

상전도흡인식 자기부상열차 궤도분기기 개발현황 Development of the EMS type Maglev Switch

조흥제* 이종민 ** 김동성**
Cho, Hung-je Lee, Jong-min Kim, Dong-sung

Abstract

In the case of the monorail or maglev system, the whole guideway itself in the switching region has to be moved to allow the vehicles to change the track without stopping the run. In this paper we discuss what has to be considered in the design of the EMS type maglev guideway switches and report the development status quo of the maglev guideway switch of Korean maglev UTM-01 .

1. 서 론

자기부상열차가 실용화 되고 있다. 상전도 흡인식 자기부상열차인 일본 HSST 시스템이 2005년 3월부터 나고야 (후지오카역 <--> 나고야박람회장, 복선 9 km)에서 실용화 되었으며 초고속 자기부상열차인 독일 Transrapid 시스템이 2004년 1 월부터 상하이시내와 푸둥국제공항을 잇는 30 km 구간에서 상업운행을 시작하였다.

국내에서는 한국기계연구원이 1990년 이래 현재까지 국책연구사업을 통하여 철도차량제작업체인 (주)로템과 공동으로 중저속용 자기부상열차를 개발해오고 있으며 이의 결과로서 1998년에 2량 1편성 자기부상열차 (UTM-01)을 개발하여 시험운행 중에 있다. UTM-01의 실용화를 위해서는 기술적인 면에서 몇가지 보완해야 할 부분이 있다. 그 중 하나가 짧은 분기시간을 갖으며 신뢰성 높은 분기기를 개발하는 것이다. 본 논문에서는 국내 자기부상열차 분기기 개발현황과 설계시 고려해야 할 사항들을 소개한다. 그리고 현재 한국기계연구원에서 실용화를 목표로 개발중인 분기기 설계내용, 특징 및 향후 연구내용에 대한 검토결과를 보고한다.

* 책임저자 : 한국기계연구원 자기부상열차개발팀, 정회원
** : 한국기계연구원 자기부상열차개발팀, 정회원

2. 자기부상열차 분기기 설계요건

일반 철도차량과 달리 모노레일 및 자기부상열차는 대차가 고가궤도를 감싸고 있는 구조이므로 열차가 분기하기 위해서는 분기구간 내에 있는 고가궤도 전체를 움직여야 한다. 자기부상열차 분기기는 그림 1에 보이는 바와 같이 용도에 따라 4 종류로 분류할 수 있다.

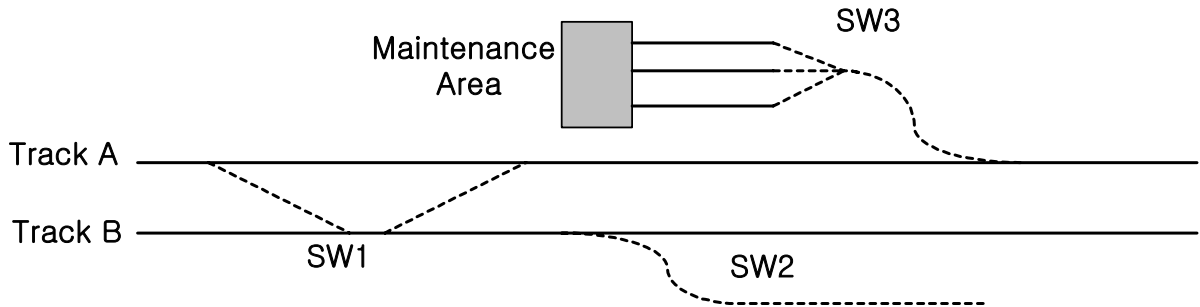


그림 1. 선로상 자기부상열차 분기기 종류

그림 1에서 SW1은 Track A에서 Track B로 선로를 바꾸기 위한 2 way 분기기이며 SW2 는 주행중 지선으로 열차진행방향을 바꾸기 위하여 또는 운행중 시스템이 고장을 일으켰을 때 정상운행을 방해하지 않기 위하여 고장난 시스템을 일시적으로 옆 라인으로 대피시키려 할 때 사용한다. 그림에서 SW3는 유지보수동 진입로에 설치되는 분기기로 2 way 또는 3 way 분기기가 필요하다. 자기부상열차 분기기 설계시 최우선적으로 고려해야 할 요건으로는,

- (1) 선형 - 직선에서 곡선 혹은 곡선에서 직선으로 분기후 수직/횡방향 단차가 1.5 mm 일 것.
- (2) 레일이움매에서 진행방향 레일단차가 겨울에 40 mm를 넘지 않을 것.
- (3) 분기후 Guideway 가 지상구조물에 견고하게 지지되어 부상제어에 영향을 미치지 않을 것이다.

