



한국형 자기부상열차 시설물 구축에 대한 제안

Suggestion for Construction of Structures of Korean Maglev

1. 서론



신경철 |
Shin, Kyung Chul
(주)삼보기술단 부사장

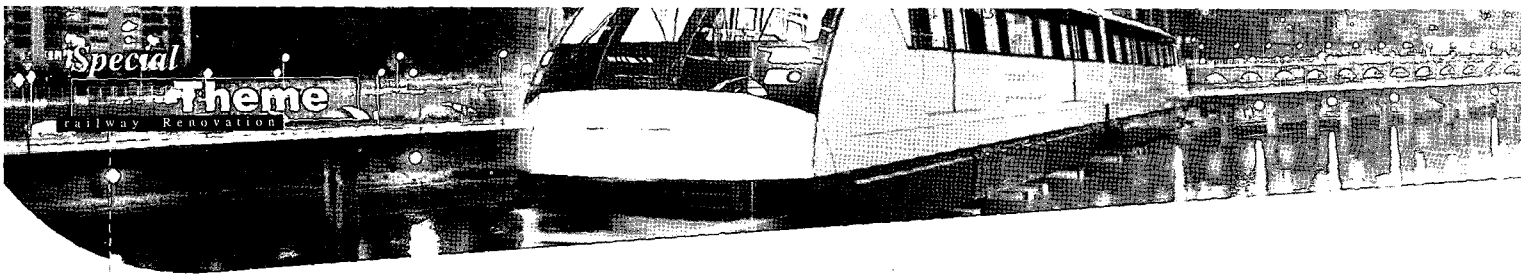
우리나라에 본격적으로 자기부상열차가 소개된 것은 1991년 대전에서 열린 세계 엑스포 박람회에 한국형 자기부상열차 HML-03호가 560m 노선에 전시/운행되기 시작한 때이다. 엑스포 박람회에 첫 선을 보인 한국형 자기부상열차 HML-03호는 1993년 11월까지 총 3년간 12만 명이 이용하였다. HML-03호가 국내 자기부상열차의 전시/운행 시작을 알린지 13여년 만에 대전 엑스포 박람회장 바로 그 자리에 본격적인 상업 시범운행의 문이 2007년에 열릴 예정이다. 그동안 자기부상열차 차량에 대해서는 한국기계연구원, 한국전기연구원, (주)로템 등 산과 연의 부단한 노력으로 실용화가 가능한 단계에 이르렀으나 자기부상열차 구축물인 궤도, 가이드웨이 등에 대한 연구·개발은 미진한 실정이다. 자기부상열차도 일정한 궤도 위를 차량이 주행하는 점은 일반 철도와 맥락을 같이 하지만 철도차량과는 달리 전자기력에 의한 부상력 및 추진력으로 운행이 되며 하중, 각종 설계계수 및 시스템이 일반 철도와는 상이하여 일반 철도에 적용되는 설계계수나 설계방법을 그대로 적용하기는 무리가 있는 것으로 판단된다. 현재 여러 기관에서 자기부상열차 실용화에 대한 연구가 이루어지고 있으며 여러 지자체에서도 도심내 교통시스템으로 자기부상열차 시스템을 적용하기 위해 검토하고 있는 이 시점에서 한국형 자기부상열차의 실용화를 위해 차량뿐만 아니라 그 구축 시설물의 설계 및 시공방안에 대해서도 연구·개발이 지속적으로 이루어져야 할 것이다.

본고에서는 한국형 자기부상열차의 연혁 및 원리에 대해 간략히 소개하고 강구조물 등 시설물구축 방안에 대해 엑스포 박람회노선, 한국기계연구원 시험노선 및 대전 국립중앙과학관 상용 시범노선을 중심으로 언급하고자 한다.

**임창혁 | Lim, Chang Hyuk, 한국철도시설공단 경전철사업추진팀장, 정회원

***김국진 | Kim, Kuk Jin, (주)로템 기술연구소 자기부상열차개발팀장, 정회원

****이두화 | Lee, Du Hwa, (주)삼보기술단 대표이사, 정회원



2. 자기부상열차의 역사

자기부상열차는 1960년대 독일과 일본에서 연구가 시작되었고 독일의 경우 주로 고속형 자기부상열차 개발에 주력하여 2004년 세계 최초로 중국 상하이~푸둥간 30km 구간에 시속 400km/h의 속도로 주행하는 초고속 자기부상열차 상용 노선을 건설하였다. 일본은 독일과 비슷한 시기인 60년대 개발에 들어가 시속 100km급 도시형 자기부상열차 HST로 나고야에 9.2km 상용노선을 운영중이다

우리나라의 경우 자기부상열차의 씨앗이라고 할 수 있는


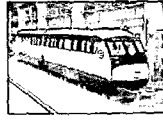
HML-01호가 1988년 7월 연구용으로 개발된 이후 현재까지 20여년에 걸쳐 꾸준히 연구·개발되고 있다. 비록 우리나라는 독일, 일본에 비해서 연구·개발이 늦었지만 독자적인 기술개발로 짧은 기간동안 많은 성과를 이루었다. 현재는 세계 3대 자기부상열차 개발국가로 상용화를 눈앞에 두고 있으며, 자기부상열차가 지금까지 연구·개발되어 온 과정은 다음과 같으며 주요내용은 다음 [표 1]과 같다.

2. 자기부상열차의 원리

자기부상열차는 전기 자기력에 의해 레일에서 일정한 높이(부상방법에 따라 다르지만 중저속 자기부상열차의 경우 8~10 mm)로 차량이 부상하여 추진력에 의하여 주행하는 열차의 일종으로 정의된다. 기존의 열차차량이 철재 바퀴와 레일간 마찰력에 의해 구동하는 방식이라면 자기부상열차는 전자석의 N극과 S극의 흡입력 또는 반발력을 응용하여 차량과 레일이 분리된 상태로 주행하는 방식이다. 이와 같이 자기부상열차가 주행하기 위해서는 우선 차량이 부상하여야 하고 부상 후 추진력이 발생되어야 한다. 자기부상열차의 부상과 추진방법에 대해 설명하면 다음과 같다.

