

현장계측결과를 이용한 강거더연속교의 횡방향 활하중 분배계수에 대한 연구

Verification of Lateral Live Load Distribution Factors for Continuous Steel Girder Bridges Based on Diagnostic Testing Results

엄 준 식*

Eom, Jun-sik

Abstract

The objective of this research is to verify the code-specified girder distribution factors (GDF) for continuous steel girder bridges by field testing. Previous analytical study revealed that current GDF's specified in AASHTO Standard and AASHTO LRFD, developed for the simple span bridges are conservative even for the continuous bridges. In this study, field tests were performed for three continuous steel girder bridges to validate the GDF's specified in the AASHTO codes. The results show that the code values are conservative when compared with field tests, and in some cases, too conservative. Also, strains measured from the field test are, in most cases, smaller than those expected from the analytical results. However, when the GDF's from measured strains are compared with GDF's from analysis, it is found that the analysis results are not conservative, and in some instance, the analytical results underestimate the actual GDF's, which can lead to a groundless notion of safety. In one case, test results showed that the code GDF's specified in AASHTO LRFD is too permissive. As a result, it is found that GDF's specified in AASHTO LRFD should be used with careful reservation.

요 지

이 연구의 목적은 재하 실험을 통해 교량설계기준에 규정되어 있는 횡방향 활하중 분배계수에 대해 연속교에 대해 적용이 가능한지를 검증하는 것이다. 기존의 유한요소해석을 이용한 해석적인 연구에서 설계기준에 규정되어 있는 횡방향 분배계수가 매우 보수적이며 정모멘트구역과 부모멘트 구역에서 활하중의 분배 형태는 유사하다는 결론을 얻었다. 재하실험을 통해 변형율을 계측하고 유한요소해석의 결과와 비교해 본 결과, 대부분의 경우 실험에서 얻어진 변형율이 해석 결과보다 작았다. 특히 이상적인 조건을 가정하고 행해진 구조해석 결과는 상대적으로 외측 거더에 작용한 휨모멘트를 과다 평가하였으며 따라서 구조해석 결과에서 얻어진 횡방향분배계수는 계측결과와 비교해 볼 때 보수적이지 않다는 것을 알 수 있었다. 실험 결과 또한 1개의 교량의 부모멘트구역에서 AASHTO LRFD에서 규정한 값을 초과하는 횡방향분배계수가 계측되었다. 따라서 AASHTO LRFD를 이용하여 연속거더교의 각 거더에 작용하는 활하중 모멘트 산정시에는 주의가 필요하다고 판단할 수 있다. 이에 반해 AASHTO Standard 식은 재하실험 결과 예외 없이 매우 보수적임을 검증하였다.

Keywords : Live-load distribution, Continuous girder bridges, Diagnostic test

핵심 용어 : 활하중 분배, 연속거더교, 현장재하실험

* 정회원, 상지대학교 건설시스템공학과 교수, 공학박사

E-mail : eomj@sangji.ac.kr 033-730-0478

• 본 논문에 대한 토의를 2009년 8월 31일까지 학회로 보내주시면 2009년 11월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

1. 서론

강거더교의 경우, 대부분 여러 개의 거더와 콘크리트슬래브의 조합으로 구성된다. 따라서 각 거더로 분배되는 활하중에 대해 단순한 방법을 이용한 해석이 어려우며 이에 따라 시방서에 규정한 활하중 분배계수 식을 사용하는 것이 일반적이다. 그러나 현재의 도로교 설계기준(2005)에는 연속 거더교량에 대한 활하중 분배계수 규정에 대해 언급이 되어있지 않은 실정이다. 이는 AASHTO Standard(2004) 설계기준도 같은 상황으로 정모멘트 지역에 대한 연구를 통해 얻어진 횡방향 분배계수를 정확한 검증 없이 부모멘트지역(교량받침 부근)에 사용하고 있는 실정이다. AASHTO LRFD (2008) 기준에서는 부모멘트 지역의 횡방향 분배계수를 계산하기 위해 인접한 두 경간의 길이의 평균을 이용하도록 규정되어 있으나 이 또한 연속교에 대한 명확한 검증이 미흡하다는 지적을 받아왔다. 국내의 경우 또한 도로교설계기준(2005)에서 연속교의 활하중 분배계수에 대한 언급이 전혀 없는 상황이다.

