

# 열차하중선도의 수치적 분석 및 비교

## Numerical Analysis and Comparison of Train Loading Diagram

오지택\*  
Oh, Ji-Taek

최진유\*\*  
Choi, Jin-Yu

김현민\*\*\*  
Kim, Hyun-Min

박찬\*\*\*  
Park, Chan

---

### ABSTRACT

Object of this paper are numerical and experimental evaluation of Korean Standard Train Loading(L-loading scheme) with respect to UIC's and real train loading, quantitative formulation of the real train types in South Korea. These objects are require to changing environment of train operation, for example, high density traffic and gradual train speed increase. For the reasonable repair, reinforcement and rehabilitation of existing railway infrastructures, statistical analysis of the loading effect during the long term experiment in conventional lines have to conduct. Statistical quantitative formulation of the loading case need to consistency numerical evaluation of the railway safety. Hereafter, those results will be core technical data for the economy enhancement of international line construction. Further, these results are using to make track maintenance criterions for transcontinental, speed up railway and revision of standard train loading diagram.

---

### 1. 서 론

국내 경부고속철도의 설계하중으로 활용되었던 UIC 702code에 규정되어 있는 UIC71하중체계(Load Mode 71, LM71)에 대하여 90년대 중반부터 적합성에 대한 문제점이 제기되고 있는 실정이다. 대부분의 유럽철도교량들은 LM71체계의 설계하중에 기초하여 설계되어졌으나 전면적인 재검토 문제가 제기되었으며, 본 연구에서는 그 문제점에 대하여 고찰하고 ERRI(European Rail Research Institute)의 D192위원회에서 제시한 LM2000모델에 대한 소개 및 기존 LM71(HL-25)하중선도와와의 주요 차이에 대하여 비교하고자 한다. 이러한 고찰은 향후 대륙횡단철도망 구축과 국내 철도설계하중으로서의 L하중에 대한 효율성을 비교분석하기 위하여 필요한 선행작업이라 할 수 있다. 하중체계의 정량적인 비교를 위해 단순보에서 각 작용하중에 의해 발생하는 모멘트를 비교하였으며 국내 철도교의 설계하중에 해당하는 L하중과 다른 하중체계 및 실운행열차하중의

---

\* 한국철도기술연구원 철도토목연구팀, 팀장, 공학박사, 정회원, 031-461-8531(교281), jtoh@krii.re.kr

\*\* 한국철도기술연구원 철도토목연구팀, 선임연구원, 공학박사, 정회원, 031-461-8531(교284), jychoi@krii.re.kr

\*\*\* 한국철도기술연구원 철도토목연구팀, 연구원, 비회원, 031-461-8531

상대적인 비교를 위해 각각의 L하중 대비 열차하중의 상대적인 크기를 비교, 검토하였다.

## 2. LM2000하중모델

LM2000하중은 UIC Code 702에 따라 철도교량을 설계한 모든 철도기관에서 향후 과대하중 등과 같은 철도하중의 증가에 대비하여 권고사항으로 제시된 것이다. 또한 LM2000은 EC1(Euro-Code)에 있는 기존의 하중을 포괄하는 하중이지 EC1의 하중모델과 모순이 있는 것이 아니다.

