

교차로와 구조물을 고려한 도로노선 평가 알고리즘 개발

The Development of a Road Geometric Design Evaluation Algorithm Considering Intersections and Structures

이재호¹⁾, 김순근²⁾, 이철우³⁾, 박종건⁴⁾

Lee Jae Ho, Kim Swoon Keun, Lee Chul Woo, Park Jong Gon

1. 연구의 배경 및 목적

도로는 국토의 균형적인 발전과 국가 및 지역 경제 활성화를 주도하는 중요한 사회간접자본 시설로서 날로 증가되는 자동차 교통을 원활하게 수용 소통 시킬 수 있는 교통망 확충이 당면 과제이다. 또한, 21세기 사회는 친환경, 안전, 기능, 경제적 도로건설이 요구되고 있다. 따라서, 앞으로 건설될 도로 사업은 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 최소 기준을 만족시키는 것은 물론이고 이와 더불어 도로 기하구조에 따른 안전성 평가 및 도로선형설계에 따른 교차로, 터널 등을 포함하여 종합적으로 검토할 수 있어야 한다.

이를 위해서 본 연구는 투입되는 비용, 운전자 쾌적성과 도로설계 요소 간 연관성을 계량화하여 임의의 도로설계 자료를 놓고 미리 대상 도로에 대한 선형 및 구조물 설계에 대해 사전 평가할 수 있는 기법을 마련하고자 한다.

2. 연구내용 및 방법

본 연구는 5차년도 연구과제인 “친환경·지능형 도로설계 기술개발”의 한부분으로 도로선형 평가, 교차로 위치 및 형식선정, 구조물(교량, 터널) 형식 선정이 주요 연구과제이며 각종 문헌 및 자료 조사를 통해 알고리즘 개발에 필요한 적용 설계기준을 분석 제시하였다.

연구 내용	연구 방법
■ 기초문헌조사 및 분석 - 관련 R&D 및 설계기준 조사	● 관련 R&D, 설계기준 및 자료의 수집 ● 수집된 자료의 조사분석을 통해 기본 알고리즘 개발
■ 교차로 위치선정 기준개발 - 위치선정 고려항목 선정	● 교차로 위치선정에 필요한 고려인자 선정
■ 선형 평가기준 개발 - 선형설계 고려항목 선정	● 선형 평가에 필요한 고려인자 선정
■ 터널형식 선정 알고리즘 개발 - 터널형식 및 단면 설계 인자 분류	● 터널 연장, 도로 특성, 환기, 방재에 따른 터널형식 및 단면 설계 방식 분석
■ 교량 형식 선정 개발 범위 및 자료 수집	● 교량설계에 필요한 제반요소기술 조사 및 해외사례 벤치마킹

1) (주)바우컨선탄트, 상무 (02-2299-1470)

2) (주)다린이앤씨, 이사 (02-2299-1470)

3) 한국도로공사 기술심사실, 팀장 (02-2230-4191)

4) 한국도로공사 기술심사실, 차장 (02-2230-4192)

