

2008년 「국가교통수요조사 및 DB구축사업」

도로통행비용함수 구축관련 조사연구

4

제 출 문

국토해양부장관 귀하

본 보고서를 국가정보화사업 중 「2008년도 국가교통수요조사 및 DB구축사업」의 최종보고서로 제출합니다.

2009년 4월

한국교통연구원

원장 황 기 연

본 『2008년도 국가교통수요조사 및 DB구축사업』은 다음
연구진에 의해 수행되었습니다.

참 여 연 구 진

<한국교통연구원>	
◦연구책임자	: 황상규 선임연구위원('08.04 ~ '08.10), 추상호 연구위원('08.10 ~ '09.04)
◦연 구 진	: 김수철 선임연구위원 : 김찬성 연구위원 : 정경옥, 최정민, 조종석, 김주영, 박상준, 박민철, 황순연, 정성봉, 이장호, 조한선, 정경훈 책임연구원 : 이창렬, 최애심, 신영권, 박용일, 엄우학, 오연선, 박정하, 성홍모, 이태신, 김동호, 권세나, 남혜경, 문대식, 신승진, 최영윤, 김진우, 지민경, 강민구, 장유진, 허 현, 강국수 연구원 : 손희진 연구조원

『2008년도 국가교통수요조사 및 DB구축사업』

보고서 구성 및 담당연구진

번 호	과 제 명	연 구 진
제 1권	요약보고서	최정민, 박용일, 신영권
제 2권	전국 지역간 여객 O/D 보완조사	조종석, 이태신
제 3권	전국 지역간 화물 O/D 보완조사	박민철, 성홍모
제 4권	도로통행비용함수 구축관련 조사연구	김주영, 강민구
제 5권	주요품목별 유통경로조사 및 물류창고조사	김찬성, 최영윤, 신승진
제 6권	교통통계 및 문헌조사	정경옥, 오연선, 박정하
제 7권	수송실적 및 수송분담률 자료 조사분석 연구	정경옥, 오연선, 박정하
제 8권	교통부문 온실가스 배출량 조사	박상준, 문대식
제 9권	교통혼잡비용 등 내외부 교통비용 조사	박상준, 문대식
제10권	교통시설물조사 및 교통주제도 구축	최정민, 최애심, 엄우학
제11권	연안화물 O/D조사	김수엽, 이호춘
제12권	전국 지역간 여객 O/D 보완갱신	김찬성, 김동호
제13권	전국 지역간 화물 O/D 보완갱신	박민철, 신승진
제14권	교통분석용 네트워크 구축	조종석, 김진우
제15권	특별교통관리대책 관련자료 조사	김주영, 황순연, 남혜경
제16권	교통조사 분석·가공·DB구축 유통지침관련 연구	김주영, 허 현
제17권	교통정보자료의 국가교통DB활용방안 연구	황순연, 남혜경
제18권	국가교통투자모형 개발연구	정성봉
제19권	화물공급사슬망 성과특성 분석연구	김찬성, 최영윤
제20권	O/D 및 네트워크 정확도 및 활용도 제고방안 연구	김찬성, 성홍모, 김동호
제21권	해상화물 장래 O/D 전망	김수엽, 이호춘
제22권	DB시스템 구축 및 운영	최정민, 이창렬

『2008년도 국가교통수요조사 및 DB구축사업』

과제별 위탁용역 및 자문용역 사업자

<위탁용역 사업자>
<ul style="list-style-type: none"> ◦전국 지역간 여객 O/D 보완조사 <ul style="list-style-type: none"> - (주)동해종합기술공사, (주)한국교통량데이터베이스 ◦전국 지역간 화물 O/D 보완조사 <ul style="list-style-type: none"> - (주)리서치인터네셔널 ◦교통주제도 및 DB시스템 구축 방안 <ul style="list-style-type: none"> - 위아(주), (주)유성 ◦연안화물 O/D 조사, 해상화물 장래 O/D 예측 및 해운 O/D 보완갱신 <ul style="list-style-type: none"> - 한국해양수산개발원 ◦온실가스 배출량 및 에너지소비량 산정을 위한 조사 <ul style="list-style-type: none"> - 서울대학교 산학협력단 ◦교통혼잡비용 등 내외부 교통비용조사 <ul style="list-style-type: none"> - 전남대학교(항만부문), 한국항공정책연구소(공항부문) ◦도로통행비용합수 구축관련 조사연구 <ul style="list-style-type: none"> - (주)보람이엔씨, (주)아이로드테크 - 전남대학교 김상구 교수(도로용량 및 일전환계수 산정 연구) - 전남대학교 임용택 교수(철도통행비용 합수 기초연구) ◦주요 품목별 화물 유통경로조사 및 물류창고조사 <ul style="list-style-type: none"> - (주)GRI 리서치 ◦교통정보자료의 2차 가공 표준화 DB구축 <ul style="list-style-type: none"> - 한양대학교 산학협력단 ◦특별연휴기간 통행특성 설문조사 <ul style="list-style-type: none"> - (주)리서치랩 ◦국가교통투자모형 개발연구(도로비용 산정부문) <ul style="list-style-type: none"> - (주)CMer
<자문용역 사업자>
<ul style="list-style-type: none"> ◦여객 및 화물 O/D 신뢰도 검증에 관한 연구 <ul style="list-style-type: none"> - 아주대학교 산학협력단 ◦화물공급사슬망 성과특성 분석 연구 <ul style="list-style-type: none"> - 서울시립대학교 박동주 교수

< 부문별 보고서 구성 >

제 1권	요약보고서
제 2권	전국 지역간 여객 O/D 보완조사
제 3권	전국 지역간 화물 O/D 보완조사
제 4권	도로통행비용함수 구축관련 조사연구
제 5권	주요품목별 유통경로조사 및 물류창고조사
제 6권	교통통계 및 문헌조사
제 7권	수송실적 및 수송분담률 자료 조사분석 연구
제 8권	교통부문 온실가스 배출량 조사
제 9권	교통혼잡비용 등 내외부 교통비용 조사
제10권	교통시설물 조사 및 교통주제도 구축
제11권	연안화물 O/D조사
제12권	전국 지역간 여객 O/D 보완갱신
제13권	전국 지역간 화물 O/D 보완갱신
제14권	교통분석용 네트워크 구축
제15권	특별교통관리대책 관련자료 조사
제16권	교통조사 분석·가공·DB구축 유통지침관련 연구
제17권	교통정보자료의 국가교통DB활용방안 연구
제18권	국가교통투자모형 개발연구
제19권	화물공급사슬망 성과특성 분석연구
제20권	O/D 및 네트워크 정확도 및 활용도 제고방안 연구
제21권	해상화물 장래 O/D 전망
제22권	DB시스템 구축 및 운영

목 차

요 약

제1장 과업의 개요	1
제1절 과업의 배경 및 목적 / 3	
제2절 과업의 범위 / 5	
제2장 국내·외 선행연구 검토	9
제1절 국외 선행연구 / 11	
제2절 국내 선행연구 / 19	
제3장 도로통행비용함수 구축을 위한 교통조사	29
제1절 도로관련 법규 검토 / 31	
제2절 기존 통행비용함수(VDF)의 문제점 및 개선방향 / 39	
제3절 조사내용 및 방법 / 51	
제4장 조사자료 구축 및 특성분석	67
제1절 통행비용함수 구축을 위한 조사자료 구축 / 69	
제2절 교통량, 속도조사 기초분석 (준연속류) / 71	
제3절 도로통행비용함수의 용량 검토 / 86	
제4절 도로용량과 임계속도 / 102	
제5절 정체교통량과 교통수요 / 106	
제6절 일전환계수 / 115	

제5장 도로통행비용함수의 파라메타 추정 및 검증 123

제1절 기존 도로통행비용함수 파라메타 추정방법론 검토 / 125

제2절 도로통행비용함수의 파라메타 추정 / 129

제3절 도로통행비용함수의 파라메타 검증 / 147

제6장 철도통행비용함수 기초연구 169

제1절 개요 / 171

제2절 국내·외 철도통행비용함수 / 172

제3절 철도 통행배정의 문제점 / 179

제4절 철도통행비용함수 검토 / 188

제5절 철도통행비용함수의 파라메타 추정 / 191

제6절 철도수요예측의 신뢰도 제고방안 / 203

제7장 결론 및 향후 연구과제 207

제1절 과업의 주요내용 / 209

제2절 향후 연구과제 / 215

부 록 217

표 목 차

<표 1- 1> 통행비용함수 구축을 위한 조사 및 연구의 내용적 범위	6
<표 2- 1> Akcelik함수식의 등급별 지체변수의 기타 변수	71
<표 2- 2> BPR식의 파라메타 (서선덕, 1990)	0
<표 2- 3> 도로용량함수의 파라메타 (주정열, 1993)	0
<표 2- 4> BPR식의 파라메타 (장덕형, 1993)	2
<표 2- 5> BPR식의 파라메타 (강호익, 1996)	2
<표 2- 6> BPR식의 파라메타 (임용택, 2007)	3
<표 2- 7> 국내 기존연구	4
<표 2- 8> 전국 기반의 도로 유형별 VDF 함수 파라메타값	5
<표 2- 9> 수도권 자료의 도로 유형별 VDF 함수 파라메타 값과 차로 용량(2004년) ..	6
<표 2-10> 5대 광역시 자료의 도로 유형별 VDF 함수 내역	72
<표 3- 1> 국내의 도로와 관련된 관계법규	3
<표 3- 2> 도로법에 의한 도로 분류	3
<표 3- 3> 도로의 소재 지역에 따른 분류	3
<표 3- 4> 소재지역에 따른 도로의 기능별 특성	3
<표 3- 5> 폭원에 따른 도로의 분류	5
<표 3- 6> 국도 구분에 따른 도로 기능	6
<표 3- 7> 도로 유형별 기능 및 특성	7
<표 3- 8> 고속도로 기본구간에 대한 용량	8
<표 3- 9> 적용중인 용량과 KHCM상 용량 비교	8
<표 3-10> 도로 등급/차로별 적용된 시간당 용량 및 일전환계수	8
<표 3-11> 도로등급별 기능별 분류	4
<표 3-12> 도로위계 분류 변경(안)	4
<표 3-13> 다차로도로의 유형 구분	9

<표 3-14> 조사항목별 조사내용	3
<표 3-15> 속도조사방법의 종류 및 장·단점	4
<표 3-16> 현장조사지점 도로등급별 / 지역별 분포	5
<표 3-17> 교통량/속도 사전조사 지점	8
<표 3-18> 구간 및 지점속도 방법론의 장·단점	9
<표 3-19> 기하구조 조사항목 및 조사방법	9
<표 3-20> 속도조사 결과분석	6
<표 3-21> 속도조사방법 결정	6
<표 3-22> 현장조사 결과	8
<표 3-23> 본조사 일정	8
<표 3-24> 유형분포 현황	6
<표 4- 1> 조사자료 지점내역	7
<표 4- 2> 도로유형별 시간대별 교통량	7
<표 4- 3> 도로유형별 시간대별 속도	8
<표 4- 4> 도로유형별 차종별 교통량	8
<표 4- 5> 지역별 도로유형 분포	8
<표 4- 6> 지역별 시간대별 교통량	8
<표 4- 7> 조사단위시간별 최대교통류율	9
<표 4- 8> 15분 최대교통류율 기준 조사단위 시간대별 관계	9
<표 4- 9> 도로용량비용함수내 도로등급별 용량값	9
<표 4-10> 차로별 최대교통류율	9
<표 4-11> 차로별 용량과 최대교통류율 비교	9
<표 4-12> 15분간 용량과 최대교통류율 상호관계	9
<표 4-13> 도로용량 분석	9
<표 4-14> 차로수별 차로영향계수	9
<표 4-15> 준연속류 도로등급별 g/C 산정	9
<표 4-16> 준연속류 도로등급별 용량 산정 결과	9

<표 4-17> 준연속류 차로수별 g/C 산정	10
<표 4-18> 준연속류 차로수별 용량 산정결과	10
<표 4-19> 기존 도로통행비용함수내 용량과의 비교	11
<표 4-20> 도로용량과 임계속도 관계	15
<표 4-21> Simulation Program 비교	81
<표 4-22> 영동선 교통자료 내역	19
<표 4-23> 교통량, 속도의 t 통계량	111
<표 4-24> 정체교통수요, 속도의 t 통계량	114
<표 4-25> 고속도로 VDS 데이터 오류 보정(예시)	117
<표 4-26> 일반국도 교통량 조사자료 필드 정의	17
<표 4-27> 일반국도 도로교통량통계연보의 지역구분 필드 정의	17
<표 4-28> 국토해양부 상시교통량자료 필드 정의	18
<표 4-29> 고속도로 VDS데이터 정리(예)	18
<표 4-30> 고속도로 일전환계수 산정	19
<표 4-31> 국토해양부 상시교통량자료 필드 정의	19
<표 4-32> 일반국도의 일전환계수 산정	20
<표 4-33> 도로등급 / 대준별 일전환계수 산정 결과	20
<표 4-34> 도로등급별 일전환계수 산정 결과	21
<표 5- 1> 도로위계 분류 재변경(안)	130
<표 5- 2> 준연속류의 이상치 제거기준	138
<표 5- 3> 고속도로의 기존 VDF와 수정된 VDF 파라메타	41
<표 5- 4> 추정된 준연속류의 VDF 파라메타	45
<표 5- 5> Theil의 부등계수 비교	48
<표 5- 6> 쌍체 t 검정 비교	148
<표 5- 7> 시나리오 구성	152
<표 5- 8> 시나리오별 고속도로와 일반국도의 오차율 (Part I)	154
<표 5- 9> 시나리오별 고속도로와 일반국도의 오차율 (Part II)	155

<표 5-10> 축별 최단 통행시간 (Part I (기존 네트워크)의 시나리오 13)	17
<표 5-11> 예비타당성조사 과업에 사용된 네트워크에서의 편익결과 비교	16
<표 5-12> 간략화한 교통분석용 네트워크에서의 편익결과 비교	17
<표 6- 1> EMME/2 형식 대중교통 노선(Transit Line) 데이터의 자료구조	12
<표 6- 2> 국가교통DB 대중교통 함수	13
<표 6- 3> SDI 대중교통 통행비용함수(line segment 함수)	14
<표 6- 4> 철도부문 통행배정 일반화 비용(1)	178
<표 6- 5> 철도부문 통행배정 일반화 비용(2)	178
<표 6- 6> Travel times for each path	281
<표 6- 7> 존 및 역별 관측지점 현황	13
<표 6- 8> O/D 및 네트워크별 통행배정 결과(승하차 기준)	184
<표 6- 9> 통합철도 O/D 배정시 네트워크별 통행배정 결과(노선별 통과인원 기준)	185
<표 6-10> 통합철도 네트워크 기준 O/D별 통행배정 결과(승하차 승객기준 오차율) ..	185
<표 6-11> O/D 및 네트워크(전체철도 및 통합네트워크만)별 통행배정 결과	186
<표 6-12> 교통수단별 통행비용함수에 속하는 변수 선정	19
<표 6-13> 시간가치 산정	12
<표 6-14> 통합철도 O/D, 통합철도 네트워크하의 도시철도 파라메타 추정(기본안) ..	193
<표 6-15> 통합철도 O/D, 통합철도 네트워크하의 일반철도 파라메타 추정(기본안) ..	194
<표 6-16> 통합철도 O/D, 통합철도 네트워크하의 고속철도 파라메타 추정(기본안) ..	195
<표 6-17> 최적파라메타 조합(기본안)	196
<표 6-18> 통합철도 O/D, 통합철도 네트워크하에서 추정된 파라메타(기본안)	196
<표 6-19> 추정된 파라메타 배정치(기본안)	197
<표 6-20> 통합철도 O/D, 통합철도 네트워크하에서 경부고속선·경부선 비교	198
<표 6-21> headway 변경	9
<표 6-22> 최적파라메타 조합(대안)	21
<표 6-23> headway 변경시 최적의 파라메타(대안)	20
<표 6-24> 추정된 파라메타 배정치(대안)	22

그림목차

<그림 1- 1> 조사 및 분석을 위한 도로등급	5
<그림 1- 2> 과업의 흐름도	7
<그림 2- 1> 기존연구의 파라메타 변화추이	2
<그림 3- 1> 기존 VDF의 역전현상 (고속도로)	40
<그림 3- 2> 값의 변화에 따른 통행시간의 변화(=4로 고정)	4
<그림 3- 3> 값의 변화에 따른 통행시간의 변화(=0.15로 고정)	4
<그림 3- 4> 교통량과 속도의 관계도를 이용한 도로용량 산정(예시)	40
<그림 3- 5> 조사의 흐름도	5
<그림 3- 6> 도로유형 분류	5
<그림 3- 7> 사전조사 지점(교통량/속도 조사)	58
<그림 3- 8> 영상촬영장비 설치	4
<그림 3- 9> 프로브차량 주행	4
<그림 3-10> 영상촬영 설치(예)	4
<그림 3-11> 조사지역 분포현황	5
<그림 4- 1> AVC DATA 형식	96
<그림 4- 2> 고속도로 조사자료(AVC) 지점	0
<그림 4- 3> 도로유형 1의 차로당 일평균교통량 및 평균 통행속도	1
<그림 4- 4> 도로유형 3의 차로당 일평균교통량 및 평균 통행속도	1
<그림 4- 5> 도로유형 5의 차로당 일평균교통량 및 평균 통행속도	2
<그림 4- 6> 도로유형 7의 차로당 일평균교통량 및 평균 통행속도	2
<그림 4- 7> 도로유형 8의 차로당 일평균교통량 및 평균 통행속도	2
<그림 4- 8> 도로유형 9의 차로당 일평균교통량 및 평균 통행속도	3
<그림 4- 9> 도로유형 10의 차로당 일평균교통량 및 평균 통행속도	3
<그림 4-10> 도로유형 11의 차로당 일평균교통량 및 평균 통행속도	3

<그림 4-11> 도로유형 13의 차로당 일평균교통량 및 평균 통행속도	47
<그림 4-12> 도로유형 14의 차로당 일평균교통량 및 평균 통행속도	47
<그림 4-13> 도로유형 15의 차로당 일평균교통량 및 평균 통행속도	47
<그림 4-14> 도로유형 16의 차로당 일평균교통량 및 평균 통행속도	57
<그림 4-15> 도로유형 17의 차로당 일평균교통량 및 평균 통행속도	57
<그림 4-16> 제한속도 70km/h인 구간의 차로당 일평균교통량 및 평균 통행속도 ..	57
<그림 4-17> 도로유형별 시간대별 교통량 그래프	7
<그림 4-18> 도로유형별 시간대별 속도 그래프	9
<그림 4-19> 도로유형별 차종별 교통량 그래프	8
<그림 4-20> 지역별 일평균교통량 및 평균 통행속도	8
<그림 4-21> 지역별 시간대별 교통량 그래프	8
<그림 4-22> 속도-교통류율 관계곡선(고속도로 4차로 구간)	9
<그림 4-23> 속도-교통류율 관계곡선(고속도로 3차로 구간)	9
<그림 4-24> 교통류율 내림차순(1차로, 1분)	9
<그림 4-25> 신호현시 조사자료(예시)	9
<그림 4-26> 유효녹색시간 개념도	9
<그림 4-27> 도로통행비용함수와 임계속도	12
<그림 4-28> 설계속도별 임계속도(도로용량편람)	12
<그림 4-29> 정체교통량과 정체교통수요	16
<그림 4-30> 대기행렬차량수를 이용한 시뮬레이션 방법	17
<그림 4-31> 정체교통수요 추정 및 검증과정	17
<그림 4-32> VISSIM 네트워크 구축	10
<그림 4-33> VISSIM 시뮬레이션 수행화면	10
<그림 4-34> 대기행렬차량수를 이용한 정체교통수요 산출 결과	12
<그림 4-35> 좌우대칭이동을 이용한 정체교통수요 산출 결과	13
<그림 5- 1> V/C-통행시간비율 그래프	12
<그림 5- 2> 본과업의 파라메타 추정 흐름도	13

<그림 5- 3> 교통량-속도 관계도	14
<그림 5- 4> 고속도로의 조사지점 위치	14
<그림 5- 5> 교통량-속도 관계식을 이용한 v/c 비율 산정방안	15
<그림 5- 6> 교통량-속도 관계도에서의 이상치	18
<그림 5- 7> 이상치 제거 전·후(고속도로)	139
<그림 5- 8> 이상치 제거 전후(준연속류 등급별 1차로 기준)	140
<그림 5- 9> 이상치 제거 전후(준연속류 등급별 2차로 이상 기준)	141
<그림 5-10> 관측치와 추정치간의 오차를 최소화하는 파라메타 추정 소스(MATLAP(ver 6.5))	142
<그림 5-11> 역전현상을 보정하기 위한 소스(MATLAP(ver 6.5))	143
<그림 5-12> 고속도로 조사자료 분포 및 통행비용함수 추정 그래프	144
<그림 5-13> 준연속류 파라메타 추정결과(역전현상 보정 전)	146
<그림 5-14> 준연속류 파라메타 추정결과(역전현상 보정 후)	146
<그림 5-15> 새로운 도로통행비용함수 적용시 고속도로 및 국도 배정교통량 변화 ..	146
<그림 5-16> 세로축1(서울 → 광주) Path	148
<그림 5-17> 세로축1(광주 → 서울) Path	149
<그림 5-18> 세로축2(진주 → 춘천) Path	149
<그림 5-19> 세로축2(춘천 → 진주) Path	149
<그림 5-20> 세로축3(강릉 → 부산) Path	150
<그림 5-21> 세로축3(부산 → 강릉) Path	150
<그림 5-22> 가로축1(강릉 → 태안) Path	151
<그림 5-23> 가로축1(태안 → 강릉) Path	151
<그림 5-24> 가로축2(군산 → 포항) Path	151
<그림 5-25> 가로축2(포항 → 군산) Path	151
<그림 5-26> 가로축3(나주 → 울산) Path	152
<그림 5-27> 가로축3(울산 → 나주) Path	152
<그림 5-28> 서남축(서울 → 부산) Path	152

<그림 5-29> 서남축(부산 → 서울) Path	13
<그림 5-30> 북동축(강릉 → 광주) Path	13
<그림 5-31> 북동축(광주 → 강릉) Path	13
<그림 5-32> 분석구간 (사례1: 중부고속국도(남이 ~ 음성) 확장사업)	165
<그림 6- 1> 1개의 존에 다수의 철도역 존재	19
<그림 6- 2> 비합리적으로 연결된 connector	19
<그림 6- 3> 우회노선도	19
<그림 6- 4> 예제 대중교통망	12
<그림 6- 5> 변형된 대중교통망	12
<그림 6- 6> 최적전략에 의한 대중교통 통행배정결과	12
<그림 6- 7> 도로와 결합된 철도 네트워크	16
<그림 6- 8> 철도통행비용함수 파라메타 추정과정	12
<그림 6- 9> 변화에 따른 오차범위 0%~±30%안에 들어오는 철도역수	9
<그림 6-10> 변화에 따른 오차범위 0%~±30%안에 들어오는 철도역수	9
<그림 6-11> 변화에 따른 오차범위 0%~±30%안에 들어오는 철도역수	9
<그림 6-12> 기존 오차범위와 최적 파라메타 오차범위 비교(기본안)	16
<그림 6-13> 도시철도 통행시간과 통행비용의 관계	18
<그림 6-14> 일반철도 통행시간과 통행비용의 관계	18
<그림 6-15> 고속철도 통행시간과 통행비용의 관계	18
<그림 6-16> 추정된 통행비용함수	18
<그림 6-17> 기존 국가교통DB ttf 통행비용함수	18
<그림 6-18> 서울~대전 구간 배정량 비교	9
<그림 6-19> 대전~동대구 구간 배정량 비교	0
<그림 6-20> headway=999 일 때 파라메타값 추정	02
<그림 6-21> 기존 오차범위와 최적 파라메타 오차범위 비교(대안)	21

요약

요 약

1. 과업의 개요

가. 과업의 배경 및 목적

- 통행비용함수(Volume-delay Function : VDF)는 용량 대비 교통량 수준에 따른 링크 통행시간을 산출하기 위한 것으로, 교통수요모형의 통행배정에 직접적인 영향을 미치고 교통수요 예측의 신뢰성 증대를 위해 매우 중요한 요소임
- 현재 교통수요 예측시 전국 지역간 네트워크에 적용되는 통행비용함수의 경우, 고속도로는 검지기 교통자료(양방향 4차로 : 호남·중부고속도로, 양방향 6,8차선 : 경부고속도로)를 기반으로 1997년 한국도로공사에 의해 추정·제공된 바 있으나, 도로여건의 변화 및 환경변화 등을 고려하여 현 시점에서 새로이 구축될 필요가 있음
- 통행비용함수에 적용되는 여러 가지 요소들, 즉 자유속도, 도로용량, 일전환계수 등에 대한 개선방안을 도출하여 교통수요 예측의 신뢰성을 증대할 필요성이 있음
- 교통수요 예측의 신뢰성 증대방안의 일환으로, 도로 유형별 실제 교통량 및 속도조사를 통하여 통행비용함수(VDF)을 재 정립할 필요가 있음
- 또한, 철도 통행비용함수에 대한 기초연구가 미비한 관계로 철도수요예측시 신뢰성이 저하됨에 따라 본 과업에서는 철도배정에 관한 문제점과 개선방안도 정립할 필요가 있음

나. 과업의 범위

1) 공간적 범위

- 조사시에 일반국도, 국가지방지원도, 지방도, 광역시도, 시군도의 3개 등급에 대해서 조사를 실시하고, 파라메타 추정시에는 고속도로와 준연속류를 대상으로 분석함
- 철도는 전국 철도망(고속철도 및 일반철도, 도시철도)을 대상으로 추정 및 검증을 실시함

2) 시간적 범위

- 과업 기준년도 : 2008년
- 교통량 및 속도 조사기간 : 2008년 12월 1주 ~ 2009년 1월 5주
- VDF 파라메타 추정 및 구축 연구기간 : 2009년 2월 1주 ~ 2009년 3월 4주

3) 내용적 범위

- 본 과업은 크게 ‘도로 통행비용함수 구축을 위한 조사’와 ‘도로 통행비용함수 구축을 위한 연구’의 2 단계로 구분되고, 추가로 철도 통행비용함수의 기초연구가 포함됨
- ‘도로 통행비용함수 구축을 위한 조사’ 단계에서는 교통량·속도·기하구조 조사가 포함되어 있고, ‘도로 통행비용함수 구축을 위한 연구’ 단계에서는 조사된 자료를 통한 파라메타 추정 및 검증을 수행함

<표 1> 통행비용함수 구축을 위한 조사 및 연구의 내용적 범위

구 분			세부내용
도로 통행비용함수 구축을 위한 조사	조 사 준 비 및 실 시	조 준 비	·조사항목 설계 ·현장답사를 통한 조사지점 확정 ·조사지점별 인원 및 장비계획 ·피조사원 선정계획 및 피조사원 교육계획, 조사 관리원 투입계획 ·피조사원의 안전 및 휴식계획
		조 사 실 시	·사전조사 실시(교통량 및 속도, 기하구조 조사) ^{주1)} ·현장조사 실시(기하구조 조사) ^{주2)} ·본조사 실시(교통량 및 속도조사) ^{주3)} ·보완조사 실시(교통량 및 속도조사)
	조사자료의 결과분석	조 사 자 료 검 수	·현장에서 수집된 조사 자료에 대한 검수
		조 사 자 료 분 석	·현장에서 수집된 조사 자료의 기초분석 ·관련기관에서 수집한 VDS 및 AVC 자료의 기초분석
도로 통행비용함수 구축을 위한 연구	파라메타 추정 및 검증	파라메타 추 정	·파라메타 추정방법론을 통한 도로등급별 파라메타 추정 - 추정대상 : 연속류(고속도로) 및 준연속류
		파라메타 검 증	·추정된 파라메타를 이용하여 도로 통행비용함수의 검증 - 자유속도, 도로용량 등 고려
철도 통행비용함수 구축을 위한 연구	비용함수 추정 및 검증	비용함수 추 정	·비용함수 추정방법론을 통한 파라메타 추정
		비용함수 검 증	·추정된 비용함수를 이용하여 철도 통행비용함수의 검증 - 요금에 대한 가중치 등 고려

주 1) 사전조사 : 통행속도 조사방법론(구간속도조사 or 지점속도조사 등) 결정

2) 현장조사 : 현장조사를 통하여 전국 단위의 조사지점 확정

3) 본조사 : 결정된 통행속도 조사방법론과 영상촬영을 통해 교통량 및 속도조사 실시

2. 도로 통행비용함수 구축을 위한 교통조사

가. 도로 관련법규 검토

- 현재 KTDB의 통행비용함수에서 분류되어 있는 도로등급 구분은 기능적인 요소를 반영하지 못하고, 단지 도로주체별로 사용하고 있어 전국권 분석시 연속류와 단속류로 구분지어 분석할 필요성과 더불어 거시적으로 분류된 도로 등급을 지역적인 환경을 고려한 미시적인 도로 등급 분류의 필요성이 대두되고 있어 도로위계의 재분류를 검토함
- 법규와 법령을 검토한 결과, 도로의 일반사항 및 개념만 제시되어 있을 뿐 명확한 근거(수치적으로 미제시)가 제시되어 있지 않음

나. 기존 통행비용함수(VDF)의 문제점 및 개선방향

1) 통행비용함수(VDF)의 문제점

- 일반적으로 통행비용함수는 교통량 수준에 따른 링크 통행시간을 산출하기 위한 식으로, 통행시간에 영향을 미치는 주요 요소로는 도로유형, 통행비용함수 파라메타, 용량, 자유속도, 일전환계수 등이 있음

① 도로유형 분류

- 교통량 수준에 따른 도로통행시간은 관리주체별 도로유형에 의한 영향보다 도로 기하구조, 제한속도, 신호교차로(예: 녹색신호시간 비율 등), 차로수 등에 의한 영향이 더욱 크기 때문에 최근 전문가들에 의해 기존 도로통행비용함수 적용을 위한 도로유형 재분류의 필요성이 제기되고 있음

② 도로 통행비용함수 파라메타

- 고속도로는 검지기에서 수집되는 교통량과 통행속도를 이용하여 BPR 함수의 파라메타를 추정하여 적용하고 있으나, 기타 도로유형은 실제 교통량 수준에 따른 통행속도 조사를 통하여 통행비용함수 파라메타를 추정하지 않고 미국 공로국에서 제시한 값을 그대로 적용하고 있는 실정임
- 기존 고속도로의 통행비용함수는 1차로의 경우 $\alpha=0.58$, $\beta=2.4$ 를, 2차로의 경우 $\alpha=0.645$, $\beta=2.047$ 을, 3차로의 경우 $\alpha=0.601$, $\beta=2.378$ 을 적용하고 있는데, v/c 비율에 따른 t/t_0 비율이 역전되는 현상이 있음

③ 자유속도

- 링크 속성자료 입력시 BPR 함수를 이용하여 링크별 통행시간을 산출하기 위한 과정의 일환으로 자유통행속도 값을 입력해야 하는데, 자유통행속도는 자유 교통류 상태하에서 소요되는 최소 통행시간을 산출하기 위해 이용되고 있음
- 링크 속성자료 입력시 요구되는 자유통행속도에 대한 정의가 설계속도인지 제한속도인지 명확하지 않은 상태임

④ 용 량

- 고속도로는 서비스수준 및 속도별 용량이 제시되어 있지만, 기타 도로는 설계속도에 따른 도로용량이 제시되어 있지 않은 실정임
- 국도 및 지방도의 경우에는 일반적으로 연속류 용량의 50%로 가정하여 적용하고 있으며, 차로수에 따른 도로용량은 단위차로의 용량에 차로수를 곱하여 적용하고 있는 실정임
- 현실적으로 차로수 증가시 도로의 용량이 단위 차로의 도로용량만큼 단순 증가하지 않는 특성이 있으므로 이에 대한 재검토가 요구됨

⑤ 일전환계수

- 도로용량 등을 감안할 경우 전국 지역간 여객O/D는 첨두시간O/D, 비첨두시간O/D 등으로 분류하여 제공하는 것이 바람직하지만, 현재는 일O/D로 제공되고 있는 실정임
- 일O/D 기반 통행비용함수를 적용하기 위해 한시간 도로용량을 하루 용량을 전환해야 하며 이를 위해 최초 제시된 일전환계수 값(고속도로(0.078), 기타도로(0.106))을 현재 까지 사용하고 있으며, 근거도 명확하지 않음

⑥ 유료도로 가중치

- 유료도로 이용시 지불하는 금전적 비용을 시간으로 환산하는 가중치는 기존에는 폐쇄식과 개방식 요금소를 구분하지 않고 적용하였으나, 최근 폐쇄식 요금징수시스템에 대해 기본요금을 적용하는 방법이 제시되어 폐쇄식 램프구간에 기본요금 가중치 (2.34)가 더해져 산출됨
- 요금에 대한 시간가치가 현실적이지 못하여 폐쇄식 요금을 징수하는 유료도로(특히 민간투자사업 고속도로) 구간의 배정교통량이 과소 추정되는 문제점을 내포하고 있음

2) 개선방안

① 도로유형 분류

- 기존 도로통행비용함수 적용을 위한 도로유형은 도로관리주체에 근거하여 세분화되었으나, 신호교차로에서의 대기시간을 현실적으로 통행시간에 반영하기 위해 본 과업에서는 도로유형을 도로기능별로 세분화하여 적용토록 함
- 링크의 신호등 밀도, 제한속도, 차로수 등을 기준으로 국도 및 지방도 등에 대해 5개 유형의 준연속류와 3개의 단속류로 분류함

<표 2> 도로등급별 기능별 분류

구 분	1등급	2등급	3등급	기 타
연속류(A)	3차로 이상 고속도로	2차로 이상 고속도로	도시고속도로	램 프
준연속류(B) 주1)	$0 < D < 0.3$	$0.3 \leq D < 0.7$	$0.7 \leq D < 1.0$	-
단속류(C) 주2)	$1.0 \leq D < 3.0$	$3.0 \leq D < 5.0$	$5.0 \leq D$	-

주: 1) KHCM의 기준을 적용(1등급: $0 \leq D < 0.3$, 2등급: $0.3 \leq D < 0.7$, 3등급: $0.7 \leq D < 1.0$), D는 신호등 밀도(개/Km)

2) 본 과업에서 제안하는 새로운 기준

출처: “수도권 장래교통수요 예측 및 대응방안 연구(중간보고), 서울시정개발연구원, 2008.07.” 본 과업의 도로 통행비용함수 분류에 맞게 재수정함

② 도로유형별 용량산정

- 도로유형별 용량을 산정하기 위한 방안으로 우선적으로 교통량과 속도의 관계도를 이용토록 하며, 특정 도로유형(특히, 신호등 밀도가 높은 도로유형)에 대해 신호교차로의 용량 적용이 필요하다고 판단되는 경우 한국도로용량편람(KHCM)에서 제공하는 용량 산정방식을 이용토록 함

③ 기타 관련변수

- 본 과업에서는 도로 통행비용함수에 적용되는 자유속도, 일전환계수 등에 대해 재검토하여 교통수요모형의 신뢰도를 향상시킬 수 있도록 개선방안을 마련토록 함
- 도로유형별 새로이 추정된 도로 통행비용함수를 전국 여객O/D, 교통분석용 네트워크 등에 적용하여 배정교통량과 관측교통량간 오차를 줄일 수 있는지를 검토하고, 노선별 혹은 도로별 자유속도를 제한속도 혹은 설계속도 등으로 조정해봄으로써 도로 통행 비용함수 개선방안을 모색토록 함

다. 조사내용 및 방법

1) 조사의 기본방향

- 본 조사는 기존의 도로 통행비용함수(VDF)에 적용된 도로유형이 관리주체에 근거하여 분류된 것을 도로기능에 근거하여 재분류하여 조사지점을 선정하고 교통량 및 속도, 기하구조를 조사하여 도로 통행비용함수의 적정 용량 및 파라메타를 추정하기 위한 것임
- 사전조사 : 도로유형별 선정된 대표 조사지점에 대하여 교통량조사, 속도조사, 기하구조 조사를 수행하여 조사의 문제점을 파악하고 통행속도 조사 방법론을 결정하는 단계임
- 현장조사 : 조사를 시행하기 이전에 선정된 각 도로유형별 후보 조사지점에 대해 기하구조를 조사하여 분류된 도로유형과 일치하는지를 확인하는 단계임
- 본조사 : 확정된 조사지점에 대해 도로유형별 파라메타 및 도로용량을 산출하기 위해 교통량 및 통행속도를 수행하는 단계임(총 206개지점)
- 보완조사 : 조사내용이 미흡하거나 추가적인 조사가 필요하다고 판단되는 지점에 대해 보완하기 위한 조사임

2) 조사의 내용 및 방법

① 교통량 조사

- 신호교차로의 혼잡으로 인하여 대기행렬이 발생하는 도로구간에 신호교차로에 인접한 지점에서 15분 단위의 교통량 조사를 경우, 통과교통량이 대기행렬로 인하여 다소 편차가 발생할 우려가 있음
- 과업에서는 신호교차로의 대기행렬 영향을 최대한 배제시키기 위해 혼잡이 가장 발생하지 않는 링크의 초입부에 영상장비를 설치하여 교통량 조사를 수행함

② 통행속도 조사

- 본 과업에서는 속도조사를 위해 프로브차량을 이용하여 조사원이 직접 링크 진입부 통과시각과 하류부 링크의 진입부 통과시각을 조사하여 구간속도를 측정하는 방법을 선택함
- 2대 이상의 차량을 지속적으로 순환시킴으로써 15분내에 최소 샘플이 확보될 수 있도록 통행속도를 조사함

3. 자료의 수집 및 특성분석

가. 통행비용함수 구축을 위한 조사자료 구축

- 고속도로 통행비용함수의 파라메타 추정을 위해 한국도로공사에서 제공하는 AVC (automatic vehicle classification) 자료를 활용함
- 준연속류의 도로 통행비용함수 파라메타를 추정하기 위한 교통량 및 통행속도 자료는 총 206개 조사자료를 이용하여 구축함

나. 교통량, 속도조사 기초분석

- 분석은 도로 유형별, 지역별, 시간대별, 차종별 교통량 및 속도 특성을 분석하였음
- 유형별 차종별 교통량 특성을 살펴보면 가장 많은 차종으로는 승용차, 승합차, 화물대형, 화물중형 순으로 나타났으며 유형으로는 유형10이 가장 많은 교통량으로 나타남
- 지역별 시간대별 교통량 특성을 살펴보면 지역별로는 경기지역이, 시간대는 오전 08~09시가 가장 많은 교통량이 통행하는 것으로 나타남

다. 도로 통행비용함수의 용량 검토

1) 고속도로 차로수별 용량

- 조사지점에서 Loop검지기를 통해 수집된 교통량자료를 분석항목별 최대 교통류율로 분석하고 용량결정을 위해 조사자료를 누적곡선을 도식화하여 분석하였으며 결정된 용량의 타당성분석을 위해 조사지점에서의 속도자료를 가지고 정체교통류의 존재를 확인하였음
- 차로용량과 전체차로용량과의 관계를 규명하고자 도로용량편람에서 제시하는 기본용량 2,200 pcphpl을 기준으로 차로영향계수를 산출하였음

$$\text{차로영향계수} = \frac{\text{전체차로용량}}{\text{기본용량}(2,200) \times \text{차로수}}$$

- 고속도로 차로수별 차로영향계수를 살펴보면, 편도 2차로 고속도로의 경우 차로영향 계수가 0.95, 3차로 고속도로 0.91, 4차로 고속도로 0.88로서 차로수가 많을수록 차로영향계수가 작아지는 것으로 분석됨

2) 준연속류 차로수별 용량

- 준연속류 용량 산정 방법은 도로용량편람에서 제시하고 있는 신호교차로의 대표 녹색 시간비(g/C)를 산정하여 포화교통류율에 적용하여 준연속류 용량을 산정하였음
- 준연속류 차로수별로 g/C는 1차로 0.625, 2차로 0.642, 3차로 이상 0.708로서 차로수에 비례하여 크게 산정되었고 이에 따른 준연속류 용량값도 같은 패턴을 보임
- 본 과업에서는 준연속류 도로등급에 대한 용량을 1차로 1,350 pcu/시, 2차로 1,450 pcu/시, 3차로 이상 1,600 pcu/시를 제시하였지만, 당장 도로통행비용함수에 반영하기보다는 추후 보다 많은 교통량 및 신호현시조사를 통하여 결정할 필요가 있음

3) 정체교통량과 교통수요

- 정체상황에서 교통수요를 추정방법으로는 속도-교통량 곡선에서 정체영역에 있는 곡선을 용량과 임계속도를 기준으로 좌우대칭 시키는 방법을 사용하여 왔으나 좌우대칭이 된다는 이론적 근거가 약한 단점을 가지고 있음
- 그래서, 정체교통류에서 발생하는 대기행렬 차량수를 이용하여 시뮬레이션(VISSIM) 방법을 통한 정체교통수요를 산정하는 방법을 제시하고 고속도로 3차로 구간을 대상으로 정체교통수요를 추정하였고 추정된 정체교통수요가 기존 방법에 의해 추정된 정체교통수요와 동일한지에 대한 통계적 검증을 수행하였으며, 그 결과는 통계적으로 유의한 것으로 나타났음

4) 일전환계수

- 지역별 대표 일전환계수를 산정하기 위하여 여러 지점의 평균개념을 적용하였기 때문에 연평균 침두시간 교통량에 연평균 1일 교통량을 나누어 일전환계수를 산정하였음
- 전국을 대상으로 도로등급별 일전환계수를 산정해보면 고속도로가 0.066이고 국도가 0.072로서 국도의 일전환계수가 고속도로보다 높게 나타나서 전체적으로 시간대별 교통량 변동이 더 크게 나타나는 것으로 분석됨
- 또한, 현재 새로운 일전환계수를 적용하기에는 한계가 있어 추후 보다 많은 교통량 자료를 이용하여 일전환계수에 대한 재검토 통해 적용함이 바람직함

4. 도로 통행비용함수의 파라메타 추정 및 검증

가. 도로 통행비용함수의 파라메타 추정

1) 유형분류 재분류 검토

- 도로유형별 조사지점의 교통량-속도자료를 통합한 결과, v/c 비율이 1.0을 초과하지 않는 도로유형이 다수 발견되었으며, 2차로 및 3차로는 v/c 비율 대비 t/t_0 비율이 유사한 수준인 것으로 판단됨
- 최종적으로 통행비용함수 추정을 위한 도로유형은 고속도로는 1차로, 2차로, 3차로 이상으로 구분하고, 준연속류는 신호등 밀도(1~3등급)와 차로수(1차로, 2차로 이상)에 따라 6개의 유형으로 분류함

2) 도로 통행비용함수의 파라메타 추정

① 파라메타 추정방법

- 통행비용함수 파라메타를 추정하기 위해 다음의 절차를 수행함
 - 단계 1 : 조사지점별 도로용량을 산정하고, 제한속도를 이용하여 용량대비 교통량비율(v/c ratio)과 자유 교통류 하에서의 통행시간(이하 자유통행시간) 대비 통행시간비율(t/t_0 ratio)을 산출함
 - 단계 2 : 통행비용함수를 구분하고자 하는 도로유형별로 v/c 비율과 t/t_0 의 비율로 표현된 데이터를 통합함
 - 단계 3 : 적절한 범위내의 통행비용함수 파라메타를 추정하기 위해 기상상황(비, 눈 등), 선형불량, 공사/사고 등 비반복혼잡원인 등에 의한 이상치 자료를 제거함
 - 단계 4 : 우선적으로 이상치를 제거한 v/c 비율 vs. $\frac{t}{t_0}$ 비율의 그래프를 이용하여 각 도로유형별로 오차를 최소화하는 α, β 값을 추정함 (관측치와 추정치간 오차를 최소화하는 최적화기법 적용)

- 단계 5 : 도로유형별로 높은 등급과 낮은 등급간 v/c 비율 변화에 따른 $\frac{t}{t_0}$ 비율이 역전현상이 발생하는지를 검토하고, 역전현상이 발생하는 경우에 가장 합리적인 통행비용함수를 추정한 도로등급을 기준으로 역전현상이 발생하지 않는 범위내에서 통행시간의 추정치와 관측치간 오차를 최소화하는 파라메타를 다시 추정함
- 단계 6 : 추정된 통행비용함수에 대해 실제 전국 지역간 O/D 및 네트워크를 이용하여 기존 통행비용함수에 비해 어느 정도 신뢰성이 개선되는지를 검증하고 추정된 통행비용함수의 개선여부를 결정함
- 상수항이 없는 회귀모형식 추정하는 문제로 오차를 최소화하는 α, β 값을 추정하며, 이를 위해 MatLab(ver 6.5) 프로그램을 이용함
- v/c 비율의 변화에 따라 낮은 등급의 도로유형의 t/t_0 비율이 높은 등급의 도로유형의 t/t_0 비율보다 작은 값을 가지는 현상(역전현상)이 발생하는 경우에는 가장 현실을 잘 반영하는 도로유형을 기준으로 역전현상을 보정할 필요가 있음
- 이를 위해, 기준이 되는 도로유형의 파라메타를 기준으로 역전현상이 발생하지 않는 범위내에서 v/c 비율에 따른 t/t_0 비율의 관측치와 추정치간의 오차를 최소화하는 최적 α, β 값을 다시 산출함

② 추정결과

- 기존 통행비용함수의 파라메타에 비해 α 값은 작아지고, β 값은 커지는 결과를 보임
- 새로이 구축된 통행비용함수는 기존 통행비용함수에 비해 v/c 비율이 1.0 이하에서는 t/t_0 비율이 낮게 추정되며, 반면에 v/c 비율이 1.0 이상에서는 더욱 큰 값을 가지는 결과를 보임

<표 3> 고속도로의 기존 VDF와 수정된 VDF 파라메타

차로수 (편도)	자유속도 (km/h)	기존 파라메타		수정된 파라메타	
		α	β	α	β
2차로	117	0.645	2.047	0.611	2.772
3차로이상	119	0.601	2.378	0.526	2.707

- 준연속류의 통행비용함수 파라메타를 추정하기 위해 2가지 대안으로 접근함

- 대안 1 : 세분화된 6개의 도로유형별로 각각의 통행비용함수 파라메타를 추정하는 방안임
- 대안 2 : 현재 일반국도, 지방도 등의 경우 미국 BPR의 파라메타값인 $\alpha=0.15$, $\beta=4$ 로 동일하게 적용되고 있는 점을 감안하여 준연속류의 6개의 도로유형에 대해 동일한 통행비용함수 파라메타를 추정하는 방안임
- 기본으로 제공되는 BPR 파라메타값보다 α 는 크게, β 보다는 작은값으로 추정됨으로써, 기존 통행시간 보다 급격하게 변하지 않고 다소 완만한 추세를 보이고 있음

<표 4> 추정된 준연속류의 VDF 파라메타

구 분			역전현상 보정 전		역전현상 보정 후		기 준	
대안	신호등 밀도	차로수(편도)	α	β	α	β	α	β
대안1	$0 < D < 0.3$ (1등급)	1차로	0.700	2.070	0.686	1.991	0.15	4
		2차로이상	0.5	2.385	0.668	1.911		
	$0.3 \leq D < 0.7$ (2등급)	1차로	0.809	1.849	0.809	1.849		
		2차로이상	0.798	1.809	0.798	1.809		
	$0.7 \leq D < 1.0$ (3등급)	1차로	0.780	1.800	0.818	1.849		
		2차로이상	0.900	1.910	0.803	1.815		
대안2	통합 (total)		0.791	1.817	0.791	1.817		

나. 도로 통행비용함수 파라메타 검증

- 모형의 적합도를 분석하기 위해 본 과업에서는 v/c 비율에 따른 t/t_0 비율의 추정치와 관측치의 자료를 이용하여 Theil의 부등계수 및 쌍체 t 검증을 수행함
 - Theil의 부등계수를 통한 통계적 검증결과, 고속도로는 기존 VDF와 새로운 VDF와의 차이는 없지만 준연속류는 기존 VDF에 비해 새로운 VDF의 Theil의 부등계수값이 0에 가까워지는 값을 보여줌에 따라 새로운 VDF가 더 적합하다고 볼 수 있음
 - 유의수준 0.05에서 쌍체 t 검정을 한 결과, 유의성이 없는 것으로 나타난 등급은 연속류(고속도로) 2차로와 준연속류 3등급($0.7 \leq D < 1.0$)으로 나타남
- 본 과업에서 추정된 도로 통행비용함수를 교통시설 타당성 분석 등 교통수요예측에 활용하기 위한 방안으로 도로 통행비용함수 중 파라메타 이외의 관련변수인 자유통행 속도, 도로용량 등에 근거하여 시나리오를 다양하게 설정하여 신뢰도 검증을 수행함
 - 기존의 VDF와 수정된 VDF를 일전환계수, 파라메타(개별 및 통합 파라메타), 고속도로 용량, 속도(제한속도, 설계속도)에 따라 시나리오화하여 분석함

- 고속도로 및 일반국도의 과대 및 과소비율을 보면, 고속도로는 과다가 20.1%, 과소가 11.7%이며, 일반국도는 과다가 17.9%, 과소가 49.6%인 것으로 나타나 존내부통행이 미구축된 통행특성이 제대로 반영되는 것으로 나타남
- 최단 통행시간 검증에서는 세로축인 서울-광주간과 서남축인 서울-부산 통행시간이 기존 VDF 보다는 현실성 있게 나왔음
- 기존의 VDF를 적용하는 경우, 신호간선도로의 통행시간이 과소추정되기 때문에 장거리통행의 경우 고속도로 → 신호간선도로 → 고속도로의 경로 선택이 다수 발생하는 문제가 발생하였지만, 새로이 추정된 VDF를 적용하는 경우 이와 같은 문제를 개선함에 따라 경로선택에 있어서 기존 VDF에 비해 합리적으로 수행됨

5. 철도 통행비용함수

- 본 과업에서는 철도통행비용함수를 수정 보완하여 KTX와 일반철도에 대해 배정 통행량을 관측 통행량의 오차범위 내에서 정산할 수 있는지 여부를 파악함으로써 추후 국가교통DB에서 철도O/D 구축방향을 설정코자 함
- 현재는 철도O/D를 통합하여 구축하고 있는데, 이를 KTX와 일반철도를 분리하여 구축하는 것이 바람직한지에 대해 검토함
- 최초출발지 및 도착지 기반 철도O/D, 통합네트워크를 이용한 존 세분화를 수행하여 철도역별 승하차인원을 정산하는 방안을 제안함
 - 현재 존 세분화와 더불어 존 센트로이드와 철도역간 커넥터를 조정하여 철도역별 승하차인원을 정산하고 있는데, 존 세분화 후 통합네트워크에 적용하고 평균 접근속도를 조정하여 철도역별 승하차인원을 정산할 필요가 있음
 - 이를 위해 국가교통DB는 최초 출발지 및 도착지 기반 철도O/D, 통합네트워크를 제공함과 동시에 존 세분화에 대한 기준 및 도로를 이용한 평균 접근속도에 대한 정산방법 등을 제공할 필요가 있음
 - 최초 출발지에서 도로를 이용한 철도역까지의 평균 접근속도는 승용차, 버스, 택시, 도보 등 다양한 수단의 평균값으로 정의될 수 있으며, 통합네트워크의 도로부문 도보 통행속도를 평균접근속도로 적용할 수 있음
 - 이용자는 철도역별 승하차 인원을 정산하기 위해 통합네트워크의 도로부문 보행속도를 일정범위(예: 4km/h ~ 30km/h) 내에서 조정하여 영향권 내 승하차 인원의 관측치와 추정치를 최소화하는 값을 선택하는 방안을 적용할 수 있음

- 철도 전체 O/D를 철도네트워크에 배정시 발생하는 KTX 과다 배정문제를 보완하기 위한 연구를 수행한 결과,
 - 철도 수단별 통행비용을 산출하는 과정에서 KTX, 일반철도, 도시철도의 요금수준에 따른 영향을 반영하기 위해 기존 통행비용함수를 보완함
 - 수단별 요금에 대한 파라메타인 γ 를 추정하여 통행비용함수에 반영한 결과, KTX와 일반철도의 배정 통행량과 실제 수송실적을 정산하기에 한계가 있는 것으로 분석됨
 - 통행배정에 큰 영향을 미치는 배차간격(headway)의 값을 실제 값으로 적용하지 않고 KTX와 일반철도간 동일한 값으로 적용하여 조금씩 변화시킨 결과, 경부선의 일반철도가 KTX보다 많은 통행량이 배정되는 등 기존의 배정결과와 역전되는 현상이 발생하고 있으나, 수송실적과는 큰 차이가 발생하는 것으로 분석됨

6. 향후 연구과제

가. 도로통행비용함수 적용방안

1) 단기 적용방안

- 본 과업에서는 단속류 구간(신호교차로간 거리가 1km 이하인 구간)을 제외한 고속도로 및 준연속류 도로유형에 대한 도로통행비용함수를 추정함
- 새로이 추정된 도로통행비용함수를 적용하여 신뢰도 검증을 수행한 결과, 기존 도로통행비용함수에 비해 합리적인 교통수요 예측이 가능한 것으로 나타남
- 따라서, 본 과업의 성과물인 도로통행비용함수를 교통시설 투자평가 및 교통수요예측에 단기에 활용하기 위해서는 준연속류의 최하위 레벨인 도로유형(신호교차로간 거리가 1km이상, 1.4km 이하($0.7 \leq D < 1.0$))의 통행비용함수를 단속류에 적용하는 방안을 제안함
- 현재 교통시설물 조사시 전국 단위의 신호등 조사가 시행되지 않았기 때문에 우선적으로 2개 이상의 도로가 교차하는 교차점을 신호교차로로 가정하여 해당 링크별 도로유형을 설정하는 방안을 제안함
- 추후, 단속류 도로구간의 교통량 및 통행속도 조사를 통하여 새로운 통행비용함수가 구축될 경우, 투자평가지침에 적용하는 도로통행비용함수를 갱신하는 방안을 제안함

2) 단속류 도로유형의 교통조사 및 통행비용함수 구축

- 당초 본 과업 수행시 단속류 구간은 수도권 교통본부에서 수행하는 도로통행비용함수 구축 결과를 적용하고자 하였으나, 수도권 교통본부에서 수행한 단속류 통행비용함수의 교통량 및 속도조사방법이 본 과업과 상이하여 전국 여객O/D에 활용하기에는 무리가 있을 것으로 판단됨
- 따라서, 단속류 도로유형에 대한 교통량 및 통행속도조사 등을 수행하여 도로유형을 세분화하고 통행비용함수를 구축할 필요가 있음
- 교통분석용 네트워크에서 링크별 도로유형을 선정하기 위해 전국 단위의 신호등 조사를 수행할 필요가 있음

나. 용량산정 및 일전환계수

- 본 과업에서 분석한 차로수별 용량과 차로영향계수는 기존 연구결과와 일부 제한된 고속도로 교통류 자료를 분석하여 결정된 것으로써 고속도로 노선별 차종구성비, 검지기 종류 등 여러 변수에 의해 결과가 달라질 수 있음
- 따라서, 본 과업에서 제시한 차로용량과 차로수별 용량 산정방법론을 토대로 전국적이고 신뢰성 있는 교통자료를 장기간 조사, 수집하여 종합적인 다차로 고속도로의 용량 산정에 대한 연구를 수행할 필요가 있음
- 준연속류 도로시설은 연속류와 단속류 시설의 특징이 혼재된 시설로서 본 과업에서 제시한 유효녹색비율(g/C) 이외에도 준연속류 용량에 영향을 주는 요소들을 추가로 개발하여 좀 더 정확한 용량 산정방법론 개발이 필요하다고 판단됨

제1장 과업의 개요

제1절 과업의 배경 및 목적

제2절 과업의 범위

제1장 과업의 개요

제1절 과업의 배경 및 목적

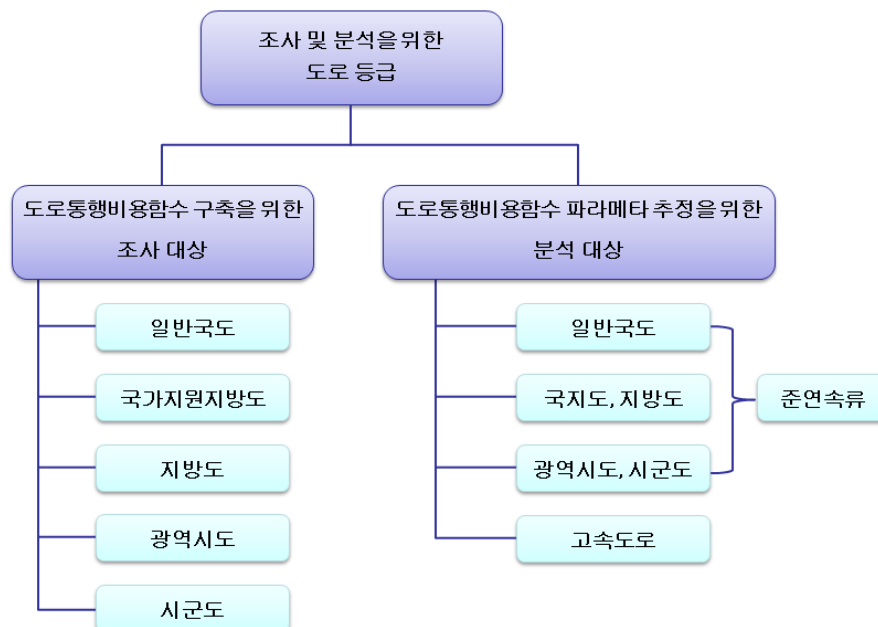
- 기중점통행량(O/D)은 각종 교통계획의 효과적인 수립, 시행, 평가를 위해 필수적으로 요구되는 기초자료로서, 교통시설 투자의 타당성 평가 및 교통영향분석을 위한 교통수요 예측의 신뢰성 증대가 요구되고 있음
 - 교통수요 예측의 신뢰성 지표는 O/D, 교통 네트워크, 통행비용함수(VDF, volume-delay function) 등의 요소를 이용한 교통수요모형의 배정교통량과 실제 관측 교통량간 비교검증을 통하여 평가되므로, 교통수요 예측의 신뢰성을 증대하기 위해서는 O/D 구축과정에서의 오차를 해소함과 동시에, 현실을 제대로 묘사할 수 있는 교통 네트워크 및 통행비용함수의 구축이 요구됨
- 통행비용함수(Volume-delay Function : VDF)는 용량 대비 교통량 수준에 따른 링크 통행시간을 산출하기 위한 것으로, 교통수요모형의 통행배정에 직접적인 영향을 미치고 교통수요 예측의 신뢰성 증대를 위해 매우 중요한 요소임
 - 교통량이 증가함에 따라 통행저항, 즉 통행밀도나 통행시간(통행비용)이 증가하게 되는데, 이러한 교통량 수준과 통행비용과의 관계를 나타내는 것이 통행비용함수(VDF)로 정의됨
- 현재 교통수요 예측시 전국 지역간 네트워크에 적용되는 통행비용함수의 경우, 고속도로는 검지기 교통자료(양방향 4차로 : 호남·중부고속도로, 양방향 6,8차선 : 경부고속도로)를 기반으로 1997년 한국도로공사에 의해 구축·제공된 바 있으나, 도로여건의 변화 및 환경변화 등을 고려하여 현 시점에서 새로이 구축될 필요가 있음
- 일반국도, 지방도 등 고속도로를 제외한 기타 도로는 1964년 미국 공로국(BPR)에서 제시한 파라메타($\alpha:0.15$, $\beta:4$)를 적용하고 있으며, 실제 교통량 및 통행속도 조사를 통하여 국내 여건에 맞도록 통행비용함수가 구축된 사례가 전무함

- 통행비용함수에 적용되는 여러 가지 요소들, 즉 최고속도, 도로용량, 일전환계수 등에 대한 개선방안을 도출하여 교통수요 예측의 신뢰성을 증대할 필요성이 있음
- 교통수요 예측의 신뢰성 증대방안의 일환으로, 도로 유형별 실제 교통량 및 속도조사를 통하여 통행비용함수(VDF)을 재 정립할 필요가 있음
- 또한, 철도 통행비용함수에 대한 기초연구가 미비한 관계로 철도수요 예측시 신뢰성이 저하됨에 따라 본 과업에서 철도배정에 관한 문제점과 개선방안도 정립할 필요가 있음

제2절 과업의 범위

1. 공간적 범위

- 본 과업의 공간적 범위는 전국을 대상으로 설정함
 - 조사시에 일반국도, 국가지원지방도, 지방도, 광역시도, 시군도 준연속류에 대해서 조사를 실시하고, 파라메타는 고속도로인 연속류와 준연속류를 대상으로 추정함
 - 철도는 전국 철도망(고속철도 및 일반철도, 도시철도)을 대상으로 추정 및 검증을 실시함



<그림 1-1> 조사 및 분석을 위한 도로등급

2. 시간적 범위

- 과업 기준년도 : 2008년
- 교통량 및 속도 조사기간 : 2008년 12월 1주 ~ 2009년 1월 5주
- VDF 파라메타 추정 및 구축 연구기간 : 2009년 2월 1주 ~ 2009년 3월 4주

3. 내용적 범위

- 본 과업은 크게 ‘도로 통행비용함수 구축을 위한 조사’와 ‘도로 통행비용함수 구축을 위한 연구’의 2 단계로 구분되고, 추가로 철도 통행비용함수의 기초연구가 포함됨
- ‘도로 통행비용함수 구축을 위한 조사’ 단계에서는 교통량·속도·기하구조 조사가 포함되어 있고, ‘도로 통행비용함수 구축을 위한 연구’ 단계에서는 조사된 자료를 통한 파라메타 추정 및 검증이 수행됨

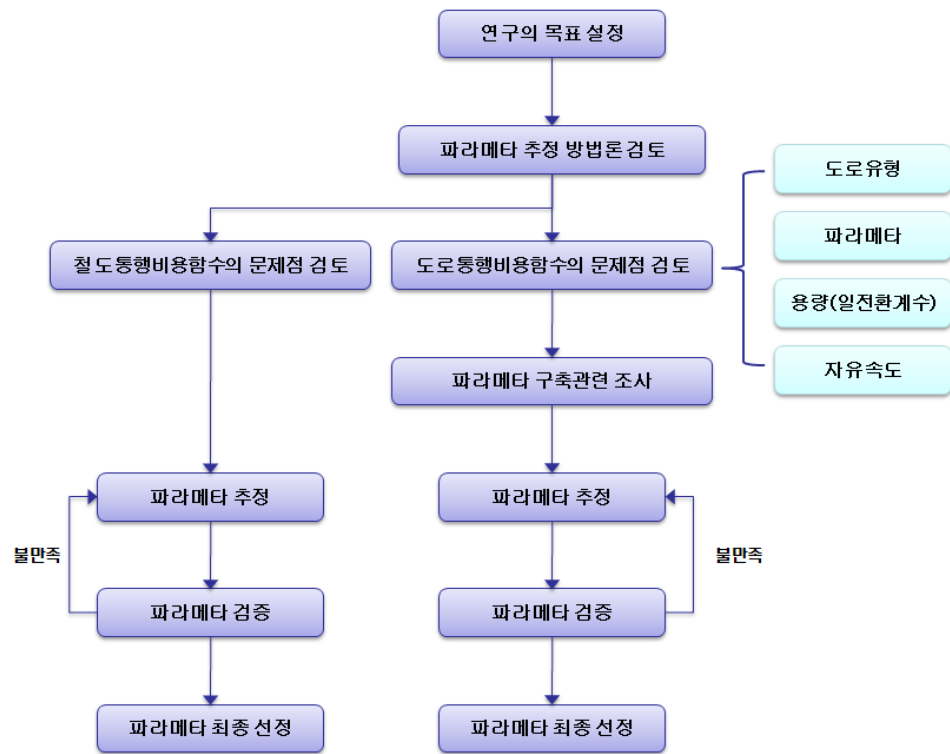
<표 1-1> 통행비용함수 구축을 위한 조사 및 연구의 내용적 범위

구 분			세부내용
도로 통행비용함수 구축을 위한 조사	조 사 준 비 및 실 시	조 준 비	·조사항목 설계 ·현장답사를 통한 조사지점 확정 ·조사지점별 인원 및 장비계획 ·피조사원 선정계획 및 피조사원 교육계획, 조사 관리원 투입계획 ·피조사원의 안전 및 휴식계획
		조 사 실 시	·사전조사 실시(교통량 및 속도, 기하구조 조사) ^{주1)} ·현장조사 실시(기하구조 조사) ^{주2)} ·본조사 실시(교통량 및 속도조사) ^{주3)} ·보완조사 실시(교통량 및 속도조사)
	조사자료의 결과분석	조 사 자 료 검 수	·현장에서 수집된 조사 자료에 대한 검수
		조 사 자 료 분 석	·현장에서 수집된 조사 자료의 기초분석(준연속류) ·관련기관에서 수집한 VDS 및 AVC 자료의 기초분석(연속류)
도로 통행비용함수 구축을 위한 연구	파라메타 추정 및 검증	파라메타 추 정	·파라메타 추정방법론을 통한 도로등급별 파라메타 추정 - 추정대상 : 연속류(고속도로) 및 준연속류
		파라메타 검 증	·추정된 파라메타를 이용하여 도로 통행비용함수의 검증 - 자유속도, 도로용량 등 고려
철도 통행비용함수 구축을 위한 연구	비용함수 추정 및 검증	비 용 함 수 추 정	·비용함수 추정방법론을 통한 파라메타 추정
		비 용 함 수 검 증	·추정된 비용함수를 이용하여 철도 통행비용함수의 검증 - 요금에 대한 가중치 등 고려

주: 1) 사전조사 : 통행속도 조사방법론(구간속도조사 or 지점속도조사 등) 결정

2) 현장조사 : 현장조사를 통하여 전국 단위의 조사지점 확정

3) 본조사 : 결정된 통행속도 조사방법론과 영상촬영을 통해 교통량 및 속도조사 실시



<그림 1-2> 과업의 흐름도

제2장 국내·외 선행연구 검토

제1절 국외 선행연구

제2절 국내 선행연구

제2장 국내·외 선행연구 검토

제1절 국외 선행연구

1. 수리함수(Mathematical function approach)

가. Irwin, Dodd와 Von Cube의 식

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

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

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

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 발전됨

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

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

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

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 없는 단점이 있음

나. Smock 식

- Smock(1962)는 DATS(Detroit Area Transportation Study)에 사용하기 위해 다음과 같은 지수형식을 개발함

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

$$T \leq 5 T_0$$

여기서, T : 교통량이 Q 일 때 통행시간

T_0 : 교통량이 없을때의 통행시간

Q : 교통량 또는 통행수요

C : 용량

- 1961년 Smulick은 위 함수를 유도할 수 있도록 실험과 수학적 논리를 제공하였으며, Smock은 각 링크의 용량을 추정하는 위해 링크의 종점에 있는 교차로의 용량을 평균하여 산출함
- Smock은 관측치와 비교하여 이 함수의 적합성을 제시하지 않았으며 Michigan의 Flint시 조사에서 이 함수를 적용한 결과 전량 배정기법보다 반복 배정기법 적용시에 용량이 초과하여 배정되는 통행량이 상당히 적다고 제시하고 있음

다. Mosher식

- Mosher(1963)는 다음과 같은 log함수를 제안함

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

단, $Q \leq \alpha$

Hyperbolic 용량함수는

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

단, $Q \leq \alpha$ 로 정의 되었음

라. BPR식

- 현재 가장 많이 사용되는 VDF 함수로 미국의 공로국(BPR : Bureau of Public Roads)에서 1964년에 개발하였으며, 함수식은 다음과 같음

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

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

- 파라메타 α, β 값은 통상 0.15, 4를 적용

마. 영국 교통부 식

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

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

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

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

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

바. Soltman 식

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

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

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

사. Overgaard 식

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

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

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

아. TRC 식

- 1966년 TRC(Traffic Research Corporation)는 다음과 같은 함수식을 제안하여 캐나다 Winnipeg지역에서 사용함

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

자. Dafermos 식

- Dafermos(1967)는 다음과 같은 함수식을 제안함

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

단, $\alpha_a, \beta_a > 0$, $0 \leq U_a \leq 1$, Z_a : a 구간에서 용량 증가분, $B_a(\cdot)$: 함수

차. Steenbrink 식

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

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

- BPR식에 비해 Steenbrink식은 용량으로서 측정 가능한 단일 수치를 사용한다는 장점이 있음

카. Conical 함수

- Spicess & Heinz(1989)가 제안한 모형으로서, BPR 통행비용함수의 급격히 증가하는 곡선의 형태에 대한 문제점을 보완함

$$f(x) = 2 + \sqrt{\alpha^2(1-x)^2 + \beta^2} - \alpha(1-x) - \beta$$

여기서, $f(x)$: 교통량에 의해서 변화된 통행시간, v : 교통량, c : 용량

$$\beta = \frac{2\alpha-1}{2\alpha-2}, \quad x = \frac{v}{c}, \quad \alpha \text{는 } 1 \text{보다 큰 상수}$$

- 통행배정단계에서 수렴속도 향상을 위해 개발되었으며, $V/C > 1$ 인 구간에서 선형의 형태로 통행시간이 증가됨
- 교차로에서의 생기는 지체를 별도로 표현할 수 없다는 단점이 있음

2. 이론적 함수(Theoretical function approach)

가. Campbell, Keefer와 Adams 식

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

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

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

여기서, T : 교통량이 Q 일 때 통행시간

T_0 : 교통량이 없을 때의 통행시간

α : 포화 교통류(Saturation flow)

Q : 교통량

C : 교통용량

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

나. Davidson 식

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

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

여기서, T_0 : 교통량이 없을 때의 통행시간

S : 포화 교통량

Q : 통행량

J : ≥ 0 인 지연 매개상수

- J 는 링크유형과 링크의 환경에 의하여 결정되며, 링크교통량이 용량을 초과하는 경우 이를 반영하지 못하는 단점을 가지고 있기 때문에 이를 추정하기 위해서는 최소 자승법 등 통계적인 처리가 필요함
- 1977년에 Daganzo, 1981년에 Boyce, Janson, Eash 등의 여러 연구에 적용됨

다. Akcelik식

- 신호분석상의 지체식에 Dacison 함수를 비교하여 새로운 링크 효용함수를 개발하였음
- Davidson함수식의 확장되어 표현된 식임

$$t_a(v_a) = t_{fa} + 0.25 \cdot T \left[Z_a + \sqrt{Z_a^2 + 8J_a \cdot \frac{x_a}{c_a \cdot T}} \right]$$

여기서, t_{fa} : 자유교통류의 통행시간, T : 분석시간

J_a : 자연매개변수(지체파라메타로 링크유형과 링크의 환경에 의해 결정)

$Z_a = X_a - 1$, X_a : 포화유율(V_a / C_a)

V_a : 교통량, C_a : 용량

<표 2-1> Akcelik함수식의 등급별 지체변수의 기타 변수

도로등급	용량	자유류 속도	J_a	tc/to
Freeway	2,000	75	0.1	1.587
Arterial(uninterrupted)	1,800	62	0.2	1.754
Arterial(interrupted)	1,200	50	0.4	2.041
Secondary(interrupted)	900	37	0.8	2.272
Secondary(high friction)	600	25	1.6	2.439

자료: Rupinder Singh, Improved Speed-Flow Relationships: Application to Transportation Planning Models 7th TRB Conference on Application of Transportation Planning Methods, 1999.3.

