

프리캐스트 콘크리트 바닥판 교량의 전단연결부 설계

Design of Shear connection in Full-Depth Precast Concrete Deck Bridge

장 승 필¹⁾ · 심 창 수²⁾ · 김 종 희²⁾ · 김 영 진³⁾

Chang, Sung Pil Shim, Chang Su Kim, Jong Hee Kim, Young Jin

요약 : 프리캐스트 콘크리트 바닥판을 갖는 교량은 각각의 프리캐스트 바닥판에 전단 연결재를 위한 홈을 두어서 강주형과 합성시키는 시스템을 갖는다. 전단연결재를 위한 홈을 무수축모르터로 채울 경우의 전단연결재 설계에 필요한 전단연결부의 강도와 강성의 산정식에 대한 해석적 검토를 수행한다. 허용응력 설계법을 프리캐스트 콘크리트 교량 바닥판에 적용할 경우에 대해 전단연결재의 배치방법을 단순교에 대해 신설과 보수의 경우로 나누어 교량 시스템에 적합하도록 제시하고 지점부 프리캐스트 바닥판의 상세를 제안한다. 강도설계 및 피로설계에 의한 설계방법을 적용할 경우에 대해서 부분합성 이론을 이용한 변수연구를 통해서 프리캐스트 콘크리트 바닥판 교량에 적합한 전단연결재의 배치방법을 제안한다. 실험 및 해석적 연구 결과로부터 무수축모르터의 강도 영향을 제시하고 실제 적용시 적절한 강도기준을 제시한다.

ABSTRACT : Full-depth precast concrete deck bridge has shear pockets for shear connectors that give composite action with steel girder. Strength and shear stiffness of shear connection that is needed to design shear connectors in case that shear pockets are filled with nonshrink mortar are investigated. In case that simple span full-depth precast concrete deck bridge is designed by allowable stress design, distribution of shear connector is suggested and details of precast panel that is placed on the support are proposed. Appropriate distribution of shear connectors in strength design and fatigue design is investigated through parameter analyses using partial interaction theory. The effects of nonshrink mortar strength is studied using the results of experiments and analyses and adequate strength is proposed.

핵심 용어 : 프리캐스트 콘크리트 교량바닥판, 전단연결부, 강도, 전단강성, 전단연결재 배치, 바닥판 상세, 허용응력설계, 강도설계, 피로설계

KEYWORDS : Full-Depth Precast Concrete Bridge Deck, Shear Connection, Strength, Shear Stiffness, Distribution of shear connectors, Panel Details, Allowable Stress Design, Strength Design, Fatigue Design

1) 정회원, 서울대학교 토목공학과 교수, 포스코 석좌기금 연구교수

2) 정회원, 서울대학교 토목공학과 박사과정

3) 정회원, 대우건설기술연구소 책임연구원

본 논문에 대한 토의를 1999년 6월 30일까지 학회로 보내주시면 토의 회답을 게재하겠습니다.

1. 서 론

교량바닥판은 차량하중을 직접 지지하고 환경요인에 노출되어 시간경과에 따라 내구성 및 내력이 저하되는 구조부재이다. 실제로 청계고가도로교와 노량진 수원지 고가도로교의 바닥판 교체공사가 수행되었고, 잠실 및 양화대교 보수공사가 진행중에 있다. 기존에 사용되던 현장타설 바닥판에 비해 프리캐스트 바닥판은 인력절감, 공기단축 및 품질확보의 장점을 갖고 있으며, 공장 등에서 제작하여 현장에서 조립하기 때문에 연결부가 발생되는 구조적 특징이 있다. 특히 프리캐스트 바닥판과 주형과의 이름은 그림 1과 같이 프리캐스트 바닥판에 전단연결재와의 접합을 위한 전단포켓을 두고 이를 무수축모르터 등의 채움재로 충전시켜 합성을 이루는 방법을 사용한다^(1,2).

전단연결재를 위한 흄을 무수축모르터로 충전할 경우는 기존의 현장타설 바닥판 교량의 전단연결부와는 다른 거동 특성을 가지고 있어 전단연결재의 전단내력, 전단연결재의 배치방법, 전단연결부 보강철근 등의 새로운 구조설계 방법이 요구된다. 현장타설 바닥판의 경우에는 도로교표준시방서에 규정된 바와 같이 전단연결재의 허용전단력은 콘크리트 강도와 전단연결재 지름의 함수로 표현되어 있으나, 프리캐스트 콘크리트 바닥판에서는 전단연결재를 무수축모르터가 둘러싸고 있는 구조특성이 반영된 새로운 허용전단력 산정식을

사용하여야 한다. 또한 전단연결재의 거동을 고려한 부분합성 이론(partial interaction)을 사용할 경우 필요한 전단연결부의 전단강성도 프리캐스트 바닥판을 가진 전단연결부 실험의 결과를 이용하여 구하고자 한다.

