



차량 주행속도를 반영한 도로 평면선형설계 기법 연구

Development of a Vehicle Operating Speed Model and its Application for Designing Consistent Horizontal Alignment

최재성* 김상엽** 이점호*** 황경성****
 Choi, Jai Sung Kim, Sang Youp Lee, Jeom Ho Hwang, Kyung Sung

Abstract

At present engineers use the highway design speed concept to develop the horizontal alignment. This concept has a strength of attaining consistent horizontal alignments because of its use of a single speed value. Yet it shows a critical weakness that when opened the operating speed for the vehicles on the road can be a lot different than the design speed. To resolve this, many countries already develop the horizontal alignment by adopting procedures that weigh vehicle operating speeds, and this research joins them by developing an operating speed based horizontal alignment design. We have collected vehicle speed samples over the nation, selected some speed influential design elements by doing a statistical analysis, provided a set of models for two-lane roads and four lane roads, and showed a stepwise feedback procedure by doing a case study. It is underscored that in the case study the proposed procedure has scaled down the speed inconsistency problem, and we are of opinion that our procedure would coin both investment efficiency and speed consistency in future highway projects.

Keywords : *horizontal alignment design, vehicle operating speed, feedback process, design consistency*

요 지

현재 우리나라에서 도로 평면선형 설계를 위해 도로설계속도 개념을 사용하고 있다. 도로설계속도 개념은 단 한 개 도로 설계속도를 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 전역에서 표본을 선택하여 차량 속도조사를 수행했고, 속도에 영향을 미치는 도로설계요소를 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. 향후 우리나라 도로 건설 사업에서 본 연구에서 제안한 평면선형 설계기법을 적용하면 도로 투자 효율성이 높아지고, 더 높은 설계일관성을 확보할 수 있을 것으로 판단한다.

핵심용어 : 평면선형설계, 차량 주행속도, 피드백 과정, 설계일관성

* 서울시립대학교 교통공학과 교수 02-2210-2522 주저자
 ** 서울시립대학교 교통공학과 박사과정 02-2210-2990 교신저자
 *** 대한지방자치 경영연구원 공학박사 063-228-2227
 **** 서울시립대학교 교통공학과 석사과정 02-2210-2990



1. 서론

1.1 연구배경 및 목적

도로를 설계할 때 설계속도 개념이 없을 때는 한 개 속도를 사용하지 않고 도로주변 상황과 설계자 판단에 따라 속도를 계속 바꾸었기에 많은 교통사고가 발생했다. 이 문제는 미국에서 1930년부터 설계속도 개념을 사용하면서 많이 사라졌다. 그러나 설계속도 개념에도 몇 개 문제점이 있는데, 그 중 가장 큰 문제점은 운전자들이 설계속도대로 차량을 주행하지 않는다는 것이다. 이론적으로 볼 때, 설계속도는 날씨가 좋은 상태에서 운전자들이 낼 수 있는 최대 안전속도와 같다고 생각한다(11). 동시에 설계속도는 도로를 설계하기 전에 그 도로 기하구조를 결정하기 위해 사용하는 기본적 속도 수준이다(1). 또한 도로의 한 설계구간에서는 동일한 설계속도를 적용함으로써 해당구간에서 차량이 일정한 주행속도를 유지하게 한다고 생각한다(2). 그러나 도로 건설 이후 차량 속도를 조사해 보면, 차량의 실제 주행속도는 차량이 통과하는 지점의 기하구조 조건에 따라 지속적으로 변화한다(6). 현재 알려진 바로는, 도로상 실제 차량속도는 설계속도보다는 오히려 해당 지점에 위치한 평면곡선반경에 더 큰 영향을 받으며, Krammes(1994)에 따르면 대부분 평면곡선에서 차량 주행속도는 설계속도보다 높게 나타난다(14, 17). 다시 말해 설계속도는 일단 정해지면 변하지 않는 상수이나, 차량 속도는 계속해서 변하는 값이다. 그 이유는 운전자는 해당도로 설계속도에 대한 인식 없이 오로지 자신의 인식을 토대로 주행하는 태도를 보이기 때문이다. 문제는 이렇게 설계에 사용한 속도와 실제로 나타나는 속도가 다르게 되면 운전자는 다양한 유형의 교통사고 위험에 직면하게 된다는 것이다.

이는 기존 설계속도 개념이 가진 가장 취약한 문제점이다. 이 문제점은 매우 심각한 것이어서, 최근 미국, 호주, 독일 등 몇몇 나라에서는 도로 설계과정에 차량 속도를 감안하는 방법을 적용하고 있다. 이 방법이 갖는 핵심은 도로를 주행하는 차량들에 대한 주행속도를 예측해서 이를 도로 설계속도 결정과정에 반영함으로써 운전자의 기대치와

실제로 설계한 도로에서 나타날 차량속도를 같게 하려는 것이다. 이를 미국에서는 설계일관성 확보를 위한 주행속도의 반영 설계(11), 호주에서는 주행속도의 feedback 개념 설계(13), 독일에서는 안전성 확보를 위한 도로설계 개념(15)이라고 말한다.

이와 같은 인식에서 출발하여, 본 연구에서는 기존 설계속도 사용과정에서 나타나는 문제점을 밝히고, 도로 선형설계 과정에서 차량 주행속도 산정을 통해 최적 도로선형을 결정할 수 있는 기법을 제시한다.

1.2 연구의 범위와 방법

본 연구의 범위는 차량 주행속도를 산출하여 도로 선형설계 결과에 반영함으로써 최적 도로선형 설계를 얻는 방법에 관한 것이다. 또한 본 연구의 접근방법은 다음과 같다.

첫째, 설계속도 중심의 설계요소를 결정하는 기존 설계방식의 문제점을 밝힌다.

둘째, 기존의 주행속도 산정연구를 검토한다. 본 연구에서는 이 절차를 수행하기 위해 평면곡선반경의 영향을 고려한 주행속도 산정 모형을 산출했다. 그런데, 기존연구들을 고찰한 결과, 평면곡선반경과 더불어 도로가 통과하는 지형이 주행속도에 상당한 영향을 미친다는 것을 확인했기에(4), 지형별로 나누어 주행속도를 산출하는 방법을 제시했다.

셋째, 도로가 통과하는 지형별로 차량의 주행속도와 평면곡선반경 관계를 정립한다. 이를 위해 우리나라 지형 분류 자료 및 지형별 주행속도 자료를 구축하여, 평면곡선반경을 독립변수로 하는 지형별 실제 차량의 주행속도 예측모형을 정립한다.

넷째, 도로 설계과정에 상기 예측모형을 적용시켜 설계 적합성을 검토하는 방법을 제시한다.

다섯째, 사례분석을 수행하여 본 연구에서 정립한 방법이 갖는 실효성을 제시한다.

2. 현행도로 선형설계 기법

우리나라의 도로설계기준인 「도로의 구조, 시설기

준에 관한 규칙 및 해설(2)」에서 도로 설계속도는 ‘도로 기하 구조를 결정하는데 기본이 되는 속도’와 ‘차량의 주행에 영향을 미치는 도로의 물리적 형상을 상호 관련시키기 위해 정해진 속도’로 정의하고 있으며, 도로의 기능, 지형, 지역 구분에 따라 최소 설계속도 표를 제시하고 있다. 한편 심(4) 등이 현행 우리나라 설계속도 결정기준을 살펴본 결과, 설계속도와 도로 건설 이후 실제 조사해서 나타나는 차량 속도 간에는 뚜렷한 관련성이 없다는 것을 밝혔다(4).

미국의 도로설계기준인 "A Policy on Geometric Design of Highways and Streets"에 따르면(11), "도로의 다양한 기하구조 설계특징을 결정하기 위해 선택한 속도"로 정의한다. 이는 기존 설계속도 개념이 가진 취약점을 보완하기 위해 탄력적인 개념을 도입한 결과다. 그렇지만 아직도 설계속도 결정과정에서 차량의 실제 주행속도를 어떻게 반영하는지에 대한 구체적인 방법은 제시하지 않고 있다. Abishai Polus 등이 각국의 속도 자료를 분석한 결과, 90km/h 이상 속도의 도로에서는 설계속도와 주행속도의 차이가 크게 발생하지 않지만, 90km/h 이하 낮은 설계속도를 갖는 도로에서는 주행속도가 설계속도보다 약 10~20km/h 이상 높았다(12). 이 결론은 호주의 J. R. McLean이 이미 밝힌 바이기도 하다(16). Abishai Polus는 낮은 속도가 예상되는 도로 환경에서 과도한 설계를 하면, 주행속도와 설계속도 차이가 더욱 커질 것으로 예상했다(12).

