

부분합성보를 이용한 대직경 스테드의 구조거동 평가

Evaluation of Structural Behavior of Large Stud Using Partial Composite Beams

심 창 수¹⁾ · 이 필 구²⁾ · 하 태 열³⁾

Shim, Chang Su · Lee, Pil Goo · Ha, Tae Yul

요 약 : 강합성교량 상부 구조의 단면 단순화 경향과 더불어 프리캐스트 교량과 같이 전단연결재를 위한 전단포켓의 등간격 배치를 필요로 하는 전단연결부의 설계를 위해서 대직경 스테드가 제안되었다. 25mm 이상의 직경을 가진 스테드 전단연결재에 대한 push-out 실험 결과를 바탕으로 합성보에서의 거동을 평가하기 위하여 40% 합성정도를 가진 부분합성보를 제작하여 정적실험을 수행하였다. 전단연결재의 직경과 배치를 변수로 설계된 부분합성보의 극한 강도 및 수평전단력의 재분배를 평가하고 전단지간내의 스테드들의 그룹파괴를 확인하였다. 전단연결부의 강도가 부분합성보의 강도를 지배하기 때문에 이로부터 전단연결재의 전단강도를 평가하였는데 push-out 실험결과에 비해서 상당히 높은 수준의 강도 증가를 보여주었다. 하중-상대변위 곡선으로부터 대직경 스테드의 합성보에서의 충분한 연성과 하중재분배 능력을 확인하였다. 대직경 스테드를 적용하여 등간격 배치를 할 경우에 정적 거동에는 문제가 없는 것으로 나타났다.

ABSTRACT : Large studs were suggested not only for the design of steel-concrete composite bridges with simplified sections but also for the shear connection in precast decks requiring uniform distribution of shear pockets. Based on the push-out test results on studs with diameters of more than 25 mm, partial composite beams with 40%-degree shear connection were fabricated, and static tests were performed. The ultimate strength and horizontal shear load redistribution of partial composite beams, which have parameters of stud shank diameters and distribution, were evaluated, and group failure in the shear span was observed. Since the flexural strength of composite beams are dependent on the strength of their shear connection, the strength of the stud connection was estimated and it showed considerably higher shear strength. From the load-slip curves, the sufficient ductility and load redistribution of large studs were confirmed. Uniformly distributed large studs can provide proper ultimate behavior of composite beams.

핵심용어 : 대직경스테드 전단연결재, 부분합성보, 수평전단력 재분배, 등간격배치

KEYWORDS : Large stud shear connector, partial composite beam, horizontal shear load redistribution, uniform distribution

1. 서론

강합성교량에 가장 많이 사용되고 있는 전단연결재는 스테드인데 현행 설계규정의 근거가 되는 실험은 대부분 1970년대 이전에 이루어졌고 이후의 재료의 변화와 교량 구조의 단순화와 같은 변화를 반영하기 위한 연구가 미비하였다. 최근에 활발하게 시도되는 대표적인 형태의 강합성 교량은 소수거더교, 개구체형 강박스거더교, 그리고 프리캐스트 바닥판을 갖는 합성형교량이라고 할 수 있는데 합성작용의 측면에서 볼

때 기존의 직경 22mm 스테드를 이용한 설계로는 상세를 제대로 구현하는데 어려움이 있다. 수평전단력이 집중되는 영역에는 많은 수의 전단연결재 배치가 불가피하여 용접에 시간이 많이 소요되고 추후 바닥판제거에 어려움을 주는 요인이 될 뿐 아니라 현장작업을 하는 인부의 작업공간을 줄여서 안전상의 문제를 야기할 수 있다. 또한, 스테드의 집중배치 혹은 스테드간의 간격이 좁은 경우에는 콘크리트바닥판을 위한 철근배근에도 어려움을 야기할 수 있다. 물론, 이러한 문제의 대안으로 정적내하력이 매우 높은 블록형태의 전단연결재 혹

1) 정회원, 중앙대학교 토목공학과 전임강사
(Tel. 031-670-4707, Fax. 031-675-1387, E-mail : csshim@cau.ac.kr)
2) 정회원, RIST 토목구조연구팀 선임연구원(pg289@rist.re.kr)
3) 학생회원, 중앙대학교 토목공학과 석사과정(badseed1975@hanmail.net)

본 논문에 대한 토의를 2005년 2월 28일까지 학회로 보내주시면 토의 회답을 게재하겠습니다.