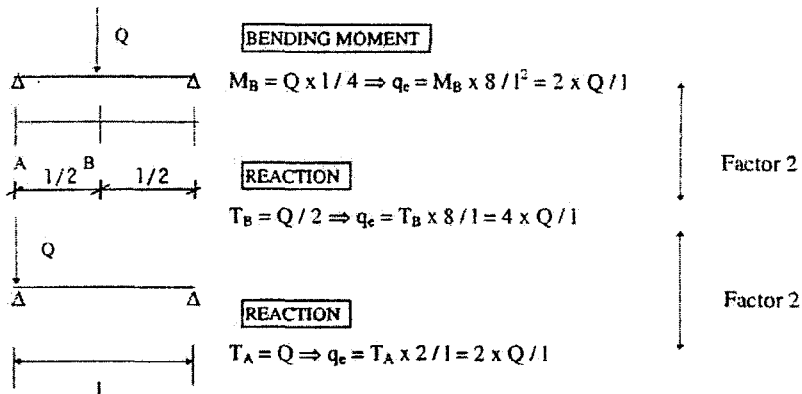


그림 1. 등가등분포 하중  $q_e$ 의 계산과정

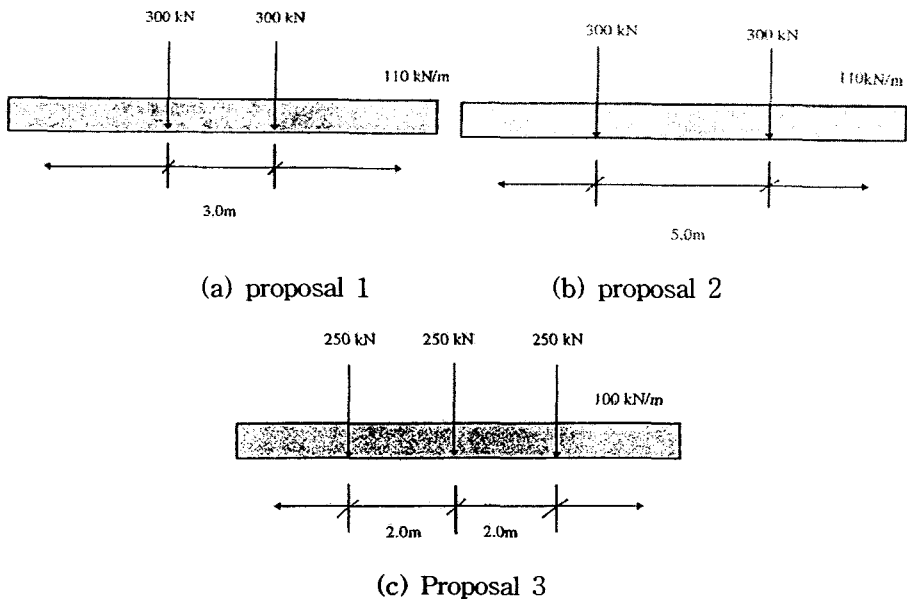


그림 2. LM2000하중모델의 수립을 위해 제시되었던 하중모델(안)

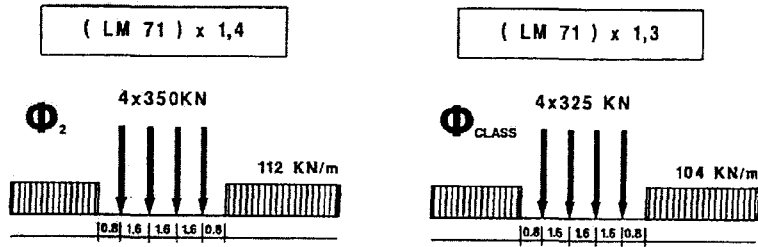


그림 3. LM71 하중의 하중증가 경우

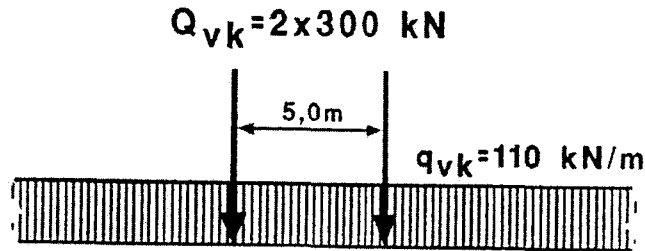


그림 4. LM2000 하중모델

기본적으로 그림 4와 같은 LM2000하중모델은 국가간 철도망이 연결될 수 있는 선로에서의 구조물설계시 적용하는 것을 권고하는 것이며, 국지적인 전용선로이거나 LM2000하중모델보다 더 큰 열차하중이 운행되는 선로에서는 별도의 하중을 사용하여야 할 것이다. 또한, 국가간 운행하게될 새로운 열차의 설계에서는 기본적으로 UIC LM71에서 제시하고 있는 열차유형 6가지의 축중 및 축배치도 범위를 준수하여야 하기 때문에 UIC Code 700과 701의 규정을 만족시키게 될 것이다.

