도로와 국도의 파라미터값들은 모두 새롭게 추정되었으며, 차로당 용량은 국도 3차로의 경우, 기존 1,000(pcu/차로)가 1,200(pcu/차로)로 증가되었음. 자유속도는 동일한 값을 적용함

<표 36> 연구결과 정리

도로위계(편도)	현 VDF 파라미터				본 과업 파라미터			
	자유속도 (Km/h)	용량/ 차로 (pcupl)	α	β	자유속도 (Km/h)	용량 / 차로 (pcupl)	α	β
고속도로(1차로)	80	1,600	0.58	2.4	80	1,600	3.931	5.316
고속도로(2차로)	117	2,200	0.645	2.047	117	2,200	1.459	1.943
고속도로(3차로이상)	119	2,200	0.601	2.378	119	2,200	3.210	5.936
일반국도(1차로)	70	750	0.15	4	70	750	1.896	3.894
일반국도(2차로)	80	1,000	0.15	4	80	1,000	0.430	3.566
일반국도(3차로이상)	90	1,000	0.15	4	90	1,200	0.653	3.232

2) 국가교통DB와 파라미터의 연동화

- 앞서 기술한 바와 같이 본 과업에서 수행한 파라미터 추정법은 기존 연구들과는 달리, 국가교통DB를 이용하여 통행배정된 배정교통량과 도로교통 통계연보(2005)상의 관측교통량의 차이를 최소화시키는 파라미터를 추정하였음. 이는 국가교통DB나 도로교통연보상의 관측교통량이 변하는 경우, 본 과업에서 구한 파라미터도 변해야 함을 의미함. 현재 본 과업에서 제시한 고속도로와 국도의 파라미터값들은 2005년도를 기준으로 추정된 값임
- 따라서, 이들 파라미터값들은 국가교통DB가 수정, 보완될 때마다, 새롭게 추정되어야 하며, 갱신되는 국가교통DB와 함께 제공되어야 파라미터의 신뢰성을 확보할 수 있음

3) 기타도로(국지도, 지방도)에 대한 파라미터 개선방안

① 지역단위의 파라미터 추정

- 국지도나 지방도는 그 특성상 전국을 서비스하는 고속도로나 국도와 달리 해당지역을 서비스하는 기능이 강하기 때문에 전국단위의 파라미터추정과는 달리, 해당지역의 특성을 고려할 수 있게 지역단위로 파라미터를 추정할 필요가 있음
- 즉, 해당지역의 도로특성을 반영할 수 있도록, 수도권, 충청권, 호남권, 영남권, 강원권 등 지역단위별로 파라미터들을 추정해야 하며, 이를 통하여 예비타당성조사 등 제반 지역단위의 교통수요추정 정도를 높일 수 있을 것으로 보임

② 국지도, 지방도의 포함수준 결정

- 교통수요추정시 중요한 고려사항 중의 하나는 도로 네트워크와 기종점(OD) 통행량간의 균형인데, 이는 OD통행량을 발생시키는 존(zone)의 크기와 네트워크의 고려수준이 서로 적정해야 함을 의미함. 특히 이런 문제는 분석 네트워크에 국지도와 지방도를 어느 수준까지 포함시켜야 하는지 하는 문제로 파라미터의 추정시에도 동일한 문제가 발생함
- 따라서, 국지도, 지방도의 파라미터 추정시 이 문제 역시 신중히 고려해야 하며, 현재 관련 연구가 거의 없는 상태이기 때문에 실제 과업을 수행하면서 고려수준을 판단해야 할 것으로 보임

③ 통합적인 파라미터 정립방안 모색

- 비록 국지도와 지방도의 파라미터 추정이 지역단위로 이루어지더라도, 이는 고속도로 및 국도의 파라미터 추정과 연계되어 이루어져야 함. 즉, 이들 파라미터들은 서로 영향을 미치기 때문에 고속도로나 국도와 별개로 파라미터를 추정되기 보다는 연계되어 추정되어야 하며, 특히, 국도의 파라미터와는 밀접한 관계가 있을 것으로 판단됨
- 따라서, 본 과업에서는 다음 그림과 같이 국지도와 지방도에 대한 파라미터 정립방안을 제안함. 즉, 고속도로의 파라미터가 주어진 상태에서 국도와 기타 도로간의 파라미터는 서로 반복과정을 통하여 보정하는 단계로 이루어짐

4) 연구의 한계 및 향후 과제

① 도로 용량 문제

- 본 과업에서는 고속도로의 경우, 차로당 2,200pcu/h를 기본 용량으로 적용하였지만, 최근 연구 성과에 의하면 이에 다소 못 미치는 것으로 나타나고 있음. 특히, 다차로인 경우, 차로별로 다른 용량상태를 보이는 것으로 나타나고 있어 이에 대한 심도 있는 연구가 필요함. 또한, 편도 1차로에 해당하는 고속도로는 88고속도로가 유일하기 때문에 자료의 부족이 심각한 실정이며, 3차로 이상으로 되어 있는 구분을 3차로와 4차로이상으로 확대할 필요가 있음
- 국도 역시, 고속도로와 마찬가지로 차로별로 파라미터를 산정하고 있는데, 최근 국도

I 등급을 중심으로 교차로 입체화시설이 지속적으로 설치됨에 따라 현재 적용하고 있는 차로별 용량과는 차이가 있을 것으로 판단됨. 따라서, 현재와 같은 차로별로 파라미터를 산정하기 보다는 국도등급별로 파라미터를 산정하여 적용하는 것이 좀 더 현실적이라고 판단되나, 현재 구축된 국도속성에 등급이 포함되어 있지 않아 이를 즉시 시행하기에는 힘들 것으로 보임. 따라서, 이에 대해서는 다른 연구과제를 통하여 보완이 이루어져야할 것으로 판단됨

② 효율적인 과업수행을 위한 표준 노드-링크체계의 구축

- 본 과업을 수행하면서 겪은 어려움 중 하나는, 도로교통 통계연보상의 관측지점과 분석 프로그램(예를 들어, EMME/2)상의 위치를 일치시키는 데 상당한 시간이 소요된 점임. 이는 관측지점의 코드와 분석프로그램상의 링크번호가 서로 상이한데 기인하며, 이로 인해 생각치 못한 오차가 발생할 우려가 있음
- 따라서, 표준적인 노드-링크체계의 구축이 필요하며, 이는 지속적으로 파라미터를 추정하기 위해서는 꼭 필요한 과제로 판단됨

4. 결론 및 향후연구과제

가. 첨단기술을 활용한 교통조사 방안

- 본 과업에서는 다음의 3가지 대안에 대한 연구를 진행하였음
 - 첫째, PDA(GPS)를 활용한 첨단교통조사 방안
 - 둘째, 범용 이동전화를 활용한 첨단교통조사 방안
 - 셋째, GPS 수신장치가 내장된 이동전화를 활용한 첨단교통조사 방안
- 위의 3가지 대안 중, 두 번째와 세 번째 안은 모두 이동전화를 활용한 방안이며, 이를 위해서는 이동통신사의 협조가 필요하지만 조사의 예산 및 보안상의 이유로 협조를 얻기가 힘든 실정임
- 또한 현장테스트시 수행한 ‘친구찾기’ 서비스를 통해 범용 이동전화를 활용한 방안을 검토해본 결과, 기지국 기반의 위치 정보가 정확한 위치 정보가 아니므로 통행의 기종점이나 통행경로의 파악이 어려움
- PDA(GPS)를 활용한 방안은 현장테스트 결과, 위치정보의 정확성, 통행누락의 완화,

자료 처리 과정의 자동화 등으로 결과 자료의 신뢰성 및 활용성이 높아지는 것으로 나타남

- 하지만 조사전용 단말기의 비용문제, 전원 및 GPS 수신률 문제, 단말기 크기로 인한 조사원의 부담 등의 문제가 현장테스트를 통해 나타남
- 이런 문제들의 해결방안으로는 부가기능이 없는 조사전용 단말기를 제작하는 것이며, 이를 향후 전국 조사로 확대한다면 예산 절감 및 조사결과의 신뢰성 등의 관점에서 기존 교통조사에 비해 효율적인 조사 수행을 할 수 있음
- 본 과제에서 제안한 PDA(GPS)를 활용한 첨단교통조사 방안으로 시범사업을 수행하여 조사자료의 신뢰도 및 활용도에 대한 구체적인 검토를 시행할 예정임

나. 도로의 통행비용함수 파라미터 보완 및 검증

- 본 과업에서는 현재 우리나라 교통망에 적합한 고속도로와 국도의 통행비용함수 파라미터를 추정하는 것을 목적으로 2005년 고속도로 파라미터의 재정산과 국도의 파라미터를 새로 갱신하였음
- 파라미터의 정산과 함께 용량에 대한 고찰을 통해 국도 3차로의 경우 기존 1,000(pcu/차로)가 1,200(pcu/차로)로 증가되었음
- 본 과업에서는 국가교통DB의 O/D와 네트워크를 이용하여 통행 배정된 배정교통량과 도로교통통계연보(2005) 상의 관측교통량의 차이를 최소화하는 파라미터는 추정하였음
- 향후 국지도, 지방도 등의 파라미터와 도로 구분에 따른 자유속도의 적정성, 도로 용량 등을 검토하여 통합적인 통행비용함수의 정립이 필요함

제1장 과업의 개요

제1절 과업의 배경 및 목적

제2절 과업의 범위

제3절 주요 과업 내용

제1장 과업의 개요

제1절 과업의 배경 및 목적

- 여객 기종점통행량(O/D)자료는 교통정책의 연구 및 개발, 교통시설의 타당성 평가에 필수적인 기초자료이므로, 자료의 신뢰성을 제고하기 위한 지속적인 연구가 필요한 실정임
- 이를 위해 「2005년 국가교통DB구축사업」중 ‘여객 O/D 신뢰성 제고를 위한 분석방법론 연구’에서는 새로운 교통조사를 통한 교통조사비용 절감 방안과 통행비용함수(VDF) 파라미터정산에 관한 연구를 수행하였음
- 연구결과 조사비용절감 및 조사자료의 신뢰성 증대를 위해서 교통조사에 첨단 정보통신기술(이동전화나 네비게이션 단말기 등)을 활용하는 방안을 제안하였으며, 고속도로 기준 통행비용함수의 파라미터를 갱신 하였음
- 본 과업은 2005년 과업의 후속단계로 교통조사의 비용과 오류를 최소화하기 위해 첨단교통조사 시스템 구축에 관한 방안을 제시하고, 여객 O/D의 신뢰성 제고를 위해 2005년 고속도로 통행비용함수의 파라미터를 정산한 결과 검증 및 보완과 국도의 통행비용함수의 파라미터를 갱신하는 것임
- 이를 위해 첨단 기술을 이용하여 신뢰성을 향상시킬 수 있는 구체적인 조사방안을 제안하고, 현장테스트를 통해 구축된 첨단교통조사 시스템을 검증하여 향후 시범사업 및 전국단위 교통조사로의 확장 가능성을 검토함
- 또한 2005년에 고속도로 통행비용함수의 파라미터를 검증 및 보완하고 국도에 적합한 통행비용함수를 정산하며, 이를 전국 지역간 여객 O/D 및 네트워크에 적용하여 신뢰성을 향상시키는 방안을 제시함

제2절 과업의 범위

1. 공간적 범위

- 전국 지역간
 - 전국 시·군 단위(165개 존)
- 존 구분도

대존	존번호	소존	대존	존번호	소존	대존	존번호	소존	대존	존번호	소존	대존	존번호	소존
서울	1	서울	경기	37	가평군	충남	73	논산시	전남	109	화순군	경남	145	마산시
부산	2	부산		38	양평군		74	금산군		110	장흥군		146	진주시
대구	3	대구		39	춘천시		75	연기군		111	강진군		147	진해시
인천	4	인천		40	원주시		76	부여군		112	해남군		148	통영시
광주	5	광주		41	강릉시		77	서천군		113	영암군		149	사천시
대전	6	대전		42	동해시		78	청양군		114	무안군		150	김해시
울산	7	울산		43	태백시		79	홍성군		115	함평군		151	밀양시
경기	8	수원시	강원	44	속초시	전북	80	예산군	전남	116	영광군	경남	152	거제시
	9	성남시		45	삼척시		81	태안군		117	장성군		153	양산시
	10	의정부시		46	홍천군		82	당진군		118	완도군		154	의령군
	11	안양시		47	횡성군		83	전주시		119	진도군		155	합안군
	12	부천시		48	영월군		84	군산시		120	신안군		156	창녕군
	13	광명시		49	평창군		85	익산시		121	포항시		157	고성군
	14	평택시		50	정선군		86	정읍시		122	경주시		158	남해군
	15	동두천시		51	철원군		87	남원시		123	김천시		159	하동군
	16	안산시		52	화천군		88	김제시		124	안동시		160	산청군
	17	고양시		53	양구군		89	완주군		125	구미시		161	함양군
	18	과천시		54	인제군		90	진안군		126	영주시		162	거창군
	19	구리시		55	고성군		91	무주군		127	영천시		163	합천군
	20	남양주시		56	양양군		92	장수군		128	상주시	제주	164	제주시
	21	오산시		57	청주시		93	임실군		129	문경시		165	서귀포시
	22	시흥시	충북	58	충주시	전남	94	순창군	경북	130	경산시			
	23	군포시		59	제천시		95	고창군		131	군위군			
	24	의왕시		60	청원군		96	부안군		132	의성군			
	25	하남시		61	보은군		97	목포시		133	청송군			
	26	용인시		62	옥천군		98	여주시		134	영양군			
	27	파주시		63	영동군		99	순천시		135	영덕군			
	28	이천시		64	진천군		100	나주시		136	청도군			
	29	안성시		65	괴산군		101	여천시		137	고령군			
	30	김포시		66	음성군		102	광양시		138	성주군			
	31	양주군		67	단양군		103	담양군		139	칠곡군			
	32	여주군	충남	68	천안시		104	곡성군		140	예천군			
	33	화성군		69	공주시		105	구례군		141	봉화군			
	34	광주군		70	보령시		106	여천군		142	울진군			
	35	연천군		71	아산시		107	고흥군		143	울릉군			
	36	포천군		72	서산시		108	보성군	경남	144	창원시			

2. 시간적 범위

- 2005년

제3절 주요 과업 내용

- 본 연구는 다음 사항을 주요 내용으로 수행함

1. 첨단 기술을 활용한 교통조사 방안

- 첨단조사방법 구현을 위한 시스템 구축
 - 첨단 조사방법의 기술적 및 실용적 측면의 상세 검토
 - 조사비용 및 실용 가능성에 대한 검토 후 상세조사방법 결정
 - 시험조사장비(Prototype) 개발
 - 시험조사장비(Prototype) 검증 및 보완
 - 조사결과 분석용 프로그램 개발 및 검증
 - 현장테스트를 통한 첨단조사시스템 검증
- 첨단 교통조사장비를 활용한 조사방법 제시
 - 시험조사장비(Prototype)를 통한 구체적인 조사방법 제시
- 적용 가능성 검토
 - 개발된 시스템을 향후 시범사업 및 전국 단위 조사로의 적용 가능성에 대한 검토

2. 도로의 통행비용함수 파라미터 보완 및 검증

- 2005년 고속도로의 파라미터 보완
 - 보완 자료를 통한 통행비용함수 파라미터 재정산 및 특성 반영
 - 고속도로 최종 파라미터 정산
- 2005년 기준 국도의 통행비용함수 파라미터 정산
 - 국도의 용량 재정립 검토
 - 통행비용함수의 파라미터 정산 실시
 - 정산된 통행비용함수 파라미터의 해석
- 2005년 기준 네트워크 및 O/D를 통한 국도 및 고속도로의 통행비용함수 검증
 - 2006년 과업에 구축된 O/D 및 네트워크 자료의 활용
 - 정산된 통행비용함수 파라미터를 이용한 통행배정실시
 - 관측교통량을 이용한 검증

제2장 첨단기술을 활용한 교통조사 방안

제1절 개요

제2절 국내 · 외 선행연구 검토

제3절 첨단교통조사의 필요성

제4절 첨단교통조사 방법론

제5절 시스템 설계

제6절 현장테스트

제7절 향후 확장가능성 검토

제8절 소결론

제2장 첨단기술을 활용한 교통조사 방안

제1절 개요

1. 배경 및 목적

- 교통시설은 우리 생활의 편리성 뿐만 아니라, 국가성장을 위한 필수적인 요소임. 이러한 교통시설에 대한 투자는 막대한 재원을 필요로 하기 때문에 투자타당성 및 투자 효율성에 대한 검토가 반드시 이루어져야 함
- 교통시설 투자의 타당성 및 효율성은 여러 요인들에 의해 결정되나 주요 요인으로서 현재 및 장래의 교통수요를 들 수 있으며, 교통수요를 추정하는데 있어 근간이 되는 것은 물리적인 교통체계와 이를 이용하여 이동하는 사람과 화물의 양임
- 여객 기종점통행량(O/D) 자료는 이러한 사람과 화물의 이동을 출발지와 도착지간의 통행량으로 표현하는 것으로서 국토종합개발계획, 국가기간교통망계획 등 각종 교통 계획의 수립, 시행, 평가 등을 위해 필수적으로 요구되는 자료임
- 즉, 여객 기종점통행량(O/D) 자료의 신뢰성 향상은 교통수요에 대한 신뢰성을 향상 시키는 것으로서, 국가의 투자재원에 대한 제한적인 상황에서 투자타당성과 효율성을 정확히 평가할 수 있는 기초자료로 활용됨
- 현재까지 많은 교통조사가 수행되어 많은 양의 기초데이터가 구축되었으나, 여객 기종점통행량(O/D) 자료 구축 과정에서 조사원에 의한 조사 수행 과정과 조사 결과 입력과정 등의 오류로 인한 조사 자료의 신뢰성 문제가 대두되고 있음
- 또한 기존 교통조사는 모든 과정이 인력에 의해 이루어지므로 조사원의 모집, 교육, 관리 등에 필요한 소모성 예산의 비중이 조사 전체 예산의 대부분을 차지하고 있어 조사 예산의 효율성 저하도 기존 조사의 문제가 되고 있음
- 이러한 기존 교통조사의 문제점을 해결하기 위해서 현재 빠른 속도로 발전하고, 대중화되고 있는 첨단 정보통신기술을 활용하면, 조사원의 규모가 최소화 되고 자료가 자동으로 처리되어 소모성 예산의 감소와 자료의 신뢰성을 제고할 수 있음

- 또한 통신기기 속성상 데이터는 실시간으로 교환하거나 저장할 수 있으며, 사용자가 전원을 의도적으로 차단하지 않는 한 24시간 데이터의 송·수신이 가능하기 때문에 자료의 활용성도 높아지게 됨
- 따라서 본 과업에서는 최신 정보통신 기술이 적용된 개인휴대통신기기를 교통조사에 도입하여 첨단교통조사시스템을 구현하고 적용하는 방법론을 마련함으로써, 향후 새로운 교통조사체계를 구축하는 기반을 마련하고자 함

2. 과업의 내용

- 기존 조사방법의 개선방안 제시
 - 기존 교통조사 문제점의 원인은 조사원을 활용한 직접 조사방법, 특정시기에 국한되어 있는 조사기간의 단순성, 아날로그식 집계 및 분석방식의 한계성 등에서 기인된다고 볼 수 있음
 - 본 과업에서는 기존 교통조사방법의 문제점을 보완하고 개선시킬 수 있는 첨단교통조사시스템을 설계하고 구현하여 타당성을 검증함
- 첨단기기를 활용한 교통조사시스템 개발
 - PDA 또는 이동전화와 같은 개인휴대기기에 조사를 위한 프로그램을 설치하여 이를 통행조사에 사용함으로써, 자동적으로 O/D수집을 수행하는 시스템을 구축함
- 첨단교통조사시스템 현장테스트
 - 개발된 첨단교통조사시스템을 현장에 적용하여 테스트함으로써, 적용시의 문제점을 파악함
- 향후 적용가능성 평가
 - 파악된 문제점의 보완을 통해 향후 시범사업 및 전국 확대 적용시 예상되는 문제점을 가늠하고, 이에 대한 현실적 가능성을 판단함

제2절 국내 · 외 선행연구 검토

1. 국내 연구

가. 이동전화 기지국 데이터를 이용한 교통정보 생성

1) 개요

- 국내에서 PCS¹⁾ 기지국 자료를 이용하여 교통정보를 생성하고자 하는 연구는 이창진 (2002)²⁾에 의해서 시작되었음
- 서울시 테헤란로, 강변북로, 올림픽대로를 대상으로 1명의 Probe를 대상으로 2002년 5월중 5일간의 기지국 단위 위치추적을 통해 통행시간 정보를 추출하였음
- 위치추적 결과의 검증을 위하여 기지국 자료와 GPS 자료를 비교 분석하였음

2) 연구내용

- 위치 추적 간격(Polling Time)이 길어질수록 통행속도 산정 시의 정확도는 높아짐
 - 10Km/h의 속도를 구별해낼 수 있는 기지국간 거리와 polling time의 관계는 다음과 같음

$$t_p \times 167 = D_B$$

여기서, $t_p = \text{polling time}$ 간격(분), $D_B =$ 기지국간의 거리(m)

- polling time이 충분히 작은 경우 기지국 범위 안에서 머무르는 시간을 추정할 수 있고, 기지국의 범위를 추정함으로써 기지국 내에서의 도로상 위치를 근사적으로 추정할 수 있음
- 하지만, 서울의 강변북로를 지나는 동안의 운전자의 위치가 올림픽대로 남단의 기지국의 위치로 보고되는 문제가 발생했는데, 이는 수면 상에서 전파의 이동범위가 늘어나는 현상에 기인한 것으로 판단되었음

1) Personal Communication Services의 약자

2) 이창진 외 2인, "PCS 기지국 데이터를 이용한 교통정보 생성", 대한교통학회 학술대회, 2002

- 이 문제를 해결하기 위해 한강변 고속화도로 진입 시점을 기준으로 5분 후 또는 10분 후에 도달할 수 있는 지점의 범위를 경험적으로 구하고 이 범위를 커버하는 기지국 위치를 구한 후, 해당 시간 내에 도달할 수 없는 불가능한 기지국 위치정보를 제외하였음

나. 이동전화 기지국 기반의 정적 O/D 산출 기법 연구

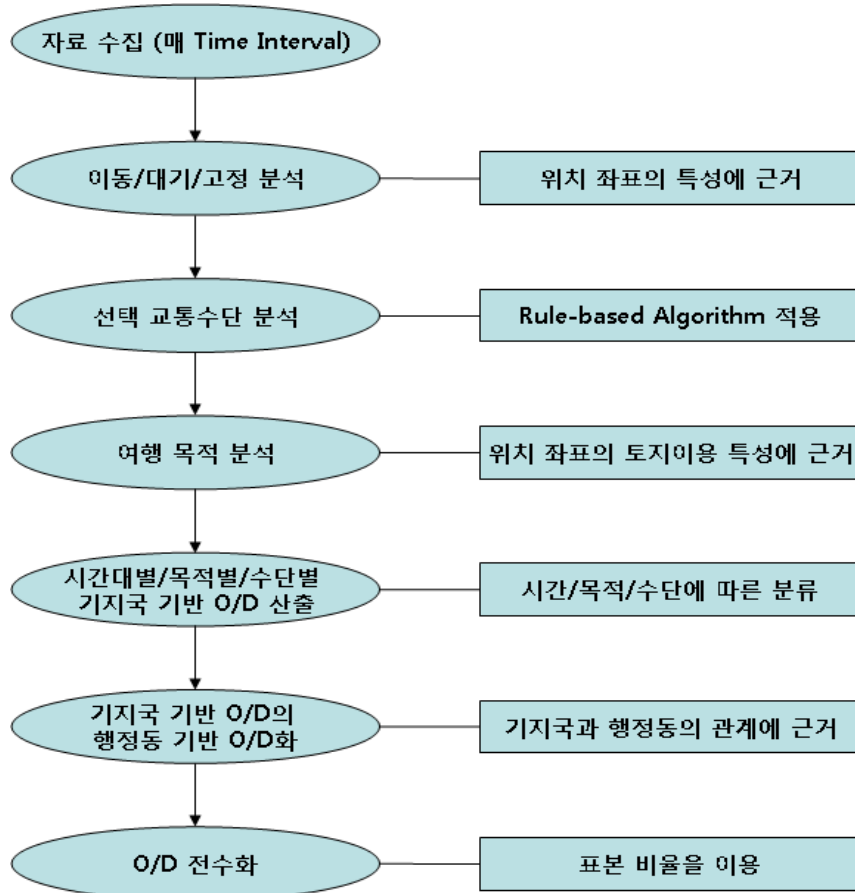
1) 개요

- 김시곤(2005)³⁾은 이동전화 기지국 단위의 위치 정보로부터 정적 O/D를 산출하는 방안을 제시하고 실제 자료를 통해 검증하였음
- 청주시에서 운행 중인 택시를 시험차량으로 이용하여 이동전화 기지국 위치와 GPS 위치좌표를 수집하여, GIS 수치지도 상에 맵매칭하여 이동전화 기지국 기반 O/D와 GPS 위치 기반 행정동 O/D를 산출하였음
- 또한 이동전화 기지국 기반 O/D를 행정동 기반 O/D화하는 기법을 제시하고, 그 결과 변환된 O/D를 참값으로 간주할 수 있는 GPS 위치기반 행정동 O/D와 비교하여 통계적으로 검증하였으며, 표본 O/D를 전수화 하는 방안도 제시하였음

2) 이동전화 기지국 기반 정적 O/D 산출 방법론

- 현재 우리나라의 이동전화 위치추적기술은 GPS 이동전화인 경우에는 A-GPS 방식을 통해 50m 이내의 정확도로 이동전화의 위치를 찾을 수 있으며, 일반 이동전화의 경우에는 E-CGI 방식을 통해 이동전화와 통신하고 있는 기지국을 찾을 수 있는 시스템이 운영되고 있음
- 이동전화의 기지국 정보는 정해진 시간간격마다 표본으로 정한 이동전화의 위치를 추적하는 방식으로 수집됨

3) 김시곤 외 2인, “휴대폰 기지국 정보를 이용한 O/D 추정기법 연구”, 대한교통학회지, 2005년 2월



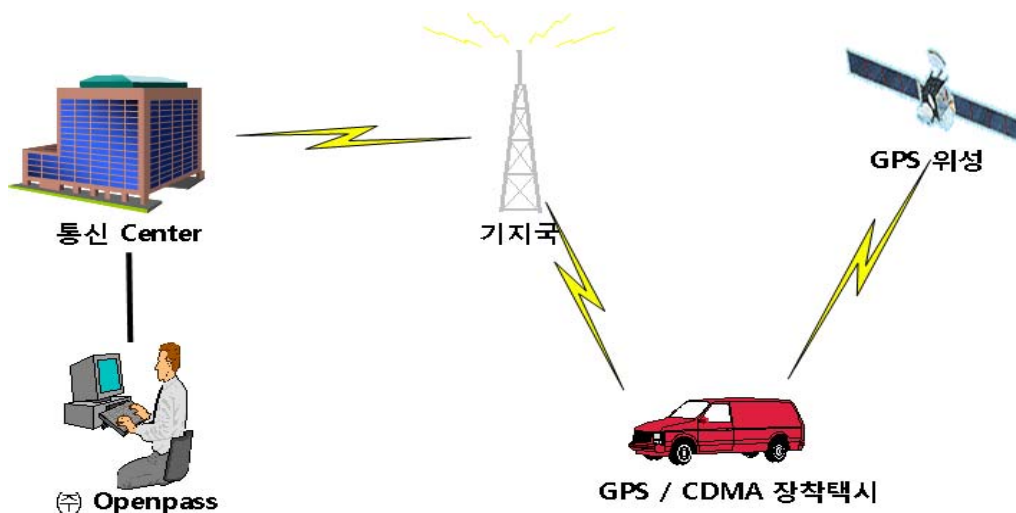
<그림 2-1> 이동전화 정보를 이용한 O/D 산출 방법

- 이렇게 수집된 자료는 이전 시간 자료와의 비교를 통해 이동하고 있는지, 한 자리에 머물고 있는지에 대한 이동특성을 분석하여야 함
 - 이 과정에서 일정시간(임계 값) 이상 정지해 있다면 이는 통행이 끝난 것으로 판단할 수 있으며, 이 자료들이 O/D를 구성하게 되는 것임
- 인접 좌표들의 특성으로부터 이동하고 있는 것으로 분석되었을 경우에는 이동하고 있는 수단이 어떤 것인지에 대한 분석을 수행하여야 함
 - 예를 들어, 보행의 경우에는 시간당 5Km 이내로 이동할 것으로 예상할 수 있으며, 버스나 지하철의 경우에는 정차장에서의 정지 여부 등을 통해 구별될 것임
 - 이러한 선택교통수단의 구별은 특성 수단의 운행특성 및 이용자 행동 규칙 등에 기반한 알고리즘을 정립하는 방식을 통해 가능함

- 또한, 수치지도상의 출발지와 목적지의 토지이용 특성에 대한 Layer를 이용하면, 기종점의 토지이용을 확인할 수 있고, 이를 통해 통근통행인지, 쇼핑통행인지 등의 통행 목적에 대한 구별이 가능함
- 선택교통수단구분, 여행목적구분을 각 시간대별로 구분 한다면 시간대별, 목적별, 수단별 표본에 대한 이동전화 기지국 기반 O/D를 산출할 수 있음
 - 이렇게 이동전화 기지국에 기반한 O/D는 기지국과 행정동과의 위상관계 등을 고려하여 행정동 기반 O/D로 변경이 가능함
 - 표본 O/D는 모집단에 대한 표본의 비율을 이용한 전수화 과정을 거쳐 모집단 O/D로 추정될 수 있음

3) 택시를 이용한 자료 취득 및 정적 O/D 산출

- 이동통신회사에서는 개인정보 유출 등을 고려해 이동전화 정보를 제공하는 것을 꺼려했으며, 설령 이동전화 정보가 수집 가능하더라도 이동전화 기지국 정보만으로는 실제 이동전화가 어느 곳에 위치하는지에 대한 참값이 없기 때문에 보완조사를 필요로 하는 등 검증이 가능한 자료를 구축하는 것은 매우 어려움
- 이런 문제들을 해결하기 위한 방법으로 O/D를 추출하는 과정에서 택시를 이용하였으며, 청주시에서 택시를 대상으로 GPS 수신기 및 이동전화 거치대를 설치하고 이를 택시 미터기와 연동하여 위치정보를 센터로 전송하는 시스템을 운영하는 업체의 협조를 얻어 자료를 구축함

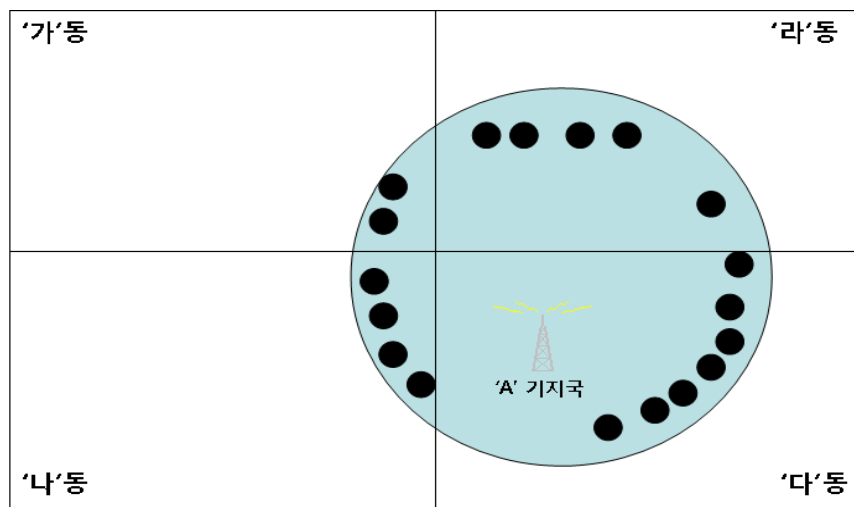


<그림 2-2> 자료수집 과정

- 자료의 형태는 크게 GPS 좌표와 이동전화 기지국 좌표로 구분되며, GPS 좌표의 경우 차량 ID, GPS 좌표, 시간, 승객 유무 등이 기록되며, 이동전화인 경우 차량 ID, 이동전화 기지국 위치, 시간 등이 기록됨
- 자료의 취득이 택시인 점에 기인해 승객이 타고 있을 경우에는 5분마다 정보가 갱신되고, 승객이 타고 있지 않을 경우에는 2분마다 정보가 갱신되게 시스템이 설계되어 있음
 - 이는 차량마다 개별 자료를 전송하는 시스템으로 출발과 동시에 자료가 통신센터로 전송되고 이후 매 5분 간격으로 도착지에 도착할 때까지 계속됨
- 자료는 2004년 1월 13일부터 2월 12일까지 한 달 동안 청주시 및 청원군 일대, 대전권 등 광범위한 지역의 위치자료를 수집하였으며, 총 306,548개의 좌표쌍(GPS 좌표, 이동전화 기지국 좌표)을 얻었고, 이 중 8,946개의 O/D가 존재하는데 이중 설 연휴를 제외하고 3주간의 자료를 이용하였으며, 이에 따라 O/D 통행은 총 6,398통행이 관측됨
- 시스템의 특성상 기점과 종점을 바로 찾을 수 있으며, 이동전화 기지국 좌표와 GPS 좌표를 모두 가지고 있기 때문에 이동전화 기지국 기반의 O/D와 GPS 위치기반의 행정동 O/D를 산출함

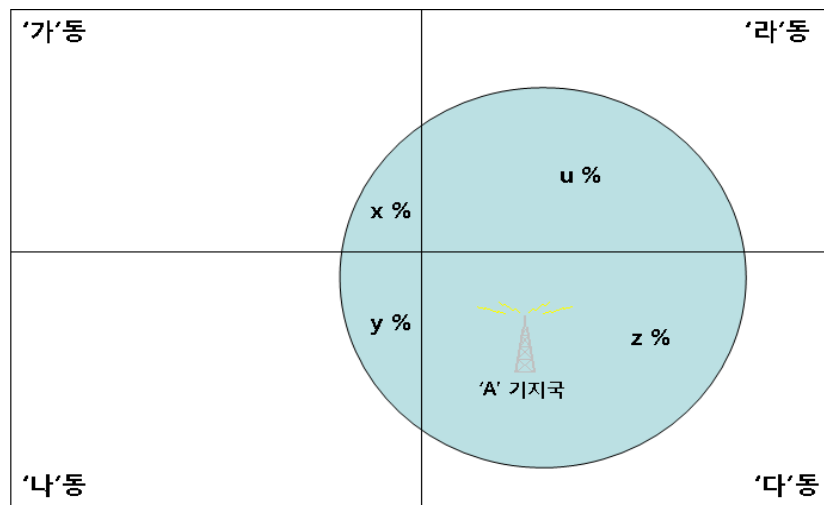
4) 이동전화 기지국 기반 정적 O/D의 행정동 기반 O/D로의 전환

- 이동전화 기지국 기반 O/D는 기존의 행정동 기반 O/D와는 체계가 다름. 기지국은 지리적으로 가능한 한 동질적으로 분포시키기 때문에 기지국 기반의 O/D는 그 나름대로 행정동 기반 O/D보다 지리적으로 균질적이라고 생각할 수 있음
- 그러나, 기지국 기반 O/D는 사회경제지표와 O/D간의 자료 매치가 어렵다는 단점이 있기 때문에 O/D를 예측하는 과정에서는 기지국 기반 O/D를 행정동 기반 O/D화 할 필요가 있음
- 여기서는 GPS 위치좌표와 이동전화 기지국 위치좌표를 모두 가지고 있기 때문에 이 정보를 이용하여 행정동 기반 O/D로 변환이 가능함. 다음의 그림에서 이동전화 기지국은 'A'라는 기지국에 위치하였을 때 실제 GPS 위치는 '가'라는 행정동에 위치하게 됨



<그림 2-3> 기지국과 GPS 위치

- 이로부터 특정 기지국에 걸린 좌표들이 주변 행정동에 몇 %가 위치하는지의 비율을 구할 수 있으며 이를 기준으로 기지국 기반 O/D를 행정동으로 전환함
- 그러나, 이 방법은 GPS 위치 좌표가 기지국 정보와 함께 존재 할 경우에만 쓸 수 있는 방법으로 다른 지역에 이 방법으로 적용하려면 조사시 GPS 위치도 수집하여야 하는 단점이 있음
- 특정 기지국은 모두 서비스 영향 범위를 가지고 있으며 이 영향범위를 커버리지라고 부르게 되는데 이 기지국 커버리지는 다음 그림에서 보는 바와 같이 특정 행정동의 몇 %씩을 점유하게 된다. 이 기지국 커버리지 면적비를 이용하여 특정 기지국의 값을 인접 행정동에 배분시킬 수 있음



<그림 2-4> 기지국 커버리지와 행정동

- 이 방법은 이동통신업체에서 기지국 커버리지에 대한 정보만 받으면 되기 때문에 다른 도시에도 범용적으로 적용할 수 있는 방법임. 여기서는 39X39 기지국 기반 O/D를 28X28 행정동 기반 O/D화하는 방법론으로써 이 두 가지 방법을 이용하여 28X28 참 O/D와 비교하였음

① GPS 분포비를 통해 나누는 방법

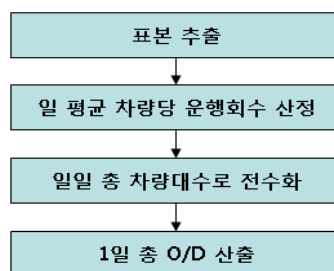
- 특정 기지국에 위치한 GPS 좌표들의 분포비를 이용하여 39X39 기지국 기반 O/D를 28X28 행정동 기반 O/D로 변환하고, 참값이라고 생각할 수 있는 GPS 위치기준 28X28 행정동 기반 O/D와 비교 검증함

② 기지국 커버리지 면적비를 통해 나누는 방법

- 청주시의 기지국 위치와 해당 기지국의 커버리지를 보면 행정동을 모두 커버하지 못하는 지역도 나타나게 되는데, 이 지역은 산지이거나 도로가 위치하지 않는 지역으로 생각할 수 있음
- 기지국 커버리지 면적비에 의해 28X28 행정동 기반 O/D를 산출하였으며, 이를 GPS 위치정보에 의한 참값인 O/D와 비교·검증함

5) 산출된 O/D의 전수화

- 위에서 제시하는 방법을 통해 산출된 O/D는 표본 O/D를 나타냄
- 거시적인 교통분석에서 주로 사용하는 일일 O/D를 구하기 위해서 우선 표본의 택시 1대당 평균 운행 O/D를 산출하고, 전체 1일 운행 택시의 비율을 이용하여 전체 택시 O/D를 산출함. 이 과정은 다음의 <그림 2-5>과 같으며, 수식으로는 다음과 같이 표현됨



<그림 2-5> 전수화 과정

$$Pop_{ij} = Sam_{ij} \times Exp_{ij}$$

여기서, Pop_{ij} = 모집단의 크기

Sam_{ij} = 표본크기

Exp_{ij} = 전수화 계수

- 총 21일간 6,398 통행을 관측하였으며, 이때 총 267대의 택시가 운행되었으며, 이를 통해 택시 한 대가 하루에 평균 24통행을 하는 것으로 분석됨
- 전수화 계수는 1일 총 운행차량대수를 의미하며, 2004년 1월부터 2월 사이의 청주시에서 운행 중인 차량은 <표 2-1>와 같음

<표 2-1> 청주시 택시 운행현황(2004년 1월 ~ 2월)

구분	등록대	운휴율	1일 운행차량
법인택시	1,481	1/6	1,230
개인택시	2,220	1/3	1,480
합계	3,701		2,710

- 위의 과정을 거쳐 이동전화 기지국 기반 39X39 O/D를 기지국 커버리지 면적비를 이용하여 28X28 행정동 기반 O/D로 변환하였고, 전수화 과정을 거쳐 1일 청주시 택시의 정적 O/D를 산출함

6) 연구의 한계

- 상기 연구에서는 택시를 대상으로 하였으므로 비교적 통행의 시작과 끝을 구분하기가 수월함. 즉 승객의 탑승과 하차가 명확하기 때문에 통행의 시작 시점과 종료 시점의 파악이 가능함
- 반면, 일반 승용차에 대해서는 언제부터가 통행의 시작이고 이 통행이 언제 끝나는 것으로 판정해야 할지가 불분명함. 연구 방법론을 일반화하기 위해서는 통행의 구분 시점을 파악하는 별도의 연구가 필요함
- 이동전화를 이용한 위치를 추적한 자료를 사용하기 위해서는 Calibration을 위한 사전 GPS 위치추적이 필요함

- 이는 이동전화의 기지국 위치와 이를 검증하기 위한 실제 위치자료와의 관계를 미리 설정하기 위해 필요하지만 조사비용 뿐 아니라 GPS가 장착된 이동전화를 보급해야 하는 문제가 수반됨
- 기지국의 커버리지가 넓은 지방부의 경우 측정 위치 오차가 크게 되고 도심의 경우는 기지국의 커버리지는 작은 반면 빌딩이 많은 도심부의 경우 전파의 간섭으로 위치추적이 어려운 단점이 있음
- 위의 방법을 적용시킬 경우 교통수단의 구분은 가능할지 몰라도 해당 수단에 대한 차종구분 및 통행목적은 구분하는 것이 문제임

2. 국외 연구

가. GPS와 Cellular Phone Tracking의 위치정확도

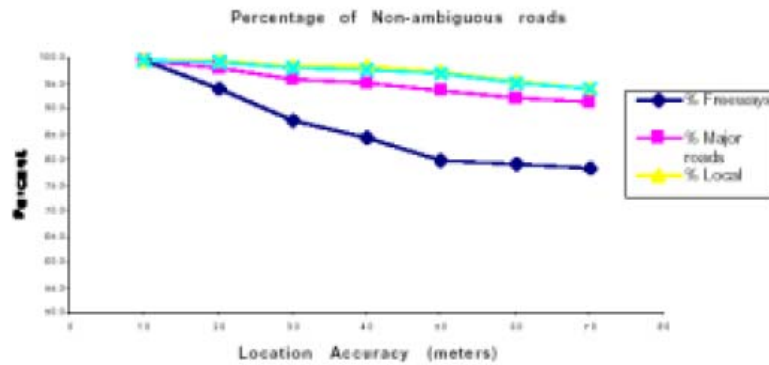
1) 개요

- Yim과 Cayford(2002)⁴⁾는 Probe 차량에 장착된 GPS와 이동전화 위치를 추적하여 교통자료를 수집한 결과를 평가하였음
- San Francisco Bay 지역 연구결과, 20m 보다 정확도가 낮은 경우 고속도로와 측도의 구분이 어려움
- 일반적으로 GPS는 15m의 위치정확도를 가지고, 이동전화 위치시스템인 E911의 경우는 100m의 위치정확도를 가지고 있음

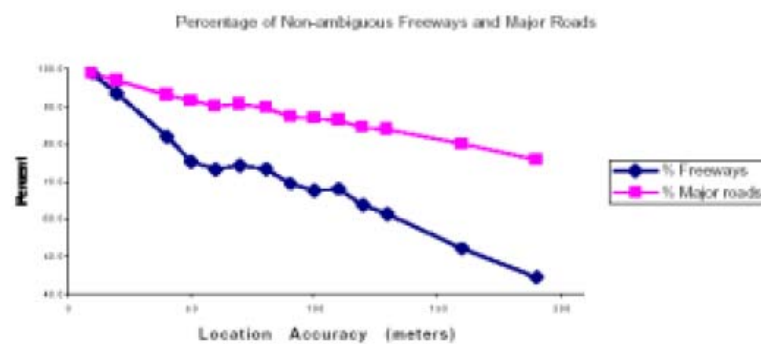
2) Probe 차량을 활용한 조사

- San Francisco Bay 지역 Alameda, Contra Costa County에서 29,000Km(고속도로 1,100Km, 주요간선도로 5,700Km, 국지도로 22,000Km) 도로구간을 대상으로 함

4) Yim, Y. & C. Randall, "Positional Accuracy of GPS and Cellular Phone Tracking for Probe Vehicles", 8th TRB Annual Meeting, 2002.



<그림 2-6> 도로 구분율



<그림 2-7> 고속도로와 주요 도로 구분

- 35시간의 GPS 추적 자료를 가지고 58.6Km의 도로상에 위치정보를 생성하였고, 44시간의 이동전화 추적 자료를 가지고 107.4Km의 도로상의 위치정보를 생성하였음
- 위치 정확도(10m~170m)별 Probe가 소속된 도로의 인식률을 조사한 결과는 <표 2-2>와 같음

<표 2-2> 위치 정확도별 인식률

구분	고속도로	주요도로	국지도로
10m 정확도	99.5	99.5	99.8
100m 정확도	66.7	87.0	-
170m 정확도	45미만	75 이상	-

- 또한 20m 정확도인 경우, 고속도로와 측도와의 구분 시 6% 정도가 구분이 어려운 것으로 나타남. 이동전화 위치정보 추적의 경우 정확도가 이보다 더 좋지 않기 때문에 이로 인해 구분율은 현저히 떨어지게 되므로, 이런 문제를 해결하기 위해서는 많은 수의 Probe 차량을 필요로 함

나. 교통정보 생성을 위한 이동전화 위치추적에 영향을 미치는 요인

1) 개요

- Cayford et al(2003)⁵⁾는 이동전화 위치추적에 영향을 주는 요소들에 대한 분석과 실험을 수행하였음
- 일반적인 통행자료를 수집하기 위해 익명 사용자들의 이동전화 위치정보를 대상으로 하였음
- 이동전화 위치정보를 이용한 교통관측시스템(Traffic Monitoring System)의 운영에서 효율성에 영향을 미치는 위치의 정확도, 위치 측정 시간간격, 주어진 지역의 Probe 이동전화들의 위치를 한 번에 감지할 수 있는 능력(용량)과 같은 요소들의 영향을 설명하였음

2) 이동전화 정보의 효율성에 영향을 미치는 요소

① 위치 정확도

- 사용된 위치 측정기술을 의미하며 특정 차량이 어느 도로상에 존재하는지를 감별하는 교통감지체계의 기능에 영향을 줌

② 위치측정 시간간격

- 사용된 위치 측정기술과 위치측정체계의 운영방식에 따라 결정됨

③ 주어진 지역의 Probe 이동전화들의 위치를 한 번에 감지할 수 있는 용량

- 감지해야 할 지점수가 많다는 것은 통신 네트워크 상에 부하가 크다는 것을 의미하며, 한번에 감지할 수 있는 지점수가 적을 경우 특정 도로상의 교통 상황을 정확히 감지할 확률이 떨어짐을 의미함

5) Randall, C. et al., "Operational Parameters Affecting Use of Anonymous Cell Phone Tracking for Generating Traffic Information", 82th TRB Annual Meeting, 2003.

