

첨단 운전자 보조시스템 장착 차량의 브레이크 제동력 분배에 관한 연구

윤필환¹, 이선봉^{2*}

¹계명대학교 기계공학과, ²계명대학교 기계자동차공학부

A Study on the Braking Force Distribution of ADAS Vehicle

Pil-Hwan Yoon¹, Lee-Seon Bong^{2*}

¹Department of Mechanical Engineering, Keimyung University

²Division of Mechanical and Automotive Engineering, Keimyung University

요 약 세계 각국 정부는 자동차 안전성 향상을 위한 첨단 운전자 보조시스템(ADAS, Advanced Driver Assistance System)에 대해 연구 지원 및 정책을 시행하고 있다. 이러한 노력으로 교통사고 사상자수는 지속적으로 감소하고 있다. 그러나 국내 교통사고 사상자 수는 OECD 35개국 가운데 최하위이며, 사망률은 31위를 기록하고 있다. 교통사고는 사고의 원인에 따라 차대차(V2V, Vehicle to Vehicle), 차대사람(V2P, Vehicle to Pedestrian), 차량단독과 같은 세 가지 유형으로 분류된다. 사고원인은 운전자의 인지, 판단, 조작 등의 실수로 인하여 발생한다. 이러한 이유로 사고 감소 및 예방을 위해 제안된 것이 ADAS이다. 그리고 현재 자동차 산업계에서는 각종 안전장치를 개발하고 있으나, 성능검사를 위한 실차시험은 제한적이며 위험성을 동반하고 있다. 따라서 본 연구에서는, 제한적인 실차시험의 극복을 위해 브레이크 제동력 평가 기술에 관한 시험평가 방법의 국제표준을 검토하고, 제동력에 관한 이론식과 제어 알고리즘을 제안한 뒤 이를 실차시험으로 비교하여 타당성을 검증하였다. 이 결과는 ADAS의 기능에 따른 제동력을 확인 할 수 있으며, 개발단계에서 제안한 이론식으로 경향성 예측이 가능해져 실차시험의 위험성을 감소시킬 수 있을 것으로 판단된다.

Abstract Many countries have provided support for research and development and implemented policies for Advanced Driver Assistance Systems (ADAS) for enhancing the safety of vehicles. With such efforts, the toll of casualties due to traffic accidents has decreased gradually. Korea has exhibited the lowest toll of casualties due to traffic accidents and is ranked 32nd in mortality among the 35 OECD members. Traffic accidents typically fall into three categories depending on the cause of the accident: vehicle to vehicle (V2V), vehicle to pedestrian (V2P), and vehicle independent. Most accidents are caused by drivers' mistakes in recognition, judgment, or operation. ADAS has been proposed to prevent and reduce accidents from such human errors. Moreover, the global automobile industry has recently been developing various safety measures, but on-road tests are still limited and contain various risks. Therefore, this study investigated the international standards for evaluation tests with regard to the assessment techniques in braking capability to cope with the limitations of on-road tests. A theoretical formula for braking force and a control algorithm are proposed, which were validated by comparing the results with those from an on-road test. These results verified the braking force depending on the functions of ADAS. The risks of on-road tests can be reduced because the proposed theoretical formula allows a prediction of the tendencies.

Keywords : Advanced Driver Assistance System(ADAS), Advanced Safety Vehicle(ASV), braking force, control algorithm, Intelligent Transport System(ITS)

본 연구는 한국연구재단이 지원하는 지역산산업선도인력양성사업으로 수행된 연구결과입니다. 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

*Corresponding Author : Seon-Bong Lee(Keimyung Univ.)

Tel: +82-53-580-5476 email: seonbong@kmu.ac.kr

Received September 4, 2018

Revised (1st October 5, 2018, 2nd October 11, 3rd October 22, 2018)

Accepted November 2, 2018

Published November 30, 2018

기호 설명

V_{SV}	Subject Vehicle Velocity
V_{TP}	Target Pedestrian Velocity
a	Deceleration Range
a_{avg}	Average Deceleration
D_r	Radar detection Distance
L_{max}	LKAS Offset max
LW	Lane Width
V	Velocity
V_l	Lateral Velocity
V_r	Relative Velocity
SV	Subject Vehicle
OV	Object Vehicle
a_{ov}	Object vehicle acceleration
CAD	Collision Avoid Distance
$FCAD$	Final Collision Avoid Distance
RD	Relative Distance
ψ_L	Steering Angle
D_t	Target Distance
RPM	Revolution Per Minute
G_R	Gear Ratio
R	Tire Radius
t_b	Braking Time

1. 서 론

세계 각국의 정부는 자동차 안전성 향상을 위한 첨단 운전자 보조시스템(ADAS, Advanced Driver Assist System)에 대한 각종 연구 활동을 지원하고 자동차 안전 관련 첨단기술 개발 및 여러 정책을 시행하고 있다. 이러한 자동차 안전성 향상을 위한 노력의 결과 교통사고 사상자수는 지속적으로 감소되는 추세이다.

그러나 국내 교통사고 사상자 수는 OECD(Organization for Economic Cooperation and Development)회원국 가운데 최하위를 기록하고 있으며, 교통사고 사망률은 OECD 35개국 중 31위이다. 이에 따른 연간 손실비용은 수조원에 달하고 있다[1].

