

## 단경간 일체식교대 교량의 거동에 대한 해석적 연구

### Analytical Investigation on the Behavior of Simple Span Integral Abutment Bridge

홍정희\*                      정재호\*\*                      박종면\*\*\*                      유성근\*\*\*\*                      윤순중\*\*\*\*\*  
Hong, Jung-Hee                      Jung, Jae-Ho                      Park, Jong-Myen                      You, Sung-Kun                      Yoon, Soon-Jong

#### ABSTRACT

This paper presents an analytical investigation on the behavior of simple span integral abutment bridge. An integral abutment bridge is a simple span or multiple span continuous deck type bridge having the deck integral with the abutment wall. Although the temperature variation and earth pressure are the major attributor to the total stress in integral abutment bridge, the superstructure has been designed by modeling it as a simple or continuous beam. In order to investigate the effect of temperature change and earth pressure on the superstructure of integral bridge, the simple span integral bridge is modeled as a plane frame element. Performing frame analysis, the variations of bending moment and axial force of superstructure due to the various loading combination are investigated with respect to the flexural rigidity of piles, and the bending moment and axial force obtained by frame analysis are compared with the maximum bending moment obtained by conventional design method and initial prestressing force respectively.

#### 1. 서론

일반 조인트교량에서 신축이음부는 온도, 습도 등의 외부환경 변화에 의한 상부구조의 신축을 처리하기 위해 꼭 필요한 구성요소이다. 그러나 누수 또는 이물질 침투 등에 의해 쉽게 파손되므로 교량의 유지관리 측면에서 문제가 되고 있다. 신축이음장치의 파손 및 베어링의 손상은 결과적으로 차량의 주행성을 저하시키고 충격하중을 증대시키며 베어링의 작동불량에 의해 교량의 전체 구조계에 변화를 주기도 한다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 개발된 일체식교대 교량(integral abutment bridge)은 상부구조와 교대를 일체화하여 교량 전체에 신축이음부를 없앤 교량으로서 온도변화에 의한 상부구조의 신축을 파일기초의 유연한 거동을 이용하여 처리하는 방법이다.

일체식교대 교량은 경험에 의해서 실용성이 인정되어 발전해온 공법으로서, 현재 기술선진국에서 매우 활발히 사용되고 있다. 특히 미국 각 주(Tennessee, Ohio, Illinois 등)의 DOT(Department of Transportation)에서는 중소교량을 건설할 경우 현장조건이 허락된다면 우선적으로 일체식교대 교량을 사용하도록 규정하고 있을 정도로 그 성능의 우수성이 인정되고 있다.<sup>(1)</sup> 국내의 경우 최근 일체식교대 교량에 대한 연구가 진행되어 2001년 11월 한국도로공사와 동아건설산업(주)이 실용화 시험시공을 완료(대전-통영간 고속도로)한 상태이다. 그러나 구조적

\*        홍익대학교 토목공학과 석사과정  
\*\*        홍익대학교 토목공학과 박사과정  
\*\*\*        서울시립대 토목공학과 박사과정  
\*\*\*\*        정회원 · 포스코건설 토목기술팀  
\*\*\*\*\*    정회원 · 홍익대학교 토목공학과 부교수

거동특성에 대한 이해와 실험적 연구가 아직은 미흡하여 정형화된 설계 및 시공 기준이 확립되어 있지 않은 상태이다. 따라서 본 연구에서는 일체식교대 교량의 거동에 관한 연구의 일환으로 먼저 단경간 일체식교대 교량의 다양한 하중조건에 따른 거동을 평면프레임 해석을 통해 조사하였다. 일체식교대 교량의 상부구조 형식은 콘크리트 슬래브, PSC빔, steel plate girder 등 다양할 수 있으나 본 연구에서는 PSC빔 교량으로 그 형식을 제한하였다.

