강합성교 설계를 위한 하중분배계수 간략식

Simplified Load Distribution Factor Equation for the Design of Composite Steel Girder Bridges

정 원 석[1)]

Chung, Wonseok

요 약 : 강합성 교량의 설계시 종방향 모멘트에 하중분배계수를 고려하여 주형의 최대 모멘트를 계산하고 있다. 이러한 하중분배계수식은 1930년경부터 AASHTO 시방서에 채택된 이후 소폭의 수정을 거듭해 오다가 1994년 LRFD 시방서부터 전폭적으로 수정되었다. LRFD 시방서의 하중분배계수 식은 실제 교량의 거동을 비교적 정확히 반영하고 있는 것으로 알려져 있다. 하지만 LRFD식은 설계모멘트 결정단계에서는 확정할 수 없는 종방향 강성계수를 포함하고 있으므로 반복을 통한 설계를 요구한다. 이러한 LRFD식이 내포하는 반복 설계과정으로 인해 실무에서는 널리 쓰이지 않고 있는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 반복 설계과정을 필요로 하지 않는 I형 강합성교량의 하중분배간략식을 LRFD식에 근거하여 도출하였다. 간략식의 검증을 위해 43개의 대표교량의 유한요소해석을 통해 구한 엄밀 하중분배계수와 AASHTO LRFD 식, AASHTO Standard 식으로 구한 하중분배계수와 비교하였다. 그 결과 간략식이 구조물의 안전성을 확보하면서 반복계산을 필요로 하지 않는 것으로 확인되었다.

ABSTRACT : The AASHTO wheel load distribution factor (LDF) equation has been with us since 1931 and has undergone minor modifications. In 1994, an entirely new procedure was introduced in the AASHTO LRFD code based on parametric studies and finite element analyses. However, this LDF equation involves a longitudinal stiffness parameter, the design of which is not initially known. Thus, an iterative procedure is required to correctly determine the LDF value. The increased level of complexity puts undue burden on the designer resulting in a higher likelihood for misinterpretation and error. In this study, based on current AASHTO LRFD framework, a new simplified equation is developed that does not require an iterative procedure. A total of 43 representative composite steel girder bridges are selected and analyzed using a finite element model.The new simplified equation produces LDF values that are always conservative when compared to those obtained from the finite element analyses and are generally greater than the LDF obtained using AASHTO LRFD specification. Therefore, the proposed simplified equation is expected to streamline the determination of LDF for bridge design without sacrificing safety.

핵 심 용 어 : 하중분배계수, 간략식, 유한요소해석, 강교량

KEYWORDS : load distribution factor, simplified equation, finite element analysis, steel girder bridges

□

1. 서 론

강합성 교량의 정확한 주형 설계모멘트를 결정하기 위해서는 교량 상부구조물의 3차원 거동을 고려하여야 한다. 이를 위해서 3차원 유한요소해석법이나 이보다 간편한 2차원 격자해석 (grillage analysis) 등을 통해 정확한 주형 설계모멘트를 결정할 수 있다. AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials) 시방서에서는 교량 설계자의 구조해석의 편의를 도모하고자 간단한 보해석에 하중분배계수 (LDF)를 곱하여 교량 주형의 설계모멘트를 구하도록 제시하고 있다.

AASHTO Standard 시방서 (1996)에서는 2차선 이상의 강합성 교량의 I-형 내부 거더(interior girder)의 하중분배계수 식을 식(1)과 같이 주형간격에 대한 함수로 제안하여 1930년경부터 사용해 오고 있다.

1) 정회원, 한국철도기술연구원 선임연구원, 공학박사
(Tel:031-460-5353, Fax:031-460-5359, E-mail:wschung@krri.re.kr)

본 논문에 대한 토의를 2005년 10월 31일까지 학회로 보내주시면 토의 회답을 게재하겠습니다.

$$LDF = \frac{S}{1676} \quad (1)$$

여기서 S는 주형간격 (mm)이다. 이 식은 매우 간단하나 교량의 경간길이등과 같은 중요한 계수를 고려하지 않음으로 정확도에서 문제점을 나타내고 있다.

