

차량통행 특성에 따른 도로교의 동적거동변화

Dynamic Behaviors of Highway Bridges under Multi-Traffic Loads

김상효* 이상호** 윤성호***
Kim, Sang-Hyo Lee, Sang-Ho Yoon, Sung-Ho

Abstract

The study presents the linear dynamic analysis of bridges under vehicular movement to examine the performance characteristics due to the various structural and loading conditions. The road surface roughness and bridge-vehicle interactions are considered. The road surface profiles for the approaching roadway and bridge decks are generated from power spectral density functions for different road roughness conditions. A new filtering method using the wheel trace is proposed to obtain the more rational bridge-vehicle interactions from the randomly generated road surface. The dynamic responses of various bridges designed according to current design practice are examined, in which important structural parameters(such as span length, girder spacing, etc.) are considering systematically. In addition, the traffic conditions of multi-truck traveling either consecutively on the same lane or side-by-side on the adjacent lanes are also evaluated.

1. 서 론

도로교는 주행차량에 의해 다양한 동적하중을 경험하게 된다. 이때 동적하중에 의한 변위 및 응력은 정적하중에 의한 것보다 다소 증가하게 되므로 설계를 위하여 이러한 동적하중에 의한 증가량을 정확하게 산정할 필요가 있다. 그러나 도로교의 동적응답은 주행차량 및 교량의 구조적 특성에 따라 크게 영향을 받게 되므로 설계단계에서 동적하중을 직접 고려하기는 매우 어렵다.

시방서에서는 동적하중에 의한 구조응답의 증가를 충격계수로서 단순하게 규정하고 있는데 대부분의 시방서에서는 충격계수를 단순히 재하된 경간장이나 제1모우드의 고유진동수의 함수로서 나타낸다. 그러나 많은 해석적, 실험적 연구에서 교량의 동적응답의 증가는 이들 외에 교량형식, 차량특성, 차량하중, 주행속도, 노면형상 등 다양한 인자들의 영향을 받음을 보여주고 있다.

합성 혹은 비합성의 다주형 강판형교는 전세계적으로 가장 널리 사용되는 도로교형식으로 경간의 연속성(단순 혹은 연속)에 따라 일반적으로 경간장 25~80m 사이의 범위에서 사용된다. 판형교에서는 일반적으로 사하중에 대한, 활하중의 비중이 타형식의 교량에 비하여 크므로 피로손상이 중요한 문제가 된다. 또한 중간정도의 경간장을 가진 교량에서 교량의 강도한계상태는 매우 무거운 중차량에 의해 결정되는 반면, 피로손상은 일상적으로 통행하는 중차량에 의해 증가된다.

-
- * 연세대학교 토목공학과 부교수
 - ** 연세대학교 토목공학과 조교수
 - *** 연세대학교 토목공학과 석사과정

본 연구의 목적은 현행 시방서에 따라 설계된 다양한 대상 교량에 대하여 주행차량에 의한 다주형 강판형교의 동적응답특성을 알아보는 것으로서 중요한 구조적 인자들(경간장, 교폭, 거더간격 등)을 체계적으로 고려하였으며, 단일주행에 의한 기본적인 하중상태 뿐만 아니라 동일차선 및 인접차선을 주행하는 다수차량의 하중조건에 대한 동적응답을 분석하였다.

2. 해석모형

2.1 교량모형

분석대상교량은 도로교 표준 시방서에 따라 1등교로 설계하였다.

2차선 및 4차선 교량의 단면은 그림 1과 같으며 교폭은 2차선 교량의 경우에는 9.2m에서 9.5m, 4차선 교량의 경우에는 16.6m에서 16.9m사이이다. 2차선 교량의 경우에 거더수는 동일하게 배치하였으며 간격은 2.4m와 2.7m이다. 4차선 교량에서는 거더를 5개에서 8개까지 사용하였고 거더간격은 2.0m에서 3.6m까지 변화시켰다.

