Journal of the Korean Society of Civil Engineers
Vol. 33, No. 4: 1261~1270, July 2013
DOI: http://dx.doi.org/10.12652/Ksce.2013.33.4.1261

ISSN 1015-6348 (Print)
ISSN 2287-934X (Online)
www.kscejournal.or.kr

Structural Engineering **구조공학**

이동하중을 고려한 활하중 설계기준 연구 (60m 이하 교량)

진경석* · 한만엽**
Jin, Kyung seok*, Han, Man Yop**

A Study on Live Load Design Standards Considering Moving Load (For Shorter than 60m Span)

ABSTRACT

The current domestic design criteria of live load employs DL-24 load and DB-24 load. Particularly for long span bridges above 45meters, DL-24 load is forced to apply and design them, since the shearing force and the moment of DL-24 load appears more dominate than those of DB-24. But it appeared that this DL-24 load didn't meet the vehicles traveling load, which affected bridges in real use. Hence this paper defined ML-24 load similar to the load applied to real bridges and also defined a new live load model, RL-24 load, after adjusting the existing DL-24 load, which doesn't meet the moment and the shearing force of ML-24. As the result of applying and reviewing RL-24 load to simple bridges of span of 45~60m, the results satisfying both the moment and the shearing force applied to bridges in real use by traveling load were attained. Besides, the applicability of it was examined in comparison with live load models of home and abroad.

Key words : Live load, DB-24, DL-24, Vehicles traveling load, Long span bridges

초 록

현행 국내 1등교 활하중 설계기준은 DB-24하중과 DL-24하중을 적용하고 있다. 특히 45m 이상의 장경간 교량에서는 DB-24하중보다 DL-24하중에 의한 전단력, 모멘트가 지배적인 것으로 나타나 대부분 DL-24하중을 적용하여 설계하고 있다. 그러나 실제 교량에서트럭하중은 한 점에 머무르며 작용하지 않고 교량 위를 종방향으로 이동하며 작용하므로, 이러한 이동 효과를 고려하여 이동트럭하중(ML-24)을 정의하여 DL-24하중과 비교한 결과, DL-24하중은 50m 경간을 기준으로 이동트럭 하중(ML-24)에 의한 전단력을 전 구간에서 만족시키지 못하였고, 모멘트의 경우도 일부구간에서 만족하지 못하는 것으로 나타났다. 이에 본 논문에서는 경간 50m를 기준으로 현재 DL-24하중을 구성하는 하중 인자를 조정하여 새로운 활하중 모델인 RL-24하중을 제시하였으며, 이를 경간 45~60m 단순교에 적용시켜 검토한 결과, 실제 작용 하중과 유사한 ML-24하중에 의해 교량에 작용하는 모멘트와 전단력을 모두 만족하였으며, 특히 문제점으로 발견되었던 부재 중앙과 부재 단부에서의 전단력 비율이 일정하게 유지되는 결과를 얻었다. 또한 국내의 활하중 모델들과의 비교를 통하여 RL-24하중 조정안의 적절성과 그 적용성을 검토하였다. 본 연구에서는 최근 연구개발과 실용화가 활발한 60m 경간급의 1등급 교량에 대하여 실제 트럭의 이동 효과를 고려하여 모멘트와 전단력에 대하여 합리적인 설계가 이루어질 수 있도록 새로운 설계기준을 제시하였다.

검색어 : 활하중, DB-24, DL-24, 이동트럭하중, 장경간교량

1. 서 론

1870년대에 철근콘크리트(RC) 개념이 도입되면서 경간 15m 내외의 슬래브교 및 T형보 콘크리트 교량이 건설되었으며, 2차 세계대전

* 정회원 · 교신저자 · 아주대학교 건설시스템 공학과 공학박사 (**Corresponding Author** · Ajou University · ksi324@hanmail.net)
** 정회원 · 아주대학교 건설시스템 공학과 정교수, 공학박사 (myhan@ajou.ac.kr)

Received October 10 2011, **Revised** December 28 2011, **Accepted** April 23 2013

Copyright ⓒ 2013 by the Korean Society of Civil Engineers
This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

이후 프리스트레싱의 개념이 콘크리트 교량에 적용되면서 경간 길이가 기존에 비하여 2배가량 증가된 경간 30m대의 교량을 건설할 수 있었다(한만엽, 1999).

1950년대 들어 포스트텐션을 이용한 PSC 교량이 등장하면서 경간 40m대의 장경간의 콘크리트 교량이 건설되기 시작하였고(한만엽 등, 2001), 이후 PSC에 대한 신공법 개발과 상용화가 활발히 진행되어 경간 길이가 50m 이상인 PSC I형 거더교량이 건설되었으며, 고강도 콘크리트, 복합 재료 등 다양한 건설재료를 이용하여 경간 길이가 150m 이상인 PSC 박스거더 교량이 건설되기에 이르렀다.

국내에서도 최근 건설된 경간길이 100m를 초과하는 서해대교를 비롯해 다수의 PSC 박스거더 교량이 건설되는 등 PSC 거더 교량의 장경간화에 관한 연구(한국도로공사, 1997)가 지속되고 있다.

현재 국내에서 교량 설계 시 사용하고 있는 활하중은 도로교 설계기준(교량설계핵심기술연구단, 2008)에 규정된 DL-24, DB-24 하중으로써 이는 미국의 교량 설계기준인 AASHTO LRFD설계법의 HS하중을 참고하여 국내 실정에 맞도록 개량된 설계 하중이다.

현재 국내 도로상에서는 도로법에 의거하여 차량의 총중량 400kN, 축하중 100kN을 넘는 차량을 과적차량으로 제한하여 교량에 가해지는 하중을 통제하고 있다. 그러나 실제 통행하는 차량은 이러한 규정보다 무거운 중량의 차량이 통행되고 있으며, 때문에 과거에 제정된 설계 활하중이 현재 실제 통행하는 트럭에 의한 하중 효과를 제대로 반영하고 있는지 검토할 필요가 있었다. 또한 이러한 활하중 설계기준이 최근 장경간 교량으로 건설하고 있는 신설 교량에 적합한 지에 관한 검토는 미비한 실정이다. 따라서 현행 활하중 설계기준의 장경간 교량적용에 관한 검증이 필요한 시점이다.

이에 본 연구는 실제 사용 상태에서 교량에 작용하는 활하중과 유사한 형태인 이동트럭하중(ML, moving load)에 의한 ML-24하중을 정의하고, 이것을 경간 45~60m인 교량에 적용하여 현행 활하중 설계기준인 DL-24, DB-24하중과 비교함으로써 실제트럭의 이동에 따른 모멘트, 전단력을 만족하도록 DL-24하중을 조정한 활하중 설계기준을 제시하고그 적용성을 검토하고자 한다.

