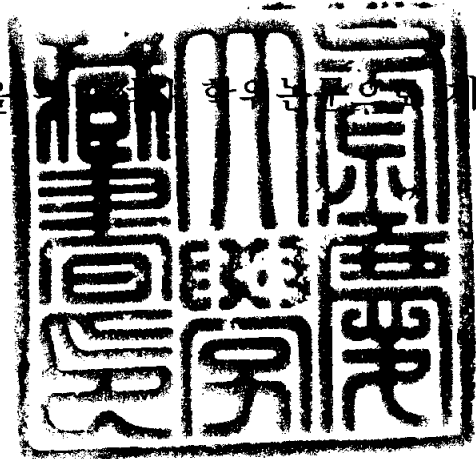


공학석사 학위논문

강교 다이어프램 개구부  
보강형식에 관한 연구

지도교수 이 동 욱

이 논문을  하위 논문으로 제출함



2003년 8월

부경대학교 산업대학원

건설공학과

윤철희

이 논문을 윤철희의 공학석사  
학위논문으로 인준함

2003년 6월 21일

주 심 공학박사 김 명 식



위 원 공학박사 정 두 회



위 원 공학박사 이 동 욱



## 목 차

그림 목차	ii
표 목차	iv
ABSTRACT	v
1. 서 론	1
2. 다이어프램의 관용적 설계방법	3
2.1 다이어프램의 형식	3
2.2 강상형 거더의 단면변형	6
2.3 단면변형에 관한 이론	9
2.4 일반부 다이어프램 설계법	13
2.5 지점부 다이어프램 설계	17
3. 다이어프램에 관한 시방규정	18
3.1 국내의 시방규정	18
3.2 다이어프램 간격에 대한 일본의 시방규정	22
3.3 다이어프램 간격에 대한 미국의 시방규정	23
4. 지점부 다이어프램 개구부의 응력해석	24
4.1 대상교량의 제원	24
4.2 상세해석의 모델링	28
4.3 지점부 다이어프램 개구부 보강타입의 형상	32
4.4 각 보강타입별 개구부 응력도	34
4.5 해석결과 및 고찰	37
4.6 지점부 다이어프램의 개구부 보강타입 개선	38
5. 결 론	41
참고문헌	42
감사의 글	45

## 그림 목차

- 그림 2.1 일반부 다이어프램의 형식
- 그림 2.2 지점부 다이어프램 형식
- 그림 2.3 편심하중의 분배
- 그림 2.4 편심하중에 의한 단면변형
- 그림 2.5 단면변형에 따른 부가응력
- 그림 2.6 1축 대칭단면을 갖는 강상형 거더의 단면부호
- 그림 2.7 솟음의 좌표  $\Phi(s)$
- 그림 2.8 단면변형의 모드  $\Phi'(s)$
- 그림 3.1 다이어프램의 간격
- 그림 3.2 다이어프램의 개구율
- 그림 3.3 다이어프램의 응력
- 그림 3.4 라멘 형식 다이어프램의 계산모델
- 그림 3.5 직선 및 곡선교의 다이어프램 간격(일본)
- 그림 4.1 대상교량의 평면도
- 그림 4.2 대상교량의 종단면도
- 그림 4.3 중간지점부 다이어프램 단면도
- 그림 4.4 경계조건을 고려한 중간지점부의 구조적인 모델링
- 그림 4.5 대상교량의 중간지점부 상세해석모델의 형상
- 그림 4.6 중간지점부 다이어프램의 해석모델의 형상
- 그림 4.7 일반적인 개구부 보강방법(CASE 1)
- 그림 4.8 보강판을 개구부 주위에 부착하는 방법(CASE 2)
- 그림 4.9 개구부 단부에 보강판을 T형으로 부착하는 방법(CASE 3)
- 그림 4.10 일반적인 개구부 보강방법(CASE 1)의 정(+), 부(-)의 최대응력
- 그림 4.11 보강판을 개구부 주위에 부착하는 방법(CASE 2)의 정(+), 부(-)

의 최대응력

그림 4.12 개구부 단부에 보강판을 T형으로 부착하는 방법(CASE 2)의 정(+), 부(-)의 최대응력

그림 4.13 각 개구부 보강타입에 따른 정(+), 부(-)의 최대응력 결과치

그림 4.14 개구부(500×700mm) 모서리에 라운드를 두고 단부에 보강판을 T형으로 부착하는 방법(CASE 4)

그림 4.15 개구부(500×700mm) 모서리에 라운드를 두고 단부에 보강판을 T형으로 부착하는 방법(CASE 4)의 정(+), 부(-)의 최대응력

## 표 목차

표 2.1 단면변형에 따른 솟음응력 산정식(직선거더)

표 2.2 단면변형에 따른 휨응력 산정식

표 2.3 다이어프램 강도 산정식

표 4.1 중간지점부 다이어프램 및 기타부재의 단면재원

표 4.2 하중 및 하중재하

표 4.3 CASE 3과 CASE 4의 해석결과(단위 :  $\text{kg/cm}^2$ )

# **Evaluation of Reinforcement Patterns for Diaphragm Manhole in a Steel Box Bridge**

Cheol-He Youn

*Department of Construction Engineering, Graduate School of  
Industry, Pukyong National University*

## **ABSTRACT**

Domestic and foreign standard specifications for the diaphragm patterns at the supporting points of steel box bridge has been summarized. For conventionally designed reinforcement patterns of diaphragm manhole, stress behaviour in the diaphragm was analyzed by using a finite element method and an effective reinforcement pattern was presented. In case of a steel box bridge with one shoe, as the diaphragm manhole at the supporting point moves toward outside, stress was greater at the manhole corner close to the outside girder. The maximum positive stress was developed at the top-left corner and the maximum negative stress was developed at the bottom-left corner. In general, the maximum negative stress was developed at the bottom-left corner close to the outside girder. Among the reinforcement patterns of diaphragm manhole, attaching a T-type reinforcing plate to the end of diaphragm manhole was proved to be the most effective method.

# 1. 서 론

강합성 상형교(Steel Box Girder Bridge)는 도로교나 철도교의 강교량 중에서 가장 많이 설계되고 있는 형식이다. 이 교량은 바닥판과 상자형의 주형이 일체로 거동하도록 전단연결재를 사용하며, 주형인 강상자형 내부에는 좌굴 등을 방지하기 위하여 다양한 보강재를 설치함으로써 교량이 전체적으로 비틀림에 강하고 장경간의 교량으로 사용할 수 있도록 설계되고 있다<sup>1)~7)</sup>. 그러나 강합성 상형교에서는 편재하중에 의한 단면의 비틀림으로 인해 단면이 변형하게 되고 상자형 거더 단면에는 비틀림 법선응력 및 횡방향 휨응력이 상당히 큰 값으로 발생할 수 있다<sup>8)~15)</sup>. 이를 방지하기 위해 상자형 거더의 내부에 다이어프램을 설치하여 비틀림응력을 사용성 이내로 제한할 수 있다<sup>12)~16)</sup>.

강합성 상형교의 다이어프램은 일반부와 지점부의 2종류로 나눌 수 있다. 일반부 다이어프램의 주된 기능은 횡단면 변형과 거기에 따른 상·하부 플랜지나 웨이브판의 부가응력을 방지하는데 있다. 또한, 지점부 다이어프램은 일반부 다이어프램과 같은 기능외에 상부구조에 작용하는 하중을 슈(Shoe)에 전달하는 역할을 한다. 지점부 다이어프램은 상당히 복잡한 구조물이고 다이어프램내 국부좌굴이 전체구조물의 붕괴를 유발할 수 있으므로 거더 전체의 변동을 고려한 해석수행이 필요함에도 불구하고 통상 설계에서는 관용적인 설계법으로 다이어프램의 자체응력만을 검토하고 있는 실정이다<sup>17)~21)</sup>.

지점부 다이어프램에서는 유지관리를 위해 사람이 통행할 수 있도록 개구부를 설치하고 있다. 유지관리 차원에서는 맨홀이 필요하지만 구조적인 면에서는 단면손실로 인한 강성저하가 생기므로 바람직하지 않은 형태가 된다. 특히, 개구부 설치로 인한 단면의 기하학적 형상변화 및 불연속에 의해 개구부 주위에 응력집중 현상이 발생한다<sup>20)~21)</sup>. 이에 대한 대처방



안으로 개구부 주위에 보강판으로 보강해 주는데 현장여건 및 시공성에 따라 다양한 형태가 적용되고 있다. 가장 일반적인 형태는 개구부 모서리를 라운드로 처리하고 절단면에서 약간 떨어진 곳에 보강판을 사각으로 용접하는 것이다. 하지만 이 방법은 모서리부 응력집중을 크게 감소시키지 못하여 보강효과가 적다고 보고된 바 있다<sup>21)</sup>.

따라서 본 연구에서는 다이어프램의 관용적인 설계법 및 다이어프램 설계에 대한 각 국의 지방규정을 정리하고, 해석에 사용한 3가지의 개구부 보강타입을 유한요소해석(FEM)에 의해 지점부 다이어프램내의 응력분포 및 크기를 비교·검토하여, 효과적인 개구부 보강타입을 제시하고자 한다.

## 2. 다이어프램의 관용적 설계방법

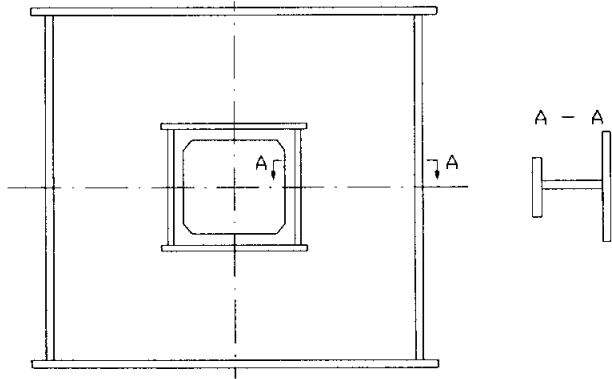
### 2.1 다이어프램의 형식

강상형교에서 하중(주로 활하중)이 거더에 편심으로 작용하거나 운하중이 직접 플랜지에 작용할 경우, 거더단면은 원래의 형상을 유지하지 못하고 단면변형을 일으킨다. 이와 같이 단면변형이 발생하면 강상형 거더는 현저한 강성저하와 국부응력의 증대를 초래하여 본래의 강상형 거더의 특성을 상실하게 된다. 따라서 이와 같은 일이 발생하지 않도록 충분한 강성을 갖는 다이어프램을 적당한 간격으로 배치할 필요가 있다<sup>21)~24)</sup>.

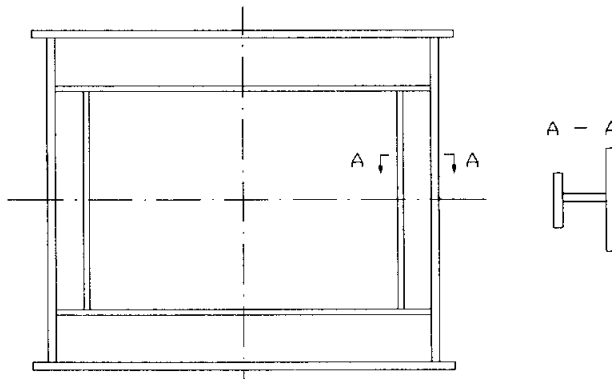
강상형교 내에서의 다이어프램의 역할을 요약하면 다음과 같다.

- ① 단면형상을 유지한다.
- ② 강성을 증대시켜 응력을 감소시킨다.
- ③ 국부 집중하중을 원활하게 거더에 전달한다.

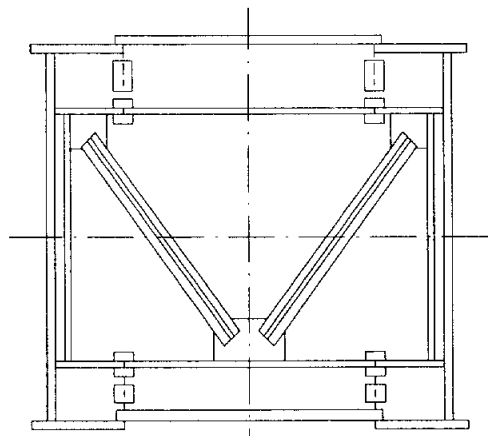
다이어프램에는 일반부 다이어프램과 지점부 다이어프램으로 구분할 수 있다. 일반부 다이어프램의 형식은 그림 2.1와 같이 총복판 형식, 라멘 형식, 수직브레이싱 형식 등이 있으며, 지점부 다이어프램의 형식은 그림 2.2에서 보는 바와 같이 슈를 1개 사용하는 경우와 2개 사용하는 경우에 따라 다이어프램의 개구부 위치가 달라진다<sup>4), 8)</sup>.



