

## 차량종류에 따른 LDWS 성능에 관한 연구

박 환 서 · 이 흥 국 · 장 경 진 · 유 송 민\*

경희대학교 기계공학과

### LDWS Performance Study Based on the Vehicle Type

Hwanseo Park · Hongguk Lee · Kyungjin Chang · Songmin Yoo\*

Department of Mechanical Engineering, Kyunghee University, Gyeonggi 446-701, Korea

(Received 31 August 2011 / Revised 21 March 2012 / Accepted 13 June 2012)

**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 has been considered to assess LDWS safety.

**Key words** : LDWS(차선이탈 경고장치), Vehicle type(차량 종류), Reaction time(인지반응시간), TLC(차선 접근 시간), safety assessments(안전도 평가)

### 1. 서 론

근래에 자동차에는 운전자 및 승객이 편리하고 안전하게 주행할 수 있도록 IT 기술이 접목된 안전 장치들이 장착되고 있다. 이러한 안전장치는 크게 두 가지로 분류되는데 교통사고 발생 후 안전장치를 수동안전시스템으로 교통사고 발생 전 안전장치를 능동안전시스템으로 분류하고 있다. 수동안전시스템은 교통사고 시 운전자와 승객의 피해를 최소화하는 데 목적이 있는 반면 능동안전 시스템은 교통사고를 미연에 방지하여 운전자의 안전성과 편의성을 목적으로 하고 있다.

능동안전 시스템은 차량의 전후방을 제어하는 종적제어 시스템과 좌우방향을 제어하는 횡적제어 시스템으로 구분되어 진다. 종적제어시스템에는 앞 차량과의 거리를 제어하는 Adaptive Cruise Control (ACC), 비상시 자동적으로 제동장치를 작동시켜주는 Automatic Emergency Braking System(AEBS) 등이 있으며 횡적제어장치에는 의도하지 않는 차선이탈을 경고하는 Lane Departure Warning System (LDWS), 차선이탈을 자동적으로 방지하는 Lane Keeping System(LKS), 차선변경 시 사각지역을 감시하는 Blind Spot Detection(BSD) 등이 있다.<sup>1)</sup>

차선이탈 경고 장치(LDWS)는 운전자의 졸음 또는 부주의로 인하여 발생 할 수 있는 차선이탈 상황

\*Corresponding author, E-mail: smyoo@khu.ac.kr

을 운전자에게 청각, 시각, 촉각 등을 통하여 경고함으로써 운전자가 위험상황을 회피하여 사고를 미연에 방지할 수 있는 보조 장치로 사고 감소에 기여하는 장치이다.<sup>2,3)</sup>

현재 국내의 일부 차량들에 장착되어 판매되고 있는 장치이며 검사 방안과 검사 규격 역시 논의 및 연구가 활발하게 이루어지고 있다.<sup>4,5)</sup> 차선이탈 경고장치의 경우 운전자의 반응능력과 차선이탈 시 상대차량의 종류에 따라서 사고의 빈도에 영향을 미치게 된다.<sup>6)</sup> 따라서 상대차량의 종류에 따른 분석이 필요하고 그 분석결과가 국제 규격이나 법규에 반영되어야 할 것이다. 본 논문에서는 차량의 차선이탈 시 LDWS장치의 경고 후 운전자의 인지반응 시간에 의하여 옆 차로 횡방향 침범 거리를 산출하여 옆 차량의 종류에 따른 횡방향 여유거리를 이용하여 LDWS 장치의 사고 감소 효과를 분석하고자 한다.

## 2. 이론적 배경

### 2.1 LDWS

LDWS는 차선을 감지하는 입력부, 차선이탈을 판단하는 제어부, 운전자에게 경보를 하는 출력부의 3가지 구조로 이루어진다. 입력부는 카메라를 이용하여 영상을 획득하고 영상처리를 통하여 차선을 인지한다. 제어부는 차량의 속도, 회전각도 및 차량의 폭을 고려하여 이탈시간을 예측하고 차선이탈 여부를 판단한다. 출력부는 차량이 차선을 이탈한 경우 운전자에게 촉각, 시각, 청각 등을 이용하여 이탈상황을 알린다(Fig. 1).