2017년 기준, 국내 교통사고는 총 216,335건이며, 차대사람(V2P, Vehicle to Pedestrian), 차대차(V2V, Vehicle to Vehicle), 차량단독 등 크게 세 가지 유형으로 나눌 수 있으며, 차대사람의 경우 46,728건, 차대차의 경우 160,065건, 차량단독의 경우 9,539건이 발생하였다. 사고의 원인은 대부분 인간의 인지, 판단, 조작 등의

실수에 의해 발생한다. 인간의 실수로 인한 교통사고를 감소시키기 위해 자동차에 장착하는 지능형 융합기술 개발이 ADAS 목표이다[2].

현재 자동차 산업계는 ADAS기능을 확대시키기 위해 각종 안전장치의 개발을 활발하게 진행하고 있다. 이러한 안전장치들의 성능은 상용화하기 이전에 검증 절차를 거치게 되고 반드시 각종 실차시험이 요구된다. ADAS와 안전장치 등의 성능 검증을 위한 실차시험은 특성상 운전자가 직접 시험해야하나 위험성을 동반하고 있어 시험범위는 제한적이다. 특히 불특정 대상의 검지 및 분석이 중요한 브레이크의 제동력 평가와 관련된 연구는 거의 없다.

지금까지의 연구에서 Yim 등은 국내 교통사고 유형 및 Euro NCAP(New Car Assessment Program)평가방법을 기반한 자동긴급제동장치(AEB, Autonomous Emergency Braking)의 성능 평가방법을 연구 하였고[3], Choi 등은 교통사고 데이터베이스를 이용한 AEB 적용성에 관한 연구를 진행하였으며[4], Woo 등은 AEB, FCW(Foward Collision Warning)시스템의 시험평가 방법에 관하여 연구하였다[5]. 또한 Kim 등은 ACC 차량의 시험평가 방법에 대해 연구 하였으며[6], Yoon 등은 국내도로환경 기준의 LKAS 성능 평가방법에 관하여 연구하였고[7], Kim 등은 AEB 시험평가 방법에 관하여 연구하였다[8]. 또한, Park 등은 서킷 주행 조건을 고려한 고성능 브레이크 패드의 성능 평가를 ADAS의 기능별 제동력에 관련된 연구로 진행하기위해 브레이크 다이노미터를 이용하였으며[9], Choi 등은 전동차 상용제동전자밸브 특성변화가 제동체결에 미치는 영향에 관해 연구 하였고 [10], Jung 등은 타이어 인자에 따른 차량 제동거리 효과를 분석하였다[11].

그러나 현재까지 ADAS의 기능별 브레이크 제동력에 따른 연구는 아직 미흡한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 ADAS의 기능별 브레이크 제동력 연구를 위해 기능별 제어 알고리즘과 이론식을 제안하고 실차시험 결과를 비교분석한다. 이 결과를 기반으로 제안식을 검증하고, ADAS의 기능별 브레이크 제동력을 파악 할 수 있도록 하여 실차시험 위험도를 감소시키고자한다.

2. 이론적 배경

자동차는 액추에이터(actuator), 센서(sensor) 등의 제

어기술 등의 발전으로 ADAS의 적용이 확대되어가며 국제표준화기구(ISO, International Organization for Standardization), 유럽신차평가프로그램(Euro NCAP, European New Car Assessment Programme), 미국도로교통안전국(NHTSA, National Highway Traffic Safety Administration) 등에서 ADAS의 국제규정을 제정하고 있고, 국내는 한국자동차안전도평가(KNCAP, Korean New Car Assessment Program) 규정에서 ADAS를 정의하고 있으나, 시험평가방법에 대한 정의는 미흡한 실정이다. 따라서 국내도로환경에 적합한 ADAS의 기능별 브레이크 제동력 분배에 대한 알고리즘을 제안하고자 한다.

2.1 국제 규정

2.1.1 ISO 15622 - ACC

ISO-15622는 적응 순항 제어(ACC, Adaptive Cruise Control)의 국제 표준이다. ACC 기술 개발시 시스템을 위한 기본 제어방법, 최소 기능 요구사항, 기본 운전자 인터페이스(interface) 요소 등이 규정되어있다. Table 1에 제어차량 및 목표차량의 속도 및 감속도, 레이더 감지 범위에 관련된 규정을 나타내었다[12].

Table 1. ISO-15622 ACC parameter

Condition	Specification	Condition	Specification
V_{SV}	30 ~ 60km/h	V_{TP}	5km/h
a	3.6 ~ 7.9m/s ²	a_{avg}	7.0m/s ² ≈ 0.71g
D_r	18m		

2.1.2 ISO 11270 - LKAS

ISO-11270은 차선 유지 보조 시스템(LKAS, Lane Keeping Assistance System)의 국제 표준이다. LKAS 기술 개발시 차종에 따른 기본 제어 전략, 최소 기능 요건, 기본적인 운전자 인터페이스 요소 등의 규격을 만족시키도록 규정하고 있다. Table 2는 승용차 기준 제어차량의 평가기준을 나타내었다[13].

Table 2. ISO-11270 LKAS parameter

Condition	Specification	Condition	Specification
L_{max}	0.4m	LD	3.4 ~ 3.9m
V	20 ~ 30m/s ≈ 72 ~ 108km/h	V_L	0.4 ± 0.2m/s ≈ 1.44 ± 0.72km/h

2.1.3 ISO 19237 - PDCMS

ISO-19237은 보행자탐지 및 충돌 완화 시스템(PDCMS, Pedestrian Detection and Collision Mitigation System)의 국제 표준이다. AEB기술 개발시 차와 보행자관련 규격을 만족시키도록 규정하고 있다. Table 3은 차대사람의 상황에서 적용되는 변수들을 나타내었다[13].

