

라멘교 설계를 위한 HL 열차하중의 등치등분포하중

Equivalent Distributed Loads of HL Loading for Design of the Rahmen Bridges

진 치 섭*, ○한 상 중**, 이 홍 주**, 김 희 성**, 조 상 제***
 Jin Chi-Sub, Han Sang-Jung, Lee Hong-Ju, Kim Hee-sung, Jo Sang-Je

ABSTRACT

Rail carrying structures on international routes as well as domestic ones shall be designed to carry the HL(High Speed Railway Live Load) loads. The loads shall be placed in the most unfavourable position for the part of the structure in question. In general, influence lines may be used to determine the maximum bending moments and maximum shear forces in the reinforced concrete rahmen bridge structures.

In this study, based on the finite element analysis, equivalent distributed loads of HL loading for design of the rahmen bridges are determined.

1. 서 론

열차하중을 받는 철근콘크리트 라멘교의 설계에서 라멘부재의 응력을 구하는 경우, 영향선을 이용하여 휨모멘트 및 전단력을 계산하는 것이 원칙이다. 그러나 이 영향선에 의한 계산은 매우 번잡하여 이미 일본에서는 이러한 불편을 피하고 계산을 간단히 하기 위해 열차하중을 등치등분포하중으로 치환하여 사용하여 왔다. 본 연구에서는 HL열차하중을 각 경간의 라멘에 작용시켜 등치등분포하중을 결정하였다.

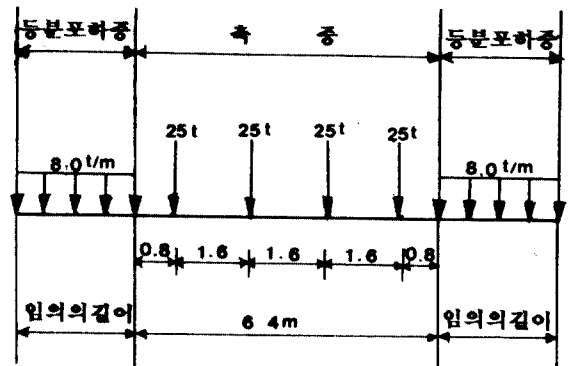


그림 2. HL표준열차하중(HL하중)

2. 고속철도의 열차하중

종래의 일반 철도교의 열차하중은 표준하중을 LS하중으로 사용하고 있으나(그림 1. 참조), 고속철도는 기존철도에 비하여 처짐에 대한 규제를 강화($\delta=L/4,000$)하여야 하므로 하중과 처짐을 고려하여 UIC하중을 설계표준하중으로 하여 국제연결 철도망 구성시 같은 하중을 적용하도록 하며, HL하중(High Speed Railway Live Load)이라 칭하고 있다(그림 2. 참조). HL하중 전후의 등분포하중의 길이는 교량 전지간장 이상으로 한다.

3. 열차하중에 의한 휨모멘트 및 전단력 계산 프로그램

2차원 라멘 구조물의 축력, 전단력, 모멘트에 대한 영향선 해석 뿐만 아니라 그림 2.의 HL하중과 같은 임의 형태의 하중이 작용할 경우, 하중이 연행해 가는 위치에 따라 부재의 축력, 전단력, 모멘트가 작용하는 하중위치 및 그 값을 그대로 설계에 적용할 수 있는 프로그램을 사용하였으며, 영향선의 원활한 곡선을 위해서는 최소자승법을, 그리고 등분포하중이 작용하는 구간의 영향선 면적적분에서는 Simpson Rule을 적용하였다. HL하중의 연행 간격은 각 부재를 n 등분한 길이 만큼 증가하여 재하되도록 하였다.

