

도로환경특성을 고려한 안전속도 산정에 관한 연구

Estimation Desirable Safety Speed based on Driving Condition on Rural Highways

김근혁	Kim, Keun Hyuk	서울시립대학교 교통공학과 석사과정 (E-mail : safety-lab@hanmail.net)
임준범	Lim, Joon Beom	서울시립대학교 교통공학과 박사과정 (E-mail : t-safety@hanmail.net)
이수범	Lee, Soo Beom	정회원 · 서울시립대학교 교통공학과 교수 (E-mail : mendota@uos.ac.kr)
강동수	Kang, Dong Soo	정회원 · 도로교통공단 안전기획처 처장 (E-mail : kangds@rota.or.kr)
홍지연	Hong, Ji Yeon	서울시립대학교 교통공학과 박사과정 (E-mail : cathy56@hanmail.net)

ABSTRACT

PURPOSES : The causes of traffic accidents can be classified into the factors of highway users, vehicles, and driving environments. Traffic accidents result from the deficiency in single or combination of these three factors. The objective of this study is to define the “potentially hazardous sections of highway” in terms of traffic safety considering these three factors.

METHODS : The test drivers performed repeated driving on these highway sections. The drivers and passengers recorded the sections on which the driving was uncomfortable, and the speeds on the sections excluding the uncomfortable sections were used for the development of the model.

RESULTS : The model is composed of three sub-models for each of the horizontal curve, tangent, and the section where the curve starts/ends. The safe driving behavior coefficients by the horizontal curvature were derived by comparing the maximum operating speeds at which the vehicle may slide or deviate and the speeds at which the drivers feel comfort. The safety speeds on tangent were derived by the length of tangent section considering the driver's desired speeds under the traffic condition on which the drivers hardly influenced by the other vehicles. For the sections where the curve starts/ends, the driving behaviors were classified by the distances between the curves, and the safe acceleration/deceleration speeds were derived on which the drivers enter/exit the curve sections safely.

CONCLUSIONS : Safety speed could then be regarded that the model suggested in this study may be useful to define the potentially hazardous highway section and contribute the improvement of highway safety.

Keywords

safety speed, road safety, driving conditions, safety assessment, safety driving

Main Author : Kim, Keun Hyuk, Master course
 Department of Transportation Engineering, University of Seoul-ro 163
 Dongdamun-gu, Seoul 130-743, Korea
 Tel : +82.2210.2670 Fax : +82.2210.2653
 E-mail : safety-lab@hanmail.net

International Journal of Highway Engineering
<http://www.ksre.or.kr/>
 ISSN 1738-7159 (Print)
 ISSN 2287-3678 (Online)

1. 서론

1.1. 연구 배경 및 목적

우리나라의 자동차 1만대 당 교통사고 사망자수는 2.8명으로 OECD 가입 32개국 중에서 30위에 해당하

며, OECD 평균 1.2명보다 2.3배나 높다. 이에 정부에서는 ‘교통사고 사상자 절반 줄이기’ 추진 등 교통사고 예방을 위해 다양한 교통안전 대책들을 추진하고 있으나 최근들어 교통사고 감소율은 크게 둔화되고 있는 실

정이다. 우리나라 교통문화 선진화와 교통사고의 획기적인 감소를 위해서 범 국가적인 관심과 보다 현실적이고 과학적인 교통안전 대책들이 강구될 필요가 있다.

교통사고의 원인은 도로이용자(인간), 자동차, 도로환경 등 크게 3가지 요소로 구분되며, 이들의 개별적인 문제나 2가지 이상이 조합된 문제로 인해서 교통사고는 발생하게 된다(Ogden, 1996). 그러므로 근본적으로 교통사고의 원인을 파악하고 대책을 강구하기 위해서는 위의 3가지 요소를 종합적으로 고려해야 좀 더 정확하고 신뢰할 수 있는 결과를 제시할 수 있다. 이에 본 논문에서는 교통사고의 원인이 되는 도로이용자, 자동차, 도로환경 등을 복합적으로 고려하여 교통사고 위험 잠재 구간을 보다 합리적으로 찾아내고자 한다.

현재 도로의 위험구간을 판단하는 기법은 사고자료 분석을 통해 판단하는 방법, Positive Guidance 기법 중 Hazard profile을 통해 판단하는 방법, 설계속도와 주행속도를 이용해 판단하는 방법 등이 있다. 사고자료 분석을 통한 방법은 1년간 동일 지점에서 일정건수 이상 발생했을 시 위험도로로 판단하지만 현재 운영 중인 도로에서만 판단이 가능하고 정확한 사고이력자료가 존재해야 하며 잠재적 위험구간에 대해서는 판단할 수 없는 한계점이 있다.

Hazard profile을 통해 판단하는 방법은 운영 중인 도로나 계획단계의 설계도면을 가지고 운전자에게 Hazard가 될 수 있는 항목들을 조사하여 위험구간을 판단하는 방법이다. 이 기법은 해외 교통선진국에서 널리 사용되고 있으며, 다양한 hazard를 고려한 기법이지만 기하구조나 운전자들의 주행특성(속도 등) 등을 반영할 수 없다는 한계가 있다.

Hazard Profile 기법의 한계로 국내·외에서는 도로 안전성 분석과 평가에 관한 다양한 방법론들이 연구되어져 왔다. 가장 대표적인 것이 주행속도를 이용한 선형 일관성, 주행일관성 평가 연구이다. 설계속도와 주행속도의 차이가 20km/h 이상이면 위험하고, 구간별 주행속도의 차이가 20km/h 이상이면 위험한 도로로 판단하는 기법이다(Lamm, 1999). Lamm이 제시한 도로의 안전성 평가를 위해서는 주행속도가 필요하기 때문에 도로 기하구조에 따른 주행속도 예측모형식이 선행되어야 한다. 현재 주행속도 예측 모형은 대부분 단순히 해당구간의 기하구조에 의해 결정이 되고 있지만 실제로는 운전자가 선택하게 되는 주행속도는 단순히 해당 구간의 기하구조에 의해 영향을 받는 것이 아니라 이전 구간과 해당 구간의 다양한 조건들에 영향을 받게 된다

(Polus, 1987). 실제 기상환경의 변화에 따라 노면의 조건이 변화하게 되면 운전자들이 선택하는 주행속도도 달라지는데 이를 반영하여 주행속도를 예측하는 연구는 미진한 상태이다. 그리고 주행속도에 따른 도로안전성 평가가 정확히 이루어지기 위해서는 주행속도 예측모형식이 정확해야하고 안전성 평가기준인 20km/h 이상의 속도차이의 근거도 외국의 사고건수 자료에서 2.0건/백만차량·km에서 나온 것이어서 우리나라 실정에 맞지 않는 한계점을 갖고 있다.

본 논문에서는 차량, 운전자 주행특성, 기상, 도로기하구조가 고려된 안전속도 모형을 개발하는 것이 목표이다. 안전속도는 설계속도와 제한속도와는 달리 해당 도로의 선형과 기하구조, 차량, 운전자 주행특성, 기상 등을 고려하여 쾌적함을 느끼며 주행할 수 있는 속도의 최대값이라고 할 수 있다. 안전속도는 다양한 요인이 고려된 해당도로의 주행속도의 기준값이라고 할 수 있으며, 이를 초과할 경우는 쾌적함을 느끼지 못하고 더 나아가 안전한 주행이 되지 못한다고 평가할 수 있다.

1.2. 연구의 내용 및 범위

본 연구의 목적은 도로기하구조, 차량, 기상·노면상태, 운전자 주행행태를 고려한 안전속도 모형을 개발하는 것이다. 이를 위해 본 연구에서 수행하는 연구의 내용은 Fig. 1과 같이 도로를 곡선구간, 직선구간, 곡선진출·입구간 3가지로 구분하여 각 구간별 안전속도 산출 모형을 개발하는 것이다. 각 구간별 안전속도를 산출하기 위해 반복적인 주행실험을 계획하고 있으며, 도로 각 구간별 분석방법과 안전속도 산출 방법이 동일하지 않다.

