

대형차량 장착용 미끄럼방지 제동장치 전자제어기의 성능평가에 관한 연구

이 기 창 · 전 정 우 · 황 돈 하 · 남 택 근 · 김 용 주
한국전기연구원 산업전기연구단 기기제어응용연구그룹

A Study on the Performance Evaluation of Antilock Brake Controller for a Heavy Vehicle

Ki-Chang Lee · Jung-Woo Jeon · Don-Ha Hwang · Taek-Kun Nam · Yong-Joo Kim
Machine Control & Application Group, Korea Electrotechnology Research Institute (KERI)

Abstract - 미끄럼방지 제동장치는 차량의 급제동 시 바퀴의 잠김을 방지하여, 바퀴의 슬립을 최적으로 유지 시킴으로써 제동거리를 단축시키고, 운전자가 차량 조향성을 유지할 수 있게 만드는 차량 안정장치이다. 이 장치는 비행기의 착륙거리를 줄이기 위해 개발된 이래로, 철도 및 차량 등에도 널리 적용되고 있으며, 국내에서도 이미 승용차를 위주로 양산되고 있는 추세이다. 이러한 미끄럼방지 제동 장치는 공압 브레이크 장치를 사용하는 대형차량 분야에서는 아직 국내에서 적용된 사례가 없었으나, 지난 3년간의 연구개발의 성과로 대형 버스에 적용 가능한 미끄럼방지 제동장치의 전자제어기가 개발 완료되었으며, 국제 규격을 바탕으로 국내 현실에 적합한 미끄럼방지 제동장치 장착 대형차량의 시험 규격을 정하여 이 규격에 의거 제동시험을 실시하고 개발 제어기의 성능을 평가하였다.

각 제동 시험은 μ -Jump 제동시험 및 Split- μ 제동시험 등의 직진 주행 중 급제동시험, 급제동 중 차선변경 시험, 장애물 회피 제동시험 등을 포괄하며 국제적인 규격을 기준으로 정한 독자 규격을 만족하였다. 본 논문에서는 공압 브레이크를 장착한 대형차량의 미끄럼방지 제동장치의 제동성능평가 시험방법을 소개하고, 이 방법의 의해 성능평가 시스템 및 측정 시스템을 구성하여, 개발 전자제어기의 우수성을 확인하였으며, 그 측정결과와 일부를 제시하였다.

- ① High μ 제동 시험
- ② Low μ 제동 시험
- ③ Split μ 제동 시험
- ④ μ -Jump(High \rightarrow Low, Low \rightarrow High)

하지만, 상기와 같은 시험만으로는 ABS 장착 차량의 특성을 평가하기에 미흡하기 때문에 일본 자동차공학회(JASO)나 미국 자동차공학회(SAE) 등에서는 차선변경 시험에 대한 규정도 정립하고 있으므로 본 논문에서는 독자 규격을 정함에 있어서 KS 규격뿐만 아니라, JASO 및 SAE 등의 규격도 참고하였다. 표 1에 각국의 단체 규격을 요약하였다.

표 1 ABS 장착 차량의 시험 평가에 대한 단체 규격

단체명	규격번호	규격명
일본 자동차 공학회 (JASO)	JASO C 454	승용차의 직선 제동 시 방향 안정성 시험 방법
	JASO C 464	ABS 장착 자동차의 장애물회피 성능 시험 방법
	JASO C 465	ABS 장착 승용차의 성능 시험 방법
	JASO C 466	자동차의 제동 정지거리 시험 방법
SAE	SAE J 46	휠 슬립 브레이크-제어 시스템 실차 시험 기준

1. 서 론

전자제어식 미끄럼방지 제동장치는 차량의 급 제동 시에 차량의 제동력 및 조향 능력을 향상시키기 위해 개발된 안정장치이다. 현재 유압을 사용하는 승용차용 ABS는 국내에서도 M사에서 이미 양산 중에 있지만, 공압을 사용하는 대형차량 장착용 ABS는 간단한 구조에도 불구하고 상용화되지 못하고, 현재 수입에 의존하거나 개발 중에 있다.[1][2] 특히 버스에 장착 목적으로 개발된 공압용 ABS ECU는 버스에 장착되는 실제 부품으로 구성된 HILS(Hardware In-the-Loop Simulation) 기법을 사용하여 그 성능이 실험실적으로 검증되었으며,[3][4][5] 실차 테스트를 위하여 적용 차량의 특성과 요구에 부합하도록 성능을 On-Line으로 조정(Turning)하는 실차 주행 소프트웨어도 개발 완료되었다.

