

전동차 제동기의 유압화에 관한 연구

이한민, 김길동, 오세찬, 박성환
 한국철도기술연구원, 한국철도기술연구원, 한국철도기술연구원, 부산대학교

A Study on Application of Hydraulic Brake System

Hanmin Lee, Gildong Kim, Sehchan Oh, Sunghwan Park
 KRRI, KRRI, KRRI, Pusan National Univ.

Abstract - The brake systems of the rolling stocks are generally consisted of electrical and mechanical brake systems. Because of its inherent structure of the each brake system, the electrical brake system is mainly used at the high speed range while the mechanical brake system is used at the relatively lower speed range. It is desirable for the rolling stocks to apply the entire electrical brake system. However, since the brake force from electric brake system is not enough to stop the rolling stock within the legal stop distance. Therefore, the mechanical brake system is indispensable to rolling stocks. In general, the vast majority of the world trains are equipped with mechanical braking systems which use compressed air as the force to push block on to wheels or pads on to discs. These mechanical systems are known as air brake or pneumatic brakes. For the air brake system, basically huge scale air compressor is equipped and the long pipe line is complexly connected. Since mass of these air brake components, it is difficult to be a light weight equipment and the long pipe line raise the maintenance problem. In order to overcome these problems of air brake system, the hydraulic brake system is proposed in this research. The hydraulic brake system makes the whole weight of brake equipment be light and large braking force can be applied. Therefore, in this research, the validity and advantages of applying the hydraulic brake system are reviewed.

1. 서 론

산업의 고도성장으로 인하여 대도시를 중심으로 새로운 대중교통시스템의 요구가 증대하고 있으며, 이러한 요구에 적합한 대체 교통수단으로 철도교통시스템이 주목을 받고 있다. 그러나 철도시스템은 시설 투자비용이 막대하여, 차세대 철도시스템 개발에 있어서는 이를 최소화하고 사회의 요구를 만족하기 위한 많은 대안들이 나오고 있다. 차세대 도시형 철도시스템은 우선, 차량의 경량화를 통해 차량의 추진 및 제동에 있어서 높은 효율성과 그리고 안전에 있어서 신뢰성을 보장하는데 목적이 있다. 또한, 승객의 승차감 증대와 편의공간 확보, 차량과 선로의 유지보수 비용감소, 환경문제 등을 고려하여 새로운 대중 교통시스템에 대한 요구에 부합되는 철도시스템의 개발을 필요로 한다. 따라서, 본 연구에서는 이러한 차세대 첨단도시철도차량에 있어서, 안전성과 직결되

는 유압제동시스템에 관한 연구를 수행한다.

2. 제동장치의 개발 방향

차세대 도시형 철도차량이 갖추어야 하는 제동시스템에 적합한 제동장치의 특성을 표1과 같이 요약할 수 있다.

승객을 대상으로 운송하는 철도 차량은 제동능력 향상 및 안전성 확보면에서는 우선적으로 제동시스템의 고신뢰화와 고성능화가 필요하다. 가까운 예로, 도시 철도 시스템이 매우 발달된 일본에서 발생한 한국인 유학생과 일본인이 희생된 JR신오오쿠보 역에서의 인사 사고도 시속 70km에서 급정차에 요구되는 170m가 조금이라도 단축될 수 있었다면 사고는 미연에 방지되었을지도 모른다. 이것은 대출력 제동시스템을 구축함으로써 얻을 수 있는 제동거리의 단축효과이다. 또한, 최근 지하철 등 도시형 철도차량의 승강장에 점차적으로 설치되고 있는 스크린 도어를 위한 정차정밀도 향상, 제동시 승차감 향상, 슬립을 제어를 통한 제동효율 향상에 문제없이 대응하기 위해서는 고성능의 응답특성을 가지는 제동장치 확보가 요구된다. 여기에 승객 편의공간 증대 및 유지보수 비용 절감을 위해서는 제동장치의 소형경량화가 필요하지만, 현재의 도시형 철도차량의 하부에 장착된 현재의 공기압 제동장치는 매우 큰 기기로 구성되어 있어 승객의 여유공간은 턱없이 부족한 실정이다.

