

화차 제동장치의 공기압 특성에 관한 실험적 연구

Experimental Study on the Pneumatic Characteristics of Brake System for Freight Car

남성원(1), 문경호(2), 이동형(2), 최경진(3), 권석진(2)

Nam Seong-won, Moon Kyung-ho, Lee Dong-hyong, Choi Kyung-jin, Kwon seok-jin

ABSTRACT

Experimental study is conducted to clarify the pneumatic characteristics of brake system for freight car. KNR(Korean National Railroad)'s freight cars have the laden-tare type control valve of brake system. But, laden-tare type control valve has some shortcomings to match the high speed freight car. Newly developed diaphragm type control valve is introduced to adopt freight car for speed-up. The test using the formed train set consisted of 21 cars is conducted to estimate the pneumatic braking efficiency of the mixed train set. From the results of experiment, the pressure characteristics of each brake cylinder show similar patterns qualitatively. But, in the case of release and brake application, quantitative pressure values of brake cylinder are different.

1. 서론

철도 차량은 승객과 화물의 안전 수송을 최우선으로 하므로 차량을 감속 또는 정지시키는 제동 작용의 역할은 매우 중요하다. 최근, 화물 열차도 수송량 증대 뿐만아니라 고속화가 빠르게 진행되고 있는 객차와의 속도 차이를 줄이기 위하여 고속화 방안이 연구되어 지고 있다. 도로 교통과는 달리 목적지까지 각 열차가 동일한 선로를 공유하는 철도의 경우는 후발 열차가 선발 열차를 추월할 수 있는 조건이 제한적이므로 차량 속도가 느린 선발 열차는 후속 열차의 진행 속도에 제한을 주게되며, 이러한 제약은 전체 선로의 이용률을 저하시키는 결과를 가져온다. 따라서 철도의 경제성 향상을 위한 한 방안으로서 차량 속도 향상에 대한 노력이 경주되어 왔으며, 이와 병행하여 제동 장치의 고성능화 및 안전성 확보가 속도 향상과는 불가분의 과제로서 인식되어 왔다.

화물 열차와 같이 장대 편성되는 경우에는 전부와 후부 차량간에 제동실린더의 압력 변화가 동시에 일어나지 않으며, 이는 전후부 차량간에 제동력의 차이라는 바람직하지 않는 결과를 가져다 준다. 따라서 화물 열차의 공기제동 성능 향상의 한 방안으로서 이러한 압력 지연을 해소하기 위하여 제동 공기압 특성에 대한 연구가 동일한 차종을 편성한 상태에 대하여 이루어졌다[1,2].

(1) 한국철도기술연구원, 선임연구원

(2) 한국철도기술연구원, 주임연구원

(3) 한국철도기술연구원, 책임연구원

기존 화물 열차의 제동장치에 채택되어 사용되고 있는 적공(積空) 제동장치는 화물을 적재한 상태(영차)에서 요구되는 제동력을 확보하기 위하여 옹하중밸브, 중계밸브, 제어밸브를 설치한 복식 제동통을 동작시켜, 화물을 적재하지 않은 상태(공차)보다 약 2배의 제동력을 증가시키는 것이다. 그러나 공차와 영차시, 제동 실린더의 용적이 다르기 때문에 제동 감압량이 다르며, 기초제동 장치의 저항이 크고, 영차와 공차시의 제동 완해 시간이 각각 다르는 등의 문제점이 있었다.

이러한 단점을 개선하기 위하여 제어밸브에 슬라이딩 작용을 없앤 막판(膜板)식 제어밸브가 선진국에서 개발되어 우리나라의 화차에도 채택을 계획하고 있으며, 본 연구에서는 개발된 제품을 실차에 직접 적용하여 기존의 제동장치와의 호환성 및 신규 장치가 혼합 편성된 상태에서의 제반 문제점을 파악하기 위하여 실험적 연구를 통한 제동장치의 공기압 특성을 파악하였다.

