

도시형 자기부상열차 가이드웨이의 동적거동특성 분석

Analysis of Dynamic Responses of Urban Maglev Guideway

홍유나[†] · 정원석* · 여인호**

Yu-Na Hong · Won-Seok Chung · In-Ho Yeo

Abstract Maglev guideway is expected to be a new public transportation for future because of its environmental and special characteristics. Recently, Korean government initiated an urban maglev project to build a commercial line in Incheon International Airport by year 2012. For practical use of UTM02, it is essential not only to verify the performances of the vehicle but also to formulate the design rules of Maglev Guideway. In this paper, maglev guideway is analyzed by Finite Element Method and then obtained dynamic characteristics such as displacements, acceleration and impact factor

Keywords : Maglev, Impact Factor, FEM analysis

요 지 자기부상열차는 전자기력으로 차량을 부상, 추진하는 시스템으로써 친환경적이고 주행성능이 우수해 장래의 대중교통수단으로 각광받고 있다. 국내에서도 1989년 이후 자기부상열차와 그 시설물에 대한 연구가 진행되고 있으며 2012년 인천에 도시형 자기부상열차가 실용화될 예정이다. 도시형자기부상열차가 실용화되기 위해서는 자기부상 전용 가이드웨이의 성능이 확보되어야 한다. 또한 자기부상열차는 나라마다 차량형식이 달라 국내 실정에 맞는 적절한 설계기준이 필요하다. 본 연구에서는 도시형자기부상 실용화 사업에서 제안된 자기부상 가이드웨이를 대상으로 유한요소해석을 수행하여 도시형 자기부상 가이드웨이의 단면성능을 평가하고 충격계수를 산출하였다. 해석수행 결과 동적중폭효과는 크지 않은 것으로 나타났으며 이를 통해 향후 자기부상 전용 가이드웨이 충격계수 설계기준 정립에 필요한 자료가 될 것이라고 기대된다.

주 요 어 : 자기부상 가이드웨이, 충격계수, 수직처짐, 유한요소해석

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

자기부상열차는 전자기력으로 차량을 부상, 추진하는 시스템으로써 일반 철도시스템과 달리 차량과 궤도사이에 기계적 접촉이 없어 주행성능이 우수하고 환경적으로 장점이 많아 장래의 대중교통수단으로 세계적으로 각광받고 있다.

이러한 장점 때문에 국내에서도 1989년부터 자기부상열차에 대한 연구가 시작되어 대전 과학관에 시험노선을 구축하였다. 또한 도시형 자기부상열차 실용화사업을 통해

2012년 인천에 상용화 예정인 도시형 자기부상열차에 대한 연구가 진행되고 있다.

자기부상 전용 가이드웨이는 일반철도가 윤중으로 집중하중을 전달하는 것과 달리 열차의 하중이 분포하중형태로 재하 되며 상대적으로 경량이다. 그러나 일정궤도를 따라 주행하고 열차가 통과할 때의 동적하중으로 인해 차량하중효과보다 큰 동적하중효과가 발생하는 점은 일반철도 가이드웨이와 흡사하다. 따라서 철도교 설계기준에서 동적하중에 의한 동적중폭효과를 충격계수로 고려하는 것과 같이 자기부상열차에서도 자기부상특성에 부합하는 충격계수 설계기준의 정립이 필요하다.

해외에서는 이러한 자기부상차량의 동적거동에 대한 연구가 Tsunashima 외[1]과 Cai 외[2]에서 수행된 바 있다. 또한 자기부상 가이드웨이에 대해서는 Sandberg 외[3]과 Plotkin 외[4]에서 구조물의 설계기준과 항목에 관한 연구

[†] 책임저자 : 정회원, 한국철도기술연구원, 철도구조연구실, UST석사과정

E-mail : ynhong@krii.re.kr

TEL : (031)460-5262 FAX : (031)460-5359

* 교신저자 : 정회원, 경희대학교, 토목공학과, 조교수

** 정회원, 한국철도기술연구원, 철도구조연구실, 선임연구원

가 이루어졌다.