Table 3. ISO-19237 PDCMS parameter

Condition	Specification	Condition	Specification
V_{SV}	30 ~ 60km/h	V_{TP}	5km/h
a	3.6 ~ 7.9m/s ²	a_{avg}	7.0m/s ² ≈ 0.71g
D_r	18m	-	-

2.1.4 ISO 22839 - FVCMS

전방충돌회피시스템(FVCMS, Forward Vehicle Collision Mitigation System)의 국제표준은 ISO-22839 이다. AEB기술 개발 시 차대차 관련 규격을 만족시키도록 규정하고 있다. 아래의 변수들은 차대차의 상황 중 직선로에 특화된 규정이다. 이 규정을 근거로 통합 시나리오 변수를 정의하였다. FVCMS의 변수들은 Table 4에 나타내었다[14].

Table 4. ISO-22839 FVCMS parameter

Condition	Specification	Condition	Specification
V_{SV}	30 ~ 100km/h	V_{TV}	15 ~ 100km/h
V_R	-15 ~ -72km/h	D_r	18m
a	3.6 ~ 7.9m/s ²	a_{avg}	7.0m/s ² ≈ 0.71g

2.1.5 Euro NCAP - AEB

Euro NCAP은 유럽에서 개발, 판매되는 차량에 적용된 AEB 기술 개발 시 이 규격을 만족시키도록 규정하고 있다. Euro NCAP에서 AEB의 실차시험을 위해 정속으로 주행하는 차량(CCRm, Car to Car Rear moving)과 급제동하는 차량(CCRb, Car to Car rear breaking), 정지된 차량(CCRs, Car to Car Rear stationary)의 세 가지 경우로 나누어 정의하고 있다. 각각의 평가 조건은 Table 5에 나타내었다[15].

Table 5. Euro NCAP AEB parameter

Condition	Specification	Condition	Specification
V_{SV}	10 ~ 80km/h	V_{TV}	0 ~ 50km/h
a	2 ~ 7m/s ²	a_{avg}	7.0m/s ² ≈ 0.71g

2.2 이론식 제안

브레이크 동작 후 잔여거리는 제동 후 바퀴의 이동거리로 환산할 수 있다. 잔여거리는 아래 Fig. 1, 식(1)과 같이 분당회전수(RPM, Revolution Per Minute)에 기어비(G_R)와 바퀴의 직경($2\pi R$)을 나눈 값에 제동시간(t_b)을 곱하여 계산한다.

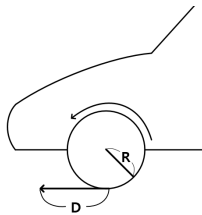


Fig. 1. Tire residual distance

$$D = \frac{RPM}{G_R \times 2\pi R} \times t_b \tag{1}$$

2.3 ADAS 제어 및 브레이크 제동력 인가 알고리즘

2.3.1 ACC 브레이크 제어 및 알고리즘

Fig. 2는 ACC 제어 알고리즘을 나타내었다.

ACC의 동작은 카메라 센서와 레이더 센서로부터 영상 및 주행상황 수신 후 충돌회피거리(CAD, Collision Avoid Distance), 최종충돌회피거리(FCAD, Final Collision Avoid Distance), 상대거리(RD, Relative Distance)의 값을 산출 및 비교분석하여 안전, 경고, 위험 등의 단계로 구분한다. 안전상황은 운전자의 개입 없이 주행이 가능한 상황이며, 경고단계는 전방충돌경고시스템(FCWS, Foward Collision Warnig System)이 작동하며 전방의 목표차량의 존재를 확인하여 충돌위험 가능성을 알려준다. 위험단계는 목표차량의 가속도가 제어차량의 가속도보다 큰 경우 제어차량이 목표차량과 충돌이 일어나지 않도록 편제동(partial braking) 제어를 수행한다.

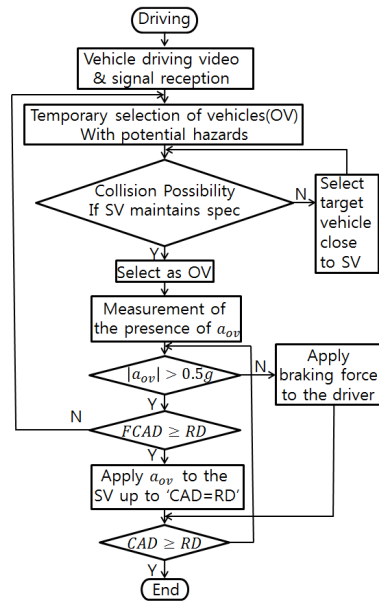


Fig. 2. ACC control algorithm

2.3.2 LKAS 브레이크 제어 및 알고리즘

Fig. 3에 LKAS 제어 알고리즘을 나타내었다.

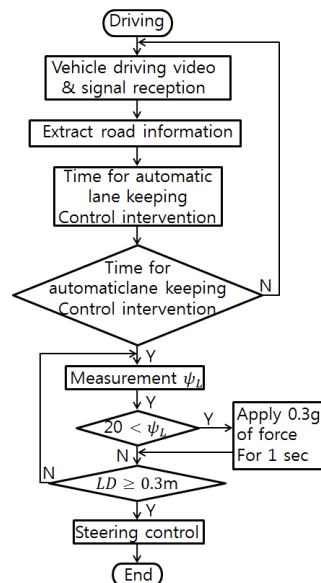


Fig. 3. LKAS control algorithm

LKAS는 제어차량의 차선추종 제어를 위해 카메라 센서의 차선 인식 알고리즘으로 산출되는 차선중심과 차

량중심 간 거리, 차선중심과 차량 간 각도, 도로반경, 차선인식 여부 등의 신호를 이용한다. 차선이 인식된 상태에서 제어차량이 차선 이탈을 감지한 경우 제어차량에 1초간 0.3g의 제동력을 인가하여 운전자가 조향을 하기 조금 더 용이하게 수행한다. LKAS 동작시 전제동(full braking)으로 인한 뒷차와의 사고를 예방하기 위해 편제동 제어를 수행하도록 알고리즘을 구현하였다.