은 직경이 큰 스티드를 사용할 수 있다.

전단연결재는 거동의 차이로부터 구분하면 강성(stiff)연결재와 연성(ductile)연결재로 구분할 수 있는데 블록형태의 전단연결재는 용접길이가 길고 강성이 큰 대표적인 강성 연결재의 형태이고 스티드는 변형능력이 좋은 연성연결재의 대표적인 형태이다. 강성연결재는 설계의 주안점이 연결재 자체에 있기 보다는 이를 받쳐주는 콘크리트바닥판의 전단강도의 검토에 있다. 파괴모드가 대부분 콘크리트바닥판의 전단파괴이기 때문에 이를 면밀히 검토해야 하고 철근배근을 통한 보강 및 균열제어에 주의해야 한다. 대직경스티드는 이러한 측면에서 상대적으로 기존의 스티드연결재에 비해 높은 내하력과 더불어 연성을 유지할 수 있는 장점을 지니고 있다. 따라서, 최근의 강합성교량의 설계의 진보를 뒷받침하고 스티드 전단연결재에 대한 현재의 설계범위 확장을 위해서는 대직경스티드 전단연결재에 대한 실험적평가가 필요하다.

전단연결재의 수를 줄이기 위한 대직경스티드에 대한 연구가 Badie등(2002)에 의해 수행되었다. 이 연구에서 대상으로 한 대직경스티드는 31.8mm 스티드로 용접품질관리, 설계시방서에 있는 설계식 적용여부, 실제 적용예를 제시하고 있고 정적 및 피로실험을 통해 현재의 LRFD 설계 규정을 검토하고 새로운 경험식을 제시하였다. 이 결과로부터 AASHTO규정을 적용하는 것이 안전측의 결과를 주는 것으로 나타났고 제안된 식을 이용할 경우 스티드를 30% 정도 줄일 수 있다고 밝혔다. 또한, 국내에서는 25mm, 27mm, 30mm 직경의 스티드 전단연결재에 대한 압발시험이 수행되어 정적강도 및 피로수명을 평가하는 연구가 수행되었다 (심창수 등, 2003, 이필구 등, 2003).

합성형교량에서의 전단연결재의 거동을 규명하기 위한 실험적인 연구는 크게 두가지 방법에 의존하고 있다. 첫째는 합성보 시험공시체를 이용한 것이고, 또 다른 하나는 압발시험(push-out)공시체를 이용한 것이다. 이들 방법 중 합성보 시험공시체가 합성형교량에서의 전단연결재의 실제거동을 보다 정확히 보여주는 것으로 평가되고 있지만, 합성보시험에서 전단연결재의 강도를 평가하기 위한 신뢰할 만한 방법은 아직 제시되어 있지 않다. 이는 보의 저항능력이 전단연결재에 민감하지 않기 때문에 보전체의 거동에서 전단연결재의 부담분을 추출하기 어렵고, 설사 어느 한 전단연결재에 파단등의 결함이 발생한다 해도 전단지간내 전단연결재들의 하중재분배로 인해 보전체의 거동에 미치는 영향이 작기 때문이다. 압발시험 공시체는 보공시체에서 전단연결재의 거동특성을 파악하기 어려운 단점을 보완하기 위해 고안된 것으로 압발시험(push-out)공시체에서 전단연결재에 작용하는 하중구조는 매우 단순하다. 기존에 수행된 연구결과에 의하면 압발시험

