

■ 論 文 ■

## 고속도로 교통운영 특성 및 도로선형요소를 반영한 주행속도 예측모형 개발

Development of Predicting Models of the Operating Speed Considering on Traffic  
Operation Characteristics and Road Alignment Factors in Express Highways

**이 점 호**

(도로교통안전관리공단 전북지부  
안전시설부장)

**홍 다 희**

(서울시립대학교 석사)

**이 수 범**

(서울시립대학교 교수)

### 목 차

- |  |   |
|--|---|
| <p>I. 서론</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 연구의 배경 및 목적</li> <li>2. 연구의 내용 및 방법</li> </ol> <p>II. 기존 연구문헌 고찰</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 주행속도의 정의</li> <li>2. 주행속도예측모형</li> </ol> <p>III. 분석방법론 정립 및 데이터 구축</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 분석구간 선정</li> <li>2. 속도데이터의 수집 및 선정</li> <li>3. 교통운영특성 및 기하구조 자료수집 및 선정</li> </ol> | <p>IV. 고속도로 주행속도예측모형 개발</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 분석개념의 정의 및 구간의 유형화</li> <li>2. 설명변수의 분석 및 선정</li> <li>3. 고속도로 주행속도예측모형 구축</li> </ol> <p>V. 주행속도 예측모형의 검증 및 비교</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 주행속도예측모형 검증</li> <li>2. 선행 연구와의 주행속도 비교</li> </ol> <p>VI. 결론 및 향후 연구<br/>참고문헌</p> |
|--|---|

**Key Words :** 주행속도추정, 교통운영특성, 고속도로선형특성, 종단선형특성, 설계속도  
Operating Speed Estimation, Traffic Operation Characteristics, Highway Alignment  
Factors, Vertical Alignment Characteristics, Design Speeds

### 요 약

도로는 일관성 있는 선형으로 안전하게 주행할 수 있도록 설계되어야 하며, 안전성 향상을 위해 적절한 주행속도로 주행할 수 있는 환경이 제공되어야 한다. 적절한 도로환경을 제공하기 위하여 설계시 정확한 주행속도의 반영은 필수적이므로, 이를 예측할 수 있는 주행속도 예측모형이 필요하다고 판단된다. 이에 본 연구에서는 주행속도 예측모형 구축을 위해 영동고속도로를 대상으로 주행속도에 영향을 미치는 요인을 크게 선형요소, 교통운영특성 요소로 분류하였다. 분류한 요인을 중심으로 평면직선, 평면곡선구간 그리고 종단곡선구간의 각 구간별로 상관분석을 통하여 주행속도에 영향을 미치는 요인을 선정하였다. 선정된 요인들을 대상으로 다중회귀모형을 이용하여 주행속도예측모형을 구축 및 검증 결과, 본 연구의 주행속도 예측모형이 통계적으로 모두 적합한 것으로 나타났다. 본 연구는 평면 및 종단선형요소를 동시에 반영하여 국내 도로 실정에 맞는 주행속도 예측모형을 개발하였다는데 그 의미가 있다. 그러나 분석자료가 영동고속도로로 한정되어 전국을 대표할 수 없으므로 향후 전국을 대상으로 도로 선형요소를 바탕으로 대표성을 지닐 수 있는 연구가 필요하다고 판단된다.

The road should be designed in the consistent alignment which the driver can drive safely. Also, proper highway environments in order to maintain optimal operational speeds on highway sections should be provided. In design stage, for highway environments, it is essential for an operational speed estimation model to different highway environments. If a method which could evaluate the status of the road safety is developed through this operational speed estimation model, it is possible to provide safe and more comfortable highways to road users. In the study, factors to effect on operational speeds are classified into three groups: horizontal & vertical alignments and traffic operation characteristic factors. Factors are chosen to effect on operational speeds by using collation analysis as classifications of tangent sections, horizontal curve sections and vertical curve sections. In order to develop operational speed estimation models in express highways, multi-regression analysis has been used in this study using the selected factors. This study has meaning that the developed estimation models for operational speeds and evaluation of degree of safety to horizontal and vertical alignments simultaneous. In order to represent whole area of the country with the developed models, the models should be re-analyzed with vast data related with road alignment factors in the near future.

# 1. 서론

## 1. 연구의 배경 및 목적

교통사고 발생 원인 중에 가장 영향력이 큰 요인은 운전자의 행태이다. 운전자의 행태 중 주행속도 행태는 도로의 물리적 조건, 교통상황, 차량 성능, 제한속도, 단속수준 등 다양한 요소를 고려하여 선택되며, 이와 같은 주행속도는 교통사고와 관련된 안전문제에 직접적인 영향을 초래한다.

도로는 안전성, 쾌적성, 운전자 심리, 운전자의 행태 등을 고려하여 설계되어야 하며, 운전자가 갖는 도로상황에 대한 기대심리를 만족시켜야 한다. 그러나 임의의 설계속도에 따른 기하구조의 설계로 운전자의 기대심리를 만족시키지 못하며, 설계시 도로의 안전성, 쾌적성 등을 고려하지 못하는 실정이다. 최근 미국의 AASHTO(2004)에서는 설계속도는 도로의 기능분류 이외에도 지형, 예측 주행속도에 따라 논리적으로 결정되어야 한다고 주장하고 있다. 즉 설계속도를 결정하는데 있어서 도로의 기능분류 뿐만 아니라 도로의 환경요소 및 주행속도를 감안해야 한다는 것이다. 따라서 설계자가 도로 설계단계에서부터 설계속도 결정시 환경요소와 기하조건을 고려하여 안전하다고 판단이 되는 속도로 주행하도록 유도할 수 있는 도로환경을 조성할 필요가 있다. 이를 판단하기 위해서는 도로환경요소를 이용한 속도추정모형의 개발이 필요하고, 주행속도에 영향을 미치는 다양한 요소 즉 도로 선형조건, 교통운영특성, 차량특성 등을 반영하여야 한다. 또한 도로는 평면과 종단선형이 동시에 어우러져 있는 복합 선형구간이므로 안전성 평가모형의 기반을 마련하기 위해 평면과 종단선형 요소를 동시에 반영할 수 있는 주행속도에 예측모형이 필수적이라 판단된다.

이에 본 연구에서는 주행속도의 정확한 예측 및 산정을 위해 고속도로 평면 및 종단선형요소 뿐만 아니라 교통운영특성 요소를 고려한 정확한 고속도로의 주행속도에 예측모형을 개발하는 데 연구 목적이 있다.

## 2. 연구의 내용 및 방법

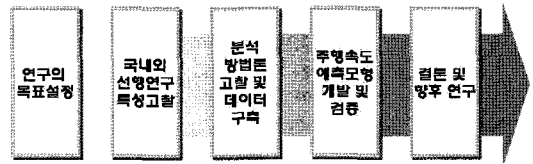
### 1) 연구의 범위

본 연구의 공간적 범위는 영동고속도로 전 구간(강

릉/인천방향)을 대상으로 하며 시간적 범위로는 2005년 1~4월 중 화, 목요일의 11일간 자료를 이용하였다. 분석자료는 현장조사를 토대로 속도 및 교통운영특성자료 그리고 도로선형자료를 수집하였다. 내용적 범위로는 국내·외 연구문헌을 고찰하여 주행속도에 영향을 미치는 요인을 검토하고 영향력 있는 요인들을 중심으로 주행속도에 예측모형을 구축하였다.

### 2) 연구의 수행절차

본 연구의 연구수행절차는 <그림 1>과 같다.



<그림 1> 연구의 수행절차

## II. 기존 연구문헌 고찰

### 1. 주행속도의 정의

AASHTO(1994)에서는 주행속도를 "도로 구간별 설계속도에 의해 결정되는 안전속도를 초과하지 않고 양호한 기상조건하에서 운전자가 주어진 도로구간을 주행할 수 있는 최대속도"로 정의하고 있다. 자유류 (free flow) 상태의 속도 표본에서 85% 속도를 특정지점에서의 주행속도로 추정하는 방법은 요즈음 AASHTO(2001)에 가장 통용되고 있는 방법이다.