라. Wardrop 식

- Wardrop은 도로망의 전체 통행속도와 교통량과의 관계를 표시하는 지체함수를 개발함

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

여기서, D : 도로연장, $\alpha, \beta > 0$, $\gamma < 1/C$

- Wardrop은 신호 교차로에서의 대기시간과 신호 교차로간의 통행시간을 차량 연동식 또는 고정식 신호 두 가지에 대하여 평균 지체와 교통량 관계를 개략적인 식으로 유도함으로써 산출함

- 평균 지체의 역수와 교통량의 관계는 대기행렬과 통행시간에 대하여 대체로 선형 관계임을 증명함

마. Florian and Nguyen(1976)

- 도로의 특성인 링크길이, 차로수와 더불어 기하구조에 따른 곡선반경 및 편구배 등에 따른 요소를 반영시킨 함수식임

$$t_a = d_a \left[\delta + \alpha \left(\frac{v_a}{l_a} - \gamma \right) + \sqrt{\alpha^2 \left(\frac{v_a}{l_a} - \gamma \right)^2 + \beta} \right]$$

여기서, d_a 는 링크 a 의 길이, l_a 는 차로수, $\alpha, \beta, \gamma, \delta$ 는 곡선에 따라 변하는 상수값

제2절 국내 선행연구

1. 관련 논문 검토

가. 이의은¹⁾의 연구

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

나. 최기주²⁾의 연구

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

다. 서선덕³⁾의 연구

- 서선덕(1990)은 처음으로 우리나라 전국 도로망에서 BPR 지체함수의 파라메타를 산출함
- 25개 존, 212개 노드, 706개 링크로 구성된 전국적인 교통망의 O-D표를 사용하여 Bi-level Programming 모형을 통하여 BPR 지체함수의 파라메타를 도출함
- 계산의 초기값은 서비스수준 C, D, E에서의 용량에 대하여 BPR식의 $\alpha=0.15$, $\beta=4$, Steenbrink식의 $\alpha=2.62$, $\beta=5$ 를 사용함

1) 이의은, 링크체증함수 및 일반화 비용함수의 적용에 관한 고찰, 서울대학교 대학원 석사학위 논문, 1986

2) 최기주, 용량저항함수의 비교분석 및 그 적용방안에 관한 연구, 서울대학교 대학원 석사학위 논문, 1986

3) 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

- 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 제시함

<표 2-2> BPR식의 파라메타 (서선덕, 1990)

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. 주정열⁴⁾의 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 파라메타를 검증함
- 지역간은 전국을 67개 존으로 구성된 O-D를 사용하였으며, 도시내는 부산시의 58개 존간 O-D를 사용함
- 이 연구에서는 BPR식이 전반적으로 모든 차로에서 통행행태를 잘 묘사하고 Davidson 식은 도시부 3차로 도로의 통행행태를 잘 나타내는 것으로 분석하고 있으며, 도로에 따라 <표 2-3>과 같은 파라메타 값을 제시함
- 또한, 이 파라메타 값을 통하여 차량 통행의 내부적 상충이 가장 심한 곳은 도시부의 2차로 도로이며 차량지체에 가장 민감한 곳은 3차로 도로라고 지적함

<표 2-3> 도로용량함수의 파라메타 (주정열, 1993)

함수식	파라메타	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

4) 주정열, 통행배정모형의 도로용량함수 비교 및 적용에 관한 연구, 서울대학교 대학원 석사학위 논문, 1993

마. 장덕형⁵⁾의 연구

- 장덕형(1993)은 1971년부터 1991년까지 21년 간의 고속도로 O-D자료를 사용하여 고속도로 통행의 지체함수 산출을 시도함
- 1992년 우리나라에서 제정된 도로용량편람에 근거하여 도로용량을 산출하고, 고속도로에서 관측된 속도 등의 자료를 활용하여 BPR식의 파라메타를 검증하였는데 서비스 수준에 따라 산출된 파라메타 값은 <표 2-4>와 같음

<표 2-4> BPR식의 파라메타 (장덕형, 1993)

초기값 범위	기준용량	산출결과
$0 < \alpha \leq 1$ $0 < \beta \leq 10$	LOS C	$\alpha=0.17, \beta=1.5$
	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 제시함
 - $T = T_0 \{1 + 0.58(V/C)^{2.4}\}$ 에서 $V/C=1$ 이므로 $T=1.58T_0$ 가 되는데 교통량이 서비스 수준 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
 - 장덕형이 제시한 파라메타로 산정한 자유교통류 속도의 0.63배는 앞의 이론 속도 1/2에 비해 26% 정도의 속도 향상이 있음을 의미함
 - 한국관 도로용량편람(KHCM) 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 이의은의 교통류 특성 연구 결과와도 일맥상통한다고 할 수 있음

5) 장덕형, 고속도로 통행의 지체함수와 통행저항 파라미터의 민감도 분석에 관한 연구, 서울대학교 대학원 박사학위 논문, 1993

바. 강호익⁶⁾의 연구

- 강호익(1996)은 고속도로 교통관리시스템의 차량검지시스템에서 수집된 자료와 전국 국도에 설치된 상시교통량 조사장비에서 수집된 자료를 이용하여 BPR식의 파라메타를 정산하였으며 그 결과는 <표 2-5>와 같음

<표 2-5> BPR식의 파라메타 (강호익, 1996)

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. 김병기⁷⁾의 연구

- 김병기(2002)는 전국의 국도상에 설치·운영중인 상시교통량 조사지점의 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 파라메타를 추정하였으며 결과는 다음과 같음
 - 첫째, 추정모형의 패턴이 기존에 알려진 통행지체함수와는 다소 다른 양상을 보이고 있음을 제시하였는데 이러한 결과는 국도 I, 4차로 도로상에서 교통량 증가에 따른 속도 변화가 $V/C=1.0$ 까지 거의 일정한 기울기로 감소를 보이고 있기 때문인 것으로 분석함
 - 둘째, 추정 모형의 대표치 함수 파라메타 값을 적용하여 통행시간을 추정해 보면 V/C 가 아주 낮은 경우에 BPR 모형의 추정 통행시간이 다소 낮은 값을 보이나 V/C 가 증가하면서 통행시간의 차이는 거의 없는 것으로 나타남
 - 셋째, 추정 모형의 적합도 검정에서 실측 통행시간과 모형별 추정 통행시간으로 등가계수를 산출한 결과 3가지 모형 모두 실측 통행시간에 대해 약 97%의 적합도를 가지고 있는 것으로 나타남

6) 강호익, 도로유형별 지체함수 정립과 교통배정에 미치는 영향분석, 서울대학교 대학원 박사학위 논문, 1996

7) 김병기, 국도기능별 통행저항함수 추정에 관한 연구, 한양대학교 환경대학원 석사학위 논문, 2002

아. 임용택⁸⁾의 연구

- 임용택(2007)은 고속도로와 일반국도를 대상으로 국가교통DB(이하 KTDB)를 이용하여 통행배정된 배정교통량과 건설교통부의 도로교통량통계연보(2006)상 관측교통량과의 차이를 최소화시키는 방법으로 파라메타를 추정하였고, 분석과정중 일반국도의 용량을 재검토하여 3차로이상의 도로용량을 1,000pcupl에서 1,200pcupl으로 수정하여 분석함
- 추정방법은 전구간을 탐색하는 열거법에 황금분할법(golden section method)을 결합시켜 효율적으로 해를 찾는 방법이며, 소요시간이 많이 걸린다는 점증적 추정법의 단점을 보완함
- 사용중인 VDF 파라메타와 비교할 때, 고속도로는 전 차로의 α , β 값은 크게 추정되었으나, 2차로의 β 값만 작게 추정되었으며, 국도는 이와 반대로 전 차로의 β 값은 작게 추정되었음. 수정된 파라메타를 검증한 결과, 대체로 현 VDF 파라메타를 사용한 결과 보다는 현실 재현력이 개선된 것으로 나타남

<표 2-6> BPR식의 파라메타 (임용택, 2007)

도로등급	자유속도 (Km/h)	용량/차로 (pcupl)	파라메타	
			α	β
고속도로(1차로)	80	1,600	3.931	5.316
고속도로(2차로)	117	2,200	1.459	1.943
고속도로(3차로이상)	119	2,200	3.210	5.936
일반국도(1차로)	70	750	1.896	3.894
일반국도(2차로)	80	1,000	0.430	3.566
일반국도(3차로 이상)	90	1,200	0.653	3.232

2. 기존 국내연구의 시사점

- 기존 국내연구들의 분석방법은 크게 회귀분석과 수리모형으로 정리할 수 있으며 <표 2-7>과 같음
 - α 값의 경우, 수리모형으로 구한 값이 회귀분석으로 구한 값보다 크고, β 값은 유사한 값으로 나타남
- 사용된 자료와 분석시점들이 상이하여 각 연구결과를 직접적으로 비교하기는 곤란하나 <그림 2-1>에서 보듯이 고속도로의 경우, α 는 0.5~2.0사이의 값을 갖고 있으며, β 는

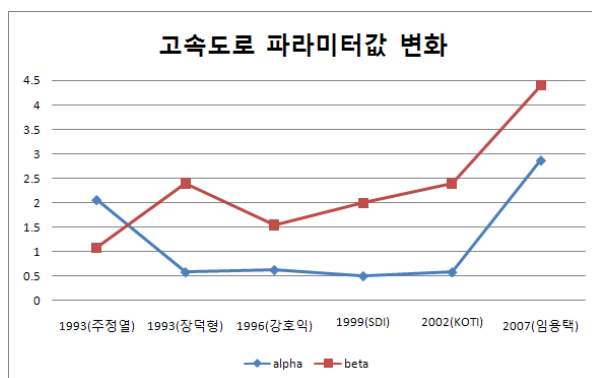
8) 임용택, 도로 통행지체함수의 파라미터 추정 및 검증, 대한교통학회지 제26권 제3호, 2008

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 범위내의 값을 가짐

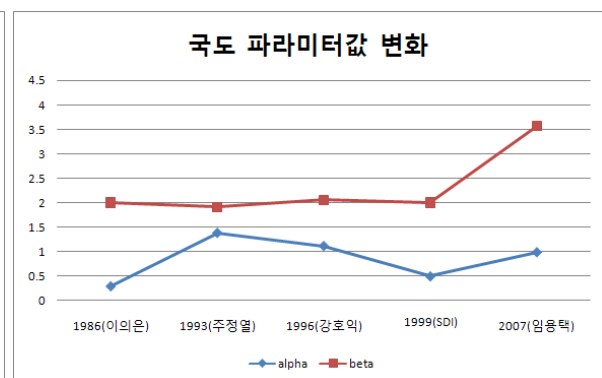
- 시계열에 따른 변화추이를 보면, 비록 뚜렷한 양상은 보이지 않으나, 최근 들어 α 와 β 값이 작아지는 경향을 보임. 이는 교통량 증가에 따른 속도 변화의 민감도가 작아지는 경향을 보여주는 결과라 해석할 수 있음

<표 2-7> 국내 기존연구

방 법 론	도로구분	α	β	비 고
회귀분석	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	25.06	-	김병기(2002)
	지수모형	0.43	-	김병기(2002)
수리모형	전 국	2.72	6	서선덕(1990)
	전 국	2.04	1.99	주정열(1993)
	고속도로	2.06	1.09	주정열(1993)
	국 도	1.38	1.91	주정열(1993)
	고속도로(2차로)	3.931	5.316	임용택(2008)
	고속도로(4차로)	1.459	1.943	임용택(2008)
	고속도로(6차로이상)	3.210	5.936	임용택(2008)
	일반국도(2차로)	1.896	3.894	임용택(2008)
	일반국도(4차로)	0.430	3.566	임용택(2008)
	일반국도(6차로 이상)	0.653	3.232	임용택(2008)



(a) 고속도로 파라메타



(b) 국도 파라메타

<그림 2-1> 기존연구의 파라메타 변화추이

3. 실제 적용사례 (지침 및 연구 등)

가. 전국 여객O/D의 VDF 함수 (KTDB)

- KTDB에서 제공하고 있는 전국 지역간 도로통행비용함수는 도로등급을 관리주체별로 구분하고, 도로등급별로 자유속도 및 용량과 VDF 파라메타 값을 제시하고 있음 (<표 2-8>참고)
- 유료도로에 대해서는 통행료와 시간가치를 반영하여 링크에 대하여 가중치를 부여함
- 고속도로 연결램프에는 고속도로 기본요금만 적용하여 가중치를 적용함
- 고속도로의 차로별 파라메타값은 「고속도로 Network Analysis 모형연구(Ⅱ), 한국도로공사(1997)」에 의거하여 정산된 값을 적용하였으며, 고속도로를 제외한 기타 도로들은 미국의 BPR함수식의 파라메타를 적용하고 있음

<표 2-8> 전국 기반의 도로 유형별 VDF 함수 파라메타값

도로위계(편도)	VDF	자유속도 (Km/h)	용량 (pcphpl)	BPR식		가중치
				α	β	
고속도로(1차로)	1	80	1,600	0.58	2.4	0.110
고속도로(2차로)	2	117	2,200	0.645	2.047	0.220
고속도로(3차로이상)	3	119	2,200	0.601	2.378	0.264
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	-
광역시도, 시군도(1차로)	10	40	4,000	일용량	4	-
광역시도, 시군도(2차로)	11	40	4,000	일용량	4	-
광역시도, 시군도(3차로이상)	12	40	4,000	일용량	4	-
센트로이드 커넥터	13	20	99,999	-	-	-
도시고속화도로(3차로이상)	14	90	2,200	0.58	2.4	-
도시고속화도로(2차로이하)	15	90	2,000	0.15	4	-
고속도로 연결램프	16	50	1,600	0.15	4	-
고속도로 Tollgate	17	50	1,600	0.15	4	2.34

자료: 한국교통연구원 『2006년 국가교통DB구축사업 최종보고서』(2007.4)

나. 수도권 O/D의 VDF 함수 (SDI)

- 2004년 서울시정개발연구원은 수도권 통행배정을 위해 연속류인 경우는 BPR 함수식을 이용하였으며, 도시부 단속류는 Conical 함수식을 사용함
 - 용량은 전국지역간처럼 위계에 따른 표준값을 사용하지 않고, 링크별로 개별 조사된 값을 사용함
- 1996년 서울시 교통센서스자료를 기초로 통행배정모형에 사용되는 통행비용함수(BPR 함수)의 파라메타를 추정함
 - 초기 파라메타(α, β)=(0.1,1)를 시작으로 (1.0, 9)가 될 때까지 (0.1, 1)씩 점진적으로 증가시켜 최적 파라메타를 찾는 과정으로 이루어짐. 따라서 조합수는 90개임
 - 링크당 교차로 지체를 고려하기 위하여 추가로 33초(1/180)를 반영함

<표 2-9> 수도권 자료의 도로 유형별 VDF 함수 파라메타 값과 차로 용량(2004년)

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		$\frac{(\text{lenth}/60 + 1/180) \times 60 \times}{[2 + \sqrt{1.1 \times (1 - \frac{v}{c})^2 + 6^2} - 1.1 \times (1 - \frac{v}{c}) - 6]}$
보조간선도로		$\frac{(\text{lenth}/50 + 1/180) \times 60 \times}{[2 + \sqrt{1.25 \times (1 - \frac{v}{c})^2 + 3^2} - 1.25 \times (1 - \frac{v}{c}) - 3]}$
일반도로		$\frac{(\text{lenth}/50 + 1/180) \times 60 \times}{[2 + \sqrt{1.3^2 \times (1 - \frac{v}{c})^2 + 2.67^2} - 1.3 \times (1 - \frac{v}{c}) - 2.67]}$
국 도		$\frac{(\text{lenth}/70 + 1/180) \times 60 \times}{[2 + \sqrt{1.05^2 \times (1 - \frac{v}{c})^2 + 11^2} - 1.05 \times (1 - \frac{v}{c}) - 11]}$
지방도		$\frac{(\text{lenth}/50 + 1/180) \times 60 \times}{[2 + \sqrt{1.3^2 \times (1 - \frac{v}{c})^2 + 2.67^2} - 1.3 \times (1 - \frac{v}{c}) - 2.67]}$
시군도		$\frac{(\text{lenth}/50 + 1/180) \times 60 \times}{[2 + \sqrt{1.3^2 \times (1 - \frac{v}{c})^2 + 2.67^2} - 1.3 \times (1 - \frac{v}{c}) - 2.67]}$
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

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

다. 5대 광역권O/D의 VDF 함수 (KTDB)

- 도로위계는 기본적으로 전국지역간 도로통행비용함수와 동일하고, 광역시 내부의 위계를 추가시켜 총 26개로 구분하였음
- 광역시 내부인 단속류에는 수도권과 동일하게 지체시간 33초를 추가로 반영함

<표 2-10> 5대 광역시 자료의 도로 유형별 VDF 함수 내역

도로위계(편도)		VDF	자유속도 (Km/h)	용량 (pcu)	BPR식	
					α	β
광역시 내 부	일반국도(1차로)	18	60	750	0.15	4
	일반국도(2차로)	19	60	1,000	0.15	4
	일반국도(3차로이상)	20	60	1,000	0.15	4
	지방도, 국지도(1차로)	21	60	750	0.15	4
	지방도, 국지도(2차로)	22	60	1,000	0.15	4
	지방도, 국지도(3차로이상)	23	60	1,000	0.15	4
	광역 시도(1차로)	24	40	200	0.15	4
	광역 시도(2차로)	25	40	200	0.15	4
	광역 시도(3차로이상)	26	40	200	0.15	4

주: 한국교통연구원, 『2007년 국가교통DB구축사업 최종보고서』

제3장 도로통행비용함수 구축을 위한 교통조사

제1절 도로관련 법규 검토

제2절 기존 통행비용함수(VDF)의 문제점
및 개선방향

제3절 조사내용 및 방법

제3장 도로통행비용함수 구축을 위한 교통조사

제1절 도로관련 법규 검토

1. 개 요

- KTDB의 전국 지역간 기종점통행량(O/D)에서 적용하는 도로통행비용함수는 도로 위계를 고속도로, 일반국도, 지방도·국가지방지원도, 광역시도·시군도, 도시고속화도로로 제시하고 있는데, 신호에 대한 영향에 대해서는 고려하지 않고 있음
- 수도권O/D는 고속도로, 도시고속도로, 내부순환로, 간선도로, 보조간선도로, 일반도로, 일반국도, 지방도, 시군도 등으로 분류하고 있으며, 신호교차로가 존재하는 단속류는 신호교차로 대기시간을 add-term으로 처리하여 반영하고 있음
- 전국 지역간 O/D 분석시 신호에 대한 영향을 반영하기 위해 연속류와 단속류로 구분하자는 의견과 거시적으로 분류된 도로등급을 지역적 환경을 고려하여 보다 세분화하자는 의견이 제기되고 있음
- 도로 분류 및 개념 정립을 통하여 도로유형을 재분류하기 위하여 법률적인 의미에서 도로와 관련된 법률 및 시행규칙, 지침 등을 검토함

<표 3-1> 국내의 도로와 관련된 관계법규

법 규	목 적
도로법 (전부개정, 2008.03.21, 법률 제8976호)	도로망의 정비와 적정한 도로관리를 위하여 도로에 관한 계획을 수립하고 노선을 지정하거나 인정하는 데에 필요한 사항과 도로의 관리·시설기준·보전 및 비용에 관한 사항을 규정하여 교통의 발달과 공공복리의 향상에 기여하는 것을 목적
도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙 (일부개정, 2008.03.14,부령 제4호)	도로법 제39조의 규정에 의하여 도로를 신설하거나 개량하는 경우 그 도로의 구조 및 시설에 적용되는 최소한의 기준을 규정함을 목적
도시계획 시설의 결정·구조 및 설치기준에 관한 규칙 (일부개정, 2008.04.16, 부령 제6호)	「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 목적
국도의 노선계획·설계지침	국도의 노선을 계획함에 있어 국도가 적정한 간선기능을 갖도록 노선선정 기준과 그에 따른 도로의 기하 구조, 교차형식 등 세부 시설기준에 관한 사항을 정함을 목적

2. 법령에 의한 도로 분류 및 개념 정립

가. “도로법”상의 분류 (법률)

- 도로법상에 우리나라의 도로는 관리주체에 따라 고속국도, 일반국도, 특별시도(特別市道)·광역시도(廣域市道), 지방도, 시도(市道), 군도(郡道), 구도(區道) 등 7등급으로 구분하고 있음

<표 3-2> 도로법에 의한 도로 분류

도로구분	기능 및 노선지정 요건	도로 관리
고속국도	·자동차 교통망의 중추부문을 이루는 주요도로로 중요한 도시를 연결하는 자동차전용 고속교통도로	국토해양부장관
일반국도	·중요 도시, 지정항만, 중요 비행장, 국가산업단지 또는 관광지 등을 연결하며 고속국도와 함께 국가 기간도로망을 이루는 도로 ·대통령령으로 지정된 도로(노선번호, 노선명, 기점, 종점, 중요경과지, 그 밖의 필요한 사항 결정)	국토해양부장관
특별시도, 광역시도	·특별시 또는 광역시 구역에 있는 도로로서, - 자동차 전용도로 - 간선 또는 보조간선 기능 등을 수행하는 도로 - 도시의 주요 지역 간이나 인근 도시와 주요 지방 간을 연결하는 도로 - 이외에 도시의 기능 유지를 위하여 특히 중요한 도로 ·특별시장 또는 광역시장에 인정한 도로	도지사·및 특별자치도지사 (특별시와 광역시에 있는 구간은 해당 시장)
지방도	·지방의 간선도로망을 이루는 다음 사항의 어느 하나에 해당하는 도로 - 도청 소재지에서 시청 또는 군청 소재지에 이르는 도로 - 시청 또는 군청 소재지를 서로 연결하는 도로 - 도(道) 또는 특별자치도에 있는 비행장·항만·역 또는 이들과 밀접한 관계가 있는 비행장·항만·역을 서로 연결하는 도로 - 도 또는 특별자치도에 있는 비행장·항만 또는 역에서 이들과 밀접한 관계가 있는 고속국도·국도 또는 지방도를 연결하는 도로 - 제1호부터 제4호까지의 규정에 따른 도로 외의 도로로서 지방의 개발을 위하여 특히 중요한 도로 ·관할 도지사 또는 특별자치도지사가 인정한 도로	도지사 (시구역 : 시장)
시도	·시 또는 행정시에 있는 도로 ·관할 시장(행정시의 경우에는 특별자치도지사를 말한다)이 인정한 도로	시 장
군도	·도는 군(郡)에 있는 다음 사항의 어느 하나에 해당하는 도로 - 군청 소재지에서 읍사무소 또는 면사무소 소재지에 이르는 도로 - 읍사무소 또는 면사무소 소재지 상호 간을 연결하는 도로 - 이 외에 군의 개발을 위하여 특히 중요한 도로 ·관할 군수가 인정한 도로	군 수
구도	·특별시나 광역시 구역에 있는 도로 중 특별시도와 광역시도를 제외한 구(자치구) 안에서 동(洞) 사이를 연결하는 도로 ·관할 구청장이 인정한 도로	구 청 장

※ 특별시·광역시·특별자치도 또는 시가 관할하는 구역의 상급도로(고속국도, 읍·면 지역의 국도 및 지방도는 제외한다)는 특별시장·광역시장·특별자치도지사 또는 시장이 관리청이 됨

나. “고속국도법”에서의 정의 (법률)

- 고속국도 : 자동차교통망의 중축부분을 이루는 중요한 도시를 연락하는 자동차전용의 고속교통에 공하는 도로로서 제 3조의 규정에 의하여 노선이 지정된 것을 말함

다. “도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙”에 따른 분류 (시행규칙)

- 「도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙」에서는 도로를 고속도로와 일반도로로 구분하고, 소재지역인 지방지역과 도시지역 도로로 분류하여 제시함
- 고속도로 중 도시지역에 소재하는 고속도로는 도시고속도로로 하고, 지방지역에 소재하는 일반도로의 기능별 구분에 상응하는 도로법 제 11조의 규정에 의한 도로의 종류는 <표 3-3>과 같음

<표 3-3> 도로의 소재 지역에 따른 분류

도로의 구분	지방지역		도시지역	
고속도로	고속도로		도시고속도로	
일반도로	주간선도로	국도	주간선도로	광로, 대로
	보조간선도로	국도 또는 지방도	보조간선도로	대로, 중로
	집산도로	지방도 또는 군도	집산도로	중로
	국지도로	군도	국지도로	소로
구 분	기능별 분류	관할권에 의한 분류	기능별 분류	도시계획도로 분류기준

- “고속도로”는 도로법 제12조의 규정에 의한 고속국도와 자동차에 한하여 이용이 가능한 도로로서 중앙분리대에 의하여 양방향의 분리되고 입체교차를 원칙으로 하며 설계속도가 시속 80킬로미터 이상인 도로를 말함
- “일반도로”는 도로법에 의한 도로(고속도로를 제외한다)로서 그 기능에 따라 주간선도로, 보조간선도로, 집산도로 및 국지도도로로 구분되는 도로를 말하며, 소재지역에 따라 도로의 기능별 특성을 살펴보면, <표 3-4>와 같음

<표 3-4> 소재지역에 따른 도로의 기능별 특성

도로 구분	지방지역	도시지역
고속도로 (도시지역은 도시고속도로)	<ul style="list-style-type: none"> ·지방지역에서 존재하는 자동차 전용도로로서 대량의 교통을 가장 빠른 시간 내에 안전하고 효율적으로 이동시키기 위하여 출입제한의 기능을 갖추면서 가장 설계기준이 높게 규정 ·일반적으로 고속도로는 4차로 이상을 원칙으로 함 	<ul style="list-style-type: none"> ·도시의 평면적 가로망을 보강하여 장거리 교통을 짧은 시간에 많은 용량을 처리 ·도심과 부도심 및 대량 교통 유발시설 상호간을 연결 ·불필요한 도심의 통과교통을 우회처리하여 다핵화되는 대도시 기능을 유지 증진

<표 3-4> 소재지역에 따른 도로의 기능별 특성(계속)

도로 구분	지방지역	도시지역
주간선도로	<ul style="list-style-type: none"> ·전국 도로망의 주 골격을 형성하는 주요 도로 ·지역 상호간의 주요 도시를 연결하는 도로로서 주로 인구 5만명 이상의 도시를 연결하는 도로이거나 때로는 인구 2만 5천명 이상의 도시를 연결하는 도로도 일부 해당 ·지역간 이동의 골격을 형성하는 도로로서 통행길이가 비교적 길고 통행밀도도 비교적 높은 도로 ·지역 간의 통과교통을 위주로 하며 궁극적으로 4차로 이상의 도로확장이 요구되는 도로 ·도로법 제 13조의 일반국도의 대부분이 해당 	<ul style="list-style-type: none"> ·도시지역 도로망의 주 골격을 형성하는 주요 도로 ·도시 내의 주요경제, 사회, 문화, 유통, 업무시설 지점을 연계하며 다량의 교통량과 통행길이가 비교적 긴 통행을 흡수하며 도시내 광역 수송기능을 담당 ·지역 간 간선도로의 도시 내 통과역할을 담당함으로써 간선도로의 연속성이 지방지역과 도시지역에서 단절되지 않도록 하는 기능 ·주 간선도로에 대해서는 설계속도 80~60km/hr 정도, 평균 주행거리는 보통 3km이상이며 배치간격은 1.5~3km임
보 조 간선도로	<ul style="list-style-type: none"> ·지역도로망의 골격을 형성하는 주 간선도로에 연계되는 도로 ·주 간선도로를 보완하는 도로로 주 간선도로에 비해 비교적 통행거리가 짧고 광역 간선기능이 약한 도로 ·군 상호간의 주요 지점을 연결하는 도로로서 도로법 제 13조의 일반국도의 일부분과 도로법 제 15조의 지방도가 해당 	<ul style="list-style-type: none"> ·도시내 주 구와 주 간선간, 주 간선과 주 간선간 또는 주 구간을 연결하는 도로로서 도시교통의 집산기능을 하는 도로 ·보통 주구의 경계를 이루고 도시내 주요교통 유발시설 간을 연결하며 평균 주행거리 1~3km, 설계속도 60~50km/hr 정도임 ·대도시 주변의 다른 지방과 연결되는 도로 중 주 간선도로 이외의 도로, 계획인구 2만명 이하의 읍급 도시에서 다른 지방과 연결되는 도로
집산도로	<ul style="list-style-type: none"> ·지역 내의 통행을 담당하는 도로로서 광역기능을 갖지 않는 도로 ·군 상호간의 광역기능을 갖는 도로를 보완하는 도로로 군 내부의 주요지점을 연결하는 도로 ·군 내부의 주거단위에서 발생하는 교통을 흡수하며 간선도로에 연계시키거나 보조 간선도로에서 유입되는 교통을 주거단위로 배분하는 기능을 갖는 도로 ·도로법 제 15조의 지방도 일부와 제 17조의 군도 대부분이 해당 	<ul style="list-style-type: none"> ·주 간선과 보조 간선간 또는 보조 간선간의 도로로서 도시교통의 집산기능을 하는 도로 ·주 구내 간선도로로서의 기능을 담당하여 보조 간선도로와 구획도로간 또는 보조 간선도로간을 연결하고 주 구내의 주요근린시설과 연결되어 주 구내의 교통을 집산함. 상대적으로 간선도로에 비해 이동성보다는 접근성이 높음 ·주행거리는 500m~1km 정도이고, 설계속도는 40~50km/hr 정도임
국지도로	<ul style="list-style-type: none"> ·도로법 제 16조의 군도의 일부 및 농어촌 도로 등 기타도로가 해당되며 군 내의 주거단위에 접근하기 위해 제공된 도로 ·가장 통행거리도 짧고 기능상 최하위의 도로 	<ul style="list-style-type: none"> ·주 구내의 주거단위에 직접 접근되는 도로로서 이동성이 가장 낮고 접근성이 가장 높은 도로 ·통과교통을 배제하는 방향으로 설계 및 운영되며 버스통행이 없고 보행자 통행이 차량보다 우선권임 ·평균 주행거리는 500m이하이고, 설계속도는 30~40km/hr 정도임

라. “도시계획시설의 결정·구조 및 설치기준에 관한 규칙”에 따른 분류(시행규칙)

- 「도시계획시설의 결정·구조 및 설치기준에 관한 규칙」에서는 도로를 사용 및 형태별, 규모별, 기능별로 구분하고 있음
- 사용 및 형태별로는 일반도로, 자동차전용도로, 보행자전용도로, 자전거전용도로, 고가도로, 지하도로로 구분함
 - 일반도로 : 폭 4미터 이상의 도로로서 통상의 교통소통을 위하여 설치되는 도로
 - 자동차전용도로 : 특별시·광역시·시 또는 군(이하 "시·군"이라 한다)내 주요지역간이나 시·군 상호간에 발생하는 대량교통량을 처리하기 위한 도로로서 자동차만 통행할 수 있도록 하기 위하여 설치하는 도로
- 도로를 그 폭원에 따라 광로, 대로, 중로, 소로로 구분하고, 각각에 대한 폭원을 세부 분류에 의해 <표 3-5>와 같이 규정하고 있음

<표 3-5> 폭원에 따른 도로의 분류

노 형	세부 분류	폭 원(m)
광 로	1류	70 이상
	2류	50~70
	3류	40~50
대 로	1류	35~40
	2류	30~35
	3류	25~30
중 로	1류	20~25
	2류	15~20
	3류	12~15
소 로	1류	10~12
	2류	8~10
	3류	8 미만

- 도로의 기능에 따라서는 주간선도로, 보조간선도로, 집산도로, 국지도로, 특수대로로 분류하고 있음
 - 주간선도로 : 시·군내 주요지역을 연결하거나 시·군 상호간을 연결하여 대량통과교통을 처리하는 도로로서 시·군의 골격을 형성하는 도로
 - 보조간선도로 : 주간선도로를 집산도로 또는 주요 교통발생원과 연결하여 시·군 교통의 집산기능을 하는 도로로서 근린주거구역의 외곽을 형성하는 도로

- 집산도로(集散道路) : 근린주거구역의 교통을 보조간선도로에 연결하여 근린주거구역내 교통의 집산기능을 하는 도로로서 근린주거구역의 내부를 구획하는 도로
- 국지도로 : 가구(가구 : 도로로 둘러싸인 일단의 지역을 말함. 이하 같음)를 구획하는 도로
- 특수도로 : 보행자전용도로·자전거전용도로 등 자동차 외의 교통에 전용되는 도로

마. “국도의 노선계획·설계지침”에 따른 국도 분류 (지침)

- 국도의 신설 및 확장, 읍·면급우회도로, 국도대체우회도로 등 국도 건설에 대한 일반적인 설계에 적용하며, 「도로의 구조·시설기준에 관한 규칙」 등 다른 법령에 규정된 것을 제외하고는 이 지침이 정하는 바에 따라야 함
- 국도는 주 간선도로 및 보조 간선도로에 해당하며 고속국도를 제외한 도로법상 국도중 교통의 원활을 기하기 위하여 자동차 이외 사람, 자전거, 경운기 등이 통행할 수 없도록 도로관리청이 지정한 일정구간의 자동차전용도로와 국도대체우회도로, 읍면급우회도로 등이 있음
- 국도의 노선을 계획할 때에는 그 노선의 교통특성, 교통축과 도로의 역할, 기능을 우선 고려하고, 교통량에 따른 경제성 등을 검토하여 <표 3-6>과 같이 국도Ⅰ, 국도Ⅱ, 국도Ⅲ, 국도Ⅳ로 구분함

<표 3-6> 국도 구분에 따른 도로 기능

국도 구분	도로의 기능
국도 Ⅰ	·지역간 간선기능을 갖는 국도 ·자동차전용도로로 지정 되었거나 지정 예정인 국도
국도 Ⅱ	·지역간 간선기능을 갖고 있으며 국도Ⅰ에 해당되지 않는 국도 ·계획교통량이 25,000대 이상인 도로 또는 간선도로망 체계상 지역간 간선도로 기능 강화가 요구되는 국도
국도 Ⅲ	·지역간 간선기능이 약하여 국도Ⅰ과 국도Ⅱ를 보조하는 국도
국도 Ⅳ	·계획교통량이 적어 시설개량을 통해 계획목표연도에 2차로 운영으로 도로의 기능 및 용량을 확보할 수 있는 국도

바. “도로용량편람(KHCM)”에 따른 분류 (편람)

- 우리나라의 일반적인 도로 운영상태를 반영한 것으로, 1998년부터 2001년까지 3년간 우리나라 도로에서 관찰된 교통류의 특성에 대한 조사 분석 결과와 국내 및 선진국의 최신 이론과 경험을 반영함
- 연속류(고속국도 및 자동차전용도로 등)와 단속류(신호교차로, 도시 및 교외 간선도로 등)의 도로시설에 대한 기본적인 개념, 특성과 분석방법론을 제시하고 있음

<표 3-7> 도로 유형별 기능 및 특성

구 분	도로의 기능 및 특성
고속도로	·중앙분리대가 설치되어 있고, 한 방향 2차로 이상의 차로를 가진 최상급 도로 ·이 도로를 이용하는 차량은 반드시 연결로를 통해서만 본선으로 출입할 수 있는 완전 출입통제 방식을 취함
다차로도로	·고속도로와 함께 지역간 간선도로 기능을 담당하는 양방향 4차로 이상의 도로 ·고속도로와 도시 및 교외 간선도로의 도로 및 교통 특성을 함께 갖고 있으며, 확장 또는 신설된 일반국도가 주로 이에 해당 ·완전 출입 제한된 도로가 아니라는 점에서 자동차 전용도로와는 구별
2차로도로	·중앙선을 기준으로 하여 각 방향별로 한 차로씩 차량이 운행되는 도로
간선도로	·도시내외의 주요지점간을 연결하고, 대량 통과교통을 주로 처리하는 등 도로망의 주 골격을 형성하고 있는 도로를 의미 ·교차로에 교통신호등이 설치 되어 있으며, 신호교차로간의 거리는 3km 이내로서, 신호교차로간 평균거리는 300~500m, 동일기능 도로간의 간격은 500~1,000m, 차로수는 편도 2차로 이상인 도로
집산도로	·지구내의 교통을 주로 담당하며, 지구내의 주거지역까지 연계기능을 담당하고, 지구 내에서 국지도로를 통해 유출입되는 교통을 모으거나 분산시켜 간선도로와 연계하는 기능을 담당 ·간선도로에 비해 이동성보다 접근성이 높음
국지도로	·집산도로와 연결되어 지구 내의 주거단위에 직접 접근하는 도로 ·이동성이 가장 낮고 접근성이 가장 높은 도로로서 통과교통을 배제하고 버스 통행이 없으며 보행자 통행이 차량보다 우선권을 갖는 방향으로 설계 및 운영

3. 검토결과

- 현재 KTDB의 통행비용함수에 적용되는 도로유형 구분은 단지 도로 관리주체에 따른 도로유형을 적용하고 있어 실제 통행시간에 영향을 미치는 도로 기능적인 요소를 반영하지 못하고 있음
- 전국 여객O/D 분석시 통행비용함수 적용을 위한 도로유형은 신호교차로의 대기시간을 반영하기 위해 연속류와 단속류로 구분하자는 의견이 제기되고 있으며 제한속도, 용량 등의 관련 변수를 적용함에 있어서 지역적 특성을 반영하자는 의견이 제기됨
- 법규와 법령을 검토한 결과, 도로의 일반사항 및 개념만 제시되어 있을 뿐 도로유형 구분에 대한 명확한 근거(수치적으로 미제시)가 제시되어 있지 않음
- 본 과업에서는 전국 단위 도로의 통행비용함수를 구축하기 위하여 이용자 의견 및 지역적 환경 등을 고려하여 도로유형을 재분류할 필요가 있는 것으로 판단되며, 기존에 도로 관리주체에 따른 도로유형(고속도로, 일반국도, 지방도/국지도, 광역시도/시군도 등)을 실제 통행시간에 영향을 미치는 도로 기능(신호등 밀도, 차로수 등)에 근거하여 재분류하고자 함

제2절 기존 통행비용함수(VDF)의 문제점 및 개선방향

1. 통행비용함수(VDF)의 문제점

- 일반적으로 통행비용함수는 교통량 수준에 따른 링크 통행시간을 산출하기 위한 식으로, 통행시간에 영향을 미치는 주요 요소로는 도로유형, 통행비용함수 파라메타, 용량, 자유속도, 일전환계수 등이 있음
- 본 절에서는 도로통행비용함수에 영향을 주는 각 요소에 대해 기존 도로통행비용함수가 가지고 있는 한계점을 살펴보고 개선방안을 도출하는데 주안점이 있음

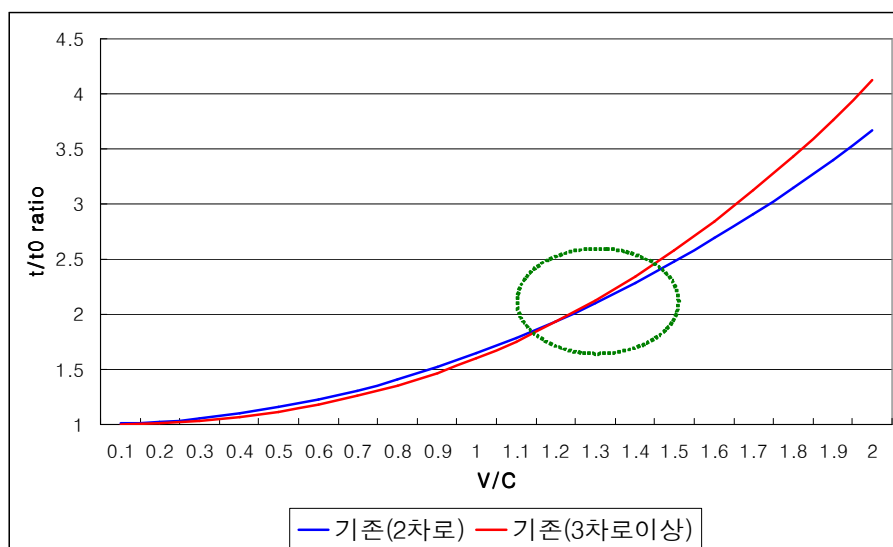
가. 도로유형 분류

- 기존의 통행비용함수 적용을 위한 도로유형은 고속국도, 일반국도, 지방도·국가지방지원도, 광역시도·시군도, 도시고속도로 등 관리주체 위주로 분류되어 해당 도로유형별 통행비용함수의 파라메타를 추정하여 상이한 값을 적용하고 있음
- 도로유형은 링크 통행시간에 영향을 미치는 요소인 신호교차로 존재 여부, 도로용량, 제한속도 등을 고려하여 공통성을 확보할 수 있도록 분류될 필요가 있으나, 도로관리주체에 기반한 기존의 도로유형은 다음과 같은 한계점이 있음
 - 연속류인 고속도로를 제외한 기타도로의 경우에는 일반국도, 지방도 등과 같이 도로관리주체에 의해 통행시간이 결정되기 보다는 도로구간내 신호교차로의 밀도(신호교차로 수 및 신호현시 등)에 따라 더 큰 영향을 받음
 - 즉, 신호교차로가 많을수록 차량당 평균대기시간이 커지기 때문에 링크 통행시간도 커지는 결과를 초래하므로 일반국도, 지방도에 따른 통행시간의 차이보다는 신호밀도에 의한 차이가 더욱 크다고 할 수 있음
- 따라서, 기존에 관리주체별로 분류된 도로유형을 신호교차로 밀도에 따른 도로기능별로 재분류하여 도로유형별 통행비용함수를 적용할 필요가 있음

나. 도로통행비용함수 파라메타

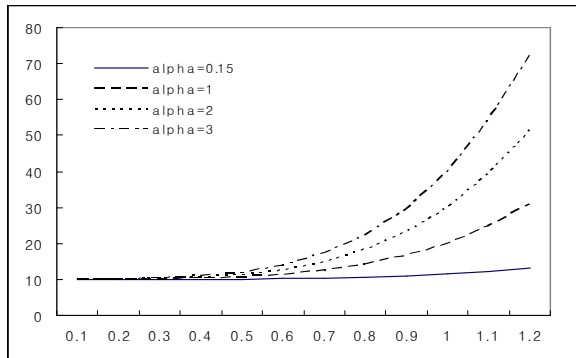
- 일반적으로 국내의 교통수요모형 및 타당성평가모형에서는 미국 공로국(BPR)에서 제안한 도로통행비용함수인 BPR 함수를 적용하고 있으며, BPR 함수의 파라메타인 α 와 β 는 미국 공로국에서 최초로 제시한 값인 0.15와 4를 적용하고 있음

- 고속도로는 검지기에서 수집되는 교통량과 통행속도를 이용하여 BPR 함수의 파라메타를 추정하여 적용하고 있으나, 기타 도로유형은 실제 교통량 수준에 따른 통행속도 조사를 통하여 통행비용함수 파라메타를 추정하지 않고 미국 공로국에서 제시한 값을 그대로 적용하고 있는 실정임
- 교통량 수준(v/c 비율)에 따른 통행시간 역전현상 검토
 - 고속도로의 기존 통행비용함수는 1차로의 경우 $\alpha=0.58$, $\beta=2.4$ 를, 2차로의 경우 $\alpha=0.645$, $\beta=2.047$ 을, 3차로의 경우 $\alpha=0.601$, $\beta=2.378$ 을 적용하고 있음
 - 교통량 수준에 따른 통행시간을 추정하는 통행비용함수의 적정성을 판단하는 지표 중에 하나로 역전현상이 있는데, 이는 통행여건이 좋은 도로가 상대적으로 열악한 도로에 비해 통행시간이 작게 추정이 되어야 하고, 교통량 수준인 v/c 비율이 변화하여도 일관성 있는 추세가 유지되도록 파라메타가 추정되어야 함
 - 통행비용함수의 파라메타가 적절하지 않을 경우, 일부 v/c 비율의 범위에서 도로수준이 낮은 도로유형의 통행시간이 높은 도로유형의 통행시간보다 작게 추정되는 경우가 발생함
 - 기존 고속도로의 통행비용함수를 검토하면, v/c 비율이 1.3 이상인 구간에서 3차로 고속도로의 통행시간이 2차로 고속도로보다 더욱 크게 추정되는 현상을 보이고 있어 역전현상의 문제가 발생하고 있음 (<그림 3-1> 참조)
 - 고속도로를 제외한 일반국도, 지방도 등의 도로는 통행비용함수의 파라메타로 $\alpha=0.15$, $\beta=4.0$ 를 적용하고 있으므로 도로유형별 역전현상의 문제는 발생하지 않음

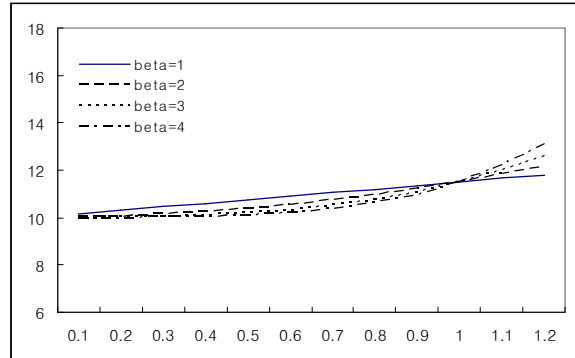


<그림 3-1> 기존 VDF의 역전현상 (고속도로)

- 도로통행비용함수의 파라메타는 교통량 수준에 따른 통행시간에 결정적인 영향을 주기 때문에 현실성 있는 값이 산출될 필요가 있으며, 도로유형별 교통량 및 통행시간 조사를 통하여 신뢰성 있는 도로통행비용함수의 파라메타를 추정할 필요가 있음



<그림 3-2> α 값의 변화에 따른 통행시간의 변화($\beta=4$ 로 고정)



<그림 3-3> β 값의 변화에 따른 통행시간의 변화($\alpha=0.15$ 로 고정)

다. 자유속도

- 통행비용함수를 이용하여 교통량 수준에 따른 링크별 통행시간을 산출하기 위한 과정의 일환으로 링크 속성자료 입력시 자유통행속도 값을 입력해야 하는데, 자유통행속도는 자유 교통류 상태하에서 소요되는 최소 통행시간으로 정의됨
- 링크별 통행시간 산출을 위한 자유통행속도는 법적으로 규제하는 제한속도를 적용해야 한다는 의견과 도로의 설계요소를 감안한 주행 가능속도인 설계속도를 적용해야 한다는 의견이 제기되고 있음
- 속도의 종류
 - 설계속도 : 도로 설계요소의 기능이 충분히 발휘될 수 있는 조건에서 보통의 운전 기술을 가진 운전자가 도로의 어느 구간에서도 쾌적성을 잃지 않고 안전하게 주행할 수 있는 속도
 - 자유속도 : 교통량이 거의 없는 상태에서 다른 차량의 영향을 받지 않고 차량이 자유롭게 주행할 수 있는 속도
 - 제한속도 : 운전자의 안전을 고려하여 제한하는 최대속도

- 기존에 적용되는 자유속도와 관련한 문제점은 다음과 같이 요약될 수 있음
 - 기존 통행비용함수의 자유통행속도를 보면, 고속도로는 1차로 80km/h, 2차로 117km/h, 3차로 119km/h를 적용하고 있으며, 일반국도는 1차로 70km/h, 2차로 80km/h, 3차로 90km/h를, 지방도/국지도는 1차로 60km/h, 2차로 70km/h, 3차로 80km/h를, 광역시도/시군도는 40km/h를 적용하고 있는 실정임
 - 일반국도의 경우 제한속도는 60~80km/h 수준으로 도로의 유형, 중앙분리대 유무에 따라 현실적으로 차이가 나고 있으나, 기존 통행비용함수에서는 모든 도로의 차로수에 따라 70~90km/h의 수준을 적용하고 있음
 - 따라서, 실제 제한속도가 60km/h임에도 불구하고 3차로인 경우는 자유속도가 90km/h으로 적용되는 문제가 있으며 2차로인 고속화국도의 제한속도는 80km/h인데 자유속도가 제한속도 그대로 적용되는 실정임
 - 따라서, 도로 관리주체에 기반한 도로유형별, 차로수별 확실적인 자유속도를 적용하기 보다는 해당 도로의 제한속도에 근거하여 제한속도 혹은 설계속도를 자유속도로 적용하는 방안이 바람직함

라. 용 량

- 1992년 제정된 도로용량편람(KHCM)에서는 도로용량을 “주어진 시간동안 주어진 도로 및 교통조건에서 도로나 차선의 일정구간 또는 지점을 승용차가 통행할 것으로 예상되는 최대 교통류율을 의미한다.”고 정의하고 있음
- 고속도로는 서비스수준 및 속도별 용량이 제시되어 있지만, 신호교차로가 존재하는 일반국도, 지방도, 국지도 등의 도로용량은 녹색신호시간비율(신호주기 대비 녹색현시 비율)에 영향을 받기 때문에 설계속도에 따른 도로용량을 명확히 제시하기에 어려움이 있음
- 기존 통행비용함수에 적용되는 도로용량의 문제점은 다음과 같이 요약할 수 있음
 - 일반국도 및 지방도의 2차로 이상인 경우에 일반적으로 신호교차로의 녹색현시비율이 약 50% 수준으로 가정하여 다차로도로의 용량인 2,000pcphpl의 절반 수준인 1,000pcphpl로 적용하고 있으며, 고속도로는 기본구간의 도로용량인 2,200pcphpl을 적용하고 있음
 - 고속도로의 경우, 도로 기본구간의 용량은 2,200pcphpl 수준이지만, 진출입부 등의 병목구간에서의 용량은 기본구간보다 훨씬 적을 것으로 예상됨
 - 고속도로 기본구간과 진출입부 병목구간의 용량을 상이하게 적용하는 것이 바람직하나, 교통수요모형 적용을 위한 통행비용함수 유형을 분리하기에는 한계가 있음

- 따라서, 고속도로통행비용함수의 용량을 기본구간 용량인 2,200pcphpl 로 고정적으로 적용하기 보다는 단위 구간당 진출입로수 정도에 따라 차등화하여 용량을 적용하는 방안이 적절할 것으로 판단됨
- 기존 통행비용함수는 차로당 단위용량에 차로수 만큼 단순 증가하여 도로구간의 용량을 산정하고 있으나, 현실적으로 차로수가 증가함에 따라 차로당 용량이 유지되지 않는 특성이 있다는 의견이 제기됨에 따라 이에 대한 재검토가 요구됨
- 기존 통행비용함수 중 광역시도·시군도는 차로당 일 용량값인 4,000pcpdpl 을 일괄적으로 적용하고 있어 이에 대한 적정성 여부를 검토할 필요가 있음

<표 3-8> 고속도로 기본구간에 대한 용량

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

<표 3-9> 적용중인 용량과 KHCM상 용량 비교

도로위계(편도)	VDF	자유속도 (Km/h)	용량 (pcphpl)	KHCM 적용시 용량		
				LOS C	LOS D	LOS E
고속도로(1차로)	1	80	1,600	1,150	1,500	2,000
고속도로(2차로)	2	117	2,200	1,500	1,900	2,300
고속도로(3차로이상)	3	119	2,200	1,500	1,900	2,300

주: 고속도로 2차로 및 3차로 이상의 자유속도가 117, 119km/h 이므로 KHCM상의 120km/h으로 간주하고 분석함

- <표 3-9>는 기존의 통행비용함수에 적용된 고속도로의 용량을 한국도로용량편람(KHCM)에서 제시하는 용량과 비교한 결과를 보여주고 있는데, 기존 통행비용함수에 적용되는 용량은 서비스수준 D보다 높은 반면, 서비스수준 E 상태에서의 도로용량보다 낮은 값을 보여주고 있음
- 미국 공로국에서는 용량을 LOS C 수준 또는 $0.75 \times \text{LOS E}$ 수준의 용량 값을 적용하고 있음

- 고속도로 2차로 이상에서 통행비용함수의 도로용량은 2,200pcphpl 를 적용하고 있으나, 최근에 수행된 연구결과에 의하면 이에 못 미치는 것으로 제시하고 있으며, 차로가 증가할수록 단위 차로별 도로용량이 조금씩 감소하는 특성을 보이는 것으로 제시하고 있어 이에 대한 검토가 필요함
- 도로용량의 정의 (1950년판 HCM)
 - 기본 용량(Basic Capacity) : 도로 및 교통조건이 이상적인 상태 하에서 단위시간 차로 당 한 지점을 통과할 수 있는 최대 승용차 대수
 - 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 최대 로 통과할 수 있는 교통량을 말함

마. 일전환계수

- 교통시설 투자평가 및 교통정책의 시행효과 분석 등의 교통수요 예측을 위해, 전국 여객O/D는 오전, 오후 첨두시간O/D, 비첨두시간O/D 등으로 구분하여 제공하는 것이 바람직하지만, 현재는 일O/D 형식으로 제공되고 있는 실정임
 - 오전 및 오후 첨두시와 비첨두 시간대의 통행특성은 큰 차이가 있기 때문에 방향별 교통수요 분석, 예상 혼잡정도 등을 위해서는 통행특성이 상이한 시간대별로 전국 여객O/D를 별도 구축할 필요가 있음
- 하루 단위의 전국 여객O/D를 제공함에 따라 교통수요 분석시 통행비용함수에 반영되는 도로용량을 하루 단위로 전환해야 하며, 이를 위해 일전환계수를 적용하고 있음
 - 일전환계수는 한시간 도로용량을 하루단위의 도로용량으로 전환시키기 위한 계수를 의미하며, 이 때 한시간 도로용량을 하루 24시간 용량으로 전환시키기 위해 단순 증가시키지 않고 첨두 시간대 교통량 비율인 첨두일계수(PDF, peak daily factor)의 개념으로 적용하고 있음

- 기존 통행비용함수의 일전환계수로 고속도로는 0.078, 고속도로를 제외한 기타도로는 0.106을 적용하고 있으며, 이 값들이 어떻게 산정되었는지에 대한 근거가 명확하지 않은 실정임
- 국가교통DB센터에서 전국 단위의 가구통행실태조사를 수행하여 첨두 및 비첨두 O/D를 별도 제공할 경우, 일전환계수는 별도 산정될 필요가 없으나, 현재의 전국 여객O/D와 통행비용함수를 적용하여 교통수요 예측을 하기 위해서는 일전환계수를 산정하여 이용자에게 제공할 필요가 있음
- 이를 위해, 본 과업에서는 현재 국가교통DB에 구축된 교통량 조사자료를 모두 취합하여 첨두일계수(PDF)를 산정하여 기존의 일전환계수와 비교분석토록 함
- 또한, 기존 통행비용함수의 일전환계수는 고속도로와 기타도로로 구분하여 2개의 값을 제시하고 있으나, 첨두일계수의 패턴은 지역별(지역별, 도시내, 도시간 등) 영향을 더 크게 받을 것으로 예상되므로 이에 대한 검토가 필요함

<표 3-10> 도로 등급/차로별 적용된 시간당 용량 및 일전환계수

도로등급(차로)		용량 ^{주1)}	도로등급(차로)		용량 ^{주1)}	도로등급(차로)		용량 ^{주1)}	도로등급(차로)		용량 ^{주2)}
고속도로	1차로	1,600	일반 국도	1차로	750	지방도 국지도	1차로	750	광역시도 시군도	1차로	4,000
	2차로	2,200		2차로	1,000		2차로	1,000		2차로	4,000
	3차로이상	2,200		3차로이상	1,000		3차로이상	1,000		3차로이상	4,000
일전환계수		0.078	일전환계수		0.106	일전환계수		0.106	일전환계수		無

주: 1) 단위는 대/시/차로(pchpl)

2) 단위는 대/일/차로(pcpdpl)

바. 유료도로 가중치

- 유료도로 이용시 지불하는 금전적 비용을 시간으로 환산하는 가중치는 기존에는 폐쇄식과 개방식 요금소를 구분하지 않고 적용하였으나, 최근 폐쇄식 요금징수시스템에 대해 기본요금을 적용하는 방법이 제시되어 폐쇄식 램프구간에 기본요금 가중치(2.34분)가 더해져 산출됨
- 요금에 대한 시간가치가 현실적이지 못하여 폐쇄식 요금을 징수하는 유료도로(특히 민간투자사업 고속도로) 구간의 배정교통량이 과소 추정되는 문제점을 내포하고 있음
- 가중치는 고속도로 4차로 기준이므로 도로공사의 통행요금체계에 따라 2차로 50%할인, 6~8차로 20%할증을 적용하고 있음

- 민간투자사업으로 건설된 고속도로의 정산을 위해 고속도로 이용자의 시간가치 및 가중치에 대한 재검토가 요구됨

2. 개선방안

가. 도로통행비용함수 개선방향

- 도로통행비용함수 구축을 위해 관련 요소인 도로유형별 파라메타 추정, 도로용량, 제한 속도, 일전환계수 등을 종합적으로 고려하여 개선방향을 모색할 필요가 있음
- 첫째, 도로유형에 따라서 통행비용함수 파라메타가 각각 상이하게 추정되기 때문에 교통량 수준에 따른 링크 통행시간 패턴이 상이할 것으로 판단되는 기준에 근거하여 도로유형을 구분할 필요가 있음
- 도로통행비용함수 구축시 도로유형을 과다하게 세분화할 경우, 도로통행비용함수를 교통수요모형에 적용하기에 다소 어려움이 있으며 이용자의 혼란을 야기할 수 있음
- 반면에, 도로유형을 보다 세밀하게 분류하여 각각의 특성을 최대한 반영하고 별도의 파라메타를 추정하여 교통수요모형에 적용함으로써, 교통수요모형에 의한 도로의 배정교통량과 실제 관측교통량간의 오차를 최소화하는 노력을 기할 필요가 있음
- 교통수요 예측의 신뢰도를 향상시키기 위한 방안의 일환으로 도로유형을 세분화하는 방안과, 도로유형은 최소한으로 분류하되 노선별 도로특성을 반영하기 위해 관련변수인 도로용량과 자유속도 등을 조정하는 방안이 있음
- 미국의 교통수요 예측시 정산과정에 대한 사례조사결과, 교통수요에 의한 배정교통량과 관측교통량을 비교하여 과다 혹은 과소 추정되는 주요 노선 혹은 링크에 대해 도로용량과 제한속도 등을 조정하여 모형과 현실간을 정산하는 것으로 나타남
- 현실적으로 고속도로의 경우, 기존 통행비용함수에서는 동일한 도로용량과 자유속도를 적용하고 있으나, 교통량 수준이 높은 교통상황에서 상습정체를 유발하는 진출입 램프간 간격이 어느 정도인가에 따라 해당 도로의 혼잡발생정도 및 영향정도가 차이가 날 것으로 판단되며, 제한속도 혹은 설계속도 수준에 따라 통행시간의 차이가 발생할 것으로 판단됨
- 본 과업에서는 도로통행비용함수 개선을 위한 기본방향을 다음과 같이 제안함

- 도로통행비용함수 파라메타 추정을 위한 도로유형은 통행시간에 큰 영향을 미치는 도로기능적 측면을 고려하여 최소한으로 분류함
- 동일한 도로유형의 미시적인 요소에 의한 통행시간 차이를 도로통행비용함수에 반영하기 위해 노선별 도로용량 및 제한속도 등을 조정하여 교통수요모형을 정산토록 함
- 이를 위해 전국 여객O/D, 교통분석용 네트워크, 도로통행비용함수 등을 이용하여 통행배정을 수행한 후, 모형에 의한 배정교통량과 관측교통량간 오차를 최소화함으로써 교통수요예측의 신뢰도를 향상시키도록 함

나. 도로유형 분류

- 기존 도로통행비용함수 적용을 위한 도로유형은 도로관리주체에 근거하여 세분화되었으나, 신호교차로에서의 대기시간을 현실적으로 통행시간에 반영하기 위해 본 과업에서는 도로유형을 도로기능별로 세분화하여 적용토록 함
- 이를 위해, 고속도로의 연속류와 신호화도로의 단속류로 크게 구분하고, 단속류는 다시 신호교차로간 링크길이가 상대적으로 긴 준연속류와 짧은 단속류로 분류토록 함
- 신호화도로의 준연속류, 단속류를 구분하기 위해 신호등 밀도, 제한속도, 차로수 등의 요소를 고려토록 하며, 한국도로용량편람(KHCM)에서 제시하고 있는 도로등급 구분 기준을 적용토록 함

<표 3-11> 도로등급별 기능별 분류

구 분	1등급	2등급	3등급	기 타
연속류(A)	3차로 이상 고속도로	2차로 이상 고속도로	도시고속도로	램 프
준연속류(B) 주1)	$0 < D < 0.3$	$0.3 \leq D < 0.7$	$0.7 \leq D < 1.0$	-
단속류(C) 주2)	$1.0 \leq D < 3.0$	$3.0 \leq D < 5.0$	$5.0 \leq D$	-

주: 1) KHCM의 기준을 적용(1등급: $0 \leq D < 0.3$, 2등급: $0.3 \leq D < 0.7$, 3등급: $0.7 \leq D < 1.0$), D는 신호등 밀도(개/Km)

2) 본 과업에서 제안하는 새로운 기준

출처: “수도권 장래교통수요 예측 및 대응방안 연구(중간보고), 서울시정개발연구원, 2008.07.” 본 과업의 도로 통행비용함수 분류에 맞게 재수정함

- 도로통행비용함수에 영향을 주는 요소로 신호등 밀도, 제한속도, 중앙분리대, 차로수 등이 있으며, 이에 근거하여 세분화된 도로유형(<표 3-12> 참조)별로 교통량 및 통행속도 조사를 통하여 도로통행비용함수를 구축토록 함

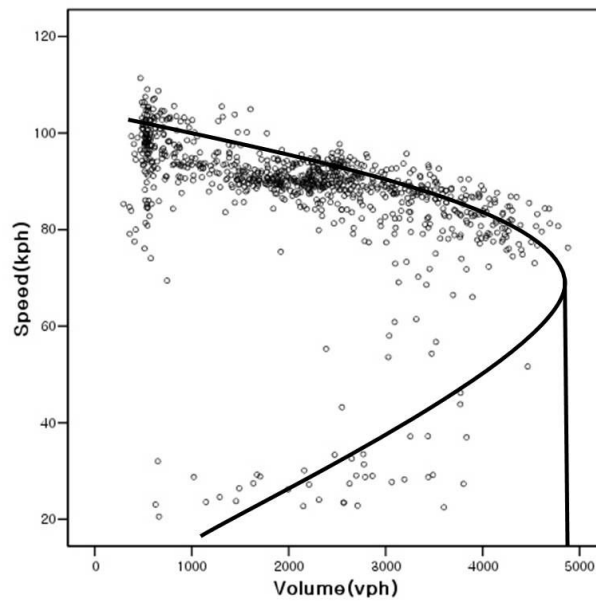
- 도로유형별 도로통행비용함수 구축과정을 통하여 차별성 여부를 검토하며, 필요시 세부화된 도로유형을 통합 혹은 추가적인 세분화 과정을 수행하여 도로유형을 재설정토록 함

<표 3-12> 도로위계 분류 변경(안)

현재 도로위계(편도)	VDF	⇒	변경 도로위계(편도)		VDF
고속도로(1차로)	1		고속도로(1차로)		1
고속도로(2차로)	2		고속도로(2차로)		2
고속도로(3차로이상)	3		고속도로(3차로 이상)		3
일반국도(1차로)	4		준 연속류(1등급)	1차로	4
일반국도(2차로)	5		준 연속류(1등급)	2차로 이상	5
일반국도(3차로이상)	6		준 연속류(2등급)	1차로	6
지방도, 국지도(1차로)	7		준 연속류(2등급)	2차로 이상	7
지방도, 국지도(2차로)	8		준 연속류(3등급)	1차로	8
지방도, 국지도(3차로이상)	9		준 연속류(3등급)	2차로 이상	9
광역시도, 시군도(1차로)	10		단속류(1차로)		10
광역시도, 시군도(2차로)	11		단속류(2차로이상)		11
광역시도, 시군도(3차로 이상)	12		도시고속화도로(3차로이상)		14
도시고속화도로(3차로이상)	14		도시고속화도로(2차로이하)		15
도시고속화도로(2차로이하)	15		고속도로 연결램프		16
고속도로 연결램프	16				

다. 도로유형별 용량산정

- 링크 속성자료 구축시 입력되는 도로용량은 단위 차로의 용량에 차로수를 곱해서 단순하게 증가시켜서 적용하고 있으나, 관련 연구에서는 차로수 증가에 따른 단위 차로의 용량이 조금씩 감소하는 것으로 제시하고 있음
- 링크 통행시간에 영향을 주는 요소로 하류부 교차로의 신호시간(특히 녹색신호시간비율), 제한속도, 기하구조(중앙분리대 유무, 종단구배 등), 차로수 등이 있으며, 실제 도로통행비용함수에 적용되는 요소는 도로용량, 파라메타인 α , β 가 있음
- 신호교차로 대기시간, 도로 기하구조, 차로수 등이 도로용량, 파라메타 값에 반영될 필요가 있으며, 특히 하류부 교차로의 신호 대기시간에 의한 영향을 도로용량에 반영하는 것이 바람직한지, 파라메타에 반영하는 것이 바람직한지에 대해 검토토록 함
- 도로유형별 용량을 산정하기 위한 방안으로 우선적으로 교통량과 속도의 관계도를 이용토록 하며, 특정 도로유형(특히, 신호등 밀도가 높은 도로유형)에 대해 신호교차로의 용량 적용이 필요하다고 판단되는 경우 한국도로용량편람(KHCM)에서 제공하는 용량 산정방식을 이용토록 함



<그림 3-4> 교통량과 속도의 관계도를 이용한 도로용량 산정(예시)

- 한국도로용량편람(KHCM)은 신호교차로에서의 용량산정을 위해 용량값을 2,000pcphpl (다차로도로 유형 I)으로 정하여 아래와 같은 식을 적용하고 있음

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

여기서, c : 직진방향 차로의 용량(pcph)

N : 교차로에서 직진 차로수

s : 포화 교통량(pcphpl)

g/C : 평균 녹색시간비

<표 3-13> 다차로도로의 유형 구분

구 분	설계속도(kph)	신호등 밀도(개/km)	이상적인 조건의 최대 평균통행속도(BSp,kph)
유형 I	90, 100	≤ 0.3	92
유형 II	80	≤ 0.7	87
유형 III	70, 80	≤ 1.0	87

주: 이상조건의 최대 평균통행속도는 이상적인 조건에서 구간 평균 통행량이 500pcphpl 이하

라. 기타 관련변수

- 본 과업에서는 도로통행비용함수에 적용되는 자유속도, 일전환계수 등에 대해 재검토하여 교통수요모형의 신뢰도를 향상시킬 수 있도록 개선방안을 마련토록 함
- 도로유형별 새로이 추정된 도로통행비용함수를 전국 여객O/D, 교통분석용 네트워크 등에 적용하여 배정교통량과 관측교통량간 오차를 줄일 수 있는지를 검토하고, 노선별 혹은 도로별 자유속도를 제한속도 혹은 설계속도 등으로 조정해봄으로써 도로통행비용함수 개선방안을 모색토록 함
- 전국 단위의 시계유출입 교통량조사자료, 전국 교통량 통계연보 조사자료 등을 이용하여 도로유형별, 지역별 첨두일계수를 산출, 도로 통행비용에 적용하여 교통수요 예측 및 검증을 수행함으로써 대안별 평가를 수행토록 함

제3절 조사내용 및 방법

1. 조사의 내용

가. 조사의 기본방향

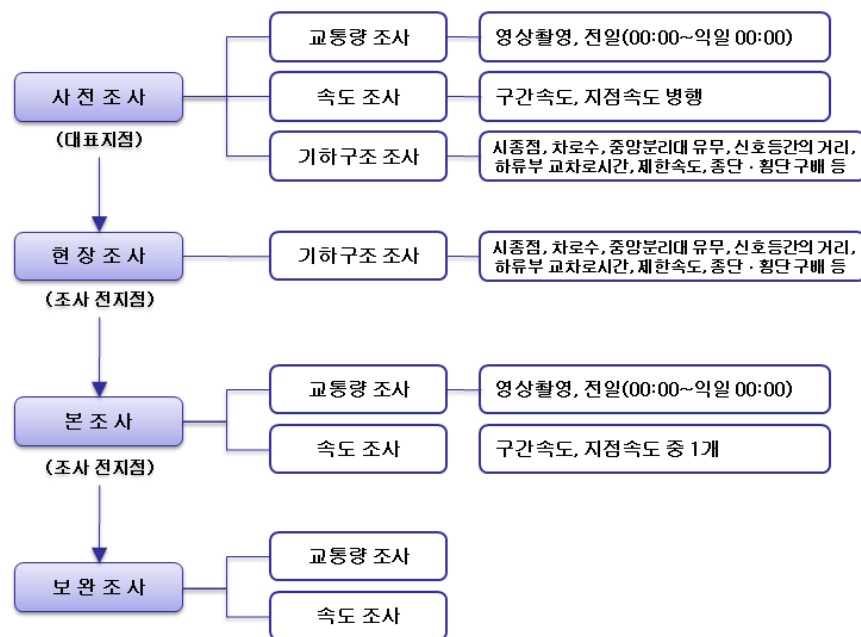
- 본 조사는 기존의 도로통행비용함수(VDF)에 적용된 도로유형이 관리주체에 근거하여 분류된 것을 도로기능에 근거하여 재분류하여 조사지점을 선정하고 교통량 및 속도, 기하구조를 조사하여 도로통행비용함수의 적정 용량 및 파라메타를 추정하기 위한 것임
- 국토해양부에서 제시하고 있는 「교통조사지침」상의 도로교통량조사 및 차량속도조사 수행방법을 원칙으로 하며, 현장검수 및 논리검수체계를 수립하여 자료의 오류가 최소화되도록 함
 - 국토해양부에서 수행하고 있는 「도로교통량통계연보」상의 교통량 조사지점과 지방국토관리청에서 수행하고 있는 교통량 조사지점을 위주로 교통량 조사지점을 선정하여 최대한 조사 효율성을 제고함
 - 도로 구간별 교통량 조사자료를 이용하여 최대한 시간대별 교통량이 많은 지점을 우선적으로 조사대상으로 선정하였는데, 이는 소통원활 혹은 혼잡한 교통량 수준에 따른 통행시간의 변화를 반영하기 위한 것임
 - 통행비용함수 파라메타 추정을 위한 교통량, 속도조사를 위한 준연속류 조사지점 선정시 국토해양부의 「도로교통량통계연보」자료와 지방국토관리청에서 수집하는 교통량 및 통행속도자료(VDS)를 이용함
 - 연속류인 고속도로는 별도의 교통량 및 속도를 조사하지 않고 한국도로공사에서 수집하는 AVC(Automatic Vehicle Classification) 교통량 자료 및 해당구간의 VDS(Vehicle Detector System)의 통행속도 자료를 이용하여 도로통행비용함수 파라메타를 추정토록 함
 - 도로통행비용함수 구축을 위해서는 첨두시간대가 포함된 일과 시간대에 대해서만 교통량 및 속도조사를 수행하여도 무방할 것으로 판단되나, 추후 전국 여객O/D 정산(Calibration) 및 검증(Validation) 등에 활용할 수 있도록 24시간 기준의 차종별 교통량을 조사함

