프리캐스트 바닥판 교량 전단연결부의 전단강성

Shear Stiffness of Shear connections in Full-Depth Precast Concrete Deck Bridge

심 창 수[1] · 정 철 헌[2] · 김 철 영[3] · 장 승 필[4]

Shim, Chang Su Chung, Chul Hun Kim, Chul Young Chang, Sung Pil

요 약 : 현장타설 콘크리트 바닥판 교량의 전단연결부의 강성 평가를 분석하고 프리캐스트 콘크리트 바닥판 교량의 전단연결부의 강성을 평가하기 위한 실험을 통해 전단강성을 구하였다. 전단연결부 채움재료의 강도특성에 대한 변수연구와 국부적인 응력분포를 파악하기 위하여 push-out 실험부재에 대한 3차원 유한요소해석을 수행하였다. 해석을 통해 구한 하중-슬립관계를 실험에서 구한 것과 비교하여 타당성을 검증하고 프리캐스트 바닥판 교량 전단연결부의 초기 강성에 대한 평가식을 제안하였다. 선형해석을 수행하여 전단연결재 지름과 모르터의 강도에 따른 손상의 양상과 전단연결재와 무수축모르터에 각각 파괴기준을 적용하여 파괴하중을 예측하고 실험값과 비교하였다.

ABSTRACT : The evaluation of shear stiffness of shear connection in composite bridges with CIP concrete deck is analysed. Shear stiffness of shear connection in full-depth precast concrete deck bridges is obtained from experiments. 3-dimensional finite element analyses of push-out specimen are carried out to investigate the effects of characteristics of filling material strength in shear connection on shear stiffness and local stress distribution. The load-slip relations obtained from the analyses are compared with those of experiments. The equation of initial shear stiffness of shear connection in precast concrete deck bridge is proposed. Linear analyses are performed to evaluate the effects of the shank diameter of shear connector and the strength of mortar on the characteristics of deterioration and failure load obtained by the failure criterions of each material. The failure loads are estimated and compared with test results.

핵 심 용 어 : 프리캐스트 콘크리트 바닥판 교량, 전단연결부, Push-out 실험, 하중-슬립관계, 초기전단강성, 손상, 파괴기준, 파괴하중

KEYWORDS : Full-Depth Precast Concrete Bridge Deck, Shear Connection, Push-out test, Load-Slip Relation, Initial Shear Stiffness, Deterioration, Failure Criterion, Failure Load

1) 정회원, 서울대학교 토목공학과 박사과정
2) 정회원, 대우건설기술연구소 선임연구원
3) 정회원, 명지대학교 토목공학과 교수
4) 정회원, 서울대학교 토목공학과 교수

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

1. 서 론

프리캐스트 콘크리트 바닥판 합성형교량의 전단연결부는 현장타설 바닥판 합성형교량과는 연결부 구조와 재료성질에서 차이를 가진다. 전자는 그림 1과 같이 전단연결재를 위한 홈에 무수축모르터를 채워서 합성을 시키게 된다[1,2]. 현장타설 바닥판을 갖는 합성형교량의 경우에는 전단연결재 설계를 위한 많은 연구가 이루어졌으며, 설계규정을 마련하기 위해서 많은 실험들이 수행되었다. 이러한 대부분의 연구와 설계법들은 스터드 전단연결재의 정적강도 혹은 스터드 줄기의 파괴시 피로 수명에 집중되어 있다. 그러나, 전단연결재의 유연성은 합성보에서 스터드에서의 전단흐름 분포에 영향을 미치고 간접적으로 보의 휨 강도와 피로수명에 영향을 미친다. 따라서 전단연결재의 국부적인 거동이나 하중재분배 효과를 정확히 파악하기 위해서는 부분합성이론을 이용한 해석이[3] 요구된다. 그러나, 이 이론에서 가장 중요한 전단연결부의 강성에 대한 연구는 슬립의 크기가 매우 작아 실험으로부터 구한 결과와의 편차가 크기 때문에 해석적인 검증이 필요하다.

