

화물열차의 공기제동 완화성능 향상에 관한 실험적 연구

남성원* · 문경호* · 이동형*
(2001년 3월 8일 접수, 2001년 9월 7일 심사완료)

Experimental Study on the Improvement of Release Application Characteristics of Pneumatic Brakes for Freight Train

Seong-Won Nam, Kyung-Ho Moon and Dong-Hyung Lee

Key Words: Pneumatics(공기압), Triple Valve(삼동밸브), Brake System(제동시스템), Freight Train (화물열차), Empty-Load Brake(적공제동), Control Valve(제어밸브)

Abstract

Experimental study has been conducted to clarify the pneumatic characteristics of brake system for freight train and enhance the performance of diaphragm valve. Empty-load and diaphragm valves are installed in pneumatic brake system for freight trains of KNR (Korean National Railroad). Experiments are conducted by using freight train and diesel locomotive in operation. From the experimental results, new quick release valve shortens release time after brake application. In case of normal brake application, the release time is shortened to 34% of the original diaphragm valve. Reducing the release time of pneumatic brake system will be helpful to assure brake-release application and save maintenance efforts like wheel grinding.

1. 서론

최근의 도로교통은 자동차의 증가로 인한 교통 정체와 배기 가스로 인한 환경오염 등의 여러 가지 문제를 야기시켰다. 이에 비하여 그동안 투자가 비교적 미미하였던 철도는 대량수송, 저공해, 안전성 및 정시성 등의 많은 장점으로 인하여 교통문제를 해결할 대안으로서 재인식되고 있다.

도로 교통과는 달리 목적지까지 각 열차가 동일한 선로를 이용하는 철도의 경우는 후발 열차가 선발 열차를 추월할 수 있는 조건이 제한적이므로 차량 속도가 느린 선발 열차는 후속 열차의

진행 속도에 제한을 주게되며, 이러한 차량간의 시간적 제약은 전체 선로의 이용률을 저하시키는 결과를 가져온다. 따라서, 이와 같은 문제점을 해결하기 위하여 화물열차의 속도 향상에 대한 기술개발이 이루어져 왔다. 특히 화물 열차와 같이 다양한 차종을 혼합하여 수 십량 씩 길게 편성하는 경우에는 열차의 전두부와 후부 차량간에 공기제동 압력 변화가 동시에 일어나지 않으며, 이는 전후부 차량간에 제동력의 차이로 인하여 제동시의 차량간 충격이나 제륜자의 마모 및 차륜찰상 등의 원인이 되기도 한다. 또한, 다양한 형식의 공기제동장치가 혼용되는 데에 따른 차량간 제동성능의 불일치도 이러한 현상들의 한 원인으로 지적되어 왔으며 향후 한반도 중단철도 및 유라시아 철도 연결로 인한 다국적 화물열차가 혼용될 때에도 이와 같은 문제점이 대두될 것

† 책임저자, 회원, 한국철도기술연구원 차량연구부
E-mail : swnam@krri.re.kr
TEL : (031)461-8531 FAX : (031)461-8561
* 회원, 한국철도기술연구원 차량연구부

으로 예상된다. 화물열차의 공기제동에 관한 연구는 단일 기기와 제동관에 대한 전산해석이 일부 수행되었으나^(1~4) 제어밸브를 포함한 공기제동 시스템 전체를 대상으로 한 해석은 거의 찾아볼 수 없으며 실차를 이용한 실험을 통하여 제동실린더 및 제동관의 압력을 측정 한 사례가 있는 정도이다.⁽⁵⁾ 본 연구에서는 현재 국내에서 운용 중인 화물열차 중 직접완해 방식인 적공 제동장치와 점진완해 방식인 다이어프램식 제동장치를 장착한 화물열차를 이용한 실차 실험을 통하여 공기제동 압력의 정량적 및 정성적 특성을 구하였으며, 신속 완해밸브를 개발하여 두 장치간의 완해 성능을 유사하게 일치시켰다.

2. 화물열차의 공기제동 시스템

Fig. 1에 화물열차의 공기제동 시스템의 개략도를 나타내었다. 화물열차가 편성되면 기관차(Locomotive)에 장착된 공기압축기를 작동시켜 주공기통(Main reservoir)에 압축공기를 저장하고 이를 화물열차 차량간에 연결된 제동관(Brake pipe)을 통하여 후부의 각 차량에 부착된 보조공기통(Auxiliary reservoir)에도 500kPa의 일정압력의 압축공기를 공급하게 된다. 열차를 정지 또는 감속시킬 필요가 있을 때에는 기관사는 기관차에 있는 제동밸브(Brake valve)를 조종하여 제동관의 압축공기를 대기로 배출시켜 제동관 압력을 감압시키게 된다. 이러한 제동관의 압력 강하를 신호로 받아서 화물열차의 각 차량에 장착된 제어밸브(Control valve)는 보조공기통내의 압력공기를 제동실린더(Brake cylinder)로 보내어 제동피스톤을 작동시키게 되며, 제동피스톤은 차량의 레버기구를 움직여서 제륜자를 차륜에 밀착시켜 제동작용이 일어난다.