(a) 충복판 형식

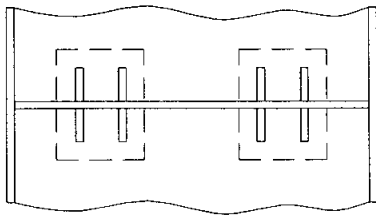
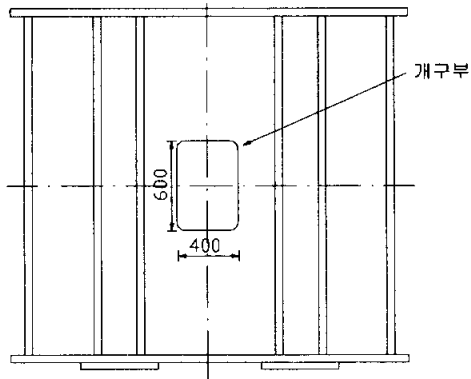


(b) 라멘 형식

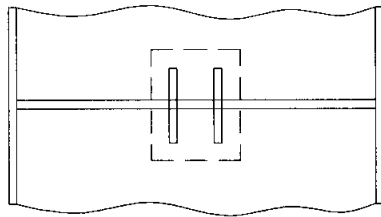
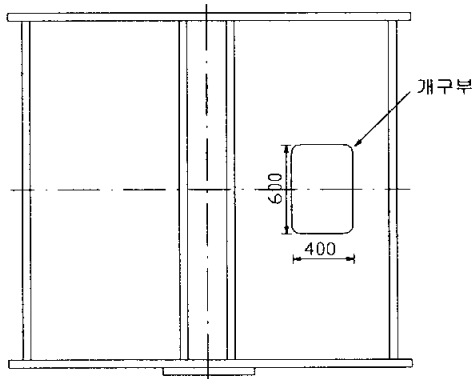


(c) 수직브레이싱 형식

그림 2.1 일반부 다이어프램의 형식



(a) 슈를 2개 사용하는 경우



(b) 슈를 1개 사용하는 경우

그림 2.2 지점부 다이어프램 형식

## 2.2 강상형 거더의 단면변형

강상형 거더에 편심하중이 작용한 경우 그림 2.3에 나타낸 휨, 비틀림과 엇갈림하중으로 분해하여 그 변동을 해석할 수 있다. 단면변형은 그림 2.3 (a)의 휨하중에 의해서는 그림 2.4 (a)와 같이 단면이 변형되고, 그림 2.3 (c)의 엇갈림하중에 의해서는 그림 2.4 (b)와 같이 변형하게 된다. 그리고 그림 2.4 (b)의 단면변형에 따른 강상형 거더단면에는 그림 2.5에 나타낸 교축방향 솟음응력(Distortional Warping Stress,  $\sigma_{Dw}$ )과 횡방향 휨응력(Distortional Bending Stress,  $\sigma_{DB}$ )이 생긴다. 따라서, 일반부 다이어프램은 이러한 단면 변형과 밀접한 관련을 가지고 설치되는 부재이다. 즉, 일반부 다이어프램을 설치하게 되면 그림 2.4 (b)와 같은 단면변형이 방지되고, 그에 따라 그림 2.5와 같은 응력들이 소실하게된다<sup>8), 21)~24)</sup>.

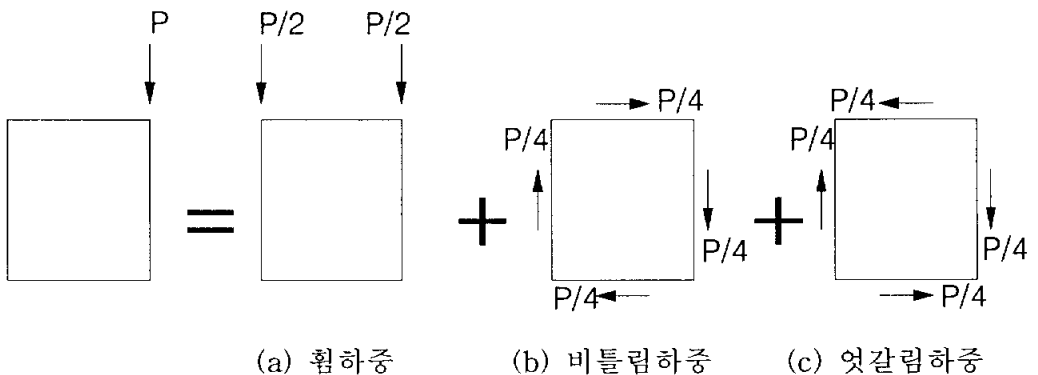
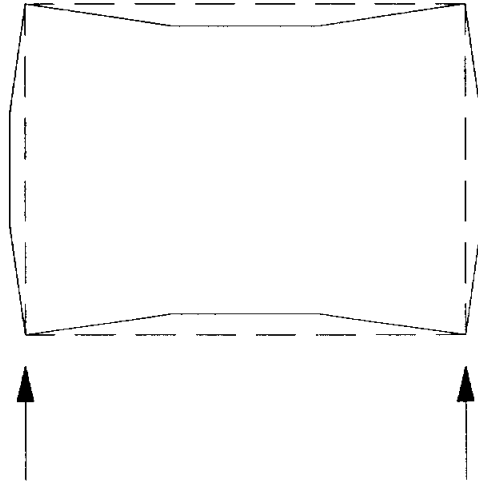
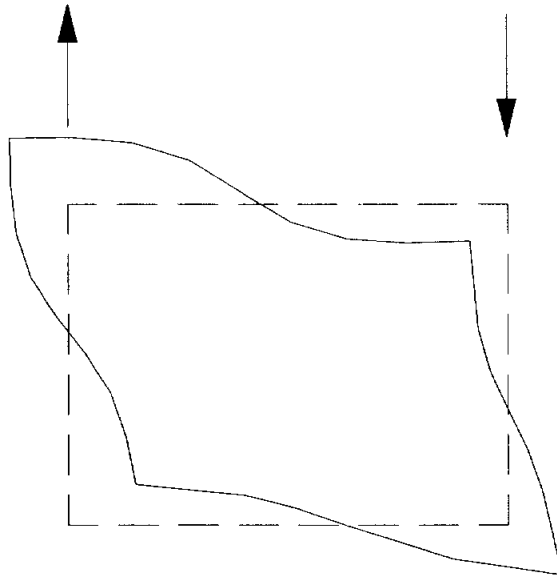


그림 2.3 편심하중의 분배

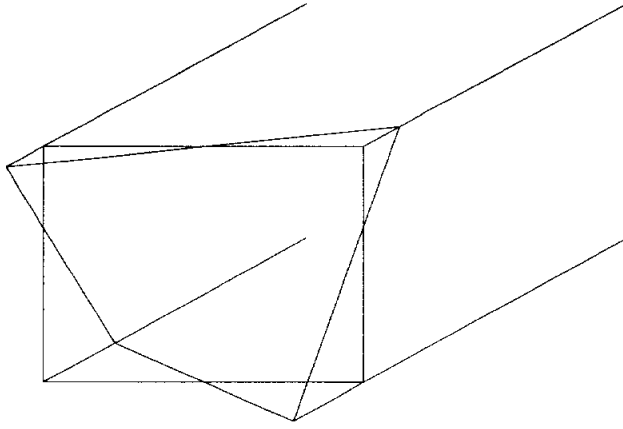


(a) 휨하중에 의한 단면변형

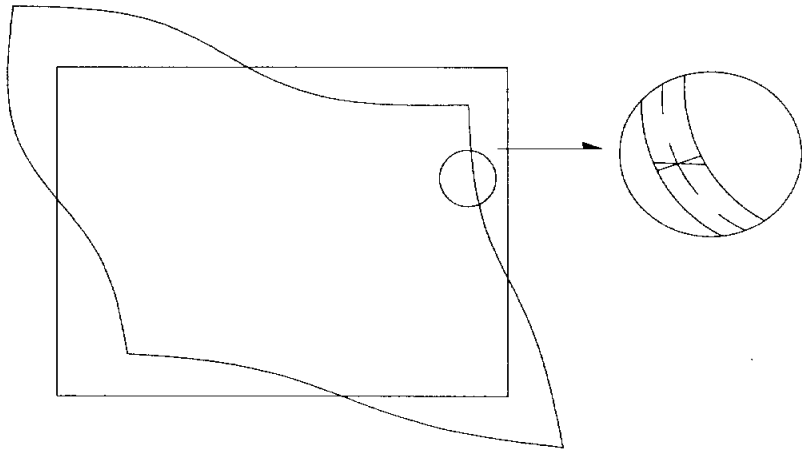


(b) 엇갈림하중에 의한 단면변형

그림 2.4 편심하중에 의한 단면변형



(a) 솟음응력



(b) 휨응력

그림 2.5 단면변형에 따른 부가응력

### 2.3 단면변형에 관한 이론

1축 대칭단면을 갖는 강상형 거더에서 단면변형에 관한 이론을 전개할 경우에는 그림 2.6에 나타낸 바와 같이 단면의 수직방향을  $z$ 좌표, 단면의 주축방향을  $x, y$ 좌표, 단면 윤곽선에 따라  $s$ 좌표로 정의한다. 이때 다음과 같이 가정하여 이론을 전개한다.

- ① 단면 내 축방향 변위는 평판 내에서의 선형변화, 축방향 신장  $x$ ,  $y$ 방향 휨과 솟음등의 4종류 모드의 1차 결합으로 나타낸다<sup>1), 9), 21)~24)</sup>.
- ② 솟음의 모드  $\phi$ 를 다른 3가지의 모드와 상관되지 않도록 선정한다.
- ③ 단면변형에 따라 평판에 생기는 전단변형은 무시한다.

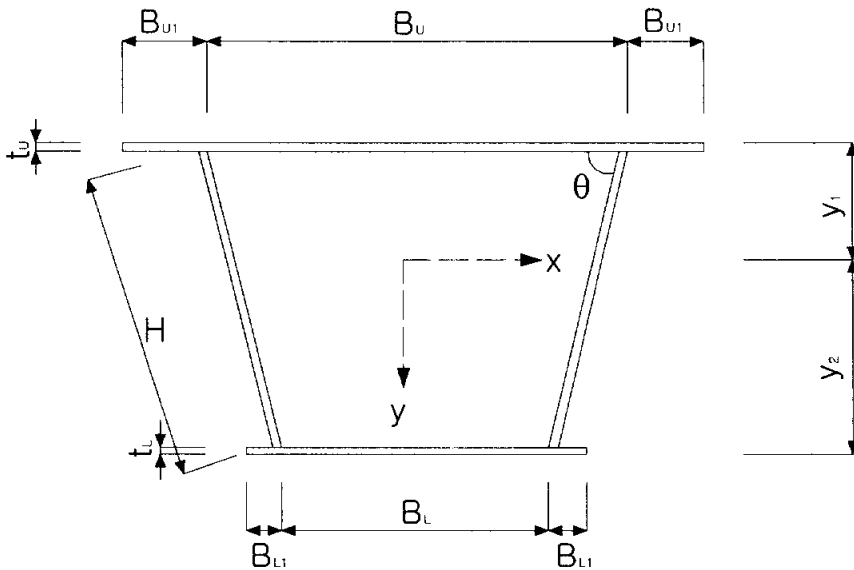


그림 2.6 1축 대칭단면을 갖는 강상형 거더의 단면부호

우선 가정 ②에서 솟음모드  $\phi$ 는 그림 2.7에 나타낸 바와 같고, 부호  $\alpha_1, \alpha_2$ 는 식 (2.1)과 같다.



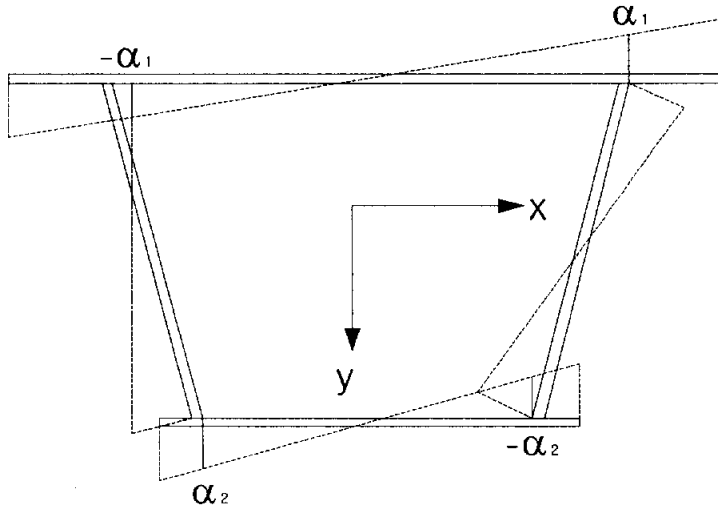


그림 2.7 솟음의 좌표  $\phi$ (s)

$$\alpha_1 = \frac{e}{e+f} \cdot \frac{B_U + B_L}{4} \cdot H \quad \dots \dots \dots (2.1 a)$$

$$\alpha_2 = \frac{f}{e+f} \cdot \frac{B_U + B_L}{4} \cdot H \quad \dots \dots \dots (2.1 b)$$

여기서,  $e$ 와  $f$ 는 식 (2.2)로 나타낼 수 있다.

$$e = \frac{I_{Ly}}{B_L} + \frac{B_U + 2 B_L}{12} \cdot F_h \quad \dots \dots \dots (2.2 a)$$

$$f = \frac{I_{Uy}}{B_U} + \frac{B_U + 2 B_L}{12} \cdot F_h \quad \dots \dots \dots (2.2 b)$$

식 (2.2)에서  $I_{Uy}$ ,  $I_{Ly}$ 는 각각 상·하부 플랜지(리브를 포함)의  $y$ 축에 대한 단면 2차모멘트,  $F_h$ 는 보강재를 포함한 한쪽 복부판의 총단면적이다.