* 부산대학교 토목공학과 교수

** 부산대학교 대학원 박사과정

*** 부산대학교 산업대학원 석사과정

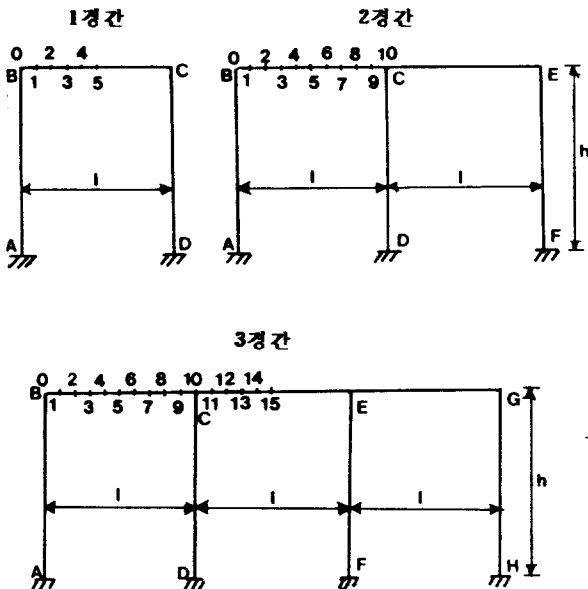
L - 하 중																		S - 하 중						
기 관 차 차 료 하 중																	등분포하중	윤축하중						
단 위 t																	단위 t/m	단위 t						
거리																								
번호	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	번호	1	2			
등급	L-15	L-18	L-22	L-25	L-15	L-18	L-22	L-25	L-15	L-18	L-22	L-25	L-15	L-18	L-22	L-25	L-15	L-18	L-22	L-25	S-15	S-18	S-22	S-25
	7.5	15	15	15	15	10	10	10	10	7.5	15	15	15	15	10	10	10	10	5	18.3	18.3			
	9	18	18	18	18	12	12	12	12	9	18	18	18	18	12	12	12	12	6	22	22			
	11	22	22	22	22	44/3	44/3	44/3	44/3	11	22	22	22	22	44/3	44/3	44/3	44/3	22/3	12.2/9	12.2/9			
	12.5	25	25	25	25	50/3	50/3	50/3	50/3	12.5	25	25	25	25	50/3	50/3	50/3	50/3	22/3	12.2/9	12.2/9			

그림 1. LS 하중

4. 라멘 종류와 계산상의 가정

계산 대상의 라멘교는 1경간에서 3경간까지의 라멘교로서 높이와 지간이 동일하고 또한 수평 및 수직 부재의 강성은 각각 같은 것으로 하였다(그림 3. 참조).

계산은 표 1.에 표시된 강비와 지간의 조합을 갖는 라멘에 대한 것이며, 각 지간을 10 등분한 절점에 대하여 휨모멘트 및 전단력을 구하였다.



I_l : 수평부재의 단면 2차모멘트
 I_h : 연직부재의 단면 2차모멘트
 l : 지간
 h : 높이 $k = \frac{I_l}{l} / \frac{I_h}{l}$; 강 비

그림 3. 1, 2, 3 경간 라멘교

표 1. 라멘의 종류

라멘의 종류	강 비	지 간 $l(m)$	모 멘 트		전 단 력
			正 모멘트	負 모멘트	
1경간	0.5	4, 5, 6, 7	M_4, M_5	M_{BC}	Q_{BC}
	1.0				
	2.0				
	3.0				
2경간	0.5	4, 5, 6, 7	M_4, M_5	M_{BC}	Q_{BC}
	1.0				
	2.0				
	3.0				
	4.0				
3경간	0.5	4, 5, 6, 7	M_4, M_5	M_{BC}	Q_{BC}
	1.0				
	2.0				
	3.0				
	4.0				

5. 등치등분포하중의 계산

HL하중을 연행 재하하여 구한 휨모멘트 및 전단력을 이용하여, 다음과 같이 등치등분포하중을 구하였다.

(1) 휨모멘트에 대응하는 등치등분포하중 w_m 은 다음 식을 사용하였다.

$$w_m = \frac{M}{M_0} = \frac{M}{\alpha l^2}$$

여기서, M : HL하중에 의한 라멘의 휨모멘트 ($t \cdot m$)

M_0 : 단위등분포하중에 대한 라멘의 휨모멘트($t \cdot m$)

α : 라멘에 등분포하중이 재하될 때의 모멘트계수로서 지간에 따라 달라짐(표 2. 참조)

l : 지간 (m)

