

거더교량의 횡방향 하중효과의 확률론적 분석

Statistical Analysis of Transverse Load Effects in Girder Bridges

오 병 환* 유 영** 최 영 철** 이 준 혁*** 김 광 수****

Oh, Byung Hwan Lew, Young Choi, Young Chul Lee, Jun Hyuk Kim, Kwang Soo

ABSTRACT

An effective live load model for analyzing probable maximum live load effects such as moment and shear in transverse direction was developed. The main procedure of this live load model is composed of four parts, i.e., firstly, determination of the appropriate influence lines in longitudinal direction, secondly, application of the characteristics of vehicles and traffic patterns in longitudinal direction, thirdly, determination of the appropriate influence lines in transverse direction, and fourthly, application of the characteristics of vehicles and traffic patterns in transverse direction. Through this procedure, the probabilistic distributions of maximum probable load effects are deduced in the form of probability density function (PDF) and/or cumulative density function (CDF). This live load model is able to consider local or global deterioration of bridges in the structural analysis.

1. 서론

교량의 바닥판은 도로상을 통행하는 차량하중을 직접 전달받으며, 제설제 등의 외부환경적 요인에 의하여 가장 큰 손상이 유발되는 구조부재이다. 최근 도로교의 바닥판에 대한 빈번한 손상발생이나 보수·보강 등은 바닥판에 발생하는 하중효과를 합리적으로 산정해야 할 필요성을 입증하는 것이라 할 수 있다. 실제 교량을 통행하는 차량은 설계기준트럭의 중량을 초과하는 경우가 빈번하게 발생하고 있으며, 특히 교량의 사용수명에 따라서 이러한 트럭의 통행빈도도 증가하게 되므로 교량에 발생하는 하중효과 또한 시간의 경과에 따라 점차 증가하게 된다. 특히, 교량의 사용기간의 증가에 따라 발생하는 교량의 손상에 의하여 증가된 하중효과는 교량의 사용성 및 안전성에 더욱 큰 영향을 미치게 된다. 이에 본 연구에서는 교량의 손상효과를 고려한 하중모델을 적용하여 발생하는 하중효과를 확률론적으로 분석하였으며, 이 결과는 향후 바닥판의 잔존수명의 예측에 적용될 수 있으리라 판단된다.

* 정회원, 서울대학교 토목공학과 교수

** 정회원, 서울대학교 토목공학과 박사과정

*** 정회원, 서울대학교 토목공학과 석사과정

**** 정회원, 서울대학교 특별연구원

2. 차량하중 및 통행특성

도로교 바닥판의 최대 활하중 효과를 예측할 수 있는 활하중 예측모델의 적용시, 이에 영향을 미치는 변수로는 차량의 총하중, 축하중, 바닥판에서의 윤하중의 위치, 횡단면에 동시에 존재하는 윤하중의 수, 충격효과, 슬래브의 강성, 거더의 강성 등이 있다. 여기서, 횡단면에 동시에 존재하는 차량의 수는 한 대 이상의 차량이 동시에 교량을 통과할 때 발생하는 변수이다. 그리고 교량의 사용기간동안의 차량의 증가를 고려하여야 한다. 본 연구에서는 사용된 차량 및 통행특성 관련자료는 “거더교량의 종방향 하중효과의 확률론적 분석”의 사용자자료와 동일하게 적용하였다.

3. 하중모델의 개발

본 해석모델은 4개의 부프로그램(subroutine)으로 구성되어 있다. 기본적인 개념은 3차원 격자구조 해석을 두 단계(종 및 횡방향)의 2차원 뼈대구조 해석으로 분리시켜 2차원 해석방법의 장점을 최대한으로 이용한 것이다. 특히, 손상의 고려가 가능한 영향선의 개념을 도입하여 임의의 단면에 대한 하중효과를 손쉽게 구할 수 있도록 하였다. 종방향의 해석기법은 “거더교량의 종방향 하중효과의 확률론적 분석”에 기술하였으며, 본 논문에서는 횡방향의 해석기법에 대하여 논하겠다. 그림 1은 횡방향 하중모델의 순서도이다.

