

## 지방부 일반국도 4차로의 화물차 주행속도 예측모형 개발

### A Development of the Operating Speed Estimation Model of Truck on Four-lane Rural Highway

박민호 Park, Min Ho  
이근희 Lee, Geun Hee

한국건설기술연구원 도로교통연구실 수석연구원 (E-mail :minhopark@kict.re.kr)  
정회원 · 한국건설기술연구원 도로교통연구실 연구원 · 교신저자 (E-mail : ghlee@kict.re.kr )

#### ABSTRACT

**PURPOSES :** The purpose of the study is to a) explore the operating speed of trucks on rural highways affected by road geometry, and thereby b) develop a predictive model for the operating speed of trucks on rural highways.

**METHODS :** Considering that most of the existing studies have focused on cars, the current study aimed to predict the operating speed of trucks by conducting linear regression analysis on the speed data of trucks operating on the linear-curved-linear portions of the road as a single set.

**RESULTS :** The operating speed in the plane curve portion increased with the length of the curve, and decreased with a lower vertical grade and a smaller curve radius. In the straight plane portion, the operating speed increased with a larger curve radius(upstream), and decreased with an increase in the change of the vertical grade, depending on the length of the vertical curve.

**CONCLUSIONS :** This study developed estimation models of truck for operational speed and evaluated the degree of safety for horizontal and vertical alignments simultaneous. In order to represent whole area of the rural highway. the models should be ew-analyzed with vast data related with road alignment factor in the near future

#### Keywords

*operating speed estimation model, predict the operating speed of trucks, rural highway, linear regression analysis*

Corresponding Author : Lee, Geunhee, Researcher  
Korea Institute of Construction Technology, Goyangdae-Ro 283,  
411-712, Goyang-Si, Gyeonggi-Do, 411-712, Korea  
Tel : +82.31.910.0372 Fax : +82.31.910.0749  
E-mail : ghlee@kict.re.kr

International Journal of Highway Engineering

<http://www.ksre.or.kr/>

ISSN 1738-7159 (print)

ISSN 2287-3678 (Online)

Received Aug. 8, 2014 Revised Aug. 20, 2014 Accepted Oct. 1, 2014

## 1. 서론

지속적인 경제성장으로 여가문화가 확산되면서 차량은 우리의 삶에서 선택이 아닌 필수적인 항목으로 바뀌었다. 국토교통부의 “국토교통통계연보”에 따르면 2012년 누적 자동차 등록대수는 2,59명에 1대 수준으로 18,870,533대에 이르렀다. 이에 도로의 공급적인 측면에서도 기존의 무조건적인 양적 확장에서 벗어나 경관, 안전 등의 이용자의 입장에서 즐길 수 있는 곳, 안전한 곳으로의 변화를 위해 많은 노력이 이뤄지고 있다.

운전자에게 안전한 도로를 제공하기 위해서는 제일 먼저 도로의 기하구조요소를 파악하고 위험요소의 개선을 통해 사고를 줄이는 것이 가장 우선 시 되어야 한다.

국내·외에서 도로를 운행하는 차량에 대한 속도 예측 모형 등 도로의 기하구조 및 운전자의 특성을 고려한 다양한 연구가 진행되어 왔다.

하지만, 대부분 연구가 승용차(소형자동차)를 대상으로 속도를 예측하여 차량 및 주행특성이 상이한 화물차의 경우 승용차의 특성을 반영한 도로환경에서는 위험

한 상황에 노출되기 쉽다. 현재 국내 화물차는 전체 차량 중 17%를 차지하고(3,243,924대) 있으며, 화물차의 특성상 장거리교통이 많고 사고발생 시 제 2차 사고로 이어질 확률이 높아 더 세심한 배려가 있어야 한다.

또한 온실가스를 감축하기 위한 세계 각국의 노력에 공조를 하고 있는 우리나라에서 온실가스 배출에 많은 부분을 차지하는 도로·교통분야에서도 적극적으로 협조하기 위해서는 승용차 보다 상대적으로 많은 탄소를 배출하는 화물차의 특성(속도 및 탄소배출량 등)과 관련된 문제는 중요한 이슈 중 하나이다.

이에 본 연구에서는 도로를 주행하는 화물차의 실제 주행속도를 조사하여, 도로 기하구조와의 관계를 통한 화물차의 주행속도를 예측할 수 있는 모형식을 개발하고자 한다. 이를 통하여 향후 화물차량의 안전운행 및 온실가스 배출을 저감할 수 있는 선형설계기법에 도움이 되고자 한다.

## 2. 기존문헌 고찰

### 2.1. 주행속도의 정의

AASHTO(2001)에서는 주행속도의 정의를 “도로 구간별 설계속도에 의해 결정되는, 안전속도를 초과하지 않고 양호한 기상조건하에서 운전자가 주어진 도로구간을 주행할 수 있는 최대속도”로 정의하고 있다.

자유류 상태의 속도표본에서 85% 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(Hong, D. H(2005), Kim, J. O(2009)).

