

# 강상자형 다이아프램의 수직보강재 길이에 따른 거동

## Behavior on Vertical Stiffener Length of Steel Box Girder Support Diaphragm

김 종 렬<sup>1)</sup> · 김 우 준<sup>2)</sup> · 정 경 섭<sup>3)</sup>  
Kim, Jong Ryeol · Kim, Woo Jun · Jung Kyoung Sup

요 약 : 사회적 환경에 따른 교량의 장대화와 단순화의 추세로 인해 구조적 시스템과 생명주기에서 교량 건설의 경제적 효율성이 증대되고 있다. 강교 제작의 경제성과 효율성을 위해 시공 전 상세한 구조해석이 실시되어야 하며, 특히 강상자형교에서는 지점부 다이아프램과 수직보강재가 초점이 되는 주요 부재중의 하나이다. 본 논문에서는 강상자형교를 시공하거나 확장, 보수하는 과정에서 일어나는 추가 사하중에 대하여 지점부의 다이아프램 거동 분석을 위해 실측과 구조해석을 동시에 수행하여 다이아프램부 응력 분배 거동을 분석하고 다이아프램 수직보강재의 적절한 길이를 제안하고자 하였다.

ABSTRACT : Bridge has to be long-spanned and of simple structure, considering the social environment. As a result of this trend in bridge construction, it is important for the sake of economical efficiency to improve the structural system and increase the life cycle of a bridge. To attain these goals in constructing a steel bridge, the detail analyses based on real structure must be performed. In the steel structure bridge, the parts that are a main focus of interest are the diaphragm and the vertical bracing of the steel box girder support. This study observed the behavior of the diaphragms on the bearings of a closed section steel box girder bridge support, as dead load was increased. Stress variation of the support diaphragms in a steel box girder was considered, and both experimental test and structural analyses were performed to verify the behavior of a composite steel box girder bridge under repair or maintenance.

핵심용어 : 강상자형교, 지점부 다이아프램, 수직보강재, 응력분배

KEYWORDS : Steel box girder bridge, support diaphragm, vertical stiffener, stress distribution

### 1. 서론

요즘 교량 구조물로 많이 사용되고 있는 강상자형교(Steel Box Girder BR.)의 다이아프램(Diaphragm)은 중간과 지점의 2종류로 나눌 수 있다. 중간 다이아프램의 주된 기능은 횡단면의 변형과 그것에 따른 상하부 플랜지나 웨브의 부가응력을 방지하는데 있다. 또한 지점부 다이아프램은 중간 다이아프램과 같은 기능외에 상부구조에 작용하는 하중을 교좌장치에 전달하는 역할을 하고 있다. 따라서, 다이아프램의 목적은 부재 단면 형상의 변형 방지와 비틀림에 의한 횡방향 연성 비틀림응력과 종방향 수직응력을 억제하여 횡방향 하중분배를 향상시키고, 큰 국부응력, 반력 등을 분배시키는 효과와 합

계, 부재단면의 뒤틀림(distortion)에 대한 국부적 억제를 제공하는데 있는 것으로서 장기간 상자형교 혹은 사장교와 같은 대형구조물에 있어서는 부재응력 분포가 구조물의 국부, 또는 전체에 대하여 휨 이론 또는 휨비틀 이론에 기초한 응력분포로부터 편재되는 것이 잘 알려지고 있다. 지점부 다이아프램은 상당히 복잡한 구조물이고 다이아프램내 국부좌굴이 전체 구조물의 붕괴를 유발할 수도 있으므로 거더 전체의 변동을 고려한 해석 수행이 필요하다.(구현서, 2002 : 서석구, 1998 : 정찬목, 1997)

본 연구에서는 지점부에 발생하는 응력을 2개의 교량을 대상으로 검토하고, 수직보강재의 길이변화에 따른 응력분배 거동을 검토·분석하고자 하였다. 이를 위하여 사교인 서울시

1) 정회원, 충북대학교 대학원 석사과정  
(Tel. 043-261-2408 Fax. 043-261-2408, E-mail:nammah@orgio.net)  
2) 정회원, 충북대학교 산업대학원, 공학석사(woojunk@cbnu.ac.kr)  
3) 정회원, 충북대학교 공과대학 교수, 공학박사(ksjung@cbnu.ac.kr)

본 논문에 대한 토의를 2004년 4월 28일까지 학회로 보내주시면 토의 회답을 게재하겠습니다.

소재 대상교량 ①과 직교인 천안시 소재 대상교량 ②를 대상으로 다이어프램부의 실제 지점형상을 서로 다른 다양한 모델링을 통하여 실제와 맞는 이상적인 지점부의 모델링 방법(김동표, 2002)을 고려하여 교량에 각각 제시하였으며, 그러한 적합한 지점부 모델링을 적용하여 강상자형의 사하중 증가에 따른 지점부 다이어프램의 수직보강재에 일어나는 응력의 변화를 중점적으로 측정, 분석하였고 이에 따른 수직보강재의 적절한 설계에 대하여 검토하였다. 또한 현 시방서 상의 관용적인 방법과 전산해석의 여러 모델링을 적용하여 보다 실제적인 거동을 분석함으로써, 다이어프램의 과도한 보강재 사용을 막는 해결방안을 찾고자 하였다.

## 2. 현황 및 실측 데이터

### 2.1 연구대상 교량의 제원 및 현황

본 연구 대상 교량은 상, 하행선 각각 2경간 연속 Steel box girder로 이루어진 총 연장 약 120m의 교량인 대상교량 ①과 상, 하행선 각각 7(3+4) Span, Steel Box Girder로 이루어진 총 연장 740m의 대상교량 ②이다.