제동작용으로 정지한 화물열차를 출발시키기 위하여는 차륜을 밀착하고 있는 제륜자를 원위치로 복귀시킬 필요가 있다. 이와 같이 완해작용(Release application)시에는, 기관차의 제동밸브의 작동으로 주공기통의 압력공기를 화물열차의 보조공기통 및 제동관에 보내어 제동관의 압력을 상승시킨다. 이를 신호로 받은 각 화물열차의 제어

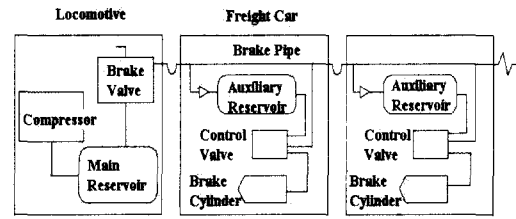


Fig. 1 Schematic sketch of brake system for freight train

밸브는 제동 실린더내에 있던 압력공기를 대기로 배출하여 제동피스톤을 원래의 위치로 복귀시킴으로서 차륜에 밀착되어 있던 제륜자를 해방시키게 된다. 이와 같이 화물열차의 공기제동장치는 기관차의 제동밸브를 작동하여 화물열차의 제동관의 압력을 상승 또는 강하시키면, 각 화물열차에 부착된 제어밸브는 이러한 압력 변화를 신호로 받아 제동 및 완해 작용을 하는 공기압 시스템으로 구성되어 있다.⁽⁶⁾

Fig. 2에 철도 차량의 제동장치에 사용되는 삼동 제어밸브의 제동 및 완해 기능을 나타내었다. 삼동밸브는 제동, 완해 및 충기 작용을 하는 공기제동 제어밸브로서 적공 제동장치에도 사용되고 있다. 제어밸브의 주요 작용으로 (a)제동작용의 경우, 기관차의 제동밸브를 조종하여 화물열차의 제동관의 압력공기를 대기로 배출시키면 제어밸브 내의 피스톤은 보조 공기통 내부의 압력과 제동관의 압력 차이로 인하여 좌측으로 이동하여 Fig. 2(a)와 같은 위치에 있게 된다. 따라서 보조공기통과 제동실린더가 연결되어 보조공기통에 충기되어 있던 압력공기가 제동실린더로 유입되어 제동실린더 내의 피스톤을 작동시킨다. 제동실린더의 피스톤에 연결된 제동레버 기구를 통하여 최종적으로는 제륜자를 차륜에 밀착하여 주행 중인 열차에 제동이 작동한다.

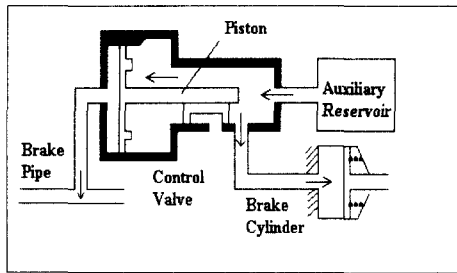
한편, Fig. 2(b)와 같이 완해작용의 경우, 기관차의 제동밸브를 조종하여 주공기통의 압축공기가 제동관으로 보내어지면, 제동관으로부터 유입되는 높은 압력 공기로 인하여 각 화물열차의 제어밸브내의 피스톤은 그림에서와 같이 우측으로

이동하여 제어밸브 내의 급기 흡이 열리게되며 이 통로를 경유하여 보조공기통에 압축공기가 보내어진다. 이와 동시에 제동실린더에 있던 압력공기는 대기중으로 배출되며 제동실린더의 피스톤은 스프링에 의하여 원래의 위치로 복귀된다.

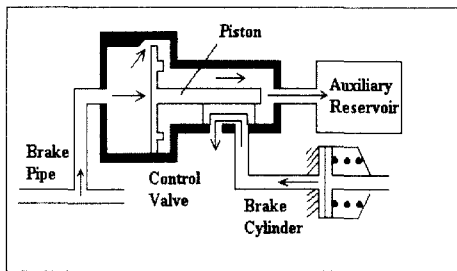
이와 같이 화물열차의 공기제동 장치는 압력공기가 가득 차있는 제동관의 압력을 강하시킴으로서 제동 작용이 일어나고, 반대로 제동관의 압력을 상승시켜 완해 작용이 일어나는 구조이다. 따라서, 열차 운행 중에 열차가 분리되거나 제동관의 파열 또는 압력공기의 심한 누설이 발생하는 돌발적인 상황에서와 같이 공기 제동관의 압력이 급격히 낮아지게 되면 기관차에서 제동 밸브를 조종하여 제동 지령을 내리지 않더라도 자동적으로 열차에 제동작용이 일어난다.

