

일체식교대 교량에 작용하는 수동토압의 스프링 모델링

Spring Modeling for the Passive Earth Pressure Acting on the Integral Abutment Bridge

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

ABSTRACT

In this paper, a simplified structural spring model of integral abutment bridge is proposed to account for the passive earth pressure due to the change of temperature. The magnitude of earth pressure acting on integral bridge abutment mainly depends on the amount and shape of displacement of abutment according to the thermal expansion of superstructure. The proposed simplified model is developed based on the possible displacement shape of integral abutment bridge. Performing the direct stiffness method, the analysis is done by using the proposed method and the results of new model is compared with those of conventional design approach. The study show that it may be possible to obtain more rational and economical design values for integral abutment bridge by applying the proposed design method.

1. 서론

교량의 길이가 길어짐에 따라 신축이음장치와 베어링 시스템은 온도변화에 따른 교량의 신축을 처리하기 위한 필수적인 요소로 인식되어 왔으나, 누수와 오염물질의 침투 등으로 인한 신축이음장치와 베어링 시스템의 부식과 파손은 교량의 사용성에 있어서 여러 가지 문제점을 발생시키고 있으며, 교량의 유지보수비용을 증가시켜 왔다. 이러한 문제를 해결하기 위해 국내에서는 신축이음부를 최소화하는 공법(PSC빔 교량의 지점부 연속화, 연속 PC Box 교량의 건설 등)이 적극적으로 검토되고 있으며, 최근 국내에서도 일체식교대 교량이 소개되어 상부구조로 PSC빔을 사용한 3경간(교량 연장 90m) 교량이 시공된 바 있다.

일체식교대 교량(Integral Abutment Bridge)은 신축이음장치와 교대의 베어링 시스템 없이 상부구조와 교대를 일체로 시공한 교량으로서 무조인트 교량(Jointless Bridge)의 한 구조형식이다. 일체식교대 교량의 상부구조는 강재 또는 프리스트레스트 콘크리트 구조로 구성될 수 있으며, 교대부는 교대벽체와 날개벽, 그리고, 유연하게 거동하도록 교대벽체 하단에 일렬 배치된 파일 등으로 구성된다. 사용되는 파일은 강재 H파일을 주로 적용하나 강관파일과 콘크리트 파일 등의 적용도 가능하다.

그림 1은 일체식교대 교량의 대표적인 구조형식을 나타낸 것으로서, 일체식교대 교량은 파일의 사용 개수를 획기적으로 절감하고 신축이음장치를 제거함으로써 교량 건설초기 비용 및 완공 후 유지관리비용을 최소화하며, 교량 구조 형식 자체가 내진에 대한 저항성이 우수하고 사용자 측면에서는 주행성이 우수하다는 등

* 홍익대학교 토목공학과 박사과정
** 홍익대학교 토목공학과 석사과정
*** 정희원, BBM KOREA Co., Ltd. 기술담당 부사장, 공학박사
**** 정희원, 홍익대학교 건설도시공학부 부교수

여러 가지 장점을 가지고 있다.⁽¹⁾

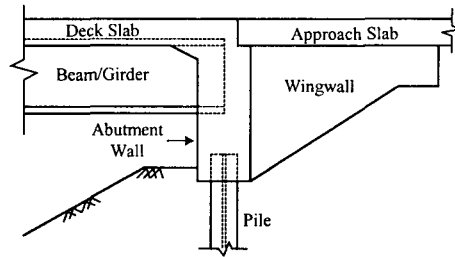


그림 1. 일체식교대 교량의 교대부

일체식교대 교량은 1930년대부터 미국, 캐나다, 호주 등을 중심으로 활발히 사용되어 왔으며, 처음에는 주로 30 m 이하의 짧은 교량에만 적용되었으나, 그 동안 축적된 경험에 의해 그 사용성과 구조적 안정성이 인정되어 발전되면서 그 적용범위가 증가되고 있는 추세이며, 건설된 대부분의 교량은 총 연장길이가 120 m 이하이지만 최대 240 m 이상의 일체식교대 교량이 시공된바 있다.⁽²⁾ 이와 같이 일체식교대 교량은 성공적인 시공사례를 통해 그 우수성이 인정되고 있지만, 이론적, 실험적 연구 결과를 바탕으로 한 일체식교대 교량의 설계법은 체계화되어 있지 않아 일체식교대 교량이 가장 활발히 시공되고 있는 미국의 경우에도 각 주마다 서로 다른 설계 및 시공기준을 사용하고 있는 실정이다.

