

## 선형유도모터형식 경전철 전기장치 표준사양 연구

조홍식 이호용 조봉관 홍재성 류상환  
한국철도기술연구원

### Study on the Standard Specification of Linear Induction Motor Type Light Rail Vehicle Electrical Equipment

Hong-Shik Cho Ho-Yong Lee Bong-Kwan Cho Jai-Sung Hong Sang-Whan Ryu  
Korea Railroad Research Institute

**Abstract** - Light Rail Transit (LRT) System is an urban transit system which has approximately an intermediate transportation capacity between conventional subway and bus (5,000~25,000 persons per hour and per direction). It is a high-tech system which operational capacity, punctuality and mobility are remarkably improved. There are some types of LRT systems such as monorail, tramway, AGT(Automated Guideway Transit), and so on. The LRT systems have been applied and being operated in about a hundred lines around the world and many projects that apply the LRT systems in Korea are being proceeded and scheduled.

For the efficient management, economical construction, and safe operation of various LRT systems, the establishment of national standard is necessary such as vehicle standardized specification, vehicle performance test standard, vehicle safety standard, construction guide, operation regulation, etc. of LRT systems. This paper presents the standard specification of electrical equipment of linear induction motor type light rail vehicle, that is LIM AGT(AGT system propelled with linear induction motor) vehicle. The LIM AGT system has been applied in Japan subway and ART(Advanced Rapid Transit) system of Canada and Yongin LRT is currently under construction.

#### 1. 서 론

현재 도시의 대중교통은 기존의 지하철(중전철) 중심에서 수송용량과 정시성, 신속성 및 안전성을 높일 수 있는 새로운 개념의 교통시스템인 경전철(LRT: Light Rail Transit)로 전환되고 있다.

경전철이란 기존 지하철과 버스의 중간 규모의 수송능력(시간·방향당 5,000~25,000명)을 가지는 첨단 궤도교통 시스템을 말하며 수송수요와 경제성이 부족한 대도시 지선 노선이나 중소도시의 간선 노선, 관광 및 공항 등의 셔틀(Shuttle) 수단으로 적합한 시스템이다. 1980년대 이후 본격적으로 실용화되어 미국, 일본, 독일, 프랑스 등 세계 20여개 국가에서 100여개의 노선이 건설·운영 중에 있으며 국내에서도 기존 지하철의 특성을 유지하면서 건설비가 저렴하고 신도시개발에 환경친화적인 교통수단으로 적합한 경전철에 대한 관심이 크게 대두되어 많은 지방자치단체에서 그 도입을 서두르고 있다.

일본 등 교통선진국에서는 수요자의 요구에 맞게 다양한 경전철 시스템이 개발 운영되고 있으며, 국내에서도 관련 지자체의 수요와 지리적 특성을 고려한 다양한 경전철 시스템의 도입이 예상되고 있다. 현재 전 세계적으로 운행되고 있는 경전철 시스템의 종류로는 고무차륜 형식 AGT(Automated Guideway Transit), 철제차륜 형식 AGT, LIM(Linear Induction Motor) 형식 AGT, 모노레일(Monorail), 노면전철(Tramway), 자기부상열차(Maglev), 가이드웨이 버스(Guideway Bus) 등 다양한 시스템이 있다. 따라서 다양한 경전철 시스템에 대한 효율적인 운영, 경제적인 건설 및 안전을 위해서는 국가적인 표준화 체계의 수립이 필요하다. 현재 많은 국내 지자체들이 경전철을 건설 또는 사업 추진 중에 있어 다양한 경전철 시스템에 대한 국가 표준화 기준을 조속히 마련할 필요가 있다. 이에 건설교통부에서는 한국철도기술연구원을 주관연구기관으로 하여 "경량전철시스템 실용화사업"을 추진하고 있으며, "경량전철 표준화기준 연구"를 통하여 고무차륜 형식 경전철, 철제차륜 형식 경전철, 선형유도모터 형식 경전철, 모노레일, 노면전철 등의 경전철 시스템에 대한 차량 표준사양, 차량 성능시험기준, 차량 안전 기준, 건설지침, 운전규칙 등의 국가 표준화 기준을 마련할 계획이다. 이 중 고무차륜 형식 및 철제차륜 형식 경전철에 대한 표준사양은 1998년에 이미 고시되었으며[1], 기술발전 추세에 따라 고무차륜 형식 경전철에 대한 표준사양은 2005년에 개정고시된 바 있다[2].