전단연결재의 배치는 현재의 도로교표준시방서를 따를 경우 지점부에 집중되는 전단연결재의 양을 프리캐스트 콘크리트 바닥판에서는 적용하기 힘들기 때문에 종래에는 신설 및 교체공사에서 지점부를 현장타설로 시공하여 왔다. 그러나, 단시간에 교체를 필요로 하는 보수 교량의 경우는 지점부까지 프리캐스트화하는 것이 효율적이다. 따라서, 지점부에 집중되는 현재의 전단연결재 배치를 소화할 수 있는 바닥판 상세를 제안하고자 한다. 프리캐스트의 특성상 전단연결재의 배치가 전단력의 분포에 따른 것보다 등간격으로 배치하는 것이 유리하다. 이 경우에 대한 해석적 검토를 통해 기존의 배치방법에 따른 거동차이를 사용성과 안전성면에서 비교 검토할 필요가 있다.

한편, 전단연결재가 있는 부분에 대한 보강철근의 배치규정이 도로교표준시방서에 포함되어 있는데 이 보강 철근은 슬래브가 상대적으로 약한 모델의 실험을 통해 관찰된 전단연결재의 앞부분에서 발생하는 균열을 대비하기 위한 것이다. 현재의 합성형 교량의 철근 배근을 고려할 때 상하부 주철근과 배력철근이 충분히 전단연결부 전면에 발생하는 인장응력에 저항할 수 있을 것으로 예상되고 이에 대한 해석적 검증을 수행한다. 또한 실험 및 해석적 연구를 통해 전단연결재를 위한 흄의 충진재로 주로 사용되는 무수축모르터의 적정 강도수준을 제시하고자 한다.

2. 프리캐스트 콘크리트 바닥판의 전단연결부 강도 및 강성

우리나라 도로교표준시방서의 스터드 전단연결재의 허용전단력 계산식은 일본 건설성 토목연구소에서 수행한 시험결과에 기초하여 만들어진 실

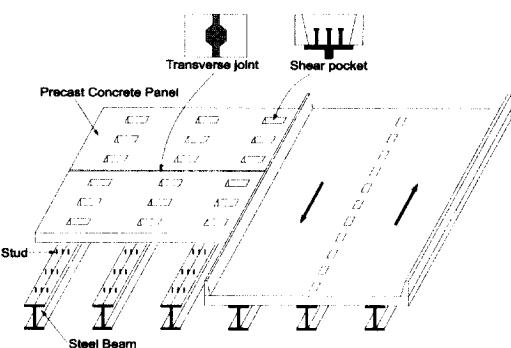


그림 1. 프리캐스트 콘크리트 바닥판 교량

험식으로 전단연결재의 길이와 지름의 비(H/d)에 따라 식(1), (2)로 구분되어 있다⁽⁵⁾.

$$Q_a = 30 d^2 \sqrt{\sigma_{ck}} \quad (H/d \geq 5.5) \quad (1)$$

$$Q_a = 5.5 d H \sqrt{\sigma_{ck}} \quad (H/d < 5.5) \quad (2)$$

이 허용전단력을 극한전단력을 6정도의 안전율로 나눈 값이다. 식(1), (2)에서 스터드 전단연결재의 내하력은 스터드의 지름과 길이, 이를 둘러싼 콘크리트의 압축강도의 함수임을 보여주고 있다. 그러나, 프리캐스트 바닥판 구조의 전단연결구조는 식(1), (2)가 유도된 Push-out 실험부재와는 달리, 무수축모르터를 전단포켓의 채움재로 사용하기 때문에 식(1), (2)를 직접 적용할 경우 실험결과에 비해 과다하게 평가되기 때문에 현 시장 규정으로 프리캐스트 바닥판에 사용되는 스터드 전단연결재의 전단내력을 구하는 것은 부적절하다고 판단된다. 이는 $35N/mm^2$ 이상의 고강도의 채움재를 사용하는 경우 전단연결부의 파괴모드는 전단하중에 의한 채움재의 압괴현상보다는 전단연결재의 직접 전단에 기인하기 때문이라고 판단된다. 그럼 2와 같은 실험부재를 이용한 전단연결재의 Push-out부재의 정직실험 결과를 분석해보면 고강도 무수축모르터를 사용하는 경우 무수축모르터의 강도가 전단연결재의 정직강도에 미치는 영향은 무시할 수 있기 때문에 압축강도 $35 N/mm^2$ 이상의 무수축모르터 사용시의 전단연결재의 정직강도식은 전단연결재의 지름의 함수로