표1. 차세대 도시형 철도차량에 적합한 제동장치의 특성

특 성	요	과
출력 향상	- 기계적 공주거리 및 전체 제동거리 단축 - 단위 장비당 출력 제동력의 과워밀도 향상	
응답성 개선	- 빠른 제어 응답성을 바탕으로 한 고정도 정차 실현 - 슬립을 제어를 통한 제동효율 극대화 - 능동적인 Jerk/용하중제어를 통한 제동승차감 향상 - 정밀한 Blending gap보상을 통한 승차감 향상	
소형 경량화	- 컴포넌트의 소형화를 통한 넓은 승객 편의공간 확보 - 제동장치의 경량화를 통한 차량 경량화/주행효율 증대 - 선로에 미치는 영향 감소를 통한 유지보수 비용 저감	
친환경적, 에너지 소비 효율적, 구조의 간소화	- 제동지령의 효율적 전달을 위한 네트워크 구성	
제한적 기계식 제동 시스템 적용	- Blending Gap의 능동적인 보상 - 제동 시나리오 계절정	
높은 신뢰성 확보	- 보조압력 장치를 이용한 fail safe기능 확보	

이러한 문제점들은 기존의 제동장치를 유압장치로 대체함으로써 획기적으로 개선이 가능하다. 제동 장치의 유압화를 통해 얻을 수 있는 이점은 유압시스템의 전방

적인 특성인 출력 제동력의 파워 밀도의 향상 및 공기압 제동장치에 비해 소형 고출력화, 응답성 향상 및 정차거리의 단축 그리고 정차 위치의 정밀도 향상을 이룰 수 있다. 특히 소형 유니트화 된 유압 제동장치의 사용은 그림1과 같이 BBW (Brake-By-Wire)시스템을 구성하기 위한 제동장치의 분산 배치를 가능케 하여 기존에 적용되고 있는 공압식 제동장치에 비해 더욱더 향상된 제동 성능과 안전성을 확보할 수 있다.

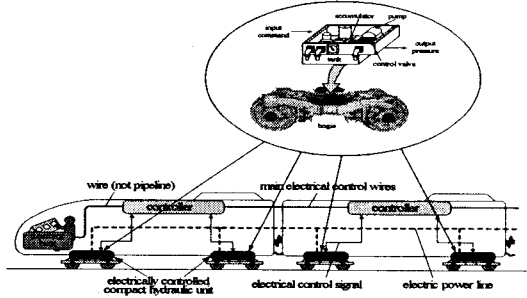


그림 1. 유압제동 장치를 적용한 Brake-by-wire

3. 현재까지의 기술개발 현황

현재 자동차, 항공기 등 수송수단의 제동장치가 대부분 유압식 제동장치를 사용하고 있는 것에 비해, 철도 차량에는 상대적으로 출력이 낮은 기계식 제동장치로서 공압식 제동장치가 적용되고 있다. 이러한 이유는 일부 철도 선진국에서 당초 공압식 제동장치를 철도시스템에 적용한 이래 공압식 제동장치만을 지속적으로 개발 및 개선해 왔기 때문이다. 또한, 철도 산업에 뒤늦게 참여한 개발도상국은 책임상의 문제로 철도 선진 각국에서 사용 실적이 많은 공압식 제동장치를 그대로 채택하고 있다. 그러므로 공압식 제동장치를 유압화하는 것은 기술적 측면보다는 상용화 실적 및 사고 발생시의 책임 소재 등 기술 외적인 요소로 인하여 좀처럼 현실화 되고 있지 않은 것이 현재의 실정이다. 그러나 철도산업이 매우 발달된 일본의 경우, JR 동일본의 E2계 신칸센 차량에 기존에 설치되어 있는 공기압 회로를 이용 최종단에 캘리퍼식 유압 제동장치를 채용한 유압제동 장치를 장착하여 매우 우수한 제동 성능을 보이고 있으며, 제동장치 전반에 걸친 유압화를 위한 연구가 활발히 진행 중이다.

4. 공기압제동장치와 유압식 제동장치의 비교

새로운 유압식 제동시스템의 특성을 점검해 보고, 공압식 제동장치와의 객관적 비교를 통하여 그 적용가능성을 분석해 본다.

가. 외관 성능

공기압 제동을 위해서 사용되는 압축기, 탱크 및 관로 등 기본적으로 공기압 컴포넌트가 차지하는 공간은 유압제동장치 보다 매우 넓은 공간을 필요로 한다. 이러한 공간적 비효율성은 객차내 편의시설 증대 및 승객의 공간확보에 매우 장애가 되는 요소이며, 도시형 철도의 경량화적인 측면에서도 넓은 기본공간을 필요로 하는 공기압 제동시스템은 적합하지 못하다. 표2에서 나타나는 것과 같이 공기압제동장치의 경우 유압제동장치에 비해 약 15배 정도의 물리적 공간을 필요로 하고 있으며, 장치중량 또한 약 3배 정도의 차이를 가지고 있다.

