

강합성 상자형 교량의 바닥판 타설에 따른 거동 연구(II)

- 해석적 연구 및 균열제어 -

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

곽 호 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 연구는 콘크리트 바닥판의 타설방법과 단면형태에 따른 강박스 거더 교량의 거동에 관한 것이다. 단계 타설의 경우 각 타설부분의 시간차이는 바닥판 콘크리트의 응결시간의 차이를 일으키고 이로 인하여 발생하는 교량의 시간에 따른 거동이 이 연구에서 해석되었다. 또한 거더 단면과 바닥판 콘크리트의 타설순서의 상관관계의 관한 연구를 위하여 콘크리트 크리프와 건조수축의 효과가 이 연구에서 제안된 해석모델에 포함되었다. 끝으로 바닥판 콘크리트의 초기 횡방향 균열을 방지하기 위하여 현장에서 관리할 수 있는 콘크리트 슬럼프와 상대습도가 제안되었다.

ABSTRACT: This study deals with behavior of steel box girder bridges according to the concrete slab casting sequences and sectional types. The time dependent behavior of bridges caused by the differential setting of slab concrete resulting from time gap for each part of slab deck in a sequential placing method produces is analyzed. In correlation studies between girder section types and placing sequences, time dependent effects of concrete creep and shrinkage are implemented in the analytical model proposed in the previous study. Finally, field recommendations in terms of concrete slump and relative humidity are suggested to prevent early transverse cracking of concrete slabs.

핵심 용어: 강박스 거더 교량, 바닥판 타설순서, 시간의존적 거동, 크리프, 건조수축

KEYWORDS: Composite Steel Box Girder Bridge, Concrete Slab Placing Sequences, Time-Dependent Behaviors, 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. 서론

앞의 연구에서는 강박스 주형을 갖는 합성교량의 연속타설에 따른 거동을 현장실험과 해석을 통해 해석모델의 검증 및 거동특성에 대하여 알아보았다. 그러나 외국에서는 상부 플랜지가 없는 개단면을 갖는 강박스 주형이 일반적으로 사용되고 있으며 바닥판의 타설에 의한 부모멘트의 영향이 최소가 되도록 영향선 개념에 토대를 둔 단계타설을 추천하고 있다^(1,4).

이러한 단계타설은 바닥판 타설완료시 부모멘트가 발생하는 내측지점에 대해서만 타설중 부모멘트의 영향이 최소가 되도록 고려하고 있으나, 먼저 타설완료된 정모멘트가 발생하는 교량경간 중앙부에서는 그 영향이 증가될 수 있다. 이러한 부모멘트의 증가는 이미 타설된 바닥판 콘크리트에 타설중 균열을 유발시킬 수 있다⁽³⁾. 또한 먼저 타설된 콘크리트와 나중 타설된 콘크리트의 경계부에서 발생하는 시공 조인트 문제 등 연속타설로 시공된 교량에서 발생하지 않는 추가적인 문제가 발생하게 된다. 그러므로 상부 플랜지가 없는 개단면을 사용함으로써 얻을 수 있는 재료비 절감효과는 시공성 저하로 인한 공사비의 증가를 수반하므로 단계타설이 연속타설보다 항상 효율적이라고는 볼 수 없다^(2,9).

따라서 이 논문에서는 주형의 단면형태와 타설 방법의 종류에 따른 강박스 거더 교량의 거동을 앞의 논문에서 제안된 해석모델을 기본으로 예측함으로써 각각의 효과에 따른 거동을 분석하였다. 또한 연속타설이 수행될 경우 상부 슬래브에서 발생될 수 있는 균열 등 사용성 문제를 최소화하기 위한 방안이 제시되었다.

2. 해석에 사용된 교량

단면형상에 따른 영향을 고려하기 위하여 이 연구에서는 교축방향으로 단면이 변하는 변단면 교량과 단면의 높이가 일정한 등단면 교량에 대한

해석을 통해 단면변화에 따른 효과를 알아보았다. 변단면을 갖는 교량으로는 전편의 연구에서 실험과 해석이 수행된 실험교량 1이 선정되었으며 등단면 교량의 경우는 지간거리, 주형의 수 등 실험교량 2와 유사한 교량제원을 갖는 단면높이와 폭 모두 250cm를 갖는 교량을 해석하였다.

또한 우리나라와 일본을 제외한 외국의 경우 일반적으로 상부 플랜지가 없는 개단면의 교량이 사용되고 있으므로 개단면과 폐단면의 형태에 따른 타설순서의 영향을 알아보았다. 특히 이 연구에서는 시공상황을 나타내는 다음과 같은 3가지의 대표적인 단계타설을 가정하였다. 그림 1에 표시한 단계타설 1은 펌프카가 동시에 4대 동원되는 경우로써 시방서상에 언급하고 있는 지간의 중앙부가 먼저 타설되는 상황을 나타내고 있다. 단계타설 2는 단계타설 1를 토대로 장비운용을 감안한 것이며 단계타설 3은 지점부의 변형이 최소가 되도록 영향선의 개념을 토대로 타설순서를 설정한 것이다.

