

■ 論 文 ■

고속도로의 주행속도예측 및 주행환경만족도 모형 개발에 관한 연구

Development of Predicting Models of the Operating Speed and Operating environment Satisfaction Model in Expressways

김 장 욱

(서울시립대학교 교통공학과 연구교수)

장 일 준

(삼성교통안전문화연구소 수석연구원)

김 정 현

(한국철도기술연구원 미래기술실용화센터
실용화기획팀 책임연구원)

이 수 범

(서울시립대학교 교통공학과 교수)

목 차

- I. 서론
 - 1. 연구의 배경 및 목적
 - 2. 연구의 방법 및 내용
- II. 문헌고찰
 - 1. 주행속도의 정의
 - 2. 기존의 주행속도 예측 모형에 대한 고찰
 - 3. 기존 연구결과
- III. 주행속도예측모형개발
 - 1. 분석기간 선정
 - 2. 속도데이터 수집 및 선정
 - 3. 실제 조사속도와 검지기 속도와의 비교
 - 4. 속도의 정규성 및 독립성검증
- IV. 고속도로 주행환경만족도 모형개발
 - 1. 감성인지조사
 - 2. 주행환경만족도에 대한 수량화 II류 분석
 - 3. 주행환경만족도에 대한 수량화 I류모형 구축
 - 4. 주행환경만족도에 대한 주성분분석
 - 5. 주행환경만족도에 대한 구조방정식 모형
- V. 결론
참고문헌

Key Words : 주행속도예측모형, 주행환경만족도, 수량화이론, 주성분분석, 구조방정식, 계층분석법
Operation Speed Estimation Model, Operation Environment Satisfaction, Quantification Theory, Principal Component Analysis, Linear Structure Relationships, Analytic Hierarchy Process

요 약

고속도로이용자가 주행할 때 도로기하구조를 정확하게 파악하지 못하면, 도로이용자는 자신의 감각과 인식에 의존해 판단을 내리게 되기 때문에 고속도로의 주행성을 평가할 때 설계자와는 다른 판단을 내리게 될 수도 있다. 따라서 도로이용자의 기대심리를 만족시키면서 안전성, 쾌적성 등을 확보하기 위해서는 정확한 주행속도를 예측할 필요가 있다. 또한, 고속도로의 기하구조적인 주행성뿐만 아니라 도로이용자가 이러한 구성요소의 조화에 의해 느끼는 감성적 측면에서의 주행환경만족도에 대한 인식의 변화를 파악할 필요가 있다. 이에 본 연구에서는 주행속도 예측모형 구축하기 위해 6개 고속도로(경부, 서해안, 영동, 남해, 중앙, 호남)를 대상으로 주행속도에 영향을 미치는 요인을 크게 선형요소, 교통운영특성 요소로 분류하였다. 주행속도에 영향을 미치는 요인을 대상으로 다중회귀를 이용한 주행속도예측모형 구축 및 검증 결과, 통계적으로 모두 적합한 것으로 나타났다. 또한, 본 연구에서는 고속도로 이용자를 대상으로 개별면접 설문조사를 통해 수집된 주행환경만족도 이미지 데이터를 바탕으로 수량화 제II류 및 주성분분석을 실시하여 고속도로 주행환경만족도에 대한 영향 요인을 규명하였다. 또한 수량화 제 I류 및 구조방정식을 이용하여 사회인식 및 고속도로 이용자의 실제인식의 변화가 고려된 고속도로의 주행환경만족도 모형을 구축하였다. 본 연구에서 구축된 모형을 통해 주행속도와 같은 정량적인 요인뿐만 아니라 도로이용자가 느끼는 고속도로의 주행환경만족도와 같은 정성적인 요인에 대한 결과도 제시할 수 있어서 도로이용자가 느끼는 변화된 교통 환경과 인식여부가 반영된 고속도로의 주행성을 평가할 수 있다는 데에 그 의의가 있다.

When most drivers take to the freeway, they don't necessarily pay attention to the geometric design. They expect proper design by depending on their own senses and recognition. When they evaluate the features of traveling on the freeway, they can think differently than engineers. The design needs to predict the exact speed of the driver to satisfy the driver's expectation, safety, pleasure and so on. This study categorized the factors influencing the speed of six freeways considering geometric and operational features to make a prediction model of speed. The model used multiple regression with these factors and produced statically appropriate results. This study utilized the principle component analysis and the quantification II analysis based on the image data of the satisfaction of the traveling environment collected through individual interviews. As a result, this study found the factors of satisfaction in a traveling environment. It made a satisfaction model of the traveling environment on freeways considering the change of driver's actual recognition and societal recognition using structural equations and the quantification II theory. Through the model made in this study, This model can present not only qualitative factors like satisfaction of traveling environment on freeways, but also the quantitative elements like speed. What is important is the evaluation of features of traveling on freeways reflected in the recognition and traffic environment felt by drivers.

본 연구는 국토해양부 교통체계효율화사업 교통정보혁신을 위한 제공·관리·평가기술 개발의 연구비지원에 의해 수행되었습니다.

1. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

지속적인 경제성장으로 국민들의 생활수준과 의식이 향상되면서 자동차는 우리 일상생활에서 없어서는 안 될 필수품으로 자리 잡아 가고 있다. 이로 인해 폭등하는 교통량의 증가는 최근까지 추구해왔던 고속도로의 이동성 향상에 대한 관점이 교통안전을 우선으로 하는 고속도로 건설에 대한 관점으로 전환이 되고 있는 실정이다. 특히 자동차에 의해 파생되는 제반 문제 중 교통사고는 재산상의 피해뿐만 아니라 인명피해도 동반하고 있어 환경문제와 함께 현대의 새로운 사회문제로 대두되고 있다. 이러한 교통사고 문제를 최소화시키기 위해 고속도로의 기하구조 개선을 통해 손실을 줄이려는 노력을 하고 있다. 하지만 고속도로에서 발생하는 안전성 문제는 자동차, 도로 기하구조뿐만 아니라 운전자라는 인적 요인이 포함되어 있으므로 이를 배제시키고는 고속도로의 안전성을 확보하기는 어렵다. 특히, 외국에서는 운전자가 고속도로를 주행할 때 가장 안락한 주행을 할 수 있도록 인적요인을 고려한 다양한 연구를 통해 기준을 제시하고 이를 실제 고속도로설계시 반영하는 노력이 이루어지고 있으나 국내에서는 매우 미흡한 실정이다. 따라서 고속도로의 기하구조적인 주행성뿐만 아니라 도로이용자가 이러한 구성요소들의 조화에 의해 느끼는 감성적 측면에서의 주행성을 파악하고 이를 기초로 복합선형구간 설계시 고려할 수 있다면 보다 안락하고 쾌적한 도로 설계를 할 수 있을 뿐만 아니라 도로안전성 향상에도 도움이 될 것으로 기대된다. 이에 본 연구에서는 고속도로의 주행속도예측 및 주행환경만족도를 평가할 수 있는 모형을 개발하고자 한다.

2. 연구의 방법 및 내용

고속도로를 설계할 때 설계자는 안전성, 쾌적성, 도로이용자의 심리, 도로이용자의 행태 등을 고려하며, 도로이용자의 부담량을 줄이고 도로이용자가 갖는 도로상황에 대한 기대심리를 만족시킬 수 있어야 한다. 그러나 설계자는 임의로 속도를 정해놓고 그에 따라 도로기하구조를 설계함에 따라 설계자의 의도대로 운전자가 고속도로를 주행하지는 않는다. 실제로 고속도로 주행시 운전자는 평면선형, 종단곡선, 곡선반경, 곡선장, 편경사 등의 기

하조건을 정확히 파악하지 못하며, 오로지 운전자 자신의 감각과 인식에 의존해 판단을 내리게 되기 때문에 운전자는 고속도로의 주행안전성을 평가할 때 설계자와는 다른 판단을 내리게 될 수도 있다. 따라서 운전자의 기대심리를 만족시키며, 안전성, 쾌적성 등을 확보하기 위해서는 정확한 주행속도 산정은 필수적이라 판단되므로, 이를 예측할 수 있는 주행속도 예측모형 개발이 필요하다. 또한, 본 연구에서는 고속도로의 기하구조적인 주행성뿐만 아니라 운전자가 이러한 구성요소의 조화에 의해 느끼는 감성적 측면에서의 주행성을 확보하기 위한 운전자의 감성을 고려한 고속도로 주행환경만족도모형을 구축하고자 한다. 이에 본 연구에서는 고속도로 이용자를 대상으로 개별면접 설문조사를 통해 수집된 고속도로의 주행환경 이미지 만족도 데이터를 바탕으로 수량화 제Ⅱ류에 의한 정준관별분석 및 정준상관분석을 실시하여 고속도로 주행환경만족도에 대한 영향 요인을 규명하고 최종적으로 수량화 제Ⅰ류에 의한 모형을 실시하여 도로이용자가 느끼는 고속도로의 주행환경만족도에 대한 인식의 변화를 파악한다. 이를 통해 도로이용자의 인식과 고속도로의 주행환경성의 상관성을 명확하게 규명한다. 마지막으로 고속도로의 주행환경만족도 이미지 특성을 명확하게 규명하기 위하여 주성분 분석을 실시하여 도로이용자의 감성인식의 변화를 규명하고, 구조방정식을 이용하여 사회인식 및 고속도로 이용자의 실제인식의 변화가 고려된 고속도로의 주행환경만족도모형을 개발하고자 한다.

