

중저속 자기부상열차에 적용 가능한 급전레일에 대한 검토

A study on the power rail be of application to MAGLEV with middle-low speed

안영훈*

Ahn, Young-Hoon

노성찬**

Hyun Chung-II

강승욱*

Kang, Seung-wook

현충일***

Hyun Chung-II

ABSTRACT

MAGLEV(Magnetic Levitation) with Middle-low speed be classified as a kind of LRT(Light Rail Transit) in KOREA. Also this vehicle has adopted LIM propulsion method. The MAGLEV has adopted LIM type in operational or developing model in the world. The power rail of LIM is very similar with the 3th rail of LRT in the functional property but the structure and shape of power rail is different with that. WE have to search the optimal power rail system for Korean MAGLEV vehicle. In this paper, we suggest the conceptual design and direction of design for power rail of Korean MAGLEV developing.

○ Key word : MAGLEV, LIM(Linear Induction Motor), The 3th rail, Power rail, Collect shoe

1. 서 론

우리나라에서 현재 중대형 전철을 대체하는 신 교통 시스템인 경량전철(LRT; Light Rail Transit)의 한 종류로 중저속 자기부상열차(MAGLEV with Middle-low speed)를 표준화하는 논의가 진행되고 있다.

자기부상열차(MAGLEV; Magnetic Levitation)는 독일에서는 1969년부터 일본에서는 1970년대부터 개발되어 차량에 적용된 선형전동기의 종류에 따라 LIM(Linear Induction Motor)과 LSM(Linear Synchronous Motor) 추진방식이 있으며, 현재 우리나라를 포함하여 세계적으로 상용화 되거나 실용화 추진 중에 있는 중저속 자기부상열차는 대부분 LIM 추진방식을 사용하고 있다. 우리나라에서도 1989년부터 연구가 진행되어 2007년 시범노선(6.1km)을 선정하고 차량개발이 이미 이루어지고 있어 2012년도에는 상업운전을 목표로 하는 사업이 추진 중에 있다.

LIM 추진방식은 경량전철이 전력급전시스템으로 채용하고 있는 제3궤조(The 3th rail) 급전레일과 유사한 급전레일을 전력급전시스템으로 채용하고 있으나, 이 시스템에 대한 국내외 기술자립은 낮은 수준이고 외국의 3궤조를 그대로 적용하기에는 현재 우리나라에서 개발되고 있는 MAGLEV 차량 시스템에는 적합하지 않은 면이 있다. 따라서 국내에서 개발된 중저속 차량의 집전장치(Collect shoe)와 동특성 측면에서 양호한 집전성능을 발휘하면서 전기적, 기계적으로 우수한 급전시스템을 설계하고 제작하여 시공하여야만 실용화사업이 성공적으로 이루어 질 수 있다.

그러므로 본 연구에서는 국내의 경량전철의 전력급전시스템에 대한 기술조사를 바탕으로 국내에서 개발된 중저속 자기부상열차에 적용 가능한 급전레일(Power rail)에 대하여 비교검토하고 실시설계((Practical design) 단계에서 충분히 검토되어야 할 설계에 대한 방향성(Direction of design) 내지는 개념적인 설계(Conceptual design) 기준을 제시하고자 한다.

* 가톨릭상지대학 철도전기과, 정회원

E-mail : ahnknr@korea.com

TEL : (054)851-3246 FAX : (054)855-8246

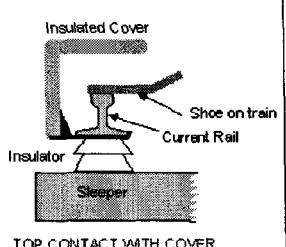
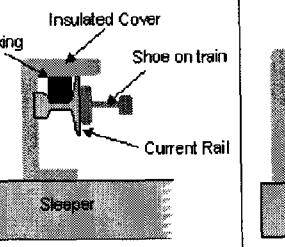
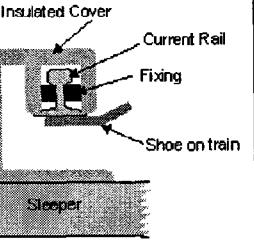
** 한국철도대학 전기제어과, 정회원

*** 삼성메모리연구소 차세대연구2팀, 비회원

2. 제3궤조(The 3th rail) 방식에 적용된 급전레일(Power rail) 검토

3궤조 형태의 급전레일은 경량전철에 많이 적용되고 있으며 이를 사용하는 대표적인 차량 시스템은 고무차륜형 AGT, 철제차륜형 AGT, 철제차륜형 LIM이다. 제3궤조는 접촉방식에 따라 다음과 같이 3종류로 분류할 수 있고, 각각의 특징은 다음의 표1과 같다.