한편, 가정 ③에서 솟음변위  $u$ 는 단면변형을  $V$ 를 사용하여 식 (2.3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$u(z,s) = \Phi(s) \cdot V(z) \quad \dots \dots \dots (2.3)$$

여기서 횡방향 변위(단면변형)  $v$ 는 식 (2.4)와 같다.

$$v(z,s) = -\Phi'(s) \cdot V(z) \quad \dots \dots \dots (2.4)$$

단면변형의 모드  $\Phi'$ 는 그림 2.8과 같으며, 그림에서의 기호  $a$ ,  $b$ ,  $c$ 는 식 (2.5)와 같다.

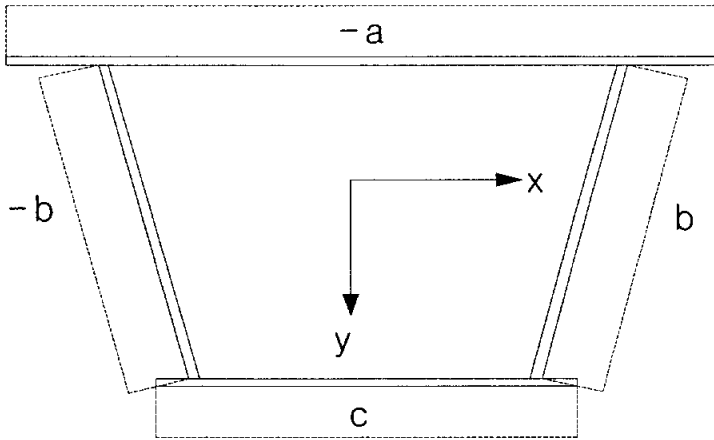


그림 2.8 단면변형의 모드  $\Phi'(s)$

$$a = \frac{2 a_1}{B_U}, \quad b = \frac{a_1 + a_2}{H}, \quad c = \frac{2 a_2}{B_L} \quad \dots \dots \dots (2.5)$$

축방향 변위와 횡방향 변위  $v$ 가 식(2.3), 식 (2.4)와 같이 정의되면 최소 포텐셜에너지의 원리에서 식 (2.6)과 같은 기초방정식을 구할 수 있다.

$$E I_{DW} V^{IIII} - P_v = 0 \quad \dots \dots \dots (2.6)$$

여기서  $E$ 는 영계수,  $I_{DW}$ 는 단면변형에 관한 솟음정수,  $P_v$ 는 엇갈림 하중이며,  $I_{DW}$ ,  $P_v$ 는 식 (2.7), 식 (2.8)과 같다.

$$I_{DW} = \int_F \Phi^2 dF \quad \dots \dots \dots (2.7)$$

$$P_v = - \int_s q \Phi ds \quad \dots \dots \dots (2.8)$$

식 (2.7), 식 (2.8)에서의 적분은 각각 총단면적과 전체 윤곽선에 관한 것이며,  $q$ 는  $s$ 방향의 하중강도이다. 이러한 관계를 좀 더 구체적으로 나타내면 식 (2.9)와 같다.

$$I_{DW} = \frac{1}{3} [ \alpha_1^2 F_U ( 1 + \frac{2B_{U1}}{B_U} )^2 + \alpha_2^2 F_L ( 1 + \frac{2B_{L1}}{B_L} )^2 + 2F_h ( \alpha_1^2 - \alpha_1 \alpha_2 + \alpha_2^2 ) ] \quad (2.9)$$

여기서  $F_U, F_L$ 은 리브를 포함한 상·하부 플랜지의 총단면적이다. 또 복부판 바로 위에 작용하는 하중강도  $q$ 에 대한 수직방향의 역대칭 하중  $P$ 를 고려하면 엇갈림하중  $P_v$ 는 식 (2.10)으로 나타낼 수 있다.

$$P_v = \frac{2P}{H} \cdot \left( \frac{\alpha_1 + \alpha_2}{\sin \theta} - \frac{2\alpha_1}{\tan \theta} \right) \dots \dots \dots (2.10)$$

특히, 중복식 단면이 아닌 직사각형 단면의 경우에는 식 (2.11)과 같이 나타낼 수 있다.

$$P_v = PB_U \dots \dots \dots (2.11)$$

#### 2.4 일반부 다이어프램 설계법

단면변형에 따른 솟음응력, 휨응력 및 다이어프램 강도를 산정하는 근사식을 제안하고 있는 연구에는 Merrison 보고와 坂井·長井의 연구를 들 수 있다<sup>14), 23)~25)</sup>. 이들에 관해서는 표 2.1, 표 2.2 및 표 2.3에 나타나있다.

표 2.1 단면변형에 따른 솟음응력 산정식(직선거더)

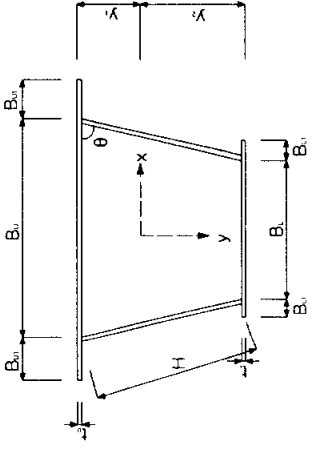
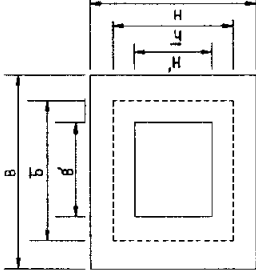
구 분	하 중	솟음응력 산정식	비 고
Merrison	등분포하중	$\beta L_D < 1.6$ $\sigma_{DW} = \frac{T_U \bar{y} L_D^2}{4.5 B_U I_x}$	 <p> <math>I_x</math> : 거더의 단면 2차모멘트  <math>L_D</math> : 다이어프램 간격  <math>T_U = bB_U</math>  <math>T_c = pB_U</math> </p>
		$\beta L_D \geq 1.6$ $\sigma_{DW} = 0.6 \frac{T_U \bar{y} L_D^2}{(\beta L_D)^2 B_U I_x}$	
	집중하중	$\beta L_D \leq 1.0$ $\sigma_{DW} = \frac{T_c \bar{y} L_D}{B_U I_x}$	
		$\beta L_D > 1.0$ $\sigma_{DW} = \frac{T_c \bar{y} L_D}{(\beta L_D) B_U I_x}$	
坂井・長井	등분포하중	$\sigma_{DW} = \frac{1}{2} \frac{T_U \bar{y} L_D^2}{B_U I_x} \left( 1 - \frac{2 \bar{y}_1}{B_U \tan \theta} \right)$	
	집중하중	$\sigma_{DW} = \frac{1}{2} \frac{T_c \bar{y} L_D}{B_U I_x} \left( 1 - \frac{2 \bar{y}_1}{B_U \tan \theta} \right)$	

표 2.2 단면변형에 따른 휨응력 산정식

구 분	하 중	휨응력 산정식	비 고
Merrison	등분포하중	$\sigma_{DB} = \frac{T_U F_D}{2B_U Z} \left( \frac{\beta L_D}{2.2} \right)^{3.7}$	Z : 횡방향재 포함한 판의 단면계수 (스펜방향 단위 길이당) $F_D = B_L \frac{V_D}{2}$ (하부플랜지와 복부판 하부의 우각부) $= \frac{B_U}{2} \left( \frac{B_L}{B_U + B_L} - \frac{V_D}{2} \right)$ (상부플랜지와 복부판 상부의 우각부)
		$\sigma_{DB} = \frac{T_U F_D}{B_U Z}$	
	집중하중	$\sigma_{DB} = \frac{T_c F_D}{15.5 B_U L_D Z} (\beta L_D)^{3.9}$	
		$\sigma_{DB} = \frac{T_c F_D}{2 B_U L_D Z} (\beta L_D)$	
坂井・長井		$\sigma_{DB}^U = \frac{6E}{t_h^2} \cdot \frac{B/t_L^3 + 3H/t_h}{C} \cdot V$ $\sigma_{DB}^L = \frac{6E}{t_h^2} \cdot \frac{B/t_U^3 + 3H/t_h}{C} \cdot V$ $C = \left( \frac{B}{t_U^3} + \frac{2H}{t_h} \right) \left( \frac{B}{t_L^3} + \frac{2H}{t_h} \right) - \left( \frac{H}{t_h} \right)^2$	$V = 0.0359 p_v L_D^4 / EI_{DW}$ (등분포하중) $= 0.0352 P_v L_D^3 / EI_{DW}$ (집중하중) $p_v = pB$ $P_v = PB$ $t_U$ : 상부플랜지 두께 $t_L$ : 하부플랜지 두께 $t_h$ : 복부판 두께

표 2.3 다이어프램 강도 산정식

다이어프램 형식	다이어프램 강도 산정식	
충북판 형식	$K = 4GA t_D$	$G : \text{전단 탄성계수}, A = \frac{B_U + B_L}{2} \cdot D, t_D : \text{다이어프램 두께}, D : \text{다이어프램 높이}$
라멘 형식	$K = \beta \frac{48E \left( \frac{\bar{b}}{I_U} + \frac{\bar{b}}{I_L} + 6 \frac{\bar{h}}{I_h} \right)}{3 \frac{b^2}{I_h^2} + 2 \frac{\bar{b}h}{I_U I_h} + 2 \frac{\bar{b}h}{I_L I_h} + \frac{\bar{b}^2}{I_U I_L}}$	 <p> <math>I_U</math> : 라멘 상부플랜지쪽 부재의 단면2차모멘트  <math>I_L</math> : 라멘 하부플랜지쪽 부재의 단면2차모멘트  <math>I_h</math> : 라멘 북부판쪽 부재의 단면2차모멘트                      유효폭은 주형 판두께의 24배로 한다.                 </p>
수직브레이싱 형식 (V형)	$K = 2E \frac{A_b}{L_b^3} (BH)^2$	$E$ : 영계수, $B$ : 북부판 간격 $A_b$ : 브레이싱 단면적 $H$ : 북부판 높이 $L_b$ : 브레이싱 길이

## 2.5 지점부 다이어프램 설계

강상형 거더교의 슈 위의 단면에는 일반부 다이어프램과 마찬가지로 강상형 거더단면의 형상을 유지하고 강상형 거더에 작용하는 하중을 슈에 전달시키기 위해 다이어프램이 설치된다. 지점부에서의 부재는 일반적으로 다이어프램과 이를 보강하는 보강재 및 복부판의 일부를 포함하는 기둥재로서 설계되지만, 지점부 다이어프램은 응력전달기구가 복잡하고 합리적인 설계법이 확립되어 있지 않으므로 근사적으로 지압응력, 연직방향의 응력 및 수평방향의 응력에 대해 안정성을 검토하고 있는 실정이다. 그러나 지점부 다이어프램은 교량의 선형 및 슈의 배치타입에 따라 다이어프램에 발생하는 응력의 차이가 있으므로 다음과 같은 사항들을 고려하여 설계를 하여야 한다<sup>21)~24)</sup>.

### 1) 다이어프램 강도

지점부 다이어프램은 일반부 다이어프램의 강성의 상관관계에 따라 강상형 거더의 단면변형 변동에 영향을 미친다. 따라서 강상형 거더의 단면변형으로 발생하는 솟음모멘트에 의한 축방향 응력의 양적인 검토가 필요하며 일반부 다이어프램의 강성을 고려한 지점부 다이어프램의 강성검토도 필요하다.

### 2) 다이어프램 자체의 응력분포 상태

지점부 다이어프램에서는 슈에서 큰 집중력을 받으므로 다이어프램판 내에서는 큰 압축응력이나 인장응력이 발생한다. 따라서, 지점부 다이어프램에 발생하는 응력분포 상태를 해석하여 효과적인 보강방법을 강구하여판의 안정성을 확보하도록 설계한다.