3) 실험과정 및 결과

- 실험은 캘리포니아 두 도시 간 도로망에 적용
 - 소프트웨어를 통해 위의 요소들을 기반으로 하여 교통관측 수행결과를 산출하였음
- 운전자 행동모형(A Driver Behavioral Model)과 공간이동모형(A Spatial Shift Model)을 적용함으로써 100m 정확도를 갖는 위치기술 사용 시 선행 연구와 비교하여 일반도로에서는 87%, 고속도로에서는 68%의 위치측정 정확도의 개선 효과를 보였음
 - 운전자 행동모형 : 최적 통행시간 예측치를 이용하여 서로 다른 도로 상의 위치를 구분하기 위해 도입
 - 공간 이동 모형 : 상호 통행시간 차이를 이용하여 고속도로와 평행한 측도 사이의 차량 위치를 구분하기 위해 도입
- 행동모형과 공간이동모형을 적용하여 알고리즘을 개선한 결과 위치추적 성공률을 기준으로 100m 정확도를 가지는 위치기술은 일반도로에서 98.4%, 고속도로에서 98.9%를 기록하였으며 50m 정확도를 갖는 기술은 99.5%까지 효과가 나타남
- 위치측정 시간 간격의 영향은 1초 간격일 경우 위치 추적 성공률이 99.5%이고 45초일 경우 98.0%로 분석됨. 그 차이가 크기 않은 것으로 미루어 일반적인 통신 서비스를 위한 위치 갱신 주기인 15~30초의 시간 간격만으로도 만족할만한 수준의 위치 추적 정확도를 얻을 수 있는 것으로 판명되었음
- 주어진 지역의 Probe 이동전화들의 위치를 한 번에 감지할 수 있는 지점 수 용량은 초당 제공 마일 당 위치 추적 건수로 표현했으며, 현재 통신 업체의 평균 용량이 480(건수/초/제공마일)에 달함. 모의실험 결과에 의하면 교통정보 수집에 있어서 이 보다 훨씬 적은 수의 용량으로도 만족할 만한 정확도를 확보할 수 있는 것으로 분석되었음

다. 모바일을 이용한 개인 통행행태 추적

1) 개요

- 개인의 통행행태를 추적하기 위해 위치추적 시스템인 PHS(Personal Handy phone System)를 이용하였음

- Off-line 자료수집 기구인 PEAMON(Personal Activity Monitor)를 개발하였고, 이 기구를 이용하여 3차원의 가속파동을 관측하여 Spectrum 분석을 통해 차종을 구분하였음
- PHS에서 올라오는 자료를 이용하여 통행여부를 판별하기 위해 시공간 경로 다이어그램을 이용하여 추정하였음
- 일련의 위치자료를 이용하여 지도에 맵핑하는 과정을 거쳐 통행 경로를 추정

2) 연구의 한계

- 일본의 PHS 시스템은 도심의 경우 약 100m 반경에 하나의 Base 기지국(안테나)을 가지고 있지만, 우리나라의 통신 시스템은 이보다 넓은 반경을 가지고 있기 때문에 동일한 방법을 적용할 경우 위치정확도가 떨어질 수 밖에 없고 일본처럼 기지국에 기타 장비들을 설치하는 것은 현실적으로 어려움
- 또한 PHS 위치추적 시스템은 이동전화에 특정장치를 요구하므로 기존의 이동전화를 가지고는 서비스가 불가능하다는 단점을 가지고 있음
- 이동전화의 위치를 추적하는 과정에서 최소한 3개의 기지국에서 잡은 전파의 세기를 이용하여 삼각측정법에 의해 위치를 파악하게 되는데, 전파의 특성상 여러 환경적인 요소에 의해 그 세기가 정확하게 측정되기 어려운 문제가 있어 위치 오차가 커질 위험이 있음
- 이렇게 얻어진 이동전화의 위치정보를 통해 개인행동에 대한 사항은 파악할 수 있으나 이 정보들을 집계하여 유용한 교통정보로 가공하는 과정에 대해서는 언급이 없음

3. 선행연구 종합 검토

가. 국내·외 연구 종합 검토

- 정보통신기술의 발달로 인해 휴대폰, PDA 등 이동통신 단말기의 발달과 일반화에 따라 위치를 기반으로 하는 서비스(LBS, Location Based Service)가 보편화되고 있음
- 또한 기존의 교통조사방법론 개선을 위해 선행된 국내·외 연구들은 기존 교통조사방법론의 문제점을 공통적으로 인식하여 첨단 정보통신기술의 접목을 시도하고 있음
- 연구 초기에는 Probe 차량 및 대중교통수단 등을 조사대상으로 설정하였으나, 최근 GPS 장비의 소형화와 이동전화의 위치정보제공 서비스의 발달로 개인 통행실태에 대한 연구를 진행하고 있음

- 특히, 국내·외 연구 대부분이 첨단 정보통신기술 중 대중적인 이동전화와 위치의 정확도를 높이는 GPS 장비를 활용한 조사방법을 시도하였음
- 즉, GPS가 장착된 이동전화 또는 PDA를 이용하여 이동경로를 저장하고, 여기에 이동목적, 이동수단 등을 결합하여 데이터베이스를 구축하였음

나. 첨단정보기술 적용방안

- 현재 첨단기술을 접목하여 교통정보를 수집하기 위한 방법으로 RFID, Beacon 등에 대한 연구가 한층 활발히 진행되고 있으며, 특히 이동전화 및 PDA에 GPS 기기를 장착하여 교통조사를 하기 위한 시도를 다양하게 하고 있음
- 이 중 본 연구에서는 가장 대중화되고 위치정보의 정확성이 검증된 GPS가 장착된 PDA와 가장 많이 보급된 이동전화를 활용하여 첨단교통조사 방법론을 검토하고자 함

제3절 첨단교통조사의 필요성

1. 기존 교통조사의 문제점

- 박정욱(2002)⁶⁾은 기존 교통조사의 문제를 조사운용의 효율성, 조사예산, 자료의 신뢰성, 자료처리의 용이성, 자료의 활용성 측면에서 문제점을 진단하였음
- 이러한 문제점의 원인은 조사원을 활용한 직접 조사방법, 특정시기에 국한되어 있는 조사기간의 단순성, 아날로그식 집계 및 분석방식의 한계성에 기인된다고 볼 수 있음

가. 조사운용의 효율성 문제

- 기존 교통조사는 조사원에 의한 직접 관측이나 설문조사 방법으로 수행하고 있으며, 따라서 조사원의 선발, 교육, 관리에 있어 시간과 비용이 많이 소요됨. 특히 전국 단위의 국가교통조사와 같이 조사지역이 광범위한 경우에는 적시, 적소에 적절한 조사원을 운용하는 데 많은 부하가 따르게 됨
- 조사원이 조사대상과 직접 접촉을 하여야 하기 때문에 조사상의 안전문제가 발생하며, 피조사자나 관련기관의 조사협조가 반드시 필요한 반면, 최근에는 조사에 대한 협조의식이 점차 낮아지고 있어 자료를 취득하는데 어려움이 있음
- 통행실태조사의 경우 조사원 개인당 조사할 수 있는 물량이 한정되어 있어, 조사기간이 많이 소요되며 공정상 비효율적인 요소를 가지고 있음

나. 조사예산의 문제

- 현장조사, 조사집계 및 입력 인건비, 현장관리비, 조사표 등 소모성 예산의 비중이 대부분이며, 비용도 막대하게 소요될 뿐만 아니라, 이러한 예산들은 경제 여건에 따라 민감하기 때문에 안정적인 조사계획 수립과 수행에 불확실성을 가지고 있음
- 또한 조사지역이 광범위하고 표본수가 많을수록 관리에 필요한 예산이 부가적으로 소요되어 예산규모는 크게 증가함

6) 신기술을 활용한 교통조사방법 개선에 관한 연구 (박정욱, 2002)

다. 조사자료의 신뢰성 문제

- 기존 교통조사는 인적 요소로 인한 우연적, 필연적 오류가 발생할 확률이 크며, 이는 조사자료를 취득하는 단계에서 조사원이 조사에 임하는 태도나 환경적 요건에 따라 우연하게 오류가 발생할 수 있음
- 또한 각 단계별로 발생한 오류를 수정, 보완하기 위하여 때로는 오류가 발생한 단계로 되돌아가서 보완조사를 실시하는 경우가 발생하는데, 이를 위한 인력이나 조사표 등을 재확충하는데 어려움이 있으므로 정밀도를 요하는 조사의 경우 한계가 존재할 수 있음

라. 조사자료의 처리 문제

- 자료의 구축단계에서 기존의 경우는 일반적으로 조사된 데이터를 입력하여 전산화하고 특이값 제거 및 통계적 분석을 통해 유효데이터를 구축하게 됨
- 데이터 처리의 단계가 많을수록 오류가 발생할 수 있는 확률이 커질 뿐 아니라 이를 위한 비용과 업무 수행상 비효율적인 요소가 발생하게 됨

마. 조사분석자료의 활용 문제

- 자료의 수집에서 구축까지 여러 단계의 처리과정을 거침으로써 많은 시간이 소요되어 현시점의 반영도가 떨어짐
- 조사기간도 특정일, 특정시간으로 한정되어 있어 정책적 활용에 한계가 존재함

2. 첨단교통조사의 필요성

가. 기존 교통조사의 개선점

- 첨단교통조사 방법을 활용함으로써 기대되는 기존 교통조사방식의 개선점은 <표 2-3>와 같음

<표 2-3> 첨단교통조사로 인한 개선점

검토항목	첨단교통조사로 인한 개선점
조사수행의 효율성	<ul style="list-style-type: none"> • 인력 의존도 감소 • 조사원의 모집절차 및 운용 간소화 • 조사노동의 감소
조사 예산	<ul style="list-style-type: none"> • 조사 인건비 감소 • 조사 장비의 반복 사용가능
자료의 신뢰성	<ul style="list-style-type: none"> • 실시간 집계가능 • 필연적, 우연적 오류 감소
자료의 처리 과정	<ul style="list-style-type: none"> • 조사자료의 자동 입력 및 디지털화 • 자료처리의 용이
자료의 활용성	<ul style="list-style-type: none"> • 요일별, 24시간 조사가능 • 활용분야 확대 • 생성 자료 다양

주: 2005년 국가교통DB구축사업 중 「여객 기종점통행량(O/D) 자료의 신뢰성 제고를 위한 분석방법론 연구」

나. 첨단교통조사의 필요성 및 기대효과

1) 첨단교통조사의 필요성

- 교통수요는 증가하나 공공투자재원은 감소하여 기존 시설의 활용이나 시가지 중심의 정밀한 지역단위 교통정책의 실시가 필요함
- 이를 위해 정밀하고 세부적인 교통데이터가 필요하나 지금까지의 교통행태나 교통류의 파악은 조사원에 의한 실측 및 설문조사에 의존하고 있음
- 기존 조사방법은 정책수립에 필요한 정밀한 데이터를 얻는 데는 한계가 있으며, 조사비용 또한 막대하게 소요되고 있음
- 매 5년 단위로 수행되는 교통조사가 기존의 방법으로 계속된다면 재정적 제약과 국민의 협조意識의 저하로 인해 교통데이터의 구축에 한계가 있음
- 최근 정보통신 기술의 발전과 함께 GPS 등을 활용한 위치정보 파악기술 등이 실용화되고 있어 이를 활용함으로써 기존 교통조사방법 문제의 원인이 되는 사항들을 개선하여 신뢰성 높은 교통데이터를 구축할 필요가 있음

2) 기대효과

- 조사원의 모집, 교육 등의 절차가 간소해지며, 피조사자와의 조사협조로 인한 마찰 요소가 제거되며 조사물량과 조사기간 등의 조사 진행의 효율성 증대
- 소모성 예산인 인건비 항목이 대폭 축소되며 조사장비의 재활용으로 향후 예산 측면에서도 유리함
- 조사과정 중 발생하는 인적 오류들을 최소화함으로 조사자료의 신뢰성 향상
- 조사 결과가 별도의 집계과정 없이 정리됨으로써 자료의 검수, 분석 등의 과정이 효율적이고 요일별, 24시간 조사가 가능해지므로 생성 데이터가 다양해지고 그에 따른 활용분야도 확대됨
- 초기 구축비용이 크지만 모든 조사과정이 자동화 되므로 기존 조사방법에 비해 신뢰성 높은 자료의 구축이 가능해지며 조사장비의 재활용으로 장기적 안목에서 재정적 효율성도 가져오게 됨

다. 기존 교통조사와의 비교

- 기존 교통조사의 문제점에 대한 진단과 이를 첨단기술을 활용한 교통조사 방법으로 대체한 개선점은 <표 2-4>와 같음

<표 2-4> 기존 교통조사와의 비교

구분	기존 교통조사의 문제점	첨단교통조사로 인한 개선점
조사수행의 효율성	<ul style="list-style-type: none"> · 조사노동강도 큼 · 조사원 모집, 운용절차 복잡 	<ul style="list-style-type: none"> · 인력의존도 경감 · 조사원모집,운용절차 간소화
조사예산	<ul style="list-style-type: none"> · 조사 인건비 다량 소모 · 공공투자 예산감소 추세 	<ul style="list-style-type: none"> · 조사 인건비 감소 · 조사 장비의 반복 사용
자료의 신뢰성	<ul style="list-style-type: none"> · 인적,필연적,우연적 오류발생 	<ul style="list-style-type: none"> · 조사 자료의 집계시간단축 · 필연적,우연적 오류 경감
자료의 처리 과정	<ul style="list-style-type: none"> · 비효율적인 자료의 전산화 작업 	<ul style="list-style-type: none"> · 자료입력자동화 및 디지털화 · 자료처리 용이 과정
자료의 활용성	<ul style="list-style-type: none"> · 단일용도 제한된 자료 생성 	<ul style="list-style-type: none"> · 요일별, 24시간 조사가능 · 다양한 자료 생성

주: 2005년 국가교통DB구축사업 중 「여객 기종점통행량(O/D) 자료의 신뢰성 제고를 위한 분석방법론 연구」

라. 첨단교통조사의 제약요인

- 첨단교통조사를 위한 단말기 및 장비 등의 시스템 구축비용이 기존 교통조사보다 많이 소요되므로, PDA 단말기를 기존 교통조사의 유효표본수 만큼 확보하기가 어려움
- 노약자의 경우 단말기 소지 및 작동상의 어려움이 발생함
 - 노약자는 물론이고 이동전화 등에 익숙하지 않은 경우, 기기 작동이 어려움
- 단말기 작동 이상 등의 문제 발생 가능성
- 이런 문제를 해결하기 위해 단말기의 회전율을 고려한 조사계획을 수립하고 조사 장비의 유지관리를 위한 기술인력 확보, 노약자를 위한 별도의 보완조사 병행
- 개인정보 노출에 대한 피조사자들의 비협조
 - GPS를 이용하므로 통행 경로 및 이동 시간 등이 자세히 기록됨
 - 피조사자들에게 사정 양해, 연구목적외 사용 불가 명시, 각종 경품 제공을 통한 참여 유도

제4절 첨단교통조사 방법론

1. PDA 조사단말시스템

- 최근 개인휴대컴퓨터의 일종인 PDA의 사용이 일반화되어 가고 있으며, 특히 이를 CNS(Car Navigation System)로 사용하기 위한 솔루션 등이 시중에 많이 나와 있음. 즉, PDA를 CNS용으로 사용하기 위해 GPS 수신기가 내장되어 다양한 종류의 제품들이 출시되고 있음
- 본 과업을 수행하기 위한 PDA는 GPS수신기가 내장되어 있거나 외장 GPS 수신기의 활용이 가능해야 하며, 저장된 개인의 통행데이터를 온라인으로 전송하기 위해서는 무선통신기기가 장착되어 있어야 함. 단, 오프라인 전송인 경우에는 PDA 자체의 동기화기능을 이용하여 PC를 통해 서버로 전송할 수 있음
- 본 과업에서 활용한 조사기기의 재원을 요약하면 다음과 같음

<표 2-5> 조사 단말기 재원

모델명	제조사	운영체제	GPS	통신방식
POZ-X532	싸이버뱅크	PocketPC 2003	내장 SiRF III	CDMA
iPAQ-HX2400	HP	WindowsMobile 5.0	블루투스GPS (Navtec)	무선랜, 블루투스
iPAQ-RX5900	HP	WindowsMobile 5.0	내장 SiRF III	무선랜, 블루투스



<싸이버뱅크 POZ-X532>



<HP iPAQ HX2400>



<HP iPAQ RX5900>



<SysOnChip 블루투스 GPS>



<HP 블루투스 GPS>

<그림 2-8> 본 과업에 사용된 조사기기

- PDA를 이용한 통행조사 방법
 - i) PDA 전원을 키고, 교통조사 프로그램을 실행함
 - ii) 통행시작 전에 통행목적/교통수단/출발지에 대한 정보를 입력함
 - iii) 프로그램을 통해 GPS 수신기로부터 현재 위치 좌표를 수신함
 - iv) 통행시작(이동)
 - v) 도착하면 도착지를 선택하고, 통행비용(톨비, 대중교통비용) 및 주차비용을 입력하고 통행종료 선택함
 - vi) 통행이 발생할 때마다 위 과정을 반복함
- 위 과정이외에 PDA전원을 켜고, 조사프로그램을 실행하게 되면 GPS수신기를 통해 수신된 좌표를 자동으로 저장함으로써, 사용자의 실수로 각 과정을 입력하지 않더라도 GPS 좌표를 수신할 수 있음
- 위에서 언급한 각 통행조사 단계별 프로그램 실행화면은 다음과 같음



<통행조사 메인>



<통행목적 선택>



<교통수단 선택>



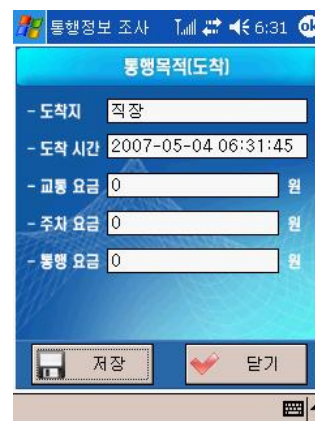
<출발정보 조회/확인>



<도착지 선택>



<대중교통요금 입력>

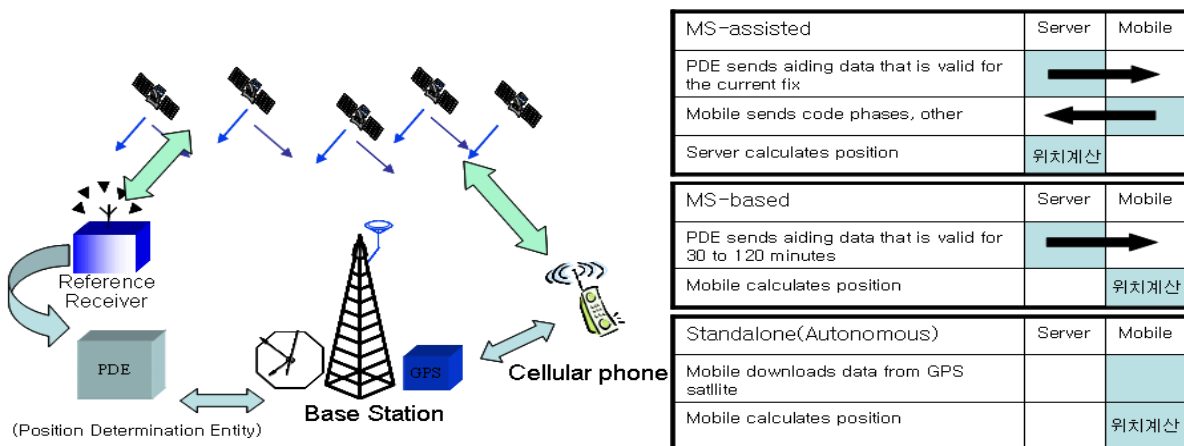


<통행정보 저장>

<그림 2-9> 통행조사 단계별 프로그램 실행화면

2. GPS 장착 이동전화 단말시스템

- PDA보다 친숙한 장비인 이동전화를 이용함으로써 조사자로 하여금 적극적인 조사를 할 수 있도록 함
- 이동전화에는 조사 수행을 위해 GPS기기가 내장되어야 하며, 위치 및 경로의 파악은 S-GPS (Standalone-GPS) 방식으로 파악한다는 가정하에, WIPI 2.0 기반의 프로그램으로 애플레이터 환경에서 개발하였음
- S-GPS방식은 기존의 MS-Assisted GPS방식이나 A-GPS방식과는 달리 이동전화 내에서 GPS데이터를 받아 현재의 위치를 자체 계산하는 방식임
- MS-Assisted 방식의 경우 PDE서버에서 보정데이터를 이동전화로 보내고 이동전화에서 자신의 정보를 서버로 보내 최종적으로 서버에서 위치를 계산하는 방식임
- A-GPS방식의 경우는 PDE서버에서 보정데이터를 이동전화로 보내면 현재의 위치는 이동전화에서 계산하는 방식임
- 하지만 S-GPS방식은 독립적으로 PDE서버의 정보와는 관계없이 자신의 현재위치를 스스로 파악함으로써, 독립적으로 위치계산을 수행하게 되어 일반 GPS 단말기와 같은 효율을 가질 수 있음
- 따라서, S-GPS방식의 이동전화 프로그램을 이용하면, PDA를 이용한 조사시스템과 동일한 결과를 얻을 수 있음



- MS-assisted 방식의 경우 PDE서버에서 보정데이터를 보내고 폰에서 정보를 보내 최종적으로 서버에서 측위를 계산함
- MS-based 방식의 경우 PDE서버에서 보정데이터를 보내고 폰에서 측위를 계산함
- Standalone 방식은 폰에서 GPS 데이터를 받아 폰에서 측위를 계산함

<그림 2-10> 이동전화 GPS 측위방식

<표 2-6> GPS 장착 이동전화 시스템의 장·단점

구 분	설 명
장 점	<ul style="list-style-type: none"> · H/W 초기투자비용이 PDA보다 적음 · WIPI 규격을 지키는 모든 이동전화에서 작동 가능 · PDA보다 친숙한 인터페이스 (대부분 이동전화에서 사용)
단 점	<ul style="list-style-type: none"> · 자신의 이동전화 이외에 다른 이동전화를 사용해야 하는 부담 · 정기적인 운영비가 많을 것으로 예상됨



<그림 2-11> GPS수신기가 장착된 이동전화에서 작동하는 프로그램 화면

3. 일반 이동전화 조사시스템

- S-GPS, A-GPS와는 달리 GPS정보를 전혀 취득할 수 없는 일반적인 이동전화는 전 국민의 대다수가 사용하고 있으며, 이를 활용한 교통조사 방법론에 관한 연구가 많이 진행되어 왔음
- GPS 좌표를 취득할 수 없으므로, 기지국 기반의 위치정보를 바탕으로 이동경로를 파악하여야 하고 위치정보를 독립적으로 취득할 수 없으나, 통행에 관련된 통행목적/교통수단/통행비용을 입력할 수 있도록 WIPI기반에서 프로그램을 개발하였음

- 이는 앞에서 개발한 S-GPS기반의 프로그램에서 좌표취득 및 저장을 제외한 부분과 동일한 과정으로 프로그램이 실행되며, 기본 통행정보를 저장하여 TCP/IP를 통해 서버로 저장함
- 이러한 프로그램들은, CDMA기반의 무선 인터넷을 통해 통행조사에 필요한 프로그램을 단말기에 설치하는 과정을 거치도록 설계하였음. 하지만, 위치기반사업자가 아닌 경우, 이동통신사의 적극적인 협조가 있어야만 이동전화에서 작동되는 프로그램을 이동전화에 설치할 수 있음
- 즉, 이동전화에서 작동할 수 있는 프로그램을 테스트하기 위해, 이동통신사에서는 해당 프로그램의 인증 및 배포에 대한 협조를 해주어야 함
- 하지만, 본 과제에서는 이동통신사의 협조를 얻지 못함으로 인해, 이동전화 프로그램을 단지 에뮬레이터에서만 작동되는 것을 확인하였으며, 현장 테스트를 위해서 ‘친구 찾기’와 같은 위치정보 확인 서비스를 사용하였음
- 일반 이동전화를 사용한 교통조사 프로그램은 조사원이 사용하고 있는 이동전화를 활용함으로써 조사자의 통행조사에 대한 거부감 최소화할 수 있다고 판단됨

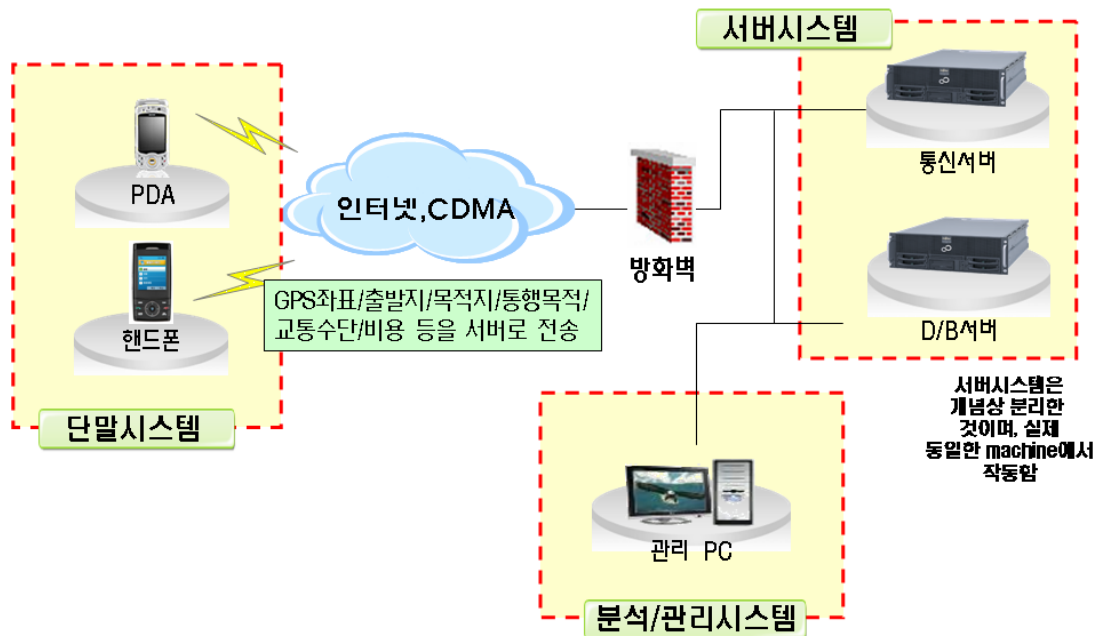
<표 2-7> 일반 이동전화 조사시스템의 장·단점

구분	설명
장점	<ul style="list-style-type: none"> · H/W 투자비용 없음 · WPI 규격을 지키는 모든 이동전화에서 작동 가능 · 이동전화 사용자라면 거의 대부분 자신의 이동전화로 모든 조사가 이루어짐 · 다양한 조사활성화 정책이 가능
단점	<ul style="list-style-type: none"> · 통행경로에 대한 검증작업의 어려움 · 이동전화 위치추적이 이동통신사에 의존적 · 조사검증 S/W 개발 부담

제5절 시스템 설계

1. 전체시스템 구성

- 첨단기기를 활용한 교통조사 방법을 위해 필요한 전체 시스템은 크게 단말 시스템 영역, 서버 시스템 영역, 분석/관리 시스템 영역으로 나눌 수 있음
- 각 영역은 시스템의 특성에 맞도록 설계되었으며, 각 시스템간의 상호 연계를 위한 연계기능이 갖춰져 있음



<그림 2-12> 전체 시스템 구성도

2. 단말시스템

- 단말시스템은 통행조사에서 조사원들이 각 통행에 대한 직접 입력을 통해 데이터를 취득하고 저장하는 데이터 취득에 있어 가장 중요한 부분임
- 따라서, 단말시스템의 익숙함과 편리함에 따라 조사원들이 시스템 활용 여부가 달라질 것이며, 데이터의 저장/전송방식에 따라 시스템 신뢰성이 달라질 것이므로, 본 시스템의 단말기는 GPS데이터 및 통행일반정보에 대한 저장의 효율성 및 UI(User Interface) 편의성 위주로 설계함

가. 단말조사시스템의 S/W 특성

1) PDA용 조사시스템

- PDA에서 가장 많이 사용되는 OS(운영체제)인 PocketPC 2003과 Windows Mobile 5.0에서 공통적으로 작동할 수 있도록 범용API(Application Program Interface)만을 이용하여 프로그램을 설계함
- GPS수신을 통해 저장된 좌표데이터는 내장 메모리에 저장하였다가, TCP/IP를 통해 서버로 전송하는 기능이 있음. 단, 단말시스템의 종류에 따라 CDMA/무선랜이 지원되지 않는다면, PC와의 싱크를 통해 서버로 전송할 수 있어야 함
- 즉, PDA는 CDMA 또는 무선랜을 통해 데이터 전송이 이루어진다고 가정하였으며, 이와 같은 환경이 제공되지 않을 경우 인터넷이 연결된 PC와 ActiveSync 기능을 이용하여 서버와 연결되는 것으로 가정하여 통신기능을 구현하였음
- GPS 수신을 위해 단말시스템의 GPS 수신 기능 구현의 경우, 2개의 프로세스가 GPS 수신을 할 수 있도록 하였으며, 이는 각 통행별 GPS 데이터 취득과 함께 통행에 대한 입력이 이루어지지 않았을 경우를 대비하여 조사원의 작동과는 상관없이 별도의 프로세스로 일일 총 GPS 수신을 할 수 있도록 하였음

2) 이동전화용 조사시스템

- 이동전화에서 공통적으로 작동 가능하도록 WIPI(Wireless Internet Platform for Interoperability)기반의 프로그램으로 설계함. 즉, 다양한 단말기에서 작동 가능하도록 특정 디바이스에 제한되지 않는 공용적인 API만을 사용하여 프로그램이 구현되어야 함
- 이동전화 단말기의 화면은 대부분 크기에 제약사항이 많음. 즉, 작은 화면에 많은 정보를 표시하고 사용자는 이중에서 선택해야 하므로, 화면의 스크롤 기능 및 작은 화면내에서 색깔의 강조를 통해 선택항목을 쉽게 파악할 수 있도록 함

나. 단말조사시스템의 H/W 특성

1) PDA용 조사시스템

- 현재 PDA는 다양한 H/W스펙으로 시중에 출시되고 있으며, 이중 본 과업을 수행하기에 적합한 GPS 수신기를 내장하고 있는 단말기를 선택함

- 단말기에 저장된 데이터를 실시간으로 서버로 보내기 위해서는 CDMA기기가 내장되어 있어야 하지만, 본 과업에서는 실시간 전송기능은 일단 보류하고 이를 대체할 수 있는 무선랜과 같은 대체 전송방식은 가지고 있는 단말기를 선택함
- 블루투스 기능이 내장되어 있고 GPS 수신기가 없는 단말기는 외장 GPS 수신기를 이용하여 조사용 기기로 활용할 수 있음
- 데이터의 제한 없는 저장을 위해, 기본적으로 100M정도의 기본 저장 공간이 제공되어야 함

2) 이동전화용 조사시스템

- S-GPS방식을 이용한 조사시스템은 당연히 이동전화 단말기에 S-GPS방식의 GPS 디바이스가 장착되어야 함
- 일반 이동전화 조사시스템은 특별한 제약사항이 없으나, S-GPS방식과 함께 기본 메모리가 120K이상 제공되어야 함

3. 서버시스템

- 서버시스템은 단말시스템과 연계하여 단말기로부터 전송되는 통행데이터를 통신모듈을 통해 데이터를 수신하고, 수신된 데이터를 데이터베이스에 저장하는 자료처리모듈을 가져야 함

가. 통신모듈

- 본 서버시스템에는 단말기로부터 전송되는 데이터를 수신하고 이를 처리하기 위해 통신을 전담하는 통신모듈이 구현되어야 함
- TCP/IP기반의 소켓통신을 기본 통신모듈로 구현하고, 기본 접속자수를 100명으로 하고, 동시에 10개의 트랜잭션을 처리할 수 있도록 구현하였음
- CDMA기반의 소켓통신시 데이터 전송의 안정성을 위한 프로토콜로 설계하고, 이를 적절히 구현하였음
- 예를 들어, CDMA망으로 데이터 통신을 하는 경우에 음영지역으로 이동하게 될 때, 데이터 전송이 원활히 이루어지지 않아 서버의 통신모듈은 단말기의 전송을 계속 기다리게 되는 경우가 발생하기 쉬움

- 이를 대비하여, 일정시간동안 단말기로부터의 데이터 전송이 이루어 지지 않을 경우, 강제로 접속을 종료하고, 단말기의 접속을 다시 기다리는 로직으로 이루어짐
- 향후 타 시스템(예를 들어, 이동통신사의 위치정보 제공서버)과의 연계를 위한 확장성 있는 통신모듈을 설계하고 이를 구현하였음
- 일반적으로 서버의 통신모듈은 서버 프로그램이 작동되는 포트를 통해 접속된 단말(클라이언트)의 처리요청을 전담하는 프로세스(Process) 기반으로 작동되지만, 본 과제는 향후 확장을 고려하여 프로세스 기반이 아닌 스레드(Thread) 기반의 모듈로 설계하고 이를 구현하였음

나. 자료처리모듈

- 서버로 전송된 단말기의 자료들은 서버의 메모리가 아닌 데이터베이스에 저장되어야 하며, 이를 위해 데이터베이스 시스템과 연계되어야 함
- 본 과업을 위해서 DBMS로 사용된 것은 MySQL이며, 이 DBMS는 OpenSource 기반의 프로그램으로서, 대량의 데이터베이스 트랜잭션을 수행할 수 없지만, 무료로 사용할 수 있다는 장점이 있음
- 자료처리모듈은 단말기의 데이터를 DBMS에 저장하기 위해 적절히 변환/가공하고 이를 완벽히 DBMS에 저장할 수 있도록 하였음
- 또한, 단말기의 요청사항에 대한 신속한 응답을 할 수 있도록 신속하고 안정적인 처리모듈을 설계하고 구현하였음

다. 단말/서버 통신 프로토콜

- 프로토콜이란 컴퓨터끼리 또는 컴퓨터와 단말기 사이 등에서 정보교환이 필요한 경우, 이를 원활하게 처리하기 위하여 정한 여러 가지 통신규칙과 방법에 대한 약속을 의미함
- 기종이 다른 컴퓨터(단말기)간에 통신을 하려면 표준 프로토콜을 설정하여 각각 이를 채택하여 통신망을 구축해야 하는데, 대표적인 표준 프로토콜의 예를 든다면 인터넷에서 사용하고 있는 TCP/IP가 이에 해당함
- 이와 같이 단말기와 서버는 데이터 교환을 위해 프로토콜을 정의하여 데이터 송수신을 하게 되며, 이때 프로토콜의 설계에 따라 데이터 호환의 경제성, 효율성 등이 결정됨

- 본 과업을 위해 단말/서버간의 통신 프로토콜은 OSI 7 Layer중 Application Layer에 해당하는 통신규약이며, 시스템 하부의 네트워크는 TCP/IP를 기반으로 전송하는 것으로 하였음
- OSI 7 Layer는 국제표준기구(ISO)에서 표준화된 네트워크 구조를 제시한 기본 모델을 말하는 것으로서, 각 계층(Layer)의 독립성과 전체에 미치는 영향을 최소화하기 위한 모델을 말하는 것임
- 통행정보를 저장하기 위한 단말에서 서버로 요청 프로토콜은 다음과 같으며, 각각의 필드는 독립적인 속성을 가진 항목으로서 각 통행별로 고유/공통의 값을 가지고 있음

<표 2-8> 통행정보 저장 요청 프로토콜

번호	필드명	형식	길이	설명
1	MsgCode	A	5	메시지코드 'KOQ01'
2	PacketLength	B	4	패킷길이. 3번 필드부터 마지막까지의 길이. 자신과 메시지코드 길이는 제외
3	MinNum	U	5	단말기 전화번호. 전화번호정보 참조
4	ID	U		사용자ID. 문자정보 참조
5	startDate	U	3	출발일자. 날짜정보 참조
6	startTime	U	2	출발시간. 시간정보 참조 (분단위까지만 기록)
7	startCode	B	1	출발지 코드 (집:1, 직장:2, 학교:3, 기타:4)
8	tripPurpose	B	1	통행목적. 통행목적코드 테이블 참조
9	tripMeasure	B	1	통행수단. 통행수단코드 테이블 참조
10	endDate	U	3	출발일자. 날짜정보 참조
11	endTime	U	2	출발시간. 시간정보 참조 (분단위까지만 기록)
12	endCode	B	1	도착지 코드 (집:1, 직장:2, 학교:3, 환승지:4, 기타:5)
13	publicFee	U		대중교통요금. 요금정보테이블 참조
14	parkFee	U		주차요금. 요금정보테이블 참조
15	tollFee	U		통행요금. 요금정보테이블 참조
16	nLonLat	B	4	좌표정보 개수
17	LonLat	U		경위도 정보 참조

- MsgCode(메시지코드)는 전체 패킷의 성격을 정의하는 것으로서, 서버에서 해당 메시지코드를 분석하여 어떠한 요청인지 파악하고, 이를 서버내의 모듈에서 적절하게 처리하기 위한 필드임
- PacketLength(패킷길이)는 전체 패킷의 길이를 나타내며, 본 속성을 통해 서버는 전체 패킷이 정상적으로 수신되고 있는지 판단하고, 요청 길이에 따라 가변적으로 단말의 요청을 처리하기 위한 메모리 확보 등의 처리 모듈이 작동됨

- MinNum(단말기전화번호)는 요청하는 단말기의 고유 전화번호를 파악하고, 이를 통행정보와 매칭시키는 역할을 하기 위해 필요한 필드임

<표 2-9> 전화번호 정보 상세내용

번호	필드명	형식	길이	설명
1	AreaCode	B	1	지역(이통사)번호, 011~019, 02~064.
2	OfficeNum	B	2	국번. 0000~9999
3	Number	B	2	본번. 0000~9999

- ID(사용자ID)는 단말기 전화번호 이외에 통행정보를 고유하게 구분할 수 있도록 식별하기 위한 필드임. 이 필드는 문자정보를 나타내기 위해 가변적으로 구성되는 필드로서 문자정보의 길이와 내용으로 구성됨

<표 2-10> 문자 정보 상세내용

번호	필드명	형식	길이	설명
1	문자정보 길이	B	1	‘문자정보길이’필드를 포함하지 않은 길이(최대255) eg) ‘가나’→4. ‘ab’→2
2	문자정보	S		가변 텍스트

- Start date(출발일자)는 통행시작을 한 출발일자를 나타내는 필드임. 총 3바이트로 구성되고, 서버는 이를 파악하여 데이터베이스에 정상적인 날짜로 저장하게 됨

<표 2-11> 날짜 정보 상세내용

번호	필드명	형식	길이	설명
1	DateYear	B	1	년/월/일 각 1바이트씩 정의
2	DateMonth	B	1	
3	DateDay	B	1	

- Start time(출발시간)는 통행시작을 한 출발시간을 나타내는 필드임. 총 2바이트로 구성되고, 서버는 이를 파악하여 데이터베이스에 정상적인 시간으로 저장하게 됨

<표 2-12> 시간 정보 상세내용

번호	필드명	형식	길이	설명
1	HourNum	B	1	시간. 00~23시
2	MinNum	B	1	분. 00~59분

- Start code(출발지코드)는 출발지 구분을 하기 위해 마련된 필드로서, 집이면 '1', 직장이면 '2', 학교이면 '3', 기타이면 '4'의 값을 가지게 됨
- Trip purpose(통행목적)는 조사시스템을 통해 사용자가 입력한 통행목적을 나타내는 필드이며, 각 통행목적 구분은 다음과 같음

<표 2-13> 통행목적 코드 테이블

번호	설명	형식	설명
1	출근	2	등교
3	업무(직업관련)	4	귀사(업무후 직장으로 돌아감)
5	귀가	6	학원수업
7	개인업무(병원,은행 등등)	8	쇼핑(대형마트,백화점 등)
9	쇼핑(소매점 등)	10	여가/오락/친교/여행
11	산책(공원 등)	12	누군가를 태우거나 내려주려고
13	기타		

- Trip measure(통행수단)는 통행목적과 마찬가지로 사용자가 입력한 통행수단에 대한 코드이며, 각 값은 다음과 같음

<표 2-14> 통행수단 코드 테이블

번호	설명	형식	설명
1	도보	2	승용(승합) 직접 운전
3	승용(승합) 합승	4	통근/통학버스
5	시내버스	6	좌석버스
7	시외버스	8	고속버스
9	마을버스	10	기타버스(학원버스 등)
11	지하철/전철	12	일반철도
13	KTX	14	택시
15	오토바이	16	자전거
17	기타		

- End date(도착일자), End time(도착시간), End code(도착코드)는 위에서 언급한 Start date, Start time, Start code와 동일하고 처리방식도 일치함. 단, 도착지코드는 환승지가 '4', 기타가 '5'의 값을 가짐

- PublicFee(대중교통요금), ParkFee(주차요금), TollFee(톨비)는 통행을 하면서 발생한 요금을 저장하기 위한 필드이며, 각 요금은 발생하지 않는 경우와 발생하는 경우에 대해 가변적으로 저장할 필요가 있으므로, 통행요금 구분(code)에 따라 0이면 요금이 발생하지 않는 경우이며, 이때 요금필드(cost)필드가 존재하지 않게 되어 1바이트의 크기만 가지게 되고, 통행요금 구분이 1이면 요금이 발생하는 경우로서, 요금필드(cost)가 존재하여 총 5바이트의 크기를 가지게 됨

<표 2-15> 요금정보

번호	필드명	형식	길이	설명
1	Code	B	1	요금구분. 0이면 해당 요금 없으며, 2번 필드 없음
2	Cost	B	4	요금

- nLonLat(좌표의 개수)는 단말기에 저장되어 서버로 전송될 전체 좌표개수를 의미하며, 서버에서 좌표를 효율적으로 처리하기 위해 필요한 필드임
- 이와 같은 단말/서버간 통신 프로토콜을 규약하고, 정해진 프로토콜에 의해 단말기에서 서버로 데이터를 송신하게 되면, 서버는 이를 수신하고 각 필드의 값을 파악하여 자료처리 모듈을 통해 데이터베이스에 저장함
- 향후 시범사업 또는 전국 확대사업 수행을 할 때, 데이터 송수신을 온라인으로 직접 단말기에서 하게 된다면, 데이터 크기에 따라 통신비용이 달라지므로 본 프로토콜을 수정하여 보다 컴팩트한 프로토콜로 설계해야 할 것임

4. 검증/관리 시스템

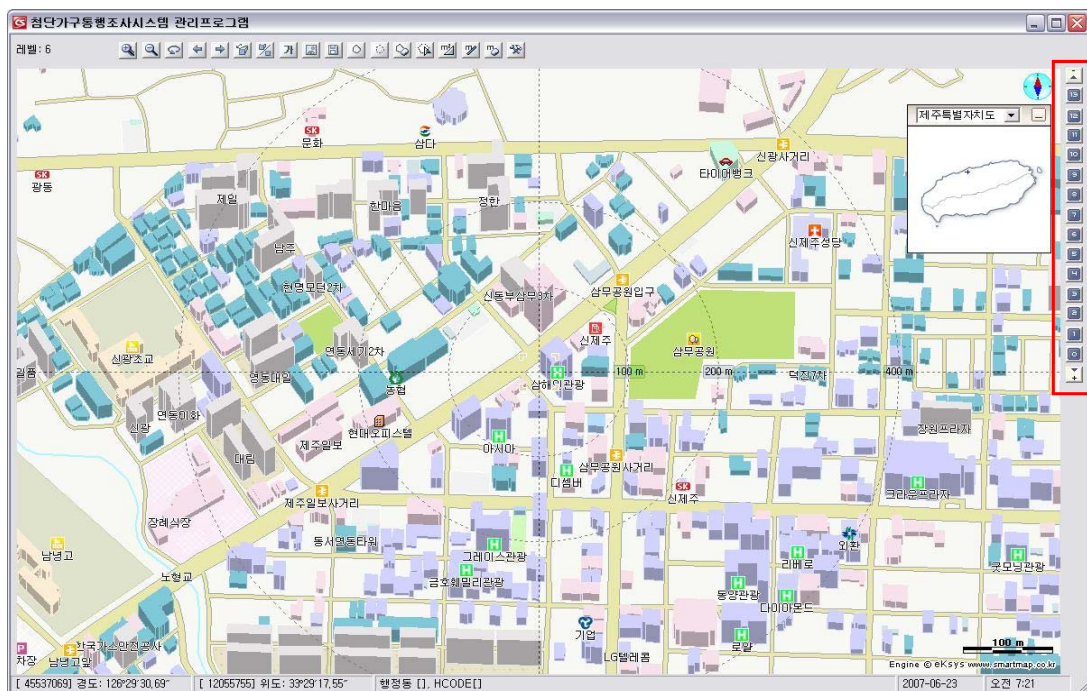
- 지금까지 통행조사를 위한 입력관리프로그램은 존재하였지만, 이를 검증하거나 관리하는 시스템은 존재하지 않았으며, 본 과업을 통해 이러한 기능들을 GIS기반에서 수행할 수 있도록 시스템을 구현하였음
- 즉, 각종 통행정보의 저장 상태를 파악하고, 개인의 개별 통행과 일일 전체 통행에 대해 조회할 수 있으며, 이를 GIS Map에 표시할 수 있는 기능을 구현함으로써, 보다 직관적으로 통행정보들을 관리할 수 있도록 하였음
- 즉, 검증/관리시스템은 단말기에서 저장되고 서버로 전송된 데이터를 시스템에서 검증하고 관리하는 기능을 구현한 것임

- 앞에서도 언급하였듯이, 검증/관리 시스템은 GIS기반의 직관적인 인터페이스를 가지고 있으며, 이를 통해 통행정보의 오류발생부분을 검증하고, 통계기능을 활용하여 O/D Matrix를 생성하는 기능을 가지고 있음
- O/D Matrix 생성기능은 향후 이를 기반으로 O/D 전수화의 기초를 마련하는 것에 그 의의를 두었음

가. GIS 일반기능

1) 지도 확대/축소/이동

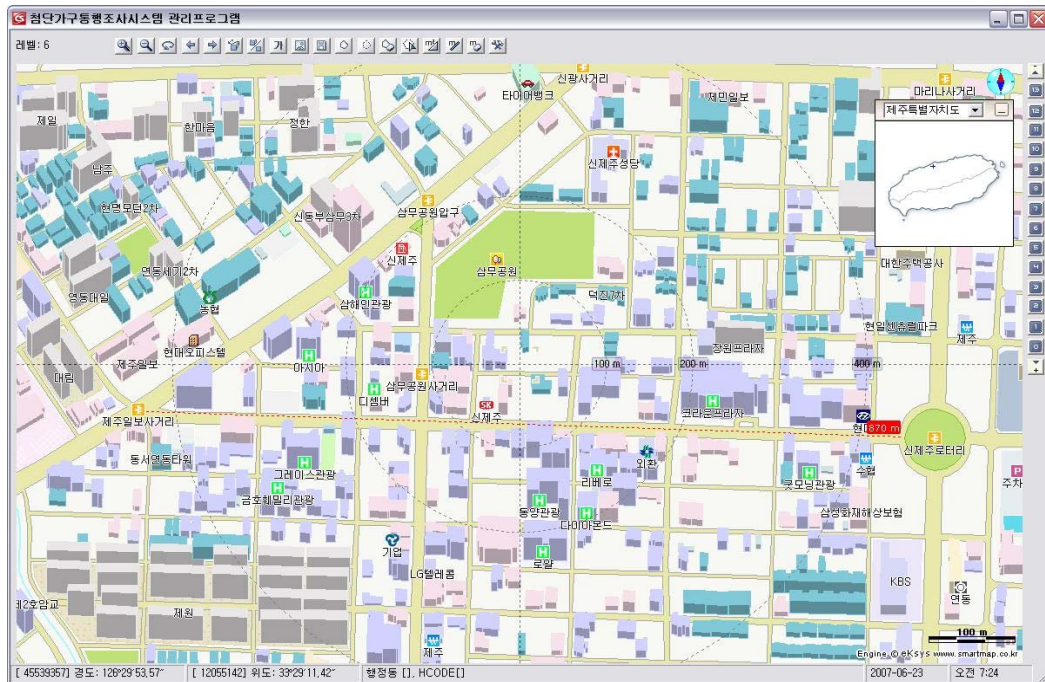
- GIS프로그램에서 가장 일반적이고 필수적인 기능인 지도의 확대, 축소 및 이동 기능이 있음



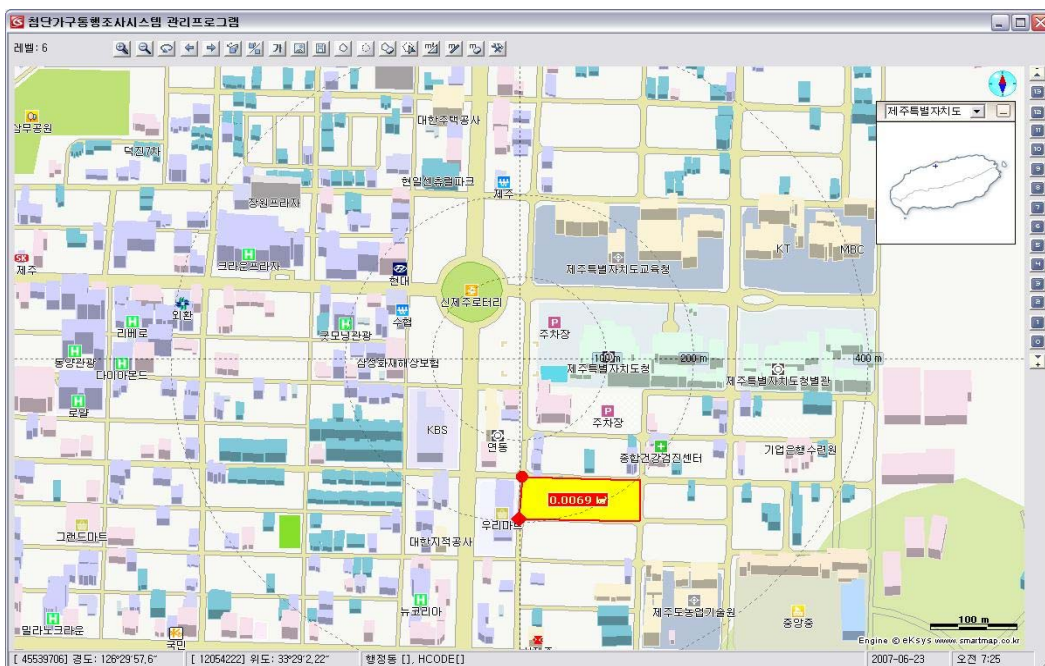
<그림 2-13> GIS 맵의 확대, 축소, 이동 기능바

2) 거리 및 면적 계산

- 지도상의 거리 및 면적을 계산하기 위한 기능이 구현되어 있으며, 이를 통해 통행자의 이동 거리를 개략적으로 계산할 수 있음



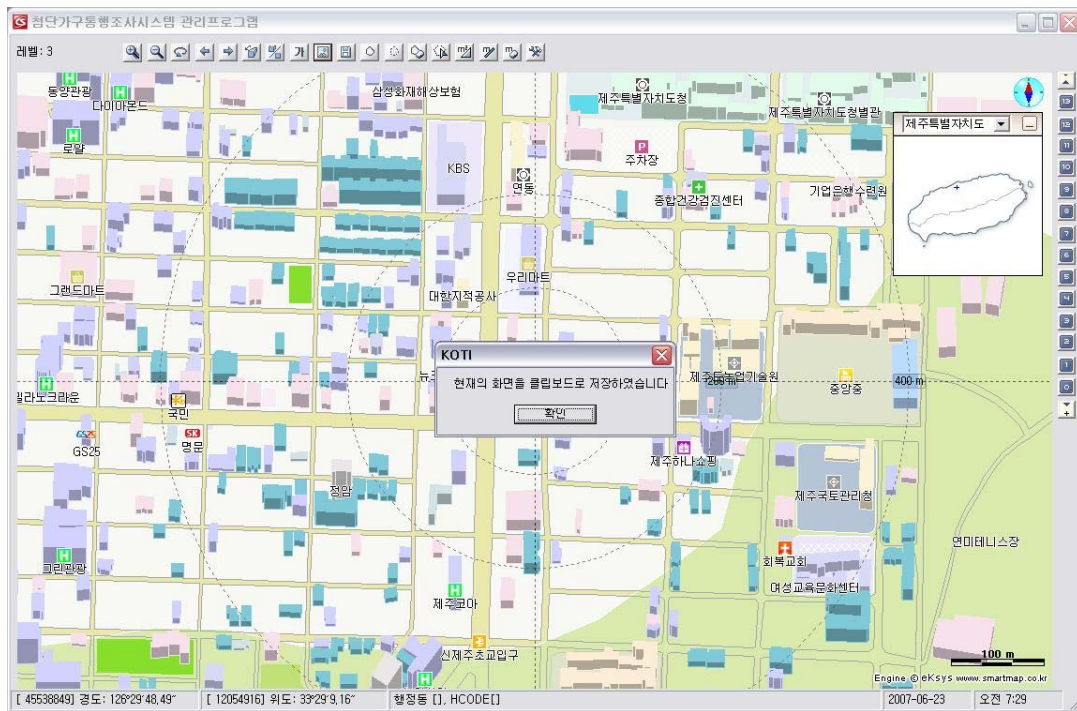
<그림 2-14> GIS 맵의 거리산출 기능



<그림 2-15> GIS 맵의 면적산출 기능

3) 지도화면 저장

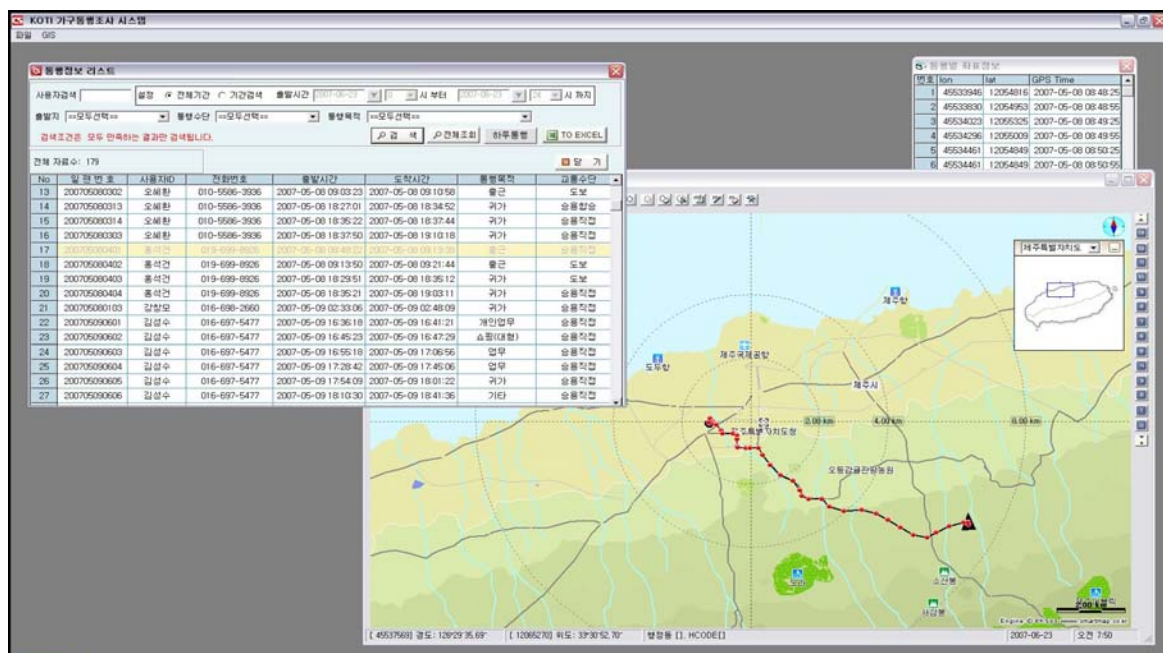
- 지도위에 표시된 통행데이터에 대한 정보 등을 캡취하여 저장하기 위해 화면저장 기능이 필요함
- 지도위에 표시된 정보를 클립보드에 저장한 후, 이미지 프로그램 등을 이용하여 이를 자유롭게 저장/수정할 수 있는 기능을 제공함



<그림 2-16> GIS 맵의 화면저장 기능

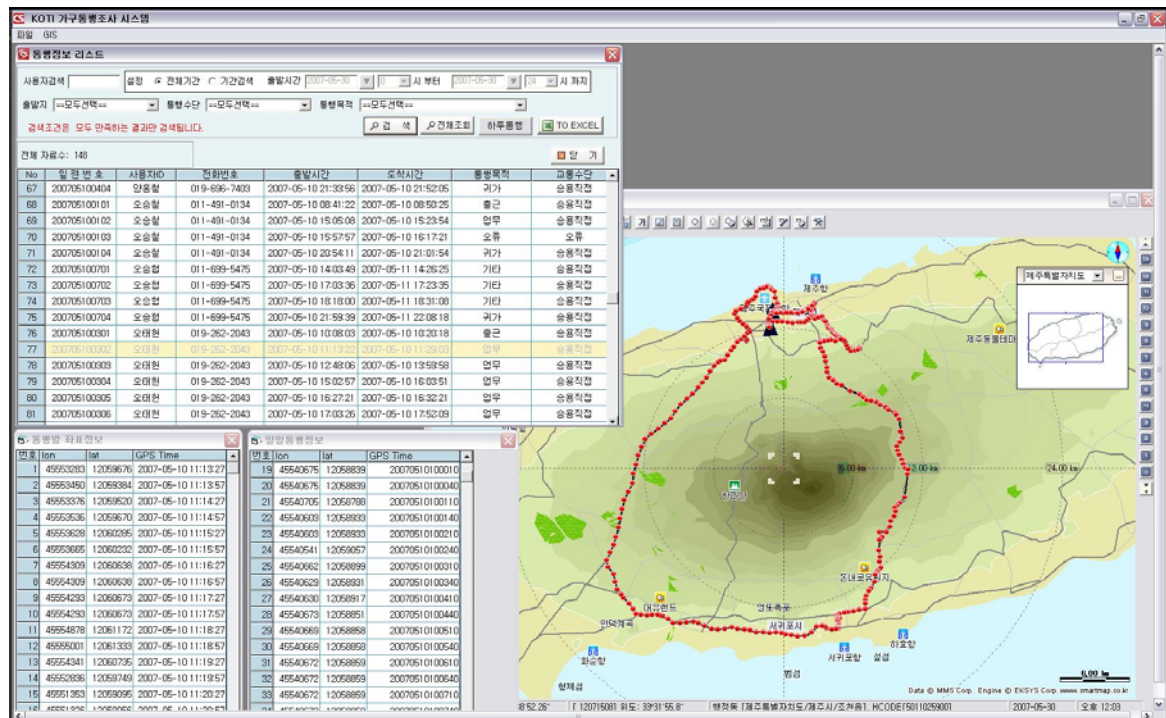
나. 통행데이터 조회기능

- 단말기와 서버를 통해 데이터베이스에 저장된 정보를 다양한 검색조건을 이용하여 조회할 수 있도록 기능을 제공하였음
- 조사원별, 출발지별, 시간대별, 통행수단별, 통행목적별로 세분화되어 전체 데이터를 조회할 수 있음
- 특정 데이터를 선택하면, 해당 데이터의 이동경로를 지도상에 표시하고, GPS 좌표의 세부정보를 조회할 수 있음



<그림 2-17> 통행조회 기능(1)

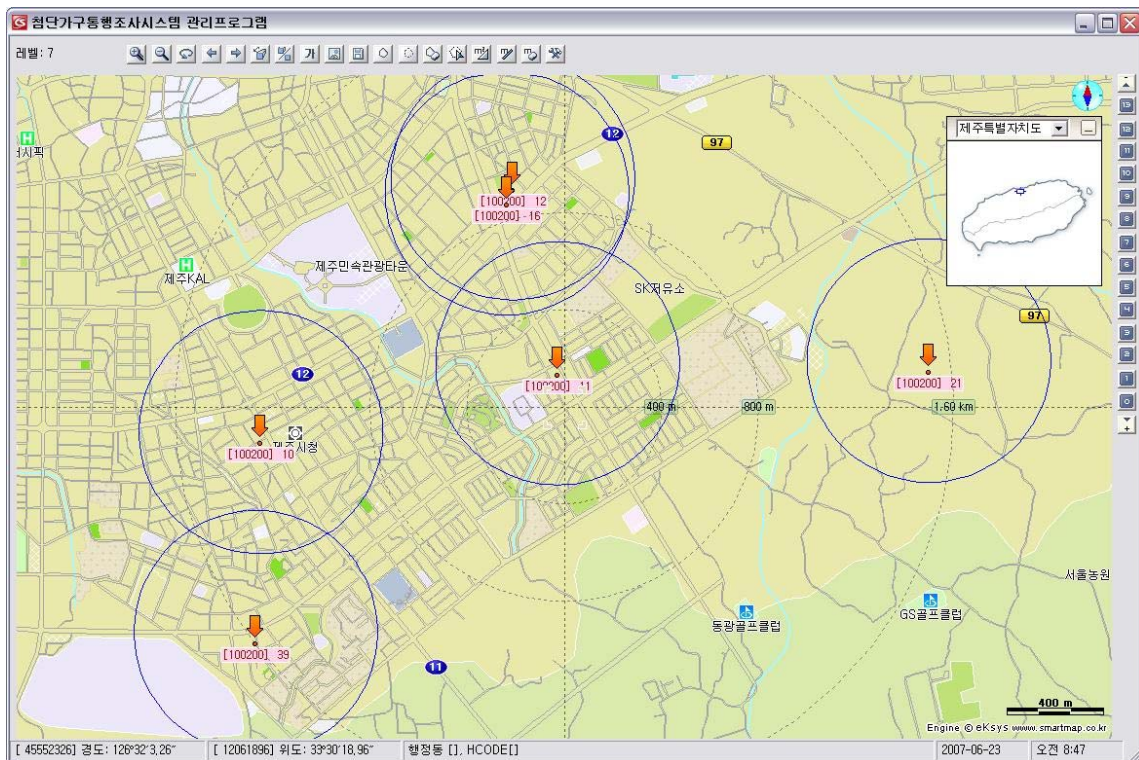
○ 각 조사원의 일일 전체 이동경로를 취득된 데이터를 기반으로 조회할 수 있음



<그림 2-18> 통행조회 기능(2)

다. 기지국데이터 조회기능

- 이동전화를 이용한 통행조사시스템의 타당성을 검토하기 위해 PDA 조사시스템을 사용하는 조사원의 이동전화 위치추적을 동시에 수행하였으며, 위치추적 결과를 나타내는 기지국 정보 조회 기능임
- 기지국의 위치를 중심으로 반경 500m, 1000m 등 자유로이 영역을 설정하여 나타낼 수 있음
- 기지국 위치를 표시한 후, 해당 조사원의 일일 통행에 대한 경로를 동시에 표시하여, 실제 이동경로와 기지국 위치를 기반으로 한 일정영역을 상호 비교함으로써, 직관적으로 GPS좌표를 통한 이동경로와 기지국좌표를 통한 이동경로를 비교할 수 있음



<그림 2-19> 이동전화 기지국 위치 정보 표시

라. O/D정보 조회기능

- 데이터베이스를 조회하여 설정된 각 교통존(행정동)별 O/D표를 자동으로 생성할 수 있음
- 교통수단별, 통행목적별, 시간대별로 보다 상세한 O/D표를 조회하고 생성할 수 있음

O/D 분석

설정 ☒ 전체기간 ☐ 기간검색 기준일 2007-05-30 0 시 부터 2007-05-30 24 시 까지

출발지 ==모두선택== 통행수단 ==모두선택== 통행목적 ==모두선택==

검색조건은 모두 만족하는 결과만 검색됩니다.