또한 다음과 같은 점들이 고려되어야 한다[1].

- (4) 분기장치 전용공간이 최소일 것.
- (5) 분기시간이 가능한한 짧을 것.
- (6) 분기장치내 주요 구동부, 제어부, 이동구조물등은 fail safe 기능이 있어야 하며 오동작방지를 위한 interlock 이 마련되어 있을 것.
- (7) 선로분기는 전력공급선 및 선로상에 설치되는 신호선과 연동되어 있을 것.
- (8) 분기기 구동장치로는 유압, 공압, 전력등을 사용할 수 있는 바 작동소음을 최소화 할 수 있어야 한다.
- (9) 각종 기상조건에 대하여 내구성을 갖을 것.
- (10) 분기는 열차운행에 따라서 자동으로 구동될 것. 자동 mode 가 고장일 시 수동으로 조작이 가능할 것.
- (11) 유지보수가 용이할 것.

3. 상전도 흡인식 자기부상열차 분기기 개발현황

현재 상업운행 중이거나 상용화를 계획하고 있는 자기부상열차는 모두 상전도 흡인식이다.

그림 2, 3은 독일 Transrapid, 일본 HSST 시스템의 분기기를 보이고 있다. 독일은 거더 및 Guideway 일체를 탄성한계 내에서 구부려 분기시킨다. 일본 HSST 시스템은 monorail 설계방식을 답습하여 분기되는 레일을 Link 로 연결된 3 개의 부분으로 이루어져 있다. 독일 Transrapid 빔일체 굴절식 분기기는 초고속 자기부상열차용이다. 최고운행속도 100 km/h 이 내의 자기부상열차에는 일본 HSST 시스템에서 채택하고 있는 다관절 굴절식 분기기가 적합하다.

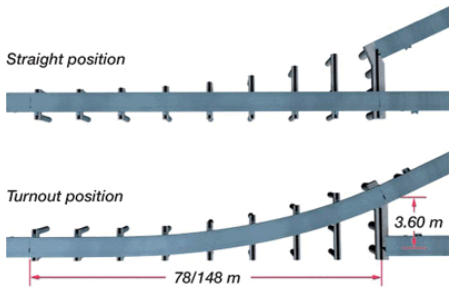


그림 2. Transrapid 시스템 빔일체 굴절식 분기기



그림 3. 일본 HSST 시스템의 다관절 굴절식 분기기

그림 4는 한국기계연구원내 자기부상열차 시험선로에 설치되어 있는 평행이동식 분기기를 보이고 있다. 분기구간 내의 직선레일과 곡선레일이 동일한 평면 Bed 위에 연결되어 설치되어 있으며 열차 진행방향과 수직방향 (횡방향) 으로 움직인다. 그림에서 열차가 직선으로 진행할 때에는 분기기가 우측으로 이동하여 직선레일이 연결되는 반면 열차가 곡선으로 진행할 때에는 분기기가 좌측으로 이동하여 직선레일은 떨어지고 곡선레일이 연결된다 (그림 5 참조). 평행이동식 분기기의 장점으로는 기계적인 구동부의 수가 적어서 고장이 적다. 단점으로는 분기구간내의 직선 및 곡선레일 전체를 움직여야 하므로 분기시간이 오래 걸린다.