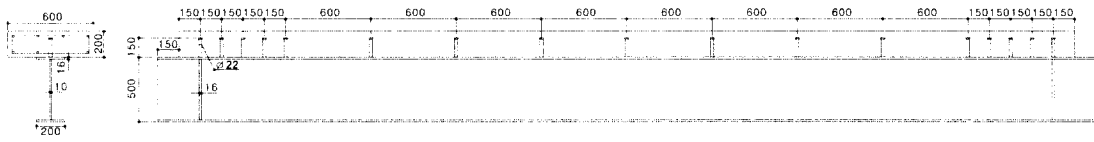
공시체로부터 얻은 시험결과가 보시험 공시체에서의 시험결과에 비해서 안전측의 결과를 보이는 것으로 나타났다. 또한, 압발시험 공시체는 제작이 쉽고, 간편하여 작은 비용으로 많은 종류의 시험을 할 수 있다는 장점도 지니고 있다.

이 논문에서는 합성보에서 대직경스티드 전단연결재의 거동을 평가하고 대직경스티드를 사용함으로써 가능한 등분포배치의 실효성을 검증하기 위해 부분합성보를 설계하였다. 일반적으로 압발시험에서는 순수전단력에 의한 파단이 발생하고 합성보에서는 수평전단력이 수직전단력으로부터 발생하기 때문에 콘크리트 바닥판과 강거더의 상부플랜지 사이에는 상당한 마찰저항이 있게 된다. 따라서, push-out 실험에 의한 결과로부터 평가된 설계식이 실제 강합성교량에서는 안전측의 결과를 준다고 알려져 있다. 다만, push-out 실험에서는 소수의 스티드를 순수전단에 의해 파단시킴으로써 하중분배능력에 대한 검증이 제대로 이루어지지 않기 때문에 이를 합성보실험을 통해서 검증하여야 한다. 따라서, 이 연구에서는 수평전단력에 의한 스티드파단 및 하중분배능력을 검증하고 단부집중배치와 대직경스티드를 이용한 등분포배치의 영향을 살펴보기 위해서 강도기준으로 40% 수준의 합성정도를 갖는 부분합성보를 제작하여 정적실험을 통해서 거동을 평가하였다.

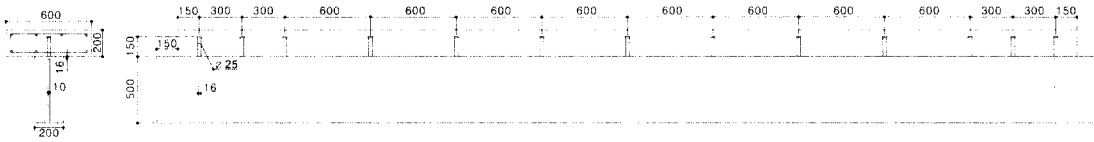
2. 실험적 연구

2.1 실험부재 및 재료성질

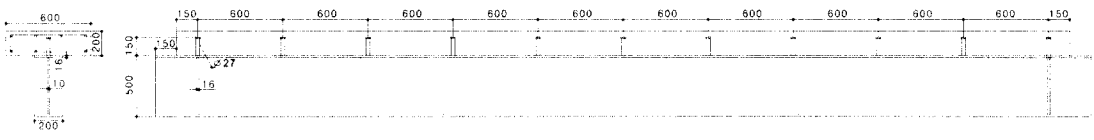
대직경스티드 전단연결재를 강합성교량에 적용하여 설계할 경우 현재의 전단연결재 간격규정을 만족하는 범위에서 최대 간격이 600mm정도를 사용하여도 무방할 것으로 판단되나 이를 실험으로 검증할 필요가 있다. 설계기준에서 제시하고 있는 최대간격을 지키는 것은 강주형 상부플랜지의 구속을 위한 것과 지나치게 스티드 간격이 넓을 경우에 하중재분배가 제대로 일어나기 전에 개별적으로 스티드가 파단에 도달하는 것을 방지하기 위해서이다. 실제 강합성교량에서 피로설계가 전단연결재 배치를 결정할 경우에 스티드 전단연결재와 같은 연성이 큰 경우에는 수평전단력의 재분배가 원활하게 발생하여 파괴는 전단지간내의 스티드가 그룹으로 파괴되는 형태를 보이게 된다. 직경이 증가함으로써 연성이 감소하지 않는 것을 push-out 실험에서 확인하였지만 하중재분배를 합성보실험에서 확인할 필요가 있고 단부 집중배치와 등분포배치의 거동차이를 살펴보기 위하여 세 가지 종류의 합성보를 제작하였다. 그림 1의 도면에서 보는 바와 같이 22mm, 25mm, 27mm 직경의 스티드를 이용하여 각각 약 40%정도의 합성정도를 갖도록 부분합성보로 설계하였다.