## 2. 일체식교대 교량

### 2.1 구조형식

일체식교대 교량(그림 1 참조)은 일반 조인트교량(그림 2 참조)에서 필히 사용되는 교대의 교좌장치와 신축이음장치를 없애고 상부거더와 교대를 일체화한 구조형식이다. 상부구조와 교대가 일체로 시공되므로 온도변화에 의한 상부구조의 신축을 허용할 수 있도록 하기 위하여 상대적으로 휨강성이 작은 유연한 파일을 기초로 사용하는 데, 일반적으로 H파일을 약축으로 일렬 배열하는 방법이 많이 사용된다. 또한 교대 배면에 작용하는 수동토압의 크기를 줄이기 위해 높이가 낮은 일명 난쟁이 교대(stub type abutment)가 사용되며 교대 배면의 뒤채움재는 다짐을 하지 않은 자갈재를 사용하기도 한다. 교량의 상부구조와 도로부가 접속슬래브로 연결되는 경우 교대와 접속슬래브는 일체로 시공되며 교량의 상부구조에서 전달되는 수평변위를 흡수 처리하기 위해 접속슬래브와 도로부 연결 경계부에 cyclic control joint를 설치한다.

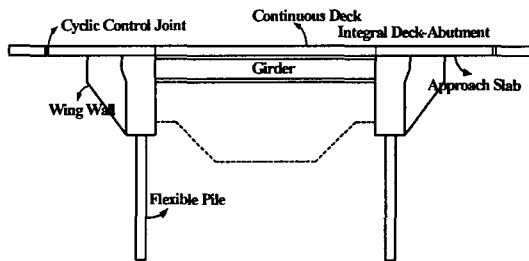


그림 1. 일체식교대 교량

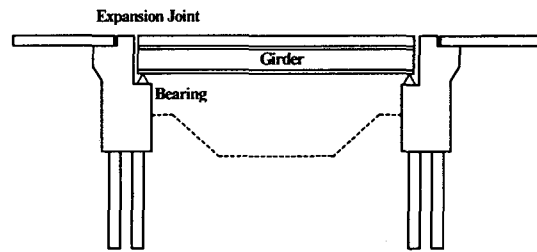


그림 2. 일반조인트교량

### 2.2 시공단계 및 설계방법

일체식교대 교량의 시공단계는 상부구조의 형식에 따라 차이는 있으나 크게 2단계로 구분된다.<sup>(2)</sup> 1단계는 상부거더가 교대 위에 단순거치된 상태이며 상부거더는 거더자중과 경화하지 않은 상태의 콘크리트 슬래브, 다이어프램, 교대의 자중을 지지하게 된다. 2단계는 사용상태에 있는 단계이며 교대와 콘크리트 슬래브가 완전히 경화된 후 상부구조와 하부구조가 일체가 된 상태이다. 이 단계에서 구조물은 보도나 연석 및 아스팔트 포장 등에 의한 합성후 고정하중과 활하중을 받게 되며 또한 시간이 경과함에 따라 온도변화와 토압의 영향을 받게 된다. 이 하중들에 의한 일체식교대 교량의 거동은 일반 조인트교량과 다르다. 즉, 상부구조와 하부구조가 일체가 되어 프레임 거동을 하는 상태이므로 상부구조에 작용하는 하중의 영향이 하부구조에 전달되며 상부구조의 온도변화에 따른 신축은 하부구조에 의해 구속을 받게 된다. 또한 상부구조의 신축은 교대의 변위를 발생시키며 교대 변위에 의해 발생한 토압은 하부구조뿐만 아니라 상부구조에도 영향을 미친다. 그러나 일체식교대 교량에 대한 기존 설계방법은 교대 지점부에서의 연속성을 무시하고 일반 조인트교량과 동일하게 설계하고 있다.

일체식교대 교량은 앞에서 언급하였듯이 사용단계에서 발생하는 온도변화에 의해 상부구조에 신축이 발생할 때 하부구조의 구속을 받게되며 지점부에 발생한 구속모멘트가 상부구조에 영향을 줄 수 있다. 또한 상부구조

신축에 의해 발생한 교대 변위는 교대 배면에 수동토압 또는 주동토압을 발생시키며 이 토압의 영향은 교대뿐만 아니라 상부구조에도 영향을 미친다. 따라서 온도변화와 토압의 영향 및 합성후 작용하는 하중에 대해 일체식교대 교량이 프레임 거동을 함으로써 각 하중조건에 따라 상부구조에 발생하는 내력의 변화를 조사할 필요가 있다.