표1. 제3궤조의 종류와 특징

항 목	상면 접촉식	측면 접촉식	하면 접촉식
개 요	차량의 집전자가 도체의 상부면을 습동	차량의 집전자가 도체의 측면을 습동	차량의 집전자가 도체의 하부면을 습동
구 조	 TOP CONTACT WITH COVER	 SIDE CONTACT	 BOTTOM CONTACT
통전 용량	적음	적음	많음
안정성	높음	보통	낮음
설치/유지보수	보통	보통	쉬움
적용 차량	철제차륜에 유리	고무차륜에 유리	철제차륜에 유리
적용 사례	경량 전철에 많음	경량 전철에 많음	중량 전철인 지하철에 많음

우리나라에서 건설교통부의 지원으로 한국철도기술 연구원에서 총괄 주관하여 측방안내형 고무차륜형 AGT 시제차가 개발되어 2004년 9월부터 경산시험선에서 시운전 중에 있으며, 부산3호선의 반송선에 건설되는 것으로 확정되었다. 이 시스템의 제3궤조 구조는 측면 접촉식과 기본적인 구조 및 기능에 있어서는 유사하나 형상에 있어서는 차량의 특성에 맞게 설계되고 시공되었다.

위에서 살펴본 3종류의 제3궤조 방식은 우리나라에서 개발된 저속용 MAGLEV 차량의 급전시스템으로 적용하기에는 다음 절에서 기술하는 MAGLEV 구조상의 문제로 인하여 기술적으로 곤란한 측면이 존재한다. 이러한 방식들은 차량시스템이 모두 가이드웨이 상부에 주행레일 또는 보조레일(철제차륜형 LIM의 경우) 위에서 바퀴를 가지고 주행하며 가이드웨이의 사이드 월 혹은 가이드웨이의 중앙부에 설치된 급전레일(Power rail)로부터 차량의 하부에 설치된 집전슈(Collect shoe)를 통하여 차량내부로 전원을 공급받는 구조를 가지고 있다. 대부분의 3궤조 급전레일의 급전전압은 DC 600~750V이며, 우리나라의 경우 DC750V 방식을 채택하고 있다. 차량의 최고속도는 80~110Km/h 정도이다.

3. 중저속 MAGLEV에 적용 가능한 급전레일(Power rail) 검토

산업자원부 주관으로 개발되어 한국기계연구원내 시험선로 및 국립중앙과학관~엑스포공원간 선로에서 시험이 진행되고 있는 저속용 MAGLEV 차량은 바퀴가 없는 구조로 가이드웨이를 감싼 상태에서 부상과 추진이 이루어지고 부상과 추진을 위한 동력으로 가이드웨이의 하부에 부착된 급전레일(Power rail)로부터 차량의 하부에 설치된 집전슈(Collect shoe)를 통하여 차량내부로 전원을 공급받는 구조를 가진다. 이것은 일본에서 개발되어 2005년 Nagoya 엑스포에 및주어 Tobu-Kyuryo-Line에 상업운영 적용한 HSST-100 모델과 유사한 특성을 가지고 있다. 이 노선에 적용된 HSST-100 차량은 Linimo라는 애칭을 갖고 있다. 우리나라에서 개발한 차량과 일본에서 개발한 차량은 급전전압이 DC 1500V로 동일하다. 차량의 최고

속도는 100~110Km/h정도이다.

그림1은 Linimo의 급전레일의 레이아웃, 거더에 설치된 급전레일의 형태를 보여주고 있다. 급전레일은 구조상 구조물 거더(Girder)의 하부 양 측면에 정급전선(Positive Trolley)과 부급전선(Negative Trolley)이 각각 붙어 있다.

