

■ 論 文 ■

환경 친화적 도로 설계를 위한 기초 연구

(노선대 지형 및 지역 요소를 고려한 일반국도 주행속도 예측 모형)

A Study On Context Sensitive Highway Design Based On Improved Operating Speed Prediction Methods in National Roads

김 상 업

(서울시립대학교 교통공학과 석사과정)

최 재 성

(서울시립대학교 교통공학과 교수)

목 차

- I. 서론
 - 1. 연구배경 및 목적
 - 2. 연구의 범위와 방법
- II. 기존 연구 고찰
 - 1. 국내외 도로설계 기준의 고찰
 - 2. 주행속도 예측 모형의 검토
 - 3. 운전자 시각특성에 대한 고찰
- III. 데이터 구축 및 분석 방법론 정립
 - 1. 지형 및 지역 요소 데이터의 정의 및 구축
 - 2. 주행속도 자료 수집 및 데이터 구축
- IV. 일반국도 주행속도 예측모형 개발
 - 1. 분석방법의 개요
 - 2. 기하구조 요인을 고려한 회귀분석
 - 3. 지형 및 지역 특성에 따른 속도차의 유의성 검증
 - 4. ANOCOVA를 이용한 주행속도 예측모형의 개발
- V. 주행속도 예측 모형의 검증 및 활용
 - 1. 일반국도 주행속도 예측모형의 검증
 - 2. 선행연구와의 본 연구모형과의 비교
 - 3. 지형 및 지역요소를 반영한 설계속도 범위 산정
- VI. 결론 및 향후 연구과제

Key Words : GIS, 지형 및 지역 요소, ANOVA, ANOCOVA, 주행속도 예측모형

요 약

도로설계속도는 해당도로 규격을 결정하는 매우 중요한 설계요소이다. 설계속도 결정시 개통후 차량 주행속도를 예측하여 상관성이 높도록 계획해야 하는데, 기존 일반국도 주행속도 예측 모형은 설계속도에 따른 기하구조 요인만을 고려하여 도로의 주변환경을 고려하지 못하는 한계가 있다. 주변환경을 충분히 고려하지 않을 경우 과도한 공사비 지출과 지나친 환경 파괴우려가 있다. 따라서, 본 연구에서는 도로 주변환경요소를 고려하는 주행속도 예측모형식의 정립을 시도했고, 연구결과는 다음과 같다.

첫째, 우리나라 일반국도의 지형 및 지역 요소를 운전자의 시각 특성과 GIS 프로그램을 활용하여 정의하였다. 둘째, 이렇게 구축한 지형 및 지역 특성이 차량의 주행속도에 미치는 영향을 살펴보았다. 그 결과, 지형 및 지역 별로 95% 신뢰도에서 속도차이가 있는 것으로 판단되었다. 셋째, 일반선형 모형(GLM)을 통하여 기하구조 요인과 지형 및 지역 요인을 모두 고려한 예측 모형식을 수립해 보았는데, R-Square가 양방향 2차로는 0.67, 양방향 4차로가 0.85로 나타났다.

끝으로 본 연구에서 개발한 모형을 바탕으로 지형 및 지역요소를 감안한 적정 도로 설계속도 범위를 제시했다. 이 방법론에 따라 산출된 관련 설계속도 범위는 일반국도에 대해 적용할 수 있지만, 지방도등 타 도로에 대해서는 직접 적용하기 곤란하다.

Highway design speed is a very important design element which determines highway design level. When determining highway design speed, one would estimate it utilizing the most likelihood of design speed and vehicle operating speed relationship. Existing operating speed prediction models only include highway geometric characteristics and their impacts on speed, which usually can not consider the impact of highway design speed on surrounding roadway environment and land use pattern. If this happens, excessive highway construction cost and huge environmental impact can occur. In this research project, a new vehicle operating speed prediction model was developed which can reflect the effect of surrounding roadway environment into vehicle speed prediction. The followings are the research findings:

Firstly, highway terrain types and land use pattern on national roads were classified and integrated into drivers' visual recognition pattern. This was performed using a data management software. Secondly, the developed highway terrain types and land use pattern were related to vehicle speeds and it was found that there were significant statistical differences among vehicle speed for each different terrain and land use patten. Thirdly, the General Linear Model analysis was employed to analyze the effects of highway geometric features, terrain types, and land use patterns. For two-lane highway and four-lane highway tested in this research project, it was found that R squares were 0.67 and 0.85, respectively.

Additionally an optimal highway design speed range table, based on this research project, was proposed for practical use. This table can be reliably used on South Korean national road design, but discretion is required for applying this table to other types of highways including provincial roads and municipal roads.

1. 서론

1. 연구배경 및 목적

최근 우리나라는 개발위주의 정책에서 벗어나 국민의 삶의 질을 높이는 환경을 우선시하는 방향으로 정책이 전환되고 있다. 이러한 시대적 요구에 따라 도로설계분야에서도 환경파괴를 최소화하고 쾌적한 환경을 제공할 수 있는 환경친화적인 도로설계를 지향하는 목소리가 커지고 있다.



〈그림 1〉 지나친 절성도로 인한 자연경관훼손



〈그림 2〉 도로건설로 인한 생활권의 분리

한국개발연구원(2002)¹⁾에 따르면 환경적인 요소를 적용하는 기준 없이, 설계속도를 60km/h에서 80km/h로 상향조정하는 경우 km당 공사비는 평균 1.5배정도 증가하지만, 실제 주행속도는 크게 증가하지 않는 것으로 나타났다.

한편, 최근 미국의 AASHTO(2004)에서는 설계속도는 도로의 기능분류이외에도 인접지역이용, 지형, 예측 주행속도에 따라 논리적으로 결정되어야 한다고 주장 한다. 이는 설계속도를 결정하는 데 있어서 도로의 기능분류이외에도 인접지역이용, 지형 등 환경적인 요소를 감안해야 한다는 것이다. 이는 앞에서 지적한 우리나라 경우처럼 주행속도 증가없는 설계속도 개선을 염두에 둔 조치이다.

따라서, 본 연구에서는 지형 및 지역 등 환경적 요

소가 실질적인 차량의 주행속도에 영향을 미치는지 알아보고, 일반국도의 지형 및 지역 요소를 포함한 주행속도 예측모형을 구축하여 설계속도 설정시 환경친화적 설계기준을 제시하고자 한다.

2. 연구의 범위와 방법

본 연구에서는 도로설계시 환경요소를 반영하기 위해 환경부의 토지피복지도(중분류)와 국립지리원의 수치지도를 활용하여 도로 노선대의 지형 및 지역 요소를 정의하였다. 이러한 지형 및 지역 요소의 주행속도 영향력을 판단하기 위하여 일반국도상의 현장 조사 및 기존 연구의 주행속도 자료를 활용하였다.

본 연구의 내용적 범위는 다음과 같다.

첫째, 지형 및 지역 등 환경요소가 미반영 되는 현재 도로설계의 문제점을 밝힌다.

둘째, 주행속도 예측 모형에 대한 기존의 연구를 요약하고 제시한다.

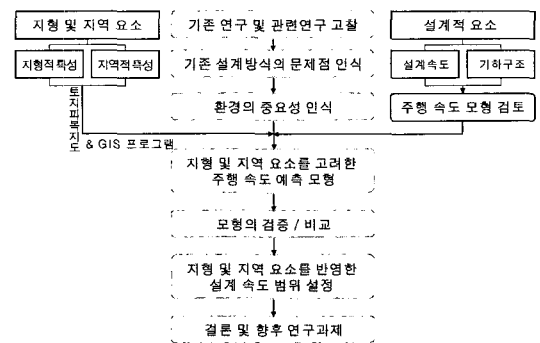
셋째, 운전자의 시각특성과 토지피복지도(중분류, GIS 프로그램)를 이용하여 지형 및 지역 등 환경요소를 정의한다.

넷째, 도로 지형 및 지역 요소의 차량의 주행속도에 대한 영향 정도를 밝힌다.

다섯째, 도로 노선대 지형 및 지역 요소가 반영된 주행속도 결정모형을 구축하고, 기존의 결정모형들과 비교, 검증한다.

여섯째, 도로 설계속도 설정시 지형 및 지역 요소 등 환경요소가 반영된 기준을 제시한다.

본 연구는 〈그림 3〉과 같이 진행한다.



〈그림 3〉 연구의 방법

1) 한국개발연구원(2002), 공공투자사업의 예산관리의 효율화방안(II) 국도건설비합리화 방안, p.199

II. 기존 연구 고찰

1. 국내외 도로 설계기준의 고찰

1) 친환경 도로 설계

환경 친화적인 도로설계 편람(건교부, 2004)은 도로건설을 위한 계획, 설계, 시공, 유지관리 등 모든 단계에 걸쳐 나타날 수 있는 환경피해를 최소화함은 물론, 도로이용자가 편리하게 이용할 수 있도록 도로 건설 방안을 제시하고 이를 모든 도로건설에 원칙적으로 적용하도록 마련된 기준이다. 하지만, 도로사업 추진시 환경적으로 중요한 사항을 설계에 반영하는 방법에 대한 효과 검증의 방법은 미제시되어 있다.

