

차량 종류 및 운전자 인지반응 시간을 이용한 LDWS 경고 특성에 관한 연구

박환서* · 장경진** · 유송민**

A Study on the Warning Characteristics of LDWS using Driver's Reaction Time and Vehicle Type

Hwanseo Park*, Kyungjin Chang**, Songmin Yoo**

Key Words : Lane departure warning system(차선이탈 경고장치), Active safety system(능동안전시스템), Reaction time(인지반응시간), Vehicle Type(차량 종류), Time to line crossing(차선접근시간)

ABSTRACT

More than 80 percent of traffic accidents related with lane departure believed to be the result of crossing the lane due to either negligence or drowsiness of the driver. Lane-departure related accident in the highway usually involve high fatality. Even though LDWS is believed to prevent accident 25% and reduce fatalities by 15% respectively, its effectiveness in performance is yet to be confirmed in many aspects. In this study, the vehicle lateral locations relative to warning zone envelop (earliest and latest warning zone) defined in ISO standard, ECE and NHTSA regulations are compared with respect to various factors including delays, vehicle speed and vehicle heading angle with respect to the lane. Since LDWS is designed to be activated at the speed over 60 km/h, vehicle speed range for the study is set to be from 60 to 100 km/h. The vehicle heading angle (yaw angle) is set to be up to 5 degree away from the lane (abrupt lane change) considering standard for lane change test using double lane-change test specification. The TLC is calculated using factors like vehicle speed, yaw angle and reaction time. In addition, the effect of vehicle type and reaction time have been considered to assess LDWS safety.

1. 서론

차선이탈 경고장치(LDWS)는 운전자의 졸음 등의 부주의로 인한 차선이탈을 방지하기 위하여 차량 이탈 시 청각, 촉각, 시각을 통하여 위험상황을 운전자에게 인식시켜 위험 상황을 운전자가 회피 하도록 유도하여 사고를 미연에 방지할 수 있는 보조 장치로 사고 감소에 기여하는 장치이다.

차선이탈 경고장치는 현재 국내외 일부 차량들에 장착되어 판매되고 있으며 검사방안과 검사규격 역시 논의 및 연구가 활발하게 이루어지고 있다. 차선이탈경고장치의 경우 운전자의 인지반응 능력과 차선이탈 시 상대 차량의 종류에 따라 사고의 빈도에 영향을 미치게 된다. 따라서 상대 차량의 종류 및 운전자의 인지반응 능력의 따른 분석이 필요하며 그 결과가 국제 규격이나 법규에 반영되어야 할 것이다.

본 논문에서는 차량의 차선 이탈 시 LDWS 장치의 경고 후 운전자의 인지반응 시간에 의하여 옆 차로 횡 방향 침범 거리를 산출하여 옆 차량의 종류에 따른 횡 방향 여

* 유한대학교

** 경희대학교

E-mail : hwanseopark@naver.com

유 거리와 관계하여 LDWS 장치의 사고 감소 효과와 운전자의 연령별 경고 한계시점을 분석하고자 한다.^{(1)~(3)}

2. 이론적 배경

2.1. Time to Line Crossing(TLC)⁽⁴⁾

TLC는 차량이 일정한 속도와 진행각으로 진행하는 경우 차량이 차선에 도달하는 시간을 나타낸다. 차선이탈의 경우 차량의 바퀴의 중심을 기준으로 차량의 이탈을 판단한다.

$$T_{LC} = \frac{y_{li}}{V \sin \theta} \quad (1)$$

Eq. 1은 기본적인 TLC 식을 나타내고 있다. T_{LC} 는 차량의 차선 침범 시간이며 V 는 차량의 속도이다. y_{li} 은 차량의 왼쪽 전륜 중앙으로부터 왼쪽 차선까지의 거리이다.