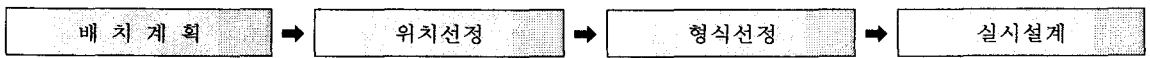


3. 연구결과

3.1 교차로 위치 및 형식 선정

가. 현행 교차로 위치 및 형식 선정 기준

(1) 입체교차로의 설계과정



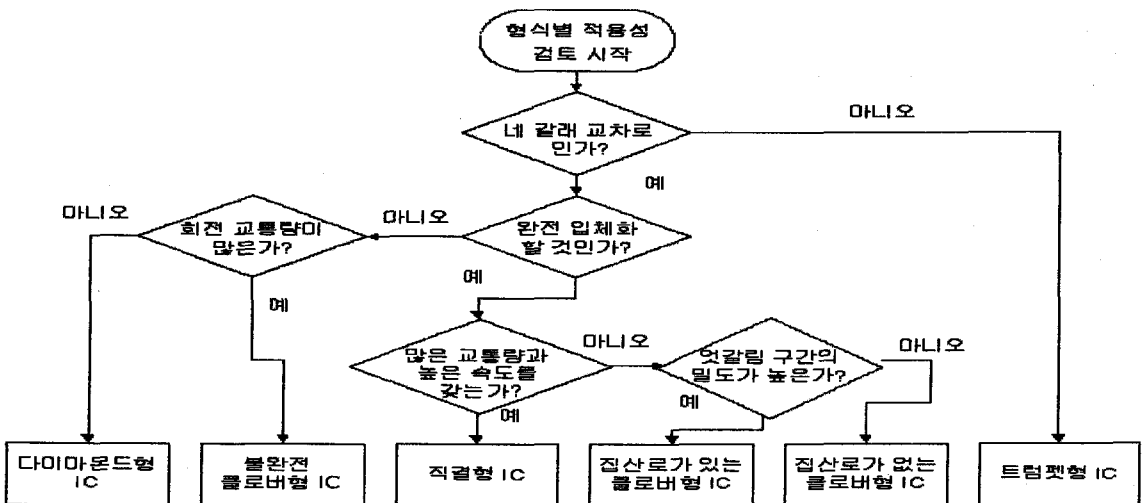
(2) 배치기준

- 일반국도 등 주요 도로와의 교차 또는 접근 지점
- 항만, 비행장, 유통시설, 중요 관광지 등으로 통하는 주요 도로와의 교차 또는 접근지점
- 인터체인지 간격이 최소 2km, 최대 30km가 되도록 함
- 인구 30,000명 이상의 도시 부근 또는 인터체인지 세력권 인구가 50,000 ~ 100,000명이 되도록 함
- 인터체인지 출입 교통량이 30,000대/일 이하가 되도록 함
- 본선과 인터체인지에 대한 총비용/편익이 극대가 되도록함

(3) 위치선정 기준

- 입지조사 : 교통조건, 사회적 조건, 자연적 조건 관련 조사
- 접속도로의 조건 : 도로용량, 목적지 접근시간, 기존도로망과의 관계 고려
- 타시설과의 관계 : 교통운용상 필요한 거리를 고려하여 산정함
- 관리운영상의 조건 : 유·무료제, 구간별 균일요금제, 전구간 균일요금제

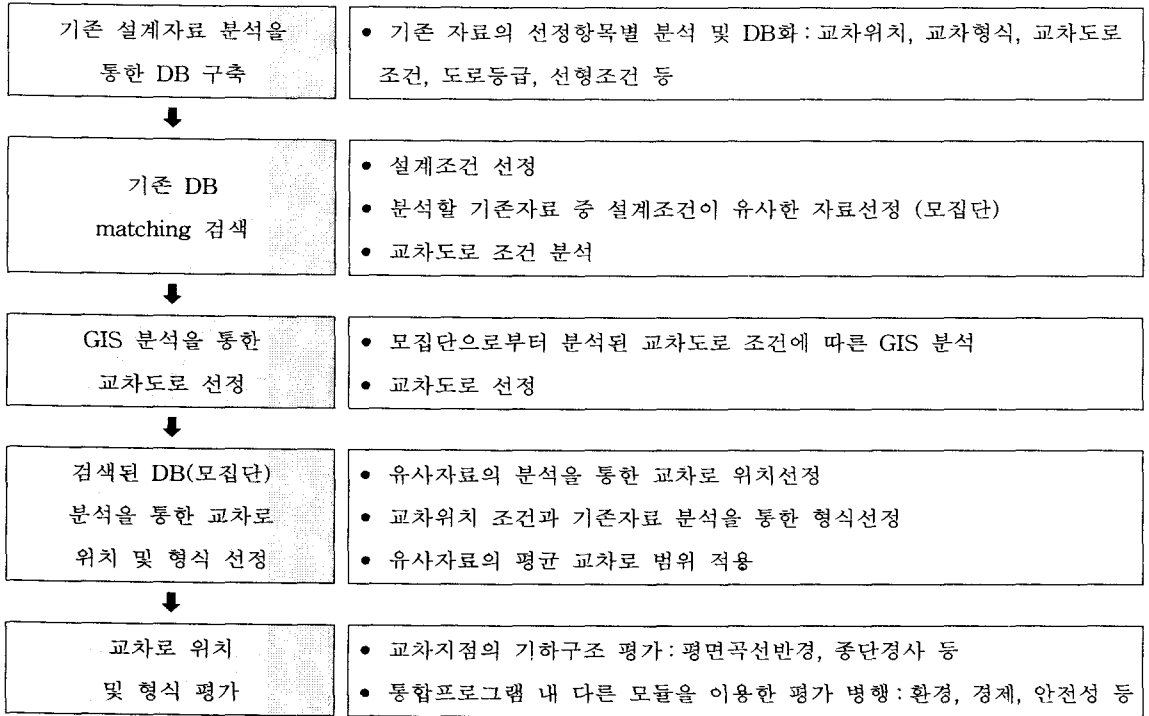
(4) 입체교차로 형식선정 과정 순서도





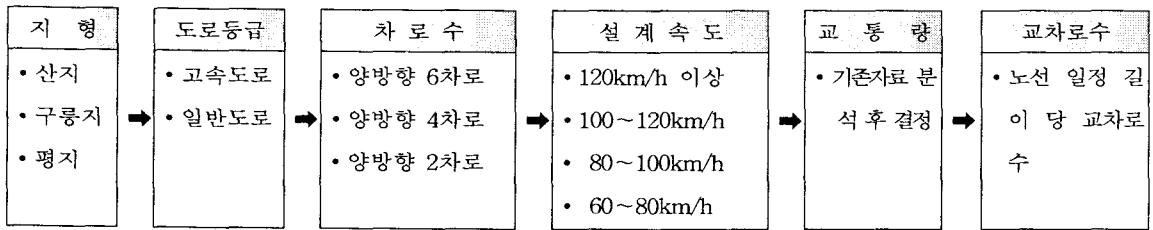
나. 최적 교차로 위치 및 형식 선정

(1) 선정 알고리즘(안)