2. 활하중 비교

현재 교량 설계 시 구조물에 적용하는 활하중은 도로교설계기준에 따라 차로하중(DL하중)과 표준트럭하중(DB하중)으로 규정하고 있다. 설계기준에 따르면, 고속국도 및 자동차 전용도로상의 교량은 1등급 교량으로 설계하도록 하고 일반국도, 특별시도와 지방도상의 교량은 2등급 교량으로, 산간벽지에 있는 지방도의 교량은 3등급 교량으로 설계하도록 규정되어있다.

위와 같이 활하중 설계기준은 1등급, 2등급, 3등급 교량에 따라 달리 적용되고 있으나, 본 연구에서는 1등급 교량만을 분석하였다. 2, 3등급 교량의 경우 최근 중차량의 증가에 따라 교량의 수가 점차 줄어드는 추세이고, 지간 길이가 짧은 소형 교량의 경우 이동트럭하중에 의한 모멘트와 전단력의 효과가 미미하다고 판단되어 1등급 교량 적용을 기준으로 본 연구를 진행하였다.

Table 1. Exisiting Live Load Design

Model	Remark
DB-24, DL-24	Domestic Design Standard (1st grade)
Code70, Code91	Development of vehicular load model using heavy truck weight distribution Ⅰ (Hwang, E. S., 2009)
Hwang's model	Development of vehicular load model using heavy truck weight distribution Ⅱ (Hwang, E. S., 2009)

활하중 설계기준은 발생하는 모멘트와 전단력을 만족하도록 설계하고 있다. 따라서 본 연구에서는 Table 1과 같은 국내 설계기준의 활하중과 기타 국내의 연구를 통하여 제시된 설계 하중들에 의하여 발생하는 모멘트와 전단력을 분석하여 이와의 비교를 통해 설계 하중을 제시하고, 제시한 설계하중의 적합성 여부를 판단하였다.

2.1 활하중 비교

2.1.1 DL-24

Figure 1(a)는 순 지간 49m인 단경간 교량에 대하여 최대 모멘트를 발생시키는 DL-24하중재하개념도이다. 도로교설계기준에 따라 등분포하중과 집중하중의 크기가 각각 정의되어있다.

Figure 1(b)와 Figure 1(c)는 각각 DL-24하중에 의한 모멘트도와 전단력도를 도시한 것이다. 각각의 Figure 모두 하중계수를 적용하지 않은 경우와 적용한 경우, 두 가지로 나누어 도시하였다.

Figure 1(b)와 같이 DL-24하중에 의한 모멘트도에서 하중계수를 적용하지 않는 경우 최대 모멘트는 5,135kN-m이 발생하였고, 하중계수를 적용한 경우 최대 모멘트는 12,900kN-m이 발생하였다.

Figure 1(c)의 전단력도에서는 단부와 중앙부 2곳의 최대 전단력을 확인하였다. 하중계수를 적용하지 않은 경우 단부에서 389kN의 전단력이 발생하였고, 중앙부에서 78kN의 전단력이 발생하였다. 하중계수를 적용한 경우에는 단부에서 978kN의 전단력이, 중앙부에서 196kN의 전단력이 발생하였다.

