

고속도로 주행속도 변화에 영향을 미치는 도로기하구조 특성분석 : 제한속도 상향전후 비교를 중심으로

Characteristics of Geometric Conditions Affecting Freeway Travel Speed : Focused on Speed Limit Change

홍 성 민 Hong, Sungmin

정회원 · Hokkaido University, Graduate School of Engineering, Ph.D. Student
(E-mail : sungminhong507@gmail.com)

오 철 Oh, Cheol

정회원 · 한양대학교 교통물류공학과 교수 · 교신저자 (E-mail : cheolo@hanyang.ac.kr)

ABSTRACT

PURPOSES : The purpose of this study is to identify the factors affecting the effectiveness of speed limit change that is defined as the amount of increased travel speed.

METHODS : A ordered logit model was adopted to analyze the relationship between the change in travel speed and contributing factors. A stretch of Kyungbu freeway was selected for the analysis because the Korea expressway corporation has raised speed limit from 100km/h to 110km/h since September 1st in 2010.

RESULTS : The results showed that geometric design elements, speeding cameras, and section length were identified as factors contributing the effectiveness. Contributing geometric design elements include the number of horizontal curves and vertical curves that do not meet the design requirement with 110km/h speed limit.

CONCLUSIONS : The outcome of this study will be used for establishing various traffic operations and control strategies for freeway speed management.

Keywords

speed limit change, travel speed, geometric conditions, ordered logit model

Corresponding Author : Oh, Cheol, Associate Professor
Dept. of Transportation and Logistics Engineering,
Hanyang University, 55 Hanyangdaehak-ro, Sangnok-gu, Ansan-si,
Gyeonggi-do, 426-791, Korea
Tel : +82.31.400.5158 Fax : +82.31.436.8147
E-mail : cheolo@hanyang.ac.kr

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

Received Dec. 5, 2012 Revised Dec. 20, 2012 Accepted Jul. 22, 2014

1. 서론

최근 국내에서는 속도규제완화 차원에서 자동차의 최고속도를 상향조정하려는 논의가 이루어지고 있다. 또한 자동차 성능의 향상, 도로기하구조 설계수준 향상, Intelligent Transportation Systems(ITS)기반 확보와 같은 교통환경변화로 고속도로 운전자의 주행여건이 크

게 개선되어 고속도로의 최고속도를 상향조정하는 것이 필요하다는 여론이 증가하고 있다. 이에 따라 법규에서는 2010년 7월 도로교통법 시행규칙이 개정됨에 따라 편도 1차로 고속도로의 최저속도가 40km/h에서 50km/h로 상향조정 되었다. 그리고 편도 2차로도로 이상의 고속도로에서도 경찰청장이 원활한 소통을 위하여 필요하다고

인정하는 노선 또는 구간에 대하여 기존의 110km/h에서 120km/h 이내로 상향조정이 가능하도록 하였다.

법의 개정과 여론에 따라 한국도로공사에서는 2010년 9월부터 고속도로 경부선 천안IC~양재IC 구간의 제한속도를 100km/h에서 110km/h로 상향조정하여 시범운영을 실시하였다. 한국도로공사에서는 시범운영에 대한 효과분석 연구결과를 보고서(한국도로공사, 2011)로 작성하였으며, 보고서에 제한속도 상향 후 속도, 속도편차 및 사고건수의 변화에 대하여 t-test를 실시함으로써 통계적으로 제한속도의 상향효과가 있음을 제시하였다. 또한, 제한속도 상향이 실제 도로이용자들의 주행행태를 반영하여 법규준수율을 증가시켰음을 제한속도 상향 전·후의 위반율 변화(상향 전 6.92%, 상향 후 5.51%) 비교를 통하여 제시하였다. 보고서의 주행속도 분석결과에 따르면 제한속도 상향 후(2010년 12월) 제한속도 시범운영구간의 주행속도는 서울방향이 99.7km/h에서 101.1km/h로 1.4km/h 증가하였으며 부산방향은 100.2km/h에서 102.9km/h로 2.7km/h 증가한 것으로 나타났다. IC/JC를 기준으로 구간을 나누어 분석하였을 때는 구간에 따라 부산방향은 -3.2~4.2km/h, 서울방향은 0.9~4.7km/h의 속도변화가 있는 것으로 나타나 구간별 주행속도변화량에 차이가 있는 것으로 나타났다. 이에 본 연구에서는 제한속도 상향 시 구간의 특성에 따라 주행속도변화량에 영향을 미치는 요인이 있을 것으로 판단하였다.

제한속도를 설정할 때에는 기하구조 요인들을 고려하여 운전자가 안전하게 주행할 수 있는 최대속도인 설계속도를 고려하여 설정한다. 이에 도로운영자가 제한속도를 상향 후, 높은 주행속도 상향효과를 얻기 위해서는 기하구조요인과 제한속도 상향에 따른 주행속도 변화량의 관계를 도출할 필요가 있다. 즉, 본 연구의 목적은 고속도로 제한속도 상향의 효과인 주행속도 변화량에 영향을 미치는 요인들을 파악하고, 각 요인들과 주행속도 변화량 간의 관계를 도출하는 것이다.