2.1.1. 직선이탈

차량의 제원을 이용하여 차선이탈 시간을 환산하기 위하여 TLC식을 변형하여 사용하였다.

$$T_{LC} = \frac{y_{li}}{V \sin \theta} = \frac{\frac{R_w}{2} - \frac{l_f}{2} \sin \theta - \frac{a}{2} \cos \theta}{V \sin \theta} \quad (2)$$

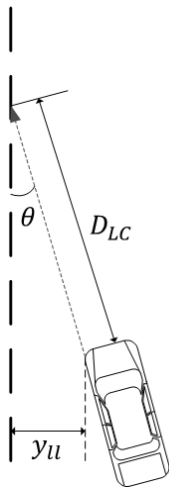


Fig. 1 Straight line crossing⁽⁵⁾

Fig. 1은 직선로에서 차량이 직선로 차선을 이탈하는 궤적을 도시하였다. Eq. 2는 직선로에서 차량이 θ 의 각을 이루며 차선을 이탈하는 경우에 TLC를 계산하는 식이다. R_w 는 차로 폭, l_f 는 차량의 축거, a 는 차량의 윤거이다.

2.1.2. 곡선이탈

차량이 일정한 곡률을 가지며 차선을 이탈하는 경우 Eq. 2로 계산 시 오차가 발생하게 된다. Fig. 2는 차량이 곡선으로 직선로의 차선을 이탈하는 궤적을 도시하였다. Eq. 3은 직선로에서 차량이 일정한 곡률을 가지고 이탈할 때의 시간을 구하는 식이다.

$$T_{LC} = \frac{R_{ve}}{v} \cos^{-1} \left(\frac{R_{ve} - y_{li}}{R_{ve}} \right) \quad (3)$$

차량이 동일한 곡률을 가지게 되므로 차량이 이탈하는 시점에서 곡률의 중심과 이탈지점을 이은 선이 차량의 곡률반경이 된다. 이 곡률반경을 빗변으로 하고 초기 지점에서 차량의 곡률에서 차량과 차선과 거리 차를 아랫변으로 하는 직각 삼각형이 그려지게 된다. 직각삼각형의 한 각인 ψ 의 값을 구할 수 있게 된다. 따라서 차량의 이동길이는 반경이 R_{ve} 이고 각이 ψ 인 호의 길이가 되게 된다. 이 길이를 차량의 속도로 나누게 되면 차량이 차선을 이

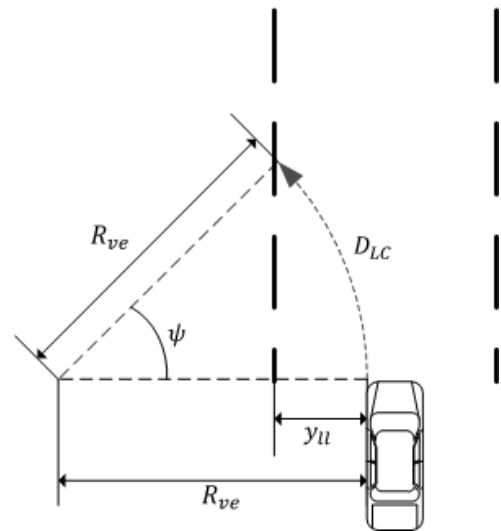


Fig. 2 Curve line crossing⁽⁵⁾

탈 할 때까지의 시간을 구할 수 있다.

2.2. 안전 천이 사고 영역⁽⁵⁾

본 논문에서는 옆 차선의 차량의 종류에 따른 차선 이탈 시 인지 반응시간에 따른 위험도를 판단하기 위하여 운전자의 반응 시 이탈차량과 상대차량의 횡 방향 거리를 토대로 세 영역을 정의 하였다. 안전영역은 운전자의 반응이 개시된 시점에서 상대차량과의 횡 방향 거리가 0.2m 이상의 경우이다. 이 경우는 운전자가 차량을 조향함으로써 사고를 방지할 수 있는 위치이다. 천이 영역의 경우 횡 방향 거리가 0~0.2m의 경우로 운전자의 조향 능력에 의하여 안전 또는 사고의 영역으로 포함될 수 있는 영역이다. 사고영역은 운전자의 반응개시 시점 이전에 사고가 일어나는 경우로 횡 방향 거리가 0 이하인 경우이다(Fig. 3).

