

강박스거더 교량의 프레임 형식 중간다이아프램의 설계

Design of Frame-type Intermediate Diaphragm in Steel Box Girder Bridges

윤 동 용¹⁾ · 안 성 현²⁾ · 이 성 철³⁾
Yoon, Dong Yong · An, Sung Hyun · Lee, Sung Chul

요 약 : 강박스거더에 편심이 작용하면 단면은 뒤틀리고, 이로 인해서 종방향으로 뒤틀림 응력이 발생한다. 휨모멘트에 의한 휨응력 이외에 뒤틀림으로 인한 추가되는 종방향 응력은 경우에 따라서는 무시할 수 없이 크기 때문에 설계단계에서 반드시 고려되어야 한다. 일반적으로 중간다이아프램을 설치하여 뒤틀림 변형 자체를 억제시켜 뒤틀림응력의 크기를 제안하는 방법을 이용하는데, 이때 휨응력에 비교하여 뒤틀림응력의 크기를 통상 5~10%정도로 제한한다. 현재 적용하는 중간다이아프램 설치간격에 대한 공식은 고전적인 BEF 이론을 바탕으로 유도되었는데, 이는 지나치게 보수적인 설계를 유도하고 있다. 이에 본 연구에서 강박스거더의 프레임형식 중간다이아프램에 대해 3차원 유한요소해석을 수행하여 분석한 결과, 현행 중간다이아프램 단면적 공식은 지나치게 큰 값을 요구하는 것으로 나타났다. 그래서 유한요소 해석결과를 회귀분석하여 설계 초기에 적용할 수 있는 개선된 프레임형식의 중간다이아프램 단면적 설계공식을 제안하였다.

ABSTRACT : Cross-sectional distortions take place when steel box girders are subjected to torsional moment, as a consequence of which distortional warping stresses are necessarily developed. Additional normal stresses due to the distortion are occasionally so large in the case of closed sections that they should be included at the design stage. The relative magnitude with respect to the maximum bending stress are kept less than the specific values, i.e., at 5~10%, by properly spaced intermediate diaphragms that could prevent the distortional deformation of the box girder. However, current design equations for the stiffness of intermediate diaphragms were derived based on BEF. In this study, the area required by the intermediate diaphragm members are investigated through three-dimensional finite element analyses. The results of the analyses indicate that the current equations give too conservative values for the intermediate diaphragm of box girder bridges. Finally, an improved equation for the area of the intermediate diaphragm is derived from a regression analysis from the finite element analysis results.

핵심용어 : 뒤틀림, 뒤틀림 응력, 중간다이아프램, 강박스거더

KEYWORDS : distortion, distortional warping stress, intermediate diaphragms, steel box girder

1. 서론

1.1 중간다이아프램의 일반사항

강박스거더에 하중이 편재하 되었을 때 그림 1(a)과 같이 휨모멘트에 의한 휨응력과 그림 1(b)와 같이 단면의 뒤틀림에 의한 뒤틀림응력이 발생한다. 뒤틀림의 발생원리를 간단히 살펴보면 하중의 편재하로 그림 2(a)와 같은 휨과 그림 2(b)의 비틀림이 발생한다. 이 중 비틀림은 다시 그림 2(c)의 단순 비틀림과 단면의 찌그러짐, 즉 그림 2(d)의 뒤틀림으로 나눌 수 있

다. 폐합단면의 경우는 비틀림의 영향으로 발생하는 종방향의 휨응력은 무시할 수 있을 정도로 미소하지만 뒤틀림으로 인한 뒤틀림응력은 상당히 크게 발생할 수 있어 설계시 신중히 고려되어야 한다.

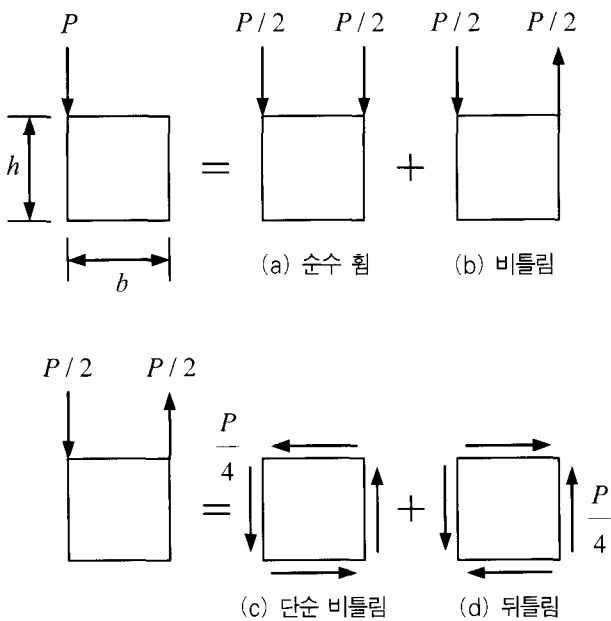
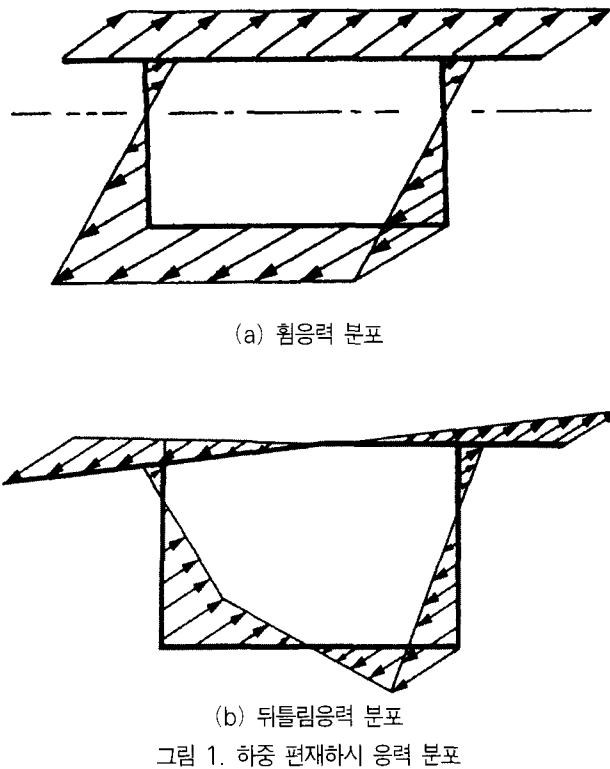
중간다이아프램에 쓰이는 형식은 그림 4와 같이 크게 폐합형과 프레임 형식으로 구분할 수 있다. 폐합형은 다시 강박스 단면의 단면적에 따라서 충복식과 라멘형식의 두 가지로 구분할 수 있으며, 프레임 형식은 X-프레임 형식과 K-프레임 형식으로 구분할 수 있다. 현재 국내에서는 충복식 다이아프램을 주로 사용하고 있다.