### 3. 일체식교대 교량의 거동에 영향을 미치는 요인

일체식교대 교량의 거동에 영향을 미치는 요인은 여러 가지가 있을 수 있으나 본 연구에서는 토압과 온도변화 및 상부구조와 하부구조의 휨강성비에 의한 영향을 조사하였다.

#### 3.1 토압과 온도변화

교대 배면에 작용하는 토압은 일체식교대 교량의 상부구조에 신축이 발생할 때 교대 배면에 작용하여 교량의 전체 거동에 영향을 미치는 요인의 하나이다. 기존의 설계방법은 상부구조를 설계할 때 토압을 고려하지 않으며 상부구조와 교대의 연결부를 설계할 때 토압을 고려하도록 하고 있다. 이때 토압은 Rankine 수동토압만을 고려하고 있는데 이는 온도가 증가하여 교대 벽체가 배면방향으로 이동할 때 발생 가능한 토압의 최대값이다.

그러나 일체식교대 교량에서 온도감소에 의한 상부구조의 수축으로 벽체가 교량방향으로 이동하는 경우 교대 배면에는 주동토압이 발생하며, 온도증가에 의해 벽체가 배면방향으로 이동하는 경우 교대 배면에는 수동토압이 발생한다. 또한 실제로 교대 벽체가 배면방향으로 이동할 때 발생하는 토압의 크기는 교대 변위의 함수로서 정지토압과 수동토압 사이에 존재할 것으로 추측된다.<sup>(2)</sup> 많은 실험데이터와 유한요소해석으로부터 변위와 토압계수의 상관관계에 대해 일차 비례관계를 제시하고 있는데 이러한 연구결과의 하나로 일체식교대 교량에서 온도증가에 의해 벽체가 배면방향으로 이동한 변위와 토압과의 상호관계를 고려하여 토압계수를 온도증가량의 함수로 정의하면 식 (1)과 같다.<sup>(2), (3)</sup>

$$K = \frac{2K_0 + \alpha dT L_d \varphi}{2 + \frac{L_d H^2 w_e \gamma_s \varphi}{2E_g (A_g + nA_s)}} \leq K_p \quad (1)$$

식 (1)에서  $K_0$ 는 정지토압계수,  $\gamma_s$ 는 뒤채움재의 단위중량,  $\varphi$ 는 수평변위와 토압계수 사이의 선형관계의 기울기이며  $\alpha$ 와  $dT$ 는 상부구조의 열팽창계수 및 온도증가량을 나타낸다. 또한  $L_d$ 와  $H$ 는 상부구조와 교대의 길이이며,  $w_e$ 는 거더간격을 나타낸다.  $E_g$ 와  $A_g$ 는 각각 거더의 탄성계수와 단면적을 나타내며,  $A_s$ 와  $n$ 은 각각 슬래브의 단면적, 거더와 슬래브 콘크리트의 탄성계수비를 나타낸다.

식 (1)의 토압계수를 해석에 사용하는 경우, 온도증가에 따른 교대 벽체의 변위와 토압 사이의 상관관계를 고려하여 간편하면서 실제 구조물의 거동에 가까운 해석 모델링이 가능하다. 식 (1)의 토압계수는 온도 증가에 의해 상부구조에 종방향으로 변위가 발생할 때 교대와 파일 및 교각의 구속력을 무시하고 얻은 값이므로 안전측이라 할 수 있으며, 교량의 양측 교대에서 동일한 온도변위가 발생한다고 가정하였으므로 양측 교대의 기하학적 조건이 유사한 경우에 적용 가능하다고 할 수 있다.

본 연구에서는 온도가 증가하는 경우에 토압계수를 Rankine 수동토압계수와 식 (1)에 의해 계산된 수동토압계수를 각각 사용하였으며, 온도가 감소하는 경우 주동토압계수를 사용하였고, 온도변화가 없는 경우 정지토압계수를 사용하여 토압의 크기를 계산하고 이를 하중조합에 고려하였다.<sup>(3)</sup>

#### 3.2 휨강성비

교대와 파일 및 상부구조 사이의 휨강성비는 프레임구조의 하중분배에 영향을 미친다. 즉 하부구조를 이루는 교대와 파일의 휨강성이 상부구조의 휨강성에 비해 작아질수록 상부구조는 단순보와 유사한 거동을 하게 되며, 하부

구조의 휨강성이 커질수록 상부구조를 구속하는 구속력은 커지며 하중분배는 단순보와 달라진다. 본 연구에서는 상부구조와 파일의 휨강성비( $\beta_{11}$ )를 실제 적용범위인 100~1000으로 변화시켜가며 발생하는 내력을 조사하였다.