II. 문헌고찰

차량의 주행특성 및 운전자의 운전능력은 도로 선형과 밀접한 관계가 있으며, 특히 도로의 종·평면 선형과 횡단면 요소의 특성에 따라 주행성, 쾌적성, 안전성 등은 많은 영향을 받는다. 따라서 도로 선형은 일관성이 있어야 하고, 운전자가 도로시설을 바르게 인지하고 안전하게 통행할 수 있도록 설계되어야 한다. 이와 같이 선형일관성이 갖춰진 도로에는 주행안전성 향상을 도모하기 위해 운전자가 적절한 주행속도로 주행할 수 있도록 교통특성 및 도로선형을 반영한 환경이 제공되어야 한다. 주행속도 예측모형은 크게 평면, 종단선형 요소 각각을 고려한 모형과 평면 및 종단선형요소를 동시에 고려한 복합선형 모형으로 분류할 수 있다. 기존의 주행속도 예측모형은 국내의 경우 평면, 종단선형요소 각각을 독립적으로 고려한 주행속도 예측모형이 대부분이다. 국외의

경우 평면과 종단선형요소 모두를 고려한 속도예측모형에 대한 연구가 수행되었으나 연구의 성과가 미미하다.

운전자가 선택한 속도(km/h)

R : 곡선반경(m)

1. 주행속도의 정의

AASHTO(2001)에서는 주행속도를 “도로 구간별 설계속도에 의해 결정되는, 안전속도를 초과하지 않고 양호한 기상조건하에서 운전자가 주어진 도로구간을 주행할 수 있는 최대속도로 정의하고 있다. 자유류 상태의 속도 표본에서 85백분위 속도를 특정지점에서의 주행속도로 추정하는 방법은 AASHTO에 가장 통용되고 있는 방법이다. 특히, 설계속도가 사실상 곡선부 특정지점에만 적용할 수 있는 개념인데 비해 주행속도 개념은 지점보다는 전체 선형조건을 대상으로 속도의 일관성과 안전성 문제를 점검하는 데에 아주 유용한 개념이다. 따라서 본 연구에서의 주행속도는 AASHTO의 개념을 반영하여 고속도로 7개 노선(경부, 서해안, 중부, 영동, 남해, 중앙, 호남)의 자유류 속도표본 중 85% 속도를 주행속도로 정의하고자 한다.

2. 기존의 주행속도 예측 모형에 대한 고찰

1) 평면선형의 주행속도 예측모형

(1) J.R. McLaen의 연구

J.R. McLean(1979, 1981)은 호주의 지방부 2차로 도로 평면곡선에 대한 연구결과, 설계속도가 90km/h보다 낮을 때 85th 주행속도는 기하요소의 설계속도보다 높고, 설계속도가 100km/h보다 높을 경우에는 일반적으로 설계속도보다 낮다는 결론을 얻었다. 이를 토대로 해당지점의 기하구조 외에 상류부 도로의 전반적인 기하구조와 주변 개발여건을 고려한 다음과 같은 주행속도 예측모형을 개발하였다.

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

여기서, $V_C(85)$: 자유교통류 조건하에서 승용차 운전자 중 85백분위 속도로 표현되는 주행 속도(km/h)

V_F : 자유교통류 상황에서 선형요소에 제한 받지 않는 직선구간에서 85백분위

(2) Lamm 등에 의한 연구

독일의 Lamm, Hiersche, Mailaender(1993)은 제한속도가 100km/h인 도로를 대상으로 식 (2)와 같은 속도 예측모형 식을 개발하였다. “Curvature Change Rate (CCR)”인 곡률변화와 85th 속도와의 관계를 통해 주행속도를 예측하여 편구배율, 정지시거와 같은 선형설계요소 결정시, 이 주행속도를 설계속도 대신 이용하고 있다. 곡률 변화에 의한 방법은 운전자의 주행특성을 잘 반영할 수 있는 장점이 있다.

$$V_{85} = \frac{10^6}{8270 + 8.01 CCR_S} \quad R^2 = 0.73 \quad (2)$$

여기서, CCR_S : 단일 곡선부의 곡률 변화율(gon/km)

R^2 : 결정계수

(3) Islam, M.N 등의 연구

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

$$\text{곡선부시점(BC) : } V_C(85) = 95.41 - 1.48DC - 0.012DC^2 \quad (3)$$

$$\text{곡선부중앙(MC) : } V_C(85) = 103.03 - 2.41DC - 0.029DC^2 \quad (4)$$

$$\text{곡선부종점(EC) : } V_C(85) = 96.11 - 1.07DC^2 \quad (5)$$

여기서, $V_C(85)$: 자유교통류 조건하에서 승용차

운전자 중 85백분위 속도로

표현되는 주행속도(km/h)

DC : 곡률도(°/100ft)

(4) R.A. Krammes 등의 연구

R.A. Krammes 등(1995)은 미국 5개주에서 경사 5%미만이며, 곡률각이 3~12°인 138개의 표본을 조사하여 McLean(호주)의 연구에서 설계속도가 90kph보다 작거나 같을 때, 평면곡선의 주행속도는 설계속도를 넘는다는 사실을 확인하였다. 또한 곡선부에서 주행속도를 예측하기 위한 가장 중요한 독립변수로서 곡률각, 곡

선길이, 교차각이 주행속도에 영향을 미치는 것을 밝혀내었다.

$$V_c(85) = 102.45 - 1.57D + 0.037L - 0.10I \quad (6)$$

여기서, $V_c(85)$: 자유교통류 조건하에서 승용차 중 85백분위 속도로 표현되는 주행속도(km/h)
 DC : 곡률도(°/100ft), L : 곡선장(m), I : 교각(°)

(5) 정준화의 연구

정준화(2001)는 왕복 4차로 도로에서 수집한 속도자료를 이용하여 속도예측 식을 개발했다. 이 연구는 평가기준의 개발에 있어 속도 차이에 의한 안전성 평가기준이 사고의 경중(輕重)을 반영하기 어렵다고 판단하여 (예로 40km/h로 접근하던 차량이 10km/h를 감속하는 것과 100km/h로 접근하던 차량이 10km/h를 감속하는 것에 차이가 있음) 에너지 차에 의한 안전성 평가기준을 제시하였으며 식 (8)과 같은 속도 예측모형을 제시하였다.

$$V_{85} = 95.809 - \frac{4646.9}{R} \quad (R^2 = 0.801) \quad (7)$$

여기서, R : 평면곡선반경(m), R² : 결정계수

2) 복합 선형의 주행속도 예측 모형

종단선형과 교통사고율간의 관계 설명에 중요한 요인들 중의 하나가 운전자의 행태를 나타낼 수 있는 주행속도이므로, 종단선형을 반영한 주행속도 예측모형을 구축하는 것은 매우 중요하다. 대부분의 도로조건이 종단 및 평면곡선만으로 이루어진 선형보다는 대부분 평면선형과 종단선형이 조합된 복합선형의 형태를 갖추고 있으므로 이를 모두 고려한 주행속도예측 모형구축이 필요하다. 국내에서는 대부분 평면선형 주행속도 추정모형 개발에 관한 연구가 수행되었으나, 평면 및 종단선형이 조합된 복합선형 구간에서 운전자의 주행속도를 추정하는 모형 개발이 거의 수행되지 않은 실정이므로 국외의 연구를 중심으로 문헌을 고찰하였다.