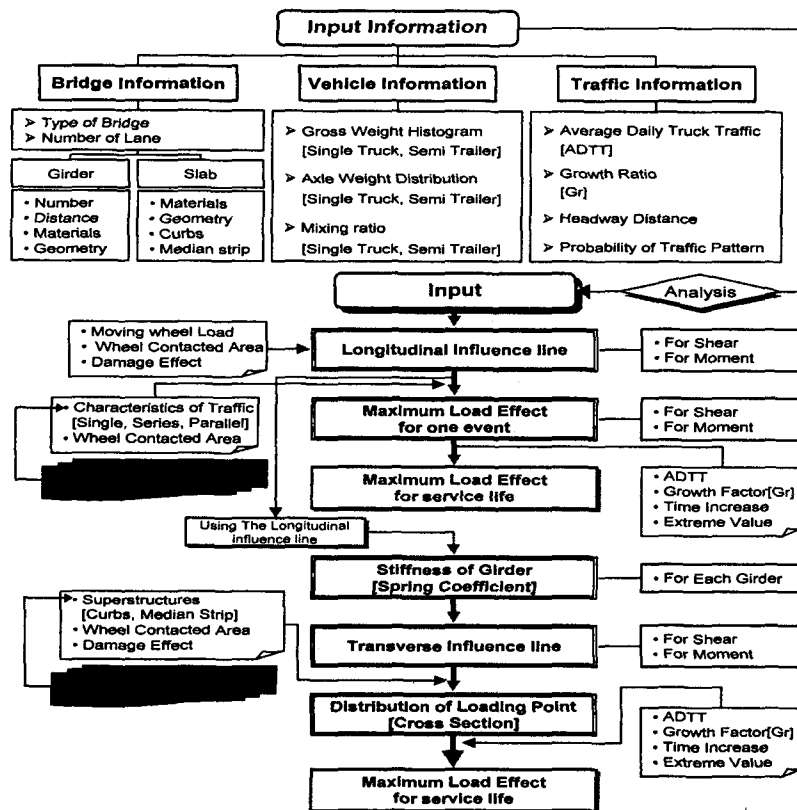


그림 1. 횡방향 하중모델의 순서도

(1) 횡방향의 영향선 계산

횡방향 영향선의 해석에서 전체적인 구성방식은 종방향과 일치하지만, 세 가지의 주요 고려사항이 있다.

첫째, 본 모델에서는 횡방향의 해석을 각 단면에 대하여 연속보로 해석을 수행하였다. 다만 각 내부 지점을 종방향 거더의 강성을 고려한 스프링 부재로 치환하여 영향선 값을 결정하였다.

둘째, 본 연구에서는 차륜을 분포하중으로 고려하여 이에 대한 영향선을 계산하였다.

셋째, 3차원 효과를 고려하기 위하여 횡방향 영향값의 계산시 고려단면에 위치하지 않은 나머지 차축의 종방향 영향효과를 추가하였다.