캐나다의 도로설계기준인 "Geometric Design Guide for Canadian Roads(1999)(20)"에서는 설계속도 결정시 미국의 AASHTO와 유사한 방법을 따르고 있으며, 한 가지 차이점은 설계요소를 적용할 때 운전자의 속도 변화 행태를 적극적으로 반영할 것을 권고하고 있다는 점이다. 또한 주행속도 일관성 측면에서 평면곡선 반경과 평면곡선길이에 따른 주행속도 산출 모형을 사용할 것을 요구하고 있다(20).

호주의 도로설계기준인 "A Guide to the Geometric Design of Rural Roads(12)"에서는 실제 도로에서 나타나는 85th 주행속도와 현행 설계속도의 비교검토를 실시하였으며, 두 속도 사이에 큰 차이가 나타난다는 것을 확인했다(13). 이는 아마 주행속도

와 설계속도 차이가 많이 나타나는 도로가 양방향 2차로 도로인데, 호주에는 이런 도로가 대다수이기 때문일 것으로 짐작한다. 자연스레 호주는 일찍부터 현행 설계속도 개념이 갖고 있는 문제점을 인식했고, 이를 보완하기 위해 85th 주행속도를 반영하는 방법을 구체적으로 제시하고 있다(16).

마지막으로, 스웨덴에서는 'Safety Priority Design Speed'라는 개념을 도입하고 있는데(18), 이는 다른 나라와 다른 개념이다. 이 개념의 핵심은 도로 지점별로 최대속도를 결정하고, 그 속도에 적합한 도로를 설계함으로써, 가능한 한 차량들이 정해진 최대속도 이상으로 주행하는 것을 억제하는 것이다. 이러한 설계방법은 유럽 국가들에서 공통적으로 사용하고 있는 것으로서, 현행 설계속도 개념이 갖는 문제점을 어느 정도 보완할 수 있는 방법이라 할 수 있다.

결론적으로, 호주를 비롯한 일부 국가에서는 그림 1과 같이 주행속도분석을 활용한 도로 설계 feedback 기법을 이미 사용하고 있고 그 사용 효과가 매우 크다. 본 연구에서는 우리나라에서도 이런 기법을 정립해서 도로 설계기법을 보완해야 한다고 판단한다.

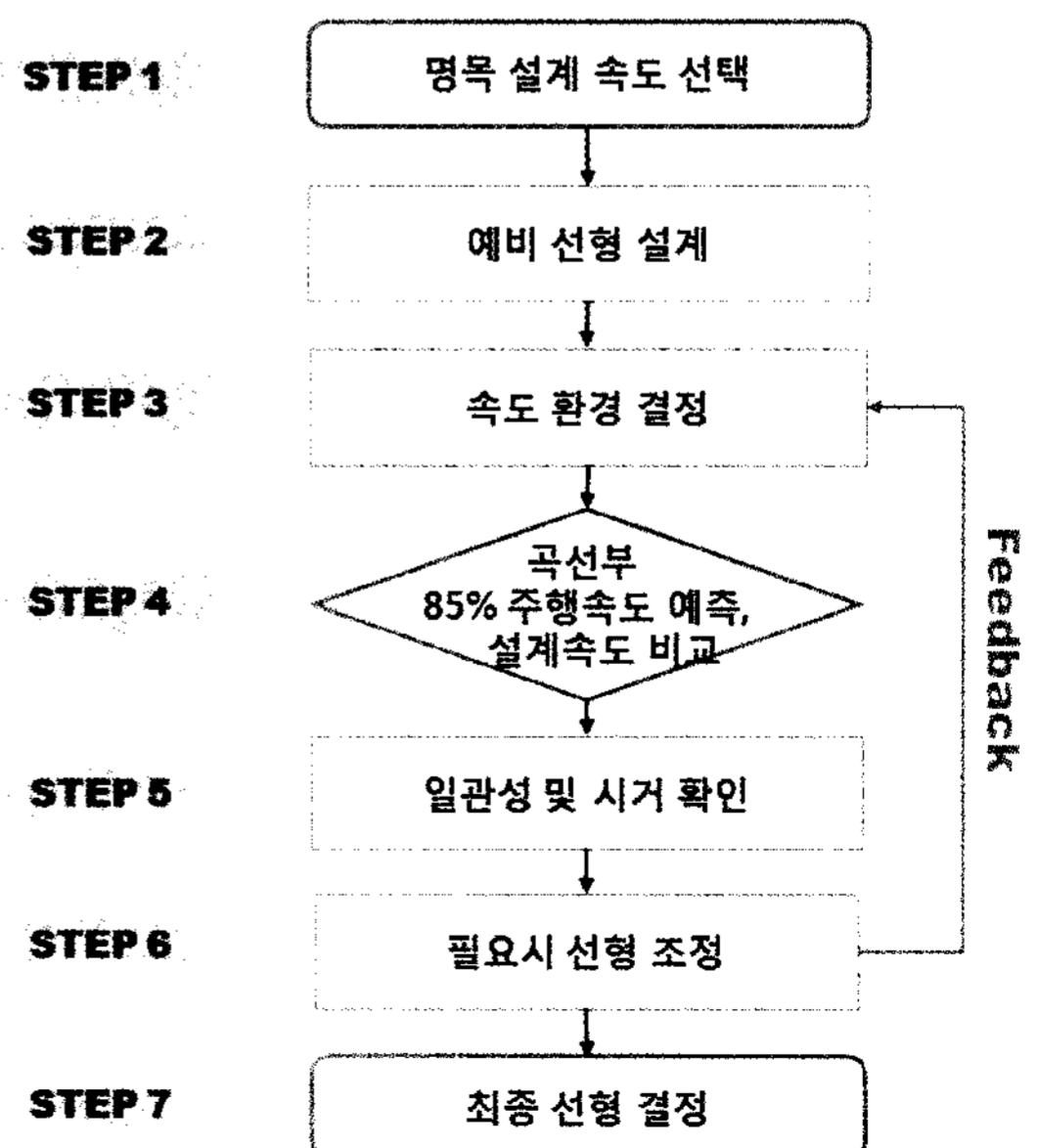


그림 1. 주행속도를 반영한 도로 설계기법 틀



3. 주행속도 예측모형의 산출

3.1 독립변수의 선정

위에서 제시한 방법대로 도로를 설계하기 위해서는 주행속도 예측이 중요하다. 본 연구에서는 기존 주행속도 예측모형을 검토해서, 차량속도 변화에 가장 큰 영향을 미치는 설계요소가 무엇인지 확인하여, 그 설계요소를 근거로 우리나라 주행속도 모형을 산출한다. 먼저 본 연구에서는 국내 20여개, 국외 40여개의 주행속도 예측모형을 검토하였다. 우리나라에서는 정(2000)이 국도 4차로를 대상으로 주행속도 모형을 산출했고, 최(1998)는 2차로 도로를 대상으로 산출한 바 있다. 외국에서는 호주에서 J.R. McLean(1979)이 지방부 2차로를 대상으로 주행속도 모형을 산출했고, 독일에서 Lamm 등(1988)이, 그리고 미국에서 R.A.Kramme 등(1995)이 미국 5개주에서 자료를 수집해서 모형을 산출했다.

본 연구에서는 위 검토과정에서 주행속도 산출에 가장 중요한 도로 설계요소가 무엇인지 살펴보았는데, 평면곡선반경이 가장 중요한 도로설계요소라고 판단했다. 그 이유는 표 1을 보면 주행속도를 산출할 때, 평면곡선반경을 독립변수로 단독으로 사용하거나 다른 변수와 함께 채택할 때 높은 예측력을 보이기 때문이다.