- 본 과업에서 도로통행비용함수 구축을 위한 도로유형은 고속도로, 준연속류(신호교차로간 링크 길이가 1km 이상인 도로구간)에 한정하며, 단속류(신호교차로간 링크 길이가 1km 이하인 도로구간)와 도시고속화도로, 고속도로 램프 등에 대해서는 추후 국가DB구축사업에서 구축토록 함

나. 조사의 내용 및 방법

- 조사의 단계는 <그림 3-5>와 같이 조사지점 선정, 사전조사, 현장조사, 본조사, 보완조사 4단계로 구성되며 각 단계별 조사내용은 다음과 같음
 - 조사지점 선정 : 국가교통DB에서 구축되는 교통주제도와 교통량자료를 이용하여 단위 차로당 교통량 수준이 높은 도로구간에 대해 신호 교차로간 길이에 근거하여 도로 유형별 조사지점을 선정함
 - 사전조사 : 도로유형별 선정된 대표 조사지점에 대하여 교통량조사, 속도조사, 기하구조 조사의 적용 가능한 조사방법론을 검토하여, 각 대안별 조사를 시행하여 가장 신뢰성이 높은 조사방법론을 결정함
 - 현장조사 : 교통주제도와 교통량 자료를 이용하여 선정한 도로유형별 조사대상 후보군에 대해 기하구조(신호 교차로간 길이, 차로수, 제한속도 등)에 대한 현장조사를 수행하여 해당 도로유형과 일치하는지를 확인하는 단계임
 - 본조사 : 확정된 조사지점에 대해 단위 시간대별 차종별 교통량, 통행속도 등을 조사하는 단계로 조사자료를 이용하여 도로유형별 통행비용함수의 파라메타 및 용량 등을 산출하기 위한 단계임
 - 보완조사 : 본조사에서 수행한 교통량 및 통행속도의 조사결과를 확인하여 조사내용이 미흡하거나 추가적인 조사가 필요하다고 판단되는 지점에 대해 보완하기 위한 조사임
- 선정된 조사지점에 대한 교통량 및 통행속도를 조사함과 동시에 도로 기하구조(차로수, 중앙분리대 유무, 신호 교차로간 링크길이), 운영현황(하류부 교차로 신호현시 및 시간, 제한속도 등)를 조사토록 함
- 도로통행비용함수 구축을 위한 교통량, 속도조사는 단위 시간대별로 수행되어야 하며, 일부 시간대의 교통량 조사 혹은 통행속도 조사가 누락될 경우에 해당 자료를 활용하기 어려움

- 또한, 통행시간에 영향을 미치는 요소 중 교통량 수준 이외에 도로 기하구조, 기상상황(눈, 비 혹은 강풍 등), 비반복 혼잡 유발원인(공사, 사고 등) 등이 있는데, 교통량 요소를 제외한 기타 요인에 의해 통행속도의 영향을 최대한 배제하는 것이 매우 중요하다고 할 수 있음



<그림 3-5> 조사의 흐름도

<표 3-14> 조사항목별 조사내용

구분		조사대상	조사항목	조사방법
교통량 조사	영상촬영 조사	일반국도 및 국지도, 지방도	차종별/시간대별 교통량	·영상촬영
	VDS 및 AVC 활용	VDS/AVC가 설치된 고속도로 및 일반국도		·관련기관을 통한 자료수집
속도 조사 주1)	지점속도 조사	일반국도 및 국지도, 지방도	도로명, 조사지점, 도로조건, 개별차량의 지점속도 등	·조사원이용 ·스피드건 ·차량검지기
	구간속도 조사		조사구간, 도로조건, 주행거리, 정지시간, 정지이유 등	·시험차량주행법 ·GPS장비 ·영상장비
기하구조 조사		일반국도 및 국지도, 지방도	시종점, 차로수, 중앙분리대 유무, 신호등간거리, 하류부 교차로시간, 제한속도	·현장조사
			종단·횡단 구배	·현장조사 ·문헌자료

주: 1) 사전조사시 지점속도와 구간속도를 병행하여 조사한 후, 적합한 방법론을 채택하여 본조사에 실시

1) 교통량조사

- 교통량 조사는 영상촬영장비를 활용하는 방법과 고속도로 및 일반국도에 설치된 AVC(Automatic Vehicle Classification)자료를 활용하는 방안 2가지를 검토함
- 추가적인 교통량 조사 필요시, 영상촬영장비를 이용하여 조사하는 것을 원칙으로 하며, 촬영자료 확인을 통하여 교통량을 산출함
- 조사항목은 차종별/시간대별 교통량 등이 포함되며, 조사시간은 하루 교통량 산출을 위하여 24시간을 전제로 하며, 10개 차종으로 구분하여 조사함
- 첨단정보자료를 최대한 활용하는 방안으로 AVC가 설치되어 있는 고속도로 및 일반국도의 경우는 관련기관의 협조를 얻어 AVC 원시자료를 받아서 분석에 활용함

2) 통행속도 조사

- 사전조사시 도로유형별 대표구간에 대해 프로브 차량을 이용한 통행시간을 조사함과 동시에 GPS를 이용한 구간통행속도조사 및 VDS를 이용한 지점속도를 조사하여 GPS를 이용한 구간속도와 VDS를 이용한 지점속도 중 어떤 방법이 프로브 차량을 이용한 구간속도와 오차가 적은지를 분석토록 하고, 결과를 토대로 본 조사시의 최종 속도조사방법을 결정함

<표 3-15> 속도조사방법의 종류 및 장·단점

구 분		장 점	단 점
지 점 속도조사	조사원을 통한 조사	·비용이 저렴함	·고가의 장비를 이용한 조사에 비해 정확도가 떨어짐
	스피드건 이용	·비용이 저렴함 ·비교적 정확한 자료 수집가능	·주행행태에 영향을 줄 위험이 있음 ·조사원의 안전사고의 위험이 있음
	차량감지기	·정확하고 체계적인 통행속도 자료수집	·조사원 및 검지기가 노출되어 주행행태에 영향을 줄 위험이 있음 ·차량의 주행위치가 명확해야함
구 간 속도조사	시험차량을 이용한 조사	·교통류에 대한 평균속도 추출이 가능 ·비교적 조사가 용이하며, 정확함	·고가의 장비를 이용한 조사에 비해 정확도가 떨어짐
	GPS장비	·정확하고 체계적인 통행속도 자료수집	·시스템 설치비용이 높음 ·GPS의 위치오차, 고속 주행시 데이터 송신주기에 따른 문제점
	영상조사장비	·정확하고 체계적인 통행속도 자료수집	·시스템 설치비용이 높음 ·조사원 및 검지기가 노출되어 주행행태에 영향을 줄 위험이 있음 ·차량의 주행위치가 명확해야 함

3) 기하구조 조사

- 기하구조 조사항목에는 시종점, 차로수, 중앙분리대 유무, 신호등간의 거리, 하류부 교차로 시간, 제한속도, 종단·횡단 구배를 조사항목으로 설정함
- 조사방법은 사전 조사지점 확인 시 조사원이 직접 현장에 투입되어 차로수, 중앙 분리대 유무, 제한속도, 신호등간 거리, 하류부 교차로 시간 등을 조사하는 것으로 계획하였으며, 구배 및 시·종점은 현장조사 자료와 문헌자료를 토대로 하여 조사하는 것으로 함
- 도로유형 분류에 직접적인 영향을 주지 않으면서 통행속도에 영향을 미치는 요소인 종단구배는 정밀하게 조사하지 않고 구배 정도의 상, 중, 하 수준으로 조사하며, 추후 도로유형별 종단구배가 고르게 분포되어 모든 도로여건에 대한 공통성을 확보할 수 있는지 여부를 판단하기 위한 것임

2. 조사지점 선정방법

1) 조사지점 선정

- 도로통행비용합수 구축을 위한 도로유형별 조사지점은 소통원활 및 혼잡한 교통상황을 모두 반영할 수 있도록 선정되어야 하므로, 국토해양부의 「도로교통량통계연보」의 교통량 자료와 지방국토관리청에 VDS를 이용하여 수집하는 교통량 자료를 이용하여 도로유형별 교통량이 많은 지점을 우선적으로 선정함
- 교통량 수집이 가능한 구간에 대해 신호등밀도, 제한속도, 차로수, 중앙분리대 유무 등을 조사하여 도로위계를 파악하고, 각 도로위계별로 교통량 수준이 높은 구간에 대해 조사지점으로 선정함
- 조사지점의 대상은 도로교통량통계연보의 경우 일반국도, 지방도, 국지도 등이 있으며, 지방국토관리청의 VDS 교통자료는 일반국도가 있음
- 사전조사시 조사지점 대상은 주제도에 의거하여 회전제약과 3지교차로 이상이 내포되어 있는 지점을 신호등이 있다는 가정 하에 신호등 전후의 거리를 파악하여 km당 신호등 밀도를 파악하였으나, 교통주제도에 반영되지 않은 보행 신호등이 실제로 많이 있기 때문에 현장조사가 필요함

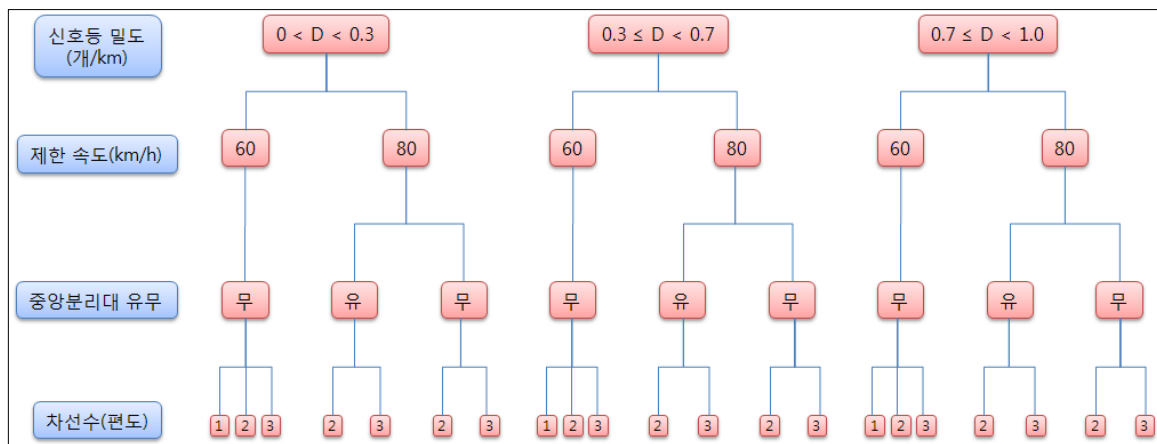
- 현장조사를 실시하기 위해서는 도로유형별로 교통량이 많은 지점을 우선적으로 선정해야 하므로, 1차적으로 차로별 1만대 이상인 도로 구간을 위주로 도로유형을 구분하고, 조사대상 후보군이 부족한 도로유형에 대해 차로별 교통량이 7천대 이상인 도로구간에 대해 조사대상 후보군으로 확보함

<표 3-16> 현장조사지점 도로등급별 / 지역별 분포

구 분	도로등급별					지역별								
	일반국도		국지도	지방도	합계	경기	강원	충북	충남	경북	경남	전북	전남	합계
	(수시)	(상시)												
차로별 7천대 이상	90 (32.0)	89 (31.7)	35 (12.5)	67 (23.8)	281 (100.0)	149 (53.0)	3 (1.1)	14 (5.0)	28 (10.0)	18 (6.4)	45 (16.0)	9 (3.2)	15 (5.3)	281 (100.0)

2) 조사지점 선정을 위한 도로유형 분류

- 준연속류는 당초 신호등 밀도와 차로수를 고려하여 6개의 도로유형으로 분류하였으나, 이외에 통행시간에 영향을 미칠 수 있는 요소인 중앙분리대 유무, 제한속도 등을 추가하여 도로유형을 세분화하고 교통량 및 통행속도 조사지점을 선정함
- 본 과업에서는 교통량 및 통행속도 조사를 위한 도로유형에 대해 신호등 밀도, 제한속도, 중앙분리대 유무, 차로수를 기준으로 전체 21개의 도로유형을 분류하였으며, 국토해양부의 상시교통량조사지점과 지방국토관리청의 검지기 교통량 자료를 수집하여 차로당 교통량 수준이 가장 높은 도로구간에 대해 우선적으로 조사지점을 선정함
- 교통량 및 통행속도 조사를 위한 세분화된 21개의 도로유형에 대해 조사결과를 이용하여 도로통행비용함수 파라메타를 추정하여 차별성이 있는지 여부를 분석하고, 차별성이 없다고 판단되는 도로유형에 대해서는 추후 교통자료를 통합하여 도로통행비용함수의 파라메타를 구축토록 함



<그림 3-6> 도로유형 분류

3. 단계별 조사내용 및 방법

가. 사전 조사

1) 목 적

- 사전조사는 본조사시에 발생될 수 있는 문제점에 미리 파악하여 보완대책을 강구함으로써 본조사가 원활히 이루어질 수 있도록 하기 위한 목적임
- 속도조사는 구간속도(GPS, 프로브차량)조사와 지점속도(스피드건)조사를 병행 실시하여 조사결과를 상호 비교분석함으로써, 본 과업에 적합한 조사방법을 선정하여 본 조사시 적용토록 함

2) 사전조사의 계획 및 조사수행

- 조사는 속도조사와 교통량 조사를 실시하고, 사전조사 지점에 대하여 기하구조 조사를 병행 실시함

① 교통량 조사

- 교통량 조사는 영상장비를 이용한 조사기법을 적용하며, 24시간 교통량 조사시 발생 가능한 문제점인 야간시간대의 영상자료 식별 가능여부 등을 파악하기 위해 가로등 설치지점 및 미설치지점 등에 대해 시범조사를 시행함

- 또한, 가로등 혹은 신호등에 설치되는 카메라의 높낮이에 대해서도 다양하게 적용함으로써 차종식별을 위한 시야 확보여부, 대형차량과 소형차량의 연속 주행시 차종식별 가능여부 등을 검토토록 함
- 교통량 조사를 위한 사전조사 지점으로 조명이 확보된 1개의 지점과 조명이 확보되지 않은 2개의 지점을 선정함

<표 3-17> 교통량/속도 사전조사 지점

구 분		조명 확보	조명 미확보	조명 미확보
교통량 수준		30,000대 이상	20,000대 이상	10,000대 이상
조사지점	지점번호	일반국도(수시) 0334-003	지방도 0383-09	국지도 78-02
	위 치	경기 양주 덕정 (유형 20)	경기 남양주 진건(유형 8)	경기 김포 길포(유형 1)

주: 1) 교통량 수준은 「2007 도로교통량통계연보」 기준으로 산정함



<그림 3-7> 사전조사 지점(교통량/속도 조사)

② 속도조사

- 본 과업에서는 통행속도 조사를 위한 방법론을 검토하기 위해 조사원이 링크 진입시간대, 다음 링크 진입시간대 및 링크길이를 직접 주행하면서 조사하는 시험차량조사 기법과 GPS 탑재차량을 이용한 조사기법, 링크中间的 적절한 지점에서 스피드건을 이용한 지점속도조사기법 3가지를 병행 수행함
- 본 과업에서는 시험차량조사기법이 가장 정확하다는 가정하에 GPS 탑재차량을 이용한 조사기법과 스피드건을 이용한 조사기법 중 어떤 기법이 조사상의 오차가 적게 발생하는지를 분석함

- 이를 통하여 3가지 조사기법 중 조사비용이 가장 저렴하면서 조사과정의 오차를 최소화할 수 있는 조사기법을 선택함

<표 3-18> 구간 및 지점속도 방법론의 장·단점

구 분	구간속도 (프로브 차량)	지점속도 (스피드건)
장 점	· 구간에 대하여 신호에 대한 영향을 고려한 속도 표출 가능	· 「교통량-속도관계 그래프」에 대한 샘플수 확보 용이
단 점	· 지점속도보다 적은 표본수 - 5분단위의 자료 확보의 한계	· 속도조사지점에 따라 속도 변화 심함 - 조사원 노출시 속도 감소

3) 기하구조조사

- 사전조사를 시행하는 3개의 조사지점에 대해 신호등간 거리, 하류부 교차로의 신호현시 및 시간, 중앙분리대 유무, 제한속도, 종단구배 등에 대한 기하구조 조사도 병행 실시함

<표 3-19> 기하구조 조사항목 및 조사방법

조사항목	조사 방법
신호등간 거리	· 차량 네비게이션 거리 활용 · 차량의 계기판 활용
하류부교차로 신호시간	· 인력식으로 교차로 신호주기 파악
중앙분리대 유무	· 조사원이 육안으로 확인
제한속도	· 조사원이 제한속도 표지판을 보고 확인
종·횡단 구배 ^{주1)}	· 지자체 및 관련 기관의 문헌 활용 · Google 웹사이트 활용 · 평지, 구릉지, 산지로 구분하여 제시
횡단보도 유무	· 조사원이 육안으로 확인

주: 1) KHCM에 의거 평지(2% 미만), 구릉지(2%이상~5%미만), 산지(5% 이상)로 구분

4) 사전조사 결과

- 교통량 및 통행속도에 대한 사전조사 결과 다음과 같은 결론을 도출함
 - 가로등 지주에 영상카메라를 설치하여 교통량조사를 수행한 결과, 교차로 주변의 불법주정차 사례가 거의 없는 것으로 나타났으며, 차종 식별을 위한 충분한 시야가 확보되는 것으로 조사됨

- 가로등이 설치된 경우와 설치되지 않은 경우의 심야시간대 차종 식별 가능여부를 조사한 결과, 가로등이 설치된 경우에는 심야시간대의 차종식별이 가능한 것으로 분석되었으나, 가로등이 설치되지 않은 경우에는 심야시간대의 정확한 차종식별이 다소 어려운 것으로 나타나, 추후 본조사시 가로등이 있는 구간에 영상카메라를 설치하는 것이 바람직 할 것으로 판단됨
- 통행속도 조사를 위해 프로브 차량을 이용한 조사, GPS 탑재차량을 이용한 조사, 링크 중간지점에서의 스피드건 혹은 검지기자료를 이용한 조사를 상호 비교한 결과, 스피드건을 이용한 지점속도는 프로브 차량을 이용한 구간통행속도와 오차가 매우 큰 것으로 나타남
- 또한, GPS 탑재차량을 이용한 구간통행속도도 프로브 차량을 이용한 구간통행속도와 5% 이상의 오차를 보이는 구간이 다수 나타나는 것으로 분석됨
- 이와 같은 조사결과에 근거하여 본 과업에서는 조사원이 직접 프로브차량에 탑승하여 링크 진입시간과 하류부 교차로를 통과한 후 다음 링크의 진입시간을 직접 기록하는 조사기법을 적용함

<표 3-20> 속도조사 결과분석

도로등급	지점번호	지역	도로구배	기상	구분	프로브 (km/h)	오차율(%) (프로브기준)	
							오차율-GPS	오차율-스피드건
일반국도 (수시)	0703-000	경남	구룡지	맑음	상행	63	-5.27	25.91
					하행	63	-7.39	31.23
지방도	1042-04	경남	구룡지	맑음	상행	42	-10.35	14.85
					하행	45	-7.10	16.48
지방도	1077-01	경남	평지	맑음	상행	63	-12.10	15.70
					하행	65	-13.76	14.21
일반국도 (수시)	2607-003	전북	평지	흐림	상행	67	-6.14	-2.73
					하행	65	-4.60	3.20
국지도	68-29	충남	평지	맑음	상행	58	-8.06	37.25
					하행	60	-12.65	18.63
일반국도 (수시)	3907-003	경기	평지	비	상행	72	-20.68	7.25
					하행	69	-5.59	-12.28
일반국도 (수시)	3917-000	경기	평지	맑음	상행	58	-3.39	30.96
					하행	61	-3.24	27.11
국지도	98-12	경기	평지	맑음	상행	47	-5.77	-10.83
					하행	53	-15.55	-15.40
국지도*	78-02	경기	평지	맑음	상행	56	-4.76	11.83
					하행	56	-5.15	8.64
지방도*	0383-09	경기	산지	맑음	상행	28	-16.54	22.08
					하행	26	-15.32	41.14
일반국도 (수시*)	0334-003	경기	평지	맑음	상행	39	-1.38	23.10
					하행	44	0.68	4.61

* : 영상촬영과 속도조사를 동시에 병행

<표 3-21> 속도조사방법 결정

구 분	조사결과 분석	조사방법선정
프로브차량	· 프로브차량 속도조사 결과를 조사방법별 오차율 산정의 기준으로 하였음	○
GPS	· GPS를 이용한 조사 결과는 프로브차량 기준으로 오차율은 약 평균 8%내외로 분석되었음 · 오차원인은 GPS문제로 인하여 통행거리 및 통행시간에서 일부 오차가 발생되며, 특히 통행거리오차가 많이 발생하는 것으로 나타남	
스피드건	· 스피드건 조사 결과는 프로브차량 기준으로 오차율은 약 평균 12~15%내외로 분석되었음 · 오차원인은 스피드건 자체의 기계적 기술적 한계오류, 조사지점의 위치(경사도, 평지 등), 조사자의 노출 등으로 인하여 오차가 발생된 것으로 판단됨	

나. 현장조사

1) 현장조사 계획 및 내용

- 조사항목은 신호교차로간 거리, 상·하류부 신호주기, 차로수, 제한속도, 중앙분리대 유무, 종·횡단 구배(상·중·하 구분), 교통소통상황(공사중 등)등으로 조사함
- 현장조사지점의 도로유형별 분포는 일반국도가 63.7%(수시지점 32.0%, 상시지점 31.7%)로 절반 이상 차지하는 것으로 나타났으며 대부분 편도 2차로 이상인 도로가 주를 이루고 있음
- 지역별 분포도를 보면 경기도 지역이 53.0%로 가장 많고 강원도가 1.1%로 가장 낮은 것으로 나타났는데, 이는 도로통행비용함수 구축시 혼잡한 교통상황을 반영하기 위해 교통량이 많은 도로구간을 우선적으로 선정함에 따른 것으로 판단됨

2) 현장 조사결과

- 교통주제도 및 교통량 자료를 이용하여 선정한 도로 유형별 조사대상 후보군에 대해 현장조사를 수행한 결과 유형별로 174개 구간을 선정함
- 도로유형별로 교통량이 많은 도로구간에 대해 현장조사를 수행하였으나, 실제로 신호교차로 사이에 횡단보도 등에 따른 신호등이 다수 존재하여 준연속류 도로유형별 해당 구간을 선정하기에 많은 어려움이 있음

- 특정 도로유형의 경우, 교통량이 일정수준 이상인 조사대상을 선정하지 못함에 따라 중앙분리대 및 제한속도에 의해 분류된 도로유형을 일부 통합하여 교통량 및 통행속도 조사를 수행함
- 제한속도의 경우, 도로통행비용함수내에 자유속도로 반영될 수 있기 때문에 제한속도 차이에 따라 도로유형을 별도로 구분하지 않아도 큰 무리가 없을 것으로 판단됨
- 신호등 밀도에 따른 도로유형별 조사대상 구간은 신호등 밀도가 1등급인 $0 < D < 0.3$ (개/km, 신호교차로간 거리가 3.3km 이상인 구간) 조사지점이 23%로 나타나 2등급 및 3등급에 비해 다소 적은 것으로 나타남
- <표 3-22>와 같이, 1차 선정된 조사지점에 대해 교통량 및 통행속도 조사를 수행하여 혼잡상황이 발생하는지 여부에 근거하여 도로통행비용함수 구축을 위한 도로유형을 재통합하는 과정을 거치도록 함

<표 3-22> 현장조사 결과

신호등 밀도	제한속도(km/h)	중앙분리대 유무	차선수 (편도)	합계
0<D<0.3 (1등급)	60	무	1	18
			2	0
	80	유	2	18
			3	0
		무	2	4
			3	0
소 계				40(23.0%)
0.3≤D<0.7 (2등급)	60	무	1	18
			2	6
	80	유	2	18
			3	4
		무	2	10
			3	0
소 계				56(32.2%)
0.7≤D<1.0 (3등급)	60	무	1	20
			2	14
	80	유	2	10
			3	8
		무	2	12
			3	0
소 계				64(36.8%)
제한속도 70km/h구간				14(8.0%)
합 계				174(100.0%)

다. 본조사

1) 조사 일시

- 본조사는 <표 3-23>과 같이, 1차 ~ 4차로 나누어 실시하였으며 206개 지점을 대상으로 교통량 및 통행속도를 조사함
- 1 ~ 3주차에 걸쳐 조사된 교통량 및 통행속도 조사자료를 이용하여 교통량-통행속도 관계식을 도출하고 도로통행비용함수 구축을 위한 조사결과의 적정성 여부를 판단함
 - 일부 지점들이 용량 대비 교통량 수준(v/c ratio)이 1.0 이상을 초과하는 단위 시간 대가 전무한 경우가 발생하여 혼잡한 교통상황을 반영하지 못하는 문제점이 발생함
 - 이에 해당하는 조사지점 중, 지역적 특성 등을 감안하여 주말교통량이 많을 것으로 판단되는 지점에 대해 주말동안 교통량 및 통행속도 조사를 재수행함
 - 교통조사지침에서는 평일인 화~목요일 중에 교통량조사를 시행하도록 명시하고 있으나, 본 과업의 교통량 및 속도조사는 교통량 대비 용량비율(V/C ratio)에 따른 통행시간의 정도를 파악하기 위한 조사이므로 조사목적에 충족시키기 위해서는 주말교통량조사를 수행함이 타당할 것으로 판단됨
 - 4차 본조사는 총 44개 조사지점에 대해 토, 일요일의 교통량 및 통행속도를 재조사를 수행함

<표 3-23> 본조사 일정

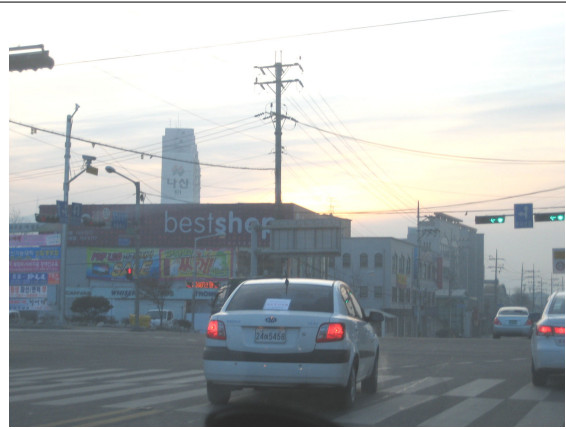
구 분	1차 본조사	2차 본조사	3차 본조사	4차 본조사
일 시	2009년 1월 6일(화)~8(목)	2009년 1월 13일(화)~15(목)	20일(화)	2009년 1월 31일(토)~2월 1일(일)
지점수	66개 지점	72개 지점	24개 지점	44개 지점

2) 조사 방법

- 교통량 조사는 가로등 지주 혹은 전주를 이용하여 영상장치를 이용한 조사기법을 적용하며, 통행속도 조사는 프로브차량을 이용한 조사기법을 적용함



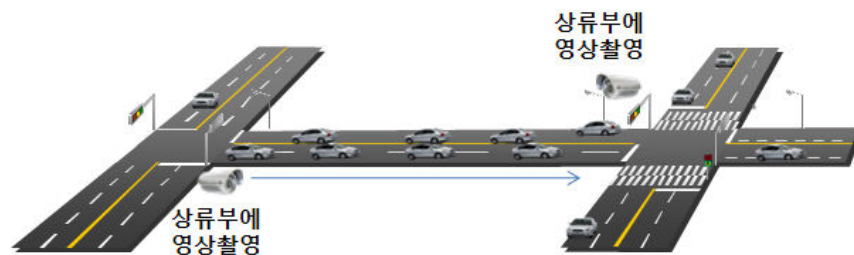
<그림 3-8> 영상촬영장비 설치



<그림 3-9> 프로브차량 주행

◦ 교통량조사

- 신호교차로의 혼잡으로 인하여 대기행렬이 발생하는 링크구간의 경우, 하류부 신호 교차로에 인접한 지점에서의 15분 단위 교통량 조사는 신호시간 및 대기행렬로 인하여 실제 교차로 용량을 초과하지 못하는 문제가 발생함
- 링크 통행시간 산출을 위한 교통량은 링크의 교통수요 개념으로 접근하는 것이 바람직하므로, 본 과업에서는 신호교차로의 대기행렬로 인한 영향을 최대한 배제시키기 위해 혼잡이 가장 발생하지 않는 링크의 초입부에 영상장비를 설치하여 교통량 조사를 수행함
- 시야 및 시거를 충분히 확보할 수 있도록 가로등 기둥에 영상카메라를 설치하며, 대형차량(대형트럭, 버스 등)에 의해 후미차량이 가려져 차종 식별이 불가능한 현상을 최대한 방지할 수 있도록 설치함



<그림 3-10> 영상촬영 설치(예)

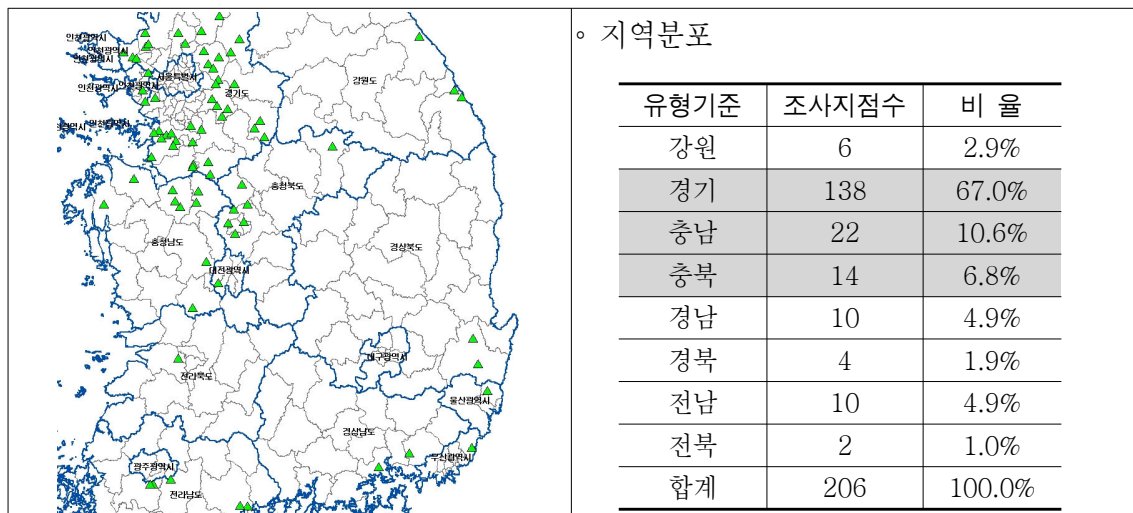
◦ 속도조사

- 본 과업에서는 속도조사를 위해 프로브차량을 이용하여 조사원이 직접 링크 진입부 통과시각과 하류부 링크의 진입부 통과시각을 조사하여 구간속도를 측정하는 방법을 선택함

- 2대 이상의 차량을 지속적으로 순환시킴으로써 분석을 위한 단위시간인 15분 이내에 최소 2개 이상의 샘플이 확보될 수 있도록 통행속도를 조사함

3) 조사지역 분포현황

- 통행시간에 영향을 미치는 요소 중 유형화하기 어려운 종단선형, 평면선형 등의 요소가 도로유형별로 고르게 분포하도록 하기 위해 전국을 대상으로 조사지점을 선정함
- 지역별로 특정 유형에 해당하는 도로구간이 많지 않은 경우가 있으며, 교통량 수준이 높은 지점을 우선적으로 선정한 결과, 경기도 지역이 67.0%로 가장 많았으며, 충청권이 17.4%를 차지함
- 현장 조사시 각 조사지점에 대한 도로 기하구조(종단선형, 평면선형 등)를 조사하였으므로, 추후 도로유형별 다양한 기하구조 특성이 반영되어 공통성을 확보할 수 있는지 여부를 분석함
- 교통량 및 통행속도 조사시 다양한 지역적 특성(강원도 산지 등)을 반영해야 하는데, 혼잡이 발생하는 지점을 위주로 교통량 조사지점을 선정함에 따라 강원권, 기타 지방권은 경기, 충남, 충북에 비해 적게 조사됨



<그림 3-11> 조사지역 분포현황

기본 유형	집계 유형	구 분				조사지점수	비 율
		신호등간 거리	제한속도	중앙분리대	차로수		
1	1	3.3km이상	60km/h	무	(편도) 1차로	20	9.6%
2	2	3.3km이상	60km/h	무	(편도) 2차로	0	0.0%
3	3	3.3km이상	80km/h	유	(편도) 2차로	16	7.8%
4		3.3km이상	80km/h	유	(편도) 3차로	0	0.0%
5	4	3.3km이상	80km/h	무	(편도) 2차로	2	1.0%
6		3.3km이상	80km/h	무	(편도) 3차로	0	0.0%
7	5	1.4<km<3.3	60km/h	무	(편도) 1차로	22	10.7%
8	6	1.4<km<3.3	60km/h	무	(편도) 2차로	8	3.9%
9	7	1.4<km<3.3	80km/h	유	(편도) 2차로	28	13.6%
10		1.4<km<3.3	80km/h	유	(편도) 3차로	4	1.9%
11	8	1.4<km<3.3	80km/h	무	(편도) 2차로	10	4.9%
12		1.4<km<3.3	80km/h	무	(편도) 3차로	0	0.0%
13	9	1.0<km<1.4	60km/h	무	(편도) 1차로	26	12.6%
14	10	1.0<km<1.4	60km/h	무	(편도) 2차로	14	6.8%
15	11	1.0<km<1.4	80km/h	유	(편도) 2차로	16	7.8%
16		1.0<km<1.4	80km/h	유	(편도) 3차로	12	5.8%
17	12	1.0<km<1.4	80km/h	무	(편도) 2차로	14	6.8%
18		1.0<km<1.4	80km/h	무	(편도) 3차로	0	0.0%
제한속도 70km/h인 구간						14	6.8%
합 계						206개	100.0%

제4장 조사자료 구축 및 특성분석

제1절 통행비용함수 구축을 위한
조사자료 구축

제2절 교통량, 속도조사 기초분석

제3절 도로통행비용함수의 용량 검토

제4절 도로용량과 임계속도

제5절 정체교통량과 교통수요

제6절 일전환계수

제4장 조사자료 구축 및 특성분석

제1절 통행비용함수 구축을 위한 조사자료 구축

1. 연속류(고속도로)

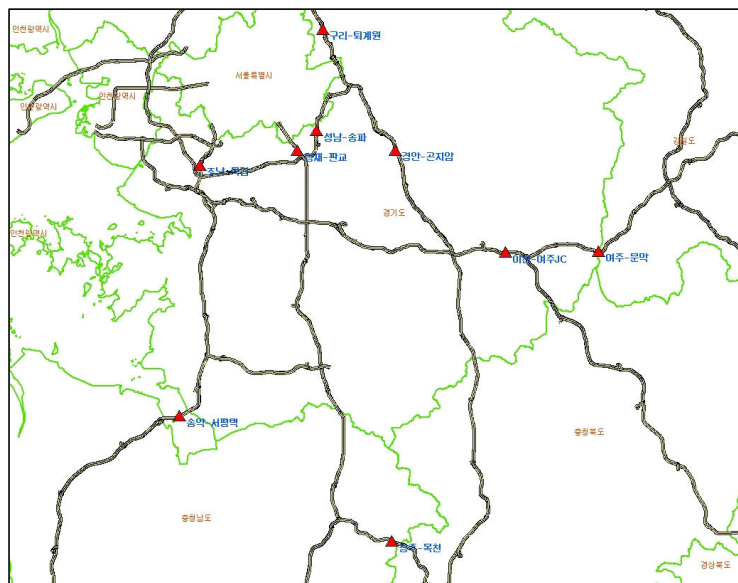
- 고속도로 통행비용함수의 파라메타 추정을 위해 한국도로공사에서 제공하는 AVC (automatic vehicle classification) 자료를 활용함
 - AVC는 차로별/시간대별/차종별(12종)로 구분하여 15분 단위의 교통량과 통행속도 자료를 제공함
- 기본적으로 조사자료 일시는 혼잡한 교통상황을 반영하기 위하여 주말시간대를 선정 하였으며, 도로유형은 편도 2차로(4개 지점), 3차로(3개 지점), 4차로(4개 지점)로 구분함
 - 수도권에 인접해 있는 경부고속도로, 서울외곽순환고속도로, 영동고속도로, 중부고속도로, 서해안고속도로의 AVC 자료를 수집함

						교통량																속도																			
노선	구간	날짜/시간	방향	차로수	점유율	승용	버스	트럭							트레일러							미분류	총교통량	승용	버스	트럭							트레일러							미분류	평균속도
						1종	2종	3종	4종	5종	6종	7종	8종	9종	10종	11종	12종	미분류	총교통량	1종	2종	3종	4종	5종	6종	7종	8종	9종	10종	11종	12종	미분류	평균속도								
경부선	양재IC ~ 판교	2009-02-07 오전 12	부산방향	1차로	5%	150	19	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	173	105	101	101	0	0	0	0	0	0	0	0	0	105										
경부선	양재IC ~ 판교	2009-02-07 오전 12	부산방향	2차로	6%	200	17	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	221	100	100	105	92	0	0	0	0	0	0	0	0	100										
경부선	양재IC ~ 판교	2009-02-07 오전 12	부산방향	3차로	6%	170	6	4	5	4	0	0	0	0	0	0	0	189	98	91	92	88	89	0	0	0	0	0	0	98											
경부선	양재IC ~ 판교	2009-02-07 오전 12	부산방향	4차로	5%	136	6	4	9	2	2	0	0	0	0	0	0	159	97	92	100	86	81	87	0	0	0	0	0	96											
경부선	양재IC ~ 판교	2009-02-07 오전 12	서울방향	1차로	5%	162	8	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	173	107	100	106	154	0	0	0	0	0	0	0	107											
경부선	양재IC ~ 판교	2009-02-07 오전 12	서울방향	2차로	6%	187	7	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	203	96	95	94	0	0	0	0	0	0	0	0	96											
경부선	양재IC ~ 판교	2009-02-07 오전 12	서울방향	3차로	5%	134	0	4	10	4	1	0	0	0	0	0	0	153	92	0	89	77	68	82	0	0	0	0	0	91											
경부선	양재IC ~ 판교	2009-02-07 오전 12	서울방향	4차로	3%	66	1	4	13	1	0	0	0	0	0	0	0	85	95	94	85	66	64	0	0	0	0	0	0	90											
경부선	양재IC ~ 판교	2009-02-07 오전 12	부산방향	1차로	4%	151	6	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	160	106	99	115	101	0	0	0	0	0	0	0	106											
경부선	양재IC ~ 판교	2009-02-07 오전 12	부산방향	2차로	6%	181	12	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	196	100	97	93	103	0	0	0	0	0	0	0	100											
경부선	양재IC ~ 판교	2009-02-07 오전 12	부산방향	3차로	5%	176	3	8	4	1	0	0	0	0	0	0	0	192	98	92	92	88	97	0	0	0	0	0	0	98											
경부선	양재IC ~ 판교	2009-02-07 오전 12	부산방향	4차로	4%	119	9	2	5	1	0	0	0	0	0	0	0	136	96	93	92	82	79	0	0	0	0	0	0	96											
경부선	양재IC ~ 판교	2009-02-07 오전 12	서울방향	1차로	4%	148	9	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	158	107	100	0	119	0	0	0	0	0	0	0	107											
경부선	양재IC ~ 판교	2009-02-07 오전 12	서울방향	2차로	6%	173	8	3	2	2	0	0	0	0	0	0	0	188	96	90	107	98	72	0	0	0	0	0	0	96											
경부선	양재IC ~ 판교	2009-02-07 오전 12	서울방향	3차로	4%	117	1	8	11	0	0	0	0	0	0	0	0	137	91	70	80	70	0	0	0	0	0	0	0	89											
경부선	양재IC ~ 판교	2009-02-07 오전 12	서울방향	4차로	3%	53	4	3	9	3	2	1	0	0	0	0	0	75	94	81	94	72	51	59	51	0	0	0	0	88											
경부선	양재IC ~ 판교	2009-02-07 오전 12	부산방향	1차로	4%	142	5	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	148	107	102	0	99	0	0	0	0	0	0	0	107											
경부선	양재IC ~ 판교	2009-02-07 오전 12	부산방향	2차로	5%	193	5	5	1	0	0	0	0	0	0	0	0	204	101	98	105	96	0	0	0	0	0	0	0	101											
경부선	양재IC ~ 판교	2009-02-07 오전 12	부산방향	3차로	5%	152	4	5	10	1	0	0	0	0	0	0	0	172	99	89	87	92	88	0	0	0	0	0	0	98											
경부선	양재IC ~ 판교	2009-02-07 오전 12	부산방향	4차로	3%	105	6	2	1	3	0	0	0	0	0	0	0	117	96	90	93	84	89	0	0	0	0	0	0	96											
경부선	양재IC ~ 판교	2009-02-07 오전 12	서울방향	1차로	3%	108	8	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	117	110	102	113	0	0	0	0	0	0	0	0	110											
경부선	양재IC ~ 판교	2009-02-07 오전 12	서울방향	2차로	5%	155	6	3	2	1	0	0	0	0	0	0	0	167	98	87	87	93	78	0	0	0	0	0	0	98											
경부선	양재IC ~ 판교	2009-02-07 오전 12	서울방향	3차로	4%	90	4	8	9	0	0	0	0	0	0	0	0	111	93	86	84	72	0	0	0	0	0	0	0	91											
경부선	양재IC ~ 판교	2009-02-07 오전 12	서울방향	4차로	3%	54	3	4	12	3	0	2	0	0	0	0	0	78	96	79	73	74	68	0	54	0	0	0	0	89											
경부선	양재IC ~ 판교	2009-02-07 오전 12	부산방향	1차로	3%	122	2	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	128	108	103	126	106	0	0	0	0	0	0	0	109											
경부선	양재IC ~ 판교	2009-02-07 오전 12	부산방향	2차로	5%	167	4	5	2	0	0	0	0	0	0	0	0	178	101	100	94	103	0	0	0	0	0	0	0	101											
경부선	양재IC ~ 판교	2009-02-07 오전 12	부산방향	3차로	4%	152	3	5	2	1	0	0	0	0	0	0	0	163	99	91	88	84	88	0	0	0	0	0	0	99											
경부선	양재IC ~ 판교	2009-02-07 오전 12	부산방향	4차로	3%	101	1	4	6	2	0	0	0	0	0	0	0	114	101	93	86	88	85	0	0	0	0	0	0	101											

<그림 4-1> AVC DATA 형식

<표 4-1> 조사자료 지점내역

노선	구 간	차로수 (편도)	제한속도 (km/h)	토요일 (대/일)	일요일 (대/일)	주말 (대/일)	주말 (pcu/일)
경부선	양재IC ~ 판교JC	4	100	150,015	138,989	289,004	386,903
영동선	이천 ~ 여주JC	4	100	132,065	114,375	246,440	330,503
서울외곽선	성남TG ~ 송파IC	4	100	127,653	94,766	222,419	273,448
서울외곽선	구리IC ~ 퇴계원IC	4	100	128,471	99,281	227,752	314,578
경부선	청주 ~ 목천	3	100	63,132	58,763	121,895	186,573
서해안선	조남JC ~ 목감	3	100	122,904	99,131	222,035	257,257
서해안선	송악 ~ 서평택	3	110	58,839	43,577	102,416	148,867
중부선	경안IC ~ 곤지암IC	2	110	53,037	42,975	96,012	131,878
영동선	여주 ~ 문막	2	100	74,941	62,482	137,423	204,014
중부선	경안IC ~ 곤지암IC	2	110	54,315	44,596	98,911	135,764
영동선	여주 ~ 문막	2	100	75329	63297	138,626	332,844



<그림 4-2> 고속도로 조사자료(AVC) 지점

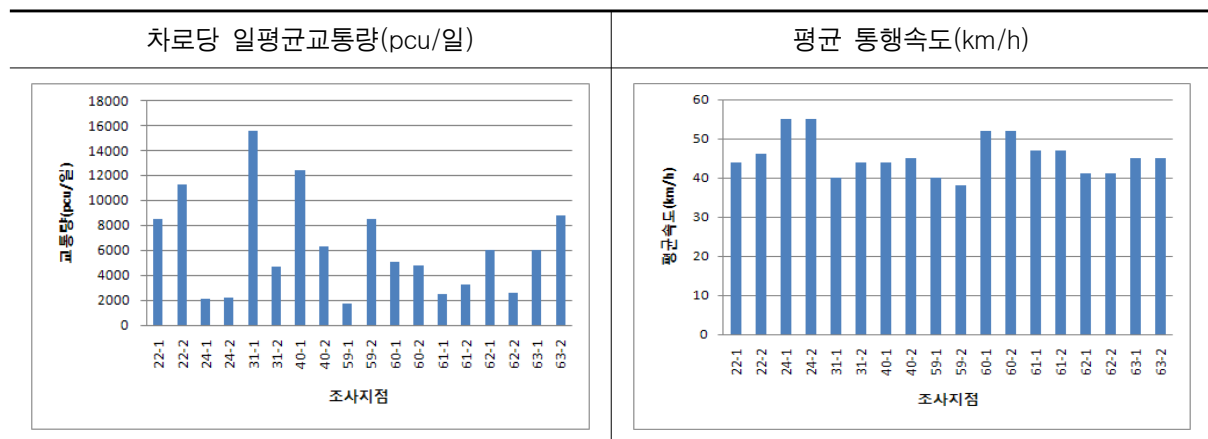
2. 준연속류

- 준연속류의 도로통행비용함수 파라메타를 추정하기 위한 교통량 및 통행속도 자료는 총 206개 조사자료를 이용하여 구축함

제2절 교통량, 속도조사 기초분석 (준연속류)

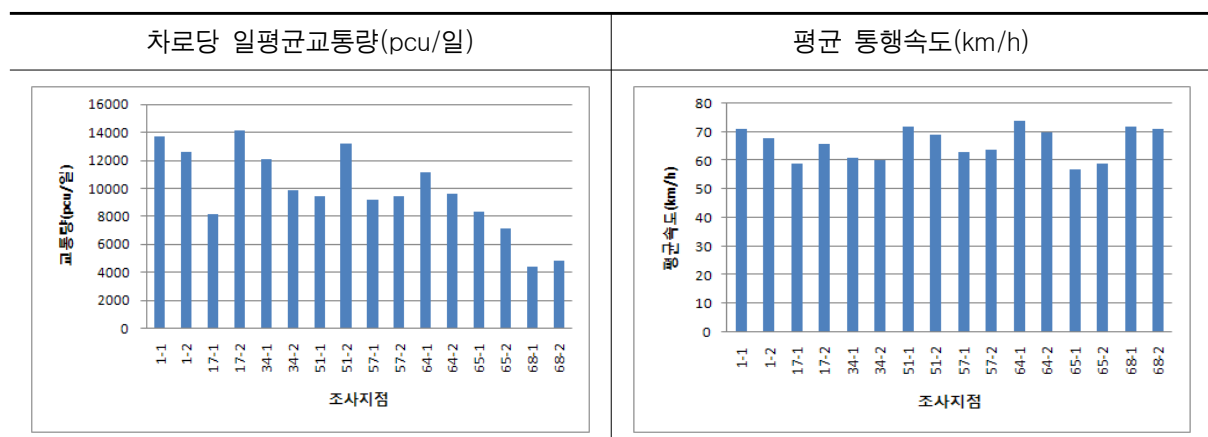
1. 도로 유형별 교통량 및 속도 특성 분석

- VDF 구축을 위해 전국 206개 구간에 대해 교통량, 속도조사를 수행하였으며, 도로유형별 교통량 및 속도에 대한 기초 분석을 수행함(※ 조사지점번호는 부록참조)
- 유형1은 거리 3.3km 이상 속도 60km/h, 중앙분리대가 없는 편도 1차로 도로로서, 차로당 일평균교통량은 6,225pcu/일, 평균통행속도는 46km/h로 나타남



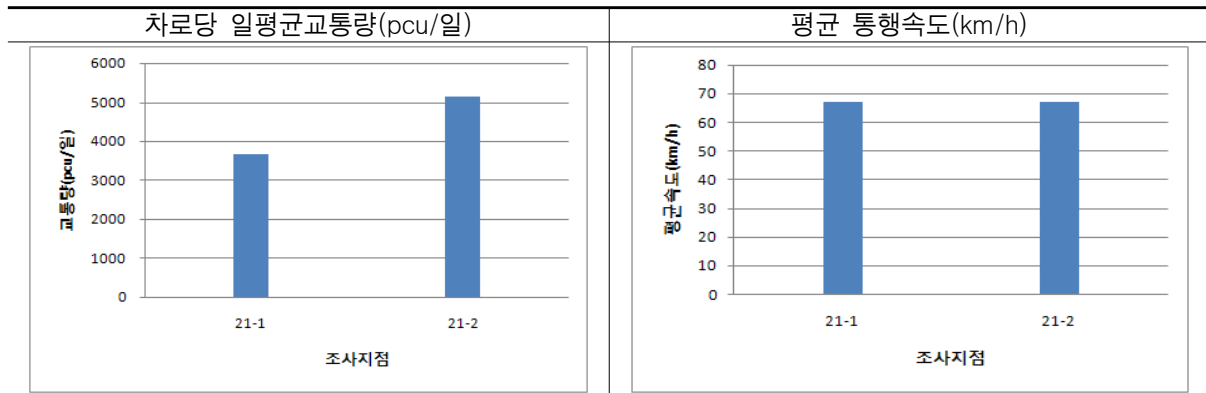
<그림 4-3> 도로유형 1의 차로당 일평균교통량 및 평균 통행속도

- 유형3은 거리 3.3km 이상 속도 80km/h, 중앙분리대가 있는 편도 2차로 도로로서, 차로당 일평균교통량은 9,794pcu/일, 평균 통행속도는 66km/h로 나타남



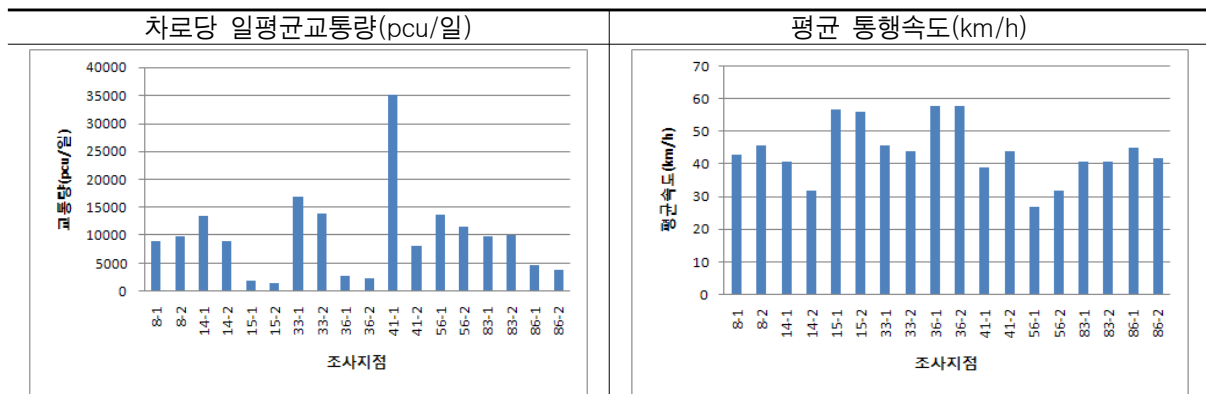
<그림 4-4> 도로유형 3의 차로당 일평균교통량 및 평균 통행속도

- 유형5는 거리 3.3km 이상 속도 80km/h, 중앙분리대가 없는 편도 2차로 도로로서, 차로당 일평균교통량은 4,414pcu/일, 평균 통행속도는 67km/h로 나타남



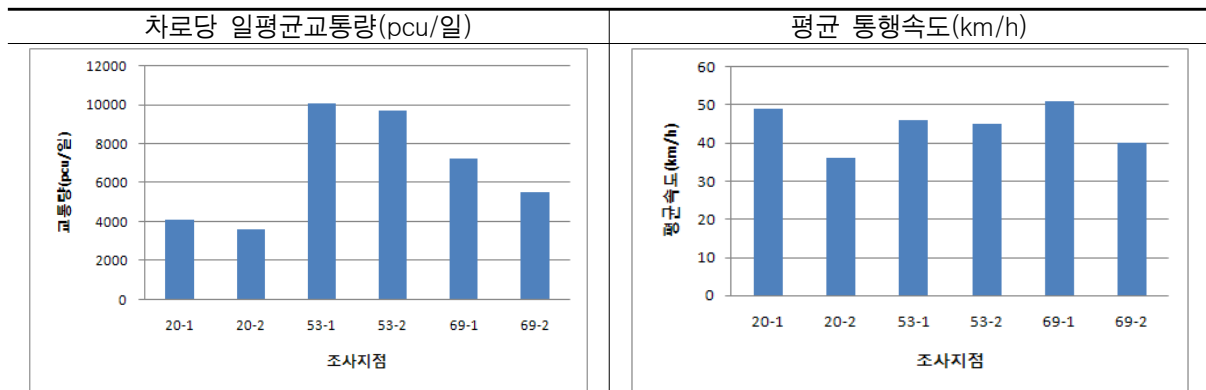
<그림 4-5> 도로유형 5의 차로당 일평균교통량 및 평균 통행속도

- 유형7은 거리 1.4 ~ 3.3km, 속도 60km/h, 중앙분리대가 없는 편도 1차로 도로로서, 차로당 일평균교통량은 9,859pcu/일, 평균 통행속도는 44km/h로 나타남



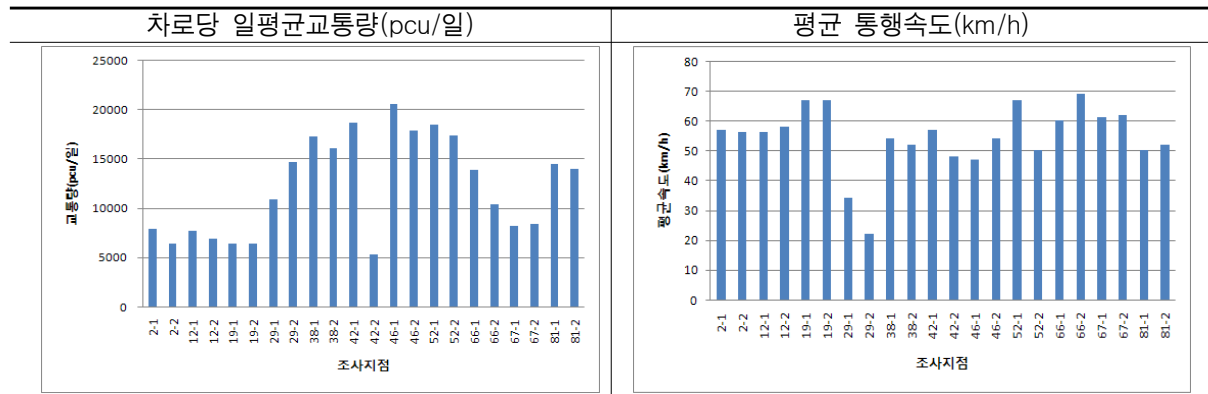
<그림 4-6> 도로유형 7의 차로당 일평균교통량 및 평균 통행속도

- 유형8은 거리 1.4 ~ 3.3km, 속도 60km/h, 중앙분리대가 없는 편도 2차로 도로로서, 차로당 일평균교통량은 6,686pcu/일, 평균 통행속도는 45km/h로 나타남



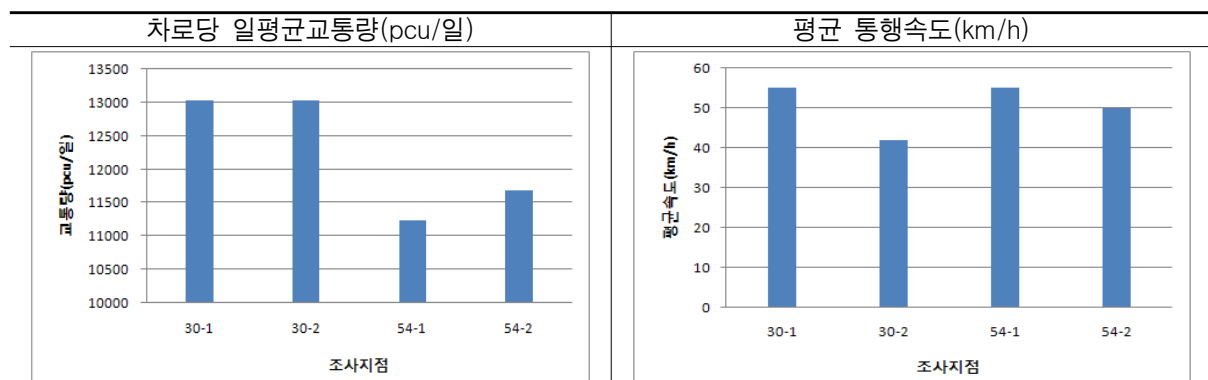
<그림 4-7> 도로유형 8의 차로당 일평균교통량 및 평균 통행속도

- 유형9는 거리 1.4 ~ 3.3km, 속도 80km/h, 중앙분리대가 없는 편도 2차로 도로로서, 차로당 일평균교통량은 12,198pcu/일, 평균 통행속도는 55km/h로 나타남



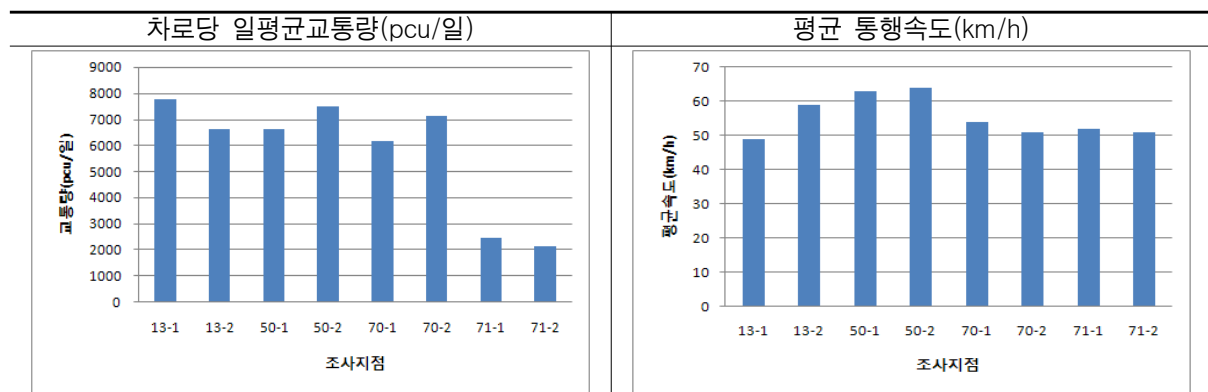
<그림 4-8> 도로유형 9의 차로당 일평균교통량 및 평균 통행속도

- 유형10은 거리 1.4 ~ 3.3km, 속도 80km/h, 중앙분리대가 있는 편도 3차로 도로로서, 차로당 일평균교통량은 12,253pcu/일, 평균 통행속도는 51km/h로 나타남



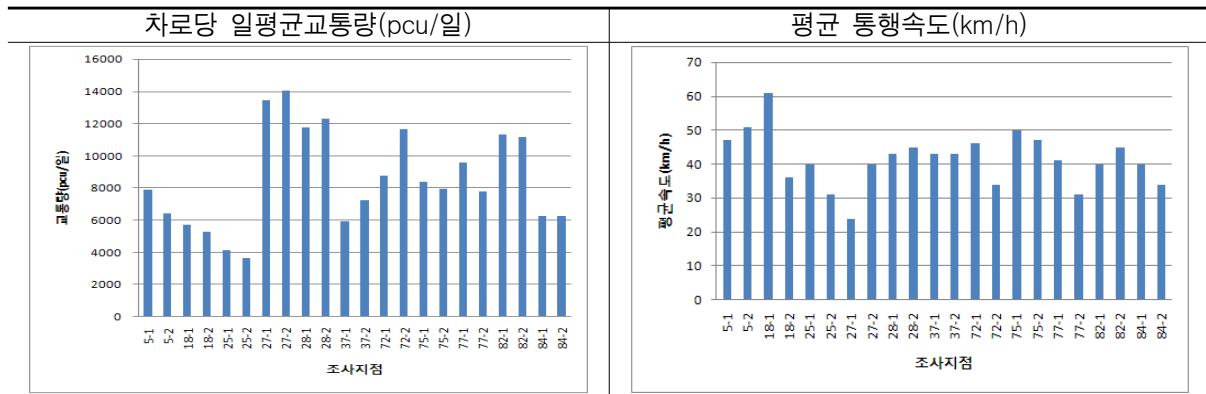
<그림 4-9> 도로유형 10의 차로당 일평균교통량 및 평균 통행속도

- 유형11은 거리 1.4 ~ 3.3km, 속도 80km/h, 중앙분리대가 없는 편도 2차로 도로로서, 차로당 일평균교통량은 5,802pcu/일, 평균 통행속도는 55km/h로 나타남



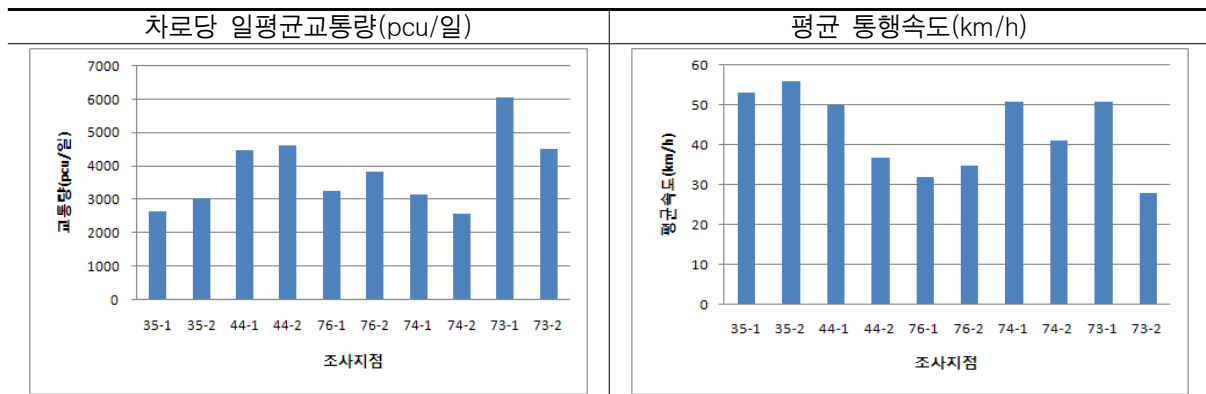
<그림 4-10> 도로유형 11의 차로당 일평균교통량 및 평균 통행속도

- 유형13은 거리 1.0 ~ 1.4km, 속도 60km/h, 중앙분리대가 없는 편도 1차로 도로로서, 차로당 일평균교통량은 8,496pcu/일, 평균 통행속도는 41km/h로 나타남



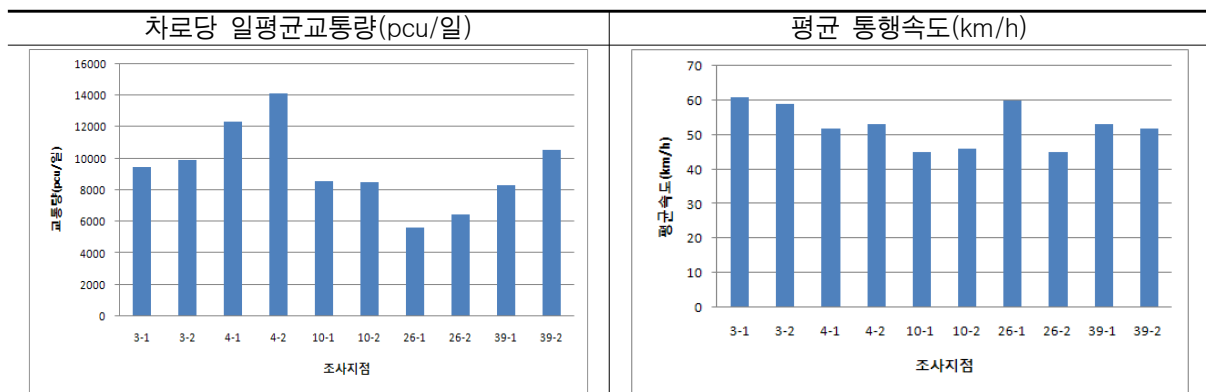
<그림 4-11> 도로유형 13의 차로당 일평균교통량 및 평균 통행속도

- 유형14는 거리 1.0 ~ 1.4km, 속도 60km/h, 중앙분리대가 없는 편도 2차로 도로로서, 차로당 일평균교통량은 3,812pcu/일, 평균 통행속도는 43km/h로 나타남



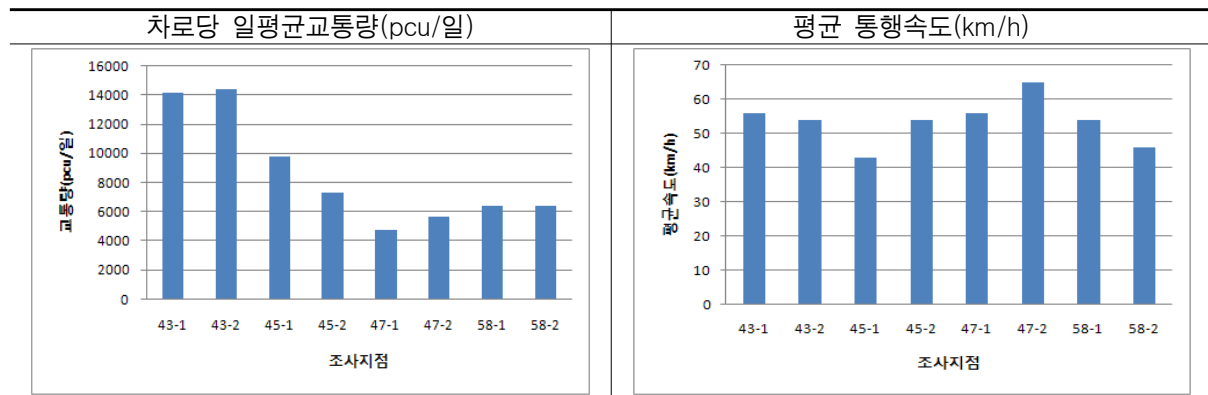
<그림 4-12> 도로유형 14의 차로당 일평균교통량 및 평균 통행속도

- 유형15는 거리 1.0 ~ 1.4km, 속도 80km/h, 중앙분리대가 있는 편도 2차로 도로로서, 차로당 일평균교통량은 9,394pcu/일, 평균 통행속도는 53km/h로 나타남



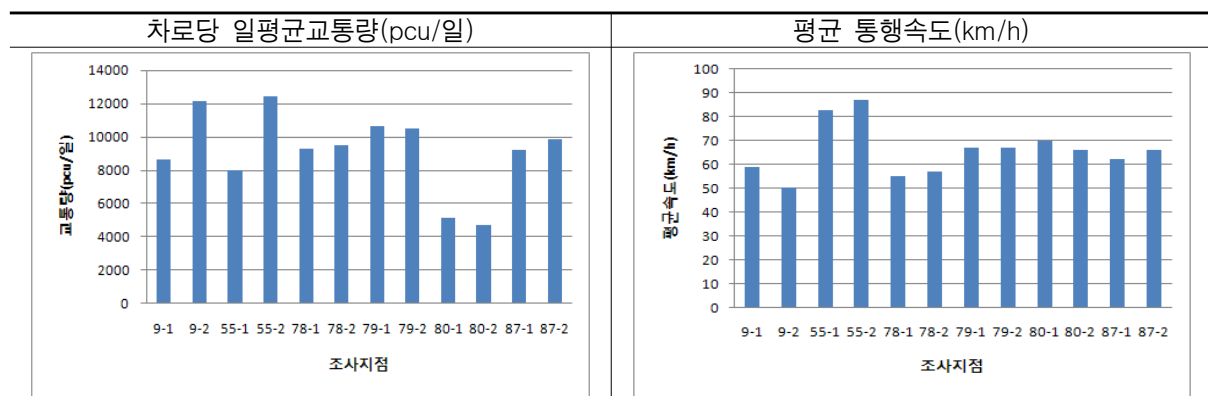
<그림 4-13> 도로유형 15의 차로당 일평균교통량 및 평균 통행속도

- 유형16은 거리 1.0 ~ 1.4km, 속도 80km/h, 중앙분리대가 있는 편도 3차로 도로로서 차로당 일평균교통량은 8,599pcu/일, 평균 통행속도는 54km/h로 나타남



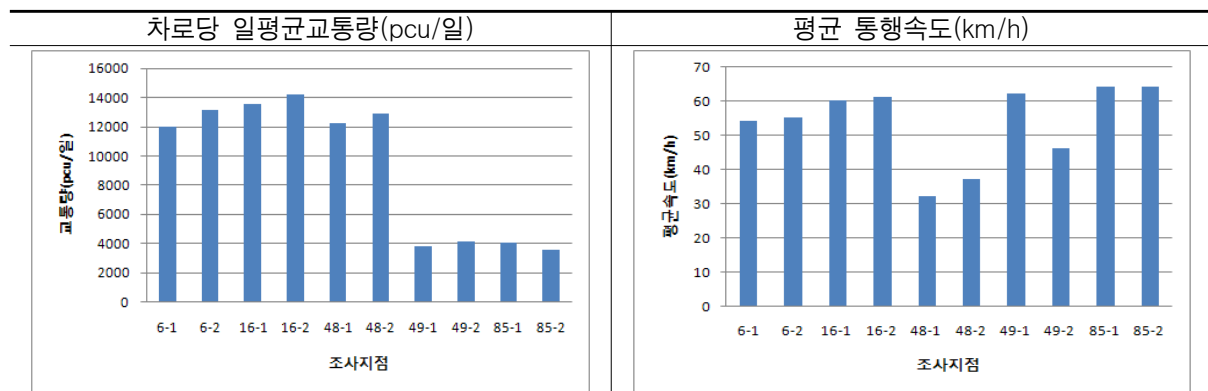
<그림 4-14> 도로유형 16의 차로당 일평균교통량 및 평균 통행속도

- 유형17은 거리 1.0 ~ 1.4km, 속도 80km/h, 중앙분리대가 없는 편도 2차로 도로로서, 차로당 일평균교통량은 9,140pcu/일, 평균 통행속도는 66km/h로 나타남



