

■ 論 文 ■

주행속도선택 기반 주행위험도 평가방법론 개발 (차내 교통안전정보 제공 효과 평가를 중심으로)

A Methodology for Driving Risk Evaluation Based on Driving Speed Choice
(Focusing on Impacts of Providing In-vehicle Traffic Warning Information)

김 원 철

(교통안전공단 안전진단처 선임연구원)

목 차

<p>I. 서론</p> <p>1. 연구의 배경 및 목적</p> <p>2. 연구의 범위 및 방법</p> <p>II. 주행위험도평가방법론 정립</p> <p>1. 관련연구 문헌고찰</p> <p>2. 주행위험도의 개념</p> <p>3. 주행위험도평가모델의 틀</p> <p>III. 자료수집</p> <p>1. 주행실험 대상지역</p> <p>2. 주행실험 시나리오</p>	<p>3. 주행실험 장비</p> <p>4. 자료수집 결과</p> <p>IV. 주행위험도평가모델 분석결과</p> <p>1. 추정방법</p> <p>2. 추정결과</p> <p>V. 결론 및 향후 연구과제</p> <p>1. 결론</p> <p>2. 향후 연구과제</p> <p>참고문헌</p>
---	---

Key Words : 주행위험도, 주행속도선택, 순서형프로빗모형, 속도편차, 고속도로 주행
Driving risk, Driving speed choice, Ordered Response Probit Model, Speed deviation, Expressway driving

요 약

본 연구에서는 Solomon이 제안한 속도편차 (주행속도와 평균속도와의 차) 개념을 이용하여 주행위험도를 정립하고, 순서프로빗모형을 이용하여 주행속도선택 기반 주행위험도평가모델을 개발한다. 제안모델을 고속도로의 차내 교통안전정보 제공효과 평가실험에 적용하여, 주행위험에 미치는 다양한 요인의 효과를 분석한 결과, 다음과 같은 연구결과가 도출되었다. 첫째, 남성이 여성보다, 경력 운전자가 초보 운전자보다, 교통사고의 경험이 적은 운전자가 고속도로를 안전하게 주행할 확률이 높다. 둘째, 고속도로를 오후에 주행하는 경우, 도로표면이 젖어있는 경우, 교통량이 한산하여 서비스수준이 너무 좋은 경우 주행위험도는 증가한다. 셋째, 경사진 회전구간을 주행하는 경우와 도로연장이 긴 곡선부 구간을 주행하는 경우 주행위험도는 증가한다. 한편, 주행위험도 증가는 차내 교통안전정보를 제공함으로써 어느 정도 감소될 수 있는 것으로 나타나 차내 교통안전정보의 제공의 중요성이 확인되었다. 본 제안 모델은 새로 도입된 교통안전시설물의 교통안전도 효과를 평가 시 교통사고 자료가 부족하거나 없는 경우 교통안전도를 평가하는데 활용할 수 있다.

This paper presents a Driving Risk Model (DRM) based on driving speed choices using an Ordered Response Probit (ORP) model. The DRM is conceptualized based on the relation between speed deviation and the occurrence of crashes found by Solomon. The impacts of various driving risk factors are revealed by applying the DRM to evaluate the effectiveness of In-Vehicle Traffic Warning Information (IVTWI) in expressway driving. Regarding driving risk, the results show that: (1) the risk is lower among male drivers, those with more driving experience and those with less accident history, (2) the risk is higher when driving takes place on wet road surface, in the afternoon, and under conditions of low traffic volume, and (3) the risk is also higher on both downgraded and long curve sections. Additionally, the results provide evidence that provision of IVTWI can decrease the driving risk. The proposed DRM provides a solution for assessing the traffic safety impacts of countermeasures on roadways when there is a shortage of traffic accidents data.

1. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

주행속도는 운전자-차량-도로구조-주행환경과 관련된 다요인의 복합적인 상호작용으로 나타나는 결과물로 교통안전도 분석에 중요한 요인으로 여겨지며, 주행속도를 이용한 속도편차의 다양한 정의가 교통안전도 분석에 이용되고 있다. 예를 들어, Lave (1985)는 '85th 주행속도와 평균속도의 차'를, Cafiso 외 (2005), 김용석과 조원범 (2004) 그리고 Lamm 외 (1996)는 '85th 주행속도와 설계속도의 차'를 개통된 도로의 선형일관성 평가에 활용하도록 제안하였다. 선행 연구에서 제안된 85th 주행속도는 자유흐름 (free-flow) 상태에서 측정되어야만 하는 이유로 인해, 공용도로에서 적용하기에는 어려움이 많다. 이 문제를 보완하는 대안으로 평균속도와 주행속도의 차를 이용하는 방법이 1964년 Solomon에 의해 제안된 이후, 교통안전 분석을 위한 다양한 연구가 이론적 측면에서 많은 발전이 이루어져 왔다. 그러나, 공용 중인 도로의 주행안전성 평가에 적용 가능한 실용적 측면에서의 접근은 미진한 상태이다.