일체식교대 교량은 상부구조와 교대가 일체로 거동하므로 대부분의 일반 조인트교량에서 2차 응력인 온도 변화 등에 의한 영향이 상, 하부구조의 거동에 영향을 미치게 된다. 따라서, 일체식교대 교량의 설계기법의 정립을 위해서는 온도변화에 의한 상부구조의 신축과 그에 따른 토압의 영향에 대한 이론적, 실험적 연구가 필요하며, 이를 통해 일체식교대 교량의 거동을 보다 정확하게 예측할 수 있는 해석방법의 개발이 요구된다.

일체식교대 교량에서 배면토압의 크기는 온도변화에 의한 상부구조의 신축으로 발생하는 교대의 변위에 따라 주동토압에서 수동토압의 사이에 존재하게 된다. 일체식교대 교량의 설계에 적용하는 토압은 최대 토압인 Rankine 혹은 Coulomb 수동토압이 사용되었는데, 수동토압은 교대배면에 발생할 수 있는 토압의 최대값으로서 교대의 설계에 있어서는 수동토압을 작용시켜 단면을 설계하는 것이 안전측이라고 할 수 있으나, 상부구조의 설계에 있어서는 교대에 작용하는 토압에 의해 상부구조에 부모멘트가 발생하여 고정하중과 활하중에 의해 발생하는 정모멘트를 감소시키므로 결과적으로 실제 발생하는 정모멘트보다 과소하중에 대하여 중앙단면을 검토하게 된다. 따라서, 수동토압을 작용시키는 것이 전체 구조계에 대해 안전측 설계라고 규정할 수 없다.⁽¹⁾

본 연구에서는 일체식교대 교량의 거동에 영향을 미치는 여러 가지 요인 중 상부구조의 신축에 따른 배면 토압이 전체 구조계에 미치는 영향을 보다 정확히 예측하기 위한 스프링 모델링 방법에 대해 연구하였다. 이 연구에 앞서 수행된 이론적 연구결과⁽³⁾에 따르면 일체식교대 교량에서 정지토압과 주동토압이 전체 구조계에 미치는 영향은 다른 영향에 비해 무시할 수 있을 정도로 작음이 확인되었으므로, 본 연구에서는 교대 변위에 따라 발생하는 배면토압 중 온도증가에 따른 상부구조의 신장과 관계된 토압을 스프링을 이용하여 모델링하는 방법에 대한 연구를 수행하였다.

2. 교대변위에 따른 배면토압

2.1. 벽체변위와 배면토압의 관계

벽체의 변위모드는 크게 수평변위(translation, T mode), 벽체 상단을 중심으로 한 회전변위(rotation about the wall top, RT mode), 벽체 하단을 중심으로 한 회전변위(rotation about the base, RB mode) 등 3가지로 구분할 수 있으나⁽⁴⁾, 본 연구에서는 상부구조의 온도신축 변화에 의해 발생할 수 있는 T mode와 RB mode 만을 제한적으로 고려하였다.

벽체변위의 T mode와 RB mode에 의한 배면토압의 변화를 조사하기 위하여 범용구조해석 프로그램인 FLAC(Fast Lagrangian Analysis of Continua v3.3, 1995)을 사용하였다. 그림 2는 FLAC을 사용하여 모델링 한 높이 4m의 벽체와 배면을 나타낸 것이다. 해석에 사용된 뒤채움재는 단위중량이 2.0 tonf/m³이며, 내부 마찰각은 35°인 한국도로공사 뒤채움 규정의 SB2이며, FLAC에서 Mohr-Coulomb 모델을 사용하여 모델링 하였다. FLAC을 사용하여 구조해석을 수행할 경우 추가적으로 필요한 흙의 성질은 탄성계수(Elastic Modulus)와 포아송 비(Poisson's Ratio)이다. 본 연구에서는 배면토의 역학적 성질은 구하는 것이 목적이 아니므로 SB2와 유사한 흙에 대해 문헌에서 제시하고 있는 값인 $E = 40 \text{ Mpa}$ 과 $\nu = 0.35$ 을 사용하였으며,⁽⁵⁾ 이후 이론식에서 고려한 흙의 성질은 동일하다.