위와 같은 삼동밸브는 구조가 간단하여 유지보수가 간편하다는 장점은 있으나 피스톤 접촉면에서의 공기 누설과 접촉식이기 때문에 미세한 압력조절이 어렵다는 문제점 등이 있어서 최근에는 다이어프램식 제어밸브가 화물열차에 채택되고 있다. 다이어프램식 제어밸브는 Fig. 3에서 보는

바와 같이 상하부에 두 개의 다이어프램이 있어서 제동관의 압력 변동과 상부 다이어프램의 압력이 균형을 이루며 점진적으로 작동하게 되는 구조이다. 즉, 완해 및 충기 작용시에는 제동관으로부터 유입된 공기가 역류방지밸브(A)를 지나 주 다이어프램 하부의 제어 공기실에 충전되는 한편 일부는 역류방지밸브(B)를 지나 보조공기통에 충전된다. 이 위치에서는 제동실린더에 들어 있던 압력공기는 제한밸브를 지나 흡배기밸브를 경유하여 대기로 배출된다. 완해 충기 작동시, 주 다이어프램의 상하부 압력값이 같아지면 주 다이어프램은 중립위치로 상승하여 흡배기밸브에 있는 배출구를 막게되므로 제동실린더의 압력공기는 더 이상 배출되지 않게 된다. 제동 작동시에는 제동관의 압력이 강하되므로 주 다이어프램의 상하부 압력균형은 깨어지고 그 결과, 주 다이어프램은 상승하여 흡배기밸브를 밀어 올리게 된다. 따라서 보조공기통에 있던 압력공기는 흡배기밸브를 경유하여 제동실린더로 유입되며 상부 다이어프램의 위에도 같은 압력의 공기가 충전되어 상부 다이어프램을 누르게 되므로 어느 순간에는 상부 다이어프램과 주 다이어프램이 접촉하여 균형을 이루게 된다. 이처럼 다이어프램식 제



(a) Brake application



(b) Release application

Fig. 2 The function of triple valve

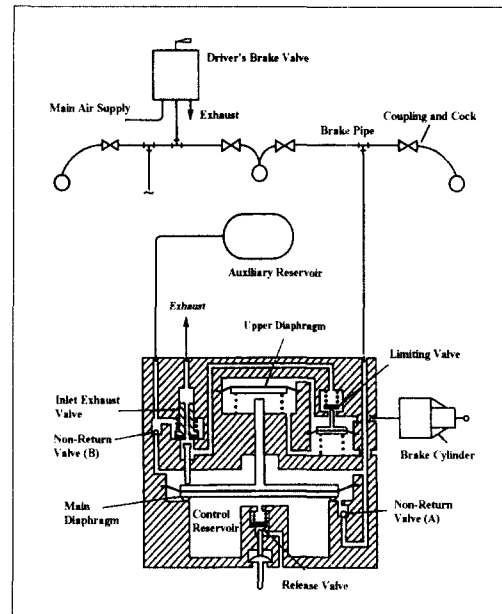


Fig. 3 Diaphragm control valve

어밸브는 제동관의 압력 변동량에 따라 제동 압력을 조절할 수 있으며, 공기누설이 작고, 유지보수기간이 길다는 장점이 있어서 최근 화물열차용 공기제동장치로 사용되기 시작하고 있다.⁽⁷⁾

3. 실험 개요 및 방법

Fig. 4에 실험 대상 열차의 편성과 실험 개략도를 나타내었다. 실험 대상 열차는 디젤기관차와 화물열차 29량, 계측 장비등을 적재한 시험차 1량으로 구성되며 총 30량으로 편성하였다. 운행 중인 열차를 이용한 실차 실험에서 적공 제동장치와 다이어램식 제동장치의 압력특성을 파악하고 장치간 유사한 제동 및 완해 특성을 구하기 위하여 신속 완해밸브를 다이어램 제동장치에 추가로 부착하였다.

그림과 같이 기관차가 왼쪽에 위치하는 경우의 후부 조건에서는 적공 제동장치 차량은 #24량, 개선전 다이어램식 제동장치 차량은 #27량, 개선후 다이어램식 제동장치 차량은 #29량에 위치하며, 시험차 #30량에서 제동관의 압력을 측정하였다. 기관차의 위치가 변경되어 시험차의 오른쪽에 편성되는 경우의 전두부 조건에서는 적공 제동장치 차량은 #7량, 개선전 다이어램 제동장치 차량은 #4량, 개선후 다이어램 제동장치 차량은 #2량 위치로 된다.

다양한 실험 조건을 주기 위하여 기관차의 위치를 이동시켜 동일 위치의 차량이 전후부 조건으로 되게 하였다. 또한, 비상제동, 상용제동, 최소제동 및 반복제동 조건에 대한 A,B,C 각 차량의 제동실린더 압력 변화와 시험차의 제동관 압력을 동시에 측정하였다.

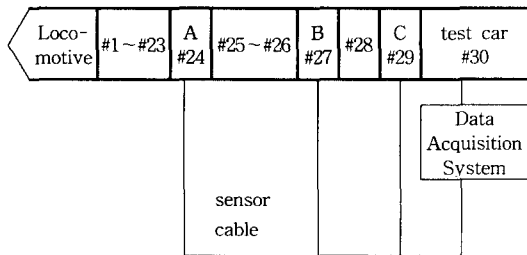


Fig. 4 Experimental freight train

시험 대상 화물열차의 평균길이는 약 12m, 차량간 연결부 길이는 약 1m이므로 30량 편성의 열차길이는 약 400m에 달한다. 각 차량의 제동실린더에 압력센서를 설치하여 데이터 전송 케이블로 시험차에 탑재한 계측기기로 연결하였다.