국내에서는 도시형자기부상 실용화사업을 통해 PSC U 거더를 사용한 가이드웨이를 도시형 자기부상열차의 전용 구축물로 제안하였다. 진병무 외[5]에서 제안한 가이드웨이 단면은 처짐규정과 중량을 중심으로 최적설계를 실시하여 결정된 단면으로 사용성과 충격계수에 관한 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

자기부상 가이드웨이의 경우 각 국가별로 자기부상방식과 차량이 달라 국내의 실정에 맞는 가이드웨이의 설계기준 및 동적성능검증항목에 대한 연구가 필요하다. 그러나 국내의 철도설계기준은 일반철도와 고속철도에 관한 것으로 경량철도에 대한 설계기준은 경전철(AGT: Automatic Guided Transit)에 관한 연구가 이희업 외[6]에서 제시된 바 있다. 자기부상열차와 경전철은 경량철도라는 점에서는 같으나 경전철은 단선에서 주로 적용되며 철제레일 대신 콘크리트나 철판형태의 평면궤도를 주행하는 것으로 철제차륜과 고무차륜 두 가지 경우로 구분된다. 반면에 전자기력을 이용하는 자기부상열차는 기존의 철도나 경전철과는 주행방식과 차량방식이 상이하며 현재 국내 자기부상전용 가이드웨이에 대한 설계기준은 정립되어있지 않은 상태이다. 이미 실용화되어 운영되고 있는 일본의 경우, 동부 구릉선의 자기부상열차 LINIMO 전용 가이드웨이의 설계기준을 설립하였으며 충격계수는 0.1(콘크리트거더)과 0.15(강거더)로 규정하고 있다[7]. 이에 따라 국내 도시형 자기부상 가이드웨이의 실용화 및 최적화를 위해서는 동 해석을 통해 제안 가이드웨이 단면 구조의 동특성을 분석하고 기존 설계기준 적용에 대한 연구가 필요할 것으로 판단된다.

대상 구조물의 동적거동을 분석하기 위해서는 실제거동을 모사할 수 있는 유한요소의 선정이 중요하며 유한요소 모델의 신뢰성에 대해 검증해야할 필요가 있다. 본 연구에서는 유한요소모델의 검증을 위해 실제 건설되어있는 자기부상열차 시험선로 가이드웨이의 동적실험을 실시한 결과와 비교검증을 수행하였다. 이를 통해 검증된 유한요소 모델을 제안 가이드웨이에 적용하여 수치해석을 수행하여 동특성을 파악하고 충격계수를 산출 하였다. 산출된 충격계수를 여러 설계기준과 비교분석함으로써 향후 자기부상 가이드웨이의 충격계수한계기준을 수립하는데 참고가 될 것으로 기대된다.

2. 가이드웨이 형식

국내 자기부상 가이드웨이는 대전 과학관에 설치되어 운행중인 “시험선로 가이드웨이”와 2012년 인천 상용화를 목

적으로 하는 “제안 가이드웨이”로 구분할 수 있다.

시험선로 가이드웨이의 상부구조형식은 궤도 분리식으로 거더, 침목, 실제하중이 전달되는 부상레일 등으로 구성된다. 시험선로 가이드웨이의 거더는 PSC(Prestressed Concrete)구조이며 길이 25m, 폭 1.35m의 구조로 단면은 Fig. 1(a)과 같다. 부상레일과 침목은 강재이고 침목은 H-200×200×8×12를 사용하여 부상레일을 거더와 연결하였으며 침목의 간격은 1.25m이다. Fig. 1(c)에서 나타난 것과 같이 격벽은 각각 1.5m과 0.7m의 두께로 거더의 끝단과 거더의 1/3과 2/3 지점에 위치한다. 강연선은 거더의 양끝 격벽부와 바닥판 중앙을 연결하는 형태로 Fig. 1(b)와 같이 구성된다.

앞서 언급한 제안 가이드웨이는 시험노선 가이드웨이에서의 침목을 단순화한 형태로 Fig. 2(a)와 같이 부상레일과 레일지지부, 프리캐스트 바닥판과 프리캐스트 PSC U거더로 구성되며 제안 가이드웨이의 거더 폭은 1.35m이다.

상부구조 형식은 궤도 일체식으로 Fig. 3과 같은 레일지지부를 사용하여 침목대신 슬래브와 부상레일을 연결하도록 설계되었다.

Fig. 2(c)에서 나타난 것과 같이 제안 가이드웨이 격벽부의 위치는 거더의 양 끝단과 중앙부로 두께 각 1.2m, 0.6m이다. 또한 강연선은 Fig. 2(b)와 같이 총 4개로 거더 양끝

