

# 車道偏移警示系統實車搭載功能驗證之探討

財團法人車輛研究測試中心

技術服務處 試車場部

黃榮章(副工程師)、吳漢鵬(助理工程師)、施聰評(副工程師)

## 1. 前言

隨著現今快速的經濟脈動，人類對運輸工具的需求及依賴不斷地提高，伴隨而來的交通肇事率及乘員傷亡數亦日益激增，根據資料統計，全球每年在交通事故中的傷亡人數高達兩千萬。依 2003 年美國的道路交通安全局(National Highway Traffic Safety Administration, NHTSA)的研究調查顯示，因駕駛者疏忽所造成的車輛非預期偏離車道之死亡事故，約佔所有肇事原因的四成以上。為了有效降低因駕駛者的不專心所導致的事故發生，車道偏移警示系統(Lane Departure Warning System, LDWS)被世界各國逐漸重視及投入開發。在歐洲已預計 2013 年起強制大型車輛安裝該系統，而台灣已於今年 3 月起推動營運巴士搭載該系統進行試運行，未來將視其應用狀況，考量全面加裝的可能性[1]。

LDWS 主要功能運作係透過車道線感測器持續即時地偵測車輛與車道線的相對位置，一旦發生車輛在非蓄意(無轉向訊號)情形下開始偏移車道時，則系統自動發出聲音、視覺或觸覺等警示訊號，提醒駕駛者應即時做出應變以避免事故的發生。目前市售的商品中，其車道線感測器型式大多屬影像偵測式，利用架設在車內的 CCD 相機擷取前方車道影像，然後經影像處理與演算，產生車道線辨識能力；而另類感測器如光感偵測式，係利用路面與車道線反射光量的特性，透過光敏電阻進行光電訊號轉換，作為偏移訊號的偵判來源[2]。

在 LDWS 實車搭載功能驗證之研究上，K. Suzuki 等人曾分別針對 LDWS 適當的警示時間[3]及警示期間駕駛的操控行為[4]，進行實測分析與探究；G. ABE[5]則針對 LDWS 在安全駕駛上有效性進行評價。在本研究中，首先針對 LDWS 進行國際間法規與標準之蒐集與研究，進一步規劃出 LDWS 實車搭載功能測試驗證項目，並對於不

同的市售商品進行實測驗證與數據分析探討，以為各界相關研發設計與驗證之參考。

## 2. LDWS 功能測試驗證規劃

在 LDWS 法規與標準蒐集研究中發現，歐盟雖已預計 2013 年起強制大型車輛加裝 LDWS，但截至目前尚無相關法規之發布；而在國際標準規範上，2005 年美國汽車運輸安全局(Federal Motor Carrier Safety Administration, FMCSA)首先對於 LDWS 之操作需求制定了一份參考技術文件[6]，內容包含系統功能、資料傳輸、軟硬體及人機介面等層面需求；接著，國際 ISO 組織以 LDWS 使用者的角度考量，亦於 2007 年制定 ISO 17361-LDWS 性能要求與測試流程之標準[7]。

### 2.1 試驗評估項目

表 1 為參考 FMCSA 技術文件及 ISO 17361 標準所規劃之 LDWS 實車搭載功能測試驗證項目，主要可分為三大類：基本功能試驗(系統啟動時間、適用速率、車道線辨識力、照度之影響及雨天試驗)、誤作動試驗及偏移率(Rate of Departure)試驗，表中並指出各項試驗之測試條件(車速、照度)、測試內容及性能規範要求。在 ISO 17361 標準中並無載明系統偵測成功率與誤作動率之規範值，建議參考 ISO 15623 前方碰撞警示系統測試標準中所提之系統可靠度須大於 90% 為規範值；而在本研究中係以 FMCSA 技術文件所建議之性能要求，系統可靠度應大於 95% 且誤作動率應小於 5%，作為測試驗證之規範依據。

### 2.2 試驗規劃說明

本研究在市售 LDWS 測試驗證研究上，係針對兩組不同車道線感測器型式(影像偵測式及光感偵測式)之 LDWS 同時搭載於一部試驗小轎車上，應用表 1 規劃之系統功能評估項目，驗證系統辨識可靠度及誤作動率，探討系統偵測失敗及誤作動之原因；進一步建立可評估 LDWS 警示時機是否過晚或太早之偏移率試驗技術平台，並應用此平台探究系統實測數據所呈現之特性與意義。

