

# 프리캐스트 바닥판의 자기부상열차 가이드웨이 시스템 적용성 평가 : 모의 시공 실험

## Applicability Evaluation of Precast Deck to the Maglev Guideway System : Mock-Up Construction Test

진병무\* 김인규\* 김영진\*\* 오현철\*\*\* 마향욱\*\*\* 이윤석\*\*\*

Jin, Byeong Moo Kim, In Gyu Kim, Young Jin Oh, Hyun Chul Ma, Hyang Wook Lee, Yun Seok

### ABSTRACT

Maglev is a system that a train runs levitated above a rail. Therefore it is very important to maintain a constant levitation gap for achieving serviceability and ride comfort. This study is a cooperation research subject of the 3-1 subject, performance improvement of maglev track structures, of the Center for Urban Maglev Program in Korea, started in 2006. The aim of this study is development of rapid constructions of bridge superstructure for maglev. At present, precast deck is widely used because of its superiority to cast-in-place concrete on quality and the term of works. The research group suggested basic systems of maglev guideway with PSC-U type and trapezoidal open steel box type girder, and precast deck, cooperating with Korea Railroad Research Institute, the managing institute of the 3-1 subject. In this study, a mock-up consisted of girders, decks and rail was fabricated and test was performed for constructability, serviceability and maintenance evaluation of PSC U-type girder, precast deck, and new guide rail system.

### 요 약

자기부상열차는 궤도 위에 부상하여 운행하는 시스템이다. 자기부상열차의 특성상 주행 중 부상공극을 일정하게 유지하는 것이 사용성 및 승객의 승차감 면에서 매우 중요하다. 이 연구는 2006년 출범한 도시형 자기부상열차 실용화 사업단의 3-1 세부과제 선로구축물 성능개선 과제의 협동연구과제로 자기부상열차교량 상부구조의 급속시공법 개발을 목표로 연구를 수행하였다. 현재 도로교에서 프리캐스트 바닥판은 품질, 공기 면에서 현장타설 바닥판에 비해 우수하며, 널리 사용되고 있다. 따라서, 연구진은 3-1세부과제의 주관기관인 한국철도기술연구원과 협업을 통하여 1차년도에 PSC-U형 거더 및 개구체형 강재 거더에 프리캐스트 바닥판을 적용하여 자기부상열차 가이드웨이의 기본 시스템을 제안한 바 있다. 이 연구에서는 PSC-U형 거더, 프리캐스트 바닥판 및 새로운 형식의 가이드레일 시스템을 적용한 자기부상열차 가이드웨이의 시공성, 사용성, 유지관리성을 평가하고자 거더-바닥판-궤도로 이루어진 목업 실험체를 실험대형 크기로 제작하여 실제 시공 환경과 비슷한 모의 시공을 수행하였다.

\*정회원, (주) 대우건설 기술연구원, 토목연구팀, 책임연구원

\*\*정회원, (주) 대우건설 기술연구원, 토목연구팀, 수석연구원

\*\*\*정회원, (주) 대우건설 기술연구원, 토목연구팀, 전임연구원

## 1. 서 론

이 연구는 2006년 출범한 도시형 자기부상열차 실용화 사업단의 3-1 세부과제(선로구축물 성능개선)의 협동과제 "자기부상열차교량 상부구조의 급속시공법 개발"의 일환으로 수행되었다. 현재 도로교의 경우 프리캐스트 바닥판은 품질, 공기, 시공성 여러 면에서 현장타설 바닥판에 비해 우수함을 여러 연구에서 보였고 널리 사용되고 있고 있으며, 이를 자기부상열차 가이드웨이에 적용하고자 하는 연구가 수행되었다. 도로교의 경우 프리캐스트 바닥판 위에 포장 등으로 최종적인 선형 조정이 가능하나, 자기부상열차교량의 경우 최종적인 선형은 가이드 레일의 선형으로 결정된다. 따라서 가이드 레일의 선형의 정밀도가 매우 중요하며, 이러한 정밀도를 제공하기 위해서는 가이드 레일을 지지하고 있는 교량 거더의 정밀한 시공이 중요하다. 교량 거더의 정밀한 시공은 교각 및 교각 코핑부의 위치, 교좌장치의 높이, 거더 거치 시 작업 크레인의 작업정밀성 등에 좌우될 수 있다. 국내에 설치된 자기부상열차 시범노선의 경우, 한국기계연구원과 대전엑스포 과학공원의 예를 들 수 있는데, 이들 거더 시스템의 경우, PSC 박스 거더 위에 침목 형태의 가이드 레일이 설치되어 있다. 이들 시스템의 경우, 가이드레일의 선형조정은 거더와 가이드레일의 체결장치만으로 가능하며 그 조정량이 한계가 있다. 이 연구의 경우, 도로교에서 활용되고 있는 PSC U형 거더와 프리캐스트 바닥판의 시스템을 자기부상열차 가이드웨이에 적용하여 시공성의 향상과 가이드레일의 정밀시공을 가능하게 하고자 한다.

