

도로의 적정 평면곡선반경 산정에 관한 연구

Determination of Reasonable Curve Radius on Highway Alignment Design

이 승 용

(서울시립대학교 석사과정)

김 상 업

(서울시립대학교 박사과정)

최 재 성

(서울시립대학교 교수)

한 형 관

((주)한맥기술 전무)

목 차

I. 서 론

1. 연구배경 및 목적
2. 연구의 범위와 방법

II. 기존 연구 고찰

1. 설계속도 적용에 관한 고찰
2. 국내외 도로설계 기준의 고찰
3. 지형분류에 관한 연구 검토
4. 주행속도 분석에 관한 연구 검토

III. 자료 수집 및 구축

1. 지형 분류 자료 구축
2. 주행속도 자료 수집 및 데이터 구축
3. 지형 및 주행속도 자료와의 중첩

IV. 자료의 분석

1. 자료분석의 개요
2. 지형별 주행속도 예측모형 개발

V. 주행속도에 따른 R값의 적용

1. 해외 적용 사례
2. 사례분석
3. 사례분석 결과

VI. 결론 및 향후 연구과제

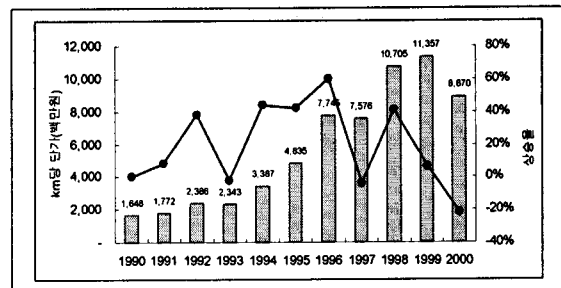
I. 서 론

1. 연구배경 및 목적

현재 국내 도로시설현황은, 경제발전에 맞추어 1990년대 이후 지속적으로 발전하고 있다. 그러나, 최근 환경에 대한 관심과 국가 예산 투자의 효율성 등이 중요한 이슈로 부각됨에 따라 도로 건설비의 증가와 도로 시설물의 고규격화가 문제점으로 제기되고 있다.

한국개발연구원¹⁾에 의하면, '물가상승에 의한 건설공사비의 자연증가', '제도적 요인에 의한 건설공사비 증가', '시공 제약조건에 따른 공사비 증가' 그리고 '도로시설의 고급화'를 도로 건설비의 증가 요인으로 분석하고 있다. 연도별 국도의 km당 건설공사비 변동 추이를 살펴보면 [그림 1]과 같다. 1990년 km당 공사비가 1,648백만원이었으나 위와 같은 요인으로 인해 21.4%의 연 평

균 증가율 보이며 1999년에는 11,357백만원을 나타내었다.



[그림 1] 연도별 국도 건설공사비 변동추이

도로 건설 규모 확대 및 건설비 증가에 따라 미국의 경우, 국가 주요도로 건설시 중앙 정부의 재원과 연방정부의 재원이 동시에 소요됨에 따라 중앙정부의 재원을 지원 받기 위해서 사업의 타당성 검증 및 비용최소화에 노력을 하고 있다. 이러한 도로 건설 배경은 국내에서도 나타나고 있는데, 1999년 예비타당성 조사가 도입되어 2004년 말까지 79건의 도로 사업에 대한 예비타당성 조사가 이루어 졌으며, 이를 통해 도로 건

1) 한국개발연구원, 공공투자사업 예산관리의 효율화 방안(II), 2002

설의 타당성 및 재원 투입의 효율화에 노력을 기울이고 있다.

미국의 도로시설과 국내의 도로시설을 비교해보면, 우리나라의 국도 I 등급 도로의 시설 기준은 미국의 고속도로 기능 격인 Interstate Highway와 비슷한 수준이며, 국도대체우회도로의 경우, 설계속도 100km/h(예외적으로 80km/h)로서 캐나다의 Rural freeways와 비슷한 수준인 것으로 검토되었다. 이러한 현 상황에서 교통량이 적은 일부 국도 및 지방도에 과다한 설계재원이 투입되는 것이 아니냐는 우려의 목소리가 나오고 있다.

국내외 배경과 관련하여, 본 연구에서는 한국개발연구원에서 분석한 도로 건설비 증가에 관한 원인 중 '도로시설 고규격화'를 주된 원인으로 분석하고 현재 건설 및 설계 중인 도로 상의 설계재원 중 평면곡선반경의 적용 타당성에 관한 연구를 하였으며, 지형과 도로기능별 설계속도에 적합한 곡선반경의 값을 제시하고자 한다. 추가적으로, 곡선반경에 따른 운전자의 주행속도를 고려한 새로운 설계방법을 제시하고 사례분석을 통해 본 연구의 타당성을 검증하고자 한다.

2. 연구의 범위와 방법

도로설계시, 도로의 기능 및 지형적 특성 그리고 주행속도 등을 고려하여 논리적으로 도로 기하구조를 결정해야 한다. 본 연구에서는 관련문헌을 통한 지형분류를 실시하고, 이를 통해 곡선반경별 주행속도 조사 데이터를 지형별로 그룹화하였다. 이 과정을 수행하기 위해, 우선적으로 국내의 지형구분이 우선적으로 이루어져야 하기 때문에 국립지리원의 수치지도를 입력 데이터로 한 GIS분석을 실시하여 지형분류 데이터를 구축하였다. 그리고 조사된 주행속도 조사데이터를 입력시킨 교통주제도와 지형분류 데이터를 중첩시켜 지형별 주행속도자료를 구축하여 본 연구에 적용하였다.

본 연구의 내용적 범위는 다음과 같다.

첫째, 도로설계시 최소설계기준 이상의 설계재원투입으로 발생하는 문제점을 밝힌다.