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

1994년 AASHTO의 전통적인 변수에 따른 설계속도 결정의 문제점을 보완하기 위해 2004년의 AASHTO에서는 기존의 기능분류, 인접지역 토지이용, 지형이외에 예측 주행속도를 추가적으로 권고하고 있다. 그러나 여기에서도 가장 적절한 설계속도 값을 어떻게 결정해야 하는지에 대한 정확한 기준 및 지침이 없다.

3) 도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙(건설교통부, 1999)

설계속도 개념을 근간으로 하여 도로의 기능별 구분에 따른 각각의 설계속도를 제시함으로써 도로 설계 규정을 제공하고 있으며, 이에 따라 현재 국내의 도로 설계 실무에서는 도로 시설 유형에 따라 정의된 설계속도에 기초하여 도로 안전과 밀접한 상관성이 있는 정지시거, 평면선형 및 종단선형, 교차로 시거 등의 도로 설계 요소들을 정하고 있다.

하지만, 이러한 설계속도 기반의 도로 설계는 한계점이 있으며, 그 내용은 다음과 같다²⁾.

- ① 도로의 기능 분류가 타 국가에 비하여 매우 단순하며 기능 분류 과정에서 모호성과 임의성이 발

생한다.

- ② 도시부와 지방부의 통과 구간, 즉 지역 변화 구간에 대한 설계 속도 선정 기준이 미비하여 작은 도시와 같은 낮은 인구밀도 특성을 가지는 지형에서는 설계 기준 적용의 어려움이 있다.
- ③ 지형을 평지부와 산지부로 구분함으로써, 산지와 평지의 지형 변화 구간의 설계 속도 선정 기준 미비하다
- ④ 설계 속도의 예외 규정이 미비하다. 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.

4) Flexibility in Highway Design (FHWA, 1997)

1)번에서 기술한 1994년 AASHTO이 갖는 설계기준 설정과정의 문제점을 인식한 후, 미국 지방부도로의 설계정책에서 유연성의 범위와 설계적용상의 고려사항에 대해서 논의하고 있다. 즉 기능분류, 설계속도 결정, LOS 기준, 설계기준 적용, 기능별 횡단면 구성 등에 있어 유연한 설계 기준의 적용을 제안하고 있다³⁾.

2. 주행속도 예측 모형의 검토

주행속도 예측모형에 대한 국·내외 연구문헌을 고찰한 결과, 국내의 경우 대부분 연구가 평면이나 종단선형 요소만을 고려할 뿐 도로 주변 환경적인 요소를 감안한 연구는 이루어지지 않았고, 국외의 경우는 평면 및 종단선형의 특성요인 및 다양한 변수(토지이용, 지형요소, 도로등급)를 반영한 연구가 진행 중이다.

본 연구에서는 국내의 실정에 맞는 기하구조 요소와 도로 노선대 지형 및 지역 요소를 함께 반영한 주행속도 예측모형을 제시함으로써 도로 설계속도 설정시 정확도 제고에 기여하고자 한다⁴⁾.

<표 1>은 국내의 주행속도 예측모형에 대한 선행 연구의 내용 및 한계점을 나타낸 것이다.

2) 심관보(2005) 기능제분류와 GIS-T를 활용한 도로 설계속도 적정화 방안 연구, 박사논문 p42-p48
 3) FHWA(1997) Flexibility in Highway Design, U.S. Dept. of Transportation, Washington, D.C.
 4) FHWA(2001) "Geometric Design Practices for European Roads", U.S Dept. of Transportation.

〈표 1〉 국내외 주행속도 예측모형의 검토

구분	연구자	연구내용	한계점
국내연구	정준화 (2001)	- 일반국도 4차로를 대상으로 에너지 차를 이용한 안전성평가의 새로운 개념을 도입함. $V_{85} = 95.809 - \frac{4646.9}{R} (R^2 = 0.801)$ 여기서, R : 평면곡선반경(m), R ² : 결정계수	- 자료(4개곡선부)의 부족함으로 신뢰도가 떨어짐 - 다른 등급의 도로의 적용가능성이 떨어짐
	최재성 (1998)	- 국내 연구 중 최초로 직선, 평면, 종단곡선으로 나누어 평면 및 종단선형인자를 모두 반영한 모형임.	- 각 선형유형별 기존의 관련식으로 모형식 도출하여 실제 주행속도 예측에는 한계가 있음
국외연구	J.R McLean (1981)	- 지방부 2차로를 중심으로 1/R을 반영한 주행속도 예측모형 개발 $V_C = 53.8 + 0.406 V_F - 3.26(1/R) \times 10^3 + 8.5(1/R^2) \times 10^4$ 여기서, VC(85) : 자유교통류 조건하에서 승용차 운전자 중 85% 속도로 표현되는 주행속도(km/h) VF : 자유교통류 상황에서 선형요소에 제한받지 않는 직선구간에서 85% 운전자가 선택한 속도(km/h) R : 곡선반경(m)	- 평면 및 종단선형 요소가 동시에 존재하는 구간에 적용불가능 - 도시부 및 고속도로에는 적용불가능
	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 = 단일 곡선부의 곡률 변화율(gon/km) R ² : 결정계수	- 평면선형 요인에만 독립변수가 국한되어 있음.
	Islam, M.N (1994)	- 곡선부를 시점, 중앙, 종점으로 세분화하여 주행속도를 예측함.	- 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(m) I : 교각(°)	- 표본 선정시 종단선형을 고려하였으나 변수에는 미포함 - 평면 및 종단선형 요소가 동시에 존재하는 구간에 적용 불가능
	Fitzpartrick (1999)	- 2차로 간선도로를 대상으로 평면, 종단선형요소를 반영한 주행속도 예측모형 개발 $V_{85} = a - \frac{b}{R}$ a, b : 각 경우에 따른 상수	- 2차로 간선도로를 대상으로 4, 6차로 및 다른 등급의 도로에 적용 불가능
	Gibreel (2001)	- 다양한 기하구조 요소를 반영하여 직선 및 곡선부의 주행속도 예측모형 개발	- 종단선형에 대한 변수를 고려하지 않음
	Qing Ye (2001)	- 간선도로를 대상으로 교통 특성 및 토지이용 등의 다양한 변수 반영 - 공사 및 Curve 영향을 배제	- 평면 및 종단선형에 관한 기하구조 요소를 고려하지 않음

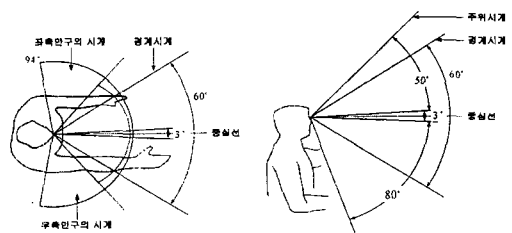
3. 운전자 시각 특성에 대한 고찰

도로 환경요소를 감안한 설계속도 설정에서 중요한 것은 도로를 주행하는 운전자들이 어떤 주변요소에 속도 영향을 받는지 이해하는 것이다. 이를 위해 본 연구에서는 운전자 시각 특성 검토를 수행했다.

1) 시각의 일반적 특성

이수범의 3명(2001)의 "인적요인이 도로 설계에 미치는 영향(제1단계)"에서는 운전자의 시각 특성에 관하

여 설명하고 있다. 즉, 운전에 관련되는 정보는 시각으로 90% 이상이 획득된다는 것을 밝혔다.



〈그림 4〉 운전자의 시계

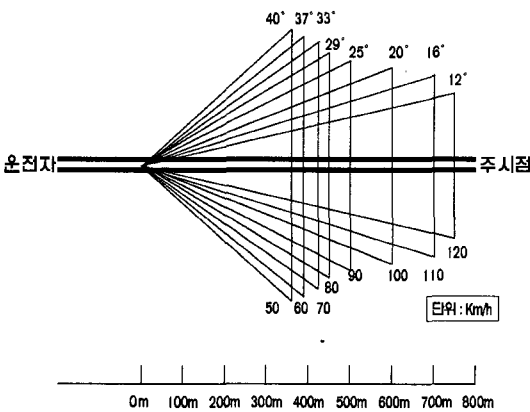
2) 주행속도별 시야의 범위

운전자의 시야 환경상 예상공간은 효과적인 시야지역과 속도에 의존하는 초점거리에 의해 결정된다. 경관을 고려한 설계 원칙의 대부분은 운전자의 예상 공간 안에서 도로를 맞추려는 요구에 기초하고 있다. <표 2>는 <그림 5>를 바탕으로 차량의 주행속도별로 초점거리 및 각도를 설정하여 경관영향권을 결정한 것이다.