실차 주행 시험은 고객인 자동차 운전자의 주관적/객관적인 평가기준을 최종적으로 만족시키기 위해 수행되는데, 이에 필요한 일반적인 평가로는 제동거리, 감속도 및 안정성 등과 같은 객관적인 평가와 페달 감각 (Pedal Feeling), 차체진동(Vibration), 소음(Noise) 등과 같은 주관적인 평가기준이 대표적이다. ABS 장착 차량의 주행 시험에 대한 객관적인 규정으로는 KS, ISO, ECE 및 일부 국가 단체 규격으로 규정되어 있지만, 현재 실차 주행시험을 이용한 ABS 장착 차량의 주행성능을 평가하기 위한 시험으로는 국내에서 KS 규정에 아래와 같이 직선 제동 시 시험방법만을 규정하고 있다.

2. 미끄럼방지 제동장치 및 전자제어기의 개요

공압식 미끄럼방지 제동장치(ABS, Anti-lock Brake System)는 기존의 제동 시스템에 제어 알고리즘을 담당하는 전자제어기(ECU, Electronic Control Unit), 차륜속도를 검출하는 차륜속도센서(Wheel Speed Sensor) 및 제동력을 조절하는 공압조절밸브(PCV, Pressure Control Valve) 등을 추가 장착함으로써 구성된다.

공압식 미끄럼방지 제동장치는 브레이크 제동력을 공압으로 발생시키고, 고속 On-Off 밸브인 공압조절밸브가 공압의 유량을 변조함으로써 압력을 조절하기 때문에 그 응답특성이 유압 비례제어 밸브를 사용하는 승용차에 비해 느린 반면, 쉽게 큰 제동 토크를 낼 수 있기 때문에, 버스, 트럭 및 특장차 등의 대형차에 널리 사용되고 있다. 그림 1에 공압식 미끄럼방지 제동장치를 장착한 시험용 버스와 성능평가를 위해 제작된 ABS 전자제어기를 나타내었다.



그림 1 제동시험 중인 시험차량 및 개발 전자제어기

3. 성능평가 측정 시스템 구축

공압식 브레이크 및 미끄럼방지 전자제어기를 장착한 차량의 제동 성능 평가를 위해서는 다양한 노면 조건에서 차량의 동적 거동 및 제어 특성을 파악해야 할 필요가 있다. 하지만 현실적으로는 다양한 조건의 노면을 구현하기가 어려우므로, 일반적으로 High- μ , Low- μ 및 Split- μ 노면 조건으로 나누어 테스트 한다. 본 논문에서는 아스팔트 노면(Dry, Wet)과 ABS 로(Basalt 노면 살수) 및 이 두 도로의 경계로써, High- μ , Low- μ 및 Split- μ 조건을 구현하였다. 테스트 장소인 자동차 부품 연구원의 ABS 로는 점착율 $\mu=0.35$ 로 설계되어 관리되고 있으며, 아스팔트노면은 점착율 $\mu=0.7$ 정도로 간주된다.

이러한 조건의 노면에서, 개발 전자제어기의 ABS 기능을 ON 시키거나 OFF 시킨 상태에서 제동 시험을 실시함으로써 비교 테스트를 실시하였다. 이와 같은 실차 주행시험 Data를 측정하기 위하여 기존 미끄럼방지 제동장치의 구성품 외에, 다음과 같은 측정 시스템을 구현하여, 제동 시 차량 거동 Data를 실시간으로 취득할 수 있었다.