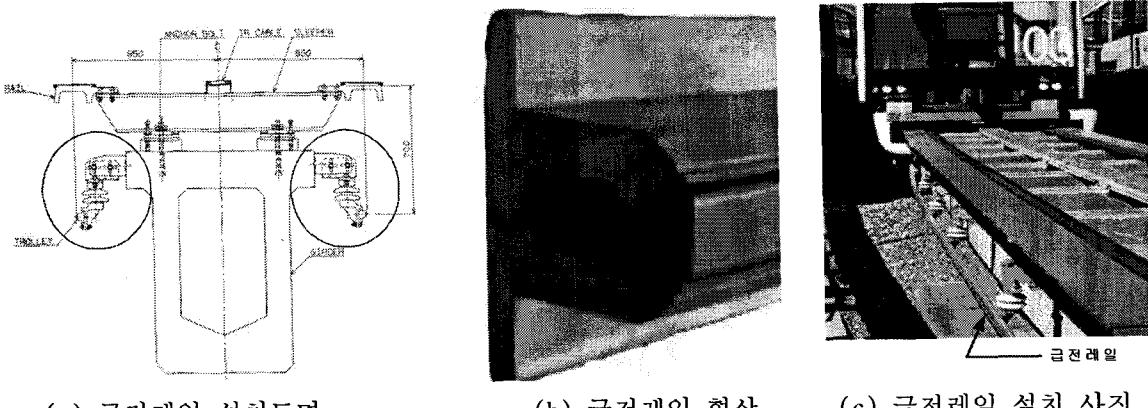


그림1. Linimo 급전레일 레이아웃 및 형태

급전레일의 설계에 있어서 직선로에서는 양측의 급전레일의 위치가 동일하여야 하나 곡선로에서는 가이드웨이의 캔트에 따라서 급전레일의 위치가 설정되어야 한다. 또한 상구배 및 하구배에 따라서도 급전레일의 위치가 정확하게 설치되어야 한다. 급전레일의 설치위치는 가이드레일의 리액션 플레이트(Reaction Plate)의 상면에서 구조물 하부의 일정한 위치에 가상의 중심선을 선정하고 이중심선을 기준으로 상하 편위를 두어야 한다.

이 중심선과 중심선에서의 편위는 급전레일에 의해 공급되는 전원에 의해 MAGLEV 차량과 리액션 플레이트 사이에서 발생하는 최대 부상공극과 부상공극이 없는 경우(이 경우 차량의 비상용 브레이킹 안내 바퀴에 의한 최소 공극이 유지됨)를 고려하여 어떠한 경우라도 차량의 집전장치의 집전슈의 일정 여유 범위 이내에 급전레일이 접촉되도록 설계되어야 하므로 차량의 부상높이와 매우 밀접한 관계를 가지게 된다. 따라서 궤도구조인 Guide Rail, Back Iron, Reaction Plate가 선형에 맞추어 정밀하게 시공되어져야 급전레일의 위치설정 및 편위 설계가 정밀하게 된다. 그림1에서 살펴보면 급전레일의 위치설정에 관계되는 중심선의 길이(혹은 높이)가 700mm임을 알 수 있다.

이 가상의 중심선은 가공전차선로에서 레일면상으로부터 전차선까지의 수직거리에 해당하는 전차선 높이에 해당한다고 볼 수 있으며 이 중심선을 기준으로 상하 편위를 두는 것은 집전슈가 양측에서 정급 전선과 부급전선에 일정한 접촉력으로 접촉하여 주행하기 때문에 집전슈의 편마모를 방지하기 위한 것으로 가공전차선로에서 레일중심선으로부터 좌우 교대로 일정한 편위를 두어 집전장치 집전슈의 편마모를 방지하는 것과 같다.