이러한 AASHTO Standard 하중분배계수식이 미국 Imbsen & Associate사의 NCHRP (National Cooperative Highway Research Program) 12-26 프로젝트 연구 결과로 1994년 AASHTO LRFD 시방서 (1998)부터 전폭적으로 수정 되었다. 이 식은 미국의 각 주에서 선정된 대표 교량의 유한요소해석과 통계학적 방법으로 도출된 식으로 더 많은 매개변수를 고려하고 있다. 2차선 이상의 강합성 교량의 LRFD 하중분배계수는 식 (2)와 같다.

$$LDF = 0.15 + \left(\frac{S}{914}\right)^{0.6}\left(\frac{S}{L}\right)^{0.2}\left(\frac{K_g}{Lt_s^3}\right)^{0.1} \quad (2)$$

여기서,

LDF = 하중분배계수
S =주형간격 (mm)
L =경간길이 (mm)
K_g = 종방향 강성계수 = $n(I+Ae^2)$, (mm^4)
t_s = 상판 두께 (mm)
n = 상판과 주형재료의 탄성비
I = 주형의 단면 2차모멘트 (mm^4)
A = 주형의 단면적 (mm^2)
e = 상판과 주형 중심간 편심 (mm)

LRFD 하중분배계수 식은 정확도를 증가시켜 실제 교량의 거동을 고려한 주형 설계모멘트 산출에 유용한 식으로 알려져 있다.

경간길이와 주형간격 변화에 따른 LRFD 식과 기존의 Standard 식의 비교는 그림 1과 같다. 설계 모멘트 산정시에는 정확한 종방향 강성계수를 결정할 수 없기 때문에 LRFD 식의 세 번째 항, 즉 종방향 강성계수를 포함한 항을 1로 가정한 결과이다. 일반적으로 강교량은 세 번째 항이 0.85 - 1.10의 값을 가지는 것으로 알려져 있다. AASHTO Standard 식은 LRFD 식에 비해 경간길이와 주형간격이 비교적 작은 교량에서는 비안전측(unconservative)이며, 반대로 경간길이와 주형간격이 큰 교량에서는 과도하게 안전측임을 알 수 있다.

AASHTO LRFD 식의 종방향 강성계수는 해석단계에서는 결정할 수 없는 주형의 단면관련 매개변수들을 포함하고 있으므로 주형의 단면선정 후 다시 하중분배계수식을 검토하여야 하는 반복 과정을 필요로 한다. 이러한 이유로 교량 실무자에게 지나친 부담을 주고 작은 실수나 잘못된 이해로 인해 설계하중에 큰 영향을 미칠 수도 있다는 비판이 제기되고 있다.

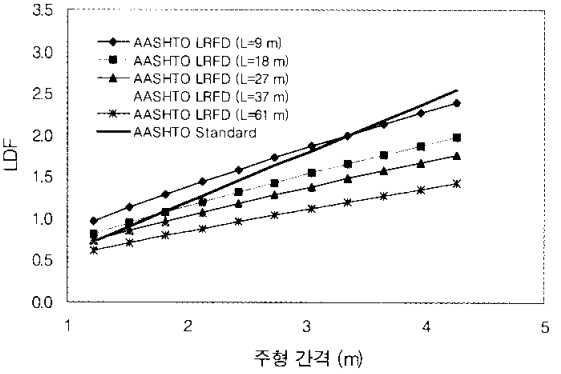


그림 1. AASHTO Standard 식과 LRFD 식의 비교

이러한 단점을 해결하기 위해 현재 미국에서는 LRFD 하중분배계수 식의 개정을 위한 NCHRP 12-62 프로젝트가 "Simplified Live Load Distribution Factor Equations"라는 제목아래 진행 중에 있다. 국내에서는 최근 프리스트레스 교량의 하중분배계수 산정을 위한 식들이 제안되었다 (김진호 등, 2004; 구민세 등, 2003).

본 연구에서는 AASHTO LRFD 시방서의 틀 아래 현재 하중분배계수 식의 정확도를 유지하면서 반복과정을 필요로 하지 않는 간략한 새로운 I-형 강합성교량의 하중분배계수 식의 개발과정을 소개하고자 한다.

2. 하중분배계수 간략식의 제안

2.1 적용범위 및 대표교량

강합성 교량의 현황을 조사하고 간략식의 적용범위 (applicable range) 선정을 위해 NCHRP 12-26 연구에서 사용되었던 데이터베이스와 NBIF (National Bridge Inventory File) 데이터베이스 (FHWA, 1995)에서 I형 강합성교의 주요제원을 추출하였다. LRFD 식에 제시된 각 매개변수 중 하중분배계수에 민감한 변수로 알려진 (Zokaie, 2000) 주형간격과 경간길이의 평균값으로부터 80 % 이내의 범위를 하중분배계수 간략식의 적용범위로 선정하였다. 선정된 주형간격은 1 m에서 3 m까지, 경간길이는 13 m에서 38 m이다. 상판의 두께는 표준단면인 200 mm로 가정하였으며

사각 (skew)은 0° 에서 45° 까지의 교량만 고려하였다.

