

고무차륜 AGT 경량전철용 제동장치의 개발

박성혁*, 김연수(한국철도기술연구원)

Development of the Braking Equipments for a Rubber-Tired AGT Light Rail Vehicle

S. H. Park(KRRI) and Y. S. Kim(KRRI)

ABSTRACT

Based on the design requirements for the rubber-tired AGT light rail vehicle, the braking system was designed. Its major components are a brake operating unit, a pneumatic-hydraulic transfer, screw compressor, oil separator, air dryer, hydraulic caliper. After the components of braking system were manufactured, some factory tests were executed to evaluate their performances. The Results of these tests can guarantee a performance, safety of the braking system developed.

Key Words : Rubber-tired AGT(고무차륜형식 AGT), Light rail transit(경량전철), braking(제동장치)

1. 서론

도시철도는 역사상의 거리가 1km 이내로 비교적 짧아 운행 중에 빈번한 차량의 가감속과 정차가 이루어지므로 제동장치의 신뢰성이 매우 중요하다. 특히 운영 효율성의 제고를 위해 무인운전으로 운행되는 경량전철의 제동장치는 승객과 시스템의 안전에 직결되는 매우 중요한 역할을 수행한다. 도시철도 차량의 제동장치는 브레이크 디스크와 슈(shoe)의 상호작용에 의한 마찰제동의 역할은 크게 감소하고, 주행 중인 차량의 운동에너지를 전기에너지로 변환(차량의 추진 전동기가 발전기로 전환)시킴으로써 감속시키는 전기제동(또는 회생제동, regenerative braking)의 역할이 증대되었다.

1970년대 서울 지하철 1호선이 개통된 이후 도시철도(중량전철, 지하철)의 제동장치와 관련된 기술개발이 꾸준히 진행되어 설계 및 제작 기술은 상당한 수준에 도달하였다. 그러나 현재 기술개발 과정에 있으며, 국내에서는 운영경험이 전무한 경량전철 분야는 상대적으로 연구개발이 필요한 분야이다.⁽¹⁻³⁾

경량전철의 제동장치는 차량의 소형경량화에 따라 설치 공간이 감소함에 따라 구성품의 크기를 최소화시켜야 하며, 무인운전으로 운행되므로 신뢰성과 내

구성이 기존의 도시철도보다 더욱더 요구된다. 또한 기존 국내 도시철도의 마찰제동은 공기압을 사용하였으나, 고무차륜 AGT 차량은 설치공간의 문제로 인해 공압변환기를 이용하여 공기압을 유압으로 변환시키는 구조를 갖는다. 또한 제동작용이 실패했거나 제동배관의 파손 등 비상상황이 발생한 경우 기존 도시철도의 경우 운전사가 수동으로 보안제동을 작용시키지만, 경량전철의 경우 이러한 상황을 자동으로 검지하고 보안제동이 작용되어야 한다.⁽⁴⁾

본 논문에서는 고무차륜 AGT 차량의 제동성능을 만족하고, 대차(bogie)의 설치공간을 고려하여 제동장치의 주요 구성품을 개발하여 설계, 제작하였다. 또한 각각의 개발품에 대한 시험평가를 수행하여 설계 요구사항의 만족도를 확인하였다.

2. 설계 요구사항

2.1 일반사항

고무차륜 AGT 경량전철 차량의 제동장치 설계요구사항은 도시철도 차량 표준사항을 준용하였으며, 일반사항을 요약하면 다음과 같다.^(4,6)

제동장치는 상용제동, 비상제동, 보안제동, 주차제동 및 정차제동 기능을 갖도록 한다. 또한 회생제동 병용 아날로그 전기지령, 전기연산식 공기제동으로 하며, 신뢰성 및 안전성이 우수하고 응답이 빠르며 정밀한 제어가 되어야 한다. 전기제동이 주가 되고 부족분을 공기제동이 보충하는 방식으로 하며, 전기제동의 고장 또는 실패의 경우에도 공기제동으로 자동 전환되어 요구제동력을 만족시켜야 한다. 공기제동은 저크제한(Jerk Limitation)기능을 가지며 승차감 향상을 위한 저소음, 저진동의 구조이어야 한다. 제동 작용은 차량 중량에 비례한 제동력이 유지될 수 있도록 응하중 제어기능을 가져야 하며, 응하중 장치의 파손 및 고장 시에도 가·감속은 공차보다 작거나 만차보다 크지 않도록 한다. 공기제동 장치의 모든 기기 및 부품은 유지 보수성의 향상을 위하여 최대한 동일할 내에 설치하도록 하며, 경제적인 시스템이어야 한다.