#### 4. 단경간 일체식교대 교량의 거동해석

본 연구에서는 상부구조가 PSC빔인 단경간 일체식교대 교량에 대해 온도변화 및 토압을 포함한 조합하중을 작용시켜 프레임 해석을 수행하였으며 해석과정 및 결과는 다음과 같다.

##### 4.1 단면가정

상부구조의 단면은 PSC빔과 콘크리트 슬래브 합성단면으로 가정하였으며, PSC빔은 지간 30m 교량에 대해 국도로공사의 표준단면 제원을 사용하였다. 해석에 사용된 PSC빔과 콘크리트 슬래브 합성단면은 그림 3에 나타내었으며 내측거더와 교대의 단면성질 및 탄성계수는 표 1과 같다.

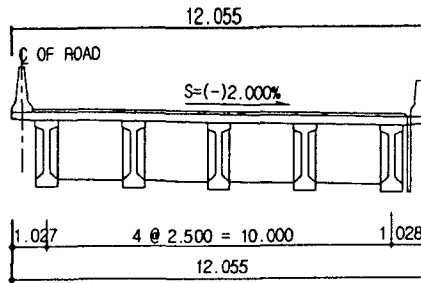


그림 3. 해석에 사용된 PSC빔 교량의 횡단면

표 1. 단면성질 및 탄성계수

구분	탄성계수 (kgf/cm <sup>2</sup> )	단면2차모멘트 (cm <sup>4</sup> )	단면적 (cm <sup>2</sup> )
내측거더	280,000	79,134,179	12,637
교대	246,475	9,140,625	19,500

표 2. 토압계수

수동토압 계수	주동토압 계수	정지토압 계수	식 (1)에 의해 계산된 토압계수
3.0	1/3	0.5	$1.144 / (2 + 0.000529 H^2)$

표 3. 고정하중

합성전 고정하중(tf/m)	PSC빔	1.6785
	슬래브	1.6250
합성후 고정하중(tf/m)	포장	0.4784
전체 고정하중(tf/m)		3.7819

토압의 크기에 영향을 주는 교대의 높이는 난쟁이 교대의 특성을 고려하여 2m, 4m로 변화시켰으며 파일 길이는 2m, 4m, 8m, 12m로 변화시켰다. 상부구조와 파일의 휨강성비( $\beta_{11}$ )는 100~1000으로 변화시켰다. 해석에 사용된 뒤채움재는 한국도로공사 뒤채움 규정의 SB2이며 단위중량이 2.0 tf/m<sup>3</sup>, 내부마찰각은 30°,  $\phi$ 는 24m<sup>-1</sup>이다. 흙의 성질에 따라 계산된 토압계수는 표 2에 나타내었다. 온도변화량은 일반 조인트교량의 신축량 계산에 적용되고 있는 것과 동일하게  $\pm 20^\circ\text{C}$ 를 적용하였다. 합성전 고정하중으로 고려되는 PSC빔과 슬래브의 자중 및 합성후 고정하중으로 고려되는 포장의 하중을 표 3에 나타내었다.

#### 4.2 해석모델 및 하중조합

단경간 일체식교대 교량의 온도변화 및 토압에 의한 거동을 조사하기 위해 그림 4와 같은 2차원 프레임 해석 모델을 사용하였다.