본 연구에서는 제한속도 상향 시, 주행속도 변화에 영향을 미치는 요인을 파악하기 위하여 제한속도 상향 시범운영구간인 고속도로 경부선의 천안IC~양재IC의 검지기자료(VDS, Vehicle Detection System)를 활용하였다. 제한속도 상향 시행시점인 2010년 9월을 기준으로 제한속도 상향 전·후를 구분하였으며, 제한속도 상향에 따른 주행속도 변화량 분석을 위하여 제한속도 상향으로부터 3개월의 적응기간이 지난 2009년과 2010년의 12월의 속도자료를 활용하였다. 분석결과 제한속도 상향에 따른 주행속도 변화량에 영향을 미치는 요인

은 정지시거 고려 곡선반경 설계기준 미흡지점수, 블록 종단곡선 변화비율 설계기준 미흡지점수, 구간장 등이었으며 과속단속카메라의 개수도 영향을 미치는 것으로 분석되었다.

본 연구의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 제한속도 상향에 따른 주행속도의 변화에 대한 기존문헌을 고찰하였으며 3장에서는 자료구축과정에 대하여 기술하였다. 4장에서는 제한속도 상향구간에 대한 주행속도 변화를 효과 없음, 약간 효과, 효과 있음 3그룹으로 나누고 주행속도 변화에 영향을 미치는 요소를 도출하여 주행속도 변화와의 관계를 제시하였다. 마지막으로 5장에서는 본 연구의 결론을 제시하였다.

2. 기존문헌 고찰

본 연구에서는 제한속도 상향과 주행속도와의 관계, 주행속도에 영향을 미치는 요인들에 대하여 국내외 연구를 고찰하였다.

2.1. 제한속도와 주행속도의 관계

이남수(2007)는 내부순환도로 북부구간의 80km/h에서 70km/h로 제한속도를 하향조정에 따른 평균통행속도의 변화를 분석하였다. 분석결과 주간시간대보다 야간시간대의 통행속도 감소효과가 큰 것으로 분석되었으며, 제한속도 하향 후 속도의 표준편차는 증가하는 것으로 분석되었다. 고종대 외(2002)는 국도 4차로의 1차로를 공간적 범위로 설정하고 진입부, 곡선도로, 진출부로 구분하여 주행속도를 조사하였다. 분석결과 곡선부에서 평균 53~65% 정도의 운전자들이 제한속도보다 평균 14~20km/h 높게 주행하는 것으로 분석되었다. 도로교통안전관리공단(1998)의 연구에서는 국도 2개구간에서 126명의 운전자를 대상으로 설문조사를 실시하였으며, 9개구간에서 현장조사를 실시하였다. 분석결과 우리나라 운전자들은 제한속도의 중요성을 인식하면서도 실제 주행환경에서는 도로의 조건 및 타인의 주행속도 등의 외부요인에 의하여 준수하기 힘들다고 응답하였다. 또한, 제한속도준수율이 30%에 미치지 못하여 위반율이 70% 이상인 것으로 분석되었다.

제한속도와 주행속도에 관한 해외연구 역시 활발히 진행되었다. Retting과 Greene(1997)는 65mi/h로 제한속도로 상향하였을 때 미국의 캘리포니아 강변로와 휴스턴의 시내고속도로를 대상으로 제한속도를 상향 전·후 70mi/h를 초과하는 차량대수를 비교하였다. 분석

결과, 캘리포니아에서는 29%에서 41%로 증가하였으며 휴스턴에서는 15%에서 50%로 증가하였음을 확인하여 제한속도의 상향조정이 실제 통행속도를 증가시킨다고 보고하였다. Paker(1992)는 미국 내 22개주 100개구간 단속교통류 도로들을 대상으로 제한속도변경에 대한 효과를 연구하였다. 분석결과, 제한속도를 20mi/h 정도 하향조정하거나 혹은 15mi/h 정도 상향조정하였을 때, 차량의 통행속도에 거의 영향을 미치지 않았으며 제한속도가 실제 주행속도에 미치는 영향이 크지 않음을 주장하였다. Freedman과 Esterlitz(1990)는 미국이 제한속도를 65mi/h로 상향조정 후, 그 해에 70mi/h를 초과하여 운행하는 차량수가 배로 증가하였으며, 속도가 계속해서 증가하여 평균속도가 3mi/h정도 높아졌다고 평가하였다. Garber와 Gadiraju(1989)는 공고된 제한속도에 관계없이 설계속도가 높은 도로에서 통행속도가 높았음을 발견하였으며, 차량들의 속도가 운전자가 판단하는 위험수준에 기인함을 공학적 자료로 뒷받침하였다.

기존연구에 따르면 제한속도를 변화하였을 때, 연구자 및 지역에 따라 실제 주행속도는 거의 영향을 받지 않거나 약간 변화하는 것으로 분석되었으며, 각 연구의 결과를 Table 1에 요약하여 나타내었다.

