

바이모달 트램 제동성능 평가

Performance Evaluation of Brake System for the Bimodal Tram

**문경호¹, 장세기¹, 목재균¹

*#K. H. Moon¹(khmoon@krii.re.kr), S. Chang¹, J. K. Mok¹

¹한국철도기술연구원 광역도시교통연구본부

Key words : Brake system, Bimodal tram

1. 서론

바이모달 트램은 전용선로에서 설치된 자석마커를 따라 자동운전이 가능하고, 일반도로에서 운전자가 수동운전으로 운행하는 2량 1편성의 굴절차량이다. 바이모달 트램에 설치된 제동장치는 공압식 제동장치로서 에어스펜션과 맞물려 차량의 높낮이 조절이 용이하며, 바이모달 트램과 같이 굴절장치의 경우, 차량 분리 등의 사고 등을 고려할 때 안전성이 높은 장점이 있다. 또한 바이모달 트램의 제동장치는 하이브리드 차량으로 에너지 효율을 높이기 위하여 기계식 제동장치 외에도 전기식 제동장치를 병행하여 사용하고 있는 것이 특징이다. 제동 페달을 밟았을 때 페달의 각도가 7도 이하에서는 전기 제동만 작동하며, 7도 이상에서는 공기 제동과 전기 제동 모두 작동하게 된다.

바이모달 트램에서 자동운전에 의한 제동제어는 직접 밸브를 제어하는 방식과 CAN을 통하여 제동 ECU에서 제어하는 방식으로 구분될 수 있다. Fig. 1에 나타난 바와 같이 직접 밸브를 제어하는 공기지령방식은 K사의 ABS 기능을 가진 제동시스템으로 프로토 1에 적용되었고, CAN을 통한 전기

지령방식은 W사의 EBS 제동시스템으로 프로토 2에 적용되었다. 본 논문에서는 두가지 방식의 바이모달 트램에 대한 제동성능을 비교하여 평가하였다.

2. 바이모달 트램 프로토 1의 제동성능 평가

바이모달 트램의 제동성능을 평가하기 위하여 주제동장치 성능, 주차제동장치 성능, 제동작동 반응시간, 연속제동 능력에 대하여 측정하였다. 연속제동 능력과 제동작동 반응시간은 정차상태에서 측정하였으며, 연속제동에 대한 결과는 Fig. 2에 나타냈다. 결과 그래프를 보면 10회 연속제동을 하여도 7.5 ~ 7.6bar이며, 8회이후의 제동압력도 초기제동압력의 50%를 넘어서기 때문에 반복제동에 따른 제동작동에 문제가 없을 것으로 보인다. Table 1은 프로토 1에 대한 제동성능 결과를 나타낸다. 60km/h에서의 제동시험은 일반도로에서 수행하여 안전상 완전한 비상제동 시험을 수행하지 못했으며 이로 인하여 승합차 기준인 “제동거리는 0.15V+0.0077V²이하(60km/h에서 36.7m 이하), 최대평균감속도는 5m/s²이상”보다 높게 나타났지만 시험선에서 수행한 정상적인 비상제동 감속도는 Fig. 3과 같이 높게 나타남을 확인할 수 있었다. 주차제동장치 시험결과는 제동거리 24.4m, 감속도 1.97m/s²로서 주차제동기준인 “제동거리는 27.6m

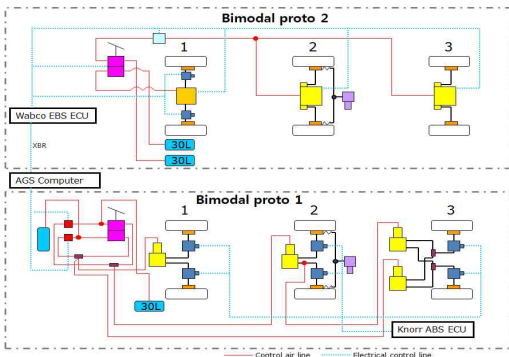


Fig. 1. Brake control type of the bimodal tram

Table 1 Brake performance for the prototype 1

시험항목	제동초속도(km/h)	제동거리(m)	평균감속도(m/s ²)
주제동장치 성능	60.9	34.1	4.72
	34.9	10.57	6.87
주차제동장치 성능	30.5	24.4	1.97
제동작동반응시간(s)	axle 1 : 0.35, axle 2 : 0.61, axle 3 : 0.70		