(a) PCB 1



(b) PCB 2



(c) PCB 3

그림 1. 실험부재

표 1에 이를 정리하였는데 전단연결재만의 기여를 평가하기 위해 콘크리트바다판과 강주형 상부플랜지 사이에는 그리스를 도포하여 부착을 방지하고 마찰을 최소화하였다. 이로부터 수직력에 의해 발생하는 수평전단력에 대해 스티드가 파단에 도달하도록 하였다. 표 1에서 $P_c = 0.85 f'_c A_c$ 로부터 구해지는 값이고 $P_s = A_s f_y$ 로부터 구할 수 있다. 이 두 값중에 작은 값이 완전합성을 위해 확보해야 하는 전단시간내의 전단연결재 강도의 합인 P_{fsc} 이다.

표 1. 합성보 실험부재

부재명	스티드 배치	수평전단 강도	합성 정도	계산 값
PCB1	직경 22mm 단부150mm간격 중앙600mm간격	1050.0 kN	0.40	$P_c = 4080.0$ kN $P_s = 2659.2$ kN $P_{fsc} = 2659.2$ kN (콘크리트 및 강재는 설계강도 사용)
PCB2	직경 25mm 단부300mm간격 중앙600mm간격	1067.0 kN	0.41	
PCB3	직경 27mm 600mm 등간격	1024.0 kN	0.39	

25mm와 27mm의 전단연결재 강도값은 이전에 수행된 실험에서 구한 값을 사용하였다(이필구 등, 2003). 설계에서 가정한 재료의 설계강도와 부분합성정도를 고려하면 부분합성보의 극한하중은 스티드연결재의 전단강도에 의해 결정되고 이 값은 경간중앙에 하중이 작용할 경우를 가정하여 계산하면

각각 466kN, 473kN, 456kN으로 예상된다. 실제 실험에서는 이 값보다 높게 나올 것으로 예상되고 이는 마찰의 영향과 더불어 전체그룹 단위의 파괴모드로 인해서 하중재분배가 원활하게 이루어짐을 보여주는 것을 검증하는 하나의 기준이 된다. 또 다른 측면은 경계면에서 측정된 상대변위의 크기로부터 알 수 있을 것이다.

2.2 재료성질 및 실험방법

세 개의 합성보의 재료성질은 동일하고 강거더의 강종은 SS400으로 항복강도가 240MPa로 설계기준에 주어져 있다. 콘크리트는 설계강도 40MPa로 설계되었고 28일강도실험과 정적실험이 수행되는 시기에 세 개의 실린더 표준 시편에 대한 압축강도실험을 수행하였는데 28일 실험 결과에서 구한 압축강도의 평균값은 53.0MPa이고 정적실험 시기에 구한 값은 55.2MPa이었다. 실험결과의 평가에는 정적실험 시기에 구한 값을 기준으로 하였다.

실험의 대상이 되는 스티드전단연결재의 소재는 SS400을 사용하였고 그 인장시험을 스티드 제작전에 수행하였다. 세 개의 시편에 대한 실험결과로부터 평균항복응력은 328N/mm^2 이고 인장강도는 426N/mm^2 이었다. 실험에서 사용한 강주형의 재료실험으로부터 평균항복강도 272N/mm^2 로 나타났고 실험결과 분석에서는 이 값을 사용하였다.