따라서 본 연구에서의 주행속도는 AASHTO의 개념을 반영하여 일반국도 32호선(신평~우성구간), 34호선(성환~입장구간), 그리고 36호선(내덕~북일구간)의 화물차 자유류 속도표본 중 85% 속도를 주행속도로 정의하고자 한다.

### 2.2. 주행속도 예측모형에 대한 기존문헌 고찰

#### 2.2.1. 평면선형 주행속도 예측모형

(1) J.R. McLaen의 연구

J.R. McLean(1979, 1981)은 호주의 지방부 2차로 도로를 대상으로 평면곡선과 주행속도 관계에 대해 연

구하였으며, 연구결과, 설계속도가 90km/h보다 낮을 때 85% 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.

$$V_{85} = (53.8 + 0.646 V_f - 3.2691/R) \times 10^3 + 8.5(1/R^2) \times 10^4 \quad (1)$$

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

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

$R$  : 곡선반경(m)

(2) Lamm 등에 의한 연구

독일의 Lamm, Hiersche, Mailaender(1993)은 제한속도가 100km/h인 도로를 대상으로 Eq. (2)와 같은 속도 예측모형식을 개발하였다. “Curvature Change Rate(CCR)”인 곡률변화와 85% 속도와 관계를 통해 주행속도를 예측하여 편경사율, 정지시거와 같은 선형설계요소 결정 시, 이 주행속도를 설계속도 대신 이용하고 있다. 곡률변화에 의한 방법은 운전자의 주행특성을 잘 반영할 수 있다는 장점이 있다.

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

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

$CCR_s$  : 단일 곡선부의 곡률변화율(gon/km)

(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, 85% 주행속도를 예측하였다.

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

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

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

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

$$DC : \text{곡률도}^\circ / (100\text{ft})$$

(4) R.A. Krammes 등의 연구

R.A. Krammes 등(1995)은 미국 5개 주에서 경사5% 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 곡률도, 곡선장, 교각이 주행속도에 영향을 미치는 것을 밝혀내었다.

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

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

$$DC : \text{곡률도}^\circ / (100\text{ft}),$$

$$L : \text{곡선장(m)}, I : \text{교각}^\circ$$

(5) 정준화의 연구

정준화(2001)는 왕복 4차로 도로에서 수집한 속도자료를 이용하여 속도예측식을 개발하였다. 이 연구는 평가기준의 개발에 있어 속도 차이에 의한 안전성 평가기준이 사고의 경중(輕重)을 반영하기 어렵다고 판단하여(예를 들면, 40km/h로 접근하던 차량이 10km/h를 감속하는 것과 100km/h로 접근하던 차량이 10km/h를 감속하는 것에 차이가 있음) 에너지 차에 의한 안전성 평가기준을 제시하였으며 Eq. (7)과 같은 속도 예측모형을 제시하였다.

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

여기서, R : 평면곡선반경(m),  $R^2$  : 결정계수

(6) 이종필의 연구

이종필(2002)은 지방부 2차로 도로를 중심으로 평면곡선부 85% 주행속도 예측모형을 기존의 회귀모형에 비해 보다 효율적이고 신뢰성이 높은 인공신경망이론을 적용하여 개발하였다. 이 연구는 곡선반경, 곡선길이, 교차각, 시거, 차로폭, 차로와 같은 기하구조 특성에 의해 속도가 결정된다는 가정아래 30개 조사지점의 자료를 입력층 자료로 이용하여 입력층 변수에 따라 Table 1의 A~D까지 신경망모형을 제시하였다.

Table 1. Operating Speed Estimation Model (Lee, jongpil)

	In put	Out put
A	DC, I	$V_{85}$ % Speed
B	DC, L, sight distance.	$V_{85}$ % Speed
C	R, L, $\theta$ , I	$V_{85}$ % Speed
D	R, L, $\theta$ , I, sight distance, Lane width, Lane,	$V_{85}$ % Speed

여기서, DC : 곡률각, L : 곡선길이, I : 편각,  $\theta$  : 교차각, R : 곡선반경

2.2.2. 입체선형 주행속도 예측모형

(1) Fitzpatrick 등의 연구

Fitzpatrick 등(1999)의 연구는 크게 평면곡선-종단경사(Horizontal Curves on Grades) 구간, 평면곡선-볼록종단곡선 구간(Horizontal Curves Combined with Crest Vertical Curves), 종단곡선-평면직선(Vertical Curves on Horizontal Tangents) 구간으로

Table 2. Operating Speed Estimation Model (Fitzpatrick)

