

강합성 상자형 교량의 바닥판 타설에 따른 거동 연구(I)

- 해석모델 및 현장실험 -

Behavior of Steel Box Girder Bridge According to the Placing Sequences of Concrete Slab (I)

곽 효 경¹⁾ · 서 영 재²⁾ · 정 찬 목³⁾ · 박 영 하⁴⁾
Kwak, Hyo Gyoung · Seo, Young Jae · Jung, Chan Mook · Park, Young Ha

요 약 : 이 연구에서는 강박스 거더 교량의 연속 바닥판 타설에 따른 거동규명을 위해 시공중인 교량에 대한 현장실험과 해석을 수행하였다. 해석 및 실험 결과는 교축을 따라 교량의 거동이 크게 변하는 몇몇 점들에서 단면의 상, 하부 플랜지의 변형률로 나타내었으며 이를 통해 제안된 해석모델의 적합성을 검토하였다. 해석적 연구를 위해 사용한 모델은 단면해석의 경우 적층단면을 사용하였으며 요소 강성은 변위법과 3점 가우스 수치적분을 사용하여 구성하였다. 끝으로 해석결과와 실험결과를 비교, 검토하였다.

ABSTRACT : In this study, both experimental and analytical study for behavior of the existing composite steel box girder bridges, constructed along with the procedure of continuous placing slab, are conducted to establish the validity of the proposed model. The layer approach is adopted to determine the equilibrium condition in a section to consider the different material properties and concrete cracking across the sectional depth, and the beam element stiffness is constructed on the basis of the assumed displacement field formulation and the 3-points Gaussian Integration. In addition, the effects of creep and shrinkage of concrete for time-dependent behavior of the bridge are taken into consideration. Finally, both analytical and experimental results are compared.

핵심용어 : 강박스 거더 교량, 적층단면법, 크리프, 건조수축

KEYWORDS : Steel Box Girder Bridge, Layer Approach, Creep, Shrinkage

1) 한국과학기술원 토목공학과 부교수
2) 한국과학기술원 토목공학과 박사과정
3) 우송산업대학교 토목공학과 조교수
4) 한국도로공사 도로연구소 콘크리트 구조연구실 책임연구원

본 논문에 대한 토의를 2000년 10월 31일까지 학회로 보내주시면 토의 회답을 게재하겠습니다.

1. 서 론

합성형 강박스 거더 교량은 잘 알려진 바와 같이 사용 재료를 효과적으로 이용하는 관점에서 강박스 거더위에 철근콘크리트 바닥판을 현장타설하여 주형과 바닥판이 일체거동하도록 합성한 교량을 말한다⁽³⁾. 강박스 거더를 갖는 강합성 교량의 경우 바닥판 타설순서에 따라 주형의 각 위치에서 휨모멘트의 변화가 유발되며 이러한 휨모멘트 변화는 바닥판 콘크리트의 타설순서 뿐만 아니라 주형의 강성차이에 의해서도 영향을 받게 된다⁽¹⁷⁾. 따라서 개단면을 사용하고 있는 외국의 경우 이러한 모멘트의 영향이 최소가 되도록 유도하기 위해 영향선 개념에 토대를 둔 단계적인 타설을 추천하고 있다^(1,4). 그러나 단계타설의 경우 거푸집이나 타설장비를 타설단계에 따라 계속 이동해야 하므로 시공상 여러가지 실제적인 어려움이 있다. 한편 국내의 경우는 외국과 달리 주형의 휨강성이 상대적으로 큰 폐단면을 사용하고 있기 때문에 슬래브 타설에 따른 주형의 곡률변화가 심하지 않게 되어 타설순서에 따른 영향이 비교적 적게 나타난다. 그러나 이와 관련한 충분한 연구가 수행되지 않은 상황에서 우리나라의 일부 교량현장에서는 상대적으로 시공이 편리하고 공기가 짧은 연속타설이 사용되고 있다⁽²⁾.