(1) Fitzpatrick 등의 연구

Fitzpatrick 등(1999)의 연구는 크게 평면선형-종단경사(Horizontal Curves on Grades)구간, 평면선형-

<표 1> 주행속도 예측 모형(Fitzpatrick등의 연구)

구분	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)	속도예측식 1, 2(내리막구간)와 식(3,4)(오르막 구간)에서 예측된 최저 속도 사용
7	평면곡선-블록 종단곡선 (시거 제약)	$V_{85} = 103.24 - \frac{3576.51}{R}$
8	평면직선-오목 종단곡선	$V_{85} = \text{assumed desired speed}$
9	평면직선-블록 종단곡선 (시거 제약 없음)	$V_{85} = \text{assumed desired speed}$
10	평면직선-블록 종단곡선 (시거 제약)	$V_{85} = 105.08 - \frac{149.69}{K}$

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

종단곡선 구간(Horizontal Curves Combined with Crest Vertical Curves), 평면직선-종단곡선(Vertical Curves on Horizontal Tangents) 구간으로 구분하여 속도 예측식을 개발하였다. 48개 지점의 평면곡선-종단경사 구간(Horizontal Curves on Grades)에 대한 주행속도를 조사하였고, 곡선반경의 역수, 편경사, 경사를 독립변수로 한 주행속도예측모형 연구를 수행하였다. 4가지의 평면곡선-종단경사 조건(0~4%, 4%초과, -4~0%, -4%미만)이 평면선형과 종단경사가 결합된 구간의 주행속도예측 모형 개발을 위해 고려되었다. 곡선반경 0m에서 400m사이에서 85백분위 속도가 크게 증가되었으며, 곡선반경 400m이상의 도로구간에서 속도는 크게 증가되지 않는 것으로 나타났다. 종단경사와 평면선형 결합구간에 대한 속도와 독립변수 상관관계 연구에서 곡선반경의 역수(1/R)만이 유의한 독립변수로 나타났다.

(2) Gibreel 등의 연구

Gibreel 외 2인(2001)은 평면곡선-오목종단곡선과 평면곡선-블록종단곡선을 대상으로 주행속도를 분석했다. 분석시 고려된 도로기하구조 요소로는 평면곡선반경, 평면곡선 교각, 편경사, 완화곡선장, 종단곡선장, 종단경사 차, 평면과 종단곡선 변곡점 사이의 거리, 평면과

〈표 2〉 주행속도 예측 모형(Gibreel 등의 연구)

구분	선형 조건	속도 예측 식
1	평면곡선-오목 종단곡선	$V_{85} = 76.42 + 0.023r + 2.300 \times 10^{-4} \times k \times 2 - 0.008 \times \exp(A) - 1.230 \times 10^{-4} \times Lo \times 2 + 0.062 \times \exp(E)$
2	평면곡선-블록 종단곡선	$V_{85} = 15.99 + 0.861r + 0.030 \times \exp(E) - 0.026 \times Lo - 1.917 \times \ln(A)$

여기서, V_{85} : 85%주행속도, r : 평면곡선반경
 k : 종단곡선 변화율, A : 종단경사 대수차
 Lo : 평면 곡선 교점과 종단 곡선 교점 간 거리
 E : 편경사

종단곡선의 증복구간 거리, 차로 폭, 길어깨 폭이다. 속도 조사는 곡선 전방 직선, 곡선 시점, 평면곡선 중앙, 곡선 종점, 곡선 후방 직선에서 이루어졌다. 각 조사 위치별로 속도 예측식이 개발되었으며, 곡선 전방 직선에서 조사된 속도를 회귀식의 독립변수로 이용하는 여부에 따라 구별된 주행속도예측모형을 제시하였다.

(3) FHWA의 연구

FHWA(2000)의 연구는 2차로 도로를 대상으로 하여 크게 구배가 0~4%인 평면곡선구간, 오목곡선-평면선형구간, 블록곡선-평면선형구간(시거제한)으로 나누어 곡률도, 편향각, 곡선반경, 길이, 구배, 종단곡선변화율을 독립변수로 하여 주행속도예측모형을 구축하였다.

〈표 3〉 주행속도 예측 모형(FHWA의 연구)

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

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

(4) Qing Ye 등의 연구

Qing Ye와 Andrzej P.Tarko (2001)등은 간선도로를 대상으로 시간대, 중차량 비율, 제한 속도, 토지이용 등을 독립변수로 하여 주행속도를 예측하였다. 이때, 교통량이 가장 적은 Free-Flow 상태인 차량만을 대상

〈표 4〉 주행속도 예측 모형(Qing Ye 등의 연구)

구분	차량 종류	속도 예측 식
1	Day Time Cars	$v_{cd} = 61.7 - 3.31 \times t_d + 5.8 \times v_c + 1.18 \times r + 6.8 \times f - 8.3 \times n$
2	Day Time Trucks	$v_{td} = 58.7 - 3.77 \times t_d + 6.42 \times v_c + 2.98 \times r + 4.52 \times f - 7.27 \times n$
3	Night Time Cars	$v_{cn} = 59.9 + 1.89 \times t_n + 0.124 \times r + 8.29 \times f - 4.95 \times n$
4	Night Time Trucks	$v_{tn} = 58.0 + 2.16 \times t_n + 1.23 \times v_c + 2.47 \times r + 0.37 \times f$

여기서, V_{cd} : 낮시간대 승용차의 85% 주행속도
 V_{td} : 낮시간대 중차량의 85% 주행속도
 V_{cn} : 밤시간대 승용차의 85% 주행속도
 V_{tn} : 밤시간대 중차량의 85% 주행속도
 t : 중차량 혼합율(%)
 v : 속도제한(km/h)
 r : 토지이용(지방 : 1, 도시 : 0)
 f : 도로등급(고속도로 : 1, 고속도로 외 : 0)
 n : 차로수(6차로 : 1, 4차로 : 2)

으로 하였으며, 공사 및 Curve 영향을 배제하여 〈표 4〉와 같은 모형을 구축하였다.

(5) 최재성의 연구

최재성(1998)은 평면곡선에서는 운전자의 시각적 판단을 기초로 하는 최소시거로, 종단선형에서는 구배의 영향과 차량의 성능을 기초로 등판차량의 주행속도를 추정하였다. 또한 승용차와 트럭으로 나누어 평면곡선과 종단곡선의 영향을 동시에 고려하는 주행속도 추정식을 산정하였다. 실제 주행속도자료에 의해 도출된 산정식이 아닌 기존의 최소시거 산정식 등을 이용하여 수학적으로 구축된 모형이므로 실제 주행속도를 예측하기에는 한계가 있다고 판단된다.

(6) 이점호의 연구

이점호(2006)는 평면 및 종단선형 요소인 복합적인 요소를 모두 반영하여 국내 도로 실정에 맞는 주행속도 예측모형을 개발하였다. 하지만 주행속도 예측모형 개발에 이용된 자료가 국내의 영동고속도로로 한정되어 있어 전국을 대표할 수 없으므로 향후 전국적인 속도 및 도로선형요소를 바탕으로 대표성을 가지는 데는 한계가 있다고 판단된다.

3. 기존 연구검토 결과

주행속도 예측모형에 대한 국·내외 연구 문헌을 고찰

〈표 5〉 국내 외 주행속도 관련 문헌 고찰 정리

구분	연구자	연구내용	한계점
평면선형	J.R. McLean연구 (1979,1981)	- 지방부 2차로를 중심으로 1/R을 반영한 주행속도 예측모형 개발	- 평면 및 종단선형 요소가 동시에 존재하는 구간에 적용 불가능 - 도시부 및 고속도로에는 적용 불가능
	Lamm 등에 의한 연구(1993)	- CCR을 변수로 사용해 운자의 주행특성을 잘 반영할 수 있는 주행속도예측모형 개발	- 평면선형의 요인에만 독립변수가 국한되어 있음
	Islam, M.N등의 연구(1994)	- 곡선부를 시점, 중앙, 종점으로 세분화하여 주행속도를 예측함	- 곡선부만을 대상으로 하였으며, 다양한 선형인자를 반영하지 못함
	R.A.Krammes등 연구(1995)	- 곡선부를 중심으로 다양한 평면선형 변수를 이용하여 주행속도를 예측함	- 평면 및 종단선형 요소가 동시에 존재하는 구간에 적용 불가능
	정준화의 연구(2001)	- 4차로 국도를 대상으로 에너지 차를 이용한 안전성평가의 새로운 개념을 도입함	- 4개의 곡선부 자료만으로 모형을 구축함으로써 신뢰도가 떨어지며 다른 등급의 도로 즉 지방도 및 고속도로 등에 적용 불가능
복합선형	Fitzpartrick 등의 연구(1999)	- 2차로 간선도로를 대상으로 평면, 종단선형요소를 반영한 주행속도예측모형 개발	- 2차로 간선도로를 대상으로 4차로, 6차로 및 다른 등급의 도로에 적용 불가능
	FHWA의 연구(2000)	- 다양한 기하구조 요소를 반영하여 직선·곡선부의 주행속도 예측모형 개발	- 도시지역의 집산 및 보조간선도로만을 대상으로 하여 다른 지역 및 도로등급에는 적용 불가능
	Gibreel 등의 연구(2001)	- 다양한 기하구조 요소를 반영하여 직선·곡선부의 주행속도 예측모형 개발	- 종단선형에 대한 변수를 고려하지 않음
	Qing Ye 등의 연구(2001)	- 간선도로를 대상으로 교통특성 및 토지이용 등의 다양한 변수 반영 - 공사 및 Curve 영향을 배제	- 평면 및 종단선형에 관한 기하구조요소 고려 못함
	최재성의 연구(1998)	- 국내 연구 중 최초로 직선, 평면, 종단곡선으로 나누어 평면 및 종단선형인자를 모두 반영한 모형임	- 각 선형유형별 기존의 관련 식으로 모형식 도출하여 실제 주행속도예측에는 한계가 있음
	이점호의 연구(2006)	- 직선, 평면, 종단곡선으로 나누어 교통운영 특성 및 도로선형인자를 모두 반영함	- 영동고속도로만을 대상으로 모형을 구축하여 전국을 대표할 수 없는 한계가 있음

