Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society
Vol. 20, No. 5 pp. 56-65, 2019

https://doi.org/10.5762/KAIS.2019.20.5.56
ISSN 1975-4701 / eISSN 2288-4688

차량용 브레이크 제동력 평가 다이나모미터 개발

권병헌[1], 윤필환[1], 이선봉[2*]
[1]계명대학교 기계공학과, [2]계명대학교 기계자동차공학과

Braking Force Test Evaluation Dynamometer Development of Vehicle

Byeong-Heon Kwon[1], Pil-Hwon Yoon[1], Seon-Bong Lee[2*]
[1]Department of Mechanical Engineering, Keimyung University
[2]Division of Mechanical and Automotive Engineering, Keimyung University

요 약 최근 자동차는 안전성, 편리성, 친환경 등의 목적으로 개발되고 있다. 특히, 자동차 안전성에 대한 인식이 중요하게 바뀌고 있다. 이에 따라, ADAS 개발로 인한 안전 시스템들이 등장하였다. 그러나 ADAS의 개발과 시험 평가를 통해 양산 되는 기간은 상당히 오래 걸린다. 따라서 본 논문에서는 ADAS 개발과 시험 평가에 필요한 기간을 단축시키기 위해 브레이크 다이나모미터를 개발 하였다. 또한 개발한 브레이크 다이나모미터는 국제 표준인 JIS D-0210을 만족하며, ADAS의 모드별로 사용자가 시험 조건과 시험 방법을 선택 하여 제동력을 평가할 수 있다. 그리고 개발하는 브레이크 다이나모미터의 신뢰성 검증을 위해 선행 연구에서 제안한 ACC, LKAS, AEB의 시나리오를 사용하였다. 개발한 브레이크 다이나모미터는 시험값과 선행 연구를 통해 제안된 ADAS 모드별 이론식에 의한 계산값을 비교하여 신뢰성을 검증하였다. 또한, 향후에는 ADAS의 실차시험이 불가능한 환경에서 ADAS 모드별 브레이크 부품의 성능 평가가 가능할 것으로 기대 된다.

Abstract Recently, automobiles have been developed for safety and environmental reasons. Particularly, awareness of automobile safety is changing significantly. As a result, safety systems developed by ADAS have emerged. However, the period of mass production through ADAS development and test evaluation is long. Therefore, in this paper, we develop a brake dynamometer to shorten the time required for ADAS development and test evaluation. In addition, the developed brake dynamometer satisfies the international standard JIS D-0210, and the user can evaluate the braking force by selecting test conditions and test method for each mode of ADAS. We use the ACC, LKAS, and AEB scenarios proposed in previous studies to verify the reliability of the developed brake dynamometer. The developed brake dynamometer was verified by comparing the test values and the calculated values using theoretical formulas of the proposed ADAS mode based on previous studies. In addition, it is expected that the performance evaluation of brake parts for each ADAS mode will be possible in an environment where the vehicle test of ADAS is not possible in the future.

Keywords : Brake, Dynamometer, Torque, ADAS, JIS

본 논문은 한국연구재단이 지원하는 지역신산업선도인력양성사업으로 수행되었음.
*Corresponding Author : Seon-Bong Lee(Keimyung Univ.)
Tel: +82-53-580-5457 email: seonbong@kmu.ac.kr
Received August 14, 2018 Revised September 10, 2018
Accepted November 2, 2018 Published May 31, 2019

1. 서론

현대사회에서 자동차 개발은 안전성 향상, 편의성 증대, 친환경 등의 목적으로 진행되고 있다. 특히 자동차 안전성에 대한 인식이 중요하게 바뀌고 있다. 이에 따라, 최근 첨단운전자지원시스템(ADAS : Advanced Driver Assistance system, 이하 ADAS)의 발전으로 많은 안전 시스템들이 등장하였다. 또한, 국제표준화기구(ISO : International Organization for Standardization, 이하 ISO), 유럽신차평가프로그램(Euro NCAP : European New Car Assessment Programme, 이하 Euro NCAP), 미국 도로교통안전국(NHTSA : National Highway Traffic Safety Administration, 이하 NHTSA)등에서는 ADAS의 개발 목표 및 평가에 대한 표준화 진행을 노력하고 있다[1-2]. 이런 국제동향에 따라 국내 한국자동차안전도평가(KNCAP : Korean New Car Assessment Program, 이하 KNCAP) 등에서도 국내도로환경을 고려한 평가 기술을 개발하고 있다.