먼저, 자기부상열차의 부상방법은 반발식과 흡인식으로 구분되는데, 반발식은 같은 극의 자석 간에 작용하는 반발력을 이용하며 흡인식은 자석간의 인력을 이용, 지저레일과 자석간의 인력으로 부상시키는 방법이다. 일반적으로 흡인식 보다는 반발식이 제어가 쉬우나, 흡인식은 정지시와 저속에서도 부상이 가능한 장점이 있다. 반발식에는 같은 극의 영구자석 간에 작용하는 반발력을 이용한 영구자석 반발식과 차량에 부착된 자석의 운동으로 지사의 코일의 유도전류를 의한 자장의 반발력으로 부상시키는 유도 반발식이 있다. 특히, 유도 반발식은 하중의 변화에 민감하지 않으며 초고속에 더 적합하며 화물수송에 적합한 시스템인데, 차량의 자석은 초전도 자석을 사용하며, 초전도를 위하여 극저온이 요구되므로 여러 기술적인 어려움이 있다. 이 경우에는 부상에 필요한 충분한 유도전류를 얻기 위한 속도(약 100km/시)를 얻을 때까지는 바퀴에 의하여 진행해야 하는 문제점이 있다.

[표 1] 한국형 자기부상열차의 개발과정

구분	차량형상	내 용
H M L 01 호		<ul style="list-style-type: none"> 개발·운영기간 : 1988.7~1989.6 차량길이 : 30cm 트랙연장 : 1.3m 부상높이 : 3mm 개발목적 : 추진 및 부상력 연구
H M L 02 호		<ul style="list-style-type: none"> 개발·운영기간 : 1989.7~1991.1 수송용량 : 8명 트랙연장 : 30m 설계속도 : 40km/h 개발목적 :
H M L 03 호		<ul style="list-style-type: none"> 개발·운영기간 : 1991.1~1993.11 수송용량 : 100명 트랙연장 : 560m 설계속도 : 100km/h 개발목적 : <ul style="list-style-type: none"> - 최초의 실용화 모델 - 엑스포 박람회장에 설치 - 총 12만명 수송 실적
U T M 01 호		<ul style="list-style-type: none"> 개발·운영기간 : 1994.5~1999.10 수송용량 : 120명 트랙연장 : 1,300m 설계속도 : 110km/h 개발목적 : <ul style="list-style-type: none"> - 한국기계연구원 시험선에 설치 - 상용화 연구 및 개발모델
상 용 화 모 델		<ul style="list-style-type: none"> 개발·운영기간 : 2003.10~현재 수송용량 : 140명 트랙연장 : 970m 설계속도 : 110km/h 개발목적 : <ul style="list-style-type: none"> - 대전 국립중앙과학관 노선에 설치 - 2007년 하반기 운영예정[표1] 한 국형 자기부상열차의 개발과정

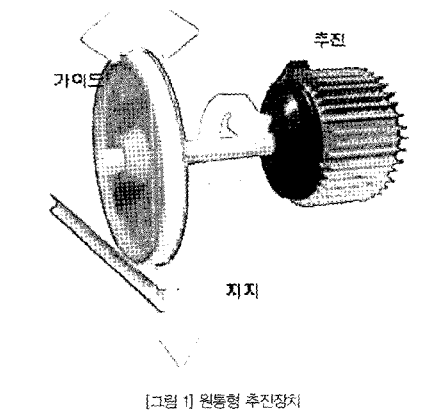
또한 전자석의 원리에 따라 초전도 방식과 상전도 방식으로도 나눌 수 있는데, 초전도 방식은 초고속도 열차에, 상전도 방식은 중속도의 통근용 중·단거리용 열차에 주로 적용하고 있다. 초전도 반발식과 상전도 흡인식에 대해 정의하면 다음과 같다.

○ 초전도 반발식

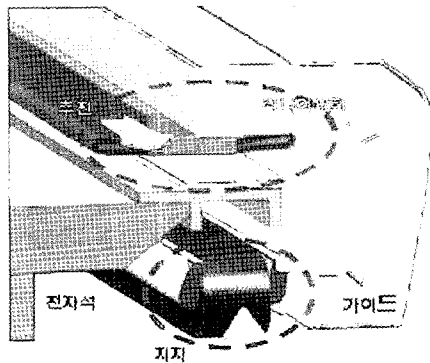
열차가 달리기 시작하면 지상코일에 유도전류가 발생하고 그 전류로 형성된 자석과 차량의 자석이 서로 반발하면서 부상하게 된다.

○ 상전도 흡인식

상전도(常電導) 흡인식 자기부상열차는 보통의 전자석을 사용하고 있다. 자석이 열차를 레일면으로 끌어 당겨 8~10mm 정도의 부상간격을 유지하면서 주행하게 된다.



[그림 1] 원통형 추진장치

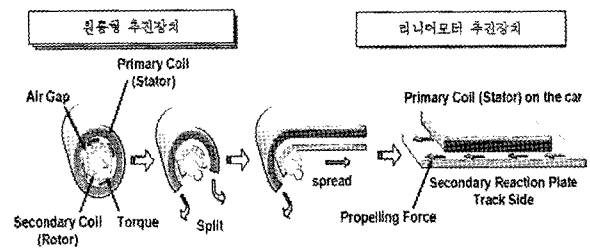


[그림 2] 리니어모터 추진장치

독일에서는 초전도 반발식을 채택하여 주로 대규모 수송 및 초고속 주행을 목표로 자기부상열차를 개발한 반면 우리나라의 자기부상열차는 상전도 흡인식을 채택하여 주로 도심에서 중·저속으로 승객을 수송할 수 있는 시스템을 채택하여 개발되었다.