2.2 제동유형별 제어방식

상용제동, 비상제동, 보안제동, 주차 및 정차제동 등 제동의 유형별 제어방식과 가능한 운전모드는 Table 1과 같다. 수동운전에서는 5가지 제동모드가 모두 가능해야 하며, 무인운전에서는 주차제동을 제외한 4가지 제동모드가 가능해야 한다.

Table 1 Braking mode and control of light rail vehicle

	braking Force	control mode	
		jerk control	load compensating
normal braking	regenerative, pneumatic	○	○
emergency braking	pneumatic	-	○
security braking	pneumatic	-	-
parking braking	apply by spring, release by pneumatic	-	-
stationary braking	pneumatic	-	○

2.3 제동유형별 주요기능

1) 상용제동(normal braking)

상용제동은 운전자에 의한 수동운전 또는 차상신호장치에 의한 무인운전 모드에서 전기제동과 공기제동이 작용하며, 전기제동이 최대가 되도록 연속적으로 병용되어 작용되어야 한다.

2) 비상제동(emergency braking)

비상제동은 차상신호장치의 비상제동 지령, 주간

제어기의 비상제동 지령(수동운전), 열차의 분리, 주공기통의 과도한 압력 부족, 비상제동 스위치 조작, 제동력 부족감지, 기타 비상제동 제어회로의 이상 발생 시에 순수 공기제동으로만 작용된다.

3) 보안제동(security braking)

보안제동은 상용 및 비상제동과 독립된 제어개통을 가져야 하며, 상용 또는 비상 제동력 부족시 자동으로 체결되어야 한다. 또한 다른 제동의 체결상태에서도 중복작용이 가능하여야 한다.

4) 정차제동(stationary braking)

차량의 정차시 확실한 정지 제동력 유지 및 원활한 구배기동이 가능하도록 정차제동 기능을 갖도록 하며, 정차제동력은 최대하중 상태로 노선 최대구배에서 정지상태를 유지할 수 있어야 한다. 또한 차량의 정지상태, 승객용 출입문이 열렸을 때는 자동으로 정차제동이 체결되도록 하고, 차량에 역행신호가 입력되면 자동으로 완해되어야 한다.

5) 주차제동(parking braking)

스프링 작용식, 공기압 완해방식으로서 운전대에 설치되어 있는 전자밸브를 작동시키거나 주공기통 압력공기를 완전 배기시키면 체결되도록 한다. 주차제동 체결상태로 주행하는 사고를 예방하기 위해 역행회로와 인터록킹(Interlocking)되도록 한다.

2.4 주공기압축기

제동에 필요한 공기압을 생성하는 주공기압축기는 스크류 압축기⁷⁾로 한다. 동일 열차편성내의 주공기압축기 용량은 압축기 1대가 고장 시에도 정상운행이 가능하도록 한다.

3. 설계 및 제작

3.1 시스템 구성

개발된 제동장치는 무인운전에 적합한 고응답, 고성능의 마이크로 프로세서 제어, 아날로그 전기지령식으로서 안전성을 충분히 고려하여 설계 제작하였다. 또한 각 구성품들은 차량진동, 외부조건 및 차량수명을 고려하여 충분한 내구성을 갖도록 설계하였고, 유지보수가 용이하도록 구성하였다.

3.2 제동작용장치

제동작용장치는 제동력을 작용시키는 장치로서 상용제동, 비상제동, 보안제동의 체결 또는 완해 시 공유압변환기에 공기를 충전시키거나, 배기시키도록 제어한다. 제동작용장치는 제동전자제어유니트, 전공변환중계밸브, 응하중밸브, 강제완해밸브, 테스트 피팅류, 보안제동용 압력조절밸브, 보안제동체결용 전자밸브, 복식체크밸브, Cut-Out 록크로 구성된다. Fig. 1은 개발된 제동제어장치를 보여준다.