전단연결부의 거동은 전단연결재와 이를 둘러싸고 있는 콘크리트의 상대적인 강성 및 강도에 따라 결정되기 때문에 프리캐스트 바닥판 교량의 전단연결부 강성평가를 위해서는 채움재료의 재료특성이 반영되어야 한다. 채움재료로 사용되는 무수축모르터는 콘크리트에 비해서 강도에 대한 탄성계수의 비가 낮기 때문에 무수축모르터의 강도를 기준으로하여 전단연결부의 강성을 평가하는 기준이 필요하다. 프리캐스트 바닥판 교량에서 이런 변수들을 모두 고려한 실험을 수행하여 설계규정을 마련하기에는 비경제적이고 많은 노력이 수반된다. 이런 어려움을 보완하기위해서 주로 유한요소를 이용한 해석이 이용되는데 기존의 연구에서는 전단연결재를 보 요소로 콘크리트 슬래브를 3차원 solid요소로 모델링하고 재료 비선형 효과를 고려하여 하중-슬립곡선을 구한후 실험결과와의 비교를 수행하였다. 파괴기준으로는 대부분의 연구에서 강재는 von-Mises항복기준을 콘크리트는 Drucker-Prager모델을 사용하였다[4]. 그러나 위와 같은 모델에서는 전단연결재 직경의 영향을 받는 콘크리트 영역에서 지압응력의 국부적인 분포 및 부분적인 손상효과를 제대로 반영하기가 어렵다. 본 연구에서는 프리캐스트 콘크리트 바닥판을 갖는 전단연결부의 push-out 실험을 수행하였으며, 실험부재를 대상으로 전단연결재를 3차원 solid요소로 모델링하는 유한요소모델을 제안하였다. 전단연결부는 작은 하중하에서도 전단연결재를 둘러싸고 있는 콘크리트의 손상으로 인해 잔류슬립이 발생되고 이로 인한 영향이 누적되어 전단연결재의 용접목 부분에서 손상이 발생되면 강성에 큰 손실을 가져오게 된다. 따라서, 해석적 연구를 통해서 전단연결재의 지름과 무수축모르터의 강도가 프리캐스트 바닥판 교량 전단연결부의 강성과 강도에 미치는 영향을 평가하였다. 또한, 해석결과로부터 파괴모드와 파괴하중을 산정하여 실험결과와 비교하였다. 끝으로, 실험 및 해석결과를 토대로 전단연결부의 초기강성에 대한 평가식을 제안하였다.

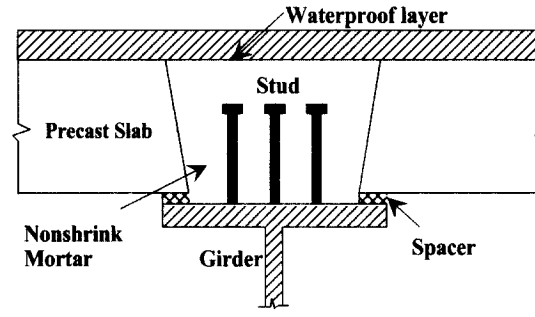


그림 1. 프리캐스트 바닥판 교량의 전단연결부 구조

2. 현장타설 바닥판 교량의 전단연결부 강성 평가

Oehlers와 Coughlan은 현장타설 바닥판 교량의 전단연결부 강성을 평가하기 위해서 총 53개의 시험체에 대해서 Push-out 실험을 수행하

였다[5]. 이 실험에서 정적 하중-슬립 곡선을 얻기 위해 실험에 사용된 스터드의 직경은 13mm, 19mm, 22mm이며, 각 슬래브는 하나의 스터드 혹은 횡방향으로 두 개의 스터드를 가지며, 콘크리트 입방체의 강도는 20~70 N/mm^{2}의 범위에 속한다. 이 실험에서는 스터드 파단 혹은 슬래브 분리의 두 가지 파괴모드가 나타났으며, Secant 강성은 초기하중 재하에서 증가하고 곡선의 unloading 부분은 최대 재하하중이 매우 작을 때도 큰 잔류변형이 발생되었다. 이와같은 큰 잔류변형이 발생되는 것은 전단연결재의 용접목에 전단력이 집중되기 때문에 이 부분을 둘러싸고 있는 콘크리트의 국부적인 파쇄로 인한 것이다. 극한하중 근처에서는 슬립량이 급격히 증가하며, 이것은 스터드의 손상이 급격히 진행되는 것을 반영한다. 따라서 파괴는 스터드의 작은 영구변형과 용접목의 지압면 근처에서의 콘크리트 파쇄에 의해서 결정되는 것으로 나타났다. push-out 부재의 양쪽 면에서 평균 슬립은 특정 콘크리트 강도를 갖는 연결부의 하중-슬립 곡선을 결정하기 위한 통계적 해석에 사용된다. 이 곡선들은 극한 전단강도에 대한 작용하는 전단하중비 P에 대한 콘크리트 입방체 강도 f_{cu}(N/mm^2)와 스터드의 직경에 대한 슬립비 δ_s의 선형 회귀분석으로부터 유도되었으며, 식(1)과 같다. 식(1)에서, A는 절편이고 B는 기울기이며, 19mm와 22mm의 스터드 직경을 가진 42개의 시편을 분석한 결과를 표 1에 수록하였다. 이것을 콘크리트 강도 35 N/mm^{2}과 60 N/mm^{2}에 대한 하중-슬립 곡선으로 표현하면 그림 2와 같다. 표 1에서 유도된 그림 2는 강도가 높은 콘크리트에 묻혀있는 스터드가 약한 강도를 갖는 콘크리트에 묻혀있는 것에 비해 강성이 더 크다는 것을 보여주고 있다.