적용범위 내에서 각기 다른 주형의 간격, 경간길이, 사각 등을 고려하여 차후 하중분배계수 간략식의 검증을 위해 이용될 실제 존재하는 43개의 대표교량 (representative bridges)을 선정하였다. 그림 2는 일례로 대표교량으로 선정된 교량의 주형간격과 경간길이의 상호관계를 나타낸 것이다. 분포점들이 각 배개변수의 적용범위 내에서 균등히 분포하고 있음을 확인할 수 있다

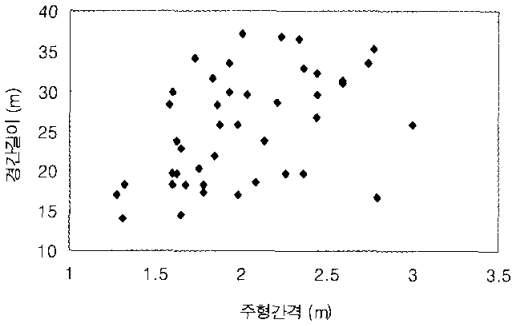


그림 2. 대표교량의 주형간격과 경간길이 분포도

2.2 하중분배 간략식의 도출

AASHTO LRFD 하중분배계수 식은 주형간격, 경간길이, 상판두께, 종방향강성계수 등의 4개의 주요변수를 포함하고 있다. 새로운 간략식의 도출에서는 각 변수의 하중분배계수에 대한 민감도를 고려하였다. Zokaie(2000)의 연구에 의하면 가장 민감한 변수는 주형간격이며, 그 다음으로 경간길이, 종방향강성계수, 상판두께 등의 순서였다. 이러한 결과에 근거하여 주형간격과 경간길이는 간략식에서 매개변수로 유지하였다. 한편, LRFD 식에서 정확도의 향상을 위해 도입한 종방향 강성계수가 결과적으로 또 다른 반복 설계과정을 필요로 하므로, 새로 제안된 간편식에서는 종방향 강성계수를 경간길이와의 관계를 고려하여 함축적 (implicitly)으로 제거하였다.

그림 3은 NCHRP 연구에서 사용된 표본교량과 본 연구의 표본교량의 종방향 강성계수와 경간길이의 관계를 보여주는 것으로 일반적으로 경간이 길어짐에 따라 종방향 강성계수가 증가하는 경향를 알 수 있다. 그러나 데이터가 비교적 산발해 있는데 이는 설계자들의 단면선정에 대한 다양성 때문으로 판단된다. 다른 매개변수들 (주형간격, 슬래브 두께, 사각)과 종방향 강성계수는 서로 특정한 경향을 보이지 않았다.

구조물의 안전성 확보를 위해 종방향 강성계수와 경간길이의 상관관계 중 최대선 (upper bound)을 식 (3)과 같이 채택하여 대부분의 모든 교량들이 이 범위의 안쪽에 포함되도록 하였다.

$$K_g = 7.91 \times 10^{10} e^{\left(\frac{L}{18000}\right)} \quad (3)$$

그림 3과 같이 2개의 교량이 안전측에 속하지 않으며 이 교량들은 차후 엄밀 유한요소해석을 통해 검증할 것이다.

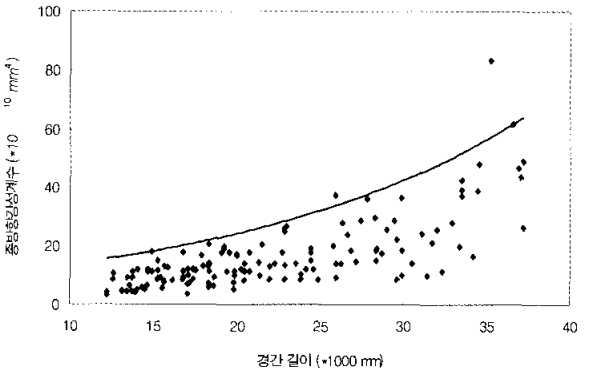


그림 3. 종방향 강성계수와 경간길이의 상관관계

앞서서도 기술하였듯이 본 연구에서는 상판의 두께를 200 mm로 가정하였다. 식(3)을 식(2)에 대입하여 정리하면 다음과 같은 간략식이 얻어진다.

$$LDF = 0.15 + 0.042 \frac{S^{0.8}}{L^{0.3}} e^{\left(\frac{L}{180000}\right)} \quad (4)$$

여기서, S는 주형 간격 (mm)이며 L은 경간길이 (mm)이다. 간략식의 가장 큰 장점은 주형 간격과 경간길이의 주요 매개변수만 포함하고 있으며, 정확도 개선을 위해 LRFD 식에서 사용하였던 종방향 강성계수를 경간길이와의 관계로 새로 도출된 식에 함축하여 반복 설계과정을 제거하였다.

