

친환경 · 지능형 도로설계 기술 개발

2010. 9.

주관연구기관 / (주)평화엔지니어링

협동연구기관 / 한국도로공사

/ 한국건설기술연구원

국 토 해 양 부

한국건설교통기술평가원

제 출 문

국토해양부장관 귀하

이 보고서를 “친환경·지능형 도로설계 기술 개발” 연구과제의 최종보고서로 제출합니다.

2010 . 9.

주관연구기관 : (주)평화엔지니어링

대표이사 : 박 수 웅

협동연구기관 : 한국도로공사

사 장 : 류 칠 호

협동연구기관 : 한국건설기술연구원

원 장 : 조 용 주

주관연구기관명 : (주)평화엔지니어링

주관연구책임자 : 박태권, 박미현, 홍윤정, 고정희

협동연구기관명 : (주)평화엔지니어링

협동연구책임자 : 김홍래

연 구 원 : 안성순, 고준근, 권오웅, 허학봉, 최네식, 이광천, 김병수,
윤미례, 이한주, 차재경, 장상훈, 김상태, 이만석, 구명재,
김경수, 배태영, 김덕진, 김현진, 김영훈, 유광준

협동연구기관명 : 한국도로공사

협동연구책임자 : 박권제

연 구 원 : 이의준, 조주기, 김석출, 이춘혁, 한기환, 조경래, 윤한수,
홍단기, 최현호, 최혁진, 백경민, 이경수, 김기환, 홍수영

협동연구기관명 : 한국건설기술연구원

협동연구책임자 : 노관섭

연 구 원 : 김용석, 조원범, 김진국, 김종민, 이종학, 김병숙, 장혜란,
추신영, 정준화, 김영복, 분재광, 이석기, 박성진, 최지영

보고서 요약서

과제고유번호	건설핵심기술 D05-01	해 당 단 계 연구 기 간	2009.5.8 ~ 2010.9.7		단 계 구 분	5차년도/ 5차년도
연구사업명	중 사업명	건설기술혁신사업				
	세부사업명					
연구과제명	대 과 제 명	친환경.지능형 도로설계 기술개발				
	세부과제명					
연구책임자	박 태 권	해당단계 참 여 연구원수	총 : 150명 내부: 69명 외부: 81명	해당단계 연구비	정부 : 3,093,000천원 기업 : 615,000천원 계 : 3,708,000천원	
		총연구기간 참 여 연구원수	총 : 291명 내부:179명 외부:112명	총연구비	정부 : 10,412,000천원 기업 : 2,543,330천원 계 : 12,955,330천원	
연구기관명 및 소 속 부 서 명	(주)평화엔지니어링 기술연구원		참여기업명		(주)평화엔지니어링, 한국도로공사, (주)평화데이타시스템, (주)바우컨선탄트, (주)홍익기술단, (주)드림이엔지	
국제공동연구	상대국명 :		상대국연구기관명 :			
위 탁 연 구	연구기관명 :		연구책임자 :			
요약				보고서면수		
도로는 국토의 균형적인 발전과 국가 및 지역 경제 활성화를 주도하는 중요한 사회간접자본 시설로써 날로 증가되는 자동차 교통을 원활하게 수용 소통 시킬 수 있는 교통망 확충이 당면 과제이며 또한 21세기 사회가 요구하는 친환경, 안전, 기능, 경제적 도로건설이 요구되고 있다. 따라서, 앞으로 건설될 도로사업은 기획단계(타당성조사 및 기본계획)에서 부터 쾌적한 도로환경이 우선되는 친환경적인 기본 컨셉에 바탕을 두고 안전성 및 경제성을 고려한 최적설계가 되어야 한다. 당 과제는 안전성, 경제성뿐만 아니라 친환경적 도로건설의 실현을 위해 「안전·친환경·지능형 도로설계 통합프로그램 연구개발」 및 미래지향적 도로설계 지침 개발을 위한 「도로시설 성능향상 기술 연구개발」을 위한 것으로 실용화 사업을 위주로 하는 핵심기술개발임.						
색 인 어 (각 5개 이상)	한 글	친환경 도로, 지능형, 통합설계 프로그램, 경제성 분석, 설계일관성				
	영 어	Environmental Friendly Road, Intelligent, Integrate Design System, Economic Efficiency Analysis, Design Consistency				

요 약 문

I. 제 목

친환경·지능형 도로설계 기술 개발

II. 연구개발의 목적 및 필요성

도로는 국가 및 지역경제를 활성화 하고, 지역과 지역, 도시와 도시를 연결해 주는 동맥과 사람과 사람을 이어주는 모세혈관과 같은 문전여행(door to door)등 국민의 삶의 질 향상에 지대한 역할을 담당하는 중요한 사회간접자본 시설이다. 또한, 도로 사업은 건설자체가 막대한 투자비를 필요로 하는 대형 공공사업인 반면에 직·간접적으로 엄청난 부가가치(수송비용 및 시간절감, 지역개발 촉진, 고용증대, 시장권 확대, 생활패턴 변화 등)를 창출한다. 따라서, 도로는 계획과 설계단계에서부터 도로 기능성, 경제성, 교통안전성, 환경성, 지역균형발전, 문화유적 보존 등 다방면으로 종합적 검토를 통하여 정밀하게 건설이 되어야 한다.

또한, 가까운 장래에 자동차 보유대수 2,200만대(현재 1,700만대) 시대가 다가오고, 녹색 국토 균형발전의 국가 목표 달성 일환으로 국토면적의 67%인 산지부 내에 풍요롭고 건강한 미래의 스마트하이웨이(Smart Highway)를 책임 있게 건설하기 위해 본 연구개발 과제는 친환경·지능형 도로설계 기술개발을 목적으로 「친환경·지능형 도로설계 및 평가 시스템」, 「LCC를 고려한 경제 분석 및 도로시설 성능향상」과 「도로안전 및 기능향상 설계기술 개발」 3개 부문을 각각의 전문 연구기관별로 심층 있게 연구하고 연구한 성과물을 상호 융합·접목하여 “안전·친환경·지능형 도로설계 통합프로그램”과 “미래 지향적 도로시설 성능향상 기술”을 개발하여 실용화 검증을 거쳐 유익하게 활용하고자 한다.

2008년 말 현재 우리나라 도로연장은 104,236km, 고속도로는 3,447km이며, 국내 여객, 화물 수송량의 90% 이상을 분담(도시 지하철 제외)하는 국가 교통망의 중추 역할을 하고 있다. 그동안 도로 투자가 많이 이루어 졌으나, 현재 도로 stock은 선진국의 1/3~1/4 수준으로 아직도 절대 부족한 상태이다.

국가 도로 정책의 목표는 2020년까지 96,000km 추가 신설하여 전국 도로망 연장

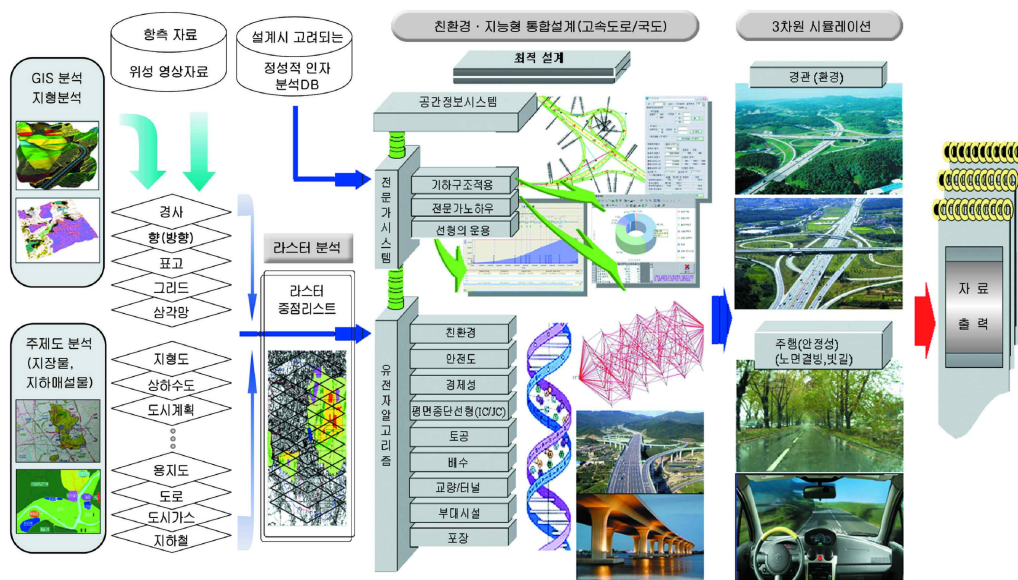
을 최소 200,000km 확충 계획이었지만 예산 제약 등으로 인해 많이 뒤지고 있는 실정이다. 급증하는 자동차 보유대수와 도로 공급의 불균형으로 교통 포화에 따른 교통 혼잡비가 2009년 기준 26조 6천억원에 이르는 것으로 보고되고 있다.

최근, 국민들의 생활수준 향상으로 인해 삶의 질에 대한 요구가 새롭고 다양하게 증가하여, 과거에는 도로를 단순 이동하는 수단으로 사용 했던 것을 만나질 생활권의 시공간(時空間) 활용도와 지정체 없는 안전하고 신속하게, 편리하고 경제적 교통 효율성을 간절히 바라는 인식이 팽배해지고 있는 반면에 자연훼손을 최소화하고 훼손된 부분은 원상복원이 빨리 될 수 있는 친환경 도로가 쾌적하고 지속가능한 환경유지 및 경제적으로 설계되고 건설될 수 있도록 만전을 기해야 한다.

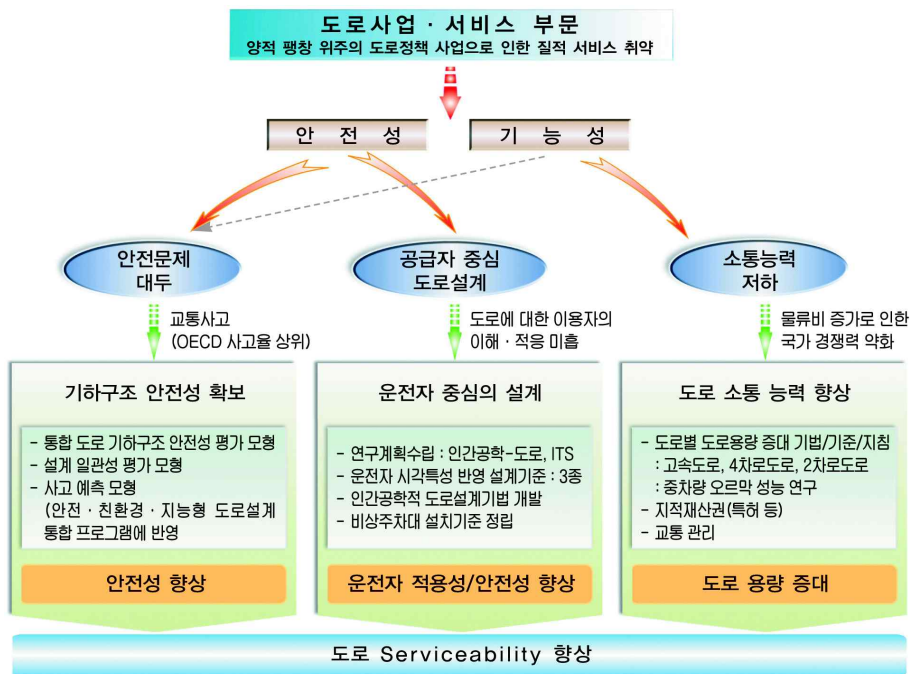
앞으로 건설될 미래 도로사업은 기획단계(타당성 조사 및 기본계획)에서부터 쾌적한 도로환경이 우선되는 친환경적인 기본 개념에 바탕을 두고 도로 주행 안전성 및 LCC를 고려한 경제성을 통합한 최적설계가 되어야 한다.

본 연구과제는 친환경 노선 최적 경로탐색 프로그램 개발에 이어 평면, 종단 선형생성 및 후보 노선 비교평가와 「GIS 분석」, 「유전자 알고리즘(Genetic Algorithm)」과 「전문가 시스템(Expert System)」 등에 의한 수만번의 반복수행을 이행함으로써 자동으로 도로선형을 생성 및 평가하는 IT기술인 지능형 도로 최적설계 시스템과 고품질의 도로건설 실현을 위해 친환경성 부분, 경제성 부분, 안전성 부분을 융합·접목·통합하여 도로설계 계획단계인 예비타당성조사, 타당성조사 및 기본설계 초기단계에서 의사결정 지원용으로 사용 가능한 「안전·친환경·지능형 도로설계 통합프로그램 개발」 및 미래지향적 도로설계 지침 개발을 위한 「도로시설 성능향상 기술 개발」을 신녹색성장 시대의 필요성에 대비하여 정부 의도에 따라 연구개발 한 것이다.

본 연구개발 과정에서 다수의 향후 추가 연구개발 과제를 도출하였으며, 친환경 지능형 도로 최적설계 시스템 개발은 녹색성장기술(GGT, Green Growth Technology)의 선도 주자 역할로 철도, 하천, 댐, 단지, 공항 등 국가 SOC 사업에도 확대 적용 될 수 있을 것이다.



[안전·친환경·지능형 도로설계 통합프로그램 개념도]



[도로안전 및 기능향상 설계기술 개발]

III. 연구개발의 내용

각 세부과제별 1-5차년도 연구내용은 다음과 같다.

● 친환경·지능형 도로설계 및 평가시스템 개발(제1세부과제)

▶ 1차년도

- 친환경 도로건설 관련 국내외 자료수집 및 분석
- 도로건설관련 정책 및 제도의 분석
- 기존의 녹지자연도 및 생태자연도의 작성 방안 등의 분석 및 문제점 도출
- 생태계서식지 분류에 따른 분류체계 및 서식처 가치평가를 통한 수치·등급화 연구의 분석
- 기존 제안된 도로 건설시 및 운영시 발생하는 생활환경 예측모델들을 수집하고 분석
- 기존의 도로 선형 설계시 선형을 제약하는 사항(control point)들을 분석하고, Eco-design을 고려한 친환경적인 요소 추가 가능성 분석
- 토양환경변수 분류 및 기존토양도자료의 획득·분석
- 토양미생물생태변수들 중 환경보전 및 복원능에 관련된 사항 도출
- 차후 도로설계예정지들 중 연구지역 선정
- 도로 배수시설 설계와 관련된 문헌의 수집 및 검토
- 국내 및 외국의 도로배수시설 설계지침 비교, 검토
- 유관 규정 또는 지침서 검토
- 기존 배수설계 기법 검토로부터 개선방향 설정
- 도로 배수유역에 적용하기 위한 강우-유출 모형 검토
- 도로배수 시험유역 선정
- 우량 및 수위 등에 대한 관측 장비의 설치 및 운영
- 기존의 수로 및 암거 설계기법을 검토하여 개선 방향을 설정
- 경사, 표고, 향 분석 모듈 개발
- 수치지형도에서 주제별 레이어 추출 모듈 개발
- GIS 기반의 도로설계용 데이터 개발
- GALib(GA Library)의 커스터마이징

- 유전자 변형 모듈 보완
- 복합유전자 처리기법 연구
- 3D 객체 모델링 모듈 개발
- 도로 형상 모델링 모듈 개발
- 터널 형식선정 모듈 개발
- 연구목적에 부합한 실제 도로설계 지역의 선정
- 선정된 데이터취득 지역에 대한 비행설계를 통해 실제 Lidar/DC 데이터의 취득

▶2차년도

- 친환경 도로건설을 위한 법제도 검토
- 친환경 도로노선 설계 프로그램 알고리즘 개발
- 자연생태 수치지도 작성기법의 적용가능성 검토
- 친환경 도로설계 대상항목 설정 및 연구
- 토양환경-미생물 생태다양성 수치지도 작성방법 개발
- 분 단위 강우강도식 개발
- 도로배수 시험유역 모니터링
- 강우-유출 모델링
- 노면배수 시설 설계를 위한 해석 모형의 개발
- 수로 및 암거 설계를 위한 전산 프로그램의 개발
- 그리드, 턴, 버퍼링 분석 모듈 개발
- 수치지형도의 무결성을 위한 보정 모듈 개발
- GIS 기반의 도로설계용 3차원 공간 정보 개발
- 전문가 지식 DB설계
- 선형설계점수 평가 방안 구축
- 선형비용점수 평가 방안 구축
- IC/JC를 고려한 선형 탐색 기법 연구
- 평면선형 탐색시 종/횡단을 동시 고려한 속도개선 기법 연구
- 3D 지형 모델링 모듈 개발
- 교차로 위치 및 형식선정 모듈 개발

- 선형 평가 지식베이스 구축
- 터널 형식선정 및 평가 모듈 개발
- 교량형식 선정 모듈 개발
- 경제성분석 모듈 개발
- 항공 LiDAR 측량 및 디지털 카메라 데이터 처리
- 기타 도로설계지원 GIS 데이터 확보(항공사진, 위성영상, 수치지도 등)
- 기존 침하량 산정기법 분석
- 연약지반 관련 DB구축
- 연약점성토 성분분석
- 연약지반 모형실험 수행 및 결과분석

▶ 3차년도

- 환경친화적인 도로의 Control Point 설정기준 및 절차 제시
- 환경친화적인 도로 노선 선정 및 환경평가(CAD 기반의)프로그램 개발
- 친환경 도로노선 설계를 위한 환경성 평가 항목 검토 및 수정
- 친환경 도로노선 설계 프로그램 알고리즘 개발
- 자연생태수치지도 작성기법의 적용 가능성 검토
- 토양생태등급의 신뢰성 검증
- 자연생태수치지도와의 접목화
- 표토층 토양의 복원 및 관리방안 연구
- 전국에 대한 분 단위 강우 강도식 개발 : 1단계
- 표면 박류 유출 모형 수립 및 보완 : 2단계
- 노면배수 설계 프로그램 보완
- 각종 수로 및 암거의 단면규격 산정 프로그램의 개발 및 보완
- 측구, 도수로, 수로암거에 대한 신규 프로그램 현장 적용성 연구
- 도로 주변 지표 및 계곡별 강수량과 노면수량의 합류지점 위치 선정 및 배수시설 설계방안 연구
- 도로 주변 지표 및 계곡별 배수설계 프로그램 개발
- 침하량 계산에 필요한 산정기법 및 압밀정수 평가

- 압밀시험을 통한 1차압밀 종료시점 분석
- 연약지반 계층자료 수집 및 분석
- 침하량 산정에 필요한 압밀정수 경험식 제안
- 2차압밀을 포함한 압밀침하량 산정기법 개발

▶ 4차년도

- 환경 친화적인 도로노선대 선정 및 환경평가 프로그램 검증
- 평가항목 가중치 사용자 의사결정 서브프로그램 개발
- 친환경 도로노선 선정 알고리즘 검증 적용방안
- 자연생태수치지도 작성기법 적용방안
- 전국에 대한 분단위 강우강도식 개발 (2단계)
- 각종 수로의 설계 프로그램 개발 (2단계)
- 도로 배수설계 프로그램 적용성 검토
- 개발 배수설계 프로그램의 GUI 구축 및 GIS 연계 방향 설정

▶ 5차년도

- 친환경 도로노선대 선정 알고리즘의 실용검증
- 통합프로그램과의 알고리즘 연계방안 도출
- 도로배수시설 설계프로그램 통합 및 실용화
- 도로배수설계지침 개선안 작성
- 선형 최적화를 위한 선형 생성 및 통합평가 모듈 개발
- 친환경·지능형 최적설계시스템 개발(모듈 및 인터페이스 통합)
- 친환경 도로노선 평가 모듈 개발
- 최적 노선의 3차원 주행 시뮬레이션 개발
- 도로 선형 분석 프로그램 개발
- 교차로, 교량, 터널 형식 선정 프로그램 개발
- 도로노선의 경제성분석 프로그램 개발
- 도로 기하구조의 안전성 평가 프로그램 개발
- 프로그램 검증 및 실용화 연구

● LCC를 고려한 경제성분석 및 도로시설물 성능향상(제2세부과제)

▶ 1차년도

- 국내·외 도로관련 경제성분석 지침연구
- 경제성분석 관련 연구논문 고찰
- 사례연구를 통한 경제성분석 프로그램 알고리즘 기본골격 정립
- 도로노선 가치분석 및 LCC분석 관련 국내외 기술동향 분석
- 사용 LCC분석 S/W Bench-marking
- 국내 도로노선 실무설계 및 보강설계 자료 조사
- 도로노선 가치분석 및 LCC분석을 위한 설문조사 수행 및 분석
- 국내외 산지부 도로 설계기준 및 연구 환경 분석
- 휴게소 기능향상을 위한 기초 연구
- 내풍설계기준의 분석 검토
- 내풍안전 설계기준의 정립

▶ 2차년도

- 통행시간 절감편익 계량화 방안 모색
- 도로노선 가치분석 및 LCC분석을 위한 DB구축
- 도로노선 가치분석 및 LCC분석을 위한 단위모델 개발
- 초고속 설계속도의 수준 채택
- 지하구조 적정성을 위한 자료 분석 및 기초 연구
- 횡단구성 적용을 위한 자료 분석 및 기초 연구
- 현장조사를 통한 미국의 초고속도로에 대한 연구내용 조사 및 시설물 조사와 정리
- 고속도로 16개노선 및 2003~2005년 교통사고자료 수집
- 선형 상관관계 조합을 위한 사고율 분석
- 교차로 위치 및 형식 선정 알고리즘 개발
- 터널 연장, 도로 특성, 환기 및 방재에 따른 단면 등 터널형식 설계 분석
- 설계 흐름 분석을 통하여 터널 형식 선정 알고리즘 작성
- 교량형식 선정 설계요소별 알고리즘 개발 및 시연품 제작

- 단위프로그램 개발 지원
- 산지부 도로설계에 대한 해외 설계기준 비교 분석 및 검토
- 산지부 도로설계요소의 프로토타입 설정
- 산지부 선형 설계 방안 제시
- 휴게소 유형 분류, 유형별 도입 기능 설정 및 분석
- 휴게소간 적정 배치 간격 기준 연구
- 휴게소 규모 산정 기법 및 기준 연구
- 정보시설물의 해석모델 선정을 통한 내풍안전성 해석
- 정보시설물의 기술개발 모델에 대한 풍동실험 및 기존 시설물에 대한 문제점, 개선사항 도출
- 중앙분리대 설치현황 및 조사분석
- 교통사고 인자별 DB구축
- 기존 중분대의 시공성, 공용성 등 검토
- 환경성을 고려한 중분대 형식 제안

▶ 3차년도

- 도로노선 가치분석 및 LCC 분석을 위한 소프트웨어 개발
- B/C 분석에서 투입되는 유지관리 COST 분석 제시
- 산지부 도로선형 설계 방안 제시
- 휴게소 관련 법규 정비 방안 제시
- 기존 휴게소 활성화 방안 수립
- 미래형 휴게소 모델 정립 및 적용
- 산지부 특성을 고려한 선형설계 기법 정립
- 개발된 휴게소 모델 적용
- 내풍안전성 해석
- 내풍안전성 신기술 개발
- 풍동실험
- 중분대 차량 충돌시 탑승자의 안전성 검토
- 중분대 충돌차량의 진행방향 복원성 분석

- 중분대 2차 사고 억제 및 물적피해 최소화 검토
- 지역별 노선별 중분대 설치기준 및 설계 적용 방안 설정
- 도로설계 표준화 및 설계자료의 DB 방안 제시
- 유지관리를 감안한 중분대 개선방안 제안
- 개선 중분대 설치효과 검토
- 중분대 신기술 개발 및 추진방향 제시

▶4차년도

- 국도 노선 분석을 위한 자료 수집
- 국도 도로노선의 LCC 분석을 위한 단위 비용 알고리즘 개발

▶5차년도

- 도로노선의 유지관리 특성을 고려한 경제성 분석 프로그램 개발
- 도로노선의 유지관리 특성을 고려한 경제성 분석 프로그램 지침서 개발
- 사례 적용을 통한 적용성 및 향후 연구 성과물의 활용방안 제시
- 도로선형 분석항목(선형설계 checklist) 개발
- 교차로, 터널, 교량 형식선정 절차 정립
- 도로안전 및 정보시설물의 내풍안전성 해석 및 설계기술개발 종합 정리
- 강제형 Open Box 중앙분리대의 가드레일 적용성 검토
- 강제형 가드레일 설계지침 설정

● 도로안전 및 기능향상 설계기술 개발(제3세부과제)

▶1차년도

- 도로기하구조 안전성 연구 및 설계 일관성 평가 모형 구축 방안 연구
- 통합 프로그램 연계를 위한 알고리즘 구축방안 연구
- 도로설계기법 관련 인간공학적 요소 정립 기본 연구 수행
- ITS에서의 인간공학적 고려요소의 연구개발 계획 수립
- 인간공학적 도로설계의 기본 이론 정립
- 운전자 특성을 고려한 도로설계의 현안 문제 해결 기법 개발

- 도로표지의 안내지명 표기방법에 대한 지침
- 도로시설(인터체인지, 터널, 휴게소)간의 적정 간격에 대한 지침
- 비상주차대 적정 길이 및 간격에 대한 지침
- 운전자 시각 특성을 고려한 감속유도 기법 개발
- PG/SER 개념의 인간공학적 도로설계 기법 개발

▶ 2차년도

- 설계 일관성 평가모형 구축을 위한 현장조사
- 설계 일관성 평가모형 구축 연구
- 설계 일관성 평가 알고리즘 구축
- 통합프로그램 연계를 위한 알고리즘 구축방안 연구
- 우리나라에서의 인간공학적 도로설계 기본요소의 정립연구 수행과 이론 체계화
- 도로 방향표지에 대한 현장관측실험 및 도로주행시뮬레이터 실험 수행
- 도로표지의 안내지명 표기방법에 대한 지침(안) 마련
- 비상주차대 시설 및 교통사고 특성 연구
- 고속도로와 지방부 일반도로 연결부 용량증대 방안 도출
- 고속도로와 도시간선도로 연결부 용량증대 방안 도출
- 4차로도로 용량 제약요인 분석 및 개선방향 설정
- 4차로도로 단로부(중앙선 및 노측)의 용량증대 방안 마련

▶ 3차년도

- 사고 예측모형 개발
- 도로 시설간 적정 간격 연구
- 비상주차대 시설의 특성 연구 및 지침 정립
- 4차로 도로 용량 증대 방안
- 2차로 도로 용량 증대 방안

▶ 4차년도

- 사고예측모형 개발(자료수집 및 분석)

- 도로시설 조건에 따른 운전자 시각 및 행동특성 연구
- 운전자 시각 특성을 고려한 감속유도 기법 개발
- 도로용량 증대를 위한 도로시설 개선기술 개발
 - : 4차로도로 교차부, 2차로도로 구간/축, 2차로도로 교차부

▶ 5차년도

- 사고예측모형 개발(알고리즘 개발)
- 사고예측모형 검증 및 보완
- 설계 일관성 평가 모형과 사고 예측 모형을 반영한 통합 도로 기하구조 안전성 평가 모형 개발
- 통합 도로 기하구조 안전성 평가 모형 실무활용 연구
- PG(Positive Guidance)개념의 인간공학적 도로설계 기법 개발
- 도로의 적극적 안내기법 관련한 인간공학적 특성 연구
- 도로시설간(휴게소/IC)의 적정 간격 연구
- 2차로도로 시거확보 및 개선방안 도출
- 2차로도로 추월요소와 추월 공급관계 정립
- 저속 교통류 양보형 차로 : 턴아웃, 양보차로, 오르막 차로 등
- 고속 교통류 추월형 차로 : 추월차로 개념
- 개선대안별 기준 검토/도로시설 개선 실무서 작성

IV. 연구개발결과

<최종목표>

친환경 · 지능형 도로 설계기술 개발

- 안전 · 친환경 · 지능형 도로설계 통합프로그램 개발
- 도로 시설 성능 향상 기술 개발

본 연구 사업은 안전성, 경제성뿐만 아니라 환경 친화적인 도로건설의 실현과 미래 지향적인 도로설계 지침개발을 위해 위의 두 가지 최종 연구목표를 설정하였으며, 본 연구단에서의 연구를 통해 2010년에는 우리나라의 도로설계기술 수준이 선진국 대열에 진입하는 것을 목표로, 실용화 사업을 위주로 하는 핵심기술개발이다. 연구 과제를 통하여 개발된 도로설계 기술을 국내 산업계에 이전하여 국제 경쟁력을 향상시켜 고부가가치를 창출할 수 있는 기업구조로 유도하며, 개발된 기술을 도로 전 분야에 확대 적용하여 궁극적으로는 국내 도로설계기술 수준을 세계 최고 수준으로 향상 시킬 수 있는 기반을 조성한다.

각 연구과제별 연구결과는 다음과 같다.

● 친환경 · 지능형 도로설계 및 평가시스템 개발(제1세부과제)

○ 환경을 고려한 노선 · 선형설계 프로그램 개발(1세부-1)

본 연구의 1차년도에서는 환경성을 정량화한 결과가 노선선정 프로그램 모듈개발에 유효하게 이용될 수 있도록, 방법론적 측면을 사전에 고찰하여 연구의 큰 틀을 설계하고 일관된 연구방향을 유지하고자 하였다. 이를 위해 문헌조사를 수행한 결과, GIS와 AHP를 결합한 노선선정 기법을 본 연구의 목적에 부합되는 가장 적합한 방법론으로 판단하였다.

따라서 GIS의 이용을 염두에 두고, AHP의 절차에 따라 친환경 도로노선 선정을 위한 평가항목 및 지표를 선정하고 가중치를 설정하였다. 친환경 도로노선 선정을 목적으로 자연환경과 생활환경으로 평가항목을 구분한 후 세부항목을 5개 설정하고 구조화 하였다. 최하위계층은 항목별로 평가지표를 설정하고 3등급 체계로 분류하였다.

이를 토대로 2차년도에서는 AHP 기법과 GIS 도면중첩기법(GIS map overlay method)를 이용한 친환경 도로노선 선정 방법론을 이용하여 알고리즘의 단계별 수행 요소들을 추출하였다. 이를 바탕으로 친환경도로노선 선정프로그램 알고리즘(안)을 개발하였다.

개발된 알고리즘(안)은 크게 두가지 요소로 구분되는데, 입력 GIS Database를 구축하는 요소와 구축된 입력 GIS Database를 이용하여 최적경로(노선)을 선정하는 요소로 구분된다. 여기서, 입력 GIS Database는 구축되어 있는 기 축적 자료와 평가항목 및 지표임에도 불구하고 축적되어 있지 않아 새로이 구축해야할 자료를 통합하여 구축하게 된다. 축적되어 있지 않는 자료로는 국가에서 연구수행 중이거나 개발이 되지 않은 정보로서 도로 노선지역에의 동식물 서식처를 정량적으로 평가하여 나타낼 자연생태수치지도 등이라 할 수 있다.

따라서 동식물의 서식처를 정량적으로 평가하기위하여 보전가치평가에 관한 사례 연구를 통해 자연성, 희귀성, 기능성으로 항목으로 나누어 평가하고 이를 주제도를 구축하여 자연생태수치지도를 작성하도록 하였다.

또한 토양환경-미생물생태다양성 수치지도 작성방법 연구에서는 먼저 동식물 위주의 생태자연도 (자연환경현황도) 등급과 대표토양시료로부터 측정된 토양미생물 생태변수 (토양미생물 중 다양성) 간의 관계를 통계적으로 분석하였다. 그 결과 생태자연도 등급과 토양생태질 간에 상관관계는 약하다는 결과를 도출할 수 있었으며, 이를 통해서 새로운 방법으로 토양생태질을 산정할 필요성이 있음을 알 수 있었다. 이를 토대로 전국규모로 획득이 가능한 지형정보자료 중 농업토양정보시스템 (ASIS)에서 토양특성정보를 토양생태질 산정에 활용하였으며, 이를 이용하여 토양 생태수치지도 작성기법을 제안하였다.

3차년도에서는 친환경 도로의 Control Point를 설정하는 기준 및 절차를 제시하는 방안을 도출하여 이를 친환경 도로노선선정기법에 이용하고자 하였고, 그 결과 기존 5개항목에서 8개항목(지형·지질, 동·식물상, 토양생태, 수질, 대기질, 소음·진동, 토지이용, 위락경관)을 확정하고 이에 대한 법제도적인 평가세향과 환경적인 평가세향을 도출하였다. 이에 따른 가중치를 AHP 기법에 따라 도출하고 이를 친환경 도로 노선 선정 프로그램 알고리즘으로 제시하였다.

설계 알고리즘은 각 항목별 가중치 부여 및 지도작성방법을 포함하고 있다.

이러한 친환경 도로노선 설계 알고리즘을 근간으로, 8개 환경성 평가항목에 대한 국가에서 제공하는 기초 데이터를 분석하여 환경 분석을 위한 주제도를 생성, 주제도에 공간분석 기능을 활용하여 설계된 도로의 환경성 평가, 환경친화적인 최적경로를 선정하기 위하여 개발하였다. 이 프로그램은 환경 데이터의 분석 및 가공, 상기의 8개 항목에 대하여 도로노선의 환경성을 평가한 후 도로선형의 환경성 분석 결과를 출력하여 비교노선 간의 환경성 평가가 가능하다. 개발한 프로그램의 주요 기능으로 평가지표 조회/수정, 평가항목별 레이어 입력 및 편집, 그리드분석, 최적 경로 탐색 및 노선평가, 환경분석결과 레포팅 등이 있다.

또한 2차년도에 제시하였던 자연생태수치지도 작성기법을 실제적으로 사례구간을 통해 수행하여 보고 그 결과를 활용하고자 하였다.

토양생태수치지도 작성방법에 대해서는 토양생태등급을 기존의 토양환경지리정보에서 예측하는 AI기법의 정확성 (accuracy)을 등급화, 알고리즘 별로 평가하였다. 그 결과 4등급화된 OPP+DT 중합 알고리즘이 가장 높은 정확성을 보이었다. 그 다음 지도작성시 통계적 안정성 (coherency)를 평가한 결과도 역시 4등급화된 OPP+DT 중합 알고리즘에서 가장 우수하였다. 이러한 연구결과를 바탕으로 토양생태수치지도 작성시 신뢰성 평가에 근거해서 인공지능알고리즘과 지도작성기법의 선정에 대한 지침을 제시할 수 있었다. 또한 친환경 도로노선선정기법에 접목화의 타당성을 위하여 토양생태의 가중치에 대한 산정에 대한 연구를 전문가 집단 대상으로 하는 설문조사인 AHP 방법과 본 연구에서 개발된 토양생태수치지도의 토양생태의 가중치 변화해 가면서 모의시험 (model simulation)을 실시하였다. 그 결과 토양생태는 전 생태요소 중 가중치가 기대한 것 보다 높게 나타났으며 (23%), 친환경도로노선 선정에 민감하게 영향을 줄 수 있었다. 이러한 본 연구결과를 통해서 무시되어 오던 토양생태가 환경영향평가에 반영할 필요가 있음을 보일 수 있었으며, 토양생태를 자연생태의 다양한 요소들과 접목화 및 지도화하여 친환경도로노선 선정에 활용하는 방안을 도출할 수 있었다.

이러한 연구결과를 토대로 4차년도에서는 친환경 도로노선 선정기법에 대한 보완을 위하여 노선이 통과 할 수 없는 회피지역의 선정 및 기준에 대한 제시와 환경적으로 보호되어야 할 법적지역들의 추가발굴을 위해 문헌에 제시된 회피 및 검토지역들과 3차년도 까지 연구된 지표와의 비교를 통하여 기존 1등급 지표 중 노선통과 불가 지역을 선정하고 이를 회피지역으로 반영 하였다.

앞서 도출한 평가항목 및 지표 (회피지역 등)을 실제 사례구간에 적용하여 보고자, AHP 기법으로 도출된 항목별 가중치를 적용한 후, 구축된 항목별 주제도를 중첩하여 최종 환경친화적인 도로노선대 선정에 위한 환경성 평가도를 기반으로 하여 환경친화적인 노선대를 생성하였다.

이렇게 구축된 사례구간을 바탕으로 노선별 환경성평가를 실시하기 위해, 구축된 항목별 환경성평가도를 이용하여 사례구간의 실제계획 노선과 친환경노선대의 평가 항목별 점수를 추출하였다. 본 연구에서 제시한 친환경 도로노선 선정기법은 노선별 환경성평가에도 유용하게 사용될 수 있을 것으로 사료된다.

또한 본 연구에서는 환경성 평가항목 및 지표의 가중치의 신뢰성을 향상시키기 위하여 AHP가 가진 약점을 보완할 수 있는 타 기법을 결합시킨 AHP 변형 알고리즘을 개발하였다. 개발된 알고리즘을 적용하여 도출된 가중치와 기존 AHP 기법만을 이용하여 도출된 가중치를 비교·분석하였다.

또한 4차년도에서는 3차년도에서 개발된 친환경 도로노선대 선정 및 환경평가 프로그램의 보완을 실시하였고, 서브프로그램인 ‘평가항목 가중치 사용자 의사결정 프로그램’을 개발하였다.

개발된 ‘평가항목 가중치 사용자 의사결정 프로그램’은 프로젝트의 특성에 따라서 기본값과 차별화된 가중치를 저장 버튼을 통하여 파일로 출력해서 ‘친환경 도로노선대 선정 및 환경평가 프로그램’에서 바로 연계해서 적용할 수 있도록 시스템화 하였다.

4차년도 연구인 자연생태수치지도 작성기법 적용방안 구상 연구에서는 기존 자연생태 수치지도 평가항목을 법제적인 요소와 생태적인 요소로 재구성 후 항목에 대한 지표를 설정 하였으며, 기능성 항목에 대한 재검토를 통하여 세부지표를 추가 발굴함으로써 기능성 항목에 대한 신뢰도를 향상시킬 수 있었다. 이렇게 수정·보완된 평가항목에 따른 주제도 구축을 위해 기 구축된 자료와 신규로 구축 되어질 자료의 현황을 파악 후 GIS 미 구축 자료 및 신규 자료에 대한 주제도를 구축 하였다. 구축된 각각의 주제도는 GIS 도면중첩분석기법(Map Overlay Analysis)을 이용하여 하나의 수치지도로 완성하였다. 또한 자연생태 수치지도 평가항목의 생태적 요소 중 기능성항목의 종유치 기능을 분석하기 위해 본 연구에서는 기존의 문헌을 바탕으로 하여 도로건설로 인해 영향을 크게 받는 종을 목표종으로 선정하고, 선정된 목표종에 대한 행동권을 설정하였다. 이렇게 작성된 자연생태수치지도는 계획노선과의 비교과정을 거쳐

높은 점수를 통과하는 지역에 대하여 생태통로 지점으로 선정하였다.

마지막 연구년도인 5차년도에서는 친환경 도로노선 선정 방법 및 성과물의 실용화를 위하여 환경성평가 점수 도출 방안을 정립하고, 이를 국내 사례구간에 적용코자 하여 5개 구간 9개 공구를 선정하여 친환경성 평가를 수행하였다.

각 지역의 환경성 평가결과 높은 환경점수의 분포가 많은 지역이 있는 반면, 넓은 지역임에도 비교적 낮은 환경점수의 분포를 보인 지역도 존재하였다. 높은 환경점수의 분포가 많은 지역은 그 지역이 그만큼 환경적으로 민감하다는 것을 간접적으로 나타내어 주며, 비교적 낮은 점수대의 분포가 많은 지역은 그만큼 도로노선의 선정이 수월한 지역이 많음을 보여준다.

[사례구역의 환경성 점수 비교]

지역(구간)		지역격자개수	E_{zone}	E_{zone} 평균	주요점수대	E_{fr}
충부권	청양~홍성	3,959,980	913,362.2	0.231	0~0.221	95.6
	용천~설악	1,440,000	554,542.2	0.385	0.259~0.507	92.7
강원권	태백~미로	6,200,000	2,559,130.1	0.413	0.385~0.544	71.0
남부권	고령~성주	3,668,618	845,621.0	0.231	0.125~0.256	97.4
	문경	668,737	168,567.4	0.252	0.146~0.343	93.0

위 표에서 보듯이 강원권의 태백~미로 구간은 면적 대비 높은 점수대의 분포가 많은 것을 볼 수 있다. 태백산맥과 인접해 있는 태백~미로 구간은 환경적으로 매우 민감하기 때문에 도로노선 선정 및 도로건설시 각별히 유의해야 할 것이다.

또한 계획노선의 환경적 영향도를 평가할 수 있는 친환경도에 대하여 각 구역의 노선별로 비교하여 보면, 태백~미로 구간외 나머지 구간은 비교적 친환경도가 90% 이상으로 높게 산출되어 계획노선이 환경친화적으로 설계되었음을 확인 할 수 있었다. 태백~미로 구간의 노선은 가장 낮은 71.0%로 산출되었는데, 이는 지역의 환경적 민감도와 무관하지 않은 것으로 사료되며, 이 지역에 계획된 노선은 환경적인 훼손을 방지하며, 훼손에 대한 저감방안을 계획하며 도로건설을 수행하여야 할 것이다.

또한 본 연구의 최종목적인 통합프로그램과의 연계방안을 다음과 같이 도출하였다.

- | |
|--|
| 1단계: 환경을 고려한 친환경 도로노선대(도로요소 미포함) 도출
2단계: 환경만을 고려한 선형(도로요소 포함)을 우선적으로 도출하여
설계자에게 환경성 정보 제공
3단계: 친환경 선형을 고려하면서 통과불가 지역 설정
4단계: 경제성 위주의 선형 도출
5단계: 2단계 및 3단계 반복 수행 후, 서너개의 대안도출
6단계: 친환경 선형을 포함한 대안중에서 환경점수, 공사비를
종합적으로 고려하여 사용자가 최종안 결정 |
|--|

자연생태수치지도 작성방안 연구의 5차년도 연구는 4차년도까지 제시되었던 작성방안을 검토해보고 이를 보완하는 연구를 수행하였다. 그 결과를 토대로 ‘자연생태수치지도(서식처평가 지도)작성 매뉴얼’(안)을 제안하였다.

○ 배수시설 설계기술 개발(1세부-2)

1차년도의 연구개발 결과로는, 국내 도로 배수시설 설계 현황 검토, 외국의 도로 배수시설 설계지침 검토, 유관 규정 및 지침서 검토, 기존 설계 현황의 문제점 및 개선방향 설정, 강우-유출 모형 검토, 도로배수 시험구역의 선정 및 운영, 수로 및 암거 설계기법 개선의 결과를 도출하였으며, 2차년에는, 우선 기 개발된 분 단위 강우강도식 및 시 단위 강우자료를 분 단위 자료로 분해하는 기법을 검토하고, 서울 지점에 대한 강우강도-지속시간-재현기간(I-D-F) 곡선 및 분 단위 강우강도식 개발하였다. 섬강 도로배수 시험구역의 강우, 수위 및 유량을 관측하고, 수위-유량 관계곡선식을 유도하였으며, 이를 이용하여 합성단위도법(SCS, Synder, Clark 방법)의 매개변수 추정하였다. 강우-유출 모델링으로서 운동파 모형을 이용하여 지표면 요소의 흐름 모형, 하나의 지표면 요소와 주수로 요소의 흐름 모형, 그리고 두 지표면 요소와 주수로 요소의 흐름 모형을 각각 수립하였다. 노면배수 시설설계를 위한 전산모형은 강우 지속시간이 도달시간과 같아지는 임계지속시간을 고려하여 설계강우를 결정한다. 배수시설의 수로 흐름에 있어서는 등류 해석을 기반으로 한 경우와 부등류 해석을 기반으로 한 경우를 고려하여 두 가지 모형을 수립하였다. 수립된 두 모형은 임의로 설정된 노면배수 시설체계에 적용하고 등류 및 부등류 해석에 따른 설계 결과를 비교하였다. 아울러 수로의 종단경사에 따른 설계 결과를

비교·검토하였다. 수로 및 암거 설계를 위한 전산 프로그램을 수립하기 위한 설계 절차를 설정하였으며, 설계 모형에 포함될 부등류 해석을 기반으로 한 수로 흐름 해석을 위한 알고리즘을 우선적으로 수립하였다.

3차년도의 연구개발 결과로는, 중부지역 소재의 분단위 및 시단위 강우자료를 수집하고, 분단위 자료의 공간상관구조를 분석하여 분단위 자료를 직접 빈도해석하여 강우강도식을 유도할 수 있는지를 파악하였다. 가용한 분단위 강우자료가 없는 지점에 대하여 2차년도에 제안된 Random Cascade 모형을 시단위 강우자료에 적용하여 I-D-F 관계곡선 및 분단위 강우강도식을 유도하였다. 2차년도에 개발된 표면 박류 유출 해석 모형이 도로배수 유역과 같이 도달시간이 짧은 유역의 유출을 더 정확하게 모의할 수 있도록 모형을 수정하였다. 수정된 모형을 HEC-1 모형과 비교하고, Volume conservation을 확인하여 검증하였다. 그 후 임계지속시간의 개념을 반영하여 설계홍수량을 결정할 수 있도록 표면 박류 유출 모형을 수정하였다.

2차년도에 개발된 4가지 설계방법에 따른 노면배수 시설의 설계 프로그램을 도로배수 설계 실무자들의 의견을 수렴 및 반영하여 각 프로그램을 수정 및 보완하고, 실시설계의 결과와 비교·검토하였다. 수리학적으로 짧은 길이를 갖는 암거의 흐름을 더 정확하게 모의하기 위하여 암거의 개수로 흐름을 부등류로 해석하는 프로그램을 개발하고, Culvert Master와 비교하여 프로그램을 검증하였다. 국내 실무에서 사용되는 수로암거 및 횡단배수관의 표준도를 대상으로 암거의 단면규격을 산정할 수 있는 프로그램을 개발하였다. 또한, 4가지 유형의 수로 시설물을 선택하여 부등류 해석을 기반으로 하고 임계지속시간을 고려하지 않은 경우와 고려하는 두 가지 설계방법에 대한 전산 프로그램을 개발하고 모형을 적용하였다. 한편, 산지 계곡부 홍수량 산정에 관한 국내·외 기술 동향을 조사하고, 적용 가능한 모형들을 검토하였으며, 산지 계곡부 홍수량 산정을 위한 알고리즘의 핵심 구성 요소를 제안하였다. 4차년에는, 전국에 대한 분단위 강우강도식 개발의 완료를 목표로 3차년도에 수행된 중부지역에 대한 분단위 강우강도식 개발 연구에 이어 남부지역을 대상으로 분단위 강우강도식을 개발하였는데, 남부지역에 소재한 강우관측소의 분단위 및 시단위 강우자료를 수집하여 분석하고, 분단위 강우자료의 질을 검토하여 필요하다면 자료를 보정하고 이상치를 제거하였다. 분단위 강우자료가 없거나 가용하지 않은 경우 Random Cascade 모형을 적용하여 시단위 강우자료를 분해하여 1분 단위 강우자료를 생산하였고, 가공된 분단위 강우자료를 직접 빈도해석하여 분

단위 I-D-F 관계 및 분단위 강우강도식을 유도하였다. 남부지역에 소재한 강우 관측소 지점에 대한 분단위 강우강도식을 유도하는 것을 완료하고, 중부지역과 남부지역에 대하여 개발된 분단위 강우강도식을 전국으로 공간 확장하였다. 3차년도에 개발된 도로배수 설계 프로그램인 노면배수 설계 프로그램, 표면 박류 유출 모형, 암거의 단면 규격 산정 프로그램, 각종 수로의 설계 프로그램(V형측구 및 산마루측구, 소단측구, 절토부를 포함한 노면배수시설)을 기반으로 4차년도에는 배수계통을 고려하여 각종 수로의 설계가 가능하도록 하였다. 즉, 배수계통을 설정하여 상류측에 설치되는 배수시설물들의 해석을 기반으로 하류측에 있는 배수시설들의 설계가 가능하도록 프로그램을 개발하였다. 이 때 선행적으로 기개발된 프로그램들을 실시 설계된 도로배수 시설물에 적용하고 수정 및 보완하였고, 필요한 경우 추가적으로 설계 및 해석 프로그램을 개발하였다. 각 설계 프로그램들은 ‘도로배수 설계기술의 개발’ 연구의 핵심 기술인 부등류 해석을 기반으로 하고 임계지속시간을 고려한 설계가 가능하도록 개발되었다. 또한, 국내 중부지역 7개 도로 건설 공사 현장을 대상으로 하여 개발 완료된 프로그램들의 설계 실무 적용성 검토를 수행하였으며, 도로 배수설계 프로그램의 최종 사용자인 설계 실무자들의 편의를 위하여 GUI를 구축하였다.

마지막으로 5차년도의 연구개발 결과로는, 도로 배수설계 프로그램 통합 및 실용화를 위하여 i) 배수계통을 고려한 프로그램의 현장 적용성을 검토하고, ii) 도로 배수계통을 13가지 경우로 확장하였으며, iii) GIS 정보를 이용한 유역면적 및 집수위치 선정 관련 연구동향의 분석과, iv) 유역면적·합류지점·집수위치 선정 알고리즘을 개발하였고, 도로 배수설계 지침 및 프로그램 매뉴얼 작성을 위하여 i) 도로 설계편람의 배수편의 개정안을 작성하고, ii) 도로배수시설 설계 및 유지관리 지침의 수리·수문 분야 개정안을 작성하였으며, iii) 도로배수설계 프로그램의 매뉴얼을 작성하였다.

○ 지능형 도로 통합설계 프로그램 개발(1세부-3)

1. 지능형 도로 통합설계 프로그램 개발

도로설계를 함에 있어서 최적의 선형(평면·종단 선형, 횡단면 구성, 구조물 형식

등 포함)을 찾아낸다는 것은 매우 중요한 일이며, 현실적으로 볼 때 최적이라고 여겨지는 것 일 뿐, 실제로 그 선형이 최적인지는 확신 할 수가 없는 것이 사실이다.

이에 컴퓨터를 이용한 도로 최적 선형을 구하는 방법을 모색하게 되었다. 도로 선형 설계에 영향을 미치는 수많은 요소들을 정량화된 데이터로 변환하고, 이를 컴퓨터의 빠른 연산을 통해 수많은 선형을 탐색 후 평가하여 객관적인 선형을 도출해내고, 이를 3차원 시뮬레이션으로 확인하여 가상현실을 이용하여 검토 하고자 한다.

본 연구에서는 선형 설계에 영향을 미치는 각 평가 요소 기술들을 정립하고 효과적인 입력 자료 분석과 3차원 도로 주행 시뮬레이션을 위한 모델링 작업, 효율적인 탐색이론 등을 연구하여 정보기술을 이용한 최적 선형 도출 방안을 검토하였다. 지형·공간 정보 분석 시스템의 효과적이고 빠른 분석을 위하여 삼각 모듈 개선 작업을 통하여 성능 향상을 이루었다. 또한 공간 분석에서 핵심이랄 수 있는 버퍼링 분석 모듈과 그리드 분석 모듈을 자체 연구 및 제작하여 수행 시간 단축, 시스템 안정성 향상, 분석 시스템 자원에 대한 효율적인 이용 등 많은 성능상의 향상이 있었다.

본 연구의 성공의 관건이라고 볼 수 있는 탐색이론에 있어서는 유전자 알고리즘을 이용한 도로 최적 선형 탐색을 선형 생성, 선형 평가, 최적 선형 도출 부분으로 구분하고 알고리즘의 적합성과 효율성만을 확인할 수 있는 PILOT프로그램을 제작하여 도로 최적 선형의 각 부분에 적합한 유전연산자 재구성을 위한 기반기술을 구축하였다.

3차원 도로 주행 시뮬레이션 개발을 구동하기 위한 3차원 개발 요소를 지형, 도로, 지형+도로 합성과 같이 3부분으로 나누고, 요소 별 구성요소를 분석 정의하여 3차원 모델링 기법과 자료 구조를 체계화 하였고, 많은 데이터를 빠르고 효율적으로 적용하기 위해 최신 LOD(Level Of Detail) 기법을 적용한 3차원 도로경관 시뮬레이션을 개발하였다.

도로 설계에 필요한 공사비 및 유지보수 산정을 위한 평가 요소를 교차로 형식 선정 및 평가, 터널형식 선정 및 평가, 교량형식 선정 및 평가, 생애주기비용 통한 유지보수비 산정과 같이 4가지로 구분하여 이와 관련한 연구내용을 해당 연구기

관과의 회의를 통해 각 평가 요소별 평가 프로그램을 개발하였다.

도로시설 관련 규정 세부 연구기관에서 제시한 연구 항목별 세부 내용을 적용하여 도로노선의 정량적인 평가 자료를 제공할 수 있도록 개발하였다.

환경성 평가를 위하여 친환경 도로노선 평가를 해당 연구기관과의 공동연구를 통하여 프로그램을 개발하였으며 이를 통하여 환경에 대한 평가 점수를 제공하였다.

안전성 평가를 위하여 사고예측모형과 설계일관성 모형을 연구기관과의 회의를 통해 프로그램을 개발하여 설계된 기하구조에 따른 사고건수와 설계일관성형태에 따른 점수를 제공하였다.

항공 라이다 측량 기술을 이용하여 획득된 라이다 데이터와 디지털 영상은 GIS 측량 데이터를 이용하여 노선과 주변 현황에 대하여 좀 더 정확한 정보 제공이 가능하게 되었다.

2. 단일 평가 프로그램 개발

지능형 도로 통합설계 프로그램을 구성하는 평가요소는 친환경성 평가, 공사비 평가, 안전성 평가로 구분되며 각 요소에 대한 연구 항목별 세부 내용을 각 연구기관과의 협의를 통하여 전산화를 하였다.

각 평가 모듈들은 지능형 도로 통합설계 프로그램에 접목하기 전에 연구 항목에 대한 전산화 과정을 통하여 해당 평가 모듈에 대한 개발자와 연구기관간의 의사소통을 위한 도구로써 사용되었으며, 단위 알고리즘의 검증을 위한 도구로써 사용되었다. 또한 이렇게 만들어진 단일 평가 프로그램은 그 자체만으로 단위 평가가 가능하게 되어 현업에서도 평가 목적에 맞는 단위 평가 프로그램을 선택하여 사용 가능하도록 하였다.

○ 연약지반구간 잔류침하량 산정기술 개발(1세부-4)

본 연구에서는 실무에서 간편하고 정도 높게 연약점성토의 침하량을 산정할 수 있는 기법을 개발하기 위해 소성지수와 압밀하중재하기간이 시간-침하관계에 미치는 영향을 파악하고 이에 따른 침하특성, 압밀계수특성, 압축지수 및 2차 압축지수 특성, 간극수압특성을 분석하였다. 또한 개발된 압축지수, 압밀계수, 2차압축지수

등의 제안식의 유용성을 검증하고자 탄소성 구성모델인 수정 Cam-Clay 모델과 탄·점소성 구성모델인 Sekiguchi 모델을 이용하여 수치해석한 결과와 비교하였으며, 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 압밀계수와 2차 압축지수를 소성지수와 선행하중이후의 하중관계로 정식화한 결과 $C_v = 0.0135 - 0.0001PI - 0.001P$ 와 $C_\alpha = 0.1134 + 0.0035PI - 0.013P$ 를 얻었다.
- (2) 압축지수는 소성지수가 증가함에 따라 선형적으로 증가하며 이 관계를 정식화하면 $C_c = 0.2983 + 0.0025 \cdot PI$ 이고, 일정 하중에 대해서는 소성지수가 변한다 하더라도 C_α/C_c 는 0.0356으로 일정하다.
- (3) 과잉간극수압은 가해진 하중의 80~85%가 발생한 것을 볼 수 있으며 소성지수가 작은 경우가 큰 경우보다 최고점에 도달하는 시간이 더 지연되는 것을 볼 수 있다.
- (4) 하중 재하시간을 달리 재하 한 경우 과잉간극수압의 완전 소산 시간과 1차 압밀 종료 시간은 하중 재하 시간이 1일인 경우가 가장 잘 일치한다. 그러므로 2차 압축지수는 재하기간 1일에서 얻은 값을 사용하는 것이 가장 합리적이다.
- (5) 압밀계수 결정시 $\log t$ 법은 $\sqrt{t}$ 법 보다 과대평가되는 것을 알 수 있으며, 이 식을 정식화하면 $c_v(\log t) = 0.06904 + 0.000042PI - 0.79024c_v(\sqrt{t})$ 이다.
- (6) 정식화한 식을 이용한 Terzaghi의 1차원 압밀식의 유용성을 비교 검증하기 위하여 수정 Cam-Clay 모델과 Sekiguchi 모델을 이용하여 모형시험 결과를 예측한 결과 Sekiguchi 모델과 함께 매우 정도 높게 예측하고 있음을 확인 할 수 있다.

● LCC를 고려한 경제성분석 및 도로시설물 성능향상(제2세부과제)

○ VE/LCC를 고려한 도로노선의 경제성분석 기법 개발(2세부-1)

본 연구는 VE/LCC를 고려한 도로노선의 경제성 분석 기법을 개발하기 위해 이루어졌으며, 교량 이외의 포장, 터널, 사면 등에 대한 조사를 수행하였다.

사면의 경우는 현재까지도 많은 연구가 이루어 지지 않는 분야이므로 추후 사면의 LCC 연구에 많은 기여를 할 것이라 생각한다.

또한, 예비타당성분석에서 쓰이고 있는 비용모델의 분석 및 연구를 통해 현재 적용되고 있는 KDI 모델에 대한 수정, 개선사항을 발견하고 이를 반영하기 위해 유지관리 단위비용 모델을 제시하였다.

이를 통해 도로 유지관리비 산정 모델 개발 및 지침서를 개발하여 비용분석의 기준을 구축하였다.

일반국도에 대한 유지관리특성을 조사하였으며, 국도유지관리 실 자료에 근거하여 LCC 차원의 유지관리 관련 단위 비용 및 주기들에 대한 비용 분석을 수행하였다.

이는 현재 국도에 대한 유지관리 특성을 파악한 연구가 미흡한 현실에서, 본 연구를 통해 현재까지의 관련현황 및 자료 등에 대한 조사가 수행되어 보다 발전적인 단계로의 진전이 예상된다.

또한, 이를 바탕으로 고속국도 및 일반국도의 유지관리비에 대한 경제성분석 프로그램을 개발하여, 지속적인 데이터베이스의 업그레이드를 통해 도로최적노선 결정을 위한 결정적인 Tool로서의 역할 수행이 가능할 것으로 사료된다.

○ 도로설계 알고리즘 개발(2세부-2)

● 선형설계 Check List 개발

평면 및 종단선형 조합 기술을 개발하기 위해 현재 운행 중인 고속도로 16개 노선, 왕복3,912km 선형자료 및 2003~2005년 고속도로 사고자료 정리 분석하였다. 선형요소 중 대표적인 평면곡선반경의 경우 $R=400\sim500m$ 구간에서 사고율이 8.4건/1억대km(평균3.9건/1억대km)으로 최대였으며 종단경사의 경우는 내리막구간이 15.1건/1억

대km으로 오르막구간 9.6건/1억대km보다 높았다. 또한, 직선구간보다는 곡선구간에서 사고율이 다소 높았으며 곡선구간 중에서도 배향곡선 및 복합곡선에서의 사고율이 높았다. 이러한 연구를 통하여 선형설계 Check List 및 단위프로그램이 개발되었다.

• 교차로 형식선정 기법 개발

현행 교차로 설계과정의 분석을 통해 교차로 형식 선정 알고리즘을 개발하였으며 그 흐름을 보면 수치지형, 설계조건, 주변현황, 교통량 분석결과 등 설계관련 자료를 입력하고 각 방향별 직결, 준직결 루프를 다양하게 설치하여 각각에 대해 한국개발연구원 평가지침을 활용한 편익과 토공 공사비, 교량 공사비, 용지보상비를 고려한 공사비를 산출하고 산출된 자료를 이용해서 가장 경제적인 교차로 형식을 선정하게 된다. 이러한 연구를 통하여 알고리즘을 정립하였고 교차로 형식 선정 단위프로그램이 개발되었다.

• 터널 형식선정 기법 개발

터널 형식 선정 알고리즘은 터널의 형식을 선정하고 사전에 터널 공사비를 산출하여 경제성을 검토함으로써 데이터베이스화를 통해 체계적이고 효율적인 터널설계가 이루어질 수 있도록 하였다. 터널의 설계기준 및 최근 설계경향, 설계사례를 분석하여 터널계획 시 터널 형식을 결정하고, 교통조건에 따른 환기 방식 및 방재 형식을 선정하여 도로조건에 따른 표준터널단면을 선정하였다. 갯문형식 및 갯구위치는 갯구부 지형 및 지질조건을 고려하여 선정하였으며, 지역 및 암종 분석에 따른 지보패턴 및 굴착방식을 결정하여 터널 공사비를 산출하였으며, 이렇게 개발된 알고리즘을 통해 터널 형식 선정 단위프로그램이 개발되었다.

• 교량 형식선정 기법 개발

교량형식 선정 과정을 살펴보면 평면 및 종단선형, 시중점, 적용경간장, 최소경간장, 다리밑공간 등의 조건을 검토하여 교량연장, 최소지간장, 경간구성을 결정한 후 선택 가능한 교량형식을 선정하며 이 형식들 중에서 경제성, 기능성, 미관 등을 고려하여 최적 교량 형식을 선정하게 된다. 이러한 최소 교량 형식선정 조건을 이용하여 교량 형식선정 알고리즘 및 단위프로그램이 개발되었다.

○ 산지부 도로선형 설계 방안(2세부-3)

본 연구는 산지부 도로선형설계의 기능향상을 위한 설계방안 연구로서 우리나라의 산지부가 가지고 있는 지형적이고 환경적인 특성 분석을 통해 산지부에 맞는 선형 설계기준을 정립하는 것이 그 목표이다. 이를 위해 총 3차년도에 걸쳐 산지부 정의, 평면선형, 종단선형, 평면선형과 종단선형의 조합으로 나누어 연구를 진행하였으며 최종적인 연구 결과물인 “산지부 도로 선형설계 기술서”를 제작 및 배포함으로써 실제 도로 설계 실무자들이 적극 활용이 가능토록 하였다.

1. 산지부의 정의

우리나라는 그동안 사회기반시설로서 도로 역할을 중시하여 이 부문에 매년 대규모 예산을 투입했다. 그 결과, 개발이 용이한 평탄지를 중심으로 국가 기간 도로망 체계를 상당한 수준을 확보하였다. 그러나 꾸준히 증가하고 있는 도로교통수요로 인하여 앞으로 지속적인 도로망 건설이 필요하며, 산지부와 같이 도로 건설시 고비용이 수반하는 지형에서 친환경적이며 효율적인 개발을 해야 하는 과제를 안고 있다.

이러한 지형은 도로 설계속도 결정단계에서 고려되어야 할 중요한 입력변수이다. 그럼에도 불구하고 현재 도로설계기준상에는 지형구분을 위한 명확하고 객관적인 판단기준이 제시되어 있지 않기 때문에, 설계속도가 부정확하게 결정될 수도 있다.

본 연구는 지형구분의 필요성에 대해 인지하고 고도 및 경사를 기준으로 그룹화하고 그룹 간 주행속도 유의성 분석결과를 토대로 평지, 구릉지, 산지로 우리나라 지형을 구분하였다. 본 연구 결과는 도로건설시 도로가 통과하는 지역의 지형적 특성을 반영할 수 있는 하나의 지표가 될 것이며, 도로 설계 실무자가 지형을 분류할 때 사용할 수 있는 보조기준이 될 수 있다.

2. 평면선형

우리나라에서 도로 평면선형 설계를 위해 도로설계속도 개념을 사용하고 있다. 도로설계속도 개념은 단 한 개 도로설계속도를 사용하기 때문에 도로 기하구조 수준이 일정해진다는 강점을 갖고 있으나, 도로 건설 후 그 도로를 주행하는 실제 차량 속도가 설계속도와 달리 나타날 수 있다는 약점을 갖고 있기도 하다. 본 연구에서는 이

약점을 보완하기 위해, 이미 여러 나라에서 사용 중인 주행속도 예측모형에 근거한 평면 선형설계기법을 제안한다. 본 연구에서는 이를 위해 우리나라 전역의 일반국도를 대상으로 표본을 선택하여 차량 속도조사를 수행했고, 속도에 영향을 미치는 도로 설계요소를 통계분석을 통해 선정하여 양방향 2차로와 4차로 일반국도에 대한 차량 주행속도 모형을 제시했으며, 그 모형을 도로 평면선형설계에 적용하는 과정을 제시했다. 한편 새로운 기법에 대한 유효성을 밝히기 위한 실제 사례분석에서 새로운 기법은 기존 기법이 갖고 있는 약점을 해소하는 것으로 밝혀졌다. 본 연구에서 제안한 평면선형 설계기법을 적용하면 도로 투자 효율성이 높아지고, 더 높은 설계일관성을 확보할 수 있을 것으로 판단한다.

3. 종단선형

도로의 최대종단경사는 차량의 등판능력에 좌우된다. 과거에 비해 차량의 성능이 좋아질수록 도로의 최대종단경사는 조정될 수 있다. 하지만, 미국(AASHTO, 1990, 2004)에서는 설계기준트럭이 300lb/hp에서 200lb/hp로 성능이 상승했음에도 불구하고, 적용되는 최대 종단경사는 거의 변화가 없다. 따라서, 현재 차량의 성능을 고려한 최대종단경사의 조정의 검토가 필요한 실정이다. 특히 국내의 지형은 산악지가 많고, 험준한 지역이 많으므로 최대종단경사의 검토는 절실하다.

본 연구에서는 교통시뮬레이션 프로그램을 이용하여 차량의 성능향상에 따른 새로운 트럭 성능곡선을 토대로 최대종단경사를 판단한 결과 1~2% 정도 종단경사 완화가 가능한 것으로 판단하였다. 이러한 연구결과는 최대 종단경사 뿐만 아니라 종단선형의 여러 제원요소의 변화에도 영향이 있다.

4. 평면선형과 종단선형의 조합

평면선형과 종단선형의 조합에 관련한 연구는 산지부 도로설계 기법과 함께 맞물려 삽도의 형태로 “산지부 도로 선형설계 기술서”에 제시하였다.. 이 연구는 산지부 도로의 계획과 설계의 균형 잡힌 접근을 통해 안전을 증진시키고 대중의 기호를 만족시킬 수 있을 뿐만 아니라 도로가 통과하는 지역에서 소음, 진동, 공해 그리고 경관의 침해 등과 같은 부정적인 영향을 줄이는데 그 목적이 있다.

5. 산지부도로선형설계기술서

산지부 도로를 설계하는데 있어 기하구조와 관련된 본 기술서는 안전하고 효율적인 친환경 산지부 도로설계를 달성하기 위해 이용한다. 그에 따라 본 기술서에서는 GIS Data를 기반으로 국내 지형을 분류한 결과와 산지부 도로의 지형적, 환경적, 교통적 특성을 분석결과를 수록하였다. 또한, 도로의 특성상 곡선형 설계가 많이 발생함에 따라 평면선형설계에 대한 분석과 차량 성능을 고려한 종단선형 설계를 검토한 결과를 제시하였다. 그리고 평면선형과 종단선형의 조합사례 제시, 경관설계기법, 특수조건(강설, 바람 등)상의 도로설계, 도로 건설시 활용 가능한 관련법제 검토 등의 연구 결과를 제시함으로써 학술적이면서 동시에 실무활용이 가능한 기술서가 되도록 하였다.

○ 선진한국형 휴게소 기술개발(2세부-4)

- 휴게시설개선 및 세부기능향상방안

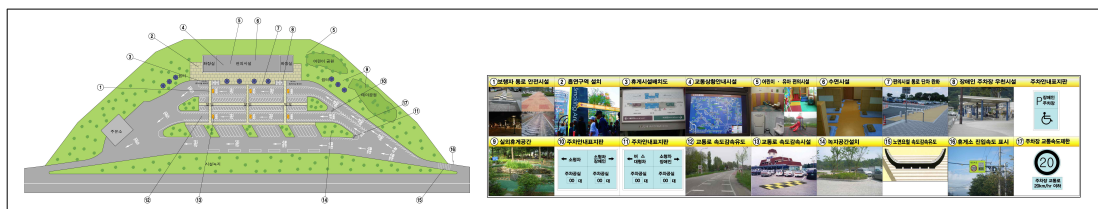
세부기능향상방안은 휴게소 진입차량의 속도저감유도시설, 주차장 보행자 통행 안전시설 등 안전측면과, 휴게소 주차혼잡과 주차안내시설, 실시간 교통상황의 정보제공 측면과, 노약자 및 고령자 이용편의를 고려한 편리측면을 모색하였다.

<휴게시설개선 및 기능향상방안>

안전시설 (Safety)	● 교통동선 속도저감 방안 - 시각적 효과 노면 도색 처리 - 과속방지턱 시설 - 속도표지판 시설 - 출입로 노면요철 시설 ● 주차장내 보행자 통로 확보 - 보행자 안전통행로 설치 - 표지병, 칼라블록, 야간조명등 설치, 시인성 강화시설 설치 - 보행자구간 결빙방지시설 설치 ● 응급처치 시설 - 가벼운 상해나 질병발생 대처
------------------	---

정보시설 (Information)	- 주차안내시설 - 휴게소 주차상황 안내시설 - 주차장 주차공간상황 안내표지판 - 장애인전용 주차구역 안내표지판 - 교통정보 안내시설 - 실시간 교통상황 및 정보제공 - 휴게시설 배치안내도 - 휴게시설 배치안내도 설치 이용률 제고
편리시설 (Convenience)	- 고령자 및 노약자 이동 편의시설 증대 - 편의시설 출입경로 단차 완화 - 주차구획면적 확대 - 승용차 대형화 추세 주차면적 협소 - 일반승용차 주차구획 폭 2.7m, 길이 5.2m 이상 권장 - 장애인 주차구획 폭 4.0m, 길이 5.2m 이상 권장 - 주차장내 녹지 공간 조성 - 쾌적하고 심적 안정공간 요소 제공 - 수면실 설치 - 피로로 인한 교통사고 예방 - 화장실 배치는 양쪽 분리형 추구 - 혼잡완화 및 편의시설 휴식환경 증대 - 유아수유 및 세면실, 어린이방 설치 - 유아동승자 편의제공 - 장애인 주차 구역에 케노피 설치 - 비나 눈이 내릴시 이용불편 해소

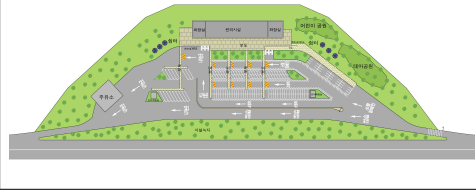
● 세부기능향상 배치안



● 주차장 교통안전 고려 배치안

- 차종별 주차구역을 분리하여 이용자를 분산함으로써 편의시설 이용 혼잡해소와, 승·하차 휴게장소 이동거리를 최소화하여 주차장에서의 보행자와 차량간 교통상충저감.	
--	--

- 주차장 진입동선을 차종별로 분리하고 대형 차량 주차구역을 좌측전면에 배치하여 소형차 교통동선에서 보행자와 차량간 교통상충을 최소화 함.



- 지역연계휴게소

지역연계 휴게소란 도로이용자에게 휴식을 취하고 기본적인 욕구를 해소할 수 있는 공간을 제공하고자 하는 목적과 더불어 지자체나 지역단체의 참여를 통한 해당 지역의 관문 역할을 접목시켜 도로이용자와 해당지역 주민들 간에 교류가 이뤄질 수 있는 기능을 보유한 휴게소를 의미한다.

지역연계휴게소의 착안은 점차 더해가는 지방의 공동화 해소와 여가활동 인구증가로 인한 관광다변화 마련, 도로변 불법판매시설의 대체시설과 지역경제 기여를 위한 기능을 휴게소와 연계하여 상호 활성화 하는 방안이다.

- 도로이용자의 휴식장소 제공
 - 휴식장소 제공 및 생리적 욕구 해소
- 지역 진흥 및 지역경제 활성화 기여
 - 도농간 교류 창구 역할
 - 지역 농특산물 판매 장소 제공
 - 지역농산물 홍보 지원
- 지역관광자원 연계 및 정보제공으로 지역관광 진흥 활성화 기여
 - 자연생태 관광 휴양시설 연계
 - 농어촌 관광 휴양시설 연계
 - 지역관광시설 홍보
- 지역 활성화 시설 및 주민공동 편의이용시설을 휴게소에 확대 적용, 휴게소를 거점으로 지역교류 증대
 - 마을회관 등 마을공동이용시설

- 연계시설설치 관련법률

지역연계휴게소의 활성화를 위해서는 제도적 보완이 필요하며 연구구상단계이므로 현재 마련된 관련제도를 모색하여 활용방안을 살펴보았다. 아래 열거한 관련 법률은 개발휴게소와 연계 가능한 시설을 담고 있다.

- 농지법
- 농어촌정비법
- 산림문화 · 휴양에 관한 법률
- 산림자원의 조성 및 관리에 관한 법률
- 산지관리법
- 개발제한구역의 지정 및 관리에 관한 특별법
- 자연환경보전법
- 관광진흥법
- 농촌 진흥법

○ 도로안전 정보시설물의 내풍안전성해석 및 설계기술개발(2세부-5)

도로안전 정보시설물의 내풍안전성 해석 및 설계기술개발을 위한 주요 연구결과는 다음과 같다.

1. 도로표지판 지지구조물 검토 및 개선방안 검토
 - 가. 용접치수 검토에 의한 개선
 - 나. 피로응력 검토에 의한 개선
 - 다. 허용응력 검토에 의한 개선
2. 도로표지판 지지구조물의 내풍안전성 신기술의 개발
 - 가. 전단구조를 사용한 회전식 도로정보시설물
 - 나. 도로정보시설물의 전도방지 장치
 - 다. 도로정보시설물의 응력분산 장치
3. 도로전광표지판 지지구조물의 내풍안전성 신기술의 개발
 - 가. 사방향 수평재 보강 및 케이블 보강 의한 내민식 도로전광표지판 지지구조물의 동적진동에 대한 안전성 개선
 - 나. VMS의 항력계수 저감방안
4. 도로정보시설물의 설계조건 개선제안

○ 중앙분리대 설계기준 및 신기술 개발(2세부-6)

5차 년도에 걸친 최종연구 결과물인 도로환경인자 분석, 중앙분리대 신기술 개발, 표준도 작성 및 설계 표준화를 통하여 안전한 교통상황의 보장과 도로설계 결과물의 품질을 향상시킬 수 있다. 또한, 체계적이고 안전한 설계가 가능하게 됨으로서 국가 물류비용 및 교통사고에 대한 비용 절감과 국가 대외신인도 상승에 의한 경제·산업적 효과 증대가 기대된다. 여러 분야의 공학적 설계원리 및 Database구축과 이를 활용한 도로 안전 시스템 설계 기술을 개선하여 도로설계 분야의 기술 개발을 확대하고, 교통사고 위험을 예방하여 이에 따른 경제적 손실을 최소화하는데 기여할 수 있다.

● 도로안전 및 기능향상 설계기술 개발(제3세부과제)

○ 도로 선형설계 안전성 평가 기술 개발(3세부-1)

본 연구는 도로 선형설계를 시행 시에 적용이 가능한 선형설계 안전성 평가 방안을 제시한 것이다. 본 연구는 주행속도 기반 안전성 평가와 사고예측모형 기반 안전성 평가를 이용했다. 주행속도 기반 안전성 평가는 운전자가 도로를 주행하면서 크게 속도를 변화시키는 것이 사고의 원인이 될 수 있다고 전제한 것이며 사고예측모형은 실제 발생한 사고결과를 이용해 귀납적으로 도로 시설 설계의 위험성을 평가하는 것이다.

본 연구는 주행속도 기반 선형 설계 일관성 평가모형을 개발하기 위해 광범위한 현장조사를 수행하였으며 평면선형과 종단선형의 조합조건에 상응하는 속도 예측식을 개발했다. 사고예측모형도 사고자료를 이용해서 도로 기하구조 요소의 위험도를 평가할 수 있는 모형을 개발했다. 이 두 가지 모형을 이용해서 통합적으로 도로 선형 설계의 안전성을 평가할 수 있는 모형을 개발했다. 본 연구의 특이점은 주행속도 기반 설계 일관성 평가모형에서 제시한 주행속도 관점의 도로 구분 기준을 사고예측모형 개발을 위한 동질성 구간 구분에 적용하여 상호간에 개념적 통합을 수행하고, 최종 평가결과는 두 모형의 장·단점과 실무 활용 측면을 감안하여 설계 일관성 평가모형을 주요 지표로 사고예측모형 결과는 보조지표로 제시하였다.

○ 이용자 중심의 도로설계 기법개선 연구(3세부-2)

① 인간공학적 도로설계기법 개발을 위한 기초연구 수행

- 본 과제의 전체 수행을 위한 기초연구 수행은 인간공학적 도로설계의 기본 이론 정립과 ITS 도로시설과 관련한 도로이용자의 요소와 특성을 정립하였다. 또한 현안문제로 대두된 사항의 개선 연구를 위하여 연차별 수행 연구를 설정하였다.

② 도로표지의 안내지명 표기방법에 대한 지침 정립

- 지침(안) 마련을 위해서 시뮬레이션(플래시) 실험과 도로주행 시뮬레이터 실험이 이루어졌다. 시뮬레이션 실험 결과는 피험자들의 반응정확성에 대한 실험에서 도로 안내표지상의 표기 지명 수가 증가함에 따라 피험자들의 예측 오류발생률은 꾸준히 증가하는 패턴을 보였다. 그리고 도로주행 시뮬레이션에서 가장 이상적인 표기 지명의 수는 4개까지가 적절할 것으로 나타났다. 시뮬레이터 실험에서는 지명개수가 증가할수록 판독소요시간은 95% 신뢰도 범위 안에 들어왔기 때문에 통계적으로는 유의하지만 설명력(Adjusted R Square)이 다소 떨어졌으며, 연령대별 분석에서는 연령이 증가할수록 판독소요시간이 0.106초 씩 증가하였다. 그리고 Logistic Model을 이용하여 지명개수에 따른 오독률을 분석한 결과, 5%미만의 오독률을 고려하였을 때 지명개수는 6개가 가장 적당한 것으로 나타났으며, 고령자의 경우는 지명개수가 4개 이하가 가장 바람직한 것으로 나타났다.

③ 도로시설간(인터체인지/터널)의 적정 간격에 대한 지침 정립

- 터널출구와 인터체인지 변이구간(감속차로 시점)까지의 적정 길이에 대한 지침 정립에 대한 토대를 마련하였다. 이를 위해서 도로주행시뮬레이터를 이용하고 다양한 연령층(20대~70대)이 실험에 참여하였다. 연구내용으로는 판독소요시간, 차로변경시간, 이격거리에 따른 속도변화에 대한 통계적 유의성을 검증하였다. 그 결과 설계속도가 80km/h 인 일반국도의 터널출구와 인터체인지 변이구간(감속차로 시점) 적정 길이는 조도순응시간이 3초인 경우에 최소값이 500m 이상이 바람직한 것으로 나타났다.

④ 비상주차대 설계 지침 정립

- 기존의 비상주차대에 관한 국내 기준과 해외의 설치 사례를 검토하여 현실에 맞는 기준을 도출하였다. 연구 방법으로는 문헌 고찰을 통한 설계 기준의 검토와 현장 조사, 외국의 자료 조사 등을 수행하였다. 또한 차종 별 특성, 주행 특성을 고려하여 설계 속도 별 비상주차대 규격을 제안하였고 설치 간격, 설치 장소 등을 연구하기 위하여 광범위한 설문 조사를 실시하였으며 도로 이용자, 도로 관리자 및 도로 전문가들의 의견을 조사하고 분석하였다. 분석결과, 비상주차대의 설치 간격은 기존에는 도로의 등급에 관계없이 모두 750m로 되어 있는데 새로운 기준에는 고속도로 3km, 일반 국도 및 도시 고속도로 2km, 기타도로 1.5km, 터널 및 교량 구간은 750m로 구분하여 제시하였다.

⑤ 운전자 시각 특성을 고려한 감속유도 기법 개발

- 기법별 속도효과 검증 관련하여, 신뢰도 범위 90%에서 Peripheral Transverse LineⅡ구간의 속도감속효과가 가장 좋은 것으로 나타났다. 연령별 속도감속 효과 분석(절대적 비교)에서는 30대의 경우만 신뢰도 범위 90%에서 Chevron Marking의 효과가 가장 적었으며, Peripheral Transverse Line Ⅱ과 Dragon's teeth구간에서 속도감속차가 통계적으로 유의한 것으로 나타났다. 기법에 따른 연령대별 속도감속 효과 분석(상대적 비교)에서는 전체적으로 살펴보면 20대 집단과 50대 이상의 집단의 속도차가 여러 구간에서 다르게 나타났다.

⑥ PG(Positive Guidance)개념의 인간공학적 도로설계 기법 개발

- 사고위험성이 높은 신호교차로 2곳을 선정하여 대상지점의 문제점 분석 및 개선 방안을 도출하였다. 선정된 구간은 시뮬레이터를 활용하여 대상구간의 현황을 재현하여 실험하였다. 이를 토대로 PG개선 전·후의 지점별 속도효과가 있는지를 검증하기 위해서 t 검증을 실시하였다. 그 결과, 개선 후에는 운전자가 정보를 충분히 제공받아 신호교차로 부근의 주행속도를 감소시키는 효과가 있는 것으로 나타났다.

⑦ 도로의 적극적 안내기법 관련한 인간공학적 특성 연구

- PG기법관련 시뮬레이터 실험을 기반으로 개선사항에 대한 만족도와 운전부하를 사용하여 개선효과에 미치는 영향에 대해 알아보았다. 만족도와 운전부하에 따른

주행속도 분석에는 t 검증을 사용하였다. 분석결과, 운전자는 정보제공적인 시설 개선에 대해 가장 만족하는 것으로 나타났다. 그리고 운전부하와 만족도 간에는 부적 상관관계가 나타났다. 도로의 구조와 선형으로 인해서 복잡한 도로보다는 단순한 도로에서 큰 효과를 나타냈다.

⑧ 도로시설간(휴게소/IC)의 적정 간격 연구

- 도로시설인 휴게소와 인터체인지 간의 이격거리에 대해 교통류의 서비스 수준과 안전, 운전자 특성, 그리고 안내표지와 관계 등을 개별적으로 검토해 보았다. 그 결과 적정 이격거리는 2.0km로 산출되었다. 본 연구결과에서의 적정 이격거리는 일반적 상황에서의 산출을 근거로 제시된 것이며, 특이조건에서는 엔지니어의 판단에 근거하여 적절한 판단을 하는 것이 필요하다. 또한 적정 이격거리가 2.0km보다 작은 경우, 엔지니어의 판단 하에 적극적 안내기법을 활용한 적절한 대책을 강구할 필요가 있다.

○ 도로시설개선에 의한 효율적 도로운용 기술개발(3세부-3)

○ 본 연구에서는 고속도로, 4차로도로, 2차로도로를 연구의 공간적 범위로 설정하고, 각 도로 종류별로 도로의 효율적 운용에 문제가 있는 구간을 단로부, 교차부, 축구간으로 세분하여 도로의 효율적 운용을 위한 개선방안을 검토하였다.