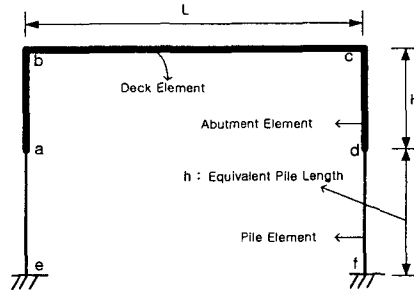


그림 4. 해석모델

상부구조를 단순화시킨 bc 부재의 단면은 한 개의 거더와 유효폭에 해당하는 슬래브의 합성단면이며 bc 부재의 길이는 L로 표시하였다. 교대부를 단순화시킨 ab, cd 부재의 단면은 거더 1개당의 바닥판 슬래브의 유효폭과 동일한 폭을 가진 단면이며 ab, cd 부재의 길이는 교대의 높이로서 H로 표시하였다. 파일부를 단순화시킨 ae, df 부재는 거더 1개당의 파일개수와 파일 1개당의 휨강성을 곱한 크기의 휨강성을 가지며 h로 표시된 파일부의 길이는 등가캔틸레버길이( $l_e$ : equivalent pile length)를 사용하여 나타내었다. 파일의 등가캔틸레버길이는 식 (2)와 같다.<sup>(4)</sup>

$$l_e = l_u + 4 \sqrt{\frac{E_p I_p}{k_h}} \quad (2)$$

식 (2)에서  $l_u$ 는 지지되지 않은 부분의 파일 길이(흙속에 묻혀있을 경우 0)이며  $E_p$ 는 파일 재료의 탄성계수,  $I_p$ 는 파일의 단면2차모멘트,  $k_h$ 는 파일을 지지하는 지반의 지반반력계수를 나타낸다. 따라서 등가캔틸레버길이 이상의 깊이에서 파일의 수평변위는 무시할 수 있으며 파일부재는 부재 끝단에서 고정지지된 것으로 단순화할 수 있다. 그림 4에 나타낸 해석모델은 온도변화에 의해 교대에 수평변위가 발생할 때 교대 배면의 뒤채움재와 접속슬래브 및 날개벽 사이에 발생하는 마찰력은 무시하였으며, 이와 같은 2차원 프레임 해석모델은 사각이 큰 교량의 해석에 적용할 경우에는 수정이 필요하다.

본 연구에서는 시공 2단계에서 작용하는 하중으로서 합성후 고정하중과 온도변화로 인해 발생하는 상부구조의 신축 및 토압에 의한 영향을 고려하였으며, 각 하중들에 의해 발생하는 내력은 직접강성도법을 사용하여 구하였다. 토압의 영향은 주동토압, 수동토압, 정지토압에 대해 각각의 토압계수를 고려하여 교대 배면에 작용하는 삼각형분포하중으로 작용시켰으며, 수동토압의 경우 기존 설계법에 사용하는 Rankine 수동토압계수와 식 (1)에 의해 계산된 토압계수를 각각 사용하여 해석하였다. 본 연구에서 고려한 하중조합을 종합하여 나타내면 표 4와 같다.

표 4. 하중조합

하중조합	작용하중
①	합성후 고정하중 + 온도증가에 의한 상부구조 신장 + 수동토압
②	합성후 고정하중 + 온도감소에 의한 상부구조 수축 + 주동토압
③	합성후 고정하중 + 정지토압

### 4.3 해석결과

#### 4.3.1 교대와 상부구조의 접속부에 발생하는 휨모멘트의 변화

프레임 해석에 의해 상부구조에 발생하는 휨모멘트를 기존 설계방법에 의해 계산된 휨모멘트와 비교하기 위해 전체 고정하중에 의해 단순보 지간 중앙에 발생하는 휨모멘트( $M_{max}$ )를 구하였다. 활하중의 영향을 제외하였을 때 기존의 설계방법은 상부구조에 대해 토압과 온도변화의 영향을 고려하지 않으므로  $M_{max}$ 는 기존 설계방법에 의한 상부구조의 설계내력이 된다. 따라서 프레임 해석에 의해 계산된 휨모멘트를  $M_{max}$ 와 비교하여 검토하였으며 그 결과는 다음과 같다.