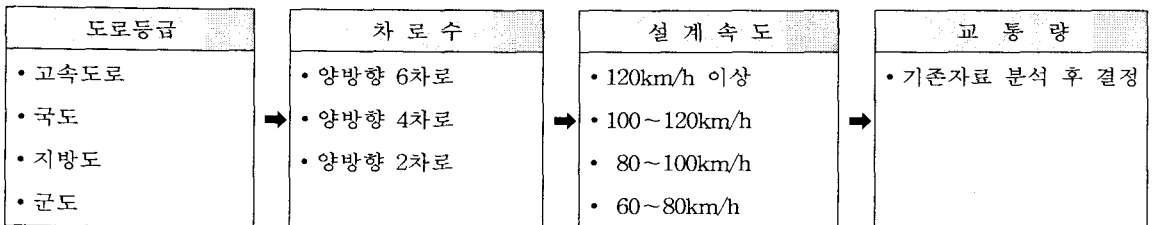


(2) 고려항목별 기존자료의 분류 및 분석

- 1차분류 (본선 특성에 따른 분류)

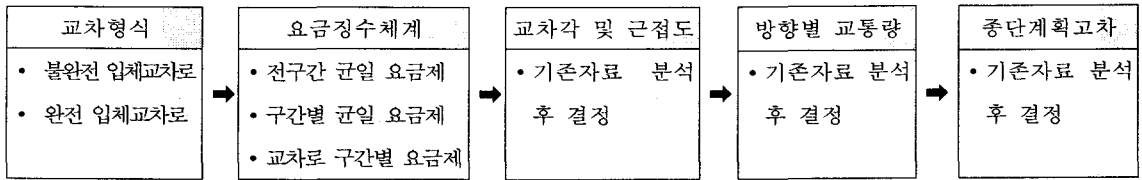


- 2차분류 (교차도로 특성에 따른 분류)





- 3차분류 (교차로 특성에 따른 분류)



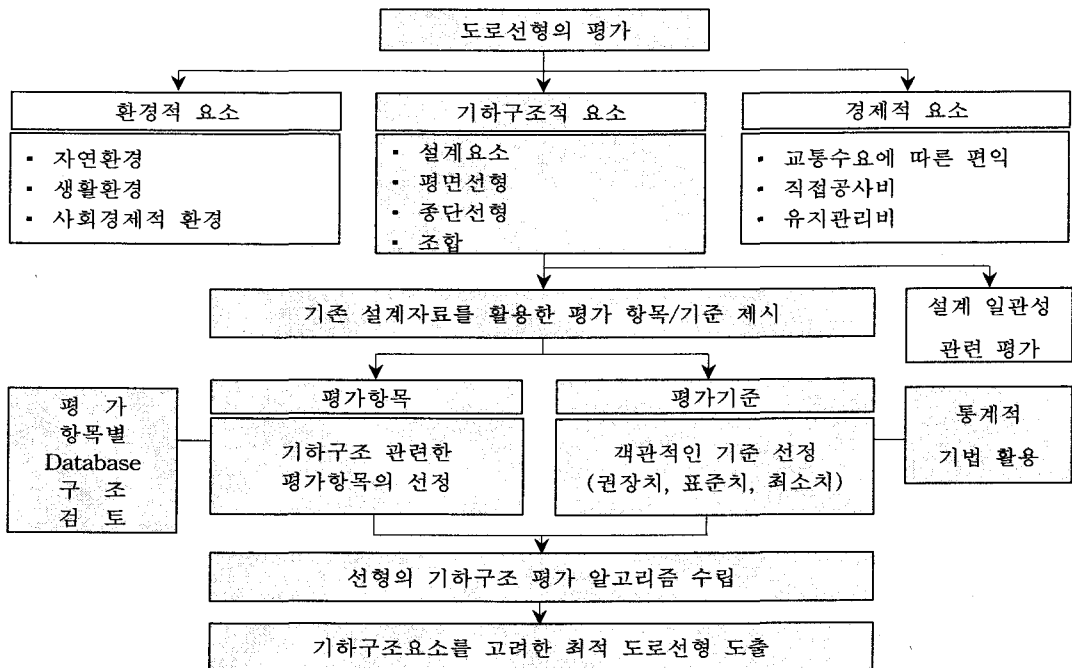
- 분류된 자료의 통계분석

본선 및 교차도로	유출 노즈부	용지범위	배치간격	교차형식 단순화
• 평면곡선반경 • 종단경사 • 종단곡선 변화비율	• 평면곡선반경 • 완화곡선 크기 • 종단곡선 변화율, 길이	• 각 방향별 교차지점에서의 거리	• 기존자료 분석 후 결정	• 자료 분석을 통해 프로그램에 적용할 교차로 표준형 정리