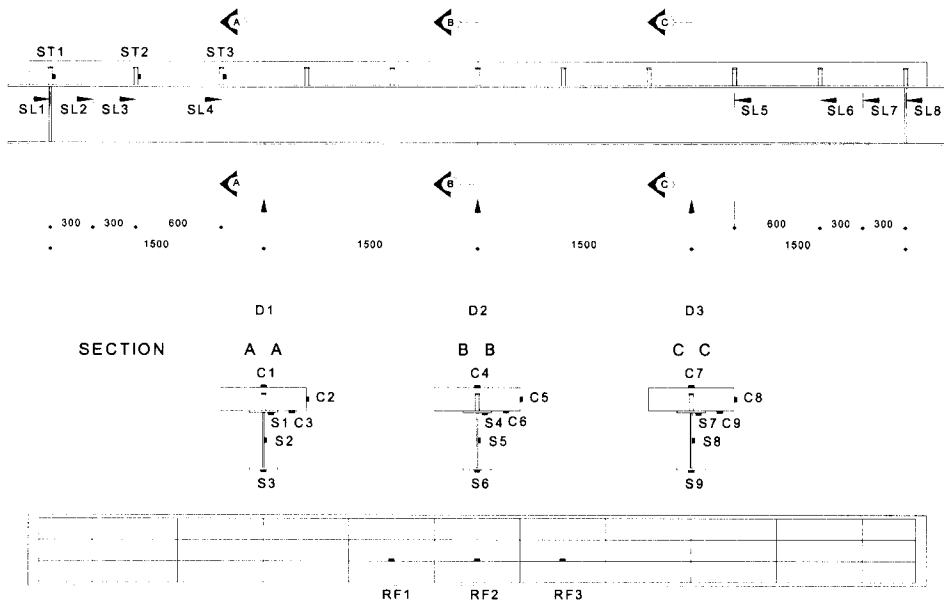


그림 2. 측정 내용

실험은 경간중앙에 하중을 재하하였고 하중재분배를 충분히 보여줄 수 있도록 하중단계를 높여가면서 7회 재하하였다. 파괴재하 이전에 예상파괴하중의 70%수준에서 3회반복재하하였는데 이 구간에서 상당한 수준의 하중재분배가 발생하여 최종파괴시에 전단지간내의 스티드가 일률적으로 파단에 도달할 것으로 예상하였다.

실험시 측정내용은 그림 2에 나타낸 바와 같이 처짐, 상대변위, 합성단면의 변형률, 스티드 및 철근변형률을 측정하였다. 처짐은 경간의 1/2, 1/4지점에서 측정하였고 동일 위치의 합성단면의 각 위치에서 변형률을 측정하였다. 상대변위는 가장 크게 발생하는 단부근처를 기준으로 양쪽으로 대칭이 되게 4곳씩, 모두 8곳에서 측정하였다. 하중이 경간중앙에 작용하기 때문에 전단력이 균일하게 발생하지만 상대변위는 단부에서 크게 발생하고 경간중앙에서는 0이 되는 비선형분포를 보이게 된다. 이는 부분합성이론으로부터 분포를 계산할 수 있고 이때 push-out 실험에서 구한 전단연결재의 전단강성을 이용하게 된다.