표 1. 평면곡선반경의 독립변수 채택과 평균 결정계수

평면곡선 반경 변수채택 여부	평면곡선을 쓴 경우		평면곡선을 쓰지 않는 경우	기타
	평면곡선만	다른 변수를 같이 쓴 경우		
모형 개수	27	14	10	7
평균 결정계수(R ²)	0.763	0.710	0.624	-

3.2 도로 지형의 구분

운전자는 도로 주행시 운전과 관련된 정보 중에서 눈으로 90%이상을 획득하는데(5), 산지의 경우 산비탈이나 절토면 등에 의해 시야가 가려지기 때문에 주행속도는 달라진다. 최 등(2005) 연구에서 기하구조 요인만을 고려한 주행속도 모형과 지형 특성을 동시에 고려한 주행속도 모형을 산정해서 비교했는데, 기하구조 요인만을 고려한 모형의 결정계수는 0.61이고 지형을 동시에 고려한 모형의 결정계수는 0.76이어서, 지형 구분을 하는 것이 모형 예측력을 높이는 것으로 밝힌 바 있다(9). 따라서 본 연구에서도 도로 지형을 구분했다. 이를 위해 본 연구에서는 국립지리원의 수치고도 자료와 최 등(2006)의 연구에서 수행한 지형구분 방법론을 채택하였는데, 표 2, 표 3은 그 방법론에 따른 분석 예이다. 그림 2는 이 방법을 우리나라 전 국토에 대해 적용한 결과이다.

3.3 통계분석

본 연구에서는 우리나라 일반국도상의 주행속도 관련 자료를 수집 조사했는데, 일부 구간에 대해서는 기존 보고서에 나타난 속도 자료를 활용했다. 조사 지점은 양방향 2차로 130개 지점과 4차로 68개 지점이며, 표 4는 이를 정리한 것이다. 본 연구에서 주행속도예측 모형은 SPSS(Statistical Package for the Social Science, V14.0)을 이용해서 구축했다. 사용한 도로 기하구조 요소는 평면선형, 종단선형, 횡단면 관련 변수이고 교통운영특성은 국도등급, 제한속도, 그리고 접속도로 밀도 자료이다. 표 5는 본 연구에서 구축한 일반국도 기하구조와 교통운영특성을 요약한 것이다.

한편 본 연구에서는 일반국도의 경우 양방향 2차로와 양방향 4차로의 주행속도 패턴이 서로 다른 것인지 다음과 같이 검토했다. 우선 이들 서로 다른 도로별로 주행속도와 평면곡선반경 변화도를 검토했다. 그림 3과 그림 4는 차로별 주행속도 변화도이다. 육안으로는 이 두 형태가 같은 패턴인지 아닌지 확인할 수 없다. 따라서 통계분석 기법을 적용해서 이를 확인했다. 본 연구에서는 이를 위해 T-test 중 독립 표본 T검정 방법을 이용하였고, 표 6은 통계분석 결과이다. 이 결과에 의해, 본 연구에서는 양방향 2차로 도로와 4차로 도로에서 나타나는 차량 주행속도는 서로 다른 패턴을 갖는 것을 확인했다.

표 2. 지형자료 예

고도(m)	경사도(°)	지형구분
638.8	1.7	산지
115.6	3.7	구릉지
565.6	8.0	산지
58.1	8.4	평지
548.0	6.2	산지
59.9	5.1	평지
479.3	2.8	산지
325.1	5.5	구릉지
63.1	4.4	평지
112.1	3.7	구릉지
419.8	2.1	산지
419.7	0.9	산지
215.0	6.2	구릉지
453.9	7.3	산지
60.0	9.6	평지
420.5	15.7	산지
415.4	10.0	산지
20.4	0.7	평지
111.7	5.0	구릉지
102.2	3.7	구릉지



그림 2. 본 연구에 따른 우리나라 지형분류 결과

표 4. 본 연구에서 산출한 일반국도 속도자료(일부)

곡선 반경	곡선 길이	편경사	차로 폭	길어 개폭	종단 경사	...	주행 속도
850	130	0.06	3.4	0.8	-1.6		83.2
250	174	0.06	3.5	0.8	-1.5		71.2
800	320	0.05	3.4	0.7	0.2		76.0
400	130	0.06	3.4	0.8	-1.5		81.6
250	174	0.05	3.5	0.7	-1.2		71.2
300	80	0.06	3.3	0.7	1		75.0
400	174	0.04	3.5	0.8	-1.5		74.4
250	130	0.05	3.5	0.7	0.3	...	56.0
500	120	0.02	3.5	0.7	-1.5		79.2
500	120	0.05	3.5	0.7	-1.3		80.0
400	140	0.03	3.4	0.8	0.2		71.0
200	130	0.05	3.5	0.7	1		53.6
300	130	0.05	3.4	0.7	0.2		64.0
400	130	0.02	3.4	0.8	-1.3		76.8

(계속)

구분	0~100m	400m 이하	400m 이상
0°~5°	평지	평지	
5°~10°	평지	구릉지	
10°이상	구릉지		

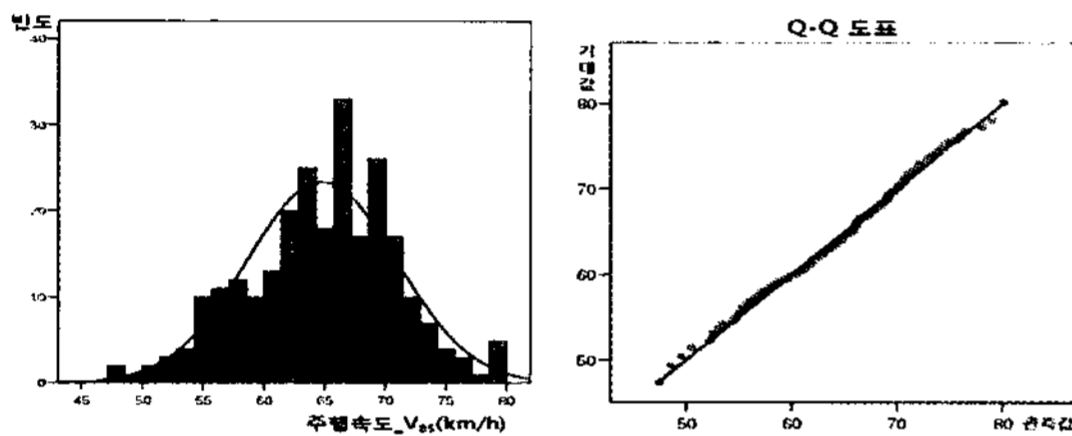
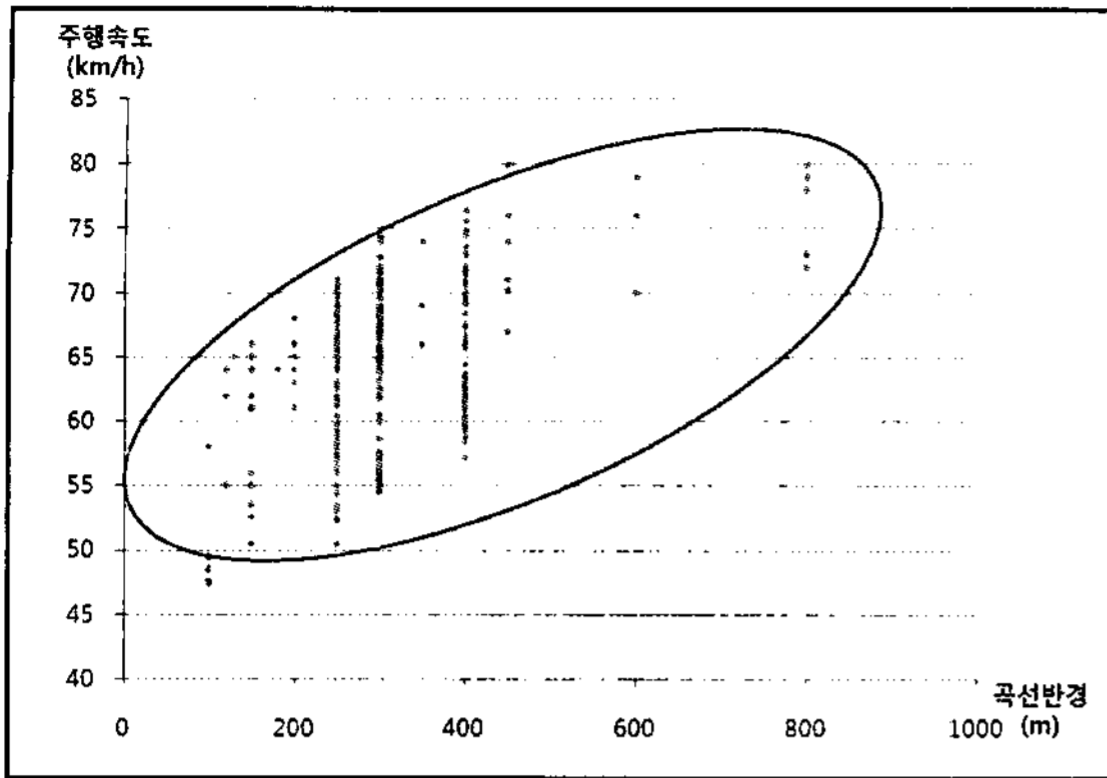