따라서 이 논문에서는 우리나라에서 주로 사용되고 있는 폐단면 강상자형 교량의 연속타설에 따른 교량의 거동을 살펴보기 위하여 연속타설로 시공중인 강박스 거더 교량에 대해 실험 및 해석적 연구를 수행하였다. 또한 바닥판 타설완료후 약 30일까지 변형률을 계측하여 교량의 시간의존적 거동을 계측 및 해석하였으며 해석결과와 실험결과의 비교 및 검토를 통해 제안된 해석모델을 검증하였다.

2. 해석모델

연속타설의 경우 바닥판 콘크리트의 타설은 하

루에 완료된다고 가정되므로 바닥판 타설 중 콘크리트의 시간의존적 거동인 크리프와 건조수축을 발생하지 않는다. 그러나 바닥판 콘크리트의 타설 완료후 발생하는 장기거동에서 콘크리트는 시간이 경과함에 따라 크리프 및 건조수축이 발생하게 된다⁽¹⁴⁾. 이러한 콘크리트의 시간의존적 거동을 수치적으로 모사하기 위해 제안된 많은 수치모델 가운데 비교적 간단하면서 응력변화 이력을 효과적으로 나타낼 수 있는 크리프 Compliance⁽¹⁰⁾ 전개에 기본을 둔 1차 순환적 단계 알고리즘(the first-order algorithm based on expansion of creep compliance)을 도입하였다. 또한 콘크리트 건조수축에 의한 변형률의 경우 이 연구에서는 슬래브 단면의 깊이에 따라 일정하다고 가정하였으며, 응력변화이력에 영향을 받지 않으므로 각 모델식에서 제안식이 직접 적용되었다⁽⁵⁾. 또한 콘크리트의 재령에 따른 강도와 탄성계수의 증가는 ACI모델이 사용되었으며 이들 값을 콘크리트의 응력-변형률 관계에 적용함으로써 그 효과가 고려되었다.

재료모델로서는 콘크리트의 경우 현재 널리 사용되고 있는 Hognestad⁽⁹⁾의 제안식이 인장축의 변형강화효과(tension stiffening effects)를 고려하도록 수정되어 사용되었으며⁽¹²⁾ 강재의 경우는 선형탄성-완전소성 재료로 가정되었다. 이러한 재료의 응력-변형률 관계를 이용하여 임의의 단면의 평형조건을 만족시키고, 각 단면에서 발생하는 크리프와 건조수축에 따른 영향과 단면의 깊이방향으로 다른 재료를 사용한 경우 이를 효과적으로 고려하기 위하여 단면을 가상의 여러 층으로 나누어 해석하는 적층단면이 사용되었다⁽²⁾.

다음으로 이 연구에서는 단면의 수직축 대칭인 보요소를 이용한 변위법을 바탕으로 요소강성행렬 등 기본적인 식이 유도되었으며 이들 강성행렬과 절점하중을 이용하여 구조물을 해석함에 있어서는 하중 증분법과 반복법을 함께 사용하는 복합법이 사용되었다⁽¹¹⁾. 이러한 해석모델의 유도 및 관련 수식들과 더불어 개발된 해석 알고리즘의 검증을

위한 기존 실험연구와의 비교연구는 참고문헌 2에 자세히 설명되었다.

3. 현장실험

시공전, 후에 계측된 자료를 이용하여 해석 모델링의 오차를 확인하고 해석에 사용된 가정 등이 합리적인지를 검증하기 위하여 현장실험이 수행되었다. 이 연구에서는 교량의 특정한 점에서 단면의 바닥판 콘크리트 타설에 따른 변형률이 계측되었으며 계측위치로는 잠재적인 균열가능성이 큰 지점부와 실험전 구조해석 결과에 근거하여 바닥판 타설중 발생하는 부모멘트의 변화가 가장 큰 경간의 중앙부가 선택되었다. 변형률 게이지는 실험교량의 대칭성을 고려하여 전체교량 연장의 반구간에서 그림 1에서 보는 바와 같이 총 5측점을 단면의 양측에 부착하였다. 또한 대기의 온도, 바닥판 콘크리트의 수화열에 의해 발생하는 온도 변형률을 보정하기 위하여 주형과 동일한 재질의 강재판에 게이지를 부착함으로써 온도변형률이 측정되었다.