따라서 본 연구에서의 주행속도는 AASHTO(2001)의 개념을 반영하여 영동고속도로 대상지점의 자유류 (free flow) 속도표본에서 85% 속도를 주행속도로 정의하고자 한다.

### 2. 주행속도 예측 모형

#### 1) 평면선형의 주행속도 예측모형

##### (1) J.R. McLean의 연구

J.R. McLean(1978, 1981)은 호주의 지방부 2차로 도로 평면곡선에 대한 연구결과, 설계속도가 90km/h 보다 낮을 때 85% 주행속도는 기하요소의 설계속도보다 높고, 100km/h보다 높을 경우에는 설계속도보다 낮다

는 결론을 얻었다. 이를 토대로 기하구조 요건 외에 상류 부 도로의 전반적인 기하구조요건과 주변 개발여건을 고려한 주행속도모형을 개발하였다.

$$V_{85} = 53.8 + 0.464 V_F - 3.26(1/R) \times 10^3 + 8.5(1/R^2) \times 10^4 \quad (1)$$

여기서,  $V_{85}$  : 자유교통류 조건하에서 85% 속도로 표현되는 주행속도(km/h)

$V_F$  : 자유교통류 상황에서 선형요소에 제한받지 않는 직선구간에서 85% 운전자가 선택한 속도(km/h)

R : 곡선반경(m)

(2) Lamm 등에 의한 연구

독일의 Lamm, Hiersche(1993)은 제한속도가 100 km/h인 도로를 대상으로 식(2)와 같은 속도예측 모형식을 개발하였다. CCR(곡률변화율)의 곡률변화와 85th 속도와의 관계를 통해 주행속도를 예측하여 편경사율, 정지 시거와 같은 선형설계요소 결정시, 주행속도를 설계속도 대신 이용하였다. 곡률변화에 의한 속도예측방법은 운전자의 주행특성을 잘 반영할 수 있는 장점이 있다.

$$V_{85} = \frac{10^6}{8,270 + 8.01 CCR_S} \quad R^2 = 0.73 \quad (2)$$

여기서,  $V_{85}$  : 자유교통류 조건하에서 승용차 운전자 중 85%속도로 표현되는 주행속도(km/h)

$CCR_S$  : 단일 곡선부의 곡률 변화율(gon/km)

(3) Islam, M.N 등의 연구

Islam, M.N 등(1994)은 곡선부를 곡선부 시점(BC), 중앙(MC), 종점(EC)으로 나누어 조사하여 구간특성에 맞는 85th 주행속도를 예측하였다.

시점(BC):  $V_{85} = 95.41 - 1.48DC - 0.012DC^2 \quad (3)$

중앙(MC):  $V_{85} = 103.03 - 2.41DC - 0.029DC^2 \quad (4)$

종점(EC):  $V_{85} = 96.11 - 1.07DC \quad (5)$

여기서,  $V_{85}$  : 자유교통류 조건하에서 승용차운전자 중 85%속도로 표현되는 주행속도(km/h)

DC : 곡률도(°/100ft)

2) 복합 선형의 주행속도 예측 모형

(1) Fitzpatrick 등의 연구

Fitzpatrick 등(1999)의 연구는 48개 지점의 평면곡선-종단경사구간에 대한 주행속도를 조사하여, 곡선반경의 역수, 편경사, 종단경사를 독립변수로 한 주행속도 예측모형 연구를 수행하였다. 평면곡선-종단경사 조건(0~4%, 4%초과, -4~0%, -4%미만)이 평면선형과 종단경사가 결합된 구간의 주행속도에측을 위해 고려되었다. R의 0m~400m사이에서 85% 속도가 크게 증가되었으며, R의 400m이상의 구간에서 속도는 크게 증가되지 않는 것으로 나타났다. 종단경사와 평면선형 결합구간에 대한 속도와 상관관계 연구에서 곡선반경의 역수(1/R)만이 유의한 변수로 나타났다.

<표 1> 선형조건별 주행속도 예측식(Fitzpatrick의 연구)

번호	선형 조건	속도 예측식
1	평면곡선-종단경사 구간 -9% ≤ G < -4%	$V_{85} = 102.10 - \frac{3077.13}{R}$
2	평면곡선-종단경사 구간 -4% ≤ G < 0%	$V_{85} = 105.98 - \frac{3709.90}{R}$
3	평면곡선-종단경사 구간 0% ≤ G < 4%	$V_{85} = 104.82 - \frac{3574.51}{R}$
4	평면곡선-종단경사 구간 4% ≤ G < 9%	$V_{85} = 96.61 - \frac{2752.19}{R}$
5	평면곡선-오목종단곡선	$V_{85} = 105.32 - \frac{3498.19}{R}$
6	평면곡선-블록 종단곡선 (시거 제약 없음)	속도에측식 1,2에서 예측된 최저 속도사용
7	평면곡선-블록 종단곡선 (시거 제약)	$V_{85} = 103.24 - \frac{3576.51}{R}$
8	평면직선-오목 종단곡선	$V_{85} =$ assumed desired speed
9	평면직선-블록 종단곡선 (시거 제약 없음)	$V_{85} =$ assumed desired speed
10	평면직선-블록 종단곡선 (시거 제약)	$V_{85} = 105.08 - \frac{149.69}{K}$

여기서, G : 종단경사(%), R : 평면곡선반경(m),  
K : 종단곡선변화율(m/%)

(2) FHWA의 연구

FHWA(2000)의 연구는 2차로 도로를 대상으로 하여 크게 경사가 0~4%인 평면곡선구간, 오목곡선-평면선형구간, 블록곡선-평면선형구간(시거제약)으로 나누어 주행속도예측모형을 구축하였다. 주행속도에측모

형을 구축하기 위한 구간선정조건은 다음과 같으며, 이 때 반영한 독립변수로는 곡률도, 편향각, 곡선반경, 종단곡선길이, 경사, 종단곡선변화율을 이용하였다.

〈표 2〉 선형조건별 주행속도 예측 식(FHWA의 연구)

선형 조건	속도 예측식
평면곡선-종단경사 구간 -9% ≤ G < 0%	$V_{85} = 100.87 - \frac{2720.78}{R}$
평면곡선-종단경사 구간 0% ≤ G < 4%	$V_{85} = 106.30 - \frac{3595.29}{R}$
평면곡선-오목종단곡선	
평면곡선-종단경사 구간 4% ≤ G < 9%	$V_{85} = 96.46 - \frac{2744.49}{R}$
평면곡선-블록 종단곡선 (시거 제약)	$V_{85} = 101.90 - \frac{3283.01}{R}$
블록종단곡선 (시거 제약)	$V_{85} = 111.07 - \frac{175.98}{K}$
평면직선- 오목종단곡선	$V_{85} = 100.19 - \frac{126.07}{K}$

여기서,  $V_{85}$  : 85th 속도(km/h), G : 경사(%),  
K : 종단곡선변화율(m/%),  
R : 곡선반경(m)

### III. 분석방법론 정립 및 데이터구축

#### 1. 분석구간 선정

분석구간은 영동고속도로 전 구간에 대해 크게 방향별로 분류하고, 각 방향별로 곡선반경을 기준으로 평면직선구간, 평면곡선구간 그리고 종단곡선구간으로 분류하였다. 각 분석구간의 선형 및 기하구조요소(종단경사, 곡선반경 등)는 상이하지만, 구간내의 선형 및 기하구조요소는 동일하다. 분석구간은 각 방향별로 655개구간으로 총 1,310개구간이다. 분류한 구간은 방향별 모두 평면직선구간 254개, 평면곡선구간 248개, 종단곡선구간 153개구간으로 나타났다. 앞서 제시한 영동고속도로의 방향별 구간들 중 운영특성 및 기하구조자료를 이용한 주행속도예측모형을 구축하기 위해 다음과 같은 선정기준으로 분석구간을 선정하였다.

