강상자형교의 전단력 산정을 위한 하중분배계수

Load Distribution Factors for Determinating Shear Force in Steel Box Girder Bridges

송 재 호[1)*] 김 민 욱[2)] 김 일 수[3)] 오 진 우[4)]

Song, Jea Ho Kim, Min Wook Kim, Il Su Oh, Jin Woo

Abstract

For Korean design provisions are not equipped for skewed steel box girder bridges, when American provisions are adopted, load distribution factors different from real behavior are determinated. Furthermore the possibility of over or under estimated bridge design involves.

The aim of this study is to provide more rational load distribution factor formulas based on real behavior for shear at obtuse corner of skewed steel box girder bridges. In order to accomplish the aim finite element analysis for a variety of skewed steel box girder bridge structural models is carried out, and each parameters degree of influence on wheel load distribution factors of skewed steel box girder bridges are analyzed. Then multiple regression analysis is fulfilled in order to propose formulas for determinating shear force load distribution factor of skewed steel box girder bridges.

Keywords : Load distribution factor, Skewed steel box girder, Korean specification, AASHTO, AASHTO LRFD, Finite element analysis, Multiple regression analysis, Shear force

1. 연구의 배경 및 목적

교량의 평면형상은 가능한 한 단순한 형상의 직선교로 하는 것이 바람직하지만 여러 제약조건 때문에 사교(skewed bridge) 또는 곡선교(curved bridge)로 하는 경우도 빈번하다. 사교는 신설도로망이 기존의 도로나 철도와 같은 교통로와 교차되는 지역이나, 하천 및 계곡과 같은 불가피한 지형적 여건 때문에 가설되는 교량형태이다. 또한, 최근에는 교통흐름의 원활화를 도모하기 위하여 교량 자체의 평면형상을 도로선형과 일치시키는 추세에 따라서 사교로 설계되는 교량이 증가되고 있다. 그러나 사교는 기하학적 특성 때문에 직선교보다 훨씬 복잡한 거동을 유발하므로 사교를 설계함에 있어서는 무엇보다도 사교의 거동 특성을 미리 파악할 필요가 있다. 특히 일반적인 거더 사교의 경우와 마찬가지로 강상자형 사교에서는 둔각부 지점에서 전단력이 직교의 경우보다도 증가하므로 이에 대비한 설계를 해야 한다.

선진 각국에서는 도로교 설계기준에 하중분배계수 산정을 위한 공식과 표 또는 도표를 기준으로 제시하여 교량의 간단하고 합리적인 설계를 도모하고 있다. 한국의 도로교설계기준에서는 플레이트거더교에서의 하중분배계수식 만을 제시하였을 뿐 다양한 형식의 교량에 대한 기준이 마련되어 있지 않다. AASHTO 설계기준은 다양한 형식의 교량에서의 하중분배식을 제공하고 있으나, 사교에 대한 고려도 없으며, 전단력 산정에 대한 규정이 제공되어 있지 않다. AASHTO LRFD(Load and Resistance Factor Design)의 설계기준은 다양한 형식의 교량에 대한 식을 제공하고 있으며, 사교의 휨모멘트 산정 시 하중분배계수식도 제공하고 있다. 그러나 사교의 전단력 산정 시에는 주로 철근콘크리트교에 대한 것 만이 제시되었을 뿐, 강상자형교를 포함한 다양한 형식의 교량에 대한 규정은 포함되어 있지 않다.

AASHTO 및 AASHTO LRFD설계기준에서는 강상자형의 휨모멘트 산정 하중 분배계수에 대하여 표현은 다르지만 사실상 동일한 내용의 식을 제시하고 있는데, 차선수와 거더수 만을 변수로 하고 있다.

1) 정회원, 금오공과대학교 토목공학과 교수
2) 정회원, 한국수자원공사 사원
3) 정회원, 대우건설 차장
4) 정회원, 신성엔지니어링 전무

* Corresponding author : jhsong@kumoh.ac.kr 054-478-7611

• 본 논문에 대한 토의를 2011년 4월 30일까지 학회로 보내주시면 2011년 5월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

국내에서는 교량의 설계 시 한국의 도로교 설계기준에 없는 사항인 경우, 선진 외국의 설계기준을 준용하여도 인정되고 있다. 그러나 강상자형사교의 경우 국내의 도로교 설계기준이 갖추어지지 않아, 미국의 AASHTO 및 AASHTO LRFD 설계기준을 적용할 경우에는 실제와 다른 하중분배계수를 산출하게 되어 과대설계 및 과소설계를 초래할 가능성을 가지고 있다.

따라서 본 연구의 목적은 실제 거동을 바탕으로한 강상자형 사교의 둔각부 지점에서의 전단력 산정을 위한 하중분배계수식을 제시하는 데 있다. 이를 위하여 본 연구에서는 강상자형 사교의 다양한 구조모델들에 대해 유한요소해석을 수행하고, 각 매개변수들이 강상자형사교의 하중분배계수에 미치는 영향을 분석한 후, 다중회귀분석을 수행하여 강상자형사교의 전단력 산정을 위한 하중분배계수식을 제시한다.

1.2 연구의 동향

교량의 하중분배에 대한 연구는 Guyon(1946), Newmark(1948), Massonet(1950)와 Sanders(1970) 등이 직교 이방성 판이론(orthogonal plate method)을 이용하여 수행하였으며, Newmark의 연구결과는 AASHTO 설계기준(2002)의 기초가 되었다.