## 2. 기존 가이드웨이와 제안된 가이드웨이 시스템의 비교

그림 1에 보인 기존 가이드웨이 거더 시스템과 제안된 가이드웨이 거더 시스템은 구조적인 성능은 동등하다고 할 수 있다. 기존 시스템과 제안된 시스템의 차이는 가이드레일과 거더의 접합 방법이며, 근본적인 차이는 프리캐스트 바닥판의 적용 여부이다. 교량공사의 시공정밀도가 예전에 비해 많이 엄격해짐에 따라 교각의 높이, 교좌장치의 높이, 거더의 높이 등의 제작 및 시공오차가 최소로 하더라도 자기부상열차가 운행하기 위한 궤도 선형의 정밀도를 맞추기란 매우 어렵다. 그러나 프리캐스트 바닥판을 적용하여 제안한 가이드웨이 거더 시스템의 경우, 프리캐스트 바닥판의 베딩층의 높이가 거더 시공단계까지의 시공오차를 흡수할 수 있어 궤도 선형의 조정에 매우 유리하다고 할 수 있다. 표 1은 임의로 가정한 시공오차에 따라 최종적인 궤도의 수직레벨에 대한 선형조정 가능성을 기존 가이드웨이 시스템과 제안된 가이드웨이 시스템을 비교하였다.

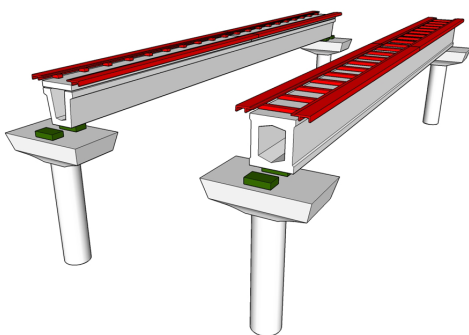


그림 1. 가이드웨이 시스템 외형적 비교

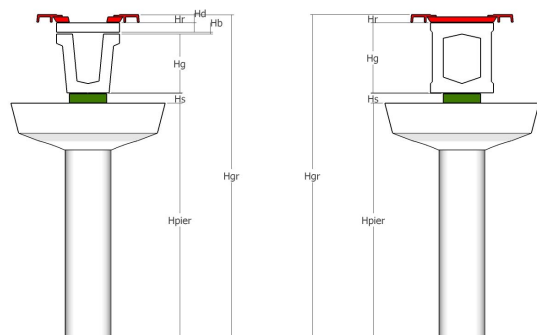


그림 2. 가이드웨이 시스템의 설계 레벨 비교

두 가지 시스템(제안 시스템 및 기존 시스템)의 시공오차의 차이는 바닥판의 시공오차( $\Delta H_d$ )이며, 선형보정가능량은 각 각 베딩층의 두께( $H_d$ )+레일선형보정량( $H_r$ )과 레일선형보정량( $H_r$ )이다. 이 때 하부기초부터 가이드레일까지의 시공오차를 임의로 가정하였을 때 최종적인 가이드레일의 실제레벨과

설계레벨을 맞추기 위해 두 시스템의 선형보정량은 표 1과 같이 나타낼 수 있다.

표 1. 가이드레일 선형 조정의 정밀도 비교(수직 레벨)

제안방식										
구성		설계높이	최대 시공 오차	시공 오차1	실제높이1 (최소)	실제높이1 (최대)	시공 오차2	실제높이2 (최소)	실제높이2 (최대)	
[1]	교각 높이	Hpier	5000	0.25%	12.5	4987.5	5012.5	6.3	4993.8	5006.3
[2]	교좌장치 높이	Hshoe	200	0.10%	0.2	199.8	200.2	0.1	199.9	200.1
[3]	거더 높이(형고)	Hgirder	1200	1.00%	12.0	1188.0	1212.0	6.0	1194.0	1206.0
[4]	베딩층 높이	Hbedding	20			36.9	8.0		33.3	8.0
[5]	프리캐스트 바닥판 두께	Hdeck	200	1.00%	2.0	198.0	202.0	1.0	199.0	201.0
[6]	가이드레일 지지부 기본높이	Hrailsupport	160	0.10%	0.2	159.8	160.2	0.1	159.9	160.1
[7]	가이드레일 높이조정 능력	Hrailcapacity	40			30.0	5.1		20.1	18.6
	가이드레일 설계 높이	Hguiderail	6800			6800.0	6800.0		6800.0	6800.0
	거더 상면까지 높이		6620			6610.2	6634.7		6620.0	6621.3
	거더 상면에서 설계높이와의 차					-9.8	14.7		0.0	1.3