그림 4. 기계연구원내 자기부상열차 평행이동식 분기기

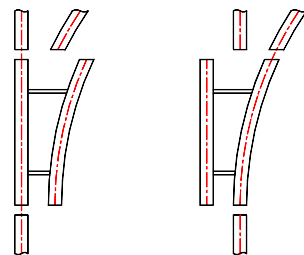


그림 5. 평행이동식 분기기. 왼쪽그림: 분기기가 직선에 연결. 우측그림 : 분기기가 곡선에 연결

4. UTM-01 분기기 개발현황

그림 6은 대전한국기계연구원에서 시험운행중인 UTM-01을 보이고 있다. 표 1 은 UTM-01의 차량 및 궤도의 주요 사양을 보이고 있다 [2].



그림 6. 시험운행중인 UTM-01

항 목	주요사양	항 목	주요사양
대차수/량	3 대차/차량	부상방식	상전도흡인식
차량크기	14m*3m*3.5m	추진방식	SLIM,6개/량
대차길이	3.5 m	궤간	2 m
공차중량	22 ton	최소곡률반경	60 m
만차중량	29 ton	최대구배	7 %
최대 가속도	1.00 m/s ²	전력공급	제3궤조 dc 1500V
부상 gap	10 mm		

표 1. UTM-01 의 주요 사양

■ 분기구간에서 최고운행속도

분기구간에서 직선에서 곡선 또는 곡선에서 직선으로 선형을 변경함에 있어서 곡선이라 하더라도 cant 는 부여하지 않는다. 곡선구간에서 차체와 대차를 구성하는 좌우 module의 기하학적 위치는 곡률반경 (R_{min}), 주행속도(V), 차량의 무게, 2차 스프링의 횡방향 Stiffness (k_y) 에 의하여 결정된다. UTM-01의 2차 스프링의 허용 횡변위는 90 mm 이다. UTM-01의 경우 곡률반경에 따른 분기기 곡선구간에서 허용 주행속도는 그림 7과 같이 계산된다.

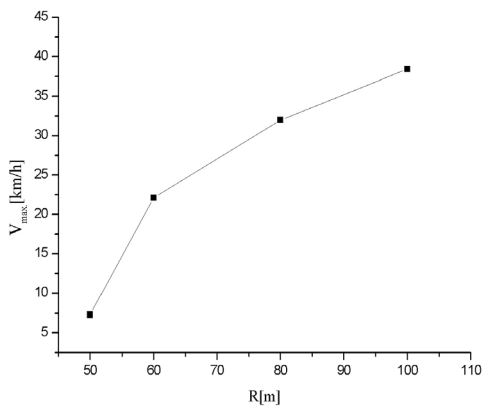


그림 7에서 60m 의 곡률반경을 갖는 분기구간에서 2차 스프링의 횡방향 변위가 90 mm 이내에서 허용될 수 있는 최대 주행속도는 23 km/h 이다.

그림 7. 분기구간에서 곡률반경에 따른 주행속도

■ 다관절 굴절식 자기부상열차 분기기

본 연구원 자기부상열차개발팀에서는 실용화 노선에 적용하는 것을 목표로 다관절 굴절식 자기부상열차 분기기를 개발해오고 있다. 그림 8은 개발된 1/5 scale 굴절식 분기기 평면도를 보이고 있다. 개발된 1/5 scale 굴절식 분기기의 특징은 (1) 15 초 이내의 분기시간 (2) Box 형 분기기 궤도단면 (3) 대차 type 의 이송장치 (4) 회전각도 완화기구 이다. 그림 9는 각 굴절거더 끝단의 대차 type 이송장치 단면을 보이고 있다.