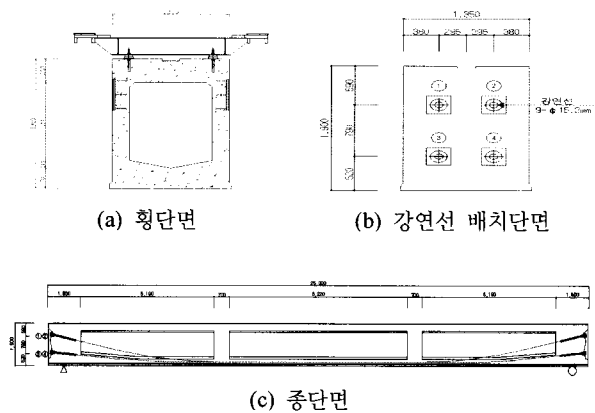


Fig. 1. 시험선로 가이드웨이 단면

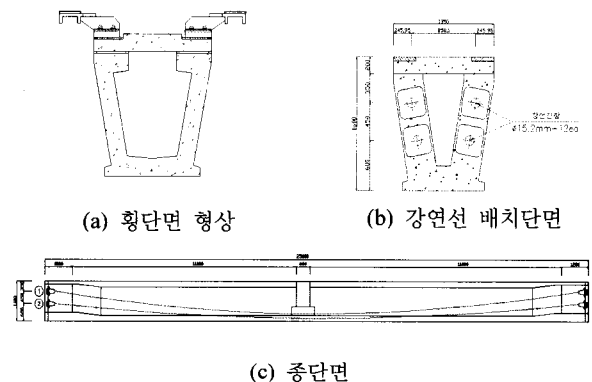


Fig. 2. 제안 가이드웨이 단면

격벽부와 거더 바닥 중앙을 연결한다. Table 1은 제안 가이드웨이의 단면치수를 나타낸 것이다. 단면크기와 경간길이 변화에 따른 동적성능평가를 위해 경간 길이 각 25m, 30m 일 때 단면크기를 다르게 하여 Table 1과 같이 구성하였다. 실용화사업을 통해 A, B, C, D 단면 처짐요구사항은 Table 1과 같이 L/1500과 L/3000 두 가지로 제한하고 있다.

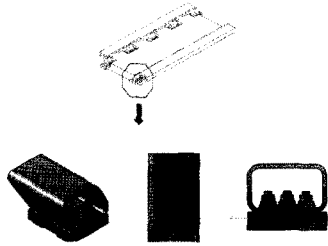


Fig. 3. 도시형 자기부상교량 레일 지지부 형상

Table 1. 제안 가이드웨이 단면 치수비교 (m)

구 분	A	B	C	D
단면 형상				
거더 길이	25	30	25	30
처짐 요구기준	L/1500	L/1500	L/3000	L/3000
형 고(H)	1.4	1.6	1.8	2.1
하부 플랜지 폭	1.1	1.05	1.37	0.95
플랜지 잉 폭	0.4	0.4	0.4	0.4
하부플랜지 두께	0.2	0.2	0.2	0.27
웹두께	0.2	0.2	0.2	0.2

3. 시험선로 가이드웨이 유한요소 해석 및 검증

시험선로 가이드웨이의 유한요소 모델은 현장시험을 수행한 대전과화관 시험선로 25m 가이드웨이를 대상으로 구성하였다. 유한요소 해석을 위한 동해석 프로그램은 상용 ABAQUS 프로그램을 사용하였다. Fig. 4와 같이 가이드웨이 길이방향을 x축, 침목의 축방향을 y축으로 하였을 때 지점부분은 좌측 끝단에서 0.5m인 지점을 고정단, 우측 끝단에서 0.5m 지점은 이동단으로 구성하였다. 각각의 요소는 Table 2에서 나타난 것과 같이 쉘과 보를 사용하였으며 거

더와 격벽, 슬래브는 쉘 요소, 부상레일과 침목은 보 요소로 구성하였다. 강연선은 트러스부재로 거더 바닥판과 강연선 사이, 궤도구조와 교량구조 사이에서는 변형이 발생하지 않는 것으로 가정하여 Fig. 4(b)와 같이 독립자유도와 종속 자유도의 변환을 통한 강체연결(Rigid Link)로 구성하였다.

자기부상 시험선로 가이드웨이의 동해석을 위해 사용된 자기부상열차는 UTM 02(Urban Transit Maglev)[8]이다. UTM 02는 Fig. 5와 같이 2량 1편성으로 구성되었으며 자세한 차량 제원은 Table 3에 제시 하였다. 이동하중해석을 위해 UTM02 차량이 자기부상 시험선로 가이드웨이를 등속 운동하는 것으로 설정하여 그 속도는 10km/h에서 50km/h까지 10km/h씩 증속하였다.

본 연구에서는 가이드웨이와 차량 간의 상호관계는 고려하지 않고 구조물의 변형이 선형영역에서 발생하는 것으로 가정하여 모드중첩법을 이용한 이동하중해석을 수행하였다. 즉, 분포하중의 형태인 자기부상열차 하중을 다수의 집중하중으로 이산화한 후 각각의 집중하중을 증가절점 하중으로 환산하여 자기부상레일에 작용하는 것으로 모사하였다.