2.1.2 DB-24

Figure 2(a)는 순 지간 49m인 단경간 교량에 대하여 최대 모멘트를 발생시키는 DB-24하중재하개념도이다. 실제로 최대 휨모멘트

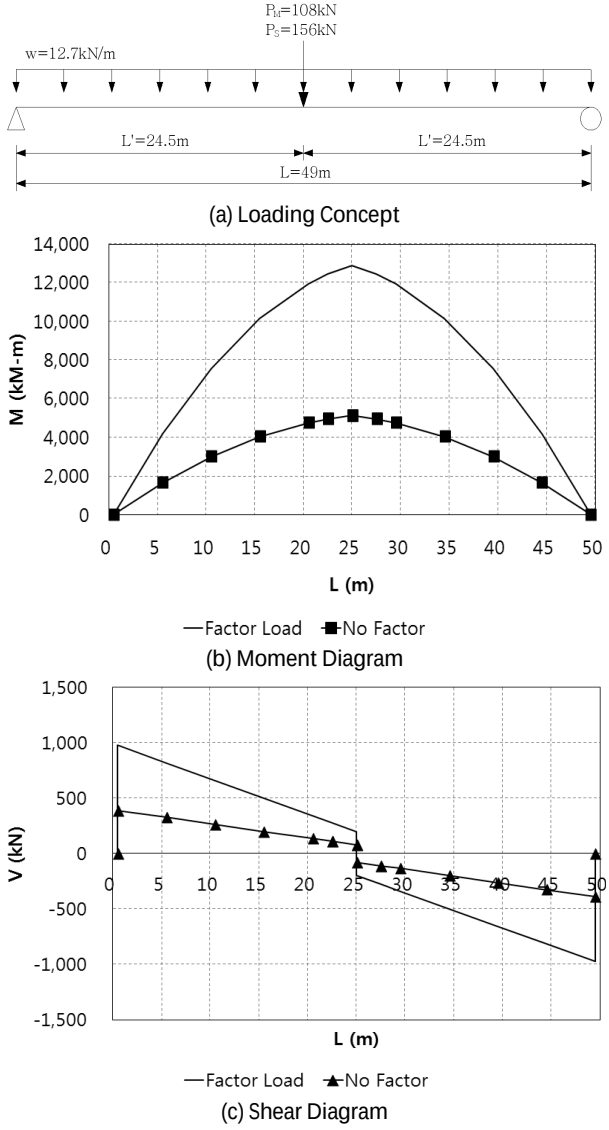


Fig. 1. Diagrams of DL-24

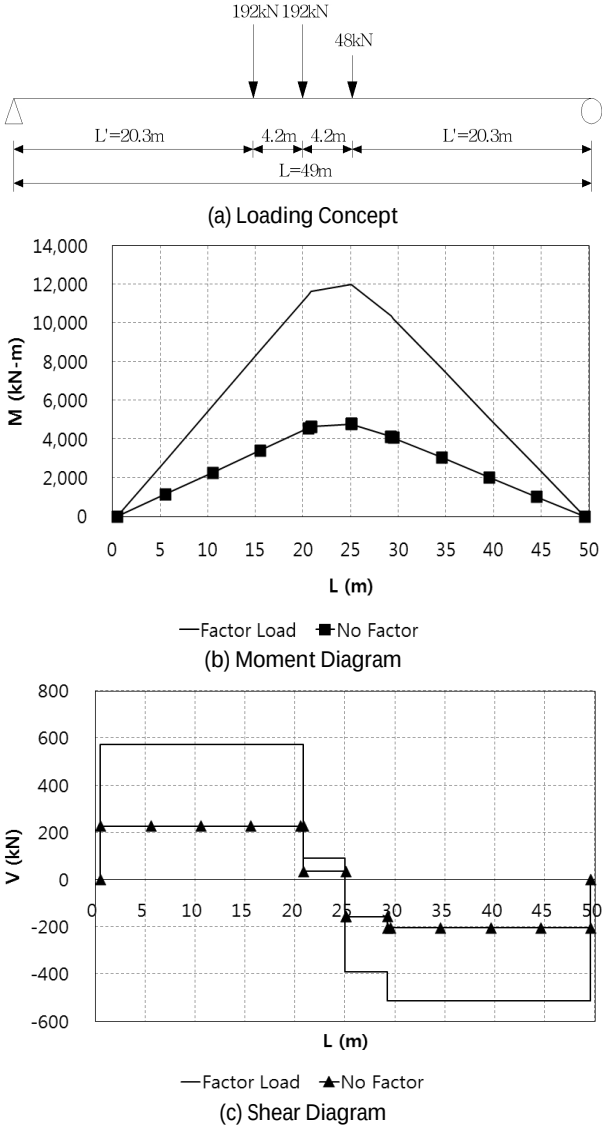


Fig. 2. Diagrams of DB-24

는 중앙의 집중하중을 지간 중심에서 1.4m떨어진 곳에 위치시켜야 그러나, 그 오차가 크지 않으므로 계산의 편의를 위하여 중앙의 집중하중을 지간의 중심에 위치시키도록 한다.

Figure 2(b)와 Figure 2(c)는 각각 DB-24하중에 의한 모멘트도와 전단력도를 도시한 것이다. DL-24하중과 같이 하중계수를 적용하지 않은 경우와 적용한 경우, 두 가지로 나누어 도시하였다.

Figure 2(b)와 같이 DB-24하중에 의한 모멘트도에서 하중계수를 적용하지 않는 경우 최대 모멘트는 4,896kN-m가 발생하였고, 하중계수를 적용한 경우 최대 모멘트는 12,030 kN-m가 발생하였다.

Figure 2(c)의 DB-24하중에 의한 전단력도에서 최대 전단력은 하중계수를 적용하지 않은 경우 228kN가 발생하였고, 중앙부에서 36kN이 발생하였다. 하중계수를 적용한 경우 단부에서 574kN이 발생하였고, 중앙부에서 78kN이 발생하였다. 부재 중앙부에서의 전단력은 하중계수가 적용되지 않은 DL-24하중의 경우와 동일한 전단력이 발생된다.

2.1.3 ML-24

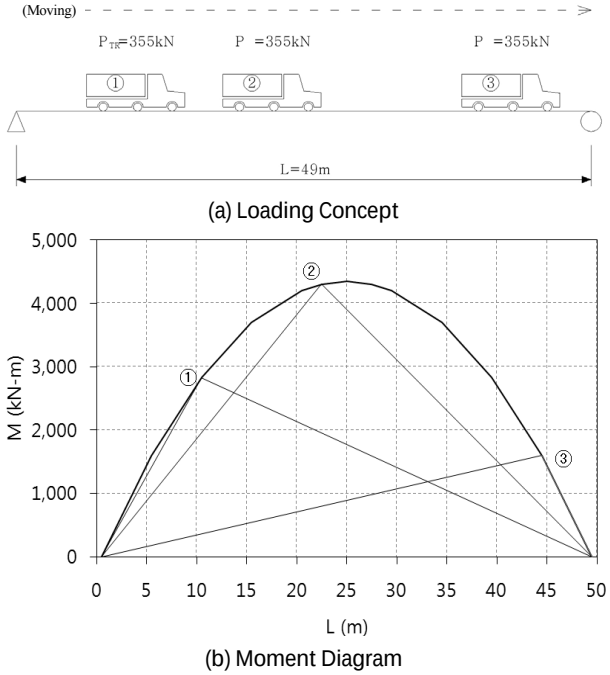
본 연구에서는 실제 사용 상태에서 교량에 작용하는 활하중과 유사한 형태인 이동하중을 정의하기 위하여 다음과 같은 트럭하중을 설정하였다.

위의 트럭하중 P_{TR}은 DB-24하중에 의하여 발생하는 최대 모멘트 값을 이용하여 이를 단일 집중하중으로 변환한 것이다. 단일

집중하중으로 변환하여 재하한 결과와 3점 하중으로 변환하여 재하한 결과와의 비교 시 최대 모멘트의 차이가 크지 않으므로 편의상 단일 집중하중으로 변환하여 계산하였다.

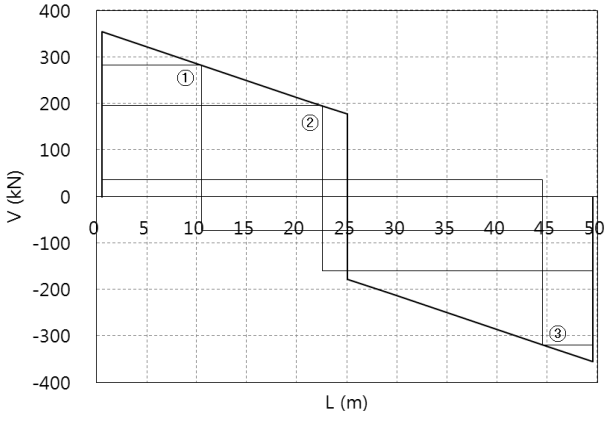
$$P_{TR} = \frac{4 \times M_{\max}^{DB24}}{L}$$

이러한 트럭하중은 실제 교량에서 한 점에 머무르며 작용하는 것이 아니라, 교량을 종방향으로 이동하며 작용하므로 이러한 이동효과를 고려하여 이동하중(ML-24, Moving Load)이라고 정의하였다. 이동하중은 실제 교량에서 주행하는 트럭하중 P_{TR}을 반영하여 다음 Figure 3(a)와 같이 지간 내에서 이동시키며 재하한다.



(a) Loading Concept

(b) Moment Diagram



(c) Shear Diagram

Fig. 3. Diagrams of ML-24

Figure 3(b)의 모멘트는 이동하중의 효과가 고려되었기 때문에, 선형으로 증가하고 감소하는 DB-24하중의 모멘트도와는 달리 곡선형으로 완만하게 증가하고 감소하는 포물선형을 나타낸다. 이동하중 ML-24에 의한 모멘트도는 DL-24하중의 모멘트도와 비슷한 양상으로 나타나므로 이를 통하여 이동하중 ML-24는 모멘트에 있어서 등분포하중과 같은 효과를 나타냄을 알 수 있다.

Figure 3(c)의 전단력도 역시 차량하중인 DB-24하중에 의한 그래프와는 다른 양상을 나타내는 것을 알 수 있다. 이는 앞서 살펴본 DB-24하중의 전단력은 각 하중을 교량의 중앙에 위치시켰을 때의 전단력을 나타내지만 ML-24하중에 의한 전단력은 교량을 이동하며 각 위치를 지날 때 그 위치에서의 최대 전단력을 연속적으로 이어 나타냈기 때문이다. 교량의 중앙을 기준으로 좌측 0~25m 구간은 ①, ② 위치와 같이 그래프의 양의 값이 우세하기 때문에 이를 고려하여 설계를 해야 하며, 우측의 25~50m 구간은 ③ 위치와 같이 그래프의 음의 값이 우세하기 때문에 각각의 위치에서의 최대값을 고려하여 설계에 반영하여야 한다.