전체자료수 :

출-도착	일도1종	일도2종	이도1종	이도2종	삼도1종	삼도2종	용담1종	용담2종	건입종	화북종	삼양종	봉계종	아리종	오리종	연종	노형종	외도종	이호종	도두종	소계
일도1종	0	1																		1
일도2종		0		2		1		1					2							6
이도1종		1	0															1		2
이도2종		1		0										1						2
삼도1종					0															0
삼도2종		1			1	0														2
용담1종							0													0
용담2종						1		0					1							2
건입종									0				1							1
화북종										0										0
삼양종											0									0
봉계종												0								0
아리종		2		1				1	1				0				1			6
오리종													1	0						1
연종															0					0
노형종													1			0				1
외도종																	0	1		1
이호종																		0		0
도두종																				0
소계	0	6	0	3	1	2	0	2	1	0	0	0	6	1	0	1	1	1	0	25

<그림 2-20> 조사 결과를 통한 O/D표

제6절 현장테스트

1. 현장테스트 개요

- 본 과업을 통해 개발된 첨단교통조사시스템의 현장 적용 가능성을 판단하고, 첨단조사기법을 적용함에 있어 실제 통행결과와 시스템의 통행결과를 비교하였으며, 통행조사의 궁극적인 목표인 O/D추정의 가능성을 판단함
- 현장테스트는 텔레매틱스 사업과 ITS사업을 수행하였던, 제주특별자치도 제주시를 대상으로 교통존을 설정하고 수행하였으며, 통계적 유의성을 갖추진 않았지만 각 교통존별로 2인씩 조사인원을 모집하고 선정하였음
- 선정된 조사인원에게 시스템 사용 및 가구통행실태조사의 개념을 교육하였으며, 시스템 사용의 오류발생을 최소화하기 위한 것에 초점을 맞추었음
- 제주도는 서울/경기와 같은 수도권에 비해 CNS(Car Navigation System) 사용자가 상당히 적고, PDA 사용 경험자가 많지 않음으로 인해, 본 조사시스템 단말기의 사용을 위한 기기 사용에 불편함을 느끼는 조사원들이 많았음

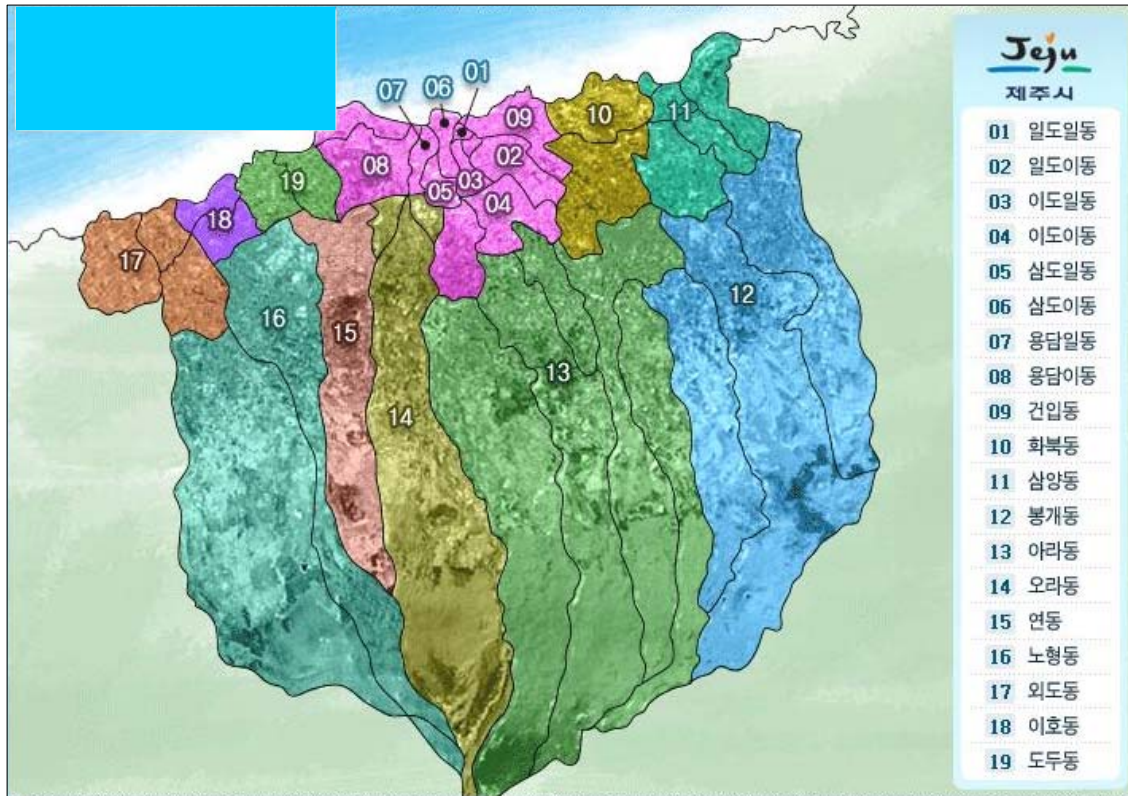
가. 테스트 기간

- 2007년 5월 8일(화) ~ 5월 10(목), 5월 15일(화) ~ 5월 17일(목), 총 6일, 2주
- 일주일중 교통상황 변동이 가장 적은 화요일~목요일만을 조사기간으로 선정하여 2주일 동안(총 6일) 조사하였음
- 조사용 단말기를 10대 이상 확보하였으나, 조사를 위한 사전배급 및 수거에 문제가 발생하는 경우가 많아 2주 동안 조사하였음

나. 테스트 지역

- 제주특별자치도 제주시 행정동 19개 지역. 각 행정동을 교통존으로 설정
- 제주시는 제주특별자치도로 통합되기 전의 구 제주시를 뜻하며, 엄밀히 통합되기 전의 북제주군 지역도 제주시에 해당하지만, 공간적인 범위가 상당히 커지고 조사예산의 문제로 인해 시가화 지역인 구 제주시로 한정하였음

- 제주시는 행정동 19개동(법정동 40개동)으로 구분되어 지고, 통행조사를 일반적으로 행정동 기준으로 수행하기 때문에 행정동을 기준으로 테스트 지역을 설정하였음



<그림 2-21> 제주시 행정동 구분

다. 테스트 인원

- 각 행정동별 2인씩 총 38인을 모집하였으며, 조사일은 조사계획에 따라 사전협의하고 진행하였음
- 조사원들에 대해 사전 교육의 중요성을 인식하고, 단말기를 처음 사용하여 익숙치 않은 조사원들을 대상으로 교육을 실시하였음. 또한 GPS 수신불량으로 인한 오류를 최소화하기 위한 교육도 병행하였으며, 교육을 위한 설명서를 작성하여 배포하였음

조사 방법 및 GPS수신 방법 설명서

조사에 응해 주셔서 감사합니다.

우선 아침 출근(출발)시 프로그램 구동에 있어 GPS를 수신하는데 대략 5분정도 소요되니 맥에서 출발하는 시간을 다른 때 보다 15분 정도 당겨 주십시오.

1. 프로그램 시작 및 정보 입력 흐름(화면에 따른)

<p>1. PDA화면 - 시작버튼 누릅니다.</p>	<p>2. 목록화면 - KotPDA를 누릅니다.</p>	<p>3. 로그인 - 키보드의 J를 누릅니다.</p>	<p>4. 로그인 - 로그인 버튼을 누릅니다.</p>	<p>5. 통행조사매인 - GPS수신중 3분정도 소요</p>
<p>6. GPS수신 성공 - 경도와 위도정보가 나타납니다. - GPS가 수신이 안 될 경우 상단의 OK 버튼을 눌러 프로그램을 종료하고 다시 처음부터 시도하십시오. - 출발을 누릅니다.</p>	<p>7. 출발정보 입력 - 해당 목록을 선택한 후 → 누릅니다.</p>	<p>8. 이동수단 입력 - 해당 수단을 선택한 후 → 누릅니다.</p>	<p>9. 출발정보 요약 - GPS수신버튼을 누릅니다. - 대략 40초경과 후에도 GPS정보가 나타나지 않으면 달기 버튼 => 데이터 삭제 후 5.통행조사매인부터 다시 시도하십시오.</p>	<p>10. 출발정보 요약 - GPS DATA에 숫자가 나타납니다. - 출발 하십시오. - 목적지에 도착하면 도착정보버튼을 누릅니다.</p>
<p>11. 도착지정보 입력 - 해당 목적지를 누릅니다.</p>	<p>12. 대중교통요금 입력 - 대중교통비용을 입력하고 → 누릅니다.</p>	<p>13. 주차요금 입력 - 주차비용을 입력하고 → 누릅니다.</p>	<p>14. 통행요금 입력 - 통행요금을 입력하고 → 누릅니다.</p>	<p>15. 도착정보 저장 - 저장버튼을 누릅니다.</p>

<그림 2-22> 현장테스트 조사방법 설명서

라. 테스트 방법

- 개인당 하루 동안의 모든 통행에 대해 첨단조사시스템을 이용하여 각각의 통행에 대해 저장하고, 기존 조사방법과의 비교를 위해 가구통행실태조사표를 작성토록 함
- 통행 출발 전 조사프로그램을 시작하여 입력하고, 도착 후 입력을 종료함
- 출근/전환/귀가통행 등 모든 통행을 빠짐없이 기록하도록 조사원 교육
- 하루 동안의 모든 통행이 완료된 후, 조사단말시스템과 기입된 가구통행실태조사표를 회수하고 익일 사용자에게 전일 배급
- 출발/목적지를 통행하는 동안 교통수단이 바뀌었을 경우, 각각의 통행정보를 입력
- 조사인원중 행정동별 각 1인은 PDA와 이동전화 위치추적을 동시에 수행(총 19인)

2. 현장테스트 결과

가. 조사인원 및 조사일자

- 각 조사일자별 조사인원은 다음과 같음

<표 2-16> 조사일자별 조사인원

조사일자	5/8	5/9	5/10	5/15	5/16	5/17	계
조사인원	5	6	7	8	6	6	38명

나. 통행 분석

1) 총통행수 분석

- 조사원들의 설문조사 양식에 의한 총 통행수는 168통행이었으며, 시스템에 의해 저장 및 생성된 총 통행수는 179통행이었음
- 총 통행수를 비교한 결과 설문조사 양식에 의한 결과보다 조사시스템에 의한 결과가 약 6.5%정도 많았음
- GPS 수신을 실내/실외에 관계없이 지속적으로 하였을 경우, 좀 더 정확한 통행 O/D를 파악할 수 있었으며, 전체 통행중 누락통행이 발생하는 경우를 감지할 수 있었음

- 즉, 시스템을 활용한 조사결과는 사용자에게 의한 우연적/필연적 통행누락을 찾아낼 수 있었음

2) 통행목적별 분석

- 통행목적별로 가구통행실태조사와 시스템 결과를 비교한 결과, 두 조사 방안 사이의 큰 차이점을 발견할 수 없었음
- 설문에 의한 가구통행실태조사 방식은 지면의 한계성으로 인해, 통행목적은 일일이 열거하지 못하였으나, 시스템을 이용하여 보다 구체적인 통행목적을 선택할 수 있었음
- 하지만, 통행목적 선택에 대한 조사원들의 명확한 개념이 확립되지 않은 경우, 통행 목적 선택이 애매모호한 경우가 발생하여 잘못 선택하는 경우가 발생하기도 하였음

<표 2-17> 통행목적별 통행수 비교

	가구통행실태조사	비율	시스템		비율
귀가	36	21.4	37		20.7
귀사	16	9.5	17		9.5
기타	33	19.6	37		20.7
등교	12	7.1	10		5.6
쇼핑	4	2.4	대형	5	2.8
			소형	2	1.1
업무	22	13.1	25		14.0
여가	4	2.4	5		2.8
출근	27	16.1	30		16.8
학원	7	4.2	9		5.0
합승	1	0.6	2		1.1
환승	6	3.6	-		-
합계	168	100.0	179		100.0

- 환승목적의 경우, 조사 당시의 조사원의 착각으로 인해 제대로 선택하지 못한 경우가 발생한 것으로 판단됨
- 향후, 통행목적의 세분화에 따른 조사원들에 대한 명확한 교육이 이루어져야 정확한 통행결과를 도출할 수 있을 것으로 예상됨

3) 교통수단별 분석

- 교통수단별로 각 통행결과를 비교한 결과, 승용차를 직접 운전하는 경우를 제외하곤 거의 오차가 발생하지 않았음
- 이는 자가용 운전자들이 다수이고, 승용 직접 운전에 대한 교통수단 선택의 경우가 가장 빈번히 발생하였기 때문이라고 판단됨
- 따라서 직접 운전자들에게 출발전과 도착후에 자신의 통행정보를 바로 입력할 수 있도록 제공하고, 오류 발생의 소지를 줄여야만 보다 좋은 결과를 얻을 수 있을 것으로 판단됨

<표 2-18> 통행수단별 통행수 비교

	가통조사	비율	시스템		비율
도보	31	18.5	33		18.4
버스	8	4.8	시내	7	3.9
			통학	1	0.7
승용(직접운전)	113	67.3	122		68.2
택시	4	0.6	4		2.2
승용(합승)	12	7.1	11		6.2
계	168	100.0			

다. 이동전화 방식과 GPS 방식의 경로 비교

- 이동전화는 전국민의 대다수가 사용하고 있는 기기로서, 교통정보 수집을 위해 활용할 경우, 큰 시설투자를 하지 않고서도 다량의 교통정보를 수집할 수 있을 것으로 판단하고 있음
- 하지만, 이동전화를 이용한 교통정보 수집을 위해서는 ‘위치정보의 이용 및 보호 등에 관한 법률’과 관련된 문제들을 해결하여야 함
- 또한 셀 기반의 기지국 위치와 실제 이동전화의 위치 사이의 오차를 극복해야 하는 한계가 존재함
- 본 연구에서는 GPS 수신을 통한 조사원의 위치와 이동전화 기지국 위치를 기반으로 한 셀 위치를 개략적으로 상호 비교해 보았음

- 결론적으로, 현재의 상황에선 보다 정확한 위치정보를 취득하기 위해 이동전화를 사용한 기지국 기반의 위치취득 방법은 바람직하지 않다고 판단되었으며, 이를 기반으로 O/D를 추정하는 것도 다소 무리가 있을 것으로 사료됨
- 본 연구에선 조사기기(GPS장착 PDA)로 통행조사를 수행하면서, 조사원이 소유한 이동전화번호에 대해 실시간으로 '친구찾기'서비스를 통한 이동전화 위치추적을 수행하였으며, 이를 상호 비교하여 GIS Map상에 매핑하였음



<그림 2-23> 기지국 기반과 GPS 기반의 위치정보 비교

- 위 그림에서 보이는 원은 기지국 위치를 중심으로 반경 500m의 영역을 표현한 것이며, 화살표는 기지국 위치를 나타냄
- 각 기지국 위치는 '친구찾기'서비스의 결과에서 기지국 중심점 좌표를 본 GIS좌표체계에 맞게 변환하여 수동으로 저장한 것임



<그림 2-24> '친구찾기'서비스 화면

- 위 그림은 '친구찾기' 서비스 결과이며, 보이는 타원의 중심점의 좌표를 직접 추출하여 데이터베이스에 저장하였음. 이 타원의 중심점 위치가 기지국 위치임
- 반경 500m를 넘어서서 취득된 기지국 위치가 대부분이며, 이는 곧, 기지국 위치를 기반으로 취득된 정보를 이용하게 되면, 500m 이상의 위치 오차가 빈번하게 발생된다는 의미가 됨
- 즉, 기지국 위치(또는 중계기 위치)를 이용한 O/D추정은 매우 높은 위험성을 가지게 된다고 사료됨

3. GPS(PDA)를 이용한 조사방법의 가능성 및 한계성

가. GPS(PDA)를 이용한 교통조사방법의 가능성

- 현장 테스트 결과 GPS(PDA)를 이용한 교통조사방법의 장점은 다음과 같음
 - 위치정보의 정확성 및 통행(이동)경로 파악이 가능해 짐
 - 통행 누락빈도가 감소하고 통행시간의 정확성이 높아짐
 - 결과 자료의 처리시간이 단축되었음
 - 결과 자료의 활용성이 제고되었음
- GPS좌표를 통해 정확한 위치정보 수집이 가능해졌으며, 이를 GIS Map 위에 표시함으로써, 통행경로의 파악이 쉽게 이루어졌음

- 기존 교통조사방법에서는 통행 누락 문제가 대두되었으나, GPS(PDA)는 일정 주기마다 위치정보를 수집할 수 있어, 누락된 통행에 대한 보완이 가능해졌음
- 또한, 조사자료 수집부터 코딩, 기초분석 등의 과정이 자동화되어, 오류 자료의 생성을 최소화 할 수 있음
- 경로, 통행시간, 통행속도 등의 정보를 수집할 수 있게 됨으로써, 통행행태 연구, 혼잡구간 설정 등 다양한 연구분야의 기초자료로 활용될 수 있음

나. GPS(PDA)를 이용한 교통조사방법의 한계성

- 본 과업에서 사용한 3종류의 단말기를 번갈아 가면서 사용한 결과, 가장 두드러진 문제점은 다음과 같음
 - 조사 단말기의 휴대성
 - GPS 수신을 위한 초기화 시간이 너무 오래 걸림
 - 작동을 위한 배터리 사용문제
 - 통행정보 입력의 번거로움
- 조사원들에게 첨단조사시스템의 사용후기에 대한 설문결과, 대다수의 사용자가 휴대성 및 GPS수신 문제를 거론하였으며, 배터리, 정보입력의 순으로 불편함을 호소하였음
- 특히 PDA 내장형 장치의 GPS는 초기화 시간이 너무 오래 걸림으로 인해, 출발지에서 정확한 좌표수신을 하지 않은 채 주행중에 좌표를 취득하는 경우가 빈번하게 발생하였음
- 또한 PDA를 하루 종일(12시간 이상) 사용하지 못하는 경우가 많이 발생하였으며, 이는 일일 통행정보를 완전히 취득할 수 없게 된다는 문제점을 야기하는 것임

제7절 향후 확장가능성 검토

1. 이동전화를 활용한 조사방안

- 이동전화는 전 국민의 대다수가 사용하고 있을 만큼 가장 널리 보급된 휴대단말기이며, 데이터통신을 위한 전송속도가 최근 3세대 통신방식인 WCDMA(Wide-CDMA) 및 3.5세대 통신방식인 HSDPA(High Speed Downlink Packet Access) 등의 통신망이 제공되고 있음
- 특히 3.5세대 통신방식이라고 불리는 HSDPA는 이론상 통신속도가 14Mbps이며, 실제 2~3Mbps를 지원함으로 인해, 대용량의 데이터도 큰 불편 없이 주고받을 수 있게 되었으며, 이러한 통신방식을 지원하는 전용 단말기도 현재 많이 보급되고 있음
- 하지만, GPS 수신을 할 수 있는 이동전화는 이동통신사에서 제공하는 LBS 서비스에 의존적일 수 밖에 없으므로, ‘네비게이션 서비스’ 등을 위한 전용 단말기 외엔 보편화되어 있지 않음
- GPS 기능을 지원하지 않는 일반적인 이동전화의 위치를 파악하기 위해서는, 이동전화 단말기와 통신하는 기지국 위치를 참고할 수밖에 없음

가. 현장테스트 결과에 따른 제약사항

- 비록 이동전화에 직접 개발한 프로그램을 탑재하여 조사하지는 못했지만, ‘친구찾기’와 같은 위치추적 서비스를 이용하여 테스트를 수행한 결과를 분석하면 다음과 같은 제약사항이 있었음
 - 기지국 기반의 위치정보
 - 이동통신사의 비협조 문제
- 먼저, 현장테스트 결과에서도 나타났듯이 이동전화의 위치정보는 기지국에서의 신호의 세기로 결정되는 것이므로, 정확한 위치정보가 아니며 지역에 따라 설치 범위의 차이가 매우 큼
- 따라서, 이동전화를 활용하여 O/D나 통행경로를 정확히 파악하는 것은 매우 어려움
- 또한, 이동전화를 활용하여 향후 시범사업이나 전국단위의 교통조사를 확장하기 위해

서는, 이동통신사의 적극적인 협조가 필요하지만, 보안상, 비용상의 문제로 인해 협조가 이루어지지 못하였음

- 추가적으로 조사한 바에 의하면, GPS가 장착된 이동전화를 이용하여 SKT의 '네이트 드라이브'와 같은 네비게이션 서비스를 이용하게 되면, 차량의 전원을 이동전화로 공급하지 않을 경우 GPS 수신으로 인한 이동전화 전원을 많이 소모하게 되어, 단말기 자체의 전원이 상당히 빨리 소모되는 것이 확인되었음
- 즉, PDA와 마찬가지로 GPS를 수신하게 되면 단말기 전원 소모가 많이 발생하게 되고, 이에 따라 단말기의 전원(배터리)를 자주 교환하거나 충전해야 하는 부가적인 문제점이 발견되었음

나. 현장테스트 결과에 따른 결론

- 현장테스트를 통해 수행한 결과를 종합적으로 검토하여 볼 때, 이동전화를 활용한 교통조사 방안은 이동통신사에 매우 의존적이 될 수 밖에 없음
- 또한 기지국 기반의 위치정보의 오차가 매우 큼으로 인해, 신뢰도를 중요시하는 교통 DB의 구축에 매우 큰 위험요소를 내재하고 있음
- 따라서, 위치정보의 정확성 문제 및 이동통신사의 비협조로 인해, 향후 시범사업 적용에 어려움이 있을 것으로 판단됨

2. PDA(GPS)를 활용한 조사방안

가. 현장테스트 결과에 따른 제약사항

- 현재 개발된 PDA기반의 GPS를 활용한 교통조사시스템의 확장을 위해서는 다음과 같은 제약사항이 따름
 - 높은 시스템 구축비용
 - 내장형 GPS의 수신률 및 전력 소모
 - 휴대성 문제
- 이런 제약사항을 해결하기 위해 조사에 필요한 기능만을 내장한 조사전용 단말기를 제작하는 방안을 검토함

- 지금까지의 결과만 보더라도, 기존의 가구통행실태조사 및 기타 교통조사의 신뢰성 향상, 효율성 제고 등 기존 교통조사방법의 문제점을 해소할 수 있는 시스템으로 발전 가능하다고 판단됨
- 또한 향후 제주도에 시범사업을 확대할 경우, 조사를 위한 기기의 하드웨어 구매비용이 사업전체의 위험요소일 것으로 판단되나, 자가운전자에 한해서는 기존 제주도에서 기 시행된 텔레매틱스 사업에서 사용된 단말기를 일부 활용 가능한 것으로 판단되었음

나. 제약사항에 따른 보완사항

1) 높은 H/W 구매비용

- 일반PDA 및 조사전용기기를 이용하는 모든 첨단조사방법은 하드웨어 구매비용이 발생함. 특히, 일반PDA는 휴대성을 고려하여 초소형 모델로 선택하였을 경우, 대당 40 ~ 50만원의 가격대를 형성하고 있음
- GPS수신 및 저장위주의 기능을 하는 조사전용기기를 개발하였을 경우, 국내 제조업체에 위탁 개발한다면, 대당 20만원 안팎의 가격으로 양산이 가능할 것으로 조사되었음. 단, 초기 금형비용은 주문수량에 따라 많이 달라짐
- 권역별 가구통행실태조사는 건교부에서 매 5년마다 수행하므로, 하드웨어에 대한 초기투자비용은 높지만, 재활용성을 고려한다면 높은 비용이라 볼 수는 없음

2) 내장형 GPS 수신률 및 전력 소모

- PDA에 내장된 소형 GPS 수신기인 경우, 소형화에 따른 수신률 저하 및 GPS 수신기 자체의 전력 소모량이 매우 큼
- 또한 GPS 초기화를 위한 시간이 매우 오래 걸리기 때문에, 초기 통행정보의 신뢰성을 저하할 가능성이 있음
- 조사 전용기기를 통해 고성능의 내장형 GPS 수신장비를 제작하게 된다면, 이와 같은 수신률 및 전력소모 문제점을 해결할 수 있을 것으로 판단됨

3) 휴대성 문제

- PDA를 이용한 통행조사자인 경우, 자신의 이동전화 외에 조사를 위한 PDA를 계속 소지함에 따라 불편함을 호소하였음
- PDA의 크기도 최근 판매되고 있는 이동전화의 크기에 비해 매우 크므로, 휴대성이 떨어질 수밖에 없음
- 소형화 및 슬림화한 조사전용기기를 개발한다면, 이와 같은 휴대성 및 크기에 따른 문제를 해결할 수 있다고 판단됨

다. 전용 조사단말기 제안

- 현장 테스트를 통해 앞에서 언급한 제약사항을 해결하기 위한 저가의 조사전용단말기의 제작을 제안하고자 함
- 제안되는 조사전용단말기는 다음과 같은 기능을 만족해야 함
 - 높은 GPS수신성공률 및 정확도
 - 수신된 GPS좌표를 특정 저장장치에 변환하여 저장
 - 일일 최소 16시간 동안 작동 가능한 전원공급
 - 메뉴선택 등을 편리하게 하기 위한 한글지원LCD
 - 사용자 선택을 위한 스크롤 버튼 및 선택버튼
 - 데이터 전송을 위한 인터페이스(RS232, RS485 등)
- 위의 기능을 만족하는 조사전용 단말기가 제작된다면, 조사대상자들에게 사전에 배급하고, 자동으로 GPS를 수신하게 함으로써, 통행 및 경로에 대한 정확한 정보를 취득할 수 있게 될 것으로 판단됨
- 조사 대상자들이 본 기기를 몸 또는 가방 등에 부착하여 가지고만 다녀도, GPS 좌표를 자동으로 취득하게 되며, 여기에 사용자의 통행목적/교통수단 등의 부가정보를 첨가하여 보다 상세한 O/D 정보를 생성할 수 있을 것으로 사료됨

3. 각 조사방법별 비용분석

- 본 과업을 통해 검토된 이동전화를 이용한 조사방안, PDA를 이용한 조사방안 및 마지막에 제안한 전용단말기를 이용한 조사방안에 대해 각각 투입되어질 비용을 산정하여, 현재 가구통행실태조사를 통해 소모된 비용과 상호 비교함으로써, 보다 효율적이고 경제적인 조사시스템이 어떤 것인지 파악하고자 함
- 우선 2006년 광역권 여객통행실태조사 중 가구통행실태조사에 소요된 조사비용중 가구방문 및 설문지회수, 자료입력을 수행한 인력들의 인건비 및 제반 경비를 파악하고, 각 대안별 초기투자비용인 하드웨어 구축비용과 함께 운영비 등을 예상한 후 이를 상호 비교하고자 함
- 각 대안별로 비교된 비용을 분석하여, 가장 합리적인 대안을 선택하는 기초자료로서 활용하고자 함

가. 2006년 가구통행실태조사 비용 분석

1) 조사 인건비

- 2006년 광역권 여객통행실태조사의 전체 예산은 약 32억원 정도이며, 이 중 조사를 위한 인건비에 약 29억원이 소요되었음
- 또한 조사 전체 인건비는 29억원이지만, 이중 가구통행실태조사를 위한 인건비는 약 13억원이 소요되었으며, 총 대상 가구수(조사 표본수)는 약 18만 가구임

2) 기타 경비

- 조사 인건비 외에 조사에 필요한 직접비로서 약 2억7천만원 정도가 소요되었으며, 인쇄 및 기타 비용으로 약 1억3천만원이 소요되었음

3) 가구당 소요비용

- 인건비 및 기타 경비를 종합하여 계산하면 가구통행실태조사를 위해 조사 인건비, 직접 및 간접경비를 포함하여 약 16억9천만원이 소요되었음

- 이를 총 조사가구인 18만 가구를 대상으로 계산하면, 가구당 약 9,400원의 조사비용이 소요된 것임
- 즉, 가구통행실태조사를 위해 각 가구별로 방문하여 설문지를 배포 및 회수하고, 이를 전산화하기 위한 비용으로 약 9,400원의 비용이 소요되는 것으로 계산되었으며, 이를 다른 조사시스템 대안별로 비교하고자 함

나. 각 대안별 비용분석

- 우선 각 대안별로 분석하기에 앞서, 전체적으로 필요한 조사단말기가 얼마나 필요한 것인지 파악할 필요가 있음
- 2006년 가구통행실태조사의 대상이 18만 가구였으며, 각 권역별로 약 1개월(4주간)간 순환하며 조사하였음
- 즉, 총 4개 권역에 대해 각 권역별로 4주간 조사하였으며, 각 권역별 조사 가구는 약 4만~5만 가구였음
- 개략적으로 계산한다면 각 주간별로 약 1만개의 조사 단말기가 필요하게 됨
- 물론, 조사 단말기를 배포하고 회수함에 따라 여분의 단말기가 필요하지만 하드웨어 구매비용이 상당히 크므로, 최소한으로 단말기를 구입하는 것으로 가정하였음
- 가구통행실태조사는 매 5년마다 수행하게 되며, 2~3년에 한 번씩 보완조사를 실시하는 것을 가정으로 함

1) 공통 경비

- 각 대안별로 공통적으로 적용되는 비용은 발생하며, 첨단시스템을 도입하더라도 단말기의 배포 및 회수를 위한 인건비는 발생하게 됨
- 2006년 가구통행실태조사를 위해 약 17억 원의 조사 인건비가 발생하였고, 이를 첨단 조사시스템으로 적용한다면 대략 50%수준으로 인건비가 절감될 것으로 가정함
- 새로 구축된 조사기기를 광역 가구통행실태조사에 최소 2회 사용한다고 가정하면, 2~3년에 한 번씩 수행되는 보완조사까지 약 3회에 걸쳐 사용되지만, 보완조사는 전체 조사의 약 30%의 범위에서 수행되므로, 2.3회를 사용한다고 가정함
- 따라서, 전체 모집단의 수는 180,000가구의 2.3배인 414,000가구로 계산하였음

- 하지만, 실제 첨단조사시스템이 보급되면, 위와 같은 방식이 아닌 수시조사방식으로 변경될 수 있게 되고, 이에 따라 실제 조사시스템 단말기의 활용횟수는 훨씬 증가하게 될 것임

2) PDA를 이용한 교통조사방법론

- 범용 PDA는 기능에 따라 가격대가 다양하지만, GPS 수신기가 내장된 PDA의 가격대는 30만원에서 40만원의 가격대를 형성하고 있음. 물론, 다양한 사양을 포함하고 있으면 50만원~60만원의 가격대를 형성하고 있음
- PDA를 이용한 통행조사시스템을 구축한다고 가정하였을 경우, PDA 한 대당 약 30만원의 비용이 소모된다고 가정하였으며, 10,000대를 구매한다면 약 30억원의 하드웨어 초기 구입비용이 발생하게 됨
- PDA에 저장된 통행정보를 CDMA모듈을 통해 서버로 전송한다면, 이동통신사에 전화기기로 등록을 해야 함.(이동통신사는 SK텔레콤을 이용한다고 가정하였음)
- SKT에는 PDA전용 요금제가 있으며, 가장 저렴한 PDA전용 요금제는 월 7,500원의 기본요금으로 데이터통신을 할 수 있음.(1.5원/0.5KB)
- 일일 총 송수신하게 될 데이터를 개략적으로 계산하였을 때, 하루에 21,650바이트를 저장하게 됨
 - 기본데이터 50바이트
 - 30초당 저장할 GPS좌표 및 시간정보는 12바이트
 - 12바이트/회 × 2회/분 × 60분 × 15시간 = 21,600바이트
- 일일 21,650바이트를 패킷인 0.5KB(512바이트)로 나누면 총 42패킷이 소모되며, 각 패킷당 1.5원의 비용이 소요되므로 일일 63원이 소요됨
- 일주일중 화요일~목요일만 가구통행실태조사를 수행하므로, 주3회 × 4주 = 총 12회의 전송이 일어난다고 하면 월간 총 760원의 비용이 발생하게 됨
- (기본료 7,500원 + 데이터 사용료 760원) × 12개월 = 99,120원/년
- 10,000대의 단말기를 이동통신사에 가입하여 5년 동안 운영한다고 가정하면, 가입비 5만원 × 10,000대 = 5억 원이 초기자금으로 필요하게 되며, 총 기본운영비는 데이터 통신료를 제외하더라도 약 50억 원의 운영비가 필요하게 됨.(연간 10억 원)

3) GPS장착 이동전화를 이용한 교통조사방법론

- GPS가 장착된 이동전화를 이용한 시스템의 경우, 하드웨어(이동전화 단말기)를 구입하는데 대당 25만원~40만원 사이의 비용이 발생할 것으로 예상됨
- 최신의 GPS장착 이동전화는 대당 50만원 이상 되지만, 적당한 단말기 모델을 선정하고 이동전화 제조업체와의 가격 조율을 거치면 대당 25만원내외가 될 것으로 예상됨
- 따라서, GPS장착 이동전화 단말기의 대당 가격을 25만원이라 가정하고, 이를 10,000대 구입하게 된다면 단말기 구매비용으로 25억원이 소요되며, 이동통신사 가입을 통해 5억원이 소요될 것으로 예상됨
- 데이터 통신은 PDA 요금제와는 달리 패킷당 2.5원이 소용됨. 데이터 사용량이 그리 크지 않기 때문에, 데이터정액제가 아닌 일반 기본요금제에 데이터사용량만큼 비용을 지불하는 방식을 취함
- 패킷당 2.5원이면, 일일 21,650바이트를 전송하기 위해서는 일일 106원, 월 1,270원이 소요될 것으로 예상하며, 일년 내내 사용할 경우 단말기당 171,230원 정도의 금액이 예상되고, 이를 5년간 계속 사용한다면 78억 원의 예산이 필요할 것으로 예상됨

4) 일반 이동전화를 이용한 교통조사 방법론 A (조사기기 구입)

- 가구통행실태조사를 위해 조사를 위해 일반 이동전화 단말기를 첨단조사시스템으로 사용하고, 기지국 기반의 위치추적 서비스를 이용하는 것을 가정하여 하드웨어를 구입하게 되고, 운영비의 부담은 GPS핸드폰과 동일하다고 판단됨
- 단, 일반 이동전화의 가격이 GPS장착 이동전화에 비해 많이 저렴해질 것으로 예상됨

5) 전용단말기를 이용한 교통조사방법론

- 가구통행실태조사를 위한 전용단말기를 개발할 경우, 개발되는 총 개수에 따라 단말기의 원가가 달라짐
- 전용단말기의 단가는 10,000개 생산시 약 100,000원 정도 소요될 것으로 예상되어 총 10억정도의 단말기 구매비용이 소요될 것으로 예상함
- 데이터의 무선전송이 필요하지 않게 되므로, 이동통신사를 거쳐 데이터를 주고받는

일이 필요 없으며, 이로 인해 이동전화와 관련된 초기 투자비 및 운영비 항목이 필요 없음

6) 각 대안별 비용 비교

- 조사 단말기를 10,000대 구매(제작)하고, 2.3회를 평균적으로 사용하며, CDMA는 SKT에 초기 가입후 매월 일정액을 지불하는 방식으로 5년 이상 사용한다는 조건일 경우, <표 2-19>와 같은 소요비용이 예상되었음

<표 2-19> 대안별 예상 소요비용 비교

구 분		전용단말기	PDA	GPS핸드폰	일반핸드폰
1.H/W	H/W단가(원)	100,000	300,000	250,000	150,000
	개수	10,000	10,000	10,000	10,000
	소계(원)	1,000,000,000	3,000,000,000	2,500,000,000	1,500,000,000
2.운영비	기본요금(월)	-	7,500	13,000	13,000
	통신비(월)	-	761	1,269	1,269
	일년요금(원)	-	99,132	171,228	171,228
	가입비(원)	-	50,000	50,000	50,000
	총요금(원)	-	5,456,600,000	9,061,400,000	9,061,400,000
3.인건비	인건비(원)	850,000,000	850,000,000	850,000,000	850,000,000
	총인건비(원)	1,955,000,000	1,955,000,000	1,955,000,000	1,955,000,000
합계(원)		2,955,000,000	10,411,600,000	13,516,400,000	12,516,400,000
조사가구수		414,000	414,000	414,000	414,000
가구당비용(원)		7,138	25,149	32,648	30,233
비교비율		1.32	0.37	0.29	0.31

- 기존의 가구통행실태조사와 비교하였을 경우, 전용단말기를 제작하여 첨단교통조사시스템을 구축하는 방법만이 가장 적절한 가격을 가질 수 있는 대안으로 판단할 수 있음
- 시스템을 구축하게 되면 위와 같은 가정보다는 좀 더 많은 사용을 하게 될 것이므로, 실제 효용가치는 이보다 더 크게 될 것으로 판단할 수 있음

제8절 소결론

1. 이동전화를 활용한 조사방안의 한계점

- 앞서 언급하였듯이 현재 이동전화는 일반인들이 가장 보편적으로 사용하는 기기이지만 이를 교통조사에 사용하기 위해서는 법률적, 기술적으로 고려해야 할 사항이 존재함
- 법률적으로는 「통신비밀보호법」과 「정보통신망이용촉진및정보보호에관한법률」에 의해 위치정보의 이용과 보호를 규제하고 있으며, 위치정보를 활용하기 위해서는 ‘위치정보사업자’와 이를 응용하는 ‘위치기반서비스사업자’만 위치정보의 수집 및 활용을 할 수 있음
- 또한 취득된 위치정보는 공공의 목적으로 사용하여야 하며, 수집되는 단말기 사용자 개인의 사적인 정보를 활용하기 위해 사전 동의를 받아야 하는 제약사항이 있음
- 기술적으로는 GPS가 장착된 이동전화의 경우, A-GPS 및 S-GPS 방식 등의 다양한 방법으로 정확한 위치정보를 취득할 수 있으나, GPS 수신이 안 될 경우 기지국 위치기반의 오차(200m~2km)가 너무 크게 발생하여 자료의 신뢰성을 확신할 수 없는 경우가 발생하게 됨
- 이동전화를 활용한 교통조사방법의 경우, 범용 이동전화를 활용할 수 있기 때문에 조사비용 측면에서 가장 효율적인 것으로 예상되지만, 현장테스트 결과 셀 기반의 위치정보의 신뢰성의 한계가 증명되었음
- 또한 이동통신사의 협조가 없이는 현실적으로 대규모 교통조사에는 부적합한 것으로 판단되었음

2. PDA(GPS)를 활용한 조사방안의 결과 검토

- PDA를 활용한 교통조사방법은 GPS 좌표를 사용하기 때문에 기지국 기반으로 위치를 참조하는 일반 이동전화에 비해 위치정보가 매우 정확하고, 소프트웨어를 설치하기 쉽다는 장점이 있음

- 하지만, 본 과업의 현장테스트에 사용되었던 단말기는 대당 단가가 약 60만원 정도이기 때문에, 향후 확대 사업에 적용하기에는 구매에 따른 어려움이 있음
- 최근 다양한 종류의 저가형 PDA(최저 20만원대)가 출시되고 있지만, 시범사업이나 전국 사업을 확산을 위해 저가형 PDA를 사용하기에는 배터리 용량 한계에 따른 전원 공급의 제약사항이 있음
- 이에 따라, 조사전용 단말기를 제작한다면, 비용절감, 기기의 소형화로 인한 조사원의 부담감소, 전원 유지 등 현장테스트에 도출되었던 문제점이 해결될 것으로 예상됨

3. 결론

- 첨단기기를 활용한 통행조사시스템은 정확도나 운영함에 있어 매우 유용한 것으로 분석되었음
- 조사표에 의한 가구통행실태조사보다는 첨단교통조사시스템에 의한 결과가 향상되었으며, 가구통행실태조사에서 발견하지 못하는 피조사자의 통행누락 부분을 본 시스템을 통해 검지할 수 있었음
- 따라서, 본 시스템을 통해 최종적으로는 가구통행실태조사에서 누락된 부분까지 누락 통행을 생성해냄으로써, 전체 통행결과의 신뢰성을 향상시킬 수 있다고 판단됨
- 또한, 피조사자의 통행경로를 GIS 맵을 이용하여 표현함으로써, 기존 조사에서 불가능하였던 이동경로와 구간속도, 혼잡구간 등의 파악이 가능해지며, 조사자료의 활용 영역 확대와 실시간 자료 서비스가 가능할 것으로 판단됨
- 버스 및 지하철과 같은 교통수단에 대해 많은 검토가 이루어지지 못한 부분이 아쉽지만, 대중교통망과 관련된 자료를 활용하여, 개인통행에 대한 추론을 할 수 있는 방법을 마련할 수 있음

제3장 도로의 통행비용함수 파라미터 보완 및 검증

제1절 개요

제2절 국내 · 외 선행연구 검토

제3절 통행비용함수의 파라미터 추정 및
검증 방법론

제4절 고속도로 통행비용함수 파라미터
검증

제5절 통행비용함수 파라미터 종합검증

제6절 소결론

제3장 도로의 통행비용함수 파라미터 보완 및 검증

제1절 개요

1. 배경 및 목적

- 여객 기종점통행량(O/D)자료는 교통정책의 연구 및 개발, 교통시설의 타당성 평가에 필수적인 기초자료로서, 자료의 신뢰성 검증과 이를 제고하기 위한 기초연구가 필요한 실정임
- 기종점통행량(O/D) 자료를 구축하는 과정에서 통행비용함수(Travel cost function)는 통행배정단계에서 교통량에 따른 통행시간변화를 계산하여 통행자의 경로선택을 결정하는 데 중요한 역할을 함
- 따라서, 각 도로조건(도로위계, 용량 등)에 따라 신뢰성 있는 통행비용함수의 파라미터값을 선정하여 사용해야 하는데, 현재 주로 사용되고 있는 통행비용함수의 파라미터값은 이를 제대로 반영하지 못하고 있는 실정임
- 본 과업은 2005년 ‘여객 O/D 신뢰성 제고를 위한 분석방법론 연구’의 연장선에 있는 과업으로, 2005년 고속도로 통행비용함수의 파라미터를 추정한 결과와 새롭게 국도에 적합한 파라미터를 추정하고 이를 전국 O/D 및 네트워크에 적용하여 신뢰성을 향상시키는 방안을 제시하고자 함

2. 과업의 내용 및 수행과정

가. 과업의 내용

- 문헌조사
 - 문헌조사 결과와 한국교통연구원의 2005년 파라미터 추정결과를 바탕으로 필요 자료 파악 및 자료수집계획과 분석방법론 정립
 - 국내외 파라미터 정산방법론 검토

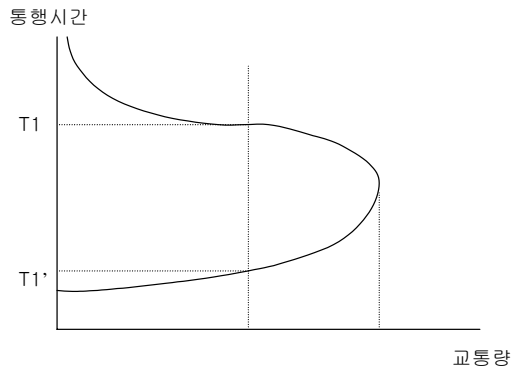
- 2005년 고속도로 파라미터 추정결과 검토
 - 2005년 『여객 O/D자료의 신뢰성 제고를 위한 분석방법론 연구』중 “도로의 통행지체 함수 파라미터 정산”의 결과로 제시된 고속도로 파라미터 값에 대한 검증
 - 고속도로 파라미터 값의 검증을 통한 보완계획 수립
- 2005년 국도 파라미터 추정 및 검증
 - 파라미터 추정을 위한 자료수집
 - 국도 파라미터 추정 및 검증
- 최종 추정된 고속도로 및 국도 파라미터에 대한 종합 검증
- 국지도, 지방도에 대한 파라미터 추정방안에 대한 제시

나. 과업 수행과정

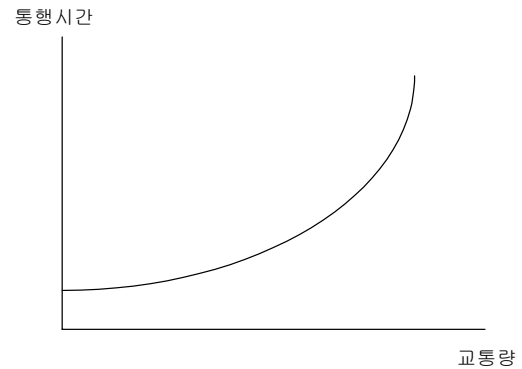
- 본 과업의 단계별 수행절차는 다음과 같음
 - [단계1] 추정 및 검증 자료수집
 - 대상국도 선정 : 선정기준 - 각 지역간 최단경로를 기준으로 신뢰성 있는 자료 수집
 - 신뢰성 있는 자료 구축 : 수집된 자료의 이상치 제거
15분/피크시/비피크시/전일 교통량, 속도, 통행시간
 - [단계2] 네트워크 및 OD구축
 - 네트워크 및 OD검증
 - [단계3] 고속도로 파라미터 검증
 - 통계적 검증(statistical test)
 - [단계4] 국도 파라미터 추정
 - 회귀분석 및 최적화문제, 열거법을 통하여 파라미터 추정
 - [단계5] 파라미터 종합검증
 - 고속도로 및 국도의 파라미터 통계적 검증

3. 통행비용함수의 속성

- 본 과업에서는 통행배정(traffic assignment)모형의 정립을 위하여 통행비용함수를 추정하는데, 통행배정모형에서 통행비용함수는 도로상의 교통량과 통행시간과의 관계를 나타내는 함수임
- 통행비용함수는 기종점간 최단경로탐색시 사용되는 시간비용함수로 운전자의 경로선택에 영향을 미치며, 따라서 도로상에 부하되는 교통량을 결정하는 주된 요소임
- 여기서, 최단경로 탐색시 각 경로별 도로저항(Link Impedance)이 판단의 기준으로 사용 되는데, 일반적으로 교통량이 임계밀도에 이를 때까지 계속 증가하면 도로저항도 증가하기 때문에 밀도는 감소하고 임계밀도를 넘어서면 교통량과 속도 모두 감소하여 통행시간은 증가하게 됨
- 통행비용함수는 교통량 증가에 따른 통행시간 변화를 나타내는 것으로, 정확한 비용함수 없이는 사용자의 통행시간 또는 통행비용에 근거한 사용자의 경로 선택 행위를 정확히 모형화 할 수 없으므로 교통배정에서 통행비용함수는 중요함
- 이론상 통행비용함수는 <그림 3-1>과 같지만 그림에서 보듯이 특정 교통량에 각기 다른 두개의 통행시간을 갖게 되므로(다중해 문제) 이를 그대로 모형에 적용하기에는 문제가 있음. 이는 수리모형으로 표시된 교통배정 모형을 사용하기 위해서는 단조증가 함수 형태로 된 비용함수를 사용하여야 단일해를 찾을 수 있기 때문임
- 따라서 대부분의 연구에서는 용량보다 큰 교통량에 대해서는 <그림 3-2>와 같이 단조증가하는 형태의 비용함수를 사용하며, 이런 통행비용함수가 갖추어야 할 속성은 다음과 같음(Ortuzar et al.1994)
 - i) 사용된 통행 비용함수가 현실에 적합해야 함
 - ii) 통행비용함수는 통행량에 대하여 비감소(non-decreasing), 단조성(monotone)을 가져야 하며,
 - iii) 연속적(Continuous)이고 미분가능(Differentiable)해야 함.
 - iv) 또한, 교통수요가 용량을 초과하는 과포화시를 표현할 수 있어야 하며,
 - v) 현실적 요구에 맞춰 손쉽게 조작 가능해야 함
- 특히, 여기서 ii), iii)조건은 통행배정모형이 유일해(Unique solution)를 갖게 되는 기본적인 조건이 됨



<그림 3-1> 이론적인 통행비용함수



<그림 3-2> 단조증가 통행비용함수

제2절 국내 · 외 선행연구 검토

1. 국외 연구

가. 수리함수

1) Irwin, Dodd와 Von Cube의 식

- Irwin, Dodd와 Von Cube(1961)는 다음과 같이 차로별 교통량과 용량 관계에 의해 불연속적으로 적용하는 두 개의 직선함수를 제안하였음

$$T = T_a + \alpha(Q' - C_p') \quad \text{for } Q' < C_p'$$

$$T = T_a + \beta(Q' - C_p') \quad \text{for } Q' \geq C_p' \quad \text{단, } T_a = T_0 + \alpha C_p'$$

여기서, Q : 교통량

T : 교통량이 Q 일 때 통행시간

T_0 : 교통량이 없을 때의 통행시간

C : 최대 용량

C_p : Practical Capacity(서비스 수준 C 일 때)

α, β : 변수

Q' : 차선당 교통량

C_p' : 차선당 Practical Capacity

- 이 함수는 다시 Irwin과 Von Cube에 의해 다음과 같은 세 개의 직선식으로 발전되었음

$$T = T_a + \alpha(Q' - C_p') \quad \text{for } Q' < C_p'$$

$$T = T_a + \beta(Q' - C_p') \quad \text{for } C_p' \leq Q' \leq C'$$

$$T = T_b + \gamma(Q' - C_p') \quad \text{for } Q' \leq C_s'$$

단, $T_a = T_0 + \alpha C_p'$

$$T_b = T_a + \beta(C' - C_p')$$

C' : 서비스수준 E 용량

- 이 지체함수를 사용한 결과 실측자료와 추정자료 값이 유사하게 부합되었으나 이 함수는 C_p' 및 C' 에서 함수가 비연속이기 때문에 수리모형 교통배정에는 사용할 수 없음

2) Smock 식

- Smock(1962)는 DATS(Detroit Area Transportation Study)에 사용하기 위해 다음과 같은 지수형 식을 개발하였음

$$T = T_0 \exp(Q/C_c)$$

$$T \leq 5T_0$$

여기서, T : 교통량이 Q 일 때 통행시간

T_0 : 교통량이 없을 때의 통행시간

Q : 교통량 또는 통행수요

C : 용량

- 이 함수를 유도할 수 있도록 실험과 수학적 논리를 제공한 것을 1961년 Smulick이었고 적용에 있어 Smock은 각 링크의 용량을 추정하는데 링크의 종점에 있는 교차로의 용량을 평균하여 산출하였음
- Smock은 관측치와 비교하여 이 함수의 적합성을 제시하지는 않았으나 그는 Michigan의 Flint시 조사에서 반복배정 기법에 이 함수를 적용하였는데 전량 배정기법을 적용할 때보다 용량을 초과하여 배정되는 통행량이 상당히 적었다고 보고하였음