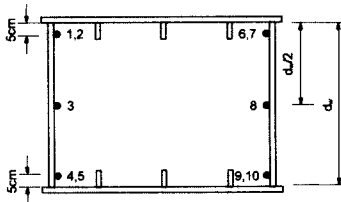


그림 1. 변형률 게이지의 부착위치

주형의 변형률 변화는 타설시작부터 종료할 때까지 타설현장에서 시간경과에 따른 콘크리트 타설속도를 파악하여 측정단면에서의 동시계측이 가능하도록 하였고 기기의 Time Interval 기능을 사용하여 5-10분 간격으로 연속계측을 수행하였다. 실험계측값의 정리는 일차적으로 얻어진 결과의 온도보정을 수행하여 상부와 하부 플랜지의 변형률 값을 산정되었다. 이때 상단부와 하단부에 각각 4개의 변형률 게이지를 부착하였으므로 동일지점에서 다른 계측값에 비해 신뢰성이 떨어지는 것으로 판단되는 계측값은 일차로 제거한 후 나머지 계측값의 평균값을 일차 해석값과의 비교를 통해 실험값과 해석값의 결과를 비교하였다. 이를 통해 상단 또는 하단부의 계측값 및 웹 중앙의 계측값을 토대로 변형률은 중립축을 중심으로 선형변화한다는 가정하에 중앙부와 지점부의 강성변화 등으로 다소 크게 나타나는 계측값을 보정한 후 이를 플랜지 상단의 값으로 환산하여 해석결과와 비교되었다.

4. 실험 및 해석결과

4.1 실험교량 1

첫번째로 현장실험 및 해석이 이루어진 교량은 국도상에 위치한 교량으로 바닥판은 연속타설로 시공되었으며 변형률의 계측위치는 그림 2에 나타내었다. 사용된 게이지의 종류로는 단면 A~D에는 거더의 내부에 부착되어 약 1개월내의 동안

(단위 : m)

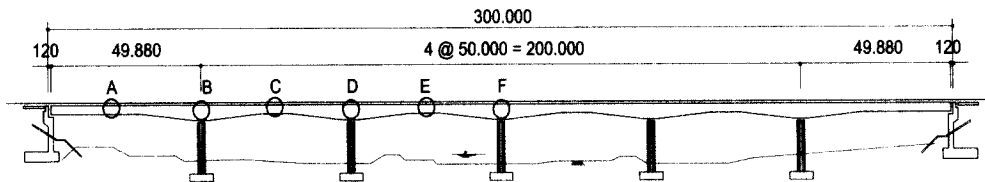
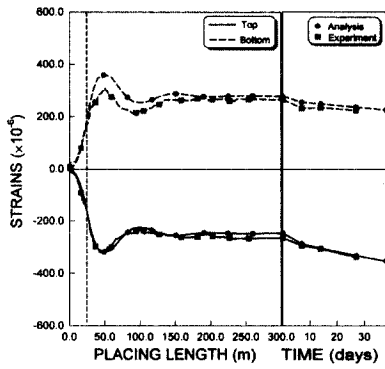
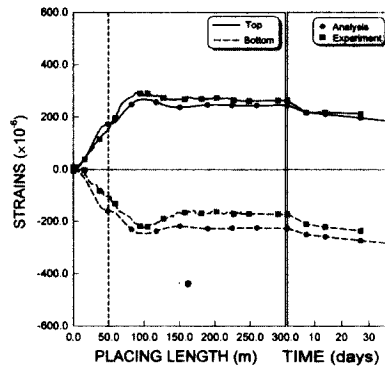