따라서, 본 연구에서는 Solomon을 비롯한 여러 연구자들이 제안한 속도편차 (즉, '평균속도와 주행속도의 차')의 개념을 도입하여, 차내 교통안전정보 제공에 따른 교통안전도 평가를 수행함과 동시에 주행안전에 영향을 미치는 운전자-차량-도로구조-주행환경 요인의 특성을 파악한다.

2. 연구의 범위 및 방법

본 연구에서 제안한 주행위험도평가모델은 고속도로 (연속류 구간)를 주행하는 운전자의 주행안전도에 영향을 미치는 요인을 분석하는데 연구의 범위를 한정한다. 본 연구에서 제안한 주행위험도의 개념은 평균속도와 주행속도의 차 (속도편차)의 크기에 따라 저(Low)/중(Medium)/고(High)로 구분이 가능하다. 즉, 분석된 주행위험도는 질적변수 (예, 1, 2, 3)로 표현되기 때문에, 순서형프로비트모형 (Ordered Response Probit Model: ORPM)의 적용이 적합하며, 이러한 평가는 도로구간별로 계산된다.

제안된 주행위험도평가방법론은 고속도로 곡선부 사고 잦은 구간의 교통안전도를 높이기 위해 서일본고속도로공사(W-NEXCO)가 계획한 차내 교통안전정보 제공

의 효과평가에 적용한다. 이를 통해, 차내 교통안전정보 제공의 교통안전도 효과뿐만 아니라 주행안전에 영향을 미치는 운전자, 도로환경, 도로기하구조 요인의 특성을 파악하는데 활용하여, 제안모델의 효용성을 검토한다.

II. 주행위험도평가방법론 정립

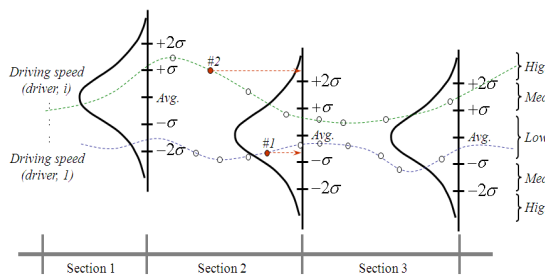
1. 관련연구 문헌고찰

Solomon은 미국 11개주 35개의 도로구간에서 수집된 교통사고 자료를 분석하여, 교통사고 발생확률과 속도편차에는 U자 형태 (U-shaped curve)의 관계가 있음을 발견하고, "교통사고 발생확률은 속도편차가 커짐에 따라 증가한다"라는 연구결과를 제시하였다. Solomon의 연구결과는 Cirillo (1968)에 의해 더욱 일반화되었는데, Cirillo는 Solomon의 분석자료에서 주간에 발생한 교통사고자료만을 이용하고 Solomon이 발견한 연구결과와 유사한 분석결과를 보고하였다. Solomon과 Cirillo은 공통적으로 "교통사고 발생확률은 속도편차의 증가에 따라 높아지고, 주행속도의 차가 평균속도로부터 15-20%의 범위에 속할 때 교통사고 발생확률은 가장 낮다"라는 연구결과를 제시하였다. 1970년대 들어 West and Dunn (1971)은 인디애나 주에서 발생한 교통사고 자료와 속도자료를 분석하고, Solomon과 Cirillo가 분석한 연구결과와 유사하게 교통사고 발생확률은 속도편차의 크기에 의해 영향을 받으나, 회전차량을 제외하면 Solomon이 발견한 U자 곡선은 다소 무더진다고 제안하였다. 한편, Hauer (1971)는 교통사고 발생확률은 잠재적 상충의 증가에 의해 높아진다는 사실에 전제하고, 2차로 도로에서 발생하는 추월 차량과 피추월 차량의 상충분석을 통해, 평균속도보다 너무 빠르게 주행하거나 또는 너무 느리게 주행하는 차량은 교통상충을 발생시키는 가능성이 높은 것을 발견하였다. 1990년대에 접어들면서, Harkey 외 (1990)는 노스캐롤라이나와 콜로라도 주의 도심과 지방도에서 발생한 주중 교통사고 자료 (음주관련 사고와 교차로에서 발생한 사고 제외)를 분석하여, Solomon과 Cirillo가 발견한 교통사고 발생확률과 속도편차에는 U자 곡선의 관계가 있음을 재발견하였다. 최근, Garber 외 (2000)는 버지니아 주 2차로 도로에서 발생한 교통사고 자료와 통행속도, 교통류, 도로 구조 특성을 분석하여 속도편차의 크기를 표준편차(σ)로 규정하고, 속도편차가 커짐에 따라

교통사고 발생확률이 증가함을 확인하여, 속도편차의 중요성을 강조하였다.