따라서 이 연구의 목적은 단순교에 사용되는 시방서 규정 활하중 분배계수가 연속거더교에도 사용이 가능한 지를 실험을 통해 검증하는 것이다. 과거의 연구(엄준식 2005)은 5개의 공용중인 연속교에 대한 유한요소해석을 통해 그 결과 연속교에서 정모멘트 구역과 부모멘트 구역에서의 활하중 분배형태가 유사하다는 결론을 내렸다. 컴퓨터 기술의 발전과 상용 유한요소 해석 소프트웨어의 진보는 유한요소 해석을 통해 매우 높은 수준의 정확성을 구조해석을 통해 얻을 수 있도록 하였다. 그러나 유한요소해석의 정확성은 여러 가지 현실적인 INPUT의 제한에 영향을 받을 수 밖에 없는 것이 일반적이다. 예를 들어 교량 받침의 부식 등의 이유로 의도하지 않은 마찰이 발생하거나 비구조적 요소, 예를 들어 난간이나 보도 등이 구조적인 영향을 미치는 등의 구조해석결과에 영향을 미치는 다양한 현실적인 제약이 있는 것이 사실이다(Bakht와 1992; Eamon와 2005). 따라서 이 연구에서는 기존의 해석적 연구대상(엄 2005)이었던 미국 미시간주 소재 5개의

교량 중 3개를 선정하여 직접 활하중을 재하하여 현장 실험 및 계측을 하였으며 그 실험의 결과를 토대로 정모멘트 구역에 대한 활하중 분배계수를 부모멘트 지역에 사용하여도 큰 문제가 없는 지를 실험적으로 검증하고자 한다.

2. 연속교에 대한 활하중 분배계수 규정

2.1 도로교 설계기준/AASHTO Standard

거더교의 내측거더에 작용하는 활하중에 대해 도로교 설계기준에서는 아래 식 (1)과 같이 규정하고 있으며 AASHTO Standard에서는 도로교 설계기준과 같은 식을 사용하고 있으며 단지 단위를 US단위를 사용한다.

$$GDF = \frac{S}{1.65} \quad (1)$$

여기서 S = 거더의 간격이다. 도로교 설계기준과 AASHTO Standard 에 규정된 활하중 분배계수 식은 Newmark (1948)에 의해 실험을 통해 처음 제안되었으며 Sanders와 Elleby (1970)의 구조해석을 통해 사용되게 되었다. 그러나 이 규정에 대한 실험 및 해석에서는 연속교에 대한 적용성에 대한 연구가 전혀 없었음에도 불구하고 이 활하중 분배계수 식이 연속교에서도 적용되어 사용되고 있는 실정이다. 또한 이 식은 단지 교량 거더의 간격만으로 횡분배량을 결정함으로써 횡분배에 영향을 미치는 다른 요소들, 예를 들어 교량의 지간, 슬래브와 거더의 상대적 강성, 가로보 등의 영향을 고려하지 않는다는 비판을 받아온 실정이다.

2.2 AASHTO LRFD

AASHTO LRFD시방서에서는 활하중 분배계수를 거더간격, 교량의 길이, 교량부재의 상대적 강성도, 사각 등의 계수를 사용하여 계산하도록 규정하며 사각 30도 이내의 교량에 대해 식 (2)와 같이 제시되어 있다.