위와 같이 ML-24에 의한 모멘트도는 등분포하중에 의한 모멘트도와 유사한 경향을 나타내지만, 전단력의 경우에는 등분포하중과 전혀 다른 양상을 보인다.

2.1.4 Code70 및 Code91

국내에서 실제 통행하는 차량을 조사하여 중차량의 하중모델로 제시한 Code70 및 Code91(황의승, 2009)은 다음 Figure와 같다.

Code70은 Figure 4(a)에 도시된 바와 같이 총중량 404.25kN을 5개의 바퀴 축에 표시된 비율대로 하중이 재하되는 트럭형 차량하중으로 분서된 차량 중 가장 무거운 모델이다. Code91은 Figure 4(a)와 같이 총 중량 394.04kN로써 Code70과 마찬가지로 5개의 바퀴 축에 하중이 재하되는 트레일러형 차량하중으로 두 번째로 무거운 차량모델이다.

Code70 및 Code91에 의한 모멘트와 전단력 값은 Figure 4(b), Figure 4(c)에 각각 도시되어있다. 모멘트의 경우 차량하중인 DB-24와 유사하게 선형으로 증가하고 감소하는 모습을 보이며 최대값은 Code70이 4,602kN-m, Code91이 4,085kN-m으로 Code70에 의한 값이 13% 더 크게 발생한다. 전단력의 경우 부재 단부의 최대값은 Code70과 Code91 각각 205kN, 176kN을 나타내고 부재의 중앙부로 갈수록 계단형으로 점차 감소하여 중앙부에서는 Code70과 Code91 각각 83kN, 42kN이 발생한다. Code70에 의한 값이 단부에서는 16%, 중앙부에서는 98% 더 크게 발생한다.

2.1.5 제안하중조합

새로운 국내 활하중 설계기준안을 제안하고 있는 제안하중조합 1, 2(황의승, 2009)는 Figure 5(a)와 같다. 제안 하중조합은 차량하

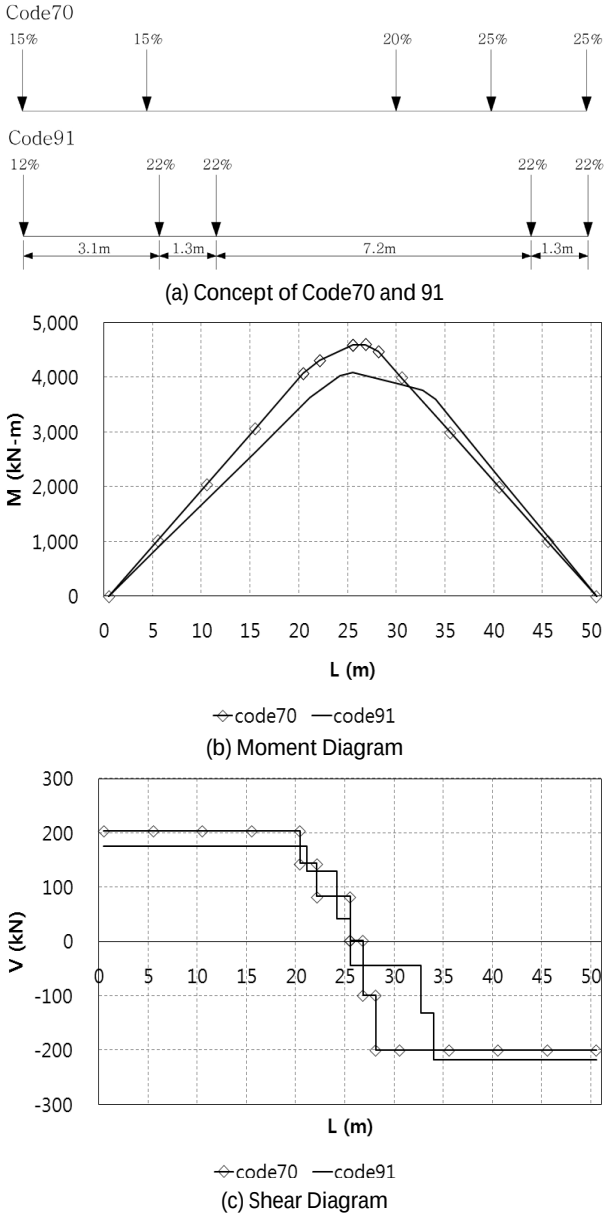


Fig. 4. Diagrams of Code70 and 91

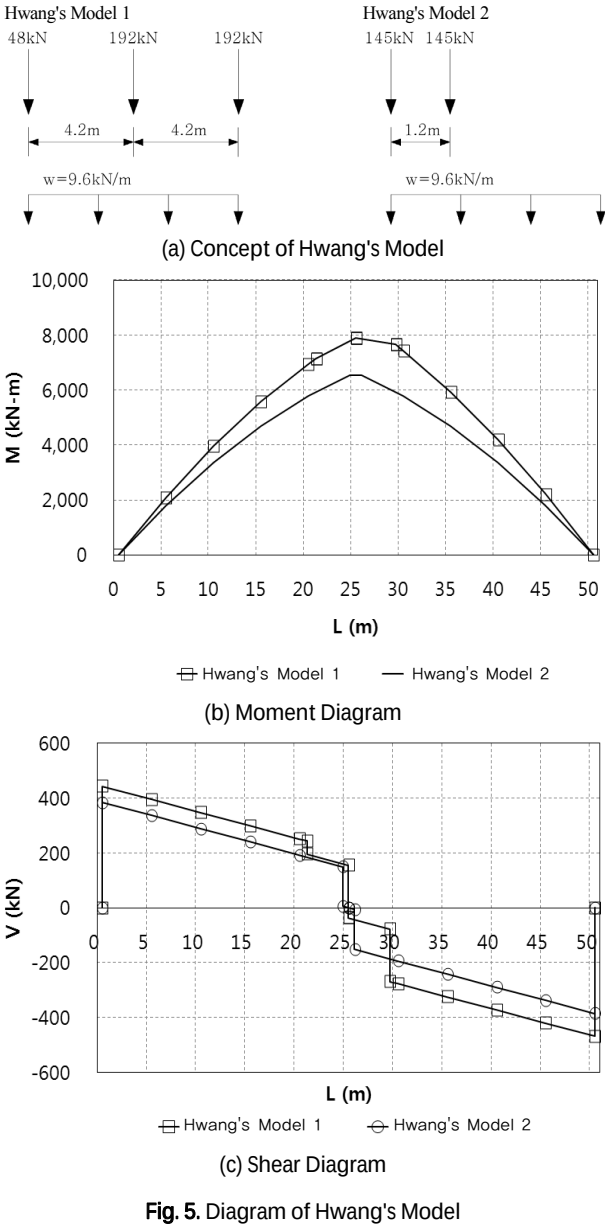


Fig. 5. Diagram of Hwang's Model

중과 차로하중의 조합을 이용하여 교량에 가장 불리한 하중을 가하는 AASHTO LRFD(2004)의 활하중 규정과 유사한 형태의 활하중 모델로써 Figure에 제시된 두 가지 하중 조합 중 더 큰 값을 설계 시 적용하도록 제안하고 있다. 이러한 제안하중조합의 하중재하개념도와 모멘트도, 전단력도는 Figure 5(b)와 Figure 5(c)에 도시되어있다.

