

슬라이딩식과 막판식 제동장치의 공기압력 특성에 관한 연구

A Study on the Pneumatic Characteristics of Brake System incorporated with Sliding and Diaphragm Valve

문경호* 남성원** 이동형* 김형진***
Moon Kyeong-Ho Nam Seong-won, Lee Dong-hyong, Kim Hyeong-jin

ABSTRACT

As the brake control valve of freight car, there are sliding valve and diaphragm one. In this study, we measured and analyzed pneumatic characteristics of brake system of the freight car by using real train experiment. The difference of the release time appears in the freight car incorporated with sliding and diaphragm valve respectively. We adapted quick release valve to reduce the difference of the release time and also found that this valve is useful for the purpose.

1. 서론

철도차량 공기제동장치의 제어밸브의 형식에는 슬라이딩식과 막판식이 있다. 슬라이딩식 및 막판식 모두 균형피스톤의 위치에 의해서 제동력이 조절이 된다. 그러나 슬라이딩식은 금속과 금속간의 접촉에 의하여 미끄러지면서 균형위치를 찾는 반면에 막판식은 균형피스톤에 부착된 고무막판이 팽창에 의해서 균형위치를 찾는다. 이로 인하여 슬라이딩식은 금속간의 마찰에 의한 마모가 발생하여 자주 해체하여 유지보수를 해야하며 제동력 제어가 막판식에 비하여 정밀하지 못하다. 이러한 단점으로 인하여 제어밸브의 형식은 막판식으로 바뀌는 추세에 있다. 그러나 화차의 경우, 종래의 슬라이딩식 제어밸브를 부착한 차량이 대부분을 차지하고 있고 새로 제작된 막판식 제어밸브를 가진 화차가 량수가 적어서 서로 혼용해서 사용되고 있는 실정이다.

본 연구에서는 슬라이딩식 및 막판식 제동장치의 특성을 분석하고, 화물열차를 각기 다른 제동장치로 혼합해서 편성할 때 제동 특성에 대해서 실험적으로 측정하여 분석하였다. 또 막판식 제동장치 중 P4a에 대한 개선사항으로서 신속완해밸브를 설치했을 때의 제동 특성을 현차실험을 통하여 측정 및 분석하여 혼합편성시 사용가능 여부를 판단하였다.

* 한국철도기술연구원 차량연구본부 주임연구원
** 한국철도기술연구원 차량연구본부 선임연구원
*** 한국철도기술연구원 차량연구본부 책임연구원

2. 화차용 제동장치

2.1 슬라이딩식 및 막판식 제어밸브 특성

슬라이딩식 삼동밸브를 가진 제동장치의 기본적인 구조는 그림 1과 같다. 제동관 공기압력이 보조공기통에 충기가 되면서 피스톤의 좌측은 제동관 압력, 피스톤의 우측은 보조공기통 압력이 균형을 이루게 되며 제동관 압력의 감압에 의해서 보조공기통 압력공기가 제동통으로 유입되면서 제동작용이 행해진다. 보조공기통과 제동통의 용적비에 의해서 제동통 압력이 형성되므로 제동통 행정 및 보조공기통 압력에 따라서 제동압력이 달라질 수 있으므로 정확한 제동력을 제어하기가 힘들다.

그림 2는 막판식 제동장치로 막판이 1개가 있는 단일막판식 제어밸브이다. 단일막판식 제어밸브는 슬라이딩식 제동장치의 균형피스톤을 막판식으로 바뀌었을 뿐 작동원리 및 메카니즘은 큰 차이가 없다. 그림 3은 상부와 하부 두 개의 막판으로 구성된 이중막판식 제어밸브이다. 이중막판식 제어밸브는 최초에 압력공기를 공급할 때 제동관의 압력공기가 제어실 및 보조공기통으로 충기된다. 단일막판식은 보조공기통 압력과 제동관 압력이 균형을 이루는데 반하여 이중막판식 제어밸브는 제어실 압력, 제동관 압력, 상부막판의 지령압력 이 세 개의 압력이 같이 균형을 이루게 된다. 즉, 이중막판인 경우에 제동작용시 한 번 충기된 제어실 압력의 변화는 없고 제동관 압력의 감압량에 해당하는 만큼 보조공기통에서 제동통으로 전달하는 지령압력이 커지게 되며 이 압력이 상부막판에 전해진다. 그러므로 제동관 압력을 감압하면 균형을 잃어 보조공기통의 공기가 제동통으로 들어가게 되는 원리는 단일막판이나 2중막판이나 같지만 단일막판은 보조공기통과 제동통의 용적을 기준으로 제동통 압력이 형성되는 반면에 이중막판식 제동장치는 상부막판과 하부막판의 면적비에 의해서 제동통압력이 결정된다.