그림 5와 6은 상부구조와 파일의 휨강성비( $\beta_{11}$ ) 변화에 따라 발생하는 교대 지점부의 휨모멘트( $M_{bc}$ )를  $M_{max}$ 에 대한 비로 나타낸 것이다. 그림 5는 교대 높이가 2m인 경우이며, 그림 6은 교대 높이가 4m인 경우이다. 그림 5와 그림 6에서 (a)는 수동토압계수를 사용하여 얻은 하중조합①에 대한 해석결과이며, (b)는 온도변화와 토압사이의 상관관계를 고려한 토압계수를 사용하여 얻은 하중조합①에 대한 해석결과이다. 또한 (c)와 (d)는 각각 하중조합 ②와 ③에 대한 해석결과이다. 각 그래프는 파일의 길이가 2m, 4m, 8m, 12m인 경우에 대한 해석결과이다.

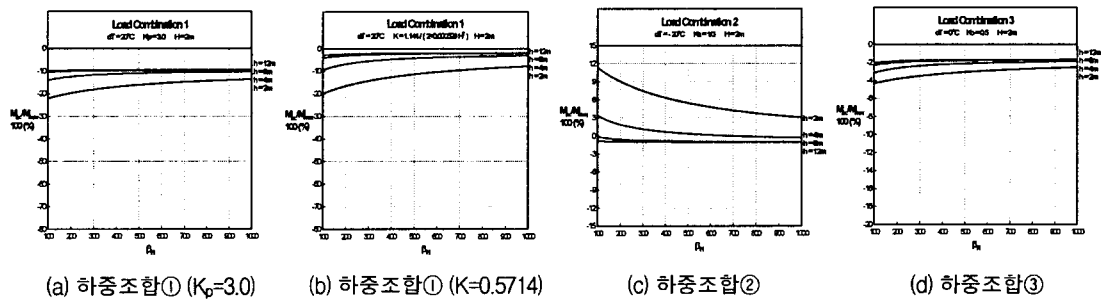


그림 5. 상부구조와 파일의 휨강성비에 따른 상부구조의 휨모멘트 변화 (H=2m)

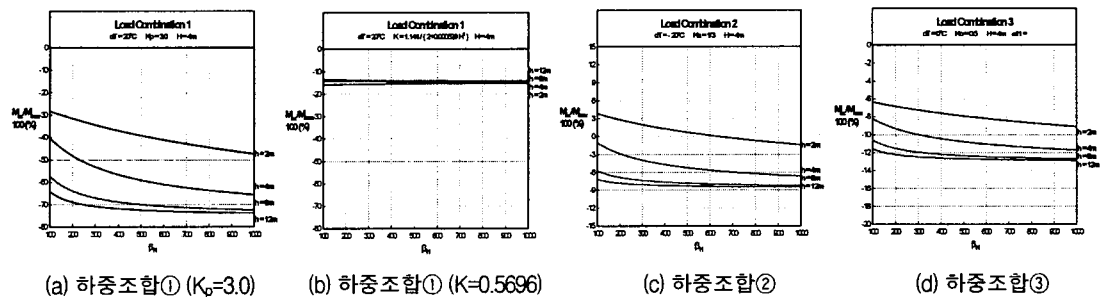


그림 6. 상부구조와 파일의 휨강성비에 따른 상부구조의 휨모멘트 변화 (H=4m)

교대 높이가 2m인 경우, 하중조합①에 의해 교대 지점부에 발생하는 부모멘트는  $M_{max}$ 의 10~20%이었으며 파일의 휨강성이 감소함에 따라 크기가 감소하였다[그림 5(a) 참조]. 교대 높이가 4m인 경우 교대 지점부에 발생하는 부모멘트는  $M_{max}$ 의 30~80%이었으며 파일의 휨강성이 감소함에 따라 크기가 증가하였다[그림 6(a) 참조]. 이는 교대 높이가 4m인 경우 수동토압의 영향이 크게 증가하기 때문이다. 따라서 지점부에 발생하는 부모멘트에 대해 하중조합①에 의한 검토가 필요하다. 또한 교대의 높이를 가능한 한 낮게 하여 수동토압의 크기를 줄이고 파일의 휨강성을 작게 함으로써 교대 지점부에 발생하는 부모멘트의 크기를 줄일 수 있음을 알 수 있다.