모멘트와 전단력 모두 제안하중조합1이 제안하중조합2에 비하여 더 크게 나타나는데 모멘트의 경우 제안하중조합1은 최대 7,896kN-m이 발생하고 제안하중조합2의 경우 최대 6,538kN-m가 발생하여 제안하중조합1에 의한 값이 21% 더 크게 나타난다. 전단력의 경우 부재의 단부의 최대값은 제안하중조합1과 제안하중조합2가 각각 444kN 385kN으로 제안하중조합1에 의한 값이 15% 더 크게 발생한다. 중앙부의 최대 전단력은 제안하중조합1이 156kN, 제안하중조합2가 과 제안하중조합2가 151kN으로 거의 유사한 수준으로 나타난다.

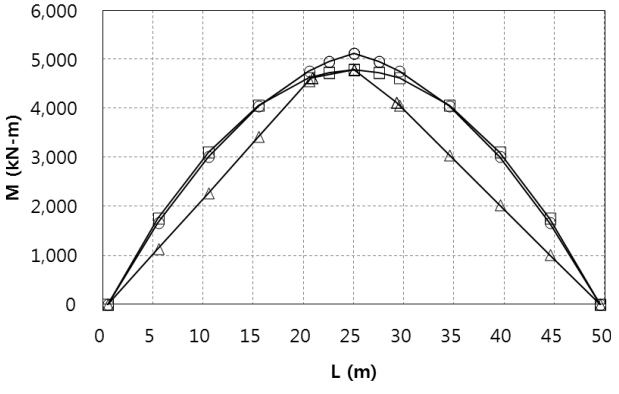
2.2 활하중 분석

국내의 활하중 설계기준인 DL-24, DB-24 및 본 연구에서 정의한 ML-24에 의하여 발생되는 모멘트와 전단력을 비교한 그래프를

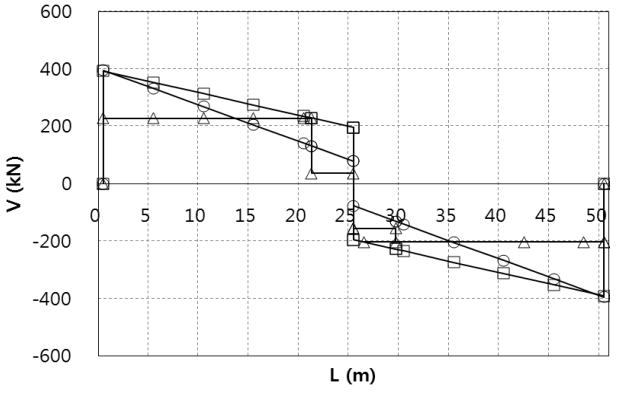
Figure 6(a)와 Figure 6(b)에 도시하였다.

Figure 6(a)에서 DL-24에 의한 최대 모멘트 5,135kN-m 는 DB-24와 ML-24에 의한 최대 모멘트인 4,788kN-m 보다 큰 값을 보이고 있고, 0~15m 구간에서는 DB-24에 근거하여 정의된 ML-24에 의한 모멘트가 DL-24에 의한 값보다 큰 것을 알 수 있다. 이는 일반적으로 짧은 지간의 교량에서는 DB-24에 의한 모멘트가 크고 지간이 길어질수록 DL-24에 의한 모멘트가 커진다는 사실에 부합하는 결과이다. 따라서 44m 이상의 지간의 교량에서는 대부분 활하중 검토 시 DL-24가 적용된다. Figure 7에 지간 길이에 따른 DL-24와 DB-24의 모멘트도가 도시되어있다. 이에 따르면 43.8m 이전에는 DB-24의 영향이 우세하나 43.8m 이후에는 DL-24의 영향이 우세하게 나타남을 알 수 있다.

Figure 6(b)에서 전단 위험단면이 위치한 단부 측에서 발생하는 각 하중조건별 최대 전단력은 DL-24 조건하에서 389kN, ML-24 조건 하에서 391kN, DB-24 조건하에서 228kN 순으로 발생한다. 실제 교량의 사용하중 상태와 유사한 ML-24에 비하여 DL-24와 DB-24에 의한 전단력은 각각 99%, 58% 수준으로 발생하는 것을



(a) Moment Diagram



(b) Shear Diagram

Fig. 6. Comparison with ML-24

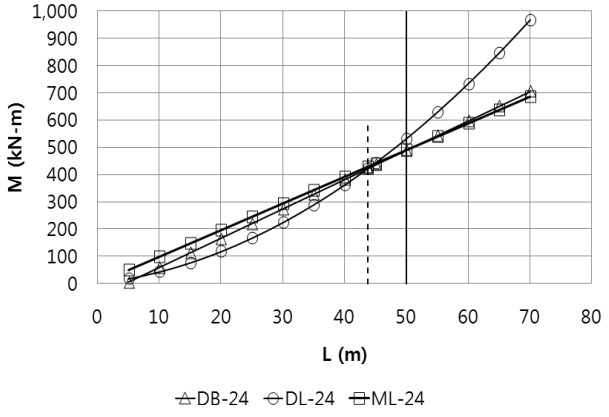


Fig. 7. Moment Comparison Through Span Length

알 수 있다.

반면, 부재 중앙부에서의 각 하중조건별 최대 전단력은 ML-24 조건하에서 195kN, DL-24와 DB-24 조건하에서 각 78kN, 36kN 순으로, ML-24에 비하여 DL-24, DB-24에 의해 발생하는 전단력은 각 40%, 18% 수준으로 발생한다. 전단설계 시 DL-24는 부재의 중앙부에서, DB-24는 부재의 단부에서 각각 위와 같은 문제가 발생된다.

DL-24에 의한 모멘트가 0~15m 구간에서 ML-24에 비하여 근소하게 작게 발생한 것과 마찬가지로, DL-24에 의한 전단력 역시 ML-24에 비하여 부재단부와 부재중앙부의 값 모두 99%, 40% 수준에 그치는 것을 알 수 있다.