표 1. 정적강성의 선형회귀분석

P	A(10^{-3})	B(-10^{-5})	Number of Specimens	Standard Deviation
0.1	22	20	42	0.013
0.2	40	37	42	0.018
0.3	52	48	42	0.021
0.4	63	55	41	0.023
0.5	80	73	40	0.026
0.6	102	96	37	0.027
0.7	120	102	31	0.030
0.8	143	108	25	0.025
0.85	138	72	22	0.021
0.9	156	70	18	0.025
0.95	223	119	11	0.030
0.99	319	170	10	0.033

$$\delta_s = A + Bf_{cu} \quad (1)$$

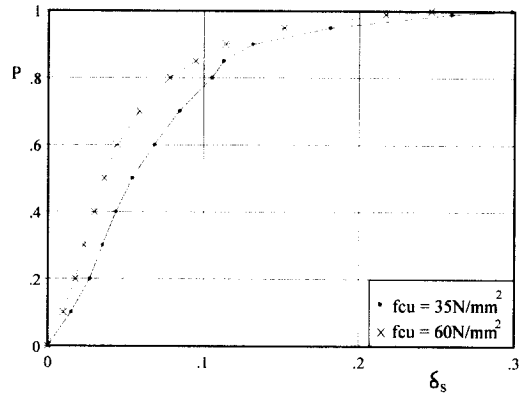


그림 2. 하중-슬립 곡선

3. 무수축모르터와 전단연결재의 재료실험

정확한 해석결과를 얻기 위해서는 무수축모르터와 전단연결재(스터드)의 재료특성이 정확히 반영되어야 한다. 그러나, 이에 대한 현행규정이나 제시된 식이 없기 때문에 본 연구에서는 실험을 통해서 결정하였다. 무수축모르터의 압축강도 및 탄성계수 측정을 위해 100mm×200mm 실린더를 21개 제작하여 재령에 따른 실험을 수행하였으며, 무수축모르터는 기성품을 사용하였다. 실험에서 얻어진 압축강도와 탄성계수의 관계는 그림 3과 같으며, 이로부터 식(2)와 같은 탄성계수와 압축강도의 관계식을 얻었다.

$$E_m = 3256\sqrt{\sigma_c} \quad (2)$$

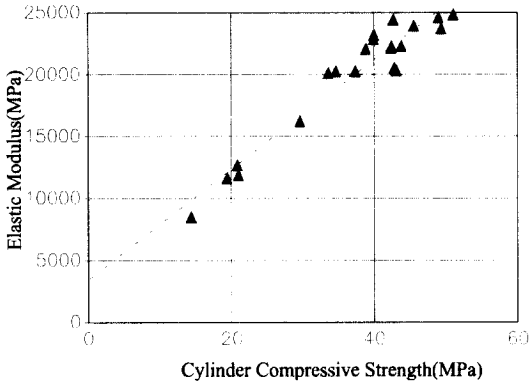


그림 3. 압축강도와 탄성계수의 관계

실험결과에서 보면, 무수축모르터의 탄성계수는 보통 콘크리트보다 압축강도에 비해 작은 수준을 보이는 것으로 나타났다. 실험에서 사용된 전단연결재의 인장실험을 위해 ASTM 규정에 따라 3개의 인장시편을 제작하여 실험을 수행하였다. 인장실험 결과 각 시편에서 유사한 결과를 얻었으며, 대표적인 응력-변형률 곡선은 그림 4와 같다. 항복응력은 약 416 N/mm^2 이며, 인장강도는 약 503 N/mm^{2}임을 알 수 있다.

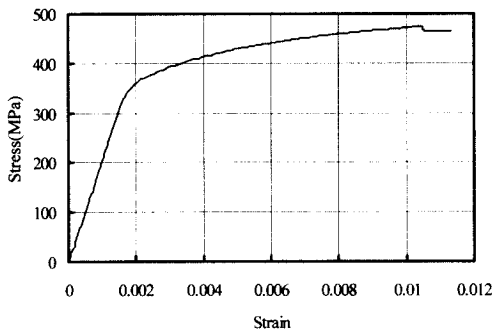
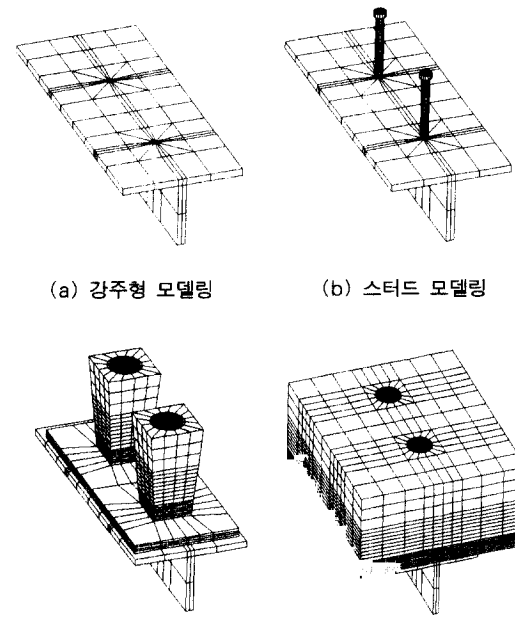


그림 4. 스터드의 응력-변형률 곡선

4. 유한요소해석

프리캐스트 콘크리트 바닥판을 갖는 전단연결부의 push-out 실험부재에 대해 본 연구에서 제안된 유한요소모델의 형상은 그림 5와 같다. 본 연구에서는 유한요소해석에 의한 하중-슬립 곡선을 실험결과와 비교검증한 후, 전단연결부의 초기강성 평가에 대한 해석적 연구를 수행하였다.