1) 교신저자, 정회원, 현대제철, 과장, 공학박사
(Tel. 02-2112-9513, Fax. 02-2112-9968, E-mail : dongyong@hyundai-steel.com)

2) 정회원, 태조ENG, 대리(blackrice76@msn.com)

3) 정회원, 동국대학교 토목환경공학과 교수, 공학박사(sclee@dongguk.edu)

본 논문에 대한 토의를 2007년 4월 30일까지 학회로 보내주시면 토의 회답을 게재하겠습니다.



1.2 문제점 및 연구방향

국내에서 시공되는 강박스거더의 경우 관행적으로 4~5m 간격으로 조밀하면서, 형식 면에서도 중복식으로 과대한 강성의 중간다이아프램을 설치한다. 이는 시공비의 증가를 가져 올뿐만 아니라 용집에 의한 변형증가나 피로수명 단축 등을 유발할 가능성이 있다. 하지만 아직까지 도로교설계기준 (2003)에는

중간다이아프램과 관련해서 특별한 설계규정이 없는 상황이다. 비록 도로설계요령 (1992)에서 Sakai and Nagai (1977)의 연구를 근거로 하는 일본의 규정을 소개하며 중간다이아프램의 강성과 간격을 결정하는 공식을 다루고 있으나, 그 역시 지나친 안전측의 설계를 유도하고 있다.

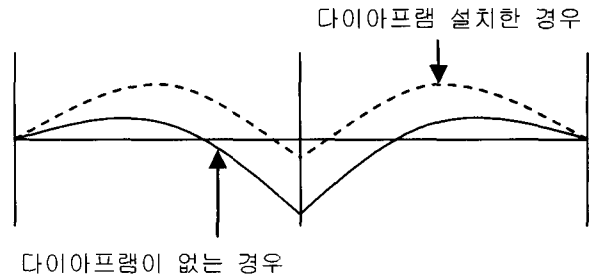


그림 3. 다이아프램과 뒤틀림응력의 분포

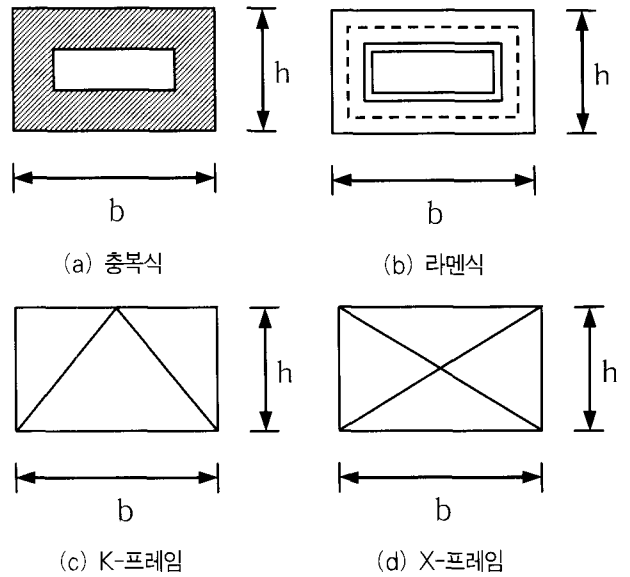


그림 4. 중간다이아프램의 유형

최근 국내에서는 강박스거더의 뒤틀림과 중간다이아프램의 강성 및 간격 등과 관련하여 강영종 등(1996), 김성남 등(2003), 박남희 & 강영종(2004a), 박남희 & 강영종(2004b) 등의 연구가 활발하게 진행되었다. 또한 이성철 등(2004)의 연구에서는 프레임형식 중간다이아프램의 최소 부재와 관련한 연구가 수행되기도 하였는데, 다양한 변수를 고려하는 합리적인 설계규정의 개발이 필요한 상황이다.

본 연구에서는 단상자형 뿐만 아니라 다상자형 교량의 중간다이아프램 간격 및 프레임 형식의 중간다이아프램 부재의 단면적에 대해 검토하였다. 연구는 유한요소해석을 바탕으로 이루어졌으며, 해석결과부터 중간다이아프램에 사용된 프레임의 단면적을 결정할 수 있는 설계 공식을 유도하였다.

2. 중간다이아프램 설계규정 고찰

우리나라의 도로교설계기준 (2003)에서는 휨응력에 대한 뒤틀림의 응력비를 구체적으로 규정짓고 있지는 않지만 Sakai and Nagai (1977)의 연구에서는 휨응력에 대한 뒤틀림응력의 비(f_{Dw}/f_b)를 5% 이내로 제한하고 있으며, AASHTO Specifications for Steel Curved Girder Bridges (2002)에서는 사하중과 활하중을 모두 고려하였을 때 휨응력에 대한 뒤틀림응력의 비(f_{Dw}/f_b)를 10%까지 허용하고 있다.