表 1 LDWS 實車搭載功能評估項目

項次	測試名稱	測試條件	測試分項/內容	規範要求
1	系統啟動試驗	怠速	量測車輛發動後至指示器告知駕駛系統啟動之時間	系統完成開啟之時間 ≤ 30 sec
2	系統適用速率範圍試驗	照度 > 500 Lux	A. 量測系統可作動之最低速率 B. 測試系統在車速 70~160 km/h 間之可靠度	系統可靠度 > 95%
3	車道線辨識試驗	照度 > 500 Lux 車速 60 ~ 70 km/h	車輛於以下車道線型式，進行車道偏移測試： A. 實線與虛線 B. 單線與雙線 C. 白線與黃線 D. 鋪面凸起標誌(貓眼石/反光片) E. 車道線塗佈與無塗佈反光材料	系統可靠度 > 95%
4	照度影響試驗	車速 60 ~ 70 km/h	車輛於以下光照狀態，進行車道偏移測試： A. 白天(照度 > 500 Lux) B. 夜晚(照度 < 50 Lux) C. 黃昏或黎明(50 Lux < 照度 < 500 Lux)	系統可靠度 > 95%
5	雨天試驗	照度 > 500 Lux 車速 60 ~ 70 km/h	車輛於以下降雨狀態，進行車道偏移測試： A. 小雨(雨刷開啟中速，1 ~ 2段) B. 大雨(雨刷開啟高速，3 ~ 5段)	系統可靠度 > 95%
6	系統誤作動試驗	照度 > 500 Lux 車速 60 ~ 70 km/h	A. 車輛不跨越車道線行駛 1 km B. 車輛方向燈開啟測試 C. 交通標線(非車道線)誤作動測試	誤作動率 < 5%
7	偏移率試驗	照度 > 500 Lux 車速 60 ~ 80 km/h	車輛於以下跑道，量測在不同偏移(0 ~ 0.8 m/s)下，系統發出警示時車身側與車道邊緣之距離： A. 直線跑道 B. 轉彎跑道 - 曲率半徑 ≥ 500 m(Class I); 曲率半徑 ≥ 250 m(Class II)	警示時車身側與車道邊緣之距離： (1) 最遲警示： < 0.3 m (小轎車); < 1 m (貨車, 巴士) (2) 最早警示： < 0.75 m (偏移率 ≤ 0.5 m/s); 0.75 ~ 1.2 m (0.5 m/s < 偏移率 ≤ 0.8 m/s)

### 3. 系統可靠度與誤作動之探討

本研究針對兩組不同車道線感測器型式之市售 LDWS，同時搭載於一部試驗小轎車上，同步進行功能測試驗證。這兩組的市售商品，其一以 A 系統稱之，係為影像偵測式，以裝設於車輛後視鏡後方之

一台小型攝影機擷取前方車道影像，經影像處理與演算，辨識車道線；另一以 B 系統稱之，係為光感偵測式，以裝設於車輛前保險桿下方之四顆光感元件，量測路面或車道線之反射光量，透過反射光量之差異，產生辨識的能力。

### 3.1 系統啟動與適用速率範圍

針對 A 及 B 兩組 LDWS 進行表 1 所列之各項試驗，在系統啟動試驗中，量測車輛 Key ON 後至 LDWS 啟動指示燈亮起之時間差，量測結果分別為 8 秒及 1 秒，皆符合 FMCSA 技術文件之規範要求。

在系統速率適用範圍試驗中得知，A 系統之設計係為當車速達到 50 km/h 時車道偏移警示功能啟動，當速率降低至 50~45 km/h 時仍可持續作用，但當速率低於 45 km/h 以下時則功能關閉；而 B 系統之設計則為當車速大於零時功能即啟動，且當車輛 Key OFF 功能才關閉；另外，進行系統高速試驗發現，當車速高達 160 km/h 時，兩組系統的辨識能力皆不會因速率的增加而降低。

### 3.2 系統之車道線辨識能力

表 2 為 A 及 B 兩組 LDWS 進行車道線辨識、照度影響及雨天試驗之結果。在車道線辨識試驗中，係行經一般道路上之各種車道線，如實線或虛線、單線或雙線、白線與黃線、裝設貓眼石或反光片之車道線，以進行系統辨識率評估。由表 2 之 1.1~1.4 試驗結果可知，A 系統整體辨識可靠度較 B 系統為高，B 系統對於實線(含單實線與雙實線)或裝設貓眼石之車道線辨識功能明顯較差。