곡선구간의 경우 차량과 도로기하구조를 고려하여 곡선반경에 따라 미끄러지지 않고 이탈하지 않는 최대주행속도를 물리식을 이용하여 도출하고 주행실험을 통해서 다양한 곡선반경, 기상·노면상태에 따라 운전자가 안전함을 느끼는 안전주행행태 계수를 도출한다. 주행실험 중 설문조사를 통하여 곡선구간에서 불안감을 느끼는지에 대해 조사하고 이를 통해 물리식으로 도출한 최대 주행속도와 비교하게 된다. 결과적으로 곡선구간에서 운전자가 안전함을 느끼며 주행할 당시의 안전속도를 곡선반경, 기상·노면상태에 따라 각각 도출할 수 있게 된다. 설문조사는 주행 중 운전자와 동승자에게 과속, 감속, 쓸림에 대해 불안감을 느낀 구간을 체크하도록 하여 불안감을 느낀 구간에서는 다음 실험에서 속도를 낮춰 주행하도록 하였다.

Study goals	Study contents	Methodology
Curve section safety speed model	<ul style="list-style-type: none"> - Curve section's maximum speed considering the vehicle, road geometry - Safety driving behavior factor of curve radius according to driver's feeling - Safety driving behavior factor of weather, road surface condition according to driver's feeling 	<ul style="list-style-type: none"> - Review existing physical expression - Driving test in a variety of curve radius and weather, road surface condition
Tangent section safety speed model	<ul style="list-style-type: none"> - Safety speed according to the previous section's road geometry, length of tangent section - Desired speed according to weather, road surface condition 	<ul style="list-style-type: none"> - Desired speed research through driving experiments - Selected as the best model using regression analysis
Exiting, entering the curve section safety speed model	<ul style="list-style-type: none"> - Driving behavior according to distance from curve to curve - Safety acceleration, deceleration for exiting, entering curve section - Deceleration starting point according to driving speed for entering curve section 	<ul style="list-style-type: none"> - Safety acceleration calculating through driving experiments - Classification of same driving behavior according to section length

Fig. 1 The Contents of This Study

직선구간의 경우 직선구간의 안전속도는 직선구간의 도로기하구조에만 영향을 받아 결정되는 것이 아닌 이 선구간의 도로기하구조와 직선구간의 도로기하구조가 연관되어 결정될 것이라고 예측하고 직선구간의 안전속도를 결정하게 되는 요인을 분석하게 된다. 반복된 주행 실험을 통해 운전자가 쾌적하고 교통류에 영향을 받지 않는 상황에서 주행하고 싶은 희망속도를 산출하고 희망속도와 도로기하구조 요인들을 이용하여 회귀분석을 통해 최적모형을 산정하게 된다.

곡선 진출·입 구간은 곡선과 곡선사이의 거리에 따라 운전자들의 주행행태 변화를 살펴보고 동일한 주행행태를 갖게 되는 구간길이를 분류하게 된다. 그리고 곡선구간에 진출·입하기 위해 감·가속을 행하게 되는데 이때 운전자들이 불안감을 느끼지 않는 감·가속도를 분석하고 주행속도에 따라서 곡선구간에 진입하기 전에 감속을 시작하는 지점을 분석하다.

2. 선행연구고찰

2.1. 주행속도 추정 관련연구

최재성(1998)은 평면곡선에서는 운전자의 시각적 판단을 기초로 하는 최소시거로, 종단선형에서는 구배의 영향과 차량의 성능을 기초로 등판차량의 주행속도를 추정하였고, 승용차와 트럭으로 나누어 평면곡선과 종단곡선의 영향을 동시에 고려하는 주행속도 산출식을 국내에서는 최초로 개발하였다. 실제 주행속도 자료에 의해 도출되는 산정식이 아닌 기존의 최소시거 산정식 등을 이용하여 수학적으로 구축된 모형이다.

김용석 등(2005)은 지방부 왕복4차로 곡선도로 구간에서 95백분위 주행속도와 추정 설계속도를 상호 비교

한 결과, 추정 설계속도가 110km/h 이하인 조건에서는 주행속도가 추정 설계속도보다 높았으며, 추정 설계속도가 130km/h 이상인 조건에서는 반대의 현상이 나타났다. 또한, 동일구간에서 주행속도와 제한속도를 비교한 결과, 제한속도 80km/h 지점에서는 직선부의 85백분위 주행속도가 95~110km/h 사이로 나타났고, 제한속도 90km/h 지점에서는 105~120km/h 사이로 나타났다. 직선 접근부, 곡선부 중간지점에서 주행속도 예측 모형식에 의하면, 곡선부에서는 제한속도가 증가할수록 곡선부 평균주행속도, 85백분위 주행속도가 증가하며, 직선부에서는 제한속도가 증가하고 접근 직선의 연장길이 늘어질수록 평균, 85백분위, 95백분위 주행속도가 증가하는 것으로 나타났다.

Fitzpatrick 등(1999)은 평면선형만을 고려하여 주행속도를 예측한 기존모형의 한계를 극복하고자 도로의 복합선형을 크게 평면선형-종단경사구간, 평면선형-종단곡선구간, 평면직선-종단곡선구간으로 구분하여 속도예측식을 개발하였다. 48개 지점의 평면곡선-종단경사구간에 대한 주행속도를 조사하였고, 곡선반경의 역수, 편경사, 경사를 독립변수로 한 주행속도 예측모형식을 제시하였다. 곡선반경 0m에서 400m 사이의 85백분위 속도가 크게 증가하였으며, 곡선반경 400m 이상의 도로구간에서는 크게 증가하지 않는 것으로 나타났다.

2.2. 안전성 평가 관련연구

Lamm 등(1999)은 연속된 평면곡선들 사이 및 긴 직선과 평면곡선 사이의 CCR 차이와 V_{85} 와의 관계에 대해 연구를 실시하였다. 과거 많은 연구 결과 곡선의 정도(DC), 곡률변화율(CCR), 단일 원곡선에서의 곡률변화율(CCRs)이 주행속도에 영향을 주는 것으로 나타났

다. 이 중 고속도로에서 각각의 설계요소가 운전습관에 미치는 영향을 전적으로 고려하는 유일한 변수는 곡률 변화율로 도로설계자에게 설계 일관성에 대한 정확한 분석을 제공하므로 보다 더 안전한 도로를 설계하게 할 수 있다. CCRs에 따른 V_{85} 를 결정하였고 주행속도 결정에 있어서 DC와 CCR을 적용할 때보다 CCRs를 적용할 때 더 나은 결과가 나오게 주목했다.

한국건설기술연구원(2007)에서는 도로 안전성 분석을 위한 평가기준을 국내외 연구결과를 바탕으로 정의하고 이를 활용하기 위한 알고리즘과 평가시스템을 개발하였다. 연속 선형 안전성 평가를 위해 기존의 주행속도 지표와 함께 평면곡선부 진입가속도, 개별차량의 속도차, 개별차량의 평면곡선부 진입가속도(ΔV /거리)를 통합한 평가 지표를 개발하여 안전성 평가에 활용하도록 하였다. 주행속도 차이를 이용한 도로 안전성 평가 기준은 Lamm 등(1999)의 기준을 사용하였고, 이 방법은 한 지점에서의 차량 속도 자료의 85백분위 속도를 이용한 것으로 도로를 운행하는 운전자의 평균 주행특성을 나타내어 개별 운전자들의 주행행태를 충분히 설명하지 못한다고 판단되어 개별 차량의 속도변화를 이용한 도로 안전성 평가 방법을 제시하였다.

김용석 등(2007)은 국내 지방부 간선도로를 대상으로 주행속도 프로파일을 이용하여 설계속도와 주행속도간의 일관성 확보방안을 제시하였다. 또한, 곡선부의 주행속도 예측모형을 해당구간의 곡선반경만을 사용하였으며, 직선부의 희망속도는 주행속도 자료 중 최고치 값을 적용하고, 곡선 진출·입부의 가속도와 감속도를 동일하다고 가정함으로써 실제 운전자의 주행 행태를 반영하는 데에는 한계가 있었다. 그러나 도로의 안전성을 평가하는데 연속되는 도로구간의 주행속도 프로파일을 이용한 평가 시도는 상당한 의의가 있다고 볼 수 있다.