	Alignment of road	Operating Speed Estimation
1	Horizontal Curves on Grades $-9\% \leq G < -4\%$	$V_{85} = 102.10 - \frac{3077.13}{R}$
2	Horizontal Curves on Grades $-4\% \leq G < -0\%$	$V_{85} = 105.98 - \frac{3709.90}{R}$
3	Horizontal Curves on Grades $0\% \leq G < 4\%$	$V_{85} = 104.82 - \frac{3574.51}{R}$
4	Horizontal Curves on Grades $4\% \leq G < 9\%$	$V_{85} = 96.61 - \frac{2752.19}{R}$
5	Horizontal Curves on Grades	$V_{85} = 105.32 - \frac{3498.19}{R}$
6	Horizontal Curves Combined with Crest Vertical Curves (sight distance)	Operating Speed Estimation 1,2 Low Operating Speed 3,4
7	Horizontal Curves Combined with Crest Vertical Curves (restriction sight distance)	$V_{85} = 103.24 - \frac{3576.51}{R}$
8	Horizontal Curves Combined with Crest Vertical Curves	$V_{85} = \text{assumed desired speed}$
9	Horizontal Curves Combined with Crest Vertical Curves (sight distance)	$V_{85} = \text{assumed desired speed}$
10	Horizontal Curves Combined with Crest Vertical Curves (restriction sight distance)	$V_{85} = 105.08 - \frac{149.69}{k}$

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

구분하여 속도예측식을 개발하였다. 48개 지점의 평면곡선-종단경사 구간(Horizontal Curves on Grades)에 대한 주행속도를 조사하였고, 곡선반경의 역수, 편경사를 독립변수로 한 주행속도예측모형 연구를 수행하여 Table 2와 같은 결과를 얻었다.

(2) Gibreel 등의 연구

Gibreel 외 2인(2001)은 평면곡선-오목종단곡선과 평면곡선-볼록종단곡선을 대상으로 주행속도를 분석했다. 분석 시 고려된 도로기하구조 요소로는 평면곡선반경, 평면곡선 교각, 편경사, 완화곡선장, 종단곡선장, 종단경사 차, 평면과 종단곡선 변곡점 사이의 거리, 평면과 종단곡선의 중복구간 거리, 차로 폭, 길어깨 폭이다. 속도 조사는 곡선전방 직선, 곡선지점, 평면곡선 중앙, 곡선중점, 곡선후방 직선에서 이루어졌다. 각 조사위치별로 속도예측식이 개발되었으며, 곡선전방 직선에서 조사된 속도를 회귀식의 독립변수로 이용하는 여부에 따라 구별된 Table 3과 같은 주행속도예측모형을 제시하였다.

Table 3. Operating Speed Estimation Model (Gibreel)

	Alignment of road	Operating Speed Estimation
1	Horizontal Curves on Grades (crest)	$V_{85} = 76.42 + 0.023r + 2.300 \times 10^{10-4} \times k \times 2 - 0.008 \times \exp(A) - 1.230 \times 10^{-4} \times lo \times 2 + 0.62 \times \exp(E)$
2	Horizontal Curves on Grades (sag)	$V_{85} = 15.99 + 0.861r + 0.030 \exp(E) - 0.026 \times lo - 1.917 \times \ln(A)$

여기서,  $V_{85}$ : 85%주행속도,  $r$ : 평면곡선반경(m),

$K$ : 종단곡선변화율(%/m),  $A$ : 종단경사 대수차,

$LO$ : 평면곡선 교점과 종단곡선 교점 간 거리,

$E$ : 편경사

(3) FHWA의 연구

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

Table 4. Operating Speed Estimation Model (FHWA)

	Alignment of road	Operating Speed Estimation
1	plane curve-vertical curve $-9\% \leq G < 0\%$	$V_{85} = 100.87 - \frac{2720.78}{R}$
2	plane curve-vertical curve $0\% \leq G < 4\%$	$V_{85} = 106.30 - \frac{3595.29}{R}$

3	plane curve-vertical curve (crest)	
4	plane curve-vertical curve $4\% \leq G < 9\%$	$V_{85} = 96.46 - \frac{2744.49}{R}$
5	plane curve-vertical curve (sag, restriction sight distance)	$V_{85} = 101.90 - \frac{3283.01}{R}$
6	plane curve-vertical curve (crest, restriction sight distance)	$V_{85} = 111.19 - \frac{175.98}{R}$
7	plane curve-vertical curve (sag)	$V_{85} = 100.19 - \frac{126.07}{R}$

여기서,  $G$ : 종단경사(%5),  $R$ : 평면곡선반경(m),

$K$ : 종단곡선변화율(%/m)

(4) Qing Ye 등의 연구

Qing Ye와 Andrzej P.Tarko(2001)등은 간선도로를 대상으로 시간대, 중차량 비율, 제한속도, 토지이용 등을 독립변수로 하여 주행속도를 예측하였다. 이때, 교통량이 가장 적은 Free-Flow 상태인 차량만을 대상으로 하였으며, 공사 및 Curve 영향을 배제하여 Table 5와 같은 모형을 구축하였다.