(a) 강주형 모델링 (b) 스터드 모델링

(c) 채움재 모델링 (d) 콘크리트 모델링

그림 5. 유한요소 모델링

구속조건으로는 우선 시험체 하단의 콘크리트 슬래브 바닥면에 대하여 그림 6과 같이 2축을 구속하였는데, 이는 실험시에 시험체가 바닥면에 놓인 상태 그대로의 구속조건에 해당한다. 그리고

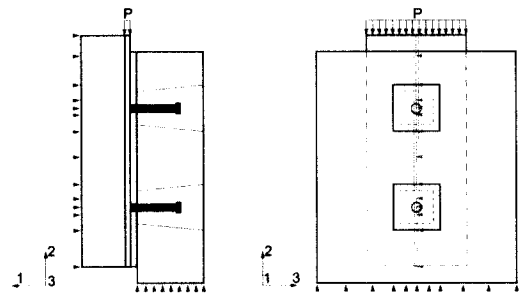


그림 6. 구속조건 및 하중 재하

모델링 편의상 절반으로 나눈 부분에 대하여는 1축과 3축을 구속시켰는데, 3축의 구속은 실제 상태의 구속이지만 1축에 대한 구속은 절반만 모델링을 하는 것에 대한 임의적 구속이다. 구속조건은 해당 면에 속해있는 모든 절점에 적용하였다. 하중 재하의 위치는 그림 6에서와 같이 강형의 플랜지 위 부분으로 요소의 표면에 작용하는 하중으로 재하하였다.

하중재하시 스터드가 앞부분에서 모르터와 분리되는 현상은 그림 7과 같이 절점 분리를 이용하여 그 부분이 분리되는 실제의 거동과 일치시켰고 용접목의 형상도 모델링하였다.

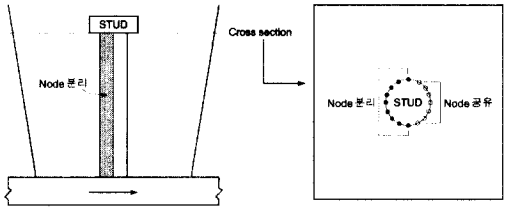
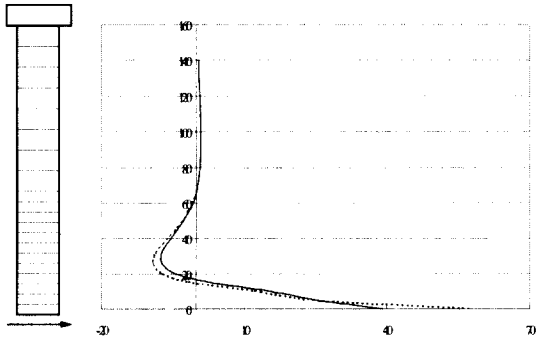
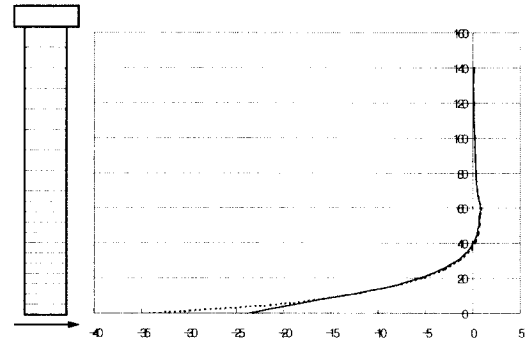


그림 7. 스터드와 모르터의 분리 모델링

해석에서 사용한 재료물성은 본 연구에 앞서 수행된 기본실험[6]과 무수축모르터 및 전단연결재의 재료실험 결과를 이용하였다. 그림 8은 전단연결재에 작용하는 하중이 9.8 kN일 때의 push-out 부재의 전단연결재에 발생하는 휨응력과 전단응력의 높이에 따른 응력분포이다. 스터드의 높이에 따른 응력분포를 각각 그림에서 표현하였다.



(a) 휨응력분포 (kN/mm^2)



(b)전단응력 분포(kN/mm^2)

그림 8. 전단연결재의 응력분포

그림 8에서 점선은 용접목이 모델링되지 않았을 때의 응력분포이고 실선은 용접목을 5.0mm 높이로 모델링했을 때의 응력분포이다. 용접목 근처에서 전단과 휨응력이 집중되고 있는데 휨응력의 크기가 직접전단을 받는 실험체임에도 크게 나온 것은 강주형과 콘크리트 바닥판사이에 간격재를 두고 Bedding 모르터를 채운 부분이 약 10 mm 정도인데 이 부분에 대한 영향으로 판단된다. 또한 이 부분의 무수축모르터에서의 응력도 집중되는데 용접부 부근 무수축모르터에서의 응력분포는 그림 9와 같다.