Table 1. Findings of Relevant Studies

Researcher	Speed limit change	Result of research
Brown et al(1990)	55 → 65mi/h	2.4mi/h increased
Mace and Heckard(1991)	55 → 65mi/h	3.5mi/h increased
Retting and Greene(1997)	55 → 65mi/h	The number of Vehicles more than 70mi/h increased
Freedman and Esterlitz(1990)	55 → 65mi/h	About 3.2~4.8km/h increased (Virginia, New Mexico)
		No effect (Marland)
Garber and Gadiraju(1989)	55 → 65mi/h	Travel speed is affected by design speed
Parker(1992)	-15~+20mi/h	No effect

2.2. 주행속도에 영향을 미치는 요인

김장욱 외(2009)는 주행속도 예측모형을 구축하기 위하여 7개 고속도로를 대상으로 주행속도에 영향을 미치는 요인을 크게 선형요소, 교통운영특성요소로 분류하였다. 또한, 평면직선, 평면곡선, 종단곡선 구간별로 주행속도에 영향을 미치는 요인을 대상으로 다중회귀를 이용하여 주행속도 예측모형을 구축하였다. 한국건설기

술연구원(2007)은 일반도로를 대상으로 도로의 기하구조, 교통운영요소, 차로수 등을 기준으로 유형을 분류하여 주행속도에 영향을 주는 요인을 다각도로 분석하였다. 분석결과 평면곡선반경, 종단곡선 변화비율, 평면선형과 종단선형의 조합, 제한속도 교통운영요소 등이 주행속도에 영향을 미치는 주요요소인 것으로 분석되었다. 이점호 외(2006)는 주행속도 예측모형 개발을 위하여 평면직선구간, 평면곡선구간, 종단곡선구간으로 구분하여 분석하였다. 분석결과 평면직선구간에서는 ±2% 이하의 종단경사에서는 주행속도에 미치는 영향이 미미하나 초과할 경우, 종단경사가 증가할수록 주행속도가 변하는 것으로 분석되었다. 또한 곡선반경과 종단경사에 따른 주행속도 역시 종단경사 ±2% 이하에서는 영향이 미미한 것으로 분석되었다. 김상엽 외(2005)는 우리나라 일반국도의 지형 및 지역요소가 주행속도에 미치는 영향을 분석하였다. 분석결과 지형 및 지역에 따라 주행속도의 차이는 존재하는 것으로 나타났으며 지방부 평지, 도시외곽, 도시, 마을, 지방부 산지 순으로 지방부 산지가 가장 낮은 주행속도를 나타냈다. 고종대 외(2002)는 국도 4차로의 평면 단곡선부의 1차로를 대상으로 분석을 하였다. 분석결과 곡선부 주행속도에 영향을 미치는 중요한 요소로 곡선반경과 직선부 85percentile 속도라는 연구결과가 도출되었다. 이종필 외(2002)는 지방부 2차로 도로의 평면곡선부의 85percentile 주행속도 예측모형을 인공지능경망 이론을 적용하여 개발하였다. 분석결과 곡선반경이 상관관계가 가장 높게 분석되었으며, 다음으로 곡선의 길이, 교차각, 시거 순이고 차로 폭과 차선은 상관관계가 낮은 것으로 분석되었다.

Gibreel et al.(2001)은 평면곡선-오목종단곡선, 평면곡선-볼록종단곡선을 대상으로 주행속도를 분석하였다. 이때 고려된 기하구조요소는 평면곡선반경, 평면곡선교각, 편경사, 원화곡선장, 종단곡선장, 종단경사 차, 평면과 종단곡선 변곡점 거리, 차로폭, 길어깨 폭이다. 또한 속도조사는 곡선전방, 곡선시점, 평면곡선 중앙, 곡선중점, 곡선후방에서 이루어졌으며 각 조사 위치별 속도예측식을 개발하였다. Fitzpatrick et al.(2000)의 연구는 2차로도로를 대상으로 하여 크게 경사가 0~4%인 평면곡선구간, 오목곡선-평면선형구간, 볼록곡선-평면선형구간으로 나누어 주행속도 예측모형을 구축하였다. 주행속도 예측모형에 반영된 독립변수는 곡률도, 편향각, 곡선반경, 종단곡선길이, 경사, 종단곡선변화율을 이용하였다. Lamm et al.(1993)은 제한속도가 100km/h인 도로를 대상으로 속도예측모형식을 개발하

였다. 곡률변화율과 85percentile 속도의 관계를 통하여 주행속도를 예측하여 편경사율, 정지시거와 같은 선형설계요소 결정 시, 주행속도를 설계속도 대신 이용하였다. J. R. McLean(1979)은 호주의 지방부 2차로도로의 평면곡선에 대하여 연구하였다. 연구결과 설계속도가 90km/h 이하일 때 85percentile 주행속도는 설계속도보다 높으며 설계속도가 100km/h 이상일 때는 85percentile 주행속도가 설계속도보다 낮다는 결론을 도출하였다.

