자동긴급제동장치의 안전성 평가방법

장 현 익¹⁾ · 조 성 우²⁾ · 용 부 중^{*1)}

경일대학교 대학원 기계공학과¹⁾ · 교통안전공단 자동차안전연구원²⁾

The Safety Evaluation Method of Advanced Emergency Braking System

Hyunik Jang¹⁾ · Seongwoo Cho²⁾ · Boojoong Yong^{*1)}

¹⁾Department of Mechanical Engineering, Graduate School, Kyungil University, Gyeongbuk 712-701, Korea

²⁾Korea Automobile Testing & Research Institute, 625 Samjon-ri, Songsan-myeon, Hwaseong-si, Gyeonggi 445-871, Korea

(Received 27 December 2012 / Revised 15 January 2013 / Accepted 6 February 2013)

Abstract : Recently, there have been efforts in many countries to reduce social expenses and casualties resulting due to car accidents. As such, ASS (active safety systems) are being researched and developed to prevent accidents and target mitigation. Among many useful active safety systems, it has been reported that commercial AEBS (Advanced Emergency Braking System) effectively prevents accidents and reduces casualties simultaneously. Accordingly, it is necessary to set Korean AEBS standards, and this research analyzes international AEBS standards for this necessity. In addition to the evaluation methodology of AEBS ECE Regulation, this study suggests traffic scenarios that occur frequently in domestic road environments, and provides an evaluation system for AEBS of the scenarios. Finally, the performance and safety of AEBS are evaluated through field test.

Key words : ASS(능동안전장치), AEBS(자동긴급제동장치), ECE regulation(유럽경제위원회 규정), TTC(충돌 경고시간), Field test(실차시험)

1. 서 론

유럽경제위원회(UNECE)는 산하의 자동차기술 기준조화포럼(WP29)내에 ITS Informal group을 2002년에 신설하여 자동차와 탑승자의 안전을 위한 능동안전장치의 안전기준(Technical Regulations)을 제정하기 시작하였다. 이를 계기로 유럽, 미국, 일본 등에서는 능동안전장치들에 대한 연구가 최근 활발히 진행되고 있다. 특히, 유럽연합(EU)은 AEBS 도입 시에 유럽연합 전체에서 매년 자동차사고로 인한 사망자수를 8,000여명, 중상자수를 20,000여명 이상 감소시킬 수 있다는 연구결과를 발표하였다. 미국 도로교통안전국(NHTSA)에 의하면, AEBS에 포함된 전방충돌경고장치(Foward Collision Warning)는

대형승합, 화물자동차에 의한 추돌사고를 해마다 4,800건 이상 방지 할 수 있다고 분석되었다. 한편 일본 국토교통성은 대형 트럭 관련 추돌사고의 치사율이 승용차의 12배라는 연구결과를 발표함으로써, 대형 승합, 화물 자동차의 추돌사고에 대한 위험성을 강조하였다.¹⁻³⁾

국내에서도 UNECE/WP29의 AEBS/LDWS Informal group에 참석하여 국제기준 제정에 대응하고 있으며, 국내 신차안전도평가(KNCAP)에 능동안전장치에 대한 안전성 평가 반영을 준비하고 있다. 본 연구는 AEBS(Advanced Emergency Braking System) 성능 평가와 국제기준과의 연계성을 분석하여 AEBS의 안전성 평가기술을 개발하였다. 이를 바탕으로 관련 안전기준제정을 위한 기초자료를 제공하고, 첨단안전장치의 조기 시장진입과 교통사고 감소를

*Corresponding author, E-mail: yong@kiu.ac.kr

유도하고자 한다.

2. AEBS 시스템 개요 및 현황

2.1 AEBS 국내의 연구 및 정책 현황

국제표준화기구(ISO)는 자동차 사고예방을 위해 지능형교통시스템분과(TC204) 내에 Fig. 1과 같이 자동차, 도로 경고 및 제어 시스템분과인 WG14 (Working group 14)를 1993년에 신설하였다.