2.3.2 AEB 브레이크 제어 및 알고리즘

AEB 제어 알고리즘은 Fig. 4와 같이 정의하였다.

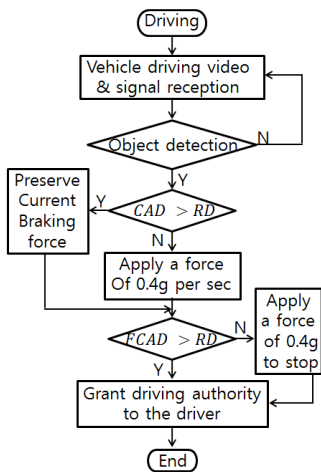


Fig. 4. AEB control algorithm

AEB는 일반적으로 주행중 전방의 차량 및 보행자에 대한 위험 상황 판단하기 위해 상대거리에 따른 충돌소요시간(TTC, Time to Collision)을 사용한다. 그러나 본 연구에서는 AEB에 의해 위험 상황이 판단되면 제어차량과 위험 물체간의 상대거리를 계산하고 브레이크 제동력 인가 여부를 결정하도록 하였다. 긴급제동을 수행할 경우 제어차량은 제동을 위한 전방 장애물의 상대거리와 충돌회피거리를 비교하여 보다 안전한 방법으로 수행한다. 제동전 순서는 FCWS 동작 후 제동시 전제동제어를 수행하도록 제어알고리즘을 정의하였다.

2.4 ADAS 각 기능별 제동력에 따른 분류

ADAS의 각 기능별 제어 알고리즘을 횡방향 제어 LKAS와 종방향 제어 ACC, AEB로 나누었고 통합 제어 알고리즘은 Fig. 5와 같다.

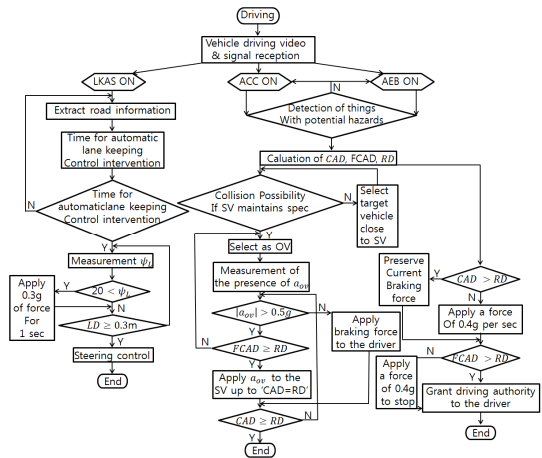


Fig. 5. ADAS control algorithm

제어차량의 기본적인 조건은 카메라(camera) 및 레이더(radar)센서가 장착되어 있으며 실시간으로 영상 및 차량신호의 수신이 가능해야한다.

ACC와 AEB의 경우 제어차량이 종방향에 있는 충돌 위험성의 장애물 인식을 기본으로 설정하였다. 제어차량의 속도가 일정한 상황을 ACC로, 제어차량의 속도에 자유성이 있는 경우 AEB로 나누어 제어차량의 감속도를 제어하였다.

3. 실차시험

3.1 실차시험 차량

본 연구에서는 선행연구에서 제안 시나리오와 이론식 검증을 위해 기능별 실시했던 실차시험 결과를 활용하였다[6][7][8].

ADAS의 각 기능별 시나리오 검증을 위해 선정 한 차량은 제네시스 EQ900이다. ADAS의 모든 기능별 시나리오의 실차 시험은 동일 차량으로 진행하며 신뢰성을 높였다. ACC는 목표차량이 요구되어 K5로 선정, 실차 시험을 진행하였다. 제어차량은 레이더와 카메라를 활용하여 ADAS 기능을 구현하며 현재 판매되고 있는 국내의 차량에 ADAS가 장착된 차량 중 우수하다고 평가받고 있는 차량이다. 시험차량은 Fig. 6에 나타내었다.



Fig. 6. Test vehicle
(a) EQ900 (b) K5

3.2 시험환경 및 기능별 조건

Table 6에 국제표준의 규정에 따라 안전 및 시험환경 조건을 선정하였다.

Table 6. Test environment

Condition	Specification
Temperature [°C]	-20 ~ 40
Wind speed [m/s]	Less than 3
Horizontal visibility range [km]	More than 1
Road surface material	flat, dry asphalt or concrete surface
Coefficient of friction [μ]	More than 0.9
Illuminance [lux]	More than 2000

Table 7에 실차시험 도로 3지점의 BPN(British Pendulum Number)을 측정하여 마찰계수 계산값을 정리하였다. BPN은 식(2)를 활용하여 마찰계수(COF, Coefficient Of Friction)로 환산하였다.[16]

$$COF = \left(\frac{110}{BPN} - \frac{1}{3} \right)^{-1} \quad (2)$$

Table 7. Friction coefficient by branch office for testing

	Spot 1	Spot 2	Spot 3
BPN	85.5	90	86.5
Coefficient of friction [μ]	1.049	1.123	1.066

또한, Table 8에 실차시험 도로의 시간별 조광도를 측정하여 정리하였다.