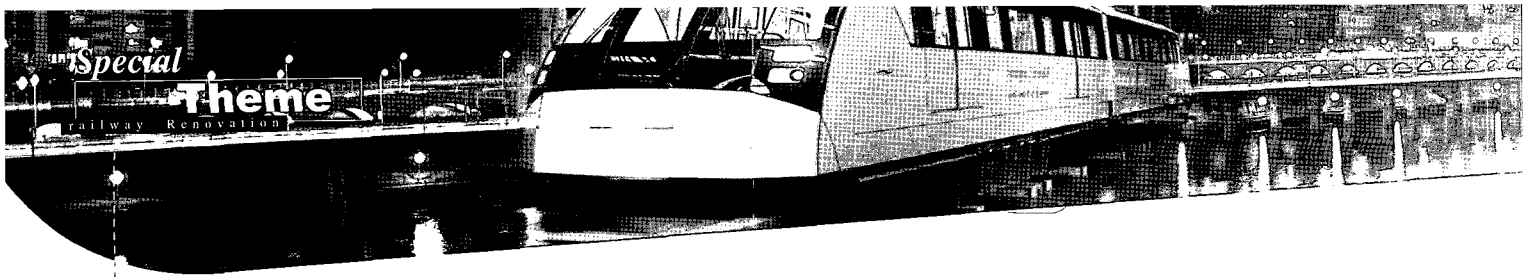
자기부상열차의 추진을 위해 사용되는 추진장치는 기존의 원통형 추진장치(그림 1 참조) 대신 리니어모터 추진장치(그림 2 참조)가 사용된다.

즉, 부상된 상태의 열차는 레일과 강재바퀴가 접촉되어 있는 것 보다 마찰 저항이 훨씬 적기 때문에 적은 동력으로 큰 속도를 얻을 수 있고, 상대적으로 추진장치의 높이를 낮추어 차량의 높이를 그만큼 낮출 수 있게 되는 것이다. 다시 말하면 리니어모터 추진장치는 원통형 추진장치를 잘라 펼쳐놓은 상태에서 고정자를 차량에, 회전자를 레일에 설치한 것으로 추진장치의 높이가 낮아지고, 기존의 원통형 추진장치는 그 회전 에너지를 직선운동 에너지로 전환하기 위해 대형 기어 커플링이 소요되지만 리니어모터 추진장치는 직접 직선운동 에너지를 생성하므로 기어 커플링이 필요 없게 되는 원리이다.



[그림 3] 자기부상열차 추진장치 원리

자기부상열차는 이와 같은 부상 및 추진방식으로 레일면에서 8~10mm 정도 부상하여 주행하므로 이론적으로 고속화 하기 쉽고, 레일과의 마찰이 없어서 차내 소음이 60~65db 정도로 차륜식의 소음 수준인 70~80db보다 적게 되며 승차감이 한결 쾌적하게 된다. 이와 같이 자기부상열차는 차량 자체의 특성상 소음과 진동이 적으며, 기존열차와 비교하여 접촉면이 적어 저렴한 건설비 및 유지보수비가 절감되며 안정적인 교통시스템이 가능하게 된다.



3. 자기부상열차 구축물 설계

자기부상열차는 위에서 언급한 바와 같이 특별한 원리에 의해 차량 하중이 하부 구축물에 전달되는 구조이므로 이러한 구조시스템에 맞는 구조물이 구축되어야 하는 것은 당연하다. 하지만 현재까지 우리나라의 자기부상열차에 적합한 구축물을 위한 각종 기준들이 정립되지 못하여 시험선이 설치되기 시작한 때부터 현재까지 주로 도로 및 철도설계기준을 준용하여 구축물을 설계하고 있는 실정이다. 현재 시행되고 있는 자기부상열차 실용화에 대한 타당성조사에서 이 부분에 대해 검토가 이루어 지는 것으로 알고 있지만 자기부상열차의 활하중이 비록 철도차량의 하중에 비해 경량이고 재하되는 방식이 다르지만 일정한 궤도를 따라 주행하고 그 거동이 철도차량과 흡사하므로 도로로 설계기준 보다는 철도고 설계기준을 준용하되 자기부상열차의 특성에 부합되는 설계기준의 정립이 필요하다고 판단된다. 그동안 자기부상열차의 시험선 및 엑스포 박람회장에 설치된 노선은 철도고 설계기준이 정립된 1998년 이전에 설치된 구축물로 도로고 설계기준을 적용하여 설계된 것이다. 본 고에서는 그동안 적용된 자기부상열차의 일반적인 선로설계기준에 대해 비교하고(표 2 참조) 설계기준의 설계계수 중 중요한 자기부상열차의 하중, 충격, 충돌하중, 처짐제한 및 제안단면에 대해 철도설계기준으로 검토하고 앞으로의 방향에 대해 고찰하고자 한다.

3.1 자기부상열차 선로설계기준

그동안 국내에서 구축된 시험선과 현재 건설중인 UTM-01호와 UTM-02호에 대한 선로설계기준을 비교하면 다음 [표 2]과 같다.

[표 2] 선로 설계 기준

구분	기 준		비고
	UTM-01호(시험선)	UTM-02호(실용화모델)	
설계속도	110 km/h	110 km/h최고	
운행속도	60 km/h	80 km/h	
Guide Rail 간격(G)	2,000 mm	2,000 mm	
최소곡선반경 (R)	60 m	60 m	
최급구배	6 %	6 %	
설계 하중	2.00 tonf/m	2.50 tonf/m	등분포하중
차량 한계	3,000mm×3,950mm	2,850mm×3,950mm	
건축 한계	3,400mm×4,350mm	3,250mm×4,350mm	

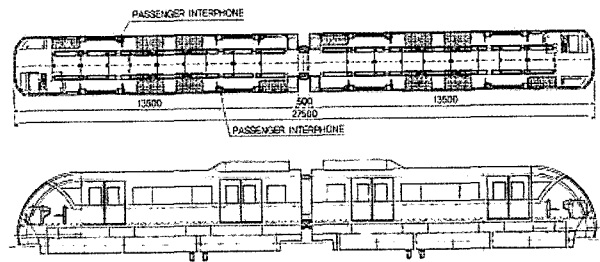
3.2 자기부상열차의 하중

(1) 고정하중

자기부상열차의 구축물에 대한 고정하중은 일반적으로 적용되는 공통적인 단위중량을 적용하여 산출한다.