〈표 3〉의 조건에 만족되는 구간들 가운데 다음의 조건에 부합되는 구간이 최종 선정시에 우선되었다.

- 교통사고로 인한 주행속도에 미치는 영향을 최소화하기 위해 사고다발지점이 아닌 구간
- 시거(Sight Distance)의 요인을 배제하기 위해

시거가 양호한 구간

- 자유류상태 속도를 대상으로 하기위해 교통량이 적은구간 즉 서비스수준 A( $V/C \leq 0.27$ )인 구간

〈표 3〉 분석구간 선정기준

조건	선정기준	조건	선정기준
도로기능	고속도로	차로폭	3.5~4.5m
설계속도	100~120km/h	평면곡선길이	계약이 없음
제한속도	80~100km/h	종단곡선길이	계약이 없음
곡선반경	500~5,000m	직선길이	계약 없음
경사	-5~+5%	종단곡선유형	오목 및 블록 곡선
교통량	500~4,000대/일		

이상의 조건들이 만족되는 지점을 설계도에 기초하여 최종적으로 조사대상구간을 선정하였다. 최종적으로 선정된 구간은 방향별로 168개이며, 강릉방향의 경우 평면직선구간 88개, 종단곡선구간 22개, 평면곡선구간 58개구간이다. 인천방향의 경우 평면직선구간 90개, 종단곡선구간 22개, 평면곡선구간 56개 구간이다.

#### 2. 속도데이터 수집 및 선정

##### 1) 속도자료 수집 기준

분석데이터는 속도자료와 교통운영특성 및 기하구조자료를 이용하여 구축하였다. 속도자료는 영동고속도로 전 구간 VDS(Vehicle Detector System)의 30초 데이터를 사용하였다. 여기서 VDS의 속도자료는 화,목요일(11일)의 평일 속도자료를 이용하였으며, 30초 데이터의 총 자료수는 965,470개이다. 그중 다음 조건이 만족하는 자료만을 선정하여 이용하였다.

- 날씨의 요인을 배제하기 위한 최근 3개월간 맑은 날, 도로노면이 건조한날의 속도자료 이용
- 출근 및 여가 등 주위 환경적 요인을 배제하기 위한 최근 3개월간 화,목요일의 속도자료를 이용
- 검지기(VDS)의 속도자료가 부재한 구간 제외
- Free-Flow Vehicles만을 대상으로 하기 위해 서비스 수준 A인 상태( $V/C \leq 0.27$ )인 차량만을 대상으로 하며, 85% 속도 사용
- 환경적인 요인을 최소화하기 위해 침두, 야간시를 제외한 교통량이 적은 시간대 즉 10:00am~6:00pm의 차량속도만을 대상

앞서 제시한 조건들을 만족하는 30초 데이터는 방향별로 111,434개(원시자료의 45%)이며, VDS의 30초 데이터를 이용하여 앞서 선정된 구간별 분석구간별 85% 속도는 방향별 168개로 총 336개의 85% 속도를 이용하여 모형구축에 이용하였다. VDS의 위치는 분석구간별로 평면직선구간의 경우 평면직선에, 평면곡선구간의 경우 평면곡선에 그리고 평면곡선구간의 경우에는 종단곡선에 위치한다.

2) 분석자료의 독립성 검토

본 연구에서 이용하는 주행속도는 영동고속도로 상의 VDS의 30초 데이터이므로 실제속도와 영상검지기속도에 대한 비교검증이 필수적이다. 따라서 본 연구에서는 평면직선, 평면곡선 그리고 종단곡선구간의 각각 한 지점을 선정하여 속도자료를 비교·검증하였다. 선정지점은 평면직선구간은 인천기점STA. 62.5km, 평면곡선구간 STA.99.5km, 종단곡선구간은 STA.104.53km이다. 선정조건은 구간특성이 속도에 미치는 영향을 최소화하기 위해 지점 전·후 구간이 모두 동일한 특성구간을 선정하였다. 즉 평면직선구간의 경우 선정지점 전·후 구간 모두 평면직선구간이며, 평면곡선 및 종단곡선구간의 경우도 동일한 방법을 적용하였다. 검증방법은 구간별 조사한 주행속도와 검지기속도와의 정규성을 검토한 후, 독립표본 t-test를 통하여 실제 주행속도와 검지기속도와의 차이를 통계적으로 검증하였다.

(1) 실제 조사속도와 검지기 속도와의 비교 및 분포

직선구간의 경우 실제 조사속도의 평균 속도는 108.89 km/h이고, 영상검지기의 평균속도는 105.69km/h로 나타났다. 두 집단별 평균속도의 차이는 약 3.2km/h로 나타났으며, 분산의 정도는 조사한 속도에 비하여 검지기 속도가 더 큰 것으로 나타났다. 분산이 큰 이유는 실제 조사속도는 차량군의 선두차량만을 대상으로 조사하였고, 검지기 속도의 경우 해당 시간의 모든 차량의 속도이기 때문에 속도의 범위 폭이 크기 때문에 분산이 더 크다고 판단된다.

곡선구간과 종단곡선구간의 실제 조사속도의 평균 속도는 각각 103.44km/h, 106.87km/h이고, 영상검지기의 속도는 101.22km/h, 105.68km/h로 집단간 속도차는 약 2.2km/h와 1.2km/h로 나타났다. 분산의 경향은 직선구간과 마찬가지로 영상검지기 속도가 실제속도보다 분산이 더 큰 것으로 나타났다.

〈표 4〉 각 구간의 평균 주행속도

구간 종류	실제 조사속도(km/h)	영상 검지기 속도(km/h)
직선구간	108.89 (N=528, S=72.21)	105.69 (N=480, S=134.67)
곡선구간	103.44 (N=320, S=102.35)	101.22 (N=210, S=136.82)
종단곡선구간	106.87 (N=418, S=73.10)	105.68 (N=387, S=106.07)

(2) 속도의 정규성 및 독립성 검증

각 구간의 표본수가 2,000(n(2,000)개 보다 작으므로 정규성 검증방법은 Kolmogorov-Smirnov통계량을 이용하였다. 정규성 검증결과, 평면직선, 평면곡선 그리고 종단곡선구간 모두 통계량의 유의 확률이 0.05보다 작아 95% 신뢰수준에서 실제 속도 및 검지기 속도자료가 모두 정규분포를 이룬다고 판단된다.

〈표 5〉 속도의 정규성 검증결과

구분	속도 종류	통계량	자유도	유의확률
직선	실제 속도(N=528)	0.045	527	0.020
	검지기 속도(N=480)	0.061	479	0.000
곡선	실제 속도(N=320)	0.062	319	0.025
	검지기 속도(N=209)	0.061	208	0.032
종단곡선	실제 속도(N=418)	0.039	417	0.016
	검지기 속도(N=387)	0.047	386	0.001

또한 각 구간의 속도의 평균을 이용하여 실제 조사속도와 검지기 속도간의 동일 여부를 판단하였다. 이때 판단기준은 두 집단이 모두 독립적이므로 t-test 중 독립표본 t 검정방법<sup>1)</sup>을 이용하였다. 검증결과, t값에 대한 유의확률이 0.05보다 크므로 95% 신뢰수준에서 두 집단간의 평균의 차이가 없다는 것을 알 수 있다. 즉 평면직선, 평면곡선 그리고 종단곡선구간 모두 실제 조사속도와 검지기 속도와의 차이가 없는 것으로 나타났다.