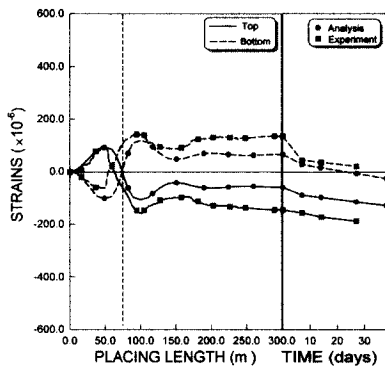
그림 2. 실험교량 1의 평면도



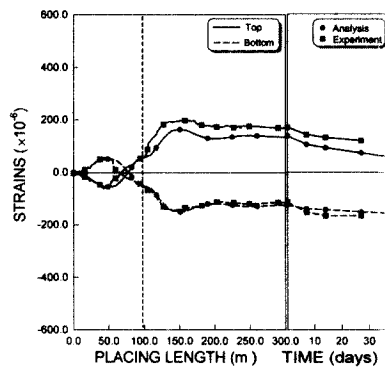
(1) 1경간 중앙점(A)



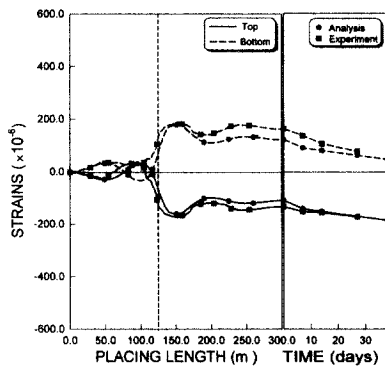
(2) 1번째 내측지점(B)



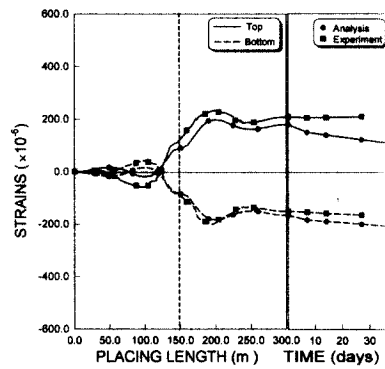
(3) 2경간 중앙점(C)



(4) 2번째 내측지점(D)



(5) 3경간 중앙점(C)



(6) 3번째 내측지점(D)

그림 3. 실험교량 1의 바닥판 타설과정에 따른 변형률의 변화

의 거동을 예측하는데 무리가 없는 일반형 방수게이지가 사용되었으며 슬래브의 타설과정중 곡률변화가 상대적으로 크지 않을 것으로 예견되는 단면 E와 F에는 타설중 비교 값의 검증을 위해 일반 전기저항식 게이지가 사용되었다.

해석을 위한 교량 모델링의 경우 바닥판 콘크리트의 타설에 대하여 곡률변화가 전 교량길이를 따라 계속적으로 일어나므로 교량의 대칭성에도 불구하고 교량전체를 모델링하였다. 바닥판 콘크리트의 타설은 오전 6시부터 시작되어 20시간이 소요되었다. 계측은 3일 가운대 중앙에 위치한 박스 주형에 대하여 바닥판 타설중에는 5분 간격으로 수행되었으며, 타설완료후 바닥판 콘크리트의 시간의존적 거동에 따른 영향을 살펴보기 위해 타설후 3일, 7일, 14일, 25일에서 현장계측이 진행되었다. 일반적으로 장기계측의 경우 콘크리트의 전체 장기거동의 80% 이상이 발생하는 약 6개월 정도의 시간이 필요하나 이 연구에서는 타설순서에 따른 영향과악에 초점이 맞추어졌기 때문에 위의 기간이 선정되었다.

그림 3에는 실험교량 1의 각 지간 중앙과 지점에서의 현장계측결과와 수치해석결과를 함께 나타내었다. 두 결과를 비교해 보면 전반적으로 실험이 잘 이루어 졌음을 알 수 있다. 결과로부터 바닥판 콘크리트의 타설에 따른 영향을 살펴보면 실험교량 1의 경우 상부 플랜지가 있는 폐단면이며 임의의 단면에서 상, 하 리브의 개수 차이는 있으나 전체적으로 상, 하 대칭단면이므로 인장측 변형률과 압축측 변형률이 비교적 동일한 대칭성을 나타내었다. 또한 연직의 점선으로 표시한 타설시점 이후의 거동을 살펴볼 때 큰 변형률의 증감이 나타나지 않고 있으며, 변형률은 지점조건의 영향으로 모멘트가 가장 큰 최외측 지간에서(그림 3(1) 참조) 최대값인 400×10^{-6} 을 나타내었다. 이때의 최대응력은 이 최대변형률로부터 약 800 kg/cm^2 이 되며 일반적으로 교량에 사용되는 강종 SWS 490Y의 허용인장응력인 2100 kg/cm^2 과 비교해 볼 때 비교적 큰 값이나 시공중에는 활하중이 작

용하지 않으며, 완공후에는 바닥판 콘크리트와 강재의 주형이 일체거동을 하는 합성단면이 되므로 구조적인 문제가 되지 않을 것으로 판단된다.