<그림 4-15> 도로유형 17의 차로당 일평균교통량 및 평균 통행속도

- 제한속도 70km/h인 구간의 차로당 일평균교통량은 9,321pcu/일, 평균 통행속도는 54km/h로 나타남



<그림 4-16> 제한속도 70km/h인 구간의 차로당 일평균교통량 및 평균 통행속도

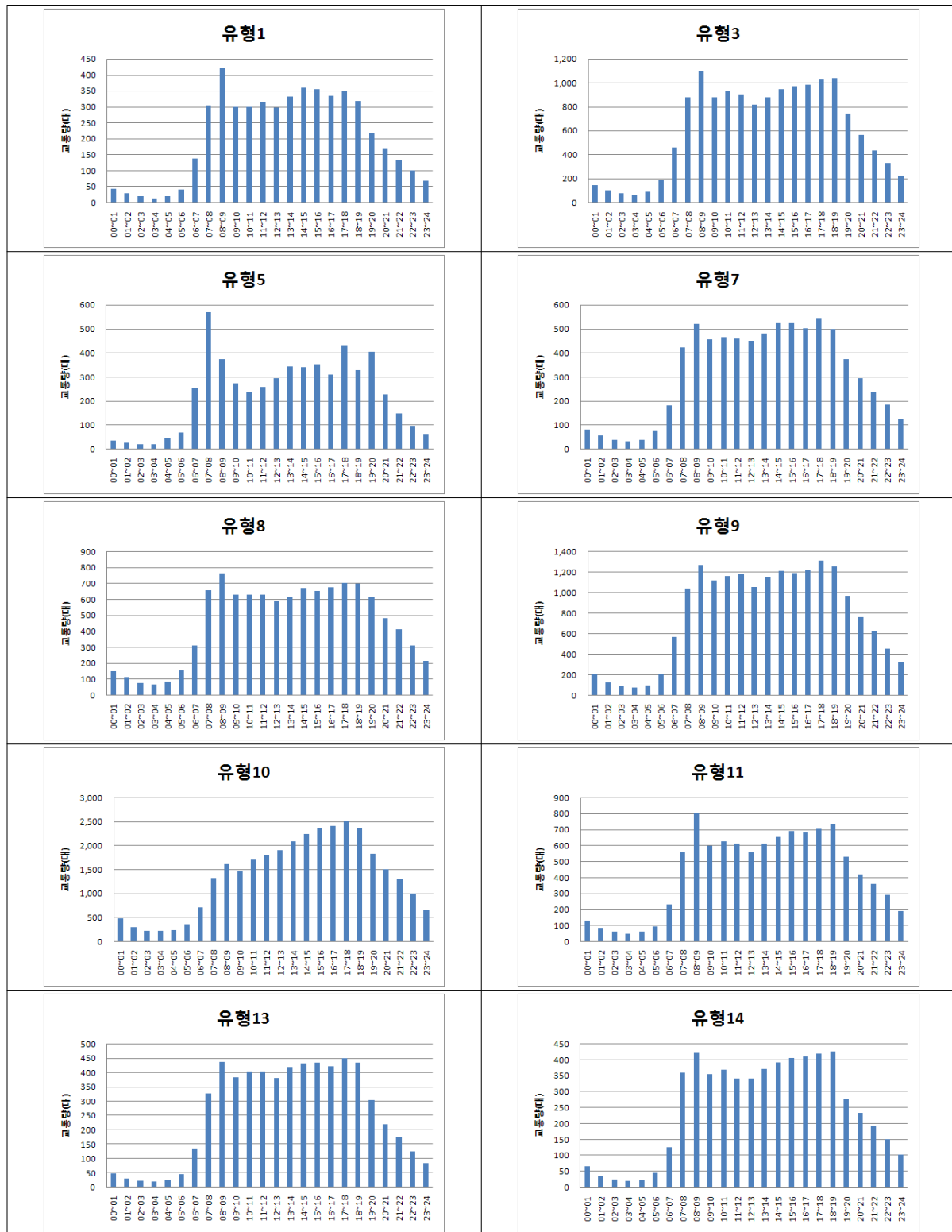
2. 도로유형별 시간대별 교통량 특성 분석

- 도로유형별 시간대별 교통량 특성을 살펴보면 시간대는 17~18시, 도로유형으로는 유형10이 가장 많은 교통량이 통행하는 것으로 나타남

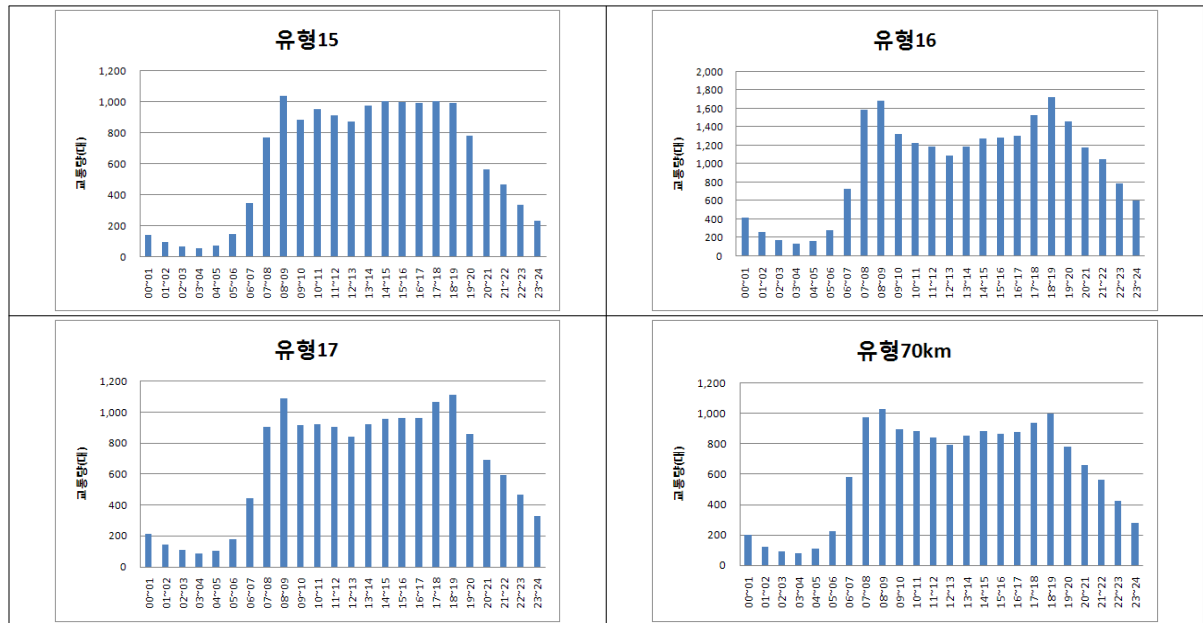
<표 4-2> 도로유형별 시간대별 교통량

구분	유형 1	유형 3	유형 5	유형 7	유형 8	유형 9	유형 10	유형 11	유형 13	유형 14	유형 15	유형 16	유형 17	유형 70km/h
00~01	55	145	37	84	152	208	487	134	48	67	145	422	212	198
01~02	35	105	27	57	115	130	311	87	31	37	96	261	145	123
02~03	24	82	20	41	77	91	230	65	22	25	69	178	108	91
03~04	18	69	21	34	70	78	222	51	21	20	55	133	86	76
04~05	22	92	46	39	85	99	243	62	25	24	72	165	105	108
05~06	47	192	71	78	156	203	358	98	46	45	146	283	179	223
06~07	148	459	257	183	310	570	723	231	135	126	346	735	445	579
07~08	328	878	570	424	657	1,039	1,323	555	327	360	774	1,592	904	976
08~09	464	1,102	376	521	764	1,264	1,618	803	439	423	1,039	1,688	1,091	1,032
09~10	347	878	274	458	630	1,114	1,461	597	384	357	887	1,327	918	897
10~11	364	937	238	465	629	1,161	1,703	624	406	369	952	1,229	923	887
11~12	394	907	260	461	629	1,182	1,799	611	405	342	917	1,190	906	845
12~13	357	816	294	452	587	1,055	1,898	559	383	342	873	1,094	842	796
13~14	398	879	345	480	618	1,143	2,093	613	421	371	976	1,189	823	855
14~15	409	950	340	524	670	1,210	2,232	653	434	392	1,005	1,280	956	882
15~16	402	972	353	525	650	1,189	2,357	689	436	407	998	1,288	965	869
16~17	382	982	310	501	676	1,213	2,411	679	423	410	997	1,312	965	880
17~18	398	1,025	432	547	703	1,310	2,508	705	451	419	1,055	1,534	1,066	937
18~19	362	1,038	328	501	699	1,249	2,363	735	436	426	993	1,725	1,111	999
19~20	245	746	405	376	615	966	1,828	530	304	279	782	1,459	859	782
20~21	196	568	230	295	481	758	1,508	420	220	234	564	1,179	694	659
21~22	157	434	148	239	413	629	1,304	363	174	194	466	1,054	593	562
22~23	118	329	98	186	314	457	1,000	292	125	151	338	795	467	426
23~24	83	230	60	124	214	325	666	194	84	104	236	603	327	277
합계	5,753	14,815	5,540	7,595	10,914	18,643	32,646	10,350	6,180	5,924	14,781	23,715	15,690	14,959

◦ 도로유형별 시간대별 교통량 그래프



<그림 4-17> 도로유형별 시간대별 교통량 그래프



<그림 4-17> 도로유형별 시간대별 교통량 그래프(계속)

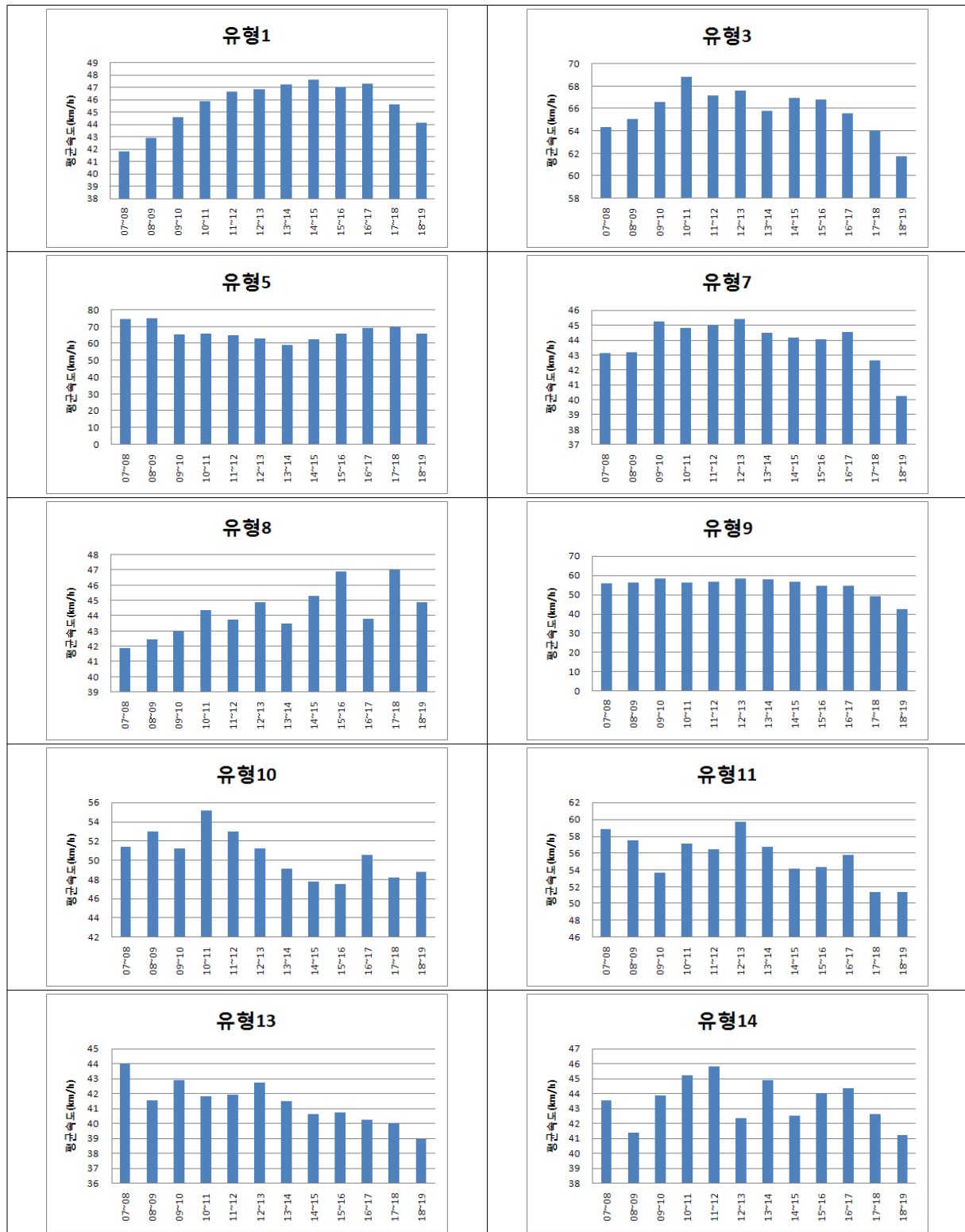
3. 도로유형별 시간대별 속도 특성 분석

- 도로유형별 시간대별 속도 특성을 살펴보면 시간대는 12~13시, 도로유형으로는 유형 5가 가장 높은 통행속도를 나타냄

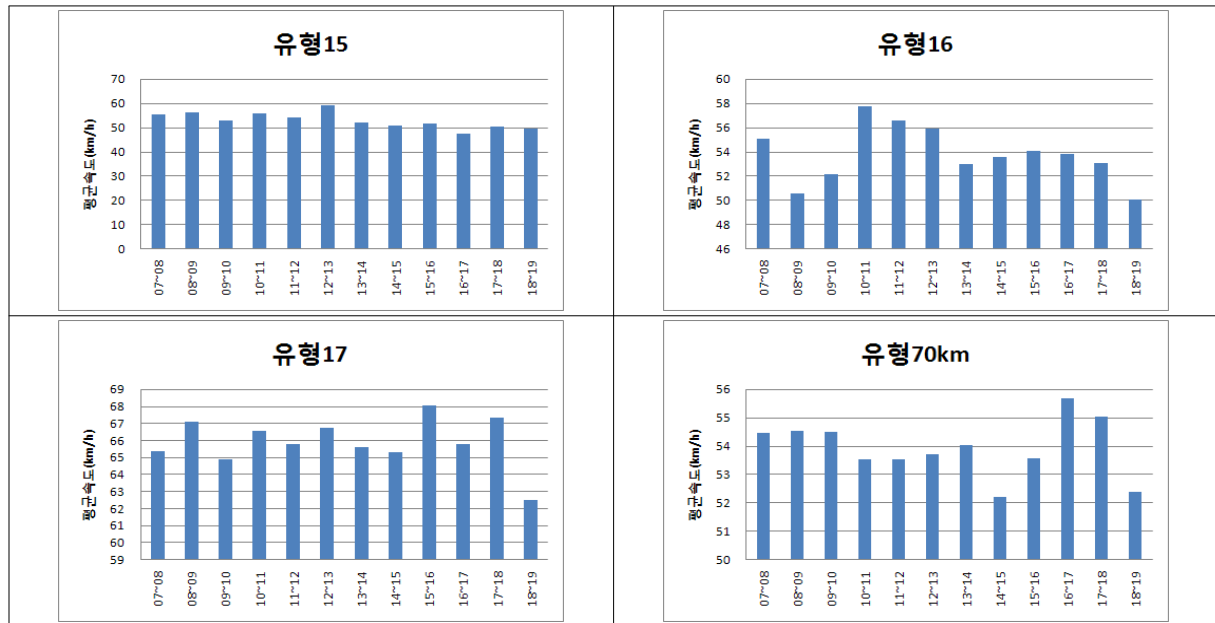
<표 4-3> 도로유형별 시간대별 속도

구 분	유형 1	유형 3	유형 5	유형 7	유형 8	유형 9	유형 10	유형 11	유형 13	유형 14	유형 15	유형 16	유형 17	유형 70km/h	평균 속도
07~08	42	64	75	43	42	56	51	59	44	44	56	55	65	54	53.57
08~09	43	65	75	43	42	56	53	58	42	41	56	51	67	55	53.36
09~10	45	67	66	45	43	58	51	54	43	44	53	52	65	55	52.93
10~11	46	69	66	45	44	56	55	57	42	45	56	58	67	54	54.29
11~12	47	67	65	45	44	57	53	56	42	46	54	57	66	54	53.79
12~13	47	68	63	45	45	58	51	60	43	42	59	56	67	54	54.14
13~14	47	66	60	45	44	58	49	57	42	45	52	53	66	54	52.71
14~15	48	67	63	44	45	56	48	54	41	43	51	54	65	52	52.21
15~16	47	67	66	44	47	55	48	54	41	44	52	54	68	54	52.93
16~17	47	66	69	45	44	55	51	56	40	44	47	54	66	56	52.86
17~18	46	64	70	43	47	49	48	51	40	43	51	53	67	55	51.93
18~19	44	62	66	40	45	42	49	51	39	41	50	50	63	52	49.57
평균속도	45.75	66.00	67.00	43.92	44.33	54.67	50.58	55.58	41.58	43.50	53.08	53.92	66.00	54.08	52.86

◦ 도로유형별 시간대별 속도 그래프



<그림 4-18> 도로유형별 시간대별 속도 그래프



<그림 4-18> 도로유형별 시간대별 속도 그래프(계속)

4. 도로유형별 차종별 교통량 특성 분석

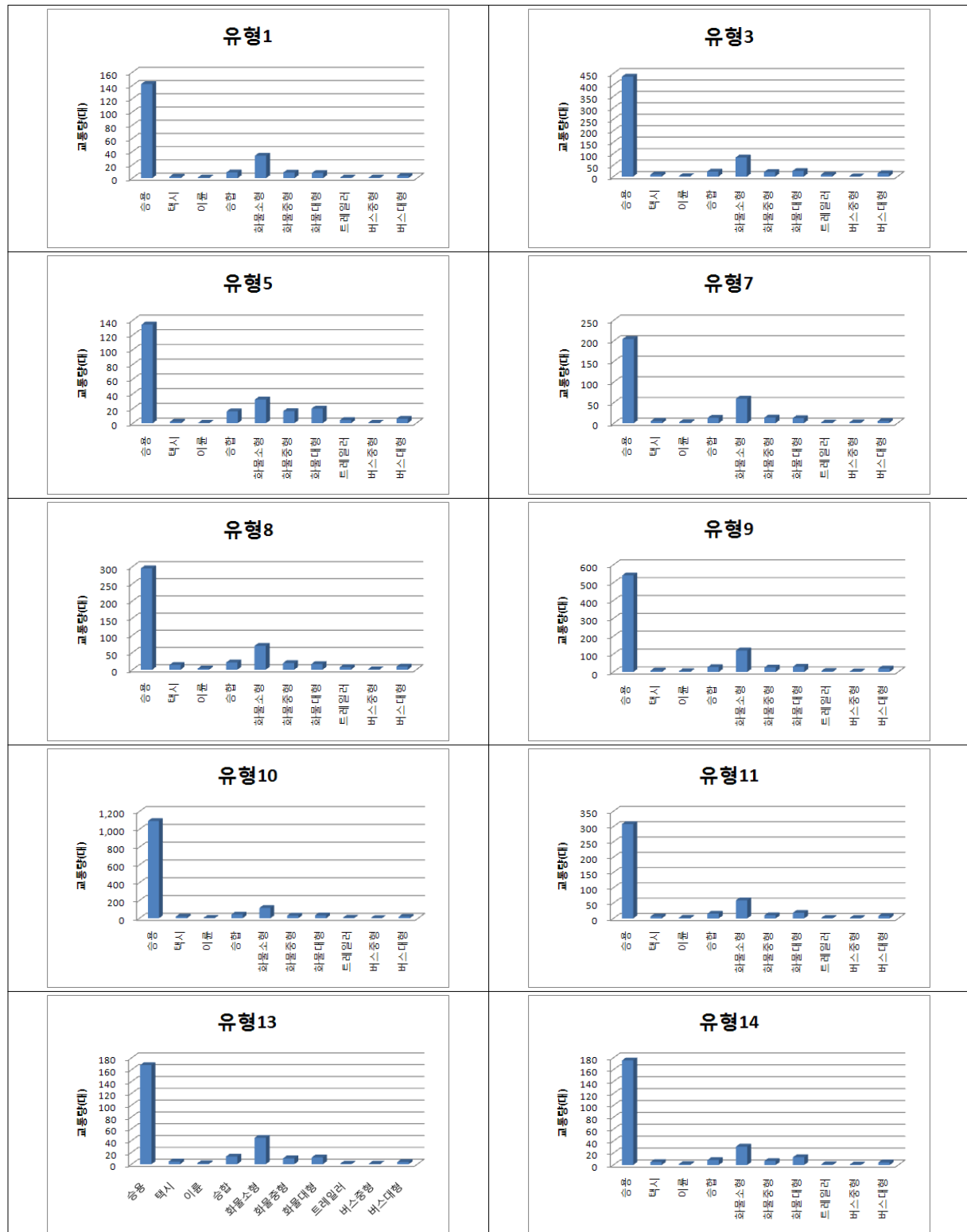
- 도로유형별 차종별 교통량 특성을 살펴보면 가장 많은 차종으로는 승용차, 승합차, 화물대형, 화물중형 순으로 나타났으며, 도로유형으로는 유형10이 교통량이 가장 많은 것으로 나타남

<표 4-4> 도로유형별 차종별 교통량

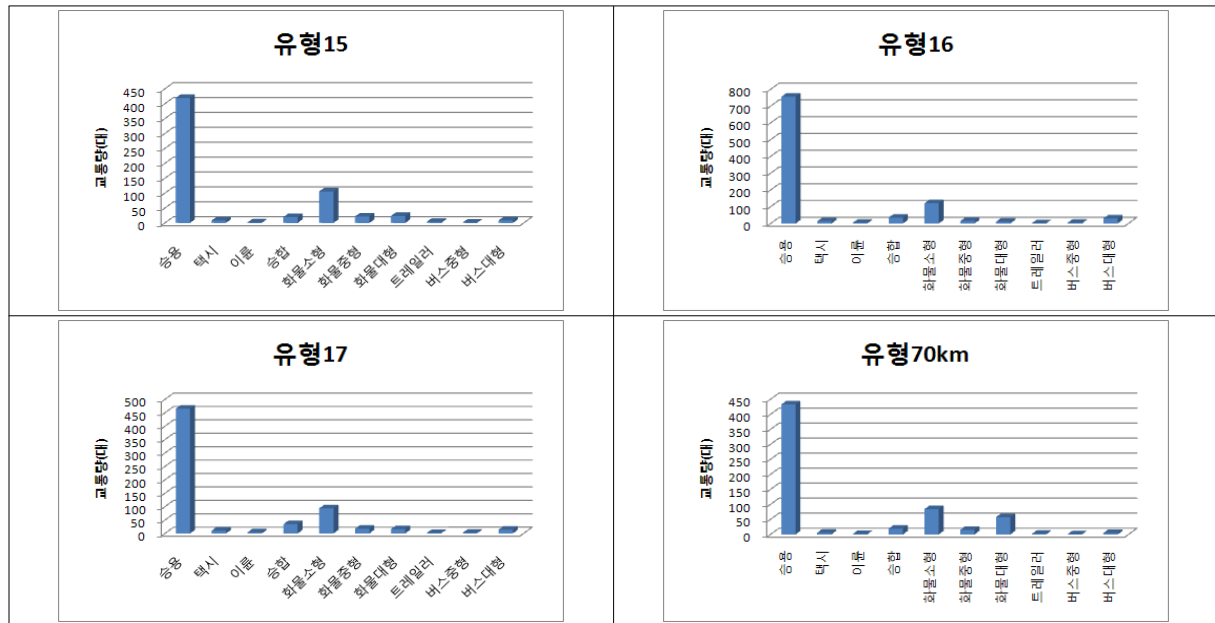
단위: 대/일

구분	승용	택시	이륜	승합	화물소형	화물중형	화물대형	트레일러	버스중형	버스대형	합계
유형1	142	2	1	8	34	8	8	1	1	3	208
유형3	436	8	1	22	83	19	24	8	1	14	616
유형5	134	2	0	16	32	16	20	4	0	6	230
유형7	204	5	2	13	59	13	12	1	2	5	316
유형8	295	14	3	21	69	19	16	7	1	9	454
유형9	540	7	4	26	120	25	29	5	3	19	778
유형10	1,091	18	5	42	115	30	32	6	3	17	1,359
유형11	308	6	2	15	59	10	18	2	2	8	430
유형13	168	4	2	13	45	10	11	1	1	4	259
유형14	176	5	2	8	31	7	13	1	1	4	248
유형15	419	8	2	20	106	22	24	4	1	9	615
유형16	756	12	5	35	121	14	10	1	4	30	988
유형17	465	10	4	34	93	18	16	2	2	14	658
유형70km	433	5	2	19	84	15	57	2	1	5	623
평균교통량	397.64	7.57	2.50	20.86	75.07	16.14	20.71	3.21	1.64	10.50	7,782

◦ 도로유형별 차종별 교통량 그래프



<그림 4-19> 도로유형별 차종별 교통량 그래프



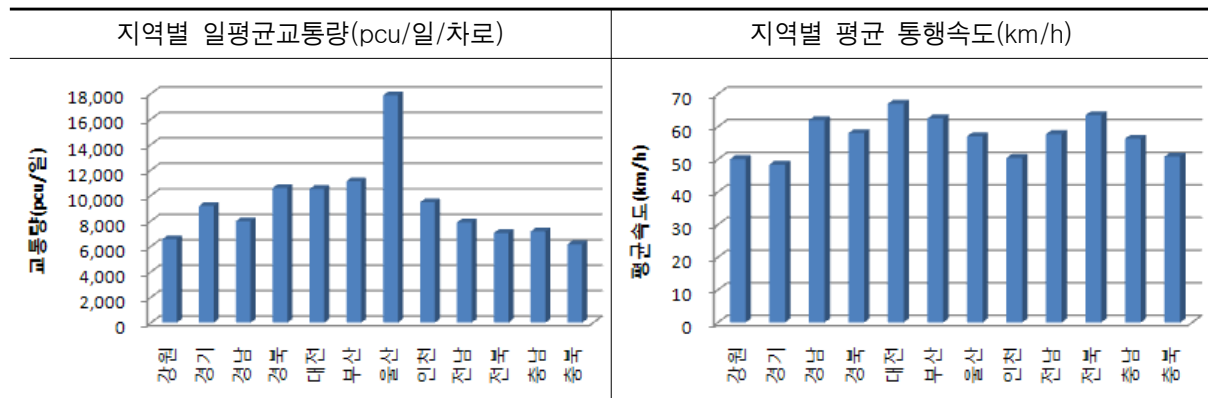
<그림 4-19> 도로유형별 차종별 교통량 그래프(계속)

5. 지역별 교통량 및 속도 특성 분석

◦ <표 4-5>는 지역별 조사지점수, 일 교통량 수준 및 속도수준을 보여주고 있음

<표 4-5> 지역별 도로유형 분포

구 분			유 형 번 호														
지역	평균속도 (km/h)	일교통량 (pcu/일/차로)	유형 1	유형 3	유형 5	유형 7	유형 8	유형 9	유형 10	유형 11	유형 13	유형 14	유형 15	유형 16	유형 17	유형 70km/h	계
강원	50	6,545	-	1	-	-	-	-	-	1	-	1	-	-	-	-	3
경기	48	9,162	5	-	1	8	-	8	1	1	10	2	4	2	2	3	47
경남	62	7,969	-	1	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	2
경북	58	10,582	-	1	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2
대전	67	10,505	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	1
부산	63	11,104	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1
울산	57	17,858	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	1
인천	50	9,453	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	1	-	2	4
전남	58	7,875	-	1	-	-	-	2	-	-	1	-	1	-	-	-	5
전북	64	7,039	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	1
충남	56	7,164	1	2	-	-	1	-	1	1	-	1	-	-	2	-	9
충북	51	6,158	3	1	-	1	-	-	-	-	-	-	-	1	1	-	7
계			9	8	1	9	3	11	2	4	11	5	5	4	6	5	83



<그림 4-20> 지역별 일평균교통량 및 평균 통행속도

6. 지역별 시간대별 교통량 특성

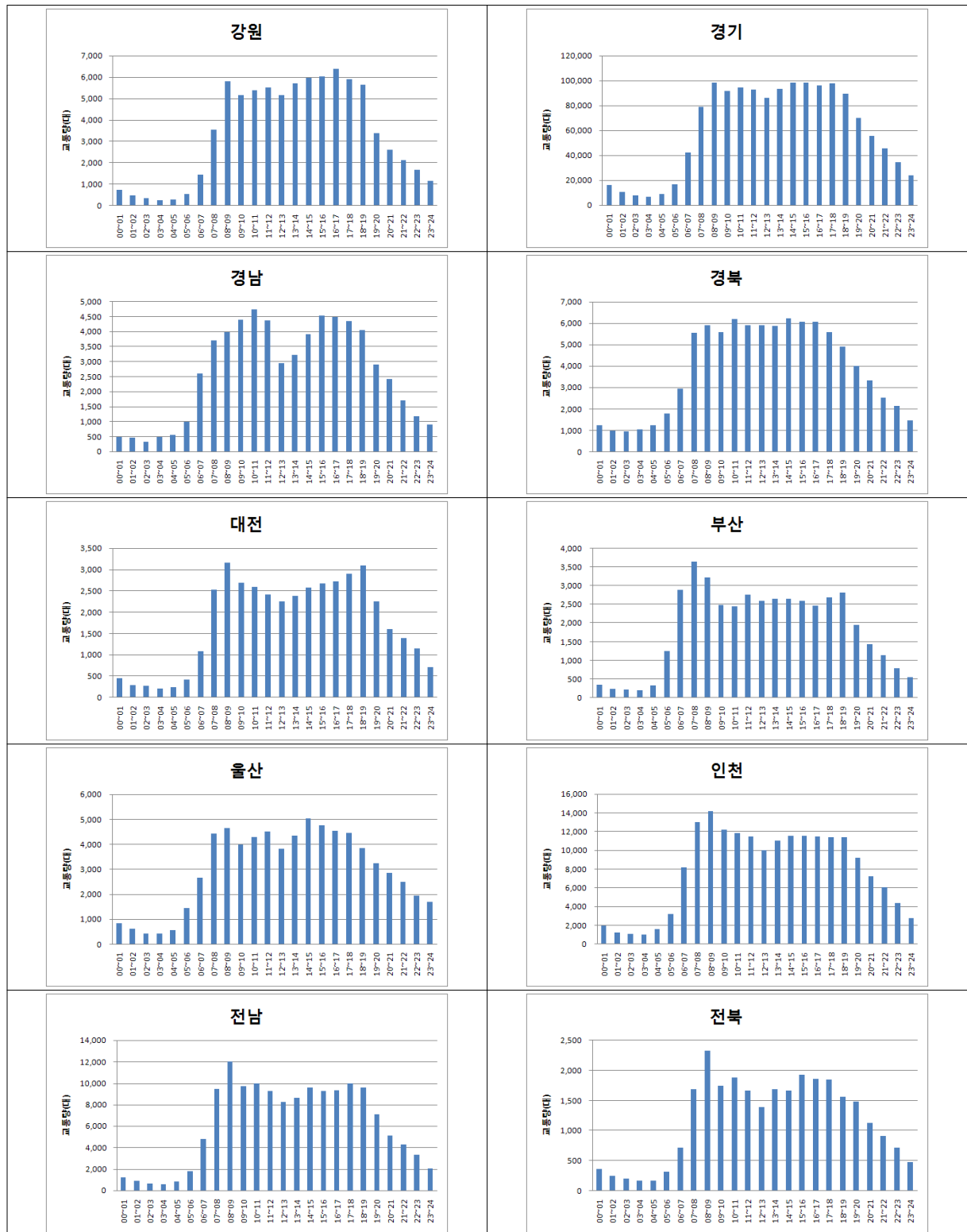
- 지역별 시간대별 교통량 특성을 살펴보면 지역별로는 경기지역이, 시간대는 오전 08~09시가 가장 많은 교통량이 통행하는 것으로 나타남

<표 4-6> 지역별 시간대별 교통량

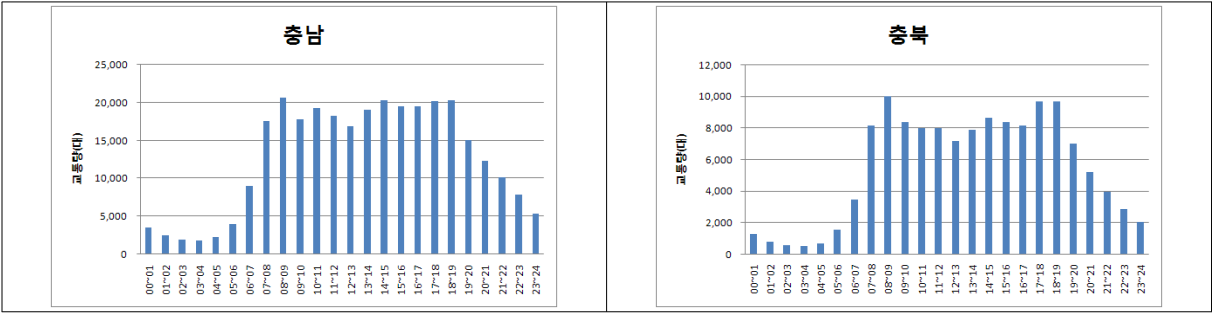
단위: pcu/일

구분	강원	경기	경남	경북	대전	부산	울산	인천	전남	전북	충남	충북
00~01	628	14,025	407	774	393	317	561	1,768	1,081	324	2,819	1,172
01~02	406	8,916	359	571	238	203	398	1,170	739	208	1,951	697
02~03	289	6,300	242	478	200	177	252	860	545	163	1,417	493
03~04	187	5,252	267	462	146	150	221	711	445	136	1,187	382
04~05	219	6,458	309	488	167	209	305	1,008	623	141	1,506	503
05~06	363	11,654	588	791	272	956	841	1,987	1,256	232	2,495	1,097
06~07	932	30,131	1,607	1,484	754	2,227	1,883	5,799	3,433	541	6,109	2,550
07~08	2,696	60,877	2,753	3,534	2,105	2,772	2,951	10,307	7,253	1,495	13,283	6,696
08~09	4,720	75,921	2,987	3,611	2,746	2,537	2,864	10,720	9,559	1,887	16,074	8,226
09~10	3,842	66,576	2,928	3,163	2,200	1,803	2,276	8,463	7,197	1,304	12,826	6,018
10~11	4,030	68,605	3,163	3,574	2,136	1,843	2,553	8,180	7,291	1,436	13,693	5,739
11~12	4,157	68,669	3,006	3,553	1,995	2,055	2,796	7,930	6,771	1,289	13,183	5,800
12~13	4,007	65,488	2,082	3,453	1,843	1,987	2,425	7,041	6,035	1,070	12,529	5,356
13~14	4,344	70,731	2,355	3,576	1,977	2,070	2,767	7,680	6,479	1,259	14,105	6,025
14~15	4,560	74,186	2,792	3,808	2,154	2,076	3,084	8,168	7,265	1,303	14,815	6,405
15~16	4,615	74,769	3,206	3,798	2,204	2,090	2,974	8,204	7,167	1,516	14,414	6,359
16~17	4,754	74,169	3,360	3,847	2,201	2,072	3,007	8,404	7,286	1,469	14,524	6,319
17~18	4,660	78,172	3,501	3,905	2,430	2,307	3,452	9,054	7,896	1,538	16,031	7,719
18~19	4,801	75,700	3,381	3,648	2,756	2,470	3,209	9,828	7,958	1,417	16,432	8,301
19~20	2,749	59,001	2,401	2,892	1,936	1,748	2,609	8,158	5,783	1,320	12,336	6,068
20~21	2,067	46,612	2,041	2,268	1,371	1,251	2,297	6,406	4,044	1,004	10,180	4,497
21~22	1,770	39,059	1,427	1,874	1,192	1,051	1,884	5,460	3,398	825	8,543	3,500
22~23	1,392	29,478	998	1,406	956	730	1,398	3,893	2,694	633	6,666	2,527
23~24	981	20,689	745	982	635	508	1,205	2,476	1,725	430	4,497	1,808
합계	63,169	1,131,438	46,905	57,940	35,007	35,609	48,212	143,675	113,923	22,940	231,615	104,257

◦ 지역별 시간대별 교통량 그래프



<그림 4-21> 지역별 시간대별 교통량 그래프



<그림 4-21> 지역별 시간대별 교통량 그래프(계속)

제3절 도로통행비용함수의 용량 검토

1. 용량의 일반적인 개념

가. 용량의 정의 및 개념

- 도로용량은 주어진 도로, 교통 및 제어 조건하에서 일정시간 동안 한차로 또는 도로의 한 점 또는 균일한 구간을 통과할 것으로 기대되는 시간당 최대교통류율을 말함(도로용량편람, 2001)
- 또한, 미국 HCM(2000)에서는 도로용량편람에서 정의한 내용과 거의 같으나 합리적으로 기대되는 값이라고 정의하고 있어서 가장 높은 교통류율이 아닌 어느 정도 반복적으로 나타날 수 있는 기대치라는 것을 강조하고 있음
- 따라서, 어느 시설의 용량이라 함은 도로, 교통, 통제조건하에서 사람이나 차량들이 차로나 도로의 일정한 지점이나 구간을 합리적으로 통과할 수 있는 시간당 최대교통류율로서 정의됨
- 고속도로 용량은 특정 방향에서 주어진 교통, 도로조건하의 일정 고속도로 구간에 의해 수용 가능한 최대 15분 교통류율로서 정의됨
- 고속도로 용량은 일반적으로 고속도로의 계획, 설계 그리고 운영하는데 중요한 역할을 담당하고 이러한 용량의 결정은 분석하고자 하는 도로 및 시설의 운영상태를 평가하고 판단하는데 중요한 지표로 활용됨
- 용량을 결정하는데 있어서 가장 중요한 판단은 합리적으로 기대되는 수치로서 관측된 절대적인 최대 교통량이 아니고 반복적으로 관측될 수 있는 교통류율이라는 것임
- 용량상태에서의 운영은 종종 병목구간의 하류부 지점에서 관측되고 대기행렬 풀림 상태에서 관측되는데 이는 가시적인 대기행렬의 존재가 병목구간 하류부의 용량을 결정하기 위한 충분한 도착 수요를 보장해 주기 때문임
- 최근 연구결과, 자유교통류 상태하에서의 용량과 대기행렬 풀림영역에서의 용량 등 두 개의 용량이 존재하며, 혼잡과 비혼잡한 교통류간 용량 차이가 발생한다는 이중용량 현상이 발생하는 것으로 제시하고 있으며, 교통와해와 용량과의 관계 규명에 초점을 맞추어 교통류 관계를 연속적인 단일모형과 다중모형으로 해석하려는 경향이 있음

- 용량 분석시 고려되어야 할 사항은 다음과 같음
 - 용량은 일반적인 도로, 교통, 통제 조건하에서 정의되고 이는 분석하고자하는 시설의 어느 구간에서도 타당하고 일정해야 하므로 일반적인 조건이 변하면 시설의 용량 변화가 발생됨을 의미함
 - 용량분석은 일정한 교통, 도로 그리고 통제조건을 가지는 시설의 구간을 대상으로 수행되는 것으로써 가장 열악한 운영상태를 가진 지점과 구간이 통상 시설의 전체적인 서비스 수준(LOS)으로 결정됨
 - 용량은 특정기간 동안의 차량이나 사람단위의 환산율(flow rate)로 표현되며, 대부분 침두 15분 단위를 사용함
- 본 절에서는 기존에 정립되어 있는 용량의 개념과 특성, 본 과업의 대상인 도로통행 비용함수내 용량에 대해 검토하고자 함

나. 용량의 종류 및 특성

1) 기본용량과 실용용량

- 기본용량은 이상적인 조건하에서 한 지점이나 한 구간을 통과할 수 있는 최대교통류를 (pcphpl)로 정의될 수 있음
- 고속도로의 이상적인 조건은 도로 기하구조, 교통 조건 그리고 주변 환경이 차량의 통행에 지장을 주지 않는 조건을 말하며, 다음과 같은 조건에 해당됨
 - 차로폭 3.5m 이상
 - 측방여유폭 1.5m 이상
 - 승용차만으로 구성된 교통류
 - 평지
- 그러나, 실제 도로에서의 도로 기하조건과 교통조건은 이상적인 조건만을 가질 수 없기 때문에 상·하향 경사와 좁은 차로폭 및 측방여유폭을 가지고 있고 교통류를 이루고 있는 차량들도 버스와 화물차가 포함된 중차량이 포함되어 있는 것이 일반적인 상황임
- 따라서, 현실적인 도로용량은 주어진 도로 및 교통조건하에서의 한 지점이나 한 구간을 통과할 수 있는 최대교통류율로 정의될 수 있고 이를 실용용량 또는 서비스수준 E에서의 서비스교통량이라 정의할 수 있음

- 주어진 도로 조건과 교통 조건에 대한 서비스교통량(vph)은 이상적인 조건의 최대 서비스 교통량(pcphpl)을 기준으로 차로폭 및 측방여유폭과 중차량을 고려하여 산출함

$$SF_i = C_j \times (V/C)_i \times N \times f_w \times f_{HV}$$

여기서,

SF_i = 서비스수준 E에서 주어진 도로 및 교통 조건에 대한 서비스 교통량(vph)

C_j = 이상적인 조건하에서의 설계속도에 따른 기본용량

N = 편도 차로 수

f_w = 차로폭 및 측방여유폭 보정계수

f_{HV} = 중차량 보정계수

- 실용용량은 서비스수준 E($V/C=1$)에서 주어진 도로조건과 교통조건을 반영하며, 다음과 같은 최대교통량(vph)을 의미함

$$SF_E = C_j \times N \times f_w \times f_{HV}$$

2) 계획용량과 운영용량

- 도로용량편람의 용량분석 목적은 계획 및 설계단계와 운영단계에서 필요한 용량을 산정하는 것이라고 설명되어 있고, 일반적으로 계획단계와 운영단계에서 사용되는 용량은 서로 다르다고 제시하고 있음
- 운영용량은 특정 병목구간을 중심으로 교통류의 흐름을 정밀분석하거나 교통제어를 위한 목적으로 사용된다고 할 수 있음
- 계획단계에서 사용되는 용량은 도로통행비용함수에 적용되는 용량과 같이 네트워크 링크용량을 의미하며, 도로용량 대비 교통량 비율로 표현되어 링크의 혼잡정도를 나타내는 지표로 활용되고 있음

3) 결정용량과 확률용량

- 기존 도로용량편람과 미국 HCM에서는 용량을 파라메타로 인식하여 1개의 고정된 값으로 나타나는 결정용량으로 받아들여 왔으나, 최근 연구결과는 용량을 하나의 고정된 값이 아닌 여러 상황에 따라 변하는 확률적인 성질을 가진 확률용량의 개념으로 소개하기 시작함

- 이러한 확률용량은 교통와해의 확률적 발생과 더불어 차로별 도로용량 변화와 전체차로 용량의 감소 등에 영향을 미칠 것으로 예상됨

4) 15분 용량과 시간용량

① 조사단위 시간대별 최대교통류율 비교분석

- 조사단위 시간대별(1분, 5분, 15분, 30분, 60분간격)로 가장 높은 교통량 수준을 보이는 1차로를 기준으로 최대교통류율을 비교·분석함
- 1분, 5분, 15분, 30분, 60분간 교통류율을 1일 단위의 최대교통류율로 선정하고 이를 교통량 수집기간('96.7 ~ '96.12) 동안의 최대값에서 내림차순으로 정리함
- 분석결과, 조사 단위시간별 1차로 최대교통류율은 <표 4-7>과 같은데, 1분 단위 최대교통류율이 3,014 pcu/h시로서 가장 높고 15분 최대교통류율 2,267 pcu/시, 1시간 최대교통량 2,178 pcu/시로 조사단위 시간대가 커질수록 최대교통류율은 작아지는 패턴을 보이고 있음

<표 4-7> 조사단위시간별 최대교통류율

단위: pcu/시/차로

구 분	1분간	5분간	15분간	30분간	1시간
최대교통류율	3,014	2,532	2,267	2,208	2,178

- 도로용량편람 상에 나와있는 용량의 조사단위시간인 15분 단위 최대교통류율을 기준으로 비교한 값이 <표 4-8>에 제시하였음
- 이 결과, 최대교통류율은 분석시간단위가 짧을수록 높게 나타나고 있으며, 확인하였고, 이는 분석시간 단위가 짧을수록 단위시간 동안 차량군을 이루며 통과하는 차량들의 분포가 높기 때문인 것으로 분석됨

<표 4-8> 15분 최대교통류율 기준 조사단위 시간대별 관계

구 분	1분간	5분간	15분간	30분간	1시간
최대교통류율	1.33	1.12	1.00	0.97	0.96

- 이러한 분석결과는 분석단위를 어떻게 설정하는냐에 따라 최대교통류율이 달라지고 용량값도 다르게 결정될 수 있다는 것을 의미하므로 용량을 결정할 때 분석단위 선정은 매우 중요함

5) 1차용량과 2차용량(이중용량)

- 이중용량 현상은 두 개의 분리된 용량이 존재한다는 것으로써 이는 안정류 상태에서 존재하는 용량(1차 용량)과 수요가 용량을 초과할 때 대기행렬 풀림 조건하에서의 용량(2차 용량)이 생성된다는 것이고, 이는 교통류가 안정류에서 불안정류로 전이될 때 각각의 자유교통류 용량과 대기행렬 풀림 용량 사이에 차이가 발생한다는 현상으로 계속적인 연구가 진행중에 있음
- 이러한 현상은 교통와해가 최대 교통량을 통과하여 발생한 경우 대기행렬 풀림 교통량은 최대교통량보다 상대적으로 낮게 관측되고 외부요인에 의해 교통류가 최대교통량보다 낮은 상태에서 교통와해가 발생하면 상대적으로 대기행렬 풀림 교통량이 높게 관측됨
- Edie와 몇몇 연구자(1967)들은 속도, 밀도, 교통량 사이의 관계가 용량근처에서 불연속적이고 대기행렬 상태에서 통과시킬 수 있는 최대 교통류율은 안정 교통류에서의 용량보다 적은 것으로 분석됨에 따라 고속도로 대기행렬 출발교통류율의 다양한 관측에서 1,500 ~ 2,000 pcuphpl 정도의 범위에 해당된다고 기술하고 있음
- Hall과 Agyemang-Duah(1991)는 대기행렬 풀림 조건하에서 용량이 2,200 ~ 2,300 pcuphpl로 교통류율이 떨어지는 것으로 제시하고 이러한 이중용량간의 차이발생이 고속도로 교통통제 방법중의 하나인 연결로 미터링 기본개념의 핵심조건으로 적용함
- 즉, 대기행렬 풀림 조건하의 최대 교통류율이 자유교통류 상태하의 최대 교통량보다 상대적으로 낮은 교통량 수준을 보이므로 연결로 미터링 기법을 활용하여 고속도로 교통류의 교통와해를 일으키기 전에 교통수요를 조절함으로써 자유 교통류하의 최대 교통량으로 운영될 수 있도록 하는 전략임
- 본 과업에서는 1차용량을 기준으로 용량산정을 수행하여 차로별 용량특성 분석과 전체용량을 결정함

6) 단속류 용량

- 단속류 신호교차로의 각 접근로 용량은 각 현시에 따른 차로군별로 산출되는데, 교차로 접근로의 용량은 전반적인 도로조건, 교통조건 및 신호조건에서 교차로를 통과할 수 있는 차로군별 용량으로 표현될 수 있음

$$c_i = S_i \times \frac{g_i}{C}$$

여기서, c_i = i 차로군의 용량(vph) S_i = i 차로군의 포화교통류율(vph)

g_i = i 차로군의 유효녹색시간(초) C = 주기(초)

- 단속류 용량은 포화교통류율에 유효녹색비율(g/C)을 적용하여 각 현시에 해당되는 차로군별로 용량을 산정함

다. 도로통행비용함수내 용량 개념

- 앞에서 살펴본 바와 같이 다양한 개념의 용량이 존재하므로 도로통행비용함수에 사용되는 용량이 어떤 종류의 용량인지 정의할 필요가 있고, 이를 위하여 현재 KTDB에서 제공하는 도로통행비용함수의 기본형태를 살펴보면 다음과 같음

$$t = t_0(1 + \alpha(v/c)^\beta)$$

여기서, t = 링크 통행시간(분) t_0 = 자유속도 상태의 통행시간

v = 링크교통량(pcu/시) c = 링크용량(pcu/시)

α, β = 파라메타

<표 4-9> 도로용량비용함수내 도로등급별 용량값

(단위 : pcu/시/차로)

구 분	고속도로		일반국도, 지방도		광역시도, 시군도	
	1차로	2차로 이상	1차로	2차로 이상	1차로	2차로 이상
최대교통류율	1,600	차로당 2,200	750	차로당 1,000	650	차로당 900

- 현재 사용되고 있는 도로통행비용함수내 용량은 고속도로의 경우 도로용량편람에 있는 설계속도 100km/h의 기본용량인 2,200pcuphpl를 사용하고 있고 다차로 고속도로는 차로용량 2,200pcuphpl에 차로수를 곱하여 전체차로 용량을 적용하고 있음

$$\text{전체차로 용량} = 2,200\text{대/시/차로} \times \text{차로수}(N)$$

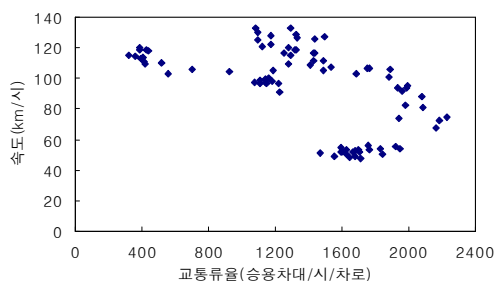
- 준연속류와 단속류 도로가 혼재된 일반국도와 지방도는 1차로 750pcuphpl와 2차로 이상 도로에서 차로당 1,000pcuphpl를 적용하고 단속류에 해당되는 광역시도, 시군도는 일반국도, 지방도에 비해 100pcuphpl가 적은 1차로 650pcuphpl, 2차로 이상 도로 차로당 900pcuphpl를 적용하고 있으나 명확한 근거를 제시하지 않고 있음

- 최근 국도 도로시설의 입체교차로와 중앙분리대 설치로 인한 고규격화로 용량의 재산정이 필요함
- 도로통행비용함수에 적용되는 용량은 실제 도로 기하조건을 반영한 실용용량이어야 하고 링크 교통수요와 대응되는 1시간 단위의 용량이며 도로계획 분석시 사용되는 계획용량에 해당되고 1개의 고정된 용량이 아닌 여러 차로수별로 용량이 변하는 확률용량 개념으로 정의되는 것이 바람직함

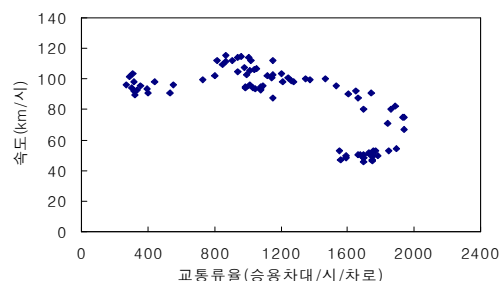
2. 고속도로 차로수별 용량

가. 차로별 용량 분석

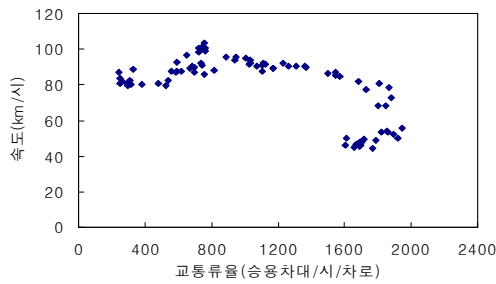
- 일반적으로 도로용량은 대상지점의 교통류 모형의 정립과 더불어 최대 관측교통량 분석을 통하여 결정되는데, 한 지점에서 관측된 한번의 최대 교통류율보다 여러번 반복적으로 나타나는 교통류율이 합리적인 용량 값으로 인식됨
- 조사지점별 검지기를 통해 수집된 교통량 자료를 이용하여 최대 교통류율로 분석하고 용량결정을 위해 조사자료를 누적곡선을 도식화하여 분석하였으며 결정된 용량의 적정여부를 검토하기 위해 조사지점에서의 속도자료를 가지고 정체교통류의 존재를 확인함
- 고속도로 차로별 교통류율을 분석하기 위해, 차로별로 속도-교통류율 관계곡선을 도식화하여 분석하였는데, <그림 4-22>, <그림 4-23>에서 보는 바와 같이 1차로가 가장 큰 최대교통류율과 자유교통류 속도를 가지는 것으로 분석되었고, 순차적으로 2차로, 3차로, 4차로로 가면서 최대교통류율과 자유교통류 속도가 조금씩 낮아지는 패턴을 보이고 있음



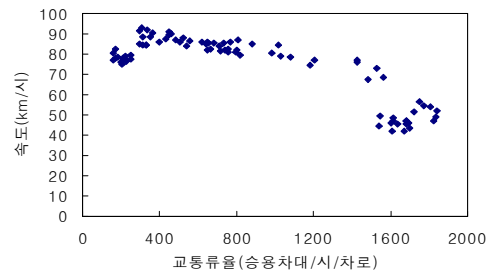
a. 1차로



b. 2차로

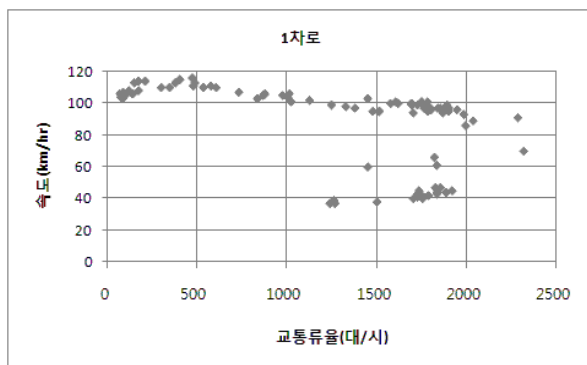


c. 3차로

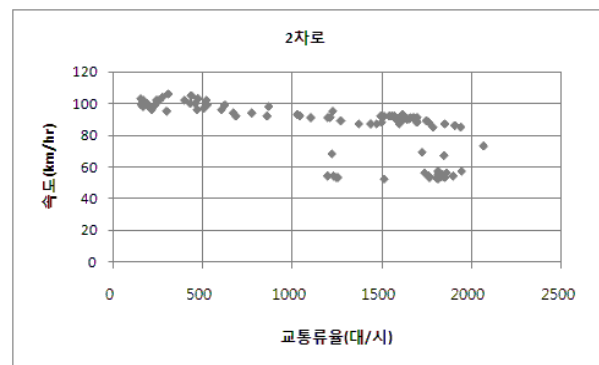


d. 4차로

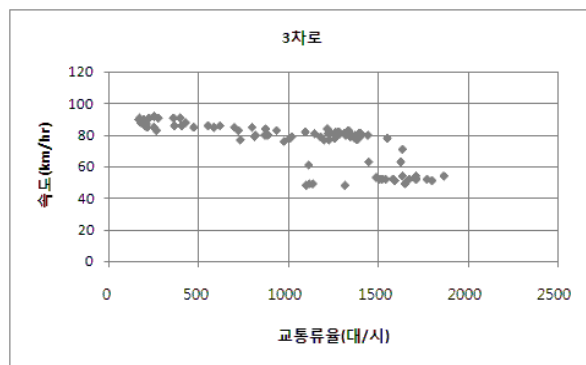
<그림 4-22> 속도-교통류율 관계곡선(고속도로 4차로 구간)



a. 1차로



b. 2차로



c. 3차로

<그림 4-23> 속도-교통류율 관계곡선(고속도로 3차로 구간)

- <표 4-10>은 차로별 속도-교통류율 관계곡선을 이용하여 차로별 최대교통류율을 분석한 결과를 보여주고 있는데, 전체 4개 차로 중 1차로 최대교통류율이 2,267pcphpl로 가장 높게 나타났으며, 다음으로 2차로, 3차로, 4차로 순으로 각각 2,083pcphpl, 2,070pcphpl, 1,960pcphpl 인 것으로 분석됨

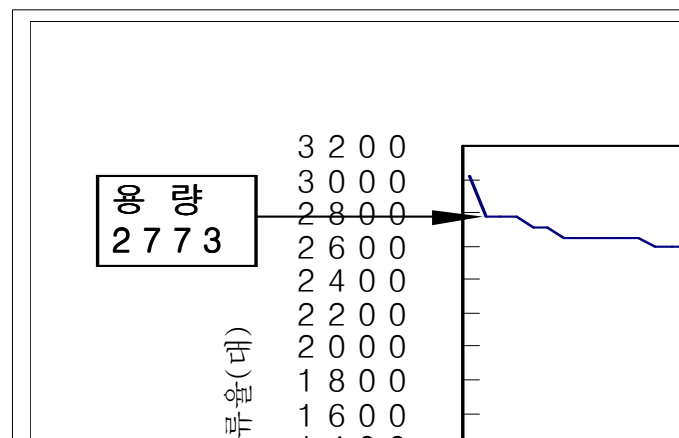
- 1차로 최대교통류율 대비 차로별 최대교통류율 비율을 보면, 2차로가 0.918, 3차로가 0.913, 4차로가 0.865 수준으로 나타나, 4차로 최대교통류율의 경우 1차로 최대교통류율에 비해 13.5% 정도 감소하는 것으로 분석되어 차로별 용량 산정시 영향을 미칠 것으로 판단됨

<표 4-10> 차로별 최대교통류율

단위: pcu/시/차로

구분	1차로	2차로	3차로	4차로
최대교통류율	2,267	2,082	2,070	1,960
1차로 대비 비율	1.00	0.918	0.913	0.865

- 용량은 한번 관측되는 최대교통류율로 산출되기 보다는 첨두시간 동안 반복적으로 발생하는 교통류율로 결정하는 것이 바람직함
- 이를 위해, 본 과업에서는 <그림 4-24>에서와 같이 관측일 동안의 교통류율을 내림차순 누적곡선으로 도식화한 후, 누적곡선상의 변곡점을 용량으로 결정함



<그림 4-24> 교통류율 내림차순(1차로, 1분)

- <표 4-11>은 차로별 용량을 산정한 결과를 보여주고 있는데, 최대교통류율의 패턴과 같이 차로수가 증가할수록 용량이 감소되고 있으며, 차로별 최대교통류율과 용량간의 차이는 150대/시 미만인 것으로 나타남
- <표 4-12>은 1차로 용량 대비 차로별 용량의 비율을 보여주고 있는데, 차로수가 증가할수록 차로별 용량의 감소율은 조금씩 커지는 패턴을 보이고 있음

<표 4-11> 차로별 용량과 최대교통류율 비교

단위: pcu/시/차로

구 분	1차로	2차로	3차로	4차로
용 량	2,194	2,014	1,924	1,816
최대교통류율	2,267	2,082	2,070	1,960
비 교	73	68	146	144

<표 4-12> 15분간 용량과 최대교통류율 상호관계

구 분	1차로	2차로	3차로	4차로
용 량	1.00	0.918	0.877	0.828
최대교통류율	1.00	0.918	0.913	0.865

주: 1차로를 기준으로 환산한 결과임

나. 도로용량 산정

- 고속도로 전체차로의 용량을 산정하기 위해 모든 차로에 대한 15분간 교통량을 1시간 단위로 변환시켰으며, 차로별 용량 산정방법론과 동일하게 교통류율을 내림차순으로 정렬하여 최대교통류율이 아닌 변곡점에서의 교통류율을 용량을 산정함
- 차로수별 용량을 산정하는 방법은 2가지로 제안할 수 있음
 - 각 차로에서 결정한 차로용량을 합한 값을 전체용량으로 산정하는 방법
 - 모든 차로의 교통량을 합하여 전체용량으로 산정하는 방법
- 본 과업에서는 두 번째 방법을 이용하여 방향별 전체차로 용량을 결정하였고 산정된 차로수별 용량은 <표 4-13>과 같음

<표 4-13> 도로용량 분석

단위: pcu/시

차로수	구간	용 량					
		1차로	2차로	3차로	4차로	5차로	전체차로
2차로	영동선 상행(5.6km)	2202	1996	-	-	-	4,198
	영동선 57.5km	2,200	1,600	-	-	-	3,800
3차로	영동선(북수원~동수원)	2324	2065	1632	-	-	6,021
	영동선 23.3km	2,200	1,900	1,700	-	-	5,800
4차로	경부선	2,234	2,070	1,676	1,722	-	7,702
	경부선 상행(25.2km)	2,194	2,014	1,924	1,816	-	7,744
	경부선 하행(25.2km)	2,242	2,087	1,981	1,908	-	8,218
	경부선 하행(89.0km)	2091	1916	1809	1901	-	7,717
	서울외곽순환선11.3km (판교~의정부)	2,200	2,000	1,800	1,700	-	7,700
5차로	서울외곽순환선23.5km (판교~의정부)	2,400	2,200	1,900	1,700	1,700	9,900

주: 음영자료의 단위는 혼합교통량 단위인 대/시임

- 고속도로의 차로수 증가에 따른 차로당 용량의 감소정도를 나타내는 차로영향계수를 산정하기 위해 1차로인 경우의 도로용량은 도로용량편람에서 제시하는 기본용량 2,200pcphpl을 적용함

$$\text{차로영향계수} = \frac{\text{전체차로용량}}{\text{기본용량}(2,200) \times \text{차로수}}$$

- 고속도로 차로수별 차로영향계수를 살펴보면, 편도 2차로 고속도로의 경우 차로영향계수가 0.95, 3차로 고속도로 0.91, 4차로 고속도로 0.88로서 차로수가 많을수록 차로영향계수가 작아지는 것으로 분석됨
- 이와 같은 결과가 시사하는 바는 차로수 증가에 따라 1차로 용량을 차로수만큼 단순 증가시키는 것은 한계가 있는 것으로 해석할 수 있으며, 도로통행비용함수에 입력자료로 반영되는 도로용량은 적정 범위내에서 탄력적으로 적용할 필요가 있는 것으로 판단됨
- 따라서, 본 과업에서는 차로수에 따른 도로용량 분석결과에 근거하여, 고속도로의 용량을 차로당 2,200pcphpl로 획일적으로 적용하기 보다는 도로의 특성(예: 진출입램프간 간격, 도로기하구조 등)에 따라 차별적으로 적용하는 것이 바람직할 것으로 판단됨
- 본 과업에서 분석한 차로수별 도로용량은 교통량 조사구간의 샘플수의 변화에 따라 변화될 수 있는 여지가 있으므로, 차로수에 따른 도로용량을 고정적으로 적용하기 보다는 앞에서 제시한 바와 같이 2,000 ~ 2,200pcphpl 범위내에서 탄력적으로 조정하는 방안을 제안함

<표 4-14> 차로수별 차로영향계수

단위: pcu/시

차로수	기본용량	전체용량	차로영향계수	적용 차로영향계수
2차로	4,400	4,198	0.95	0.95
		3,800	0.86	
3차로	6,600	6,021	0.91	0.91
		5,800	0.88	
4차로	8,800	7,702	0.88	0.88
		7,744	0.88	
		8,218	0.93	
		7,717	0.88	
		7,700	0.88	
5차로	11,000	9,900	0.90	-

주: 음영자료의 단위는 대/시로서 차로영향계수를 적용시 제외하였음

3. 준연속류 용량

가. 개요

- 기존 도로통행비용함수에서는 일반국도, 지방도 용량을 신호등밀도, 차로수 등에 상관없이 1,000pcphpl 이내로 제한하고 있음
- 준연속류는 단속류 시설과 같이 신호교차로를 가지고 있으나 신호등 밀도에 의해 구분되며 신호교차로는 고속도로 기본구간과는 다르게 회전교통류가 존재하기 때문에 현시에 따른 차로군 용량은 고속도로 용량과는 다른 방법으로 결정되어야 함
- 기존 연구(정준화, 2007)에 의하면, 신호등 밀도에 따라 자유속도가 감소하는 것으로 제시하고 있고 이는 도로통행비용함수의 통행시간 산출에도 영향을 미칠 것으로 판단됨
- 신호등 밀도에 의해 구분되는 준연속류는 기존 연구결과에서 보는 바와 같이 용량 값이 유효녹색비율(g/C)에 의해 영향을 받으므로 준연속류 용량산정시 이에 대한 고려가 필요할 것으로 판단됨

나. 산정 방법론

- 준연속류 용량 산정 방법은 도로용량편람에서 제시하고 있는 신호교차로의 대표 녹색 시간비(g/C)를 산정하고 포화교통류율에 적용하여 준연속류 용량을 산정하고자 함

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

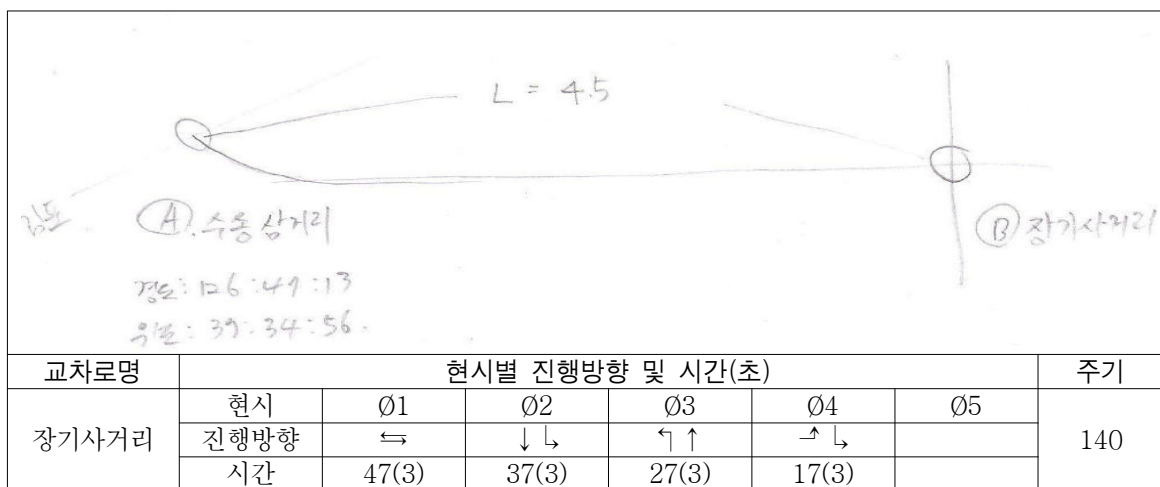
여기서, c = 직진 방향 차로의 용량(pcph) N = 교차로에서의 직진 차로수
 s = 차로당 포화교통량(pcphpl) g/C = 평균 녹색시간비

- 조사된 일반국도급 신호교차로의 주도로 및 부도로 여부를 판단하여 주도로를 준연속류로 가정하고 주도로의 신호현시만 고려하여 g/C를 산정하였으며, 주도로의 직진현시 시간과 좌회전 현시시간을 더하여 한방향 현시로 만든 후 평균 g/C를 산정함

다. 준연속류 용량분석

1) 자료수집 및 분석

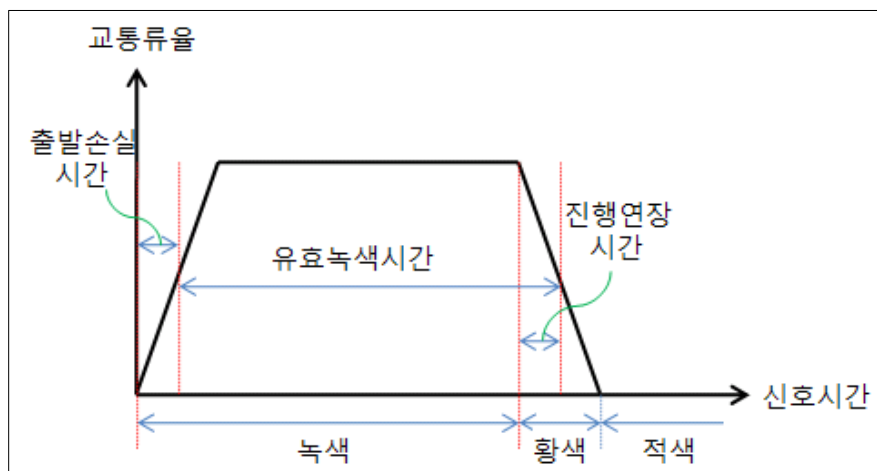
- 본 조사에서 수집된 준연속류 신호교차로를 대상으로 신호현시와 주기를 수집하여 정리하였으며, 조사된 전체 교차로(84개) 중에서 3지 교차로(30개)와 4지 교차로(54개)로 구분하고 준연속류 도로시설의 일반적인 교차로 형태인 4지교차로 형태만 분석함
- 조사된 원시자료는 <그림 4-25>에서 보는 바와 같이 각 교차로에 대하여 현시시간과 주기를 보여주고 있음



<그림 4-25> 신호현시 조사자료(예시)

2) 산정방법

- 조사된 신호시간은 녹색시간과 황색시간으로 구분되어 있는데 출발손실시간과 진행연장 시간은 비슷할 것으로 판단하여 녹색시간을 유효녹색시간이라고 가정하여 분석하였음



<그림 4-26> 유효녹색시간 개념도

- 개별 교차로의 주도로 직진 현시시간과 좌회전 현시시간을 더하여 주방향 현시시간으로 만든 후 대표 g/C는 개별 교차로 주방향에 대한 평균으로 산정하였으며, 도로등급을 구분하여 도로등급별 대표 g/C에 도로용량편람에서 제시한 기본 포화교통류율(2,000pcphpl)을 적용하여 준연속류 용량은 산정함

3) 준연속류 용량 분석결과

- 신호등밀도, 차로수에 따라 준연속류 도로등급을 구분한 후, 각 도로등급별 평균주기, 평균 유효녹색시간을 계산하여 이를 토대로 유효녹색시간비(g/C)를 제시하면 <표 4-17>과 같은데, 각 신호등 밀도별로 1차로 보다 2차로 이상 준연속류 도로가 평균 주기, 평균 유효녹색시간 측면에서 더 크게 산정도미
- <표 4-18>은 신호등 밀도와 차로수별로 기본 포화교통류율에 g/C를 적용하여 준연속류 용량을 산정한 결과를 보여주고 있음

<표 4-15> 준연속류 도로등급별 g/C 산정

신호등 밀도(D)	0<D<0.3		0.3≤D<0.7		0.7≤D<1.0		
차로구분	1차로	2차로이상	1차로	2차로이상	1차로	2차로	3차로
교차로 분석갯수(개)	5	7	6	12	8	11	5
평균주기(초)	116	154	129	163	143	150	135
평균 유효 녹색시간(초)	65	101	78	99	89	94	89
g/C	0.553	0.667	0.612	0.589	0.595	0.622	0.659

<표 4-16> 준연속류 도로등급별 용량 산정 결과

신호등 밀도(D)	0<D<0.3		0.3≤D<0.7		0.7≤D<1.0		
차로구분	1차로	2차로이상	1차로	2차로이상	1차로	2차로	3차로
g/C	0.553	0.667	0.612	0.589	0.595	0.622	0.659
용량 (pcphpl)	1,217	1,467	1,346	1,295	1,309	1,367	1,450