(2) 활하중

[그림 4] UTM-02호 제원활하중은 실제 자기부상차량의 크기 및 중량을 고려하여 산정한다. 대상 차량은 가장 최근에 개발된 UTM-02호를 고려하였고 그 차량 제원은 다음 [그림 4] 및 [표 3]과 같다. 자기력으로 부상·주행하는 자기부상열차의 특성상 차량 활하중은 등분포 연행하중으로 부재에 가장 불리한 응력이 발생되도록 재하한다. 현재 UTM-02호는 2량 1편성을 기본으로 한다.



[그림 1] 원통형 추진장치

[표 3] UTM-02호 제원표

구분	제원(m)
1편성 차량 총길이	27.51
차량 길이	13.5
차량폭	2.85
보기(Bogie)길이	3.50
보기간 중심길이	3.62

자기부상열차의 활하중은 차량하중과 승객하중으로 구분하여 산정 할 수 있다. 차량 및 승객하중을 공차시, 평상시, 만차시 및 피크시로 구분하여 다음 [표 4]에 나타내었다. UTM-02호 자기부상열차 구축물 설계시 적용된 열차 활하중은 운행시 승객인원이 8인/m²로 피크시인 경우 차량하중 2.22 tonf/m와 부가하중 0.28 tonf/m를 고려하여 2.50 tonf/m를 적용하였다. UTM-01호, UTM-02호 및 일본의 Linimo 설계 활하중을 비교하면 다음 [표 5]와 같다. 표에서 알 수 있듯이 활하중은 차량 종류 및 특성에 따라 구별되지만 최근 개발된 UTM-02호의 경우 구축물의 안전을 위해 활하

중을 약간 크게 적용한 것을 알 수 있다. 엑스포 박람회장 운영노선을 일부 재활용하도록 계획된 대전 국립중앙과학관에 설치되는 상용화 노선 설계시에 UTM-01호와 UTM-02호의 설계 활하중 차이로 인하여 기존 구축물인 교량 거더를 보강하여 사용토록 계획되었다.

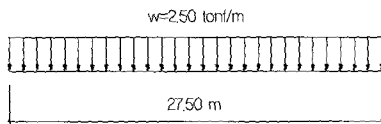
[표 4] 차량 및 승객하중

구분	UTM-02호				비고
	밀도	수송인원 (인/차량)	차량중량 (tonf/차량)	차량하중 (tonf/m)	
공차하중	-	-	22.00	1.63	
평상하중	4인/㎡	1002	8.25	2.09	
만차하중	6인/㎡	135	30.5	02.26	
피크하중	8인/㎡	170	32.60	2.41	2.50

[표 5] 차량종류에 따른 활하중 비교

구분	UTM-01호	UTM-02호	Linimo
설계하중	2.00 tonf/m	2.50 tonf/m	22.2 kN/m

자기부상열차 활하중의 재하는 [그림 5]와 같이 등분포 연행하중으로 거더에 불리한 응력이 발생되도록 재하한다.



[그림 5] 활하중 재하방법

(3) 충격하중

자기부상열차는 주행특성상 철도차량과는 달리 궤도와 밀착하여 주행하지 않고 일정한 높이로 부상하여 주행하므로 일반적인 철도차량의 충격특성과는 다르게 된다. 차량의 무게 또한 상당한 차이가 있으므로 자기부상열차의 충격하중이 보다 작게 될 것으로 판단된다. 특히, 자기부상열차가 부상하여 주행하다가 동력을 상실했을 경우 부상 높이에서 낙하하여 떨어질 때 발생하는 구축물과의 충돌하중 또한 무시할 수 없을 것이다. 따라서, 자기부상열차의 충격하중은 일반적인 동특성 충격하중과 낙하시 충돌하중으로 구분될 수 있을 것이다. 다음 [표 6]에 충격하중을 결정 짓는 충격계수에 대해 지간 25m의 콘크리트 교량에 대한 철도설계기준 충격계수와 자기부상열차에 제안하는 충격계수의 값을 비교하여 보았다. 물론 차량 부상방법인 초전도 방식과 상전도

방식에 따라 충격계수의 값은 달라지고 교량의 재료에 따라 충격계수의 값이 달라지는 것으로 알려져 있으나 우리나라에 적용된 상전도 방식의 콘크리트 교량에 대해 표현한다.

[표 6] 콘크리트 표준 단면 비교

구분	도로설계기준 (UTM-01호)	철도설계기준 (UTM-02호)	일본동부구룡선 (Linimo)	
			콘크리트	강재
충격계수	0.25	0.30	콘크리트	0.10
			강재	0.15
충돌계수	-	-	콘크리트	0.10
			강재	0.15
계	0.25	0.30	콘크리트	0.20
			강재	0.30

위의 표에서 보는 바와 같이 충격계수의 합은 각 설계기준에 따라 서로 상이 하지만 충격하중과는 달리 충돌하중은 상시하중이 아니라 특수하중의 경우로 분류되므로 철도설계기준의 충격계수를 적용할 경우 구축물이 과다하게 될 수 있다. 도로설계기준을 적용할 경우 값은 조금 작지만 마찬가지로 경우가 된다. UTM-01호 구축물의 경우는 철도설계기준이 정립되기 전에 설치되어 도로설계기준에 따라 설계 및 설치되었으며, UTM-01호 구축물은 철도설계기준을 근간으로 설계되고 시공중에 있다.