그러나 이들 이론에 의한 근사해법의 적용 시 유효 플랜지폭, 횡방향 보에 대한 적당한 유효폭의 결정 및 슬래브에 작용하는 하중의 분배 등과 같은 몇 가지의 가정이 요구된다. 이런 가정으로 인해 유발되는 부정확성을 해소하기위해 Imbsen(1978), Hay 등(1986)과 Bishara(1993)등은 유한요소법을 이용한 하중분배계수의 산출을 시도하였으며, Nutt 등(1988)은 plate model을 사용한 합성강교의 해석을 수행하였다. 또한 Bakht와 Moses(1988)는 교량에 격자해석과 급수해법을 적용하여 AASHTO의 설계기준에서 간과한 윤하중분배에 영향을 미치는 많은 매개변수를 고려하여 합리적인 하중분배계수를 산정하기 위한 일련의 과정을 제시하였으며, 직교의 하중분배계수를 산정하기 위한 산출식을 Tarhini와 Fredric(1992)등이 유한요소해석결과에 회귀분석을 수행하여 제시하였다. 또한 Bishara(1993)는 직교와 사교에 적용할 수 있는 하중분배식을 유한요소해석의 결과에 회귀분석을 수행하여 제시하였다.

국내에서는 교량의 하중분배계수에 관한 연구가 많지 않은 편으로써 사각을 갖는 슬래브교에 대한 연구(정철원 등, 1997), 현장계측결과를 이용한 강거더연속교의 횡방향 활하중 분배계수에 대한 연구(엄준식, 2009), 강상자형 사교의 하중분배계수(서창범, 2009)등이 있다.

2. 강합성형교의 하중 분배식 및 사교의 특성

2.1 하중분배계수의 개념

중분배계수는 단일 또는 그 이상의 차량하중을 받는 교량의 복잡한 3차원적 거동에 대한 해석을 평면내의 단순보의 해석문제와 같이 간단하게 해준다. 이는 횡방향으로 분산 재하되는 두열의 트럭윤하중 중 단지 한 열만을 고려하여 산출한 단순보 또는 연속보에서 발생하는 최대휨모멘트에 하중분배계수를 곱하여 거더에 대한 최대설계모멘트를 구하는 것이다.

AASHTO설계기준 및 국내 도로교설계기준에서 제시하는 하중 분배식의 기본형태는 거더의 간격 S와 분배특성계수 Dd로 나타내며 식(1)과 같다.

$$DF = \frac{S}{D_d} \tag{1}$$

분배특성계수 Dd를 구하기 위해서는 많은 가정과 복잡한 계산이 필요하다. 그러므로 최근 하중분배계수 산출시 유한요소법을 많이 이용하고 있는데 다음과 같은 식(2)로 나타낼 수 있다.

$$DF_{FEM} = \frac{M_{FEM}}{M_{\max}} \tag{2}$$

여기서 DF_{FEM}은 유한요소법에 의한 윤하중분배계수, M_{FEM}은 유한요소해석으로부터 얻은 주형의 최대 휨모멘트이며, $M_{\max}$는 반차륜(half-axle)하중이 재하된 단순보에서의 최대 휨모멘트이다.

2.2 기존의 윤하중 분배식

2.2.1 국내 도로교 설계기준

국내 도로교 설계기준에서는 세로보를 가진 교량에 대한 하중분배계수 규정을 두고 있으며 내측의 세로보에서

휨모멘트를 산정하기 위한 하중분배계수 DF는 식(3)과 같다.

$$\begin{aligned} DF &= S/2.10 \quad (S \leq 3.0m,\ 1차선) \\ DF &= S/1.65 \quad (S \leq 4.2m,\ 2차선) \end{aligned} \tag{3}$$

단, 주형간격이 1차선의 경우 3.0m, 2차선이상의 경우에 4.2m를 초과할 때는 바닥판을 단순보로 가정하여 산출한 주형위의 반력으로 계산한다.

한편 외측주형에 대한 휨모멘트 하중분배계수는 다음 식과 같다.

$$\begin{aligned} DF &= S/1.65 \quad (S \leq 1.8m) \\ DF &= S/(1.20 + 0.25S) \quad (1.8m < S \leq 4.2m) \end{aligned} \tag{4}$$

여기에서 S는 거더간격을 나타낸다.

도로교설계기준의 하중분배계수 산정식은 다양한 교량형식을 고려하지 못하고, 오로지 세로보의 휨모멘트 산정에만 국한되어 있고, 전단력이나 사각에 대한 내용은 미비되어 있을 뿐만 아니라, 상기의 식(3), 식(4)는 미국의 AASHTO 설계기준 중 플레이트거더교에 대한 조항을 ft 단위를 meter단위로 환산한 식이다. 따라서 국내의 도로교 설계기준에서도 다양한 형식의 교량에 대하여는 물론 전단력, 사각 등을 포함한 충실한 내용의 규정을 두어야 할 필요가 있다.

2.2.2 AASHTO 설계기준

AASHTO 설계기준에서 강상자형교의 휨모멘트 산정을 위한 하중분배계수 DF를 외측거더와 내측거더에 대하여 동일하게 식(5)와 같이 제시하고 있다.

$$DF = 0.1 + 1.7R + \frac{0.85}{N_W} \tag{5}$$

여기서, $R = N_W$/강상자형수 $(0.5 \leq R \leq 1.5)$, N_W은 $W_C/12$ 그리고 W_C은 연석사이의 거리(ft)이다.

AASHTO 설계기준식은 오직 휨모멘트 산정에 대한 것으로 별도의 전단력을 위한 규정은 두고 있지 않고, 사교에 대한 고려도 되어 있지 않으며, 실제로는 주형수 만을 변수로 하는 식이다.