WG14는 ACC(Advanced cruise control), LSF(Low Speed Following), FVCWS(Forward Vehicle Collision Warning System) 등의 능동안전장치들에 대한 표준화 작업에 착수하여, 능동형안전장치 성능평가를 위한 표준제정이 진행되고 있다. 국제 표준제정과 함께 국제기준제정을 위한 활동도 진행되어, 유럽경제위원회(UNECE) 산하의 자동차기술기준조화포럼(WP29) 내에 ITS Informal group이 2002년에 신설되었다. 여기서는 자동차와 운전자의 안전성에 관한 능동안전장치의 안전기준(Technical Regulations)을 제정하고 있다. 능동형 첨단안전장치와 관련하여, 유럽연합(EU)은 2009년에 WP29 산하의 제동 및 주행장치 기술위원회(GRRF)에 AEBS/LDWS 기준을 만들기 위한 Informal group을 발의하고, UNECE 법규체제하에서 AEBS에 관한 ECE Regulation을 2014년부터 법규에 적용하고자 목표로 하고 있다. 미국은 유럽의 기준제정과과는 별도로, AEBS와 관련된 장치인 FCW(Forward Collision Warning)가

Fig. 1 International policies of active safety systems

장착된 자동차를 대상으로 2006년에 관련기준과 시험방법을 이미 규정하고 신차안전도평가(NCAP)에 반영을 검토 중이다. 일본은 2003년에 AEBS에 대해 자체적인 기술지침(Technical guidelines)을 만들어 자국의 기준을 국제기준에 반영하기 위해 UNECE/WP29의 AEBS/LDWS Informal group에 적극 참여하고 있다.^{4,5)} 현재 논의되고 있는 각국의 주요기준을 비교하면 Table 1과 같이 요약할 수 있다.

우리나라는 UNECE/WP29의 AEBS/LDWS Informal group에 참석하여 국제기준 제정에 대응하고, 국내신차안전도평가(KNCAP)의 제동안전성 평가에 능동안전장치 안전성 평가기법을 수년 내에 도입할 예정이다.

Table 1 Comparison of major international standards for AEBS

구분	일본 (Technical guidelines)	유럽 (ECE regulations)	미국 (NCAP)
대상차종	모든 자동차 (이륜, 입석버스, 특수자동차 제외)	9이상 승합, 3.5톤 초과 화물	4.5톤 미만 승용
기준범위	FCW + CMB	FCW + (CMB or CAB)	FCW
평가 시나리오	Front obstacle	ST/MT Overtaking manoeuvre	ST/MT/DT
단계	Warning emergency braking	Warning emergency braking	-
기능경고	정상작동, 고장경고 표시기		고장 경고
Driver override	자동제동 후 운전자 우선	제한없음 (전 영역 가능)	-
작동속도	15kph ~ 최고속도	15kph ~ 최고속도	-
경고 (TTC : sec)	0.8 이전	<ul style="list-style-type: none"> 1.4 이전 1차경고 0.8 이전 2차경고 	ST - 2.5, DT - 2.4, MT - 2.0 이전
감속량	<ul style="list-style-type: none"> 10인 미만 승용 : 0.5g 이상 10인 이상 승합 및 화물 : 0.33g 이상 	<ul style="list-style-type: none"> 정지장애물 00Series 10kph 이상 01Series 20kph 이상 	-

※ ST: stationary target, MT: moving target, DT: stopping target

2.2 AEBS 시스템 개요와 구성

자동긴급제동장치(Advanced Emergency Braking System)는 잠재적인 전방 추돌을 감지하여 시각, 촉각 및 청각으로 운전자에게 경고를 주고, 추돌 예상 시 자동적으로 제동장치를 작동하여 추돌을 회피하거나 완화하기 위한 장치이다. 이는 CWBS(Collision Warning with Brake Support) 또는 FCMS(Forward Collision Mitigation System)로도 불린다. AEBS는 ACC(차간거리 유지 및 감속)와 FCW(전방 충돌 경고) 등이 결합된 형태로, 운전 조작의 부하를 경감하기 위한 기술들이 주행 안전성을 향상시킨다. 따라서 이 장치는 자동차의 사고예방, 사고회피, 추돌 피해 경감, 피해 확대 방지 등의 역할을 수행한다. 이 역할의 단계는 Fig. 2와 같이 전방 추돌위험을 감지하는 1단계, 운전자에게 미리 경고를 주는 2단계, 운전자가 제동을 할 수 없는 상황일 경우 3단계인 긴급자동제동을 하여, 추돌 방지 또는 추돌에 의한 피해를 줄이게 된다.

자동긴급제동장치의 시스템 구성을 살펴보면 Fig. 3과 같이 나타낼 수 있다. 자동차전방의 전방물체 인식을 돕는 카메라와 전방차량 상대속도, 거리 등의 판단을 하는 레이더 센서를 장착하여 주행 정보를 수집한다. 제어장치는 자동차의 가속, 감속, 긴급제동 등을 제어할 수 있으며, 고장진단이나 데이터 기록을 할 수 있다. 또한, 제어기로 각 차량 유닛에 해당하는 제동시스템과 충돌완화 시스템, 그리고 보조 브레이크 등을 각 상황에 맞게 구동하여 Multi-Display로 나타낸다.