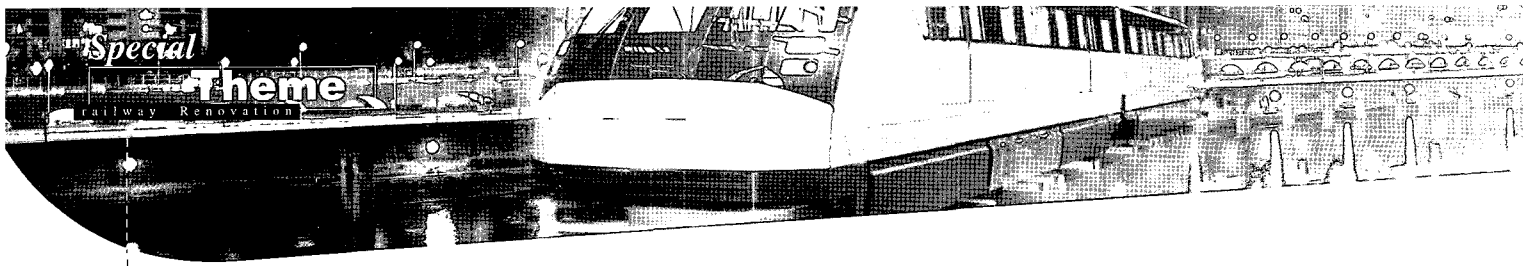
하지만, 일본 Linimo의 경우와 같이 충격계수와 충돌계수는 서로 분리되어 각각 상황에 맞는 하중조합을 이루어 구축물 설계에 적용되어야 할 것으로 보인다. 이러한 충격 및 충돌계수의 적용방법에 따라 구축물이 불필요하게 과다하게 설계될 소지가 있으며 이러한 것은 공사비 증대의 직접적인 원인으로 되며 도심 미관에도 영향을 주게 된다.

따라서, 이와 같이 충격과 충돌의 의미가 구분되어야 하며 시험적인 측면에서 검토되고 검증되어야 할 것으로 판단된다.

3.2 처짐제한

자기부상열차의 부상 높이는 약 8~10mm 정도이며 차량 자체가 강체이므로 교량 거더의 처짐과 부상 높이가 여유와의 상관관계는 상당히 중요하다. 상대처짐이 과다하게 발생될 경우 강제 차량이 교량거더와 마찰이 발생 될 가능성도 있다. 따라서, 자기부상열차의 처짐제어는 중요한 부분이다.

현재 자기부상열차의 허용처짐량은 교량 거더의 지간 대



비로 표현되며 정확한 규정은 검토되어 있지 않다. 다음 [표 7]에 지금까지 적용된 허용치짐 제한을 나타낸다.

[표 7] 허용치짐 제한




구분	엑스포박람회 (HML-03호)	기계연시험선 (UTM-01호)	과학관 노선 (UTM-02호)	일본동부구릉선 (Linimo)
치짐제한	L/3,000	L/2,000	L/3,000(L≤25) L/4,000(L>25)	L/1,500(20<L≤25) L/√L/25(1,500<L>25)

교량거더의 허용치짐 제한 역시 거더 단면의 크기에 직접적인 영향을 주는 인자로 검토가 필요한 부분이다. 교량의 지간 길이가 상이한 노선의 경우 일정한 치짐제한을 둘 경우 지간장이 긴 경우는 지간장이 짧은 거더에 비해 큰 치짐이 발생하여도 문제가 없는 것으로 검토될 수 있다. 예를 들어 차량의 치짐한계가 10mm인데 허용치짐한계를 L/3,000로 규정할 경우 25m 지간인 경우로 만족되지만 지간이 40m인 경우로 규정을 초과하게 된다. 따라서, 허용치짐량은 차량의 특성을 고려하여 절대 허용치짐한계 값으로 제시되거나 한계지간을 규정하여 지간에 따른 치짐기준량을 달리 규정하여야 할 것으로 판단된다.

4. 자기부상열차 구축물

지난 15여년 동안 자기부상열차의 실용화 연구를 위해 엑스포 박람회장과 한국기계연구원에 시험선이 건설되었고 2007년에 완공예정으로 대전 국립중앙과학관 상용화 노선이 건설되고 있다. 자기부상열차 구축물에 대해 비교하고 발전 방향에 대해 언급한다.

[표 8] 자기부상열차 구축물 비교

구분	엑스포박람회장 (HML-03호)	한국기계연구원 (UTM-01호)	국립중앙과학관(시공중) (UTM-02호)
단면형상			
구축시기	1991년	1994년	2007년
연장	560m	1,300m	970m
콘크리트	560m	750m	920m
구조물	강구조	550m	50m

4.1 Guide Way

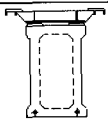
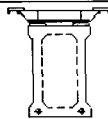
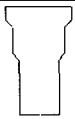
(1) 일반구간 콘크리트 교량거더

이상과 같은 주요 하중 및 제한사항을 만족하는 자기부상열차 구축물에 대한 콘크리트 단면을 비교 검토하였다. 다음 [표 9]에 말레이시아 쿠알라룸푸르에 건설되어 운영되고 있는 모노레일과 국내 자기부상열차 콘크리트 교량거더 표준 단면을 비교하였다.

[표 9]에서 알 수 있듯이 자기부상열차 교량거더의 단면이 모노레일 교량거더 단면에 비해 큰 것을 알 수 있다. 이와 같이 거더 단면의 크기는 경제성 뿐 만 아니라 도심지 미관에도 영향을 주기 때문에 자기부상열차가 현재 경전철 분야에서 상용화 되어 기타 경전철과 경쟁하기 위해서는 반드시 해결하여야 할 문제이다.