다주형 교량의 해석모형은 격자보구조의 3차원 뼈대요소를 사용하여 구성하였고 격자보구조의 종방향요소의 단면물성은 강판형 주형과 R.C 바닥판의 합성단면을 횡방향요소의 단면물성은 바닥판과 수직브레이싱을 대표한다. 수직브레이싱은 경간장에 따라 적절히 배치하였다.

2.2 차량모형

7자유도의 비선형 차량모형은 일반적인 중차량으로서 텐덤축을 가진 트럭을 사용하였다. 차량모형은 그림 2와 같으며, 총중량은 25ton으로 모형화하였다.

교량과 차량의 동적응답은 직접적분법인 Newmark- β 법을 사용하여 구하였다. 차량주행중에 차륜과 바닥판은 한 점에서 접촉하는 것으로 가정하였으며, 차륜과 바닥판의 상호작용력은 상대변위와 상대속도의 함수로 산정하였다. 이때 상호작용력이 음수인 경우는 차륜이 바닥판을 들어올리는 경우로서 실제로 있을 수 없는 현상이므로 작용력을 무시하였다.

개발된 해석방법을 사용하여 해석한 해석결과와 AASHTO Road Test¹⁾를 통하여 얻어진 실험데이터를 비교하여 개발된 해석방법의 타당성을 검토하였다.

3. 노면모형

기본적인 노면형상은 Dodds와 Robson²⁾에 의해 개발되고 Wang과 Huang³⁾에 의해 수정된 지수스펙트럴밀도함수를 사용하여 생성시킨다.

여기에서 노면상태는 4단계(매우양호, 양호, 보통, 불량)로 분류된다. 생성된 노면형상으로부터 고주파항을 소거하고 바닥판-차륜사이의 상호작용을 보다 합리적으로 개선하기 위하여 새로운 보정기법을 사용하였다.

사용된 보정기법은 생성된 기본노면형상을 따라 차륜을 움직이면서 노면형상을 보정하는 것으로 기본노면형상과 보정된 노면형상은 그림 3에 나타내었다. 점하중으로 작용하는 차륜모형은 깊은 골에 작용할 수도 있는데 이는 실제로는 발생할 수 없는 경우이므로 그림 3에서와 같이 소거되어야 한다.

4. 영향인자 연구

4.1 차량연행의 영향

몇 대의 차량이 동시에 교량상을 주행하는 경우에는 교량의 동적거동도 달라지게 된다. 이전의 연구^{3),4)}에서는 선행차량과 후행차량의 간격이 없는 평행주행상태를 주로 고려하였으나 본 연구에서는 동일차선 혹은 인접차선에 대하여 선행-후행차량사이에 임의의 간격을 두고 연속적으로 주행하는 경우를 가정하였는데 이때 차두간격은 시간에 따라 일정한 것으로 가정하였다.(그림 6) 1개의 차선에 대하여 2개의 확률적으로 독립적인 노면형상(1조)을 생성시켰으며 인접한 차선의 노

면형상도 상호독립적인 것으로 가정하였다. 노면조도는 매우 양호한 상태를 고려하였고 단차는 없는 경우이다.

그림 5은 동일한 차선에 대한 일정한 차두간격을 가정하였을 경우의 충격계수 변화를 나타내고, 그림 6은 그림 4의 2가지 다른 주행상태에 의한 충격계수의 변화를 나타낸 것이다. 그림 5, 6에는 2번째 트럭에 대해 산정된 충격계수를 정리하였다.

차두간격이 짧은 경우에 2번째 트럭에 의한 충격계수가 1대만 주행한 경우의 충격계수보다 작는데 이는 2대 트럭의 상호작용에 의한 영향으로 분석된다. 그러나 어떤 차두간격의 경우에는 2번째 트럭에 의한 충격계수가 증가하는데 이는 주로 2대 주행시에 동적해석의 초기조건이 다르기 때문인 것으로 판단된다. 즉 2번째 차량이 진입할 때 교량이 이미 진동하고 있는 상태이기 때문이다. 또한 다수 차량의 효과는 긴 경간장을 가진 교량의 경우에 더 크게 나타난다. 차두간격이 동일할 경우 동일차선을 연이어 주행하는 경우가 인접차선을 연이어 주행하는 경우보다 큰 충격계수를 나타낸다.