- Steering Wheel Sensor : 운전자가 규정된 코스에 따라 Steering Wheel을 조작할 때 Steering Wheel의 조향 각도, 조향 각속도, 조향 토크를 측정할 수 있다.
- Gyro-platform System : 차체에 고정시켜 주행 중인 차량의 동적 거동을 측정할 수 있는 장비로서 차량의 병진 방향(전후, 좌우, 상하 방향)의 가속도와 Yaw rate, roll 각, pitch 각, yaw 각 등의 차량의 운전 특성을 측정할 수 있다.
- Speedometer : 주행 중인 차량의 직진 및 횡방향 속도를 측정할 수 있는 광학식 센서이다.
- Brake Pedal Trigger Sensor : 브레이크 페달에 장착된 압력 센서로 제동시 운전자가 브레이크 페달을 밟았는지의 유무를 측정할 수 있는 센서로, 제동 시작 시점을 알려준다.

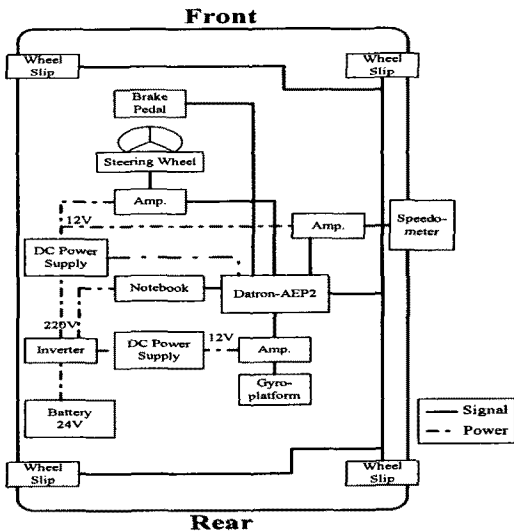


그림 2 실차주행 측정 시스템

4. 성능평가 시험 방법 및 결과

공압 미끄럼방지 제동 장치의 및 전자제어기의 성능을 평가하기 위한 제동시험은 직진 제동시험, 차선 변경시험 및 장애물 회피 제동 시험으로 나누어 실시되었다. 이러한 ABS 장착 차량의 성능평가 시험항목 및 결과를 표 2에 나타내었다.

4.1 직진제동 시험

직진주행 중 급제동 시험을 High μ 노면 조건, Low μ 노면 조건 및 Split μ 노면 조건에서 실시하였다. 각 경우에 테스트 차량인 대형차량의 제동초기 속도를 정하고, 그 기준에 의하여 제동시간 및 거리등을 측정하였다.

일반적으로 바퀴와 노면의 마찰력보다 브레이크의 제동력이 훨씬 크게 작용하는 Low μ 조건 및 비대칭 노면(Split μ)에서 미끄럼방지 기능의 필요성이 증대된다. 본 논문에서는 미끄럼방지 제동 알고리즘 및 전자제어기의 성능평가가 목적이므로 그림 5 ~ 그림 8에 직진제동시의 차량 속도와 바퀴속도를 표시하였다. Low μ 조건에서 제동 시 ABS가 작동하지 않으면 그림 5에서처럼 바퀴들은 바로 고착되어 운전자는 조향기능을 완전히 상실하게 된다. 이 경우 그림 6에서처럼, ABS 기능을 동작시키면 바퀴 Slip을 일정수준 이하로 유지시켜 운전자는 조향력이 확보되어 위험으로부터 회피할 수 있다.

왼쪽과 오른쪽 바퀴와 노면의 점착율이 다른 Split 노면에서 제동 시는 훨씬 더 위험한 상황이 된다. 그림 7처럼 왼쪽 바퀴들은 고착되어 마찰력이 전혀 작용하지 않고, 오른쪽 바퀴들은 아스팔트 노면과의 마찰력이 존재할 경우 차량은 조향에 관계없이 오른쪽으로 회전해 버린다. 이 경우에도 ABS가 동작중인 그림 8에서는 차량의 조향력을 유지할 수 있다.

ABS 장착 버스가 직진주행 중에 아스팔트 노면(High μ)에서 ABS로(low μ)의 천이구간에서 급제동 하였을 때 차량 바퀴의 Locking 발생, 제동 응답성 및 ABS의 정상 작동 여부를 평가하는 시험인 μ -Jump 시험을 위해 제동시 μ -Jump 통과 속도를 50km/h가 되도록 시험을 실시하였다. High μ 노면에서 급제동을 한 후 Low μ 노면으로 천이되면서 일시적으로 필요이상으로 과도한 제동압력이 차량 바퀴에서 일시적으로 Slip이 발생하게 되면, ABS Logic은 Locking을 풀어주는 기능을 수행한다. 이때, Slip 발생 시간이 짧을수록 우수한 ABS라고 할 수 있는데, 보통 ABS Maker들은 이 시간을 500 [ms] 이내로 규정하고 있다. 개발 전자제어기를 장착한 ECU는 발생된 최대 Slip 시간이 250 [ms] 이하로 상용 제품규격에도 만족함을 알 수 있었다.