LM2000하중모델은 향후 열차의 축중 증가를 고려하여 축중을 300kN으로 향상시키고 물류수송량 증가에 따라 분포하중의 크기를 향후 150kN/m까지 증가할 것으로 예측하여 하중모델의 분포하중을 110kN/m로 향상시켰다. 또한 향후의 열차유형별 최대속도를 다음과 같이 예측하고 구조물의 설계시 이에 대응할 수 있도록 고려하였다.

- 화물열차의 최대속도 : 160km/h
- 기관차전인 여객열차 : 250km/h
- 동력분산식 열차 : 350km/h
- 교량구조물의 평균수명 : 100년

LM2000하중모델을 제시하면서 가장 특기할 만한 연구내용으로는 설계하중의 증가에 따른 건설비용 및 유지관리비용의 증가에 대한 상관관계를 LCC(Life Cycle Cost)측면에서 비교 분석한 것이다. 분석결과는 설계하중을 40% 증가시켰을 경우 건설비용은 단지 교통량의 유무에 따라 2.2%~3.9%만 증가함을 나타내었다. 이는 설계하중의 증가에 따른 교량건설비용의 증가가 매우 작다는 것을 의미하며, 실제로는 설계하중이 아니라 실 운행열차하중에 대해 종속된다는 것을 나타내었다. 최종적으로 LM2000하중모델을 새로운 하중모델로서 제시하게된 이론적/실험적 근거를 요

약하면 다음과 같다.

- 교량엔지니어가 사용하기 쉬운 하중
- LM2000하중모델을 사용할 경우 교량의 LCC비용이 절감
- LM2000하중모델은 기존의 여객,화물 및 과대하중을 수용
- LM2000하중모델은 향후 100년의 열차하중 증가분을 합리적으로 고려
- LM2000하중모델은 유럽철도네트워크의 운행제약을 해소시킴

향후 충격계수와 관련된  $L_{\phi}$ ,  $\phi'$ ,  $\phi''$ , 부분안전계수, 원심력, 시동/제동하중 및 피로에 대한 연구가 수행되어야 할 것이다. UIC는 LM2000하중모델을 EC1 Part 3 Section 6에 대한 새로운 기준(안)으로서 제시하였다.

### 3. 수치적 비교 및 분석

#### 가. 작용하중에 의한 최대모멘트

하중체계의 정량적인 비교를 위해 단순보에서 각 작용하중에 의해 발생하는 모멘트를 비교하였다. 계측자료를 기초로 작성된 열차유형별 실운영하중 및 설계하중 과 최근 제시된 LM2000하중에 의해 발생하는 최대모멘트를 시간별로 그림 5에 나타내었다. 현행 설계하중 L-22는 운영하중 중에서 가장 큰 하중에 해당되는 Diesel 2량 견인 열차에 비하여 시간에 따라 10~35%정도의 여유치를 갖지만 L-18은 단시간에서 오히려 6%가량 작은 것으로 나타나 이에 대한 검토가 필요한 것으로 파악된다. 또한 LM2000은 현행 설계하중보다 20~50% 정도 큰 것으로 나타나 상당한 여유치를 확보한 것을 알 수 있다. 발생모멘트의 크기는 LM2000, HL-25, L-22, L-18, Diesel 2량견인, Diesel 1량견인, PMC16량편성, KTX, PMC 8량편성의 순으로 나타났다. 그림 5는 고속철도에서 쓰이는 HL-25(UIC LM71하중모델) 및 LM2000하중모델은 국철에서 사용되는 L(S)하중체계와 안전율 및 하중계수등이 상이하기 때문에 최종적인 설계단면력의 비교가 아닌 단지 표준열차하중과 실 열차하중간의 상대적인 차이만을 비교하기 위하여 제시된 것이다.