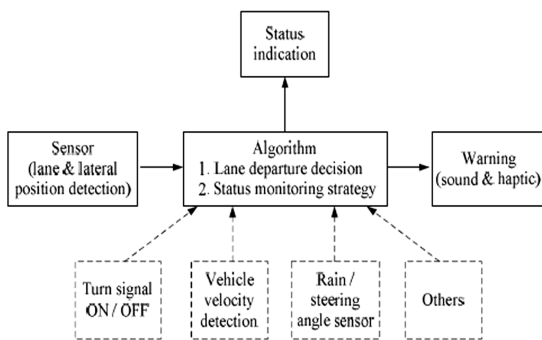


Fig. 1 Functional elements of LDWS<sup>4)</sup>

### 2.2 Time to Lane Crossing(TLC)

TLC는 차량이 일정한 속도와 진행각으로 진행하는 경우 차량이 차선에 도달하는 시간을 나타낸다. 차선이탈의 경우 차량의 바퀴의 중심을 기준으로 차량의 이탈 여부를 파악하였으나 본 논문에서는 차량이 다른 차량과의 접촉 유무를 판단하기 위하여 차량의 모서리 부분을 기준으로 TLC식을 변형하여 사용하였다(Fig. 2).<sup>7)</sup> 차량모서리에서 차선까지의 횡 방향 거리를 계산하면 다음과 같다.

$$d_H = d_l - \frac{d_v}{2} \cos \alpha - \frac{d_f}{2} \sin \alpha \quad (1)$$

$d_l$ 은 차선부터 차량의 중심까지의 거리를 나타내고,  $d_f$ 은 차량의 전장을 의미하며,  $d_v$ 는 차량의 전폭,  $\alpha$ 는 차량과 차선과의 각도를 나타낸다.

$$V_H = V \sin \alpha \quad (2)$$

식 (2)는 차량의 횡방향 속도를 나타내며  $V$ 는 차량의 진행방향 속도를 나타낸다.

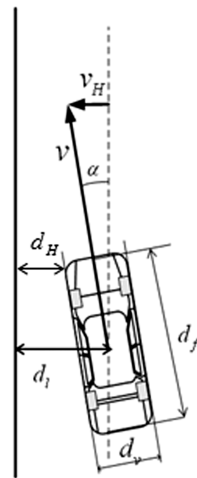


Fig. 2 Transformation of TLC

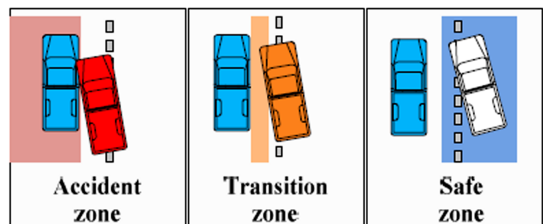


Fig. 3 Schematic diagram of three zones<sup>8)</sup>

$$TLC(t) = \frac{d_H}{V_H} \quad (3)$$

식 (3)은 차량과 차선과 만나는 시간을 나타내는 식이다.

### 2.3 안전 천이 사고 영역<sup>8)</sup>

본 논문에서는 옆 차선의 차량의 종류에 따른 차선 이탈시 인지 반응시간에 따른 위험도를 판단하기 위하여 운전자의 반응 시 이탈차량과 상대차량의 횡 방향 거리를 토대로 세 영역을 정의 하였다. 안전영역은 운전자의 반응이 개시된 시점에서 상대 차량과의 횡 방향 거리가 0.2m이상의 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 식 (4)와 같이 정의 하였다.

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

$d_r$ 은 도로의 폭으로 LDWS의 작동범위에 해당되는 도로폭으로 Table 1에서 나타낸 도로설계 기준의 60km/h이상 속도의 최소 도로폭인 3m이상인 경우이다.  $d_v$ 는 차량의 전폭으로 도로 설계기준 승합차량의 2.1m,  $a$ 는 0.3m로 ISO 17361과 ECE에서 현재 논의되어 지고 있는 LDWS 시험평가 방법에 의하여 차선 침범 후 0.3m 까지 경고가 이루어 져야 한다고 정의하고 있다.  $b$ 는 0.05m로 차량의 침범각도를 고

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

려하여 바퀴와 차량 앞부분까지의 횡방향 여유 거리를 고려한 것이다.

## 3. 실험 방법

### 3.1 가정

본 논문에서는 옆 차선의 차량의 종류에 따른 차선 이탈시 인지 반응시간에 따른 위험도를 판단하기 위하여 다음과 같은 가정을 설정하였다.