이에 따른 연구동향을 보면, Kim 등은 국내 도로환경에 맞춘 적응순항제어(ACC : Adaptive Cruise Control, 이하 ACC) 시나리오(scenario)와, 거리에 대한 목표값을 이용하여 수식의 제안과 함께 실도로 시험평가로 검증하였으며[3], Woo 등은 국제 시험방법 및 기준과 연구사례 등을 비교분석 및 차선이탈보조시스템(LKAS : Lane Keeping Assist System, 이하 LKAS)의 성능평가를 하여 국내 교통 환경 실정에 맞는 시나리오 방안을 제안하였다[4]. 또한, Yoon 등은 국제 표준의 능동적인 대응과 국내 도로환경을 고려한 시험평가 방법을 이론적 평가수식제안과 실차시험을 통한 검증을 진행하였고[5], Na 등은 Euro NCAP 및 국내 교통사고 유형분석을 기반으로 자동긴급제동(AEB : Autonomous Emergency Braking, 이하 AEB)의 정략적인 평가 방법을 연구하였으며[6], Kim 등은 국내 도로환경에 맞는 AEB의 시험평가 방법을 제안하기 위해 거리에 대한 목표값을 이용하여 수식 및 시나리오를 제안하고 실차시험을 통해 이를 검증하였다[7]. 그리고 Kim 등은 상용차 브레이크 다이나모미터(brake-dynamometer)의 각종 성능 및 국제규격, 주요 핵심기술에 대하여 제안하고, JASO(Japanese Automobile Standards Organization, 이하 JASO) C-406에 따라 시험기의 성능평가를 실시하였으며[8], Kim 등은 Labview DAQ를 이용하여 정확한 수치에 근접하도록 토크(torque)-속도 그래프(graph), 전류, 전압의 그래프 등을 구현하여 시험기기의 효율을 쉽게 확인하는 실험을 진행하였다[9].

그러나 이러한 노력에도 불구하고, 종 방향 교통사고는 2015년 39.30%, 2016년 39.58%, 2017년 36.94%로 높은 비중을 차지하고 있으며[10], ADAS 개발 및 환경에 영향을 받는 시험 평가를 통한 검증에 많은 기간이 소요되어 ADAS 상용화가 더디게 진척되고 있다. 따라서 본 연구에서는 ADAS의 개발 기간을 단축시키기 위해 ADAS 모드별 시험평가 이론식과 국내외 표준을 만족하는 시나리오를 제안하고, JIS(Japanese Industrial Standards committee, 이하 JIS) D-0210 표준을 만족하는 ADAS 모드별 브레이크의 제동력을 평가할 수 있는 다이나모미터를 개발하여 시험값과 이론값의 비교분석을 통해 신뢰성을 검증하고자 한다.

2. 이론적 배경

2.1 ADAS의 정의 및 국제 표준

ADAS는 차량 및 운전자 상태, 주변 환경을 인식하여 운전자의 부담을 감소시키며, 편의를 증진시키기 위한 장치이다. ADAS의 대표적인 시스템인 ACC, LKAS, AEB의 관한 국제 표준은 ISO와 Euro NCAP을 따른다.

2.1.1 ISO 15622

ACC는 주행속도와 선행차량과의 차간거리를 제어하는 시스템으로 약 30~100 km/h의 범위에서 동작하며 운전자의 부담을 감소시킨다.

ACC의 대표적인 국제 표준은 ISO 15622(Intelligent Transport System - Adaptive Cruise Control)이다[11]. 기본 제어방법 및 기본 운전자 인터페이스(interface) 요소, 최소기능 요구사항, 고장진단과 대응조치를 위한 최소요구사항 및 성능시험 절차가 포함되어 있으며 기본성능 요구사항의 직선로에서의 검지범위, 곡선로에서의 추종능력, 동작 요소 및 한계, 검지 범위 시험, 선회 성능 시험에 대한 내용으로 구성되어 있다.

2.1.2 ISO 11270

LKAS는 차선인식용 전방카메라를 통해 주행차선을 인식, 인식된 차선과 주행 차량 간의 상대적인 위치를 파악하고 운전자가 의도하지 않은 차선이탈이 발생하는 경우 운전자에게 경고하고 차선이탈을 방지하도록 하는 주행차선 유지를 위한 조향 보조 시스템이다. LKAS의 대

표적인 국제 표준은 ISO 11270(Intelligent Transport System- Lane Keeping Assist System)이다[12]. LKAS 평가의 주요 결정인자인 차선이탈 거리, 차선 폭, 종 방향 주행속도, 횡 방향 이탈속도, 곡률반경, 차선 복귀 후 차량의 안정성, 기타 항목들에 관한 내용으로 구성되어 있다.

2.1.3 Euro NCAP

Euro NCAP에서는 2014년부터 AEB 등의 충돌회피 장치를 장착한 모델에 대해서만 최우수 등급을 부여하고 있다. AEB는 운전자에만 의존하던 차량의 제동을 레이더(radar)와 카메라 등의 센서(sensor)를 통해 인식된 장애물과의 상대속도와 상대거리 등의 데이터를 이용하여 자동으로 긴급 제동하는 시스템이다. Euro NCAP에서 규정하고 있는 AEB 성능 평가는 도심로와 자동차 전용도로 두 가지 경우로 나누어진다. 도심로 시나리오는 SV(Subject Vehicle, 이하 SV)의 속도 10~50 km/h 영역에 대해 정지된 목표물에 대한 AEB 성능평가를 규정하고 있고, 자동차 전용도로 시나리오는 SV의 속도 30~80 km/h 영역에 대해 정지된 목표물, 이동하는 목표물, 감속하는 목표물에 대한 AEB 성능 평가를 규정하고 있다[13].