### 3. 다이어프램에 관한 시방규정

#### 3.1 국내의 시방규정

##### 1) 다이어프램 간격

강상형 거더의 단면형상을 유지하기 위해서는 적당한 간격으로 다이어프램을 설치하여야 한다. 또한 크로스빔 및 브래킷 설치부에는 작용력의 전달을 원활하게 하기 위해 다이어프램을 설치한다<sup>1), 24), 26)</sup>.

강상형 직선교에서 다이어프램의 실용공식으로 식 (3.1)과 같이 규정하고 있다.

$$L_D < 6.0 m \quad (L_U \leq 50 m) \quad \dots \dots \dots (3.1 a)$$

$$L_D \leq (0.14 L_U - 1) m \quad (L_U \geq 50 m) \quad \dots \dots \dots (3.1 b)$$

여기서,  $L_D$  : 다이어프램의 간격

$L_U$  : 등분포하중에 대한 등가지간장

이것은 그림 3.1의 실선아래영역이 된다. 단, 이 한계는 도로교에 있어서 생각할 수 있는 편심 활하중하에서 강상형 단면의 과대한 변형을 방지하는 것을 목적으로 하며, 바닥틀과의 관계나 제작, 운반, 가설의 상황에서는  $L_D$ 가 12m를 초과하면 2차적인 다이어프램을 중간에 설치하는 것도 고려할 수 있다.

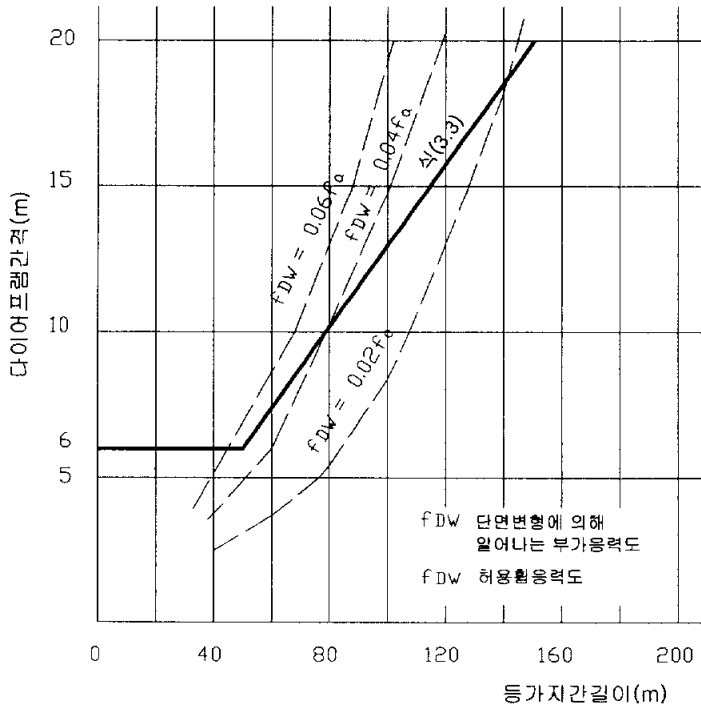


그림 3.1 다이어프램의 간격

2) 다이어프램 강성  $K$

다이어프램의 강성  $K$ 는 식 (3.2)을 만족하여야 한다.

$$K \geq 20 \frac{EI_{DW}}{L_D^3} \dots \dots \dots (3.2)$$

여기서,  $K$  : 다이어프램 강성

$L_D$  : 다이어프램 간격

$I_{DW}$  : 강상형 거더의 단면형상에 대한 정수

$E$  : 강재의 탄성계수 ( $= 2.0 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$ )

단면형상에 대한 정수  $I_{DW}$ 는 앞에서 제시한 식 (2.9)와 같으며 이를 계산하기 위해 식 (2.1)과 식 (2.2)를 사용한다.

### 3) 다이어프램의 개구율 $\rho$

그림 3.2와 같은 다이어프램에서 식 (3.3)과 같이 다이어프램의 전체단면적에 대한 개구부가 차지하는 면적비에 따라 그림 2.1에서 보여준 중복판 형식과 라멘 형식으로 구분한다.

$$\rho = \sqrt{\frac{A'}{A}} = \sqrt{\frac{bh}{BH}} \quad \dots \dots \dots (3.3)$$

$\rho \leq 0.4$  이면 중복판 형식으로 고려하고,  $0.4 < \rho < 0.8$ 의 범위에서는 중복판 형식과 라멘 형식의 중간적인 성질을 나타내지만 중복판 형식을 적용함을 원칙으로 한다.  $\rho > 0.8$ 에서는 라멘 형식을 적용한다.

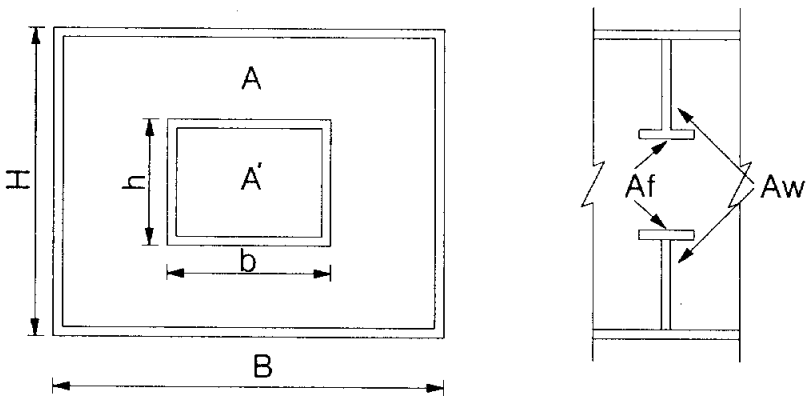


그림 3.2 다이어프램의 개구율

4) 일반부 다이어프램의 응력검토

(1) 중복판 형식의 다이어프램 응력검토

중복판 형식의 경우는 식 (3.4)로 나타낸 전단응력에 대해 검토한다.

$$\tau_U = \frac{B_L}{B_U} \cdot \frac{T_D}{2At_D} \quad \dots \dots \dots (3.4 a)$$

$$\tau_h = \frac{T_D}{2At_D} \quad \dots \dots \dots (3.4 b)$$

$$\tau_L = \frac{B_U}{B_L} \cdot \frac{T_D}{2At_D} \quad \dots \dots \dots (3.4 c)$$

여기서,  $\tau_U$ ,  $\tau_L$ ,  $\tau_h$  : 다이어프램 상·하연 및 측연의 전단응력

$B_U$ ,  $B_L$  : 상·하플랜지상에서 복부판사이의 거리

$t_D$ ,  $A$  : 다이어프램 두께 및 단면적

$T_D$  : 다이어프램에 작용하는 마찰모멘트

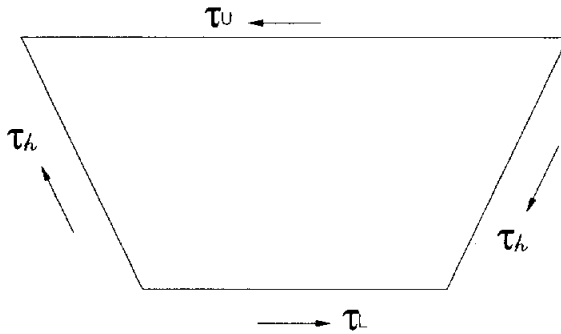


그림 3.3 다이어프램의 응력

(2) 라멘 형식의 다이어프램 응력검토

라멘 형식의 다이어프램 응력은 그림 3.4에 나타낸 것과 같은 계산모델로 검토한다.

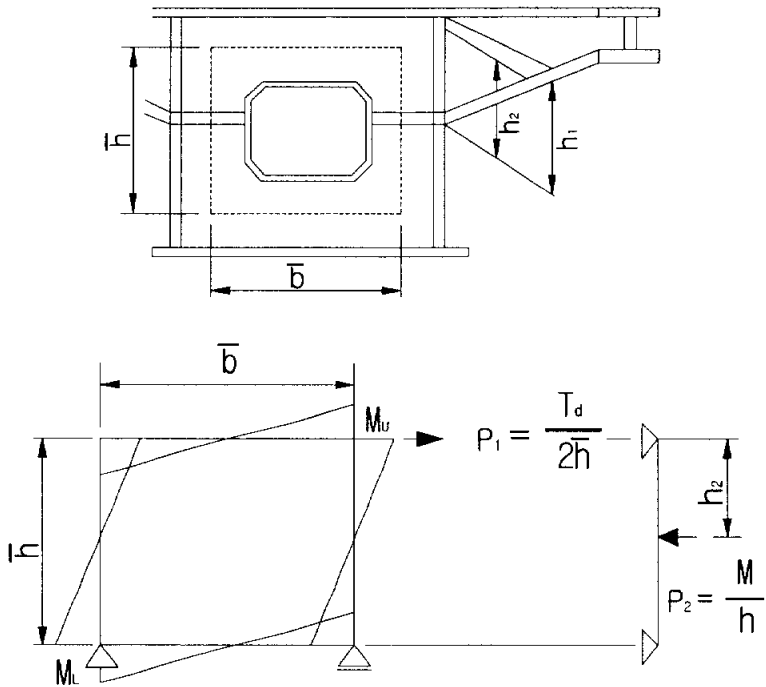


그림 3.4 라멘 형식 다이어프램의 계산모델

$$M_u = \frac{T_d}{4} \frac{\bar{b}/I_u + 3\bar{h}/I_h}{\bar{b}/I_u + \bar{b}/I_h + 6\bar{h}/I_h} \dots \dots \dots (3.5 a)$$

$$M_l = \frac{T_d}{4} \frac{\bar{b}I_u + 3\bar{h}I_h}{\bar{b}/I_u + \bar{b}/I_h + 6\bar{h}/I_h} \dots \dots \dots (3.5 b)$$

여기서,  $M$  : 브래킷에서 작용하는 모멘트

### 3.2 다이어프램 간격에 대한 일본의 시방규정

일본의 한신 고속도로의 시방서에 의하면 뒤틀림을 제한하기 위해 뒤틀림 솟음 응력비를 5%이내, 횡방향 휨응력을  $50 \text{ kg/cm}^2$  이내로 제한하여 그림 3.5과 같이 직선 및 곡선교의 다이어프램의 간격을 제시하고 있다.

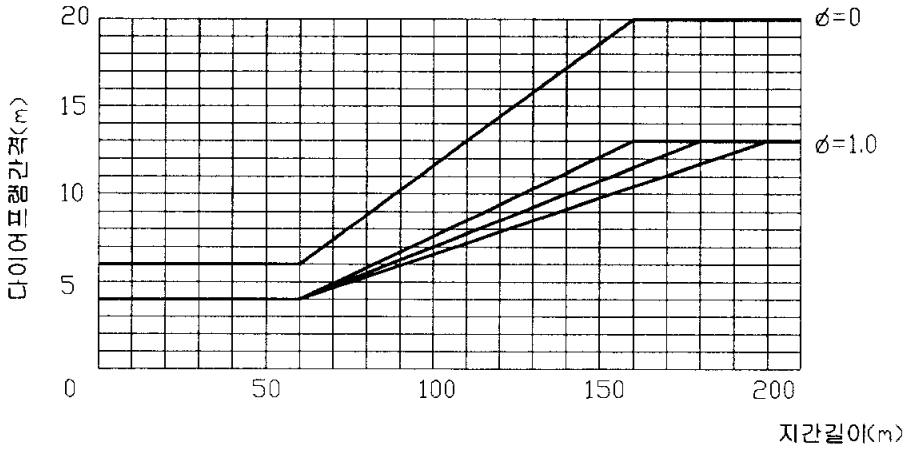


그림 3.5 직선 및 곡선교의 다이어프램 간격(일본)

### 3.3 다이어프램 간격에 대한 미국의 시방규정

AASHTO에서는 뒤틀림 솟음 응력과 휨응력의 비를 10%이내, 횡방향 휨응력을  $1400 \text{ kg/cm}^2$ 이내로 제한하여 다이어프램 간격을 식 (3.6)으로 제시하고 있다.

$$S \leq L \left( \frac{R}{200L - 7500} \right)^{1/2} \leq 25 \quad \dots \dots \dots (3.6)$$

그리고 일본과 달리 미국에서는 X자형 브레이싱 형태의 다이어프램을 사용하는데 브레이싱의 단면적을 식 (3.7)과 같이 제한하고 있다.

$$A_b \geq 75 \frac{S_b}{d^2} \frac{t_w^3}{(d+b)} \quad \dots \dots \dots (3.7)$$

여기서 S는 다이어프램 간격, L은 지간장, R은 곡률반경, b와 d는 각각 단면의 폭과 높이,  $t_w$ 는 복부판의 두께를 나타낸다.