Table 1 Selected Bridges

Bridge	No. of Span	No. of Lane	Total Bridge Length(m)	Span Length(m)	No. of Girder	Girder Spacing(m)	Skew Angle
Bridge A	3	2	104.2	36.0+30.2+38.1	7	2.18	1
Bridge C	2	2	65.8	32.9+32.9	4	2.59	0
Bridge E	4	2	138.9	36.9+32.5+32.5+36.9	5	2.69	7

$$GDF = \left(0.075 + \left(\frac{S}{2900} \right)^{0.6} \left(\frac{S}{L} \right)^{0.2} \left(\frac{K_g}{L t_s^3} \right)^{0.1} \right) \quad (2)$$

여기서 S = 거더간격, L = 지간, $K_g = n(I + Ae_g^2)$, t_s = 슬래브 두께, n = 탄성계수비, e_g = 슬래브와 거더의 단면중심간의 거리, A = 거더의 단면적이다. AASHTO LRFD 식은 Zokaie 외 (1991) 등이 수행한 NCHRP Project 12-26의 구조해석 결과를 토대로 개발되었다. 당초 이 보고서에는 연속교에 대한 보정계수가 언급이 되었으나 해석 상의 어려움의 이유로 AASHTO LRFD식 개발 단계에서 포함이 되지 않았으며 최종적으로 AASHTO LRFD에서는 연속교에 대해 정모멘트 지역과 부모멘트 지역에 같은 활하중 분배계수를 사용하도록 규정이 되었다. 단지 정모멘트 지역의 경우, 지간 L에 대해 AASHTO Standard와 같은 값을 사용하며, 부모멘트 지역에 대한 활하중 분배계수 계산 시에는 인접한 두 개의 지간에 대해 지간 길이의 평균을 내어 계산하도록 규정되어 있다. 도로교 설계기준에서는 외부 거더와 내부거더에 대한 활하중 분배계수를 다르게 표현하고 있으나 여러 개의 I형 거더를 가진 일반적인 교량의 경우 극단적인 편심이 작용하지 않는 한 외부 거더에 작용하는 하중은 상대적으로 작다. 따라서, 이 논문에서는 내부거더에 작용하는 모멘트를 중점적으로 고려하였다.

3. 교량 실험 절차

3.1 대상 교량 선정

이 연구에서는 현재의 교량설계기준에서 규정하는 횡방향 분배계수가 적절한지를 검증하기 위해 사용 중인 3개의 강거더 연속교를 선정하여 실험을

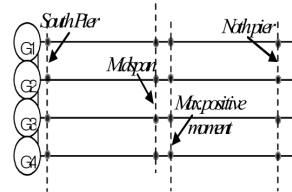


Fig. 1 Typical location of strain transducers

통해 이에 대한 검증을 하려 한다. 기존의 연구 (엄준식 2005)에서는 5개의 강거더 연속교에 대해 3차원 유한요소 해석을 통해 횡방향 분배계수의 검증이 이루어 졌다. 이 논문에서는 이 연구에서 얻어진 해석 결과가 과연 실제에서 얻어진 결과와 잘 부합하는지를 검증하고 그 결과에 따른 활하중 분배계수를 규정값과 비교하는 것이 목적이다. 따라서 이 연구 대상으로 사용된 5개의 교량 중 3개 교량을 선정하여 재하실험을 하였다. 대상교량은 Table 1과 같다.

3.2 실험장비 선정 및 정확성 검증

휨모멘트에 대한 횡방향 분배계수의 계산과 과거에 행해진 유한요소 해석모델의 검증을 위해 변형률 게이지를 설치하였다. 실험 전 사전 해석 결과를 이용해 교량 각 지간의 이론적 최대정모멘트 지역의 위치를 결정하여 그 위치에 변형률 게이지를 설치하였으며 추가적으로 지간 중심부에도 변형률 게이지를 설치하였다. 부모멘트지역에 대한 활하중 분배계수 검증과 유한요소해석모델과의 비교를 위해 교량 받침의 중심부에서 300mm 지점에 변형률 게이지를 설치하였다. 사용한 장비는 미국 콜로라도주에 소재한 BDI, Co에서 제작한 장비를 사용하였다. 이 장비는 교량실험목적을 위해 제작되어 재사용이 가능한 변형률 게이지를 사용한다. 따라서 각 변형률계의 정확성을 검증하기 위해 이 장비와 기존에 사용