실험에 사용한 압력센서는 정격용량 1 MPa, 정격출력 1.0mV이며, 표본율 100kS/s의 16비트 데이터 취득 및 분석처리 장치를 사용하였다.

Fig. 5에 다이어램 제동장치의 완해 시간 단축을 위하여 제어밸브에 추가로 장착된 신속 완해 밸브의 개략도를 나타내었다. 앞에서 언급한 바와 같이, 다이어램 제동장치는 상하 2개의 다이어램간의 압력균형으로 제어밸브가 작동하므로 삼동 밸브보다 완해 시간이 늦는 특징이 있다. 수 십 량씩 길게 편성되는 화물열차 경우, 다양한 형식의 공기제동장치를 장착한 차량들이 혼합 편성되었을 경우에는 이러한 특징 차이에 기인하여 다이어램 제동장치를 장착한 화물차량의 차륜과 제륜자간에 고마찰이 발생하여 차륜찰상 또는 제륜자 파손과 같은 고장 원인을 제공하기도 한다. 따라서, 두 장치간의 혼용성을 위하여는 다이어램 제동장치의 완해 시간을 단축시킬 필요가 있다.

완해 시간의 단축을 위하여는 완해 작동시, 해당 제동장치로의 공기 유입량을 많게 하든가 제어공기실의 압력을 낮추어 주 다이어램이 하강하도록 하는 방안을 고려할 수 있다. 전자의 방안은 제동 공기압 시스템에서 해당 차량에만 많은 공기량을 보내는 것이 어려우므로 본 연구에서는 후자의 방안을 선택하였다. 완해 작용시에

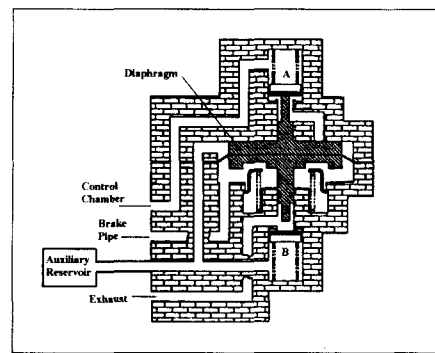


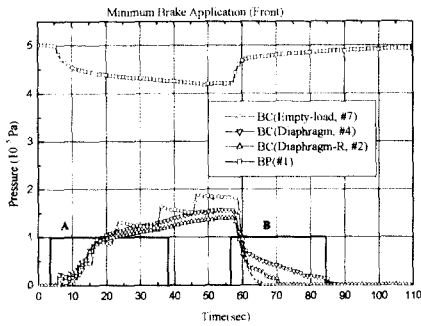
Fig. 5 Quick release valve

는 제동관의 압력이 상승하므로 다이어프램의 하부에도 높은 압력이 형성되어 상하 압력차이에 의하여 다이어프램은 상승하여 A를 개방시킨다. 그 결과, 제어밸브 하부의 제어공기실에 차 있던 압력공기는 연결된 통로를 통하여 신속 완해밸브의 부가공기통으로 유입되므로 압력이 낮아져 제어밸브의 주 다이어프램은 하강하여 제동실린더의 압력공기를 신속하게 배출하도록 한다.

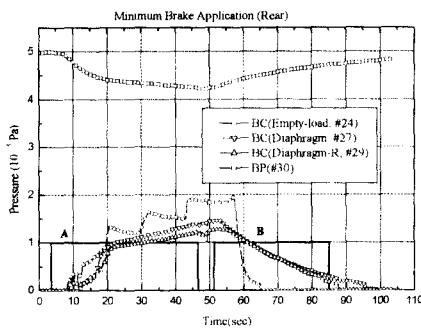
4. 결과 및 검토

Fig. 6에 500kPa로 차 있던 제동관의 압력을 70kPa 감압하여 430kPa로 변화시키는 최소 제동 작동시의 각 차량의 제동관 및 제동실린더의 압력 변화를 나타내었다. 그림에서 A구간은 제동작동 구간이며, B구간은 완해작동 구간을 각각

나타낸다. 적공제동장치의 제동실린더의 압력변화는 ○기호로, 개선전 다이어프램 장치의 제동실린더의 압력변화는 ▽기호로, 신속완해밸브를 장착한 개선후 다이어프램 장치의 제동실린더의 압력변화는 △기호로, 그리고 시험차의 제동관의 압력변화는 □기호로 각각 나타내었다. 제동 지령 후, 제동관의 압력은 내려가며 이를 신호로 받은 각 차량의 제동실린더의 압력은 상승함을 알 수 있다. 제동실린더의 압력에 차이가 발생한 것은 각 차량에 적재된 화물의 무게 차이에 기인한 것으로서 화물열차의 경우 적재화물의 무게에 따라 압력조절을 하는 변동하중밸브가 작용하기 때문이다. 다이어프램 제동장치 실린더의 압력상승은 비교적 연속적으로 일어나는데 비하여 삼동밸브를 사용하는 적공 제동장치는 단계적인 상승