규 모(m)		설계 하중	상부구조	비 고
연 장	폭			
118.010 118.912	118.454 119.386	19.655	DB-24	Steel Box : 2span R = 700m 곡선교 편구배 6%
119.906 120.519		11.955	DB-24	Steel Box : 2span R = 700m 곡선교 편구배 6%

횡 단 면 도  
S=1:200

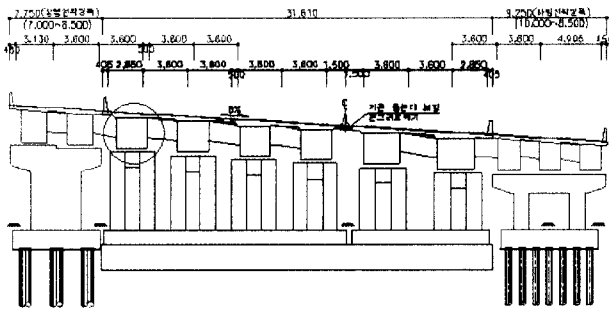


그림 1. 대상교량 ①의 제원 및 횡단면도

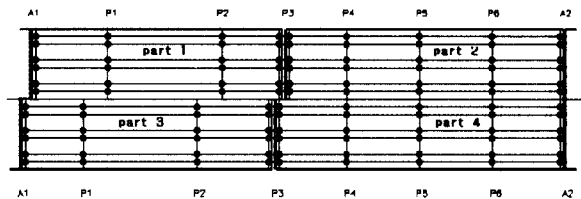
대상교량 ①은 확장하면서 구거터와 신거터 사이에 단차 20~30cm가 발생하였고, 이를 없애기 위한 오버레이 실시로 사하중이 증가하게 되어 다이어프램 및 수직보강재에 추가적인 하중부담이 발생하였다. 본 논문에서 고려될 대상교량 ①

은 교량의 위에서 3번째 Box(그림원 표시) 부분이며, 곡선교량으로 적용된 횡단구배 때문에 신규교량 접속부에는 서로 다른 단차가 발생되어 기존 교량에 20~30cm까지의 두꺼운 오버레이가 시행되었다. 대상교량 ①에 대한 현황은 다음 그림 1과 같다.

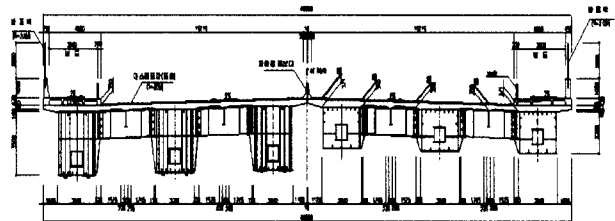
본 연구에서 고려되는 또 하나의 교량인 대상교량 ②는 전체 4개의 part로 되어 있으나, 교량의 대칭성 및 측정기간 등을 고려하여 본 연구에서는 part 4의 지점부 다이어프램만을 대상으로 하였다. 대상교량 ②는 강상자형의 현장 조립이 완료된 후 콘크리트 타설에 따라 강상자형에 부담되는 사하중을 계속 하였다. 대상교량 ②에 대한 현황은 다음 그림 2와 같다.

규 모(m)		설계 하중	상부구조	비 고
연 장	폭			
370	40.9	DB-24	Steel Box : 3span Steel Box : 4span	50+70+50 = 170m 4@50 = 200m

(a) 대상교량 ②의 제원



(b) 평면도



(b) 횡단면도

그림 2. 대상교량 ②의 현황

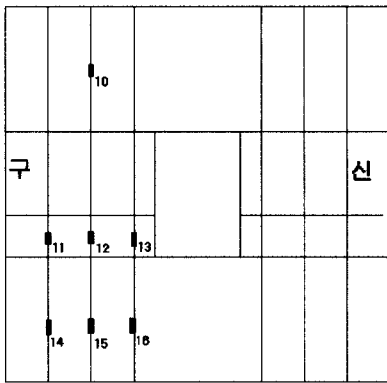
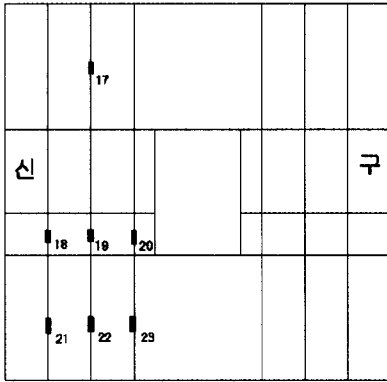
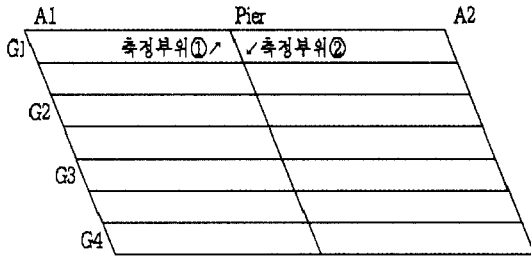
### 2.2 실측 데이터 측정

시공 전후를 통해 구조물의 구조적 거동의 특성을 고찰하고 평가하기 위해 현장 재하시험을 실시하였다.

본 연구의 대상교량에 있어서 두 교량은 서로 다른 하중 조건을 가진다. 대상교량 ①의 측정에 있어서는 아스팔트의 오버레이 타설시간에 맞추어 게이지의 변형률을 계속하였다. 변형률 계측은 타설 시작부터 종료할 때까지 타설현장에서 시간경과에 따른 타설속도를 파악하여 시간 간격 측정(Time

interval) 기능을 사용하여 1분 간격으로 연속계측을 수행하였다. 대상교량 ②는 교량의 특정한 점에서 단면의 바닥판 콘크리트 타설에 따른 변형률이 계측되었으며 계측위치로는 잠재적인 균열 가능성이 큰 지점부와 실험 전 구조해석 결과에 근거하여 바닥판 타설 중 발생하는 부모멘트의 변화가 큰 경간의 중앙부가 선택되었으며 지점부 반력 분배 거동 파악을 위하여 별도의 게이지를 부착, 측정하였다.

