



경량전철 토목설계기준(하중분야)에 관한 연구



오 지 택*



이 안 호**



홍 창 국***

1. 서 론

경량전철은 차량 및 선로의 적용기술에 따라 철제차륜형 AGT(Automated Guideway System), 고무차륜형 AGT, 모노레일(현수식, 과좌식), LIM (Linear Induction Motor: 선형유도모터) AGT, HSST(High Speed Surface Transport)등으로 구분된다. 또한 경량전철은 고속철도와 기존철도에 비해 차량이 경량이고 소음·진동이 적은 시스템으로 등판능력이 우수하고 또한 곡선반경이 적어 도심지에 건설시 선형계획이 용이하여 접근성이 좋고 환경친화적인 구조물의 설계가 가능하다. 그러므로 기존도시철도와 버스 등의 일반 대중교통의 극심한 혼잡과 연계체제의 미흡, 이용률 감소 등의 한계를 극복할 수 있는 새로운 대중교통수단으로 자리잡을 것으로 기대된다. 또한 기존 도로변에 지상 또는 고가로 건설할 수 있어서 용지보상비(총사업비의 3~5%)의 감소로 건설비가 상대적으로 저렴하다. 현재까지 국내에서의 경량전철사업은 타당성조사 및 기본설계까지는 시행한 경험이 있지만 아직 기술 수준이 미비한 상태이

며, 토목설계용 설계기준이 없어 설계를 수행한 업체마다 각각 다른 기준을 적용한 실정으므로 확실한 기준정립이 무엇보다 필요하다.

이에 따라 경량전철 선로구축물 기술개발의 한 분야인 토목설계기준 및 표준시방서(안)의 수립연구에서는 새로운 도시철도 시스템으로서 개발될 한국형 경량전철(철제차륜형 AGT, 고무차륜형 AGT, LIM AGT)차량 특성을 분석하여 활하중, 충격력 등 설계모형을 개발하고 구조물의 해석 및 설계를 위한 열차하중과 제반 토목설계기준(하중 및 선형분야)을 제시하고자 한다. 1차년도 하중기준관련 연구성과중 고정하중과 열차하중에 대하여 소개하면 다음과 같다.

2. 경량전철의 차량유형 및 제원

경량전철(LRT : Light Rail Transit)은 기존 중량전철보다 운행방식, 정시성, 기동성이 향상된 신기술의 궤도 교통 수단으로 수송능력이 시간·방향당 5,000~40,000인을 갖추고 있다. 경량전철 차량 시스템은 크게 AGT(Automated Guideway Transit),

* 한국철도기술연구원, 선임연구원

** 정회원 · 한국철도기술연구원, 선임연구원

*** 동해대학교 건설환경공학부, 교수

LIM(Linear Induction Motor : 선형유도모터) 등으로 구분할 수 있다.

2.1 AGT시스템

AGT시스템은 승무원이 없이 무인자동운전 시스템을 적용, 고정된 유도로상에 운영되는 전용 궤도 교통수단으로 차량은 일반적으로 기존의 지하철보다 그 규모나 용량이 약 20~50% 작으며 보통 2~6량으로 편성되어 양방향 운전이 가능한 시스템을 지칭하며 고무차륜과 철제차륜으로 나누어진다.

2.2 LIM시스템

선형유도 모터 시스템은 궤도와 바퀴의 접촉없이

선형유도모터를 이용하여 차량과 reaction plate간의 전자력을 이용하여 추진력을 발생, 주행하기 때문에 기존 지하철과 비교하여 차량의 높이가 낮으며 선형유도모터의 전자력을 견인력으로 사용하므로 철제차륜의 마찰력에 의존하는 종래의 전동차 추진방식과는 달리 차륜과 레일간 점착력에 거의 영향을 받지 않고 급구배의 선로조건에서도 열차운행이 가능한 기술적 특성을 가진다.