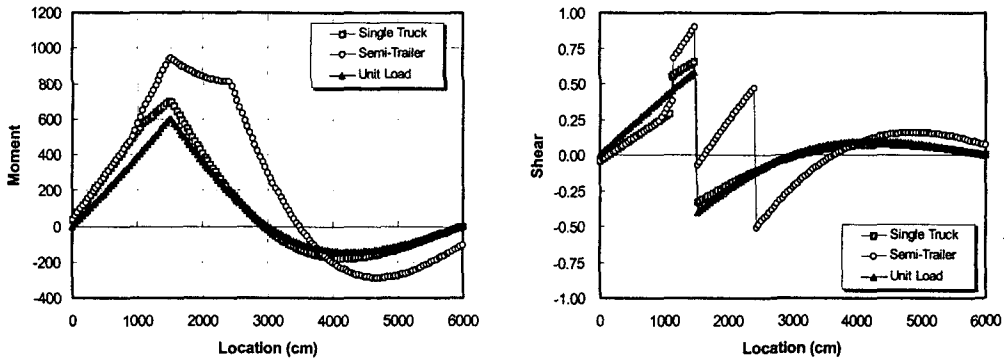


그림 2. 종방향 차축효과를 고려한 영향선 해석

(2) 횡방향의 하중효과 계산

횡방향의 하중효과 해석과정은 종방향과 거의 동일한 과정을 따른다. 본 하중모델에서는 주요한 고려사항은 영향선에 모두 포함되어 있다. 다만 이 외에 각 횡단면에 대한 차륜 재하위치의 배치가 주된 고려사항이 된다. 재하위치는 외측 연석부와 중앙분리대 등의 부속부재에 의한 재하 불가능 위치를 고려하였으며, 이러한 재하위치의 배치는 모멘트와 전단력의 하중효과에 대하여 동일하다. 설계차선내의 표준트럭의 바퀴의 횡방향 위치와 통행빈도에 관해서는 Fordye와 Packard에 의해서 연구되었는데, 그림 3에서 보여지는 바같이 차선폭이 3.6m 인 차선에서 횡방향 통행경로 변화에 따른 운하중 재하중 심위치 분포가 정규곡선분포를 나타내는 것으로 보고하였다. 이러한 연구결과를 이용하여 본 연구에서는 차선내에서의 운하중의 분포를 정규분포로 가정하였고, 분포가 차선폭에 따라 자동으로 조절되도록 프로그램화하였다. 이 외에 본 연구의 횡방향 하중효과에서는 다음의 세 가지의 교량형식에 대하여 하중재하위치를 결정하였고, 각 형식마다 재하가능한 모든 재하의 경우를 확률적으로 고려하였다.

- ① 왕복 2차선 교량 (8 Case) ② 편도 2차선 교량 (8 Case) ③ 왕복 4차선 교량 (32 Case)

4. 하중모델의 검증 및 적용

본 절에서는 이상에서 개발된 하중모델의 타당성을 검증하고, 모델을 적용하여 도로교 바닥판에 발생 가능한 최대 하중효과(휨 및 전단)를 계산한다.

횡방향의 영향선은 종방향에 비하여 다소 복잡한 고려사항이 있다. 기본적으로 횡단면은 지점조건이 거더에 의하여 이루어지는 특성을 가지고 있는데, 본 연구에서는 이를 스프링 강성으로 치환하여 해석하였다. 따라서 이의 검증을 위하여 SAP 2000을 통한 3차원 격자구조해석 결과와 본 연구에서

개발된 횡단면 해석모델을 비교하여 개발된 프로그램에 대한 검증을 수행하였다.

해석대상은 1999년 파괴시험이 수행되었던 서진 3교로 하였다. 서진 3교는 거더 4개로 구성된 PSC 합성거더교로서 지간 길이는 30m이다.

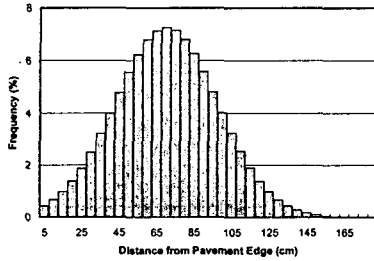


그림 3. 차선 내에서의 운하중의 횡방향 분포

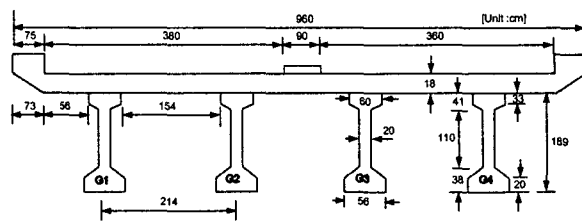


그림 4. 해석대상 교량의 단면특성

검토위치는 거더 1과 2의 중앙단면, 거더 2의 내부지점 및 거더 2와 3의 중앙단면으로 선택하였다. 이 해석을 통한 3차원 해석결과와 본 연구에서 개발된 해석모델의 중앙단면에서의 전단 및 휨에 대한 해석결과는 그림 6과 같다.

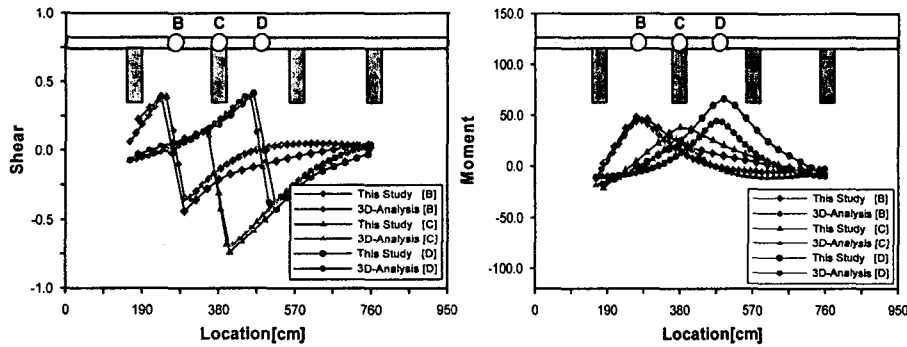
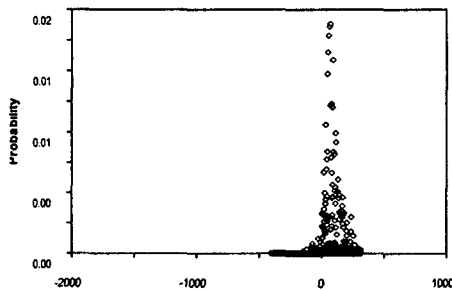
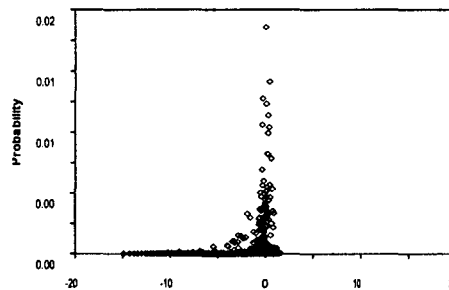