온도변화와 토압 사이의 상관관계를 고려한 토압계수를 사용한 결과 교대의 높이가 2m인 경우 교대 지점부 부모멘트의 크기는  $M_{max}$ 의 5~15%이었으며 교대 높이가 4m인 경우  $M_{max}$ 의 15~18%이었다. 온도변화와 토압 사이의 상관관계를 고려한 토압계수를 사용한 경우, Rankine 수동토압계수를 사용한 경우에 비해 교대 지점부 부모멘트가 감소하였다[그림 5 (b), 6 (b) 참조].

하중조합②에 의해 교대 높이가 2m, 파일 길이가 2m, 4m이며 파일의 휨강성이 상대적으로 클 때 교대 지점부에 정모멘트가 발생하였다. 이는 온도감소에 따른 상부구조의 수축으로 인해 발생하는 정모멘트가 주동토압의 영향으로 인해 발생하는 부모멘트에 비해 크기 때문이다. 지점부에 발생한 정모멘트는 지간 중앙에  $M_{max}$  이상의 정모멘트가 발생함을 의미한다[그림 5 (c) 참조]. 따라서 지간 중앙에 발생하는 정모멘트에 대해 하중조합②에 의한 검토가 필요함을 알 수 있다.

하중조합③에 의해 발생하는 교대 지점부 부모멘트는 하중조합①에 비해 작았다[그림 5 (d), 6 (d) 참조].

#### 4.3.2 상부구조에 발생하는 축력의 변화

그림 7, 8은 그림 5, 6과 같은 방법으로 상부구조와 파일의 휨강성비 변화에 따라 상부구조에 발생하는 축력에 초기 긴장력( $P$ )에 대한 비율로 나타낸 것이다. PSC빔에 도입한 초기긴장력은 151.73 tonf이며 압축력을 +, 인장력을 -로 표시하였다.

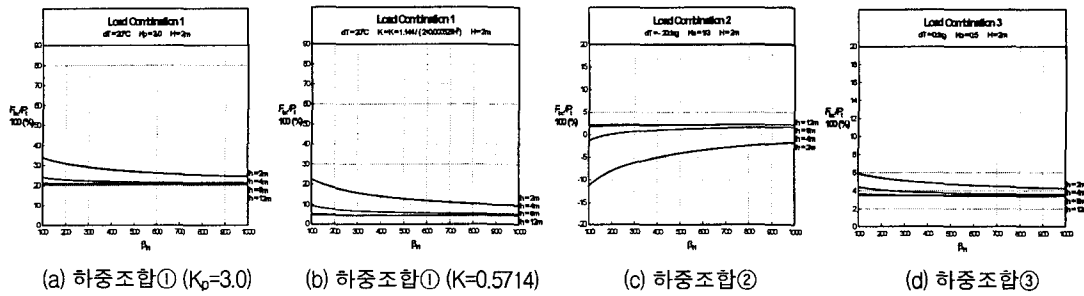


그림 7. 상부구조와 파일의 휨강성비에 따른 상부구조의 축력 변화 (H=2m)

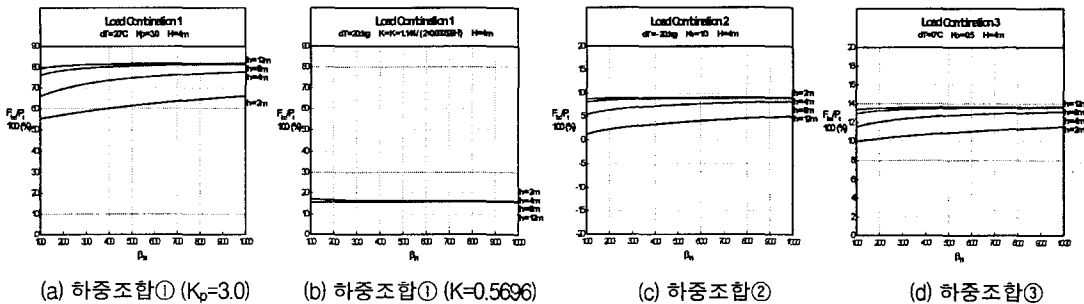


그림 8. 상부구조와 파일의 휨강성비에 따른 상부구조의 축력 변화 (H=4m)

하중조합①에 의해 상부구조에 발생하는 축력(압축)은 교대 높이가 2m인 경우 초기 긴장력의 20~30%이었으며 교대 높이가 4m인 경우 초기 긴장력의 55~80%이었다[그림 7 (a), 8 (a) 참조]. 온도변화와 토압의 상관관계를 고려한 토압계수를 사용한 경우 Rankine 수동토압계수를 사용한 경우에 비해 상부구조의 축력(압축)이 감소하였다[그림 7 (b), 8 (b) 참조]. 하중조합③에 의해 상부구조에 발생하는 축력(압축)은 하중조합①에 의한 결과에 비해

작았다[그림 7 (d), 8 (d) 참조].