이렇듯 자기부상열차 교량거더의 단면을 줄이기 위해서는 설계기준의 정립, 거더 상부의 궤도 시스템의 슬림화가 이루어져야 한다고 생각한다.

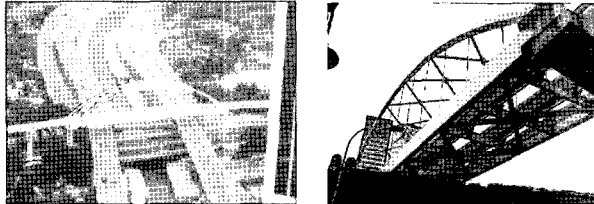
[표 9] 자기부상열차 구축물 단면 비교

구분	UTM-01호	UTM-02호	모노레일
단면형상			
단면높이/폭(mm)	2,050/1,350	1,900/1,350	1,600/1,000(800)

(2) 장지간 교량

경전철의 경우 짧은 지간의 콘크리트 교량을 건설하는 것이 경제성 측면에서 유리한 것이 일반적이지만, 도심지에 주로 건설되는 경전철은 부득이 도로, 하천등을 횡단하여 장지간 교량을 설치하여야 할 경우가 있다. 이러한 경우 대부분 콘크리트 구조물을 설치할 경우 단면이 커지게 되거나 지간의 제약을 받는 등 제한사항이 발생하게 된다.

강구조를 이용한 특수 교량을 설치하여 이러한 문제를 해결하게 되는데 자기부상열차 또는 모노레일의 경우 일반적인 Box Type 강합성교 보다는 Plate Girder Type의 비합성 구조위에 콘크리트 거더를 거치하는 것이 오히려 경제적으로 된다. 다음 [그림 6]은 이러한 경우에 대한 좋은 예가 된다.

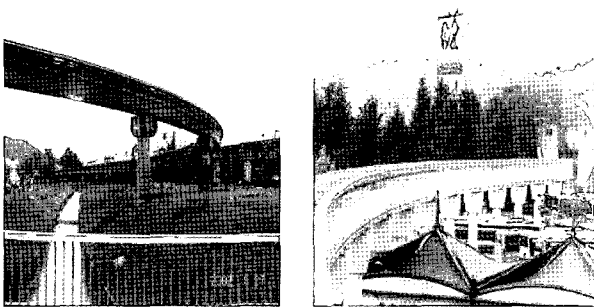


[그림 6] 장지간 교량의 예

장지간 교량을 강합성교로 설계하는 것 보다 강교와 콘크리트교를 조합하여 계획하는 것이 경제성 측면에서 유리할 수 있다.

(3) 곡선구간 교량 거더

국내 자기부상열차 선로의 곡선구간 처리는 엑스포 박람회장 교량의 경우 곡선반경이 $R=600m$ 로 비교적 작지 않는 곡률로 이루어져 직선 콘크리트 거더를 설치하고 곡선부의 강궤도를 거더 중심에서 편기시켜 설치하였고, 기계연구원 시험선 곡선구간의 경우 곡선반경이 $R=60m$ 로 작은 곡률로 이루어져 강합성교를 적용하였다.

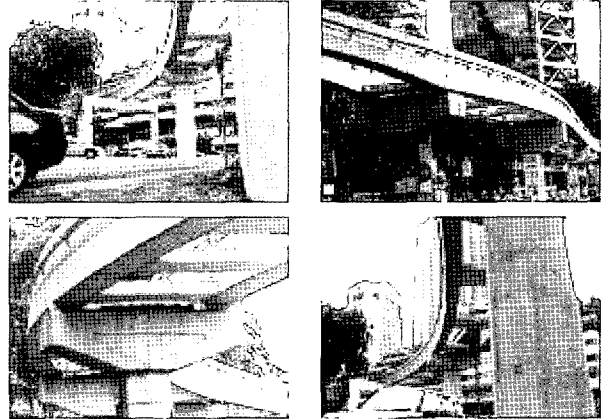


(a) 기계연구원

(b)엑스포 박람회장

[그림 7] 곡선구간 교량 적용

일반 곡선구간에 강합성교를 적용할 경우 공사비가 증대되어 비경제적으로 되며 주로 도심지에 적용되는 자기부상열차의 경우 곡률이 적은 구간이 많이 발생될 것으로 예상되므로 직선 콘크리트 거더에 강궤도를 편기시켜 설치하기는 무리가 있다. 따라서 국내에서도 곡선 콘크리트 거더의 개발이 시급하다고 판단된다. 다음 [그림 8]은 곡선 콘크리트 거더의 예이다.