2.2 ADAS 모드별 시나리오 및 브레이크 제동력 평가 이론식 제안

본 논문에서는 선행연구를 통해 ACC, LKAS, AEB 시나리오를 선정하여 각 시스템의 제동력을 확인하기 위해 실제 제동력이 인가된 후의 제동거리에 대한 함수로 이론식을 선행연구를 통해 제안하였다.

2.2.1 ACC 평가시나리오

ACC 평가 시나리오는 도심로에서 주행하는 것과 같이 잦은 감가속도의 변화가 발생할 경우 SV가 정상적으로 LV(Lead Vehicle, 이하 LV)를 추종하는지 파악하는 시험으로 선행연구를 통해 제안된 시나리오 중 ACC의 특성을 가장 잘 평가할 수 있는 시나리오로 Fig. 1에 나타냈으며, 시험 조건은 Table 1에 정리하였다.

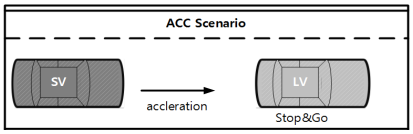


Fig. 1. ACC scenario(Stop&Go)

Table 1. Condition of ACC scenario(Stop&Go)

Initial condition		After condition	
SV setting velocity	$50 km/h$	SV setting velocity	ACC system operation in initial condition
LV 1 setting velocity	Same as SV	LV 1 setting velocity	Same as initial condition
Additional condition	Deceleration is stopped by $0.1 \sim 0.3 g$		
	Re-acceleration fixed $0.1 g$		

2.2.2 LKAS 평가시나리오

LKAS 평가 시나리오는 조향각이 일정한 경우 SV가 직선도로 주행 중 상대 조향각이 왼쪽으로 적용된 상황에서 차선을 이탈하지 않고 주행차선에 복귀여부를 평가하는 시험으로 선행연구를 통해 제안된 시나리오 중 LKAS의 특성을 가장 잘 평가할 수 있는 시나리오로 Fig. 2에 나타냈으며, 시나리오 세부 조건은 Table 2에 정리하였다.

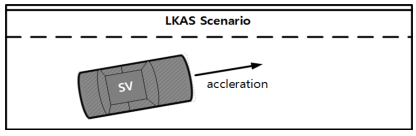


Fig. 2. LKAS scenario(constant steering)

Table 2. Condition of LKAS scenario(constant steering)

Velocity	60 km/h
Lane width	3 m
Vehicle relative yaw angle(ψ)	5 °
Steering angle(δ_f)	15 °
Front tire relative yaw angle(ψ_L)	20 °

LKAS 평가시나리오에는 몇 가지 가정이 요구되며 아래와 같다

① 도로 폭은 3.0 m를 넘지 않아야 함(60 km/h기준)
② 차선유지 능력은 사용자 설명서에 반드시 언급되어야 함
③ 작동한계를 벗어나는 범위에서는 반드시 운전자가 조작해야 함
④ 차량이탈속도 0.4±0.2 m/s 초과 시 운전자가 조작해야 함

2.2.3 AEB 평가시나리오

AEB가 장착된 SV가 주행 중 전방에 LV가 정차되어 있는 경우, LV를 인지 후 AEB가 동작하는 상황인 CCRs(Car-to-Car Rear stationary, 이하 CCRs)를 확인하는 시험으로 선행연구를 통해 제안된 시나리오 중 AEB의 특성을 가장 잘 평가할 수 있는 시나리오로 Fig. 3에 나타냈으며, 시험조건은 Table 3에 정리하였다.

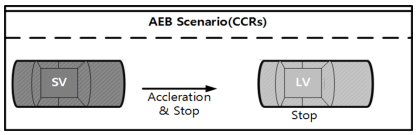


Fig. 3. AEB scenario(CCRs)

Table 3. Condition of AEB scenario(CCRs)

Initial condition		After condition	
SV setting velocity	50 km/h	SV setting velocity	0 km/h
Additional condition	Proceed on a straight road		

2.2.4 브레이크 제동력 평가를 위한 이론식 제안

브레이크 다이나모미터를 이용하여 ADAS 모드별 시험평가를 위해 국내 도로환경을 고려한 ACC, LKAS, AEB의 시나리오를 제안하고, 이의 검증을 위해 ADAS 모드별 변수를 활용하여 추종과 유지의 목표거리 함수로 표현하였다. 또한, 개발한 브레이크 다이나모미터도 제동력 평가 기준을 제동 후 차량의 제동거리를 목표 값으로 선정하여 브레이크의 동작 후 잔여거리를 알 수 있으면 시험한 ADAS의 모드에 대한 안전성을 확인할 수 있도록 이론값과 비교 검증할 예정이며, 제동 거리는 바퀴의 이동거리로 환산할 수 있으며, 분당회전수(RPM : Revolution Per Minute, 이하 RPM)에 시험 차량의 특성인 트랜스미션의 기어비(G_R)와 바퀴의 직경($2\pi R$)을 나눈 값에 제동시간(t_b)을 곱한 거리로 나타내어 이론식을 Eq. (1)에 제안하였다.