두 교량의 측정 위치는 다음 그림과 같다.



(a) 측정부위 ① (b) 측정부위 ②

그림 3. 대상교량①의 게이지 부착위치

대상교량 ①의 측정부위는 그림 3에 보이는 G1거더의 Pier부이며, 설치된 게이지 위치와 번호는 측정부위 ②에는 gage 10~16 그리고 측정부위 ①에는 gage 17~23을 부여하였다. 이때 신교량과 연결되는 부분이면서 오버레이의 두께가 두꺼운 쪽은 측정부위 ①이다. gage를 수직으로 분포시킨

것은 수직압축응력이 어떻게 분포될 것인가를 확인하기 위함이고, 수평으로 분포시킨 것은 옆 교량과의 연결로 인한 하중의 분배가 어떠한지를 알기 위함이다.

대상교량 ②의 측정 부위는 콘크리트가 타설이 시작되는 교대 위치인 지점부 다이아프램 상부와 하부의 응력 분포 등을 보기 위하여 위 그림 4와 같이 수직보강재와 다이아프램 상·하부에 게이지를 부착하였다. 특히, 다이아프램에서 압축력을 받아주는 수직보강재의 역할이 중요시되므로 수직보강재를 중점적으로 계측하였다. 수직보강재 하단에 붙인 게이지는 바닥에서 30cm, 교축방향으로 5cm 떨어진 곳에 부착하였고, 다이아프램 상·하부에 붙인 게이지는 중앙에 위치하도록 부착하였다.

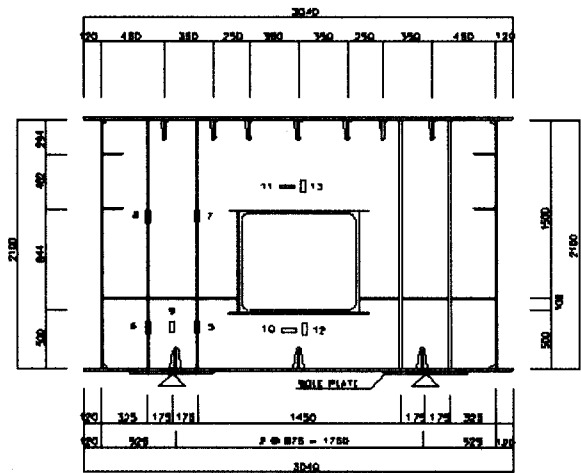


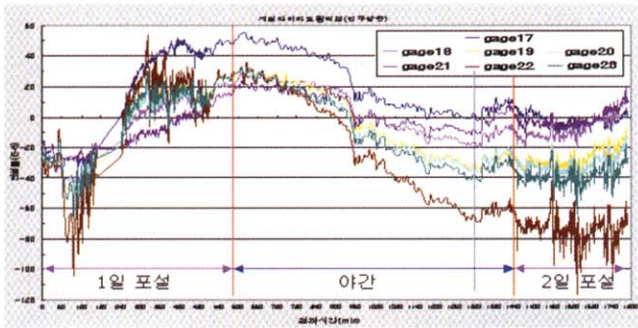
그림 4. 대상교량 ②의 게이지부착 위치

### 2.3 실측 데이터 분석

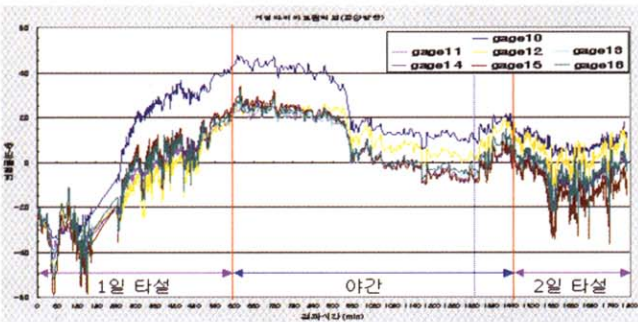
대상교량 ①의 실측 데이터는 오전 9:40분경 아스팔트 오버레이가 포설되는 시작점부터 변형률 거동이 압축에서 시작하고 있으며, 또한 심한 일교차로 인하여 거더의 온도 변화에 따른 측정 변형률 값의 변화가 크게 나타나고 있다. 게이지의 위치에 따라 변형률이 차이가 나는데 그림에서 하부쪽의 변형률 게이지는 다이아프램부 수직보강재의 하부면에 부착한 게이지이며 상부쪽에 나타나는 게이지는 그보다 더 상부쪽에 부착한 게이지이다. 측정된 최대 압축응력은  $-160\text{kgf/cm}^2$ 가 발생하였으며, 시방규정(도로교설계기준·해설, 제3장 강교편, 3.8.7 하중집중점의 보강재, 2003)으로 계산된 이론값  $-313\text{kgf/cm}^2$ (수직보강재)보다 그 값이 작게 측정되었는데 이는 강형의 온도가 상승하여 압축응력이 상쇄된 것으로 판단되며 또한, 측정 높이와 위치에 따른 압축응력의 값의 차이가 발생되고 있음을 확인할 수 있었다.

대상교량 ①의 다이아프램 수직보강재의 변형률 측정값은

그림 5와 같다.



(a) 측정부위 ①의 변형률 변화



(b) 측정부위 ②의 변형률 변화

그림 5. 대상교량 ①의 실측 데이터

측정부위 ②의 변형률 변화에서는 바닥판에 오버레이 두께 30cm에 해당하는 큰 사하중이 증가하였으나 압축응력의 변화량은 그다지 크게 일어나지 않은 것으로 확인되었지만 게이지의 위치별로 값의 차이가 나는 것을 확인할 수 있었다.