Table 5. Operating Speed Estimation Model (Qing Ye)

	Vehicle type	Operating Speed Estimation
1	day time cars	$V_{ed} = 61.7 - 3.31 \times t_d + 5.8 \times v_c + 1.18 \times r + 6.8 \times f - 8.3 \times n$
2	day time trucks	$V_{ed} = 58.7 - 3.77 \times t_d + 6.42 \times v_c + 2.98 \times r + 7.27 \times n$
3	night time cars	$V_{ed} = 59.9 - 1.89 \times t_d + 0.124 \times r + 8.29 \times f - 4.95 \times n$
4	night time trucks	$V_{ed} = 58.0 - 2.16 \times t_d + 1.23 \times v_c + 2.47 \times r + 0.37 \times f$

여기서,  $V_{ed}$ : day time cars's 85% Operating Speed

$V_{td}$ : day time truck's 85% Operating Speed

$V_{cn}$ : night time cars's 85% Operating Speed

$V_{tn}$ : night time truck's 85% Operating Speed

$t$ : truck(%)

$v$ : speed limit(km/h)

$r$ : land utilization(rural: 1, urban: 0)

$f$ : road type(expressway: 1, etc: 0)

$n$ : road number

(5) 최재성의 연구

최재성(1998)은 평면곡선에서는 운전자의 시각적 판단을 기초로 하는 최소시거로, 종단선형에서는 경사의

영향과 차량의 성능을 기초로 등판차량의 주행속도를 추정하였다. 또한 승용차와 트럭으로 나누어 평면곡선과 종단곡선의 영향을 동시에 고려하는 주행속도추정식을 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 도로실정에 맞는 주행속도 예측모형을 개발하였다. 하지만 주행속도 예측모형 개발에 이용한 자료가 국내의 영동고속도로로 일부구간에 한정되어 있어 다른 구간에 적용하기에는 어려움이 있다고 판단된다.

#### (7) 김장욱의 연구

고속도로의 기하구조적인 주행성뿐만 아니라 도로이용자가 이러한 구성요소의 조화에 의해 느끼는 감성적 측면에서의 주행환경만족도에 대한 인식의 변화를 파악할 필요가 있음을 강조하고 주행속도 예측모형을 구축하기 위해 6개 고속도로(경부, 서해안, 영동, 남해, 중앙, 호남)를 대상으로 주행속도에 영향을 미치는 요인을 크게 선형요소, 교통운영특성 요소로 분류하여 다중회귀를 이용하여 주행속도예측모형을 구축하였다. 또한, 고속도로 이용자를 대상으로 개별면접 설문조사를 통해 수집된 주행환경만족도 이미지 데이터를 바탕으로 수량화 제Ⅱ류 및 주성분분석을 실시하여 고속도로 주행환경만족도에 대한 영향요인을 규명하였다.

#### (8) 조원범의 연구

조원범(2010)은 지방부 왕복 4차로 도로를 대상으로 기존의 대다수 연구들은 평면곡선부 및 평면직선부 중앙의 지점속도를 측정하고 이 자료를 활용하여 각각의 주행속도예측모형을 개발하였다. 이는 감속이 평면 직선부에서만 발생하고 평면곡선부에서는 일정한 속도를 유지한다는 주행행태에 대한 전통적인 가정에 기반한 것으로서, 구축된 모형에 의해 예측된 주행속도가 과대·과소 추정되거나 또는 실제운전자의 주행행태를 제대로 묘사하지 못할 가능성이 높다는 한계점을 지적하고 현장에서 약 100m 간격으로 연속 조사된 속도자료를 활용하여 실제 도로상에서 관측되는 주행속도 프로파일을 작성하여,

연속적인 속도변화를 분석하여 자료를 추출하고, 주행속도 예측모형은 평면선형과 종단선형의 조합에 따라 6가지 선형유형으로 구분하여 개발하였다.

Table 6. Operating Speed Estimation Model (cho, wonbum)

	Vehicle type	Operating Speed Estimation Model
curve	slope	$V_{ssCC} = 111.948 + 0.010vpL_T - 0.02CCR$
	crest	$V_{ssCC} = 128.901 + 0.004vpL_T - 0.001CCR - \frac{542.711}{K_C} - 6.305W_{DS}$
	sag	$V_{ssCS} = 134.158 + 0.007Aug \times vp2_T - 0.002Aug2CCR - 1.758Up \times G - 9.974W_{DS}$
straight	slope	$V_{ssTG} = 131.507 + 0.002vp \times CCR - 0.07G - \frac{423.964}{UpK}$
	crest	$V_{ssTC} = 137.0866 + 0.002Aug \times Up2CCR - \frac{504.486}{K_C} - 5.141W_{DS}$
	sag	$V_{ssTS} = 127.485 + 0.002Aug \times vp1km \times CCR + 0.010Aug2Up2L_T - 1.367Up \times G - 5.034W_{DS}$

여기서, CCR : 평면곡선변화비율(gon/km)  
 Aug2CCR : 해당선형 평면곡선부와 상류부 평면곡선부의 평균 CCR(gon/km)  
 AugUp1kmCCR : 상류부 1km 이내에 포함된 평면곡선의 평균 CCR(gon/km)  
 AugUp2CCR : 상류부 평면곡선 2개소의 평균 CCR(gon/km)  
 UpLt : 상류부 평면직선 길이(m)  
 AugUp2Lt : 상류부 평면직선 2개소의 평균 평면직선 길이(m)  
 G : 해당선형 종단경사(%)  
 Up·G : 상류부 종단경사  
 Kc : 해당선형 볼록종단곡선변화비율(m/%)  
 Up·K : 상류부 종단곡선변화비율(m/%)  
 WDS : 115m-진행방향 횡단면폭(m)

### 2.2.3. 기존문헌 고찰 및 연구의 착안점

주행속도예측모형에 대한 국내·외 문헌을 살펴보면 크게 평면선형만을 고려한 연구와 평면선형과 종단선형을 함께 고려한 연구로 분류할 수 있다.