Fig. 2 Sequential operations of AEBS

Fig. 3 System configuration of AEBS

3. AEBS의 평가

3.1 평가시스템 구축

AEBS의 평가를 위하여 Photo. 1과 같이 평가시스템을 구성하였다. Subject Vehicle과 Target Vehicle간의 위치와 속도를 측정하기 위한 DGPS(Differential Global Position System)를 적용하였고, 차량의 x, y 축과 yaw 값 및 모멘트 거동을 측정할 수 있는 관성 측정장치(Inertial Measurement Unit)를 장착하였다.⁶⁾ 또한, 평가시험에 대한 안전성을 고려하여 스틸로 폼재질의 dummy car를 제작하였다.

Photo. 1 Evaluation equipments for AEBS

AEBS의 시험자동차 사양은 Table 2와 같고, 서울대와 현대 상용차가 공동으로 개발한 시험자동차로 평가를 진행하였다.⁷⁾

Table 2 Specifications of subject vehicle

차종	승합 (대형)	타이어 형식	KUMHO KRA23 12R22.5-16PR
제동형식	공기식/EBS		
승차정원(명)	45+1+1	제동장치	DISC
차량중량 (ton)	14.5	보조제동장치	Retarder
최고출력(ps)	425	사용 연료	디젤

Photo. 2 Sensors for subject vehicle

AEBS가 탑재된 자동차의 센서 부착 위치는 Photo. 2와 같다. Photo. 2(a)는 카메라 센서이며, 전방의 자동차에 관한 정보를 CAN 통신을 통해 제어기에 제공하고, Vision 시스템으로 전방의 자동차를 인식하여 레이더의 근거리 약점을 보완한다. Photo. 2(b)는 레이더 센서로서, CAN 통신에 의한 전방 자동차의 속도, 거리 그리고 도로 곡률과 장애물 감지 기능이 주된 용도이다.

3.2 시험 시나리오

3.2.1 ECE Regulation

AEBS ECE Regulation은 2011년 9월 UNECE/WP29 71차 GRRF(Working Party on Brakes and Running Gear)회의에서 최종 개정안이 도출되었다. Fig. 4는 AEBS ECE Regulation 중 시험 절차에 해당된다. 이 개정안은 AA Saloon과 같은 soft target을 선정하여 전방 장애물로 구성하였으며, 두 종류의 시험 절차로 구성되어 있다.

Fig. 4(a)는 Stationary Target과 Moving Target의 평가항목이다. AEBS를 장착한 자동차가 80km/h로 주행 중, 120m 전방의 정지된 타겟이나 32km/h로 진행

Fig. 4 Test procedure of AEBS ECE regulation

중인 이동 타겟을 AEBS가 제대로 인식하여 작동하는가에 대한 평가를 하게 된다. 이 평가에서 TTC 3 초 이전에는 긴급제동이 없어야 한다. 다음은 오작동 반응시험에 관한 평가이다. Fig. 4(b)와 같이 양쪽 차선에 각각의 자동차를 배치하고, AEBS를 장착한 자동차가 50km/h로 60m거리부터 지나갈 때 AEBS에 대해 경고나 긴급제동과 같은 오작동 여부를 확인한다.

3.2.2 추가 평가시나리오 구성

2014년부터 유럽연합에서 의무적으로 시행될 국제기준(ECE Regulation)은 이미 언급한 바와 같이 단일적인 공통기준으로서, AEBS를 평가하는 최소 요건이 될 수 있다. 따라서 실차평가를 통해 상용 AEBS ECE Regulation의 평가절차를 확인하고, 추가로 실 도로상에서 빈번히 발생하는 상황에 대한 평가 시나리오를 구성할 필요가 있다. 본 연구는 기존의 실 도로상 도로효용성평가를 근거로 Table 3과 같이 SV(Subject Vehicle), MT(Moving Target), ST (Stationary Target), 그리고 DT(Deceleration Target)에 관한 추가 시나리오를 제안하였다.