기존문헌 고찰결과, 주행속도에 영향을 미치는 주요 요인은 도로의 기하구조로 나타났다. 그러나 기존의 모든 연구들은 제한속도의 변화가 없는 상황에서의 주행속도에 영향을 미치는 요인들에 대한 분석으로 나타났으며 제한속도의 변화에 따른 주행속도 변화량에 영향을 미치는 요인에 대한 분석은 진행되지 않았다. 이에 본 연구에서는 고속도로의 제한속도가 상향되었을 때 주행속도의 변화량에 영향을 미치는 요소들을 도출하였다.

3. 자료구축

본 연구에서는 고속도로의 제한속도 변화에 따른 주행속도 변화량을 분석하기 위하여 천안IC~양재IC 구간의 5분단위의 VDS자료를 활용하였으며, IC 및 JC를 기준으로 7개 구간으로 분류하여 분석하였다. 분석기간은 제한속도 상향의 적응기간을 3개월로 가정하고, 제한속도 상향시행 3개월 후인 12월로 설정하였다. 그리고 제한속도 상향 외에 주행속도에 영향을 미치는 요인을 최소화하기 위하여 분석기간(2010년 12월)과 동일한 시간대인 상향 전 12월(2009년 12월)의 각 1개월의 1시간 단위 주행속도 차를 주행속도변화량으로 정의하고 종속변수로 설정하였다. 또한, 제한속도와 상관없이 다른 차량들과의 상호작용으로 속도선택의 자유도가 떨어지는 상황은 본 연구의 목적과 맞지 않는 것으로 판단되어 이상치로서 제거하였다. 여기서 자유도가 떨어지는 상황은 '다른 차량과의 상호작용으로 인하여 통행에 상당히 영향을 받기 시작(도로용량편람, 2013)하는 서비스수준 C 이하로 설정하였다. 주행속도는 분석구간을 Table 2와 같이 IC 및 JC를 기준으로 7개 구간으로 구분하여 해당구간에 설치된 검지기들의 1시간 단위의 평균속도를 활용하였다.

분석구간 중 휴게소 및 유·출입지점에서는 저속교통류의 합류로 제한속도를 상향과 무관하게 차량들이 자

유롭게 주행하지 못할 것으로 판단하여 해당지점에 설치된 검지기는 분석에서 제외하였다. 또한 기상의 영향을 받을 것으로 예상되는 강설일, 도로상황에 익숙치 않은 운전자들이 존재할 것으로 판단되는 주말, 공휴일과 같은 날짜 역시 차량들이 자유롭게 주행하지 못할 것으로 판단하여 분석에서 제외하였으며 이상치 제거를 통하여 총 2,535개의 표본을 수집하였다.

Table 2. Characteristics of Study Area

	AADT (veh/day)	Number of lanes	Length between IC/JC (km)
Yangjae IC -Pangyo JC	163,716	8	8.0
Suwon IC -Gihueong IC	169,760	8	5.2
Gihueong IC -Dongtan JC	153,613	8	5.1
Dongtan JC -Osan IC	149,558	8	3.9
Osan IC -Anseong JC	134,152	8	13.3
Anseong JC -Anseong IC	134,771	8	4.8
Anseong IC -Cheonan IC	135,105	8	20.0

주행속도 변화에 영향을 줄 것으로 예상되는 요인으로 13개의 변수를 Table 3과 같이 독립변수로 설정하였다. 독립변수인 기하구조 변수들은 제한속도가 100km/h에서 110km/h로 상향 후, 설계기준의 변화에 따라 기준에 맞지 않게 된 요소의 개수를 의미한다. 정지시거 고려 곡선반경은 주행 중인 운전자가 곡선부에서 장애물을 발견하고 안전하게 정지할 수 있는 거리이며, 완곡선 생략가능 곡선반경은 원곡선의 곡선반경이 충분히 클 경우 원곡선과 직선사이에서 설치되는 완곡선이 생략가능한 원곡선의 개수이다. 또한, 종단곡선 최소길이는 주행 중인 차량이 종단곡선에서 장애물을 발견하고 정지하기 위한 최소거리이며, 볼록 및 오목종단곡선 변화비율은 차량의 정지시거 및 운동량의 변화로 인한 충격완화를 위한 최소종단곡선 변화율을 의미한다. 그리고 최대종단경사는 교통용량 감소 및 안전성을 저하시키지 않는 최대종단경사를 의미한다. 본선 볼록 및 오목종단곡선 변화비율(유·출입시설)은 볼록 및 오목종단곡선 변화비율과 같으나 유·출입시설에서의 비율을 의미한다. 구간장은 연속형 변수로 설정하였으며, 과속단속카메라의 개수는 분석구간 내의 개수로서 이산

형 변수로 설정하였다. 나머지 변수들은 개수가 2개 이상의 경우가 거의 없는 것으로 나타나 명목형 변수로 구간 내 0개 존재할 때는 1로, 1개는 2로, 2개 이상은 3으로 설정하였다.

제한속도를 110km/h로 설정한 후, 설계기준 부합여부를 판정하는 보다 구체적인 방법은 한국도로공사(2011)에 제시되어 있다.