한편 2경간 중앙부와 각 내측지점의 상부 플랜지에서 계측값이 해석값보다 다소 크게 나타나고 있는데, 특히 2경간 중앙점의 경우는 변형률 측정을 위한 게이지 부착에 문제가 있었던 것으로 파악되며(그림 3(3)참조) 다른 부분의 차이는 교량의 타설 150m지점 이후 부분에서 발생하는 것으로 보아 수화열 등에 의한 온도의 영향이 추가되는 것으로 판단된다.

다음으로 교량의 시공후 장기거동을 살펴보면 3번째 내측지점의 상부에 위치한 게이지에서는 시간에 따른 변형률을 나타내지 못하고 있다. 이 위치에서는 다른 부분에 사용한 게이지와는 달리 전기저항식 일반 변형률 게이지가 사용하였는데 부착과 방수처리가 효과적으로 이루어지지 않아 게이지가 비교적 정확한 거동을 나타내지 않은 것으로 판단된다. 한편 수치해석에 의한 장기거동은 바닥판 콘크리트의 극한 건조수축률과 극한 크리프계수의 가정값에 크게 영향을 받는다. 그러나 강박스 합성교량의 경우는 시공중 지점변화와 같은 구조계의 변화가 없기 때문에 크리프의 영향은 거의 나타나지 않으므로 시방서에서 제시한 극한크리프 계수값인 4로 가정되었다. 반면 바닥판 콘크리트의 건조수축은 교량의 장기거동에 크게 영향을 나타내므로 계측된 장기거동과 유사한 해석값을 얻기 위하여 극한 건조수축률, ϵ_{sh} 를 200×10^{-6} , $400 \times 10^{-6} \sim 800 \times 10^{-6}$ 의 값으로 가정하고 해석을 수행하여 각각의 ϵ_{sh} 에 대한 해석을 토대로 식 (1)과 같이 계산된 해석결과와 계측결과의 각 오차에 대한 정규화를 한 후 SRSS⁽¹⁵⁾기법에 의한 상대적인 오차가 가장 작은 값을 나타내는 건조수축이 $\epsilon_{sh} = 600 \times 10^{-6}$ 임을 확인할 수 있었다.

$$error = \frac{\epsilon_{exp} - \epsilon_{sh}}{\epsilon_{exp}} \quad (1)$$

여기서 ϵ_{exp} 는 실험값의 변형률, ϵ_{sh} 는 가정된 극한 건조수축변형률을 사용하여 계산된 변형률을 나타낸다. SRSS기법을 사용함에 있어서 그림 3에서 나타난 바와 같이 2경간 중앙점과 3번째 지점부의 계측결과는 해석결과와의 오차가 상대적으로 크므로 제외시켰으며 타설이 끝난 시점에서의 수치해석결과와 실험결과와의 차이는 각 지점의 실험계측값을 전체적으로 보정한 후 비교를 수행하였다. 이로부터 수치해석에 사용한 크리프계수, ϕ 와 건조수축률, ϵ_{sh} 은 각각 4.0과 600×10^{-6} 값으로 시방서에서 설계시 가정하고 있는 건조수축률인 $\epsilon_{sh} = 150 \sim 200 \times 10^{-6}$ 과 비교해 볼 때 다소 크게 나타나는 것을 알 수 있다.