표 2. α 값

라멘	강 비	구 분	α 의 값		
1 경 간	0.5	M_5	0.0584		
		M_{AB}	0.0665 ~ 0.0666		
	1.0	M_5	0.0696 ~ 0.0695		
		M_{AB}	0.0554 ~ 0.0555		
	2.0	M_5	0.0835 ~ 0.0834		
		M_{AB}	0.0415 ~ 0.0416		
3.0	M_5	0.0918 ~ 0.0917			
	M_{AB}	0.0332 ~ 0.0333			
2 경 간	0.5	M_5	0.0566 ~ 0.0563		
		M_{AB}	0.0611 ~ 0.0606		
	1.0	M_5	0.0651 ~ 0.0645		
		M_{AB}	0.0481 ~ 0.0470		
	2.0	M_5	0.0784 ~ 0.0734		
		M_{AB}	0.0344 ~ 0.0325		
	3.0	M_5	0.0805 ~ 0.0782		
		M_{AB}	0.0271 ~ 0.0248		
	4.0	M_5	0.0844 ~ 0.0813		
		M_{AB}	0.0226 ~ 0.0201		
	3 경 간	0.5	M_5	0.0946 ~ 0.0970	
			M_{BA}	0.0988 ~ 0.1038	
1.0		M_{BA}	0.1007 ~ 0.1103		
		M_{BA}	0.0996 ~ 0.1134		
2.0		M_{BA}	0.0973 ~ 0.1151		
		M_{BA}			
0.5		M_5	0.0564 ~ 0.0562		
		M_{AB}	0.0621 ~ 0.0618		
1.0		M_5	0.0648 ~ 0.0641		
		M_{AB}	0.0493 ~ 0.0485		
2.0		M_5	0.0744 ~ 0.0726		
		M_{AB}	0.0353 ~ 0.0339		
3.0	M_5	0.0801 ~ 0.0772			
	M_{AB}	0.0278 ~ 0.0261			
4.0	M_5	0.0841 ~ 0.0801			
	M_{AB}	0.0231 ~ 0.0212			
3 경 간	0.5	M_{15}	0.0957 ~ 0.0982		
		M_{15}	0.0989 ~ 0.1038		
	1.0	M_{15}	0.0992 ~ 0.1084		
		M_{15}	0.0970 ~ 0.1102		
	2.0	M_{15}	0.0973 ~ 0.1151		
		M_{15}			
	0.5	M_{BA}	0.0543 ~ 0.0539		
		M_{BA}	0.0603 ~ 0.0593		
	1.0	M_{BA}	0.0668 ~ 0.0646		
		M_{BA}	0.0707 ~ 0.0673		
	2.0	M_{BA}	0.0736 ~ 0.0689		
		M_{BA}			

2경간 이상의 라멘에서는 1 지점의 부(負) 모멘트 M_{AB} 에 대해서도 정(正)의 지간 휨모멘트에 대응하는 등치등분포하중을 재하시키는 것으로 한다. 왜냐하면 정(正)의 지간휨모멘트에 대응하는 등치등분포하중과 HL하중에 대응하는 제 1 지점의 부(負)휨모멘트를 각각 비교해 보면, 그림 4에서와 같이 전자의 값이 후자의 값과 거의 같거나 약간 크게 된다. 따라서 제 1 지점의 부(負) 휨모멘트를 구하는 경우에도 정(正)의 등치등분포하중을 적용시키면 안전측일 뿐만 아니라 과대해지지 않으므로 등치등분포하중의 종류를 작게 하고 변잡을 피하기 위하여 이것을 채용키로 한다.

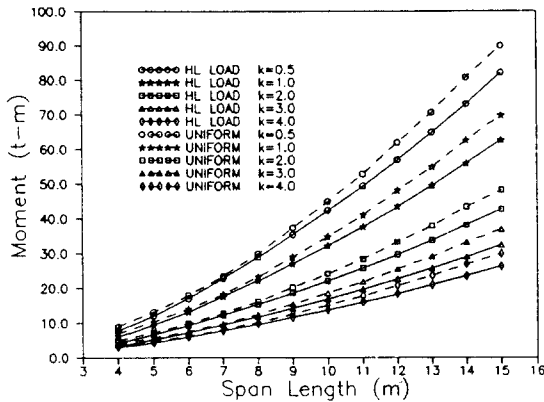


그림 4. 2경간 라멘의 제1지점 부의 휨모멘트 (1레일당)

내부 지점의 부(負)휨모멘트 계산에 이용한 등치등분포하중(2경간 이상인 경우 그림 5.와 같이 재하한다)은 HL하중에 의하여 이 지점에 발생하는 최대휨모멘트를 이용하여 이것을 구한다.