3. 실험 결과 분석

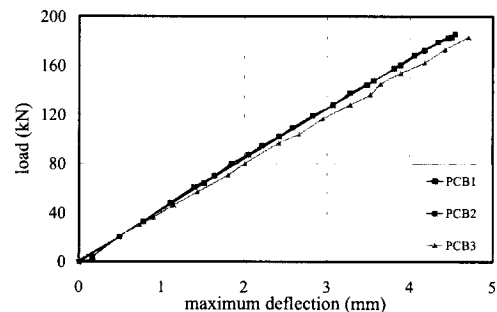
교량의 설계에서는 부분합성이 허용되고 있지 않기 때문에 부분합성보의 휨강도평가와 같은 것은 그리 중요하지 않다. 그러나, 전단연결재의 강도가 콘크리트부분의 압축강도나 강재부분의 인장강도보다 작다면 전단연결재의 강도가 합성보에서의 각 부분의 힘의 분포를 결정하고 결국 합성보의 강도를

결정하게 된다. 따라서, 부분합성보의 거동으로부터 전단연결부의 거동을 평가하고 이전에 수행된 압발시험의 결과와 비교할 수 있다.

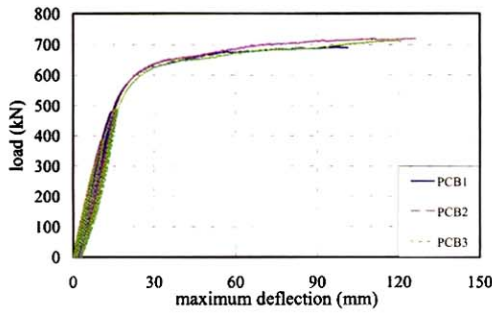
3.1 하중-처짐 곡선

부분합성보의 전체적인 거동을 살펴보기 위해서 그림 3에서 각각 하중-처짐곡선을 전체 하중재하이력에 대해서 함께 도시하였다. 초기강성의 비교를 위한 그림 3(a)의 하중-처짐곡선을 보면 PCB1과 PCB2는 거의 일치하는 값을 보이고 있고 PCB3는 최대처짐값이 약 4.5% 큰 값을 보이고 있지만 이는 실험의 변동성을 고려할 때 합성보의 초기강성은 차이가 없다고 판단된다.

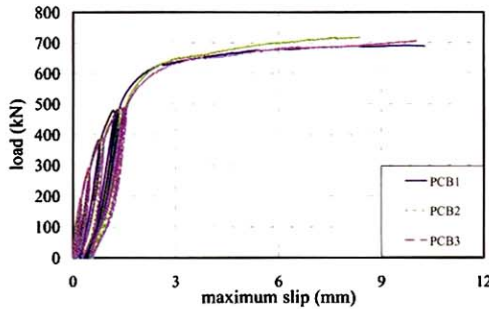
하중재하이력의 전체에 걸쳐서 최대처짐의 이력을 보인 그림 3(b)로부터 세 개의 합성보의 합성정도가 거의 유사한 경우에 전단연결재의 배치가 달라도 휨거동은 동일함을 알 수 있다.



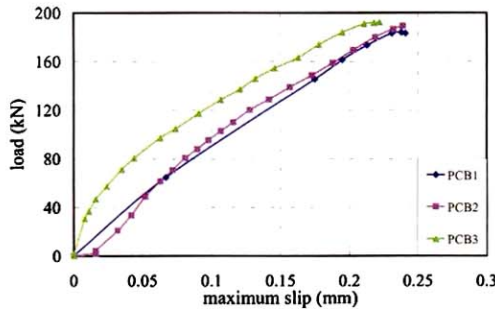
(a) 초기 처짐 비교



(b) 전체 처짐 비교
그림 3. 하중-처짐 곡선



(a) 초기상대변위 비교



(b) 전체상대변위 비교
그림 4. 하중-상대변위 곡선

3.2 하중-상대변위 곡선

약 40% 수준의 부분합성을 가진 세 개의 합성보에 대한 실험이 경간중양에 하중을 재하하기 때문에 단순히 수직전단력에서 계산하면 지점부에서 모멘트 최대점까지의 구간(이하 '전단간')에서는 일정한 수평전단력이 발생해야 하지만 부분합성이론으로부터 산정하면 경간중양에서 0의 값을 가지고 지점부에서 최대값을 가지도록 변하는 형태를 가진다. 이 실험에서는 양쪽지점부에서 각각 1200mm 이내에서 상대변위를 측정하고 있기 때문에 각각의 전단연결부가 동일한 강성을 가진다면 상대변위도 비슷한 수준으로 나와야 한다. 그러나, 실제로는 일