3.2 도로선형의 기하구조 평가

도로 선형설계에 있어서 정량적인 인자보다는 기술자의 경험이나 주관에 의해 판단 될 수밖에 없는 정성적인 인자들이 훨씬 많아 어떤 선형을 최적이라고 결정하기에 어려움이 따른다. 따라서, 본 연구에서는 도로 선형의 기하구조를 평가하기 위해 아래의 평가과정 및 항목을 선정하였으며 추후 연구에서는 최근 5년간 설계자료를 수집 분석하여 평가항목에 대한 정량적인 판단근거를 제시하고자 한다.

가. 도로선형 평가과정





나. 평가항목

설계요소	공 통	계획목표년도, 설계서비스 수준
	기능구분	설계속도, 교통량, 도로등급, 차로수, 표준횡단폭
	지역구분	도시/지방
	지형구분	산지/평지
평면선형	곡선반경	1.평면곡선반경 2.도로교각과 곡선반경의 관계 3.단위길이당 곡선의 수 4.곡선반경/평균곡선반경 비 5.인접한 두 원곡선의 반경비 (배향곡선) 6.구조물구간의 직선적용을 및 곡선반경의 크기
	곡선길이	1.평면곡선의 길이 2.완화곡선의 크기 및 길이 3.직선구간의 제한길이 4.직선구간과 원곡선의 길이 비율
	편 경 사	1.편경사 설치 위치 2.편경사의 크기
종단선형	종단경사	1.종단경사의 차이 2.최대종단경사 3.종단경사 제한길이 및 오르막 차로 설치여부 4.구조물구간의 최대종단경사
	종단곡선	1.종단곡선 길이 및 변화
조 합		1.평면선형 곡선부와 종단곡선의 대응 2.구조물의 설치 위치 3.최대 절토고 및 성토고

3.3 터널 형식 선정 알고리즘

가. 터널설계 자동화 연구 현황

국내 터널설계 부문은 단지 부분적으로만 자동화 설계를 시행해 왔으며 국외나 다른 부문에 비해 자동화 설계를 위한 시스템 구축이 다소 미흡한 실정이다. 안전한 터널시공과 효율적인 시공관리를 위한 측량기법 및 정보처리 프로그램, 자동화된 발파설계 프로그램, 터널건설 현장으로부터 정보의 취득·확보가 편리하고 취득된 데이터의 빠른 분석 및 대응이 가능한 프로그램들이 개발되고 있다. 또한 현재 연구되고 있는 도로설계 프로그램에서 터널에 대한 내용은 선형안정성 및 환기적합성에 대한 내용만 포함되어 있다.

국외에서는 여러 방면에서 지속적으로 축적된 정보를 이용하여 자동화설계를 시행하고 있다. 도로설계 부문에서는 다양한 측면에서 설계 자동화 프로그램을 사용하고 있으며, 터널분야에서는 주관적인 시각을 객관적으로 디지털화시킬 수 있는 첨단인공지능기법을 활용하여 공비의 절감 및 공기의 단축을 이루고 있다.



나. 터널 환기 및 방재 형식에 대한 검토

(1) 국내의 환기 설계기준 검토

- 교통량 분석

국내에서는 PIARC의 20년 후 교통량을, 노르웨이는 10년 후의 교통량을 고려하며, 일본은 도로지형구분에 따른 보정을 실시하고 있다. 한편, 국내 도로 여건에 적합성 여부 검토 및 다양한 도로성격에 맞는 추가적인 보정이 필요하다.

- 환기량 산정

일본의 방식과 유럽의 방식 모두 기준환기량을 산정하는 방식은 유사하며, 오염물질 허용농도 적용에 있어 노르웨이와 일본은 운전자의 사용성을 고려한 항목을 추가적으로 적용하고 있다. 국내 도로여건에 적합한 데이터베이스를 구축하여 합리적인 환기설계를 도모하여야 한다.

- 자연환기 결정

교통환기력 및 자연환기력 값을 정확하게 추정하기 어려우므로 다각도로 분석하여 적합한 설계 데이터베이스를 구축하고, 자연환기로 부족한 경우 소요환기량과 주변 지반 요건 등 다양한 인자들을 고려한 적절한 환기설계가 필요하다.