한편 AASHTO LRFD에서는 사각이 30° 이상인 교량에 대하여 식(5)와 같이 사각감소계수 (skew reduction factor, φ)를 제시하고 있다.

$$\varphi = 1 - 0.25 \left(\frac{K_g}{12Lt_s^2}\right)^{0.25} \left(\frac{S}{L}\right)^{0.5} (\tan\theta)^{1.5} \quad (5)$$

여기서 θ는 사각 (skew angle)이다. 간략식에서는 식(3)에서 제시된 관계를 식(5)에 고려하여 식 (6)과 같은 간략한 사각감소계수를 도출하였다.

$$\varphi=1-0.59\frac{S^{0.5}}{L^{0.75}}(\tan\theta)^{1.5}e^{\left(\frac{L}{236}\right)} \quad (6)$$

본 연구에서 도출된 간략식은 앞서 제시한 적용범위 내에서의 교량에 적용가능하다. 간략식의 사용을 위해 교량 설계자는 설계를 마친 후 최종 주형단면의 검토가 필요하다. 만약 최종 단면으로 구한 종방향 강성계수가 식 (3)에서 제시된 값보다 작으면 항상 LRFD 식보다는 안전한 값을 의미한다. 반대로 종방향 강성계수가 식(3)보다 클 때에는 엄밀 3차원 해석을 통해 안전성을 검토하여야 한다.

3. 유한요소 해석모델

3.1 교량 유한요소 모델

하중분배계수 간략식의 검증을 위해 43개의 대표교량을 유한요소 해석을 통해 하중분배계수를 산출하였다. 유한요소 프로그램으로는 범용 해석 코드인 ABAQUS (2001)가 사용되었다. 여러 교량의 유한요소 해석법 중에서 간편성을 유지하면서 교량의 3차원 효과를 고려할 수 있는 것으로 알려진 eccentric beam model을 해석 모델로 채택하였다 (Chan 등, 1999).

Eccentric beam model은 교량 상판과 주형의 완전합성 거동을 rigid link를 이용하여 구현한다. 즉, 상판 유한요소의 중간면과 주형 유한요소의 도심에 multi-point-constraint (ABAQUS MPC)를 가하여 구현한다. 교량상판은 8절점 Mindlin 쉘요소 (ABAQUS S8R)를 사용하였고 주형은 3절점 Timoshenko 보요소 (B32)를 이용하였다. 이러한 요소의 선택은 두 개의 다른 유한요소의 경계면에서 발생할 수 있는 변위 불연속 (displacement incompatibility)을 피하기 위한 조합이다. 단순 지지된 교량의 이상화를 위해 무차원 스프링 요소를 실제 교량 베어링의 위치에 배치하고 경계조건을 가하였다. 모든 회전은 허용하고 수직방향의 움직임은 모두 구속하였으며, 나머지 교축의 연직방향은 최소의 구속을 가하였다. rigid link를 스프링 요소와 주형/상판 사이에 가하였다. 본 연구에서 사용된 유한요소 모델을 그림 4에 제시하였다.

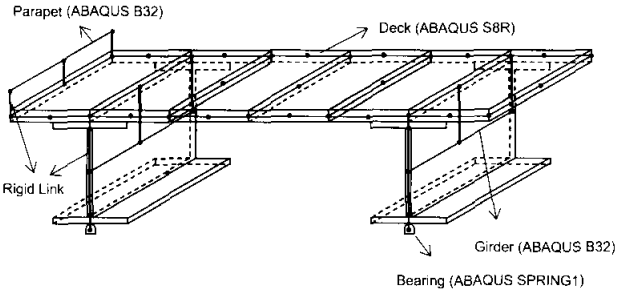


그림 4. Eccentric Beam Model

하중은 교량에 최대효과를 낼 수 있도록 재하하여야 한다. 종방향으로 최대효과를 내는 트럭의 위치는 찾기가 용이하나 횡방향으로는 여러 가지 트럭하중 위치를 고려해 보아야 한다. 또한 하중의 재하점이 일반적으로 유한요소의 절점과 일치하지 않으므로 등가절점하중으로 변환하여야 하는 복잡한 과정이 필요하다. 총 43개 교량의 유한요소 모델을 용이하게 준비하기 위해 교량을 eccentric beam model로 구성하고 각 하중경우를 등가절점하중으로 변환하여 자동으로 ABAQUS 입력파일을 생성하는 프로그램을 작성하여 해석을 수행하였다.