안전영역의 한계점(Threshold)인 0.2m는 Eq. 4와 같이 정의하였다.

$$Threshold = \frac{(d_r - d_v)}{2} - a + b \quad (4)$$

d_v 은 도로 폭으로 LDWS의 작동범위에 해당되는 도로 폭으로 Table 1에서 나타낸 도로설계 기준의 60km/h이

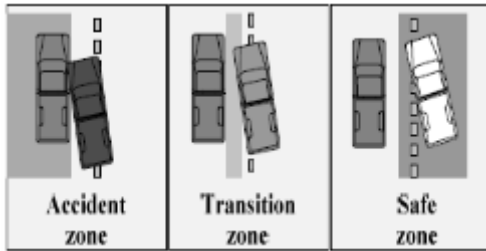


Fig. 3 Schematic diagram of three zones⁽⁵⁾

Table 1 Design velocity according to width of the road

Road assortment	Design velocity (km/h)	Minimum width of the road (m)	
		Province	City
Highway	≥ 100	3.50	3.50
Local road	≥ 80	3.50	5.25
	≥ 70~	3.25	3.25
	≥ 60	3.25	3.00
	60 ≥	3.00	3.00

상 속도의 최소 도로 폭인 3m이상인 경우 이다. d_v 는 차량의 전폭으로 승합차량의 2.1m인 경우를 이용하였다. a 는 0.3m의 값으로 ISO 17361과 ECE에서 현재 논의되어지고 있는 LDWS 시험평가 방법에 의하여 차선 침범 후 0.3m 까지 경고가 이루어 져야 한다고 정의하고 있다. b 는 0.05m로 차량의 침범각도를 고려하여 바퀴와 차량 앞 부분까지의 횡 방향 여유 거리를 고려한 것이다.

2.3. 경고한계시점⁽⁶⁾

경고한계 시점을 연산하기 위하여 앞 절에서 연산한 안전영역과 천이영역이 교차하는 위치까지 도달하는 시간에서 인지반응시간을 감한 시간동안 차량이 이동한 위치에서 차선까지의 횡 방향 거리를 연산하였다.

2.3.1. 직선이탈

W_p 는 경고한계 시점의 차선으로부터 거리를 나타내며 단위는 m 이다. D_p 는 경고한계 시점까지 차량의 이동 거리이며 단위는 m 이다. D_p 는 경고한계 시점까지 차량이 이동한 거리로 Eq. 5와 같이 구하여진다. T_{LCT} 는 천이영역에 차량이 진입하는 시간이며, R_t 는 인간의 인지 반응 시간이다. Eq. 6은 직선로에서 차량 방향이 일정한 각을 이루며 직선으로 이탈하는 경우에 경고한계 시점을 도출하는 식이다.

$$D_p = (T_{LCT} - R_t) V \quad (5)$$

$$W_p = D_p \sin(\theta) - y_{ll} \quad (6)$$

D_p 와 차량각도인 θ 가 이루는 직각삼각형이 형성된다. 경고한계 시점의 위치는 직각삼각형의 횡 방향 길이인 $d_p \sin \theta$ 에서 차선과 차량과의 거리인 y_{ll} 값의 차로 구할 수 있다(Fig. 4)

2.3.2. 곡선이탈

Eq. 7은 직선로에서 차량이 일정한 곡률을 가지며 이탈하는 경우에 경고한계 시점을 도출하는 식이다.

$$W_p = R_{ve} - R_{ve} \cos \frac{D_p}{R_{ve}} - y_{ll} \quad (7)$$

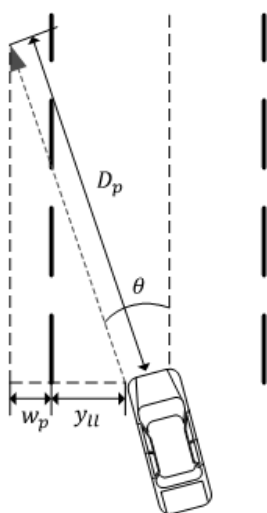


Fig. 4 Warning point of straight line crossing⁽⁵⁾

Fig. 5에서 보는 바와 같이 차량 이동거리인 D_p 는 반경이 R_{ve} 인 원호이므로 중심각은 $\frac{D_p}{R_{ve}}$ 가 된다. 경고한계 시점에서 초기차량위치와 차량회전반경중심을 이은 선에 수선을 내리면 직각 삼각형이 생성되고 빗변은 차량의 회전반경이 되고 한 각은 원호의 중심각이 되어 차량회전 중심에서 경고한계 시점까지 횡 방향 거리를 계산할 수 있다. 이 값을 차량반경에서 빼고 다시 초기 차량과 차선과의 거리인 y_{ll} 값을 빼면 차선과 한계시점의 거리인 w_p 를 구할 수 있다.

