

고속철도차량 전기기계식 제동장치의 압부력 성능평가

Clamping Force Performance Test of the Electric Mechanical Brake for High-speed Train

백승구*†, 오혁근*, 김석원*

Seung Koo Baek*†, Hyuck Keun Oh*, Seog Won Kim*

초 록 공압식 제동장치를 주로 사용하는 철도차량은 전기기계제동장치(EMB : Electric Mechanical Brake) 시스템을 적용할 경우 차량 하부에 큰 공간을 차지하는 공기압축기, 제동공기통 및 연결 배관 등의 부품이 필요하지 않으므로 50% 이상의 소형화가 가능하고 인버터를 사용한 전동기 구동방식으로 빠른 응답속도와 정밀제어를 통해 공주거리를 단축시킬 수 있는 장점을 갖는다. 본 논문은 표면부착형영구자석동기전동기(SPMSM : Surface Permanent Magnet Synchronous Motor)가 적용된 제동캘리퍼의 EMB 실험리그(Test Rig)를 활용한 제동 압부력 성능평가 실험결과를 다루었다. 최대 압부력 결과는 동력분산식 고속열차인 HEMU-430X의 공압식 캘리퍼와의 압부력 실험결과와 비교평가를 수행하여 가용성을 검증하였다.

주요어 : 전기기계식제동장치, 표면부착형영구자석동기전동기, Electric Mechanical Brake(EMB), Surface Permanent Magnet Synchronous Motor(SPMSM), HEMU-430X

1. 서 론

자동차 분야에서는 전기자동차의 활발한 연구개발 및 유압식 제동장치의 문제점을 보완하기 위해 EMB의 적용에 대한 관심이 증가되고 있는 추세이다[1][2].

철도차량의 EMB 시스템 적용은 차량 하부에 많은 공간을 차지하고 있는 공기압축기, 제동공기통, 제동배관 및 밸브류 등의 제거로 전체 제동시스템 부피의 50% 이상 소형화가 가능하며, 빠른 응답속도로 인하여 고정밀 제동제어 및 공주거리 단축이 가능하다. EMB에는 주로 높은 효율을 위해 PMSM이 주로 사용되는데 모터의 정밀한 제어를 위한 많은 연구가 수행되었다.

본 논문에서는 국내 시험운행중인 동력분산식 고속열차인 HEMU-430X의 공압식 제동장치에 EMB의 적용 가능성 확인을 위해 EMB 실험

리그(Test Rig)를 활용한 압부력 측정을 통하여 성능평가를 수행하였다. 출력 토크를 제어하기 위해 PI 전류제어를 사용하였으며 실험결과를 통하여 HEMU-430X의 최대 제동설계 기준값과의 비교평가를 통해 EMB 시스템의 고속열차 적용 가능성을 확인하였다.

2. 본 론

Fig. 1은 국내에서 시험운행중인 동력 분산식 고속열차인 HEMU-430X의 공기식 제동장치와 동일한 형태에 EMB를 적용한 실험구성이 다. 압부력의 측정은 제동패드가 설치되는 캘리퍼의 양쪽면에 패드를 제거하고 동일한 두 개의 로드셀(LoadCell)을 설치하여 측정하였다.

HEMU-430X에 설치된 공기식 제동장치의 제동압부력 측정결과는 Fig. 8과 같다. 공압은 실제 차량에서 발생하는 동일한 공압을 제동캘리퍼에 인가하여 Fig 7의 (b)와 같이 설치된 센서를 통하여 측정되었다. Fig 8에서 공

† 교신저자: 한국철도기술연구원 차세대철도차량본부(skbaek@krii.re.kr)

* 한국철도기술연구원 차세대철도차량본부

압식의 경우 최대 압부력 도달시 오버슈트가 발생하지 않는 것을 확인할 수 있다. 초기 압부력 발생시점부터 최대 압부력 도달시간은 0.9초가 소요되었으며 최대 압부력은 51.3 kN이 측정되었다. 제동체결시 오버슈트의 발생은 저크(Jerk)를 크게하여 승객의 승차감에 좋지 않은 영향을 줄 수 있다. 본 논문에서는 공압식 제동장치와의 비교를 위해 EMB 제동시스템의 초기 응답특성도 오버슈트를 최소화하여 제어를 수행하였다.