3.2 하중분배계수의 산출

유한요소 해석에서 얻어진 결과는 절점이나 요소 적분점에서 얻어진다. 따라서 유한요소해석 결과로부터 하중분배계수를 구하는 과정이 필요하다. 합성단면의 모멘트는 그림 5에 주어진 것과 같은 단면에서 각 모멘트의 합으로 결정된다.

$$M=M_b+F_b\times e_g+\sum_i(M_{s,i}\times b_i+F_{s,i}\times b_i\times e_s) \quad (7)$$

여기서, M_b는 주형의 모멘트, M_s는 단위 폭당 상판 모멘트, F_b는 주형의 축력, F_s는 단위폭당 상판의 축력, e_g는 중립축으로부터 주형 도심까지의 거리, e_s는 중립축으로부터 상판 중간면까지의 거리, i는 유한요소의 개수이다.

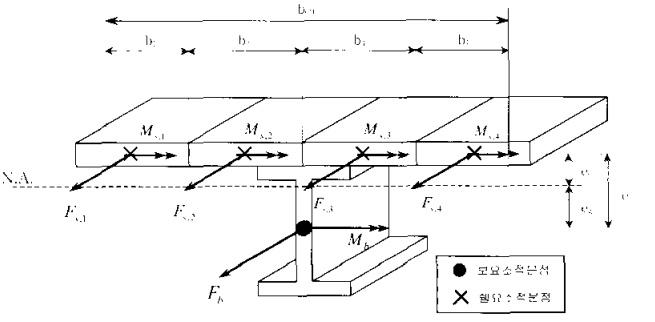


그림 5. 하중분배계수 결정을 위한 합성단면의 모멘트

하중분배계수는 식(7)에서 구한 합성단면 모멘트와 등가 단순보의 최대 모멘트 (M_o)로부터 식(8)과 같이 역으로 계산할 수 있다.

$$LDF=\frac{M}{M_o} \tag{8}$$

여기서 M_o는 등가 단순보의 최대 모멘트이며 등가 단순보의 길이는 교량의 경간길이와 동일하다. 즉, M_o는 교량 종방향으로 최대 효과가 발생하도록 재하된 설계하중에 의한 휨모멘트이다. 예를 들어, 단순보의 경우에는 설계하중의 도심과 중간 차륜하중이 경간 중심에서 같은 거리에 작용할 때의 모멘트 값이다.

3.3 유한요소모델의 검증

본 연구의 유한요소 해석모델의 검증을 위해 미국 퍼듀대학 (Canna 등, 2002)과 미시간대학 (Eom 등, 2001)에서 실시한 현장실험결과를 이용하였다.

첫 번째 교량은 미국 인디아나 주의 US 52번 도로에 위치한 교량으로 총경간 길이가 148.5 m인 5경간 연속 강합성교로써 8개의 주형이 190 mm의 상판을 그림 6과 같이 지지하고 있다. 실험은 28 m 길이의 첫 번째 경간에서 실시되었으며, 경간 중심에 변형률 게이지를 주형의 상단과 하단, 그리고 다이아프레임의 여러 위치에 설치하였다. 표 1은 차후 비교를 위한 게이지의 이름과 위치를 나타낸다. 작용하중은 표2와 같이 여러 가지 정적 하중경우가 고려되었다.

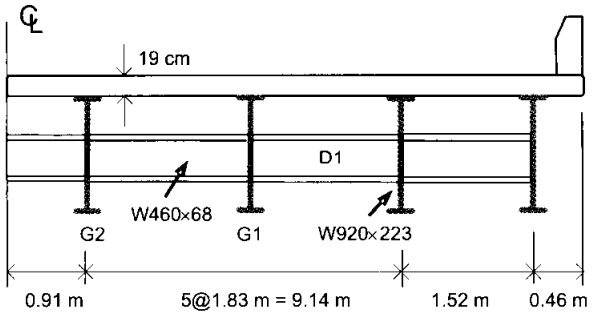


그림 6. US52 실험교량의 단면

표 1. Strain Gauges 목록 (US 52 Bridge)

Gauge	Gauge의 위치
G1A	Bottom of top flange (Girder #1)
G2A	Bottom of top flange (Girder #2)
G2D	Bottom of bottom flange (Girder #2)
D1A	Top of top flange (Diaphragm #1)
D1B	Bottom of bottom flange (Diaphragm #1)