2.1 AASHTO Specifications for Steel Curved Girder Bridges (1997)

AASHTO Specifications for Steel Curved Girder Bridges (1997)에서는 중간다이아프램의 간격을 식(1)과 같이 제한하고 있으며, 휨응력에 대한 뒤틀림응력의 비를 10% 이내로 규정하고 있다.

$$L_D \leq 30 ft (=9.0m) \quad (1)$$

$$\frac{f_{Dw}}{f_b} \leq 10\% \quad (2)$$

여기서,

L_D = 중간다이아프램의 간격

f_{Dw} = 뒤틀림응력

f_b = 휨응력

한편 중간다이아프램을 구성하는 부재는 다음 식의 단면적을 만족해야 한다.

$$A_b = 750 \frac{L_D \times a}{h^2} \times \frac{t_w^3}{h+a} \quad (3)$$

여기서,

A_b = 프레임 단면적 (mm²)

a = 거더 상부폭과 하부폭의 평균값

h = 강박스거더의 높이

t_w = 복부판의 두께

2.2 일본 HEPC 규정

Sakai & Nagai(1977)의 연구를 바탕으로 하고 있는 일본의 HEPC에서는 중간다이아프램의 간격 결정을 위해 다음 식을 이용하고 있다. 이때 최대 뒤틀림응력을 최대 휨응력의 5%

이내에 들도록 규정하고 있다.

$$L_D < 6m \quad (L < 60m)$$

$$L_D < (0.14L - 2.4)m \quad (60m \leq L \leq 160m) \quad (4)$$

$$L_D = 20m \quad (160m \leq L)$$

$$\frac{f_{Dw}}{f_b} \leq 5\% \quad (5)$$

여기서,

L = 지간

한편 중간다이아프램의 강성에 대해서도 다음과 같이 규정하고 있다.

$$\gamma = \frac{K_D}{K_{Dw} \times I_D} \geq 1500 \quad (6)$$

여기서,

K_D = 다이아프램의 강성

K_{Dw} = 비틀림 상수

2.3 국내의 규정

우리나라의 경우는 도로교설계기준(2003)에는 중간다이아프램에 대한 규정은 없으며, 도로공사의 도로설계요령(1992)에서 제시한 다음 규정을 적용할 수 있다.

$$L_D < 6m \quad (L < 50m)$$

$$L_D < (0.14L - 1.0)m \quad (L \geq 50m) \quad (7)$$

단, ($L \leq 200m$)

휨응력과 뒤틀림응력에 대한 응력비 규정은 없으나 중간다이아프램의 강성에 대해서는 다음과 같이 규정하고 있다

$$K_D > 20 \frac{EI_{Dw}}{L_D^3} \quad (8)$$

여기서,

E = 다이아프램의 탄성계수

I_{Dw} = 단면계수

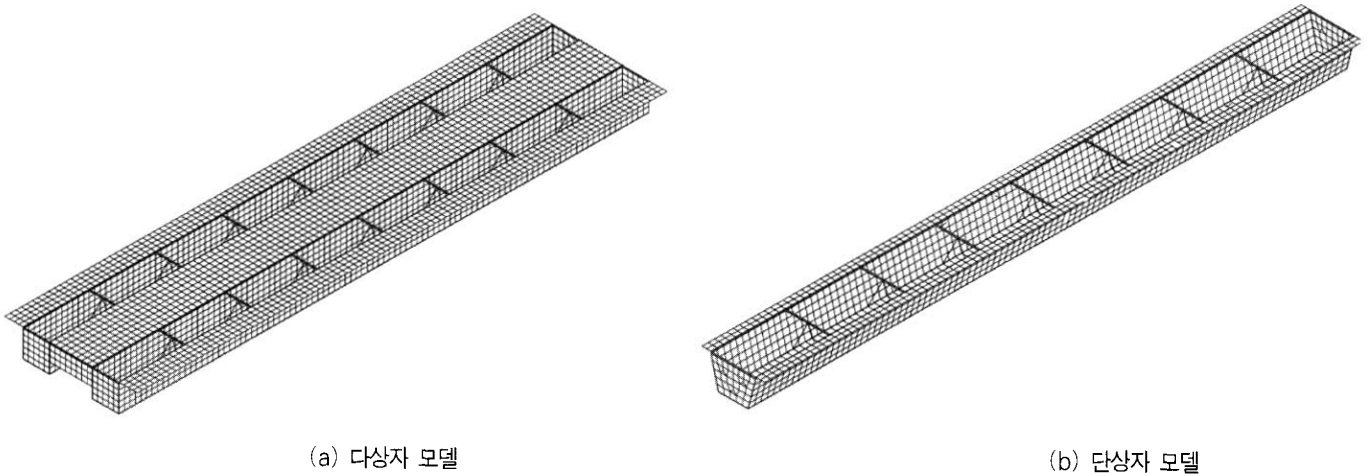


그림 5. 유한요소 모델

3. 요한요소 해석연구

3.1 해석 모델

본 연구에서는 그림 5와 같이 폐합 직사각형 및 개구제의 단상자와 다상자 교량을 대상으로 하였다. 그림에서는 박스거더 내부의 K형 중간다이아프램을 보여주기 위해 콘크리트 바닥판을 보이지 않게 하였으나, 실제 모델링에서는 콘크리트 바닥판도 포함하고 있다. 하중은 도로교설계기준 (2003)의 DB24와 DL24의 차량하중을 적용하였으며, 플랜지에 발생하는 응력 및 중간다이아프램에 발생하는 부재력을 검토하였다. 본 연구에서는 직선교만을 검토대상으로 설정하였기 때문에 뒤틀림에 미치는 사하중의 영향은 무시할 만큼 작다. 그래서 모든 검토에서 사하중의 영향을 제외하였다.