3. 분석자료 수집 및 구축

3.1. 실험장비

본 장비는 GPS 모듈, G-센서, Yaw-rate 센서를 탑재하여 현재위치, 속도, 시간, 회전 각속도(Yaw-rate), 횡방향 가속도, 종방향 가속도, 종방향 감속도 등을 알 수 있고, 추후 도로관리자 혹은 지자체에서 실차 실험 시 어떠한 차량에도 간편하게 탈부착이 가능하도록 소형화된 장비이다. 차량에 장착할 경우 차량의 충격 및 진동이 잘 감지 되도록 차체에 장착하게 되며 열 발생이 적은 위치에 장착하여야 한다. 메인 Electronic

Control Unit(ECU)의 경우 외부 충격이 최소화될 수 있는 위치, 배선을 고려한 장착·탈착이 용이한 위치를 선정하여야 한다.

Table 1. Measurement Item of Experiment Equipment

Key Features	Measurement Item
G-Sensor	The Lateral/Longitudinal Acceleration(unit : G)
Yaw Rate	Rotation Speed(unit : deg/sec)
GPS Module	Location of Vehicle(Latitude, Longitude), Time (unit : sec), Speed (unit : km/h)



Fig. 2 A Intelligent Driving Recording Device

3.2. 실험대상지

본 연구에서는 실험구간에 대해 피 실험자들의 쾌적하고 안전함을 느끼는 주행속도 자료를 취득하고 동일한 기상환경에서 실험하기 위해 인접한 왕복 4차로와 왕복 2차로 도로를 선정하였다. 실험을 진행하는데 있어 신호등과 횡단보도의 영향을 최소화 하고자 교차로와 교차로 사이의 구간을 지정하였다. Table 2는 실험 대상구간의 도로기하구조 특징으로 왕복 4차로의 경우 중앙분리대가 존재하며 곡선반경 300m에서 1040m, 종단경사의 경우 -3.4~4%까지 존재한다. 왕복 2차로의 경우 중앙분리대가 설치되어 있지 않고 곡선반경은 50~500m로 다양하게 분포하고 있으며 종단경사는 -6.8~7.9%까지 왕복 4차로에 비해 경사가 급하다.

Table 2. Characteristic of Experimental Road

	Four Lane Road	Two Lane Road
Median	O	X
Curve Radius	300~1040m	50~500m
Vertical Slope	-3.4~4%	-6.8~7.9%
Posted Speed	80km/h	60km/h
Traffic Control Facilities	Point of Impact is Minimized	
Section	National Road No. 1, 26, 37	Local Road No. 387, 741, 749

실험 당시의 기상·노면상태는 노면 습윤인 경우 비가 그치고 난 뒤 노면이 젖은 상태에서 실험을 진행하였으며, 비와 눈의 경우는 비와 눈이 내리고 있는 상황에서 진행하였다. 결빙인 상태는 눈이 온 다음날 눈이 노면에 얼어붙은 상태일 때 진행하였다. 실험 일자와 실험 당시의 기상상태는 다음과 같다.

Table 3. The Date and Weather, Road Surface Conditions

	Date	Weather Condition
Dry Road	2011.11.03.	Temperature: 20°
	2011.11.25.	Temperature: 3°
	2011.11.28.	Temperature: 13°
Wet	2011.11.27.	Temperature: 12° Precipitation: 3mm
	2011.11.17.	Temperature: 14° Precipitation: 2mm
	2012.03.04.	Temperature: 8° Precipitation: 4mm
Rain	2011.11.05.	Temperature: 18° Precipitation: 29mm
	2011.11.30.	Temperature: 8° Precipitation: 32mm
	2011.11.23.	Temperature: 4° Precipitation: 21.5mm
Snow	2012.01.31.	Temperature: -14° Snowfall: 7cm
	2012.01.04.	Temperature: -3° Snowfall: 4.5cm
	2012.02.09.	Temperature: -4° Snowfall: 4.8cm
Frost	2012.02.01.	Temperature: -19°
	2012.01.05.	Temperature: -6°
	2012.02.10.	Temperature: -5°

3.3. 피 실험자 구성

각 노선별 피 실험자들을 30~40명으로 구성하였다. 피 실험자 구성은 성별, 연령, 사고경험을 고려하여 시각 기능에 이상이 없는 25~39세 남성과 여성으로 구성하였다. 피 실험자들은 노면건조 상황에서의 안전주행실험과 각 기상·노면상태별 안전주행실험에 참여하였다.

Table 4. Experimenter Configuration

	Gender and the Number of Persons			Experienced Accidents
	Gender	Age Group	Number	
Four Lane Road (No. 1 National Road)	Male	25-29age	7	X
		30-39age	7	X
		40-49age	6	X
	Female	20-29age	3	X
		30-39age	5	X
		40-49age	2	X

Four Lane Road (No. 26 National Road)	35 Persons	Male	25-29age	6	X
			30-39age	10	X
			40-49age	4	X
	Female	20-29age	2	X	
		30-39age	5	X	
		40-49age	4	X	
Four Lane Road (No. 37 National Road)	33 Persons	Male	25-29age	5	X
			30-39age	10	X
			40-49age	8	X
	Female	20-29age	3	X	
		30-39age	4	X	
		40-49age	3	X	
Two Lane Road (No. 387 Local Road)	38 Persons	Male	25-29age	8	X
			30-39age	12	X
			40-49age	6	X
	Female	20-29age	4	X	
		30-39age	5	X	
		40-49age	3	X	
Two Lane Road (No. 741 Local Road)	35 Persons	Male	25-29age	7	X
			30-39age	9	X
			40-49age	7	X
	Female	20-29age	3	X	
		30-39age	5	X	
		40-49age	4	X	
Two Lane Road (No. 749 Local Road)	40 Persons	Male	25-29age	9	X
			30-39age	11	X
			40-49age	7	X
	Female	20-29age	4	X	
		30-39age	5	X	
		40-49age	4	X	

4. 안전속도 모형개발

4.1. 보편성 검증

본 연구는 피 실험자들의 실험을 통해 얻어진 주행자료를 바탕으로 진행되기 때문에 피 실험자들로부터 얻어진 자료가 실제 도로에서 주행하는 차량들을 대표할 수 있는 보편성 확보가 선행되어야 한다. 따라서 피 실험자들의 1회차 주행자료와 실제 주행차량의 주행자료를 비교·분석하여 통계적으로 차이가 없음을 보인다면 실험을 통해 얻어진 주행자료가 보편성을 나타낼 수 있다. 보편성을 확보하기 위한 실제 주행차량의 주행자료는 기존 실험대상지였던 국도 37호선의 6km구간을 1km단위의 6개 구간으로 구분하여 평균주행속도를 비교하였다. 6개 구간에 대하여 각각의 구간에서 총 60대 차량의 주행속도가 통계적으로 같은지를 검증하기 위하여 독립표본 t-test를 실시하였다. 독립표본 t-test 통계검정에 대한 가설은 다음과 같다.

*** 피 실험자와 실제주행차량의 평균주행속도 비교 ***

- 귀무가설(H_0): 피 실험자와 실제주행차량의 평균주행속도는 같다.
- 대립가설(H_1): 피 실험자와 실제주행차량의 평균주행속도는 같지 않다.

*** 곡선반경에 따른 쾌적하고 안전한 주행속도 검증가설 ***

- 귀무가설(H_0): 곡선반경별 쾌적하고 안전함을 느낀 주행속도는 정규분포를 따른다.
- 대립가설(H_1): 곡선반경별 쾌적하고 안전함을 느낀 주행속도는 정규분포를 따르지 않는다.

독립표본 t-test결과 Table 5와 같이 6개 구간 모두에 대해 유의확률이 0.05보다 크므로 귀무가설을 기각할 수 없다. 그러므로 통계적으로 30명의 피 실험자와 실제 주행차량의 평균주행속도는 같다고 할 수 있다. 이러한 결과는 피 실험자의 1회차 주행속도는 도로상의 주행하고 있는 일반적인 차량의 주행속도를 대표한다고 할 수 있다.

4.2. 곡선구간

곡선구간에 대해서는 곡선반경에 따른 안전주행행태 계수(R'), 기상·노면상태에 따른 안전주행행태 계수(W')를 산출하고 최종적으로 R' , W' 를 통해 곡선구간 안전속도를 산출하는 순서로 모형개발이 진행된다.