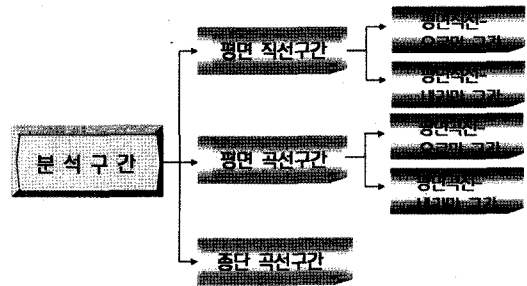
〈표 6〉 속도의 독립성 검증 결과(t-검정)

구분	t	유의확률 (양쪽)	평균차	차이의 표준 오차	차이의 95% 신뢰구간	
					하한	상한
평면직선	0.716	0.474	3.215	3.6327	-4.5309	9.7339
평면곡선	1.233	0.218	2.265	1.0839	-0.7941	3.467
종단곡선	-0.767	0.443	1.191	0.4966	-1.3533	0.5931

1) 독립표본 T검정방법은 t-검정에 대한 유의확률이 95% 신뢰수준하에서 0.05보다 값이 크면 통계적으로 차이가 없고, 0.05보다 작으면 통계적으로 차이가 있다.(단, 귀무가설이 '두 집단간 평균의 차이가 없다'이며, 대립가설이 '두 집단 평균의 차이가 있다'라고 가설을 가정시에 성립)

### 3. 교통운영특성 및 기하구조 자료수집 및 선정

주행속도예측모형을 구축하기 위한 교통운영특성 및 기하구조자료는 현장조사 및 영동고속도로의 중·평면도를 이용하여 수집하였다. 기하구조 자료는 크게 평면직선, 평면곡선, 종단곡선구간에 관한 자료를 수집하여 분석하였다. 수집 자료와 데이터 범위는 <표 7>과 같다. 특히, 구간길이는 앞서 선정한 각 분석구간의 시점부터 종점까지의 길이를 의미하는 것으로서, 분석구간은 구간내의 선형 및 기하구조요소가 동일한 구간을 의미한다.



<그림 2> 분석구간의 분류

<표 7> 수집 자료와 데이터 범위

구분	자료	데이터 범위
교통 운영 특성	VES(과속단속카메라)	0~1개소
	제한속도(km/h)	80/100km/h
	중차량 비율(%)	27~39%
	Access Point Density (유출입시설 및 휴게소,개/km)	0~3.56개/km
기하 구조 자료	1/곡선반경(1/R, 1/m)	1/0~0.002m
	커브유형	좌커브/우커브
	편경사(e, %)	0~4%
	구간길이(km)	50~2,630m
종단 선형	종단경사(G, %)	-5~5%
	차로폭(m)	3.5~6.5m
종단 곡선	1/종단곡선변화율 (1/K, %/m)	0~0.02%/m
	종단곡선 길이(m)	200~600m

#### 2) 평면직선구간의 유형화

평면직선구간의 곡선반경은  $\infty$ (무한대)m로 1/R(1/곡선반경)은 0m이 되므로 주행속도에 영향을 미치지 않을 것으로 판단되어, 종단경사만을 기준으로 구간을 유형화하였다.

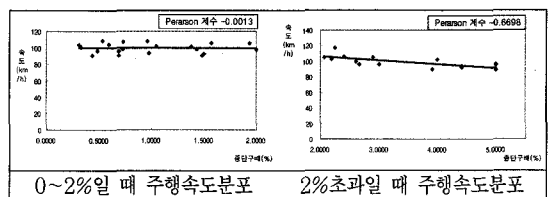
평면직선-오르막구간의 G(종단경사)에 따른 주행속도 분포를 Plotting한 결과, 0~2%인 구간은 종단경사와 주행속도간의 영향이 미미한 것으로 나타났는데 반하여, 2%초과인 구간의 경우 주행속도와와의 관계가 0~2%구간에 비해 그 관계가 뚜렷한 것으로 나타났다. 따라서 본 연구에서는 평면직선-오르막구간에 대해 0~2%, 2%초과인 구간으로 유형을 세분화하여 분석하였다.

## IV. 고속도로 주행속도 예측모형 개발

### 1. 분석개념의 정의 및 구간의 유형화

#### 1) 개요

본 연구에서는 평면 및 종단선형요소를 반영한 주행속도예측모형을 개발하기 위해 분석구간을 곡선반경(R)을 이용하여 평면직선, 평면곡선 그리고 종단곡선구간으로 분류하고 종단경사(G)를 이용하여 각 구간들을 오르막 및 내리막구간으로 분석유형을 세분화하였다. 각 분석구간마다 곡선반경(R)과 종단경사(G)를 동시에 고려하였으며, 각 구간의 주행속도와와의 관계를 통하여 유형을 세분화하였다. 단, 여기서 종단곡선구간은 R과 G의 선형요소가 존재하지 않으므로 유형의 세분화에서 제외하였다.

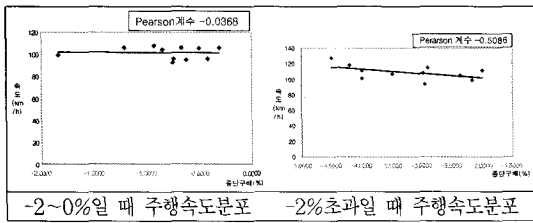


<그림 3> 평면직선-오르막구간의 주행속도분포

종단경사가 0~2%일때 주행속도와 종단경사간의 상관분석을 실시한 결과, Pearson계수가 -0.0013으로 0~2%구간의 주행속도는 종단경사의 영향을 거의 받지 않는 것으로 나타났다. 이와 다르게 2%를 초과하는 구간의 경우는 <그림 3>과 같이 종단경사가 증가할수록 주행속도는 감소하는 것으로 나타났으며, Pearson계수가 -0.6698로 나타나 뚜렷한 음의 상관관계를 보이고 있는 것으로 나타났다.

평면직선-내리막구간의 경우 경사가 증가할수록 속

도가 증가하는 것으로 나타났다. 중단경사 -2~0%인 구간은 중단경사와 주행속도간의 영향이 미미한 것으로 나타났는데 반하여, -2%초과하는 구간의 경우 주행속도와 비례관계가 명확한 것으로 나타났다. 따라서 평면직선-내리막구간은 -2~0%, -2%초과로 유형을 나누어 분석하였다.



〈그림 4〉 평면직선-내리막구간의 주행속도분포

중단경사가 -2~0%인 구간의 주행속도분포를 살펴본 결과, 주행속도와의 상관성을 표현하는 Pearson계수가 -0.0368로 나타나 이 구간의 주행속도는 중단경사와의 상관성이 약한 것으로 분석되었다. 또한 중단경사가 -2%를 초과하는 구간의 경우, 중단경사가 음으로 증가할수록 주행속도는 증가하는 것으로 나타났으며, Pearson계수 또한 -0.5086으로 나타나 강한 음의 상관관계를 갖는 것으로 나타났다.

따라서 본 연구에서는 평면직선-오르막구간에 대한 중단경사에 따른 속도의 영향은 0~2%, 2%초과로, 평면직선-내리막구간에 대해서는 -2%초과, -2~0%로 총 4개의 유형으로 분류하였다. 단 평면직선-오르막구간의 0~2%와 평면직선-내리막구간의 -2~0%구간의 주행속도는 중단경사와의 영향정도가 미미하므로 이 두 유형을 하나의 유형으로 통합하였다. 이에 평면직선구간의 G(중단경사)에 따른 유형화는 -2%초과, -2~2%, 2%초과로 세 가지 유형으로 분류하였다.