본 해석연구의 주요 변수는 중간다이아프램의 설치 간격(L)과 거더의 높이(H), 거더의 폭(B) 및 복부판의 두께(t_w) 등이다. 유한요소 해석에는 범용 구조해석 프로그램인 ADINA (2003)를 사용하였다. 해석에 적용된 요소는 콘크리트 바닥판과 강박스거더 모두 4절점 shell요소이다. 프레임의 중간다이아프램은 보요소를 사용하였다.

바닥판 콘크리트의 압축강도는 27MPa 이고, 탄성계수는 2.45×10^4 MPa, 포아송비는 0.16을 사용하였다. 강재의 항복응력은 345MPa 이고 탄성계수는 2.1×10^5 MPa 이며, 포아송비는 0.3을 사용하였다.

3.2 뒤틀림응력의 산정 방법

뒤틀림응력은 거더의 하부플랜지 부분에서 가장 크게 나타난다. 이 때의 응력 상태는 뒤틀림응력과 휨응력이 함께 발생

한다. 본 연구에서는 휨응력과 뒤틀림 응력을 구분하기 위한 방법으로 편심이 없는 하중을 재하해서 결정되는 순수 휨응력을 하부플랜지의 총 응력에서 제외시킴으로써 뒤틀림응력을 결정하였다.

곡선교의 경우에는 활하중과 사하중 모두가 뒤틀림에 영향을 주지만 직선교의 경우에는 사하중은 뒤틀림에 거의 영향을 주지 않고 활하중만이 뒤틀림에 영향을 주고 있다. 실제 교량에서

사하중이 전체하중의 70%정도이며 활하중은 30%정도 이므로 뒤틀림응력의 비를 활하중의 5%까지만 허용한다는 것은 지나친 안전측이다. 이러한 이유로 본 연구에서는 휨응력에 대한 뒤틀림응력의 비를 10%까지 허용하였다.

3.3 프레임 응력 검토

프레임 형식의 중간다이아프램을 사용할 때는 플랜지에 발생하는 뒤틀림응력과 함께 프레임에 발생하는 축응력이 프레임의 단면적을 결정하는데 큰 영향을 미친다. 따라서 본 연구에서는 프레임에 발생하는 응력을 검토하였다. 프레임 형식의 중간다이아프램에 주로 사용되는 부재는 L형강인데 본 검토에서도 KS규격(KS D3502)의 제품을 적용하였다. 검토과정에서 KS 규격에 없는 프레임의 단면적과 단면2차모멘트는 2개의 규격을 직선 보간 하여 적용하였다.

식 (9)는 도로교설계기준 (2003)에 제시된 SM490 강재의 허용압축응력을 결정하는 식이다. 본 검토에서는 L형강의 중간다이아프램을 SM490 강재로 가정하여 허용압축응력을 계산하였다.

$$1900 : \frac{l}{r} \leq 15$$

$$1900 - 13 \left(\frac{l}{r} - 15 \right) : 15 < \frac{l}{r} < 80$$

$$\frac{12000000}{5000 + (l/r)^2} : 80 < \frac{l}{r}$$
(9)

여기서,

l = 프레임의 길이

r = 회전반경, $\sqrt{\frac{I}{A}}$

A = 프레임 단면적

I = 프레임의 단면 2차 모멘트

4. 결과분석

4.1 중간다이아프램 형식과 뒤틀림응력

먼저 중간다이아프램의 형상이 뒤틀림 거동에 미치는 영향을 파악하기 위해 중간다이아프램의 형상에 따른 뒤틀림응력의 변화를 검토하였다. 다이아프램은 맨홀이 설치된 중복식, K-프레임, X-프레임의 세 가지를 사용하였다 (그림 4 참조).

우선 지간 $L=40m$ 의 단박스거더 교량에 대한 표 1의 해석 결과를 보면 다이아프램의 형상에 따른 하부플랜지 뒤틀림응력 (f_{DW})과 휨응력(f_b)의 비(f_{DW}/f_b)는 차이가 크지 않음을 알 수 있다. 이는 중간다이아프램의 형상이 뒤틀림응력에 큰 영향을 미치지 않는다는 것을 보여준다. 그러므로 시공하기 편리하고 경제적이며 유지보수의 용이함을 가지고 있는 K-프레임을 적용하여 이 후의 연구를 수행하였다.

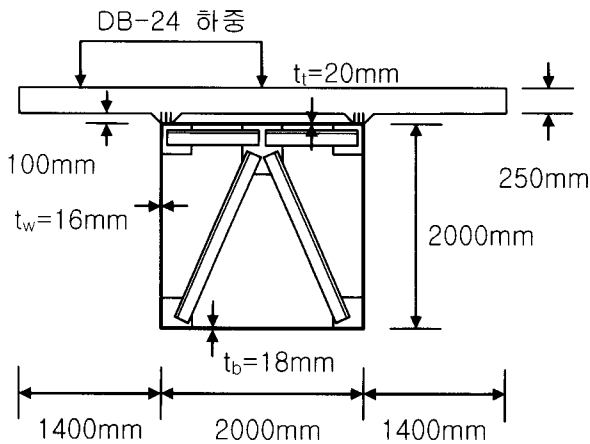


그림 6. 폐단면 거더

표 1. 중간다이아프램 형식과 뒤틀림응력 (L=40m)

중간다이아프램 형식	f_{DW} / f_b		
	LD=5m	LD=10m	LD=20m
K	0.076	0.067	0.186
X	0.047	0.083	0.170
중복식	0.015	0.058	0.107

4.2 중간다이아프램 부재의 단면적과 축응력

본 절에서는 그림 6의 단면에 K-형 중간다이아프램의 단면적 변화에 의해 프레임에 발생하는 축응력을 검토하였다. 중간다이아프램의 간격은 5m와 10m이며, 대상교량의 지간은 40m와 80m이고 단박스 거더이다.