Table 2 Comparison of strains, diagnostic test Vs. finite element analysis

교량	최대 변형률 (정모멘트 지역, 10^{-6})			최대 변형률 (부모멘트 지역, 10^{-6})		
	재하실험 결과	유한요소해석	실험/해석 비율	재하실험 결과	유한요소해석	실험/해석 비율
Bridge A	199	227	0.78	-137	-147	0.93
Bridge C	230	318	0.72	-111	-134	0.83
Bridge E	232	258	0.90	-131	-132	0.99

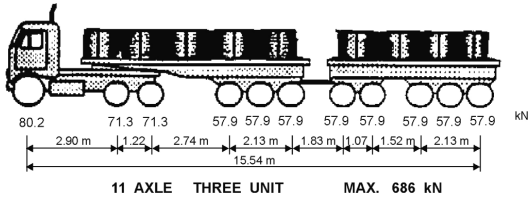


Fig. 2 Live load used in the diagnostic test

한 변형률 측정장비를 실험실에서 병렬로 설치하고 결과를 비교하여 그 정확성을 검증하였다. 사용된 센서의 전형적인 위치는 Fig. 1과 같다.

3.3 실험 하중 선정

현장 실험을 위해 미시간 규정 최대 활하중인 11축 트럭 2대를 사용하였다. 이 11축 트럭은 총중량이 686kN으로 국내의 도로교 설계기준이나 미국 타 주 교통부에서 제한하는 최대 하중의 거의 두배에 가까운 하중을 가지고 있다. 이 하중은 일반적으로 국내에서 사용되는 설계하중과는 큰 차이가 있으나 이 활하중 트럭은 일반 교량의 경우 극단적인 활하중 또는 기지하중의 재하로 간주될 수 있으며 따라서 최대활하중의 재하를 위해 이 트럭을 선정하였다. 사용된 트럭의 자세한 축간격과 축하중은 Fig. 2에 표시하였다. 재하 하중으로 사용된 트럭은 최대 정모멘트 및 부모멘트 유발 지점에 정적으로 재하되었으며, 추가적으로, 동적인 영향을 제거하기 위해 매우 느린 속도로 교량을 통과하며 변형률을 측정하였다.

3.4 실험 결과를 이용한 횡방향 분배계수 계산

이 연구에서는 재하실험에서 얻어진 변형률을 이

용하여 횡방향 분배계수를 계산하였다. Ghosn(1986)은 강성이 같은 거더로 구성되어 있는 거더교의 경우에 횡방향 분배계수를 측정 변형률의 비율로 계산하는 방법을 제안하였으며, Stallings과 Yoo(1993)은 외측거더와 내측거더의 강성이 다른 경우 그 차이를 반영할 수 있는 가중 변형률 법을 제안하였다. Stallings의 방법은 아래 식 3과 같다.

$$GDF_i =$$

$$\frac{M_i}{\sum_{j=1}^k M_j} = \frac{ES_i \varepsilon_i}{\sum_{j=1}^k ES_j \varepsilon_j} = \frac{\frac{S_i}{S_\ell} \varepsilon_i}{\sum_{j=1}^k \frac{S_j}{S_\ell} \varepsilon_j} = \frac{\varepsilon_i w_i}{\sum_{j=1}^k \varepsilon_j w_j} \quad (3)$$

여기서 $M_i = i$ 번째 거더의 휨모멘트, $E =$ 탄성계수, $S_i = i$ 번째 거더의 단면계수, $S_\ell =$ 내부 거더의 단면계수, $\varepsilon_i = i$ 번째 거더의 최대 변형률, $w_i = i$ 번째 거더와 내부거더와의 단면계수 비율, 그리고 $k =$ 거더의 개수 이다. 만약 모든 거더가 같은 단면계수를 가지고 있다면, 즉 w_i 가 모든 거더에 대해 1인 경우 Stallings의 제안식은 Ghosn의 제안과 같다. 이 연구에서는 Stallings의 제안식을 이용하여 횡방향 분배계수를 계산하였다.