2.2 현용 화차 제동장치 및 신속완해 밸브

현재 국내 화차의 경우, 슬라이딩식 밸브는 K2삼동변을 적용하는 KD형, KC형 및 적공제동장치가 해당하며, 단일막판을 적용한 막판식 제동장치는 KRF-3형 제동장치, 이중막판을 적용한 막판식 제동장치는 P4a 제동장치를 들 수 있다. 화물열차를 운행할 때 이 세가지 제동장치가 혼용하여 사용함으로써 완해시간의 차이로 인하여 문제가 발생하고 있다. 슬라이딩식 제어밸브와 단일막판식 제어밸브의 경우 비슷한 구조로 이루어져 있기 때문에 혼용하여 사용함에 있어서 별 문제는 없다. 그렇지만 단일막판식 제동장치인 KRF-3인 경우 국산화하여 사용한 기간이 얼마되지 않아서 현재는 제품을 조금씩 보완하면서 안정화하고 있는 중이다. P4a 제동장치의 경우, 구조적 차이로 인하여 혼용편성시에 여러가지 문제가 발생하고 있다. 위에서 설명한 바와같이 이중막판식 제동장치는 처음에 충기가 된 제어실의 압력은 비상제동을 사용했을 경우를 제외하면 거의 변동되지 않는다. 그러므로 제동통 압력이 0kgf/cm^2 인 완전 완해가 되기 위해서 제동관 압력은 제어실 압력 이상이어야 된다. 충기가 완료된 제어실 압력은 약 5kgf/cm^2 이므로 균형피스톤에 부착된 스프링력을 고려하면 완전 완해가 되기 위한 제동관 압력은 적어도 4.78kgf/cm^2 정도가 되어야 한다. 슬라이딩식 밸브 및 단일 막판식의 경우는 제동관 압력이 보조공기통 압력보다 큰 시점부터 완해가 되기 시작한다. 완해시간은 보통 이중막판식 제동장치보다 빠르며 완전 완해되는 지점은 완해할 당시에 보조공기통의 압력 등에 따라 다르게 된다.

이중막판식 제어장치를 단일막판식과 혼용하지 않고 같은 형식의 밸브로만 구성하였을 때 제어의 정확성 및 단계적인 완해를 할 수 있지만 현 시점에서는 부득이 혼용해서 사용해야하기 때문에 이에 대한 개선이 필요하다. 그림 4는 J사에서 개발한 신속완해밸브의 구조로서 이중막판식 제어밸브의 제어실과 연결하여 완해시에 제어실의 압력을 감압하여 줌으로서 균형을 이루는 압력을 낮추어 주어 완해시간을 앞당기게 하는 역할을 한다. 제동시에는 동작하지 않고 완해시에만 작동하도록 되어있어서 제동에는 아무런 영향을 주지 않고 완해를 단축시킴으로서 단일막판식 제동장치에 근접한 완해시간을 갖도록 하였다.