표 2. Load cases 와 하중위치 (US 52 Bridge)

Load Case	종방향 위치	횡방향 위치
2A	13 m from the end support	4 m from the curb
2B	13 m from the end support	3.3 m from the curb
3A	13.5 m from the end support	4 m from the curb

그림 7은 경간 중심의 주형1에서의 유한요소 해석과 측정치의 처짐을 비교한 것으로 최대 오차는 하중이 3B일때 발생한 6%이었다. 주형과 다이아프레임의 변형률 비교는 그림 8과 같이 서로 근사하며 최대 오차는 7% 이하였다.

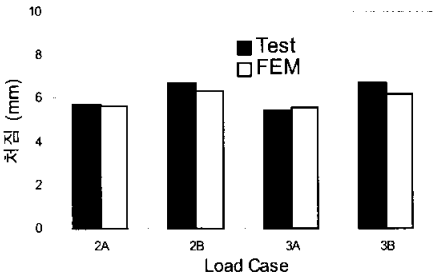


그림 7. 주형 1에서의 유한요소해석과 실측치의 처짐 비교

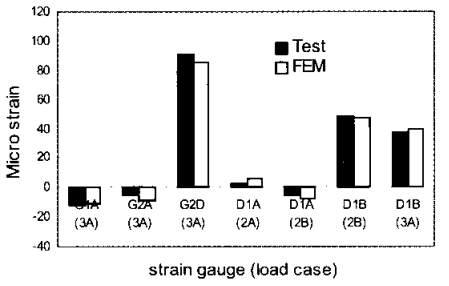


그림 8. 변형률의 비교 (US 52 Bridge)

두 번째 교량은 미시간 주 Flint의 Stanley Road에 위치한 교량으로 경간길이가 38.5 m인 단순경간이며, 2.2 m 간격으로 7개의 주형이 200 mm 상판을 지지하고 있다. 11개의 축을 가지는 대형 트럭을 교량에 최대효과를 내도록 작용하였다. 변형률 측정을 위한 센서를 경간 중심의 주형 하부 플랜지에 설치하여 이로부터 하중분배계수를 산출하였다. 그림 9은 유한요소 해석결과로부터 얻어진 하중분배계수와 실험을 통해 얻어진 결과와 비교해 본 결과로 모든 주형에서 유한요소 해석에 의해 산출된 하중분배계수가 실제 거동과 매우 근사함을 알 수 있다.

이상의 비교에서와 같이 본 연구의 유한요소 모델은 강합성 교량의 거동을 정확히 예측할 수 있으므로, 차후 하중분배

계수의 비교검증 단계에서 유한요소로부터 얻어진 하중분배계수를 실제값과 가장 유사한 값으로 고려할 것이다.

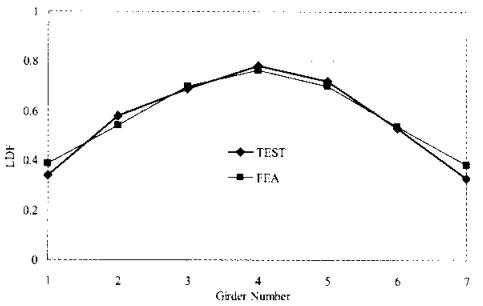


그림 9. 하중분배계수 비교

4. 제안식의 비교검증

하중분배계수 식의 비교를 위해서 LRFD식의 개발과정에서 사용되었던 실제 교량(Zokaie 등, 1991) 자료를 이용하였다. 각 교량을 AASHTO LRFD, AASHTO Standard, 그리고 간략식을 이용하여 하중분배계수를 산출한 후, 그림 10부터 그림 12와 같이 비교하였다.