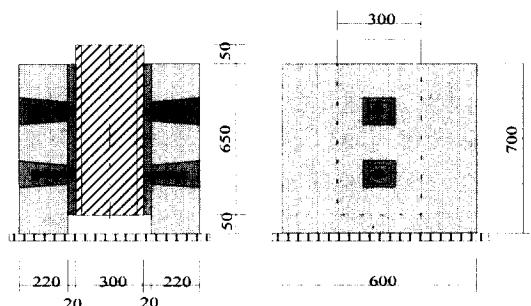


그림 2. Push-out 실험부재

표현하여 설계에 이용하도록 한다. 실험결과를 정리하면 표 1과 같다⁽¹⁾. 여기서 한계하중은 기준의 연구자들이 제안한 개념으로 콘크리트 바닥판과 강주형사이의 상대변위인 슬립에 대해서 잔류슬립의 크기가 0.075mm인 경우의 하중으로 허용전단력을 결정하는 기준으로 많이 사용하였다. 허용전단력의 크기는 현재의 전단연결재 설계에서 갖고 있는 안전율의 수준을 유지하도록 한계하중을 4.0으로 나눈 값을 제안한다. 강도설계를 위해서는 전단연결재의 극한전단력이 필요한데 이에 대한 산정식은 Push-out 실험의 결과를 선형회귀를 통해서 구하여 제시한다⁽¹⁾.

표 1. 전단연결재의 강도

전단연결재의 지름	파괴강도 (kN)	한계하중 (kN)	허용전단력 (kN)
D 13	66.8	51.0	12.8
D 16	81.9	63.7	15.9
D 19	117.2	91.1	22.8
D 22	148.2	117.6	29.4

$$Q_u = 9.971 d - 66.06 \quad (3)$$

여기서, Q_u 는 스터드 전단연결재 하나당 극한강도(kN)이고, d 는 전단연결재의 출기 지름(mm)이다.

설계에 있어서 전단연결재의 강도특성 뿐만 아니라 콘크리트와 강형사이의 상대변위(이하 슬립)능력이 중요하다. 스터드 전단연결재의 전형적인 하중-슬립 관계곡선은 그림 3과 같다.

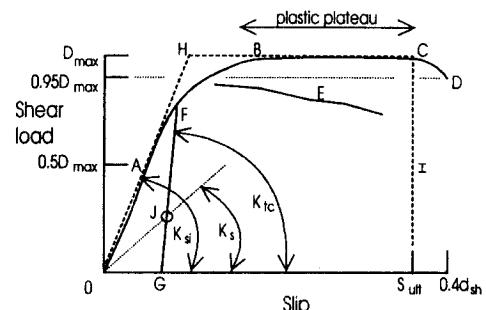


그림 3. 스터드 전단연결재의 하중-슬립 관계곡선

그림 3에서 현장타설 바닥판 교량에서 전단연결부의 초기강성(Initial tangent stiffness) K_{si} 는 $0.5D_{max}$ 에서의 강성으로 Oehlers^(7,9)에 의해 식(4)와 같이 제안되었다.

$$K_{si} = \frac{D_{max}}{d_{sh}(0.16 - 0.0017f_c)} \quad (4)$$

여기서, D_{max} 는 스터드 전단연결재의 최대강도이고 d_{sh} 는 스터드의 지름이고 f_c 는 콘크리트의 압축강도이다. 그러나, 식(4)를 무수축모르터를 사용하는 프리캐스트 바닥판 교량의 전단연결부에 적용하기 위해서는 실험을 통해서 구할 필요가 있다.

프리캐스트 콘크리트 바닥판을 가진 전단연결부의 Push-out 실험결과에서 대표적인 하중-슬립 곡선을 19mm 스터드를 가진 경우에는 강도

별로 나타내고 50mm 정방형 시편을 이용한 무수축모르터의 강도 $61.09N/mm^2$ 인 경우에는 지름별로 도시하면 그림 4와 같다.

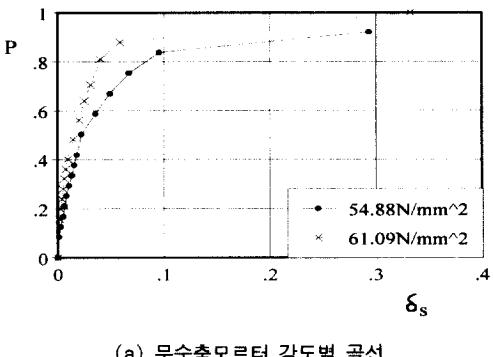
실험에서 구한 하중-슬립곡선으로부터 파괴하중의 50%수준까지는 선형거동을 나타내고 있기 때문에 전단연결부의 초기강성(intial tangent stiffness)을 이 점에서 구한다. 기존의 현장타설 바닥판 교량의 전단연결부에 대한 연구로부터 전단연결부의 전단강성은 스터드의 줄기자름, 파괴하중 및 콘크리트의 압축강도에 의존함을 알 수 있다. 16개 부재의 실험에서 무수축모르터의 강도변수는 $54.88N/mm^2$, $61.1N/mm^2$ 의 두 가지이고 스터드 줄기자름변수는 13mm, 16mm, 19mm, 22mm의 네 가지로 하였기 때문에 무수축모르터의 강도변수에 대한 해석적 연구를 수행하여 전단강성의 평가식을 식 (5)와 같이 제안한다⁽⁴⁾.