(2) 국내의 방재 설계기준 검토

국내의 방재 설계 기준은 소화설비면에서 외국기준과 비슷한 수준에 있으나 도로터널 위험도의 정량적인 평가기법과 프로그램 사용면에서 다소 미흡한 실정이다.

국외에서는 일정 기준에 의해 터널을 등급화하여 방재설계를 실행하고 있다. 국내에서는 터널의 방재등급이 도로연장에 의존하여 선정되어 보다 정확한 등급의 설정이 필요한 실정이다.

또한 제연시설 설계를 위한 화재강도 및 입계풍속에 대한 정립이 필요하다. 횡류환기방식에 대한 제연설비용량 산정을 위해서 CFD 및 실험을 수행하여 적정배연풍량 산정, 균일배기방식의 횡류환기방식의 제연능력 향상을 위한 방안, 도로의 특성별 적용기준 및 중규모(500~1000 m)터널에 대한 방재시설 적용, 대면통행터널에 대한 종류환기방식의 적용성 등을 검토할 필요가 있다.

(3) 터널단면 선정에 대한 검토

터널 단면은 도로 규격에 따른 소요의 도로 폭원과 시설한계를 만족시킬 뿐만 아니라 환기, 방재, 조명, 내장 등 시설대 공간을 확보하고 터널의 안정성, 시공성 및 차량의 주행성도 고려하여 합리적인 단면형상·치수로 하여야 한다.

국내에서는 터널단면을 구분할 때 도로폭과 차량설계속도로부터 시설한계를 결정하고 그 외 시설을 고려하여 터널단면을 설계하고 있는 반면, 외국의 경우는 터널을 등급화하여 합리적인 터널시설을 적용하는 보다 체계적인 단면설계기준을 가지고 있다.



표 1. 국내와 일본의 터널단면 설계기준 비교

구분	국내	일본
차선평폭	3m ~ 3.6m	3.25m ~ 3.75m
측방여유폭	0.5 ~ 0.75m	최소 0.5m
내장여유폭	10cm	10cm
시공여유폭	30cm	50cm
시설한계		

3.4 교량형식 선정 및 평가 알고리즘

가. 알고리즘 개발 개념도

교량형식 선정과정을 프로그램화 하는 것은 각종 조건(선형, 시종점, 적용경간장, 최소 경간장, 형하조건 등)을 프로그램 내에 입력시켜 평면 및 종단 선형이 도출되면 조건에 부합되는 교량형식 및 공사비가 산출되며 선형평가를 통해 최적의 선형설계가 이루어지는 것이다. 아래 그림은 친환경·지능형 도로설계 통합프로그램에 접목되는 교량형식 선정 알고리즘 개발 개념도를 나타낸 것이다.

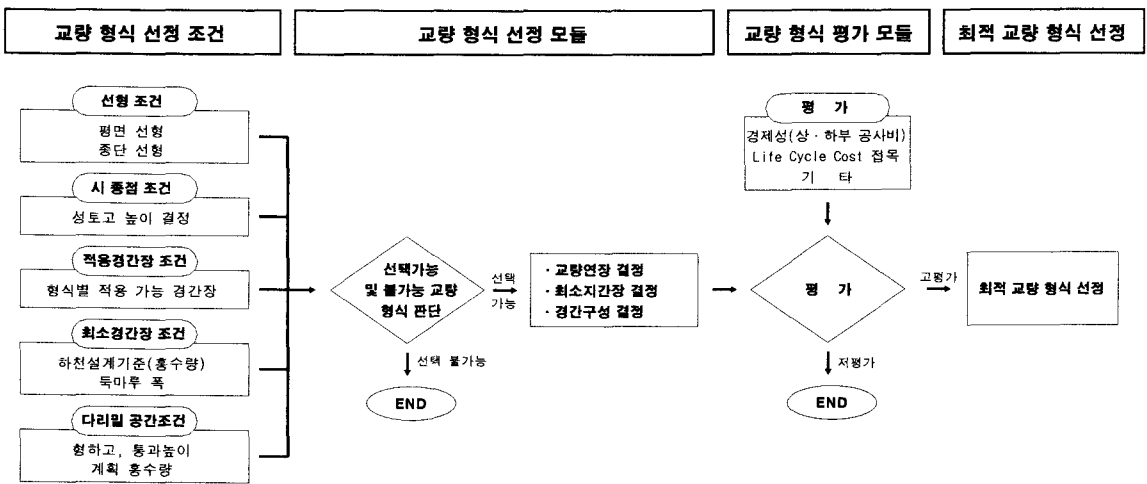


그림 1. 교량형식 선정 알고리즘 개발 개념도



나. 국내 교량현황 및 분석

건설교통부에서 실시한 2005년 교량현황조사에 따르면 국내 전체 도로교에 사용된 교량은 총 22,344개소이며, 형식별로는 RC슬래브교(8,522개소), RC라멘교(4,273개소), PSC I형교(3,402개소)가 전체의 73%로서 소규모 교량이 대부분을 점유하고 있는 것으로 나타났다. 아래 표 2는 고속도로와 일반국도에 대한 교량형식별 전체교량현황을 나타낸 것이다.