2. 실험 개요 및 방법

공기 제동장치의 공기압 특성을 파악하기 위하여 시험차를 포함한 총 21량의 화물열차를 편성하였으며, 막판식 제동장치를 채택한 4개 회사의 제품을 각각 흡퍼차 4량(A*,B*,C*,D*) 및 유개차 4량(A,B,C,D)의 순서로 연결하였다. 또한, 전두부와 후부의 영향을 파악하기 위하여 기관차의 위치를 전후로 번갈아 가며 위치시킨 상태에서 제동 시험을 하였다. Fig. 1에 시험 편성열차의 개략도를 나타내었다.

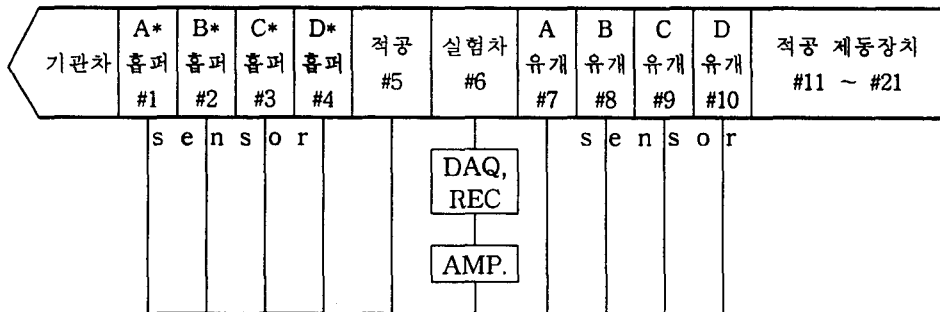


Fig. 1 Formation of Experimental Train Set

시험 대상 차량인 A, B, C, D 각 차량에는 제동실린더에, 실험차에는 제동관에 압력계를 설치하여 기관차가 선두부에 위치하였을 때의 상용 및 비상제동, 완해, 완만 충기시의 각 차량의 제동 실린더의 압력 변화를 측정하였으며, 동일한 조건에 대하여 기관차를 후부에 위치시켜 측정하여 차량 편성 위치에 대한 압력변화 특성을 비교 분석하였다. 또한, 영차와 공차시의 하중변화를 인위적으로 옹하중 밸브를 조절하는 방법으로 조건을 다르게 하였다. 사용한 압력센서는 정격용량 10kg/cm², 정격출력 0.997mV이며, 데이터 분석처리 장치의 표본율은 100kS/s, 12비트 8채널의 DEWETRON사 제품을 사용하였다.

Fig. 2에 화차 공기 제동장치의 편성 상태의 개략도를 나타내었다. 객차나 전동차와는 달리 기관차의 주 공기통으로부터의 압력 변화가 제동 지령으로서 각 차량의 제동관과 차량간을 연결하는 고무 호스를 경유하여 후부의 각 차량에 전달되는 시스템이다.

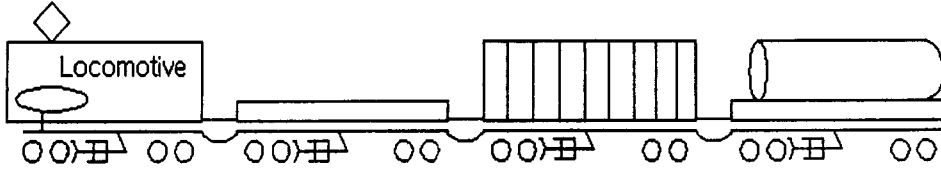
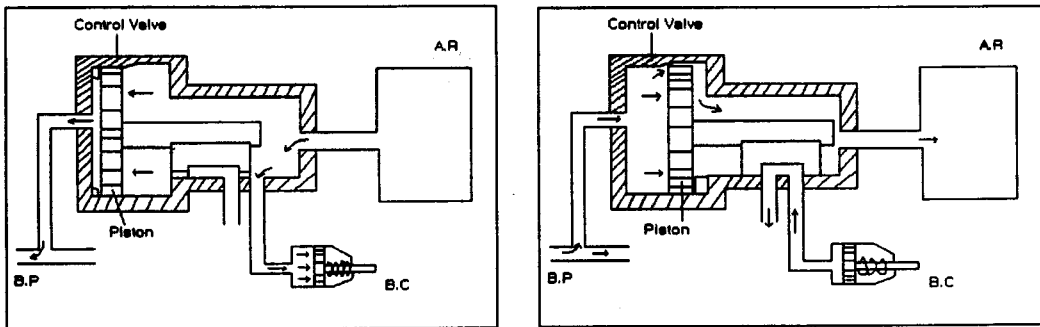