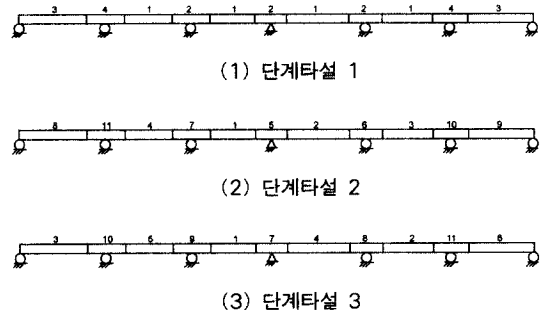


그림 1. 단계타설의 종류

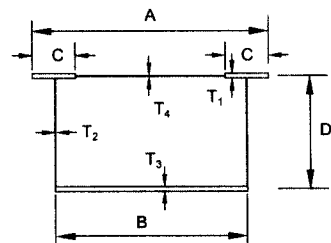


그림 2. 개단면의 형상

다음으로 해석에 사용한 개단면은 폐단면 교량과 유사한 3실의 50m 지간거리를 갖는 개단면의 단면 2차 모멘트를 그림 2와 표 1을 참조하여 설정하였다⁽⁷⁾. 해석에 사용된 크리프계수와 건조수축률은 전편의 논문과 동일한 $\phi = 4$ 와 $\varepsilon_{sh} = 600 \times 10^{-6}$ 이 사용되었으며 시간해석은 365일까지 수행되었다.

표 1. 외국의 개단면 치수 (단위: cm)

교량	형식	경간 (m)	A	B	C	D	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄
2L	2G		274.3	243.8	30.5	49.4	1.6	1.0	1.3	0.22
3L	3G	15	248.9	218.4	30.5	49.5	1.4	1.0	1.3	0.25
4L	4G		233.7	203.2	30.5	49.5	1.3	1.0	1.3	0.27
2L	2G		279.4	243.8	35.6	122.2	2.5	1.3	1.9	0.22
3L	3G	30	251.5	218.4	33.0	122.2	2.5	1.1	1.9	0.25
4L	4G		233.7	203.2	30.5	122.2	2.5	1.1	1.9	0.27
2L	2G		279.4	243.8	35.6	189.9	3.8	1.6	2.5	0.22
3L	3G	45	251.5	218.4	33.0	189.9	3.8	1.4	2.5	0.25
4L	4G		233.7	203.2	30.5	189.9	3.8	1.4	2.5	0.27

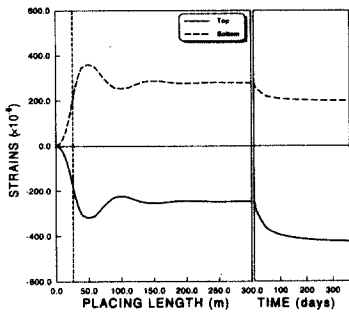
L : 차선, G : 거터

3. 단면형상에 따른 거동

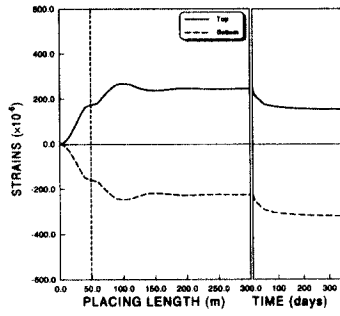
변단면 또는 등단면을 각각 갖는 폐단면과 개단면 교량의 4종류에 대해 타설순서에 따른 영향을 살펴보기 위해 폐단면 교량은 연속타설이 적용되었고, 개단면 교량은 단계타설이 적용되어 해석한 결과를 그림 3~6에 나타내었다. 이때 단계타설의 경우 1일에 타설이 완료될 수 없으나 이 해석에서는 타설순서에 따른 거동만을 알아보기 위하여 타설이 1일에 완료된다고 가정하였다. 단면형상에 따른 거동의 전체적인 특징으로는 폐단면은 상, 하 단면이 단면의 중심에 대하여 대칭이기 때문에 주형의 상부 플랜지나 하부 플랜지의 변형을 또한 각각 대칭성을 띠면서 나타나는 반면 개단면의 변형률은 단면의 중심에 대하여 비대칭으로 발생되고 있다. 또한 등단면의 경우보다 변단면의 경우가 지간 중앙부와 지점부의 상대적인 강성차에 의해 교량의 휨 모멘트는 지점부로 집중되고 따라서 상대적으로 작은 곡률의 변화가 나타나

고 있다. 다음으로 개단면과 폐단면의 차이는 곡률과 직접적인 관계를 갖는 상단부와 하단부의 변형률차가 부재력이 가장 크게 작용하는 제 1경간 중앙부를 기준으로 할 때 폐단면 연속타설의 경우 대략 700×10^{-6} 인 반면(그림 3(1)참조), 개단면 단계타설의 경우는 약 935×10^{-6} 으로써 약 1.3배 정도의 변형률 차이를 보이고 있다(그림 5(1)참조). 따라서 변단면과 등단면에 따른 영향보다는 개단면과 폐단면에 따른 영향이 상대적으로 크게 나타나는 것을 알 수 있다. 또한 시간에 따른 변형률의 변화는 개단면 단계타설의 경우 시공시 상대적으로 크게 유발된 탄성변형의 영향으로 장기거동이 크게 나타나나 그 차이는 탄성상태인 시공중에 발생하는 변형률의 차이보다 크지 않다. 그러나 경간의 중앙부에서는 압축변형률이 시간의 경과에 따라 지속적으로 증가하는 것을 볼 수 있는데 개단면의 경우 그 변형률의 크기 또한 670×10^{-6} 이상 발생되므로 이는 콘크리트 타설에 따른 사하중 증가에 의한 응력의 증가량이 1300kg/cm^2 가 발생하는 것을 의미한다. 따라서 개단면 주형의 교량에서는 슬래브 콘크리트 타설 및 사용중 강재주형의 좌굴이 더 큰 문제점으로 나타날 수 있다. 따라서 타설시 상판 콘크리트의 균열뿐만 아니라 과도한 곡률변화로 인한 강재주형의 좌굴과 소성 거동이 더 큰 문제가 되는데 타설순서와 관련한 보강재의 간격등을 통해 단면내의 좌굴발생을 제거하고자 하는 방안이 이루어지고 있으며 미국의 경우 1996년 미국 연방도로국에서 이와 관련한 연구가 이루어졌다^(6,8).