표 2. 형식별 국내교량 현황

상부 형식	고속도로	일반국도	총 개소
RC 라멘교	1,388	2,984	4,273 (19.57%)
사장교	2	6	8 (0.04%)
스틸 I형교	365	134	499 (2.23%)
스틸박스거더교	845	1,114	1,959 (8.77%)
아치교	8	54	62 (0.28%)
트러스교	8	11	19 (0.09%)
프리플렉스교	182	283	465 (2.08%)
플레이트거더교	67	123	190 (0.85%)
PSC 박스거더교	418	142	560 (2.51%)
PSC 슬래브교	95	180	275 (1.23%)
PSC I형교	1,613	1,789	3,402 (15.23%)
RC 상자형교	31	79	110 (0.49%)
RC 슬래브교	282	8,240	8,522 (38.14%)
RC T형교	159	927	1,086 (4.86%)
기 타	589	226	815 (3.65%)
합 계	6,052 (27.09%)	16,292 (72.91%)	22,344 (100%)

다. 지간장에 따른 상부구조형식 분석

지간장에 따른 상부구조형식은 지간장이 20m이하인 경우 고속도로에서는 라멘교가 59%로 가장 많았으며, 일반국도에서는 RC슬래브교가 66%로 가장 많은 것으로 나타났다. 지간장이 20m이상 30m 미만인 경우에는 고속도로에서 PSC I형교가 41%, 일반국도에서도 PSC I형교가 55%로 가장 많았으며, 지간장이 30m이상 50m미만인 경우에도 PSC I형교가 고속도로에서 54%, 일반국도에서 52%로 나타나 지간장 20m~50m 미만인 경우에는 PSC I형교가 가장 많은 것으로 나타났다. 그러나 이와 같은 결과는 표준단면이 있는 지간장 30m인 PSC I형교가 많은 비중을 차지하기 때문인 것으로 판단된다. 지간장이 50m이상 100m 이하인 경우에는 고속도로와 일반국도에서 모두 스틸박스거더교가 가장 많은 것으로 나타났으며, 지간장 100m이상에서는 고속도로에서 PSC박스거더교가 69%로 가장 많았으며, 일반국도에서는 아치교가 29%로 가장 많은 것으로 나타났다. 표 3 및 표 4는 고속도로와 일반국도에 대한 지간장별 상부구조형식을 나타낸 것이다.



표 3. 지간장애 따른 상부구조형식(고속도로)

상 부 형 식	지간장애 따른 상부형식 구분					총 개 소
	20m 이하	20~30m	30~50m	50~100m	100m이상	
라멘교	1,286	68	32	0	2	1,388 (22.93%)
사장교	0	0	0	0	2	2 (0.03%)
스틸 I형교	83	35	169	78	0	365 (6.03%)
스틸박스거더교	3	10	429	399	4	845 (13.96%)
아치교	0	0	2	5	1	8 (0.13%)
트러스교	4	2	0	0	2	8 (0.13%)
프리플렉스교	10	8	156	8	0	182 (3.01%)
플레이트거더교	1	10	49	7	0	67 (1.11%)
PSC 박스거더교	27	42	129	191	29	418 (6.91%)
PSC 슬래브교	4	61	30	0	0	95 (1.57%)
PSC I형교	5	286	1,287	35	0	1,613 (26.65%)
RC 상자형교	24	6	1	0	0	31 (0.51%)
RC 슬래브교	237	31	14	0	0	282 (4.66%)
RC T형교	20	36	51	52	0	159 (2.63%)
기 타	459	103	21	4	2	589 (9.73%)
합 계	2,163 (35.74%)	698 (11.53%)	2,370 (39.16%)	779 (12.87%)	42 (0.69%)	6,052 (100%)

표 4. 지간장애 따른 상부구조형식 (일반국도)