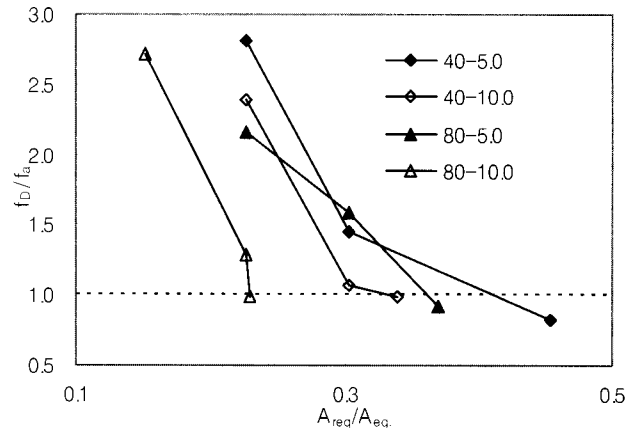


그림 7. 중간다이아프램 단면적과 축응력

그림 7의 결과에서 볼 수 있듯이 중간다이아프램 부재에 발생하는 축응력(f_b)이 허용응력(f_a)보다 작은 경우($f_D/f_a < 1.0$)는 $A_{Eq.(3)}$ 의 30~50%이면 충분한 것으로 나타났다. 지간 40m, $L_D=5m$ 의 경우는 AASHTO 규정의 45.4%의 단면적이면 충분히 뒤틀림을 억제하면서 프레임에 발생하는 축력에도 저항할 수 있다. 지간 40m, $L_D=10m$ 의 경우는 AASHTO 규정의 34.0%의 단면적이면 충분한 것을 알 수 있다. 또한 중간다이아프램의 간격이 커질수록 $A_{used}/A_{Eq.(3)}$ 의 값이 작아지는 것을 볼 수 있다. 여기서 A_{used} 는 해석에 사용된 프레임 단면적이고 $A_{Eq.(3)}$ 는 식(3)의 AASHTO (2003) 규정을 만족하는 단면적이다.

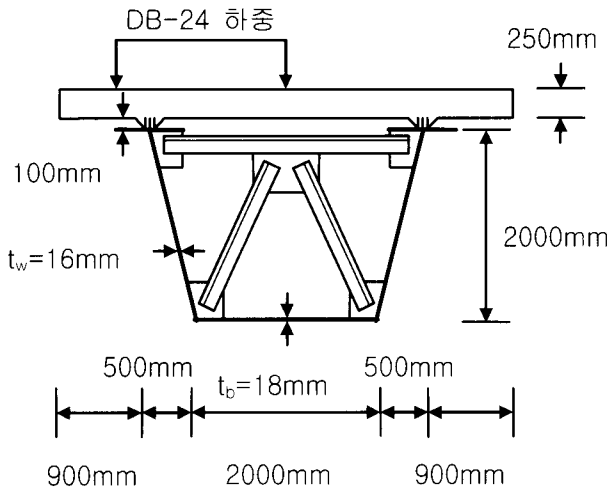


그림 8. 중간다이아프램 단면적과 축응력

한편 중간다이아프램 소요강성과 식(8)의 검토 결과는 중간다이아프램의 간격이 작을 경우는 식(8)이 매우 큰 단면적을 요구하고 있는 것으로 나타났다. 표 2에 검토결과를 정리하였는데, $K_{Eq.(8)}$ 는 도로설계요령(1992)에서 요구하는 강성이다. 표 2에서 $L_D = 2.5\text{m}$ 와 5.0m 의 경우 식(8)을 만족하는 강성의 중간다이아프램 단면은 식(3)의 단면적 규정을 각각 450배와 2.8배 더 크게요구하고 있다. 결과적으로 L_D 가 6m 이하의 경우는 식(8)을 적용하기는 비현실적임을 알 수 있다.

또한 그림 8과 같은 지간 40m의 개구제 강박스거더 중간다이아프램의 단면적 변화에 따른 중간다이아프램에 발생하는 축응력의 변화를 검토하였다. 그 결과는 폐단면 강박스거더의 경우와 결과를 비교하여 표 3에 정리하였다. $A_{req.}$ 는 해석에서 요구되는 소요 중간다이아프램의 단면적이고 개구제와 폐단면 거더에서 중간다이아프램의 소요강성은 비슷한 경향을 보이나 개구제 단면이 폐단면의 경우보다 약간 더 큰 단면적을 요구한다. 즉 식(3)에서 요구하는 단면적의 30~50% 정도면 중간다이아프램의 역할을 충분히 수행한다.

표 2. 중간다이아프램 간격과 강성

L (m)	L_D (m)	$A_{req.}$ (mm ²)	$\frac{A_{used}}{A_{Eq.(3)}}$	$\frac{K_{used}}{K_{Eq.(8)}}$
40	2.5	435,937	450	1.01
	5.0	5,522	2.88	1.02
	7.5	1,744	0.61	1.09
	10.0	679	0.18	1.01
80	20.0	86	0.01	1.02
	40.0	11	0.001	1.01

표 3. 중간다이아프램 단면적과 축응력 (L=40m)

LD (m)	단면 형상	A_{req} (mm ²)	$\frac{A_{used}}{A_{Eq.(3)}}$	$\frac{f_a}{f_D}$
5.0	폐단면	873	0.45	1.12
	개구제	994	0.49	1.17
7.5	폐단면	1,179	0.41	1.04
	개구제	1,262	0.35	1.07
10.0	폐단면	1,304	0.34	1.02
	개구제	1,395	0.34	1.03

4.3 중간다이아프램 단면적과 뒤틀림응력

본 절에서는 중간다이아프램 프레임의 단면적 변화에 따른 하부플랜지의 뒤틀림응력에 대해 검토하였다. 지간 40m의 단박스거더에 대한 해석결과를 표 4에 정리하였는데, 예상대로 중간다이아프램의 간격이 일정할 때 프레임의 단면적이 증가하면 뒤틀림응력의 비도 감소하고 있다. 중간다이아프램의 간격이 5m의 경우 식(3)의 22.7%, 그 외의 경우는 15.1%만 사용하여도 비틀림응력의 비가 10%미만으로 나타났다. 물론 뒤틀림응력의 비를 5% 이내로 제한하면 다소 큰 단면적의 프레임이 필요하지만, 이 때에도 중간다이아프램의 간격이 5m인 경우에는 식(3)의 75.7%, 10m의 경우에는 식(3)의 45.4%면 충분한 것을 알 수 있다.