4.2 차량교행의 영향

어떤 차량이 교량상을 주행할 때 교량의 동적거동은 그림 7에 보인바와 같이 반대 방향으로 주행하는 다른 차량에 의해 영향을 받을 수 있다. 이러한 주행형태는 2방향 교통체계가 실시되는 교량상에서의 일반적으로 나타나는 주행형태이다. 이때 주행차량은 상하행 동시에 교량에 진입하는 것으로 가정하였으며, 상하행선에 대하여 2조의 확률적으로 독립적인 노면형상을 생성시켜 사용하였다.

그림 8에서 Case I은 한 대의 트럭이 차선 1로 주행한 결과를 나타내고 Case II, Case III, Case IV는 각각 그림 7-(a),(b),(c)에 나타낸 바와 같이 주행 차선이 점차 근접함에 따른 주형1과 주형2의 충격계수에 미치는 영향을 알아보았다. 결과에 따르면 주형의 동적응답은 인접차선에 주행하는 다른 차량의 주행에 거의 영향을 받지 않음을 알 수 있다.

주행차선에 인접한 주형에서 발생하는 충격계수는 차량이 주행하지 않는 주형에서 발생하는 충격계수보다 작으며, 상하행선 왕복주행의 경우에도 주행주형에서 발생하는 최대충격계수는 외측 차선 1대 주행(그림 (a)의 주형 1, 2) 혹은 내측차선 1대주행(그림 (b)의 주형 2, 3)의 경우와 유사한 것으로 분석되었다.

4.3 주형간격의 영향

그림 1에서 보는 바와 같이 다양한 주형배치에 대하여 검토하였다. 그림 9과 그림 10에 주형간격(주형의 수)의 변화에 따른 충격계수의 변화를 정리하였다. 비록 주형간격의 변화에 따른 효과가 크지는 않지만 주형간격이 증가함에 따라 충격계수가 증가하며 이러한 경향은 경간장이 긴 경우에 더욱 확실하게 나타난다.

4.4 차선내 차량주행위치에 의한 영향

한 주행차선안에서 차량의 횡방향 주행위치의 변화에 따른 충격계수의 변화를 알아보기 위하여 한 주행차선안에서 외측으로부터 내측으로 차량의 주행위치를 변화시켜가며 해석하여 보았다(그림 11). 대상교량은 2차선 교량인 Type-II교량을 사용하였다. 그림 12에 나타낸 결과와 같이 각 주행위치에서 응답이 최대가 되는 주형은 가장 적은 충격계수를 나타낸다. 또한 이때 나타나는 주행위치별 주형의 최소충격계수는 거의 일정한 수준을 유지한다.

5. 결 론

다주형 강판형교의 동적거동에 대한 체계적인 연구의 결과로부터 다음과 같은 결론을 얻을 수 있다.

- 1) 다수차량이 연행하는 경우에 지간장과 차두간격의 상관관계에 따라 충격계수는 증가될 수 있

다. 이러한 효과는 장지간의 교량에 더욱 확실하게 나타난다.

- 2) 다수 차량이 상하행 교행할 경우, 주행위치와 근접한 주형의 최대충격계수는 1대주행에 따른 최대충격계수 이하인 것으로 분석되었다. 동일한 주행차선내에서 주행위치가 변화할 경우 최외측 주형의 최대충격계수가 설계충격계수를 초과할 수도 있는 것으로 나타났다.
- 3) 주형간격이 증가할수록 충격계수는 점차 증가한다. 이러한 경향은 장경간의 교량에서 더욱 확실하게 나타난다.

