

# 일체교대식 판형교의 사각변화에 따른 파일기초 거동분석

## Behavior of Pile Foundation of Skewed Plate Girder Bridge with Integral Abutment

서혜선\* · 이 성우\*\*  
Seo, Hye Sun · Lee, Sung Woo

### ABSTRACT

One solution to prevent deterioration due to expansion joint and to extend lifetime of short span bridges, is jointless integral abutment bridge. To understand behavior of pile foundation of skewed plate girder bridge with integral abutment, finite element analysis was performed for the model of different skew angle from  $90^\circ$  to  $50^\circ$ . Comparison of stresses at pile and abutment was made for each case. It is found that effect of temperature change is major factor to influence the behavior of skewed integral abutment bridge.

### 1. 서 론

성수대교 붕괴 이후 교량의 유지관리에 각별한 관심이 고조되고 있는 현재, 기존의 신축이음장치가 있는 길이가 짧은 교량에 대해 교량 전체에 신축이음장치를 두지 않는 일체구조 형식으로 건설하여 신축이음 파손으로 인하여 가속화되는 노후화 현상을 저감시켜 교량의 수명을 연장시키고, 유지관리 비용을 현저히 절감할 수 있는 무신축이음 일체구조기법의 개발이 절실히 요구되고 있는 실정이다.

길이가 긴 교량은 온도에 의한 신축을 흡수하기 위한 신축이음장치가 반드시 필요하게 된다. 그러나 길이가 짧은 교량은 해외에서는 교량 전체에 이러한 신축이음장치를 제거하여 일체식 구조로 건설하고 있다. 그러나 국내에서는 현재까지도 신설되는 짧은 교장의 교량에 대해서 지간장, 구조형식, 사용재료에 상관없이 일부 콘크리트 라멘식 교량을 제외하고는 전부 신축이음장치를 설치하여 시공하고 있는 실정이다. 신설교량 뿐만 아니라 기건설되어 있는 전국 대부분의 짧은 길이 교량에도 신축이음장치가 설치되어 있으며 신축이음 장치의 파손으로 인한 유지보수비의 증가와 교량 수명의 단축으로 인해 경제적 손실을 유발시키고 있다.

일체교대식 교량과 관련하여 지금까지 해외에서는 실물크기 일체식 교량을 제작하여 온도변화에 의한 일체식 교량의 안전도를 실험을 통해 검증하였고,<sup>(5)</sup> 무조인트 교량의 파일 설계기법<sup>(6)</sup> 및 일체교대식 사교의 설계기법<sup>(7)</sup> 등이 연구되어 왔다. 또한 국내에서는 해외 일체교대식 교량의 현지조사와 지금까지의 문헌을 참고

\* 국민대학교 토목환경공학과 석사

\*\* 국민대학교 토목환경공학부 교수

로 하여 일체교대식 교량 설계기법을 국내에 소개하고 이것들을 수정보완하여 국내실정에 맞게 적용한 설계 방법의 연구<sup>(1)~(4)</sup> 등이 이루어졌고 현재 한국도로공사에서도 일체교대식 교량의 시험시공을 추진하고 있는 실정이다.

본 연구에서는 일체교대식 교량의 국내적용 전 단계로 해석적인 검증을 위한 연구의 일환으로 지간이 60m인 2경간 연속 일체교대식 판형교에서 온도하중을 포함한 여러가지 하중경우에 사각변화가 교대부와 파일에 미치는 영향을 분석하였고,<sup>(4)</sup> 그 주요 결과를 본 논문에 수록하였다.

## 2. 일체교대식 교량의 설계기법

### 2.1 일체교대식 교량의 파일설계

해외에 건설된 일체교대식 교량의 경우 교대에는 주로 H형 강재파일을 사용하고 교량 상부구조물의 팽창과 수축에 따라 유연하게 거동할 수 있도록 파일단면을 배치하고 있다. 사교에 대해서 미국은 각 주마다 파일단면을 다양하게 배치하고 있으나,<sup>(7)</sup> 본 논문에서는 참고문헌 (8)을 토대로 파일의 약축을 교대축과 평행하게 배치하고 적절한 지반조건을 적용하여 일체교대식 판형교의 파일을 설계하였다. 교대벽체는 교대가 상부구조물의 온도신축에 의해 교축 방향으로 변형한다고 가정하여 Rankine 수동토압이 벽체 전체에 작용하는 것으로 설계하였다.