$$D = \frac{RPM}{G_R \times 2\pi R} \times t_b \quad (1)$$

Where, D denotes left distance, G_R denotes gear ratio, $2\pi R$ denotes tire radius, t_b denotes braking time

2.3 브레이크 다이나모미터 국제 표준

2.3.1 JIS D-0210

JIS D-0210은 브레이크 다이나모미터의 제작 및 시험조건 국제 표준이다. 브레이크 다이나모미터 제작 시 제품 표준을 위한 관성 모멘트, 제동 토크 및 제동력 계수 등의 계산식이 표준화되어있다. Eq. (2)~(3)을 통해 관성모멘트와 제동 토크를 구할 수 있다. 또한 차량의 상태, 도로 및 기상 상태, 브레이크 장치 각부의 상태 등이 표준화되어 있다[14].

$$I = mr^2 = \frac{Wr^2}{g} \quad (2)$$

$$T = mrb = \frac{Wr}{g}b = \frac{I}{r}b \quad (3)$$

Where, I denotes moment of inertia, m denotes mass, r denotes tire radius, W denotes weights, g denotes gravitational acceleration, b denotes braking deceleration

2.3.2 JASO C-406

JASO C-406은 일본 자동차협회 표준이며, 승용차 브레이크 다이나모미터 시험 방법을 제시하고 있다. 브레이크 다이나모미터 시험은 차량 최고 속도로 차량 종류를 구분하고 온도, 풍속, 승온 조건 등을 이용하여 시험환경을 표준하고 있다[15]. 시험조건에 대한 내용은 Table 4에 정리하였다.

Table 4. JASO C-406 test methods conditions

Test items	Initial speed braking [km/h]	Deceleration of braking [g]	Braking frequency [time]
Pre-burnish	50	0.3	10
Burnish	65	0.3 ~ 0.35	more than 200 times
Effective-ness Test	30 ~ 100	0.1 ~ 0.8	more than 5 times per braking condition
Reburnish	65	0.3 ~ 0.35	35
Emergency Test	50 ~ 60	0.1 ~ 0.25	more than 4 times
Fade & Reco	50 ~ 80	0.3 ~ 0.45	38 ~ 48
Water Recovery	50	0.3	more than 5 times

2.3.3 ISO-11157

ISO-11157은 2003년 UN-ECE Regulation No.13-09에 따라 승인된 대체 브레이크 라이닝이 장착된 차량 또는 브레이크 다이나모미터 시험방법을 제시하고 있다.

차량의 범주는 승객 운송을 목적으로 하는 최소 4륜 동력 구동용 차량(범주 M)과 화물 운송을 목적으로 하는 최소 4륜 동력 구동용 차량(범주 N), 트레일러(범주 O)로 3가지 범주로 나뉘며, 이러한 범주에 따라 시험 속도 및 평균 포화 감속도(MFDD : Mean Fully Developed Deceleration)가 적용된다[16].

Eq. (4)~(5)에 규정 속도 및 제동 토크에 따른 감속도 관련 계산식을 나타내었으며, Table 5에 승용차량의 법적요구사항 표준을 정리하였다.

Table 5. ISO-11157 vehicle category(M)

Vehicle category	Specified test speed[km/h]	MDFF[m/s^2]
M1	80	5.8
M2	60	5.0
M3	60	5.0

$$d_m = \frac{(v_b)^2 - (v_e)^2}{2(S_{pe} - S_{pb})} \quad (4)$$

$$d_i = \frac{T_i}{rm} \quad (5)$$

Where, d_m denotes average deceleration, v_p denotes standard vehicle speed, v_b denotes vehicle speed at $0.8v_p$, v_e denotes vehicle speed at $0.1v_p$, S_{pe} denotes travel distance between v_p and v_b, S_{pb} denotes travel distance between v_p and v_e

3. 브레이크 다이나모미터 개발

브레이크 다이나모미터의 구성은 기구부, 환경부, 제어부 등으로 나눌 수 있다. 개발한 브레이크 다이나모미터의 구성은 Fig. 4에 나타냈다.

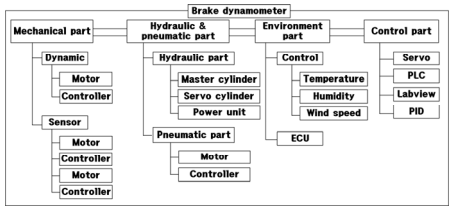


Fig. 4. Brake dynamometer diagram

3.1 하드웨어부

3.1.1 기구부

브레이크 다이나모미터를 구성하는 기본적인 몸체인 기구부의 내부에는 동력을 발생시키는 DC모터(Direct Current motor), 관성을 인가하기 위한 플라이휠(flywheel), 제동 시 발생하는 토크 및 rpm, 하중 등을 측정하는 센서부 등으로 이뤄지며 외부에는 이러한 장비들을 장치시킬 수 있는 메인 프레임(frame)으로 구성되어 있다.

기구부 설계에서 특히 고려할 사항은 시스템의 강성설계이며 다음과 같다. 기계적 강성, 시험목적에 알맞은 모터선정, 국제 표준에 맞춘 Inertia wheel 설계, 필요한 시험결과를 얻기 위한 센서 선정이다. 기구부는 Fig. 5에 나타냈다.