2. 주행위험도의 개념

Solomon의 연구결과를 중심으로 많은 연구자가 공통적으로 “속도편차가 증가함에 따라 교통사고 발생확률은 증가한다”는 연구결과를 제시하고 있으나, 속도편차의 크기에 의해 주행안전도를 규정할 수 있는 명확한 기준은 제시되어 있지 않다. 따라서, 본 연구에서는 표준편차(σ)의 크기가 증가함에 따라, 다시 말해, 운전자가 선택한 주행속도가 평균속도로부터 멀어짐에 따라 주행안전도는 감소된다는 가정에 기초하여 주행위험도 개념을 <그림 1>과 같이 정의한다. 구체적으로, 운전자가 선택한 주행속도가 평균속도로부터 $\pm 1\sigma$ 이내인 경우에는 주행위험도는 저(Low)로, $\pm 1\sigma$ 와 $\pm 2\sigma$ 사이인 경우에는 중(Medium)으로, $\pm 3\sigma$ 이상인 경우에는 고(High)로 평가한다. 여기서, 평균속도 (Avg.)와 표준편차 (σ)는 도로구간별로 계산한다. 따라서, <그림 1>의 구간 2 (section 2)에서 운전자가 선택한 주행속도 #1은 주행위험도가 상대적으로 낮고 (Low) 주행속도 #2는 상대적으로 높은 (High) 것으로 해석할 수 있다. 결과적으로, 운전자가 선택한 모든 주행속도는 <그림 1>에서 도로구간별로 제시된 3개의 주행위험도 저/중/고 중 어느 하나의 그룹에 소속된다.



<그림 1> 속도선택기반 주행위험도 개념도

3. 주행위험도평가모델의 틀

지금까지 설명한 주행위험도 개념으로 운전자가 선택한 주행속도는 저/중/고로 평가가 가능하며, 평가된 주행위험도는 저(=1)/중(=2)/고(=3)과 같이 상대적 크기로 표현할 수 있다. 이러한, 상대적 순위를 갖는 주

행위험도에 영향을 미치는 요인의 효과를 분석하기에는 순서형프로빗모형이 적합하고, 이를 수식으로 표현하면 식(1)과 같다.

$$y_n = \begin{cases} \Delta V_n \leq \sigma & \rightarrow Low \\ \sigma < \Delta V_n \leq 2\sigma & \rightarrow Medium \\ \Delta V_n > 2\sigma & \rightarrow High \end{cases} \quad (1)$$

$$\Delta V_n = |\bar{V} - V_n|$$

여기서,

- y_n : 운전자의 주행속도 n 의 주행위험도
- V_n : 운전자의 주행속도 (샘플 n) (km/h)
- \bar{V} : 어느 도로구간의 평균속도 (km/h)
- ΔV_n : 평균속도와 주행속도의 차
- σ : 어느 도로구간의 표준편차 (km/h)

관측된 속도편차 y_n 은 식(2)에서 정의된 잠재변수 y_n^* 을 통하여 표현 가능하다.

$$y_n = \begin{cases} 1 \text{ 만약 } -\infty \leq y_n^* \leq \mu_1 & \rightarrow Low \\ 2 \text{ 만약 } \mu_1 < y_n^* \leq \mu_2 & \rightarrow Medium \\ 3 \text{ 만약 } \mu_2 < y_n^* \leq \infty & \rightarrow High \end{cases} \quad (2)$$

$$y_n^* = \beta x_n + \epsilon_n$$

여기서, y_n^* : 잠재변수

x_n : 설명변수

β : 추정 파라메타

ϵ_n : 표준정규분포를 따르는 확률 오차항

여기서, $\mu_j (j=1,2)$ 는 주행위험도를 구분하는 경계치를 의미하며, 모형추정에서 내생적으로 추정된다. 본 연구에서는 계산의 용이성을 확보하기 위해서 $\mu_1 = 0, \mu_3 = \infty$ 로 가정한다.

정의된 주행위험도 저(=1)/중(=2)/고(=3)의 발생 확률은 다음 식에 의해서 계산된다.

$$\Pr(y_n = k|x_n) = F(\mu_j - \beta x_n) - F(\mu_{j-1} - \beta x_n) \quad (3)$$

여기서, $\Pr(y_n = k)$ 는 운전자의 속도선택이 그룹 k 에 속할 확률을 의미하며, F 는 표준정규분포함수를 의미한다. 식(3)에 정의된 확률은 최우추정법 (maximum

likelihood method)을 이용하여 추정하고, 계산을 위한 로그우도함수는 다음과 같다.

$$L = \sum_{n=1}^N \sum_{k=1}^3 \delta_n^k \ln(\Pr(y_n = k)) \quad (4)$$

여기서, δ_n^k 는 더미변수로 y_n 이 k 에 해당되는 경우 1을 그렇지 않은 경우에는 0을 부여한다.

모형의 해석은 종속변수인 주행위험도가 저(=1)/중(=2)/고(=3)로 정의되었기 때문에, 추정된 파라메타의 부호가 (+)인 경우에는 해당변수의 크기가 증가함에 따라 주행위험도가 증가되는 것으로 해석한다.