2.3 한국형 경량전철시스템

경량전철 기술개발사업의 차량분야에서 개발될 경량전철차량에 대한 목표사양(안)은 표 1과 같다. 표 2는 해외경량전철 시스템간의 특성을 비교한 것이다.

표 1 경량전철차량 목표사양(안)

항 목	표 준 사 양			비 고
	철 제 차 륜	고 무 차 륜	L I M	
차 량 편 성	2량 1편성	4량 혹은 6량 1편성	2량 1편성	
최 급 구 배	48%	58%	60%	정거장 1.5% 이하
최소곡선반경	본선 50m 측선 30m	본선 40m 측선 30m	본선 100m 측선 80m	
궤 간	1,435mm	1,740mm	1,435mm	
최대승객하중	10Ton/량	7Ton/량	14Ton/량	성능계산기준 (정원의 2배)
만 차 중 량	31Ton	19Ton	36Ton	
공 차 중 량	21Ton	12Ton	22Ton	
최대축중(만차)	10.8Ton	9.5Ton	9.1Ton	
최대축중(공차)	7.3Ton	6Ton	5.7Ton	
성능최고속도	80km/h/s 이상	80km/h/s 이상	80km/h/s 이상	
최고운행속도	70km/h/s 이상	70km/h/s 이상	70km/h/s 이상	
가 속 도	3.96km/h/s	3.96km/h/s	3.6km/h/s	
감 속 도	4.68km/h/s	4.68km/h/s	3.6km/h/s	
승강장연단높이	950mm(레일상면기준)	1,050mm(주행면기준)	775mm(레일상면기준)	
연결면간거리	26,400mm(2량기준)	9,640mm(1량기준)	33,700mm(2량기준)	
차 체 길 이	25,600mm(2량기준)	9,140mm(1량기준)	16,850mm(1량기준)	
대차중심간거리	9,200mm	5,000mm	12,000mm	
대차축간거리	2,100mm	-	1,900mm	
최 대 차 체 폭	2,650mm	2,400mm	2,650mm	
지 붕 높 이	3,400mm(레일면상기준)	3,500mm(주행면기준)	3,415mm(레일면상기준)	
객실상면높이	1,000mm(레일면상기준)	1,110mm(주행면기준)	825mm(레일면상기준)	

표 2 해외 경량전철 시스템 특성 비교

구 분	AGT		LIM	모노레일
	고무차륜	철제차륜		
승객정원(명/량)	60~90	75~100	60~130	40~80
차량편성(량)	2~6	2~4	2~6	2~6
승객수송능력 (명/시간·방향)	7,000~25,000	17,000~20,000	25,000~30,000	5,000~20,000
차량형태	고무차륜	철제차륜	소형철제	고무/철제
최고속도(Km/h)	60~80	70~80	80~90	70~80
최급구배(%)	5~7	4~6	5~6	8~10
최소곡선반경(m)	30~35	25~40	70~100	50~55
차량중량(Ton/량)	18~19	18~27	14~22	10~22
해외 운영사례	릴리, 잭슨빌, 시카고, 타이페이, 히로시마	도크랜드, 벤쿠버, 토론토	오사카, 쿠알라룸푸	오사카, 지바, 쇼낭, 시드니

3. 설계하중의 종류

3.1 설계하중의 개요

하중에 대해서는 일본의 「신교통시스템 토목구조물 설계지침(안) 1985년 4월 (사)일본교통계획협회」 「동경도 13호지 신교통 토목구조물 설계기준(안) 1987년 3월 동경도」 「모노레일 기준 1993년 8월」 및 프랑스 VAL시스템, KUALA LUMPUR (LIM SYSTEM, MKII) 설계기준, 그리고 국내의 경우에는 철도설계기준(철도교편), 고속철도 표준시방서 해설(안), 도로교 표준시방서 및 서울-하남 및 부산-김해 기본 설계시 수행한 설계기준을 참고하였으며, 국내에서 개발하고자 하는 3가지 유형의 차량형식에 따른 하중특성을 조사하여 설정하였다.