6. 참고 문헌

- 1) Fenves, S.J., Veletsos, A.S., and Siess, C.P. : "Dynamic Studies of Bridges on the AASHO Road Test," *Highway Research Board*, Report 71, National Academy of Sciences, Washington, D.C., 1962.
- 2) Dodds, C. J. and Robson, J. D. : *The Description of Road Surface Roughness*, J. Sound and Vibration, 31(2), pp. 175-183, 1973.
- 3) Huang, D., Wang, T-L., and Shahawy, M. : *Impact Studies of Multigirder Concrete Bridges*, Journal of Structural Engineering, ASCE, Vol. 119, No. 8, pp. 2387-2402, August, 1993.
- 4) Wang, T-L., Huang, D., Shahawy, M., and Huang, K. : *Dynamic Response of Highway Girder Bridge*, Computer & Structure, Vol. 60, No 6, pp. 1021-1027, 1996.

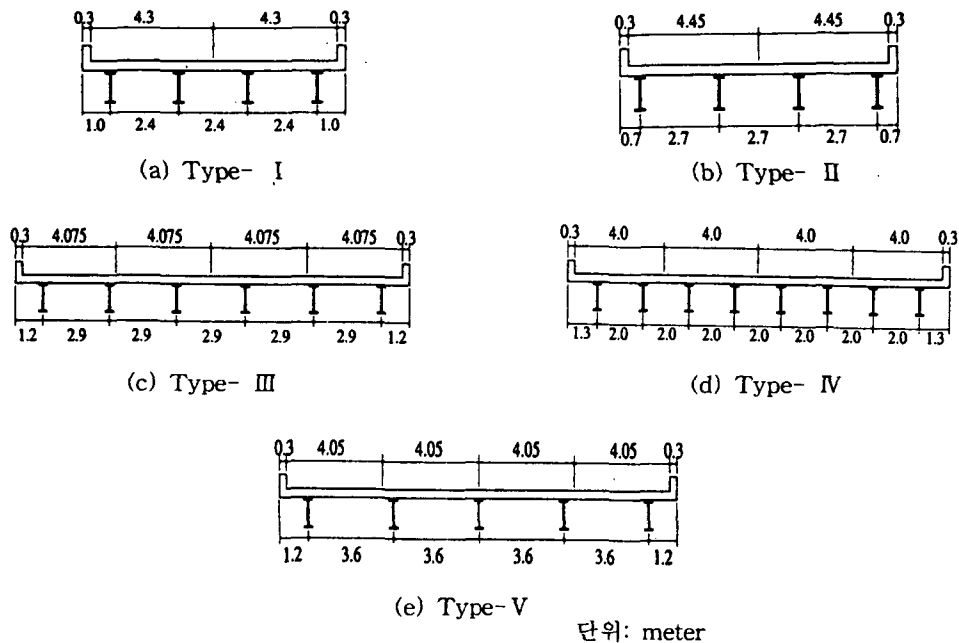
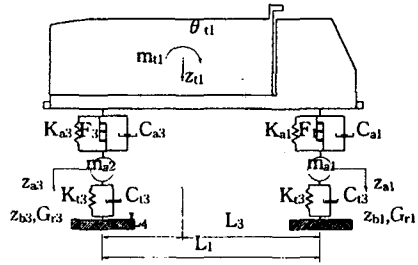
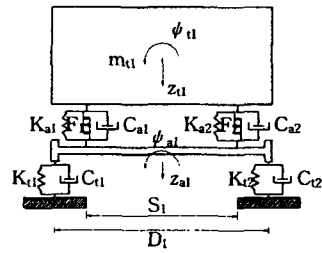