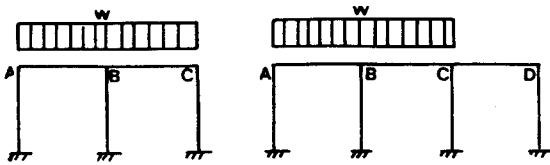


그림 5. 내부 지점 모멘트를 위한 재하

(2) 전단력에 대응하는 등치등분포하중은 다음과 같이 계산한다.

$$w_s = \frac{S}{S_0}$$

여기서 S : HL하중에 의한 라멘의 전단력 (ton)

S_0 : 단위등분포하중에 의한 전단력 (ton) (그림 6. 참조)

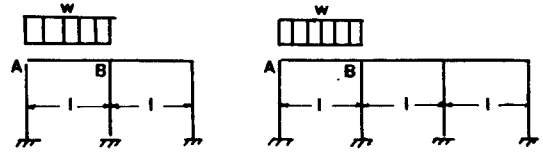


그림 6. 전단력을 위한 재하

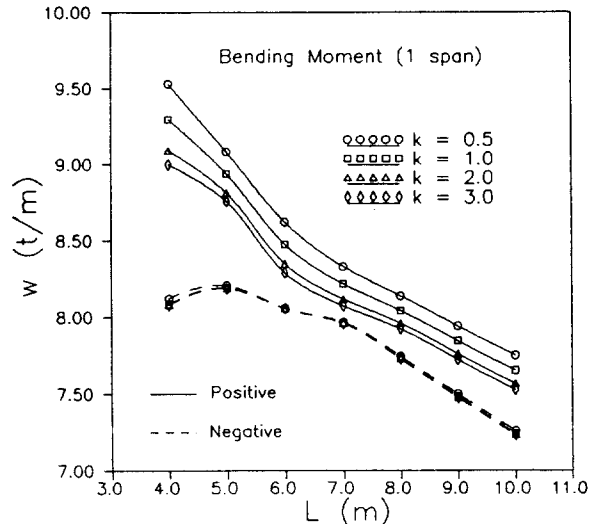
6. 등치등분포하중의 결정

이상의 방법에 의하여 계산한 휨모멘트 및 전단력에 대응하는 등치등분포하중은 그림 7.에 표시한 것과 같다. 이 그림에서 각 지간마다 강비 k 가 1 경간에서는 $0.5 \leq k \leq 3.0$, 2경간 이상의 경우에는 $0.5 \leq k \leq 4.0$ 인 범위에서 $k = 0.5$ 일 경우가 최대값을 가지므로 이것을 HL하중에 대한 등치등분포하중으로 결정하여 표 3에 나타내었다.

7. 결론

HL 열차하중에 의한 등치등분포 하중값은 일본의 KS-18하중에 비해서는 약 35%, N-19, P-19하중에 대해서는 약 15%가 크게 나타났는데, 이것은 HL하중이 일본의 KS-18 하중값보다 크기 때문이다.

본 연구에서 구한 등치등분포하중을 이용하면 HL하중을 통과시키는 라멘교의 설계에 많은 도움이 되리라 믿는다.