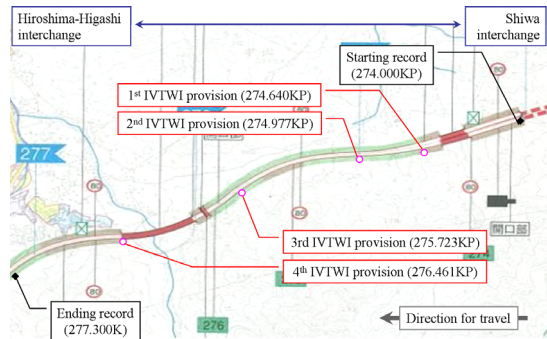
III. 자료수집

1. 주행실험 대상지역

분석자료는 서일본고속도로공사(W-NEXCO)가 구상중인 DSRC를 이용한 차내 교통안전정보 제공의 효과평가를 위한 고속도로 주행실험을 통해 수집하였다. 주행실험 장소는 히로시마 현을 가로지르는 산요고속도로(Sanyo Expressway)로 교통사고가 잦은 시와 인터체인지(Shiwa IC)에서 히로시마 동인터체인지(Hiroshima-Higashi IC) 구간이며, 도로연장은 편도 3.3km이다. 산요고속도로의 제한속도는 100km/h이나, 실험이 수행된 도로구간 3.3km에는 내리막 커브 4개가 연속적으로 연결되어 교통사고가 빈번히 발생하기 때문에 특별히 감속을 유도하기 위해 제한속도를 80km/h로 설정하고 있다. 그러나, 본 도로구간을 주행하는 대부분의 운전자들은 속도감속을 유도하는 다양한 교통안전정보가 도로변에 설치되어 있음에도 불구하고, 이를 무시한 채 제한속도 80km/h를 상회하는 속도로 주행한다. 이와 같이 과속 문제를 해결하기 위해서, 서일본고속도로공사는 본 실험구간을 주행하는 차량이 커브구간에 진입하기 직전에 DSRC 기반 교통안전정보를 차량의 네비게이션을 통해 운전자 개인에게 직접 제공하려는 계획을 구상중에 있다.

2. 주행실험 시나리오

현장 주행실험에는 20대 초반으로 구성된 대학생 10명(남성:8명, 여성:2명)이 참여하였고, 실험은 2009년



(그림 2) 자료 수집을 위한 주행실험 구간

(표 1) 주행실험 및 정보제공 시나리오

주행시간	운전자 수	주행횟수	제공된 교통안전정보
오전	1	1차	없음
		2차	음성정보
		3차	음성&이미지정보
오후	1	1차	제공 없음
		2차	음성정보
		3차	음성&이미지정보

3월 28일(토)부터 4월 1일(수)까지 총 5일 동안 수행되었다. 주행실험은 오전/오후 출퇴근 첨두시간을 피한 오전 10:00-12:30과 오후 13:00-15:30에 진행되었다.

실차 주행은 오전/오후 1명씩의 운전자를 배정하여, 1명의 운전자에게 실험대상 도로구간을 3회 주행하도록 계획하였다. 따라서, 1명의 운전자가 실험구간을 오전에 3회를 주행하고, 다른 운전자 1명이 오후에 3회 주행하도록 하였다.

주행실험 시나리오는 다음과 같이 구성되었다. 차내 교통안전정보는 "속도를 줄이시오!"로, 3회 주행 중 1차 주행을 제외한 2차 및 3차 주행에서만 제공하고, 2차 주행에서는 음성정보를, 3차 주행에서는 음성&이미지정보가 차내 네비게이션 시스템을 통해 표출되도록 구성되었다. 교통안전정보는 운전자가 커브구간에 진입하기 전 직선구간에서 제공되도록 하여, 1회 표출시 5초 동안 제공되도록 하였고, 주행 구간 내 총 4개의 커브가 있기 때문에, 총 4회 제공되도록 하였다. ((그림 2) 참조).

3. 주행실험 장비

본 주행실험에서는 운전자의 주행특성(종/횡방향 가속속도, 핸들링과 브레이크 사용율 등)을 0.1초 단위로 자동으로 계측/기록하기 위해서 다음과 같은 장비가 탑재되었다.