안전주행행태 계수를 산출하기에 앞서 곡선반경별 피 실험자들의 쾌적하고 안전함을 느낀 주행속도에 대한 정규성 검정이 선결되어야 한다. 이어서 물리적으로 미끄러지지 않고 이탈하지 않는 속도와 각각의 곡선반경별 쾌적하고 안전한 주행속도를 비교하여 곡선반경에 따른 안전주행행태 계수(R')를 도출하게 된다. 각각의 곡선반경에서 쾌적하고 안전함을 느꼈던 속도가 해당 곡선반경의 안전속도로 대표성을 갖는지 알아보기 위해 정규성 검정을 실시하였다. Kolmogorov-Smirnov (K-S)정규분포 검정 방법을 사용하였다. 정규성 여부를 확인하기 위해 설정한 가설은 다음과 같다.

K-S 검정 결과 왕복 4차로와 왕복 2차로의 모든 곡선구간에서 p값이 0.05 이상이 나왔으므로 95%신뢰수

준에서 귀무가설을 기각할 수 없음 보여준다. 따라서 모든 곡선반경에서 안전속도는 정규분포를 따른다고 할 수 있다.

Table 6. K-S Test Result of Curve Section Speed

Curve Radius(m)	Mean(km/h)	Standard Deviation	p-Value
300	66.0	2.17	0.678*
350	68.2	2.39	0.421*
360	69.1	2.39	0.421*
400	69.5	3.74	0.229*
420	72.2	4.30	0.769*
440	70.4	5.46	0.707*
450	72.2	5.16	0.681*
500	73.5	3.98	0.271*
530	69.6	8.17	0.141*
680	79.9	3.00	0.394*
700	80.0	4.47	0.370*
720	81.2	2.73	0.262*
780	81.1	2.69	0.417*
830	82.3	2.70	0.690*
960	88.3	5.68	0.826*
1005	90.8	5.20	0.998*
1040	90.3	5.19	0.998*
50	29.7	2.88	0.707*
60	32.1	2.96	0.679*
70	35.1	4.16	0.365*
79	32.5	3.12	0.804*

(표 계속)

Table 5. Independent Samples t-Test Results

Section	Assuming Equal Variance	Levene's Equal Variances Test		T-Test of the Identity of the Average				
		F	p-Value	t	Degree of Freedom	p-Value	Mean Difference	Standard Error
NO.1	O	.504	.481*	.470	58	.640*	.8514	1.81077
NO.2	O	1.048	.310*	.721	58	.474*	1.449	2.00834
NO.3	O	1.088	.301*	-1.904	58	.062*	-3.68	1.93151
NO.4	X			-1.92	50.86	.061*	-3.11	1.62189
NO.5	O	2.773	.101*	-.496	58	.622*	-.984	1.98333
NO.6	O	.381	.540*	.630	58	.531*	1.032	1.63849

* Significant at the 0.05 level

80	36.3	5.04	0.927*
90	39.7	3.72	0.929*
100	42.0	3.84	0.379*
115	45.0	3.93	0.521*
120	45.8	4.26	0.189*
145	50.5	4.18	0.910*
148	50.9	2.64	0.789*
150	48.4	5.09	0.923*
151	48.7	4.38	0.904*
165	50.1	4.38	0.997*
200	56.7	5.07	0.791*
250	56.6	5.17	0.853*
300	61.1	4.58	0.885*
350	60.1	3.40	0.793*
400	64.9	4.72	0.539*
500	68.5	4.59	0.914*

* Significant at the 0.05 level

정규성 검정 후에 곡선반경 별로 쾌적하고 안전한 주행속도를 결정하게 되고 이를 곡선구간에서 물리적으로 안전한 최대 속도(Glaser et., 2007)와 비교함으로써 곡선반경에 따른 안전주행태 계수(R')를 산출하게 된다. 도로의 환경이 다른 왕복 4차로도로와 2차로 도로는 구분하여 산출하였다.

Table 7. Calculated Factors Though Comparison of speeds(Four-Lane Road)

Curve Radius (m)	Physical Safety Speed (km/h)	Experimental Safety Speed (km/h)	Diving Behavior Safety Factor (R')
300	67.3	66.0	1.018
350	72.7	68.2	1.065
360	73.7	69.1	1.066
400	77.7	69.5	1.118
420	79.6	72.2	1.102
440	81.4	70.4	1.156
450	82.4	72.2	1.141
500	86.8	73.5	1.181
530	89.3	69.6	1.283
680	101.2	79.9	1.267
700	102.6	80.0	1.283
720	104.2	81.26	1.282
780	108.5	81.1	1.338
830	111.9	82.3	1.360
960	120.4	88.3	1.364
1005	123.1	90.4	1.361
1040	125.3	90.3	1.388

Table 8. Calculated Factors Though Comparison of Speeds (Two-Lane Road)

Curve Radius (m)	Physical Safety Speed (km/h)	Experimental Safety Speed (km/h)	Diving behavior Safety Factor (R')
50	29.7	29.7	1.000
60	32.5	32.1	1.012
70	35.1	35.1	1.000
79	37.3	32.5	1.148
80	37.6	36.3	1.036
90	39.9	39.7	1.005
100	42.0	42.0	1.000
115	45.1	45.0	1.002
120	46.0	45.8	1.004
145	50.6	50.5	1.002
148	51.1	50.9	1.004
150	51.5	48.4	1.064
151	51.6	48.7	1.060
165	54.0	50.1	1.078
200	59.4	56.7	1.048
250	66.4	56.6	1.173
300	72.8	61.1	1.191
350	82.6	60.1	1.374
400	84.0	64.9	1.294
500	93.9	68.5	1.371

실험 대상구간의 곡선반경이 매우 다양하므로 곡선반경에 따른 안전주행태 계수(R')를 간단히 하기 위하여 100m 단위로 범주화 하였다.

Table 9. Safety Driving Behavior Factors by Curve Radius(R')

Four Lane Road		Two Lane Road	
Curve Radius	R'	Curve Radius	R'
300~400m	1.049	0~100m	1.039
400~500m	1.128	100~200m	1.039
500~600m	1.198	200~300m	1.119
600~700m	1.268	300~400m	1.228
700~800m	1.286	400~500m	1.301
800~900m	1.361	500~600m	1.378
900~1000m	1.364		
1000~1250m	1.374		

기상·노면상태에 따른 안전주행태 계수(W')는 각각의 상태 별 쾌적하고 안전함을 느낀 주행속도를 도출하고 이를 노면건조 상황에서의 쾌적하고 안전함을 느낀 주행속도와 비교하여 도출한다. 그리고 이를 기

상·노면상태별 쾌적하고 안전함을 느낀 주행속도가 통계적으로 같은지 분석하기 위해 One-Way ANOVA 검증을 실시하였다. 통계검정에 대한 가설은 다음과 같다.

<p>* 기상·노면상태에 따른 쾌적하고 안전한 주행속도 검증가설 *</p> <ul style="list-style-type: none"> • 귀무가설(H_0): 각 기상·노면상태에 따른 쾌적하고 안전한 주행속도는 같다. • 대립가설(H_1): 각 기상·노면상태에 따른 쾌적하고 안전한 주행속도는 같지 않다.
--

통계검정 결과 각 기상환경별 평균 비교 값이 유의수준 0.05를 초과 한다면 95% 신뢰수준에서 이들의 수치는 기상·노면상태별 차이가 없는 것이고, 유의수준 0.05를 초과하지 않는다면 기상·노면상태별 차이가 있는 것으로 판단할 수 있다. 해당 검정에 대한 대립가설은 곡선구간에서 기상·노면상태에 따른 쾌적하고 안전함을 느끼는 속도가 차이가 있는지 알아보려고 설정하였다.