1. 고속도로

○ 고속도로의 비효율적 운용이 나타나는 이유는, 도로의 기하구조 및 급증하는 수요로 인해 발생하게 된다. 이에 대한 문제 해결을 위해 고속도로 본선, 고속도로와 지방부 일반도로 연결구간, 고속도로와 도시간선도로 연결구간에 대한 개선 대안을 제시하였다.

○ 고속도로 본선 구간은 본선 접속부(합류부와 분류부), 도로 공사구간의 교통류 처리방안, 짧은 IC 구간, 길어깨 임시활용 방안을 검토하였다.

○ 고속도로와 지방부 일반도로 연결구간은 고속도로 진출부와 영업소 구간, 영업소 광장부, 일반도로 접속부 교차형식, 영업소와 교차로 이격거리, 일반도로 교차부의 신

호운영 및 차로 통행방법, 일반도로 교차로의 새로운 IC형식을 제안하였다

- o 고속도로와 도시간선도로 연결구간은 고속도로 본선과 연결로, 연결로와 도시간선도로구간으로 구분하여 설계 및 운영 측면의 개선대안을 다양하게 제시하였다.

2. 4차로도로

- o 4차로도로의 효율적 운용을 저해하는 요인으로서는 빈번한 교차로 및 접근로, 비효율적인 교차로의 교통류 처리가 원인이라고 할 수 있다.

- o 4차로도로 단로부에 대해서는 중앙선 측과 노측으로 구분하여 개선 대안을 제시하였다. 중앙선 측은 단순 중앙선 절취에 따른 문제점 등을 검토하였고, 노측에 대해서는 접근로의 설치가 교차로에 미치는 영향 등을 검토하여, 교차로로부터 접근로까지의 적정 이격거리 등을 제시하였다.

- o 4차로도로 교차부에 대해서는, 새로운 형식의 교차로(superstreet, Roundabout, Bow-tie 등)의 국내 적용성을 검토하였고, 좌회전 차로에 대해서는 좌회전 교통류를 효율적으로 처리할 수 있는 방안을 제시하였다. 아울러 우회전차로에 대해서는 기존의 설계 방법과 최근 Slip Lane 이라는 형태의 우회전 차로에 대해 교통류 소통 효과를 비교 분석하였다. 또한 교차로에서 우회전 감속차로의 길이를 교통량 수준에 따라 제시하였다. 여기에 우리나라에서 흔히 볼 수 있는 2점형 다이아몬드 인터체인지의 효율적 신호운영 방안을 함께 제시하였다. 마지막으로 교차부 접근부에서부터 교차로까지 도안된 노면표시를 전방 교차부의 전용 회전차로 설치 여부를 쉽게 알 수 있게 하는 방안을 제시하였다.

- o 4차로도로 측구간에 대해서는, 측 구간의 신호운영 개선을 통한 효율적 도로 운용 방안과 양방향 교대 좌회전 방식을 국내에 맞게 적용할 수 있는 개념을 제안하였다.

3. 2차로도로

- o 2차로도로의 효율적 운용을 방해하는 요인은 추월기회의 제한으로 볼 수 있다. 추월기회와 관련된 요인으로서는 시거와 추월기회 제공방안이 있는데, 본 연구에서는 이와 관련된 내용을 검토하였다.

- o 2차로도로의 시거는 85m 이하일 경우, 영향이 큰 것으로 나타났다.

- o 2차로도로의 추월기회 제공을 위해 추월수요와 공급의 관계를 검토하였다. 검토결과, 양방향 교통량이 800vph까지는 추월 가능구간을 제공하는 것이 좋고, 1200vph까

지는 추월차로 구간을 설치하는 것이 바람직한 것으로 나타났다.

o 2차로도로의 추월기회 제공을 위해 단로부에 저속 교통류 양보형 차로와 고속 교통류 추월형 차로 설치 효과를 검토하였다. 일반적으로 저속 교통류 양보형 차로는 100% 추월 금지구간에 비해 약 10% 이상의 지체 저감효과가 있는 것으로 분석되었고, 고속 교통류 추월형 차로가 저속 교통류 양보형 차로에 비해 약 2%의 개선효과가 있는 것으로 분석되었다.

- 단로부에 설치될 부가차로는 적정 구간길이가 교통량 4,000 ~ 7,300대/일 기준으로 약 1~1.5km로 분석되었고, 적정 설치 간격은 5~10km(주요 읍·면 등 구간이 5~10km 구간에는 방향별로 1개소가 반드시 필요)로 제시하였다.

o 2차로도로 교차부에서는 좌회전 차로 설치 기준을 제시하였고, 좌회전 교통류 대기로 인해 직진 교통류가 경험하게 되는 지체를 저감시키기 위한 대안을 마련하였다.

o 2차로도로 측구간에 대해서는 불법 좌회전 및 U-턴의 문제를 해결하기 위하여 회전 교통류를 통합적으로 처리할 수 있는 방안을 제시하였다.

V. 연구개발결과의 활용계획

○ 안전·친환경·지능형 도로설계 통합프로그램

본 연구개발의 결과는 계획단계(예비타당성조사, 타당성조사) 및 기본설계시 다양한 분야의 주관적 평가를 객관적 기준으로 대체함으로써 더 발전된 도로설계 기준 및 설계자동화에 활용할 수 있을 것이며, 환경을 고려한 합리적이고 과학적인 도로설계가 가능할 것으로 판단되어 개발과 보전의 조화를 이루어 지속가능한 개발을 가능케 할 것이다. 또한, 21세기 스마트 도로에 적용할 수 있는 첨단기술을 고려한 미래형 도로설계 기준의 정립으로 도로기술에서 선진국과의 비교우위를 점유하여 국가적 및 국제적인 경쟁력 향상을 기함과 동시에 기술의 해외 수출에 기여할 수 있을 것이다.

- 도로공사 발주기관 - 도로 건설사업의 계획 단계에서 도로 건설에 대한 과학적인 타당성 분석과 설계 발주시 설계용역회사에 설계 성과물에 대한 지침 수립에 활용 할 수 있으며, 설계용역회사에서 만든 설계 성과물에 대한 기술적, 경제·사회적인 분석 등을 통해 성공적인 도로건설사업의 중요한 도구로 활용한다.
- 설계용역회사 - 도로 설계시 고려해야 할 다양한 요소들을 체계적으로 분석하여 도로설계 업무를 체계화함으로써, 도로 설계 업무 효율을 증진시키며, 전문가 시스템의 다양한 정보와 지식을 활용하여 고품질의 성과품을 생산한다.

또한, 본 연구는 여러 연구기관이 함께 연구를 진행하는 연구단급 연구로서 연구가 후반 시점에서 단위프로그램이 발생하기 시작하여 연구 종료시점에서는 연구 성과물의 성격이 현업에서 활용이 될 수 있는 단계에 이르게 된다. 따라서, 본 연구에서는 연구 개발 과정에서 발생하는 각종 성과품들의 각종 사양 및 정보 그리고 내용들을 모듈화 하고, '지능형 도로 통합설계 프로그램'의 데이터 구축을 현재 시점에서 가장 범용적으로 사용되고 있는 데이터베이스 프로그램을 선정하여 활용하고 데이터 구조를 공개해, 타 시스템과의 호환성을 보장함으로써 본 연구 결과물에 대한 추가연구 개발이나, 기업화를 지원한다.

○ 도로시설 성능향상 기술개발

본 연구결과로서 설계지침에 반영되는 연구과제는 “환경친화적인 도로 설계기법”, “수리·수문 기법을 적용한 도로 배수설계기법”, “도로 선형설계 안전성 평가기법”, “이용자 중심의 도로설계 기법 개선 연구” 등이며, 현재 각 분야별로 총 10건의 연구결과가 도로관련 지침 및 편람 개정 협의 진행 중에 있다.

개발된 연구결과들이 설계 실무에서 사용이 가능하도록 반영된다면 구체화·실용화된 설계 실무지침으로서 도로 설계 현업에서 널리 활용될 수 있을 것이다. 특히, 기본설계 및 실시설계 실무에서 활용 가능하도록 개발된 배수설계 전산 프로그램은 범용성 및 사용자 편의성을 고려하고 다양한 조건에 대하여 테스트를 거친 후 과학적이고 합리적인 설계, 손쉽고 체계적인 설계에 적용될 수 있다.

또한, 도로설계시 사용될 수 있는 다양한 요소들을 체계적으로 분석한 도로 시설물 성능향상 연구결과는 더 안전하고 편리한 도로설계를 가능토록 하여 사용자가 더욱 쾌적하고 안전하게 도로를 이용할 수 있도록 한다.

활용 대상	성과물	통합 및 분야별 단위프로그램	설계기법	설계지침	특허/신기술
도로사업 발주기관 및 유관기관		•예비 및 타당성조사, 기본설계 지원Tool •설계 검사평가시스템(모니터링)	•설계·시공시 반영 및 활용 권장 •자연생태 수치지도 제작활용(환경부) •각종 설계지침 공동 운용		
건설용역회사 및 시공사		•기본설계 및 실시설계 지원 Tool로 활용 •설계기술 응용 •설계자료데이터베이스확충 •자체연구개발 동기부여 •해외도로설계용역 참여	•설계·시공시 적용 •상용화 제품 판매(신기술, 특허)		
도로 이용자		•도로설계·시공기술 및 기법 개선 참여기회	•도로설계·시공기술 및 기법 개선 참여기회		
실용화방안		❖ 모듈 및 프로그램 시제품 보급	❖유관기관 협의 개정 ❖신기술·특허		

[연구성과품 활용 방안]

<SUMMARY>

I. Subject

Environment-Friendly & Intelligent Road Design Technology Development.

II. Objectives and Necessity

The road is one of the major infrastructures, playing important role for enhancing quality of life of people and activating national and regional economy as an artery to inter-connect cities, regions and peoples.

In addition, road projects requiring huge construction costs are no doubt generating enormous value added (reduction of transport cost and time, enhancement of regional development, higher employment, expansion of market influential areas, change of living pattern etc.) directly and indirectly.

Therefore, from the beginning i.e., plan and design stages, road should be constructed taking into deep consideration such as function, economy, traffic safety, environment, equal regional development, conservation of cultural heritage sites etc.

Road construction is usually started after obtaining every necessary permit and finalizing land compensation following pre-feasibility study, feasibility study and detailed design works. The costs for road design occupy approximately 3~5% of whole road construction costs only. Road design is, however, very important because the success or failure of the final object is determined at this stage.

Hence, special attention should be paid for safe, economical and environmentally friendly road construction during the stages of basic and detailed designs which is a basis for road design. For this, inconsistency of current design procedures should be corrected by fostering the atmosphere under which the design works are done most efficiently by design stages, developing multiple evaluation and analysis measures, and software which can handle them.

However, the current situation is that investigation method and frequency at the stage of planning and investigations, imperfect of technology, data on designs have not been established in Database, and thus causing difficulties for standardized design works due to the increased design period and costs. Further it seems to be a serious obstacle for us to perform technology transfer and technology development based on existing design related data.

In other words, algorithm for design optimization to materialize the advanced design such as substantial combination of Information Technology(IT) with roads, Smart Highway, concept expressway design like high speed expressway, possibility of new concept structural design resulting from the development of multi-functional and high performance materials is indispensable, and it is also urgent to develop expert system for maximizing road values through information.

In conclusion, the objective of this study is to develop integrated program for environmentally friendly road optimization design by mixing existing road design programs with 3D topographic map, natural environment, ecological numerical map through investigating and analyzing ecological reserves, degree of green naturality, ecosystem map and national environment map, as well as re-establishing current road construction guidelines and specifications for construction environment management for environmentally friendly road construction.

Constant facility investment on road projects to establish infrastructures are conducted these days but political, economical and social objective and reliable investment economic feasibility evaluations are highly required for these high resource consuming road construction businesses. In this study, the purpose of this study is to develop user friendly and subjective result deriving economic Efficiency Analysis program algorithm based on 「Guideline study of preliminary validity research on road construction business (3rd edition, KDI)」 and 「Investment evaluation guideline on public transportation facility development」 and separate and organize quantitative · qualitative factors to contribute in enhanced analysis

s of economic and financial standard in analysis evaluation process factors and methods for developing optimized analysis method.

This research is aimed to apply the development of algorithm over value and LCC analysis technique for invention of pro-environmental and intelligent integrated program. In addition, also its guide route is developed to facilitate staff's apprehension and practical use.

Recently, because of unsuccessful implementation of analyzing economical efficiency through VE/LCC, huge extra budget is poured to road construction which is national main operation. So, development of road route's economical efficiency analysis is necessary to reflect an orderer's value in the maximum and draw optimal efficiency rate through development of efficiency examination technique about allocation of construction budget and life cycle cost of road..

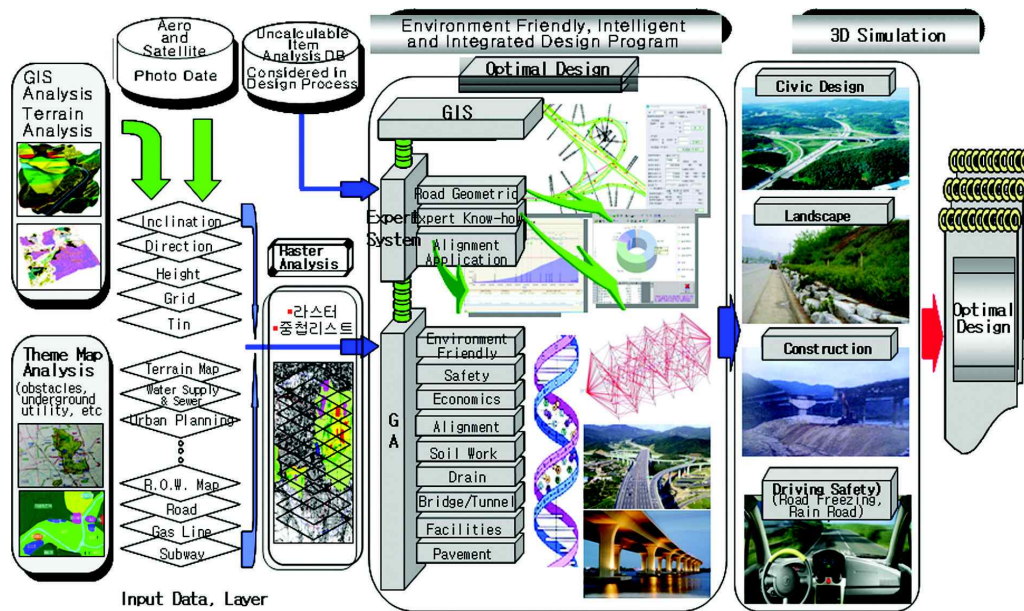
Furthermore, because of development of LCC analysis technique could be possibly applied to development of high-efficient resources and cost cut technique, it could make reexamine efficiency of whole industry .

Design of roadway is highly depending on the manual of road geometry. Anyway, design manual is not necessary ensuring the safety of roadway because it is so confined to define the individual elements of geometry. So, safety evaluation module needs to be developed in order to examine the design plans more comprehensive way.

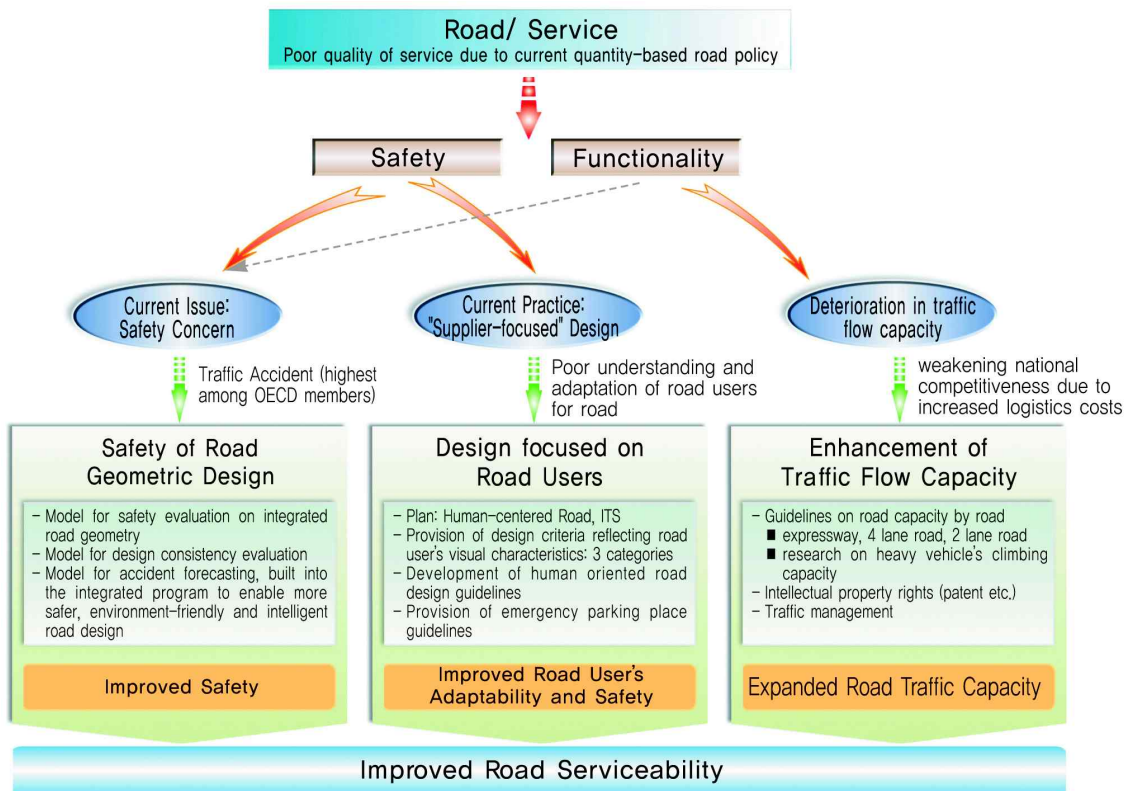
Road design should carefully consider the following factors: function, safety, economy, environment, pleasantness, and construction & maintenance.

Especially, it is true that most of traffic accidents are caused by drivers and pedestrians. However, to resolve traffic accidents, to construct and manage road for users' safety, a road-building program should be initially considered various problems derived from road facilities for human factors, improvement of design criteria and up-to-date road technical development.

This study aims to research human factors for road facility in Korea and to establish standard criteria for human centered road design



[Environment-friendly & Intelligent Road Design]



[Design Technology for Improving Road Safety and Function]

III. Contents and Scopes

● Development of Eco-Road Design Evaluation System(Research I)

▶ 1st year

- Data collection and analysis on domestic and foreign environmentally friendly roads
- Analysis and research on 『Guidelines on Environmentally Friendly Road Construction』 and Specifications for construction environment management which have been enacted recently and to be promulgated soon. Further identification of inclusion of environmentally friendly elements in the current road construction regulations, and detection of problems.
- Analysis on current measures for preparing degree of green naturality and ecosystem map, and detection of problems.
- Analysis on numerical values and categories through evaluation of grouping system according to ecosystem habitat classification and habitat values
- Collection and review of forecasting models for living environment generated during construction and operation of previously proposed road.
- Analysis on control points restricting alignments during existing road alignment design and possibility of inclusion of environmentally friendly factors considering Eco-design.
- Classification of soil environment variables and acquisition and analysis on existing soil data
- Detection of matters related to environmental conservation and restoration among soil micro-organism ecological variables
- Selection of pilot road area among the planned locations for road design
- Data collection and review on road drainage facility design
- Comparison and review on domestic and international criteria for road drainage facility design
- Review on relevant regulations and guidelines

- Review on existing drainage design methods and suggestion of improvement of those methods
- Review on rainfall-runoff model to utilize to road drainage area
- Selection of pilot area for road drainage
- Installation and operation of observation facilities for rainfall and water level.
- Suggestion of improvement for existing design methods of drainages and culverts.
- Development of modules for analyzing slope, elevation and direction.
- Development of modules for layer extraction by subjects in numerical map.
- Development of data for road design based on GIS.
- Customizing GALib.
- Development of gene-modified modules.
- Research on complex gene treatment method.
- Development of 3D object modeling module.
- Development of road shape modeling module.
- Development of module for selecting tunnel types.
- Selection of actual location for road design in conformity with study objectives.
- Acquisition of actual Lidar/DC data through flight design on selected area where data are obtained.

► 2nd year

- Study on law and system of environmental friendly road construction
- Development of the algorithm for an environmental friendly road route design program
- Study on application of method for an ecological value map
- Study on evaluation item for environmental friendly road design
- Method development for estimating and mapping soil ecology quality
- Derivation of minutely probable rainfall intensity formulas

- Experimental catchment monitoring
- Rainfall–runoff modeling
- Model development for the design of road surface drainage facilities
- Model development for the design of cross drainage facilities
- Grid, Tin and Buffering analysis module development
- Revise error of map module development
- 3D spacial information for road design based on GIS development
- Export knowledge DB design
- Design score evaluation scheme construction
- Cost score evaluation scheme construction
- Study of alignment searching algorithm considering IC/JC
- Study of increasing search speed considering vertical alignment and cross section
- 3D map modeling module development
- IC type and location search module development
- Alignment evaluation knowledge base construction
- Tunnel type selection and evaluation module development
- Bridge type selection module development
- Economical efficiency analysis module development
- Aerial LiDAR survey and digital camera data processing
- Secure GIS data (aerial photograph, satellite image, map, etc)
- Selection of settlement estimation methods
- Construction of data base related soft grounds
- Constituent analysis of soft clayey soils
- Analysis of model test results

► 3rd year

- Study of the criteria and procedure of control point of environmental friendly road.

- Development of the program based on CAD for environmental road route and environment assesment
- Complement of environmental factors for environmental friendly road design
- Development of the algorithms for the selection of environmental road route
- Study on application of method for an ecological digital map
- Verification of reliability of soil ecological quality grade.
- Combination of soil ecological map for the selection of environmental road route
- Study of restoration and management of topsoil.
- Derivation of minutely probable rainfall intensity formulas for the rainfall gauging stations located in the central area of Korea : 1'st step
- Modification and application of the rainfall-runoff model : 2'nd step
- Modification and application of the design model for road surface drainage facilities
- Development and modification of the design models for cross drainage facilities and various channels
- The study in site application of newly developed design model for ditch, link canal, culvert.
- The study to definition and design method that at the junction of valley rainfall, adjacent of road rainfall, road surface water.
- Development of the design models for adjacent of road drainage & valley drainage facilities.
- Valuation of settlement estimation method and consolidation parameter
- Analysis for 1st consolidation completion
- Influence with ground parameter on loading
- Analysis of soft ground monitoring data
- Proposal of consolidation parameter formula
- Development of settlement estimation including of secondary consolidation

▶ 4th year

- Environment-friendly road route selection and the environmental assessment program verification
- Assessment item weight user decision-making sub-program
- Verification of environment-friendly road route selection algorithm
- Scheme of applying the natural and ecological map preparation method
- Derivation of minutely probable rainfall intensity formulas for the rainfall gauging stations located in the southern part of Korea : 2nd step
- Modification and application of the design models for various highway drainage facilities : 2nd step
- Application test of the Road Drainage Facility Design Program
- Development of Graphic User Interface about the Road Drainage Facility Design Program

▶ 5th year

- Study of practicality of ‘Environment-friendly road route selection and the environmental impact assessment system & program’
- Research of formulated EI-ROAD program
- Making & Integrating a Road Drainage Facility Design Program for practical use
- Making a improvement for Road Drainage Facility Guidelines
- Genome configuration (road alignment information, configuration) Module Development
- Development of the initial linear configuration module
- Optimization Algorithm Development Module
- Optimize execution and optimization process tracking module development underway
- Genetic operators (comparison / mating / mutation) develop application modules

- Linear Generation Module Development
- Development of a linear calibration module
- Linear Evaluation Module Development
- Creation and evaluation of a linear effect of increasing the speed improvement items drawn
- Integrated UI (User Interface) configuration module development
- Unit Study on Optimization of the program
- GIS Analysis Module Development
- Expert System Development
- Triangulation (TIN) obtained from the High Speed Ground Improvement Module Development
- Linear Analysis Report Output Module Development
- Commercial development of road design program and data compatibility module
- 3D simulation for the development of road information generation module
- 3-D Road Modeling
- 3-D terrain modeling
- Development of Vehicle Simulation
- 3D Viewer Development
- Video creation
- Linear analysis of the road development program
- Select type of intersection Program
- Bridge Type Selection Program Development
- Tunnel Type Selection Program Development
- Economic analysis of the road route (LCC) Program
- Road Safety Assessment Program of the geometric structure
- Optimize for performance parameters (mating / turns the odds) Variation of the linear analysis results
- Designed to extend the execution time comparison and the results of the optimization and linear regression

● Development of Economic Efficiency Analysis by using LCC and Road Facility's Function Improvement (Research II)

▶ 1st year

- Domestic and abroad technology trend analysis
- General LCC analysis, S/W research and Bench-marking
- Research of the road VE/LCC analysis program
- Field design of domestic road route and reinforcing design research
- Gathering Extra DB and Conducting Survey for road route VE and LCC
- VE and LCC model bench-marking
- Analysis and review of the wind-resistant engineering standards
- Determination of the wind-resistant engineering standards

▶ 2nd year

- Establishment of DB for VE/LCC of road
- Development of unit module for VE/LCC of road
- Determination of standards for design velocity of superhighway
- Data analysis and basic research for applicability of geometric structure
- Data analysis and basic research for the application of cross section formation
- Site survey of superhighway facilities and research contents in US
- Collection of Express highway 16 route and 2003~2005 year traffic accident data
- The accident ratio analysis for the interrelation union
- The algorithm development for intersection type and position selection
- The tunnel type analysis for tunnel length, ventilation and disaster prevention system
- The algorithm development for tunnel type selection by tunnel design analysis
- The support of the unit program development
- Comparison, analysis and investigation of foreign design standard for mountainous road design

- Setting up the prototype of mountainous road design factors
- Suggesting a mountainous alignment design plan
- Classifying the types of service area, setting and analyzing functions to introduce according to the types
- Study on standards on appropriate distances between service areas
- Study on techniques of calculating the size of service areas and standards
- Analysis of the wind-resistant safety through the selection of the analysis model for information facilities
- Wind tunnel test regarding the technology development model and determination of the problems of and reform measures for the existing information facilities
- Survey of current installation status and analysis of medium barrier
- Establishment of DB with respect to traffic accident causes
- Consideration of constructability and serviceability of existing medium barrier
- Suggestion of type of medium barrier considering environmental factor

▶ 3rd year

- Development of VE and LCC analysis software for road route
- Analysis of maintenance cost included in B/C ratio
- Development of road line & lane design existed in mountainous district
- Development of rest area design standards adapted to Korea
- Promoting approach for conventional rest area
- Development of future rest area design model for application
- Development of road line & lane design considering mountainous characteristics
- Application of developed Rest area design model
- Wind resistant analysis
- Development of new technology for wind resistant safety
- Wind Experiment

- Consideration of passenger safety during collision accidents to medium barrier
- Analysis of directional stability of collision vehicle to medium barrier
- Consideration of minimized damage and reduced second subsequent accident
- Application of medium barrier with respect to area- and lane- type
- Establishment of road design standardization and DB of design data
- Suggestion of modified medium barrier considering maintenance
- Consideration of installation effect of Modified medium barrier
- Suggestion of new technology and direction for medium barrier

▶ 4th year

- Road route data collection for analysis
 - Research and data collection characteristics of the bridge maintenance
 - Maintenance, research and data collection characteristics of the tunnel
 - Research and data collection characteristics of slop maintenance
- LCC analysis of the road route Route algorithm development for the unit cost

▶ 5th year

- Development of economic analysis program considering maintenance of road route
- Development of economic analysis program guideline considering maintenance of road route
- Application through Example Application and Suggestion of applying the result
- The technique development for intersection/tunnel/bridge type selection
- The support of the unit program development
- Preparation of synthesis report after organizing, analyzing, and review the results of technology development for road safety and information facilities

- Especially reviewing, application of Guardrail that using the partial technology of Median Barrier developed with new technology

● Development of Design Technology for improving Road Safety and Function(Research III)

▶ 1st year

- Literature reviews on road Design Consistency
- Study on Road Design Program Integration
- Establishment of guideline for number of guide names on road sign
- Proper length of emergency parking area

▶ 2nd year

- Development of the safety evaluation model for road design in the field study
- Study of the safety evaluation model for road design
- Development of the algorithm for safety evaluation model of road design
- Development of the algorithm for the integration of computer program
- Highway design research considering human factors and theory systematization in Korea
- Observation in the field study and driving simulator for road sign
- The establishment of interim guideline for numbers of guide name on road sign
- The Safety Characteristics of Emergency Parking Zone
- A preparation of highway capacity enhancement alternatives for connection sections of expressway to national highway in rural
- A preparation of highway capacity enhancement alternatives for connection sections of expressway to urban arterial
- Review of highway capacity restriction factors and direction establishment of enhancement alternatives for four-lane highway capacity.

- A preparation of highway capacity enhancement alternatives for tangent section (median and end of Lane) of four-lane highway

▶ 3rd year

- The study for developing accident prediction models
- The study of proper length among the road's facilities.
- The plan of guideline for the emergency parking zone
- Development of Alternatives for Four-lane Highway Capacity Enhancement
- Development of Alternatives for Two-lane Highway Capacity Enhancement

▶ 4th year

- The study reviews the existing researches on accident prediction models. The study is weighing on the models attempting to incorporate the concept of road design consistency within the model structuring.
- The conceptual frame of the study is the idea like that the effects of the individual road geometry on the accidents would be different according to the general road geometric features of the sections.
- The study collects the accident data, geometric data, and operating speeds of the study sections for the development of accident prediction model.
- The study considers and suggests the approach to reflect the concept of the design consistency in model building. Following steps is carried out for this.
- Study on Human visual perception and behavior in specific road facilities
- Development of perceptual reducing speed techniques for road users
- This research calculated optimal signal operation system for lower part of diamond-shaped interchange, which is the most common type in Korea
 - Four-lane road interchange, Two-lane road sections/corridors, Two-lane road-interchange

► 5th year

- Accident Prediction Model
- Accident Prediction Algorithm
- Integrated Safety Evaluation Development
- Practical Application
- Human centered road design technologies of Positive Guidance method
- Human factors for Positive Guidance methode
- Proper distance between road facilities (interchange/rest area)
- Set plan to improve and secure the sight distance of two-lane highway
- Establish the relation of passing demand and supply of two-lane highway
- Low speed traffic flow turnout: turnout, climbing lane, etc.
- High speed traffic flow passing lane: Concept of passing lane
- Evaluate the effects of technical alternative
- Review the criteria by enhancement ideas. Prepare road facility enhancement document.

IV. Results of Study

<Final Goal>

**Environment-Friendly & Intelligent Road Design
Technology Development**

- Development of Integrated Program for Intelligent Design of Safe and Environment-Friendly Road
- Road Facility's Function & Efficiency Improvement Technology Research and Development

This project set to final research goal mentioned above two issues for smart road construction considering safety, economic and environment-friendly and for development of future-oriented road design guidelines. Also, until 2010, another task of this project is that road design technical level of our country reach to enter the advanced nation rank. And, current project put on importance to develop the core technology for practical utilization for business. Road design technology developed after finished this project transferred to domestic industries, lead better business organization, which improve international competitive power and create high added value and enlarge application on whole road system.

The results of study per "Activity" are as follows.

● Development of Eco-Road Design Evaluation System(Research I)

○ Development of Design Program for Eco-Road(I-1)

Firth year, study aims to define the way of quantifying environmental impact caused by road construction and operation. And the result should be combined efficiently with the final program which designs the optimal path considering

not only environmental factor but also economical, technological and safety factors. So it's needed to scrutinize all methodologies which are available and select the most effective way. Through the paper review, we decided to adapt GIS based map overlay method combined with the AHP (Analytic Hierarchy Process). According to the AHP procedure, first, system structuring should be performed. And then assessment factors were determined which could be acquired or represented in GIS map data. In this paper, top level of system structure is divided into two factors (natural environment and life environment) and each factor is structured in lower level. Natural environment factor involves animals and plants and topography. And life environment factor involves water environment, air pollution and environmental noise. Environmental impact of each factors is evaluated as 3 grades.

Second year, for developing 「An Algorithm for an environmental friendly road Route Design Program」, based on eco-road route selection methodology using AHP method and GIS map overlay method, the operation elements in each stage were drawn out. Consequently, “An Algorithm for an environmental friendly road Route Design Program (plan)” was developed.

The developed algorithm (plan) can be divided into two elements; one is to establish input database and the other is to select an optimal route (line) using the established input GIS database.

Also, to evaluate the animals and plants' habitats quantitatively, a conservation value assessment was applied, and based on the related case studies, evaluation items were divided into naturalness, rareness, and functionality and evaluated quantitatively, and entering the results into a GIS program to display the values in a map form, the ecological value map was developed.

A method for quantitatively classifying the quality of soil ecology using soil microbial diversity measurements was developed for mountain areas. When examining whether the soil ecology quality data have any correlation with the current Ecological and Environmental Information including Overall Ecology

Quality Index, Animal/Plant Biodiversity, and Forest Health Index, the current public database information, being typically used in environmental impact assessment in our country, was found to have a low power to reflect soil ecology quality. It may be due to the fact that the current ecological information system does not include soil ecology quality information. This clearly suggests that an inclusion of soil ecology quality information is needed for more reliable environmental impact assessment. The following works led to development of (i) an algorithm of estimating soil ecological quality using the existing nation-scale environmental and ecological geo-spatial information and (ii) a GIS-based method for mapping soil ecological quality. In addition, the new methods were validated in this project.

Third year, we selected environmental assessment criteria for environmental friendly road route design by adding three more categories (land use, soil ecology, and landscape). Then, We additionally selected indexes that are in issue other than existing indexes. Moreover, We derived weight using AHP method in this research in accordance with selected assessment criteria. We applied the created weight into model section.

Based on the selected methodologies, we developed environmental friendly road route design algorithm in this research. The design algorithm includes weight grant and map making method for each category. The 'environmental friendly road route design and environmental assessment program' is developed based on the environmental friendly road route design algorithm. This program analyzes and processes environmental data and assesses environmental issues of the road route. Then the analysis result of road linear environmental issues are printed out for environmental assessment of the comparing routes. The program's main features include assessment index inquiry / correction, assessment category layer input and editing, grid analysis, optimal route search and route assessment, and environmental analysis reporting.

To validate the applicability of soil ecology map in planning sustainable

construction projects, the weight of soil ecology information among the natural ecological and environmental information was assessed using AHP and model simulations (sensitivity analysis). The major findings from the research activities were: (i) that many road engineers and relative scholars believe that soil ecology is important in environmental impact assessment for road construction planning, and (ii) the route determination for an eco-friendly road construction in a forest area could be sensitively affected by a change in the weight of soil ecology information among natural ecological and environmental information. These findings could lead us to demonstrate how to use our soil ecology mapping IT technology in planning of sustainable road construction.

Fourth year, in the study on the verification of environment-friendly road route selection algorithm, the unavailable route passage zone was selected among the existing grade 1 indices and it was added into the avoidance zone, through comparing the avoidance and reviewing areas mentioned in the literature with the indices which were studied up to the third year for suggesting the avoidance zone's selection and criteria and for additionally discovering the legal zones to be environmentally protected.

Also, in this study, the AHP transformation algorithm of combining other methods which can supplement AHP's weaknesses was developed in order to improve the reliability of environmental impact assessment item and index. The weight derived by the developed algorithm and the weight derived only by the existing AHP method were compared and analyzed.

To validate the applicability of soil ecology map in planning sustainable construction projects, the weight of soil ecology information among the natural ecological and environmental information was assessed using AHP and model simulations (sensitivity analysis). The major findings from the research activities were: (i) that many road engineers and relative scholars believe that soil ecology is important in environmental impact assessment for road construction planning, and (ii) the route determination for an eco-friendly road construction in a forest

area could be sensitively affected by a change in the weight of soil ecology information among natural ecological and environmental information. These findings could lead us to demonstrate how to use our soil ecology mapping IT technology in planning of sustainable road construction.

In the study on planning the application of natural and ecological digital map preparation method, the index was set up for items after re-configuring the existing natural and ecological digital map assessment items with the legal factors and ecological factors. Then, by additionally discovering the detailed indices through reviewing the functional items, the reliability of functional items could be improved. After identifying the present status of the existing data and the data to be newly implemented for implementing the thematic map by corrected and supplemented assessment items, the thematic map for GIS non-implemented data and the new data was implemented.

In the fifth year, the last year of the study, methods of selecting environmentally friendly roads and calculating environmental assessment points to commercialize achievements were established, and environmental friendly assessment was conducted to apply them to domestic example areas through the selection of 9 construction sections in 5 areas.

As a result of environmental evaluation in each area, it has been found that some areas recorded high environmental points whereas some large areas posted relatively lower environmental points. Areas with high environmental points indirectly indicate that they are environmentally sensitive, and areas with relatively lower environmental points demonstrate that it is easier to select road routes.

In addition, a method of linking to an integrated program, which is the ultimate purpose of the study, has been generated.

- Stage 1: Linearity (including road factors) that considers only the environment is generated first to provide environmental information to a planner
- Stage 2: Designation of no-passage zones in consideration of environmentally

friendly linearity

- Stage 3: Generation of linearity focused on economic benefits
- Stage 4: Repeated implementation of stage 2 and stage 3 before generation of 3 to 4 alternatives
- Stage 5: Users' final decision in comprehensive consideration of environmental points and construction costs among alternatives including environmentally friendly linearity

As for the study on an ecological map that was conducted in the 5th year, suggestions that had been made until the 4th year were reviewed and complemented. Ecological Map (Habitat Assessment Map) Establishment Manual (draft) was suggested based on the results.

○ Development of Design Technique on Road Drainage Facilities(I-2)

For the study of road drainage facility designs, we got the satisfactory results of improvement of design method for drainages and culverts through reviewing of existing design method for domestic road drainage facilities, reviewing of foreign design guidelines on road drainage facilities, reviewing of relevant regulations and guidelines, understanding of problems existing in current design methods and suggestion of improvement for them, reviewing of rainfall-runoff model, selection and operation of road drainage pilot area.

We examined the existing probable rainfall intensity formulas for durations more than 10 minutes, and derived rainfall intensity-duration-frequency curves and probable rainfall intensity formulas for durations less than 10 minutes using the method was based on the Moupfouma distribution and the Random cascade model. Rainfall and water level of the Sum-river experimental catchment were measured

every 10 minutes and discharge was directly observed during flood period. Stage-discharge relation was derived for both low water level and all water level, and parameters of three SCS, Snyder, Clark methods were optimized by using the discharge obtained from the stage-discharge relation.

Rainfall-runoff models based on the kinematic wave equation was made to analyze 1) flow of an overland element, 2) flow of a channel and an overland elements, 3) flow of a channel and two overland elements. Both computational models for the design of road surface drainage facilities were developed under the consideration of rainfall duration and travel time(a design rainfall intensity was determined when rainfall duration equals to total travel time). One model was based on the varied flow analysis for a drainage channel and the other was based on the conventional uniform flow analysis. The developed models were applied to an artificial road drainage system, and the results obtained from the varied flow analysis was compared with the uniform analysis. The sensitivity to channel gradients was investigated, too. We framed the design flow chart to develop a model for the design of cross drainage facilities, and set up an algorithm to analyze varied flow in channels being used for the design.

First of all, we collected minutely and hourly rainfall data from the gauging stations located in the central area of Korea, and analyzed the spatial correlation structure of minutely rainfall data in order to confirm if the minutely rainfall data could be used for the derivation of rainfall intensity formulas. For the gauging stations without available minutely rainfall data, the I-D-F curves and the rainfall intensity formulas were derived by using the Random cascade model. The rainfall runoff model for road surface sheet flow was modified for better flow analysis for small areas. The model was compared with HEC-1 model and was verified through the water volume conservation. Then, the model was modified to determine the design rainfall and the design discharge by finding the critical rainfall duration. Four design models for road surface drainage facilities (the consideration or no consideration of the critical duration and the uniform flow

analysis or the varied flow analysis) were modified in obedience to the inquiry of designers of drainage facilities. Then, we compared the design results of the models. For better flow analysis for a culvert with short length, we employed the varied flow analysis. The culvert flow model was verified compared with the Culvert Master. Based on the flow model, a culvert design model (both box and pipe) was developed. Moreover, we have developed design models of four types of channels. One model developed for each channel employed the design method of the consideration of the critical duration under the varied flow analysis and the other employed the method of no consideration of the critical duration under the varied flow analysis.

First of all, we collected minutely and hourly rainfall data from the gauging stations located in the southern part of Korea, and analyzed the spatial correlation structure of minutely rainfall data in order to confirm if the minutely rainfall data could be used for the derivation of rainfall intensity formulas. For the gauging stations without available minutely rainfall data, the I-D-F curves and the rainfall intensity formulas were derived by using the Random cascade model.

We should develop the design models taking the flow and the flow direction in the highway drainage system into consideration. Firstly, previously developed design models for highway drainage facilities were verified and modified through the application to the drainage facilities designed for the construction. Then three representative set of drainage facilities (CASE I, II, III) were fixed and the required design models were modified or developed. The design results showed that the rainfall intensity decreased and the travel time increased when drainage facilities was set up at lower (downstream) part.

National road construction's area(7 site) application test be proceed, developed program's Graphic User Interface made up for End User's convenience to the road drainage facility design.

For making a road drainage facility design program & integrating to practical use, i) execute a site application test of road drainage facility design program's drainage system, ii) expanded to 13 cases of road drainage facility system, iii) searching for methodology that decided GIS based Drainage Area & outlet points(or pour points), iv) development algorithm for Road Drainage Area · Site of junction(flow) · Outlet points. And making a improvement for road drainage facility guidelines, i) making a improvement for road drainage design guidelines to place the focus on hydraulic · hydrology field of study, ii) making a manual for a road drainage facility design program.

○ Development of Integrated Intelligent Road Design Program(I-3)

(1) Development of Integrated Intelligent Road Design Program

To find out optimal alignment(horizontal, vertical, cross section, types of structures) is very important. But actually the result is not literally optimal in most cases only assumed optimal owing to limited time and budgets. It always leave some regrets for engineers.

Therefore we are trying to make systems utilizing information technology to overcome those hardships. The fast computational ability and vast data processing capability can make it possible to consider various criterias simultaneously and without errors. And through the 3D simulation investigate the virtual reality.

We achieved optimal alignment schemes applying effective analysis of input data, model for 3D road view simulation and most appropriate search algorithms.

For efficiency analysis of GIS analysis system, we developed map error revise module that input data is made easier and tin module applied constrain in order to make similar model to real terrain. Further more, through inhouse study, we developed buffering analysis module and grid analysis module as a core of spatial analysis and it was improved our system.

We extended export knowledgebase to include detail contents that was presented by each study party about rule of road facility and export knowhow and was trying to find more efficient method to apply it to design score and cost score.

The most critical factor of this research in view information technology is to adopt proper search algorithms. To successfully do, we separated the search algorithm - alignment creation part, alignment evaluation part and optimized design selection party. we made a PILOT program to confirm suitability and efficiency of the algorithm and rebuild genetic operations.

The result of 3D simulation, we separate three parts - terrain, road, composition of terrain and road to make systematically 3D modeling technique and data structure. And we developed 3D Road View simulation using LOD(Level of Detail).

We developed each module relative with road design - Search of IC Location, Selection and Evaluation of Tunnel, Selection and Evaluation of Bridge, Economical Efficiency Analysis through technical meeting.

Details of regulations related to road infrastructure in the proposed research institutions to apply itemized details of the road route to provide a quantitative assessment has been developed.

Road to the Environment-Friendly Line Environmental Assessment Rating through joint research with appropriate research institutions to develop programs for the environment and through which scores were available.

Accident prediction model for safety assessment, and design consistency models and through meetings with research institutions to develop programs designed according to the number of accidents and geometric design consistency scores were provided in the form of .

LiDAR obtained by aircraft using technology and digital imaging lidar data, survey data, using the GIS maps and more accurate information regarding current surroundings can provide.

(2) Single Assessment Program

Intelligent roads that make up an integrated design program evaluation elements ecology assessment, Cost Assessment, Safety Assessment is divided into. for each element of the meeting with details of the research institutes were computed through. evaluation module integrates the intelligent road design program combining studies for an item before you is through the process of computerization. And for the evaluation module to communicate between the developer and research institutions are used as a tool. of the algorithm was used as a tool for verification. addition, a single evaluation program was created so that in itself is a unit assessment. units for evaluation purposes in the evaluation program was to be made available to select.

○ Development of Calculation Method for the Residual Settlement of Soft Ground(I-4)

In this project, an effect of plastic index and consolidation loading duration on time-settlement relationship as well as the characteristics of settlement, coefficient of consolidation, compression index and secondary compression index and pore water pressure were investigated in order for development of more simple and accurate technique of settlement evaluation. In addition, the proposed equations for compression index, coefficient of consolidation and secondary compression index were verified by means of numerical analyses using modified Cam-Clay model and Sekiguchi model.

As a result, the following conclusions were derived.

- (1) The coefficient of consolidation and the secondary compression index can be defined in terms of plastic index and post preconsolidation pressure as following,
$$C_v = 0.0135 - 0.0001P_I - 0.001P, \quad C_{\alpha} = 0.1134 + 0.0035P_I - 0.013P$$
- (2) The compression index appeared to increase with an increase of plastic index linearly, and it can be defined as, $C_c = 0.2983 + 0.0025P_I$

In addition, C_a/C_c appeared to remain constant as 0.0356 regardless to plastic index for static load.

- (3) The excess pore water pressure was developed about 80~85% of the pressure. In addition, the smaller the plastic index the longer the time reaching the peak point.
- (4) With different loading duration, it appeared that the time for the excess pore water pressure to dissipate has a good agreement with the time for the primary consolidation finished at the loading duration of 24 hours. Therefore, it may be concluded that using the secondary compression index obtained from 1day loading duration is reasonable.
- (5) The $\log t$ method seemed to overestimate the coefficient of consolidation comparing with $\sqrt{t}$, and it can be expressed by

$$C_v(\log t) = 0.06904 + 0.000042PI - 0.79024C_v(\sqrt{t})$$
- (6) It showed that the Sekiguchi predicts more properly than the modified Cam-Clay model.

● Development of Economic Efficiency Analysis and Road Facility's Function Improvement by using VE/LCC(Research II)

○ Development about analyzing economical efficiency of road route by applying VE/LCC.(II-1)

This research was conducted in the purpose of developing economic analysis of road route considering VE/LCC.

In addition to the bridges, package, tunnels and slope were examined.

It is thought that this research will contribute to later LCC study because the research of the slope has yet to study enough.

Also, correction and improvement are discovered in KDI Model which is being applied by the analysis and study of cost model.

By means of this, estimation of road maintenance model and guideline were developed. So the standards of cost analysis was constructed.

The features of maintenance about general national road were researched and LCC maintenance expenses and analysis of expense about period were also conducted on the basis of factual materials.

More advanced stage of the study is expected because present condition and material till now are examined under the circumstance that the study of maintenance of national roads are unsatisfied and insufficient.

Besids, based on that, economic analysis program of maintenance in express roads and general roads, so that it will play important roles as a tool of detemining road optimal route through the upgrade of consistant database.

○ Development of road design algorithm(II-2)

◎ Development of Check List For Alignment design

For development of alignment making technique, we analyzed the highway 16 route(3,912km there and back) and 2003~2005 year traffic accident data. In the case of plane curve radius, the accident ratio was the maximum from the R=400~500m segment. In the case of vertical slope, the accident ratio of downhill slope was higher than the accident ratio of uphill slope. Also, the accident ratio of tangent segment was higher than the accident ratio of curve segment. In the curve segment, the accident ratio of the reverse and compound curve was high. On the base of these research results, the check list for alignment design and unit program was developed.

◎ Development of Intersection Type Selection Technique

We developed intersection type selection algorithm by the analysis of intersection design process. The algorithm flow is below. First, designer input data on terrain, design condition, traffic volume, etc. Next, intersection possible

position is searched by terrain condition, criteria, etc. Next, the cost and benefit is calculated. For the last time, the intersection type is selected by economic evaluation. The unit program on intersection was developed to base on this algorithm.

◎ Development of the Tunnel Design Technique

The tunnel design algorithm serve to go over the economic feasibility through the selection of tunnel type and the calculation of the construction expenses in advance. Therefore, a database of the construction can enable us to design the tunnel efficiently and systematically. The tunnel type was determined to analyze not a criterion of the tunnel design, but trends of the recent design. The method of the ventilation and the disaster prevention was decided by the traffic condition. When selecting forms and the location of the tunnel portal, we considered geological and topographical condition. After the choice of standard supporting types and excavation methods, the tunnel construction cost was calculated. The program of choosing tunnel type was developed to base on this algorithm.

◎ Development of Bridge Type Selection Technique

The bridge type selection process is as follow. First, constructional condition, such as alignment, start and end point, span length to be applied, minimum span length, and clearance etc, should be investigated. Then, considering the total bridge length, span layout, economical efficiency, functionality etc., the applicable bridge type is selected. By using these minimum condition of birdge type selection, the algorithm of bridge type selection and unit program was developed.

○ Plan for Highway Alignment Design on Mountainous Area(II-3)

As a design plan research for function improving of road linear design in

mountain part, this study aims on building linear design standard consistent with mountain part through analyzing topographical and environmental properties which domestic mountain part has. For this, we have researched by dividing as definition of mountain part, plane linear, vertical linear, and the combination of plane and vertical linear over total 3 years, and by manufacturing and distributing "Linear Design Specification of Road in Mountain Part", ultimate research result, we make actual road designers to enable to use it positively.

1. Definition of Mountain Part

Our country have input large budget to this section annually by emphasizing road role as social infrastructure in the meantime. As a result, we secured significant level of national basic road network system centering on flat site which can be easily developed. However, it requires continuous road network construction in future due to traffic needs which is still increased, and has the problem that when constructing road, it should become an environment-friendly and efficient development at the topography requiring high costs like mountain part.

This topography is a significant input variable which should be considered at the decision step of designing speed of road. Nevertheless, designing speed of road can be decided unspecifically because at present, clear and object judging standard for topographical division is not provided.

This study recognizes the needs of topographical needs, groups based on height and slope, and divides the topography of our country as the plane, the hill, and the mountain based on analyzing result of driving speed significance between groups. This research result can be one indicator which can reflect topographical property of the area where road crosses when constructing road, and also can be a substandard which can be used when actual road designer sorts the topography.

2. Plane Linear

In our country, we're using the concept of designing speed of road for road plane linear design. The concept of designing speed has the strong point which the level of geometry becomes regular because using only one designing speed, but after finishing to build road, it also has weak point that actual speed of vehicle which drives this road can be different with the designing speed.

In order to supplement this weakness, this study suggests plane linear design technique based on expectation model of driving speed which is already on use at various countries.

This study implemented vehicle speed research by selecting samples subjected on national highways thorough whole country, suggested vehicle driving speed model over two-way 2 lane and 4 lane national highway by selecting road designing component impacting on speed through statistical analysis, and suggested the procedure of applying this model to road plane linear design. While in actual case analysis for proving the validation to the new technique, it is proved that this new technique resolves the weak point which existing technique has. If we apply plane linear design technique suggested by this study, it is judged that road invest efficiency will be increased and higher design consistency.

3. Vertical Linear

Maximum vertical slope of road depends on the gradability of vehicle. As vehicle performance has improved comparing to the past, maximum vertical slope will be adjusted. However, though the truck performance of design standard has improved from 300lb/hp to 200lb/hp in America (AASHTO, 1990, 2004), maximum vertical slope which is applied has little change. Therefore, the adjusting review of maximum vertical slope considering the performance of present vehicle is actually needed. In particular, domestic topography has many mountain sites and steep area, and therefore, the review of maximum vertical slope is urgently needed.

4. The Combination of Plane Linear and Vertical Linear

The study related to the combination of plane linear and vertical linear is suggested to "Linear Design Specification of Road in Mountain Part" as the form of illustration with road design technique in mountain part.

This study aims on reducing negative impact such as noise, vibration, pollution, and infringement of view at road crossing area as well as on enhancing the safety through balanced approaches between plan and design of road in mountain part and on satisfying the taste of population.

5. Linear Design Specification of Road in Mountain Part

In designing the road in mountain part, this specification related to geometry is used to achieve safe, efficient, environment-friendly mountain part road design. Therefore, this specification contained the result of sorting domestic topography based on GIS Data and the result of analyzing topographical, environmental, traffic properties of mountain part road. Also, because the cases of curve type design are so many due to the property of road, we suggested the analysis on plane linear design and the result of reviewing vertical linear considering vehicle performance. And by suggesting research results such as combination case suggestion of plane linear and vertical linear, view design technique, road design of specific conditions (heavy snow, wind, and etc), and the review of available law when constructing road, we make this specification to become scholar and actually-usable.

○ Technology Development of Advanced Korean Type Rest Stop (II-4)

– The plan of improving rest stop facility and specific function

The plan of improving specific function searched the safety section such as the speed reduction inducing facility of entering vehicles to rest stop and the

pedestrian safety facility at parking lot, the information section such as vehicle crowding and parking guidance facility and providing the information of real-time traffic, and the convenience section considering the using convenience of the aged.

<The Plan of Improving Rest Stop Facility and its Function>

Safety	• The plan of speed reduction in traffic path flow - Painting the road surface for visual effect - The facility of speed bump - The facility of speed signs - The facility of road roughness in main entrance • Securing pedestrian pathway within parking lot - Installment of pedestrian safe pathway - Installment of sign bottle, colored block, night-light, and visibility enforcing facility - Installment of freezing prevent facility on pedestrian section. • The facility of emergency - Dealing with light injury or disease
Information	• Parking Guidance Facility - Guidance facility of parking situation at rest stop - Guidance signs of parking space - Guidance signs of parking area for the disabled • Traffic Information Guidance Facility - Providing real time traffic situation and information • Location Guidance Map of Rest Stop Facility - Raising using rate by installing location guidance map of rest stop facility
Convenience	• The Increase of Moving Convenience Facility for the Aged -Deregulation of blocking vehicles at the entrance pathway of convenience facility • The Increase of Parking Area Narrowness in parking area due to large scale trend of car - Parking area of general vehicles Recommending above 2.7m of width, 5.2m of length - Parking area for the disabled Recommending above 4.0m of width, 5.2m of length • Constructing green space within parking lot - Providing comfortable and stable spatial element mentally • Installment of sleeping room - Prevention of traffic accident due to the fatigue • Pursuing both side separation type in toilet location - Reducing the crowd and increasing resting environment of convenience facility • Installment of breast-feeding room, washroom, and children's room

	- Providing convenience to the infants • Installment of canopy to parking area for the disabled - Solution of inconvenience in using when it rains or snows
--	---

• Layout of Improving Specific Function



• Layout Considering Traffic Safety at Parking Lot

- Resolving the crowd in using convenience facility by dispersing users separating parking area for each vehicle, and reducing traffic conflict between pedestrians and vehicles at parking lot by minimizing moving distance of rest place and outdoor rest space.	
- Separating entrance path flow to parking for each vehicle, locating parking lot for large sized vehicle to front side of left, and minimizing traffic conflict between pedestrians and vehicles at traffic path flow of small sized vehicle.	

- Local Linking Rest Stop

Local linking rest stop means the rest stop which has the function of exchange between road-users and residents of concerned region by adding gate role to concerned region through the attendance of local autonomous entity or local community with the purpose of providing the space which can give the rest to road-users and resolve the basic desire.

The idea of local linking rest stop is the plan to resolve hollowing of province which is more increasing, to prepare sightseeing diversification due to

the increase of leisure revitalization population, and to revitalize it by linking rest stop with alternative facility of roadside illegal sales facility and the function for local economic contribution.

- Providing rest place to road-users
 - Providing rest place and resolving physiological desire
- Contribution of local development and local economic revitalization
 - Playing as a role of exchanging gate between urban and rural districts
 - Providing sales place of regional agricultural products and specialties
 - Supporting development of regional agricultural products
- Contributing development revitalizing of regional sightseeing by linking local sightseeing source and providing information
 - Linking sightseeing resort facility of natural ecology
 - Linking sightseeing resort facility of rural and fishing village
 - Advertising local sightseeing facility
- Increasing local exchange based on rest stop by extensively applying local revitalizing facility and residents common convenience facility to the rest stop
 - Open access facility of village such as village hall

- The law of linking facility installment

In order to revitalize local linking rest stop, supplement of system is needed, and we looked over using plan by searching recently prepared system because it is one of the step in constructing research. The laws listed at following contain linkable facilities with developing rest stop.

- The Agricultural Land Act
- The Improvement Act of Agricultural and Fishing Village
- The Law of Forest, Culture, and Recreation
- The Law of Construction and Maintenance of Forestal Resources
- The Mountain Maintenance Act
- The Special Law of Designation and Maintenance of Development Restrict Area
- The Natural Environment Conservation Act
- The Tour Development Act
- The Rural Development Act

○ Analysis of the wind-resistant stability of road safety and information facilities and the development of engineering technologies(II-5)

The key results of the study on the wind-resistant stability of the road safety information facilities and the engineering technology development are as follows.

1. Review and improvement strategies for supporting structures of road signs
 - ① Improvement by reviewing weld size
 - ② Improvement by reviewing fatigue stress
 - ③ Improvement by reviewing allowable stress
2. New technology development of wind-resistant stability related to the supporting structure of road sign
 - ① Rotary road information facilities made of shear structure
 - ② Overturning resistance device of road information facilities
 - ③ Stress dispersion device of road information facilities
3. New technology development of wind-resistant stability related to the supporting structure of electronic road sign
 - ① Overhanging supporting structure of electronic road sign by strengthening 4-directional

horizontal member and cable

② Measure for Drag coefficient reduction effects of VMS

4. Improvement of design criteria for Road sign facilities.

○ Design Standards and New Technology Development for Median Barrier(II-6)

The traffic safety and improving the quality of road design outcome can be improved through the analysis of road environmental factors, facilitating technological development of the Median Barrier.

With the systematic and safe design of the Median Barrier, the physical distribution cost of the country can be cut, and the nation's international clout will be enhanced.

● Development of Design Technology for improving Road Safety and Function(Research III)

○ Development of an Algorithm for Safety Evaluation of the Road Alignment Design(III-1)

The study develops road alignment evaluation method which is expected to be applied at the road design. The method is using operating speed based safety evaluation and accident based safety evaluation. Operating speed based evaluation is assuming that abrupt speed change along the road is vulnerable to accidents. And accident based model estimated the risk based on the accident consequences.

The study makes an effort to collect the speed data, and develops the speed

estimation model corresponding to the combination of road horizontal and vertical conditions. Road accident estimation model is also developed using accident data. And, using two model, integrated road alignment evaluation model is developed. The unique thing in this study is that speed consistency concept is melted in the sectioning for accident model development. The final evaluation algorithm is suggested using these two models.

○ Research on Improvement of User-centered Road Design Methodology(III-2)

① Establishment of human factors related to road facilities

– This research as first stage accomplished basic research for a standard criteria for human centered road design, establishments of research plan for ITS road facilities related human factor and basic research for next detailed researches.

② Establishment of guideline for numbers of guide name on road sign

– In the experiment of simulation(Flash), The misreading rate was increased constantly in proportion of the number of road signs. As a result, 4 number of guide name for road sign could be the ideal standard. In the experiment of driving simulator, By increasing the number of guide name, statistical verification in regression analysis has shown a significance level. but Adjusted R Square is very low. Reading time in the age range with regression analysis found that the higher the proportion of age, the higher the rate of reading time by 0.106sec. Finally, a binary logistic model was used to find the main factors. As the results, 6 number of guide names for road sign have been the best of them. But In case of aging, 4 number of guide names for road sign have been proven the best.

③ Proper distance between road facilities (interchange/tunnel)

- In this research, the proper length between the interchange (the beginning spot of deceleration's lane) and the tunnel was set up for guideline. For this experiment, not only driving simulator was used, but also people with valid driver's licenses, aged between their twenties to their seventies, took part in this experiment. Research was carried out the analysis of statistics for legibility time, lane-changing time and the study of speed-change by various type of lengths. As a result, the minimum length between the interchange (the beginning spot of deceleration 's lane) and the tunnel is 500m long.

④ Proper length of emergency parking area

- This study is on the design guideline of the emergency parking zone. New guideline that is feasible for the present situation is prepared after reviewing existing guideline and present facilities. This study is done through literature survey, field investigation and foreign examples. To study the dimension of emergency parking zone by design speed, vehicle classification, dynamic vehicle characteristics are considered and for the spacing and location standard broad questionnaire survey is conducted and analyzed including road users, road management employees and road specialists. Major result of research are as follows,

· The existing standard spacing was 750m for all road types. New standard of spacing is diversified as 3.0 km for expressways, 2.0 km for national highways and urban freeways, 1.5 km for other roads and 750 m for long tunnels and bridges.

⑤ Methods of reducing the driver's speed through pavement marking

- Speed verification by techniques; the effectiveness of speed reduction on the district of Peripheral Transverse LineII was the best of them. When it comes to the 90 percent confidence level. Analysis of the effectiveness of speed reduction by age groups; the effectiveness of speed reduction on the districts of

Peripheral Transverse Line II and Dragon's teeth in only their thirties showed effective. When it comes to the 90 percent confidence level. Analysis of the effectiveness of speed reduction in age groups by techniques; the difference of speed reduction between their twenties and over fifties showed different in several districts.

⑥ Human centered road design technologies of Positive Guidance method

– In this study, potentially higher hazardous signalized intersection was selected through site investigation. Field analysis at designated section was conducted and devised a plan for improvements of road facilities. Subjects drove in driving simulator in 3-D virtual reality of designated intersection. Based on data from simulator, statistical analysis (t-verification) was conducted for 'Before and After effectiveness' of speed reduction. As a result, it indicates that speed reduction was effective after improvements at each spot in driving simulator.

⑦ Human factors for Positive Guidance method

– Based on Positive Guidance method related simulator, we have tried to figure out whether there is influence on the satisfaction of improvement of facilities and driving load. We have conducted t-test of speed analysis involved with satisfaction and driving load. As a result of analysis, drivers have been satisfied with improvement of offering information better than others. And the survey showed a negative correlation between driving load and satisfaction. Owing to road of structure and linear, the improvement of facilities in simply road are more effective than complex load.

⑧ Proper distance between road facilities (interchange/rest area)

– In this research, each study for traffic flow's level of service, safety, and characteristic of driver was evaluated for finding proper distance between rest area and interchange. Proceeding from what has been alluded above, the synthetic result of each analysis showed that the advisable distance between

rest area and interchange was 2.0km.

– Conclusion for proper distance between rest area and interchange was estimated in general circumstances. Therefore the adequate distance between highway facilities would be necessary for engineer's judgment at peculiar conditions. In this case, application of positive guidance should be considered by traffic engineer.

○ Development an Efficient Road Operation Technology through Road Facility Enhancement(III-3)

o In this study, we selected highways, four-lane highways and two-lane highways as the spatial scope of the study, and divided the road sections containing problems in efficient operation into continuing section, intersection and corridor in order to extract the alternatives for efficient use of roads.

1. Highways

o It is the geometric structure and increasing demand that causes inefficient use of highways. As the solution against this problem, we have proposed alternatives for main lanes of highway, and ramp sections between highways and local roads and between highways and urban arterial roads.

o For the main lanes of highways, we have reviewed the way to handle traffic on the junctions (merging sections and diverging sections), road maintenance sections, short IC sections and temporary use of road shoulders.

o For the ramp sections between highways and local roads, we have proposed alternatives to highway off-ramps, toll gates, toll gate plazas, intersection type of junctions to local roads, distance between toll gates and intersections, methods of operating signals and traffic paths on the intersections of local roads, and new IC type for intersections of local roads.

o We divided the ramps between highways and urban arterial roads into the main

lane of highway and ramp section and the ramp and urban arterial road section, and proposed various alternatives in the aspect of design and operation of road.

2. Four-lane highways

- o It is the frequent intersections and ramps, and the inefficient traffic handling at intersections that deteriorates efficient operation of four-lane highways.
- o We have proposed alternatives for centerline and roadside, respectively, for the continuing sections of four-lane highways. For centerline, we have reviewed the problems of simple centerline cuts. For road side, we have reviewed the influence of ramps on the intersections, and proposed the proper distance between intersections and ramps.
- o For intersections on four-lane highway ramps, we have examined applicability of new types of intersection (superstreet, roundabout, bow-tie, etc.), and proposed the ways to handle left-turn traffic in an efficient manner. We also have compared the traffic handling effect on the right-turn lane between the existing design method and the new slip lane method. We proposed the length of right-turn deceleration lane on the intersections depending on various levels of traffic volume. We have also proposed the way to efficiently operate signals on 2-point diamond interchanges which are common in Korea. Finally, we have suggested the way to apply designated road marks from access point to the intersection so that drivers easily find the dedicated turning lane at the intersection in the front.
- o For four-lane highway corridors, we have proposed the improved signal operation in the corridor and the concept of TWLTL adapted to the conditions of Korea.

3. Two-lane highways

- o It is the limited opportunity of passing other cars that obstructs efficient operation of two-lane highways. There are two factors in relation with opportunity of overtaking: sight distance and opportunity of passing. These factors have been examined in this study.

- o The sight distance of not longer than 85m on a two-lane highway is influenced significantly.
- o We have reviewed relationship between demand and supply of passing on two-lane highways. We have concluded that the passing-allowed section is recommended for the section of both-way traffic of up to 800vph, and the passing lane for the traffic of up to 1200vph.
- o We have reviewed the effect of low-speed traffic turnout and high-speed traffic passing lane in the continuing section to provide the passing opportunity on two-lane highways. In general the low-speed turnout reduces delay by approximately 10% when compared with 100% passing restricted section. It was also found that the high-speed passing lane enhances the traffic from the low-speed turnout by approximately 2%.
 - The appropriate length of auxiliary lane to the continuing section was examined to be approx. 1~1.5km under the traffic of 4,000~7,300 cars/day, and the proper interval to be 5~10km (1 auxiliary lane for each direction is required at every 5-10km for major towns).
- o We have proposed a left-turn lane at the intersections of two-lane highways, and the alternative to reduce delay of straight traffic due to traffic waiting for left turn.
- o For corridors on two-lane highways, we have proposed the plan to handle the turning traffic in order to root out an illegal left turn and a U-turn.

V. Utilization Plan for the Result of Study

The result of the study will be utilized for more developed road design criteria and computerized design by replacing subjective assessment of various disciplines as to road design with objective standard. Since it is determined to possibly to carry out environmentally friendly rational and scientific road design. Therefore we consider that with this sustainable development in good harmony with development and conservation could be possible.

- vendor of road design project – In phase of planning effective feasibility studies can be done and as a standard of supervisory tools for the analysis of the results of contractor by doing objective technological, economical and social analysis.

- road design contractor – By systemizing various criterias for road design improve the effectiveness of road design process and more accurate and objective design results.

This research project is considering and developing the interfaces with commercial road design s/w. Therefore at the end of this project it's possible to utilize the result of research. To facilitate the implementation of commercial road design s/w we will open the structure of database and file to secure the interface.

It will hele us to improve technology which can make applications like 3D modelling or road plan development through LiDAR data. It would make the cost down for the spatial information.

목 차

제 1 장 연구개발과제의 개요	1
제 1 절 연구개발 배경 및 목표	1
제 2 절 연구개발의 필요성	4
제 3 절 연구개발의 내용 및 범위	8
제 2 장 국내·외 기술개발 현황	22
제 3 장 연구개발 수행 내용 및 결과	23
제 1 절 친환경·지능형 도로설계 및 평가시스템 개발	23
(제1세부과제)	
제 2 절 LCC를 고려한 경제성분석 및 도로시설물 성능향상	57
(제2세부과제)	
제 3 절 도로안전 및 기능향상 설계기술 개발(제3세부과제)	96
제 4 장 연구개발목표의 달성도 및 관련분야에의 기여도	124
제 1 절 연차별 연구목표 및 주요 연구성과	124
제 2 절 관련분야에의 기여도	139
제 5 장 연구개발결과의 활용계획	146
제 6 장 Key words 및 용어 정의	151
제 7 장 참고 문헌	179

Contents

Chapter 1. Introductions	1
Section 1. Backgrounds and Objective	1
Section 2. Necessity of the Research	4
Section 3. Contents and Scopes	8
 Chapter 2. Review of State of the Art	 22
 Chapter 3. Research Contents and Results	 23
Section 1. Development of Eco-Road Design Evaluation System	23
Section 2. Development of Economic Efficiency Analysis and Road Facility's Function Improvement by using VE/LCC	57
Section 3. Development of Design Technology for improving Road Safety and Function	96
 Chapter 4. Achievement and Contributions	 124
Section 1. Products of the Research Goals	124
Section 2. Contributions of the Related Research Fields	139
 Chapter 5. Utilization Plan for the Results of Study	 146
 Chapter 6. Key words and Glossaries	 151
 Chapter 7. References	 179

제 1 장 연구개발과제의 개요

제 1 절 연구개발 배경 및 목표

도로는 국가 및 지역경제를 활성화 하고, 지역과 지역, 도시와 도시를 연결해 주는 동맥과 사람과 사람을 이어주는 모세혈관과 같은 문건여행(door to door)등 국민의 삶의 질 향상에 지대한 역할을 담당하는 중요한 사회간접자본 시설이다. 또한, 도로 사업은 건설자체가 막대한 투자비를 필요로 하는 대형 공공사업인 반면에 직·간접적으로 엄청난 부가가치(수송비용 및 시간절감, 지역개발 촉진, 고용증대, 시장권 확대, 생활패턴 변화 등)를 창출한다. 따라서, 도로는 계획과 설계단계에서부터 도로 기능성, 경제성, 교통안전성, 환경성, 지역균형발전, 문화유적 보존 등 다방면으로 종합적 검토를 통하여 정밀하게 건설이 되어야 한다.

또한, 가까운 장래에 자동차 보유대수 2,200만대(현재 1,700만대) 시대가 다가오고, 녹색 국토 균형발전의 국가 목표 달성 일환으로 국토면적의 67%인 산지부 내에 풍요롭고 건강한 미래의 스마트하이웨이(Smart Highway)를 책임 있게 건설하기 위해 본 연구개발 과제는 친환경·지능형 도로설계 기술개발을 목적으로 「친환경·지능형 도로설계 및 평가 시스템」, 「LCC를 고려한 경제 분석 및 도로시설 성능향상」과 「도로안전 및 기능향상 설계기술 개발」 3개 부문을 각각의 전문 연구기관별로 심층 있게 연구하고 연구한 성과물을 상호 융합·접목하여 “안전·친환경·지능형 도로설계 통합프로그램”과 “미래 지향적 도로시설 성능향상 기술”을 개발하여 실용화 검증을 거쳐 유익하게 활용하고자 한다.

2008년 말 현재 우리나라 도로연장은 104,236km, 고속도로는 3,447km이며, 국내 여객, 화물 수송량의 90% 이상을 분담(도시 지하철 제외)하는 국가 교통망의 중추 역할을 하고 있다. 그동안 도로 투자가 많이 이루어 졌으나, 현재 도로 stock은 선진국의 1/3~1/4 수준으로 아직도 절대 부족한 상태이다.

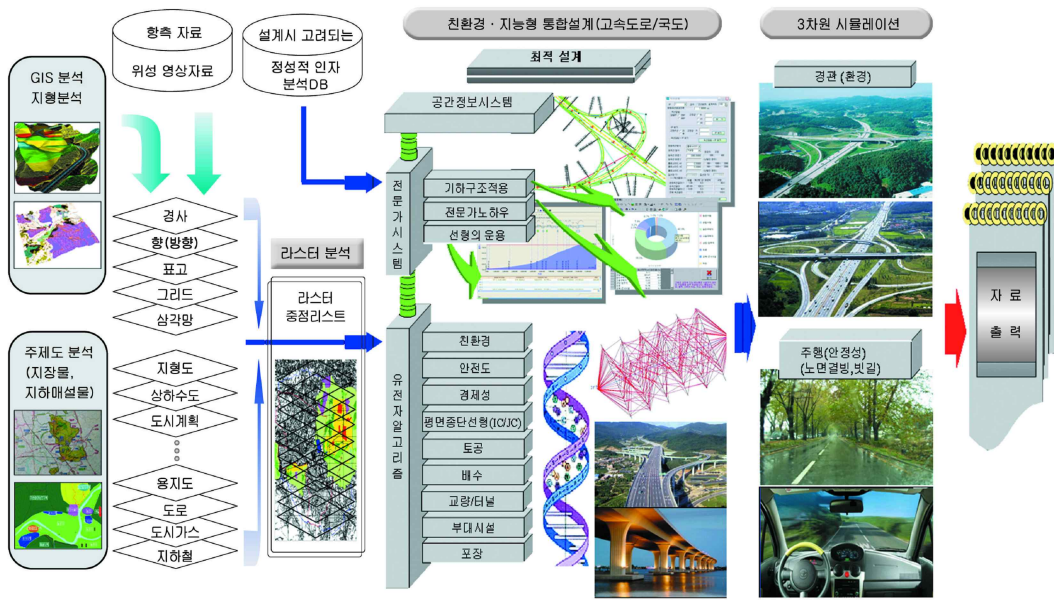
국가 도로 정책의 목표는 2020년까지 96,000km 추가 신설하여 전국 도로망 연장을 최소 200,000km 확충 계획이었지만 예산 제약 등으로 인해 많이 뒤지고 있는 실정이다. 급증하는 자동차 보유대수와 도로 공급의 불균형으로 교통 포화에 따른 교통 혼잡비가 2009년 기준 26조 6천억원에 이르는 것으로 보고되고 있다.

최근, 국민들의 생활수준 향상으로 인해 삶의 질에 대한 요구가 새롭게 다양하게 증가하여, 과거에는 도로를 단순 이동하는 수단으로 사용 했던 것을 만나질 생활권의 시공간(時空間) 활용도와 지정체 없는 안전하고 신속하게, 편리하고 경제적 교통 효율성을 간절히 바라는 인식이 팽배해지고 있는 반면에 자연훼손을 최소화하고 훼손된 부분은 원상복원이 빨리 될 수 있는 친환경 도로가 쾌적하고 지속가능한 환경유지 및 경제적으로 설계되고 건설될 수 있도록 만전을 기해야 한다.

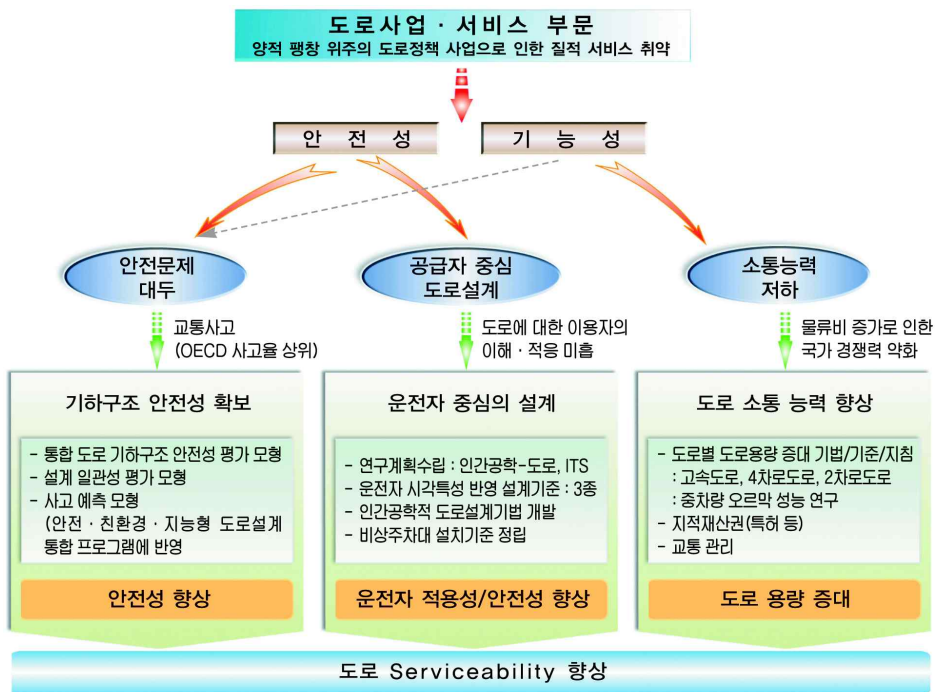
앞으로 건설될 미래 도로사업은 기획단계(타당성 조사 및 기본계획)에서부터 쾌적한 도로환경이 우선되는 친환경적인 기본 개념에 바탕을 두고 도로 주행 안전성 및 LCC를 고려한 경제성을 통합한 최적설계가 되어야 한다.

본 연구과제는 친환경 노선 최적 경로탐색 프로그램 개발에 이어 평면, 종단 선형생성 및 후보 노선 비교평가와 「GIS 분석」, 「유전자 알고리즘(Genetic Algorithm)」과 「전문가 시스템(Expert System)」 등에 의한 수만번의 반복수행을 이행함으로써 자동으로 도로선형을 생성 및 평가하는 IT기술인 지능형 도로 최적설계 시스템과 고품질의 도로건설 실현을 위해 친환경성 부분, 경제성 부분, 안전성 부분을 융합·접목·통합하여 도로설계 계획단계인 예비타당성조사, 타당성조사 및 기본설계 초기단계에서 의사결정 지원용으로 사용 가능한 「안전·친환경·지능형 도로설계 통합프로그램 개발」 및 미래지향적 도로설계 지침 개발을 위한 「도로시설 성능향상 기술 개발」을 신녹색성장 시대의 필요성에 대비하여 정부 의도에 따라 연구개발 한 것이다.

본 연구개발 과정에서 다수의 향후 추가 연구개발 과제를 도출하였으며, 친환경 지능형 도로 최적설계 시스템 개발은 녹색성장기술(GGT, Green Growth Technology)의 선도 주자 역할로 철도, 하천, 댐, 단지, 공항 등 국가 SOC 사업에도 확대 적용 될 수 있을 것이다.



[안전·친 환경·지능형 도로설계 통합프로그램 개념도]



[도로안전 및 기능향상 설계기술 개발]

제 2 절 연구개발의 필요성

1. 기술적 측면

현재 도로설계는 도로 기능성, 경제성, 환경성, 민원성, 지역연계성 등을 체계적인 절차에 의해 종합적으로 검토하고 공사비, 유지관리비를 고려한 LCC를 산정하고 이로부터 종합적인 가치분석을 통해 의사결정을 하기 보다는, 정치권 개입에 의한 노선대 조정, 설계자의 주관적 성향에 의하여 도로노선이 결정되는 경향이 많은 것이 현실이며, LCC를 고려한 도로노선의 경제성 분석 기술은 도로설계를 위한 노선별 성능평가, 노선별 가치분석(Value Analysis)에 기초하여 의사결정, 보다 객관적인 최적 노선 개발, 지능형 도로설계시스템 개발을 위한 의사결정지원시스템으로서 시급히 개발해야할 과제이다.

현재 도로의 실시설계를 수행하다 보면, 실시설계기간의 50% 이상을 기본설계 내용의 재검토와 최적노선선정에 할애하고 있는 실정이며, 기본설계에서 결정된 최적노선을 실시설계에서 준용하는 예는 거의 드물고 기본설계의 문제점을 개선하기 위하여 새로이 최적노선의 선정을 위한 노력을 하게 되고 기본설계노선과 다른 최적대안이 도출되어 상대민원의 발생 등 부작용도 적지 않다. 이는 최적선형의 도출 과정에서 다루어지는 입력변수의 종류나 정도가 각 단계별로 일관적이지 않거나 객관성이 떨어지기 때문이며 설계단계별 최적선형 도출 시점의 변화도 그 원인이 된다. 따라서 최적의 선형을 구하는 과정을 체계화하고 입력변수와 평가항목을 정량화 및 객관화하여 알고리즘으로 구현함으로써 최적선형의 신뢰성을 높이고 최적선형도출 시기를 단축할 필요가 있다. 이 과정에서 교차로의 형식, 교량 및 터널의 최적화 또한 필수적이며 도로의 이동성 및 접근성 등 도로의 기능뿐만 아니라 지역 간의 균형발전, 환경적 문제, 지역주민 정서 등이 포괄적으로 반영되어야 한다. 그렇게 하자면 고전적인 설계방법으로는 불가능하며 도로노선의 최적선형 결정을 위한 최적화 알고리즘 개발이 필수적이다.

또한, 도로 건설시 야기되는 생태계 파괴 및 단절, 대기오염 문제 등에 대하여 정부는 『환경친화적 도로설계 지침』을 환경부와 건설교통부 공동으로 제정하여 2006년 1월부터 시행하기로 결정하였다. 이 지침에서는 노선 선정 단계에서부터 환경전문가가 참여하여 환경성을 검토 하여 환경훼손과 사업 추진상 갈등발생을 최

소화하게 한다. 그래서 도로설계에 사용되는 프로그램 자체에 3D 지형도 및 자연 환경 생태 수치 지도를 포함시켜 환경친화적인 도로설계가 될 수 있는 친환경적인 프로그램이 필요하다 하겠다.

현재 우리나라의 도로설계 수준은 도로설계 프로그램을 사용하여 설계기준적용 및 대안 비교 설계하는 정도(선진국 대비 70.4%)로 21세기에 요구되는 고품격의 지능형 최적 도로설계시스템을 우리 기술력으로 갖추기 위해서는 첫째, 그동안 도로 건설 사업에서 쌓은 실무 지식을 체계적으로 분류하고 시스템화 한 전문가시스템(Expert system)의 개발, 둘째, 방대한 설계 자료들을 설계자들이 설계과정에서 신속하게 조회하여 비교 검토할 수 있게 하는 도로 설계정보 구축, 셋째로, 자연환경 및 기타 지리정보 등을 도로설계 과정에서 쉽고 정확하게 반영하기 위한 공간 분석시스템의 개발이 필요하며, 이 세 가지가 시스템적으로 상호 연동, 통합됨으로서 가능하게 되는 것이다.

또한, 도로의 확장/신설 사업은 대규모의 예산이 투입되기 때문에 설계 및 시공 단계에서 향후 유지관리 또는 안전성을 확보하지 않으면 추가 투입되는 예산 등의 문제가 발생할 가능성이 높기 때문에 이에 대한 대책 마련이 시급한 실정이다. 도로이용자 및 관리자가 요구하는 만족도가 높아지는 상황에서 볼 때, 계획 및 설계 단계에서부터 질 높은 도로를 건설하는 것과 향후 운영 및 유지관리를 통한 서비스 및 기능성을 확보하는 것은 매우 중요한 사안이다.

지금까지 진행된 연구는 다소 산발적이고 부분적으로 수행되어 그 성과가 도로 사업에 체계적이고 효과적으로 적용되지 못하였으며, 대규모 예산이 투입되는 도로 공급도 중요하나, 이와 더불어 소규모 예산을 투입해도 효율성이 큰 운용 및 유지관리 대안도 함께 개발해야 할 시점이다.

2. 경제·산업적 측면

도로는 국민생활과 국가 경제에 가장 밀접하고 중요한 사회간접자본 시설로서 이의 건설과 관리에는 막대한 예산이 소요되므로 일반적으로 도로의 기능성, 경제성, 교통안전성이 우선적으로 검토되어 건설되어지며, 그동안 단기적으로 경제성 분석이 어려운 환경 보전에 따른 편익이 거의 무시되고 도로건설이 이루어졌던 것이 사실이다.