此外，針對無塗佈反光材料之車道線(試驗地點車輛中心試車場)進行評估，如表 2 之 1.5 試驗結果，A 及 B 兩組系統之辨識可靠度皆

明顯降低，可能由於 B 系統係以反射光量為偵測策略，故性能差異尤為明顯。

### 3.3 天候條件對系統之影響

在照度影響試驗方面，A 系統在不同照度下辨識可靠度皆可達 98% 以上，而 B 系統則明顯地隨著照度愈低而辨識率大幅降低。在雨天試驗方面，因試驗期間無遭遇大雨(雨刷開啟高速)之狀態，故試驗僅於小雨狀態下進行，表 2 之結果顯示在雨天的狀態下兩組系統之辨識可靠度相較於非雨天條件皆有所降低。

另外，在試驗評估中亦發現，B 系統具有隨使用時間愈久而辨識能力降低之特性，主要原因可能係因其感測元件安裝於車外，容易遭受道路沙塵及積水路面水濺之污染而導致性能的降低，若經清潔感測元件，則性能通常會再提昇恢復。

表 2 市售 LDWS 系統可靠度評估

項次	測試名稱	測試分項	測試次數	警示次數		可靠度		
				A系統	B系統	A系統	B系統	
1	車道線辨識試驗	1.1	實線車道線	140	139	116	99%	83%
			虛線車道線	60	58	58	97%	97%
		1.2	單線車道線	140	138	127	99%	91%
			雙線車道線	60	59	47	98%	78%
		1.3	白色車道線	120	119	107	99%	89%
			黃色車道線	80	78	67	98%	84%
		1.4	車道線+貓眼石	40	39	29	98%	73%
			車道線+反光片	40	40	34	100%	85%
1.5	無塗佈反光材料之車道線	80	72	58	90%	73%		
2	照度影響試驗	2.1	白天(照度 > 500 Lux)	60	59	55	98%	92%
		2.2	夜晚(照度 < 50 Lux)	80	79	53	99%	66%
		2.3	黃昏或黎明 (50 Lux < 照度 < 500 Lux)	40	39	34	98%	85%
3	雨天試驗	3.1	小雨(雨刷開啟中速)	20	19	16	95%	80%
		3.2	大雨(雨刷開啟高速)	---	---	---	---	---

### 3.4 系統誤作動評估

在 LDWS 產品開發上，除了以提昇系統對車道線辨識之可靠度為設計目標外，也應同時考量如何減少系統在非車道偏移時誤警示的頻度，以提高產品的被接受度。在本研究中，針對市售 LDWS 誤警示之評估，其項目包括開啟方向燈後再偏移車道之測試、試驗車輛不跨越車道行駛 1 公里之誤報率，以及系統對於道路上之非車道線(如交通標線)之誤報率。

表 3 為 A 及 B 兩組系統誤作動試驗之結果。在方向燈開啟後進行車道偏移之試驗中發現，兩組系統之設計有所差異，A 系統的設計方式係為當方向燈開啟後，若偏移方向與方向燈方向相同時不發出警示，若不同時則警示產生；而 B 系統的設計則採用只要當方向燈一開啟，則系統警示之功能則關閉不作動。從表中的結果可知，在試驗的期間，A 系統曾有 1 次誤警示發生，B 系統則未曾發生。

在不跨越車道線行駛 1 公里之試驗中，係針對不同道路進行試驗，包括 ARTC 高速周回路、高速公路、快速道路、一般平面道路及隧道；在行經交通標線之誤作動試驗方面，則針對平面道路上常見之枕木紋行人穿越道線、網狀線及機車停等線為測試標的。試驗時之行駛車速以不超過道路限速為原則。從表中的結果可知，在試驗期間，A 系統未曾發生誤警示的現象；而 B 系統則有多次系統誤警示的發生。

探究系統發生誤警示之時機發現，當試驗車輛行經橋樑接縫、人孔蓋、鐵路平交道、過度潮濕或積水路面、道路上之陰影或煞車痕、過於複雜的標線區域…等處時，容易有系統誤警示的產生。在本研究之試驗期間，當 B 系統在 ARTC 高速周回路或隧道上進行測試時，因道路上鮮少發生上述之狀況，故期間就無發生系統誤警示(如表 3

之 2.1 及 2.5 分項)。建議 B 系統設計改良時，應針對易造成誤作動發生之干擾物，提高其訊雜比；另外，建議可將其使用之速率範圍設定於高、快速道路上使用，以降低一般平面道路常出現上述狀況而造成系統誤作動之機率。