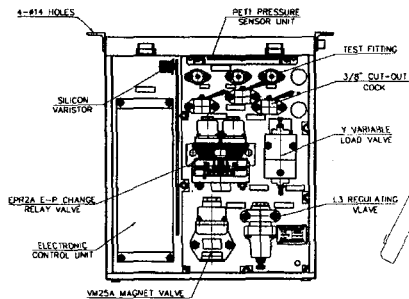


Fig. 1 Assembly drawing of brake operation unit

3.3 공유압변환기

제동장치의 소형 경량화를 위해 공기압을 증폭시켜 유압으로 변화시키는 공유압 변환기가 사용되며, Fig. 2는 개발된 공유압변환기를 보여준다.

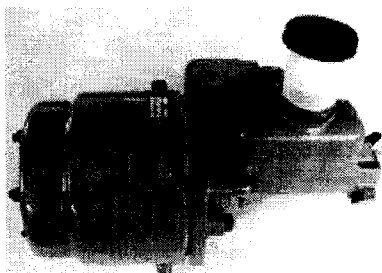


Fig. 2 Photograph of pneumatic-hydraulic transfer

3.4 스크류압축기

스크류식 공기압축기는 차량에 설치되어 열악한 환경에서도 안정적으로 충분한 양의 압축공기를 생성할 수 있도록 설계되었다. 스크류 공기 압축기는 크게 구동전동기와 에어엔드 유니트로 구성되며, 이들은 플렉시블 커플링으로 연결된다. Fig. 3은 개발된 스크류식 공기압축기를 보여준다.

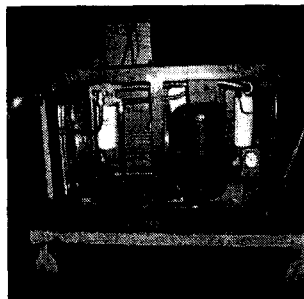
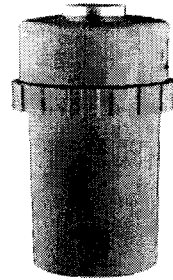


Fig. 3 Photograph of screw compressor

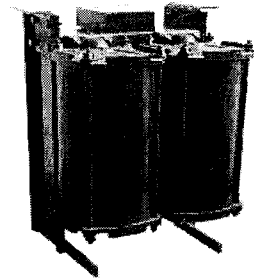
3.5 기타 구성품

공기압축기에서 압축된 공기는 유분리기를 통과함으로써 윤활유가 제거되고, 공기건조기를 통해 압

축공기 내의 습기가 제거된다. 이렇게 생성된 압축 공기는 제동작용장치에 의해 공유압변환기에 전달되고, 유압으로 변환 및 증폭된 후 캘리퍼에 제동압력을 제공한다. Fig. 4, 5는 각각 개발된 유분리기, 공기건조기, 유압캘리퍼를 보여준다.



(a) oil separator



(b) air dryer

Fig. 4 Photograph of oil separator and air dryer

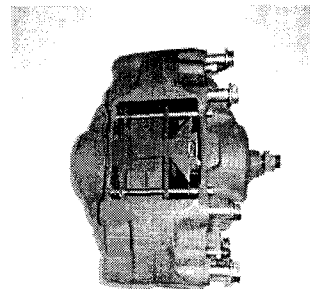


Fig. 5 Photograph of hydraulic caliper

4. 시험평가

4.1 제동작용장치 성능시험

제동작용장치는 누설검사와 성능시험이 수행되었다. 누설검사는 공기제동장치에 비상제동을 작용시킨 후 거품의 발생 유무를 확인하였다. 성능시험은 상용제동시험, 비상제동시험, 보안제동시험, 제동불완해시험, 제동부족시험, 질연저항시험, 질연내압시험 등이 수행되었다. 시험결과는 모두 설계요구사항과 요구성능을 만족하였다.

4.2 공유압변환기 성능시험

공유압변환기는 누설시험과 출력 성능시험이 수행되었다. 누설시험은 공기압 490kPa (5.0kgf/cm²)을 공급하여 1분간 누설의 유무를 확인하였다. 출력 성능시험은 공기압 50kPa(0.5kgf/cm²)이 6.1kgf/cm²의 유압으로 증폭되는지를 시험하였다. Fig. 6은 사용된 시험장치를 보여주며, 시험결과는 모두 설계기준을 만족하였다.