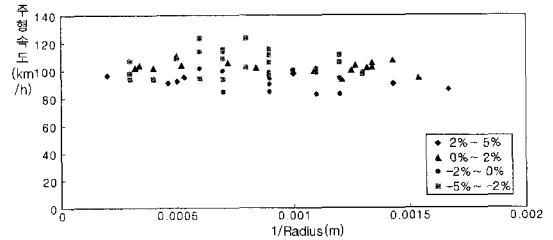
〈표 8〉 평면직선구간의 중단경사와 곡선반경에 따른 유형분류

구분	G(중단경사)			
	R(곡선반경)	-2%초과	-2~2%	2%초과
평면직선구간	∞m	I	II	III

3) 평면곡선구간의 유형화

평면곡선구간의 주행속도는 R(곡선반경)과 G(중단경사)에 의해 모두 영향을 받으므로 R과 G에 따른 분석구간의 세분화가 필요하다. 각 구간에 대한 1/R과 중단경

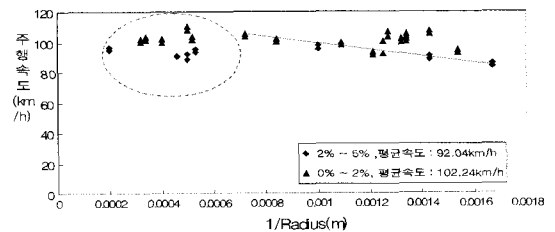
사에 따른 주행속도 분포를 살펴본 결과, 1/R이 증가할수록 주행속도는 감소하는 것으로 나타났다. 또한 동일 1/R에서도 평면곡선-오르막구간의 경우 중단경사가 증가할수록 주행속도가 낮아지는데 반하여, 평면곡선-내리막구간의 경우는 높아지는 것으로 분석되었다.



〈그림 5〉 평면곡선구간의 1/R, G와 주행속도와의 관계

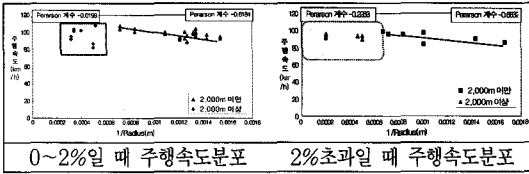
① 평면곡선-오르막구간

평면곡선-오르막구간의 경우 〈그림 6〉과 같이 경사가 0~2%이며, 1/R이 0.0005 즉 곡선반경이 2,000m이상인 구간의 주행속도는 중단경사와 곡선반경에 의한 영향정도가 미미한 것으로 나타났다. 이에 반하여 중단경사가 2%초과이며, 1/R(곡선반경)이 0.0005이상 즉 2,000m미만인 구간의 주행속도는 1/R이 증가할수록 중단경사가 증가할수록 주행속도는 감소하는 것으로 나타났다. 동일 1/R내에서도 중단구배가 증가할수록 주행속도는 감소하는 것을 알 수 있다.



〈그림 6〉 평면곡선-오르막구간의 1/R, 경사와 주행속도와의 관계

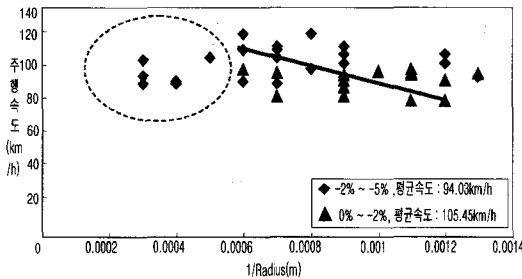
이를 중단경사를 기준으로 0~2%구간과 2%초과한 구간으로 나누어 중단경사와 곡선반경 그리고 주행속도와의 관계를 살펴보았다. 중단경사가 0~2%구간과 2%초과한 구간 모두 R이 2,000m이상인 구간의 주행속도와의 상관계수는 -0.0198, -0.2263로 중단경사와 곡선반경에 의한 영향이 미미한 것으로 나타났는데 반하여, R이 2,000m미만인 구간의 주행속도와의 상관성은 -0.6184, -0.6632로 명확한 음의 상관관계를 갖는 것으로 분석되었다.



〈그림 7〉 평면곡선-오르막구간의 주행속도분포

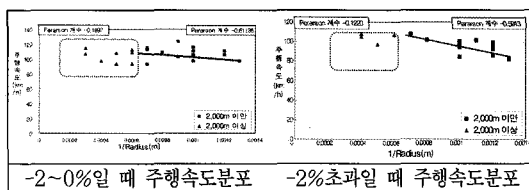
② 평면곡선-내리막구간

평면곡선-내리막구간의 경우 〈그림 8〉과 같이 경사가 -2~0%이며, 1/R이 0.005m 즉 곡선반경이 2,000m 이상인 구간의 주행속도는 종단경사가 곡선반경에 의해 그다지 영향을 받지 않는 것으로 나타났다. 이에 반하여 종단경사가 -2%를 초과하며, R이 0~2,000m미만인 구간의 주행속도는 1/R이 증가할수록 종단경사가 음의 방향으로 증가할수록 주행속도는 감소하는 것으로 나타났다. 동일 1/R내에서도 종단경사가 음으로 증가할수록 주행속도 또한 증가하는 것으로 나타났다.



〈그림 8〉 평면곡선-내리막구간의 1/R, 종단경사와 주행속도와의 관계

종단경사를 기준으로 -2%를 초과한 구간과 -2~0%인 구간으로 나누어 종단경사와 1/R 그리고 주행속도와의 관계를 살펴보았다. 종단경사가 -2%초과하는 경우와 -2~0%인 구간 모두 R이 2,000m이상인 구간의 주행속도와의 상관계수는 -0.1220, -0.1897로 종단경사와 곡선반경에 의해 영향을 받지 않는 것으로 나타난데 반하여, R이 2,000m미만인 구간의 주행속도와의 상관성은 -0.5913,



〈그림 9〉 내리막구간의 주행속도분포(평면곡선구간)

-0.6112로 음의 상관관계를 갖는 것으로 분석되었다.

본 연구에서는 평면곡선구간에 대해 R과 G를 기준으로 R은 2,000m미만과 2,000m이상으로 분류하고 종단경사는 -2%초과, -2~0%, 0~2%, 2%초과로 분석구간을 세분화하였다. 평면직선구간과 마찬가지로 -2~0%, 0~2% 구간의 주행속도는 R 및 G와의 상관성이 미미하므로 두 유형을 -2~2%로 통합하였다. 따라서 곡선구간의 곡선반경과 종단경사에 따른 유형분류는 -2%초과, -2~2%, 2%초과로 분류하였다.

〈표 9〉 평면곡선구간의 종단경사와 곡선반경에 따른 유형분류

구분	G(종단경사) R(곡선반경)	-2%초과	-2%~2%	2%초과
		평면곡선구간	2,000m 미만	IV
	2,000m 이상	VII	VIII	IX

따라서 종단곡선구간을 포함한 본 연구의 평면직선구간, 평면곡선구간 그리고 종단곡선구간에 대한 분석구간 유형의 세분화는 다음 〈표 10〉과 같다.

〈표 10〉 분석구간의 종단경사와 곡선반경에 따른 유형분류

구분	G(종단경사) R(곡선반경)	-2%초과	-2%~2%	2%초과
		평면직선구간	∞m	I
평면곡선구간	2,000m 미만	IV	V	VI
	2,000m 이상	VII	VIII	IX
종단곡선구간		X		

2. 설명변수의 분석 및 선정

본 연구에서 고속도로 교통운영특성 및 도로선형요소를 반영한 주행속도 예측모형을 구축하기 위해 주행속도에 영향을 미치는 요인을 파악하였다. 파악한 요인은 VES(과속단속카메라), 제한속도(80/100km/h), 중차량 비율(%), Access Point Density(유출입시설 및 휴게소, 개/km), 곡선반경(1/R), 커브유형(좌/우커브), 편경사(%), 경사(%), K(종단곡선변화율), 종단곡선길이(m)이다. 파악한 요인들을 중심으로 앞서 분류한 분석유형별로 주행속도와의 상관분석을 통하여 각 유형에 맞는 설명변수를 선정하였다. 분석유형별로 제시한 모든 설명변수를 이용하되 해당 구간에 부재한 변수 즉 단속카메라 없는 구간이나 제한속도가 동일한 구간은 변수에서 이들을 제외하였다. 상관분석을 이용한 변수선정기준은 다음과 같으며, 아래조건을 모두 만족하는 변수를 최종적으로 선정하였다.