근대 이후 우리나라는 비약적인 경제 성장을 이룩하였고 그에 따라 자동차의 성능향상과 교통량의 폭발적인 증가현상이 나타나게 되었다. 1970년대 127 천대에 불과 하던 차량등록대수는 2007년 16,428 천대의 자동차 등록 대수를 기록하였다. 이에 따라 지속적인 도로확충이 이루어 졌으며, 고속도로 일반도로 등을 모두 포함 하는 도로의 총 연장이 1970년 40,244km에서 2008년 말 104,236km로 증가하였다. 그러나 같은 기간 동안 자동차의 대수가 129배 증가한데 반하여 도로는 2.6배 정도 밖에 확충되지 않아 교통 혼잡이 심각한 상황이었어서 도로망의 확충이 시급한 실정이다. 더욱이 지방화가 촉진되고 국토균형발전을 추구하면서 도로 수요는 지속적으로 증가될 전망이다. 그러나 십에서 수백 km에 달하는 도로는 광범위한 범위에 걸쳐 환경 훼손이 수반되어 아직도 도로건설이라는 개발논리와 환경보전이라는 보존논리가 첨예하게 대립하여 사업이 중단되면서 곧 막대한 경제적인 손실로 이어지는 사례도 계속되고 있다.

또한, 국내 건설시장에서 국가예산이 투입되는 공공부문의 시장규모는 연간 약 58조원(2009년 기준)으로, 국가예산의 상당부분을 차지(국내총생산, GDP의 약 18%) 함으로써 국가경제에 상당한 과급효과를 가져오는 반면 비경제적 설계로 인한 예산낭비요인 또한 많아 사회·경제적 논란의 쟁점이 되기도 한다. 따라서 보다 객관성과 타당성 있는 VE/LCC분석기법을 도입 활용할 경우 대안설계 및 유지관리 전략의 효율화를 꾀할 수 있으며 총 사회비용 및 정부예산이 절감될 수 있으며, 소규모 예산 투입으로도 도로의 기능성을 높이고 안전성을 확보할 수 있는 기술대안이 마련된다면 상당히 효율적인 도로서비스를 제공할 수 있을 것으로 판단된다.

현재 도로부문 투자 상황을 보면 연간 8조원이 투입되고 있으나, 운영·유지관리 부분에 대해서는 8,000억원 정도로 10% 정도밖에 되지 않고 있다. 영국과 같은 선진국은 도로의 운영·유지관리에 투입하고 있는 비율이 전체 도로 사업비의 50%까지 투입한 경우도 있음을 감안할 때, 국내 도로 유지관리 비용은 상당히 낮은 비율임을 알 수 있다. 국내 도로 운영 및 유지관리에 투입되는 비용은 전체 투자규모에 대비하여 상당히 부족한 것이긴 하나, 갑자기 도로유지관리 비용을 증가시킬 수는 없는 상황과 향후 도로이용자 및 관리자의 서비스 향상에 대한 요구가 높아질 것으로 기대됨을 감안할 때, 소규모 예산 투입으로 수요에 부응할 수 있는 기술개발을 병행 추진할 필요가 있다.

본 과업에서 개발되는 경제성 분석 기법을 포함하고 환경을 고려한 친환경적인

도로설계 프로그램이 도로건설 사업에 적용될 경우 사업 초기단계에서 LCC를 고려한 사업의 타당성 검증은 물론 사회, 경제, 환경을 종합평가할 수 있게 된다. 또한, 조사, 계획, 설계단계에 도로 최적설계 프로그램이 활용된다면 신속하게 최적설계가 가능하게 됨으로서, 도로 사업비의 절감은 물론이고, 부실공사 방지, 국가물류비용 절감 등을 가져올 수 있을 뿐만 아니라 설계 성과품의 품질을 향상시키고 안전하고 친환경적이며 민원을 최소화하는 도로건설이 가능할 것이다. 또한 설계경쟁력을 제고시키고 현재의 도로설계능력을 몇 단계 끌어올리는 고품격 도로설계시스템을 갖추므로써, 고부가가치 산업인 설계용역의 해외 진출도 가능 하리라고 볼 때, 그 경제 산업적 효과는 막대할 것으로 예상되며, 본 연구를 토대로 정부차원에서 추진되고 있는 Smart Highway, Green Road 등 건설교통 R&D 혁신 로드맵의 유망 기술개발의 성공에 많은 기여를 할 수 있을 것으로 기대된다.

3. 사회·문화적 측면

최근 국민의 생활 및 의식수준의 향상에 따라 도로설계 및 시공 시 많은 민원 및 환경 등 다양한 분야의 문제들이 발생하며 이에 따른 도로건설기간이 늘어나고 있는 실정이다. 그러나 현재의 설계가 이런 문제들에 일일이 대응하기에는 시간이나 인력상 많이 부족한 실정이며 이런 요구들을 모두 반영할 수도 없다. 또한, 현행 설계가 객관적인 자료나 기준보다는 제한된 설계참여자의 경험 및 주관적 판단에 근거한 계획으로 민원인과의 협의과정에서 많은 애로사항이 있는 것이 현실이다. 따라서, 본 연구를 통해 좀 더 객관적인 자료의 정리와 다양한 노선 및 구조물 형식을 신속히 검토함으로써 증가하는 민원이나 환경 문제 등에 신속히 대응할 수 있는 토대를 구축하였으며, 도로건설에 필요한 도로 설계기준, 구조물 형식, 첨단교통시스템, 운전자 인식변화(빠른 도로 → 여유롭고 풍요로운 도로)등을 달성할 수 있을 것이다.

또한, 운전자 및 도로이용자의 안전을 우선시 하는 도로시설은 교통사고 감소에 큰 도움을 줄 수 있으며 보다 성숙한 교통안전문화 정착의 기반이 될 것으로 판단된다. 궁극적으로는 국내 교통(사망)사고를 감소시켜 사고처리에 따르는 사회적비용의 지출을 막고, 도로 및 각종 시설물의 유지·보수비용을 감축시킬 수 있을 것으로 기대한다.

제 3 절 연구개발의 내용 및 범위

1. 세부과제별 연구내용

본 연구사업은 21세기 미래사회가 요구하는 삶의 질 향상과 환경보전을 통한 지속 가능한 국토 환경유지에 기여하고 도로건설의 사회적 공감대를 충족시키기 위하여 2005년 건설기술혁신사업으로 선정되어 2010년 완료를 목표로 진행되었다.

친환경·지능형 도로설계에는 다양한 전공분야가 포함되기 때문에 기술의 선진화를 위하여 광범위한 연구가 포함되어야 한다. 따라서, 최종목표 달성 및 효율적인 연구수행을 위하여 크게 ‘친환경·지능형 도로설계 및 평가시스템 개발’, ‘LCC를 고려한 경제성분석 및 도로시설물 성능향상’, ‘도로안전 및 기능향상 설계기술 개발’ 등 3개의 세부과제로 연구가 진행되었으며, 각 세부과제별 연구개발 내용은 다음과 같다.

● 제1세부과제 : 친환경·지능형 도로설계 및 평가시스템 개발

- 지능형 도로설계 통합프로그램 개발
- 환경을 고려한 노선·선형설계 프로그램 개발
- 배수시설 설계기술 개발
- 연약지반구간 잔류 침하량 산정기술 개발

등 4개의 세세부과제로 구성되어 있으며, 총 8개의 기관이 참여하여 환경친화적인 도로설계 프로그램개발 부분의 연구 수행

● 제2세부과제 : LCC를 고려한 경제성분석 및 도로시설물 성능향상

- 경제성분석 기술개발 및 첨단기술을 고려한 도로설계 기술개발
- 도로설계 알고리즘 개발
- 산지부 도로노선·선형 설계방안 및 선진한국형 휴게소 기술개발
- 도로안전, 정보시설물의 내풍안전성 해석과 설계기술 및 중분대 개발

등 4개의 세세부과제로 구성되어 있는 제2세부과제는 총 9개의 기관이 참여하며, 경제성을 고려한 도로설계 및 도로시설물 성능향상을 위한 설계기법과 지침 등을 개발

● 제3세부과제 : 도로안전 및 기능향상 설계기술 개발

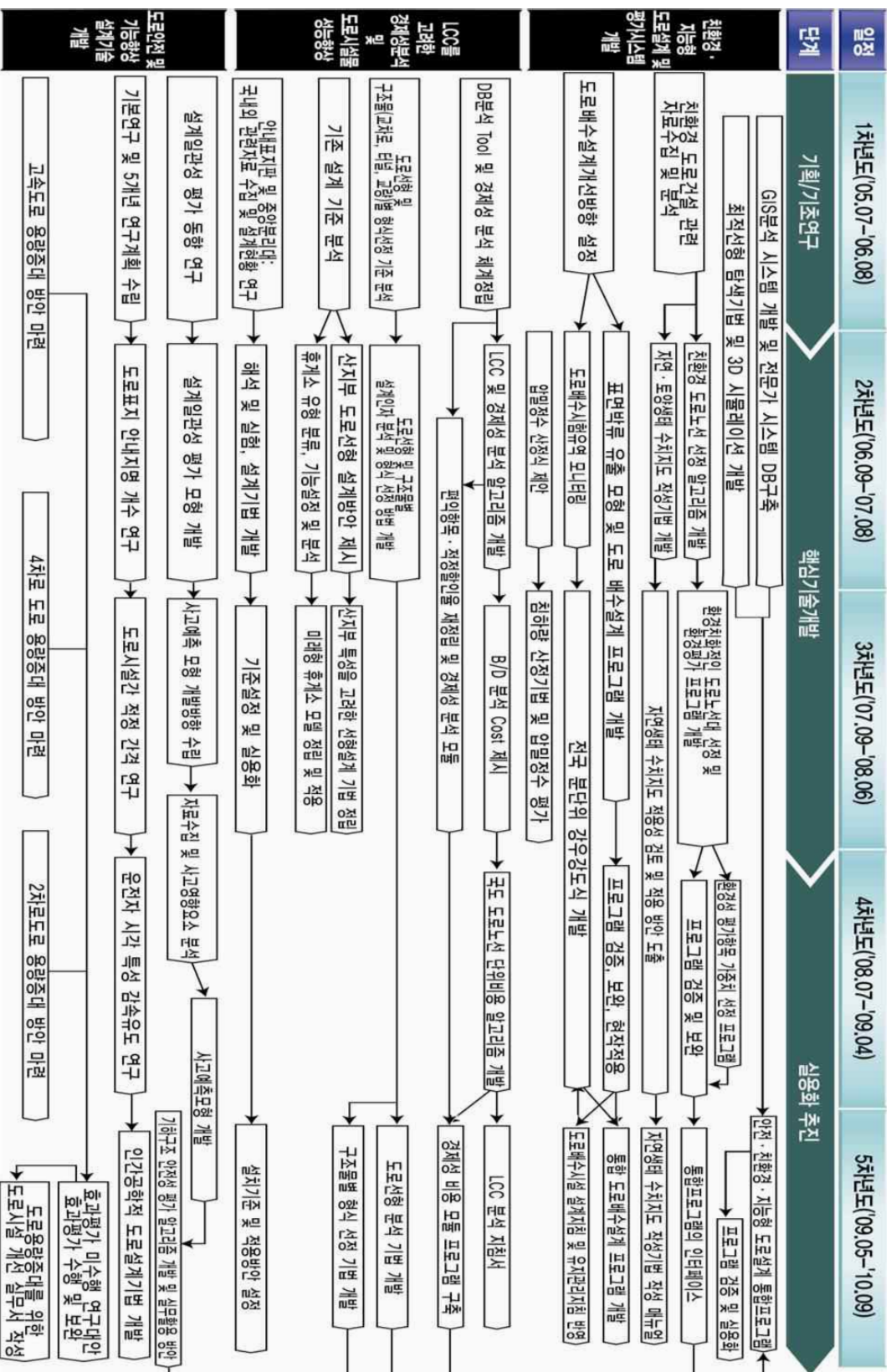
- 도로 기하구조의 안전성 평가 기술개발
- 이용자 중심의 도로설계 기법 개선연구
- 도로용량 증대를 위한 도로시설 개선 기술개발

등 3개의 세부과제로 구성되어 있으며, 10개의 기관이 참여하여 도로안전성 향상을 주요목표로 도로의 기능향상을 위한 연구 수행.

각 세부과제는 독립적인 연구목표와 이에 따른 연구주제를 포함하고 있지만 「안전·친환경·지능형 도로설계 통합프로그램 연구개발」과 「도로시설 성능향상 기술 연구개발」이라는 최종목표를 달성하기 위해 각 세부과제에서 도출된 연구결과를 공유하여 융합·접목하고 필요할 경우에는 공동연구를 수행하여 연구효율을 극대화시킨다. 세부과제별 최종목표의 연계항목 및 5차년 동안의 연구개발 로드맵은 다음 그림과 같다.



[세부과제별 연구개발 내용]



[첨진 연구개발 계획]

2. 연차별 연구목표 및 주요 연구내용

■ 친환경·지능형 도로설계 및 평가시스템 개발(제1세부과제)

연 차	연구목표	주요 연구내용
1차년도	▶ 환경을 고려한 노선·선형설계 프로그램 개발	
	친환경 도로건설 자료 수집 및 분석	- 국내·외 자료수집 및 분석 - Eco-road 건설을 위한 단계 대책(안) 제시
	현행 도로건설 정책 및 제도의 분석	- 친환경 도로건설지침 및 건설 환경 관리 표준시방서 분석 - 친환경 도로건설 관련 법 제도의 분석
	친환경 도로설계 기술의 개발을 위한 기초자료 수집	- 기존 자연생태 관련사항 수치·등급화 연구수집 및 분석 - 기존 대기질 등 환경질 예측모델 수집 및 분석 - 기존 도로 선형 설계 제약인자 결정사항 분석
	토양환경변수-미생물생태 변수간의 정량적 상관관계의 연구	- 해당 자료 취합 분석 - 세부추진계획 재검토 - 연구내용 확정승인 (소요장비, 실험계획서 포함) - 토양환경변수 분류 - 기존토양도자료의 획득 및 분석 - 토양미생물생태변수들 중 환경보전 및 복원능에 관련된 사항들 도출 - 환경변수-미생물생태변수간 상관관계 문헌조사 - 대상지역의 토양미생물생태군집다양성분석
	▶ 배수시설 설계기술 개발	
	기존 배수설계 요소의 개선방향 설정	- 자료 수집 및 문헌 조사 - 국내 도로 배수시설 설계 현황 검토 - 외국의 도로 배수시설 설계 지침 검토 - 유관 규정 또는 지침서 검토 - 기존 설계 요소의 기술적 검토 및 개선방향 설정 - 강우-유출 모형 검토
	도로 배수 시험구역의 선정 및 운영	- 도로 배수 시험구역 선정 및 운영 - 강우, 수위 및 유량 측정
	수로, 암거 설계기법 개선	기존의 수로 및 암거 설계기법 검토 및 개선방향 설정
	▶ 지능형 도로 통합설계 프로그램 개발	
	지형, 공간 정보 분석 시스템 개발	- 경사, 표고, 향 분석 모듈 개발 - 수치지형도에서 주제별 레이어 추출 모듈 개발 - GIS 기반의 도로 설계용 데이터 개발
	최적선형 탐색기법연구	- GALib의 커스터마이징 - 유전자 변형 모듈 보완 - 복합유전자 처리기법 연구
	3차원 경관 시뮬레이션	3D 객체 모델링 모듈 개발 - 도로 형상 모델링 모듈 개발
	공사비산정 및 경제성분석 시스템	터널 형식선정 모듈 개발

연 차	연구목표	주요 연구내용
2차년도	▶ 환경을 고려한 노선·선형설계 프로그램 개발	
	▪ 친환경 도로설계 대상항목 설정 및 연구	▪ 자연 및 인간생활 환경영향 평가기준 재점검 ▪ 자연보존, 보존을 위한 동식물 생태지표 선정 ▪ 동물이동 및 차단시설물 설계기법 보완
	▪ 친환경도로노선 설계 프로그램 알고리즘 개발	▪ 외국 친환경 도로 건설사례분석 및 현지 조사 ▪ 친환경도로노선 설계프로그램알고리즘 개발 ▪ 시범지역선정 및 시범지역내 실제 자연, 생활 환경조사 ▪ 시범지역의 설계프로그램 알고리즘 적용 및 검토
	▪ 자연생태수치지도 작성기법 개발	▪ 자연생태 수치지도작성기법 개발
	▪ 토양환경-미생물생태다양성 수치지도 작성방법	▪ 토양환경변수들의 지도제작방법적합화 ▪ 주요토양미생물생태 변수들의 수치지도 제작기법개발 ▪ 동식물생태와 토양환경생태간 상관성 연구 ▪ 토양환경-생태 상관관계도출 및 모형화
	▶ 배수시설 설계기술 개발	
	▪ 분 단위 강우강도식 개발	▪ 기존의 강우강도식 검토 ▪ 10분 이하 지속시간 강우강도식 개발 방법 연구 ▪ I-D-F 관계곡선 및 관계식(강우강도식) 개발
	▪ 도로 배수 시험유역의 운영	▪ 도로 배수 시험유역 모니터링(계속) ▪ 수위-유량 관계곡선식 유도
	▪ 강우-유출 모델링	▪ 합성단위도법들의 적용 및 최적화 ▪ 지역의존성이 약한 물리적 모형인 운동파 모형을 이용한 강우-유출 모델링
	▪ 노면배수 설계를 위한 전산 모형의 개발	▪ 노면배수 시설의 설계변수인 유출구 간격을 결정하기 위한 수학적 또는 전산 해석 모형 개발 ▪ 다양한 조건하에서 노면배수 설계 결과 분석
	▪ 수로 및 암거의 단면규격 산정에 필요한 수리해석 전산 프로그램의 개발	▪ 수로 및 암거의 단면규격 산정에 필요한 수리해석을 위한 전산 프로그램의 개발
	▪ 도로 배수설계 프로그램 개발을 위한 DB 구축	▪ 기존 도로배수설계 모형과의 비교 검토 ▪ 국내 도로배수시설 위치 및 제원 조사
	▪ 노면 수리이론을 적용한 배수설계 해석방법 개발 및 현장 적용	▪ 노면 수리이론의 개념 정립 ▪ 노면 수리이론의 적용 가능한 시험 유역 선정
	▪ 자연유하배수, 노면배수, 횡단배수, 지하배수 특성 조사 분석 기법	▪ 실험결과 분석 및 모니터링
	▶ 지능형 도로 통합설계 프로그램 개발	
	▪ 공간정보 분석시스템 개발	▪ 그리드, 틸, 버퍼링 분석 모듈 개발 ▪ 수치지형도의 무결성을 위한 보정 모듈 개발 ▪ GIS 기반의 도로설계용 3차원 공간 정보 개발
	▪ 전문가 시스템의 지식베이스 구축	▪ 전문가 지식 DB설계 ▪ 선형설계점수 평가 방안 구축 ▪ 선형비용점수 평가 방안 구축
	▪ 최적선형 탐색 모듈 개발	▪ IC/JC를 고려한 선형 탐색 기법 연구 ▪ 평면선형 탐색시 중/횡단을 동시 고려한 속도개선 기법 연구
	▪ 3차원 조경 시뮬레이션 엔진 개발	▪ 3D 지형 모델링 모듈 개발
	▪ 공사비산정 및 경제성분석 서브 프로그램 개발	▪ 교차로 위치 및 형식선정 모듈 개발 ▪ 선형 평가 지식베이스 구축 ▪ 터널 형식선정 및 평가 모듈 개발 ▪ 교량형식 선정 모듈 개발

연 차	연구목표	주요 연구내용
2차년도	▶ 연약지반구간 잔류침하량 산정기술 개발	
	▪ 국내외 연구동향 분석	▪ 국내외 연약점성토 침하와 관련된 기본개념과 최신이론 접목 가능성 강구
	▪ 기존 침하량 산정기법 분석	▪ 기존 침하량 산정기법의 장단점 도출 및 국내 연약지반 특성을 고려한 침하량 산정기법 검토
	▪ 연약지반 관련 O/B 구축	▪ 연약지반 물리적 특성(자연함수비, 액성한계, 소성지수 등)과 공간적규모의 데이터베이스 구축
	▪ 통합프로그램 접목방안 연구	▪ 통합프로그램에서 산출될 잔류침하량 관련 산출물과 Input Data의 범위 검토(위치, 심도, 공학적 특성 등)
	▪ 연약점성토 성분분석	▪ 지역별 연약점성토에 대한 성분 분석
	▪ 모형시험 실시 및 결과분석	▪ 성분분석 결과를 기초로 한 인공시험 조제 ▪ 인공시험에 대한 모형시험 실시 및 분석
3차년도	▶ 환경을 고려한 노선·선형설계 프로그램 개발	
	▪ 환경친화적인 도로의 Control Point 설정기준 및 절차 제시	▪ Control Point 결정요소 검토 ▪ Control Point 설정 단계별 절차 제시 ▪ 저항치·가중치 설정 및 보완
	▪ 환경친화적인 도로노선 선정 및 환경평가 (CAD기반의) 프로그램 개발	▪ 환경성 평가 모듈 작성 ▪ 기존 주제도의 입력인터페이스 및 변환모듈 개발 ▪ 공간분석을 이용한 주제도 생성 모듈 개발 ▪ 입·출력 인터페이스 작성 ▪ 고품질 공간정보 활용성 검토
	▪ 친환경 도로노선설계를 위한 환경성 평가 항목 검토 및 수정	▪ 1~2차년도에 제시되었던 환경성 평가항목 및 지표의 검토 ▪ 평가항목 및 지표의 수정 및 가중치 도출
	▪ 친환경 도로노선 설계 프로그램(Arc 기반) 개발	▪ 수정된 평가항목 및 지표를 이용한 친환경 도로노선 설계프로그램 알고리즘 개발 ▪ 주관기관과 협조하여 친환경도로노선 설계프로그램 개발
	▪ 자연생태수치지도 작성기법의 적용가능성검토	▪ 생물다양성이 풍부한 시범구간 선정 ▪ 자연환경조사 실시 ▪ 자연생태수치지도 작성기법 적용 및 검토 ▪ 친환경 도로노선 설계프로그램과 연관성 검토
	▪ 토양생태등급의 신뢰성 검증	▪ 토양환경자료에서 토양미생물 중 다양성 산정에 대한 현장검증과 알고리즘의 보완 개선 ▪ 전국규모의 토양생태수치지도 작성
	▪ 자연생태수치지도와 접목화	▪ 토양생태등급정보를 자연생태수치지도에 접목하기 위한 AHP
	▪ 표토층 토양의 복원 및 관리방안 연구	▪ 절성토시 표토층 토양복원 관리에 관한 기술/연구현황 분석 ▪ 친환경 도로설계관점에서 표토층 토양 복원 및 관리 개선을 위한 방안제시
	▶ 배수시설 설계기술 개발	
	▪ 측구, 도수로, 수로암거에 대한 신규 프로그램 현장 적용성 연구 ▪ 도로 주변 지표 및 계곡별 강수량과 노면수량의 합류 지점 위치 선정 및 배수시설 설계방안 연구	▪ 기존 설계방법과의 규격 및 규모와 경제성 비교 ▪ 설계 대상 항목별 O/B 구축 및 해당 모듈개발 적용성 진단 ▪ 국도 및 고속도로 실시설계 적용 사례 연구 ▪ 기존 프로그램과의 비교 검토

연 차	연구목표	주요 연구내용
3차년도	노면배수설계 프로그램 보완	실시설계 방법과의 비교 검토
	강우-유출 모델링 2단계 :표면 박류 유출모형 수립 및 보완	- 강우의 임계지속시간을 고려한 설계강우강도를 결정하기 위한 표면 박류 유출 모형 수립 - 해석해, 여타모형, Volume conservation 등 가용한 방법을 사용하여 검증
	도로 주변 지표 및 계곡별 배수설계 프로그램 개발	- 계곡별 강수량 및 노면배수시설에서 수로의 단면규격을 산정하기 위한 옵션을 추가하여 모형 보완 - 도로 주변 지표 및 계곡별 강수량에 의한 측구 및 집수거 위치 선정 방안
	각종 수로 및 암거의 단면 규격 산정 프로그램의 적용 및 보완	- 각종 수로 및 암거의 단면규격 산정 프로그램의 검증 및 보완 - 기존의 설계 지침에서 제시하는 도표 혹은 도식을 이용한 수로 및 암거의 단면규격 산정 방법에 의한 설계 결과와 비교 및 검토
	전국에 대한 분 단위 강우 강도식 개발	- 전국의 시 단위 강우자료가 있는 지점을 조사하고 분석한 후, 분 단위 강우강도식을 개발할 지점 설정(3차 및 4차년도 대상 지점 설정) - 설정된 지점들에 대한 분 단위 강우강도식 개발
	▶ 연약지반구간 잔류침하량 산정기술 개발	
	침하량 계산에 필요한 산정 기법 및 압밀정수 평가	- 침하량 산정공식 수정 방안 분석 - 압밀정수 산정 개선방안 검토
	1차압밀 종료시점 분석	소성지수별 과인간극수압 소산에 따른 1차압밀 종료시점 파악
	성토하중에 따른 지반정수의 영향분석	- 연약지반 도로를 대상으로 시료 채취 - 응력영향을 고려한 강도 및 압밀시험
	연약지반 예측자료 수집 및 분석	- 설계 당시와 시공 이후 침하량 비교 분석 - 압밀정수의 변화 정도 파악
4차년도	압밀정수 산정식 제안	- 기존 설계 관행의 문제점 고찰 - 압밀정수의 상관성 분석 - 실측 데이터와 비교분석을 통한 경험식 검증
	2차압밀을 포함한 압밀침하량 산정기법 개발	- 기존 예측치 및 연구개발 결과의 비교 검토 - 시간 & 침하량 곡선의 비교 및 검증
	▶ 환경을 고려한 노선·선형설계 프로그램 개발	
	환경친화적인 도로노선 선정 및 환경평가 (CAD 기반의) 프로그램 검증 및 보완	- 사례구간을 적용을 통한 문제점 분석 - 시연회 등을 통한 사용자 요구사항 분석 - 실용화 방안 제시 및 프로그램 보완 연계 (도로평면 현황도 작성 지원기능, 사용자 편의성 보완 등) - 프로그램 수정보완
	평가항목 가중치의 사용자 의사결정 프로그램 설계 및 개발	- 설문조사 포맷 설계 - 설문조사 분석처리 알고리즘 구축 - 기 개발 프로그램과의 연계방안 강구 - 평가항목 가중치의 사용자 의사결정 프로그램 개발

연 차	연구목표	주요 연구내용
4차년도	친환경 도로노선 선정 알고리즘 검증적용방안	- 친환경 도로노선 선정 알고리즘 검증 - 친환경 도로노선 선정방법의 활용방안제시 - 타당성 단계에서 적용방안 제시 - PI제도와 연계한 가중치 설정 방안 제시 - 노선별 환경성평가기법 개발 - 구조물 통과시 환경성 평가기법 개발
	자연생태수치지도 작성기법 적용방안 구상	- 종합자연생태수치지도 작성기법의 지도화 방안구상 - 동물이동모형 적용 후 각 지역별 서식지 이격거리 결정 - 생태통로 지점 선정 기법개발 (5차년도와 연계)
	▶ 배수시설 설계기술 개발	
	전국에 대한 분단위 강우강도식 개발 (2단계 : 남부지역)	- 남부지역 분단위 강우자료를 이용한 공간상관구조 분석 - 남부지역 분단위 강우자료의 보정 및 이상치 제거 - Random Cascade 모형을 이용한 남부지역의 분단위 I-D-F 관계 유도 및 분단위 강우강도식 개발 - 중부 및 남부지역에 소재한 강우 관측소 지점에 대한 분단위 강우강도식을 전국으로 공간 확장
	각종 수로의 설계 프로그램 개발 (2단계 : 계통별)	- 각종 수로별 설계 프로그램 개발 - 배수 계통을 고려한 각종 수로 설계 프로그램 개발
	도로 배수 단위 프로그램의 설계 실무 검증 및 보완	- 노면 배수설계 프로그램의 실시설계 적용으로 도수로(집수거)설치 간격 검토 - 암거 단면 규격 산정 프로그램의 실시설계 적용으로 적정 암거 제원 검토 - 기존 설계 방법에 의한 결과와 비교 검토
5차년도	개발 프로그램의 GUI 작업	- 프로그램 개발을 위한 핵심 기술 프로세스의 재정의 : 업무 처리 흐름도 작성, 개발 프로그램의 단위 프로세스 작성(노면배수설계, 암거단면규격 산정) - 단위 프로그램의 coding : 노면 배수설계 프로그램, 암거 단면규격 산정프로그램 - 각종 수로 설계 프로그램의 coding : V형측구, 산마루측구, 소단 측구, 절토부 L형 측구 집수정, 중분대 종배수관 - 개발 프로그램의 GUI 작업 : 노면 배수설계 프로그램, 암거 단면규격 산정프로그램, 각종 수로 단위 프로그램
	▶ 환경을 고려한 노선·선형설계 프로그램 개발	
	친환경 도로노선 선정 알고리즘 보완 및 실용 검증	- 대체 대기질 평가지표 도출 - 생태축 평가지표 도출 - 설계적용 및 사례구간 20지점 검증
	자연생태수치지도 작성 매뉴얼 작성	- 기존 자연생태수치지도 작성기법 연계 방안(등급화) 검토 - 도로설계를 위한 자연생태수치지도 작성 매뉴얼 작성
	통합프로그램과의 인터페이스	- 통합프로그램과의 알고리즘 연계방안 도출 - 평가항목 가중치 설정 서브프로그램 연계 - Case Study를 통한 통합프로그램 검증(환경분야)

연 차	연구목표	주요 연구내용
5차년도	▶ 배수시설 설계기술 개발	
	도로배수시설 설계프로그램 통합 및 실용화	- 도로 배수설계 프로그램의 통합 작업 - GIS 정보를 이용한 유역면적 및 집수위치 선정기법 연구 - 프로그램 실용화
	도로배수설계지침 개선안 작성	- 지침 개선 범위 설정 및 타당성 협의 - 정책 반영을 위한 홍보 및 공청회 - 도로 배수설계 지침 개선안 확정
	▶ 지능형 도로 통합설계 프로그램 개발	
	선형 최적화를 위한 선형 생성 및 통합평가 모듈개발	- 계능구성(도로선형정보구성) 모듈 개발 - 초기선형 구성모듈 개발 - 최적화 알고리즘 적용모듈 개발 - 최적화 실행 및 수행중 최적화과정 추적모듈 개발 - 유전연산자(비교/교배/돌연변이) 적용 모듈 개발 - 선형생성 모듈 개발 - 선형보정 모듈 개발 - 선형평가 모듈 개발 - 선형생성 및 평가시 적용아이템 증가에 따른 속도 개선방안 도출
	친환경 지능형 최적설계 시스템 개발	- 통합 UI(User Interface) 구성모듈 개발 - 단위프로그램의 최적화적용 방안 연구 - GIS 분석모듈 개발 - 전문가시스템 개발 - 삼각망(TIN)으로부터 지반고확득 속도개선 모듈 개발 - 선형분석보고서 출력모듈 개발 - 상용도로설계프로그램과 데이터호환 모듈 개발 3D시뮬레이션을 위한 도로정보 생성모듈 개발
	최적 노선의 3차원경관 시뮬레이션 개발	3차원 도로형상 모델링 3차원 지형모델링 - 차량주행 시뮬레이션 개발 3D Viewer 개발 - 동영상 생성
	친환경 도로노선 평가 모듈 개발	- 친환경 도로노선 평가를 위한 그리드분석 적용 방안 도출 - 친환경 점수 출력모듈
	도로 선형 분석 프로그램 개발	- 프로젝트 관리 및 UI 구성모듈 - 도로 기하구조정보 입력/수정모듈 - 구축 D/B 연동모듈 - 도로선형 평가모듈
	교차로 형식 선정 프로그램 개발	- 프로젝트 관리 및 UI 구성모듈 - 도로 기하구조정보 입력/수정모듈 - 구축 D/B 연동모듈 - 교차로 형식 선정모듈
	교량 형식 선정 프로그램 개발	- 프로젝트 관리 및 UI 구성모듈 - 도로 기하구조정보 입력/수정모듈 - 구축 D/B 연동모듈 - 교량 형식 선정모듈

연 차	연구목표	주요 연구내용
5차년도	터널 형식 선정 프로그램 개발	- 프로젝트 관리 및 UI 구성모듈 - 도로 기하구조정보 입력/수정모듈 - 구축 D/B 연동모듈 - 터널 형식 선정모듈
	도로노선의 경제성분석 프로그램 개발	- 프로젝트 관리 및 UI 구성모듈 - 도로 기하구조정보 입력/수정모듈 - 구축 D/B 연동모듈 - 도로노선의 경제성 분석모듈
	도로 기하구조의 안전성 평가 프로그램 개발	- 프로젝트 관리 및 UI 구성모듈 - 도로 기하구조정보 입력/수정모듈 - 구축 D/B 연동모듈 - 기하구조 안전성 평가모듈
	프로그램 검증 및 실용화 연구	- 기 설계구간에 대한 본프로그램 적용 후 결과 분석 - 최적화 수행 시 매개변수(교배/돌변확율) 변화에 따른 결과선형 분석 - 설계연장에 따른 최적화 수행시간 비교 및 결과 선형 분석(그리드정밀도 분석) - 설계연장에 따른 시스템 안정성 및 효율성 분석 - 최적화 적용 아이템증가에 따른 최적화 속도분석 - 결과선형에 대한 설계자 요구사항 분석

■ LCC를 고려한 경제성 분석 및 도로시설물 성능향상(제2세부과제)

연 차	연구목표	주요 연구내용
1차년도	▶ 경제성분석 기술개발 및 첨단기술을 고려한 도로설계기술 개발	
	도로노선 가치분석 및 LCC 분석을 위한 기초 연구 수행	- 도로 가치분석 및 LCC분석관련 국내외 기술동향 분석 - 상용 LCC분석 S/W조사, Bench-marking - 도로 VE/LCC분석 프로그램 조사 - 국내 도로노선 실무 설계 및 보강설계자료 조사
	도로노선 가치분석 및 LCC 분석을 위한 DB 수집 및 분석	- 도로노선 가치분석 및 LCC분석을 위한 추가적인 자료 수집 및 설문조사 수행 - 가치분석 및 LCC모델 Bench-marking
	- LCC를 고려한 경제성분석 - 경제성분석 프로그램 알고리즘 정립 - 첨단기술을 고려한 도로설계기준 정립	- 도로노선 가치분석 및 LCC 분석을 위한 기초연구 수행 - 도로노선 가치분석 및 LCC 분석 DB수집 및 분석 - 경제성 검토 프로그램 개발 사례 연구 - 경제성 분석 체계 정립 - 첨단기술 동향분석 및 벤치마킹
	▶ 도로설계 알고리즘 개발	
	국내 자료 수집 및 분석	- 교차로 위치에 대한 통계분석 - 터널형식 및 단면설계 인자 분류 - 교량 상·하부 구조 형식별 조사
	▶ 산지부 도로노선·선형 설계방안 및 선진한국형 휴게소 기술 개발	
	- 국·내외 산지부 도로 설계 기준 및 연구 환경 분석 - 휴게소 기능향상을 위한 기초 연구	- 산지부 특성에 관한 개념 정립 - 해외 도로 설계기준 및 선형 설계 방안 조사 - 휴게소 기능향상을 위한 고려요소 연구
2차년도	▶ 도로안전, 정보시설물의 내풍안전성 해석과 설계기술 및 중분대 개발	
	관련자료 수집 및 검토	국내외 설계기준 지침, 연구자료 수집 및 활용방안 검토·국내시설 현황조사 및 선진외국의 사례 조사
	▶ 경제성분석 기술개발 및 첨단기술을 고려한 도로설계기술 개발	
	도로노선 가치분석 및 LCC 분석을 위한 DB 구축	- 도로노선 가치분석을 위한 제반변수 도출 - 도로노선 LCC분석을 위한 제반변수 도출
	B/C분석에서 투입되는 유지관리 COST 조사분석	- 도로 유지관리의 체계 현황 분석 - 기존 도로의 유지관리비 산정 특성 분석 - 도로 유지관리비 산정 모형 검토 - B/C 분석을 위한 단위 Cost 조사 분석 - 한양대 경제성단위프로그램과의 연동방법 제시
	- LCC 및 가치분석 방법을 고려한 도로노선의 경제성 분석 기술개발 - 경제성분석 프로그램 알고리즘 확립 및 편익항목 검토 - 첨단기술을 고려한 도로설계기준 정립	- LCC 및 가치분석 DB구축 - LCC 및 가치분석 단위 모델개발 - 정성적 편익항목에 대한 일반화방안 검토 - 사회적 할인율에 대한 검토 - ITS 기술조사 및 벤치마킹 - 설계기준 분석 및 정립

연 차	연구목표	주요 연구내용
2차년도	▶ 도로설계 알고리즘 개발	
	• 평면 및 종단선형 조합기술 개발 • 터널 및 교량평가 알고리즘 개발	• 합리적인 교차로 위치/형식 선정 알고리즘 개발 • 터널 형식 평가 기준 자료 수집 및 정리 • 최근 5년간 형식별 교량의 상.하부 공사비 조사 및 분석
	▶ 산지부 도로노선·선형 설계방안 및 선진한국형 휴게소 기술 개발	
	• 산지부 도로에 대한 공학적 분석 • 휴게소 설계 기준 정립	• 산지부 도로 설계기준의 프로토타입 설정 • 산지부 도로선형 설계방안 제시 • 휴게소 유형 분류, 유형별 도입 기능 설정 및 분석 • 휴게소간 적정 배치 기준 연구
	▶ 도로안전, 정보시설물의 내풍안전성 해석과 설계기술 및 충분대 개발	
	• 풍동실험 및 기존 충분대의 시공성, 공용성 검토 제안	• 기술개발 모델에 대한 풍동실험 및 국내교통사고 분석
3차년도	▶ LCC를 고려한 도로노선의 경제성 분석기법 개발	
	• 도로노선 가치분석 및 LCC 분석을 위한 단위모델 개발	• 국내 여건을 고려한 가치분석평가 모델 정립 및 단위알고리즘 조사분석 • 도로 유지관리비 산정 모형 개발 • B/C 분석을 위한 Cost 제시 및 지침서 개발 • 한양대 경제성단위프로그램과의 연동방법 제시 • 확률적 방법을 이용한 도로노선 가치분석 및 LCC분석 모델 개발
	▶ 산지부 도로노선·선형 설계방안 및 선진한국형 휴게소 기술 개발	
	• 산지부 도로선형 설계 기준 정립 • 미래형 휴게소 모델 개발	• 산지부 특성을 고려한 선형설계 기준 정립 • 미래형 휴게소 모델 정립
	▶ 도로안전, 정보시설물의 내풍안전성 해석과 설계기술 및 충분대 개발	
	• 내풍안전성 신기술 개발 • 풍동실험 및 개발기술의 실용화 • 충분대 실험 및 개발기술의 실용화	• 보강설계 기술 및 풍하중 저감방안 등에 대한 신기술 개발 • 개선된 구조시스템에 대한 풍동실험 및 검증 • 충분대 시제품 제작 및 실물차량 충돌실험 및 검증
4차년도	▶ LCC를 고려한 도로노선의 경제성 분석기법 개발	
	• 국도노선 LCC 분석을 위한 단위알고리즘 개발 • 국도 도로노선 가치분석 및 LCC분석을 위한 지침서 개발	• 국도 노선 가치분석을 위한 최적 알고리즘 개발 • 국도 노선 LCC분석을 위한 단위 알고리즘 개발 • 국도 노선의 가치분석 지침서(Guide Line) 개발 • 국도 노선의 LCC분석 지침서(Guide Line) 개발

연 차	연구목표	주요 연구내용
5차년도	▶ LCC를 고려한 도로노선의 경제성 분석기법 개발	
	도로노선 가치분석 및 LCC 분석 프로그램 개발 및 지침서 작성	- 일반국도 유지관리 경제성 비용모듈 연계 프로그램 구축 지원 개발 - 고속국도 유지관리 경제성 비용모듈 연계 프로그램 구축 지원 개발 - 예비타당성 분석 활용 가능한 단위 연장당 비용모듈 구축 지원 개발 - 최적 노선 선정을 위한 유지관리 비용모듈 구축지원 개발 - 도로노선 유지관리 경제성 분석 프로그램 지침서 작성
	▶ 도로설계 알고리즘 개발	
	- 도로 선형 분석항목 정립 - 교차로, 터널, 교량 형식선정 항목 정량화 - 교차로, 터널, 교량 형식형식선정 절차 정립	- 도로 선형 설계 Check List 정립 - 교차로 유형별 자료 수집 - 교차로 형식 선정 고려요소 결정 - 교차로, 터널, 교량 형식선정 기법 개발 - 교차로, 터널, 교량 형식선정 절차 정립
	▶ 도로안전, 정보시설물의 내풍안전성 해석과 설계기술 및 중분대 개발	
	- 기술개발 결과정리 - 종합보고서 작성	- 기술개발의 결과를 종합 정리 - 결과를 분석, 검토하고 종합 보고서 작성
	강재형 가드레일의 적용성 검토	- 차량충돌시 탑승자의 안전성 검토 - 충돌차량의 진행방향 복원성 검토 - 강재형 가드레일의 실용성 검토
	강재형 가드레일 설계 지침 설정 및 표준화	- 설치기준 및 설계 적용방안 설정 - 강재형 가드레일 설계 표준도 작성

■ 도로안전 및 기능향상 설계 기술 개발(제3세부과제)

연 차	연구목표	주요 연구내용
1차년도	도로안전 및 성능향상 기술 개발(1)	- 설계 일관성 평가 모형 구축을 위한 기본 연구 - 통합 프로그램 연계를 위한 알고리즘 구축 방안 연구 - 인간공학적 도로설계기법 개발을 위한 기초연구 수행 - 고속도로 용량제약요인 분석 - 고속도로 본선 접속부와 짧은IC 구간 설계 및 운영방안 수립 - 임시갓길 등 설계 및 운용 방안
2차년도	도로안전 및 성능향상 기술 개발(2)	- 설계 일관성 평가모형 개발 - 인간공학적 도로 설계의 기본 이론 정립 - 비상주차대 시설의 특성연구 - 도로표지의 안내지명 표기방법에 대한 지침 정립 - 고속도로와 지방부 일반도로/도시간선도로 접속부 용량증대 방안 마련 4차로도로 용량제약 요인 분석 4차로도로 단로부(중앙선, 노측)용량증대 방안 마련
3차년도	도로안전 및 성능향상 기술 개발(3)	- 사고예측모형 개발(기초기술 및 개발방향 수립) - 도로시설(인터체인지, 터널)간의 적정 간격에 대한 지침 정립 - 비상주차대 설계 지침 정립 4차로 일반도로 교차부 용량 증대 방안 도출 4차로도로 축(corridor) 용량 증대 방안 도출 2차로도로 용량 제약 요인 분석
4차년도	도로안전 및 성능향상 기술 개발(4)	- 사고예측모형 개발(자료수집 및 분석) - 운전자 시각 특성을 고려한 감속유도 기법 개발 4차로 일반도로 교차부 용량 증대 방안 도출 2차로도로의 구간/축 용량 증대방안 도출 2차로도로 교차부 용량 증대방안 도출
5차년도	도로안전 및 성능향상 기술 개발(5)	- 사고예측모형 개발 - 통합 도로 기하구조 안전성 평가 모형 개발 - PG(Positive guidance) 개념의 인간공학적 도로설계 기법 개발 - 도로시설 간(휴게소/IC)의 적정 간격 연구 2차로도로 시거가 미치는 안전 및 용량측면의 영향분석 2차로도로의 추월수요와 공급에 관한 관계 정립 - 저속 교통류 양보형 차로와 고속 교통류 추월형 차로의 개념 정립 및 비교 검토 - 대안별 효과평가 및 도로시설 개선에 의한 효율적 도로운용 기술 실무서 작성 및 기준 검토

제 2 장 국내·외 기술개발 현황

국내의 경우, 최적설계 기술분야에 많은 연구가 이루어지고 있으나, 아직 도로의 최적설계를 통합적으로 지원하는 프로그램은 아직 없는 실정이며, 친환경성, 안전성, 경제성을 모두 고려한 도로설계 기술개발 분야에 대한 연구는 국내외적으로 전무한 상태이다, 일부 최적설계를 지원하기 위한 부분적인 기술 개발은 되어 있다.

도로 설계시 설계자들에게 설계검사와 안전도를 평가하게 하여 최적설계를 지원하는 설계검사시스템'이 개발되었다. 그러나 이러한 기술들은 여러 분야의 공학적 설계원리들을 동시에 고려하고 유기적인 방법으로 최적설계를 지원하지는 못하고 있다.

국외의 경우는 도로의 최적설계를 위해 현재 다방면에서 여러 가지 연구활동이 활발하게 이루어지고 있다. 일본의 경우, 도로설계 소프트웨어에 GIS, 전문가 시스템, 유전자 알고리즘 등을 상호 접목한 소프트웨어는 존재하지 않고 도로설계 상 최적설계라기 보다는 비교설계에 가까우며 연구의 주제로서 유전자 알고리즘을 이용한 곳은 몇 군데 있으나 현실화하여 상용화된 예는 없다. 세계도로협회가 만든 HDM-4(Highway Design and Maintenance)에서도 유전자 알고리즘 및 전문가 시스템은 포함되어있지 않으며 유전자 알고리즘과 같은 고도의 수법을 사용하여 시·종점간의 지형상태 및 장애물을 고려한 최적도로선형을 결정하는 기능을 가진 도로설계 프로그램은 현재 없는 것으로 알려져 있다. 미국의 경우는 실용화는 되어 있지 않지만, GIS 프로그램과 분석프로그램을 이용하여 최적설계모델의 개발절차 및 진행방식을 어느 정도 체계화한 상태이다. 최적설계모델의 최적화 기법은 유전자 알고리즘(genetic algorithms)등의 해석 방식 등이 사용되고 있으며, 설계 VE 검토 기법 등 다양한 도로의 경제성 분석이 연구되고 있다. 호주에서는 도로 최적설계를 위한 탐색 기법 연구와 지형과 GIS, 교통 등 여러분야를 접목한 자체 선형 탐색 시스템을 가지고 있으나 자체 연구를 통한 진행방식을 가지고 있으며, 지속적인 개선작업을 진행하고 있다.

국내에서도 이러한 연구를 진행함과 동시에 다양한 연구 지식 정보들을 체계화하고, 지식베이스화한 전문가시스템을 구축해 도로 설계 프로그램과 접목시킴으로써, 그 실용 가능성을 제고시킬 수가 있을 것이다.

제 3 장 연구개발 수행 내용 및 결과

본 보고서에는 각 연구과제별 연구내용을 요약하여 정리하였음. 자세한 연구 내용은 세부과제 최종보고서를 참고 바람

제 1 절 친환경·지능형 도로설계 및 평가시스템 개발 (제1세부과제)

■ 환경을 고려한 노선·선형설계 프로그램 개발(1세부-1)

1. 연구개발의 목적 및 필요성

환경의 시대에 쾌적한 도로 공간을 창출하기 위해서 도로건설 사업은 지역의 환경용량을 감안하여 자연환경이나 생태계가 파괴되지 않는 범위 내에서 시행되어야 하며 이를 위해 기본 계획과 설계 단계에서 환경을 충분히 고려할 수 있도록 해야 한다. 즉 노선의 선정 단계에서 자연환경에 심각한 영향을 미칠 수 있는 지역을 사전에 판단할 수 있도록 해야 하며 설계 단계에서는 자연 및 생활환경에 미치는 영향을 최소화 할 수 있는 기법이 마련되어야 한다.

본 연구의 1차년도에서는 도로노선 선정과정에 이용할 수 있는 GIS 기반 환경성 평가기법을 개발하였으며, 이는 공간분석을 통한 의사결정 도구의 하나로서 발전하고 있는 GIS를 이용한 노선선정 기술개발에 유효하게 통합될 수 있는 환경성 평가기법을 보다 적극적이고 분석적인 측면에서 접근함으로써 객관적이고 일반화 된 기준을 제시하였으며, 이를 토대로 2차년도에는 친환경 도로설계를 위한 환경성 평가항목 및 평가세향으로부터 도로노선 설계 프로그램 알고리즘을 개발하였으며, 생물다양성이 풍부한 지역의 자연생태계를 보전하기 위한 방법으로 보전가치평가 기법을 적용한 자연생태수치기법과 토양환경변수-미생물 생태변수간의 상관관계를 바탕으로한 토양환경생태수치지도작성기법을 개발하였다. 3차년도에는 2차년도까지 개발된 핵심요소기술의 알고리즘을 반영하여, 도로 노선 및 선형 설계시 활용할 수 있는 설계지원 툴인 ‘환경 친화적인 도로노선 선정 및 환경평가 프로그램’을 개발하고 자연생태

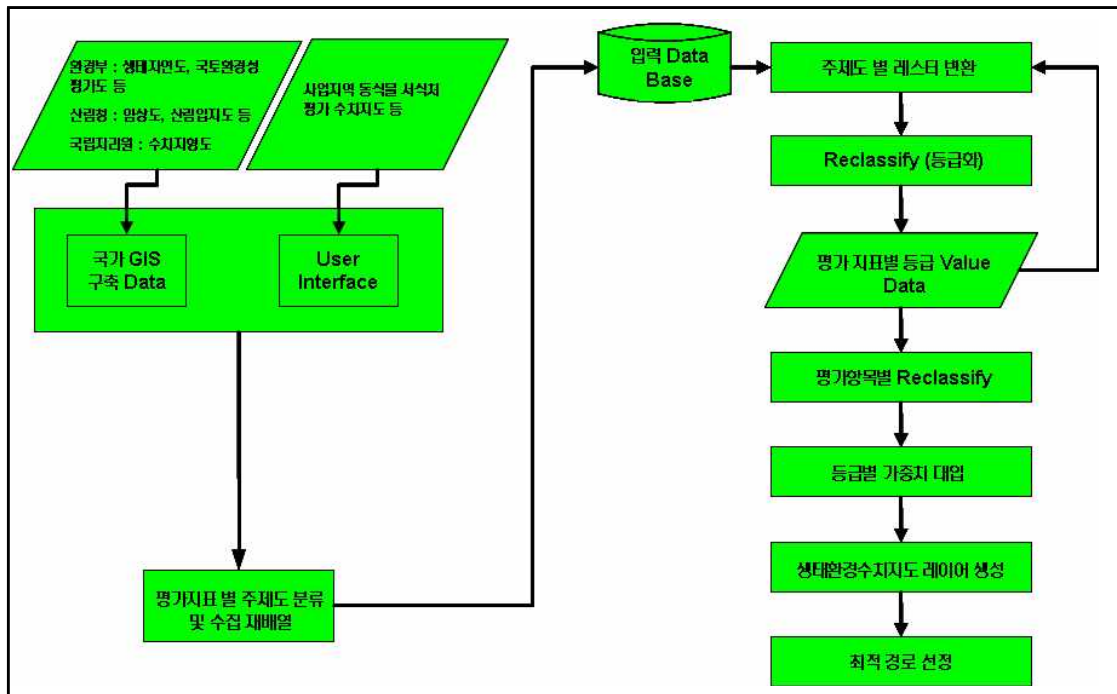
수치지도의 적용가능성 및 토양환경생태수치지도의 토양생태등급 예측알고리즘의 신뢰성을 검증하는 것을 목표로 하였다. 4차년도에는 3차년도에 개발된 ‘환경 친화적인 도로노선 선정 및 환경평가 프로그램’의 실용화를 위해 사례구간 적용을 통하여 프로그램을 검증 및 보완하고, 환경성 평가항목의 가중치에 사용자 의사를 반영할 수 있는 ‘평가항목 가중치 사용자 의사결정 서브프로그램’을 개발하여 ‘환경친화적인 도로노선선정 및 환경평가 프로그램’과 연계방안을 구상하는 것을 목표로 하였다. 이를 바탕으로 5차년도에는 친환경 도로노선 선정 방법 및 각 프로그램의 실용화 방안과 통합프로그램과의 연계 방안을 제시하는 것을 목표로 하였다.

2. 연구개발 결과

본 연구의 1차년도에서는 환경성을 정량화한 결과가 노선선정 프로그램 모듈개발에 유효하게 이용될 수 있도록, 방법론적 측면을 사전에 고찰하여 연구의 큰 틀을 설계하고 일관된 연구방향을 유지하고자 하였다. 이를 위해 문헌조사를 수행한 결과, GIS와 AHP를 결합한 노선선정 기법을 본 연구의 목적에 부합되는 가장 적합한 방법론으로 판단하였다.

따라서 GIS의 이용을 염두에 두고, AHP의 절차에 따라 친환경 도로노선 선정을 위한 평가항목 및 지표를 선정하고 가중치를 설정하였다. 친환경 도로노선 선정을 목적으로 자연환경과 생활환경으로 평가항목을 구분한 후 세부항목을 5개 설정하고 구조화 하였다. 최하위계층은 항목별로 평가지표를 설정하고 3등급 체계로 분류하였다.

이를 토대로 2차년도에서는 AHP 기법과 GIS 도면중첩기법(GIS map overlay method)를 이용한 친환경 도로노선 선정 방법론을 이용하여 알고리즘의 단계별 수행요소들을 추출하였다. 이를 바탕으로 다음 그림과 같은 친환경도로노선 선정프로그램 알고리즘(안)을 개발하였다.



[친 환경 도로노선 선정 프로그램 알고리즘(안)]

개발된 알고리즘(안)은 크게 두가지 요소로 구분되는데, 입력 GIS Database를 구축하는 요소와 구축된 입력 GIS Database를 이용하여 최적경로(노선)을 선정하는 요소로 구분된다. 여기서, 입력 GIS Database는 구축되어 있는 기 축적 자료와 평가항목 및 지표임에도 불구하고 축적되어 있지 않아 새로이 구축해야할 자료를 통합하여 구축하게 된다. 축적되어 있지 않는 자료로는 국가에서 연구수행 중이거나 개발이 되지 않은 정보로서 도로 노선지역에의 동식물 서식처를 정량적으로 평가하여 나타낼 자연생태수치지도 등이라 할 수 있다.

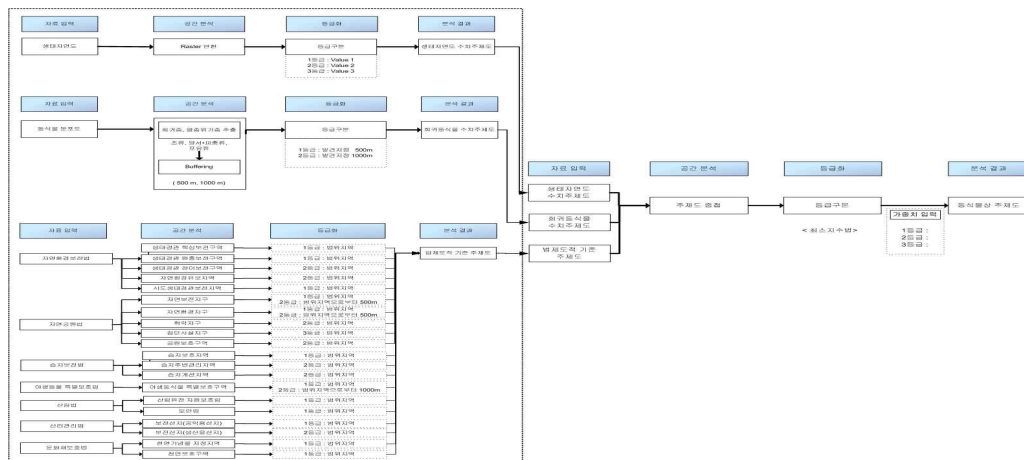
따라서 동식물의 서식처를 정량적으로 평가하기위하여 보전가치평가에 관한 사례 연구를 통해 자연성, 희귀성, 기능성으로 항목으로 나누어 평가하고 이를 주제도를 구축하여 자연생태수치지도를 작성하도록 하였다.

또한 토양환경-미생물생태다양성 수치지도 작성방법 연구에서는 먼저 동식물 위주의 생태자연도 (자연환경현황도) 등급과 대표토양시료로부터 측정된 토양미생물 생태변수 (토양미생물 중 다양성) 간의 관계를 통계적으로 분석하였다. 그 결과 생태자연도 등급과 토양생태질 간에 상관관계는 약하다는 결과를 도출할 수 있었으며, 이를 통해서 새로운 방법으로 토양생태질을 산정할 필요성이 있음을 알 수 있

었다. 이를 토대로 전국규모로 획득이 가능한 지형정보자료 중 농업토양정보시스템 (ASIS)에서 토양특성정보를 토양생태질 산정에 활용하였으며, 이를 이용하여 토양 생태수치지도 작성기법을 제안하였다.

3차년도에서는 친환경 도로의 Control Point를 설정하는 기준 및 절차를 제시하는 방안을 도출하여 이를 친환경 도로노선선정기법에 이용하고자 하였고, 그 결과 기존 5개항목에서 8개항목(지형·지질, 동·식물상, 토양생태, 수질, 대기질, 소음·진동, 토지이용, 위락경관)을 확정하고 이에 대한 법제도적인 평가세향과 환경적인 평가세향을 도출하였다. 이에 따른 가중치를 AHP 기법에 따라 도출하고 이를 친환경 도로 노선 선정 프로그램 알고리즘으로 제시하였다.

설계 알고리즘은 각 항목별 가중치 부여 및 지도작성방법을 포함하고 있다.



[친환경 도로노선 선정 프로그램 항목별 작성 알고리즘 예시]

이러한 친환경 도로노선 설계 알고리즘을 근간으로, 8개 환경성 평가항목에 대한 국가에서 제공하는 기초 데이터를 분석하여 환경 분석을 위한 주제도를 생성, 주제도에 공간분석 기능을 활용하여 설계된 도로의 환경성 평가, 환경친화적인 최적경로를 선정하기 위하여 개발하였다. 이 프로그램은 환경 데이터의 분석 및 가공, 상기의 8개 항목에 대하여 도로노선의 환경성을 평가한 후 도로선형의 환경성 분석 결과를 출력하여 비교노선 간의 환경성 평가가 가능하다. 개발한 프로그램의 주요 기능으로 평가지표 조회/수정, 평가항목별 레이어 입력 및 편집, 그리드분석, 최적 경로 탐색 및 노선평가, 환경분석결과 레포팅 등이 있다.

또한 2차년도에 제시하였던 자연생태수치지도 작성기법을 실제적으로 사례구간을 통해 수행하여 보고 그 결과를 활용하고자 하였다.

토양생태수치지도 작성방법에 대해서는 토양생태등급을 기존의 토양환경지리정보에서 예측하는 AI기법의 정확성 (accuracy)을 등급화, 알고리즘 별로 평가하였다. 그 결과 4등급화된 OPP+DT 중합 알고리즘이 가장 높은 정확성을 보이었다. 그 다음 지도작성시 통계적 안정성 (coherency)를 평가한 결과도 역시 4등급화 된 OPP+DT 중합 알고리즘에서 가장 우수하였다. 이러한 연구결과를 바탕으로 토양생태수치지도 작성시 신뢰성 평가에 근거해서 인공지능알고리즘과 지도작성기법의 선정에 대한 지침을 제시할 수 있었다. 또한 친환경 도로노선선정기법에 접목화의 타당성을 위하여 토양생태의 가중치에 대한 선정에 대한 연구를 전문가 집단 대상으로 하는 설문조사인 AHP 방법과 본 연구에서 개발된 토양생태수치지도의 토양생태의 가중치 변화해 가면서 모의시험 (model simulation)을 실시하였다. 그 결과 토양생태는 전 생태요소 중 가중치가 기대한 것 보다 높게 나타났으며 (23%), 친환경도로노선 선정에 민감하게 영향을 줄을 알 수 있었다. 이러한 본 연구결과를 통해서 무시되어 오던 토양생태가 환경영향평가에 반영할 필요가 있음을 보일 수 있었으며, 토양생태를 자연생태의 다양한 요소들과 접목화 및 지도화하여 친환경도로노선 선정에 활용하는 방안을 도출할 수 있었다.

이러한 연구결과를 토대로 4차년도에서는 친환경 도로노선 선정기법에 대한 보완을 위하여 노선이 통과 할 수 없는 회피지역의 선정 및 기준에 대한 제시와 환경적으로 보호되어야 할 법적지역들의 추가발굴을 위해 문헌에 제시된 회피 및 검토지역들과 3차년도 까지 연구된 지표와의 비교를 통하여 기존 1등급 지표 중 노선통과 불가지역을 선정하고 이를 회피지역으로 반영 하였다.

[친환경 도로노선 선정 기법 중 평가세항 추가 항목]

평가항목	회피지역	추가지역
지형지질	천연보호구역(지형·지질관련)	
동·식물상	생태경관 핵심보전구역, 백두대간보호지역(핵심구역), 천연기념물(동·식물상관련)	
토지이용	문화재보호구역, 특별보존지구, 문화자원보존지구, 중요시설물 보존지구, 골재채취금지지역, 공원묘지 등 기존시설입지지구	역사문화환경지구, 보전관리지역
수질	수변구역, 지하수보전구역, 상수원호소, 상수원보호구역	
위락·경관		관광지, 자연휴양림, 전통사찰보존구역

앞서 도출한 평가항목 및 지표 (회피지역 등)을 실제 사례구간에 적용하여 보고자, AHP 기법으로 도출된 항목별 가중치를 적용한 후, 구축된 항목별 주제도를 중첩하여 최종 환경친화적인 도로노선대 선정에 위한 환경성 평가도를 기반으로 하여 환경친화적인 노선대를 생성하였다.

이렇게 구축된 사례구간을 바탕으로 노선별 환경성평가를 실시하기 위해, 구축된 항목별 환경성평가도를 이용하여 사례구간의 실제계획 노선과 친환경노선대의 평가항목별 점수를 추출하였다. 본 연구에서 제시한 친환경 도로노선 선정기법은 노선별 환경성평가에도 유용하게 사용될 수 있을 것으로 사료된다.

또한 본 연구에서는 환경성 평가항목 및 지표의 가중치의 신뢰성을 향상시키기 위하여 AHP가 가진 약점을 보완할 수 있는 타 기법을 결합시킨 AHP 변형 알고리즘을 개발하였다. 개발된 알고리즘을 적용하여 도출된 가중치와 기존 AHP 기법만을 이용하여 도출된 가중치를 비교·분석하였다.

또한 4차년도에서는 3차년도에서 개발된 친환경 도로노선대 선정 및 환경평가 프로그램의 보완을 실시하였고, 서브프로그램인 ‘평가항목 가중치 사용자 의사결정 프로그램’을 개발하였다.

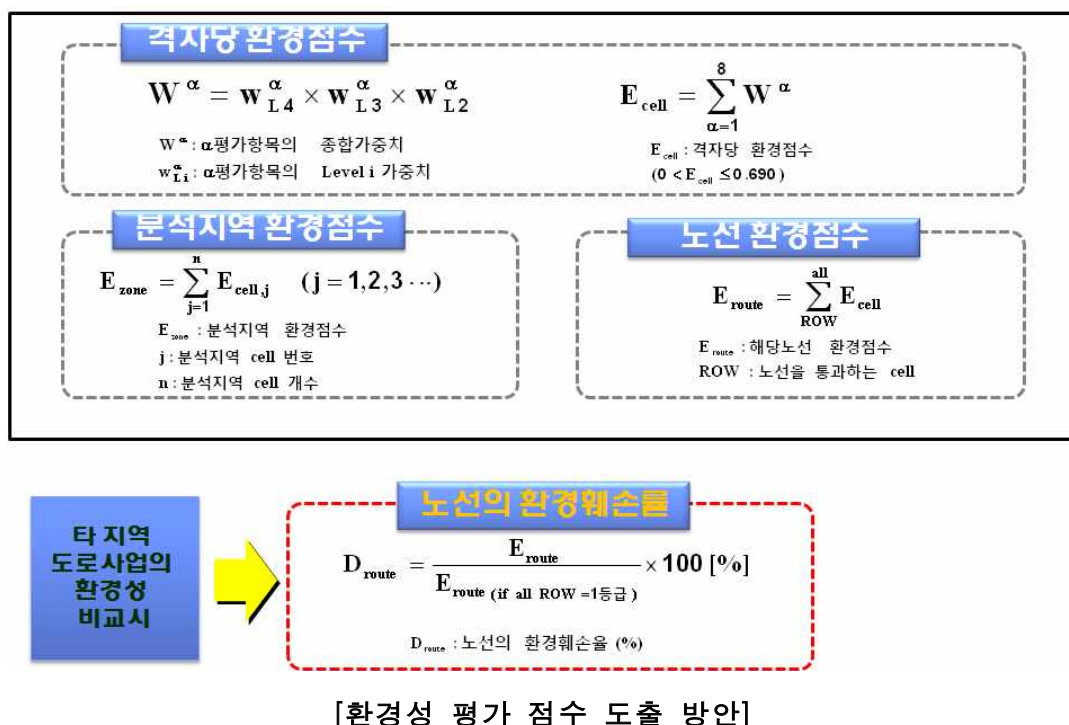


[환경성평가항목 가중치 선정 프로그램]

개발된 ‘평가항목 가중치 사용자 의사결정 프로그램’은 프로젝트의 특성에 따라서 기본값과 차별화된 가중치를 저장 버튼을 통하여 파일로 출력해서 ‘친환경 도로노선대 선정 및 환경평가 프로그램’에서 바로 연계해서 적용할 수 있도록 시스템화 하였다.

4차년도 연구인 자연생태수치지도 작성기법 적용방안 구상 연구에서는 기존 자연 생태 수치지도 평가항목을 법제적인 요소와 생태적인 요소로 재구성 후 항목에 대한 지표를 설정 하였으며, 기능성 항목에 대한 재검토를 통하여 세부지표를 추가 발굴함으로써 기능성 항목에 대한 신뢰도를 향상시킬 수 있었다. 이렇게 수정·보완된 평가 항목에 따른 주제도 구축을 위해 기 구축된 자료와 신규로 구축 되어질 자료의 현황을 파악 후 GIS 미 구축 자료 및 신규 자료에 대한 주제도를 구축 하였다. 구축된 각각의 주제도는 GIS 도면중첩분석기법(Map Overlay Analysis)을 이용하여 하나의 수치지도로 완성하였다. 또한 자연생태 수치지도 평가항목의 생태적 요소 중 기능성항목의 중유치 기능을 분석하기 위해 본 연구에서는 기존의 문헌을 바탕으로 하여 도로 건설로 인해 영향을 크게 받는 종을 목표종으로 선정하고, 선정된 목표종에 대한 행동권을 설정하였다. 이렇게 작성된 자연생태수치지도는 계획노선과의 비교과정을 거쳐 높은 점수를 통과하는 지역에 대하여 생태통로 지점으로 선정하였다.

마지막 연구년도인 5차년도에서는 친환경 도로노선 선정 방법 및 성과물의 실용화를 위하여 환경성평가 점수 도출 방안을 정립하고, 이를 국내 사례구간에 적용코자 하여 5개 구간 9개 공구를 선정하여 친환경성 평가를 수행하였다.



[국내 도로노선 친환경성 분석을 위한 사례구간]

구간		개요
충부권	청양-홍성	국도 27호선 1공구 : 11.7km, 2공구 : 11.1km 폭원 : 20m(4차로), 설계속도 : 70km
	설악-용천	국도 37호선 1공구 : 12.9km 폭원 : 10.5m
남부권	고령-성주	국도 33호선 1공구 : 10.64km, 2공구 : 10.40km, 3공구 : 8.04km 폭원 : 20m(4차로), 설계속도 : 70km
	문경지역 연계도로	군도 6호선 1공구 : 6.2km 폭원 : 8.5m(2차로), 설계속도 : 60km
강원권	태백-미로	국도 38호선 2공구 : 14.2km, 3공구 : 11.1km 폭원 : 10.5m~20m

각 지역의 환경성 평가결과 높은 환경점수의 분포가 많은 지역이 있는 반면, 넓은 지역임에도 비교적 낮은 환경점수의 분포를 보인 지역도 존재하였다. 높은 환경점수의 분포가 많은 지역은 그 지역이 그만큼 환경적으로 민감하다는 것을 간접적으로 나타내어 주며, 비교적 낮은 점수대의 분포가 많은 지역은 그만큼 도로노선의 선정이 수월한 지역이 많음을 보여준다.

[사례구역의 환경성 점수 비교]

지역(구간)		지역격자개수	E_{zone}	E_{zone} 평균	주요점수대	E_{fr}
충부권	청양-홍성	3,959,980	913,362.2	0.231	0~0.221	95.6
	용천-설악	1,440,000	554,542.2	0.385	0.259~0.507	92.7
강원권	태백-미로	6,200,000	2,559,130.1	0.413	0.385~0.544	71.0
남부권	고령-성주	3,668,618	845,621.0	0.231	0.125~0.256	97.4
	문경	668,737	168,567.4	0.252	0.146~0.343	93.0

위 표에서 보듯이 강원권의 태백~미로 구간은 면적 대비 높은 점수대의 분포가 많은 것을 볼 수 있다. 태백산맥과 인접해 있는 태백~미로 구간은 환경적으로 매우 민감하기 때문에 도로노선 선정 및 도로건설시 각별히 유의해야 할 것이다.

또한 계획노선의 환경적 영향도를 평가할 수 있는 친환경도에 대하여 각 구역의 노선별로 비교하여 보면, 태백~미로 구간외 나머지 구간은 비교적 친환경도가 90% 이상으로 높게 산출되어 계획노선이 환경친화적으로 설계되었음을 확인 할 수 있었다. 태백~미로 구간의 노선은 가장 낮은 71.0%로 산출되었는데, 이는 지역의 환경적 민감도와 무관하지 않은 것으로 사료되며, 이 지역에 계획된 노선은 환경적인 훼손을 방지하며, 훼손에 대한 저감방안을 계획하며 도로건설을 수행하여야 할 것이다.

또한 본 연구의 최종목적인 통합프로그램과의 연계방안을 다음과 같이 도출하였다.

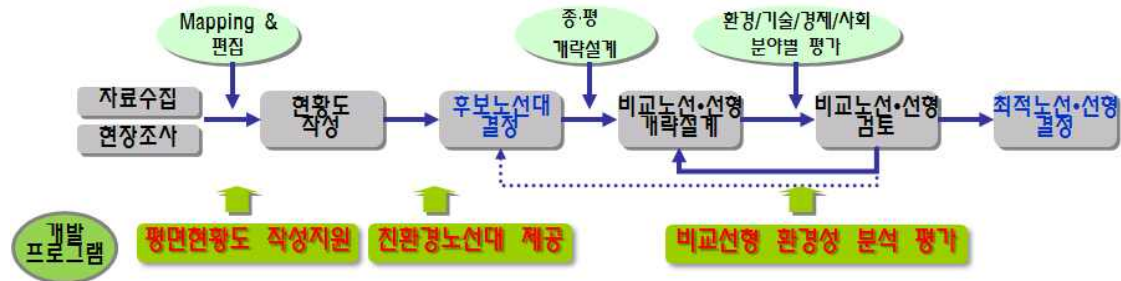
1단계: 환경을 고려한 친환경 도로노선대(도로요소 미포함) 도출
2단계: 환경만을 고려한 선형(도로요소 포함)을 우선적으로 도출하여 설계자에게 환경성 정보 제공
3단계: 친환경 선형을 고려하면서 통과불가 지역 설정
4단계: 경제성 위주의 선형 도출
5단계: 2단계 및 3단계 반복 수행 후, 서너개의 대안도출
6단계: 친환경 선형을 포함한 대안중에서 환경점수, 공사비를 종합적으로 고려하여 사용자가 최종안 결정

자연생태수치지도 작성방안 연구의 5차년도 연구는 4차년도까지 제시되었던 작성방안을 검토해보고 이를 보완하는 연구를 수행하였다. 그 결과를 토대로 ‘자연생태수치지도(서식처평가 지도)작성 매뉴얼’(안)을 제안하였다.

3. 연구개발 결과의 활용계획

본 연구과제에서 개발한 프로그램을 도로사업 관점에서 보면 계획단계에서 예비타당성조사, 타당성조사시에 본 프로그램의 출력결과인 친환경 노선대를 활용 또는 참조하는 것이 가능하며, 또한 사전환경성검토의 결과와 병행하여 친환경 노선대의 비교검토가 가능하다. 그리고 설계단계에서는 비교노선 선정을 위한 친환경 노선대의 사전정보 제공은 물론 평면현황도 작성시에도 본 프로그램의 평가항목 및 지표의 레이어를 활용하여 보다 간편한 현황도 작성지원이 가능할 것으로 기대된다. 또한 비

교노선의 환경평가의 기능을 활용하여 평가항목별 환경점수(높은 점수는 환경 훼손의 가능성이 큰 것을 의미한다)로 제공함으로써 비교노선의 환경성 비교를 제공하는 것이 가능하다.



한편, 본 개발 프로그램은 이들 프로그램과 더불어 도로설계 실무를 지원하는 보조프로그램으로, 평면현황도(주제도) 작성 지원기능, 노선선정 초기단계의 환경친화적인 노선대의 정보 제공 기능, 도로선형의 환경성 평가기능의 3단계 활용이 가능할 것으로 기대된다.

또한 평가항목 가중치 선정 프로그램은 사용자의 의견을 반영할 수 있는 시스템을 구축함으로써 보다 사용자중심의 사용자 친화적인 프로그램이 될 수 있을 것으로 기대한다.

또한 자연생태수치지도의 적용은 생물종의 서식처와 중간 관계 등 기능적인 측면과 생태계의 구조적인 측면까지를 포함한 서식처 보전가치 평가를 이용함으로써 도로건설로 인한 동물의 서식처 단절을 최소화할 것으로 예상된다. 자연생태수치지도는 계획 노선에 대한 서식처의 훼손 여부를 판단할 수 있을 것이다. 이를 이용하여 그 자체만으로 서식처 단절구간에 우려되는 구간의 생태통로 설치지점의 선정 등에 유용하게 사용될 수 있을 것이다.

또한, 토양생태수치지도의 정확도 및 신뢰도 검증을 통하여 기 작성된 동식물생태수치지도의 접목을 통해서 친환경 건설계획에 활용할 수 있을 것이다. 특히 본 연구에서 보여 준 총체적인 환경생태수치지도의 실용화를 통해서 토양생태 부분이 환경영향평거나 국토개발사업의 사전계획, 설계 및 평가 과정에서 반영될 수 있을 것이다. 본 연구분야에서는 환경정보공학 기술의 새로운 framework을 보여주었고 그 활용방안을 구체적으로 제시하였으므로, 농업, 임업, 토양정화 등 다양한 분야들에서 본 연구성과의 파급효가가 있을 것으로 기대한다.

4. 향후 관련 후속 연구개발 방향

본 연구에서 제시한 환경정보의 정량화는 환경의 가치를 AHP를 이용하여 수치로 표현하였다. 이는 단순히 환경가치를 정량화하여 수치로 표현한 것이기 때문에 실제적으로 환경을 고려하여 도로를 건설하였을 때 얼마만큼 환경에 대한 편익이 발생하였는지는 알 수 없다. 이에 따라 향후 도로 건설사업이 환경에 미치는 영향을 경제적인 관점에서 파악하여, 도로건설 시에 환경부하량을 최소화하기 위한 방법론과 환경영향에 따른 환경비용을 산정할 수 있는 기법을 개발하고 이를 도로건설 투자대비 경제성과 비교·분석하는 평가시스템을 개발할 필요가 있다.

이러한 친환경 도로건설 투자에 대한 환경 경제성효과 분석 평가시스템(가칭) 연구의 핵심 연구내용으로는, ‘환경비용 산정’, ‘환경가치 기준설정’, ‘삶의 질 가치평가 기법’, ‘환경 경제성 평가 및 환경 편익 회수율 산정’ 등과 현재 범국가 차원에서 추진 중에 있는 녹색성장기술과 더불어 광범위한 연구가 필요하다.

■ 배수시설 설계기술 개발(1세부-2)

1. 연구개발의 목적 및 필요성

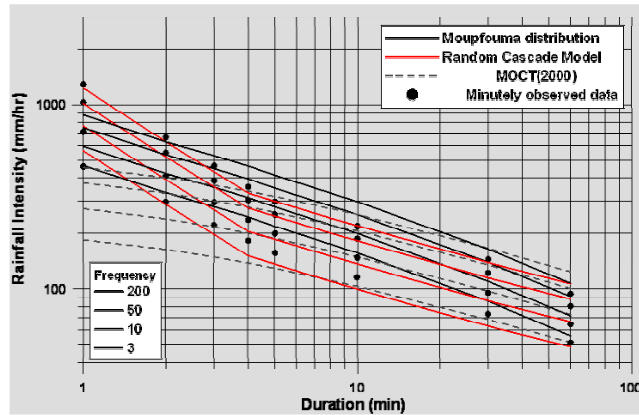
국내 도로 배수설계 지침은 그 내용 중 상당 부분이 명확한 수리·수문학적 이해가 부족한 상태에서 외국 지침서의 일부를 그대로 기술함으로써 단편적인 서술에 그치는 경우가 많다. 또한 외국의 경우에는 설계지침 뿐만 아니라, 전산프로그램 등의 설계도구가 잘 갖추어져 있는 반면, 국내의 경우에는 그렇지 못하다. 따라서 발전된 수리·수문 해석기술을 반영하는 동시에 설계 실무에 실질적인 도움이 될 수 있도록 도로배수 설계지침을 개선하고, 설계지침에 의한 설계가 가능하도록 전산프로그램 등의 설계도구들을 개발할 필요가 있다.

본 연구의 최종적인 목적은 향상된 수리·수문 해석 방법을 이용한 새로운 도로 배수설계 프로그램 개발과 이를 통한 현행 도로 배수설계 지침의 개선에 있으며, 이를 위하여 최근까지 정립된 양질의 수리·수문 해석 및 설계기술을 도로 배수설계에 접목시킴으로써 향상된 수준의 배수설계 기술을 개발해야 하며, 또한 이러한 목적을 달성하기 위한 최종 목표로서 현 시점에서 적용 가능한 고급의 수리·수문학적 지식들을 반영하면서도 실무에서 쉽게 사용할 수 있도록 도로배수 설계지침을 작성하도록 하며, 각 설계 요소들에 적용될 전산 프로그램을 개발하여 실용화가 가능하도록 할 것이다.

2. 연구개발 결과

1차년도의 연구개발 결과로는, 국내 도로 배수시설 설계 현황 검토, 외국의 도로 배수시설 설계지침 검토, 유관 규정 및 지침서 검토, 기존 설계 현황의 문제점 및 개선방향 설정, 강우-유출 모형 검토, 도로배수 시험구역의 선정 및 운영, 수로 및 암거 설계기법 개선의 결과를 도출하였다.

2차년에는, 우선 기 개발된 분 단위 강우강도식 및 시 단위 강우자료를 분 단위 자료로 분해하는 기법을 검토하고, 서울 지점에 대한 강우강도-지속시간-재현기간(I-D-F) 곡선 및 분 단위 강우강도식 개발하였다. 섬강 도로배수 시험구역의 강우, 수위 및 유량을 관측하고, 수위-유량 관계곡선식을 유도하였으며, 이를 이용하여 합성단위도법(SCS, Synder, Clark 방법)의 매개변수 추정하였다.

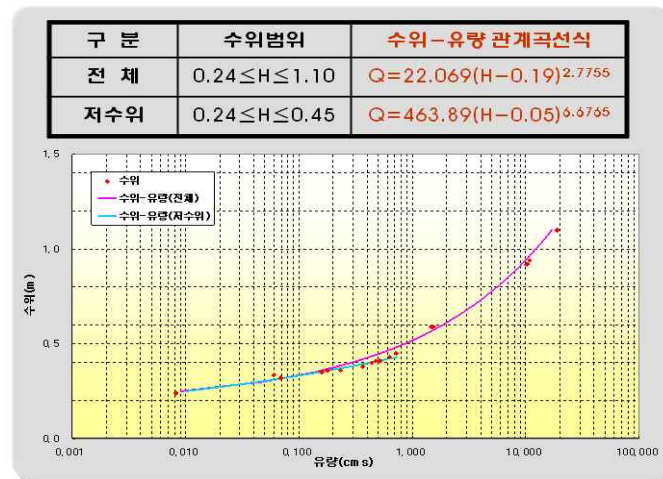


a)서울 지점의 분단위 I-D-F 곡선

재현기간(년)	3	10	50	200
강우강도식	$I = \frac{228.12}{\sqrt{t}-0.60}$	$I = \frac{310.77}{\sqrt{t}-0.60}$	$I = \frac{415.78}{\sqrt{t}-0.59}$	$I = \frac{500.17}{\sqrt{t}-0.59}$

b)서울 지점의 분단위 강우강도식

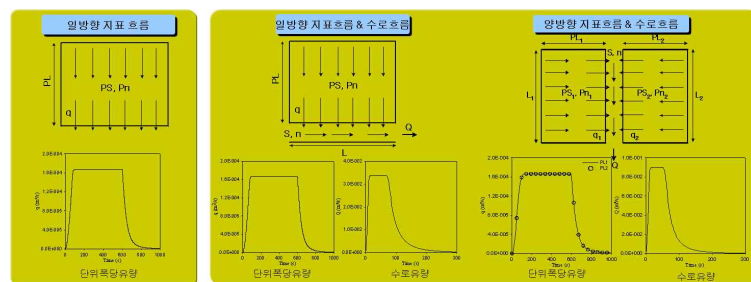
[서울 지점의 분단위 I-D-F 곡선 및 강우강도식]



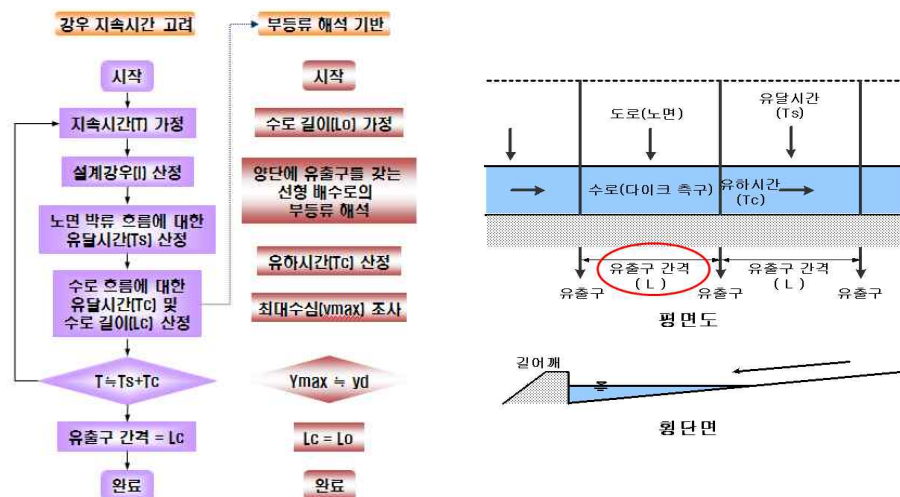
[섬강 도로배수 시험구역의 수위-유량 관계곡선식]

강우-유출 모델링으로서 운동과 모형을 이용하여 지표면 요소의 흐름 모형, 하나의 지표면 요소와 주수로 요소의 흐름 모형, 그리고 두 지표면 요소와 주수로 요소의 흐름 모형을 각각 수립하였다. 노면배수 시설설계를 위한 전산모형은 강우 지속시간이 도달시간과 같아지는 임계지속시간을 고려하여 설계강우를 결정한다. 배수

시설의 수로 흐름에 있어서는 등류 해석을 기반으로 한 경우와 부등류 해석을 기반으로 한 경우를 고려하여 두 가지 모형을 수립하였다. 수립된 두 모형은 임의로 설정된 노면배수 시설체계에 적용하고 등류 및 부등류 해석에 따른 설계 결과를 비교하였다. 아울러 수로의 종단경사에 따른 설계 결과를 비교·검토하였다. 수로 및 암거 설계를 위한 전산 프로그램을 수립하기 위한 설계 절차를 설정하였으며, 설계 모형에 포함될 부등류 해석을 기반으로 한 수로 흐름 해석을 위한 알고리즘을 우선적으로 수립하였다.