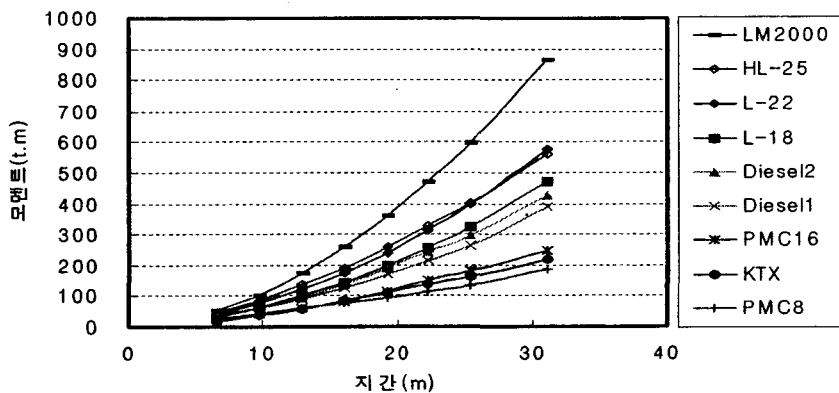


그림 5. 작용하중(활하중+사하중)에 의한 최대모멘트

도표 1. 지간에 따른 열차유형별 최대발생모멘트

(단위 tonf · m)

하중종류	지 간 (m)							
	6.6	9.7	12.9	16	19.2	22.3	25.4	31.1
LM2000	54.70	102.49	175.31	259.69	360.82	472.30	597.10	864.10
HL25	44.01	87.25	138.01	192.94	258.21	328.44	404.43	562.24
L-22	40.54	76.38	122.81	175.26	241.45	314.82	397.64	577.06
L-18	33.17	62.49	100.48	143.40	197.55	257.57	325.34	472.14
PMC16	24.34	41.37	59.18	82.24	115.38	149.23	183.33	247.10
D2	35.60	62.37	92.32	138.65	192.91	245.73	298.71	427.99
D1	35.60	62.34	89.94	126.83	171.78	215.39	262.33	388.57
KTX	16.59	35.17	58.07	84.08	111.05	137.23	163.46	218.99
PMC8	24.34	41.37	59.18	76.49	94.40	113.93	135.91	186.70

나. L하중과의 비교

국내 철도교의 설계하중에 해당하는 L하중과 다른 하중체계 및 실운영열차하중의 상대적인 비교를 위해 각각의 L하중 대비 열차하중의 상대적인 크기를 그림 6에 나타내었다. 먼저 HL-25는 31m의 지간을 제외한 모든 지간에서 L-22하중보다 더 큰 값을 가지는 것으로 확인되었으며 따라서 단순보에 있어서 HL-25하중이 L-22하중보다 안전측 설계하중이라는 것이 확인되었다. 그림 6.3에 나타난 바와 같이 현행 설계하중은 실 운영하중보다 여유치를 갖는 것으로 확인되었지만 9m의 단지간에서는 L-18하중보다 디젤 1량 및 2량 견인열차의 하중이 L-18설계하중보다 더 큰 하중효과를 나타내는 것으로 나타났다. 또한 LM2000은 30~35t의 L하중대비 상대적인 크기를 갖는 것으로 나타났다.