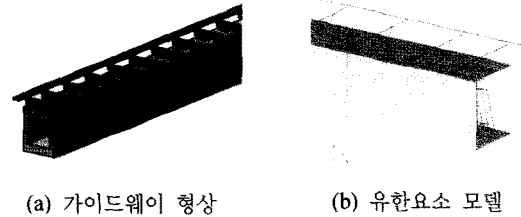


Fig. 4. 시험선로 가이드웨이 형상

Table 2. 유한요소 모델 구성요소

구 성	사용 재료	요 소
거 더	콘크리트	Mindlin shell element (ABAQUS S4R)
격 벽 부		
침 목	강재 (H 형강)	Euler-Bernoulli beam element (ABAQUS B33)
부상레일	강재	Euler-Bernoulli beam element (ABAQUS B33)
강 연 선	강재	Truss element (ABAQUS T32D)

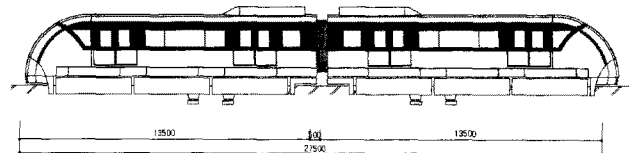


Fig. 5. 자기부상열차 UTM02 [8]

Table 3. UTM02 제원 [8]

구 분		사 양
차량편성		2량 1편성
차량치수	길 이	13.5m
	폭	2.85m
	높 이	3.50m
차 량 간 격		0.5m
차량중량(만차)		28.5ton
최대 설계속도		110km/h
최대 운행속도		80km/h

유한요소모델의 검증은 위해 시험선로 가이드웨이 유한요소 모델을 대상으로 현장시험을 수행하였다. 앞서 언급한 것과 같이 길이 25m인 대전과과학 시험선로 가이드웨이를 대상으로 하였으며 그 단면은 유한요소모델 단면과 동일하다.

이동하중 시험은 유한요소 해석과 동일한 자기부상열차 UTM02가 10km/h 에서 현재 최고 운행속도인 50km/h까지의 속도로 10km/h 씩 증속하여 주행 시 발생하는 수직처짐과 고유진동수를 계측하였다.

Table 4는 현장 시험과 앞서 언급한 유한요소 모델을 사용한 이동하중 해석결과를 비교한 것이다. 그 결과 시험선로 가이드웨이의 최대 수직 처짐은 현장시험 계측 값과 유한요소 해석값의 오차가 4%내외로 나타났다.

Fig. 6은 현장시험에서 UTM02열차가 30km/h로 주행 시 자유진동부분을 추출하여 주파수 분석을 실시한 결과이다. 유한요소 해석결과 고유진동수는 6.58Hz로 Fig. 6에서 나타난 현장시험 고유진동수 6.45Hz와 오차율 2%로 나타났다. 고유진동수와 처짐의 비교를 통하여 현장시험과 유한요소해석의 결과의 우수한 상관관계를 확인하였으며, 유한요소 모델을 이용하여 제안 가이드웨이의 유한요소 해석을 수행하여 그 결과를 분석하였다.

Table 4. 시험선로 가이드웨이 최대수직처짐 비교

Speed(km/h)	해석치	계측치	해석/계측
10	4.72	4.52	1.04
20	4.72	4.55	1.04
30	4.72	4.61	1.02
40	4.73	4.64	1.02
50	4.72	4.61	1.02

4. 제안 가이드웨이 유한요소 해석 및 결과

제안 가이드웨이의 유한요소 모델구성과 해석방법은 시

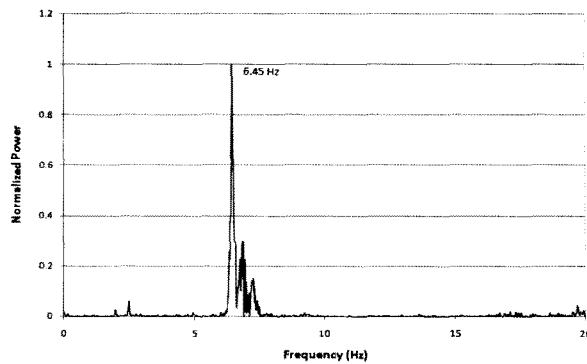
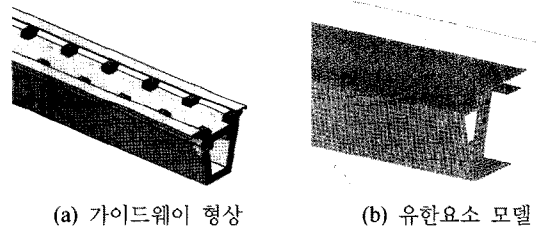