Table 8. Illuminance per hour

Time	10:00	13:00	15:00
Illuminance [lux]	26833	60200	5667

3.2.1 ACC 시험조건 및 환경

객관적인 ACC 시나리오의 시험결과를 얻기 위해서는 끼어드는 차량과 제어차량의 상대적 움직임이 동일하게 반복 재현 가능해야 한다. 따라서 시험결과와 객관성을 위해 끼어드는 차량의 위치와 속도는 일정하며 시험 인원과 장비도 동일하게 유지하였다.

실차시험 장소의 특성상 순간 가속을 위해 제어차량의 설정속도는 140km/h로 모든 시나리오에 동일하게 적용하여 3회 반복시험 하였으며 거리 범위조절은 시나리오 별 최대값과 최소값으로 선정 하였다.

3.2.2 ACC 시험조건 및 환경

객관적인 ACC 시나리오 시험의 결과를 얻기 위해서는 끼어드는 차량과 제어차량의 상대적 움직임이 동일하게 반복 재현 가능해야 한다. 따라서 시험결과와 객관성을 위해 끼어드는 차량의 위치와 속도는 일정하며 인원과 시험장비도 동일하게 유지하였다.

실차시험 장소의 특성상 순간 가속을 위해 제어차량의 설정속도는 140km/h로 모든 시나리오에 동일하게 적용하여 3회 반복시험 하였으며 거리 범위조절은 시나리오 별 최대값과 최소값으로 선정 하였다.

3.2.3 LKAS 시험조건 및 환경

실차시험 환경은 도심로 기준 시속 60km/h, 횡가속도 0.5m/s²로 선정하였다. 도로교통공단에서 지정한 국내 도로폭은 시험차량의 속도에 맞춰 3.0m, 자동차 폭은 승용차 기준 2.0m이내, 또한 시험장 규격에 맞춰 곡률반경은 500m로 선정하였다. 곡선로 시험은 Fig. 7의 곡선부 A~C구간 중 곡선중양부 B에서 진행하였다.

실차시험을 통해 객관적인 결과를 얻기 위해서는 도로폭과 곡률반경, 주행속도 등이 동일하여 반복 재현 가능해야 한다. 이에 따라 실차시험에 사용되는 운전자와 시험 장비 및 장소는 동일하게 유지하였으며 ACC를 작동시켜 주행속도를 일정하게 진행하였다. 모든 시나리오 는 정확한 데이터를 취득하기 위해 3번 반복시험을 하였다.

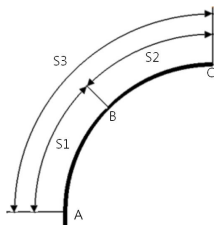


Fig. 7. Test procedure in a curve

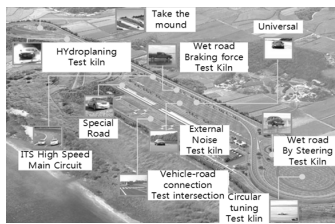
3.2.4 AEB 시험조건 및 환경

실차시험의 객관적인 결과를 취득하기 위해서 시나리오별 시험 진행 인원과 장비를 동일하게 유지하였고 3회 반복시험 하였다. AEB는 실차시험의 특성상 선행차량과의 충돌위험성이 높다. 따라서 원활한 AEB 시험평가를 위해 Euro NCAP의 차량 더미(dummy)를 선행차량으로 활용하였다.

3.3 실차시험 장소

실차시험은 대구지능형자동차진흥원의 주행시험장에서 진행하였고 Fig. 8에 나타내었다.

ACC와 LKAS의 시나리오는 Fig. 8의 (b) 고속 주회로에서 진행하였으며, AEB의 경우 Fig. 8의 (c) 교차로에서 시험하였다. 각 기능별 실차시험 운전자는 실차시험 전문교육을 이수한 지능형자동차부품진흥원의 전문가가 직접 수행하였다.



(a)



(b)

(c)

Fig. 8. Evaluation road

- (a) Multipurpose test track
- (b) High speed main circuit
- (c) Cooperative vehicle-infrastructure test intersections

3.4 실차시험 장비

ADAS의 각 기능별 비교 시험을 위해 위치, 속도, 가속도, 이탈 속도 등의 동적 결과가 필요하며 이를 위해 DGPS(Differential Global Positioning System) & 자이로(Gyro) 센서와 함께 데이터 통신을 위한 DAQ(Data Acquisition)장비를 시험차량에 장착하였다. LKAS와 AEB는 차량의 동적 결과뿐 아니라 차량의 조타력 및 조향각 조절이 가능한 조타력 각 변화기를 스티어링(steering)에 장착하였다. 제어차량의 감속도를 육안으로 실시간 확인, 제어하기 위해 감속도계를 장착하였으며 시험의 안전성을 높이기 위해 Euro NCAP의 더미를 활용하였다.

시험차량에 장착된 장비의 사진은 Fig. 9에 나타내었고, 사양은 Table 9~13에 정리하였다.

Table 9. RT3002(DGPS & gyro sensor) spec.

Spec.	Velocity accuracy : 0.05km/h RMS
	Roll, pitch 0.03°, heading 0.1°
	Slip angle 0.15°, 2cm positioning
	GPS accuracy < 3cm

Table 10. Steering wheel sensor spec.

Spec.	Steering moment : passenger cars(±10N·m)
	Maximum steering speed : 1,000°/sec
	Steering angle : 1,250°

Table 11. Euro NCAP dummy spec.