한편, 대상교량 ②의 실측데이터를 그림 6에서 보여주고 있다. 콘크리트가 타설됨에 따른 변형률의 변화는 처음 인장측으로 응력이 발생되다가 콘크리트가 굳어감에 따라 박스와 합성거동을 하여 압축측으로 변해가는 것을 볼 수 있다.

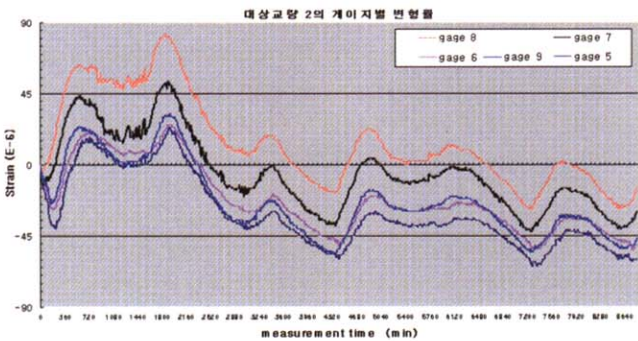
위 그래프에 따르면 처음 타설시작 부분에서 타설이 완료되는 시점(900분)까지는 인장측으로 응력이 증가하다가 타설이 완료되고 콘크리트가 굳어감에 따라 다시 압축측으로 내려와 안정되어 가는 것을 볼 수 있다.

### 3. 구조해석

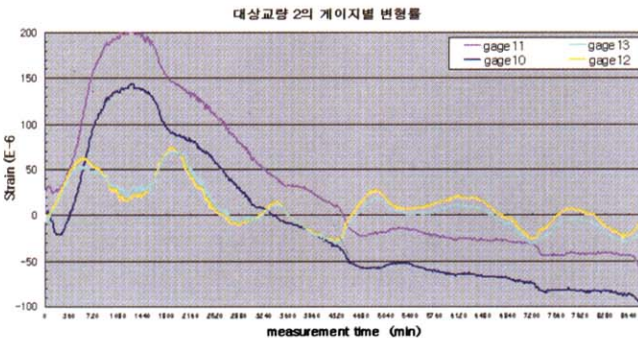
#### 3.1 모델링 및 하중재하

본 연구에서 사하중이 교량에 미치는 영향을 검토하기 위하여 교량의 상세모델링을 실시하여 선형 구조해석을 수행하였다.

구조해석에 있어서 대상교량 ①은 아스팔트 오버레이에 의한 하중만을 고려하였다. 실제 아스팔트 오버레이 형태는 불균일 하나 구조해석상에는 그림 7에서와 같이 이상화시켜서 적용하였으며 실제 아스팔트의 총 무게는 664tonf이나 구조해석에 적용된 무게는 686tonf이다.

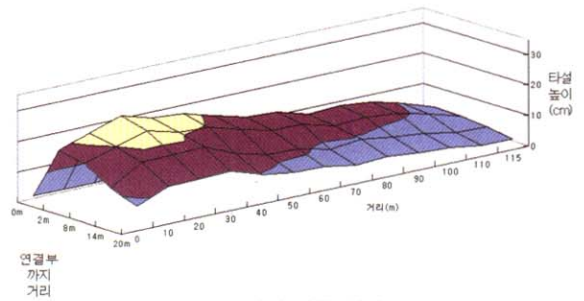


(a) 다이어그램 수직보강재의 변형률 변화

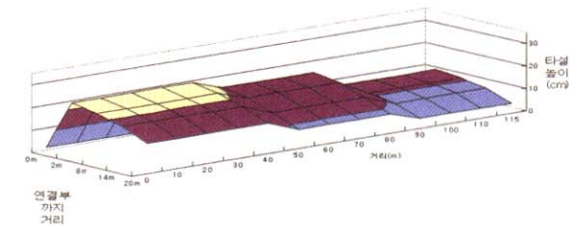


(b) 다이어그램 상하부의 변형률 변화

그림 6. 대상교량 ②의 실측 데이터



(a) 실제 하중 형상



(b) 이상화된 하중 형상

그림 7. 대상교량 ① 아스팔트 하중 형상

대상교량 ②는 콘크리트의 타설로 인한 순차적인 하중 증가(표 1)를 적용하였다. 특히, 각 교량의 경우 최적의 지점조건을 구현하여 수직보강재의 길이에 따른 다이어그램에서 발생하는 응력분포의 변화를 검토하였으며 최적의 수직보강재의 길이를 산정하여 지점부 다이어그램부의 응력분배에 최적의 수직보강재 길이를 검토하였다. 구조해석에는 상용 프로그램인 NISAⅡ를 사용하였으며, 요소로는 4 node Shell 요소 및 8 node Solid요소를 사용하였고 구조해석에서 사용된 제상수는 다음 표 2와 같다.

표 1. 대상교량 ②의 콘크리트 타설거리 및 Loading Case

Loading Case		타설시간	분	타설거리(m)
LC	Combo	07:15	0	0
1	1	08:35	80	9.50
2	14	09:30	135	20.00
3	15	10:30	195	31.75
4	16	11:00	255	48.33
5	17	13:35	380	77.50
6	18	14:35	440	99.75
7	19	16:00	525	107.00
8	20	17:05	590	125.00
9	21	17:55	640	140.00
10	22	19:30	735	156.00
11	23	20:25	790	164.33
12	24	21:35	860	182.4
13	25	22:15	900	타설완료

표 2. 구조해석에 사용된 제상수

분류	제상수	해석 요소	단위중량 (t/m <sup>3</sup> )	탄성계수 (t/m <sup>2</sup> )	프외송비
Steel Box Girder		4 node Shell	7.85	2.10E7	0.30
Concrete Slab		8 node Solid	2.50	2.5E6	0.16
Overlay		8 node Solid	2.50	2.5E5	0.16