- ① Global Positioning System (GPS): 0.1초 단위로 차량의 이동정보 계측
- ② 차내 카메라: 운전자 얼굴 표정과 발동작 연속촬영, 긴급시 운전자 얼굴표정을 30초간 촬영
- ③ 차외 카메라: 실험차량 전방의 위험한 주행상황을 30초간 촬영
- ④ 네비게이션 시스템: 도로변에 설치된 DSRC 센서와 통신 수행, 교통안전정보 표출



〈그림 3〉 실험차량 및 네비게이션 화면

4. 자료수집 결과

주행속도 자료를 이용하여 고속도로 구간의 주행위험도를 평가하기 위해서는 도로기하구조의 특성이 주행위험도에 미치는 영향을 최소화할 수 있도록 도로구간을 분할해야 한다. 도로분할 방법에는 Shankar 등 (1995)이 제안한 고정구간 (fixed-length segment) 분할법과 Kweon과 Kockelman (2005)이 제안한 동질구간 (homogeneous segment) 분할법이 있다. Shankar 등이 제안한 고정구간 분할법은 1km 단위로 도로를 분할하는 방법으로 도로선형이 변하는 지점이 단위 구간내에 속할 경우, 평균치로 도로특성을 표현해야 하는 단점이 있다. 반면, Kweon과 Kockelman이 제안한 동질구간 분할법은 도로의 중/횡단 도로선형 특성을 그대로 반영하여 도로를 분할하기 때문에 고정구간 분할법의 단점을 극복할 수 있다.

따라서, 본 연구에서는 동질구간 분할법을 적용하여, 주행실험이 실시된 도로구간의 중/횡단 도로선형 특성을 기준으로 도로구간을 분할하고, 0.1초 단위로 측정된 주행속도를 이용하여 도로구간별 평균속도와 표준편차를 계산한다.

구체적으로, 총 주행거리 3.3km는 중/횡단 도로선형 특성을 기준으로 18개의 동질구간으로 구분되었다. 구분된 18개의 도로구간에 해당되는 구간별 특성과 모델

〈표 2〉 구분된 도로구간 특성

번호	KP (274.000~)	형태	연장 (m)	곡률 (°)	종단구배 (%)	샘플 수
1	274.144.611	Left curve	144.611	3.745	-2.177	155
2	274.342.323	Left spiral	197.712	1.881	-2.177	2306
3	274.366.681	Tangent	24.358	0.000	-2.177	290
4	274.511.324	Right spiral	144.643	2.071	-2.177	1706
5	274.791.536	Right curve	280.212	4.093	-2.177	3365
6	275.048.679	Right spiral	257.143	2.036	-2.177	3048
7	275.120.000	Left spiral	71.321	1.129	-2.177	839
8	275.277.085	Left spiral	157.085	4.715	-4	1877
9	275.327.006	Left curve	49.921	7.207	-4	595
10	275.622.595	Left curve	295.589	7.162	-4	3542
11	275.822.595	Left spiral	200.000	3.606	-4	2395
12	276.022.595	Right spiral	200.000	3.570	-4	2415
13	276.360.709	Right curve	338.114	7.162	-4	4131
14	276.560.709	Right spiral	200.000	3.590	-4	2433
15	276.760.709	Left spiral	200.000	3.572	-4	2432
16	276.880	Left curve	119.291	7.162	2	1468
17	277.173.867	Left curve	293.867	7.162	2	3673
18	277.300	Left spiral	126.133	6.171	2	1070

분석에 필요한 샘플수를 〈표 2〉에 제시하였다.

주행실험 시나리오에 따라, 운전자 10명은 주행실험 구간을 3회 반복하여, 총 30회의 주행횟수를 기록하였다. 운전자의 주행특성을 보여주는 주행속도는 0.1초 단위로 기록되어, 총 37,740개의 샘플이 수집되었다.

운전자와 관련된 정보로는 성별, 연령, 실제 운전경력, 사고이력이, 도로환경과 관련된 정보로는 주행시간대, 도로표면상태, 교통량이 수집되었다. 도로기하구조 요인으로 종단구배와 분할된 각 구간별 도로연장이 수집되었다. 마지막으로, 차내 교통안전정보의 제공 유무도 수집되었다.

IV. 주행위험도평가모델 분석결과

1. 추정방법

주행속도를 이용하여 교통안전도를 평가하는 주행위험도평가모델 구축에는, 식(1)에 제시된 바와 같이, 운전자의 주행속도에 의해 평가된 주행위험도에 영향을 미치는 다양한 요인, 예를 들어, 운전자 요인, 도로환경 요인, 도로기하구조 요인, 차내 교통안전정보 요인을 복합적으로 고려하였다.

〈표 3〉에 제시된 모델구축에 이용된 변수의 정의와 특성치를 살펴보면, 평균 연령이 22.2년인 남성과 여성이 4대 1의 비율로 실험에 참여하였고, 이들은 평균적으로

로 31.8개월에 0.5번 즉, 평균적으로 5년에 한번 정도의 교통사고 경험율을 지니는 것을 알 수 있다.

자료수집 부분에서 언급된 것과 같이 주행실험은 오전/오후로 나누어져 시행되었고, 10회중 1회 정도로 도로표면이 습윤 상태에서 주행실험이 수행되었음을 알 수 있다. 교통량의 경우, 〈표 3〉에는 제시되어있지 않지만 최대관측 교통량은 19.8 (veh/min/lane)이 기록되었는데, 이를 통해 주행실험 당시 교통정체는 없었음을 유추할 수 있다. 도로기하구조 요인은 연속 내리막 커브구간으로 구성된 주행실험 구간의 도로기하구조의 특성을 조합하여 이용하였음을 알 수 있다. 차내 교통안전정보는 2차 주행시 주행시간의 4.5% 동안 음성정보를, 3차 주행시 주행시간의 3.8% 동안 음성&이미지정보가 제공되었다.