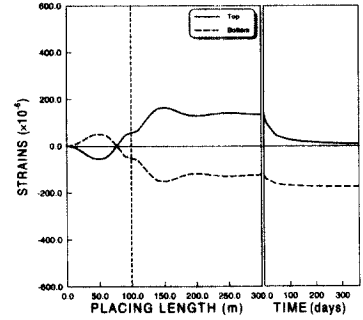
교량의 임의의 부분에 타설이 진행됨에 따라 이미 타설이 완료된 부분에 곡률변화가 발생하게 되고 이로 인한 변형률의 증가가 바닥판 콘크리트의 균열한계 이상으로 증가하게 되면 균열이 발생하게 된다. 폐단면 연속타설의 경우 $70 \sim 95 \times 10^{-6}$ 내외의 변형률의 증가가 지간중앙과 지점부에서 고르게 발생하며 등단면 교량에서 변단면 교량보다 변형률 증가량이 다소 크게 나타나는 것을 볼 수 있다(그림 3, 4참조). 한편 개단면 단계타



(1) 1경간 중앙점

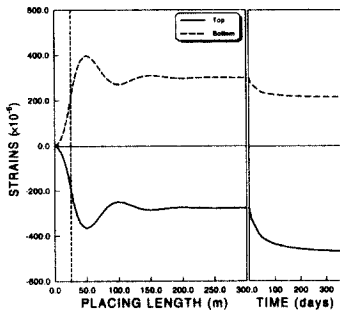


(2) 1번째 내측지점

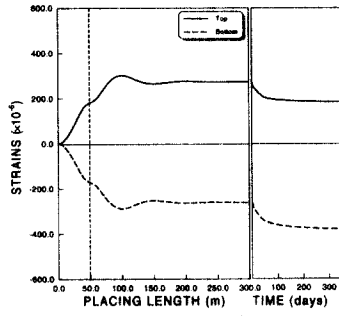


(3) 2번째 내측지점

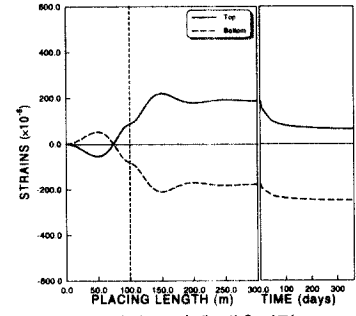
그림 3. 폐단면을 갖는 변단면 교량의 연속타설에 따른 주형의 변형을 거동



(1) 1경간 중앙점

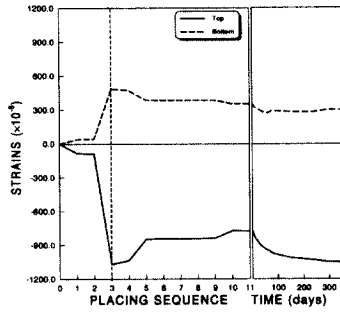


(2) 1번째 내측지점

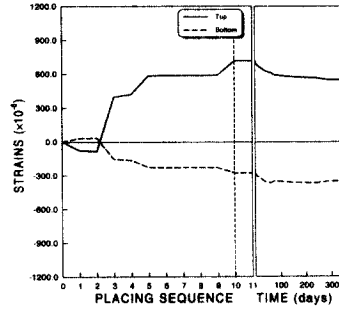


(3) 2번째 내측지점

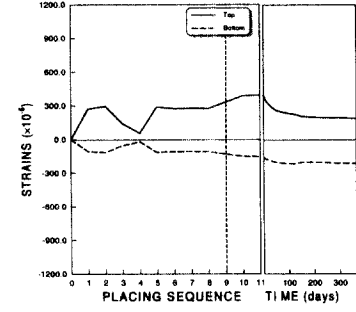
그림 4. 폐단면을 갖는 동단면 교량의 연속타설에 따른 주형의 변형을 거동