3.2 고정하중 (D)^{1),7)}

고정하중은 원칙적으로 구조물의 자중 외 부대 시설물(안내레일, 주행로, 점검용 통로, 케이블, 전차선, 기기실 및 가건물, 대피소 등)의 실중량을 고려하였으며 장래 중량의 변화가 예상되는 경우에는 그 변화를 고려해서 정하는 것으로 한다. 경량전철의 차량유형에 따른 궤도표준단면(안)을 그림 1과 2에 나타내었으며 이에 근거하여 고정하중을 수립하였다.

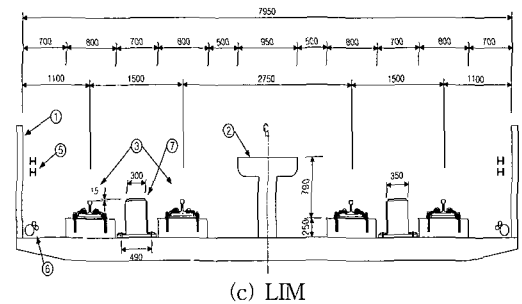
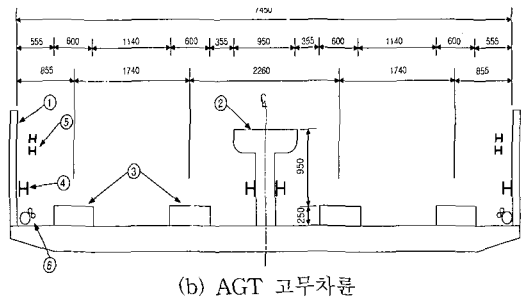
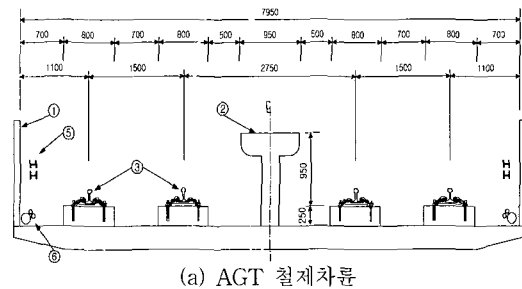


그림 1 복선 궤도 단면도

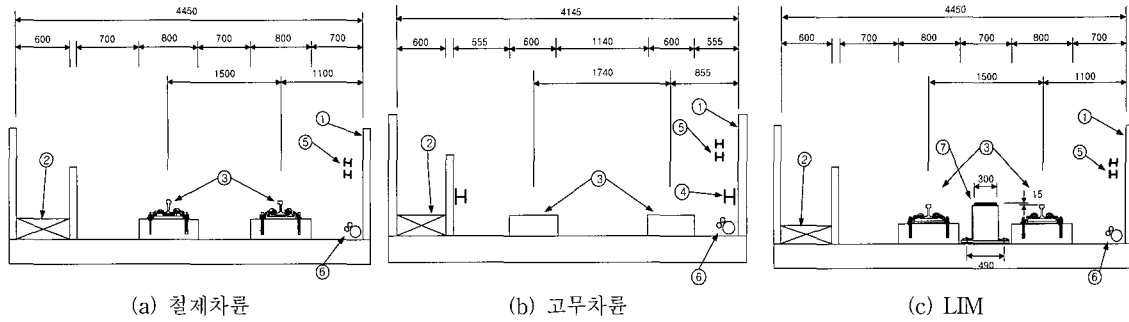


그림 2 단선 궤도 단면도

3.2.1 Slab 궤도

그림 1부터 2에 나타난 궤도표준단면에서의 각 부 명칭을 표 3에 나타내었다.

표 3 궤도표준단면 명칭

번호	명칭
①	측벽
②	점검용 통로
③	주행로
④	안내레일
⑤	전차선(제3궤조, 홈통, 통신케이블)
⑥	방수공(배수공)
⑦	Reaction Plate

각 차량시스템별 표준 궤도 고정하중을 계산하여 정리한 것을 표 4에 나타내었다.