표 4. 중간다이아프램의 단면적과 뒤틀림응력

L (m)	LD (m)	$\frac{A_{used}}{A_{Eq.(3)}}$	$\frac{f_{DM}}{f_b}$
40	5.0	0.227	0.086
		0.757	0.047
	7.5	0.151	0.090
		0.454	0.047
	10.0	0.151	0.070
		0.303	0.039

4.4 기타 변수와 뒤틀림응력

본 절에서는 거더 높이(H), 폭(B), 그리고 복부판의 두께(t_w)를 변화시켜가면서 각각의 경우에 프레임의 축응력과 하부플랜지의 뒤틀림응력을 검토하여 $f_{DW}/f_b \leq 10\%$ 를 만족시키는 중간다이아프램 소요단면적을 표 5에 정리하였다. 대상지간은

L=40m, 중간다이아프램 간격은 $L_D=5m$ 이며 단박스거더 교량이다.

표 5. 축응력의 변화

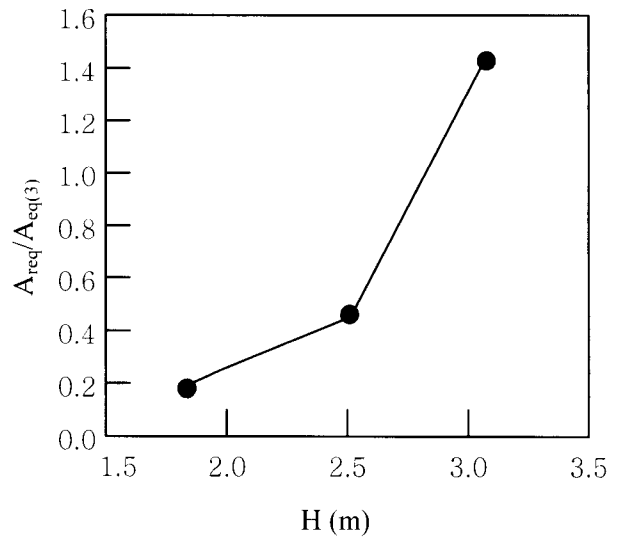
L (m)	L_D (m)	H (m)	B (m)	t_w (mm)	L 형강 (mm)	$\frac{f_{cd}}{f}$	$\frac{A_{reqd}}{A_{Eq(3)}}$	
40	5.0	2.0	16	2.0	75×75×6.6	1.12	0.45	
		2.4			75×75×6.7	1.06	0.65	
		2.8			65×65×6.5	1.09	1.00	
	5.0	2.0	16	2.0	75×75×5.9	1.31	0.50	
					2.4	75×75×7.2	1.05	0.45
					2.8	75×75×6.2	1.09	0.39
	5.0	2.0	16	10	75×75×6.5	1.06	1.90	
				20	75×75×8.0	1.09	0.25	
				24	90×90×7.4	2.39	0.20	

그림 9에서 보면 강박스거더의 높이와 폭은 휨응력에 대한 뒤틀림응력의 비를 10% 이내로 억제하기 위해 소요되는 중간다이아프램 단면적과 식 (3)은 비례하는 경향을 보인다. 반면에 복부판의 두께가 증가하면 소요되는 중간 다이아프램 단면적과 식 (3)은 반비례의 경향을 보이고 있다.

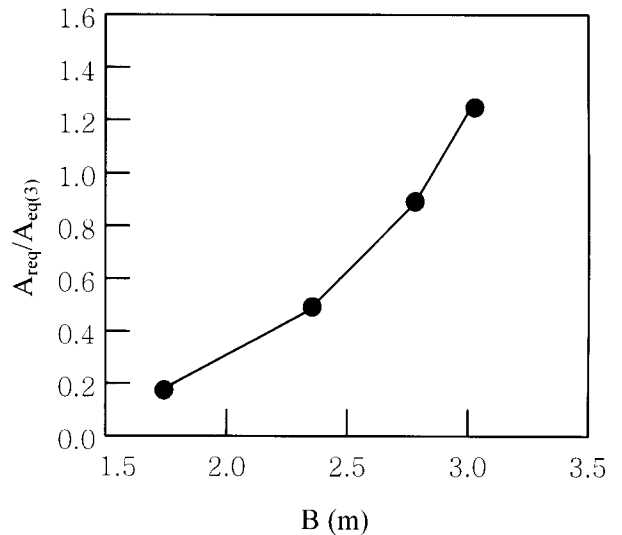
4.5 다상자 교량의 축응력

본 절에서는 폐단면 2박스, 3박스 교량의 축응력을 검토하였는데 각각의 경우 뒤틀림응력이 최대가 되도록 3차선, 4차선까지 채하 하였다. 기타 모든 검토과정은 앞 절에서 수행한 방법과 동일하다.