<표 2> 속도별 초점거리 및 각도, 경관영향권

주행속도	초점거리	각도	경관영향권
50km/h	360 m	40°	좌/우 각각 300m
60km/h	385 m	37°	좌/우 각각 290m
70km/h	425 m	33°	좌/우 각각 275m
80km/h	450 m	29°	좌/우 각각 250m
90km/h	500 m	25°	좌/우 각각 230m
100km/h	600 m	20°	좌/우 각각 220m
110km/h	700 m	16°	좌/우 각각 200m
120km/h	750 m	12°	좌/우 각각 160m

(경관영향권 = 초점거리 × 각도의 tan 값)

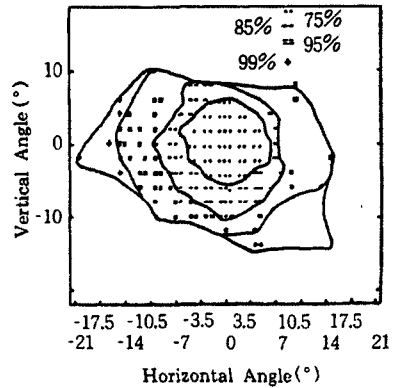


<그림 5> 주행속도별 시야의 범위

출처 : ITE(1992), "Traffic Engineering Handbook"

3) 운전자 주시 특성에 관한 고찰

김대웅, 임채문(1990)의 "도로교통에 있어서 운전자 주시특성 분석"에서 속도별 중심점 좌표(0,0)에 대한 주시점 분포의 범위를 전체의 75%, 85%, 95%, 99%에 해당하는 확률을 작성하였다. <그림 6>은 속도 70~90km/h일때 중심점 (0,0)에서 주시점 빈도를 전체의 확률분포를 도식화한 것이다.



<그림 6> 주시점 누적 분포 (70~90km/h)

출처 : 김대웅, 임채문, 도로교통에 있어서 운전자 주시특성분석, 대한교통학회지, 제8권 제2호, 1990.

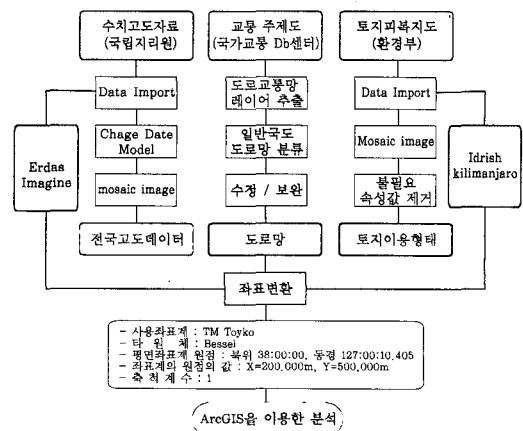
III. 데이터 구축 및 분석 방법론 정리

1. 지형 및 지역 요소 데이터의 정의 및 구축

지형 및 지역등 환경요소를 구축하기 위해 환경부의 토지피복지도(중분류)와 국립지리원의 수치고도자료를 활용하였다. 이 데이터는 30m×30m 단위에 한 개의 속성값을 가지는 데이터로서 이를 사용하는 것은 현실반영의 정도의 문제는 본 연구의 한계라고 할 수 있다.

본 연구에서는 서로 다른 database들이 다른 좌표계를 갖기 때문에 여러 가지 GIS module를 활용하여 통합하고 그 속성값을 분류하는 과정을 거쳐 연구에 활용할 수 있는 database를 구축하였다.

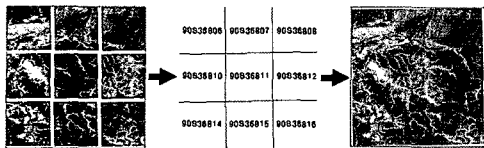
<그림 7>은 본 연구에서 필요한 GIS data를 구축하



<그림 7> 본 연구의 GIS data 구축과정

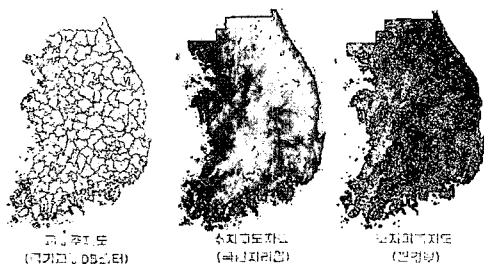
는 과정을 도식화한 그림이다. GIS module을 이용하기 위해서는 각각 수집한 자료를 통합적으로 분석이 가능한 프로그램이 필요하다. 또한, 이러한 통합적 분석이 가능하게 하기 위해서는 데이터 포맷의 변환이 필요하다.

〈그림 8〉는 환경부에서 구축한 토지피복지도를 전국단위로 취합하는 도식화한 그림이다. Erads imagine라는 프로그램을 이용하여 Mosaic Processing한 과정이다.



〈그림 8〉 본 연구의 Mosaic Processing

위의 수행 결과를 나타내면 〈그림 9〉와 같다.



〈그림 9〉 본 연구의 분석 데이터 구축 결과

본 연구에서는 지형 및 지역 요소 data를 구체화하기 위하여 GIS Coverage과정을 통하여 데이터를 구축하였다. 즉 〈그림10〉과 같이 Idrishi Kilimanjaro라는 프로그램을 활용하여 실세계 자료를 특정형태 자료파일로 변환하였다. 본 연구에서 수행한 GIS Coverage 과정은 다음과 같이 이루어진다.



〈그림 10〉 본 연구에서의 GIS Coverage 과정

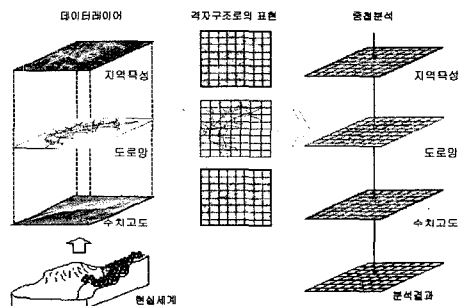
① 기존의 Raster 형태의 지형도에서 이미 도로로

지정된 지역에 대해 영향을 최소화시키기 위해 도로속성을 없앤 지형 Data를 구축한다.

② 앞에서 제시한 교통주제도를 중첩시킨다.

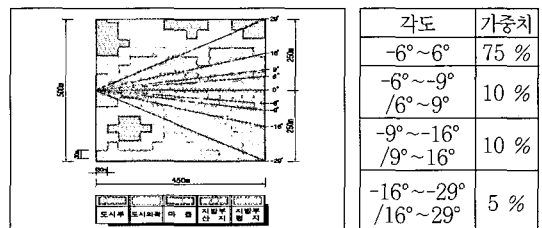
이렇게 하면 일반적으로 구축된 단일 주제(Single Theme)자료 파일인 지형도와 교통주제도는 하나의 Data set으로 구성하여 본 연구에 접목시킬 수 있게 되었다.

또한, 격자구조의 Data를 중첩시켜 현실적으로 필요한 주제도를 생성하였다. 지역특성과 지형을 고려한 도로 환경적 요소 data를 구축하기 위해 1차적으로 주요 분석 대상정보인 토지피복지도, 도로망도, 수치고도자료를 함께 조합하였다. 그리고 〈그림 11〉과 같이 만들어진 주제도를 필요한 변환과정을 적용하여, 중첩함으로써 현실적인 도로 환경적 요소를 판단할 수 있었다.



〈그림 11〉 본 연구의 중첩분석 과정

이렇게 구축한 GIS-data를 바탕으로 어느 지점의 지형 및 지역의 특성을 결정한다. 여기에서 도입한 개념은 김대웅, 임채문(1990)의 연구에서 밝혔던 속도에 따른 주시점의 확률분포를 활용한 것이다. 경관영향권 안에 있는 정사각형은 우리가 지형 및 지역 요소를 정의할 수 있는 Cell로서 도시부, 도시외곽, 마을부, 지방부 산지, 지방부 평지를 나타내는 속성치이다⁵⁾.



5) 최계성, 2004. 국토확장사업을 위한 적정 도로설계 방안 연구, 교통정책연구 제11권 제1호, 교통개발연구원, p51-p69

지형 및 지역 요소를 정의하는 과정은 시야각도별 가중치를 부여하여 최종적인 요소로 정의 하는 것으로 <표 3>의 과정을 통하여 판단할 수 있다.

<표 3> 지형 및 지역 요소와 가중치

지형 및 지역 요소	가중치			
	75%	10%	10%	5%
도시부	a_1	b_1	c_1	d_1
도시외곽	a_2	b_2	c_2	d_2
마을	a_3	b_3	c_3	d_3
지방부 산지	a_4	b_4	c_4	d_4
지방부 평지	a_5	b_5	c_5	d_5

$$EU_{urban} = 0.75a_1 + 0.1(b_1 + c_1) + 0.05d_1$$

$$EU_{suburb} = 0.75a_2 + 0.1(b_2 + c_2) + 0.05d_2$$

$$EU_{village} = 0.75a_3 + 0.1(b_3 + c_3) + 0.05d_3$$

$$EU_{mt.} = 0.75a_4 + 0.1(b_4 + c_4) + 0.05d_4$$

$$EU_{flat} = 0.75a_5 + 0.1(b_5 + c_5) + 0.05d_5$$

$$EU = MAX(EU_{urban}, EU_{suburb}, EU_{village}, EU_{mt.}, EU_{flat})$$

위의 Matrix와 도출된 식에 의거하여 <그림 12>에서 처럼 임의의 한 도로 지점의 지형 및 지역요소를 판단할 수 있다.