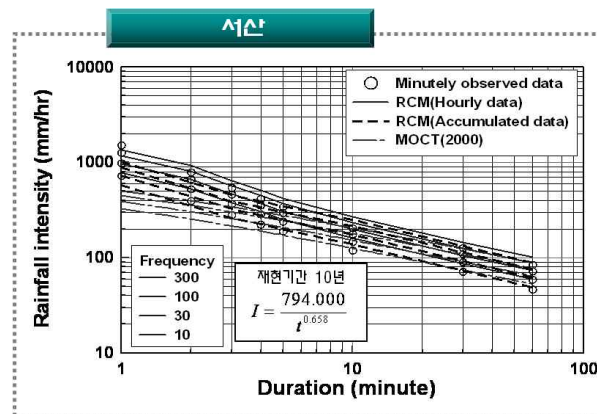
운동파 이론을 이용한 강우-유출 모형 수립



[노면 배수시설 설계 모형 수립]

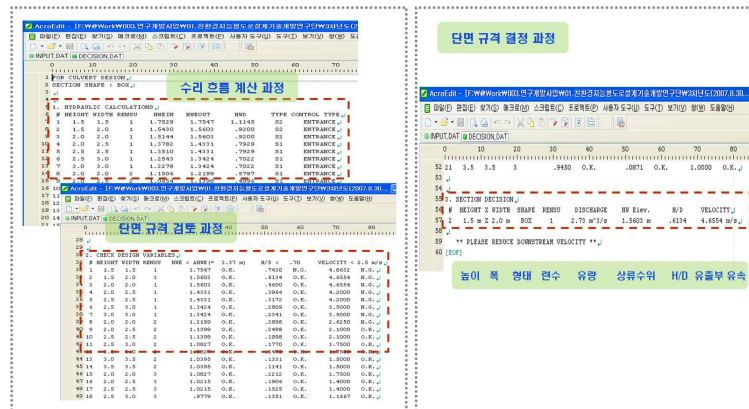
3차년도 연구개발 결과로는, 중부지역 소재의 분단위 및 시단위 강우자료를 수집하고, 분단위 자료의 공간상관구조를 분석하여 분단위 자료를 직접 빈도해석하여 강우강도식을 유도할 수 있는지를 파악하였다. 가용한 분단위 강우자료가 없는 지

점에 대하여 2차년도에 제안된 Random Cascade 모형을 시단위 강우자료에 적용하여 I-D-F 관계곡선 및 분단위 강우강도식을 유도하였다. 2차년도에 개발된 표면 박류 유출 해석 모형이 도로배수 유역과 같이 도달시간이 짧은 유역의 유출을 더 정확하게 모의할 수 있도록 모형을 수정하였다. 수정된 모형을 HEC-1 모형과 비교하고, Volume conservation을 확인하여 검증하였다. 그 후 임계지속시간의 개념을 반영하여 설계홍수량을 결정할 수 있도록 표면 박류 유출 모형을 수정하였다.



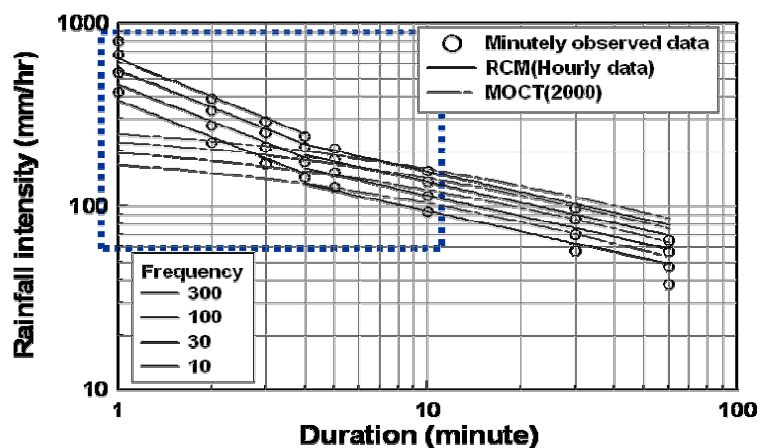
[중부지역 주요 지점의 분단위 I-D-F 곡선]

2차년도에 개발된 4가지 설계방법에 따른 노면배수 시설의 설계 프로그램을 도로배수 설계 실무자들의 의견을 수렴 및 반영하여 각 프로그램을 수정 및 보완하고, 실시설계의 결과와 비교·검토하였다. 수리학적으로 짧은 길이를 갖는 암거의 흐름을 더 정확하게 모의하기 위하여 암거의 개수로 흐름을 부등류로 해석하는 프로그램을 개발하고, Culvert Master와 비교하여 프로그램을 검증하였다. 국내 실무에서 사용되는 수로암거 및 횡단배수관의 표준도를 대상으로 암거의 단면규격을 산정할 수 있는 프로그램을 개발하였다. 또한, 4가지 유형의 수로 시설물을 선택하여 부등류 해석을 기반으로 하고 임계지속시간을 고려하지 않은 경우와 고려하는 두 가지 설계방법에 대한 전산 프로그램을 개발하고 모형을 적용하였다. 한편, 산지 계곡부 홍수량 산정에 관한 국내·외 기술 동향을 조사하고, 적용 가능한 모형들을 검토하였으며, 산지 계곡부 홍수량 산정을 위한 알고리즘의 핵심 구성 요소를 제안하였다.



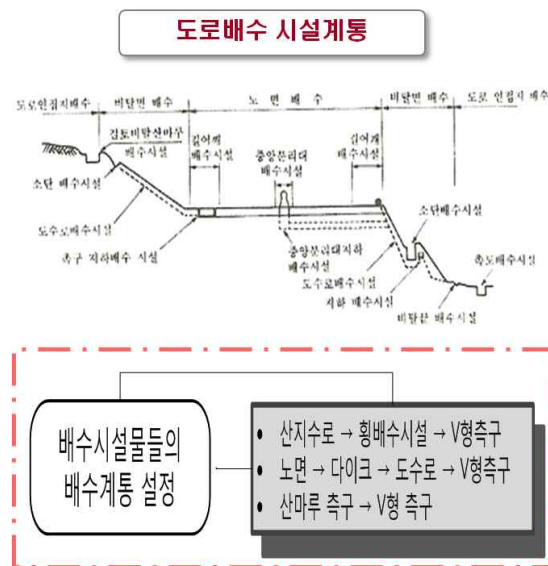
[암거 흐름해석 및 단면규격 결정 프로그램 개발]

4차년에는, 전국에 대한 분단위 강우강도식 개발의 완료를 목표로 3차년도에 수행된 중부지역에 대한 분단위 강우강도식 개발 연구에 이어 남부지역을 대상으로 분단위 강우강도식을 개발하였는데, 남부지역에 소재한 강우관측소의 분단위 및 시단위 강우자료를 수집하여 분석하고, 분단위 강우자료의 질을 검토하여 필요하다면 자료를 보정하고 이상치를 제거하였다. 분단위 강우자료가 없거나 가용하지 않은 경우 Random Cascade 모형을 적용하여 시단위 강우자료를 분해하여 1분 단위 강우자료를 생산하였고, 가공된 분단위 강우자료를 직접 빈도해석하여 분단위 I-D-F 관계 및 분단위 강우강도식을 유도하였다. 남부지역에 소재한 강우 관측소 지점에 대한 분단위 강우강도식을 유도하는 것을 완료하고, 중부지역과 남부지역에 대하여 개발된 분단위 강우강도식을 전국으로 공간 확장하였다.



[남부지역 주요 지점의 분단위 I-D-F 곡선]

3차년도에 개발된 도로배수 설계 프로그램인 노면배수 설계 프로그램, 표면 박류 유출 모형, 암거의 단면 규격 산정 프로그램, 각종 수로의 설계 프로그램(V형측구 및 산마루측구, 소단측구, 절토부를 포함한 노면배수시설)을 기반으로 4차년도에는 배수계통을 고려하여 각종 수로의 설계가 가능하도록 하였다. 즉, 배수계통을 설정하여 상류측에 설치되는 배수시설물들의 해석을 기반으로 하류측에 있는 배수시설들의 설계가 가능하도록 프로그램을 개발하였다. 이 때 선행적으로 기개발된 프로그램들을 실시설계된 도로배수 시설물에 적용하고 수정 및 보완하였고, 필요한 경우 추가적으로 설계 및 해석 프로그램을 개발하였다. 각 설계 프로그램들은 ‘도로 배수 설계기술의 개발’ 연구의 핵심 기술인 부등류 해석을 기반으로 하고 임계지속 시간을 고려한 설계가 가능하도록 개발되었다.



[배수계통을 고려한 각종 수로설계 프로그램 개발]

또한, 국내 중부지역 7개 도로 건설 공사 현장을 대상으로 하여 개발 완료된 프로그램들의 설계 실무 적용성 검토를 수행하였으며, 도로 배수설계 프로그램의 최종 사용자인 설계 실무자들의 편의를 위하여 GUI를 구축하였다.

	기본 설계					연구 개발 방법					증감률
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	
수리 계산	0.1	70.00	81.90	94.60	107.70	121.60	0.1	40.00	52.80	65.60	78.40
	0.2	137.00	159.40	181.80	204.20	226.60	0.2	75.00	97.50	120.00	142.50
	0.3	193.00	225.30	257.60	289.90	322.20	0.3	105.00	137.50	170.00	202.50
	0.4	237.00	279.30	321.60	363.90	406.20	0.4	135.00	177.50	220.00	262.50
	0.5	277.00	329.30	381.60	433.90	486.20	0.5	165.00	217.50	270.00	322.50
	0.6	313.00	375.30	437.60	499.90	562.20	0.6	195.00	257.50	310.00	372.50
	0.7	345.00	417.30	489.60	561.90	634.20	0.7	225.00	297.50	350.00	412.50
	0.8	373.00	455.30	537.60	619.90	702.20	0.8	255.00	337.50	390.00	452.50
	0.9	400.00	492.30	584.60	676.90	769.20	0.9	285.00	377.50	430.00	492.50
	1.0	425.00	527.30	629.60	731.90	834.20	1.0	315.00	417.50	470.00	532.50
적용 기준	0.1	70.00	81.90	94.60	107.70	121.60	0.1	40.00	52.80	65.60	78.40
	0.2	137.00	159.40	181.80	204.20	226.60	0.2	75.00	97.50	120.00	142.50
	0.3	193.00	225.30	257.60	289.90	322.20	0.3	105.00	137.50	170.00	202.50
	0.4	237.00	279.30	321.60	363.90	406.20	0.4	135.00	177.50	220.00	262.50
	0.5	277.00	329.30	381.60	433.90	486.20	0.5	165.00	217.50	270.00	322.50
	0.6	313.00	375.30	437.60	499.90	562.20	0.6	195.00	257.50	310.00	372.50
	0.7	345.00	417.30	489.60	561.90	634.20	0.7	225.00	297.50	350.00	412.50
	0.8	373.00	455.30	537.60	619.90	702.20	0.8	255.00	337.50	390.00	452.50
	0.9	400.00	492.30	584.60	676.90	769.20	0.9	285.00	377.50	430.00	492.50
	1.0	425.00	527.30	629.60	731.90	834.20	1.0	315.00	417.50	470.00	532.50

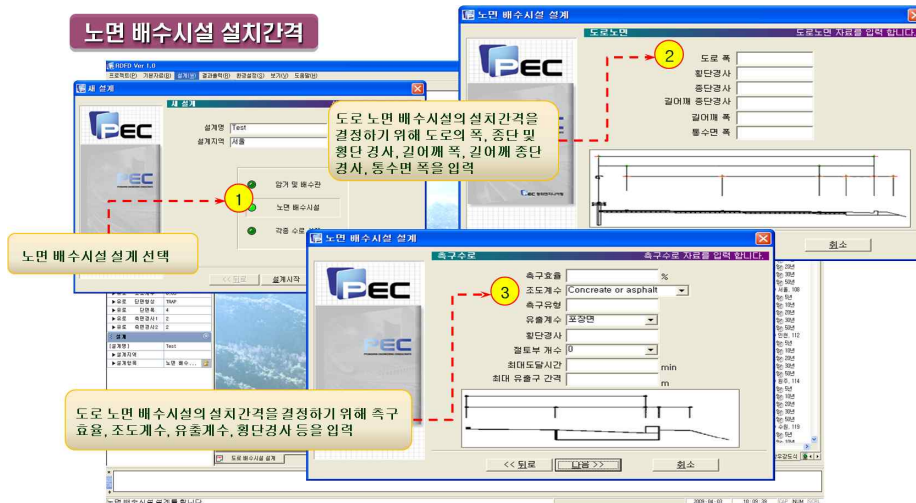
• 신록-용산

번호	측점	유역면적 (km²)	기본 방법 설계홍수량 (mm/sec)	기본 방법 단면 규격 (m, mm)	개선 방법 설계홍수량 (mm/sec)	개선 방법 단면 규격 (m, mm)	결과	비고
1	0+340.0	0.02	0.63	1#800	1.63	1#1200	증가	배수관
2	1+480.0	0.01	0.31	1#600	0.58	1#800	증가	배수관
3	1+599.0	0.03	0.94	1#1000	2.62	2#1000	증가	배수관
4	2+520.0	0.036	1.13	1#1000	2.99	2#1200	증가	배수관
5	2+550.0	0.1	3.14	2#1200	5.95	3#1200	증가	배수관
24	0+120.0	0.02	0.63	1#800	1.39	1#1200	증가	배수관
25	0+044.0	0.02	0.63	1#800	1.94	1#1200	증가	배수관
26	2+182.0	0.78	24.49	1#4.0×4.0	38.56	1#4.5×4.5	증가	암거
27	2+700.0	0.48	15.07	1#3.0×3.0	25.61	1#4.0×4.0	증가	암거
28	3#060.0	0.32	10.05	1#2.5×2.5	16.30	1#3.5×3.5	증가	암거
29	4+540.0	0.28	8.79	1#2.5×2.5	16.52	1#3.0×3.0	증가	암거
30	4+740.0	0.21	6.80	1#2.5×2.0	12.85	1#3.0×2.5	증가	암거
31	0#053.0	0.66	20.73	1#3.5×3.5	31.69	1#4.0×4.0	증가	암거
32	0+135.0	1.36	36.72	1#4.5×4.5	47.80	1#5.0×5.0	증가	암거

a) 노면 배수시설 설계 결과 비교

a) 횡단 배수시설 설계 결과 비교

[도로 배수설계 프로그램의 적용성 검토]



[설계 실무 편의 중심의 GUI 구축]

마지막으로 5차년도 연구개발 결과로는, 도로 배수설계 프로그램 통합 및 실용화를 위하여 i) 배수계통을 고려한 프로그램의 현장 적용성을 검토하고, ii) 도로 배수계통을 13가지 경우로 확장하였으며, iii) GIS 정보를 이용한 유역면적 및 집수위치 선정 관련 연구동향의 분석과, iv) 유역면적 · 합류지점 · 집수위치 선정 알고리즘을 개발하였고, 도로 배수설계 지침 및 프로그램 매뉴얼 작성을 위하여 i) 도로 설계편람의 배수편의 개정안을 작성하고, ii) 도로 배수시설 설계 및 유지관리 지침의 수리 · 수문 분야 개정안을 작성하였으며, iii) 도로 배수설계 프로그램의 매뉴얼을 작성하였다.

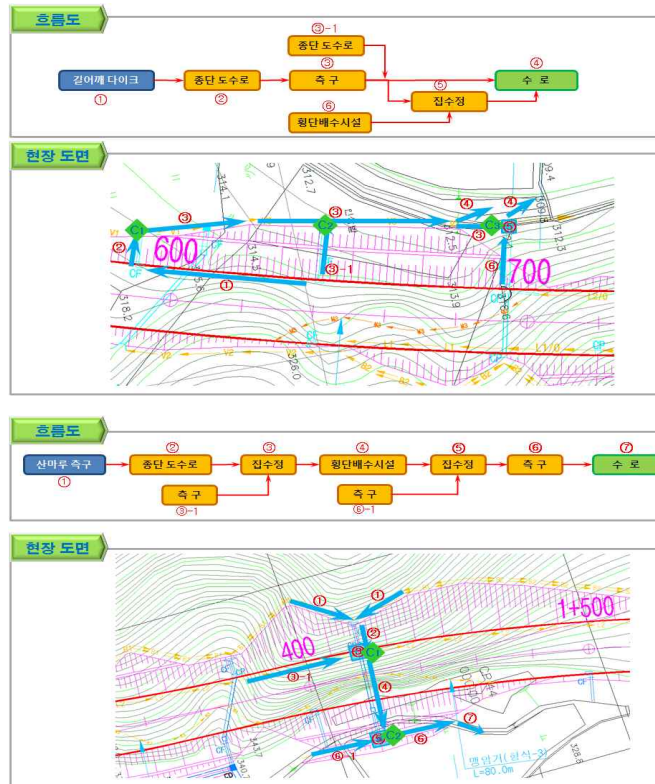
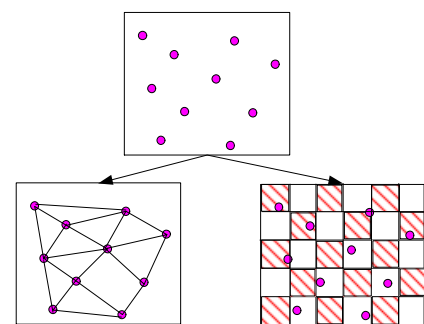
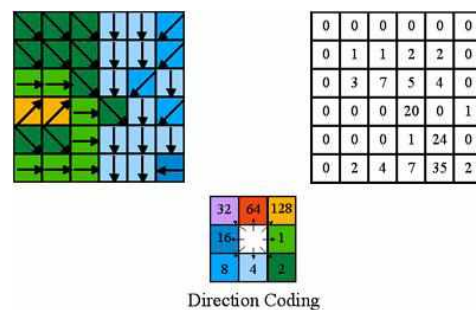


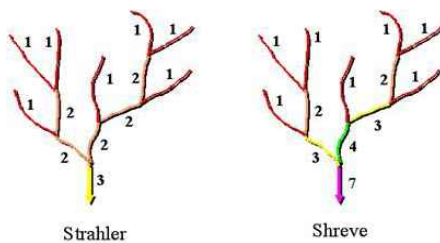
그림 도로 배수계통의 확장



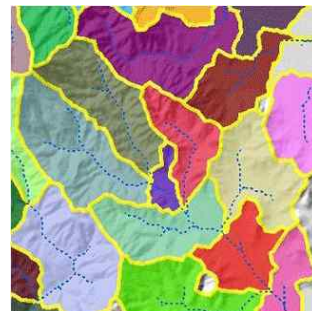
a) 지형정보의 TIN, GRID 모형화



b) 누적된 강우를 포함한 하천 흐름방향결정



c) 결정된 하천 순서에 따른 하천연결



d) 배수유역 산정에 따른 집수위치 결정

[유역면적 · 합류지점 · 집수위치 선정시 주요 해석 알고리즘]

3. 연구개발 결과의 활용계획

○ 활용계획

본 연구 수행 결과 도출된 분 단위 강우강도식을 개발하는 기법은 전국 강우강도 데이터베이스를 구축하는데 활용되어, 매우 짧은 시간 내에 강우강도가 급격하게 변화하는 소규모 유역의 유출 특성 분석이 필요한 각종 사업에 유용하게 사용될 것이며, 범용성 및 사용자 편의성을 고려하고 다양한 조건에 대하여 테스트를 거친 후 개발된 도로 배수시설 설계 전산 프로그램들을 보완하여 손쉽고 체계적인 설계 과정이 가능하도록 할 것이다.

개발된 도로 배수시설 설계 전산모형들은 실무에서 적용이 가능하도록 도로배수 설계지침을 개선하는데 활용될 것이며, 수리·수문 해석기술이 강화된 도로배수 설계 지침은 구체화, 실용화된 설계 실무지침으로서 도로 설계 현업에서 널리 활용될 수 있을 것이다.

○ 연구결과의 파급효과

본 연구의 주요 결과물은 도로배수 시설을 대상으로 하여 수행된 것이나, 일반적으로 주거 및 산업단지 개발 등 타 용도의 국토개발에 따른 배수시설 설계에 활용될 수 있다.

4. 향후 관련 후속 연구개발 방향

본 연구를 통하여 개발된 도로 배수설계 전산 프로그램은 다음과 같은 몇 가지 항목을 추가하거나 보완한다면, 국내·외에서 유례를 찾아보기 힘든 사용성이 뛰어난 프로그램이 될 수 있다고 판단된다.

i) 수치지형정보 입력 공정의 고도화

현재 도로배수설계 실무에서는 설계 대상 구간의 지형정보를 사용자가 직접 수치지형도를 이용하여 만들어 내고 있으나, ①수치지형도의 해상도, ②사용자의 주관적 판단에 따라 발생 가능한 오류, ③설계 또는 공사 시기와 너무 차이나는 수치지형도의 제작시기, ④제작시기가 다른 수치지형도간의 접합(merge) 사용에 따른 문제점 등의 다양한 이유로 인하여 객관적으로 타당한 수치지형정보의 생성이 불가능한 상황이

다. 따라서, ①보다 정밀한 수치지형도 사용, ②지형정보의 객관적 분석이 가능한 전산 도구들의 사용, ③제작시기가 동일한 수치지형도의 이용 등을 통하여 보다 객관적이고 합리적인 수치지형정보를 사용자가 원하는 설계 또는 분석 작업에 활용할 수 있을 것이다.

ii) GIS를 이용한 배수계통 해석 프로그램으로 확장

본 연구의 성과 중 하나인 배수계통 해석 프로그램에(현재는 3가지 배수계통만 고려 가능) 5차년도 연구를 수행하여 알고리즘이 완성된 10가지 배수계통을 추가로 확장하여 전산 프로그램으로 작성한다면, 도로 배수설계 실무에서의 실용성을 증대시킬 수 있을 것이다. 확장된 배수계통을 고려한 전산 프로그램을 작성하기 위해서는 첫째, 도로 배수유역 내의 GIS 정보를 자동적으로 이용할 수 있어야 하고 둘째, 각종 수로 및 지표수(박류)가 합류 및 집수되는 지점의 설계홍수량·홍수위 계산과 셋째, 집수정의 단면규격 설계의 현실화가 가능해야 하고 마지막으로, 배수시설물이 연결되는 과정에서 중요 입력 요소인 수리·수문학적 특성 변수들(hydraulic·hydrologic)을 객관화하고 합리적으로 도출해야 한다.

iii) 산마루 측구의 설계지침 개정

현행 산마루 측구는 표준단면도를 사용하고 절토 비탈면 침단부터 2~5m 범위 내(도로 경계선)에 설치하도록 설계지침에 되어 있다. 그러나 이 폭이 너무 협소하여 지형, 지세에 맞는 산마루 측구의 설계가 그동안에는 불가능하였으며, 이로 인해 세굴되거나 비효율적인 산마루 측구가 설치되어 왔다. 따라서, 효율적인 산마루 측구 설치를 위해 다음과 같은 연구를 제안한다.

- ① 현행 산마루 측구 설치구간 확폭(예, 30~50m)
- ② 산마루 측구 설치구간의 상류측 지표수 설계홍수량 산정 방안 도출
- ③ 설계홍수량에 따라 소단측구 단면 산정

■ 지능형 도로 통합설계 프로그램 개발(1세부-3)

1. 연구개발의 목적 및 필요성

도로의 건설은 다양한 사회구성원간의 이해관계는 물론이고, 근자에 중요성이 대두되고 있는 친환경성, 안전성 및 경제성을 고려한 최적설계가 되어야 하는데, 이에 대한 명확한 기준이나 기법의 개발이 아직은 부족한 현실이며 이러한 기법이나 기준이 정립되었다 하더라도 이를 쉽게 적용할 수 있는 전산화 툴이 미비할 시에는 다양하고 복잡한 기준이나 기법을 효과적으로 적용하기는 현실적으로 매우 어렵다고 볼 수 있다.

기존의 연구개발이 통합연구가 되지 않고 개별 연구됨으로 인해 상호 유기적인 연결이 부족하여 적용하는데 혼란이나 어려움이 있었으며, 또한 쉽게 적용할 수 있게 전산화가 되지 않음으로 인해 현업에서 적용하기가 어려웠던 것이 사실이다.

IT 기술의 발달로 인해 과거에는 엄두도 못 내었던 수준의 전산개발이 가능해짐으로 인해 3차원분석에 시간개념을 도입하여 4차원 시뮬레이션까지도 PC 레벨에서도 구현가능하게 됨으로 과거에는 도면을 해독할 수 있는 전문가들만이 설계에 관여할 수 있었으나 설계된 내용을 시뮬레이션을 통해 시각적으로 쉽게 표현해 줌으로 해서 관련자들이 누구나 설계에 참여할 수 있는 Context sensitive design 이 가능함으로서 사전에 민원발생여지를 충분히 검토하여 차단함으로서 공사착공 후 민원발생에 의한 공사지연등으로 인한 건설사업의 비효율성을 방지할 수 있을 것이다.

이를 위해서는 친환경성, 주행의 쾌적성 및 안전성 및 경제성 과 도로설계 요소간의 연관성을 계량화하여 적용할 수 있는 기술을 전산화하여 쉽게 친환경적이며 안전하고 최적화된 도로를 설계할 수 있는 통합 전산프로그램의 개발이 필요하며, 도로설계실무자가 통합 전산프로그램을 활용하여 신속 정확하게 도로 계획 및 설계를 완벽하게 수행할 수 있도록 하기위하여 정보기술을 이용한 새로운 개념의 도로설계 시스템의 중요성 및 필요성이 대두되게 되었다.

한편, 건설 분야에서 측량을 통한 지형파악은 디지털 시대를 맞아 다양하게 발전하고 있다. 기존의 지상측량 및 항공사진측량을 통한 국토지리정보원 중심의 수치지형도는 시대가 요구하는 3차원 공간적인 분석을 구현하는데 한계가 있다. 이에

따라 건설설계분야, 도시계획분야 등 다양한 사용자의 요구에 부합하는 새로운 3차원 측량기술을 통한 데이터 구축이 필요하게 되었다.

본 연구의 최종목표는 도로설계에서 고려해야 할 수많은 인자들을 최신 IT기술(3차원 시뮬레이션, 가상현실, 전문가시스템, GIS/GPS, 유전자알고리즘)을 적용하여 경제성을 고려한 안전하고 친환경적인 설계 성과품을 출력하여 그 적용대상으로 고속도로뿐만 아니라 국도까지 확대적용 가능한 친환경·지능형 3차원 도로설계 시스템개발에 있다.

2. 연구개발 결과

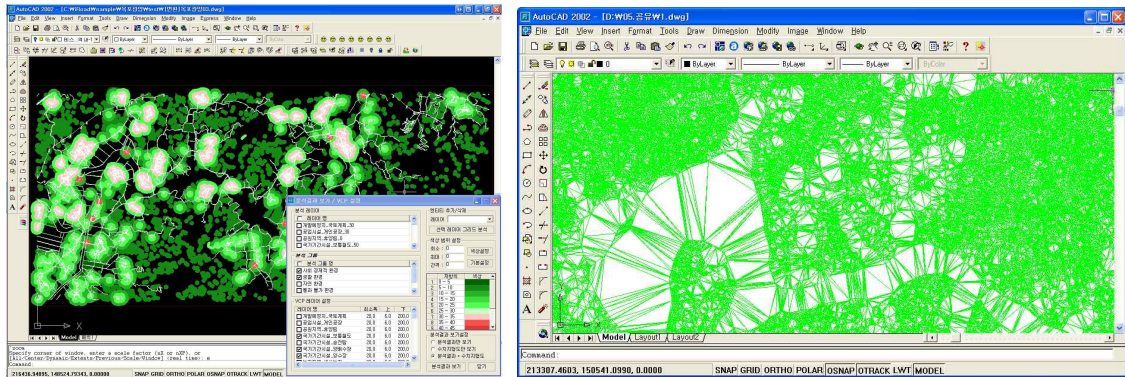
① 안전·친환경·지능형 도로 설계 통합프로그램 개발

도로설계를 함에 있어서 최적의 선형(평면·종단 선형, 횡단면 구성, 구조물 형식 등 포함)을 찾아낸다는 것은 매우 중요한 일이며, 현실적으로 볼 때 최적이라고 여겨지는 것 일 뿐, 실제로 그 선형이 최적인지는 확신 할 수가 없는 것이 사실이다.

이에 컴퓨터를 이용한 도로 최적 선형을 구하는 방법을 모색하게 되었다. 도로 선형 설계에 영향을 미치는 수많은 요소들을 정량화된 데이터로 변환하고, 이를 컴퓨터의 빠른 연산을 통해 수많은 선형을 탐색 후 평가하여 객관적인 선형을 도출해내고, 이를 3차원 시뮬레이션으로 확인하여 가상현실을 이용하여 검토 하고자 한다.

본 연구에서는 선형 설계에 영향을 미치는 각 평가 요소 기술들을 정립하고 효과적인 입력 자료 분석과 3차원 도로 주행 시뮬레이션을 위한 모델링 작업, 효율적인 탐색이론 등을 연구하여 정보기술을 이용한 최적 선형 도출 방안을 검토하였다.

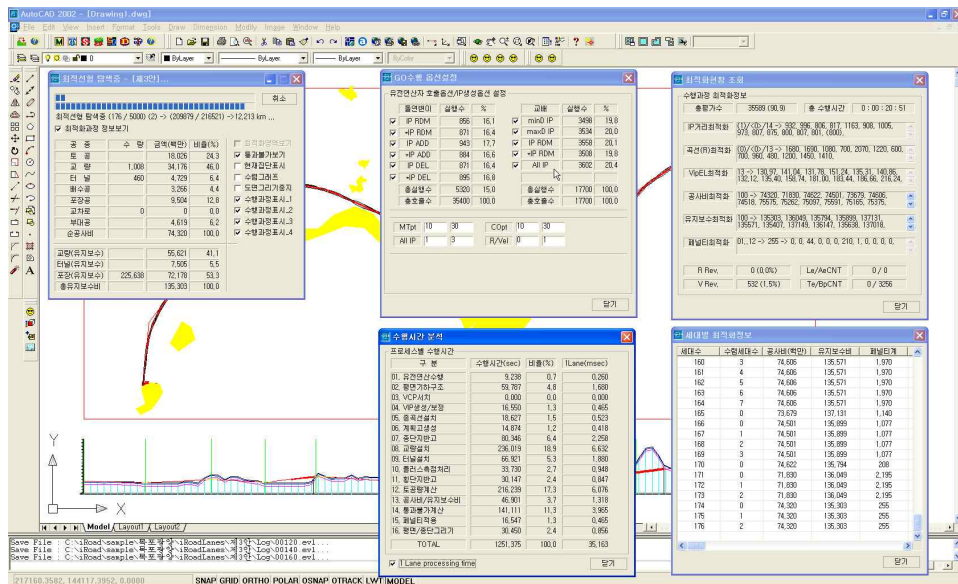
지형·공간 정보 분석 시스템의 효과적이고 빠른 분석을 위하여 삼각 모듈 개선 작업을 통하여 성능 향상을 이루었다. 또한 공간 분석에서 핵심이랄 수 있는 버퍼링 분석 모듈과 그리드 분석 모듈을 자체 연구 및 제작하여 수행 시간 단축, 시스템 안정성 향상, 분석 시스템 자원에 대한 효율적인 이용 등 많은 성능상의 향상이 있었다.



[GIS 분석결과 화면]

[TIN구성 3DFace Dwg파일을 오픈한 화면]

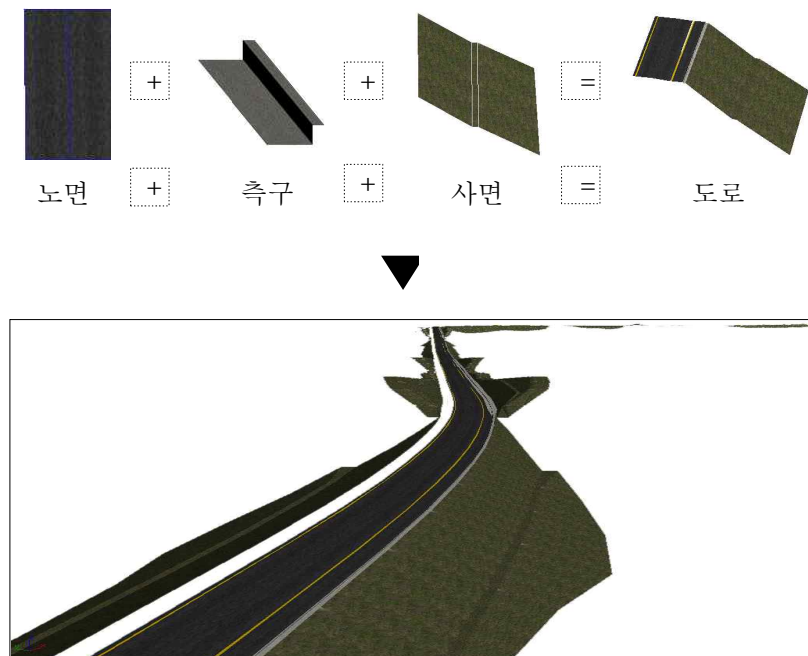
본 연구의 성공의 관건이라고 볼 수 있는 탐색이론에 있어서는 유전자 알고리즘을 이용한 도로 최적 선형 탐색을 선형 생성, 선형 평가, 최적 선형 도출 부분으로 구분하고 알고리즘의 적합성과 효율성만을 확인할 수 있는 PILOT 프로그램을 제작하여 도로 최적 선형의 각 부분에 적합한 유전연산자 재구성을 위한 기반기술을 구축하였다.



[전체 수행과정표시 출력 화면]

3차원 도로 주행 시뮬레이션 개발을 구동하기 위한 3차원 개발 요소를 지형, 도로, 지형+도로 합성과 같이 3부분으로 나누고, 요소 별 구성요소를 분석 정의하여 3차원 모델링 기법과 자료 구조를 체계화 하였고, 많은 데이터를 빠르고 효율적으

로 적용하기 위해 최신 LOD(Level Of Detail) 기법을 적용한 3차원 도로경관 시뮬레이션을 개발하였다.



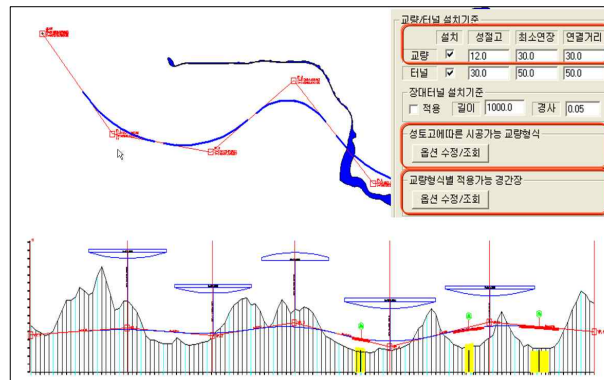
[모델링 작업]



도로 설계에 필요한 공사비 및 유지보수 산정을 위한 평가 요소를 교차로 형식 선정 및 평가, 터널형식 선정 및 평가, 교량형식 선정 및 평가, 생애주기비용 통한 유지보수비 산정과 같이 4가지로 구분하여 이와 관련한 연구내용을 해당 연구기관과의 회의를 통해 각 평가 요소별 평가 프로그램을 개발하였다.

도로시설 관련 규정 세부 연구기관에서 제시한 연구 항목별 세부 내용을 적용하여 도로노선의 정량적인 평가 자료를 제공할 수 있도록 개발하였다.

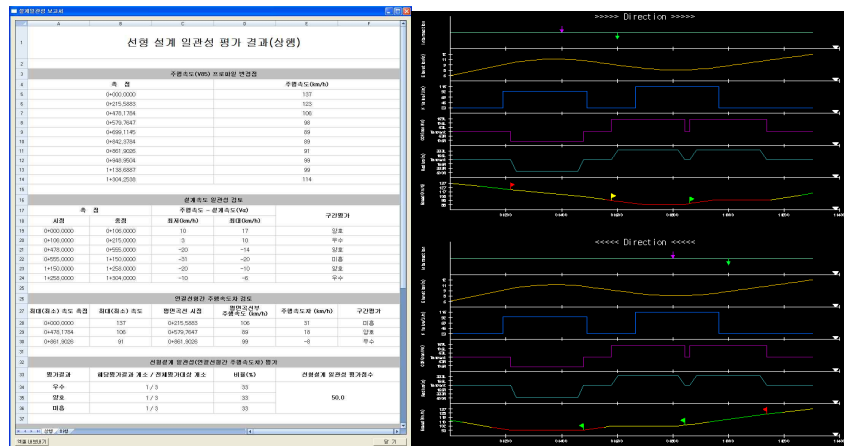
환경성 평가를 위하여 친환경 도로노선 평가를 해당 연구기관과의 공동연구를 통하여 프로그램을 개발하였으며 이를 통하여 환경에 대한 평가 점수를 제공하였다.



[교량 및 터널설치 화면]

안전성 평가를 위하여 사고예측모형과 설계일관성 모형을 연구기관과의 회의를 통해 프로그램을 개발하여 설계된 기하구조에 따른 사고건수와 설계일관성형태에 따른 점수를 제공하였다.

항공 라이다 측량 기술을 이용하여 획득된 라이다 데이터와 디지털 영상은 GIS 측량 데이터를 이용하여 노선과 주변 현황에 대하여 좀 더 정확한 정보 제공이 가능하게 되었다.



[안전성 보고서 화면]

[안전성 분석 프로파일]

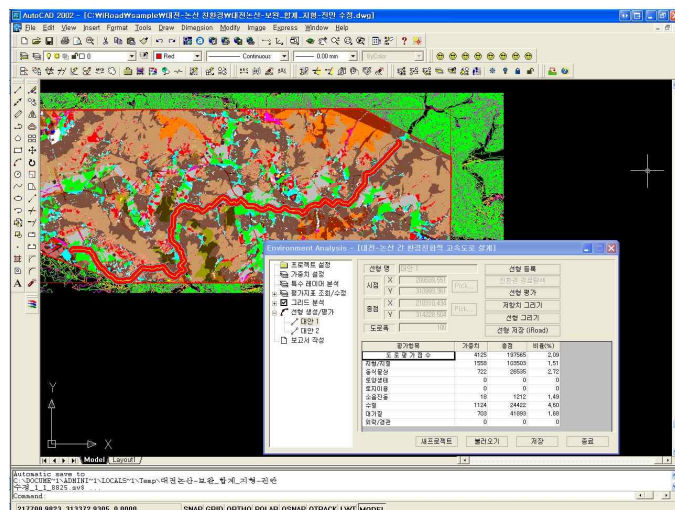


[수치지도와 라이다]

② 단일 평가 프로그램 개발

지능형 도로 통합설계 프로그램을 구성하는 평가요소는 친환경성 평가, 공사비 평가, 안전성 평가로 구분되며 각 요소에 대한 연구 항목별 세부 내용을 연구기관과의 회의를 통하여 전산화를 하였다.

각 평가 모듈들은 지능형 도로 통합설계 프로그램에 접목하기 전에 연구 항목에 대한 전산화 과정을 통하여 해당 평가 모듈에 대한 개발자와 연구기관간의 의사소통을 위한 도구로써 사용되었으며, 단위 알고리즘의 검증을 위한 도구로써 사용되었다. 또한 이렇게 만들어진 단일 평가 프로그램은 그 자체만으로 단위 평가가 가능하게 되어 현업에서도 평가 목적에 맞는 단위 평가 프로그램을 선택하여 사용 가능하도록 하였다.



[친환경 노선대 평가모듈]

3. 연구개발 결과의 활용계획

도로공사 발주기관에서는, 도로 건설사업의 계획 단계에서 도로 건설에 대한 과학적인 타당성 분석과 설계 발주시 설계용역회사에 설계 성과물에 대한 지침 수립에 활용을 할 수 있으며, 설계용역회사에서 만든 설계 성과물에 대한 기술적, 경제·사회적인 분석 등을 통해 성공적인 도로건설사업의 중요한 도구로 활용 가능하다.

설계용역회사에서는, 도로 설계시 고려해야 할 다양한 요소들을 체계적으로 분석하여 도로설계 업무를 체계화함으로써, 도로 설계 업무 효율을 증진시키며, 전문가시스템의 다양한 정보와 지식을 활용하여 고품질의 성과품을 생산할 수 있다.

4. 향후 관련 후속 연구개발 방향

- 대용량 데이터 처리에 따른 컴퓨터의 계산시간을 줄일 수 있는 획기적인 방안 (알고리즘개발) 도출 및 수치지도의 무결성 방안 등을 연구개발에 국한하여 처리할 수 있는 문제가 아니라 하드웨어의 발달과 국가 수치지도의 정확도 향상 등 외부요인에 일부 의존하는 측면이 없지 않다.
- 또한 도로공학적으로 볼 때 본 연구에서 접목한 친환경 요소, 교량 및 터널, 인터체인지, 주행 안전성 등의 분야에 대하여 연구항목별 연관관계에 대한 추가 연구개발이 필요하다고 생각된다. 이러한 추가연구가 이루어진다면 업그레이드를 통하여 좀 더 진보된 친환경·지능형 도로 최적설계 통합프로그램 시스템이 될 것이다.

■ 연약지반구간 잔류침하량 산정기술 개발(1세부-4)

1. 연구개발의 목적 및 필요성

국토의 고도 이용에 따라 연약지반에 대한 도로건설이 점차 증가하고 있는 추세에 있다. 그러나 연약지반에 건설된 도로에서는 필연적으로 성토하중에 의해 침하가 발생하게 된다. 연약지반구간 도로의 설계단계에서는 연약점성토층의 총침하량 중 공용 후 발생하는 잔류침하의 허용치를 미리 결정한 후 대책공법 선정과 공사비 산정이 이루어진다. 그러나 장래 사용될 도로의 경제성과 기능성을 고려하지 않은 허용잔류침하의 불합리한 설정은 과도한 공사비의 투입으로 인한 경제적 손실 또는 부정확한 잔류침하의 예측으로 인한 추가적인 유지보수를 초래할 수 있다.

임의의 시점을 기준으로 발생될 연약지반의 잔류침하를 결정하기 위해서는 먼저 과재하중으로 인한 전체침하량을 결정하여야 한다. 전체침하는 즉시침하, 1차압밀침하, 2차압밀침하로 이루어진다. 현재 널리 적용되고 있는 Terzaghi의 1차원 압밀이론은 성토시 지반을 완전 비배수상태로 가정하여 성토하중과 동일한 과잉간극수압이 발생하며 성토 후 시간경과에 따라 과잉간극수압 소산과정과 동시에 침하가 발생하는 것으로 간주하고 있다. 하지만 실제 현장을 살펴보면 과잉간극수압이 완전히 소산한 후에도 2차압밀이 발생하고 있으나 2차 압밀에 의한 침하량은 종종 간과되었다.

한편, Terzaghi의 1차원 압밀이론이 발표된 이후 2차 압밀에 관한 연구가 활발히 수행되고 있으나 그 평가방법은 아직 명확하게 확립되어 있지 않은 실정이며 실무에서 1차원 압밀해석은 Terzaghi의 1차원 압밀이론에 기초하여 표준압밀시험 결과를 이용한 침하시간 및 침하량의 예측으로 구성된다. 1차원 압밀해석과 그 토질정수는 먼저 정수가 얻어진 압밀시험의 거동을 충분히 설명할 필요가 있다고 생각한다. 연약지반에서의 압밀침하계산에 이용되는 역학정수와 소성지수 및 물리특성과의 상관관계에 대해서는 많은 연구가 진행되어져 왔으나, 현장에 적용하기 위한 소성지수와 압밀특성과의 실험적 연구는 아직 미비한 실정이다.

본 연구개발에서는 설계단계에서의 1차압밀 및 2차압밀침하를 명확히 산정할 수 있는 기법, 즉 산정식을 개발하는데 주안점을 두고 있다. 현재까지 설계단계에서는 1차압밀침하량과 2차압밀침하량을 산정하기 위해 주로 Terzaghi의 1차원 압

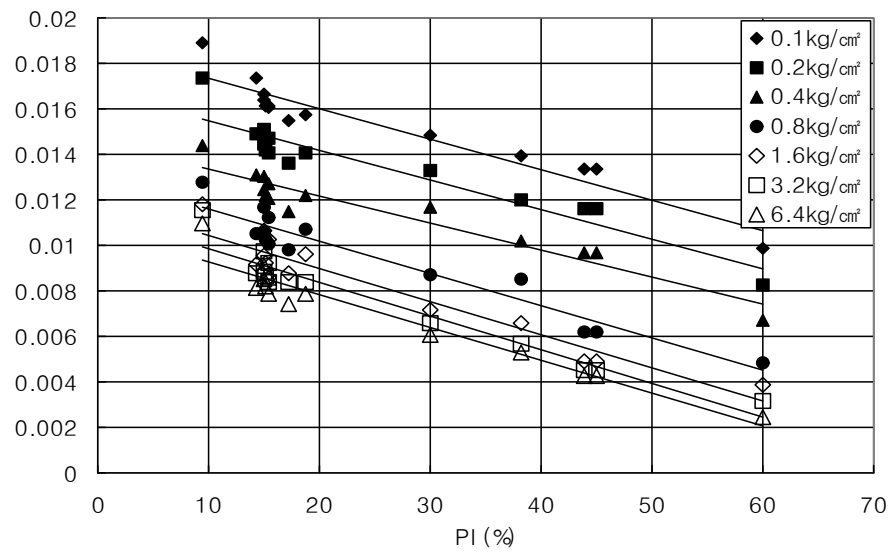
밀이론과 寺田의 계산식을 사용하고 있지만, 이론과 실체는 다소 모순되는 측면을 가지고 있다. 따라서 연약지반 상의 도로에 있어서 최적의 대책을 마련하기 위해서는 국내 지역별 연약점성토의 공학적 특성이 반영된 정확한 침하량 산정기법의 개발이 필요하게 된다.

2. 연구개발 결과

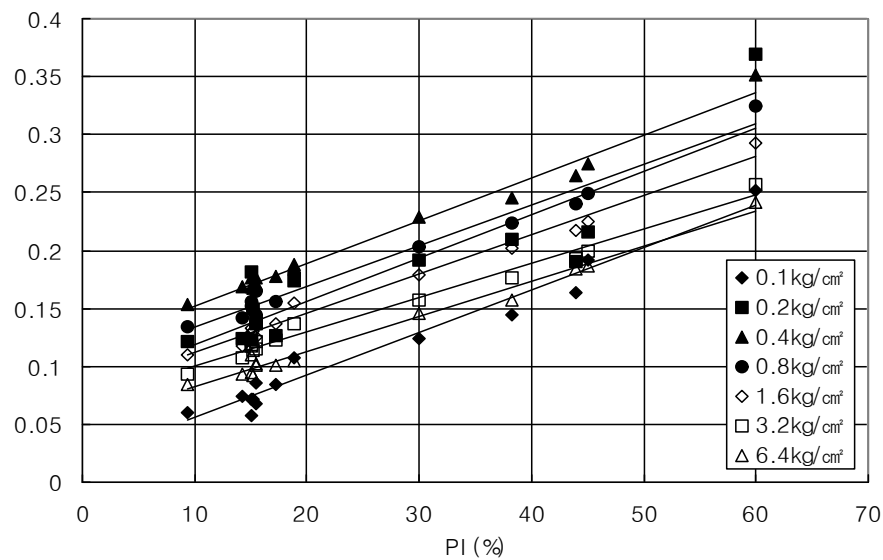
국토의 고도 이용에 따라 연약지반에 대한 도로건설이 점차 증가하고 있는 추세에 있다. 그러나 연약지반에 건설된 도로는 주로 성토에 의해 형성되며, 성토 높이에 따라 정적인 성토하중 또는 동적인 교통하중에 의해 즉시침하와 장기간에 걸친 압밀침하가 발생하게 된다.

당해연도에서는 실무에서 간편하고 정도 높게 연약점성토의 침하량을 산정할 수 있는 기법을 개발하기 위해 소성지수와 압밀하중재하기간이 시간-침하관계에 미치는 영향을 파악하고 이에 따른 침하특성, 압밀계수특성, 압축지수 및 2차 압축지수 특성, 간극수압특성을 분석하였다. 또한 개발된 압축지수, 압밀계수, 2차압축지수 등의 제안식의 유용성을 검증하고자 탄소성 구성모델인 수정 Cam-Clay 모델과 탄·점소성 구성모델인 Sekiguchi모델을 이용하여 수치해석한 결과와 비교하였으며, 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 압밀계수와 2차 압축지수를 소성지수와 선행하중이후의 하중관계로 정식화한 결과 압밀계수 $C_v = 0.0135 - 0.0001PI - 0.001P$ 와 2차 압축지수 $C_{\alpha} = 0.1134 + 0.0035PI - 0.013P$ 를 얻었다.

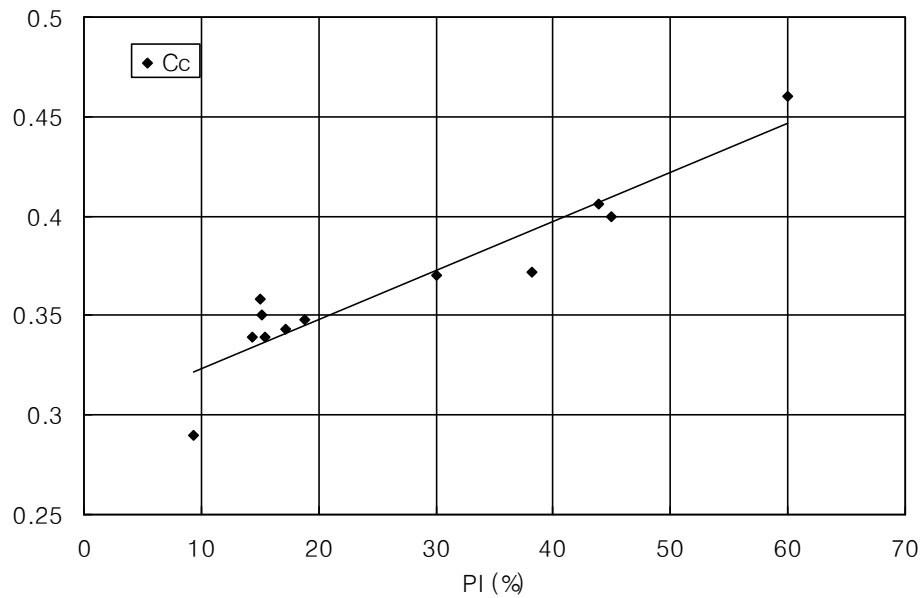


[하중변화에 따른 압밀계수와 소성지수의 관계]



[하중변화에 따른 2차 압축지수와 소성지수의 관계]

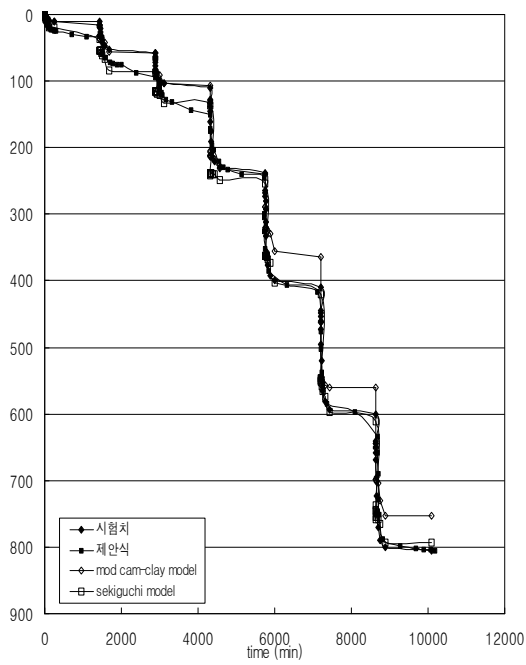
(2) 압축지수는 소성지수가 증가함에 따라 선형적으로 증가하며 이 관계를 정식화하면 $C_c = 0.2983 + 0.0025 \cdot PI$ 이고, 일정 하중에 대해서는 소성지수가 변한다 하더라도 C_α/C_c 는 0.0356으로 일정하다.



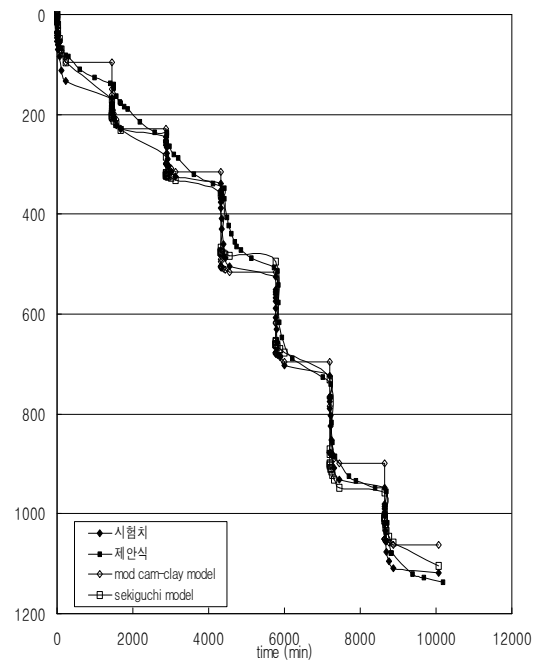
[소성지수와 압축지수관계 곡선]

(3) 다음 그림에 탄·점소성 모델인 Sekiguchi 모델, 탄·소성 모델인 수정 Cam-clay 모델 그리고 본 연구에서 제안한 제안식을 사용하여 수치해석한 결과를 압밀시험 결과와 비교하여 나타내었다. 그림에 나타난 바와 같이 수정 Cam-clay 모델을 이용한 결과는 Sekiguchi 모델을 이용하여 해석한 결과와 달리 2차 압밀인 크리프의 영향을 고려하지 않으므로 곡선의 개형이 직선의 형태로 나타나고 있으며 최종침하량 역시 시험치와 다소 상이한 경향을 보이고 있다. 그리고 제안식의 침하량 예측은 과압밀 영역에서는 다소 시험치와 차이를 보이나 정규압밀 영역에서는 매우 유사한 선형을 보이고 최종침하량은 매우 잘 일치하는 것으로 보인다. 또한 크리프의 영향을 고려한 탄·점소성 모델인 Sekiguchi 모델은 모든 경우 시험치와 매우 잘 일치하고 있음을 알 수 있다.

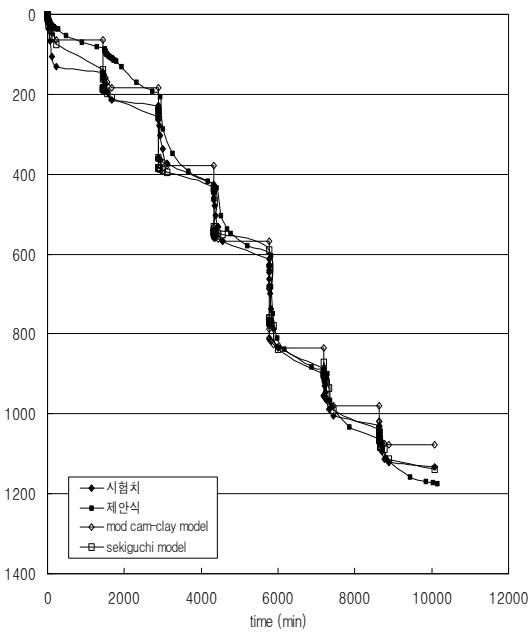
그러므로 본 연구에서 제안한 제안식은 설계 초기인 기본설계 시 개략적인 침하량을 산정할 때 매우 유용할 것으로 사료되며 정도 높은 압밀침하량을 얻을 때는 탄·점소성 모델인 Sekiguchi 모델을 이용함이 바람직할 것이다.



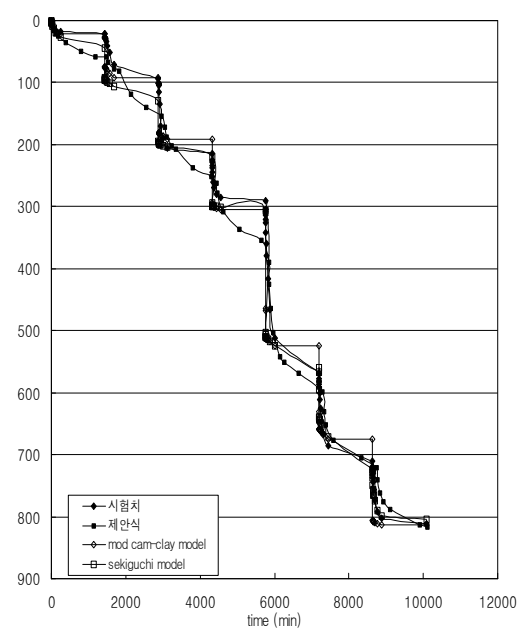
(a) PI = 15%



(b) PI = 30%



(c) PI = 45%



(d) PI = 60%

[소성지수에 따른 하중재하에 따른 시간-침하량 관계]

3. 연구개발 결과의 활용계획

연약지반상에 구조물을 축조할 경우, 장기간에 걸친 압밀침하가 문제시 되는데, 본 연구결과를 활용하여 보다 신뢰성 높은 침하량 산정 및 잔류침하 산정이 가능할 것이다. 구축된 연약지반 공간적 범위 및 공학적 특성에 관한 D/B, 그리고 연약지반의 점성토 성분분석 및 모형시험 결과는 도로뿐만 아니라 단지개발, 항만, 철도 노반 등의 건설분야에 널리 실용적으로 활용될 것이다. 이로 인해 연약지반구간 도로의 대책공법과 관련한 초기공사비와 공용 후 유지관리비를 비교, 검토하여 도로설계에 적극 반영할 수 있다.

특히 향후 연약지반과 관련된 지역적 특성을 반영할 수 있는 압밀특성 파악 및 토질매개변수 분석에 많은 자료를 제공할 것이며, 이러한 일련의 과정은 도로 설계시 연약지반 구간의 과다한 초기공사비와 공용 후 유지관리비 경감에 크게 기여할 것으로 판단된다.

최종적으로 이러한 산정기법과 침하기준이 건설분야 전체에 걸쳐 이전되고 그 활용성이 커지면, 현재 통용되고 있는 허용잔류침하에 대한 개념을 보완한 합리적인 연약지반 설계가 정립될 수 있다.

본 연구개발 내용인 침하량 산정기법을 통해 연약지반구간 도로의 설계수준을 한 차원 높일 수 있는 기회가 주어질 것으로 기대되며, 본 연구의 대상인 연약지반구간 도로 이외에도 단지개발, 준설 및 매립, 철도 노반 조성 등에도 적용된다.

“연약지반구간 잔류침하량 산정기술 개발”이 완료된 이후에도 잔류침하와 관련하여 단순히 경제성과 기능성뿐만 아니라 소음 및 진동 또는 주행의 쾌적성을 고려할 수 있다면, 도로설계자에게 신뢰성 있는 허용잔류침하량에 대한 정보를 제공할 수 있으리라 판단된다.

제 2 절 LCC를 고려한 경제성 분석 및 도로시설물 성능 향상 (제2세부과제)

■ VE/LCC를 고려한 도로노선의 경제성분석 기법 개발(2세부-1)

1. 연구개발의 목적 및 필요성

본 연구과제는 친환경·지능형 통합 프로그램 개발을 위해 가치분석 및 LCC분석 기법의 알고리즘을 개발하여 적용하는데 그 목적이 있으며 실무자들의 이해와 활용이 가능하도록 지침서(Guide Line)를 개발할 것이다.

기존에는 VE/LCC에 의한 경제성분석 수행이 제대로 이뤄지지 않아 국가기간 사업인 도로건설에 막대한 예산 낭비를 초래하고 있다. 따라서 도로노선에 따른 공사비 산정 및 도로 생애주기비용의 경제성 검토 기법을 개발하여 발주자의 가치를 최대한 반영하고 최적의 경제적 효율을 높이기 위해 도로노선 경제성 분석 기술 개발이 절실히 필요하다. 또한, 최상의 가치창출을 목적으로 하는 가치분석 및 LCC분석기법 개발은 고효율의 재료 개발 및 비용절감 공법 개발에 적용 가능하여 산업전반의 효율성을 재고할 수 있을 것으로 판단된다.

2. 연구개발 결과

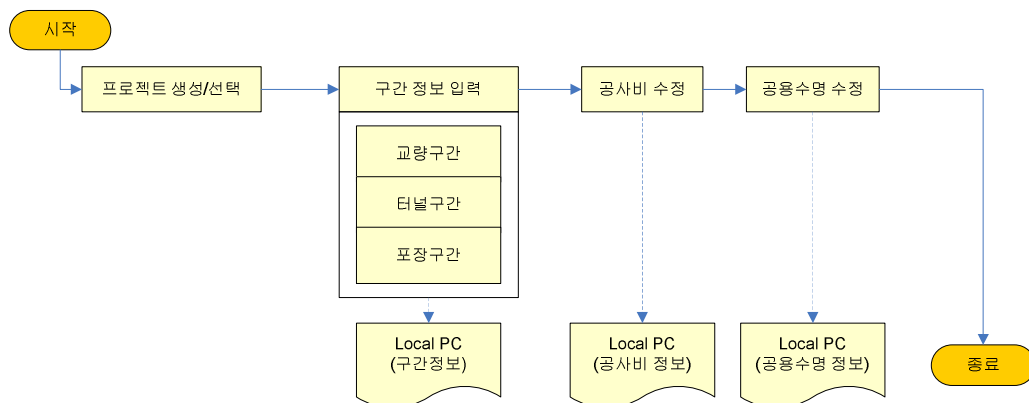
본 연구의 최종 목적은 도로노선 설계 시 도로시설물 및 편익 비용 등에 대한 생애주기비용 분석과 VE를 통한 비용모델을 개발하고, 친환경·지능형 통합설계 프로그램의 구축을 지원하는데 그 목적이 있다. 또한 LCC를 고려한 경제성 단위 프로그램을 개발하고 그 지침서를 작성하는데 그 목적이 있다.

1차년도에는 국도 도로노선의 가치분석 및 LCC 분석을 위한 기초연구를 수행하였으며, DB 수집 및 분석을 수행하였다. 2차년도에는 도로 유지관리의 현황 분석 및 유지관리비 산정 모형을 검토하여 제시하였다.

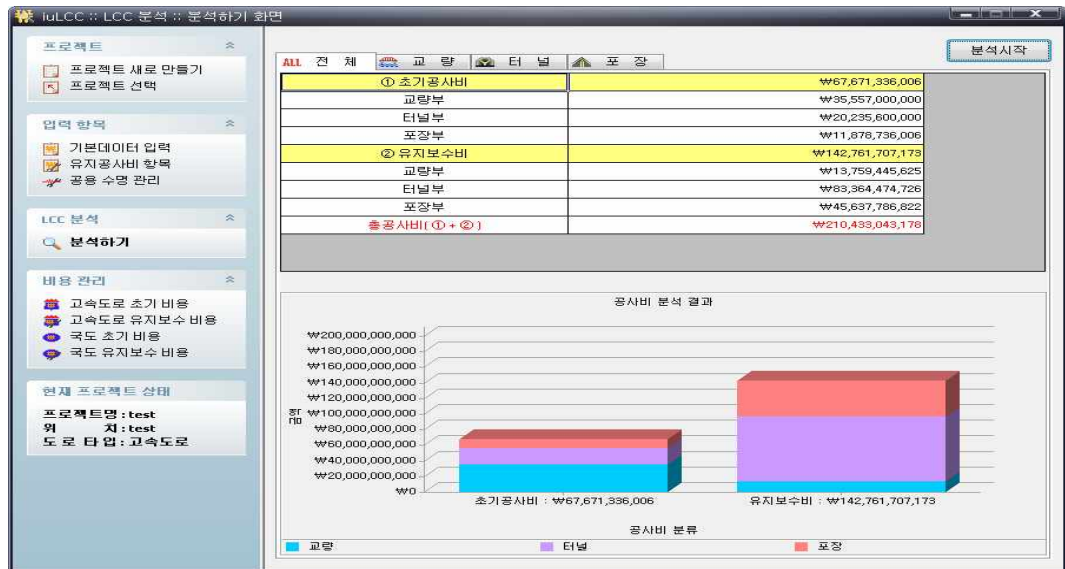
[비용분류구조를 통한 데이터 분류]

필요데이터 항목			
할인율정보	년간 은행금리	초기공사 비용	계획 및 설계비
	년간 인플레이션율		공사비(시공비)
일반 및 제원정보	프로젝트 및 시설물명(교량, 터널 등)		신기술도입비
	구조물 형식(교량, 토널 등)		단위공사비용
	구조물 연장(교량, 터널, 포장 등)		공사비규모 대비
	구조물 폭(교량, 터널, 포장 등)		계획비율
			공사비규모 대비
준공시기	설계비율		
점검진단 비용	기술자 등급별 노임단가	공사비규모 대비	
		감리비율	
일반관리 비용	시설별 관리인원수	유지관리 비용	보 수 율
	시설별 평균인건비		보수주기
	관련장비손료		보수단가
	기타경비		보 강 율
	년간 일반관리비용		보강주기
이용자비용	지연시간	해체/폐기 비용	보강단가
	공사별 작업일수		교체주기
	공사별 Workzone 길이		교체단가
	공사별 통제 차로 수		형식별 해체 비용
			폐기 비용
			재활용 비용

3,4차년도에는 예비타당성 분석을 위한 수준에서의 고속국도 및 일반국도의 초기 공사비와 유지관리비를 정의하고, LCC 차원의 비용분석이 가능하도록 단위 비용의 정의 및 유지관리 비용 단가의 분석, 주기 결정을 통한 비용단위 모델을 개발했다. 5차년도에는 개발된 단위모델을 통합 설계 프로그램의 구축 지원을 하고, 경제성 단위 프로그램(RLA)을 개발하였다.



[경제성분석(LCC분석)전체 흐름도]



[LCC분석 단위프로그램]

그러나 아직 여러 분야의 많은 연구가 되지 않아 비용의 정의에서부터 유지관리 요소의 분류정의에 따른 비용의 적용 범위가 구체적이지 못해 많은 한계점을 인식하게 되었다. 일례로 도로노선 LCC분석을 위한 조사과정에서 기존 교량분야 및 터널 분야에 대한 연구는 어느 정도 진행되어 초기비용 및 유지관리비용의 분석을 위한 틀이 완성되어 단위비용적용이 가능한 상태지만 토공분야에 대한 유지관리 분류체계정립이나 비용단위 모듈을 구축하기가 현실적으로 불가능하였다. 또한, 고속국도와 달리 일반국도 분야의 유지관리 보수보강 자료의 부족으로 인해 많은 어려움이 있었다.

그러나 본 연구는 고속국도 및 일반국도와 관련된 많은 흩어져 있었던 연구정보들을 수집할 수 있었으며, 실 데이터를 조사, 분석하여 유지관리의 비용 모델을 구축하고 경제성 단위 프로그램을 개발했다는 것에 그 의의가 있으며, 이를 기반으로 최적 도로노선 선정에 적용키 위한 노력이 진행되어 좀 더 가시적인 성과가 있었다.

3. 연구개발 결과의 활용계획

VE/LCC를 고려한 도로노선의 경제성분석 기법 개발에 따른 활용방안은 다음과 같이 정리할 수 있다.

- Value Engineering(VE) 적용을 위한 비용해석 도구로 활용
- 기본설계단계, 실시설계단계 및 시공 단계에서의 비용 효율적 최적설계대안 선정을 위한 비용분석 도구로 활용
- 신공법, 신기술, 신재료 등의 적용에 따른 비용 효율성 판단을 위한 의사결정 도구로 활용
- 개발된 가치 분석 및 LCC분석 Prototype 프로그램 공개로 실무의견 수렴 및 개선 사항 도출
- 실무 적용성 확보 및 LCC분석의 기본도구로 활용

4. 향후 관련 후속 연구개발 방향

향후 도로는 물론 주요 사회간접자본 시설물, 즉 터널, 댐, 항만, life-line(가스, 상·하수도, 전력), 통신시설 등 다양한 방면으로 확장 및 응용될 수 있으며, 이에 대한 연구 및 개발이 지속적으로 수행되어야 할 것으로 판단된다.

향후에는 대상구조물의 VE/LCC와 구조적 안정성이 균형화된 구조설계 및 기존 구조물의 성능개선분야에 적용하기 위한 연구를 수행하여 실무에 적용토록 하여야 할 것이다.

도로의 네트워크 수준의 VE/LCC분석을 위해서는 관련 데이터베이스와의 연계를 통해 지속적으로 데이터의 개선이 필요함은 물론이고, 궁극적으로 LCC분석을 위한 데이터가 추가 수집될 수 있도록 VE/LCC분석에 필요한 관련된 도로 데이터의 축적이 요구된다.

도로노선별 가치분석 및 LCC분석 모델개발과 체계적인 알고리즘 분석 개발 연구성과의 표준화된 DB구축이 필요하며 향후 시설물의 경제성 분석에 유용한 시스템으로 발전할 수 있으므로, 연구 성과의 지속적인 관리, 개선이 이루어지도록 정부의 관심과 제도 개선 및 기술 강화가 지속적으로 이루어야 한다.

■ 도로설계 알고리즘 개발(2세부-2)

1. 연구개발의 목적 및 필요성

도로는 국토의 균형적인 발전과 국가 및 지역 경제 활성화를 주도하는 중요한 사회간접자본 시설로써 날로 증가되는 자동차 교통을 원활하게 수용 소통시킬 수 있는 교통망 확충이 당면 과제이며 또한 21세기 사회가 요구하는 친환경, 안전, 기능, 경제적 도로건설이 요구되고 있다. 따라서 앞으로 건설될 도로 사업은 기획단계(타당성조사 및 기본계획)에서 부터 쾌적한 도로환경이 우선되는 친환경적인 기본 컨셉에 바탕을 두고 안전성 및 경제성을 고려한 최적설계가 되어야 한다.

현재 전통적 도로설계과정을 살펴보면 국가 도로설계기준을 통해 최소 도로설계기준을 확인하고 그 기준을 만족하는 범위에서 도로선형설계를 수행하고 있다. 그러나 보다 안전하고 경제적인 도로건설을 위해서는 최소기준을 만족시키는 것은 물론이고 이와 더불어 도로 기하구조에 대한 안전성 및 도로선형설계에 따른 교차로, 터널, 교량 등을 포함하여 종합적으로 검토할 수 있어야 한다.

이를 위해서 본 연구는 투입되는 비용, 운전자 쾌적성과 도로설계 요소 간 연관성을 계량화하여 선형 체크리스트, 교차로 및 구조물(터널, 교량)의 형식선정을 위한 알고리즘을 개발하였으며, 그 연구결과는 연구단 최종 성과물인 ‘안전·친환경·지능형 도로설계 통합프로그램’에 반영되었다.

2. 연구개발 결과

① 선형설계 Check List 개발

평면 및 종단선형 조합 기술을 개발하기 위해 현재 운행 중인 고속도로 16개 노선, 왕복3,912km 선형자료 및 2003~2005년 고속도로 사고자료 정리 분석을 통하여 선형 분석항목을 정립하였고 선형설계 Check List 단위프로그램이 개발되었다.

현행 교차로 설계과정의 분석 및 한국개발연구원 평가지침을 활용하여 편익과 토공 공사비, 교량 공사비, 용지보상비를 고려한 공사비를 산출하고 산출된 자료를 이용하여 가장 경제적인 교차로 형식을 선정하는 알고리즘을 개발하였으며 이러한 연구를 통하여 교차로 형식 선정 단위프로그램이 개발하였다.

Check List는 기본요소, 평면선형, 종단선형, 평면·종단선형 조합, 횡단구성, 기타고

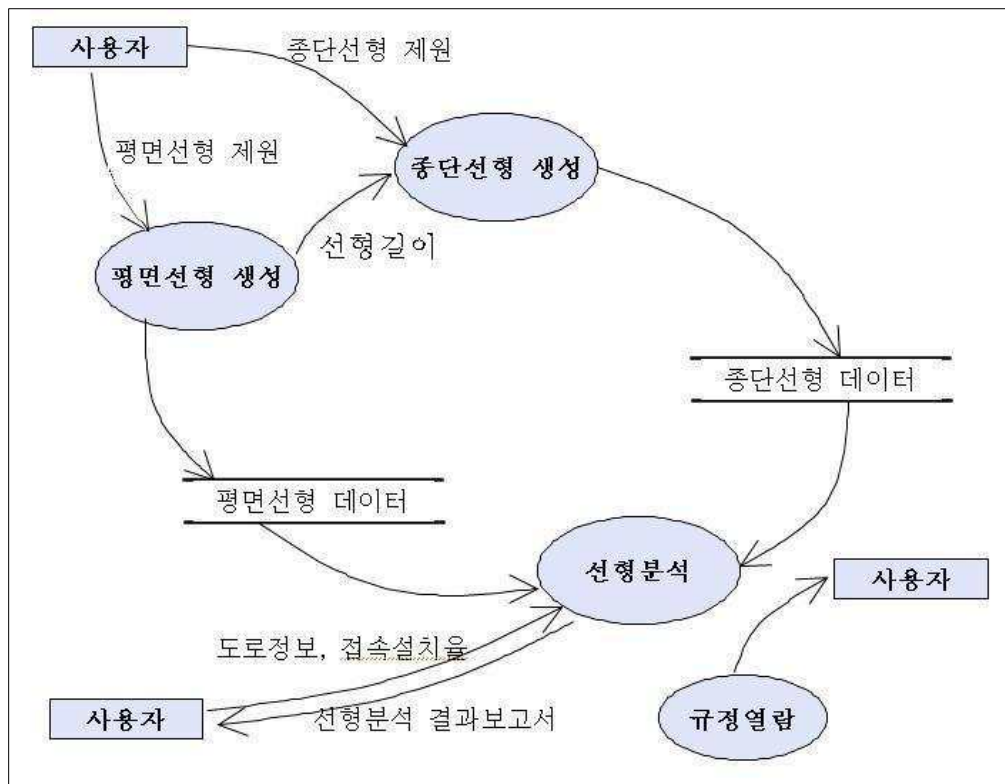
려사항의 총 6가지의 대분류로 나누고 총 21개 항목을 세부적으로 제시하였다. 이 중 평면선형, 종단선형, 평면·종단선형 조합을 3가지 대분류를 통하여 프로그램화를 하였다.

[선형설계 Check List의 항목]

대분류	평가항목	비고
기본요소	설계속도와 시거 설계기간 설계용량 보행자 시설 설계기준 자동차 선택 배수관리 방호시설	
평면선형	평면선형 편경사	
종단선형	경사 기준 종단곡선 기준 시거 기준 오르막 차로	
평면·종단선형 조합	선형의 연속성 선형의 일관성	
횡단구성	차로, 길어깨폭, 횡단구배 기본 도로의 폭 및 차로수 중앙분리대 기준 측대 기준 여유폭 주정차대	
기타고려사항	부속시설	

[선형설계 프로그램화 항목]

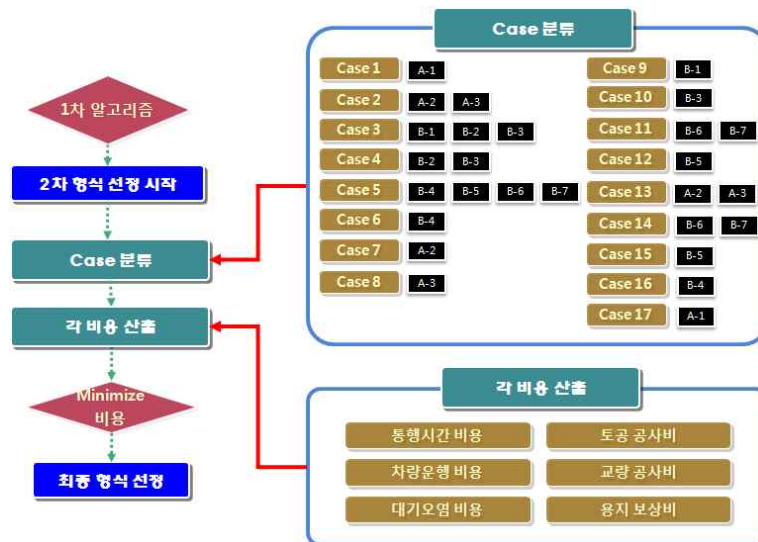
대분류	검사항목	비고
평면선형	- 편경사 및 접속 설치율 검사 - 평면곡선반경 검사 - 평면곡선길이 검사 - 곡선길이비율 검사 - 완화곡선 생략가능여부 검사 및 최소길이 검사 - 완화곡선 파라미터 검사 - 복합곡선의 완화곡선 파라미터 및 곡선사이의 직선길이 검사 - 터널구간 평면곡선반경 검사	
종단선형	- 설계속도별 종단경사 제한 검사 - 최소 종단곡선길이 검사 - 교량의 오목종단곡선 검사 - 장대터널에서의 종단경사 검사 - 터널에서의 오목종단경사 검사	
평면·종단선형 조합	- 종단곡선 오목부와 평면곡선 변곡점 겹침 검사 - 같은 방향으로 굴곡하는 종단곡선 사이에 설치된 직선길이 검사	



[선형분석 흐름도]

② 교차로 형식선정 기법 개발

현행 교차로 설계과정의 분석을 통해 교차로 형식 선정 알고리즘을 개발하였으며 그 흐름을 보면 수치지형, 설계조건, 주변현황, 교통량 분석결과 등 설계관련 자료를 입력하고 각 방향별 직결, 준직결 루프를 다양하게 설치하여 각각에 대해 한국개발연구원 평가지침을 활용한 편익과 토공 공사비, 교량 공사비, 용지보상비를 고려한 공사비를 산출하고 산출된 자료를 이용해서 가장 경제적인 교차로 형식을 선정하게 된다. 이러한 연구를 통하여 알고리즘을 정립하였고 교차로 형식 선정 단위프로그램이 개발되었다.



[교차로형식 선정 2차 알고리즘]

교차로 형식 선정 결과

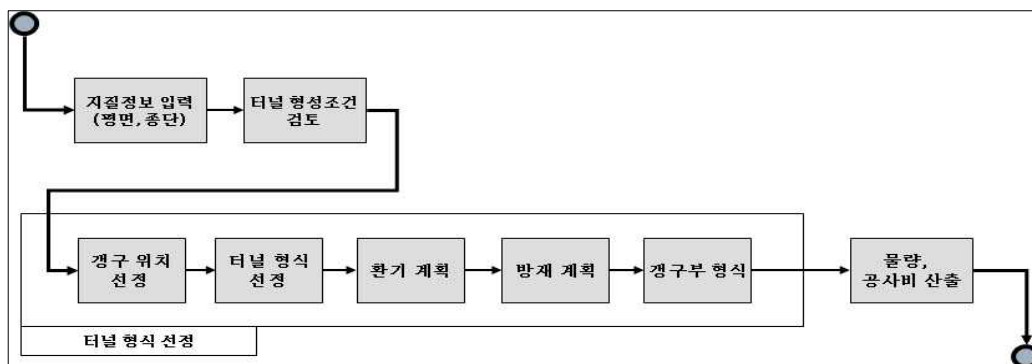
▶ 프로젝트 정보			
프로젝트 이름		진천금강 융통	
작성자	테스터	작성일	2010-07-14
▶ 결정 형식			
B-6 완전입체교차-클로버형			
▶ 선정 형식 비용(억원)			
공사비	토공공사비	교량공사비	용지보상비
	533.89	0.00	194.68
사회비용	통행시간비용	차량운행비용	대기오염비용
	7.36	1.00	0.81
▶ 할인율 적용 총비용			
할인율(%)	5.5	기준년도	2010
공사기간(년)	5	유지보수기간(년)	30
총비용(억원)		764.09	
▶ 총비용 비교표(Case : 14)			
교대 대상 형식	총비용(억원)		
B-6	764.09		
B-7-1	1034.02		
B-7-2	1083.60		
B-7-3	1055.48		
B-7-4	1040.32		

엑셀 파일 출력 확인

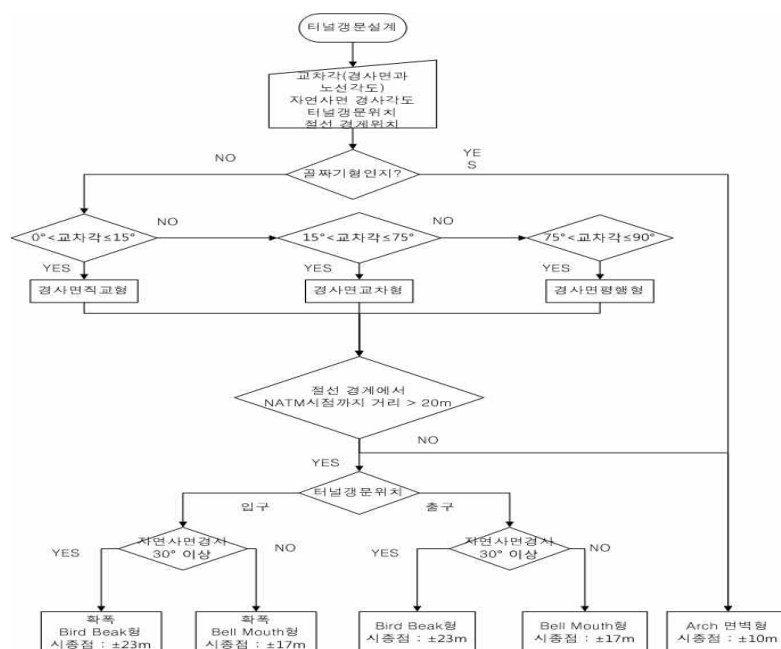
[교차로 형식선정 프로그램 - 결과 화면]

③ 터널 형식 선정 기법 개발

터널 형식 선정 알고리즘은 터널의 형식을 선정하고 사전에 터널 공사비를 산출하여 경제성을 검토함으로써 데이터베이스화를 통해 체계적이고 효율적인 터널설계가 이루어질 수 있도록 하였다. 터널의 설계기준 및 최근 설계경향, 설계사례를 분석하여 터널계획 시 터널 형식을 결정하고, 교통조건에 따른 환기 방식 및 방재 형식을 선정하여 도로조건에 따른 표준터널단면을 선정하였다. 갹문형식 및 갹구위치는 갹구부 지형 및 지질조건을 고려하여 선정하였으며, 지역 및 암종 분석에 따른 지보패턴 및 굴착방식을 결정하여 터널 공사비를 산출하였으며, 이렇게 개발된 알고리즘을 통해 터널 형식 선정 단위프로그램이 개발되었다.