4. 실험결과

이 연구에서는 대상 연속교에 대해 기존의 유한요소 해석결과를 검증하고 보다 정확하고 현실적인 교량의 거동을 평가하기 위해 현장재하 실험을 수행하였다. 휨모멘트에 대한 횡방향 분배계수를 계산하기 위하여 변형률 계측을 하였으며 얻어진 결과는 각 대상교량에 대해 각각 정모멘트와 부모멘트 지역을

Table 3 Comparison of girder distribution factors, ratio of test and FEA Vs. code specified values

교량	횡방향 분배계수 (정모멘트 지역)				횡방향 분배계수 (부모멘트 지역)			
	재하실험/ AASHTO Standard	재하실험/ AASHTO LRFD	구조해석/ AASHTO Standard	구조해석/ AASHTO LRFD	재하실험/ AASHTO Standard	재하실험/ AASHTO LRFD	구조해석/ AASHTO Standard	구조해석/ AASHTO LRFD
Bridge A	0.83	0.94	0.71	0.81	0.69	0.80	0.57	0.66
Bridge B	0.76	0.93	0.67	0.82	0.70	0.84	0.70	0.85
Bridge C	0.72	0.88	0.60	0.73	0.84	1.04	0.71	0.88

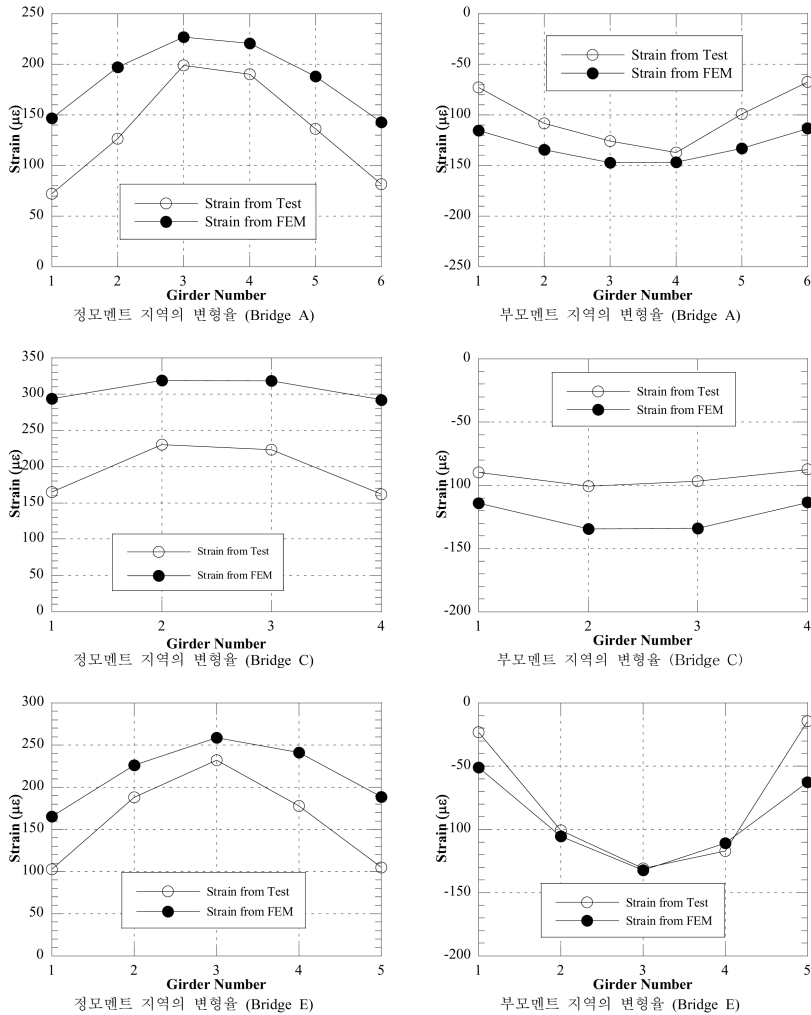


Fig. 3 Comparison of strains, diagnostic test Vs. finite element analysis

구분하여 Fig. 3에 표시하였다. 또한, 기존의 유한요소 해석결과(엄준식 2005)를 변형률 측정결과에 비

교하였다. 예측한 바와 같이 실험에서 얻어진 변형률 값들은 거의 모든 경우에 유한요소해석 결과보다

Table 4 Comparison of girder distribution factors, test and FEA Vs. code specified values