〈표 3〉 모델구축에 사용된 변수

변수 정의	평균	표준편차
종속변수		
Y = 주행위험도	1.306	0.568
독립변수		
운전자 요인		
X1=성별(0:여성; 1:남성)	0.789	0.408
X2=연령	22.198	1.249
X3=운전경력(개월)	31.811	19.446
X4=사고이력(횟수)	0.480	0.665
도로환경 요인		
X5=주행 시간대(0:오전; 1:오후)	0.480	0.500
X6=도로표면상태(0:습윤; 1:건조)	0.892	0.311
X7=교통량(veh/min/lane)	13.769	3.834
도로기하구조 요인		
X8=종단구배(절대치, %)	3.105	0.943
X9=도로연장(m)	228.178	73.878
X10=Tangent×종단구배	0.017	0.190
X11=Left curve×종단구배	0.720	1.342
X12=Right curve×종단구배	0.632	1.332
X13=Left spiral×종단구배	0.949	1.565
X14=Right spiral×종단구배	0.788	1.425
X15=Tangent×도로연장	0.187	2.127
X16=Left curve×도로연장	62.363	115.736
X17=Right curve×도로연장	61.994	125.186
X18=Left spiral×도로연장	50.635	82.050
X19=Right spiral×도로연장	52.998	92.821
X20=Tangent×곡률(°/100m)×도로연장	0.000	0.000
X21=Left curve×곡률(°/100m)×도로연장	444.529	827.823
X22=Right curve×곡률(°/100m)×도로연장	367.176	789.825
X23=Left spiral×곡률(°/100m)×도로연장	175.217	340.088
X24=Right spiral×곡률(°/100m)×도로연장	147.794	317.761
차내 교통안전정보 요인		
P1=음성 정보(0:없음; 1:제공)	0.045	0.207
P2=음성&이미지 정보(0:없음; 1:제공)	0.038	0.109

2. 추정결과

최우추정법을 통해 주행위험도평가모델의 파라메타와 t-통계량을 추정하였고, 계산을 위해서 TSP 프로그램 (Hall, 1997)을 사용하였다. 모델 추정결과, 제안모델의 적중률(조정결정계수)은 0.332로, 분석결과는 통계적으로 양호한 수준인 것으로 판단된다 (Long, 1997).

식(2)에 제시된 순서형프로빗모형의 잠재변수는 설명변수와 선형관계를 맺고 있기 때문에, 추정된 파라메타의 부호가 (+)인 경우에는 해당 변수의 크기가 증가함에 따라 주행위험도는 증가하는 것으로, 반대로 (-)인 경우에는 해당 변수의 크기가 증가함에 따라 주행위험도는 감소하는 것으로 해석한다.

따라서, 〈표 4〉에 제시된 분석결과는 운전자가 남성보다 여성이 주행할 경우 (X1), 운전경력이 적은 운전자가 주행하는 경우 (X2) 그리고 교통사고의 경험이 많은 운전자가 주행하는 경우 (X4) 주행위험도는 증가하는 것으로 해석할 수 있다.

도로환경 요인 측면에서, 오후에 주행하는 경우 (X3), 도로표면이 습윤 상태인 경우 (X6) 그리고 고속도로의 서비스수준이 A로 좋아질 경우 (X7) 운전자가 선택하는 주행속도와 평균속도와의 분산이 증가할 확률이 높아져 주행위험도는 증가하는 것을 알 수 있다.

도로기하구조 요인 측면에서, 직선구간과 좌회전 구간의 내리막 또는 오르막 구간을 주행하는 경우 (X10, X11), 도로연장이 긴 곡선부 구간을 주행하는 경우 (X16, X17, X18, X19), 곡선부 구간에서 곡률과 도로연장이 동시에 증가할수록 (X21, X23, X24) 주행위험도는 증가하는 것으로 나타났다.