Fig. 2 Overall Pneumatic Brake System of Freight Car

3. 결과 및 고찰

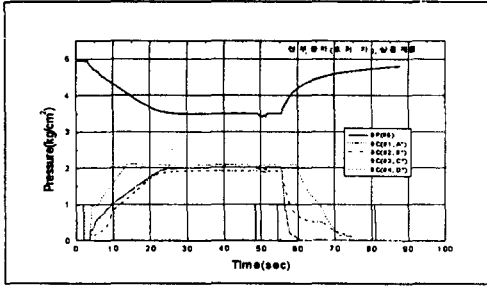
Fig. 3에 철도 차량의 제동장치에 사용되는 제어밸브의 기능을 간략하게 나타내었다. 제어밸브의 주요 작용으로 (a)제동작용의 경우, 주공기통과 제동관이 약 $5\text{kg}/\text{cm}^2$ 의 압력으로 가압되어 있는 상태에서 기관차의 제동밸브를 제동위치로 하였을 때 각 차량의 제동관(B.P)의 압력이 내려가게 되며, 보조공기통(A.R)과의 압력차이로 인하여 삼동밸브의 실린더는 좌측으로 이동하며 동시에 보조공기통의 공기는 제동실린더(B.C)의 피스톤을 가압하여 제륜자를 차륜에 밀착시킨다. (b)와 같이 완해작용의 경우, 주공기통의 압력이 제동관을 통하여 전달되면 제어밸브의 실린더는 우측으로 이동되어 보조공기통에 압력공기가 보내어지며 동시에 제동실린더는 스프링에 의하여 원래의 위치로 복원되며 실린더내의 압력공기는 대기로 방출되는 구조이다[3].



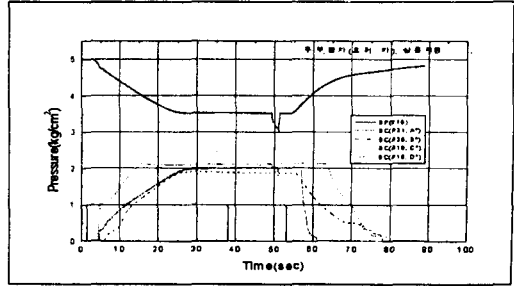
(a) Brake Action (b) Release Action
Fig. 3 The Control Valve of Pneumatic Brake System

Fig. 4에 홉퍼차의 각 상태별 압력변화를 나타내었다. 편성 된 상태에서 기관차가 전두부에 위치 할 때에는 #1~#4이며, 기관차의 위치가 후부가 되면 #18~#21으로 위치가 변화된다. (a)~(d)의 상용제동의 경우, 제동관의 압력은 $5\text{kg}/\text{cm}^2$ 에서 약 $3.5\text{kg}/\text{cm}^2$ 으로 변화하며 단위시간당 압력강하율은 $0.068\text{kg}/\text{cm}^2/\text{s}$ 로 동일하게 강하되나, 제동실린더의 압력은 공차(a)(b)의 경우와 영차(c)(d)의 경우가 각각 다른 압력을 나타낸다. 이는 옹하중밸브의 작용으로 영차 조건에 따라 제어 밸브내에 있는 영차용 슬롯의 개방으로 인하여 보조공기통의 압력공기가 충분히 제동실린더로 전달된 결과, 공차시의 $2\text{kg}/\text{cm}^2$ 보다 약 1.9배 높은 $3.75\text{kg}/\text{cm}^2$ 의 압력으로 제륜자를 가압함을 알 수 있다.