3) Mosher식

- Mosher(1963)는 다음과 같은 log함수를 제안하였음

$$T = T_0 + \ln(\alpha) - \ln(\alpha - Q)$$

단, $Q \leq \alpha$

Hyperbolic 용량함수는

$$T = \beta - \frac{\alpha(T_0 - \beta)}{Q - \alpha}$$

단, $Q \leq \alpha$ 로 정의 되었음

4) BPR식

- 현재 가장 많이 사용되는 식으로 미국의 공로국(Bureau of Public Roads)에서 1964년에 개발한 식이며 일반적으로 다음과 같이 나타낼 수 있음

$$T = T_0(1 + \alpha(Q/C_p)^\beta)$$

C_p : LOS C 에서의 용량(Practical Capacity)

= 0.75 × 가능용량(LOS E 에서의 용량)

여기서, T : 수정된 링크 통행시간

T_0 : 자유류 상태에서의 링크 통행시간

Q : 링크 통행량

C_p : 서비스수준 C 에서의 용량

- 파라미터 α, β 는 통산 0.15, 4를 사용함

5) 영국 교통부 식

- 영국 교통부(DOT, UK)에서는 1985년 도시부, 외곽부 및 도시간 도로 등 지역구분에 따라 여러 형태의 링크에 대하여 속도-교통량 관계의 상수를 제시하고 있음
- 또한 교통량 수준에 따라 다음과 같이 3단계로 시간-교통량 관계를 나타냄

$$T = d/S_0$$

$$V < F_1$$

$$T = d/S(V) = \frac{d}{S_0 + SS_{01}F_1 - SS_{01}V}$$

$$F_1 \leq V \leq F_2$$

$$T = d/S_1 + (V/F_2 - 1)/8$$

$$V < F_2$$

여기서, $SS_{01} = \frac{S_0 - S_1}{F_1 - F_2}$ 이며

S_0 : 자유류에서의 속도

S_1 : 용량상태 F_2 일 때의 속도

F_1 : 자유류 상태하에서의 최대교통량

d : 링크의 길이

6) Soltman 식

- Soltman(1965)은 다음과 같은 비선형 통행저항함수를 제안하여 PATS(Pittsburgh Area Transportation Study)에서 사용하였음

$$T = T_0 2^{Q/C_p}$$

단, $Q/C_p \leq 2$, 즉, $T/T_0 \leq 4$

여기서, T : 수정된 링크 통행시간

T_0 : 자유류 상태에서의 링크 통행시간

Q : 링크 통행량 또는 수요

C_p : 실용용량(Practical Capacity)

- 이 식은 Schneider(1963)의 발견론적(Heuristic) 교통배분·배정 결합모형(Combined Trip Distribution - Assignment Model)을 PATS에 적용하기 위해 Soltman이 사용한 식임

7) Overgaard 식

- 위의 Soltman식은 Overgaard(1967)에 의해 다음과 같은 일반식의 형태로 제시되었음

$$T = T_0 \alpha^{(Q/C)^\beta}$$

즉, Soltman식은 Overgaard식에서 $\alpha=2$, $\beta=1$ 일 경우임

8) TRC 식

- TRC(Traffic Research Corporation)는 1966년 다음 식을 제안하여 캐나다 Winnipeg 지역에서 사용하였음

$$T = \alpha + \beta(Q_1 - \gamma) + \{\beta^2(Q_1 - \gamma)^2 + \delta\}$$

9) Dafermos 식

- Dafermos(1967)는 다음과 같은 함수식을 제안하였음

$$T_a = \alpha_a \{ \beta_a / (\beta_a + Z_a) \}^{U_a} X_a + B_a X_a$$

단, $\alpha_a, \beta_a > 0$

$$0 \leq U_a \leq 1$$

Z_a : a 구간에서 용량 증가분

$B_a(\cdot)$: 함수

10) Steenbrink 식

- Steenbrink(1974)는 BPR식의 Practical Capacity 대신에 서비스 수준 E 용량을 사용하여 네덜란드의 교통환경에 대하여 α 와 β 를 검증하였음

$$T = T_0 \{ 1 + \alpha (Q/C)^\beta \}, \alpha = 2.62, \beta = 5$$

- BPR식에 대한 이 함수의 장점은 용량으로서 측정 가능한 단일 수치를 사용한다는 것임

나. 이론적 함수

1) Campbell, Keefer와 Adams 식

- Campbell, Keefer와 Adams는 현재 CATS 함수라고 알려져 있는 다음과 같은 식을 제안하였음

$$T = T_0 \quad \text{for } \frac{Q}{C} \leq 0.6$$

$$T = T_0 + \alpha \left(\frac{Q}{C} - 0.6 \right) \quad \text{for } \frac{Q}{C} > 0.6$$

여기서, T : 교통량이 Q 일 때 통행시간

T_0 : 교통량이 없을 때의 통행시간

α : 포화 교통류(Saturation flow)

Q : 교통량

C : 교통용량

- 이들은 신호화된 도시부 간선도로에서의 속도와 V/C 의 관계를 나타내는 모형을 개발하기 위해 시카고 지역 교통조사(CATS)에서 신호에 의한 누적 정지시간을 통행시간에 더하는 방법을 제시하였음
- 누적 정지시간은 최대 및 최소 가능 정지시간의 평균으로 산출하였고 최대 및 최소 가능 정지시간은 다양한 신호주기와 교통량을 가진 도로를 대상으로 산출하였음
- 이 결과 속도-교통량 관계를 규명할 수 있었으며, 이를 속도 - V/C 관계식으로 변환하였음
- 이 관계식을 곡선으로 나타내면 대체로 V/C 가 0.6일 때 단절점을 갖는 두개의 선형 구간으로 나타남

2) Davidson 식

- Davidson(1966)에 의해 제안된 식으로 대기행렬 이론에 근거한 준 이론적 함수에 속하며 다음의 3개의 매개상수를 가지는 형태로 표현됨

$$T = T_0 \left(1 + J \frac{Q}{S - Q} \right)$$

여기서, T_0 : 교통량이 없을 때의 통행시간

S : 포화 교통량

Q : 통행량

J : ≥ 0 인 지연 매개상수

- 여기서 J 는 링크유형과 링크의 환경에 의하여 결정되며 이를 추정하기 위해서는 최소 자승법 등 통계적인 처리가 필요함
- 이 함수는 1977년에 Daganzo, 1981년에 Boyce, Janson, Eash 등의 여러 연구에 적용되었음

3) Wardrop 식

- Wardrop은 도로망의 전체 통행속도와 교통량과의 관계를 표시하는 지체함수를 개발하였음

$$T = \frac{T_0}{1 - \gamma Q} + \frac{\alpha \beta}{(\alpha - Q)D}$$

여기서, D : 도로연장

$$\alpha, \beta > 0$$

$$\gamma < 1/C$$

- Wardrop은 신호 교차로에서의 대기시간과 신호 교차로간의 통행시간을 차량 연동식 또는 고정식 신호 두가지에 대하여 평균 지체와 교통량 관계를 개략적인 식으로 유도함으로써 산출하였음
- 그는 평균 지체의 역수와 교통량의 관계는 대기행렬과 통행시간에 대하여 대체로 선형 관계임을 증명하였음

다. 국외 통행비용함수 파라미터의 정산 및 검증 현황

1) 미국사례

① 파라미터 정산

- 미국의 경우 1970~1980년대 대중교통청(Urban Mass Transportation Administration)이 도시교통계획 프로그램(Urban Transportation Planning Software : UTPS)에서 최초의 링크 용량과 자유통행속도를 산출한 이후, BPR 함수식에서 용량, 자유통행속도, 파라미터를 보편적으로 사용하고 있음
- 이후 Horowitz (1991)는 HCM(1985)의 기준에 따라 BPR함수식의 파라미터를 추정하였는데, BPR함수식의 파라미터 α 값은 자유교통류(free speed)상태와 용량(LOS E)상

태에서 BPR함수식과 속도 / 교통량 데이터를 일치시키는 점에서 결정했으며, 파라미터 β 값은 비선형 회귀분석(nonlinear regression)으로 구하였음. 각 도로유형별 용량과 초기속도 그리고 이를 이용하여 최종적으로 산출된 BPR함수식의 파라미터값은 <표 3-2>과 같음

<표 3-1> 도로유형별 자유통행속도와 용량

단위: capacity(pcphpl), speed(mph)

지 역		기능 분류				
		고속도로	class1 간선도로	class 2 간선도로	class 3 간선도로	collector 집분산도로
Urban	capacity	2,000	1,000	870	670	470
	free flow speed	50	35	25	20	15
Suburban	capacity	2,000	1,000	870	670	470
	free flow speed	55	40	35	25	20
Rural	capacity	2,000	1,000	870	870	470
	free flow speed	60	45	40	35	25

자료: A.J. Horowitz, Delay-volume relations for travel forecasting: Based on the 1985 Highway Capacity Manual, University of Wisconsin-Milwaukee, March 1, 1991

<표 3-2> 도로별 BPR함수의 파라미터 추정값

Facility		α	β	σ_V	R^2	n
Freeways	70 mph	0.88	9.8	1.90	91.8%	31
	60 mph	0.83	5.5	1.93	91.2%	31
	50 mph	0.56	3.6	0.70	98.4%	29
Multilane	70 mph	1.00	5.4	2.78	87.3%	21
	60 mph	0.83	2.7	1.50	95.8%	21
	50 mph	0.71	2.1	0.77	98.3%	19

자료: A.J. Horowitz, Delay-volume relations for travel forecasting: Based on the 1985 Highway Capacity Manual, University of Wisconsin-Milwaukee, March 1, 1991

② 검증기준

- 미국의 검증척도는 주로 교통량과 VMT(Vehicle Mile of Travel)를 이용하고 있으며, 각 척도들이 만족해야할 검증수준을 제시하고 있음. 교통량의 경우 결정계수(R^2), %RMSE 그리고, 도로위계별 수준을 마련하고 있으며, VMT(Vehicle Mile of Travel)의 경우도 도로위계별로 기준을 제시하고 있음

i) 교통량(traffic volume)

- $R^2 \geq 0.88$
- %RMSE = 30~40%

$$\%RMSE = \frac{\sqrt{\sum_j (M_j - C_j)^2 / (N-1)}}{\sum_j (C_j / N)} \times 100$$

여기서, C : 관측치, M : 추정치, N : 관측자료수

- 도로 위계별 범위

<표 3-3> 도로위계별 일교통량 검증기준

Facility Type	FHWA Targets(+/-)	NCDOT Targets
Freeway	7%	5%
Major Arterial	10%	8%
Minor Arterial	15%	10%
Collector	25%	15%

자료: FHWA, Calibration and Adjustment of System Planning Models, 1990

<표 3-4> 개별링크별 일교통량 검증기준

Average Annual Daily	FHWA Desirable Percent Deviation	NCDOT Targets Desirable Percent Deviation
< 1,000	60	55
1,000 ~ 2,500	47	50
2,500 ~ 5,000	36	30
5,000 ~ 10,000	29	25
10,000 ~ 25,000	25	20
25,000 ~ 50,000	22	15
> 50,000	21	10

자료: TMIP, Model Validation and Reasonableness Checking Manual, 1997 and NCDOT, Model Specifications

ii) VMT(vehicle miles of travel)

<표 3-5> 도로위계별 VMT 검증기준

Functional Classification	Urban Area Population		
	Small(50-200K)	Med(200K-1M)	Large(>1M)
Freeway / Expressways	18 ~ 23%	33 ~ 38%	40%
Principal Arterials	37 ~ 43%	27 ~ 33%	27%
Minor Arterials	25 ~ 28%	18 ~ 22%	18 ~ 22%
Collectors	12 ~ 15%	8 ~ 12%	8 ~ 12%

자료: Christopher Fleet and Patrick DeCorla-Souza, Increasing the Capacity of Urban Highways - The Role of Freeways, presented 69th Annual Meeting of the TRB, January, 1990

2) 영국사례

① 파라미터 정산 및 검증

- 영국의 경우, 통행비용함수에 사용되는 파라미터의 정산에 대해서 특별한 지침을 마련하고 있지 않음. 교통수요 예측시 EMME/2나 SATURN과 같은 상용화된 프로그램을 이용하지만 여기에 사용되는 비용함수에 대해서는 분석가의 판단에 맡기고 있음
- 이보다는 입력자료로 얼마나 신뢰성 있는 자료를 사용해야하는지와 통행배정모형에서 도출된 링크 통행량, 통행시간 등 결과의 검증에 훨씬 자세한 지침과 기준을 제시하고 있음. 즉, 모형의 정산보다는 검증에 중점을 두고 있으며, 검증방법과 허용되는 오차의 범위, 분석대상 자료수 등에 대해서 자세한 검증기준을 갖고 있음
- 오차의 측정 : 관측교통량과 배정교통량 사이의 오차는 다음과 같은 Chi-square 통계치로 판단함

$$\sum \frac{(Observed - Modelled)^2}{Modelled}$$

- 소규모 사업은 최소한 10개 지점의 관측 교통량과 배정교통량을 비교하고, 대규모 사업의 경우에는 20개 지점의 관측교통량과 배정교통량을 비교하며, 주요 지점은 다음과 같이 설정되는 것이 바람직함
 - 스크린라인과 코든라인 지점 (O-D 정산에 활용된 지점)

- 그 밖의 다른 지점
- 분석가의 식전에서 비교가 중요하다고 판단되는 지점
- 관측교통량과 배정교통량 사이의 오차를 감소시키기 위해서는 다음과 같은 차원에서 검토가 필요함
 - centroid connector의 추가 혹은 위치조정
 - 링크 길이의 조정
 - 링크 통행속도 및 교차로 지체에 대한 적절성 검토
 - 존 크기의 조정 (존을 세분화)
 - 영향권내 네트워크 수준의 조정
- 일반적으로 내부존 통행(intra zonal movement)은 통행배정이 이루어지지 않기 때문에 가급적 존을 세부적으로 쪼갤수록 통행배정의 결과가 좋게 나타날 수 있음을 염두해야 함

② 검증기준

- 영국의 검증척도는 시간교통량과 통행시간임. 시간교통량의 경우, <표 3-6>에서 보듯이 교통량에 따라 상이한 기준을 제시하고 있는데, 교통량이 700-2,700(대/시)인 경우, 관측치와 추정치의 차이가 15%이내에 있어야 하며, 700대/시 보다 작은 경우는 오차가 100대/시 이하, 그리고 2,700대/시 이상인 교통상황에서는 400대/시 이하여야 함. 또한, 이 3가지 조건을 만족할 비율이 85%이상이어야 함
- <표 3-6>에서 보듯이 GEH통계치도 제시하고 있는데, GEH통계치는 1970년대 Geoffrey E. Havers에 의해 개발되어 교통공학이나 통행량예측 등에 주로 사용되고 있으며, 다음과 같이 표현됨

$$GEH = \sqrt{\frac{(M - C)^2}{0.5 \times (M + C)}}$$

여기서, M 은 모형에서 도출된 추정 교통량이며, C 는 관측교통량임

- 또한, 통행시간에 대해서도 관측치와 추정치의 차이가 15%이내에 6회 이상 만족되어야 하며, 경로의 85% 이상이 이 조건을 만족해야 함

<표 3-6> 영국의 검증기준

Criteria and Measures	Acceptability measures
<u>Assigned Hourly flows compared with observed flows</u> 1. Individual flows within 15% for flows 700–2,700 vph 2. Individual flows 100vph for flows < 700 vph 3. Individual flows 400vph for flows > 2,700 vph 4. Total screenline flows(normally>5links) to be within 5% 5. GEH statistic ① Individual flows : GEH < 5 ② Screenline totals : GEH < 4	> 85% of cases > 85% of cases All (or nearly all) screenlines
<u>Modelled journey times compared with observed times</u> 6 Times within 15% (or 1 minute, if higher)	> 85% of routes

자료: Design manual for roads and bridges, Traffic Appraisal of Roads Schemes (Volume 12), 1997.11
 User-friendly multi-stage modelling advice item 9.2 : Modelling parameters, Calibratin and Validation, TRL, 2001

2. 국내 연구

가. 이의은의 연구

- 이의은(1986)은 부산-울산간 국도와 지방도를 분석 대상으로 BPR식의 파라미터를 도출하였는데 $\alpha=0.3$, $\beta=2$ 에서 통행의 실상황을 잘 모사하는 것으로 제시되었음
- 분석에 사용한 교통망은 4개 존, 50개 링크, 24개 노드로 구성되어 있으며 O-D통행량을 사용하였음
- 대체로 α 값이 커짐에 따라 R^2 값이 떨어지는 경향이 있다고 하였으며 지체함수를 통행자 구분, 지역유형, 교통시설 유형별로 세분화하여 적용하는 방안이 강구되어야 한다고 제안하였음

나. 최기주의 연구

- 최기주(1986)는 서울의 도시가로인 영동지역을 대상으로 BPR, Smock과 Davidson 함수의 적합도를 검증하였는데 도시부 가로에서는 Davidson식이 우수하며, 이 때 파라미터 J 값이 0.09임을 제시하였음

- 또 지역별 특성에 따라 지체함수를 분별하여 선택하여야 한다고 제안하였음

다. 서선덕의 연구

- 서선덕(1990)은 처음으로 우리나라 전국 도로망에서 BPR 지체함수의 파라미터 산출을 시도하였음
- 25개 존, 212개 노드, 706개 링크로 구성된 전국적인 교통망의 O-D표를 사용하여 Bilevel Programming 모형을 통하여 BPR 지체함수의 파라미터를 도출하였음
- 계산의 초기값은 서비스수준 E, C 및 D에서의 용량에 대하여 BPR식의 $\alpha=0.15$, $\beta=4$, Steenbrink식의 $\alpha=2.62$, $\beta=5$ 를 사용하였음
- 여러 가지 초기 값과 용량에 대하여 계산한 결과는 아래와 같으며 서비스 수준 D일 때 $\alpha=2.72$, $\beta=6$ 이 우리나라의 도로망에 가장 적합한 값이라고 제시하였음

<표 3-7> 서선덕이 도출한 BPR식의 파라미터

초기값	기준용량	산출결과
$\alpha=0.15$ $\beta=4$	LOS C	$\alpha=0.41$, $\beta=7.21$
	LOS D	$\alpha=0.45$, $\beta=7$
	LOS E	$\alpha=1.65$, $\beta=9$
$\alpha=2.62$ $\beta=5$	LOS C	$\alpha=2.70$, $\beta=6$
	LOS D	$\alpha=2.72$, $\beta=6$
	LOS E	$\alpha=2.92$, $\beta=2$

라. 주정열의 연구

- 주정열(1993)은 분석대상을 전국 규모의 지역간 도로망과 도시 가로망으로 구분하고 지역간은 고속도로, 국도, 지방도별로 도시내는 간선도로, 보조간선도로, 차로별(1~3)로 세분하여 BPR식과 Davidson식의 파라미터를 검증하였음
- 지역간은 전국을 67개 존으로 구성된 O-D를 사용하였으며, 도시내는 부산시의 58개 존간 O-D를 사용하였음
- 이 연구에서는 BPR식이 전반적으로 모든 차로에서 통행행태를 잘 모사하고 Davidson 식은 도시부 3차로 도로의 통행행태를 잘 나타내는 것으로 분석하고 있으며, 도로에 따라 <표 3-8>과 같은 파라미터 값을 제시하였음

- 또한 이 파라미터 값을 통하여 차량 통행의 내부적 상충이 가장 심한 곳은 도시부의 2차로 도로이며 차량지체에 가장 민감한 곳은 3차로 도로라고 지적하였음

<표 3-8> 주정열이 도출한 도로용량함수의 파라미터

함수식	파라미터	지역간				도시내					
		총량	고속도로	국도	지방도	총량	간선도로	보조간선	1차로	2차로	3차로
BPR	α	2.04	2.06	1.38	1.9	2.0	0.9	2.05	1.65	5.79	-
	β	1.99	1.09	1.91	3.0	3.04	4.5	2.00	3.3	0.95	-
Davidson	J	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.33

마. 장덕형의 연구

- 장덕형(1993)은 1971년부터 1991년까지 21년 간의 고속도로 O-D자료를 사용하여 고속도로 통행의 지체함수 산출을 시도하였음
- 1992년 우리나라에서 제정된 도로용량편람에 근거하여 도로용량을 산출하고 고속도로에서 관측된 속도 등의 자료를 활용하여 BPR식의 파라미터를 검증하였는데 서비스수준에 따라 산출된 파라미터 값은 <표 3-9>과 같음

<표 3-9> 장덕형이 도출한 BPR식의 파라미터

초기값 범위	기준용량	산출결과
$0 < \alpha \leq 1$	LOS C	$\alpha=0.17, \beta=1.5$
$0 < \beta \leq 10$	LOS D	$\alpha=0.37, \beta=2.3$
	LOS E	$\alpha=0.58, \beta=2.4$

- LOS E 를 적용한 결과에 대해 다음과 같은 검토 의견을 제시하였음
 - $T = T_0 \{1 + 0.58(V/C)^{2.4}\}$ 에서 $V/C=1$ 이므로 $T = 1.58 T_0$ 가 되는데 교통량이 서비스수준 E 즉, 용량에 도달하였을 때 통행시간은 자유교통류 상태(T_0)의 1.58배이며 이는 자유교통류 속도의 0.63배에 해당함
 - 교통류 이론에 의하면 서비스 수준 E 상태에서의 용량은 자유교통류 속도의 1/2에서 형성되고 전체 통행시간은 자유교통류 통행시간의 2배가 되는 것으로 통상 알려져 있음

- 따라서 장덕형이 제시한 파라미터로 산정한 자유교통류 속도의 0.63배는 앞의 이론 속도 1/2에 비해 26% 정도의 속도 향상이 있음을 의미함
- 이는 한국판 도로용량편람 작성을 위한 연구 결과로 도출된 용량 상태의 평균 주행 속도가 미국의 1985년 HCM에서 제시하고 있는 속도 또는 과거의 통념(용량 상태에서의 평균 주행속도는 50kph)보다 10~20kph 높은 점이 특이하다고 보고되었는데 이는 장덕형의 연구 결과와 맥을 같이 한다고 볼 수 있음
- 이러한 결과는 최근 다른 나라에서도 비슷한 양상을 나타내는 것으로 보고되었으며 이는 또한 이의은의 교통류 특성 연구 결과와도 일맥상통한다고 할 수 있음

바. 강호익의 연구

- 강호익(1996)은 고속도로 교통관리 시스템의 차량검지 시스템에서 수집된 자료와 전국 국도에 설치된 상시 교통량 조사 장비에서 수집된 자료를 이용하여 BPR식의 파라미터를 정산하였는데 그 결과는 <표 3-10>과 같음

<표 3-10> 강호익이 도출한 BPR식의 파라미터

구분	차로수	α	β	R^2
고속도로	8	0.77	1.20	0.517
	4	0.48	1.91	0.588
국도	4	0.93	1.80	0.573
	2	1.30	2.30	0.770

사. 김병기의 연구

- 김병기(2002)는 전국의 국도상에 설치·운영중인 상시 교통량 조사 지점의 자료중 국도 기능분류 상으로 국도 I 이고, 4차로인 도로에서 교통량-속도 자료를 이용하여 회귀분석을 통해 도로 기하구조, 교통특성 및 주변 환경 등을 반영한 통행지체함수를 BPR 모형, 직선 모형, 지수 모형을 통하여 파라미터를 추정하였으며 결과는 다음과 같음
- 첫째, 추정모형의 패턴이 기존에 알려진 통행지체함수와는 다소 다른 양상을 보이고 있음을 제시하였는데 이러한 결과는 국도 I 4차로 돌 상에서 교통량 증가에 따른 속도 변화가 $V/C=1.0$ 까지 거의 일정한 기울기로 감소를 보이고 있기 때문인 것으로 분석하였음

- 둘째, 추정 모형의 대표치 함수 파라미터 값을 적용하여 통행시간을 추정해 보면 V/C가 아주 낮은 경우에 BPR 모형의 추정 통행시간이 다소 낮은 값을 보이나 V/C가 증가하면서 통행시간의 차이는 거의 없는 것으로 나타나고 있음
- 셋째, 추정 모형의 적합도 검증에서 실측 통행시간과 모형별 추정 통행시간으로 등가 계수를 산출한 결과 3가지 모형 모두 실측 통행시간에 대해 약 97%의 적합도를 가지고 있는 것으로 나타났음

아. 국가교통DB 제공 VDF 함수 파라미터

1) 전국 네트워크

- 국가교통DB에서 제공하고 있는 전국 지역간 통행특성에 맞는 통행지체함수를 현재 제공하고 있고 도로종류별 차선별로 구분하여 자유속도 및 용량과 VDF 파라미터 값을 제시하고 있으며 구체적인 내용은 <표 3-11>과 같음
- 고속도로의 차선별 파라미터값은 기존에 한국도로공사에서 정산한 값을 적용하고 있고 고속도로를 제외한 기타 도로들은 미국의 BPR함수식의 파라미터를 적용하고 있음

<표 3-11> 전국 기반의 도로 유형별 VDF 함수 파라미터값

도로위계(편도)	VDF	자유속도 (Km/h)	용량 (pcu)	BPR식	
				α	β
고속도로(1차로)	1	80	1,600	0.58	2.4
고속도로(2차로)	2	117	2,200	0.645	2.047
고속도로(3차로이상)	3	119	2,200	0.601	2.378
일반국도(1차로)	4	70	750	0.15	4
일반국도(2차로)	5	80	1,000	0.15	4
일반국도(3차로이상)	6	90	1,000	0.15	4
지방도, 국지도(1차로)	7	60	750	0.15	4
지방도, 국지도(2차로)	8	70	1,000	0.15	4
지방도, 국지도(3차로이상)	9	80	1,000	0.15	4
시군도	10	40	200	0.15	4
센트로이드 커넥터	11	20	99,999	-	-
도시고속화도로(3차로이상)	12	90	2,200	0.58	2.4
도시고속화도로(2차로이하)	13	90	2,000	0.15	4
고속도로 연결램프	15	50	1,600	0.15	4

자료: 교통개발연구원 『2002년 국가교통DB구축사업 최종보고서』

2) 수도권 네트워크

- 1999년에 서울시정개발연구원은 도로위계를 10개의 타입으로 구분하고 α 와 β 값이 각각 0.5와 2로 모든 도로에 대하여 적용하였음

<표 3-12> 1999년 수도권 자료의 도로 유형별 VDF 함수 파라미터 값과 차로 용량

도로위계	VDF	자유속도 (Km/h)	용량 (pcu)	BPR식	
				α	β
고속도로	1	90	1,100	0.5	2
도시고속도로	2	80	1,000	0.5	2
간선도로	3	60	800	0.5	2
보조간선도로	4	50	700	0.5	2
집·분산도로	5	50	550	0.5	2
국도	6	70	800	0.5	2
지방도	7	70	700	0.5	2
교량/터널	8	70	1,000	0.5	2
램프	9	40	500	0.5	2
고가	10	70	900	0.5	2

자료: 서울시정개발연구원 『서울시 종합교통분석체계 정립 및 광역통행분석』(1999)

- 또한, 2004년 서울시정개발연구원은 수도권 통행배정을 위해 Conical 함수로 통행비용 함수를 제시한바 있으며, 이를 통하여 연속류인 경우 BPR 함수식을 이용하며, 도시부 단속류는 Conical 함수식을 사용함

<표 3-13> 2004년 수도권 자료의 도로 유형별 VDF 함수 파라미터 값과 차로 용량

도로의 위계		함 수
고속도로		$(\text{lenth}/90+1/180) \times 60 \times (1 + 0.5 \times (v/c)^2)$
도시고속도로		$(\text{lenth}/90+1/180) \times 60 \times (1 + 0.5 \times (v/c)^2)$
내부순환로		$(\text{lenth}/90+1/180) \times 60 \times (1 + 0.5 \times (v/c)^2)$
간선도로		$(\text{lenth}/60+1/180) \times 60 \times [2 + \sqrt{1.1 \times (1 - \frac{v}{c})^2 + 6^2} - 1.1 \times (1 - \frac{v}{c}) - 6]$
보조간선도로		$(\text{lenth}/50+1/180) \times 60 \times [2 + \sqrt{1.25 \times (1 - \frac{v}{c})^2 + 3^2} - 1.25 \times (1 - \frac{v}{c}) - 3]$
일반도로		$(\text{lenth}/50+1/180) \times 60 \times [2 + \sqrt{1.3^2 \times (1 - \frac{v}{c})^2 + 2.67^2} - 1.3 \times (1 - \frac{v}{c}) - 2.67]$
국 도		$(\text{lenth}/70+1/180) \times 60 \times [2 + \sqrt{1.05^2 \times (1 - \frac{v}{c})^2 + 11^2} - 1.05 \times (1 - \frac{v}{c}) - 11]$
지방도		$(\text{lenth}/50+1/180) \times 60 \times [2 + \sqrt{1.3^2 \times (1 - \frac{v}{c})^2 + 2.67^2} - 1.3 \times (1 - \frac{v}{c}) - 2.67]$
시군도		$(\text{lenth}/50+1/180) \times 60 \times [2 + \sqrt{1.3^2 \times (1 - \frac{v}{c})^2 + 2.67^2} - 1.3 \times (1 - \frac{v}{c}) - 2.67]$
램 프		$(\text{lenth}/40+1/180) \times 60 \times (1 + 0.5 \times (v/c)^2)$
센트로이드 커넥터		$(\text{lenth} / 10) \times 60$
교차로	좌회전	0.1
	우회전	0.1
	U 턴	0.1
우면산터널		8
Line	버스노선 구간	승용차통행시간 * 1.3
Segment	1차 중앙버스차로제 구간	$(\text{lenth} / 40) \times 60$
함수	2차 중앙버스차로제 구간	$(\text{lenth} / 40) \times 60$

자료: 서울시정개발연구원 『서울시 장래교통수요 예측 및 대응방안 연구』(2004)

3) 타 광역권 네트워크

- 도로위계를 9개로 구분하였고 고속도로를 제외한 파라미터값은 α 와 β 가 각각 0.15와 4를 적용하고 있음

<표 3-14> 5대광역시 자료의 도로 유형별 VDF 함수 파라미터 값과 차로 용량

도로위계		VDF	자유속도 (Km/h)	용량 (pcu)	BPR식	
					α	β
주간선	고속도로	1	100	2,200	0.645	2.047
	도시고속도로	2	90	2,000	0.58	2.4
	국도	3	60, 80	750, 1,000	0.15	4
	시도	4	70	800	0.15	4
	국지도·지방도	5	80	1,000	0.15	4
보조간선	국지도·지방도	6,7	60	750	0.15	4
집분산	시도	8	40	500	0.15	4
기타	교량, 램프	9	60	1,000	0.15	4
	터널, 고가	10				

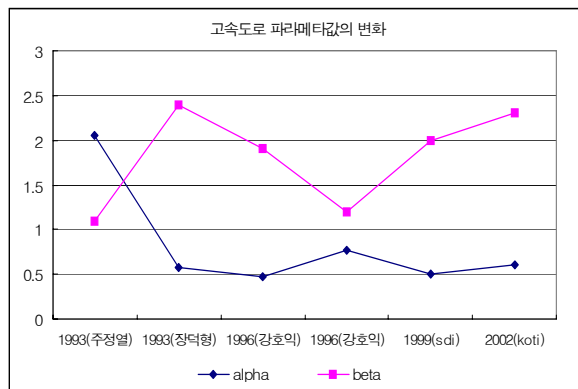
주: 자료 원출처 : 교통개발연구원 『2002년 국가교통DB구축사업 최종보고서』

4) 기존 국내연구의 시사점

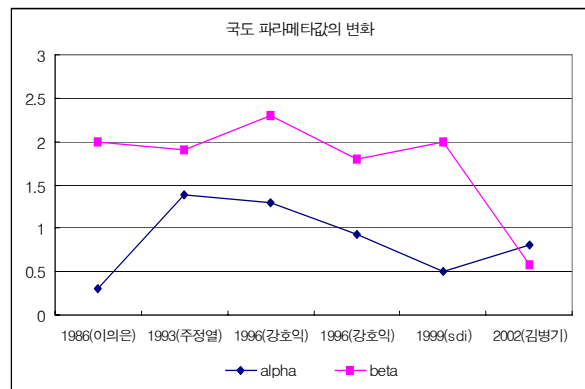
- 이들 기존 연구들을 분석방법에 따라 이를 크게 회귀분석과 수리모형으로 구분하여 정리하면 <표 3-15>와 같음. α 값의 경우, 수리모형으로 구한 값이 회귀분석으로 구한 값보다 큼을 알 수 있으며, β 값은 비슷함
- 사용된 자료와 분석시점들이 상이하여 각 연구결과를 직접적으로 비교하기는 곤란하나 <그림 3-3>에서 보듯이 고속도로의 경우, α 는 0.5~2.0사이의 값을 갖고 있으며, β 는 1.0~2.5사이의 값을 갖고 있음. 국도 역시 α 는 0.3~1.5, β 는 0.5~2.5사이의 값을 갖고 있어 고속도로와 대체로 비슷한 값을 갖고 있음.
- 시계열에 따른 변화추이를 보면, 비록 뚜렷한 양상은 보이지 않으나, 최근 들어 α , β 값이 작아지는 경향을 보임. 이는 교통량 증가에 따른 속도 변화의 민감도가 작아지는 경향을 보여주는 결과라 해석할 수 있음 (그림 3-3 참조)

<표 3-15> 국내 기존연구

방 법 론		도로구분	α	β	비 고
회 귀 분 석	BPR 모형	고속도로	0.58	2.40	장덕형(1993)
		고속도로(8차로)	0.77	1.20	강호익(1996)
		고속도로(4차로)	0.48	1.91	강호익(1996)
		국도, 지방도	0.30	2.00	이익은(1986)
		국도(8차로)	0.93	1.80	강호익(1996)
		국도(4차로)	1.30	2.30	강호익(1996)
		국도(4차로)	0.80	0.58	김병기(2002)
	직선모형	국도(4차로)	25.06	-	김병기(2002)
	지수모형	국도(4차로)	0.43	-	김병기(2002)
수리모형		전 국	2.72	6	Suh et al. (1990)
		전 국	2.04	1.99	주정열(1993)
		고속도로	2.06	1.09	주정열(1993)
		국 도	1.38	1.91	주정열(1993)



(a) 고속도로 파라미터



(b) 국도 파라미터

<그림 3-3> 기존연구에서 파라미터의 변화추이

제3절 통행비용함수의 파라미터 추정 및 검증 방법론

1. 파라미터 정산과 검증

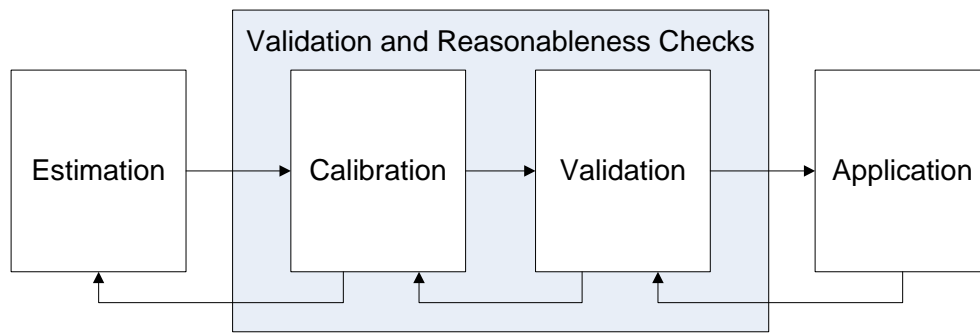
가. 정산과 검증과정

1) 용어의 정의

- 통행비용함수의 파라미터값과 관련해서 파라미터 추정(estimation), 정산(calibration) 그리고 검증(validation)이라는 용어들이 혼용되어 사용되고 있음. 미국 FHWA(1997)에서는 이를 다음과 같이 정의함
 - 추정(estimation) : 관측치를 이용하여 통계적으로 파라미터값을 구하는 과정
 - 정산(calibration) : 추정된 파라미터를 현장조건에 맞게 조정하는 과정
 - 검증(validation) : 모형의 파라미터가 정산된 후, 동일한 조건하에서 현장 관측치와 모형에서 추정된 추정치의 효과척도(measures of effectiveness)를 비교하는 과정
- 비록 이들 개념들은 일부 중첩되고는 있지만 서로 다른 개념들이나, 국내에서는 추정과 정산과정을 통틀어 정산(calibration)이라고 부르는 경향이 있음

2) 정산과 검증절차

- 모형의 정산과 검증은 서로 밀접한 관계를 갖고 있으며, <그림 3-4>과 같이 정산치에 대한 검증결과가 만족스럽지 못할 경우, feedback과정을 통하여 이를 수정하게 됨. 즉, 추정치가 정산과 검증과정을 통하여 만족스럽지 못한 경우, 재추정 및 재정산 과정을 거치게 됨
- 본 과업에서도 이런 feedback과정을 거치게 되며, 특히 고속도로와 일반국도에 대해서는 서로 영향을 미치기 때문에 이런 순환과정을 반복적으로 수행하게 됨



자료: FHWA(1997) Model Validation and Reasonableness Checking Manual, TMIP

<그림 3-4> 정산치의 검증결과에 대한 feedback과정

3) 모형의 정산과 검증시 유의사항

- 교통수요분석 모형은 대개 사업의 실시여부 혹은 사업 간의 비교목적으로 수행되는 경우가 많음. 따라서 교통수요분석 모형은 이러한 차이를 분명히 할 수 있어야 함. 그러나, 이러한 차이가 모형의 관측오차 혹은 구조적 오차에 기인한 것인지 판단할 필요가 있음
- 파라미터 정산, 검증시에도 이런 문제가 발생할 수 있으며 이에 대한 검토가 필요함
 - 관측오차에 기인했는지의 여부 : 기준년도 O-D의 오차 범위 내에서 서로 다른 O-D로 통행배정 실시 후 결과비교
 - 모형구조에 의한 것인지의 여부 (민감도 분석) : 모형에 사용된 파라미터에 변화를 주어 통행배정 실시한 후 결과비교

나. 검증척도

1) 검증시의 문제

- 파라미터 검증시 발생할 수 있는 문제는 다음과 같음. 따라서 이런 오차나 특별한 상황을 고려해서 검증을 실시해야 정확한 평가를 할 수 있음
 - 오차의 존재
 - 입력자료의 오차

- 자료수집시의 오차
- 모형 정산(calibration)시의 오차
- 검증자료 수집시의 교통상황
 - 특정 상황에서 검증자료를 수집할 경우, 검증자료를 사용하지 못하는 상황을 야기함
- 파라미터 정산시 대리변수(surrogate) 사용시의 문제
 - 부적합한 정산값 도출, 따라서 검증도 불가능

2) 검증척도(MOE)

- 통행배정의 검증은 모형에서 추정된 결과와 현장 자료를 비교하여 되도록 현실적인 추정치를 얻을 수 있도록 하는 과정으로, 통행배정은 기종점통행 조사결과의 정확성이나 통행배정모형의 타당성을 검토하기 위해 사용됨
- 통행배정모형에서 도출된 통행의 특성과 실제 통행의 측정값을 비교하는 가장 일반적인 척도(MOE)는 다음과 같음
 - 개별링크별 통행량, 통행시간
 - 노선별 또는 경로별 통행량, 통행시간
 - 시설형태 또는 지역분류별 주행차량-킬로미터(Vehicle Kilometer of Travel, VKT)
 - 주요경계선 또는 지역분류별 주행차량-킬로미터(VKT)
 - 간선축에 대한 횡단선
 - 통행량규모별 또는 노선에 따른 평균제곱근 오차

3) 통계적 기준

- 획득된 자료를 통하여 추정치와 실측치간의 오차의 정도를 평가하기 위해서는 통계적인 기준이 필요하며, 주로 사용되는 통계측정치는 다음과 같음
 - 평균차이측정(Mean Deviation, MD) : $MD = \sum_{i=1}^n \frac{(e_i - o_i)}{n}$
 - 평균제곱근측정(Root Mean Squared Error, RMSE) : $RMSE = \sqrt{\sum_i \left[\frac{(e_i - o_i)^2}{n} \right]}$

- 표준편차측정(Standard Deviation, SD) : $SD = \sqrt{\left[\sum_{i=1}^n \frac{(e_i - o_i)^2}{n} - \sum_{i=1}^n \frac{(e_i - o_i)}{n} \right]}$

- 백분평균제곱근측정(Percentile Root Mean Squared Error, PRMSE) :

$$PRMSE = 100 \times \left[\frac{RMSE}{\sum_{i=1}^n (e_i - o_i)} \right]$$

- 백분표준편차측정(PSD) : $PSD = 100 \times \frac{SD}{\sum_{i=1}^n o_i / n}$

여기서, e_i : 링크 i 의 추정치(교통량 등)

o_i : 링크 i 의 관측치(교통량 등)

n : 관측치의 수

○ 적합도 검증치

- 상관계수(correlation coefficient) : 두 변수간의 상관도를 평가

$$r = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n \frac{(e_i - \bar{e})(o_i - \bar{o})}{\sigma_e \sigma_o}$$

여기서, \bar{e}, \bar{o} 는 각각 추정치와 관측치의 평균이며, σ_e, σ_o 는 이때의 표준편차임

- Theil의 부등계수(Theil's Inequality Coefficient) :

$$U = \frac{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (o_i - e_i)^2}}{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n o_i^2} + \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n e_i^2}}$$

여기서, U 값이 0에 가까우면, 추정치가 관측치에 가까움을 나타내며, 1이나 그이상이면, 추정치가 적합하지 않음을 나타냄

4) 통계적인 검정(statistical test)

○ 관측자료와 추정자료간의 유의성 검정(significant test)

- 모수검정 : Kruskal Wallis(KW) 검정, Wilcoxon Signed-Rank(WSR) 검정, Paired t-검정, F-검정 등

- 비모수검정 : 카이스퀘어 검정(동질성검정) 등

2. 파라미터 추정방법

가. 기존 추정방법의 한계

1) 회귀분석

- 기존 연구에서 파라미터 추정방법으로 주로 사용된 회귀분석은 교통량-속도 자료를 이용하는 방법으로 다음과 같음
- 회귀분석에 이용할 식을 구성하기 위해 BPR 모형의 양변에 \log 를 취하면 다음과 같이 α 와 β 에 관한 선형모형으로 변형함

$$\log(t_a/t_{a0}-1) = \log \alpha + \beta \log(v_a/c_a)$$

- 여기서, 교통량-속도 자료를 이용하기 위해 t_a/t_{a0} 대신에 U_f/U_a (여기서, U_f 는 자유통행 속도)를 사용하여 최종적으로 다음과 같은 식을 구성

$$\log(U_f/U_a-1) = \log \alpha + \beta \log(v_a/c_a)$$

- 위식은 선형 회귀분석식으로 쉽게 파라미터를 추정할 수 있음
- 회귀분석방법의 장점
 - 통행배정모형을 이용하지 않고 쉽게 추정가능
 - 현실에 맞는 추정가능
- 회귀분석방법의 단점
 - 통행배정모형을 이용하지 않고 추정하므로 실제 통행배정모형에 적용시 상이한 결과를 도출할 우려

2) 점증적 개선방법

- 시정개발연구원(1999)에서 사용된 점증적 파라미터 산출방법은 다음과 같은 몇 가지 한계를 갖고 있음
 - 첫째, α, β 을 증가시키는 기준인 단위증가량(0.1과 1.0)에 대한 근거가 미약
 - 둘째, 이로 인해 최적해가 단위증가량 이내에 존재할 경우 최적해를 찾지 못하는 문제발생
 - 셋째, 설정된 모든 경우에 대하여 분석해야 하므로 상당한 시간이 소요

- 넷째, 이론적인 근거를 갖지 못함
- 시정개발연구원의 추정방법이 갖고 있는 이런 한계를 보완하기 위하여 제시된 한국교통연구원(2002)의 추정방법도 탐색시간 측면에서는 좀 더 효과적이나 유사한 한계를 갖고 있음

나. 파라미터 추정방법

- 본 과업에서는 앞에서 살펴본 기존 방법들의 한계를 완화하고 좀 더 효과적인 파라미터 추정을 위하여 다음과 같은 3가지 추정방법을 제시함

1) 수정된 회귀분석

- 기존연구에서 채택한 회귀분석을 통한 파라미터의 추정은 통행배정을 고려하지 않고 현장자료만으로 추정하기 때문에 이를 통행배정모형에 적용시 상이한 값을 도출할 우려가 큼
- 이는 구해진 통행비용함수가 궁극적으로 사용되는 통행배정모형과 별개로 파라미터가 추정되기 때문임. 따라서, 본 연구에서는 현장 자료와 통행배정모형을 함께 고려하여 추정하는 방법을 제시함
- 즉, Y 의 통행시간 t_a 를 통행배정에서 구한 값을 적용하고, X 의 v_a 대신 관측링크교통량(\bar{v}_a)을 사용하면, 위 선형함수는 관측 링크교통량과 통행배정으로부터 산출된 통행시간을 일치시키는 파라미터 α, β 를 구하는 함수식으로 해석할 수 있음
- 본 연구에서 구하는 선형회귀식은 다음과 같음

$$Y = a + \beta \bar{X}$$

$$\text{여기서, } \bar{X} = \log(\bar{v}_a / c_a)$$

$$Y = \log(t_a / t_{a0} - 1)$$

$$a = \log \alpha$$

$$\bar{v}_a \text{ 는 링크 } a \text{의 관측 교통량임}$$

$$t_a \text{ 는 통행배정에서 도출된 링크 } a \text{의 통행시간임}$$

- 위 단순선형함수의 파라미터는 회귀분석을 이용하여 쉽게 구할 수 있음

2) 수리 최적화문제

- 파라미터 추정은 관측링크 교통량과 모형에서 추정된 교통량간의 차이를 최소화시키는 α, β 를 구하는 문제로 다음과 같은 최소화문제로 구성할 수 있음. 여기서, 제약조건은 통행자의 경로선택 행위를 나타내는 것으로 통행배정문제(traffic assignment)가 되며, 수리최적화 모형은 추정시 통행배정모형을 이용하므로 통행배정모형에 적합한 파라미터 추정이 가능함

$$\begin{aligned} \min Z(\alpha, \beta) &= \frac{1}{2} \sum_b (v_b - \bar{v}_b)^2 \\ \text{s.t. } v_b &= v_b(t_a(\alpha, \beta)) \end{aligned}$$

위 문제를 풀기 위하여 BPR 함수식을 변형하면,

$$\begin{aligned} t_a &= t_a (1 + \alpha (v_a / c_a)^\beta) \\ t_a / t_a - 1 &= \alpha (v_a / c_a)^\beta \end{aligned}$$

따라서, 위식을 목적함수에 대입하면 다음과 같음

$$\min Z(\alpha, \beta) = \frac{1}{2} \sum_a \left[\bar{v}_a - c_a \left(\frac{t_a / t_a - 1}{\alpha} \right)^{\frac{1}{\beta}} \right]^2$$

- 위 최소화문제는 기존에 제시된 다양한 최적화기법으로 풀 수 있음. 미분을 이용하는 gradient 계열의 방법이 가장 신속히 해를 구할 것으로 예상되나, 목적함수를 미분하는게 쉽지 않다는 한계가 있음
- 따라서, 본 연구에서는 미분이 필요 없으며, 신속히 해를 산출하는 Hooke-Jeeves 방법을 이용하여 최적해를 도출함

- [Hooke-Jeeves 방법]

(step0) initialization step

Let starting point $x_1(\alpha_1, \beta_1)$

Let $d_\alpha = (1, 0)$, $d_\beta = (0, 1)$

Let $y_1 = x_1$ and $k = j = 1$

(step1) cyclic coordinate step

(1.1) determine optimal λ_j and update for α

① Let λ_j be an optimal solution to the problem to minimize $Z(y_j + \lambda_j d_\alpha)$

② update: $y_{j+1} = y_j + \lambda_j d_\alpha$

(1.2) determine optimal λ_j and update for β

① $y_j = y_{j+1}$

② Let λ_j be an optimal solution to the problem to minimize $Z(y_j + \lambda_j d_\beta)$

③ update : $y_{j+1} = y_j + \lambda_j d_\beta$

(1.3) Let $x_{k+1} = y_{j+1}$

(1.4) convergence test

if $|x_{k+1} - x_k| < \varepsilon$ (predetermined tolerance), stop and optimal $x^* = (\alpha^*, \beta^*)$

otherwise, go to (step2)

(step2) main step

(2.1) Let $d = x_{k+1} - x_k$

(2.2) Let $\hat{\lambda}$ be an optimal solution to the problem to minimize $Z(x_{k+1} + \hat{\lambda}d)$

(2.3) Let $y_1 = x_{k+1} + \hat{\lambda}d$ and $j=1$

(2.4) $k=k+1$, and repeat (step1)

- Hooke-Jeeves 기법에 대한 자세한 내용과 예제는 Bazaraa et al.(1993)에 기술되어 있으며, 본 연구에서 제시하는 전체적인 풀이 과정을 다음과 같음

[step0] 초기화

관측 링크통행량(\bar{v}_a), 링크용량(c_a), 초기통행시간(t_a^0) 설정

초기 (α^0, β^0) 설정

$n=0$

[step1] (α^n, β^n) 을 가지고 통행배정하여 링크 통행시간(t_a^n) 산출

[step2] Hooke-Jeeves 기법을 이용하여 파라미터 산정 $(\alpha^{n+1}, \beta^{n+1})$

[step3] 수렴성 검토

만약 $|\alpha^{n+1} - \alpha^n| < \varepsilon$ & $|\beta^{n+1} - \beta^n| < \varepsilon$ 이면 중지

그렇지 않으면 [step1]로 진행

3) 열거법(구간단축법)

- 수리최적화 문제의 경우, 초기값에 따라 다수의 해(multiple solutions)가 존재할 가능성이 있음. 즉, 초기값을 어떻게 설정하느냐에 따라 여러 개의 해중 하나의 지역해(local solution)에 수렴할 가능성이 있기 때문에 여기서는 가능영역내의 전 구간을 열거적으로 탐색하는 방법(enumeration)을 수행토록 함
- 그러나, 전 구간을 열거법으로 탐색하는 경우, 상당한 시간이 소요되기 때문에 이를 단축하기 위하여 황금분할법(golden section method)을 열거법에 결합시켜 해를 찾자 함. 즉, <그림 3-5>과 같이 먼저, α 축에서 초기 파라미터 α^0 를 고정시킨 후, β 축에서 황금분할법으로 최적 β^0 을 구한 후, β^0 을 고정시킨 상태에서 다시 최적 α^1 를 구하는 방법임. 이런 과정을 여러번 반복하면 그림과 같이 최적 파라미터 α^*, β^* 를 구하게 됨
- 본 연구에서 제시하는 열거법의 전체적인 풀이 과정은 다음과 같음

[step0] 초기화

관측 링크통행량(\bar{v}_a), 초기 (α^0, β^0) 설정, $n=0$

[step1] α^n 를 고정시킨 상태에서 황금분할법(golden)을 이용하여 β^n 을 산출

여기서, 사용되는 목적함수는 $Z(\alpha, \beta) = \frac{1}{2} \sum_b (v_b - \bar{v}_b)^2$ 이며, v_b 는 통행배정에서

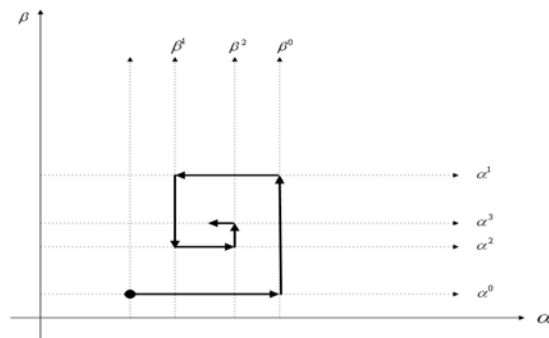
산출된 링크 통행량임

[step2] β^n 을 고정시킨 상태에서 황금분할법(golden)을 이용하여 α^{n+1} 을 산출

[step3] 수렴성 검토

만약 $|\alpha^{n+1} - \alpha^n| < \varepsilon$ & $|\beta^{n+1} - \beta^n| < \varepsilon$ 이면 중지

그렇지 않으면 [step1]로 진행



<그림 3-5> 열거법에 의한 파라미터 산출과정

4) 추정방법의 선정

- 본 연구에서 적용할 최적 추정방법을 선정하기 위하여 국가교통DB(2007. 4월)를 가지고 사전 파라미터 추정을 실시하였으며, 분석결과 각 추정방법별로 다음과 같은 결과를 도출함(각 추정방법별 구체적인 분석결과는 [부록 1] 참조)
 - 수정된 회귀분석 : 쉽게 정산이 가능하나 단순회귀형태로 분석되기 때문에 통계적으로 관측교통량과 추정교통량간의 상관성이 높지 않으며, 이상치 제거시 분석자료수가 부족한 경우 발생
 - 수리최적화 문제 : 수리적으로 최적해를 구할 수 있는 장점이 있으나, 앞에서 기술한 바와 같이 초기값에 따라 다수의 해가 존재하며, 모형의 속성상 파라미터 α 값이 β 값보다 큰 경우가 발생할 수 있음. (이에 대해서는 [부록 1]과 [부록 2] 참조)
 - 열거법 : 분석시 전구간을 탐색해야 하기 때문에 상당한 시간이 소요된다는 단점이 있으나, 도출된 해에 대한 신뢰성이 높음
- 각 추정방법별로 나타난 위와 같은 특징들을 종합해 볼 때, 추정된 파라미터 값의 신뢰성을 확보할 수 있는 열거법을 본 과업의 추정방법으로 선정하여 고속도로와 국도의 파라미터를 추정코자 함