한 결과, 국내의 경우 대부분의 연구가 평면 및 종단선형 요소를 모두 고려한 주행속도 예측모형에 대한 연구가 미흡한 것으로 나타났다. 주행속도에 영향을 미치는 도로 환경 중 선형요소 뿐만 아니라 교통 운영 특성요소를 반영한 연구 또한 이루어지지 않은 것으로 나타났다. 국도 및 지방도를 연구 대상으로 한 연구가 대부분이어서, 다른 등급의 도로 즉 고속도로 등을 대상으로 한 주행속도 예측이 불가능하다. 국외의 경우는 일부 연구자를 중심으로 평면 및 종단선형의 특성요인 및 다양한 변수(도로 등급, 토지 이용 등)를 반영한 연구가 점점 진행되고 있는 시점이며, 국내와 마찬가지로 국도 및 지방도를 대상으로 한 주행속도 예측모형이 주이다. 도로는 평면 및 종단선형이 동시에 존재하는 구간이 대부분이므로 이들 선형요소를 반영한 주행속도예측모형은 필수적이라 판단되어 본 연구에서는 국내의 실정에 맞는 평면 및 종단선형 요소를 모두 반영한 주행속도 예측모형을 개발하고자 한다.

III. 주행속도예측모형개발

1. 분석구간 선정

주행속도 예측모형 구축을 위해 분석구간은 고속도로

7개 노선(경부, 서해안, 중부, 영동, 남해, 중앙, 호남) 전 구간을 대상으로 선정하였으며, 데이터 수집은 분석구간의 속도자료, 교통운영 자료 그리고 도로기하구조 자료로 크게 세 가지 요소로 구성하였다. 선정한 분석구간과 수집한 데이터를 중심으로 속도와 교통운영 및 기하구조 자료간의 관계를 분석하여 모형에 필요한 데이터를 구축하였다. 주행속도 예측모형을 구축하기 위한 분석구간을 선정하기 위해 고속도로 전 구간에 대해 곡선반경을 기준으로 직선구간, 곡선구간 그리고 종단곡선구간으로 분류하였다. 고속도로 전 구간들 중 교통 운영특성 및 기하구조 자료를 반영한 주행속도예측모형을 구축하기 위해 분석구간의 선정기준을 〈표 6〉과 같이 제시하였다. 〈표 6〉의 조건에 만족되는 구간들 가운데 다음의 조건에 부합되는 구간이 최종 선정 시에 우선되었다.

- 조사구간의 다양성을 위해 일정구간 내에 다양한 선형 조합이 이루어진 곳, 긴 직선과 평면곡선이 연결되는 구간, 현 도로 설계기준 측면에 비추어 미흡한 선형 및 기하구조 조건을 가진 곳을 우선 고려
- 사고다발지점을 제외한 구간
- 시거가 만족되지 않은 구간을 제외한 구간
- 서비스 수준 A인($V/C \leq 0.27$) 구간

〈표 6〉 분석구간 선정기준

조건	선정기준
· 도로기능	· 고속도로
· 설계속도	· 130km/h
· 제한속도	· 80km/h~110km/h
· 곡선반경	· 500m~5,000m
· 구배	· -5%~5%
· 교통량	· 500~4,000대/일
· 차로폭	· 3.5m~4.5m
· 평면곡선 길이	· 제약이 없음
· 종단곡선 길이	· 제약이 없음
· 직선길이	· 제약이 없음
· 종단곡선 유형	· 오목 및 볼록 곡선

이상의 조건들이 만족되는 지점을 도로 중·평면도에 기초하여 최종적으로 조사대상 구간을 선정하였다. 이상의 조건들이 만족되는 지점을 설계도에 기초하여 최종적으로 조사대상 구간을 선정하였다. 최종적으로 선정된 구간은 1042개이며, 평면직선구간 450개, 종단곡선구간 136개, 평면곡선구간 360개구간이다.

2. 속도데이터 수집 및 선정

주행속도 예측모형 개발을 위한 분석데이터는 속도자료와 교통운영특성 및 도로기하구조 자료를 이용하여 구축하였다. 속도자료는 고속도로 7개 노선(경부, 서해안, 중부, 영동, 남해, 중앙, 호남)전체 구간 차량검지기(Vehicle Detector System : 이하 VDS)의 30초 데이터를 사용하였다. 여기서 차량검지기(VDS)의 속도자료는 2007년 7월 1일부터 2007년 7월 15일사이의 평일 속도자료를 이용하였으며, 30초 데이터의 총 자료 수는 532,440개이다. 그 중 다음 조건이 만족하는 자료만을 선정하여 이용하였다.

- 날씨의 요인을 배제하기 위한 최근 15일간 맑은 날, 도로노면이 건조한 날의 속도자료
- 출근 및 여가 등 주위 환경적 요인을 배제하기 위한 최근 15일간 주말과 공휴일을 제외한 평일의 속도자료
- 차량검지기의 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 첨두시를 제외한 교통량이 적은 시간대 즉 10:00~18:00의 차량속도만을 대상

앞서 제시한 조건들을 만족하는 30초 데이터는 133,110개(원시자료의 25%)이며, 차량검지기(VDS)의 30초 데이터를 이용하여 앞서 선정된 구간별 85% 속도를 이용하여 주행속도 예측 모형구축에 이용하였다. 본 연구에서 이용하는 주행속도는 고속도로 7개 노선(경부, 서해안, 중부, 영동, 남해, 중앙, 호남)상의 VDS의 30초 데이터이므로 실제속도와 영상검지기속도에 대한 비교검증이 필수적이다. 따라서 본 연구에서는 평면직선, 평면곡선 그리고 종단곡선구간의 각각 한 지점씩을 선정하여 속도자료를 비교·검증하였다. 선정지점은 경부고속도로를 대상으로 평면직선구간은 서울기점 STA.308km(청주 IC부근), 평면곡선구간 STA. 383km(오산IC부근), 종단곡선구간은 STA. 279km(회덕JC부근)이다. 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 차량검지기속도와의 차이를 통계적으로 검증하였다.

3. 실제 조사속도와 검지기 속도와의 비교

직선구간의 경우 실제 조사속도의 평균 속도는 109.81 km/h이고, 영상검지기의 평균속도는 107.34km/h로 나타났다. 두 집단별 평균속도의 차이는 약 2.47km/h로 나타났다. 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 105.22km/h, 105.43km/h이고, 영상검지기의 속도는 100.87km/h, 103.52km/h로 집단 간 속도차는 약 4.39km/h와 1.91km/h로 나타났다. 분산의 경향은 직선구간과 마찬가지로 영상검지기 속도가 실제속도보다 분산이 더 큰 것으로 나타났다.