Table 3 Additional evaluation scenarios for AEBS

Scenario	Roadway	SV	MT	ST
Direct route	Highroad (km/h)	80	30	0
	City (km/h)	40	20	0
Direct route (Cut-In)	Highroad (km/h)	80	60(60 m) 30(50 m)	-
	City (km/h)	40	20(30 m)	-
Scenario	Roadway	SV	DT	Deceleration (m/s ²)
Stopping	Highroad (km/h)	80	60(60 m)	3.0
Scenario	Roadway	SV	Vehicle distance	
False reaction test	Highroad (km/h)	50	4.5 m	
	City (km/h)	40	3.5 m	
Scenario	Roadway	SV	Warning level	
Driver avoidance	Highroad (km/h)	80	1 level	
	City (km/h)	40	2 level	

3.3 AEBS 평가수행

AEBS 안전성에 대한 평가를 위해 Table 3의 추가 평가 시나리오에 대한 시험을 진행하였다. 그 중 대표적으로 직선로구간에서 이뤄지는 전방자동차에 대한 평가결과를 Fig. 5와 Fig. 6에 나타냈다. Fig. 5는 AEBS가 장착된 자동차인 Subject Vehicle이 80km/h로 주행 중에 전방에 정지된 자동차를 자동으로 인지하여 긴급제동이 작동한 결과이다.

또한 1, 2차 경고시작시점과 긴급제동 시작시점에서 감속량과 TTC, 그리고 차간거리를 Table 4와 같이 요약하였다.

Fig. 5 Field test of stationary target

Table 4 Field test results of stationary target

Items/Point	First warning start	Second warning start	Emergency braking start	Maximum deceleration
Deceleration (m/s^2)	0	1.8	3.8	6.4
TTC (sec)	4.4(2.3)	3.3(1.1)	2.1	-
Vehicle distance (m)	97	40	41	-

Fig. 6 Field test of moving target

Table 5 Field test results of moving target

Items/Point	First warning start	Second warning start	Emergency braking start	Maximum deceleration
Deceleration (m/s^2)	0	1.7	2.3	4.8
TTC (sec)	5.1(1.8)	4.1(0.8)	3.3	-
Vehicle distance (m)	65	50	28	-

Fig. 6은 Subject Vehicle이 80km/h로 이동 중, 50km/h로 주행 중인 전방자동차를 인식하여 자동긴급제동장치가 작동한 결과이며, 이를 Table 5로 간략히 정리하였다.

4. AEBS 성능 및 안전성 평가 결과 분석

AEBS의 성능과 안전성 평가결과 분석에 우선시 되는 평가요소를 Table 6과 같이 추출하였다. 이 평가요소들은 UN/ECE Regulation과 일본 Technical Guidelines의 기준을 비교 분석하여 결정한 평가요소이다. 이 평가 요소들을 분석하기 위해 Table 7과

Table 6 Evaluation factors of AEBS

Items	Europe (ECE Reg.)	Japan (Technical guidelines)
Warning start TTC (sec)	1.4 이전 1차 경고 0.8 이전 2차 경고	0.8 이전
경고모드 중 촉각에 의한 경고 (제동경고)	10kph 또는 총 감속량의 30%이하	-
Deceleration (m/s^2)	정지장애물 ▪ 00Series 충돌시 10kph 이상 ▪ 01Series 충돌시 20kph 이상 이동장애물 00Series, 01Series 충돌없음	급감속 정지타겟 6.4 이동타겟 4.8 (충돌 없음)

경고에서 촉각으로 주어진 제동감속은 “총감속량의 30% 이하여야 한다.”로 지정된 ECE Regulation에서 긴급제동에 대한 총감속량이 $6.4 m/s^2$ 으로 측정됨으로써, 제동경고의 $1.8 m/s^2$ 인 총감속량의 28%로 제동경고 기준에도 만족하는 것을 확인하였다. 평가 후, Stationary target과 Subject Vehicle이 최종적으로 자동정지한 차간거리가 약 4m로 실차시험 시 충돌에 관한 위험성은 나타나지 않았다. 이 결과를 통해 TTC, 제동경고, 그리고 총감속량 모두 기준에 만족하는 것을 확인함과 동시에 충돌사고에 있어 안전성 향상에 큰 도움이 될 수 있다고 판단하였다.

5. 결 론

본 연구에서는 자동긴급제동장치의 성능 및 안전성 평가방법 연구를 위해, AEBS 관련 국내외 연구 및 정책현황조사와 AEBS 안전성 평가를 위한 평가시스템 구축 및 실차평가를 수행하였다. 그 내용을 요약하면 다음과 같다.