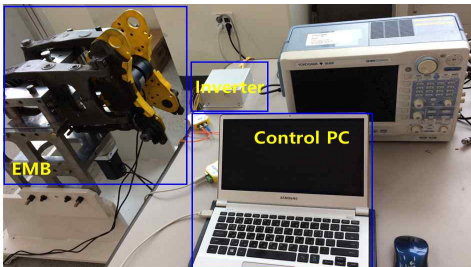


Fig. 1 EMB Test Installation

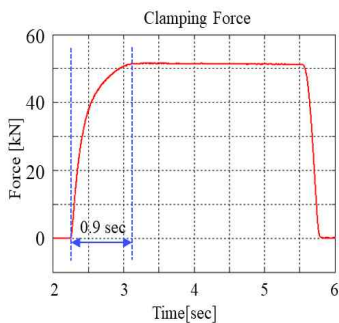
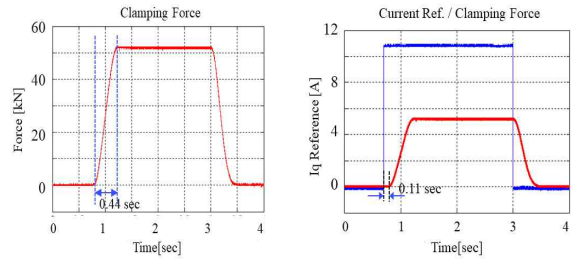


Fig. 2 Clamping Force Test Result for Pneumatic Brake system of HEMU-430X

Fig. 3의 (a)는 EMB시스템의 압부력 제어특성파형이다. SPMSM의 최소전류입력에 따른 최대 토크출력을 발생시키기 위해 q축 전류만을 인가하여 EMB의 제어를 수행하였다. 공압식 제동장치와의 비교평가를 위해 유사한 압부력이 발생하도록 입력전류 기준값을 11 A를 인가하였으며 오버슈트가 발생하지 않도록 전류제어기의 게인값을 설정하였다. 이때, 최대 압부력 도달시간은 440 msec이고 최대 압부력은 약 52.2 kN이 측정되었다. 공압식과 비교하여 최대 압부력 도달시간 기준 약 50% 빠른 응답속도를 확인할 수 있다. Fig.3의 (b)는 EMB의 압부력 지령 입력에 따른 응

답시간을 나타낸다. q 축 전류지령이 입력된 후 약 110 ms 이내에 압부력이 발생하여 최대압부력이 발생하기 까지 약 550 ms가 소요된다. 철도차량의 일반적인 제동 인가시 발생하는 공주시간을 약 3 sec수준으로 고려할 경우 EMB가 2.4 sec 이상 빠른 응답속도를 보인다.



(a) Clamping Force (b) Response Time

Fig. 3 Clamping Force Test Result

3. 결론

본 논문은 EMB 실험리그(Test Rig)를 활용한 제동 압부력 성능평가 실험결과를 다루었다. 최대 압부력 결과는 동력분산식 고속열차인 HEMU-430X의 공압식 캘리퍼와의 압부력 실험결과와 비교평가를 수행하여 가용성을 검증하였다.

후기

본 연구는 한국철도기술연구원 주요사업(PK1801B2)의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

[1] R. T. Bannatyne(1998) "Advances and challenges in electronic braking control technology," *SAE Technical Papers*, Sep. 1998.
 [2] S. K. Baek(2018) "A Design Method of Three-phase IPMSM and Clamping Force Control of EMB for High-speed Train," *Journal of Korea Academia-Industrial cooperation Society*, 19(4), pp. 578-585.