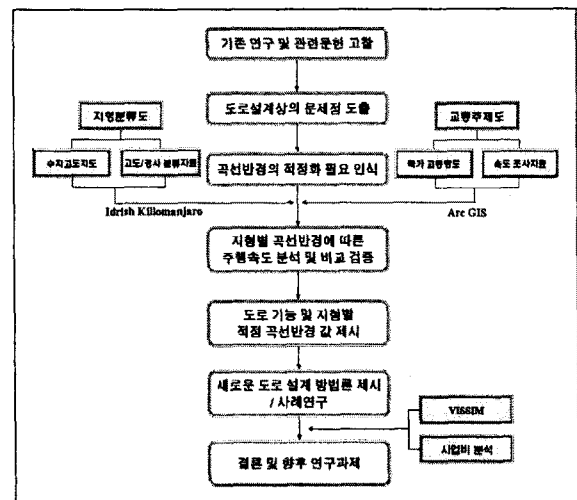
둘째, 도로공학적 특성을 고려한 지형구분에 대한 기존의 연구 및 곡선반경에 따른 주행속도 분석에 관한 연구를 검토한다.

셋째, 수치고도지도(GIS 프로그램)를 이용한 지형 분류 데이터 및 조사 지역별 주행속도 자료를 입력한 교통주제도를 구축하여 주행속도 자료를 지형별로 그룹화한다.

넷째, 지형 분류별로 '곡선반경과 차량의 주행속도' 관계에 대한 분석을 실시하고, 지형 및 도로 기능에 따른 적정 곡선반경 값을 제시하고자 한다.

다섯째, 곡선반경에서의 운전자 주행속도를 고려한 새로운 설계방법을 제시한다.

여섯째, 사례연구를 통하여, 기 수행된 실시설계보고서상의 설계방안과 본 연구에서 제시하는 곡선반경 값을 이용한 설계 방안을 비교, 검증한다. 본 연구는 <그림 2>과 같이 진행된다.



[그림 2] 연구 방법론

II. 기존 연구 고찰

1. 설계속도 적용에 관한 고찰

Abishai Polus²⁾의 3인은 미국, 영국, 독일, 호주 등 많은 국가들의 설계속도 및 설계재원 적용에 관하여 조사 분석을 실시하였다. 유럽 및 호주를 제외한 대부분의 많은 나라들이 미국의 AASHTO와 유사한 접근방법을 사용하고 있으나, 이는 지난 수년간 발전해 온 설계기술과 운전자 행태를 고려하지 못해 일관적인 선형을 결

2) Abishai Polus, "Review of International Design Speed Practices in Roadway Geometric Design" International Symposium on Highway Geometric Design Practice, 1995

정하는데 효율적이지 못하다고 판단하고 있다. 세계 각국의 조사 결과, 90km/h이상의 속도의 도로에서는 설계속도와 주행속도의 차이가 크게 발생하지 않지만, 90km/h이하의 낮은 속도의 도로에서는 주행속도가 설계속도보다 약 10~20km/h이상 큰 것으로 나타나는 것으로 분석되었다. Abishai Polus의 3인은 이러한 주행속도와 설계속도 사이에서 발생하는 괴리의 원인으로, 평면선형에 대한 제한이 없는 도로설계환경과 주행속도와 설계재원간의 관계에 대한 연구가 부족을 꼽고 있다. 그리고 낮은 속도가 요구되는 도로 환경에서 과도한 설계재원이 투입은 보다 높은 주행속도를 야기하여 차량간 주행속도의 차를 더욱 크게 만들 것으로 예상하고 있다.

2. 국내외 도로 설계기준의 고찰

1) A Policy on Geometric Design of Highways and Streets (AASHTO, 2004)

AASHTO는 기본적인 설계속도, $e+f$ 와 곡선반경의 관계식을 통해 최소곡선반경을 제시하고 있다. 도로의 기능 및 지역에 따른 차등적인 곡선반경 값을 제시하고 있다. 그러나 도로의 기능과 지형에 의해 결정되는 설계속도 개념을 바탕으로 곡선반경을 결정하고 있어, 곡선부 운전자 주행특성을 반영하지 못하고 있다.

2) 도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙 (건설교통부, 1999)

국내의 경우에도 미국의 AASHTO와 유사한 방법으로 곡선반경을 적용하고 있다. 미국과 동일하게 곡선반경에 대한 최소기준만을 정하고 있다.

지방부와 도시부에서 탄력적인 곡선반경이 적용이 가능한데, 지방부 도로의 경우 막대한 공사비를 줄이기 위해 한 단계 낮은 설계속도의 곡선반경의 적용이 가능하다. 하지만, 이러한 설계속도 기반의 도로 설계는 한계점이 있으며, 그 내용은 다음과 같다.

- ① 설계속도 중심의 곡선반경 적용개념이며, 지형에 따른 곡선별 주행속도를 고려하지 않아 설계속도와 주행속도의 괴리가 발생할 수 있다
- ② 최소곡선반경 기준만을 적용함으로써, 도로의 이동성만을 고려한 고규격화 도로 건설을 유발할 수 있다.

③ 곡선반경 적용에 관한 예외 규정이 미비하며 탄력적인 적용에 관한 권장치나 제한치를 명확하게 제시하지 않음에 따라 주관적인 설계를 유발할 수 있다. 외국의 경우 지형 여건상의 기술적 어려움 뿐만 아니라 지역 공동체의 생활 환경 파괴, 자연경관 훼손 등이 우려되는 지역 등에 최소 설계 기준까지도 적용할 수 없는 경우 설계 기준을 더 낮추는 방안의 설계예외 규정을 두고 있다.

3) Geometric Design Guide for Canadian Roads (TAC³), 1999)

캐나다의 경우, 평면선형 설계시 운전자의 안전이 가장 중요한 고려사항이라 인식하고, 설계재원 투입시 운전자의 행태를 반영할 것을 권고하고 있다. 그러나 미국의 AASHTO와 동일한 평면선형 결정방법을 제시하고 있으며, 운전자의 주행속도가 아닌 설계속도 중심의 재원분석이 이루어지고 있다.

4) A Guide to the Geometric Design of Rural Roads (Austroads, 2003)

호주의 경우, 곡선부에서의 차량속도에 대한 광범위한 연구를 실시하였으며, 설계기준 적용시 설계속도의 정당성에 대한 연구를 실시하였다. 이를 위해 곡선부 85th 주행속도와 현행 설계속도와 비교검토를 실시하였으며, 두 속도 사이에 큰 괴리가 나타난다는 것을 검증하였다. 그 결과 미국, 호주, 우리나라와 상이하게 호주에서는 곡선반경 산정시 설계속도가 아닌 85th 주행속도를 독립변수로 사용하고 있다.