- 1) LDWS장치는 완벽하게 작동한다.
- 2) 상대차량의 위치는 차로의 중앙에 위치한다.
- 3) 차선의 이탈은 직선으로 한다.
- 4) 차로는 직선이다.
- 5) 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 0.7초
- 5) 승용차량의 차폭은 1.6m
- 6) 승합차량의 차폭은 2.1m
- 7) 화물차량의 차폭은 1.9m

대부분의 LDWS장치가 60km/h이상에서 작동하도록 설계되어 있고 대형 사고의 가능성이 가장 높은 도로인 고속도로를 기준으로 도로폭을 3.5m로 설정하였다. 차선과 차량과의 각도는 급차선 변경인 5도 이상을 제외하여 1~5도로 설정하였다.<sup>9)</sup> 인지 반응시간의 범위는 문헌들의 내용을 토대로 0.7초로 설정하였다. 차량들의 폭은 차량의 제원들을 조사하여 평균적인 대표차종을 선정하여 결정하였다. 차종별 비율은 통계청 자료 중 차량의 등록 비율을 이용하여 분석하였다(Table 2).

각 조건에서 인지반응시간 후 차량의 횡방향 여유 거리를 식 (5)에 의하여 계산하며 식 (6)에 의하여 영역을 판단한다. 인자별 사고 확률은 식 (7)에 의하

Table 2 Ratio of vehicle registration

Type of vehicle	Passenger car	Bus	Truck
Ratio (%)	68.5	11.9	19.6

여 계산된다.  $D$ 는 횡방향 여유 거리이며,  $d_{vt}$ 는 상대 차량의 전폭을 그리고  $t_r$ 은 인지반응 시간을 나타낸다.  $P_z$ 는 각 영역의 확률이며,  $N_z$ 는 각 영역의 경우의 수,  $C$ 는 모든 영역의 경우의 수이다.

$$D = \frac{d_r - d_{vt}}{2} - (\sin\alpha \times V \times t_r) \quad (5)$$

$$\begin{cases} D \leq 0 & : \text{Accident} \\ 0 < D \leq \text{Threshold} & : \text{Transition} \\ D > \text{Threshold} & : \text{Safe} \end{cases} \quad (6)$$

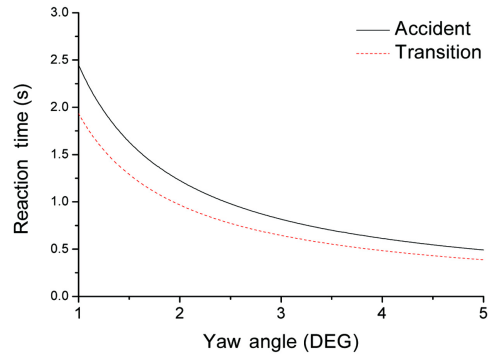
$$P_z = \frac{N_z}{C} \times 100 \quad (7)$$

#### 4. 실험결과

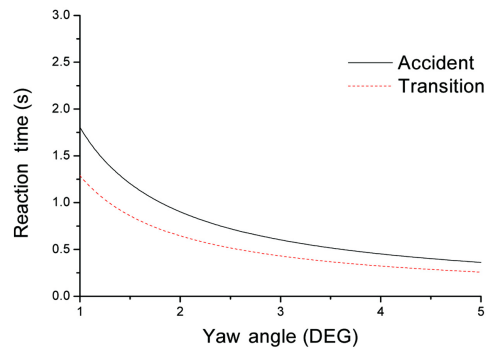
LDWS가 상황에 따라 사고를 방지하는 정도를 알아보기 위하여 상대차량의 차량의 종류와 진행하는 차량의 속도 및 각도에 따른 영향을 분석해 보았다.