4. 속도의 정규성 및 독립성검증

각 구간의 표본수가 2,000($n < 2,000$)개 보다 작으므로

〈표 7〉 속도의 정규성 검증결과

구분	속도 종류	통계량	자유도	유의확률
직선	실제 속도(N=200)	0.047	513	0.017
	검지기 속도(N=200)	0.058	487	0.000
곡선	실제 속도(N=200)	0.047	321	0.026
	검지기 속도(N=200)	0.049	212	0.029
종단 곡선	실제 속도(N=200)	0.043	409	0.013
	검지기 속도(N=200)	0.044	394	0.000

〈표 8〉 속도의 독립성 검증 결과(t-검정)

구분	t	유의확률 (양측)	평균차	차이의 표준오차	차이의 95% 신뢰구간	
					하한	상한
					평면직선	0.814
평면곡선	1.248	0.236	2.421	1.2134	-0.8321	3.6574
종단곡선	-0.932	0.453	1.293	0.5322	-1.5211	0.6321

로 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. 또한 각 구간의 속도의 평균을 이용하여 실제 조사속도와 검지기 속도간의 동일 여부를 판단하였다. 이때 판단기준은 두 집단이 모두 독립적이므로 t-test 중 독립표본 t 검정방법을 이용하였다. 검증결과, t값에 대한 유의확률이 0.05보다 크므로 95%신뢰수준에서 두 집단 간의 평균간 차이가 없다는 것을 알 수 있다. 즉 평면직선, 평면곡선 그리고 종단곡선구간 모두 실제 조사속도와 검지기 속도와의 차이가 없는 것으로 나타났다.

5. 교통운영특성 및 기하구조 자료수집 및 선정

주행속도 예측모형을 구축하기 위한 교통운영특성 및 도로기하구조 자료는 현장조사 및 고속도로 7개 노선(경부, 서해안, 중부, 영동, 남해, 중앙, 호남)의 중·평면도를 이용하여 수집하였다. 도로기하구조 자료는 크게 평면직선, 평면곡선, 종단곡선구간에 관한 자료를 수집하여 분석하였다. 수집 자료와 데이터 범위는 〈표 9〉과 같다. 특히, 구간길이는 앞서 선정된 각 분석구간의 시점부터 종점까지의 길이를 의미하는 것으로서, 분석구간은 구간내의 선형 및 도로기하구조 요소가 동일한 구간을 의미한다.

〈표 9〉 수집 자료와 데이터 범위

구분	자료	데이터 범위	
교통운영특성	VES(과속단속카메라)	0~1개소	
	제한속도(Km/h)	80/100Km/h	
	중차량 비율(%)	26~39%	
	Access Point Density (유출입시설 및 휴게소, 개/Km)	0~4개/Km	
기하구조 자료	평면 선형	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

6. 고속도로 주행속도예측모형에 대한 변수선정

본 연구에서는 평면 및 종단선형요소를 반영한 주행속도 예측모형을 개발하기 위해 분석구간을 곡선반경(R)을 이용하여 평면직선, 평면곡선 그리고 종단곡선구간으로 분류하였다. 또한 고속도로 교통운영특성 및 도로선형요소를 반영한 주행속도 예측모형을 구축하기 위해 주행속도에 영향을 미치는 요인을 파악하였다. 파악한 주행속도에 영향을 미치는 요인은 VES(과속단속카메라), 제한속도(80/100Km/h), 중차량 비율(%), Access Point Density(유출입시설 및 휴게소, 개/Km), 곡선반경(1/R), 커브유형(좌/우커브), 편경사(%), 종단경사(%), K(종단곡선변화율), 종단곡선길이(m)이다. 파악한 영향 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 변수선정 기준은 다음과 같으며, 아래조건을 모두 만족하는 변수를 최종적으로 선정하였다.

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

제시한 설명변수 선정 기준으로 토대로 선정된 각 분석유형별 설명변수 결과는 〈표 10〉과 같다.

〈표 10〉 설명변수 채택결과

분석유형	설명변수
직선	구간길이, 종단경사, 중차량혼합률, 과속단속카메라, 유출입시설 및 휴게소
곡선	구간길이, 종단경사, 과속단속카메라, 1/R
종단곡선	1/K(1/종단곡선변화율)

7. 고속도로 주행속도예측모형 개발

본 연구에서는 고속도로에서의 교통운영특성 및 도로선형요소를 개발하기 위해 각 유형별로 주행속도에 영향을 미치는 변수를 상관분석을 통하여 선정하였다. 선정된 설명변수를 중심으로 다중회귀분석을 이용하여 고속도로에서의 주행속도예측모형을 구축하였다. 평면직선구간의 주행속도예측모형 구축결과, 〈표 11〉과 같이 R²이 0.765으로 나타나 구간길이, 종단경사, Access Point Density(유출입시설 및 휴게소), 중차량혼합률, VES(과속단속카메라)가 모형에 대해 76.5%의 설명력을 가지는 것을 알 수 있다. 또한 모형에 대한 유의확률이 0.000로 나타나 모형이 통계적으로 유의한 것으로 판단된다.

$$Y = 116.077 + 4.772 \times (X1) - 0.886 \times (X2) - 0.501 \times (X3) - 0.492 \times (X4) - 0.809 \times (X5) \quad (8)$$

여기서, Y : 85th 주행속도(km/h)
 X1 : 구간길이(km), X2 : 종단경사(%)
 X3 : Access Point Density(개/km)
 X4 : 중차량 혼합율(%), X5 : VES(개/km)

평면직선 구간의 주행속도 예측모형의 비표준화계수를 살펴보면 구간길이 1km가 증가할수록 주행속도는 4.772 km/h만큼 증가하고, 종단경사가 1%증가할수록 0.886 km/h씩 감소하는 것으로 나타났으며 Access Point Density(유출입시설 및 휴게소)가 1개/km가 증가할 때마다 주행속도는 0.501km/h씩 감소하고 있음을 알 수 있다. 또한 중차량비율이 1%증가할수록 0.492km/h씩 감소하며, VES가 1개/km가 증가할 때마다 속도는 km 당 0.809씩 감소하는 것으로 나타났다. 종속변수에 대한 영향력을 비교할 있는 비표준화계수(Standardized Coefficient)를 살펴보면 각각 0.644, 0.135, -0.126, 0.116, 0.048로 나타나 구간길이, VES(과속단속카메라), Access Point Density(유출입시설 및 휴게소), 중

〈표 11〉 직선의 주행속도 예측모형 결과

R ²	Adjust R ²	Durbin-Watson	F	Sig.
0.765	0.586	1.429	125.548	0.000

모형	Non-Standardized Coefficient		Standardized Coefficient	t
	B	표준오차	Beta	
상수	116.077	1.513		76.727
구간길이	4.772	0.644	0.251	7.415
종단경사	-0.886	0.116	-0.246	-7.654
유출입시설 및 휴게소	-0.501	0.126	-0.157	-3.933
중차량혼합률	-0.492	0.048	-0.339	-10.162
과속단속카메라	-0.809	0.135	-0.233	-5.994

모형	유의확률	공선성통계량		상태지수
		공차한계	VIF	
상수	0.000			1.000
구간길이	0.000	0.817	1.224	1.817
종단경사	0.000	0.902	1.109	3.219
유출입시설 및 휴게소	0.000	0.603	1.658	3.976
중차량혼합률	0.000	0.838	1.193	6.256
과속단속카메라	0.000	0.618	1.619	12.294

단경사, 중차량혼합률 순으로 주행속도에 높은 영향력을 가지고 있는 것으로 나타났다. 또한 다중공선성결과, 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 1.429로 오차항간에 독립성이 존재함을 알 수 있다. 평면곡선 구간의 주행속도 예측모형 구축결과, 〈표 12〉와 같이 R²이 0.628로 나타나 구간길이, 종단경사, 곡선반경(1/R), VES(과속단속카메라)가 모형에 대해 62.8%의 설명력을 가지는 것을 알 수 있다. 또한 모형에 대한 유의확률이 0.000로 나타나 모형이 통계적으로 유의한 것으로 판단된다. 선택한 모형의 비표준화계수를 살펴보면 구간길이 1km가 증가할수록 주행속도는 5.460km/h만큼 증가하고, 종단경사가 1%증가할수록 0.599km/h씩 감소하는 것으로 나타났으며 1/R이 1m가 증가할 때마다 주행속도는 0.005km/h씩 감소하고 있음을 알 수 있다. 또한 VES가 1개/km가 증가할 때마다 속도는 km 당 1.952씩 감소하는 것으로 나타났다. 종속변수에 대한 영향력을 비교할 있는 비표준화계수(Standardized Coefficient)를 살펴보면 각각 1.439, 0.361, 0.291, 0.001로 나타나 구간길이, VES, 종단경사, 1/R 순으로 주행속도에 높은 영향력을 가지고 있는 것으로 나타났다. 또한 다중공선성결과, 공차한계값이 0.10보다 크고, VIF는 10보다 작으며 각

〈표 12〉 곡선의 주행속도 예측모형 결과

R ²	Adjust R ²	Durbin-Watson	F	Sig.
0.628	0.394	2.403	36.557	0.000

모형	Non-Standardized Coefficient		Standardized Coefficient	t
	B	표준오차	Beta	
상수	105.736	1.562		67.713
구간길이	5.460	1.439	0.252	3.794
종단경사	-0.599	0.291	-0.144	-2.059
1/R	-0.005	0.001	-0.383	-5.742
VES	-1.952	0.361	-0.327	-5.411