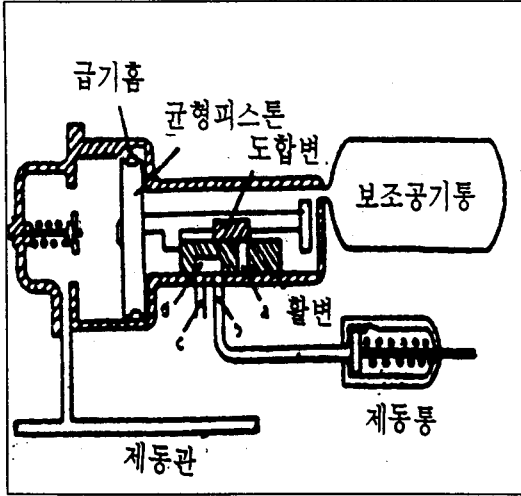


그림 1. 슬라이딩식 삼동밸브 구조

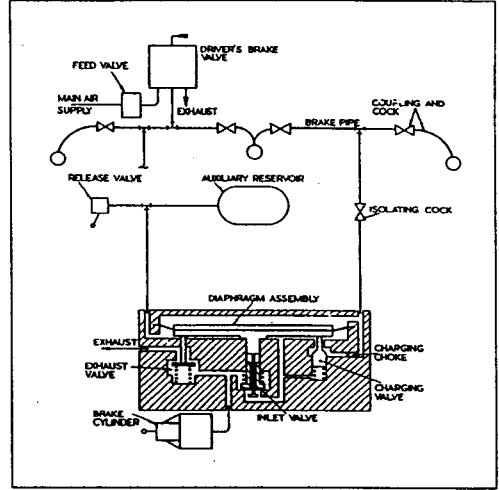


그림 2. 막판식 제어밸브(단일막판)

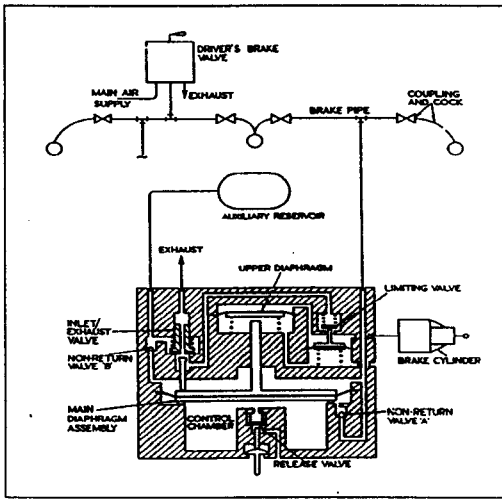


그림 3. 막판식 제어밸브(이중막판)

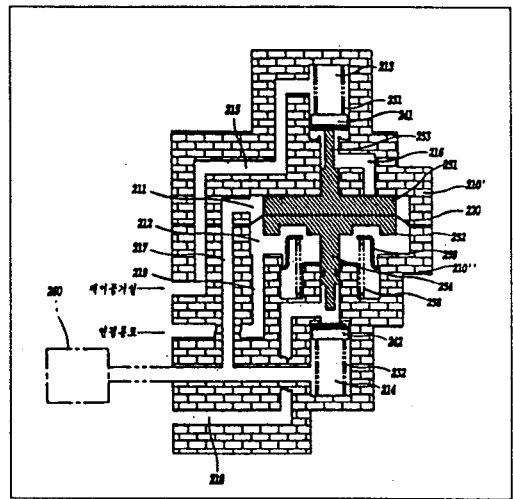


그림 4. 신속완해밸브

3. 현차시험

3.1 시험 개요

현차시험은 현재 운행하고 있는 화차 제동장치의 특성을 알기 위한 특성시험, 신속완해밸브 부착시험, 신속완해밸브 부착후 실운행시험으로 분류하여 시행하였다. 특성시험과 신속완해밸브 부착시험은 정지상태에서 측정하였으며 실운행시험은 태백선을 직접 운행하면서 시험한 것이다. 시험 열차의 편성은 그림 5와 같으며 화차의 완해시간이 긴 후부에 시험대상 화차를 편성하여 시험하였다. 시험대상화차의 압력센서를 제동통에 부착하여 제동압력 및 완해시간 등을 측정하였으며 시험차(99991호)에는 계측장비 및 제동시 감압량을 알기 위해서 제동판에 압력센서를 설치하였다. 사용한 압력센서는 정격용량 10kgf/cm², 정격출력 약 1.0mV 이며, 데이터 획득 및 분석장치는 표본을 100 ks/s, 12비트 8채널의 DEWETRON사 제품을 사용하였다.