일체교대식 교량의 파일을 시공할 때에는 상부구조물의 이동을 유연하게 하기 위해 허용량(3m)만큼 프리보링하고, 교대뒷채움은 교대의 이동을 용이하게 수용하여 교대에 작용하는 수동토압을 최소화하도록 다짐하지 않은 자갈재를 뒷채움재로 사용하도록 하고 있으므로<sup>(1)</sup> 이러한 인자를 파일설계시 고려하였다.

### 2.2 등가 캔틸레버법을 이용한 파일설계

지반에 근입된 파일은 지표에서 일정 깊이 아래 고정된 캔틸레버 기둥으로 이상화시켜 생각할 수 있다. 등가 캔틸레버 길이는 항두지지조건(고정 또는 핀)과 지반상태에 따라 다르게 계산된다. 파일 전체길이 중 지중에 있는 길이를  $l$ , 흙으로 지지되지 않은 구간의 길이를  $l_u$ 라고 했을 때 지중길이  $l$ 에 대한 지중의 등가 캔틸레버 길이  $l_c$ 는 다음식을 이용해서 반복해법으로 구할 수 있다.<sup>(8)</sup>

$$l_c = 4 \sqrt{E_p I_p / 144 K_e} \quad (1)$$

$$K_e = \frac{3}{L_o^3} \int_0^{L_o} K_h(x) (L_o - x)^2 dx \quad (2)$$

$$L_o = l / 2 \quad (\text{최초 계산시}) \quad (3)$$

$$L_o = l_c / 2 \quad (\text{다음단계 계산시})$$

식(1)에서  $E_p$ 는 파일의 탄성계수,  $I_p$ 는 파일의 단면2차모멘트이고, 식(2)에서  $x$ 는 교대바닥으로부터의 파일 길이,  $K_h$ 는 지반의 수평강도를 나타낸다.

상기 식을 이용하여  $l_c$ 를 구하는 절차는 지반조건이 균일하지 않은 경우 근입된 파일에 대해서 먼저  $L_o$ 를 가정하고 식(2)를 이용하여 균일한 등가의 횡방향 지반강도  $K_e$ 를 계산한다.  $K_e$ 를 식(1)에 대입하여 구한 등가 캔틸레버 길이  $l_c$ 가 처음에 가정한  $2L_o$ 와 같도록 이 과정을 반복한다.

식(1)에서 구한  $l_c$ 와  $l_u$  값으로 경험식을 이용하여<sup>(8)</sup> 파일설계를 위한 유효 등가 캔틸레버 길이  $l_e$ 를 구

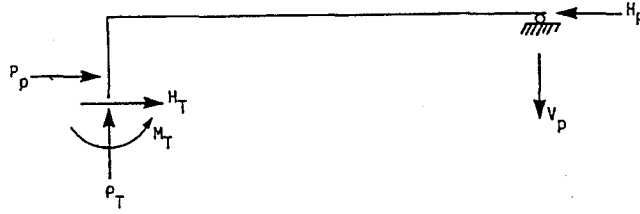


그림 1 일체교대식 교량에 작용하는 힘

하게 된다.  $l_e$ 는 지반과 파일 사이의 수평강도, 파일에서의 최대 모멘트, 파일의 탄성 좌굴하중에 대하여 각각 계산된다. 이 유효 등가 캔틸레버 길이를 이용하여 그림 1에서 표시된 파일에 작용하는 힘과 모멘트값들을 구하고, 이 값들을 이용하여 설계응력을 검토한다.<sup>(6)(8)</sup>