- 주행속도와의 외부상관성이 높은 변수채택(0.50 이상) & 유의확률(95% 신뢰수준, 0.05 이하)
- 설명변수간 내부상관성이 낮은 변수 채택(0.20이하)

제시한 설명변수 선정 기준으로 토대로 선정된 각 분석유형별 설명변수 결과는 <표 11>과 같다.

<표 11> 분석유형별 설명변수 채택결과

분석유형	설명변수
유형 I	구간길이, 종단경사, Access Point Density
유형 II	구간길이, 제한속도, Access Point Density
유형 III	구간길이, 종단경사, 중차량 혼합율, VES
유형 IV	종단경사, 1/R, VES
유형 V	구간길이, Access Point density
유형 VI	종단경사, 1/R, 중차량 혼합율
유형 VII	종단경사, 1/R
유형 VIII	Access Point Density, 중차량 혼합율
유형 IX	종단경사, 중차량 혼합율
유형 X	1/K(1/종단곡선변화율)

### 3. 고속도로 주행속도 예측모형 개발

본 연구에서는 고속도로에서의 교통운영특성 및 도로 선형요소를 개발하기 위해 각 유형별로 주행속도에 영향을 미치는 변수를 상관분석을 통하여 선정하였다. 선정한 설명변수를 중심으로 다중회귀분석(Multi-Regression Analysis)을 이용하여 고속도로에서의 주행속도 예측모형을 구축하였다.

R(곡선반경)이 ∞m(직선구간)이면서 종단경사가 -2%를 초과하는 구간인 유형 I의 주행속도예측모형 구축결과, <표 12>와 같이 R<sup>2</sup>이 0.860으로 나타나 구간길이, 종단경사, Access Point density가 모형에 대해 86.0%의 설명력을 가지는 것을 알 수 있다. 또한 모형에 대한 유의확률이 0.002로 나타나 모형이 통계적으로 유의한 것으로 판단된다. 선택한 모형의 비표준화계수를 살펴보면 구간길이 1km가 증가할수록 주행속도는 0.012 km/h만큼 증가하고, 종단경사가 1%증가할수록 9.846 km/h씩 증가하는 것으로 나타났다. 또한 Access Point Density가 1개/km가 증가할 때마다 주행속도는 2.655 km/h씩 감소하고 있음을 알 수 있다. 종속변수에 대한

<표 12> 유형 I의 주행속도예측모형 결과

R <sup>2</sup>	Adjust R <sup>2</sup>	Durbin-Watson	F	Sig.
0.860	0.800	2.103	14.345	0.002

Model	Non-Standardized Coefficient		Standardized Coefficient	t
	B	SE	Beta	
상수	66.288	8.569		7.734
구간길이	0.012	0.006	0.313	3.053
종단경사	9.846	2.633	0.615	4.740
Access Point Density	-2.655	-1.699	-0.250	-2.863

Model	Sig.	Collinearity Statistics		Condition Index
		Tolerance	VIF	
상수	0.000			1.000
구간길이	0.039	0.858	1.165	12.672
종단경사	0.007	0.739	1.354	1.788
Access Point Density	0.042	0.777	1.287	6.158

영향력을 비교할 있는 비표준화계수(Standardized Coefficient)<sup>2)</sup>를 살펴보면 각각 0.006, 2.633, -1.699로 나타나 종단경사, Access Point Density, 구간길이 순으로 주행속도에 높은 영향력을 가지고 있는 것으로 나타났다. 또한 다중공선성<sup>3)</sup>결과, 공차한계값이 0.10보다 크고, VIF는 10보다 작으며 각 상태지수값이 15보다 작은 것으로 나타나 기준에 모두 만족하므로 다중공선성의 문제는 없는 것으로 나타났다. 오차의 자기상관을 살펴볼 수 있는 Durbin-Watson 값이 2.10으로 오차항간에 독립성이 존재함을 알 수 있다.

유형 I 일 경우의 주행속도 예측모형 결과는 다음과 같다.

$$Y = 66.288 + 0.012 \times (X1) + 9.846 \times |X2| - 2.673 \times (X3) \quad (6)$$

여기서, Y : 85th 주행속도(km/h)  
 X1 : 구간길이(km), X2 : 종단경사(%)  
 X3 : Access Point Density(개/km)

유형 I 과 같이 나머지 유형들의 다중회귀분석을 이용한 분석유형별 모형구축결과는 <표 13>과 같다.

여기서, Y : 85th 주행속도(km/h)  
 X1 : 구간길이(km)

2) 표준화계수는 독립변수 각각의 유의성과 관련하여 종속변수에 영향력을 비교할 수 있는 지표이다.  
 3) 다중공선성은 적어도 하나의 독립변수가 다른 독립변수들과의 선형결합으로 표시가 된다는 의미이며, 공차한계값(Tolerance)이 0.10보다 작고, 분산팽창요인(VIF)이 10보다 크고, 상태지수(Condition Index)값이 15보다 클 경우에 발생하게 된다.

〈표 13〉 분석 유형별 주행속도예측모형

유형	주행속도예측모형			
유형 I	Y=66.288+0.012×(X1)+9.846× X2   -2.673×(X3)			
	R2	Sig	Dubin-Watson	다중공선성 여부
유형 II	Y=82.723+3.572×(X1)+9.054×(X4)-1.046×(X3)			
	R2	Sig	Dubin-Watson	다중공선성 여부
유형 III	Y=116.048+4.739×(X1)-1.988×(X2)-0.378×(X5) -0.946×(X6)			
	R2	Sig	Dubin-Watson	다중공선성 여부
유형 IV	Y=98.637+5.80× X2   -1.886×(X6)-13299.6×(X7)			
	R2	Sig	Dubin-Watson	다중공선성 여부
유형 V	Y=95.196+6.808×(X1)-3.034×(X3)			
	R2	Sig	Dubin-Watson	다중공선성 여부
유형 VI	Y=139.743-2.210×(X2)-9396.854×(X7)-0.879×(X5)			
	R2	Sig	Dubin-Watson	다중공선성 여부
유형 VII	Y=92.894+6.219× X2   -11707.0×(X7)			
	R2	Sig	Dubin-Watson	다중공선성 여부
유형 VIII	Y=103.252-7.08×(X5)-2.69×(X3)			
	R2	Sig	Dubin-Watson	다중공선성 여부
유형 IX	Y=155.660-4.671×(X2)-1.336×(X5)			
	R2	Sig	Dubin-Watson	다중공선성 여부
유형 X	Y=105.87-401.364×(X8)			
	R2	Sig	Dubin-Watson	다중공선성 여부

- X2 : 종단경사(%)
- X3 : Access Point Density(개/km)
- X4 : 제한속도(km/h)
- X5 : 증차량 혼합율(%)
- X6 : VES(개/km)
- X7 : 1/R(1/m)
- X8 : 1/종단곡선 변화율(%/m)