表 3 市售 LDWS 系統誤報率評估

項次	測試名稱	測試分項	測試次數	警示次數		誤報率	
				A系統	B系統	A系統	B系統
1	方向燈開啟測試	1.1 開啟左側(右側)方向燈, 往左側(右側)方向偏移	20	0	0	0%	0%
		1.2 開啟左側(右側)方向燈, 往右側(左側)方向偏移	20	20	0	---	---
		1.3 開啟左側(右側)方向燈, 往左側(右側)偏移後, 跨越車道線直行500公尺	20	1	0	5%	0%
2	試驗車輛不跨越車道線行駛 1公里	2.1 ARTC高速周回路行駛	20	0	0	0%	0%
		2.2 高速公路(國道3號)行駛	20	0	9	0%	45%
		2.3 快速公路(省道76號)行駛	20	0	5	0%	25%
		2.4 一般公路(省道19號)行駛	20	0	15	0%	75%
		2.5 隧道(八卦山隧道)內行駛	5	0	0	0%	0%
3	交通標線(非車道線)誤作動測試	3.1 行經枕木紋行人穿越道線	20	0	3	0%	15%
		3.2 行經網狀線	20	0	1	0%	5%
		3.3 行經機車停等區線	20	0	1	0%	5%

#### 4. 偏移率測試驗證之探討

偏移率試驗之主要目的是為了評估當車輛偏移接近車道線時，LDWS 系統發出警示的時機是否過晚或太早。若系統發出警示的時間點過晚，對於過於依賴或相信此系統的駕駛者，可能來不及做出緊急正確之應變，而適得其反地導致車禍的發生；相反地，若系統太早警示，系統反應將過度靈敏，可能與駕駛者的認知不同而逐漸被懷疑，因而最終被駕駛者忽略或關機，無法發揮產品的功能。

#### 4.1 偏移率試驗平台

在偏移率試驗中，主要量測參數為車輛偏移導致系統發出警示時的車輛偏移率(警示瞬間車速在垂直車道線方向之速度分量)及車輛-車道線間距，並確認兩者相互之關係。

圖 1 為 LDWS 偏移率試驗平台之架構，試驗中利用雷射測距儀測量車輛與車道線間之距離，以資料擷取系統內建之計時器即時記錄車輛偏移之時間。試驗前，如圖 1(b)所示，將雷達測距儀裝設於車輛前方保險桿之中央位置，鏡頭指向與測試道的車道線平行之參考平面；車道偏移觸發開關與聲響感知器則分別安置固定於方向盤上及 LDWS 警示聲響發報器處，兩者測得訊號之時間差即為偏移車道起始至系統發出警示之時間；最後將所有欲擷取與儲存之訊號與資料擷取系統做連結，並透過量測訊號的處理與分析，求得所需之試驗結果。