3. 활하중 조정안

3.1 활하중 조정안 제시

앞서 DL-24, DB-24, ML-24 하중에 의한 모멘트 및 전단력 비교를 통하여 도출된 문제점을 보완하기 위해서는 설계기준에 명시되어있는 하중을 현 실정에 맞도록 다소 조정할 필요가 있다. 본 연구에서는 점차 45m이상의 장경간 교량이 증가하는 추세와 이러한 장경간 교량에서는 DL-24가 우세하게 작용한다는 점을 고려하여 DL-24의 하중 구성을 조정하여 문제점을 해결하도록 한다.

이에 Table 2와 같이 DL-24하중을 구성하는 각 하중을 조정하여 RL-24(Real Live load)를 제시하였다. RL-24는 등분포하중(w)의 값을 기존의 하중 값 보다 증가시키고, 집중하중(P_M, P_S)의 값 역시 기존의 값보다 증가시킨 DL-24하중의 조정안이다.

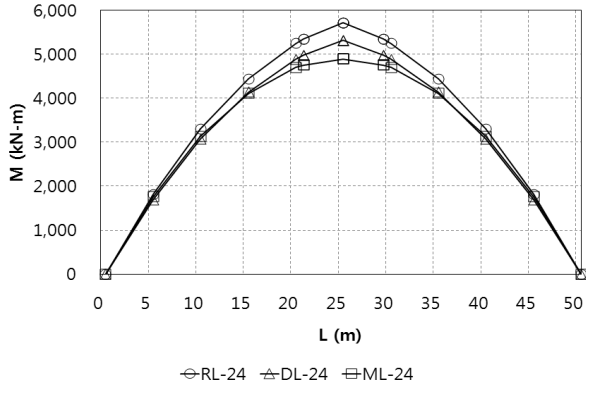
Table 3은 조정된 RL-24를 바탕으로 발생되는 모멘트와 전단력을 ML-24를 기준으로 DL-24에 의해 발생되는 모멘트, 전단력과 비교한 것이다. 그 결과를 살펴보면 조정 전 최대 모멘트의 경우

Table 2. Suggestion of RL-24

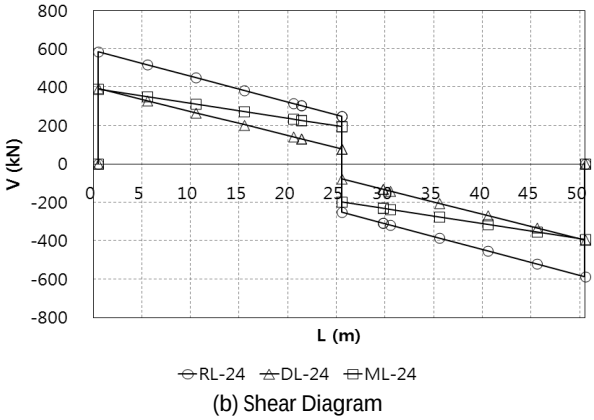
Load		Design	Suggestion	Rate
Uniform load	w(kN/m)	12.7	13.5	1.06
Concentrated load	P_M (kN)	108.0	120.0	1.11
	P_S (kN)	156.0	500.0	3.21

Table 3. Comparison with RL-24

Load		ML-24	DL-24	RL-24
Max. Moment	kN-m	4,788	5,135	5,522
	ratio	1.00	1.07	1.15
End Shear	kN	391	389	581
	ratio	1.00	0.99	1.49
Center Shear	kN	195	78.0	250
	ratio	1.00	0.40	1.28



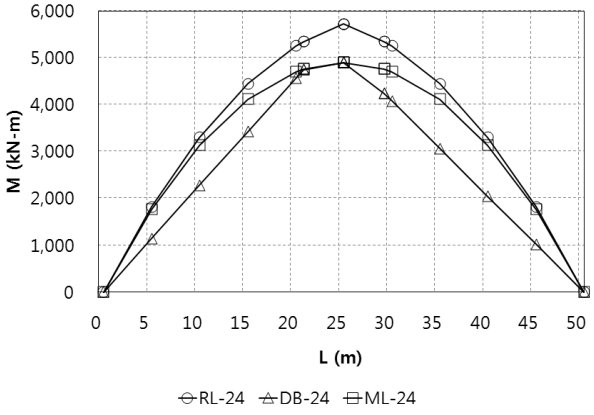
(a) Moment Diagram



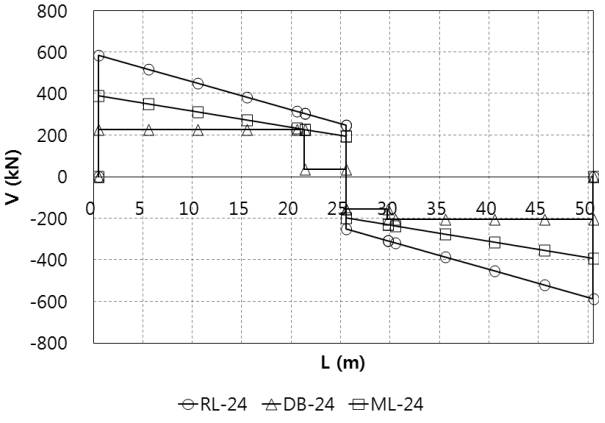
(b) Shear Diagram

Fig. 8. Diagrams of RL-24, DL-24 and ML-24

비율이 1.07에서 조정 이후 1.15로 상향되었으며, 부재 단부에서의 최대 전단력, 부재 중앙부에서의 전단력 비율은 각각 0.99, 0.40 이었으나, 조정 이후 1.49, 1.28로 평균 1.39 정도의 비슷한 비율을



(a) Moment Diagram



(b) Shear Diagram

Fig. 9. Diagrams of RL-24, DB-24 and ML-24

보이며 ML-24를 만족하고 있다. 이는 실제 사용 상태에서보다 과소 설계가 이루어지던 부재 단부와 중앙부의 최대 전단력을 높이는 효과를 나타낸 것으로써, 특히 최대 전단력의 40% 수준에 머무르던 중앙부의 전단력을 128%수준으로 조정하는 효과를 보였다.

Figure 8(a)와 Figure 8(b)는 Table 3과 같이 RL-24와 기존의 DL-24, ML-24와의 모멘트, 전단력을 비교한 그래프이다. RL-24에 의한 최대 모멘트, 단부 전단력, 중앙부 전단력 값은 전 구간에 걸쳐 DL-24와 ML-24에 의한 값을 만족한다. Figure 9(a)와 Figure 9(b)는 RL-24와 DB-24, ML-24에 의한 모멘트와 전단력을 비교한 그래프이다. 이 경우에도 마찬가지로 RL-24에 의한 최대 모멘트, 단부 전단력, 중앙부전단력 값은 전 구간에 걸쳐 DB-24와 ML-24에 의한 값을 만족한다.