Fig. 6. 시험선로 가이드웨이 고유진동수 (계측)

험선로 가이드웨이와 동일하게 하였다. Fig. 7(b)는 제안 가이드웨이의 유한요소 모델을 나타낸 것이다. Fig. 7과 같이 제안 가이드웨이의 유한요소모델은 시험선로 가이드웨이와 같이 부상레일을 보 요소(ABAQUS B33), 나머지 콘크리트 거더와 바닥판은 쉘 요소(ABAQUS S4R), 강연선은 트러스 요소로 구성하였다. 각각의 구조물요소 또한 시험선로 가이드웨이와 동일하게 강체연결(Rigid Link)을 사용하여 하나의 구조로 일체화하였다.



(a) 가이드웨이 형상 (b) 유한요소 모델

Fig. 7. 제안 가이드웨이 형상

제안 가이드웨이의 유한요소 모델은 앞서 언급한 대로 L/1500과 L/3000의 기준 단면 25m와 30m의 A, B, C, D의 총 4개의 단면으로 구성하였다. 이러한 4개의 제안 가이드웨이 유한요소모델을 대상으로 모드해석을 실시하고 자기부상열차에 대한 이동하중 해석을 수행하였다.

해석을 위한 차량모델은 UTM02을 사용하였으며 열차 속도는 10km/h에서 목표속도인 110km/hr를 포함하여 150km/h 까지 10km/h 씩 증속 시켜가며 수직해석을 수행하였다. 각 속도별로 통과 시 수직 처짐, 연직가속도, 충격계수를 산출하였다.

국내의 철도관련 설계기준[9]은 기존선과 고속선의 일반철도를 그 대상으로 하며 UIC 기준을 채택하고 있다. UIC 776-1[10]과 776-3R[11]에서 제시된 고유진동수와 처짐 관련 규정을 연계해 계산된 진동수 한계식에 따라 일반 철도 가이드웨이의 경우 고유진동수 허용범위는 25m 경간일 때

약 3.51Hz에서 8.53Hz이며 30m 경간일 때 3.15 Hz 이하다. 또한 도시형 자기부상열차 실용화 타당성보고서[8]에 따르면 Table 5와 같이 제안 가이드웨이의 고유진동수 요구조건은 8Hz 이하로 하고 있다.

Table 5. 제안 가이드웨이의 형상설계 요구사항[8]

요구 목록	요구 조건
자기 부상 차량	UTM02
설 계 속도	110km/hr
궤 도 폭	1850mm
최대 차량 활하중	2.3ton-f/m per guideway
활 하 중 처 짐	L/1500~L/3000
가이드웨이 고유진동수	8Hz 이하

위에서 언급한 4개의 제안 가이드웨이 유한요소 해석을 수행한 결과 1차 휨 모드 고유진동수는 Table 6과 같이 A와 C단면에서는 6.5Hz 미만, B와 D 단면에서는 4Hz 대역으로 나타났다. 이러한 결과는 부상제어를 고려한 차량요구에서 요구하는 궤도 설계조건인 8Hz 이하의 주파수대역 조건과 UIC 기준을 충족하는 것이다.

Table 6. 제안 가이드웨이 고유진동수 비교(Hz)

mode	단 면 구 분					
	A	B	참여모드	C	D	참여모드
1	5.42	4.36	vertical bending	5.45	3.94	transverse bending
2	5.78	4.44	transverse bending	6.45	5.23	vertical bending
3	18.67	14.27	transverse bending	17.76	12.98	transverse bending
4	19.01	15.82	vertical bending	21.13	17.71	vertical bending
5	28.72	24.42	vertical bending	27.14	22.34	torsional
6	32.12	26.81	torsional	30.43	25.50	vertical bending
7	37.35	31.57	torsional	34.82	26.87	torsional
8	43.28	35.83	vertical bending	49.98	38.07	vertical bending
9	55.45	44.22	transverse bending	50.12	41.85	torsional
10	66.93	45.27	vertical bending	64.73	52.73	torsional

구조물에 큰 영향을 미치는 1차 휨 모드는 A와 B단면의 경우 1차 모드에서 나타났고 C와 D단면일 때는 2차 모드에서 나타났으며 휨 모드 형상은 Fig. 8과 같다.