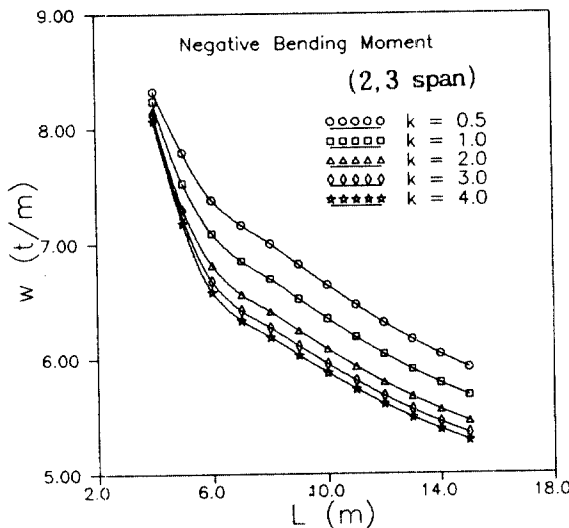
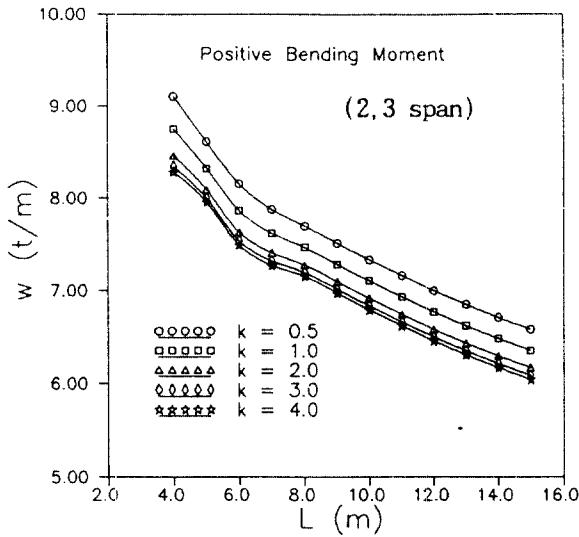
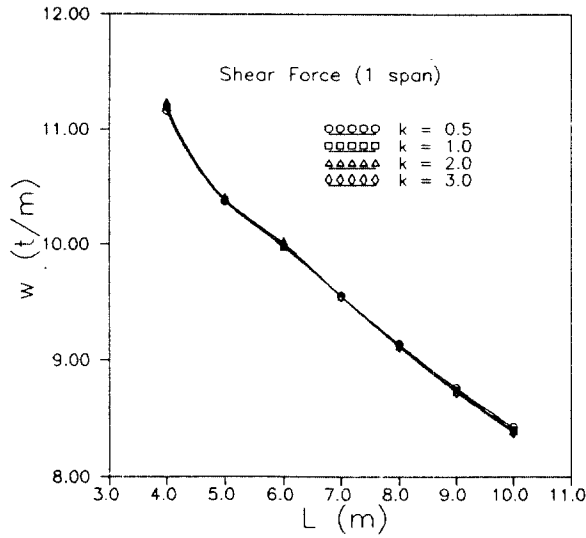


그림 7. 라멘별 등치등분포하중 (1레일당)

표 3. HL하중의 1레일당 등치등분포하중 w (t/m)

(a) 1지간의 경우(HL하중)

지 간 (m)	w_{m1}	w_{m2}	w_s
	정의 지간 힘모멘트에 대하여	부의 지점 힘모멘트에 대하여	전단력에 대하여
4	9.6	8.4	11.3
5	9.1	8.3	10.4
6	8.7	8.1	10.0
7	8.4	8.0	9.6
8	8.2	7.8	9.2
9	8.0	7.5	8.8
10	7.8	7.3	8.5

(b) 2지간 이상의 경우(HL하중)

지 간 (m)	w_{m1}	w_{m2}	w_s
	정의 지간 힘모멘트 및 제1지점의 부의 힘모멘트에 대하여	내부지점의 부의 힘모멘트에 대하여	전단력에 대하여
4	9.2	8.4	11.4
5	8.7	7.8	10.6
6	8.2	7.4	10.2
7	7.9	7.2	9.8
8	7.7	7.1	9.4
9	7.6	6.9	9.0
10	7.4	6.7	8.7
11	7.2	6.5	8.5
12	7.1	6.4	8.1
13	6.9	6.2	7.9
14	6.8	6.1	7.8
15	6.6	6.0	7.6

주) 2경간 이상의 라멘에서는 상호 지간의 비가 1.0인 경우에 한함

참 고 문 헌

- 1) 土木學會 ; 國鐵構造物 設計標準解説, 鐵筋 콘크리트 構造物 および 無筋 콘크리트構造物, プレストレストコンクリート 鐵道橋
- 2) 武田 弘, 小倉 章 ; 高架橋の二方向スラブの設計に用いる列車荷重の換算等分布荷重について, 構造物 設計資料 No.21
- 3) 武田 弘, 岡庭秀治 ; ラ-メン橋の設計に用いる列車荷重の換算等分布荷重について, 構造物設計資料 No.24
- 4) 日本鐵道施設協會 ; 新幹線 施設・建設法規類集
- 5) 高速鐵道 國際심포지엄 ; PARAMETERS FOR THE DESIGN AND CONSTRUCTION OF HIGH SPEED RAILWAY LINES, 1989