본 논문에서는 국내에서 건설 중인 또는 건설 예정인 선형유도모터

(LIM: Linear Induction Motor) 형식 경전철의 표준사양에 대한 연구를 다루었다. 선형유도모터는 전기철도에 일반적으로 적용되는 회전형 모터(rotary motor)와 다르게 고정자(stator)가 차량(carbody) 편에 장착되고 회전자(rotor)가 선로(rail) 편에 리액션 플레이트 형태로 설치되어 상호흡인력에 의해 차량이 구동되는 방식이다.

선형유도모터 형식 경전철의 장점으로 다음과 같은 사항들이 있다.

- 1) 비접촉 구동방식으로 급구배 등판능력이 우수하고(6%), 기후적인 영향이 상대적으로 적음.
- 2) 차량의 저상화가 가능하여 터널 단면적을 감소시켜 건설비를 절감함.
- 3) 자기조향 대차의 적용으로 곡선부 주행시 소음 저감
- 4) 기어박스 및 구동부가 없어 경량화 및 유지보수성 증대
- 5) 비접촉으로 구동이 되어 차륜 수명 증대

선형유도모터 형식 경전철은 일본의 동경 12호선, 오사카 7호선, 후쿠오카 지하철 등 캐나다의 ART (Advanced Rapid Transit) 시스템 등에 적용되어온 시스템으로서 국내의 경우 용인시에서 캐나다 ART 시스템과 동일 시스템을 채택하여 건설 중에 있다.

현재 국내 실정에 맞는 선형유도모터 형식 경전철 시스템을 구축하기 위해서 차량 일반(system general), 차량 성능규격(performance), 차체(carbody), 대차(bogie), 전기장치(electrical equipment), 제동장치(braking equipment) 등에 대한 연구가 진행 중에 있으며 본 논문에서는 전기장치에 대한 내용 및 기술적인 근거를 다루었다.

#### 2. 본 론

##### 2.1 선형유도모터형식 경전철 전기장치

경전철의 전기장치는 크게 고전압장치(집전기, 주회로 보호장치, 필터 리액터), 추진제어장치, 보조전원장치, 종합제어장치, 자동열차제어장치, 승객정보장치, 기타전기장치 등으로 구성된다.

고전압장치는 전기에너지를 제3레조로부터 집전하는 집전장치, 주회로의 과전류 및 과전압으로부터 인버터 등을 보호하는 주회로 보호장치, 전압변동을 최소화시키는 필터리액터 등으로 나눌 수 있다. 또한 추진제어장치는 인버터와 견인전동기(선형유도모터로 구성되며 전기에너지를 기계에너지로 변환하여 견인력을 발생시키는 장치이다. 보조전원장치는 견인전동기 이외의 전기에너지를 사용하는 전기부하에 전기에너지를 공급하는 장치로 인버터 및 변압기, 충전기, 축전지로 구성된다. 종합제어장치는 차량의 주요 장치들의 동작상태 감시기능과 검수지원기능을 수행한다. 자동열차제어장치는 안전하게 무인운전을 구현하는 제어장치로서 안전을 보장하는 자동열차방호장치와 운전자를 대신하여 역행, 제동, 출입문제어 등을 수행하는 자동열차운전장치로 구성된다. 승객정보장치는 승객안내장치, 방송장치, 비상연락장치, 열차무선장치로 구성되고 승객에게 열차운행안내, 안전예방 및 비상시 각종 공지사항 전달, 비상시 통화기능 등을 제공한다. 기타 전기장치는 위에서 언급된 전기장치를 제외한 경량전철 차량의 전기장치를 의미한다.

본 논문에서는 이 중 선형유도모터 형식 경전철의 특성을 규정짓는 주요 전기장치인 선형유도모터의 공극 및 장착사양, 집전방식의 표준사양에 대하여 제시한다.

##### 2.2 선형유도모터 공극

선형유도모터와 리액션 플레이트 사이의 공극이 커지면, 자화전류가 증가하고, 역률이 나빠지므로 기계적인 조건이 허용하는 한도 내에서 작을수록 좋으나, 너무 작은 공극은 커다란 흡인력을 발생하여 기기의 효율을 감소시키며, 단부효과가 커진다.