5) Sweden

스웨덴에서는 'safety priority design speed'라는 개념을 도입하고 있는데, 이는 국내외 여러나라와 반대개념의 속도이다. 스웨덴에서는 지점별 최대속도를 제한하고 낮은 속도로 주행하는 것을 유도하기 위해 최대설계기준을 두고 있다. 이러한 측면에서, 설계속도가 80km/h이하인 지방부 도로에서 높은 주행속도가 나타나고 있는 우리나라의 현실을 고려하여, 설계속도에 따른 최대곡선반경 제한여부에 대해 검토할 필요성이 있을 것이라 판단된다.

3) Transportation Association of Canada, 1999

설계속도가 80km/h일 경우 국가별 설계변수를 비교한 결과 <표 1>과 같다. 국가별 지형적, 도로 환경에 따라 조금씩 차이가 나타나는 것으로 나타났으며, 우리나라의 경우 해외와 비교했을 때, 최대 e, f 의 값을 작게 적용함에 따라 속도별 R_{min} 이 크게 적용되는 것으로 나타났다.

<표 1> 국가별 설계변수 비교

Parameter	미국	캐나다	호주	우리나라	
80km/h	Max e	0.12	0.08	0.10	0.08
	Max f	0.14	0.14	0.16	0.12
	R_{min}	194m	230m	194m	250m
60km/h	Max e	0.12	0.08	0.10	0.08
	Max f	0.17	0.15	0.24	0.14
	R_{min}	98m	120m	83m	130m
40km/h	Max e	0.12	0.08	-	0.08
	Max f	0.23	0.17	-	0.16
	R_{min}	36m	50m	-	50m

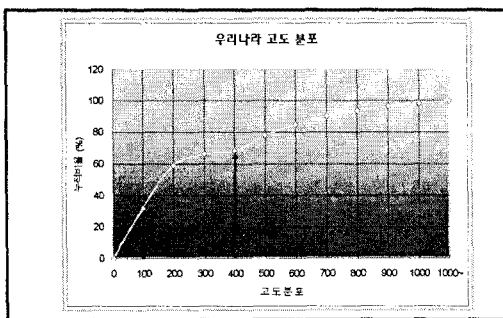
3. 지형분류에 관한 연구 검토

1) 국도확장사업을 위한 적정 도로 설계 방안 연구 (최재성, 2004)

최는 '국도확장사업을 위한 적정 도로설계 방안 연구'에서 GIS Data를 바탕으로 우리나라 일반국도의 기능분류 및 지형, 지역을 구분하여 제시하였다. 지형구분은 고도의 분포 및 누적분포 자료를 바탕으로 이루어졌으며 [그림 3]과 같이 평지, 구릉지, 산지로 구분하고 있다.

<표 2> 국가별 설계변수 비교

지형	기준
평지	100m이하, 경사도 5°이하
구릉지	100m ~ 400m
산지	400m이상



[그림 3] 최의 연구에 따른 지형구분 기준

2) 일본도시계획학회의 지형 구분

일본도시계획학회는 경사와 구배에 따라 지형을 평지-구릉지-산지로 구분을 하였다. 구릉지

는 해발300M이하, 경사도 5~20°사이의 저산성 산지로 정의하고 있으며 지형 구분은 <표 2>와 같다. 그러나 이 기준 또한 차량주행특성과 지형 구분간 연관성에 대한 고려가 이루어지지 않았다.

<표 3> 일본도시계획학회의 지형 구분 기준

구분	경사	구배
평탄지	5°이하	10%이하
구릉지B	5° ~ 15°	10% ~ 30%
구릉지A	15° ~ 20°	30% ~ 40%
산지	20°이상	40이상

3) 도로설계 적정화를 위한 새로운 지형구분에 관한 연구(김상엽, 2006)

수치고도자료와 GIS program을 이용하여 고도와 경사도에 따라 지형을 분류하였고 지형이 주행 환경에 미치는 영향을 살펴보기 위해 지형 분류자료와 주행속도자료를 matching하여 지형별 주행속도의 유의성을 검정하였다. 그리고 지형분류와 주행속도 관계 규명을 통하여 3개의 동질적인 집단으로 구분하였으며, <표 4>와 같이 3개의 집단에 대해 평지, 구릉지, 산지로 정의하였다.

<표 4> 김상엽의 연구에 따른 지형구분 기준

지형	기준
평지	100m이하/0°~10°, 400m이하/0°~5°의 지형
구릉지	100m이하/10°이상, 400m이하/5°~10°의 지형
산지	100m~400m/10°이상, 400m이상의 지형

4. 주행속도 분석에 관한 연구 검토

주행속도 분석에 대한 국·내외 연구문헌을 고찰한 결과, 관측된 속도자료의 85백분위 속도를 선형요소를 설명하기 위한 일반적 주행속도로 판단하고 있다. 국내의 주행속도 분석에 관한 연구를 요약하면 <표 6>와 같다.