### 3.2 지점부 모델링 및 최적의 모델링 방법 선정

강교의 실제적인 지점부를 구조해석상 가상의 모델링에 부여하여 실제의 형상과 같게 이상화시키는 것은 특정한 해답이 없다. 교량 전체의 구조적 해석값이나 거동분석에는 일상적으로 1점 지지방식으로 모델링을 하지만 본 연구에서 다루는 지점부의 다이어그램 응력거동을 분석하기 위해서는 지점부의 솔 플레이트와 교좌장치 사이의 상호 거동을 실제와 가깝게 구조해석 모델링 상으로 이상화 시켜야 하는 작업이 필요하다. 그리고 지점부에 적용되는 모델링 방법은 적용방법에 따

라서 많은 수의 경우가 존재하며 이 모두를 고려한다는 것은 효율적인 면에서 타당하지 않다. 따라서, 실제와 가장 근접하거나 유사할 것이라 판단되는 몇 가지 종류에 대해서 모델링을 하였으며 그 중에 서로 다른 것들을 교량에 도입함으로써 지점부 모델링에 다양한 방법이 있음을 제시하였다. 두 교량에 대해 각각 몇 가지의 지점부 모델링의 방법을 적용하여 이론적인 계산값과 비교하여 가장 알맞은 지점부 모델링 방법을 채택하였다.

대상교량 ①의 경우 우선 일반적인 1점지지방법의 모델링 방법과 더불어 1점지지방법에서 산출된 지점부 반력을 다시 솔 플레이트에 분포하중으로 치환하여 재하하는 방법, 수직보강재 위치의 솔 플레이트 모델상에서 노드들을 강체연결하여 일체 거동을 하는 방법 등을 이용하여 구조해석을 수행하였다. 각각의 경우 그에 따른 지점부 다이어그램 수직보강재의 최대 응력값을 산출하여 실측치와 비교, 최적의 모델링 방법을 산정하였으며 다음 표 3에서 보는 바와 같이 솔 플레이트 상에 기지의 반력을 등분포하중으로 부여한 모델링이 최적의 모델링 방법으로 선정 되었다.

표 3. 대상교량 ①의 지점조건별 수직보강재 최대응력(kgf/cm<sup>2</sup>)

지점 조건	계산값	1점지지	반력의 재하중	RigidLink (보강재부)	RigidLink (SolePlate)
최대압축응력	-313	-1173	-361.7	-671.8	-554.1

대상교량 ② 또한 대상교량 ①과 같이 여러 가지 다양한 방법으로 지점부 모델링을 최적화하였는데 1점 지지방법의 모델링과 지점부 솔 플레이트와 교좌장치 사이를 압축력 전달 요소인 GAP요소를 이용하여 작용력을 분배시켜 모델링을 실시하였다. 또한, 솔 플레이트상의 중앙 노드와 외측 노드들을 강체 연결하여 일체거동을 할 수 있도록 모델링을 실시하여 아래 표 4에서와 같이 이론값과 비교한 결과 솔 플레이트를 강체연결 한 모델링 방법이 최적으로 산정되었다.

표 4. 대상교량②의 지점조건별 수직보강재 최대응력(kgf/cm<sup>2</sup>)

지점 조건	계산값	1점지지	Gap 요소이용	Rigid Body	Rigid Link (X-Y plane)
최대압축응력	-127	-274	-353.7	-145.7	-430.7

### 3.3 측정치와 구조해석치의 비교

강상자형에서 아스팔트 오버레이와 콘크리트 타설 중 온도에 대한 영향은 불균일하며 각 각 위치별로 온도의 분포를 구

조해석상에 적용시키기란 쉽지 않다. 본 연구의 구조해석에서는 온도에 대한 고려를 하지 않았으며 대신, 아스팔트 오버레이와 콘크리트 타설 시 강상자형내에 일어나는 온도변화를 파악하여 그에 대해 실측치를 온도보정 후 구조해석치와 비교하여 구조해석 모델의 신뢰성을 판단하였다.

### 3.3.1 대상교량 ①

표 5. 측정치와 구조해석치의 비교 - 대상교량 ①의 측정부위 1

구분	초기 값	측정 치	보정 온도	초기 보정 후값	온도 보정 후값	보정 최대 값	보정 최소값	보정후 평균 응력	응력 최대 값	응력 최소값	구조 해석치
gage 17	-22.5	1.9	10	24.4	-40.4	-4.0	-76.9	-82.5	-8.1	-156.9	-48.7
gage 18	-30.0	-15.2	10	14.9	-49.8	-5.3	-94.4	-101.7	-10.7	-192.6	-153.8
gage 19	-31.9	-31.1	10	0.8	-88.7	-24.4	-153.0	-180.9	-49.7	-321.0	-182.4
gage 20	-25.3	-31.7	10	-6.4	-86.3	-28.5	-144.0	-176.0	-58.2	-293.8	-173.9
gage 21	-17.8	-6.7	10	11.1	-31.1	-6.3	-55.8	-63.4	-12.9	-113.9	-195.3
gage 22	-32.8	-65.5	10	-32.7	-174.3	-48.0	-300.6	-355.5	-97.9	-613.2	-275.7
gage 23	-26.2	-37.4	10	-11.2	-108.4	-29.1	-187.7	-221.2	-59.4	-283.0	-254.8