- 산정된 과정을 살펴보면 준연속류 용량은 g/C에 의해서 결정되기 때문에 준연속류 도로 등급 구분에 사용된 신호등 밀도(D)는 준연속류 용량에 영향을 주지 못하는 것으로 분석됨
- 준연속류 도로등급을 구분한 신호등 밀도를 도로통행비용함수에 고려할 수 있는 방법은 교차로 지체시간을 추가로 반영하는 방법이 있으나, 교차로 지체시간 반영은 이미 도로 통행비용함수내의 파라메타(α , β)를 산정하면서 반영하였기 때문에 신호등 밀도별로 구분하여 g/C를 결정하는 것과 이에 따른 용량산정은 의미가 없는 것으로 판단됨
- 따라서, 본 과업에서는 신호등 밀도별로 준연속류 용량을 구분하지 않고 준연속류의 차로수만 구분하여 대표 g/C와 용량을 산정하고자 함

<표 4-17> 준연속류 차로수별 g/C 산정

구 분	1차로	2차로	3차로이상
교차로 분석갯수(개)	19	30	5
평균주기(초)	132	156	135
유효녹색 시간(초)	79	98	89
g/C	0.585	0.619	0.659

<표 4-18> 준연속류 차로수별 용량 산정결과

구 분	1차로	2차로	3차로이상
g/C	0.585	0.619	0.659
용량값(pcu/시/차로)	1,288	1,362	1,450
적용 용량(pcu/시/차로)	1,250	1,350	1,450

- 준연속류 차로수별로 g/C는 1차로 0.585, 2차로 0.619, 3차로 이상 0.659로서 차로수에 비례하여 크게 계산되었고 이에 따른 준연속류 용량값도 같은 패턴을 보임
- 본 과업에서는 준연속류 도로등급에 따른 용량을 1차로 1,250 pcu/시/차로, 2차로 1,350 pcu/시/차로, 3차로 이상 1,450 pcu/시/차로를 제시함

<표 4-19> 기존 도로통행비용함수내 용량과의 비교

단위: pcu/시/차로

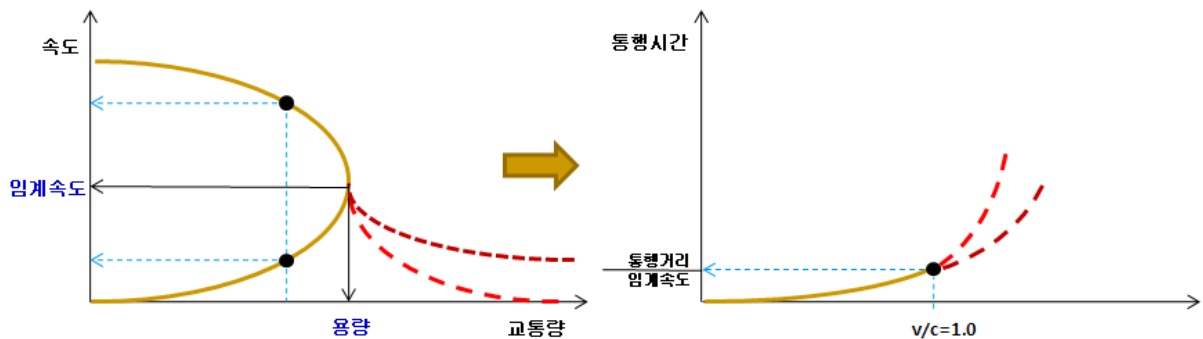
구 분		1차로	2차로	3차로이상
기존용량	고속도로(연속류)	1,600	2,200	2,200
	일반국도, 지방도(단속류)	750	1,000	1,000
본 과업의 용량(준연속류)		1,250	1,350	1,450
차이	연속류	-350	-850	-750
	단속류	500	350	450

- 기존 도로통행비용함수에서 적용하고 있는 고속도로와 일반국도/지방도의 용량과 본 과업에서 산정된 준연속류 용량을 비교해보면, 준연속류 용량은 고속도로보다 차로당 -350 ~ -850 pcu/시 정도 적고 일반국도/지방도보다 차로당 350 ~ 500 pcu/시 정도 높은 수치를 보이고 있어 연속류와 단속류의 중간에 해당됨
- 기존 도로통행비용함수내 용량과 본 과업에서 산정한 준연속류 용량값의 차이는 이번 도로통행비용함수에서 새롭게 분류한 준연속류 도로시설이 분류기준인 신호등밀도, 중앙분리대 유무 등의 적용으로 기존 연속류 도로시설(고속도로)보다는 도로설계수준이 낮고 단속류 도로시설(일반국도, 지방도)보다 고규격화된 도로조건을 가지고 있어서 연속류와 단속류 도로특성이 모두 포함된 교통특성을 가지고 있기 때문임
- 그러나, 본 과업에서 산정한 준연속류의 도로용량은 전국 206개의 도로교통량 및 신호현시 조사 샘플수의 의한 것으로 대표성이 있다고 판단하기에 한계가 있으므로, 당장 도로통행비용함수에 반영하기보다는 추후 보다 많은 교통량 및 신호현시조사를 통하여 결정할 필요가 있음
- 따라서, 준연속류의 도로용량은 기존 일반국도 및 지방도 등에서 규정한 바와 같이, 평균 녹색신호시간이 신호주기의 약 50% 수준이라고 가정하여 차로당 1,000pcu/대를 준연속류 도로통행비용함수에 적용하는 것을 원칙으로 하되, 추후 추가적인 교통량 조사 및 신호현시조사를 통하여 준연속류 도로용량을 결정할 필요가 있음

제4절 도로용량과 임계속도

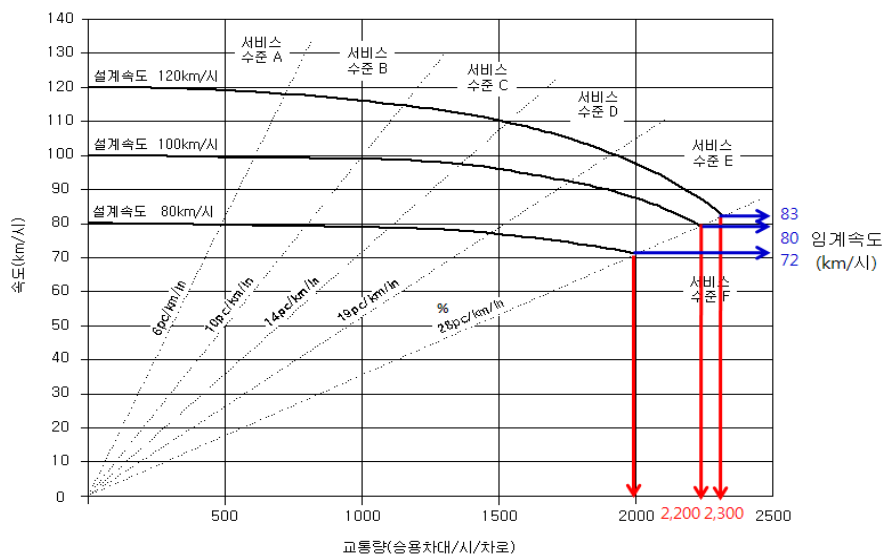
1. 개요

- 도로용량과 임계속도 관계는 도로통행비용함수의 교통량 대 용량비(v/c)가 1.0일 때 통행시간을 결정하는 아주 중요한 의미를 가짐
- 임계속도는 교통량이 용량에 도달했을 때($v/c=1.0$)의 속도로 정의되며 속도-교통량 관계곡선에서 변곡점에서 결정됨



<그림 4-27> 도로통행비용함수와 임계속도

- 도로용량편람에서는 설계속도별로 임계속도가 다르게 나타나는 것으로 제시되어 있고 설계속도가 높을수록 임계속도도 높게 제시됨



<그림 4-28> 설계속도별 임계속도(도로용량편람)

2. 교통와해와 용량

가. 교통와해 특성

- 교통 와해상태가 진행 중이거나 발생 후의 교통류 행태에 대한 해석은 아직까지 정립된 것이 없으나, 연속류는 대기행렬로 인해 정체된 교통류가 출발할 때 통과할 수 있는 교통류율은 정상적인 교통류 흐름에서 용량이 나타나는 수치만큼 통과시킬 수 없는 것으로 제시되고 있음(HCM, 1994)
- 이러한 용량감소에 미치는 주요한 원인으로는 개별 운전자의 특성인데, 다른 요인에 의한 감소가 없는 경우의 용량과 비교하여 25% 범위까지 용량감소가 발생하는 것으로 나타남
- 돌발상황이나 영구적인 병목으로 인한 대기행렬의 형성은 차로용량의 감소를 야기하고 대기행렬의 정도와 풀림은 용량감소의 중요한 요소임
- 따라서, 고속도로에 대한 관리와 통제를 실시하게 되는데 이러한 관리와 통제의 목적은 교통와해를 피하거나(적절한 위치에서 진입교통량을 제한) 특정한 서비스 수준을 유지하기 위함 것임
- 용량에 근접한 상태 또는 용량에 도달한 상태에서는 도로를 유·출입하는 차량이나 같은 교통류내 차량의 차로변경 등에 의해 심각한 혼잡이 발생하고, 이렇게 발생한 혼잡은 쉽게 해소되지 않음
- 즉, 용량상태 또는 용량에 근접한 상태로 운행되는 도로의 경우, 대부분 상류쪽에 대기행렬이 형성되며 불안정한 흐름 또는 교통와해 상태가 필연적으로 발생하므로, 도로는 용량이하의 교통량으로 운행되도록 설계해야 함

나. 교통와해 관련 기존 연구

- J. Ringert와 T. Urbanik II(1993)는 차로별 교통류 분석에서 차로간 상호작용(Lane Interaction)으로 자유교통류 상태에서 최대 교통류율의 도달 없이 대기행렬 풀림 상태로 미리 전이된다고 해석하고 있는데 이는 차로별 용량이 존재하더라도 모든 차로에서 자유 교통류율 상태의 최대 교통류율이 관측되는 것이 아니라는 것임
- A. Elefteriadou(1994)는 고속도로-연결로 접속부에서의 용량과 교통와해에 관하여 조사자료를 바탕으로 한 다음과 같은 결론을 제시하였음

- 고속도로-연결로 접속부에서의 교통와해 발생은 결정론적이 아니고 확률론적인 변수임
- 즉, 조사자료에 의하면 같은 교통량과 심지어 같은 장소에서도 교통와해는 항상 발생하지 않는다는 것임
- 용량은 반드시 교통와해 이전에 발생되지 않는 특성을 보이는데, 용량이 교통와해의 전제조건이 아니고 교통와해 발생의 유일한 요인이 아닌 것으로 분석됨
- 교통와해의 원인은 연결로교통량에 의한 결과 보다는 연결로 차량의 군집수(Cluster) 때문인데, 비록 군집수가 연결로교통량의 함수일지라도 고속도로-연결로 접속부의 운영에 영향을 미치는 것은 군집수임

다. 교통와해와 용량과의 관계

- 교통와해는 자유교통류에서 정체 교통류로 전이되는 순간의 안정적인 교통류 깨짐 상태로써, 주로 속도의 급격한 변화로 교통와해를 검지하고 일반적으로 용량 초과시 교통와해가 발생되나 병목구간에서는 용량 이전에도 교통류의 산란으로 교통와해 발생이 가능함
- 교통와해는 도로용량과 교통류 상태와 밀접한 관계가 있으며 일반적으로 수요가 용량을 초과시 교통와해가 발생하고 교통와해 이후는 정체류가 형성되고 교통와해는 확률적 성질을 가지므로 특정한 용량 값과 비교가 어렵다는 특징이 있음
- 교통와해는 기본용량, 실용용량, 다차로용량, 임계속도 등 여러 변수를 결정하는데 주로 영향을 미치는 교통류 현상이라고 할 수 있고 교통와해가 일찍 일어나면 기본용량보다 작은 값을 갖게 되고 다차로구간에서 전체용량 감소도 발생한다고 볼 수 있음
- 일반적으로 교통와해가 발생하는 시점에서 교통량 수준은 용량을 나타내고 속도는 임계속도를 나타낸다고 할 수 있음

3. 임계속도 산정

- 본 과업에서는 기존 연구결과를 최대한 조사하여 도로용량과 임계속도를 <표 4-20>과 같이 제시하였으며 기존에 알고 있는 도로용량편람에서 제시하는 차로용량과 임계속도만의 관계가 아닌 다차로도로의 전체용량과 임계속도와의 관계를 파악할 수 있음
- 일방향 2차로 이상의 다차로 고속도로인 경우 전체용량에 대하여 임계속도가 각각 다르게 제시되었고 기존 1개 차로의 임계속도보다 낮은 값을 가지는 것으로 파악됨

- 차로수별로 임계속도의 차이는 크게 발생하지 않으며 설계속도 100km/hr를 기준으로 기존 임계속도보다 10~17km/hr 정도 낮게 제시되었는데 이는 차로수 증가로 인해 차로간 영향이 발생하여 전체용량이 감소하고 임계속도 역시 감소하는 것으로 판단됨
- 이러한 전체차로 용량과 임계속도 관계는 다차로 고속도로의 도로통행비용함수에 적용하여 통행시간을 추정하는데 기여할 수 있을 것으로 생각됨

<표 4-20> 도로용량과 임계속도 관계

단위: km/시, pcu/시

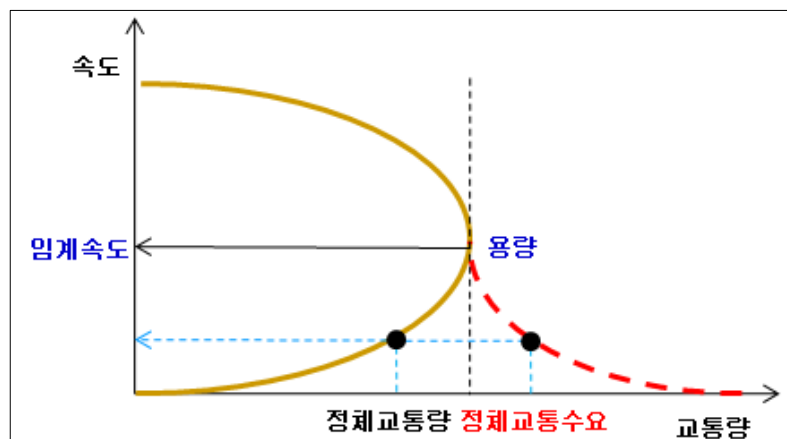
구분	도로용량편람			기존연구 1	기존연구 2		
	80km/hr	100km/hr	120km/hr	4차로	2차로	3차로	4차로
임계속도	72	80	83	70	63	66	67
용량	2,000	2,200	2,300	7,744	4,198	5,752	8,218

- 본 과업에서 살펴본 바와 같이 다차로 고속도로에서의 임계속도 변화는 향후 차로간 영향에 대한 추가 분석과 이로 인한 전체차로 용량감소와 더불어 지속적으로 연구하여 도로통행비용함수의 신뢰성과 정확성을 향상시킬 필요성이 있음
- 본 절에서 분석된 설계속도 및 차로수에 따른 임계속도를 이용하여 교통량, 속도조사 자료를 이용하여 교통량-속도 관계도를 도시하고, 도로통행비용함수 파라메타 추정시 이상치 제거를 위한 기준으로 적용코자 함

제5절 정체교통량과 교통수요

1. 정체교통량과 교통수요 관계

- 정체 교통류는 교통수요가 용량을 초과하여 나타나는 현상으로, 실제 조사된 교통량 및 통행속도 모두 임계치보다 낮은 수준을 보여주는 반면, 교통수요는 실제로 통행하고자 하는 교통량으로 임계치보다 높은 특성을 보임
- 교통수요와 용량, 그리고 교통량과의 관계는 다음 3가지 경우가 존재함
 - Case 1 : IF 교통수요(D)<용량(C), THEN 교통량(V)=교통수요(D)
 - Case 2 : IF $D=C$, THEN $V=D=C$
 - Case 3 : If $D>C$, THEN V = lower than C



<그림 4-29> 정체교통량과 정체교통수요

- Case 3에 해당되는 정체상황의 경우, 도로통행비용함수 파라메타 추정을 위한 교통량 값은 교통수요의 개념으로 전환되어야 함
- 정체상황에서의 교통수요는(이하 정체교통수요) 교통류 상태에서 속도-교통량 관계가 정확하게 규명되지 않아서 정체시의 교통수요를 산정하기가 매우 어려운 실정임
- 정체상황에서 교통수요를 추정방법으로는 속도-교통량 곡선에서 정체영역에 있는 곡선을 용량과 임계속도를 기준으로 좌우 대칭시키는 방법을 사용하여 왔으나 좌우대칭이 된다는 이론적 근거가 약한 단점을 가지고 있음

- 따라서, 본 절에서는 정체교통류에서 발생하는 대기행렬 차량수를 이용하여 시뮬레이션 방법을 통한 정체교통수요를 산정하는 방법을 제시하고 고속도로 3차로 구간을 대상으로 정체시의 교통수요를 추정하였고 추정된 교통수요가 기존 방법에 의해 추정된 교통수요와 동일한지에 대한 통계적 검증을 수행함

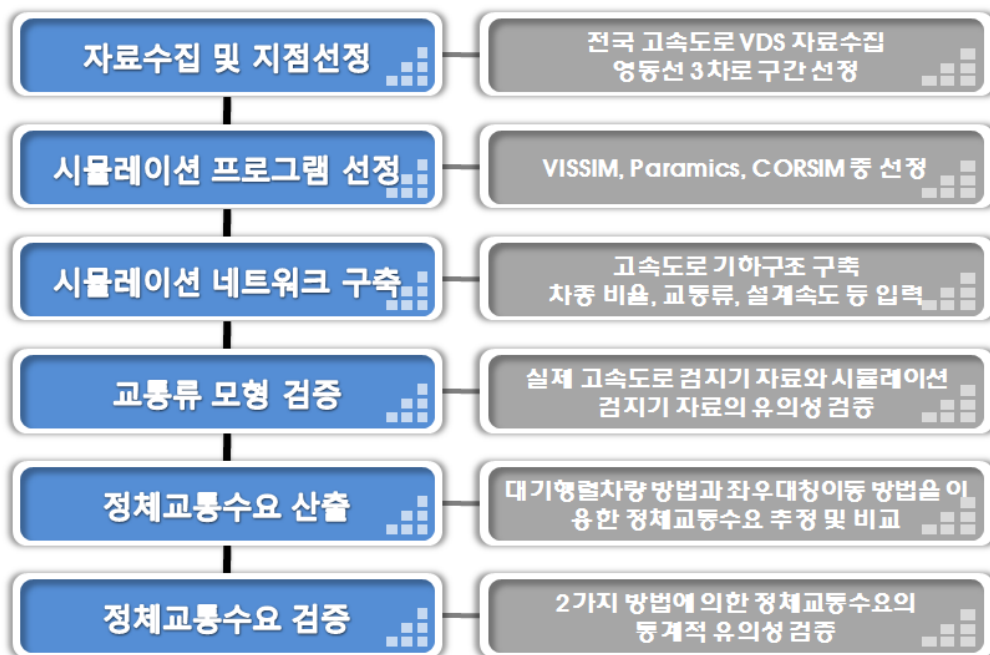


<그림 4-30> 대기행렬차량수를 이용한 시뮬레이션 방법

2. 정체교통수요 추정

가. 개요

- 본 과업에서는 실제 검지기자료를 이용하여 속도-교통량 교통류 관계를 검증한 후 시뮬레이션을 수행하여 대기행렬 차량수를 계산하고 이를 토대로 정체교통수요를 추정하는 방법을 제시하고자 함



<그림 4-31> 정체교통수요 추정 및 검증과정

나. 시뮬레이션모형 선정

- 기존 시뮬레이션 프로그램 중에서 가장 많이 사용되고 있는 3개의 상용 프로그램 (VISSIM, Paramics, CORSIM)을 대상으로 성능 및 효율성을 비교, 평가하여 최종적으로 본 과업에서 사용할 1개 프로그램을 선정함
- 본 과업에서의 시뮬레이션 선정 기준은 다음과 같음
 - 교통공학적 알고리즘을 갖추고 있어 교통망이나 차량흐름을 실제 상황과 가능한 근사하게 미시적으로 구현할 수 있어야 함
 - 많은 데이터 생성을 위해 빠른 시뮬레이션 수행시간이 요구됨
 - 또한, 수집된 자료가 검지기기반 자료이므로 교통량 입력 형태가 O/D입력형태보다는 교통량 회전비율입력형태를 제공할 수 있어야 함
 - 기반성능척도로서 교통량, 속도, 점유율, 대기행렬길이 등 다양한 지표들을 제공할 수 있는 기능을 포함하고 있어야 함
- 이러한 기준으로 3가지 프로그램의 기능 평가 결과, VISSIM 프로그램이 본 과업 성격과 가장 적합하여 이를 사용하여 시뮬레이션 분석을 하고자 하며, 모형식에 필요로 하는 성능지표를 산출하여 활용하고자 함

<표 4-21> Simulation Program 비교

모 형	VISSIM	Paramics	CORSIM
모사규모 노드/링크/ 차량수	UL/UL/UL1	1,000,000/ 4,000,000/ UL	9,000/ UL/UL
개발도구	Yes-VAP	Yes-API	Yes-RTE
Back ground Image	Image File(bitmap, vector 형식)	Image File(bitmap, vector 형식)	Image File
통행량 입력	교차로 회전비율 O/D표	O/D표	교차로 회전비율 O/D표
교통정보 제공	가능	가능	불가능
성능척도 (Measure of Performance)	교통량, 차량 및 평균속도, 통행시간, 지체, 대기행렬길이, 버스/tram 대기시간, 배출가스(차량/링크/경로)	지점/링크 교통량 및 속도, headway, 점유율, 가속도, 밀도, 링크/버스 지체, 회전/queue/링크 교통량	교통량, 지체시간, 통행시간, 대기행렬, 차량속도, 차량연료소비, 배출가스
Graphic Output	2D & 3D animation (개별차량, Colored Box)	2D & 3D animation	2D animation

주: UL : 무제한(Unlimited)

- VISSIM 시뮬레이션 프로그램은 행태기반 미시적 모의실험 모형으로서 교통류를 모사하는 traffic simulator(차량추종모형, 차로변경모형)와 signal state generator로 구성되어 있고, 내부 모형으로 차량길이, 최대속도, 잠재적 가속도, 운전자 Psycho-physical 민감도 한계값, 운전자 기억(memory) 등의 운전자 특성 및 차량특성을 반영하며, Wiedemann(1974, 1999)에 의해 개발된 Psycho-physical 추종행태 모형과 강제차로변경 모형과 선택차로변경 모형을 적용하였음

다. Network 구축

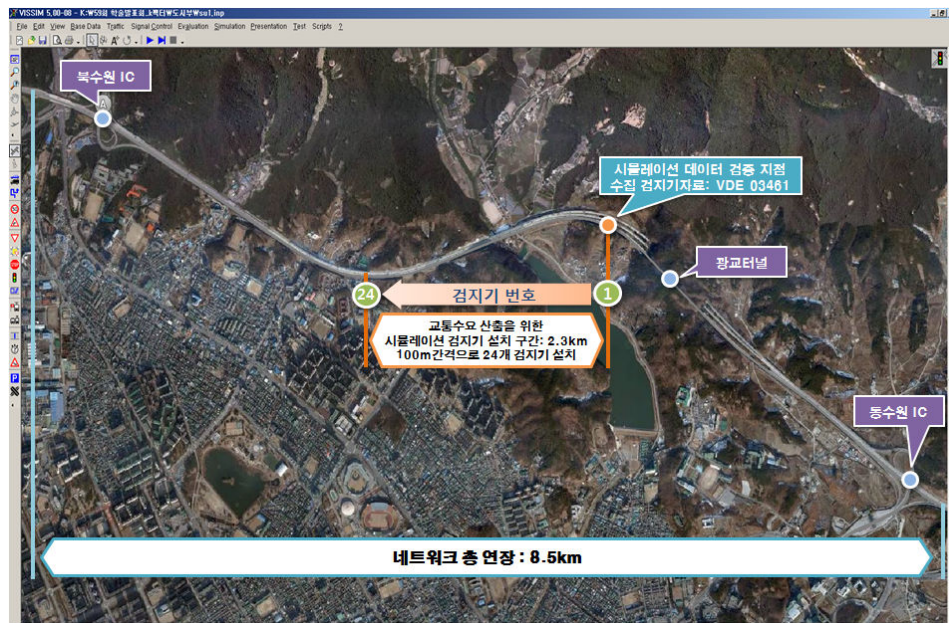
- 본 과업에서는 한국도로공사에서 관리하는 고속도로에 설치된 차량검지기시스템(VDS : Vehicle Detection System)에서 생산하는 교통자료를 사용하였음
- 15분 단위로 추출된 VDS 자료의 오류자료는 지점별 교통량, 지점속도 자료에서 -999로 표시된 자료이고 본 과업에서는 자료의 정확성과 신뢰성을 위하여 데이터 중 -999값을 가진 자료와 속도는 존재하지만 교통량에서 “0”값을 가진 검지기자료는 분석에서 제외하는 오류자료 Filtering 과정을 수행하였음
- 또한, 시간의 연속적 자료 확보를 위한 자료보정은 분석단위(1시간)내 오류자료를 포함하지 않은 15분 단위의 유효교통량을 가지고 비례식을 이용하였고, 속도보정은 유효속도를 해당 분석시간대의 대푯값으로 인정하여 평균 처리함
- 본 과업에서는 시뮬레이션 자료의 검증을 위해서 1일간의 고속도로검지기 자료(교통량, 속도, 점유율)와 차종비율, 기하구조를 포함하는 기초자료가 필요하며 <표 4-22>와 같이 네트워크 구축에 필요한 자료를 수집하였음

<표 4-22> 영동선 교통자료 내역

지점	차로수	일자	시간	기하구조	차종비율	교통변수
영동선 (북수원IC ~동수원IC)	3차로	2006년 4월 4일	00:00~24:00	DAUM 위성사진을 활용 8.5km 구간	승용차 : 67.9% 버스 : 2.9% 트럭 : 29.2%	15분 간격 교통량, 속도, 점유율

자료: 1. <http://local.daum.net/map/index.jsp>

2. 2006년 도로교통량통계연보, 건설교통부, 2006



<그림 4-32> VISSIM 네트워크 구축

라. 시물레이션 데이터 검증

- 실제 고속도로의 도로 및 교통 조건과 동일한 조건으로 시물레이션을 수행하여 데이터를 생성하였음
- 실제 고속도로 검지기는 자료수집 간격이 15분이고 각 차로별 속도, 교통량, 점유율 자료를 24시간 동안 생성하므로 시물레이션의 검지기 자료 역시 15분 간격으로 각 차로와 지점별 24시간 속도, 점유율, 교통량 자료를 생성하였음
- 또한, 고속도로 검지기 자료와 시물레이션 검지기 자료의 15분 간격의 교통량, 속도 자료 각각의 변수에 대한 유의성 검증을 수행하였음



<그림 4-33> VISSIM 시물레이션 수행화면

- 생성된 시뮬레이션 검지기 데이터와 실제 고속도로 데이터와의 동일여부를 판단하기 위하여 속도와 교통량데이터에 대한 t-test를 이용하여 유의성 검정을 다음과 같이 실시하였음
- 귀무가설(H_0)은 “검지기 실제데이터와 시뮬레이션 검지기 데이터는 같다”이며, 유의수준(α)은 0.05에서 검정을 실시함
- 자유도(d.f)가 95일 때 유의수준 0.05의 t 기준값이 ± 1.9853 이고 교통량의 t값이 -0.0441, 속도의 t 값이 0.4016으로 두 변수 모두 t 기준 값의 범위 안에 포함되므로 귀무가설을 채택하여 통계적으로 유의함

<표 4-23> 교통량, 속도의 t 통계량

구 분	t 계산값	t 기준값($\alpha=0.05$)
귀무가설(H_0)	검지기 실제데이터와 시뮬레이션 검지기 데이터는 같다	
교통량	-0.0441	+ 1.9853
속도	0.4016	-1.9853

마. 정체교통수요 추정 및 검증

- 본 과업에서는 검증된 네트워크를 기반으로 수행된 시뮬레이션 검지기 자료를 이용하여 산정된 15분 간격의 대기행렬대수, 통과교통량, 임계속도 그리고 임계교통량을 이용하여 2가지 방법으로 정체교통수요를 추정하였음

1) 시뮬레이션 대기행렬대수를 이용한 정체교통수요 추정

- 교통수요 추정 방법

- ① 정산된 네트워크를 이용하여 정산지점으로부터 2.3km 상류부 방향으로 100m 간격의 24개 검지기 지점자료(15분 교통량, 속도)를 산출(검지기 설치 지점은 <그림 4-32> 참조)
- ② 정체교통수요 = 15분 동안의 통과교통량 + 대기행렬 차량대수

(임계속도보다 낮은 속도를 나타내는 데이터에 한해서 정체교통수요 추정)

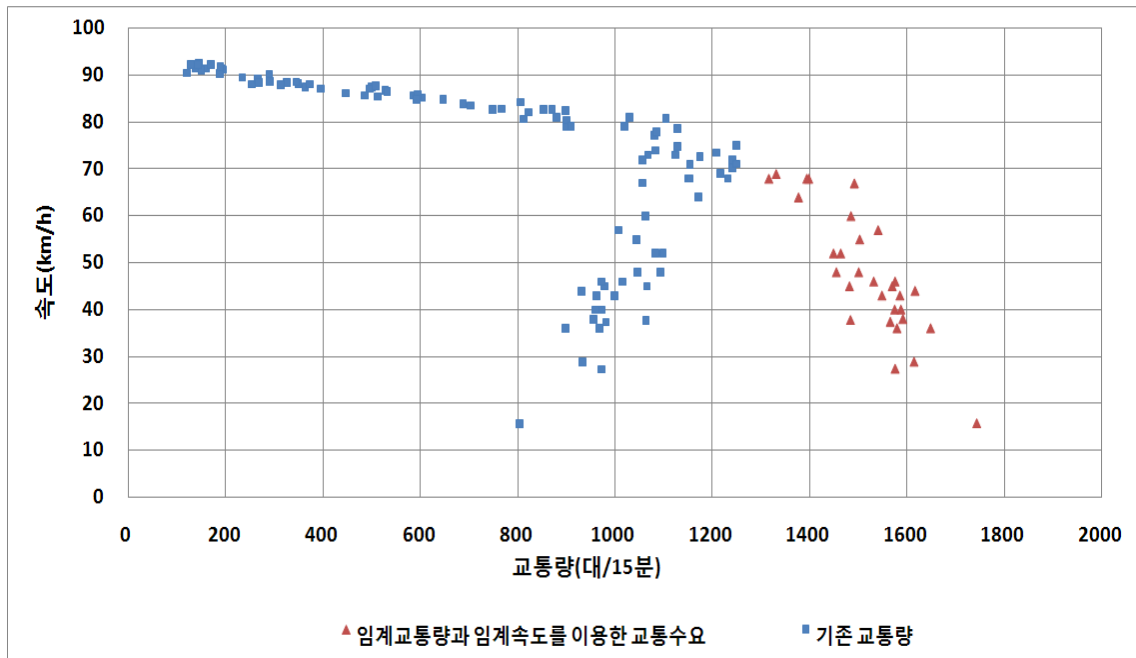
③ 임계교통량(용량) : 1,273대/15분(1일 15분 교통량 중 가장 높게 나타난 교통량)

④ 임계속도 : 70km/h

$$\begin{aligned}
 \text{⑤ 대기행렬 차량 대수} = & \{(\text{임계교통량}) - (\text{1번검지기 통과교통량})\} \\
 & + \{(2\text{번검지기 통과교통량}) - (\text{1번검지기 통과교통량})\} \\
 & + \{(3\text{번검지기 통과교통량}) - (2\text{번검지기 통과교통량})\} \\
 & \quad \cdot \quad \cdot \\
 & \quad \cdot \quad \cdot \\
 & \quad \cdot \quad \cdot \\
 & + \{(i+1\text{번검지기 통과교통량}) - (i\text{번검지기 통과교통량})\}
 \end{aligned}$$

(단, $i+1$ 번검지기 통과교통량 - i 번 통과교통량이 0 또는 -값이면 i 번검지기 이후 지점의 검지기는 계산하지 않음)

- 정체교통수요 추정 결과



<그림 4-34> 대기행렬차량수를 이용한 정체교통수요 산출 결과

2) 시뮬레이션 교통량자료 기반 좌우대칭이동을 이용한 정체교통수요 산출

◦ 정체교통수요 추정 방법

① 정산된 네트워크를 이용하여 정산지점으로부터 2.3km 상류부 방향으로 100m 간격의 24개 검지기 지점자료(15분 교통량, 속도)를 산출(검지기 설치 지점은 <그림 4-32> 참조)

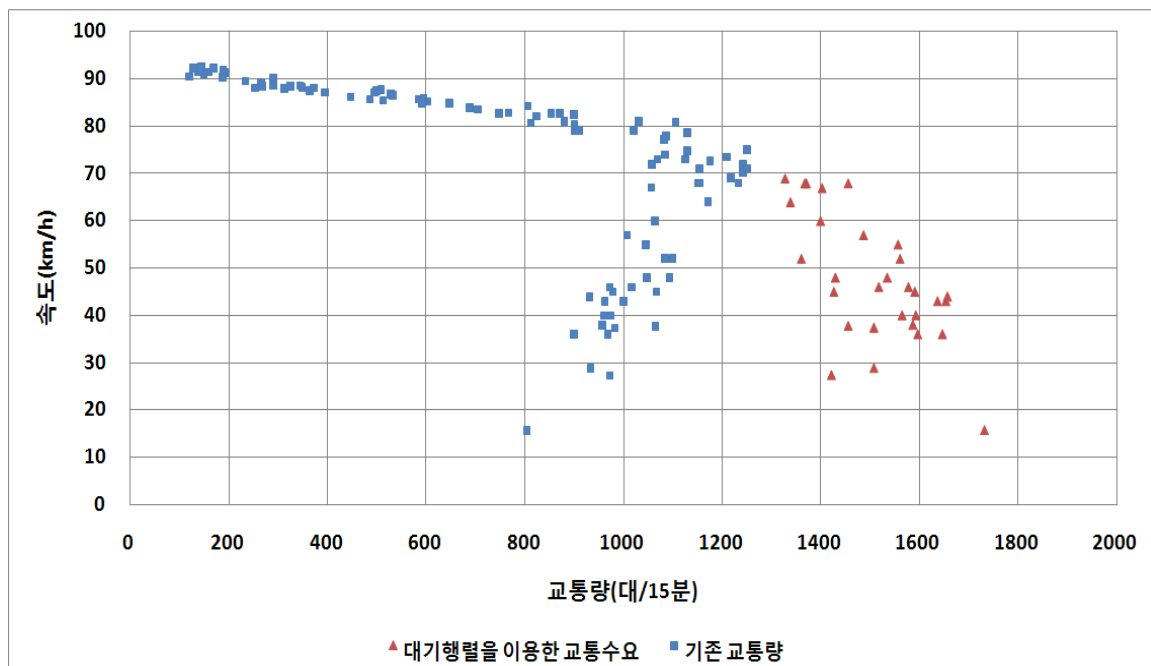
② 정체교통수요 = 15분동안의 통과교통량 + (임계교통량 - 통과교통량) * 2

(임계속도보다 낮은 속도를 나타내는 데이터에 한해서 정체교통수요 추정)

③ 임계교통량(용량) : 1,273대/15분(1일치 15분 교통량 중 가장 높게 나타난 교통량)

④ 임계속도 : 70km/h

◦ 정체교통수요 산출 결과



<그림 4-35> 좌우대칭이동을 이용한 정체교통수요 산출 결과

3) 정체교통수요 검증

- 본 과업에서는 실제 고속도로 검지기 교통량 데이터를 기준으로 데이터 검증을 통한 네트워크 정산을 수행하였음
- 정산된 네트워크를 이용하여 생성된 시뮬레이션 데이터를 가지고 임계교통량과 임계속도를 기준으로 좌우대칭이동하여 산출된 정체교통수요와 대기행렬을 이용하여 산출된 정체교통수요가 동일한지를 판단하고자 두 정체교통수요의 유의성 검증을 수행함
- 시뮬레이션의 대기행렬에 의한 교통수요와 임계교통량과 임계속도를 적용한 교통수요의 동일여부를 판단하기 위하여 교통량 데이터에 대한 t-test를 이용하여 유의성 검정을 다음과 같이 실시함
- 귀무가설(H_0)은 “시뮬레이션의 대기행렬에 의한 정체교통수요와 임계교통량과 임계속도를 적용한 정체교통수요는 같다”이며, 유의수준(α)은 0.05에서 검정을 수행함
- 자유도(d.f)가 29일 때 유의수준 0.05의 t 기준값이 ± 2.0452 이고 정체교통수요의 t 값이 0.8746으로 t 기준 값의 범위 안에 포함되므로 귀무가설을 채택하여 통계적으로 유의함

<표 4-24> 정체교통수요, 속도의 t 통계량

구 분	t 계산값	t 기준값($\alpha=0.05$)
귀무가설(H_0)	시뮬레이션의 대기행렬에 의한 교통수요와 임계교통량과 임계속도를 적용한 교통수요는 같다	
정체교통수요	0.8746	+ 2.0452 -2.0452

3. 도로통행비용함수내 적용

- 본 과업에서는 시뮬레이션의 대기행렬 차량수를 이용한 정체교통수요와 임계교통량과 임계속도를 이용한 정체교통수요(좌우 대칭방법)가 동일하다는 결과를 도출함
- 이러한 결과는 정체교통수요를 추정하기위하여 시뮬레이션을 매번 실행해야하는 어려움을 해소시키고 기존에 사용하던 좌우 대칭방법도 정체교통수요를 추정하는데 문제가 없음을 입증한 결과라 할 수 있음
- 따라서, 2가지 방법 모두 정체교통수요를 추정하는 방법으로 가능하다고 판단되고, 기존의 좌우대칭방법이 편리성으로 인하여 좀 더 활용성이 높을 것으로 생각됨

제6절 일전환계수

1. 일전환계수 정의

- 일전환계수에 대한 개념 정립을 하기 위하여 본 과업에서는 사용목적에 따라 크게 2가지 개념으로 접근함
- 일전환계수는 1일 교통수요를 침두시 교통수요로 전환시킬 수 있는 수요에서의 개념과 1일 통행배정결과와 1시간 통행배정결과를 1일로 환산한 결과가 같게 되는 계수를 추정하는 개념으로 볼 수 있음
 - 장래 교통수요 추정시 분석 기관에 따라서 1일단위로 통행배정을 수행하거나 1시간 단위로 통행배정을 수행하기 때문에 어떤 방법을 사용하더라도 똑같은 결과가 나와야 함
- 일전환계수와 가까운 의미를 살펴보면, 일반적으로 용량은 변하지 않는 파라메타값이기 때문에 시간용량을 1일 용량으로 전환하는 개념보다는 시간대별로 변화하는 교통량 특성을 감안하여 1일 교통수요를 1시간 교통수요로 전환하는 개념으로 사용하는 것이 바람직하다고 판단됨

2. 일전환계수 산정방법론

- 일전환계수의 개념을 고려해볼 때 다음과 같은 2가지의 일전환계수 산정방법이 가능할 것으로 판단됨
 - 교통수요를 변환하는 계수 산정 방법은 침두시간 교통량이 1일 교통량에서 차지하는 비율 산정
 - 통행배정을 일치시키는 계수 산정 방법은 동일한 네트워크, 통행비용함수에 1일 단위의 O/D통행량과 침두시간 O/D통행량으로 통행배정하여 배정결과에 대하여 동일한 통행배정 결과를 나타내도록 반복작업을 수행하여 일전환계수를 추정
- 본 과업에서는 두 번째 방법론이 일전환계수의 사용목적에 부합되는 방법이나 네트워크와 O/D 통행량이 수시로 갱신되어 사용하는 네트워크와 O/D 통행량에 맞는 여러

개의 일전환계수를 산정하여야 하는 문제점이 있어서 첨두시간 교통량과 1일 교통량과의 비율로 일전환계수를 산정하는 첫 번째 방법론을 적용하고자 함

가. 첨두시간 교통량 산정

- 첨두시간 교통량을 결정하는 방법에는 다양한 방법이 있는데 각 산정 방법을 살펴보면 다음과 같음
 - 1일 교통량 중 가장 높은 1시간 교통량
 - KDI 예타 지침에서 제시하는 1일 교통량 중 가장 높은 10시간 교통량의 평균값
 - O/D 통행량의 방향별 특성을 고려하여 오전첨두 2시간, 오후첨두 2시간의 평균값
- 본 과업에서는 오전중 가장 높은 2시간 첨두교통량과 오후중 가장 높은 2시간 첨두교통량의 평균을 첨두시간 교통량으로 산정하는 방법을 사용하여 분석하였음

나. 일전환계수 산정

- 본 과업에서는 지역별 대표 일전환계수를 산정하기 위하여 여러 지점의 평균개념을 적용하였기 때문에 연평균 첨두시간 교통량에 연평균 1일 교통량을 나누어 일전환계수를 산정하였음

$$\text{일전환계수} = \text{연평균첨두시간교통량} \div \text{연평균1일 교통량}$$

3. 분석 기초자료

가. 고속도로

- 고속도로 VDS자료의 경우, 오류가 많은 지점들은 1일 교통량과 첨두교통량 산정시 왜곡이 될 수 있기 때문에 오류율이 5% 내외의 데이터만 분석에 사용함
- 본 과업에서 수집된 고속도로 VDS자료는 15분 단위로 1년 동안 제시되어 있기 때문에 연속된 4개의 15분 교통량을 합해서 1시간교통량을 만들고 중간 오류데이터는 오류 이전 15분 교통량과 오류 이후 15분 교통량의 패턴에 영향을 받을 것이라 가정하여 보간법을 사용하여 교통량을 보정하여 사용함

<표 4-25> 고속도로 VDS 데이터 오류 보정(예시)

시간	원시데이터 교통량(대)	적용 교통량(대)
1:00~1:15	876	876
1:15~1:30	-999 (오류)	900 (보간법 적용)
1:30~1:45	924	924
1:45~2:00	854	854

- 각 일자별로 1일 교통량을 산정하고 오전(0시~12시)중 교통량이 가장 많은 2시간, 오후(12시~24시)중 교통량이 가장 많은 2시간 교통량을 추출하였고 추출된 4시간 교통량을 가지고 평균하여 첨두 1시간 교통량을 산정함
- KTDB O/D에서 사용하는 대준 체계(광역시도, 도단위)에 따라 지역을 구분하고, 각 대준에 대하여 대표 노선의 데이터를 추출하여 일전환계수를 산정함

나. 일반국도

- 국토해양부예의 일반국도 교통량 조사자료는 <표 4-26>에서 보는 바와 같이 한 열에 하루씩, 1년 동안 조사되어 있어서 추가적인 필터링작업은 수행하지 않고 바로 첨두 교통량과 1일교통량을 산정함

<표 4-26> 일반국도 교통량 조사자료 필드 정의

지점번호	년도	월	일	방향	0~1시(대)	1~2시(대)	22~23시(대)	23~24시(대)

- 원시데이터에는 지역구분이 되어있지 않아서 지점번호를 필터링하여 지역을 구분하였고, <표 4-27>에서 보는 바와 같이 권역 구분은 8개 도로만 구분되어 있으며 광역시의 경우 8개 도에 포함되어있기 때문에 KTDB의 대준 체계와 맞지 않으므로 지명을 하나씩 다시 검토하여 8개 도 이외의 광역시 데이터를 제거하고 8개도에 대해서만 분석을 수행함

<표 4-27> 일반국도 도로교통량통계연보의 지역구분 필드 정의

지점번호	권역	지명	비고
101-000	전남	무안	사용
1310-002	전남	광주	제거
⋮	⋮	⋮	⋮

- 도로교통량통계연보에는 8개 도 이외의 광역시 데이터의 경우 교통량 조사자료가 거의 없기 때문에 국토해양부 상시교통량자료에서 제시하고 있는 첨두시간 집중률의 평균을 산정하여 광역시를 분석함

<표 4-28> 국토해양부 상시교통량자료 필드 정의

순위	월 일	요일	일교통량(대/일)	주야율(%)	첨두시간집중율(%)

- 일반국도의 경우 대준 구분별로 도로교통량통계연보에 제시된 모든 교통량 조사지점에 대하여 첨두시간교통량과 1일 교통량을 계산하여 일전환계수 분석을 수행함

4. 일전환계수 산정

가. 고속도로

- 고속도로의 경우 1일 교통량을 각 날짜별로 엑셀의 한 행에 정리하였고, 첨두 4시간 교통량과 평균 첨두시간 교통량을 정리하여 첨두시간 교통량과 1일 교통량을 산정하였음

<표 4-29> 고속도로 VDS데이터 정리(예)

년도, 월, 일	① 1일교통량 (대/일)	② 오전첨두 시간교통량 (대/시)	③ 오전첨두 시간교통량 (대/시)	④ 오후첨두 시간교통량 (대/시)	⑤ 오후첨두 시간교통량 (대/시)	⑥ 첨두 시간 교통량(대/시)
		오전 1순위	오전 2순위	오후 1순위	오후 2순위	②~⑤ 평균

- 대준 단위인 각 지역별로 첨두시간 교통량의 총 합에서 1일 교통량의 총 합을 나누어 일전환계수를 산정하였음

<표 4-30> 고속도로 일전환계수 산정

지역	1일 교통량 합 (대/일)	첨두 1시간 교통량 합 (대/시)	첨두시간 비율
인천광역시	68,513,043	4,773,214	0.070
울산광역시	11,536,172	810,542	0.070
부산광역시	44,988,810	3,184,466	0.071
대구광역시	51,771,890	3,135,092	0.061
대전광역시	35,136,809	2,136,447	0.061
경기도	94,765,773	5,888,701	0.062
강원도	10,548,049	696,118	0.066
충청북도	17,086,785	1,040,111	0.061
충청남도	9,722,487	696,833	0.072
전라북도	5,079,727	365,922	0.072
전라남도	7,074,832	527,351	0.075
경상남도	31,892,368	2,011,729	0.063
경상북도	33,727,347	2,563,177	0.076

나. 일반국도

- 일반국도의 경우 1일 교통량이 각 날짜별로 한 행에 정리되어있기 때문에 자동합계를 이용하여 연일평균교통량을 산정하였음
- 시간대별 교통량 역시 각 시간대별로 일정한 행에 정리되어 있기 때문에 각 열에 대하여 0시~12시, 12시~24시로 구분하여 오전시간의 가장 많은 2시간 교통량을 엑셀의 함수 중 순위를 찾아주는 LARGE 함수를 이용하여 산정하였고 오후시간의 가장 많은 2시간 교통량 역시 LARGE 함수를 이용하여 가장 많은 2시간 교통량을 산정하였음
- 위에서 산정된 오전 첨두 2시간 교통량과 오후 첨두 2시간 교통량의 평균을 이용하여 한행에 정리하였고 자동합계를 이용하여 연평균 첨두시간 교통량을 산정하였음

<표 4-31> 국토해양부 상시교통량자료 필드 정의

지점번호, 년도, 월, 일	방향	① 0~1시 교통량 (대/시)	② ...	③ 23~24시 교통량 (대/시)	④ 1일 교통량 (대/일)	⑤ 오전첨두 시간교통량 (대/시)	⑥ 오전첨두 시간교통량 (대/시)	⑦ 오전첨두 시간교통량 (대/시)	⑧ 오전첨두 시간교통량 (대/시)	⑨ 첨두시간 교통량 평균
					①+②+③	오전 1순위	오전 2순위	오후 1순위	오후 2순위	⑤~⑧ 평균

- 각 대준별로 일전환계수의 평균을 산정하는데 있어서 대준의 각 지점별 연평균 침투 시간 교통량을 더하여 각 지점별 연평균 일교통량을 더한 값으로 나누어 교통량에 대한 가중평균값을 산정하였음

<표 4-32> 일반국도의 일전환계수 산정

지역	연평균 1일 교통량(대/일)	연평균 침투1시간 교통량(대/시)	침투시간 비율
경기도	16,667	1,153	0.069
강원도	4,164	317	0.076
충청북도	8,902	647	0.073
충청남도	7,928	591	0.075
전라북도	6,332	470	0.074
전라남도	6,266	476	0.076
경상남도	10,050	731	0.073
경상북도	7,040	514	0.073

1) 도로등급/지역별 일전환계수

- 고속도로는 광역시의 일전환계수가 0.061~0.071 범위로 분석되었고, 전국 도 단위에서는 경상남도가 0.076 으로써 가장 높은 일전환계수를 보임
- 일반국도의 경우 대전광역시가 0.078 로써 가장 높게 산정되었고, 경기도를 제외한 모든 시도에서 0.070 이상으로 산정되어 고속도로보다 높고 시간대별 변화가 더 뚜렷한 것으로 분석됨

<표 4-33> 도로등급 / 대준별 일전환계수 산정 결과

구 분		일전환계수
도로등급	지 역	
고속도로	인천광역시	0.070
	대구광역시	0.061
	부산광역시	0.071
	대전광역시	0.061
	울산광역시	0.070
	경 기 도	0.062
	강 원 도	0.066
	충청북도	0.061
	충청남도	0.072
	전라북도	0.072
	전라남도	0.075
	경상북도	0.063
	경상남도	0.076

<표 4-33> 도로등급 / 대존별 일전환계수 산정 결과(계속)

도로등급	구 분	일전환계수
	지 역	
국 도	부산광역시	0.070
	광주광역시	0.076
	대전광역시	0.078
	대구광역시	0.076
	울산광역시	0.073
	경 기 도	0.069
	강 원 도	0.076
	충청북도	0.073
	충청남도	0.075
	전라북도	0.074
	전라남도	0.076
	경상북도	0.073
	경상남도	0.073

주: 1) 고속도로의 광주광역시의 경우 데이터 에러가 많아 산정할 수 없음
 2) 일반국도의 서울시, 인천광역시는 교통량 자료가 부족하여 산정할 수 없음

- 도로 등급별 일전환계수의 산정은 각 대존별 연평균 일교통량들의 평균 개념이 아닌 각 대존들간의 교통량에 대하여 가중평균하여 산정하였음
- 모든 조사지점에 대하여 첨두시간 교통량을 모두 더한 값에서 모든 조사지점에 대하여 1일 교통량을 모두 더한 값으로 나누어 도로 등급별 일전환계수를 산정하였음

$$\text{도로 등급별 일전환계수} = \sum \text{도로 등급별 첨두시간 교통량} \div \sum \text{도로 등급별 1일교통량}$$

- 전국을 대상으로 도로등급별 일전환계수를 산정해보면 고속도로가 0.066이고 일반국도가 0.072로서 일반국도의 일전환계수가 고속도로보다 높게 나타나서 전체적으로 시간대별 교통량 변동이 더 크게 나타나는 것으로 분석됨

<표 4-34> 도로등급별 일전환계수 산정 결과

도로등급	일전환계수
고속도로	0.066
일반국도	0.072

- 본 과업에서는 기존 도로통행비용함수에 적용되고 있는 일전환계수(혹은 첨두시간교통량비율)의 적정성에 대해 재검토하기 위하여 전국 단위 교통량 조사자료를 모두 활용하여 분석을 수행함
- 그 결과, 기존에 사용하고 있는 일전환계수와 큰 차이를 보이고 있는 것으로 나타나 당장 도로통행비용함수에 적용하기에는 역효과가 클 것으로 판단되므로, 추후 추가적인 교통량 조사 및 많은 논의를 거쳐 적용여부를 결정해야 할 것으로 판단됨
- 또한, 전국 여객O/D의 신뢰성을 제고하기 위해서는 첨두시간대, 비첨두시간대, 일 O/D 등으로 구분하여 구축될 필요가 있으며, 첨두O/D를 별도 구축할 경우는 일전환계수의 필요성은 낮을 것으로 판단됨

제5장 도로통행비용함수의 파라메타 추정 및 검증

제1절 기존 도로통행비용함수 파라메타
추정방법론 검토

제2절 도로통행비용함수의 파라메타 추정

제3절 도로통행비용함수의 파라메타 검증

제5장 도로통행비용함수의 파라메타 추정 및 검증

제1절 기존 도로통행비용함수 파라메타 추정방법론 검토

1. 계량경제학 기법

가. 회귀분석법(Regression)

- 회귀분석기법은 도로통행비용함수 파라메타를 추정하기 위해 자주 사용되는데, 실제 조사된 교통량, 통행속도 자료를 직접적으로 이용하는 방법임
- BPR 함수식의 양변에 \log 를 취하여 v/c 비율에 대한 1차 선형모형을 전환시키며, 회귀분석기법을 이용하여 α 와 β 의 적정값을 추정함

$$\begin{array}{c}
 t = t_0(1 + \alpha(V/C)^\beta) \dots\dots \text{기본식} \\
 \Downarrow \\
 \log(t_a/t_{a0} - 1) = \log\alpha + \beta\log(v_a/c_a) \dots\dots \text{추정식}
 \end{array}$$

- 여기서, 교통량-속도 자료를 이용하기 위해 t_a/t_{a0} 대신에 U_f/U (여기서, U_f 는 자유 통행속도)를 사용하여 최종적으로 다음과 같은 식으로 구성됨

$$\log(U_{af}/U_a - 1) = \log\alpha + \beta\log(v_a/c_a)$$

- 회귀분석기법은 통행배정모형을 이용하지 않고 조사된 교통량과 통행속도를 이용하여 파라메타를 직접적으로 추정하기 때문에 다른 추정기법에 비해 용이한 장점이 있음
 - 조사자료인 교통량과 통행속도의 신뢰도가 높은 경우, 현실적인 도로통행비용을 추정할 수 있음
- 반면에, 교통수요(travel demand), 통행배정 알고리즘, 교통분석용 네트워크 등을 고려하지 않고 추정하므로, 통행배정결과의 신뢰도를 향상시키기에 다소 한계가 있음
- 또한, 용량 대비 교통량 수준(v/c ratio)과 자유통행시간 대비 통행시간의 비율(t/t_0 ratio)의 관계를 풀기 위해 선형함수로 간략화 함에 따른 오차가 발생할 우려가 있음

- 회귀분석기법을 이용하는 경우, 선형함수화에 따른 파라메타 추정을 보다 정확히 하기 위해 v/c 비율의 범위를 세분화하여 파라메타를 추정하는 것이 바람직하다는 의견이 제시되고 있음

나. 수정된 회귀분석(Modified regression)

- 실제 조사된 교통량 및 통행속도 자료를 이용한 회귀분석기법은 교통수요 및 통행배정알고리즘 등을 고려하지 않고 현장 조사된 자료만으로 추정하기 때문에, 추정된 도로통행비용함수를 교통수요모형에 적용시 신뢰도를 확보하기 어렵다는 문제점이 제기되고 있음
- 이는 새로이 추정된 도로통행비용함수가 궁극적으로 사용되는 통행배정모형과 별개로 파라메타가 추정되기 때문이며, 현장조사된 교통자료와 통행배정모형을 함께 고려하여 도로통행비용함수 파라메타를 추정하는 수정된 회귀분석기법이 제안된 바 있음
- Y 의 통행시간 t_a 는 통행배정에서 구한 값을 적용하고, X 의 v_a 대신 링크 교통량 관측치(\bar{v}_a)를 사용하면, 위 선형함수는 관측 링크교통량과 통행배정으로부터 산출된 통행시간을 일치시키는 파라메타 α, β 를 구하는 함수식으로 해석할 수 있음
- 수정된 회귀분석기법은 다음과 같음

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

여기서, $\bar{X} = \log(\bar{v}_a / c_a)$, $Y = \log(t_a / t_{a0} - 1)$, $a = \log \alpha$

\bar{v}_a = 링크 a 의 관측 교통량

t_a = 통행배정에서 도출된 링크 a 의 통행시간임

2. 수리 최적화문제(Mathematical program)

- 수리최적화 문제는 링크의 관측교통량과 모형에서 추정된 배정교통량간의 차이를 최소화시키는 α, β 를 구하는데, 최소자승법의 문제로 구성될 수 있음
- 제약조건은 통행자의 경로선택 행위를 나타내는 것으로 통행배정문제(traffic assignment)가 되며, 도로통행비용함수 파라메타를 추정하기 위해 교통수요모형을 이용하므로 통행배정에 적합한 파라메타 추정이 가능함

$$\min Z(\alpha, \beta) = \frac{1}{2} \sum_b (v_b - \bar{v}_b)^2$$

$$\text{s.t. } v_b = v_b(t_a(\alpha, \beta))$$

- 위 문제를 풀기 위하여 BPR 함수식을 변형하면,

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

- 따라서, 위 식을 목적함수에 대입하면 다음과 같음

$$\min Z(\alpha, \beta) = \frac{1}{2} \sum_a \left[\bar{v}_a - c_a \left(\frac{t_a/t_{a0} - 1}{\alpha} \right)^{\frac{1}{\beta}} \right]^2$$

- 위식의 최적해를 구하기 위해 다양한 최적화기법을 적용할 수 있는데, 미분을 이용하는 Gradient 계열의 방법이 주로 이용될 수 있으며, 목적함수의 미분이 어려운 경우에는 Hooke-Jeeves 방법을 이용할 수 있음

3. 점증적 추정기법(Incremental estimation technique)

- 점증적 추정기법은 수리최적화기법과 같이, 실제 도로유형별 교통량 및 통행속도자료를 조사하지 않고, 기종점통행량(O/D)과 교통분석용 네트워크를 이용하여 도로통행비용함수의 파라메타를 일정부분씩 조정하면서 교통수요모형에 의한 배정교통량과 실제 관측교통량과의 오차를 최소화하는 최적값을 추정하는 기법임
- 이를 위해 도로통행비용함수 파라메타의 상한값과 하한값을 정하고 이를 일정한 간격으로 나누어 점증적으로 탐색하는데, 서울시정개발연구원(1999)과 한국교통연구원(2002)에서 적용된 바 있음
- 기존의 점증적 추정기법은 다음과 같은 몇 가지 한계를 갖고 있음
 - α , β 의 상한값 및 하한값에 대한 근거가 불확실함
 - 단위 증가량의 세분화 정도, α , β 의 상한값 및 하한값 설정에 따라 최적해를 찾지 못할 수 있음
 - α , β 의 상한값 및 하한값 범위내에서 단위 증가량별로 매번 교통수요모형을 실행해야 하기 때문에 최적해 탐색을 위한 분석시간이 과다하게 소요됨

4. 기존 방법론의 검토

- 기존 도로통행비용함수 파라메타 추정기법을 검토한 결과, 다음과 같은 장·단점을 내포하고 있음
 - 회귀분석 : 실제 조사된 교통량, 속도자료를 이용하여 도로통행비용함수의 파라메타를 추정함에 따라 분석이 용이하다는 장점이 있으나, 실제 조사된 교통량, 통행속도 자료가 얼마나 대표성이 있느냐 혹은 교통수요모형이 얼마나 현실을 반영하느냐에 따라 교통수요모형에 의한 배정교통량과 관측교통량간의 오차가 발생할 우려가 있음
 - 수정된 회귀분석 : 실제 조사된 통행속도 자료를 이용하지 않고 교통수요모형에 의한 통행속도를 이용함에 따라, 교통량과 통행속도의 관계식이 상관성이 높지 않은 문제점을 내포하고 있음
 - 수리최적화 문제 : 교통수요모형에 의한 배정교통량과 관측교통량간의 오차를 최소화하기 위한 도로통행비용함수 파라메타를 추정하기 때문에 교통수요모형에 의한 통행배정의 신뢰도를 향상시킬 수 있는 장점은 있으나, 교통량 수준에 따른 통행시간 값이 현실을 반영하지 못하는 결과를 초래할 수 있으며, 최적값이 다수해(Multiple solutions)가 존재하고 도로통행비용함수의 파라메타에 기종점통행량(O/D) 및 통행배정상의 문제를 포함하고 있는 단점이 있음
 - 점증적 추정기법 : 수리최적화가 가지고 있는 문제점과 동일하며, 최적해 탐색을 위해 최적화기법을 적용하지 않고 파라메타인 α , β 값을 변화시키면서 최적해를 추정하게 되므로 상당한 분석시간이 소요되는 단점이 있음
- 본 과업에서는 도로통행비용함수를 새로이 구축하기 위해 도로유형별로 교통량 및 통행속도 조사를 수행하였기 때문에 실제로 조사된 교통량 및 통행속도 자료를 이용하여 도로통행비용함수의 파라메타를 직접적으로 산출하는 기법을 적용함이 타당함
- 단, 실제 조사된 교통자료를 이용하여 도로통행비용함수 파라메타를 추정하는 경우에 통행배정의 신뢰도를 향상시키지 못할 수 있다는 문제점을 보완하기 위해, 새로이 추정된 도로통행비용함수를 이용하여 교통수요모형에 의한 배정교통량과 관측교통량간의 오차를 철저히 검증하고, 이를 보완할 수 있는 방안을 마련토록 함

제2절 도로통행비용함수의 파라메타 추정

1. 도로유형 분류

- 본 과업에서는 통행시간에 영향을 미칠 것으로 판단되는 요소인 신호등 밀도, 차로수, 중앙분리대 유무, 제한속도 등에 따라 도로유형을 세분화하였으며, 세분화된 도로유형별로 교통량, 속도조사를 수행하였음
- 도로유형별 조사지점의 교통량-속도자료를 통합한 결과, 도로유형별로 혼잡한 교통상황을 반영하지 못하는 경우(v/c 비율이 1.0을 초과하지 않는 경우)가 다수 발생한 것으로 나타남
 - 신호등 밀도 3등급($0 < D < 0.3$)구간은 다른 등급에 비해 조사자료가 부족하고, 차로수 별로는 3차로가 다른 차로수에 비해 조사자료가 부족한 것으로 나타남
- 최종적으로 통행비용함수 추정을 위한 도로유형은 고속도로는 1차로, 2차로, 3차로 이상으로 구분하고, 준연속류는 신호등 밀도(1 ~ 3등급)와 차로수(1차로, 2차로 이상)에 따라 6개의 유형으로 분류함
 - 당초 신호등 밀도(신호교차로간 거리), 차로수, 중앙분리대 유무, 제한속도 등에 따라 세분화된 18개의 도로유형에 대해 조사지점 선정시 해당 유형의 샘플이 적은 경우, 조사된 교통량 및 통행속도자료가 도로통행비용함수 파라메타 추정을 위해 요구되는 혼잡한 교통상황이 반영하지 않은 경우 등을 종합적으로 고려함
- 제한속도 및 중앙분리대 유무에 따라 교통량 수준이 통행시간에 미치는 영향이 상이할 것으로 판단하여 조사지점 선정시 도로유형을 세분화하였으나, 이에 대한 영향은 도로통행비용함수 파라메타에 반영하기 보다는 다른 변수인 자유통행시간 및 도로용량에 반영하는 것이 바람직하다는 결론을 도출함
- 제4장에서 고속도로 및 준연속류의 도로용량에 대해 검토한 결과, 고속도로는 차로수에 따라 도로용량이 2,000 ~ 2,200pcphpl(2차로 이상인 경우) 인 것으로 분석되었으며, 준연속류는 하류부 교차로의 녹색신호시간비율(g/C)에 따라 용량의 변화가 큰 것으로 분석됨

- 본 과업에서 조사한 통행속도자료를 분석한 결과, 자유속도는 제한속도와 설계속도(고속도로의 경우 제한속도+20km/h, 준연속류의 경우 제한속도+10km/h) 사이에서 조사지점별로 차이가 있는 것으로 나타남
- 따라서, 본 과업에서는 도로통행비용함수 구축을 위한 준연속류 도로유형을 <표 5-1>과 같이 고속도로 3개, 준연속류 6개의 유형으로 최종적으로 결정하였으며, 노선별 혹은 도로구간별 기하구조 특성, 중앙분리대 유무, 제한속도 등에 따른 도로통행비용함수의 차별성을 반영하기 위해 해당 도로의 자유통행시간과 도로용량을 조정하여 교통수요 예측의 신뢰도를 향상시키도록 조정함

<표 5-1> 도로위계 분류 재변경(안)

현재 도로위계(편도)	VDF	변경 도로위계(편도)	VDF
고속도로(1차로)	1	고속도로(1차로)	1
고속도로(2차로)	2	고속도로(2차로)	2
고속도로(3차로이상)	3	고속도로(3차로 이상)	3
일반국도(1차로)	4	준 연속류(1등급) 1차로	4
일반국도(2차로)	5	준 연속류(1등급) 2차로 이상	5
일반국도(3차로이상)	6	준 연속류(2등급) 1차로	6
지방도, 국지도(1차로)	7	준 연속류(2등급) 2차로 이상	7
지방도, 국지도(2차로)	8	준 연속류(3등급) 1차로	8
지방도, 국지도(3차로이상)	9	준 연속류(3등급) 2차로 이상	9
광역시도, 시군도(1차로)	10	단속류(1차로)	10
광역시도, 시군도(2차로)	11	단속류(2차로 이상)	11
광역시도, 시군도(3차로 이상)	12	도시고속화도로(3차로이상)	14
도시고속화도로(3차로이상)	14	도시고속화도로(2차로이하)	15
도시고속화도로(2차로이하)	15	고속도로 연결램프	16
고속도로 연결램프	16		

2. 도로통행비용함수 파라메타 추정방법론

가. 통행비용함수의 선정

- 국내에 적용된 통행비용함수는 전국 지역간 여객O/D의 경우 BPR(Bureau of Public Roads)식을 적용하고 있으며, 수도권 O/D의 경우 2004년에 고속도로는 BPR 식을, 신호 간선도로는 Conical 함수를 적용하였으나, 2008년에는 고속도로 및 신호 간선도로 모두 BPR식을 적용함

- BPR 함수는 v/c 비율이 1보다 클 경우에 통행시간이 급격히 증가하는 단점이 있는데, Conical 함수는 이를 보완하기 위해 v/c 비율이 1보다 클 경우에 선형함수의 형태로 통행시간을 산출하고 있음
- 일반적으로 신호교차로의 영향이 없는 고속도로 등의 연속류 구간에서는 BPR 함수를 적용하고 있으며, 신호교차로의 혼잡을 반영하기 위해 BPR 함수 이외에 다른 통행비용함수를 적용하는 경우가 있음
- 본 과업에서는 고속도로의 연속류와 지역간 간선도로의 준연속류(신호교차로간 거리가 1km 이상인 링크)에 대해 통행비용함수를 추정하므로 기존 전국 지역간 네트워크에 적용된 BPR 함수를 적용코자 함
 - 추후 단속류(신호교차로간 거리가 1km 이하인 링크)의 도로통행비용함수를 추정하는 과업에서 단속류 구간에 적합한 도로통행비용함수의 유형을 재검토토록 함

나. 파라메타 추정절차

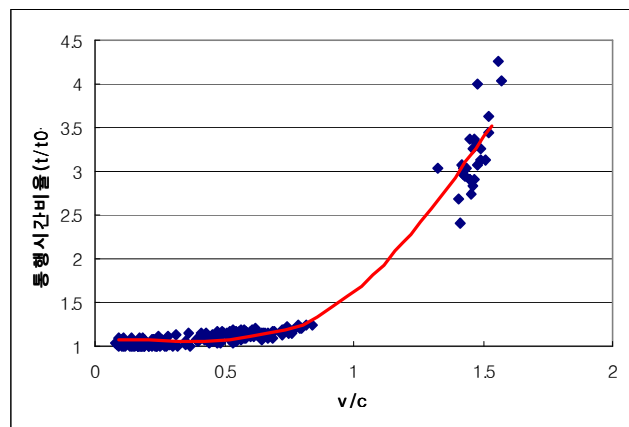
- 통행비용함수 파라메타 추정을 위해서는 우선적으로 어떠한 유형의 통행비용함수를 적용할 것인지에 대한 검토가 요구되는데, 본 과업에서는 앞에서 제시한 바와 같이 BPR 함수를 기반으로 파라메타를 추정함
- 통행비용함수 파라메타를 추정하기 위해 다음의 절차를 수행함
 - 단계 1 : 조사지점별 도로용량을 산정하고, 제한속도를 이용하여 용량대비 교통량비율(v/c ratio)과 자유 교통류 하에서의 통행시간(이하 자유통행시간) 대비 통행시간비율(t/t_0 ratio)을 산출함
 - 단계 2 : 통행비용함수를 구분하고자 하는 도로유형별로 v/c 비율과 t/t_0 의 비율로 표현된 데이터를 통합함
 - 단계 3 : 적정한 범위내의 통행비용함수 파라메타를 추정하기 위해 기상상황(비, 눈 등), 선형불량, 공사/사고 등 비반복혼잡원인 등에 의한 이상치 자료를 제거함
 - 단계 4 : 우선적으로 이상치를 제거한 v/c 비율 vs. $\frac{t}{t_0}$ 비율의 그래프를 이용하여 각 도로유형별로 오차를 최소화하는 α , β 값을 추정함 (관측치와 추정치간 오차를 최소화하는 최적화기법 적용)

- 단계 5 : 도로유형별로 높은 등급과 낮은 등급간 v/c 비율 변화에 따른 $\frac{t}{t_0}$ 비율이 역전현상이 발생하는지를 검토하고, 역전현상이 발생하는 경우에 가장 합리적인 통행비용함수를 추정한 도로등급을 기준으로 역전현상이 발생하지 않는 범위내에서 통행시간의 추정치와 관측치간 오차를 최소화하는 파라메타를 다시 추정함
- 단계 6 : 추정된 통행비용함수에 대해 실제 전국 지역간 O/D 및 네트워크를 이용하여 기존 통행비용함수에 비해 어느 정도 신뢰도가 개선되는지를 검증하고 추정된 통행비용함수의 개선여부를 결정함
- 상수항이 없는 회귀모형식 추정하는 문제로 오차를 최소화하는 α , β 값을 추정하며, 이를 위해 MatLab(ver 6.5) 프로그램을 이용함
- 파라메타 추정을 위해 X축은 v/c 비율로, Y축은 $\frac{t}{t_0}$ 로 표현하여 그래프를 도시함