그림 1. 교량모형



(a) 측면도



(b) 정면도

그림 2. 차량모형

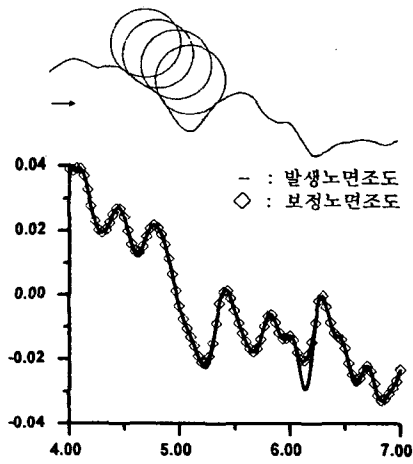


그림 3. 생성된 노면형상의 보정기법

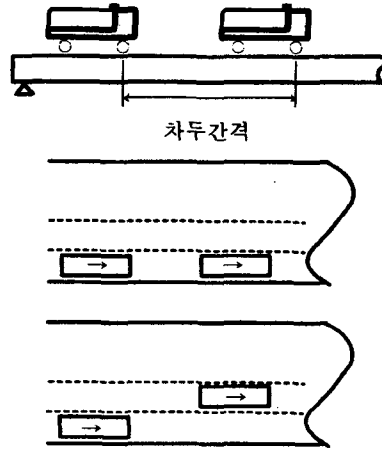


그림 4. 차량의 운행모형

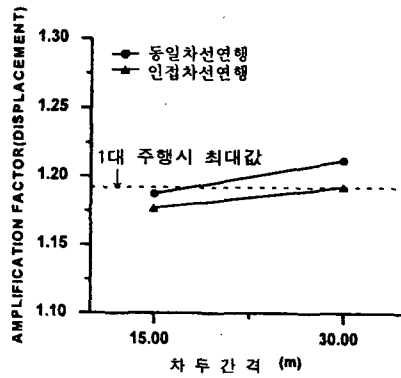


그림 6. 주행 조건의 영향

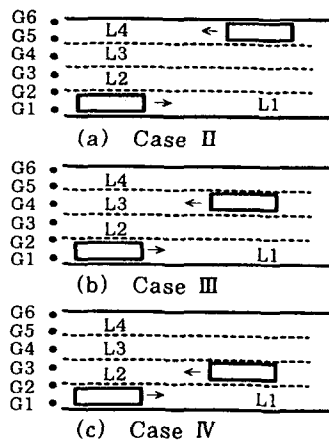
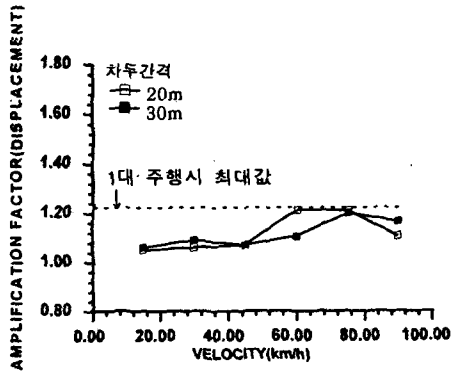
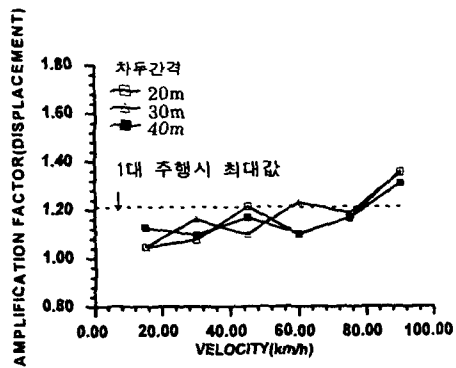