<표 5> 국내외 주행속도 분석에 관한 연구 검토

구분	연구자	연구내용	한계점
국내 연구	정준화 (2000)	- 국도 4차로를 대상으로 곡선부 및 전방 직선부 주행속도를 조사하여, 주행속도에 영향을 미치는 요소중 곡선반경을 가장 핵심적인 요소로 평가 $V_{85} = 95.809 - \frac{4646.9}{R} (R^2 = 0.801)$ 여기서, R: 평면곡선반경 (m), R ² : 결정계수	- 자료(4개 곡선부)의 부족함으로 신뢰도가 떨어짐 - 다른 등급의 도로의 적용가능성이 떨어짐
	최재성 (1998)	- 국내 연구 중 최초로 직선, 평면, 중단곡선으로 나누어 평면 및 중단곡선인자를 모두 반영한 모형임. $V_h = -g(f \pm G)t + \sqrt{[g(f \pm G)t]^2 + 2g(f \pm G)SD_h}$ V_h : 평면곡선에서의 최소주행속도 (m/s) t: 인지반응시간 (2.5초) g: 중력가속도 (9.8m/s ²) f: 노면마찰계수 G: 중단구배 (%) SD _h : 평면곡선구간에서 확보되는 최소시거 (m)	- 각 선형유형별 기존의 관련식으로 모형식 도출하여 실제 주행속도 예측에는 한계가 있음
국외 연구	J.R McLean (1981)	- 지방부 2차로를 중심으로 1/R을 반영한 주행속도 예측모형 개발 $V_C = 53.8 + 0.406 V_F - 3.26(1/R) \times 10^3 + 8.5(1/R^2) \times 10^4$ $V_C(85)$: 자유교통류하에서 승용차 운전자 중 85%속도로 표현되는 주행속도 (km/h) V_F : 자유교통류에서 선형요소에 제한받지 않는 직선구간에서 85% 운전자가 선택한 속도 (km/h) R: 곡선반경	- 상류부 도로여건을 정량적으로 반영 - 해당 지점의 기하구조 요건 외에 상류부 도로 전반적인 기하요건과 주변 개발여건을 주행속도 형태로 고려 - 도시부 및 고속도로에는 적용불가능
	Leisch and Leisch (1988)	- 설계속도에 대한 정의를 도로의 설계와 물리적 특성의 상관성에 의해 결정되는 대표적 잠재 주행속도로 수정 - 설계속도 감소가 10mph보다 커서는 안된다는 '10mph'법칙을 제안	- 설계속도의 감소는 피해야 하며, 필요할 경우 '10mph'이내 - 잠재적 승용차 속도는 선형전반에 걸쳐 10mph 보다 적게 변동
	Lamm (1993)	- CCR을 변수로 사용해 운전자의 주행특성을 잘 반영할 수 있는 주행속도 모형 개발 $V_{85} = \frac{10^6}{8270 + 8.01 CCR_S} R^2 = 0.73$ 여기서, CCR _S : 단일곡선부의 곡률 변화율 (gon/km) R ² : 결정계수	- 평면선형 요인에만 독립변수가 국한되어 있음. - 1998년 85백분위 속도를 주행속도로 정의하고 주행속도 차이로 도로설계를 3개로 구분
	Islam, M.N (1994)	- 곡선부를 시점, 중앙, 종점으로 세분화하여 주행속도를 예측함. at PC: $V_C(85) = 95.41 - 1.48DC - 0.012DC^2$ at MC: $V_C(85) = 103.03 - 2.41DC - 0.029DC^2$ at PT: $V_C(85) = 96.11 - 1.07DC$	- 곡선부만을 대상으로 하였으며, 다양한 선형인자를 반영하지 못함
	R.A.Krammes (1995)	- 곡선부를 중심으로 다양한 평면선형 변수를 이용하여 주행속도를 예측함. $V_C(85) = 102.45 - 1.57DC + 0.037L - 0.10I$ L: 곡선장 I: 교각(°)	- 표준 선정시 중단선형을 고려하였으나 변수에는 미포함 - 평면 및 중단선형 요소가 동시에 존재하는 구간에 적용 불가능
	Fitzpatrick (1999)	- 2차로 간선도로를 대상으로 평면, 중단선형요소를 반영한 주행속도 예측모형 개발 $V_C(85) = a - \frac{b}{R}$ a, b: 각 경우에 따른 변수	- 2차로 간선도로를 대상으로 4, 6차로 및 다른 등급의 도로에 적용 불가능
	Gibreel (2001)	- 다양한 기하구조 요소를 반영하여 직선 및 곡선부의 주행속도 예측모형 개발	- 중단선형에 대한 변수를 고려하지 않음
	Qing Ye (2001)	- 간선도로를 대상으로 교통 특성 및 토지이용 등의 다양한 변수 반영 - 공사 및 Curve 영향을 배제	- 평면 및 중단선형에 관한 기하구조 요소를 고려하지 않음

III. 자료 수집 및 구축

1. 지형 분류 자료 구축

본 연구에서는 지형별 곡선반경에 따른 주행속도를 분석하고자 한다. 기존 우리나라 도로설계시 지형을 평지와 산지로 구분하여 설계속도를 정하고 있으나, 보다 자연지형에 대응한 주행속도 분석을 실시하기 위해 '도로설계 적정화를 위한 새로운 지형구분에 관한 연구(김상엽, 2006)'에서의 방법론을 적용하여 평지, 구릉지, 산지로 지형을 분류하였다,

지형분류 자료를 구축하기 위해 국립지리원의 수치고도자료를 활용하였으며, 고도, 경사도 및 주행속도와 상관관계 분석을 통해 평지, 구릉지, 산지로 구분하였으며 [그림 4]와 같다.

구분	Analysis of Topography		
	0~100m	400m 이하	400m 이상
0°~5°	평지	평지	산지
5°~10°	평지	구릉지	산지
10°이상	구릉지	산지	산지

[그림 4] 지형분류 정의 및 자료 구축(GIS)

2. 주행속도 자료 수집 및 데이터 구축

위 과정을 통해 평지, 구릉지, 산지로 분류한 지형자료를 구축하였다. 다음은 이렇게 결정된 지형적 특성이 주행속도에 대한 영향여부 확인을 미치는지를 분석하기 위해 우리나라 일반국도에서 주행속도 관련 자료를 수집하였다.

1) 자료수집

주행속도 조사자료는 우리나라 일반국도 중 단곡선으로 이루어졌고, 본 연구가 평면선형을 중심으로 한 연구임에 따라 ±3%이내의 종단경사가 있는 지점을 공간적 범위로 선정하였다.

또한, 차량간의 주행속도에 미치는 영향을 최소화 될 수 있는 비침두시간대를 시간적 범위로 하였으며, 주행속도자료는 현장 조사 및 과거 논문 및 보고서의 자료(1999년~2005년)를 근거로 하여 수집하였다. 현장 조사는 날씨가 맑은 평일 주간에 실시하였으며, 과거 논문 및 보고서의 원자료의 경우는 도로 환경에서 기대되는 자유교통류속도(free-flow-speed) 여부를 판단하여 분석 자료에 포함 시켰다.