그림 3. 양방향 2차로도로의 곡선반경에 따른 주행속도

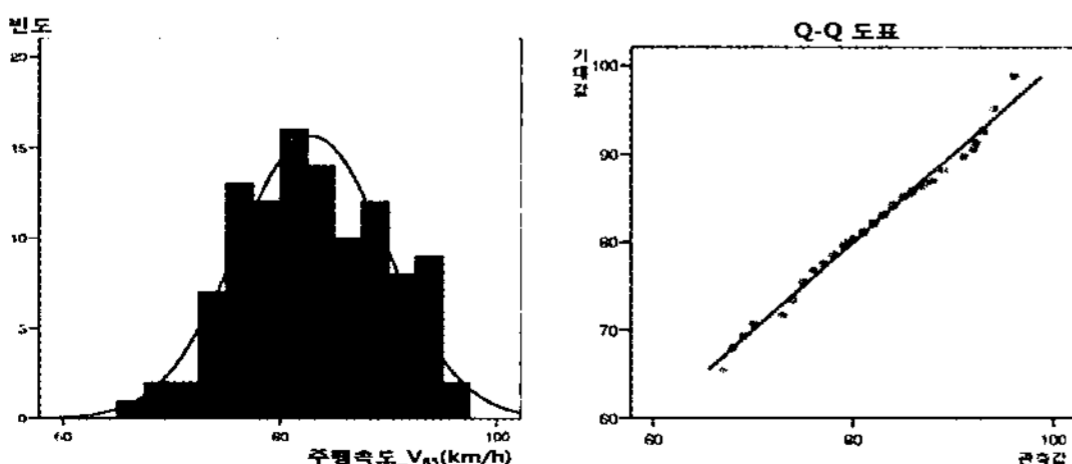
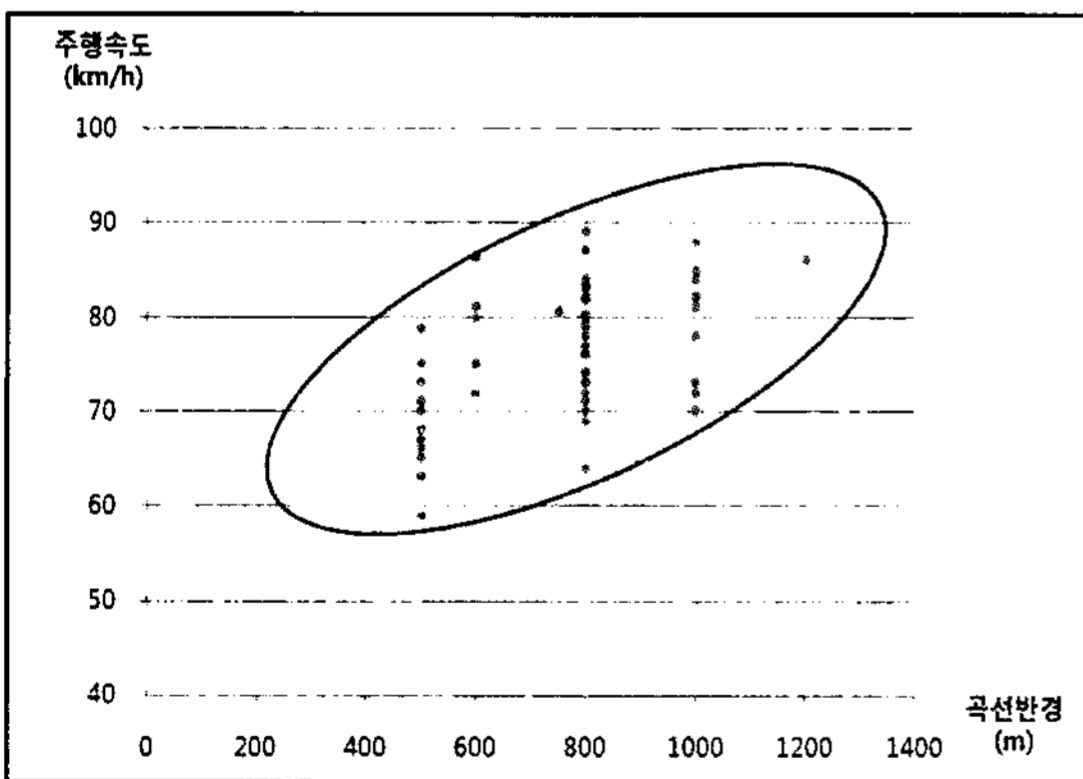


그림 4. 양방향 4차로도로의 곡선반경에 따른 주행속도

표 6. 양방향 2차로와 4차로의 주행속도 패턴에 대한 통계분석 결과표

	가설	차로별 주행속도 평균에 대한 t-검정						
		t	자유도	유의확률 (양쪽)	평균 차이	표준오차	95% 신뢰구간	
							하한	상한
차로별 주행속도	등분산임	-23.095	360	.000	-17.432	.755	-18.916	-15.948
	등분산이 아님	-21.547	174	.000	-17.432	.809	-19.029	-15.835

그 후, 주행속도에 영향을 미칠 것으로 예상하는 독립변수들을 선정하여, 이들 변수 간 상관관계를 표 7에 의해 파악했다. 먼저 평면곡선반경의 경우 양방향 2차로와 4차로 모두 99%수준에서 통계적으로 유의한 상관분석 결과를 보였으며, 계수도 양(+)의 기호로 곡선반경이 커질수록 주행속도가 증가하는 결과를 보였다. 차로 폭의 경우 양방향 2차로와 4차로에서 모두 95%수준에서 유의한 상관관계를 가졌지만, 계수를 검토한 결과 양방향 2차로에서는 양(+)의 값을 나타냈고, 4차로에서는 음(-)의 값을 나타내는 결과를 보였다. 끝으로, 길 어깨 폭의 경우 양방향 2차로에서만 주행속도와 상관성이 높았다. 이 밖에도 곡선길이, 편경사, 종단경사 그리고 접속도로 밀도에 대해서도 상관분석을 실시하였으나 주행속도와는 연관성이 낮았다.

위의 상관분석 결과에 따라 도로 지형별로 주행속도와 가장 밀접한 관련이 있는 독립변수로 평면 곡선반경을 선택했다.