Table 3. Variables Descriptions

Variable	Description
Radius of horizontal curve considering stopping sight distance (X ₁)	Number of substandard design elements: 1: none 2: 1 3: 2 or more
Radius of horizontal curve that transition curve can be omitted (X ₂)	
Minimum length of vertical curve (X ₃)	
Change rate of crest vertical curve (X ₄)	
Change rate of sag vertical curve (X ₅)	
Permissible maximum grade (at ramp) (X ₆)	
Change rate of crest vertical curve on main line (X ₇)	
Change rate of sag vertical curve on main line (X ₈)	
Number of speed cameras (X ₉)	Counts
Length of section (X ₁₀)	km

4. 분석

본 연구를 수행하기 위하여 Fig. 1에 연구 흐름도를 제시하였다. 본 연구는 3단계로 구성되어 있으며, 1단계는 분석을 위한 종속 및 독립변수 자료구축 단계이다.

고속도로 제한속도 상향 시 주행속도 변화를 분석하기 위하여 주행속도를 효과 있음, 효과미비, 효과 없음의 순서형으로 종속변수를 설정하고 Table 3의 요인들을

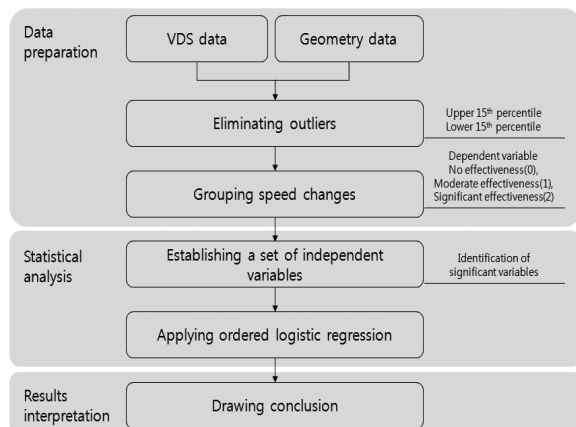


Fig. 1 Procedure for Analysis

독립변수로 설정하였다. 2단계에서는 1단계에서 설정된 자료를 활용하여 순서형 로지스틱분석을 실시하였다. 순서형 로지스틱분석은 종속변수가 위계를 가지지 않으며, 효과 없음(0), 효과미비(1), 효과 있음(2)과 같은 순서화된 형태의 자료를 처리할 때 활용하는 분석이다. 마지막으로 3단계에서는 본 연구의 결론을 제시하였다.

4.1. 주행속도 변화의 이상치 제거 및 순서화

VDS로부터 추출된 주행속도 변화(시행 후-시행 전)를 순서형 로지스틱으로 분석하기 위하여 종속변수인 주행속도 변화를 순서화하는 과정이 필요하다. 순서화란 어떤 값들 간의 관계 비교에 의미를 부여하는 것으로 필요한 순서를 명백하게 지정하는 것을 말한다. 본 연구에서는 종속변수의 순서화에 앞서 이상치 제거를 위하여 수집된 자료 중 제한속도 상향 전과 상향 후의 주행속도 변화량이 매우 큰 데이터를 검지기 이상으로 판단하였다. 이상치 판단기준은 속도변화량의 하위 15percentile 이하 및 상위 15percentile 이상의 값으로 설정하였다. 85percentile 이상의 값은 제한속도 상향효과가 과도하게 나오는 구간으로 검지기의 이상 또는 제한속도 상향 전 공사 또는 사고발생과 같은 이벤트가 발생한 것으로 판단되어 분석에서 제외하였다. 또한, 15percentile 이하의 값은 기하구조의 변화 없이 제한속도만을 상향했음에도 주행속도가 현저히 떨어지는 구간으로 과도한 상향효과가 나타난 구간과 같이 제한속도 상향 후, 교통사고, 공사와 같은 이벤트가 발생한 것으로 판단되어 분석에서 제외하였다.

종속변수인 제한속도 상향효과를 효과 없음, 효과미비, 효과 있음의 3단계로 순서화하여 Table 4에 기술통계량을 제시하였다. 효과 없음(종속변수 '0')은 주행속도 변화량의 0~33percentile 값으로 -2.3km/h~0km/h 속도 변화, 효과미비(종속변수 '1')는 주행속도 변화량의

Table 4. Descriptive Statistics of Dependent Variables

	Level of Effectiveness			Total
	No	Moderate	Significant	
Number of samples	860	817	858	2,535
Mean	-1.1	1.4	6.1	2.2
Standard deviation	0.7	0.8	3.2	3.6
Median	-1.0	1.3	5.3	1.3
Min.	-2.3	0.1	3.0	-2.3
15%	-1.9	0.3	3.6	-1.2
85%	-0.3	2.3	8.9	5.7
Max.	0.0	2.9	24.0	24.0

33~66 percentile 값으로 0km/h~2.9km/h의 속도변화, 효과 있음(종속변수 '2')은 주행속도 변화량의 66~100 percentile로 2.9km/h~24km/h의 속도변화로 정의하고 분석을 실시하였다.