그림 5. 바닥판 횡단면의 하중효과 비교분석

해석결과에 의하면 두 결과가 거의 동일한 양상을 보임을 알 수 있다. 특히 전단의 경우 3차원 해석결과와 거의 일치하는 결과를 얻었고, 모멘트의 경우 절대값에 있어서는 다소 차이가 있었으나 각 위치별의 경향은 비슷하였다. 따라서 본 연구에서 개발된 바닥판의 해석모델은 상당히 근접한 수준에서 3차원 해석결과와 일치하는 결과를 보인다고 판단된다.



(a) B의 모멘트



(b) B의 전단

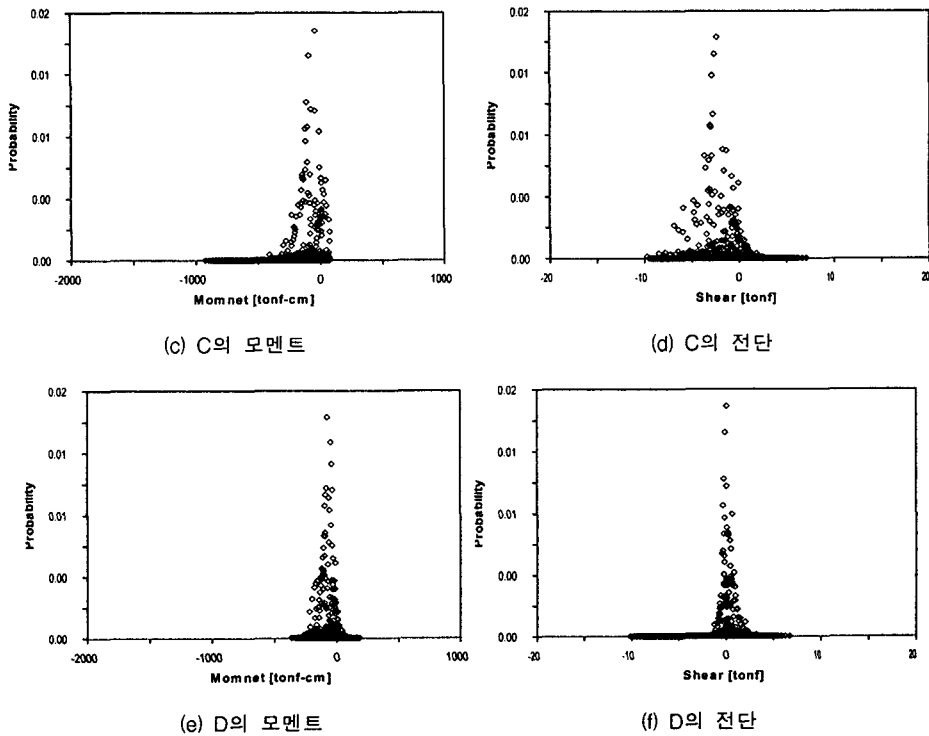


그림 6. 단순교 중앙단면의 모멘트 및 전단의 확률밀도분포

모멘트 및 전단에 대한 확률분포는 그림 5의 점 B,C,D 에 대하여 검토하였다. 해석결과에 의하면 모멘트의 경우, 점 B와 점 D에서 정(+) 및 부(-)의 값이 나옴으로써 바닥판이 지속적인 인장과 압축의 반복응력(reversal stress)을 받게 됨을 알 수 있다. 현재 설계기준에 의하면 B 및 D의 위치는 정모멘트를 받는 구간으로 설계가 되고 있으나 실제 차량의 통행특성 고려시에 부모멘트가 발생할 확률이 존재한다는 점에서 향후의 설계시에 이러한 점을 고려하여야 할 것으로 사료된다.