교대 높이가 2m, 파일 길이가 2m, 4m이며 파일의 휨강성이 상대적으로 클 때 하중조합②에 의해 상부구조에 인장력이 발생하였다[그림 7 (c) 참조]. 따라서 상부구조에 발생하는 인장력에 대해 하중조합②를 사용한 응력 검토가 필요하다.

## 5. 결론 및 향후 연구과제

일반 조인트교량의 경우, Movable 시스템(신축이음과 베어링)에 의해 온도변화에 따라 상부구조에 발생하는 신축의 영향이 하부구조에 영향을 미치지 않고 상호 독립적인 거동을 하게 되므로 상·하부 구조물간의 상호작용을 고려하지 않고 설계를 할 수 있다. 그러나 일체식교대 교량은 설계하중조합이 작용할 때 상부구조와 하부구조의 거동이 서로 영향을 미치게 되므로 일반 교량의 설계법을 적용하여 일체식교대 교량을 설계하는 기존 설계방법의 타당성에 대한 합리적 규명이 선행되어야 한다. 본 연구에서는 단경간 일체식교대 교량에 대해 평면 프레임 해석을 수행하여 온도변화와 토압의 영향을 포함한 각 조합하중이 작용할 때 파일의 휨강성 변화에 따라 교대 지점부에 발생하는 부모멘트와 상부구조에 발생하는 축력의 변화를 그래프로 나타내었다.

향후 세부적인 연구가 더 필요한 사항은 다음과 같다.

- (1) PSC 교량의 경우 상부구조의 축력이 긴장력에 미치는 영향
- (2) 일체식교대 교량에서 토압과 파일 및 상부구조의 휨거동에 대한 상호관계
- (3) 교대부 부모멘트 및 정모멘트의 변화율 파악
- (4) 난쟁이 교대의 재원에 대한 제한 조건

이와 같은 사항을 명확히 규명하기 위해서는 추가적인 parameter에 대한 해석이 필요하다. 또한 일체식교대 교량에 대한 합리적인 설계하중조합을 정립하기 위해 향후 ① 실 거동시의 토압 산정 및 추정 방안, ② 주변 환경 조건을 고려한 설계온도변화, ③ 지반내 근입된 말뚝의 횡방향 거동, ④ 콘크리트 교량의 경우 2차 응력에 대한 설계 고려 조건, ⑤ 사고에 대한 효과적인 해석 방안, ⑥ 지진하중 작용시의 거동 파악 등에 대한 심층적인 접근이 필요하다. 이러한 연구가 현재 시공 중 및 완공 후 수행중인 시험시공 교량의 실거동 계측 data를 바탕으로 순차적으로 수행된다면 합리적인 설계법과 시방기준이 제시될 수 있다.

### 참고문헌

1. 박종면, 이재혁, 유성근, 김성환, "일체식교대 교량의 실용화연구", 한국건설기술연구회 연구발표회 논문집, 제5권, 제1집, 1997, pp. 20~35.
2. Dicleli, M., "A Simplified Model for Computer-Aided Analysis of Integral Abutment Bridges", *Journal of Bridge Engineering*, Vol.5, No.3, 2000, pp. 240~248.
3. Dicleli, M., "A Rational Design Approach for Prestressed Concrete Girder Integral Bridges", *Engineering Structures*, Vol.22, 2000, pp. 230~245.
4. Abendroth, R.E., Greimann, L.F., and Ebner, P.B., "Abutment File Design for Jointless Bridge", *Journal of Structural Engineering*, Vol.115, No.11, 1989, pp. 2914~2929.