4.2. 순서형 로지스틱 분석

본 연구에서는 고속도로 제한속도 상향에 따른 주행속도 변화요인의 분석을 위하여 순서형 로지스틱회귀분석과 다중선형회귀분석을 비교한 결과, 순서형 로지스틱의 설명력이 약 77%, 다중선형회귀분석의 설명력이 약 62%로 나타나 로지스틱 회귀분석의 방법을 채택하였다.

4.2.1. 순서형 로지스틱 모형

순서형 로지스틱 모형이란 순서형 변수를 종속변수로 사용하는 분석방법으로 응답자의 의견으로 불만족, 보통, 만족과 같은 변수를 순서형 변수라 한다.

종속변수가 취할 수 있는 결과가 3개 이상 일 때 순서형 로지스틱모형은 누적확률에 대한 승비(Odds ratio)로 해석한다. 독립변수 수준 x 에서 종속변수 순위가 특정 순위 m 이하일 확률은 Eq. (1)과 같다.

$$P(Y \leq m|x) = \sum_{j=1}^m P(Y=j|x) \quad (1)$$

($m = 1, 2, \dots, g-1$)

여기서, $P(Y \leq m|x)$: 독립변수 수준 x 에서
종속변수 순위가 m 이하일 확률

이때 독립변수들의 수준 x 에서 종속변수 순위가 m 보다 클 경우와 비교하여 순위가 m 이하가 될 승산(Odds)은 Eq. (2)와 같이 정의된다.

$$\begin{aligned} \Omega_m(x) &= \frac{P(Y \leq m|x)}{1 - P(Y \leq m|x)} = \frac{P(Y \leq m|x)}{P(Y > m|x)} \\ &= \exp(\alpha_m + x'\beta) \\ &= \exp(\alpha_m + \beta_1 X_1 + \dots + \beta_j X_j + \dots + \beta_k X_k) \end{aligned} \quad (2)$$

($m = 1, 2, \dots, g-1$)

여기서, $\Omega_m(x)$: 독립변수 수준 x 에서 종속변수
순위가 m 이하가 될 승산(Odds)

α_1 : 상수

β_1 : 회귀계수

Eq. (2)로부터 종속변수 결과가 어떤 순위 m 이하가 될 누적확률을 유도하면 Eq. (3)과 같은 누적확률을 유도할 수 있다.

$$P(Y \leq m|x) = \frac{\exp(\alpha_m + x'\beta)}{1 + \exp(\alpha_m + x'\beta)} \quad (3)$$

또한, 종속변수의 결과가 세 가지 순위로 측정될 때 종속변수가 특정한 순위를 취할 확률은 Eq. (3)을 이용하여 Eq. (4)와 같이 구할 수 있다. 여기서 마지막 순위에 대한 확률은 다시 계산하지 않아도 자동적으로 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} P(Y=1|x) &= \frac{\exp(\alpha_1 + x'\beta)}{1 + \exp(\alpha_1 + x'\beta)} \\ P(Y=2|x) &= \frac{\exp(\alpha_2 + x'\beta)}{1 + \exp(\alpha_2 + x'\beta)} - \frac{\exp(\alpha_1 + x'\beta)}{1 + \exp(\alpha_1 + x'\beta)} \end{aligned} \quad (4)$$

$$P(Y=3|x) = 1 - P(Y=1|x) - P(Y=2|x)$$

4.2.2. 분석결과

순서형 로지스틱 결과, 각 독립변수들 중 유의하지 않는 변수와 이론적으로 상관관계가 맞지 않는 변수를 제거한 후 최종모형에서 정지시거를 고려한 곡선반경(X_1), 볼록종단곡선 변화비율(X_4), 과속단속카메라 개수(X_9), 구간장(X_{10})의 변수들이 채택되었다. 채택된 독립변수와 주행속도 변화정도를 이용하여 순서형 로지스틱을 분석한 결과, $-2\log \rho^2$ 의 변화량에 대한 χ^2 검정은 유의확률이 0.000으로 0.05보다 작으므로 모형에 적합하지 않다는 귀무가설을 기각하여 최종모형은 통계적으로 유의한 모형으로 분석되었다. 분석결과를 Table 5에 제

Table 5. Modeling Results

	p-value	Pseudo R ²			
	0.000	0.768			
	Beta	Standard error	Wald	PAR p-value	
No effectiveness (0)	1.963	0.334	34.619	0.000	
Moderate effectiveness (1)	6.024	0.369	265.974	0.000	
Variable	radius of horizontal curve considering stopping sight distance (X_1)	-0.623	0.113	30.398	0.000
	change rate of crest vertical curve (X_4)	-0.656	0.113	33.511	0.000
	Number of speed cameras (X_9)	-0.283	0.087	10.612	0.001
	Length of section (X_{10})	0.445	0.014	1054.174	0.000