<그림 12>나온 지형 및 지역 요소를 가중치별로 도수를 나타내어 그 요소 값을 판단하면 아래와 같은 절차에 걸쳐, 이 지점의 지형 및 지역요소는 Eumt 즉, 지방부 산지임을 알 수 있게 된다.

$$EU_{urban} = 0.05 \times 3.5 = 0.175$$

$$EU_{suburb} = 0.05 \times 11.5 = 0.575$$

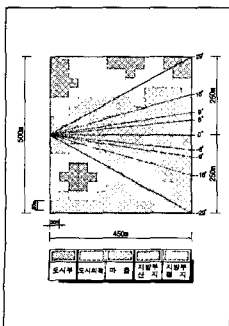
$$EU_{village} = 0.75 \times 3.5 + 0.1(0.5 + 0.5) + 0.05 \times 6 = 3.025$$

$$EU_{mt.} = 0.75 \times 14 + 0.1(8 + 22.5) + 0.05 \times 17 = 14.4$$

$$EU_{flat} = 0.75 \times 7 + 0.1(3.5 + 4) + 0.05 \times 22 = 7.1$$

$$EU = MAX(EU_{urban}, EU_{suburb}, EU_{village}, EU_{mt.}, EU_{flat})$$

$$= MAX(0.175, 0.575, 3.025, 14.4, 7.1) = 14.4$$



지형 및 지역 요소	도 수 분 포			
	75%	10%	10%	5%
도시부	0	0	0	3.5
도시외곽	0	0	0	11.5
마을	3.5	0.5	0.5	6
지방부산지	14	8	22.5	17
지방부평지	7	3.5	4	22

<그림 12> 지형 및 지역 요소의 판단의 예

2. 주행속도 자료 수집 및 데이터 구축

위 과정을 통해 운전자 시야를 반영한 지형 및 지역 요소 판단과정을 정립했다. 다음은 이렇게 결정한 환경 요소가 주행속도에 어떻게 영향을 미치는지를 이행하기 위해 우리나라 일반국도에서 주행속도 관련 자료를 수집하였다.

1) 자료수집

지형 및 지역 요소를 고려한 주행속도 예측 모형 개발을 위해 우리나라 일반국도를 공간적 범위로 하고, 차량간의 주행속도에 미치는 영향을 최소화 될 수 있는 비첨두시간대를 시간적 범위로 하여 주행속도자료는 현장 조사 및 과거 논문 및 보고서의 자료(1999년~2005년)를 근거로 하여 수집하였다. 현장 조사는 날씨가 맑은 평일 주간에 실시하였다. 과거 논문 및 보고서의 원자료의 경우는 일련의 도로 환경에서 기대되는 자유교통류속도(free-flow speed)가 맞는 지를 확인하여 구축해 놓은 자료에 포함 시켰다.

2) 주행속도 조사

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

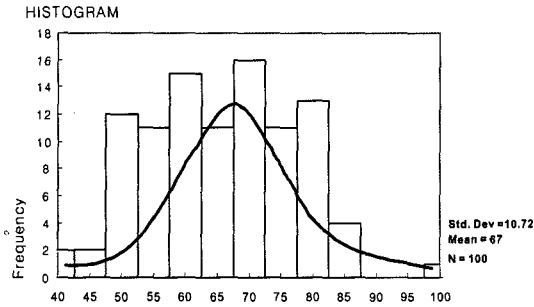
여기서
 N: 필요한 표본수
 K: 통계신뢰도계수
 정규분포에서 신뢰구간 68%인 경우 K = 1.0
 정규분포에서 신뢰구간 95%인 경우 K = 2.0
 정규분포에서 신뢰구간 99%인 경우 K = 3.0
 S: 속도표준편차(대부분의 속도분포는 표준편차가 5~10kph이다.)
 E: 속도의 허용오차

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 한 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 구하면 <그림 13>과 같다.



<그림 13> 곡선반경 800m에 대한 지점속도의 도수 분포표 (단위 : kph)

구분	표본수	평균 지점 속도	지점 속도의 중위값	지점 속도의 최빈값	표준 편차	V_{85}
R=800	100	67	70	42.5	10.72	76

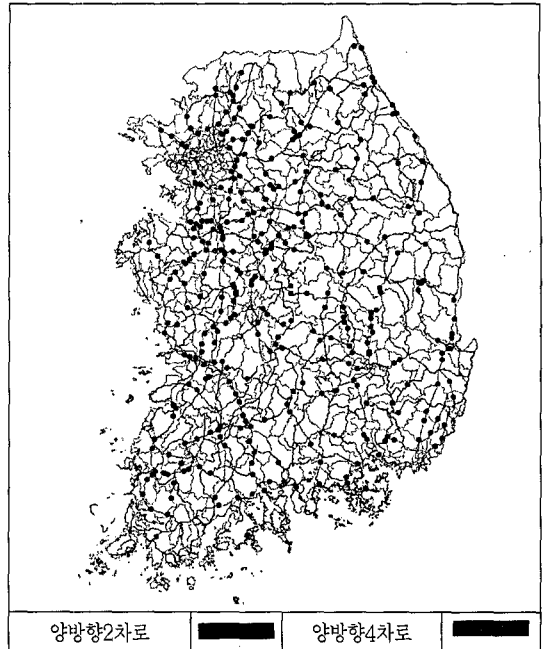
3) 지형 및 지역 요소와의 Matching

일반국도의 주행속도 자료를 구축해 놓은 지점의 조건을 종합해보면 <표 4>와 같다.

<표 4> 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
차로폭	2.8m~4.0m
길어깨폭	0.3m~4.0m

조사된 자료를 전국 일반 국도에 지점을 표시하면 <그림 14>와 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 14> 주행속도 자료 지점 현황

IV. 일반국도 주행속도 예측모형 개발

1. 분석방법의 개요

III장에서 구축한 일반국도 지형 및 지역 요소와 주행속도 자료를 이용하여 분석을 실시하였다. 일반국도의 기하구조 요인은 곡선반경, 평면곡선길이, 편경사, 중분대유무, 차로폭, 길어깨폭, 종단경사, 제한속도, 교차로와의 거리이고, 지형 및 지역 요소로는 도시부, 도시외곽, 마을부, 지방부산지, 지방부평지로서 이러한 변수를 이용하여 분석을 실시하였다.

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) : $Var(e_1) = Var(e_2) = \dots = Var(e_n)$

①의 경우 종속변수는 주행속도이므로 만족하지만 정규성과 등분산성이 만족하는 지는 통계적 분석을 통하여 검증한다.

1) 정규성 검정

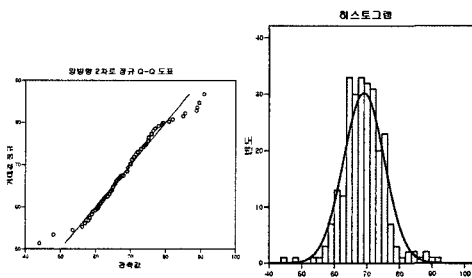
정규성의 검정은 표본수가 2,000개보다 작으므로 콜모고로프-스미르노프(Kolmogorov-Aimirnov) 검증을 통하여 실시하였다.

〈표 5〉 본 연구의 정규성 검정 결과

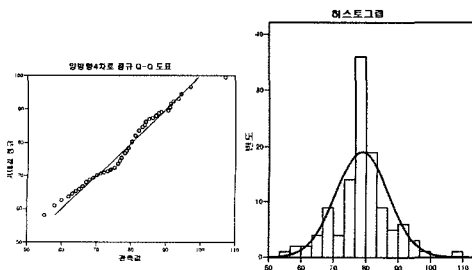
양방향 2차로		빈도수
정규모수(a, b)	평균	69.04
	표준편차	6.263
Kolmogorov-Smirnov의 Z		1.542
근사유의확률(양쪽)		0.017
양방향 4차로		빈도수
정규모수(a, b)	평균	78.75
	표준편차	8.094
Kolmogorov-Smirnov의 Z		1.444
근사유의확률(양쪽)		0.031

a. 검정분포가 정규분포입니다.
b. 데이터로부터 계산

〈표 5〉의 결과에 따라 양방향 2차로 도로와 양방향 4차로 도로는 정규분포라는 연구가설은 유의확률이 0.017, 0.031이므로 95%신뢰수준에서 유의하다. 즉, 주행속도자료는 정규분포를 따른다고 볼 수 있다. 양방향 2차로 도로와 4차로 도로의 각각의 정규성 검증결과를 Q-Q도표와 히스토그램으로 나타내면 〈그림 15〉, 〈그림 16〉와 같다.