표 2. 공기압제동장치와 유압제동장치의 비교

구분	공기압제동장치	유압제동장치	
소형화	제어유니트[mm]	786×460×651	724×450×578
	구동원 [mm]	컴프레서 300×500×800	유압펌프 100×100×200
	탱크 [ℓ]	공기탱크 100	오일탱크 7
경량화	장치중량 [kgf/량]	790	280
고속화	상승시간 [s]	1.5	0.2

유압제동장치의 경우, 제동제어를 위한 기본적인 전장 장비와 유압작동유의 질량을 제외하면 압축이나 증압에 대해 별도의 장비를 필요로 하지 않으므로, 열차경량화 면에서도 유압제동장치가 우위에 있다. 뿐만 아니라, 비교 대상에 포함되지 않은 제동지령관로, 증압기, 제습기, 공압축정용 스프링 등의 체적과 중량을 고려하면, 유압제동장치의 체적 및 중량비 효율성은 상대적으로 우수하다고 사료된다.

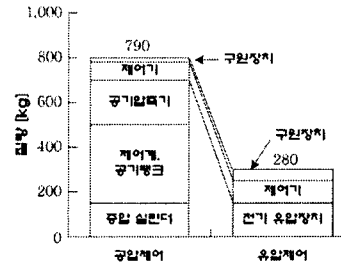
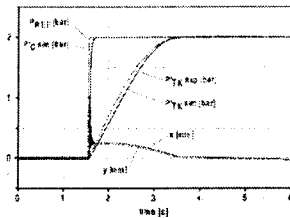


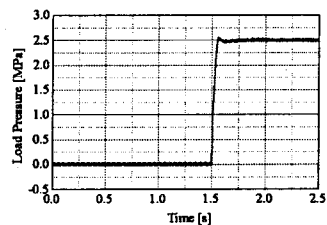
그림 2. 공기제동장치와 유압제동장치의 질량비교

나. 응답 성능

유압제동장치는 공기압제동장치에 비해 상대적으로 빠른 응답속도를 가지고 있다. 이것은 제동력의 체결속도와 완해속도, 그리고 제어속도에 큰 영향을 미치게 되는데, 제동의 체결속도는 제동거리의 단축 및 제동시간 감소 등 승객의 안전에 직결된 중요한 요소이고, 제어속도는 제동의 효율성에 관계된 문제이다. 특히 제동력의 제어속도는 슬립제어, Anti-Slip제어, 옹하중/저크제어 등 제동의 효율성과 승객의 승차감에 직결되는 요소이다.



a) 공기제동장치(상)



b) 유압제동장치

그림 3. 제동실린더의 응답성능 비교

그림3은 단위입력에 대한 공기압과 유압 제동실린더의 응답특성을 나타낸 것이다. 공기압제동장치의 경우 제동실린더의 정상상태로의 도달시간이 약 2초 정도 소요되지만, 유압제동장치의 경우 약 0.2초 정도의 상승시간을 가진 후 정상상태로 도달함을 알 수 있다. 그림4는 제동체결과 제동완해시의 시정수와 무응답시간에 대한 실험결과를 나타낸 것이다. 유압제동장치의 응답시간이 공기압제동장치의 응답시간보다 약 10배 정도의 빠른 결과를 보여주고 있으며, 이것은 제동장치의 성능과 안전성에 있어서 유압제동장치의 우수성을 잘 보여주고 있다.

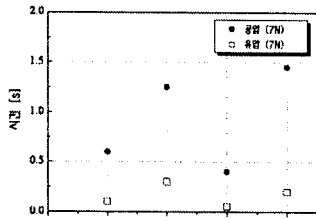


그림4. 무응답시간과 시정수 성능 비교

다. 제어 성능

그림5는 전기유압 제동시스템의 주 동작압력인 0~7[MPa]의 영역에서의 제동 지령치(전류값)에 대한 브레이크 실린더의 제동시와 완해시의 출력압력을 측정 한 결과를 나타낸 것이다. 제동제어장치에서 부여되는 제동 지령치에 대해 최종 제동장치의 제동력이 선형적으로 증가하고, 또한 제동완해시 브레이크 실린더의 압력이 선형적으로 감소하는 것을 알 수 있다. 이것은 최적제동을 위해 슬립률의 최대치를 추종해가는 서보시스템의 구성과 블렌딩 및 저크제어시 최상의 승차감을 부여할 수 있도록 제동력을 조절하는데 있어서 만족할 만한 제어성능을 기대할 수 있다.