[그림 8] 곡선 콘크리트 거더의 예

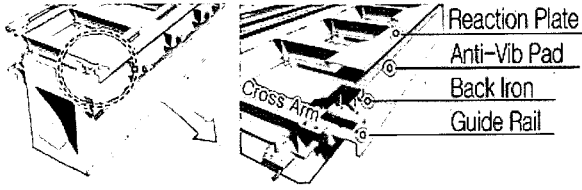
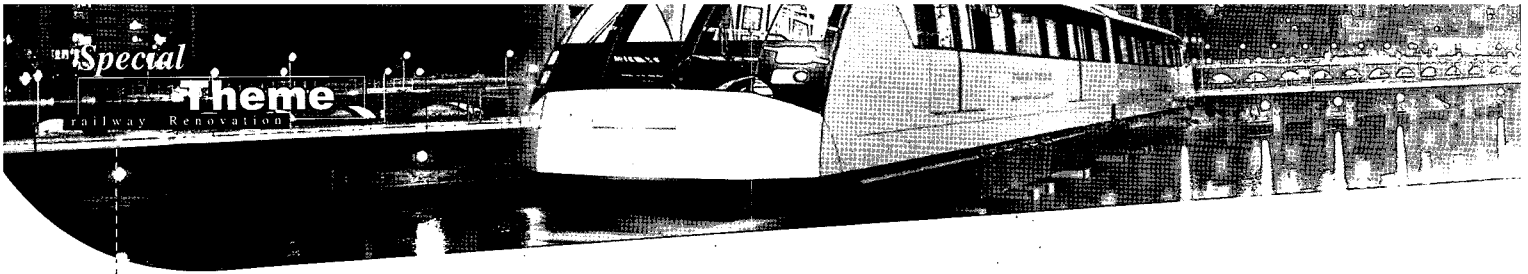
경제성을 증시하는 경전철 시스템은 공사단가가 높은 강구조 보다는 콘크리트 구조를 주로 적용하게 된다. 하지만 장지간 구조물이 필요한 구간에서 콘크리트 구조물은 제약이 있기 마련이고 도심지내의 미관을 고려하고 슬림화가 요구되는 경전철에서는 강구조 교량을 그 지역의 Land mark 역할을 할 수 있는 특성 있는 개소에 집중적으로 설치하는 것이 바람직하다. 현재 시공중에 있는 대전 국립중앙과학관의 UTM-02호 노선의 경우 대덕대로를 횡단하는 개소에 케이블을 이용한 비대칭 강아치교를 설치한 것이 좋은 예이다.



[그림 9] UTM-02호 구축물 설치 현황 조감도

4.2 궤도

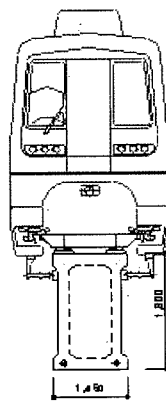
교량거더와 궤도의 연결자기부상열차에서 궤도는 차량을 부상시키고 추진토록 하는 가장 중요한 구조물이다. 자기부상열차 궤도는 Cross arm, Guide Rail, Back Iron, Anti Vibration Pad, Reaction Plate로 구성된다. 재료적으로는 일반 구조용 재료를 사용하고 있다. 자기부상열차 궤도는 제작의 정밀성이 요구되나 현재까지 제작에 대한 자동화가 이루어지지 않은 관계로 제작 기간이나 제작비가 많이 소요되고 있는 실정이다.



[그림 10] 궤도 시스템

또한 교량거더와 궤도간의 연결 방법에 대해 그다지 많은 연구와 검토가 이루어지지 않는 것이 사실이다. 여기서는 교량거더와 궤도간의 연결 방법에 대해 논의하고자 한다. 다음 [그림 11]은 자기부상열차에 대한 교량거더와 궤도의 연결 및 차량의 적재 상태를 보여준다.

지금까지 교량거더와 궤도는 [그림 10]에서 보는 바와 같이 교량거더 상부에 연결받침을 설치하고 궤도 Cross Arm을 교량거더 방향으로 1.25m씩 설치하고 Cross Arm 위에 Reaction Plate를 연속으로 설치한 구조이다. 이러한 구조는 교량거더 위에 궤도가 설치되므로 교각 코핑 상면에서 차량까지의 높이가 높아지게 되어 불안정한 상태가 된다. 또한 모노레일 등과 같은 경전철 기준으로 볼때 거더 단면외에 부가적으로 강구조 궤도가 설치되어야 하므로 경제성 측면에서 자기부상열차 구축률이 불리하게 된다. 따라서, 궤도 설치 위치를 조정하여 구조적 안정성을 꾀하는 동시에 최대한 궤도를 축소 설치하여 경제성을 확보하는 것이 것이 바람직 할 것으로 판단된다. 실제로 중국에서 운행되고 있는 독일형 자기부상열차의 궤도는 교량거더 측면에 설치되어 있는 상태이다. 다음 [표 8]에 궤도시스템 개선의 예를 나타낸다.



[그림 11]

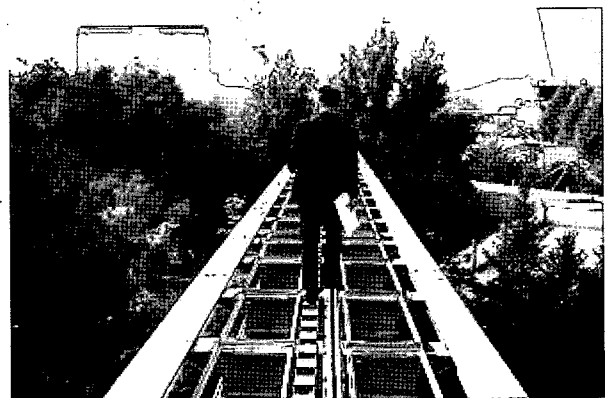
이러한 형식을 Cow Head 형식으로 명명하며 강거더인 경우 볼팅 또는 용접으로 부착이 가능하며 콘크리트 거더인 경우에는 거더를 관통하는 강봉을 설치하여 궤도를 부착할 수 있다. 궤도 캔트는 거더 측면과 Cow Head 궤도 사이에 테이퍼 강판을 삽입하여 각도를 조정할 수 있을 것이다. 이러한 궤도형식에 대한 연구는 앞으로 계속 연구, 개발되어야 할 과제이다.

이와 같이 궤도를 거더 측면에 부착함으로써 차량 주행의 안정성 확보, 궤도 재료비 및 제작비의 절감 등의 효과를 거둘 수 있을 것으로 기대된다.

4.3 안전 및 대피시설

현재 국내 자기부상열차 시스템은 차량의 화재나 위급상황에 대한 별도의 안전시설이 마련되어 있지 않은 것으로 보인다. 차량 내부에는 차량 전면에 비상사다리가 설치되어 차량내의 화재 발생시 대피할 수 있는 시설이 있으나 정작 차량 내부를 탈출 후 교량에서는 [그림 12]과 같이 거더위를 이동하여 다음 정거장까지 이동하는 방법 외에는 별다른 방법이 없다.