기존방식										
구성		설계높이	최대 시공 오차	시공 오차1	실제높이1 (최소)	실제높이1 (최대)	시공 오차2	실제높이2 (최소)	실제높이2 (최대)	
[1]	교각 높이	Hpier	5000	0.25%	12.5	4987.5	5012.5	6.3	4993.8	5006.3
[2]	교좌장치 높이	Hshoe	200	0.10%	0.2	199.8	200.2	0.1	199.9	200.1
[3]	거더 높이(형고)	Hgirder	1420	1.00%	14.2	1405.8	1434.2	7.1	1412.9	1427.1
[4]	가이드레일 지지부 기본높이	Hrailsupport	160	0.10%	0.2	159.8	160.2	0.1	159.9	160.1
[5]	가이드레일 높이조정 능력	Hrailcapacity	40			47.1	-7.1		33.5	6.5
	가이드레일 설계 높이	Hguiderail	6800			6800.0	6800.0		6800.0	6800.0
	거더 상면까지 높이		6620			6593.1	6646.9		6606.6	6633.5
	거더 상면에서 설계높이와의 차					-26.9	26.9		-13.5	13.5

표 1에 따르면, 임의로 가정한 각 구성요소(교각, 교좌장치, 거더 및 바닥판, 레일지지구조)의 시공오차에 따라 최종적인 가이드레일의 설계높이(6800mm)는 실제시공에 따른 실제높이와 선형조정가능량에 좌우된다. 제안방식과 기존방식의 가이드레일의 높이조정능력(레일선형보정량  $H_r$ )이 40mm 과 각 구성요소의 시공오차가 같다면 표 2와 같은 결과를 얻을 수 있다. 또한 거더상면에서의 높이는 오차조정이 가능한 경우라 하더라도, 기존방법이 제안방법보다 설계높이와 큰 차이를 보이고 있음을 확인할 수 있다.

표 2. 시공오차에 따른 가이드레일의 선형조정가능성 여부

오차보정 사례 (1)~(4)	시공오차1				시공오차2				
	(1) 최소높이의 경우		(2) 최대높이의 경우		(3) 최소높이의 경우		(4) 최대높이의 경우		
제안 방식	$H_d$	36.9	오차보정 가능	8.0	오차보정 가능	33.0	오차보정 가능	8.0	오차보정 가능
	$H_r$	30.0		5.1		20.1		18.6	
기존 방식	$H_r$	47.1	보정 불가 (40초과)	-7.1	보정 불가 (0 이하)	33.5	오차보정 가능	6.5	오차보정 가능

### 3. 제안된 가이드웨이 시스템의 모의 시공 실험 및 결과

그림 3에는 목업실험체의 개념도를 도시하였다. 목업실험체는 크게 거더부와 2조의 프리캐스트 바닥판 그리고 가이드레일 연결부로 구성되었다. 거더는 15m 길이로 PSC-U형 거더의 플랜지부분을 모사하며, 바닥판은 12.5m와 2.5m의 길이이다. 거더 거치부부터 바닥판 거치 및 궤도레일 침목부의 설치까지 과정이 약 4시간에 이루어졌으며 실제 가이드웨이 거더 시공시에는 2거더/1일 이상의 시공이 가능하리라 판단된다. 가이드레일의 선형조정을 위해 프리캐스트 바닥판의 높이 조정능력은 레벨링볼트 1회전에 대해 1mm의 높이를 조정할 수 있음을 확인하였다. 궤도레일의 교축방향, 교축직각방향 및 수직방향의 미세조정은 한국철도기술연구원에서 제안한 우각형태의 침목부에서 이루어진다. 따라서 프리캐스트 바닥판을 적용한 가이드웨이 거더 시스템이 가이드레일의 수직방향의 1차 선형 조정에 있어 매우 뛰어난 정밀성과 시공성을 갖고 있는 것으로 판단할 수 있다.

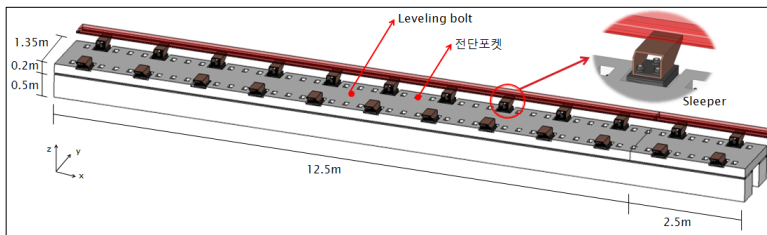


그림 3. 목업실험체 개념도



그림 4. 완성된 목업실험체 전경



그림 5. 프리캐스트 바닥판의 높이 조정 (1mm/레벨링볼트1회전)

### 감사의 글

이 연구는 도시형 자기부상열차 실용화 사업단의 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

### 참고문헌

1. 도시형 자기부상열차 실용화 사업단, <http://www.maglev.re.kr>
2. 진병무, 김인규, 김영진, PSC-형식 자기부상열차교량 상부구조의 단면 제안, 대한토목학회 학술발표회, 2007.
3. Jin, B.M. et al, Proposal of Maglev Guideway Girder by Structural Optimization: Civil Works of Center for Urban Maglev Program in Korea, ICEMS2007, Seoull, Korea, 2007.