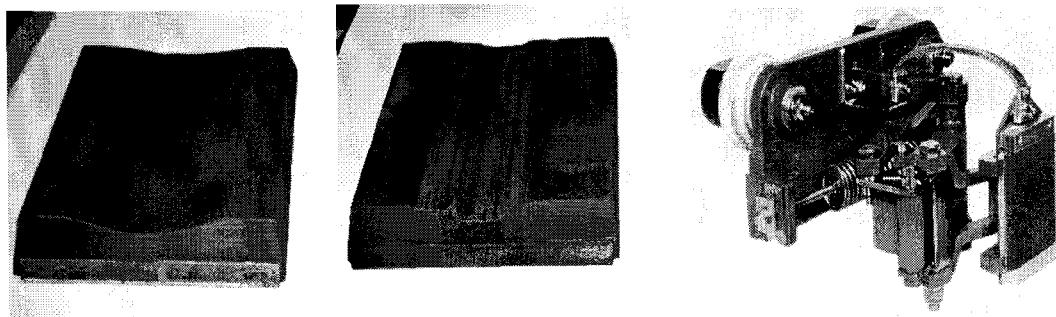
Linimo의 사례에서 보면 차량의 부상공극 및 집전장치와의 인터페이스 측면에서 정밀성이 결여되어 집전슈의 초기 편마모가 무척 심하여 EXPO2005 기간을 포함한 2005년 3월부터 2006년 3월까지 1년동안에 전체 차량에 설치된 집전슈의 71[%]에 해당하는 1,314개의 집전슈를 개환하여 1일 평균 3개 이상의 집전슈를 교체한 것을 표2에서 알 수 있다. 일본 Linimo 시스템의 경우 가선시스템의 마모율은 1000[km]당 0.6[mm]로 기준마모율을 정하고 있다.

중저속 MAGLEV 차량은 Lim을 사용하고 있으므로 추진 및 부상을 포함한 에너지가 100km/h이하에서는 일반 원형모터에 비하여 약 20%이상의 추가 에너지가 소요되므로 차량에 원활하고 안정적인 전원이 공급되기 위하여 급전레일과 집전장치가 일정한 접촉력을 유지하면서 이선이 최소화되도록 하여야 한다. 이를 위하여 구조물의 중심에서 트롤리(Trolley)가 일정위치에 존재하도록 설계되고 설치되어야 한다. 그림1에서 구조물 중심에서 트롤리까지의 거리는 좌우 동일하게 850mm임을 알 수 있다. 원활한 집전을 위하여 거더는 곡선, 완화곡선 등 선형에 맞추어 제작되어져야 한다.

표2. Linimo 시스템의 집전슈 교체현황

기간	이용승객수[명]	운행거리[km]	집전슈 교체수[개]
2005년3월	1,194,464	82,414	133
2005년4월	2,422,625	81,524	100
2005년5월	3,009,994	84,479	108
2005년6월	3,165,392	81,239	126
2005년7월	3,147,397	84,461	178
2005년8월	3,589,211	84,052	77
2005년9월	3,902,172	78,676	88
2005년10월	326,742	59,132	110
2005년11월	300,961	57,316	52
2005년12월	239,514	58,989	79
2006년1월	249,407	58,989	58
2006년2월	216,891	53,685	86
2006년3월	234,615	59,416	119
계	21,999,385	924,372	1,314

아래의 그림2는 Linimo 집전슈의 정상상태와 편마모 상태를 나타낸 사진으로 (a)는 정상상태의 집전슈이고 (b)는 편마모가 발생한 집전슈의 상태이고 (c)는 집전슈가 부착되는 집전장치의 전체 형태를 보여준다. 사진에서 보는 바와 같이 집전슈의 중앙부위가 트롤리와 가장 많이 습동하고 있어서, 중앙부위만 집중적으로 마모가 발생하였음을 알 수 있다. 또한 마모가 발생한 부분과 발생하지 않은 부분의 편차가 심하여 급전레일과 집전슈의 접촉력의 변화가 발생하고 이로 인한 이선현상이 일어나게 된다.



(a) 정상상태 집전슈 (b) 편마모 발생한 집전슈

그림2. Linimo 집전장치 및 집전슈의 형태

급전레일 집전성능을 좌우하는 또 하나의 요소는 차량의 충격과 진동을 어떻게 흡수할 수 있는가 하는 것이다. 일반적으로 중저속형 자기부상열차시스템의 급전레일은 T-Bar형태 또는 R-Bar 형태의 구조물로 급전선을 고정하고 있다. 우리나라의 기계연 시험선로와 국립과학관 노선에 적용한 급전레일의 형태는 T-Bar와 유사한 구조를 가지고 있으며, 일본의 Linimo의 급전레일은 그림1의 (b)에서와 같이 R-Bar와 유사한 구조를 가지고 있다. 급전레일의 몸체는 고전도성 알루미늄으로 제작되어 전기 전도성이 양호하며, 전차선은 스테인레스강 또는 주석도금 등을 용접 또는 원자합성, 기계적으로 끼워 맞춘 구조 등으로 접속하여 사용하고 있다.