상부거더 단부에서의 회전각 R과 상부거더의 회전으로 인한 파일 항두 모멘트  $M_w$ 는 식(4)를 이용하여 계산되고, 온도신축으로 인한 파일의 수평하중  $H_T$ 와 파일 모멘트  $M_T$ 는 식(5), (6)과 같이 계산된다. 또한 교대에 작용하는 수동토압  $P_p$ 와 온도하중과 수동토압에 의해 생기는 수직하중  $P_T$ 는 식(7), (8)을 이용하여 계산된다.

$$R = WL_g^2 / 24E_g I_g \quad , \quad M_w = 4E_p I_p R / l_e \quad (4)$$

$$H_T = D_1 E_p I_p \Delta_T / l_e^3 \quad (5)$$

$$M_T = D_2 E_p I_p \Delta_T / l_e^2 \quad (6)$$

$$P_p = \gamma h^2 [\tan^2(45 + \Phi/2)] s / 2 \quad (7)$$

$$P_T = [ P_p (2h/3) + H_T h + M_T ] / L_g \quad (8)$$

$$M = M_w + M_T \quad (9)$$

탄성계수 E와 단면2차모멘트 I의 표기에서 첨자 p는 파일, 첨자 g는 거더를 표시하고, 식(4)에서 W는 단부지간의 상부거더에 작용하는 전체하중(사하중+활하중),  $L_g$ 는 단부지간의 길이를 나타낸다. 식(5)와 (6)에서  $\Delta_T$ 는 교대에서의 온도에 의한 변위량을 나타내고,  $D_1$ 과  $D_2$ 는 파일의 항두조건에 따른 계수로  $D_1$ 은 힌지일 때 3, 고정일 때 12이고  $D_2$ 는 힌지일 때는 3, 고정일 때는 6이다. 또한 식(7)에서  $\gamma$ 는 흙의 단위중량,  $\Phi$ 는 흙의 내부마찰각, s는 파일간격, h는 교대높이를 나타낸다. 또한  $l_e$ 는 유효 등가 캔틸레버 길이를 나타내는데, 식(4)와 (6)에서  $l_e$ 는 모멘트에 대한 등가 캔틸레버 길이를, 식 (5)에서  $l_e$ 는 수평강도에 대한 등가 캔틸레버 길이를 나타낸다.

### 3. 일체교대식 판형교의 설계

일체교대식 판형교의 설계조건을 표 1에 나타내었고 단면은 그림 2, 그림 3과 같이 가정하였다.

표 1 설계조건

지간		2 @ 30.0 = 60.0m	
교량폭		12.145m	
차선수		3차선	
활하중		DB-24, DL-24	
아스팔트 포장 두께		8cm	
온도변화	기준온도		10℃
	콘크리트 바닥판	하절기	45℃
		동절기	-20℃
	강재거더	하절기	40℃
		동절기	-25℃

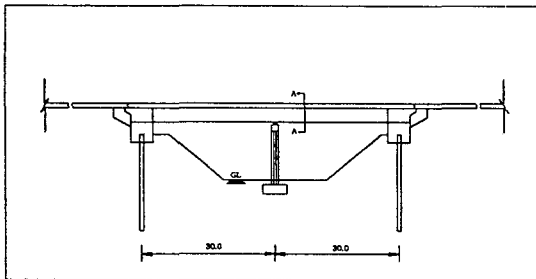


그림 2 일체교대식 판형교의 종단면도

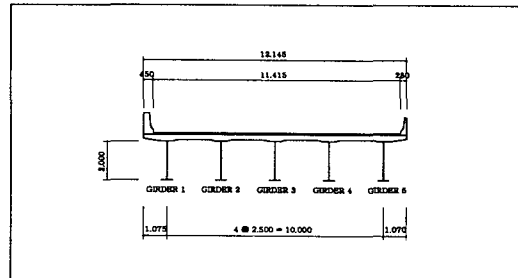


그림 3 판형교의 횡단면도

### 3.1 상부구조설계

일체교대식 교량의 상부구조는 신축이음장치가 있는 일반적인 판형교의 상부구조와 같은 방법으로 계산한다. 대상단면에 대해 합성전·후 사하중과 활하중으로 계산된 종방향 최대 정모멘트와 부모멘트에 대한 응력검토 결과 허용응력 범위 내에 있어 본 논문에서는 검토대상단면을 상부구조단면으로 결정하였다.