Spec.	Balloon, Car radar absorbent foam
	VW Cover, ECE104 standard reflective material
	Tray / Standing Frame
	Bumper Element RADAR reflective component

Table 12. G-meter spec.

Spec.	Measuring Range : 5 ~ -10m/s ²
-------	---

Table 13. DAQ-SIRIUS spec.

Spec.	IEPE 2ch, STG 6ch, CAN 9ch, CNT 2ch
	Strain ranges : 2mV/V ... 500mV/V
	free programmable with dual core

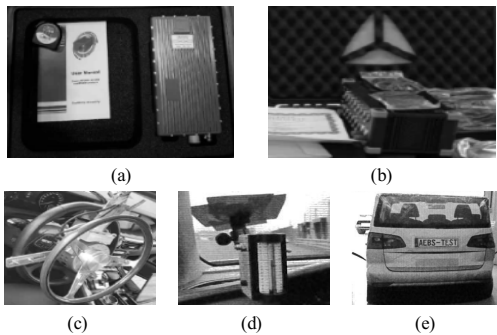


Fig. 9. Test measuring device

- (a) DGPS & gyro sensor (b) DAQ
- (c) Steering wheel sensor (d) G-meter
- (e) Euro NCAP dummy

실차시험 환경인 노면마찰계수와 조도를 측정하기 위해 STANLEY LONDON사의 휴대용 ‘skid-resistance’ tester와 BLUBBIRD사의 조도계를 사용하였다.

측정에 사용된 장비의 사진은 Fig. 9에 나타내었고, 사양은 Table 14~15에 정리하였다.

Table 14. Skid-resistance spec.

Spec.	Width : 75 Cms
	Depth : 73 Cms
	Height : 22 Cms
	Volume : 0.75 meters
	Weight : 29 Kg

Table 15. Illuminometer spec.

Spec.	Range : 1~100000
	Smallest unit : 1 lux
	Error range : ±4 %
	Power : 9V × 1EA
	Size : 116 × 64 × 30 [mm]



Fig. 10. Test environment measuring device
(a) Skid-resistance (b) Illuminator

ADAS가 장착된 차량은 차량 및 차선, 장애물 등의 인식을 위해 레이더 센서와 카메라 센서를 사용한다. EQ900의 레이더 센서는 D사의 ESR 2.5로 판단되고, ESR 2.5는 중거리에서 넓은 범위의 시야를 장거리 범위와 결합하여 최대 175m까지 감지할 수 있고, 64개의 대상을 식별 할 수 있는 기능을 가지고 있다. 또한 카메라는 MFC(Multi Function Camera)카메라이며, 이미지 센서는 AR0132AT로 판단된다. AR0132AT는 최장거리 프로세싱이 가능하며 M사의 전용칩이다. 레이더 센서의 특성은 Fig. 11, 사양은 Table 16에, 카메라 센서 사양은 Table 17에 나타냈다.

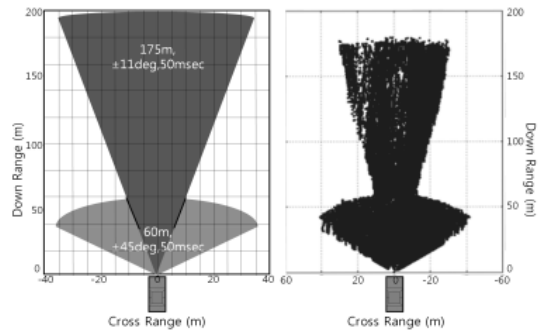


Fig. 11. Radar detection range

Table 16. Radar sensor ESR 2.5 spec.

Spec.	24V-DC for Commercial Applications
	Integrated 3-Axes Accelerometer
	Multi-mode, Multi-application capability
	Complete radar module, including electronics, measures just 173.7 x 90.2 x 49.2 millimeters including mounting features
	Horizontal Field of View
	Mid-Range (60m) : ± 45 deg
	Long-Range (174m) : ± 10 deg

Table 17. Camera sensor MFC Camera spec.

Spec.	Image Sensor : AR0132AT
	Resolution : 1280×672
	Angle of View : D55, H: 45, V: 34
	Data Transfer : YUV 422 16bit
	Control Signal : I2C, RESET
	DC 3.3V ±0.1V
	IR Wavelength : 650nm

3.5 실차시험 결과

ADAS 기능별 실차시험 결과는 아래의 그림과 같으며 각 시나리오별 감속도, 제동거리를 시간에 따른 그래프로 나타내었다. Fig. 12에 ACC 작동 후 시간에 따른 속도, 가속도 및 상대거리의 변화량을 그래프로 나타내었다.

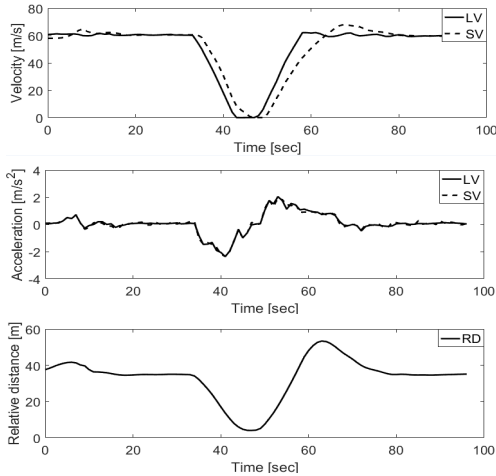


Fig. 12. ACC actual vehicle test result

ACC 제어차량이 선행차량의 유무를 인식한 상황에서 선행차량의 감속도에 따라 감속하는 경향을 확인할 수 있다. Fig. 13에 LKAS 동작 후 시간에 따른 SWA (Steering Wheel Angle), 횡방향 이탈속도, 종방향 가속도의 변화량을 나타내었다.