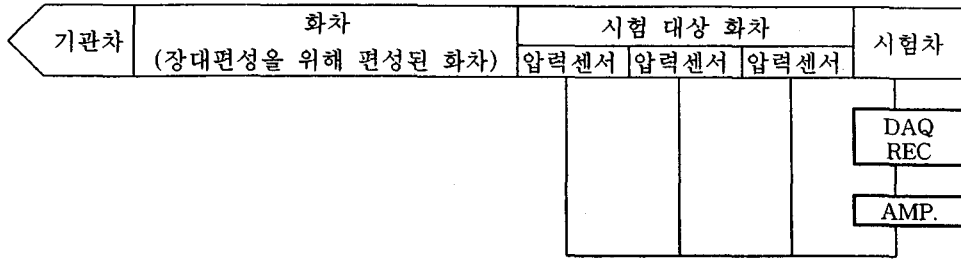


그림 5. 시험열차 편성도

3.2 시험 결과

현재 화차에 사용중인 적공제동장치, KRF-3 제동장치, P4a 제동장치에 대한 영차(짐을 실은차) 상태의 시험을 실시한 결과 0.7kgf/cm^2 및 1.4kgf/cm^2 감압시험결과는 그림 6, 그림 7과 같다. 적공제동장치와 KRF-3 제동장치는 제어밸브의 구조가 비슷하여 완해시 비슷한 경향을 보이고 있으나 P4a 제동장치의 경우, 이중막판식 제어밸브로 제동관 압력에 연동하여 변화하는 특성을 나타내고 있다. 이로 인하여 편성위치에 따른 차이가 있지만 P4a의 경우 타 제동장치보다 완해시간이 길어지고 있으며 제동관 압력이 약 4.7kgf/cm^2 까지 올라갈 때까지 완해되지 않고 있음을 알 수 있다. 연속제동시험에서도 볼 수 있듯이 타 제동장치는 완해가 되었는데 반하여 P4a 제동장치는 장치 특성상 완해가 되지 않고 있어서 혼합편성시 차륜찰상, 제륜자 과다마모 또는 파손과 같은 문제의 소지가 있음을 알 수 있다.

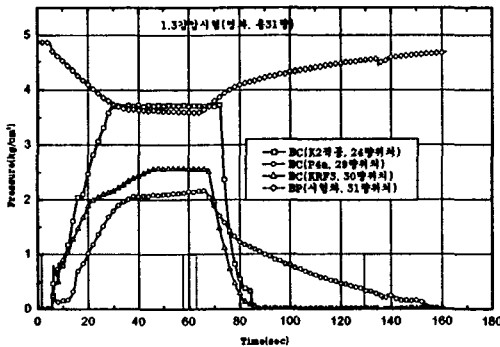


그림 6. 1.4kgf/cm^2 감압시험(31량 편성, 영차)

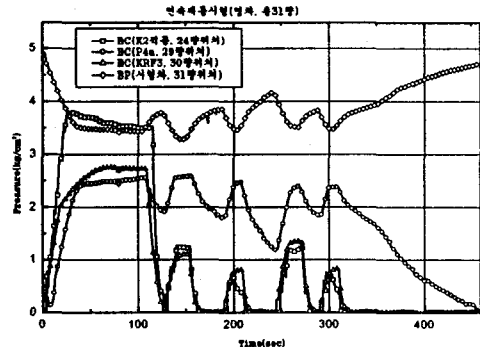


그림 7. 연속제동시험(31량 편성, 영차)

특성시험 이후 P4a 제동장치의 완해초크의 직경을 늘리고 감속재충기변의 기능 축소등으로 인하여 완해시간을 약간 단축되었으나 P4a 제동장치의 구조상 근본적인 대책이 될 수 없었다. 이를 개선하기 위한 방책으로 신속완해밸브를 부착하였는데 이 결과는 그림 8 및 그림 9와 같다. 그림 8은 1.5kgf/cm^2 감압시험으로 신속완해밸브를 부착한 제동관 압력이 약 4.3kgf/cm^2 에서 완전 완해가 되어 기존 P4a 보다 빨라지고 있음을 알 수 있다. 그림 9의 연속제동시험을 보면 기존의 P4a는 제동관의 압력에 상응하는 제동통 압력을 형성하는데 반하여 신속완해밸브를 부착한 P4a는 적공제동장치와 비슷한 압력 특성을 나타내고 있다.