표 7. 주행속도와 독립변수간 상관분석 표

양방향 2차로		곡선 반경	곡선 길이	편경사	차로 폭	길어 깨폭	종단 경사	접속 밀도
주행 속도	Pearson Correlation	.509(**)	.096	-.108	.215(+)	-.167(+)	-.361	-.075
	Sig. (2-tailed)	.000	.143	.099	.031	.011	.083	.251
	N	234	234	234	234	234	234	234
4차로		곡선 반경	곡선 길이	편경사	차로 폭	길어 깨폭	종단 경사	접속 밀도
주행 속도	Pearson Correlation	.627(**)	.182	-.112	-.247(+)	.015	-.165	.051
	Sig. (2-tailed)	.000	.053	.248	.020	.880	.088	.601
	N	108	108	108	108	108	108	108

** 상관계수는 0.01 수준(양쪽)에서 유의함
 + 상관계수는 0.05 수준(양쪽)에서 유의함

다음으로 주행속도와 평면곡선반경간의 관계를 결정했다. 이를 위해 그림 3과 그림 4에서 나타난 변화 패턴을 다각도로 검토했으며, 최종적으로 본 연구에서는 그 관계를 식 (1)과 같은 로그 형태 식으로 결정했다.

$$Y = \alpha + \beta \ln(X) + \epsilon \quad (1)$$

여기서, Y: 주행속도 (km/h), ϵ : 오차
 X: 평면곡선반경 (미터), α, β : 계수

3.3.1 양방향 2차로

양방향 2차로를 대상으로 지형별 주행속도 예측 모형을 구축한 결과를 살펴보면 표 8과 같다. 전체적으로 보면 선형 모형보다는 대수 모형이 결정계수(R²)측면에서 우수한 것으로 판단한다. 평지, 구릉지 그리고 산지 모두 결정계수가 0.7이상으로 지형을 구분하는 것이 정확한 주행속도 예측을 위해 타당하다. 잔차분석을 통하여 산정된 F값(=회귀제곱평균(MSR)/오차제곱평균(MSE))은 자유도에 따른 F 분포표에서 임계치를 찾으면 7.0수준인데 본 모형은 F값이 약 181~270수준으로 회귀식은 통계적으로 유의하다. 회귀계수의 의미를 가지는 t검정

에서도 모든 값이 2.0이상으로서 계수값은 유의하다. 그림 5는 이 결과를 그림으로 표시한 것이다.

표 8. 양방향 2차로 모형 분석 결과

구분	Equation	Model Summary					Unstandardized Coefficients	
		R Square	F	Constant t	곡선반경 t	Sg.	Constant	곡선반경
평지	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
산지	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

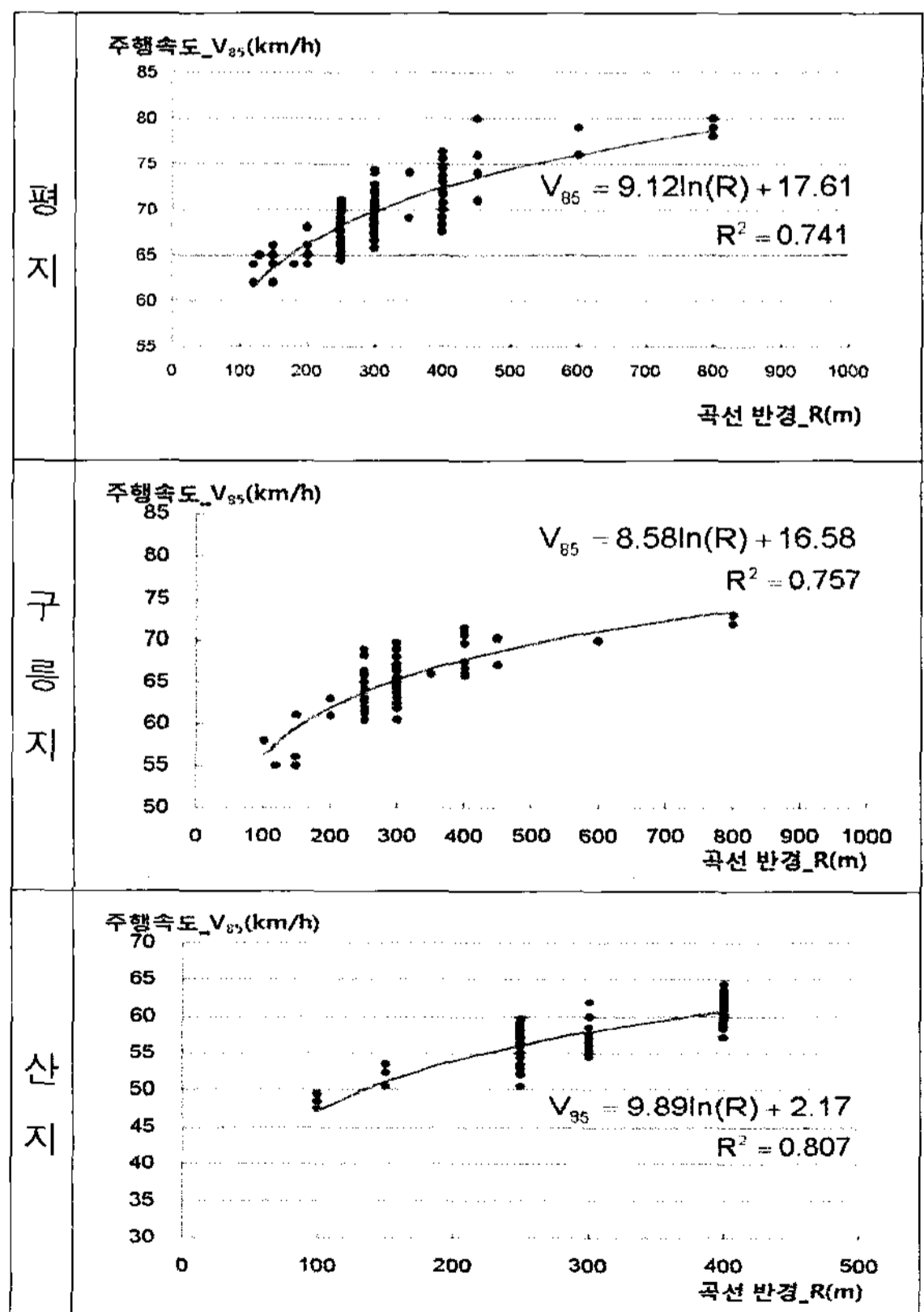


그림 5. 지형별 V₈₅ 예측모형 (양방향 2차로)



3.3.2 양방향 4차로

표 9. 4차로 모형 분석 결과

	Equation	Model Summary					Unstandardized Coefficients	
		R Square	F	Constant	곡선반경 t	Sig.	Constant	곡선반경
평지	Linear	.695	147.879	56.485	12.161	.000	63.382	0.020
	Logarithmic	.749	194.183	3.550	13.935	.000	22.540	9.793
구릉지	Linear	.798	150.227	32.151	12.257	.000	59.429	0.031
	Logarithmic	.823	188.558	5.191	13.732	.000	20.163	9.021
산지	Linear	.732	44.304	40.550	6.656	.000	55.778	0.014
	Logarithmic	.757	55.240	3.120	7.432	.000	10.852	9.991

표 9에서 표시한대로, 4차로도 마찬가지로 모형식의 독립변수로는 평면곡선반경으로 선정하였고, 대수(log)식과 선형(linear)를 모두 추정하여 비교한 결과 대수모형이 우수한 것으로 나타났다. 평지, 구릉지 그리고 산지 모두 결정계수가 0.7이상이다. 잔차분석을 통하여 산정된 F값(=회귀제곱평균(MSR)/오차제곱평균(MSE))은 F 분포 표에서 7.0 정도인데 본 모형은 44~194 수준이어서 회귀식은 통계적으로 유의하다. 회귀계수의 의미를 가지는 t 검정에서도 모든 값이 2.0이상으로서 계수들은 통계적으로 유의하다.

3.4 모형의 검증

본 연구에서 개발한 주행속도 모형의 적합성 및 활용성을 높이기 위해 본 연구의 주행속도의 예측치와 실제 주행속도를 비교하였다. 검증은 위 모형 산정과정에서 사용하지 않은 15개 지점 자료를 추가로 수집해서 분석했으며, 이 검증과 별도로 외국 결과와 비교해 보기 위해 그림 7과 같이 캐나다*와 독일**의 자료도 같이 포함시켰다. 이 때 이 두 연구는 양방향 2차로만을 대상으로 했기에 본 연구의 모형 중 양방향 2차로만 비교했다.