2.2.3 AASHTO LRFD 설계기준

AASHTO LRFD 설계기준에서는 강상자형교의 휨모멘트 산정을 위한 하중분배계수 DF를 외측거더와 내측거더에 대하여 동일하게 식(6)과 같이 제시하고 있다.

$$DF = 0.05 + 0.85\frac{N_L}{N_b} + \frac{0.425}{N_L} \tag{6}$$

여기서 N_L은 설계차선수, N_b는 박스거더수이다. 단, $0.5 \leq \frac{N_L}{N_b} \leq 1.5$이다.

AASHTO LRFD 설계기준에서는 설계시 1개 차선을 재하하도록 하고 있으므로 식(6)의 AASHTO LRFD식은 식(5)의 AASHTO식과 사실 상 동일한 식이라 할 수 있다.

AASHTO LRFD 설계기준에서는 강상자형 사교에 대한 고려도 되어 있어, 직교에서의 휨모멘트 산정 시의 하중분배계수에 식(7)과 같은 감소계수(reduction factor)를 곱하여 사교에서의 휨모멘트에 대한 하중분배계수를 구하고 있다.

$$감소계수 = 1.05 - 0.25\tan\theta \leq 1.0 \quad (\theta \geq 60^\circ) \tag{7}$$

AASHTO LRFD 설계기준에서는 둔각부의 지점 전단력을 구하기 위하여는 수정계수(correction factor)를 두어 사각의 영향을 고려하므로써, 둔각부의 전단력을 직교일 때보다 크게 취할 수 있도록 하고 있다. 그러나 수정계수는 콘크리트거더교 및 콘크리트 상자형교, 플레이트거더교에 관한 규정일 뿐, 강상자형교를 포함한 다양한 교량에 대한 내용은 담고 있지 않다. 예를 들어 다연콘크리트상자형교에 대한 수정계수는 식(8)과 같다.

$$1.0 + \frac{\sqrt{Ld}}{6S}\tan\theta \tag{8}$$

여기서 L은 지간, S는 거더간격, d는 거더높이, θ는 사각을 나타낸다.

2.3 기존 설계기준 하중분배계수식의 적용상의 문제점

2.3.1 하중분배식 비교를 위한 대상교량 선정

국내 도로교설계기준에 따르면 설계차선폭을 2차선은

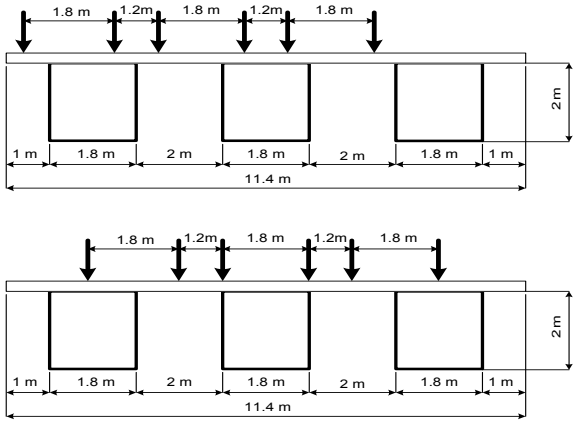


Fig. 1 Truck wheel loading at a transverse section of bridge A

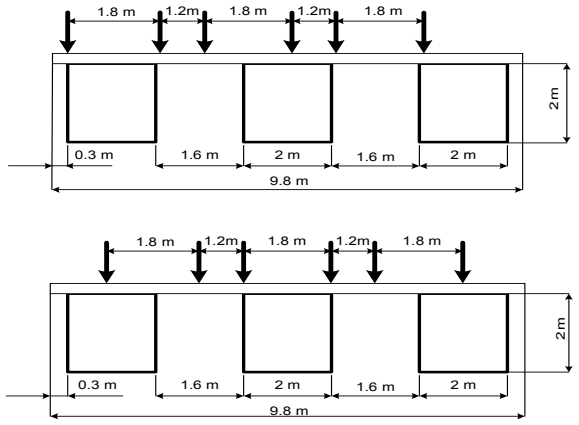


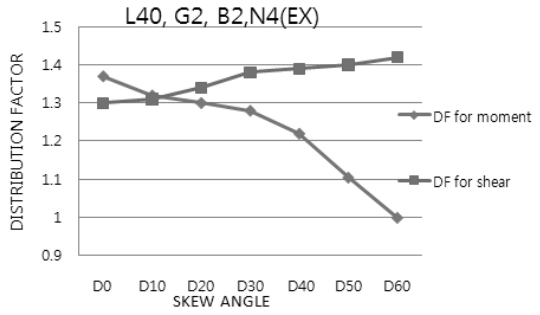
Fig. 2 Truck wheel loading at a transverse section of bridge B

Table 1 Comparison of DF

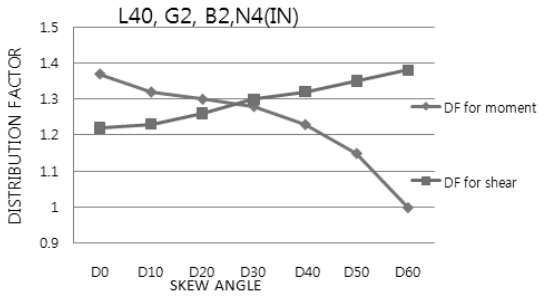
	Bridge A		Bridge B	
	Ext. Girder	Int. Girder	Ext. Girder	Int. Girder
AASHTO	2.08		2.08	
AASHTO LRFD	2.08		2.08	
FEM	1.85	1.53	1.22	1.22

6.0m에서 9.1m까지, 3차선은 9.1m에서 12.8m까지, 4차선은 12.8m에서 16.4m까지로 규정하고 있는데, 앞서의 연구인 강상자형 사교의 하중분배계수(서창범 등, 2009)에서는 한국의 강상자형교 설계시 미국의 설계기준을 적용할 경우 생기는 문제점을 밝히기 위하여, 3차선 강합성형교의 서로 교폭이 차이가 나는 2개의 교량에 대하여 유한요소해석을 수행하고 휨모멘트 산정을 위한 하중분배계수를 비교한 바 있다.