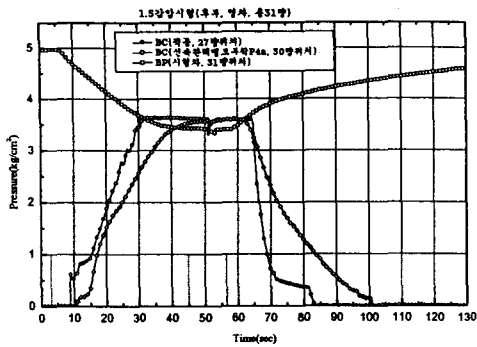


그림 8. 1.5kgf/cm² 감압시험(31량, 영차)

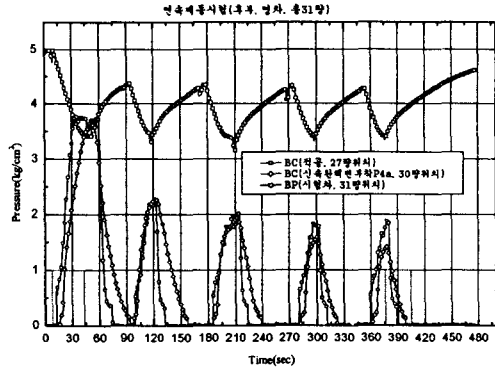


그림 9. 연속제동시험(31량, 영차)

실 운행시험은 제동을 많이 사용할 수 밖에 없고 30%로 국내선로중 최급 구배인 태백선 구간에서 연속제동을 사용하면서 시험하였다. 원래 태백선 하구배에서는 전기기관차가 운행하고 있으므로 발전제동을 사용하지만 본 시험은 발전제동 고장시에 공기제동만으로 운행할 경우를 재현한 시험이다. 급격한 하구배에서는 속도가 20km/h가 넘을 때 제동을 사용하고 있으며 이를 기준으로 연속제동시험을 한 결과는 그림 10 및 그림 11과 같다. 그림에서 알 수 있듯이 공차나 영차시 신속완해밸브를 부착한 P4a 제동장치가 기존의 P4a 제동장치보다 완해가 빠르게 됨을 알 수 있다. 공차시에는 하중이 적기 때문에 적은 제동력으로도 제동이 가능하여 별 문제점을 발견하지 못했지만 영차의 경우 타 제동장치는 완해가 되었는데 반하여 기존 P4a 제동장치 부착차량은 완해가 안되어 제동이 잡힌 상태로 계속 끌려가고 있는 것을 볼 수 있었다.

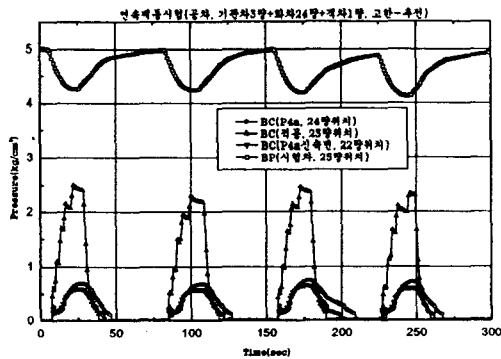


그림 10. 연속제동시험(공차, 실운영시험)

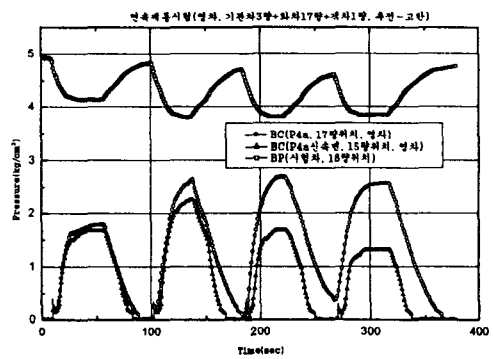


그림 11. 연속제동시험(영차, 실운영시험)