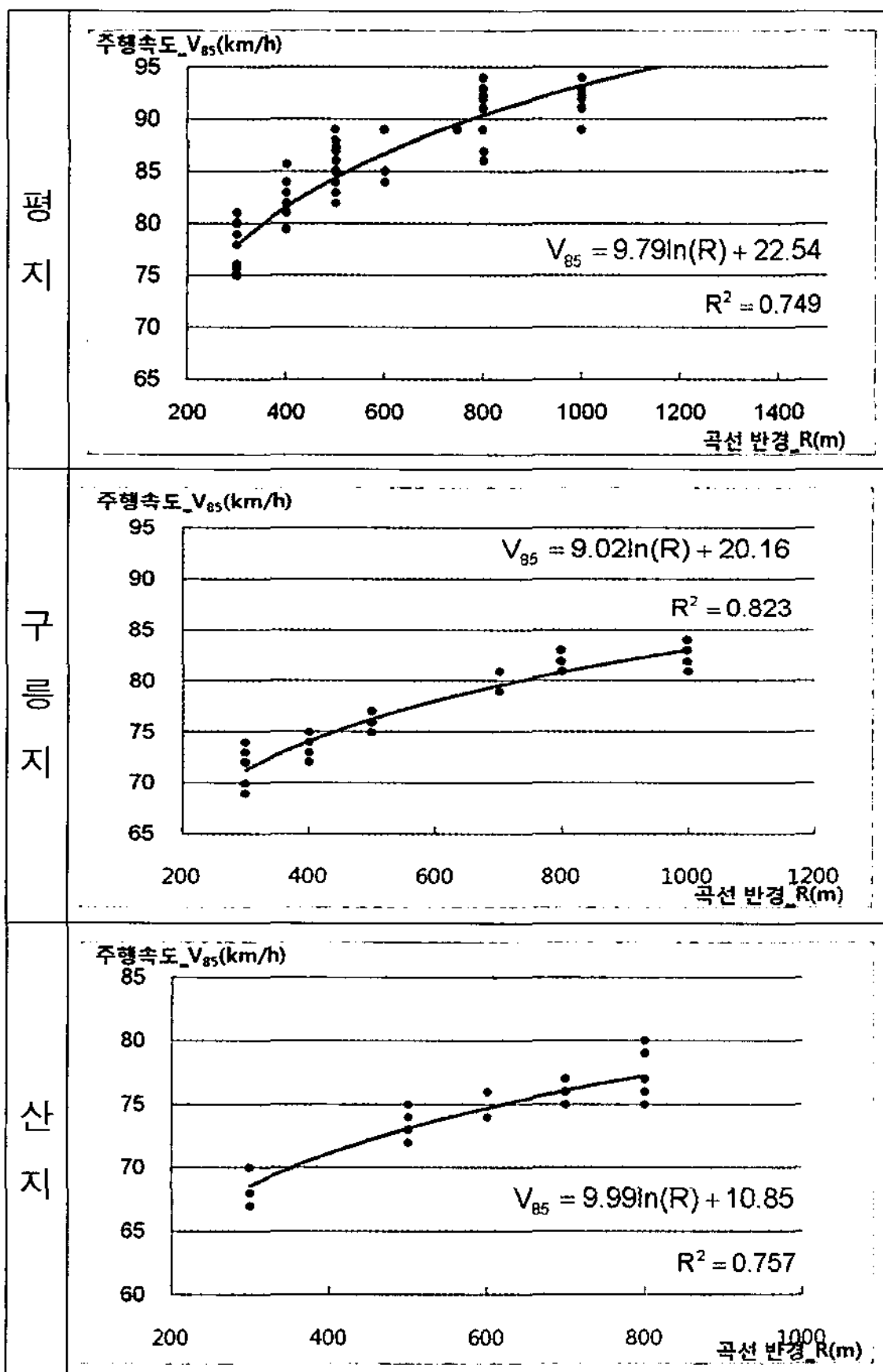


그림 6. 지형별 V₈₅ 예측모형 (양방향 4차로)

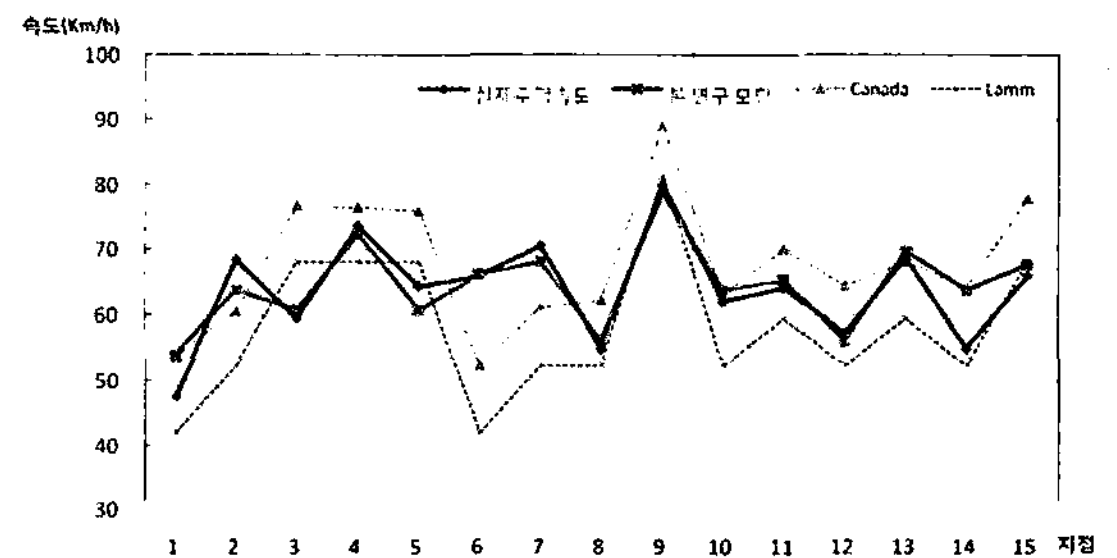


그림 7. 실제 주행속도와 모형에서 산출한 주행속도의 비교

* $V_{85} = 102.45 + 0.0037L - (8995+5.73L)/R$ 여기서, L: 곡선장(m), R: 곡선반경(m)
 ** $V_{85} = 94.37 - 1.83DC$ 여기서, DC: 곡률도(°/100ft)

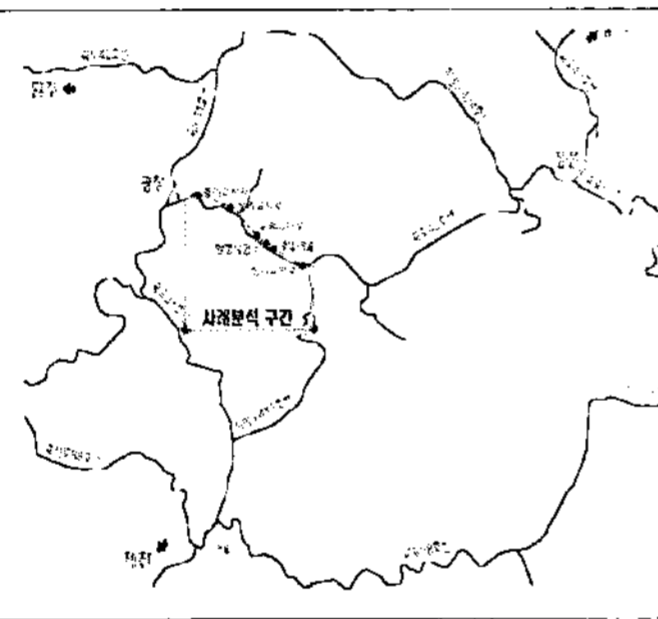
3. 사례분석

본 연구에서는 2장에서 제시한 그림 1에 따라 주행 속도를 반영한 도로설계기법을 사례분석을 통하여 적용하고자 한다. 사례분석 구간은 국도 42호선 평창~정선 1공구(8.72km) 구간이고 설계속도는 60km/h다.

STEP 1: 분석구간 및 명목 설계 속도 선택

기존의 설계속도 기준 방식에서 산출한 기준에 따른 설계안과 본 연구에서 제안한 수정설계안을 그림 1에 제시한 절차에 따라서 비교 분석한다.