유한요소해석 대상교량의 교폭 및 하중재하 위치는 Fig. 1 및 Fig. 2와 같으며, 유한요소해석결과에 의한 휨모멘트 산정을 위한 하중분배계수는 Table 1과 같다.



(a) Exteror girder



(b) Interior girder

Fig. 3 Distribution factors for determinating bending moment or shear force

AASHTO설계기준과 AASHTO LRFD 설계기준은 차선수와 거더수 만을 변수로 하기 때문에 A교량과 B교량 모두 3차선 3거더교이므로 하중분배계수가 내측 및 외측거더에 있어 동일하게 산정된다. 그러나 유한요소해석결과를 보면 A교량과 B교량은 교폭에서 차이가 나므로 당연히 다른 하중분배계수값을 보인다. 외측거더에서는 A교량이 B교량보다 51.6%나 큰 값을 나타냈으며 내측거더에서는 25.4% 큰 값을 나타냈다.

또한 A교량의 경우 외측거더의 DF값이 내측거더의 DF값보다 20.9%나 큰 값을 나타냈다.

특히, B교량의 경우 AASHTO 설계기준이나 AASHTO LRFD 설계기준에 의한 하중분배계수가 유한요소해석을 통하여 구한 값보다 70%이상 커 과대설계 유발가능성이 지적되었다.

또한 AASHTO LRFD에 의하면 강상자형사교의 전단력 산정을 위한 규정을 별도로 두지 않고, 휨모멘트 산정을 위한 하중분배계수를 사용하도록 되어 있으나 Fig. 3에서 보는 바와 같이 사각이 증가할수록 휨모멘트 하중분배계수는 감소하며 전단력 하중분배계수는 증가한다.

따라서 AASHTO LRFD 휨모멘트 하중분배계수 규정을 전단력 하중분배계수로 사용할 경우 실제의 하중분배

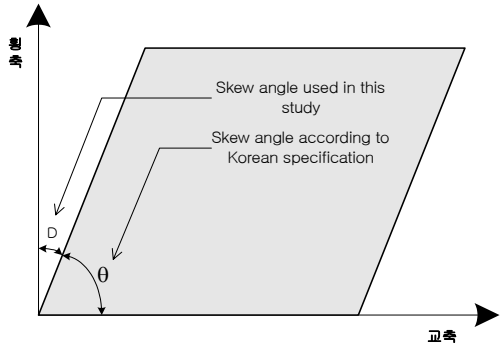


Fig. 4 Skew angle used in this study

Table 2 Steel box girder bridge (unit: degree)

Skew Angle	D_0	D_{10}	D_{20}	D_{30}	D_{40}	D_{50}	D_{60}
	0	10	20	30	40	50	60

Table 3 Steel box girder bridge (unit: m)

Box Height	$B_{2.0}$	$B_{2.2}$	$B_{2.4}$
	2.0	2.2	2.4

Table 4 Steel box girder bridge (utit: m)

Girder Spacing	$G_{1.6}$	$G_{2.0}$	$G_{2.4}$
	1.6	2.0	2.4

Table 5 Steel box girder bridge

Number of lanes	N_2	N_3	N_4
	2	3	4

와 상당히 큰 차이가 나타남을 볼 수가 있다. 그러므로 강상자형 사교의 전단력 산정을 위한 하중분배식의 개발이 필요하다고 할 수 있다.

2.3.2 사교의 특성

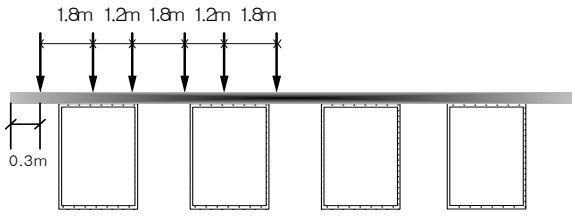
교량에서 사각이란 그림에서와 같이 교축방향의 중심선과 받침선이 이루는 90° 이하의 각을 말하며 이런 사각을 갖는 교량을 사교라 정의한다. 본 연구에서는 국내 도로교 설계기준에서 규정하고 있는 사각(θ)과 본 연구 해석 시 사용한 사각(D)를 Fig. 4에 나타내었다.

3. 분배식 산출을 위한 강상자형교의 유한요소 모델링

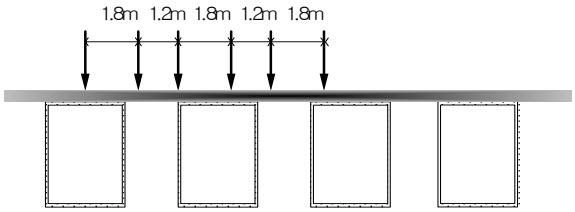
3.1 강상자형교의 유한요소 매개변수 선정 및 모델링 가정

강상자형교의 전단력 산정을 위한 하중분배계수의 매개변수는 거더간격, 사각, 상자높이, 재하차선수가 하중분배계수에 큰 영향을 주는 것으로 판단되며, 본 연구에서 사용된 매개변수는 Table 2~5과 같다.