### 3.2 일체교대식 교량의 파일설계

전절에서 결정된 상부구조를 지지하는 일체식 교대의 파일은 단면형상이 W14×500 (498mm×432mm)인 강재파일을 가정하였으며 설계지반조건은 표 2와 같이 가정하였다.

실제 파일길이 15m에 대해 등가 캔틸레버 길이  $l_e$ 는 13.5m로 계산되었고 이  $l_e$ 를 이용하여 각각의  $l_e$ 를

표 2 설계지반조건

지반길이	지반상태	N치	주변마찰력(ton)
3m	프리보링	3	2.40
5m	중간 모래	10	13.31
6m	조밀한 모래	25	39.93
1m	연암	40	10.65
계			65.29

표 3 유효 등가 캔틸레버 길이를 이용하여 계산한 응력

		계산값	계	응력(kg/cm <sup>2</sup> )
$f_b$	$M_w$	32.97 t.m	61.14 t.m	1100.7
	$M_r$	28.18 t.m		
$f_a$	$P_r$	2.64 t	59.27 t	62.5
	$V_p$	56.63 t		

계산하였다. 지반과 파일사이의 수평강도 계산에 사용된  $l_e$ 는 6.75m, 파일의 최대모멘트 계산에 사용된  $l_e$ 는 8.10m, 파일의 탄성좌굴하중 계산에 사용된  $l_e$ 는 13.80m로 계산되었다. 이 유효 등가 캔틸레버 길이를 이용하여 파일에 작용하는 모멘트와 축력값을 구하고 응력을 계산한 값은 표 3과 같다. 이 응력값을 이용하여 합성응력에 대한 허용응력을 검토한 결과 허용치 내에 들어와 가정한 단면을 지지파일 단면으로 결정하였다.

#### 4. 사각변화에 따른 일체교대식 판형교의 거동분석

##### 4.1 해석모델

3장에서 설계된 일체교대식 판형교에 대해 사각을  $90^\circ$ 에서부터  $5^\circ$ 씩 변화시켜 사각이  $50^\circ$ 가 되는 경우까지의 해석모델을 고려하였고 해석모델에서 사각은 그림 4와 같이 정의하였다. 각 경우의 모델에 대해 사하중과 DB-24 활하중, 기준온도  $10^\circ\text{C}$ 에 대한 동결기와 하절기의 온도하중을 고려하여 해석하였고, 해석 결과를 이용하여 교량의 사각변화에 따른 일체교대식 판형교의 파일과 교대부 응력변화를 비교분석하였다.

본 논문에서는 일체교대식 판형교를 유한요소 프로그램 SAP90으로 탄성해석하였다. 해석모델에서 강재 거더의 상하부 플랜지는 Frame요소로 모델링하였고, 웨브는 Shell요소로 모델링하였다. 콘크리트 바닥판은 Shell요소 모델링하였고, 바닥판과 거더 연결부는 강성이 큰 Frame요소로 연결하였다. Bracing은 5m 간격으로 거더 사이에서 Frame요소로 모델링하였고, 교대벽체는 Solid요소, 파일은 Frame요소로 모델링하였다. 또한 파일이 근입된 지반은 수평방향 지반강도계수  $K_h$ 를 가지는 스프링으로 모델링하였다. 그림 5에는 사각이  $50^\circ$  일 때의 구조해석 모델을 보여주고 있다.

해석결과 분석시 응력값 비교검토를 위한 위치를 다음과 같이 표기하여 그림 6에 나타내었다. 파일과 교대 접속부에서 그림 4에서 표시된 파일 1의 상단을 PT1, 파일 2의 상단을 PT2로 표기하였고, 거더 1쪽 최외곽 단부에 위치한 바닥판접속부 교대의 상부를 DA1, 거더 1위치에서 바닥판접속부 교대의 상부를 DA2, 거더 5쪽 최외곽 단부에 위치한 바닥판접속부 교대의 상부를 DA7로 표기하였다. 또한 파일과 교대접속부에서 파일 1과 접하는 교대부를 PA1, 거더 1의 하부플랜지와 접속되는 교대부를 GA1로 표기하였다.