일본의 경우 급전레일로 AL/SUS Compound rigid trolley rail을 사용하고 있다. MAGLEV는 초기 부상 시 부상전류가 커지는 특성과 주행 시에도 일정한 부상력을 유지하기 위하여 에너지 소모가 크므로 전기저항이 낮은 재료를 사용하여 가선전압 강하를 최소화 하는 것이 요구된다.

국내에서는 중저속 MAGLEV의 급전레일을 최적화하여 상용화한 경험이 없고 이 분야에 대한 연구도 미흡한 상태이며, 급전레일과 집전장치의 집전슈와의 인터페이스에 있어서 두 장치 간에 대한 상호 동적특성연구도 수행된 바가 없다. 따라서 향후 급전레일의 사양, 지지점 간격, 앙카링 설치 간격, 익스펜션 조인트 설치간격 등 최적 전력급전시스템 설계를 위하여 이에 대한 연구가 중장기적으로 요구된다. 단기적으로는 경량전철시스템의 개발 시 수행된 경량전철 급전레일과 집전장치에 관한 동 특성연구를 활용하는 방안도 하나의 바람직한 방법일 것이다.

4. 결 론

본 연구에서 검토한 바를 정리하여보면 중저속 MAGLEV에 적용 가능한 급전레일은 다음의 조건을 만족하도록 설계되어야 한다.

가) 집전슈의 편마모는 보수주기를 단축시키고 유지보수 비용의 증가를 초래함으로 급전레일과 집전 슈의 형상을 변화시킬 수 있으므로 집전슈의 접촉력을 정밀하게 계산하여 편마모의 발생을 최소화하는 구조로 급전레일을 설계하여야 한다.

나) 급전레일은 구조물의 거더 하부 양측에 고정 설치되므로 급전레일의 위치설정에 관계되는 중심선의 길이(혹은 높이)와 구조물 중심선에서의 편위는 급전레일에 의해 공급되는 전원에 의해 MAGLEV 차량과 리액션 플레이트 사이에서 발생하는 최대 부상공극과 부상공극이 없는 경우를 고려하여 어떠한 경우라도 차량의 집전장치의 집전슈의 일정여유 범위 이내에 급전레일이 설치되도록 설계하여 이선이 최소화 되어야 한다.

다) 중저속 MAGLEV 차량은 Lim을 사용하고 있으므로 추진 및 부상을 포함한 에너지가 100km/h이하에서는 일반 원형모터에 비하여 약 20%이상의 추가 에너지가 소요되므로 차량에 원활하고 안정적인 전 원이 공급되기 위하여 급전레일은 전기저항이 낮은 재료를 사용하거나 구조를 최적화하여 가선의 전압 강하를 최소로 하여야 한다.

급전레일과 집전장치의 상호간 접촉에 의하여 차량이 이동하므로 이에 따른 충격, 진동 등에 의한 이 선현상 발생 또는 집전장치 이탈 등의 문제점이 발생하지 않도록 양 설비 상호간의 동적특성 연구가 향 후 중장기적으로 수행하여야 하며, 근본적으로 급전레일과 집전슈의 습동접촉에 의한 전기적 기계적 제반 문제점을 해결하기 위하여 유도급전을 통한 비접촉식(Non-Contact) 전력급전시스템에 대한 연구도 요구된다.

참고문헌

1. 한국철도시설공단(2007), “도시형 자기부상열차실용화사업 전력, 신호, 정보통신시스템 기술조사” .
2. 국립중앙과학(2006), “자기부상열차설치사업(국립중앙과학관~엑스포과학공원간) 실시설계” .
3. 한국철도기술연구원(2006), “중저속 자기부상철도시스템 실용화모델의 성능규격(안)” .
4. 한국건설교통기획평가원(2006), “신호, 통신, 제어 및 전력시스템 분야 실용화 타당성 조사” .
5. 한국건설교통기획평가원(2006) “도시형 자기부상열차 실용화사업 제안요구서(RFP)” .
6. 한국철도기술연구원(2006) “한국형 고무차륜 AGT 경량전철 차량의 집전성능 분석(2)”
7. 용인경전철주식회사(2005), “용인경전철 실시설계 보고서” .
8. 한국철도기술연구원(2005), “고무차륜 AGT 경량전철 차량용 제3궤조 집전장치의 성능시험” .
9. 한국철도기술연구원(2004), “고무차륜 AGT 경량전철용 제3궤조 집전장치 특성해석” .