3.3 열차하중(L)

차량종류별 열차운행 편성수를 표 5에 나타내었다.

표 5 차량종류별 열차운행 편성수

차량종류	열차운행 편성
AGT 철제차륜	기본 2량 1편성, 최대 4량
AGT 고무차륜	기본 4량 1편성, 최대 6량
L I M	기본 2량 1편성, 최대 4량

표 4 차량 시스템별 궤도 표준 고정하중 (t/m)

	AGT 철제차륜		AGT 고무차륜		L I M		비고
	단선	복선	단선	복선	단선	복선	
측벽	0.880	0.880	0.880	0.880	0.880	0.880	철근 콘크리트 : B×H=175×1000 mm
점검용통로	0.080	0.230	0.080	0.230	0.080	0.230	강재 점검용 통로 (복선구간)
주행로	1.000	2.000	0.750	1.490	1.000	2.000	철근 콘크리트 : B×H (mm) 철제차륜 : 800×250 고무차륜 : 600×250 L I M : 800×250
레일	0.100	0.200	-	-	0.100	0.200	50KG N형
방진베이스 플레이트	0.078	0.156	-	-	0.078	0.156	30kg/EA×1.3개/m
안내레일	-	-	0.130	0.250	-	-	
제3궤조 등	0.410	0.700	0.410	0.700	0.410	0.700	
방수공	0.340	0.550	0.340	0.550	0.340	0.550	아스팔트 포장 : t=50mm
Reaction Plate	-	-	-	-	0.023	0.046	동판 : 300×5 (mm) 알루미늄 : 585×6 (mm)
계	2.888	4.716	2.590	4.100	2.911	4.762	

표 6 적용구간과 재하방법 7

구분	상태	단·복선 구분	하중
본 선	상 시	단 선	L1
		복 선	L1, L1
	구 원 시	단 선	L1+L1
		복 선	L1+L1, L1
	피로를 고려할 경우	단 선	L3
		복 선	L3, L3
지진을 고려할 경우	단 선	L3	
	복 선	L3, L3	
인입선	상 시	단 선	L2
		복 선	L2, L2
	구 원 시	단 선	L2+L2
		복 선	L2, L2+L2

※ 구원시 : 차량고장으로 인한 견인을 고려한 경우로서 고장차량편성의 2배에 해당하는 만차하중(L1)을 재하하여 구조물의 설계부재력을 검토한다.