##### 4.1 차량 종류별 경계변화

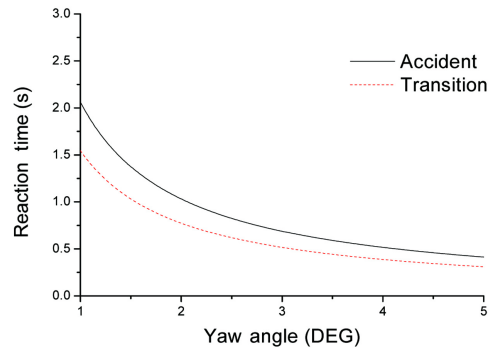
차량이 차선을 이탈시 상대 차량의 종류에 따라 안전한 구간과 천이구간 사고의 구간에 변화를 분석하기 위하여 차량 종류별 시뮬레이션을 실시하였다. Fig. 4는 이탈차량의 각도와 운전자의 인지반응 시간에 따른 구간 경계 변화를 나타내고 있다. (a)는 상대차량이 승용차량일 경우이다. 승용차량의 경우 차폭이 상대적으로 다른 차량에 비해 좁기 때문에 상대 차량과 이탈차량의 횡 방향 거리가 길어 운전자가 반응이 약간 늦더라도 사고가 일어나는 빈도가 다른 종류의 차량에 비해 적다. (b)의 경우 상대차량이 승합차인 경우를 나타내고 있다. 승합차량의 경우 3가지 차량의 종류 중 차폭이 가장 넓다. 결국 초기 횡방향 거리가 가장 짧은 경우로 사고를 방지하기 위해서는 가장 짧은 인지 반응시간이 필요하게 된다. (c)의 경우 화물차량의 경우로 승합차량과 비슷한 값을 보이나 승합차량보다 약간 작은 차폭



(a) Passenger car (80km/h)



(b) Bus (80km/h)



(c) Truck (80km/h)

Fig. 4 Transition and accident boundary trend

을 가지고 있어 승합차량과 승용차량의 중간 정도의 인지 반응시간이 필요하게 된다. 결국 경계는 차량의 차폭과 관련이 있다고 볼 수 있다.

##### 4.2 속도별 사고확률

Fig. 5는 상대차량의 종류와 이탈차량의 속도에 따른 사고, 천이 및 안전의 영향을 나타내고 있다.

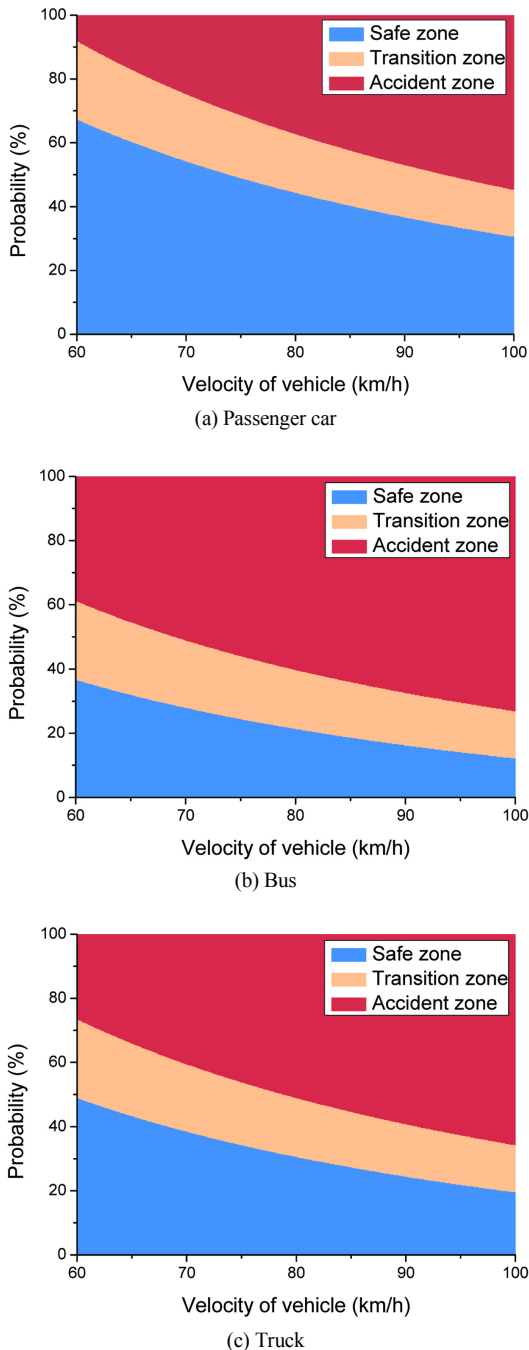


Fig. 5 Accident probability trend for vehicle velocity (reaction time : 0.7second)

차량의 속도는 고속도로 기준인 60~100km/h의 구간에서 시뮬레이션 하였다. TLC는 차량의 종 방향 속도와 반비례 관계에 있기 때문에 차량의 속도가

증가함에 따라 TLC는 감소하게 된다. 따라서 안전 영역의 경우 차량 속도와 반비례하는 관계를 가지며 경계선의 모양 역시 반비례하는 형상을 보이게 된다. 속도와 안전영역의 관계는 평균 기울기 약 -0.3정도의 영향을 가지고 있다. 상대 차량의 종류 즉, 차폭이 변하게 되고 차폭이 넓어지게 됨에 따라 두 차량과의 거리가 짧아지므로 사고 확률은 증가하게 된다.