초기연구는 평면선형만을 고려하여 실제 도로의 평면 및 종단선형이 함께 있는 구간에서는 적용하기 어려워 평면선형과 종단선형을 함께 고려한 연구가 진행되고

있는 추세이다. 하지만 이러한 연구도 대부분의 승용차의 주행속도에 관련해서 이루어졌으며, 화물차 및 중차량에 관한 연구 역시 수학적 이론에 기반을 두었거나, 곡선구간에 국한되어 있어 화물차에 대한 주행속도예측에 대한 심도 깊은 연구가 필요한 상황이다.

이에 본 연구에서는 중차량 즉 화물차를 중심으로 평면직선 및 곡선구간에서의 화물차량의 실제 속도자료와 도로의 기하구조자료를 이용하여 화물차량의 주행속도를 예측하고자 한다.

### 3. 자료수집

수집된 자료는 국가연구개발사업인 '탄소중립형 도로 기술개발-3차년도' 과제를 위해 일반국도 3개의 노선에서 수집된 자료를 본 연구의 목적에 맞게 재가공한 것이다.

#### 3.1. 구간 개요

화물차의 주행속도 예측모형을 위한 자료의 수집은 지방부 일반국도 32호선(신평~우성구간), 34호선(성환~입장구간), 그리고 36호선(내덕~북일구간)에서 이루어졌다. 대상구간은 화물차량의 속도에 영향을 미칠 수 있는 요소 즉, 과속단속 카메라, 교차로 등이 없는 구간을 선택하여 순수한 화물차량의 속도를 조사하고자 하였다. 3개 구간의 총 길이는 약 33km, 곡선반경은 196~3,200m, 직선구간의 길이는 최대 3.8km, 종단경사는 -4.25~+4.07%로 다양하게 구성이 되어있다. 자료의 수집에 한계가 있어 다양한 기하구조 요소를 고려하지는 못하였으나, 기존의 연구에서 고려되었던 기본적인 기하구조 요소는 반영되었다(Table 7).

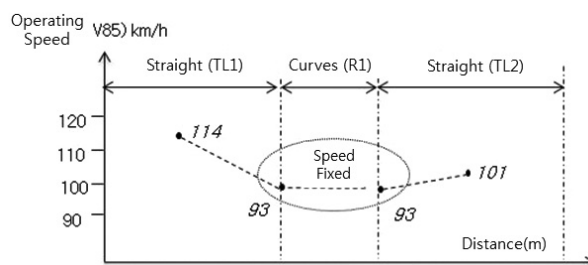
Table 7. Segment Information

Route #	Segment	City	Distance (km)	Radius (m)	Tangent Length (m)	Grade (%)
32	SinPung~WooSung	GongJu	11.7	380~2,300	0~3,834	-3.9~+4.07
34	SungHwan~IpJang	CheonAn	8.3	500~3,200	0~3,756	-1.1~+3.8
36	NaeDeuk~BookIl	Chung Won	13.43	196~2,000	0~1,152	-4.25~+3.82
Total			33.43	196~3,200	0~3,834	-4.25~+3.82

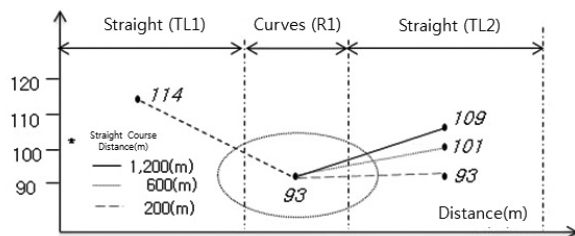
#### 3.2. 수집자료 개요

속도자료는 2.5ton 이상의 화물자동차 중, 교통량에 의하여 차량의 속도에 영향을 미치지 않도록 차주시간이 6

초(한국건설기술연구원, 2010) 이상인 화물자동차의 속도 자료를 수집하였다. 그리고 속도측정의 지점은 평면곡선부의 전·후 100m, 곡선부 중앙지점이다. 이는 탄소중립형 도로 기술개발(2차년도, 승용차의 속도예측모형)과제와의 통일성을 위함이다. Lee, J. H(2013)에 따르면, 동일한 평면곡선부의 주행속도에서도 평면곡선부의 전·출입속도와 곡선부의 중앙지점에서의 주행속도 특성이 다르다. 즉, 평면곡선부의 전·출입주행속도가 대표값인 경우에는 곡선부내에서의 주행속도는 일정한 값이 나타나기 때문에, 평면곡선부의 주행속도 값을 대표할 수 있는 지점은 곡선부의 중앙지점이 적합하다고 하였다(Fig. 1).