2) 주행속도 조사

$$N = \left(\frac{K \times S}{E} \right)^2$$

여기서
 N: 필요한 표본수
 K: 통계신뢰도계수
 정규분포에서 신뢰구간 68%인 경우 K = 1.0
 정규분포에서 신뢰구간 95%인 경우 K = 2.0
 정규분포에서 신뢰구간 99%인 경우 K = 3.0
 S: 속도표준편차 (대부분의 속도분포는 표준편차가 5~10kph이다.)
 E: 속도의 허용오차

대부분의 속도분포가 정규분포를 따르므로, 신뢰도 95%, 속도표준편차 10kph, 속도의 허용오차 ±2.0kph 이내의 범위로 하였고 본 연구에서 산정된 표본 수는 100개이다. 그러나, 분석에 여유를 두기 위해서 속도측정은 각 조사구간별 2시간씩 측정 후, 분석에 이용된 속도 자료는 다음과 같은 조건에 의해 선별하였다.

- ① 과속 차량 속도 자료는 속도분포를 높은 분포로 편중시킬 수 있으므로 제외시킨다.
- ② 차량군에 앞선 차량을 뒤따르는 차량의 속도를 포함하는 것은 낮은 속도분포로 편중시킬 수 있으므로 제외시킨다.

이상과 같은 조건에 의해서 본 연구에서 조사한 속도 자료에 대한 속도분포 및 통계량을 구하였다.

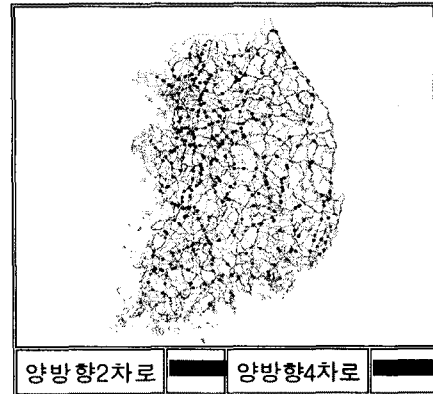
3. 지형 및 주행속도 자료와의 중첩

일반국도의 주행속도 자료를 구축해 놓은 지점의 조건을 종합해보면 <표 7>과 같다.

<표 6> 주행속도 자료 현황

구분	자료 현황
도로 관할 구분	일반국도
도로 기능 구분	국도 I II III 등급
차로수	양방향 2, 4차로
제한속도	60~80km/h

조사된 자료를 전국 일반 국도에 지점을 표시하면 [그림 6]과 같다. 본 연구에서 양방향 2차로의 경우 130개와 양방향 4차로의 경우 68개 지점을 GIS-data에 매칭(Matching)시킨 이유는, 각 지점의 주행속도를 III. 1.에서 구축한 지형 및 지역 요소에 적용시키기 위해서이다.



[그림 5] 주행속도 자료 지점 현황

IV. 자료의 분석

III장에서 구축된 지형분류 자료와 주행속도 조사자료를 입력한 교통주제도를 중첩시켜 지형별 속도자료를 구축하였다. 한편, 본 연구에서 수행하여야 할 분석을 수행하기 위해서는 선결되어야 할 가정이 존재하는데 다음과 같다.

- ① 종속변수가 양적변수여야 한다.
- ② 정규성(Normality) : $e \sim N(0, \sigma^2)$
- ③ 등분산성(Equality of Variance) : $Var(e1)=Var(e2)=\dots=Var(en)$

종속변수가 주행속도이므로 가정 ①은 만족하지만 정규성과 등분산성이 만족하는 지는 통계적 분석을 통하여 검증한다.

1. 자료분석의 개요

1) 정규성 검정

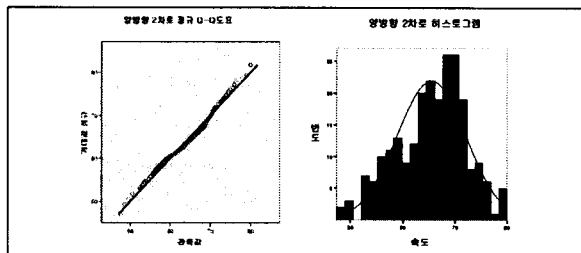
정규성의 검정은 표본수가 2,000개보다 작으므로 콜모고로프-스미르노프(Kolmogorov-Aimirmov) 검증을 통하여 실시하였다. <표 7>의 결과에 따라 양방향 2차로 도로와 양방향 4차로 도로는 정규분포라는 연구가설은 유의확률이 0.021, 0.015이므로 95%신뢰수준에서 유의하다. 즉, 주행속도자료는 정규분포를 따른다고 볼 수 있다.

<표 7> 본 연구의 정규성 검정 결과

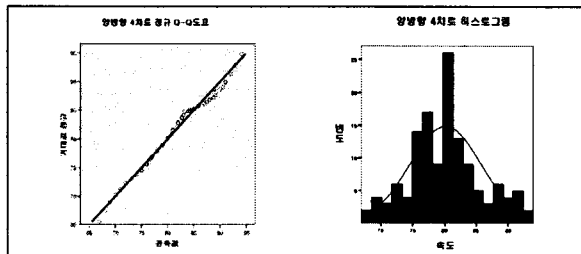
양방향 2차로		빈도수
정규모수(a, b)	평균	65.490
	표준편차	6.597
Kolmogorov-Smirnov의 Z		1.065
근사유의확률(양쪽)		0.021
양방향 4차로		빈도수
정규모수(a, b)	평균	80.150
	표준편차	5.635
Kolmogorov-Smirnov의 Z		1.130
근사유의확률(양쪽)		0.015

a. 검정분포가 정규분포, b. 데이터로부터 계산

양방향 2차로 도로와 4차로 도로의 각각의 정규성 검정결과를 Q-Q도표와 히스토그램으로 나타내면 [그림 6], [그림 7]와 같다.