그림 3은 벽체의 변위 T mode와 RB mode에 대해 교대상단의 변위와 교대높이의 비(δ/H)에 대한 토압의 변화를 나타낸 것으로 벽체의 변위모드가 변화함에 따라 배면토압의 변화경향이 달라짐을 알 수 있다.

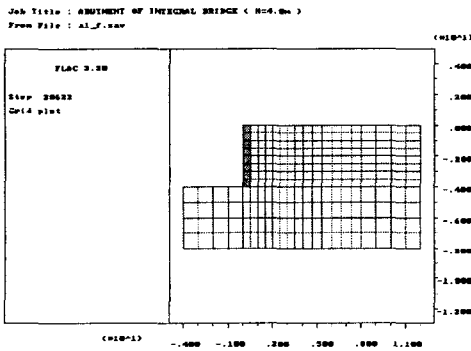


그림 2. FLAC을 사용한 벽체와 뒤채움의 모델링

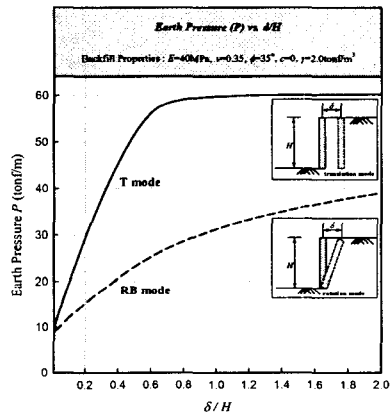


그림 3. 벽체변위에 따른 배면토압의 변화

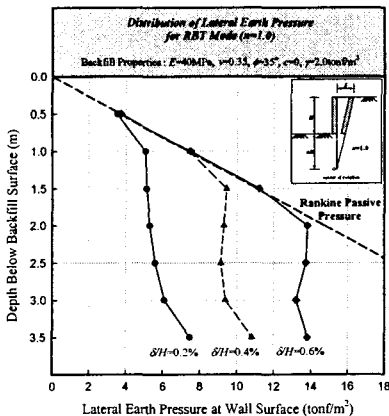


그림 4. 벽체변위에 따른 배면토압의 분포

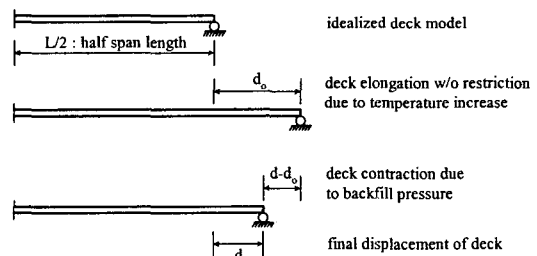


그림 5. 교대의 Soil-Structure 상호작용(Diceli, 2000)⁽⁷⁾

일체식교대 교량에서 상부구조의 길이변화에 의한 교대변위는 T mode와 RB mode가 복합적으로 발생하므로⁽⁴⁾, 교대의 회전중심이 교대하단보다 아래에 있게 되며, 토압의 분포 또한 T mode와 RB mode의 중간 정도의 특성을 지니게 된다. 그림 4는 그림 2와 같이 모델링한 벽체에서 회전중심이 벽체하단으로부터 4m 되는 위치가 되도록 교대변위를 증가시켜가며 토압의 분포를 조사한 그래프이다.