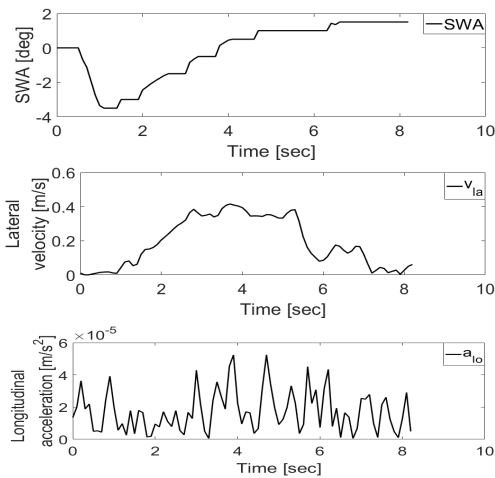


Fig. 13. LKAS actual vehicle test result

ACC로 제어차량 속도를 60km/h로 설정한 후, LKAS의 작동상태를 확인하였다. 이때 횡방향 이탈속도의 변화가 발생할 때 종방향 가속도의 변화가 나타난 것을 확인할 수 있었다. Fig. 14에 AEB 작동 후 시간에 따른 속도, 가속도 및 상대거리 변화량을 나타내었다.

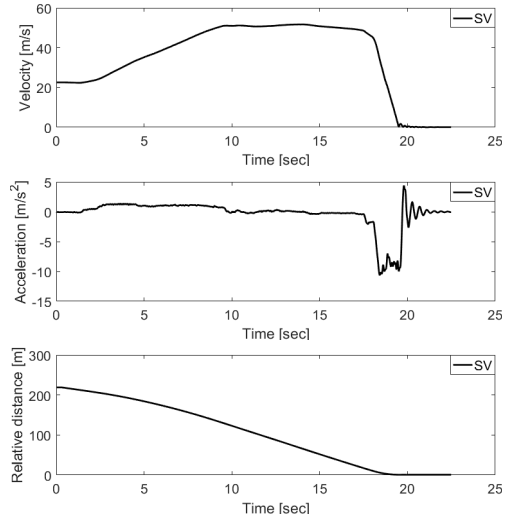


Fig. 14. AEB actual vehicle test result

제어차량의 속도를 50km/h로 유지 시킨 상태에서 충돌 위험성이 있는 물체를 감지한 후 제어차량의 감속도 변화량을 확인할 수 있다.

4. 이론 계산 값과 실차시험 값의 비교

Table 18에 제동거리에 관한 이론 계산 값과 실차시험 상대거리 평균값의 오차율을 비교검증 하였다.

Table 18. Comparison between theory and actual data

Scenario	Suggested formula value[m]	Test value[m]	Error factor[%]	
A	1	29.718	29.096	2.14
C	2	29.569	28.869	2.42
C	3	29.632	28.955	2.34
LK	1	48.483	48.864	2.47
AS	2	47.337	47.337	1.06
	3	47.412	49.628	4.47
A	1	8.948	8.690	2.88
E	2	9.103	8.914	2.12
B	3	8.879	8.743	1.56

장애물로부터 제어차량 전반부까지의 상대거리를 비교분석한 결과 평균 오차율은 ACC는 2.30%, LKAS는 2.67%이며, AEB는 2.19%로 나타났다. 이러한 오차는 동일한 운전자가 진행하였음에도 아래와 같은 순위로 오차가 발생되었다고 판단된다.

1. 시험로 구간별 마찰계수 : 시험로 마찰계수의 국제 표준은 Table 6에 기술한 바와 같이 0.9μ 이상이면 만족하나 시험이 반복적으로 많이 진행된 특정 영역은 마모편차가 발생한다고 판단하였고 실측한 결과도 Table 7과 같이 상이함을 알 수 있었다.
2. 주변 건물로 인한 조명도(lux) 차이로 레이더 감지 범위 편차 : 시험로 조명의 국제표준은 Table 6에 기술한 바와 같이 2000 lux 이상이나 주변 건물의 그림자, 시간대별 조도 차이가 발생하였고 측정된 결과를 Table 8에 나타내었다. 조도 차이에 의한 레이더의 감지 범위 변화는 확인할 수 있었으나 편차를 정확히 계측하는 것은 실차 상태에서 불가능하였다.
3. 운전자의 시나리오 진행방법과 운전성향 등의 휴먼에러 : 한 운전자가 같은 시험 장소, 환경에서 주행하더라도 경로를 추적하며 진행하기 힘들고 같은 방식으로 운전하기 어렵기 때문에 운전자의 성향에 따라 오차가 발생한다고 판단하였다.

5. 결론

본 논문에서는 ADAS가 탑재된 차량의 브레이크 제동력 분배에 관한 제어 알고리즘을 구성하고 제안하였다. 또한 바퀴의 회전수에 따른 제동거리를 이론평가 식으로 제안하였다.

본 연구를 통하여 얻은 결과는 다음과 같다. ADAS 기능별 시험 결과는 이론평가식 계산 값과 실측 값을 비교하였으며 ACC와 LKAS 및 AEB의 평균 오차율은 2.30%, 2.67%, 2.19%로 나타났으나 노면의 마찰계수, 시험로 및 시간별 조명도, 제동시간 등과 같은 변수에 의해 오차가 나타난 것으로 판단되며 평균 3% 미만으로 이론식의 신뢰성을 검증하였다.