Table 6. Results of Ordered Logistic Model

Results of Ordered Logistic Model	
$P(Y_0 X)$ = Probability of 'No effectiveness'	$P(Y_0 X) = \frac{e^{(1.963 + 0.623X_1 + 0.656X_4 + 0.283X_9 - 0.445X_{10})}}{1 + e^{(1.963 + 0.623X_1 + 0.656X_4 + 0.283X_9 - 0.445X_{10})}}$
$P(Y_1 X)$ = Probability of 'moderate effectiveness'	$P(Y_1 X) = \frac{e^{(6.024 + 0.623X_1 + 0.656X_4 + 0.283X_9 - 0.445X_{10})}}{1 + e^{(6.024 + 0.623X_1 + 0.656X_4 + 0.283X_9 - 0.445X_{10})}} - \frac{e^{(1.963 + 0.623X_1 + 0.656X_4 + 0.283X_9 - 0.445X_{10})}}{1 + e^{(1.963 + 0.623X_1 + 0.656X_4 + 0.283X_9 - 0.445X_{10})}}$
$P(Y_2 X)$ = Probability of 'significant effectiveness'	$P(Y_2 X) = 1 - P(Y_0 X) - P(Y_1 X)$

시하였으며, Pseudo R²의 값은 0.768로 약 77%의 설명력을 가지는 것으로 나타났다. Pseudo R²는 선형회귀분석의 R²와 비슷하나 완벽한 설명은 할 수 없어 의사(pseudo) 설명력이라 한다. 또한 주행속도 상향에 따른 차량의 주행속도에 유의한 영향을 주는 것으로 나타난 변수들의 상관관계에 의하여 기대되는 주행속도 상향효과를 효과 없음(0), 효과미비(1), 효과 있음(2)으로 구분하여 각 효과정도에 속할 확률을 Table 6에 제시하였다.

도출된 모형의 Wald값은 해당변수의 영향력을 나타내며 구간장(X₁₀)이 Wald값 1054.174로 주행속도 상향 효과에 영향을 가장 크게 미치는 요인으로 나타났다. 이는 IC/JC의 거리가 멀어질 경우 본선에 합류하는 유·출입로의 저속교통류가 없으므로 구간장이 길어질수록, 그리고 유·출입시설이 적을수록 주행속도 상향효과가 높은 것으로 판단된다. 다음으로 볼록종단곡선 변화비율(X₄), 정지시거 고려 곡선반경 미흡(X₁)이 Wald값 33.511, 30.398 순으로 주행속도 상향효과에 영향을 미치는 것으로 분석되었다. 볼록종단곡선 변화비율(X₄)의 경우 다른 변수인 정지시거 고려 곡선반경(X₁)과 같이 정지시거와 관련된 변수로서 운전자들이 전방상황인지의 어려움으로 제한속도를 상향하여도 충분한 속도로 주행하지 못한 것으로 판단된다. 특히, 볼록종단곡선의 경우 오르막에서 차량의 성능에 따라 속도가 다르므로 정지시거 고려 곡선반경보다 큰 영향을 미친 것으로 판단된다. 마지막으로 과속단속카메라의 개수(X₁₀)가 증가할수록 차량들이 단속카메라로 인하여 자유롭게 주행하는데 방해가 받아 음의 상관관계를 가지는 것으로 판단된다.

5. 결론

기존의 연구에서는 주로 제한속도 상향 또는 하향 조정 후, 속도의 변화에 대한 분석 및 주행속도에 영향을 미치는 요인분석 등이 이루어졌으나 제한속도를 상향조정 후, 기하구조 조건에 따라 주행속도 상향에 영향을 미치는 정도에 대한 연구는 없는 것으로 나타났다. 이에 본 연구에서는 제한속도 상향 시범운영기간인 고속도로 경부선 천안IC~양재IC 구간을 대상으로 제한속도 상향에 따른 주행속도 변화량에 영향을 미치는 기하구조요인들을 도출하였다. 본 연구는 순서형 로지스틱분석을 이용하였으며, 제한속도 상향 후 제한속도 상향의 효과 없음(0), 효과미비(1), 효과 있음(2)으로 효과정도를 순서형으로 구분하여 종속변수로 설정하였다. 또한, 주행속도변화와 관련이 있을 것으로 예상되는 기하구조 및 시설물의 현황을 독립변수로 설정하였다. 분석결과 정지시거 고려 곡선반경 설계기준미흡 지점수(X₁), 볼록종단곡선 변화비율 설계기준미흡 지점수(X₄), 과속단속카메라 개수(X₉), 구간장(X₁₀)이 주행속도 변화에 영향을 주는 요인으로 분석되었다. 반면, 완화곡선 생략가능 곡선반경 지점수(X₂), 종단곡선 최소길이 설계기준 미흡 지점수(X₃), 오목종단곡선 변화비율 설계기준미흡 지점수(X₅)와 같은 변수들은 주행속도 변화에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 분석되었다. 영향을 주는 요인 중 구간장(X₁₀)은 주행속도 변화량과 양(Positive)의 상관관계를 갖는 것으로 나타나 구간장이 길어질수록 제한속도 상향 시 효과가 높은 것으로 나타났다. 반면, 다른 요소들은 음(Negative)의 상관관계를 가지는 것으로 나타나 해당요인을 개선할 경우, 보다 높은 제한속도 상향 효과를 얻을 수 있을 것으로 기대된다.