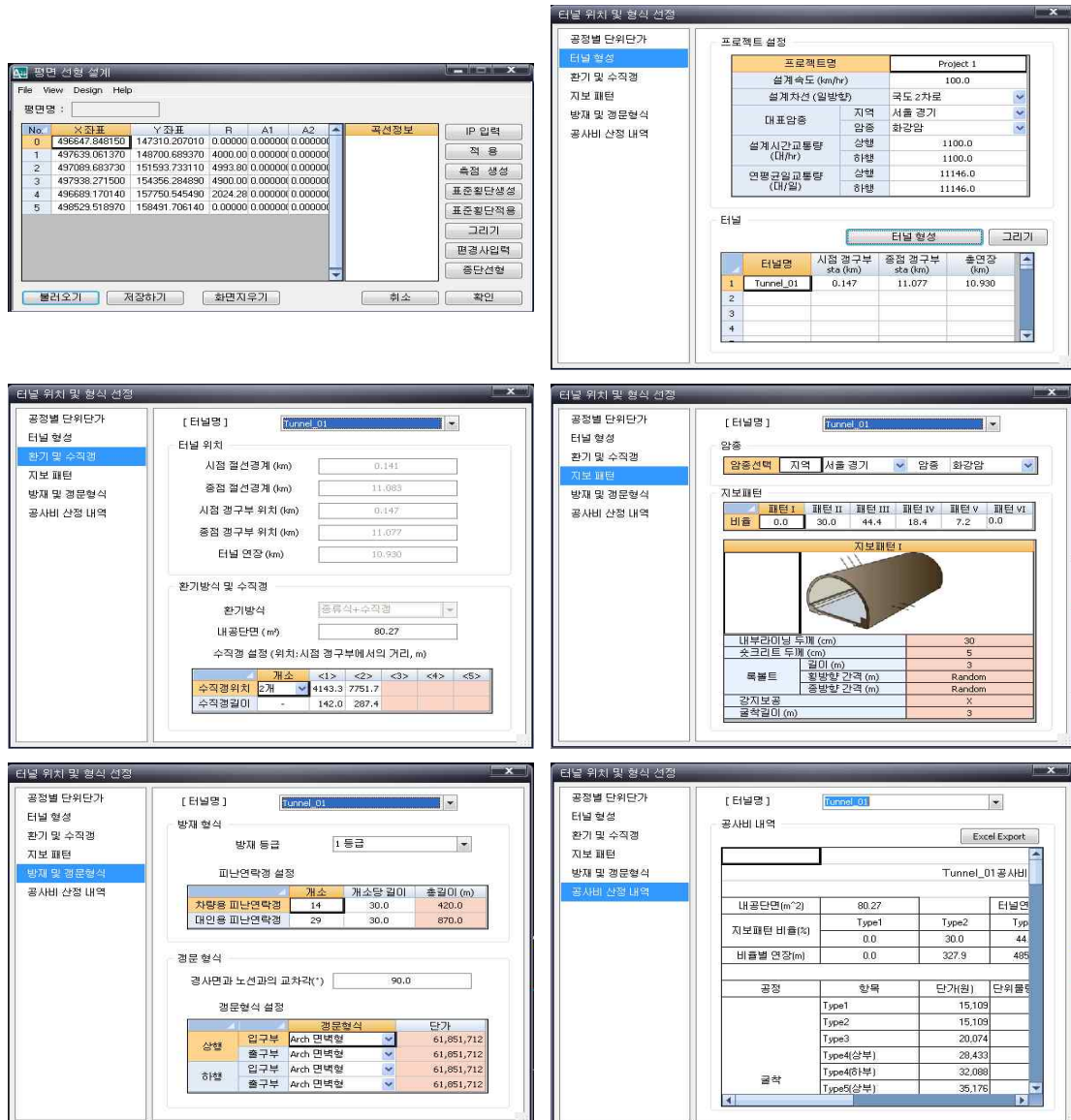


[터널 형식선정 절차 흐름도]



[갹구부 위치 및 갹문 형식선정 절차]

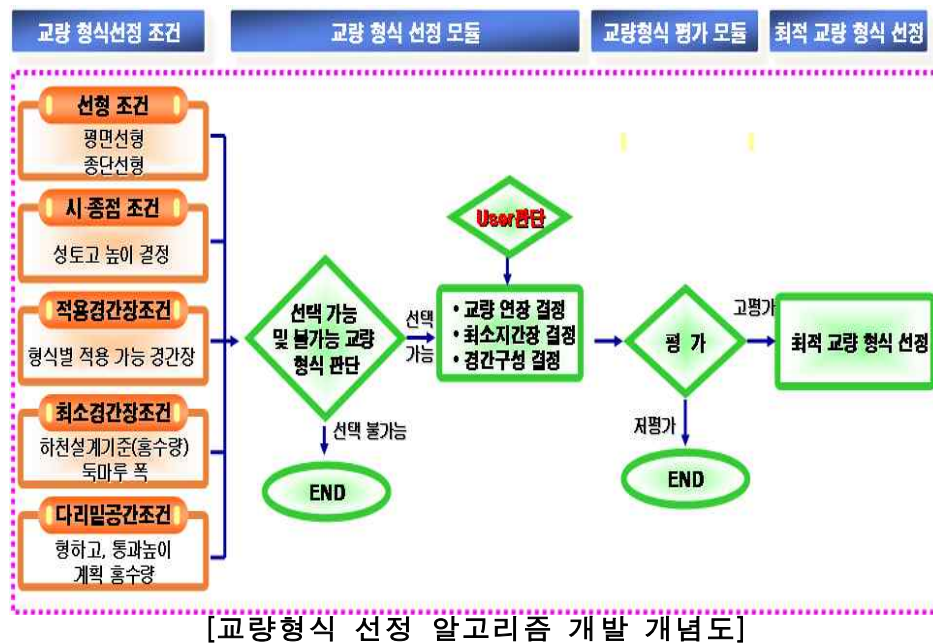
단위프로그램은 Auto CAD 2002를 기반으로 제작되었다. 도로의 종단선형과 평면 선형을 입력하면 대상지역의 터널 형성조건을 보여준다. 터널이 형성되면 터널에 적용된 환기방식 및 수직갱, 지보패턴, 방재 및 갯문형식, 공사비 산정 내역을 보여준다.



[단위 프로그램 화면]

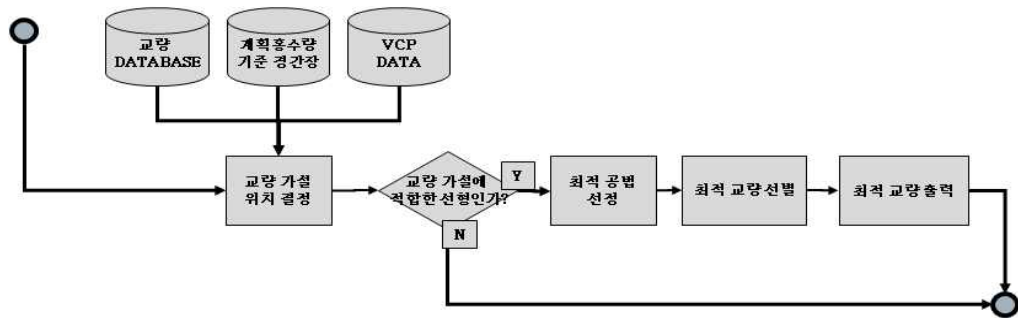
④ 교량 형식선정 기법 개발

교량형식 선정 과정을 살펴보면 평면 및 종단선형, 시종점, 적용경간장, 최소경간장, 다리밑공간 등의 조건을 검토하여 교량연장, 최소지간장, 경간구성을 결정한 후 선택 가능한 교량형식을 선정하며 이 형식들 중에서 경제성, 기능성, 미관 등을 고려하여 최적 교량 형식을 선정하게 된다. 이러한 최소 교량 형식선정 조건을 이용하여 교량 형식선정 알고리즘 및 단위프로그램이 개발되었다.



1단계	교량 가설 위치 결정
2단계	최소로 필요한 교량 총연장 산정
3단계	최소 필요 지간장 산정
4단계	적용 가능한 교량형식 선정 ① 흙쌓기 높이에 따른 시공가능 여부 ② 최소 필요 지간장 만족 여부 ③ 교량 형식별 최소 곡선 반경 ④ 교량의 다리밑공간 확보 가능 여부
5단계	교량 총연장 산정
6단계	공사비 산정

[교량 형식 선정에 필요한 단계별 순서도]



[교량 형식 선정 업무 처리 흐름도]

프로그램은 Auto CAD 2002를 기반으로 제작되었으며, 도로의 종단선형, 평면선형, 및 VCP를 입력하면 교량을 형성하게 된다. 교량이 형성되면 교량에 적용된 상.하부 관련 데이터를 보여주며 최종적으로 공사비 산정 내역을 보여준다.

1단계 :평면선형 입력

2단계 : 종단선형 입력

3단계 : VCP 입력

4단계 : 적용 가능 교량 형식

5단계 : 교량 형성

6단계 : 상부형식 선정

교량 위치 및 형식 선정

VCP 입력
적용 가능 교량 형식
교량 형성
상부형식 설정
하부형식 설정
공사비 산정 내역

프로젝트 설정
프로젝트명: Project_01
하중 종류: 1 등급 (DB-24, DL-24)
교량 폭(m): 20.0
홍수량 (m³/sec): 500 ~ 2000
교량 형성 그리기

교량명	시점 sta (km)	종점 sta (km)	연장 (km)	형식
1 BridgeF_01	0.960	1.200	0.240	PSC Beam교
2 BridgeF_02	1.305	1.485	0.180	PSC Beam교
3 BridgeF_03	2.135	2.425	0.290	PSC Beam교
4 BridgeV_06	2.820	2.840	0.020	RC 슬래브교
5 BridgeV_07	3.320	3.350	0.030	PSC Beam교
6 BridgeF_04	4.325	4.675	0.350	PSC Beam교
7 BridgeF_05	5.955	6.155	0.200	PSC Beam교

교량 위치 및 형식 선정

VCP 입력
적용 가능 교량 형식
교량 형성
상부형식 설정
하부형식 설정
공사비 산정 내역

[교량명] BridgeF_01

교량별 설정
시점 Station (km): 0.960
종점 Station (km): 1.200
교량 폭(m): 20.0
홍수량 (m³/sec):

경간장 2경간
경간구성 총연장(m) <1> 240.0 <2> 32.5 <3> 35.0 <4> 35.0 <5> 35.0

상부형식 재산정 적용

형식 (공종)	개수	공사비 (원)
상부공 PSC Beam교	-	2,812,800,000
교대공	2	329,840,000
하부공 교각공	6	1,782,152,400
기초공	8	0
부대공 (상부공+하부공)*10%	-	492,479,240
합계	-	5,417,271,640

7단계 : 하부형식 선정

8단계 : 공사비 산정

교량 위치 및 형식 선정

VCP 입력
적용 가능 교량 형식
교량 형성
상부형식 설정
하부형식 설정
공사비 산정 내역

[교량명] BridgeF_01

교대·교각

교대·교각	기둥종류	높이 (m)	Station (km)	공사비 (원)
Abut_1	-	6.7	0.960	164,920,000
Pier_1	T형 2500mm	16.6	0.993	281,975,400
Pier_2	T형 2500mm	22.0	1.028	300,035,400
Pier_3	T형 2500mm	22.7	1.063	300,035,400
Pier_4	T형 2500mm	23.1	1.098	300,035,400
Pier_5	T형 2500mm	21.6	1.133	300,035,400

기초공 (m)

교대·교각	대표 공종	(파일) 가로	깊이	본수	세로	높이	공사비(단가)
Abut_1	직접기초	10.0	8	-	-	-	0
Pier_1	직접기초	10.0	8	-	-	-	0
Pier_2	직접기초	10.0	8	-	-	-	0
Pier_3	직접기초	10.0	8	-	-	-	0
Pier_4	직접기초	10.0	8	-	-	-	0
Pier_5	직접기초	10.0	8	-	-	-	0

교량 위치 및 형식 선정

VCP 입력
적용 가능 교량 형식
교량 형성
상부형식 설정
하부형식 설정
공사비 산정 내역

[교량명] BridgeV_08

공사비 내역 Excel Export

BridgeF_01 [PSC Beam교]

- 총 연 장 : 240.0m
- 최대경간장 : 35.0m

상부공 586,000 x 20.0 x 240.0 = 2,812,800,000 (원)

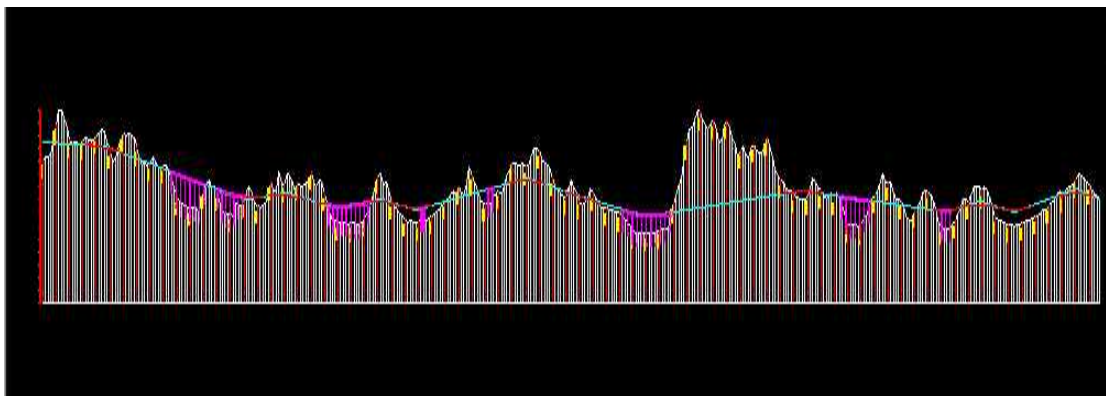
교대공

- Abut_1 (높이 : 6.7m) : 8,246,000 x 20.0 = 164,920,000
- Abut_2 (높이 : 6.2m) : 8,246,000 x 20.0 = 164,920,000
- 합계 : 164,920,000 + 164,920,000 = 329,840,000 (원)

교각공 (T형 2500mm)

- Pier_1 (높이 : 16.6) : 281,975,400 (원)
- Pier_2 (높이 : 22.0) : 300,035,400 (원)
- Pier_3 (높이 : 22.7) : 300,035,400 (원)
- Pier_4 (높이 : 23.1) : 300,035,400 (원)
- Pier_5 (높이 : 21.6) : 300,035,400 (원)

9단계 : 화면 생성



[교량 형식 선정 단위프로그램 구동 순서]

3. 연구개발 결과의 활용계획

① 선형설계 Check List 개발 및 교차로 형식선정 기법 개발

도로 건설 사업에 있어 도로의 선형, 교차로의 형식 및 위치 선정을 계획단계에서부터 과학적인 타당성 분석을 할 수 있고, 설계 발주시 설계용역회사에 설계 성과물에 대한 지침 수립에 활용할 수 있다. 또한 설계회사에서 만든 도로 선형 및 교차로에 대해 기술적, 경제·사회적인 평가를 하여 성공적인 도로건설 사업의 중요한 도구로 활용한다. 그리고 도로의 선형 및 교차로 설계 및 위치 선정 시 고려해야 할 다양한 요소들을 체계적으로 분석하여 전문가시스템의 다양한 정보와 지식을 활용하여 고품질의 성과품을 생산할 수 있다.

② 터널 형식선정 기법 개발

국내외 터널 환기 및 방재, 단면 설계 기준 및 설계 사례 분석을 통해 설계 인자의 도출과 설계 절차 개발을 위한 기초자료로 활용하고 설계 기준 분석으로부터 도출된 터널 형식선정 절차 개발을 통해 친환경, 지능형 도로 설계프로그램 중 터널 설계 프로그램 개발에 융합·접목 한다. 또한, 해외 설계사례 및 기준분석을 통해 터널 설계 및 시공 개선사항을 도출하고, 현재 국내 설계방법 및 기준에 대한 비교 자료로 활용할 수 있다. 터널 설계 전 개략공사비를 산정할 수 있으며, 이로 인해 설계 중인 터널의 경제성을 파악하는데 도움이 될 것이다.

③ 교량형식 선정 기법 개발

기본, 실시설계 및 시공단계별 효율적 최적설계 대안을 위한 도구 및 공사비 효율성 판단을 위한 의사결정 근거로 활용될 수 있으며, 시민, 환경단체 등 관련자들의 의사결정과정에 참여할 수 있다. 또한, 기술 인력의 효율적 운용이 가능(입력투입최소화)하며 주관적/경험적 판단의 부적합요소 제거 및 실무 적용성 확보 및 LCC분석의 기본도구로 활용이 가능하다.

4. 향후 관련 후속 연구개발 방향

① 선형설계 Check List 개발 및 교차로 형식선정 기법 개발

본 연구에서 개발된 알고리즘은 현재까지의 설계과정을 분석하여 나온 결과물로서

시간이 지남에 따라 선형평가항목 및 교차로 형식 선정 항목은 인자의 중요도 및 생성과 소멸 등의 변화에 맞추어 지속적인 자료의 업데이트가 필요하므로 향후 지속적인 연구를 통해 여러 가지 입력인자들의 모호성을 개선하여 더 발전된 최적설계를 할 수 있도록 해야 할 것이다.

② 터널 형식선정 기법 개발

현재는 기존 설계자료를 수집하여 구축된 것으로 향후 시공자료 및 설계자료의 정보화를 통한 상호 피드백 과정을 수행함으로써 설계 및 시공과정에 종합적으로 적용할 수 있을 것이다. 향후, NATM터널로만 한정되었던 터널시공방법을 TBM등 기계화시공에 대한 분야까지 넓힌다면 도로터널뿐만 아니라 철도, 지하철 터널등 다양한 분야에 응용이 가능할 것이다.

③ 교량 형식선정 기법 개발

현재는 교량 형식을 계열별로 분류하고 대표적인 교량 형식을 적용하여 알고리즘 및 프로그램을 개발하였지만, 기 개발 완료되어 설계에 적용되고 있는 다양한 상부교량형식 적용성에 대한 추가 연구가 수행되는 것이 바람직하고 공사비 산정 시 적용되는 각 공종별 단가는 시간이나 여건에 따라 많은 영향을 받기 때문에 지속적으로 데이터 축적이 필요하며, 철도시설 관련 연구가 추가 된다면 다양한 분야에 응용이 가능할 것이다.

■ 산지부 도로선형 설계방안(2세부-3)

1. 연구개발의 목적 및 필요성

도로를 건설함에 있어 우리나라는 국토의 70%가 산지인 만큼 산지부에서의 도로설계는 깎기·쌓기량의 과다발생 등 자연환경 파괴는 물론이고, 터널 및 교량 등 구조물의 과다발생과 사면불안정 구간의 통과 등으로 많은 제약이 따르게 된다.

이에 기존의 선형설계(Alignment Design)기법으로 산지부의 도로를 설계할 때에 발생할 수 있는 불합리한 요소를 해소하고 산지부의 특성에 맞는 선진적인 설계기준을 정립하여 합리성과 함께 실용화 위주로 도로설계에 임하는데 주목적이 있다.

2. 연구개발 결과

본 연구는 산지부 도로선형설계의 기능향상을 위한 설계방안 연구로서 우리나라의 산지부가 가지고 있는 지형적이고 환경적인 특성 분석을 통해 산지부에 맞는 선형 설계기준을 정립하는 것이 그 목표이다. 이를 위해 총 3차년도에 걸쳐 산지부 정의, 평면선형, 종단선형, 평면선형과 종단선형의 조합으로 나누어 연구를 진행하였으며 최종적인 연구 결과물인 “산지부 도로 선형설계 기술서”를 제작 및 배포함으로써 실제 도로 설계 실무자들이 적극 활용이 가능토록 하였다.

① 산지부의 정의

우리나라는 그동안 사회기반시설로서 도로 역할을 중시하여 이 부문에 매년 대규모 예산을 투입했다. 그 결과, 개발이 용이한 평탄지를 중심으로 국가 기간 도로망 체계를 상당한 수준을 확보하였다. 그러나 꾸준히 증가하고 있는 도로교통수요로 인하여 앞으로 지속적인 도로망 건설이 필요하며, 산지부와 같이 도로 건설시 고비용이 수반하는 지형에서 친환경적이며 효율적인 개발을 해야 하는 과제를 안고 있다.

이러한 지형은 도로 설계속도 결정단계에서 고려되어야 할 중요한 입력변수이다. 그럼에도 불구하고 현재 도로설계기준상에는 지형구분을 위한 명확하고 객관적인 판단기준이 제시되어 있지 않기 때문에, 설계속도가 부정확하게 결정될 수도 있다.

본 연구는 지형구분의 필요성에 대해 인지하고 고도 및 경사를 기준으로 그룹화하고 그룹 간 주행속도 유의성 분석결과를 토대로 평지, 구릉지, 산지로 우리나라 지형

을 구분하였다. 본 연구 결과는 도로건설시 도로가 통과하는 지역의 지형적 특성을 반영할 수 있는 하나의 지표가 될 것이며, 도로 설계 실무자가 지형을 분류할 때 사용할 수 있는 보조기준이 될 수 있다.

[본 연구의 새로운 지형 구분 기준]

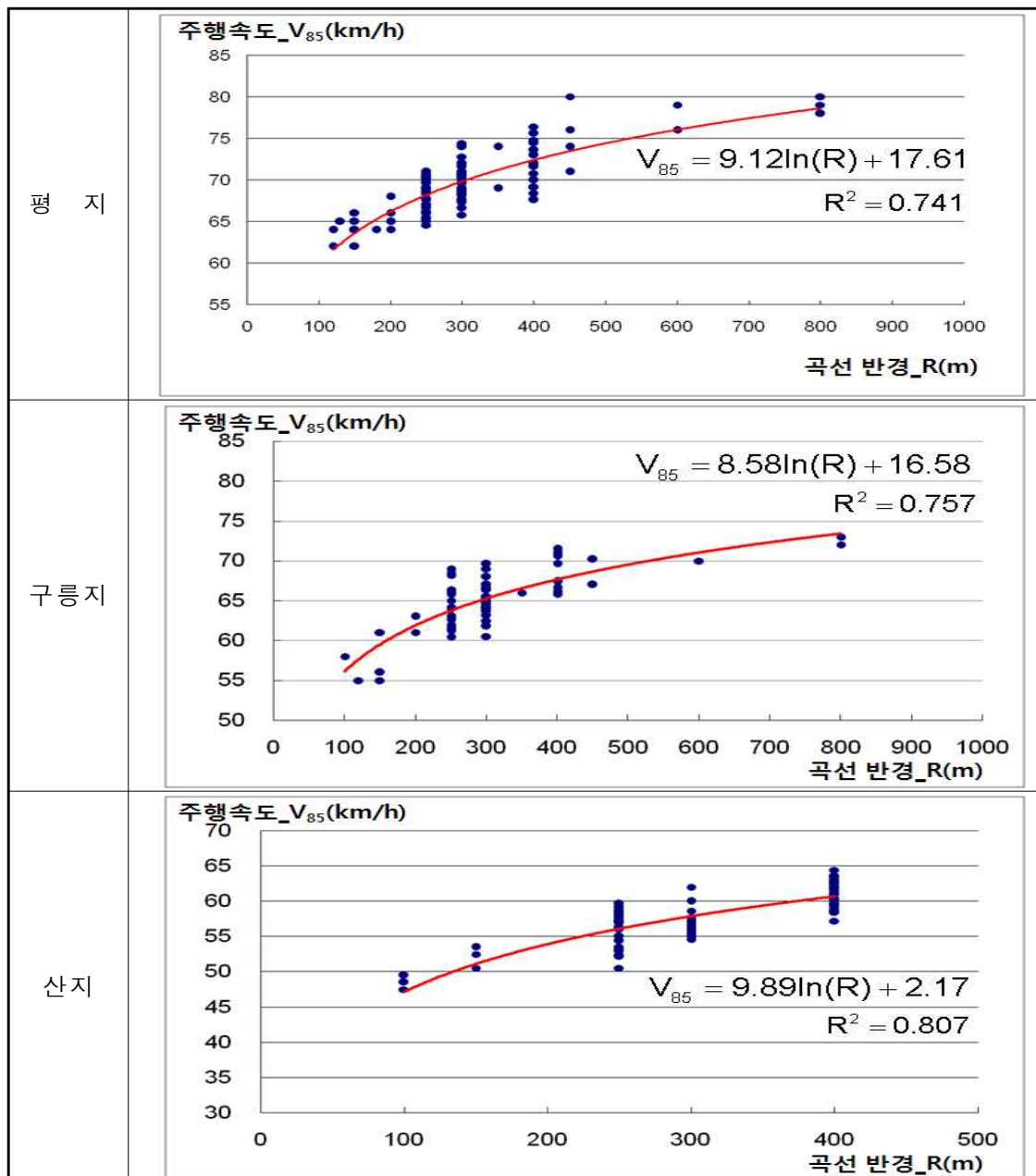
지형	기 준	구분	0~100m	400m이하	400m이상
평지	100m이하/0°~10°, 400m이하/0°~5°의 지형	0°~5°	평지	평지	산지
구릉지	100m이하/10°이상, 400m이하/5°~10°의 지형	5°~10°	평지	구릉지	산지
산지	100m~400m/10°이상, 400m이상의 지형	10°이상	구릉지	산지	산지

② 평면선형

우리나라에서 도로 평면선형 설계를 위해 도로설계속도 개념을 사용하고 있다. 도로설계속도 개념은 단 한 개 도로설계속도를 사용하기 때문에 도로 기하구조 수준이 일정해진다는 강점을 갖고 있으나, 도로 건설 후 그 도로를 주행하는 실제 차량 속도가 설계속도와 달리 나타날 수 있다는 약점을 갖고 있기도 하다. 본 연구에서는 이 약점을 보완하기 위해, 이미 여러 나라에서 사용 중인 주행속도 예측모형에 근거한 평면 선형설계기법을 제안한다. 본 연구에서는 이를 위해 우리나라 전역의 일반국도를 대상으로 표본을 선택하여 차량 속도조사를 수행했고, 속도에 영향을 미치는 도로 설계요소를 통계분석을 통해 선정하여 양방향 2차로와 4차로 일반국도에 대한 차량 주행속도 모형을 제시했으며, 그 모형을 도로 평면선형설계에 적용하는 과정을 제시했다. 한편 새로운 기법에 대한 유효성을 밝히기 위한 실제 사례분석에서 새로운 기법은 기존 기법이 갖고 있는 약점을 해소하는 것으로 밝혀졌다. 본 연구에서 제안한 평면선형 설계기법을 적용하면 도로 투자 효율성이 높아지고, 더 높은 설계일관성을 확보할 수 있을 것으로 판단한다.

[양방향 2차로 모형 분석 결과]

구 분	Equation	Model Summary					Unstandardized Coefficients	
		R Square	F	Constant	곡선반경 t	Sig.	Constant	곡선반경
평 지	Linear	.718	229.357	105.794	15.145	.000	61.477	.025
	Logarithmic	.741	256.952	5.421	16.030	.000	17.612	9.120
구릉지	Linear	.736	181.593	94.825	13.476	.000	58.100	.024
	Logarithmic	.757	202.800	4.896	14.241	.000	16.833	8.584
산 지	Linear	.782	261.261	60.718	16.164	.000	46.308	.039
	Logarithmic	.807	270.295	3.635	16.441	.000	2.165	9.887

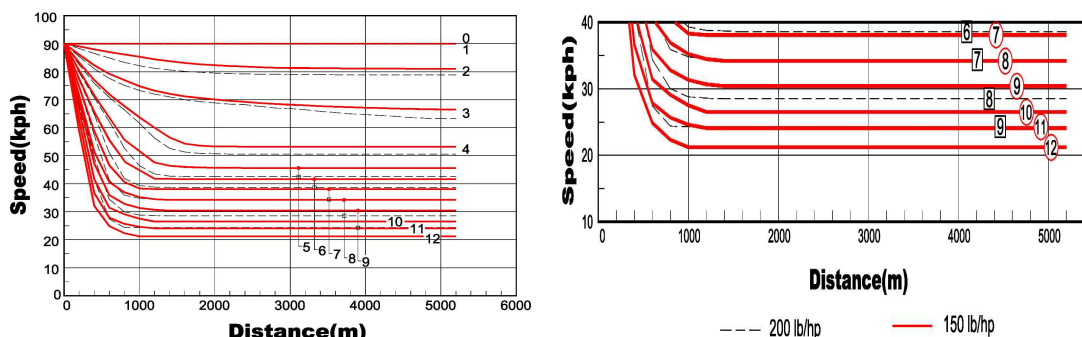


[지형별 V_{85} 예측모형 (양방향 2차로)]

③ 종단선형

도로의 최대종단경사는 차량의 등판능력에 좌우된다. 과거에 비해 차량의 성능이 좋아질수록 도로의 최대종단경사는 조정될 수 있다. 하지만, 미국(AASHTO, 1990, 2004)에서는 설계기준트럭이 300lb/hp에서 200lb/hp로 성능이 상승했음에도 불구하고, 적용되는 최대 종단경사는 거의 변화가 없다. 따라서, 현재 차량의 성능을 고려한 최대종단경사의 조정의 검토가 필요한 실정이다. 특히 국내의 지형은 산악지가 많고, 험준한 지역이 많으므로 최대종단경사의 검토는 절실하다.

본 연구에서는 교통시뮬레이션 프로그램을 이용하여 차량의 성능향상에 따른 새로운 트럭 성능곡선을 토대로 최대종단경사를 판단한 결과 1~2% 정도 종단경사 완화가 가능한 것으로 판단하였다. 이러한 연구결과는 최대 종단경사 뿐만 아니라 종단선형의 여러 제원요소의 변화에도 영향이 있다.



[그림 85 트럭의 성능 곡선 (200lb/hp Vs. 150lb/hp)]

3. 연구개발 결과의 활용계획

이 연구를 통해 환경과 고비용의 제약조건에서도 안전하고 효율적인 친환경 산지부 도로 설계가 가능하게 되며, 산지부 도로 설계 시 설계자의 주관적이며 비합리적인 설계의 오류를 줄임으로써 비용효과적인 도로 시설 투자를 이룩할 수 있다.

4. 향후 관련 후속 연구개발 방향

① 산지부의 정의

본 연구는 일반국도를 대상으로 한 주행 속도자료를 이용하였기 때문에 지방도나 군도등 기능에 다른 도로에 대해서는 적용상의 한계가 있으나, 향후 도로건설시 도로가 통과하는 지역의 지형적 특성을 반영할 수 있는 하나의 기준이 될 수 있다고 기대된다.

② 종단선형

본 연구에서 도출한 결과는 최대 종단 경사와 오르막차로 설치 등과 같은 설계기준들을 차량 성능 개선에 따른 세부적인 연구의 필요성을 제기한다. 하지만, 본 연구에서 제시한 값들에 대한 세부적인 현장조사에 따른 검증이 이루어져야 할 것이며 종단 경사의 길이제한과 내리막 차로에 대한 추가적인 검토가 필요하다.

■ 선진한국형 휴게소 기술개발(2세부-4)

1. 연구개발의 목적 및 필요성

최근 사회는 국제화 · 정보화 · 24시간화가 급격히 진전되고 있어 사람들의 생활은 정신적 풍요로움과 다양함을 중시하게 되는 등 여가활동에 대한 시간이 증가하여 야간 · 주말 · 휴일의 교통량이 증가하고 있다. 또한, 2005년 기준 평균수명이 78.5세로 빠르게 초고령화 사회로 변화됨에 따라 은퇴 이후의 여가를 즐기고자 하는 노인인구도 증가추세에 있다.

기존에 고속도로 휴게소는 장거리 혹은 고속, 연속주행으로 인한 여행자의 피로를 회복시키거나 휴식을 제공하기 위하여 설치된 시설로 규정하여 휴게소는 단순히 이동 중에 기본적 욕구를 해소하는 단순한 휴게시설로 취급되었으나, 이러한 휴게소의 개념은 관광 · 레저시설 등 다양한 서비스시설로 양적 · 질적인 욕구를 동시에 만족시킬 수 있는 변화가 요구되고, 교통약자를 배려한 휴게소 시설기능의 보완방안이 요구되며, 휴게소의 서비스 내용은 운전자의 안전성과 쾌적성에 많은 영향을 주고 있어 휴게소 간격, 배치 및 기능에 대해 재검토하여 휴게소 시설 기능을 개선 또는 향상시킬 수 있는 휴게소 설계기준의 정립과 미래형 휴게소의 개발이 시급한 실정이다.

민자사업이 활성화되고 휴게소가 민영화됨에 따라 휴게소가 갖는 공익성 측면보다는 수익성 측면을 강조하게 되어 운전자의 휴식과 안전을 추구하는 휴게소의 기능이 변질될 우려가 있는 바, 휴게소 설계기준은 국민의 삶의 질 향상을 위해서도 조속히 정립되어야 한다. 또한 주5일 근무제의 확대로 고속도로는 평일교통과 더불어 주말 교통이 중요시 되어 여가통행에 대한 배려가 필요하게 되었다. 이에 따라 휴게소는 이용자의 증가와 다양한 욕구 충족을 위해 시설개선이 필요한 것으로 분석되었다.

기존 고속도로 휴게소의 비효율적인 문제점을 개선하여 휴게소의 기능을 향상하고, 휴게소 유형을 체계적으로 세분화함으로써 휴게소 기능의 차별화를 유도하여 사용자 요구에 부합하는 휴게소 최적모델을 개발하여 특성화된 미래지향적인 휴게소 모델을 개발하고자 한다.

2. 연구개발 결과

○휴게시설개선 및 세부기능향상방안

세부기능향상방안은 휴게소 진입차량의 속도저감유도시설, 주차장 보행자 통행 안전시설 등 안전측면과, 휴게소 주차혼잡과 주차안내시설, 실시간 교통상황의 정보 제공 측면과, 노약자 및 고령자 이용편의를 고려한 편리측면을 모색하였다.

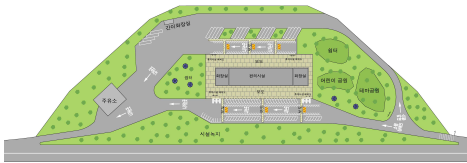
[휴게시설개선 및 기능향상방안]

안전시설 (Safety)	● 교통동선 속도저감 방안 - 시각적 효과 노면 도색 처리 - 과속방지턱 시설 - 속도표지판 시설 - 출입로 노면요철 시설 ● 주차장내 보행자 통로 확보 - 보행자 안전통행로 설치 - 표지병, 칼라블록, 야간조명등 설치, 시인성 강화시설 설치 - 보행자구간 결빙방지시설 설치 ● 응급처치 시설 - 가벼운 상해나 질병발생 대처
정보시설 (Information)	● 주차안내시설 - 휴게소 주차상황 안내시설 - 주차장 주차공간상황 안내표지판 - 장애인전용 주차구역 안내표지판 ● 교통정보 안내시설 - 실시간 교통상황 및 정보제공 ● 휴게시설 배치안내도 - 휴게시설 배치안내도 설치 이용률 제고
편리시설 (Convenience)	● 고령자 및 노약자 이동 편의시설 증대 - 편의시설 출입경로 단차 완화 ● 주차구획면적 확대 - 승용차 대형화 추세 주차면적 협소 - 일반승용차 주차구획 폭 2.7m, 길이 5.2m 이상 권장 - 장애인 주차구획 폭 4.0m, 길이 5.2m 이상 권장 ● 주차장내 녹지 공간 조성 - 쾌적하고 심적 안정공간 요소 제공 ● 수면실 설치 - 피로로 인한 교통사고 예방 ● 화장실 배치는 양쪽 분리형 추구 - 혼잡완화 및 편의시설 휴식환경 증대 ● 유아수유 및 세면실, 어린이방 설치 - 유아동승자 편의제공 ● 장애인 주차 구역에 케노피 설치 - 비나 눈이 내릴시 이용불편 해소

- 세부기능향상 배치안



- 주차장 교통안전 고려 배치안

- 차종별 주차구역을 분리하여 이용자를 분산함으로써 편의시설 이용 혼잡해소와, 컴퓨터·옥외 휴게장소 이동거리를 최소화하여 주차장에서의 보행자와 차량간 교통상충저감.	
- 주차장 진입동선을 차종별로 분리하고 대형차량 주차구역을 좌측전면에 배치하여 소형차 교통동선에서 보행자와 차량간 교통상충을 최소화 함.	

○ 지역연계휴게소

지역연계 휴게소란 도로이용자에게 휴식을 취하고 기본적인 욕구를 해소할 수 있는 공간을 제공하고자 하는 목적과 더불어 지자체나 지역단체의 참여를 통한 해당 지역의 관문 역할을 점목시켜 도로이용자와 해당지역 주민들 간에 교류가 이뤄질 수 있는 기능을 보유한 휴게소를 의미한다.

지역연계휴게소의 착안은 점차 더해가는 지방의 공동화 해소와 여가활동 인구증가로 인한 관광다변화 마련, 도로변 불법판매시설의 대체시설과 지역경제 기여를 위한 기능을 휴게소와 연계하여 상호 활성화 하는 방안이다.

- 도로이용자의 휴식장소 제공

- 휴식장소 제공 및 생리적 욕구 해소

- 지역 진흥 및 지역경제 활성화 기여

- 도농간 교류 창구 역할

- 지역 농특산물 판매 장소 제공

- 지역농산물 홍보 지원

3. 연구개발 결과의 활용계획

선진한국형 휴게소 기술개발 연구의 주요 연구내용인 교통정보시설, 편의시설, 주차 및 내부동선체계, 휴게소 이용안내체계 등 개선과 주차장등의 교통안전을 고려한 세부적 기능제고 방안은 실무적 적용이 가능하도록 제시하였고 지역연계휴게소 모델은 지역활성화에 기여하는 미래 휴게소 방향을 제시하고 기존휴게소 활성화 방안의 연구자료로 활용 될 수 있을 것이다.

휴게시설 계획시 미진하였던 교통약자를 고려한 편의시설기능제고와 주차장에서 의 교통상충개선을 위한 휴게소 설계방향을 정립하고 교통정보체계, 주차안내체계, 기능제고방안, 지역기여휴게소 방안은 휴게소 설계부문의 기술적 향상과 관련분야 의 신기술 개발 유발효과가 기대되며 향후 연구결과를 고려하여 계획한다면 휴게소 이용자의 안전과 쾌적한 공간이 될 것으로 기대하며 휴게소의 서비스 제고와 이용시설 만족도를 높이는 휴게소가 될 것으로 사료된다.

■ 도로안전 정보시설물의 내풍안전성해석 및 설계기술개발 (2세부-5)

1. 연구개발의 목적 및 필요성

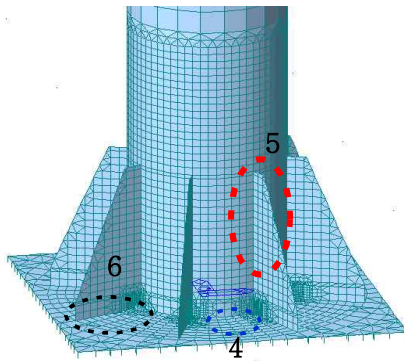
도로는 국토의 균형발전과 물류유통을 통한 국가 및 지역경제의 활성화와 아울러 현대의 관광, 산업, 경제 전반에 있어 중요한 사회 간접자본 시설로 자리매김 하였으며 날로 발전하는 자동차 산업기술과 도로망 그리고 증가하는 물류유통, 레저생활 등으로 도로 이용률은 급속히 증가하여 포화상태가 되어가고 있는 실정이다. 이러한 도로유통의 원활한 운영은 결과적으로 국가경제에 지대한 영향을 미칠 수 있으므로 도로소통의 즉각적인 정보전달과 교통안전을 도모하는 도로 부대시설물의 원활한 기능 확보 및 향상을 위한 연구개발은 결과적으로 국가기간망의 중추신경으로써의 원활한 역할을 이루게 함으로써 경제, 산업의 윤택유 역할을 할 것으로 기대된다. 오늘날 지구환경의 변화와 기상이변으로 인한 태풍 루사, 매미 등 이상기후의 빈번한 발생으로 도로안전 정보시설물에 대한 내풍안전성이 위협받고 있으며 이는 도로교통 전체와 산업전반에 영향을 미치게 된다. 따라서 이에 대한 대책기술 개발이 절실히 요구되는 바이다. 이러한 시대적 요구에 따라 본 연구 과정을 통하여 도로안전을 위한 정보시설물(전광표지, 도로표지)에 대한 국내외의 내풍 설계기준과 유지관리 사례 등을 파악하여 현재 국내에서 적용하고 있는 도로안전 정보시설물에 대한 내풍 안전설계기준을 수립하여 안전성을 검토하고, 기존 시설물에 대한 문제점 및 개선사항을 도출하여 풍하중의 저감방안 또는 내풍 저항력 향상방안 등 풍하중에 효과적으로 대응할 수 있는 방안을 연구하여 적합한 기술개발을 이루고자 하는 것으로서, 내풍안전성 확보를 위한 최적의 기술개발과 성과품질의 향상을 목적으로 한다.

이러한 연구개발을 통하여 사회, 환경요인에 대응하여 도로의 정보제공 능력 향상, 유지관리의 효율성 제공과 비용절감, 그리고 안전성의 증진을 도모하는 기술개발을 이루고자한다.

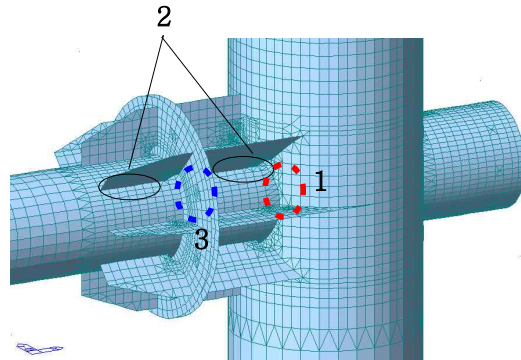
2. 연구개발 결과

1. 도로표지판 지지구조물 검토 및 개선방안 검토

- 가. 용접치수 검토에 의한 개선
- 나. 피로응력 검토에 의한 개선
- 다. 허용응력 검토에 의한 개선

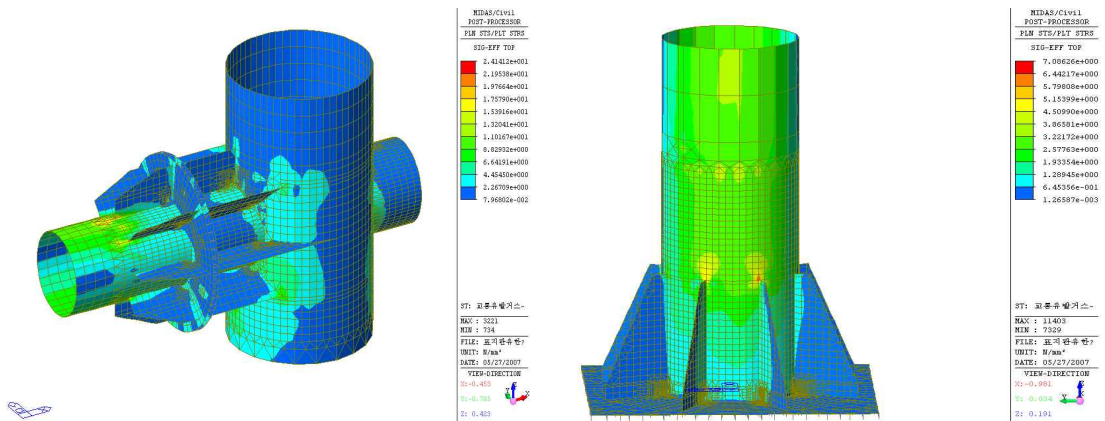


(a) 하 부



(b) 상 부

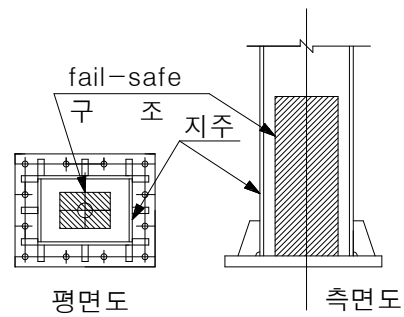
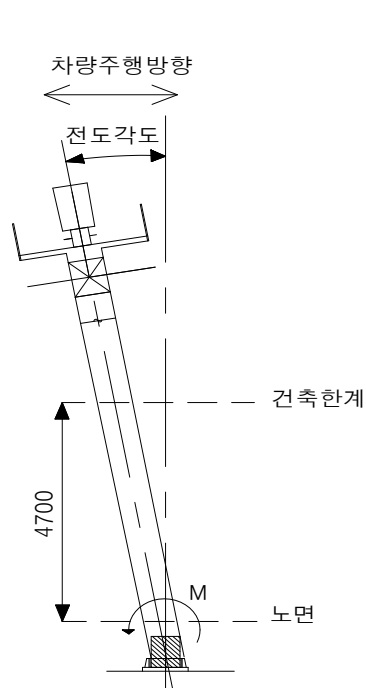
[국부정밀해석 상세]



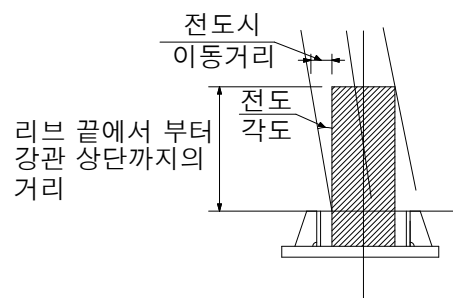
[설계풍속 30m/s의 내 민식 지지구조물의 유효응력(σ_{EFF}) 분포 모습]

2. 도로표지판 지지구조물의 내풍안전성 신기술의 개발

- 가. 전단구조를 사용한 회전식 도로정보시설물
- 나. 도로정보시설물의 전도방지 장치
- 다. 도로정보시설물의 응력분산 장치



(a) 강관의 설치



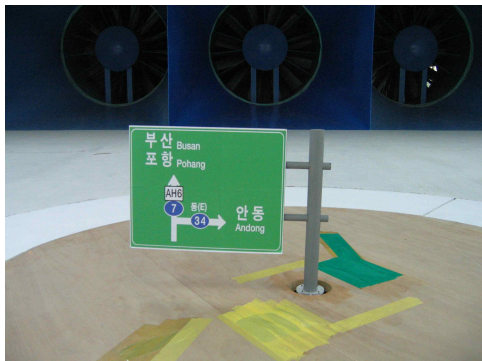
(b) 전단각도의 산출

[전도방지장치 개요도]

3. 도로전광표지판 지지구조물의 내풍안전성 신기술의 개발

가. 사방향 수평재 보강 및 케이블 보강 의한 내민식 도로전광표지판 지지구조물의 동적진동에 대한 안전성 개선

나. VMS의 항력계수 저감방안



[전단키 구조의 풍동실험 전경]

4. 도로정보시설물의 설계조건 개선제안

- 풍하중 설계기준의 적용은 본 연구의 착수년도에 수행 완료되어 「도로표지판 관련규정집, 국토해양부 2006」에 개정 반영된 「도로표지의 구조 안전성 확보를 위한 연구(2005.10)」의 적용이 타당한 것으로 판단된다.
- 항력계수의 적용은 지주 단면형상에 따른 영향을 비교적 세부적으로 고려하도록 한 한국건설기술연구원의 연구결과인 「도로표지판관련규정집, 국토해양부 2006」의 규정을 적용하는 것이 바람직한 것으로 판단하였다. 도로전광표지판의 항력계수에 있어서 한국도로공사의 풍동실험(2004.12) 결과와 본 연구에서의 풍동실험 결과에 따라 1.6을 적용하는 것이 적합한 것으로 판단되었다.
- 「도로표지판관련규정집 2003」의 「[부록] 지주의 구조계산」에서 구조물의 허용응력은 풍하중에 대하여는 단기응력을 고려하고 장기허용응력(160MPa)의 1.5배로 하도록 하고 있다. 또한 해당 규정집의 개정본인 2006의 「[부록3] 지주의 구조계산」에서도 원형지주의 허용응력을 단기응력으로 장기허용응력의 1.5배를 적용하고 있으나 각형단면의 문형식(SM490)에서는 허용응력의 할증을 적용하지 않고 있어 일관성이 결여되어있다. 이에 대해 한국도로공사의 「표지판 세부기준 정립 및 표준도 개정, 2005」에서는 원형지주의 허용응력에 대하여 표지판의 주요 규격을 결정하는 설계 풍하중이 도로교 설계기준을 준용한 점과 상세 설계시의 활용성을 고려하여 도로교설계기준을 적용하도록 하고 있으며 이의 규정을 반영하는 것이 바람직한 것으로 판단하였다.
- 수직지주의 설계하중으로는 바람의 임의 방향성을 고려한 AASHTO의 규정을 적용할 경우 약 5% 내외의 응력 증가하는 것으로 검토 되었으며 이의 규정을 적용 하는 것이 내풍 안전성 확보를 위하여 타당한 것으로 검토 되었으며, 본 연구의 풍동실험 결과에서도 바람의 임의 방향성 고려 필요성이 확인되었다.
- AASHTO에서는 문형식과 내민식 지지구조물의 처짐 제한과 진동 및 솟음에 대한 사용성 규정을 정하고 있으며 표지판, 조명기기, 교통신호의 내민식 지지구조물에 대한 피로설계 규정을 정하고 있다. 국내 설계기준 및 연구에서는 아직까지 도로정보시설물에 대한 사용성 규정이나 피로설계에 대한 기준 등이 구체적으로 도입되어 있지 않고, 고가도로에 설치되는 경우 진동의 영향을 줄일 수 있는 위치에 설치하도록 하고 있다. 바람의 임의방향에 대한 고려와 사용성 및 피로설계는 AASHTO기준을 참고하여 이의 도입시 개선 필요사항을

파악하기 위해 수행 하였으며 국부정밀해석을 통하여 대책방안을 제안 하였다. 피로설계는 이에 대한 실험적 연구 등의 추가적인 연구가 충분히 이루어진 후에 도입이 필요할 것으로 판단된다.

- 일반구조해석에서는 본 연구에서의 설계 검토를 위한 「도로정보 시설물의 설계 검토 기준」에 따라 2방향 예고표지 외 8종류의 내민식 표지판 기존모델에 대해 등가 뼈대구조해석을 통한 설계풍속 30m/s와 40m/s의 경우에 대하여 수행하고 개선이 요구되는 사항에 대하여 개선모델을 제시하여 재검토를 수행 하였다. 또한 편도 3차로용 2지명 이정표지 외 7종류의 문형식 표지판에 있어서도 기존모델에 대해 설계풍속 30m/s와 40m/s의 경우에 대하여 검토를 수행 하고 검토 결과 개선이 요구되는 사항에 대하여 개선모델을 제시하여 재검토를 수행 하였다. 도로전광표지판의 지지구조물에 대하여도 기존모델에 대한 구조해석을 수행하고 개선안을 도출 하였다. 도로전광표지판 지지구조는 안전성과 중요도를 고려하여 여유력이 다소 많은 보수적 설계 적용이 이루어지고 있으며 이의 단면개선은 신중하여야 할 것으로 판단된다.
- 지주와 가로보에 보강된 외측 리브 끝단에서 발생하였던 응력집중현상을 개선 하기 위한 방안으로 리브끝단 부분의 수평재, 수직재 내부에 보강판을 설치하여 응력을 분산함으로써 리브 접합부에서의 응력이 현저하게 감소되게 하여 도로정보시설물의 안정성을 향상시킬 수 있음을 확인하였다.
- 설계풍속 이상의 강풍이 불어오는 이상기후에 대응하여 풍하중을 저감 할 수 있는 방안으로 도로표지판 지주의 중간부에 전단키 장치를 설치함으로써 설계 풍속까지는 구조적거동이 가능한 전단키에 의해 건디다가 설계풍속 이상의 강풍이 불어오면 전단키의 취성파괴에 의해 지주가 내측 강관을 축으로 회전하게 되어 풍하중을 일시에 저감하는 기술을 개발하였다.
- 전단구조를 사용한 회전식 도로정보시설물의 부분 실물모델 실험을 실시하여 적용성을 확인하고 전단구조와 응력분산장치를 적용한 시작품을 제작하여 부산-울산간고속도로에 시험시공을 완료하였다.

3. 연구개발 결과의 활용계획

도로의 안전분야에 대한 많은 연구 및 국제 심포지움 등 세계적으로 도로 안전에 대한 관심제고 및 실천을 독려하고 있는 실정이다. 이에 여러 분야의 공학적 설계원리 및 전문가 지식을 활용한 예측 모델 검증, 실물 실험, 신기술 개발로 설계기술을 최적화한다. 이를 통하여 여러 환경인자를 고려한 도로 안전 시스템 설계 기술을 구축하여 도로설계 분야의 기술개발을 확대한다.

이와 관련한 본 연구는 풍하중저감 또는 저항력 향상으로 예산절감이 가능한 시공공법 및 기술개발을 하고, 내풍안전성 해석과 설계데이터의 제공으로 도로정보 시설물 전문 시공회사의 시공능력을 향상시킬 수 있다. 따라서 이러한 전문 시공회사는 풍하중 저감을 위한 기본 모델을 도로 시설물 이외의 유사구조에 활용 가능토록 하여 도로정보 시설물의 전문 시공기술을 가진 기업의 활성화가 기대된다.

4. 향후 관련 후속 연구개발 방향

도로정보를 제공하는 시설물에 환경인자를 지속적으로 검토 반영하여 궁극적으로 안전한 운행을 제공하는 도로시설을 구축할 수 있는 도로설계기법의 지속적인 연구개발이 요구된다. 또한 도로설계 여건은 시간이 지남에 따라 인자의 중요도 및 인자들의 생성과 소멸 등의 변화에 맞추어 지속적인 자료 업데이트가 필요하며 지속적 연구를 통해 여러 입력인자들의 모호성을 개선하여 더 구체적으로 발전된 최적설계를 할 수 있도록 해야 할 것이다.

■ 중앙분리대 설계기준 및 신기술 개발(2세부-6)

1. 연구개발의 목적 및 필요성

최근 고규격화 되어가고 있는 도로의 경우 고속주행이 가능해진 반면에 안전시설이 미흡한 곳이 많아 교통사고가 많으며, 교통안전 신인도 제고를 위하여 과학적이고 체계적인 분석을 통한 교통안전 전략과 세부 실행계획이 수립되어야 한다. 따라서 전체 교통사고에서 중앙선 침범 사고가 차지하는 비중이 높아지고 있어 중앙분리대의 효율적인 설치 방안 및 환경성과 안전성 증진을 위한 설계기술 개발도입을 통한 경제적 이익창출을 도모하고자 한다.

본 연구는 신속하고 체계적인 정보기술을 이용하여 편리하고 안전한 도로설계를 가능케 하는 도로안전시스템(Road Safety System)의 부대시설을 개발하는데 그 목적이 있다. 도로 설계 시 중앙분리대 설치에 관한 모든 환경인자들을 분석, 정리, 분류하여 Data base구축을 통하여 안전한 도로 설계를 가능하게 하는 기법을 개발하는 것이다.

따라서 고속도로, 국도 등의 도로의 중앙분리대의 특성 및 안전상의 문제점을 도출하여 개선방안을 모색할 수 있고 우리나라의 지형 특성, 지역적 특성 등을 종합적으로 고려한 환경 친화적, 안전 지향적 설계기준을 제시함으로써 교통사고로 인한 피해를 감소시키고, 교통사고로 인한 파손 시 유지보수가 용이한 제품을 개발할 수 있다.

2. 연구개발 결과

5차 년도에 걸친 최종연구 결과물인 도로환경인자 분석, 중앙분리대 신기술 개발, 표준도 작성 및 설계 표준화를 통하여 안전한 교통상황의 보장과 도로설계 결과물의 품질을 향상시킬 수 있다. 또한, 체계적이고 안전한 설계가 가능하게 됨으로서 국가 물류비용 및 교통사고에 대한 비용 절감과 국가 대외신인도 상승에 의한 경제·산업적 효과 증대가 기대된다. 여러 분야의 공학적 설계원리 및 Data base구축과 이를 활용한 도로 안전 시스템 설계 기술을 개선하여 도로설계 분야의 기술 개발을 확대하고, 교통사고 위험을 예방하여 이에 따른 경제적 손실을 최소화하는데 기여할 수 있다.

연구를 통해 얻은 결과는 다음과 같다.

- ① 중앙분리대가 정면충돌 등의 심각도가 큰 사고는 감소시키는 본래의 설치목적에 부합하는 효과가 있지만, 운전자의 시거를 제약하거나 장애물로 인식되어 후미, 측면 사고는 증가시키는 것으로 나타났다.

[사고유형별 대응표본 t-검정 실시결과]

사고 유형	대응차 평균	표준편차	차이의 95% 신뢰구간		t	자유도	유의 확률 (양쪽)	채택 여부
			하한	상한				
후미	2.808	5.386	1.835	3.782	5.711	119	0.000	◎
정면	0.575	1.128	0.3715	0.779	5.586	119	0.000	◎
측면	1.475	2.701	0.987	1.963	5.983	119	0.000	◎
후진	0.05	0.314	-0.007	0.107	1.747	119	0.083	X

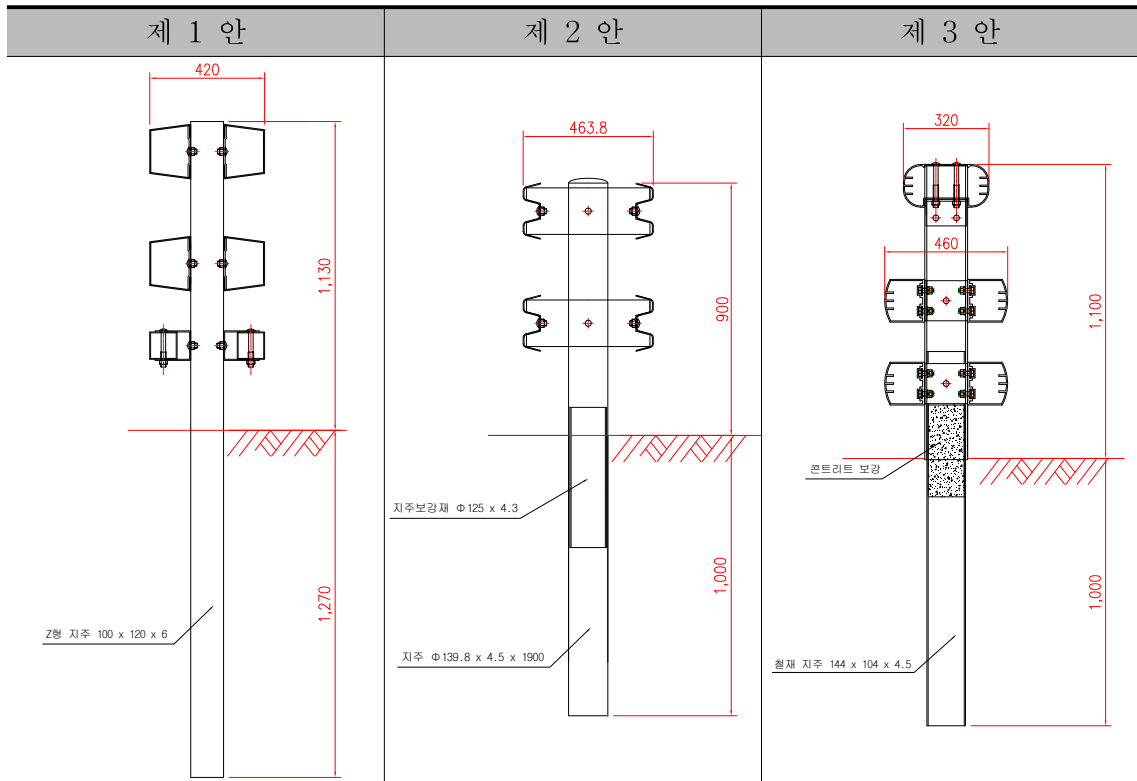
- ② 국내에서 성능이 검증된 중앙분리대의 형식으로 롤러형, 가드레일형, 콘크리트 형으로 구분되며 각각의 형식에 따라 방호성능, 경제성에 큰 차이를 보였다. 방호성능면에서는 콘크리트가 가장 뛰어났으며 다음으로 롤러형, 가드레일형, 가드케이블, 식생 녹지대 순으로 방호성능이 뛰어남을 알 수 있었다. 경제성 측면에서는 콘크리트 중앙분리대를 제외하고 방호성능이 뛰어날수록 설계단가는 높아진다는 것을 데이터로 확인할 수 있었다. 그 밖에 환경성, 시공성, 유지관리, 공용성, 쾌적성, 미관성을 비교한 결과 제품의 형식과 등급에 따라 각기 다양한 결과를 보이고 있음을 확인하였다.

- ③ 방호성능 및 경제성, 공용성, 미관성 등 다양한 요소를 검토하여 OPEN BOX 강제형 중앙분리대 형식을 3가지 제안 하여 도면을 작성하였다. 검증을 통하여 가장 경제적이고 안전성 높은 종류를 선정하여 표준도를 작성하였다.

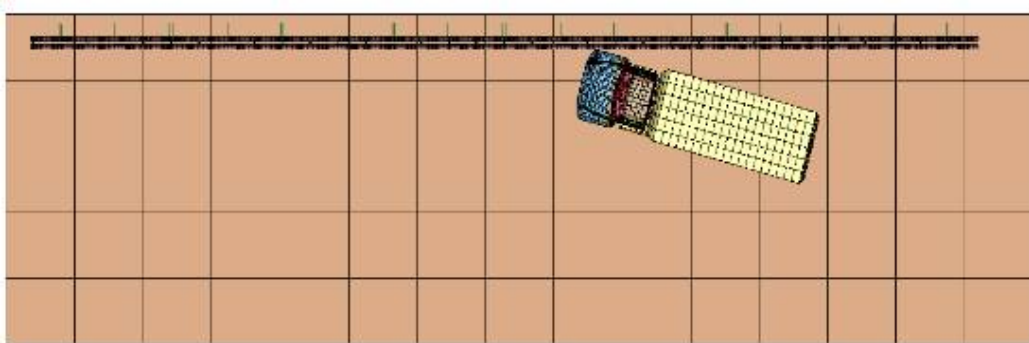
[구조검토 결과]

구분	횡방향력(ton)		극한강도(ton)	결과
제 1 안	23.38	<	28.05	안정함
제 2 안	23.38	>	12.02	불안정함
제 3 안	23.38	<	72.56	안정함

[중앙분리대의 형식 제안]



- ④ 제안된 3가지 형식의 2D, 3D 시뮬레이션 프로그램을 이용하여 실물차량 충돌시험 이전에 시뮬레이션을 수행함으로써, 경제적인 설계가 가능토록 실시하였다. 시뮬레이션 결과 가장 우수한 형식의 중앙분리대 형식을 결정 할 수 있었다.



[대형차 충돌 시뮬레이션 Full Model]

- ⑤ 중앙분리대 신기술(안)의 시제품을 제작하여 실물차량 충돌시험을 수행하였다. 실물차량 충돌시험의 결과 데이터를 분석하여 중앙분리대의 적용 타당성을 검증하였으며, 중앙분리대 설계 기준과 비교하여 적용 가능한 것으로 나타났다.

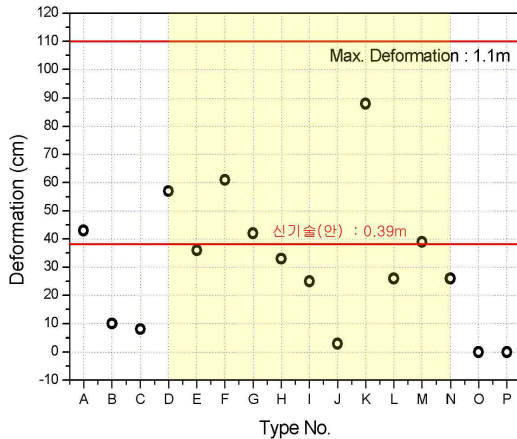


[대형차 충돌 후 중앙분리대의 변형상태]

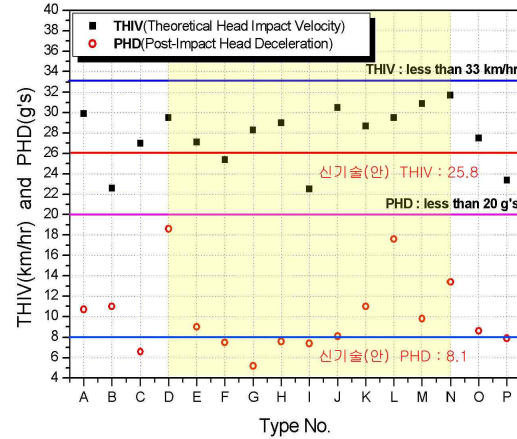
[탑승자 안전지수]

기준 항목	한계 값(안)	시험 결과
탑승자 충돌속도(중 · 횡방향) THIV (정면충돌)	33 km/hr 이하	25.8 km/hr at 0.0980 sec
탑승자 가속도(중 · 횡방향) PHD(정면충돌)	20 g's 이하	8.1 g's at 0.2216~0.2316 sec

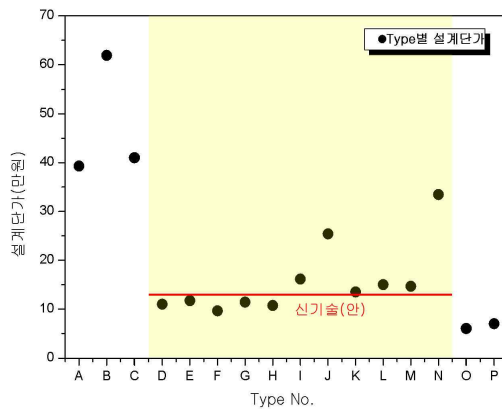
- ⑥ 중앙분리대의 신기술(안)의 경우 가드레일형식의 중앙분리대와 비교시 방호성능(변형거리, THIV, PHD)이 뛰어남을 알 수 있었고 경제성 측면에서는 총11개 제품 중 TYPE - D,E,F,G,H 5개 제품을 제외하고는 경제적 우위에 있음을 확인하였다.



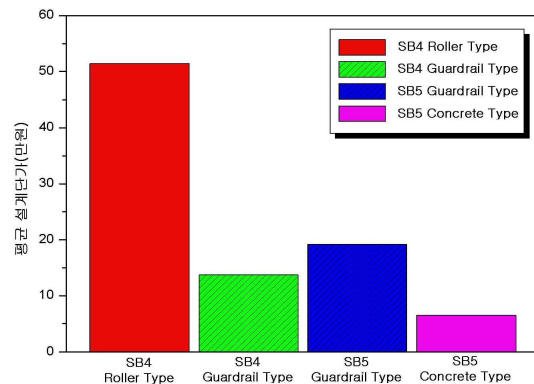
[Type별 변형거리 비교]



[Type별 THIV 및 PHD]



[Type별 설계단가 비교]



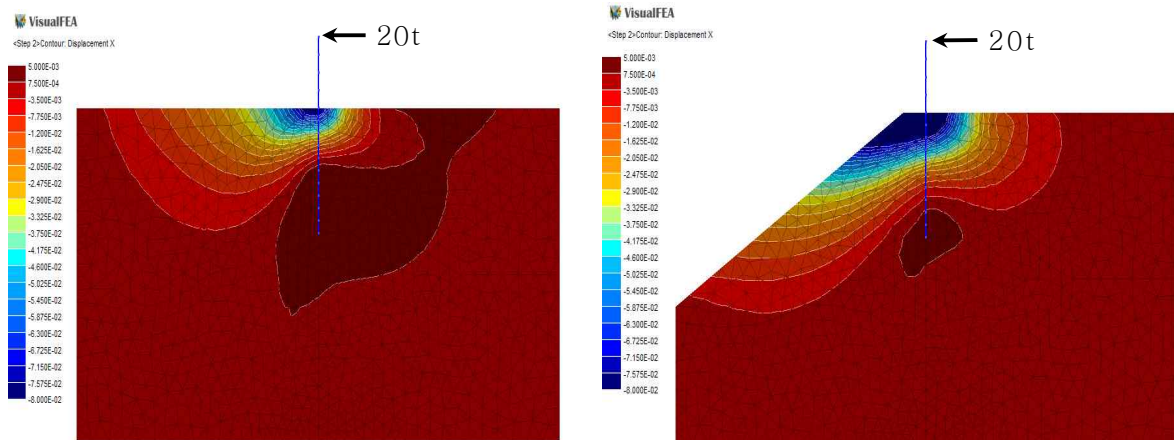
[등급별 평균 설계단가]

- ⑦ 신기술(안) 중앙분리대의 요소기술을 이용하여 가드레일 형식을 제안하였으며, 3D 시뮬레이션을 통해 가드레일 형식의 적용 가능성을 1차적으로 검토하였다. 검토 결과 신기술(안) 중앙분리대 요소기술을 이용하여 가드레일에 적용하기 위해서는 추가적인 요소기술이 개발되어야 한다는 것을 확인하였다. 따라서 블록 아웃의 일종인 강재 댐퍼를 개발하여 적용한 결과 가드레일로 적용 가능한 것으로 판명되었다.

- ⑧ 가드레일 지주는 사면에 시공되며, 현장 조사를 통해 방호울타리 설치 기준과 실제 현장과 괴리가 있음을 확인하였다. FEM 결과 사면에 시공된 지주의 지지력은 설계 지지력과 대비하여 약 37%이상 지지력 감소가 나타나는 것으로 확인되었으며, 사면의 끝단의 다짐도를 계산하여 적용할 경우 이보다 더 큰 지지력 소실이 발생할 것으로 검토되었다.

[사면 영향 FEM 결과]

하중수준	발생 최대 수평변위(cm)		지지력 감소율(%)
	연속지반	사면	
5ton	1.7	2.6	34.6
10ton	4.2	6.6	36.4
20ton	9.8	15.6	37.2



[FEM 결과 (20ton)]

3. 연구개발 결과의 활용계획

- 강도성능 및 방현기능, 미관성 등을 두루 갖춘 중앙분리대 설계 기술이 개발됨으로써, 본 연구결과를 도로 건설분야의 도로안전시설 설계 및 건설방법으로 널리 활용될 수 있을 것으로 전망됨

- 특히 제안된 중앙분리대의 경우 기존 중앙분리대에 비해 설치에 필요한 폭이 최소화됨에 따라, 현재 중앙분리대 미설치 된 국도에의 적용 및 신규 도로 건설 시 부지 확보를 최소화 할 수 있어 경제적인 도로 건설에 도움이 될 것으로 판단됨
- 가드레일로 제안된 강성 방호울타리의 적용을 통해, 추락 위험구간인 고성토 구간의 교통사고를 줄여 사회적, 경제적 손실을 감소시킬 수 있을 것으로 판단됨

4. 향후 관련 후속 연구개발 방향

- 개발된 중앙분리대 신기술(안)에 대해서 실제 시험시공 및 추적조사를 통해 보완 연구를 실시하여 안전성이 보장되는 범위 내에서 경제성을 높이는 방안에 대한 연구가 필요하다.
- 개발된 중앙분리대 신기술(안)의 요소기술을 이용하여 가드레일뿐만 아니라 교량 난간, 자전거 전용도로 방호 울타리 등의 다양한 도로 안전시설물에 대한 적용성을 검토하여, 기 개발된 기술의 활용도를 높여야 할 것이다.
- 제안 가드레일의 경제성을 높이기 위해 추가적인 연구를 통하여 지주간격의 조절 및 부재의 두께 조절 등을 통해 경제성을 높이는 방안이 검토되어야 할 것이다.
- 사면에 시공된 지주의 지지력 감소에 대한 연구를 추가적으로 수행하여, 현재 시공되어 있는 가드레일의 안전성을 검토하고, 보다 안전한 가드레일 개발을 위한 기초 자료로 활용되어야 할 것이다.
- 제안 강성 방호울타리의 적용성 검토를 위해 시뮬레이션을 통해 철근배근 및 정확한 단면을 설정해야 하며, 실물차량 충돌시험을 통해 사용성을 확보해야 할 것이다.

제 3 절 도로안전 및 기능향상 설계기술 개발(제3세부과제)

■ 도로 선형설계 안전성 평가 기술 개발(3세부-1)

1. 연구개발의 목적 및 필요성

- 매년 교통사고로 인해 약 15조원의 사회 비용이 발생하고 있으며, 약 6,000명의 사망자가 발생하고 있다. 2009년 총 231,990건의 교통사고 발생과 그로 인한 사망자 5,838명, 부상자 361,875명의 교통사고 발생기록은 도로 안전이 중요한 사회 문제의 하나임을 보여준다.
- 도로 교통사고의 원인은 크게 도로이용자, 자동차, 도로환경 등으로 구분되며 도로 교통사고는 이들 3가지 요소 각각의 문제에서 파생되거나 요소들 간의 중복적인 결합에 의해서도 발생된다. 이는 도로 이용자 관점에서 도로를 설계하고 평가할 수 있는 방안에 대한 연구가 필요함을 시사하고 있다.
- 현 상태에서 도로 선형설계의 안전성을 평가할 수 있는 방법은 도로 설계기준에 따라 정의된 개별 도로 기하구조의 허용치 준용 확인 정도에 머물고 있으나 도로 기하구조들 상호 간의 연결 관계에 따라서도 안전성이 변화되는 점이 간과되었다. 따라서 도로 선형 설계의 안전성을 평가할 수 있는 방법론이 필요하게 되었다.
- 도로의 안전성을 평가하기 위한 대표적인 방법으로는 주행속도에 기반한 도로선형 설계일관성 평가와 사고예측모형에 의한 안전성 평가가 있다.
- 주행속도에 기반한 도로선형 설계일관성 평가는 도로 설계원칙(안전원칙)에 입각한 도로 기하구조적 결합구간을 파악하는 것으로서 도로 선형설계의 개선 대안 제시가 가능하다는 장점을 가진 반면 사고와의 개연성을 토대로 출발하여 국내 여건에서 모형의 유의성을 검증할 필요가 있다는 단점이 존재한다.
- 반면 사고예측에 기반한 안전성 평가는 실제 발생한 사고를 통한 도로 안전성 평가가 가능하다는 장점이 존재하나, 교통사고는 다양한 요인들이 복합적으로 작용하여 도로 기하구조만의 영향범위 파악이 곤란하다는 점(도로 기하구조 개선 대안 제시 한계)과 구간 사고 건수가 매우 적다는 데 그 한계(통계적 확장 불가피)가 있어 주행속도 기반 도로선형 설계일관성 평가와는 대조적이다.
- 따라서 두 평가방법이 지닌 한계를 보완하여 좀 더 완전한 도로의 안전성을 평가

할 수 있는 기술이 개발될 필요가 있다.

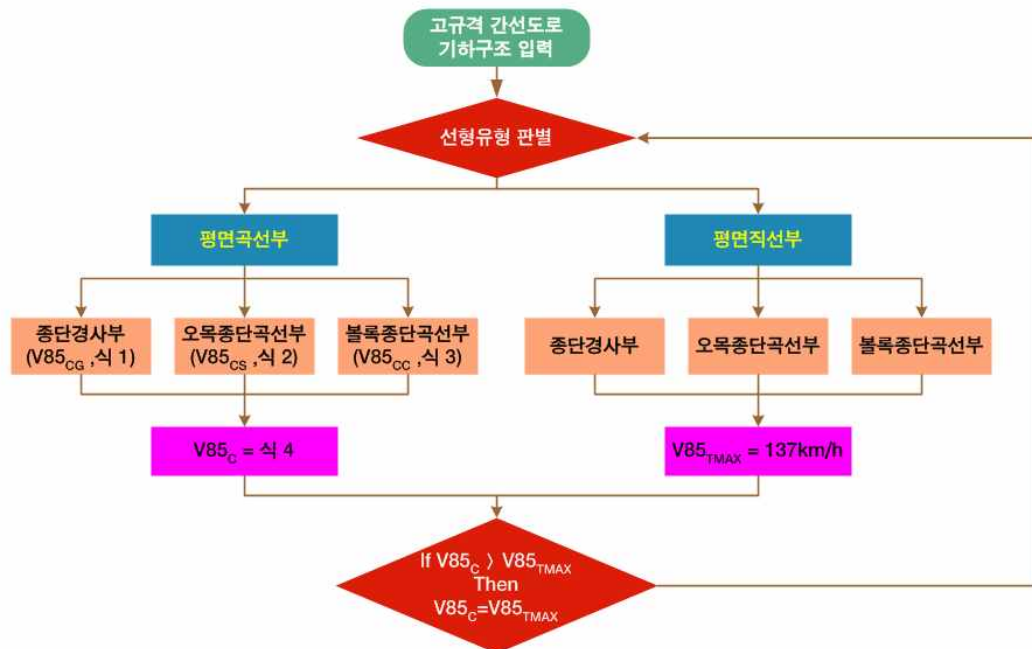
- 본 연구는 도로 기하구조 요소와 도로 이용자의 주행 특성과의 상관관계를 현장에서 직접 조사한 속도자료를 이용해서 분석하고 그 상관성을 이용하여 안전성을 평가할 수 있는 알고리즘을 개발하였으며, 아울러 도로 기하구조와 교통사고 자료의 상관성을 이용하여 안전성을 평가할 수 있는 알고리즘을 개발하였다. 개발된 2가지의 알고리즘은 도로의 안전성을 종합적으로 평가하기 위한 통합 알고리즘으로 통합되어 개발되었다.

2. 연구개발 결과

- 본 연구는 도로 교통사고의 세 가지 원인 중 인간(운전자)와 도로 시설간의 상호관계를 분석하고 도로 선형설계 안전성 평가를 위한 알고리즘을 개발한 것이다. 도로 교통사고가 운전자의 원인이 90%이기 때문에 그동안 자동차나 도로시설에는 크게 문제를 제기하지 않았다. 그러나 교통사고는 한 가지가 단독으로 원인이 되기보다 원인들이 복합적으로 작용해서 발생하기 때문에 요인들 간에 관계 조사를 통한 문제 해결이 중요하다.
- 본 연구는 도로 선형설계를 시행 시에 적용이 가능한 선형설계 안전성 평가 방안을 제시한 것이다. 본 연구는 주행속도 기반 안전성 평가와 사고예측모형 기반 안전성 평가를 이용했다. 주행속도 기반 안전성 평가는 운전자가 도로를 주행하면서 크게 속도를 변화시키는 것이 사고의 원인이 될 수 있다고 전제한 것이며 사고예측모형은 실제 발생한 사고결과를 이용해 귀납적으로 도로 시설 설계의 위험성을 평가하는 것이다.
- 본 연구는 주행속도 기반 선형 설계일관성 평가모형을 개발하기 위해 광범위한 현장조사를 수행하였으며 평면선형과 종단선형의 조합조건에 상응하는 속도 예측식을 개발했다. 사고예측모형도 사고자료를 이용해서 도로 기하구조 요소의 위험도를 평가할 수 있는 모형을 개발했다. 이 두 가지 모형을 이용해서 통합적으로 도로 선형 설계의 안전성을 평가할 수 있는 모형을 개발했다.

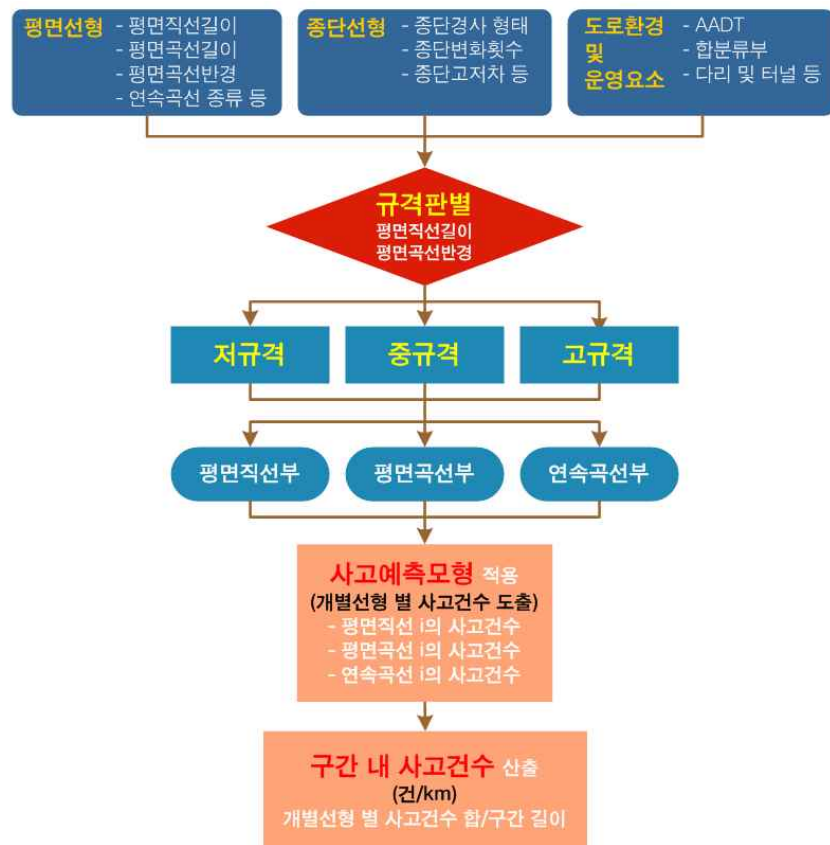
[규격별 사고예측 모형식]

선형 구분	규격	직선부
평면직선부	저규격	$Z_{LT} = \exp(0.0515 - 0.0002X_2 + 0.0107X_3 + 14.9 \times 10^{-6}X_4 + 0.0007X_5 + 0.4997X_{10} + 0.4429X_{11} + 0.4976X_{12})$
	중규격	$Z_{MT} = \exp(0.4503 - 2.63 \times 10^{-5}X_2 + 6.01 \times 10^{-6}X_4 + 0.0005X_5 + 0.0892X_7 + 0.2221X_9 + 0.3226X_{10} + 0.1132X_{11})$
	고규격	$Z_{HT} = \exp(0.9033 - 0.0003X_1 - 0.0001X_2 + 0.0133X_3 + 6.39 \times 10^{-6}X_4 + 0.0006X_5 - 0.57X_6 + 0.5832X_{10})$
평면곡선부	저규격	$Z_{LC} = \exp(-0.2074 + 0.0106Y_6 + 0.3632Y_7 + 11.6 \times 10^{-6}Y_8 + 0.2016Y_{13} + 0.9013Y_{15} + 1.0144Y_{16} + 0.3922Y_{17})$
	중규격	$Z_{MC} = \exp(0.4170 - 0.0002Y_1 - 0.3011Y_2 + 7.41 \times 10^{-7}Y_8 + 0.0009Y_9 - 0.0002Y_{10} + 0.0047Y_{14} + 0.2716Y_{15})$
	고규격	$Z_{HC} = \exp(0.7593 + 1.1451Y_3 + 1.0179Y_4 + 4.48 \times 10^{-6}Y_8 - 0.0007Y_9 - 0.0001Y_{10} + 0.3419Y_{15} + 0.8705Y_{16})$
연속곡선부	저규격	$Z_{LCC} = \exp(-0.9065 - 0.3114Y_1 + 0.0014Y_8 + 0.3579Y_9)$
	중규격	$Z_{MCC} = \exp(0.4647 + 0.3378Y_4 - 0.1389Y_7 + 8.04 \times 10^{-7}Y_8 + 0.3678Y_{11} + 0.3171Y_{12} - 0.4843Y_{15} + 0.5047Y_{16} + 0.0011Y_{18} + 0.0085Y_{19} - 0.3633Y_{20})$
	고규격	$Z_{HCC} = \exp(-0.9076 + 0.0001Y_1 + 0.0011Y_8 - 0.0063Y_9 - 0.0005Y_{10})$



[고규격 간선도로 주행속도 및 희망속도 산출 알고리즘]

- 본 연구의 특이점은 주행속도 기반 설계일관성 평가모형에서 제시한 주행속도 관점의 도로 구분 기준을 사고예측모형 개발을 위한 동질성 구간 구분에 적용하여 상호간에 개념적 통합을 수행하고, 최종 평가결과는 두 모형의 장·단점과 실무 활용 측면을 감안하여 설계일관성 평가모형을 주요 지표로 사고예측모형 결과는 보조지표로 제시한 것이다.