그림 4에서 벽체변위가 작을 경우 배면토압의 분포는 삼각형 분포가 아니며, 변위가 증가함에 따라 벽체상단부터 Rankine 수동토압에 도달하였다. 교대변위에 따라 그림 4와 같은 토압분포를 나타내는 것은 뒤채움흙을 탄소성재료로 간주하여 Mohr-Coulomb 모델을 사용하였기 때문이다. 실험적 연구결과⁽⁶⁾ 벽체상단의 토압은 이론적인 Rankine 수동토압보다 다소 큰 값을 나타내었으며, 벽체하단의 토압은 이론적인 값보다 매우 작은 값을 나타내었다. 따라서, 일체식교대 교량에서 교대변위에 의한 토압의 분포는 삼각형분포가 아님을 알 수 있다.

2.2. 교대변위를 고려한 배면토압의 기존 설계적용 방법

2.1절에서 설명한 바와 같이 교대에 발생하는 배면토압은 교대의 변위에 따라 달라지며, 교대변위는 상부구조의 온도변화에 의한 신장량에 따라 달라진다. Dicleli(2000)는 토압계수와 교대변위와의 관계를 1차 비례함수로 가정하고 상부구조의 신장량에 따른 토압계수를 계산할 수 있는 근사식을 식 (1)과 같이 제시하였다.⁽⁷⁾

$$K = K_0 + \phi d \leq K_p \quad (1)$$

식 (1)에서 K_0 는 정지토압계수이며, K_p 는 수동토압계수이고 ϕ 는 1차식으로 가정한 토압계수와 교대상단의 상대변위(δ/H)의 관계 그래프에서의 기울기를 나타내며, 이 값은 뒤채움재의 종류에 따라 결정되어야 할 상수이다. d 는 상부구조와 교대의 접합부에서 수평변위로서 그림 5와 같이 상부구조와 교대의 접합부가 단순지지된 것으로 모델링한 보에서 힘의 평형조건과 상부구조 끝단에서 변위의 적합조건에 의해 유도되며, 온도변화량과 상부구조의 축방향강성 및 ϕ 의 함수로 결정된다.

식 (1)의 토압계수를 사용하여 배면토압을 계산하고, 이를 프레임으로 모델링한 일체식교대 교량에 작용시켜 해석할 경우 최대 수동토압을 작용시켜 해석한 경우보다 실제거동에 가깝다고 할 수 있다. 그러나, 토압계수를 결정하는데 있어서 T mode만을 고려하였으므로 교대의 회전변위에 의한 토압의 변화는 고려되지 않았으며, 토압의 분포를 삼각형 분포로 가정하므로 실제 교대변위에 의한 토압의 분포변화가 반영되지 않고 있다. 또한 상부구조와 교대의 접합부를 단순지지된 것으로 가정하고 변위 d 를 계산하므로 교대의 강성과 파일과 지반의 상호작용에 의한 강성이 고려되지 않고 있다.

따라서, 본 연구에서는 교대의 수평변위와 회전변위를 동시에 고려하여 그에 따른 토압의 영향을 구조물에 반영하기 위한 스프링 모델링 방법을 제시하였다.

3. 배면토압의 스프링 모델링

일체식교대 교량의 지반-구조물 상호작용(soil-structure interaction)은 교대뿐만 아니라 파일기초에서도 발생한다. 본 연구에서는 교대배면의 지반-구조물 상호작용을 연구대상으로 하였으며, 파일기초의 모델링은 지반의 하중-변위 관계를 고려한 등가켄틸레버 모델링 방법을 사용하였다. 파일의 등가켄틸레버 모델링 방법은 Abendroth 등(1989)에 의해 제시된 단순모델링 방법으로서 유한요소해석을 수행한 결과 파일을 안전측으로 설계할 수 있음이 검증된 바 있다.^(1, 8)

본 장에서는 2장에서 설명한 교대의 수평변위와 회전변위에 따른 배면토압의 분포를 고려하여 교대의 수평변위와 회전변위에 따라 발생하는 토압의 스프링 모델링 방법에 대해 설명하였다.