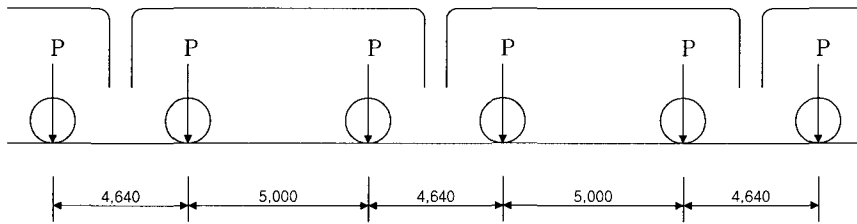


그림 3 AGT 고무차륜 축하중 모형

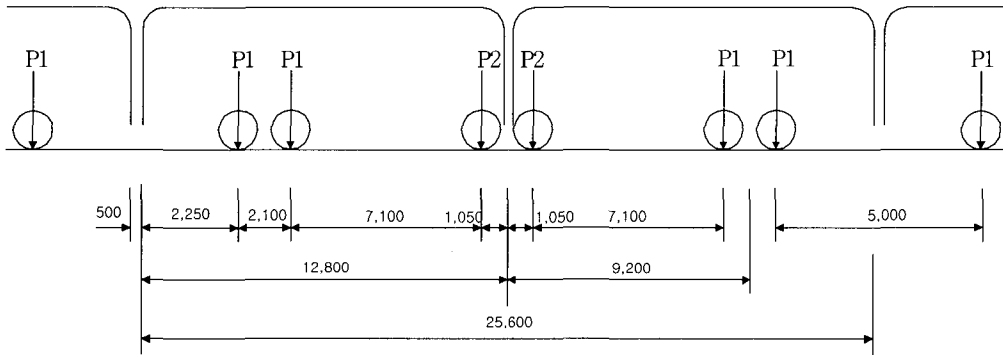


그림 4 AGT 철제차륜 축하중 모형

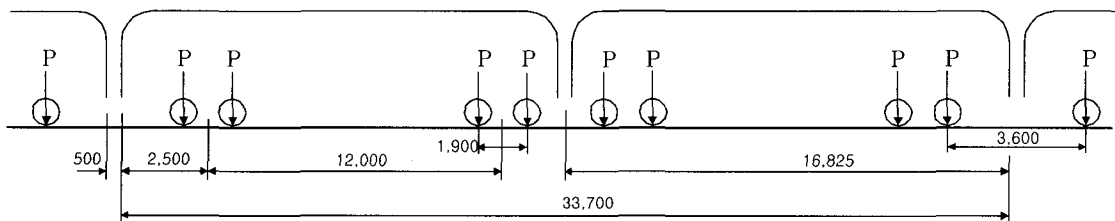


그림 5 LIM 축하중 모형

열차하중은 만차하중(L1)과 공차하중(L2) 및 정원하중(L3)으로서 통상 활하중은 만차하중(L1)을 기준으로 한다. 단 부재의 피로, 충돌 및 지진의 영향을 검토하는 경우 열차하중은 정원하중(L3)으로 한다. 열차하중의 적용구간과 재하방법을 표 6에 나타내었다.

경량전철 차량유형별 열차축중의 배치도를 그림 3, 4 및 5에 나타내었다.

그림 3, 4 및 5와 같은 축중배치도와 관련된 차량의 하중 L1, L2 및 L3는 표 7과 같다.

차종별 하중분배 및 축중를 그림 6과 표 8에 나타내었다. W는 만차, 공차 및 정원에 해당되는 L1, L2 및 L3를 나타낸다.

표 7 차량형식별 차량하중(1량기준)

요소	차량	AGT		LIM
		철제차륜	고무차륜	
	만차하중(L1)	31톤	19톤	36톤
	공차하중(L2)	21톤	12톤	22톤
	정원하중(L3)	26톤	15.5톤	29톤
	승객정원 입석3명/m ³ (1인 60kg)	82명	57명	108명

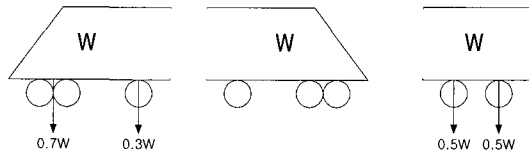
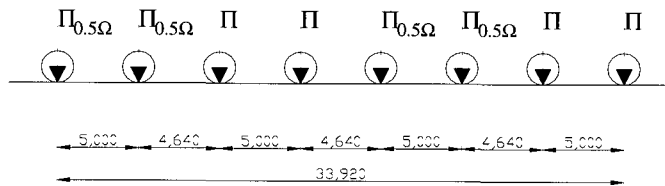


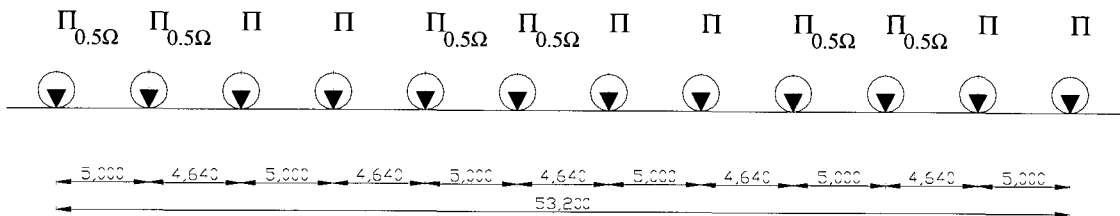
그림 6 AGT 철제 및 고무차륜 하중분배

표 8 차종별 차량하중에 따른 축중(1량기준)