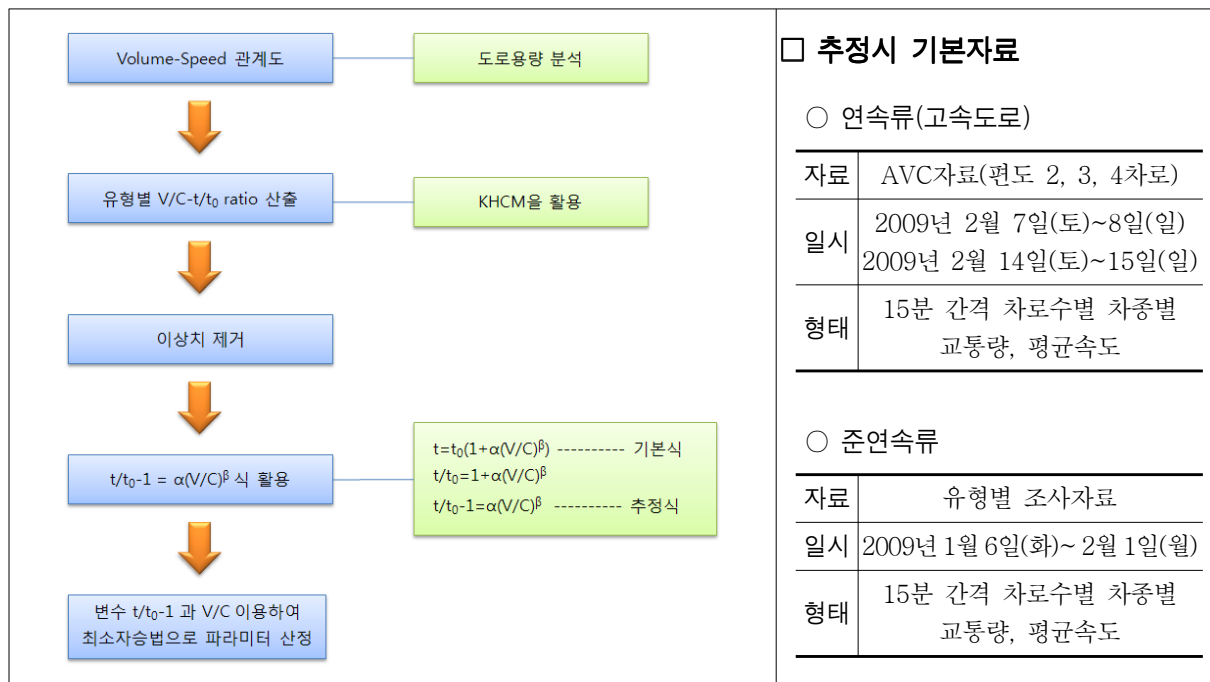
$$t = t_0(1 + \alpha(V/C)^\beta) \dots \dots \dots \text{기본식}$$

$$t/t_0 = 1 + \alpha(V/C)^\beta$$

$$t/t_0 - 1 = \alpha(V/C)^\beta \dots \dots \dots \text{추정식}$$



<그림 5-1> V/C-통행시간비율 그래프



<그림 5-2> 본과업의 파라메타 추정 흐름도

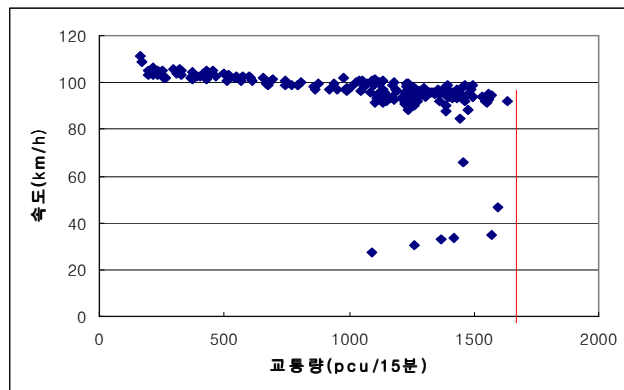
다. 파라메타 추정을 위한 기초자료 구축

1) 용량 대비 교통량비율(v/c ratio) 구축

① 고속도로

- 고속도로의 AVC 검지기에서 수집되는 교통량 및 통행속도 자료를 이용하여 용량 대비 교통량 비율을 구축하기 위해서는 우선적으로 조사지점별 도로용량과 수요교통량을 산정해야 함
 - 도로통행비용함수 구축을 위한 교통량은 실제로 해당 링크를 통과하고자 하는 교통 수요 개념으로 접근되어야 함
 - 반면, 고속도로 AVC 검지기에서 수집된 차종별 교통량은 실제로 해당 링크를 통과한 교통량이기 때문에 혼잡한 교통상황인 서비스수준 F 이하에서는 통과 교통량이 도로 용량보다 낮은 수준이며, 이를 도로용량보다 높은 수준을 조정할 필요가 있음
- 통행비용함수를 추정하기 위해서는 우선적으로 교통량-속도 관계식을 이용하여 해당 구간별 적정 수준의 도로용량을 산정할 필요가 있음

◦ 교통량-속도관계 그래프 산출 예

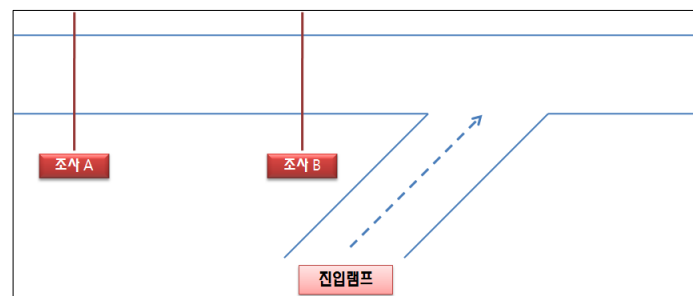


<그림 5-3> 교통량-속도 관계도

◦ 교통량 조사지점에 따른 도로용량의 변화

- 교통량-속도 관계식을 이용하여 도로용량을 산정하는 경우에는 교통량 조사지점이 어디이냐에 따라 도로용량이 크게 변할 수 있는데, 이는 하류부의 도로용량에 영향을 미치는 요소(진출입구간, 병목구간 등)와 얼마나 근접한가에 따라 달라질 수 있음

※ A지점(기본구간)과 B지점(합류부)의 용량은 차이가 큼



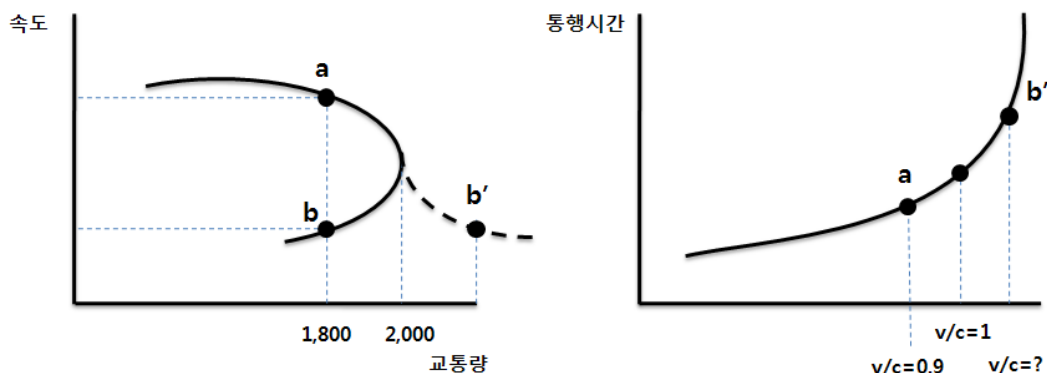
<그림 5-4> 고속도로의 조사지점 위치

- 도로용량을 획일적으로 적용하기에는 한계가 있으며 조사지점별 상이한 도로용량을 적용하여 조사지점별로 용량 대비 교통량 비율을 추정함
- 고속도로는 자동차종분류장치(AVC)에서 수집된 지점교통량과 지점속도를 적용하였기 때문에 전형적인 교통량-속도 관계식으로 도출할 수 있으며, 해당 지점별 교통량-속도 관계식을 이용하여 도로용량을 산출함
- 본 과업에서는 도로용량편람에서 제시하고 있는 도로용량 수준에서의 통행속도인 80km/h를 기준으로, 통행속도가 80km/h 이하 범위의 교통량은 <그림 5-5>에서와

같이 서비스수준이 F에서의 교통량-속도 그래프를 용량 기준으로 대칭시켜 v/c 비율을 산정함

$$80\text{km/h 이상} = \frac{\text{조사된 교통량}}{1\text{차로용량} \times \text{차로수}}$$

$$80\text{km/h 이하} = \frac{(1\text{차로용량} \times \text{차로수}) \times 2 - \text{조사된 교통량}}{1\text{차로용량} \times \text{차로수}}$$



<그림 5-5> 교통량-속도 관계식을 이용한 v/c 비율 산정방안

- 일반적으로 고속도로 검지기 자료의 지점교통량 및 지점속도를 이용하여 서비스수준 F 이하인 정체상황에서의 교통수요를 추정하는 방안으로 본 과업에서 적용하는 방법론을 이용하고 있으나, 기존 문헌에서 이와 같은 방법론의 타당성을 분석한 사례는 없는 실정임
- 제4장에서 명시한 바와 같이, 고속도로 검지기 자료의 지점교통량 및 지점속도를 근간으로 교통시뮬레이션 모형을 이용하여 교통수요를 추정한 결과, 지점교통량을 도로용량을 기준으로 대칭시켜서 산정한 값과 통계적으로 동일하다는 분석결과를 도출함
- 따라서, 본 과업에서 적용코자 하는 고속도로 통행비용함수 파라메타 추정을 위한 용량 대비 교통량 비율 산정기법이 적절한 것으로 판단됨

② 준연속류

- 준연속류는 도로용량이 하류부 신호교차로의 녹색시간비율에 의해 결정되기 때문에 대기행렬이 링크 진입부까지 형성되는 경우를 제외하고는 용량 대비 교통량 비율을 산출하기 위해 교통량을 인위적으로 조정할 필요가 없음

- 본 과업에서는 실제 해당 링크의 교통수요를 조사하기 위해 대기행렬이 발생하지 않는 링크 진입부에 영상카메라를 설치하여 교통량조사를 수행하였으므로 조사된 교통량을 교통수요로 적용할 수 있으며, 실제로 용량 대비 교통량 비율을 산출해보면 v/c 비율이 1.0을 초과하는 경우가 다수 발생하고 있음
- 준연속류 : 준연속류는 신호교차로의 녹색시간비율(g/C)에 의해 용량이 결정되며 교통량-속도 관계식을 도출하기에는 한계가 있으므로 도로용량편람에서 제시하는 구간 용량에 조사지점별 하류부 교차로의 녹색시간비율을 적용하여 도로용량을 산출함

※ 준연속류 용량 산정방법(KHCM)

1차로 : $1,700\text{pcphpl} \times \text{차로수} \times \text{녹색시간비율}(g/C)$

2차로 이상 : $2,000\text{pcphpl} \times \text{차로수} \times \text{녹색시간비율}(g/C)$

2) 자유통행시간 대비 통행시간 비율(t/t_0 ratio) 구축

- 고속도로 및 준연속류의 자유통행시간 대비 통행시간 비율을 산출하기 위해 조사지점별 제한속도를 자유통행속도로 적용하였으며, 제한속도 이상인 경우에는 실제 통행속도를 제한속도로 조정함
- 실제 통행속도를 조사한 결과, 혼잡하지 않은 교통상황에서는 제한속도보다 높은 경우가 자주 발생하고 있음
- 최고속도를 자유통행속도로 적용할 경우, v/c 비율이 0.5 이하인 범위에서 자유통행시간 대비 통행시간 비율(t/t_0 ratio)의 변화(variation)가 더욱 커지기 때문에 도로통행비용함수 파라메타 추정시 역효과가 있을 것으로 판단됨
- 모든 도로유형별로 조사된 제한속도와 실제 통행속도를 이용하여 자유통행시간 대비 통행시간 비율을 산출하였으며, 동일한 시간대(15분 단위)내에 조사 표본의 평균값을 산출하여 통행시간을 계산함

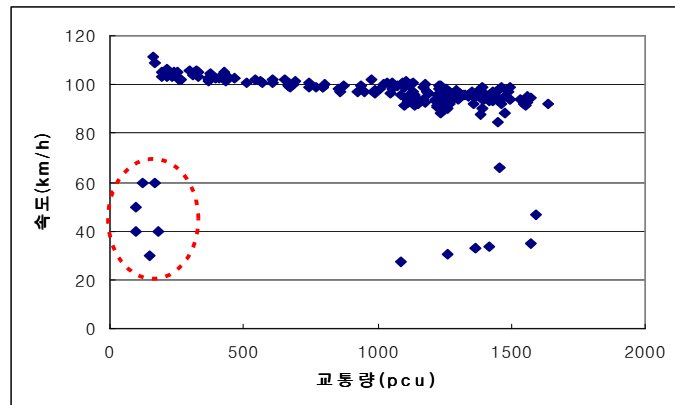
3) 도로유형별 교통량, 속도자료 통합구축

- 통행비용함수를 구축하기 위해서는 도로유형별 공통된 파라메타를 추정할 필요가 있으며, 이를 위해 동일한 도로유형의 조사지점별 교통량, 속도자료를 동일한 기준으로 통합 구축할 필요가 있음

- 조사지점별 교통량-속도 관계도를 기반으로 통행비용함수의 파라메타를 각각 추정할 경우, 추후 도로유형별 통합하는 과정이 불가능함
- 본 과업에서는 조사지점별 제한속도에 기반한 자유통행시간, 도로용량 등의 차이를 동일한 조건으로 비교하기 위해 조사지점별 도로용량 대비 교통량 비율(v/c ratio)과 자유통행시간 대비 통행시간의 비율(t/t_0 ratio)간의 관계도를 도시하여 동일한 도로유형에 대해 통합하여 통행비용함수의 파라메타를 추정토록 함
- X축은 v/c 비율로, Y축은 t/t_0 비율로 도시하여 v/c 비율의 변화에 따른 t/t_0 비율의 추정치와 관측치간 오차를 최소화하는 통행비용함수의 α, β 값을 추정함
- 도로유형별로 조사지점에 따른 교통량, 속도자료를 모두 통합한 후에 도로용량편람에서 제시하는 기준에 근거하여 이상치를 제거토록 하며, 최종적으로 통행비용함수 파라메타를 추정함

라. 이상치 제거

- 전국단위 도로망의 특성이 도로통행비용함수에 모두 반영될 수 있도록 하기 위해, 본 과업에서는 도로통행비용함수 구축을 위한 교통량, 통행속도 조사지점을 지역별로 고르게 분포되도록 선정함
- 조사지점 및 조사일정 조정을 통하여 통행속도에 영향을 주는 기상상황(눈 혹은 비), 교통사고 및 공사 등 비반복 혼잡요소를 사전에 제거함
- 조사단계에서 배제한 비정상적 통행속도 영향요소 이외에, 도로 기하구조의 특성(종단구배, 세가로 등), 비정상 교통류를 초래하는 운전자 그룹, 하류부 링크로부터의 발생한 대기행렬 등으로 인하여 교통량과 통행속도의 관계가 비현실적으로 조사될 수 있음
- 도로통행비용함수의 파라메타가 적절하게 추정되도록 하기 위해서는 교통공학적 이론에 근거하여 비현실적으로 조사된 이상치를 사전에 제거함으로써, 도로통행비용함수 파라메타 추정의 신뢰도를 제고할 필요가 있음
- 한국도로용량편람(KHCM)의 고속도로 및 다차로도로에서 제공하는 서비스수준 판단 기준을 이용하여 서비스수준별 교통량과 통행속도의 상한 혹은 하한 임계치를 도출하여 이상치를 제거토록 함



<그림 5-6> 교통량-속도 관계도에서의 이상치

1) 연속류(고속도로) 이상치 제거기준

◦ 고속도로의 이상치 제거기준은 다음과 같음

- v/c 비율이 0.45 이하(LOS B)이면서, 통행속도가 80km/h 이하인 것
- v/c 비율이 0.8 이하(LOS D)이면서, 통행속도가 free flow speed(제한속도) 이상인 것
- v/c 비율이 1.0 이상이면서, 통행속도가 80km/h 이상인 것

2) 준연속류 이상치 제거기준

◦ v/c 과 t/t_0 비율간의 상관성을 도출하기 위해 KHCM의 고속도로(설계속도 80km/h)의 서비스수준과 다차로도로의 서비스 수준간을 비교하여 이상치 제거기준을 적용함

<표 5-2> 준연속류의 이상치 제거기준

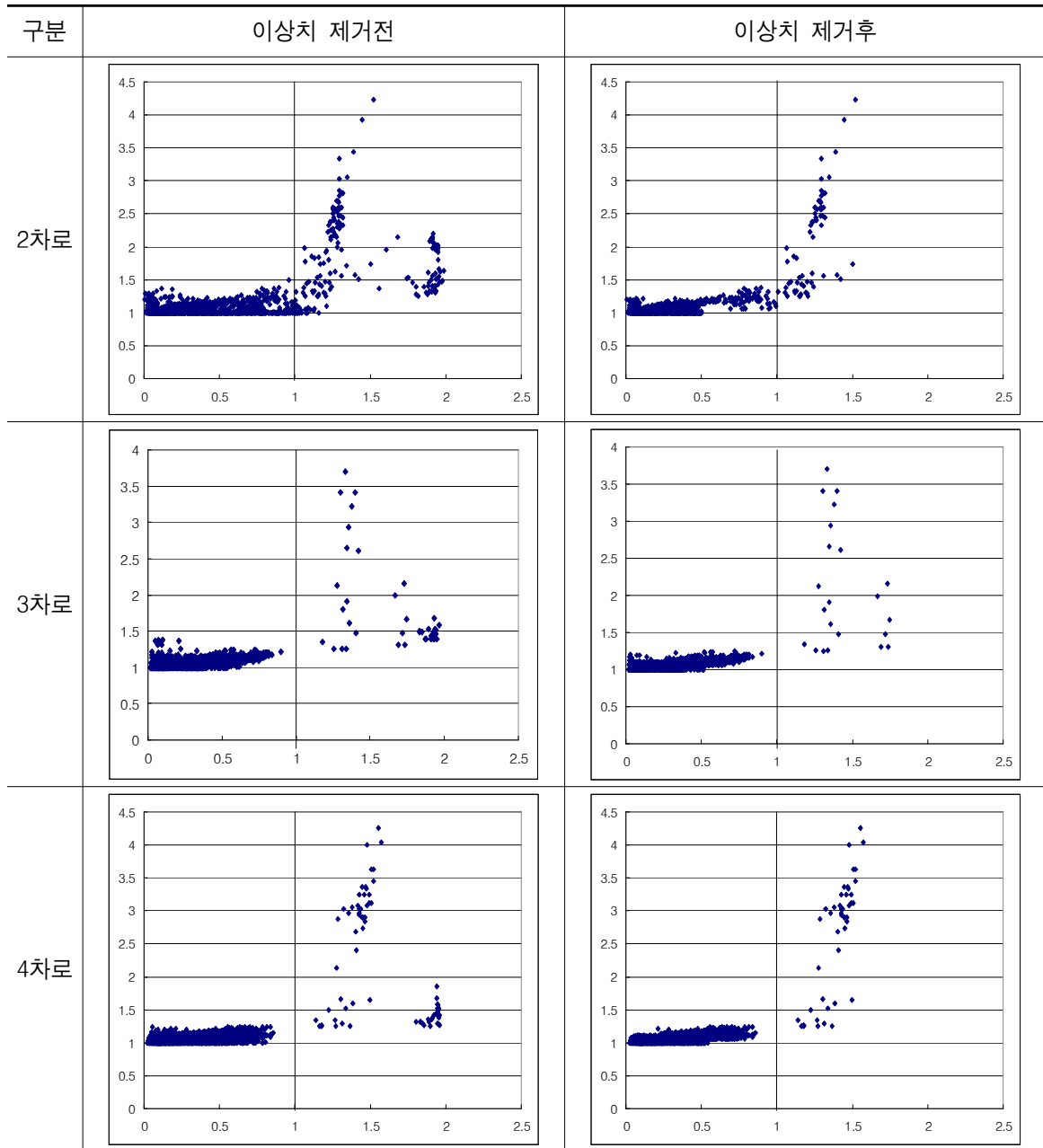
구 분		$0 < D^{*1)} < 0.3$	$0.3 \leq D < 0.7$	$0.7 \leq D < 1.0$
LOS C	$V/C < 0.58$	Speed < 70km/h $t/t_0 > 1.24$	Speed < 59km/h $t/t_0 > 1.47$	Speed < 53km/h $t/t_0 > 1.64$
LOS E	$V/C < 1.0$	Speed < 57km/h $t/t_0 > 1.52$	Speed < 42km/h $t/t_0 > 2.07$	Speed < 35km/h $t/t_0 > 2.48$
LOS F	$V/C > 1.0$	Speed > 57km/h $t/t_0 < 1.52$	Speed > 42km/h $t/t_0 < 2.07$	Speed > 35km/h $t/t_0 < 2.48$

* free flow speed는 87km/h 기준임 (KHCM의 다차로도로 기준)

주1) D는 신호등 밀도(개/Km)

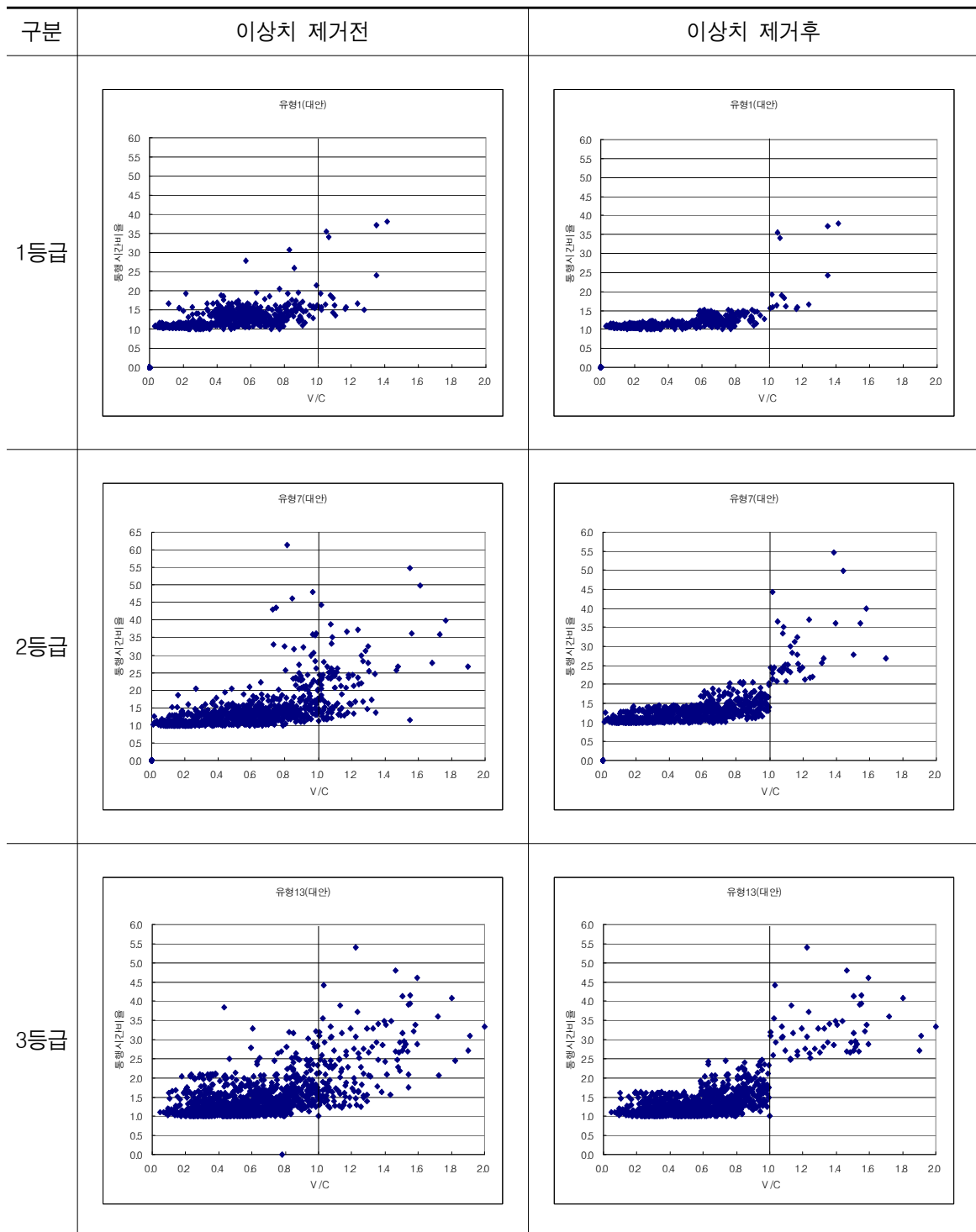
3) 이상치 제거 전·후 비교

① 고속도로



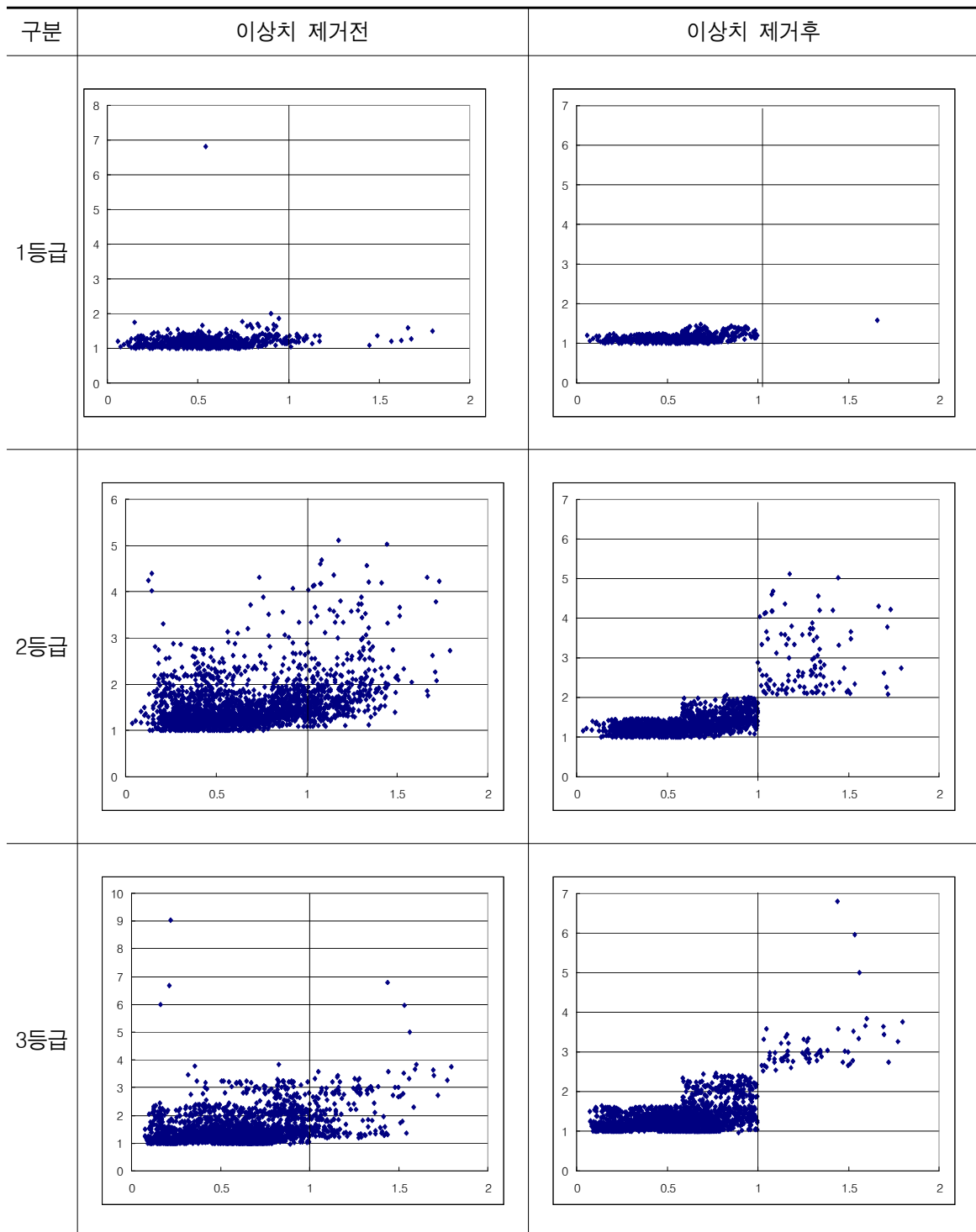
<그림 5-7> 이상치 제거 전·후(고속도로)

② 준연속류 (1차로 기준)



<그림 5-8> 이상치 제거 전후(준연속류 등급별 1차로 기준)

③ 준연속류 (2차로 이상 기준)



<그림 5-9> 이상치 제거 전후(준연속류 등급별 2차로 이상 기준)

3. 도로통행비용함수 파라메타 추정결과

가. 도로통행비용함수 파라메타 추정 프로그램

- 도로통행비용함수 파라메타를 추정하기 위해 본 과업에서는 조사자료인 교통량 및 통행속도자료를 이용하여 구축한 도로용량 대비 교통량 비율(v/c ratio)과 자유통행시간 대비 통행시간 비율(t/t_0 ratio)를 활용함
- 파라메타인 α , β 를 0.001 단위로 조정하면서 v/c 비율에 따른 t/t_0 비율의 관측치와 추정치간의 오차를 최소화하는 최적 α , β 값을 산출함
- 도로통행비용함수 파라메타 추정을 위한 프로그램 MATLAB(ver 6.5)를 이용함

```
function[alpha,beta]=est_par_high(data)
[a,b]=size(data);
error=10000000000;
for i=0:0.001:5.0
    for j=0:0.001:10
        er_spr=0;
        for k=1:a
            temp=i*data(k,1)^j;
            er_spr=er_spr+(data(k,2)-temp)^2;
        end
        if(er_spr<error)
            error=er_spr;
            alpha=i;
            beta=j;
        end
    end
end
end
```

<그림 5-10> 관측치와 추정치간의 오차를 최소화하는 파라메타 추정 소스(MATLAB(ver 6.5))

- 위에서 제시한 프로그램을 이용하여 도로유형별 도로통행비용함수 파라메타를 추정한 후, 도로유형별 역전현상이 발생하는지 여부를 판단함
- v/c 비율의 변화에 따라 낮은 등급의 도로유형의 t/t_0 비율이 높은 등급의 도로유형의 t/t_0 비율보다 작은 값을 가지는 현상(역전현상)이 발생하는 경우에는 가장 현실을 잘 반영하는 도로유형을 기준으로 역전현상을 보정할 필요가 있음

- 이를 위해, 기준이 되는 도로유형의 파라메타를 기준으로 역전현상이 발생하지 않는 범위내에서 v/c 비율에 따른 t/t_0 비율의 관측치와 추정치간의 오차를 최소화하는 최적 α, β 값을 다시 산출함
- 역전현상을 보정하기 위한 프로그램은 다음과 같음

```
function[alpha,beta]=est_par_low(data,alpha_b,beta_b)
[a,b]=size(data);
error=1000000000;
for i=0:0.001:5
    for j=0:0.001:10.0
        er_spr=0;
        for k=1:a
            temp=i*data(k,1)^j;
            er_spr=er_spr+(data(k,2)-temp)^2;
        end
        if(er_spr<error)
            temp_2=0;
            for l=0.1:0.1:3
                aa=alpha_b*(l)^beta_b;
                bb=i*(l)^j;
                if(bb>=aa)
                    temp_2=1;
                end
            end
            if(temp_2<1)
                error=er_spr;
                alpha=i;
                beta=j;
            end
        end
    end
end
end
```

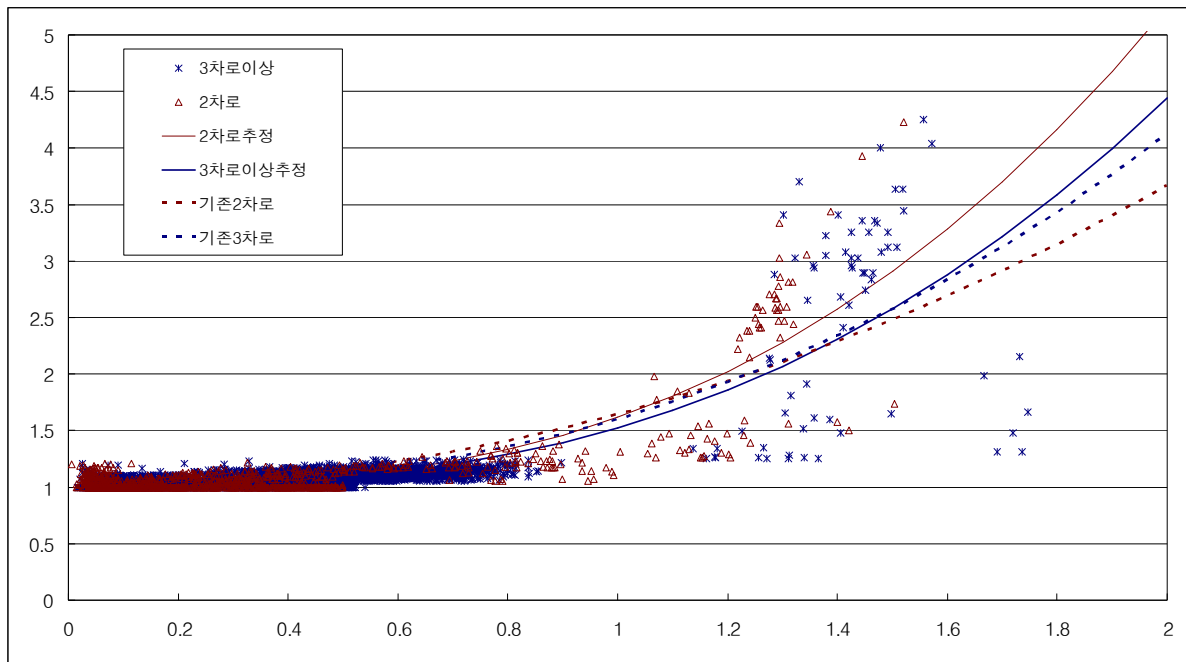
<그림 5-11> 역전현상을 보정하기 위한 소스(MATLAB(ver 6.5))

나. 연속류(고속도로) 통행비용함수 파라메타 추정결과

- 기존 통행비용함수의 파라메타에 비해 α 값은 작아지고, β 값은 커지는 결과를 보임
 - 새로이 구축된 통행비용함수는 기존 통행비용함수에 비해 v/c 비율이 1.0 이하에서는 t/t_0 비율이 낮게 추정되며, 반면에 v/c 비율이 1.0 이상에서는 더욱 큰 값을 가지는 결과를 보임
 - <그림 5-12>에서와 같이 2차로 및 3차로 이상의 고속도로간 통행비용함수의 역전 현상은 발생하지 않는 것으로 나타남

<표 5-3> 고속도로의 기존 VDF와 수정된 VDF 파라메타

차로수 (편도)	자유속도 (km/h)	기존 파라메타		수정된 파라메타	
		α	β	α	β
2차로	117	0.645	2.047	0.611	2.772
3차로이상	119	0.601	2.378	0.526	2.707



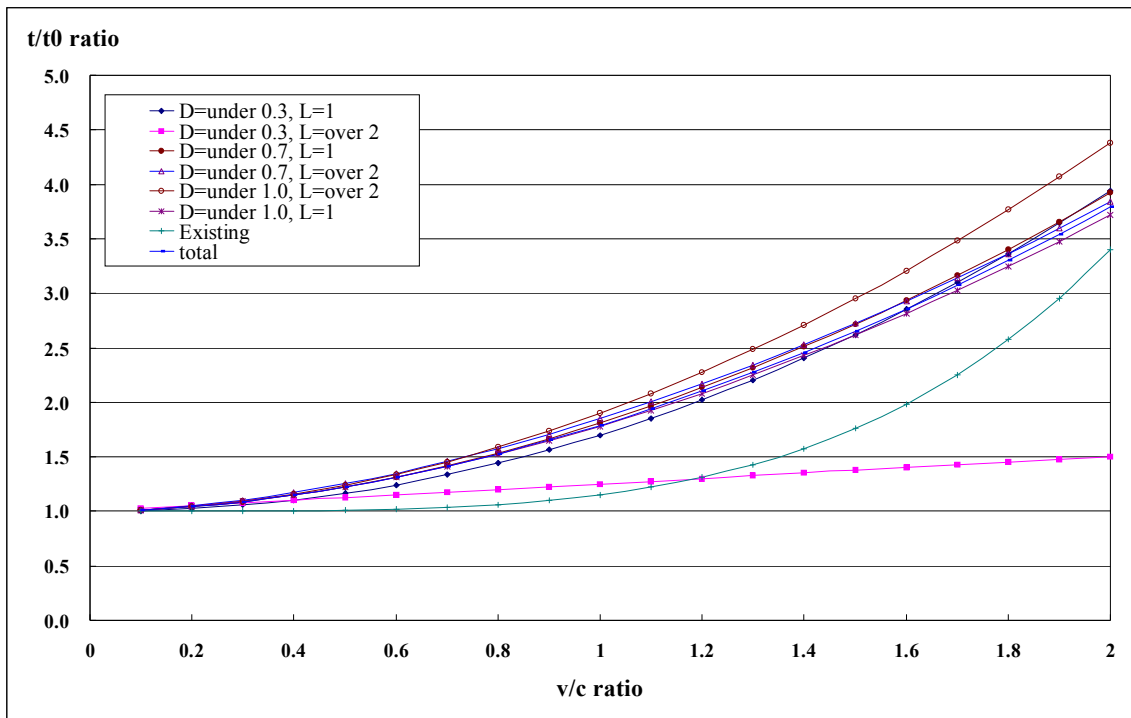
<그림 5-12> 고속도로 조사자료 분포 및 통행비용함수 추정 그래프

다. 준연속류

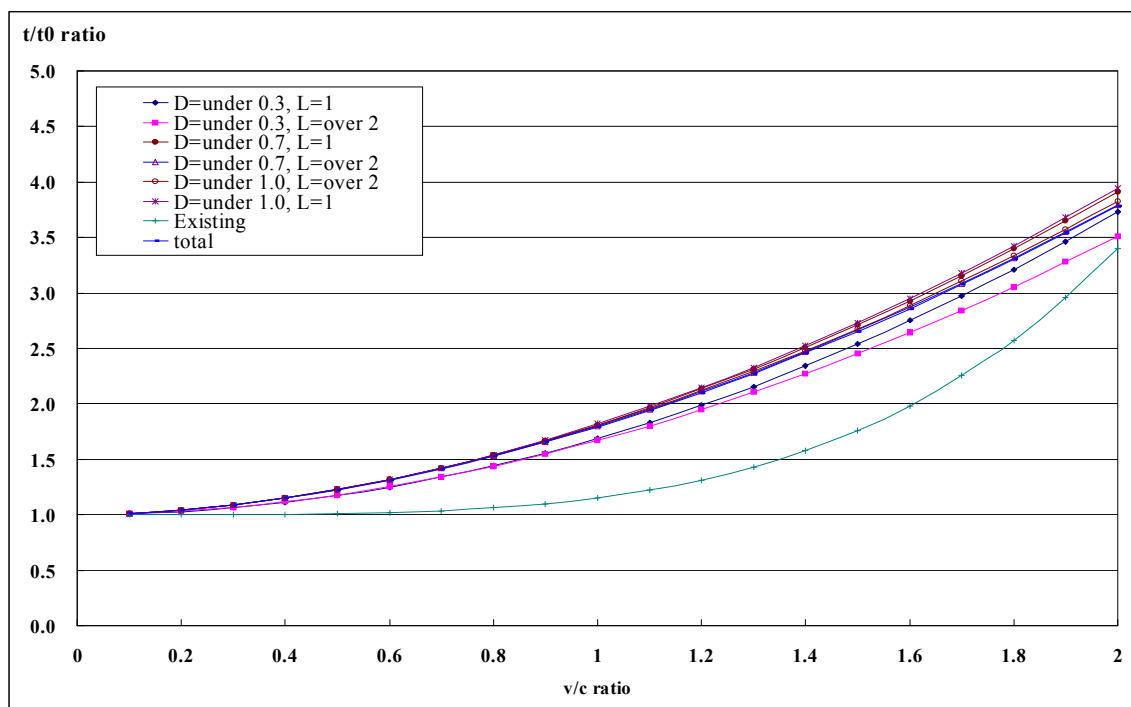
- 준연속류의 통행비용함수 파라메타를 추정하기 위해 2가지 대안으로 접근함
 - 대안 1 : 세분화된 6개의 도로유형별로 각각의 통행비용함수 파라메타를 추정하는 방안임
 - 대안 2 : 현재 일반국도, 지방도 등의 경우 미국 BPR의 파라메타값인 $\alpha=0.15$, $\beta=4$ 로 동일하게 적용되고 있는 점을 감안하여 준연속류의 6개의 도로유형에 대해 동일한 통행비용함수 파라메타를 추정하는 방안임
- 2가지 대안에 대해 준연속류의 통행비용함수를 각각 추정하여 기존의 전국 여객O/D와 교통분석용 네트워크를 이용한 신뢰도 검증을 통하여 최종 대안을 선정할 필요가 있음
- 이상치를 제거한 도로용량 대비 교통량비율(v/c ratio)와 자유통행시간 대비 통행시간 비율(t/t_0 ratio) 관계도를 이용하여 파라메타를 추정한 결과, 도로유형별/차로수별로 역전현상이 발생하는 것으로 나타남
- 1차적으로 추정된 통행비용함수의 파라메타 중 신호등 밀도가 0.3~0.7인 준연속류 2등급의 파라메타가 모든 도로유형의 자료를 통합하여 추정한 파라메타값과 가장 유사한 것으로 나타나 이를 기준으로 역전현상을 보정함
 - 2등급 1차로의 파라메타를 기준으로 1등급과 3등급 1차로의 파라메타를 추정하고, 2등급 2차로의 파라메타를 기준으로 1등급과 3등급 2차로의 파라메타를 추정함
- 기본으로 제공되는 BPR 파라메타값보다 α 는 크게, β 보다는 작은값으로 추정됨으로써, 기존 통행시간 보다 급격하게 변하지 않고 다소 완만한 추세를 보이고 있음

<표 5-4> 추정된 준연속류의 VDF 파라메타

구 분			역전현상 보정 전		역전현상 보정 후		기 존	
대안	신호등 밀도	차로수(편도)	α	β	α	β	α	β
대안1	0 < D < 0.3 (1등급)	1차로	0.700	2.070	0.686	1.991	0.15	4
		2차로이상	0.5	2.385	0.668	1.911		
	0.3 ≤ D < 0.7 (2등급)	1차로	0.809	1.849	0.809	1.849		
		2차로이상	0.798	1.809	0.798	1.809		
	0.7 ≤ D < 1.0 (3등급)	1차로	0.780	1.800	0.818	1.849		
		2차로이상	0.900	1.910	0.803	1.815		
대안2	통합 (total)		0.791	1.817	0.791	1.817		



<그림 5-13> 준연속류 파라메타 추정결과(역전현상 보정 전)



<그림 5-14> 준연속류 파라메타 추정결과(역전현상 보정 후)

제3절 도로통행비용함수의 파라메타 검증

1. 통행비용함수 파라메타 추정의 정확도 검증

- 본 과업에서는 도로통행비용함수 파라메타를 추정하기 위하여 회귀분석법을 사용하지 않고 BPR 함수의 α , β 값을 점진적으로 변화시키면서 v/c 비율에 따른 t/t_0 비율의 추정치와 관측치간의 오차를 최소화하는 최적 α , β 값을 추정하였음
- 따라서, 모형의 적합도 및 개별 파라메타의 적합도에 대한 분석이 별도로 시행될 필요가 있음
 - 모형의 적합도를 분석하기 위해 본 과업에서는 v/c 비율에 따른 t/t_0 비율의 추정치와 관측치의 자료를 이용하여 Theil의 부등계수 및 쌍체 t 검증을 수행함

가. Theil의 부등계수(Theil's Inequality Coefficient)

- Theil의 부등계수는 RMSE에 의해 정의되고 있으며, 관측치와 모형에 의한 추정치간의 차이를 비교하여 독립변수 v/c 비율에 따른 종속변수 t/t_0 비율의 모형 추정치가 관측치를 얼마나 잘 표현하고 있는가를 설명하는 방법이고, U 값이 0에 가까울수록 모형의 설명력은 높다고 볼 수 있음
- U 값은 $0 \leq U \leq 1$ 에서 존재하며, U 값이 0 값을 가지면 모형 추정치가 관측치에 가까움을 나타내며, 1을 가지면 배정치가 적합하지 않음을 나타냄
- 다음과 같은 수식을 가짐

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

여기서, e_i : 링크 i 의 추정치(교통량 등)
 o_i : 링크 i 의 관측치(교통량 등)
 n : 관측치의 수

- 기존 VDF에서 고속도로 2차로는 $\alpha=0.645$, $\beta=2.047$ 를, 3차로 이상은 $\alpha=0.601$, $\beta=2.378$, 준연속류는 기본값 $\alpha=0.15$, $\beta=4$ 를 적용함
- 고속도로의 경우, 기존 VDF와 새로운 VDF와의 차이는 없지만 준연속류는 기존 VDF에 비해 새로운 VDF의 Theil의 부등계수값이 0에 가까워지는 값을 보여줌에 따라 새로운 VDF가 더 적합하다고 볼 수 있음

<표 5-5> Theil의 부등계수 비교

구 분(편도 기준)			기존 VDF	새로운 VDF
연속류 (고속도로)	2차로		0.2830	0.2459
	3차로 이상		0.3901	0.3875
준연속류	0 < D < 0.3 (1등급)	1차로	0.7696	0.2930
		2차로 이상	0.6974	0.3750
	0.3 ≤ D < 0.7 (2등급)	1차로	0.5643	0.2732
		2차로 이상	0.6940	0.3164
	0.7 ≤ D < 1.0 (3등급)	1차로	0.4856	0.2411
		2차로 이상	0.8477	0.3497

나. 쌍체 t 검정(paired t-test)

- 쌍체 t 검정은 동일한 표본을 이용하여 두 개의 다른 시점에서 측정하고자 하는 변수의 평균값을 비교하여 유의성을 검토할 때 사용하는 방법임
- 즉, 두 집단간의 평균이 통계적으로 유의한 차이를 보이고 있는지의 여부를 검정할 때 사용되며 본 과업에서는 기존의 VDF와 새로운 VDF를 적용했을 경우 v/c 비율에 따라 t/t_0 비율이 관측치와 얼마나 차이가 있는지 분석함
- 유의수준 0.05에서 쌍체 t 검정을 한 결과는 아래와 같으며, 유의성이 없는 것으로 나타난 등급은 연속류(고속도로) 2차로와 준연속류 3등급($0.7 \leq D < 1.0$)으로 나타남
- 기존 VDF에 비해 새로운 VDF의 p-value값이 작아지는 결과를 나타냄

<표 5-6> 쌍체 t 검정 비교

구 분(편도 기준)			기존 VDF	새로운 VDF
연속류 (고속도로)	2차로		0.004502023	0.480055779 *
	3차로 이상		0.000000007	0.000866244
준연속류	0 < D < 0.3 (1등급)	1차로	4.95954E-70	0.000529343
		2차로 이상	2.7566E-138	8.12815E-53
	0.3 ≤ D < 0.7 (2등급)	1차로	3.18118E-73	0.021942462
		2차로 이상	4.0791E-222	2.53319E-08
	0.7 ≤ D < 1.0 (3등급)	1차로	2.7524E-123	0.25945455 *
		2차로 이상	0	1.23369E-17

* 유의수준 0.05에서 채택

2. 도로통행비용함수의 신뢰도 검증

- 도로유형별 실측 조사된 교통량, 통행속도 조사자료를 이용하여 추정된 도로통행비용함수의 활용방안을 모색하기 위해서는 현재 적용되고 있는 전국 여객O/D와 교통분석용 네트워크를 이용하여 신뢰도를 검증할 필요가 있음
- 본 과업에서 추정된 도로통행비용함수를 교통시설 타당성 분석 등 교통수요예측에 활용하기 위한 방안으로 도로통행비용함수 중 파라메타 이외의 관련변수인 자유통행속도, 도로용량 등에 근거하여 시나리오를 다양하게 설정하여 신뢰도 검증을 수행하였으며, 본 과업에서 조사한 새로운 일전환계수는 적용상의 한계로 본 과업에서 검증을 수행하지 않음
- 또한, 새로운 도로통행비용함수를 적용함에 있어서 기존의 교통분석용 네트워크가 가지고 있는 문제점을 검토하여 개선방안을 모색함

가. 시나리오 구성

- 본 과업에서는 도로통행비용함수 구축을 위해 기존 도로관리주체에 기반한 도로유형에서 신호등 밀도 등 도로기능에 기반한 도로유형으로 재분류하였기 때문에, 새로운 도로통행비용함수를 교통분석용 네트워크에 적용하기 위해서는 교통신호등 자료를 필요로 함
- 현재 국가교통DB의 교통시설물조사시 교통신호등에 대한 조사가 미시행되어 본 과업에서는 교통분석용 네트워크의 교차로를 기준으로 링크별 도로유형을 분류함
- 도로통행비용함수의 신뢰도 검증을 위한 시나리오는 파라메타, 도로용량, 자유속도 등을 이용하여 구성함
 - 교통분석용 네트워크 : 기존 선형현실화에 따라 세분화한 노드-링크의 개선(Part I, Part II)
 - 기존의 교통분석용 네트워크 구축시 선형 현실화를 위해 동일한 속성을 가지는 하나의 링크라 할지라도 실제 네트워크와 유사한 형태를 가지도록 노드-링크를 세분화하였음
 - 선형 현실화를 위해 세분화한 노드가 신호교차로로 구성되어 있는 경우에는 도로통행비용함수를 적용하더라도 문제가 발생하지 않으나, 신호교차로가 아닌 지점에 노드를 추가하는 경우에는 도로통행비용함수를 적용시 해당 노드마다 신호교차로에서의 지체가 현실과 상이하게 추가되는 문제가 발생함

- 특히, 본 과업에서는 도로통행비용함수 적용을 위한 도로위계 구분시 신호등 밀도 (혹은 신호교차로간 거리)를 적용하였기 때문에 선형 현실화를 위해 노드-링크체계의 세분화는 통행시간에 지대한 영향을 미칠 수 있음
- 따라서, 본 과업에서는 '07년 현행화에서 적용한 교통분석용 네트워크를 이용하여 새로운 도로통행비용함수 적용에 따른 신뢰도 검증을 수행하는 시나리오(Part I)와 선형 현실화를 수행하기 이전의 네트워크를 이용하여 신뢰도 검증을 수행하는 시나리오(Part II) 구분함
- Part II의 교통분석용 네트워크를 상세히 설명하면, 하나의 노드에 2개의 링크만 연결된 경우이고 연결된 2개의 링크가 동일한 속성을 가지고 있는 경우에 2개의 링크를 연결하여 1개의 링크로 재구축하는 과정을 수행함
- 교통분석용 네트워크의 특성에 따른 도로통행비용함수 적용시 신뢰도 변화를 분석하여 향후 교통분석용 네트워크의 개선방안을 도출함
- 도로통행비용함수 파라메타 : 준연속류에 대한 도로유형별 개별파라메타, 통합파라메타 적용에 따른 구분
 - 본 과업에서는 준연속류의 6개 도로유형에 대해 개별적으로 도로통행비용함수의 파라메타를 추정함과 동시에 동일하게 추정하여 제시함
 - 기존 도로통행비용함수는 일반국도 및 지방도 등에 대해 동일한 파라메타를 적용하고 있으며, 본 과업에서 추정한 준연속류의 통행비용함수 파라메타도 큰 차이를 보이고 있지 않기 때문에 개별파라메타 대안과 통합파라메타 대안을 비교 검증토록 함
- 도로용량 : 고속도로 및 준연속류의 용량 조정
 - 본 과업에서 고속도로 및 준연속류의 도로용량을 분석한 결과, 고속도로는 차로수가 증가함에 따라 고속도로 기본용량(2,200pcphpl)이 단순 증가하지 않고 차로당 용량이 조금씩 감소하는 패턴을 보이며(제4장 참조), 준연속류는 하류부 교차로의 녹색 신호현시비율(g/C ratio)에 따라 크게 영향을 받는 특징이 있음
 - 또한, 고속도로의 구간별 용량은 기본구간에 비해 진출입부 구간의 도로용량은 현저히 감소되는 경향을 보이고 있으므로 고속도로 노선별 진출입부간 간격이 짧은 경우에는 긴 경우에 비해 평균 도로용량이 다소 저하될 수 있음
 - 따라서, 도로유형별 동일한 도로용량을 적용하기 보다는 교통수요모형에 의한 배경교통량이 관측교통량보다 많은 경우는 도로용량을 적정하게 감소시키고, 적은 경우는 도로용량을 적정하게 증가시키는 방안을 통하여 교통수요모형의 신뢰도를 향상시킬 필요가 있음

- 본 과업에서는 고속도로의 기본용량을 2,200pcphpl 로 설정하고 준연속류의 기본용량을 기존과 같이 1차로 750pcphpl, 2차로 이상 1,000pcphpl로 설정하되, 고속도로의 경우에 과다배정노선 혹은 과소배정노선에 대해 도로용량을 100pcphpl 단위로 증감하면서 신뢰도를 향상시키는 방안을 모색함
- 고속도로의 관측교통량과 배정교통량간 오차를 줄이기 위한 정산과정에서 과다노선 및 과소노선에 대해 도로용량을 탄력적으로 적용하되, 고속도로의 도로용량의 범위를 2,000 ~ 2,200pcphpl로 제약을 두도록 설정함
- 자유통행속도 : 제한속도, 설계속도 적용방안
 - 본 과업에서 조사한 지점별 통행속도 자료를 분석한 결과, 동일한 도로유형이라 할지라도 최고속도의 변화가 있는 것으로 분석됨에 따라 동일한 도로유형에 대해 차별적인 자유통행속도를 적용하는 방안이 바람직할 것으로 판단됨
 - 실제 미국사례를 살펴보면, 조사된 관측교통량을 이용하여 교통수요모형을 정산하기 위해 도로통행비용함수의 파라메타를 조정하기 보다는 노선별 자유통행속도와 도로용량을 조정하는 것으로 조사됨
 - 본 과업에서는 자유통행속도의 하한을 제한속도로, 상한을 설계속도(고속도로는 제한속도+20km/h, 준연속류는 제한속도+10km/h)로 설정하고, 해당 범위내에서 배정교통량이 관측교통량 대비 과다노선은 자유통행속도를 10km/h 단위로 감소시키고, 과소노선은 증가시키는 기법을 통하여 교통수요모형의 신뢰도를 검증함
- 단속류 도로통행비용함수
 - 본 과업에서 새로이 추정하지 않은 단속류의 도로통행비용함수는 준연속류의 최하위 도로등급의 파라메타를 적용하여 교통수요모형의 신뢰도를 검증함
 - 기존 단속류의 통행비용함수를 적용할 경우에 새로이 추정된 통행비용함수와 차이가 크기 때문에 정확한 신뢰도 검증이 어려울 것으로 판단됨
- 고속도로 1차로 도로통행비용함수
 - 본 과업에서는 교통량 및 통행속도 자료의 수집이 어려워 고속도로 1차로에 대한 도로통행비용함수를 추정하지 않았으며, 2차로의 통행비용함수 파라메타를 1차로에 적용하여 신뢰도 검증을 수행함
- 시나리오 13는 Part I(기존 네트워크), Part II(새로운 네트워크) 모두 시나리오 3을 기준으로 도로용량과 자유통행속도를 조정함

<표 5-7> 시나리오 구성

구 분	Part I (기존 네트워크 ^{주1)})			Part II (새로운 네트워크 ^{주2)})		
Scenario	파라메타	고속도로 용량 (pcphpl) ^{주3)}	자유속도(km/h)	파라메타	고속도로 용량 (pcphpl)	자유속도(km/h)
1	추 정 (개별)	2,200	제한속도	추 정 (개별)	2,200	제한속도
2			제한속도+ 10km/h			제한속도+ 10km/h
3			설계속도 ^{주4)}			설계속도
4		2,000	제한속도		2,000	제한속도
5			제한속도+ 10km/h			제한속도+ 10km/h
6			설계속도			설계속도
7	추 정 (통합)	2,200	제한속도	추 정 (동일)	2,200	제한속도
8			제한속도+ 10km/h			제한속도+ 10km/h
9			설계속도			설계속도
10		2,000	제한속도		2,000	제한속도
11			제한속도+ 10km/h			제한속도+ 10km/h
12			설계속도			설계속도
13	추 정 (개별)	· 기본 : 2,200 · 과다노선 ^{주5)} : 용량조정	· 기본 : 설계속도 · 과다노선 : 제한속도 조정	추 정 (개별)	· 기본 : 2,200 · 과다노선 : 용량조정	· 기본 : 설계속도 · 과다노선 : 제한속도 조정

주: 1) '07년 현행화에서 적용한 교통분석용 네트워크

2) '07년 현행화한 교통분석용 네트워크를 간략화한 네트워크

3) 준연속류 및 단속류는 기존과 같이 1차로는 750pcu/시, 2차로이상은 1,000pcu/시로 적용함

4) 설계속도 : 고속도로 제한속도 + 20km/h, 기타도로 제한속도 + 10km/h

5) 과다노선 / 과소노선 : 오차율 비교시 +30% 이상인 노선 / -30% 이하인 노선

나. 신뢰도 검증

- 교통수요모형의 신뢰도를 검증하기 위해 모형에 의한 배정교통량(V_{est})과 관측교통량(V_{obs})의 오차율(ε)을 분석하며, 오차율 산정식은 다음과 같음

$$\varepsilon(\%) = \frac{V_{est} - V_{obs}}{V_{obs}} \times 100$$

- 앞에서 제시한 시나리오별로 현재 제공되는 전국 여객O/D와 교통분석용 네트워크를 이용하여 신뢰도를 검증함

1) Part I (기존 교통분석용 네트워크 적용)

- '08년 교통수요조사 및 DB구축사업에서 수행된 '07년 기준 전국 여객O/D 현행화 사업은 본 과업에서 구축한 고속도로 통행비용함수를 기 반영하였음
- '07년 현행화된 O/D와 교통분석용 네트워크에 기존 도로통행비용함수를 적용한 교통수요모형 분석결과, 고속도로는 30% 이상인 지점수의 비율이 20.9%, $\pm 30\%$ 이내의 지점수 비율이 66.6%, -30% 이하인 비율이 12.5%의 수준으로, '06년도 현행화된 O/D와 교통분석용 네트워크를 이용한 경우에 비해 고속도로의 적정 수준이 약 2.7%, 일반국도는 1.1% 신뢰도가 향상된 것으로 나타남
- '07년 현행화된 O/D와 교통분석용 네트워크에 고속도로 및 국도의 새로운 통행비용함수를 적용하여 정산한 결과, 고속도로는 30% 이상인 지점수의 비율이 20.1%, $\pm 30\%$ 이내의 지점수 비율이 68.2%, -30% 이하인 비율이 11.7%의 수준으로, '07년도 현행화된 O/D와 교통분석용 네트워크를 이용한 경우에 비해 고속도로의 적정 수준이 약 1.6% 신뢰도가 향상된 반면, 일반국도는 1.6% 신뢰도가 떨어진 것으로 나타남
- 교통수요모형은 존 내부통행을 배정할 수 없는 한계점이 있으며, 더욱이 기존 전국 여객O/D는 248개 존(시·군·구 단위)의 내부통행이 미구축되어 있기 때문에 관측교통량 조사지점이 존간 통행으로만 구성되는 시계유출입구간인 경우는 오차가 발생하지 않지만, 존내부통행이 다수 이용하는 일반국도는 배정교통량이 관측교통량보다 적게 구성되는 것이 바람직함
- 따라서, 기존 도로통행비용함수를 이용하여 신뢰도를 검증한 결과를 보면, 일반국도의 과대와 과소비율이 유사한 수준인 것으로 나타나 일반국도에 과다 배정이 되는 것으로 판단할 수 있음
- 고속도로는 과다가 과소보다 일부 많지만 관측교통량에 배정교통량을 감한 상대오차의 평균이 약 -3백만대 수준으로 과다 추정되는 것으로 나타나, 전반적으로 기존의 도로통행비용함수는 고속도로 및 일반국도 모두 과다 배정되는 문제점을 가지고 있음
- 이와 같이 고속도로 및 일반국도 모두 과다 추정되는 문제가 관측교통량 조사지점 선정의 문제인지 아니면 전반적으로 전국 여객O/D가 과다 추정된 문제인지를 분석할 필요가 있음

- 본 과업에서 설정한 13개의 시나리오를 분석한 결과, 시나리오 13의 신뢰도가 가장 좋은 것으로 나타났는데, 이는 고속도로의 도로용량을 1차로 1,600pcu/시, 2차로 이상 2,200pcu/시, 일반국도는 1차로 750pcu/시, 2차로 이상 1,000pcu/시로 적용하고 자유통행속도를 설계속도로 적용하였으며, 고속도로의 과다노선에 도로용량을 100 ~ 200pcu/시를 감소시키고 자유통행속도를 설계속도에서 10 ~ 20km/h를 감소시켰음
- 고속도로 및 일반국도의 과대 및 과소비율을 보면, 고속도로는 과다가 20.1%, 과소가 11.7%이며, 일반국도는 과다가 17.9%, 과소가 49.6%인 것으로 나타나 존내부통행이 미구축된 통행특성이 제대로 반영되는 것으로 나타남
- 고속도로의 상대오차(관측교통량-배정교통량)의 합계를 보면 고속도로는 전체의 오차의 평균을 보면, 고속도로는 총 조사지점에 대해 약 23만대/일 정도 과소 추정되고 있으며, 일반국도는 총 조사지점에 대해 약 820만대 정도 과소 추정되고 있음
- 절대오차의 합계를 보면 기존 도로통행비용함수에 비해 시나리오 13는 약 100만대 정도 감소하고 일반국도는 약 60만대 증가한 것으로 나타남

<표 5-8> 시나리오별 고속도로와 일반국도의 오차율 (Part I)

구 분	고속도로			일반국도			상대오차의 (관측량-배정량) 합계		절대오차의 (관측량-배정량) 합계	
	과대	적정 ¹⁾	과소	과대	적정	과소	고속도로	일반국도	고속도로	일반국도
'07년현행화2)	20.9	66.6	12.5	32.0	34.1	34.0	-3,020,564	625,562	9,778,282	12,197,777
'06년현행화3)	23.1	63.9	13.0	37.0	33.0	30.0	-2,754,930	-1,327,478	8,874,528	11,837,273
시나리오1	28.4	60.6	10.9	15.2	31.3	53.6	-1,272,346	8,913,520	9,495,075	12,931,701
시나리오2	23.2	61.4	15.3	17.8	32.9	49.3	642,941	8,042,601	9,342,391	12,561,781
시나리오3	28.8	60.3	10.9	15.4	30.3	54.3	-1,438,484	9,150,536	9,553,854	13,162,742
시나리오4	23.8	60.9	15.3	17.8	32.3	49.8	490,346	8,260,109	9,382,408	12,767,583
시나리오5	27.5	60.5	11.9	16.0	30.8	53.2	-922,281	9,005,701	9,512,987	13,089,690
시나리오6	27.0	60.6	12.3	16.5	30.9	52.6	-267,589	8,717,307	9,378,353	12,951,485
시나리오7	22.1	61.8	16.1	19.0	32.3	48.7	1,569,323	7,862,903	9,347,877	12,598,011
시나리오8	25.8	61.2	13.0	16.9	31.2	51.8	182,790	8,583,270	9,358,065	12,886,936
시나리오9	29.7	59.2	11.0	14.9	30.3	54.8	-1,626,721	9,288,683	9,660,259	13,192,943
시나리오10	24.4	60.5	15.1	17.3	32.3	50.4	268,557	8,425,142	9,472,339	12,773,293
시나리오11	28.2	60.1	11.7	15.6	30.7	53.8	-1,117,512	9,144,770	9,609,430	13,107,201
시나리오12	28.3	59.4	12.3	15.9	31.1	52.9	-460,926	8,862,106	9,486,032	12,972,857
시나리오13	20.1	68.2	11.7	17.9	32.5	49.6	232,544	8,299,964	8,705,342	12,793,814

- 주: 1) 고속도로 및 일반국도의 과대는 (배정교통량-관측교통량)/관측교통량의 비율이 30% 이상인 지점의 비율, 적정은 $\pm 30\%$ 이내의 비율, 과소는 -30% 이하인 비율을 의미함
- 2) '07년도 기준 현행화된 O/D와 교통분석용 네트워크를 이용하였으며, 고속도로는 본 과업에서 새로이 구축한 통행비용함수를, 국도 및 지방도 등은 기존 통행비용함수를 적용함
- 3) '06년도 기준 현행화된 O/D와 교통분석용 네트워크를 이용하였으며, 고속도로, 국도 및 지방도 등은 기존 통행비용함수를 적용함

2) Part II(간략화한 교통분석용 네트워크)

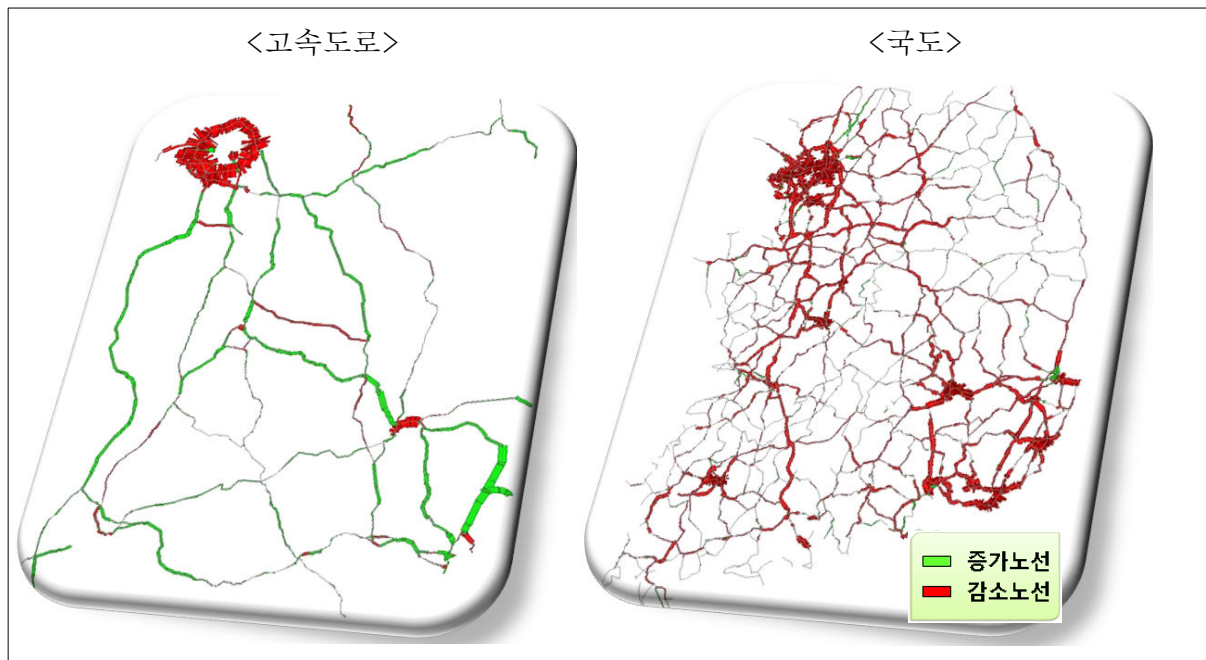
- '07년 현행화한 교통분석용 네트워크를 근간으로 동일한 속성을 가지는 단일 링크로만 구성된 노드를 제거하고 2개의 연결 링크를 통합하여 간략화 함
- 간략화한 교통분석용 네트워크와 '07년 현행화한 전국 여객O/D에 새로이 구축된 도로통행비용함수를 적용하여 신뢰도 검증을 수행함
- 신뢰도 검증을 수행한 결과, 고속도로는 30% 이상인 지점수의 비율이 18.4%, $\pm 30\%$ 이내의 지점수 비율이 69.2%, -30% 이하인 비율이 12.3%의 수준으로, '07년도 현행화된 O/D와 교통분석용 네트워크를 이용한 경우에 비해 고속도로의 적정 수준이 약 2.6% 향상된 반면, 일반국도는 0.4% 저하된 것으로 나타남
- '07년도 현행화 교통분석용 네트워크에 새로이 구축된 통행비용함수를 적용한 경우 (Part I)에 비해, 고속도로의 적정 수준이 약 1%, 국도가 약 1.2% 정도 향상된 것으로 분석되어, 새로운 도로통행비용함수 적용을 위해서는 교통분석용 네트워크를 개선할 필요가 있는 것으로 판단됨

<표 5-9> 시나리오별 고속도로와 일반국도의 오차율 (Part II)

구 분	고속도로			일반국도			상대오차의 (관측량-배정량) 합계		절대오차의 (관측량-배정량) 합계	
	과대	적정	과소	과대	적정	과소	고속도로	일반국도	고속도로	일반국도
'07년현행화	20.9	66.6	12.5	32.0	34.1	34.0	-3,020,564	625,562	9,778,282	12,197,777
'06년현행화	23.1	63.9	13.0	37.0	33.0	30.0	-2,754,930	-1,327,478	8,874,528	11,837,273
시나리오1	28.4	60.6	10.9	15.2	31.3	53.6	-1,272,346	8,913,520	9,495,075	12,931,701
시나리오2	23.2	61.4	15.3	17.8	32.9	49.3	642,941	8,042,601	9,342,391	12,561,781
시나리오3	27.1	61.0	11.8	15.9	31.6	52.5	-768,600	8,787,586	9,449,569	12,878,261
시나리오4	26.6	60.8	12.6	16.3	31.9	51.7	-107,269	8,477,844	9,326,731	12,726,831
시나리오5	21.9	61.4	16.6	18.9	32.8	48.3	1,708,934	7,645,483	9,315,386	12,400,110
시나리오6	25.5	61.4	13.1	17.0	31.8	51.1	320,681	8,374,569	9,317,525	12,681,792
시나리오7	29.7	59.4	10.9	14.9	30.9	54.2	-1,509,939	9,094,972	9,628,184	12,988,175
시나리오8	24.3	60.9	14.8	17.5	32.7	49.8	371,525	8,244,702	9,451,495	12,591,098
시나리오9	28.3	59.9	11.8	15.5	31.5	53.0	-1,027,127	8,980,891	9,583,242	12,928,152
시나리오10	27.9	59.5	12.6	15.8	31.7	52.5	-358,814	8,674,308	9,458,312	12,772,427
시나리오11	23.0	60.6	16.4	18.2	33.1	48.7	1,447,021	7,845,182	9,407,182	12,422,250
시나리오12	26.5	60.8	12.7	16.4	32.1	51.5	65,126	8,568,970	9,428,474	12,726,609
시나리오13	18.4	69.2	12.3	18.0	33.7	48.3	580,496	7,985,035	8,534,354	12,559,215

다. 고속도로 및 국도의 배정교통량 변화 분석

- 새로이 구축된 도로통행비용함수의 적용상의 문제점을 검토하기 위한 과정의 일환으로 고속도로 및 국도의 통행 배정량의 변화를 분석할 필요가 있음
- '07년 현행화한 전국 여객O/D 및 교통분석용 네트워크를 이용하여 기존 도로통행비용함수를 적용한 경우와 본 과업에서 새로이 구축한 도로통행비용함수를 적용한 경우에 대해 고속도로 및 국도의 배정교통량의 변화를 분석함
- <그림 5-15>에서와 같이, 본 과업에서 새로이 구축된 도로통행비용함수 적용시 고속도로는 전반적으로 통행량이 증가하는 추세를 보이고 있으나, 국도는 감소하는 패턴을 보이고 있음
- 이는 국도의 통행비용이 기존에 비해 다소 높게 추정되도록 새로운 도로통행비용함수가 구축되었기 때문인 것으로 판단되며, 또한 기존에 비현실적으로 구축된 광역시도 및 시군도의 도로용량, 제한속도, 통행비용함수 파라메타가 본 과업에서 구축한 준연속류의 최하위레벨의 도로위계로 적용되었기 때문에 광역시도 및 시군도로 통행경로를 전환한 것으로 분석됨
- 고속도로는 대부분 통행 배정량이 증가하였으나, 교통분석용 네트워크에 광역시도 및 시군도가 상대적으로 많이 포함된 수도권은 통행배정량이 감소하는 것으로 분석됨