차량추진용 선형유도모터의 공극은 5~15 [mm] 정도이며, 기계적 공극에 대한 극간격의 비( $\tau/g$ )는 20~25 범위로 두고 설계한다. 따라서 기계적 공극이 설정되면, 단부효과를 감소시키기 위한 모터의 극 간격 및 극수를 선정할 수 있다.

일본 지하철 협회의 리니어모터 구동 지하철의 표준사양에 관한 연구 [3]에 의하면 선형유도모터의 공극에 관한 특성은 다음과 같다. 차량 기 및 운전 속도에 따라서 다르나, 공극이 5[mm]에서 10[mm]로 증가하면, 5[mm] 대비 추진력이 약 6[%] 감소하고, 공극이 10[mm]에서 15[mm]로 증가하면, 10[mm] 대비 추진력이 약 10[%] 감소한다.

대차프레임장가방식의 표준공극의 예에 대해서는 오사카시 고속전기 궤도[리니어모터 지하철 건설기록 1993년 4월]에 아래와 같이 보고되어 있다.



그림 1. 선형유도모터와 리액션플레이트

표준공극 12mm는 주로 주행 중의 공극 확보라는 관점에서 설정되어 있어 현재 영업 중인 도쿄도 12호선에서도 표준공극으로 하여 12mm가 채용되어 있다.

표 1. 공극 변동 요인의 일례

공극 변동 요인	치 수
LIM, 취부 오차에 의한 공극 감소	1.0 mm
LIM, 지지계 및 만차 하중에 의한 휨	3.0 mm
보수 회귀까지의 차륜 마모	1.0 mm
공극 여유	3.0 mm
RP 취부 오차에 의한 공극 감소	1.5 mm
RP의 휨	1.0 mm
레일 가라앉음, 레일 조인트 움푹 패임	1.5 mm
보수 회귀까지의 레일 마모	1.0 mm
합 계	13 mm

LIM : 선형유도모터      RP : 리액션 플레이트

대차프레임장가방식에서는 선형유도모터 흡인력에 의한 축 스프링의 휨이 1mm가 되도록 정수를 선정하여 만차 시 표준공극을 12mm로 하고 있다. 공극을 작게 하면 리니어모터의 효율, 역률이 개선되어 추진력을 증가시키는 것이 가능하다. 리액션 플레이트 두께는 두껍게 하는 것이 효율이 좋으나 너무 두껍게 하면 전기적 공극의 길이가 늘어나 역률이 낮아지며 운행 구간을 모두 건설해야 하기 때문에 공사비가 증가하게 된다.

### 2.3 선형유도모터 장착 사양

차량의 자중을 결정하기 위해서는 선형유도모터의 무게 산정이 중요하다.

용인경전철의 경우 선형유도모터의 용량은 135 kW/개 이며 무게는 약 702 kg/개 이다. 랜 2개에 의한 강제냉각방식을 채택하고 있어 전류 밀도를 높게 산정하여 무게를 줄일 수 있는 장점을 가지고 있다. 또한 고정자와 회전자의 공극을 10 mm 이내로 설계목표를 두어 그만큼 효율이 좋은 점도 모터의 무게를 줄일 수 있는 요인이 되었다. 대차의 무게는 모터 무게를 포함하여 약 4 ton/개 이며 모터의 무게가 액셀에 부담하게 되는 방식 인보드 장착 방식을 채택하였다.

일본 리니어모터 구동 전동차의 경우 자연냉각방식을 채택하고 있으며 100 kW 급 모터의 경우 무게가 약 1.3 ton으로 용인경전철의 경우보다 상당히 크다. 또한 중량이 큰 자연냉각방식을 채택하고 있기 때문에 대차의 무게도 모터 무게를 포함하여 약 5.5 ton/개로 되어있다. 대차 장착은 대차프레임에 모터를 장착하는 대차프레임장가방식이다.

본 표준사양에서는 가장 무거운 경우를 고려하여 선형유도전동기의 무게를 약 1.3 ton으로 산정하였으며 이에 따라 대차의 무게도 5.5 ton으로 산정하여 공차하중으로 23.5 ton을 결정하였다. 장착방식 및 냉각 방식에 대해서는 각 방식이 각각의 장·단점을 갖고 있기 때문에 따로 정의하지 않았다.