한편, 차내 교통안전정보를 제공함으로써 주행위험도

〈표 4〉 모형추정 결과

변수 정의	파라메타	t-통계량
상수	5.4439	60.5700
운전자 요인		
X1=성별(0:여성; 1:남성)	-2.4583	-60.5853
X3=운전경력(개월)	-0.0429	-68.0798
X4=사고이력(횟수)	0.9922	72.8679
도로환경 요인		
X5=주행 시간대(0:오전; 1:오후)	1.9218	69.6701
X6=도로표면상태(0:습윤; 1:건조)	-0.7325	-21.7953
X7=교통량(veh/min/lane)	-0.2768	-72.4657
도로기하구조 요인		
X10=Tangent×중단구배	0.1175	2.6946
X11=Left curve×중단구배	0.0795	6.0533
X12=Right curve×중단구배	-0.1875	-6.4706
X16=Left curve×도로연장	0.0041	3.1869
X17=Right curve×도로연장	0.0024	6.6501
X18=Left spiral×도로연장	0.0024	9.4486
X19=Right spiral×도로연장	0.0011	4.9961
X21=Left curve×곡률(°/100m) ×도로연장	-0.0007	-3.7443
X23=Left spiral×곡률(°/100m) ×도로연장	-0.0004	-11.2249
X24=Right spiral×곡률(°/100m) ×도로연장	-0.0002	-5.2134
차내 교통안전정보 요인		
P1=음성 정보(0:없음; 1:제공)	-0.3994	-11.3799
P2=음성&이미지 정보(0:없음; 1:제공)	-0.6458	-13.9485
μ_2	1.2930	68.4747
샘플 수	37740	
초기우도	-31154.978	
최종우도	-20781.272	
적중률 Adjusted Rho-squared(\bar{r}^2)	0.332	

주) 표에 제시된 추정계수는 신뢰수준 99%에서 유의함

는 감소되는 것으로 분석되었고, 교통안전 측면에서 이러한 긍정적인 효과는 정보의 제공방법 (예, 음성 또는 음성&이미지) 보다는 차내 교통안전정보의 제공여부 자체가 중요하다는 것을 의미한다.

V. 결론 및 향후 연구과제

1. 결론

일반적으로 교통안전도 평가는 교통사고 자료를 이용하여 분석하나, 교통사고 자료가 부족하거나 없는 경우 또는 새로 도입된 교통안전시설물의 교통안전도 효과를 평가해야 하는 경우, 활용도 측면에서 한계점이 나타나고 있다. 이러한 제약을 극복하기 위해, 운전자 주행특성

을 실시간으로 계측하고, 운전자 주행특성 측면에서 교통안전도를 평가하는 방법이 제안되고 있다. 하지만, 운전자 주행특성을 나타내는 자료 (예, 주행속도)의 양은 방대해지고 있음에도 불구하고, 현장 대응형 분석방법론의 부재로 질 좋은 분석 자료가 제대로 활용되고 있지 못하는 문제가 있다.

본 연구에서는 이와 같은 문제점을 극복하기 위한 차원에서, 속도선택에 기초한 주행위험도평가모형을 개발하고, 이를 고속도로 구간에 적용하여 주행안전에 영향을 미치는 다양한 요인의 효과를 분석하였다. 주행위험도평가모형은 Solomon이 제안한 속도편차 (주행속도와 평균속도와의 차) 개념을 이용하였고, 순서형프로빗모형으로 제안모형의 틀을 정립하였다.

제안된 주행위험도평가모형을 서일본고속도로공사가 계획한 DSRC 센서를 활용한 차내 교통안전정보 제공 효과 평가에 적용/분석한 결과, 다음과 같은 연구결과가 도출되었다. 첫째, 남성이 여성보다, 경력 운전자가 초보 운전자보다, 교통사고의 경험이 적은 운전자가 고속도로를 안전하게 주행할 확률이 높다. 둘째, 고속도로를 오후에 주행하는 경우, 도로표면이 젖어있는 경우, 교통량이 한산하여 서비스수준이 너무 좋은 경우 주행위험도는 증가한다. 셋째, 경사진 회전구간을 주행하는 경우와 도로연장이 긴 곡선부 구간을 주행하는 경우 주행위험도는 증가한다. 한편, 주행위험도 증가는 차내 교통안전정보를 제공함으로써 어느 정도 감소될 수 있는 것으로 나타나 차내 교통안전정보 제공의 중요성이 확인되었다.

본 연구에서 제안한 주행속도선택 기반 주행위험도평가방법론을 적용한 분석결과는 Ogden (1996)이 선형연구에서 분석한 교통사고 유발요인의 특성과 많은 유사점을 갖는다. 이러한 연구결과는 본 제안방법론의 실용성을 입증해주며, 교통안전도 분석에 있어서 주행속도가 사고자료의 대용물로 이용될 수 있음을 의미한다.

2. 향후 연구과제

본 연구에서 제안한 주행위험도평가방법론의 현장 적용성을 높이기 위한 방법으로, 다음과 같이 4개 분야의 향후 연구과제를 제안한다. 첫째, 도로를 주행하는 운전자는 차로변경을 자주 하는데, 본 연구에서는 이러한 운전자의 차로변경 특성을 자료수집 과정에 고려하지 못한 한계가 있다. 그러므로, 차로 변경시 발생하는 속도 및 차랑군의 영향 등 운전자의 주행특성을 보다 적극적으로 반영하여 본 연구에서 제안한 주행위험도평가방법론을 개선할 필요가 있다. 둘째, 도로구간을 분할하는 방법에