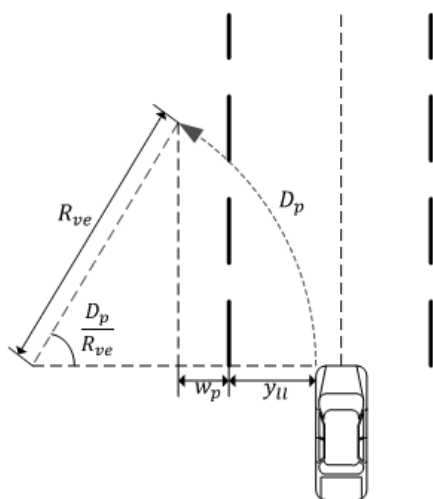


Fig. 5 Warning point of curve line crossing⁽⁵⁾

2.4. 인지반응시간

인간은 시각, 촉각, 청각 등의 정보가 신체의 감각기관을 통하여 감지되면 인간은 이 정보들을 경험 또는 학습을 통하여 해석하고 의사 결정을 하게 된다. 이 결정을 신체 기관에 명령을 통하여 행동을 하도록 한다. 이러한 과정에서 걸리는 시간을 인지 반응 시간이라 한다. 본 논문에서 사용된 인지 반응시간은 2009년에 Kim이 제시한 인지반응시간들 중 경고음의 주파수에 따른 인지반응 시간을 사용하였다. 20대 운전자는 0.5초, 40대 운전자는 0.6초 그리고 60대 운전자는 0.7초의 인지 반응시간을 적용하였다. 2008년 경찰청 집계에 따르면 70대, 80대 운전자의 비율은 1.5%, 0.1%이다. 70대와 80대의 실험 대상을 모집하기 어렵기 때문에 현재까지 고령 운전자에 대한 연구가 60대 이상으로 이루어지고 있다.⁽⁶⁾

3. 실험방법

3.1. 가정

본 논문에서는 옆 차선의 차량의 종류에 따른 차선 이탈시 인지 반응시간에 따른 위험도 및 경고 한계시점을 판단하기 위하여 다음과 같은 가정을 설정하였다.

- 1) LDWS 장치는 완벽하게 작동한다.
- 2) 상대차량의 위치는 차로의 중앙에 위치한다.
- 3) 차로는 직선이다.
- 4) 차량의 모양은 직사각형이다.

3.2. 실험조건

LDWS의 사고 감소효과를 알아보기 위한 시뮬레이션을 위하여 분석한 실험조건은 다음과 같다.

- 1) 차로의 폭은 3.5m
- 2) 차량의 속도는 60~100km/h
- 3) 차량과 차선과의 각도는 1~5도
- 4) 인지반응시간은 0.5~0.7초
- 5) 승용차량의 차폭은 1.6m
- 6) 승합차량의 차폭은 2.1m
- 7) 화물차량의 차폭은 1.9m

대부분의 LDWS 장치가 60km/h이상에서 작동하도록

Table 2 Ratio of vehicle registration

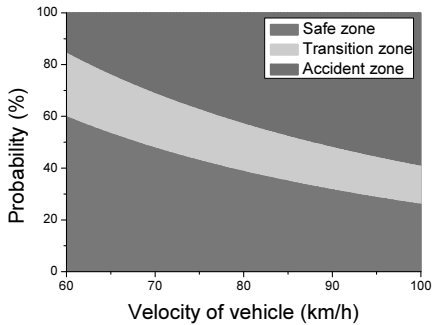
Type of vehicle	Passenger car	Bus	Truck
ratio(%)	68	12	20

설계되어 있고 대형 사고의 가능성이 가장 높은 도로인 고속도로를 기준으로 도로 폭을 3.5m로 설정하였다. 차선과 차량과의 각도는 급차선 변경인 5도 이상을 제외하여 1~5도로 설정하였다. 인지반응시간의 범위는 20대의 경우 0.5초, 30대의 경우 0.6초, 60대의 경우 0.7초로 설정하였다. 차량들의 폭은 차량의 제원들을 조사하여 평균적인 대표차종을 선정하여 결정하였다. 차종별 비율은 통계청 자료 중 차량의 등록 비율을 이용하여 분석하였다 (Table 2).