Table 10. One Way ANOVA Analysis Results (Four-Lane Road)

Weather, Road Surface Condition	Mean	Standard Deviation	Standard Error	F(df)	p-Value
Dry road	75.1	1.844	0.336	449	.000
Wet	69.8	3.192	0.582		
Rain	64.3	2.266	0.412		
Snow	50.0	1.998	0.364		
Frost	40.8	1.279	0.233		

Table 11. One Way ANOVA Analysis Results (Two-Lane Road)

Weather, Road Surface Condition	Mean	Standard Deviation	Standard Error	F(df)	p-Value
Dry road	49.7	2.368	0.432	449	0.000
Wet	47.6	2.412	0.440		
Rain	44.1	2.899	0.529		
Snow	31.9	1.708	0.311		
Frost	31.0	1.699	0.310		

통계적으로 각 기상·노면상태별 쾌적하고 안전함을 느낀 주행속도는 차이가 있는 것으로 나타났고 이를 토대로 왕복 4차로와 왕복 2차로에서 기상·노면상태별로 도출된 W' 는 다음과 같다.

Table 12. Safety Driving Behavior Factors by Weather, Road Surface Condition(W')

Four Lane Road		Two Lane Road	
Weather, Road Surface Condition	W'	Weather, Road Surface Condition	W'
Wet	1.076	Wet	1.044
Rain	1.168	Rain	1.127
Snow	1.502	Snow	1.558
Frost	1.840	Frost	1.603

기상·노면상태에 W' 계수는 기상·노면상태가 건조일 때 R' 계수를 산출한 동일 구간에서 실험하여 각각의 기상·노면상태에서 쾌적함과 안전함을 느낀 주행속도를 비교하여 도출하였다. 그렇기 때문에 W' 와 R' 계수는 서로 독립적이지 않고 상호 연관성을 갖고 있다. 다음 Fig. 3의 Eq. (1)은 곡선구간에서 차량이 미끄러지지 않고 이탈하지 않는 물리적으로 안전한 속도 산출식에 안전주행행태 계수(R' , W')을 적용시킨 곡선구간의 안전 속도 모형식이다.

4.3. 직선구간

희망속도는 긴 직선구간에서 자유교통류 상태일 때 도로선형에 구애받지 않고 운전자가 주행하고자 하는 속도이다. 운전자는 희망속도에 도달하게 되면 더 이상 가속을 하지 않게 되고 일정한 속도로 주행하게 된다. 그리고 도로구간의 기능을 고려하여 지향하는 희망속도는 기상·노면의 상태에 따라 다르게 나타나게 된다. 그리고 직선구간의 안전속도는 해당 직선구간의 도로기하구조, 이전곡선구간의 도로기하구조 특징, 주행속도에 영향을 받기 때문에 이들을 독립변수로 설정하여 모형식을 개발하였다.

직선구간의 경우 직선길이가 800m 이상일 경우 운전자들은 일정한 속도에 다다르게 되어 주행한다. 직선구간에서는 회귀분석을 통해 안전속도를 예측하였다. 회귀분석을 하기 위해 같은 도로기하구조 상에서 각 노선별 30명의 피 실험자들에 의해 수집된 쾌적하고 안전한 주행속도의 정규성 검정이 선행되어야 한다. 정규성 검정을 한 후 상관분석과 회귀분석을 거쳐 직선구간의 안전속도를 산출하게 된다.

다음은 실험을 통해 취득한 직선구간의 주행속도와 도로기하구조 자료의 일부분이다. 이 자료를 토대로 직선구간의 주행속도 역시 K-S검정을 하였으며 정규성 검정 가설은 다음과 같다.

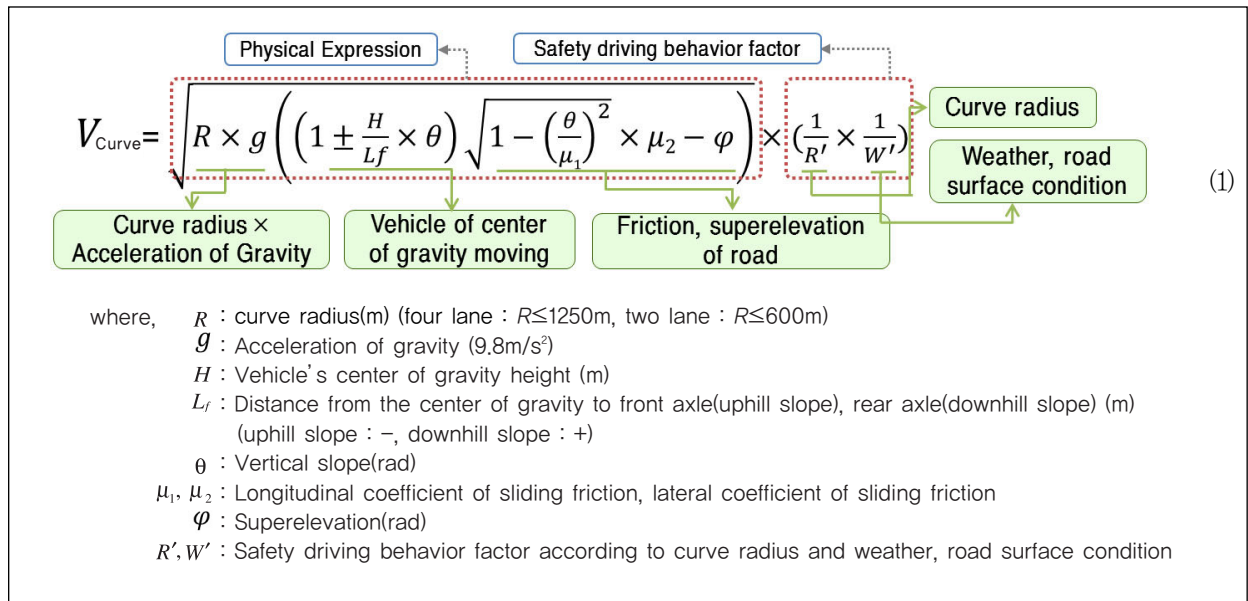


Fig. 3 Safety Speed Modes of Curve Section

*** 직선구간에서 쾌적하고 안전함을 느낀
주행속도 정규성 검정가설 ***

- 귀무가설(H_0): 동일한 직선구간에서 쾌적하고 안전함을 느낀 주행속도는 정규분포를 따른다.
- 대립가설(H_1): 동일한 직선구간에서 쾌적하고 안전함을 느낀 주행속도는 정규분포를 따르지 않는다.

K-S 검정 결과 왕복 4차로와 왕복 2차로의 모든 곡선구간에서 유의수준이 0.05 이상이 나왔으므로 95% 신뢰수준에서 귀무가설을 기각할 수 없다. 따라서 모든 곡선반경에서 안전속도는 정규분포를 따른다고 할 수 있다.

Table 13. K-S Results of Tangent Section Speed

Curve Radius(m)	Length of Tangent Section(m)	Mean (km/h)	Standard Deviation	p-Value
420	480	88.8	4.28	0.848*
420	500	89.2	5.47	0.684*
420	880	98.3	5.41	0.894*
500	400	87.4	5.67	0.574*
500	520	89.0	5.58	0.749*
500	660	90.6	4.43	0.333*
700	500	93.3	4.46	0.982*
720	640	96.5	2.02	0.832*
780	600	96.1	2.07	0.915*
830	520	96.5	4.45	0.376*
960	740	101.9	4.65	0.271*
1005	1580	109.9	3.20	0.620*

* Significant at the 0.05 level

종속변수(안전속도)와 독립변수들간의 밀접성을 나타낼 수 있는 상관분석을 실시하였다. 상관분석 결과 종속변수인 직선구간의 안전속도와 독립변수인 차로 폭, 길어깨 폭, 종단경사와는 상관관계가 없는 것으로 나타났다. 이전 구간의 곡선구간 안전속도, 곡선반경, 해당직선구간의 직선길이는 직선구간 안전속도와 상관관계가 있는 것으로 나타났다. 상관관계는 종속변수와 독립변수들 간의 선형의 관계가 있는 것을 나타내므로 이전 곡선구간 안전속도와 이전 곡선구간의 곡선반경, 그리고 해당 직선구간의 직선길이는 종속변수와 어느 정도 선형의 관계를 나타내는 것을 알 수 있다.