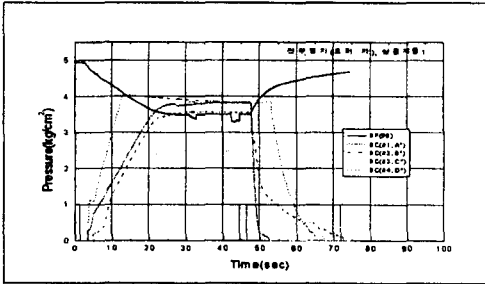
막판식 제동장치는 적공제동의 복식제동통과 같이 부수적인 장치를 사용하지 않고도 영차조건에 상용하는 압력상승 효과를 가져 온 것으로 판단된다. 상용제동과는 달리 비상제동의 경우(e)~(h), 짧은 시간내에 큰 압부력을 얻기 위하여 제동관 내의 압력공기는 제어밸브의 비상부를 통하여도 배출되므로 단위시간당 압력 강하율은 약 $0.1\text{kg}/\text{cm}^2/\text{s}$ 로 증가하며, 제동실린더의 압력상승을



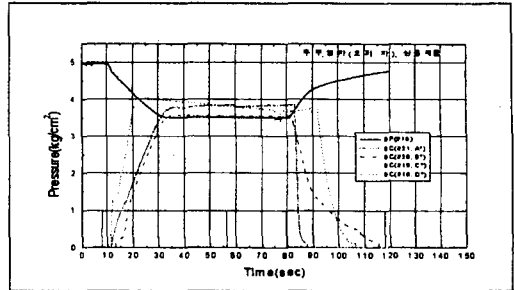
(a) Front, Commercial, Tare



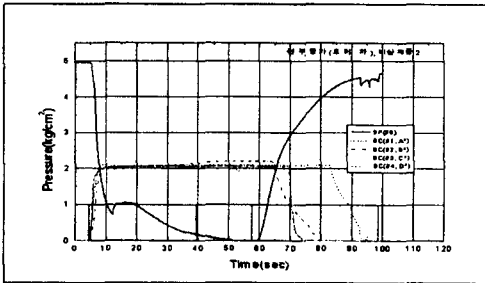
(b) Rear, Commercial, Tare



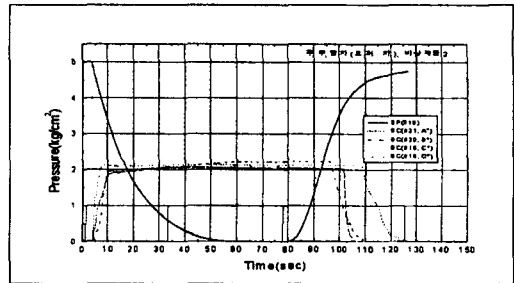
(c) Front, Commercial, Laden



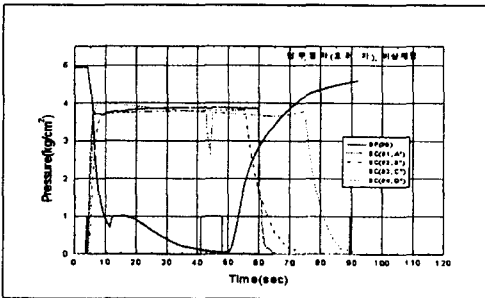
(d) Rear, Commercial, Laden



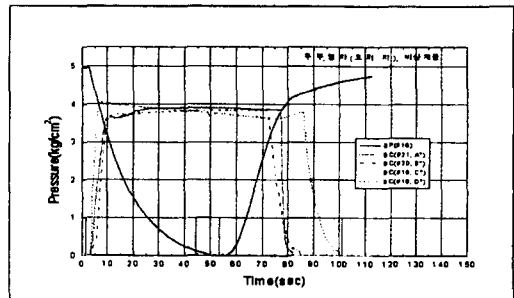
(e) Front, Emergency, Tare



(f) Rear, Emergency, Tare



(g) Front, Emergency, Laden



(h) Rear, Emergency, Laden

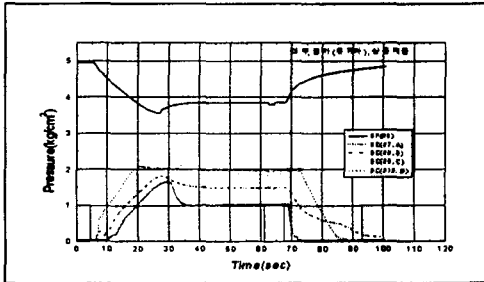
Fig. 4 Brake Pipe and Cylinder Pressure of Hopper Car
(Front Side : #1~#4, Rear Side : #18~#21)