있어서, 본 연구에서는 전통적으로 적용되는 동질구간 분할법을 적용하였으나, 교통관제시설이나 통제시설에 따라 운전자의 주행행태도 변할 수 있기 때문에, 교통통제 및 관제시설을 고려한 도로구간 분할법도 연구되어야 할 필요가 있다. 셋째, 주행실험 참여비율(다양한 연령대), 주행실험 기간, 운전경력과 같은 요인들로 인해 연구 결과가 다르게 나타날 수 있으므로, 다양한 운전경력을 가진 실험자의 성비와 연령비율이 참여할 수 있도록 실험설계의 개선이 필요하다. 마지막으로, 주행실험을 시작하기 전과 실험이 시작된 후 실험주행코스에 대한 운전자의 인지향상으로 운전기술 능력이 변할 수 있으므로, 반복주행에 의한 운전자의 학습능력을 분석할 수 있는 분석방법론의 개발과 적용이 필요하다. 구체적으로, 본 연구의 분석결과인 추정모델 해석에서 음성정보를 제공하는 효과 (-0.3994)보다 음성&이미지정보를 제공하는 효과 (-0.6458)가 더 큰 것으로 해석할 수 있다. 하지만, 본 모델추정에서는 2차 주행 보다 3차 주행시 운전자의 주행 학습 능력이 변화되는 영향을 고려하지 않았기 때문에, 음성&이미지정보 제공의 효과가 음성정보 제공에 비해 크다고 단순하게 결론짓기 어렵다. 따라서, 운전자의 학습 특성이 분석 가능하도록 주행경험의 시간적 변화를 고려한 제안모형의 확장이 필요할 것으로 판단된다. 또한, 정보를 제공받은 운전자 입장에서 제공된 정보의 가치는 주행시간 흐름에 따라 감소되거나 제공정보 이외의 주변 정보에 의해 감소되는 현상 등을 고려하여 분석할 수 있도록 제안모형의 확장이 필요할 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 김용석·조원범(2004), "주행속도 기반 도로 평면 선형 설계 안전성 평가연구", 대한교통학회지, 제 22권 제7호, 대한교통학회, pp.25~32.
2. Cafiso, S., A.D. Graziano and G.L. Cava(2005) "Actual Driving Data Analysis for Design Consistency Evaluation" TRR, 1912, TRB pp.19~30.
3. Cirillo, J.A.(1968) "Interstate System Crash Research: Study II", Public Roads, 35, pp.71~76.
4. Garber, N.J. and A.A. Ehrhart(2000) "Effect of Speed, Flow, and Geometric Characteristics on Crash Frequency for Two-lane Highways" TRR, 1717, TRB, pp.76~83.
5. Hall, B.H.(1997) "Time Series Processor (TSP) Version 4.4", Clint Cummins.
6. Harkey, D.L., H.D. Robertson, and S.E. Davis(1990) "Assessment of Current Speed Zonning Criteria" TRR, 1281, TRB, pp.40~51.
7. Hauer, E.(1971) "Accidents, Overtaking, and Speed Control" Accident and Analysis Prevention, 3, pp.1~13.
8. Kweon, Y.J. and K.M. Kockelman(2005) "Safety Effects of Speed Limit Changes - Use of Panel Models, Including Speed, Use, and Design Variables" TRR, 1908, TRB, pp.148~158.
9. Lamm R., B. Psarianos, G. Soilemezoglou, and G. Kanellaidis(1996) "Driving Dynamic Aspects and Related Safety Issues for Modern Geometric Design of Non-Built-Up Roads" TRR, 1523, TRB, pp.34~45.
10. Lave, C.(1985) "Speeding, Coordination, and the 55-mph Limit" The American Economic Review, 75, pp.1159~1164.
11. Long, J.S.(1997) "Regression Models for Categorical and Limited Dependent Variables", Sage Publications.
12. Ogden, K. W.(1996), "Safer Roads: A Guide to Road Safety Engineering", Avebury Technical.
13. Shanker, V., F. Mannering, and W. Barfield(1995) "Effect of Roadway Geometries and Environmental Factors on Rural Freeway Accident Frequencies" Accident Analysis and Prevention, 27(3), pp.371~389.
14. Solomon, D.(1964) "Accidents on Main Rural Highways Related to Speed, Driver, and Vehicle", FHWA. (reprinted in April 1974).
15. West, L.B.Jr. and J.W. Dunn(1971) "Accidents, Speed Deviation and Speed Limits" Traffic Engineering, 41, pp.52~55.

✉ 주 작성자 : 김원철

✉ 교신저자 : 김원철

✉ 논문투고일 : 2010. 5. 3

✉ 논문심사일 : 2010. 6. 28 (1차)

2011. 1. 19 (2차)

2011. 1. 27 (3차)

✉ 심사판정일 : 2011. 1. 27

✉ 반론접수기한 : 2011. 6. 30

✉ 3인 익명 심사필

✉ 1인 abstract 교정필