(1) 1경간 중앙점

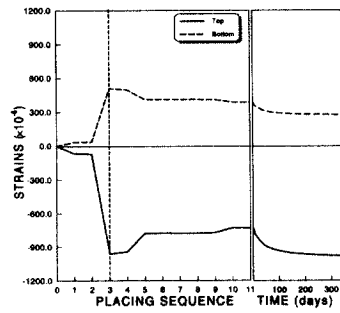


(2) 1번째 내측지점

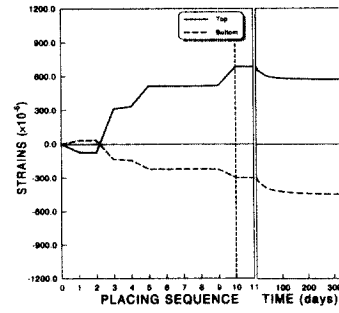


(3) 2번째 내측지점

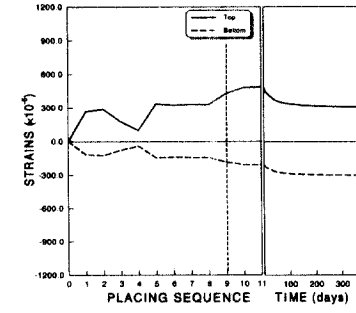
그림 5. 개단면을 갖는 변단면 교량의 단계타설 3에 따른 주형의 변형을 거동



(1) 1경간 중앙점



(2) 1번째 내측지점



(3) 2번째 내측지점

그림 6. 개단면을 갖는 동단면 교량의 단계타설 3에 따른 주형의 변형을 거동

설의 경우는 각 단면의 형태와 무관하게 지점부에서 변형률의 증가가 현격히 감소하며 그 크기 또한 매우 작은 것을 알 수 있는데 단계타설의 경우 지점부에 발생하는 부멘트 효과가 최소가 되도록 타설순서를 정하기 때문이다(그림 5, 6참조). 또한 폐단면 연속타설의 경우도 발생하는 변형률 증분이 70×10^{-6} 내외로 개단면 단계타설과 큰 차이가 없음을 알 수 있다(그림 3참조). 더욱이 연속타설의 최대 변형률 증분이 발생하는 시점이 타설 직후이며 한 구간을 타설하는 데 소요되는 시간이 3시간 내외인 점을 감안하면 콘크리트는 아직 소성상태를 유지하게 된다. 따라서 소성상태에서는 휨변형에 대한 균열저항력이 크기 때문에 연속타설에 의한 바닥판의 균열발생 잠재력은 크지 않을 것으로 판단된다. 즉 앞의 논문에서도 언급한 바와 같이 발생하는 변형률 증가분이 타설된 콘크리

트가 소성상태를 유지하는 초기에 유발되고 Hilsdorf 등의 실험⁽⁸⁾에 의하면 타설후 2~4.5 시간 경과 시점에서 소성상태의 곡률 $5 \times 10^{-4}/in$ 에 해당하는 콘크리트 변형률 19×10^{-4} 과 비교할 때 실험치와 유사한 시간경과임에도 불구하고 그 변형률 증가량이 극히 작으므로 폐단면 연속타설의 경우에 타설순서에 따른 문제점은 발생하지 않을 것으로 판단된다⁽⁶⁾.

4. 타설방법에 따른 영향

그림 1에 표시한 단계타설의 종류와 연속타설에 대한 거동을 알아보기 위하여 폐단면을 갖는 변단면 교량에 대하여 각 단면의 동일한 위치에서 여러 타설방법에 따른 거동을 알아보았다. 특히

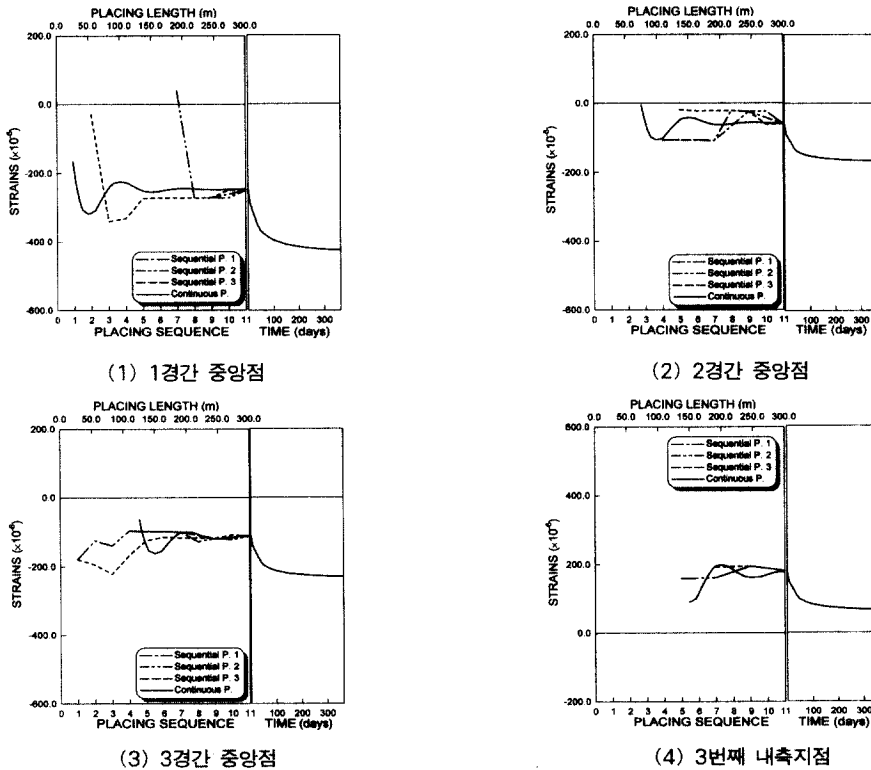


그림 7. 폐단면을 갖는 변단면 교량의 타설종류에 따른 주형의 변형률변화 비교

타설되는 상부 콘크리트 슬래브의 균열발생 관점에서 살펴보면 주형 상부 플랜지 변형률의 +증가분이 큰 역할을 하게 되므로 각 타설방법에 따른 주형 상부 플랜지의 변형률 변화를 슬래브 콘크리트가 해당 위치에 타설되는 시점을 시작으로 그림 7에 나타내었다. 또한 단계타설 1의 경우는 그 단계가 단계타설 2, 3과 달리 4단계로 구성되었으므로 단계타설 1을 세분화한 단계타설 2를 기준으로 변형률의 변화를 나타내었다.