표 6. 측정치와 구조해석치의 비교 - 대상교량 ①의 측정부위 2

구분	초기 값	측정 치	보정 온도	초기 보정 후값	온도 보정 후값	보정 최대 값	보정 최소값	보정후 평균 응력	응력 최대 값	응력 최소값	구조 해석치
gage 10	-22.5	12.3	17	34.8	-423	-0.3	-84.2	-86.2	-0.7	-171.7	-30.4
gage 11	-22.5	-5.0	17	17.5	-59.2	-18.5	-99.9	-120.7	-37.7	-203.7	-89.9
gage 12	-23.4	5.0	17	28.4	-41.2	5.1	-87.4	-84.0	10.4	-178.3	-112.1
gage 13	-20.6	-2.2	17	18.5	-57.0	-24.6	-89.3	-116.2	-50.2	-182.2	-107.7
gage 14	-24.4	-5.1	17	19.3	-65.8	-21.8	-109.8	-134.2	-44.5	-224.0	-133.3
gage 15	-23.4	-4.8	17	18.6	-64.6	-21.4	-107.8	-131.8	-43.8	-219.9	-180.6
gage 16	-21.5	-0.6	17	20.9	-47.9	-4.5	-91.3	-97.7	-9.2	-186.2	-167.7

표 5와 6은 대상교량 1에서 실측치를 온도보정 하였다. 온도보정에 있어서 측정치는 차량 및 온도의 변화가 둔감되는 시간대의 값을 선택하였고 23시~07시까지의 변형률의 변화율을 1시간 단위로 Ensemble Average를 구한 값으로 보정

을 실시하였다. 실측치는 시간에 따라 큰 폭으로 변화 하지만 온도 보정 후 평균응력값과 구조해석치를 비교해 보면 유사함을 볼 수 있다. 단, gage 21번에서의 응력 비교값에서 큰 오차가 남을 볼 수 있는데 이는 실제 구조물에서는 추가적인 보강재가 있었으며 이를 구조해석상에 적용하지 않았기 때문이다.

### 3.3.2 대상교량 ②

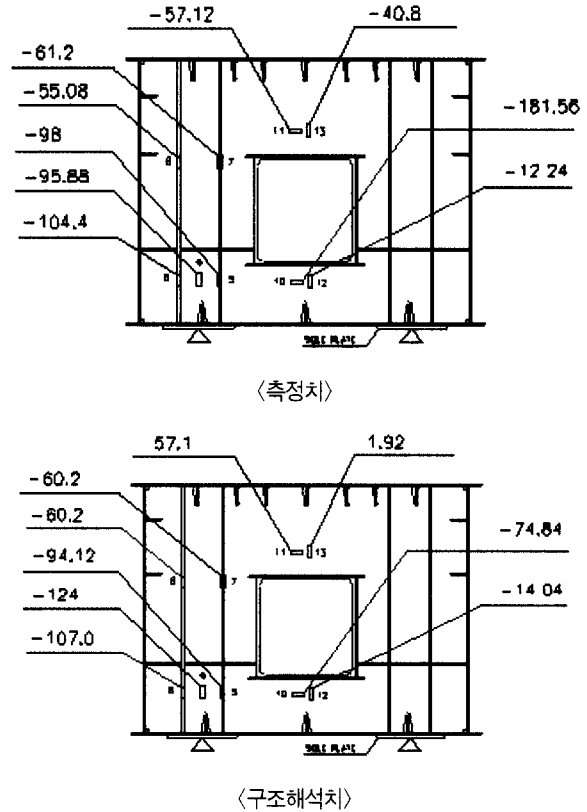


그림 8. 측정치와 구조해석치의 비교 - 대상교량 ②

위의 그림은 대상교량 ②의 실측치와 구조해석치의 비교이며 온도 보정은 대상교량 ①과 같은 방법으로 실시하였다. 수직보강재의 최대압축응력은 실측치와 구조해석치가 유사한 반면에 다이어그램면의 수평, 수직 압축응력은 약간의 오차를 가지고 있다.

## 3.4. 수직보강재 길이에 따른 다이어그램의 응력 분포

### 3.4.1 대상교량 ①

지점부 다이어그램에 있어서 지점부 수직보강재의 길이를 달리하여 모델링을 수행하되 길이에 따른 15가지의 상황을 고려해보았다. 0cm~240cm까지 15가지 경우에 대한 모델

링의 결과, 지점부 다이아프램의 수직보강재 길이의 변화에 따른 응력분배 거동을 확인함으로써 응력분배도 가능하면서 부재의 사용량을 줄일 수 있는 최적의 길이를 구하여 보았다. 참고로 시방규정에 의한 대상교량 ①의 다이아프램 최대 발생 예상 응력은  $-443\text{kg}/\text{cm}^2$ 이다.

다음 그림 9은 지점부 다이아프램의 수직보강재의 길이가 변함에 따라 발생하는 응력의 분포를 도시화한 것이며 그림 10은 수직보강재의 길이를 0cm, 50cm, 102.5cm 및 185cm인 경우의 다이아프램의 응력을 각각 도시한 것이다.