모형	유의확률	공선성통계량		상태지수
		공차한계	VIF	
상수	0.000			1.000
구간길이	0.000	0.609	1.642	1.629
종단경사	0.041	0.552	1.812	2.215
1/R	0.000	0.606	1.651	2.967
VES	0.000	0.738	1.356	8.697

상태지수값이 15보다 작은 것으로 나타나 기준에 모두 만족하므로 다중공선성의 문제는 없는 것으로 나타났다. 오차의 자기상관을 살펴볼 수 있는 Durbin-Watson 값이 2.403으로 오차항간에 독립성이 존재함을 알 수 있다.

$$Y = 105.736 + 5.460 \times (X1) - 0.599 \times (X2) - 0.005 \times (X3) - 1.952 \times (X4) \quad (9)$$

여기서, Y : 85th 주행속도(km/h)

X1 : 구간길이(km), X2 : 종단경사(%)

X3 : 1/R(1/m), X4 : VES(개/km)

종단곡선 구간의 주행속도 예측모형 구축결과, 〈표 13〉와 같이 R²이 0.817으로 나타나 1/K(1/종단곡선 변화율)이 모형에 대해 81.7%의 설명력을 가지는 것을 알 수 있다. 또한 종단곡선 구간의 주행속도 예측모형에 대한 유의확률이 0.000로 나타나 모형이 통계적으로 유의한 것으로 판단된다. 선택한 모형의 비표준화계수를 살펴보면 1/K(1/종단곡선 변화율)이 1km/%가 증가할 때마다 속도는 km당 1.77씩 감소하는 것으로 나타났다. 종속변수에 대한 영향력을 비교할 수 있는 비표준화계수(Standardized Coefficient)를 살펴보면 151.524로 나타났다. 또한 다중공선성결과, 공차한계값이 0.10보다 크고, VIF는 10보다 작으며 각 상태지수값이 15보다 작은 것으로 나타나 기준에 모두 만족하므로 다중공

〈표 13〉 종단곡선의 주행속도 예측모형 결과

R ²	Adjust R ²	Durbin-Watson	F	Sig.
0.817	0.667	1.503	136.457	0.000

모형	Non-Standardized Coefficient		Standardized Coefficient	t
	B	표준오차	Beta	
상수	107.305	1.032		103.948
1/종단곡선 변화율	-1770.03	151.524	-0.817	-11.682

모형	유의확률	공선성통계량		상태지수
		공차한계	VIF	
상수	0.000			1.000
1/종단곡선 변화율	0.000	1.000	1.000	2.546

선성의 문제는 없는 것으로 나타났다. 오차의 자기상관을 살펴볼 수 있는 Durbin-Watson 값이 1.503으로 오차항간에 독립성이 존재함을 알 수 있다. 종단곡선 구간의 주행속도 예측모형 결과는 〈표 13〉과 같다.

$$Y = 107.305 - 1770.031 \times (X1) \quad (10)$$

여기서, Y : 85th 주행속도(km/h)

X1 : 1/K(1/종단곡선 변화율)

8. 주행속도 예측모형의 검증

다중회귀분석으로 구축한 고속도로 주행속도 예측모형의 적합성 및 활용성을 높이기 위해 예측된 주행속도와 실제 주행속도와의 신뢰성 검증은 필요하다고 판단된다. 따라서 분석 유형별로 RMSE(최소제곱근오차)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. 본 연구에서 구축한 고속도로 주행속도 예측모형의 검증 구간수와 RMSE(최소제곱근오차) 및 SRESID결과는 〈표 14〉와 같으며, 분석결과 RMSE는 1.00~2.52로 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		
	평면직선	평면곡선	중단곡선
구간수	40	30	30
RMSE	1.00	2.32	2.52
SRESID	-0.01	0.00	0.00

V. 고속도로 주행환경만족도 모형개발

고속도로의 주행환경은 도로이용자에게 물리적인 안전성은 물론 심리적인 편안함과 쾌적성을 주어 도로이용자가 안전하고 쾌적하게 고속도로를 이용할 수 있도록 해야 한다. 하지만 어떠한 환경이 도로이용자로 하여금 안전성과 쾌적성을 느낄 수 있게 하는가는 판단하기 매우 어려운 것이다. 이는 고속도로 주행환경을 평가하는 개개인의 가치관이나 주관 등에 의해 상이하게 나타날 수 있기 때문이다. 따라서 이러한 인간의 개인적인 속성과 감성적 특성에 대해 어떠한 반응을 나타내며, 감성적 특성에 영향을 주는 고속도로 주행환경과 관련 있는 구성요소는 무엇인가를 규명하기 위한 연구가 필요하다. 이에 본 연구에서는 도로이용자가 고속도로를 주행할 때 느끼는 감성변화를 측정함으로써 고속도로 주행환경에 대한 만족도를 평가하고자 한다.

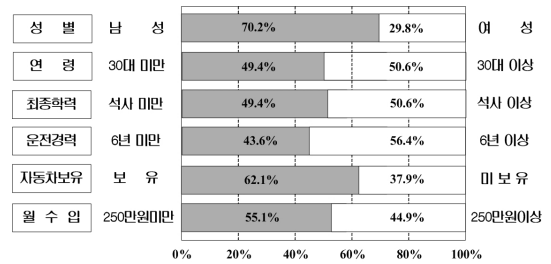
1. 감성인지조사

도로이용자가 실제 고속도로 주행시 느끼는 이미지를 추출하여 고속도로의 주행환경만족도를 평가 하고자 이미지 조사를 실시하였다. 고속도로의 주행환경만족도에 대한 이미지 조사는 개인속성과 주행환경에 따른 이용자 만족도로 구성되었고 조사방법은 개별면접조사방식으로 실시하였으며, 본 연구의 조사 개요는 〈표 15〉와 같다. 설문조사 응답자의 각 속성별 표본수와 구성비는 〈그림 1〉과 같다.

고속도로 주행환경에 대한 이미지 항목 중 주행환경만

〈표 15〉 감성인지 조사의 개요

범위	내용
조사대상	고속도로 7개 노선(경부, 서해안, 중부, 영동, 남해, 중앙, 호남고속도로)이용자
조사항목	개인속성, 주행환경에 따른 이용자 만족도
배포수	1200부
유효표본수(율)	601부(50.08%)



〈그림 1〉 응답자 속성별 구성비

〈표 16〉 주행환경만족도에 대한 항목별 평균치검정

항목	구분	표본수	평균	표준편차	t 값
성별	남자	467	5.39	1.448	2.225*
	여자	134	5.10	1.246	
연령	30대 미만	282	5.30	1.506	2.102*
	30대 이상	319	5.35	1.422	
최종학력	석사 미만	415	5.40	1.371	2.032*
	석사 이상	186	5.17	1.237	
운전경력	6년 미만	254	5.37	1.451	2.452*
	6년 이상	347	5.30	1.379	
자동차보유	보유	378	5.08	1.266	-1.313
	미보유	223	5.22	1.297	
월수입	250만원미만	312	5.11	1.311	-0.290
	250만원이상	289	5.14	1.194	

* : 95% 신뢰수준에서 유의

족도에 대해 개인속성별로 차이가 있는지 알아보기 위하여 항목별 평균치 검정을 실시하였다. 그 결과는 〈표 16〉와 같이 응답자의 성별, 연령, 최종학력, 운전경력에서 신뢰수준 95%에서 유의성이 있는 것으로 나타났으며, 성별, 연령, 최종학력, 운전경력에 따라 고속도로 주행환경에 대한 만족도가 다르다는 것을 알 수 있다.