ML-24의 이동 트럭하중(P_{TR})을 DB-24에 의해 발생하는 최대 모멘트에서 산정하였으므로, 두 활하중에 의하여 발생하는 최대 모멘트 값은 서로 동일하다. 그러나 전단력의 경우 DB-24에 의한 전단력은 ML-24에 의한 전단력보다 전체 지간에서 작은 값을 나타내고 있는데, 이는 실제 트럭의 이동에 의해 발생하는 ML-24

전단력보다 경간 중앙부에 재하된 DB-24에 의한 전단력이 작게 산정된 것이다. 따라서 DB-24에 의한 전단력 검토가 필요한 경우에도 이동 트럭하중에 의한 ML-24로 전단력을 검토하는 것이 타당할 것으로 판단된다.

앞에서 순 지간 49m를 기준으로 제시한 RL-24의 적용성을 판단하기 위해 순 지간 44~59m에 걸쳐 길이를 5m씩 증가시킨 경간에서 모멘트와 전단력을 산정한 결과를 Table 4에 정리하였다.

Table 4에 따르면 앞서 살펴본 순 지간 49m보다 더 긴 교량에서도 RL-24는 기존 DL-24에 의하여 작은 값으로 산정되고 있는 중앙부의 전단력을 보강하여 단부와 중앙부 전단력의 비율을 54m의 경우 기존 1.08, 0.39, 평균 0.74에서 1.57, 1.26, 평균 1.42로, 59m의 경우 1.15, 0.39, 평균 0.77에서 1.64, 1.26, 평균 1.45로 경간 길이의 증가에도 전단력의 비율이 ML-24를 만족하며 비교적 일정하게 유지하는 것을 알 수 있다. 또한 기준으로 정한 순 지간 49m보다 짧은 순 지간 44m 교량에 적용 시에도 단부의 전단력을 기존 0.94, 0.40, 평균 0.67에서 1.43, 1.29, 평균 1.36으로 ML-24를 만족 함을 알 수 있다.

본 연구의 제시된 RL-24에 의한 조정효과는 경간 길이에 따라 편차가 있지만 최대 모멘트, 단부전단력, 중앙부전단력의 비율을 DL-24에 비하여 고르게 하고 있다.

위와 같은 RL-24는 ML-24에 대한 모멘트와 전단력 비율이 45~60m 경간에서도 일정히 유지되도록 조정한 예이며, 필요에 따라 안전율이 증가되어야 하는 경우나 연속교 또는 60m를 초과하는 장대교량의 경우에는 만족할 만한 수준의 비율이나 안전율이 확보되도록 DL-24의 하중 구성을 조정해야 할 것이다.

3.2 RL-24 적용성 검토

앞에서 제시한 RL-24를 국내외 활하중 설계기준과 비교하여 그 적용성을 검토해 보았다.

Table 4. DL-24 Comparison by Span

Span (m)	Load	Max. Moment		End Shear		Center Shear	
		kN-m	ratio	kN	ratio	kN	ratio
44	DL-24	4,430	1.02	364	0.94	78	0.40
	RL-24	4,767	1.09	554	1.43	250	1.29
49	DL-24	5,135	1.07	389	0.99	78	0.4
	RL-24	5,522	1.15	581	1.49	250	1.28
54	DL-24	6,287	1.16	427	1.08	78	0.39
	RL-24	6,755	1.24	621	1.57	250	1.26
59	DL-24	7335	1.23	459	1.15	78	0.39
	RL-24	7,875	1.32	655	1.64	250	1.26

※ ratio 1.0 : ML-24

3.2.1 Code70 및 Code91

Code70 및 Code91과 RL-24의 비교가 Figure 10(a), Figure 10(b)에 나타나있다.

그래프에서 알 수 있듯이 본 연구에서 제시한 RL-24의 중앙부 최대 모멘트 5,718kN-m는 Code70 및 Code91의 최대값 4,598kN-m, 4084kN-m를 모두 만족하고 있다. 전단력의 경우도 단부와 중앙부 모두 587kN, 250kN으로 Code70 및 Code91의 값 205kN, 83kN과 176kN, 42kN보다 크게 나타나 모멘트와 전단력 모두 안전측에 속한다.

이는 본 연구에서 제시한 RL-24하중에 의한 모멘트와 전단력 값이 Code70 및 Code91에 의한 모멘트와 전단력 값을 모두 만족하는 결과로, 실제 국내 통행차량을 조사하여 그 중 가장 빈도가 높고 무거운 차량의 하중모델을 만족하는 값으로 국내 실제 실정에 상당히 적합한 것으로 판단된다.

3.2.2 제안하중조합

제안하중조합1, 2와 RL-24하중의 비교가 Figure 11(a), Figure 11(b)에 나타나있다.

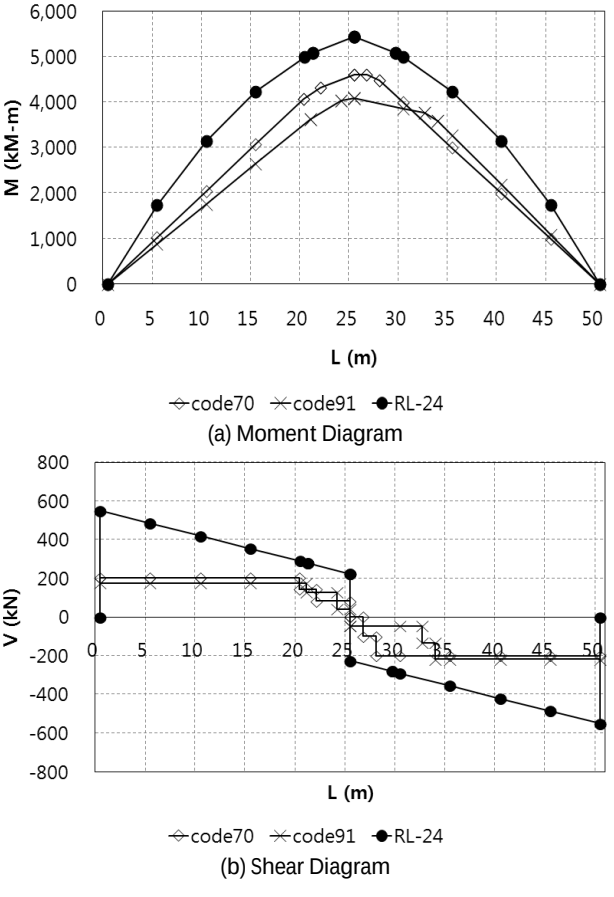
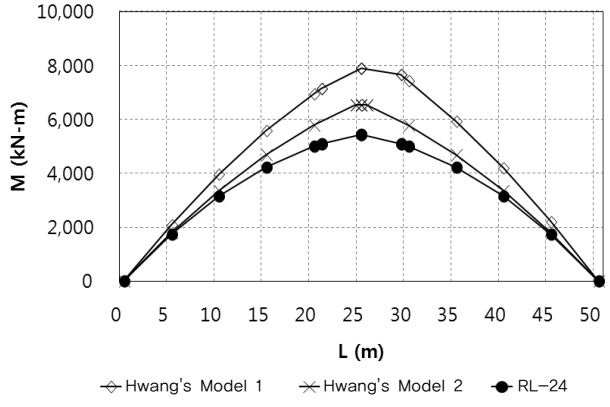