해석결과를 살펴보면 각 타설방법이 가장 크게 영향을 나타내는 위치는 단계타설 1, 2는 2경간 중앙점으로써 인장 변형률의 증분이 67.8×10^{-6} 의 최대값을 갖으며 단계타설 3의 경우는 3경간 중앙점으로써 최대 인장변형률 증분이 101.7×10^{-6} 의 값을 각각 나타내고 있다. 반면에 연속타설의 경우는 1경간 중앙점과 3번째 내측지점에서 인장변형률 증분의 최대값, 94.04×10^{-6} 을 나타내고 있다. 또한 단계타설의 경우 경간 중앙점에서 변형률 변화는 인접한 중앙 경간에 콘크리트가 타설될 때의 영향이 다른 지점부에 타설되는 영향보다 크게 나타나게 되는데 특히 단계타설 3의 경우는 내부지점의 변형률 변화가 최소가 되도록 고려한 타설순서이므로 경간 중앙점에서의 변형률 변화가 상대적으로 크게 나타나며 오히려 연속타설의 경우보다 변형률의 증가폭이 크게 나타나고 있다.

5. 단계타설의 단계별 시간에 따른 영향

장비의 운용, 거푸집의 가설 및 철거 등을 고려할 때 단계타설의 경우 하루에 타설이 완료되기는 어려우므로 단계타설 3의 경우에 대하여 하나의 타설단계에 필요한 시간을 0일, 3일, 7일, 15일로 변화시켜 각 교량에 적용하였다. 해석결과는 주형의 상부 플랜지의 변형률 변화보다는 바닥판 콘크리트의 변형률 변화가 더 의미가 있으므로 강재 주형의 상부 플랜지에서 발생하는 변형률은 폐단면을 갖는 변단면 교량의 경우에 대한 해석결과만을 그림 8에 표시하였다. 해석결과를 살펴보면 시간간격이 0일인 경우보다 시간간격을 증가시킬수록 인장 변형률보다 콘크리트의 건조수축에 의해 압축 변형률이 증가함을 보이고 있다. 한편 지점부와 중앙부의 장기거동에 따른 영향을 살펴보면 지점부의 변형률 변화가 상대적으로 작게 나타나고 있는데 이는 동일한 콘크리트 단면적에 대해 지점부의 강재 단면적이 상대적으로 크고, 휨강성 또한 중앙부에 비해 지점부가 크기 때문에 동일한 내력에 대해 유발되는 응력의 증가량이 작게 나타나기 때문이다.

다음으로 콘크리트 바닥판의 거동을 살펴보기 위해 콘크리트 바닥판의 균열과 직접적인 관련을 갖는 콘크리트 역학적 변형률(mechanical strain)의 시간에 따른 변화를 모든 교량의 경우에 대해

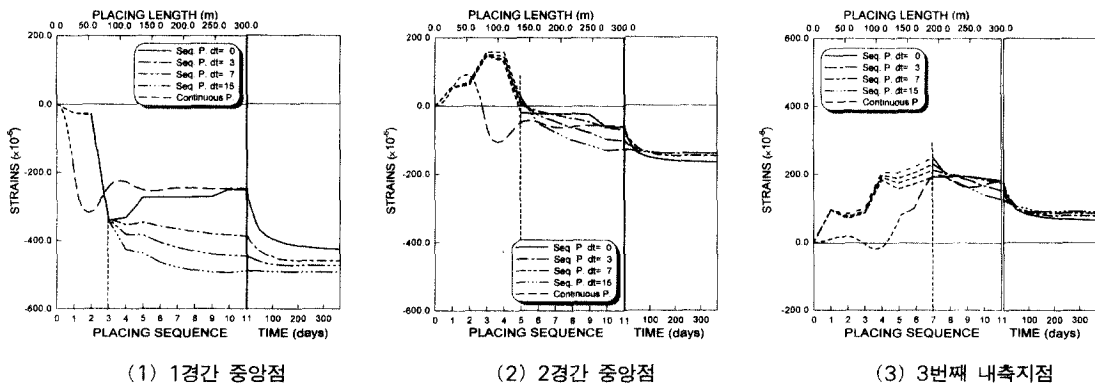
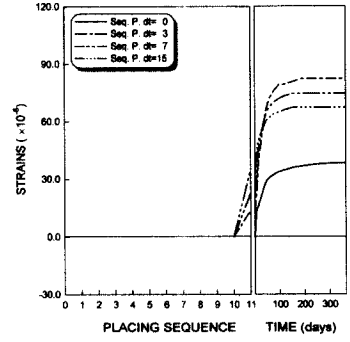
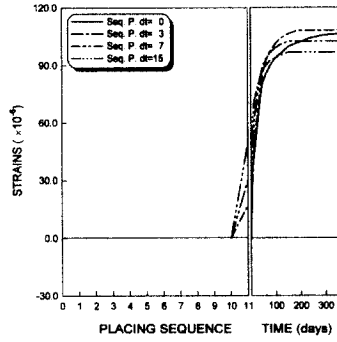
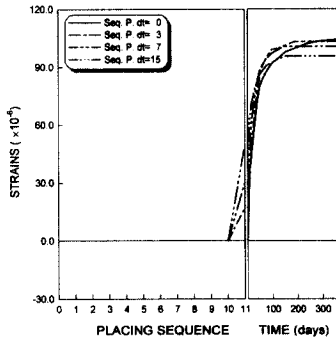