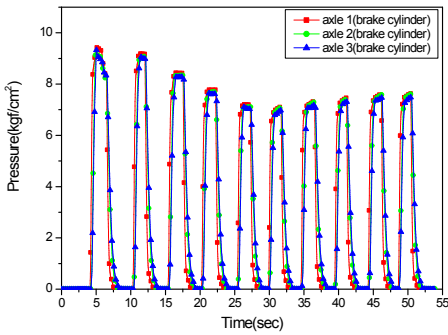


Fig. 2. Repeated brake test for the prototype 1

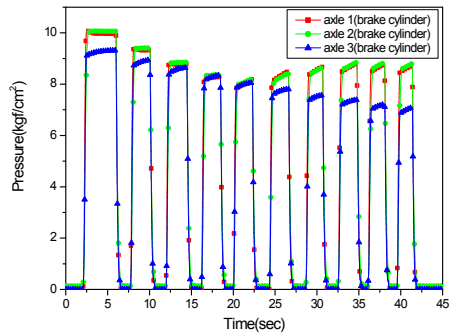


Fig. 3. Repeated brake test for the prototype 2

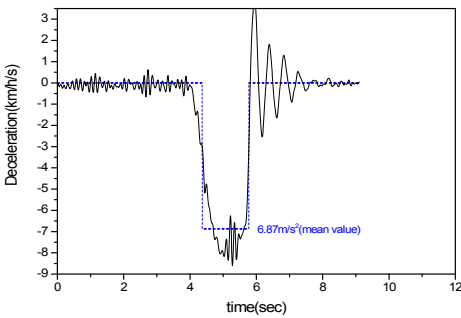


Fig. 2. Brake deceleration for the proto 1(34.4km/h)

이하이고 최대평균감속도는 1.5 m/s² 이상”을 만족하고 있다. 제동반응시간(최대제동압력의 75%까지 도달시간)은 측정오차를 감안하더라도 반응시간은 3축 기준으로 기준인 0.6초를 넘어서고 있다.

3. 바이모달 트램 프로토 2의 제동 성능 평가

바이모달 트램 프로토 2는 전자지령에 의한 EBS 제동시스템이 장착되어 있다. 정차상태에서 측정

가능한 반응시간 및 연속제동과 같은 기본적인 제동시험은 바이모달 트램 시험선에서 수행했으며, 운행시험은 자동차성능시험연구소에서 수행하였다. Fig. 2의 연속제동시험 결과에서 압력이 작게 형성되는 3축의 제동압력도 8회 이후에도 7bar 이상으로 초기제동압력의 50%를 넘어서기 때문에 반복제동에 따른 제동작동에는 문제가 없을 것으로 보인다. 프로토 2에 대한 제동성능 결과는 Table 2에 나타냈으며, 주제동장치 제동성능, 주차제동장치 제동성능, 반응시간 모두 승합차 기준을 만족하고 있다.

4. 결론

바이모달 트램 프로토 1과 프로토 2에 대하여 제동성능을 측정된 결과, 프로토 1의 제동작동 반응시간 외에 승합차의 제동성능 기준을 모두 만족하고 있었다. 바이모달 트램은 차량길이가 길기 때문에 제동반응 시간을 만족하기 위해서는 프로토 2와 같이 전자지령 방식의 EBS 시스템을 적용하여야 함을 알 수 있었다.

후기

본 연구는 국토해양부 및 한국건설교통기술평가원의 지원을 받은 ‘신에너지 바이모달 수송시스템 개발’ 과제의 일환으로서 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. 시행규칙, “자동차 안전기준에 관한 규칙”, 2011.6.28 일부개정

Table 2 Brake performance for the prototype 2

시험항목	제동초속도(km/h)	교정제동거리(m)	평균감속도(m/s ²)
주제동장치성능	60.8	26.5	6.56
주차제동장치성능	31.3	25.0	2.31
제동작동반응시간(s)	axle 1 : 0.32, axle 2 : 0.44, axle 3 : 0.37		