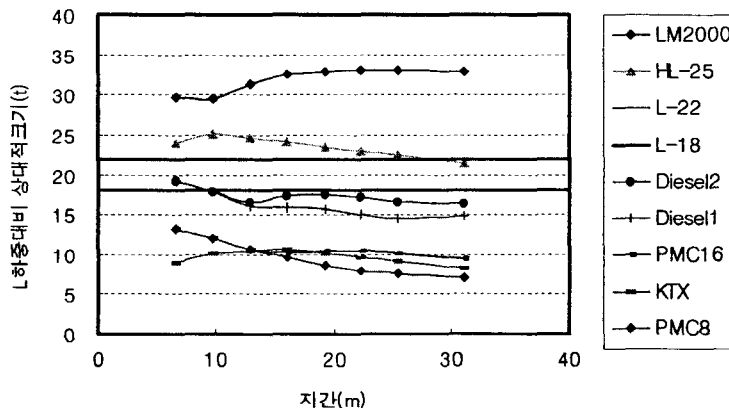


그림 6. 하중유형별 L하중대비 상대적 크기

도표 2. 하중유형별 L하중대비 상대크기

(단위 tonf)

하중종류	지간(m)							
	6.6	9.7	12.9	16	19.2	22.3	25.4	31.1
LM2000	29.68	29.52	31.40	32.60	32.88	33.01	33.04	32.94
HL-25	23.88	25.13	24.72	24.22	23.53	22.95	22.38	21.43
L-22	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00
L-18	18.00	18.00	18.00	18.00	18.00	18.00	18.00	18.00
D2	19.32	17.96	16.54	17.40	17.58	17.17	16.53	16.32
D1	19.32	17.96	16.11	15.92	15.65	15.05	14.51	14.81
PMC16	13.21	11.92	10.60	10.32	10.51	10.43	10.14	9.42
KTX	9.00	10.13	10.40	10.55	10.12	9.59	9.04	8.35
PMC8	13.21	11.92	10.60	9.60	8.60	7.96	7.52	7.12

#### 4. 결 언

현행 철도시설물의 설계는 증기기관차 중련편성에 대한 실 측증을 이용하여 1874년 수립된 하중선도에서 단지 측증을 증가시킨 LS하중을 사용하고 있다. 실제 기존선을 운행하고 있는 열차하중과 LS하중선도는 축 하중과 차축의 배치에 있어서 차이를 나타내고 있으며, 이러한 차이점은 신설교량보다는 노후 철도교량의 적정 보수, 보강 및 개량을 합리적으로 수행하기 위한 하중효과 분석시 교량의 동적안정성, 실 운행하중에 의한 피로 분야에서 문제점을 야기시키게 된다. 가까운 일본의 경우 전기기관차 및 디젤기관차가 대부분의 차량을 구성하게 되자 1987년부터 JR사에서는 기관차 견인열차에 대하여 EA하중선도와 전차·내연동차 전용선에 대한 M하중선도를 별도로 수립하여 설계에 활용하고 있는 실정이다. 또한, 유럽의 LM2000하중모델의 수립 등은 향후 대륙횡단철도 및 남북간 철도 연계운행을 고려해야할 국내 철도분야에서 하중체계에 대한 과학적인 재검토가 필요한 시점이라 할 수 있다.

국내에서 추진되고 있는 기존선의 고속화, KTX의 기존선 직결운행, 열차운행의 고밀화 등과 국외에서의 하중체계 호환성 확보추진 등과 같은 철도운행조건의 변화에 대비하고 철도구조물의 설계 미치 해석기술의 발전과 신공법의 개발을 위해서는 실 운행열차하중과 표준열차하중과의 정량적인 비교·분석이 절실하다 할 수 있다.

#### 참고문헌

1. 철도청, 철도설계기준(철도교편), 1999
2. 철도청, 국유철도건설규칙, 2000
3. 오지택(2001) 등, 대륙간 철도연결에 대비한 표준열차하중 비교·분석, R&D/2001-기술13-01, 한국철도기술연구원, 한국건설기술연구원, 건설교통부
4. ERRI D192, RP1,2,3,4,5 "Loading diagram to be taken into consideration for the calculation of rail-carrying structures on lines used by international services", 1993~1998