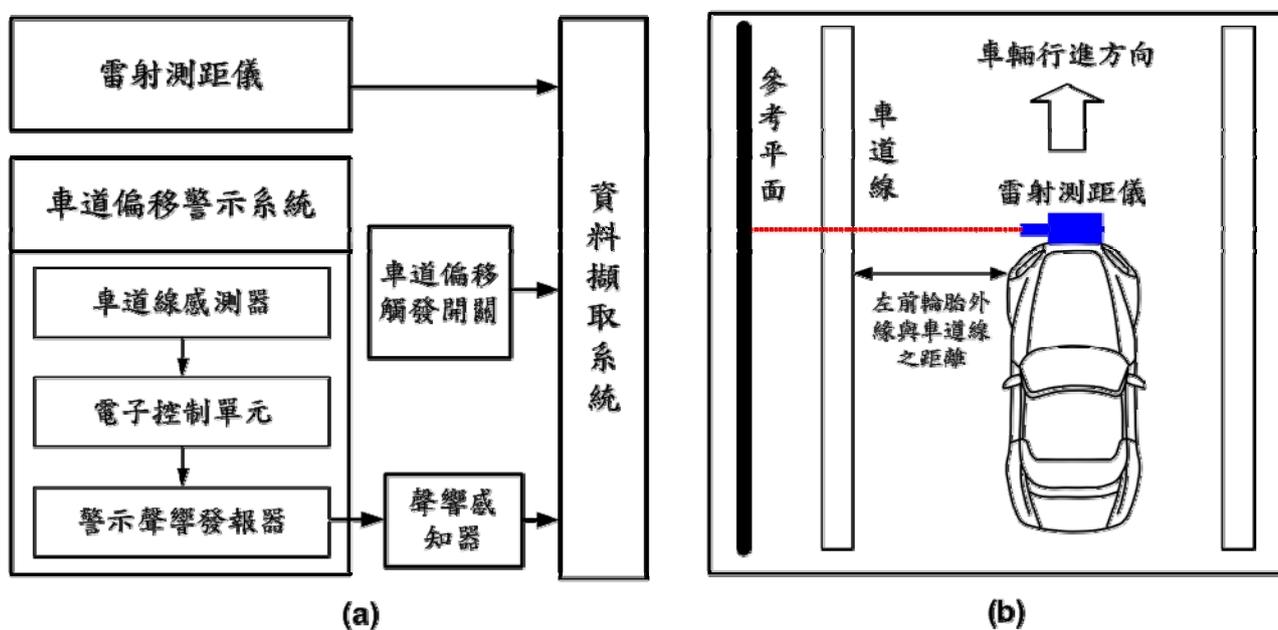


圖 1 LDWS 偏移率試驗平台

## 4.2 偏移率試驗結果

圖 2 為市售 A 系統搭載於不同車型的試驗車輛-小轎車(甲車)及客貨兩用車(乙車)-進行偏移率試驗之結果，圖中顯示試驗車輛向左偏移車道後，系統主動發出警示時，即偏移跨越警示門檻線(warning threshold，當車輛偏移超過某界線時系統發出警示訊號，則此界線稱之，通常為偏移率之函數)當時，車輛偏移率與車輛-車道線距離之關係。

由圖中可得知，該系統搭載於同一部試驗車輛時，當車輛偏移率愈高，警示時車輛距離左側車道線愈遠，即表示系統愈早發出警示；再者，比較試驗結果與表 1 項次 7 之 ISO 規範值可知，A 系統無論搭載在小轎車或客貨兩用車上，其所有的測試數據點皆落在兩條規範之最晚警示線(latest warning line)與最早警示線(earliest warning line)的範圍內，亦即該系統的設計符合 ISO 17361 之規範。此外，從圖 2 亦可明顯看出，在同一偏移率下，系統搭載在客貨兩用車(乙車)時系統發出警示的時間，相較於搭載在小轎車(甲車)時為提早反應，但兩者的偏移率與車輛-車道線距離關係之趨勢仍接近一致(如圖中兩條線性迴歸線之斜率值相近)。

由以上之試驗結果可知，LDWS 在安裝及設定時，可能因為不同車型之前擋風玻璃寬度與高度的不同、車寬與車高的不同、後視鏡位置的差異等因素，使得系統靈敏度隨之改變；因此，建議在完成系統裝設後應針對不同車型進行必要之試驗調校，避免系統發出警示的時機過晚或太早，調整至最適合駕駛者需求的警示時間。