교량	횡방향 분배계수 (정모멘트 지역)					횡방향 분배계수 (부모멘트 지역)				
	재하실험 결과	유한요소 해석	실험/해석 비율	AASHTO Standard	AASHTO LRFD	재하실험 결과	유한요소 해석	실험/해석 비율	AASHTO Standard	AASHTO LRFD
Bridge A	0.543	0.465	1.17	0.652	0.575	0.448	0.372	1.20	0.652	0.563
Bridge B	0.590	0.521	1.13	0.773	0.638	0.537	0.542	0.99	0.773	0.638
Bridge C	0.576	0.479	1.20	0.803	0.655	0.677	0.573	1.18	0.803	0.649

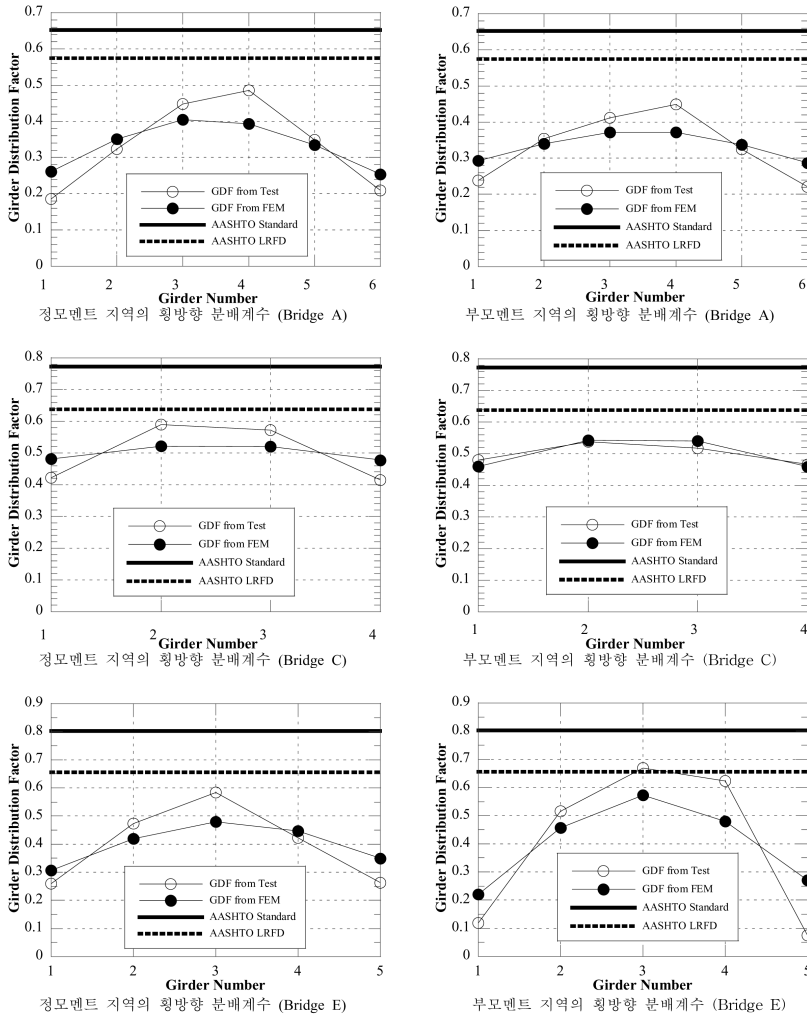


Fig. 4 Comparison of girder distribution factors, digagnostic test and FEA Vs. code specified values

작은 변형율을 보였다. 경우에 따라서는 Table 2에서 정리된 바와 같이 실험에서 얻어진 변형율이 유

한요소해석에서 예측한 결과의 80퍼센트 미만인 경우도 조사되었다. 이는 유한요소해석에서 반영하지

않은 여러 현실적인 변수들, 예를 들어 구조해석에서 비구조재로 가정한 교량의 구성요소들이 구조재로 작용하거나, 교량 받침에 현실적으로 발생하는 마찰 등이 영향을 미친 것으로 보인다. (Bakht와 1992; Eamon와 2005).