종속변수인 직선구간 주행속도와 상관성이 높은 독립변수 중 이전구간 주행속도와 이전구간 곡선반경간의 높은 상관성(상관계수 0.629)으로 독립변수간 다중공선성의 문제가 제기될 수 있으나, 본 논문에서는 직선구간의 회귀모형식을 이전 곡선구간의 진출속도를 초기값으로 하고, 직선구간 희망속도로 가속하는 형태를 취하고 있어 두 변수 모두 독립변수로 채택했다. 상관분석 결과에서 상관관계가 있는 것으로 나타난 3개의 독립변수는 종속변수와의 관계를 비선형의 관계로 나타낼 경우 더욱 정확한 회귀분석을 할 수 있을 것이란 판단을 내렸다. 그 이유는 종속변수와 상관관계가 있는 3개의 독립변수를 선형관계로 나타낼 경우 불안감을 느끼지 않는 희망속도(Desired speed)로 수렴하여 더 이상 가속을 하지 않는 형태를 표현할 수 없기 때문이다.

본 연구에서 나타내고자 하는 의미를 Verhulst(1838)의 기본식이 잘 나타낼 것이라고 판단하였고 직선구간

Table 14. Correlation Analysis Results

		Previous Section Driving Speed	Previous Section Curve Radius	Length of Tangent Section	Lane Width of Tangent Section	Road Shoulder Width of Tangent Section	Vertical Slope of Tangent Section	Tangent Section Driving Speed
Previous Section Driving Speed	Pearson Correlation Coefficient	1						
	p-Value							
Previous Section Curve Radius	Pearson Correlation Coefficient	.629**	1					
	p-Value	.000						
Length of Tangent Section	Pearson Correlation Coefficient	.169*	.166*	1				
	p-Value	.010	.011					
Lane Width of Tangent Section	Pearson Correlation Coefficient	-.253**	-.027	.293**	1			
	p-Value	.000	.683	.000				
Road Shoulder Width of Tangent Section	Pearson Correlation Coefficient	-.077	-.082	.227**	.246**	1		
	p-Value	.244	.215	.001	.000			
Vertical Slope of Tangent Section	Pearson Correlation Coefficient	.018	-.080	-.028	.324**	.049	1	
	p-Value	.789	.223	.677	.000	.457		
Tangent Section Driving Speed	Pearson Correlation Coefficient	.723**	.549**	.670**	.040	.105	-.096	1
	p-Value	.000	.000	.000	.544	.112	.145	

안전속도를 잘 표현하기 위해 본 연구에서는 독립변수를 이전구간 곡선반경, 해당구간 직선길이 두 개를 사용하였다. 직선구간 안전속도를 산출하는데 있어 이전구간 곡선반경을 포함시킨 이유는 이전구간 곡선반경이 작을 경우 곡선구간을 진출하여 운전자는 가속의 정도를 크게 하여 속도를 빨리 회복하려고 하고 곡선반경이 클 경우(주행속도가 높음) 가속의 정도가 낮아 속도를 회복하는 정도가 느리게 되는 것을 표현하기 위함이다. 그 결과 직선구간 안전속도 예측 모형식의 기본 형태는 다음 Eq. (2)와 같다.

$$V_T = V_C + \frac{(V_D - V_C)}{1 + b_1 \times \exp^{-\lambda L}} \quad (2)$$

여기서, V_C : 이전 곡선구간 안전속도(km/h)
 V_D : 희망속도 Desired speed(km/h)
 λ : $b_2 + b_3 \times R$
 L : 해당직선구간 직선길이(m)

모형은 크게 두 부분으로 나뉘게 된다. 첫 번째 부분은 V_C 로 이전곡선구간 안전속도이고, 두 번째 부분은 Verhulst의 식을 기반으로 한 희망속도와 이전구간 안

전속도와의 차이를 직선길이와 이전구간 곡선반경에 따라 얼마만큼 회복하느냐를 표현하는 부분이다. 결론적으로, 첫 번째 부분인 V_C 로 진출하여 두 번째 부분인 V_D 와 V_C 의 차이를 회복하는 정도를 더하여 직선구간의 안전속도가 정해지는 것이다.

직선구간의 안전속도는 V_D 를 초과할 수 없는 것이 개발한 모형의 특징이다. V_D 는 기상·노면상태에 따른 속도를 적용시키기 위해 주행속도 자료를 분석하고 W' 를 이용하여 각 기상·노면상태별로 도출하였다. 다음 Eq. (3)은 이러한 과정을 거쳐 도출된 비선형 회귀모형식이다.

$$V_T = V_C + \frac{V_D - V_C}{1 + 4.724 \times \exp^{-\lambda L}} \quad (3)$$

여기서, V_C : 이전 곡선구간 안전속도(km/h)
 V_D : 희망속도 Desired speed(km/h)
 λ : $0.003 + 2.239 \times 10^{-7} \times R$
 L : 해당직선구간 직선길이(m)
 $(R^2 = 0.628)$

V_D 의 경우 노면 건조인 경우 도로의 설계속도와 실제 주행속도자료를 고려하고자 왕복 4차로의 경우 100km/h, 왕복 2차로의 경우 70km/h를 사용하였으며,

기상·노면 조건별 주행행태계수를 이용하여 차로별, 기상·노면상태별 희망속도는 Table 15와 같다.

Table 15. V_0 According to the Weather and Road Surface Condition

	Dry Road	Wet	Rain	Snow	Frost
Four Lane Road	100	93	86	67	55
Two Lane Road	70	67	62	45	44

(unit: km/h)

최종적으로 결정된 모형을 살펴보면, 해당 직선구간의 직선길이가 길수록, 이전 곡선구간의 진출속도가 높을수록, 곡선반경이 클수록 V_0 에 빨리 도달하는 것으로 나타났다.

다음의 Fig. 4는 모형을 이용하여 이전 곡선구간 곡선반경, 해당 직선구간 직선길이에 따라 직선구간의 안전속도를 나타낸 것이다.

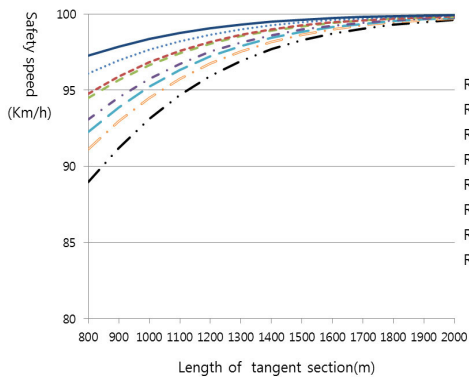


Fig. 4 V_0 According to the Length of Tangent Section

4.4. 곡선 진출·입 구간

곡선 진출·입 구간은 곡선구간-직선구간 또는 직선구간-곡선구간으로 연결되는 구간으로 가속과 감속의 주행행태가 주로 일어난다. 곡선구간을 진출하여 다음 곡선구간까지의 직선구간거리에 따라 운전자들의 주행행태가 변화될 것이라고 예측하였다. 첫째, 곡선구간을 진출하고 다음 곡선구간을 인지하여 곡선에 진입하기 위한 속도로 가속 또는 감속을 하게 된다(case 1). 둘째는 곡선구간을 진출하여 다음 곡선구간을 인지하기 전까지 가속을 하고 다음 곡선구간을 인지하게 되면 감속행태를 띄고 곡선구간에 진입하게 된다(case 2). 마지막으로 곡선-직선-곡선구간의 형태일 때 곡선구간을 진출하여 가속 후 직선구간의 안전속도에 도달한 후 다음 곡선을 인지하여 곡선구간에 진입하기 위해 감속의

행태를 띄게 된다(case 3). 곡선 진출·입 구간에서는 case 1, 2, 3과 같이 곡선과 곡선사이에 존재하는 직선의 길이에 따라 운전자들의 주행행태가 다르게 나타날 것이다. 그러므로 크게 세 가지 유형으로 구분하여 안전하게 다음 구간으로 진입할 수 있는 주행속도와 감·가속도, 그리고 감속시작지점을 도출한다.

곡선 진출·입 구간에서는 기상환경에 따라 각기 다른 안전속도를 산출하지는 않는다. 그 이유는 곡선구간과 직선구간에서 기상환경에 따른 안전속도가 산출이 되어 곡선 진출·입 구간에서는 이미 산출된 두 구간의 안전속도에 따라 안전속도가 산출되기 때문이다.

본 연구에서는 진출·입 구간에서 다음 곡선구간까지의 거리에 따라 주행행태가 변화되는 상황에 맞게 운전자들이 쾌적하고 안전하게 다음 구간에 진입할 수 있는 주행속도를 제시하며 주행 중인 속도에 따라 곡선구간에 진입하기 위한 감속시작 거리를 실험을 통해 도출하였다.