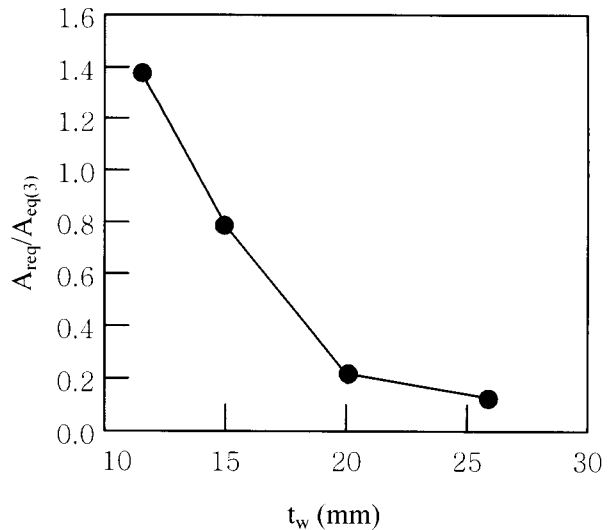
해석결과로부터 $f_{Dw}/f_b \leq 10\%$ 를 만족시키면서 중간다이아프램의 축응력이 허용응력의 이내로 들어오게 하는 단면적만을 표7에 정리하였다. 다상자 교량의 경우도 소요 중간다이아프램의 단면적은 표 3의 단상자 경우와 큰 차이가 없음을 알 수 있다. 결과적으로 중간다이아프램의 부재를 결정하는 과정에서 단상자 구조와 다상자 구조에 같은 규정을 적용 할 수 있다.