반적으로 강성의 차이를 가지고 있기 때문에 상대변위의 차이를 나타내고 하중이 반복적으로 재하되면 수평전단력의 재분배가 지속적으로 발생하여 최종적으로는 동일한 수준의 변형을 보이면서 그룹파괴에 도달하게 된다.(이필구등, 2003)

그림 4(a)에 초기 재하시에 지점부에서 측정된 상대변위를 세 개의 부재에 대해서 비교해보았는데 합성정도가 가장 낮은 PCB3 부재가 오히려 약간 전단강성이 높은 것으로 나타났다. 이는 강도의 측면에서 산정한 합성정도(degree of shear connection)과 강성의 측면에서 산정하는 합성정도(degree of interaction)이 다르기 때문이고 선행된 push-out 실험에서 27mm 스테드를 가진 전단연결부의 전단강성이 초기에 매우 높게 평가되었던 결과와 일치한다. 그리고, 그림 4(b)에 나타난 전체 하중이력에 대한 하중-상대변위 곡선을 보면 하중이 반복적으로 재하되면서 약 2%정도의 합성정도의 차이를 가지는 부재이지만 세 개의 부분합성보가 모두 거의 동일한 상대변위를 보여주고 있다. 또한, 이는 동일한 합성정도를 유지하면 등분포 배치를 하여도 정적거동의 차이는 없다는 것을 보여준다.

3.3 극한 거동

부분합성으로 설계된 합성보는 강주형과 콘크리트 바닥판이 극한상태에 도달하기 전에 전단연결재가 파단되기 때문에 합성보의 휨강도가 전단연결재에 의해 결정된다. 그림 5에 유로코드에서 제시되어 있는 합성정도에 따른 합성보의 휨강도 산정방안을 표시하였는데 완전비합성의 경우는 강재단면만의 강도를 가지게 되고 완전합성인 경우에는 완전소성해석(rigid plastic analysis)에 의해 산정된다. 부분합성은 이 중간에 속하고 소성이론에 의해 구하면 곡선 변화를 보이지만 단순화 시켜서 합성정도에 비례해서 변한다고 가정할 수 있다. 그림 5의 A점은 강재단면만을 고려하여 구한 휨강도인데 실험에서 사용한 강재의 항복강도가 272MPa이라고 하면 중앙 집중하중의 크기가 380kN의 값이다. 그리고 C점의 값은 완전합성일 때의 값으로 실험부재단면을 기준으로 하고 완전합성이라고 가정하면 경간중양에 작용하는 하중이 797kN일 때 휨강도에 도달한다.

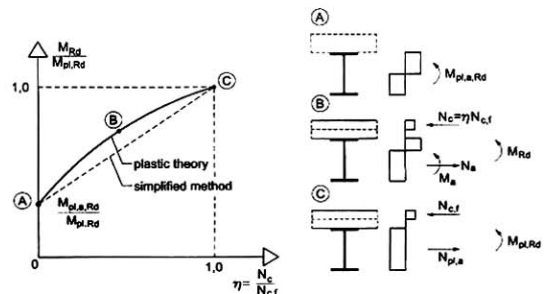


그림 5. 합성정도에 따른 휨강도 (유로코드-4)