Fig. 5 Truck wheel loading on a longitudinal section



(a) Exterior girder



(b) Interior girder

Fig. 6 Truck wheel loading for 3 lanes at a transverse section

유한요소해석을 수해하기 위한 가정은 다음과 같다.

1) 교량은 단순 합성 강상자형사교이다.
2) slab의 두께는 25cm로 일정하며, f_{ck} = 270 MPa 이다.
3) 강상자형의 재료는 SM490이고, f_y = 490 MPa 이며 부부재의 경우 SM=400이고, f_y = 400 MPa 이다.
4) 모든 재료는 탄성 범위 내에 있으며 균질한 성질을 갖는다.
5) 재하하중 및 방법은 국내 도로교설계기준에 따른다.

3.2 하중재하방법

본 연구에서의 하중재하 방법은 도로교설계기준에서 제시하고 있는 표준트럭하중을 2차선, 3차선 및 4차선을 재하하였다. 종방향으로는 최대전단력이 발생하도록 Fig. 5와 같이 재하하였으며, 횡방향으로는 도로교설계기준에 의거하여 최외측 차륜을 단부로부터 30cm에 재하하는

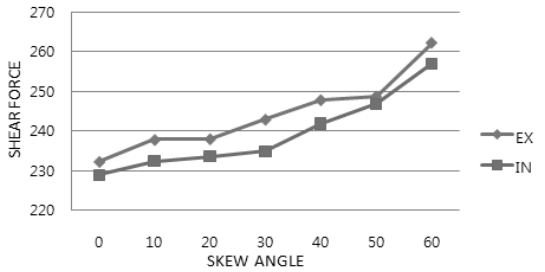
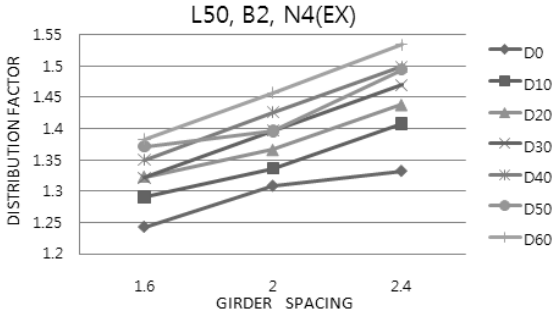
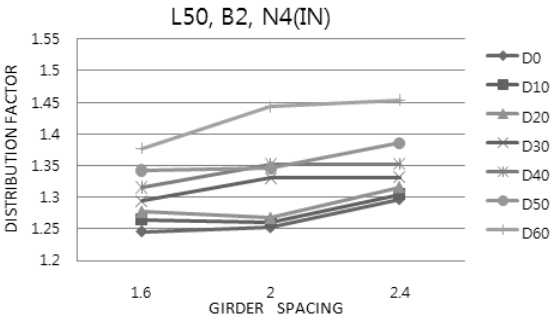


Fig. 7 Comparison of shear force between exterior girder and interior girder



(a) Exterior girder



(b) Interior girder

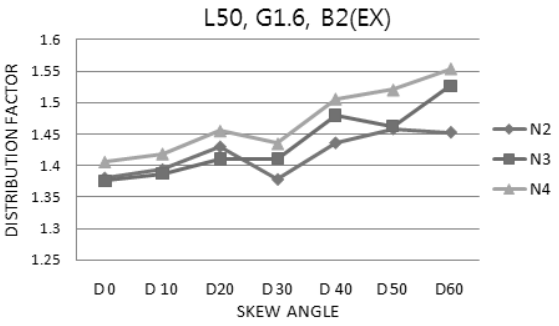
Fig. 8 Distribution factor according to girder spacing

등 내외측거더에 최대전단력이 발생하도록 재하하였고, 이를 Fig. 6에 나타내었다.

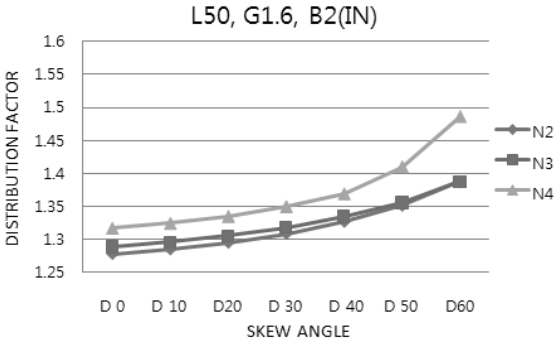
3.3 유한요소 모델링

본 연구에서는 3차원 구조해석 범용프로그램인 MIDAS CIVIL을 사용하여 강상자형사교에서 사각(D), 거더간격(G), 상자높이(B), 재하차선수(N)이 하중분배계수에 주는 영향을 분석하기 위하여 구조해석을 수행하였다.

Fig. 7은 지간 50m, 거더간격 1.6m, 상자높이 2m, 재하차선수 4차선인 경우 둔각부의 외측과 내측거더에 최대전단력이 발생하도록 하중을 재하한 결과이다. 그림에서 볼 수 있듯이 사각이 증가함에 따라 외측과 내측거더



(a) Exterior girder



(b) Interior girder

Fig. 9 Distribution factor according to skew angle

의 최대전단력이 증가하였으며, 외측거더의 최대전단력이 내측거더보다 크게 발생하는 것을 볼 수가 있다.