$$K_{si} = \frac{P_{ult}}{d_{sh} (\alpha - \beta \sigma_{ck})} \quad (5)$$

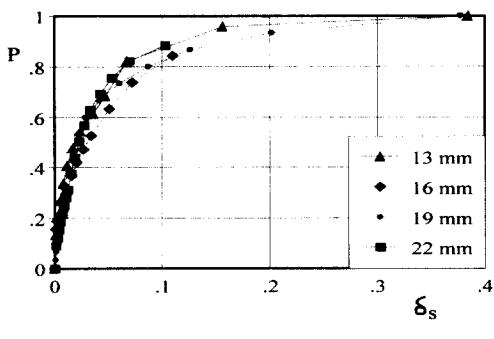
여기서, α 와 β 는 파괴하중의 50% 수준에서 구한 정수이고 실험에서 구한 값은 $\alpha = 104 \times 10^{-3}$, $\beta = 96 \times 10^{-5}$ 이다.

3. 설계법에 따른 전단연결부 배치 간격 비교

허용응력설계법은 합성후 사하중, 활하중, 온도차 및 건조수축에 대해서 수평전단력의 분포를 구하고 식 (1), (2)로부터 사용하고자 하는 전단연결재의 허용전단력을 기준으로 수평전단력의 분포에 따라 적절히 배치하도록 되어 있다⁽⁵⁾. 설계방법에 따른 전단연결재의 배치의 차이를 비교하기 위해서 모델 교량을 산정하여 전단연결재 설계를 하였다. 모델 교량은 지간 40 m, 교폭 4.5m, 설계하중 DB-24이고 교량의 제원은 그림 5와 같다. 이 단면에 대해서 유효폭으로 자른 내측주형부분에 각각의 설계방법별로 전단연결재 설계를 수행하도록 한다. 현재 전단연결재 설계는 허용응



(a) 무수축모르터 강도별 곡선



(b) 스터드 지름별 곡선

그림 4. 프리캐스트 바닥판 교량 전단연결부의 하중-슬립곡선

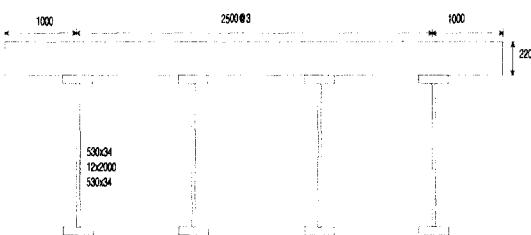


그림 5. 설계단면(단위 : mm)

력설계법, 강도설계법 및 피로설계법으로 대별되는데 허용응력설계법은 도로교표준시방서에서 채택하고 강도설계법 및 피로설계법은 AASHTO LRFD의 것을 따른다.

허용응력설계에 요구되는 허용전단력은 도로교 표준시방서에서 제시하는 식(1), (2)에 의하지 않고 실험에서 구한 값을 사용하도록 한다. 지점부에서부터 주형간격의 범위이내의 전단연결재의 설계는 전조수축과 온도차에 의해서 발생하는 수평 전단력에 의해서 결정되는데 이것에 의해 배치되는 전단연결재의 양이 상당히 많다.

강도설계 및 피로설계는 일반적으로 피로설계가 전단연결재 설계를 지배하게 되고 강도를 점검하게 되어 있다. 강도설계법은 콘크리트에 의한 $P_c = 0.85A_cf'_c$ 과 강행에 의한 $P_s = A_sf_y$ 중에서 작은 값보다 전단연결재에 의한 전단저항력이 크도록 설계하여야 한다. 따라서, 하중과는 관계없이 단면이 결정되면 전단연결재의 양이 결정된다. 피로설계는 단순교의 경우는 그림 6과 같이 활하중에 의해 발생하는 전단력의 범위가 거의 일정하기 때문에 전단연결재를 등분포로 배치할 수 있다.