<그림 5-15> 새로운 도로통행비용함수 적용시 고속도로 및 국도 배정교통량 변화

라. 최단 통행시간 검증

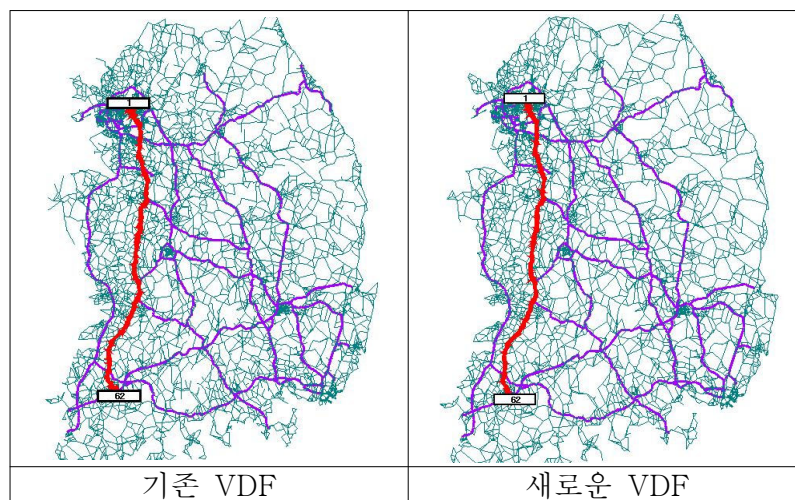
- 도로통행비용함수의 기능은 교통량 수준에 따른 링크 통행시간을 산출하기 위한 것이므로 새로운 도로통행비용함수 적용에 따른 신뢰도를 평가하기 위해서는 기종점간 통행시간을 분석할 필요가 있음
- 본 과업에서는 기종점간 통행시간의 변화를 분석하기 위해 '06년도 현행화, '07년도 현행화 및 새로운 통행비용함수를 적용한 경우(Part I의 시나리오 13) 3가지에 대해 기종점간 통행시간을 분석하였으며, 통행시간 산출의 현실성을 검토하기 위해 고속도로의 톨게이트간의 통행시간을 비교 분석함
- 새로운 도로통행비용함수를 적용할 경우, '06년 현행화 및 '07년 현행화와 대부분 유사한 수준을 보이고 있으나, 세로축인 서울~광주, 서남축인 서울~부산의 기종점간 통행시간이 다소 현실적으로 변화는 것으로 분석됨
- 서울~광주의 경우에는 '06년 현행화 및 '07년 현행화 모두 6시간 넘게 소요되는 것으로 추정하고 있으나 새로운 도로통행비용함수 적용시 5시간 미만으로 추정하고 있으며, 서울~부산의 경우에는 '06년 현행화 및 '07년 현행화에서는 8시간 넘게 소요되는 것으로 추정하고 있으나 새로운 도로통행비용함수 적용시 6시간 20분대로 추정하고 있음

<표 5-10> 축별 최단 통행시간 (Part I (기존 네트워크)의 시나리오 13)

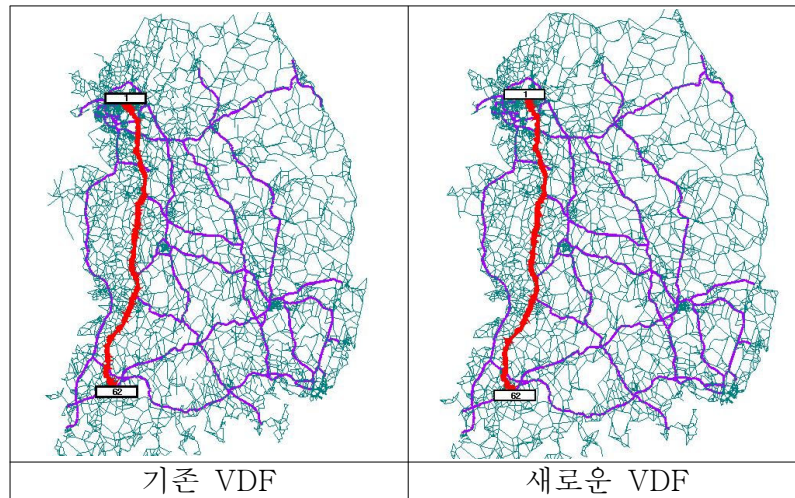
구분	출발존	도착존	통행시간		
			'06년 현행화	'07년 현행화	새로운 VDF 적용시
세로축1	서울	광주	6시간 48분	6시간 39분	4시간 56분
	광주	서울	6시간 38분	6시간 26분	4시간 54분
세로축2	진주	춘천	5시간 18분	5시간 12분	5시간 28분
	춘천	진주	5시간 20분	5시간 13분	5시간 30분
세로축3	강릉	부산	5시간 56분	5시간 38분	6시간 00분
	부산	강릉	5시간 57분	5시간 47분	6시간 13분
가로축1	강릉	태안	4시간 32분	4시간 25분	4시간 52분
	태안	강릉	4시간 35분	4시간 34분	4시간 58분
가로축2	군산	포항	4시간 33분	4시간 28분	4시간 46분
	포항	군산	4시간 32분	4시간 33분	4시간 49분
서남축	서울	부산	9시간 02분	8시간 14분	6시간 20분
	부산	서울	8시간 46분	7시간 59분	6시간 27분
북동축	강릉	광주	6시간 16분	6시간 8분	6시간 27분
	광주	강릉	6시간 18분	6시간 5분	6시간 27분

마. Path 검증

- 주요 도시간을 세로축, 가로축, 서남축, 북동축으로 구분하여 최단경로를 검증함
 - 기존 도로통행비용함수(VDF) : '07년 현행화 O/D, 교통분석용 네트워크, 기존 도로통행비용함수(※고속도로는 본 과업에서 추정한 도로통행비용함수임)
 - 새로운 도로통행비용함수(Part I 시나리오 13) : '07년 현행화 O/D, 교통분석용 네트워크, 새로이 추정된 도로통행비용함수
- 기존 도로통행비용함수를 적용하는 경우, 국도 및 지방도의 통행시간이 과소 추정되기 때문에 장거리통행의 경우 고속도로 → 국도/지방도 → 고속도로의 경로 선택이 다수 발생하는 문제가 있음
- 새로이 추정된 도로통행비용함수 적용시 이와 같은 문제를 개선함에 따라 경로선택에 있어서 기존에 비해 합리적으로 수행되고 있음
- 세로축1 : 서울 ↔ 광주

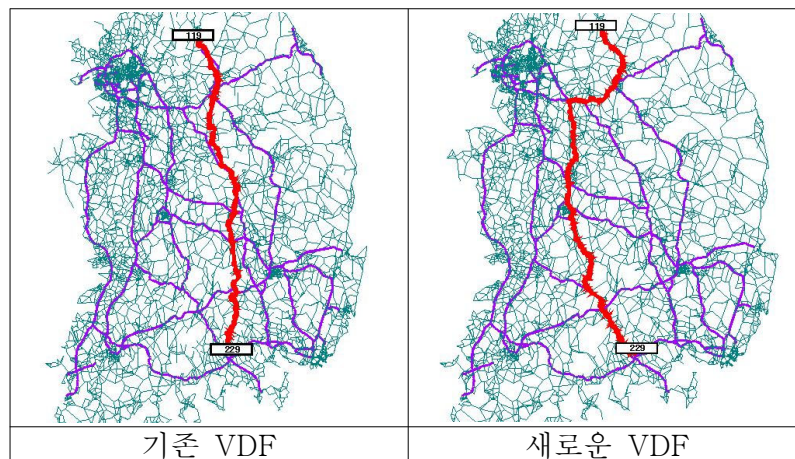


<그림 5-16> 세로축1(서울 → 광주) Path

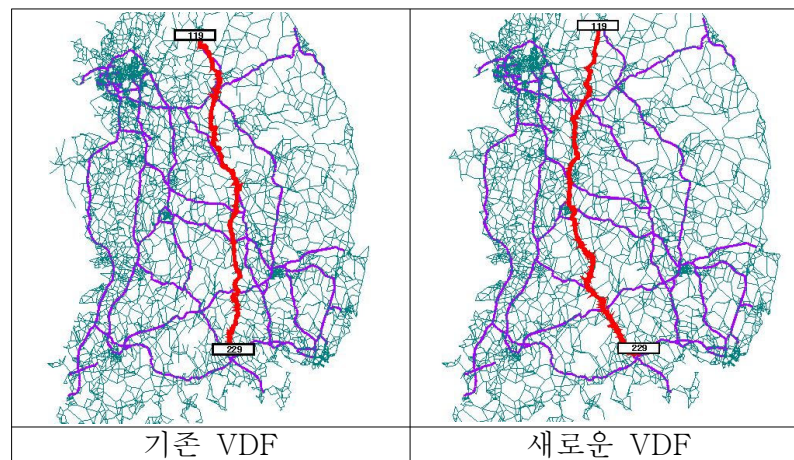


<그림 5-17> 세로축1(광주 → 서울) Path

◦ 세로축 2 : 진주 ↔ 춘천

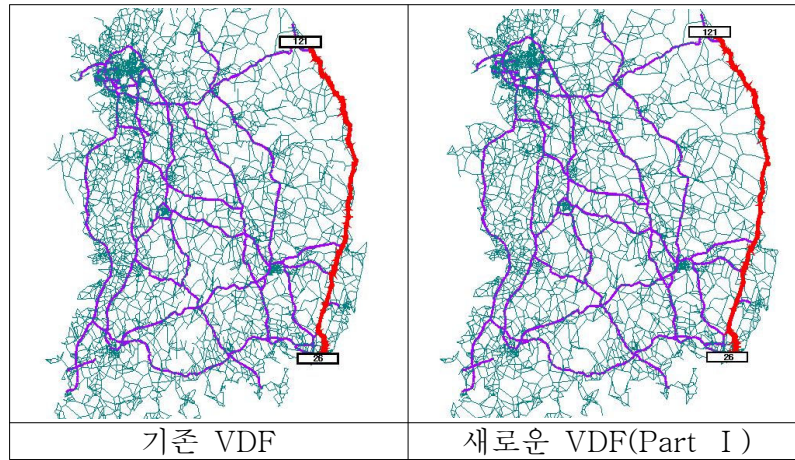


<그림 5-18> 세로축2(진주 → 춘천) Path

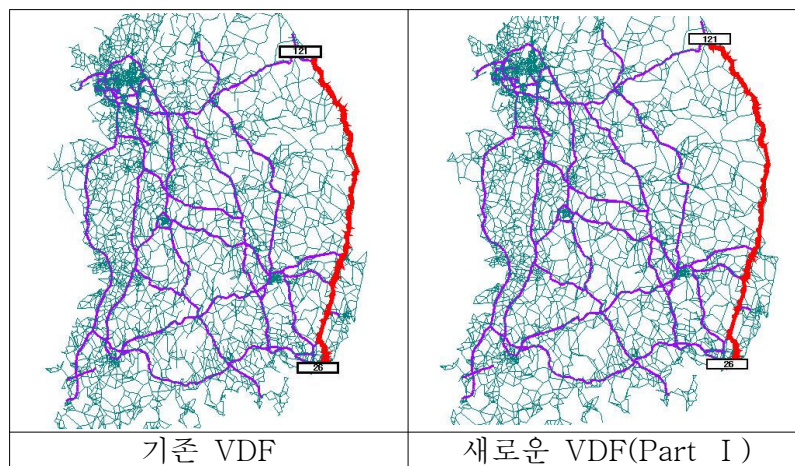


<그림 5-19> 세로축2(춘천 → 진주) Path

◦ 세로축 3 : 강릉 ↔ 부산

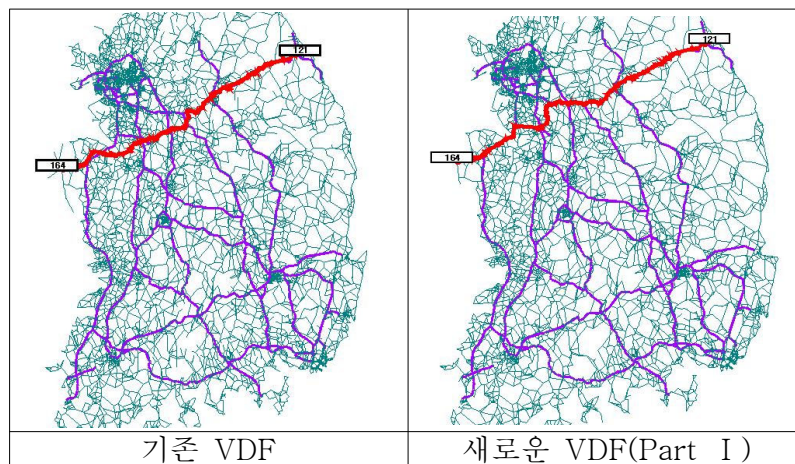


<그림 5-20> 세로축3(강릉 → 부산) Path

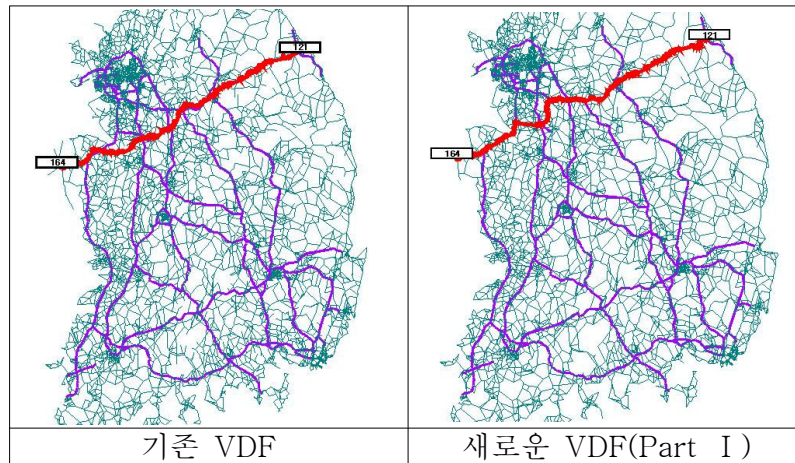


<그림 5-21> 세로축3(부산 → 강릉) Path

◦ 가로축 1 : 강릉 ↔ 태안

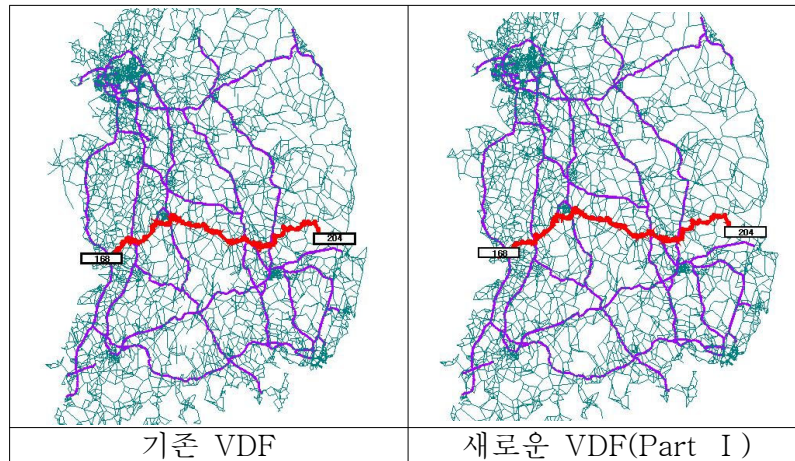


<그림 5-22> 가로축1(강릉 → 태안) Path

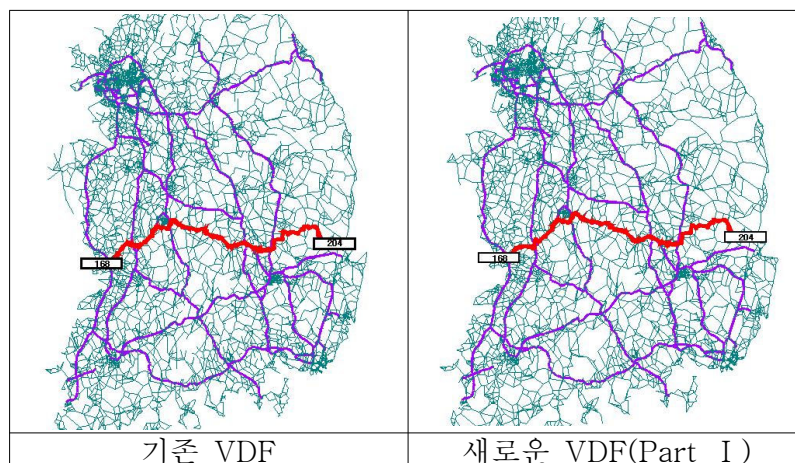


<그림 5-23> 가로축1(태안 → 강릉) Path

◦ 가로축 2 : 군산 ↔ 포항

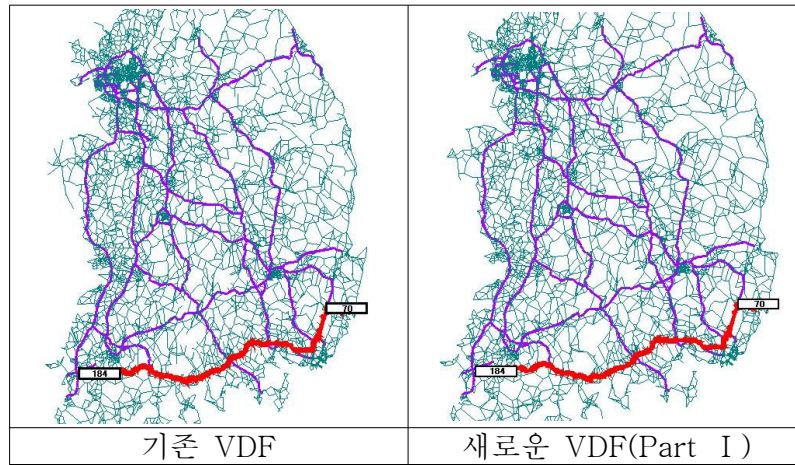


<그림 5-24> 가로축2(군산 → 포항) Path

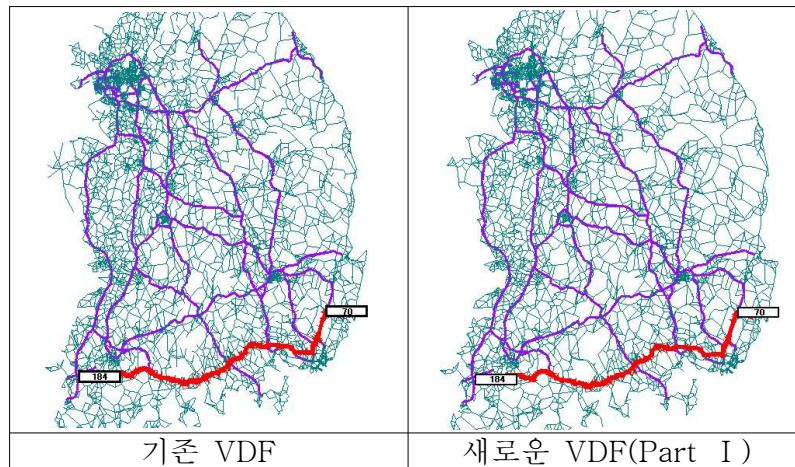


<그림 5-25> 가로축2(포항 → 군산) Path

◦ 가로축 3 : 나주 ↔ 울산

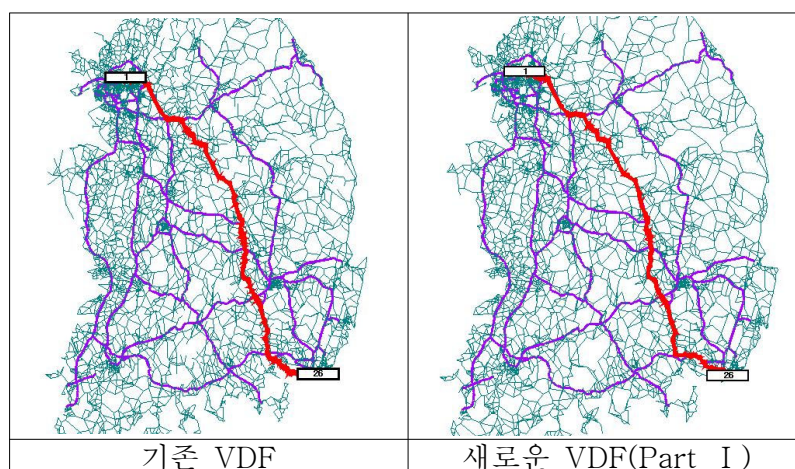


<그림 5-26> 가로축3(나주 → 울산) Path

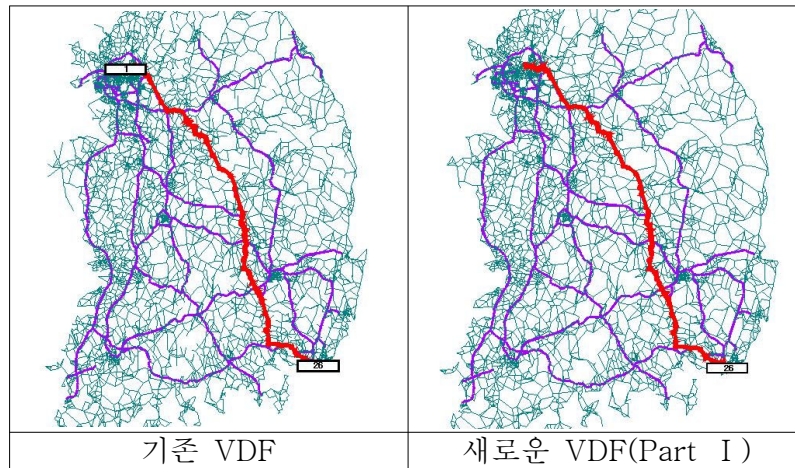


<그림 5-27> 가로축3(울산 → 나주) Path

◦ 서남축 : 서울 ↔ 부산

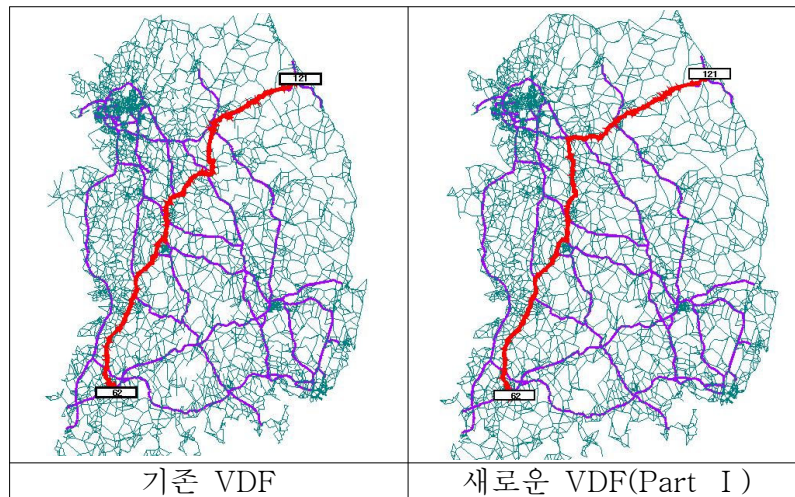


<그림 5-28> 서남축(서울 → 부산) Path

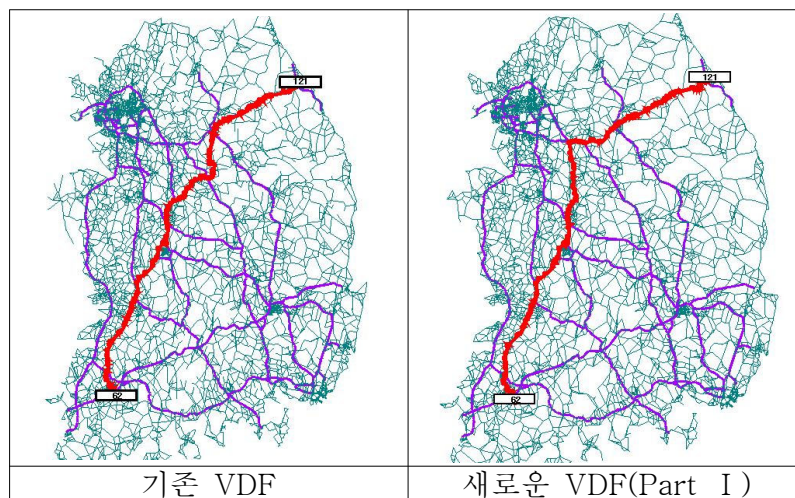


<그림 5-29> 서남축(부산 → 서울) Path

◦ 북동축 : 강릉 ↔ 광주



<그림 5-30> 북동축(강릉 → 광주) Path



<그림 5-31> 북동축(광주 → 강릉) Path

3. 편익검증

- 기존 도로사업 타당성조사에 기존 VDF와 새로운 VDF를 적용하여 편익을 비교함
- 이때 편익항목 중 큰 비중을 차지하고 있는 차량운행비용 절감 편익과 통행시간 절감 편익을 산정하여 비교함
- 편익 산정식에 이용되는 원단위 및 시간가치 등은 「도로·철도부문사업의 예비타당성 조사 표준지침 수정·보완연구(제4판), 한국개발연구원」에서 제공하는 값을 사용함

가. 편익 항목별 추정방법

① 차량운행비용 절감 편익

- 차량운행비용은 통행배정결과로 산출된 링크의 주행속도와 교통량에 원단위를 적용하여 산출
- 아래와 같은 산정식을 이용하여 분석 도로망 내에 있는 모든 링크를 대상으로 총운행비용을 합한 뒤 사업미시행시와 사업시행시의 비교된 차액을 차량운행비용 절감 편익으로 산출

$$VOCS = VOC_{\text{사업미시행}} - VOC_{\text{사업시행}}$$

$$\text{여기서, } VOC = \sum_l \sum_{k=1}^3 (D_k \times VT_k \times 365)$$

$$D_{kl} = \text{링크 } l \text{의 차종별 대} \cdot \text{km}$$

$$VT_k = \text{해당속도에 따른 차종별 차량운행비용}$$

$$k = \text{차종 (1:승용차, 2:버스, 3:화물차)}$$

② 통행시간 절감 편익

- 통행배정결과로 산출된 링크의 통행시간과 차종별 교통량의 곱을 이용하여 총통행시간을 산출
- 사업미행시와 사업시행시에 대해 수단별로 산출된 총통행시간에 시간가치를 적용하여 총통행시간비용을 산출한 후 비교된 차액을 통행시간 절감 편익으로 산출

$$VOTS = VOT_{\text{사업미시행}} - VOT_{\text{사업시행}}$$

$$\text{여기서, } VOT = \left\{ \sum_l \sum_{k=1}^3 (T_{kl} \times P_k \times Q_{kl}) \right\} \times 365$$

T_{kl} = 링크 l 의 차종별 통행 시간

P_k = 차종별 시간가치

Q_{kl} = 링크 l 의 차종별 통행량

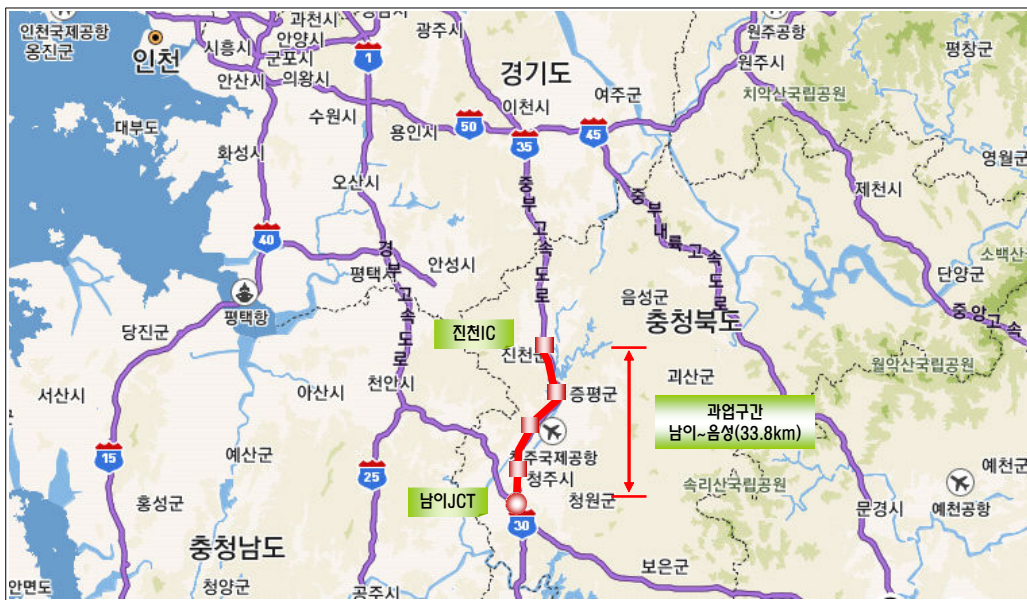
k = 차종(1: 승용차, 2: 버스, 3: 화물차)

나. 사례분석을 통한 편의 비교

1) 중부고속국도(남이 ~ 음성) 확장사업 예비타당성조사(2008)

① 과업의 개요

- 사업구간 : 중부고속국도 남이JCT ~ 진천IC
- 사업연장 : 총 33.8km(2→4차로 확장)
- 사업기간 : 2009 ~ 2018년(10년)
- 분석연도 : 2019년, 2021년, 2026년, 2031년, 2036년



<그림 5-32> 분석구간 (사례1: 중부고속국도(남이 ~ 음성) 확장사업)

② 분 석

- 분석연도 중 2021년의 편익을 비교함
- <표 5-11>은 실제 예비타당성조사시 관측교통량을 이용하여 정산과정을 마친 후의 교통분석용 네트워크와 해당 영향권으로 분석한 결과임
- 실제 예비타당성조사를 수행한 도로건설사업을 예로 분석한 결과, 사업시행 및 미시행시의 비용은 기존 도로통행비용함수에 비해 새로운 도로통행비용함수가 다소 낮게 나타나는 특성을 보이고 있으나, 사업시행에 따른 편익은 새로운 도로통행비용함수가 기존 도로통행비용함수에 비해 높게 나타나는 것으로 분석됨

<표 5-11> 예비타당성조사 과업에 사용된 네트워크에서의 편익결과 비교

단위: 백만원

구 분		차량운행비용 절감 편익	통행시간 절감 편익
기존 VDF	미시행	7,111,158	11,969,898
	시 행	7,103,308	11,933,246
	차 이	7,850	36,652
새로운 VDF	미시행	6,911,718	9,999,993
	시 행	6,901,107	9,944,074
	차 이	10,611	55,919
기존과 새로운 VDF 적용시 차이		차 이	-2,761
			-19,267

- <표 5-11>은 예비타당성조사에서 적용한 네트워크를 동일하게 적용한 경우이며, 본 과업에서는 도로통행비용함수 적용을 위한 도로유형을 보다 정확히 분류하기 위하여 전국 지역간 네트워크를 보완함
 - 전국 지역간 네트워크는 실제 도로의 선형과 유사한 형태를 보여주기 위해 노드를 추가하여 수정하였는데, 이는 도로통행비용함수 적용시 과도한 통행비용을 산출하는 문제를 야기함
 - 따라서, 본 과업에서는 노드에 연결된 링크가 두 개이며, 두 링크가 동일한 속성을 가지는 경우에 해당 노드를 삭제하고 두 링크를 연결하는 작업을 수행함
- <표 5-12>은 본 과업에서 간략화한 교통분석용 네트워크를 이용하여 중부고속도로 남이~음성구간 확장사업에 대해 타당성분석을 수행함
 - 영향권내 주요 도로의 정산과정을 수행하지 않고 영향권도 전국권으로 설정하여 타당성 분석을 수행함

- 사업 시행시와 미시행시의 비용분석을 수행한 결과, 기존 도로통행비용함수에 비해 새로운 통행비용함수를 적용한 경우의 비용이 낮게 추정되는 것으로 나타남
- 사업 시행시의 편익을 분석한 결과, 기존 도로통행비용함수에 비해 새로운 통행비용함수를 적용한 경우가 낮게 추정되는 결과를 보이고 있음

<표 5-12> 간략화한 교통분석용 네트워크에서의 편익결과 비교

(단위 : 백만원)

구 분		차량운행비용 절감 편익	통행시간 절감 편익
기존 VDF	미시행	41,273,340	104,391,152
	시 행	41,266,849	104,347,704
	차 이	6,491	43,448
새로운 VDF	미시행	35,766,442	58,259,872
	시 행	35,763,508	58,229,696
	차 이	2,934	30,176
기존과 새로운 VDF 적용시 차이		3,557	13,272

- 본 절에서는 새로운 도로통행비용함수를 타당성 분석시 활용될 수 있는지 여부를 분석하기 위해 특정 도로사업을 적용하여 편익분석을 수행함
- 중부고속도로 확장사업은 새로운 도로통행비용함수를 적용한 경우가 기존 도로통행비용함수를 적용하는 경우에 비해 차량운행비 및 통행시간 등은 대체로 낮게 추정되는 것으로 나타남
- 이는 도로사업의 특성 및 주변 환경에 따라 상이할 것으로 판단되므로, 새로운 도로통행비용함수를 적용함에 있어서 큰 문제가 없는 것으로 판단됨
- 예비타당성조사에서 정산한 네트워크를 이용하여 사업 시행에 따른 편익분석을 수행한 결과, 기존 도로통행비용함수에 비해 새로운 도로통행비용함수를 적용하는 경우가 편익이 크게 나타났으나, 본 과업에서 수정한 네트워크를 적용한 결과, 기존 도로통행비용함수에 비해 새로운 도로통행비용함수를 적용하는 경우가 편익이 작게 추정되고 있음
- 따라서, 새로운 도로통행비용함수를 적용하는 경우가 기존 도로통행비용함수를 적용하는 경우보다 편익이 획일적으로 크거나 작은 경향을 보이지 않는 것으로 나타나 새로운 도로통행비용함수 적용상의 문제는 없을 것으로 판단됨

제6장 철도통행비용함수 기초연구

제1절 개요

제2절 국내·외 철도통행비용함수

제3절 철도 통행배정의 문제점

제4절 철도통행비용함수 검토

제5절 철도통행비용함수의 파라메타 추정

제6절 철도수요예측의 신뢰도 제고방안

제6장 철도통행비용함수 기초연구

제1절 개요

- 국가교통DB(KTDB)상의 대중교통 기종점(O/D)자료는 대중교통정책의 연구 및 개발, 교통시설의 타당성 평가에 필수적인 기초자료로서, 신뢰성 높은 자료의 구축이 요구되며, 이를 위해서는 대중교통 통행시간에 포함된 각종 파라메타를 국내실정에 맞게 산정할 필요성이 있음
- 철도를 포함한 대중교통의 통행시간은 접근시간, 대기시간, 탑승시간, 차내통행시간, 환승시간 등 다양한 통행시간으로 구성되어 있는데, 이들 통행시간에 따라 대중교통 이용자들의 통행행태가 변하며, 특히 환승시간에 민감한 변화를 보이는 것으로 알려져 있음
- 철도 수요분석시 활용하고 있는 EMME/2내의 최전전략에 의한 통행배정 기법은 승객이 최전전략에 속하는 노선의 차량 중에서 먼저 오는 차량에 승차한다고 가정하여 노드 통행량을 링크에 배분할 때 단순히 운행회수에 비례하여 배분하는 방법을 사용하여 승객의 행태를 명확하고 간단하게 표현하지만 통행량 배정시 수요의 크기를 고려하지 않고 운행회수(배차간격)에 비례하여 배정하는 방법이 사용되기 때문에 용량제약을 고려하는 데는 한계점이 있음
- 이러한 운행회수(배차간격)에 비례하여 철도배정을 실시할 경우, 운행상의 배차간격이 짧은 KTX가 일반철도에 비해 과다 배정되는 현상이 발생함
- 본 과업에서는 철도만 구축된 네트워크가 아닌 도로와 철도가 결합된 통합네트워크에 현재 제공되고 있는 통합철도O/D를 이용하여 수단간(KTX, 일반철도 등) 배정통행량과 관측통행량간 정산 가능여부를 검토함으로써, 철도O/D의 구축방안을 결정함
- 철도통행비용함수의 개선방안 검토를 통하여 현재처럼 통합철도O/D로 구축할 것인지, 수단별(KTX, 일반철도, 도시철도)로 개별적인 O/D를 구축할 것인지 여부를 판단함

제2절 국내·외 철도통행비용함수

1. EMME/2 대중교통 통행비용함수

- KTDB에서 제공하고 있는 EMME/2 기반하의 대중교통 통행비용함수는 두 가지로 구분되며, 현재는 대중교통 노선자료를 이용한 방법으로 배정하고 있음

가. 대중교통 노선자료를 이용한 방법(transit line data)

- 배차간격(headway), 속도(speed), 노선을 이용하는 철도차량의 종류(vehicle), ttf의 유무(0은 노선정보 활용, 1부터는 철도비용함수 활용), 정차시간(dwt), 노선의 정차역(segment) 정보 등이 line 속성 값으로 반영되어 있음

<표 6-1> EMME/2 형식 대중교통 노선(Transit Line) 데이터의 자료구조

Update code	Line	Mode	Vehicle	Headway	Speed	Description	User data1	User data2	User data3
a	Line Name (up to 6 chars)	Mode (1 char)	Veh (int)	Vehicle Headway (real)	Vehicle Speed (real)	Description of line (up to 20 chars)	(real)	(real)	(real)
ttf	dwt	←----- Line Segment ----->							Layover
transit time function (int)	dwelling time (real)	List of node number in line							Layover (real)

나. 대중교통 통행시간 함수(transit time function(ttf) 또는 ft)

- 현재 국가교통DB 자료에는 철도에 대한 transit time function이 제시되어 있으며 그 값은 다음과 같음
 - 고속철도의 경우, 일반철도(표정속도 31~115km/h)의 가중치인 0.345보다 높은 0.98로서 제약을 주고 있음

<표 6-2> 국가교통DB 대중교통 함수

표정속도 범위 (km/h)	철도 통행비용함수
31 ~ 35	$ft50 = 60 * (length / 33) + (.345 * length)$
35 ~ 40	$ft51 = 60 * (length / 38) + (.345 * length)$
41 ~ 45	$ft52 = 60 * (length / 43) + (.345 * length)$
46 ~ 50	$ft53 = 60 * (length / 48) + (.345 * length)$
50 ~ 55	$ft54 = 60 * (length / 53) + (.345 * length)$
56 ~ 60	$ft55 = 60 * (length / 58) + (.345 * length)$
61 ~ 65	$ft56 = 60 * (length / 63) + (.345 * length)$
66 ~ 70	$ft57 = 60 * (length / 68) + (.345 * length)$
71 ~ 75	$ft58 = 60 * (length / 73) + (.345 * length)$
76 ~ 80	$ft59 = 60 * (length / 78) + (.345 * length)$
81 ~ 85	$ft60 = 60 * (length / 83) + (.345 * length)$
86 ~ 90	$ft61 = 60 * (length / 88) + (.345 * length)$
91 ~ 95	$ft62 = 60 * (length / 93) + (.345 * length)$
96 ~ 100	$ft63 = 60 * (length / 98) + (.345 * length)$
101 ~ 105	$ft64 = 60 * (length / 103) + (.345 * length)$
106 ~ 110	$ft65 = 60 * (length / 108) + (.345 * length)$
111 ~ 115	$ft66 = 60 * (length / 113) + (.345 * length)$
고속철도	$ft70 = 60 * (length / 200) + (.98 * length)$

자료: 국가교통DB 내부자료

- 버스노선에 대한 transit time function 은 서울시정개발연구원(SDI)에서 다음과 같은 함수를 제시하고 있음

<표 6-3> SDI 대중교통 통행비용함수 (line segment 함수)

구 분	통행비용함수(ttf)
버스노선 구간	ft1 = 승용차통행시간 * 1.3
1차 중앙버스차로제 구간	ft2 = 60 * (length / 40)
2차 중앙버스차로제 구간	ft3 = 60 * (length / 40)

다. 차내혼잡을 고려한 대중교통 통행비용함수

- EMME/2의 표준적인 대중교통 통행배정에서는 차량의 용량제약으로 인한 차내혼잡을 고려하지 않고 통행배정이 이루어지고 있음
- 최근 차내 혼잡을 고려하는 대중교통 통행배정모형을 제시하고 있으나, 통행배정의 근본 개념은 최적전략에 기초를 둠
- 차내혼잡을 고려한 대중교통 통행비용함수형태

$$c_a(v_a) = c_a^0(1 + d_a(v_a))$$

- 여기서, c_a 는 링크 a 의 통행비용이며, v_a 는 통행수요, c_a^0 는 고정통행시간이고, d_a 는 차내혼잡을 고려한 통행비용함수임

2. TransCAD 대중교통 통행비용함수

가. 전량배정법(All-or-Nothing assignment)

$$c_k = \sum_{l \in L} [\gamma_f f_l + VOT^*(\gamma_w w_l + \gamma_\chi \chi_l)] + \sum_{i \in I} [VOT^*(\gamma_d d_i)] + \sum_{j \in J} [VOT^*(\gamma_k k_j)]$$

(요금) (대기시간)(환승시간) (정차시간) (타수단의 통행시간)

VOT = 통행시간 가치	f_l = 구간 l 의 통행요금
x_l = 구간 l 의 대기시간	x_l = 구간 l 의 환승시간
Υ_f = 요금 가중치	Υ_w = 대기시간 가중치
Υ_x = 환승시간 가중치	d_i = 구간 i 의 정차시간
V_i = 구간 i 의 교통량	t_i = 구간 i 의 차내시간
Υ_d = 지체시간 가중치	Υ_v = 차내시간 가중치
k_j = 구간 j 를 이용하는 타수단의 통행시간	Υ_k = 타수단의 시간 가중치

나. Pathfinder assignment

$$c_k = \sum_{a \in A} \delta_a^k (V_a + W_a)$$

(총통행비용) (총대기시간)

여기서, (링크 a 가 대중교통인 경우)

$$V_a = \Upsilon_r r_a + VOT(\Upsilon_l l_a + \Upsilon_\chi \chi_a + \Upsilon_d d_a)$$

$$W_a = \Upsilon_w \frac{\alpha}{\sum_{b \in F_{l(a)}^k} f_b}$$

(링크 a 가 대중교통이 아닌 경우)

$$V_a = VOT * \Upsilon_k k_a$$

$$W_a = 0$$

VOT = 통행시간 가치

Υ_l = 차내시간 가중치

Υ_x = 환승시간 가중치

Υ_d = 정차시간 가중치

Υ_w = 대기시간 가중치

Υ_k = 도보시간 가중치

l_a = 구간 a 의 차내시간

x_a = 구간 a 의 환승시간

d_a = 정차시간

f_a = 구간 a 의 서비스주기

k_a = 구간 a 의 도보시간

다. 확률적 대중교통 통행배정의 경우

$$c_k = \sum_{l \in L} [\Upsilon_f f_l + VOT * (\Upsilon_w w_l + \Upsilon_\chi \chi_l)] + \sum_{i \in I} [VOT * (\Upsilon_d d_i + \Upsilon_v t_i * (1 + \alpha_i (\frac{\nu_i}{C_i})^{\beta_i}))] + \sum_{j \in J} [VOT * (\Upsilon_k k_j)]$$

(요금) (대기시간) (환승시간) (정차시간) (차내통행시간) (차내혼잡비용) (타수단통행시간)

$$\begin{aligned}
 v_i &= \text{구간 } i \text{의 교통량} & t_i &= \text{구간 } i \text{의 차내통행시간} \\
 \Upsilon_v &= \text{차내시간 가중치} & \alpha_i, \beta_i &= \text{파라메타} \\
 C_i &= \text{구간 } i \text{의 서비스용량}
 \end{aligned}$$

3. De Cea and Fernandez(1993, 1996)의 대중교통 통행비용함수

- 통행비용을 주행시간, 역내의 대기시간, 차량내 혼잡에 따른 비용항의 합으로 구성함

$$c_s = \bar{t}_s + \left(\frac{\alpha}{f_s} \right) + \beta^* \phi_s \left(\frac{v_s + v_{thr,s}}{K_s} \right)$$

4. Zhi-Chun Li et al.(2008)의 대중교통 통행비용함수

- 통행시간의 불확실성(uncertainty)과 대중교통 서비스의 신뢰성(reliability)을 확률적으로 고려한 대중교통 통행비용함수를 제시하였으며, 통행비용은 기대 총통행시간(expected total travel time), 대중교통 요금(transit fare), 차내혼잡(in-vehicle discomfort), 그리고 대중교통 서비스 신뢰성(transit service unreliability)로 구성됨

$$\mu_p = E(T_p) + \frac{1}{\alpha} c_p + \frac{\beta}{\alpha} g_p + \frac{\beta}{\alpha} f(\sigma_p)$$

5. 서울시정개발연구원(2007, 2008)의 대중교통 통행비용함수 연구

- 서울시정개발연구원(2007)의 연구를 토대로 다음과 같은 대중교통 일반화 통행비용함수를 구축하고, 선호의식(SP)조사를 통하여 모형의 파라메타를 추정함
- 일반화비용은 차내통행시간(IVTT)과 환승을 위하여 접근하는 시간, 그리고 환승을 위한 대기시간으로 구성됨

(기본함수식) $C = IVTT + \alpha(\beta_1 \text{환승접근} + \beta_2 \text{환승대기})$

(추정식) - 단거리통행 : $C = IVTT + 0.537(4.475 \text{ 환승접근} + 3.71 \text{ 환승대기})$

- 중거리통행 : $C = IVTT + 1.179(4.475 \text{ 환승접근} + 3.71 \text{ 환승대기})$

- 장거리통행 : $C = IVTT + 1.888(4.475 \text{ 환승접근} + 3.71 \text{ 환승대기})$

- 최근 신성일(2008)은 위 함수를 일반화시켜 다음과 같은 대중교통 통행비용함수를 제안하였음

$$C_{ab}^r = IVTT_{ab}^r + \alpha_{ab}^k (T_{ab}^k + H_b/2)$$

- 여기서, r = 출발역, k = 환승역
 a, b = 서로 다른 운영기관으로 링크로 표시
 차내통행시간 = 통행거리를 속도로 나누어 계산
 T_{ab}^k = 환승역 k 에서 노선 a, b 간의 도로시간
 H_b = 노선 b 의 배차간격
 α_{ab}^k = 환승역 k 에서 노선 a, b 간 환승시 파라메타로 환승횟수에 따라 단조증가 (monotonous increasing)로 가정

6. 로짓모형에 의한 통행비용함수

- 로짓모형의 효용함수를 이용하여 대중교통 통행비용함수를 결정하는 연구도 최근 발표되고 있는데, 기본적인 일반화비용 형태는 다음과 같은 선형으로 설정함

$$GC_{ij} = w_1 * WalkTime_{ij} + w_2 * WaitTime_{ij} + w_3 * IVTT_{ij} + w_4 * TransferTime_{ij} + \frac{w_5}{VOT} * Fare_{ij}$$

- 여기서, w_i = 일반화비용을 구성하는 각 변수들의 가중치
 VOT (value of time) = 시간가치

- 일반화비용의 가중치를 추정하기 위하여 주로 선택의식(SP)조사를 실시하며, 기존에 발표된 주요 결과를 정리하면 <표 6-4>와 같음

<표 6-4> 철도부문 통행배정 일반화 비용(1)

국내외 연구		차내시간	모 형	차외시간			
				접근통행시간	대기시간	탑승시간	환승시간
양창화, 손의영(2000)		1.00	로짓모형	-	-	-	1.70
윤혁렬(2000) 1)		1.00	개별자료	1.54(차외시간), 5.81분(환승시간) ¹⁾			
손상훈, 최기주, 유정훈 (2007)	전 체	1.00	로짓모형	1.527	1.832	-	1.370
	서울 시내간	1.00	로짓모형	1.507	1.749	-	1.474
	서울 경기간	1.00	로짓모형	1.755	1.909	-	1.264
Liu, Pendyala, Polzin(1997)		1.00	-	1.69(차외시간)			
Mily(2003) 2)		1.00	-	1.00	1.40	2.60	-

주: 1) 환승시간은 환승접근시간, 대기시간, 환승패널티를 모두 포함하고 있는 것으로 가정하였음

2) 캐나다 토론토를 대상으로 유전자 알고리즘을 활용하여 EMME/2 대중교통 통행배정과 관련된 파라메타를 추정한 연구로 표에 제시된 결과 이외에 탑승시간은 2.6분, 대기시간 factor 0.49를 도출함

- 한편, 환승횟수가 통행에 미치는 영향을 미치는 연구도 발표되었으며, 이들 결과는 <표 6-5>와 같음

<표 6-5> 철도부문 통행배정 일반화 비용(2)

국내외 연구	차내시간	차외시간			비 고
		환승시간	환승횟수	에스컬레이터 유무	
양창화, 손의영(2000)	-0.184	-0.303 (1.65)	-1.881 (10.22)	0.368 (2.0)	지하철
조남건(1999)	-0.020	-0.035* (1.70)	-0.268 (13.20)	-	지하철
김현외(1999)	-0.254	-	-3.270 (12.89)	-	업무통행
Daniel, McFadden(1978)	-0.026	-0.054 (2.08)	-0.105 (4.05)	-	업무통행
Central Transportation Planning Staff(1997)	-0.043	-0.099 (2.30)	-0.315 (7.33)	-	경전철

자료: 양창화 외(2000), 서울시 지하철 이용객의 환승행태에 관한연구

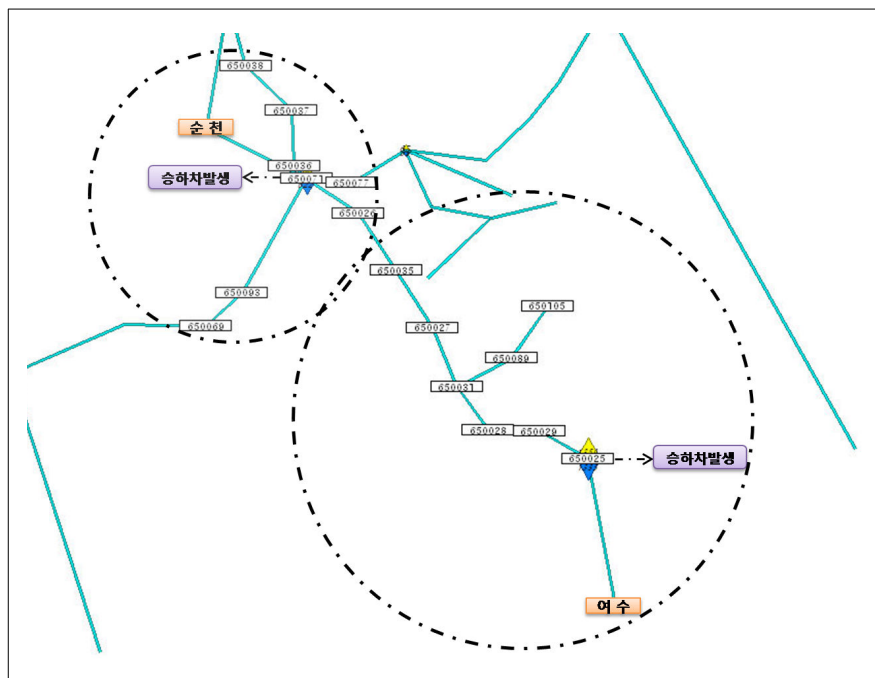
주: 괄호안은 차내시간 대비 한계대체율, *는 전철의 접근시간 및 대기시간

제3절 철도 통행배정의 문제점

1. 국가교통DB 철도 네트워크

가. 1개 존에 다수의 철도역이 존재하여 일부 철도역에만 승·하차 발생

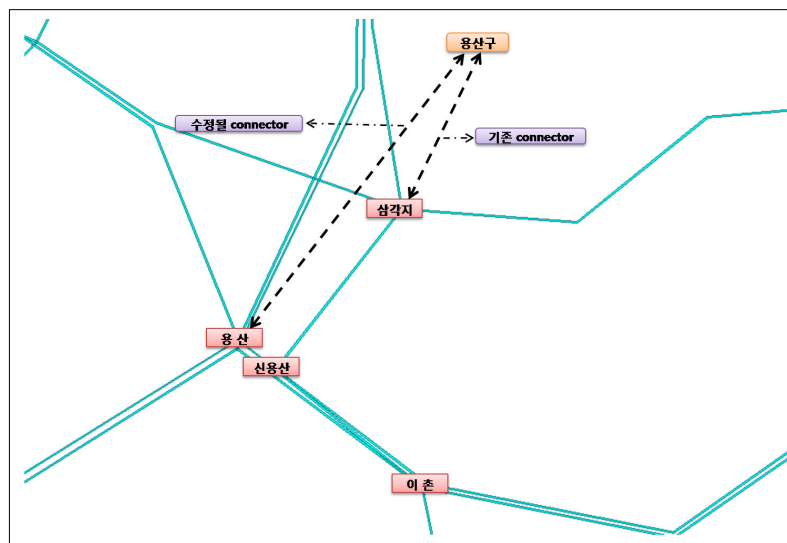
- 1개의 존에 다수의 철도역이 존재할 경우 존에서 나오는 connector가 모든 철도역에 연결되지 않고 하나의 철도역에 연결되어 승하차가 발생하지 않는 역이 다수 발생함
- 전남 순천시와 여수시에는 각각 8개의 철도역이 존재하지만 순천존과 여수존에서 연결된 connector는 각각 하나의 철도역에만 연결되어 있어 connector가 연결되어 있지 않은 철도역에서는 승·하차 발생이 이루어지지 않음



<그림 6-1> 1개의 존에 다수의 철도역 존재

나. 존과 철도역간의 비합리적인 연결

- 존에서 발생하는 connector가 철도역과 비합리적으로 연결되어 통행배정시 문제점이 발생함
 - 아래 그림처럼 3번존(용산구)에 KTX의 통행이 발생하고 있으나 네트워크에는 3번존(용산구)의 connector가 용산역이 아닌 삼각지역(지하철4호선)과 연결되어 있어 통행배정시 오류 발생
 - 즉, 용산구에서 발생하는 고속철도(KTX) 통행수요의 상당부분이 삼각지역을 거쳐 지하철 4호선을 타고, 1호선 광명역에서 KTX를 이용하는 것으로 나타남



<그림 6-2> 비합리적으로 연결된 connector



<그림 6-3> 우회노선도

2. EMME/2 철도 통행배정모형

가. EMME/2 대중교통 통행배정

- 최적전략 대중교통 통행배정
 - 현재 대중교통 통행배정에 널리 활용되고 있는 최적전략(Optimal Strategy)은 Spiess et al.(1989)에 의해 개발된 방법으로 EMME/2의 대표적인 대중교통 통행배정기법임
- 최적전략 대중교통 통행배정모형(Fixed cost optimal strategy transit assignment)

$$\begin{aligned}
 & \min \sum_a c_a v_a + \sum_i w_i \\
 & s.t. \\
 & \quad \sum_{A^+} v_a - \sum_{A^-} v_a = g_{ir} \\
 & \quad v_a \leq f_a w_i, \quad a \in A^+ \\
 & \quad v_a \geq 0, \quad a \in A
 \end{aligned}$$

- 여기서, w_i 는 i 노드의 대기시간(waiting time)이며, f_a 는 주기(frequency)이고, 수요는 g_{ij} 임
- 이 방법은 최적전략을 찾는 단계와 최적전략으로 선택된 구간에 통행수요를 배정 (loading)하는 2단계로 이루어져 있으며, 최적전략은 출발지에서 선택 가능한 노선정보를 알고 있을 때 가장 최소비용이 소요되는 노선을 선택함.
- 최적전략으로 경로가 결정되면, 통행수요를 해당노선에 배정하게 되며, 여기서, 각 노드를 통과하는 노선들의 배차간격(headway)에 비례하여 수요를 배정함

[최적전략(Optimal strategy)]

(Step 0) 출발노드 정의

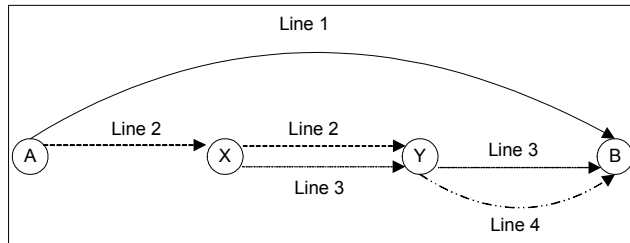
(Step 1) 출발노드에서 attractive line에 속하는 노선 중 가장 먼저 도착하는 차량에 승차하여 이동

(Step 2) 최적전략에 따라 미리 정해진 중간노드에 하차

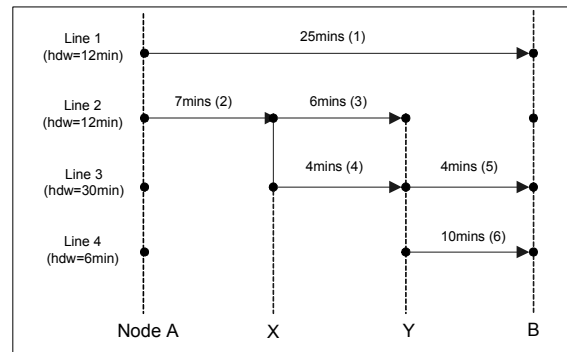
(Step 3) 목적지에 도착하지 않았다면, 하차한 노드를 새로운 출발 노드로 정의하고 [step 1]부터 다시 수행하고, 이를 목적지에 도착할 때까지 반복

나. 예제를 통한 EMME/2 대중교통모형 검토

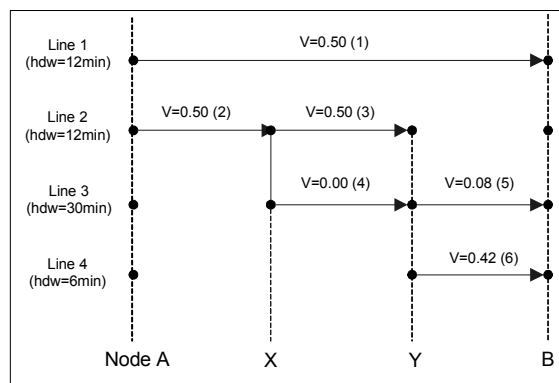
1) 예제 네트워크



<그림 6-4> 예제 대중교통망



<그림 6-5> 변형된 대중교통망



<그림 6-6> 최적전략에 의한 대중교통 통행배정결과

<표 6-6> Travel times for each path

경로	경로 구성		경로 통행시간		
			차내통행시간(A)	대기시간(B)	합계(A+B)
1	line 1		25	0	25.0
2	line 2-Y-line 3		7+6+4	2.5	19.5
3	line 2-Y-line 4		7+6+10	2.5	25.5
4	line 2-X-line 3		7+4+4	4.3	19.3
5	line 2-X-line 3-Y-line 4		7+4+10	4.3+2.5	27.8

다. 실측자료를 통한 EMME/2 대중교통모형 검토

[용어의 정의]

- 기종점 통행수요(O/D)
 - 고속철도 O/D : 일반철도, 도시철도를 제외한 고속철도 통행량만 포함한 O/D
 - 일반철도 O/D : 고속철도, 도시철도를 제외한 일반철도 통행량만 포함한 O/D
 - 통합철도 O/D : 고속철도, 일반철도, 도시철도 통행량을 모두 포함한 O/D
- 네트워크
 - 고속철도 네트워크 : 일반철도, 도시철도를 제외한 고속철도 네트워크만 반영
 - 일반철도 네트워크 : 고속철도, 도시철도를 제외한 일반철도 네트워크만 반영
 - 전체철도 네트워크 : 고속철도, 일반철도, 도시철도 네트워크를 모두 반영한 네트워크
 - 통합철도 네트워크 : 전체철도 네트워크와 도로 네트워크를 결합한 네트워크
- 현재 국가교통DB에서 배포하는 O/D는 총 248개의 존과 1,162개의 철도역으로 이루어져 있음
- 비교를 위한 관측데이터는 철도통계연보(2006)상의 443개 지점에 대한 승하차인원을 사용함

<표 6-7> 존 및 역별 관측지점 현황

구 분	국가교통DB 존	국가교통DB 역	통계연보 역
관측 지점수	248	1,162	443

주: 국가교통DB역은 일반역, 간이역(배차, 무배차), 임시승강장, 신호장, 신호소, 고속철도, 도시철도역이 포함됨

- 통행 배정시 O/D와 네트워크는 다음과 같이 사용함
 - O/D부문 : 고속철도 O/D와 일반철도 O/D, 통합철도(고속철도+일반철도+도시철도) O/D로 구분하여 분석함
 - 네트워크부문 : 고속철도, 일반철도, 전체철도 네트워크로 구분하여 분석함

1) 승하차인원 기준의 배정결과

- 통행배정 결과 각각의 O/D에 맞는 네트워크를 사용하여 배정된 결과보다 전체철도(고속철도+일반철도+도시철도)네트워크를 사용하여 배정된 값의 오차율이 더 낮은 것으로 분석됨

<표 6-8> O/D 및 네트워크별 통행배정 결과(승하차 기준)

구 분		고속철도 O/D		일반철도 O/D				통합철도 O/D	
		전체철도 네트워크		일반철도 네트워크		전체철도 네트워크		전체철도 네트워크	
		개수	비율 (%)	개수	비율 (%)	개수	비율 (%)	개수	비율 (%)
배정 (오차율)	0% ~ ±5%	13	61.9	24	17.9	30	21.4	20	14.3
	±5% ~ ±10%	0	0.0	9	6.7	6	4.3	6	4.3
	±10% ~ ±30%	3	14.3	33	24.6	19	13.6	15	10.7
	±30% ~ ±50%	0	0.0	10	7.5	17	12.1	15	10.7
	±50% ~ ±100%	3	14.3	31	23.1	34	24.3	32	22.9
	±100 % 이상	2	9.5	27	20.1	34	24.3	52	37.1
합 계		21	100	134	100	140	100	140	100

주: 오차율 : (배정치의 승하차 합계 - 관측치 승하차 합계) / 관측치 승하차 합계

2) 노선별 통과인원 기준 통행배정

- 통합철도 O/D로 도시철도를 제외한 고속철도와 일반철도로 구성된 네트워크와 전체 철도네트워크를 가지고 승하차 인원이 아닌 노선별 통과인원으로 분석한 결과, 전체 철도 네트워크를 사용하여 배정한 결과값의 오차율이 더 낮게 분석됨

<표 6-9> 통합철도 O/D 배정시 네트워크별 통행배정 결과(노선별 통과인원 기준)

구 분		고속철도, 일반철도 네트워크		전체철도 네트워크	
		개수	비율(%)	개수	비율(%)
배정 (오차율)	0% ~ ±5%	3	2.3	25	19.2
	±5% ~ ±10%	9	7.0	7	5.4
	±10% ~ ±30%	15	11.7	25	19.2
	±30% ~ ±50%	31	24.2	19	14.6
	±50% ~ ±100%	55	43.0	44	33.8
	±100% 이상	15	11.7	10	7.7
합 계		128	100	130	100

라. 통합철도 네트워크를 대상으로 한 EMME/2 대중교통모형 검토

1) 통합철도 네트워크 자료를 이용한 철도통행배정 결과

- 국가교통DB에서 새롭게 작성하여 배포하고 있는 통합철도 네트워크(도로+ 전체철도)를 이용하여 통행배정을 실시하였으며, 통행배정시 고속철도O/D와 일반철도O/D 및 통합철도(고속철도+ 일반철도+ 도시철도)O/D로 구분하여 분석한 결과는 다음과 같음

<표 6-10> 통합철도 네트워크 기준 O/D별 통행배정 결과(승하차 승객기준 오차율)

구 분		고속철도 O/D		일반철도 O/D		통합철도 O/D	
		개수	비율(%)	개수	비율(%)	개수	비율(%)
배정 (오차율)	0% ~ ±5%	0	0.0	21	13.5	18	11.5
	±5% ~ ±10%	0	0.0	9	5.8	8	5.1
	±10% ~ ±30%	1	4.8	20	12.8	16	10.2
	±30% ~ ±50%	3	14.3	14	9.0	16	10.2
	±50% ~ ±100%	2	9.5	31	19.9	28	17.8
	±100% 이상	15	71.4	61	39.1	71	45.2
합 계		21	100	156	100	157	100

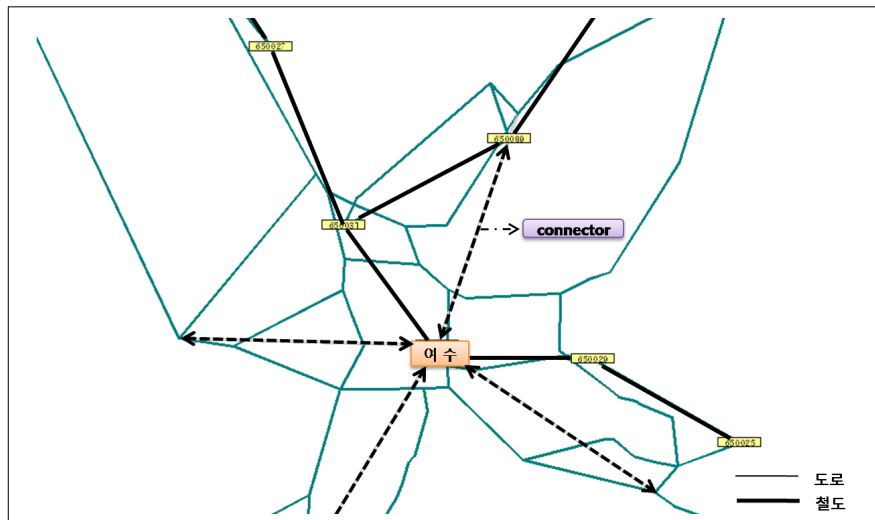
2) 전체철도 네트워크와 통합철도 네트워크 비교

- 전체철도 네트워크와 통합철도 네트워크를 비교한 결과, 전체철도 네트워크의 오차율이 더 낮은 것으로 분석되었으며 통합철도 네트워크에서 통행배정 지점이 더 많이 나타남

- 통합철도 네트워크에서는 존에서 연결되어지는 커넥터가 철도역으로 연결되어지지 않고 도로로 연결되어 인접한 철도역으로 통행배정되기 때문에 통합철도 네트워크에서 통행배정 지점이 전체철도 네트워크에 비해 더 많이 발생하는 것으로 분석됨

<표 6-11> O/D 및 네트워크(전체철도 및 통합네트워크만)별 통행배정 결과

구 분		고속철도 O/D				일반철도 O/D				통합철도 O/D			
		전체철도 네트워크		통합철도 네트워크		전체철도 네트워크		통합철도 네트워크		전체철도 네트워크		통합철도 네트워크	
		개수	비율 (%)	개수	비율 (%)	개수	비율 (%)	개수	비율 (%)	개수	비율 (%)	개수	비율 (%)
배정 (오차율)	0% ~ ±5%	13	61.9	0	0.0	30	21.4	21	13.5	20	14.3	18	11.5
	5% ~ ±10%	0	0.0	0	0.0	6	4.3	9	5.8	6	4.3	8	5.1
	±10% ~ ±30%	3	14.3	1	4.8	19	13.6	20	12.8	15	10.7	16	10.2
	±30% ~ ±50%	0	0.0	3	14.3	17	12.1	14	9.0	15	10.7	16	10.2
	±50% ~ ±100%	3	14.3	2	9.5	34	24.3	31	19.9	32	22.9	28	17.8
	±100% 이상	2	9.5	15	71.4	34	24.3	61	39.1	52	37.1	71	45.2
합 계		21	100	21	100	140	100	156	100	140	100	157	100



<그림 6-7> 도로와 결합된 철도 네트워크

3. EMME/2 대중교통모형 문제점 정리

- 철도 통행배정 결과 관측치와 다른 비합리적인 배정결과를 보여주고 있는데, 그 원인을 정리하면 다음과 같음

가. 국가교통DB 철도네트워크 문제

- 1개존에 다수의 철도역이 존재하면서도 1개의 역에만 connector가 연결되어 있어 미 연결역에는 승·하차가 이루어지지 않음
- 고속철도O/D의 경우, connector가 고속철도역과 직접 연결되지 않고 일반철도나 도시철도역과 연결된 경우가 있으며, 이런 경우 철도를 이용하여 통행하는 불합리 통행 배정이 발생함

나. 비합리적인 통행배정

- EMME/2의 대중교통 통행배정 기법상의 문제로 배차간격이 짧은 노선에 우선 승차하게 되어 노선간 다수 환승이 발생함
- 이에 따라, 기종점간 통행시간이 짧은 노선에 오히려 통행이 적게 발생하는 문제가 발생함

제4절 철도통행비용함수 검토

1. 철도통행비용함수의 구분

- 현재까지 제시된 철도통행비용함수는 크게 수리적인 함수형태와 로짓모형의 효용함수 형태로 구분되며, 이중 본 과업에서 수행코자 하는 통행비용함수는 로짓모형의 효용함수라기 보다는 주요 설명변수를 가지고 철도 통행비용을 산정하는 수리적인 함수형태가 적합하다고 판단됨
- 수리적인 통행비용함수를 가정하는 경우, 형태를 선형(linear)이나 비선형(non-linear)으로 설정할 수 있는데, 현재까지 제시된 대부분의 함수가 선형을 가정하고 있음
- 이는 선형으로도 충분히 통행비용을 표현할 수 있으며, 각 변수의 파라메타 추정용이하기 때문이며, 종속변수의 경우 통행시간과 요금을 함께 포함하는 일반화 비용(generalized cost)형태를 취하고 있음
- 본 과업에서도 다음과 같은 선형의 일반화 비용함수를 철도통행비용함수로 선정함

$$(\text{표준형}) \quad c_k = \sum_i \beta_i^* T_i^k + \sum_j \gamma_j^* F_j^k + w_k^* f(v_k)$$

- 여기서, F_j^k = 경로구간 k 의 요금(fare)과 관련된 항목

T_i^k = 차내통행시간, 접근시간, 대기시간, 환승시간 등 통행시간 항목

$f(v_k)$ = 차내 혼잡 등 기타 비효용항목

β_i, γ_j, w_k = 각 항목별 가중치

2. 국내에 적합한 철도통행비용함수의 선정기준

- 대중교통 통행비용함수의 설명변수로 지금까지 언급된 여러 항목중 버스 통행비용함수와 철도통행비용함수간에는 변수에 차이가 존재하는데, 예를 들어 차내혼잡으로 인한 통행비용의 경우 버스는 좌석수 보다 많은 승객이 탑승할 수 있기 때문에 변수로서 고려할 필요가 있으나, 철도의 경우 특별한 경우를 제외하고는 최대 좌석수 만큼만 수용하기 때문에 차내 혼잡비용은 의미가 적음
- 자료수집 측면에서 가능한 자료를 살펴보면, 현재 국가교통DB에서는 각 노선별 배차간격(headway), 표정속도(speed), 구간 길이(length), 그리고 정차시간(dwelling time)이 제공되며, 탑승시간(boarding time) 등은 분석가가 적당한 값을 설정함

- 따라서, 각 대중교통수단의 특성과 자료의 구득측면에서 철도통행비용함수에 고려되는 변수는 다음과 같음

<표 6-12> 교통수단별 통행비용함수에 속하는 변수 선정

교통수단	통행요금	차내 혼잡비용	통행시간				
			차내통행시간	접근시간	대기시간	탑승시간	환승시간
버 스	○	○	○	-	○	-	-
철 도	○	-	○	-	○	-	-