요소	차량	AGT				LIM	
		철제차륜		고무차륜			
만차하중(L1)	P1(0.35W)	10.85톤	P(0.50W)	9.50톤	P(0.25W)	9.00톤	
	P2(0.30W)	9.30톤					
공차하중(L2)	P1(0.35W)	7.35톤	P(0.50W)	6.00톤	P(0.25W)	5.50톤	
	P2(0.30W)	6.30톤					
정원하중(L3)	P1(0.35W)	9.10톤	P(0.50W)	7.75톤	P(0.25W)	7.25톤	
	P2(0.30W)	7.80톤					

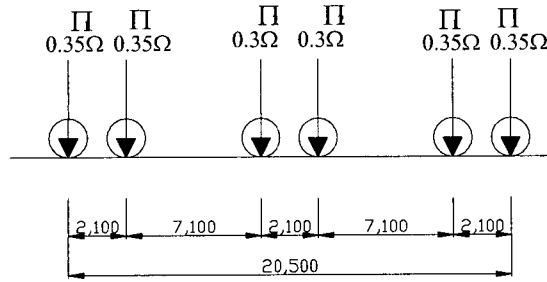


(a) 4량편성시

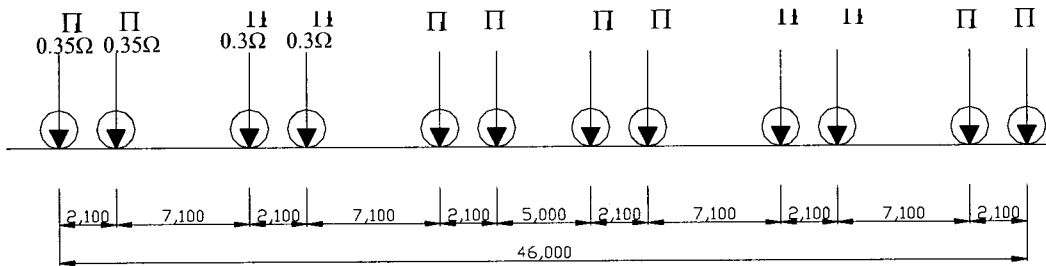


(b) 6량편성시

그림 7 AGT 고무차륜 축하중

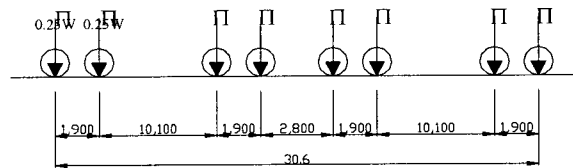


(a) 2량편성시

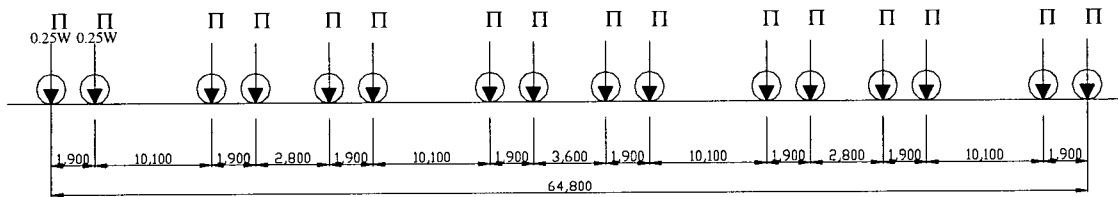


(b) 4량편성시

그림 8 AGT 철제차륜 축하중



(a) 2량편성시



(b) 4량편성시

그림 9 LIM 축하중

각 차종별 차량편성에 따른 축중과 축간거리를 그림 7, 8 및 9에 나타내었다.