[사고예측모형 적용 알고리즘]



[설계대안 별 주행속도 프로파일 결과]

3. 연구개발 결과의 활용계획

- 본 연구는 도로의 선형설계 안전성 평가 기술을 개발하였으며 친환경·지능형 도로설계 프로그램과 연계하여 도로 설계 실무에서 안전성이 적극적으로 검토될 수 있도록 하였다. 본 연구는 다음과 같이 활용될 수 있다.
 - 도로 선형설계의 안전성 확보를 통한 교통사고 감소(사회 비용 감소)
 - 도로 선형설계 안전성에 관한 기초 자료체계 구축으로 향후 연구 및 실무에서 도로 안전성 개선 사업 수행 시 활용
 - 도로 이용자 중심의 도로 설계에 대한 기초 개념 정립과 향후 도로 설계기준 개정 시에 개념 반영을 위한 근거 자료로 활용
- 예상되는 기대효과는 기술적 측면과 경제·산업적 측면으로 분류하여 생각할 수 있다.
 - 기술적 측면에서는 도로설계 기술에 도로 이용자의 특성을 반영하였다는 점에서 안전한 도로설계의 도모와 이용자의 안전을 동시에 향상시킬 수 있다는 점과 도로 기하구조 설계의 안전성 평가 기술을 세계적인 수준으로 향상시킬 수 있다는 점이다.
 - 경제·산업적 측면에서 보면 본 연구에서 결과로 제시한 도로 선형설계 안전성 평가 기술은 도로·교통 사고의 감소로 국가의 사회적·경제적 손실을 예방할 것이며, 사회적 교통손실 비용을 절감하고, 도로설계 기법의 선진화로 고부가가치를 창출할 수 있을 것이다.

4. 향후 관련 후속 연구개발 방향

- 본 연구는 주행속도 및 사고자료를 이용해 도로 선형 설계의 안전성을 평가할 수 있는 방법을 개발했다. 본 연구의 한계로 도로 선형 설계 안전성을 평가할 수 있는 방법이 주행속도에 한정된 것인데, 문헌연구를 보면 이외에도 운전자 작업부하(driver workload)와 같이 심리, 신체적 특징을 이용한 평가방법도 있다. 따라서 이런 부분에 대한 연구가 진행되어 본 연구 결과와 비교적으로 검토, 발전될 필요가 있다.
- 국내·외 연구진들이 도로 선형과 운전자의 반응 행태를 관측하고 상호간의 관계

식을 정립하는 연구를 수행한 점은 같지만, 연구의 성과를 활용하는 측면에서는 차이가 있다. 국내의 경우 연구 성과들을 활용하는 관점에서는 큰 진척을 이루지 못한 반면 호주 및 캐나다 등은 유사 연구의 결과들을 최대한 도로설계기준의 테두리 안으로 흡수하였으며, 도로 이용자 중심의 선형 설계를 위한 기준 측면의 근거를 마련한 것으로 평가된다.

- 미국의 경우는 IHSDM 개발을 시작으로 도로 이용자 중심의 선형설계에 많은 연구를 수행하였으나 이를 기준까지 발전시키지는 못하였다. FHWA(Federal Highway Administration)는 IHSDM의 지속적인 유지관리를 시행하고 있으나 주(state)별로 활용 측면에선 많은 차이를 가지고 있다. 미국은 IHSDM을 이용하여 전산 설계된 도면의 설계일관성을 평가하는 방안을 제시하고 있으며 도로관리자 및 설계업체 등을 대상으로 지속적인 교육을 시행하고는 있으나, 충분하게 활용되지는 못하고 있다.
- 이러한 맥락에서, 본 연구는 도로 이용자를 위한 선형 설계가 단순히 참고적인 수준에서 검토되기 보다는 호주 및 캐나다의 사례와 같이 도로설계기준에 포함되어 보다 구체적인 형태로 검토될 수 있도록 향후 연구가 필요하다.

■ 이용자 중심의 도로설계기법 개선 연구(3세부-2)

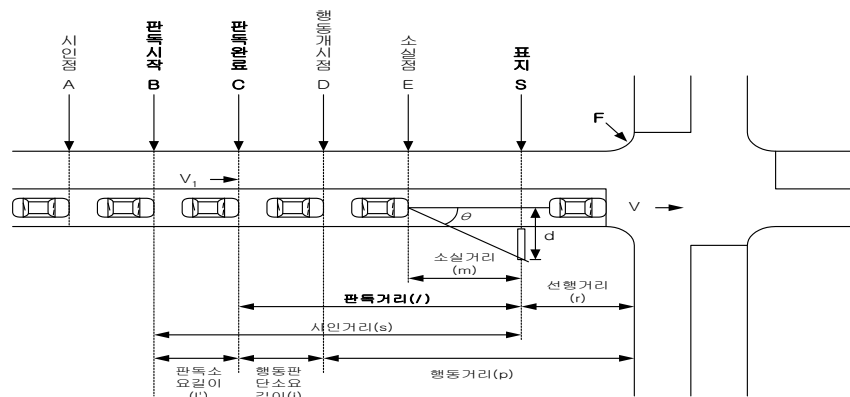
1. 연구개발의 목적 및 필요성

- 도로이용자의 안전과 편의를 향상시키기 위해서는 도로건설 시 이용자의 특성을 파악하고 반영하는 것이 중요하다. 우리나라에서도 인적 요인으로 인한 교통사고가 빈번히 일어나면서 도로이용자의 인간공학적 고려 요소를 토대로 한 도로설계 및 지침에 대한 필요성이 증가하고 있다. 하지만 이에 대한 구체적인 방법이나 기준이 제시되지 못하고 있는 실정이다. 따라서 본 연구의 대상인 Positive Guidance(PG)를 활용한 인간공학적 도로설계기법 연구 및 도로시설간(IC/휴게소) 적정 간격 연구를 통해 도로설계의 지침을 제공할 뿐만 아니라 인간공학적인 측면에서 운전자가 쾌적성 및 안전성을 느낄 수 있는 인간공학적 요소를 정립하고자 하였다.
- 또한 본 5차년도 최종보고서는 기 수행 연구 내용(1~4차년도)에서 현안문제로 대두된 사안을 기준(안)으로 제시함으로써, 설계 적용상에 명확한 지침을 정립하고 도로주행의 안전성을 도모할 수 있도록 하였다.

2. 연구개발 결과

① 인간공학적 도로설계기법 개발을 위한 기초연구 수행

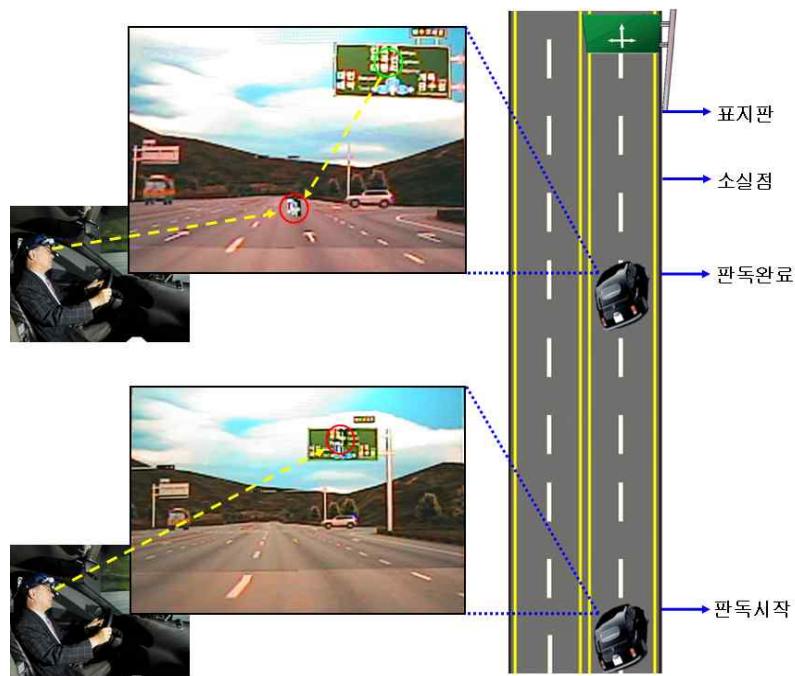
- 본 과제의 전체 수행을 위한 기초연구 수행은 인간공학적 도로설계의 기본 이론 정립과 ITS 도로시설과 관련한 도로이용자의 요소와 특성을 정립하였다. 또한 현안문제로 대두된 사항의 개선 연구를 위하여 연차별 수행 연구를 설정하였다.



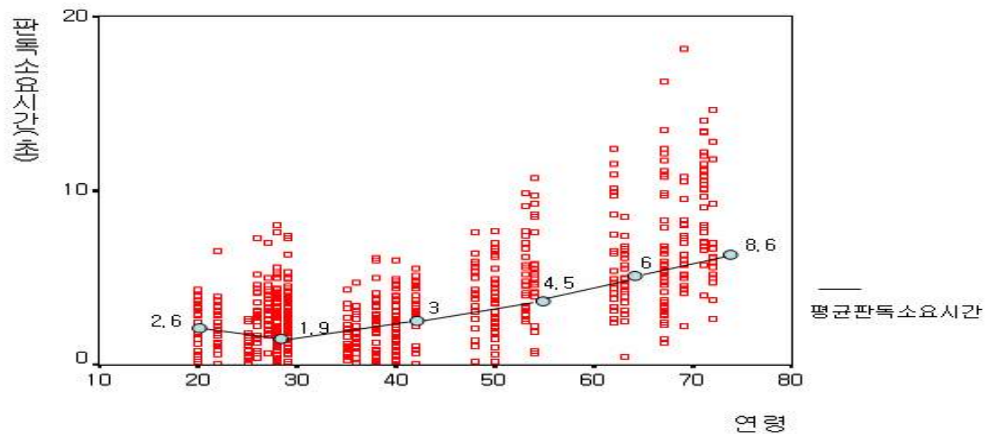
[도로표지에 대한 운전자의 행동과정]

② 도로표지의 안내지명 표기방법에 대한 지침 정립

- 지침(안) 마련을 위해서 시뮬레이션(플래시) 실험과 도로주행 시뮬레이터 실험이 이루어졌다. 시뮬레이션 실험 결과는 피험자들의 반응정확성에 대한 실험에서 도로안내표지상의 표기 지명 수가 증가함에 따라 피험자들의 예측 오류발생률은 꾸준히 증가하는 패턴을 보였다. 그리고 도로주행 시뮬레이션에서 가장 이상적인 표기지명의 수는 4개까지가 적절할 것으로 나타났다. 시뮬레이터 실험에서는 지명개수가 증가할수록 판독소요시간은 95% 신뢰도 범위 안에 들어왔기 때문에 통계적으로는 유의하지만 설명력(Adjusted R Square)이 다소 떨어졌으며, 연령대별 분석에서는 연령이 증가할수록 판독소요시간이 0.106초 씩 증가하였다. 그리고 Logistic Model을 이용하여 지명개수에 따른 오독률을 분석한 결과, 5%미만의 오독률을 고려하였을 때 지명개수는 6개가 가장 적당한 것으로 나타났으며, 고령자의 경우는 지명개수가 4개 이하가 가장 바람직한 것으로 나타났다.

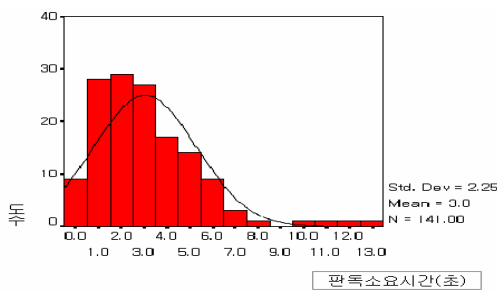


[피실험자 실험 수행 과정]

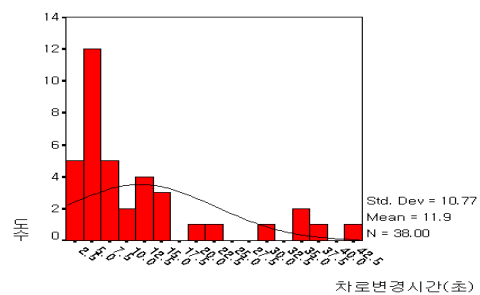


[연령별 평균 판독소요시간 분포]

- ③ 도로시설간(인터체인지/터널)의 적정 간격에 대한 지침 정립
- 터널출구와 인터체인지 변이구간(감속차로 시점) 까지의 적정 길이에 대한 지침 정립에 대한 토대를 마련하였다. 이를 위해서 도로주행시뮬레이터를 이용하고 다양한 연령층(20대~70대)이 실험에 참여하였다. 연구내용으로는 판독소요시간, 차로변경시간, 이격거리에 따른 속도변화에 대한 통계적 유의성을 검증하였다. 그 결과 설계속도가 80km/h 인 일반국도의 터널출구와 인터체인지 변이구간(감속차로 시점) 적정 길이는 조도순응시간이 3초인 경우에 최소값이 500m 이상이 바람직한 것으로 나타났다.



[판독소요시간 분포도]



[차로변경시간 분포도]

[소요이격거리]

속도 (km/시)	조도 순응시간	판독 소요시간	차로 변경시간	계산값	적용값 (최소값)
	3초	4.5초	15초		
60	50	75	250	375	400
70	58	88	292	438	450
80	67	100	333	500	500
90	75	113	375	563	600
100	83	125	417	625	650
110	92	138	458	688	700
120	100	150	500	750	750

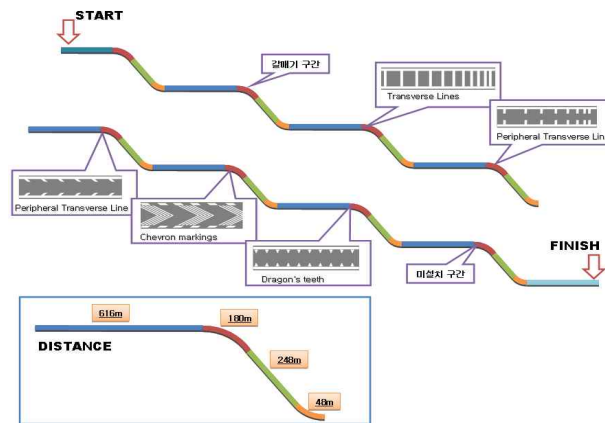
※ 기준점은 터널출구와 변이구간 (감속차로 시점) 간 거리

④ 비상주차대 설계 지침 정립

- 기존의 비상주차대에 관한 국내 기준과 해외의 설치 사례를 검토하여 현실에 맞는 기준을 도출하였다. 연구 방법으로는 문헌 고찰을 통한 설계 기준의 검토와 현장 조사, 외국의 자료 조사 등을 수행하였다. 또한 차종 별 특성, 주행 특성을 고려하여 설계 속도 별 비상주차대 규격을 제안하였고 설치 간격, 설치 장소 등을 연구하기 위하여 광범위한 설문 조사를 실시하였으며 도로 이용자, 도로 관리자 및 도로 전문가들의 의견을 조사하고 분석하였다. 분석결과, 비상주차대의 설치 간격은 기존에는 도로의 등급에 관계없이 모두 750m로 되어 있는데 새로운 기준에는 고속도로 3km, 일반 국도 및 도시 고속도로 2km, 기타도로 1.5km, 터널 및 교량 구간은 750m로 구분하여 제시하였다.

⑤ 운전자 시각 특성을 고려한 감속유도 기법 개발

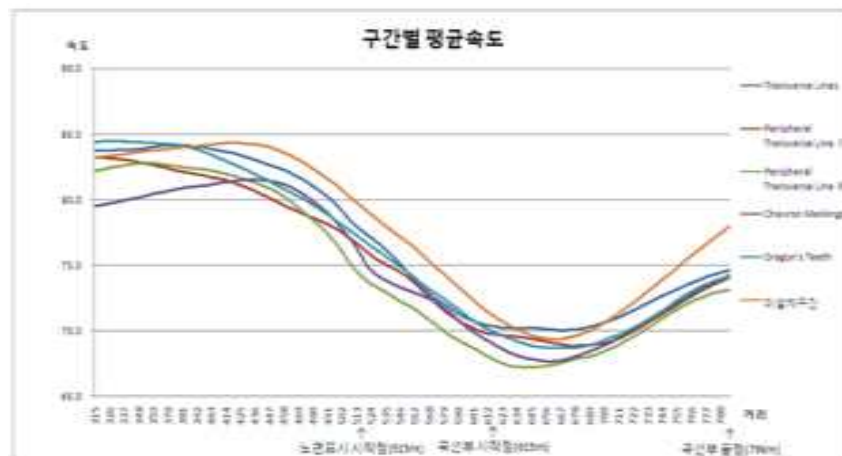
- 기법별 속도효과 검증 관련하여, 신뢰도 범위 90%에서 Peripheral Transverse LineⅡ구간의 속도감속효과가 가장 좋은 것으로 나타났다. 연령별 속도감속 효과 분석(절대적 비교)에서는 30대의 경우만 신뢰도 범위 90%에서 Chevron Marking의 효과가 가장 적었으며, Peripheral Transverse Line Ⅱ과 Dragon's teeth구간에서 속도감속차가 통계적으로 유의한 것으로 나타났다. 기법에 따른 연령대별 속도감속 효과 분석(상대적 비교)에서는 전체적으로 살펴보면 20대 집단과 50대 이상의 집단의 속도차가 여러 구간에서 다르게 나타났다.



[시각감속효과기법에 따른 실험 개념도]

[기법별 평균속도 분석]

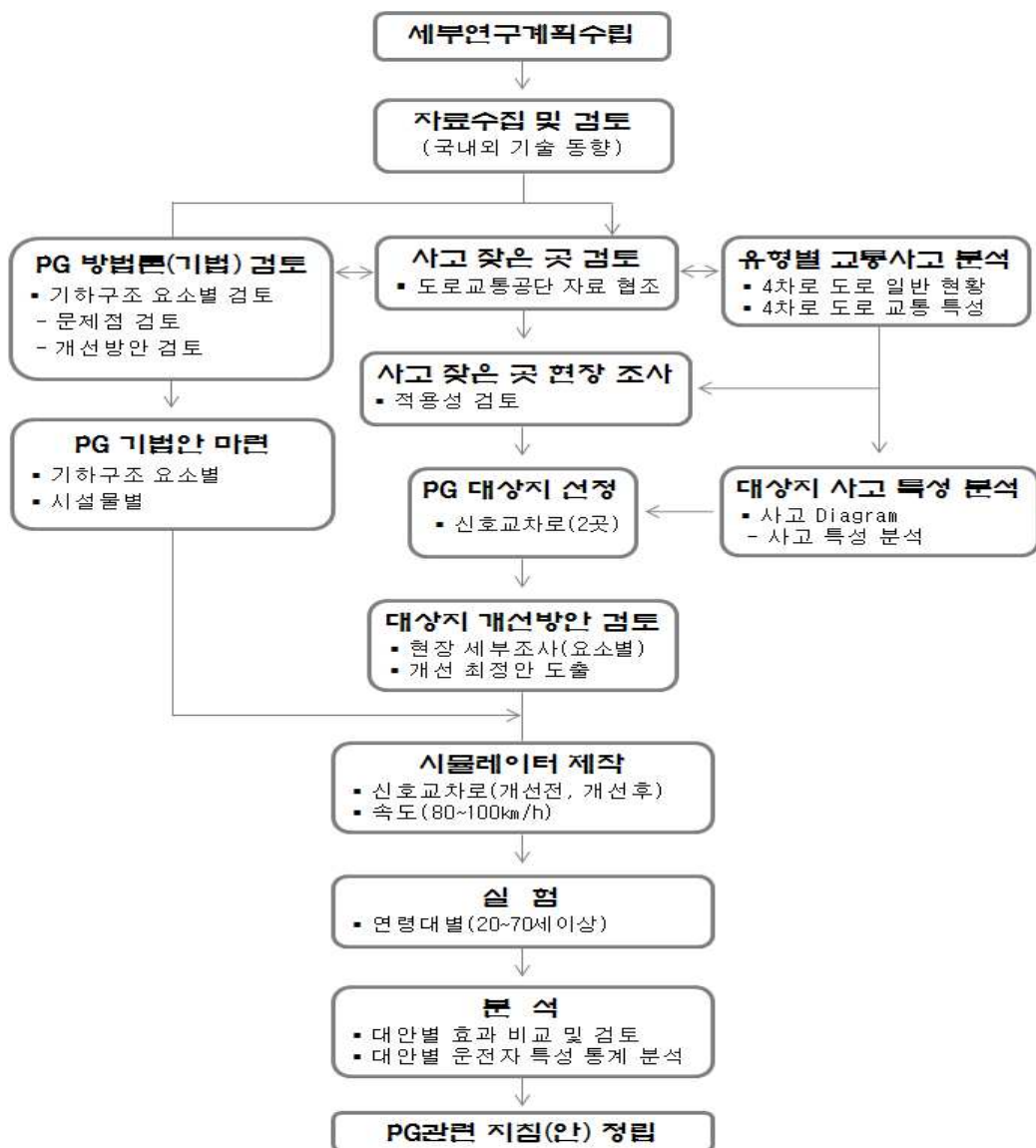
	구분	지점 거리	구간별 평균속도(km/시)					
			Transverse Lines	Peripheral Transverse Line I	Peripheral Transverse Line II	Chevron Markings	Dragon's Teeth	미설치 구간
①	직선부 최고평균속도		90.5	89.0	88.6	87.5	91.0	90.2
②	노면표시 시작 지점	515m	77.8	76.5	74.3	76.0	77.1	79.6
③	곡선부 시작 지점	615m	70.4	69.8	67.9	69.1	70.0	71.2
④	속도차 (①-②)		12.7	12.5	14.3	11.5	13.9	10.6



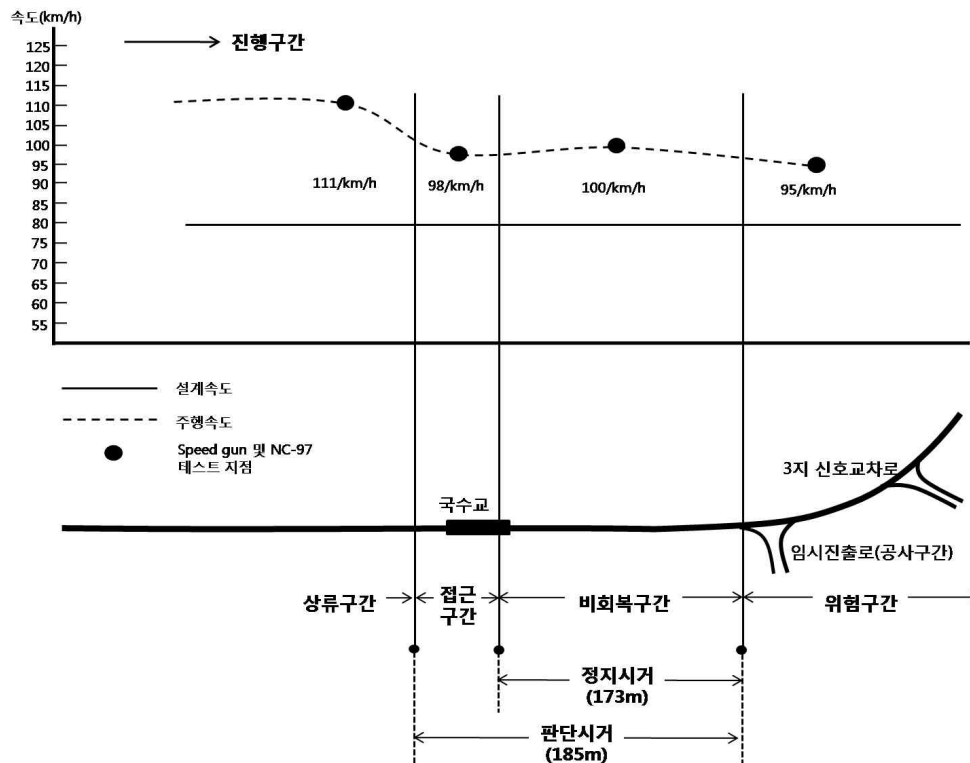
[기법별 평균속도 분석]

⑥ PG(Positive Guidance)개념의 인간공학적 도로설계 기법 개발

- 사고위험성이 높은 신호교차로 2곳을 선정하여 대상지점의 문제점 분석 및 개선 방안을 도출하였다. 선정된 구간은 시뮬레이터를 활용하여 대상구간의 현황을 재현하여 실험하였다. 이를 토대로 PG개선 전·후의 지점별 속도효과가 있는지를 검증하기 위해서 t 검증을 실시하였다. 그 결과, 개선 후에는 운전자가 정보를 충분히 제공받아 신호교차로 부근의 주행속도를 감소시키는 효과가 있는 것으로 나타났다.



[PG개념의 인간공학적 도로설계 기법 개발 수행절차]



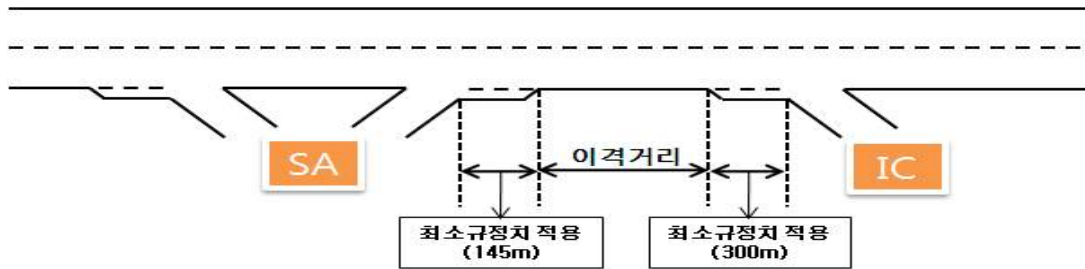
⑦ 도로의 적극적 안내기법 관련한 인간공학적 특성 연구

- PG기법관련 시뮬레이터 실험을 기반으로 개선사항에 대한 만족도와 운전부하를 사용하여 개선효과에 미치는 영향에 대해 알아보았다. 만족도와 운전부하에 따른 주행속도 분석에는 t 검증을 사용하였다. 분석결과, 운전자는 정보제공적인 시설개선에 대해 가장 만족하는 것으로 나타났다. 그리고 운전부하와 만족도 간에는 부적 상관관계가 나타났다. 도로의 구조와 선형으로 인해서 복잡한 도로보다는 단순한 도로에서 큰 효과를 나타냈다.

⑧ 도로시설간(휴게소/IC)의 적정 간격 연구

- 도로시설인 휴게소와 인터체인지 간의 이격거리에 대해 교통류의 서비스 수준과 안전, 운전자 특성, 그리고 안내표지와와의 관계 등을 개별적으로 검토해 보았다. 그 결과 적정 이격거리는 2.0km로 산출되었다. 본 연구결과에서의 적정 이격거리는 일반적 상황에서의 산출을 근거로 제시된 것이며, 특이조건에서는 엔지니어

어의 판단에 근거하여 적절한 판단을 하는 것이 필요하다. 또한 적정 이격거리가 2.0km보다 작은 경우, 엔지니어의 판단 하에 적극적 안내기법을 활용한 적절한 대책을 강구할 필요가 있다.



[모의실험에 사용된 이격거리]

[편도2차로의 시나리오별 속도 분석 결과]

구 분		Case.2(편도2차로) 순수 이격거리(km)									
		0.5	0.6	0.7	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0
속도 (km/h)	Scen.1	74.4	73.1	66.0	73.1	73.3	73.3	73.1	75.0	65.8	75.7
	Scen.2	69.9	70.7	71.2	71.0	69.0	77.1	59.3	80.5	81.4	83.7
	Scen.3	72.1	70.7	74.6	74.6	77.0	80.1	82.9	84.8	84.6	85.0
	Scen.4	73.8	69.2	79.3	71.2	70.2	80.7	71.4	78.4	77.7	78.2
	Scen.5	71.6	67.4	65.9	74.8	67.3	75.7	74.2	69.1	72.2	76.3
	Scen.6	69.5	70.9	73.6	73.4	74.6	77.8	82.5	78.8	79.1	86.7
	Scen.7	74.4	82.9	85.6	81.5	83.8	81.9	85.2	91.0	86.9	85.2
	Scen.8	87.6	93.2	91.8	92.4	83.6	94.0	91.7	90.5	84.1	95.1
	Scen.9	85.5	91.4	78.0	86.5	87.5	94.3	92.6	91.5	89.8	91.7
평균 속도(km/h)		75.4	76.6	76.2	77.6	76.3	81.7	79.2	82.2	80.2	84.2

[편도4차로의 시나리오별 속도 분석 결과]

구 분		Case.1(편도4차로) 순수 이격거리(km)									
		0.5	0.6	0.7	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0
속도 (km/h)	Scen.1	73.1	78.7	69.8	66.5	76.4	81.0	75.9	67.0	82.9	78.3
	Scen.2	66.6	65.2	73.6	79.3	81.0	64.6	86.1	81.0	74.9	72.4
	Scen.3	71.8	73.0	71.4	73.5	75.2	80.5	73.1	81.3	82.1	80.9
	Scen.4	71.4	71.1	75.9	81.0	79.9	85.2	72.9	69.1	78.7	74.9
	Scen.5	75.4	67.3	66.9	73.9	67.9	85.6	81.7	67.4	70.9	76.4
	Scen.6	70.2	64.0	74.9	72.9	76.9	72.3	80.5	76.7	70.6	74.8
	Scen.7	95.3	92.4	95.9	94.9	95.4	94.3	94.4	95.3	95.9	94.9
	Scen.8	92.6	95.3	94.5	95.7	95.5	90.4	95.1	95.4	95.9	95.6
	Scen.9	82.1	82.2	86.3	85.6	89.9	86.5	91.8	91.8	93.0	94.2
평균 속도(km/h)		77.6	76.6	78.8	80.4	82.0	82.3	83.5	80.6	82.8	82.5

3. 연구개발 결과의 활용계획

- 본 연구개발 기술의 활용 주체 및 대상은 도로공사 발주기관(국토해양부 및 지방자치단체 등)과 설계용역업체이다. 연구결과는 도로설계에 있어서 적용 기준 또는 지침화 되고, 설계기법으로서 실무에 활용될 수 있다.
- 또한 실무에 적용 가능한 본 연구 결과의 구체적 활용계획은 다음과 같다.
 - 인간공학적 요소에 대한 개념 정립과 지침에의 반영
 - 도로표지의 안내지명 표기에 대한 기준 정립
 - 도로시설(인터체인지, 터널, 휴게소)간의 적정 간격 기준 정립과 관련 지침에의 반영
 - 비상주차대 적정 길이 및 간격 기준 정립과 관련 지침에의 반영
 - 운전자 시각 특성을 고려한 감속유도시설 설계기준 정립과 지침에의 반영
 - PG(Positive Guidance) 개념의 인간공학적 도로설계 기법 지침 정립을 통한 실무에의 반영

4. 향후 관련 후속 연구개발 방향

- ① PG(Positive Guidance)개념의 인간공학적 도로설계 기법 개발
 - 본 연구를 토대로 도로의 적극적 안내기법(Positive Guidance), 스스로 설명하는 도로(Self-Explaining Road) 개념의 도로설계기법 개발과 기준 정립으로 본 연구를 보완하고 적용함으로써 보다 안전한 도로설계가 이루어질 수 있도록 할 필요가 있다.
 - 또한 연령별 특성에 따라 도로설계기법의 효과가 다르게 나타날 수 있으므로 지침서나 기술서에 이들에 대한 고려가 이루어져 보다 효율적인 맞춤형 도로설계가 이루어지도록 할 필요가 있다.
- ② 도로의 적극적 안내기법 관련한 인간공학적 특성 연구
 - 다양한 도로의 선형과 구조에 따른 운전자의 반응양상을 살펴봄으로써 보다 효과적인 PG기법 적용대상 선정과 적절한 설치 및 가이드라인을 제시할 수 있을 것이다.
 - PG기법에 따른 시설물을 설치하는데 있어 모든 운전자가 만족하고 수용할 수 있는 방안과 운전부하수준을 낮추는 동시에 속도감소와 정보수집이 원활한 방안도 강구해 볼 필요가 있다.

③ 도로시설간(휴게소/IC)의 적정 간격 연구

- 본 연구는 교통류 서비스수준, 교통안전, 운전자 특성, 그리고 표지판 중복 등을 고려하여 도로시설간(휴게소/IC)의 적정 간격을 제시하였다.
- 그 세부사항으로 다음과 같은 추가 연구가 필요할 것으로 사료된다.

구분	향후 연구사항	비고
시뮬레이션	- 대형차량 혼입율 변화에 따른 서비스 수준 검토 - 기하구조(종단경사 등) 변화에 따른 서비스 수준 검토	
교통사고율	- 장기간(10년) 사고자료를 통한 사고율 분석 - 사고 원인별 사고율 분석	
시뮬레이터	- 보다 다양한 이격거리에 따른 운전자 특성 검토 - 다각적 관점(연령, 운전경력 등)에서 운전자 특성 검토	
도로안내표지	- 최소 또는 적정 이격거리 미달시 적극적 안내기법 방안	

도로시설개선에 의한 효율적 도로운용 기술개발(3세부-3)

1. 연구개발의 목적 및 필요성

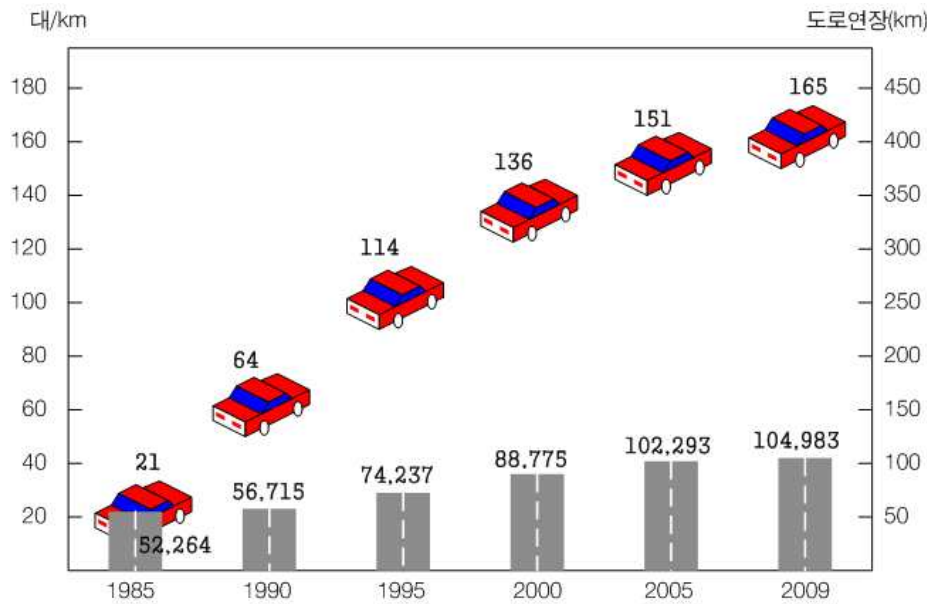
① 연구개발의 목적

- 다음 표에서 보면 2009년 현재, 국내 도로연장 1km당 차량 등록대수는 165대이며, 도로연장은 104,983km에 이른다. 1985년을 기준으로 2003년 현재 자동차 증가율은 거의 8배를 상회하고 있으나 도로연장은 불과 2배정도 늘어나는 데 그쳤다. 도로가 개통되기 까지 설계에서부터 평균 7년여의 시간이 필요한 점을 감안하면 그나마 이 정도의 확충도 나름의 성과로 볼 수는 있을 것이다.

[연도별 km당 자동차 등록대수 및 국내 도로연장]

연 도	자동차 등록대수(대/km)	도로연장(km)
1985	21	52,264
1990	64	56,715
1995	114	74,237
2000	136	88,775
2005	151	102,293
2009	165	104,983

- 이러한 수요와 공급의 불균형 구조는 국내 도로가 필연적으로 혼잡을 내재할 수 밖에 없는 원인으로 작용하고 있다. 즉, 급증하는 교통수요에 대한 공급부족이 혼잡의 원인으로 풀이할 수 있다. 혼잡으로 인한 도로용량의 감소는 국가적 측면에서 교통사고나 물류비용 증가로 이어진다.
- 다음 그림은 연도별 km당 자동차 등록대수와 국내 도로연장을 도표로 정리한 것이다. 이 도표에서는 자동차등록대수와 도로연장을 직접 비교하는 것이 무리가 있으나, 자동차 등록대수의 급증은 도로시설 공급 이외에 또 다른 대처 방안이 필요한 이유가 될 수 있다.



[연도별 도로연장 및 km당 자동차 등록대수]

- 기존의 도로 정책은 대규모 사업비용이 소요되는 도로 신설과 확장을 중심으로 한 도로 공급 정책을 중심으로 추진해 오다가 급증하는 수요에 대해 예산상의 한계로 교통 수요 조절 정책을 병행하여 추진하고 있는 실정이며, 수요 조절 정책은 이용자의 수요를 근원적으로 억제할 수 없다는 측면에서, 공급 정책은 비용의 투자 효율성 측면에서 각각 그 한계가 있는바, 도로 서비스 향상이라는 측면과 투자의 효율성을 함께 제고할 수 있는 있어 기술 대안 마련과 관련 사업 시행이 필요하다고 판단된다.
- 따라서, 본 연구는 대규모의 막대한 예산이 투입되는 도로시설의 공급과 함께 저예산 고효율의 개선대안을 통해 국내 도로의 소통성 등을 향상시키기 위한 개선대안을 마련하는 것을 목적으로 하였다. 또한 이와 더불어 기존 설계 및 운영방식별로 소통의 효과를 분석하여 설계자 및 운영 개선 담당자가 가장 적절한 대안을 적용할 수 있는 참고 자료를 작성하는 것을 목표로 하였다.

② 연구개발의 필요성

- 본 연구의 필요성은 국토해양부에서 보고하고 있는 각종 통계자료를 통해 제기할 수 있는데, 급증하는 교통수요로 인해 발생하는 혼잡비용 및 물류비용 증가와 이에 대응하기 위한 신규 및 도로확장 건설 등의 효과가 기대에 부응하지 못하는 경우를

들수 있다. 다음은 국토해양부에서 2010년 도로업무편람을 통해 보고하고 있는 각종 자료에 대한 내용이다.¹⁾

- 현재 우리나라의 일반국도 중 2차로도로 비율은 4차로도로로의 확장을 통해 꾸준히 감소하여 1999년 기준 약 70%에 이르렀던 비율이 현재는 50.1%까지 감소하였다. 이를 보더라도, 그간의 급증하는 교통수요 대응방안은 도로 확장 및 신설이 주를 이루었다고 볼 수 있다.
- 참고로, 우리나라 도로건설 평균 단가는, 고속도로 4차로 신설 구간 263억원/km(시설비 232억원, 용지비 31억원, 제압비 포함), 일반국도 4차로도로 신설 구간 264억원/km가 소요되고 있다.
- 급증하는 교통수요는 혼잡을 야기시켜 사회적 비용 부담을 가중시키고 물류비까지 증가하는 전 시스템 측면에서 역기능이 발생하는 메커니즘이 반복 재연되고 있다. 국토해양부에서는 2009년 현재 우리나라의 도로 교통 혼잡비용을 약 26조 6천여억원으로 추산하고 있고, 물류비용은 약 152조여원으로 GDP 975조원의 약 15.6%에 이른다고 보고한 바 있다.
- 또한, 최근 국제적으로 이슈화 되고 있는 이산화 탄소 배출 등의 환경 문제 등과 관련해서, 수송수단별 배출 이산화탄소량 9650만톤(2008년 현재) 중, 도로 교통부문에서 배출하고 있는량은 약 78.6%인 7580만톤에 이르고 있어 혼잡 시 많은 양의 이산화탄소가 배출됨을 감안할 때, 소통성 등을 향상시키는 방안은 이산화 배출량 감소로 이어질 수 있음을 쉽게 알 수 있다.
- 따라서, 급증하는 교통수요로 파생되는 혼잡비용, 물류비용, 이산화 배출량 등을 저감하고, 막대한 예산 투입을 통한 신규 및 확장 도로건설은 지양하고, 저예산 투입을 통해서 도로의 운용 효율성을 향상시킬 수 있는 방안이 제시될 필요가 있다 하겠다.

1) 국토해양부, 도로업무편람, 2010.

2. 연구개발 결과

- 본 연구에서는 고속도로, 4차로도로, 2차로도로를 연구의 공간적 범위로 설정하고, 각 도로 종류별로 도로의 효율적 운용에 문제가 있는 구간을 단로부, 교차부, 축구간으로 세분하여 도로의 효율적 운용을 위한 개선방안을 검토하였다.

① 고속도로

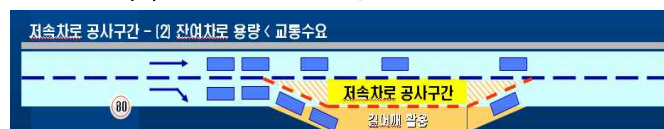
- 고속도로의 비효율적 운용이 나타나는 이유는, 도로의 기하구조 및 급증하는 수요로 인해 발생하게 된다. 이에 대한 문제 해결을 위해 고속도로 본선, 고속도로와 지방부 일반도로 연결구간, 고속도로와 도시간선도로 연결구간에 대한 개선 대안을 제시하였다.
- 고속도로 본선 구간은 본선 접속부(합류부와 분류부), 도로 공사구간의 교통류 처리방안, 짧은 IC 구간, 길어깨 임시활용 방안을 검토하였다.

[합류부 본선 및 연결로 설계속도에 따른 가속차로 길이]

본선 설계속도 100km/h	LOS C (지방부)			LOS D (도시부)		
	연결로 설계속도			연결로 설계속도		
	40km/h	50km/h	60km/h	40km/h	50km/h	60km/h
합류 금지구간 (m)	230	250	260	230	250	260
합류 허용구간 (m)	200	200	200	230	230	230
가속차로 길이 설계기준 값 (m)	430	450	460	460	480	490
본선 설계속도 120km/h	LOS C (지방부)			LOS D (도시부)		
	연결로 설계속도			연결로 설계속도		
	40km/h	50km/h	60km/h	40km/h	50km/h	60km/h
합류금지구간 (m)	340	390	430	340	390	430
합류허용구간 (m)	240	240	240	280	280	280
가속차로길이 설계기준 값 (m)	580	630	670	620	670	710



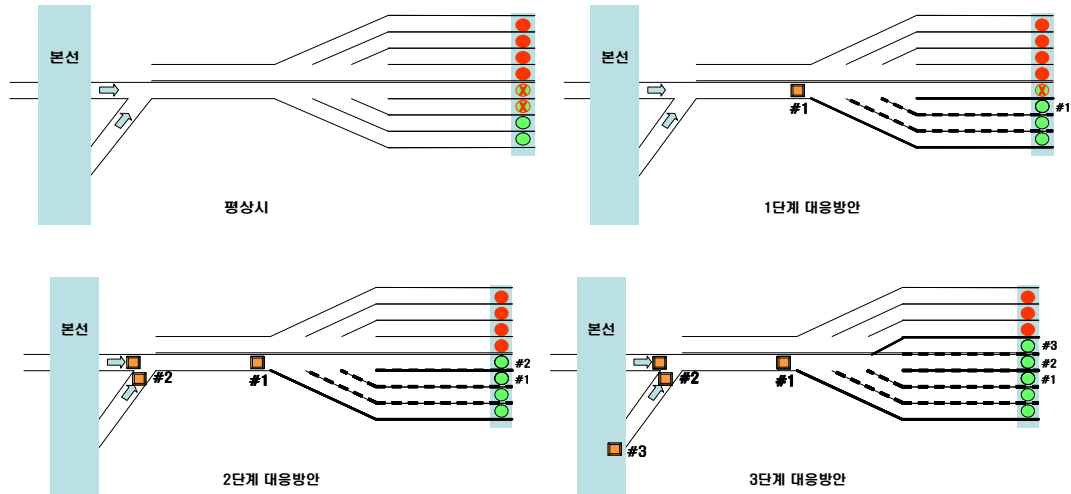
(a) 잔여차로 용량 $\geq$ 교통수요



(b) 잔여차로 용량 $<$ 교통수요

[저속차로 공사구간에서의 용량 증대방안]

- 고속도로와 지방부 일반도로 연결구간은 고속도로 진출부와 영업소 구간, 영업소 광장부, 일반도로 접속부 교차형식, 영업소와 교차로 이격거리, 일반도로 교차부의 신호운영 및 차로 통행방법, 일반도로 교차로의 새로운 IC형식을 제안하였다



[대기행렬 발생정도에 따른 단계별 동적 운영방안 개념도]

대안1	-횡방향으로 영업소 차로수를 증가하는 방안	
대안2	-종방향으로 영업소 광장부의 연장을 증가하는 방안	

[영업소 광장부 개선방안]

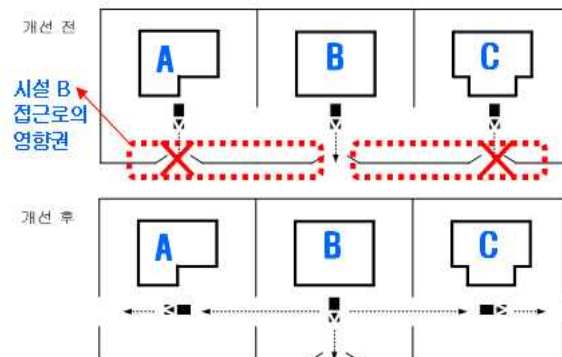
- 고속도로와 도시간선도로 연결구간은 고속도로 본선과 연결로, 연결로와 도시간선 도로구간으로 구분하여 설계 및 운영 측면의 개선대안을 다양하게 제시하였다.

② 4차로도로

- 4차로도로의 효율적 운용을 저해하는 요인으로서는 빈번한 교차로 및 접근로, 비효율적인 교차로의 교통류 처리가 원인이라고 할 수 있다.
- 4차로도로 단로부에 대해서는 중앙선 측과 노측으로 구분하여 개선 대안을 제시하였다. 중앙선 측은 단순 중앙선 절취에 따른 문제점 등을 검토하였고, 노측에 대해서는 접근로의 설치가 교차로에 미치는 영향 등을 검토하여, 교차로로부터 접근로까지의 적정 이격거리 등을 제시하였다.

[국도 교차부의 영향권]

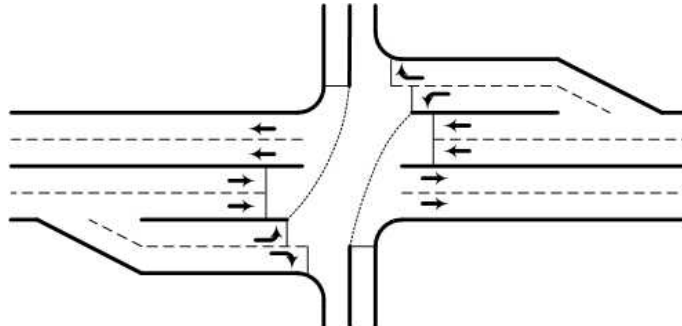
서비스수준의 변화	교차로형태	동급도로와 교차 (4×4)	동급이 아닌 도로와 교차(4×2)
D → E	4지	67m	70m
	3지	64m	67m
D → F	4지	51m	54m
	3지	51m	48m



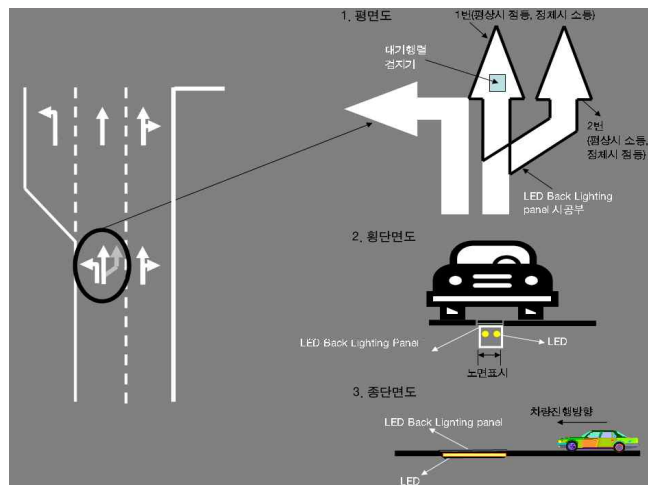
[각 시설간 영향권 적용 개념]

- 4차로도로 교차부에 대해서는, 새로운 형식의 교차로(superstreet, Roundabout, Bow-tie 등)의 국내 적용성을 검토하였고, 좌회전 차로에 대해서는 좌회전 교통류를 효율적으로 처리할 수 있는 방안을 제시하였다. 아울러 우회전차로에 대해서는 기존의 설계 방법과 최근 Slip Lane 이라는 형태의 우회전 차로에 대해 교통류 소통 효과를 비교 분석하였다. 또한 교차로에서 우회전 감속차로의 길이를 교통량 수준에 따라 제시하였다. 여기에 우리나라에서 흔히 볼 수 있는 2점형 다이아몬드 인터체인지의 효율적 신호운영 방안을 함께 제시하였다. 마지막으로 교차부 접근

부에서부터 교차로까지 도안된 노면표시를 전방 교차부의 전용 회전차로 설치 여부를 쉽게 알 수 있게 하는 방안을 제시하였다.

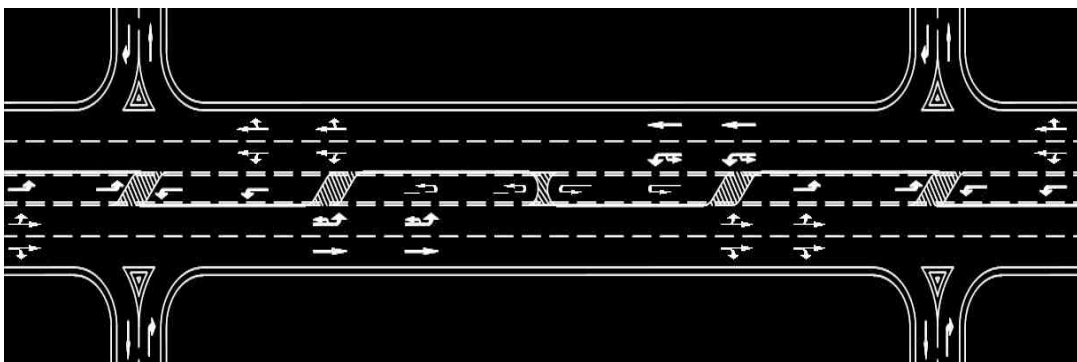


[회전교통류를 최우측 차로에서 처리]



[동적 노면표시 시공방법 개념도]

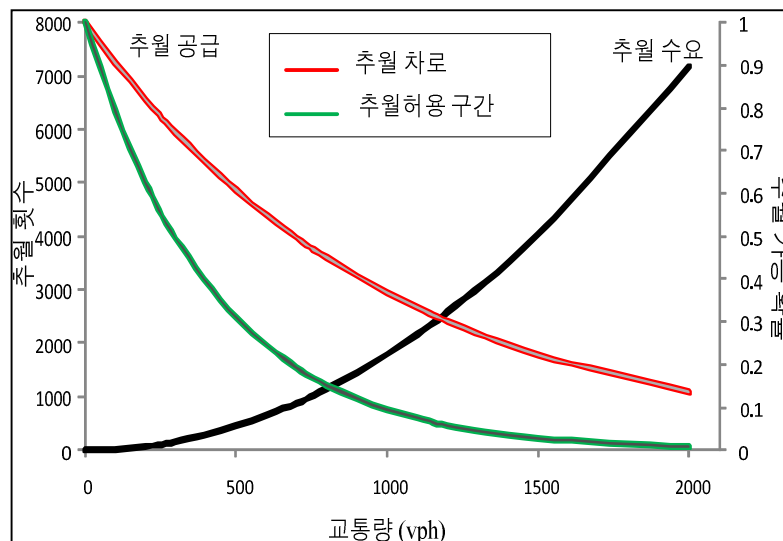
o 4차로도로 축구간에 대해서는, 축 구간의 신호운영 개선을 통한 효율적 도로 운용 방안과 양방향 교대 좌회전 방식을 국내에 맞게 적용할 수 있는 개념을 제안하였다.



[미국 TWLTL의 변형을 통해 국내 도입 가능성 검토 안]

③ 2차로도로

- 2차로도로의 효율적 운용을 방해하는 요인은 추월기회의 제한으로 볼 수 있다. 추월기회와 관련된 요인으로서는 시거와 추월기회 제공방안이 있는데, 본 연구에서는 이와 관련된 내용을 검토하였다.
- 2차로도로의 시거는 85m 이하일 경우, 영향이 큰 것으로 나타났다.
- 2차로도로의 추월기회 제공을 위해 추월수요와 공급의 관계를 검토하였다. 검토결과, 양방향 교통량이 800vph까지는 추월 가능구간을 제공하는 것이 좋고, 1200vph까지는 추월차로 구간을 설치하는 것이 바람직한 것으로 나타났다.



[추월수요와 추월공급의 관계]

- 2차로도로의 추월기회 제공을 위해 단로부에 저속 교통류 양보형 차로와 고속 교통류 추월형 차로 설치 효과를 검토하였다. 일반적으로 저속 교통류 양보형 차로는 100% 추월 금지구간에 비해 약 10% 이상의 지체 저감효과가 있는 것으로 분석되었고, 고속 교통류 추월형 차로가 저속 교통류 양보형 차로에 비해 약 2%의 개선 효과가 있는 것으로 분석되었다.
- 단로부에 설치될 부가차로는 적정 구간길이가 교통량 4,000~7,300대/일 기준으로 약 1~1.5km로 분석되었고, 적정 설치 간격은 5~10km(주요 읍·면 등 구간이 5~10km 구간에는 방향별로 1개소가 반드시 필요)로 제시하였다.

[추월기회 제공방법별 적정 구간길이]

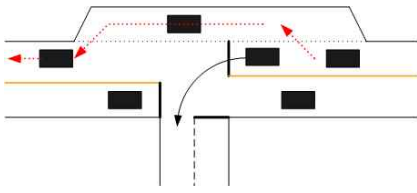
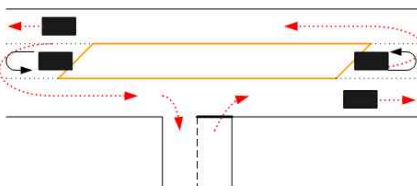
추월기회	설치기준 일 교통량	적정 구간길이	비고
추월가능구간	4,000대/일 이하	현재 기준	추월 구간내 교차로 설치는 비효율적이고 안전하지 못함
양보형	4,000~7,300대/일	1km~1.5km	
추월형	4,000~7,300대/일	1km~1.5km	

[부가차로의 적정 설치 간격기준]

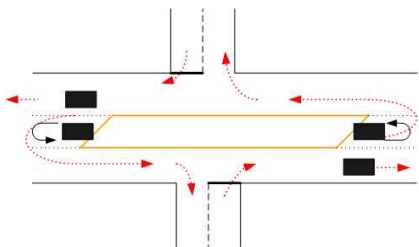
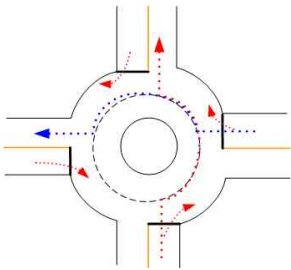
	교통량	적정 설치 간격	설치 간격 상세 설명
양보형	4,000~7,300대/일	5~10km	주요 읍·면 등 구간이 5~10km 구간에는 방향별로 1개소가 반드시 필요
추월형	4,000~7,300대/일	5~10km	

- o 2차로도로 교차부에서는 좌회전 차로 설치 기준을 제시하였고, 좌회전 교통류 대기
로 인해 직진 교통류가 경험하게 되는 지체를 저감시키기 위한 대안을 마련하였다.

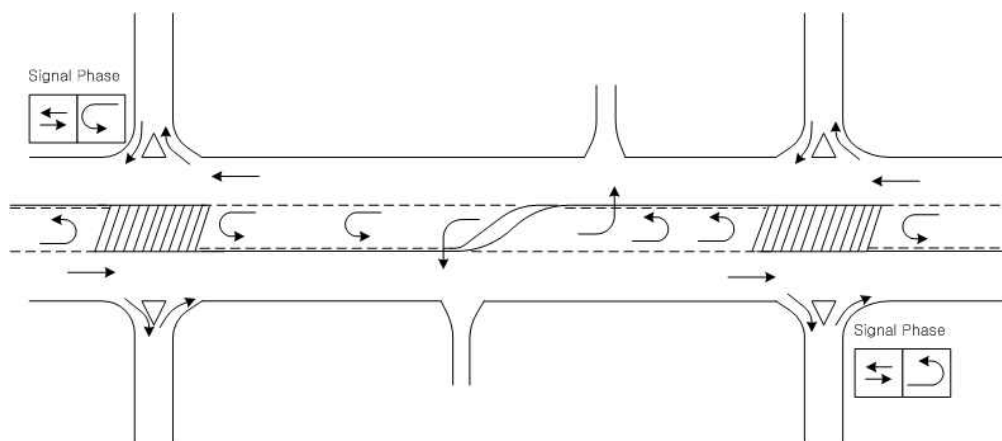
[3차교차로 개선대안]

개선안	개선모습	특징
1		· 임시양보차로 · 직진차량은 부도로 좌회전 차량에 상관없이 직진 가능 · 부도로 좌회전 차량과는 교차로 통과 이후 합류
2		· TWLTLs 방식 적용 · 마을입구 진입교차로가 대상임 · 좌회전 진출입 대신 유턴을 통한 진출입하여 본선 소통 개선

[4지교차로 개선대안]

개선안	개선모습	특징
1		· TWLTLs 방식 적용 · 마을입구 진입교차로가 대상임 · 부도로의 진출입은 직진이나 좌회전이 아닌 유턴을 통한 진출입하여 본선 소통 개선
2		· 회전교차로 방식 적용 · 각 방향별 회전 이동류의 통행을 보장하여 해당 교차로의 지체 감소

o 2차로도로 축구간에 대해서는 불법 좌회전 및 U-턴의 문제를 해결하기 위하여 회전 교통류를 통합적으로 처리할 수 있는 방안을 제시하였다.



[회전교통류 통합처리 차로 및 교차로]

3. 연구개발 결과의 활용계획

- 도시부 및 도시부 인근 지방부 구간 등, 정체가 상습적으로 발생하는 구간에 대해서는 물론, 추석이나 설 명절과 같이 도로의 혼잡이 극심한 경우, 해결방안 모색을 위한 단초를 제공할 수 있으며,
- 지체 저감을 통해서 어느 정도의 배기가스가 감소하므로, 환경오염 저감량을 비용으로 계산하는 데 기초 자료로 활용 가능할 것으로 판단된다.

4. 향후 관련 후속 연구개발 방향

- o 본 연구를 진행하는 과정에서 향후, 추가로 필요한 내용은 몇 가지로 다음과 같이 정리하였다.

① 국내 설계기준 자동차 재정립 연구

- o 현재 국내 설계기준 자동차의 기준을 보면, 세미트레일러가 4축으로 되어 있으나, 실제 도로를 주행하는 차량을 보면, 5축의 세미트레일러 구성비가 대부분이다. 4차로도로의 우회전차로 효과분석과 관련하여 검토한 결과, 4축보다는 5축의 회전반경이 좀 더 큰 것으로 보여지며, 이는 설계기준에도 영향을 미칠 수 있는 결과라 판단된다.
- o 따라서, 기존 4축으로 되어있는 설계기준 자동차에 대한 면밀한 검토가 필요하다. 본 연구에서는 이와 관련하여 본 연구내용과 거리가 있어 상세하게 연구내용으로 다루지는 않았으나, 이 부분에 대한 내용 검토가 필요하다고 판단하여 이를 향후 연구과제로 제안한다.

② 고속도로 관련

o 고속도로 EXIT, Yield System 관련 연구

- 현재 고속국도는 총 연장이 3,000km이다. 정부에서는 이 연장을 6,000km까지 확대 건설할 계획에 있다. 물론 통행료를 징수하는 닫힌 시스템으로 운영될 것으로 예상된다.
- 당초 경부고속도로가 준공된 1970년에는 30년간 유료로 운영하고, 이후에는 통행료를 징수 받지 않기로 계획되어 있었으나, 고속국도망의 확장 및 시스템의 연

속성 차원에서 30년이 지난 2000년, 통행료를 지속적으로 징수하는 것으로 결정되었다. 상당부분 수급할 수 없는 부분이긴 하나, 정책적 선택을 부정할 수는 없다.

- 이와 같은 상황에서 언제까지 고속도로 통행료를 징수하면서까지 운영할 수는 없다. 우리나라의 고속국도도 미국이나 유럽처럼 열린 시스템으로 운영하고, 일반국도 및 지방도의 활용도를 높여야 할 때가 반드시 다가온다. 따라서, 고속국도가 개방식 시스템으로 운영될 때를 대비하여 Exit, Yield system에 대한 연구가 필요하다.

③ 4차로도로 관련

o 교차로 우회전차로 효과분석시, 다양한 여건을 고려한 분석

- 본 연구에서는 4차로도로 우회전차로의 운용 효과분석 과정에서 횡단보도나 신호등의 위치를 고려하기에는 분석 대상 경우의 사례가 많아, 다섯 가지 형태로만 구분하여 분석하였다.
- 그러나, 실제로는 신호등과 횡단보도의 위치 등의 다양한 조건이 영향을 미칠 수 있는 가능성도 있는 만큼, 향후 추가적 연구시 이를 고려한 분석이 필요하다고 판단되어 향후 연구과제로 제안한다.

④ 2차로도로 관련

o 추월기회 제공을 위한 다양한 기술대안 제시

- 최근 10여년간, 지방부 2차로도로는 지방의 경제발전 및 형평성 측면에서 상당 구간이 4차로도로로 확장되어 왔다. 그러나, 최근 확장에 대한 고규격 과투자 논란이 있었고, 정부에서는 이에 대해 2차로도로의 효율적 운용 대안으로 2+1차로도로와 같은 설계기준을 제정하였고, 시범 추진 중에 있다.
- 따라서, 본 연구에서도 2+1차로도로 설계가 불가한 구간에 대해서는 추월기회를 제공하고자 대안을 제시한 바 있다. 이에 2차로도로의 추월기회 제공을 위한 방안을 추가적으로 연구할 필요가 있다.

제 4 장 연구개발목표의 달성도 및 관련분야에의 기여도

제 1 절 연차별 연구목표 및 주요 연구성과

■ 친환경 · 지능형 도로설계 및 평가시스템 개발(제1세부과제)

연 차	연구목표	주요 연구성과
1차년도	▶ 환경을 고려한 노선·선형설계 프로그램 개발	
	친환경 도로설계 기술의 개발을 위한 기초자료 수집	- 기존 자연생태 관련사항 수치·등급화 연구수집 및 분석 - 기존 대기질 등 환경질 예측모델 수집 및 분석 - 기존 도로 선형 설계 제약인자 결정사항 분석
	- 정책 및 제도의 분석 - 자연생태관련사항 수치·등급화 연구 - 대기질 등 환경질 예측모델 수집 및 분석 - 친환경도로노선 선정 방법론 개발	- 노선선정시 환경성을 평가할 수 있는 평가지표 지표 선정(자연환경과 생활환경으로 구분하여 선정) - 자연환경분야 지표 : 지형·지질, 동식물상 - 생활환경분야 지표 : 대기질, 소음·진동, 수질 - 선정된 지표별로 환경훼손의 영향 및 인간의 삶의 질 수준에 끼치는 영향에 따라 3등급으로 구분 - 의사결정기법을 이용하여 지표별 중 AHP기법을 이용하여 지표별, 등급별 가중치 도출
	토양환경변수-미생물생태 변수간의 정량적 상관관계의 연구	- 전국지역 대상으로 하는 토양생태 관련 수치지도 자료 확보와 자료분석에 따른 토양변수분류 - 총균집다양성, 질소고정미생물군집다양성, oxygenase미생물군집다양성이 환경보전 및 복원능에 대한 지표가 될 수 있음 - 비생물학적 토양환경요소들과 생물학적 요소들간의 정량적 정보에 대한 문헌조사 - 토양질등급을 Sustainability Index에 응용방안연구
	▶ 배수시설 설계기술 개발	
	- 자료수집, 문헌조사 - 국내 도로배수시설 설계 현황검토 - 외국의 도로배수시설 설계 지침 검토 - 유관 규정 또는 지침서 검토 - 기존 설계 요소의 기술적 검토 및 개선방향 설정 - 강우-유출 모형 검토 - 도로 배수 시험유역 선정 및 운영 - 유량 측정 - 기존의 수로 및 암거 설계 기법 검토 및 개선방향 설정	- 자료수집, 문헌조사 - 기존 설계 요소의 기술적 검토 및 개선방향 설정 - 도로 배수 시험유역 선정 및 운영 - 유량 측정 자료 - 기존의 수로 및 암거 설계기법 검토 및 개선방향 설정

연 차	연구목표	주요 연구성과
1차년도	▪ 국내 도로배수시설 설계 현황 검토 ▪ 외국의 도로배수시설 설계 지침 검토 ▪ 유관규정 또는 지침서 검토 ▪ 기존 설계 요소의 기술적 검토 및 개선방향 설정	▪ 국내·외 도로배수시설설계 기초자료 및 문헌조사 ▪ 기존 도로배수설계의 기술적 한계성 조사
	▶ 지능형 도로 통합설계 프로그램 개발	
	▪ 지형, 공간 정보 분석 시스템 개발	▪ 경사, 표고, 향 분석 모듈 개발 ▪ 수치지형도에서 주제별 레이어 추출 모듈 개발 ▪ GIS 기반의 도로 설계용 데이터 개발
	▪ 최적선행 탐색기법 연구	▪ GALib의 커스터마이징 ▪ 유전자 변형 모듈 보완 ▪ 복합유전자 처리기법 연구
	▪ 3차원 도로경관 시뮬레이션	▪ 3D 객체 모델링 모듈 개발 ▪ 도로 형상 모델링 모듈 개발
	▪ 공사비산정 및 경제성 분석 시스템	▪ 터널 형식선정 모듈 개발
2차년도	▪ GIS기반의 도로설계용 데이터 취득	▪ 데이터 취득 지역 선정 ▪ 항공 LiDAR 및 디지털 카메라 촬영
	▶ 환경을 고려한 노선·선형설계 프로그램 개발	
2차년도	▪ 친환경도로노선 설계 프로그램 알고리즘 개발 ▪ 자연생태수치지도 작성기법 개발	▪ 친환경도로노선 설계프로그램알고리즘 개발 ▪ 시범지역선정 및 시범지역내 실제 자연, 생활 환경조사 ▪ 시범지역의 설계프로그램 알고리즘 적용 및 검토 ▪ 자연생태 수치지도작성기법 개발
	▪ 토양환경-미생물생태다양성 수치지도 작성방법	▪ 연구지역 내 대표 토양시료 지점 선정 (경기도 설악~용천 지역을 포함하는 경기도, 강원도 일부 지역) ▪ 대상지점의 토양시료 채취 (64개 지점) ▪ 분자생물학적 실험을 통한 토양미생물 종 다양성 측정 ▪ 토양환경특성 측정 (유기물함량, pH, 양이온교환능, 토성 분류) ▪ 토양질 등급화를 위한 DB 구축 (토양미생물수치, 자연생태등급, 토양특성) ▪ 토양질 예측을 위한 Decision Tree, Support Vector Machine (SVM), Neural Network (NN) 등의 통계적 방법 응용연구 및 적용 ▪ 토양생태수치지도 작성을 위한 토양환경생태의 질 예측 모델 기법 개발에 관한 특허 출원 ▪ 강원도 지역 추가 토양시료채취 (200개 지점)

연 차	연구목표	주요 연구성과
2차년도	▶ 배수시설 설계기술 개발	
	▪ 분 단위 지속시간의 강우 강도식 개발 ▪ 도로 배수 시험유역 모니터링(계속) ▪ 시험유역에 대한 강우-유출 모델링 ▪ 노면배수시설 설계를 위한 해석 모형의 개발 ▪ 수로 및 암거설계를 위한 전산프로그램의 개발	▪ 도로배수 시험유역의 홍수기 유량자료 ▪ 도로배수 시험유역 수위-유량 관계식 ▪ 강우-유출 모형 ▪ 노면배수시설 설계를 위한 해석모형 ▪ 수로 및 암거 설계를 위한 전산모형
	▪ 기존 도로배수설계 모형과의 비교 검토 ▪ 국내 도로배수시설 위치 및 제원 조사 ▪ 노면 수리이론의 개념 정립 ▪ 노면 수리이론의 적용 가능한 시험 유역 선정 ▪ 실험결과 분석 및 모니터링 ▪ 강수초기 비점오염원의 희석가능 시설물 개발 방향 설정	▪ 도로배수설계 모형의 사용자 화면 비교 ▪ 설계 기준별 배수시설 적정 설치 위치, 제원 조사 ▪ 개수로 이론, 총류 이론, 노면 수리이론 검토 ▪ 관련 법규, 설계기준, 연구 및 기술 동향 검토
	▶ 지능형 도로 통합설계 프로그램 개발	
	▪ 공간정보 분석 시스템 개발	▪ 그리드, 틸, 버퍼링 분석 모듈 개발 ▪ 수치지형도의 무결성을 위한 보정 모듈 개발 ▪ GIS 기반의 도로설계용 3차원 공간 정보 개발
	▪ 전문가 시스템의 지식베이스 구축	▪ 전문가 지식 DB설계 ▪ 선형설계점수 평가 방안 구축 ▪ 선형비용점수 평가 방안 구축
	▪ 최적선형 탐색 모듈 개발	▪ IC/JC를 고려한 선형 탐색 기법 연구 ▪ 평면선형 탐색시 종/횡단을 동시 고려한 속도개선 기법 연구 ▪ 선형 탐색 PILOT 프로그램 제작
	▪ 3차원 조경 시뮬레이션 엔진 개발	▪ 3D 지형 모델링 모듈 개발
	▪ 환경을 고려한 노선설계 서브 프로그램 개발	▪ 자연환경 생태수치지도 적용 모듈 개발 ▪ 토양환경 미생물 수치지도 적용모듈개발
	▪ 공사비산정 및 경제성 분석 서브프로그램 개발	▪ 교차로 위치 및 형식선정 모듈 개발 ▪ 터널 형식선정 및 평가 모듈 개발 ▪ 교량형식 선정 모듈 개발
	▪ 도로 설계용 데이터 처리	▪ 취득된 데이터의 정량적 정확도 검사 ▪ LiDAR 데이터의 특성에 따른 분류 ▪ 정밀 수치표고자료 및 등고선 제작 ▪ 디지털 정사영상 제작 ▪ 기존 GIS 자료 확보

연 차	연구목표	주요 연구성과
2차년도	▶ 연약지반구간 잔류침하량 산정기술 개발	
	기존 침하량 산정기법 분석	- 연약점성토 압밀이론 분석 - 탄성, 탄소성, 탄점성, 탄점소성압밀이론 등 - 계측자료를 이용한 최종침하량 산정기법 분석 - 쌍곡선법, Hoshino법, Asaoka법, Log t법 등 - 연약지반 침하량 산정기법 분석 - 측시, 1차압밀, 2차압밀침하량
	연약지반 관련 D/B 구축	- 국내 대표적 연약지반 분포지역 D/B 구축 - 인선, 아산, 군산, 목포, 광양, 부산 - 연약지반 공간적 분포 - 연약지반 공학적 특성
	연약점성토 성분분석	- 서남해안 연약지반 생성기원 파악 - 점토광물 분포 분석
	모형시험 실시 및 결과분석	- 소성지수 및 재하기간 변화에 의한 압밀시험 - 하중 & 침하 특성, - 압밀계수 특성 2차압축지수 특성 - 탄성압밀이론과의 비교, 분석
3차년도	▶ 환경을 고려한 노선·선형설계 프로그램 개발	
	환경친화적인 도로의 Control Point 설정기준 및 절차 제시	- 환경친화적인 CP 결정요소 검토 - 환경친화적인 CP 단계별 절차 제시
	환경친화적인 도로노선 선정 및 환경평가 (CAD기반의) 프로그램 개발	- 친환경 도로노선대 선정 프로세스 및 최소비용 탐색 알고리즘 구축 - 프로그램 주요기능(평가지표 조회·수정, 평가항목별 레이어 입력 및 편집, 그리드분석, 친환경노선대 탐색 및 노선 환경평가) 모듈 작성
	친환경 도로노선설계를 위한 환경성평가 항목 검토 및 수정	- 평가항목의 추가 및 평가지표 수정·보완 8개 평가항목 및 등급별 가중치 도출 - 정읍~원덕, 벌교~주암 시범사례구간 적용을 통한 검증
	친환경 도로노선 선정 알고리즘 수정 및 최종 알고리즘 개발	수정된 평가항목 및 지표를 이용한 각 평가항목별 수치주제도 작성을 위한 알고리즘 정립
	자연생태수치지도 작성기법의 적용가능성검토	- 시범구간의 노선생성을 통한 자연생태수치지도의 적용가능성 검토 - 자연생태수치지도 작성기법 보완을 통한 사례구간 조사
	- 토양생태등급의 신뢰성 검증 - 자연생태수치지도와 접목화 - 표토층 토양의 복원 및 관리방안 연구	- 의사결정나무 알고리즘을 이용하여 토양미생물 종 다양성(토양생태 등급) 산정 모델 보완 구축과 신뢰성 평가 - 토양생태 등급 예측 모델과 신뢰성 모델을 이용하여 대상지역 내 보완된 토양생태 등급 수치지도 작성 - 자연생태수치지도에 토양생태 항목 추가하여 가중치 변화 모의실험 수행 - 토양생태 가중치 AHP적용 - 친환경 도로설계 관점에서표토층 토양 복원에 관한 기술 및 연구현황자료 확보 및 분석

연 차	연구목표	주요 연구성과
3차년도	▶ 배수시설 설계기술 개발	
	▪ 전국에 대한 분단위 강우강도식 개발 (1단계)	▪ 중부지역에 대한 분단위 강우강도식
	▪ 표면 박류 유출 모형 수립 및 보완	▪ 표면 박류 유출 모형
	▪ 노면배수 설계 프로그램 보완	▪ 노면 배수설계 프로그램
	▪ 각종 수로 및 암거의 단면규격 산정 프로그램의 개발 및 보완	▪ 암거의 단면규격 산정 프로그램 (수로암거, 횡단배수관) ▪ V형측구, 산마루 측구 설계 프로그램 ▪ 소단 측구, 절토부를 포함한 노면배수 설계 프로그램
	▪ 측구, 도수로, 수로암거에 대한 신규 프로그램 현장 적용성 연구	▪ 도로 배수 설계 도서에 개발 프로그램 적용 - 격포-하서 도로 확장공사 실시설계 - 보령-서천 도로 건설공사 - 신죽-용산 도로 건설공사
	▪ 도로 주변 지표 및 계곡별 강수량과 노면수량의 합류지점 위치 선정 및 배수시설 설계 방안 연구	▪ 계곡별 강수량 산정 관련 국내·외 문헌 검토 ▪ 계곡별 배수설계 프로그램 개발을 위한 알고리즘 제시
	▪ 도로 주변 지표 및 계곡별 배수설계 프로그램 개발	
	▶ 연약지반구간 잔류침하량 산정기술 개발	
	▪ 침하량 계산에 필요한 산정기법 및 압밀정수 평가	▪ 1차압밀과 2차압밀 산정식 및 압밀정수 평가 ▪ 2차압밀을 포함한 압밀침하량 산정기법 개발방향 설정
▪ 1차압밀 종료시점 분석	▪ 과잉간극수압과 1차압밀 관계 파악 ▪ 소성지수별 모형시험 결과분석 - 간극수압비 & 침하관계 등	
▪ 성토하중에 따른 토질매개변수의 영향 분석	▪ 응력영향을 고려한 시추조사 및 원위치시험 - 지층분포, 비배수강도의 변화정도 분석 등 ▪ 응력영향을 고려한 불교란시료 채취 - 물리적, 역학적 특성의 변화정도 분석 등	
▪ 연약지반 예측자료 수집 및 분석	▪ 설계시 지층분포 및 지반정수 분석 ▪ 설계조건에 의한 예측침하량 분석 ▪ 압밀도 추정	
▪ 압밀정수 산정식 제안	▪ “소성지수에 따른 압밀정수 산정식 개발” 매뉴얼 작성	
▪ 2차압밀을 포함한 압밀침하량 산정기법 개발	▪ “1차원 압밀침하량 산정기법” 개발	
4차년도	▶ 환경을 고려한 노선·선형설계 프로그램 개발	
	▪ 환경친화적인 도로노선대 선정 및 환경평가 프로그램 검증 및 보완	▪ 프로그램 (수정 및 보완) ▪ 사례구간 적용을 통한 프로그램 검증
	▪ 평가항목 가중치 사용자의사결정 서브프로그램 설계 및 개발	▪ 서브프로그램 개발 ▪ 환경친화적인 도로노선대 선정 및 환경평가 프로그램과 연계방안
	▪ 친환경 도로노선 선정 알고리즘 검증적용방안	▪ 평가항목 및 지표의 검토 (보완 및 수정) ▪ 환경적 보전지역의 선정 (노선회피지역 선정) ▪ 시범구간 검증 (장흥~송추) ▪ 대안노선별 평가 ▪ 친환경 도로노선 선정 알고리즘 활용방안구상

연 차	연구목표	주요 연구성과
4차년도	자연생태수치지도 작성기법 적용방안 구상	- 기 연구된 자연생태수치지도 작성기법의 검토 (보완 및 수정) - 시범구간 검증 (별교~주암) - 영향 목표종 설정 및 행동반경 목록화 - 생태통로선정지점 개략적 도출 방안
	▶ 배수시설 설계기술 개발	
	전국에 대한 분단위 강우강도식 개발 (2단계:남부지역)	- 남부지역에 대한 분단위 강우강도식 - 개발된 분단위 강우강도식의 공간적 확장
	각종 수로의 설계 프로그램 개발(2단계)	- 각종 수로별 설계 프로그램 - 배수 계통을 고려한 각종 수로 설계 프로그램
	도로 배수 단위 프로그램의 설계 실무 검증 및 보완	- 현재 설계방법 검토 - 노면 배수시설(도수로, 집수정)설치 간격 - 암거 및 배수관 단면 규격 - 개발 단위 프로그램에 적용 - 도로 배수시설 설계의 현재 방법과 개발 방법간의 적용성 검토
	개발 프로그램의 GUI 작업	- GUI가 구현된 도로 배수설계 프로그램 -노면배수설계, 암거단면규격 산정, 각종수로 설계
	▶ 지능형 도로 통합설계 프로그램 개발(선행과제 실용화 연구)	
	최적화속도 개선 연구	연구목표 연장을 제한시간 이내 최적화 처리 가능
	최적화 효율성 증진방안 연구	프로그램 수행시마다 동일한 최적노선 도출
	통과불가를 고려한 최적화 방안 연구	주어진 시종점내에서 통과불가 지역을 피하여 도로의 시설기준에 부합하는 가장 경제적인 선형 도출
	방위각 및 평면 CP를 고려한 최적화방안 연구	방위각 및 평면CP를 고려한 초기선형생성 알고리즘 개발
5차년도	▶ 환경을 고려한 노선·선형설계 프로그램 개발	
	친환경 도로노선대 선정 알고리즘 보완 및 실용검증	- 대기질 평가지표 보완 - 생태축 평가지표 도출 - 설계적용 및 사례구간 검증 (11개 구간)
	자연생태수치지도 작성 매뉴얼 작성	- 기존 자연생태수치지도 작성기법 연계 방안 도출 - 도로설계를 위한 자연생태수치지도 작성 매뉴얼 도출
	통합 프로그램과의 연계방안 도출 및 검증	- 통합프로그램과 연계방안 도출 - 평가항목 가중치 설정 서브프로그램 연계 - Case Study를 통한 검증 진행중*
	▶ 배수시설 설계기술 개발	
	도로배수시설 설계프로그램 통합 및 실용화	- 도로 배수설계 프로그램의 통합 및 실용화 검증 - GIS 정보를 이용한 유역면적 및 집수위치 선정기법 연구 - 사용자 매뉴얼 작성
	도로배수설계지침 개선안 작성	- 지침 개선 범위설정 및 타당성 협의 - 정책반영을 위한 홍보 및 공청회 - 도로 배수설계 지침 개선안 확정

연 차	연구목표	주요 연구성과
5차년도	▶ 지능형 도로 통합설계 프로그램 개발	
	▪ 선형 최적화를 위한 선형 생성 및 통합평가 모듈개발	▪ 계층구성(도로선형정보구성) 모듈 개발 ▪ 초기선형 구성모듈 개발 ▪ 최적화 알고리즘 적용모듈 개발 ▪ 최적화 실행 및 수행중 최적화과정 추적모듈 개발 ▪ 유전연산자(비교/교배/돌연변이) 적용 모듈 개발 ▪ 선형생성/보정/평가 모듈 개발 ▪ 선형생성 및 평가시 적용아이템 증가에 따른 속도 개선방안 도출
	▪ 친환경 지능형 최적설계 시스템 개발	▪ 통합 UI(User Interface) 구성모듈 개발 ▪ 단위프로그램의 최적화적용 방안 연구 ▪ GIS 분석모듈 개발 ▪ 전문가시스템 개발 ▪ 삼각망(TIN)으로부터 지반고확득 속도개선 모듈 개발 ▪ 선형분석보고서 출력모듈 개발 ▪ 상용도로설계프로그램과 데이터호환 모듈 개발 ▪ 3D시뮬레이션을 위한 도로정보 생성모듈 개발
	▪ 최적 노선의 3차원경관 시뮬레이션 개발	▪ 3차원 도로형상 및 지형 모델링 ▪ 차량주행 시뮬레이션 개발 ▪ 3D Viewer 개발 ▪ 동영상 생성
	▪ 친환경 도로노선 평가 모듈 개발	▪ 친환경 도로노선 평가를 위한 그리드 분석 적용 방안 도출 ▪ 친환경 점수 출력모듈
	▪ 교차로 형식 선정 프로그램 개발	▪ 프로젝트 관리 및 UI 구성모듈 ▪ 도로 기하구조정보 입력/수정모듈 ▪ 구축 D/B 연동모듈 ▪ 교차로 형식 선정모듈
	▪ 교량 형식 선정 프로그램 개발	▪ 프로젝트 관리 및 UI 구성모듈 ▪ 도로 기하구조정보 입력/수정모듈 ▪ 교량 형식 선정모듈
	▪ 터널 형식 선정 프로그램 개발	▪ 프로젝트 관리 및 UI 구성모듈 ▪ 도로 기하구조정보 입력/수정모듈 ▪ 터널 형식 선정모듈
	▪ 도로노선의 경제성분석 프로그램 개발	▪ 프로젝트 관리 및 UI 구성모듈 ▪ 도로 기하구조정보 입력/수정모듈 ▪ 도로노선의 경제성 분석모듈
	▪ 도로 기하구조의 안전성 평가 프로그램 개발	▪ 프로젝트 관리 및 UI 구성모듈 ▪ 도로 기하구조정보 입력/수정모듈 ▪ 기하구조 안전성 평가모듈
	▪ 프로그램 검증 및 실용화 연구	▪ 기 설계구간에 대한 본프로그램 적용 후 결과 분석 ▪ 설계연장에 따른 최적화 수행시간 비교 및 결과 선형 분석 ▪ 설계연장에 따른 시스템 안정성 및 효율성 분석 ▪ 최적화 적용 아이템증가에 따른 최적화 속도분석