곡선구간을 안전하게 진출하고 진입하기 위한 안전속도는 곡선과 곡선구간사이의 직선길이에 따라 구분되는 것을 앞서 언급하였다. 주행자료를 분석한 결과 case 1의 경우 운전자들은 곡선과 곡선구간의 직선길이가 400m 미만일 경우 감·가속을 함께 행하는 것이 아닌 감속, 가속 중 하나의 행태를 나타내며 다음 곡선구간에 진입하게 된다.

case 2의 경우 곡선구간 사이의 거리가 400~800m 일 경우 운전자는 가속 후 곡선구간에 진입하기 위한 감속을 행하게 된다. 이것은 곡선구간 진출 후 다음 곡선구간이 존재하는 것을 가속 주행 중 인지하고 곡선구간에 진입하기 위해 감속을 행한 결과라고 판단된다. 이때 안전속도를 산출하기 위해 다음 곡선구간에 진입하기 위한 필요한 감속거리를 산출해야 한다. 이 감속거리를 산출하기 위하여 운전자들이 안전함을 느끼는 가속도와 감속도를 산출하고 이를 이용하여 가속거리를 도출함으로써 안전한 가속, 감속 거리를 도출할 수 있게 된다. 운전자들이 안전함을 느끼는 가·감속도는 곡선구간 진출·입 시 주행속도를 이용하여 산출하였다. 안전 가속도와 감속도를 산출하기 위해 사용되는 주행속도 자료는 운전자들이 어떠한 구간에서도 불안감을 느끼지 않았던 실험에서 최대값을 추출하였다. 감속도는 직선구간에서 곡선구간으로 진입하기 위하여 감속을 시작하는 지점부터 측정하였다. 가속도는 곡선구간을 진출하여 가속을 시작하는 지점부터 가속이 끝나는 지점까지의 가속도를 측정하였다. 주행실험을 통해 추출된 자료를 바탕으로

가·감속도를 산출하였으며, 산출 결과는 Table 16에 제시하였다.

Table 16. Safety Acceleration, Deceleration

Safety Acceleration	Safety Deceleration
0.45m/s ²	0.81m/s ²

산출된 안전 가속도와 감속도를 이용하여 곡선구간에 진입하기 위한 감속거리를 산출하기 위해 곡선 진출 후 가속거리를 먼저 도출한다. 가속거리는 X 로 표기하며 가속거리는 다음 Eq. (4)를 통해 도출할 수 있다. 이 식은 “도로선형 및 노면안정성 분석 모형 개발” (건설기술연구원, 2007)을 인용하였다.

$$X = \frac{(V_2/3.6)^2 - (V_1/3.6)^2 + 2 \times d \times L_r}{2 \times (a + d)} \quad (4)$$

여기서, X : 가속거리(m)

V_2 : 다음 곡선구간의 안전속도(km/h)

V_1 : 이전 곡선구간의 안전속도(km/h)

L_r : 직선구간의 길이(m)

a, d : 안전가속도(0.45m/s²),

안전감속도(0.81m/s²)

case 3의 경우 곡선구간 사이의 거리가 800m 이상일 경우 운전자는 곡선구간 진출 후 쾌적하고 안전함을 느끼는 주행속도까지 가속하게 된다. 그리고 불안감을 느끼지 않을 만큼의 주행속도에 다다르게 되면 일정한 직선구간의 주행속도로 주행하며 다음 곡선구간을 인지하게 되면 주행속도에 맞는 감속시작지점부터 곡선구간에 진입하기 위해 감속을 하게 된다.

다음은 곡선구간에 진입하기 위해 감속을 시작하는 지점을 도출하기 위해 통계분석을 실시하였다. 실험을 통해 얻어진 자료 중 case 2에서 분석한 안전감속도 0.81m/s² 이하의 감속도를 기록한 주행자료만 사용하였다. 분석은 취득한 주행속도, 주행거리를 바탕으로 진행방향 가·감속도를 산출하였으며, 직선구간에서 곡선구간으로 이어지는 도로기하구조에서 곡선구간 진입 전 진행방향 감속도가 발생하는 곳을 감속시작지점으로 판단하여 분석을 실시하였다.

Table 17. Deceleration, Deceleration Starting Point According to Driving Speed

Driving Speed (km/h)	Deceleration (m/s ²)	Starting Point of Deceleration (m)	Curve Radius (m)
93	-0.28	232	530
92	-0.56	208	530
91	-0.39	170	440
91	-0.28	221	300
90	-0.24	318	300
86	-0.31	114	200
86	-0.28	223	200
85	-0.27	219	150
84	-0.34	214	1005
82	-0.26	128	680
81	-0.55	65	680
80	-0.66	119	500
79	-0.55	103	500
77	-0.55	165	50
76	-0.44	126	200
75	-0.56	155	150

주행속도에 따른 감속시점을 알아보려고 주행 속도 10km/h 단위(100km/h~90km/h, 90km/h~80km/h, 80km/h~70km/h, 70km/h~60km/h, 60km/h~50km/h, 50km/h~40km/h)로 총 6개의 범주로 구분하여 각 주행 속도별 평균 감속시작위치가 통계적으로 다른 값을 나타내는지 One-way ANOVA를 실시하여 판별하였다. 통계검정에 대한 가설 설정은 다음과 같다.

*** 속도에 따른 범주 간 감속시작지점 검증가설 ***

- 귀무가설(H_0): 각 범주 간 주행속도에 따른 감속시작지점은 같다.
- 대립가설(H_1): 각 범주 간 주행속도에 따른 감속시작지점은 같지 않다.

만약 통계검정결과 각 범주 간 평균 비교 값이 유의수준 0.05를 초과 한다면 95% 신뢰수준에서 이들의 수치는 범주 간 차이가 없는 것이고, 유의수준 0.05를 초과하지 않는다면 범주 간 차이가 있는 것으로 판단할 수 있다.

Table 18의 분석결과를 보면 10km/h 단위 속도에 따른 곡선구간 진입 전 감속시작지점은 통계적으로 차이가 있는 것으로 나타났다. 각각의 범주에 대하여 감속시작지점에 대한 유의수준은 0.000의 수치를 나타냄으로써 “각 범주 간 속도에 따른 감속시작지점은 같다” 라는 귀무가설(H_0)을 기각한다. 따라서 각 속도 범주에 따

른 감속시작 거리의 평균값은 통계적으로 유의미하다는 결과를 도출할 수 있다.

Table 18. Deceleration Distance According to Driving Speed Range of One-Way ANOVA Results

Speed(km/h)	Mean	Standard Deviation	Degree of Freedom (df)	p-Value
40~50	44.71	13.981	142.65	.000
50~60	81.36	27.548		
60~70	105.09	33.281		
70~80	142.21	60.938		
80~90	170.65	76.948		
90~100	210.60	44.896		

아래의 Fig. 5는 곡선구간과 다음 곡선구간까지의 거리가 400m 이하일 경우 case 1, 400~800m일 경우 case 2, 800m 이상일 경우 case 3 이상 세 가지 유형으로 구분하여 도식화한 것이다.