4. 고정하중에 의한 부재력함수식

고정하중에 의해 연속보에서 발생하는 부재력을 수치결과가 아닌 기호결과(symbolic results)로 된

함수식으로 고정하중의 크기(w_d)와 경간길이(L)만을 변수로 하며 지점반력 R_i , 지점휨모멘트 M_i , 각 경간내 최대휨모멘트 M_{jmax} , M_{jmax} 및 발생위치 X_j 와 각 경간중앙점에서의 휨모멘트 M_{jc} 에 대하여 제시하였다. 고정하중에 대한 부재력함수식을 정리하면 상수로 표현되는 계수부분과 경간길이 L 및 사하중강도 w_d 로 표현되는 승수(multiplier)로 구

분되며 식 (1)과 (2)는 연속보의 지점반력과 휨모멘트에 대한 부재력함수식의 기본형태를 나타낸다.

$$\text{반력} = \text{상수항} \times \frac{w_d L}{2} \quad (1)$$

$$\text{휨모멘트} = \text{상수항} \times \frac{w_d L^2}{8} \quad (2)$$

그림 10은 고정하중작용시 발생하는 연속보에서의 부재력에 대한 기호를 나타낸다. 2경간부터 4경간 연속보에서 고정하중에 대한 부재력함수는 표 9와 같다.

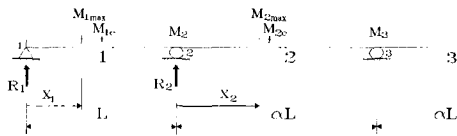


그림 10 연속보의 해석결과에 대한 기호

5. 결 론

본 연구에서는 경량전철의 설계 및 시공에 일관성을 유지하기 위한 경량전철 토목설계기준(하중분야)에 대한 기준(안)을 제시하였으며 해석 및 설계의 효율을 향상시키기 위하여 고정하중에 대한 2경간부터 4경간 연속보에서의 부재력을 간단한 산출할 수 있는 간단식과 열차하중의 재하 및 추후 연구에 응용될 수 있도록 영향선에 대한 함수식을 개발하였다.

5.1 주요연구결과

5.1.1 설계하중의 분류

▷ 고정하중의 산출

- 무도상궤도 및 유도상궤도

▷ 열차하중의 축배치도 및 축중 설정

- AGT 고무차륜, AGT 철제차륜 및 LIM

표 9 고정하중(wd)이 재하된 연속보의 부재력식 (α=1, 등경간)

		4경간	3경간	2경간	승수
지점 반력	R1	11/14	4/5	3/4	$\frac{w_d L}{2}$
	R2	16/7	11/5	5/2	
	R3	13/7	11/5	3/4	
	R4	16/7	4/5		
	R5	11/14			
지점 휨모멘트	M2	-6/7	-4/5	-1	$\frac{w_d L^2}{8}$
	M3	-4/7	-4/5		
	M4	-6/7			
최대 정(+)모멘트	M1max	121/196	16/25	9/16	
	M2max	57/196	1/5	9/16	
	M3max	57/196	16/25		
	M4max	121/196			
경간 중앙 모멘트	M1c	4/7	3/5	1/2	
	M2c	2/7	1/5	1/2	
	M3c	2/7	3/5		
	M4c	4/7			
최대 정(+)모멘트 발생위치	X1	11/28	2/5	3/8	L
	X2	15/28	1/2	5/8	
	X3	13/28	3/5		
	X4	17/28			

- 차량의 열차편성 축배지도
- 열차운행 조건을 고려한 열차 축중의 산정
- ▷ 차종별 충격계수의 설정
- ▷ 원심하중의 재하길이 설정
- ▷ 교량형식별 장대레일 종하중 설정

5.1.2 해석 및 설계 도구

- ▷ 고정하중에 대한 연속보의 부재력 산정식 개발
- ▷ 연속보의 전 부재력에 대한 영향선 함수식 표의 개발
- ▷ 동적설계검토를 위한 철도교량의 고유진동수 범위의 설정

5.2 향후 주요 연구과제

본 연구의 수행결과로부터 향후 토목설계기준(하중분야)에 추가 또는 보완되어야 할 연구의 내용을 정리하면 다음과 같다.