〈그림 15〉 양방향 2차로의 주행속도의 정규성 분포



〈그림 16〉 양방향 4차로의 주행속도의 정규성 분포

2) 등분산 검정

이어서 세 번째 가정인 분산의 동질성을 검정해 보기로 한다. 이러한 분산의 동질성 여부는 Levene의 등분산 검정, 즉, F값을 이용한다. 〈표 6〉의 결과값에서 볼 수 있듯이 F값에 따라 유의확률이 0.519이므로 $P > 0.05$ 에 해당되기 때문에 집단의 분산이 같다는 가설 ($H_0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2$)은 기각되지 못한다. 따라서, 등분산이 가정됨을 판단 할 수 있다.

〈표 6〉 독립표본 T-검정 (1 VS 1)

집단분류		양방향 2차로 (Levene)		양방향 4차로 (Levene)	
		F	유의 확률	F	유의 확률
도시	등분산 O	-	-	0.364	0.549
	도시외곽	등분산 X			
도시	등분산 O	-	-	0.231	0.633
	마을	등분산 X			
도시	등분산 O	-	-	0.456	0.503
	지방부 산지	등분산 X			
도시	등분산 O	-	-	0.255	0.616
	지방부 평지	등분산 X			
도시외곽	등분산 O	0.372	0.126	0.010	0.921
	마을	등분산 X			
도시외곽	등분산 O	0.006	0.938	0.604	0.214
	지방부 산지	등분산 X			
도시외곽	등분산 O	0.007	0.933	0.937	0.338
	지방부 평지	등분산 X			
마을	등분산 O	0.190	0.281	0.303	0.262
	지방부 산지	등분산 X			
마을	등분산 O	0.563	0.111	0.716	0.402
	지방부 평지	등분산 X			
지방부 산지	등분산 O	0.002	0.968	0.014	0.906
	지방부 평지	등분산 X			

한편, 도시, 도시외곽, 마을, 지방부평지 와 지방부 산지의 다섯 그룹의 자료에 대하여, 〈표 7〉는 분산의 동질성을 검정한 결과를 나타내고 있다.

〈표 7〉 분산의 동질성 검정 (ALL)

구분	Levene 통계량	자유도 1	자유도 2	유의 확률
양방향 2차로	0.903	3	257	0.440
양방향 4차로	0.518	4	111	0.722

Levene 통계량 0.903, 0.518에 대한 유의확률값이 0.440, 0.722로서 ($H_0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \sigma_3^2 = \sigma_4^2 = \sigma_5^2$)이라는 귀무가설을 기각하지 못하므로 등분산성에 대한 가정에 문제가 없다고 판단된다.

따라서, 분석을 위한 모든 전제조건은 만족하게 된다.

2. 기하구조 요인을 고려한 회귀분석

본 연구에서는 지형 및 지역 요소 영향을 검토하기 위해 먼저 도로기하구조 요인만을 고려한 회귀분석을 실시하였다. 이는 지형 및 지역 요소의 영향을 제외하고 순수한 도로기하구조 요인만을 고려한 주행속도 예측모형을 구축해보기 위함이다.

1) 설명변수의 분석 및 선정

〈표 8〉 상관분석 실시 결과

구분	설명변수	상관계수	유의확률
양방향 2차로	1/곡선반경	-0.745	0.000
	평면곡선길이	0.113	0.069
	편경사	0.109	0.079
	중분대유무	0.169	0.006
	차로폭	0.211	0.001
	길어깨폭	-0.120	0.845
	종단경사	-0.632	0.000
	제한속도	0.469	0.000
교차로와의 거리	-0.023	0.709	
양방향 4차로	1/곡선반경	-0.814	0.000
	평면곡선길이	0.177	0.057
	편경사	-0.195	0.036
	중분대유무	0.124	0.185
	차로폭	-0.103	0.273
	길어깨폭	0.059	0.527
	종단경사	-0.162	0.083
	제한속도	0.225	0.015
교차로와의 거리	-0.139	0.136	

〈표 8〉과 같이 95%신뢰수준에서 상관계수를 살펴보면 양방향 2차로도로의 경우 평면곡선길이, 편경사, 길어깨폭, 교차로와의 거리를 제외한 나머지 변수들(1/R, 중분대유무, 차로폭, 종단경사, 제한속도)은 주행속도에 상관성을 갖는 것을 알 수 있다. 한편, 양방향 4차로의 경우는 상관성을 갖는 변수는 1/R, 편경

사, 제한속도로서 양방향 2차로도로보다 적은 변수를 갖는다. 본 연구에서는 주행속도와 분명한 상관관계를 보이고 기존 주행속도 모형에서도 변수로 많이 사용되는 1/R값을 사용하기로 한다. 다른 변수들은 상관관계가 낮거나 데이터가 누락된 것이 많아 모형에 포함시키지 않는다.

2) 단순회귀모형을 이용한 주행속도 예측모형 개발

본 연구에서는 단순회귀 분석을 이용하여 양방향 2차로의 경우와 4차로의 경우에 대해 주행속도 예측을 수행했다.

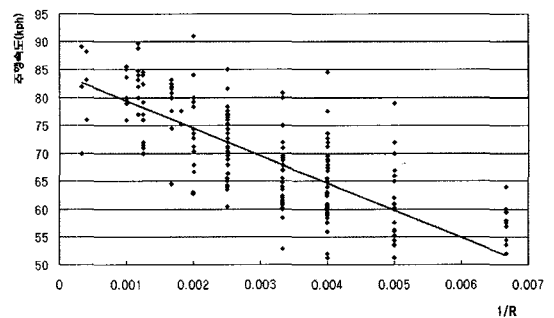
(1) 양방향 2차로

〈표 9〉 모형식의 신뢰도 (양방향 2차로)

모형	결정계수 (R2)	수정된 결정계수	추정값의 표준오차
1	0.555	0.553	6.5505

〈표 9〉은 표본 회귀선에 대한 적합도 및 유의성 검정을 수행한 결과이다.

$$Y(\text{주행속도}) = 84.30 - \frac{4902.65}{R}$$



(2) 양방향 4차로

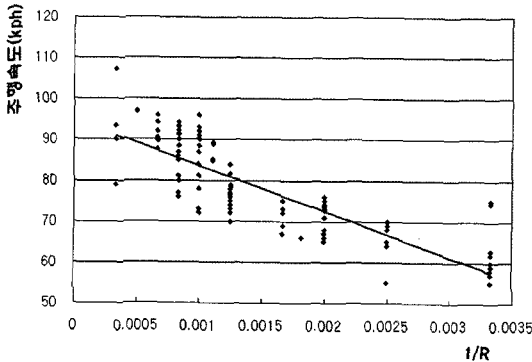
〈표 10〉 모형식의 신뢰도 (양방향 4차로)

모형	결정계수 (R2)	수정된 결정계수	추정값의 표준오차
1	0.663	0.660	6.333

양방향 4차로에 대해서도 양방향 2차로와 마찬가지로

로 표본 회귀선에 대한 적합도 및 유의성 검정을 수행했다.

$$Y(\text{주행속도}) = 94.86 - \frac{11191.50}{R}$$



3. 지형 및 지역 특성에 따른 속도차의 유의성 검정

III.1.에서 정의한 바가 있는 다섯그룹(도시, 도시외곽, 마을, 지방부산지, 지방부평지)의 평균속도를 μ ($i=1, 2, 3, 4, 5$)라 할 때, 각 지점에서의 지역의 차이가 속도에 미치는 영향을 분산분석(ANOVA)을 통해 실시하기 위한 귀무가설(H_0)과 대립가설(H_1)은 다음과 같이 설정할 수 있다.

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_5$$

H_1 : 적어도 한 쌍에 있어서 μ_i 들 값은 서로 같지 않다.

<표 11>은 다섯그룹을 대상으로 실시한 분산분석 결과이다.

<표 11> 분산분석 결과

구분	항 목	평균제곱	F	유의확률
양방향 2차로	집단-간	3,344.815	57.552	0.000
	집단-내 합계	58.118		
양방향 4차로	집단-간	2,111.958	45.698	0.000
	집단-내 합계	46.216		

<표 11>을 통해 분석 대상인 모든 지점에서 F검정의 결과 유의수준 0.05에서 평균속도가 같다는 귀무가설이 기각되었다. 결국, 본 연구에서 정의한 다섯 그룹간의 평균속도의 차가 큼을 알 수 있다.

다섯 그룹간의 속도의 차는 존재하는 것을 밝혔지만, 각각의 그룹에 대한 속도차의 검증도 필요하다. 이를 위해 본 연구에서는 Tukey-Test를 적용했다.