[그림 6] 양방향 2차로의 주행속도의 정규성 분포



[그림 7] 양방향 4차로의 주행속도의 정규성 분포

2) 등분산성 검정

Levene 통계량 3.526, 1.759에 대한 유의확률값이 0.321, 0.126로서 ($H_0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \sigma_3^2 = \sigma_4^2 = \sigma_5^2$) 이라는 귀무가설을 기각하지 못하므로 등분산성에 대한 가정에 문제가 없다고 판단된다. 따라서, 분석을 위한 모든 전제조건은 만족하게 된다.

<표 8> 분산의 동질성 검정 (ALL)

구분	Levene 통계량	자유도 1	자유도 2	유의 확률
양방향 2차로	3.526	10	221	0.321
양방향 4차로	1.759	5	124	0.126

3) 설명변수의 분석 및 선정

본 연구에서는 우선적으로 도로기하구조 요인만을 고려한 회귀분석을 실시하였는데 이는 도로기하구조 요인만을 고려한 주행속도 예측모형을 구축해보기 위함이다.

<표 9>와 같이 95% 신뢰수준에서 주행속도와 관련된 상관계수를 살펴보면 양방향 2차로도로의 경우 평면곡선길이, 편경사, 길어깨폭, 교차로와의 거리를 제외한 나머지 변수들(R, 중분대유무, 차로폭, 종단경사, 제한속도)은 주행속도에 상관성을 갖는 것을 알 수 있다. 한편, 양방향 4차로의 경우는 상관성을 갖는 변수는 R, 편경사, 제한속도로서 양방향 2차로도로보다 적은 변수를 갖는다. 본 연구에서는 주행속도와 분명한 상관관계를 보이고 가장 큰 영향을 미치는 R⁴값을 변수로 사용하여 주행속도 예측모형을 개발하였다.

2. 지형별 주행속도 예측모형 개발

1) 양방향 2차로

양방향 2차로를 대상으로 지형별 주행속도를 회귀분석을 통해 실시한 결과를 살펴보면, <표 9>과 같다. 지형별 주행속도 예측모형에 대해 회귀선의 적합도와 유의성을 검정한 결과, $R^2 > 0.6$ 이상인 것으로 나타났다.

<표 9> 지형별 V_{85} 예측모형(2차로 도로)

지방부 2차로			
모형	$V_{85} = 8.96\ln(X) + 18.69$		
R	R^2	표준오차	
0.89	0.786	4.10	
구릉지			
	모형	$V_{85} = 8.31\ln(X) + 17.84$	
R	R^2	표준오차	
0.81	0.663	3.87	
산지			
	모형	$V_{85} = 9.80\ln(X) + 2.01$	
R	R^2	표준오차	
0.83	0.691	3.92	

4) 상관계수: 2차로-0.432, 4차로-0.690

2) 양방향 4차로

양방향 4차로를 대상으로 지형별 주행속도를 회귀분석을 통해 실시한 결과를 살펴보면, <표 10>과 같다. 지형별 주행속도 예측모형에 대해 회귀선의 적합도와 유의성을 검정한 결과, $R^2 > 0.7$ 이상인 것으로 나타났다.

<표 10> 지형별 V_{85} 예측모형(4차로 도로)

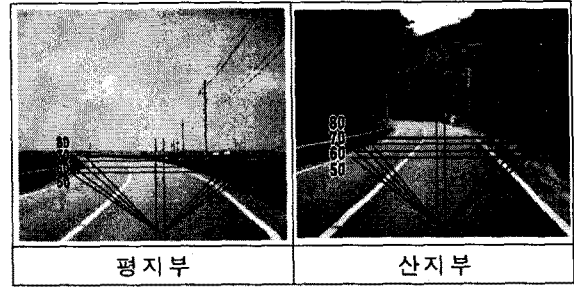
지방부 4차로			
평지	모형	$V_{85} = 9.79 \ln(X) + 22.54$	
	R	R^2	표준오차
	0.90	0.803	4.10
구릉지	모형	$V_{85} = 9.02 \ln(X) + 20.16$	
	R	R^2	표준오차
	0.91	0.824	3.87
산지	모형	$V_{85} = 9.99 \ln(X) + 10.85$	
	R	R^2	표준오차
	0.89	0.796	3.92

3) 분석결과

자료분석 결과, 동일한 곡선반경에서 양방향 4차로의 주행속도가 약 10km/h 더 큰 것으로 분석되었으며, $R \leq 400\text{m}$ 이하일 경우, R 에 따른 주행속도 변화가 크게 나타나는 것으로 분석되었다.

그리고 지형에 따라 주행속도의 차이가 발생하는 것으로 나타났다. 유사한 기하구조 조건에도 불구하고 주행속도 차이가 발생하는 것은 도로 기하구조적 원인이 아닌 도로환경적 요인에 의한 것이라 판단된다. 운전자가 주행시 운전 관련 정보는 시각으로 90% 이상 획득되는데, 산지나 구릉지의 경우 산비탈이나 절토면 등에 의해 시야 확보가 평지보다 불리하기 때문이다.

5) 이수범의 3명, 인적요인이 도로설계에 미치는 영향(제1단계), 교통개발연구원



[그림 8] 지형에 따른 주행환경 차이

4) 적정곡선반경 제시

본 연구에서 분석한 지형별 주행속도 분석 결과를 바탕으로 주행속도에 따른 적정 곡선 반경 값을 제시하고자 한다. 적정곡선 반경값은 주행속도를 바탕으로 산정되기 때문에 안전을 고려하여 10km/h를 더한 값을 바탕으로 제시하고자 한다. 이는 설계속도와 85% 주행속도(V_{85})차이를 평균사고율과 관련한 연구를 실시한 독일의 Lamm 등(1995)이 제안한 값 중 Good design ($|V_{85} - V_{design}| \leq 10\text{km/h}$)에 근거하였다. 또한, 본 연구에서 분석된 68개 지점의 기하구조 조건과 추가적인 지방부 도로를 검토한 결과, 램프부 및 불가피한 도로건설제약이 있는 경우를 제외하고는 $R \leq 100\text{m}$ 이 실제 사용되는 것으로 분석됨에 따라 $R \leq 100\text{m}$ 에 대해서는 R_{max} 만을 제시하였다.