유형 II인 경우 구간길이가 1km 증가할수록 주행속도는 3.57km/h만큼 증가하는 것으로 나타났으며, 제한속도가 80km/h→100km/h로 증가할 경우 9.05km/h의 주행속도가 증가하는 것으로 나타났다. 또한 Access Point Density가 1개/km가 증가할 때 마다 속도는 1.05km/h씩 감소하는 것으로 나타났다. 유형 III의 경우 구간길이가 1km증가할수록 속도는 4.73km/h만큼 증가하고, 종단경사와 증차량비율이 1%증가할수록 각각 1.99

km/h, 0.38km/h씩 감소하며, VES가 1개/km가 증가할 때마다 속도는 km당 0.95씩 감소하는 것으로 나타났다. 유형 IV일 경우 종단경사가 1%가 증가할수록 속도는 5.80km/h씩 증가하고, 1/R과 VES가 1m, 1개/km 증가할 때마다 각각 13,299.6(R이 1m증가할 때 0.08 km/h 증가), 1.88씩 감소하는 것으로 나타났다. 유형 V 일 경우 구간길이가 1km 증가할수록 속도는 6.80 km/h 만큼 증가하고, Access Point Density가 1개/km 증가할수록 km당 3.03km/h씩 감소하는 것으로 나타났다. 유형 VI일 경우 종단경사, 1/R이 각각 1%, 1m증가할수록 주행속도는 2.21km/h, 9,396.854(R이 1m증가할 때 0.11km/h 증가)씩 감소하고, 증차량 비율이 1% 증가할수록 주행속도는 0.88km/h씩 감소하는 것으로 나타났다. 유형 VIII일 경우 종단경사가 1% 증가할수록 주행속도는 6.219km/h씩 증가하고, 1/R이 1m증가할수록 주행속도는 11,707(R이 1m증가할 때 0.09km/h 증가)씩 감소하는 것으로 나타났다. 유형 VIII의 경우 증차량혼합율과 Access point density 각각 1%, 1개/km증가할수록 주행속도는 각각 7.08km/h, 2.69km/h만큼 감소하는 것으로 나타났다. 유형 IX의 경우 종단경사와 증차량 혼합율이 1% 증가할수록 주행속도는 각각 4.67km/h, 1.33km/h만큼 감소하는 것으로 나타났다. 유형 X인 종단곡선구간의 경우 종단곡선변화율이 가장 영향을 미치는 요인으로 분석되었으며, 종단곡선변화율 1m/% 증가할수록 주행속도는 401.364(K가 1m증가할 때 0.24m/% 증가)씩 감소하는 것으로 나타났다.

## V. 주행속도 예측모형의 검증

### 1. 주행속도 예측모형 검증

다중회귀분석으로 구축한 고속도로 주행속도예측모형의 적합성 및 활용성을 높이기 위해 예측된 주행속도와 실제 주행속도와의 신뢰성 검증은 필요하다고 판단된다. 따라서 분석 유형별로 RMSE(최소 제곱근오차)와 SRESID(스튜던트잔차)를 통하여 모형을 검증하였다. RMSE는 예측 주행속도와 실제 주행속도와의 차의 제곱의 값을 이용하여 모형을 검증하는 방법이고, SRESID는 잔차의 평균값이 0에 가까울수록 모형의 정규성과 등분산성을 만족하므로 모형의 적합성 판단기준이 된다.

검증 구간수와 RMSE(최소 제곱근오차) 및 SRES-ID(스튜던트잔차)결과는 <표 14>와 같으며, 분석결과 RMSE는 1.00~2.48로 예측한 주행속도가 실제 주행속도를 비교적 양호하게 추정하였음을 알 수 있다. 또한 SRESID의 평균값을 살펴보면 모두 0에 가까운 것으로 나타나 본 연구에서 구축한 모형의 정규성 및 등분산성 모두를 만족하는 것으로 분석되었다.

<표 14> 분석 유형별 모형검증결과

검증유형	분석유형									
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
구간수	11	34	20	14	11	11	7	6	5	18
RMSE	2.32	2.42	2.48	1.31	2.06	1.22	1.27	1.60	1.00	1.52
SRESID	-0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	-0.05	0.06	0.00	-0.01	0.00

## 2. 선행 연구와의 주행속도 비교

본 연구에서 구축한 고속도로의 교통운영특성 및 도로선형요소를 반영한 주행속도 예측모형은 기존의 평면선형 요소만을 반영한 모형보다 더 다양한 요인들을 반영하였으며, 분석구간을 세분화함으로써 실제 주행속도의 추정력을 높였다. 이에 본 연구에서 개발한 모형과 기존의 주행속도 예측모형과의 예측주행속도와 실제 주행속도와의 RMSE와 Theil계수를 통하여 본 연구모형과 다른모형을 비교하고자 한다. Theil 계수는 RMSE값과 관련은 가지나 RMSE는 관측치와 추정치 사이의 중앙값에 대한 분산정도를 설명하는 것이라면, RMSE와 달리 RMSE를 표준화한 Theil계수는 절대적인 평가가 가능하며 0에 가까울수록 추정치가 실측치를 잘 표현한다고 판단되므로 모형의 설명력이 높다고 볼 수 있다.

$$\text{Theil 계수} = \frac{\sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (Y_t^s - Y_t^a)^2}}{\sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (Y_t^s)^2 + \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (Y_t^a)^2}} \quad (6)$$

여기서,  $Y_t^s$  :  $Y_t$ 의 추정값  
 $Y_t^a$  :  $Y_t$ 의 실측값  
 N : 관측수

주행속도예측모형의 비교 구간수는 100개구간으로

<표 15> 기존 주행속도예측모형

연구자	주행속도예측모형		
Glenon et al.	$V_{85} = 103.96 - \frac{4524.94}{R}$		
	$R^2$	Sample Size	Year
	0.84	56개 구간	1985
Lamm	$V_{85} = 94.39 - \frac{3189.94}{R}$		
	$R^2$	Sample Size	Year
	0.79	261개 구간	1986
Islam	$V_{85} = 94.39 - \frac{3189.94}{R} - \frac{36597.92}{R^2}$		
	$R^2$	Sample Size	Year
	0.98	8개 구간	1994
Fitzpatrick et al.	$V_{85} = 102.10 - \frac{3077.13}{R} (-9\% \leq G < -4\%)$		
	$R^2$	Sample Size	Year
	0.58	21개 구간	1999
	$V_{85} = 105.98 - \frac{3709.90}{R} (-4\% \leq G < 0\%)$		
	$R^2$	Sample Size	Year
	0.76	25개 구간	1999
Fitzpatrick et al.	$V_{85} = 104.82 - \frac{3574.51}{R} (0\% \leq G < 4\%)$		
	$R^2$	Sample Size	Year
	0.76	25개 구간	1999
	$V_{85} = 96.61 - \frac{2752.19}{R} (4\% \leq G < 9\%)$		
$R^2$	Sample Size	Year	
0.53	24개 구간	1999	

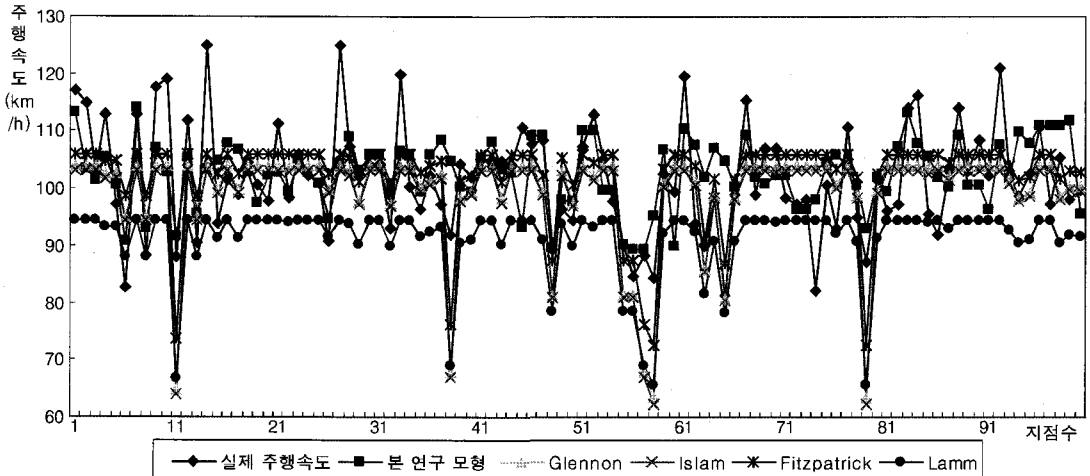
직선구간 62개구간, 곡선구간은 38개구간이다. 본 연구에서 개발한 주행속도예측모형과 국외 주행속도예측모형 중 대표적인 연구모형인 Glennon의 연구, Lamm의 연구, Islam의 연구, Fitzpatrick의 연구모형을 분석 및 비교하였다.