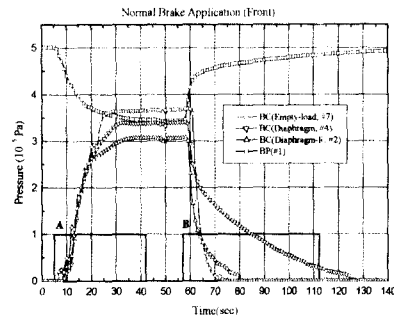


(a) Front side (location : #2, #4, #7)

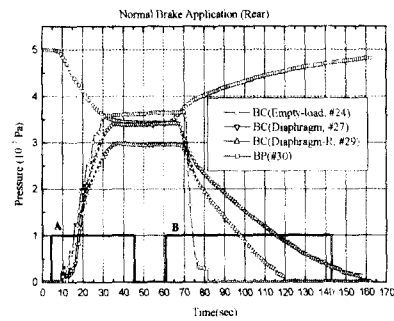


(b) Rear side (location : #24, #27, #29)

Fig. 6 Pressure variation of brake pipe and cylinder in case of minimum brake (pressure reduction : 70kPa)



(a) Front side (location : #2, #4, #7)



(b) Rear side (location : #24, #27, #29)

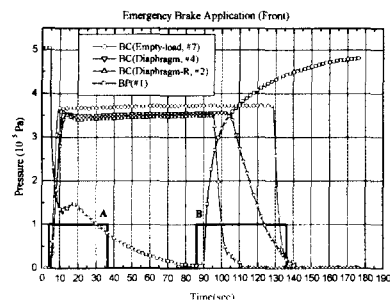
Fig. 7 Pressure variation of brake pipe and cylinder in case of normal brake (pressure reduction : 150kPa)

형태를 나타내는데, 이는 삼동밸브의 구조에서 알 수 있듯이 제어밸브 내부의 균형피스톤이 좌우 압력차이에 의하여 이동하려면 밸브 본체와 접촉하는 마찰력보다 커야 하므로 마찰력을 상회하는 만큼의 압력차이가 발생할 때까지는 피스톤이 정지하였다가 그 압력 이상이 되었을 때 다시 이동하여 제동실린더로 통하는 공기량을 늘려주기 때문으로 사료된다. 기관차가 전두부에 위치한 경우(a)에는 완해 작동시 제동관의 압력변화가 급격하게 일어나므로 차량간 위치에 따른 제동실린더의 압력변화가 큰 차이가 없으나 기관차가 후부에 위치한 경우(b)에는 적공과 다이어프램 제동장치간의 완해시간이 큰 차이를 나타내고 있다. 즉 전두부 위치에서는 약 20초의 차이가 있었으나 후부 조건에서는 약 30초의 완해시간 지연이 발생함을 알 수 있다.

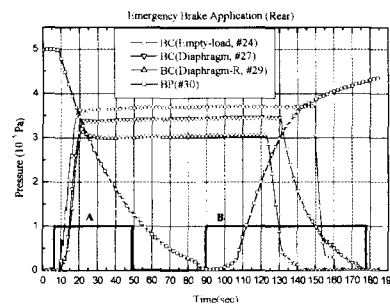
Fig. 7에 150kPa을 감압하는 상용제동의 경우에 제동관 및 각 차량의 제동실린더의 압력변화를 나타내었다. 상용 제동은 열차 운행시 정상적으로 정차할 때의 제동 작용으로서 가장 빈번하게 사용된다. 최소제동 때와는 달리 제동관의 압력 변화가 더 커졌음을 알 수 있다. 그러나, 미소 제동 때에 나타났던 적공 제동 장치의 제동 실린더 압력의 불균일성은 없어졌는데 이것은 적공 제동 장치의 삼동 밸브의 작동이 밸브내의 피스톤의 이동에 의하여 이루어지므로 미소 제동과 같은 작은 압력 변화에는 민감하게 반응을 나타내지 못하는 반면 상용 제동과 같은 압력 변화에는 피스톤의 마찰력이 크게 작용하지 않으므로 제동시의 제동실린더의 압력이 일정하게 나타난 것으로 사료된다. 기관차가 전두부에 위치한 경우(a)는, 제동시의 각 차량의 제동실린더의 압력 상승이 거의 동시에 일어나지만 후부에 위치한 경우(b)는 차량간에 압력상승 속도가 다소 차이가 나며, 특히 완해 작동시에는 차량간 및 장치간에 시간 차이가 많음을 알 수 있다. 신속 완해 밸브의 장착 효과는 전두부의 경우에 개선후 다이어프램의 완해 시간이 개선전에 비하여 약 45초 단축되었으며 후부 조건에서는 약 37초로 단축되었다.