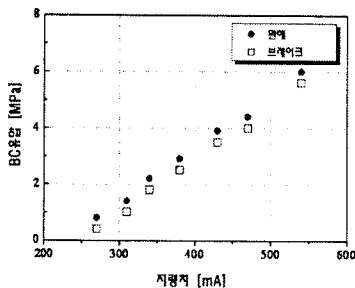


그림5. 유압제동장치의 선형성

5. 결 론

이상과 같은 객관적 데이터를 근거로 유압제동시스템의 성능과 응답특성 및 체적대 효율이 기존의 공압식 제동시스템에 비해 현저히 앞선다는 것을 알 수 있었다. 그러나 현재 국내 철도 차량의 경우 유압식 제동장치를 적용한 사례는 전무한 실정이다. 따라서 유압제동시스템의 채용 또는 시험차 적용을 한 일본의 사례를 중심으로 제동시스템의 특성을 검토하였다.

가. 유압식 제동시스템의 장점

- 적용 실적 : 일본의 경우 1955년부터 적용 검토
- 도시형 철도차량에 맞는 제동기기의 소형화에 적합
 - : 편의시설 및 실내공간의 면적 증대 및 차량경량화를 통한 선로영향과 진동문제 우위

- 높은 제동력을 얻기 위한 고출력/효율성 평가 우위.
 - : 제동거리의 단축을 통한 긴급상황시 안정성 확보
- 뛰어난 제어성능을 위한 빠른 응답특성 보유
 - : 빠른 응답특성과 제어성능으로 제동시 승차감 향상 및 활주제어/옹하중제어의 성능 증대.
- 기존 제동 시스템의 높은 유지보수 비용을 절감
 - : 배관 노후화 공기누설 및 압력 저하 제동력 저하, 제습 및 먼지 제거 장치 불필요

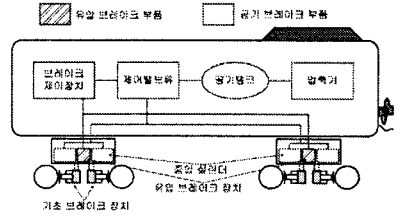


그림 6. 유압제동시스템의 구성도

향후 유압제동장치의 문제점으로 다음과 같은 사항이 검토되어야 할 것이다.

- 유압컴폰트에서 발생하는 누유처리 여부 문제점
- 유압장비내 작동유로 인한 화재발생 및 확산 가능성
- Fail-safe 방식 및 작동유의 청정도 유지 문제
- 공기제동에 비해 상대적으로 높은 초기/설비 비용

[참 고 문 헌]

- [1] Tomoki Watanabe and Michihiro Yamashita, "Basic study of anti-slip control without speed sensor for multiple motor drive of electric railway vehicles," Proceedings of the Power Conversion Conference, Vol. 3, April, 2002, p p. 1026~1032.
- [2] Satoshi, Kadowaki, Kiyoshi, Ohishi, Shinobu Yasukawa, Takashi Sano., "Anti-skid Re-adhesion control Based on Disturbance observer considering Air brake for electric commuter train," Advanced Motion Control, 2004. The 8th IEEE International Workshop Advanced Motion Control, March, 2004, pp. 607 ~ 612.
- [3] Shirai, S., "Adhesion Phenomena at High-Speed Range and Performance of an Improved Slip-detecter," Quarterly Reports, Railway Technical Research Institute, Vol. 18, No. 4, 1977, pp. 189~190.
- [5] 가네코 도시오, 차량 브레이크 장치에 관한 연구, 기논(제 1 부), 44 -379, (1978), 907-915.
- [6] 가네코 도시오, 위치식 압력 제어 서보밸브에 관한 연구, 기논, 45 -389, C (1979), 57-65.
- [7] 우찌다 세이코·E쿠마가야 노리미치, 철도 차량용 유압 제동장치의 개발, 철도 총연 보고, 12 -1, (1998), 1-6.
- [8] 하세가와 泉, 철도 차량용 브레이크 장치의 역사와 급후, 철도 총연 보고, 14 -5, (2000), 1-5.