(a) 거더 높이의 영향

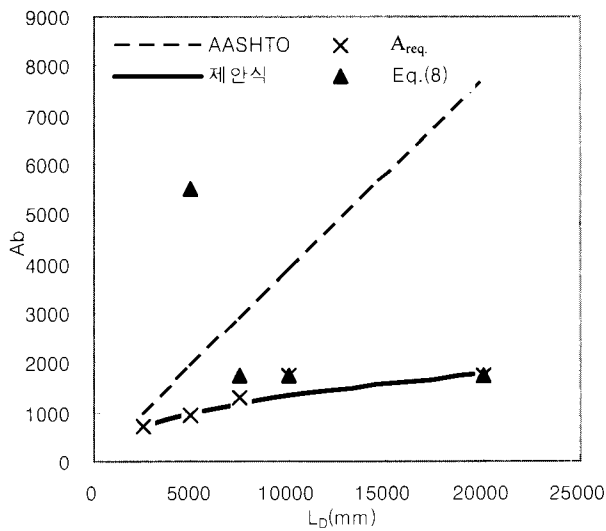


(b) 거더 폭의 영향

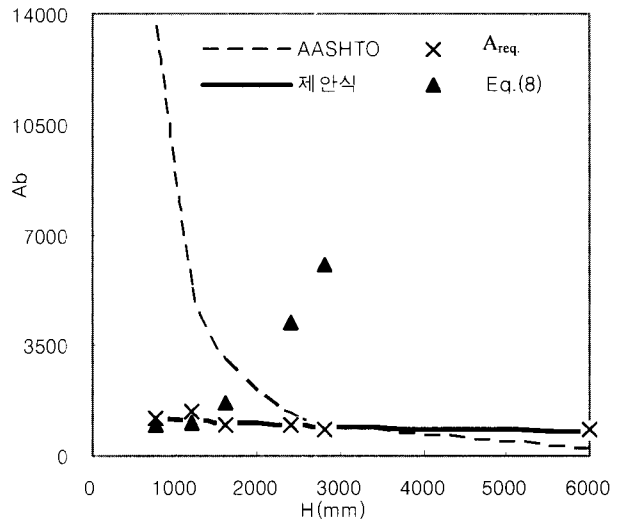


(c) 복부판 두께의 영향

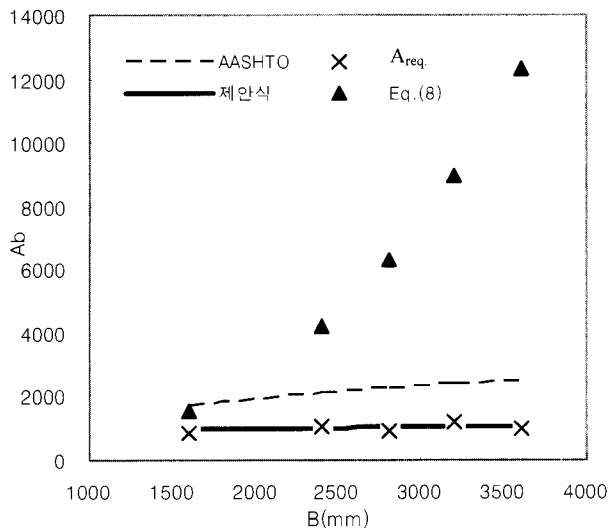
그림 9. 소요 다이아프램 단면적 변화



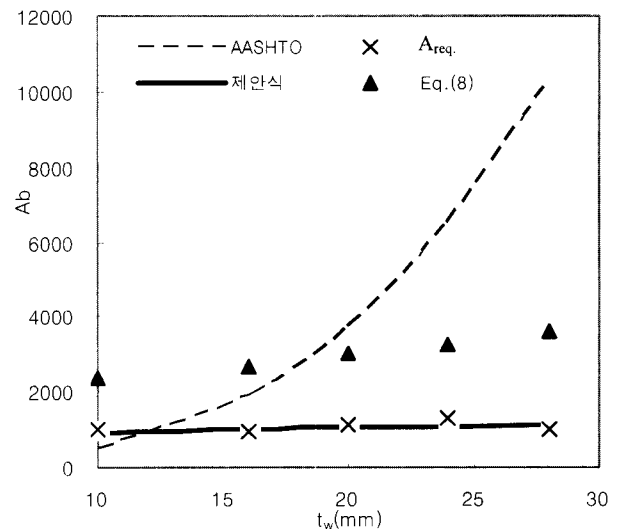
(a) 다이아프램 간격 변화



(b) 강박스 높이 변화



(c) 강박스 폭 변화



(d) 복부판 두께 변화

표 10. 중간다이아프램 단면적 비교

표 6. 거더 수와 소요 중간다이아프램 단면적

L (m)	LD (m)	박스 거더수	Areq (mm²)	Areq / AEq(3)	fa / fd
40	5	1박스	873	0.454	1.12
		2박스	1228	0.640	1.09
		3박스	1228	0.640	1.05
	7.5	1박스	1179	0.409	1.04
		2박스	1273	0.442	1.04
		3박스	1273	0.442	1.05
	10.0	1박스	1304	0.340	1.02
		2박스	1747	0.454	1.03
		3박스	1747	0.454	1.05
20.0	1박스	1273	0.166	1.04	
	2박스	2116	0.276	1.03	
	3박스	2116	0.276	1.04	

4.6 프레임 단면적에 관한 제안식

본 절에서는 단상자 및 다상자 강박스거더 교량에 발생하는 뒤틀림응력을 일정값 이하로 제한하기 위한 프레임 형태의 중간다이아프램 단면적 결정공식을 개발하였다. 500여개의 유한요소 해석결과로부터 프레임에 발생하는 응력과 하부플랜지에 발생하는 뒤틀림응력을 고려하여 최적의 프레임 단면적을 결정하였다. 이렇게 결정된 100여개의 강박스거더 교량의 최적의 중간다이아프램으로부터 회귀분석 프로그램인 SPSS 11.0을 이용하여 다이아프램의 간격과 거더의 폭, 높이, 그리고 복부판의 두께를 주요변수로 하는 다음의 공식을 유도하였다.

$$A_f = CL_D^{0.43} B^{0.11} H^{-0.20} t_w^{0.24} \quad (10)$$

C = 폐단면(27.5), 개구제(35.0)

L_n = 다이아프램 간격,

B = 거더 상부폭과 하부폭의 평균 값

H = 거더의 높이

t_w = 복부판 두께

식(10)에서 C 는 단면 형상에 따른 상수로 폐단면 강박스거더 교에는 27.5를 사용하였고, 개구제 강박스거더교에는 35.0을 사용하였다.

그림 10에서는 단상자이면서 지간 40m인 교량에 대해 유한요소해석에 의해 요구되는 프레임형식의 중간다이아프램 최소 단면적(A_{req})과 본 연구의 제안식, 그리고 AASHTO의 식(3)과 도로설계요령의 식(8)을 비교하였다. 식(3)과 식(8), 그리고 해석에서 요구하는 단면적은 큰 차이를 보이고 있다. 그에 비해 본 연구에서 제안한 식은 유한요소해석에 요구하는 프레임형식의 중간다이아프램 최소 단면적과 잘 일치한다.

5. 결론

본 연구에서는 합성 강박스거더의 프레임형식의 중간다이아프램 단면적 결정을 위한 유한요소해석을 수행하였다. 해석은 폐단면의 강박스거더와 개구제형 강박스거더에 대해 실시하였으며, 단상자와 다상자 두 가지 경우에 관하여 검토하였다. 해석연구를 검토하여 다음과 같은 결과와 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 중간다이아프램의 형식은 중복식 다이아프램이나 프레임형식의 다이아프램이나 뒤틀림 억제에는 비슷한 효과를 보였다. 따라서 중간다이아프램 형식은 시공성이나 경제성, 유지관리 등을 고려하여 결정하는 것이 바람직하다.
- (2) 해석결과를 바탕으로 K 또는 X 프레임 형식의 중간다이아프램 부재의 단면적을 결정할 수 있는 설계공식을 제안 하였으며, 본 연구의 제안식(10)은 설계 초기단계에서 프레임형식의 중간다이아프램 크기를 결정하는데 효과적일 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

강영중, 정주호, 윤기용 (1996) 수평곡선 격자형교의 유한요소 해석, 대한토목학회 논문집 : Vol.16, No.1-3, pp. 261~270.

김성남, 임다수, 박남희, 김태연, 강영중 (2003) "강박스 거더 교량의 격벽 설계 최적화 연구", 대한토목학회, 2003년도 정기 학술대회 논문집, pp. 641~649.

도로교 설계기준 (2003) 대한토목학회.

도로설계요령 (1992) 제3권 교량, 한국도로공사.

박남희, 강영중 (2004) "3차원 쉘 요소를 사용한 다실 박스거더의 뒤틀림 해석-I. 확장된 방법의 제안 및 적용성", 대한토목학회 논문집 : Vol.24, No.3A, pp. 557~563.

박남희, 강영중(2004) "3차원 쉘 요소를 사용한 다실 박스거더의 뒤틀림 해석-II. 확장된 방법의 제안 및 적용성", 대한토목학회 논문집: Vol.24, No.3A, pp. 565~572.

이성철, 이두성, 최현 (2004) "강박스 거더의 중간다이아프램 설계에 관한 연구", 대한토목학회 논문집, Vol.24, No.3A, pp. 623~630.

AASHTO (2002) LRFD bridge design specifications for highway bridges, 2nd ed Interim., American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, DC.

ADINA (2003) Theory and modeling guide volume I, ADINA R & D, Inc.

AASHTO (1997) Guide Specifications for Horizontally Curved Steel Girder Highway Bridges, America Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, DC.

AASHTO (2003) Guide specifications for horizontally curved steel girder highway bridges, American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, DC.

Sakai, F, and M. Nagai(1977), A Recommendation on The Design of Intermediate Diaphragms in Steel Box Girder Bridges, Proceedings of Japanese Society of Civil Engineers, No.261, pp. 21~34.

(접수일자 : 2006. 6. 27 / 심사일 2006. 8. 7 / 심사완료일 2006. 9. 15)