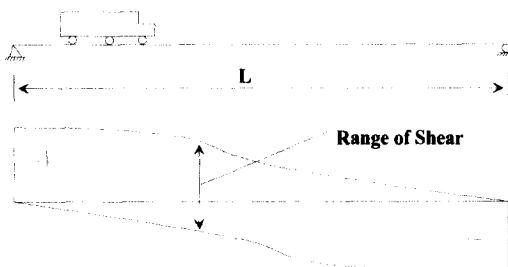


그림 6. 단순교에서 활하중에 의한 전단력의 범위

전단연결재의 간격은 식 (6)에 의해 결정된다⁽⁶⁾

$$p = \frac{n Z_r}{S_r} \quad (6)$$

여기서, p 는 전단연결재의 간격이고 n 은 열당 전단연결재의 수, 그리고 S_r 은 수평전단력의 범위로 $S_r = V_r Q / I$ 에 의해 계산된다. Z_r 은 허용전단력 범위로 $Z_r = \alpha d^2$ 의 식으로 구하는데 이것은 Slutter와 Fisher의 실험결과로 부터 회귀분석을 통해서 구한 식으로 여기서 $\alpha = 238 - 29.5 \log N$ 으로 구한다⁽¹¹⁾. 허용응력 설계법은 발생 전단력의 분포에 따라 전단연결재를 배치하고 강도 및 피로설계법에서는 등분포로 전단연결재를 배치한다.

설계법에 따른 전단연결재의 양을 비교하기 위하여 합성의 정도를 평가하는 두 가지 기준을 소개하고자 한다. 하나는 콘크리트 슬래브와 강행사이의 상대변위를 허용하는가의 여부에 의한 구분으로 합성정도(Degree of Interaction)는 식 (7)에 의해 정의된다.

$$\psi = \frac{P_{shear}}{P_{f_i}} \quad (7)$$

여기서, P_{f_i} 는 최대슬립의 크기가 0이 되기 위한 전단연결재의 총 전단력의 합이고 P_{shear} 는 전단연결재의 전단저항력의 합이다. 이론적으로는 상대변위가 0일 수 없지만 전단연결재의 파단가능성을 판별하는 중요한 지표로 사용될 수 있다. 다른 하나의 기준은 강도를 기준으로 전단연결정도(Degree of shear connection)를 평가하는데 식 (8)에 의해 정의된다.

$$\eta = \frac{P_{shear}}{P_{(shear)fsc}} \quad (8)$$

여기서, $P_{(shear)fsc}$ 는 합성보가 극한상태에 도

달할 때까지 전단연결재가 먼저 파단에 이르지 않을 수 있는 전단연결재의 전단저항력의 합을 말하는데 앞서 강도설계법에서 정의한 P_c 와 P_s 중에서 작은값에 해당된다. 이것은 합성보의 휨강도를 결정하는 중요한 지표가 된다.

세 가지 설계법에 의해 수행한 전단연결재의 설계를 앞서 수행한 전단연결재의 극한강도값을 이용한 강도설계법에 의한 전단연결재의 강도의 합을 기준으로 전단연결정도(Degree of shear connection)를 비교하면 표 2와 같다. 표에서 나타난 바와 같이 허용응력설계법에 의해 배치된 전단연결재의 전단연결정도가 피로설계에 의한 합성정도와 유사한 수준이다. 이것은 건조수축과 온도차에 의해 지점부에 배치되는 전단연결재의 양이 상당히 많은 것에 기인한다.

표 2. 전단연결재 설계의 설계방법별 비교

	허용응력설계법		강도설 계법	피로설 계법
	건조수축 +온도차	활하중		
$\Sigma Q_u(kN)$	18520 (지점부 배치)	11955 (나머지 구간)	30475	12636 28130
Degree of Shear Connection	1.47	0.95	2.42	1.0 2.23

강도설계 및 피로설계시 전단연결재의 배치를 등분포로 할 수 있다. 그림 7과 같이 등분포로 배치하는 경우와 지점부에 전단연결재를 집중시키는 경우, 그리고 삼각형 분포를 갖도록 배치한 경우에 대한 거동을 부분합성이론을 이용한 유한요소 해석을⁽³⁾ 통해 비교해보겠다. 전단연결재의 양은 세 경우 모두 동일하게 하고 40m 교량에 대해서 0.98kN의 등분포하중이 작용할 경우의 처짐 및 슬립의 크기를 비교해보도록 한다. 해석에서 사용

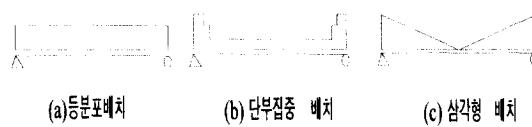


그림 7. 전단연결재의 배치

하는 전단연결부의 강성값은 앞서 구한 22mm 전단연결재의 강성값을 사용하고 등분포배치는 22mm 전단연결재 3열배치로 400mm 간격을 기준으로 한다.