표 2. ABS의 성능평가 시험 항목 및 결과

시험 모드	시험 방법				
	제동 초속도	Brake 작동유무	제동거리 [m]	조건	
직진제동	High μ	80km/h (Dry 노면)	ABS on ABS off	55.4 54.1	아스팔트로 미살수
		60km/h (Wet 노면)	ABS on ABS off	29.7 31	아스팔트로 살수
	Low μ	50km/h	ABS on ABS off	84.1 71	ABS로(basalt) 살수
	μ -Jump	통과시 속도 50km/h	ABS on, ABS off	.	High μ → Low μ
	Split μ	50km/h	ABS on, ABS off	.	Low μ High μ
Lane Change	High μ	80km/h	ABS on, No Brake	.	차선변경: 25m
	Low μ	50km/h	ABS on, No Brake	.	차선변경: 40m
장애물 회피	High μ	50km/h	ABS on, No Brake	29° 29°	회피가능 최대조향 입구폭 : 3.5m, 장애물 : 5.3m
	Low μ	50km/h	ABS on, No Brake	43° 35°	회피가능 최대조향 입구폭 : 3.5m, 장애물 : 5.3m

* : 장애물 회피 거리임.

4.2 차선변경 시험

차선 변경시험은 일정 속도로 직진주행을 하던 중 돌발 상황 발생시 이를 회피하기 위해 급제동을 하며 차선 변경을 하였을 때 ABS가 정상 작동하여 차량이 안정적으로 차선 변경할 수 있는지 평가하는 시험이다. 그림 3에 차선변경 제동시험 주행코스를 나타내었다. 시험차량은 40[m]의 차선변경구간 내에서 Low μ 노면에서 High μ 노면으로 무사히 통과하여 제동하였으므로 ABS 전자제어기가 충분한 조향안정성을 확보해줄을 알 수 있다.

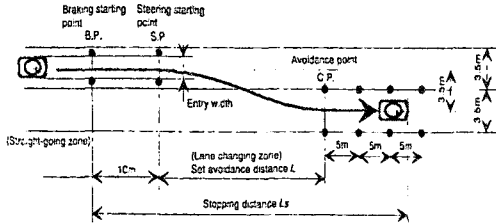


그림 3 차선변경 제동 시험 주행 코스 (JASO C 464)

4.3 장애물회피 시험

장애물 회피 시험은 차량이 직진주행 중 전방의 장애물을 발견하고 이를 피하기 위해 급제동과 동시에 Steering Wheel을 조향하였을 때 ABS가 정상 작동하여 차량이 안정적으로 회피할 수 있는지를 평가하는 시험이다. 시험코스는 그림 4에 도시하였다. 장애물 회피거리는 제동 및 조향 개시 점으로부터 장애물까지의 거리이며, 초기에 설정한 거리에서 2회 이상 성공하면 1[m]씩 줄이고, 2회 이상 실패하면 1 [m]씩 연장하면서 회피거리를 측정하였다. 이 때, 장애물 회피거리는 High μ 에서는 29 [m]로 동일하지만, Low μ 노면에서는 ABS 사용 시 43 [m]로 브레이크를 사용하지 않고 조향한 거리는 35 [m]였다.

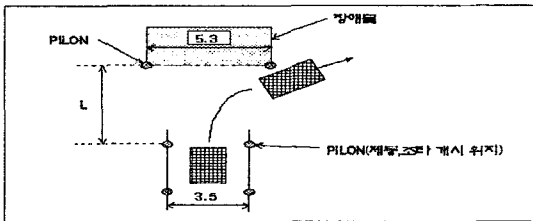


그림 4 ABS 장착 차량의 장애물 회피 시험 코스

5. 결 론

공압식 브레이크 장치를 사용하는 대형차량의 ABS 시스템의 핵심 부품인 전자제어기의 성능평가를 위하여, 다양한 국제 규격을 기준으로 하여, 대형차량의 테스트에 적합한 독자 기준을 제시하고, 그 기준을 바탕으로, ABS 장착 차량의 제동시험을 실시하였다. 또한 제동 성능을 객관적으로 평가하기 위하여 시험차량의 각종 운동 특성 신호를 측정할 수 있는 측정시스템을 구축하고, 자동차 부품 연구원의 주행시험장의 ABS로에서 실차 주행시험을 수행하였으며, 성능평가를 위한 제동시험은 크게, 직진제동시험, 차선변경시험 및 장애물 회피 제동 시험으로 실시되었다.