그림 8. 폐단면을 갖는 변단면 교량의 타설시간에 따른 주형의 변형률변화 비교

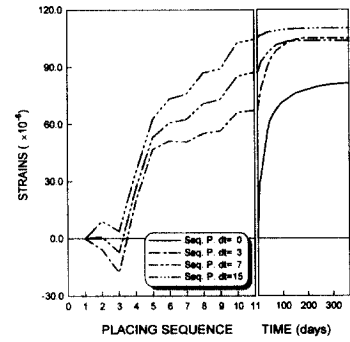
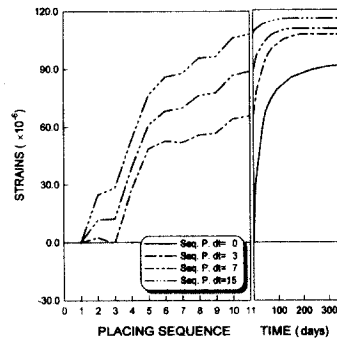
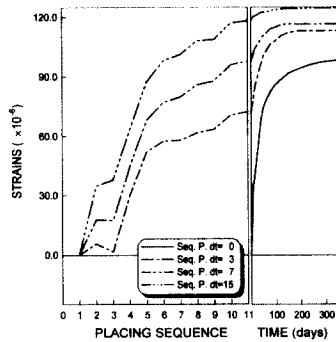
여 그림 9~12에 나타내었다. 전체적인 해석결과를 살펴보면 경간 중앙에서 바닥판 콘크리트의 전체 변형률은 압축을 나타내지만 역학적 변형률은 예상했던 바와 같이 모든 점에서 인장변형률을 나타내고 있으며 주형의 강성이 큰 폐단면을 갖는

변단면 교량에서 상판 콘크리트의 변형률 변화가 가장 크게 나타나고 있다.

또한 단계별 타설시간 간격이 클수록 타설중에 인장 변형률의 증가가 크게 나타나고 있으며 장기 거동에서 그 변화는 타설중에 시간의존적 변화가



(1) 1번째 내측지점

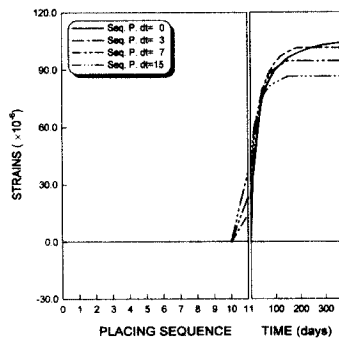


(2) 3경간 중앙점

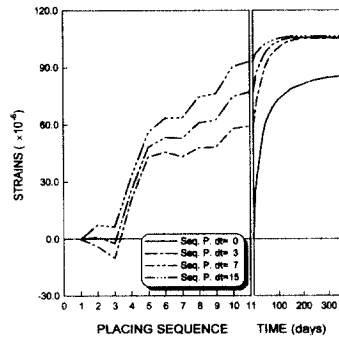
그림 9. 폐단면을 갖는 변단면 교량의 바닥판 콘크리트의 역학적 변형률

그림 10. 폐단면을 갖는 동단면 교량의 바닥판 콘크리트의 역학적 변형률

그림 11. 개단면을 갖는 변단면 교량의 바닥판 콘크리트의 역학적 변형률



(1) 1번째 내측지점



(2) 3경간 중앙점

그림 12. 개단면을 갖는 동단면 교량의 바닥판 콘크리트의 역학적 변형률

거의 완료되기 때문에 상대적으로 작게 나타나고 있다. 한편 각 단계에 따라 상판 콘크리트의 재령은 차이가 발생하므로 타설이 완료된 후 시간의존적 거동은 인접 콘크리트의 건조수축에 영향을 받게 된다. 이로부터 타설순서가 늦은 내측지점에서 변형률의 변화가 크게 나타나고 있다. 이러한 효과에 의하여 타설이 완료된 후 장기거동에 있어서도 인장 변형률의 증가가 크게 발생하게 된다. 하루에 타설이 완료되는 $dt=0$ 인 경우 장기거동에서 각 점의 증가량은 거의 같지만 타설이 완료되는 시점의 변형률의 크기에 따라 그 값이 변함을 알 수 있다. 또한 하루에 타설이 완료되는 경우 이 연구에서 콘크리트가 강도를 발현하는 시기를 타설 후 1일로 가정하였으므로 타설중에는 콘크리트의 역학적 변형률은 나타나지 않는다.