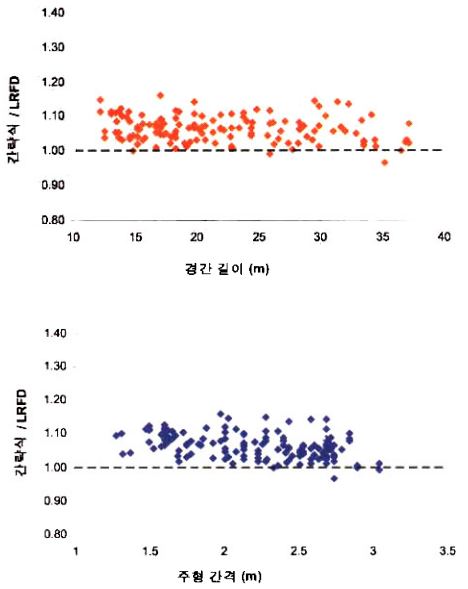


그림 10. 간략식과 AASHTO LRFD식의 하중분배계수 비교

그림 10은 본 연구의 간략식에 의한 하중분배계수와 LRFD에 의한 하중분배계수의 비(ratio)를 경간길이와 주형간격에 따라 비교한 것이다. 만약 간략식에 의한 하중분배계수가 LRFD식보다 크다면 교량의 비는 1보다 클 것이다. 그림에서와 같이 간략식이 LRFD식보다는 최대 16% 큰 하중분배계수를 얻었다. 하지만 2개의 교량에서 간략식에 의한 하중분배계수가 LRFD식보다 작음을 알 수 있다. 즉, 두 개의 교량은 그림 3의 최대선에 포함되지 않은 교량이다. 이 교량들을 유한요소해석을 통해 하중분배계수를 산출하여 비교해 본 결과, 간략식에 의한 하중분배계수가 LRFD식보다는 작지만 유한요소해석에 의한 하중분배계수보다는 충분히 안전측 (conservative)임을 확인할 수 있었다.

앞서 설명한 바와 같이 AASHTO Standard식은 LRFD식에 비해 짧은 주형간격과 경간길이에서는 비안전측이며, 넓은 주형간격과 경간길이에서는 지나치게 안전측의 결과를 나타내는 경향을 보이고 있다. 이를 보완하기 위해 개발된 식이 LRFD식이므로 새로 도출된 간략식은 이러한 경향을 유지해야 한다. 그림 11과 그림 12는 간략식과 LRFD식을 Standard식과 비교한 것으로 본 연구의 간략식이 이러한 LRFD식의 특성을 유지하고 있음을 확인할 수 있다.

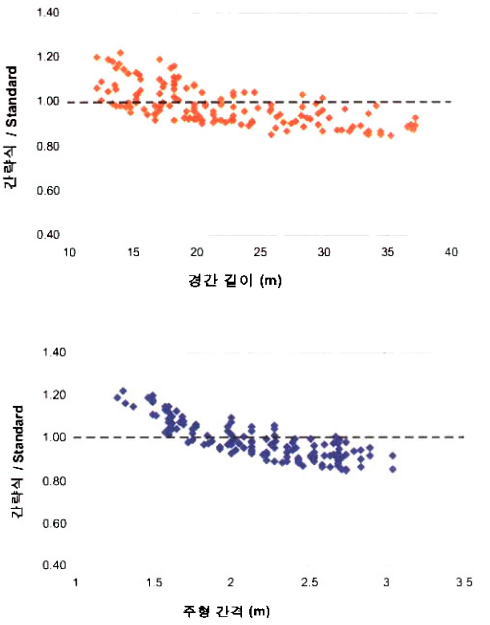
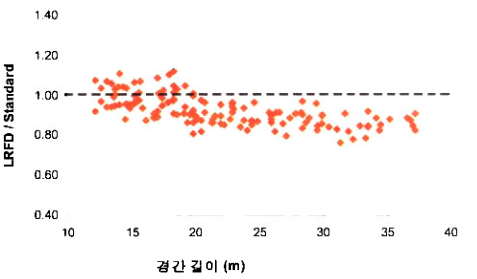


그림 11. 간략식과 AASHTO Standard 식의 하중분배계수 비교



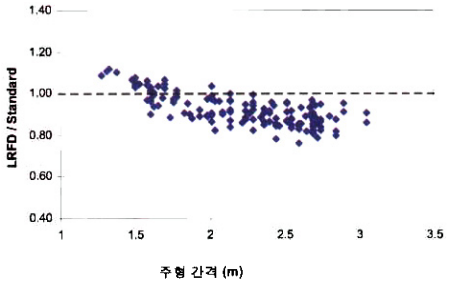


그림 12. AASHTO LRFD와 Standard 식의 하중분배계수 비교

본 연구에서 제안된 간략식의 비교 검증을 위해 앞서 설명한 바와 같이 총 43개 대표교량의 유한요소 해석을 수행하였다. 유한요소 해석에 의한 하중분배계수를 각각 간략식, AASHTO LRFD식, AASHTO Standard식에 의한 하중분배계수와 그림 13과 같이 비교하여 새로 도출된 간략식의 타당성을 검토하였다. 그림에서 보는 바와 같이 몇몇 교량에서 LRFD식이 비안전측이나 간편식은 항상 안전측의 결과를 보였다. 또한 간편식은 AASHTO Standard식보다는 정확한 식임을 확인할 수 있었다.