■ LCC를 고려한 경제성 분석 및 도로시설물 성능 향상(제2세부과제)

연 차	연구목표	주요 연구성과
1차년도	▶ 경제성분석 기술개발 및 첨단기술을 고려한 도로설계기술 개발	
	▪ 경제성 분석의 전반적인 체계정립	▪ 국내외 도로 경제성 평가 사례 연구 (“도로부문 사업의 예비타당성 조사 표준지침 연구”, “공공교통시설개발 사업에 관한 투자평가지침”)
	▪ 국내 도로관련 경제성 분석지침 연구 고찰	▪ 국내 도로 부문사업 평가 기준 및 지침, 데이터베이스 검토
	▪ 국외 도로관련 경제성 분석지침 연구 고찰	▪ 경제성 검토 프로그램 개발 사례 연구 (KATA, STEAM, HERS, Micro Bencost 등)
	▪ 도로노선 가치분석 및 LCC 분석을 위한 기초 연구 수행	• 도로 가치분석 및 LCC분석관련 국내외 기술동향 분석 • 상용 LCC분석 S/W조사, Bench-marking • 도로 VE/LCC분석 프로그램 조사 • 국내 도로노선 실무 설계 및 보강설계자료 조사
	▪ 도로노선 가치분석 및 LCC 분석을 위한 DB 수집 및 분석	• 도로노선 가치분석 및 LCC분석을 위한 추가적인 자료수집 및 설문조사 수행 • 가치분석 및 LCC모델 Bench-marking
	▶ 도로설계 알고리즘 개발	
	▪ 교차로 위치선정 및 형식 선정 기준개발	▪ 기준정리를 통한 연구 방향 설정
	▪ 평면 및 종단선형 평가기준 개발	▪ 기준 정리를 통한 연구 방향 설정 ▪ 평면선형 평가에 필요한 고려인자 선정
	▪ 터널형식 산정 알고리즘 개발	▪ 터널 환기 및 방재, 단면 설계 사례 및 기준 분석
	▪ 국내외 자료 수집 및 분석	▪ 국내외 교차로 관련 기준 및 자료 수집 ▪ 국내외 선형 평가 관련 기준 및 자료 수집 ▪ 터널설계 자동화 프로그램과 관련된 국내·외의 연구자료 수집
	▶ 산지부 도로노선·선형 설계방안 및 선진한국형 휴게소 기술 개발	
	▪ 국·내외 산지부 도로 설계 기준 및 연구 환경 분석	▪ 지형구분과 관련된 각국의 설계기준 검토 ▪ 해외 자료 수집을 통한 문헌 검토 ▪ 국내 지형 구분을 위한 data 구축 ▪ 국립지리원의 수치고도자료를 이용한 한반도 전체 지형 (고도 및 경사도) data 구축 ▪ 주행속도를 고려한 새로운 지형구분 기준 정립 ▪ 국내·외의 기준 및 선형설계에 대한 유형별 조사 항목 검토 ▪ 해외 산지부도로 실태조사, 자료수집 (국외출장 : 노르웨이, 스웨덴)
	▪ 휴게소 기능향상을 위한 기초 연구	▪ 국내·외 설계기준 및 문헌 검토 ▪ 국내 현장 조사(국내 출장 : 영동고속도로 대관령영업소, 서울외곽순환고속도로 영업소) ▪ 휴게소 실태 조사, 자료 수집(국외 출장: 이탈리아) ▪ 고속도로 휴게소 현황 및 운영실태 분석 ▪ 휴게시설 이용자 의식 및 형태 분석 ▪ 설치기준 유형 검토 및 문제점 분석 ▪ 고속도로 휴게소 배치간격 검토 및 분석 ▪ 고속도로 휴게소 규모 검토

연 차	연구목표	주요 연구성과
1차년도	▶ 도로안전, 정보시설물의 내풍안전성 해석과 설계기술 및 중분대 개발	
	▪국내외의 자료수집 및 설계 현황연구	▪도로 정보시설물의 국내외 설계기준 및 설계현황 연구와 표지판 풍피해 사례조사
	▪전문가 지식의 분석 및 정리	▪내풍 전문가를 통한 내풍성능 저하의 제반 지식습득 및 이의 활용방안 연구
	▪내풍설계기준의 분석 검토	▪국내실정을 고려한 도로 정보시설물의 설계기준에 대한 연구 ▪국내의 이상기후 등을 고려한 내풍안전 설계에 대한 기본 기준의 수립
	▪내풍안전 설계기준의 정립	▪도로전광표지판 및 도로표지판에 대한 설계기준의 정립(피로설계 도입)
	- 연구목표 및 방향 설정 - 세부추진계획 수립 - 연구내용 확정 승인 - 관련자료 수집 및 검토 - 중분대 현황조사 및 분석	- 추진방향 검토 및 설정 - 연구수행절차수립 및 세부연구방법 정립 - 연차별 추진계획 재검토 - 연구내용 세부검토 및 수립 - 연구내용 작성 및 승인 - 국내설계기준 지침, 연구자료 수집 - 국외 관련 자료수집 및 활용방안 검토·국내시설 현황조사 및 선진외국의 사례조사
2차년도	▶ 경제성분석 기술개발 및 첨단기술을 고려한 도로설계기술 개발	
	▪ 경제성분석 데이터베이스 구축	- 경제성분석을 위한 효율적인 DATA BASE 구축방안확립 및 Update방안 모색 - 건교부, KDI에서 제시하고 있는 비용, 편익항목의 DATA BASE 구축
	▪ 통행시간절감편익의 계량화 방안 모색	- 통행시간절감편익의 중요성 분석 - 전국 361개 상시조사지점의 요일, 월별교통량 자료정리 - 요일, 월별 교통량 변화의 통계적 검증 실시 - 사례연구를 통한 통행시간절감편익의 산정방안 제시
	▪ 도로노선 가치분석 및 LCC 분석을 위한 DB 구축	- 도로노선 가치분석을 위한 제반변수 도출 - 도로노선 LCC분석을 위한 제반변수 도출
	▪ 도로노선 가치분석 및 LCC 분석을 위한 단위모델 개발	- 국내 여건을 고려한 가치분석평가 모델 정립 및 단위알고리즘개발 - 확률적 도로노선 LCC분석 모델 개발을 위한 단위알고리즘 개발 - 확률적 방법을 이용한 도로노선 가치분석 및 LCC분석모델 개발 - 최신도로노선 LCC분석 프로그램 적용사례 조사 및 분석
	▶ 도로설계 알고리즘 개발	
	▪ 교차로 위치선정 및 형식 선정 기준개발	- 기존 교차로 설계 현황 분석 - 교차로 위치/형식선정 알고리즘 제시
	▪ 평면 및 종단선형 평가기준 개발	기존 도로의 평면선형설계 현황분석
	▪ 터널형식 산정 알고리즘 개발	터널 형식 평가 기준 자료 수집 및 정리
	▪ 교량형식 선정 알고리즘 개발	- 교량 형식 평가 기준 자료 수집 및 정리 - 설계 요소별 알고리즘 개발
	▪ 국내외 자료 수집 및 분석	교차로, 선형평가, 터널 형식 평가 관련 기존 연구 검토

연 차	연구목표	주요 연구성과
2차년도	▶ 산지부 도로노선·선형 설계방안 및 선진한국형 휴게소 기술 개발	
	산지부 도로에 대한 공학적 분석을 통한 설계방안 제시	- 해외 설계기준 비교 분석 및 검토 - 국내외 지형과 최대중단경사 기준 비교 검토 및 교통시뮬레이션 프로그램을 이용한 차량 성능에 따른 적정 최대중단경사 적정성 검토 - 평면곡선반경의 적용 타당성 검증 - 산지부 도로선형 계획시 제약요소 및 고려사항 검토 - 해외 출장(일본)을 통한 현장조사 및 자료수집
	- 휴게소 유형 분류, 유형별 도입 기능 설정 및 분석 - 휴게소간 적정 배치 간격 기준 연구 - 휴게소 규모 산정 기법 및 기준 연구	- 일본 고속도로 및 국도변 휴게소 실태조사, 자료수집 - 고속도로 및 국도 휴게소 이용자 설문조사 및 분석 - 휴게소 기준 및 시설 개선방안 도출 - 휴게소 설계기법(안) - 미래형 휴게소 개발 방향 도출
	▶ 도로안전, 정보시설물의 내풍안전성 해석과 설계기술 및 중분대 개발	
	사례조사 및 내풍안전성 해석	국내외의 우수사례조사와 각기관별 설계기준에 의한 해석모델 해석으로 내풍안전성 해석 분석.
	풍동실험	기술개발 모델에 대한 풍동실험을 통한 전도방지시설, 전단기 구조의 기초 데이터제공 및 내민식 도로 표지판의 진동특성 분석.
	풍하중 저감기술 연구	이상기후에 대비한 전단기 구조와 동적 풍하중에 의한 2차사고 예방을 위한 전도방지 시설을 통한 풍하중 저감 방안 연구
	- 교통사고 인자별 Data 구축 - 기존 중분대의 시공성, 공용성 등 검토 - 환경성을 고려한 중분대 형식제안	- 사고사례 수집 및 분석 - 중앙분리대 설치에 따른 사고전환 효과 분석 - 중앙분리대의 형식 및 특성 검토 - 형식별 방호성능, 경제성, 시공성, 공용성, 미관성 등 비교분석 - 최적의 중분대 형식 검토
3차년도	▶ 경제성분석 기술개발 및 첨단기술을 고려한 도로설계기술 개발	
	경제성분석 단위프로그램 보완	- 구동상의 문제점 및 보완사항 파악 - 수요예측 결과파일 입력시 오류 - 문서작업 프로그램(한글, Excel 등)과의 호환 문제
	환경비용절감편의 개선방안 모색	- 환경비용 세부 항목 가중치 산정 - 도로 건설 유형별 가중치 산정 - 환경비용 정량화 방안 모색
	B/C분석에서 투입되는 유지관리 COST 분석제시	- 도로 유지관리의 체계 현황 분석 - 기존 도로의 유지관리비 산정 특성 분석 - 도로 유지관리비 산정 모형 개발 - B/C 분석을 위한 Cost 제시 및 지침서 개발 - 경제성단위프로그램과의 연동방법 제시
	▶ 산지부 도로노선·선형 설계방안 및 선진한국형 휴게소 기술 개발	
	산지부 도로선형 설계기법 정립	- 평면선형 및 종단선형 연구 결과 검증 - 산지부 선형설계 방안 제시 - 산지부 특성을 고려한 선형설계 기법정립

연 차	연구목표	주요 연구성과
3차년도	미래형 휴게소 모델 개발	- 휴게시설개선 및 세부기능제고방안 검토 - 시설개선 및 세부기능향상 배치안 제시 - 지역연계휴게소 모델 수립 - 지역연계휴게소 설치 관련법규 검토 활용방안 제시 - 개발휴게소 위치, 건설, 운영, 도입시설방안 제시 - 개발휴게소 모델 설계기법 제시
	▶ 도로안전, 정보시설물의 내풍안전성 해석과 설계기술 및 중분대 개발	
	내풍안전성 해석	풍하중 저감방안에 대한 구조시스템 연구와 내풍안전성 해석
	내풍안전성 신기술개발	보강설계기술 및 풍하중 저감방안 등에 대한 신기술개발과 실무적합성 연구
	풍동실험	개선된 구조시스템에 대한 풍동실험으로 내풍안전성 확인 및 개발기술 정리
	- 안전성을 고려한 중분대 설계지침 설정 - 중분대 설계 표준화 - 신기술 개발 방안검토	- 차량충돌시 탑승자의 안전성 검토 - 충돌차량의 진행방향 복원성 검토 2차사고억제 및 물적피해 최소화 검토 - 대향차량 전조등의 현광저감방안 수립 - 유지관리를 감안한 중분대개선방안 제안 - 중분대 설계표준도 작성 - 개선 중분대 실용성 검토 - 실용화 방안 사전논의 및 자문 - 최종보고서 작성 및 제출
4차년도	▶ LCC를 고려한 도로노선의 경제성 분석기법 개발	
	- 국도노선 LCC 분석을 위한 자료 수집 - 국도 도로노선 가치분석 및 LCC분석을 위한 단위 알고리즘 개발	- 국도노선 가치 및 LCC분석 프로그램을 위한 DB구축 - 국도 도로노선의 LCC분석을 위한 단위비용 알고리즘 개발 - 친환경, 지능형 도로설계기술 프로그램과의 연계성 및 호환성 검증 검토
5차년도	▶ LCC를 고려한 도로노선의 경제성 분석기법 개발	
	최적노선 선정을 위한 유지관리 비용모듈 구축지원 개발	- 일반국도 유지관리 경제성 비용모듈 연계 프로그램 구축지원 개발 - 고속국도 유지관리 경제성 비용모듈 연계 프로그램 구축지원 개발 - 예비타당성 분석 활용 가능한 단위 연장 당 비용모듈 구축지원
	도로노선의 경제성 분석프로그램 개발 및 지침서 작성	- 도로노선 유지관리 경제성 분석 프로그램(RLA) 개발 - 도로노선 유지관리 경제성 분석 프로그램(RLA) 지침서 작성 - 사례 적용을 통한 적용성 및 향후 연구 성과물의 활용 방안 제시
	▶ 도로설계 알고리즘 개발	
	도로선형 분석항목(선형설계 Check List)개발	- 선형분석항목 정량화 - 선형설계 Check List 정립 및 프로그램 개발지원
	교차로 형식선정 절차 정립	- 교차로 형식선정 항목 정량화 - 교차로 형식선정 절차정립 및 프로그램 개발지원

연 차	연구목표	주요 연구성과
5차년도	터널 형식선정 절차 정립	- 터널 형식선정 항목 정량화 - 터널 형식선정 절차정립 및 프로그램 개발지원
	교량 형식선정 절차 정립	- 교량 형식선정 항목 정량화 - 교량 형식선정 절차정립 및 프로그램 개발지원
	▶ 도로안전, 정보시설물의 내풍안전성 해석과 설계기술 개발	
	기술개발 결과의 종합 정리	도로안전 및 정보시설물의 내풍안전성 해석 및 설계기술 개발 종합 정리 보고서
	▶ 중앙분리대 설계기준 신기술 개발	
	강재형 OPEN BOX 중앙분리대의 가드레일 적용성 검토	- 차량충돌시 탑승자의 안전성 검토 - 충돌차량의 진행방향 복원성 분석 - 강재형 가드레일의 실용성 검토
	강재형 가드레일 설계 지침 설정	- 강재형 가드레일 설계 표준도 작성 - 설치기준 및 설계 적용방안 설정
	현장설치 가드레일 지주에 대한 사면영향 검토 (5차년도/추가연구)	- 가드레일 지주 시공 현황 조사 - 사면에 시공된 지주의 지지력 감소 검토 - 시뮬레이션을 통한 지주 안정성 검토
	강재형 가드레일 형식 개선(강성방호울타리) (5차년도/추가연구)	사면영향을 받지 않는 강성 가드레일 형식 제안

■ 도로안전 및 기능향상 설계기술 개발(제3세부과제)

연 차	연구목표	주요 연구성과
1차년도	▶ 도로기하구조의 안전성 평가기술 개발	
	▪설계 일관성 평가 모형 구축을 위한 기본 연구	▪주행속도, 운전자 행태, 전문가 시스템을 이용한 도로안전성 평가 기법에 대한 고찰 ▪문헌조사 결과 및 국내 실정을 반영하여 도입 가능한 안전성 평가 기법을 결정하고 설계 일관성 평가 모형 구축방안 수립 ▪주행속도 프로파일 적용을 위한 알고리즘 구축 방안 연구
	▪통합 프로그램 연계를 위한 알고리즘 구축 방안 연구	▪국내외 도로 안전성 평가 알고리즘 개발 사례를 검토 ▪주행속도 예측모형에 기반한 주행속도 프로파일의 생성 및 설계 일관성 평가를 위한 주행속도 프로파일의 표출 방법(안)을 제시
	▶ 이용자 중심의 도로설계기법 개선	
	▪기본연구 및 5개년 연구계획 수립	▪도로설계기법 관련 인간공학적 요소 정립 기본 연구 수행 ▪ITS에서의 인간공학적 고려요소의 연구개발 계획 수립 ▪본 과제의 전체(차후 4년) 수행을 위한 기초연구 수행
	▶ 도로용량 증대를 위한 도로시설 개선	
	▪고속도로 용량제약요인 분석 ▪고속도로 본선 접속부와 짧은 IC 구간 설계 및 운영방안 수립 ▪임시갓길 등 설계 및 운용 방안	▪고속도로 용량제약 지점 및 구간 선정 ▪본선 접속부 합류부의 합류 금지구간 설정 및, IC간 적정 이격거리 제시 ▪교통량 증가시, 길어깨를 임시로 활용하는 방안 제시
2차년도	▶ 도로기하구조의 안전성 평가기술 개발	
	▪설계 일관성 평가모형 개발	▪설계 일관성 평가모형 구축을 위한 현장조사 및 자료수집(고규격 간선도로) ▪설계 일관성 평가를 위한 주행속도 예측모형 개발
	▪통합 프로그램 연계를 위한 알고리즘 구축 방안 연구	▪통합 프로그램 연계를 위한 세부 요소 알고리즘 설계
	▶ 이용자 중심의 도로설계기법 개선	
	▪도로표지 안내지명 연구 ▪비상주차대 시설 특성 연구	▪우리나라에서의 인간공학적 도로설계 기본요소의 정립 연구 수행과 이론 체계화 ▪도로 방향표지에 대한 현장관측실험 및 도로주행시뮬레이터 실험 수행 ▪도로표지의 안내지명 표기방법에 대한 지침(안) 마련 ▪비상주차대 시설 및 교통사고 특성 연구
	▶ 도로용량 증대를 위한 도로시설 개선	
	▪고속도로와 지방부 일반도로/도시간선 도로 접속부 용량증대 방안 마련 ▪4차로도로 용량제약 요인 분석 ▪4차로도로 단로부(중앙선, 노측)용량증대 방안 마련	▪통행료 징수소 광장 및 일반도로/도시간선도로 접속부 구간의 설계방안 및 운영방법 제시 ▪4차로도로 용량제약 요인을 단로부(중앙선, 노측)와 교차부, 축 구간으로 구분하여 분석 ▪노측 접근로 관리 및 중앙선측 회전교통류 관리 방안 제시

연 차	연구목표	주요 연구성과
3차년도	▶ 도로기하구조의 안전성 평가기술 개발	
	▪ 사고예측모형 개발 (기초기술 및 개발방향 수립)	▪ 사고예측모형 관련 문헌 및 모형 수립 관련 기초 기술 연구 ▪ 고 규격 간선도로 대상의 기하구조, 사고자료 수집 ▪ 고 규격 간선도로 사고예측모형 개발을 위한 통계적 방법론 검토 ▪ 설계일관성 개념을 반영한 구간단위의 사고예측모형 개발 방향 정립
	▶ 이용자 중심의 도로설계기법 개선	
	▪ 도로시설간 적정 간격 연구 ▪ 비상주차대 설계 지침 정립 연구	▪ 도로시설조건에 따른 시설간격 정립을 위한 현장조사 및 주행시뮬레이터 실험 ▪ 시설조건에서의 교통공학특성 분석 연구 ▪ 도로시설간 적정 간격에 대한 지침(안) 정립 ▪ 비상주차대 설치 간격 및 길이 등에 대한 지침(안) 정립
	▶ 도로용량 증대를 위한 도로시설 개선	
	▪ 4차로 일반도로 교차부 용량 증대 방안 도출 ▪ 4차로도로 축(corridor) 용량 증대 방안 도출 ▪ 2차로도로 용량 제약 요인 분석	▪ 좌회전 및 우회전 교통류의 적절한 처리를 위한 차로 설계 방안 및 운영방법 제시 ▪ 4차로도로 축 구간의 용량제약 요인 분석 및 전체 통행 속도 증대 방안 제시 ▪ 2차로도로 용량제약요인은 추월기회 제약 및 회전 교통류 처리미흡으로 분석한 후, 이 부분에 대한 개선방향 설정
4차년도	▶ 도로기하구조의 안전성 평가기술 개발	
	▪ 사고예측모형 개발(자료수집 및 분석)	▪ 사고예측모형 구축을 위한 자료(교통사고, 기타 도로·교통 현황 자료 등) 추가 수집 ▪ 구간개념의 선형지표 변화 및 운전자 주행행태를 반영한 사고 영향요소 및 분포 분석 ▪ 설계일관성 개념을 적용한 사고예측모형 개발
	▶ 이용자 중심의 도로설계기법 개선	
	▪ 운전자 시각 특성을 고려한 감속유도 기법 개발	▪ 관련 기술 현황 분석 ▪ 기초 이론 정립 및 대안 제시 ▪ 설문 조사 ▪ 현장 조사 및 분석 ▪ 감속유도 유형별 대안 정립 ▪ 도로주행 시뮬레이터 실험 및 분석 ▪ 기법 및 지침(안) 정립
	▶ 도로용량 증대를 위한 도로시설 개선	
	▪ 도로용량증대를 위한 도로 시설 개선기술 개발	▪ 4차로 일반도로 교차부 용량 증대 방안 도출 ▪ 2차로도로의 구간/축 용량 증대방안 도출 ▪ 2차로도로 교차부 용량 증대방안 도출

연 차	연구목표	주요 연구성과
5차년도	도로선형 설계 안전성 평가기술 개발	- 사고예측모형 개발 - 통합 도로 기하구조 안전성 평가 모형 개발
	이용자 중심의 도로설계기법 개선기술 개발	- PG(Positive guidance) 개념의 인간공학적 도로설계 기법 개발 - 도로시설 간(휴게소/IC)의 적정 간격 연구
	도로시설 개선에 의한 효율적 도로운용 기술개발	2차로도로의 추월수요와 공급에 관한 관계 정립 및 2차로도로의 추월수요와 공급에 관한 관계 정립 - 저속 교통류 양보형 차로와 고속 교통류 추월형 차로의 개념 정립 및 비교 검토 - 대안별 효과평가 및 도로시설 개선에 의한 효율적 도로운용 기술 실무서 작성 및 기준 검토

※ 1~5차년도 계획 대비 주요 연구 성과물 현황

(실적/계획)

성과지표 \ 차년도	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	합 계
국내외 학술회의 발표	7/5	45/27	26/24	24/7	24/8	126/71
국내외 학술지 게재	0/6	7/11	9/16	12/6	9/12	37/51
소프트웨어 등록		8/8	-/3	13/10	21/14	42/35
특허출원(등록포함)	2/1	2/2	13/3	9/1	7/3	33/10
연구성과 홍보		5/1	2/-	2/-	7/2	13/3
시제품 출시		1/1	2/1			3/2
디자인 출원			1/-	1/-	1/-	3/-
인력양성	1/1	1/1	1/1	-/1	5/3	8/7
정책제안	2/2	2/5	2/2	3/3	7/4	16/16
현장 시험		1/1	2/1			3/2

제 2 절 관련분야에의 기여도

■ 친환경 · 지능형 도로설계 및 평가시스템 개발(제1세부과제)

□ 환경을 고려한 노선·선형 설계 프로그램 개발(1세부-1)

본 연구과제는 도로노선선정에 친환경요소들을 체계적으로 고려할 수 있는 방법개발이다. 따라서 본 연구의 성과물들은 친환경 지능형 도로설계프로그램이 사용될 알고리즘으로 사용될 수 있으며, 환경정보지도제작기술은 환경의 복합적 정보를 융합하는 환경정보기술에 파급효과가 있다. 환경정보기술은 자연환경관련 기술개발 및 응용과학분야들에서 활용될 것으로 여겨진다.

또한, 환경영향평가가 합리적으로 이루어지지 않은 상태에서는 국토개발의 주체와 국민 간의 소모적인 분쟁의 여지가 있고 최악의 경우 국민의 세금으로 시작된 사업자체가 연기 및 중단될 수도 있다. 국토개발사업의 연기 및 중단은 대단한 국고의 손실이므로, 이러한 국고손실 가능성을 사전 방지하는 것은 그 경제적 가치가 매우 크다.

□ 배수시설 설계기술 개발(1세부-2)

- 고급의 수리 · 수문학적 이해를 기반으로 수립된 도로배수 시설 설계를 위한 전산 프로그램들은 도로 배수설계 지침 개선과 같은 양질의 배수시설 설계기술 개발에 기여할 수 있다.
- 설계 실무자들의 수리 · 수문 과정에 대한 이해 및 도로 배수시설에 대한 이해와 설계 능력을 향상시키는데 기여할 수 있다.
- 향상된 수리 · 수문이론의 적용으로 기존에 사용해 오던 도식이나 도표에 의한 의존성을 최소화 시킬 수 있다.
- 분단위 강우강도에 관한 연구는 높은 신뢰성의 강우특성을 제시하고, 전국에 대한 강우강도의 데이터베이스 체제를 구축함으로써 도로배수 유역과 같은 소유역의 배수시설물 설계 시 적정량의 설계규모를 산정하는데 기여할 수 있다.
- 과학적 · 합리적 도로 배수시설 설계기술을 통하여 배수 장애로 인한 도로 기능 저하에 따른 국가 · 사회적 손실비용을 감소시킬 수 있다

□ 지능형 도로통합설계 프로그램 개발(1세부-3)

- 21세기에 요구되는 고품격의 지능형 최적 도로설계시스템 구축
- 객관성 있는 설계 적합성검사 및 검증과 도로교통, 사람, 자동차 기능을 고려한 운전안전성 및 편리성 그리고 자연환경 훼손 최소화 사전검증 등에 대한 최적화 시스템 구축
- 고급 기술자들이 가지고 있는 경험과 노하우를 쉽게 활용할 수 있으므로 전반적인 업계의 도로 설계결과물의 품질향상을 가져오게 됨
- 도로 설계 시 실제로 사용될 수 있는 전문가시스템을 국내 최초로 개발하여 도로 설계 기술 향상에 획기적인 전환점이 될 것임.
- 도로 건설사업에서 쌓은 실무 지식의 체계적 분류 및 도로 건설 사업 관련 업계의 방대한 지식 정보 교류 및 이전에 대한 핵심 기술 개발 및 도로설계 관련 분야의 지식정보의 연쇄 구축 효과 발생
- 기술적 경제적인 최적설계를 지원하여 도로건설시 시행착오를 줄일 수 있으므로 공기단축, 예산절감이 가능하여 도로 건설사업수행의 비용절감 및 생산성 향상

□ 연약지반구간 잔류침하량 산정기술 개발(1세부-4)

- 연약지반과 관련된 지역적 특성을 반영할 수 있는 침하량 산정기법이 제시되어 지역별 압밀특성 파악 및 토질매개변수의 상관성 분석에 기초자료 확보가 가능할 것으로 판단된다.
- 또한 타당성조사 또는 기본설계 단계에서의 지역 특성을 고려한 개략적인 침하량과 잔류침하량을 산정할 수 있고 이는 설계 시 침하량 예측을 위한 기초적인 D/B를 제공할 것이다.
- 이러한 일련의 과정은 도로 설계 시 연약지반 구간의 과도한 초기공사비와 공용 후 유지관리비 경감에 크게 기여할 것으로 판단된다.

■ LCC를 고려한 경제성 분석 및 도로시설물 성능 향상(제2세부과제)

□ VE/LCC를 고려한 도로노선의 경제성분석 기법 개발(2세부-1)

교량 이외의 포장, 터널, 사면 등에 대한 조사를 수행하였다. 사면의 경우는 현재 까지도 많은 연구가 이루어 지지 않는 분야이므로 추후 사면의 LCC 연구에 많은 기여를 할 것이라 생각한다. 또한, 예비타당성분석에서 쓰이고 있는 비용모델의 분석 및 연구를 통해 현행 적용되고 있는 KDI 모델에 대한 수정, 개선사항을 발견하고 이를 반영하기 위해 유지관리 단위비용 모델을 제시하였다. 이를 통해 도로 유지관리비 산정 모델 개발 및 지침서를 개발하여 비용분석의 기준을 구축하였다.

일반국도에 대한 유지관리특성을 조사하였으며, 국도유지관리 실 자료에 근거하여 LCC 차원의 유지관리 관련 단위 비용 및 주기들에 대한 비용 분석을 수행하였다. 이는 현재 국도에 대한 유지관리 특성을 파악한 연구가 미흡한 현실에서, 본 연구를 통해 현재까지의 관련현황 및 자료 등에 대한 조사가 수행되어 보다 발전적인 단계로의 진전이 예상된다.

또한, 이를 바탕으로 고속국도 및 일반국도의 유지관리비에 대한 경제성분석 프로그램을 개발하여, 지속적인 데이터베이스의 업그레이드를 통해 도로최적노선 결정을 위한 결정적인 Tool로서의 역할 수행이 가능할 것으로 사료된다.

□ 도로설계 알고리즘 개발(2세부-2)

- 21세기에 요구되는 고품격의 지능형 최적 도로설계시스템 구축에 필요한 최적설계기준 제시
- 고급 기술자들이 가지고 있는 경험과 노하우의 정립으로 도로 설계결과물의 품질 향상
- 객관성 있는 설계 적합성 검사 및 검증
- 합리적이고 객관적인 최적 터널 및 교량 설계를 위한 설계 가이드라인 및 설계 방향 제시
- 터널 및 교량형식 선정 알고리즘 개발을 위해 구축된 설계자료의 데이터베이스를 향후 구조물 설계를 위한 기초자료로 활용
- 전반적인 도로설계 기술력 향상을 가져오게 됨으로써 해외시장 개척시 경쟁 우위 확보
- 신규 및 대체노선 발굴을 용이하게 함으로써 건설경기 활성화에 기여

- 도로계획단계에서 빠르고 다양한 검토를 통한 시간적, 물질적 비용절감효과
- 설계기간 단축을 통해 기간에 따른 설계 입력자료의 변동여지를 줄여 추후의 설계와 시공기간 중 여러가지 변경인자의 발생여건 배제
- 노선선정에 따른 각종 민원에 대한 객관적 근거제시를 통한 대민서비스 질의 향상

□ 산지부 도로선형 설계방안(2세부-3)

- 기술적인 측면에서 국내의 도로 설계 기준은 미국(AASHTO)와 일본(도로구조령)의 도로 설계 기준을 준용하고 있으나 지형적 특성에 대한 고려가 이루어지지 않고 있다. 표준트럭 등판 성능에 관한 연구를 통해 향후 자동차 성능 발전에 따른 종단 경사 적용방안을 모색할 수 있다. 주행속도를 고려한 평면곡선반경을 제시함으로써 산지지형 공사비 절감 및 안전성(과속 방지)을 확보할 수 있을 것으로 판단된다. 또한 도로선형설계기법을 제시함으로써 산지부 도로건설 제약 요인을 경제적, 기술적으로 극복함으로써 산지부 도로설계 기술 발전 효과를 기대하고자 한다.
- 사회·경제적 측면에서 국내 산지부 조건에 맞는 평면선형 및 종단선형을 고려한 설계기법이 정립될 경우, 도로 건설로 인한 문제점으로 여겨지는 공사비 절감 및 환경적 문제를 다소 해결할 수 있을 것으로 판단된다. 지형을 고려한 선형설계로 절토부를 최소화하는 방안 및 교통량을 고려한 종단경사별 시설물 설치 방안으로 연구를 발전시킴으로써 경제적인 산지부 도로설계를 수행하고자 한다.

□ 선진한국형 휴게소 기술개발(2세부-4)

휴게시설 계획시 미진하였던 교통약자를 고려한 편의시설기능제고와 주차장에서 교통상충개선을 위한 휴게소 설계방향을 정립하고 교통정보체계, 주차안내체계, 기능제고방안, 지역기여휴게소 방안은 휴게소 설계부문의 기술적 향상과 관련분야의 신기술 개발 유발효과가 기대되며 향후 연구결과를 고려하여 계획한다면 휴게소 이용자의 안전과 쾌적한 공간이 될 것으로 기대하며 휴게소의 서비스 제고와 이용시설 만족도를 높이는 휴게소가 될 것으로 본다.

□ 도로안전 정보시설물의 내풍안전성해석 및 설계기술개발(2세부-5)

- 도로정보 시설물에 대한 폭풍 등의 이상기후 발생시 도로표지 또는 전광표지 시설물의 파손 또는 낙하 등으로 정보 제공능력이 상실되고 교통사고 유발, 도로차단 등 2차적 피해가 우려된다. 이에 대비하여 도로정보 시설물에 대한 내풍 안전 설계기준의 정립과 내풍안전성 확보가 요구되며 이를 위한 안전성 해석 및 설계기술의 개발과 유지보수 등을 고려한 도로부대 시설물의 중요도 상향, 풍하중 저감기술 등의 대책마련에 대한 연구결과가 도출된다.
- 도로안전을 위한 정보시설물의 풍하중 저감을 위한 기술의 개발이 요구되며 성능향상을 위한 최적의 설계기술은 부설공사방지, 시설물에 대한 안전성의 향상 등을 가져오고 시설물의 파손에 따른 재설치 등 유지관리비를 개선할 수 있을 것이며 신기술개발을 통한 산업발전에도 기여할 것으로 기대된다.
- 국내 적용하고 있는 도로 안전 정보시설물에 대한 기존 시설물의 문제점을 개선하고 성능을 향상시키기 위해 강풍시에 풍하중을 저감하거나 저항능력증대를 위한 방법에 대한 기술 개발과 바람에 의한 진동범위를 제한하여 운전자의 사용성을 향상시켜 도로주행시 주행의 쾌적성과 사고 발생의 요인을 사전에 인지 또는 방지할 수 있도록 도로 안전 정보시설물을 계획함으로써 사회, 문화적 활용성을 향상시킬 수 있다.

■ 도로안전 및 기능향상 설계기술 개발(제3세부과제)

□ 도로 선형설계 안전성 평가 기술 개발(3세부-1)

- 도로 설계의 일관성 평가와 관련된 연구는 선진국에서 이미 오래 전부터 지속적으로 수행되어 온 것으로 국내에서도 많은 연구 결과가 발표된 바 있다. 본 연구는 우리나라의 실정에 부합하는 일관성 평가 모형을 개발한 것으로 도로 설계 시 안전성을 평가할 수 있는 방법론을 제공하고 향후 도로설계기준 개정에 참고적인 자료로 활용될 계획이다.
- 또한, 본 연구의 최종 결과물인 도로 기하구조의 통합 안전성 평가 모형은 미국 등 선진 외국에서 개발을 시도하여 상용화된 수준으로 발전되고 있으며, 본 연구는 국내의 도로·교통 환경에 부합된 모형으로 정산 및 최신의 공학 기술을 접목하여 기존 모형들에 비해 가능성을 확장한 모형이라 할 수 있다.
- 연구 내용은 도로 이용자의 실질적 안전을 보장하는 도로 기하구조의 안전성 평가 기술으로서 연구 결과의 설계 기준 및 지침은 국가적으로 범용 적용할 수 있을 것이다.

□ 이용자 중심의 도로설계기법 개선 연구(3세부-2)

- 인간공학적인 도로설계 기법 개발을 위한 연구를 수행함으로써 도로설계 기술과 인간공학 기술의 발전을 도모하여 관련 산업계의 활성화를 꾀할 수 있으며, 본 기술 수준의 국제화로 국가 경쟁력을 높일 수 있다. 또한 본 연구의 종합목표인 지능형 도로설계기술 개발에 접목하여 기술의 해외 수출에 기여할 것이다.
- 구체적인 내용을 정리하면 다음과 같다.
- 도로이용자 특성을 반영한 도로설계 기술 개발 활용으로 안전한 도로설계 도모와 이용자의 안전성 향상
- 사례연구를 통한 도출결과 적용으로 도로설계의 현안 문제 해결
- 인간공학을 반영한 도로설계 기준 정립 및 기법 개발로 도로설계 기준의 진보
- 인간공학을 고려한 도로기술 연구로 세계적 기술 수준 향상 도모
- 본 연구결과 작성된 지침 적용을 통하여 도로교통 사고 감소로 국가의 사회적·경제적 손실 예방

- 도로설계의 현안 문제 해결을 통한 안전과 소통을 도모하여 사회적 교통손실 비용 절감
- 도로설계 기법의 선진화로 고부가가치 창출
- 본 연구 수행을 통한 인간공학과 시뮬레이터 분야 산업의 활성화 도모

□ 도로시설개선에 의한 효율적 도로운용 기술개발(3세부-3)

- 본 연구는 고속도로, 일반도로(2, 4차로)의 효율적 도로운용을 위한 도로시설 개선에 관련된 대안을 제시하는 내용으로 진행되었다. 본 연구에서는 기존 대안 간 또는 개선대안과의 교통 특성 분석을 통해 좀 더 효율적인 개선방안을 제시하였다.
- 본 연구의 성과물은 도로 투자 사업(개선, 신설)을 효율적으로 추진하는 데에 활용될 수 있을 것으로 보이는 바, 본 연구 결과를 도로설계 및 운영 기준과 관련 지침 등에 반영시키는 과정이 이어져야 한다.
- 이를 위해서는 지속적으로 관계부처 공무원 및 본 연구결과를 현장에 실제로 활용할 수 있도록 정책결정자나 계획 및 운영개선 계획 수립 담당자와의 협의가 필요하다.
- 본 연구의 성과는 막대한 예산이 소요되는 도로의 확장 및 신규 건설 이전에 다양한 개선대안을 현장에 적용시켜 예산을 절감하고 도로의 효율적 운용을 도모할 수 있을 것으로 보여지며, 새로운 기술 대안을 모색하고 그 효과성을 검증하는 과정을 통해 설계 및 운영 기술 분야의 수준을 한 차원 끌어올리는 연구라고 볼 수 있다.
- 본 연구의 결과도 도로 투자사업 중 국도 확장사업, 병목지점 개선사업 등에 직접 활용될 수 있을 것으로 보여 이를 통해 도로 투자 사업의 효율성을 제고할 수 있을 것으로 보인다.
- 특히, 기존의 도로 투자 사업은 전통적으로 건설적인 대안 모색이나 그 투자의 적정성이 논구되지 않은채 단순 확장 위주로 진행되어 왔다는 점에서 과투자의 지적을 많이 받고 있는데, 그런 면에서 저비용에도 상대적으로 높은 효과를 기대할 수 있는 본 연구 결과는 도로 사업의 효율성을 높여줄 수 있는 좋은 대안이다.
- 덧붙여, 본 연구에서는 기존의 설계 및 운영 측면의 대안 이외에 LED기술 등을 활용한 동적 운영 기술대안도 함께 제안한 바, 이와 관련된 산업 분야의 기술이 도로 분야에 적용될 경우, 관련 산업의 상당한 기술적 성장에도 기여하는 바가 있을 수 있다.

제 5 장 연구개발결과의 활용계획

○ 안전·친환경·지능형 도로설계 통합프로그램

본 연구개발의 결과는 계획단계(예비타당성조사, 타당성조사) 및 기본설계시 다양한 분야의 주관적 평가를 객관적 기준으로 대체함으로써 더 발전된 도로설계 기준 및 설계자동화에 활용할 수 있을 것이며, 환경을 고려한 합리적이고 과학적인 도로설계가 가능할 것으로 판단되어 개발과 보전의 조화를 이루어 지속가능한 개발을 가능케 할 것이다. 또한, 21세기 스마트 도로에 적용할 수 있는 첨단기술을 고려한 미래형 도로설계 기준의 정립으로 도로기술에서 선진국과의 비교우위를 점유하여 국가적 및 국제적인 경쟁력 향상을 기함과 동시에 기술의 해외 수출에 기여할 수 있을 것이다.

- 도로공사 발주기관 - 도로 건설사업의 계획 단계에서 도로 건설에 대한 과학적인 타당성 분석과 설계 발주시 설계용역회사에 설계 성과물에 대한 지침 수립에 활용 할 수 있으며, 설계용역회사에서 만든 설계 성과물에 대한 기술적, 경제·사회적인 분석 등을 통해 성공적인 도로건설사업의 중요한 도구로 활용한다.
- 설계용역회사 - 도로 설계시 고려해야 할 다양한 요소들을 체계적으로 분석하여 도로설계 업무를 체계화함으로써, 도로 설계 업무 효율을 증진시키며, 전문가 시스템의 다양한 정보와 지식을 활용하여 고품질의 성과품을 생산한다.

또한, 본 연구는 여러 연구기관이 함께 연구를 진행하는 연구단급 연구로서 연구가 후반 시점에서 단위프로그램이 발생하기 시작하여 연구 종료시점에서는 연구 성과물의 성격이 현업에서 활용이 될 수 있는 단계에 이르게 된다. 따라서, 본 연구에서는 연구 개발 과정에서 발생하는 각종 성과품들의 각종 사양 및 정보 그리고 내용들을 모듈화 하고, '지능형 도로 통합설계 프로그램'의 데이터 구축을 현재 시점에서 가장 범용적으로 사용되고 있는 데이터베이스 프로그램을 선정하여 활용하고 데이터 구조를 공개해, 타 시스템과의 호환성을 보장함으로써 본 연구 결과물에 대한 추가연구 개발이나, 기업화를 지원한다.

▶ 사업화 방안

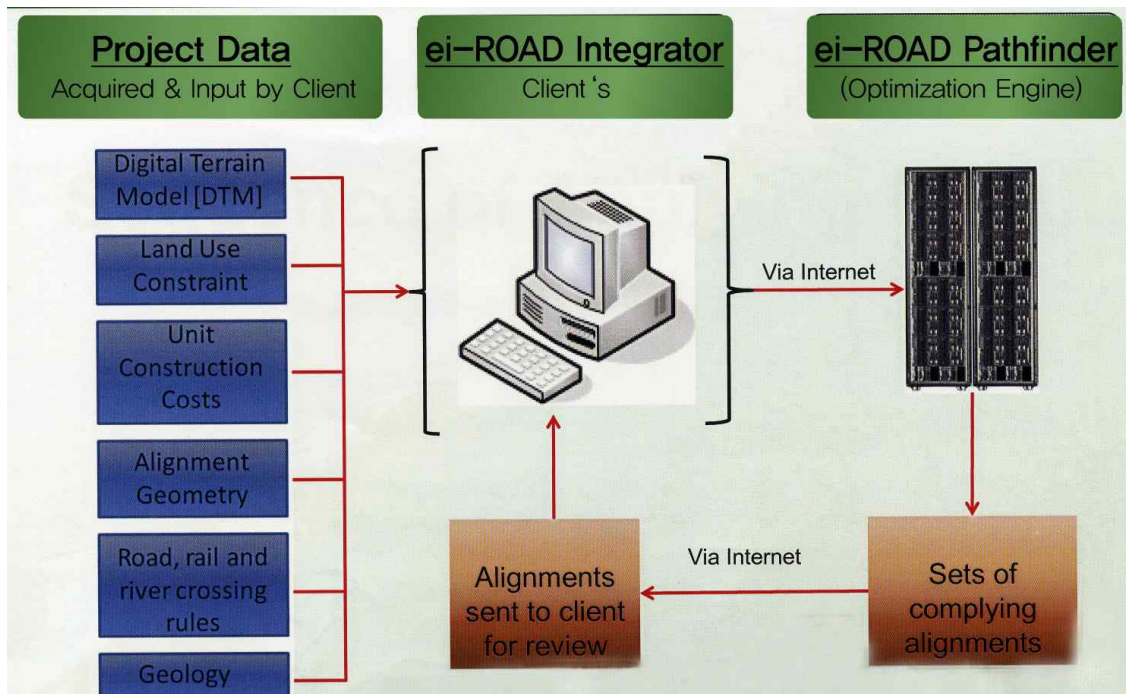
현재, 안전·친환경·지능형 도로설계 통합프로그램의 사업화 방안으로 다음의 두 가지 방안을 고려하고 있음.

① 프로그램의 개별 판매

② 발주자(정부 또는 기업)의 요구사항에 따라 요구되는 사업구간에 대한 분석용역 수행(Consulting)

; 사용자(정부 또는 기업)가 모든 입력자료(지역에 따른 환경요건, 기하구조, 단가, 제약조건 등) 입력 → 최적화 수행(1차 대안 제시) → 사용자 요구에 따라 입력 자료 재입력 → 최적화 수행(2차 대안 제시)

⇒ 사용자가 만족 할 때까지 반복 작업(사용자가 만족하면 최적)



[Consulting 수행 예시]

사업화 방안 구축을 위해서는 실제 사업에 적용해 보는 등 보다 다양한 검증 및 본 프로그램의 활용이 가능할 것으로 예상되는 기관(정부 및 기업)을 대상으로 프로그램 시연을 통한 홍보가 필요함. 현재, 다양한 기관을 대상으로 프로그램 시연을 추진 중에 있으며, 향후에도 추가적으로 진행할 예정임. 이러한 과정을 통하여 개선 사항 및 보완 사항에 대한 의견 수렴을 통해 본격적인 사업화 방향이 수립될 것임.

[시연회 및 홍보활동 사항]

구분	업체명	날짜
1	KOICA(한국국제협력단)	6.30
2	KDI	7.5
3	포스코 건설	7.30
4	대우건설	8.19
5	국토연구원	9.2
6	ADB(아시아개발은행)	9.7
7	현대건설	9.10
8	유신엔지니어링	9.28
9	한국도로공사	10.20
10	동일엔지니어링	10.22

○ 도로시설 성능향상 기술개발

본 연구결과로서 설계지침에 반영되는 연구과제는 “환경친화적인 도로 설계기법”, “수리·수문 기법을 적용한 도로 배수설계기법”, “도로 선형설계 안전성 평가기법”, “이용자 중심의 도로설계 기법 개선 연구” 등이며, 현재 각 분야별로 총 10건의 연구결과가 도로관련 지침 및 편람 개정 협의 진행 중에 있다.

개발된 연구결과들이 설계 실무에서 사용이 가능하도록 반영된다면 구체화·실용화된 설계 실무지침으로서 도로 설계 현업에서 널리 활용될 수 있을 것이다. 특히, 기본설계 및 실시설계 실무에서 활용 가능하도록 개발된 각종 단위프로그램들은 범용성 및 사용자 편의성을 고려하고 다양한 조건에 대하여 테스트를 거친 후 과학적이고 합리적인 설계, 손쉽고 체계적인 설계에 적용될 수 있다.

도로설계시 사용될 수 있는 다양한 요소들을 체계적으로 분석한 도로 시설 성능향상 연구결과는 더 안전하고 편리한 도로설계를 가능토록 하여 사용자가 더욱 쾌적하고 안전하게 도로를 이용할 수 있도록 한다.

활용 대상	성과물	통합 및 분야별 단위프로그램	설계기법	설계지침	특허/신기술
도로사업 발주기관 및 유관기관		•예비 및 타당성조사, 기본설계 지원Tool •설계 검사평가시스템(모니터링)	•설계·시공시 반영 및 활용 권장 •자연생태 수치지도 제작활용(환경부) •각종 설계지침 공동 운용		
건설용역회사 및 시공사		•기본설계 및 실시설계 지원 Tool로 활용 •설계기술 응용 •설계자료데이터베이스확충 •자체연구개발 동기부여 •해외도로설계용역 참여	•설계·시공시 적용 •상용화 제품 판매(신기술, 특허)		
도로 이용자		•도로설계·시공기술 및 기법 개선 참여기회	•도로설계·시공기술 및 기법 개선 참여기회		
실용화방안		❖ 모듈 및 프로그램 시제품 보급	❖유관기관 협의 개정 ❖신기술·특허		

[연구성과품 활용 방안]

○ 또한, 본 연구사업의 기술개발 실용화·상용화를 통하여 도로설계 및 도로시설 분야에서 획기적인 경제적 성과를 보여줄 수 있을 것으로 기대되며, 특히 도로설계 기술의 선진국 수준 달성을 통해 우리나라 도로산업의 해외진출을 가능하게 하는 발판이 될 것으로 기대된다. 또한, 고품질의 설계 성과품을 제공함으로써 설계변경, 부설시공, 민원을 최소화하고 한국형 친환경 도로건설로 사회적 갈등을 해소 하는 등 도로산업의 직·간접적인 이익을 가져다 줄 것으로 기대하고 있으며, Smart Highway, U-Eco City 프로젝트 등 건설교통 R&D 혁신 로드맵의 10대 유망기술 개발의 성공에 미력하나마 도움이 되기를 희망한다.



[기대효과 및 파급효과]

※ 각 연구과제별 연구개발결과의 활용계획은 세부과제 보고서 참고

제 6 장 Key words 및 용어 정의

■ 친환경 · 지능형 도로설계 및 평가시스템 개발(1세부과제)

□ 환경을 고려한 노선 · 선형설계 프로그램 개발(1세부-1)

- 친환경 도로 : 도로건설 정책결정 및 계획단계 부터 도로설계, 시공단계, 유지관리에 이르기까지 환경영향을 고려하여 자연환경 및 생태계, 생활환경, 경제사회 환경피해를 최소화 완화하고 쾌적한 환경을 창조하는 '인간과 환경에 좋은 도로'
- 친환경 도로노선선정기법 : 도로건설정책결정 및 계획단계에서 건설로 인한 피해를 사전에 줄이고자본 연구에서 제안하는 건설예정지역의 환경성을 파악하고 평가기준에 따라 평가하여 가장 환경친화적인 도로노선을 선정하는기법 (평면선형에만함)
- 환경성종합분포도 : 본 연구에서 제안하는 환경친화적인 도로노선 선정기법에 따라 각 항목별 환경성을 평가하여 중첩한 수치지도
- GIS (Geographic Inforamtion System) : 국토공간상의 각종 자연물과 인공물에 대한 속성정보와 위치정보를 컴퓨터에 입력후, 이를 연계시켜 각종 계획 수립과 의사결정 등을 지원하는 정보시스템
- NGIS (National Geographic Information System) : 우리나라 전 국토 공간의 지상과 지하에 관련된 공간정보를 디지털화 하여 수치지도로 작성하고 재해관리, 국토공간 관리, 대민서비스 등 국가정책 및 행정, 공공분야에서 효율적으로 활용하도록 구성
- EGIS (Environmental Geographic Information System) : 환경부에서 제공하는 지리정보시스템으로 자연환경현황도(생태자연도), 토지피복분류도, 수치표고모델, 위성사진 등의 환경지리정보를 통칭함
- 중첩 : 다중레이어를 겹쳐놓고 각 레이어가 포함하고 있는 공간객체 또는 형상들간의 관계를 분석하는 방법. 본 연구에서는 각각의 환경성 평가항목을 평가한 주제도를 합하는 방법
- 공간분석 : 공간현상속에 숨겨진 공간패턴 및 공간관계를 찾거나 공간의사결정에

필요한 해법을 도출하기 위해 수행하는 방법을 통칭함

- 주제도 : 특정한 주제를 표현할 것을 목적으로 작성된 지도, 본 연구에서는 각 평가항목 또는 평가항목별로 작성되는 지도를 통칭함
- 래스터(Raster) 데이터 : 점, 선, 면 등의 객체들을 셀들의 집합으로 표현한 데이터, 즉. 실제 세계의 지리사상을 그리드(Grid), 셀(Cell), 픽셀(pixel) 등으로 불리우는 최소지도화 단위로 표현한 것
- 버퍼링(buffering) : 공간객체의 둘레에 특정한 폭을 가진 구역을 생성하는 과정. 본 연구에서는 1등급 지역(일부 지역)에 대한 이격거리를 설정할 때 사용함.
- 이격거리 : 1등급 지역에 대하여 상대적으로 환경의 가치가 떨어지는 구간. 본 연구에서는 법, 제도, 연구문헌 등을 통해 확보하여 설정
- Arcgis 프로그램 : GIS를 이용하기 위한 상용 소프트웨어. 전세계적으로 가장 많이 이용되고 있으며, 본 연구에서는 개발된 친환경도로노선 선정기법에 대한 검증에 위해 이용함.
- AHP : 하나의 목표와 관련되어 존재하는 다수의 평가기준을 고려하여, 체계적 의사 결정을 지원하는 다기준분석모델. 본 연구에서는 환경친화적 도로노선선정을 위한 환경성 평가항목 및 지표를 평가함
- 구조화 : 각 평가항목 및 지표를 체계적으로 배열하여 AHP 분석에 알맞게 정리하는 과정. 본 연구에서는 환경친화적인 도로노선 선정이라는 목표아래 2분야-8개항목-45개 지표로 체계화
- 9점척도 : AHP 기법에서 각각의 중요도를 부여하는 방법에서 사용하는 쌍대비교의 척도 방법 중 하나, 쌍대비교를 통하여 상위요소에 기여하는 정도를 부여
- 고유치방법(Eigen-value method) : AHP기법에서 행렬로 표현한 중요도에 대하여 고유치를 이용하여 가중치를 구함
- 쌍대비교행렬 : AHP 기법에서 각각의 중요도를 표현한 행렬. 행렬의 대각을 중심으로 역수의 형태를 취함
- 일관성비율 : 설문자의 설문이 일관성을 나타내고 있는가를 수치적으로 표현한 값. 일관성 지수와 난수지수를 이용하여 도출
- 대응가능지수 : 다수전문가의 설문시 전문가의 영역에 따라 지나치게 편의한 값이 발생할 수 있기 때문에 편의정도를 산출하는 기준으로 도출하는 지수
- 평가항목 : 본 연구에서 제안하는 환경친화적인 도로노선 선정기법의 환경성을 평

가하기 위한 환경요소, 지형지질, 동식물상, 토양생태, 수질, 대기질, 소음진동, 토지이용, 위락경관의 8개요소를 평가항목으로 설정함.

- 평가세향 : 각 평가항목을 세부적으로 평가하기 위한 세부평가항목, 법제적으로 보호해야할 지역 및 환경적으로 보호해야할 지역을 구분하여 설정함
- 등급화 : 평가지표에 대한 표준화를 수행하기 위해 도로건설시 받게 될 환경적피해를 중요도에 따라 3등급체계로 구분함.
- 통과불가지역 : 환경적으로 매우 중요한 지역에 대하여 노선이 통과하지 못하도록 설정한 지역
- 관통 : 환경적으로 매우 중요하나 터널이나 교량 등으로 통과는 가능한 지역, 지역 자체에 1등급을 부여하여 환경영향에 대한 점수를 최고로 주도록 함
- 법제적기준 : 각 평가항목에 대한 평가지표의 선정시 법제적인 환경적으로 보호해야할 지역을 평가하는 기준
- 환경적기준 : 각 평가항목에 대한 평가지표의 선정시 법제적으로 규제하지 않지만 환경적으로 중요한 지역을 평가하는 기준
- 자연환경 : 본 연구에서 제안하는 환경성 평가의 분야 중 하나, 도로건설시 훼손될 수 있는 자연적, 생태적 환경요소들에 관련된 통합 분야, 평가항목으로 지형지질, 동식물상, 토양생태를 포함하고 있음
- 생활환경 : 본 연구에서 제안하는 환경성 평가의 분야 중 하나, 도로건설시 훼손될 수 있는 인간의 삶의 질에 관련된 통합분야, 평가항목으로 수질, 대기질, 소음진동, 토지이용, 위락경관을 포함하고 있음.
- 토양생태 : 토양의 주요 영양물질 순환기능, 분해자 기능, 그리고 오염복원기능과 같은 주요역할을 하는 토양미생물의 다양성에 관련된 평가항목

□ 배수시설 설계 기술 개발(1세부-2)

- 강우강도 : 일정기간동안 내린 강우량을 단위시간에 내리는 강우량으로 표시한 것.
- 강우강도곡선 : 강우지속시간과 그때의 최대강우강도와의 관계를 그래프로 표시한 곡선도
- 강우량 : 어떤 단위면적에 일정시간 내린 우량(비)을 그 면적으로 나눈 물의 수심(깊이)으로 나타낸 것

- 강우-유출 모형 : 임의 유역에서 일정 기간 동안 내리는 강우량과 계곡 또는 소하천으로 나가는 유출량과의 상관관계를 규명, 분석하는 도구
- 개수로 : 대기압을 받고 자유표면을 가지고 물이 흐르는 수로
- 관수로 : 수로단면에 물이 가득 찬 상태에서 압력차에 의하여 흐르는 수로.
- 길어깨 : 도로를 보호하고 비상시에 이용하기 위하여 차도에 접속하여 설치하는 도로의 부분을 말한다.
- 다이크 : 빗물 등이 노면으로 흘러 비탈면이 유실되는 것을 방지하기 위한 물막이 시설
- 도로 배수 시설 : 도로 상이나 도로 주변에 내린 강우가 인근의 수체로 원활하게 흘러 나가도록 함으로써 도로 구조물을 보호하기 위하여 설치하는 시설물
- 땅깍기 : 원지반으로부터 노상면까지 흙을 굴착한 부분
- 땅깍기부 : 도로나 선로의 신설, 개수 등 토공작업에서 토사를 깎아냈거나 깎아낼 부분
- 배수 : ① 하천을 따라 자연상태에서 유역내의 물을 제거하는 것, ② 건축물이나 부지내에서 과잉의 물이나 오수, 폐수 등을 외부로 제거하는 것, ③ 배수공 등을 이용하여 과잉지표수나 지중수를 인위적으로 제거하는 것
- 비점오염원 : 양식장,,야적장,,농경지 배수, 도시노면배수 등과 같이 광범위한 배출 경로를 갖는 오염원
- 비탈면 : 흩쌓기와 땅깍기에 의해서 형성된 부분을 말하고, 각각 흩쌓기 비탈면 및 땅깍기 비탈면이라 함
- 비탈면배수 : 땅깍기, 흩쌓기로 이루어진 비탈면 또는 자연비탈면이 지표층을 통하여 유하하는 물이나 비탈면에서 용출된 지하수에 의하여 비탈면의 침식이나 안정성의 저하를 방지하기 위한 배수
- 설계강우량 : 어떤 지점에서 강우량 또는 강우깊이, 호우기간 동안 강수의 시간분포를 정한 설계우량주상도, 또는 강우 공간분포를 통한 등우선도의 세가지 요소로 구분하여 정의함
- 설계발생빈도 : 도로 구조물의 크기를 결정하는데 기준으로 삼는 홍수량, 강우량 등 수문제량의 발생빈도를 말한다.
- 설계빈도 : 설계하고자 하는 배수구조물에 대한 유량의 회기빈도 (동일용어 : 발생 주기 = 회기빈도 = 생기빈도)

- 설계홍수량 : 홍수특성, 홍수빈도, 그리고 홍수피해 가능성과 사회 경제적 요인을 함께 고려한 후 최종적으로 수공구조물의 설계기준으로 채택하는 첨두유량이나 첨두수위, 또는 설계강우에 따른 유량수문곡선
- 운동파 모형 : 등류 유량 관계식 형태의 운동량 방정식과 부정류 연속방정식에 따른 지배방정식을 해석하는 수리학적 흐름 계산 모형
- 유달거리 : 설계 유역내에서 배수구조물 설치지점으로부터 유로를 따라서 측량한 거리와 최상류점과 그 점에서 가장 먼 지점과의 직선거리
- 유량 : 단위 시간당 특정 단면을 통과하는 물의 양
- 유역 : 어느 지점에서의 유역이란 그 지점을 동일한 유출점으로 갖는 지표면의 범위를 뜻함
- 유역면적 : 유역의 평면상 면적
- 유출수두 : 하류수면으로부터 출구단면의 하단까지의 수심, 일반적으로 배수구조물을 통과한 설계유량이 하류부 기존수로로 만났을 때의 수심을 말하며, 하류수로 (유출부의 기존수로) 단면과 설계유량과의 관계에서 추정
- 종단경사 : 도로진행방향 중심선의 길이에 대한 높이의 변화비율
- 중앙분리대 : 차선을 진행방향별로 분리하고 옆부분의 여유를 확보하기 위하여 도로중앙부에 설치하는 분리대와 측대
- 지속시간 : 배수구역의 가장 먼 지점의 유량이 배수구조물 까지 도달 하는데 소요된 시간
- 표고차 : 배수구조물 설치지점과 유달거리에서 정한 가장 먼 지점과의 표고차
- 한계경사 : 개수로 내 등류수심이 한계수심과 동일하게 유지되도록 했을 때의 수로경사
- 한계수심 : 비에너지가 최소가 되는 이론상의 수심, 즉 프로이드수 $F2 = 1$ 이될 때의 수심
- 한계유속 : 암거 내에서 형성되는 한계수심일 때의 평균유속
- 허용상류수심 : 도로의 계획고에서 여유고를 고려한 허용상류수심.
- 횡단경사 : 도로의 진행방향에 직각으로 설치되는 경사로서 도로의 배수를 원활하게 하기 위하여 설치하는 경사와 평면 곡선부에 설치하는 편경사
- 흙쌓기 : 원지반으로부터 노상면까지 흙을 쌓아올린 부분.

□ 지능형 도로통합설계 프로그램 개발(1세부-3)

- 목적함수 : 어떤 최적해를 탐색하는 과정에서 유전자가 최적해에 가까운지를 판단해 주는 평가 함수
- 전문가 시스템 : 특수한 의사결정을 위한 인간의 지능에 기초한 법칙에 따른 진보된 컴퓨터 프로그램 시스템을 의미
- VR(Virtual Reality) : 컴퓨터를 이용해 만들어진 가상현실
- 유전자알고리즘 : 자연세계의 진화과정에 기초한 계산 모델로서 John Holland에 의해서 1975년에 개발된 전역적(Global)인 최적화 알고리즘
- 계놈 : 사전적 의미는 생물이 가지는 유전 정보를 말하며, 본 연구에서는 도로선형 정보를 계놈이라 함
- 세대 : 특정한 순간의 해의 집합을 의미함. 각 세대의 해는 교배나 변이를 통해 다음 세대의 해를 만들어냄
- 집단 : 특정한 세대의 해의 개수를 의미
- 선택 : 한 세대에서 다음 세대로 전해지는 해의 후보가 되는 해들을 선택. 선택 방법에는 균등 비례 룰렛휠 선택, 토너먼트 선택, 순위 기반 선택 등이 있음
- 교배 : 세대 내에서의 교배를 통해 다음 세대를 생성. GA에서는 의도적으로 부모 해를 교차시켜서 자식해를 만들어냄
- 돌연변이 : 주어진 해의 유전자 내의 유전체 순서를 바꿔서 다른 유전자를 만들어내는 연산
- 교체 : 교배·돌연변이 등을 거쳐서 만들어진 새로운 해를 해집단에 추가하고 기존 해 중 열등한 해를 가려내서 제외시키는 연산
- DEM : Digital Elevation Model 의 약어로서, 지형의 위치에 대한 고도를 일정한 간격으로 배열한 수치정보
- 래스터 : GIS의 대표적인 자료구조로 2차원 표면을 작은 메쉬로 나누어 표현하는 방법으로, 이 경우에는 분할된 모든 메쉬에 대해 2개값 또는 여러 값의 데이터를 갖게 됨
- 벡터 : GIS 데이터 구조. GIS 데이터 구조는 크게 벡터구조와 래스터 구조로 구별된다. 벡터구조는 공간요소를 점, 선, 면 객체로 정의하고 표현하고자 하는 공간 대상을 각 객체의 기하구조로 표현

- 버퍼링 : GIS 연산에 의해 정의 되는 요소의 주위 또는 영향권을 연산하는 GIS 기법
- 3차원 좌표계 : xy , xz 그리고 yz 평면으로 이루어진 이 세 평면은 서로 직교하며, 평면을 이루는 x 축(수평방향)과 y 축(수직방향) 그리고 z 축 또한 서로 직교한다. x , y , z 축이 만나는 점을 원점이라 함
- 정점(vertex) : 공간상에서의 위치(position)를 나타내는 것으로 일반적으로 여러 개가 모여서 특정 형태의 오브젝트를 구성하는 요소를 정점(veretx)이라고 함
- 변환(transform) : 가장 기본적인 변환(transform)에는 이동(transition), 회전(rotation), 크기(scale), 전단(shear) 변환이 있으며, 이들 변환은 모두 행렬로 표현
- 폴리곤(polygon) : 3개의 정점이 모이면 하나의 면(face)을 만들 수 있다. 이렇게 3개의 정점으로 만들어진 삼각형을 폴리곤(polygon)이라 함
- 변 : 폴리곤에서 정점과 정점을 연결하는 직선
- 메시(mesh) : 폴리곤은 최소한의 3차원 공간상의 면을 만들지만 이것으로는 우리가 생각하는 복잡한 물체를 표현하는 데는 무리가 있다. 이러한 폴리곤들이 모여서 하나의 3차원 물체를 만들게 되는데 이것을 메시(mesh)라고 함
- 셰이딩(shading) : 폴리곤에 음영을 넣는 작업
- 텍스처(texture) : 2차원의 이미지(jpg, bmp, gif)로 3차원 물체에 입혀서 다양한 표현을 가능하게 해준다. 이렇게 3차원 물체에 텍스처를 입히는 것을 텍스처 맵핑이라 하고, 맵핑이 되는 2차원 이미지를 텍스처(texture), 혹은 텍스처 맵이라고 함
- 깊이버퍼(Z 버퍼) : 물체가 렌더링 될 때 물체의 카메라로부터의 거리값을 보관하게 된다. 이 값을 깊이 버퍼라 함
- 렌더링 파이프라인 : 기하학적으로 3D 장면을 구성하고 가상 카메라를 설정한 뒤 모니터에 2D 표현을 만들어내는 과정
- 조명 : 물체에 명암을 추가하여 장면에 사실감을 더해주는 역할
- 클리핑 : 시야 볼륨 외부의 기하물체를 추려내는 과정
- 절두체 컷링(frustum) : 전체 3차원 월드에는 대단히 많은 폴리곤과 오브젝트가 있지만, 이들 중에서 실제로 카메라의 시야 범위에 포함되는 것들만 렌더링하고, 나머지 것들은 렌더링하지 않는 기법
- 투영(projection) : n 차원에서 $n-1$ 차원을 얻는 과정
- 뷰포트 : 컴퓨터 그래픽스(CG)에서 화상을 생성하는 렌더링(rendering) 과정에서

투영 변환한 도형을 실제로 표시하는 직사각형의 영역

- 레스터라이즈 : 각각의 삼각형을 그리는 데 필요한 픽셀 컬러들을 계산하는 과정
- UI(user interface) : 사람(사용자)과 사물 또는 시스템, 특히 기계, 컴퓨터 프로그램 등 사이에서 의사소통을 할 수 있도록 일시적 또는 영구적인 접근을 목적으로 만들어진 물리적, 가상적 매개체
- CW(clockwise) : 시계 방향
- CCW(conterclockwise) : 반시계 방향

■ LCC를 고려한 경제성분석 및 도로시설물 성능 향상(2세부과제)

□ VE/LCC를 고려한 도로노선의 경제성분석 기법 개발(2세부-1)

- 가치(Value) : 기능이 가지는 성능과 이를 얻기 위한 비용 사이의 관계를 정성적·정량적으로 나타내는 것이다. 즉, “최고가치(Best Value)”라는 말은 고객의 성능에 대한 기대를 충족하는 기능을 달성하기 위해 사용하는 가장 비용효과적인 수단을 의미
- 기능(Function) : 해당 시설물이 행하는 본연의 행위나 특징적인 행위
- 생애주기비용(LCC : Life-Cycle-Cost) : 시설물의 사용년한 동안 투입되는 총비용을 말함. 여기에는 기획, 조사, 설계, 조달, 시공, 운영, 유지관리, 철거 등의 생애 전반에 투입되는 비용과 생애 마지막 단계에서의 잔존가치가 포함됨
- VE(Value Engineering) : 소정의 성능, 신뢰성 및 안전성을 만족하거나 보다 품질을 향상시켜 가면서 최소의 생애주기비용(Life Cycle Cost : LCC)으로 필요한 기능을 확보하기 위해 발주처, 위탁용역업체, 외부전문가 등이 한 팀을 구성한 후 체계적이고 조직적인 개선 활동을 하는 것을 말한다.
- 초기공사비용 : 초기비용은 시설물을 건설하기 위한 계획단계부터 건설완료에까지 소요되는 모든 비용을 포함함. 초기비용은 총 기대비용 중 유지보수비용이나 파괴비용에 비해 상당히 큰 비용이 소요됨
- 유지관리비용 : 시설물의 건설이 완료된 이후에 보수에 사용되는 비용으로써 시설물의 공용 중에 소요되는 비용

- 해체/폐기비용 : 해체·폐기비용은 시설의 수명이 다한 후 발생하는 해체비용과 주요구조부재 또는 구조물 전체의 교체비용 및 재활용에 따른 이익 등도 고려하는 종합적인 비용
- 확정적 접근방법(deterministic approach) : LCC 분석을 위한 입력변수의 불확실성, 변동성을 고려하지 않는 간단한 접근방법. 여기서, 초기비용 항목은 조사비용, 설계비용 및 건설비용의 범주로 구분할 수 있으나 가장 큰 부분을 차지하는 항목은 건설비용이다. 유지보수비용의 항목은 건설된 후 유지보수에 사용되는 비용으로써 공용 중에 소요되는 비용을 의미
- 확률적 접근방법(probabilistic approach) : LCC 분석을 위한 입력변수의 불확실성, 변동성을 고려하는 방법이다. 발생하는 비용에 대한 제반 변수를 확률적으로 모델링하여 적용하기 때문에 보다 과학적이며 합리적인 방법이 될 수 있음
- 할인율 : 경제성 평가에서 모든 비용과 편익을 현재(또는 기준년도)의 불변가격으로 표시하기 위한 계수
- 건설 공사비 지수(Construction Cost Index) : 시간의 변화에 따라 직접 공사비의 가격변동을 측정하는 지수로 건설공사에 투입되는 직접 공사비를 대상으로 특정 시점(생산자 물가지수 2000년)의 물가를 100으로 하여 재료, 노무, 장비 등 세부 투입자원에 대한 물가변동을 추정하기 위해 작성된 가공 통계자료
- 경제성분석 (Economic Efficiency Analysis) : 비용·편익분석을 의미하며 공공투자사업의 효율성 평가에 널리 활용되어지고 있는 기법. 계획되어진 Project에 있어서 서로 다른 시점에서 발생하는 비용과 편익의 흐름을 동일한 시점에서 비교·분석하여 효율성을 달성하기 위해 고려된 여러 대안 중에서 가장 우수한 대안을 선택하는 것을 목적으로 함. 경제성 분석기법으로는 비용·편익 분석법이 주축을 이루며 구체적인 평가기법으로는 비용·편익비, 순현재가치, 내부수익율이 있음

□ 도로설계 알고리즘 개발(2세부-2)

▶ 선형설계 Check List 및 교차로 형식선정 기법 개발

- 주방향 교통량(MT) : 과업의 시점 방향의 방향별 교통량의 합
- 부방향 교통량(mT) : 과업의 시점과 교차하는 방향의 방향별 교통량의 합
- 좌회전 교통량비(L) : 주방향 교통량 중 좌회전 교통량 비율

- 입체교차로 기준교통량(ST) : 입체교차로를 설치하는데 있어 기준이 되는 교통량
- 부방향 교통량비(M) : 교차로의 전체 교통량 중 부방향 교통량 비율
- 연결로 numbering : 연결로의 형태별로 교차로 형태를 행렬화(6X4) 하기 위한 numbering 체계
- 통행시간 비용 : 연결로 교통량, 통행시간, 시간가치를 통하여 산출되는 비용
- 차량운행 비용 : 연결로 교통량, Km당 차량운행비용, 차량운행비용을 통하여 산출되는 비용
- 대기오염 비용 : 연결로 Km당 교통량, Km당 대기오염비용을 통하여 산출
- 사용자 비용 : 통행시간 비용, 차량운행 비용, 대기오염 비용의 합
- 통행시간가치 : 업무통행과 비업무통행으로 나누어 통행시간에 대한 비용 계량화
- 불완전 입체교차 : 평면교차하는 교통동선을 1개소 이상 포함한 형식
- 완전 입체교차 : 완전 입체교차형은 인터체인지의 기본형으로서 인터체인지 본연의 목적에 가장 부합된 형식임. 이 형식은 평면교차를 포함하지 않고 각 연결로가 독립되어 있는 인터체인지이다. 그러나 일반적으로 공사비가 많이 들고 용지면적도 광대하게 소요되므로 고규격 도로의 입체교차 시설에 주로 이용됨
- 오프세트형 인터체인지 : 본선 접속부 뿐만 아니라 교통량이 많은 부도로 접속부를 입체화한 형태로 4지 입체교차로의 변형된 형태
- VDF 함수 : 각 도로등급을 고려한 차선당 용량에 따른 교통량 지체 함수식

▶터널 형식선정 기법 개발

- 갱구 : 터널의 갱구부에 흙막이, 사면보호, 낙석방지, 눈사태 방지 등을 위해 설치하는 터널의 출입구
- 갱문 : 지표 비탈면의 낙석붕괴, 눈사태, 누수 등으로부터 갱구를 보호하기 위한 구조물
- NATM : 록볼트와 뿔어붙이기 콘크리트 등으로 보강한 지반자체의 강도를 이용하여 터널을 구축하는 터널굴착공법의 일종. 조직적으로 설치한 록볼트나 뿔어붙이기 콘크리트 등으로 원지반을 보강하고 원지반 자체의 강도를 이용해 터널을 구축하는 공법
- 지보공 : 지보공은 터널을 굴착한 후 콘크리트라이닝을 하기까지 시간 사이의 터

널내 토압을 지지하여 굴착작업 시 위험을 방지하기 위해 설치하는 것으로서는 목재지보공, 강아치지보공, 록볼트, 슛크리트 등이 있음

○ 내공단면 : 터널의 굴착부분 단면으로서 소요 시설한계와 선형조건에 따른 확폭량, 터널내 제반 설비의 시설공간, 유지관리에 필요한 여유 폭 등을 고려하고 시공오차를 반영하여 결정함

○ 종류식 환기 : 터널의 종방향으로 작용하는 교통환기력 및 자연환기력을 보충하는 환기용 송풍기의 분류효과에 의한 승압력을 발생시켜 소요 환기량을 확보하게 하는 방식

○ 수직갱 : 터널공사 또는 광산 등 지표에서 연직으로 굴착한 갱도

▶ 교량 형식선정 기법 개발

○ 교량 : 교통로, 수로 등이 하천, 계곡, 움푹 패인 곳, 그 밖의 다른 도로의 기능을 저해하는 것이 있을 때 연결하는 구조물의 총칭으로 최근에는 환경친화적 설계를 위한 지형변화 최소화 및 하천 보호 등을 위해 많이 계획되고 있음

○ 교대 : 교량의 하부 구조로서 교량의 양단에 설치되며 상부 구조로부터의 하중을 하부의 지반으로 전달함과 동시에 뒷면에 작용하는 토압을 받아내는 구조물이다. 지반조사 및 협의를 통해 위치, 구조, 형식, 길이 등을 결정하며 중력식교대, 반중력식 교대, 역T형 교대, 부벽식 교대, 라멘식 교대, 특수 교대 등이 있음

○ 교각 : 교량의 하부 구조로 교량 거더를 지지하고 교량 거더로부터의 하중을 하부 지반으로 전달하는 구조물

○ 경간장 : 하나의 메인거더에 있어서 받침 중심간의 거리로서 지간장이라고도 한다. 위치에 따라 중앙경간, 측경간, 안경간 등의 명칭이 있음

○ 통과 높이 : 도로 위에서 차량이나 보행자의 교통안전을 보호하기 위하여 어느 일정한 높이의 범위 내에서 장애가 될 만한 시설물을 설치하지 못하게 규정한 높이

○ 설계하중 : 구조물을 설계할 때 사용하는 하중으로 장기간에 걸쳐 항상 작용하는 주하중과 때때로 작용하는 2차적인 종하중 등으로 나뉘어짐. 주하중으로는 사하중, 활하중, 충격하중 등이 있으며 종하중으로는 풍하중, 온도변화의 영향, 지진의 영향에 따른 하중 등이 있음

○ 라멘교 : 골조 구조물 중에 부재 사이가 고정되어 있는 것을 라멘이라고 하며 교량

의 주구조에 라멘을 이용한 것

- 콘크리트교 : 상부구조를 구성하는 주요 부재가 콘크리트로 이루어진 교량으로 강교에 비해 유지관리는 편하지만 중량이 큼. 현재는 고강도 또는 경량의 콘크리트를 사용하고 단면도 넓게 중공으로 하며, 또한 조립형식의 신공법의 개발 등으로 경간이 긴 프리스트레스트 콘크리트교를 가설하게 되었음
- 강교 : 상부구조를 구성하는 주요 부재가 강재로 이루어진 교량으로 전에는 철교라고도 하였으나, 현재는 재료의 발달로 강재를 많이 쓰므로 엄밀한 의미에서의 철교란 거의 볼 수 없으며, 사실상 쇠로 만든 다리는 모두 강교라고 보아도 무방하다. 상판이 콘크리트·아스팔트 등 다른 재료로 되어 있어도 교량의 구조재료가 강재로 되어 있으면 강교로 구분된다. 공장에서 제작하여 현장에서 조립가설하기 때문에 공사기간이 짧고, 현장설비도 비교적 간단함

□ 도로안전 정보시설물의 내풍안전성해석 및 설계기술개발(2세부-5)

- 도로정보시설물 : 도로교통의 원활한 흐름과 안전운행을 위한 정보제공을 담당하는 모든 시설물
- VMS(Variable Message Sign)(=도로전광표지) : 도로상의 정보를 정보패널을 통해 도로교통의 원활한 소통과 안전을 도모하고 교통사고를 방지하기 위한 교통관리시설물
- 내민식 : 도로의 측단, 보도 또는 중앙분리대 등에 설치된 지주에 수평재를 가로축으로 설치 후 수평재에 시설물을 설치하는 형식
- 문형식 : 도로 양 끝의 기둥을 가로로 연결하고, 가로축에 각종 시설을 설치하는 형식
- 도로표지 : 도로교통의 안전과 원활한 소통을 확보하기 위해 설치하는 표지판
- 풍동실험 : 공기가 흐르는 현상이나 공기의 흐름이 물체에 미치는 힘 또는 흐름 속에 있는 물체의 운동 등을 조사하기 위해 인공적으로 공기가 흐르도록 만든 장치(이것이 풍동)를 가지고 하는 실험
- 항력계수(drag coefficient) : 무차원계수로서 유체가 물체의 주위를 흐를 때 생기는 마찰력과 유체의 운동 에너지의 비율
- 거스트계수(Gust factor) : 평균 풍속에 의한 항력 외에도 변동풍속에 의한 변동적

인 항력값을 고려한 계수값

- 래티스(lattice)구조 : 막대 등을 교차시켜 그물모양으로 만든 금속이나 목재, 또는 가는 나무나 쇠로 만든 그물모양의 격자형태
- 피로설계 : 진동이나 다른 반복적인 하중이 가해지는 구조물에서 피로파괴를 피할 수 있도록 설계.
- 갤로핑(Galloping) : 바람에 의하여 일어나는 불안정한 진동
- 버페팅(buffeting) : 유체중의 구조물이 다른 구조물의 후류에 위치하여 발생하는 진동
- 난류(turbulent flow) : 매끄러운 유로나 층을 이르는 흐름인 층류와는 달리 불규칙하게 움직이면서 서로 섞이는 흐름

□ 중앙분리대 설계기준 및 신기술 개발(2세부-6)

- 차량방호울타리 : 주행 중 정상적인 주행 경로를 벗어난 차량이 길 밖, 대향 차로 또는 보도 등으로 이탈하는 것을 방지하는 동시에 탑승자의 상해 및 차량의 파손을 최소한도로 줄이고 차량을 정상 진행 방향으로 복귀시키는 것을 주목적으로 설치하는 시설물을 말함
- 강성 방호울타리 : 방호울타리를 강성에 따라 구분한 것으로, 차량의 충돌시에 구성 부재가 거의 변형되지 않는 방호울타리
- 연성 방호울타리 : 정식명칭은 가요성 방호울타리이며, 방호울타리를 강성에 따라 구분한 것으로, 차량의 충돌시에 구성 부재가 일정 한도 내에서 변형되는 방호울타리
- 가드레일 : 정식명칭은 노측용 방호울타리이며, 차량이 길 밖으로 이탈하는 것을 방지하기 위하여 도로의 길어깨 측에 설치하는 방호울타리
- 실물차량 충돌시험 : 일정 충돌조건에서 실물 차량을 차량방호 안전시설에 충돌시킨 후, 탑승자, 차량, 차량방호 안전시설의 거동을 분석함으로써 그 성능을 평가하는 시험
- 강도성능 : 차량 충돌시에 갖는 운동에너지인 충격도(IS : Impact Severity)로 시설물의 강도 성능을 측정하며, 국내 평가 기준으로는 “도로안전시설 설치 및 관리 지침”에서 7등급으로 분류하고 있음

- 탑승자 보호성능 : 탑승자 충돌속도인 THIV(Theoretical Head Impact Velocity)와 탑승자 가속도인 PHD(Post-Impact Head Deceleration)로 대별되며, 국내 기준에서 사용되고 있는 탑승자 안전지수
- 동적 최대 변형거리 : 방호울타리와 차량이 충돌했을 때 방호울타리의 변형된 정도를 말하며, 방호울타리의 강도성능을 직접적으로 판단할 수 있는 지표
- 이탈속도 : 방호울타리와 차량이 충돌했을 때 충돌 후 차량의 탈출 속도
- 이탈각도 : 방호울타리와 차량이 충돌했을 때 충돌 후 차량의 탈출 각도
- 탑승자 충돌속도(THIV) : 탑승자의 두부가 충돌하는 속도를 나타내는 이론적인 값으로 차량이 안전시설에 충돌할 때 탑승자의 두부가 충돌시의 속도와 각도로 자유비행을 한다고 할 때 차량의 좌 · 우 벽에 부딪힐 때의 속도
- 탑승자 가속도(PHD) : 충돌 후 탑승자의 두부 가속도를 내는 값으로써, 탑승자가 차량내부에 부딪힐 때 머리가 받게 되는 가속도 중에서 최대값을 말함
- LS-DNVA : 방호울타리의 구조적인 거동을 3차원 해석을 통해 분석하는 유한요소 프로그램
- Barrier VII : 방호울타리의 구조적인 거동을 2차원 해석을 통해 분석하는 유한요소 프로그램
- 블록아웃 : 보형 방호울타리는 방호울타리의 충돌면이 지주에 비해 차도 쪽으로 더 내밀어질 수 있도록 지주와 보사이에 위치하는 구조물
- 강재뎀퍼 : 본 연구를 통해 개발된 블록아웃의 일종이며, 블록아웃의 역할뿐만 아니라 충격흡수의 기능을 통해 방호울타리의 강성을 높임

■ 도로안전 및 기능향상 기술개발(3세부과제)

□ 도로 선형설계 안전성 평가 기술 개발(3세부-1)

- 도로선형 설계일관성(Road Alignments Design Consistency)
 - : 도로설계요소들 간의 조화로운 연결정도를 의미하며 운전자의 기대와 도로 선형 변화가 일치하는 정도를 뜻함

- 속도 프로파일(Speed Profile) : 선형변화에 따른 속도변화를 도식화 한 것으로서, X축은 거리, Y축은 속도로 표현함
- 설계속도(Design Speed; V_d) :
 - (1) 도로설계의 기초가 되는 자동차의 속도
 - (2) 설계구간 내에서 도로조건, 기후 등이 양호한 상태에서 승용차가 안전하게 달릴 수 있는 최고 속도, 단위 [km/h]
- 주행속도(Operating Speed; V_o) : 자유 통행류 상태(free flow condition)에서 관측되는 운전자의 주행속도, 단위 [km/h]
- 85백분위속도(85th-percentile Speed; V_{85}) : 자유로운 교통흐름이나 노면습윤 상태에서 주행하는 승용차의 속도를 측정하여 측정치를 오름차순으로 정리하여 85% 째에 해당하는 속도
- 속도 예측모형(Speed Prediction Model) : 도로의 선형정보를 이용하여 도로에서 관측되는 속도를 예측하기 위한 모형
- 희망속도(Desired Speed) : 자유 통행류 상태에서 도로 선형 요소에 의해 제약받지 않는 상태에서 운전자가 선택하는 속도, 단위 [km/h]
- 고규격 간선도로(High-Standard Arterial Road) : 도로용량편람(건설교통부, 2001)에 정의된 다차로 도로 가운데 유형 I에 해당하는 도로 및 고속도로. 다차로 도로 중 유형 I은 연속류 특성이 가장 강하게 나타나는 도로로서, 설계속도는 90-100km/h 범위로 설계되는 도로 부속시설 측면에서 신호등 밀도가 0.3개/km이하, 대부분 입체화가 되어 있고 출입 연결로와 측도가 설치된 도로로 정의
- 평면곡선반경(Radius of Curve; R) : 평면곡선의 곡선반경, 단위 [m]
- 평면곡선길이(Curve Length; L_c) : 평면곡선의 길이, 단위 [m]
- 종단경사(Vertical Grade; G) : 도로 진행방향 중심선의 길이에 대한 높이 변화 비율, 단위 [%]
- 종단곡선변화비율(Rate of Vertical Curvature; K) : 종단곡선상의 2점에서 접속경사의 대수차로 2점간의 거리를 나눈 값, 단위 [m/%]
- 정지시거(Sight Distance; SD) : 운전자가 같은 차로상에 고장차 등의 장애물을 인

지하고 안전하게 정지하기 위한 필요거리로서 차로 중심선상 1.0m 높이에서 그 차로의 중심선에 있는 높이 15cm의 물체의 맨 윗부분을 볼 수 있는 거리를 그 차로의 중심선에 따라 측정한 길이

- 편경사(Superelevation; e) : 평면곡선부에서 자동차가 원심력에 저항할 수 있도록 하기 위해 설치하는 횡단경사, 단위 [m/m]
- 횡방향 미끄럼마찰계수(Side Friction (demand) Factor ; f) : 포장면에 작용하는 타이어의 수직력이 횡방향 마찰력으로 변환되는 정도
- 길어깨(Shoulder) : 도로를 보호하고 비상시에 이용하기 위해 차도에 접속하여 설치하는 도로의 부분
- 복합선형(Compound Alignments) : 평면선형과 종단선형이 조합된 선형
- 완화곡선(Spiral Curve) : 직선부와 평면곡선 사이 또는 평면곡선과 평면곡선 사이에서 자동차의 원활한 주행을 위하여 설치하는 곡선
- 클로소이드 곡선(Clothoid Spiral) : 완화곡선의 일종
- 평면곡선변화비율(Curve Change Rate; CCR) : 유사한 도로 특성을 갖는 도로구간의 곡률변화율, 단위 [gon/km]
- 단일 곡선부의 평면곡선변화비율(Curve Change Rate of Single Curve; CCR_s) : 완화곡선을 갖는 단일 곡선부의 곡률변화율, 단위 [gon/km]
- 곡도(Degree of Curve; DC) : 100ft 길이 호에 대(對)한 중앙 각(角), 단위 [°]
- 선형지수(Alignment Index) : 도로의 전반적 선형설계 특징을 지수화 한 척도
- AADT(Annual Average Daily Traffic) : 연평균일교통량. 특정지점 또는 구간을 통과한 1년 교통량(양방향)을 일단위로 평균한 교통량(대/일)
- 사고예측모형(Accidents Prediction Model) : 도로에서 발생한 교통사고자료를 통계적으로 모형화한 것으로 종속변수는 과거의 사고건수, 설명 변수로는 주로 사고가 일어난 장소의 도로 기하구조 조건, 교통조건, 운영조건 등 도로의 속성자료를 사용함.
- 1km 당 종단변화 : 종단곡선을 제외한 도로구간의 높이변화(m/km)

□ 이용자 중심의 도로설계기법 개선 연구(3세부-2)

- 인간공학(Ergonomics, Human Factor) : 인간의 행동, 능력, 한계, 특성 등에 관한 정보를 발견하고 이를 도구, 기계, 시스템, 과업, 직무, 환경의 설계에 응용함으로써, 인간이 생산적이고 안전하며 쾌적하고 효과적으로 이용할 수 있도록 하는 것
- 시인거리 : 도로표지판의 내용을 읽기 시작한 지점부터 도로표지판까지의 거리
- 판독거리 : 도로표지판의 내용 읽기를 완료한 지점부터 도로표지판까지의 거리
- 판독소요길이 : 도로표지판의 내용을 읽기 시작해서 완료할 때까지 주행한 거리이며 시인거리와 판독거리의 차이
- 선행거리 : 교차점으로부터 도로표지판이 설치된 지점까지의 거리
- 소실거리 : 운전자가 도로표지판의 내용을 더 이상 볼 수 없는 지점에서 도로표지판까지의 거리
- 행동판단소요길이 : 도로표지판 내용을 완전히 인식한 후 행동을 판단하는데 소요되는 거리
- 행동거리 : 운전자가 도로표지의 판독을 완료하여 행동판단을 완료한 지점부터 도로표지판까지의 거리
- 인지반응 : 운전자가 위험한 상황을 인지하고 난 뒤 적절한 회피행동을 취하기 위해 물리적인 행위를 취하는데 까지 소요되는 시간
- 정지시거 : 전방의 동일차로상에 장애물을 인지하고 제동을 걸어 정지하기 위해 필요한 길이
- 적극적 안내(Positive Guidance)기법 : 대상 구간의 정보 및 상황을 분석하여 운전자가 위험물을 피해 보다 안전하게 주행할 수 있게 올바른 정보를 제공하는 기법
- 지속적 기대(Continuation Expectancy) : 내 앞차가 계속 일정한 속도로 움직일 것으로 생각하는 것
- 사건 기대(Event Expectancy) : 과거에 일어나지 않은 일은 계속 일어나지 않을 것으로 생각하는 것

- 임시 기대(Temporal Expectancy) : 일시적 또는 간헐적으로 어떤 사건이 일어날 것으로 생각하는 것
- 조도순응구간 : 운전자는 터널을 빠져나오면서 조도의 차이에 대한 시각적 적응
- 암순응 : 밝은 곳에서 어두운 곳으로의 안구 순응
- 명순응 : 어두운 곳에서 밝은 곳으로의 안구 순응
- 운전자의 기대(expectation) : 이전의 경험에 근거한 교통 상황이나 도로의 상황에 대한 임의의 반응
- 도로주행 시뮬레이터(Driving Simulator) : 운전자의 안전성 및 연구수행의 유연성 확보를 위해서, 실제 주행 상황을 실내에서 재현한 가상현실 차량 주행 시스템
- 평면교차로 : 도로와 도로, 또는 도로와 철도가 서로 교차 또는 접속되는 공간 및 그 내부의 교통시설물
- 회전교차로 : 평면교차로의 일종으로 교차로 중앙에 원형 교통섬을 두고 교차로를 통과하는 자동차가 이 원형 교통섬을 우회하도록 하는 교차로 형식
- 교통섬 : 자동차의 안전하고 원활한 교통처리나 보행자 도로횡단의 안전을 확보하기 위하여 교차로 또는 차도의 분기점 등에 설치하는 섬 모양의 시설

□ 도로시설개선에 의한 효율적 도로운용 기술개발(3세부-3)

- 간격수락(Gap acceptance) : 두 차량사이의 차간시간을 이용하여 합류하거나 교차할 수 있는 것을 의미
- 경사 : 지형의 높낮이를 일컫는 말(%)
 - 경사 구간 : 평지가 아닌 구간.
 - 경사 길이 : 경사가 시작되는 지점에서 도로의 중심선을 따라 경사가 끝나는 지점까지의 거리.
 - 복합 경사 : 도로 구간마다 종단경사가 변하며, 그러한 지형이 차량의 운행에 미치는 영향이 계속 누적될 수 있는 지형일 때, 종단경사가 차량 운행에 미치는 영향을 종합적으로 고려하여 하나의 대표적인 종단경사로 바꾼 값.
 - 상향 경사 : 오르막 구간의 경사를 일컫는 말. 대향 교통은 하향 경사가 됨.