(단위 : m)

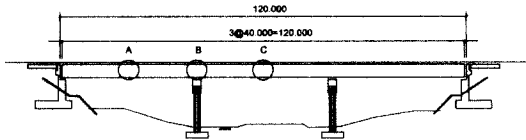


그림 4. 실험교량 2의 평면도

4.2 실험교량 2

실험교량 2는 실험교량 1과 달리 4개의 상자형 주형을 갖으며 그림 4에 나타난 바와 같이 교량 축방향으로 주형의 높이가 일정한 균일단면을 갖는다. 바닥판 타설과정은 전체적으로 연속타설이었으나 시공상의 문제로 초기 타설과정에서는 일방향 연속타설이 이루어지지 못하고 교량 약 53m까지 그림 5와 같이 임의의 타설순서로 바닥판이 타설되었다.

또한 이 과정에서 바닥판이 두번에 걸쳐 타설된 경우 바닥판 두께 25cm를 15cm와 10cm로 나누어 타설되었다. 그림 5에서 표시한 숫자는 타설순서를 나타내며 해석 및 계측결과를 나타낸 그림 6에서도 이에 대응하여 결과를 나타내었다. 해석 및 실험결과를 살펴보면 타설순서에 따른 변형을 변화는 최외측에 위치한 지간의 중앙부와 지점부(그림 6(1), (2)참조)에서 내측 중앙부보다 상대적으로 큰 변형률이 발생되며 그 크기가 약 260×10^{-6} 값을 나타내고 있다. 실험교량 1의 경우와 비교해 보기 위해서 강박스 주형의 1경간

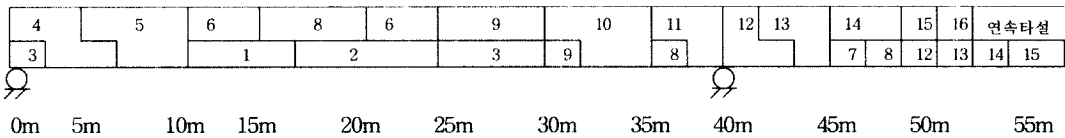
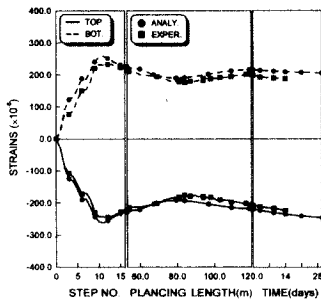
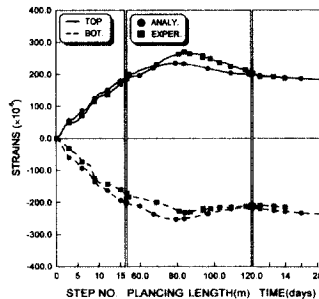


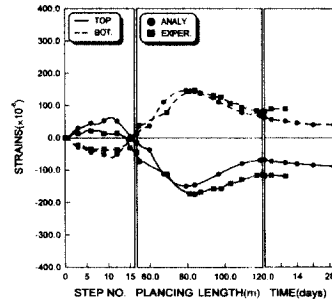
그림 5. 바닥판의 타설순서



(1) 1경간 중앙점(A)



(2) 1번째 내측지점(B)



(3) 2번째 내측지점(C)

그림 6. 실험교량 2의 실험값과 해석값의 비교

길이가 50m라고 가정하여 등가의 변형률을 계산하면 모멘트 변화는 길이의 제곱에 비례하므로 $50^2/40^2 \times 260 \times 10^{-6} = 390 \times 10^{-6}$ 가 되고 실험교량 1의 제 1경간 중앙부에서 발생했던 400×10^{-6} 과 비교해 볼 때 시간길이의 변화에 따른 영향이외의 차이는 없는 것으로 판단된다. 한편 2경간 중앙점(그림 6(3)참조)의 해석결과와 실험결과와의 차이가 크게 발생하였는데 이는 상부에 위치한 게이지의 경우 부착이 효과적으로 이루어지지 않은 것으로 판단된다. 한편 계측결과와 해석결과를 토대로 산정한 타설된 콘크리트의 크리프와 건조수축률은 앞의 실험교량 1의 경우와 마찬가지로 방법을 토대로 결정되었는데 그 값은 $\phi = 4$, $\epsilon_{sh} = 200 \times 10^{-6}$ 으로 나타나고 있다.