2. 주행환경만족도에 대한 수량화Ⅱ류 분석

도로 주행시 운전자가 느끼는 주행환경만족도와 관련된 있는 요인들을 식별하고 영향정도를 규명하기 위해 교통운영 및 도로기하구조 이미지 요인들을 설명변수로 하고 “고속도로 주행환경에 대한 만족도”를 외적기준으로 하여 수량화Ⅱ류의 정준상관분석을 실시하였다. 〈표 17〉은 도로이용자가 느끼는 고속도로 주행환경의 영향요인을 수량화Ⅱ류에 의해 분석한 결과이다. 외적기준 제1축 수량화는 “보통”, “양호”, “매우양호”가 정(+)의 방향으로 되어있고, “매우열악”, “열악”이 부(-)의 방향으로 나타났다. 이 중 교통운영 및 도로기하구조 이미지에 대한 양호한 주행환경과 관련이 있는 항목인 “매우양호(2.431)”, “양호

〈표 17〉 주행환경만족도에 대한 수량화 II류 분석결과

항목	카테고리	제1축			제2축		
		수량화값	범위	편상관	수량화값	범위	편상관
외적기준 고속도로 주행성에 대한 만족도	매우양호	2.431	3.083	-	0.658	4.479	-
	양호	1.231			0.128		
	보통	0.567			-0.563		
	열악	-0.652			-1.368		
자동차의 흐름이 원활하다	매우양호	0.219	3.159	0.523	-0.005	5.441	0.108
	양호	-2.514			4.822		
	보통	0.645			0.327		
	열악	-0.667			-0.619		
일정한 속도로 주행하기 쉽다	매우양호	0.310	3.092	0.513	-0.046	4.706	0.164
	양호	-2.402			4.271		
	보통	0.690			0.319		
	열악	-0.657			-0.435		
고속도로의 교통상황은 한적하다	매우양호	0.530	3.203	0.158	0.252	4.025	0.418
	양호	-2.207			3.595		
	보통	0.996			0.483		
	열악	-2.207			-0.430		
트럭 및 버스의 수는 적당하다	매우양호	0.152	3.053	0.524	0.018	5.889	0.152
	양호	-2.427			4.876		
	보통	0.626			0.264		
	열악	-0.118			-0.140		
고속도로의 환경상태가 상쾌하다	매우양호	-0.150	1.476	0.183	0.149	4.986	0.436
	양호	-0.873			-4.402		
	보통	0.329			-0.055		
	열악	-0.369			-0.048		
고속도로의 차로수는 주행하기에 적당하다	매우양호	0.780	2.559	0.231	0.011	3.522	0.721
	양호	-0.860			-3.895		
	보통	0.532			0.306		
	열악	-0.581			-0.373		
고속도로의 차로폭은 주행하기에 넓다	매우양호	-0.015	3.865	0.145	0.285	3.845	0.317
	양호	-3.568			-2.249		
	보통	0.297			-0.077		
	열악	-0.814			-0.517		
고속도로의 갓길의 폭은 적당하다	매우양호	0.056	2.855	0.254	1.595	5.252	0.194
	양호	-2.366			-0.134		
	보통	0.453			0.040		
	열악	-2.366			-0.047		
정준상관(제곱정준상관)		0.754(0.568)		0.746(0.558)			
Wilks' Lambda		0.042(유의확률 : 0.002)					
Pillai's Trace		2.284(유의확률 : 0.001)					

(1.231) 항목이 양에 위치한다. 이에 가장 큰 관련을 갖는 요인은 수량화범위로 판단하면 “고속도로의 차로폭은 주행하기에 넓다” 항목으로 “매우열악(-3.240)”이라고 응답한 실험자일수록 고속도로 주행환경이 열악하게 느끼는 것으로 나타났다.

3. 주행환경만족도에 대한 수량화 I 류모형 구축

수량화 I 류는 설명변수가 범주형인 경우에는 원래의 코드 값을 그대로 사용할 수 없으므로 0과 1의 값만을 취하는 변수, 즉 가변수(Dummy Variable)로 변환 후 외적기준과 가장 큰 상관(Correlation)을 갖는 가변수 설명변량들의 선형결합을 찾아내는 방법이다.

〈표 18〉 주행환경만족도에 대한 수량화 I 류 모형

항목	카테고리	모형		
		수량화값	범위	편상관
자동차의 흐름이 원활하다	매우양호	0.508	4.875	0.133
	양호	0.508		
	보통	0.508		
	열악	-0.671		
일정한 속도로 주행하기 쉽다	매우양호	0.631	4.586	0.214
	양호	-0.631		
	보통	0.631		
	열악	-0.829		
고속도로의 교통상황은 한적하다	매우양호	-3.955	3.541	0.095
	매우양호	0.970		
	양호	0.970		
	보통	0.970		
트럭 및 버스의 수는 적당하다	열악	-0.537	4.916	0.012
	매우열악	-2.571		
	매우양호	0.213		
	양호	0.213		
고속도로의 환경상태가 상쾌하다	보통	0.213	2.486	0.115
	열악	0.213		
	매우열악	-4.703		
	매우양호	-4.703		
고속도로의 차로수는 주행하기에 적당하다	매우양호	0.505	5.505	0.147
	양호	0.505		
	보통	0.505		
	열악	-1.981		
고속도로의 차로폭은 주행하기에 넓다	매우열악	-1.981	2.998	0.117
	매우양호	0.537		
	양호	0.537		
	보통	0.537		
고속도로의 갓길의 폭은 적당하다	열악	-0.977	3.136	0.129
	매우열악	-4.968		
	매우양호	0.592		
	양호	0.592		
상수		3.386		
R-Square		0.653		
F Value		12.80		
P Value		0.000		

본 연구에서는 수량화 I 류 이론을 이용하여 고속도로에서 도로이용자가 느끼는 주행환경만족도에 대한 모

형을 구축하였다. 주행환경 만족도에 대한 모형은 “고속도로 주행환경에 대한 만족도”를 외적기준으로 하고 나머지 이미지 변수를 설명변수로 하여 모형화를 실시하였으며, 그 결과는 <표 18>과 같다.

주행환경만족도에 대한 모형에서 양호한 주행환경을 결정하는 요인으로는 대부분의 변수에서 “양호”와 “매우 양호”로 나타났으며, 수량화 값의 범위가 가장 큰 “고속도로의 차로 수는 주행하기에 적당하다(범위 : 5.505, 편상관 : 0.147)”, “트럭 및 버스의 수는 적당하다(범위 : 4.916, 편상관 : 0.012)”의 항목이 고속도로 주행환경에 대한 만족도를 결정하는데 가장 중요한 기여를 하는 설명변수라고 할 수 있다.

4. 주행환경만족도에 대한 주성분분석

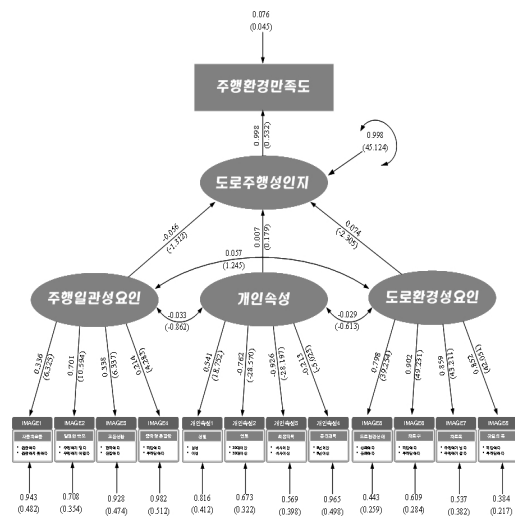
고속도로에서 도로이용자가 느끼는 주행환경만족도에 대한 유형별 영향 요인을 분석하기 위해 주성분 분석을 실시하였다. 고속도로에서 도로이용자가 느끼는 주행환경만족도에 대한 이미지의 주성분 분석 결과, 도로이용자가 고속도로 주행시 느끼는 주행환경만족도에 대한 이미지에 대한 인지특성 요인은 찾을 수 있었다. 제1주성분에서는 1, 2, 3항목의 인자 부하량이 높게 나타나서 주행일관성을 나타낸다고 할 수 있다. 제2주성분에서는 5, 6, 7, 8항목의 인자 부하량이 높게 나타나고 정(+)의 부호조건을 가지고 있어 도로환경성을 나타낸다고 할 수 있다.