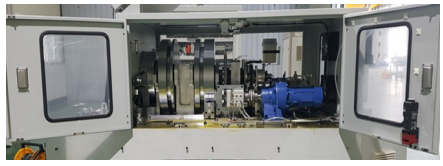


Fig. 5. Brake dynamometer mechanical part

3.1.2 유/공압부

브레이크의 제동원 공급의 기능을 수행하는 유/공압부는 브레이크 종류에 따라 유압, 공압을 선택하여 사용할 수 있다.

유압부의 경우 마스터 실린더(master cylinder), 서보 실린더(servo cylinder), 동력장치(power unit)으로 구성되어 있으며, 공압부의 경우 공기압 조정기(regulator)와 축압기(accumulator)로 구성되어 있다. 유/공압부는 용도에 맞는 실린더의 선정, 안전성을 위한 보수 유지 등을 고려하여 설계되어야 한다.

유/공압부는 Fig. 6에 나타냈다.

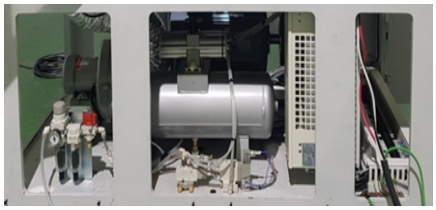


Fig. 6. Brake dynamometer hydraulic & pneumatic part

3.1.3 환경부

브레이크 시험평가 환경을 조성하는 환경부는 제어부에서 온도 및 습도, 풍속을 설정함으로써 시험환경이 구성된다.

환경부의 경우 동일한 시험환경 구성에 중점을 두고 설계를 진행해야한다. 온도 및 습도가 전체적으로 기구부에 동일하게 적용되어야하며 저온건조, 저온다습, 고온건조, 고온다습의 조건이 Fig. 7의 그래프 면적 안에서 이뤄져야 한다. 환경조성장치는 Fig. 8(a)에 나타냈다.

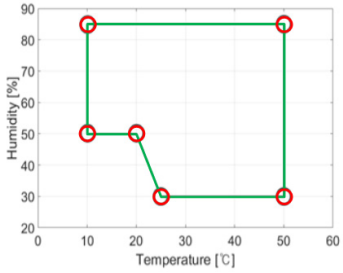


Fig. 7. Temperature and humidity graph

3.1.4 제어부

제어부는 제동을 위한 신호처리와 유/공압 제어 등을 수행하며, 디지털 신호의 입출력을 위한 논리 연산 제어장치(PLC : Programmable Logic Controller, 이하 PLC)와 디지털 신호의 제어를 위한 Labview를 사용하였다. 제어부는 디지털 신호처리 등을 위한 PLC, 서버(sever) 제어용 비례-적분-미분 조절 장치(PID : Proportional Integral Derivative controller, 이하 PID), 아날로그 레코더(analogue recoder) 및 출력용 외부단자 등으로 구성되어 있다. 또한 브레이크 제동 시험 시 수집되는 데이터의 정확성을 확보하기 위해 노이즈 방지대책과 긴급 상황에 대비할 수 있는 안전장치가 필수이다.

제어부의 경우 안정성에 중점을 두고 설계를 진행하였다. 따라서 제어변수의 최적화와 디지털 신호의 입출력 제어 및 시험결과의 정확성이 필요하며 긴급제동장치와 같은 안전장치를 고려하여 설계한다. 브레이크 다이나모미터 제어부는 Fig. 8(b)에 나타냈다.

(a) (b)

Fig. 8. Brake dynamometer part
(a) Environment part (b) Controller

브레이크 다이나모미터 시험기는 각 구성부로 이뤄진 종합 시스템으로 브레이크 제동성능시험을 수행한다. 이때 각 구성부의 성능과 인터페이스(interface)가 안정적, 효율적으로 구성되는가에 따라 시험기의 성능이 크게 영향을 받는다.

본 연구에서 개발한 브레이크 다이나모미터 시험기는 사용자가 시험 표준을 선택하여 시험할 수 있으며 주요 제원을 Table 6에 정리하였다.

Table 6. Brake dynamometer spec.

List	Spec	Remark
Max inertia $[kgf \cdot m^2]$	0.6	fixed inertia, 0.10+0.05+0.10+0.15+0.20
Max rpm$[rpm]$	3000	$\approx$ 141 km/h
Max torque $[N \cdot m]$	35	$\approx$ 1.03 G
Lining area$[cm^2]$	20	TP size 50*20mm^2 × 2sheets
Pad area$[cm^2]$	16.2	TP size 45*18mm^2 × 2sheets
Loader size[∅]	142	∅ 142* ∅ 50×8
Motor output$[kw]$	7.5	7.5kw/1750
Temp range[℃]	10-50	± 2 ℃ At setting temperature
Humidity range[%]	30-90	± 2 %
Wind speed[m/s]	11	-

3.2 소프트웨어부

브레이크 다이나모미터의 소프트웨어는 Labview 프로그램을 사용하였다. 본 논문에서 구현한 소프트웨어는 총 3단계이며 다음과 같다.