국내의 지역별 특성을 고려한 모멘트 평균의 시간에 따른 추이를 해석한 결과는 그림 7과 같다. 그림 7에 의하면 지역별로 모멘트의 평균값의 증가량이 다를 수 있음을 보여주고 있으며, 경제성을 고려한 설계시에 이러한 점을 반영할 필요가 있다고 판단된다.

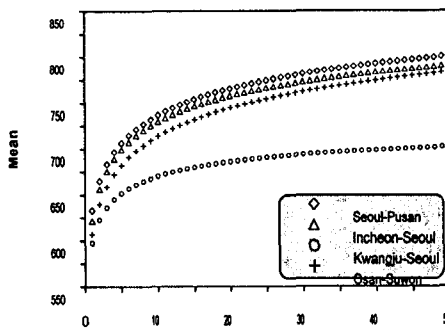


그림 7. 지역별 횡방향 모멘트 평균의 시간에 따른 변화

5. 결론

본 연구에서는 바닥판에 발생 가능한 하중효과를 확률론적으로 분석하였다. 특히, 일반적인 관심 위치가 아닌 임의위치에서의 하중효과를 도출하도록 하였다.

- (1) 영향선의 개념을 도입하여 교량의 하중효과를 결정하였다. 사용자가 원하는 임의 위치에서의 모멘트 및 전단에 대한 영향선을 계산할 수 있도록 하였다.
- (2) 교통량 및 통행특성을 영향선에 적용하여 하중효과를 계산하였다. 이때, 교량의 통행트럭이 차선내에서 정규분포를 한다고 가정하여 최대하중효과를 구하였으며, 고려단면에 위치하지 않은 차륜의 하중(중방향 축중)도 고려하여 현실적인 하중효과를 모사하려 하였다.
- (3) 극치분포의 개념을 이용하여 공용년수에 따른 하중효과를 계산하였다. 그 결과 사용기간에 따라 하중효과의 평균값은 증가함에 비하여 표준편차는 감소하였다.
- (4) 바닥판에 발생하는 하중효과는 동일위치에서 반대의 응력상태를 동시에 가질 수 있는 것으로 나타났다. 즉 모멘트나 전단의 경우 모두 통행특성을 고려한 하중효과를 계산한 결과 정(+) 및 부(-)의 값을 보임으로써 피로에 매우 취약할 수밖에 없는 상태라는 것을 확인하였다.
- (8) 지역별 통행특성의 차이에 의해서 사용기간의 경과에 따라 발생 가능한 최대하중효과의 증가율이 서로 다를 수 있음을 확인하였다.

감사의 글

본 연구는 한국건설기술연구원의 2000년 산·학·연 공동연구개발사업과 표준과학연구원의 인위재해방지기술연구의 일부로 수행되었으며, 이에 감사 드립니다.

참고문헌

1. AASHTO, "Standard Specification for Highway Bridges," 14th Edition, 1989.
2. Anarzej S. Nowak, "Bridge Live models," Journal of Structural Engineering, Vol.117, No 9, September, 1991.
3. Max Schlafli and Eugen Bruhwiler, "Fatigue of existing reinforced concrete bridge deck slab," Engineering Structures, Vol 20, No 11, pp 991-998, 1998.
4. Michel Ghosn, "Markov Renewal Model for maximum bridge loading," Journal of Engineering Mechanics, Vol. 111, No. 9, September, 1985.
5. Moses, F. and M. Ghosn, "Comprehensive Study of Bridge Loads and Reliability," Report No. FHWA/oh-83/005, Case Western Reserve University, Department of Civil Engineering, Cleveland, 1985.
6. 건설교통부, "도로교 차량 활하중 및 피로하중 모형 개발에 관한 연구," 1998.
7. 건설교통부, "도로 교통량 통계연보," 1995~2000.
8. 건설교통부, "도로교 설계기준," 2000.
9. 한국건설기술연구원, "도로포장설계 입력변수의 산정기법에 관한연구," 1989.
10. 오병환, "확률 신뢰성 이론에 의한 구조물의 합리적 해석기법과 신뢰성 설계기준 개발(II)," 1991.
11. 정철현, "도로상을 통행하는 트럭의 형상 및 중량특성," 대한토목학회, 제15권 5호, 1995.
12. 정철현, "교량구조물의 합리적인 설계하중 및 설계기준 개발," 박사학위논문, 서울대학교, 1993.2.
13. 武若 耕司, 濱田 秀則, 太田 達見, 1998, 콘크리트構造物のリハビリテーション, 劣化メカニズムとリハビリテーション.