그림 9. 용접부 무수축모르터의 응력분포

표 2. 항복하중과 인장파괴하중(kN)

모르터 강도 / 전단연결재지름	von Mises 항복하중		인장파괴하중		실험시 파괴하중
	30 N/mm^2	50 N/mm^2	30 N/mm^2	50 N/mm^2	61.09 N/mm^2
13mm	44.5	45.0	60.3 (68.1)	61.3 (69.3)	66.67
16mm	56.0	56.7	75.9 (85.8)	77.1 (87.1)	81.94
19mm	70.6	71.4	95.0 (107.4)	96.5 (109.0)	130.15
22mm	87.0	88.1	116.0 (131.1)	117.8 (133.1)	148.16

탄성해석의 결과로부터 전단연결재 용접부에서의 항복하중을 von Mises 항복기준을 적용하여 산정하였다. 이때 전단연결재의 인장실험에서 얻어진 항복응력(416N/mm^2) 기준과 인장강도(503N/mm^2) 기준을 적용하여 파괴하중을 구했으며, 표 2와 같다. 해석결과 용접목으로 인한 항복점의 위치가 용접목의 상단에서 발생하였으며, 이는 실험에서 나타난 파단위치와도 일치한다[7]. 표 2에서 보면, 실험[7]에서의 파괴하중이 인장강도 기준으로 구한 값보다는 큰 수준임을 알 수 있다. 이는 선형탄성해석의 결과를 항복 및 인장강도 기준에 적용하였기 때문으로 해석에서는 용접부의 응력집중으로 인해 응력이 다소 크게 발생되기 때문이다. 또한, 용접목에 사용된 용접용 강재의 인장강도가 스터드 재료에 비해 약 13%정도 크기 때문에 이를 기준으로 계산한 값이 표 2에서 ( )의 값으로 실험치에 근접함을 알 수 있다. 표 2에서 보면 전단연결재의 직경이 증가함에 따라 항복하중과 인장 파괴하중이 뚜렷이 증가하며 실험결과에서도 유사한 경향을 보이고 있다. 무수축모르터의 강도 증가에 따른 영향은 충분한 강도 변수에 대한 해석이 수행되지 못했지만 강도 증가에 따라 스터드의 항복하중과 인장 파괴하중이 다소 증가하는 경향을 보이고 있다.

용접부 부근 무수축모르터에서의 균열하중은 전단을 받는 부분의 전방으로 발생하는 할렬인장응력[6]을 기준으로 판단하면 표 3과 같다.

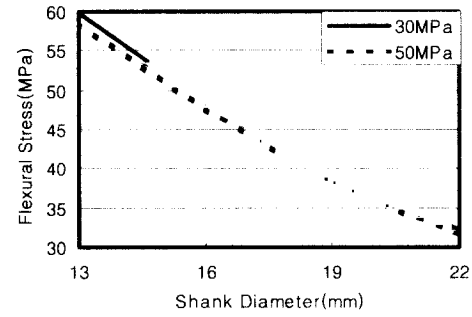
표 3. 무수축모르터의 주인장응력과 균열하중

모르터 강도 / d_{sh}	30 N/mm^2		50 N/mm^2	
	최대주인장응력 (N/mm^2)	균열하중 (kN)	최대주인장응력 (N/mm^2)	균열하중 (kN)
13mm	14.32	2.05	14.69	2.02
16mm	12.59	2.34	12.93	2.27
19mm	11.49	2.56	11.82	2.49
22mm	11.37	2.59	11.71	2.51

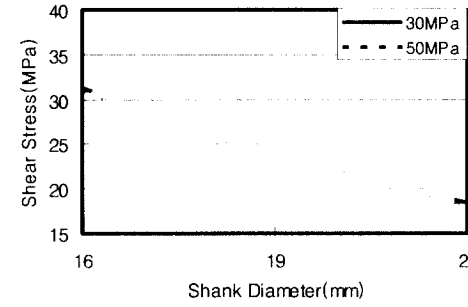
*. 모르터 인장강도는 두 경우 모두 3.0N/mm^2

표 3에서 보면, 작은하중에서도 할렬인장응력을 초과하여 전단연결재 부근 무수축모르터에서 균열이 발생할 수 있음을 알 수 있으며, 또한 전단연결재의 직경이 증가할수록 주인장응력이 감소하는 경향을 보이고 있다.