이상의 결과로부터 본 연구에서 ADAS 차량의 기능별 브레이크 제동력 분배에 대한 이론평가 식과 알고리즘을 제안하고, 이의 검증을 위해 실차시험결과와 비교

분석하였다. 그 결과 기능별 오차율은 모두 3%미만으로 신뢰성이 있다고 판단된다. 향후 주변 환경과 도로의 기울기 등의 악조건에 대한 시험평가가 추가적으로 필요할 것으로 판단된다.

References

- [1] http://taas.koroad.or.kr/sta/acs/gus/selectOecdTfca.cd.do?menuId=WEB_KMP_OVT_TAC_OAO
- [2] http://taas.koroad.or.kr/sta/acs/gus/selectAcndntTyTfca.cd.do?menuId=WEB_KMP_OVT_TAG_ATT
- [3] B. C. Yim, D. S. Yun, H. C. Kim and S. K. Oh, "The research of AEB performance test method bases on Euro-NCAP and analysis of domestic traffic accident cases", Journal of The Korean Society Of Automotive Engineers, pp. 609-610, May, 2015. DOI: <http://www.dbpia.co.kr/Article/NODE07204836>
- [4] Y. S. Choi, S. H. Kim, J. K. Jung and J. K. Yoon, "A Study on the Applicability of AEBS according to Radar Angle Using PC-Crash and Traffic Accident Database", Journal of The Korean Society Of Automotive Engineers, pp. 691-701, Nov, 2017. DOI: <http://www.dbpia.co.kr/Article/NODE07253120>
- [5] J. W. Woo, M. G. Kim and S. B. Lee, "Study on the Test Method of AEB and FCW System", Journal of The Korean Society Of Automotive Engineers, pp. 1160-1163, May, 2013. DOI: <http://www.dbpia.co.kr/Article/NODE02174910>
- [6] B. J. Kim and S. B. Lee, "A Study on Evaluation Method of the Adaptive Cruise Control", Journal of Drive and Control, Vol. 14, No. 3, pp. 1-7, Sep, 2014. DOI: <http://www.dbpia.co.kr/Article/NODE07245614>
- [7] P. H. Yoon and S. B. Lee, "A Study on Evaluation Method of the LKAS Test in Domestic Road Environment", Journal of The Korea Academia-Industrial, Vol. 18, No. 12, pp. 628-637, Dec, 2017. DOI: <http://www.dbpia.co.kr/Article/NODE07292926>
- [8] B. J. Kim and S. B. Lee, "A Study on Evaluation Method of the AEB Test", Journal of KASA, Vol. 10, No. 2, pp. 20-28, May, 2018. DOI: http://www.kasa.kr/website/05resources04.php?code=as_journal&mode=view&number=173&keyfield=pressdate&key=201806
- [9] H. B. Park, S. P. Jung, Y. S. Min and Y. M. Lim, "Performance evaluation method of high performance brake pads considering circuit driving", Journal of The Korean Society Of Automotive Engineers, pp. 411-412, May, 2017. DOI: <http://www.dbpia.co.kr/Article/NODE07204767>
- [10] N. K. Choi, J. K. Kim and J. S. Koo, "Study on the effect of full sevice electric vehicles break value characteristic changes in the braking signed", Journal of Korean Society for Railway, pp. 1367-1372, Oct, 2016. DOI: <http://www.dbpia.co.kr/Article/NODE07058699>
- [11] B. B. Jung, W. Y. Kang, J. H. Yi and S. J. Heo, "Effect

Analysis of the Vehicle Brake Distance according to The Tire Property”, Journal of The Korean Society Of Automotive Engineers, pp. 583-588, May, 2013.
DOI: <http://www.dbpia.co.kr/Article/NODE07058699>

- [12] ISO 15622 Intelligent Transport Systems - Adaptive Cruise Systems - Performance Requirements and Test Procedures, ISO, 2010.
- [13] ISO 19237 Intelligent Transport Systems - Pedestrian Detection and Collision Mitigation System - Performance Requirements and Test Procedures, ISO, 2017.
- [14] ISO 22839 Intelligent Transport Systems - Forward Vehicle Collision Mitigation System - Performance Requirements and Test Procedures, ISO, 2013.
- [15] Euro NCAP, “Test Protocol - AEB systems. Version 1.0”, 2013.
- [16] H. Kevin, H. Rick, “The role of towels as a control to reduce slip potential”, HSL, 2007.

윤 필 환(Pil-Hwan Yoon)

[준회원]



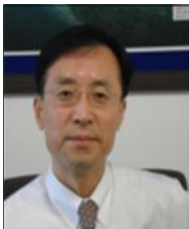
- 2017년 2월 : 계명대학교 기계자동차학과 (학사)
- 2017년 3월 ~ 현재 : 계명대학교 일반대학원 기계공학과 (석사과정)

<관심분야>

자동차 전자장치, 지능형 자동차

이 선 봉(Seon-Bong Lee)

[정회원]



- 1993년 1월 ~ 2005년 4월 : 대우정밀(주) 기술연구소 수석연구원
- 2004년 2월 : 부산대학교 대학원 기계공학 (공학박사)
- 2005년 5월 ~ 2007년 2월 : 대구경북과학기술원 지능형자동차 연구팀장
- 2009년 11월 ~ 2015년 2월 : 지능형자동차부품진흥원 원장
- 2007년 3월 ~ 현재 : 계명대학교 기계자동차공학과 교수

<관심분야>

자동차 전자장치, 자동차 일반