1단계인 Test code edit는 제동 시험을 하기 전 시험조건을 입력하는 단계이며 제한조건, 초기 및 종료속도, 제동력, 제동횟수 등을 입력할 수 있다. Test code

edit의 블록 다이어그램은 Fig. 9에 나타내었다.

2단계는 Data processing으로 브레이크 다이나모미터의 실험 결과값을 수치화하고 그래프로 나타내며 입력한 단위시간당 시험조건으로 출력된다. Data processing의 블록 다이어그램은 Fig. 10과 같다.

최종단계인 Wave data processing은 브레이크 다이나모미터의 실험 단계별 결과값을 그래프로 나타내며 속도별 제동력을 확인할 수 있다. Wave data processing의 블록 다이어그램은 Fig. 11에 나타냈다.

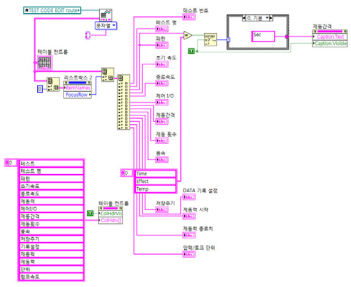


Fig. 9. Test code edit block diagram

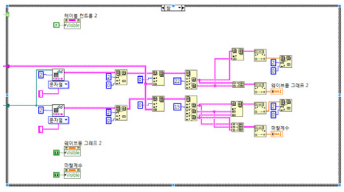


Fig. 10. Data processing block diagram

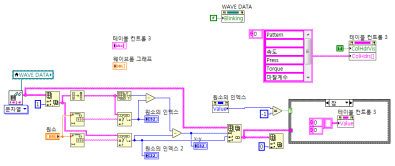


Fig. 11. Wave data processing block diagram

4. 브레이크 다이나모미터 시험결과 및 검증

4.1 ACC 시험 결과 및 분석

브레이크 다이나모미터를 활용한 ACC의 시험 결과는 Fig. 12와 같으며, 3회 반복시험을 실시하였다.

ACC 평가시나리오의 속도 결과를 Fig. 12(a)에 나타냈으며, 전방에 LV가 일정속도로 주행하며 0.3s 부터 LV가 점차 감속하여 5s 부터 1s 간 정차 후 재주행하며, 이때 SV가 LV를 추종한다고 가정하였다. Fig. 12(b)는 제동거리를 나타냈으며, LV의 감속도에 따른 상대거리를 확인할 수 있다. Fig. 12(c)는 감가속도를 나타냈으며, 감속도가 증가함에 따라 SV의 속도가 같이 감소하는 것을 확인할 수 있다. Fig. 12(d)는 제동력을 나타냈으며, 제동력의 변화가 시작되는 0.3s 이후 SV의 속도변화가 일어난 것을 확인할 수 있다.

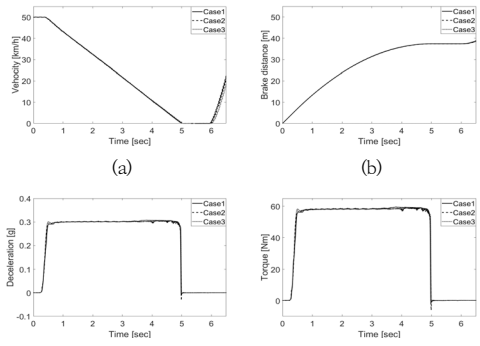


Fig. 12. Brake dynamometer test results for ACC
(a) Velocity (b) Brake distance
(c) Deceleration (d) Torque

4.2 LKAS 시험 결과 및 분석

브레이크 다이나모미터를 활용한 LKAS의 시험결과는 Fig. 13과 같으며, 3회 반복시험을 실시하였다.

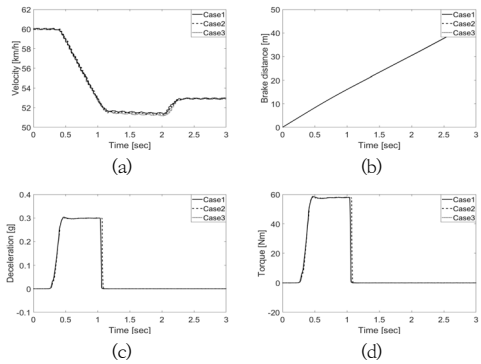


Fig. 13. Brake dynamometer test results for LKAS
(a) Velocity (b) Brake distance
(c) Deceleration (d) Torque

LKAS 평가시나리오의 속도 결과를 Fig. 13(a)에 나타냈으며, SV가 시속 60 km/h로 주행하며 0.5s부터 20 ° 이상의 조향각이 적용되어 감속한다고 가정하였다. 이에 따라 감속 후 1초가 지난 시점부터 다시 가속하여 주행

하는 것을 확인할 수 있다. Fig. 13(b)는 제동거리를 나타냈으며, 감속도에 따른 제동거리를 확인할 수 있다. Fig. 13(c)는 감가속도를 나타냈으며, 0.3s부터 감속도 0.3 g에 따라 SV의 속도가 감소하는 것을 확인할 수 있다. Fig. 13(d)는 제동력을 나타냈으며, 0.3s부터 제동력의 변화가 시작되며 제동력이 발생한 후 SV의 속도변화가 일어난 것을 확인할 수 있다.