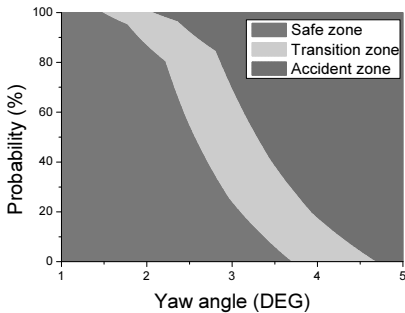
4. 실험결과

4.1. 차종 비율을 고려한 사고 확률

Fig. 6은 차량등록대수의 비율을 고려하여 상대 차량 종류의 확률을 적용하여 차량의 yaw각과 차량속도에 따



(a) Accident probability trend for vehicle velocity



(b) Accident probability trend for yaw angle

Fig. 6 Accident probability trend (reaction time : 0.7second)

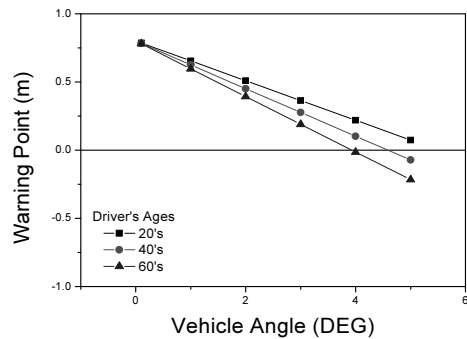
른 사고 확률을 나타내는 그래프로 (a)는 이탈 차량의 속도에 따른 사고분포로 1도에서 5도 사이의 차량각도를 가질 경우 사고, 천이 및 안전의 영향을 나타내며, (b)는 이탈 차량의 각도에 따른 다고 분포로 60km/h에서 100km/h의 차량 속도를 가질 경우 사고 천이 및 안전의 영향을 나타내고 있다. 차량의 이탈각도가 2도의 경우 상대차량이 승용차의 경우는 전 속도 구간에서 안전한 결과를 나타내는 반면 승합차량과 화물차량의 경우 천이 영역이 존재하게 되어 경계선이 급격히 변하는 구간이 나타나게 된다.

4.2. 경고 한계시점

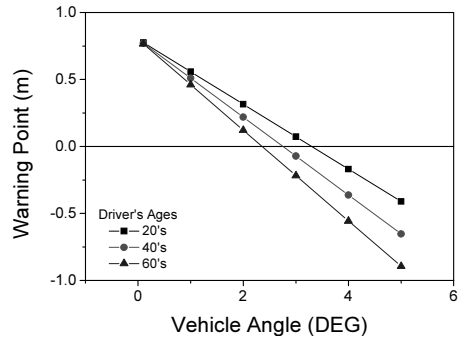
상대 차량이 승합차인 경우 다른 차종에 비하여 전폭이 넓어 승합차량의 회피 기준을 적용한다면 추돌 사고를 방지할 수 있을 것이다. 따라서 경고 한계시점은 상대차량을 승합 차량으로 한정 하였다.