## 4. 지점부 다이어프램 개구부의 응력해석

### 4.1 대상교량의 제원

지점부 다이어프램의 효과적인 개구부 보강타입을 연구하기 위한 대상 교량은 2경간 연속 강상형 합성교 형식의 철도교이다<sup>26)~28)</sup>. 그러므로 대상 교량은 전체하중에서 활하중이 차지하는 비율이 높다. 또한, 1슈교량으로서 다이어프램 개구부가 편측에 위치해 있으므로 개구부 주위에 발생하는 응력이 다소 높게 나타날 것으로 예상되며 다이어프램의 안정성을 확보하기 위해서는 개구부 주위에 발생하는 응력을 효과적으로 제어할 수 있는 개구부 보강이 이루어져야 한다. 따라서 지점부 다이어프램의 개구부에 대한 보강타입을 비교·검토하므로써 효과적인 보강타입을 제시하고자 한다  
1), 21)~24)

#### 1) 교량의 제원

- ① 구조형식 : 강상형 합성교(3런)
- ② 지간구성 : 2경간 ( $L = 38.67 + 38.67 = 77.34\text{m}$ )
- ③ 평면선형 : 곡선( $R = 200\text{m}$ )
- ③ 교 폭 : 18.114m
- ④ 슈 배 치 : 1열(단지점부, 중간지점부)
- ⑤ 다이어프램 :  $t=16\text{mm}$ (단지점부),  $t=26\text{mm}$ (중간지점부)  
 $t=12\text{mm}$ (일반부)
- ⑥ 사용강재 : SM490A, B, C

#### 2) 교량의 형상

그림 4.1과 그림 4.2에 대상교량의 평면도와 종단면도를 나타내며, 그림 4.3에 해석에 사용되는 중간지점부의 다이어프램 단면도를 나타낸다.

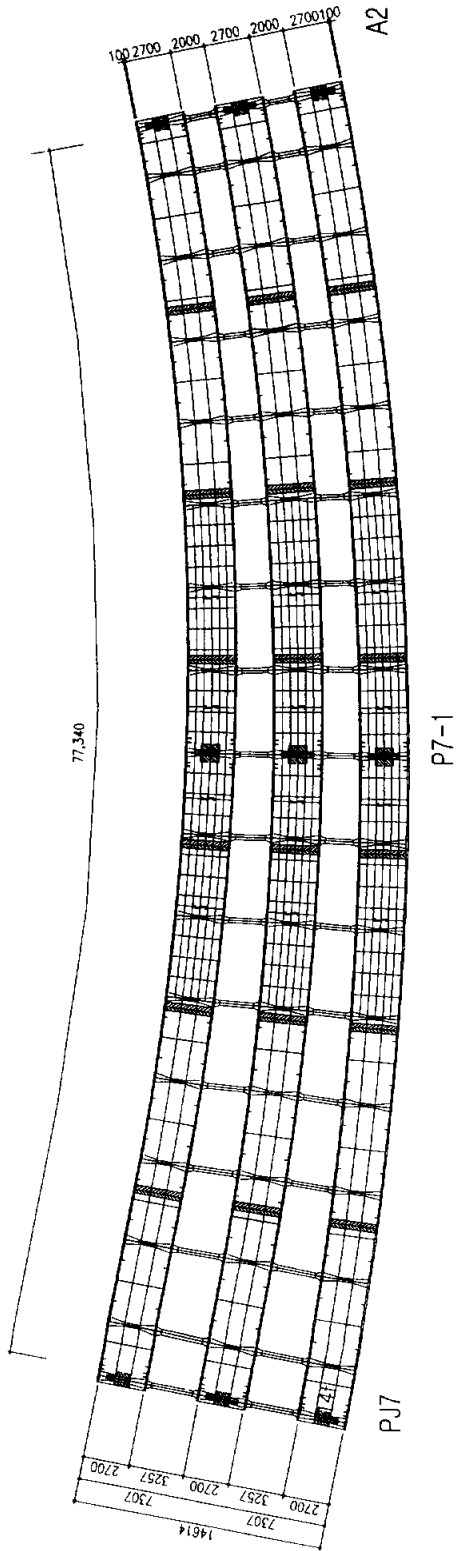


그림 4.1 대상교량의 평면도



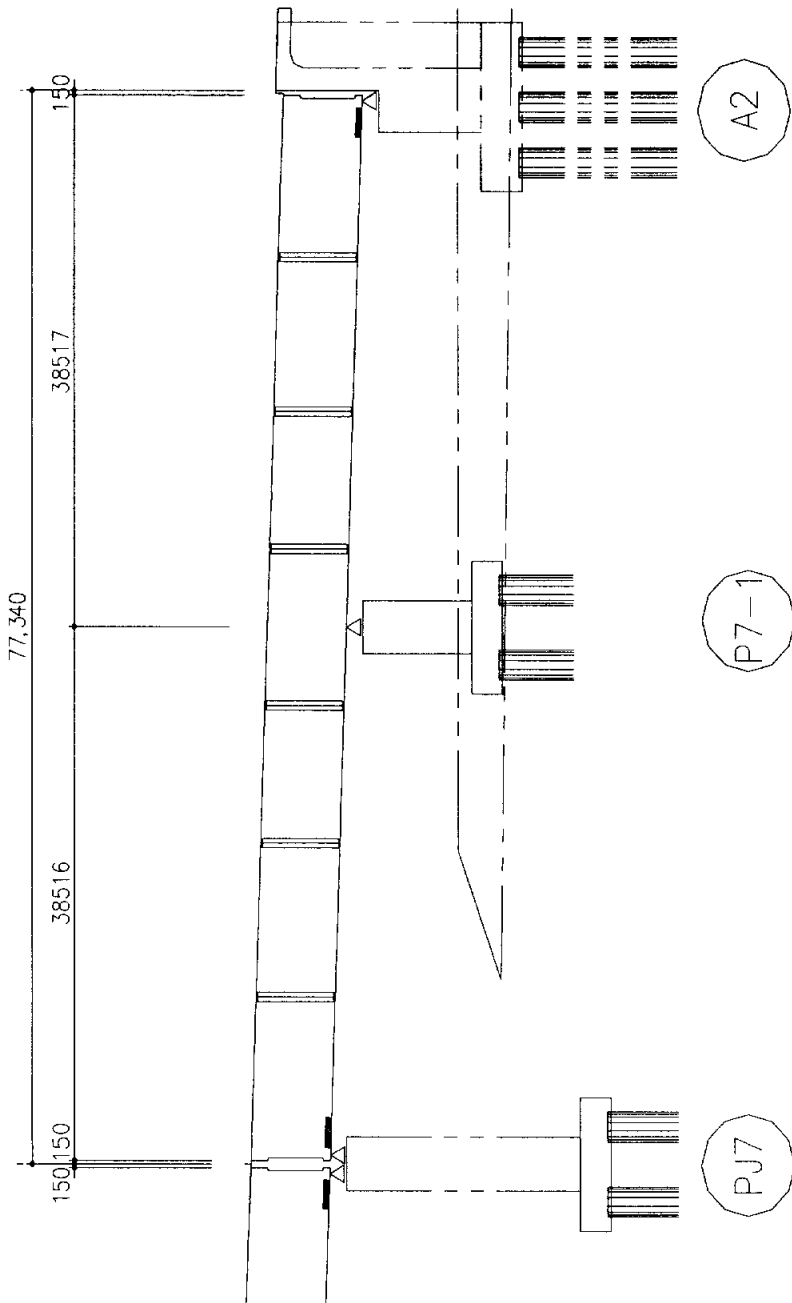


그림 4.2 대성교량의 종단면도

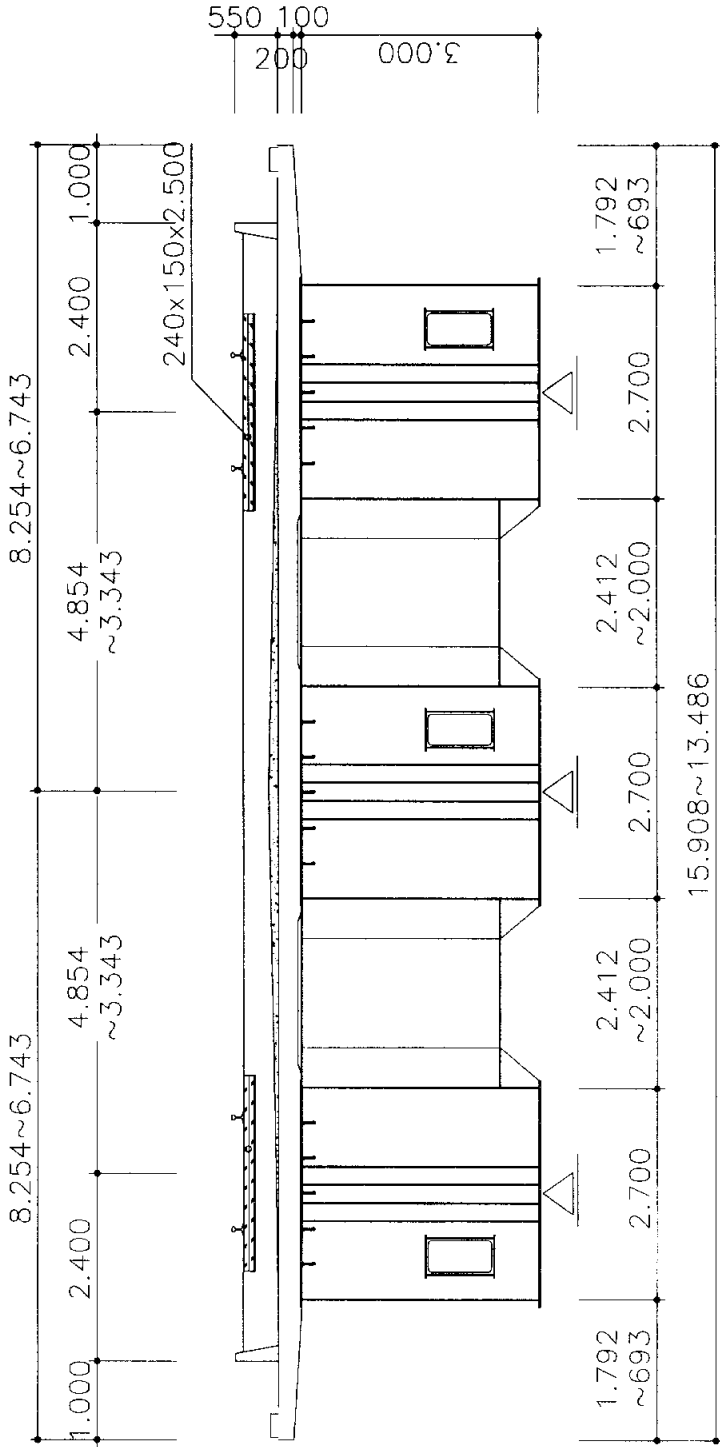


그림 4.3 중간지점부 다이어포램 단면도

## 4.2 상세해석의 모델링

일반적으로 다이어프램 개구부의 응력을 해석하기 위하여서는 먼저 전체 해석을 수행한 후, 구조물의 응력집중 부분에 대해 상세해석을 수행하게 되는데, 이때 보통 다음과 같은 2가지 방법이 주로 사용된다<sup>21)~23)</sup>.

방법 1. 상세모델을 전체 모델에 삽입하여 해석

방법 2. 전체모델의 변위결과를 상세모델에 강제변위로 입력하여 해석

본 연구에서는 “방법 2. 전체모델의 변위결과를 상세모델에 강제변위로 입력하여 해석”하는 방법을 이용하여 다이어프램 개구부의 효과적인 보강 타입을 제시하도록 한다.

### 1) 해석모델의 단면제원 및 경계조건

구조해석에는 범용적인 유한요소법에 의한 응력해석 프로그램인 SAP2000을 사용하였으며, 해석모델은 표 4.1과 같은 단면제원을 가진 대상교량의 중간지점부 다이어프램을 중심으로 하여 양쪽 5m 구간과 2개의 거더를 셀요소로 3차원 모델링하였다. 경계조건은 교량받침인 Sole Plate 위치를 고정으로 하고 복부판(web)과 상·하플랜지(flange)의 끝점들과 가상부재를 타이(tie)로 연결하고, 작용하중은 전체구조계 해석수행으로 얻어진 표 4.2와 같은  $UX$ ,  $UY$ ,  $UZ$ ,  $RX$ ,  $RY$ ,  $RZ$ 의 변위를 양단의 단면도심에 있는 가상의 부재에다 변위하중으로 재하하여 해석을 실시하였다. 해석에 사용되는 중간지점부에 대한 구조적인 모델링은 그림 4.4와 같다.