3. 적정 철도통행비용함수의 선정

- 본 과업에서는 철도통행비용함수로 대기시간을 제외한 차내통행시간(*IVTT*)과 통행요금(*Fare*)로 구성하는데, 이는 현재 국가교통DB에서 제공되고 있는 대중교통 노선(Transit Line) 데이터의 자료에 배차간격(Headway)이 포함되어 있어 비용함수에서 대기시간을 다룰 경우 중복 반영되는 문제(double count)가 발생하므로 철도통행비용함수에서는 대기시간을 제외한 통행요금과 차내 통행시간만을 고려하여 철도통행비용함수를 선정함

- 대기시간(*Wait Time*)은 다음과 같이 구할 수 있음(Osuna and Newell, 1972)

$$E(W) = \frac{h}{2} \left[1 + \left(\frac{\sigma}{h} \right)^2 \right] = \frac{h}{2} (1 + c_{vh}^2)$$

- 여기서, h 는 평균배차간격이며, σ 는 배차간격간 표준편차, 그리고 c_{vh}^2 는 배차간격의 분산계수임
- 실제 적용시에는 배차간격의 0.5배를 사용하고 있으며, 지역간 철도의 경우 0.5보다 작은 값을, 광역/도시철도의 경우 0.5값을 적용하고 있음
- 대중교통 노선(Transit Line) 데이터의 자료에는 ttf값이 모두 0으로 입력되어 통행배정시 ttf함수값이 반영되지 않아 대중교통 노선(Transit Line)에 입력되어 있는 표정속도를 기준으로 ttf값에 반영함
- 또한, 일반화비용에 포함되는 2개의 파라메타 중 철도 통행시간에 대한 파라메타는 계산의 편의를 위하여 모두 1($\beta_i = 1.0$)로 설정하고, 나머지 통행요금에 대한 파라메타만을 추정함

- 본 과업에서는 철도 통행배정시 KTX 요금을 고려함으로써 KTX와 일반철도간 배정통행량 정산 가능성을 검토하기 위해 철도통행비용함수의 기본형태를 다음과 같이 고려함

$$(\text{고속철도}) \quad c_k^{ktx} = IVTT_k^{ktx} + \gamma^{ktx} * Fare_k^{ktx}$$

$$(\text{일반철도}) \quad c_k^{rail} = IVTT_k^{rail} + \gamma^{rail} * Fare_k^{rail}$$

$$(\text{도시철도}) \quad c_k^{metro} = IVTT_k^{metro} + \gamma^{metro} * Fare_k^{metro}$$

$$IVTT = \text{차내통행시간}, \quad Fare = \text{통행비용}, \quad \gamma = \text{파라메타}$$

- 차내통행시간($IVTT$)의 경우 통행거리를 표정속도로 나누어 구함

$$IVTT = \frac{Distance}{Speed}$$

제5절 철도통행비용함수의 파라메타 추정

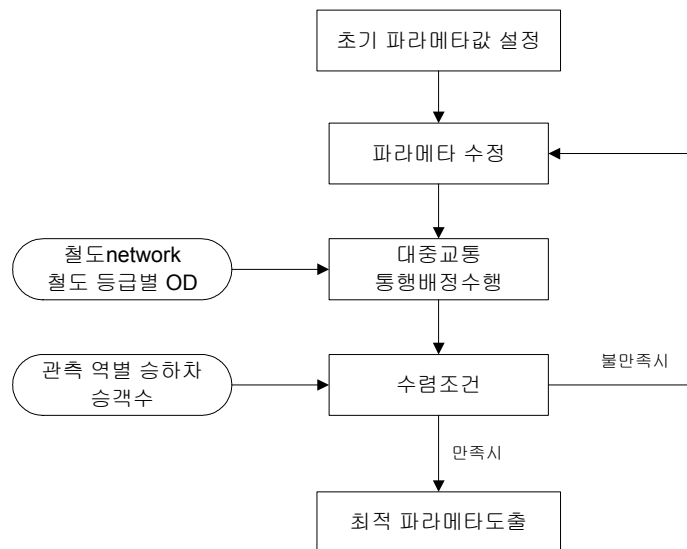
1. 파라메타 추정방법론 정립

가. 파라메타 추정

- 파라메타 추정은 철도통계연보상의 역별 승하차인원이나 재차인원을 모형에서 추정된 인원간의 차이를 최소화시키는 파라메타(γ)를 구하는 문제로 다음과 같은 최소화문제로 구성할 수 있음
- 여기서, 제약조건은 통행자의 경로선택 행위를 나타내는 것으로 대중교통 통행배정 문제(transit assignment)가 됨

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

- 위 최소화문제는 기존에 제시된 다양한 최적화기법으로 풀 수 있는데, 미분을 이용하는 gradient 계열의 방법이 가장 신속히 해를 구할 것으로 예상되나, 목적함수를 미분하는게 쉽지 않다는 한계가 있으므로, 본 과업에서는 황금분할법(Golden Section)을 기초로 하여 최적값을 탐색하였음
- 본 과업에서 추정해야할 파라메타 $\gamma^{metro, rail, ktx}$ 는 통행요금에 대한 가중치로 도시철도와 일반철도, 고속철도를 분리하여 산정하였으며, 기본자료는 통합철도 네트워크와 통합철도 O/D만을 이용하여 산정함



<그림 6-8> 철도통행비용함수 파라메타 추정과정

나. 시간가치 산정

- 기존에 사용되는 시간가치의 산출 근거가 미약하고 비합리적으로 산정되어 본 과업에서 시간가치 비용을 재산정한 결과 고속철도의 시간가치가 도시철도 및 일반철도보다 낮게 추정됨
- 고속철도의 평균통행속도가 다른 수단에 비해 높은 현실에서 시간가치 비용마저 다른 수단보다 낮은 값을 적용하면 고속철도의 통행량이 과다 추정되는 결과가 발생할 수 있음
- 위와 같은 문제를 해결하기 위해 시간가치비용을 km-운임으로 산정하였음
- 또한 기존에는 도시철도와 일반철도가 동일한 값으로 사용되어지고 고속철도만이 다른 값을 사용하였으나, 본 과업에서는 도시철도, 일반철도, 고속철도 별로 산정함

<표 6-13> 시간가치 산정

교통수단	거 리(km)	운 임(원)	시간가치비용(원)	시간가치	원/km	기존 시간가치
도시철도	12	1000	3,890 ¹⁾	1.388	83.3	0.345
일반철도	441.7	36,800	4,285 ²⁾	1.167	83.3	
고속철도	408.5	44,800	9,128 ²⁾	0.721	109.7	0.980

주: 일반철도 및 고속철도의 거리, 운임은 서울에서 부산을 기준으로 하였음

자료: 1) 서울시시정개발연구원, 『2005년 서울시 교통지표 산출』, 2006.7

2) 국토해양부, 『교통시설 투자평가지침』, 2007.12

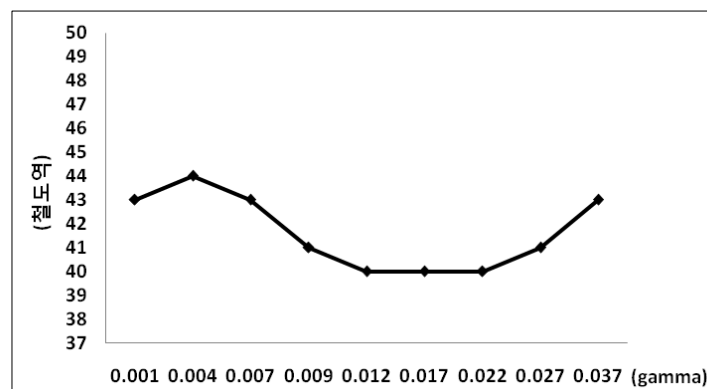
2. 철도통행비용함수 파라메타 추정

- 파라메타를 추정시에는 승하차인원을 기준으로 설정하였고, 배차간격에 대한 영향이 크게 작용함에 따라 노선별 인원을 맞추고자 기본안은 배차간격 실측치를 적용하고 대안은 고속철도 및 일반철도와 상관없이 최대값을 적용하여 파라메타를 추정함

가. 기본안(headway 실측치 사용)

1) 도시철도 파라메타 추정(기본안)

- 먼저, 도시철도의 파라메타 값을 추정하기 위하여 일반철도와 고속철도의 파라메타는 고정(fix)시킨 상태에서, 오차율 $\pm 30\%$ 이내에 들어오는 기차역의 수를 최대화시키는 도시철도의 파라메타 값을 추정함
- 산정결과 γ^{metro} 값이 0.004가 되었을 때 오차율 $0\% \sim \pm 30\%$ 에 포함되는 철도역이 44개 역으로 최대값으로 산출됨



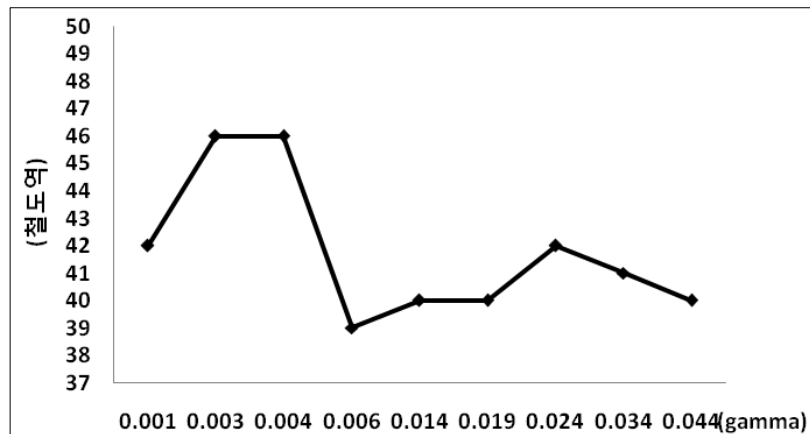
<그림 6-9> γ^{metro} 변화에 따른 오차범위 $0\% \sim \pm 30\%$ 안에 들어오는 철도역수

<표 6-14> 통합철도 O/D, 통합철도 네트워크하의 도시철도 파라메타 추정(기본안)

구 분		기 존		본 과업(기본안)	
		개수	비율(%)	개수	비율(%)
배정 (오차율)	0% ~ $\pm 5\%$	18	11.5	16	9.9
	5% ~ $\pm 10\%$	8	5.1	10	6.2
	$\pm 10\% \sim \pm 30\%$	16	10.2	18	11.1
	$\pm 30\% \sim \pm 50\%$	16	10.2	11	6.8
	$\pm 50\% \sim \pm 100\%$	28	17.8	35	21.6
	$\pm 100\%$ 이상	71	45.2	72	44.4
	0% ~ $\pm 30\%$	42	26.8	44	27.2
	계	157	100	162	100
미배정		286		281	
합 계		443		443	

2) 일반철도 파라메타 추정

- 일반철도의 파라메타 값을 추정시에도 도시철도와 동일하게, 도시철도 및 고속철도의 파라메타값을 고정시킨 상태에서 최적의 일반철도 파라메타값을 추정함
- 산정결과 γ^{rail} 값이 0.004가 되었을때 오차율 0%~±30%에 포함되는 철도역이 46개역으로 최대로 산출됨



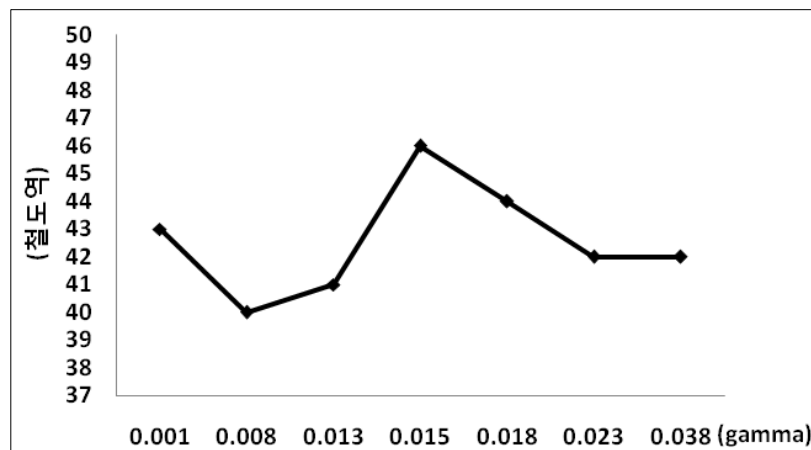
<그림 6-10> γ^{rail} 변화에 따른 오차범위 0%~±30%안에 들어오는 철도역수

<표 6-15> 통합철도 O/D, 통합철도 네트워크하의 일반철도 파라메타 추정(기본안)

구 분		기 존		본 과업(기본안)	
		개수	비율(%)	개수	비율(%)
배 정 (오차율)	0% ~ ±5%	18	11.5	15	9.4
	5% ~ ±10%	8	5.1	12	7.5
	±10% ~ ±30%	16	10.2	19	11.9
	±30% ~ ±50%	16	10.2	10	6.3
	±50%~±100%	28	17.8	28	17.5
	±100% 이상	71	45.2	76	47.5
	0% ~ ±30%	42	26.8	46	28.8
	계	157	100	160	100
미배정		286		283	
합 계		443		443	

3) 고속철도 파라메타 추정

- 고속철도의 파라메타 값 추정시에도 도시철도 및 일반철도의 파라메타를 고정시키고 고속철도의 파라메타를 추정함
- 산정결과 γ^{ktx} 값이 0.015가 되었을 때 오차율 0% ~ $\pm 30\%$ 에 포함되는 철도역이 46개로 가장 많이 산출됨



<그림 6-11> γ^{ktx} 변화에 따른 오차범위 0%~ $\pm 30\%$ 안에 들어오는 철도역수

<표 6-16> 통합철도 O/D, 통합철도 네트워크하의 고속철도 파라메타 추정(기본안)

구 분		기 준		본 과업(기본안)	
		개수	비율(%)	개수	비율(%)
배 정 (오차율)	0% ~ $\pm 5\%$	18	11.5	15	9.2
	5% ~ $\pm 10\%$	8	5.1	16	9.8
	$\pm 10\%$ ~ $\pm 30\%$	16	10.2	15	9.2
	$\pm 30\%$ ~ $\pm 50\%$	16	10.2	11	6.7
	$\pm 50\%$ ~ $\pm 100\%$	28	17.8	29	17.8
	$\pm 100\%$ 이상	71	45.2	77	47.2
	0% ~ $\pm 30\%$	42	26.8	46	28.2
	계	157	100	163	100
미배정		286		280	
합 계		443		443	

4) 최적파라메타 조합

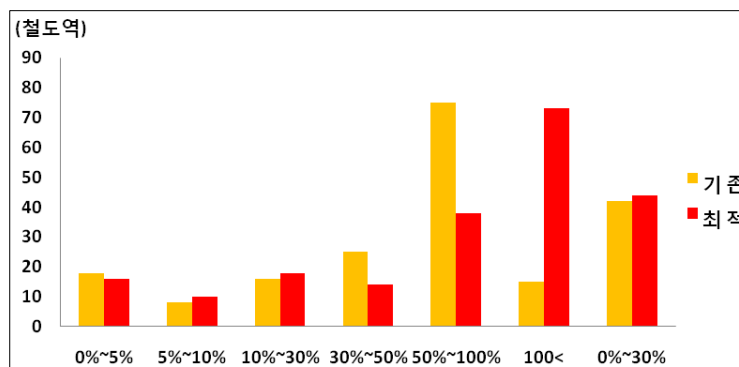
- 수단별로 추정된 최적 파라메타를 적용한 결과 차이가 없음에 따라 파라메타를 조합하여 최적의 파라메타값을 추정하였으며
- 산정결과 오차율 0% ~ + -30%에 포함되는 철도역이 46개로 파라메타 추정전과 비교해 볼 때, 4개역이 증가하였으며 전체 통행배정 된 역 또한 157개역에서 169개역으로 12개역이 증가함

<표 6-17> 최적파라메타 조합(기본안)

구 분	도시철도	일반철도	고속철도
파라메타	0.004	0.024	0.015

<표 6-18> 통합철도 O/D, 통합철도 네트워크하에서 추정된 파라메타(기본안)

구 분		기 존		본 과업(기본안)	
		개수	비율(%)	개수	비율(%)
배정 (오차율)	0% ~ ±5%	18	11.5	16	9.5
	5% ~ ±10%	8	5.1	10	5.9
	±10% ~ ±30%	16	10.2	18	10.7
	±30% ~ ±50%	25	15.9	14	8.3
	±50% ~ ±100%	75	47.8	38	22.5
	±100% 이상	15	9.6	73	43.2
	0% ~ ±30%	42	26.8	44	26.0
	계	157	100	169	100
미배정		286		274	
합 계		443		443	



<그림 6-12> 기존 오차범위와 최적 파라메타 오차범위 비교(기본안)

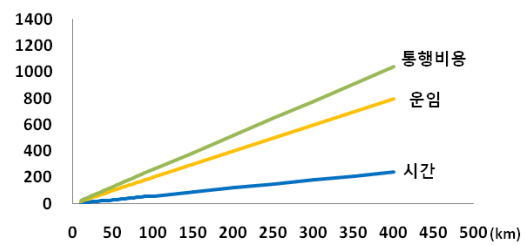
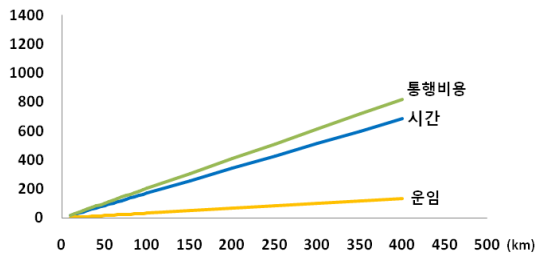
- 각 오차율 구간별 철도역의 수를 양(+)의 오차와 음(-)의 오차로 구분하여 살펴보면, 대체로 양의 오차가 큰 것으로 나타나 배정치가 관측치보다 큰 것으로 추정됨

<표 6-19> 추정된 파라메타 배정치(기본안)

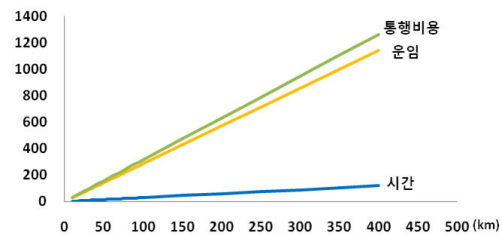
구 분		과다 (+ 오차)		과소 (- 오차)	
		개수	비율(%)	개수	비율(%)
배정 (오차율)	0% ~ 5%	9	5.3	7	4.1
	5% ~ 10%	6	3.6	4	2.4
	10% ~ 30%	7	4.1	11	6.5
	30% ~ 50%	8	4.7	6	3.6
	50% ~ 100%	16	9.5	22	13.0
	100% 이상	73	43.2	0	0.0
	0% ~ 30%	22	13.0	22	13.0
	계	119	70.4	50	29.6
합 계		169	100	169	100

5) 추정된 철도통행비용함수의 특성

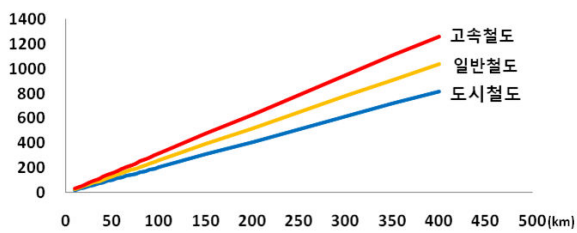
- <그림 6-13> ~ <그림 6-17>은 본 과업에서 추정된 철도통행비용함수를 그림으로 표현하고 있는데, 도시철도를 제외한 일반철도와 고속철도는 통행거리에 대하여 시간보다 비용이 더 크게 증가하고 있음
- 이는 다른 수단에 비해 평균속도가 낮은 도시철도의 경우 비용의 변화보다 시간 변화에 더 민감하게 반응하는 것으로 보이며 일반철도와 고속철도는 시간변화보다 비용의 변화에 더 민감하게 반응하는 것을 분석됨
- 또한, 그림에서 보듯이 전체적으로 고속철도가 통행거리에 비용이 가장 크게 증가하며, 이어 일반철도, 도시철도 순으로 나타남



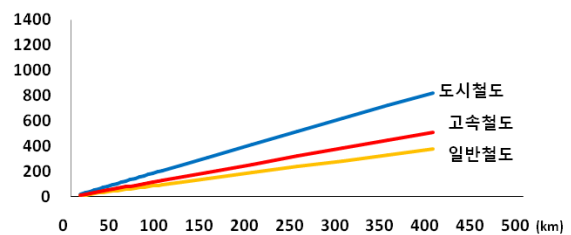
<그림 6-13> 도시철도 통행시간과 통행비용의 관계 <그림 6-14> 일반철도 통행시간과 통행비용의 관계



<그림 6-15> 고속철도 통행시간과 통행비용의 관계



<그림 6-16> 추정된 통행비용함수



<그림 6-17> 기존 국가교통DB ttf 통행비용함수

나. 대안 (Headway 동일값 적용)

- 승·하차 인원이 아닌 경부고속선(KTX)과 경부선(일반철도)의 통과인원으로 비교하면, 관측치는 경부선의 통과인원이 경부고속선에 비해 4.3배 많은 반면 배정치는 경부고속선이 경부선에 비해 5.3배 많은 것으로 분석됨

<표 6-20> 통합철도 O/D, 통합철도 네트워크하에서 경부고속선·경부선 비교

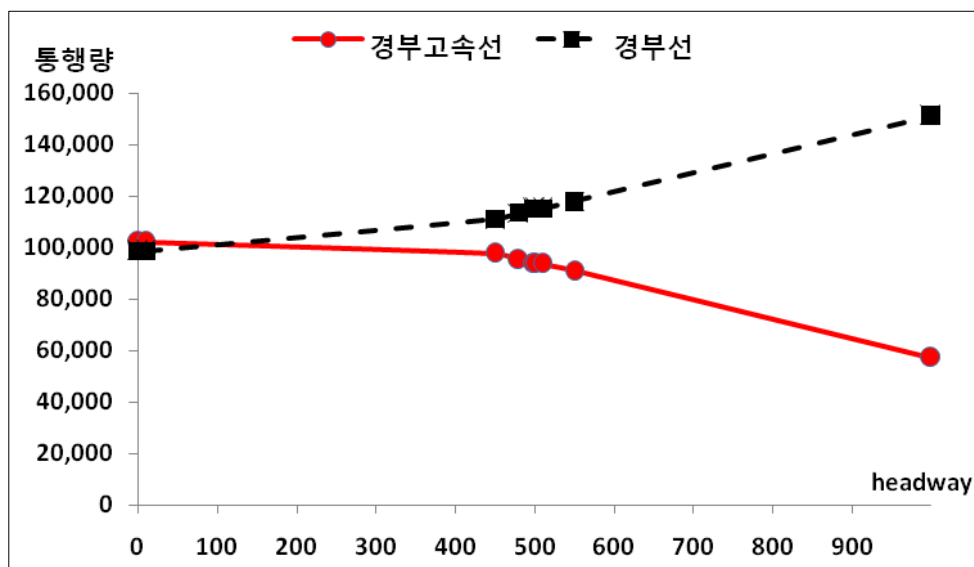
구 분	관측량 (서울~부산)	국가교통DB 통행배정량	
		서울 ~ 대전	대전 ~ 동대구
경부고속선	79,507	106,828	78,809
경부선	338,251	105,230	14,797

1) headway 변경

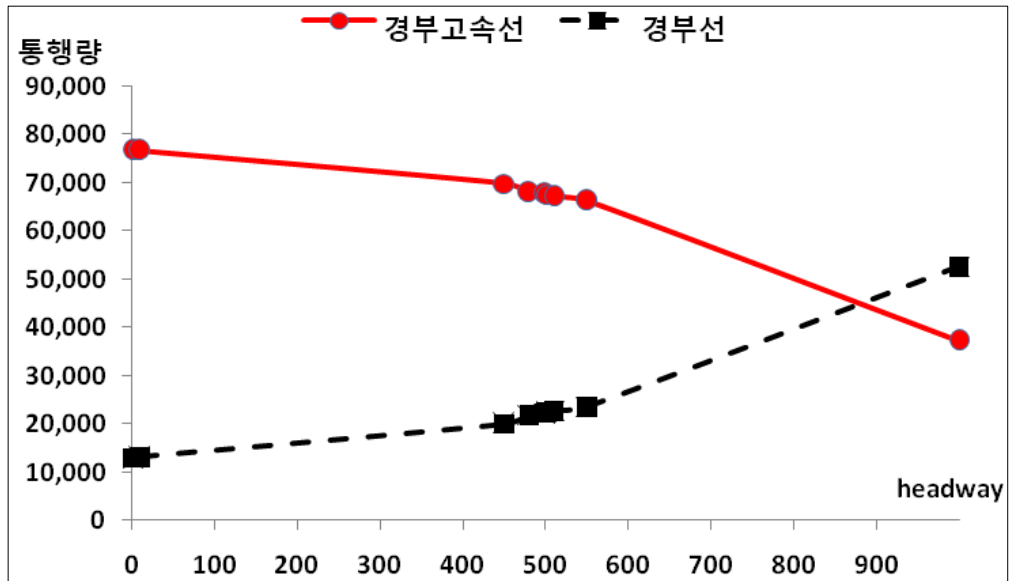
- 현실에 맞지 않게 경부고속선에 과도하게 배정되는 통행량을 경부선으로 전환 시켜주기 위하여 모든 노선의 ttf값을 변경한 후 각 노선별로 입력되어 있는 headway값을 변경함
- 모든 headway값을 일괄적으로 적용한 결과 headway값이 999일 때 경부선의 통행배정량이 경부고속선에 비해 서울~대전 구간은 약 2.6배 대전~동대구 구간은 약 1.4배 많이 배정되는 것으로 나타남
- 따라서 이후 분석시에는 모든 철도의 headway를 999로 고정시켜 분석함

<표 6-21> headway 변경

노 선		ttf=변경 값에 headway값 변경						
		1	100	450	480	500	550	999
서울 ~ 대전	경부고속선	102,273	102,324	97,788	95,267	93,694	90,877	57,246
	경부선	98,656	98,682	111,075	113,597	115,170	117,989	151,341
합 계		200,929	201,006	208,863	208,864	208,864	208,866	208,587
대전 ~ 동대구	경부고속선	76,692	76,635	69,758	67,908	67,492	66,261	37,288
	경부선	12,909	13,067	20,013	21,872	22,290	23,551	52,588
합 계		89,601	89,702	89,771	89,780	89,782	89,812	89,876



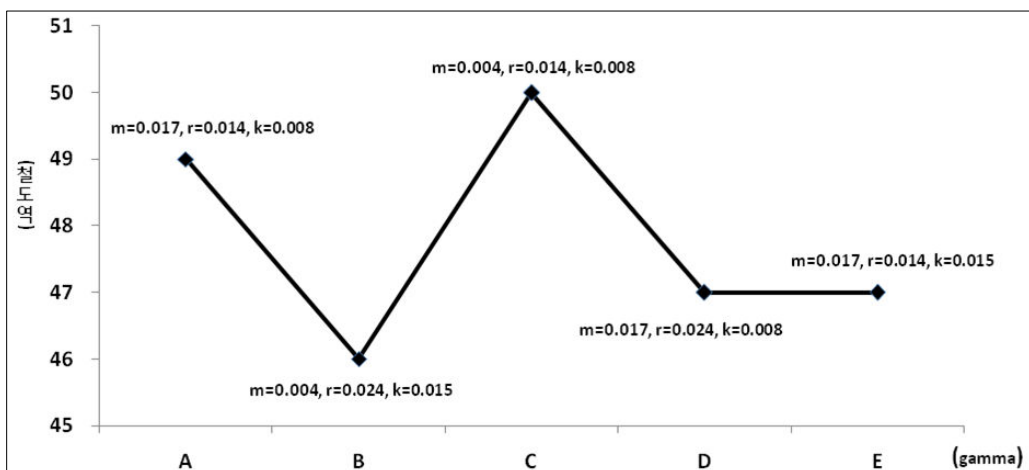
<그림 6-18> 서울~대전 구간 배정량 비교



<그림 6-19> 대전~동대구 구간 배정량 비교

2) headway 변경시 최적의 파라메타

- 앞에서 추정된 적정 headway값을 반영한 후 최적의 파라메타 값을 추정하였으며, 산정 결과 파라메타값이 C일 경우 오차율 0% ~ +30%에 포함되는 철도역이 50개로 파라메타 추정전과 비교해 볼 때 8개역이 증가하였으며 전체 배정량 또한 157개역에서 168개역으로 11개역이 증가함



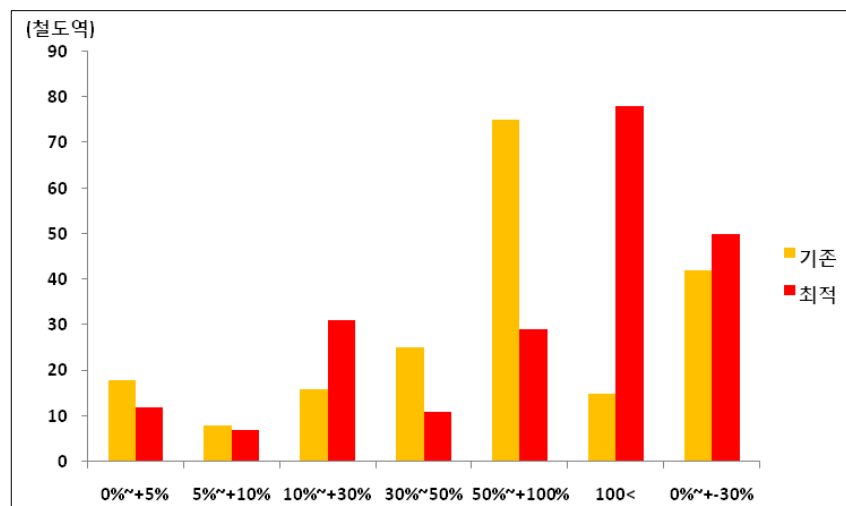
<그림 6-20> headway=999 일 때 파라메타값 추정

<표 6-22> 최적파라메타 조합(대안)

구 분	도시철도	일반철도	고속철도
대 안	0.004	0.014	0.008

<표 6-23> headway 변경시 최적의 파라메타(대안)

구 분		통합철도 O/D - 통합철도 네트워크			
		기 존		대 안	
		개수	비율(%)	개수	비율(%)
배정 (오차율)	0% ~ ±5%	18	11.5	12	7.1
	5% ~ ±10%	8	5.1	7	4.2
	±10% ~ ±30%	16	10.2	31	18.5
	±30% ~ ±50%	25	15.9	11	6.5
	±50% ~ ±100%	75	47.8	29	17.3
	±100% 이상	15	9.6	78	46.4
	0% ~ ±30%	42	26.8	50	29.8
계		157	100	168	100
미배정		286		275	
합 계		443		443	



<그림 6-21> 기존 오차범위와 최적 파라메타 오차범위 비교(대안)

- 각 오차율 구간별 철도역의 수를 양(+)의 오차와 음(-)의 오차로 구분하여 살펴보면, 대체로 양의 오차가 큰 것으로 나타나 배정치가 관측치보다 큰 것으로 추정됨

<표 6-24> 추정된 파라메타 배정치(대안)

구 분		과다 (+ 오차)		과소 (- 오차)	
		개수	비율(%)	개수	비율(%)
배정 (오차율)	0% ~ 5%	8	4.8	4	2.4
	5% ~ 10%	4	2.4	3	1.8
	10% ~ 30%	14	8.3	17	10.1
	30% ~ 50%	4	2.4	7	4.2
	50% ~ 100%	10	6.0	19	11.3
	100% 이상	78	46.4	0	0.0
	0% ~ 30%	26	15.5	24	14.3
	계	118	70.2	50	29.8
합 계		168	100	168	100

제6절 철도수요예측의 신뢰도 제고방안

1. 철도 통행배정의 문제점

가. 철도 O/D 및 네트워크

- 전국 지역간 여객O/D는 248개 교통존(시·군·구 단위) 체계를 기반으로, 기준년도의 철도역간의 통행실적자료에 근거하여 철도역이 포함된 교통존간의 O/D로 구축, 제공되고 있음
 - 철도 이용자의 최초 출발지와 도착지로 구축되지 않고 철도역이 포함된 교통존간의 O/D로 제공됨에 따라 접근통행에 대해 고려가 미흡함
 - 이로 인해, 교통시설 타당성 분석시 보다 상세한 수단선택모형 적용에 한계가 있으며, 존 세분화시 오차 발생 우려가 있음
- 철도 네트워크는 KTX, 일반철도, 도시철도가 포함되어 있으나 시·군·구 단위의 교통존 센트로이드와 해당 교통존 내에 있는 철도역과의 커넥터(connector)를 연결하여 통행배정을 수행하고 있음
 - 전국 교통존은 248개인 반면, 철도역은 전국 1,162개이기 때문에 한 개의 교통존에 여러 개의 철도역이 포함되어 있음
 - 특정 교통존의 센트로이드와 커넥터로 연결되지 않은 철도역은 통행배정이 전혀 이루어지지 않으며, 노선 선택시 커넥터가 연결된 철도역 중 목적지에 가장 가까운 역으로 배정되는 문제로 인하여 현재의 존 체계와 철도 네트워크로 역별 승하차 인원을 정산하기에 한계가 있음
 - 수단선택모형 적용 및 타당성 분석 수행시 접근통행을 고려하기에 어려움이 있음

나. 통행배정의 문제점

- 철도역별 승하차인원 정산의 한계
 - 전국 여객O/D의 교통존 체계와 철도 네트워크의 문제로 인해 통행배정시 철도역별 승하차인원의 추정치와 관측치간 오차가 발생하고 있는데, 특히 존 커넥터의 연결상태에 따라 승하차인원이 전혀 배정되지 않는 역이 다수 발생하고 있음

- 현재 타당성 분석시 철도역별 승하차인원을 정산하기 위하여 영향권 내 교통존에 대해 존 세분화를 시행하고 세분화된 존과 인접 철도역간 커넥터를 연결하여 강제적으로 철도역별 승하차인원을 정산하고 있는 실정임
- 수단(KTX, 일반철도)간 이용실적 정산
 - 일반적으로 이용되는 철도 통행배정모형은 최적전략기법(optimal strategy)으로, 출발지에서 선택 가능한 노선 중 최소 비용인 노선에 통행배정을 수행하는데, 노선의 배차간격(headway)에 비례하여 교통수요를 배정하는 기법임
 - 철도수단별 배정 통행량은 기종점간 통행시간과 수단별 배차간격(headway)에 큰 영향을 받음에 따라 통행시간이 적게 소요되고 배차간격이 짧은 KTX는 수송실적에 비해 과다 배정되며, 반면에 일반철도는 과소 배정되는 문제점이 있음
 - KTX와 일반철도의 이용실적을 정산하기 위한 방안의 일환으로 철도통행비용함수를 보완하여 재검토할 필요가 있음

2. 신뢰도 제고방안

가. 기본방향

- 철도의 교통수요모형을 개선하기 위한 기본방향으로 다음과 같이 제안함
- 첫째, 기초자료인 철도O/D를 최초출발지 및 도착지 기반으로 구축
 - 현재 제공되는 전국 여객O/D 및 광역권O/D는 철도역이 포함된 교통존(행정구역) 기반으로 구축되어 있는데, 철도역 이용현황조사를 통하여 이용자의 최초 출발지 및 도착지 기반으로 구축할 필요가 있음
 - 이를 통하여 접근통행 및 환승통행을 고려할 수 있는 기반을 마련해야 하며, 철도시설 타당성 분석시 효율적인 수단분담모형을 적용할 수 있을 것으로 판단됨
- 둘째, 접근통행을 고려할 수 있도록 통합 철도네트워크를 적용
 - 현재 제공되는 철도네트워크는 교통존 센트로이드와 철도역간의 커넥터를 연결하여 통행배정을 수행하고 있는데, 커넥터를 어떻게 연결하느냐에 따라서 역별 승하차인원이 크게 변화는 단점이 있음

- 철도시설 통행배정의 객관성을 제고하기 위해서는 수단선택(KTX, 일반철도)뿐만 아니라 가장 근접한 역을 선택하는 접근통행에 대한 고려가 필요할 것으로 판단되며, 이를 위해서는 철도와 도로를 통합한 통합네트워크를 이용하여 철도 통행배정을 수행할 필요가 있음
- 셋째, 최초출발지 및 도착지 기반 철도O/D, 통합네트워크를 이용한 존 세분화를 수행하여 철도역별 승하차인원을 정산
 - 현재 존 세분화와 더불어 존 센트로이드와 철도역간 커넥터를 조정하여 철도역별 승하차인원을 정산하고 있는데, 존 세분화 후 통합네트워크에 적용하고 평균 접근속도를 조정하여 철도역별 승하차인원을 정산할 필요가 있음
 - 이를 위해 국가교통DB는 최초 출발지 및 도착지 기반 철도O/D, 통합네트워크를 제공함과 동시에 존 세분화에 대한 기준 및 도로를 이용한 평균 접근속도에 대한 정산 방법 등을 제공할 필요가 있음
 - 최초 출발지에서 도로를 이용한 철도역까지의 평균 접근속도는 승용차, 버스, 택시, 도보 등 다양한 수단의 평균값으로 정의될 수 있으며, 통합네트워크의 도로부문 도보 통행속도를 평균접근속도로 적용할 수 있음
 - 이용자는 철도역별 승하차 인원을 정산하기 위해 통합네트워크의 도로부문 보행속도를 일정범위(예: 4km/h ~ 30km/h) 내에서 조정하여 영향권 내 승하차 인원의 관측치와 추정치를 최소화하는 값을 선택하는 방안을 적용할 수 있음
- 넷째, 수단별(KTX, 일반철도) 이용실적 정산을 위한 개선안 마련이 필요
 - 철도 통행배정알고리즘 및 통행비용함수의 문제로 인하여 KTX가 일반철도에 비해 기종점간 통행시간이 적게 소요되고 배차간격이 짧기 때문에 KTX에 과다 배정되는 문제를 개선할 필요가 있음
 - 본 과업에서는 철도통행비용함수를 수정 보완하여 KTX와 일반철도에 대해 배정 통행량을 관측 통행량의 오차범위 내에서 정산할 수 있는지 여부를 파악함으로써 추후 국가교통DB에서 철도O/D 구축방향을 설정코자 함
 - 즉, 현재는 철도O/D를 통합하여 구축하고 있는데, 이를 KTX와 일반철도를 분리하여 구축하는 것이 바람직한지에 대해 검토함

나. 철도O/D 구축방안

- 본 과업에서는 철도 전체O/D를 철도 네트워크에 배정시 발생하는 KTX 과다 배정문제를 보완하기 위해 철도통행비용함수를 보완하는 연구를 수행함
- 철도 수단별 통행비용을 산출하는 과정에서 KTX, 일반철도, 도시철도의 요금수준에 따른 영향을 반영하기 위해 기존 통행비용함수를 보완함
- 기존 통행비용함수에 요금 수준에 따른 영향정도를 추가함

$$(\text{고속철도}) \quad c_k^{ktx} = IVTT_k^{ktx} + \gamma^{ktx} * Fare_k^{ktx}$$

$$(\text{일반철도}) \quad c_k^{rail} = IVTT_k^{rail} + \gamma^{rail} * Fare_k^{rail}$$

$$(\text{도시철도}) \quad c_k^{metro} = IVTT_k^{metro} + \gamma^{metro} * Fare_k^{metro}$$

$IVTT$ = 차내통행시간, $Fare$ = 통행비용, γ = 파라메타

- 수단별 요금에 대한 파라메타인 γ 값을 추정하여 통행비용함수에 반영한 결과, KTX와 일반철도의 배정 통행량과 실제 수송실적을 정산하기에 한계가 있는 것으로 분석됨
- 또한, 통행배정에 큰 영향을 미치는 배차간격(headway)의 값을 실제 값으로 적용하지 않고 KTX와 일반철도간 동일한 값으로 적용하여 조금씩 변화시킨 결과, 경부선의 일반철도가 KTX보다 많은 통행량이 배정되는 등 기존의 배정결과와 역전되는 현상이 발생하고 있으나, 수송실적과는 큰 차이가 발생하는 것으로 분석됨
- 이와 같은 검토를 통하여, 본 과업에서는 기존에 제공되고 있는 철도 전체O/D에 기반하여 철도 네트워크 및 통행비용함수를 개선한다고 할지라도 현재 문제가 되고 있는 KTX와 일반철도간 정산문제를 해결하기에는 한계가 있는 것으로 판단함
- 추후, 국가교통DB에서 전국 여객O/D 구축시 철도 O/D는 KTX, 일반철도, 도시철도 O/D를 별도로 구축하여 이용자에게 제공하는 방안이 바람직할 것으로 판단됨
- 최근, KTX는 항공과 경쟁수단으로 적용되는 것이 바람직하며, 일반철도와 도시철도 등과 차별화되어 구축될 필요가 있다는 의견이 제기됨
- 국가교통DB는 KTX, 일반철도, 도시철도O/D를 개별적으로 구축할 경우, 철도 수단간 통행특성을 조사하여 수단분담모형을 구축, 제공할 필요가 있음

제7장 결론 및 향후 연구과제

제1절 과업의 주요내용

제2절 향후 연구과제

제7장 결론 및 향후 연구과제

제1절 과업의 주요내용

1. 도로통행비용함수 구축

가. 교통조사

- 도로통행비용함수 구축을 위한 도로유형은 기존에 도로 관리주체에 근거하여 분류되었으나, 본 과업에서는 통행시간에 영향을 미치는 도로기능(신호등 밀도, 차로수)로 재분류하였으며, 고속도로 2개 도로유형(2차로, 3차로 이상) 및 준연속류 6개 도로유형에 대해 교통량, 통행속도 및 기하구조 등을 조사함
- 고속도로는 한국도로공사의 AVC(automatic vehicle classification) 검지기자료를 이용하여 차종별 교통량 및 통행속도자료를 수집하였으며, 준연속류는 6개의 도로유형에 대해 총 206개 구간에 대해 15분 단위의 교통량 및 통행속도자료를 조사함
- 대기행렬이 발생하는 도로구간의 하류부 신호교차로에서 통과 교통량을 조사할 경우, 녹색신호시간에만 차량이 조사지점을 통과하고 대기행렬의 영향으로 인하여 교통량이 도로용량을 초과할 수 없기 때문에 도로통행비용함수 추정을 위한 조사방법으로 적절하지 않음
- 본 과업에서는 조사된 교통량이 해당 링크의 교통수요 개념으로 접근되어야 할 필요가 있기 때문에 해당 링크의 하류부 신호교차로에 의한 영향을 최대한 배제하기 위해 혼잡이 가장 발생하지 않는 링크의 초입부에 영상장비를 설치하여 교통량 조사를 수행함에 따라, 시간대별 교통량이 도로용량을 초과하는 경우가 다수 발생하고 있음
- 속도조사는 조사원이 탑승한 프로브차량이 지속적으로 주행하면서 조사원이 직접 링크 진입부 통과시각과 하류부 링크의 진입부 통과시각을 조사하는 방법으로 수행되었으며, 해당 구간에 대해 2대 이상의 차량을 지속적으로 순환시킴으로써 15분내에 최소 2개 이상의 샘플이 확보될 수 있도록 조사계획을 수립함

나. 도로용량, 최고속도 및 일전환계수에 대한 검토

- 본 과업에서는 도로통행비용함수에 적용되는 관련변수인 도로용량, 자유통행속도 및 일전환계수에 대한 검토를 수행함
- 도로용량에 대한 검토결과는 다음과 같음
 - 고속도로는 차로수 증가에 따라 도로용량 영향계수가 조금씩 감소하는 패턴을 보여주고 있으며, 기본구간과 진출입부구간 등의 도로용량이 차이가 크게 나는 것으로 분석되어 현재 적용하는 기본구간 도로용량 2,200pcphpl을 모든 고속도로에 대해 획일적으로 적용하는 것은 교통수요 신뢰도 저하의 요인으로 작용할 것으로 판단됨
 - 따라서, 고속도로의 진출입구간간의 평균거리, 차로수 등을 감안하여 노선별로 차등화하여 적용하는 방안이 바람직할 것으로 분석됨
 - 준연속류의 평균 녹색신호시간비율을 이용하여 도로용량을 산정한 결과, 현재 적용되고 있는 도로용량과 다소 차이가 나는 것으로 분석됨
 - 본 과업에서는 고속도로의 도로용량을 적용할 경우, 기본적으로 고속도로의 용량을 2,200pcphpl로 적용하되, 일정범위(2,000 ~ 2,200pcphpl) 내에서 교통수요모형 정산시 노선별로 차등화하는 방안을 제안하며, 준연속류에 대한 도로용량의 범위는 보다 세밀한 분석이 필요한 것으로 판단됨
- 자유통행속도에 대한 검토결과는 다음과 같음
 - 고속도로 및 준연속류의 통행속도 조사를 분석한 결과, 최고속도는 제한속도와 설계속도 범위내에서 조사지점별로 상이한 것으로 나타남
 - 따라서, 본 과업에서는 도로통행비용함수에 반영되는 자유통행속도는 도로유형별로 획일적인 값을 적용하기 보다는 기본적으로 설계속도를 반영하되, 교통수요모형을 이용한 배경교통량 정산시에 제한속도와 설계속도 범위내에서 도로별로 조정하는 방안을 제안함
- 일전환계수에 대한 검토결과는 다음과 같음
 - 국가교통DB에서 구축된 전국 단위의 교통량 조사자료(검지기 자료, 도로교통량통계연보, 국가교통조사자료 등)를 이용하여 첨두시간 교통량이 1일 교통량에서 차지하는 비율을 분석하여 일전환계수를 산출함

- 현재, 고속도로는 0.078, 기타도로는 0.106을 적용하고 있으나, 새로이 추정한 일전환계수는 고속도로 0.066, 기타도로는 0.072로 나타났으며, 지역별로 상이한 것으로 분석됨
- 본 과업에서는 기존 일전환계수와 새로운 일전환계수를 적용하여 신뢰도 검증을 수행하였으며, 그 결과 기존 일전환계수를 적용한 경우가 신뢰도가 더욱 좋은 것으로 나타났음
- 현재 새로운 일전환계수를 적용하기에는 한계가 있어 추후 보다 많은 교통량 자료를 이용하여 일전환계수에 대한 재검토 통해 적용함이 바람직함

다. 파라메타 추정 및 검증

1) 파라메타 추정 절차

- 단계 1 : 조사지점별 도로용량을 산정하고, 제한속도를 이용하여 용량대비 교통량비율(v/c ratio)과 자유 교통류 하에서의 통행시간(이하 자유통행시간) 대비 통행시간비율(t/t_0 ratio)을 산출함
- 단계 2 : 통행비용함수를 구분하고자 하는 도로유형별로 v/c 비율과 t/t_0 의 비율로 표현된 데이터를 통합함
- 단계 3 : 적절한 범위내의 통행비용함수 파라메타를 추정하기 위해 기상상황(비, 눈 등), 선형불량, 공사/사고 등 비반복혼잡원인 등에 의한 이상치 자료를 제거함
- 단계 4 : 우선적으로 이상치를 제거한 v/c 비율 vs. $\frac{t}{t_0}$ 비율의 그래프를 이용하여 각 도로유형별로 오차를 최소화하는 α , β 값을 추정함 (관측치와 추정치간 오차를 최소화하는 최적화기법 적용)
- 단계 5 : 도로유형별로 높은 등급과 낮은 등급간 v/c 비율 변화에 따른 $\frac{t}{t_0}$ 비율이 역전 현상이 발생하는지를 검토하고, 역전현상이 발생하는 경우에 가장 합리적인 통행비용함수를 추정한 도로등급을 기준으로 역전현상이 발생하지 않는 범위내에서 통행시간의 추정치와 관측치간 오차를 최소화하는 파라메타를 다시 추정함

- 단계 6 : 추정된 통행비용함수에 대해 실제 전국 지역간 O/D 및 네트워크를 이용하여 기존 통행비용함수에 비해 어느 정도 신뢰성이 개선되는지를 검증하고 추정된 통행비용함수의 개선여부를 결정함
- 상수항이 없는 회귀모형식 추정하는 문제로 오차를 최소화하는 α , β 값을 추정하며, 이를 위해 MatLab(ver 6.5) 프로그램을 이용함

2) 추정결과

- 연속류(고속도로)는 기존 통행비용함수의 파라메타에 비해 α 값은 작아지고, β 값은 커지는 결과를 보임. 또한, 기존 통행비용함수에 비해 v/c 비율이 1.0 이하에서는 t/t_0 비율이 낮게 추정되며, 반면에 v/c 비율이 1.0 이상에서는 더욱 커지는 결과를 보임
- 준연속류의 경우, 기본으로 제공되는 BPR 기본값보다 α 는 크게, β 보다는 작은 값으로 추정됨으로써, 기존 통행시간 보다 급격하게 변하지 않고 다소 완만한 추세를 보임

3) 파라메타 검증

- 모형의 적합도를 분석하기 위해 본 과업에서는 v/c 비율에 따른 t/t_0 비율의 추정치와 관측치의 자료를 이용하여 Theil의 부등계수 및 쌍체 t 검증을 수행함
 - Theil의 부등계수를 통한 통계적 검증결과, 고속도로는 기존 VDF와 새로운 VDF와의 차이는 없지만 준연속류는 기존 VDF에 비해 새로운 VDF의 Theil의 부등계수값이 0에 가까워지는 값을 보여줌에 따라 새로운 VDF가 더 적합하다고 볼 수 있음
 - 유의수준 0.05에서 쌍체 t 검정을 한 결과, 유의성이 없는 것으로 나타난 등급은 연속류(고속도로) 2차로와 준연속류 3등급($0.7 \leq D < 1.0$)으로 나타남
- 본 과업에서 추정된 도로통행비용함수를 교통시설 타당성 분석 등 교통수요예측에 활용하기 위한 방안으로 도로통행비용함수 중 파라메타 이외의 관련변수인 자유통행속도, 도로용량 등에 근거하여 시나리오를 다양하게 설정하여 신뢰도 검증을 수행함
 - 기존의 VDF와 수정된 VDF를 파라메타(개별 및 통합 파라메타), 고속도로 용량, 속도(제한속도, 설계속도)에 따라 시나리오화하여 분석함
 - 최단 통행시간 검증에서는 세로축인 서울-광주간과 서남축인 서울-부산 통행시간이 기존 VDF 보다는 현실성 있게 나왔음

- 기존의 VDF를 적용하는 경우, 신호간선도로의 통행시간이 과소추정되기 때문에 장거리통행의 경우 고속도로 → 신호간선도로 → 고속도로의 경로 선택이 다수 발생하는 문제가 발생하였지만, 새로이 추정된 VDF를 적용하는 경우 이와 같은 문제를 개선함에 따라 경로선택에 있어서 기존 VDF에 비해 합리적으로 수행됨

2. 철도통행비용함수

- 본 과업에서는 철도통행비용함수를 수정 보완하여 KTX와 일반철도에 대해 배정 통행량을 관측 통행량의 오차범위 내에서 정산할 수 있는지 여부를 파악함으로써 추후 국가교통DB에서 철도O/D 구축방향을 설정코자 함
- 현재는 철도O/D를 통합하여 구축하고 있는데, 이를 KTX와 일반철도를 분리하여 구축하는 것이 바람직한지에 대해 검토함
- 최초출발지 및 도착지 기반 철도O/D, 통합네트워크를 이용한 존 세분화를 수행하여 철도역별 승하차인원을 정산하는 방안을 제안함
 - 현재 존 세분화와 더불어 존 센트로이드와 철도역간 커넥터를 조정하여 철도역별 승하차인원을 정산하고 있는데, 존 세분화 후 통합네트워크에 적용하고 평균 접근속도를 조정하여 철도역별 승하차인원을 정산할 필요가 있음
 - 이를 위해 국가교통DB는 최초 출발지 및 도착지 기반 철도O/D, 통합네트워크를 제공함과 동시에 존 세분화에 대한 기준 및 도로를 이용한 평균 접근속도에 대한 정산 방법 등을 제공할 필요가 있음
 - 최초 출발지에서 도로를 이용한 철도역까지의 평균 접근속도는 승용차, 버스, 택시, 도보 등 다양한 수단의 평균값으로 정의될 수 있으며, 통합네트워크의 도로부문 도로 통행속도를 평균접근속도로 적용할 수 있음
 - 이용자는 철도역별 승하차 인원을 정산하기 위해 통합네트워크의 도로부문 보행속도를 일정범위(예: 4km/h ~ 30km/h) 내에서 조정하여 영향권 내 승하차 인원의 관측치와 추정치를 최소화하는 값을 선택하는 방안을 적용할 수 있음
- 철도 전체O/D를 철도네트워크에 배정시 발생하는 KTX 과다 배정문제를 보완하기 위한 연구를 수행한 결과,

- 철도 수단별 통행비용을 산출하는 과정에서 KTX, 일반철도, 도시철도의 요금수준에 따른 영향을 반영하기 위해 기존 통행비용함수를 보완함
- 수단별 요금에 대한 파라메타인 γ 를 추정하여 통행비용함수에 반영한 결과, KTX와 일반철도의 배정 통행량과 실제 수송실적을 정산하기에 한계가 있는 것으로 분석됨
- 통행배정에 큰 영향을 미치는 배차간격(headway)의 값을 실제 값으로 적용하지 않고 KTX와 일반철도간 동일한 값으로 적용하여 조금씩 변화시킨 결과, 경부선의 일반철도가 KTX보다 많은 통행량이 배정되는 등 기존의 배정결과와 역전되는 현상이 발생하고 있으나, 수송실적과는 큰 차이가 발생하는 것으로 분석됨
- 기존에 제공되고 있는 철도 전체O/D에 기반하여 철도 네트워크 및 통행비용함수를 개선한다고 할지라도 현재 문제가 되고 있는 KTX와 일반철도간 정산문제를 해결하기에는 한계가 있는 것으로 판단함
- 추후, 국가교통DB는 전국 여객O/D 구축시 철도 O/D는 KTX, 일반철도, 도시철도 O/D를 별도로 구축하여 이용자에게 제공하는 방안이 바람직할 것으로 판단됨
- 최근, KTX는 항공과 경쟁수단으로 적용되는 것이 바람직하며, 일반철도와 도시철도 등과 차별화되어 구축될 필요가 있다는 의견이 제기됨
- 국가교통DB는 KTX, 일반철도, 도시철도O/D를 개별적으로 구축할 경우, 철도 수단간 통행특성을 조사하여 수단분담모형을 구축, 제공할 필요가 있음

제2절 향후 연구과제

1. 도로통행비용함수 적용방안

가. 단기 적용방안

- 본 과업에서는 단속류 구간(신호교차로간 거리가 1km 이하인 구간)을 제외한 고속도로 및 준연속류 도로유형에 대한 도로통행비용함수를 추정함
- 새로이 추정된 도로통행비용함수를 적용하여 신뢰도 검증을 수행한 결과, 기존 도로통행비용함수에 비해 합리적인 교통수요 예측이 가능한 것으로 나타남
- 따라서, 본 과업의 성과물인 도로통행비용함수를 교통시설 투자평가 및 교통수요예측에 단기에 활용하기 위해서는 준연속류의 최하위 레벨인 도로유형(신호교차로간 거리가 1km이사, 1.4km 이하)의 통행비용함수를 단속류에 적용하는 방안을 제안함
- 현재 교통시설물 조사시 전국 단위의 신호등 조사가 시행되지 않았기 때문에 우선적으로 2개 이상의 도로가 교차하는 교차점을 신호교차로로 가정하여 해당 링크별 도로유형을 설정하는 방안을 제안함
- 추후, 단속류 도로구간의 교통량 및 통행속도 조사를 통하여 새로운 통행비용함수가 구축될 경우, 투자평가지침에 적용하는 도로통행비용함수를 갱신하는 방안을 제안함

나. 단속류 도로유형의 교통조사 및 통행비용함수 구축

- 당초 본 과업 수행시 단속류 구간은 수도권 교통본부에서 수행하는 도로통행비용함수 구축 결과를 적용하고자 하였으나, 수도권 교통본부에서 수행한 단속류 통행비용함수의 교통량 및 속도조사방법이 본 과업과 상이하여 전국 여객O/D에 활용하기에는 무리가 있을 것으로 판단됨
- 따라서, 단속류 도로유형에 대한 교통량 및 통행속도조사 등을 수행하여 도로유형을 세분화하고 통행비용함수를 구축할 필요가 있음
- 교통분석용 네트워크에서 링크별 도로유형을 선정하기 위해 전국 단위의 신호등 조사를 수행할 필요가 있음

2. 용량산정 및 일전환계수

- 본 과업에서 분석한 차로수별 용량과 차로영향계수는 기존 연구결과와 일부 제한된 고속도로 교통류 자료를 분석하여 결정된 것으로써 고속도로 노선별 차종구성비, 검지기 종류 등 여러 변수에 의해 결과가 달라질 수 있음
- 따라서, 본 과업에서 제시한 차로용량과 차로수별 용량 산정방법론을 토대로 전국적이고 신뢰성 있는 교통자료를 장기간 조사, 수집하여 종합적인 다차로 고속도로의 용량산정에 대한 연구를 수행할 필요가 있음
- 준연속류 도로시설은 연속류와 단속류 시설의 특징이 혼재된 시설로서 본 과업에서 제시한 유효녹색비율(g/C) 이외에도 준연속류 용량에 영향을 주는 요소들을 추가로 개발하여 좀 더 정확한 용량 산정방법론 개발이 필요하다고 판단됨
- 또한 현재 새로운 일전환계수를 적용하기에는 한계가 있어 추후 보다 많은 교통량 자료를 이용하여 일전환계수에 대한 재검토 통해 적용함이 바람직함

부 록

A. 본조사 지점내역

B. 참고문헌

A. 본조사 지점내역

유형번호	차로수	중앙분리대	제한속도	거리	지역
1	2	무	60	3.3	경기도 남양주시 조안면
	2	무	60	4.3	충북 청원군 남이면
	2	무	60	4.6	충북 청원군 오창읍
	2	무	60	3.6	충북 진천군 덕산면
	2	무	60	4.7	충남 당진군 당진읍
	2	무	60	7.6	경기도 여주시 가남면
	2	무	60	5	경기도 광주시 실촌읍
	2	무	60	6.3	경기도 화성시 팔탄면
	2	무	60	4.3	경기도 화성시 남양동
3	4	유	80	3.8	충남 아산시 영인면
	4	유	80	3.8	강원도 강릉시 경포동
	4	유	80	4.5	충북 진천군 초평면
	4	유	80	4.7	경남 마산시 현동
	4	유	80	5.8	충남 공주시 반포면
	4	유	80	3.5	경북 경주시
	4	유	80	3.35	전남 화순군 화순읍
	4	유	80	3.4	경남 부산 기장군 일광면
5	4	무	80	3.4	경기도 화성시 우정읍
7	2	무	60	1.7	경기도 양주시 광적면
	2	무	60	2.7	경기도 포천시 가산면
	2	무	60	2.8	경기도 포천시 일동면
	2	무	60	1.8	충북 청주시 흥덕구 강서 1동
	2	무	60	2.2	경기도 화성시 동탄면
	2	무	60	2	경기도 광주시 도척면
	2	무	60	2.7	경기도 여주군 점동면
	2	무	60	3	경기도 파주시 탄현면
	2	무	60	2.5	경기도 남양주시 와부읍
8	4	무	60	1.6	경북 경주시 불국동
	4	무	60	1.5	충남 서산시 석남동
	4	무	60	1.5	경기도 인천광역시 남동구
9	4	유	80	1.7	경기도 파주시 교하읍
	4	유	80	2.1	경기도 양평군 양서면
	4	유	80	1.6	경기도 남양주시 진전읍
	4	유	80	3	경기도 가평군 청평면
	4	유	80	3	경기도 가평군 가평읍
	4	유	80	1.5	경기도 화성시 봉담읍
	4	유	80	2	전남 순천시 해룡면
	4	유	80	1.6	경기도 광주시 초월읍
	4	유	80	1.6	경기도 화성시 남양동
	4	유	80	1.6	전남 나주시 산포면
	4	유	80	2	경남 울산광역시 북구 농소 1동

유형번호	차로수	중앙분리대	제한속도	거리	지역
10	6	유	80	2.6	충남 천안시 동남구
	8	유	80	1.8	경기 시흥시 정왕동
11	4	무	80	1.8	경기도 파주시 교하읍
	4	무	80	1.8	강원도 동해시 북평동
	4	무	80	2.35	충남 논산시 연무읍
	4	무	80	1.8	전북 완주군 이서면
13	2	무	60	1.2	경기도 김포시 김포2동
	2	무	60	1.1	경기도 남양주시 조안면
	2	무	60	1	경기도 안성시 미양면
	2	무	60	1.4	경기도 평택시 비전1동
	2	무	60	1	경기도 여주군 여주읍
	2	무	60	1	경기도 화성시 향남읍
	2	무	60	1.1	경기도 안성시 대덕면
	2	무	60	1.2	경기도 화성시 정남면
	4	무	60	1.3	전남 나주시 남평읍
	2	무	60	1	경기도 남양주시 화도읍
	2	무	60	1.2	경기도 남양주시 와부읍
	2	무	60	1.2	경기도 남양주시 와부읍
14	4	무	60	1	경기도 평택시 비전1동
	4	무	60	1.1	충남 아산시 온양6동
	4	무	60	1.1	강원도 삼척시 남양동
	4	무	60	1.1	경남 김해시 진례면
	4	무	60	1.4	경기도 용인시 역삼동
15	4	유	80	1.1	경기도 김포시 양촌면
	4	유	80	1	경기도 김포시 월곶면
	4	유	80	1	전남 순천시 해룡면
	4	유	80	1.3	경기도 광주시 송정동
	4	유	80	1.18	경기도 화성시 남양동
16	6	유	80	1.4	경기도 남양주시 금곡동
	6	유	80	1	경기도 용인시 신갈동
	6	유	80	1.4	충북 청주시 상당구
	6	유	80	1	경기도 인천 남동구 논현
17	4	무	80	1	충북 제천시 서부,영천동
	4	무	80	1.2	충남 아산시 온양4동
	4	무	80	1	충남 천안시 서북구
	4	무	80	1	경기도 양주시 양주1동
	4	무	80	1.2	경기도 시흥시 은행동
	4	무	80	1	충남 대전시 서구 관저 2동
제한속도 70km/h 구간	4	무	70	1.8	경기도 인천광역시 계양구
	4	무	70	1.1	경기도 인천광역시 계양구
	4	무	70	4.5	경기도 김포시 고촌면
	4	무	70	2.3	경기도 하남시 천현동
	6	유	70	1.8	경기도 성남시 분당구 운중동

B. 참고문헌

1. 국내 문헌

- ① 강호익, 「도로유형별 지체함수 정립과 교통배정에 미치는 영향분석, 서울대학교 대학원 박사학위 논문, 1996
- ② 강호익, 박창호, 「도로유형별 지체함수 정립에 관한 연구, 대한교통학회지 제16권 제2호, PP 117-131, 1998
- ③ 건설교통부, 「2006 도로교통량통계연보」, 2007.
- ④ 건설교통부, 「국도 설계업무 매뉴얼, 국도의 노선계획·설계지침」, 2007.
- ⑤ 건설교통부, 「도로설계편람」, 1999.12.
- ⑥ 건설교통부, 「도로용량편람」, 2002.
- ⑦ 건설교통부, 「도로의 구조·시설기준에 관한 규칙 해설 및 지침」, 2000. 3.
- ⑧ 건설교통부, 「국도 기능분류 및 효율적 투자방안 연구, 1994. 4.
- ⑨ 건설교통부, 「한국도로용량편람(KHCM)」, 2001.
- ⑩ 국토연구원, 「국도 기능분류 및 효율적 투자방안 연구」, 1999
- ⑪ 국토해양부, 「교통시설 투자평가 지침」, 2007.12
- ⑫ 김병기, 「국도기능별 통행저항함수 추정에 관한 연구, 한양대학교 환경대학원 석사학위 논문」, 2002
- ⑬ 김상구, 서영선, 「8차로 고속도로 기본구간 용량분석에 관한 연구」, 대한교통학회지, 제17권 3호, pp.87-96, 1999. 8.
- ⑭ 김한수, 「고속도로 기본구간의 차로별 용량분석에 관한 연구」, 연세대학교 석사학위논문, 2007.
- ⑮ 김한수, 「고속도로 기본구간의 차로별 용량분석에 관한 연구」, 제55회 대한교통학회 춘계학술발표회, 2007.2.
- ⑯ 박달식, 『일반국도 다차로도로 차로별 교통류특성 및 용량산정에 관한 연구(설계속도 80km/h인 도로를 중심으로)」, 2002
- ⑰ 서울시시정개발연구원, 「2005년 서울시 교통지표 산출」, 2006
- ⑱ 서울시시정개발연구원, 「대중교통체계개편에 따른 서울시 도시철도 수입금 정산모형개발」, 2005
- ⑲ 서울시시정개발연구원, 「서울시 도로기능별 정비지침에 관한 연구」, 1998

- ②⑩ 서울시정개발연구원, 「서울시 종합교통분석체계정립 및 광역통행분석」, 1999
- ②⑪ 손상훈, 최기주, 유정훈, 「대중교통 통행배정을 위한 일반화비용 추정」, 대한교통학회지 제 25권, 2007. 4
- ②⑫ 신성일, 김찬성, 이창주, 「대중교통카드자료를 활용한 수도권 도시철도 운영기관 간 수입금 정산방안」, 2008년 추계 대한교통학회 학술발표집, 2008
- ②⑬ 양창화, 손의영, 「서울시 지하철 이용객의 환승관련 변수의 가치 추정-선호의식(SP) 및 현시선호(RP) 분석을 이용」, 대한교통학회지 제 18권, 2000. 8
- ②⑭ 윤혁렬, 「용량을 고려한 대중교통 통행배정모형 구축에 관한연구」, 대한교통학회 2001년도 제39회 학술발표회논문집, pp.3-29, 2000
- ②⑮ 이의은, 「링크체증함수 및 일반화 비용함수의 적용에 관한 고찰」, 서울대학교 대학원 석사학위 논문, 1986
- ②⑯ 임용택, 「도로 통행지체함수의 파라미터 추정 및 검증」, 대한교통학회지 제26권 제 3호, 2008
- ②⑰ 장덕형, 「고속도로 통행의 지체함수와 통행저항 파라미터의 민감도 분석에 관한 연구」, 서울대학교 대학원 박사학위 논문, 1993
- ②⑱ 정준화, 문재필, 김영록, 「신호등 설치 밀도가 일반국도의 구간 통행속도에 미치는 영향분석」, 대한교통학회지, 제25권 3호, pp.19-28, 2007. 6.
- ②⑲ 주정열, 「통행배정모형의 도로용량함수 비교 및 적용에 관한 연구」, 서울대학교 대학원 석사학위 논문, 1993
- ③① 천호영, 이의은, 「지방부고속도로 기본구간의 차로별 교통류특성 및 차로별 용량 분석에 관한 연구」, 대한교통학회 1999년도 제36회 학술발표회논문집, pp.179-184, 1999. 10.
- ③② 천호영, 「지방부 고속도로 기본구간의 차로별 교통류특성분석 및 차로수 용량보정 계수 산정에 관한 연구」, 명지대학교 대학원 석사학위논문, 1999
- ③③ 최기주, 「용량저항함수의 비교분석 및 그 적용방안에 관한 연구」, 서울대학교 대학원 석사학위 논문, 1986
- ③④ 한국개발연구원, 「장항선 2단계 개량사업 예비타당성 조사」, 2008.6
- ③⑤ 한국개발연구원, 「도로·철도부문사업의 예비타당성조사 표준지침 수정. 보완연구(제4판)」, 2004
- ③⑥ 한국교통연구원, 「도시부 도로의 구조시설기준 작성 기초 연구」, 2003.
- ③⑦ 한국교통연구원, 「여객O/D 신뢰성 제고 및 첨단조사방법론 기초연구」, 2007
- ③⑧ 한국교통연구원, 「여객O/D자료의 신뢰성 제고를 위한 분석방법론 연구」, 2005

- ㉔ 한국교통연구원, 「2002년 국가교통DB구축사업 최종보고서」 제4권 제4장(장래 여객 OD예측모형 개발)
- ㉕ 한국교통연구원, 「2007년 국가교통DB구축사업」 전국 지역간 여객 기종점 통행량자료의 현행화, 2008. 4.
- ㉖ 한국도로공사, 「고속도로 Network Analysis 모형연구(Ⅱ)」, 1997.12

2. 국외 문헌

- ① Banks, J.H. "Two-Capacity Phenomenon at Freeway Bottleneck: A Basis for Ramp Metering?" Transportation Research Record 1320, pp.83 ~ 90, 1991.
- ② 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
- ③ Cohen, S.L. (2004) An approach to calibration and validation of traffic simulation models, TRB 2004 Annual meeting
- ④ Elefteriadou, A., "A Probabilistic Model of Breakdown at Freeway-Merge Junctions," Ph.D. Dissertation, Polytechnic University, 1994.
- ⑤ Elefteriadou, L, Roess, R. P., and McShane, W. R., "Probabilistic Nature of Breakdown at Freeway Merge Junctions", Transportation Research Record 1484, TRB, pp.80 ~ 89, 1995.
- ⑥ F. L. Hall and K. Agyemang-Duah, "Freeway Capacity Drop and the Definition of Capacity", TRR 1320, TRB, 1991.
- ⑦ FHWA(1997) Model Validation and Reasonableness Checking Manual, TMIP
- ⑧ FHWA(2002) Calibration and Validation, Techniques for Validating and Calibrating Travel Models, TMIP
- ⑨ Highway Capacity Manual(HCM), TRB, National Research council, 1994.
- ⑩ Highway Capacity Manual(HCM), TRB, National Research council, 2000.
- ⑪ 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
- ⑫ Hourdakis, J., P.G. Michalopoulos, J. Kottommannil (2004) A practical procedure for calibrating microscopic traffic simulation models, TRB 2004 Annual meeting

- ⑬ J. Ringert and T. Urbanik II, "Study of Freeway Bottlenecks in Texas", TRR 1398, TRB, 1993.
- ⑭ Lorenz, M. R. and Elefteriadou, L.(2001) "Defining Freeway Capacity as a Function of the Break- down Probability", 7roceedings 80th TRB Annual Meeting, TRB, Washington, D.C., USA, 2001.
- ⑮ Networks, Transportation Research 23B. No. 2, 83-102
- ⑯ Spiess H. and M. Florian(1989) Optimal Strategies : A New Assignment Model for Transit
- ⑰ Spiess, H. (1990) Conical volume-delay functions, Transportation Science Vol 24, No. 2.
- ⑱ 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.177-186
- ⑲ Travel demand modeling with TransCAD, Caliper

3. 웹 사이트

- ① 국가교통DB센터(<http://www.ktdb.go.kr>)
- ② 국토해양부(<http://www.mltm.go.kr>)
- ③ 법제처(<http://www.moleg.go.kr>)
- ④ INRO(<http://www.inro.ca/en/index.php>)
- ⑤ TransCAD(<http://www.maptitude.co.uk/transcad.htm>)