평균 μ_i 와 μ_j 에 대한 Tukey의 H_S_D검정에서는 먼저 아래 값을 계산하게 된다.

$$HSD_{ij} = q_{p, n-p, 1-\alpha} \sqrt{\frac{1}{2} \left(\frac{1}{n_i} + \frac{1}{n_j} \right) MSE}$$

여기서, $q_{p, n-p, 1-\alpha}$: 모수 p와 자유도 n-p를 가지는 표준화 범위 분포(studentized range distribution)의 (1- α)의 백분위수 값,
 n_i 와 n_j : i와 j수준에서의 반복수
 MSE : 평균제곱오차

이 때 표본평균들이 아래 부등식을 만족하면 가설 $H_0: \mu_1 = \mu_2$ 를 기각하여 μ_i 와 μ_j 는 유의수준 α 에서 다르다고 결정한다.

$$|\bar{\mu}_i - \bar{\mu}_j| > HSD_{ij}$$

그러나, <표 11>을 통하여 분산분석에서 각 수준간의 차이가 있다는 결론을 얻은 경우에도 그 차이가 어느 집단 간에서 나타나는지 살펴보기 위해, Tukey의 HSD 다중비교방법을 이용한 결과, 평균의 차이가 나지 않는 집단이 생겼다.

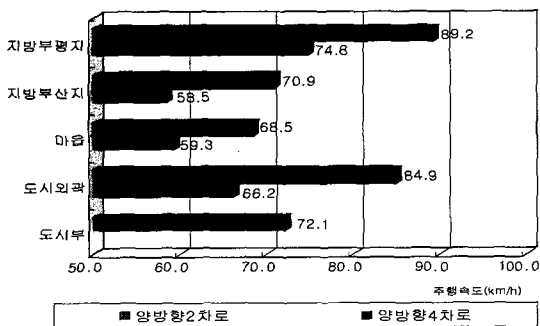
<표 12>에서 각 집단 평균간의 차를 알 수 있다. 양방향 2차로 도로의 경우 마을과 지방부 산지 집단끼리만 5% 유의수준에서 평균속도가 유사할 뿐 나머지 도시외곽, 지방부 평지 지역과는 평균 속도의 차가 큼을 알 수가 있다. 반면, 양방향 4차로 도로의 경우는 도시, 마을, 지방부 산지의 경우 평균속도의 차이가 없지만, 나머지 도시외곽 지방부평지의 주행속도는 5% 유의수준에서 차이가 있음을 알 수 있다. 정리하자면 <표 13>, <그림 17>과 같다.

〈표 12〉 다중비교(Tukey HSD)

구분	집단 I	집단 II	평균차 (집단 I-집단II)	표준 오차	유의 확률	95%신뢰구간	
						하한값	상한값
양방향 2차로	도시외곽	마을	6.871	1.496	0.000	3.002	10.740
		지방부산지	7.682	2.204	0.003	1.981	13.383
		지방부평지	-8.618	1.080	0.000	-11.411	-5.826
	마을	도시외곽	-6.871	21.496	0.000	-10.740	-3.002
		지방부산지	0.811	2.383	0.986	-5.352	6.974
		지방부평지	-15.489	1.410	0.000	-19.135	-11.844
	지방부산지	도시외곽	-7.682	2.205	0.003	-13.383	-1.981
		마을	-0.811	2.383	0.986	-6.974	5.352
지방부평지	지방부평지	-16.300	2.147	0.000	-21.852	-10.749	
	도시외곽	8.618	1.080	0.000	5.826	11.411	
지방부평지	마을	15.489	1.410	0.000	11.844	19.135	
	지방부산지	16.300	2.147	0.000	10.749	21.852	
	도시외곽	-12.786	2.064	0.000	-18.510	-7.060	
양방향 4차로	도시	도시외곽	3.567	2.105	0.411	-2.270	9.400
		마을	1.167	1.962	0.976	-4.280	6.610
		지방부산지	-17.138	1.715	0.000	-21.890	-12.380
		지방부평지	12.786	2.064	0.000	7.060	18.510
	도시외곽	마을	16.353	2.368	0.000	9.790	22.920
		지방부산지	13.953	2.243	0.000	7.730	20.170
		지방부평지	-4.352	2.030	0.209	-9.980	1.280
		도시	-3.567	2.105	0.441	-9.400	2.270
	마을	도시외곽	-16.353	2.368	0.000	-22.920	-9.790
		지방부산지	-2.400	2.280	0.830	-8.720	3.920
		지방부평지	-20.705	2.071	0.000	-26.450	-14.960
		도시	-1.167	1.962	0.976	-6.610	4.280
지방부산지	도시외곽	-13.953	2.243	0.000	-20.170	-7.730	
	마을	2.400	2.280	0.830	-3.920	8.720	
	지방부평지	-18.305	1.926	0.000	-23.650	-12.960	
	도시	17.138	1.715	0.000	12.380	21.890	
지방부평지	도시외곽	4.352	2.030	0.209	-1.280	9.980	
	마을	20.705	2.071	0.000	14.960	26.450	
	지방부산지	18.305	1.926	0.000	12.960	23.650	
	도시	17.138	1.715	0.000	12.380	21.890	

〈표 13〉 지형 및 지역에 따른 주행속도의 분포

주행속도	집단 1	집단 2	집단 3
	낮음 ←	→ 높음	
양방향 2/4 차로	도시 마을 지방부산지	도시외곽	지방부 평지



〈그림 17〉 지형 및 지역에 따른 주행속도의 분포

4. ANOCOVA를 이용한 주행속도 예측 모형의 개발

본 연구에서는 기하구조 요인을 고려한 주행속도 모형은 회귀분석으로, 그리고 지형 및 지역 요소에 따른 속도 차의 검증은 분산분석으로 수행하였다. 여기에서는, 회귀분석을 가미한 분산분석법인 일반선형모형 (GLM⁶⁾, ANOCOVA)을 변수 간 관계분석 및 주행속도 결정 모형개발에 사용한다. 사용된 모형식은 다음식과 같다.

$$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + \beta X_{ij} + \epsilon_{ij} \quad (i=1, \dots, 5; j=1, \dots, j) \text{ 여기서,}$$

α_i = 환경요소(지형, 지역), βX_{ij} = 곡선반경 인자

본 연구 결과 양방향 2차로와 4차로에 대해 산출된 모형의 모수 추정값은 〈표 14〉과 같다

6) GLM(General Linear Model)은 최소제곱법을 이용하여 설정된 일반선형 모형을 적합하여 자료를 분석한다. GLM은 분산분석, 회귀분석, 공분산분석 등을 수행할 수 있고, 기능상 ANOVA를 포함한다.

〈표 14〉 독립변수의 계수 및 유의성 검증 결과

구분		계수	표준 오차	t 통계량	유의 확률
양방향 2차로	상수항(μ)	84.52	0.83	100.86	<.0001
	도시외곽(α_2)	-5.68	0.82	-6.87	<.0001
	마을(α_3)	-8.45	1.15	-7.35	<.0001
	지방부산지(α_4)	-10.14	1.64	-6.15	<.0001
	지방부평지(α_5)	0.00	-	-	-
1/곡선반경(β)		-3,825.43	264.35	-14.47	<.0001
양방향 4차로	상수항(μ)	96.56	0.91	105.65	<.0001
	도시(α_1)	-11.43	1.14	-9.96	<.0001
	도시외곽(α_2)	-1.49	1.27	-1.17	<.0001
	마을(α_3)	-11.35	1.46	-7.75	<.0001
	지방부산지(α_4)	-11.71	1.29	-9.06	<.0001
	지방부평지(α_5)	-	-	-	-
1/곡선반경(β)		-7,788.94	586.82	-13.27	<.0001

〈표 14〉을 토대로 일반국도 지형 및 지역 요소를 반영한 주행속도 예측 모형식을 정리하면 〈표 15〉과 같다.

V. 주행속도 예측모형의 검증 및 활용

본 연구에서의 검증은 통계분석과 기존 주행속도 예측모형에 대한 비교분석으로 구분한 그 후 본 연구에서 개발한 주행속도 모형을 활용하여 일반국도에서의 설계속도 범위를 산정하였다.

〈표 15〉 본 연구의 주행속도 모형식 산출 결과

구분		주행속도 예측 모형식	
양방향 2차로	도시 외곽	$y = 78.34 - \frac{3825.44}{R}$	
	마을	$y = 76.07 - \frac{3825.44}{R}$	
	지방부산지	$y = 74.38 - \frac{3825.44}{R}$	
	지방부평지	$y = 84.52 - \frac{3825.44}{R}$	
	결정계수	0.6703	
양방향 4차로	도시	$y = 85.13 - \frac{7788.94}{R}$	
	도시 외곽	$y = 95.08 - \frac{7788.94}{R}$	
	마을	$y = 85.21 - \frac{7788.94}{R}$	
	지방부산지	$y = 84.85 - \frac{7788.94}{R}$	
	지방부평지	$y = 96.57 - \frac{7788.94}{R}$	
	결정계수	0.8568	

1. 일반국도 주행속도 예측모형의 검증

GLM(일반선형) 모형으로 구축한 일반국도 주행속도 예측모형의 적합성 및 활용성을 높이기 위해서는 예측된 주행속도와 실제 주행속도와의 신뢰성 검증이 필요하다. 따라서, 지형 및 지역 특성별로 실제 주행속도와 예측한 주행속도간의 속도 Plotting, 잔차분석 그리고 RMSE(최소 제곱근 오차)을 통하여 모형을 검증한다.