표 4.1 중간지점부 다이어프램 및 기타부재의 단면제원

구분	플랜지		다이어프램	복부판	지점부 수직보강재	리브		보강재			크로스빔		
	상	하				종	횡	수직	수평	복부판	플랜지	보강재	
두께 (mm)	26	30	26	16	26	14	12	14	10	10	12	10	

표 4.2 하중 및 하중재하

변위 위치	UX (mm)	UY (mm)	UZ (mm)	RX (Radian)	RY (Radian)	RZ (Radian)	비	고
JOINT34111	0	0	-0.004386	0.000435	-0.001197	0		
JOINT34155	0	0	-0.004031	-0.000193	-0.001225	0		
JOINT134111	0	0	-0.003198	-0.000353	-0.000967	0		
JOINT134155	0	0	-0.003244	-0.000191	0.001027	0		

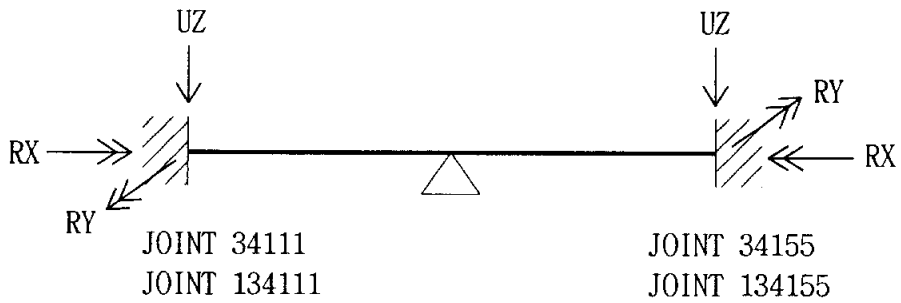
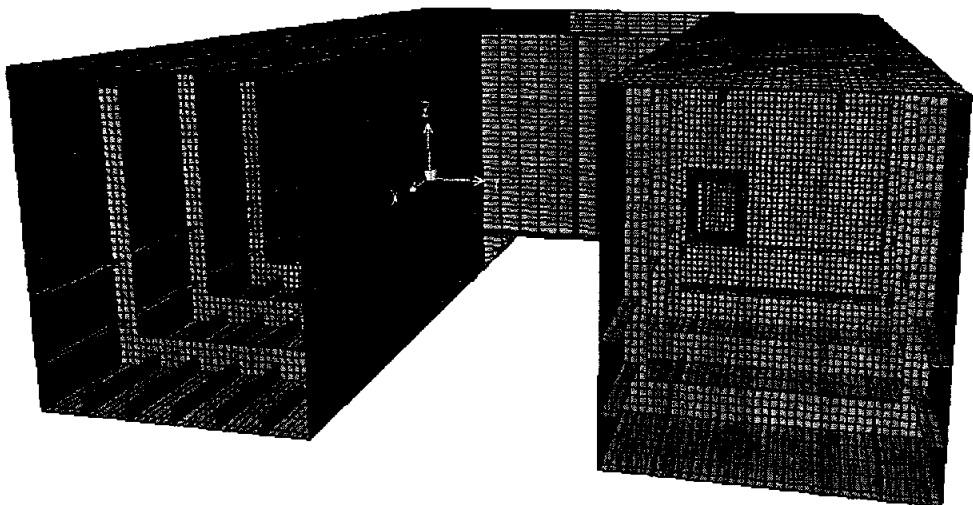


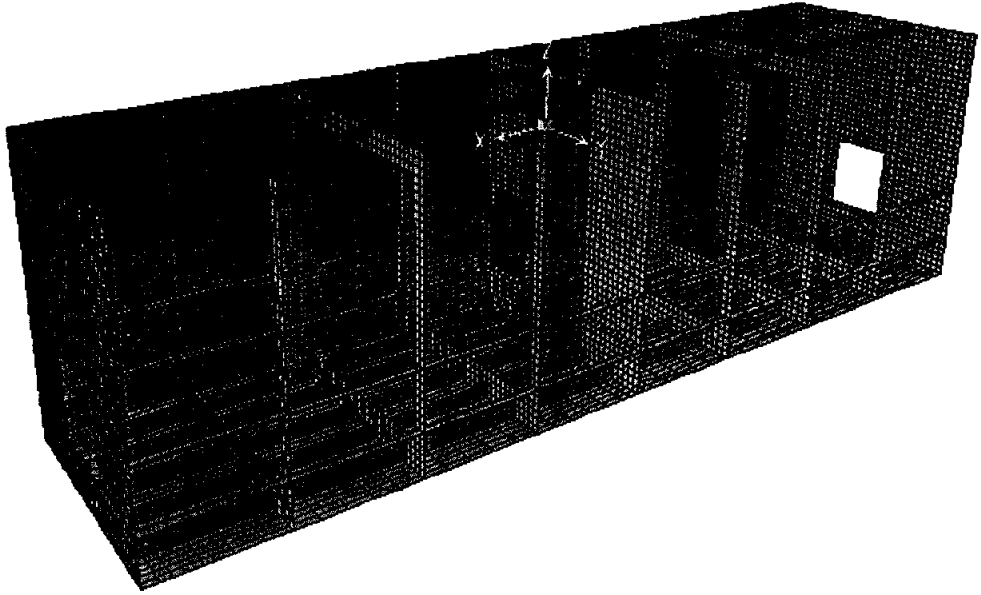
그림 4.4 경계조건을 고려한 중간지점부의 구조적인 모델링

2) 중간지점부의 상세해석 모델링

SAP2000을 이용하여 중간지점부 및 해석대상인 중간지점부 다이어프램을 모델링한 것은 그림 4.5, 그림 4.6과 같다.



(a) 대상교량의 중간지점부 내부모습



(b) 대상교량의 중간지점부 측면모습

그림 4.5 대상교량의 중간지점부 상세해석모델의 형상

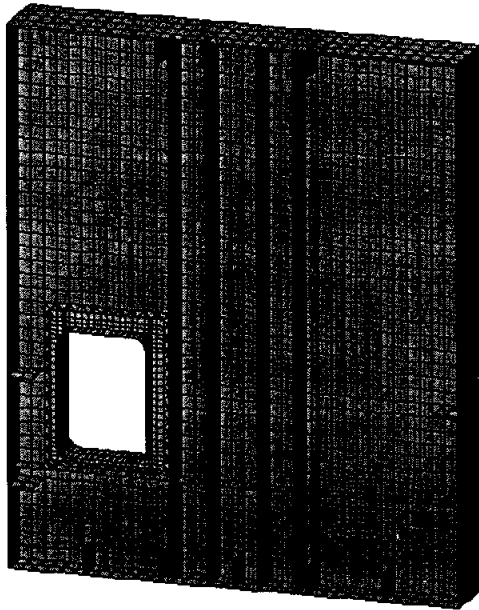


그림 4.6 중간지점부 다이어프램의 해석모델의 형상

### 4.3 지점부 다이어프램 개구부 보강타입의 형상

대상교량의 중간지점부 다이어프램에 발생하는 응력들을 효과적으로 제어하고자 다이어프램의 개구부(400×800) 보강타입을 3가지로 가정하여 다이어프램의 개구부 주위에 발생하는 응력들을 개구부 보강타입별로 비교·검토하였다. 다이어프램 보강타입은 ① 일반적인 개구부 보강방법(CASE 1), ② 보강판을 개구부 주위에 부착하는 방법(CASE 2), ③ 개구부 단부에 보강판을 T형으로 부착하는 방법(CASE 3)에 대해서 검토하였다<sup>1), 8), 21)~24)</sup>.

- CASE 1 : 폭 100mm·두께 12mm의 보강재를 개구부 위치에서 15mm이격하고 라운드(R=100)를 고려하여 다이어프램 양면에 T형태로 보강한 경우
- CASE 2 : 폭 200mm·두께 12mm의 보강재를 개구부 위치에서 15mm이격하고 라운드(R=100)를 고려하여 보강판을 부착하는 경우
- CASE 3 : 개구부 단부에 폭 200mm·두께 12mm의 보강판을 T형태로 보강한 경우

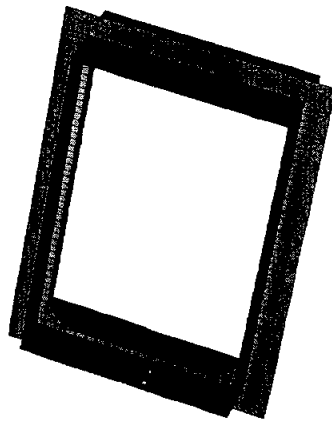


그림 4.7 일반적인 개구부 보강방법(CASE 1)

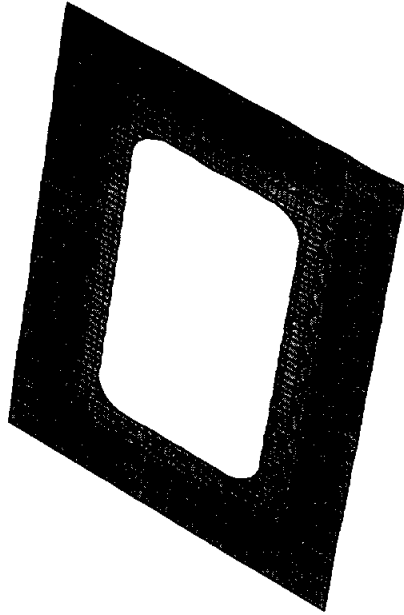


그림 4.8 보강판을 개구부 주위에 부착하는 방법(CASE 2)

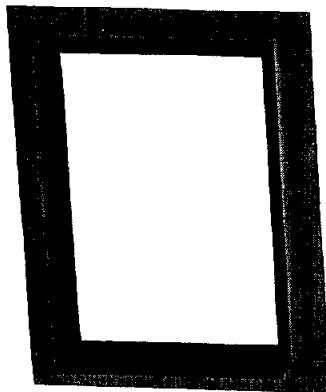


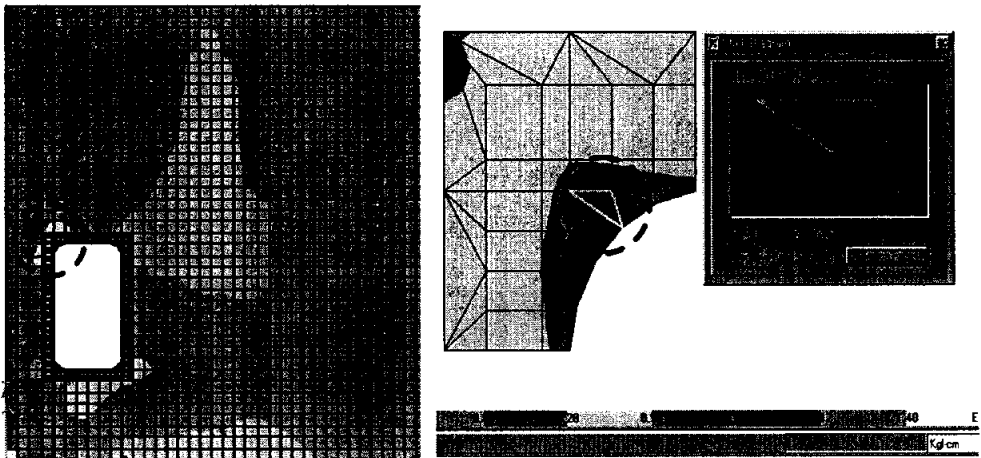
그림 4.9 개구부 단부에 보강판을 T형으로 부착하는 방법(CASE 3)



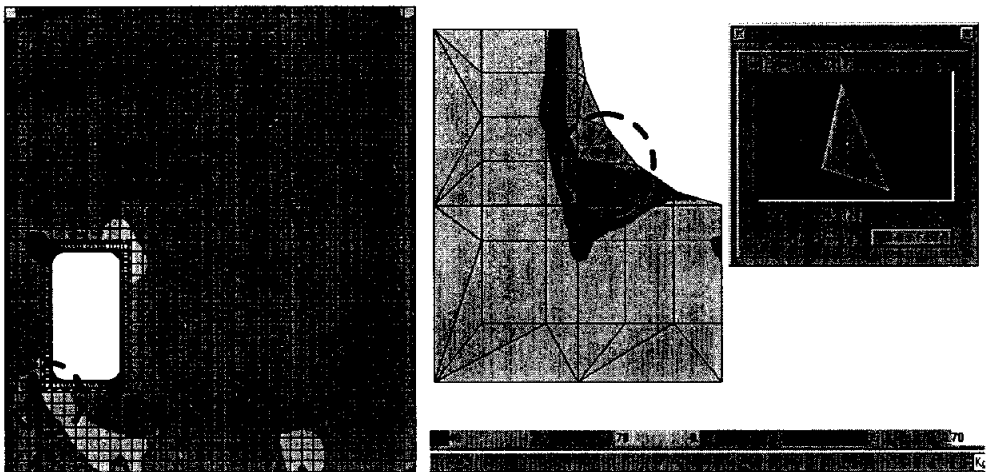
#### 4.4 각 보강타입별 개구부 응력도

각 다이어프램 개구부의 보강타입에 대한 다이어프램의 응력분포, 정(+), 부(-)의 최대응력 발생위치 및 응력값은 다음과 같다.