3. 검증기준 설정

가. 기준척도의 설정

- 관측치와 통행배정에서 추정된 결과치를 검증하기 위해서는 다양한 척도를 사용하여 평가하는게 바람직함. 대표적으로 고려될 수 있는 척도로는 개별링크별 또는 노선별 통행량, 통행시간, 주요지점별 회전교통량, 주행차량-킬로미터(Vehicle Kilometer of Travel, VKT) 등이 있음
- 그러나, 현재 신뢰성 있는 관측자료로는 한국도로공사와 건설교통부에서 매년 제공하는 각 도로별 일별 교통량이 있으며, 속도나 통행시간 등 다른 자료는 2차적인 가공이나 정리가 필요함
- 따라서, 본 연구에서는 시간적인 한계와 과업의 범위를 고려하여 각 도로별 교통량을 기준으로 통행비용함수의 파라미터를 검증코자 함

나. 검증척도

- 본 연구에서는 검증척도로 다음과 같은 통계적 기준과 통계적 검정치를 사용함

① 통계적 기준

- 평균제곱근측정(Root Mean Squared Error, RMSE)

$$RMSE = \sqrt{\sum_i \left[\frac{(e_i - o_i)^2}{n} \right]}$$

여기서, e_i : 링크 i 의 추정치(교통량 등)

o_i : 링크 i 의 관측치(교통량 등)

n : 관측치의 수

② 적합도 검증치

- 상관계수(correlation coefficient)

$$r = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n \frac{(e_i - \bar{e})(o_i - \bar{o})}{\sigma_e \sigma_o}$$

여기서, \bar{e}, \bar{o} 는 각각 추정치와 관측치의 평균이며, σ_e, σ_o 는 이때의 표준편차임

- Theil의 부등계수(Theil's Inequality Coefficient) :

$$U = \frac{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (o_i - e_i)^2}}{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n o_i^2} + \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n e_i^2}}$$

여기서, U 값이 0에 가까우면, 추정치가 관측치에 가까움을 나타내며, 1이나 그이상이면, 추정치가 적합하지 않음을 나타냄

③ 통계적인 검정(statistical test)

- Paired t-검정 : 개별 관측치와 추정치간의 동질성 검증
- F-검정 : 전체 데이터집합의 분산간의 동질성 검증

4. 위계별 도로용량

가. 도로위계

- 도로기능별 위계구조는 관련규정에서 정하는바와 같이 주간선도로, 보조간선도로, 집산도로, 국지도도로로 구분하고 있음. 국도는 이러한 규정에서 주간선 또는 보조간선도로로 구분되고 있으나 구간별로 기능이 불분명하며, 주간선도로는 고속도로를 제외하고 구체적으로 어떠한 도로 기능이어야 하는지도 세분화되어 있지 않음
- 건설교통부(1994) 『국도 기능분류 및 효율적 투자방안 연구』에서는 국도의 기능을 주간선도로와 보조간선도로로 현행 분류체계를 유지하되, 국도의 수행기능과 세부시설 수준을 세분하기 위한 용어를 다음 <표 3-16>과 같이 설정하였음. 또한 국도를 수행하는 기능에 따라 다음 <표 3-17>과 같이 국도 I,Ⅱ,Ⅲ으로 분류하였음

<표 3-16> 국도 기능별 위계구조 정립방안

구분	대안 I	대안 II	대안 III
분류 방법	주간선(I,Ⅱ), 보조간선	국도 I,Ⅱ,Ⅲ	TYPE(또는 국도기능) I,Ⅱ,Ⅲ (기능과 시설기준을 중심으로)
장점	<ul style="list-style-type: none"> • 현행 체계 유지 • 용어 자체로 기능구분 명확 • 기능위주의 시설기준정립 가능 	<ul style="list-style-type: none"> • 국도에 대한 개념정립이 용이 • 대상시설 구분이 명확 	<ul style="list-style-type: none"> • 기능분류와 시설기준을 동시 표현 가능 • 관련 법령과 용어 상충 최소화
단점	<ul style="list-style-type: none"> • 주간선(I,Ⅱ)은 기존 도로법, 구조령 등의 구분과 상충 • 보조간선구간의 중앙/지방관할 오해 소지 	<ul style="list-style-type: none"> • 국도의 관리주체, 사업우선 순위 등으로 세분화 오해발생 • 기능 및 시설기준 세분화 개념 다소 미약 	<ul style="list-style-type: none"> • 용어에 대한 홍보가 필요 • 기능분류보다는 시설기준 위주

자료 : 건설교통부, 국도 기능분류 및 효율적 투자방안 연구, 1994. 4

<표 3-17> 국도 노선의 분류체계

구분	국도 I	국도 II	국도 III
교통밀도	높음	보통	낮음
교통기능	장거리	중거리	단거리
설계속도	80km/h~60km/h	80km/h~60km/h	70km/h~50km/h
목표여행속도	80km/h~60km/h	70km/h~50km/h	60km/h~50km/h
중앙분리대	전구간	필요시 설치	설치 최소화
교차로형식	입체	필요시 입체	평면
진출입 연결로, 측도	설치	설치 최소화	설치 최소화
비고	전국간선망보완	-	고속도로 인접 및 관광도로

자료: 건설교통부, 국도기능 분류 및 효율적 투자방안 연구, 1994. 4

○ 전국 국가교통DB 도로망 체계

- 전국 Network는 거의 모든 고속도로 및 국도를 포함하고 있으며 국가지원지방도, 지방도도 상당 부분 포함하고 있으나, 지역간 통행이 많이 이용되지 않는 광역시도 및 시·군도에 대해서는 일부 주요 구간만을 포함하고 있음. 다음 <표 3-18>은 2002년 기준 전국 도로망 위계별 체계 구축 내용임

<표 3-18> 2002년 기준 전국 도로망 위계별 체계 구축 내용

도로 유형	링크 수	도로연장 (단방향,km)
고속도로	744	2,807.7
국 도	5,738	12,741.9
국가지원 지방도, 지방도	6,380	13,838.5
도시고속도로	306	271.5
시·군도	582	912.8
고속도로 연결램프	444	164.3
계	14,194	30,736.6

나. 위계별 도로용량 연구

1) 한국도로용량편람(KHCM)

- 1992년 제정된 도로용량편람에서는 도로용량을 “주어진 시간동안 주어진 도로 및 교통조건에서 도로나 차선의 일정구간 또는 지점을 승용차가 통행하리라 예상되는 최대 교통류율을 의미한다.”고 정의함. 즉, 주어진 조건에서 15분 동안 무리 없이 최대로 통과할 수 있는 승용차 교통량을 1시간 단위로 환산한 값임. 서비스 수준은 교통류의 질에 따라 A에서 F까지 여섯 단계로 구분한다. 용량은 단위가 “교통량(Volume)”에서 “교통류율(Flow Rate)”로 새롭게 정의되었음을 알 수 있음

○ 고속도로

- 도로의 용량은 이상적인 조건의 용량과 주어진 조건의 용량으로 구분됨. 대부분의 도로로는 이상적인 조건을 만족하지 못하기 때문에 각 구간의 도로 용량은 주어진 조건에 따라 다르며, 주어진 특정 구간의 용량은 이상적인 조건의 도로 용량에 도로 및 교통조건에 따른 감소 요인을 반영한 보정계수를 곱하여 구하게 됨

- 아래 표에서 용량이 서비스수준 D에서 발생한다고 가정하면, 설계속도 100Km/h인 고속도로의 경우, 차로당 1,750pcu/h가 용량이 됨

<표 3-19> 고속도로 기본 구간의 서비스수준

서비스 수준	밀도(pcpkmppl)	설계속도 120kph		설계속도 100kph		설계속도 80kph	
		교통량(pcpmpl)	v/c	교통량(pcpmpl)	v/c	교통량(pcpmpl)	v/c
A	≤6	≤700	≤0.3	≤600	≤0.27	≤500	≤0.25
B	≤10	≤1,150	≤0.5	≤1,000	≤0.45	≤800	≤0.40
C	≤14	≤1,500	≤0.65	≤1,350	≤0.61	≤1,150	≤0.58
D	≤19	≤1,900	≤0.83	≤1,750	≤0.8	≤1,500	≤0.75
E	≤28	≤2,300	≤1.00	≤2,200	≤1.00	≤2,000	≤1.00
F	>28	-	-	-	-	-	-

주: 이 표의 교통량 관련 기준은 각 설계 속도 수준에서 이상적인 도로 및 교통 조건에서 정해진 것임

○ 다차로 도로

- 다차로 도로의 용량은 연속 교통류와 단속 교통류가 혼재하는 도로 교통 특성을 갖고 있음. 연속 교통류가 확보되는 도로 구간에 대해서는 차로당 최대 교통량을 바탕으로 용량을 제시할 수 있으나, 단속 교통류의 영향이 큰 도로 구간에 대해서는 연속류 도로의 용량 개념을 제시하는 것은 불합리함
- 다차로의 최대 평균통행속도가 92kph(설계속도 90~100kph, 제한속도 80kph인) 도로(유형 I)에서 연속류 특성을 보이는 구간이 5km 이상 지속될 때, 용량값으로 2,000pcphpl을 적용함. 신호교차로가 설치된 유형 II와 유형 III의 도로에서는 다음과 같이 신호교차로 용량 개념을 적용함

$$c = N \times s \times \frac{g}{C}$$

여기서, c = 직진 방향 차로의 용량(pcppl)

N = 교차로에서 직진 차로 수

s = 포화 교통량(pcpmpl)

g/C = 평균 녹색시간비

<표 3-20> 다차로도로 서비스수준

도로 유형	I		II	II, III	III
주어진 도로 조건에서 승용차의 최대 평균통행속도(SP1)	$\geq 87\text{kph}$		$< 87\text{kph}$		
신호등 밀도(개/km)	≤ 0.1	≤ 0.3	≤ 0.1	≤ 0.7	≤ 1.0
서비스수준	평균통행속도(kph)				
A	≥ 85	≥ 80	≥ 80	≥ 70	≥ 65
B	≥ 81	≥ 75	≥ 76	≥ 65	≥ 60
C	≥ 76	≥ 70	≥ 71	≥ 59	≥ 53
D	≥ 71	≥ 65	≥ 66	≥ 52	≥ 45
E	≥ 65	≥ 57	≥ 60	≥ 42	≥ 35
F	< 65	< 57	< 60	< 42	< 35

○ 2차로도로

- 용량은 주어진 도로 조건에서 최대 관측할 수 있는 15분 동안의 승용차 교통량을 1시간 단위로 환산한 값이며, 기존 시설을 평가하거나 장래 시설의 계획 및 설계에 이용됨
- 2차로도로의 이상적인 조건에서 도로 용량은 3,200승용차/시/양방향(pcph)이며 방향별 최대 1,700pcph임. 2차로도로에서는 대향차로의 차량이 진행 차량의 교통류에 영향을 미치므로 2차로도로의 용량은 다차로도로 2개 차로의 용량보다 적음. 용량을 표시할 때는 양방향 교통량으로 나타내는 점도 다차로도로와 다름

<표 3-21> 서비스 수준

구 분	총지체율(%)		교통량(pcph)
	도로유형 I	도로유형 II	
LOS			
A	≤ 8	≤ 10	≤ 650
B	≤ 15	≤ 20	$\leq 1,300$
C	≤ 23	≤ 30	$\leq 1,900$
D	≤ 30	≤ 40	$\leq 2,600$
E	≤ 38	≤ 50	$\leq 3,200$
F	> 38	> 50	-

2) 예비타당성조사 지침(한국개발연구원)

- 한국개발연구원(KDI) 『도로·철도 부문사업의 예비타당성조사 표준지침』에서 제공하는 5대 광역시 차로용량은 다음과 <표 3-22> 같음

<표 3-22> 5대 광역시 자료의 도로 유형별 VDF 함수 파라미터 값과 차로 용량

도로기능	구 분		속도(km/h)	용량(pcu/h)	BPR식	
	도로명	Type			α	β
주간선	고속국도	1	100	2200	0.645	2.047
	도시고속도로	2	90	2000	0.58	2.4
	국 도	3	60, 80*	750, 1000*	0.15	4.0
	시 도	4	70	800	0.15	4.0
	국지도·지방도	5	80	1000	0.15	4.0
보조간선	국지도·지방도	6,7	60	750	0.15	4.0
집분산	시 도	8	40	500	0.15	4.0
기 타	교량,램프,터널,고가	10	60	1000	0.15	4.0

주: * : 4차로이상

자료: 교통개발연구원 『2002년 국가교통DB구축사업 최종보고서』

3) 제2차 국도건설 5개년(2006~2010) 계획(안) 검증사업 (KDI, 2005)

- 2005년 KDI에서 수행된 제2차 국도건설 5개년사업의 검증조사의 경우, 대부분의 사업내용이 선형개량, 확폭, 그리고 간이입체화사업이기 때문에 이를 고려하기 위하여, 2차로 및 4차로 국도사업의 교통수요분석시 사업구간의 특성에 따라 교통량-지체함수의 자유속도와 도로용량을 보정하여 사용함

<표 3-23> 다차로 도로의 속도보정

사업내용	구 분	최대통행속도 감소(kph)
중앙분리대	유	0
	무	4
차 로 폭	3.5	0
	3.3	4
	3.0	10
측방여유폭	3.6	0
	3.0	1
	2.4	2
	1.8	3
	1.2	4
	0.6	7
	0.0	10
유출입 지점수/km	0	0
	≤ 10	3
	≤ 20	6
	> 20	9

자료: 제2차 국도건설 5개년(2006~2010) 계획(안) 검증사업 (KDI, 2005)

<표 3-24> 2차로 사업의 용량보정

사업유형	시행전 도로용량	KHCM 보정	시행후 도로용량
우회도로	750	750	750
선형개량(2차로)	750	840	850
오르막차로 설치	750	975	1,000
중앙분리대설치 및 폭원확장	750	820	850
교차로개선 : 도로화, 신호등설치	750	750	750
보도설치	750	750	750
가드레일설치	750	750	750
위험도로개선 : 협소폭원의 확장	750	820	850

<표 3-25> 4차로 사업의 용량보정

사업유형	시행전 도로용량	보정용량	시행후 도로용량
우회도로	1,000	1,000	1,000
선형개량	1,000	1,120	1,150
중앙분리대설치 및 폭원확장	1,000	1,090	1,100
폭원확장	1,000	1,090	1,150
보도 및 농기계통행로설치	1,000	1,000	1,000
교차로개선: 평면교차로 간이입체화	1,000	1,200	1,200

다. 본 과업에서 적용할 위계별 도로용량

1) 고속도로

○ 기존연구 정리

- <표 3-26>와 <표 3-27>는 고속도로 용량에 대한 기존 연구들을 정리한 내용임
- 기존 고속도로 용량을 비교한 것으로서, 일반적으로 1차로는 2,000~2,300pcuphpl, 2차로는 1,800 ~ 2,087pcuphpl, 3차로는 1,700 ~ 2,071pcuphpl, 4차로는 1,700 ~ 1,908pcuphpl로 분석되었음(KHCM(2004)의 경우, 설계속도100kph에서 1,750pcupl)

<표 3-26> LOS D에서의 고속도로용량

서비스 수 준	밀도 (pcpkmpl)	설계속도 120kph		설계속도 100kph		설계속도 80kph	
		교통량 (pcphpl)	v/c	교통량 (pcphpl)	v/c	교통량 (pcphpl)	v/c
D	≤19	≤1,900	≤0.83	≤1,750	≤0.8	≤1,500	≤0.75

자료: 도로용량편람(2004)

<표 3-27> 기존 고속도로 용량연구

구 분	편도 차로별 용량(pcu/시/차로)				비 고
	1차로	2차로	3차로	4차로	
경부고속도로	2,242	2,087	1,981	1,908	천호영(1999년)
	-	-	-	1,850	강호익(1998년)
	2,200	-	-	-	최찬영(2000년)
중부고속도로	-	1,625	-	-	강호익(1998년)
	2,300	-	-	-	최찬영(2000년)
영동고속도로	2,202	1,996	2,071	-	천호영(1999년)
	2,200	-	-	-	최찬영(2000년)
	2,200	1,900	1,700	-	김한수(2007년)
서울외곽순환고속도로	-	1,800	-	-	강호익(1998년)
	2,200	2,000	1,800	1,700	김한수(2007년)
울림픽대로	2,000	-	-	-	최찬영(2000년)

○ 적용 고속도로 용량

- 기존 연구의 편도 차로별 용량값은 현재 사용되고 있는 차로당 2,200pcu/h값에 다소 못 미치는 것으로 나타나고 있음. 이에 본 과업에서는 기존 연구자료를 토대로 고속도로 용량을 <표 3-28>와 같이 제시함. 그러나 이에 대해서는 좀 더 깊이 있는 연구가 필요할 것으로 보임
- 따라서, 본 과업에서는 현재 사용되고 있는 차로당 2,200pcuphl을 기본적인 고속도로 용량값으로 설정하여 분석함

<표 3-28> 고속도로 용량제안(안)

구 분	편도 차로별 용량(pcu/시)		
	2차로	3차로	4차로
기존 용량값	4,400	6,600	8,800
차로별 특성고려 용량값	4,174	6,213	7,632
적용치	4,200	6,250	7,750

2) 국도

○ 기존연구정리

- <표 3-29>는 기존 국도 용량을 비교한 것으로서, 1차로는 1,140~1,425대/시, 2차로는 1,820~4,050대/시로 분석되었음

<표 3-29> 기존 국도 용량연구

구 분		차로수	용량(대/시)	비 고
2호선	진전면-마산시	2	3,210	김병기(2002년)
3호선	곤지암-광주시	2	2,560	김병기(2002년)
	광주시-성남시	2	3,470	김병기(2002년)
	이천시-이천I.C	2	1,840	김병기(2002년)
	진주-사천	2	3,562	박달식(2002년)
6호선	팔당댐-양평읍	2	2,890	김병기(2002년)
	남양주시-화도읍	2	3,130	김병기(2002년)
7호선	부산시-웅상읍	2	2,990	김병기(2002년)
17호선	청원I.C-남이면	2	2,340	김병기(2002년)
	관촌면-전주시	2	2,900	김병기(2002년)
25호선	대구-경산	2	3,364	박달식(2002년)
36호선	내수읍-증평읍	2	3,640	김병기(2002년)
38호선	일죽I.C-안성	2	1,820	박달식(2002년)
46호선	화도읍-답내리	2	2,090	김병기(2002년)
48호선	김포시-김포I.C	2	3,930	김병기(2002년)
501호선		2	4,050	강호익(1998년)
606호선		2	3,610	강호익(1998년)
3호선	진주-사천	1	1,814	박달식(2002년)
25호선	대구-경산	1	1,816	박달식(2002년)
38호선	일죽I.C-안성	1	1,909	박달식(2002년)
456호선		1	1,140	강호익(1998년)
608호선		1	1,425	강호익(1998년)

○ 적용 국도용량

- 기존 연구의 편도 차로별 용량값은 현재 사용되고 있는 값보다 크게 나타나고 있음. 이에 본 과업에서는 기존 연구자료를 토대로 <표 3-30>과 같이 국도 용량을 제시함. 그러나 이는 고속도로와 마찬가지로 추가 연구가 필요한 부분임. 또한, 국도의 등급별로 용량을 산정하는 방법이 좀 더 타당할 것으로 판단됨
- 따라서, 본 과업에서는 기존 국도의 용량을 따르되, 편도 3차로 이상국도(대부분 국도 I 등급에 해당)의 경우 대부분 입체화되었다는 가정하에 최근 수행한 KDI의 국도5개년 계획 검증사업에 사용된 용량인 1,200pcu/h를 적용하여 분석함

<표 3-30> 국도 용량제안(안)

구 분	편도 차로별 용량(pcu/시)	
	1차로	2차로
기존 용량값	750	2,000
차로별 특성고려 용량값	1,282	2,786
적용치	1,300	2,800

제4절 고속도로 통행비용함수 파라미터 검증

1. 2005년 고속도로 파라미터 정산내용

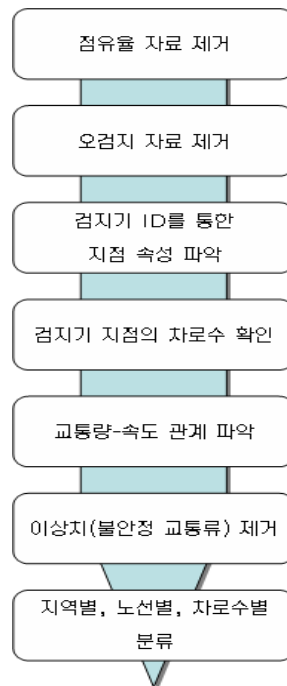
가. 자료의 수집 및 이상치 제거

1) 자료수집

- 고속도로상에 설치·운영중인 검지기(Vehicle Detection System : VDS)로부터 수집되어 15분 간격으로 합산된 자료를 수집함
- 조사 지점의 자료는 루프와 피에조 조합형식의 매설형 장비를 이용하여 수집한 자료로서 차종별 교통량, 속도 및 점유율에 대하여 95%이상의 정확도를 가지고 있음
- 고속도로의 경우, 2005년의 10월 18일부터 10월 26일 자료를 수집하였으며, 방향별로 교통량, 속도, 점유율 등이 15분 간격으로 합산함

2) 자료의 분류

- 전국 고속도로 검지기 자료의 신뢰도는 높지만 오검지 자료들이 존재하기 때문에 분석전에 우선적으로 필터링 및 분류 과정이 필요하며, 다음과 같은 과정을 통하여 자료를 분류함
 - 검지된 자료는 교통량, 속도, 점유율로 구성이 되며 본 과업에서 필요한 교통량과 속도를 제외한 점유율 자료는 제거시킴
 - 오검지 자료 제거
 - 검지기 ID를 통한 노선, 방향, 이정 확인 및 기록
 - 건설교통부의 도로교통량 통계연보를 통한 조사지점의 차로수 확인 및 기록
 - 각 검지기 지점별 자료를 통해 교통량-속도 관계 분석
 - 교통량-속도 그래프를 통해 이상치 제거
 - 지역별, 노선별, 차로수별 자료 분류



<그림 3-6> 고속도로 검지기 자료 분류 절차

3) 이상치 제거

- 오검지 자료 제거 과정을 통해 검지부, 제어부, 통신불량 등의 기계적인 결함에 의해 발생한 이상치는 우선적으로 제거하였고 다음과 같은 경우임
 - 15분 교통량이 0이상이면서, 15분 평균속도가 0인 자료
 - 15분 교통량과 평균속도가 -999인 자료
 - 15분 교통량이 0이지만, 15분 평균속도가 0이상인 자료
- 기계적인 결함에 의한 자료 이외에 건설교통부의 도로용량편람에 명시되어 있는 지점 특성에 맞는 용량을 적용했을 때, V/C 가 1.0이상인 자료도 오차자료로 보고 분석과정에서 제외함
- 또한, 각 검지기(VDS)의 자료를 통해 교통량 - 속도 관계를 플로팅한 후 그 패턴에서 큰 폭으로 벗어나는 자료도 이상치로 판단하여 분석 대상에서 제외함

나. 파라미터 정산방법 및 정산결과

1) 파라미터 정산방법

- 통행비용함수는 수리함수방법과 이론적 함수방법으로 구분할 수 있는데 본 과제에서는 수리함수방법 중에서 일반적으로 많이 사용되고 있는 BPR식을 선택하였음
- 또한, 국가교통DB센터에서 제공하는 지체함수식이 BPR식이므로 분석의 일관성을 유지하고 기존 BPR식을 최근 자료를 이용하여 개선할 필요가 있다고 판단되므로 BPR식을 선택하였으며 일반적인 함수식은 다음과 같음

$$T = T_0(1 + \alpha(V/C)^\beta)$$

- 통행지체함수의 정산은 교통량-속도 자료를 이용한 회귀분석(regression)을 통하여 BPR식의 파라미터인 α 와 β 를 구하는 방법을 사용하였음

2) 파라미터 정산결과

- <표 3-31>은 고속도로 차선별 통행지체함수의 파라미터를 정산한 결과이며 고속도로 2차선의 경우 LOS C에서 α 와 β 값은 0.083과 2.283, 결정계수값이 0.55이며 LOS E 상태에서는 α 와 β 값이 0.124와 2.283으로 나타났음
- 또한 3차선의 경우 LOS C에서 α 와 β 값은 0.044와 4.278이고 LOS E에서 α 와 β 값은 0.088, 4.276으로 추정되었고 결정계수값은 0.52임
- 4차선의 추정 결과 LOS C에서 α 와 β 값은 0.263과 1.986으로 추정되었고 LOS E의 경우 α 와 β 값이 0.367과 1.986으로 분석되었고 결정계수값은 0.67임

<표 3-31> 2005년 고속도로 차선별 통행지체함수 추정 결과

차선별(편도)	LOS	α	β	R^2
2차선	C	0.083	2.283	0.55
	D	0.103	2.283	0.55
	E	0.124	2.283	0.55
3차선	C	0.044	4.278	0.52
	D	0.064	4.279	0.52
	E	0.088	4.276	0.52
4차선	C	0.263	1.986	0.67
	D	0.314	1.986	0.67
	E	0.367	1.986	0.67

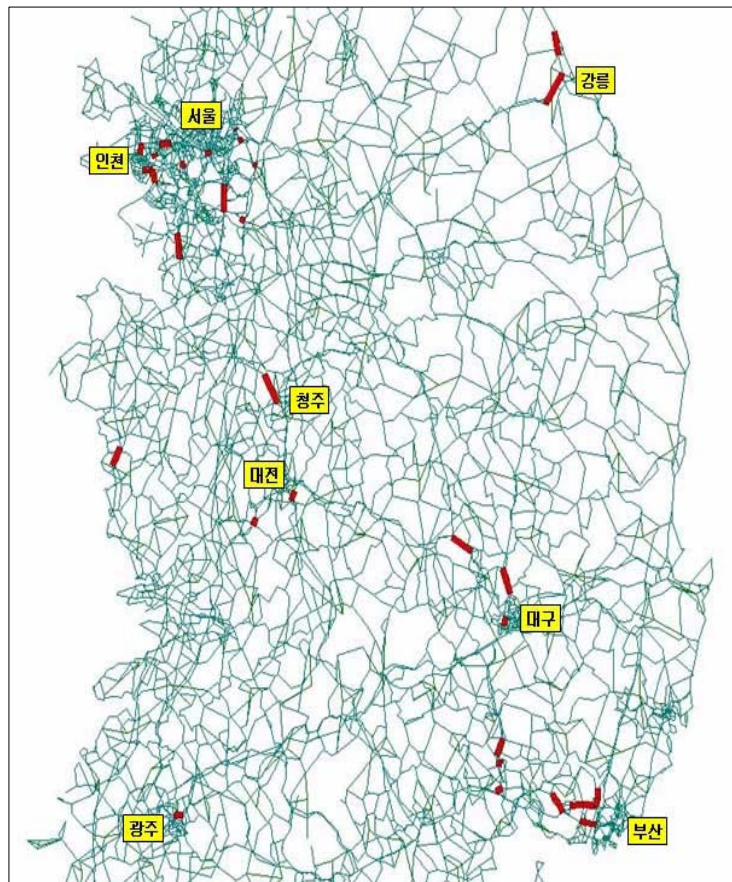
2. 검증과정

가. 파라미터 검증자료

- 고속도로 파라미터검증을 위하여 정산 시점과 동일한 2005년의 10월 18일부터 10월 26일 수집된 자료만을 사용하였음
- 분석대상구간 역시, 정산지점과 동일하게 전국 17개 노선 35개 지점이며, 지점별 위치 및 자료속성은 다음과 같음

<표 3-32> 고속도로 파라미터 검증을 위한 지점별 현황

노 선 명	지 점	검지기 No.	차로수	관측 교통량 (대/일)
경 부 선	반포IC - 서초IC	0010VDS42123	2차로	232,206
	신갈JC - 판교IC	0010VDS40513	4차로	209,936
	구미IC - 김천JC	0010VDE17621	2차로	66,483
	청주IC - 목천IC	0010VDE32673	3차로	79,501
호 남 선	논산IC - 계룡IC	2510VDS00573	2차로	14,269
	동광주IC - 서광주IC	0251VDS07553	2차로	77,999
중 앙 선	대저JC - 대동JC	0550VDS00363	2차로	47,707
	칠곡IC - 다부IC	0550VDE00595	2차로	80,391
영 동 선	강릉JC - 횡계IC	0500VDS02221	3차로	123,857
	서창IC - 월곡IC	0500VDS00133	3차로	106,474
	마성IC - 용인IC	0500VDE05021	2차로	95,097
중앙지선	물금IC - 남양산IC	5510VDS00625	2차로	82,210
서해안선	금천IC - 일직JC	0150VDS33581	3차로	86,364
	대천IC - 광천IC	0150VDE20793	2차로	14,893
	발안IC - 비봉IC	0150VDE30121	3차로	86,030
서울외곽순환선	장수IC - 송내IC	1003VDS03873	4차로	267,600
	하남JC - 상일IC	1001VDS02151	5차로	190,481
	강일IC - 토평IC	1001VDS02493	5차로	106,645
남 해 선	동김해IC - 대저JC	0100VDS16295	2차로	101,561
	진례IC - 냉정JC	0100VDE14923	4차로	41,290
	서김해IC - 동김해IC	0100VDE15773	2차로	64,970
남해제2지선	가락IC - 서부산TG	1040VDS01353	2차로	48,724
	서부산TG - 서부산IC	1040VDS01743	2차로	38,514
	냉정JC - 장유IC	1040VDE00135	2차로	64,379
경 인 선	가좌IC - 서인천IC	1200VDE00725	3차로	175,710
	부천IC - 신월IC	1200VDE01963	4차로	99,574
제2경인선	남동IC - 서창JC	1100VDS00843	3차로	115,081
	문학IC - 남동IC	1100VDE00643	3차로	96,130
중 부 선	산내JC - 판암IC	0351VDE20971	2차로	26,957
제2중부선	마장JC - 산곡JC	0370VDE35501	2차로	53,796
중부내륙선	칠서IC - 남지IC	0450VDE01413	2차로	30,780
	남지IC - 영산IC	0450VDE01803	2차로	14,564
마산외곽선	산인JC - 칠원JC	1020VDE11333	2차로	36,780
동 해 선	북강릉IC - 현남IC	0650VDE05263	2차로	8,539
구 마 선	성서IC - 서대구IC	4510VDE02651	5차로	144,518



<그림 3-7> 고속도로 파라미터 검증을 위한 지점

나. 파라미터 검증방법

- 앞에서 정산된 고속도로 파라미터를 검증하기 위하여, <표 3-31>로 정산된 파라미터를 통행비용함수에 적용하여 통행배정을 수행함. 이렇게 산출된 배정교통량과 관측교통량의 비교를 통하여 파라미터를 검증함
- 검증 기준
 - 통계적 기준 : 평균제곱근측정(RMSE), 상관계수
 - 통계적 검정 : Paired t-검정, F-검정

3, 검증결과

가. 차로별 검증

- 2005년 고속도로 파라미터 정산값에 대한 각 차로별 검증결과가 <표 3-33>에 나타나 있음. 표에서 보듯이 관측치와 통행배정치와는 서로 차이가 있으며, 특히 2차로인 경우 평균값과 분산에 상당한 차이가 있음을 알 수 있음
- 상관계수 역시, 2차로의 경우 0.56, 3차로의 경우 0.04, 4차로이상은 0.35으로 상당히 낮은 값을 보이고 있어 관측치와 배정치사이에 상관성이 낮음을 알 수 있으며, paired t 검정결과를 보면, 2차로의 경우, 5%의 유의수준에서 기각되고 있어 각 개별 요소들이 서로 동일하지 않은 것으로 판단됨. 그러나 F-검정의 경우, 5% 유의수준에서 모두 채택되고 있어 두 집단의 분산값에는 차이가 없음을 알 수 있음
- 이런 결과들을 살펴볼 때, 2005년도 고속도로 파라미터 정산값은 실제 현장적용에 무리가 있을 것으로 판단되며, 새롭게 정산할 필요가 있음

<표 3-33> 차로별 검증결과

비 교 \ 차 로 수		2차로	3차로	4차로 이상
관 측 수		20	8	7
관 측 치	평 균	60,041	108,643	151,435
	분 산	2,422,883,513	969,876,233	5,886,122,946
배 정 치	평 균	100,527	107,845	199,099
	분 산	2,693,336,234	1,359,186,067	4,406,563,369
RMSE		61428.61	44340.62	89740.23
상관계수		0.5617	0.0361	0.3483
t-통계량		-3.8199	0.0477	-1.5355
Paired t-test P($T \leq t$)		0.0006*	0.4817	0.0878
F-test		0.4100	0.3337	0.3671

주: '*' 유의수준 5%에서 기각

나. 주요 고속도로 축별 검증

- <표 3-34>는 주요 고속도로축별로 검증한 결과를 정리한 내용임. 상관계수의 경우 대체로 낮은 편이며, 이중 경부축이 0.8로 상대적으로 높음
- paired t-검정과 F-검정의 경우, 수도권, 호남축, 영동강원축이 채택역에 있어, 통계적으로 관측치와 배정치간에 차이가 없음을 알 수 있음. 그러나 동서축의 경우 통계적으로 차이가 있음을 보여줌
- 2005년 정산지점별 관측 교통량과 통행배정 교통량간의 오차율을 살펴보면, 대부분 큰 차이가 있음을 알 수 있음(표 3-35 참조). 이런 결과는 앞에서 살펴본 바와 같이 고속도로 정산시 관측교통량만을 고려해서 정산한데 기인한 것으로 판단됨. 즉, 통행배정량을 고려하지 않고 관측치만을 고려하여 정산했기 때문에, 통행배정결과와 다르게 나타난 것으로 보임

<표 3-34> 주요 고속도로축별 검증결과

차로 수		수도권	경부축	호남축	동서축	영동강원축
비교						
관측 수		7	12	5	7	4
관측치	평균	150,174	89,087	55,911	56,603	83,492
	분산	4,112,168,908	4,968,831,840	1,434,737,901	528,070,748	2,636,711,261
배정치	평균	171,606	117,188	63,197	128,737	110,588
	분산	6,212,302,234	1,915,325,706	2,574,859,750	1,853,771,737	80,55,323,930
RMSE		71885.39	50870.30	47511.08	82328.00	73507.73
상관계수		0.4780	0.7978	0.3263	0.2754	0.4846
t-통계량		-0.7651	-2.1979	-0.3104	-4.4530	-0.6868
Paired t-test P(T≤t)		0.2366	0.0251*	0.3859	0.0022*	0.2708
F-test		0.3145	0.0645	0.2925	0.0759	0.1918

주: 1) 수도권 1) : 서울외곽순환선, 경인선, 제2경인선

경부축 2) : 경부선, 중앙선, 중앙지선, 중부선, 제2중부선, 중부내륙선, 구마선

호남축 3) : 호남선, 서해안선

동서축 4) : 남해선, 남해제2지선, 마산외곽선

영동강원축 5) : 영동선, 동해선

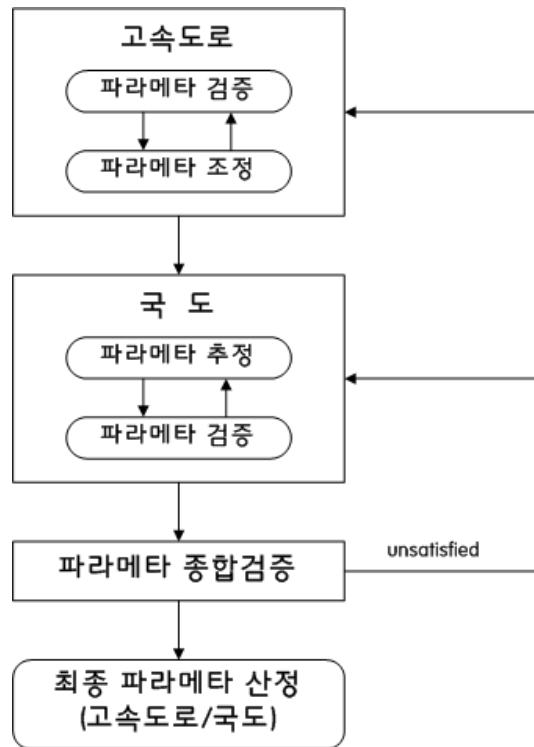
2) '*' 유의수준 5%에서 기각

<표 3-35> 정산지점별 오차율

관측지점	관측치	배정치	오차율	관측지점	관측치	배정치	오차율
반포IC - 서초IC	232,206	162,861	-30%	동김해IC - 대저JC	101,561	159,126	57%
신갈JC - 판교IC	209,936	213,662	2%	진례IC - 냉정JC	41,290	193,647	369%
구미IC - 김천JC	66,483	151,816	128%	서김해IC - 동김해IC	64,970	159,493	145%
청주IC - 목천IC	79,501	120,711	52%	가락IC - 서부산TG	48,724	112,734	131%
논산IC - 계룡IC	14,269	60,841	326%	서부산TG - 서부산IC	38,514	114,299	197%
동광주IC - 서광주IC	77,999	26,618	-66%	냉정JC - 장유IC	64,379	82,457	28%
대저JC - 대동JC	47,707	113,488	138%	가좌IC - 서인천IC	175,710	121,771	-31%
칠곡IC - 다부IC	80,391	62,202	-23%	남동IC - 서창JC	115,081	117,976	3%
강릉JC - 횡계IC	123,857	61,339	-50%	부천IC - 신월IC	99,574	89,061	-11%
서창IC - 월곶IC	106,474	136,600	28%	문학IC - 남동IC	96,130	110,178	15%
마성IC - 용인IC	95,097	224,172	136%	산내JC - 판암IC	26,957	64,667	140%
물금IC - 남양산IC	82,210	113,488	38%	마장JC - 산곡JC	53,796	93,379	74%
금천IC - 일직JC	86,364	43,120	-50%	칠서IC - 남지IC	30,780	87,134	183%
대천IC - 광천IC	14,893	34,344	131%	남지IC - 영산IC	14,564	87,781	503%
발안IC - 비봉IC	86,030	151,062	76%	산인JC - 칠원JC	36,780	79,406	116%
장수IC - 송내IC	267,600	229,365	-14%	북강릉IC - 현남IC	8,539	20,242	137%
하남JC - 상일IC	190,481	265,393	39%	성서IC - 서대구IC	144,518	135,067	-7%
강일IC - 토평IC	106,645	267,497	151%	평균 오차율			87%

제5절 통행비용함수 파라미터 종합검증

- 파라미터의 추정(estimation)과 검증(validation)은 서로 연관되어 있기 때문에 순환적인(feedback) 과정을 통하여 검증함
- 먼저, 기존에 추정된 고속도로 파라미터에 대한 검증을 수행하고, 국도에 대한 파라미터를 추정하고 검증함
- 만약 위 과정에서 만족스러운 결과를 얻지 못하는 경우, 고속도로의 파라미터부터 다시 추정하고 검증하는 과정을 거치게 됨(종합검증과정은 <그림 3-8> 참조)



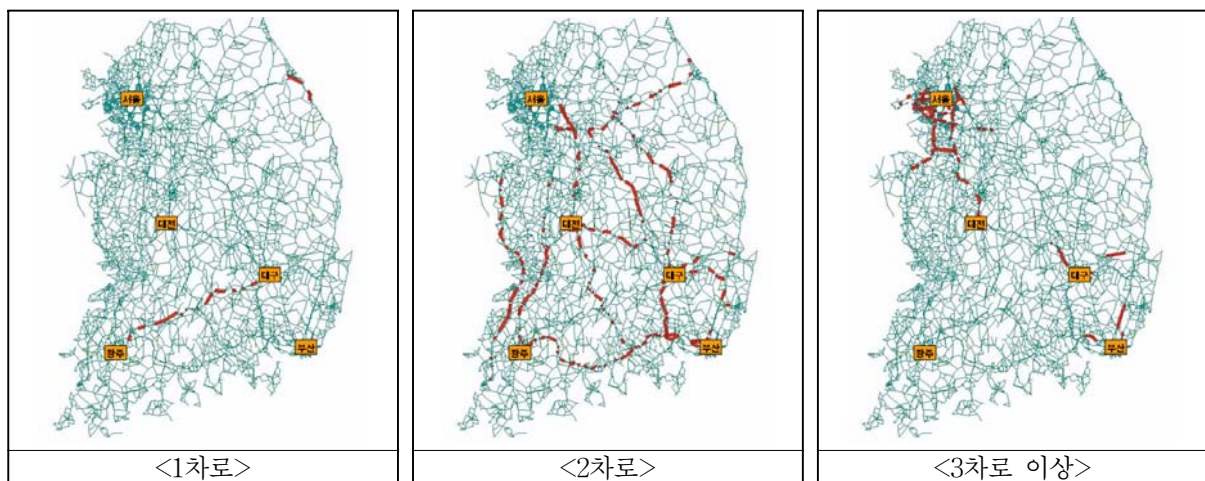
<그림 3-8> 종합검증과정

1. 고속도로 파라미터 추정 및 검증

- 「제4절 고속도로 통행비용함수의 검증」에서 살펴본 바와 같이 기존에 정산된 고속도로 파라미터를 직접 현장에 적용하기에는 어려움이 있을 것으로 판단되어, 본 과업에서 제시된 새로운 추정방법으로 파라미터를 다시 정산하고 이를 재검증코자 함

가. 고속도로 추정자료

- 고속도로 파라미터 재추정하기 위하여 2005년도 고속도로 파라미터 정산했을 때(TCS 자료 사용)와는 달리 2005 도로교통량통계연보에 있는 고속도로 지점 및 교통량을 사용함
- 총 674개 지점을 대상으로 분석함
 - 편도 1차로의 경우, 전남 무안 망운면~대구 달성 논공읍으로 연결되는 88올림픽고속도로와 현재, 강원도의 동해시와 주문진간을 연결하는 동해고속도로가 포함되며, 편도 36개 지점을 분석함
 - 편도 2차로의 경우, 편도 404개의 지점을 분석대상에 사용함
 - 편도 3차로 이상의 경우, 편도 234개의 지점을 분석대상에 사용함



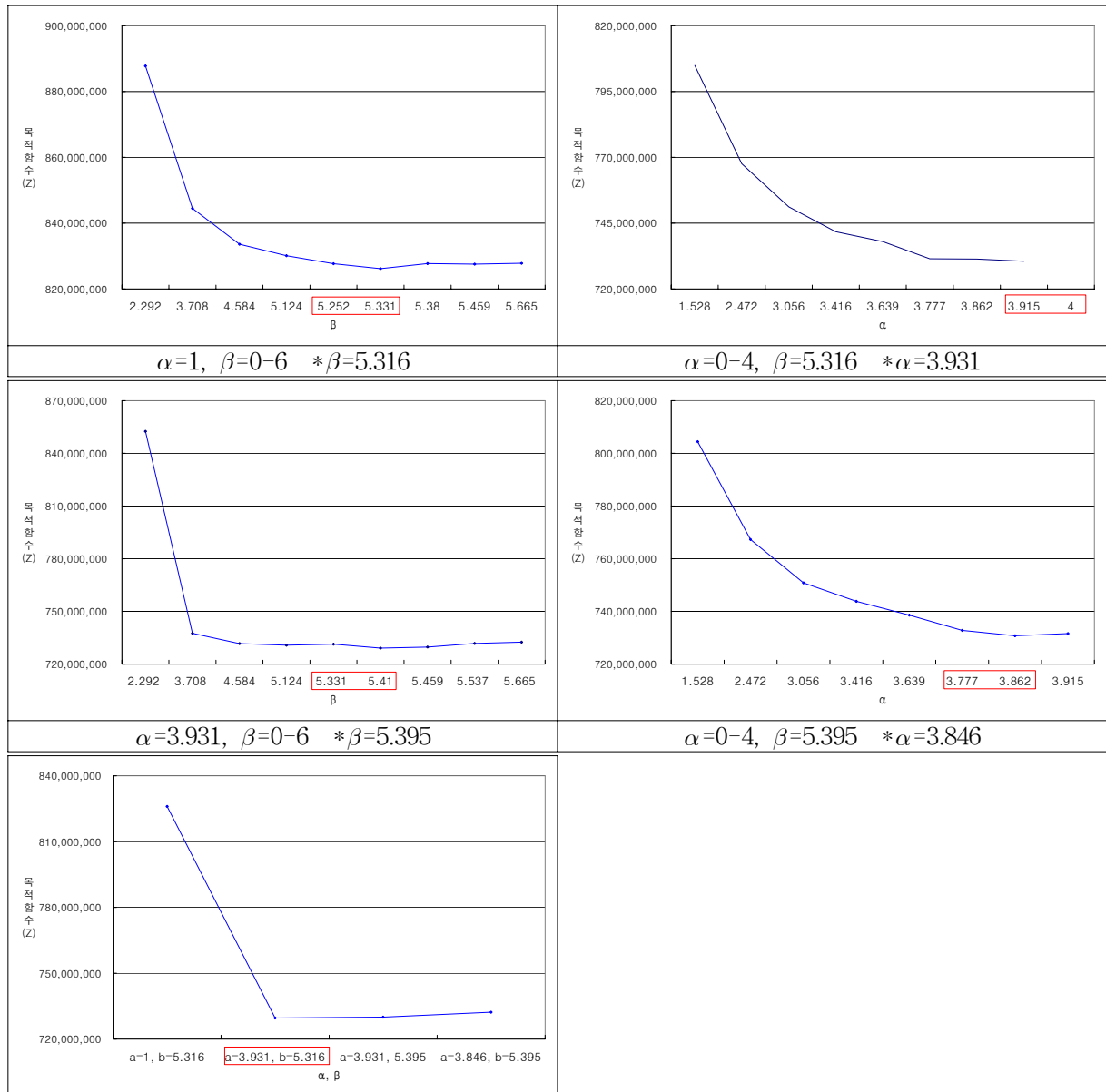
<그림 3-9> 고속도로 파라미터 추정 지점

나. 파라미터 추정결과

1) 차로별 파라미터 추정과정

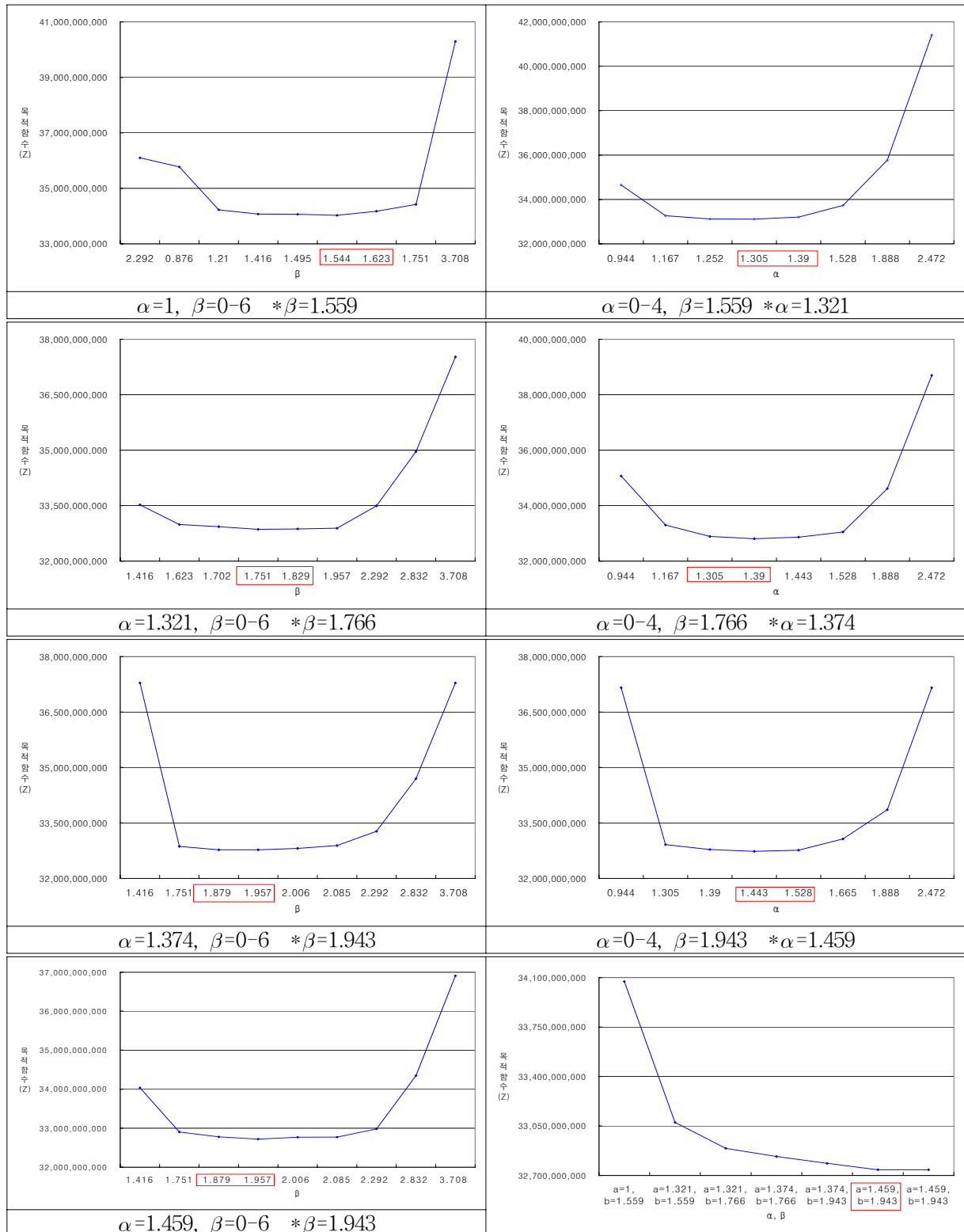
- α 의 경우는 0과 4사이, β 의 경우는 0과 6사이에서 최적값을 찾도록 하였으며, <그림 3-10>부터 <그림 3-12>까지는 열거법으로 고속도로 각 차로별 파라미터 추정과정을 보여주고 있음
- 최종적으로, 1차로의 경우 $\alpha=3.931$, $\beta=5.316$, 2차로의 경우 $\alpha=1.459$, $\beta=1.943$, 3차로의 경우, $\alpha=3.210$, $\beta=5.936$ 에서 각각 최적값을 도출하였음

① 1차로 : $\alpha=3.931$, $\beta=5.316$

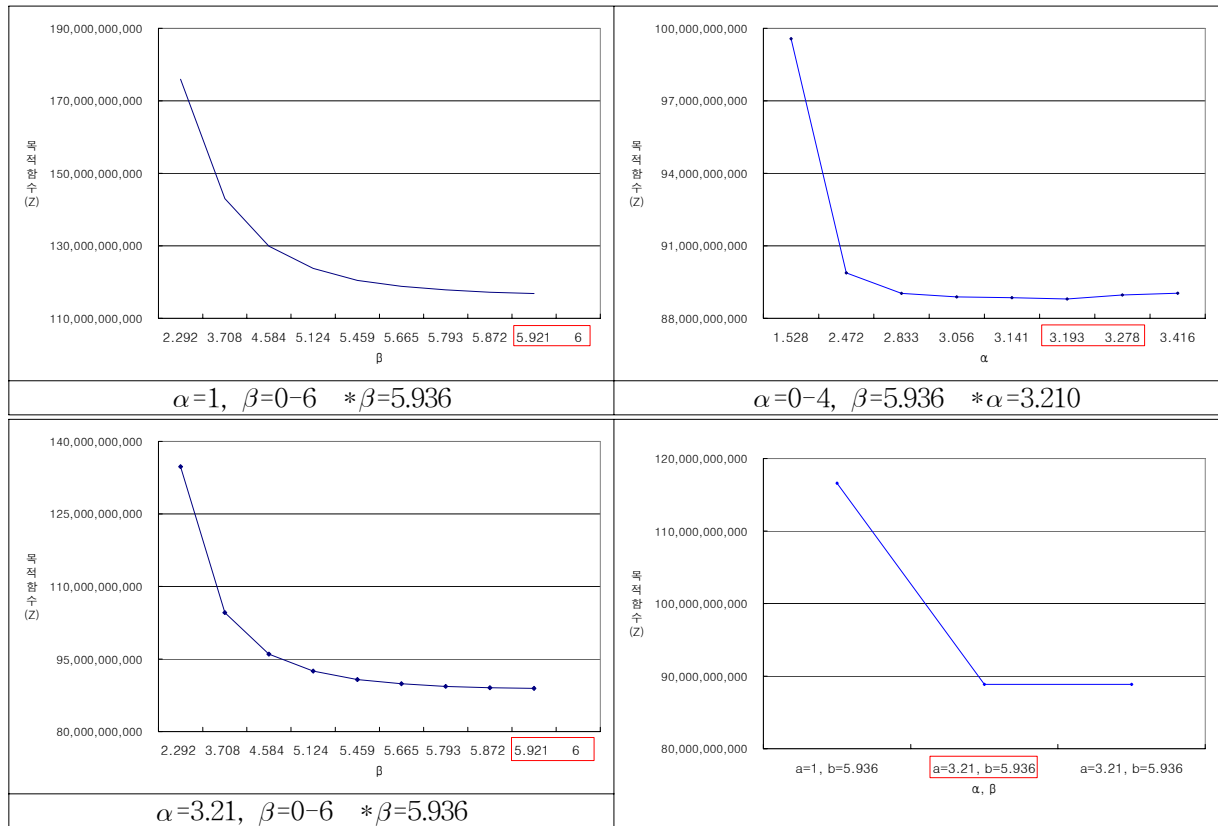


<그림 3-10> 고속도로 편도 1차로 파라미터 추정과정

② 2차로 : $\alpha=1.459$, $\beta=1.943$



<그림 3-11> 고속도로 편도 2차로 파라미터 추정과정

③ 3차로 이상 : $\alpha=3.210$, $\beta=5.936$ 

<그림 3-12> 고속도로 편도 3차로 이상 파라미터 추정과정

2) 파라미터 추정결과

- 이상의 추정과정을 거쳐 열거법으로 산출된 파라미터값들을 정리한 내용이 <표 3-36>에 나와 있음. 대략적으로 α 값은 1.45~3.93정도의 값을 갖고 있으며, β 는 1.94~5.93사이의 값을 보임