4.2.1. 직선이탈

Fig. 7은 차량과 차선과의 각도변화에 대하여 경고한



(a) vehicle velocity is 60km/h



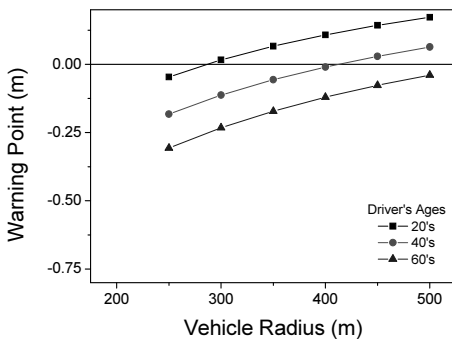
(b) vehicle velocity is 100km/h

Fig. 7 Warning distance of straight line crossing(bus)

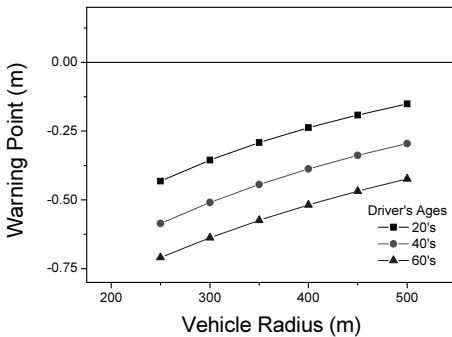
계 시점에서 차선으로부터의 거리를 나타낸 그래프이다. 음의 값의 경우 차선을 넘기 전의 위치이며 양의 값은 상대 차량이 있는 차로 위치이다. 직선이탈의 경우 UN ECE 및 NHTSA의 규격의 시험방법법인 횡방향 이탈 속도 0.8m/s는 차량속도 100km/h에서 약 1.65도의 이탈 각도로 이탈하는 경우이며 이 경우 차선으로부터 $\pm 30\text{cm}$ 이내에 경고를 하여도 사고를 회피할 수 있는 것으로 나타났다.

4.2.2. 곡선이탈

Fig. 8은 차량의 회전 곡률에 대하여 경고한계 시점의 차선으로부터의 거리를 나타낸 그래프로 60km/h의 경우 전 연령에서 $\pm 30\text{cm}$ 이내의 경고 한계 시점을 보였으나 100km/h의 속도로 주행할 경우 20대 운전자를 제외하면 경고 한계 시점이 차선을 넘기 전 30cm이상의 거리가 필요한 것으로 나타나 UN ECE 및 NHTSA 규격의 환경에서는 사고 회피 효과가 감소하는 것이 나타나고 있다.



(a) Vehicle velocity is 60km/h



(b) vehicle velocity is 100km/h

Fig. 8 Warning point of curve line crossing

5. 결론

본 연구를 통하여 차선이탈 시 상대 차량의 종류와 운전자 인지반응 시간이 사고 예방에 주는 영향을 확인할 수 있었다.

- 1) 차선의 이탈 시 상대 차량의 종류가 사고 영향에 미치는 영향을 확인하였다.
- 2) 직선로에서 차량의 이탈 시간 및 인지반응 시간을 이용하여 경고 한계시점을 도출하였다.
- 3) 차량의 곡선 이탈시 고속도로의 경우 속도 및 운전자 연령에 따라 경고 시점이 변경되어야 사고 방지 효과 증대 시킬 수 있는 것으로 나타났다.

참고문헌

- (1) S. J. Choi, 2010, "Test Procedures of Lane Departure Warning System for Passenger Car - Road and Ambient Conditions and Test Procedures", Auto Journal, Vol. 32, No. 6, pp. 27~33.
- (2) ISO 17361 Intelligent transport systems - Lane departure warning systems - Performance requirements and test procedures, 2007.
- (3) KS R ISO 3888-1 Passenger cars - Test track for a severe lane-change manoeuvre - Part 1 : Double lane change, 2008.
- (4) 박환서, 2012, "신경망 및 운전자 인지반응시간을 이용한 차선이탈경고장치 평가를 위한 경고시점 특성에 관한 연구", 박사학위논문, 경희대학교, 경기도 용인시.
- (5) H. S. Park, H. G. Lee, K. J. Chang, S. M. Yoo, 2012, "LDWS Performance Study Based on the Type of Vehicle", Journal of KSAE, Vol. 20, No. 6, pp. 39~45.
- (6) Kim, M. H. Lee, Y. T., son, J. W., Jang, C. H., 2009, "Age-related Deficits in Response Characteristics on Safety Warning of Intelligent Vehicle", Journal of Korean Society Precision Engineering, Vol. 26, No. 12, pp. 131~137.