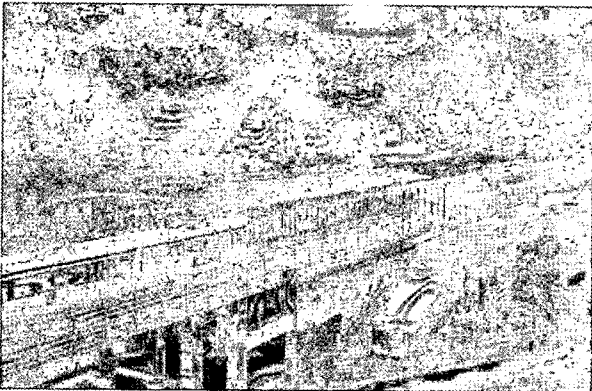
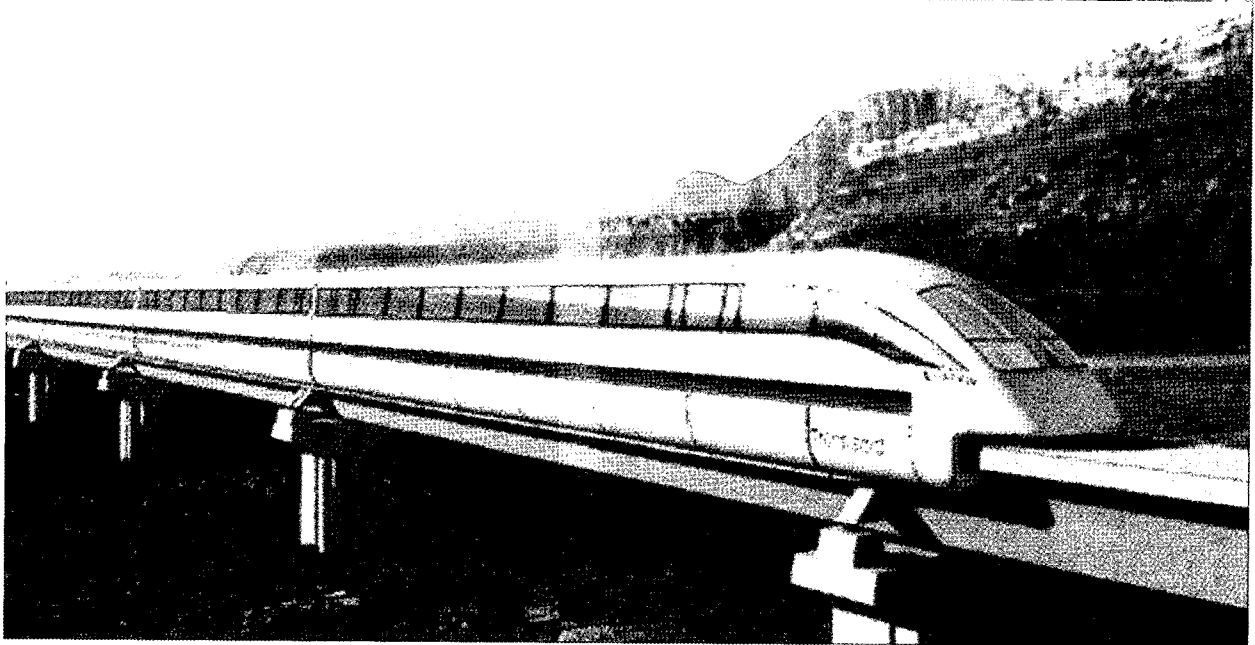
일본에서 운영중인 Linimo System의 경우 [그림 13]와 같이 자기부상열차를 위한 교량거더인 Guide way 하부에 별도의 교량을 설치하여 대피 및 점검시설로 활용하고 있다. 물론 이와 같이 별도의 교량을 설치하기 위해서는 사업비가 많이 소요될 것으로 예상되지만 안전확보를 위해서는 재고해 보아야 할 문제이다.



[그림 12] 교량거더위에서의 이동


[표 6] 강아치 횡단구간(대덕대로) 현황

구분	독일형	개선안(예)
궤도설치 구조		



[그림 13] 일본 Linimo System

5. 결론

이상과 같이 국내 자기부상열차의 현황에 대해 개략적으로 서술하였다. 그동안 자기부상열차 차량에 대해서는 집중적인 연구와 투자로 인하여 상용화 수준까지 이르렀으나 그에 비해 구축물에 대한 연구는 상대적으로 부족했다. 자기부상열차가 앞으로 경전철 분야에서 경쟁력을 확보하고 우위를 점하기 위해서는 구축물 분야에 대한 적극적인 연구·개발이 필요하다고 판단된다. 이와 같은 사항에 대해서 이론과 실체가 어우러진 점진적 개선이 기대된다. 

[참고문헌]

1. 자기부상열차 설치사업 기본설계보고서, 2005, 동원시스템즈(주)
2. 자기부상열차 시험선로 프리캐스트 교량설계, 1993, 과학기술처, 한국건설기술연구원
3. 도시형 자기부상열차 시험선로 실시설계보고서, 1994, 한국기계연구원
4. 도시형 자기부상열차 표준화궤도 실시설계 보고서, 2001, 한국기계연구원
5. RUTM (R o tem Urban Transit Maglev System), 2004, (주)로템
6. Linimo 홈페이지, 2005, 愛知高東交通株式会社
7. 아이치만국박람회 동부구룡선 Linimo를 지지하는 강구조물, 2005,10, B+F(橋梁と基礎)
8. 세계의 경전철 시스템, 일본편, (주)삼보기술단
9. Proposed Criteria for Design of Urbanaut® Continuous Elevated Guide-Way structures for Medium to High Speed Transit, Detroit, The Urbanaut Company Inc.
10. 도시형 자기부상열차 구축물에 건설된 강구조 교량, 2006, 강구조공학회, 윤태양, 신경청, 김만철, 박성국