3.1. 교대변위에 따른 토압의 모델링

그림 6은 교대높이가 H 인 일체식교대의 변위를 나타낸 것으로서 상부구조의 신장으로 인해 교대상단에 d_t 의 변위, 교대하단에 d_b 의 변위가 발생한다. 이 때 교대는 파일에 비해 휨강성이 매우 크므로 교대에 발생하는 휨변형을 무시하면 교대 상, 하단의 변위차는 교대하단을 중심으로 한 회전변위 θ 로 식 (2)와 같이 표현될 수 있다.

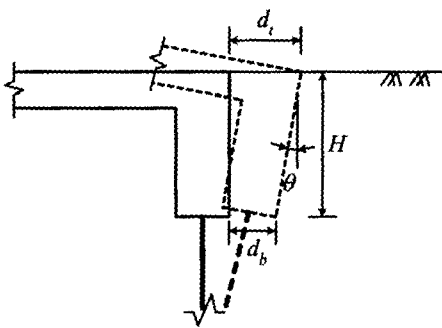


그림 6. 온도증가에 따른 교대변위

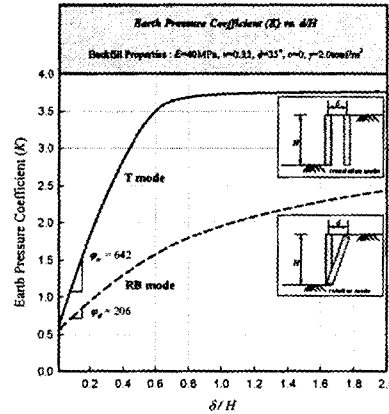


그림 7. 토압계수와 상대변위와의 관계

$$d_t - d_b = H \cdot \tan \theta \quad (2)$$

뒤채움흙은 수동토압이 발생하기 전까지는 압축변형에 대해 탄성체로 거동한다고 가정하면, 실제 발생하는 변위에 의한 토압은 정지토압(P_0)과 수평변위 d_b 에 의한 토압(ΔP_r) 및 회전변위 θ 에 의한 토압(ΔP_θ)의 합과 같다고 가정할 수 있다.

토압계수 K 를 식 (3)과 같이 근사적으로 정의하면 교대의 변위에 대한 토압계수는 그림 3의 토압과 교대의 상대변위와의 관계로부터 얻을 수 있으며 그래프로 나타내면 그림 7과 같다.

$$K = \frac{2P}{\gamma H^2} \quad (3)$$

그림 7의 결과로부터 본 연구에서 사용한 뒤채움재($E = 40 \text{ Mpa}$, $\nu = 0.35$, $\phi = 35^\circ$, $c = 0$, $\gamma = 2.0 \text{ tonf/m}^3$)의 각 교대변위 모드에 대한 토압계수의 증가율을 구하면, T mode인 경우 $\phi_r = 642$ 이고, RB mode인 경우 $\phi_r = 206$ 이다.

계산된 토압계수의 증가율과 교대변위(d_b , θ)를 사용하여 전체 토압을 나타내면 식 (4)와 같다.

$$P_T = P_0 + \Delta P_r + \Delta P_\theta = P_0 + \frac{\gamma H}{2} \{ \phi_r \cdot d_b + \phi_\theta \cdot \theta \cdot H \} \quad (4)$$

3.2. 배면토압의 스프링 모델링

일체식교대 교량에서 교대변위에 의한 토압의 분포는 삼각형분포가 아니며, 전체 토압의 합력의 위치도 교대변위에 따라 달라지게 된다. 본 연구에서는 해석을 단순화하기 위하여 전체 토압의 합력이 동일한 등가의 등분포하중이 교대배면에 작용한다고 가정하였다. 그림 8은 가정한 배면토압(그림 8a)과 프레임해석을 위해 등분포하중($P_T = qH$)을 교대상단과 하단의 절점하중으로 치환한 그림(그림 8b) 및 스프링 모델링(그림 8c)을 나타낸 것이다.