또한 전후부에 관계없이 공차의 경우 약 $0.4\text{kg/cm}^2/\text{s}$, 영차의 경우 약 $0.75\text{kg/cm}^2/\text{s}$ 로서 상용제동 공차 조건의 $0.1\text{kg/cm}^2/\text{s}$, 영차 조건의 $0.185\text{kg/cm}^2/\text{s}$ 보다 각각 4배정도 빠른 응답 특성을 나타낸다.

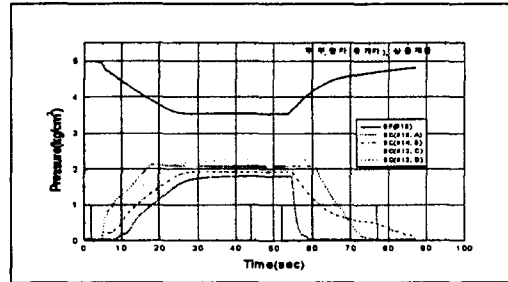
한편, 비상제동에서 기관차가 전두부에 위치한 경우의 그림(e)(g)에서 알 수 있듯이 기관차가 후부에 위치한 경우(f)(h)에서는 볼 수 없는 제동관의 감압곡선에 불연속적인 부분이 존재함을 알 수 있다. 이러한 현상은 비상제동이 작동하면 제동관내에서 급격한 압력강하 일어나게 되며, 충격파의 일종인 팽창 현상에 의한 일시적인 압력상승으로 판단된다. 이처럼 비상제동의 경우, 차량 전두부에서는 압력강하가 급격하게 일어나며, 후부에서는 비교적 완만한 곡선을 나타내므로 전후부 차량간의 제동력의 차이가 발생하게 되며, 그 결과가 차량간의 충격력으로 나타나게 된다.

Fig. 5에 유개차의 각 상태별 압력변화를 나타내었다. 편성된 상태에서 기관차가 전두부에 위치 할 때에는 #7~#10이며, 기관차의 위치가 후부가 되면 #12~#15으로 위치가 변화된다.

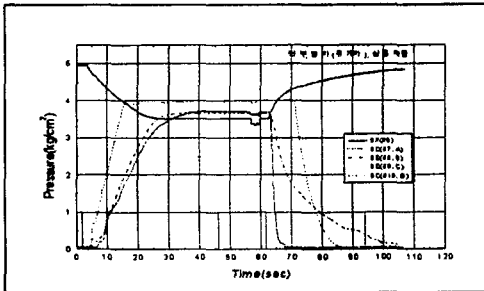
비상제동의 전두부 위치에서는(e)(g) 상용제동 때와는(a)(c) 다르게 공주시간이 거의 없는 것으로 나타났으며, 후부에 위치한 경우도(f)(h) 2~3초의 공주시간은 있으나 상용제동(b)(d)때 보다는 짧음을 알 수 있다. Fig.5(a)에서는 상용 제동임에도 불구하고 제동관의 압력강하 곡선과 제동실린더의 압력 상승 곡선에 불연속적인 부분이 존재하는데, 이는 수동인 제동핸들을 기관사가 조작할 때에 일시적으로 완해 작동을 한 것에 기인한 것이다. 그러나, 극단적으로 위치한 홑퍼차에 비하여 전반적으로 편성 열차의 중앙부에 위치한 유개차의 경우, 측정된 제동실린더의 압력은 정상상태에 도달한 후 변동값이 비교적 작게 나타나 안정적임을 알 수 있다.