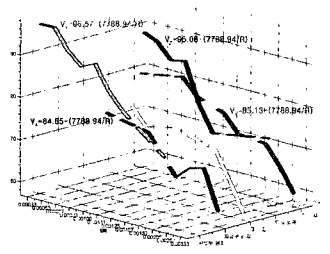
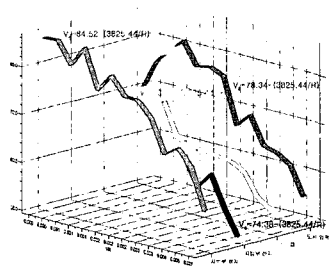
검증 구간 수는 〈표 16〉과 같으며, 각 분석유형별 실제 주행속도와 예측주행속도의 Plotting 결과는 〈그림 18〉, 〈그림 19〉와 같다.

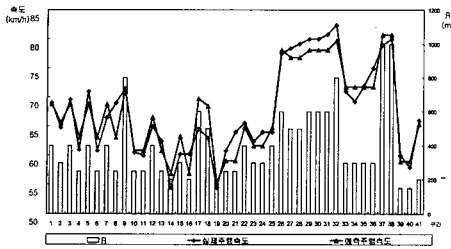
본 연구 검증결과, 양방향 2차로의 경우는 0.6703, 양방향 4차로 경우는 0.8568로, 모형의 P값(유의확률)이 0.001미만으로 95%신뢰수준에서 통계적으로 유의한 것으로 분석되었다.

또한 각 유형에 따라서 추정치와 실제 주행속도 자료를 통계적으로 검증하는 방법으로 최소 제곱근 오차(Root Mean

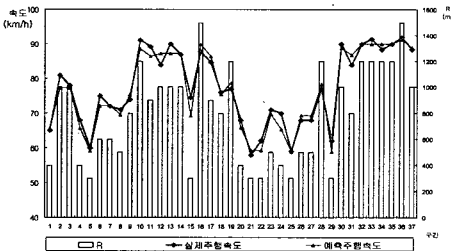
〈표 16〉 분석구간 유형에 따른 검증 구간수

구분	도시부	도시 외곽	마을	지방부산지	지방부평지	합계
양방향 2차로	-	8	10	7	16	41
양방향 4차로	9	8	6	6	8	37





〈그림 18〉 양방향 2차로의 실제 속도와 예측속도와의 비교 및 검증



〈그림 19〉 양방향 2차로의 실제 속도와 예측속도와의 비교 및 검증

Square Error: RMSE)와 잔차 (SRESID)를 이용하여 검증하였다. RMSE의 식은 다음과 같고 예측 주행속도와 실제 주행속도의 차의 제곱의 값을 이용하여 모형을 검증하는 방법이고, 잔차는 평균값이 0에 가까울수록 모형의 정규성과 등분산성을 만족하므로 모형의 적합성을 판단하는 기준이 된다.

$$RMSE = \sqrt{\left(\frac{1}{n} \sum [O_i - E_i]^2\right)}$$

여기서, O_i : 예측 주행속도(km/h)

E_i : 실제주행속도(km/h)

n : 관측자료수

지형 및 지역 특성별로 구축한 모형을 검증한 결과, 〈표 17〉과 같이 RMSE값은 2.16~2.45로 나타나 예측한 주행속도가 실제 주행속도를 비교적 양호하게 추정하였음을 알 수 있다. 또한 SRESID의 평균 값을 살펴보면 0.012~0.060으로 모두 0에 가까워 본 연구에서 구축한 모형의 정규성 및 등분산성이 모두 만족하는 것으로 나타났다.

〈표 17〉 최소 제곱근 오차(RMSE) 및 스튜던트화 잔차(SRESID)

구분	RMSE	SRESID		
		최소	최대	평균
양방향 2차로	2.45	-4.655	1.878	0.012
양방향 4차로	2.16	-1.916	2.754	0.060

2. 선행연구와의 본 연구모형과의 비교

본 연구에서 구축한 지형 및 지역 요소를 반영한 주행속도 예측모형은 기존의 기하구조 요인만을 반영한 모형보다 도로 주변 환경을 잘 반영하였으며, 분석구간을 세분화함으로써, 실제 주행속도의 추정력을 높였다. 본 연구에서 개발한 모형과 기존의 주행속도 예측 모형과의 비교분석을 통하여 선행 연구 모형과 비교해 보았다.

기존 주행속도 모형과의 비교할 구간은 양방향 2차로가 41개, 양방향 4차로가 37개이다. 본 연구에서 개발한 주행속도 예측 모형과 국내외의 일반국도의 예측 모형 중 대표적인 연구모형을 중심으로 비교하였다.

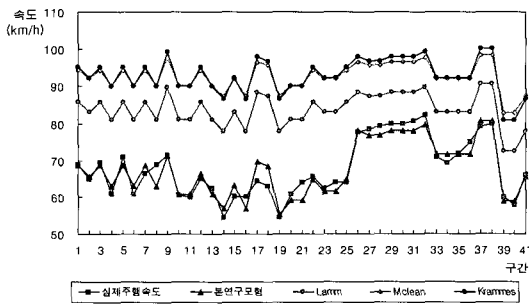
〈표 18〉은 국내외에서 개발된 대표적인 평면 곡선부 주행속도 예측 모형을 정리한 것이다. 외국의 예측 경우는 곡률도(DC), 곡률변화율(CCR) 개념⁷⁾으로 구축한 모형의 경우는 1/R로 변환하여 비교 하였다.

7) 곡률도(DC)와 곡률 변화율(CCR)간의관계

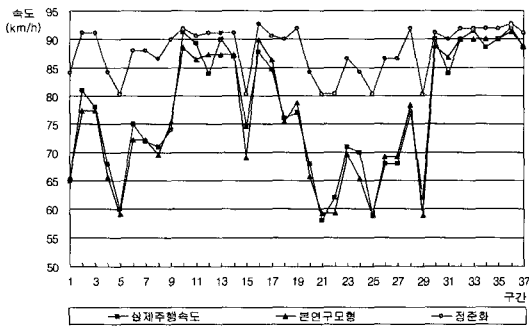
Degree of curve(DC)	Curvature change rate(CCR)
$CD_n = \frac{360}{2\pi R} \quad \left(\frac{\text{deg}}{100\text{ft}}\right)$ $= \frac{5729.6}{R} \quad \left(\frac{\text{deg}}{100\text{ft}}\right)$ DC _n = radius of curve, ft (1 ft = 0.3048m)	$CCR = \sum r_i / L \quad \left(\frac{\text{gon}}{\text{km}}\right)$ $CCR = \frac{(L_{cr}/R)63.7}{L} \quad \left(\frac{\text{gon}}{\text{km}}\right)$ $CCR = \frac{63,700}{R} \quad \left(\frac{\text{gon}}{\text{km}}\right)$
$DC_m = \frac{6370}{R} \quad \left(\frac{\text{gon}}{100\text{m}}\right)$ $DC_m = \frac{63,700}{R} \quad \left(\frac{\text{gon}}{\text{km}}\right)$	
$DC_n \left(\frac{\text{deg}}{100\text{ft}}\right) 36.5 = CCR \left(\frac{\text{gon}}{\text{km}}\right)$ $DC_n \left(\frac{\text{deg}}{100\text{ft}}\right) 11.13 = CCR \left(\frac{\text{gon}}{\text{km}}\right)$	

〈표 18〉 기존 주행속도 예측 모형

구분	연구	
	연구자	속도에측모형
양방향 2차로	Lamm 등 (1987)	$V_{85} = 93.85 - 1.82DC = 93.85 - 0.05CCRS$ $= 93.85 - \frac{3185}{R}$
	McLean (1978)	$V_{85} = 101.2 - 1.56DC = 101.2 - 0.043CCRS$ $= 101.2 - \frac{2739.1}{R}$
	Krammes 등 (1995)	$V_{85} = 103.66 - \frac{3405}{R}$
양방향 4차로	정준화 (2001)	$V_{85} = 95.809 - \frac{4646.9}{R}$



〈그림 20〉 기존주행속도 예측 모형과의 비교 및 분석 (양방향 2차로)



〈그림 21〉 기존주행속도 예측 모형과의 비교 및 분석 (양방향 4차로)

양방향 2차로의 경우 국내의 경우 조사대상지점은 제한속도가 60km/h~80km/h인 반면, 국외연구의 조사대상 지점들은 제한속도가 90km/h인 도로로써, 모형의 상호비교가 불가능한 면이 있다. 하지만, 본 연구의 모형이 지형 및 지역요소를 감안하였기 때문에 보다 정확한 속도 추정이 가능하게 되었다.