표 10. 사례분석 대상지 (국도 42호선)

구분	내용	
기능	간선도로	
차로수	2차로	
지형	산지부 및 구릉지	
연장	8.72km	
설계속도	60km/h	

STEP 2 와 STEP 3. 예비 선형 설계 및 속도 환경 결정

우리나라 도로 기준인 「도로의 구조·시설기준에 관한 규칙(2000)」에서 제시한 설계속도 60km/h에서의 평면곡선반경과 기타 설계제원을 적용하여 그림 8과 같이 설계했다.

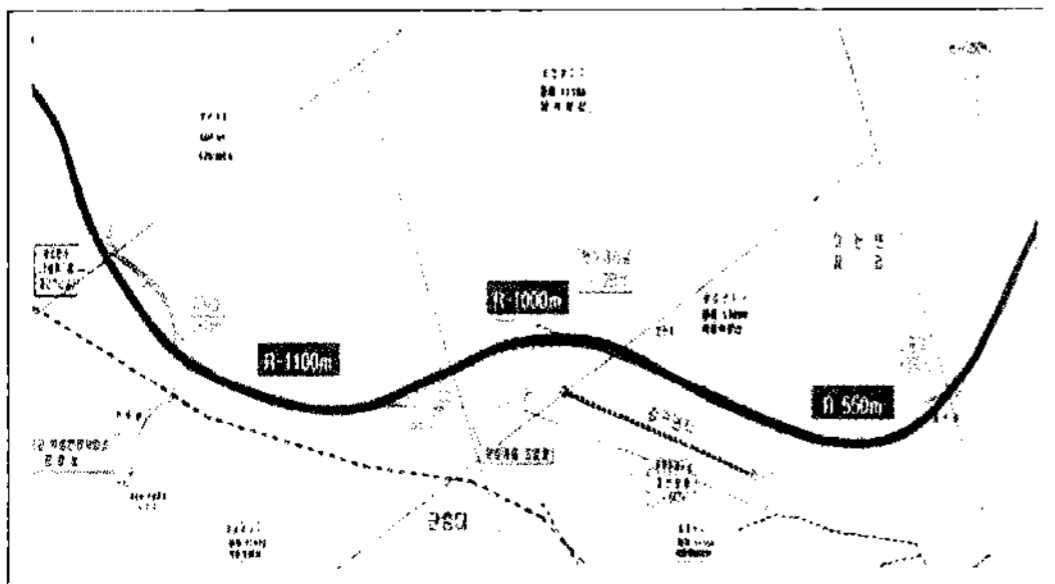


그림 8. 기존 기법에 따른 도로 선형 설계

STEP 4. 주행속도 예측 및 비교

본 연구에서 개발한 주행속도 예측모형으로 그림 9에 대해 주행속도를 예측했다.

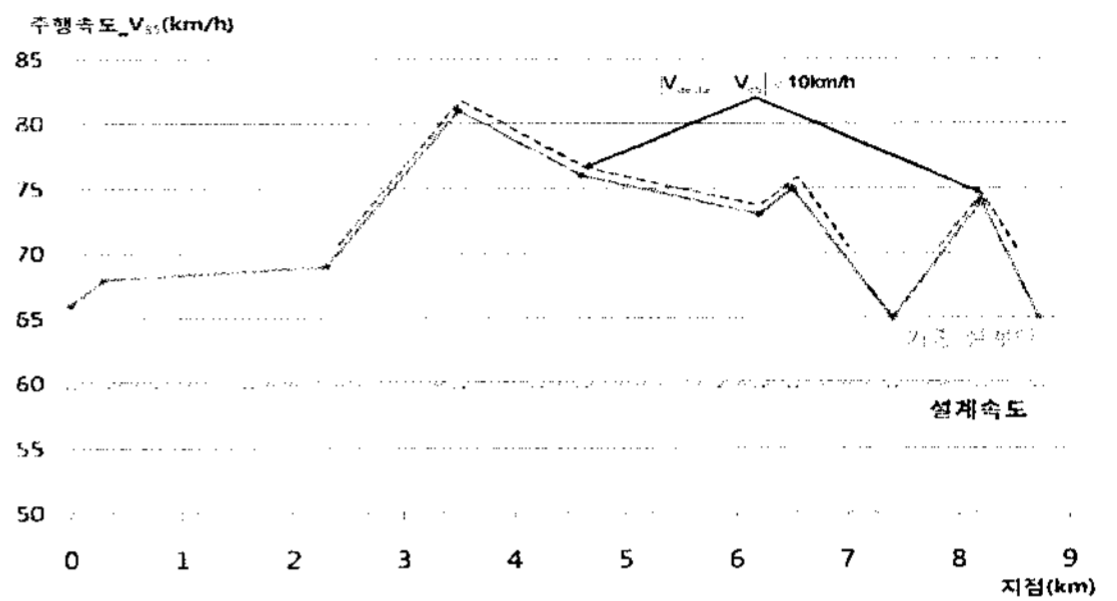


그림 9. 기존 설계안의 주행속도 Profile

STEP 5. 일관성 확인

기존 설계안의 경우 설계속도와 10km/h이상 차이가 나는 구간이 5.0km정도 나타났다. 이는 차량 주행속도 변화를 충분히 고려하지 않았기 때문에 발생한 결과다.

STEP 6. 도로선형 수정

따라서, 설계속도와 주행속도 차이를 없애기 위해서는, 그림 10과 같이 수정 설계가 필요하다.

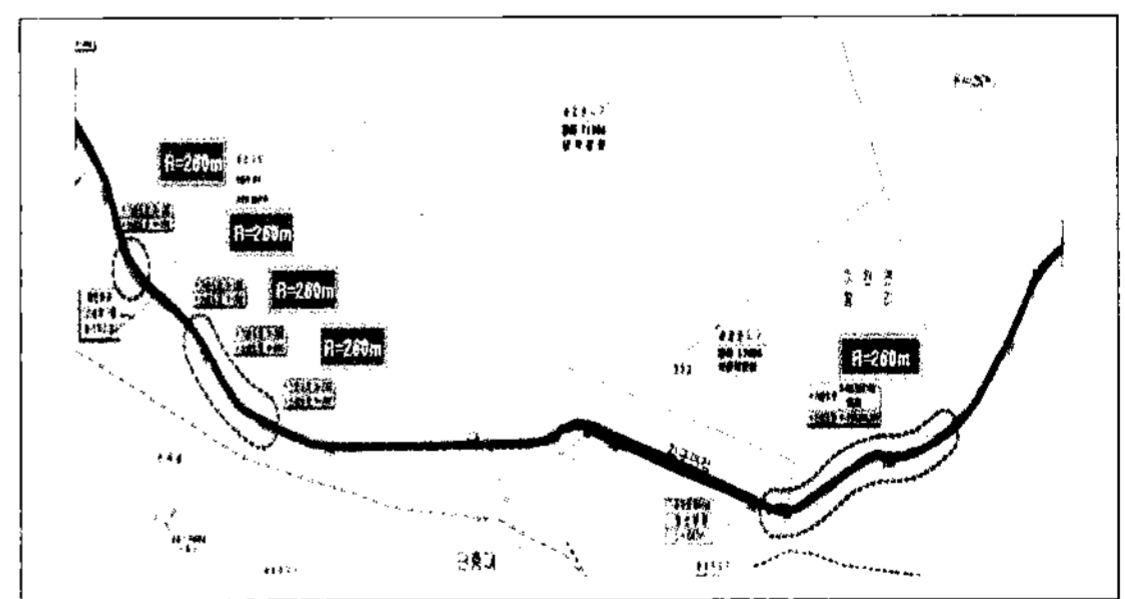
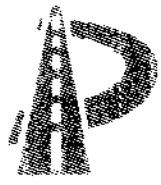


그림 10. 수정 설계안

STEP 4 → STEP 5 → STEP 7. 최종 선형 선정
수정설계안의 경우도 기존 설계안과 마찬가지로 주행속도를 예측하여 일관성을 확인한다. 그림 11은 기존설계안과 수정설계안에 대하여 본 연구에서 구축한 주행속도예측모형을 이용하여 산정한 차량속도의 변화를 그린 것이다. 수정 설계안의 경우 Sta5+826.00 지점을 제외한 모든 구간에서 예측



주행속도와 설계속도의 차이가 10km/h 이내로 일관성 측면에서 만족한다. 이 결과에 따라, 본 연구에서는 수정설계안을 최종 선형으로 결정한다.