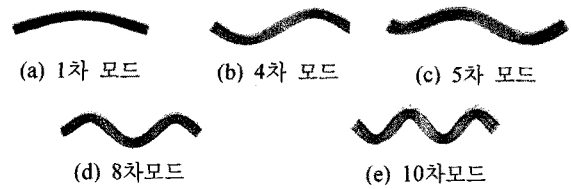


Fig. 8. 제안 가이드웨이 휨모드형상

국내에서는 일반 철도의 경우 경간에 따른 가이드웨이 처짐 한계는 우리나라 철도설계기준에서 명시하고 있다. 철도설계기준에서는 콘크리트거더교일 경우 주 거더의 허용 처짐값을 지간길이와 열차속도로 규정하고 있다. 지간 길이 50m 이하 열차속도 120km/h 미만인 경우 허용 처짐값은 L/800으로 경간 길이 25m인 경우 31.25mm, 30m인 경우 37.5mm로 규정하고 있다.

본 연구의 수행결과 제안 가이드웨이의 최대 수직 처짐은 Fig. 9와 Fig. 10과 같이 A와 B 단면(L/1500)일 때 6mm에서 10mm 범위로 나타났으며 C와 D 단면(L/3000)일 때 4mm에서 8mm 범위로 나타났다. Table 1의 처짐 요구 조건을 만족하였으며 철도설계기준상의 기준 상 안전측이었다.

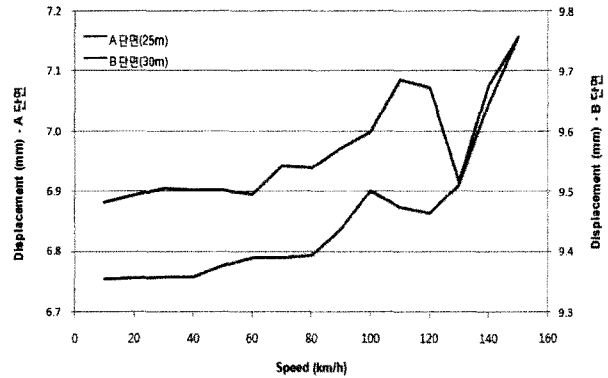


Fig. 9. 속도에 따른 최대 수직 처짐 변화 (L/1500)

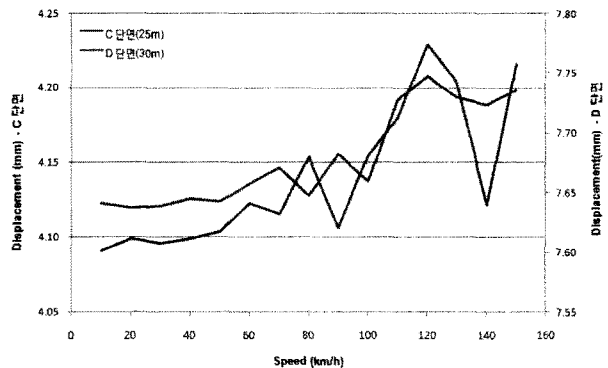


Fig. 10. 속도에 따른 최대 수직 처짐 변화 (L/3000)

연직가속도에 대한 규정은 국내 고속철도규정인 BRDM [12]에 나타나있다. 이 규정에서 220km/h 이상의 고속주행

시 연직가속도는 필수적으로 검토되어야하며 0.35g 이내로 규정하고 있다. 또한 프랑스 규정에서는 유도상궤도일 때는 0.35g 이하 무도상 궤도일 때는 0.5g 내로 제한하고 있다[13]. 제안 가이드웨이의 동해석 결과 속도에 따른 연직가속도 변화는 Fig. 11과 같이 0.1g 이하로 나타났다.

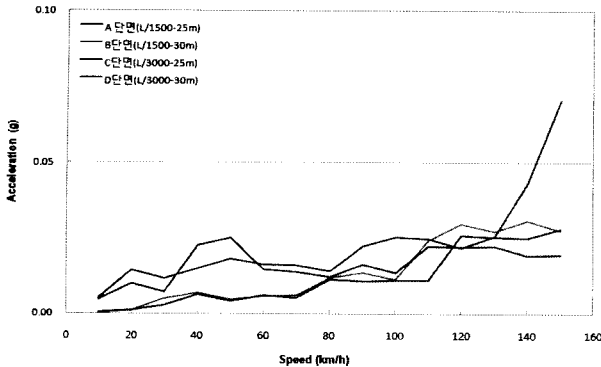


Fig. 11. 속도에 따른 연직가속도 변화

충격계수는 열차의 주행 시 여러 원인에 의해 발생하는 차량의 동적하중으로 인하여 정적하중 작용시보다 더 크게 발생하는 동적응답을 정적 응답에 대한 상대 값으로 표현하는 것이다.