##### 4.2 사각변화에 따른 교대와 파일의 거동분석

###### 가. 일체교대식 교량의 파일상단 응력검토

하절기 온도하중에 대한 해석결과를 분석해 보면 직교일 때(사각이  $90^\circ$ ) 파일상단에서의 축력은 상부구조의 온도상승으로 PT1, PT5에는 압축력이, PT2, PT3, PT4에는 인장력이 발생하였다. 사각이 감소함에 따라

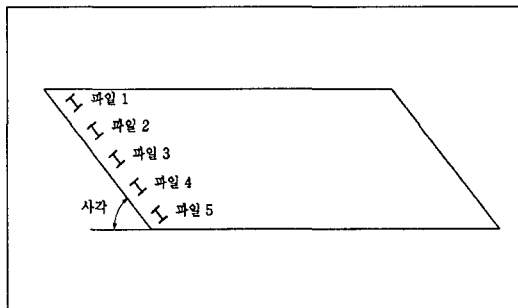


그림 4 사교에서 사각의 정의

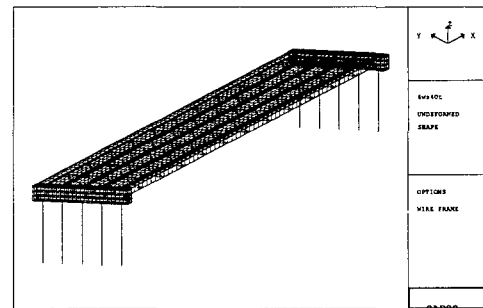


그림 5 사각이  $50^\circ$ 인 일체교대식 판형교의 모델링

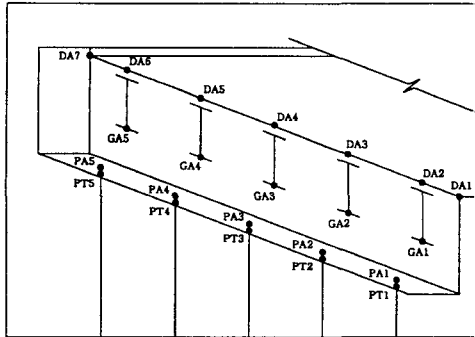


그림 6 교대부의 해석위치

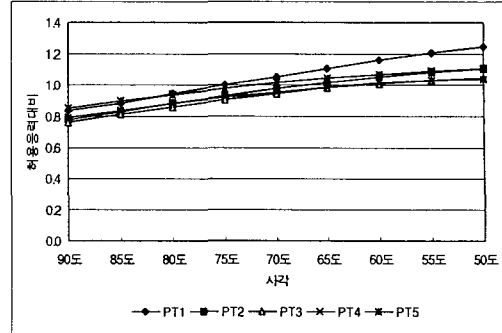


그림 7 하절기 온도하중, 사하중, 1,2,3차선 활하중을 조합한 경우 사각변화에 따른 일체교대식 교량 파일상단의 허용응력대비값의 변화

각 위치에서의 축력은 점점 증가하여, PT1에서는 사각이 50° 인 사교는 직교일 때에 비해 80% 정도의 축력 증가를 나타내었다. 파일상단부에서 강축방향 모멘트  $M_x$ 는 직교일 때에 거의 나타나지 않지만 사각이 감소함에 따라 부모멘트가 급격히 증가하였다. 직교와 사각이 50° 인 사교의 해석결과를 비교해 보면 약축방향 모멘트  $M_y$ 는 PT1에서 정모멘트가 15%가 증가하지만, PT5에서는 26%가 감소한다. 따라서 하절기 온도하중을 고려한 경우에 사각변화가 커지면 예각부쪽으로 갈수록 파일상단의  $M_y$ 는 증가하여 예각부쪽 파일에 더 큰 응력이 발생한다. 동절기 온도하중을 고려한 경우에는 파일상단의  $M_y$ 는 부모멘트가 되므로 사하중과 활하중으로 발생하는 정모멘트와 중첩할 경우 상쇄되어 결과적으로 파일상단에서 일어나는 모멘트는 감소하게 된다.