### 4.3 각도별 사고확률

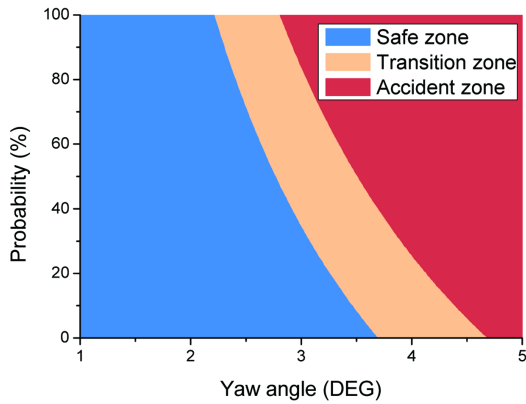
Fig. 6은 이탈차량의 각도에 따른 영향을 나타내고 있다. 이 경우는 앞의 속도별 사고확률의 경향과는 큰 차이라고 볼 수 있는 것은 천이 영역이 존재하는 각도 구간이 짧다는 것이다. 이것은 어느 일정각도 이상에서는 사고영역만이 존재하고 다른 일정구간에서는 안전 영역만이 존재 한다는 것이다. 1도 미만의 경우 상대차량의 종류와 관계없이 60~100 km/h의 경우 모두 안전한 경우가 나타나게 되었다. 반면 이탈차량의 각도가 5도인 경우는 차량의 종류와 관계없이 모든 경우에 대하여 사고 영역으로 분류 된다. 각도와 안전영역과의 관계는 평균 기울기 약 -5 정도로 본 논문에서 이용한 속도구간 과 각도구간에서 이탈 차량의 종 방향 속도보다는 이탈 각도가 사고에 더 큰 영향을 미친다는 것을 보여 주고 있다.

### 4.4 차종 비율을 고려한 사고확률

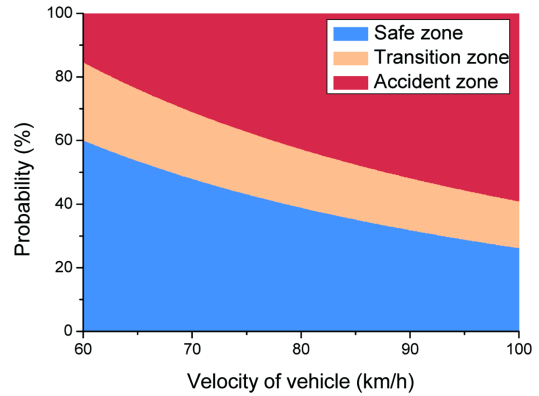
Fig. 7은 차량의 종류를 고려하여 (a)는 이탈차량의 속도에 따른 사고, 천이 및 안전의 영향을 나타내며, (b)는 이탈차량의 각도에 따른 영향을 나타내고 있다. Fig. 6에서 차량의 이탈각도가 2도의 경우를 살펴보면 상대차량이 승용의 경우는 전 속도 구간에서 안전한 결과를 나타내는 반면 승합차량과 화물차량의 경우 천이 영역이 존재 하게 된다. 따라서 Fig. 7의 (b)에서 경계선이 급격히 변하는 구간이 나타나게 된다.

## 5. 결론

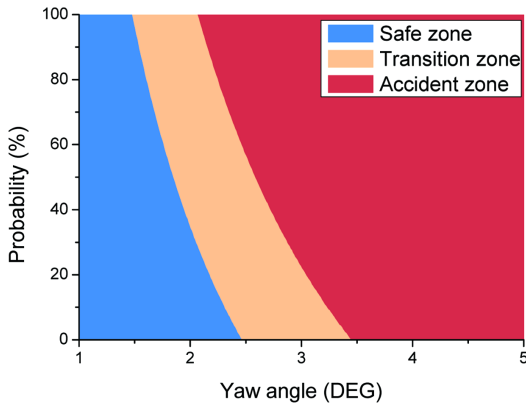
본 연구를 통하여 차선 이탈시 상대 차량의 종류, 주행조건 및 인지반응시간이 사고에 미치는 영향을 확인할 수 있었다.