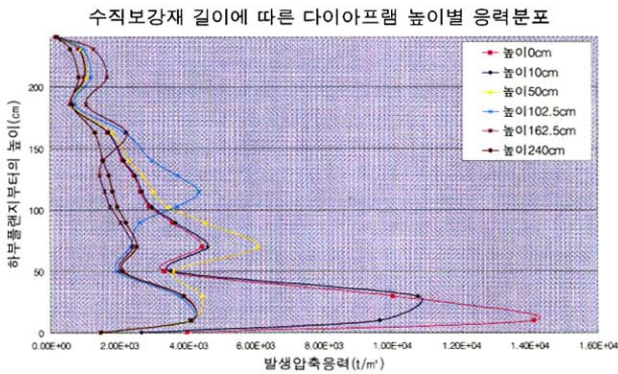


그림 9. 대상교량 ①의 수직보강재의 길이에 따른 다이아프램 높이별 응력분포

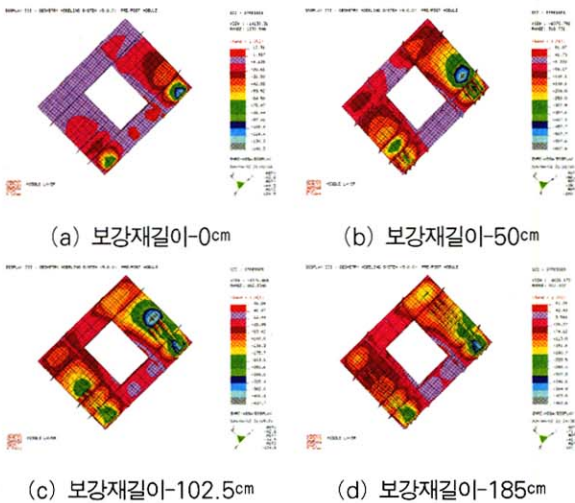


그림 10. 대상교량 ①의 수직보강재 길이에 따른 다이아프램 응력 분포

수직보강재의 길이에 따른 다이아프램의 최대발생응력치는 그림 11와 같다. 이에 따르면, 하부플랜지에서 약 1/2정도 높이까지 그 역할을 할 뿐, 그 이상의 길이에서는 부의 효과도 약간이지만 발생하며 더 이상의 효과는 없는 것을 확인할 수 있다. 또한 수직보강재가 115cm일 때가 다이아프램의 면내의 응력을 비교해볼 때 최적의 수직보강재 길이가 되며 수

직보강재 만을 고려해 보았을때는 102.5cm가 최적의 수직보강재 길이가 된다.

수직 보강재 높이에 따른 최대발생응력치

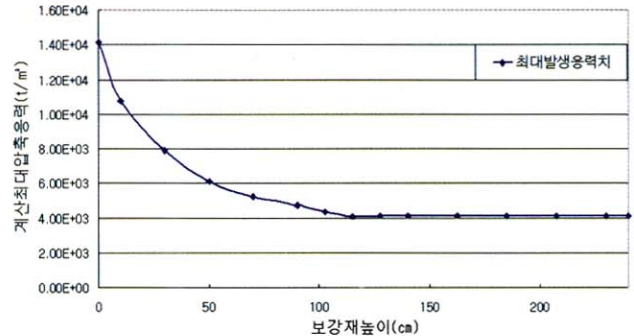


그림 11. 대상교량 ①의 수직보강재 높이에 따른 최대발생응력 분포곡선

### 3.4.2 대상교량 ②

대상교량 ①과 마찬가지로 수직보강재의 높이별 응력분포 거동을 분석하기 위해 다이아프램부 sub-modeling를 실시하였으며 수직보강재의 길이는 15cm, 30cm, 50cm, 60cm, 90cm, 125cm, 165cm, 194cm, 210cm이며 콘크리트 타설이 완료된 시점에서 검토하였다. 수직보강재의 길이별 다이아프램의 응력분포는 다음 그림 12과 같다.

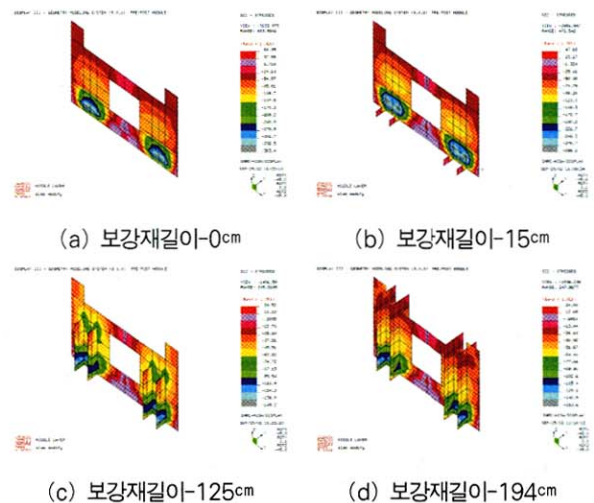


그림 12. 대상교량 ②의 수직보강재 길이에 따른 다이아프램 응력분포

그림 12과 그림 13에서 알 수 있듯이 다이아프램의 전체 높이가 2.1m를 고려한다면 수직보강재가 다이아프램 높이의 1/2의 높이 정도에서 응력의 분포는 최소가 되었으며 수직압축응력은 수직보강재의 하부와 끝단에 분배되어 나타나는 것을 볼 수 있다. 또한, 수직보강재는 다이아프램 높이의 1/2이상으로 길어질수록 이러한 분배 효과가 점점 감소되어 수직보

강재의 하부에만 수직압축응력이 집중되고 응력의 최대 크기는 감소되지 않고 오히려 약간 증가하는 것을 볼 수 있다. 이는 대상교량 ①의 경우와 마찬가지로 유사하게 나타나고 있으며 수직보강재의 길이는 다이아프램 높이의 1/2 수준까지가 수직압축응력의 분배면에서 적당한 것으로 보이며 다만, 수직보강재가 모두 제외된 다이아프램 상단부에서는 국부좌굴에 대한 위험성이 증가하므로 1개의 다이아프램에서 일부의 수직보강재만 다이아프램의 국부좌굴을 방지할 수 있는 충분한 길이가 요구되고 그 외 수직보강재의 길이는 다이아프램에서의 최대수직압축응력이 최소가 되게 하는 길이가 적당하다고 판단된다.

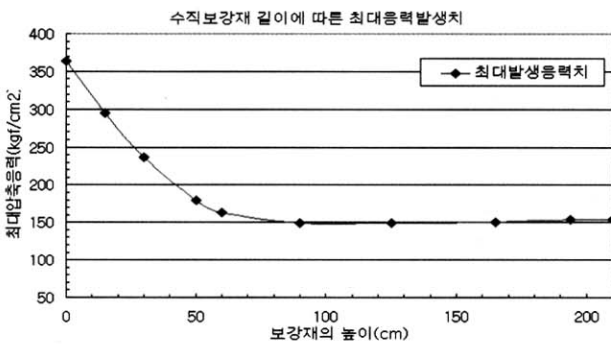


그림 13. 보강재의 높이에 따른 최대 발생 응력 분포 곡선

그림 13은 대상교량 ②의 수직보강재 길이에 따른 다이아프램의 최대발생응력치를 나타내고 있다.