Fig. 10. Comparison with RL-24 and Code Load

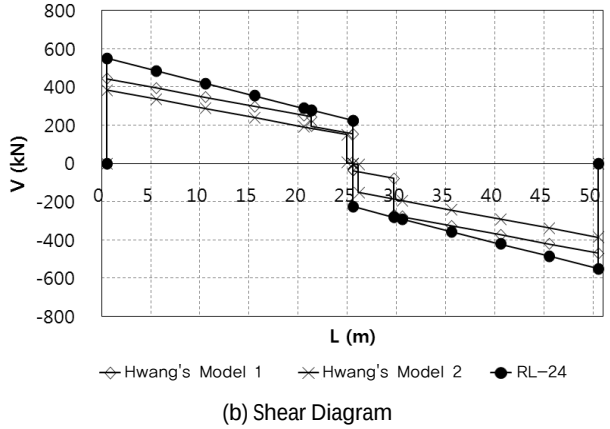
Figure 11(a)는 RL-24하중과 제안하중조합과의 모멘트를 비교한 것으로, 그래프에 따르면 제안하중조합1, 2의 최대 모멘트는 각각 7,896kN-m, 6538kN-m로 RL-24하중에 의한 값 5,521kN-m보다 크게 산정되었음을 알 수 있다. 이는 RL-24하중에 의한 값에 비하여 각각 143%, 118%에 해당하는 값이다. 본 연구에서 제안한 RL-24하중의 모멘트는 DL-24하중의 107%에 해당하므로, 제안하중조합의 모멘트는 현행 DL-24하중에 비하여 각각 154%, 127%로 큰 값을 나타내는 것이다.

Figure 11(b)의 전단력도를 살펴보면 RL-24에 의한 단부와 중앙부의 전단력 값이 587kN, 250kN으로 제안하중조합1, 2의 값인 443kN, 155kN과 385kN, 151kN 보다 크게 나타나므로, RL-24하중은 제안하중조합에 비해 전단력이 안전측을 나타내고 있다.

실제 트럭의 이동과 유사한 ML-24하중과 비교하면, RL-24하중이 ML-24하중의 모멘트와 전단력을 모두 만족하는 것으로 나타난 반면, 제안하중조합은 모멘트와 전단력이 RL-24하중과 각각 다른 양상을 나타내는 것으로 나타났다.



(a) Moment Diagram



(b) Shear Diagram

Fig. 11. Comparison with RL-24 and Hwang's Model

4. 결 론

본 연구는 실제 트럭 통행 상태에서의 교량에 작용하는 활하중과 유사한 형태의 ML-24를 정의하고, 이를 장경간 교량이 증가하는 최근의 추세에 따라 지간길이 50m의 단경간 교량에 적용하여 국내의 활하중 설계기준과 비교, 분석함으로써 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 실제 트럭과 유사한 형태의 ML-24하중을 정의하고, ML-24하중을 이동 재하하여 트럭의 이동효과에 의해 실제 교량에 발생하는 모멘트와 전단력을 분석하였다. 이를 바탕으로 DL-24를 조정하여 새로운 활하중 설계기준인 RL-24를 제시하였다.

(2) 현행 활하중 설계기준을 이용하여 경간 50m 교량에 적용한 결과 중앙부 최대 모멘트는 DL-24에 의한 값이 ML-24에 의한 값을 만족하였으나, 양 단부 15m 구간의 모멘트는 ML-24에 의한 값보다 다소 부족한 것으로 나타났다.

(3) 단부 및 중앙부의 전단력의 경우는 모두 DL-24에 의한 값이 ML-24에 의한 값보다 작게 산정되었다. 특히 중앙부의 경우에는 DL-24에 의한 값은 ML-24에 의한 값의 40% 수준으로, 교량 중앙부에서 전단에 대한 안전성이 다소 부족한 것으로 판단된다.

(4) DL-24를 조정한 RL-24를 적용한 결과 조정 전 최대 모멘트 비율은 1.07에서 조정 후 1.15로, 부재 단부에서의 최대 전단력, 부재 중앙부에서의 전단력 비율은 조정 전 각각 0.99, 0.40에서 조정 후 1.49, 1.28로 평균 1.39의 비슷한 비율을 나타냈다.

(5) 본 연구에서 제시한 RL-24를 기존에 제시된 차량하중모델 Code70 및 Code91과 비교한 결과 전단력과 모멘트를 모두 만족하는 결과가 나타났다. 이는 국내 실제 통행차량의 빈도와 중량을 토대로 설정된 차량하중 모델을 만족한 것으로, RL-24는 최근 국내 차량 통행이 고려된 경우에도 충분히 적용성이 있다고 판단된다.

(6) 본 연구에서 제안된 RL-24하중은 45~60m 단경간 교량에 적용 시 ML-24를 만족하며 DL-24하중에 의한 문제점을 개선하는 결과를 나타냈다. 그러나 이는 DL-24의 하중 구성을 조정한 하나의 제시안으로써, 60m 이상의 장대교량 또는 연속교 등의 해석에도 동일한 분석을 통하여 해당 조건에 부합하는 RL-24 하중을 제안할 수 있을 것으로 사료된다.

References

Han, M. Y. and Park, J. B. (2001). "Development of design program for continuous IPC girder bridges." *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, Korean Society of Civil Engineers, Vol. 21, No. 4-A, pp. 505-514 (in Korean).

Hwang, E. S. (2009). “Development of vehicular load model using heavy truck weight distribution (II).” *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, Korean Society of Civil Engineers, Vol. 29, No. 3-A, pp. 199-207 (in Korean).

Hwang, E. S. (2009). “Development of vehicular load model using heavy truck weight distribution (I).” *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, Korean Society of Civil Engineers, Vol. 29, No. 3-A, pp. 189-197 (in Korean).

Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs of South Korea (2008). *Standards for road bridge design* (in Korean).

Korea Road & Transportation Association (2008). *Standard specification of road bridge* (in Korean).

Uhm, J. Y. (1997). *Development and application of the long span PC beam bridge using high strength concrete (I)*, Korea Institute of Construction Technology (in Korean).

Han, M. Y. (1999). *Development of long span IPC girder bridges*, Research Center of Civil Engineering Technology, Ajou University (in Korean).

Jin, K. S., Han, M. Y., Kang, T. H., Kang, B. M. and Jeon, Y. S. (2010). “A study on application of existing live load design standards for long span bridges.” *Proceedings of the 2010 Conference of Korean Society of Civil Engineers*, p. 2511 (in Korean).

American Association of State Highway and Transportation Officials (2004). *AASHTO LRFD bridge design specifications*.