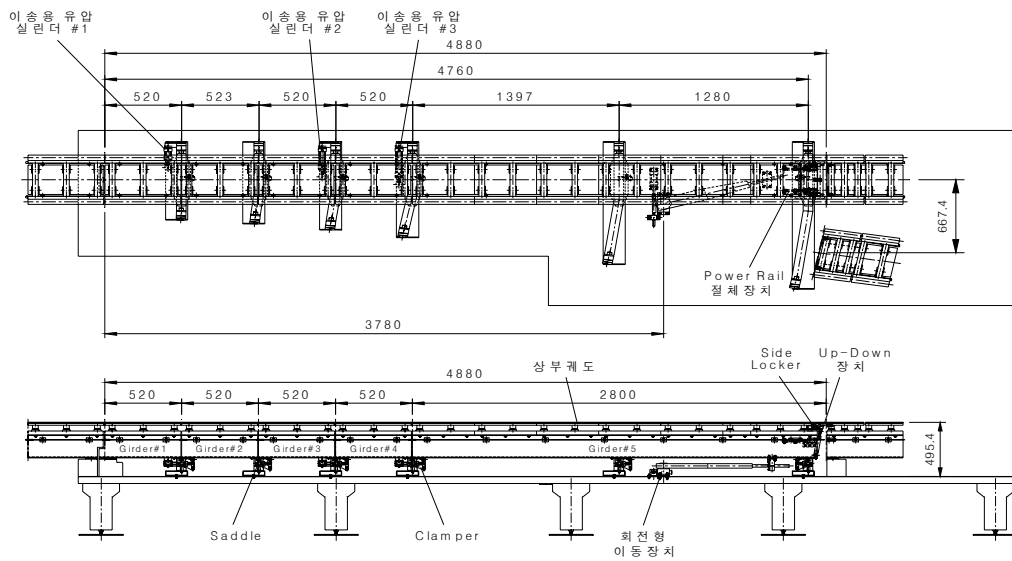


그림 8. 1/5 scale 굴절식 분기기 평면도

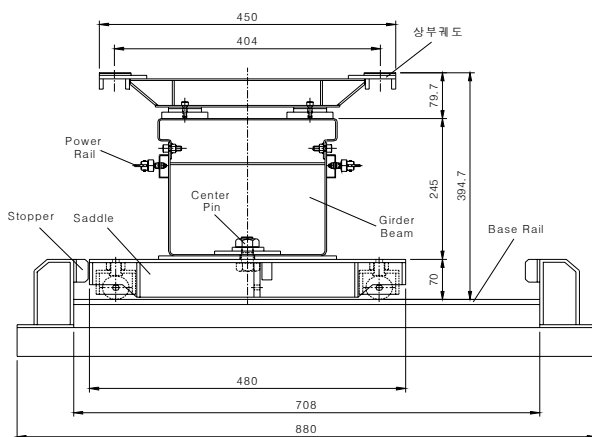


그림 9. 분기기 대차 type 이송장치 단면도

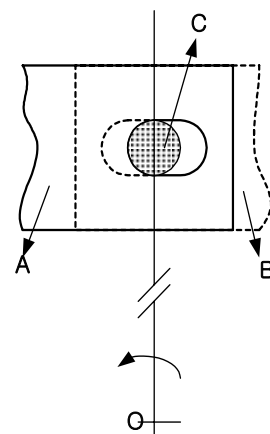


그림 10. 분기기 각도완화기구 sketch

■ 각도완화기구

그림 9 대차이송장치 단면도에서 보듯이 자기부상열차 좌우레일은 역 U 자 형태이다. 자기부상 열차는 대차가 궤도를 감싸고 주행하는 구조이므로 레일이 지상위 고가상에 설치되어야 한다. 이 경우 교각과 교각간의 콘크리트 또는 철제 빔은 이웃하는 빔과 계절에 따른 열팽창을 고려하여 수 십 mm 정도 떨어져서 설치하며 빔 위에 설치되는 Guideway 역시 이웃하는 Guideway 와 수 십 mm 떨어트려 설치한다. 굴절식 분기기의 경우 각 굴절빔의 길이가 3 -5m 이므로 계절에 따른 길이변동은 고려하지 않아도 되나 회전에 따른 Guideway 끝단에서의 레일단차가 커짐은 피할 수 없다. 각 굴절빔이 상대적으로 3° 회전할 때 레일단차는 58 mm 만큼 증가한다. 개발 중인 1/5 scale 분기기에서 시스템을 단순화 하기 위하여 굴절빔의 상대적인 회전각은 3° 로 하였다. 3° 회전시 레일단차가 너무 크므로 굴절빔과 굴절빔 사이에 각도완화기구를 삽입하여 굴절빔간 레일끝단에서의 레일단차가 $58\text{mm}/2 = 29 \text{ mm}$ 가 되도록 하였다. 그림 10에서 O점은 분기기 굴절빔의 회전중심이다. 그림에서 A 와 B는 이웃하는 굴절빔으로 회전부위에서 겹쳐져 있으며 각도완화기구에 부착된 핀으로 연결되어 있다. B는 우측 굴절빔으로 상대적으로 고정되어 있고 A는 좌측굴절빔으로 화살표 방향으로 3° 회전한다. C는 각도완화기구에 부착된 핀이다. 각도완화기구핀이 관통하는 부위에서 A와 B는 O 점을 중심으로 1.5° 회전에 상당하는 원호길이만큼 좌우로 편심되어 slot 구멍이 가공되어 있다. 그림 10에서 A가 좌측방향으로 1.5 ° 회전하는 동안은 각도완화기구에 부착된 핀은 움직이지 않는다. A가 1.5° 더 회전하게 되면 핀이 비로써 1.5 ° 회전한다. 그리하여 중간에 각도완화기구를 설치함에 의하여 좌측굴절빔과 각도완화기구가 상대적으로 1.5 ° 회전하고 (29 mm 레일단차 발생), 각도완화기구와 우측굴절빔간에 1.5 ° 회전함에 의하여 (29 mm 레일단차 발생) 결과적으로 이웃하는 굴절빔이 3 ° 회전하여도 회전부위에서 레일끝단의 레일단차가 29 mm를 넘지 않는다.