각 거더에서 계측된 변형율을 구조해석 결과와 비교해 볼 때 전반적으로 내측 거더의 변형을 계측 결과가 해석값과 근접하며 외측거더의 경우 계측값이 해석값보다 상대적으로 큰 차이가 있다는 것을 알 수 있다. 이 결과는 Eamon 외 (2005)이 제안한 바와 같이 교량의 비구조적인 요소, 예를 들어 난간 및 보도 등의 교량 바깥 부분에 위치하는 비구조적인 요소가 실제적으로는 구조물의 강성에 영향을 미친다는 것을 보여 준다.

계측된 변형율을 이용하여 각 교량의 정모멘트 지역과 부모멘트 지역에 대한 횡방향 분배계수를 계산하였으며 그 결과는 Fig. 4에 나타나 있다. Fig. 4에는 기존 구조해석 결과를 이용해 얻어진 횡방향 분배계수를 같이 표시하였다. 또한 재하실험과 해석에서 얻어진 결과를 AASHTO에서 규정한 횡방향 분배계수와 비교하였다. 계측에서 얻어진 횡방향 분배계수와 AASHTO설계 기준을 비교해 볼 때, 과거의 해석적 연구의 결과와 같이 대부분의 경우에 AASHTO 규정값은 실제거동에 비해 충분한 안전성을 가지고 있다고 볼 수 있으나, 교량 C의 경우, 부모멘트 지역에서 계측값이 AASHTO LRFD에서 규정하는 최대값을 초과하는 것을 볼 수 있으며 이는 Table 3에 정리되어 있는 것과 같이 AASHTO LRFD 기준에 제시된 횡방향 분배계수가 모든 경우에 안전측이 아닐 수도 있다는 것을 의미한다.

특히 Fig. 4와 Table 4에서 비교해 볼 수 있듯이 구조해석에 의해 얻어진 모든 교량의 정모멘트 및 부모멘트 지역에 대한 횡방향 분배가 실제 계측에서 얻어진 결과보다 훨씬 더 균등한 횡방향 분배를 보이고 있다는 점은 구조해석을 통한 횡방향 분배계수의 계산이 안전측이 아니라는 것을 의미하며 따라서 전적으로 구조해석을 통해 얻어진 공식인 AASHTO LRFD의 횡방향 분배계수식은 실험을 통한 보완/수정의 필요성이 있다고 할 수 있다. 이에 반해 AASTHO

Standard에 규정된 횡방향 분배식은 모든 경우에 매우 보수적인 결과를 보였으며 Table 4에서 볼 수 있듯이 경우에 따라서는 경제적인 측면을 고려했을 때 AASHTO Standard의 기준을 따르는 경우 정, 횡 모멘트 지역에 상관없이 각 거더에 작용하는 휨 모멘트를 매우 보수적으로 평가하고 있다는 사실을 알 수 있다. 또한 각 경우에 대해 편차가 매우 크며 실험치와 일관된 결과를 보여주지 못함을 알 수 있다.

5. 결론

사용 중인 강거더 연속교에 대해 재하 실험을 통해 정모멘트 및 부모멘트 지역에 대한 횡방향 분배 계수를 검증하였으며 그 결과를 기존 유한요소 해석을 통한 연구 결과와 비교 분석하였다. 그 결과 아래와 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 실험에서 얻어진 변형율은 예측한 바와 같이 이상화된 구조해석에 포함되지 않은 많은 부수적인 구조적 효과에 의해 유한요소해석에서 얻어진 변형율보다 일관성 있게 낮은 결과를 보여 주었다. 경우에 따라서는 실험에서 얻어진 변형율이 유한요소해석에서 예측한 결과의 80 퍼센트 미만인 경우도 조사되었다. 특히 외측거더의 경우 계측값이 해석치 보다 상대적으로 많이 작음을 알 수 있었다.
- 2) 계측 실험 결과 활하중에 의해 각 거더에 작용하는 휨모멘트의 분배가 구조해석의 예측치보다 불량하다고 판정되었으며 이는 구조해석에서 얻어진 횡방향 분배계수가 안전측이 아님을 의미한다. 따라서, 전적으로 구조해석에 의해 얻어진 AASHTO LRFD 규정 횡방향 분배계수는 실험적인 검증이 필요하다고 생각된다.
- 3) 계측된 변형율을 토대로 계산된 횡방향분배계수는 정모멘트 지역 및 부모멘트 지역에서 대부분의 경우 특별한 추세 없이 비슷한 결과를 보였다. AASHTO Standard 기준에 규정된 횡방향 분배계수는 모든경우에 보수적이었으며 경우에 따라 그 정도가 과다함을 알 수 있었다. AASHTO