4.3 AEB 시험 결과 및 분석

브레이크 다이나모미터를 활용한 AEB의 시험결과는 Fig. 14와 같으며, 3회 반복시험을 실시하였다.

AEB 평가시나리오의 속도 결과를 Fig. 14(a)에 나타냈으며, SV가 시속 50 km/h로 주행하며 약 0.4s부터 LV를 감지하여 0.8초간 편제동을 수행하고, 시속 0 km/h가 될 때까지 전제동하여 감속하는 것을 확인할 수 있다. Fig. 14(b)는 제동거리의 결과를 나타냈으며, 약 2s 부근에서 SV가 정지 후 제동거리의 변화가 없는 것을 확인할 수 있다. Fig. 14(c)는 감가속도를 나타냈으며, 0.3s부터 0.4 g로 0.8s 동안 감속하며 편제동이 수행됨을 확인할 수 있고, SV가 1.0g로 전제동하여 정지하는 것을 확인할 수 있다. Fig. 14(d)는 제동력을 나타냈으며, 0.3s와 1.1s에 제동력의 변화가 일어난 것을 확인할 수 있다.

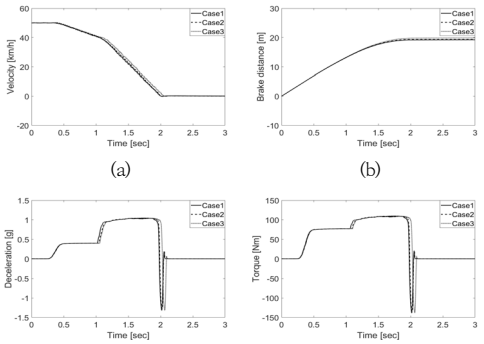


Fig. 14. Brake dynamometer test results for AEB
(a) Velocity (b) Brake distance
(c) Deceleration (d) Torque

5. 브레이크 다이나모미터 시험 검증

브레이크 다이나모미터의 신뢰성 검증을 위해 제안한 제동력 평가 수식의 이론값을 계산하여 Table 7에 정리하였다. 이때 사용한 제동시간은 안정화를 기준으로 측정하였고, 시험을 위한 브레이크 부품은 현재 양산 중인 1,600cc 전륜 디스크 타입을 이용하였다.

Table 7. Theoretical calculation and braking time of dynamometer

Scenario	Case	Braking time [sec]	Suggested formula value [m]
ACC	1	4.522	29.334
	2	4.499	29.185
	3	4.501	29.198
LKAS	1	1.018	11.426
	2	1.053	11.819
	3	1.046	11.740
AEB	1	1.448	11.186
	2	1.374	10.614
	3	1.438	11.109

상대거리와 이론값의 비교를 위하여 브레이크 다이나모미터 시험결과를 Table 8에 정리하였다.

Table 8. Test result of dynamometer

Scenario	Case	Braking time [sec]	Test value [m]
ACC	1	4.522	30.596
	2	4.499	30.536
	3	4.501	30.687
LKAS	1	1.018	12.272
	2	1.053	12.826
	3	1.046	12.705
AEB	1	1.448	11.961
	2	1.374	11.367
	3	1.438	11.869

Table 9는 브레이크 다이나모미터 시험결과와 이론값을 제동 거리로 환산, 비교하여 나타냈다.

Table 9. Comparison of theoretical and dynamometer data

Scenario	Case	Suggested formula value [m]	Test value [m]	Error factor [%]
ACC	1	29.334	30.596	4.30
	2	29.185	30.536	4.63
	3	29.198	30.687	5.10
LKAS	1	11.426	12.272	7.40
	2	11.819	12.826	8.52
	3	11.740	12.705	8.22
AEB	1	11.186	11.961	6.93
	2	10.614	11.367	7.09
	3	11.109	11.869	6.84

브레이크 다이나모미터에서 실험값과 이론값을 제동거리를 비교한 결과, ACC는 최소 4.30%, 최대 5.10%, LKAS는 최소 7.40%, 최대 8.52%, AEB는 최소 6.93% 최대 7.09%의 오차를 나타냈으며, 이러한 오차는 동일한 환경을 구축하였음에도 불구하고 브레이크 마찰재의 온도, 표면의 거칠기 등이 시험과정에서의 변화, 평가시나리오의 진행방법, 시험장비의 일정한 목표속도를 유지하는 모터의 오차율로 판단되었다. 또한, 브레이크 다이나모미터에 브레이크 한 모듈을 장착하여 무게중심이 일반 자동차와 다른 것으로 판단되었다.

6. 결론

본 논문에서는 ADAS의 모드별 제동력 평가를 위한 브레이크 다이나모미터 개발에 관한 연구를 위해 국내외 표준을 만족하는 ADAS의 평가시나리오와 브레이크의 작동 후 제동거리 예측을 위한 이론식을 제안하였다. 그리고 ADAS 모드별 제동력 평가가 가능한 브레이크 다이나모미터를 개발하였다. 개발한 브레이크 다이나모미터의 신뢰성 검증을 위하여 이론값과 시험값을 비교하여 다음과 같은 결론을 도출 하였다.