<표 19> 주행환경만족도에 대한 주성분분석 결과

주요항목	제1주성분	제2주성분
· 자동차의 흐름이 원활하다	0.542	-0.447
· 일정한 속도로 주행하기 쉽다	0.582	-0.475
· 고속도로의 교통상황은 한적하다	0.502	-0.325
· 트럭 및 버스의 수는 적당하다	0.193	0.007
· 고속도로의 환경상태가 상쾌하다	0.159	0.438
· 고속도로의 차로수는 주행하기에 적당하다	0.479	0.244
· 고속도로의 차로폭은 주행하기에 넓다	0.479	0.579
· 고속도로의 갓길의 폭은 적당하다	0.455	0.471
고유치 (Eigenvalues)	2.965	2.116
누적기여율 (Cumulative)	0.3705	0.6226

5. 주행환경만족도에 대한 구조방정식 모형

고속도로 주행환경만족도와 관련 있는 교통운영 및 도로기하구조 이미지 요인에 대한 인지특성을 규명하기 위하여 도로주행성에 대한 인지특성 모형을 구축하였다. 도로주행성 이미지를 나타내는 주행일관성, 도로환경성과 관련된 이미지 항목과 개인속성을 바탕으로 주행환경만족도 모형을 구축한 결과는 <그림 2>와 같다. 고속도로 주행환경만족도 모형을 구축한 결과 개인속성에서는 성별, 연령, 최종학력의 항목이 주행일관성요인에서는 “자동차흐름이 원활하다”와 “고속도로의 교통상황은 한적하다”항목의 추정계수와 t 값이 높게 나타났다. 또한 도로환경성 요인에서는 “고속도로의 차로수는 주행하기에 적당하다”와 “고속도로의 차로폭은 주행하기에 넓다” 항목의 추정계수와 t 값이 높게 나타나서 이 요인들이 각 잠재변수를 잘 반영하고 있는 것으로 나타났다. 개인속성변수에서 성별의 t 값이 플러스(+)값으로, 연령, 최종학력, 운전경력이 마이너스(-)값으로 높게 나와 도로이용자가 느끼는 도로주행환경에 대한 만족도에 영향을 미치는 요인은 연령, 최종학력, 운전경력보다 성별이 중요한 요인임을 알 수 있었다. 도로환경성 요인변수에서는 “고속도로의 차로수는 주행하기에 적당하다”의 t 값이 다른 도로환경성 요인 항목에 비해 높게 나와 도로이용자가 느끼는 주행환경만족도에 가장 크게 영향을 미치는 요인으로 나타났다.



<그림 2> 주행환경만족도에 대한 구조방정식모형

V. 결론

고속도로이용자가 주행할 때 도로기하구조를 정확하게 파악하지 못하면, 고속도로이용자는 자신의 감각과 인식에 의존해 판단을 내리게 되기 때문에 고속도로의 주행성을 평가할 때 설계자와는 다른 판단을 내리게 될 수도 있다. 따라서 고속도로이용자의 기대심리를 만족시키면서 안전성, 쾌적성 등을 확보하기 위해서는 정확한 주행속도를 예측할 필요가 있다. 또한, 고속도로의 기하구조적인 주행성뿐만 아니라 고속도로이용자가 이러한 구성요소의 조화에 의해 느끼는 감성적 측면에서의 주행환경만족도에 대한 인식의 변화를 파악할 필요가 있다. 이에 본 연구에서는 주행속도예측모형 구축하기 위해 7개 고속도로를 대상으로 주행속도에 영향을 미치는 요인을 크게 선형요소, 교통운영특성 요소로 분류하였다. 또한 평면직선, 평면곡선구간 그리고 종단곡선구간별로 주행속도에 영향을 미치는 요인을 대상으로 다중회귀를 이용한 주행속도예측모형 구축 및 검증 결과, 통계적으로 모두 적합한 것으로 나타났다. 또한, 본 연구에서는 고속도로이용자를 대상으로 개별면접 설문조사를 통해 수집된 고속도로의 주행환경만족도 이미지 데이터를 바탕으로 수량화 제II류 및 주성분분석을 실시하여 고속도로 주행환경만족도에 대한 영향 요인을 규명하였다. 또한 수량화 제I류 및 구조방정식을 이용하여 사회인식 및 고속도로이용자의 실제인식의 변화가 고려된 고속도로의 주행환경만족도 모형을 구축하였다. 본 연구에서 구축된 모형을 통해 주행속도와 같은 정량적인 요인뿐만 아니라 고속도로이용자가 느끼는 주행환경만족도와 같은 정성적인 요인에 대한 결과도 제시할 수 있어서 고속도로이용자가 느끼는 변화된 교통 환경과 인식여부가 반영된 고속도로의 주행성을 평가할 수 있다는 데에 그 의의가 있다. 마지막으로 시공간적 한계, 자료의 한계 등에 의해 향후연구에서 다루어져야 할 부분은 이상적인 모형개발과 이를 보정하는 보정계수의 개발이다. 대부분의 모형들은 모형을 개발한 지역의 특성만을 잘 반영하는 경우가 많다. 따라서 이상적인 모형을 만들고 지역특성과 고속도로이용자의 성향 등과 같은 특성들은 보정계수를 이용해서 보정하여 각 지역에 맞게 이용할 수 있는 적용성이 뛰어난 모형 개발이 요구된다.

참고문헌

1. 이종필·김성호(2002) "주행속도 예측을 위한 모형 개발 (2차로 지방부 도로 중심으로)", 대한교통학회지, 제20권 제1호, 대한교통학회, pp.131~139.
2. 정준화(2001), "주행속도를 이용한 도로의 평면선형 안전성 평가 모형 개발", 서울대학교 박사학위논문.
3. 정준화 외 2인(2000), "속도에 따른 평면 곡선부 설치 방안 연구", 대한토목학회 논문집, 제20권 제5-D호, 대한토목학회.
4. 최재성(1998), "도로선형에 대한 설계일관성 평가모형의 개발", 대한교통학회지, 제16권 제4호, 대한교통학회, pp.195~211.
5. 이점호·홍다희·이수범 (2006), "고속도로 교통운영 특성 및 도로선형요소를 반영한 주행속도 예측모형 개발", 대한교통학회지, 제24권 제5호, 대한교통학회, pp.109~121.
6. Al-Masaed, H. R., M. Hamed, M. Abou-Ela, and A. Ghannam(1995), "Consistency of Horizontal Alignment for Different Vehicle Classes", Transportation Research Record 1500, Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C., pp.178~183.
7. American Association of State Highway and Transportation Officials(2001), A Policy on Geometric Design of Highways and Streets.
8. Barnett, J.(1997), "Safe Friction Factors and Superelevation Design," In Gutierrez, N. I., "A Model for Estimating Operating Speeds on Combined Horizontal and Vertical Alignments on Rural Two-Lane Highways," Ph. D. Thesis of Texas A&M University.
9. Crosstown Associates(2001), "Correlation of Accidnet Rates and Highway Geometric Features," in:Ezra Hauer, "Road Grade and Safety," Review of Literature for the Interactive Highway Safety Design Model.
10. Fitzpatrick K. 외 4인 (2003), "Exploration of the Relationships Between Operating Speed and Roadway Features", TRB, Washington, D.C..
11. Fitzpatrick, 외 10인 (2000), "Speed Prediction for Two-Lane Rural Highway," Report FHWA-RD-99-171, USDOT, FHWA.
12. Fitzpartick & J.M.Collins(1999), "Speed Profile

Model for Two-Lane Rural Highway,” TRR 1737, Transportation Research Board, National Research Council, Washington, DC, pp.7~15.

13. Fitzpatrick K. 외 4인 (2001), “Design Factors that Affect Driver Speed on Suburban Streets”, TRB, Washington, D.C.
14. Lamm, R. 외 2인 (1993a), “Safety Module for Highway Design,” unpublished manuscript, Institute for Highway and Railroad Engineering, University of Karlsruhe, Germany.
15. McLean, J.R., (1978), “Speeds on Curves: Regression Analysis,” International Report 2003, Australian Road Research Board, Melbourne, Australia.
16. McLean, J.R., (1981), “Driver Speed Behaviour and Rural Road Alignment Design,” Traffic Engineering & Control, Vol.22, Printerhall Limited, London, England, pp.208~211.
17. Islam, M.N., and Seneviratne, P.N. (1994), “Evaluation of Design Consistency of Two-Lane Rural Highways,” ITE Journal, February.
18. P. E. Rapp, T. R. Bashore, J. M. Martinerie, A. M. Albano, I. D. Zimmerman and A. I. Mees. (1989), “Dynamics of Brain Electrical Activity,” Brain Topography, 2, 1&2, pp.99~118.
19. R. A. Krammes et al (1995), “Horizontal Alignment Design Consistency for Rural Two-lane Highways” . RD-94-034, FHWA.
20. Rozann W. Saaty (2003), “Decision Making in Complex Environments : AHP & ANP”, SuperDecisions.
21. Ruediger Lamm (1999), Highway Design and Traffic Safety Engineering Handbook
22. Scott S. Washburn 외 2인 (2004), “Quality of Service Perceptions by Rural Freeway Travelers : An Exploratory Analysis”.

✉ 주 작 성 자 : 김장욱
 ✉ 교 신 저 자 : 이수범
 ✉ 논문투고일 : 2008. 8. 4
 ✉ 논문심사일 : 2008. 11. 20 (1차)
 2009. 2. 25 (2차)
 2009. 3. 13 (3차)
 ✉ 심사관정일 : 2009. 3. 13
 ✉ 반론접수기한 : 2009. 8. 31
 ✉ 3인 익명 심사필
 ✉ 1인 abstract 교정필