세 가지 경우에 대해 해석한 결과를 보면 그림 8과 같다. 처짐값을 보면 세 가지 분포에 따른 차이를 거의 볼 수 없기 때문에 등분포 배치를 하여도 합성형 교량의 휨강성에는 차이가 없다고 판단된다. 슬립의 크기를 볼 때 삼각형 분포를 하는 것이 전단력의 분포와 동일하게 전단연결재를 배치하여 지점부에서 발생하는 최대슬립의 크기를 줄여주는 효과가 있다. 전단연결재 피로의 관점에서 보면 삼각형 분포가 등분포에 비해서 각각의 전단연결재가 균일한 피로전단응력범위를 갖는다. 그러나, 스터드 전단연결재와 같이 유연한 전단연결재를 사용할 경우에 피로설계에 따른 전단연결재의 양을 만족시키면 하중 재분배 효과로 인하여 단순교에서 등분포 배치를 사용할 수 있다.

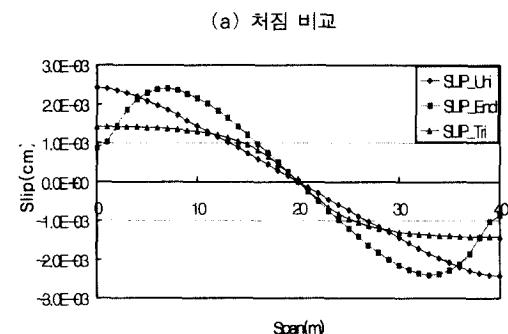
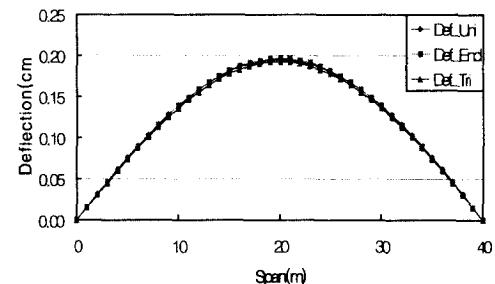
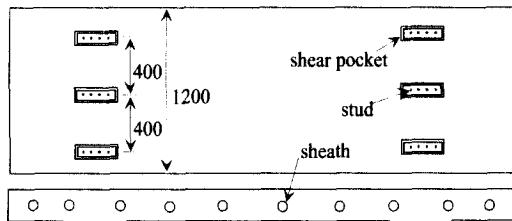


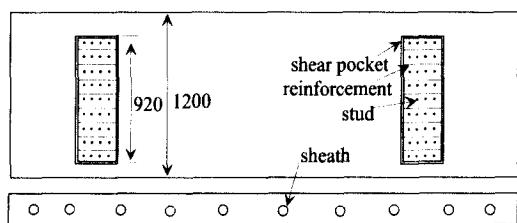
그림 8. 전단연결재 배치에 따른 거동 비교

4. 프리캐스트 콘크리트 바닥판의 전단연결부 구조상세

프리캐스트 콘크리트 바닥판 교량의 전단연결재 설계를 허용응력설계법으로 할 경우는 지점부의 건조수축과 온도차에 의한 전단연결재의 배치는 약 100mm 간격으로 프리캐스트 콘크리트 바닥판내에서 전단연결재를 위한 흔을 두어서 만족시킬 수는 없다. 따라서 신설 교량의 경우 이 구간은 현장타설로 바닥판을 시공하여야 한다. 지점부에 전단연결재의 양을 집중시키면 이 부분에 발생하는 수평전단력의 크기가 크기 때문에 상대변위의 감소에 좋은 효과를 가져오고 전단력의 분포에 적합한 배치를 함으로써 피로에 대해서도 양호한 거동을 확보할 수 있다. 그리고, 이 구간을 제외한 구간에서의 전단연결재의 배치 간격은 일정하게 유지하는 것이 프리캐스트의 장점을 살릴 수 있는 방안이고 400mm 정도의 간격이면 현재의 설계규정을 만족시킬 수 있다. 이렇게 배치된 경우 2주형위에 거치되는 프리캐스트 바닥판의 예를 보이면 그림 9(a)와 같다.