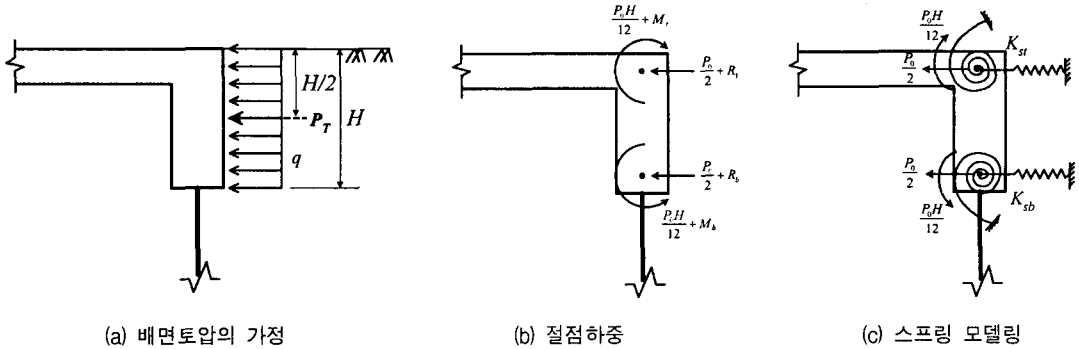


그림 8. 배면토압의 가정과 스프링 모델링

전체 토압의 합력 P_T 에서 P_0 는 정지토압으로서 흙의 성질과 교대의 높이에 따라 결정될 수 있는 상수이므로 직접 절점하중으로 작용시킬 수 있으나, ΔP_{tr} 과 ΔP_{θ} 는 교대의 변위 d_t 및 d_b 와 θ 에 따라 달라지므로 그림 8의 (b)에서 교대상단과 하단에 작용하는 절점하중은 행렬형태로 식 (9)와 같이 나타낼 수 있으며, 여기서 $\alpha = \gamma H/2$ 이다.

$$\begin{Bmatrix} R_t \\ M_t \end{Bmatrix} = K_s \cdot \delta = \frac{\alpha}{12} \begin{pmatrix} 6\varphi_{tr} & 6H(\varphi_{\theta} - \varphi_{tr}) \\ \varphi_{tr}H & H^2(\varphi_{\theta} - \varphi_{tr}) \end{pmatrix} \begin{Bmatrix} d_t \\ \theta \end{Bmatrix} \quad (9a)$$

$$\begin{Bmatrix} R_b \\ M_b \end{Bmatrix} = K_s \cdot \delta = \frac{\alpha}{12} \begin{pmatrix} 6\varphi_{tr} & 6\varphi_{\theta}H \\ \varphi_{tr}H & \varphi_{\theta}H^2 \end{pmatrix} \begin{Bmatrix} d_b \\ \theta \end{Bmatrix} \quad (9b)$$

식 (9)에서 변위에 대한 계수행렬은 변위 및 회전에 대한 스프링계수와 차원이 같으므로 그림 8의 (b)에 나타낸 절점하중 R 과 M 은 식 (9)의 계수행렬과 동일한 강성행렬(K_{st} , K_{sb})을 갖는 스프링계로 치환할 수 있다. 그림 8의 (c)는 교대변위에 따른 토압을 상단과 하단에 각각 강성 K_{st} , K_{sb} 를 갖는 스프링으로 모델링하여 나타낸 것이다.

그림 8의 (c)에서 파일은 등가캔틸레버방법을 사용하여 모델링 하였다. 스프링을 제외한 프레임요소의 전체 강성행렬에 스프링계수 K_{st} , K_{sb} 를 대입하면 구조계의 전체 강성행렬이 계산되며, 매트릭스해석을 수행하면 각 절점의 변위 및 절점하중이 계산된다.

3.3. 결과비교

본 절에서는 단경간, 2경간, 및 3경간 PSC빔 일체식교대 교량의 내측 주형을 평면 프레임요소로 모델링하여 온도변화와 그에 따른 배면토압이 작용할 경우 상부구조와 교대의 접합부에 발생하는 휨모멘트를 조사하

였다. 해석에 사용된 일체식교대 교량의 횡단면은 그림 10과 같으며, 횡단면에서 내측 주형을 평면프레임으로 모델링하였다. 해석에 사용된 내측 주형과 교대 및 파일의 탄성계수와 단면2차모멘트는 표 1과 같다. 교대의 높이는 4m이고 뒤택음개는 2장에서 설명한 SB2를 사용하였으며, 파일의 길이는 등가 캔틸레버방법을 사용하여 계산한 2m를 적용하였다.