(a) Operating Speed Estimation Limitation



(b) Operating Speed Selected Spot

Fig. 1 Concept for Operating Speed Spot Selection by Lee (2013)

또한, 차량의 속도는 상류 및 하류부의 형태(곡선부/직선부)에 따라 영향을 받지만, 대부분의 연구에서는 이를 고려하지 않고 모형을 구축하였다(Lee, 2013). 이에 이 연구에서는 직선부-곡선부-직선부를 하나의 세트로 구성하여 속도자료를 구축하였으며, 그 결과, 총 20개의 구간에서 속도자료가 완성되었다. 하나의 세트별로 최소 40대 이상의 화물차 속도를 조사함으로써, 자료가 정구분포를 이루도록 하였다(중심극한의 정리).

### 4. 모형 개발 및 검증

#### 4.1. 변수선정

화물차 주행속도 예측모형 구축을 위한 독립변수는 3

장에서 밝힌 곡선반경, 직선구간 길이 및 종단경사이며, 종속변수는 화물차 속도이다. 독립변수의 경우, 변수가 가진 특성을 고려하여 유사한 개념인 곡선반경은 CCR, 종단경사는 종단곡선의 길이에 따른 종단구배의 변화(VC) 등으로 변환하여 모형에 적용하였다(Table 8).

Table 8. Segment Information

Variable(Abbreviation)	Description (unit)
RAD	Radius of Curve(m)
RAD <sub>up</sub>	Up Stream Radius of Curve(m)
LEN	Length of Segment(m)
VC	VC : Grade Change by Vertical Curve Length(m/%)
GRA	Tangent Grade(%)
CCR	Curvature Change Rate

## 4.2. 주행속도 예측모형 개발

### 4.2.1. 평면곡선부

본 연구에서는 일반국도 3개 노선, 총 연장 33km의 화물차 주행속도를 예측하기 위해 대부분의 기존연구에서 사용되었던 다중회귀분석을 이용하였다. 평면곡선부에서의 화물차의 속도모형은 Table 9와 같으며, 모형의 전체 설명력(R<sup>2</sup>)은 0.584로 나타났다. 모형에 적용된 변수는 t-ratio 값이 곡선의 길이(1.928), 종단경사(-1.961) 및 CCR(-1.993)으로 나타나 통계적으로 유의한 것으로 나타났다(coefficient 값≠0). 또한, Durbin-Watson Stat. 값이 1.436으로 오차항 간의 독립성이 존재하는 것으로 나타났으며, 추정된 회귀식은 Eq. (8)과 같다.

$$Y=81.252+0.004(X1)-0.753(X2)-0.052(X3) \quad (8)$$

여기서, Y : 화물차 속도-평면곡선부(km/h)

X1 : 평면곡선 길이(m)

X2 : 종단경사(%)

X3 : 곡률변화율(gon/km)

Table 9. Result of Operating Speed on Curve Segments

Variable	Coefficient	Standard Error	t-ratio
Constant	81.252	2.471	32.877
Length	0.004	0.002	1.928
Grade	-0.753	0.384	-1.961
CCR	-0.052	0.018	-1.993

# of Observes : 20  
Adjusted R-squared : 0.584  
Durbin-Watson Stat. : 1.436

따라서, 평면곡선부에서의 속도는 평면곡선의 길이가 길어질수록 화물차의 속도가 높아지며, 종단경사가 낮아지고 또한 곡선반경이 작아질수록 화물차의 속도가 낮아지는 것을 알 수 있다.

### 4.2.2. 평면직선부

평면직선부에서의 화물차의 속도모형은 Table 10과 같으며, t-ratio가 상류부 곡선반경(6.014), 종단곡선의 길이에 따른 종단경사의 변화비율(-5.220)을 보여, 통계적으로 유의한 것으로 나타났다. 또한 수정된 R<sup>2</sup> 값이 0.878로 나타나 변수가 모형에 대해 약 87%의 설명력을 가지는 것을 알 수 있다. 그리고, Durbin-Watson Stat. 값이 1.601으로 평면곡선부와 마찬가지로 오차항 간의 독립성이 존재하는 것으로 나타났으며, 추정된 회귀식은 Eq. (9)와 같다.

$$Y=80.26+0.0034((X1)-313.361(X2) \quad (9)$$

여기서, Y : 화물차 속도-평면직선부(km/h)

X1 : 상류부 곡선반경(m)

X2 : 종단곡선의 길이에 따른 종단경사의 변화비율(%/m)

따라서 상류부 곡선반경이 커질수록 화물차의 속도가 높아지며, 종단곡선의 길이에 따른 종단경사의 변화가 클수록 화물차의 속도가 낮아지는 것을 알 수 있다.