(a) 중앙부 프리캐스트 바닥판

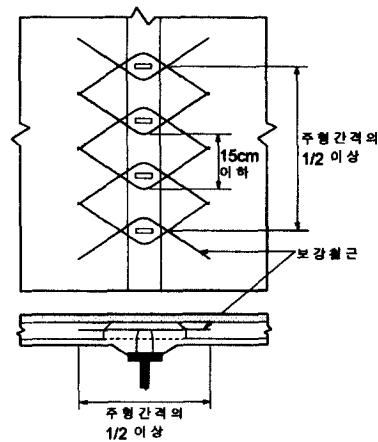


(b) 지점부 프리캐스트 바닥판

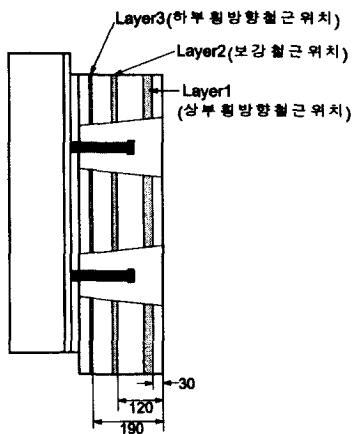
그림 9. 프리캐스트 바닥판의 상세

프리캐스트 콘크리트 바닥판 교량의 신설공사 시에는 지점부 구간을 현장타설로 시공하여 양생시켜도 큰 문제는 없으나 도심지 고가교나 교통량이 많은 지역의 교량의 경우는 현장타설 구간을 없애고 전구간을 프리캐스트화하는 것이 시공기간의 단축으로 간접손실을 줄이는 데 많은 이점이 있다. 이렇게 할 경우는 앞서 서술한 허용응력설계법에 따른 전단연결재의 배치를 따르는 것은 무리가 있다. 따라서, 지점부에 집중되는 전단연결재의 양을 그림 9(b)와 같이 전단연결재를 위한 공간을 바닥판의 전 길이에 걸쳐 마련하고 횡방향 주철근은 절단하지 않는 방법을 추천한다. 강도설계 및 피로설계법을 따라 설계를 수행할 경우에는 단순교의 경우 전단력의 범위가 거의 일정하기 때문에 등분포로 전단연결재를 배치할 수 있어서 전구간을 프리캐스트화 할 수 있다.

현재 도로교시방서에는 전단력이 집중되는 부분에 보강철근을 그림 10과 같이 배치하도록 하고 있다. 이 보강철근은 지점부 근처의 전단연결재에 가해지는 수평전단력에 의해 전단연결재의 앞쪽에서 약 45도의 각도를 가지고 발생하는 균열에 대비하기 위한 것인데 콘크리트 슬래브의 두께가 얕고 주형과 전단연결재에 비해 상대적으로 약한 강도를 가지는 경우의 실험 결과들로부터 나온 보강철근이다.



(a) 보강철근 배치 규정



(b) 유한요소해석시 검토위치

그림 10. 보강철근의 배치와 해석검토위치

프리캐스트 콘크리트 교량 바닥판의 경우는 슬래브의 최소두께가 220mm이고 $350\text{kg}/\text{cm}^2$ (34.3MPa) 이상의 압축강도를 가지고 있기 때문에 상대적으로 강도가 높기 때문에 균열발생 가능성이 없으리라 판단된다. 그리고 보강철근의 위치가 슬래브 두께의 중심부근인데 종방향 프리스트 레싱을 위한 쉬스관의 위치와 겹치게 되어 배근이 곤란한 점이 있다. 따라서, push-out 실험부재의 유한요소 해석으로부터 전단연결재의 전면에 생기는 주인장응력의 크기와 방향을 구해서 필요성 여부를 검토하였다⁽⁴⁾.

그림 11의 ()안의 두 값은 전단연결재의 허용 전단력이 작용할 때의 하중인 사용하중시의 주응력과 파괴하중시의 주응력을 나타내는 것으로, 보강철근이 배치되는 Layer2의 경우 최대 주응력은 $3.62\text{kg}/\text{cm}^2$ (0.35MPa)인데, 하부 횡방향 철근의 위치인 Layer3에서 최대 주응력이 $5.58\text{kg}/\text{cm}^2$ (0.55MPa)로 더 크게 나타났다. 따라서, 현재의 보강철근 배치 위치는 전단연결재 전면에서 발생하는 균열 제어에 효과적이지 못하고 오히려 하부 철근이 효과적이기 때문에 별도의 보강철근을 둘 필요는 없는 것으로 판단된다.

5. 무수축모르터의 강도기준

프리캐스트 바닥판 교량의 전단연결부의 채움재료로 무수축모르터를 사용할 경우에 적절한 강도를 제시할 필요가 있다. 전단연결부의 실험결과로부터 55MPa 이상의 강도를 가진 무수축모르터를 사용할 경우 강도증진의 효과가 없었다⁽¹⁾. 또한 고강도를 사용할 경우에 구조적 이점이 적다. 전단연결재의 배치를 등분포로 하기 위해서는 전단연결부사이의 하중재분배 능력이 보장되어야 한다. 일반적으로 스터드를 사용할 경우는 유연한 전단연결재로서 하중재분배 능력이 있다고 보고 등분포 배치를 할 수 있다. 따라서, 거동 특성 및 경제성을 고려할 때 고강도 무수축모르터를 사용