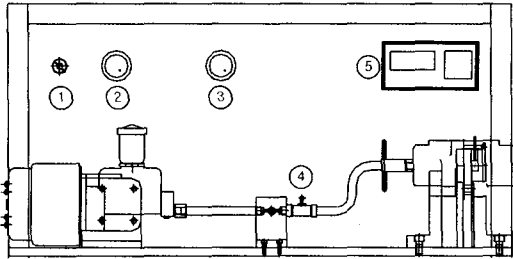


Fig. 6 Test equipment for pneumatic-hydraulic transfer

4.3 스크류압축기의 성능시험

스크류압축기의 성능시험으로는 회전방향시험, 회전속도시험, 오일온도시험, 토출공기온도시험, 토출공기량 시험, 토출부 역지밸브 시험, 오일 순환 시험, 배기전자밸브시험, 온도 스위치 시험, 흡입밸브 시험, 누기 및 누유시험, 안전밸브 시험, 오일 함유량 시험, 씨비스 인디케이터 (진공표시기) 작동시험, 체크밸브 기능시험, 중량측정이 수행되었다. Fig. 7은 공기압축기의 성능시험에 사용된 장치이며, 시험결과는 모두 설계기준을 만족하였다.

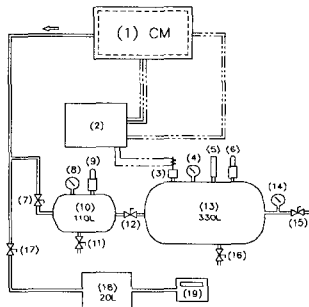


Fig. 7 Test equipment for screw compressor

3.5 기타 구성품 시험

공기건조기는 공기누설시험, 절연저항시험, 내전압시험, 제습능력시험이 수행되었다. Fig. 8은 공기건조기의 성능시험에 사용된 장치이며, 시험결과는 모두 설계기준을 만족하였다.

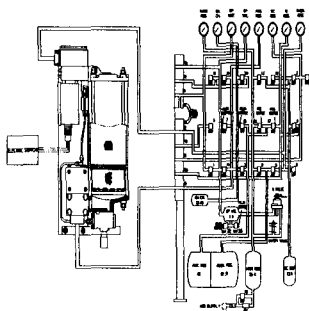


Fig. 8 Test equipment for air dryer

유압캘리퍼는 누설시험, 출력 성능시험이 수행되었고, 출력성능은 유압 9.8MPa(100.0kgf/cm²)을 출력시켜 20초 후 제동 출력을 측정하였다. 시험결과 모두 설계기준을 만족하였다.

5. 결론

고무차륜 AGT 경량전철 제동장치의 주요 구성품인 제동작용장치, 공유압변환기, 스크류압축기, 유분리기, 공기건조기, 유압캘리퍼를 개발하였다. 또한 각 구성품에 대한 성능시험 항목, 시험방법 및 절차를 정의한 후 성능시험을 수행한 결과 설계요구사항인 도시철도 표준사양을 모두 만족하였다. 따라서 본 연구를 통해 개발된 제동장치 구성품은 고무차륜 AGT 차량에 사용 가능하다.

후기

건설교통부의 지원으로 한국철도기술연구원이 주관하는 경량전철 기술개발사업으로 수행되었으며, (주)우진산전 관계자에게 감사 드립니다.

참고문헌

1. 한국철도기술연구원, "전동차 표준사양 연구(분야 : 제동장치)," 1997.
2. 우진산전, "경량전철시스템 기술개발사업 1차년도 결과보고서(분야 : 차량시스템)," 1999.
3. 우진산전, "경량전철시스템 기술개발사업 2차년도 결과보고서(분야 : 차량시스템)," 2000.
4. 건설교통부, "도시철도 차량 표준사양," 1998.
5. 우진산전, "경량전철시스템 기술개발사업 3차년도 결과보고서(분야 : 차량시스템)," 2001.
6. 우진산전, "경량전철시스템 기술개발사업 4차년도 결과보고서(분야 : 차량시스템)," 2002.
7. 김연수, 최부희, 박재민, 최상훈, "권선각 변화에 따른 스크류압축기의 대칭형 로터용 가공 시뮬레이션 프로그램," 대한기계학회 논문집(A), Vol. 26, No. 6, pp. 1026-1034, 2002.