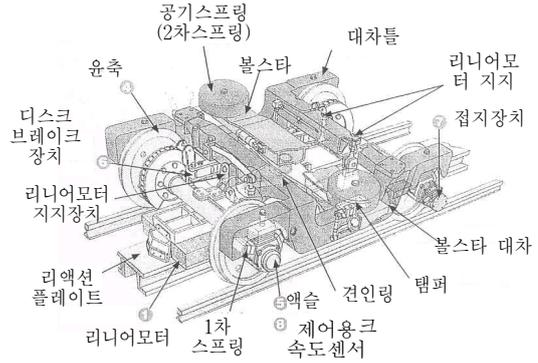


그림 2. 선형유도모터가 장착된 대차 형상

### 2.4 집전방식

경전철의 제3궤조 집전방식으로는 수평집전방식과 측면·하방향 집전방식, 측면·상방향 집전방식이 있다.

수평집전방식은 차량의 집전자가 도체의 측면을 습동하는 방식으로 제3궤조 지지에 별도의 시설물이 요구되며 급전선이 2선 이상일 경우 적합하기 때문에 고무차륜 형식 경전철에 적용된다. 측면·하방향 집전방식은 차량의 집전자가 도체의 상부면을 습동하는 방식으로 통전용량이 많으며, 제3궤조와 차량의 주행레일을 동일면에 설치 가능하나 인명의 감전방지 대책이 요구되는 등 안전성이 낮은 단점을 갖고 있는데, 주로 중전철에 적용된다. 측면·상방향 집전방식은 차량의 집전자가 도체의 하부면을 습동하는 방식으로 통전용량이 작고 제3궤조 지지에 별도의 시설물이 요구되거나 제3궤조의 상부에 절연물 설치가 가능하므로 안전성이 높고 눈·비 등의 기후 환경에 유리하다.

따라서 본 사양에서는 선형유도모터형식 경전철의 집전방식으로 측면·상방향 집전방식을 채택하였다.

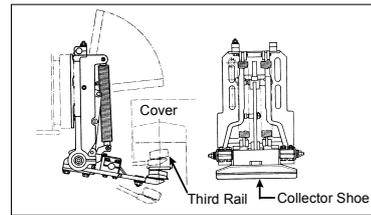


그림 3. 측면·상방향 집전방식

## 3. 결 론

국내에서는 지방자치단체 별로 고무차륜 형식 AGT, 철계차륜 형식 AGT, LIM 형식 AGT, 모노레일, 노면전차, 자기부상열차 등 다양한 경전철 시스템의 도입을 계획하고 있어 이에 대한 차량 표준사양, 성능시험기준, 안전기준, 건설지침, 운전규칙 등에 대한 연구가 진행 중에 있다.

본 논문에서는 선형유도모터 형식 경전철 차량 표준사양의 전기장치에 대한 일부 연구 사항을 제시하였다. 이외에 차량 성능규격 및 대차, 차체, 제동장치 등에 대한 연구가 진행되고 있으며, 이를 바탕으로 “선형유도모터 형식 경전철 표준사양(안)”을 작성하여 일반사항 및 기술사항에 대해 각 지방자치단체, 도시철도 운영기관, 시스템 제작사 등의 의견을 수렴한 뒤 공청회 개최를 통하여 다시 한번 의견수렴 과정을 거친 후 건설교통부의 차량위원회의 의결을 거쳐 고시하게 될 예정이다.

많은 장점을 가진 선형유도모터 형식 경전철 차량에 대해 국가 기준으로 표준사양을 정하여 운영의 효율화 및 유지보수효과 증대 등을 유도하는 것은 매우 중요하다고 하겠다. 향후 표준사양을 근거로 보다 확실한 국내 표준이 되는 선형유도모터 형식 경전철을 개발하는 연구가 진행되어야 할 것이다.

### [참 고 문 헌]

- [1] 한국철도기술연구원, “경전철 표준화 연구 결과보고서(분야: 경전철 표준사양 연구 및 시스템엔지니어링 기술개발)”, 1997.
- [2] 한국철도기술연구원, “경량전철 종합시스템엔지니어링 기술개발” 연구보고서, 2005.
- [3] 일본지하철협회, “리니어모터 구동 지하철 전차용 주요부품 표준사양 검토위원회 보고서”, 1996.
- [4] 용인경전철주식회사, “용인경전철 차량 및 시스템 사양서”, 2002.
- [5] 홍제성 외, “선형유도모터형 경량전철 표준사양 연구”, 2007 건설교통 R&D 성과포럼 논문집, 2007.