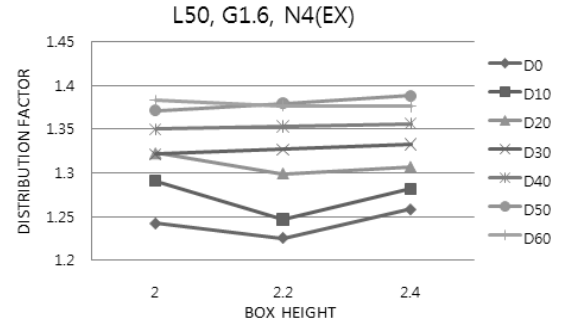
4. 강합성형교의 하중 분배식의 산정

4.1 거더간격의 영향

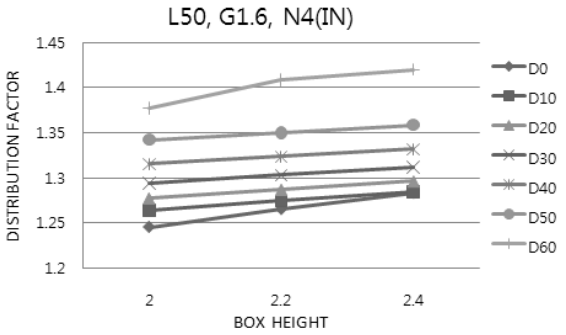
Fig. 8(a)와 Fig. 8(b)는 거더간격(G)의 변화에 따른 전단력 산정을 위한 하중분배계수를 나타내고 있다. 거더간격의 영향도 사각이 클수록 하중분배계수의 변화율이 크게 나타났다. 거더간격이 1.6m에서 2.4m로 변화함에 따라 하중분배계수가 내측거더에서는 약 5.5%, 외측거더에서는 약 10.9% 상승하여, 거더간격은 하중분배계수 산정에 있어 중요인자임을 확인할 수 있었다.

4.2. 사각의 영향

사각(D)이 하중분배계수에 미치는 영향을 분석하기 위해 변수 D0, D10, D20, D30,D 40, D50, D60에 따른 하중분배계수의 변화를 살펴 보았다. Fig. 9 (a)와 Fig. 9 (b)를 보면 사각이 커질수록 하중분배계수가 최대 12%

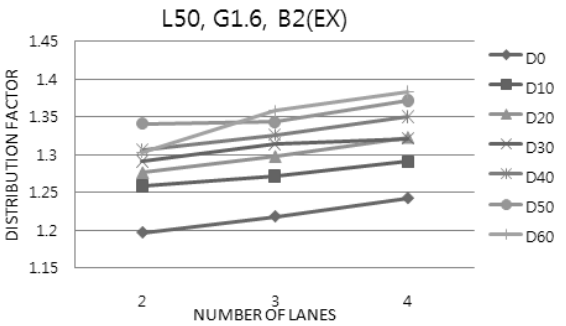


(a) Exterior girder

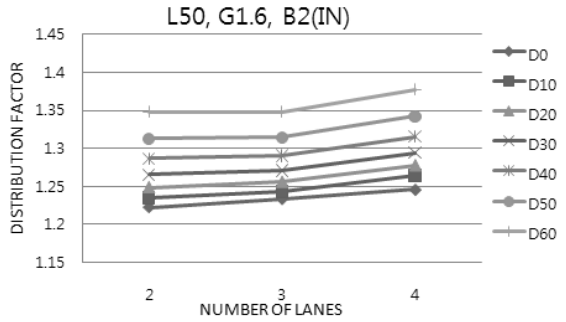


(b) Interior girder

Fig. 10 Distribution factor according to box height



(a) Exterior girder



(b) Interior girder

Fig. 11 Distribution factor according to number of lanes(Interior Girder)

커지는 현상을 나타내고 있다. 따라서 사각은 강상자형사교의 전단력 산정시의 하중분배계수에 큰 영향을 미치는 인자로 판명된다.

4.3 상자높이의 영향

상자높이(B)가 하중분배계수에 미치는 영향을 분석하기 위하여 변수 2.0m, 2.2m, 2.4m 상자높이(B)에 따른 하중분배계수의 변화를 살펴보았다. 상자높이에 따른 하중분배계수는 2~3%의 변화를 나타내고 있으며 다른 변수에 비하여 변화폭은 작으나, 최량부분집합회귀(best subset regression) 분석 결과 내측거더의 경우 상자높이가 중요한 인자인 것으로 판단되었다.

4.4 재하차선수의 영향

재하차선수(N)를 2차선, 3차선, 4차선으로 변화하였을 때 하중분배계수는 외측과 내측거더에서 3.8~5%의 변화폭이 나타나고 있으며, 따라서 차선의 변화는 하중분배계수에 중요인자이라 할 수 있다.