4.3 수치해석

사용한 해석모델을 수치적으로 검증하기 위하여 그림 7과 같은 횡단면을 갖는 1경간 길이가 5.8m인 두개의 2경간 연속 합성보를 해석하였다. 이 연속보들은 Gilbert등에 의하여 실험⁽⁶⁾ 및 해석⁽⁷⁾되었으며 재료상수는 표 1에 표시하였다. 해석조건으로는 첫번째 보 B1의 경우 자중 $w_1 = 195.95 \text{kg/m}$ 이 작용되며 두번째 보 B2에는

(단위 : m)

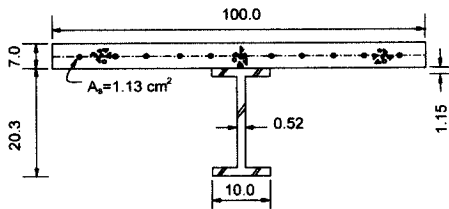


그림 7. 횡단면

표 1. 재료상수

(단위 : kg/cm²)

포장	f_c	σ_y	Model	ϕ_{cr}^∞	ϵ_{cr}^∞
t=2.5cm	280	2800	ACI	2.5	0.0002

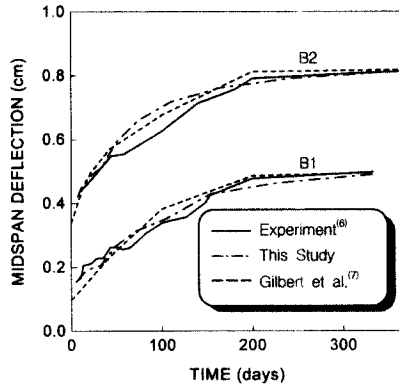


그림 8. 보 B1과 B2의 경간중앙의 처짐

자중과 추가적인 지속하중 $w_2 = 484.76 \text{kg/m}$ 이 작용되었다.

해석결과는 시간에 따른 각 보의 중앙에서의 처짐변화로 그림 8에 실험결과와 환산단면을 사용한 앞선 연구의 결과를 함께 나타내었다. 전체적으로 이 연구의 해석모델을 사용한 결과와 실험결과가 잘 일치하고 있다.

5. 결 론

이 연구에서는 시공중인 강박스 교량에 대해 실험 및 해석을 통하여 바닥판 콘크리트의 연속타설에 따른 거동을 타설순서에 대한 주형의 변형률 변화로 나타내었다. 실험 계측값과 해석값의 비교를 통해 이 논문에서 제시한 해석모델의 적합성을 입증할 수 있었다.

타설순서와 관련된 결과를 살펴보면 연속타설의 경우 50m 1경간의 타설소요시간이 4시간 내외인 반면 인접지간에 콘크리트를 타설할 경우 인접 지점부에서의 곡률변화가 지배적으로 나타나게 되므로 타설된 콘크리트는 경화전으로 예견할 수 있다. 특히 실험이 수행된 교량의 단면이 폐형이기 때문에 더 작은 변형률이 발생하고 있다. 특히 경화전 콘크리트의 경우 균열에 대한 저항성이 크기 때문에 연속타설에 의해 타설중 발생하는 균열은 문제가 없을 것으로 판단된다⁽⁸⁾. 외국의 연구

에서도 콘크리트의 타설순서가 슬래브의 횡방향 균열발생에 영향을 미치지 않는 것으로 평가하고 있다^(13, 16). 그러나 소성 휨균열과 관련한 변형률은 급격히 감소하게 되므로 원활하지 못한 시공으로 인한 시간지연이 초래될 경우 사용하중에 의한 균열이 발생할 잠재력을 내포하게 되므로 시공시 보다 효과적인 콘크리트의 품질관리가 요구된다.