본 연구를 발전시키기 위해서 본 연구에서 고려하지

못한 다른 주행속도변화 요인들(환경, 지역변수 등)에 대한 연구가 필요하다. 그리고 본 연구는 현재 제한속도 상향 시범구간인 경부선을 대상으로만 분석을 실시하였으나, 향후 제한속도 상향이 확대시행될 경우 다른 노선과의 비교·분석이 필요할 것이다. 또한, 기존 연구들의 결과(기하구조와 주행속도의 관계)와 본 연구결과(제한속도 상향 후의 주행속도 변화량과 기하구조의 관계)를 비교하여 기하구조와 교통특성에 관한 추가적인 연구도 가능할 것이다. 마지막으로 본 연구에서는 제한속도의 상향효과를 주행속도의 변화량만을 고려하였으나 교통안전적인 측면과 같은 다양한 제한속도 상향효과평가가 필요하다.

본 연구결과를 활용할 경우, 제한속도 상향 전, 주행속도 상향효과의 예측을 통하여 타당성 분석에 활용될 수 있을 것으로 기대된다. 또한 이미 제한속도 상향사업이 진행된 구간에 대해서는 본 연구결과에서 제시한 기하구조 요인들의 개선을 통해 보다 높은 제한속도 상향효과를 얻을 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글

이 논문은 2010년 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(NRF-2010-0029449).

References

- David B. Brown, Saeed Maghsoodloo, Mary E. McArdle, 1990, The safety impact of the 65 mph speed limit: A case study
- Fitzpatrick, K. L. Elefteriadou, K. M. Harwood, J.M. Collins, J. Mcjadden, I. B. Anderson, R. A. Krammes, N. Irizary, K. D. Parma, K. M. Bauer and K. Passetti, 2000, Speed Prediction for Tow-Land Rural Highway, Report FHWA-RD-99-171, USDOT, FHWA.
- Freedman, M. and J. R. Esteritz, 1990, The effects of the 65mph speed limit on speeds in three states, Transportation Research Record No.1281, pp.52~61
- G. M. Gibreel, S. M. Easa and A. El-Dimeery, 2001, Prediction of Operating Speed on Three-Dimensional Highway Alignments, Journal of Transportation Engineering Vol. 127, Issue 1, pp.21~30
- J. D. Go, M. S. Chang, J. H. Jeong, 2002, Characteristics and Modeling of Operating Speed at horizontal Curve on Rural Four-Lane Highways, Journal of Korean Society of Transportation Vol.20, No.7, pp.95~105
- J. P. Lee, S.H. Kim, 2002, Development of a model to predict Operating Speed, Journal of Korean Society of Transportation Vol.20, No.1, pp.131~139.
- J. W. Kim, I. J. Jang, J. H. Kim, S. B. Lee, 2009, Development of Predicting Models of the Operating Speed and Operating environment Satisfaction Model in Expressways, Journal of Korean Society of Transportation Vol.27, No.2, pp.117~131
- Korea Expressway Corporation, 2011, Effects of Increased Speed limits on Gyeongbu Expressway (Cheonan IC - Yangjae IC), Final Report
(경부선(천안~양재) 제한속도 상향 시범운영 효과분석용역)
- Korea Highway Capacity Manual, 2013, Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs
- Korea Institute of Construction Technology, 2007, Road Alignments and Fiction Analysis Model for Road Safety : RAFAM-RoS
- Lamm, R., A. K. Guenther, and E.M.houeiri, 1993, Safety Module for Highway Design, unpublished manuscript, Institute for Highway and Railroad Engineering University of Karlsruhe, Germany
- MACE, D. J., HECKARD, R., 1991, Effect of the 65 mph Speed Limit on Travel Speeds and Related Crashes, Final Report
- Martin, R. Parker, 1992, Effects of Raising or Lowering Speed Limits: final report, U.S DOT FHWA, FHWA-RD-92_084
- McLean, J.R., 1979, An Alternative to the Design Speed Concept for low speed Alinement Design, TRB Research Record No. 702, Low Volume Roads, pp.55~63
- Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, 2009a, Traffic Survey Guide: Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, established rule (No. 101)
(국토해양부 예규 제101호 - 도로교통량조사지침)
- Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, 2009b, Highway Structure Facilities Guide
(도로의 구조시설 기준에 관한 규칙해설 및 지침)
- N.S. Lee, 2007, Traffic Accident Effectiveness Analysis of Changing Regulatory Speed Limit, Thesis of Master degree, University of Seoul, Graduate school of urban sciences
- Ninholas, J. Garber and Ravi Gadiraju, 1990, Factors Affecting Speed Variance and Its Influence on Accidents, Transportation Research Record 1213, pp.64~71
- Retting, W.J. and M.A. Greene, 1997, The Traffic speeds following repeal of the national Maximum speed Limit, ITE Journal 67, pp.42~46
- Road Traffic Authority, 1998, Comprehensive Countermeasures for Preventing Speeding Traffic Accidents
(과속 교통사고 방지 종합대책)
- W. H. Seong, 2001, Applied logistic regression analysis, Tamjin