Table 6 Best subsets regression

(a) Exterior girder

Vars	R-Sq(adj)	G	B	N	D
1	54.7	◉			
1	29.3				◉
2	84.4	◉			◉
2	60.1	◉		◉	
3	90.0	◉		◉	◉
3	84.9	◉	◉		◉
4	90.5	◉	◉	◉	◉

(b) Interior girder

Vars	R-Sq(adj)	G	B	N	D
1	71.2				◉
1	8.6			◉	
2	80.3			◉	◉
2	78.2	◉			◉
3	87.4	◉		◉	◉
3	82.9		◉	◉	◉
4	90.1	◉	◉	◉	◉

4.6 강상자형교의 하중분배계수

4.6.1 하중 분배계수식의 제안

본 연구에서는 강상자형사교의 전단력 산정을 위한 하

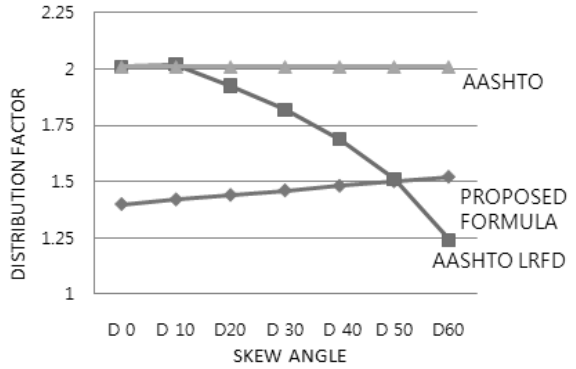


Fig. 12 Comparison between proposed fomula and American specification formulas for interior girder

중분배계수식을 제안하기 위하여 3차원 구조해석 범용프로그램인 MIDAS CIVIL을 사용하여 다양한 모델에 대하여 구조해석을 행하였고, 해석결과를 바탕으로 다중회귀분석을 수행함으로써 다음과 같은 하중분배계수 산정식을 제안하였다.

○ 외측거더의 전단력 산정을 위한 하중분배계수식: R-Sq(adj) = 90.5%

$$DF = 0.837 + 0.169G + 0.0318B + 0.0216N + 0.00203D \quad (9)$$

○ 내측거더의 전단력 산정을 위한 하중분배계수식 : R-Sq(adj) = 90.1%

$$DF = 0.989 + 0.0425G + 0.0526B + 0.0192N + 0.0022D \quad (10)$$

여기서 G는 거더간격(meter단위), B는 상자높이(meter단위), N은 재하차선수, D은 사각(degree)이다.

4.6.2 AASHTO LRFD 설계기준 및 AASHTO 설계기준과의 비교

Fig. 12에서는 거더간격 2.4m, 상자높이 2.2m, 4차선 교량의 내측거더에 대한 전단력 산정 시의 하중분배계수를 본 연구 제안식값, AASHTO설계기준값, AASHTO LRFD 설계기준값과 비교하였다. 또한 Fig. 13에서는 거더간격 2.4m, 상자높이 2.4m, 4차선 교량의 외측거더에 대한 전단력 산정 시의 하중분배계수를 본 연구 제안식값, AASHTO설계기준값, AASHTO LRFD 설계기준값

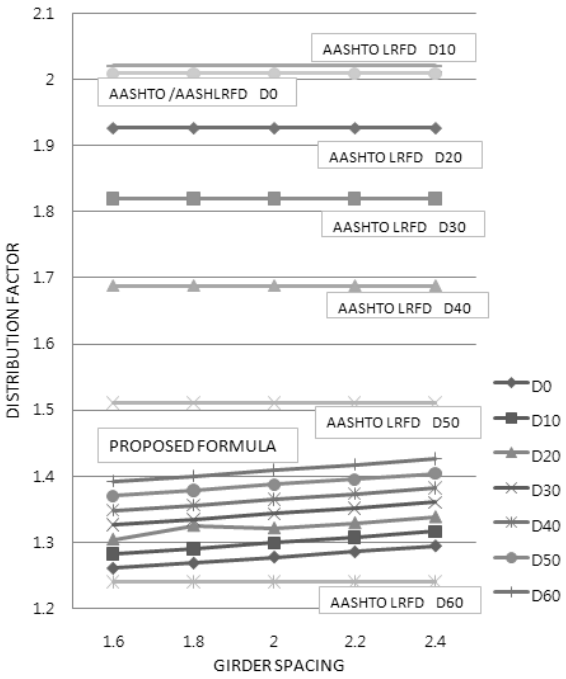


Fig. 13 Comparison between proposed fomula and American specification formulas for exterior girder

과 비교하였다. Fig. 12 및 Fig. 13에서 보는 바와 같이 AASHTO 및 AASHTO LRFD 설계기준은 사교의 중요 거동 특성을 반영하지 못하고 있다. 강상형사교의 둔각부 거더에서는 사각이 증가할수록 전단력 산정을 위한 하중분배계수가 증가하지만, AASHT0 LRFD 설계기준에서는 사각이 증가할수록 오히려 하중분배계수가 감소하게 되며, 대부분의 경우에서 과대설계를 유발할 수가 있고, 일부 구간에서는 오히려 과소설계의 가능성도 있음을 알 수가 있다.

기존 AASHT0 설계기준에서는 사각에 대한 고려가 되어 있지 못하며, AASHT0 LRFD 설계기준에서는 전단력 산정 시에는 수정계수를 두어, 휨모멘트 산정시 구한 하중분배계수에 수정계수를 곱하여 산정하도록 하고 있다. 그러나 AASHT0 LRFD 설계기준에서는 강상자형사교를 포함한 다양한 교량형식에 대한 수정계수가 규정되어 있지 않아, 이에 대한 보완이 요청된다.

또한 국내의 도로교 설계기준에서도 판형교 이외의 다양한 교량형식에 대하여는 물론 휨모멘트와 전단력의 별개 산정, 사각 등을 포함한 하중분배계수의 규정 마련이 절실하다.

5. 결 론

본 연구에서는 사각을 갖는 강상자형교에 대하여 다양한 매개변수를 가진 구조모델에 대한 유한요소 해석을 수행한 후, 해석결과를 바탕으로 다중회귀분석을 수행하여 강상자형 사교의 전단력 산정을 위한 하중분배 계수 식을 제안하였다. 본 연구를 통해 얻어진 결론은 다음과 같다.