<표 3-36> 최종적으로 추정된 고속도로 차로별 파라미터

고속도로(편도)	자유속도 (Km/h)	용량/차로 (pcupl)	최종 결과	
			α	β
1차로	80	1,600	3.931	5.316
2차로	117	2,200	1.459	1.943
3차로이상	119	2,200	3.210	5.936

다. 추정된 파라미터의 검증

- 본 과업에서 새롭게 산출된 파라미터를 이용하여 배정된 교통량이 관측교통량과 얼마나 근접한지를 알아보기 위하여 검증을 실시함. 사용되는 파라미터는 먼저 <표 3-36>의 최종 결과값을 적용함
- <표 3-37>는 각 차로별로 파라미터 검증결과로써, Paired t-검정, F-검정, Theil 부등계수, 상관계수를 보여주고 있음

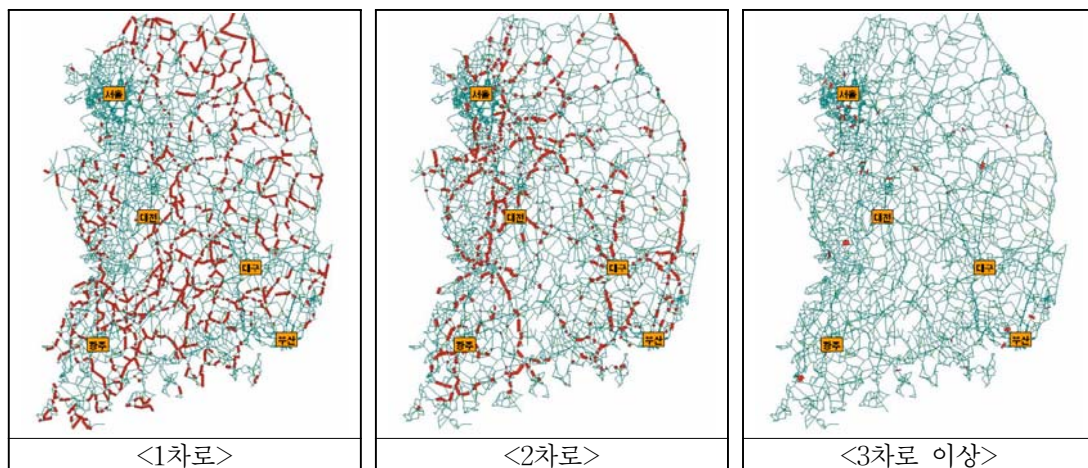
<표 3-37> 고속도로 파라미터 검증 결과

비 교		차 로 수		1차로		2차로		3차로 이상	
				현 VDF	본과업 VDF	현 VDF	본과업 VDF	현 VDF	본과업 VDF
관 측 수				36	36	404	404	234	234
관 측 치	평 균			7,165	7,165	29,389	29,389	80,890	80,890
	분 산			4,926,133	4,926,133	265,646,685	265,646,685	863,553,969	863,553,969
배 정 치	평 균			2,302	6,334	30,295	30,004	92,811	79,028
	분 산			20,322,355	18,593,481	246,593,489	201,904,210	1,870,452,896	838,520,488
RMSE				6,346	4,112	8,989	9,000	29,354	19,181
Theil 부등계수				0.5078	0.2720	0.1328	0.1348	0.1558	0.1127
t-통계량				7.0598	1.2215	-2.0333	-1.3749	-6.7836	1.4888
Paired t-test P(T≤t)				0	0.1150	0.0213	0.0850	0	0.0689
F-test				0	0.0001	0.2277	0.0030	0	0.4113
상관계수				0.4079	0.3571	0.8440	0.8349	0.7913	0.7850

2. 국도 파라미터 추정 및 검증

가. 국도 추정자료

- 국도 파라미터 추정하기 위하여 2005 도로교통량통계연보에 있는 국도 지점 및 교통량을 사용함
- 편도 3,088개 지점을 대상으로 분석함
 - 편도 1차로의 경우, 편도 1,754개의 지점을 분석대상에 사용함
 - 편도 2차로의 경우, 편도 1,263개의 지점을 분석대상에 사용함
 - 편도 3차로 이상의 경우, 편도 71개 지점(편도 3차로 : 59개, 편도 4차로 : 10개, 편도 5차로 : 2)을 분석대상에 사용함

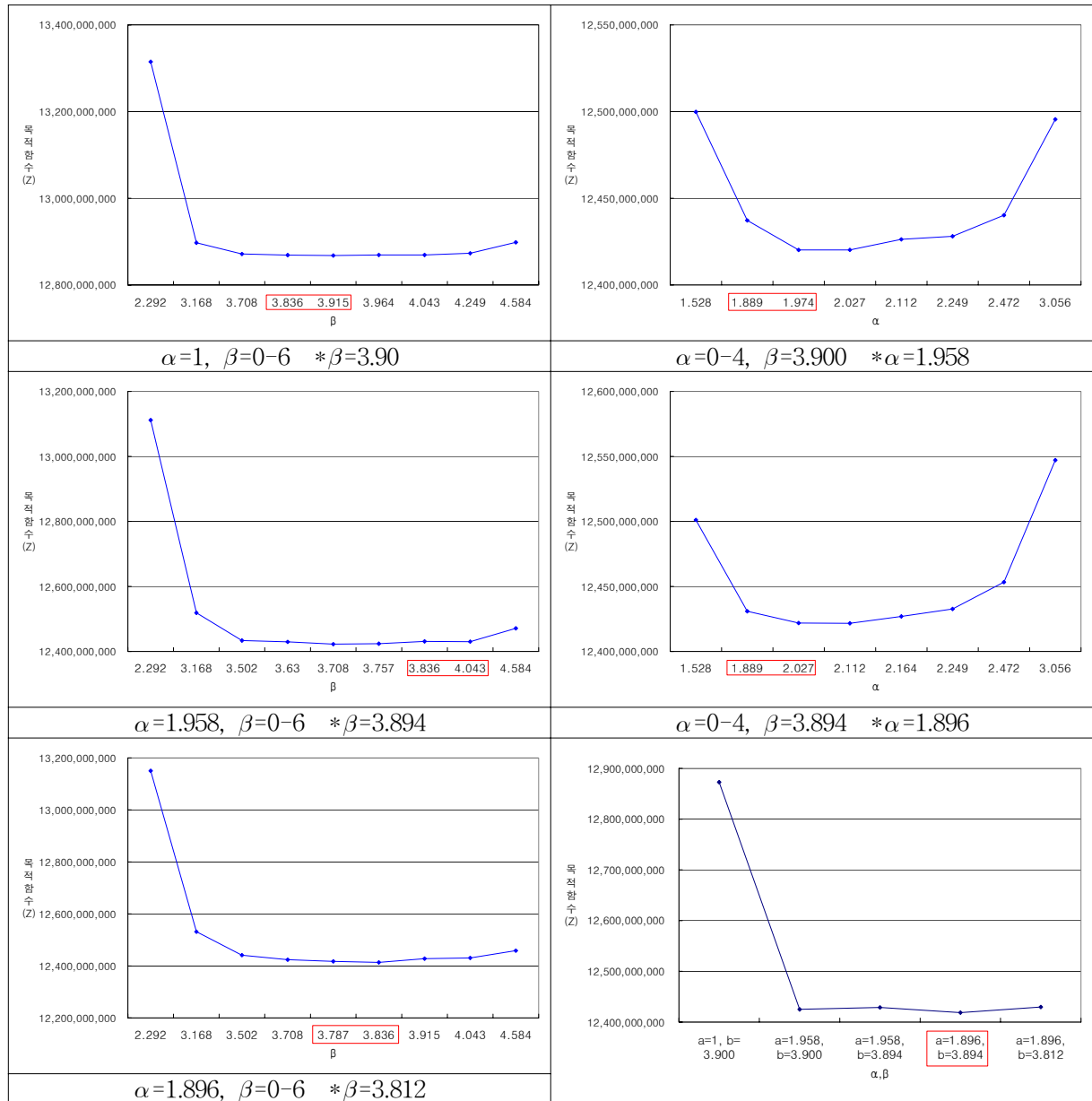


<그림 3-13> 국도 파라미터 추정 지점

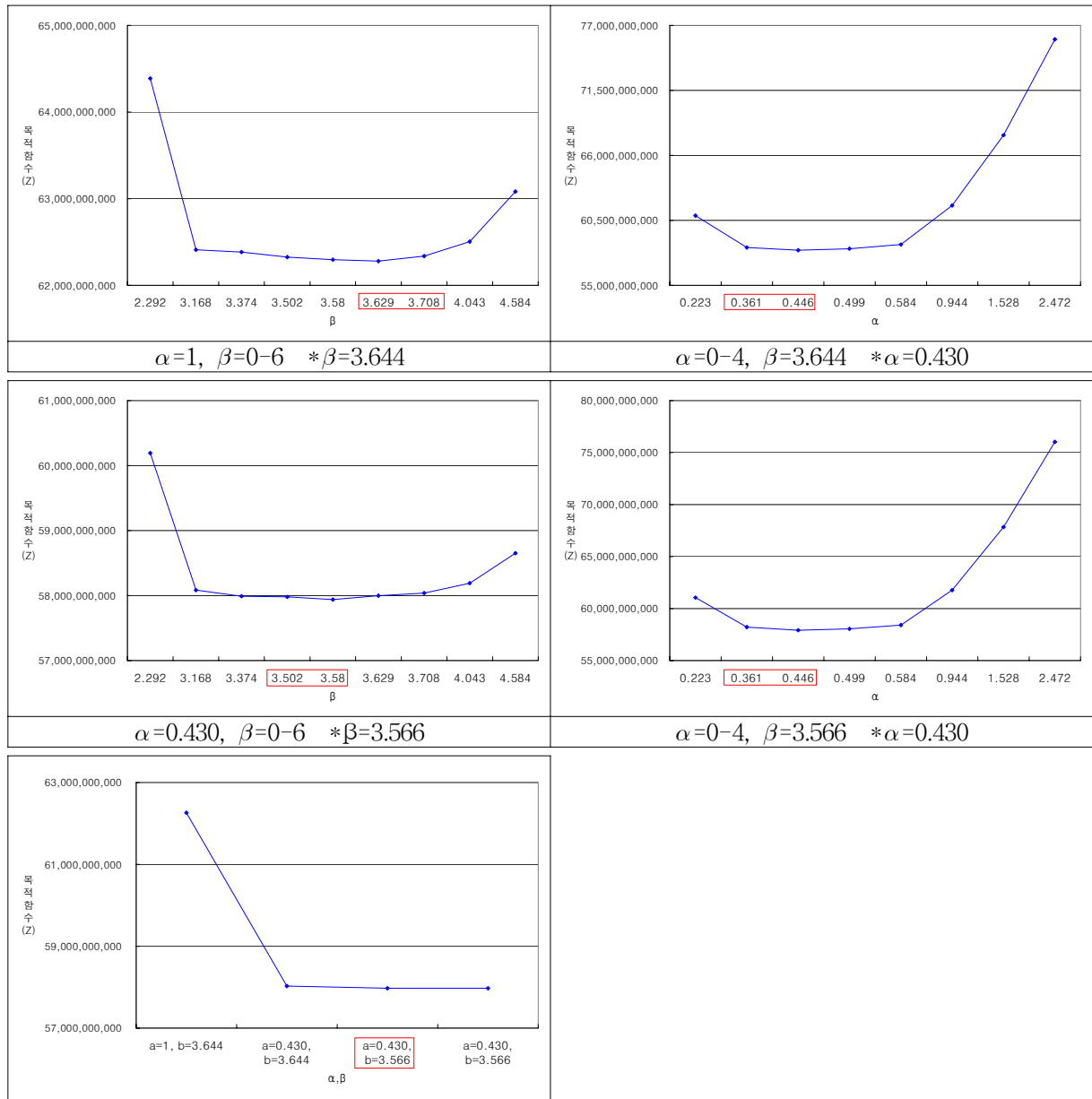
나. 파라미터 추정결과

1) 차로별 파라미터 추정결과

- 고속도로 추정시와 같이, α 의 경우는 0과 4사이, β 의 경우는 0과 6사이에서 최적값을 찾도록 하였으며 <그림 3-14>부터 <그림 3-16>까지는 열거법으로 국도 각 차로별 파라미터 추정과정을 보여주고 있음
- 최종적으로, 1차로의 경우 $\alpha=1.896$, $\beta=3.894$, 2차로의 경우 $\alpha=0.430$, $\beta=3.566$, 3차로의 경우, $\alpha=0.653$, $\beta=3.232$ 에서 각각 최적값을 도출하였음

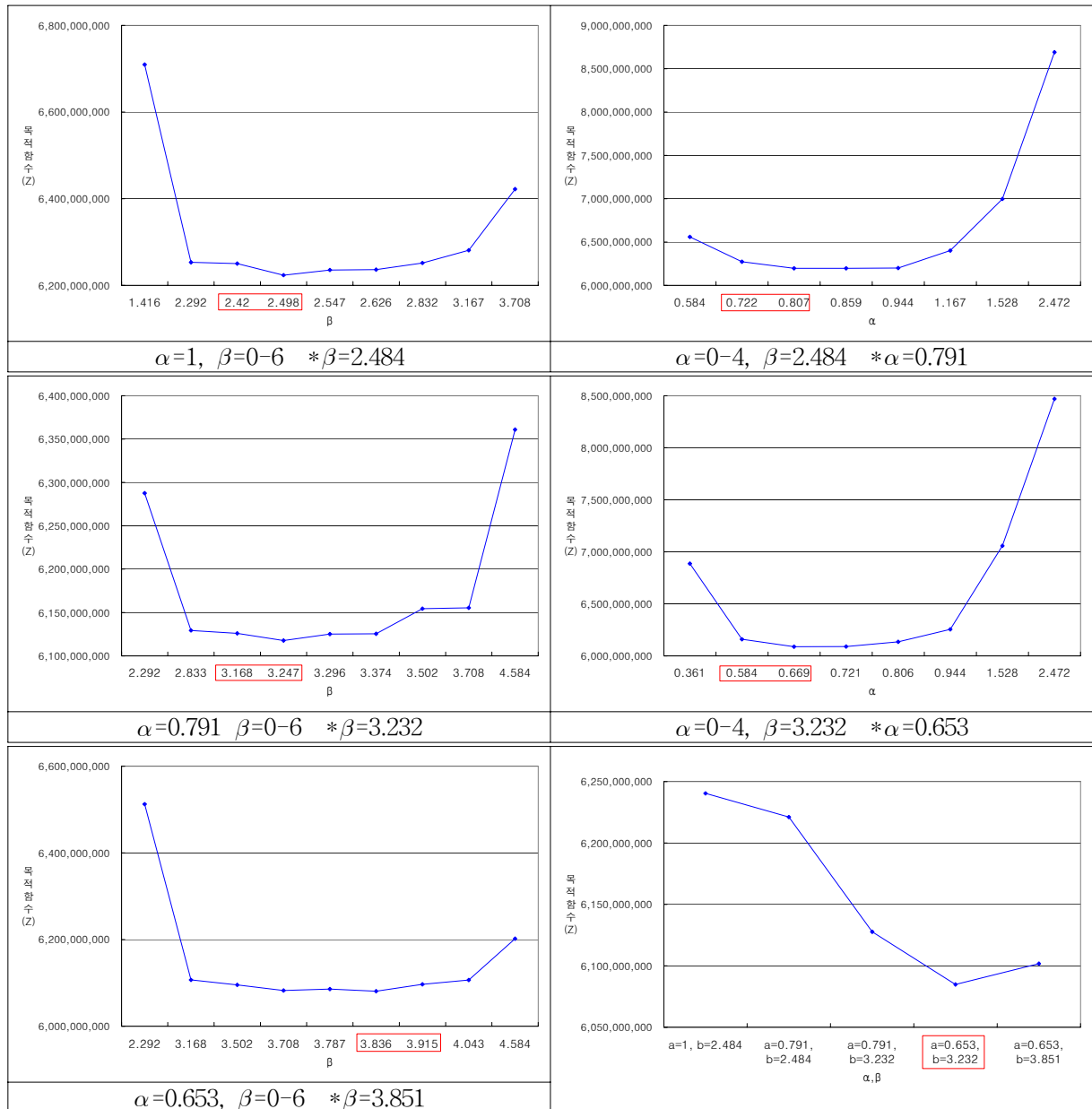
① 국도 편도 1차로 : $\alpha=1.896$, $\beta=3.894$ 

<그림 3-14> 국도 편도 1차로 파라미터 추정과정

② 국도 편도 2차로 : $\alpha=0.430$, $\beta=3.566$ 

<그림 3-15> 국도 편도 2차로 파라미터 추정과정

③ 국도 편도 3차로 이상 : $\alpha=0.653$, $\beta=3.232$



<그림 3-16> 국도 편도 3차로 이상 파라미터 추정과정

2) 파라미터 추정결과

- 본 과업에서 열거법으로 추정한 국도의 파라미터 추정결과가 <표 3-38>에 제시되어 있음. 표에서 보듯이 α 값의 경우 0.43~1.9, β 는 3.23~3.89 사이의 값을 갖고 있음

<표 3-38> 최종적으로 추정된 국도 차로별 파라미터

고속도로(편도)	자유속도 (Km/h)	용량 / 차로 (pcupl)	최종 결과	
			α	β
1차로	70	750	1.896	3.894
2차로	80	1,000	0.430	3.566
3차로이상	90	1,200	0.653	3.232

다. 파라미터의 검증

- 본 과업에서 추정된 국도의 각 차로별 파라미터에 대한 검증결과는 <표 3-39>와 같음

<표 3-39> 국도 파라미터 검증 결과

비 교		1차로		2차로		3차로 이상	
		현 VDF	본과업 VDF	현 VDF	본과업 VDF	현 VDF	본과업 VDF
관 측 수		1,754	1,754	1,263	1,263	71	71
관 측 치	평 균	3,412	3,412	13,162	13,162	27,292	27,292
	분 산	6,126,701	6,126,701	76,203,721	76,203,721	333,588,264	333,588,264
배 정 치	평 균	3,732	3,137	13,803	13,017	24,415	23,824
	분 산	12,267,482	5,824,755	89,176,761	74,909,975	448,923,863	474,839,640
RMSE		3,183	2,680	7,137	6,820	9,584	10,242
Theil 부등계수		0.3411	0.3279	0.2195	0.2171	0.1475	0.1577
t-통계량		-4.2227	4.3180	-3.2046	0.7553	2.6330	3.0108
Paired t-test $P(T \leq t)$		0	0	0.0007	0.2251	0.0052	0.0018
F-test		0	0.1451	0.0026	0.3805	0.1083	0.0711
상관계수		0.4820	0.4051	0.6964	0.6921	0.9015	0.8973

3. 종합검증

가. 종합검증 결과

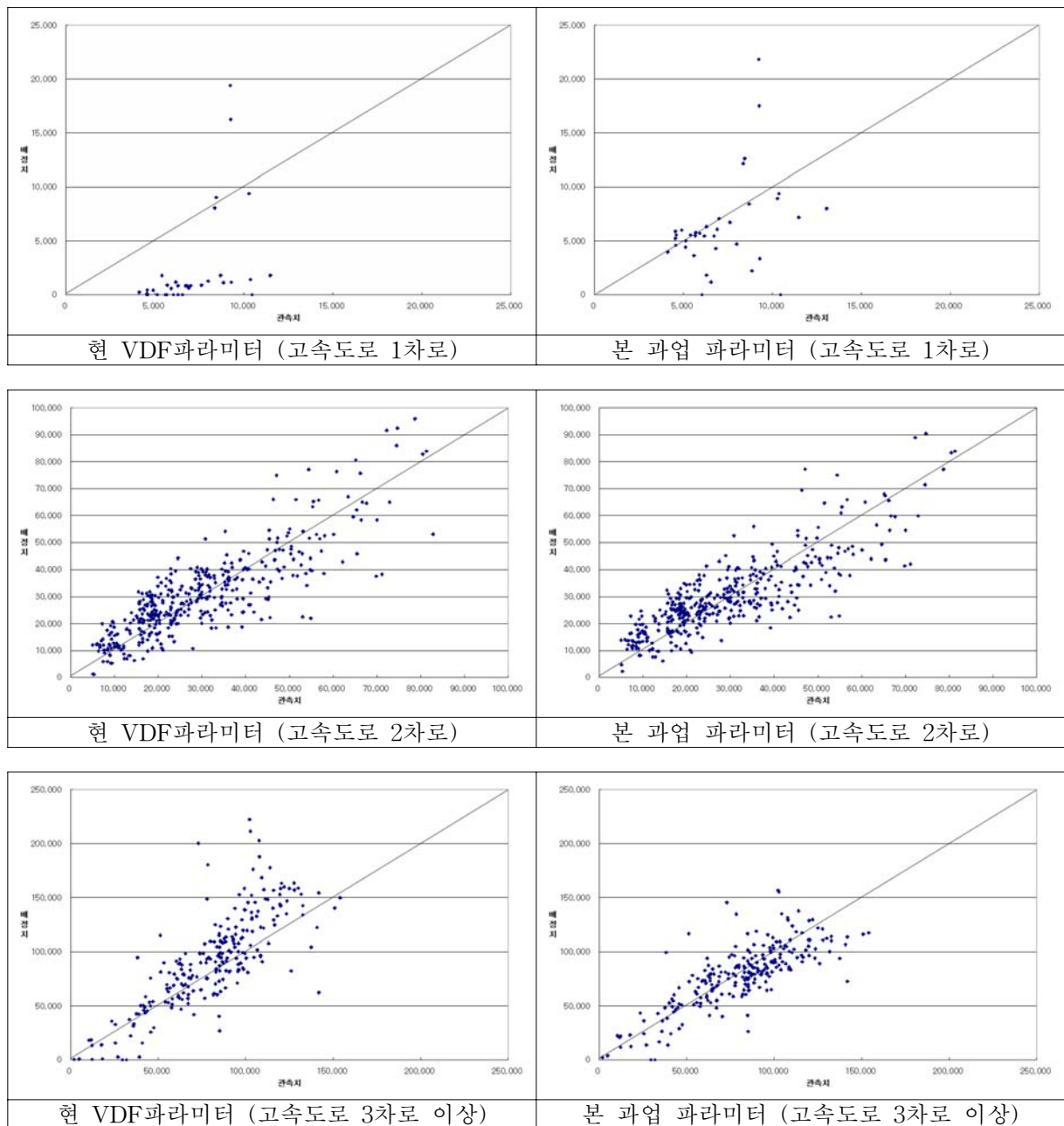
- 본 과업에서 최종적으로 구한 고속도로와 국도의 파라미터 값을 함께 적용하여 총량 OD통행량으로 검증한 결과는 다음과 같음

1) 고속도로 검증결과

- 고속도로 각 차로별 통행배정시 오차율 결과는 <표 3-40>와 같음
 - 1차로의 경우, $\pm 30\%$ 이내(적정)의 오차비율이 8.4% \rightarrow 58.3% 로 크게 증가되어 본 과업에서 구한 파라미터 값의 현실 재현력이 크게 개선되었음을 알 수 있으며, $\pm 60\%$ 이상(과대 및 과소추정) 오차비율은 91.6% \rightarrow 22.3% 크게 감소되었음
 - 2차로의 경우, $\pm 30\%$ 이내의 비율이 63.3% \rightarrow 64.1% 로 증가되었고, $\pm 60\%$ 이상 오차비율은 10.6% \rightarrow 12.9% 증가되었음
 - 3차로 이상의 경우, $\pm 30\%$ 이내의 비율이 68.0% \rightarrow 81.7%로 크게 증가되어 3차로 역시 현실 재현력이 크게 개선되었으며, $\pm 60\%$ 이상 오차비율은 9.9% \rightarrow 5.1% 감소되었음

<표 3-40> 고속도로 통행배정시 오차율

오차 범위(%)		고속도로 1차로				고속도로 2차로				고속도로 3차로 이상			
		현 VDF		본과업 VDF		현 VDF		본과업 VDF		현 VDF		본과업 VDF	
		관측 수	비율 (%)	관측 수	비율 (%)	관측 수	비율 (%)	관측 수	비율 (%)	관측 수	비율 (%)	관측 수	비율 (%)
과 대 추 정	300이상	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0
	100~300	1	2.8	1	2.8	9	2.2	14	3.5	6	2.6	3	1.3
	60~100	1	2.8	1	2.8	31	7.7	38	9.4	7	3.0	5	2.1
	30~60	0	0.0	2	5.6	59	14.6	56	13.9	44	18.8	18	7.7
	10~30	0	0.0	4	11.1	89	22.0	71	17.6	77	32.9	40	17.1
	0~10	1	2.8	5	13.8	52	12.9	53	13.1	24	10.3	40	17.1
과 소 추 정	-10~0	2	5.6	6	16.7	51	12.6	43	10.6	28	12.0	43	18.4
	-30~-10	0	0.0	6	16.7	64	15.8	92	22.8	30	12.8	68	29.1
	-60~-30	0	0.0	5	13.8	46	11.5	37	9.1	8	3.3	13	5.5
	-100~-60	31	86.0	6	16.7	3	0.7	0	0	10	4.3	4	1.7
합 계		36	100	36	100	404	100	404	100	234	100	234	100



<그림 3-17> 관측교통량대 배정교통량 비교(고속도로 차로별)

2) 국도 검증결과

○ 국도 각 차로별 통행배정시 오차율 결과는 <표 3-41>와 같음

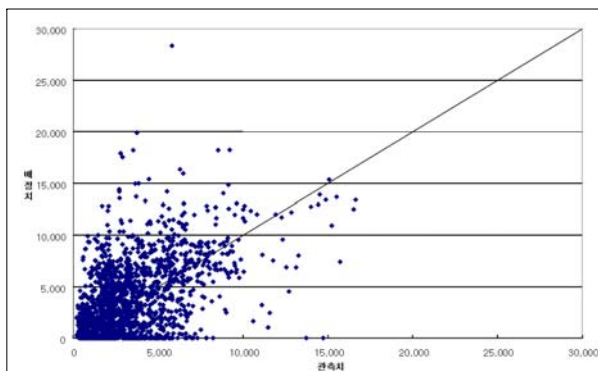
- 1차로의 경우, $\pm 30\%$ 이내(적정)의 오차비율이 $23.7\% \rightarrow 27.5\%$ 로 증가되었으며, $\pm 60\%$ 이상 (과대 및 과소추정)오차비율은 $56.8\% \rightarrow 50.2\%$ 감소되었음. 이처럼 국도1차로의 오차비율이 상대적으로 다른 차로에 비해 낮은 이유는 1차로의 경우, 지

역간 통행보다는 지역내의 통행을 서비스하는 기능이 강하나, 이런 지역적인 도로 특성들을 고려하지 않고 전국단위의 파라미터 값을 추정하기 때문인 것으로 판단됨

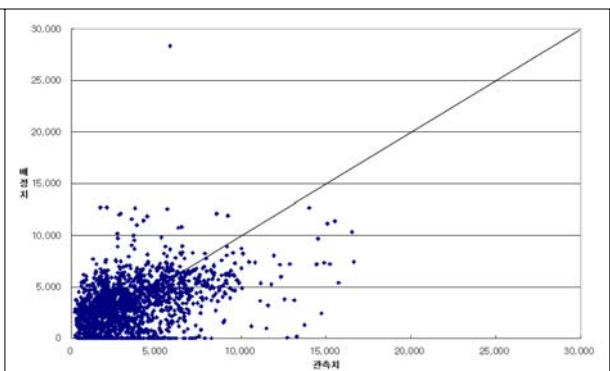
- 2차로의 경우, $\pm 30\%$ 이내의 비율이 40.7% \rightarrow 43.4% 로 증가되었고, $\pm 60\%$ 이상 오차비율은 32.6% \rightarrow 29.6% 감소되었음
- 3차로 이상의 경우, $\pm 30\%$ 이내의 비율이 45.1% \rightarrow 46.4%로 증가되었고, $\pm 60\%$ 이상 오차비율은 22.5% \rightarrow 12.7% 감소되었음

<표 3-41> 국도 통행배정시 오차율

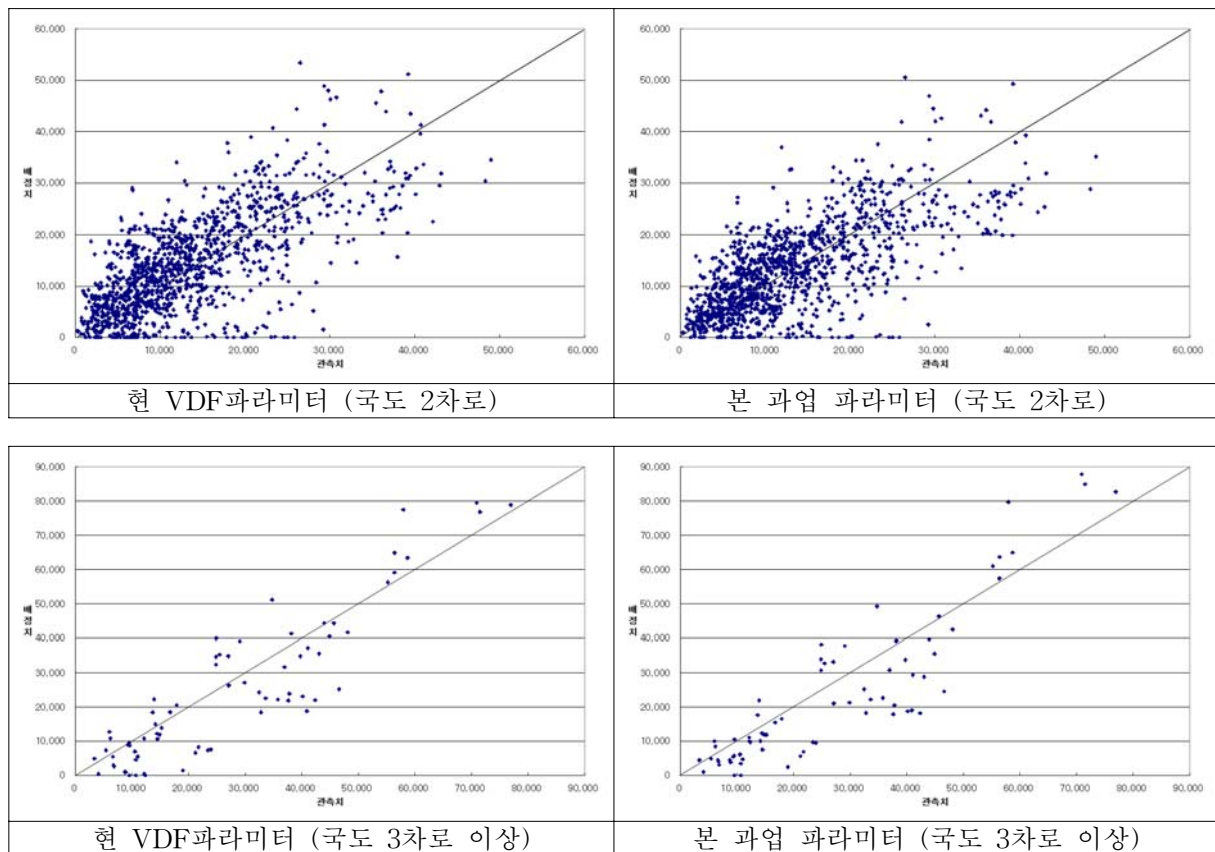
오차 범위(%)		국도 1차로				국도 2차로				국도 3차로 이상			
		현 VDF		본과업 VDF		현 VDF		본과업 VDF		현 VDF		본과업 VDF	
		관측 수	비율 (%)	관측 수	비율 (%)	관측 수	비율 (%)	관측 수	비율 (%)	관측 수	비율 (%)	관측 수	비율 (%)
과 대 추 정	300이상	108	6.2	92	5.2	21	1.7	17	1.3	0	0.0	0	0.0
	100~300	265	15.1	245	14.0	133	10.5	109	8.6	1	1.4	0	0.0
	60~100	148	8.4	130	7.4	111	8.8	121	9.6	3	4.2	1	1.4
	30~60	165	9.4	152	8.7	198	15.7	162	12.8	9	12.7	8	11.3
	10~30	133	7.6	136	7.8	169	13.4	174	13.8	5	7.0	10	14.1
	0~10	83	4.7	74	4.2	80	6.3	80	6.3	9	12.7	4	5.6
과 소 추 정	-10~0	64	3.6	91	5.2	90	7.1	98	7.8	8	11.3	5	7.0
	-30~-10	137	7.8	181	10.3	176	13.9	196	15.5	10	14.1	14	19.7
	-60~-30	175	10.1	239	13.6	139	11.0	179	14.2	14	19.7	21	29.6
	-100~-60	476	27.1	414	23.6	146	11.6	127	10.1	12	16.9	8	11.3
합 계		1,754	100	1,754	100	1,263	100	1,263	100	71	100	71	100



현 VDF 파라미터 (국도 1차로)



본 과업 파라미터 (국도 1차로)



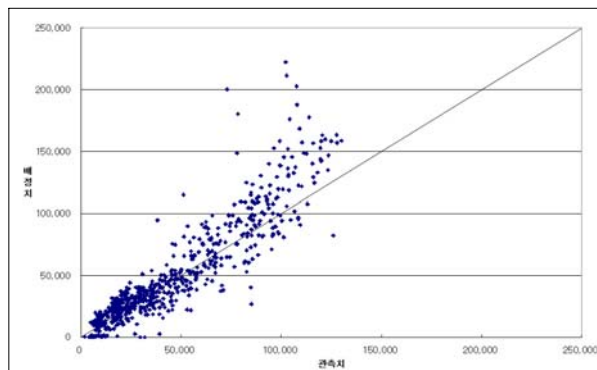
<그림 3-18> 관측교통량대 배정교통량 비교(국도 차로별)

3) 전체 검증결과

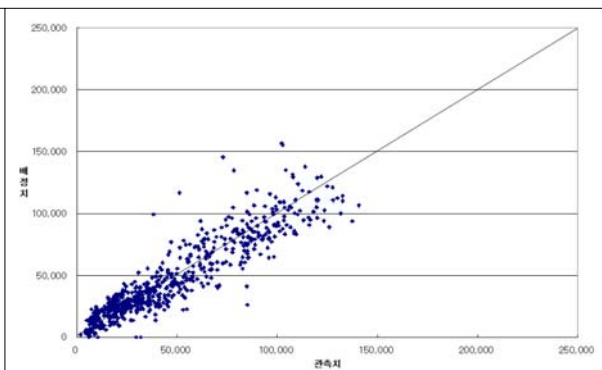
- 고속도로의 경우, $\pm 30\%$ 이내(적정)의 오차비율이 62.0% \rightarrow 69.8% 로 크게 증가된 반면, $\pm 60\%$ 이상(과대 및 과소추정) 오차비율은 14.7% \rightarrow 10.7%로 감소함
- 국도의 경우 역시, $\pm 30\%$ 이내(적정)의 오차비율이 31.2% \rightarrow 34.5% 로 증가된 반면, $\pm 60\%$ 이상 오차비율은 46.2% \rightarrow 41.0% 감소함
- 고속도로와 국도의 차로별 RMSE 및 Theil 부등계수 결과는 <표 3-43>와 같음
 - RMSE 변화율을 살펴보면, 고속도로 1, 3차로의 경우 각각 -35.2%, -34.66%로써 크게 감소한 반면, 고속도로 2차로는 0.12%로써 약간 증가하였음. 국도 1, 2차로 역시 -15.80%, -4.44%로 감소한 반면, 국도 3차로는 6.87%로 증가함
 - Theil부등계수를 살펴보면, RMSE의 변화율과 같이 대체로 감소하고 있으나, 국도 3차로인 경우 약간 증가하는데, 이는 앞에서 기술한 바와 같이 적은 표본수로 인한 한계로 판단됨

<표 3-42> 통행배정시 오차율(전체)

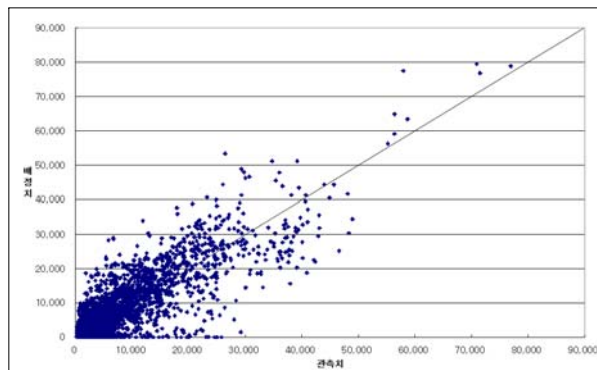
오차 범위(%)		고속도로				국 도			
		현 VDF 파라미터		본과업 VDF 파라미터		현 VDF 파라미터		본과업 VDF 파라미터	
		관측수	비율 (%)	관측수	비율 (%)	관측수	비율 (%)	관측수	비율 (%)
과 대 추 정	300이상	0	0.0	0	0.0	129	4.2	109	3.5
	100~300	16	2.4	18	2.7	399	12.9	354	11.5
	60~100	39	5.8	44	6.5	262	8.5	252	8.2
	30~60	103	15.3	76	11.3	372	12.0	322	10.4
	10~30	166	24.6	115	17.1	307	9.9	320	10.4
	0~10	77	11.4	98	14.5	172	5.6	158	5.1
과 소 추 정	-10~0	81	12.1	92	13.6	162	5.2	194	6.3
	-30~-10	94	13.9	166	24.6	323	10.5	391	12.7
	-60~-30	54	8.0	55	8.2	328	10.6	439	14.1
	-100~-60	44	6.5	10	1.5	634	20.6	549	17.8
합 계		674	100	674	100	3,088	100	3,088	100



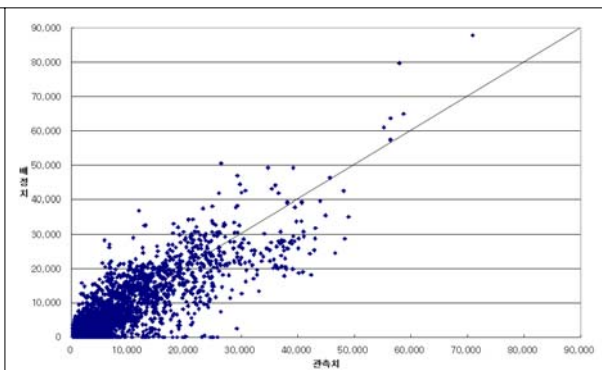
현 VDF파라미터 (고속도로 전체)



본 과업 파라미터 (고속도로 전체)



현 VDF파라미터 (국도 전체)



본 과업 파라미터 (국도 전체)

<그림 3-19> 관측교통량대 배정교통량 비교(고속도로 및 국도 전체)

<표 3-44> 다차종 통행배정 실시 결과(고속도로)

제6절 소결론

1. 연구결과 요약

- 본 과업에서는 교통수요예측의 신뢰성을 향상시키기 위하여 수요예측단계에서 사용되는 통행비용함수의 파라미터를 추정하고 이를 검증하는 연구로, 2005년 국가교통DB 자료를 기준으로 고속도로 및 국도에 대한 파라미터를 추정결과를 요약하면 <표 3-46>와 같음
- 표에서 보듯이 고속도로와 국도의 파라미터값들은 모두 새롭게 추정되었으며, 차로당 용량은 국도 3차로의 경우, 기존 1,000(pcu/차로)가 1,200(pcu/차로)로 증가되었으며 나머지 차로들에 대한 용량은 동일함. 자유속도는 역시 기존과 동일한 값을 적용함
- 현 VDF 파라미터와 비교할 때, 고속도로의 경우, 전 차로의 α , β 값은 크게 추정되었으나, 2차로의 β 값만 작게 추정되었음. 국도의 경우, 이와 반대로 전 차로의 β 값은 작게 추정되었음
- 본 연구에서 추정한 파라미터를 검증한 결과, 대체로 현 VDF 파라미터를 사용한 결과보다는 개선된 것으로 나타남

<표 3-46> 연구결과 정리

도로위계(편도)	현 VDF 파라미터				본 과업 파라미터			
	자유속도 (Km/h)	용량/ 차로 (pcupl)	α	β	자유속도 (Km/h)	용량 / 차로 (pcupl)	α	β
고속도로(1차로)	80	1,600	0.58	2.4	80	1,600	3.931	5.316
고속도로(2차로)	117	2,200	0.645	2.047	117	2,200	1.459	1.943
고속도로(3차로이상)	119	2,200	0.601	2.378	119	2,200	3.210	5.936
일반국도(1차로)	70	750	0.15	4	70	750	1.896	3.894
일반국도(2차로)	80	1,000	0.15	4	80	1,000	0.430	3.566
일반국도(3차로이상)	90	1,000	0.15	4	90	1,200	0.653	3.232

2. 국가교통DB와 파라미터의 연동화

- 앞서 기술한 바와 같이 본 과업에서 수행한 파라미터 추정법은 기존 연구들과는 달리, 국가교통DB를 이용하여 통행배정된 배정교통량과 건설교통부의 도로교통 통계연보(2005)상 관측교통량과의 차이를 최소화시키는 파라미터를 추정하였음. 이는 국가교통DB나 도로교통연보상의 관측교통량이 변하는 경우, 본 과업에서 구한 파라미터도 변해야 함을 의미함. 현재 본 과업에서 제시한 고속도로와 국도의 파라미터값들은 2005년도를 기준으로 추정된 값임
- 따라서, 이들 파라미터값들은 국가교통DB가 수정·보완되거나 도로교통 통계연보상의 관측교통량이 갱신될 때마다 새롭게 추정되어야 하나, 건설교통부에서 발간하는 도로교통 통계연보는 매년 새롭게 갱신되기 때문에 이에 맞추어 매년 파라미터를 추정하기는 현실적으로 쉽지 않음. 그러므로 국가교통DB의 갱신주기에 맞추어 추정하거나 정기적으로(예를 들어 3년 단위) 추정하여 국가교통DB와 함께 제공되어야 파라미터의 신뢰성을 확보할 수 있음

3. 기타도로(국지도, 지방도)에 대한 파라미터 개선방안

- 본 과업의 내용적 범위에는 국지도와 지방도가 포함되어 있지 않으나, 이에 대한 합리적인 파라미터 추정도 중요한 과제임. 이는 통행배정모형의 결과를 증진시키기 위해 꼭 필요한 작업이나 자료의 한계 등 극복해야할 문제가 다수 존재함. 여기서는 국지도와 지방도 등 기타 도로에 대한 파라미터 개선방안에 대한 기본 방향을 제시하고자 함

가. 지역단위의 파라미터 추정

- 국지도나 지방도는 그 특성상 전국을 서비스하는 고속도로나 국도와 달리 해당지역을 서비스하는 기능이 강하기 때문에 전국단위의 파라미터추정과는 다르게, 해당지역의 특성을 고려할 수 있도록 지역단위로 파라미터를 추정할 필요가 있음
- 즉, 해당지역의 경사도, 곡률도 등 도로특성을 반영할 수 있도록, <그림 3-20>과 같이 수도권, 충청권, 호남권, 영남권, 강원권 등 각 권역별로 파라미터들을 추정해야 하며, 이를 통하여 예비타당성조사 등 제반 지역단위의 교통수요추정 정도를 높일 수 있을 것으로 보임

- 파라미터 추정방법으로는 각 권역별로 개별적으로 파라미터를 추정하는 방법과 전국을 대표하는 표준 파라미터를 추정한 후, 각 권역별의 도로특성을 반영하여 수정하는 방법을 고려할 수 있음



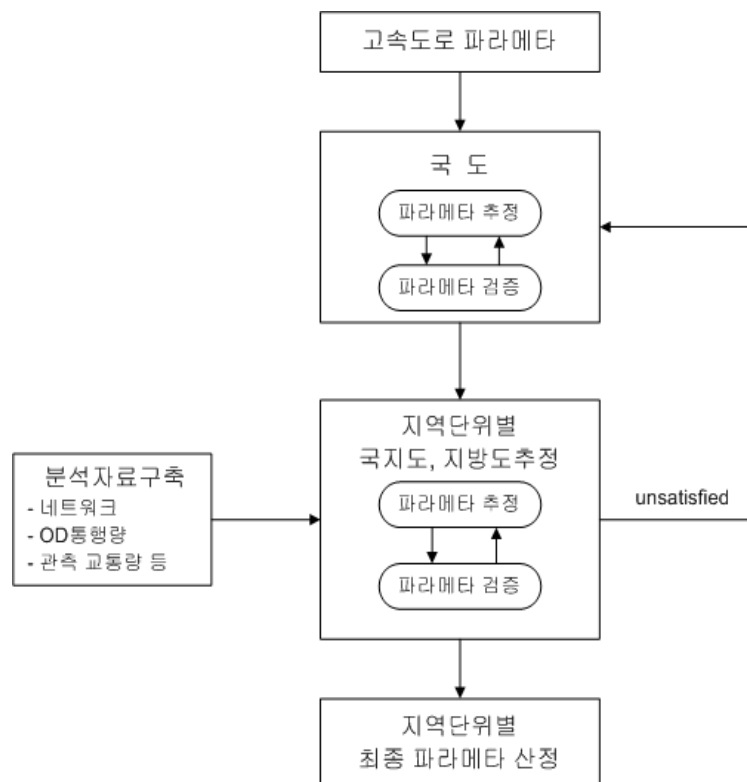
<그림 3-20> 권역별 파라미터 추정

나. 국지도, 지방도의 포함수준 결정

- 교통수요 추정시 중요한 고려사항 중의 하나는 도로 네트워크와 기종점(OD) 통행량 간의 균형인데, 이는 OD통행량을 발생시키는 존(zone)의 크기와 네트워크의 고려수준이 서로 적정해야 함을 의미함. 특히 이런 문제는 분석 네트워크에 국지도와 지방도를 어느 수준까지 포함시켜야 하며, 어느 수준까지 존의 크기를 세분화할 것인가 하는 문제로 파라미터의 추정시에도 동일한 문제가 발생함
- 따라서, 국지도, 지방도의 파라미터 추정시 이 문제 역시 신중히 고려해야 하며, 현재 관련 연구가 거의 없는 상태이기 때문에 실제 과업을 수행하면서 고려수준을 판단해야 할 것으로 보임

다. 통합적인 파라미터 정립방안 모색

- 비록 국지도와 지방도의 파라미터 추정이 지역단위로 이루어지더라도, 이는 고속도로 및 국도의 파라미터 추정과 연계되어 이루어져야 함. 즉, 이들 파라미터들은 서로 영향을 미치기 때문에 고속도로나 국도와 별개로 파라미터를 추정되기 보다는 연계되어 추정되어야 하며, 특히, 국도의 파라미터와는 밀접한 관계가 있을 것으로 판단됨
- 따라서, 본 과업에서는 <그림 3-21>과 같이 국지도와 지방도에 대한 파라미터 정립방안을 제안함. 즉, 고속도로의 파라미터가 주어진 상태에서 국도와 기타 도로간의 파라미터는 서로 반복과정을 통하여 보정하는 단계로 이루어짐
- 그림에서 보듯이 국도의 파라미터가 정립된 상태에서 각 권역별 국지도와 지방도의 파라미터를 추정 및 검증한 후, 국도의 파라미터를 재 추정하고 다시 국지도와 지방도의 파라미터를 추정하는 feedback과정을 거치게 됨



<그림 3-21> 기타도로 파라미터 추정방안

4. 연구의 한계 및 향후 과제

- 본 과업의 수행과정에서 발생한 연구의 한계와 이를 해결하기 위한 향후 과제를 정리 하면 다음과 같음

가. 도로 용량 문제

- 본 과업에서는 고속도로의 경우, 차로당 2,200pcu/h를 기본 용량으로 적용하였지만, 최근 연구 성과에 의하면 이에 다소 못 미치는 것으로 나타나고 있음. 특히, 다차로 인 경우, 차로별로 다른 용량상태를 보이는 것으로 나타나고 있어 이에 대한 심도 있는 연구가 필요함. 또한, 편도 1차로에 해당하는 고속도로는 88고속도로가 유일하기 때문에 자료의 부족이 심각한 실정이며, 3차로 이상으로 되어 있는 구분을 3차로와 4차로이상으로 확대할 필요가 있음
- 국도 역시, 고속도로와 마찬가지로 차로별로 파라미터를 산정하고 있는데, 최근 국도 I 등급을 중심으로 교차로 입체화시설이 지속적으로 설치됨에 따라 현재 적용하고 있는 차로별 용량과는 차이가 있을 것으로 판단됨. 따라서 현재와 같은 차로별로 파라미터를 산정하기 보다는 국도등급별로 파라미터를 산정하여 적용하는 것이 좀 더 현실적이라고 판단되나, 현재 구축된 국도속성에 등급이 포함되어 있지 않아 이를 즉시 시행하기에는 힘들 것으로 보임. 따라서 이에 대해서는 다른 연구과제를 통하여 보완이 이루어져할 것으로 판단됨

나. 효율적인 과업수행을 위한 표준 노드-링크체계의 구축

- 본 과업을 수행하면서 겪은 어려움중 하나는, 도로교통 통계연보상의 관측지점과 분석 프로그램(예를 들어, EMM/2)상의 위치를 일치시키는 데 상당한 시간이 소요된 점임. 이는 관측지점의 코드와 분석프로그램상의 링크번호가 서로 상이한데 기인하며, 이로 인해 생각치 못한 오차가 발생할 우려가 있음
- 따라서, 표준적인 노드-링크체계의 구축이 필요하며, 이는 지속적으로 파라미터를 추정하기 위해서는 꼭 필요한 과제로 판단됨

제4장 결론 및 향후 연구과제

제4장 결론 및 향후 연구과제

- 여객 기종점통행량(O/D)자료는 교통정책의 연구 및 개발, 교통시설의 타당성 평가에 필수적인 기초자료로서, 자료의 신뢰성 검증과 이를 제고하기 위한 기초연구가 필요한 실정임
- 이에 본 과업에서는 첨단 기술을 활용하여 교통조사의 비용과 오류를 최소화하고, 우리나라 도로망 및 교통류에 적합한 통행비용함수의 파라미터를 정산하여 여객 기종점 통행량(O/D) 자료의 신뢰성을 제고하고자 하였음

1. 첨단기술을 활용한 교통조사 방안

- 본 과업에서는 다음의 3가지 대안에 대한 연구를 진행하였음
 - 첫째, PDA(GPS)를 활용한 첨단교통조사 방안
 - 둘째, 범용 이동전화를 활용한 첨단교통조사 방안
 - 셋째, GPS 수신장치가 내장된 이동전화를 활용한 첨단교통조사 방안
- 위의 3가지 대안 중, 두 번째와 세 번째 안은 모두 이동전화를 활용한 방안이며, 이를 위해서는 이동통신사의 협조가 필요하지만 조사의 예산 및 보안상의 이유로 협조를 얻기가 힘든 실정임
- 또한 현장테스트시 수행한 ‘친구찾기’ 서비스를 통해 범용 이동전화를 활용한 방안을 검토해본 결과, 기지국 기반의 위치 정보의 정확성이 낮아 통행의 기종점이나 통행경로의 파악이 어려움
- PDA(GPS)를 활용한 방안은 현장테스트 결과, 위치정보의 정확성, 통행누락의 완화, 자료 처리 과정의 자동화 등으로 결과 자료의 신뢰성 및 활용성이 높아지는 것으로 나타남
- 하지만 조사전용 단말기의 비용문제, 전원 및 GPS 수신률 문제, 단말기 크기로 인한 조사원의 부담 등의 문제가 현장테스트를 통해 나타남
- 이런 문제들의 해결방안으로는 부가기능이 없는 조사전용 단말기를 개발하는 것이며, 이를 향후 전국 조사로 확대한다면 예산 절감 및 조사결과의 신뢰성 등의 관점에서 기존 교통조사에 비해 효율적인 조사 수행을 할 수 있음

- 본 과제에서 제안한 PDA(GPS)를 활용한 첨단교통조사 방안으로 시범사업을 수행하여 조사자료의 신뢰도 및 활용도에 대한 구체적인 검토가 필요함

2. 도로의 통행비용함수 파라미터 보완 및 검증

- 본 과업에서는 현재 우리나라 교통망에 적합한 고속도로와 국도의 통행비용함수 파라미터를 추정하는 것을 목적으로 2005년 고속도로 파라미터의 재정산과 국도의 파라미터를 새로 갱신하였음
- 국가교통DB의 O/D와 네트워크를 이용하여 통행 배정된 배정교통량과 도로교통통계연보(2005) 상의 관측교통량의 차이를 최소화하는 파라미터를 추정하였음
- 파라미터의 정산과 함께 용량에 대한 고찰을 통해 국도 3차로의 경우 기존 1,000(pcu/차로)가 1,200(pcu/차로)로 증가되었음