LRFD의 경우 그 식이 상대적으로 실험에서 얻어진 결과와 근접한 결과를 보였으나 교량 C의 경우 부모멘트 지역에서 실험에서 안전측이 아닌 결과를 보였으며 이는 AASHTO LRFD의 횡방향분배계수에 대한 실험적인 검증이 필요하다는 것을 다시 한번 입증한다. 다만 부모멘트지역과 정모멘트 지역의 휨모멘트에 대한 횡방향 분배계수의 편차는 크지 않으므로 같은 형태의 횡방향 분배계수를 사용해도 무방하다는 결론을 내릴 수 있다.

감사의 글

본 연구는 2008년도 상지대학교 교내 연구비 지원에 의해 연구되었습니다.

참고문헌

1. 엄준식, “강거더 연속교의 횡방향 활하중 분배계수 검증”, 한국구조물진단학회지, 제9권 제3호, 2005, pp. 195-202
2. 도로교설계기준, 한국도로교통협회, 2005
3. Bakht, B., and Jaeger, L.G. (1992), “Ultimate Load Test of Slab-on-Girder Bridge”. Journal of Structural Engineering, ASCE, Vol. 118, No 6, 1992, pp. 1608-1624
4. Eamon, C.D. and Nowak, A.S., “Effect of Edge-Stiffening and Diaphragms on Reliability of Bridge Girders”, ASCE Journal of Bridge Engineering, Vol. 10, No. 2, March/April 2005, pp. 206-214.
5. Eom, J. and Nowak, A.S., “Live Load Distribution for Steel Girder Bridges”, ASCE Journal of Bridge Engineering, Vol. 6, No. 6, 2001, pp. 489-497.
6. Ghosn, M., Moses, F., and Gobieski, J., “Evaluation of Steel Bridges Using In-Service Testing”. Transportation Research Record No. 1072, TRB, Washington, D.C., 1986, pp. 71-78.
7. Lichtenstein, A.G. (1993) “Bridge Rating Through Nondestructive Load Testing”, NCHRP report No. 12-28(13)A, June 1993.
8. Schultz J.L., Commander B., Goble G.G., Frangopol D.M. (1995), “Efficient Field Testing and Load Rating of Short and Medium Span Bridges”, Structural Engineering Review, Vol. 7, No 3, 1995, pp. 181-194.
9. AASHTO LRFD Bridge Design Specifications. American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, D.C., 2008.
10. AASHTO Standard Specifications for Highway Bridges, American Association of State Highway and Transportation Official, Washington, D.C., 04
11. Newmark, N.M. (1948). “Design of I-beam Bridges”. Highway Bridge Floor Symposium, ASCE Journal of Structures Division, Vol. 24, No. 2, 1948, pp. 141-161.
12. Sanders, W.W., and Elleby, H.A. (1970). Distributions of Wheel loads on Highway Bridges. National Cooperative Highway Research Program Report 83, Transportation Research Board, Washington, D.C., 1970.
13. Stallings, J.M., and Yoo, C.H., “Tests and Ratings of Short-Span Steel Bridges”. Journal of Structural Engineering, ASCE, Vol. 119, No. 7, 1993, pp. 2150-2168.
14. Zokaie, T., Osterkamp, T.A., and Imbsen, R.A., “Distribution of Wheel Loads on Highway Bridges”, NCHRP Report 12-26, TRB, National Research Council, Washington, D.C., 1991.

(접수일자 : 2009년 5월 4일)

(심사완료일자 : 2009년 6월 1일)