온도변화에 의한 영향은 콘크리트의 열팽창계수 $\alpha = 1.0 \times 10^{-5}$ 을 사용하여 상부구조와 양쪽 교대의 접합부에 수평하중($P = E_c \alpha \Delta T L / 2$)으로 작용시켰으며, 온도변화(ΔT)를 10℃에서 30℃까지 변화시켜가며 탄성해석을 수행하였다. 배면토압의 영향은 표 2와 같이 3가지 방법을 사용하여 각 경우에 대해 프레임해석을 수행하였다.

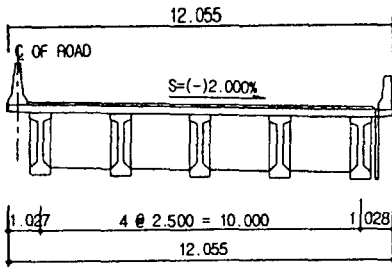


그림. 10 해석에 사용된 PSC빔 교량의 횡단면

표 1. 재료의 성질 및 단면성질

구분	탄성계수 (kgf/cm^2)	단면2차모멘트 (cm^4)	단면적 (cm^2)
내측거더	280,000	79,134,179	12,637
교대	246,475	9,140,625	19,500
파일	2,000,000	14,200	261

표 2. 토압에 대한 해석방법

구분	토압
case 1	Rankine의 수동토압을 교대배면에 삼각형 분포로 작용시킴
case 2	Dicledi가 제안한 방법으로 토압을 계산하고 교대배면에 삼각형 분포로 작용시킴
case 3	스프링 모델링 방법 사용

그림 11은 온도변화 및 토압의 영향만을 고려하여 표 2의 각 경우에 대해 프레임해석을 수행하고 상부구조와 교대의 접합부에서의 휨모멘트의 변화를 나타낸 것이다.

4. 결과분석 및 결론

본 연구에서는 평면프레임으로 모델링한 일체식교대 교량의 교대 상, 하단에 교대변위와 토압의 상호작용을 고려한 탄성스프링을 추가함으로써 상부구조의 신축에 따른 배면토압의 영향을 고려할 수 있는 스프링 모델링 방법을 제시하였다.

제시된 방법에 의한 해석결과 상부구조와 교대의 접합부에 발생하는 부모멘트는 교대배면에 Rankine 수동토압을 작용시켜 해석한 결과의 최대 61% (3경간, 온도변화 30℃)보다 작은 값을 나타내었으며, 특히 단경간인 경우에는 Rankine 수동토압을 작용시켜 해석한 결과의 32%보다 작은 값을 나타내었다. 또한 Dicledi가 제안한 토압을 작용시켜 해석한 결과보다 12.2 ~ 56.8 $\text{tonf} \cdot \text{m}$ 작은 값을 나타내었다. 본 연구에서 제시한 방법을 사용하여 해석한 결과가 Dicledi가 제안한 방법을 사용하여 해석한 결과보다 작은 원인은 Dicledi가 제안한 방법에서는 교대의 강성 및 파일과 지반의 상호작용에 의한 영향을 무시하였기 때문이다.

이와 같은 해석결과로부터 일체식교대 교량의 교대변위에 의한 배면토압은 발생 토압의 최대값인 수동토

압보다는 작게 발생함을 알 수 있으며, 상부구조에 미치는 영향도 수동토압에 의한 영향보다는 작음을 알 수 있다. 따라서, 실제 온도변화를 고려하여 토압을 산정함으로써 일체식교대 교량의 실제 거동을 보다 잘 반영할 수 있을 뿐만 아니라 경제적인 설계가 될 수 있을 것이라 생각된다.