■ 분기기 운동궤적

그림 11은 설계 타당성을 검증하기 위한 기구동역학 해석 모델을 이용한 운동 궤적을 해석한 결과를 보여주고 있다. 기구동역학 해석은 다물체동역학 해석 프로그램인 Virtual.Lab Motion을 이용하였다. 그림 11에서 보듯이 각 관절이 이송되어 분기가 정확하게 되는 것을 확인할 수 있다. 이를 통하여 이송기구, 회전기구, 유압실린더의 구동형상 등의 설계가 합리적으로 이루어졌음을 컴퓨터 모델에 의하여 예측할 수 있었다. 또한 실제 성능을 실험에 의하여 확인하기 위하여 1/5 크기로 모형을 제작하였다 (그림 12). 1/5 모형에 의한 실험결과 기본적인 동작은 만족하는 것을 확인하였다. 그러나 고속 이송에 따른 동적 응답의 불안정성이 있어 제어기의 개선이 요구되는 것을 알 수 있었다.

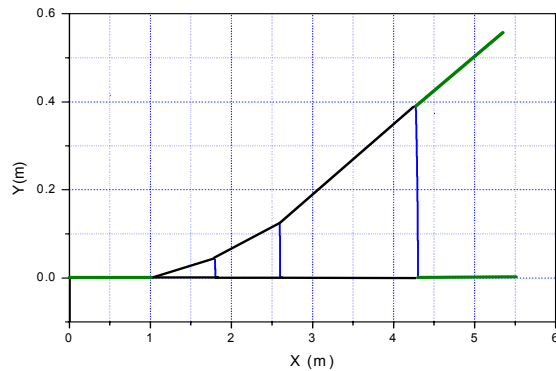


그림 11 굴절식 분기기의 기구적 운동



그림 12. 1/5 scale 굴절식 자기부상열차 분기기

5. 결론

이상과 같이 상전도흡인식 자기부상열차의 분기기 개발현황 및 설계 시의 고려사항을 소개하였다. 자기부상열차의 실용화에 있어서 고속 및 단차 최소의 분기기 개발이 요구된다. 현재 국내에서 연구 중인 자기부상열차 시스템을 실용화하기 위해서는 중하중의 분기기 이송에 의한 구동부, 이송부 및 제어부에 대한 연구가 필요함을 알 수 있었다. 특히, 빠른 시간에 분기하기 위한 연구가 필요함을 알 수 있었다. 한국기계연구원에서는 이를 위하여 굴절식 분기기를 설계하여 실험 중에 있는데 기본 성능은 만족하고 있다. 그러나 빠른 중하중 이송에 의한 동적 특성 개선에 대한 연구가 필요함을 알 수 있었다.

참고문헌

1. 마사다외(1992), “ 磁氣浮上列車の技術 ”, 〃사
2. 김인근외 (1998), “ 자기부상열차개발 국책연구사업 보고서 ”, 한국기계연구원