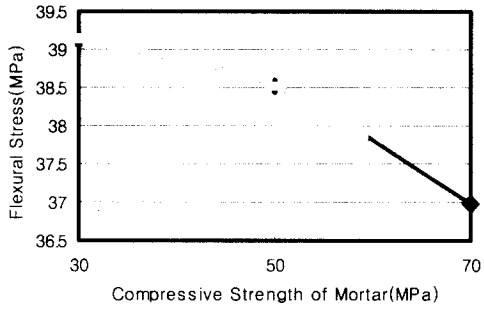
스터드의 직경과 무수축모르터의 강도증가에 따른 휨응력과 전단응력의 크기를 도시하면 그림 10과 같다. 스터드 직경이 증가할수록 휨응력이



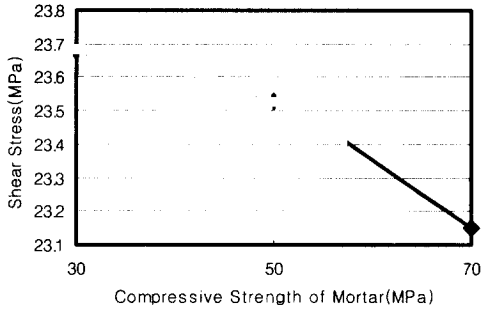
(a) 스터드 직경에 따른 휨응력 변화



(b) 스터드 직경에 따른 전단응력 변화



(c) 무수축모르터 강도에 따른 휨응력 변화



(d) 무수축모르터 강도에 따른 전단응력변화

그림 10. 휨응력과 전단응력 변화

전단응력에 비하여 상대적으로 작은 증가를 보이고 있고, 모르터 강도가 증가할수록 전단응력이 상대적으로 크게 증가함을 보이고 있다.

그림 10의 해석결과에서 보면 스터드 직경의 변화에 따른 응력의 증감비는 13~22mm에서 휨응력은 46%, 전단응력은 54%의 감소를 보이고, 무수축모르터의 강도 변화에 따른 응력의 증감비는 모르터의 탄성계수 30~70N/mm^{2}에서 휨응력은 5.5 %, 전단응력은 2.2%의 감소를 보이고 있다. 이 비율의 차이에서 볼 때 무수축모르터의 강도보다 스터드의 직경이 전단연결재의 파괴모드에 더 큰 영향을 미치는 것으로 판단된다.

5. 프리캐스트 바닥판교량 전단연결부 강성

본 연구에서는 설계강도가 34N/mm^{2}인 프리캐스트 콘크리트 바닥판을 갖는 16개의 부재를 제작하여 Push-out 실험을 수행하였다. 프리캐스트 바닥판과 강주형의 접합부에 타설되는 무수축모르터의 강도(2가지) 및 스터드의 직경(13mm, 16mm, 19mm, 22mm)별로 실험부재를 제작하였으며, 실험부재의 형상은 그림 11과 같다. 현장타설바닥판 교량의 전단연결부 강성 평가에 관한 기존의 연구를 바탕으로 전단연결재의 지름과 전단연결재를 둘러싸고 있는 무수축모르터의 강도특성을 반영하도록 새로운 전단강성에 대한 평가식을 제안하고자 하였다.

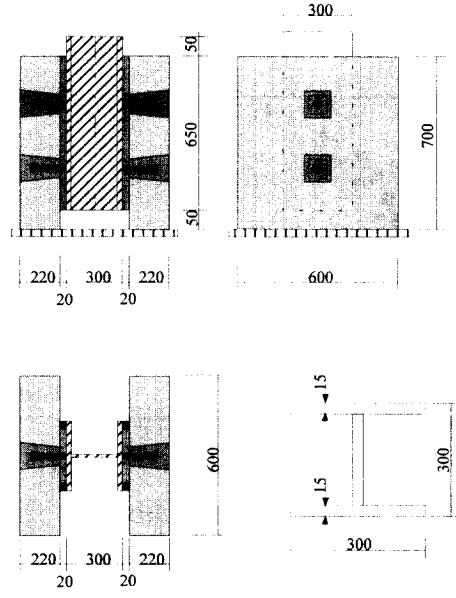
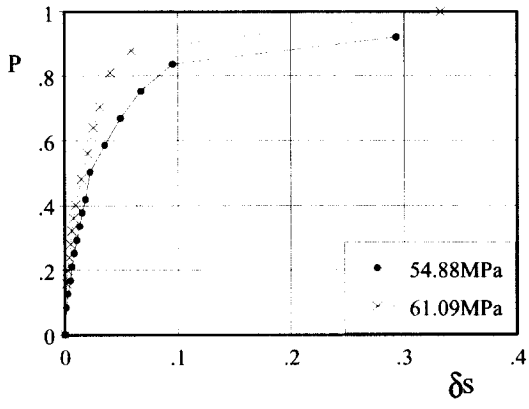
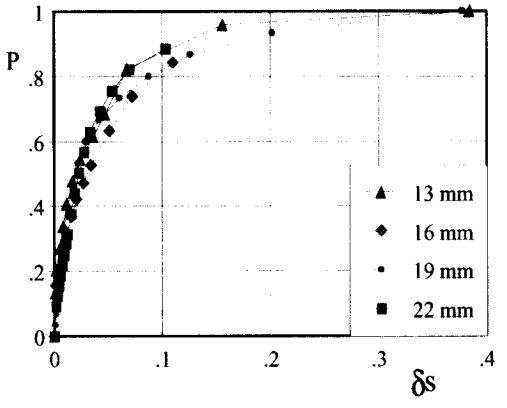