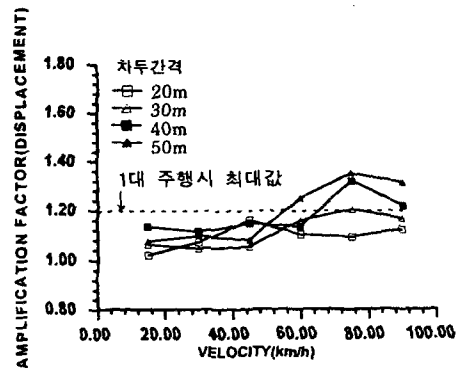
그림 7. 상하행선 주행모형



(a) 지간장 30m



(b) 지간장 45m



(c) 지간장 60m

그림 5. 차량의 연행에 의한 충격계수의 변화

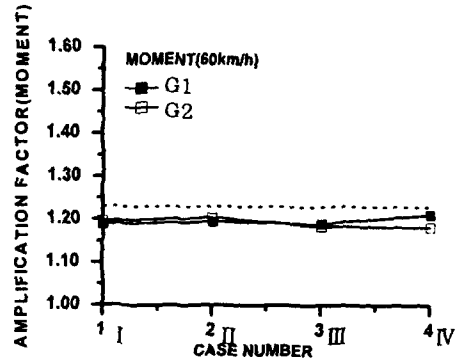
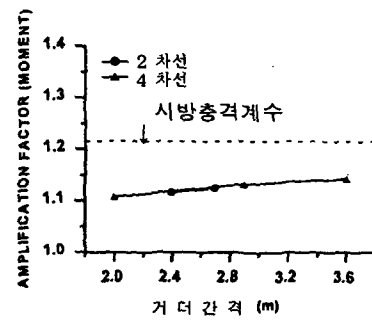
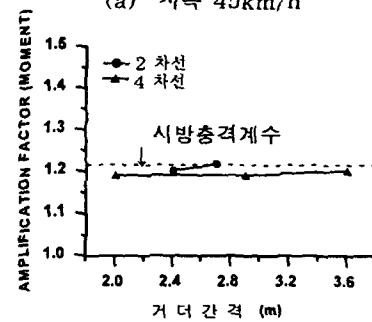


그림 8. 상하행차선 교행의 영향
(지간장 30m, 60km/h, 휨모멘트)



(a) 시속 45km/h



(b) 시속 75km/h

그림 9. 주형간격의 영향(30m)

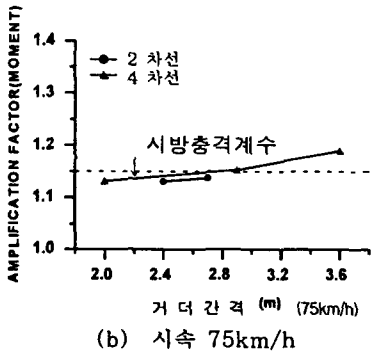
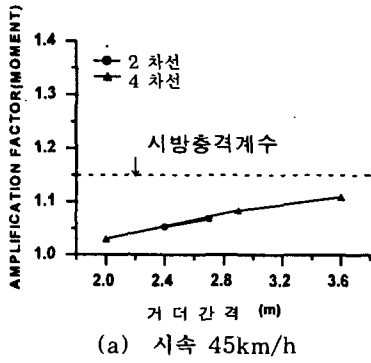


그림 10. 주행간격의 영향(60m)

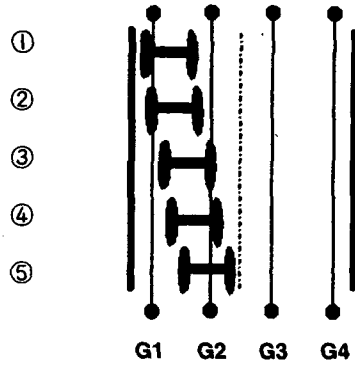


그림 11. 차선내 차량의 주행위치

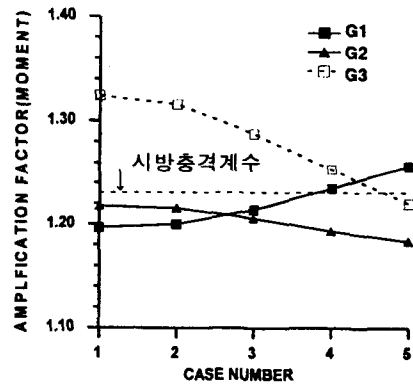


그림 12. 차선내 주행위치의 영향 (지간장 30m, 4차선, 시속 60km/h, 휨모멘트)