1) 본 논문에서 제안한 시나리오는 ISO 15622, 11270 및 Euro NCAP(AEB V2.0)을 검토하고 국내 도로환경에 부합하도록 속도를 반영하였다.
2) 각 시스템이 대표시나리오를 ACC(Stop&GO), LKAS(constant steering), AEB(CCRs)로 선정하였고, 브레이크 작동후 제동거리에 대한 함수를 선정 및 수식을 제안하였다.
3) ADAS 모드별 제동력 평가가 가능한 브레이크 다이나모미터를 개발하였고, 장비 검증을 위하여 JIS D-0210, ISO-11157, JASO C-406을 활용하여 시나리오별 3회 반복시험을 진행하였다.
4) 브레이크 다이나모미터 시험결과와 이론값 대비 최소 4.30%에서 최대 8.52%의 오차율을 보였으나 브레이크 마찰재의 온도, 표면의 거칠기 등이 시험과정에서 변화하는 것과 브레이크 한 모듈을 장착하여 무게중심이 다른 것과 안정화에서 오는 오차로 판단하였다.
5) 향후 실차시험 데이터와 비교 분석을 통해 신뢰성을 향상시키게 된다면, 운전자가 직접 실차 시험하기 힘든 상황을 대체하여 성능 평가가 가능할 것으로 기대된다.

References

[1] G. D. Lee, and S. W. Kim., *"Advanced Vehicle Control System(AYCS) for Intelligent Transportation Systems (ITS)"*, SICE-I International Joint Conference, vol. 6, no. 4, pp. 10-19. 2000.

[2] G. S. Lee., *"Vehicle Intelligent Driving Control System"*, SICE-ICASE International Joint Conference, vol. 7, no. 3, pp. 25-32. 2001.

[3] B. J. Kim., *"A Study on Evaluation Method of ACC Test in Domestic Road Environment"*, Master`s thesis, Keimyung University. 2018.

[4] H. G. Woo., B. J. Yong., K. G. Kim and J. H. Lim., *"Road Test Scenario and performance Assessments of Lane Keeping Assistance System for Passenger Vehicles"*, Journal of The Korean Society Of Automotive Engineers, pp. 255-263. 2016.
DOI : https://doi.org/10.7467/KSAE.2016.24.2.255

[5] 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 cooperation Society, Vol. 18, No. 12, pp. 628-637. 2017.
DOI : https://doi.org/10.5762/KAIS.2017.18.12.628

[6] W. B. Na, J. I. Lee, C. W. Park, and H. C. Lee. *"A Study of Designing Integrated Scenario for Testing ADAS"*, Journal of The Korean Society Of Automotive Engineers, pp. 1243-1248. 2016.

[7] B. J. Kim and S. B. Lee., *"A Study on Evaluation Method of AEB Test"*, Journal of The KASA, Vol. 10, No. 2, pp. 20-28. 2018.
DOI : 10.22680/kasa2018.10.2.020

[8] Y. S. Kim, C. H. Baek, S. H. Choi, M. S. Shim and J. S. Choi., *"A Development of Brake Dynamometer for Commerical Vehicles"*, Journal of The Korean Society Of Automotive Engineers, pp. 249-254.

[9] M. G. Kim and K. C. Kim., *"The study on the dynamometer experimental set for electrical motor performance by LABVIEW DAQ"*, Journal of The Korean Institute of Electrical Engineers, pp. 216-218. 2010.

[10] Web source. Types of domestic traffic accidents at taas.koroad.or.kr

[11] ISO 15622 Intelligent Transport Systems - Adaptive Cruise Systems - Performance Requirements and Test Procedures, ISO, 2010.

[12] ISO 11270 Intelligent Transport System - Lane keeping Assist System - Performance Requirements and Test Procedures, ISO, 2014.

[13] Euro NCAP, "Test Protocol -AEB ststems. Version 2.0".

[14] JIS D-0210, "Standard," JIS Interantional. 1995.

[15] JASO C-406, "Standard," JASO Interantional. 2000.

[16] ISO-11157, "Standard," ISO Interantional. 2005.

권 병 헌(Byeong-Heon Kwon) [정회원]

- 2018년 2월 : 계명대학교 기계자동차공학과 (학사)
- 2018 3월 : 계명대학교 일반대학원 기계공학과 (공학석사)

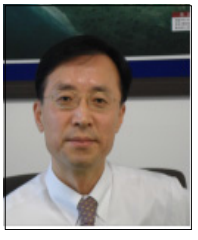
〈관심분야〉
자동차 전자장치, 지능형 자동차

윤 필 환(Pil-Hwan Yoon) [정회원]

- 2017년 2월 : 계명대학교 기계자동차공학과 (학사)
- 2017년 3월 : 계명대학교 일반대학원 기계공학과 (공학석사)

〈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, 미래자동차연구소장

〈관심분야〉
자동차 전자장치, 자동차 일반