연속제동시 P4a의 경우 완해시간 및 완해완료 시점에서의 제동관 압력은 크게 변화하지 않는 데 반하여 적공제동장치 및 신속완해밸브를 부착한 차량은 그림 12에서 볼 수 있듯이 점점 낮아지는 것을 볼 수 있다. 적공의 경우 보조공기통의 압력이 충분히 충전되지 못하므로 나타나는 현상이며 신속완해밸브를 부착한 P4a의 경우 제어실 압력이 낮아져서 생기는 현상으로 판단된다. 공차 및 영차시의 그림 10과 11에서의 완해시간의 변화를 그림 13에 나타내었는데 적공과 신속완해밸브를

부착한 P4a의 경우 점점 낮아지고 있지만 P4a의 경우 공차시에는 변화가 적었지만 그림 11의 영차의 경우 첫 번째 제동시 감압량은 0.7kgf/cm^2 두 번째 제동시 감압량은 1.1kgf/cm^2 이어서 감압량이 다르지만 이것을 고려할지라도 적공과 신속완해밸브 부착 P4a는 완해시간이 짧아지는데 반하여 기존의 P4a의 경우는 완해시간이 길어지고 있다. 따라서 연속제동을 할 경우 P4a와 적공이 완해시간의 차가 더 커지게 되어 혼합편성시 P4a 제동장치를 부착한 차량이 찰상의 원인이 될 수 있을 것으로 판단된다.

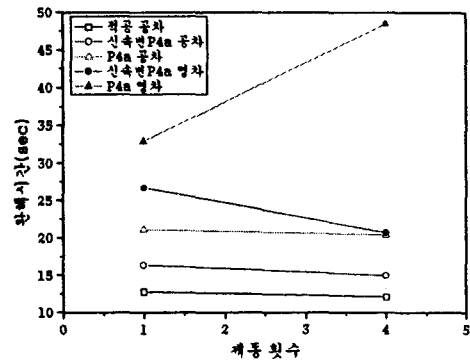
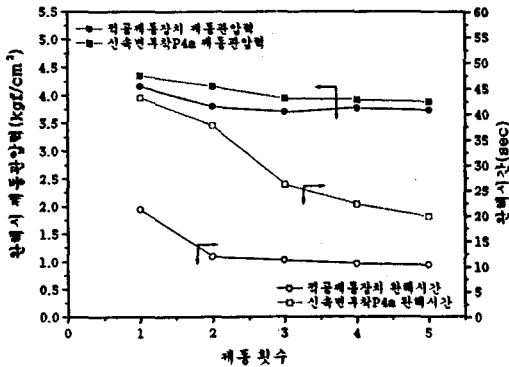


그림 12. 연속제동시 제동관 압력 및 완해시간 변화

그림 13. 연속제동시 공차 및 영차의 완해시간 변화

4. 결론

현재 사용하고 있는 화차 제동장치의 특성 분석 및 신속완해밸브를 부착하여 시험한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 적공제동장치와 KRF-3 제동장치는 비슷한 제동특성을 가지고 있지만 이중막판식 제동장치인 P4a 제동장치는 다른 제동 특성을 가지고 있다.
- (2) 연속제동을 사용한 후의 완해시간을 비교한 결과, 적공과 P4a 제동장치의 완해시간의 차이가 더 커지고 있음을 알 수 있었다.
- (3) 신속완해밸브를 P4a 제동장치에 적용한 결과, 제동특성이 적공과 유사한 특성을 보이고 있으므로 혼합편성시 문제가 없을 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. L. J. Roberts(1982), "Railway Brakes", Westinghouse Brakes Limited
2. 남성원 외(2000), "혼합편성 화차 공기제동장치의 성능향상에 관한 연구" 한국철도기술연구원
3. 철도청(1992), "콘테이너 화차 정비지침서"