국내 도로 기준/AASHTO/AUSTROAD와 본 연구에서 제안한 R 값을 비교하면 <표 13>과 같다. 국내의 기준에서 제시된 R_{max} 는 본 연구에서 제안한 R 의 범위에 대체적으로 속하는 것으로 나타났으며, 호주의 경우 국내도로 기준보다 비교적 낮은 R_{max} 을 적용하는 것으로 나타났다. 국내 도로 기준과의 차이는 설계속도에 따라 차이가 있지만 $|R_{min} - R_{range}| \leq 80\text{m}$ 인 것으로 나타났다.

V. 주행속도에 따른 R값의 적용

R 값의 적용시 차량의 동적특성 뿐만 아니라 운전자의 도로 환경에 대한 주행특성이 중요하기 때문이다. 그에 따라 IV에서 제안한 R 값을 실제 도로 설계에 적용이 가능할 것으로 생각되며, 이를 검토하기 위해 사례분석을 실시하였다.

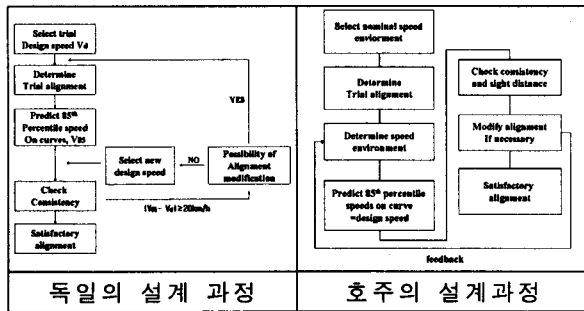
<표 11> 국내/AASHTO/AUSTROADS/본 연구의 제안 R

	도로의 기능	국내 도로 기준		AASHTO		AUSTROADS		본 연구	
		V_{design}	R_{min}	V_{design}	R_{min}	V_{85}	R_{min}	V_{85}	R 제안값
평지	간선도로	80	$280 \leq R$	100	$746 \leq R$	80	$265 \leq R$	80-90	$356 \leq R \leq 989$
	보조간선도로	70	$200 \leq R$	-	-	70	$175 \leq R$	70-80	$128 \leq R \leq 356$
	국지도로	60	$140 \leq R$	60	$253 \leq R$	60	$105 \leq R$	60-70	$100 \leq R \leq 306$
	집산도로	50	$90 \leq R$	50	$172 \leq R$	50	$60 \leq R$	50-60	$R \leq 100$
구릉지	간선도로	70	$200 \leq R$	80	$469 \leq R$	70	$154 \leq R$	70-80	$250 \leq R \leq 759$
	보조간선도로	60	$140 \leq R$	-	-	60	$95 \leq R$	60-70	$100 \leq R \leq 251$
	국지도로	50	$90 \leq R$	50	$172 \leq R$	50	$53 \leq R$	50-60	$R \leq 159$
	집산도로	40	$60 \leq R$	50	$172 \leq R$	-	-	50-60	$R \leq 159$
산지	간선도로	60	$140 \leq R$	60	$253 \leq R$	60	$83 \leq R$	60-70	$137 \leq R \leq 373$
	보조간선도로	50	$90 \leq R$	-	-	50	$49 \leq R$	50-60	$R \leq 159$
	국지도로	40	$60 \leq R$	30	$55 \leq R$	-	-	40-50	$R \leq 134$
	집산도로	40	$60 \leq R$	30	$55 \leq R$	-	-	40-50	$R \leq 134$

※ 4차로: 간선도로 및 보조간선도로, 단, 산지부 보조간선도로는 2차로 분석자료 사용
2차로: 산지부 보조간선도로, 국지도로 및 집산도로

1. 해외 적용 사례

독일, 영국, 호주의 경우 주행속도와 관련한 개념을 도로 설계시 적용하고 있다. 이러한 설계과정은 국내에서도 적용이 가능할 것으로 예상된다. 본 연구에서는 사례분석을 통하여 설계 feedback과정을 적용해 보았다.



[그림 9] 주행속도 자료 지점 현황

2. 사례분석

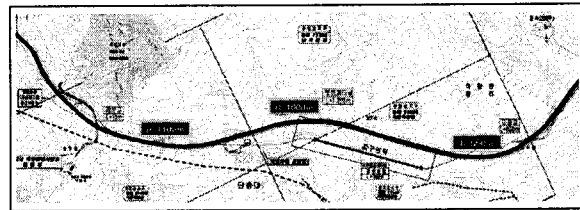
사례분석을 통해 feedback과정을 적용하고, 현 기준에 따른 설계안과 제안 R에 따른 수정설계안을 비교분석하고자 한다.

<표 12> 사례분석 대상지 (국도 42호선)

구분	내용	
기능	간선도로	
차로수	2차로	
지형	산지부	
연장	8.72km	

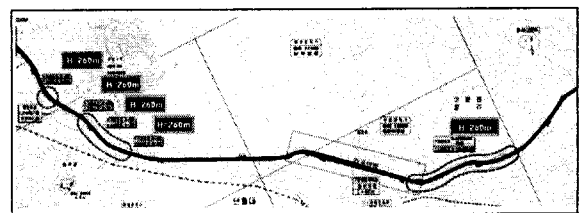
사례분석은 국도 42호선 중 평창~정선 1공구(8.72km) 중 3.5km 구간의 시설개량 방안에 대해 이루어졌다.

현재 「도로의 구조·시설에 관한 규칙」에서 제시한 기준을 적용하여 사례분석 대상지를 설계하였으며, 곡선반경에 대한 개략적 선형은 [그림 10]과 같다.