##### 1) 일반적인 개구부 보강방법(CASE 1)



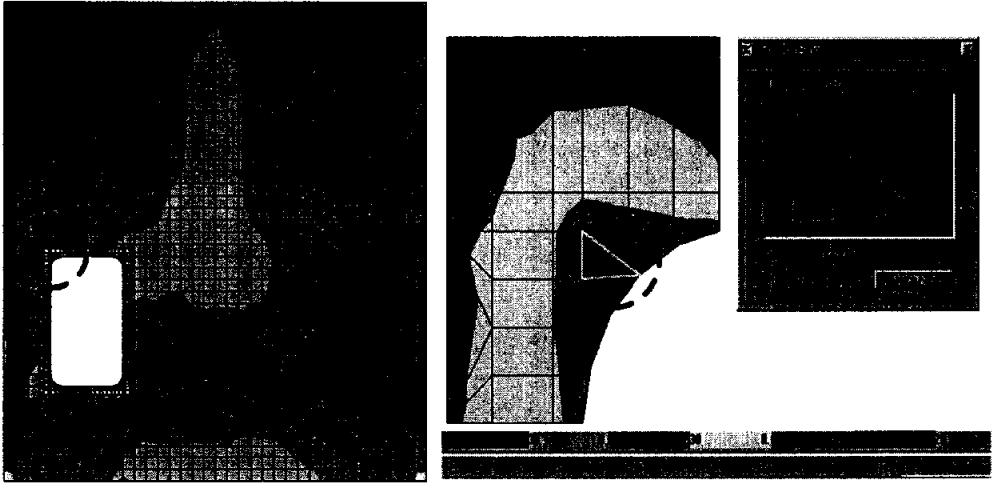
(a) 정(+)의 최대응력



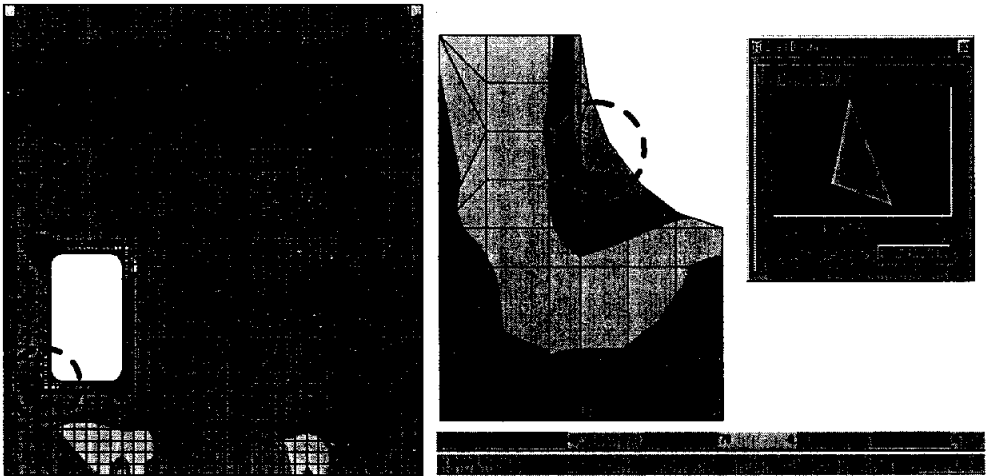
(b) 부(-)의 최대응력

그림 4.10 일반적인 개구부 보강방법(CASE 1)의 정(+), 부(-)의 최대응력

2) 보강판을 개구부 주위에 부착하는 방법(CASE 2)



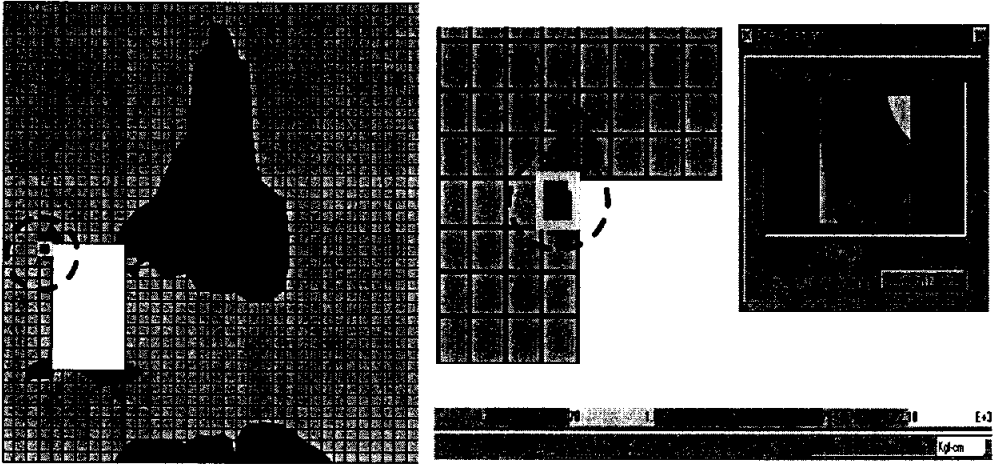
(a) 정(+)<sup>의</sup> 최대응력



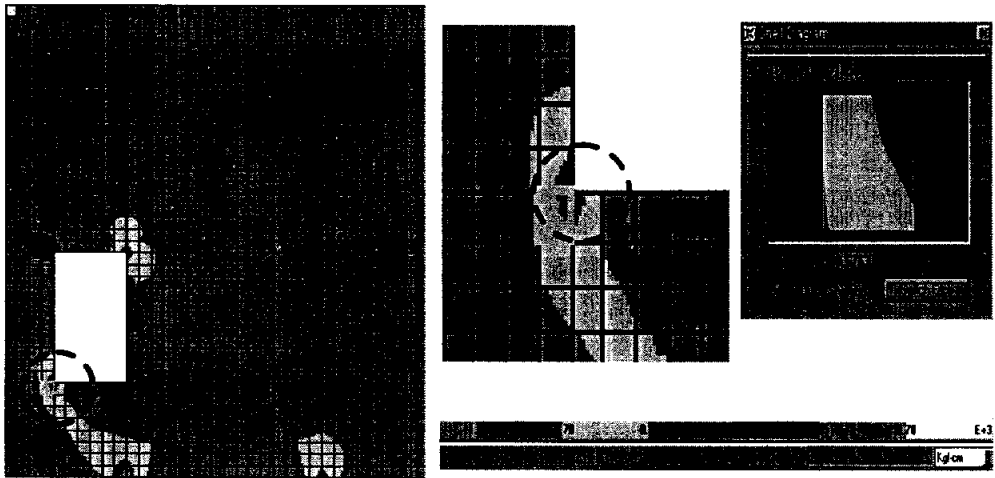
(b) 부(-)<sup>의</sup> 최대응력

그림 4.11 보강판을 개구부 주위에 부착하는 방법(CASE 2)의 정(+), 부(-)<sup>의</sup> 최대응력

3) 개구부 단부에 보강판을 T형으로 부착하는 방법(CASE 3)



(a) 정(+)<sup>의</sup> 최대응력



(b) 부(-)<sup>의</sup> 최대응력

그림 4.12 개구부 단부에 보강판을 T형으로 부착하는 방법(CASE 3)의 정(+), 부(-)의 최대응력

#### 4.5 해석결과 및 고찰

상세해석을 실시하는 지점부 다이어프램 개구부(400×800mm)에 대해 3가지 CASE로 유한요소법에 의한 응력해석을 수행하여 발생응력들을 비교·검토한 결과, 지점부 위치에서는 압축응력 및 응력집중에 따른 개구부 주변의 응력이 크게 나타났다. 특히, 정(+)의 최대응력은 해석다이어프램 개구부 모델링의 좌측상단 모서리부에서 발생하였으며, 부(-)의 최대응력은 좌측하단 모서리부에서 전부 발생하였다. 그러므로 1슈인 부모멘트구간의 지점부 다이어프램의 경우에 있어서는 개구부가 편측으로 이동할수록 거더의 외측에 가까운 개구부 모서리가 취약해짐을 알 수 있었으며, 주로 개구부 모서리 상단에 정(+)의 최대응력이, 개구부 모서리 하단에 부(-)의 최대응력이 발생되는 경향이 나타났다.

각 개구부 보강타입들은 모두 허용응력(1900kg/cm<sup>2</sup>)이하의 값을 나타내었지만, 발생응력들에 대해 효과적인 보강방법은 CASE 3과 같이 개구부 단부에 보강판을 T형으로 부착하는 것이 가장 적절하다고 판단되었다. 그림 4.13는 각 개구부 보강타입에 따른 해석결과치를 나타낸다.

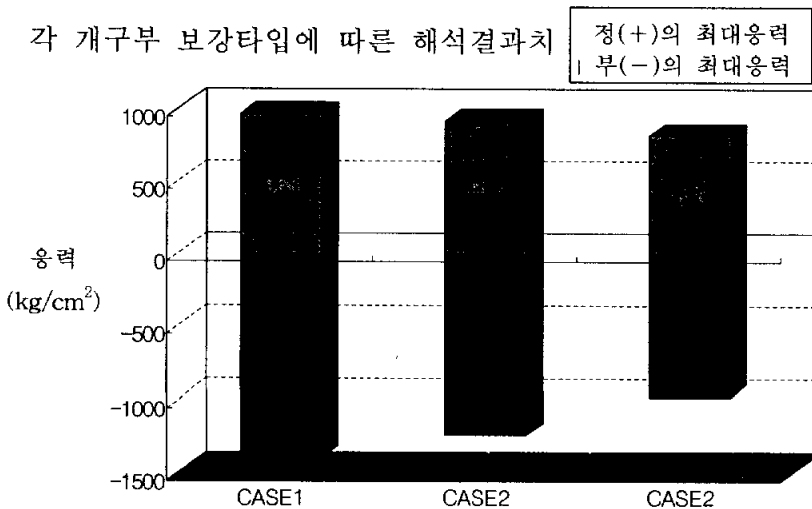


그림 4.13 각 개구부 보강타입에 따른 정(+), 부(-)의 최대응력 결과치

## 4.6 지점부 다이어프램의 개구부 보강타입 개선

### 1) 다이어프램 개구부의 개선된 보강타입

앞의 해석결과에서 대상교량의 지점부 다이어프램 개구부의 보강타입으로 CASE 3의 방법이 가장 효과적이었다. 그러나 다이어프램 개구부 크기가  $400 \times 800\text{mm}$ 으로 유지관리를 위한 사람의 통행에는 폭은 다소 좁고 높이에서는 여유가 있는 편이다. 또한, CASE 3의 경우에는 개구부 모서리를 라운드 처리를 하지 않아 모서리에서는 응력이 집중되고 있다. 따라서, 그림 4.14과 같이 개구부 크기를  $500 \times 700\text{mm}$ 으로 수정하고 개구부 단부에 T형태의 보강판으로 보강하는 것으로 하며, 개구부 모서리부분의 응력집중을 완화하고자 라운드( $R=100\text{mm}$ )을 두어 개구부 주위에 발생하는 응력들에 대해서 유한요소해석을 다시 실시하였다 (CASE 4).