차량간 제동압력의 불일치는 결국 차량간의 제동력의 불균형을 초래하여 열차가 정차시 덜컹거

리게 할 뿐만아니라 제륜자 및 차륜의 마모를 촉진시키게 된다. 화물열차와 같이 수 십량씩 길게 편성되어 운행되는 경우는 차량수가 많아질수록 이러한 차량간 압력 불일치는 심하여 지므로 가능한 한 공기제동 시스템에서의 압력 손실 요소를 저감시키고 서로 다른 제동 장치간의 성능 균등화를 통하여 차량간 압력 불평형을 해소할 필요가 있다. 따라서, 여러 가지 차종을 혼합하여 운행할 경우, 다이어프램식 제동장치 차량은 편성 차량의 전두부에, 적공 제동 장치 차량은 후부에 편성하는 것이 차량간 압력 변화가 작으므로 제륜자 및 차륜의 마모 또는 차량간 충격력 저감면에서 유리할 것으로 사료된다. 운행중의 열차가 돌발 사태에 직면하거나 열차 사고 등이 발생하였을 때에는 비상제동 (500kPa 감압)이 작동된다. 비상제동이 작동되면 기관차의 공기 압축기에서 화물열차로 압축공기를 공급하는



(a) Front side (location : #2, #4, #7)

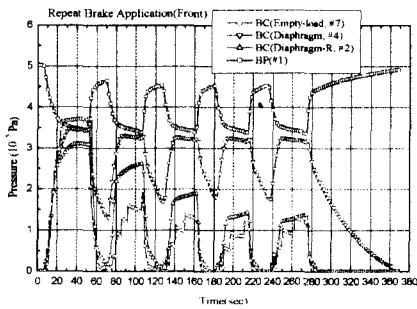


(b) Rear side (location : #24, #27, #29)

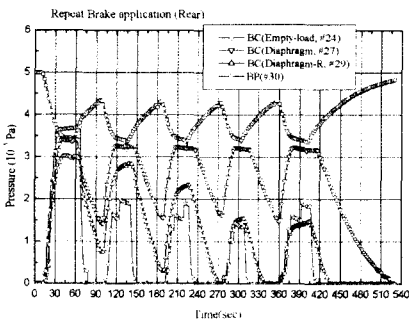
Fig. 8 Pressure Variation of Brake Pipe and Cylinder in case of Emergency Brake (pressure reduction : 500kPa)

통로에 설치된 차단밸브가 닫혀지게 되며, 각 차량의 제어밸브에 있는 비상 작동부가 개방되어 보조 공기통의 압축 공기를 최대한 빨리 제동 실린더로 보내어 열차 제동거리를 짧게 하도록 한다. Fig. 8에는 이와 같은 비상 제동시의 제동관 및 제동 실린더의 압력 변화를 나타내었다. 최소 제동 및 상용 제동 때와는 달리 1량 위치의 제동관의 압력 변화 곡선에 불연속적인 부분이 존재하는데, 이것은 기관차의 제동지령 압력변화가 바로 전달되는 열차의 전두부에서는 비상제동의 압력 변화가 짧은 시간에 일어나므로 제동관에서 팽창파의 발생에 따른 것으로 사료된다. 이러한 현상은 후부조건에서는 찾아볼 수 없는데, 이는 전두부 제동관에서 발생한 팽창파가 열차의 제동관을 지나면서 곡관부, 분기관부, 밸브부, 연결부 등과 같은 압력손실부를 거치게 되어 30량 위치의 후부에서는 전두부와는 달리 압력변화

가 완만하게 압력변화가 일어나기 때문에 사료된다. 비상제동에서도 1량 차량의 제동관의 압력 변화 곡선이 다른 위치의 차량의 압력 곡선과는 시간적 차이를 보이지만 그 차이는 더 증대되었음을 알 수 있다. 제동 감압량이 커지면 제어밸브를 통하여 대기로 배출되는 공기의 유출속도가 커지므로 차량간 제동관의 압력 변화 차이도 커지게 된다. 즉 관로에서의 국소 손실을 일으키는 손실계수는 일반적으로 속도의 제곱에 비례하므로 제동관의 유출 속도의 증가에 따라 유동손실도 증가한 것에 기인한 것으로 사료된다. Fig. 9에 반복 제동시의 압력변화를 나타내었다. 반복 제동은 경사가 심한 산악 지형을 운행할 때에 열차를 감속시키기 위하여 사용하는 것으로, 반복하여 제동 및 완해 작동을 하여도 제동실린더에 일정 압력을 공급하면서 완해 작용이 빨리 일어나는 것을 필요로 한다. 그림에서 알 수 있듯이 반복 제동시, 적공 제동장치와 다이어프램 제동장치의 가장 큰 차이점은 제동실린더의 압력값의 변화와 완해 작동시에 제동실린더의 압력공기가 배출되는 정도이다. 적공 제동장치는 전후부 위치에 상관없이 완해시, 제동실린더의 압력이 0 Pa로 강하되는데 비하여 개선전의 다이어프램 제동장치는 180kPa을 유지함을 알 수 있다. 따라서, 동일한 열차에 두 가지 제동장치가 혼용되는 경우에는 다이어프램 제동장치가 장착된 차량의 차륜과 제륜자 접촉면에 과대한 마찰력이 발생하며 구배가 긴 선로를 운행하다보면 마찰면에서의 과열로 차륜찰상과 제륜자 파손과 같은 고장을 일으키기 쉽게 된다. 또한, 반복 제동시의 제동실린더의 압력 크기를 비교하면, 적공 제동장치는 1차 제동때의 압력값에 비하여 2~5차 제동으로 갈수록 강하되는 특성을 나타내지만, 다이어프램 제동장치의 경우는 거의 일정한 값을 나타냄을 알 수 있다. 다이어프램 제동장치의 경우는 반복 제동을 하여도 제어 공기실에 차 있는 500kPa의 압력공기가 그 때마다 주 다이어프램을 상승시켜 보조공기통으로부터 제동실린더로 연결된 통로를 개방하므로 보조공기통에 압력공기가 남아 있는 한 일정한 제동압력을 얻을 수 있는 구조이기 때문이다. 이에 비하여 적공 제동장치는 직접 완해 방식이므로 삼동 밸브에 완해 작용이