<표 4-1> 연구결과 정리

도로위계(편도)	현 VDF 파라미터				본 과업 파라미터			
	자유속도 (Km/h)	용량/ 차로 (pcupl)	α	β	자유속도 (Km/h)	용량/ 차로 (pcupl)	α	β
고속도로(1차로)	80	1,600	0.58	2.4	80	1,600	3.931	5.316
고속도로(2차로)	117	2,200	0.645	2.047	117	2,200	1.459	1.943
고속도로(3차로이상)	119	2,200	0.601	2.378	119	2,200	3.210	5.936
일반국도(1차로)	70	750	0.15	4	70	750	1.896	3.894
일반국도(2차로)	80	1,000	0.15	4	80	1,000	0.430	3.566
일반국도(3차로이상)	90	1,000	0.15	4	90	1,200	0.653	3.232

- 향후 국가지원지방도, 지방도 등의 파라미터와 도로 구분에 따른 자유속도의 적정성, 도로 용량 등을 검토하여 종합적인 통행비용함수의 정립이 필요함

부 록

- A. 추정방법별 사전 분석결과
- B. 파라미터 추정시 다중해(multiple solutions) 문제
- C. 도로의 위계별 구분과 용량산정
- D. 참고문헌

A. 추정방법별 사전 분석결과

- 본 연구에서 적용할 최적 추정방법을 선정하기 위하여 국가교통DB(2007. 4월)를 가지고 3가지 추정방법(수리최적화, 수정된 회귀분석, 열거법)을 이용하여 사전 파라미터 추정한 결과는 다음과 같음

1. 고속도로 파라미터 추정

가. 추정결과

- 각 추정모형별로 산출된 값들의 경향을 살펴보면,
 - 수리최적화모형의 경우 대체로 α 값이 β 값보다 크게 나타나고 있는데, 이는 기존 연구에서도 유사한 경향을 보이고 있음. 이는 여러가지 이유가 있지만, 모형의 특성상 다수의 해(multiple solutions)가 존재(부록2 참조)하며 여기서 구한 해가 이중 하나인 지역해(local solution)에 도달한 것으로 추정됨. 또한, 초기 자유 통행시간에 비해 통행시간이 큰 경우에도 이런 현상이 나타날 수 있는 데, 이에 대해서는 다음에 구체적으로 살펴보기로 함
 - 수정된 회귀분석으로 구한 파라미터 역시, α 값이 β 값보다 크게 나타나고 있으며 결정계수(R^2)는 차로별로 차이가 있지만 대략 0.51~0.69정도를 나타내고 있음. 이는 배정교통량과 관측교통량간에 모형의 설명력이 높지 않음을 나타냄
 - 마지막으로 전 가능구간을 열거법으로 탐색한 경우, 앞의 추정법들과는 달리 1, 2, 3차로 모두 α 값이 β 값보다 작게 나타남

<표 1> 고속도로 파라미터 추정결과 비교(사전 분석결과)

차로수 (편도)	수리최적화모형		수정된 회귀분석			열거법	
	α	β	α	β	R^2	α	β
1차로	1.17	0.86	1.08	0.89	0.59	3.931	5.316
2차로	2.44	1.01	1.31	0.51	0.69	1.459	1.943
3차로이상	2.87	1.12	1.24	0.36	0.51	3.210	5.936

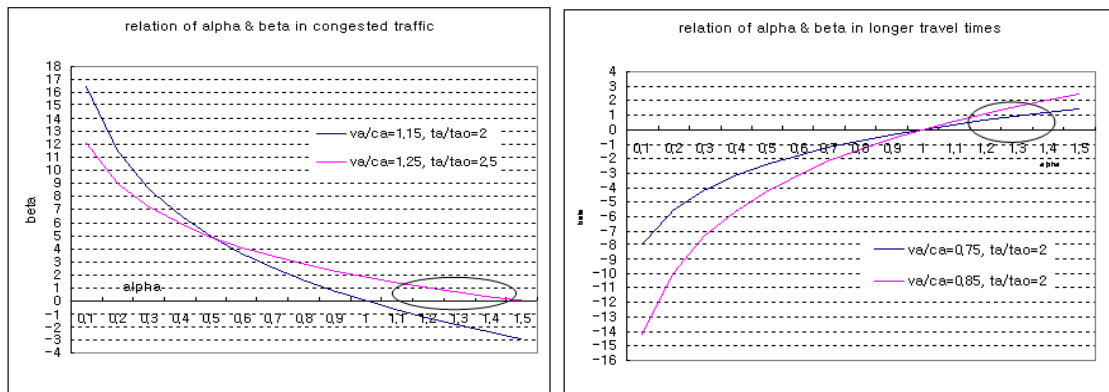
나. 파라미터 α , β 값의 관계

- <표 1>에서 보듯이 고속도로 편도 1, 2차로 통행비용함수의 α 값이 β 값보다 대체로 크게 나오고 있는데, 이는 다음과 같이 설명할 수 있음. 먼저, 각 파라미터간의 관계를 구하기 위하여 BPR함수식을 변환하면 다음과 같음

$$t_a = t_{a0} (1 + \alpha (v_a/c_a)^\beta)$$

$$\beta = \log \left(\frac{t_a/t_{a0} - 1}{\alpha} \right) \left[\log \left(\frac{v_a}{c_a} \right) \right]^{-1}$$

- 위 관계식으로부터, (t_a/t_{a0}) 와 (v_a/c_a) 에 따른 α 와 β 값의 변화가 아래 그림에 나타나 있는데, 그림에서 보듯이 일반적으로 β 값이 α 값보다 크나, $(v_a/c_a) < 1.0$ 이면서 (t_a/t_{a0}) 가 상대적으로 큰 경우에는 α 값이 β 값보다 오히려 크게 나타남. 또한, $(v_a/c_a) > 1.0$ 인 경우에도 (t_a/t_{a0}) 값이 크면 이런 현상이 나타나고 있음. 즉, 초기 링크 통행시간대비 링크 통행시간이 큰 경우 (즉, 혼잡한 링크)에는 α 값이 β 값보다 커짐을 알 수 있음
- 본 과업에서 사용한 국가교통DB의 경우도 링크 용량에 비해 배정된 링크 교통량이 크게 나타나며, 링크 통행시간이 초기 통행시간보다 큰 경우가 상대적으로 많이 나타나고 있어 α 값이 β 값보다 크게 나타나고 있음



2. 국도 파라미터 추정

- 국도 역시 3가지 추정방법(수리최적화, 수정된 회귀분석, 열거법)으로 추정된 파라미터의 값들이 <표 2>에 나타나 있음

<표 2> 국도 파라미터 정산결과 (사전 분석결과)

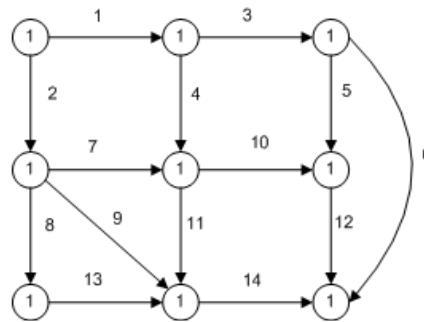
편도차로수 (적용용량)	수리최적화모형		수정된 회귀분석			열거법	
	α	β	α	β	R^2	α	β
1차로 (750pcu/h/l)	2.467	0.392	1.858	0.226	0.697	1.896	3.894
2차로 (1,000pcu/h/l)	3.202	0.565	2.165	0.299	0.647	0.430	3.566
3차로이상 (1,200pcu/h/l)	7.537	0.917	3.05	0.412	0.37	0.653	3.232

B. 파라미터 추정시 다중해(multiple solutions) 문제

- 본 과업에서 제시한 다음과 같은 수리최적화문제가 갖는 다중해 문제를 살펴보기 위하여 간단한 예제 교통망을 사용함

$$\min Z(\alpha, \beta) = \frac{1}{2} \sum_a \left[\bar{v}_a - c_a \left(\frac{t_a/t_a - 1}{\alpha} \right)^{\frac{1}{\beta}} \right]^2$$

- 사용되는 교통망은 9개의 노드와 14개의 링크로 구성되어 있으며, 각 링크별 속성자료는 <표 3>에 나와 있음. 또한, 통행수요는 8개의 기종점쌍에 대하여 <표 4>에 표시되어 있음



<그림 1> 예제교통망

<표 3> 교통망 자료

링크번호	초기 통행시간(t_{a0})	링크 용량(c_a)
1	2	120
2	2	100
3	2	80
4	2	100
5	2	100
6	2	90
7	2	100
8	2	100
9	2	120
10	2	100
11	2	100
12	2	80
13	2	80
14	2	60

<표 4> 기종점 통행수요

기점	종점	통행수요
1	6	150
1	8	150
1	9	50
2	9	150
3	9	150
4	8	50
4	9	150
5	9	150

1. 최적화문제를 이용한 파라미터 추정법

- 본 연구에서 개발한 모형이 제대로 파라미터를 산출하는지를 평가하기 위하여 다음과 같은 분석과정을 거침. 먼저, 초기값으로 $\alpha = 0.15, \beta = 4$ 를 설정하고 균형 통행배정을 통하여 링크 통행량을 구한 후, 이중 몇 개를 관측링크 교통량으로 간주함. 임의의 초기 파라미터를 설정한후, 통행배정을 실시하여 여기서 추정된 교통량과 관측링크 교통량의 차이를 최소화시키는 파라미터를 구하여 이 값들이 원래의 파라미터값($\alpha = 0.15, \beta = 4$)에 얼마나 근접하는지를 분석해 봄. 또한 구해진 추정교통량과 관측 교통량간의 RMSE(Root Mean Squared Error)와 목적함수값도 살펴봄

$$RMSE = \frac{1}{N} \sqrt{\sum_a [(\bar{v}_a - v_a)^2]}$$

- 파라미터 $\alpha = 0.15, \beta = 4$ 값을 가지고 균형 통행배정을 수행하여 구해진 링크별 통행량을 <표 5>과 같으며 관측교통량의 수에 따라 3개의 시나리오로 나누어 분석함. 먼저 첫 번째 시나리오는 링크1, 링크5, 링크8, 링크11을 관측 링크교통량으로 설정하여 분석하고, 두 번째 시나리오는 8개, 그리고 세번째 시나리오는 모든 링크 교통량이 관측 되었을 경우로 가정함

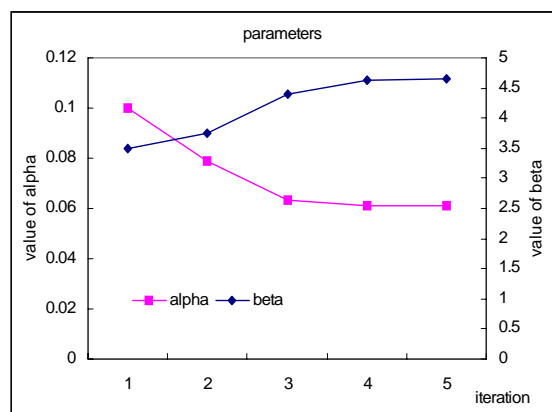
<표 5> 산출된 링크 교통량(with $\alpha = 0.15, \beta = 4$)

링크 번호	링크 교통량	시나리오		
		1 (관측교통량4개)	2 (관측교통량8개)	3 (관측교통량14개)
1	183	○	○	○
2	167			○
3	207			○
4	127		○	○
5	107	○	○	○
6	250		○	○
7	83		○	○
8	81	○	○	○
9	203			○
10	257			○
11	103	○	○	○
12	214		○	○
13	81			○
14	187			○

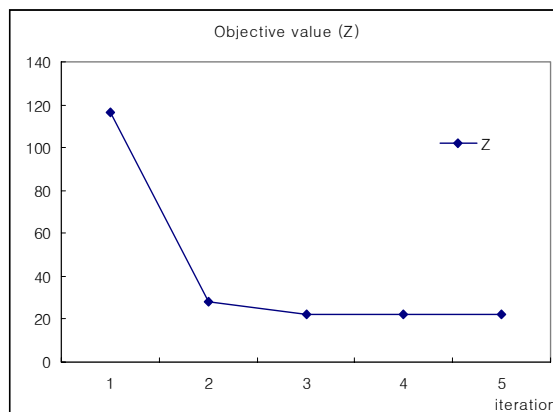
2. 분석결과

- <그림 2>는 초기값이 $\alpha = 0.1, \beta = 3.5$ 이며 4개의 링크를 관측교통량으로 설정한 경우, 목적함수값(Z)의 변화와 파라미터값의 수렴과정을 보여주고 있음. α 값의 경우 0.1에서 점차 감소하여 0.061로 수렴하고 있으며, β 값은 3.5에서 4.659로 수렴하고 있다. 목적함수값(Z) 역시, 점차 감소하여 일정한 값으로 수렴하고 있음. 그러나 이런 결과는 수렴시에 우리가 예상했던 목표값($\alpha = 0.15, \beta = 4$)과는 차이가 있음을 알 수 있음
- <표 6>는 여러가지 초기값에 대하여 최종적으로 산출된 파라미터값과 목적함수 그리고 RMSE를 보여주고 있음. 표에서 보듯이 초기값에 따라 다양한 파라미터 값을 도출하고 있는데, 이는 지역해(local optimum)에 도달하고 있음을 의미함. 이런 결과는 Suh et al.(1990)에서도 동일하게 나타나고 있음. 즉, 본 연구에서 제시한 최적화문제는 다수의 해가 존재하는 비선형 비볼록함수임을 알 수 있으며, 초기값을 어떻게 설정하느냐가 중요한 문제임을 보여줌. 본 연구에서 제시한 3가지 초기값중 목적함수(Z)가 가장 작은 $\alpha = 0.168, \beta = 3.617$ 이 가장 좋은 해임을 알 수 있음

- 그러나 관측링크 8개와 12개로 증가시킨 <표 7>와 <표 8>의 결과를 살펴보면, 전체적으로 $\alpha = 0.119, \beta = 4.3$ 이 가장 관측교통량과 일치시키는 추정교통량을 도출하며 목적함수값도 가장 작은 값을 나타내고 있음



(a) 파라미터값의 수렴과정



(b) 목적함수값(Z)의 수렴과정

<그림 2> 파라미터와 목적함수의 수렴과정(초기값 $\alpha = 0.1, \beta = 3.5$)

<표 6> 시나리오1(관측교통량 4개)의 최종 산출값

초기값	목표값	최종적으로 산출된 값		
		α^*, β^*	목적함수 (Z)	RMSE
$\alpha = 0.1$ $\beta = 3.5$	$\alpha = 0.15$ $\beta = 4$	$\alpha = 0.061$ $\beta = 4.659$	22.382	3.824
$\alpha = 0.18$ $\beta = 3.5$	$\alpha = 0.15$ $\beta = 4$	$\alpha = 0.168$ $\beta = 3.617$	0.086	0.791
$\alpha = 0.12$ $\beta = 4.3$	$\alpha = 0.15$ $\beta = 4$	$\alpha = 0.117$ $\beta = 4.426$	0.717	0.500

<표 7> 시나리오2(관측교통량 8개)의 최종 산출값

초기값	목표값	최종적으로 산출된 값		
		α^*, β^*	목적함수 (Z)	RMSE
$\alpha = 0.1$ $\beta = 3.5$	$\alpha = 0.15$ $\beta = 4$	$\alpha = 0.043$ $\beta = 4.471$	210.147	4.141
$\alpha = 0.18$ $\beta = 3.5$	$\alpha = 0.15$ $\beta = 4$	$\alpha = 0.168$ $\beta = 3.555$	6.923	0.756
$\alpha = 0.12$ $\beta = 4.3$	$\alpha = 0.15$ $\beta = 4$	$\alpha = 0.119$ $\beta = 4.313$	2.801	0.307

<표 8> 시나리오3(관측교통량 14개)의 최종 산출값

초기값	목표값	최종적으로 산출된 값		
		α^*, β^*	목적함수 (Z)	RMSE
$\alpha = 0.1$ $\beta = 3.5$	$\alpha = 0.15$ $\beta = 4$	$\alpha = 0.059$ $\beta = 4.258$	870.263	3.878
$\alpha = 0.18$ $\beta = 3.5$	$\alpha = 0.15$ $\beta = 4$	$\alpha = 0.174$ $\beta = 3.537$	37.375	1.159
$\alpha = 0.12$ $\beta = 4.3$	$\alpha = 0.15$ $\beta = 4$	$\alpha = 0.119$ $\beta = 4.308$	6.055	0.488

C. 도로의 위계별 구분과 용량산정

1. 도로의 위계별 구분

가. 관련법규 검토

1) 도로법

- 도로법은 도로망의 정비와 적정한 도로관리를 위하여 도로에 관한 계획의 수립, 노선의 지정 또는 인정, 관리, 시설기준, 보전 및 비용에 관한 사항을 규정함으로써 교통의 발달과 공공복리의 향상에 기여함을 목적으로 함. 다음 <표 9>은 도로의 기능 및 관리주체별 분류를 나타낸 것임

<표 9>도로의 관리주체별 분류

도로구분	기능 및 노선지정요건	관리주체 및 권한대행
고속국도	<ul style="list-style-type: none"> • 자동차 교통망의 중추부분을 이루는 주요 도로로 중요한 도시를 연결하는 자동차 전용고속교통도로 • 도로법 제3조의 규정에 의해 지정된 도로 	<ul style="list-style-type: none"> • 건설교통부 장관 • 권한 대행의 범위 내에서의 한국도로공사 권한대행
일반국도	<ul style="list-style-type: none"> • 중요도시, 지정항만, 중요한 비행장 또는 관광지를 연결하는 국가 기간 도로망 • 대통령령으로 지정된 도로 	<ul style="list-style-type: none"> • 건설교통부장과 • 서울, 부산시 및 시 관할내 에서는 당해 시장 • 수선, 유지업무는 대통령령에 따라 도지사에게 행하게 할 수 있음
특별시도	<ul style="list-style-type: none"> • 서울특별시 및 기타 광역시 구역 내 도로 • 시장이 인정한 도로 	<ul style="list-style-type: none"> • 도지사 • 건설교통부장관이 특히 필요하다고 인정할 때에는 대통령령이 정하는 바에 의하여 공사를 대행할 수 있음(제27조2항)
지방도	<ul style="list-style-type: none"> • 도청소재지에서 시 또는 군청소재지에 이르는 도로 • 시 또는 도청소재지 상호간을 연결하는 도로 • 도내의 비행장, 항만, 역 또는 이와 밀접한 관계가 있는 고속도로, 국도 또는 지방도를 연결하는 도로 • 상기도로 이외 지방의 개발 상 특히 중요한 도로 • 도지사가 인정한 도로 	<ul style="list-style-type: none"> • 도지사 • 건설교통부장관이 특히 필요하다고 인정할 때에는 대통령령이 정하는 바에 의하여 공사를 대행할 수 있음(제27조1항)
시도	<ul style="list-style-type: none"> • 시내에 있는 도로 • 시장이 인정한 도로 	<ul style="list-style-type: none"> • 시장
군도	<ul style="list-style-type: none"> • 군내의 도로 • 군수가 인정한 도로 	<ul style="list-style-type: none"> • 군수 • 도지사가 특히 필요하다고 인정할 때에는 공사를 대행할 수 있음(제27조2항)

2) 도시계획법

- 도시계획법은 도시의 건설, 정비, 개량 등을 위한 도시계획의 입안·결정·집행절차에 관하여 필요한 사항을 규정함으로써 도시의 건전한 발전을 도모하고 공공의 안녕 질서와 공공복리의 증진에 기여하게 함을 목적으로 함

3) 도로시설 및 기준에 관한규정

- 도로법 제39조·고속국도법 제4조 및 유료도로법 제 5조의 규정에 의하여 도로를 신설 또는 개축하는 경우의 도로의 구조 및 시설에 관한 일반적·기술적 기준을 정함을 목적으로 함
- 제3조(도로의 구분)
 - 도로는 자동차 전용도로와 일반도로로 구분하되, 자동차 전용도로는 그 소재 지역에 따라, 일반도로는 그 소재지역과 기능에 따라 다음 <표 10>와 같이 세분함

<표 10> 도로의 구분 및 일반도로에 대한 종류 및 등급

구분	지방지역	도시지역	도로의 종류 및 등급
자동차 전용도로	고속도로	도시고속도로	
일반도로	주간선도로	주간선도로	국도
	보조간선도로	보조간선도로	국도 또는 지방도
	집산도로	집산도로	지방도 또는 군도
	국지도로	국지도로	군도

4) 도시계획시설의 결정-구조 및 설치기준에 관한 규칙

- 「국토의 계획 및 이용에 관한 법률」제43조 제2항의 규정에 의한 도시계획시설의 결정·구조 및 설치의 기준과 동법시행령 제2조 제3항의 규정에 의한 기반시설의 세분 및 범위에 관한 사항을 규정함을 목적으로 함

나. 외국의 도로구분

- 외국의 도로분류체계는 각 나라별로 서로 다른 특징을 지니고 있으며, 시대의 흐름에 따라 시행착오를 거쳐 점차적으로 개선되었음

- 미국은 도로 분류를 이동성과 접근성에 따라 지역별·기능별로 구분하고 있으며, 일본에서는 교통량을 고려하여 분류함. 또한 독일에서는 도로주변상황 및 도로의 중요도에 따라 순위를 결정하는 분류방법을 사용하고 있음
- 따라서 우리나라의 도로분류체계상의 문제점을 개선하고 국도기능분류방안을 수립 극복하기 위하여 외국(미국, 일본, 독일)의 도로분류체계에 대한 현황을 조사하였음

1) 미국의 사례

- 미국 도로는 이동성과 접근성을 기준으로 고속도로, 주간선도로, 보조간선도로, 집산도로, 국지도로 등 크게 5등급으로 도로를 분류. 아래 <표 11>, <표 12>와 같이 AASHTO와 Institute of Transportation Engineers 두 기관에서 도로등급을 분류함. 두 기준이 전반적으로는 거의 비슷한 수준이나, 보조간선도로의 도로간격과 국지도로의 인근대지와의 접근성에 대해서는 차이를 보이고 있음. 따라서 교통활동이 활발한 지역 경우, 가능한 Institute of Transportation Engineers에서 제시하는 기준으로 보조간선도로를 배치하는 것이 유리하고, 비교적 활동이 적은 지역에서는 AASHTO의 기준을 적용하는 것이 타당할 것으로 판단함

<표 11> AASHTO 기준

도로 등급	총연장 비율(%)	연속성	배치간격 (km)	수송분담율 (%)	인접토지의 접근성	최소교차로 간격(%)	제한속도 (km/h)	주차
고속도로	-	연속	6.4	-	불허	1,600	72-80	금지
주간선도로	5-10	연속	1.6-3.2	40-65	제한	800	56-72	금지
보 조 간선도로	10-20	연속	0.8-1.6	25-40	제한 근도로의 간격과 수제한	400	48-56	가능한 금지
집 산 도 로	5-10	불연속, 간선도로 교차금지	0.8이하	5-10	교통안전상 필요한 경우 제한함	90	40-48	한정됨
국지도로	60-80	불연속	필요에 따라	10-30	교통안전상 필요한 경우 제한함	90	40	허용

<표 12> Institute of Transportation Engineers 기준

구분	총연장 비율(%)	인접대지의 직접연결	배차간격 (km)	교통량 처리비율(%)	최소교차로 간격(m)	설계속도 (km/h)	노면주차
도시고속도로	NA	불 고려	6.0	NA	1,500	80-60	불가
주간선도로	5-10	제한	1.5-3.0	40-65	400	60	불가
보조간선도로	15-25	일부 허용	1.5-3.0	65-80	200	50-40	원칙적으로 불가
집산도로	5-10	한정적 허용	0.8 이하	5-10	100	40	제한
국지도로	65-80	허용	필요에 따라	10-30	100	30-40	허용

자료: 1. Planning Urban Arterial and Freeway System, Institute of Transportation Engineers, 1981

2. 1mile을 1.6km로 적용

○ 지방부 도로의 기능분류

- 지방부 도로는 도시지역 이외의 시설로 이루어지며 주요 간선도로, 보조 간선도로, 보조 집산도로, 국지도로로 분류됨

<표 13> 지방부 도로의 기능분류

도로 등급	기 능	총연장 비율(%)
주요 간선도로	<ul style="list-style-type: none"> • 주와 주를 연결하는 장거리 통행과 밀도 제공 • 50,000명 이상 지역과 25,000명 이상 지역의 인구를 갖는 모든 도시 간의 이동 • 인구가 밀집된 지역에서는 대부분의 교통량처리하며, 대부분 다차선 도로로 설계되며, 지방고속도로도 포함 	2-4
보조 간선도로	<ul style="list-style-type: none"> • 유사한 장거리 이동 교통량을 집결시키는 대도시 및 기타 교통유발 시설물간의 연결 • 주 내부에 위치한 모든 개발지역을 연결하는 기능 • 지방부 집산도로 및 국지도로보다 이동길이와 밀도가 크다. 	6-12 (대부분7-10)
보조 집산도로	<ul style="list-style-type: none"> • 주로 주단위의 이동보다는 읍 단위의 이동을 제공하며, 이동거리가 간선도로보다 짧다 • 주집산도로 : 상위의 간선도로와 직접 연계되지 않는 간선도로와 소규모 읍 단위를 연결하며 주요 교통유발시설물간을 연결 • 보조집산도로 : 국지도로의 교통량을 집산도로내의 모든 개발지역으로 이동, 소규모 지역사회에 서비스 제공 	20-25
국지도로	<ul style="list-style-type: none"> • 집산도로나 간선도로에 비해 도로 주변의 토지로의 접근 제공하며 비교적 단거리 이동의 편의를 제공 	65-75

○ 도시부 도로의 기능분류

- 도시부 지역 도로의 기능분류는 주 간선도로, 보조 간선도로, 집산도로, 국지도로 총 4가지로 구분됨

<표 14> 지방부 도로의 기능분류

도로 등급	기 능	교통량 처리비율(%)	총연장 비율(%)
주 간선도로	<ul style="list-style-type: none"> • 도시화지역, 최대 교통량 처리 등 주요 활동 중심지간을 연결하는 역할 • 중심도시의 통과 교통량뿐만 아니라 도시지역의 유·출입 교통량을 처리 • 도시내 중심 상업지와 시외곽 주변 주거지 연결 	40-65	5-10
보조 간선도로	<ul style="list-style-type: none"> • 주간선도로와 상호연계하여 주간선도로에 비해 낮은 교통량을 처리, 교통량을 주변지역으로 분배하는 기능 • 이동성이 낮고, 접근성이 높다 • 간격은 고밀도 지역 경우 0-1.0km, 저밀도지역 3-5km로 다양하지만, 기 개발지역 내는 2km를 넘지 않는다. 	65-80	15-25
집산도로	<ul style="list-style-type: none"> • 거주 지역과 주변 중심지간 연계·순환 기능 담당 • 도시내 중심상업지구와 기타 유사한 교통밀도를 갖는 지역에 있는 도로를 포함 	5-10	5-10
국지도로	<ul style="list-style-type: none"> • 도로주변 접근 기능, 상위등급의 도로와 연계성을 제공 • 도로 중 최하위도로로 이동성 보다 접근성 기능 담당 • 통과교통에 대한 서비스를 지원하지 않는다. 	10-30	65-80

2) 일본의 사례

- 일본의 도로분류방법은 법률상의 구분, 이용주체에 의한 구분, 관리방식에 의한 구분 등 크게 3가지로 구분할 수 있음
- 일본의 도로분류는 도로가 수행해야 하는 네트워크상의 특성과 교통특성에 따라 자동차전용도로, 주요간선도로, 간선도로, 보조간선도로, 구획도로, 특수도로로 분류됨.
 - 자동차전용도로 : 비교적 장거리 교통을 처리하기 위해 설계속도를 높게 설정하여 차량의 출입을 제한하는 도로
 - 주요간선도로 : 도시간 교통이나 통과교통 등의 비교적 장거리의 교통을 대량으로 처리하기 위해 고규격의 대용량을 갖는 도로
 - 간선도로 : 주요 간선도로 및 교통발생지등을 유기적으로 연결하여 도시구조를 형성

하는 망으로 구축되며, 도시의 골격 및 근린주구를 형성하는 비교적 고수준의 규격을 갖춘 도로

- 보조간선도로는 근린주구와 간선도로를 연결하는 집산도로로 근린주구내에서 간선기능을 갖는 도로

○ 일본에서는 도로 기능별 설계기준을 달리하기 위해 「도로구조령」에서 도로를 아래 <표 15>와 같이 4가지로 구분함. 구분기준은 도로가 속해 있는 지역(지방부, 도시부)과 자동차전용도로와 기타 도로 등의 유형으로 각 기준의 조합에 따라 4가지로 구분하고, 구분된 각각에 대해 설계속도에 따라 등급을 설정하고 이에 따른 설계기준을 정하고 있음

○ 여기서 제1종이란 지방부에 존재하는 고속자동차 국도 및 자동차 전용도로이며, 제2종이란 도시부에 존재하는 고속자동차 국도 및 자동차 전용도로이고, 제3종은 지방부에 존재하는 그 밖의 도로이고, 제4종은 도시부에 존재하는 그밖에 도로를 의미함

<표 15> 일본의 도로분류체계

도로 구분 \ 도로가 속한 지역	지 방 부	도 시 부
고속자동차국도 및 자동차전용도로	제 1 종	제 2 종
기타도로	제 3 종	제 4 종

○ 일본의 고속자동차국도, 일반국도, 지방도에 해당하는 도로의 연장은 186,144.9km이며, 간선도로에 해당하는 고속자동차국도와 일반국도 4차선이상의 도로연장은 11,535.1km로 전체 연장의 6.2%를 차지하는 것으로 나타났으며, 보조간선도로라고 할 수 있는 2차선도로 구간은 23.3%를 차지하는 것으로 나타났음

<표 16> 일본의 도로현황(1997)

구 분	고속도로	일반국도	지방도	합 계
4차선이상	5,098.7	5,602.8	4,074.1	14,775.6
2차선	833.6	43,323.8	88,413.4	132,570.8
기 타	-	4,363.3	34,435.2	38,798.5
합 계	5,932.3	53,289.9	126,922.7	186,144.9

주: 기타도로는 미포장, 미개통도로를 의미함

자료: 건설성, 도로교통통계연보, 1997

3) 독일의 사례

- 독일의 도로에 대한 구분은 교통관련 연구자와 전문가로 구성되어 있는 도로교통연구회(FGSV)가 작성한 도로망정비·편성지침(RAS-N)에 나타나 있음
- FGSV에 따르면, 독일의 도로구분은 도로가 수행하는 기능을 구분요소로 설정함. 독일에서는 도로가 통과하는 지역, 도로주변의 상황 및 도로가 수행해야 하는 주된 기능에 의하여 결정되는 분류군(A~E)과, 도로가 연결되는 지점의 중요도에 따라 순위가 정해지는 연결 기능순위(I~VI)를 서로 조합시킴으로서 도로를 15종류로 구분하고 있음

<표 17> 범주(Category) 그룹에 따른 분류

범주 그룹	기 능
A	건물이 들어선 지역 외부의 접근이 통제되는 도로를 포괄하며, 시가지간 연결 기능에 관한 요구가 높고, 특별한 경우 이외에 출입기능과 체류기능을 요구할 수 없음.
B	주로 범주 A그룹 도로와의 연결기능을 갖으며, 도로주변에 건물이 없고, 주변시설의 출입 요구가 적어 주·정차대의 설치에 고려하지 않으며, 건물이 있는 시가지에 위치하고 있어 범주그룹 A에 비해 교차 간격이 짧음.
C	도로 주변과의 출입기능과 연결기능을 동시에 담당하며, 자전거·보행자도로, 주정차대 등을 설치할 수 있으며, 인접한 건축물의 형태와 정도를 통해 제한될 수 있음.
D	출입기능을 담당하는 도로로, 자전거·보행자도로, 주정차대의 설치가 허용되며, 보행자와 자전거의 이용이 많을 것으로 예상됨으로 체류기능과의 조화를 고려해야 함.
E	체류기능을 담당하는 도로가 해당되며, 보·차 공존도로의 형태를 취함.

<표 18> 연결기능에 따른 분류(Ⅰ~Ⅵ)

연결기능단계		번호	단계분류의 기준
Ⅰ	광범위한 도로연결	1	상위 중심지역 사이의 연결
Ⅱ	광역단체 내외의 도로연결	1	각 지역의 중심지역 또는 도시내 중심지역간 연결
		2	각 지역 또는 도시내의 중간 중심지역 사이를 연결
		3	각 지역 또는 도시내 중심지역과 연결기능단계Ⅰ에 속하는 도로의 연계
		4	넓고 중요한 휴양지와 연결기능단계Ⅰ에 해당하는 도로와의 연계
		5	교통연결점과 광범위하고 중요한 교통시설의 연계
Ⅲ	도시간 도로연결	1	도시내 하위중심지와 중간중심지의 연결
		2	각 지역 및 도시의 하위중심지 사이 연결
		3	각 지역 및 도시의 하위중심지와 연결기능단계Ⅱ 또는 높은 단계에 속하는 도로의 연계
		4	광역단체내외의 휴양중심지와 연결기능단계Ⅱ 연계
		5	광역단체내외의 교통시설, 교통연결점과 연결기능단계Ⅱ 연계
Ⅳ	지면을 연계하는 도로연결	1	중추기능이 없는 소도시 사이 또는 소도시와 중심지역 사이를 연결
		2	중추기능이 없는 소도시 사이, 소도시내 동네 연결
		3	중추기능이 없는 소도시와 연결기능단계Ⅲ에 해당하는 도로와 연결
		4	인근 휴양중심지와 연결기능단계Ⅲ 도로의 연계
		5	지역교통시설과 연결기능단계Ⅲ 도로의 연계
		6	집중적인 교통유발지역 연계
Ⅴ	하위도로의 연결	1	대지와 시내 또는 시내지역 연결
		2	대지와 연결기능단계Ⅳ 도로의 연결
Ⅵ	길의 연결	1	대지와 연결기능단계Ⅴ 도로의 연결

- 범주군은 도로주변 환경에 대한 개별도로의 요구사항을 나타내며 연결기능단계는 도로가 갖는 교통체계상의 의미를 보여주는 구분이며, 범주군과 연결기능을 종합하여 작성된 도로의 분류는 <표 19>과 같음

<표 19> 독일 도로의 분류체계

도로가 속하는 지역 도로주변상황 주된기능		시가지외		시가지내(경계지역 포함)		
		도로주변 건물없음		도로주변 건물있음		
		연 결			접 근	체 류
		A	B	C	D	E
광역도로 연결	Ⅰ	AⅠ	BⅠ	CⅠ		
지방부내 및 지방간 도로연결	Ⅱ	AⅡ	BⅡ	CⅡ	DⅡ	
시·군간 도로연결	Ⅲ	AⅢ	BⅢ	CⅢ	DⅢ	EⅢ
지구출입 도로연결	Ⅳ	AⅣ	BⅣ	CⅣ	DⅣ	EⅣ
하위도로 연결	Ⅴ	AⅤ	-	-	DⅤ	EⅤ
소도로 연결	Ⅵ	AⅥ	-	-	-	EⅥ

- 독일은 일반적으로 대도시와 산지가 적은 국토에 중소도시가 산재되어 있음. 따라서 연결기능 순위란, 이러한 도시의 거점을 효율적으로 연결하기 위한 수준을 나타낸 것임. 독일의 시가지내 도로의 기능별 설계속도 및 표준거리에 대한 기준은 <표 20>에서 제시한 바와 같음

<표 20> 독일의 시가지내 도로의 기능별 설계속도 및 표준거리에 대한 기준

구 분	도로기능		표준거리 (km)	설계속도 (km/h)
	분류군	도로분류		
B	시가지내	BII	-	50 - 70
	도로주변 건물없음	BIII		40 - 60
	시가지 경계 혹은 내부에	BIV		30 - 50
	연결기능을 주로 하는 도로			
C	시가지내	CIII	-	30 - 50
	도로주변에 건물 있음 연결기능이 주	CIV		30 - 40
D	시가지내	DIV	-	20 - 30
	도로주변에 건물 있음 접근기능이 주	DV		없 음
E	시가지내	EV	-	없 음
	도로주변에 건물 있음 채류기능이 주	EVI		없 음

4) 외국 도로분류체계와 비교

- 위 국가들의 도로 기능별 분류체계를 우리나라 도로 기능별 분류체계와 비교한 결과 다음 <표 20>에서와 같이 전반적으로 거의 비슷하다는 것을 알 수 있음

<표 20> 국가별 도로기능별 분류체계

국 가	미 국	일 본	독 일	한 국
도로분류체계	고속 도로	자동차 전용도로	고속화 도로	고속 도로
	주간선도로 보조간선도로 집분산도로 국지도로	주요간선도로 간선도로 보조간선도로 구획도로	주간선도로 간선도로 보조간선도로 집산도로 소도로	주간선 도로 보조간선도로 집분산도로 국지도로

다. 국도의 구간별 기능분류

1) 도로의 기능별 위계구조 정립

- 도로망체계는 도로교통수요를 효율적으로 처리하고 현재와 장래의 토지이용 및 국토 공간구조에 부응할 수 있어야 하며, 전국 도로망을 체계적으로 구축하기 위해 현행법에 정한 법정위계에서 도로가 수행하는 기능 위주의 위계구조로의 전환이 필요함
- 지역간통행은 주로 고속도로와 일반국도가 담당하도록 규정하고 있으나, 일반국도는 구간별로 수행하는 기능이 상이함. 일부 구간은 고속도로와 같은 지역간 간선도로로서 기능을 발휘하고 있으나, 일부구간에서는 지방도 또는 시·군도와 같은 국지적 통행을 처리하고 있는 실정임. 뿐만 아니라 일부 지방도의 경우 노선간격, 통행량, 통행거리 측면에서 국도와 유사한 기능을 담당함
- 도로의 기능은 크게 통행기능과 공간기능으로 구분할 수 있으며, 지역간도로의 경우 통행기능이 우선시 됨. 공간기능은 주로 도시내 가로의 방재, 경관, 행사 등 공공공간(open space)으로서 기능이 고려됨. 통행기능은 예상통행량의 규모, 평균통행거리, 이동성과 접근성 등으로 세분화 할 수 있고, 통행단계에서는 일반적으로 접근, 분산, 전환, 이동이 순차적으로 발생하며 각 단계에 적합한 도로시설과 기능을 부여하는 방안임
- 도로망의 위계구조는 현행 법령에서 정한 법적위계보다는 구간별로 수행하는 기능(주간선, 보조간선도로, 집분산도로 등)이 우선되어야 할 것이며, 도로등급에 의한 분류체계는 도로관리 차원에서 의의가 있으나 통행단계와 도로망체계 차원에서 등급은 큰 의미가 없음. 이러한 관점에서 국도의 경우 동일한 등급에서 위계보다는 도로가 수행하는 기능관점에서의 분류가 필요함

2) 국도 기능별 위계구조 설정

- 도로기능별 위계구조는 관련규정에서 정하는바와 같이 주간선도로, 보조간선도로, 집산도로, 국지도로로 구분하고 있음. 국도는 이러한 규정에서 주간선 또는 보조간선도로로 구분되고 있으나 구간별로 기능이 불분명하며, 주간선도로는 고속도로를 제외하고 구체적으로 어떠한 도로기능이어야 하는지도 세분화되어 있지 않음
- 기능분석 결과 국도는 크게 3가지 유형으로 구분할 수 있음. 첫째 자동차전용도로·고규격국도 구간 등은 고속도로와 유사한 시설수준과 간선기능을 수행할 수 있고, 두

번째 지역간장거리통행을 주로 처리하는 구간이지만 고속도로 수준은 아닌 경우임. 마지막으로 지역내 통행을 주로 처리하고, 고속도로를 연계 보완하는 구간, 관광·여가통행이 높은 구간 등으로 나뉘어짐

- 외국의 경우 도로 등급보다는 기능을 우선적으로 고려하여 기능에 부합하는 시설기준을 세분화하고 있음. 중앙과 지방이 역할을 분담하여 도로를 관리하고 있으나 구간별로 도로가 수행해야 할 기능은 모든 도로망체계를 감안하여 정립되어 있음
- 국도의 기능별 위계구조를 정립하기 위하여 국도 구간별 기능분석, 외국사례, 국도 역할 등을 종합적으로 검토한 결과 모든 도로는 구간별 특성에 적합한 기능별로 위계구조가 시급히 정립되어야 함. 고속도로를 제외하고 모든 도로에 대하여 구간선, 보조간선, 집산, 국지도로 가운데 하나의 기능을 부여한다면 도로의 기능별 위계구조가 체계적으로 정립될 수 있을 것임

3) 국도 기능별 위계구조 정립방안

- 건설교통부(1994) 『국도 기능분류 및 효율적 투자방안 연구』에서는 국도의 기능을 구간선도로와 보조간선도로로 현행 분류체계를 유지하되, 국도의 수행기능과 세부시설 수준을 세분하기 위한 용어를 다음 <표 21>과 같이 설정하였음. 또한 국도를 수행하는 기능에 따라 다음 <표 22>과 같이 국도 I,Ⅱ,Ⅲ으로 분류하였음

<표 21> 국도 기능별 위계구조 정립방안

구 분	대안 I	대안 II	대안 III
분 류 방 법	주간선(I,Ⅱ), 보조간선	국도 I,Ⅱ,Ⅲ	TYPE(또는 국도기능) I,Ⅱ,Ⅲ (기능과 시설기준을 중심으로)
장 점	<ul style="list-style-type: none"> • 현행 체계 유지 • 용어 자체로 기능구분 명확 • 기능위주의 시설기준정립 가능 	<ul style="list-style-type: none"> • 국도에 대한 개념정립이 용이 • 대상시설 구분이 명확 	<ul style="list-style-type: none"> • 기능분류와 시설기준을 동시 표현 가능 • 관련 법령과 용어 상충 최소화
단 점	<ul style="list-style-type: none"> • 주간선(I,Ⅱ)는 기존 도로법, 구조령 등의 구분과 상충 • 보조간선구간의 중앙/지방 관찰 오해 소지 	<ul style="list-style-type: none"> • 국도의 관리주체, 사업우선순위 등으로 세분화 오해 발생 • 기능 및 시설기준 세분화 개념 다소 미약 	<ul style="list-style-type: none"> • 용어에 대한 홍보가 필요 • 기능분류보다는 시설기준 위주

자료: 건설교통부, 국도 기능분류 및 효율적 투자방안 연구, 1994. 4

<표 22>국도 노선의 분류체계

구 분	국 도 I	국 도 II	국 도 III
교통밀도	높 음	보 통	낮 음
교통기능	장거리	중거리	단거리
설계속도	80km/h~60km/h	80km/h~60km/h	70km/h~50km/h
목표여행속도	80km/h~60km/h	70km/h~50km/h	60km/h~50km/h
중앙분리대	전구간	필요시 설치	설치 최소화
교차로형식	입 체	필요시 입체	평 면
진출입 연결로, 측도	설 치	설치 최소화	설치 최소화
비 고	전국간선망보완	-	고속도로 인접 및 관광도로

자료: 건설교통부, 국도기능 분류 및 효율적 투자방안 연구, 1994. 4

4) 국도 기능별 위계구조 정립

- 국도 I는 전국장기간선망(7×9)을 보완하며, 교통수요가 높아 매우 양호한 시설수준을 요하는 교통축으로 주로 장거리 통행을 담당, 권역간 중심도시 연결, 국토의 간선축을 형성하는 국도로 교통수요가 높고 현재 4차로 이상으로 중앙분리대 및 입체교차로 시설이 설치되어 있거나 공사중인 구간임. 현재 자동차전용도로와 국도대체우회도로로 지정된 구간이 여기에 해당함
- 국도 II는 교통수요가 비교적 높아 보통 수준의 시설을 요하는 교통축으로 장거리 통행비율이 국도 I에 비해 낮고, 광역도시 주변의 주요 도시를 연결하는 구간으로, 4차로 이상의 도로확장이 필요한 국도로, 산업단지 및 국립공원 등의 국책사업을 지원하는 구간은 국도 II로 지정하였으며, 항만·공항·물류단지 등 타 교통시설간을 효율적으로 연결하여 연계수송기능을 국도 II가 담당하도록 함
- 국도 III은 통과교통량의 비율이 낮거나 고속도로 인접구간 또는 관광성격의 도로로서 앞에서 지정한 국도 I, 국도 II를 연계·보완하며 고속도로와 국도의 연계성을 제고하는 구간으로, 통과교통량의 비율이 적고, 지역내 통행을 주로 담당하는 국도를 의미한다. 기존 혹은 공사·계획중인 고속도로노선과 인접하지만 장래에도 교통수요의 증가가 크지 않을 것으로 예상되는 구간을 국도III으로 지정하였음

5) 도로 위계별 현황

○ 교통존 체계

- 2001년도 O/D를 바탕으로 2002년 12월 말 행정구역을 기준으로 246개의 존으로 갱신하여 구축되었다. 교통존은 서울특별시와 광역시, 그리고 인구규모가 큰 수원시, 안양시, 부천시, 성남시, 고양시, 전주시, 포항시, 안산시, 청주시의 9개 시는 구단위로 세분화 하였고, 그 밖의 시·군은 지역적인 생활권을 감안해 각각의 시·군을 1개의 교통존으로 처리하였음

○ Network체계

- 전국 Network는 거의 모든 고속도로 및 국도를 포함하고 있으며 국가지원지방도, 지방도도 상당 부분 포함하고 있으나, 지역간 통행이 많이 이용되지 않는 광역시도 및 시·군도에 대해서는 일부 주요 구간만을 포함하고 있음. 따라서 국지적인 구간에 대한 사업을 분석할 때 연구팀은 국가교통DB에 반영된 Network을 확인하고 분석에 적절한 수준의 Network를 추가로 반영해야 함. 다음 <표 23>은 2002년 기준 전국 도로망 위계별 체계 구축 내용임

<표 23> 2002년 기준 전국 도로망 위계별 체계 구축 내용

도로 유형	링크 수	도로연장 (단방향,km)
고속도로	744	2,807.7
국 도	5,738	12,741.9
국가지원 지방도, 지방도	6,380	13,838.5
도시고속도로	306	271.5
시·군도	582	912.8
고속도로 연결램프	444	164.3
계	14,194	30,736.6

2. 위계별 도로용량 산정연구

가. 미국의 도로용량산정법

- 1950년판 미국 도로용량편람(HCM)
 - 1950년판에서 도로용량을 다음과 같이 세가지로 구분하였음

- 기본 용량(Basic Capacity) : 도로 및 교통조건이 이상적인 상태 하에서 단위시간 차선 당 한 지점을 통과할 수 있는 최대 승용차 대수로서 2,000대임
- 가능 용량(Possible Capacity) : 주어진 도로 및 교통조건하에서 도로상의 한 지점을 통과할 수 있는 시간당 최대교통량으로서 기본용량보다 작음
- 실용 용량(Practical Capacity) : 주어진 도로 및 교통조건에서 심각하지 않은 정체하에서 운전자가 크게 제약을 받지 않을 정도의 소통 상태를 유지하면서 시간당 최대로 통과할 수 있는 교통량을 말한다. 도시부는 1,500pcplph, 지방부 다차선 도로는 1,000pcplph, 2차선도로의 경우 도시부는 1,500pcplph, 지방부는 600pcplph,으로 사용되었음

○ 1965년판 미국 도로용량편람(HCM)

- 1950년판의 3가지 용량 구분 대신에 용량을 “주어진 여건 하에서 일정시간 동안 일정구간을 한 방향으로 통과할 수 있는 최대교통량”으로 정의함. 이러한 정의는 1950판의 가능용량과 같은 개념으로, 각 서비스 수준에 해당하는 서비스 교통량이 제시되었다. A-F의 6개의 서비스수준(Level of Service)이 정의되어 서비스 수준 C에 해당하는 용량이 실용용량에 해당한다. 다음<표 24>은 1965년판의 서비스 수준별 교통량을 나타낸 것임

<표 24> HCM 1965의 서비스 수준과 교통량

서비스 수준	고속도로		다차선도로		2차선 용량(pcph)
	교통량(pcplph)	평균속도(mph)	교통량(pcplph)	평균속도(mph)	
A	700	>60	600	60	400
B	1,000	>55	1,000	55	900
C	1,500	50	1,500	45	1,400
D	1,800	40	1,800	35	1,700
E	2,000	30-35	2,000	30	2,000
F	0-2,000	<30	0-2,000	<30	0-2,000

○ 1985년판 미국 도로용량편람(HCM)

- 1985년판에서는 기존의 용량의 단위가 “교통량(Volume)”에서 “교통류율(Flow Rate)”로 바뀐 것으로, 용량의 정의를 “주어진 도로조건, 교통상황 그리고 교통 통제 상태에서 일정한 기간 내에 도로상의 한 지점이나 일정구간을 무리 없이 통과 시킬 수

있는 단위 시간당 교통류율(Flow Rate)”으로 통상 침두 15분간의 Flow에 해당되는 시간당 교통량을 사용함으로써 한시간동안의 교통류 변화 상태를 알 수 있고 최대 교통량을 분석 할 수 있음. 다음 <표 25>은 1985년판의 서비스수준별 교통량을 나타 낸 것임

<표 25>1985년 HCM 용량편람에 의한 서비스 수준

고속도로 서비스 수준

서비스 수준	70MPH			60MPH			50MPH		
	speed	v/c	MSF	speed	v/c	MSF	speed	v/c	MSF
A	≥60	0.35	700	—	—	—	—	—	—
B	≥57	0.54	1,100	≥50	0.49	1,000	—	—	—
C	≥54	0.77	1,550	≥47	0.69	1,400	≥43	0.67	1,300
D	≥46	0.93	1,850	≥42	0.84	1,700	≥40	0.83	1,600
E	≥30	1.00	2,000	≤30	1.00	2,000	≥28	1.00	1,900
F	≤30			≥30			≤28		

MSF : Maximum service flow rate per lane under ideal condition

v/c : volume/capacity

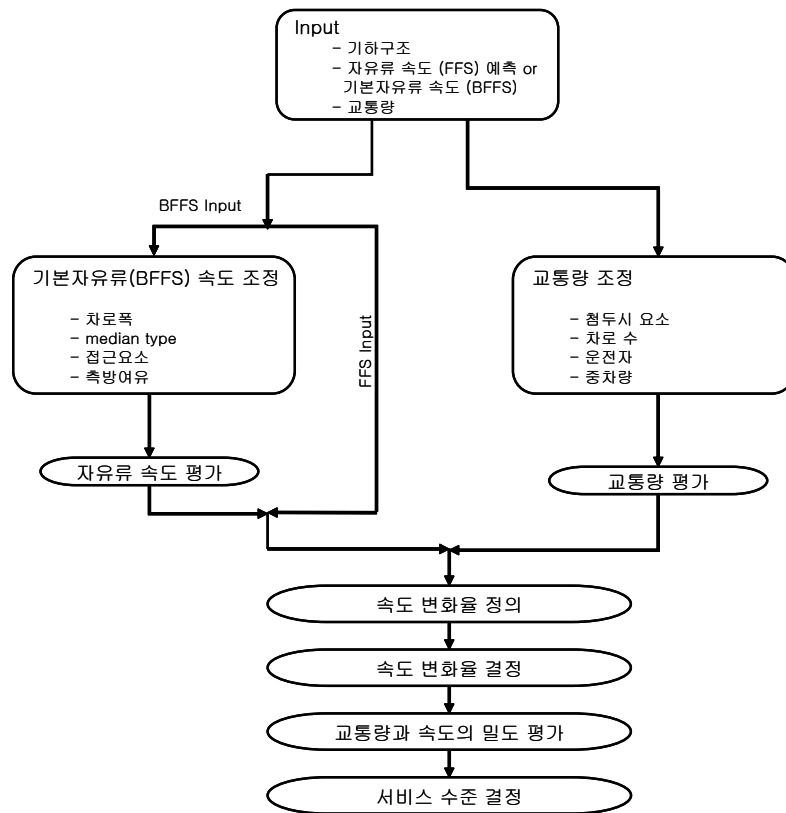
다차선도로 서비스 수준

서비스 수준	70MPH			60MPH			50MPH		
	speed	v/c	MSF	speed	v/c	MSF	speed	v/c	MSF
A	≥57	0.36	700	≥50	0.33	650	—	—	—
B	≥53	0.54	1,100	≥48	0.50	1,000	≥42	0.45	850
C	≥50	0.71	1,400	≥44	0.65	1,300	≥39	0.60	1,150
D	≥40	0.87	1,750	≥40	0.80	1,600	≥35	0.76	1,450
E	≥30	1.00	2,000	≤30	1.00	2,000	≥28	1.00	1,900
F	≤30			≥30			≤28		

MSF : Maximum service flow rate per lane under ideal condition

v/c : volume/capacity

○ 2000년판 미국 도로용량편람(HCM)



<그림 3> HCM 고속도로 서비스수준 결정

<표 26> HCM 고속도로 서비스 수준 평가

구 분		LOS				
자유 교통류 속도	조건	A	B	C	D	E
100 km/h	최대 밀도(pc/km/ln)	7	11	16	22	25
	평균속도(km/h)	100.0	100.0	98.4	91.5	88.0
	최대 V/C	0.33	0.50	0.72	0.94	1.00
	최대 서비스 교통량(pc/h/ln)	700	1100	1575	2015	2200
90 km/h	최대 밀도(pc/km/ln)	7	11	16	22	26
	평균속도(km/h)	90.0	90.0	89.8	84.7	80.8
	최대 V/C	0.31	0.47	0.68	0.89	1.00
	최대 서비스 교통량(pc/h/ln)	630	990	1435	1860	2100
80 km/h	최대 밀도(pc/km/ln)	7	11	16	22	27
	평균속도(km/h)	80.0	80.0	80.0	77.6	74.1
	최대 V/C	0.30	0.44	0.64	0.85	1.00
	최대 서비스 교통량(pc/h/ln)	560	880	1280	1705	2000
70 km/h	최대 밀도(pc/km/ln)	7	11	16	22	28
	평균속도(km/h)	70.0	70.0	70.0	69.6	67.9
	최대 V/C	0.28	0.41	0.59	0.81	1.00
	최대 서비스 교통량(pc/h/ln)	490	770	1120	1530	1900