- 1) 국외 상용 AEBS 관련기준 현황과 성능평가 요소를 분석하여, AEBS의 정량적 성능 평가를 하기 위한 관성측정장치(IMU), DAQ, DGPS 등의 평가시스템을 구축하였다. 또한 AEBS의 평가를 위한 분석요소를 선정하여 차간거리, TTC 등의 분석법을 도입하였다.
- 2) 국제기준(UN/ECE Regulation)의 평가절차에 추가하여, 직선로, Cut-in, 운전자 회피, 오작동 반응 시험과 같이 실 도로상황에서 빈번히 발생하는 평가시나리오를 구성하였다.
- 3) 추가 구성한 시나리오에 따른 AEBS 평가 결과는 안전성 검증을 위해 활용도가 높은 것으로 판단된다. 그러나 전방 차량이 갑자기 감속하는 등의 실 도로상황에서 빈번히 발생하는 일부평가모드의 경우, 충돌사고 회피를 위한 경고 및 긴급제동 시점의 보완이 필요하다.

향후 완성도 높은 AEBS 안전성 평가를 위하여 곡선로, 경사로 등과 같이 보다 더 복잡하고 복합적인 주행상황에 대한 평가시스템 및 평가시나리오 개발이 필요할 것으로 판단된다. 아울러 본 연구를 바탕으로 승용자동차 AEBS 안전성평가기술개발 등의 지속적인 검증평가도 이뤄져야 할 것이다.

Table 7 Analytic elements for AEBS

Items	Analytic elements	Necessities
Subject vehicle	차량속도	TTC
	감, 가속도	기준 비교
	경고 신호시점	
	Braking 시점	운전자 개입 여부
	Accelerator 시점	일반 주행 요건
Target vehicle	Steering 시점	운전자 회피
	차량속도	차간거리

같이 평가시험에 필요한 분석 요소들을 선정하여 평가시험을 실시하였다. Table 6에서 TTC(Time to Collision)는 다음 식 (1)과 같이 차간거리와 상대속도를 통해 구할 수 있다.

$$TTC(sec) = \frac{Vehicle\ Distance(m)}{Relative\ Velocity(m/s)} \quad (1)$$

추가시나리오에 의한 평가 시험 중, 대표적 직선로 구간에서 빈번히 발생하는 Fig. 5의 Stationary target 결과를 다음과 같이 분석하였다. 먼저, 경고 기준에서 Subject Vehicle의 경우, 1차 경고는 청각에 의한 경고를 주었으며 “긴급제동시작 이전 TTC 1.4초 이전이어야 한다.”는 기준에 대비하여 측정된 1차 경고는 2.3초 이전으로 만족하였다.

2차 경고는 비상등과 동시에 제동감속을 통해 청각 및 촉각의 2가지 경고를 주었으며, “긴급제동시작 이전 TTC 0.8초 이전이어야 한다.”는 기준에 대비하여 1.1초 이전으로 경고기준에 만족하였다. 또한 2차

후 기

본 논문은 국토해양부 “첨단미래형자동차 안전성평가시험설비구축” 사업 및 교통체계효율화사업 “첨단자동차안전성평가기술개발” 과제의 지원으로 수행되었습니다.

References

- 1) Economic Commission for Europe, An Introduction to the New Vehicle Safety Regulation, Informal Document No. WP.29-145-08, Geneva, 2008.
- 2) National Highway Traffic Safety Administration, Safety Benefit Evaluation of a FCWS, Publication NO. DOT HS 810 910, Department of Transportation, Washington D.C., 2008.
- 3) Economic Commission for Europe, Consideration of Issues, UN/ECE/TRANS/WP29/GRRF-S08-Inf13e, Informal Group on Automatic Emergency Braking and Lane Departure Warning System, Geneva, 2008.
- 4) Technical Guidance on the Brake System for Easing Frontal Obstacle Impact, Kokujigi No.353, Japan, 2003.
- 5) Economic Commission for Europe, Automatic Emergency Braking and Lane Departure Warning Systems, UN/ECE /TRANS/WP29/GRRF-65-Inf19, Informal Group on Automatic Emergency Braking and Lane Departure Warning System, Geneva, 2009.
- 6) K. Min, I. Choi, S. Kim, S. Cho, H. Oh, G. Lee, H. Jang and J. Lee, “Experimental Study for Objective Evaluation of ACC,” KASA Spring Conference Proceedings, pp.29-34, 2011.
- 7) T. Lee, K. Yi, J. Kim and J. Lee, “Development of the AEBS Algorithm for the Commercial Vehicle,” KSAE Annual Conference Proceedings, pp.1222-1227, 2010.