그림 11. push-out 실험부재의 형상

정적하중 실험에서 측정된 대표적인 하중-슬립 곡선은 그림 12와 같다. 그림 12.(a)는 19mm 스터드를 갖는 경우 무수축모르터의강도별로 측정결과이며, 그림 12.(b)는 무수축모르터의 강도가 61.09N/mm^{2}인 경우 스터드 직경별 측정결과이다. 그림에서 P는 파괴하중에 대한 하중의 비이며, δ_s는 슬립의 크기를 전단연결재 지름에 대한 비로 나타낸 값이다. 현장타설바닥판 합성형교량의 전단연결부에 비해서 실험부재에 따른 실험결과의 분산이 적은 것을 알 수 있고, 이것은 균질한 재료특성때문으로 판단된다.



(a) 무수축모르터 강도별 곡선



(b) 스터드 지름별 곡선

그림 12. 프리캐스트 바닥판 교량 전단연결부의 하중-슬립곡선

기존 연구자의 현장타설 바닥판 교량의 전단연결부에 대한 연구로부터 전단연결부의 전단강성은 스터드의 직경, 파괴하중 및 콘크리트의 압축강도에 의존함을 알 수 있다. 그림 12는 식(1)에서 A와 B를 구하기 위하여 실험의 결과를 극한하중에 대한 비와 전단연결재의 지름에 대한 슬립의 비로 표현한 것이다. 16개 부재의 실험에서 무수축모르터의 강도변수는 54.88N/mm^2, 61.1N/mm^{2}의 두 가지이고 스터드 줄기지름변수는 13mm, 16mm, 19mm, 22mm의 네 가지로 하여 초기 전단강성의 평가식을 구하기 위하여 표 4와 같이 식(1)에서의 A와 B를 구하였다.

표 4. 초기강성의 선형회귀분석

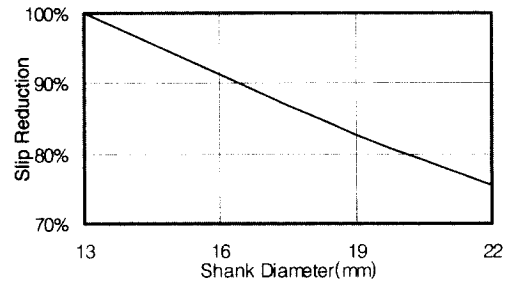
P	A(10^{-3})	B(10^{-5})
0.1	3	2
0.2	15	16
0.3	3	3
0.4	25	16
0.5	52	48

극한하중의 50%수준까지 선형으로 가정하여 이 하중에서의 슬립의 크기로부터 강성을 구하여 초기강성으로 정의하는데 표 4에서 P의 값이 0.5일 때의 δ_s의 값으로 부터 스터드 하나당 전단하중과 슬립량의 관계식을 유도하면 식 (3)과 같다.

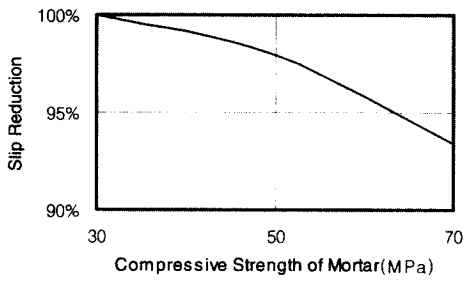
$$K_{si} = \frac{P_{ult}}{d_{sh}\ (\alpha - \beta\ \sigma_{ck})} \qquad (3)$$

여기서, α와 β는 극한하중의 50% 수준에서 구한 계수이고 실험에서 구한 값은 $\alpha = 104 \times 10^{-3}$, $\beta = 96 \times 10^{-5}$ 이다.

식(3)에서 전단연결재의 지름이 증가하면 극한전단력과 전단연결재의 지름의 비에 비례하여 강성이 증가하게 되는데 β의 값은 무수축모르터의 강도의 영향을 반영하기 위한 계수이다. 실험에서 무수축모르터의 강도변수가 두 가지만 있기 때문에 이를 보완하기 위하여 앞서 제시한 해석모델을 이용하여 해석적 연구를 수행하였다. 하중이 전단연결재 하나당 9.8 kN이 작용할 때 해석결과를 이용하여 슬립의 크기에 미치는 전단연결재 지름



(a) 스터드의 직경에 따른 슬립의 변화



(b)무수축모르터강도에 따른 슬립의 변화

그림 13. 스터드 직경과 무수축모르터 강도에 따른 슬립의 크기

과 강도의 영향을 살펴보면 그림 13과 같다.