Table 10. Result of Operating Speed on Tangent Segments

Variable	Coefficient	Standard Error	t-ratio
Constant	80.26	0.98	81.045
RAD <sub>up</sub>	0.0034	0.0005	6.014
VC	-313.361	60.031	-5.220

# of Observes : 20  
Adjusted R-squared : 0.878  
Durbin-Watson Stat. : 1.601

## 4.3. 주행속도 예측모형 검증

### 4.3.1. 검증방법

도출된 화물차 주행속도 예측모형에 대한 신뢰성을 파악하기 위하여 모형에 의해 예측된 속도 값과 실제 화물차의 속도 값의 차이를 이용하여 검증을 실시하였다. 검증방법으로는 최소제곱근 오차(RMSE: Root Mean Square Error), 평균절대편차(MAD: Mean Absolute

Deviation), 평균제곱오차(MSE: Mean Squared Error), 평균절대오차백분율(MAPE: Mean Absolute Percentage Error), 평균백분율오차(MPE: Mean Percentage Error), 절대 값 오차평균(MAE: Mean Absoulte Error) 등이 있다.

본 연구에서는 가장 널리 사용되는 RMSE, MAPE, 그리고 MAE 방법에 의하여 이루어졌다.

- (1) RMSE(최소제곱근 오차): 예측된 주행속도와 실제 주행속도의 차의 제곱 값을 이용하여 모형을 검증하는 방법

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum [O_i - E_i]^2} \quad (10)$$

여기서,  $O_i$  : 예측 주행속도(km/h)

$E_i$  : 실제 주행속도

$n$  : 관측자료 수

- (2) MAPE(평균절대오차 백분율): 실제속도의 오차와 예측속도의 오차의 백분율 차이 값을 이용하여 모형을 검증하는 방법

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{O_i - E_i}{O_i} \right| \quad (11)$$

- (3) MAE(절대 값 오차 평균) :

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |E_i - O_i| \quad (12)$$

3가지 방법을 통해 이 연구에서 구축한 모형에 의한 화물차 속도예측 값과 지방부 일반국도 4차로 도로의 3개 노선에서의 실제 속도 값과의 비교를 통해 검증을 실시하였다.

Table 11. Geometric Information

City	Route #	Length (km)	Radius (m)	Tangent Length(m)	Grade (%)
MunGyeong	3	21.9	140~5,700	2,360	-2.6~+4.8
YangPyeong	6	39.3	400~3,400	1,640	-4.8~+7.0
PoCheon	37	28.1	240~1,500	2,920	-4.4~+5.0
Total		21.9~39.3	140~5,700	1,640~2,920	-4.8~+7.0

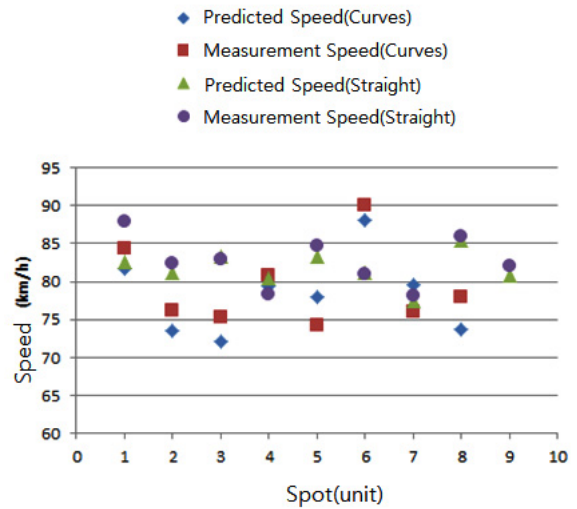
검증에 사용된 자료는 한국건설기술연구원에서 수행한 “지방부 다차로 구간의 주행속도 자료”를 이용하였으며, 노선에 대한 자세한 선형설계제원은 Table 11와 같다.

#### 4.3.2. 검증결과

검증결과는 Table 12과 같이 RMES를 이용한 검증결과 값은 직선구간(Tangent Segment)에서는 2.05, 곡선구간(Curve Segment)에서는 4.82로 나타났으며, MAPE 검증결과는 직선구간 0.01, 곡선구간 0.05로 나타났다. 또한 MAE값은 직선구간 1.41, 곡선구간 4.31로 모형 검증결과 예측된 화물차의 주행속도가 비교적 양호하게 추정되었음을 알 수 있다.

Table 12. Summary of Prediction Accuracy

	Tangent Segment	Curve Segment
RMSE(Root Mean Square Error)	2.05	4.82
MAPE(Mean Absolute Percentage Error)	0.01	0.05
MAE(Mean Absolute Error)	1.41	4.31



## 5. 결론

차량의 주행 속도는 도로의 선형과 밀접한 관계가 있으며, 특히 도로의 평면 및 종단선형의 특성에 따라 주행속도에 매우 큰 영향을 미치게 된다. 따라서 운전자의 안전한 주행을 도모하기 위해서는 적절한 주행속도를 제공함으로써 운전자가 안전한 주행을 할 수 있도록 해야 한다. 그러기 위해서는 차량의 주행속도 산정은 필수적이며 이를 예측할 수 있는 주행속도 예측모형 개발은 의미있는 연구라 할 수 있다.



주행속도 예측에 관한 연구는 앞서 다뤘던 것처럼 국내외에서 예전부터 이루어져 왔지만 평면 및 종단 선형을 함께 고려한 연구는 최근에 와서 활발히 진행되고 있는 실정이다. 또한 대부분의 연구가 승용차만을 중심으로 이루어져 화물차 및 버스등의 중차량에 적용하기에는 어려운 부분이 있다.