- CASE 4 :  $500 \times 700\text{mm}$ 크기의 개구부 모서리에 라운드( $R=100\text{mm}$ )를 두고 폭 200mm · 두께 18mm의 보강판을 개구부 단부에 부착한 경우

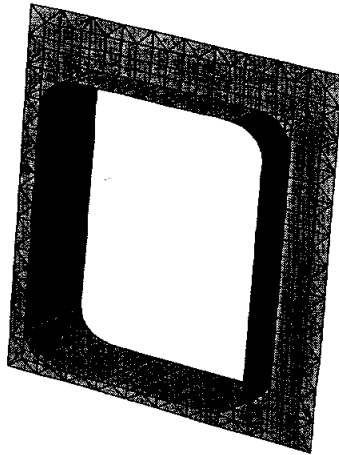
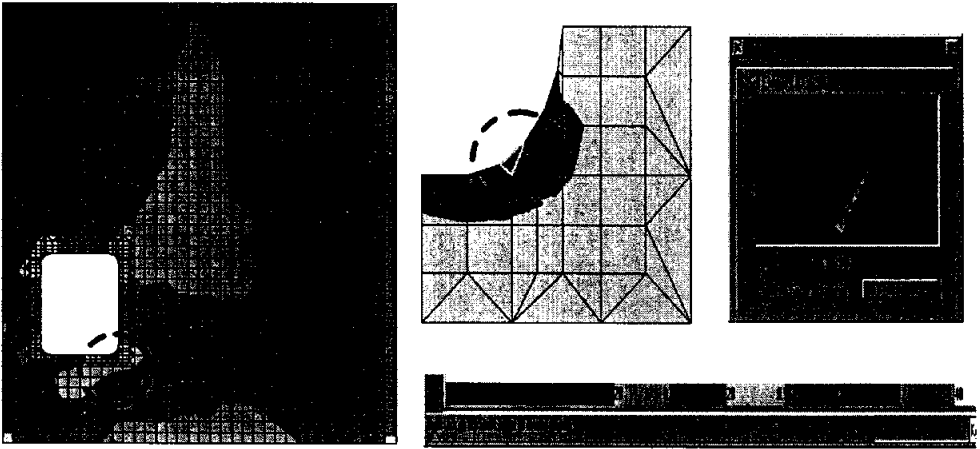


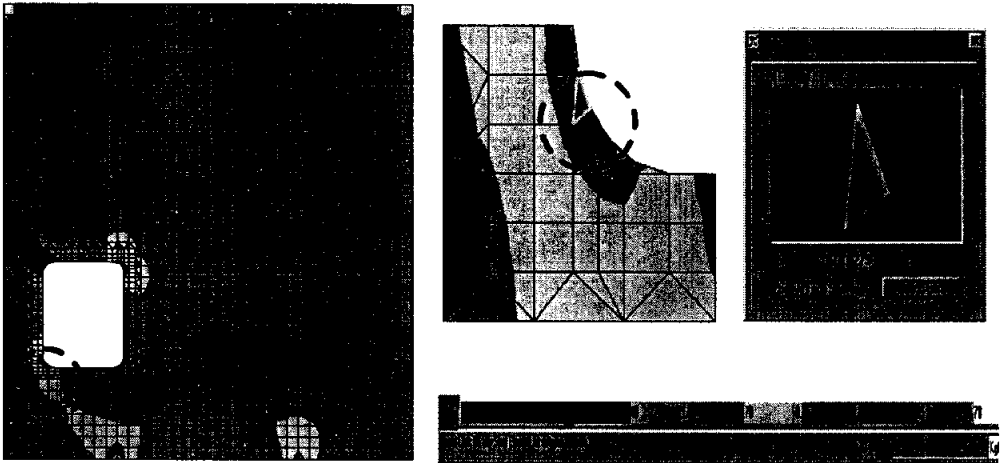
그림 4.14 개구부( $500 \times 700\text{mm}$ ) 모서리에 라운드를 두고 단부에 보강판을 T형으로 부착하는 방법(CASE 4)

2) CASE 4의 개구부 응력도

CASE 4에 대한 다이어그램의 응력분포, 정(+), 부(-)의 최대응력 발생위치 및 응력값은 다음과 같다.



(a) 정(+)<sup>의</sup> 최대응력



(b) 부(-)<sup>의</sup> 최대응력

그림 4.15 개구부(500×700mm) 모서리에 라운드를 두고 단부에 보강판을 T형으로 부착하는 방법(CASE 4)의 정(+), 부(-)의 최대응력

### 3) 해석결과

개구부의 크기를 500×700mm으로 수정하고 개구부 모서리에 라운드를 둔 CASE 4의 해석결과는 개구부 크기 400×800mm인 CASE 3보다 다소 큰 응력치를 보여주고 있다. 이것은 CASE 4에 있어서 다이어프램의 횡방향으로의 단면손실이 CASE 3보다 더 많기 때문에 더 큰 응력이 발생하였다고 여겨진다. 이를 보완하고자 보강판의 두께를 12mm에서 18mm로 증가시켰지만, 증가된 보강판의 단면적보다 손실된 다이어프램의 단면적이 더 많기 때문에 더 큰 응력이 발생하였다. 개구부 주위에서의 정(+), 부(-)의 최대응력의 발생위치를 보면 부(-)의 최대응력은 좌측하단 모서리부에서 발생하였으며, 정(+의 최대응력은 우측하단의 모서리부에서 발생하였다. 그러나 발생된 정(+), 부(-)의 최대응력은 허용응력(1900kg/cm<sup>2</sup>)에 대해 여유가 많으므로 구조적으로는 문제가 없다고 판단된다.

따라서, 구조적인 면과 유지관리를 위한 사람의 통행을 고려하여 개구부 크기를 500×700mm으로 하며, 개구부 주위의 응력집중에 대한 응력분산효과가 유리한 구조인 라운드(R)을 갖는 T형 보강타입의 CASE 4가 가장 적절하다고 판단된다.

표 4.3 CASE 3과 CASE 4의 해석결과

(단위 : kg/cm<sup>2</sup>)

구 분	발 생 응 력		허용응력	검 토	비 고
	최대응력	최소응력			
CASE 3	815	-981	1900	O.K	
CASE 4	971	-1075	1900	O.K	개구부 보강타입

## 5. 결 론

본 연구에서는 중간지점부 다이어프램에 발생하는 응력들을 효과적으로 제어하고자 다이어프램의 개구부 보강타입을 가정하여 다이어프램의 개구부 주위에 발생하는 응력들을 개구부 보강타입별로 비교·검토하였다. 본 연구를 통해 얻어진 결과를 정리하면 다음과 같다.

1. 1슈 교량에서 지점부 다이어프램 개구부는 편측으로 이동할수록 주로 거더의 외측에 가까운 개구부 모서리부가 취약해짐을 알 수 있었다.
2.  $400 \times 800\text{mm}$ 인 다이어프램 개구부에서의 정(+)의 최대응력은 해석다이어프램 개구부 모델링의 좌측상단 모서리부에서 발생하였으며, 부(-)의 최대응력은 좌측하단 모서리부에서 각각 발생하였다.  $500 \times 700\text{mm}$ 인 다이어프램 개구부에서의 정(+)의 최대응력은 개구부 우측하단 모서리부에 발생하였고, 부(-)의 최대응력은 개구부 좌측하단 모서리부에 발생하였다. 일반적으로 부(-)의 최대응력은 거더의 외측에 가까운 개구부 하단 모서리부에 발생하는 경향을 나타내었다.
3. 지점부 다이어프램 개구부 보강타입 중 개구부 단부에 T형태로 보강판을 부착하는 형식이 구조적으로는 가장 유리하였다.



## 참 고 문 헌

- 1) 대한토목학회, “철도설계기준(철도교편)”, 기문당, 1999.
- 2) American Association of Standard Highway and Transportation Officials, AASHTO LRFD Bridge Design Specifications, 1998.
- 3) British Standard Institution, BS 5400 Part 10, Code of Practice for Fatigue, 1980.
- 4) 大韓土木學會, “道路橋標準示方書 荷重-抵抗係數 設計編”, 1996.
- 5) C. P. Heins and D. A. Firmage., “ Design of Modern Steel Highway Bridges”, Willey-Interscience Publication, 1979.
- 6) J. T. Oden and E. A. Ripperger, “Mechanics of Elastic Structures”, Hemisphere Publishing Corporation and McGraw-Hill, 1981.
- 7) 조효남, “강구조공학”, 구미서관, 1999.
- 8) Hiroshi Nakai and Chai Hong Yoo, “Analysis and design of Curved Steel Bridges”, McGraw-Hill, 1988.
- 9) 韓國鋼構造學會, “鋼道路橋의 設計”, 鋼構造便覽, 第4卷, 1995.
- 10) 방명석, “강교 설계의 기초”, pp.100~113, 1995.
- 11) 中井 博, 事口 壽男, 谷 俊寬, “任意荷重を受ける薄肉曲線桁橋のマトリックス構造解析”, 日本土木學會論文報告集, No. 255, pp.1~15, 1976. 11.
- 12) 이희업, 양창현, “강상자거더의 뒤틀림 해석에 관한 연구”, 대한토목학회 논문집, 제19권, I -6호, pp.907~916. 1999.
- 13) Oleinik. J. C. and Heins. C. P., “Diaphragms for curved box beam bridges”, J. of Str. Eng., ASCE, Vol. 101, No. 10, pp.2161~2178, 1975.
- 14) Sakai. F. and M. Nagai., “A Recommendation on the Design of

Intermediate Diaphragms in Steel Box Girder Bridges.,  
Proceedings of the Japanese Society of Civil Engineers, No. 261,  
pp.21~34, 1977.

- 15) Wright. R. N. and Abdel-Samed. S. N., "BEF analysis for analysis of box girders., J. of Str. Div., ASCE, Vol. 94, No. 7, pp.1719~1743, 1968.
- 16) 구민세, 윤우현, 이호경, 김대홍, "곡선 강상자형 거더의 뒤틀림 해석 및 격벽간격산정", 한국강구조학회논문집 제15권 2호, pp.125~135, 2003. 4.
- 17) 張東一, "構造工學에서의 波壞와 疲勞", 東明社, pp.189~252, 1999
- 18) 寺島秀樹, "道路橋疲勞設計荷重・同時載荷係數の檢討", 法政大學大學院, 工學研究科, 修士學位論文, 1996.
- 19) 中井 博, 谷 俊寬, "箱桁橋のねじりによる應力の簡易計算法とその應用", 日本土木學會論文報告集, No. 299, pp.1~15, 1978. 9.
- 20) J. E. Gordon, "Structures or Why things don't fall down", Da capo Paperback, 1978.
- 21) 小松 定夫, "鋼構造の補剛設計", 森北出版株式會社, 1982.
- 22) 中井 博, 事口 壽男, "伝達マトリックス法による 鋼橋の解析", 森北出版株式會社, 1992, 1.
- 23) Nakai H. and Heins, C. P., "Analysis Criteria for Curves Bridges", Proc. of ASCE, Vol. 103, No. ST-7, pp.1419~1427, July 1977.
- 24) 中井 博, 谷田玲二, 奥村敏久, "伝達マトリックス法の不整格子桁橋の解析への應用と模型實驗", 日本土木學會論文報告集, No.243, pp.7~18, 1975. 11
- 25) The Committee of Inquiry into the Basis of Design and Method of Erection of Steel Box Girder Bridges : Interim Design and

Workmanship Rules , Her Majesty's Stationary Office, (1973).

- 26) 김윤기, 조재병, “ 강교의 변형률 측정값을 이용한 통과차량의 축중량 산출방법에 관한 연구” , 韓國鋼構造學會學術發表論文集, pp. 278~281, 1998.
- 27) 鐵道綜合技術研究所 編, “鐵道構造物等計算標準・同解説 : 鋼・合成構造物”, 丸善株式會社, 2000. 7.
- 28) 조효남, 정지승, 민대홍, “자동화설계를 위한 강상판교의 해석모델”, 한국강구조학회논문집, 제11권, 4호, pp.363~372, 1999.

## 감사의 글

최고 지성인들의 학문의 요람인 상아탑을 뒤로 한지 어언 17년의 세월이 지난 어느 봄날에 우연이 대학 캠퍼스를 거닐 때 양옆에 함박웃음을 띠고 오가는 사람들을 반갑게 맞이해 주는 벚꽃을 바라보며 그동안 잊어버렸던 나 자신의 부족함을 발견하곤 나 자신의 부족함을 채우기 위해 바다가 한눈에 내려다보이고 벚꽃이 어우러진 캠퍼스에서 강구조에 인연을 맺은 지도 벌써 2년이 넘어 결실을 맺을 지금까지 그동안 도와주시고 지도해 주신 분들께 감사의 글을 쓰게 되었습니다.

이렇게 되기까지 부족한 저를 항상 여러 방면에서 아낌없이 지도해 주신 이 동욱 교수님께 진심으로 머리 숙여 감사를 드립니다. 또한 바쁘신 와중에도 미흡한 논문을 지도하여 주시고 심사하여 주신 김 명식 교수님, 정 두희 교수님께도 깊은 감사를 드립니다

그리고, 바쁜 현업에 종사하면서 학업에 충실하지 못하였지만 끝까지 지켜봐 주시고 이해하고 지도하여 주신 교수님들께 깊은 감사를 드립니다. 논문이 완성되기까지 내 일처럼 항상 즐겁게 웃음을 일치 않고 도와준 김 대성, 최 성민, 서 용교 외 강구조 연구실 식구들에게도 지면을 통해 진심으로 고마움을 전합니다. 아울러 직장 생활을 하면서 대학원을 마칠 수 있도록 시간과 기회를 주신 유 응석 본부장님, 조 정은 상무님 그리고 지금은 현직에서 물러나신 진 석우님께 감사드리고 특히 현장에서 많은 격려와 이해를 아끼지않으신 안 충남 단장님과 직장동료 여러분께 감사 드립니다.

끝으로 오늘이 있기까지 항상 믿음으로 지켜 봐주시고 인도하여주신 부모님께 영광을 돌리고 싶습니다. 또한 부족한 사람을 항상 이해하고 사랑으로 대해 주며 격려해준 아내 이 은정에게 더없는 고마움을 전하며, 사랑스런 딸 성아, 기준과 함께 이 기쁨을 함께 하려합니다.