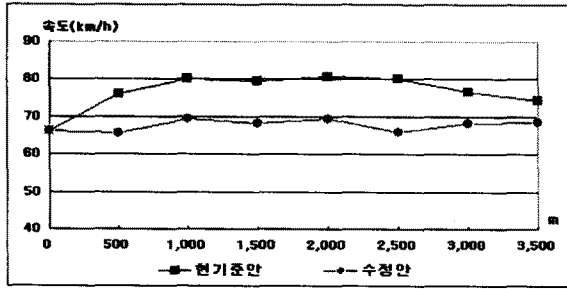
[그림 10] 현 기준에 의한 설계안

속도 분석 결과, $R \geq 1,000$ 인 구간에서는 주행속도가 약 80km/h로 설계속도 보다 20km/h 높게 나타났다. 그에 따라, 본 연구에서 제안하는 R을 반영하여 feedback 설계 안을 제시하였으며, [그림 11]과 같다.



[그림 11] 수정 설계안(제안 R 적용)

- 6) 세 개의($R=550m, R=1000m, R=1100m$)로 2.5km구간 설계
- 7) 100m,, 300m, 400m, 500m, 2300m, 2400m ,2500m 에 $R=260m$ 적용



[그림 12] 현 기준안과 수정안의 속도 profile

3. 사례분석 결과

사례분석 결과, 본 연구의 제안 R범위 내에서 설계한 경우, 주행속도의 분포가 60km/h~70km/h로 일정하게 나타나는 것으로 분석되었다. 반면에, 현 기준에 따라(60km/h, $R \geq 140m$) 설계했을 경우, 주행속도가 약 80km/h로 높게 예측되었다. 이는 설계속도 60km/h보다 20km/h 정도 높은 수치로써 통행속도의 증가로 인한 편익이 발생하겠지만, 주행속도의 편차가 커짐에 따라 안전상의 문제가 발생할 것으로 예상된다.

공사비 측면에서 비교해보면, 현기준안은 전체 구간(8.72km)의 공사비가 645억원으로 추정되며, 수정안의 경우 179억원의 비용이 예상된다. 현기준안은 큰 곡선반경 적용으로 인해 새로운 도로의 건설 및 토공량의 증가하기 때문에 공사비가 높게 추정되었다. 반면, 수정안은 기존도로를 이용하고, 선형이 불량한 구간을 일부 개량함으로써 공사비가 적게 드는 것을 나타냈다.

VI. 결론 및 향후 연구과제

본 연구에서는 지형별 곡선반경에 따른 주행속도 분석을 실시하기 위해 GIS 프로그램을 이용하여 지형과 속도자료를 중첩시켰으며, 지형별 주행속도를 그룹핑하여 분석을 실시하였다.

본 연구에서 자료분석 및 사례연구를 통해 도출한 결과는 다음과 같다. (1) 지형별 곡선반경별 주행속도를 예측하였는데($R^2 \geq 0.6$), 지형의 특성 및 도로환경에 따라 속도차이는 존재하며, 모든 지형에서 $R \leq 400m$ 이하의 경우 속도변화가 크게 나타났다. (2) 도로의 기능별, 지형별 적정 곡선반경 범위를 제시하였는데, 국내 도로 기준과의 차이는 설계속도에 따라 차이가 있지만 $|R_{\min} - R_{\text{range}}| \leq 80m$ 인 것으로 나타났다. (3) 도로설계시 feed-back 과정을 제안함으로써, 주행속도를 고려한 평면선형설계방안을 사례분석을 통하여 적용하였다. (4) 현재 도로 설계시 최소기준만을 제시함으로

인해 공사비 과다 및 높은 주행속도에 따른 사고 발생 등의 문제가 발생함에 따라 설계 최대기준 도입의 필요성이 제기된다.

본 연구에서는 가장 큰 의미는 지형에 따라 차량의 주행속도에 영향이 있다는 것을 밝힌 것 과 이를 바탕으로 주행속도에 따른 적정 곡선반경 범위를 제안했다는 것이다. 다시 말하면, 본 연구는 곡선반경의 범위의 정립의 논리성과 주행속도를 고려한 설계가 얼마나 타당성이 있는지에 대한 근거가 될 것이다.

본 연구는 단곡선을 대상으로 조사한 주행속도자료를 사용하여 분석함에 따라, 두 개이상이 곡선이 조합되었을 경우에 대해서는 고려하지 못한다는 한계점이 있다. 또한, 지형지물에 의해 범위의외의 곡선반경을 적용할 상황이 발생할 경우에 대해 연구가 부족함에 따라 이에 따른 향후연구가 필요하다.

< 참고 문헌 >

1. 건설교통부(1999), "국도기능분류 및 효율적 투자방안 연구", 건설교통부, p.95-p.99
2. 건설교통부(2000), "도로의 구조·시설기준에 관한 규칙 해설 및 지침", 건설교통부, p.46-p.48
3. 강원익(2001), "일반국도의 수행기능 분석에 의한 적정 설계기준 연구", 대한교통학회지, 제19권, 제1호, 대한교통학회, p.53-p.62
4. 정준화(2005), "주행속도 분포 특성을 이용한 설계기준 적용방안", 대한교통학회지 제23권 제5호, p.118
5. 김상엽(2006), "도로설계 적정화를 위한 새로운 지형구분에 관한 연구", 대한도로학회 논문집 제8권 제4호, p.49~p.62
7. 정준화(1998), "경제성을 고려한 도로 선형 설계", 건설기술정보, 제11호.
8. 최재성(2004), "국도확장사업을 위한 적정 도로설계 방안 연구", 교통정책연구, 제11권, 제1호, 교통개발연구원, p.51-p.69.
9. 한국개발연구원(2002), "공공투자사업의 예산관리의 효율화 방안(II), 국도건설비합리화 방안", p.199
10. AASHTO(2004), A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, Washington, D.C.
11. AUSTRROADS (2003), A Guide to the Geometric Design of Rural Roads
12. Transportation Association of Canada (1999), Geometric Design Guide for Canadian Roads..
13. Fitzpatrick, K., Carlson, P. J.(2002) "Selection of Design Speed Values", In Transportation Research Record 1796, TRB, National Research Council, Washington, D.C., p.3-p.11.
17. McLean, J. R.(1995), "Changes in Horizontal Alignment Design Standard in Australia and Canada", International Symposium on Highway Geometric Design Practice
18. Abishai Polus(1995), "Review of International Design Speed Practices in Roadway Geometric Design", International Symposium on Highway Geometric Design Practice