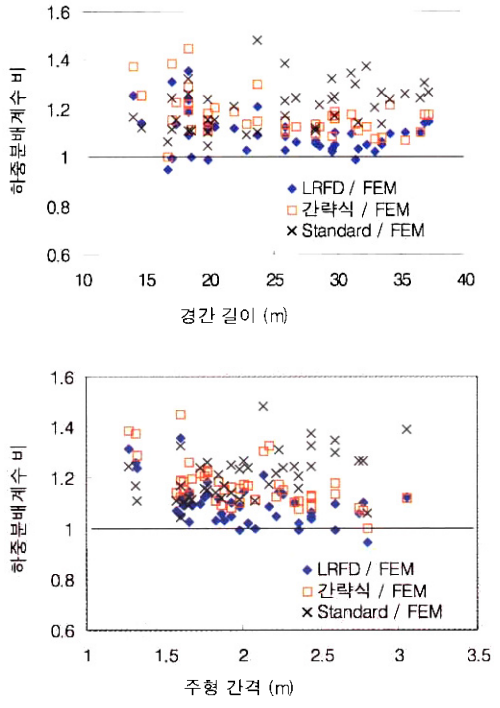


그림 13. 대표교량의 하중분배계수 비교

5. 결 론

본 연구에서는 AASHTO LRFD 시방서의 하중분배계수 식을 근거로 종방향 강성계수를 포함하지 않는 하중분배계수 식을 도출하였다. 제안된 하중분배계수를 유한요소 해석을 통해 얻은 엄밀한 하중분배계수와 시방서에 제시된 하중분배계수에 비교 검토한 결과, 새로 제안된 간편식은 반복계산을 필요로 하지 않고 엄밀 값보다는 안전측이면서 AASHTO LRFD 식의 특징을 유지하고 있음을 확인할 수 있었다. 현재 본 연구의 간편식은 미국 인디아나주 도로교통국에서 채택되어 실무에 적용 시험 중이며, 차후 국내의 LRFD 시방서 도입 시에도 기존의 하중분배계수식 외의 차선식 (alternative equation)으로 사용될 수 있을 것으로 보인다.

참 고 문 헌

구민세, 연정흠, 정재운, 강동현 (2003) 2경간 연속 프리스트레스 콘크리트 사교의 윤하중 분배에 관한 연구. **대한토목학회논문집**, 대한토목학회, 제23권, 제 6A호, pp.1057-1066.

김진호, 한경봉, 박선규 (2004) 슬래브를 가지는 PSC-Beam 교량의 차량하중 분배계수 산정. **대한토목학회논문집**, 대한토목학회, 제24권, 제1A호, pp.27 -34.

ABAQUS/Standard User's Manual-Version 6.2. (2001). ABAQUS, Inc., Pawtucket, R.I.

American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) (1996) *Standard Specifications for Highway Bridges*. 16th Edition, Washington, D.C.

American Association of State Highway and Transportation Officials (1998) *LRFD Bridge Design Specifications*. 2nd Edition, Washington, D.C.

Canna, T.L and Bowman, M.D (2002) *Fatigue Behavior of Beam Diaphragm Connections with Intermittent Fillet Welds: Part 1: Field Investigation*. FHWA/IN/JTRP-2001/10-I-1, Indiana Department of Transportation.

Chan, T.H.T. and Chan, J.H.F. (1999) The Use of Eccentric Beam Elements in the Analysis of Slab-on-Girder Bridges. *Structural Engineering and Mechanics*, Vol.8, No. 1, pp.85-102.

Eom, J. and Nowak, A.S. (2001) Live Load Distribution for Steel Girder Bridges. *Journal of Bridge Engineering*, Vol. 6, No. 6, pp.489-497.

Federal Highway Administration(FHWA) (1995) *Recording and Coding Guide for the Structure Inventory and Appraisal of the Nation's Bridges*, Report No. FHWA-PD-96-001, Washington D.C.

Zokaie, T. (2000) AASHTO-LRFD Live Load Distribution Specifications. *Journal of Bridge Engineering*, Vol. 5, No. 2, pp.131-138.

Zokaie, T., Osterkamp, T.A., and Imbsen, R.A. (1991) Distribution of Wheel Loads on Highway Bridges. National Cooperation of Highway Research Program Rep. 12-26/1. Transportation Research Board, Washington, D.C.

(접수일자 : 2004. 12. 3 / 심사일 2004. 12. 23 / 심사완료일 2005. 4. 10)