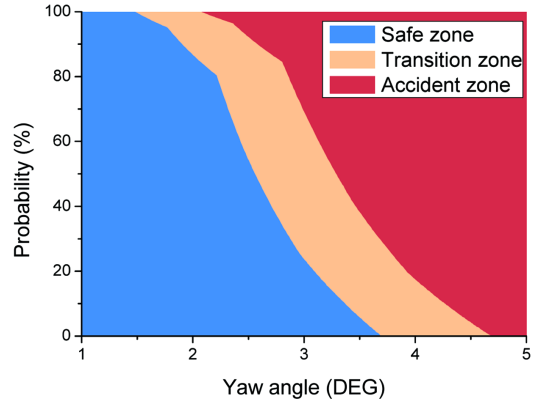
(a) Passenger car



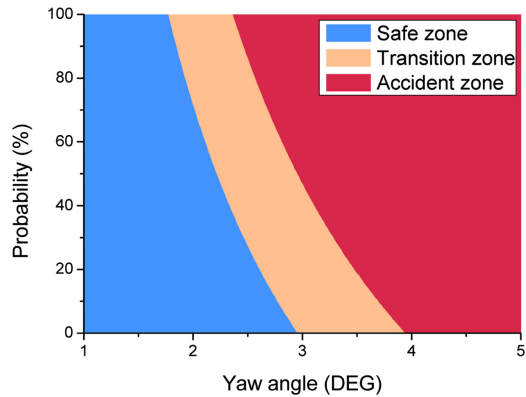
(a) Accident probability trend for vehicle velocity



(b) Bus



(b) Accident probability trend for yaw angle



(c) Truck

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

Fig. 7 Accident probability trend of vehicle registration percentage (reaction time : 0.7second)

- 1) 차선 이탈시 차량의 주행조건과 운전자의 인지 반응시간과의 영향을 통하여 사고 확률과 각 영역을 구분하는 경계를 확인하였다.

- 2) 차량의 속도와 사고 확률과의 비례의 관계에 있다는 것을 확인하였다.
- 3) 차선의 이탈각도와 사고 확률과의 비례의 관계에 있다는 것을 확인하였다.
- 4) 차선 이탈 각도의 변화가 이탈 속도변화에 비하여 더 큰 영향이 있는 것을 확인하였다.
- 5) 상대차량의 종류가 각 구간에 미치는 영향을 확인하였다.

본 연구 결과로 인지반응과 차종별 영향을 분석하므로 차선이탈 경고장치의 평가방안 확립에 활용할 수 있을 것이다.

## 후 기

본 연구는 국토해양부 교통체계효율화사업의 연

구비로 수행되었습니다.

### References

- 1) B. R. Shin, "Lane Keeping Assist System's Ultimate Route Design Review & Commercial Trend," Fall Conference Proceedings, KSAE, pp.1465-1474, 2006.
- 2) J. Y. Lee, S. W. Moon, K. S. Yi, B. M. Yun and S. B. Yu, "A Lane Departure Warning Algorithm and Forward Collision Warning Algorithm with an Only One Camera," Annual Conference Proceedings, KSAE, pp.1853-1860, 2009.
- 3) J. H. Song, D. H. Sung, D. H. Lee and W. S. Lee, "Evaluation of a Lane Departure Warning System Using a Driving Simulator," Annual Conference Proceedings, KSAE, pp.1709-1714, 2008.
- 4) ISO 17361 Intelligent Transport Systems - Lane Departure Warning Systems - Performance Requirements and Test Procedures, 2007.
- 5) S. J. Choi, "Test Procedures of Lane Departure Warning System for Passenger Car - Road and Ambient Conditions and Test Procedures," Auto Journal, KSAE, Vol.32, No.6, pp.27-33, 2010.
- 6) M. H. Kim and J. W. Son, "Driving Behavior Analysis of Elderly Driver for Development of Elderly-Friendly Vehicle Safety," Annual Conference Proceedings, KSAE, pp.1721-1726, 2008.
- 7) S. Mammer, S. Glaser, M. Netto and J. M. Blossville, "Time to Line Crossing for Lane Departure Avoidance: A Theoretical Study and an Experimental Setting," IEEE Intelligent Transportation Systems, Vol.7, No.2, pp.226-241, 2006.
- 8) H. G. Lee, H. S. Park and S. M. Yoo, "Ldws Performance Study Based on Human Factors," 22nd Enhanced Safety of Vehicles Conference Washington D.C., 11-0147-W, 2011.
- 9) KS R ISO 3888-1 Passenger Cars - Test Track for a Severe Lane-change Manoeuvre - Part 1 : Double Lane Change, 2008.