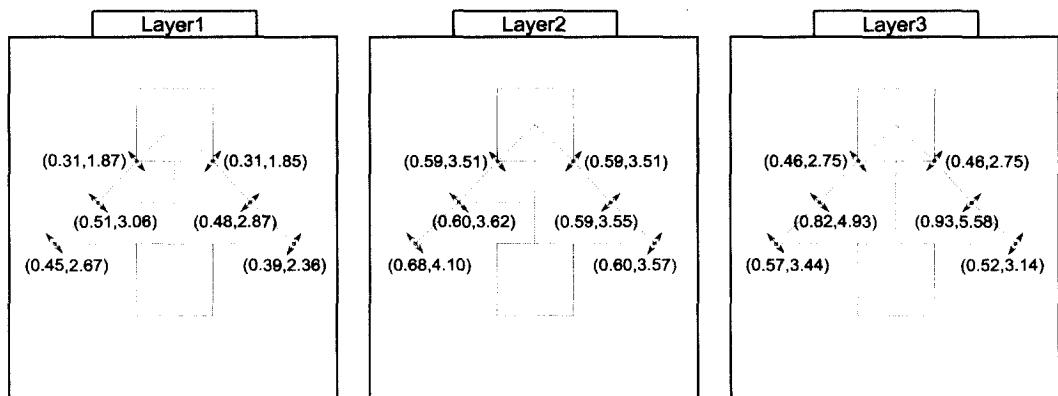


그림 11. 해석결과 주응력분포 (kg/cm^2)

하는 것에서 얻는 이점보다 단점이 많기 때문에 프리캐스트 바닥판 교량의 전단연결부 채움재료로 고강도 무수축모르터를 사용하기 보다는 탄성계수와 강도의 식을 이용하여 프리캐스트 바닥판의 탄성계수와 동일한 수준을 확보하기만 하면 된다.

6. 결 론

프리캐스트 콘크리트 바닥판 교량의 전단연결부 설계를 위하여 필요한 전단연결부의 강도 및 허용전단력을 실험결과를 이용하여 제시하였다. 전단연결부의 국부적인 거동과 하중재분배 등을 해석하기 위해 필요한 전단연결부의 강성식을 제안하였다. 제안된 강도 및 강성을 이용하여 설계법에 따른 전단연결재 배치를 비교 검토하였고, 프리캐스트 콘크리트 바닥판 교량에 적절한 전단연결재의 배치방법을 제시하고 신설과 보수로 나누어 프리캐스트 바닥판 구조상세를 제안하였다. 또한 지점부 보강철근의 배치 유무를 결정하기 위한 해석결과로부터 지점부의 보강 철근을 생략할 수 있고 하부철근이 오히려 효과적이라는 것을 규명하였다. 또한, 전단연결부의 채움재료인 무수축모르터의 적절한 강도 기준을 제시하였다.

참 고 문 헌

- (1) 건설교통부, 1997, "프리캐스트 콘크리트 교량 바닥판의 개발 및 실용화", 96연구개발사업 연차보고서

- (2) 장승필, 김영진, 김종희, 심창수, 1996. 11. "프리캐스트 콘크리트 바닥판의 구조특성에 관한 사례연구", 대한토목학회 학술발표회
- (3) 장승필, 강상규, 심창수, 1997. 9. "연속합성형 교량의 전단연결재 설계에 관한 연구", 한국강구조학회 논문집, Vol.9, No.3
- (4) 심창수, 이필구, 윤석구, 장승필, 1998. 10. "합성형교량 전단연결부의 전단강성", 대한토목학회 학술발표회
- (5) 건설교통부, 1996, 도로교표준시방서
- (6) AASHTO LRFD BRIDGE DESIGN SPECIFICATION, 1994
- (7) D. J. Oehlers and M. A. Bradford, 1995, "Composite Steel and Concrete Structural Members, Fundamental Behavior", Pergamon
- (8) Ollgaard, J. D. et al., 1971, "Shear Strength of Stud Connectors in Light-weight and Normal-Weight Concrete", AISC Engineering Journal, Vol. 8, No. 2, pp. 55-64.
- (9) D.J. Oehlers and C.G. Coughlan, 1986, "The Shear Stiffness of Stud Shear Connections in Composite Beams", J. Constructional Steel Research, Vol. 6
- (10) C. Kalfas, P. Pavlidis, 1997, "Load-Slip Curve of Connectors Evaluated by FEM Analysis", Composite Construction-Conventional and Innovative, Conference Report, Austria, September 16-18
- (11) Slutter, R.G. and Fisher, J.W., 1966, "Fatigue Strength of Shear Connectors", Highway Research Record No.147, Highway Research Board, pp.56-88

(접수일자 : 1998년 9월 22일)