수직보강재 설계 시에 고려되는 것은 하중 집중점에서 다이아프램과 수직보강재가 갖는 유효 단면적을 이용하여 수직보강재의 좌굴을 고려한 허용축방향 압축응력만을 고려한다. 이때, 지점부의 집중하중을 받는 수직보강재의 면적만을 고려하고, 집중하중에 대한 응력의 분배는 보강재의 최소 길이로써 충분히 고려할 수 있으므로, 설계시에 적용되는 유효단면적은 수직압축응력의 증가가 없는 수직보강재의 길이만을 고려한다면 유효단면적의 감소 또한 발생하지 않는다고 판단된다.

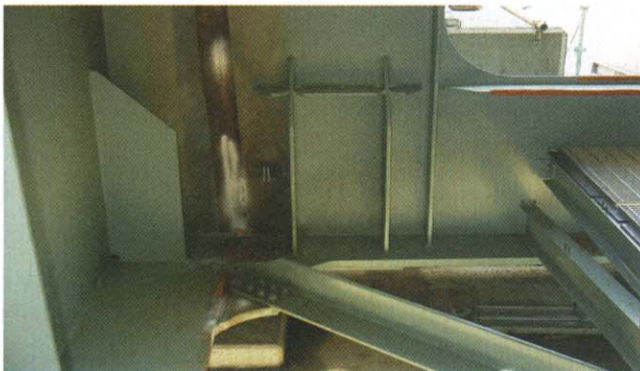


그림 14. 국내 다이아프램부 수직 보강재 길이에 대한 시공사례

또한, 수직보강재의 축방향 압축응력을 산출하는 과정에서 필요한 수직보강재의 유효좌굴 길이도 3개의 수직보강재중에 1개만이 주형의 전 높이에 의해 지지되어 있어도 무관하다고 판단된다. 그림 14은 국내에 실제 시공사례가 있는 하중 집중부의 수직보강재에 대한 사진이며 수직보강재의 최소길이 적용에 대한 가능성은 충분히 발견된다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 두 개의 교량을 대상으로 오버레이 포설 중인 강상자형교와 콘크리트 타설 중인 강상자형교에 대해 실험 및 해석을 통하여 강상형에 사하중이 추가되었을 때 지점부 다이아프램과 그의 수직보강재에 일어나는 응력의 거동을 실측에 의한 값과 구조해석에 의한 값을 비교하고, 또한 지점부 모델링의 변화를 줌으로서 수직보강재의 적절한 높이를 판단하기 위한 자료를 마련하기 위한 목적으로 구조해석을 실시하였고 다음과 같은 결론을 도출하였다.

두 개 교량의 하중이나 형상 등 내, 외적인 조건이 같지 않기 때문에 같은 결론을 얻을 수 있는 접근방법을 배제하고 각각의 교량을 독립적인 상태로 놓고 각각의 경우에 대해 비교 및 분석을 함으로써 강상자형의 지점부 다이아프램에 대한 몇 가지 결론을 내릴 수 있었다.

- (1) 지점부의 모델링은 전체모델링에서 구한 반력을 이용하여 서브모델링의 지점부 슬 플레이트에 등분포의 반력을 pressure 형태로 부여하는 것(대상교량 ①의 경우)과 지점부를 Rigid Links를 사용하여 모델링하는 것(대상교량 ②의 경우)이 실측치와 유사한 값을 갖는다는 것을 확인할 수 있었다.
- (2) 본 연구에서 고려한 두 개의 교량에서 지점 다이아프램부의 변형률값을 비교하였을 때 온도를 고려하지 않은 구조해석치와 온도보정을 실시한 실측치는 유사하지만 실제적으로 아스팔트 포설과 콘크리트 타설 시 일어나는 온도의 영향을 감안하면 실측치는 인장값으로 이동되어 온도를 고려하지 않은 구조해석치에 비해 각 부분 압축응력이 작게 나타남을 볼 수 있다. 따라서 아스팔트와 콘크리트 무게에 의해 나타나는 압축응력이 온도에 의해 상쇄됨을 알 수 있었다.
- (3) 강상자형의 추가 사하중에 따른 구조해석의 결과에 의하면 현재 상,하 플랜지 사이에 전체에 배치되는 일반적인 수직 보강재의 역할은 그 길이의 약 1/2 하부에서만 큰 역할을 할 뿐, 그 이상의 길이에 있어서는



응력의 흐름이 분산되어 그 역할이 크게 감소할 뿐 아니라 오히려 부의 효과를 가져올 수도 있음을 확인하였다.

### 감사의 글

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(R01-2002-000-00484-0(2003))지원으로 수행되었습니다.

### 참 고 문 헌

구현서(2002) 콘크리트 바닥판 연속타설에 따른 강상자형교

의 거동, 석사학위논문, 충북대학교.

김동표(2002) 지점부 다이아프램 응력분배 거동, 석사학위논문, 충북대학교.

대한토목학회(2003) 도로교설계기준·해설, 제3장 강교편

서석구(1998) 강박스거더교의 다이아프램 설계법, 한국강구조학회지, 한국강구조학회, 제10권 4호, pp. 126-132

정찬목(1997) 강박스 합성형교의 슬래브타설 방식에 따른 지점부 곡률의 영향, 한국강구조학회지, 한국강구조학회, 제 9권 4호, pp. 29-33

(접수일자 : 2003. 5. 23 / 심사일 2003. 7. 4 /

심사완료일 2003. 10. 6)