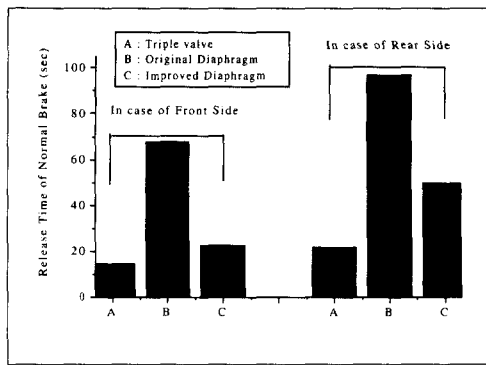


(a) Front side (location : #2, #4, #7)

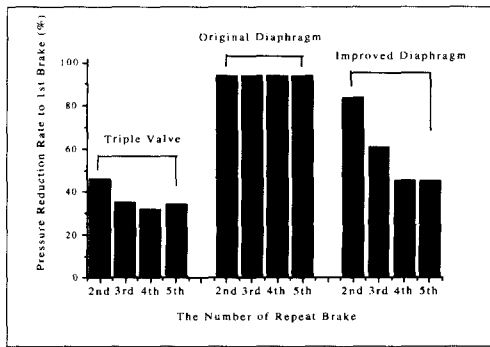


(b) Rear side (location : #24, #27, #29)

Fig. 9 Pressure Variation of Brake Pipe and Cylinder in case of Repeat Brake



(a) Comparison of release time



(b) Comparison of pressure reduction rate

Fig. 10 The effects of quick release valve

일어나면 제동실린더에 차 있던 압축공기는 짧은 기간내에 대부분이 대기로 배출되므로 다이어프램 제동장치에 비하여 완해 시간이 짧아지게 된다.

다이어프램 제동장치가 적공 제동장치보다 완해 시간이 긴 특징을 보완하기 위하여 신속 완해 밸브를 다이어프램 제동장치에 추가로 장착하였으며, 이 밸브는 완해 작동시 제어공기실의 압력 공기를 부가 공기통으로 일부 보내어 제어 공기실의 압력을 낮춤으로서 제동관의 압력이 충분히 상승하지 않아도 제동 실린더내의 공기를 대기로 배출시키게 도와준다. 그 결과 상용 제동의 경우, 전두부에서는 개선 전 값의 약 34%수준으로, 후부에서는 60%수준으로 각각 단축되었다.

Fig. 10에 신속 완해 밸브의 장착으로 인한 완

Table 1 Release time & reduction rate

(unit : sec)

제동종류 및 기관차 위치	삼동 밸브	개선전 다이어프램	개선후 다이어프램	
최소 제동	전두부	8	29	14
	후부	18	49	41
상용 제동	전두부	15	68	23
	후부	22	97	58
비상 제동	전두부	54	54	25
	후부	70	84	50
반복 제동	전두부	46%	94%	84%
		35%	94%	61%
		32%	94%	45%
		34%	94%	45%
	후부	51%	94%	93%
		51%	94%	77%
		38%	94%	53%
		51%	94%	50%

해 시간 및 압력 감소율의 비교를 나타내었다. Fig. 10(a)에서 알 수 있듯이 상용 제동시의 전두부 위치에서는 개선후의 완해 시간이 개선전의 완해 시간에 비하여 43초 줄어들어 적공 제동 장치와 거의 같은 수준으로 단축되었으며, 후부 위치에서도 적공 제동 장치보다는 길지만 개선전 다이어프램 장치의 60%수준으로 단축되었다. 반복제동에서도 다이어프램 제동장치의 압력감소가 없는 것은 바람직하지만, 적공 제동장치와 같이 혼용할 경우에는 제동력 과대로 역효과를 나타낸다. 반복 제동시의 압력감소 형태는 개선전 다이어프램 제동장치의 경우는 2~5차 제동에서도 일정압력을 유지했던 것과는 달리 개선후의 다이어프램 제동장치의 경우, 반복 제동에 따라 압력이 점진적으로 감소하는 적공 제동장치와 정성적으로 서로 유사한 형태를 나타낸다.