ABS는 위급한 제동시에 사고 회피효과가 그 목적이므로, 본 논문에서는 회피능력 및 차량의 거동을 파악하기 위하여, Low μ 노면 및 Split μ 노면에서의 직진 제동 시험의 결과 파형을 제시하였다. 또한 차선변경 및

장애물 회피 제동 시험의 독자 규격 및 그 결과도 같이 제시하여, 개발 전자제어기를 장착한 차량이 JASO, SAE, ECE 법규 등의 국제적인 규격에도 만족함을 보였다.

본 연구는 민군겸용기술사업(Dual Use Technology Program) 연구비 지원으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

[참 고 문 헌]

- [1] 이기창 외 5명, "상용차용 ABS의 ECU 설계 및 제어 알고리즘에 관한 연구", 대한전기학회 추계학술대회 논문집, pp. 612-613, 2000. 11.
- [2] 하연철 외 5명, "전자제어식 미끄럼방지 제동장치의 제어기 설계에 관한 연구", 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp. 2564-2566, 2000. 7.
- [3] 황돈하 외 5명, "상용차용 ABS ECU 개발을 위한 HILS 시스템 설계 및 구현", 대한전기학회 추계학술대회 논문집, pp. 609-611, 2000. 11.
- [4] J.M. Cho et al, "Design and Implementation of HILS System for ABS ECU of Commercial Vehicles", 6th IEEE International Symposium on Industrial Electronics, Vol. 2, pp. 1272-1277, 2001. 6.
- [5] D.Y. Park et al, "Development of HILS system for ABS ECU of Commercial Vehicles", SAE ATTCE 2001
- [6] "공압식 ABS 장착 버스의 주행성능평가", 자동차부품연구원 용역보고서, 2003.1
- [8] A. Beer, A. Cypra, "Automotive Brake Systems", Robert Bosch GmbH, 1995

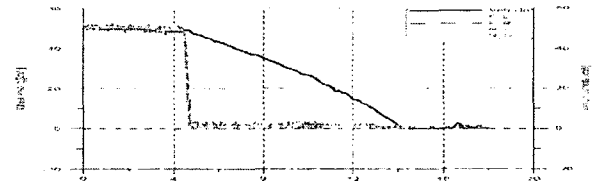


그림 5 직진제동시험 결과 (ABS OFF, Low μ)

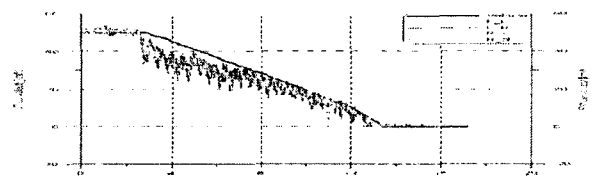


그림 6 직진제동시험 결과 (ABS ON, Low μ)

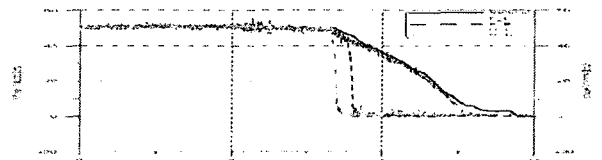


그림 7 직진제동시험 결과 (ABS OFF, Split μ)

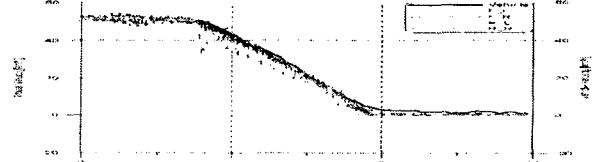


그림 8 직진제동시험 결과 (ABS ON, Split μ)