이에 본 연구에서는 지방부 일반국도 32호선(신평~우성구간), 34호선(성환~입장구간), 그리고 36호선(내덕~북일구간) 총 연장 약 33km, 곡선반경은 196~3,200m, 직선구간의 길이는 최대 3.8km, 종단경사는 -4.25~+4.07%로 다양하게 구성된 3개의 구간을 대상으로 화물차량의 속도에 영향을 미칠 수 있는 요소 즉, 과속단속 카메라, 교차로 등이 없는 구간을 선택하고, 수집된 속도자료를 통해 화물차의 속도예측모형을 구축하였다.

연구결과 평면곡선부에서의 속도는 평면곡선의 길이가 길어질수록, 화물차의 속도가 높아지며, 종단경사 및 곡선반경이 작아질수록 화물차의 속도가 낮아지는 것을 알 수 있었으며, 평면직선부의 경우 상류부 곡선반경이 커질수록 화물차의 속도가 높아지며, 종단곡선의 길이에 따른 종단경사의 변화가 클수록 화물차의 속도가 낮아지는 것을 알 수 있었다.

마지막으로 본 연구의 한계점으로는 일반국도만을 대상으로 하여 고속도로의 화물차 주행특성을 반영하지 못하였다. 향후 고속도로의 특성을 반영하여 연구가 필요할 것으로 생각된다. 또한 최근 환경에 대한 관심이 높아지는 추세에 맞춰 승용차보다 상대적으로 탄소를 많이 배출하는 중차량 즉 화물차에 대한 주행속도 모형을 제시함으로써 향후 화물차의 주행속도를 활용한 탄소배출량에 관한 연구가 진행되어 보다 의미있는 연구가 나오길 기대한다.

### 감사의 글

본 연구는 '탄소중립형 도로 기술개발' 연구단을 통하여 지원된 국토교통부(국토교통과학기술진흥원) 2011년 건설기술혁신사업에 의하여 수행되었습니다. 연구지원에 감사드립니다.

### References

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.

American Association of State Highway and Transportation Officials(2001), A Policy on Geometric Design of Highways and Streets.

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.

Choi, Jaisung, Lee, Jong-hak, et. al. 2013. Acceleration and Deceleration Profile Development of Reflecting Road Design Consistency, International Journal of Highway Engineering, Vol. 15, No. 6. 95-103.

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.

Fitzpatrick & J.M.Collins(1999), "Speed ProfileModel for Two-Lane Rural Highway," TRR 1737, Transportation Research Board, National Research Council, Washington, DC,pp.7-15.

Fitzpatrick, 외 10인 (2000), "Speed Prediction for Two-Lane Rural Highway," Report FHWA-RD-99-171, USDOT, FHWA.

Fitzpatrick K. 외 4인 (2001), "Design Factors that Affect Driver Speed on Suburban Streets", TRB, Washington, D.C.

Fitzpatrick K. 외 4인 (2003), "Exploration of the Relationships Between Operating Speed and Roadway Features", TRB, Washington, D.C..

Hong, dahee, et. al. 2005. development of predicting models for operating speed considering of traffic operating characters and road alignment factors in express highways, master's degree at University of Seoul.

Islam, M.N., and Seneviratne, P.N.(1994), "Evaluation of Design Consistency of Two-Lane Rural Highways," ITE Journal, February.

Kim, Dongsoo, Park, J., 1999. Causes of rutting and deformation, International Journal of Highway Engineering, Vol. 3. 332-339.

Kim, Jangook, et. al. 2009. Development of Predicting Models of the Operating Speed and Operating environment

Lamm,R. 와 2인 (1993a), "Safety Module for Highway Design," unpublished manuscript, Institute for Highway and Railroad Engineering, University of Karlsruhe, Germany.

Lee, Jong-hak, 2013. Evaluation of Horizontal Alignment Alternatives Based on Levels of the Greenhouse Gases, University of Seoul.

McLean, J.R.,(1978), "Speeds on Curves: Regression Analysis," International Report 2003, Australian Road Research Board, Melbourne, Australia.

McLean, J.R.,(1981), "Driver Speed Behaviour and Rural Road Alignment Design," Traffic Engineering&Control, Vol.22, Printerhall Limited, London, England, pp.208-211.

Park, Daehwan, 1996. Asphalt concrete and curing: Factors to

- consider. Page 29 in Proc. of 18th Conference of Korean Society of Road Engineers, Seoul, Korea.
- 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.
- R. A. Krammes et al(1995), "Horizontal Alignment Design Consistency for Rural Two-lane Highways, RD-94-034, FHWA.
- Satisfaction Model in Expressways, *International Journal of Korea society of Transportation*, Vol. 27, No. 2. 117-131.
- Smith, D.R., Taylor, W., 2000. *Speed and Accidents. Vol. I., Speed Observation and Management. 15th ed.* Korea Road & Transportation Association, Seoul, Korea.