단면의 비교에 있어서는 강성이 큰 폐단면 교량의 경우가 개단면 교량의 경우보다 변형률이 크게 나타나고 있으나, 그 차이는 작음을 알 수 있다. 반면에 변단면과 균일단면의 비교에 있어서는 균일단면 교량의 경우가 상대적으로 변형률이 작음을 알 수 있는 데 단면의 강성이 교량 전체에 대해 비교적 일정한 균일단면 교량이 콘크리트의 시간의존적 변화의 구속에 의해 발생하는 2차 부재력의 재분배가 더 효과적이기 때문이라 할 수 있다.

또한 각 단계별 시간간격에 의한 바닥판 콘크리트의 역학적 변형률에 대한 효과를 살펴보면 시간간격이 증가할수록 강재주형에는 보다 큰 압축응력이, 콘크리트에는 더 큰 인장응력이 작용하게 된다. 한편 지간 중앙부에서의 콘크리트 역학적 변형률은 타설시간 차에 따라 약 25% 정도 증가하는 경향이 있고 그 증가폭이 변단면의 경우 크게 나타나므로 장지간의 교량에 주로 사용되는 변단면의 경우 지점부와 중앙부의 상대적인 강성차가 증가하게 될 것이므로 타설시간차의 관리가 원활하게 이루어져야 할 필요가 있다.

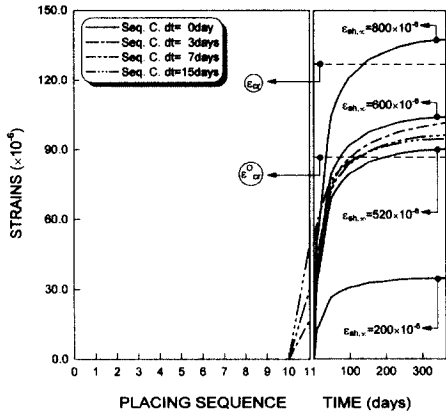
따라서 연속타설의 경우는 장기거동에 있어 유발되는 콘크리트의 역학적 변형률이 단계타설의

$dt=0$ 에 대응하는 값이므로 강재주형에는 상대적으로 작은 압축응력을 유발시키게 되고 콘크리트 슬래브는 중앙부에서 상대적으로 작은 인장력을 유발시키게 된다. 또한 지점부에서의 콘크리트 인장응력은 시간간격을 두고 타설되는 단계타설과 비교해 그 차가 크지 않고 그 절대값은 지간의 중앙부보다 작게 나타나므로 교량의 상부 슬래브에서 발생하는 균열의 관점에서 볼 때 연속타설에 따른 영향은 없는 것으로 판단된다.

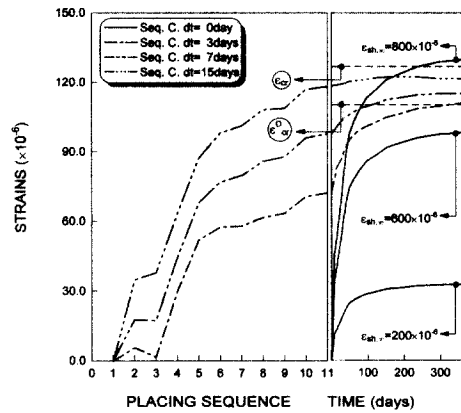
6. 바닥판 콘크리트의 극한 건조수축 변형률에 따른 거동

지금까지 해석에서는 바닥판 콘크리트의 극한 건조수축 변형률이 600×10^{-6} 로 고정되어 사용되었으나 앞의 해석결과들로부터 콘크리트의 건조수축에 의해 거동이 크게 영향을 받게 됨을 알 수 있었다. 따라서 이 절에서는 바닥판 콘크리트의 극한 건조수축 변형률의 값이 200×10^{-6} , 600×10^{-6} , 800×10^{-6} 인 경우에 대하여 폐단면을 갖는 변단면 교량에 대하여 해석이 수행되었다. 해석결과는 1번째 내측지점과 3경간 중앙점에 대하여 바닥판 콘크리트의 역학적 변형률에 대하여 그림 13에 나타내었다.

일반적으로 보통 콘크리트의 인장강도를 $2.0 \times (f'_c)^{1/2}$, 탄성계수를 $2.5 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$ 이라 할 때, 이 경우 콘크리트의 인장강도는 31.95 kg/cm^2 에 해당되는 변형률, 127.51×10^{-6} 을 그림 13에 ϵ_{cr} 로 표시하면 변형률이 이 값을 초과할 때 균열이 발생하게 된다. 또한 교량의 경우 시공완료후 활하중이 작용하게 되므로 DB-24하중을 고려하였다. 역학적 변형률이 큰 1번째 내측지점의 경우 활하중에 의한 변형률은 약 38×10^{-6} 이었고 이를 고려한 균열 변형률, ϵ_{cr}^D 로 약 89×10^{-6} ($= 127.51 \times 10^{-6} - 38 \times 10^{-6}$)으로 계산되었다. 따라서 활하중이 작용되는 경우 최대 건조수축 변형률이 3경간 중앙점에서는 655×10^{-6} , 1번째 내측지점에서는 520×10^{-6} 을 초과하는 경우 균열이



(1) 1번째 내측지점



(2) 3경간 중앙점

그림 13. 폐단면을 갖는 변단면 교량의 바닥판 콘크리트의 극한 건조수축변형률에 따른 바닥판 콘크리트의 역학적 변형률 변화

발생할 수 있으므로 바닥판 콘크리트에 균열이 발생하지 않게 하기 위해서는 극한 건조수축 변형률이 이 값이하로 되도록 관리해야 함을 알 수 있다.