상 부 형 식	지간장애 따른 상부형식 구분					총 개 소
	20m 이하	20~30m	30~50m	50~100m	100m이상	
라멘교	2,885	71	27	1	0	2,984 (18.32%)
사장교	0	0	0	0	6	6 (0.04%)
스틸 I형교	85	14	22	13	0	134 (0.82%)
스틸박스거더교	2	29	411	665	7	1,114 (6.84%)
아치교	11	9	9	11	14	54 (0.33%)
트러스교	1	1	0	5	4	11 (0.07%)
프리플렉스교	11	42	221	9	0	283 (1.74%)
플레이트거더교	10	17	48	47	1	123 (0.75%)
PSC 박스거더교	19	5	39	67	12	142 (0.87%)
PSC 슬래브교	34	56	86	3	1	180 (1.10%)
PSC I형교	86	643	1,046	14	0	1,789 (10.98%)
RC 상자형교	54	4	10	10	1	79 (0.48%)
RC 슬래브교	7,999	149	77	15	0	8,240 (50.58%)
RC T형교	865	47	12	3	0	927 (5.69%)
기 타	104	89	23	8	2	226 (1.38%)
합 계	12,166 (74.67%)	1,176 (7.22%)	2,031 (12.47%)	871 (5.35%)	48 (0.29%)	16,292 (100%)



라. 교량형식별 가설 조건분석

교량 형식은 교량의 종류, 형식의 조합에 따라 각각 특징이 있다. 따라서 형식선정에서 각각의 형식이 갖는 특징을 확실히 판단하고 가설지점의 제조건에 비추어 가장 타당한 형식을 선정해야 한다. 표 5는 일반적인 중,소규모 교량에 대한 적정지간 및 가설조건을 나타낸 것이다.

표 5. 교량형식별 가설조건

구분		적정 지간 (m)	설치 및 가설조건				
구조형식	구분						
		콘크리트 구조물	R·C	RAHMEN	10~15	· 도로 및 소하천 (폭10~15m) 횡단 · 형하고 10m이하	· 선형 및 교폭 변화구간 설치 가능 · 가설시 지반조건 및 형하공간 이용 제약
				π형 RAHMEN	20~25	· 도로횡단(절토부) · 형하고 10m이하	· 선형제약(직선구간) · 가설시 지반조건 및 형하공간 이용제약
				슬래브	30~45	· 도로 및 소하천(10~15m)횡단 · 형하고 10m이하	· 선형 및 교폭 변화구간 설치 가능 · 가설시 지반 조건 및 형하공간 이용제약
				중공슬래브	15~25	· 도로 및 소하천(10~15m)횡단 · 형하고 10m이하	· 선형 및 교폭 변화구간 설치 가능 · 가설시 지반 조건 및 형하공간 이용제약
			PREFLEX BEAM	30~40	· 도심지도로의 형하공간 확보가 어려운 구간 · 형하고 20~30m 이하	· 선형제약(직선구간) · 가설시 지반조건 및 형하공간 이용제약	
			P·S·C	PSC BEAM	25~30	· 도로 및 소하천(폭20m이상) 계곡부 횡단 · 형하고 20~30m 이하	· 선형제약(직선구간) · 가설시 지반조건 및 형하공간 이용제약
				슬래브	20~30	· 도로 및 중·소하천(폭20m이상)횡단 시 미관 고려 구간	· 형하고 10m이하 · 가설시 지반조건 및 형하공간 이용제약
			B·O·X	I.L.M	40~60	· 대하천, 계곡부 및 도로횡단 · 형하고 제약 없음	· 선형제약(직선, R구간) · 가설시 지반조건 제약 없고 형하공간 활용
		M.S.S		40~60	· 도로 및 중·소하천 횡단 · 형하고 제약 없음	· 선형변화구간 설치 가능 · 가설시 지반조건 제약 없고 형하공간 활용	
		F.S.M		30~40	· 도로 및 중·소하천 횡단 · 형하고 10m이하	· 선형 및 교폭 변화구간 설치 가능 · 가설시 지반조건 및 형하공간 이용제약	
		F.C.M		100~120	· 대하천, 계곡부, 도로횡단 미관 고려 구간 · 형하고 제약 없음	· 선형 제약(직선구간) · 가설시 지반조건 제약 없고 형하공간 활용	
		강구조물	STEEL PLATE	40~60	· 중·소하천 계곡부 횡단 · 형하고 20~30m 이하	· 선형제약(직선구간) · 가설시 지반조건 제약 없고 형하공간 활용	
			STEEL BOX	40~60	· 대하천, 계곡부 횡단 · 형하고 제약 없음	· 선형 및 교폭 변화구간 설치 가능 · 가설시 지반조건 제약 없고 형하공간 활용	