파일상단의 최대응력은 하절기 온도하중, 사하중, 1,2,3차선 활하중을 함께 고려한 하중조합에서 발생한다. 그림 7에서는 최대응력 발생시 사각변화에 따라 각 위치에서의 파일상단 응력에 대한 허용응력대비값을 보여주고 있다. 직교인 경우 그림 7에서 알 수 있는 바와 같이 파일상단에서 가장 크게 나타나는 허용응력대비값은 PT5에서 0.856이나, 사각이 감소함에 따라 파일상단의 허용응력대비값은 증가하게 되어 사각이 75° 일 때 PT1에서 가장 먼저 허용응력을 초과하며, 사각이 60° 일 때는 모든 파일에서 허용응력을 초과한다. 따라서 사각이 75° 이하의 사교에서는 본 논문에서 설계된 파일단면이 부족함을 알 수 있다. 또한 PT5에서는 직교일 때에 비해 사각이 50° 일 때가 허용응력대비값이 1.29배 증가한 반면 PT1은 1.48배 증가한 것으로 나타났다. 이와 같은 현상은 사각변화가 커질수록 예각부쪽 파일이 둔각부쪽 파일보다 더 큰 합성응력을 받게 되어 허용한계를 먼저 초과하게 되는 것을 의미하므로 일정 사각 이하의 사교인 경우 예각부쪽에 보다 큰 단면의 파일을 사용해야 할 것으로 평가되었다. 또한 하절기 온도하중만으로 발생하는 파일상단의 응력은 사각변화에 관계없이 최대응력이 발생하는 하중조합에 비해 70% 정도로 나타나 온도하중은 일체교대식 교량에서 가장 크게 고려해야 할 하중임을 확인할 수 있었다.

#### 나. 바닥판접속부의 교대응력 검토

사하중만 고려한 경우 일체교대식 판형교의 바닥판접속부 교대응력은  $3\text{kg/cm}^2$  이하로 거의 발생하지 않는다. 그림 8에서는 하절기 온도하중을 고려한 경우에 사각변화에 따라 발생하는 바닥판접속부의 X축방향 교대응력  $\sigma_{xx}$ 를 보여주고 있다. 그림 8에서 알 수 있는 바와 같이 사각이 감소함에 따라 바닥판접속부 교대에서는 인장응력이 증가하고, 이 때 둔각부쪽이 예각부쪽보다 응력이 더 크게 증가한다. 본 논문에서는 도시하지 않았지만 바닥판접속부의 Y축방향 교대응력  $\sigma_{yy}$ 는 하절기 온도하중을 고려한 경우에는 인장응력, 동