여기서 스터드 지름의 변화에 따른 슬립의 변화는 무수축모르터의 강도 50N/mm^{2}를 기준으로 하고 증감비는 13~22mm에서 25%의 감소를 보이고, 무수축모르터의 강도 변화에 따른 슬립의 변화는 전단연결재의 지름 19mm를 기준으로 하고 증감비는 무수축모르터의 탄성계수 30~70N/mm^{2}에서 6.6%의 감소를 보이고 있다. 이 비율의 차이를 볼 때 무수축모르터의 강도에 따른 영향보다는 스터드의 직경에 따른 영향이 전단연결재의 강성에 더 크게 작용함을 알 수 있다.

6. 결 론

현장타설 바닥판을 이용한 합성형교량에서 유도된 기존의 강성 평가식에서는 무수축모르터를 이용해 프리캐스트 바닥판과 강주형을 합성시키는 프리캐스트 바닥판 합성형교량의 무수축모르터의 강도 및 프리캐스트 바닥판과 강주형 사이에 충진되는 bedding의 영향을 합리적으로 반영하기가 어렵다. 프리캐스트 바닥판을 이용한 합성형교량 전단연결부에 대한 해석 및 실험결과에서 나타난 전단연결부의 초기강성은 주로 스터드의 직경에 영향을 받으며, 무수축모르터 강도의 영향은 상대적으로 작은 것으로 나타났다. 또한, 프리캐스트 바닥판을 갖는 합성형교량의 전단연결부는 프리캐스트 바닥판과 강주형 사이에 간격재를 두고 무수축모르터를 충진하며, 이 간격재로 인해 휨응력이 증가하여 전단연결부의 전단강성을 감소시키는 것으로 판단된다. 따라서, 본 연구에서는 현장타설 바닥판 합성형교량 전단연결부의 하중-슬립관계에 대한 기존 연구결과, 본 연구에서 수행된 해석 및 실험결과를 토대로 프리캐스트 바닥판을 이용한 합성형교량 전단연결부의 파괴거동을 분석하고, 무수축모르터 강도 및 bedding의 영향이 반영된 전단연결부의 초기강성을 평가하기 위한 식을 제안하였다. 끝으로, 본 연구에서는 프리캐스트 바닥판과 강주형 사이에 충진되는 bedding (무수축모르터)의 두께에 따른 영향을 고려하지 못했으며, 향후 bedding의 두께가 전단연결부 전단강성 감소에 미치는 영향을 평가하기 위한 실험적 연구가 필요한 것으로 판단된다. 또한, 전단연결부가 피로하중을 받으면 전단강성이 감소하게 되는데 합성형교량의 내하력평가와 전단연결부의 피로설계를 위해서는 피로하중에 의한 전단연결부 전단강성의 감소에 대한 평가가 필요하다.

감사의 말

본 연구는 건설교통부의 1996년도 건설교통기술연구개발사업의 지원을 받아 수행된 것으로 이에 감사드리며, 아울러 프리캐스트 바닥판 부재 제작에 도움을 준 토암산업 및 프리스트레스 텐던 제작 및 설치에 도움을 준 코리아 에스 이(SEC)에 감사를 드립니다.

참 고 문 헌

(1) 장승필, 김영진, 김종희, 심창수, 1996. 11. "프리캐스트 콘크리트 바닥판의 구조특성에 관한 사례연구", 대한토목학회학술발표회.

(2) 정철헌, 김영진, 정한중, 1997. 2. "프리캐스트 바닥판을 이용한 합성형교량", 한국강구조학회지, Vol.9, No.4.

(3) 건설교통부, 1997, "프리캐스트 콘크리트 교량

바닥판의 개발 및 실용화", 96연구개발사업 연차보고서
(4) 장승필, 강상규, 심창수, 1997. 9., "연속합성형 교량의 전단연결재 설계에 관한 연구", 한국강구조학회 논문집, Vol.9, No.3
(5) 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
(6) D.J. Oehlers and C.G. Coughlan, 1986, "The Shear Stiffness of Stud Shear Connections in Composite Beams", J. Constructional Steel Research, Vol. 6.
(7) 김영진, 정철헌, 심창수, 1998.2., "프리캐스트 콘크리트 교량바닥판 이음부 채움재의 부착특성 연구",한국콘크리트학회 논문집, Vol.10, No.1
(8) Sung-Pil Chang and Jong-Hee Kim, 1998, "Strength Evaluation of Stud Shear Connector in Precast Composite Bridge", Proceedings JSBM'98, pp.179
(9) D. J. Oehlers and M. A. Bradford, 1995, "Composite Steel and Concrete Structural Members, Fundamental Behaviour", Pergamon
(10) R.P. Johnson and D.J. Oehlers, 1981, "Analysis and design for longitudinal shear in composite T-beams", Proc. Instn Civ. Engrs, Part 2, Dec., pp.989-1021

(접수일자 : 1998년 10월 9일)