4. 결 론

4.1 최적 교차로 위치·형식 선정 및 도로선형의 기하구조 평가 알고리즘

- 본 연구는 5개년 연구과제로서 이번 연구에서는 기존 문헌 조사를 통해 현행 기준의 정리와 교차로 위치·형식 선정 및 도로의 기하구조평가에 관한 기본 알고리즘 정립하였다.
- 현행 교차로 위치 및 형식 선정 기준 및 기하구조 평가는 정성적인 판단으로 이루어지고 있으며 이를 정량적으로 판단할 수 있는 자료는 아직 없다.
- 따라서, 향후 연구를 통해 현재까지 연구된 기본 알고리즘에 기초하여 최근 설계자료 분석을 통한 정량적인 판단기준을 만들어가고자 한다.
- 본 연구의 결과물인 최적의 선형, 교차로 위치 및 형식 선정은 시간이 지남에 따라 인자의 중요도와 인자들의 생성과 소멸 등의 변화에 맞추어 계속적인 자료의 업데이트가 필요하며 지속적인 연구를 통하여 여러 가지 입력인자들의 모호성을 개선하여 더 발전된 최적설계를 할 수 있도록 해야 할 것이다.

4.2 터널형식 선정 및 평가 알고리즘 개발

- 이번 연구에서는 터널 자동화 프로그램에 대한 국내외 연구현황을 살펴보고, 터널의 환기 및 방재, 단면의 국내외 기준을 검토하였다.
- 이후 도로, 환경, 지반 조건 등에 따라 터널의 단면 및 갱문, 지보, 굴착 형식을 결정하기위한 알고리즘을 개발하고 이를 자동화설계 프로그램에 접목하여 객관적이고 합리적인 설계에 이용하고자 한다.
- 또한 이를 위해 각종 설계자료의 수집 및 데이터베이스화를 통해 자동화설계 프로그램 알고리즘의 지속적인 개선을 도모할 것이다.

4.3 교량형식 선정 및 평가 알고리즘 개발

- 상부구조 형식별 국내교량현황을 건교부의 2005년 교량현황조서를 바탕으로 국내 전체 도로교에 사용된 교량은 총 22,334개소로 파악되었으며, 형식별로는 RC슬래브교(8,522개소), RC라멘교(4,273개소), PSC I형교(3,402개소)가 전체의 73%로서 소규모 교량이 대부분을 점유하고 있는 것으로 나타났다.
- 지간장별 상부구조 형식은 지간장 20~50m는 PSC I형교가 가장 많고, 지간장 50~100m는 고속도로와 일반국도에서 스틸박스 거더교가 가장 많으며, 지간장 100m 이상은 고속도로에서 PSC박스 거더교, 일반국도에서 아치교가 가장 많은 것으로 나타났다.
- 도로선형 최적화에 영향을 미치는 많은 요소들 중 도로상의 교량이 크게 영향을 미침에도 불구하고, 기존의 도로선형 최적화 모델은 목적함수에 도로상 교량의 영향이 반영되지 못했을 뿐만 아니라, 그 영향을 다각도로 분석하지 못하고 있으므로 도로상 교량의 영향이 반영될 수 있는 모델과 기법의 개발이 필요하며 추후 연구를 통해 정립해 나갈 계획이다.



감사의 글

본 연구는 친환경·지능형 도로설계 기술개발 연구단을 통하여 지원된 건설교통부 건설핵심기술연구사업에 의하여 수행되었습니다. 연구지원에 감사드립니다.

참고문헌

1. 건교부, 1995. “지리정보를 이용한 도로선형 최적화 방법 개발 및 전산프로그램 제작 : 중단선형 최적화를 중심으로”,
2. 건교부, 2002. “안전성 향상을 위한 도로선형 해석 및 평가 자동화 기술개발”
3. 건기연, 1999. “신뢰성에 기인한 도로선형설계 방안”
4. 건기연, 1999. “Neural Network을 이용한 터널설계 적정성 평가용 Expert System 개발”
5. 한국철도학회, 2000. “터널의 진단자료 DB화에 의한 유지관리 연구”
6. 대한토목학회, 2004. “GIS를 이용한 터널 시공 정보화 및 가시화 기법에 관한 연구”
7. 이상덕, 1994., “안정된 지하구조물의 설계와 시공”, 도서출판 새론, pp.80-92.
8. 한국건설기술연구원, 1996., “터널환기시설에 대한 연구”, 한국건설기술연구원, pp.60-80.
9. 황성진, 김종수, 2000., “단면 자동측정기 및 알고리즘 개발에 관한 연구”, 울산대학교 공학연구논문집 제 31권 1호, pp.129~140.
10. 건설교통부, 2005 “교량현황조사서” 건설교통부
11. 조효남, “체계신뢰성 방법에 기초한 도로교 설계 기준 개발 및 기설교량의 신뢰성 평가”, 과학재단 연구보고서, 1989
12. 중앙대학교 건설산업기술연구소, “LCC 기법을 이용한 교량형태별 경제성분석 및 경제적 수명 예측에 관한 연구”, 한국도로공사 연구과제, 2001
13. 한국도로공사, “고속도로 교량형식별 생애주기비용(LCC) 분석 연구, 2003