충격계수에 대한 규정은 Table 7과 같이 우리나라에서는 철도설계기준과 경전철 보고서에서 명시하고 있으며 일본의 경우 LINIMO 전용 가이드웨이에 대한 충격계수를 규정하고 있다. 일반 철도의 경우 경간 길이가 L일 때 철근콘크리트 및 PSC 철도교에서 충격계수한계를 정하고 있으며 25m 경간 철도교의 경우 충격계수 한계는 0.34이며 30m 경간교량의 경우는 0.32이다.

Table 7. 각 설계기준별 충격계수와 유한요소해석결과 비교

구분	규정	단면			
		A	B	C	D
철도교 설계기준	$L > 18m, i = 24 + \frac{240}{L-0.6}$	0.34	0.32	0.34	0.32
경전철	철제차륜 $L > 18m, i = 24 + \frac{240}{L-0.6}$	0.34	0.32	0.34	0.32
	고무차륜 $i = \frac{10}{25+L}$	0.2	0.18	0.2	0.18
LINIMO	콘크리트거더	0.1	0.1	0.1	0.1
	강거더	0.15	0.15	0.15	0.15
수치해석	-	0.025	0.025	0.020	0.020

Table 7에서와 같이 경전철 설계기준(2003)[6]에 따르면 우리나라 경량철도 충격계수 한계는 고무차륜과 철제차륜의 두 가지 경우로 나누어 명시하고 있다. 철제차륜 충격계수한계는 철도설계기준과 동일하나 고무차륜 경전철의 충격계수한계는 25m 경간 교량의 경우 0.2이며 30m 경간 교량의 경우는 0.18로 규정하고 있다. 반면에 일본 LINIMO의 충격계수 한계는 콘크리트거더의 경우 0.1, 강거더의 경우는 0.15로 일반 철도와 경전철 충격계수한계보다 작은 값을 나타내는 것을 알 수 있다.

자기부상열차는 일반철도와 달리 기계적 접촉이 없고 분포하중형태로 재하 되므로 가이드웨이의 충격계수는 일반철도와 경전철(K-AGT)보다 작을 것으로 예상된다. 그러나 국내 자기부상규정이 없어 시험선로 가이드웨이는 철도교설계기준(1999)을 기준으로 건설되었으며 제안 가이드웨이 또한 철도교설계기준의 충격계수를 참조하여 단면이 구성되었다.

제안 가이드웨이 유한요소 해석 결과 Fig. 12과 Fig. 13에서 충격계수는 처짐한계 L/1500일 때 0.065 미만, L/3000의 경우 0.020 미만으로 앞서 언급한 충격계수 기준을 모두 만족하였다. 또한 도시형 자기부상열차 설계속도인 110 km/h에서는 Table 7과 같이 0.020~0.025의 동적증폭효과가 발생하였다. 이로써 자기부상 가이드웨이의 동적증폭은 크지 않음이 나타났다.

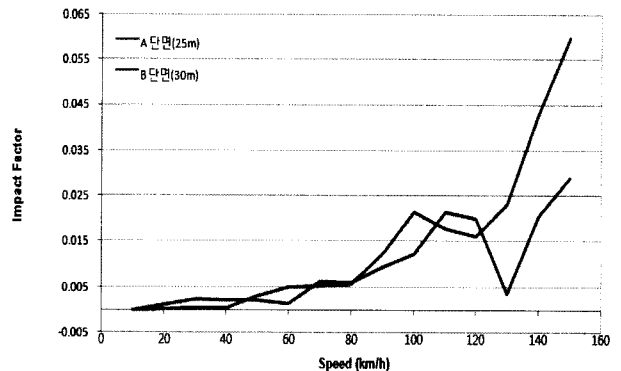


Fig. 12. 속도에 따른 충격계수 변화 (L/1500)

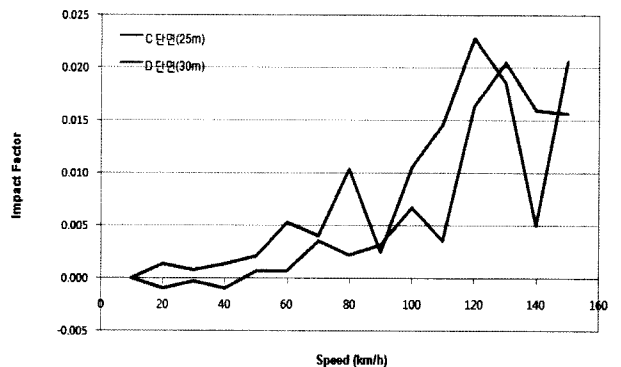


Fig. 13. 속도에 따른 충격계수 변화 (L/3000)

5. 결 론

본 연구에서는 자기부상교량의 최적단면의 유한요소 해석을 수행하여 제안가이드웨이의 정적·동적특성과파악을 통해 충격계수를 산정하였다. 시험선로 현장실험결과와 유한요소해석결과를 비교해 검증된 유한요소모델을 제안 가이드웨이에 적용하여 수행한 유한요소 해석을 통하여 아래와 같은 결론을 얻었다.