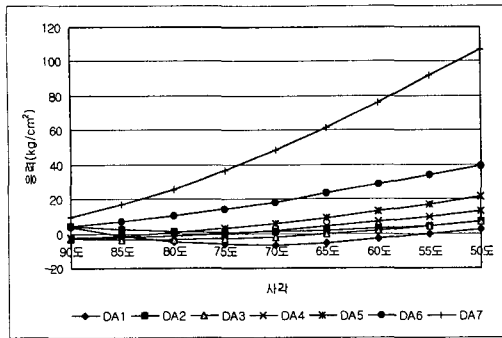


그림 8 하절기 온도하중을 고려한 경우 사각변화에 따른 바닥판접속부의  $\sigma_{xx}$  변화

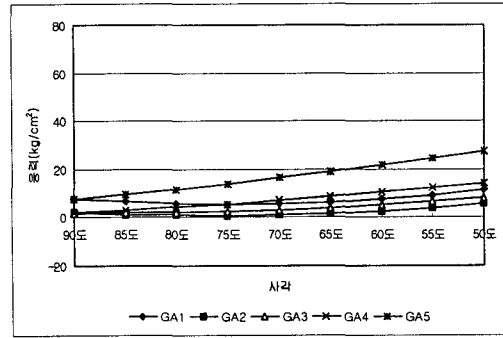


그림 9 하절기 온도하중을 고려한 경우 사각변화에 따른 일체교대식 교량 거더접속부의  $\sigma_{xx}$ 의 변화

절기 온도하중을 고려한 경우에는 압축응력이 발생하였고 둔각부쪽 DA7로 갈수록 응력이 더 크게 감소하는 경향을 보였다.

바닥판접속부 교대에서의 최대응력은 하절기 온도하중, 사하중, 1,2,3차선 활하중을 함께 고려한 하중조합에서 발생한다. 직교일 때에 비해 사각이 50° 일 때 DA1에서는 주응력이 2% 증가한 반면 DA7에서는 77% 증가하는 것으로 나타났다. 이것은 파일상단의 응력변화와는 반대로 사각이 감소함에 따라 바닥판접속부 교대에는 둔각부쪽에 더 큰 합성응력이 발생하여 사교인 경우에 둔각부쪽 교대에는 응력증가에 따른 별도의 조치가 필요한 것으로 평가되었다.

#### 다. 거더접속부의 교대응력 검토

사하중만 고려한 경우 일체식 교대의 거더접속부 교대에는 사각변화에 상관없이 응력이 미소하게 발생한다. 그림 9에서는 하절기 온도하중을 고려한 경우에 사각변화에 따라 발생하는 거더접속부의 교대응력  $\sigma_{xx}$  를 보여주고 있다. 그림 9에서 알 수 있는 바와 같이 거더접속부 교대에는 모든방향으로 인장응력이 발생하고, 이 경우에 사각이 감소함에 따라 둔각부쪽 GA5에서 응력이 가장 크게 증가하였다. 동절기 온도하중을 고려한 경우 거더접속부의 교대에는 사하중과 활하중을 고려했을 때와 같이 모든 방향으로 압축응력이 발생하는데, 이는 온도가 하강하는 동절기가 온도가 상승하는 하절기에 비해 거더접속부 교대에 큰 응력을 발생시키는 것을 의미한다. 최대응력이 발생하도록 동절기 온도하중, 사하중, 1,2,3차선 활하중을 조합한 경우에는 사각이 50° 일 때 GA5에서 최대압축응력  $-63.40\text{kg/cm}^2$ 가 발생하나, 이 값은 콘크리트 허용휨압축응력  $112\text{kg/cm}^2$ 를 초과하지 않는다. 이 때 거더접속부의 교대응력은 직교일 때에 비해 사각이 50° 일 때 주응력이 GA1에서 13%가 감소하고 GA5에서는 21%가 증가하는 것으로 나타나 사각변화에 따른 거더접속부의 교대응력은 둔각부쪽이 더 크게 증가하고, 거더접속부가 바닥판접속부보다 영향이 작다는 것을 확인하였다.

#### 라. 파일접속부의 교대응력 검토

최대응력이 발생하도록 한 하중조합에서 파일접속부 교대응력은 사각이 50° 일 때 최대  $-21.30\text{kg/cm}^2$ 로, 앞서 검토한 바닥판접속부와 거더접속부의 교대응력에 비해 상대적으로 작은 응력이 발생하고, 사각변화에 따른 응력도 예각부쪽 파일접속부 교대 PA1에 최대  $20\text{kg/cm}^2$ 의 응력변화가 발생하는 것을 제외하고는  $5\text{kg/cm}^2$  내외로 응력변화가 작게 나타났다. 따라서 파일접속부의 교대응력은 사각변화의 영향을 거의 받지 않는 것으로 평가되었다. 본 논문의 보다 자세한 내용은 참고문헌 (5)를 참고하기 바란다.