5.2.1 열차하중분야

- ▷ 경량전철 차량의 실차주행에 대한 궤도 및 구조물의 정적/동적응답 측정
- ▷ 실 열차 축중으로 설정한 열차하중에 대한 구조물 설계안전율의 평가
- ▷ 개발될 열차유형별 하중효과를 포괄할 수 있는 표준열차하중의 개발
- ▷ 궤도 형식에 따른 열차 유형별 충격효과의 실험/이론적 평가
 - 도상 유무/교량구조물의 재질

5.2.2 구조물 소음/진동 분야

- ▷ 열차 윤중변동과 궤도틀림간의 상관관계 분석
 - 열차 승차감/진동기준의 타당성 및 적용성 평가
- ▷ 차량/궤도/교량구조물의 동적상호작용 해석
 - 고가구조물의 진동저감대책 수립을 위한 고유진동수 기준의 설정
 - 구조물의 피로기준 설정을 위한 해석 및 실험적 연구
 - 경량전철 궤도틀림에 대한 기준 수립
 - 궤도틀림 기준 및 수치해석을 위한 틀림량의 PSD함수 설정
- ▷ 소음기준의 타당성 검토

- 국내 도심지 소음수준 및 소음규제에 따른 적정소음기준의 평가
- 소음원의 분석 및 소음저감 방안의 개발 (공법, 소재)

5.2.3 해석 및 설계 도구

- ▷ 구조물 설계
 - 다경간 연속보의 경량전철 유형별 설계부재력에 대한 직접해 도출
 - 설계부재력 직접해를 이용한 교량구조물의 정적/동적 최적설계기술
 - 유지보수측면을 고려한 구조물 부대설비기준의 설정

참 고 문 헌

1. 서울-하남간 신도시철도(경량전철) 기본설계 설계기준(안), 하남시, 1997. 2
2. 부산-김해간 경량전철 건설 기본설계 설계기준(안), 건설교통부, 김해시, 1997. 2
3. 부산지하철 3호선(미남R~반송구간) 토목분야 설계기준(안), 부산교통공단, 1998. 11
4. 도시철도차량표준사양, 건설교통부, 1998. 2
5. 일본 신교통시스템 토목구조물 설계지침(안), 1985. 4.18. 동경도신교 13호지 신교통 토목구조물설계기준(안), 1987. 3
6. 철도구조물등 설계기준·同해설-궤도구조[유도상궤도] (안)-1997. 3, 일본운수성철도국(철도종합기술연구소)
7. 고베 신교통 Port Island선 건설지, 고베시 기획국 신교통 건설부
8. 지바도시모노레일 설계기준, 지바현, 지바도시 모노레일 설계기준 해석자료, 1991. 1
9. 多 도시 모노레일 기준, 1993. 8
10. VAL256 for KOREA, May 1994
11. VAL256 SYSTEM/CIVIL ENGINEERING INTERFACES
12. 요코하마시 신교통 SEA SIDELINE 강구조설계, 1994.
13. 신교통 가나자와 SEA SIDELINE 토목구조물 설계지침 1984, 요코하마시 도로국

14. 이구찌, 야마쓰다, 신교통 시스템(日本語), 朝倉書店, 1985. 4
15. 철도설계기준(철도교편) 1999, 철도청, (5, 23~24, 43, 44)
16. MTA DESIGN CRITERIA
17. Advanced Rapid Transit MKII Kuala Lumpur LRT System2, BOMBARDIER
18. Light Railway Track System Design Criteria, Vancouver, SNC · LAVALIN
19. 경량전철시스템 기술개발사업, 한국철도기술연구원, 1999, 5
20. UIC 776-1R, Loads to be considered in railway bridge design, 4th. Ed., 1.7.94
21. 경량전철 토목설계기준(하중분야)에 관한 연구, 1차년도 위탁연구결과보고서, 한국철도기술연구원, 1999. 12 