〈그림 20〉, 〈그림 21〉 같이 기존 주행속도 예측 모형과의 비교 및 분석 결과, 본 연구의 주행속도 예측 모형이 기존 연구에 비해 양호한 추정력을 보이고 있다. RMSE 검정결과 양방향 2차로의 경우 본 연구 결

과는 3.19이었는데, Lamm 14.46, Mclean 22.42, Kramme 22.71를 보였다. 양방향 4차로의 경우는 본 연구가 5.04, 정준화의 연구가 9.80 였다.

본 연구의 주행속도 예측 모형이 기존 연구와의 차이는 설계속도에 따른 기하구조요인 뿐만 아니라 지형 및 지역 요소를 반영한 것이다.

3. 지형 및 지역 요소를 반영한 설계속도 범위 산정

본 연구에서 지형 및 지역 요소를 반영한 예측 주행속도를 활용하여 설계속도 범위를 제시하고자 한다. 〈표 19〉는 우리나라에서 통용되는 도로의 기능구분 및 지형에 따른 설계속도 표이다. 음영처리가 된 곳은 본 연구에서 산출한 결과를 적용할 수 있는 부분이다.

정준화(2005)⁸⁾는 통상적으로 주행속도의 85백분위수를 공학적인 의미에서 일반적인 최소 기준으로 하고, 설계기준의 범위를 적용하였다. 본 연구에서 이 방법으로 주행속도의 85백분위수를 최소기준의 설계속도라 판단하고 〈표 19〉의 음영부분을 〈표 20〉과 같이 설계

〈표 19〉 기능구분 및 지형에 따른 설계속도 (km/h)

도로기능분류	지방지역		도시지역	
	평지	산지		
고속도로	120	100	100	
일반 도로	주간선도로	80	60	80
	보조간선도로	70	50	60
	집산도로	60	40	50
	국지도로	50	40	40

〈표 20〉 본 연구에 따른 설계속도 범위 제시 (km/h)

도로기능분류	현재 설계속도 기준	지방지역		도시	도시 외곽
		평지	산지		
주 간 선 도 로	본연구결과와 환경요소를 고려한 속도	89	71	72	85
	본연구에서 제시하는 설계속도범위	80	70	70	80
		90	80	80	90
	보 조 간 선 도 로	현재 설계속도 기준	70	50	60
본연구결과와 환경요소를 고려한 속도		75	60	-	66
본연구에서 제시하는 설계속도범위		70	60	-	60
		80	70	-	70

8) 정준화(2005), "주행속도 분포 특성을 이용한 설계기준 적용방안", 대한교통학회지 제23권 제5호, p.118

속도의 범위로 제시해 보았다.

〈표 20〉에서 제시하는 결과값의 설계속도 범위는 한계가 있다. 특히, 산지부의 경우 제시하는 설계속도의 범위는 기존의 제시값보다 큰 값이 나왔다. 이러한 결과는 실질적으로 도로 설계를 하는 엔지니어가 산지와 평지를 명확히 구분하지 않기 때문이다. 즉, 본 연구에서는 산지로 분류한 도로 환경에 엔지니어가 평지인 설계속도를 적용한다면, 본 연구에서 나온 주행속도 결과값의 도로 환경 범위와 맞지 않게 되는 현상이 발생하는 것이다.

VI. 결론 및 향후 연구과제

본 연구에서는 우리나라 일반국도의 지형 및 지역 요소를 운전자의 시각 특성과 GIS 프로그램을 활용하여 정의하였다. 또한, 이렇게 구축한 지형 및 지역 특성이 차량의 주행속도에 미치는 영향을 살펴보았다. 본 산분석 결과, 95% 신뢰도에서 환경요소(지형 및 지역 요소)에 따라 속도차는 있는 것으로 판단되었다.

지형 및 지역 특성에 따라 뚜렷한 속도차이는 존재하는데 지방부 평지가 주행속도가 가장 높고 도시외곽이 중간, 그리고 도시, 마을, 지방부 산지가 낮은 주행속도를 나타냈다. 즉, 도로 주변 환경의 고도값이나 토지이용이 주행속도에 영향을 주고 있는 것이다.

기존의 주행속도 예측모형식 정립 방법론에 따라 회귀분석을 통하여 기하구조 요인만을 반영한 예측식도 정립해 보았는데, 그 결과 결정계수(R²)가 양방향 2차로는 0.5549, 양방향 4차로가 0.6633 정도인 신뢰도가 나왔다. 또한, 일반선형 모형(GLM)을 통하여 기하구조 요인과 지형 및 지역 요인을 모두 고려한 예측모형식을 수립해 보았는데, 결정계수(R²)가 양방향 2차로는 0.6703, 양방향 4차로가 0.8568로 실질적인 주행속도 예측력을 높였다.

또한 기존의 모형과의 RMSE (최소 제곱근 오차)를 이용한 비교를 해본 결과, 가장 작은 값을 나타내어 지형 및 지역 요소를 감안하는 것이, 주행속도 예측모형식의 신뢰도를 높이는데 큰 역할을 한 것을 알 수 있다.

이러한 본 모형을 바탕으로 환경적인 요소를 감안한 설계속도 범위도 제시하여 보았다. 이 방법론에 따라 산출된 관련 설계속도 범위는 일반국도에 대해 적용할 수 있지만, 다른 수준의 도로에 대해서는 적용성에 한계가 있다. 또한, 모형에서 이용한 GIS 환경요소와 실

제 현장값들의 관계의 정확성 여부도 판단해야만 한다. 하지만, 본 연구에서 수행하였던 연구결과에 따르면 환경을 고려한 설계의 중요성을 인식하고, 환경요소를 고려하여 설계속도 값을 조정할 수 있는 설계보완방안도 수립할 수 있을 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 건설교통부(1999), "국도기능분류 및 효율적 투자 방안 연구", 건설교통부, pp.95~99.
2. 건설교통부(2000), "도로의 구조·시설기준에 관한 규칙 해설 및 지침", 건설교통부, pp.46~48.
3. 강원의(2001), "일반국도의 수행 기능 분석에 의한 적정 설계기준 연구", 대한교통학회지, 제19권 제1호, 대한교통학회, pp.53~62.
4. 김대웅·임채문(1990), "도로교통에 있어서 운전자 주시특성분석", 대한교통학회지, 제8권 제2호, 대한교통학회, pp.7~25.
5. 심관보(2005), "기능재분류와 GIS-T를 이용한 도로 설계속도 적정화 방안", 서울시립대학교 박사논문, pp.42~48.
6. 정준화·박창호(2005), "주행속도 분포 특성을 이용한 설계기준 적용 방안", 대한교통학회지, 제23권 제5호, 대한교통학회, pp.113~122.
7. 정준화(1998), "경제성을 고려한 도로 선형 설계", 건설기술정보, 제11호.
8. 최재성(2004), "국도확장사업을 위한 적정 도로설계 방안연구", 교통정책연구, 제11권, 제1호, 교통개발연구원, p.p51~69.
9. 한국개발연구원(2002), "공공투자사업의 예산관리의 효율화 방안(II), 국도건설비합리화 방안", p.199.
10. AASHTO(1994), A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, Washington, D.C.
11. AASHTO(2004), A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, Washington, D.C.
12. FHWA(1997) Flexibility in Highway Design, U.S. Dept. of Transportation, Washington, D.C.
13. Fitzpatrick, K., Carlson, P. J.(2002) "Selection of Design Speed Values", In Transportation Research Record 1796, TRB, National Research Council, Washington, D.C., pp.3~11.

- 14. Fitzpatrick, K., Carlson, P. J., Brewer, M. A., Wooldridge, M. D., Miaou, S. P.(2003), "Design Speed, Operating Speed, and Posted Speed Practices", NCHRP Report 504, TRB, National Research Council, Washington, D.C., pp4~15.
- 15. ITE(1992), Traffic Engineering Handbook, Fourth Edition, Institute of Transportation Engineers, Washington, D.C.
- 16. Krammes, R. A.(2000), "Design Speed and Operating Speed in Rural Highway Alignment Design" In Transportation Research Record 1701, TRB, National Research Council, Washington, D.C., pp.68~75.
- 17. McLean, J. R.(1978), "Review of the Design Speed Concept", Australian Road Research, vol. 8, No.1, pp.3~16.
- 18. McLean, J. R.(1978), "Speeds on Curves-Side Friction Factor Considerations" , Internal Report AIR 200-4, Australian Road Research Board, Australia.

✉ 주 작 성 자 : 김상엽
 ✉ 논문투고일 : 2005. 10. 29
 논문심사일 : 2005. 11. 30 (1차)
 2005. 12. 15 (2차)
 심사관정일 : 2005. 12. 15
 ✉ 반론접수기한 : 2006. 4. 30