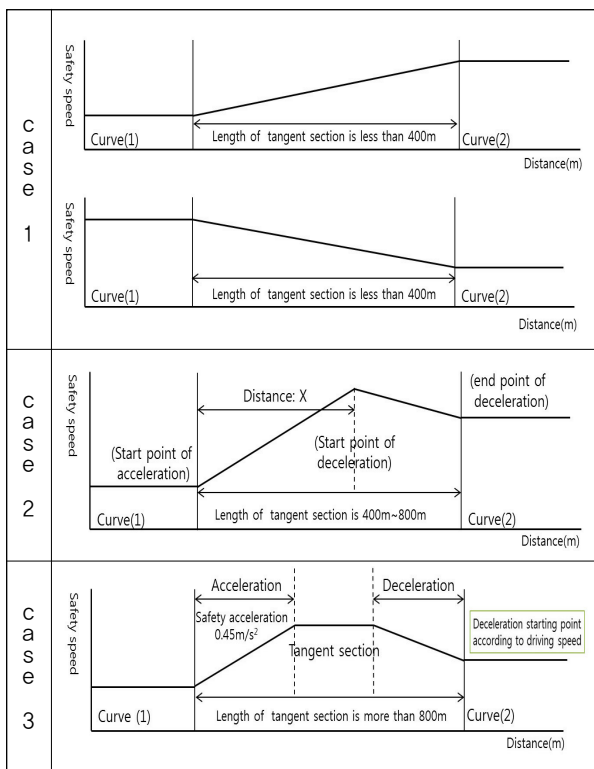


Fig. 5 Safety Speed Model of Enter/Exit Curve Section

5. 결론 및 향후연구과제

5.1. 결론

교통사고의 원인은 도로이용자, 자동차, 도로환경이 복합적으로 작용하여 일어나고 있기 때문에 교통사고의

위험이 잠재되어 있는 구간을 찾을 필요성이 있다. 위험 구간을 찾기 위해 기존의 안정성평가 방법들이 사용되어 왔다. 기존의 안정성평가 방법으로는 사고자료 분석, Hazard profile, 설계속도와 주행속도차이 등이 있다. 사고자료 분석 방법의 경우 일정규모 이상의 교통사고가 발생하는 곳을 위험한 도로로 판단하는 방법인데 이 방법은 잠재적 위험구간에 대해 판단할 수 없는 단점이 존재한다. Hazard profile의 경우 도로시설물, 도로환경, 기상환경 등을 운전자에게 Hazard가 될 수 있는 항목 등을 조사하여 위험구간을 판정하는 방법이지만 도로기하구조, 운전자들의 특성을 반영할 수 없다. 또한 Lamm이 제시한 설계속도와 주행속도의 차이, 구간별 주행속도의 차이가 20km/h 이상이면 위험한 도로로 판단하는 기법은 안전성평가를 위해 주행속도 예측이 선행되어야 한다. 하지만 기존의 주행속도 예측 모형은 곡선 구간에 많이 집중되어있고 직선구간의 경우 연구가 미진한 상태이다. 그리고 안정성 평가 기준의 경우 20km/h 이상의 속도차이는 외국의 사고건수 자료를 근거로 하여 우리나라 실정에 맞지 않는 한계점이 있다. 이러한 기존의 안정성평가 방법은 한계점을 갖고 있기 때문에 본 연구에서는 차량, 운전자 주행특성, 기상·노면상태, 도로기하구조가 복합적으로 고려된 안전속도 모형을 개발하고 교통사고에 대한 잠재적 위험구간을 판단할 수 있는 평가방안을 개발하는 것에 주안점을 두었다.

본 연구에서 개발된 안전속도 모형에 대한 연구결과는 다음과 같이 정리할 수 있다.

첫째, 기존의 곡선구간에 대한 주행속도 예측 모형을 검토한 결과, 곡선반경이 곡선구간의 주행속도에 미치는 영향이 지배적이라는 많은 연구 결과가 있었다. 본 연구에서는 곡선구간에 대한 안전속도 모형을 개발할 때 곡선구간에서 미끄러지지 않고 이탈하지 않는 물리적으로 안전한 최대속도와 운전자들이 쾌적함과 안전함을 느끼는 상태에서의 주행속도를 이용하여 곡선반경, 기상·노면상태에 따른 운전자주행행태 계수(R' , W')를 도출하였다. 곡선구간의 안전속도 모형은 도로기하구조, 차량을 고려한 물리적으로 안전한 속도와 운전자 측면을 고려한 두 계수를 이용하여 교통사고의 원인이 되는 세 가지 측면을 모두 고려하였다.

둘째, 직선구간의 경우 곡선구간을 진출하여 가속 후 안전하고 쾌적함을 느끼는 일정한 속도에 다다르게 된다. 일정한 속도는 직선길이가 길어질수록, 이전곡선 구간의 안전속도가 높을수록 희망속도에 근접하게 되는데 이러한 운전자의 주행행태를 반영하기 위해 인구성장곡선을 기반으로 한 비선형회귀분석을 통해 안전속도 모

형을 완성하였다.

첫째, 곡선 진출·입 구간은 곡선과 곡선구간 사이의 거리에 따라 case 1, 2, 3으로 구분하여 안전속도 산출 방법을 제시하였다. 곡선구간에 안전하게 진입하고, 진출하기 위하여 운전자들이 안전함을 느끼는 감속도, 가속도를 제시하였고 곡선구간에 진입하기 전 주행속도에 따른 감속시작 지점을 도출함으로써 실제 운전자들이 안전함과 쾌적함을 느끼는 주행행태를 반영하였다.

5.2. 향후연구과제

본 연구에서 부득이하게 가정한 부분, 자료 및 분석의 한계, 모형의 결과를 통한 향후 연구과제를 제시한다.

첫째, 본 연구에서는 곡선구간에서 주행속도 변화는 일어나지 않는다고 가정하고 연구를 수행하였다. 다시 말하면 곡선구간에서 곡선구간에 진입하여 곡선구간을 진출할 때까지 안전속도는 일정하다는 가정이다. 이는 구간 내에서의 속도변화는 고려하지 않고 하나의 안전속도를 예측하는 것이다. 곡선 진출·입 구간의 경우 20m 간격으로 안전속도를 예측하였지만 곡선구간의 경우는 하나의 안전속도를 예측하였다. 이는 하나의 곡선구간 내에서도 실제로는 주행속도 변화가 나타나지만 운전자마다 특성이 매우 다양하고 곡선구간의 길이에 따라 상이하게 나타나기 때문에 곡선구간 내에서의 주행속도 변화는 반영하지 못하였다. 향후에는 다수의 실험으로 곡선구간 내에서의 주행속도 변화 정보를 수집하여 주행속도 변화 행태에 대해 연구가 필요하다.

둘째, 본 연구에서는 피 실험자들이 반복된 주행실험과 설문조사를 통하여 불안감을 느낀 구간에 대해 정보를 수집하였다. 하지만 동일 구간 반복된 주행실험을 통하여 운전자들이 해당 도로구간의 선형에 적응하고 익숙함을 느껴 정확한 설문조사가 이루어지지 않은 부분도 있다고 판단된다. 그렇기 때문에 피 실험자들의 불안

감을 정성적으로 측정할 수 있는 불안뇌파 측정을 통해 운전자들의 불안감을 표현할 수 있다면 설문조사를 대체할 수 있는 방법이 될 것으로 판단된다.

감사의 글

이 논문은 국토해양부 교통체계효율화 사업의 연구비 지원(10교통체계-미래03)에 의해 수행되었습니다.

Reference

- Choi Jaisung, 1998, "Development of a Highway Geometric Design Consistency Evaluation Model", *Journal of Korean Society of Transportation*, v.16, n.4, pp.195~211
- Fitzpatrick, K., Eleferiado, L., Harwood, D. W., Collines J. M., 2000, Speed Prediction for Two-Lane Rural Highways, U.S. Department of transportation, Report FHWA-RD-99-171.
- Glaser, S., Nouveliere, L., Lusetti, B., 2007, "Speed Limitation Based on an Advanced Curve Warning System."
- Kim Yongseok, Cho Wonbum, 2005, "A Study of the Relationship Between Road Design, Operating and Posted Speeds", *Journal of Korean Society of Transportation*, v.23, n.7, pp.35~42
- Kim Yongseok, Cho Wonbum, Choi Jaisung, Kim Sangyoup, 2007, "Development of Speed Estimation Model for Road Design Consistency", *Proceedings of the Korean Society of Road Engineers conference*.
- Korea Institute of Construction Technology, 2007, "Road Alignment and Friction Analysis Model for Road Safety: RAFAM-RoS."
- Lamm, R., B. Psarianos, T. Mailaender, 1999, "Highway Design and Traffic Safety Engineering Handbook", McGraw-Hill Professional Publishing.
- Ogden, K.W., 1996, "Safer Roads: A Guide to Road Safety Engineering", Avebury Technical
- Polus, A., Doron, D., 1987, "Model for Evaluating the Consistency of Highway Alignment", *Transportation Research Record* No.1122, pp.47~56
- (접수일 : 2012. 7. 13 / 심사일 : 2012. 7. 15 / 심사완료일 : 2012. 7. 30)