기존 주행속도 예측모형과의 비교 및 분석결과, <그림 10>에 의하면 본 연구의 주행속도 예측모형이 기존 연구에 비해 거의 비슷한 분포를 나타내고 있어 제일 양호한 추정력을 보이고 있다고 판단된다. 또한 RMSE와 Theil계수를 살펴본 결과, 본연구의 RMSE값이 가장 작고, Theil계수의 경우 0에 가장 가까운 것으로 나타나 본 연구의 적합성이 높은 것으로 나타났다.

<표 16> 기존 주행속도예측모형

연구모형	RMSE	Theil 계수
본 연구	6.2	0.02
Glenon et al.	9.09	0.05
Lamm	13.28	0.07
Islam	13.54	0.09
Fitzpatrick et al.	8.2	0.03

본 연구의 주행속도 예측모형이 기존 연구에 비해 적



〈그림 10〉 기존 주행속도 예측모형과의 비교 및 분석 결과

합성이 높은 이유는 본 연구는 교통특성 및 다양한 선형 요소를 반영한데 반하여, 기존의 Fitzpatrick의 연구를 제외한 나머지 연구는 평면선형요소만을 고려하여 실제 주행속도의 추정력이 떨어지는 것으로 판단된다. Fitzpatrick의 연구 또한 평면선형요소는 고려하였으나 교통운영특성 등을 고려하지 않아 본 모형에 비하여 추정력이 떨어지는 것으로 분석되었다. 단, 본 연구에서 기존 연구모형과의 비교 및 분석시 국내 영동고속도로의 도로여건만을 대상으로 검증하였고, 자료가 본 대상으로로 국한되어 있어 대표성을 나타내기에는 한계가 따른다.

따라서 기존 연구모형과의 비교 및 분석 결과, 본 연구모형이 실제 주행속도 추정력은 더 높은 것으로 나타났으나, 검증 자료의 한계가 있으므로 향후 다양한 구간 및 국내 뿐만 아니라 국외의 도로구간을 대상으로 주행속도 비교 및 분석이 필요하다고 판단된다.

VI. 결론 및 향후 연구

본 연구에서 구축한 주행속도 예측 모형개발은 크게 평면직선구간, 평면곡선구간 그리고 종단곡선구간으로 이루어져 있다. 이들 각 구간은 복합선형 구간의 대표 선형요소인 R(곡선반경)과 G(종단경사)를 기준으로 분석구간을 총 10개 분석구간으로 유형화하였다. 분석구간의 유형은 평면직선구간 3개, 평면곡선구간 6개 그리고 종단곡선구간 1개로 구성되어 있다. 평면직선구간과 평면곡선구간을 대상으로 오르막 및 내리막 구간으로 나누어 특성을 분석하였다. 평면직선구간의 경우 종단경사

가 -2%, 2%초과하는 구간은 종단경사가 증가할수록 주행속도가 증가 또는 감소하는 것으로 나타난 것에 반하여, -2~2%구간의 종단경사가 주행속도에 미치는 영향은 미미한 것으로 나타났다. 평면곡선구간의 종단경사가 ±2% 초과구간의 경우 주행속도는 1/R과 G에 의해 모두 영향을 받는 것으로 나타난 것에 비하여, -2~2%구간의 주행속도는 1/R(1/곡선반경)과 G(종단경사)에 의한 영향이 미미한 것으로 나타났다. 따라서 분석구간은 곡선반경은 2,000m 미만과 2,000m이상으로, 종단경사는 오르막 및 내리막구간 각각 -2%초과, -2~2%, 2%초과로 구간을 분류하였다.

분석구간의 유형별로 주행속도에 영향을 미치는 교통운영특성과 기하구조요인 변수를 상관분석을 통하여 파악하고, 선정된 변수를 중심으로 다중회귀모형을 이용하여 주행속도 예측모형을 구축하였다. 각 유형별 주행속도 예측모형 모형의 구축결과, 각 유형에 따른 모형의 R<sup>2</sup>이 0.576~0.978, 유의확률이 0.000~0.031로 나타나 95%신뢰수준에서 통계적으로 모두 유의한 것으로 분석되었다. 각 유형별 모형의 검증 결과, RMSE값은 1.00~2.48로 나타나 예측한 주행속도가 실제 주행속도를 비교적 양호하게 추정하였음을 알 수 있다. 또한 스튜던트t잔차의 평균값이 모두 0에 가까워 정규성 및 등분산성이 모두 만족하는 것으로 나타났다. 따라서 본 연구에서 예측한 고속도로 교통운영특성 및 도로선형요소를 반영한 주행속도예측모형은 검증결과 통계적으로 적합한 것으로 분석되었다.

본 연구는 평면 및 종단선형 요소인 복합적인 요소를 모두 반영하여 국내 도로 실정에 맞는 주행속도 예측모형

을 개발하였다는 데에 그 의의가 있다. 본 연구에서 이용한 자료가 국내의 영동고속도로로 한정되어 있어 전국을 대표할 수 없으므로 향후 전국적인 속도 및 도로선형요소를 바탕으로 대표성을 지닐 수 있는 연구가 필요하다고 판단된다. 또한 본 고속도로 교통운영특성 및 도로선형요소를 반영한 주행속도 예측모형은 고속도로를 대상으로 한 걸음마 단계인 주행속도예측모형이므로 향후 이에 대한 더 많은 연구가 필요하다고 판단된다.

**참고문헌**

1. 건설교통부(1999), 도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙 해설 및 지침.
2. 하태준, 이석(2002), "지방부 2차로 안전성 평가에 관한 연구", 대한교통학회지, 제20권 제1호, 대한교통학회, pp.121~130.
3. American Association of State Highway and Transportation Officials(2001), A Policy on Geometric Design of Highways and Street.
4. Crosstown Associates(2001), "Correlation of Accident Rates and Highway Geometric Features", in: Ezra Hauer, "Road Grade and Safety", Review of Literature for the Interactive Highway Safety Design Model.
5. Fitzpatrick, K.L. Elefteriadou, D.W. Harwood, J.M. Collins, J.Mcfadden, I.B. Anderson, R.A. Krammes, N.Irizary, K.D.Parma, K. M. Bauer and K.Passetti (2000), "Speed Prediction for Two-Lane Rural Highway", Report FHWA-RD-99-171, USDOT, FHWA.
6. Fitzpartrick&J. M. Collins(1999), "Speed Profile Model for Two-Lane Rural Highway", Transportation Research Record 1737, Transportation Research Board, National Research Council, Washington, DC, pp.7~15
7. Glennon, J.C.,T.R.Neuman and J.E.Leisch (1985), "Safety and Operational Considerations for Design of Rural Highway Curves", Report FHWA/RD-86/035, USDOT, FHWA
8. Lamm,R.,A.K.Guenther, and E.M.houeyri (1993a). "Safety Module for Highway Design", unpublished manuscript, Institute for Highway and Railroad Engineering, University of Karlsruhe, Germany.
9. McLean, J.R.,(1978), "Speeds on Curves: Regression Analysis", International Report 2003, Australian Road Research Board, Melbourne, Australia.
10. McLean, J.R.,(1981), "Driver Speed Behaviour and Rural Road Alignment Design", Traffic Engineering&Control, Vol.22, Printerhall Limited, London, England, pp.208~211.
11. Islam, M.N., and Seneviratne, P.N.(1994), "Evaluation of Design Consistency of Two-Lane Rural Highways", ITE Journal, February.
12. AASHTO, 2004, "A Policy on Geometric Design of Highway and Streets", Washington, D.C.

✉ 주 작 성 자 : 이점호  
 ✉ 교 신 저 자 : 이수범  
 ✉ 논문투고일 : 2006. 2. 20  
 ✉ 논문심사일 : 2006. 4. 12 (1차)  
                   2006. 5. 24 (2차)  
                   2006. 6. 12 (3차)  
 ✉ 심사판정일 : 2006. 6. 12  
 ✉ 반론접수기한 : 2006. 12. 31