1) 강상자형사교의 전단력 산정을 위한 하중분배계수에서는 거더간격과 사각의 크기가 윤하중분배에 큰 영향을 미치고 있음을 알 수 있었고, 이들의 변화에 따라 하중분배계수가 큰 폭으로 달라진다는 것을 확인하였다.
2) AASHTO 및 AASHTO LRFD 설계기준에서 제시한 전단력 산정을 위한 하중분배계수는 본 연구의 분석결과 실제 거동과 큰 차이를 보이고 있으며, AASHTO LRFD규정을 적용할 때는 분배율이 저하됨에 유의한다.
3) 강상자형사교의 하중분배계수 산정을 위한 식을 유한요소해석 결과와 다중회귀분석을 통하여 다음과 같이 제시하였다.
   (1) 강상자형사교의 외측거더에 대한 하중분배계수식
   $DF=0.837+0.169G+0.0318B+0.0216N+0.00203D$
   (2) 강상자형사교의 내측거더에 대한 하중분배계수식
   $DF=0.989+0.0425G+0.0526B+0.0192N+0.00220D$

감사의 글

"본 연구는 금오공과대학교 학술연구비에 의하여 연구된 논문"으로 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. 도로교설계기준, 한국도로교통협회, 2005.
2. 서창범, 송재호, 김일수, "강상자형사교의 윤하중분배계수", 한국구조물진단학회지, 제13권 제4호, 2009, pp.148-158.
3. 엄준식, "현장계측결과를 이용한 강거더연속교의 횜방향 활하중 분배계수에 관한 연구", 한국구조물진단학회지, 제13권 제4호, 2009, pp.180-187.
4. 정철헌, 김영진. "사각을 갖는 슬래브 교량의 하중분배 효과에 관한 연구" 대한토목학회논문집 Vol. 17, 1997, pp.597-605.
5. American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), Standard Specifications for Highway Bridges,Washington, D.C., 2002.
6. American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), AASHTO LRFD Bridge Design Specifications, Washington, D.C., 2007.
7. Bakht, B. and Moses, F., "Lateral Distribution Factors for Highway Bridges", Journal of the Structural Division, ASCE, Vol. 114, No. 8, 1988, pp. 1785-1803.
8. Bishara, A. G., Maria, C. L. and El-Ali, N. D., "Wheel Load Distribution on Simply Supported Skew I-Beam Composite Bridges", Journal of the Structural Division, ASCE, Vol. 119, No. 2, 1993, pp.399-419.
9. Guyon, Y., "Calcul des ponts larges a poutres multi-plessolidarisees par des entretoises", Annales des Ponts et Chauseees, No. 24, 1946, pp.553-612.
10. Hay, C.O., Jr., Session, L.M. and Berry, A.J., "Further Studies on Lateral Load Distribution using, Finite Element Methods", Transp. Res. Rec. (1072), Transportation Research Board, Wathington, D.C., 1986, pp.6-14.
11. Imbsen, R.A. and Nutt. R.V., "Load Distribution Study on Highway Bridges using STRUDL FEA Capabilities." Conf. on Computing in Civil Engineering, ASCE, New York, 1978.
12. Massonnet C., "Methode de calcul des ponts a poures multiples tenant compte de leur resistance a la torsion", Proc. Int. Association for Bridge and Structural Engineering, 10, 1950, pp.147-182.
13. Newmark, N. M., "Design of I-Beam Bridges," Journal of the Structural Division, ASCE, Vol. 74, No. ST1, 1948, pp.305-331.
14. Newmark, Siess, Chen., Studies of Slab and Beam Highway Bridges, Part 6, "Monents in simply supported Skew I-beam Bridges", University of Illinois, Bulletin No.439, 1957.
15. Nutt, R.V., Schamber, R.A. and Zokaie, T., "Distribution of Wheel Loads on Highway Bridges", Project 12-2a6, Transportation Research Board, Washington, D.C., 1988.
16. Sanders, W.W. and Elleby, H.A., "Distribution of Wheel Load on Highway Bridges", Report 83, Transportation Research Board, Washington, D.C., 1970.
17. Tarhini, K. M. and Frederick, G. R., "Wheel Load Distribution in I-Girder Highway Bridges", Journal of the Structural Division, ASCE, Vol. 118, No. 5, May. 1992, pp.1285-1294.

(접수일자 : 2010년 9월 14일)
(수정일자 : 2010년 11월 28일)
(심사완료일자 : 2010년 12월 6일)

요 지

강상자형사교의 경우 국내의 도로교 설계기준이 갖추어지지 않아, 미국의 AASHTO 및 AASHTO LRFD 설계기준을 적용할 경우에는 실제의 거동과 다른 하중분배계수를 산출하게 되어 과대설계 및 과소설계를 초래할 가능성을 가지고 있다.

본 연구의 목적은 실제 거동을 바탕으로 한 강상자형 사교의 둔각부 지점에서의 전단력 산정을 위한 하중분배계수식을 제시하는 데 있다. 이를 위하여 본 연구에서는 강상자형 사교의 다양한 구조모델들에 대해 유한요소해석을 수행하고, 각 매개변수들이 강상자형사교의 하중분배계수에 미치는 영향을 분석한 후, 다중회귀분석을 수행하여 강상자형사교의 전단력 산정을 위한 하중분배계수식을 제시한다.

핵심 용어 : 하중분배계수, 강상자형사교, 도로교설계기준, AASHTO, AASHTO LRFD, 유한요소해석, 다중회귀분석, 전단력