온도변화와 배면토압은 일체식교대를 적용할 수 있는 교량의 길이를 제한하는 조건중의 하나가 될 수 있을 정도로 일체식교대 교량에 미치는 영향이 크다. 그러므로, 배면토압을 줄이기 위한 뒤채움재의 개발이 필요하며, 온도변화와 배면토압을 고려하여 간편하면서도 실제 거동에 가까운 해석을 수행할 수 있는 여러 제시된 방법의 실험적 검증이 수행되어야 할 것이라 생각된다.

본 연구에서 제시한 방법은 직교인 경우와 교대가 대칭인 교량을 대상으로 제시된 방법이며, 교량 사각의 영향과 교대가 비대칭인 교량의 거동에 대한 연구가 향후 수행되어야 할 것이라 생각된다.

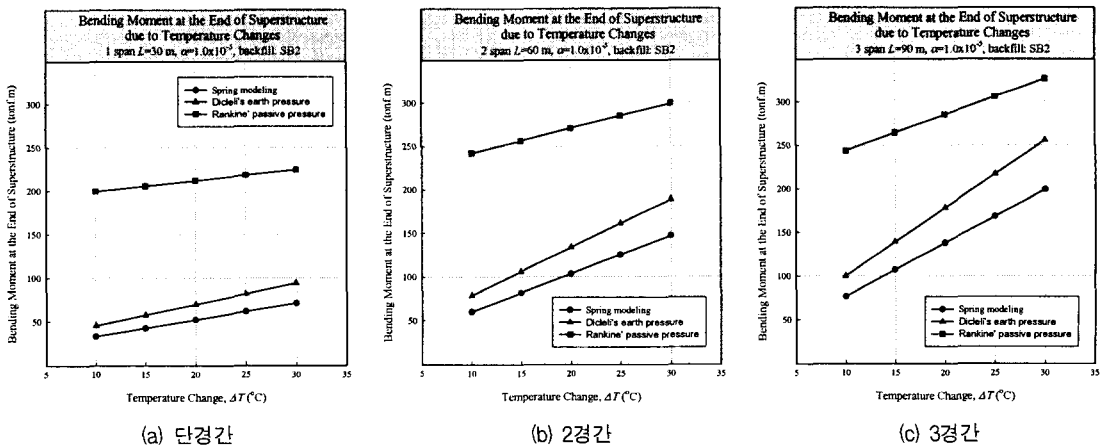


그림 11. 온도변화에 따른 상부구조와 교대의 접합부에서의 휨모멘트의 변화

참고문헌

1. Arsoy, S., Barker, R.M, and Duncan, J.M., "The Behavior of Integral Abutment Bridges," *Final Contract Report*, VRTC 00-CR3, Virginia Transportation Research Council, Charlottesville, Virginia, 1999.
2. Soltani, A.A. and Kukreti, A.R., "Performance Evaluation of Integral Abutment Bridges," *Transportation Research Record*, No. 1371, Washington, DC: Transportation Research Board, National Research Council, 1992, pp.17~25.
3. 홍정희, 정재호, 박종면, 유성근, 윤순중, "단경간 일체식교대 교량의 거동에 대한 해석적 연구", 2002년도 봄 학술발표회 논문집, 한국전산구조공학회, 2002년 4월, pp.99~106.
4. Fang, Y.S., Chen, T.J., and Wu, B.F., "Passive Earth Pressures with Various Wall Movements," *Journal of Geotechnical Engineering*, ASCE, Vol.120, No.8, August, 1994, pp.1307~1323.
5. FLAC, *FLAC User's Manual*, Itasca Consulting Group, Inc., Minneapolis, 1995.
6. Thomson, T.A., "Passive Earth Pressures Behind Integral Bridge Abutments," *Ph.D. Thesis*, University of Massachusetts Amherst, 1999.
7. Dicleli, M, "A Rational Design Approach for Prestressed Concrete Girder Integral Bridges," *Engineering Structures*, Vol.22, 2000, pp.220~245.
8. Abendroth R.E, Greimann L.F, and Ebner P.B, "Abutment Pile Design for Jointless Bridge", *Journal of Structural Engineering*, ASCE, Vol.115, No.11, 1989, pp.2914~2929.