- 특정 경사 구간 : 경사가 3%이상이고, 경사 길이가 500m 이상인 단일 경사 구간.
- 하향 경사 : 내리막 구간의 경사를 일컫는 말.
- o 계획분석(planning analysis) : 개략적으로 추정된 교통량과 개략적인 신호시간으로, 임계 차로 교통량의 합과 용량을 비교하여 교차로의 전반적인 크기를 구하거나 교차로 용량의 적절성을 파악하는 분석이다.
- o 고속도로 : 차로 수가 편도 2차로 이상이고 중앙분리대가 설치된 도로로서 차량 출입이 완전 통제된 도로. 도로법에 의한 고속국도와 자동차 전용도로가 이에 해당됨.
- o 고속도로 기본 구간 : 고속도로에서 엇갈림 구간, 연결로 접속부 등에서 엇갈림이나 합류 및 분류 차량의 영향을 받지 않는 구간.
- o 고속도로-연결로 접속부(이하 연결로 접속부, Ramp-Freeway Junction) : 고속도로 본선에 합류 및 분류 연결로가 접속되는 구간.
- o 과포화 주기(cycle failure) : 어느 주기 동안 도착한 교통량이 가장 가까운 녹색시간동안에 정지선을 다 벗어나지 못 할 경우를 말한다.
- o 교차부 : 두 개 이상의 도로가 교차하는 도로 부분
- o 교통량 : 도로의 한 지점을 일정 시간에 통과한 차량의 수.
 - 계획 교통량 : 도로 계획의 기본이 되는 교통량으로서, 목표년도의 연평균 일교통량(AADT)을 말함.
 - 설계시간 교통량(design hourly volume, DHV) : 도로 설계의 기본이 되는 장래 교통량으로, 설계 대상 구간을 지날 것으로 예상되는 1시간 교통량으로 주어지는 연평균 일교통량(AADT)에 설계시간 계수(K)를 곱하여 산출.
 - 승용차 환산 교통량 : 혼합 교통량을 승용차만으로 구성되었다고 가정하여 환산한 교통량(pcph).
 - 시간 교통량 : 실제 또는 예측한 한 시간 교통량(vph).
 - 첨두시간 환산 교통량(v_p) : 1시간 관측 교통량 또는 중방향 설계시간 교통량(DDHV)을 첨두시간 계수(PHF)로 나눈 교통량. 적용 여건에 따라 승용차 단위 또는 대 단위로 표현할 수 있음.
 - 최대 관찰 교통량 : 현장 조사를 통하여 조사한 교통량 중 가장 큰 교통량.
 - 최대 서비스 교통량(MSF) : 이상적인 조건과 주어진 서비스수준에서의 최대 1시간 환산 교통량(pcphpl).

- 1시간 교통량 : 1시간 관측한 교통량(vph).
- 1시간 환산 교통량 : 1시간 이하의 교통량을 1시간 단위로 환산한 교통량(vph).
교통류율(flow rate)이라고도 함.
- 연평균 일교통량(average annual daily traffic, AADT) : 한 해 동안 도로의 한 지점 또는 일정 도로 구간을 지나는 양방향 교통량을 365일로 나눈 교통량.
- o 교통량/용량비 : 교통시설의 용량에 대한 교통량의 비, 약어 v/c 비
- o 교통량비(flow ratio) : 신호교차로의 접근로 또는 차로군의 교통류율 대 포화교통류율 v/s 비를 말하며, y 로 나타내기도 한다.
- o 교통섬(traffic island) : 상충하는 교통류를 분리하거나 보행자 대피를 위하여 설치한 차로간의 특정구역을 말한다. 차량은 이 구역과 이를 보호하기 위하여 주의표지등을 설치한 주변구역을 침범해서는 안된다.
- o 교통통제(traffic control) : 도로교통법에 근거하여 도로에서의 위험을 방지하고, 교통의 원활한 소통을 도모하기 위하여 도로에서의 통행과 이에 수반되는 각종 행위를 금지, 제한, 지시, 지정, 안내하는 것을 말한다.
- o 균일지체(uniform delay) : 주어진 교통량이 정확하게 일정한 차두간격으로 도착한다고 가정할 때의 차량당 평균 접근지체
- o 기본 포화류율(base saturation flow rate) : 기본조건하에 있는 신호교차로에서 정지해 있던 차량이 정지선을 통과 할 수 있는 최대 교통량으로서, 녹색신호가 계속될 때 손실시간이 없는 한 시간 동안의 교통류율로 나타낸다. 단위는 한 차로당 녹색신호 한 시간당 승용차 대수(passenger cars per hour of green per lane : pcphgpl) 이다.
- o 녹색시간비(green time ratio) : 유효녹색시간의 주기에 대한 비율
- o 다차로도도로 : 다차로도도로는 고속도로와 함께 지역간 간선도로 기능을 담당하는 양방향 4차로 이상의 도로로 고속도로와 도시 및 교외 간선도로의 도로 및 교통 특성을 함께 갖고 있음. 완전 출입 제한된 도로가 아니라는 점에서 자동차 전용도로와는 구별되며, 평균 신호등 밀도가 1.0개/km 이하인 점에서 도시 및 교외 간선도로(1.0개/km 초과)와도 구별됨.
- o 단로부 : 교차부와 교차부 사이를 의미한다.
- o 도로 용량 : 주어진 도로 조건에서 15분 동안 무리없이 최대로 통과할 수 있는 승용

차 교통량을 1시간 단위로 환산한 값.

- 도로시설 : 도로의 기하구조 및 교통시설 등을 의미한다.
- 도로시설 개선 : 도로의 효율적 운용을 위한 다양한 조치를 통칭한다.
- 도류화(channelization) : 차량과 보행자를 안전하고 질서 있게 이동시킬 목적으로 교통섬이나 노면표시를 이용하여 상충하는 교통류를 분리시키거나 규제하여 명확한 통행로를 지시해 주는 것을 말한다.
- 무통제 교차로(Uncontrolled intersection) : 교통신호기나 정지표지, 양보표지 등에 의한 통제가 없는 교통량이 거의 없는 교차로
- 밀도 : 특정 시각, 단위 구간에 들어 있는 차량의 대수. 특정 시각에 한 차로를 점유하고 있는 차량 수를 구간 길이로 나눈 값.
- 보정계수(adjustment factor) : 이상적인 조건의 서비스 교통량을 주어진 도로 조건과 교통 조건을 반영하는 서비스 교통량으로 바꾸기 위하여 곱하는 계수
- 부가차로(auxiliary lane) : 차량의 원활한 통행을 위하여 본선의 좌측 또는 우측에 덧붙여 설치한 차로를 말함.
 - 고속 교통류 추월형 차로 : 고속 주행 차량이 저속 주행 차량을 앞지를 수 있도록 상당히 긴 구간에 한 차로를 추가로 설치한 곳에서, 고속 주행 차량이 주행하는 차로.
 - 저속 교통류 양보형 차로 : 저속 주행 차량이 고속 주행 차량에게 통행권을 양보함과 동시에 주행이 가능하도록 본선 우측에 1개 차로를 더 설치한 차로.
 - 오르막 차로(climbing lane) : 경사 구간에서, 저속 주행 차량이 주행 차로에서 벗어나 경사 구간을 통행할 수 있도록 설치한 차로를 말하며 저속 교통류 양보형 차로의 한 종류로 구분됨.
- 분류부 : 분류 연결로가 고속도로 본선에 접속된 구간.
- 분석기간(analysis period) : 교통시설의 용량을 분석하는 단위시간. 만약 이 기간 동안 교통수요가 용량을 초과하면, 이 용량초과로 인한 초기 대기행렬을 고려하기 위해 분석기간을 연장한다.
- 비엇갈림 교통류 : 엇갈림 구간에서 다른 교통류와 엇갈리지 않아도 원하는 방향으로 진행할 수 있는 교통류를 말하며, 이 교통량을 비엇갈림 교통량(V_{nw})이라 함.
- 비엇갈림 속도(S_{nw} , kph) : 엇갈림 구간에서 비엇갈림 교통류의 공간 평균 속도
- 상충 면적(Conflict area) : 교차로에서 교통류가 교차 또는 합류(상충)하는 부분의

면적

- 상충 지점(Conflict point) : 교차로에서 교통류가 교차 또는 합류(상충)하는 지점
- 서비스 교통량 : 해당 서비스수준이 유지될 수 있는 수준에서 해당 도로를 통과할 수 있는 첨두시간 환산 교통량. 이상 조건의 최대 서비스 교통량에서 차로폭 및 측방여유폭과 중차량을 고려하여 산정한다. 일반적으로 용량을 증대한다는 말은 서비스교통량을 증대시킨다는 의미로 사용되기도 한다.
- 서비스수준(level of service) : 교통류의 질적 수준 즉, 교통류의 운영상태를 나타내는 것으로서, 운전자나 승객이 느끼는 정성적인 평가기준이다. 교통시설의 종류에 따라 평가기준이 다르나, 신호교차로에서는 차량당 제어지체를 평가기준으로 삼는다.
- 설계분석(design analysis) : 교통량, 교차로 구조, 신호시간 및 요구 서비스 수준 등 4가지 요소 중에서 다른 3가지를 안다고 할 때 나머지 한 요소 즉, 교통량, 교차로 구조, 또는 신호시간을 구하는 분석이다.
- 설계시간계수(K) : 연평균 일교통량(AADT)에 대한 설계시간 교통량(DHV) 비.
- 소거손실시간(clearance lost time) : 황색신호 중에서 실제로 차량이 이용하는 진행연장시간(end lag)을 뺀 시간이다.
- 속도 : 단위 시간에 대한 거리 변화율(kph)
 - 설계속도 : 차량의 주행에 영향을 미치는 도로의 기하구조를 일정하게 설계하기 위하여 결정하는 속도로서, 도로 설계 요소의 기능이 충분히 발휘될 수 있는 조건에서 보통의 운전 기술을 가진 운전자가 도로의 어느 구간에서도 쾌적성을 잃지 않고 안전하게 주행할 수 있는 속도.
 - 자유 속도 : 교통량이 거의 없는 상태에서, 다른 차량의 영향을 받지 않고, 차량이 자유스럽게 주행할 수 있는 속도.
 - 주행 속도(running speed) : 도로의 일정 구간을 차량이 주행할 때, 구간의 길이를 주행한 시간으로 나눈 값.
 - 통행 속도(travel speed) : 도로의 일정 구간을 주행할 때, 구간 길이를 통행 시간으로 나눈 값.
- 순행속도(cruising speed) : 어느 특정 도로구간에서 교통통제설비가 없거나 없다고 가정할 때 주어진 교통조건과 도로의 기하조건 및 도로변의 조건에 의해 영향을 받는 속도. 도시부 도로에서는 상류부 교차로 정지선에서부터 분석 교차로의 정지

- 까지의 구간에서 신호에 의한 가속, 감속, 정지 등의 영향을 받지 않는 구간의 속도
- 승용차 환산계수(PCE) : 중차량 한 대와 대체될 수 있는 승용차 대수.
 - 시간-주행 시간(running time) : 차량이 특정 도로 구간을 지나는데 걸린 시간으로, 정체 시간과 휴식 시간 등은 제외됨.
 - 통행 시간(travel time) : 차량이 특정 도로 구간을 통과하는데 걸린 시간. 정체 시간과 휴식 시간을 포함함.
 - 양방 보호좌회전 신호(dual left turn protected) : 서로 마주 보는 접근로의 좌회전이 동일 현시에 진행되는 신호
 - 양보통제(Yield control) : 주방향의 교통에 우선권을 주는 통제방식으로 주도로와 부도로가 만나는 교차로 또는 합류부에 설치되어 운영됨
 - 엇갈림 교통류 : 엇갈림 구간에서 원하는 방향으로 진행하기 위해 다른 교통류와 엇갈려야 하는 교통류를 말하며, 이 교통량을 엇갈림 교통량(V_w)이라 함.
 - 엇갈림 속도(S_w , kph) : 엇갈림 구간에서 엇갈림 교통류의 공간 평균 속도.
 - 엇갈림 형태 : 엇갈림을 하는 차량이 차로를 변경해야 하는 최소 횡수와 출입 지점의 위치에 따라 생기는 여러 가지 형태를 말함.
 - 본선-연결로 엇갈림 형태(ramp weave) : 본선 편측에 유입 연결로 바로 다음에 유출 연결로가 설치되어 있고 이 두 접속부가 연속된 보조차로로 연결되어 있는 형태로, 각 엇갈림 차량들은 원하는 방향으로 주행하기 위해서는 반드시 한 번의 차로 변경을 해야 함.
 - 연결로-연결로 엇갈림 형태(frontage weave) : 본선-연결로 엇갈림을 본선이 아닌 본선에 연접 설치되어 집산도로 기능을 하는 측도에서 일어나게 한 형태로서, 본선에서 연결로로 진출하는 교통류와, 연결로에서 본선으로 진입하는 교통류가 엇갈리기 때문에, 이 엇갈림 구간내의 모든 차량은 한 번의 차로 변경을 반드시 해야 함.
 - 엇갈림(weaving) : 교통통제 시설의 도움 없이 상당히 긴 도로를 따라가면서 동일 방향의 두 교통류가 엇갈리면서 차로를 변경하는 교통 현상
 - 엇갈림 구간 : 엇갈림 현상이 발생하는 구간으로, 합류 구간 바로 다음에 분류 구간이 있을 때 또는 유입 연결로 바로 다음에 유출 연결로가 있을 때, 이 두 지점이 연속된 보조차로로 연결되어 있어 교통류의 엇갈림이 발생하는 구간
 - 엇갈림 구간 길이 : 엇갈림 구간 진입로와 본선이 만나는 지점에서 진출로 시작 부분까지의 거리, 즉 물리적인 교어부 사이의 거리로 한다.

- 연결로-가로 접속부 : 가로에 연결로가 접속되는 구간.
- 연동 : 신호시스템의 계획속도에 따라 차량군을 진행시킬 때 인접신호등에서도 정지하지 않고 계속적인 진행이 가능하도록 한 것
- 연동계수(progression factor) : 신호연동이 교통류에 미치는 효과를 나타내는 계수로서, 균일지체에만 적용한다.
- 영향권 : 기하구조 상, 주행차로의 교통류가 영향을 받는 구간을 의미한다. 예를 들어 교차로나 고속도로 합류부 및 분류부는 서로 다른 방향에서 접근하거나 분류하는 교통류간 영향을 받게 되는데 이 구간을 영향권이라 한다.
- 용량 : 도로의 한 지점 또는 일정 구간을 일정 시간에 통과할 수 있는 최대 차량수.
- 운영분석(operational analysis) : 교통량, 신호시간 및 교차로의 기하구조가 주어지고 지체 및 서비스 수준을 구하는 분석으로서 신호교차로 분석에서 가장 기본이 되는 분석이다.
- 유출입 지점 : 우회전으로만 본선에 출입할 수 있는 수준의 유출입로와 신호등이 설치되지 않은 교통량이 적은(50대/일) 좌회전 접근로를 포함함.
- 유효녹색시간(effective green time) : 어느 교통류가 진행하는 시간으로서, 주기에 서 적색시간과 출발지연시간을 빼고 진행연장시간을 더한 시간이다.
- 이동류(movement) : 직진, 좌회전, 우회전 등 방향별 교통류
- 이상적인 조건 : 도로 조건과 교통 조건이 개선되더라도 더 이상 용량이 증가되지 않는 조건. 고속도로의 경우, 평지 구간, 차로폭 3.5m 이상, 측방여유폭 1.5m 이상인 도로에서 교통류가 승용차만으로 구성되어 있을 때를 말한다.
- 임계 차로군(critical lane group) : 주어진 신호현시 동안 가장 큰 교통량비(v/s) 값을 갖는 차로군
- 임계 v/c 비(critical v/c ratio) : 교차로 용량 중에서 임계 차로군의 교통량이 차지하는 비율
- 임계간격(Critical Gap) : 임계간격은 상충교통류의 차량횡단에 필요한 수락간격을 의미한다.
- 전용 회전 차로(exclusive turn lane) : 좌회전 또는 우회전 만 이용하는 차로
- 접속 차로 : 합류 및 분류 연결로가 접속되는 고속도로 본선의 차로
- 정지 표지 제어(Stop control) : 정지표지로 교통류를 제어하는 것을 의미함

- 제어지체(control delay) : 신호제어로 인해 차로군이 속도를 줄이거나 정지함에 따른 지체로서, 감속이나 정지함이 없을 때의 통행시간과 비교한 통행시간 증가분이다. 이것은 균일지체(uniform delay), 증분지체(incremental, overflow, random delay) 및 추가지체 (initial queue delay)로 구성된다.
- 주기 과포화(cycle failure) : 한 주기 동안 도착한 교통량이 가장 가까운 녹색시간 동안에 정지선을 다 벗어나지 못할 경우를 말한다. 이 때의 주기를 과포화 주기라 한다.
- 중방향 : 도로의 양방향 중에서 교통량이 많은 방향.
 - 중방향 계수(D) : 양방향 교통량에 대한 중방향 교통량의 비
 - 중방향 설계시간 교통량(directional design hourly volume, DDHV) : 교통량의 방향별 분포 차이를 고려한 설계시간 교통량. 설계시간 계수(K)에 중방향 계수(D)를 곱하여 산출.
- 중차량 : 승용차보다 주행 성능이 떨어지는 차량으로서, 트럭과 버스를 지칭함. 중형 차량과 대형 차량으로 구성됨.
- 중차량 혼입률(중차량 구성비) : 교통류를 구성하는 차량 중 중차량의 비율
- 증분지체(incremental delay) : 비균일 도착에 의한 임의지체(random delay)와, 분석기간내에서 몇몇 과포화주기(cycle failure)에 의한 과포화지체(overflow delay)를 포함한 지체
- 지체시간백분율(Percent Time Spent Following, PTSF)
- 직좌 동시신호(directional separation) : 한 접근로의 직진과 좌회전이 동시에 진행하는 신호이다. 따라서 반대편의 접근로도 이 신호방식으로 운영되어야 한다.
- 직진 환산계수(through-car equivalent) : 좌회전 또는 우회전 교통류의 포화차두시간을 직진의 포화차두시간으로 나눈 값
- 진행연장시간(end lag) : 황색신호가 켜지면 교차로 안이나 가까이에서 진행하던 차량은 정지선에 급정거 할 수 없으므로 황색신호의 일부분을 녹색신호처럼 불가피하게 이용하는 시간. 우리 나라에서는 이 값으로 2.0초를 사용한다.
- 차간거리(Gap spacing) : 연속적인 두 차량에서 앞 차량의 뒷부분부터 뒤 차량의 앞부분까지의 거리를 거리단위(m)로 나타낸 것
- 차간시간(Gap) : 두 인접한 차량 사이를 시간으로 표시한 것으로 정확히 앞 차량의 뒷부분부터 뒤 차량의 앞부분까지의 시간간격을 말함

- 차두시간(headway) : 교통류 내에서 연속된 두 차량간의 시간간격으로서, 두 차량의 앞 범퍼 또는 두 차량의 뒷범퍼를 기준으로 잰 시간이다.
- 차로군(lane group) : 신호교차로의 접근로에서 용량과 서비스수준 분석을 하는데 개별 단위가 되는 차로들의 묶음
- 차로이용율(lane utilization) : 어떤 이동류가 2개 이상의 차로를 이용할 때 차로간의 교통량 분포. 그러나 교통수요가 용량에 도달할수록 차로간의 교통량 차이는 줄어든다.
- 첨두시간계수(peak hour factor, PHF) : 하루 중 가장 교통량이 많은 1시간 동안의 교통량을, 그 시간대에서 가장 차량 통행이 많은 15분 동안의 1시간 환산 교통량으로 나눈 값.
- 초기 대기행렬(initial queue) : 분석기간이 시작되기 전에 다 해소되지 못하고 남아 있는 차량들로서, 분석기간에 도착한 차량에게 추가적인 지체를 준다.
- 총지체율 : 일정구간을 주행하는 차량군 내에서 차량이 평균적으로 지체하는 비율
- 추가지체(initial queue delay) : 분석기간 시작 전에 대기차량이 남아 있으면, 이 대기차량이 방출되는 동안 분석기간에 도착한 차량이 감당해야 할 추가적인 지체.
- 추월가능구간 : 2차로도로에서 중앙선을 점선으로 처리하여 대향방향으로 추월이 가능하게 한 구간
- 추월공급 : 도로가 기본적으로 운전자에게 추월할 수 있는 기회를 제공하는 회수 및 확률을 의미한다.
- 추월금지구간 : 2차로도로에서 중앙선을 실선으로 처리하여 대향방향으로 추월을 하지 못하도록 한 구간
- 추월수요 : 2차로도로에서 교통량 조건별로 운전자들이 추월하고자 하는 수요를 의미한다.
- 추종 거리(following distance) : 연속하여 주행하고 있는 앞차의 후단에서 뒤차의 전단까지의 거리
- 추종시간(follow-up time) : 간격수락을 위해 대기행렬 상태에 있던 차량이 긴 차량간격을 만나 두 대 이상의 차량이 연속해서 간격수락을 할 때의 최소 차두시간.
- 축구간(Corridor) : 교차로 2개 이상의 구간을 통칭한다.
- 출발지연시간(start-up delay) : 녹색신호가 켜지면 정지선 가까이에 있는 처음 5~6대의 차량은 포화차두시간보다 조금 더 긴 차두시간으로 정지선을 벗어나게 된다.

이 처음 몇 대 차량이 추가로 소비하는 증분시간의 합을 말하며, 우리 나라에서는 2.3초로 사용한다.

- 측면마찰 : 주차, 노변활동, 장애물 등 차도를 이용하는 통행에 방해를 줄 수 있는 요소
- 측방여유 : 갓길 차로의 우측 차로 선 또는 중앙분리대측 차로의 좌측 차로 선에서 장애물까지의 거리.
- 통과교통 : 어느 교통지구(zone) 혹은 도로에 기/종점의 어느 한쪽도 가지지 않은 교통. 즉, 해당구간의 도로를 통과만 하는 교통. 교차로 접근부에서는 직진교통을 의미하기도 함
- 평균통행속도(kph) : 주어진 도로 및 교통 조건에서 차량들이 내는 통행속도의 평균
 - 이상적인 조건의 최대 평균통행속도(BSP) : 신호등의 영향을 받지 않는 평지, 직선 구간 다차로도로에서 교통량이 500vphpl 이하일 때 승용차가 낼 수 있는 최대 통행속도의 평균. 다차로도로 유형에 따라 92kph(유형 I), 87kph(유형 II, III)로 정함.
 - 주어진 도로 조건에서의 최대 평균통행속도(SP1) : 도로 조건이 주어졌을 때 교통량이 500vphpl 이하인 수준에서 승용차가 낼 수 있는 최대 통행속도의 평균. 도로 조건에는 차로폭 및 측방여유평, 평면 및 종단 선형, 유출입 지점수 등이 포함되어 있음.
 - 평균통행속도 : SP1에서 신호등과 교통량을 고려한 차종별 평균통행속도(SP2, ST2)를 차종 구성비에 따라 평균한 것.
- 평면선형 굴곡도(B, bendiness) : 평면 곡선이 굽어진 정도를 단위 구간 길이당 평면 곡선부 교각의 합으로 표현한 척도. 단위 길이는 3km 이상으로 함.
- 포화교통류율(saturation flow rate) : 실제조건하의 신호교차로에서 정지해 있던 차량이 정지선을 통과 할 수 있는 최대 교통량으로서, 녹색신호가 계속 될 때 손실 시간이 없는 1시간 동안의 교통류율로 나타낸다. 단위는 한 차로당 녹색신호 한 시간당 승용차 대수(passenger cars per hour of green per lane : pcphgpl) 이다.
- 포화도(degree of saturation) : 교통류율 대 용량의 비 v/c 를 말하며, 신호교차로에서는 이 값을 X로 나타내기도 한다.
- 포화차두시간(saturation headway) : 포화교통류율 때의 차두시간. 정지선에서 대

기하던 차량들이 녹색신호에서 정지선을 벗어날 때, 대기행렬 중의 6번째 차량부터 대기행렬의 마지막 차량의 평균차두시간.

- o 하류부 : 도로를 따라 주행하고 있는 교통흐름이 어느 특정지점을 통과한 후의 부분
- o 합류부 : 합류 연결로가 고속도로 본선에 접속된 구간.
- o 효과척도(measure of effectiveness : MOE) : 차량 통행 상태의 질을 나타내는 기준(예를 들면, 운행 속도, 지체, 밀도, 교통량 대 용량 비 등), 이 척도는 교통시설의 서비스 수준을 정의하기 위한 것으로서 명확하고 계량적이어야 하며, 현장 측정이 가능하고, 도로 및 교통조건의 변화에 민감해야 한다.
- o 효율적 도로운용 : 효율적 도로운용이라 함은, 기존 도로시설 여건에서 나타나는 다양한 교통관련 효과척도 값보다 좀 더 개선된 상태를 의미한다. 예를 들어, 통행 속도 향상, 통과교통량 증대, 지체 감소 등이 해당된다.
- o Unconventional vs. Conventional : 우리말로 하면, 기존의 평면교차로 형태는 Conventional에 해당되고, 최근의 새로운 형태가 Unconventional에 해당된다. 본 고에서는 Conventional Intersection은 기존 교차로로, Unconventional Intersection은 새로운 교차로로 칭하였다. 본 보고서에서 언급하는 Superstreet, Bow-tie, CTO(Center Turn Overpass), SPUI(Single Point Urban Intersection) 등은 모두 새로운 교차로 형태의 사례이다.

제 7 장 참고 문헌

1. 개발제한구역 지정 및 관리에 관한 특별조치법, 2008.3
2. 건설교통부 (2000). 한국 확률강우량도 작성.
3. 건설교통부 (2001). 도로설계편람(배수편).
4. 건설교통부 (2003). 도로 배수시설 설계 및 유지관리 지침.
5. 건설교통부 (2006). 국도건설공사 설계실무요령.
6. 건설교통부(2008). 2008년 상반기 건설공사 실적공사비 적용 공종 및 단가.
7. 건설교통부, 1999, 도로설계편람.
8. 건설교통부, 2000, 도로의 구조 및 시설 기준에 관한 규칙 해설 및 지침.
9. 건설교통부, 2001, 도로용량편람.
10. 건설교통부, 2004, 평면교차로 설계지침.
11. 건설교통부, 2005, 도로설계기준.
12. 건설교통부, 2005, 입체교차로 설계 지침.
13. 건설교통부, 도로안전시설 설치 및 관리지침 과속방지시설 편, 2003.
14. 건설교통부, 도로안전시설 설치편람, 1989.
15. 건설교통부, 도로의 구조?시설 기준에 관한 규칙 해설 및 지침, 2000.
16. 건설교통부, 도로의 구조?시설 기준에 관한 규칙 해설 및 지침, 2000.
17. 건설교통부. 시설안전기술공단(2002). 도로교의 공용수명연장방안.과학기술부 (2007). 엔지니어링 사업 대가의 기준, 과학기술부공고 제 2007- 211호.
18. 건설교통부/시설안전기술공단(2000).도로교의 공용수명 연장방안 연구, 시설안전 기술공단 연구보고서BR-2000-R1-37.
19. 건설교통부/시설안전기술공단(2002). 교량의 LCC분석모델 개발 및 DB구축방안 연구.
20. 건설교통부/한국건설기술연구원(1999). 98 교량관리체계(BMS) 개선에 관한 연구 최종 보고서.
21. 건설기술관리법, 2007.5
22. 건설부, 1989, 도로안전시설 설치편람.
23. 경찰청, 1996, 교통안전시설 실무편람, 도로교통안전협회.

24. 경찰청, 교통노면표시 설치?관리 매뉴얼, 2005.
25. 경찰청, 통계자료실(www.police.go.kr), 2008.
26. 과학재단 연구보고서. 조효남, 임종권, 심성택(2001). 기대생애주기비용의 최소화
에 의한 교량의 최적내진신뢰성,
27. 구본학, “논둑에 형성된 자연 늪의 유형 및 기능 평가”, 한국환경복원녹화기술학
회지 제 6권 제 1호, 2003
28. 구본학, “RAM(일반기능평가기법)을 이용한 내륙 습지 기능 평가”, 한국환경복원
녹화기술학회지 제 4권 제 3호, 2001
29. 국토기본법, 2006.12
30. 국토연구원(2001). 민간투자사업의 운영관리비산정에 관한 연구.박경호(2004). 건
설 VE를 위한 터널의 LCC분석 시스템 개발, 조선대학교 학위논문.
31. 국토의 계획 및 이용에 관한 법률, 2007.4
32. 권오철, 원제무, 김상구(1999), 오르막차로 종점부 설계기준에 관한 연구, 대한교
통학회지, 제17권 제1호
33. 급경사지 재해예방에 관한 법률, 2008.3
34. 김갑수, 김정수 (2000). 과속방지턱과 차량통과속도의 관계에 관한 연구, 공업기
술연구소 논문집, 28(1), 173-181.
35. 김정민, “도시생태계 보전?복원을 위한 생태자연도 작성기법 개발”, 서울대학교
석사학위 논문, 2000
36. 김경환, 김영, 우회전 보정계수 산정기법, 대한교통학회지 제19권 제4호
pp.73~84., 2001.
37. 김귀곤, “자연환경·생태복원학 원론”, 아카데미서적, 2004
38. 김남춘, (2001), 한국의 생태복원녹화기술의 적용사례와 향후과제
39. 김대하, 교차부 용량증대를 위한 기하구조 개선에 관한 연구, 홍익대학교 박사학
위 논문, 2005.
40. 김동녕, 김경환, 차로폭에 따른 우회전 공용차로의 통과교통량 분석, 대한교통학
회지 제21권 제2호, pp17~31., 2003.
41. 김동녕, 신진철, 우회전 공용차로 운영 교차로의 횡단보도 적정 위치 선정, 대한
토목학회논문집 제24권 제2D호, pp.175~186., 2004.
42. 김두산(2007), 2차로 도로의 양보차로 설계기준 수립을 위한 연구, 전남대 대학원

43. 김상운, 오홍운(2006), 오르막차로 시?종점 위치의 보정에 관한 연구, 대한교통학회지, 제 24권 제5호
44. 김선미, 이인성, (2007), 토지개발사업의 표토보존에 있어서의 과제, 한국조경학회, 35(2), 91-96
45. 김성관(2004), 지방부 2차로 도로 곡선부 진입전 직선구간의 안전성에 관한 연구, 명지대 대학원
46. 김성용, (2001) 환경친화적 철도설계기법 연구, 한국철도기술연구원
47. 김영수, 손원일, 교차로 영향권의 정량적 범위 제안과 교차부 분석에 관한 연구, 대한토목학회논문집 제22권 제1-D호, pp.23~35., 2002.
48. 김옥수, "도로건설이 생태계에 미치는 영향예측에 관한 연구", 서울대학교 석사학위논문, 2003
49. 김용석, 조원범, 노관섭(2003), 지방부 2차로도로의 선형 안전성 평가방안, 대한토목학회 학술발표회
50. 김용석, 조원범, 노관섭, 지방부 2차로 도로의 선형 안전성 평가방안, 2003년도 대한토목학회 정기학술대회 논문집, 2003.
51. 김은영, "경관 생태학에 기초한 보전가치평가", 서울대학교 석사학위 논문, 2006
52. 김정래, 김기혁(2002), Bay길이에 따른 좌회전 용량산정에 관한 연구, 대한교통학회지 제20권 제3호, pp.31~39., 2002.
53. 김종표, 장명순(1998), 합류특성에 의한 오르막차로 설계속도 기준 연구, 대한교통학회지, 제16권 제2호
54. 김주영, 김현진, 이정운 (2008). 감속유도를 위한 저예산 전략(감속유도 노면표지의 도입에 관한 고찰). 한국도로교통협회 기술기사, 통권 제113호, 76-85.
55. 김진태, 비보호 좌회전 지체도 추정모형의 개선, 대한교통학회지 제21권 제2호, pp.107~118., 2003.
56. 김태현, 적색신호시 우회전 교통량(RTOR) 추정 모형 개발에 관한 연구, 명지대학교 석사학위 논문, 2000.
57. 남영우, 최민섭, (2007), 국민임대주택 주거만족도의 영향요인에 대한 연구, 부동산학연구 제13집, 제3호, pp. 89-103
58. 노기남, 윤효진 (2000). 주거지역에 있어서의 과속방지턱의 종류 및 설치효과 비교분석. 대한건축학회 학술발표논문집, 20(1), 399-402.

59. 노백호, “경관생태학에 의한 야생동식물 서식공간 설정방안 연구”, 한국 환경 정책.평가 연구원, 2004
60. 노태호, 정홍락, (2004) 생태자연도 활용에 있어 식생보전등급 적용방안연구, 환경부
61. 농림부 농업토양정보시스템 <http://asis.rda.go.kr/>
62. 농촌지역 소하천의 유지유량 확보 및 관리 방안연구, 2005, 농업기반공사
63. 대한토목학회논문집 제21권 , 제2-A호 , pp.295-306.중앙대학교 건설산업기술연구소(2001). LCC기법을 이용한 교량형태별 경제성분석 및 경제성수명 예측에 관한연구.
64. 도로교통안전관리공단, 2005, 양방향 2차로 도로의 교통운영 및 안전성 개선연구 (I).
65. 도로교통안전관리공단, 2006, 양방향 2차로 도로의 교통운영 및 안전성 개선연구 (II).
66. 도로교통안전협회, 좌회전 교통류 관리방안에 관한 연구, 1997.
67. 도로법, 2007.1
68. 도명식, 김성현, 문학룡, 김명수, 국도구간의 동질성 결정을 위한 방법에 관한 연구, 대한토목학회논문집 제24권 제4D호, pp.523~533., 2004.
69. 도철웅, 신호교차로의 우회전 보정계수에 관한 이론적 연구, 대한토목학회논문집 제17권 제Ⅲ-D호, pp.315~321., 1997.
70. 독도 등 도서지역의 생태계 보전에 관한 특별법, 2007.5
71. 로드텍, 소프트텍데이터시스템 (<http://www.softtac.co.kr>).
72. 류택희 (2002). “우수반이 차집능력에 관한 실험적 연구.” 석사학위논문, 경기대학교.
73. 문화재보호법, 2008.3
74. 박사학위논문 한양대학교 대학원.이영규(2001). Life Cycle 비교에 의한 터널조명 대한분석 연구, IE Interfaces 14(2), pp. 205-209
75. 박준홍, 기동원, 오향균(2006) 지속가능한 국토개발사업 계획을 위한 토양생태질 등급화에 대한 방법적 고찰. 주택도시 논문집, 89호, pp. 1-13.
76. 박창수, 연속교차로의 설계 및 평가에 관한 연구, 대한교통학회지 제17권 제5호, pp.79~86., 1999.

77. 박태권(2004), 도로 공학
78. 박태권(2005), 친환경 도로건설
79. 박태권(2008), 북유럽*덴마크, 아이슬란드, 노르웨이) Green Road 출장 보고서
80. 박태권(2008), 도로설계 자동화 프로그램 기술협의(Quantm, 호주) 보고서
81. 방상원 외, "멸종위기야생 동·식물종의 선정 평가기법 연구", 한국환경정책평가연구원, 2005
82. 백두대간보호에 관한 법률, 2008.2
83. 사전환경성검토 업무 메뉴얼, 2007.1
84. 산림자원의 조성 및 관리에 관한 법률 2008.2
85. 산지관리법, 2008.3
86. 서울특별시 건설안전관리본부(2002). 시설물 유지보수 설계지침.
87. 서울특별시(2002). 도로시설물 안전관리 백서.시설안전기술공단(2001). LCC개념을 도입한 시설안전관리체계 선진화방안 연구,
88. 소하천정비법, 2008.3
89. 손영태, 이진각, 운전자 시야를 고려한 사각교차로의 시거 산정방법 계산, 대한토목학회논문집 제21권 제4D호, pp.415~425., 2001.
90. 송우준, "생태계 보전가치와 개발 잠재성을 종합한 생태계 평가모형 개발", 서울대학교 석사학위논문, 2006
91. 수도법, 2008.3
92. 수질 및 수생태계보전에 관한 법률, 2008.3
93. 습지보전법, 2008.3
94. 시설안전기술공단 연구보고서 TS-2001-R3-001.안장원(2001). Life cycle cost 技法을 利用한 橋梁의 經濟性 分析 : PSCI, STB, PSCB 교량을 중심으로 한 사례연구
95. 신언교, 홍성표, 김동녕, 차로 공동이용화를 위한 신호최적화모형 개발연구, 대한교통학회제 제19권 제3호, pp.75~88., 2001.
96. 심관보, 최재성(2006), 2차로 도로 효율성 제고를 위한 횡단면 설계방안, 한국도로학회논문집, 제8권 제2호, pp75~85
97. 안태현, 도시부 평면교차로 우회전차로 설계기준에 관한 연구, 서울시립대학교 석사학위 논문, 2004.

98. 안형기, 오영태, 신호교차로에서 좌회전·유턴 공용차로 보정계수 산정, 대한교통학회지 제18권 제5호, 2000.
99. 야생동식물보호법 2008.2
100. 에이컬버트, 한길아이티(<http://www.road.co.kr>).
101. 오영태, 김기형, 신호교차로에서 곡선반경에 따른 좌회전의 직진환산계수 산정, 대한교통학회지 제19권 제2호, 2001.
102. 유현석, "보전관리지역 등의 지정기준 및 협의방안에 관한 연구", 한국환경정책?평가연구원, 2002
103. 유환필, 김영찬, 신언교, 김창균, 다이아몬드 IC의 평면교차로 설계기법 개발 연구, 대한토목학회논문집, 제23권 제6D호, pp.813~819, 2003.
104. 이관규, (2001), 환경평가를 위한 지표의 가중치 산정방법 결정모형, 환경평가, 10(1), 59-71
105. 이기영, 이용택, 확률회귀모형을 이용한 고속도로의 사고요인 분석, 도로교통 제 94호, 한국도로교통협회, 2004.
106. 이기철, "GIS/RS를 이용한 생태지도 작성기법에 관한 기초연구", 한국지리정보학회지 7권 3호, p.p 57~69, 2004
107. 이동민, 최재성(2000), 2차로도로의 새로운 서비스수준분석 척도의 개발, 대한교통학회지, pp101~112
108. 이동민, 박준석, 성낙문, 권영인, 2+1차로의 국내 도입 타당성에 관한 연구, 대한교통학회 58회 학술발표회, 도로교통안전관리공단, PP.967~9., 2008.
109. 이동훈, 보호/비보호 좌회전(PPLT) 설치 기준에 관한 연구 -교통량을 중심으로-, 명지대학교 석사학위논문, 2003.
110. 이상국 (2002). "노면 배수 집수정의 유입효율 분석." 석사학위논문, 연세대학교.
111. 이상은, "친환경 도로노선 설계기술 개발(1차년도 중간보고서)", 아주대학교, 2006
112. 이상은, "친환경 도로노선 설계기술 개발(2차년도 중간보고서)", 아주대학교, 2007
113. 이석(2002), 지방부 2차로 안전성 평가에 관한 연구, 전남대 대학원
114. 이선희, 한국의 환경친화적 도로건설 동향과 과제, 환경친화적인 도로건설 국제 세미나 「도로와 환경의 공존Ⅱ」 자료집, 2006

115. 이승준, 최재성(1999), 양방향 2차로도로의 지체시간 산정을 이용한 승용차환산 계수 결정이론, 대한교통학회지, pp149~162
116. 이의은, 김동재, 강호익, 이정환, 좌회전 가변차로 시스템 개발, 대한토목학회논문집 제23권 제6D호, pp.753~761., 2003.
117. 이의은, 이재용, 도시간선도로에서의 인터체인지 성능 비교 연구, 대한교통학회지 제24권 제3호, pp51~61, 2006.
118. 이점호, 이동민, 최재성(2000), 평면곡선부의 속도 및 교통사고 영향분석연구, 대한교통학회지, 제18권 제1호
119. 이점호, 홍다희, 이수범, 고속도로 교통운영 특성 및 도로선형요소를 반영한 주행속도 예측모형 개발, 2006.
120. 이종태, 김영란, 김갑수, 윤세의, 박영민 (2003). “도로 노면의 형상과 강우의 임계 지속시간을 고려한 적정 우수 유출량 산정 및 영향분석.” 상하수도학회지, 제17권, 제2호, pp. 291-298.
121. 이종필, 김성호(2002), 주행속도 예측을 위한 모형 개발(2차로 지방부 도로 중심으로), 대한교통학회지, 제20권 제1호
122. 임동환 (2003). “빗물받이 차집능력 분석을 위한 수리모형실험.” 석사학위논문, 경기대학교.
123. 임채문, 김정민, 박영환, 이주호(2001), GPS를 이용한 2차로 고속도로에서의 추월시거 산정방법에 관한 연구, 대구대 과학기술 연구소 과학기술연구, 제8집 제2호
124. 임채문, 이주호, 김대식, 신승우(2003), 양방향 2차로 도로의 기하구조에 따른 서비스수준 분석에 관한 연구, 대구대 산업기술 연구소, 제13집 제3호, pp103~129
125. 자연공원법, 2008.3
126. 자연환경보전법, 2008.3
127. 전성우 (2001a) 기초 생태자연도 작성에 관한 연구. 한국환경정책평가연구원.
128. 전성우 (2001b) 토지의 환경성 평가기준에 관한 연구. 한국환경정책평가연구원.
129. 정지승, 김익현, 김문석(2002). 유지관리 자료를 이용한 국도 시설물의 생애주기 비용분석,
130. 정홍락, “경관생태학적 환경영향 평가기법에 관한 연구”, 환경정책평가연구원, 2003

131. 조근태, (2003), 계층분석적 의사결정, 동현출판사
132. 조승국, (2005), 서울시의 쾌적성(Amenity) 평가체계 구축방안, 서울시정개발연구원
133. 중앙대학교 학위논문. 임중권(1999). 구조수명간 최소기대비용에 기초한 교량의 최적내진안전수준의 결정을 위한 신뢰성해석기법,
134. 지하수법, 2008.3
135. 최기주, 오영태, 김정현, 최윤희, 다차로 도로의 소통능력 제고방안 개발 및 평가, 대한토목학회논문집 제23권 제4D호, pp.505~514., 2003.
136. 최병국(1998), KHCM에 이용된 양방향 2차선 도로 및 고속도로의 승용차 환산계수 산정방법론 연구, 대한교통학회지, 제16권 제4호
137. 최수근, "GIS를 이용한 환경친화적 최적도로 노선선정기법", 2006
138. 최유경, "도로노선 선정을 위한 GIS기반 환경성 평가기법에 관한 연구", 2007
139. 최준서, 신호교차로에서의 우회전 차량의 도착분포 연구, 연세대학교 석사학위논문, 2007.
140. 토양환경보전법, 2007.5
141. 토지적성평가지침, 2005
142. 평화엔지니어링, 도로설계 검사 시스템 개발(설계검사 및 안전도 평가모듈개발), 2000.
143. 하천법, 2008.3
144. 한국감정원(1999). 유형고정자산 내용년수표.
145. 한국개발연구원(2004). 도로·철도 부문사업의 예비타당성 조사 표준지침 수정·보완연구(제4판).
146. 한국건설기술연구원 등, 2001, 도로용량편람개선연구 제3단계 최종보고서.
147. 한국건설기술연구원, 환경친화적인 도로건설기준 개선방안 연구 시범사업구간 선정 자문회의 자료, 2007
148. 한국건설기술연구원, RoSAS(1차년도) 연구보고서, 도로 선형 및 노면 안전성 분석 모형 개발, 2003.
149. 한국건설기술연구원(2009), 도로전문가가 바라본 미래의 도로
150. 한국구조물진단학회 2002 봄학술대회 논문집, pp. 323-328.조효남(1989). 체계신뢰성 방법에 기초한 도로교 설계기준 개발 및 시설교량의 신뢰성 평가,

151. 한국도로공사 (2002). 도로설계요령(토공 및 배수).
152. 한국도로공사(1999). 고속도로 타당성 조사 및 기본 설계 실무 지침서.
153. 한국도로공사(2001). 고속도로 터널 유지관리매뉴얼.
154. 한국도로공사(2002a). 고속도로 교량의 구성요소별 생애주기비용(LCC) 분석 연구.
155. 한국도로공사(2002b). 유지보수 공종별 단가집.
156. 한국도로공사(2003a). 고속도로 교량의 구성요소별 생애주기비용(LCC) 분석 연구.
157. 한국도로공사(2003b). 교량부 유지관리비용은 고속도로 교량의 생애주기비용(LCC) 분석 지침(안).
158. 한국도로공사(2007a). 업무통계.한국도로공사(2007b). 유지보수 공종별 단가집.
159. 한국시설안전기술공단(2006). 지하도로시설물(터널 ,지하차도)의 LCC 예측모델 및 시스템 개발.
160. 환경부 자연환경현황도 <http://egis.me.go.kr/egis/>
161. 환경정책기본법, 2007.5
162. 황경수, 최재성(1998), 양방향 2차로 추월금지구간에서의 지체시간 산정모형 개발, 대한교통학회지, 제16권 제1호
163. AASHTO (1999). "Highway drainage guidelines. American Association of State Highway and Transportation Officials." Washington, D.C., USA.
164. AASHTO (2005). "2005 Model drainage manual: SI Edition. American Association of State Highway and Transportation Officials." Washington, D.C., USA.
165. AASHTO, A Policy on Geometric Design of Highways and Streets (4th Ed.), 2001.
166. Access Management Manual, TRB, 2003.
167. Ang, A. H-S. & De Leon, D.(1997). Determination of optimal target reliabilities for design and upgrading of structures, Structural Safety 19(1), pp. 91-103.
168. Arnold. E. D., Lantz. K. E. (2007). Evaluation of Best Practices in Traffic Operation and Safety: Phase 1: Flasing LED Stop Sign and Optical Speed

- bars. Report Number FHWA/VTRC 07_R34. Virginia Transportation Research Council.
169. Arthur H. and Darcy B., Implementation of a Distributed Control System for Dynamic Lane Assignment, IEEE, 1996.
 170. ASCE , Portland, Oregon.Zimmerman. K. A.(1997). Guidelines for using economic factors and maintenance costs in life-cycle cost analysis, Technical Report No. SD96-08-F(NTIS PB98-110638) Applied Pavement Technology, Inc.
 171. ASCE.Hawk, H(2002). Bridge life cycle cost analysis – final report, NCHRP Project pp. 12-43,
 172. ASSHTO (2004), "A Policy on Geometric Design of Highways and Streets – 5th edition, American Association of State Highway and Transportation Officials", Washington D.C., USA.
 173. Atlas, R. M. and Bartha, R. (1997) Microbial Ecology: Fundamentals and Applications. Fourth Edition. Benjamin/Cummings Publishing Company, Menlo Park, California.
 174. Austroads, Rural Road Design, 2003.
 175. Barnett, J., Safe Side Friction Factors and Superelevation Design", Highway Research Board, Vol. 16, Washington, D.C., 1936.1.
 176. Baxter, C. W., Zhang, Q., Stanley, S. J., Shariff, R., Tupas, R. R., & Stark, H. L. (2001). Drinking water quality and treatment: the use of artificial neural networks. Canadian Journal of Civil Engineering, 28(1), 26-35.
 177. Bhagwant Persaud, Richard A. Retting, and Craig Lyon(2000), "Guidelines for Identification of Hazardous Highway Curves", Transportation Research Record 1717, TRB National Research Council, Washington D.C., USA.
 178. Bonneson, J.A., and McCoy, P.T., "Capacity and Operational Effects of Midblock Left-Turn Lanes," NCHRP Report 395, Transportation Research Board, Washington, D.C., 1996.
 179. Brey, T. (1996). Artificial neural network versus multiple linear regression: Predicting P/B ratios from empirical data. Marine ecology progress series,

140(1-3), 251-256.

180. Brown, S.A., Stein, S.M., and Warner, J.C. (1996). "Urban drainage design manual." Hydraulic Engineering Circular No. 22, FHWA-SA-96-078, Federal Highway Administration, U.S. Department of Transportation, Washington, D.C., USA.
181. Brown, S.A., Stein, S.M., and Warner, J.C. (2001). "Urban drainage design manual." FHWA-NHI-02-021, HEC-22, Federal Highway Administration, USA.
182. Brune W., Graf W.H., Appel E., and Yee P.P. (1975). "Performance of Pennsylvania highway drainage inlets." Journal of the Hydraulics Division, ASCE, Vol. 101, No. 12, pp. 1519-1536.
183. Burgi, P.H., and Gober, D.E. (1977). "Bicycle-safe grate inlets study; Volume 1. Hydraulic and safety characteristics of three selected grate inlets on continuous grades." FHWA-RD-77-24, Federal Highway Administration, U.S. Department of Transportation, Washington, D.C., USA.
184. Burnham, K.P., and David R. Anderson, "Model Selection and Multimodel Inference: A Practical Information-Theoretic Approach," Second Edition, Springer, New York, 2002.
185. Carter, D; Hummer, J E; Foyle, R S; Phillips, S, Operational and Safety Effects of U-Turns at Signalized Intersections, Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board No. 1912, 2005.
186. Chaudhry, M.H. (1993). Open-channel flow. Prentice Hall.
187. Chon, T.-S., Park, Y. S., Moon, K. H., & Cha, E. Y. (1996). Patternizing communities by using an artificial neural network. Ecological Modelling, 90(1), 69-78.
188. Chow, V.T. (1959). Open-channel hydraulics. McGraw-Hill.
189. Collision Models for Multilane Highway Segments Incorporating the Effects of Curbs, 박사학위논문, North Carolina State University, Raleigh, 2007.
190. CulvertMaster, BENTLEY. (www.bentley.com).
191. D. M. Frangopol and K. Furuta, eds., ASCE , Reston. Va.Frangopol, D. M.

- and Estes, A. C.(2001), Bridge lifetime system reliability under multiple limit states, *Journal of Bridge Engineering* 6, pp. 398–411,
192. De Brito, J. and Branco, F. A.(1994). Bridge management policy using cost analysis , *Proceedings of Institution of Civil Engineers* : 104 , pp. 431–439,
 193. Department for Transport (2003). *Traffic Signs Manual Chapter 5 : Road Markings*.
 194. Department for Transport (2005)a). *Traffic calming on major roads – A49, Craven Arms, Shropshire. Traffic Advisory Leaflet 02/97*.
 195. Department for Transport (2005)b). *Traffic calming on major roads. Traffic Advisory Leaflet 01/00. pp. 7–9*.
 196. Department of Natural Resources(2002). *Life cycle cost analysis guidelines*.
 197. Drakopoulos. A., Vergou. G. (2003). *Evaluation of The Converging Chevron Pavement Marking Pattern at one Wisconsin Location. AAA Foundation for Traffic Safety*.
 198. Dunbar, J., Ticknor, L. O., and Kuske, C. R. (2001) *Phylogenetic specificity and reproducibility and new method for analysis of terminal restriction fragment profiles of 16S rRNA genes from bacterial communities. Appl. Environ. Microbiol. Vol. 67, pp. 190–197*.
 199. Escameia, M., Gasowski, Y., May, R.W.P., and Bergamini, L. (2002). *“Hydraulic design of paved areas.” Report SR 606, HR Wallingford, UK*.
 200. Escameia, M., Gasowski, Y., May, R.W.P., and Lo Cascio, A. (2001). *“Hydraulic capacity of drainage channels with lateral inflow.” Report SR 581, HR Wallingford, UK*.
 201. Ezzamel, H.(1999), *“Safety and the Choice of Degree of Curve”, Transportation Research Record 1665, TRB National Research council, Washington D.C., USA*.
 202. F.H. Mckinnell, (1992), *Australia’s new National Forest Policy*
 203. Federal Highway Administration: FHWA. (2003) *Manual on Uniform Traffic Control Devices(MUTCD), 2003 Edition*.
 204. FHWA, *MUTCD 2000, 2000*.

205. Frangopol, D. M. and Kong J. S.(2001). Expected maintenance cost of deteriorating civil infrastructures, Keynote Paper, Life-cycle cost analysis and design of civil infrastructures pp. 22-47,
206. Frangopol, D. M., and Das, P. C.(1999). Management of bridge stocks based on future reliability and maintenance costs, Bridge design construction, and maintenance, P. C. Das, D. M. Frangopol, and A.S. Nowak, eds. pp. 45-48,
207. G?rres, J. H., and J. A. Amador, (2004), Spatial variability of soil biological processes, p. 562 – 570. In Encyclopedia of soils in the environment, Vol. 3 (D. Hillel, ed.). Elsevier Ltd., Oxford.
208. Giske, J. (1998). Modelling spatial dynamics of fish. Reviews in fish biology and fisheries, 8(1), 57-91.
209. Glennon JC(1987), Effect of Alignment on Highway Safety, in State of the Art Report Number 6: Relationship Between Safety and Key Highway Features, Transportation Research Board.
210. Godley. S. T., Triggs. T. J., Fildes. B. N., Brown. L. (1999). Perceptual Countermeasures: Experimental Research. Road Safety Research Report CR 182, Australian Transport Safety Bureau.
211. Guegan, J.-F., Lek, S., & Oberdorff, T. (1998). Energy availability and habitat heterogeneity predict global riverine fish diversity. Nature, 391(6665), 382-384.
212. Guo, J.C.Y. (1997). Street hydraulics and inlet sizing. Water Resources Publications, Highlands Ranch, Colorado. U.S.A.
213. Hancock. K. L., Riessman. R. (2004). Report on Passive Speed Control Devices. Report Number 04-G020-001. Massachusetts Traffic Safety Research Program.
214. Hauer, E. Statistical Road Safety Modeling. In Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, No. 1897, TRB, National Research Council, Washington, D.C., 2004, pp. 81-87.
215. Hauer, E., and J. Bamfo. "Two Tools for Finding What Function Links the Dependent Variable to Explanatory Variables," Proc., ICTCT 97 (International

- Cooperation on Theories and Concepts in Traffic Safety), Lund, Sweden, 1997.
216. Hauer, E., F.M. Council and Y. Mohammedshah, Safety Models for Urban Four-Lane Undivided Road Segments. In Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, No. 1897, TRB, National Research Council, Washington, D.C., 2004, pp. 96-105.
 217. Highway Capacity Manual, TRB, 2000.
 218. Hilbert, D. W., & Ostendorf, B. (2001). The utility of artificial neural networks for modelling the distribution of vegetation in past, present and future climates. *Ecological Modelling*, 146(1-3), 311-327.
 219. Hummer, J E; Reid, J E, Unconventional Left Turn Alternatives for Urban and Suburban Arterials?An Update, Transportation, Research Circular E-C019: Urban Street Symposium Conference Proceedings, Dallas, TX, June 28-30, 1999.
 220. HYDRAIN, FHWA(Federal Highway Administration)
 221. ISO, International Organization for Standardization (1994) ISO standards compendium. Environment - Soil quality. General aspects; chemical and physical methods of analysis; Biological methods of analysis. Geneva, Switzerland.
 222. Iverson, L. (1998). Predicting abundance of 80 tree species following climate change in the eastern United States. *Ecological Monographs*, 68(4), 465-485.
 223. J. S. and Frangopol, D. M. , (2004a). Cost-reliability interaction in life-cycle cost optimization of deteriorating structures, *Journal of Structural Engineering* 130(11), pp. 1704-1712.
 224. Jeff Logsdon, (1998), Development of an Iowa planning model for the state wetland and Riparian Area Plan, Mla thesis, Iowa State University
 225. Jeong, K.-S., Joo, G.-J., Kim, H.-W., Ha, K., & Recknagel, F. (2001). Prediction and elucidation of phytoplankton dynamics in the Nakdong River (Korea) by means of a recurrent artificial neural network. *Ecological Modelling*, 146(1-3), 115-129.

226. Jeong, K.-S., Kim, D.-K., & Joo, G.-J. (2006). River phytoplankton prediction model by Artificial Neural Network: Model performance and selection of input variables to predict time-series phytoplankton proliferations in a regulated river system. *Ecological Informatics*, 1(3), 235-245.
227. Jeong, K.-S., Kim, D.-K., Jung, J.-M., Kim, M.-C., & Joo, G.-J. (2008). Non-linear autoregressive modelling by Temporal Recurrent Neural Networks for the prediction of freshwater phytoplankton dynamics. *Ecological Modelling*, 211(3-4), 292-300.
228. JIM Brewer 등, *Geometric Design Practices for European Roads*, U.S Department of Transportation, 2001.
229. Joanna Treweek and Neil Veitch, "The Potential Application of GIS and Remotely Sensed Data to the Ecological Assessment of Proposed New Road Schemes", *Global Ecology and Biogeography Letters*, 5(4), 249-257, 1996
230. *Journal of Structural Engineering*. Mori, Y. and Ellingwood, B. R.(1993). Methodology for reliability based condition assessment, NUREG/CR-6052,
231. Kang J.K., Lee S.K.(2002), "Traffic Accident Prediction Model by Freeway Geometric Types", *Journal of Korean Society of Transportation*, Vol.20 No.4, Korea Society of Transportation, Seoul, Korea.
232. Katz. B. J. (2004). Pavement Markings for Speed Reduction : TPF-5(065). Traffic Control Devices Pooled Fund Study.
233. Kenneth L. Fink, Raymond A Krammers(1995), "Tangent length and Sight distance effects of Accident Rates at Horizontal Curves of Rural Two-Lane Highways", The 74th annual meeting Transportation Research Board, Washington D.C., USA.
234. Kim K.S., Jin K.S.(1996), "도로의 기하구조와 안전성의 상호관계분석 연구", Korea Research Institute for Human Settlements, Gyeonggi-do, Korea.
235. Kong J. S. and Frangopol, D. M.(2004b). Prediction of reliability and cost profiles of deteriorating structures under time-and performance-controlled maintenance, *Journal of Structural Engineering* 130(12), pp. 1865-1874.
236. Kong J. S. and Frangopol, D. M.(2005). Probabilistic optimization of aging

- structures considering maintenance and failure costs 131(4), pp. 600–616,
237. Kong, J. S. and Frangopol, D. M.(2003b). Life-cycle reliability-based maintenance cost optimization of deteriorating structures with emphasis on bridges, *Journal of Structural Engineering* 129(6), pp. 818–828.Kong,
 238. Lamm R.(1995), "Safety Module for Highways Design", Unpublished Manuscript, Institute for highway and Railroad Engineering, university of Karlsruhe, Germany.
 239. Lek, S., Delacoste, M., Baran, P., Dimopoulos, I., Lauga, J., & Aulagnier, S. h. (1996). Application of neural networks to modelling nonlinear relationships in ecology. *Ecological Modelling*, 90(1), 39–52.
 240. Lek-Ang, S., Deharveng, L., & Lek, S. (1999). Predictive models of collembolan diversity and abundance in a riparian habitat. *Ecological Modelling*, 120(2–3), 247–260.
 241. Liu, P; Lu, J J; Fan, J; Pernia, J C; Sokolow, G, Effects of U-Turns on Capacities of Signalized Intersections, *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* No. 1920, 2005.
 242. M. G. and Rosowsky, D.V.(1998), Time-dependant reliability of deteriorating reinforced concrete bridge decks, *Structural Safety* 20, pp. 91–109.
 243. Macaulay. J., Gunatillake. T., Tziotis. M., Fildes. B., Corben. B., Newstead. S. (2004). On-road Evaluation of Perceptual Countermeasures. Report Number CR 219. Australian Transport Safety Bureau.
 244. Maier, H. (1996). The use of artificial neural networks for the prediction of water quality parameters. *Water resources research*, 32(4), 1013–1022.
 245. Marsh, T. L. (1999) Terminal restriction fragment length polymorphism (T-RFLP): an emerging method for characterizing diversity among homologous populations of amplification products. *Curr. Opin. Microbiol.* Vol. 2, pp. 323–327.
 246. Martin Lelièvre and Jean-B. S?rodes, "A new approach for the identification of environmental issues at stake in road project", *Journal of environmental management*, 44, 221–231, 1995

247. Mays, L.W. (2001). Stormwater collection systems design handbook. McGraw-Hill.
248. McBean, P.A.(1982), The influence of road geometry at a sample of accident sites. Laboratory Report LR 1053. Transport and Road Research Laboratory, Crowthorne, UK.
249. McCuen, R.H., Johnson, P.A., and Ragan, R.M. (2001). "Highway hydrology." FHWA-NHI-02-001, HDS No.2, Federal Highway Administration, USA.
250. McLean. J. R., "Driver Speed Behaviour and Rural Road Alignment Design", Traffic Engineering & Control, Vol. 22, 1981.
251. Meyer. E. (2001). A new look at optical speed bars. In ITE Journal, Vol. 71, no. 11.
252. Miaou, S.-P., et al., "Development of Relationship between Truck Accidents and Geometric Design: Phase I," FHWA-RD-91-124, Federal Highway Administration, Washington, D.C., 1993.
253. Moret, S. L., Langford, W. T., & Margineantu, D. D. (2006). Learning to predict channel stability using biogeomorphic features. Ecological Modelling, 191(1), 47-57.
254. Naqvi, M. (2003). Design of linear drainage systems. Thomas Telford.
255. National Cooperative Highway Research Program, Transportation Research Board, National Research Council.Kong, J. S. and Frangopol, D. M.(2003a). Evaluation of expected life-cycle maintenance cost of deteriorating structures, Journal of Structural Engineering 129(5), pp. 682-691.
256. New zealand Land Transport Safety Authority, Guidelines for the signing and layout of slip lanes RTS 9, 1993 reprinted 1998, 2001.
257. Norman, J.M., Houghtalen, R.J., and Johnston, W.J. (2001). "Hydraulic design of highway culverts." FHWA-NHI-01-020, HDS No. 5, Federal Highway Administration, USA.
258. Obach, M., Wagner, R. i., Werner, H., & Schmidt, H.-H. (2001). Modelling population dynamics of aquatic insects with artificial neural networks. Ecological Modelling, 146(1-3), 207-217.

259. Ogden KW(1996), "Safer Roads: A Guide to Road Safety Engineering", Avebury Technical.
260. Oregon DOT, Functional Intersection Area, Discussion Paper No. 7, Transportation Research Institute Oregon State University Corvallis, Oregon, 1996.
261. Oregon DOT, Left Turn Bays, Discussion Paper No. 10, Transportation Research Institute Oregon State University Corvallis, Oregon, 1996.
262. Oregon DOT, Right Turn Lanes, Discussion Paper No. 11, Transportation Research Institute Oregon State University Corvallis, Oregon, 1996.
263. Overton, D.E., and Meadows, M.E. (1976). Stormwater modeling. Academic Press, New York.
264. P. Klungboonkrong and M.A.P. Taylor, "A microcomputer-based system for multicriteria environmental impacts evaluation of urban road network", *Compu., Environ. and Urban Systems*, 22(5), pp.425-446, 1998
265. Pal, M., & Mather, P. M. (2003). An assessment of the effectiveness of decision tree methods for land cover classification. *Remote Sensing of Environment*, 86(4), 554-565.
266. Park, Y.-S., Chino, R. i., Compin, A., & Lek, S. (2003). Applications of artificial neural networks for patterning and predicting aquatic insect species richness in running waters. *Ecological Modelling*, 160(3), 265-280.
267. Park, Y.-S., Chon, T.-S., Kwak, I.-S., & Lek, S. (2004). Hierarchical community classification and assessment of aquatic ecosystems using artificial neural networks. *Science of The Total Environment*, 327(1-3), 105-122.
268. Park, Y.-S., Verdonchot, P. F. M., Chon, T.-S., & Lek, S. (2003). Patterning and predicting aquatic macroinvertebrate diversities using artificial neural network. *Water Research*, 37(8), 1749-1758.
269. Pillips, S.L., "Empirical Collision Model for Four-lane Median Divided and Five-Lane with TWLTL Segments," Master Thesis, North Carolina State University, Raleigh, NC, 2004.

270. Pugh, C.A. (1980). "Bicycle-safe grate inlets study; Volume 4. Hydraulic characteristics of slotted drain inlets." FHWA-RD-79-106, Federal Highway Administration, U.S. Department of Transportation, Washington, D.C., USA.
271. Queensland Government (2002). Road drainage design manual. Dept. of Main Roads, Queensland, Australia.
272. R?mbke, J., and Breure, A. M. (2005) Status and outlook of ecological soil classification and assessment concepts. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* Vol. 62, pp. 300-308.
273. Raff M.S.(1953), "Interstate Highway-Accident study", Highway Research Board Bulletin 74, Traffic Accident Studies Washington D.C., pp.18-45., USA.
274. Ragsdale, C. T., "Spreadsheet Modeling and Decision Analysis," 4th ed., South-Western College Publishing, 2004.
275. Recknagel, F., French, M., Harkonen, P., & Yabunaka, K.-I. (1997). Artificial neural network approach for modelling and prediction of algal blooms. *Ecological Modelling*, 96(1-3), 11-28.
276. Reid, J D; Hummer, J E, Analyzing System Travel Time in Arterial Corridors with Unconventional Designs Using Microscopic Simulation, *Transportation Research Record : Journal of the Transportation Research Board* No. 1678, 1999.
277. Reid, J D; Hummer, J E, Travel Time Comparisons Between Seven Unconventional Arterial Intersection Designs, *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* No.1751, pp. 56?66, 2001.
278. Research Report Federal Highway Administration.Wen, Y. K. and Kang Y. K.(1997). Optimal seismic design based on life-cycle cost, *Proceedings of the International Workshop on Optimal Performance of Civil Infrastructure System* pp. 194-210,
279. Rhodes, D.G. (1998). "Gradually varied flow solutions in Newton-Raphson form." *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, Vol. 124, No. 4, pp. 233-235.

280. Road Traffic Safety Authority(2002), “교통사고 잦은 곳 기본개선계획 및 효과 분석”, Road Traffic Safety Authority, Seoul, Korea.
281. Ron Store, "Integrating spatial multi-criteria evaluation and expert knowledge for GIS-based habitat suitability modelling", *Landscape and Urban Planning* 55, p.p 79~93, 2001
282. Salah Sadek et al., "GIS platform for multicriteria evaluation of route alignments", *journal of transportation engineering*, pp.144-151, 1999
283. SAS Institute Inc., "SAS/STAT? 9.1 User's Guide," SAS Institute Inc., Cary, NC, 2004.
284. Scardi, M., & Harding Jr, L. W. (1999). Developing an empirical model of phytoplankton primary production: a neural network case study. *Ecological Modelling*, 120(2-3), 213-223.
285. Schall, J.D., Richardson, E.V., and Morris, J.L. (2001). "Introduction to highway hydraulics." FHWA-NHI-01-019, HDS No. 4, Federal Highway Administration, USA.
286. Schleiter, I. M., Borchardt, D., Wagner, R. i., Dapper, T., Schmidt, K.-D., Schmidt, H.-H., et al. (1999). Modelling water quality, bioindication and population dynamics in lotic ecosystems using neural networks. *Ecological Modelling*, 120(2-3), 271-286.
287. Seginer, I. (1997). Some artificial neural network applications to greenhouse environmental control. *Computers and Electronics in Agriculture*, 18(2-3), 167-186.
288. Seginer, I., Boulard, T., & Bailey, B. J. (1994). Neural Network Models of the Greenhouse Climate. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 59(3), 203-216.
289. Sesnie, S. E., Gessler, P. E., Finegan, B., & Thessler, S. (2008). Integrating Landsat TM and SRTM-DEM derived variables with decision trees for habitat classification and change detection in complex neotropical environments. *Remote Sensing of Environment*, 112(5), 2145-2159.
290. Signalized Intersections : Informational Guide, FHWA-HRT-04-091, 2004.

291. Structures and Buildings. Enright, M. P. and Frangopol, D. M. (1998). Service-life prediction of deteriorating concrete bridges, *Journal of Structural Engineering* 124(3), pp. 309-317.
292. Synthesis of the Median U-Turn Intersection Treatment, Safety, and Operational Benefits, FHWA-HRT-07-033.
293. TAC, Geometric Design Guide for Canadian Roads, 1999.
294. Tan, P., Steinbach M., Kumar V. (2005). *Introduction to Data Mining*. Addison Wesley. USA
295. The Institution of Civil Engineers, Thomas Telford, London. Frangopol, D. M., Kong, J. S., and Gharaibeh, E. S. (2001b). Reliability based life-cycle management of highway bridges, *Journal of Computer and Civil Engineering* 15(1), pp. 27-34
296. Thomas. L. Saaty, “리더를 위한 의사결정”, 동현출판사, 2000
297. Tiquia, S. M. (2005) Microbial Community Dynamics in Manure Composts Based on 16S and 18S rDNA T-RFLP Profiles. *Environ. Technol.* Vol. 26 pp. 1101-1113.
298. Topp, A; Hummer, J E, Comparison of Two Median U-Turn Design Alternatives Using Microscopic Simulation, 3rd International Symposium on Highway Geometric Design, 2005.
299. TYSER R. W., ASEBROOK J. M., POTTER R. W., KURTH L. L. (1998), Roadside revegetation in Glacier National Park, U.S.A. : Effects of herbicide and seeding treatments, *Restoration ecology*, 6(2), 197-206
300. U.S. Nuclear Regulation Commission Washington. D.C. Piring, S. (1993). Whole-life costing of steel bridges, *Bridge Management* 2, Thomas Telford, London, U.K., pp. 584-593. Stewart,
301. V?crin M.P., Muller S., (2003), Top-soil translocation as a technique in the re-creation of species-rich meadows, 6(2), 271-278
302. Van der Horst. R. (1997). Speed-reducing measures for 80 km/h roads. *Proceeding of the 9th workshop of ICTCT*.
303. Varady, David P. and Mark A. Carrozza, "Toward a Better Way to Measure

- Customer Satisfaction Levels in Public Housing", *housing Studies*. Vol. 15 No 6, 2000, pp. 797–825
304. Vayssieres, M. (2000). Classification trees: An alternative non-parametric approach for predicting species distributions. *Journal of Vegetation Science*, 11(5), 679–694.
 305. Virginia Department of Transportation (2002). *Traffic Calming Guide for Local Residential Streets*. pp. 22.
 306. Vogt, A., and Bared, J.G. Accident Models for Two-Lane Rural Roads: Segments and Intersections. Final Report, FHWA Report No. FHWA-RD-98-133, Federal Highway Administration, McLean, VA, 1998.
 307. Walls, J. and Smith, M. R.(1998). Life-cycle cost analysis in pavement design – interim technical bulletin, Fhwa-Sa-98-079,
 308. Wen, C. (1998). A neural network approach to multiobjective optimization for water quality management in a river basin. *Water resources research*, 34(3), 427–436.
 309. Winding, A., Jund-Rinke, K., and Rutgers, M. (2005) The use of microorganism in ecological soil classification and assessment concepts. *Environ. Technol.*, Vol. 62, pp. 230–248.
 310. Wong, T.S.W. (1994). "Kinematic wave method for determination of road drainage inlet spacing." *Advances in Water Resources*, Vol. 17, pp. 329–336.
 311. Wong, T.S.W., and Moh W.H. (1997). "Effect of maximum flood width on road drainage inlet spacing." *Water Science and Technology*, Vol. 36, No. 8–9, pp. 241–246.
 312. Xiugang Li et al., "GIS based map overlay method for comprehensive assessment of road environmental impact", 1999 Astrid Brekke Skrindo, Per Anker Pedersen, (2004), Natural revegetation of indigenous roadside vegetation by propagules from topsoil, *Urban Forestry & Urban Greening*, 3(1), 29–37
 313. Yonghe Wang, Fr?d?ric Raulier, Chhun-Huor Ung, (2005), Evaluation of spatial predictions of site index obtained by parametric and nonparametric

methods? A case study of lodgepole pine productivity, *Forest Ecology and Management*, Volume 214, Issues 1-3, 3 August 2005, Pages 201-2

314. Young, G.K., Stein, S.M., Pearson, D.R., Atayee, A.T., and Graziano, F. (1999). "User's manual for HYDRAIN - Integrated drainage design computer system: Version 6.1." FHWA-IF-99-008, Federal Highway Administration, USA.
315. Zegeer C. V., J. R. Stewart, and M. C. Forrest(1992), "Safety effect of geometric Improvements on horizontal Curves", *Transportation Research Record* 1356, TRB National Research Council, Washington D.C., USA.
316. Zegeer C. V., Stewart R., Reinfurt D., Council F., Neuman T., Hamilton E., Miller T., and Hunter W.(1991), "Cost Effective Geometric Improvements for Safety Upgrading of Horizontal Curves", FHWA-RD-90-021, Federal Highway Administration, Washington D.C., USA.
317. Zeltermann, D., "Advanced Log-Linear Models Using SAS," SAS Publishing, 2002.
318. Zhang, B., Valentine, I., Kemp, P., & Lambert, G. (2006). Predictive modelling of hill-pasture productivity: integration of a decision tree and a geographical information system. *Agricultural Systems*, 87(1), 1-17.
319. Zhou, J., B. Xia, D. S. Treves, L. Y. Wu, T. L. Marsh, R. V. O'Neil, A. V. Palumbo, and J. M. Tiedje (2002) Spatial and resource factors influencing high microbial diversity in soil. *Appl. Environ. Microbiol.* Vol. 68(1) pp. 326-634.
320. Zhou, J., B. Xia, H. Huang, A. V. Palumbo, and J. M. Tiedje (2004) Microbial diversity and heterogeneity in sandy subsurface soils. *Appl. Environ. Microbiol.* 2004. Vol. 70(3) pp. 1723-1734.

주 의

1. 이 보고서는 국토해양부에서 시행한 건설기술혁신사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서를 발표하는 때에는 반드시 국토해양부에서 시행한 건설기술혁신사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니 됩니다.

본 보고서와 관련하여 문의를 원하시는 분은 아래의 문의처로 연락을 주시기 바랍니다.

■ 문의처 : 한국건설교통기술평가원 TEL 031)381-6311

■ 문의처 : (주)평화엔지니어링 TEL 031)420-7330

R&D / 05 건설기술혁신 D05-01

친환경·지능형 도로설계 기술개발 연구보고서

■ 발행일 / 2010. 9.

■ 발행처 / (주)평화엔지니어링

경기도 안양시 동안구 관양동 1474-21 평화빌딩

TEL : 031-420-7333

■ 인쇄처 / 원기획