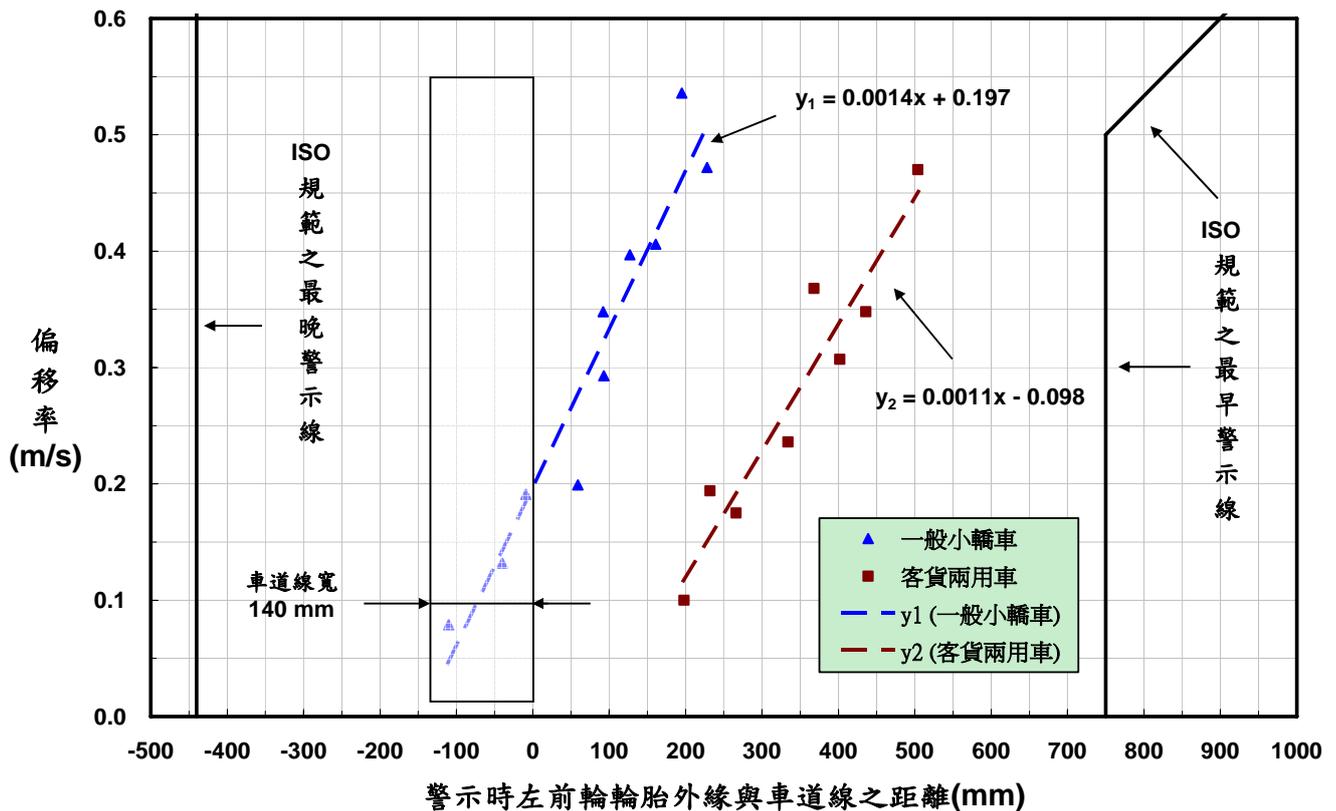


圖 2 市售 LDWS 搭載於不同車型之偏移率試驗結果

## 5. 結論

本文係針對已商品化之 LDWS 進行系統功能測試評估驗證之研究，內容可總結如下：

1. 參考 FMCSA 技術文件及 ISO 17361 標準，對於 LDWS 的基本功能、警示可靠度與誤報率、偏移率影響等要項，規劃系統實車搭載功能評估項目與驗證方法。
2. 針對兩組市售產品進行功能評估，依規劃之實車驗證方法探究影響系統警示可靠度與誤報率之可能因素。
3. 整體的評估結果為影像式 A 系統之警示可靠度較光感式 B 系統為高，且誤作動率較低。建議 B 系統應改善易受道路沙塵

與浸水污染之問題，以提昇車道線辨識力；應針對易造成誤作動發生之干擾，提高訊雜比，並建議設定於高、快速道路上使用，以有效降低系統誤作動之機率。

4. 建立 LDWS 偏移率試驗平台，探討市售產品搭載於不同車型時所得的實測數據之差異性，以為各界未來相關研發設計與驗證之參考。

## 參考文獻

- [1] 車輛中心研發處，「車輛駕駛警示系統試運行」，車輛研測資訊，第 75 期，pp. 16，2010。
- [2] C.-J. Huang, C.-K. Tsun et al., “Alerting system of a vehicle deviating from its traffic lane,” *United States Patent*, No. US 7355526 B2, 2008.
- [3] K. Suzuki, H. Soma, K. Hiramatsu, “Analysis of Lane Departure Warning Timing,” *JARI Research Journal*, Vol. 21, pp. 34, 1999.
- [4] K. Suzuki, H. Jansson, “Analysis of Warning Methods for Lane Departure Warning System,” *JARI Research Journal*, Vol. 23, pp. 597, 2001.
- [5] G. ABE, “A Study on Estimating the Effectiveness of ASV Technologies,” *JARI Research Journal*, Vol. 30, pp. 639, 2008.
- [6] A. Houser, J. Pierowicz et al., “Concept of operations and voluntary operational requirements for lane departure warning system (LDWS) on-board commercial motor vehicles,” *Technical Report of Federal Motor Carrier Safety Administration*, No. FMCSA-MCRR-05-005, 2008.
- [7] Technical Committee ISO/TC 204, *ISO 17361: Intelligent transport systems - Lane departure warning systems – Performance requirements and test procedures*, 2007.