1. 제안 가이드웨이의 고유진동수는 UIC의 3.51Hz에서 8.53Hz까지의 범위 기준을 만족하였다. 또한 최대 수직 처짐은 처짐 한계 L/1500의 25m와 30m 경간에서는 각 6mm와 9mm 대역이 발생하였고 처짐 한계 L/3000의 25m와 30m 경간에서는 4mm와 7mm 대역에서 나타났다. 이는 철도설계기준(1999)의 제한지침 상 안전측임을 알 수 있다.
2. 제안 가이드웨이는 무도상 시스템으로 무도상 철도교량의 연직가속도 제한인 0.5g를 충족하는 것으로 나타났다.
3. 국내 충격계수에 대한 기준은 철도설계기준(1999)의 $I=24+240/(L-0.6)$, 즉 지간길이 25m의 제안 가이드웨이의 경우 약 0.338, 30m인 경우 0.322으로 산정되나 해석결과 충격계수는 0.025 미만으로 철도교 충격계수 한계치보다 작은 값을 가지며, 이는 일본 LINIMO의 충격계수 규정인 0.1보다도 다소 작은 값을 나타내었다.

자기부상열차는 일반철도와 달리 전자기력에 의한 부상력 및 추진력으로 운행되며 하중, 시스템 등이 일반철도와 달라 일반철도에 적용되는 설계기준을 그대로 적용하기에는 무리가 있다. 현재 국내에서는 기존선과 고속철도의 구축물에 대한 철도교 설계기준이 정립되어있으나 자기부상열차에 적합한 구축물을 위한 기준들이 정립되지 못한 실정이다.

제안 가이드웨이의 충격계수가 현 철도교 설계기준보다 현저하게 낮을 뿐만 아니라 일본 규정을 따르더라도 다소

안전측으로 규정되어 있다. 특히 일본 규정의 경우 사용재료에 따라 충격계수를 일정한 값으로 제시하고 있으나, 충격계수는 가이드웨이의 기하학적 특성, 고유진동수, 차량 특성, 차량 속도 등의 여러 가지 요인에 의해 영향을 받을 수 있다. 따라서 향후 다양한 매개변수 연구를 추가로 실시하여 국내 자기부상열차 및 가이드웨이에 적합한 충격계수식의 산정이 필요하다고 판단된다.

참 고 문 헌

1. H. Tsunashima, M. Abe. (1998). "Static Dynamic Performance of Permanent Magnet Suspension for Maglev Transport Vehicle", *Vehicle System Dynamics*, V.29.
2. Y. Cai, S.S. Chen, D.M. Rote, H.T. Coffey. (1966). "Vehicle/Guideway Dynamic Interaction in Maglev Systems1," *Transaction of the ASME* vol. 118.
3. H. R. Sandberg, J. R. Williams. (1997). "Design Criteria For Maglev Structures," ASCE.
4. D. Plotkin, S. Kim. (1997). "Maglev Guideway Design Issues", *Journal of Transportation Engineering*.
5. 진병무 외 (2007), "PSC-형식 자기부상열차교량 상부구조의 단면제안", 대한토목학회 학술대회 논문집.
6. 이희엽, 오지택, 최일윤. (2003). "경량전철 고무차륜 AGT 시스템의 구조물 설계기준", 한국철도학회 추계학술대회 논문집.
7. 신경철. (2006). "한국형 자기부상열차 시설물 구축에 대한 제안". 한국철도학회지.
8. 도시형 자기부상열차 실용화사업 기술분야 타당성조사. (2006). 건설교통부.
9. 철도설계기준(철도교편). (1999). 철도청.
10. UIC 776-1. (2006). Loads to be considered in railway bridge design, 5th edition.
11. UIC 776-3. (2006). Deformation of bridges, 1st edition.
12. SYSTRA. (1995). "Bridge Design Manual(BRDM) Final Report". Korea High Speed Rail Construction Authority(KHRC).
13. 최진유, 오지택. (2002). "철도교 설계기준에 대한 비교·고찰". 전산구조공학회지 제 15권 제 4호.

접수일(2008년 7월 30일), 수정일(2008년 9월 5일),
 게재확정일(2009년 2월 14일)