나. 국내 도로용량산정

1) 한국도로용량편람(KHCM)

- 1992년 제정된 도로용량편람에서는 도로용량을 “주어진 시간동안 주어진 도로 및 교통조건에서 도로나 차선의 일정구간 또는 지점을 승용차가 통행하리 예상되는 최대 교통류율을 의미한다.”고 정의함. 즉, 주어진 조건에서 15분 동안 무리 없이 최대로 통과할 수 있는 승용차 교통량을 1시간 단위로 환산한 값이다. 서비스 수준은 교통류의 질에 따라 A에서 F까지 여섯 단계로 구분한다. 용량은 단위가 “교통량 (Volume)”에서 “교통류율(Flow Rate)”로 새롭게 정의되었음을 알 수 있음
- 고속도로
 - 도로의 용량은 이상적인 조건의 용량과 주어진 조건의 용량으로 구분됨. 대부분의 도로로는 이상적인 조건을 만족하지 못하기 때문에 각 구간의 도로 용량은 주어진 조건에 따라 다르며, 주어진 특정 구간의 용량은 이상적인 조건의 도로 용량에 도로 및 교통조건에 따른 감소 요인을 반영한 보정계수를 곱하여 구하게 됨

<표 27> 고속도로 기본 구간의 서비스수준

서비스 수 준	밀도 (pcpkmpl)	설계속도120kph		설계속도100kph		설계속도80kph	
		교통량 (pcphpl)	v/c	교통량 (pcphpl)	v/c	교통량 (pcphpl)	v/c
A	≤6	≤700	≤0.3	≤600	≤0.27	≤500	≤0.25
B	≤10	≤1,150	≤0.5	≤1,000	≤0.45	≤800	≤0.40
C	≤14	≤1,500	≤0.65	≤1,350	≤0.61	≤1,150	≤0.58
D	≤19	≤1,900	≤0.83	≤1,750	≤0.8	≤1,500	≤0.75
E	≤28	≤2,300	≤1.00	≤2,200	≤1.00	≤2,000	≤1.00
F	>28	-	-	-	-	-	-

주: 이 표의 교통량 관련 기준은 각 설계 속도 수준에서 이상적인 도로 및 교통 조건에서 정해진 것임

○ 다차로 도로

- 다차로 도로의 용량은 연속 교통류와 단속 교통류가 혼재하는 도로 교통 특성을 갖고 있다. 연속 교통류가 확보되는 도로 구간에 대해서는 차로당 최대 교통량을 바탕으로 용량을 제시할 수 있으나, 단속 교통류의 영향이 큰 도로 구간에 대해서는 연속류 도로의 용량 개념을 제시하는 것은 불합리함

- 다차로의 최대 평균통행속도가 92kph(설계속도 90~100kph, 제한속도 80kph인) 도로(유형 I)에서 연속류 특성을 보이는 구간이 5km 이상 지속될 때, 용량값으로 2,000pcphpl을 적용한다. 신호교차로가 설치된 유형 II와 유형 III의 도로에서는 다음과 같이 신호교차로 용량 개념을 적용함

$$c = N \times s \times \frac{g}{C}$$

여기서, c = 직진 방향 차로의 용량(pcph)

N = 교차로에서 직진 차로 수

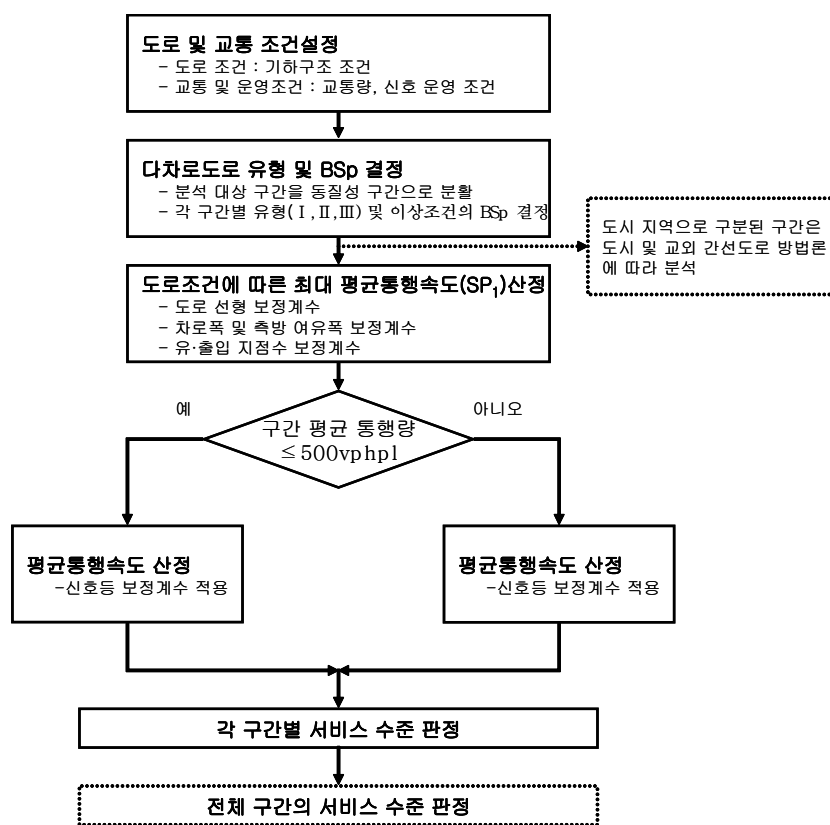
s = 포화 교통량(pcphpl)

g/C = 평균 녹색시간비

<표 28> 다차로도로 서비스수준

도로 유형	I		II	II, III	III
주어진 도로 조건에서 승용차의 최대 평균통행속도(SP1)	$\geq 87\text{kph}$		$< 87\text{kph}$		
신호등 밀도(개/km)	≤ 0.1	≤ 0.3	≤ 0.1	≤ 0.7	≤ 1.0
서비스수준	평균통행속도(kph)				
A	≥ 85	≥ 80	≥ 80	≥ 70	≥ 65
B	≥ 81	≥ 75	≥ 76	≥ 65	≥ 60
C	≥ 76	≥ 70	≥ 71	≥ 59	≥ 53
D	≥ 71	≥ 65	≥ 66	≥ 52	≥ 45
E	≥ 65	≥ 57	≥ 60	≥ 42	≥ 35
F	< 65	< 57	< 60	< 42	< 35

- 전체적으로 볼 때, 단속 교통류를 유발하는 신호등과 같은 요인이 존재하는 다차로 도로에서 연속 교통류의 용량 개념을 적용하는 것은 한계가 있으며, 활용성도 떨어짐. 통행의 서비스 수준을 나타내는 효과적도조차 교통량이 아닌 평균통행속도를 사용하고 있기 때문임. 대신 용량 값은 차로 수 산정에 활용할 수 있음



<그림 4> 다차로도로 서비스수준 분석 과정

<표 29> 다차로 도로의 1992년 도로용량편람과 개정편람차이점

구 분	1992 편람	2001 편람
분 석 대 상	<ul style="list-style-type: none"> 신호교차로 간격 3km이상인 다차로도로 주로 연속류로 간주 평균최대통행속도별 도로 수준 구분 	<ul style="list-style-type: none"> 신호교차로 간격 1km 이상인 다차로 도로 단속류와 연속류 혼재 설계속도, 신호등 밀도, 이상적인 조건의 최대 평균통행속도에 따라 3개의 도로 유형으로 구분
용 량	<ul style="list-style-type: none"> 평균 최대통행속도별 용량 (2,100~2,200pcphpl) 	<ul style="list-style-type: none"> 유형 I : 2,000pcphpl (설계속도 90~100km/h, 5km이상) 유형 II, III : 신호교차로 용량 제약

자료: 건설교통부, 한국도로용량편람(KHCM), p.163, 2001

○ 2차로도로

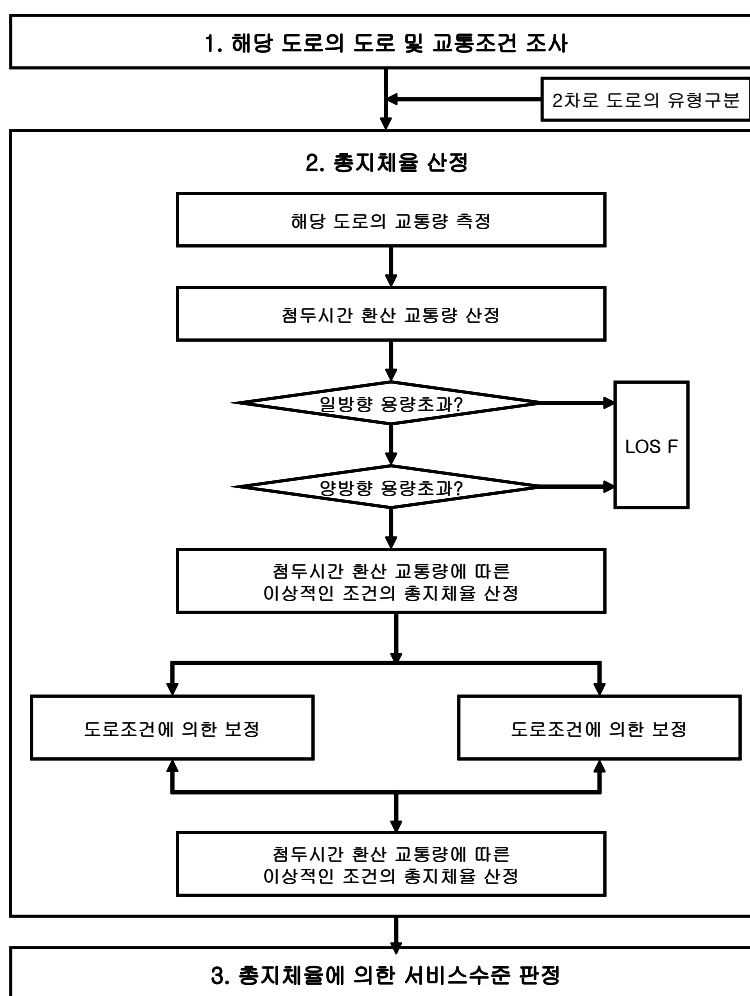
- 용량은 주어진 도로 조건에서 최대로 관측할 수 있는 15분 동안의 승용차 교통량을 1시간 단위로 환산한 값이며, 기존 시설을 평가하거나 장래 시설의 계획 및 설계에 이용됨

- 2차로도로의 이상적인 조건에서 도로 용량은 3,200승용차/시/양방향(pcap)이며 방향별 최대 1,700pcap입니다. 2차로도로에서는 대향차로의 차량이 진행 차량의 교통류에 영향을 미치므로 2차로도로의 용량은 다차로도로 2개 차로의 용량보다 적음. 용량을 표시할 때는 양방향 교통량으로 나타내는 점도 다차로도로와 다름

<표 30> 서비스 수준

구 분	총지체율(%)		교통량(pcap)
	도로유형 I	도로유형 II	
LOS			
A	≤8	≤10	≤ 650
B	≤15	≤20	≤ 1,300
C	≤23	≤30	≤ 1,900
D	≤30	≤40	≤ 2,600
E	≤38	≤50	≤ 3,200
F	>38	>50	-

- 서비스수준을 산정하기 위해서는 도로의 유형을 구분하고, 첨두시간 환산 교통량을 산출한 뒤 이상적인 조건에서의 총지체율을 산출하여 각종 총지체율 보정계수를 적용하게 됨. 총지체율은 <그림 5>와 같은 과정을 거쳐 해당 도로의 서비스수준을 분석함



<그림 5> 총지체율에 의한 서비스수준 판정절차

<표 31> 2차로 도로의 1992년 도로용량편람과 개정편람차이점

구 분	1992 편람	2001 편람
도로유형 구 분	• 구분하지 않았음	• 유형 I 과 유형 II 도로를 설계속도와 도로기능에 따라 구분하였음
효과척도 (MOE)	• 일차적인 척도 : 지체시간비율 • 이차적인 척도 : 교통량 대 용량비(V/C) 평균 통행(오르막)속도	• 도로 유형별 총 지체율
보정계수	• 서비스 교통량 산정을 위한 용량 보정 계수 • 일반지형에 대한 방향별 분포에 따른 보정계수와 추월금지구간 비율에 따른 보정계수를 각각 제시	• 총 지체율 산정을 위한 총지체율 보정계수 • 일반지형에 대한 방향별 분포와 추월금지구간 비율에 대한 보정계수를 하나로 제시함

주: 유형 I - 설계속도 80kph 이상의 연속 교통류 도로, 유형 II - 설계속도 80kph 미만의 연속 교통류 도로
2차로도로 중 일반적으로 유형 I 은 주로 고속도로와 같은 고규격도로, 유형 II 는 주로 일반도로가 해당
자료: 건설교통부, 한국도로용량편람(KHCM), p.205, 2001

2) 예비타당성조사 지침(KDI)

- 한국개발연구원(KDI) 『도로·철도 부문사업의 예비타당성조사 표준지침』에서 제공하는 5대 광역시 차로용량은 다음과 <표 32> 같음

<표 32> 5대 광역시 자료의 도로 유형별 VDF 함수 파라미터 값과 차로 용량

도로기능	구 분		속도(km/h)	용량(pcu/h)	BPR식	
	도로명	Type			α	β
주간선	고속국도	1	100	2,200	0.645	2.047
	도시고속도로	2	90	2,000	0.58	2.4
	국도	3	60, 80*	750, 1000*	0.15	4.0
	시도	4	70	800	0.15	4.0
	국지도·지방도	5	80	1,000	0.15	4.0
보조간선	국지도·지방도	6,7	60	750	0.15	4.0
집분산	시도	8	40	500	0.15	4.0
기타	교량,램프,터널,고가	10	60	1,000	0.15	4.0

주: * : 4차로이상

자료: 교통개발연구원 『2002년 국가교통DB구축사업 최종보고서』

- 이를 기초로 현재 국가교통DB센터에서 제공하고 있는 BPR식은 도로의 위계에 따라 모두 15개이며, 각 함수의 파라미터 값은 다음 <표 33>와 같음

<표 33> 전국 기반의 도로 유형별 VDF 함수 파라미터값과 차로 용량

도로위계(편도)	VDF	자유속도 (Km/h)	용량 (pcu)	BPR식	
				α	β
고속도로(1차로)	1	80	1,600	0.58	2.4
고속도로(2차로)	2	117	2,200	0.645	2.047
고속도로(3차로이상)	3	119	2,200	0.601	2.378
일반국도(1차로)	4	70	750	0.15	4
일반국도(2차로)	5	80	1,000	0.15	4
일반국도(3차로이상)	6	90	1,000	0.15	4
지방도, 국지도(1차로)	7	60	750	0.15	4
지방도, 국지도(2차로)	8	70	1,000	0.15	4
지방도, 국지도(3차로이상)	9	80	1,000	0.15	4
시군도	10	40	200	0.15	4
센트로이드 커넥터	11	20	99,999	-	-
도시고속화도로(3차로이상)	12	90	2,200	0.58	2.4
도시고속화도로(2차로이하)	13	90	2,000	0.15	4
고속도로 연결램프	15	50	1,600	0.15	4

자료: 교통개발연구원, 『2002년 국가교통DB구축사업 최종보고서』

3) 제2차 국도건설 5개년(2006~2010) 계획(안) 검증사업 (KDI, 2005)

○ 교통수요분석시 속도 및 용량보정

- 2차로 및 4차로 국도사업의 교통수요분석시 사업구간의 특성에 따라 교통량-지체함수의 자유속도와 도로용량을 보정하여 사용함

<표 34> 다차로 도로의 속도보정

사업내용	구분	최대통행속도 감소(kph)
중앙분리대	유	0
	무	4
차로폭	3.5	0
	3.3	4
	3.0	10
측방여유폭	3.6	0
	3.0	1
	2.4	2
	1.8	3
	1.2	4
	0.6	7
	0.0	10
유출입 지점수/km	0	0
	<= 10	3
	<= 20	6
	> 20	9

자료: 제2차 국도건설 5개년(2006~2010) 계획(안) 검증사업 (KDI, 2005)

<표 35> 2차로 사업의 용량보정

사업유형	시행전 도로용량	KHCM 보정	시행후 도로용량
우회도로	750	750	750
선형개량(2차로)	750	840	850
오르막차로 설치	750	975	1,000
중앙분리대설치 및 폭원확장	750	820	850
교차로개선: 도로화, 신호등설치	750	750	750
보도설치	750	750	750
가드레일설치	750	750	750
위험도로개선: 협소폭원의 확장	750	820	850

<표 36> 4차로 사업의 용량보정

사업유형	시행전 도로용량	보정용량	시행후 도로용량
우회도로	1,000	1,000	1,000
선형개량	1,000	1,120	1,150
중앙분리대설치 및 폭원확장	1,000	1,090	1,100
폭원확장	1,000	1,090	1,150
보도 및 농기계통행로설치	1,000	1,000	1,000
교차로개선: 평면교차로 간이입체화	1,000	1,200	1,200

다. 개별연구성과

1) 고속도로

○ 주정열(1993년) 연구

- 주정열의 연구에서는 1985년 미국도로용량편람(HCM)과 KRIHS(국토연구원, 교통설계에서의 도로교통용량의 의미와 적용방안)자료, KOTI(교통개발연구원, 교통설계를 위한 도로용량)자료등과 이외 전국규모의 수요예측연구(KOTI, 종합교통설계 수립에 관한 연구) 그리고 한국도로용량편람(KHCM)등을 종합적으로 검토한 후 <표 37>에 서 나타난 바와 같이 도로용량을 정립함

<표 37> 지역별 도로용량

		단위 : 대/일, 대/시간				
구	분	1차선	2차선	3차선	4차선	5차선
전 국	고속도로	24,128	34,482	49,240	-	-
	국도,지방도	19,302	27,575	-	-	-
도시부 (부산)	고속도로	1,500	4,500	-	-	-
	간선도로	1,100	2,000	3,000	4,000	5,500
	보조간선	900	1,900	-	-	-
	국 도	1,500	-	-	-	-
	지방도	1,200	-	-	-	-

주: 1) 전국의 경우 하루용량이며, 도시부의 경우는 시간당 용량임.

2) 상기 수치는 승용차환산계수(PCV)화 한 차량대수임.

○ 강호익(1998년) 연구

- 강호익 연구에서는 한국 도로용량편람을 적용하였으며, 고속도로는 교통관리 시스템(FTMS)의 차량감지 시스템(Vehicle Detection System:VDS)이 설치되어 있는 경부고속도로 양재-대전간, 중부고속도로, 서울외곽 수노한고속도로의 판교-구리 구간에서 교통량-속도 관계가 넓은 분포를 나타내며 $V/C > 1$ 로서 정체상태도 나타나는 지점을 선정하였고, 국도는 건설교통부에서 전국 국도에 설치한 고정식 도로 교통량 조사장비로부터 발생한 자료 중 전국 82개 지점 중 15개 지점을 세부 분석 대상으로 선정하여, 구간별 시간 교통용량을 산출하였음. 결과는 다음 <표 38>와 같음

<표 38> 고속도로와 국도의 교통용량

구 분	구 간	1방향 차로수	용량(대/시)
고속도로	경부선(양재-수원)	4	7,400
	중부선(동서울-곤지암)	2	3,250
	서울외곽순환(판교-구리)	2	3,600
국 도	501	2	4,050
	606	2	3,610
	456	1	1,140
	608	1	1,425

1. 고속도로는 노선별 구간별 방향별 시간 교통용량으로 산출함.
2. 국도는 고정식 교통량 조사 장비가 설치된 구간의 방향별 시간 교통용량으로 산출하였고, 2차선 도로의 방향별 용량은 양방향 용량의 1/2을 적용하였음.
3. 교통용량은 LOS E 수준의 혼합 교통량으로 나타내었음.

○ 천호영(1999년)연구

- 천호영 연구에서 용량산정방법은 교통량-속도 관계 그래프에서 최대 관측 교통류율을 관측하는 방법과 선정된 모형, 즉 Bell-Curve 모형을 적용하여 회귀분석을 통해 최대 추정교통량을 산출하였고, 교통류율 누적곡선을 이용하여 최대 반복 교통류율을 산출하였음
- 다음 <표 39>와 같이 세가지 방법에 의해 산출된 값을 비교하였음.

<표 39> 차로별 및 지점별 용량분석 결과 및 비교

구 분	경부선 하행 25.2km					경부선 하행 89.0km				영동선 상행 5.6km		
차 로	1차로	2차로	3차로	4차로	전차로	1차로	2차로	3차로	전차로	1차로	2차로	3차로
최대관측 교통류율 (pcplph)	2,329	2,145	2,009	1,908	2,116	2,091	1,916	1,809	1,901	2,243	2,005	2,085
최대추정 교통량 (pcplph)	2,110	2,059	1,868	1,944	1,983	2,143	2,057	1,879	1,912	2,150	2,070	2,068
최대반복 교통류율 (pcplph)	2,242	2,087	1,981	1,908	2,071	2,064	1,906	1,782	1,864	2,202	1,996	2,071

주: 가장 적합한 용량산정 값

- 분석결과 최대 관측교통량은 몇 개 지점에서 관측된 교통류율은 정의된 시설용량을 초과할 수 있으나, 이러한 교통류율은 보통 지속되거나 반복적으로 관측할 수 없는 값들임. 그리고 최대 추정교통량은 비정체시의 자료에 영향을 받기 때문에 최대 교통류율을 산출시 하나의 모형을 적용시킨다는 것은 무리가 따를 것임. 그러므로 가장 합리적으로 기대되는 지방부 고속도로의 용량을 최대 반복교통량으로 선택하였음
- 따라서, 교통류율 누적곡선을 이용한 최대반복 통행량이 고속도로 용량에 가장 적합하다고 판단하여, 1차로 2,000~2,300대/시/차로, 2차로 1,900~2,100대/시/차로, 1,700~2,100대/시/차로 범위에 존재하는 것으로 분석하였음

○ 최찬영(2000년)연구

- 최찬영은 “고속도로 기본구간의 교통용량에 관한 연구”에서 고속도로 기본구간과 도시고속도로 기본구간의 용량을 검지기를 바탕으로 한 속도-교통량 관계 데이터를 이용하여 총괄적으로 제시하였고, 설계속도의 차이에 의하여 용량값에도 차이가 있음을 제시하고 있음
- 그러나 속도-교통량 관계 데이터에 의한 용량값을 제시함에 있어서 1차로를 대표차로로 산정하여 값을 조사함으로서 다른 차선과 1차로에 대한 차이값이 고려되지 않고 있으며, 모든 차선에 대하여 총량적으로 접근하였음
- 또한 편도차로수의 차이에 의해서 용량값은 같으나 임계속도가 다른 것은 차로수가 많을 수록 선행 교통류의 영향을 피할 수 있는 여유용량이 높기 때문이라고 추정하

고 있으며, 이를 바탕으로 편도차로수에 따라서 통행 특성이 달라 질 수 있음을 확인할 수 있음

<표 40> 최찬영(2000)의 조사지점별 용량 및 임계속도

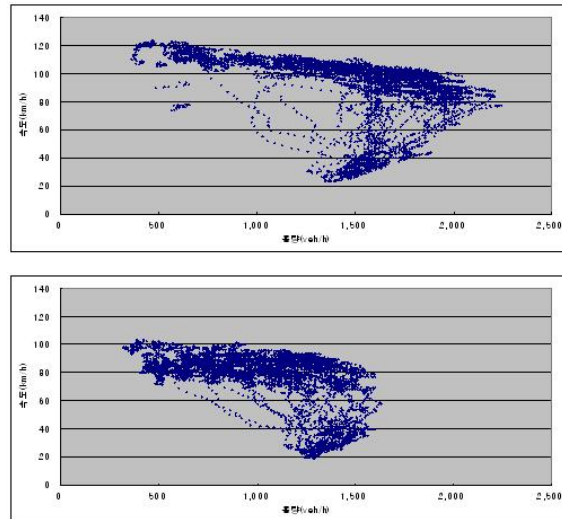
구 분	차로	최대평균	최대추정	연구 제안용량	임계속도 (km/h)
		교통류율			
중부고속도로	1	2,265	2,306	2,300	85
경부고속도로	1	2,125	2,271	2,200	80
영동고속도로	1	2,103	2,236		
올림픽 대로	1	2,014	1,980	2,000	65

- 위 연구에서는 최대추정교통량을 추정하기 위하여 교통량 - 속도 관계곡선을 이용하여 산출한 용량값, 회귀식을 이용하여 산출한 용량값, 교통류율 누적곡선에서 산출한 용량값중 교통류율 누적곡선에서 산출된 용량값을 가장 이상적인 값으로 보고 이를 바탕으로 용량값을 산정하였음
- 하지만 모든 편도차로에서의 1차로를 동일한 용량으로 가정함으로써 차로별 용량이 2,200pcu/h/ln을 넘을 수 없다는 편도차로별 특성 구분에 대한 한계를 가지며, 용량 산정에 있어서 자유류 영역에서의 데이터를 이용함으로써 정체류 영역에 대한 고려가 이루어지지 않고 있음

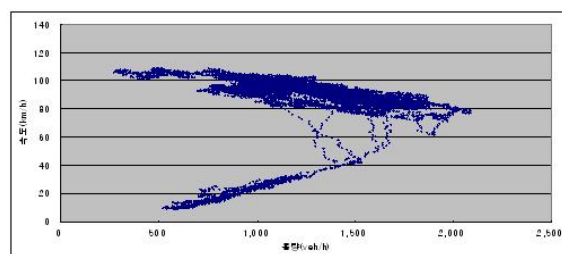
○ 김한수(2007)의 연구

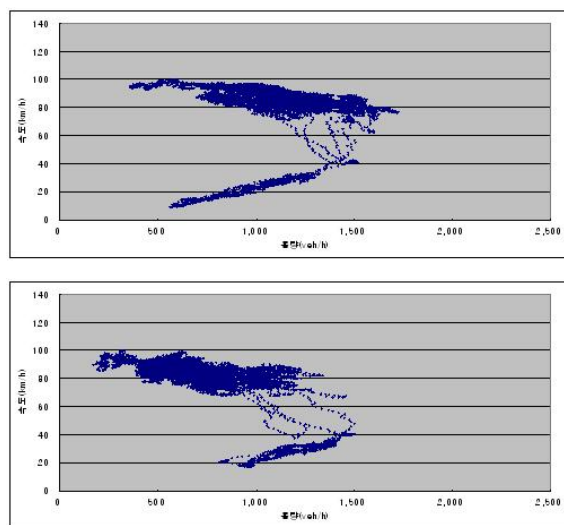
- 고속도로 기본구간의 교통량 - 속도 데이터를 바탕으로 각 편도차로별, 차로별 교통량 - 속도 그래프를 이용하여 용량값을 비교·분석 하였으며, 또한 연구의 목적과 부합하기 위하여 지점별 속도 - 교통량 그래프중 용량값에 다르지 못한 지점은 분석 대상에서 제외하였음
- 편도 2차로 고속도로 기본구간에서 차로별 교통량 - 속도 곡선의 패턴은 일반적으로 다음의 그림과 같은 모습을 나타냄. 아래 그림은 < 영동고속도로 57.5km지점 >의 차로별 속도 - 교통량 그래프로 차로별 특성으로는 1차로는 자유속도가 120km/h 정도를 보이며 최대교통량은 일반적인 교통량 - 속도 관계 이론에서와 마찬가지로 자유류 영역의 가장 끝 부분에서 관찰되며, 그 값은 2,200veh/h에 다다름. 2차로는 자

유속도가 1차로보다 낮은 100km/h 정도를 보이며, 최대교통량은 자유류 영역과 정체류 영역의 끝 부분에서 거의 비슷하게 관찰되며, 그 값은 1,600veh/h 에 다다름

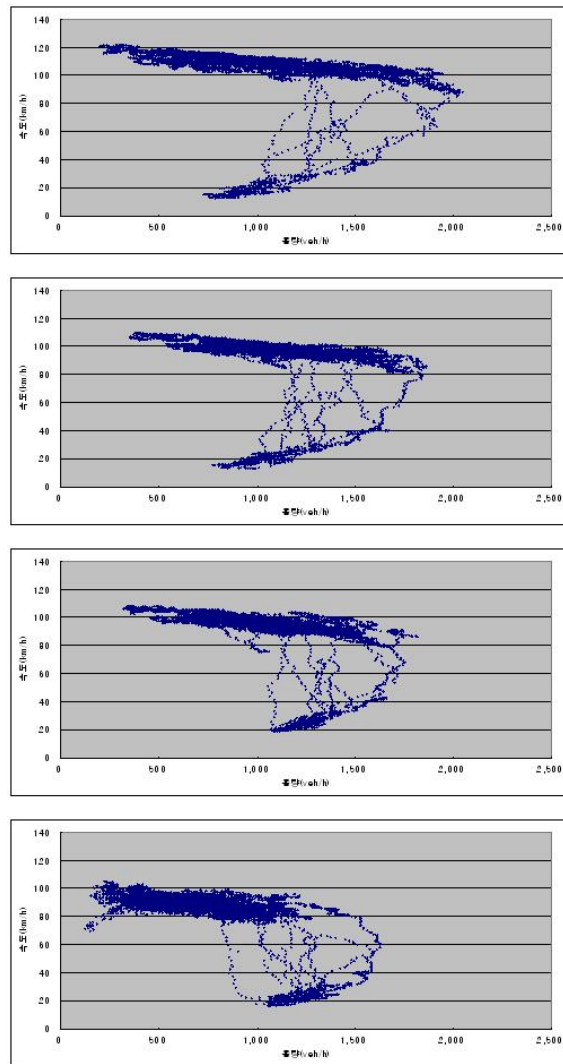


- 아래 그림은 < 영동고속도로 23.3km지점 > 의 편도차로별 교통량 - 속도 그래프로 편도 3차로 고속도로 기본구간에서 차로별 교통량 - 속도 곡선의 패턴은 일반적으로 다음의 그림과 같은 모습을 나타냄. 차로별 특성으로는 1차로는 자유속도가 120km/h 정도를 보이며 최대교통량은 자유류 영역의 가장 끝 부분에서 관찰되며, 그 값은 일반적으로 사용되는 고속도로의 용량 값인 2,200veh/h 에 다다름
- 2차로는 자유속도가 1차로보다 낮은 110km/h 정도를 보이며, 최대교통량은 자유류 영역과 정체류 영역의 끝 부분에서 거의 비슷하게 관찰되며, 그 값은 1,900veh/h 에 다다르고, 3차로는 그림과 같이 자유속도가 100km/h를 조금 웃도는 값을 보이며, 최대교통량은 일반적인 이론과 1차로에서 나타나는 현상과는 다르게 자유류 영역이 아닌 정체류 영역에서 관찰되어지며, 그 값은 1,700veh/h 에 다다름



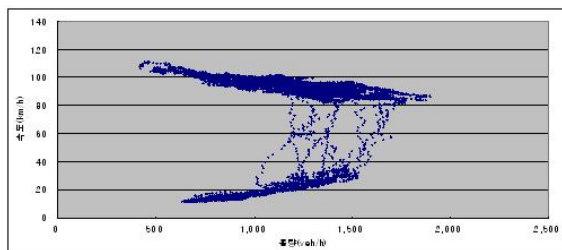
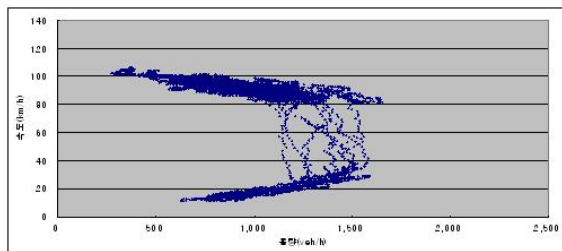
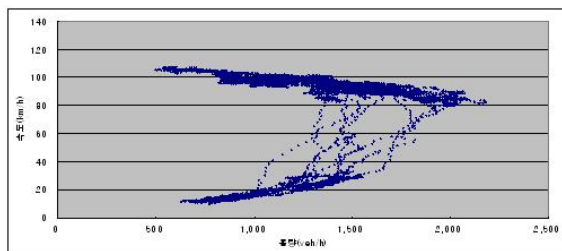
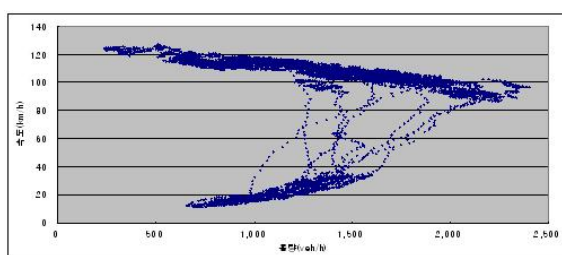


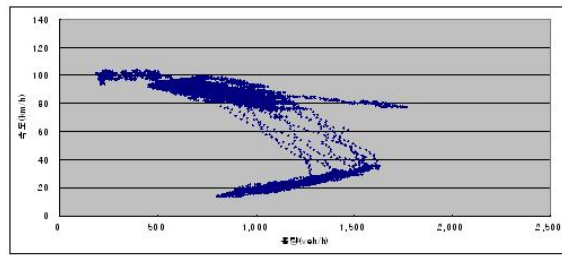
- 아래 그림은 < 서울외곽순환고속도로(판교의정부) 11.3km지점 > 의 편도차로별 교통량 - 속도 그래프로 편도 4차로 고속도로 기본구간에서 차로별 교통량 - 속도 곡선의 패턴을 다음과 같이 나타냄. 차로별 특성으로는 1차로는 자유속도가 120km/h 정도를 보이며 최대교통량은 자유류 영역의 가장 끝 부분에서 관찰되며, 그 값은 일반적으로 사용되는 고속도로의 용량 값인 2,200veh/h에 가까운 값을 보임. 2차로는 그림과 같이 자유속도가 1차로보다 낮은 110km/h 정도를 보이며, 최대교통량은 1차로와 마찬가지로 자유류 영역의 가장 끝 부분에서 관찰되며, 그 값은 2,000veh/h에 다다름
- 3차로는 그림과 같이 자유속도가 100km/h~110km/h 사이에서 관찰되며, 최대교통량은 자유류 영역과 정체류 영역의 끝 부분에서 거의 비슷하게 관찰되며 그 값은 1,800veh/h에 다다름. 마지막으로 4차로는 자유속도가 100km/h를 조금 웃도는 값을 나타내며, 최대교통량은 일반적인 이론과 1차로에서 나타나는 현상과는 다르게 자유류 영역이 아닌 정체류 영역에서 관찰되어지며, 그 값은 1,700veh/h 에 다다르며, 자유류 영역에서는 자유속도의 차이에 따라서 각각의 차로별로 확연하게 구분되는 값을 나타내는 반면, 정체류 영역에서는 모든 차선에서 거의 동일한 값이 나타나는 현상을 보임



- 다음 그림은 < 서울외곽순환고속도로(판교~의정부) 23.5km지점 > 의 편도차로별 속도 - 교통량 그래프로 편도 5차로 고속도로 기본구간에서 차로별 교통량 - 속도 곡선의 패턴은 일반적으로 다음의 그림과 같은 모습을 나타냄. 차로별 특성으로는 1차로는 자유속도가 120km/h 이상의 값을 보이며 최대교통량은 자유류 영역의 가장 끝 부분에서 관찰되며, 그 값은 일반적으로 사용되는 고속도로의 용량 값인 2,200veh/h 보다 높은 2,400veh/h 에 다다름
- 2차로는 그림과 같이 자유속도가 1차로보다 낮은 110km/h 정도를 보이며, 최대교통량은 1차로와 마찬가지로 자유류 영역의 가장 끝 부분에서 관찰되며, 그 값은 일반적으로 사용되는 고속도로의 용량 값인 2,200veh/h에 다다름. 3차로는 그림과 같이 자유속도가 100km/h~110km/h 사이에서 관찰되며, 최대교통량은 자유류 영역의 끝 부분에서 관찰되며 그 값은 1,900veh/h에 다다름

- 4차로는 그림과 같이 자유속도가 100km/h~110km/h 사이에서 관찰되며, 최대교통량은 자유류 영역과 정체류 영역의 끝 부분에서 거의 비슷하게 관찰되며 그 값은 1,700veh/h에 다다름. 마지막으로 5차로는 자유속도가 100km/h를 조금 웃도는 값을 나타내며, 최대교통량은 일반적인 이론과 1차로에서 나타나는 현상과는 다르게 자유류 영역이 아닌 정체류 영역에서 관찰되어지며, 그 값은 1,700veh/h 에 다다름
- 자유류 영역에서는 자유속도의 차이에 따라서 각각의 차로별로 확연하게 구분되는 값을 나타내는 반면, 정체류 영역에서는 모든 차선에서 거의 동일한 값이 나타나는 현상을 보임





- 편도차로별 용량값은 현재 사용되고 있는 값에 크게 못미치는 것으로 나타났다. 고속도로 기본구간의 내측 차로들은 현재 사용하고 있는 용량값과 비슷한 수치를 나타내거나, 다차로 도로(편도3차로이상의도로)에서는 현재의 값보다 높은 값이 관찰됨
- 하지만 내측차로에서 외측차로로 갈수록 용량 값은 물론이고 자유속도 또한 낮아지는 경향을 보임.
- 이는 현재의 차량 이용자들의 고속도로 이용행태의 따른 것으로서 내측차로에서 외측차로로 갈수록 이용하는 차량의 속도가 떨어지며, 그에 따라서 안정류 부분에서의 최대교통량값 또한 낮아지는 현상을 보였으나, 차로에 따라서 다른 패턴을 보이는 자유류 부분과는 달리 정체류 부분에서는 차로수에 상관없이 모든 차로에서 비슷한 용량값과 속도값이 나타났으며, 이는 정체상태에서는 운전자의 능력 및 운전행태의 영향이 차량의 흐름에 거의 영향을 미치지 못하는 것으로 판단됨

<표 41> 편도차로별 용량값

구분	편 도			
	2차로	3차로	4차로	5차로
기존 용량값	4,400	6,600	8,800	11,000
차로별 특성고려 용량값	3,980	5,562	7,720	9,704
적 용 치	4,000	5,600	7,750	9,750
차 이	-400	-1,000	-1,050	-1,250

2) 국도

○ 김병기(2002년) 연구

- 김병기 연구는 국도 기능분류 상으로 국도 I 이고, 4차로인 도로에서 최대 교통량을 관측하여, 도로 형태별로 용량을 구하였음. 최대 관측 교통량은 추석특송기간을 포함하는 11일간의 자료 중 현장에서 관측된 최대 교통량을 용량으로 적용하였고, 최대 관측 교통량은 그 구간의 도로 기하구조, 교통 특성 및 주변 환경등 용량에 영향을 미치는 각종 보정계수를 내포하고 있다고 할 수 있음

- <표 42>는 분석대상 구간의 승용차 대수로 환산된 최대 관측 교통량과 용량을 보여주고 있음

<표 42> 최대 관측 교통량과 용량

호선	구간명	방향	최대관측교통량(pcph)	용량(pcph)
3	곤지암 - 광주시	상행	2,599	2,560
46	화도읍 - 답내리	상행	1,922	1,930
		하행	2,083	2,090
6	팔당댐 - 양평읍	상행	2,779	2,780
		하행	2,882	2,890
48	김포시 - 김포IC	상행	3,922	3,930
		하행	3,734	3,740
3	광주시 - 성남시	상행	3,461	3,470
6	남양주시 - 팔당댐	상행	3,125	3,130
		하행	2,438	2,440
46	남양주시 - 화도읍	상행	3,070	3,080
		하행	2,674	2,680
3	이천IC - 이천시	상행	1,838	1,840
36	내수읍 - 증평읍	하행	2,474	2,480
17	청원 IC - 남이면	상행	2,335	2,340
17	관촌면 - 전주시	상행	2,899	2,900
2	진전면 - 마산시	하행	3,202	3,210
7	부산시 - 웅상읍	하행	2,983	2,990

○ 박달식(2002년) 연구

- 2001도로용량편람(KHCM)에서 요구하는 일반국도 도로유형 I (연속교통류구간, 최대 평균 통행속도 82km/h, 설계속도 90~100km/h, 5km이상)을 찾아보기가 현실적으로 어려워 1992도로용량편람(KHCM)의 분석대상기준을 설정하였음
- 연속류로 간주하는 국도구간 즉, 신호교차로 간격이 최소 3km이상인 다차로 구간, 차로변경에 영향을 미치는 요소가 없이 교통의 흐름이 일정한 곳으로 대상도로 구간의 포장상태가 양호한 구간을 조사지점으로 선정하여, 교통류를 누적 곡선등 기존 용량결정 방법들을 비교·검토하여 다음과 같이 4가지 용량결정방법을 사용하여 용량을 산정하였음
 - 교통량을 직접 실측하여 나타나는 최대교통유율(15분단위)
 - 교통량과 속도의 관계에서 추정되는 회귀식을 이용하여 구한 최대교통량
 - 평균차두시간을 이용하여 구한 최대교통량
 - 교통류를 누적곡선에서 산출한 최대(반복)교통류를

- <표 43>는 용량산정을 위한 4가지 방안을 사용하여 지점별·차로별 용량산정 결과를 나타낸 것임

<표 43> 지점별·차로별 용량분석결과

단위: 승용차 대/시간

구 분	국도 3호선				국도 25호선				국도 38호선			
	진주→사천		사천→진주		경산→대구		대구→경산		안성→일죽IC		일죽IC→안성	
	1차로	2차로	1차로	2차로	1차로	2차로	1차로	2차로	1차로	2차로	1차로	2차로
실측최대 교통류율	2,117	1,886	2,218	2,039	1,897	1,774	1,920	1,804	2,167	1,990	2,011	1,960
반복최대 교통류율	1,760	1,680	1,853	1,788	1,755	1,636	1,648	1,640	1,864	1,728	1,838	1,765
차두시간 이용 최대교통량	1,905	1,791	1,978	1,885	1,722	1,629	1,865	1,651	1,946	1,875	1,856	1,772
회 귀 식 이용 추정 최대교통량	1,814	1,781	1,782	1,664	1,777	1,682	1,816	1,637	1,850	1,820	1,909	1,727

주: 가장 적합한 용량산정 값

자료: 박달식, 『일반국도 다차로도로 차로별 교통류특성 및 용량산정에 관한 연구(설계속도 80km/h인 도로를 중심으로)』, 2002.

- 따라서, 일반국도의 실용용량은 도로기하구조 및 교통조건 그리고 주변환경에 따라 차이는 있으나, 1차로 1,909~1,77대/시/차로, 2차로 1,850~1,664대/시/차로 범위에 존재하는 것으로 분석하였음

3. 본 과업에서 적용할 위계별 도로용량

가. 고속도로

○ 기존연구정리

- <표 44>과 <표 45>은 고속도로 용량에 대한 기존 연구들을 정리한 내용임
- 기존 고속도로 용량을 비교한 것으로서, 일반적으로 1차로는 2,000~2,300pcu/시/차로, 2차로는 1,800~2,087pcu/시/차로, 3차로는 1,700~2,071pcu/시/차로, 4차로는 1,700~1,908pcu/시/차로로 분석되었음

<표 44> LOS D에서의 고속도로용량

서비스 수 준	밀도 (pcpkmpl)	설계속도120kph		설계속도100kph		설계속도80kph	
		교통량 (pcphpl)	v/c	교통량 (pcphpl)	v/c	교통량 (pcphpl)	v/c
D	≤19	≤1,900	≤0.83	≤1,750	≤0.8	≤1,500	≤0.75

자료) 도로용량편람(2004)

<표 45> 기존 고속도로 용량연구

구 분	편도 차로별 용량(pcu/시/차로)				비 고
	1차로	2차로	3차로	4차로	
경부고속도로	2,242	2,087	1,981	1,908	천호영(1999년)
	-	-	-	1,850	강호익(1998년)
	2,200	-	-	-	최찬영(2000년)
중부고속도로	-	1,625	-	-	강호익(1998년)
	2,300	-	-	-	최찬영(2000년)
영동고속도로	2,202	1,996	2,071	-	천호영(1999년)
	2,200	-	-	-	최찬영(2000년)
	2,200	1,900	1,700	-	김한수(2007년)
서울외곽순환고속도로	-	1,800	-	-	강호익(1998년)
	2,200	2,000	1,800	1,700	김한수(2007년)
울림픽대로	2,000	-	-	-	최찬영(2000년)

○ 적용 고속도로 용량

- 기존 연구의 편도 차로별 용량값은 현재 사용되고 있는 차로당 2,200pcu/h값에 다소 못 미치는 것으로 나타나고 있음. 이에 본 과업에서는 기존 연구자료를 토대로 고속도로 용량을 <표 46>와 같이 제시함. 그러나 이에 대해서는 좀 더 깊이 있는 연구가 필요할 것으로 보임
- 따라서, 본 과업에서는 현재 사용되고 있는 차로당 2,200pcuphpl을 기본적인 고속도로 용량값으로 설정하여 분석함

<표 46> 고속도로 용량제안(안)

구분	편도 차로별 용량(pcu/시)		
	2차로	3차로	4차로
기존 용량값	4,400	6,600	8,800
차로별 특성고려 용량값	4,174	6,213	7,632
적용치	4,200	6,250	7,750

나. 국도

○ 기존연구정리

- <표 47>는 기존 국도 용량을 비교한 것으로서, 1차로는 1,140~1,425대/시, 2차로는 1,820~4,050대/시로 분석되었음

<표 47> 기존 국도 용량연구

구분		차로수	용량(대/시)	비고
2호선	진전면-마산시	2	3,210	김병기(2002년)
3호선	곤지암-광주시	2	2,560	김병기(2002년)
	광주시-성남시	2	3,470	김병기(2002년)
	이천시-이천I.C	2	1,840	김병기(2002년)
	진주-사천	2	3,562	박달식(2002년)
6호선	팔당댐-양평읍	2	2,890	김병기(2002년)
	남양주시-화도읍	2	3,130	김병기(2002년)
7호선	부산시-웅상읍	2	2,990	김병기(2002년)
17호선	청원I.C-남이면	2	2,340	김병기(2002년)
	관촌면-전주시	2	2,900	김병기(2002년)
25호선	대구-경산	2	3,364	박달식(2002년)
36호선	내수읍-증평읍	2	3,640	김병기(2002년)
38호선	일죽I.C-안성	2	1,820	박달식(2002년)
46호선	화도읍-답내리	2	2,090	김병기(2002년)
48호선	김포시-김포I.C	2	3,930	김병기(2002년)
501호선		2	4,050	강호익(1998년)
606호선		2	3,610	강호익(1998년)
3호선	진주-사천	1	1,814	박달식(2002년)
25호선	대구-경산	1	1,816	박달식(2002년)
38호선	일죽I.C-안성	1	1,909	박달식(2002년)
456호선		1	1,140	강호익(1998년)
608호선		1	1,425	강호익(1998년)

○ 적용 국도용량

- 기존 연구의 편도 차로별 용량값은 현재 사용되고 있는 값보다 크게 나타나고 있음.
이에 본 과업에서는 기존 연구 자료를 토대로 <표 48>과 같이 국도 용량을 제시함.

- 그러나 이는 고속도로와 마찬가지로 추가 연구가 필요한 부분임. 또한, 국도의 등급별로 용량을 산정하는 방법이 좀 더 타당할 것으로 판단됨
- 따라서, 본 과업에서는 기존 국도의 용량을 따르되, 편도3차로 이상국도(대부분 국도 I 등급에 해당)의 경우 대부분 입체화되었다는 가정하에 최근 수행한 KDI의 국도 5개년 계획 검증사업에 사용된 용량인 1,200pcu/h를 적용하여 분석함

<표 48> 고속도로 용량제안(안)

구분	편도 차로별 용량(pcu/시)	
	1차로	2차로
기존 용량값	750	2000
차로별 특성고려 용량값	1,282	2,786
적용치	1,300	2,800

D. 참고문헌

1. 첨단기술을 활용한 교통조사 방안

- 한국교통연구원 『2002년 국가교통DB구축사업 최종보고서』 제10권 여객O/D자료의 신뢰성 제고를 위한 분석방법론 연구
- 박정운, 신기술을 활용한 교통조사방법 개선에 관한 연구, 교통개발연구원, 2002
- 이창진, “PCS 기지국 데이터를 이용한 교통정보 생성”, 대한교통학회 학술대회, 2002
- 김시곤 외 2인, “휴대폰 기지국 정보를 이용한 O/D 추정기법 연구”, 대한교통학회지, 제23권1호, pp93~102, 2005
- 손기민 외 3인, “Mobile 위치정보를 이용한 동적 O/D 생성방안 기초연구”, 서울시정 개발연구원, 2004
- Yim, Y. & C. Randall, "Positional Accuracy of GPS and Cellular Phone Tracking for Probe Vehicle", 81th TRB Annual Meeting, 2002
- Randall, C. et al, "Operation Parameters Affecting Use of Anonymous Cell Phone Tracking for Generating Traffic Information", 82th TRB Annual Meeting, 2003
- Yasuo ASAKURA, Eiji HATO, "Tracking survey for individual travel behaviour using mobile communication instrument", ISTTT Workshop in Adelaide, July 2002
- 네이버 백과사전, <http://100.naver.com/100.nhn?docid=771651>, WIPI
- 네이버 백과사전, <http://100.naver.com/100.nhn?docid=700218>, TCP/IP
- 네이버 백과사전, <http://100.naver.com/100.nhn?docid=716880>, OSI 7 Layer

2. 도로의 통행비용함수 파라미터 보완 및 검증

- 강호익. 1996, 도로유형별 지체함수 정립과 교통배정에 미치는 영향분석, 서울대학교 대학원 박사학위 논문
- 강호익, 박창호. 1998, 도로유형별 지체함수 정립에 관한 연구, 대한교통학회지 제16권 제2호, PP 117-131

- 건설교통부, 국도 기능분류 및 효율적 투자방안 연구, 1994. 4
- 건설교통부, 『한국도로용량편람(KHCM)』, 2001
- 국토연구원, 『국도 기능분류 및 효율적 투자방안 연구』, 1999
- 국토연구원(2004) 교통수요 예측을 위한 기준 및 절차 지침 연구
- 김병기. 2002, 국도기능별 통행저항함수 추정에 관한 연구, 한양대학교 환경대학원 석사학위 논문
- 김한수, 「고속도로 기본구간의 차로별 용량분석에 관한 연구」, 제55회 대한교통학회 춘계학술발표회, 2007.2
- 박달식, 『일반국도 다차로도로 차로별 교통류특성 및 용량산정에 관한 연구(설계속도 80km/h인 도로를 중심으로)』, 2002
- 서울시정개발연구원, 서울시 종합교통분석체계정립 및 광역통행분석, 1999
- 서울시정개발연구원, 서울시 도로기능별 정비지침에 관한 연구, 1998
- 이의은. 1986, 링크체증함수 및 일반화 비용함수의 적용에 관한 고찰, 서울대학교 대학원 석사학위 논문
- 장덕형. 1993, 고속도로 통행의 지체함수와 통행저항 파라미터의 민감도 분석에 관한 연구, 서울대학교 대학원 박사학위 논문
- 주정열. 1993, 통행배정모형의 도로용량함수 비교 및 적용에 관한 연구, 서울대학교 대학원 석사학위 논문
- 천호영, 1999, 지방부 고속도로 기본구간의 차로별 교통류특성분석 및 차로수 용량보정계수 산정에 관한 연구, 석사학위논문
- 최기주. 1986, 용량저항함수의 비교분석 및 그 적용방안에 관한 연구, 서울대학교 대학원 석사학위 논문
- 한국개발연구원(2004) 도로·철도부문사업의 예비타당성조사 표준지침 수정. 보완연구(제4판)
- 한국교통연구원 『2002년 국가교통DB구축사업 최종보고서』~제4권 제4장(장래 여객OD 예측모형 개발)
- 한국교통연구원 『2002년 국가교통DB구축사업 최종보고서』~제10권 여객O/D자료의 신뢰성 제고를 위한 분석방법론 연구

- 한국교통연구원(2005) 교통수요검증을 위한 기초연구
- 한국교통연구원(2007) 『2006년도 국가교통DB구축사업』~~기종점통행량(O/D) 전수화 관련전문가 워크샵, 2007. 4
- Clark,S.D.,D.P. Watling (2002) Sensitivity analysis of the probit-based stochastic user equilibrium assignment model, Transportation Research Part B 36, 617 - .635
- Cohen,S.L.(2004) An approach to calibration and validation of traffic simulation models, TRB 2004 Annual meeting
- FHWA(1997) Model Validation and Reasonableness Checking Manual, TMIP
- FHWA(2002) Calibration and Validation, Techniques for Validating and Calibrating Travel Models, TMIP
- Horowitz A.J. (1991) Delay-volume relations for travel forecasting : Based on the 1985 Highway Capacity Manual, Dept. of Civil Engineering and Mechanics, University of Wisconsin-Milwaukee
- Hourdakis,J.,P.G.Michalopoulos,J.Kottommannil (2004) A practical procedure for calibrating microscopic traffic simulation models, TRB 2004 Annual meeting
- Spiess, H. (1990) Conical volume-delay functions, Transportation Science Vol 24, No. 2
- Suh Sunduck, Chang-Ho Park Tschangho John Kim. 1990, A Highway Capacity Function in Korea Measurement and Calibration Res-A, Vol 24A, No.3, PP.177-18