다음으로 강박스 거더 교량의 시간의존적 거동을 예측하는데 있어서 중요시 되는 바닥판 콘크리트의 크리프와 건조수축률의 영향을 살펴보았다. 장기거동에 대한 실험 계측값을 기초로 하여 해석에 필요한 크리프 계수와 건조수축률을 정함에 있어서 크리프 계수는 도로교 시방서에서 제시하고 있는 $\phi = 4$ 를 사용하였으나, 건조수축률의 경우는 대상 교량에 따라 차이가 발생함을 알 수 있었다. 따라서 강박스 거더 교량의 설계를 할 때 가정되는 건조수축률은 바닥판에 사용되는 콘크리트의 배합성분, 시공중의 대기 조건 등 콘크리트 건조수축에 영향을 주는 조건들에 크게 좌우됨을 알 수 있다.

이러한 결론들로부터 상부 플랜지가 없는 강성이 작은 개단면을 사용하는 외국과 달리 상대적으로 강성이 큰 폐단면을 사용하는 국내의 경우 소성휨균열의 발생은 타설순서와 더불어 바닥판 콘크리트의 건조수축에 의한 구속효과 또한 지배적인 영향을 미치는 것을 알 수 있다.

감사의 말

이 연구는 한국도로공사의 지원(과제명: 합성형 교량의 설계, 시공 및 유지관리 기술개발 연구)에 의한 것으로 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- (1) 건교부 : 1996, 도로교표준시방서, 토목학회.
- (2) 박효경 외 : 1998, 바닥판 콘크리트 타설순서에 따른 합성형 교량의 거동해석, 한국강구조 공학회지, 제 10권 제 2호, pp. 233-251.
- (3) 황학주 : 1995, 교량공학, 동명사.
- (4) AASHTO : 1992 Standard Specifications for Highway Bridges, Washington, D.C.
- (5) ASCE : 1982, State-of-Art Report on Finite Element Analysis of Reinforced Concrete, New York.
- (6) Gilbert, R.I. et al. : 1992, Time-Dependent Behavior of Continuous Composite Beams at Service Loads, UNICIV Rep. R-307, School of Civil Engineering, Univ. of New South Wales, Sydney.
- (7) Gilbert, R.I. et al. : 1995, Time-Dependent Behavior of Continuous Composite Beams at Service Loads, J. Struct. Eng., ASCE, Vol.121, No.2, pp. 319-327.
- (8) Hilsdorf, H.K. et al. : 1970, Revibraiton of Retarded Concrete for Continuous Bridge Decks, NCHRP Report 106, Washington, D.C.
- (9) Hognestad, E. : 1951, A Study of Combined Bending and Axial Load in Reinforced Concrete Member, Bulletin No. 399, Engineering Experiment Station, UNIV. of Illinois, Urbana, Illinois.
- (10) Kabir, A.F. : 1976, Nonlinear Analysis of Reinforced Concrete Panels, Slabs and Shells for Time Dependent Effects, Report No. UC-SEEM 766, UNIV. of California, Berkeley.
- (11) Kang, YoungJin : 1977, Nonlinear Geometric, Material and Time Dependent Analysis of Reinforced and Prestressed Concrete Frame, Report No. UC-SEEM 771, UNIV. of California, Berkeley.
- (12) Kwak, H.G. et al. : 1997, Non-linear FE Analysis of R/C Structures under Monotonic Loads, Comput. Struct., Vol. 65, No. 1, pp. 1-16.
- (13) McKeel, W.T. : 1985, Evaluation of

Deck Durability on Continuous Beam Highway Bridges. Report No. VHTRC 85-R32, Virginia Highway and Transportation Research Council. Virginia.

- (14) Neville, A.M. et al. : 1983, Creep of Plain and Structural Concrete, Construction Press.
- (15) Penzien, J. et al. : 1993, Dynamics of Structures, McGraw-Hill, New York.
- (16) Purvis, R.L. : 1989, Prevention of Cracks in Concrete Bridge Decks.

Report on Work in Progress, Whibur Smith Associates, for PennDOT Research Project 89-01, Pennsylvania.

- (17) Yen, Ben T. et al. : 1989, Vanhorn, David A., Evaluation of webs of composite plate girders buckled during construction, 6th international bridge conference Proceedings, Pittsburgh, Pennsylvania, June, pp. 1-6.

(접수일자 : 1999년 11월 18일)