7. 건조수축의 관리

지금까지 바닥판의 균열에 크게 영향을 주는 인자로서 바닥판 콘크리트의 극한 건조수축 변형률에 대하여 언급되었다. 이러한 콘크리트의 건조수축에 영향을 주는 요소로는 콘크리트의 배합성분, 대기상대습도 등 여러 가지가 있으나 이 연구에서는 바닥판 타설중 관리할 수 있는 요소로써 콘크리트의 슬럼프값과 상대습도에 따른 영향을 ACI모델을 통하여 알아보았다. ACI모델은 극한 건조수축 변형률로 다음 식을 제안하고 있다⁽⁵⁾.

$$\epsilon_{sh, \infty} = 730 \times 10^{-6} k_H k_T k_S k_C k_F k_A k_{thk} \quad (1)$$

여기서 k_H 는 상대습도, k_T 는 양생시간, k_S 는 슬럼프, k_C 는 단위시멘트량, k_F 는 잔골재율, k_A 는 공기량, k_{thk} 는 부재 두께의 영향을 각각 나타내는 계수이다. 이 연구에서 적용된 바닥판의 조건과 일반적인 콘크리트 배합성분을 사용하여 k_H

와 k_S 를 제외한 계수를 계산하면 각각 $k_F=0.86$, $k_C=0.99$, $k_A=0.99$, $k_T=1$, $k_{thk}=0.86$ 이 되며 식 (1)에 적용하면 다음과 같다.

$$\epsilon_{sh, \infty} = 528.2 \times 10^{-6} \cdot k_H \cdot k_S \quad (2)$$

k_H 와 k_S 를 조절하여 식 (2)로부터 계산되는 극한 건조수축 변형률이 앞에서 구한 균열 변형률 520×10^{-6} 이하 값을 갖도록 해야 하므로 현장에서 많이 사용되고 있는 콘크리트의 슬럼프값과 대기상대습도를 적용하여 표 2에 나타내었다.

표 2. 상대습도와 슬럼프값에 따른 극한 건조수축 변형률 ($\times 10^{-6}$)

표 2에 음영으로 나타낸 부분이 극한 건조수축 변형률이 520×10^{-6} 이하 값을 갖도록 하는 슬럼프와 상대습도를 나타낸다. 즉 대기상대습도가 70% 이상인 경우 균열은 슬럼프와 무관하게 발생하지 않으며 상대습도가 60%인 경우 슬럼프값이 12cm 이하가 되도록 해야 함을 알 수 있다.

8. 결 론

이 연구에서는 폐단면과 개단면, 단면의 높이가 교축방향으로 일정한 경우와 변하는 경우에 대하여 연속타설과 단계타설을 각각 적용함으로써 이에 따른 각 교량의 거동을 다양한 영향인자의 분석이 수치적으로 수행되었다. 또한 ACI 모델을 사용하여 콘크리트의 건조수축을 감소시키기 위한 방안을 현장에서 제어 가능한 콘크리트의 슬럼프값과 대기 상대습도를 이용하여 조절하는 방법을 제안하였다.

해석결과들에서 본 바와 같이 폐단면의 경우 연속타설에 따른 변형률 증가가 단계타설을 적용한 개단면에 비해 상대적으로 크지 않음을 알 수 있었다. 또한 상부 슬래브의 균열발생과 직접적인 관련을 갖는 시간에 따른 콘크리트의 역학적 인장 변형률의 증가 또한 폐단면 연속타설의 경우 개단면 단계타설에 비해 크지 않음을 알 수 있다. 특히 바닥판에서 발생하는 콘크리트의 역학적 인장 변형률의 크기는 현장타설 콘크리트의 건조수축률과 직접적인 관련을 갖게 되므로 바닥판의 균열발생을 억제시키기 위해서는 현장타설 콘크리트의 건조수축이 최소가 되도록 유지할 필요가 있다. 특히 이 연구의 해석예제의 경우 상대습도 50% 이하에서는 콘크리트의 슬럼프값과 관계없이 균열이 발생할 가능성이 큰 것을 알 수 있었다.

감사의 말

이 연구는 한국도로공사의 지원(과제명: 합성형 교량의 설계, 시공 및 유지관리 기술개발 연

구)에 의한 것으로 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- (1) 건교부: 1996, 도로교표준시방서, 토목학회.
- (2) 한국도로공사 : 1998, 합성형 교량의 설계, 시공 및 유지관리 기술개발 연구보고서.
- (3) 황학주 : 1995, 교량공학, 동명사.
- (4) AASHTO : 1992 Standard Specifications for Highway Bridges, Washington, D.C.
- (5) ACI committee 209 : 1971, Prediction of creep, shrinkage, and temperature effects in concrete structure, American Concrete Institute Special Publication No. 27, pp. 51-93.
- (6) Babei, K. et al. : 1987, Evaluation of Bridge Deck Protective Strategies, NCHRP report 297, transportation research board, national research council, Washington, D.C.,
- (7) Heins, C.P. et al. : 1979, Design of Modern Steel Highway Bridges, Wiley Interscience, New York.
- (8) Hilsdorf, H.K. et al. : 1970, Revibraton of Retarded Concrete for Continuous Bridge Decks, NCHRP Report 106, Washington, D.C.
- (9) 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)