## 5. 결론

본 논문에서는 지간이 60m, 2경간 연속 일체교대식 판형교를 여러가지 하중조건으로 분석하였다. 판형교의 사각은 90°에서부터 5°씩 변화시켜 사각이 50°가 되는 경우까지 고려하고 각 경우의 모델에 대해 교량의 거동특성을 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 사각변화에 따른 파일상단의 응력변화를 분석해 본 결과 최대응력이 발생하는 하중경우 사각이 50°일 때 둔각부에 위치한 파일(PT5)에서는 직교일 때에 비해 허용응력대비값이 1.29배 증가한 반면 예각부에 위치한 파일(PT1)에서는 1.48배 증가한 것으로 나타났다. 이와같은 현상은 사각변화가 커질수록 예각부에 위치한 파일이 둔각부쪽 파일보다 더 큰 합성응력을 받게 되어 허용한계를 먼저 초과하게 되는 것을 의미하므로 사교인 경우 예각부쪽부터 보다 큰 단면의 파일을 사용해야 할 것으로 평가되었다.

2. 사각변화에 따른 교대부 응력변화를 분석해 본 결과 바닥판접속부에서는 사각이 50°인 경우 직교에 비해 예각부쪽 주응력이 2% 증가한 반면 둔각부쪽에서는 77% 증가하는 것으로 나타났다. 이와 같은 현상은 사각변화가 커질수록 둔각부에 위치한 교대에서 더 큰 합성응력이 발생하여 사교인 경우 파일과는 반대로 둔각부쪽의 교대에 응력증가에 따른 별도의 조치가 필요한 것으로 평가되었다. 그러나 거더접속부와 파일접속부에서는 사각변화의 영향이 비교적 적게 나타나서 이 부분에 대해서는 사각변화에 따른 별도의 조치는 요구되지 않을 것으로 평가되었다.

3. 검토대상 일체교대식 교량의 경우 온도하중만으로 발생된 파일상단과 교대부 응력은 사각변화에 관계 없이 최대응력이 발생하는 경우에 비해, 파일상단은 70% 정도로 나타났고 교대부는 90% 정도로 나타나 일체교대식 교량에서 온도하중이 가장 크게 고려해야 할 하중임을 확인하였다.

4. 기준온도 10℃에 대해 온도가 상승한 하절기와 온도가 하강한 동절기에 발생한 응력을 분석해 본 결과 하절기에 더 큰 응력이 발생함을 알 수 있어 온도상승시 응력증가에 대비한 설계가 반드시 필요한 것으로 확인되었다. 이러한 결과는 온도상승시 발생하는 응력이 사하중 및 활하중으로 발생하는 응력과 같은 방향인데 비해 온도하강시에는 반대방향으로 응력이 발생하는 사실에 기인하기 때문인 것으로 사료된다.

## 참 고 문 헌

1. 이성우, "유지관리가 용이한 무신축이음 교량의 일체 구조기법 개발", 국민대학교 구조안전연구소, 연구보고서, KMU/SSRC-96/05, 1996. 5.
2. 이성우, 나정우, 조남훈, "일체 구조형식 교량의 설계 및 시공기법 연구", 한국전산구조공학회, 학술발표회 논문집, 1996. 10.
3. 조남훈, "일체교대식 강상자형 교량의 거동특성분석", 국민대학교 석사학위논문, 1997. 7.
4. 서혜선, "사각변화에 따른 일체교대식 판형교의 거동연구", 국민대학교 석사학위논문, 1998. 7.
5. Schaefer, V. R., "Void Development Under Bridge Approachs", South Dakota Department of Transportation, 1987.
6. Robert E. Abendroth, Lowell Greimann, Patrick B. Ebner, "Abutment File Design for Jointless Bridges", ASCE, Vol. 115, No. 11, 1989. 11.
7. L. F. Greimann, A. M. Wolde-Tinse, P. S. Yang, "Skewed Bridges with Integral Abutments" Transportation Research Record No. 903
8. Hota Gangarao, P. E., "Survey and Design of Integral Abutment Bridges", Pennsylvania, 1996. 11.