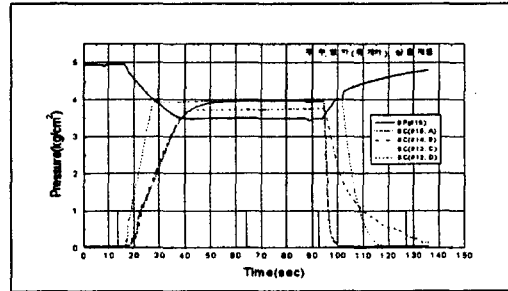
(a) Front, Commercial, Tare



(b) Rear, Commercial, Tare

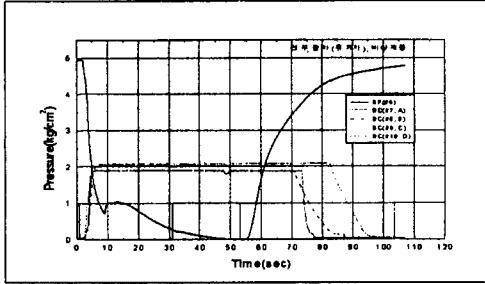


(c) Front, Commercial, Laden

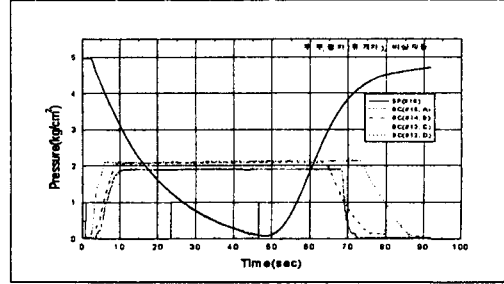


(d) Rear, Commercial, Laden

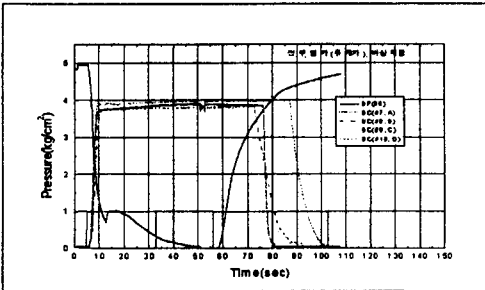
Fig. 5 Brake Pipe and Cylinder Pressure of Box Car (1)
(Front Side : #7~#10, Rear Side : #12~#15)



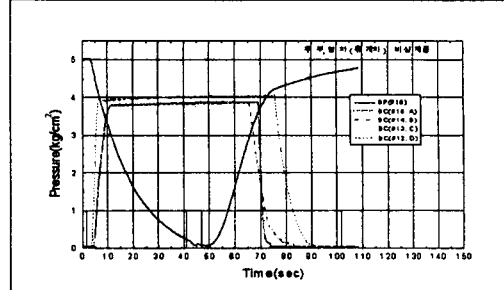
(e) Front, Emergency, Tare



(f) Rear, Emergency, Tare



(g) Front, Emergency, Laden



(h) Rear, Emergency, Laden

Fig. 5 Brake Pipe and Cylinder Pressure of Box Car (2)
(Front Side : #7~#10, Rear Side : #12~#15)

4. 결론

본 연구에서는 화차 공기 제동장치의 공기압 특성에 관한 실차 실험을 통하여 제동 및 완해 작용시의 공기압력 변화를 측정하였다. 새로이 도입한 막판식 제동장치와 기존의 적공 제동장치를 혼합 편성한 열차로 현차 실험을 통하여 제동관 및 각 차량의 제동실린더의 압력변화 및 압력 추종성의 정량적 및 정성적 특성을 측정한 결과를 정리하면 다음과 같다.

- (1) 비상제동시의 제동관의 불연속적 압력강하 특성을 정량적으로 파악할 수 있었다.
- (2) 비상제동의 경우 상용제동에 비하여 제동 실린더의 압력상승율이 약4배 빠르게 나타났다.
- (3) 편성차량의 중앙부에 위치한 유개차의 경우, 전후부 차량에 비하여 안정적인 응답 특성을 나타내었다.

후기

본 연구의 실차 시험을 위하여 차량편성 및 제반사항의 편의를 제공하여 주신 철도청 대전 철도차량 정비본부의 관계자에게 감사드립니다.

참고문헌

- [1] S.Bharath. et al, 1990, Int.J.Mech.Sci., Vol.32, No.2, pp.133-145
- [2] M.A.Murtaza and S.B.L. Garg, 1989, IMechE Part F, Vol.203, pp.87-95
- [3] 客貨車概論, 1993, 交友社, pp.128-245