산악지형의 구배가 심한 하향선로에서 열차를 운행할 때에 사용하는 연속 반복제동에서는 다이어프램 제동장치에 과부하가 작용하여 제륜자 과다마모 또는 파손, 차륜 찰상, 완해 지연 등과 같은 제동 장치의 고장 원인을 제공하였으나, 신속 완해 밸브의 도움으로 다이어프램 제동 장치의 완해 시간 단축 및 압력 강하를 가져와 운행 도중의 고장 저감에 기여할 것으로 사료된다.

Table 1에 각 제동 종류 및 기관차 위치에 따

른 제동 종류별 완해 시간과 반복 제동시의 압력 감소 비율을 나타내었다. Table 1에서 최소, 상용, 비상 제동의 완해 시간 단위는 초이며, 반복 제동의 %는 1차 제동시의 압력에 대한 2~5차 제동시의 압력 비율을 나타낸다. 신속 완해 밸브를 사용한 개선후 다이어프램 제동장치는 최소제동의 경우, 전두부 및 후부가 각각 48%, 83%, 상용제동의 경우 34%, 60%, 비상제동에서는 46%, 59%로 단축되었으며 반복제동에서도 적공 제동장치처럼 1차 제동에 비하여 압력강하가 일어나는 경향을 나타낸다. 특히, 제동관의 압력 변화가 급격하게 일어나는 전두부 위치에서 완해 시간이 많이 단축되었는데 이는 제동장치에 사용된 다이어프램이 완만한 압력변화 보다 급격한 압력변화에 더 민감한 특성에 기인하는 것으로 사료된다. 따라서, 다이어프램 제동장치와 적공 제동장치가 장착된 차량을 혼합 편성하여 운행할 경우에는, 다이어프램 제동장치가 장착된 차량을 편성열차의 전두부에 편성하는 것이 차량간 제동 압력 특성 차이가 작을 것으로 사료된다.

5. 결 론

본 연구에서는 서로 다른 공기 제동 장치간의 균등한 압력 특성을 얻기 위하여 화물 열차와 기관차를 사용하여 실차 실험을 하였다. 현재 우리나라에서 운용중인 화물 열차에 많이 사용되는 적공 제동장치와 다이어프램식 제동장치를 장착한 화물열차 30량과 디젤기관차를 이용하였으며, 완해 시간 단축 및 압력 강하를 위하여 신속 완해 밸브를 개발하여 다이어프램 제동장치에 장착하였다. 다양한 조건을 부여하기 위하여 최소제동, 상용제동, 비상제동 및 반복제동에 대한 열차 위치별 압력 변화를 측정하였다. 화물열차 제동관과 제동실린더의 압력변화 특성을 정량적 및 정성적으로 파악하였으며, 얻어진 실험 결과를 정리하면 다음과 같다.

(1) 신속 완해 밸브를 사용하여 다이어프램 제동장치의 완해 시간을 적공 제동장치 수준으로 단축하였다.

(2) 상용 제동시, 차량 위치에 따른 개선후의

다이어프램식 제동장치의 완해 시간 단축은 전두부 위치에서 45초, 후부 위치에서 39초이며, 이는 개선전 다이어프램 제동장치의 34%와 60%수준으로 각각 줄어들었다.

(3) 적공 제동장치와 다이어프램 제동장치를 혼용할 경우에는 다이어프램 제동장치 차량을 기관차에 가까운 전두부에 편성하는 것이 장치간 압력특성 차이가 작게 나타났다.

후 기

본 연구의 화물열차 실차 실험에 도움을 주신 철도청 관계자들에게 감사드립니다.

참고문헌

- (1) Bharath, S., Nakra, B. C. and Gupta, K.N., 1990, "A Distributed Mathematical Model for Pressure Transient Analysis in Railway Pneumatic Brake System" *Int. J. Mech. Sci.*, Vol. 32, No. 2, pp. 133~145.
- (2) Murtaza, M. A. and Garg, S. B. L., 1989, "Brake Modelling in Train Simulation Studies" *IMEchE Part F*, Vol. 203, pp. 87~95.
- (3) Abdol-hamid, K. and Limbert, D. E., 1988, "The effect of leakage on railroad brake pipe steady state behavior" *ASME J. Dynamic system Measurement and Control*, Vol. 110, pp. 329-335.
- (4) 熊谷則道, 長谷川泉, 永瀬和彦, 1990, "鐵道車輛空氣ブレーキ機器の減壓特性," *日本機械學會論文集(B)*, 第56卷 529號, pp. 2672~2677.
- (5) 남성원, 문경호, 이동형, 최경진, 권석진, 1999, "막판식 공기제동장치의 압력 특성에 관한 실험적 연구," *대한기계학회 추계학술대회논문집 B*, pp. 706~711.
- (6) 客貨車概論, 1993, 交友社, pp. 128~245.
- (7) Robert, L. J., 1982, *Railway Brakes*, Westinghouse, pp. 133~158.