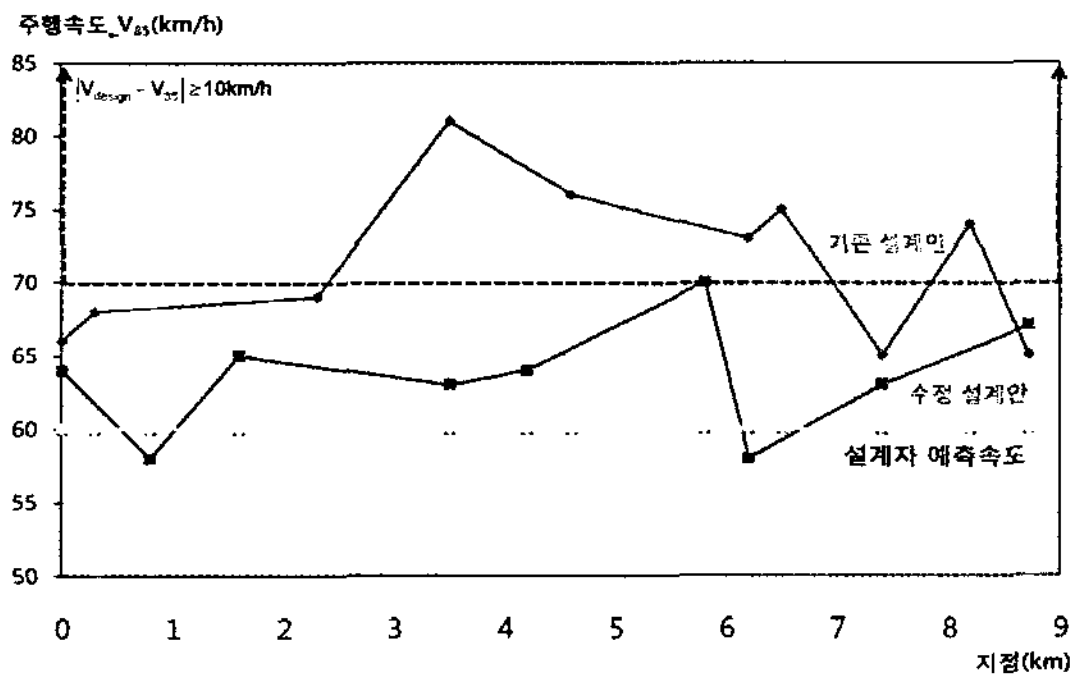


그림 11. 기존설계안과 수정설계안의 주행 속도 변화 비교도

본 연구에서 제안한 수정설계안의 경우, 주행속도의 분포가 그림 10처럼 58km/h~70km/h로 설계자의 예측속도와 유사하게 나타났다. 반면에, 기존 설계속도 중심의 기준에 따른 기존 설계안의 경우, 주행속도가 80km/h보다 높게 예측되는 구간이 나타났다. 이는 설계자가 감안한 속도 60km/h보다 20km/h 정도 높은 수준이다. 또한 기존 설계안의 경우 설계속도와 주행속도의 차이가 10km/h 이상 되는 구간이 5.1km나 존재하였다. 사례분석 결과를 정리하여 제시하면 표 11과 같다.

표 11. 사례분석 결과

구분	기존 설계안	수정 설계안	비고
차량주행속도 (km/h)	77	68	
총공사비 (억원)	645	179	
공사구간의 길이 (km)	8.72	5.34	
공사비 (억원/km)	74	34	
일관성 결여 구간 (km)	5.1	-	설계속도 - 주행속도 ≥ 10km/h

5. 결론

본 연구에서는 현재 도로 선형설계에서 사용하고 있는 설계속도 개념을 개선할 수 있는 기법을 제시했다. 이 기법을 산출하기 위해 본 연구에서는 주행속도, 도로의 지형구분, 평면곡선반경간 관계를 중점적으로 검토했으며, 분석 과정에서는 우리나라 도로에서 수집한 위 세가지 변수들에 대한 자료를 통계 분석하였다.

본 연구 핵심은 평면곡선반경을 독립변수로 한 차량 주행속도 모형을 산출하여, 실무자들이 설계한 도로선형에 그 모형을 적용함으로써 주행속도를 산출할 수 있게 한 것이다. 이 기법을 이용하면, 설계속도와 실제 주행속도가 같은지 또는 다른지 쉽게 점검할 수 있게 되어, 만약 다르다면 도로 선형을 다시 설계하도록 요구할 수 있다. 이는 현재 우리나라에 없는 절차인데, 이 기법을 활용하면 향후 도로 선형설계 시 훨씬 현실적이고 안전한 결과를 얻을 수 있을 것으로 전망한다. 본 연구에서는 이 기법을 실제 사례지점에 적용해보았는데, 적용 결과는 저자가 처음 기대했던 결과와 일치하는 매우 고무적인 것이었다.

감사의 글

이 연구는 친환경·지능형 도로설계 기술개발 연구단을 통하여 지원된 건설교통부 건설핵심기술 연구사업에 의하여 수행되었습니다. 연구지원에 감사드립니다.

참고문헌

- 건설교통부(1999), "국도기능분류 및 효율적 투자방안 연구", 건설교통부, p.95-p.99
- 건설교통부(2000), "도로의 구조·시설기준에 관한 규칙 해설 및 지침", 건설교통부, p46-p48
- 강원익(2001), "일반국도의 수행기능 분석에 의한 적정 설계기준 연구", 대한교통학회지, 제19권, 제1호, 대한교통학회, p.53-p.62



심관보 외 (2005), "기능재분류와 지형특성을 이용한 도로 설계속도 적정화 방안", *대한교통학회지* 제23권 제6호, p.11

이수범 외(2001), "인적요인이 도로설계에 미치는 영향(제1단계)", 한국교통연구원, p.12

정준화 외(2000), "속도에 따른 평면 곡선부 설치 방안 연구", *대한토목학회논문집* 제20권 제5호, p.537-p.547

최재성 (1998), "도로선형에 대한 설계일관성 평가 모형의 개발", *대한교통학회지* 제16권 제4호, p.199-p.207.

최재성 외 (2006), "도로설계 적정화를 위한 새로운 지형구분에 관한 연구", *한국도로학회 논문집* 제8권 제4호, p.49~p.62

최재성 외 (2005), "환경 친화적 도로 설계를 위한 기초 연구(노선대 지형 및 지역 요소를 고려한 일반국도 주행속도 예측 모형)", *대한교통학회지* 제23권 제 7호, p.26-p.28

한국개발연구원(2002), "공공투자사업의 예산관리의 효율화 방안(Ⅱ), 국도건설비 합리화 방안", p.199

AASHTO (2004), "A Policy on Geometric Design of Highways and Streets", AASHTO, p.67, p.147

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

AUSTROADS (2003), "A Guide to the Geometric Design of Rural Roads", AUSTROADS

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.

Lamm, et al. (1988), "Possible Design Procedure to Promote Design Consistency in Highway Geometric Design on Two-Lane Rural Road", TRR1195, TRB

McLean, J. R.(1979), "An Alternative to the Design Speed Concept for Low Speed Alignment Design in Low Volume Roads", 2nd International Conference,

TRR702, TRB

McLean, J. R.(1995), "Changes in Horizontal Alignment Design Standard in Australia and Canada", International Symposium on Highway Geometric Design Practice, p. 19-6

R. A. Kramme, M.A. Garnham(1995), "Worldwide review of alignment design policies", International Symposium on Highway Geometric Design Practice

R. A. Kramme, et al. (1995), "Horizontal Alignment Design Consistency for Rural Two-Lane Highways", RD-94-034, FHWA

Transportation Association of Canada (1999), "Geometric Design Guide for Canadian Roads", Transportation Association of Canada, p.2.1.2.1- p.2.1.2.20

접 수 일: 2008. 2. 5
 심 사 일: 2008. 2. 11
 심사완료일: 2008. 3. 5