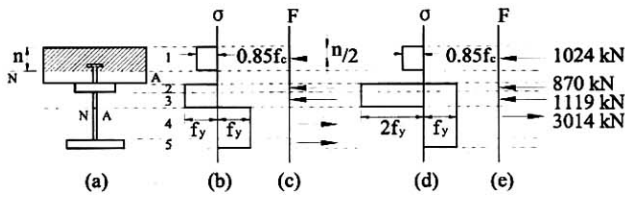


그림 6. 부분합성보의 극한강도 평가

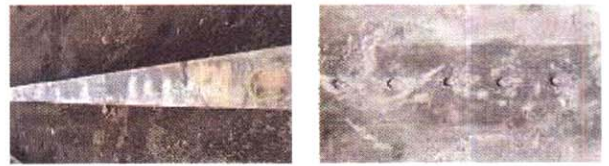
부분합성일 경우에는 실험부재에서 PCB3에 해당하는 점은 B점으로 합성정도가 0.34이고 재료실험에서 구한 콘크리트강도 55.2MPa의 값을 기준으로 계산하면 휨강도에 도달할 때의 하중의 크기는 그림 6으로부터 456kN의 값을 얻을 수 있다.

표 2에 이로부터 산정된 극한하중을 정리하였는데 앞서 설계시에 부분합성보에 대한 평가에서 제시된 502kN에 비해서 상당히 높은 수준으로 평가되었고 이는 하중재분배 및 수직전단력에 의한 마찰저항효과가 강도증진에 기여했음을 보여준다. 휨강도의 증진이 순수하게 전단연결부의 강도증진에 따른 것이라고 가정하면 push-out 실험에서 구한 전단연결재의 극한강도의 1.95배 정도의 값을 보였다. 따라서, 전단연결재의 평가시 순수전단실험인 push-out 실험에 의한 결과가 실제 강합성보에서는 안전측의 결과를 준다는 것을 알 수 있고 이전의 연구결과와 같은 경향을 보였다.

그림 7에서 각 합성보의 파단후의 강재 상부플랜지 면과 콘크리트 바닥판하면을 보여주고 있는데 지간중앙에 위치한 스티드를 제외하고는 전단지간내의 스티드들이 그룹으로 파단되었음을 보여주고 있다. 이는 실험에서 측정된 하중-상대변위곡선에서도 알 수 있었다. 극한강도에 도달할 때 강주형과 콘크리트 바닥판은 항복에 도달하지 않고 스티드의 파단으로 발생하는 것이 부분합성의 설계개념이다. 실험에서 측정된 하중-변형률곡선을 그림 8에 나타내었는데 이로부터 부분합성보의 극한하중상태에서 바닥판상면과 강주형하면의 변형률의 크기가 항복에 도달하지 않았음을 보여주고 있다. 이로부터 부분합성보의 극한하중의 크기에서 직접 전단연결부의 전단강도를 추출할 수 있는 근거를 마련할 수 있었다.

표 2. 극한 하중 및 극한 상대 변위

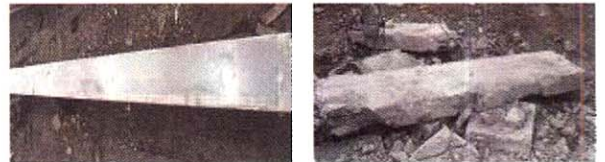
부재	스티드 (합성정도)	극한하중	극한상대 변위	전단연결재 파괴
PCB1	22mm (0.4)	689.6 kN	9.8 mm	한쪽 전단지간 그룹파괴
PCB2	25mm (0.41)	722.2 kN	9.9 mm	양쪽 전단지간 그룹파괴
PCB3	27mm (0.39)	712.9 kN	10.0 mm	양쪽 전단지간 그룹파괴



(a) PCB 1

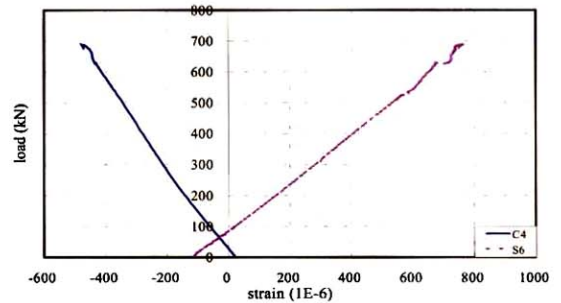


(b) PCB 2

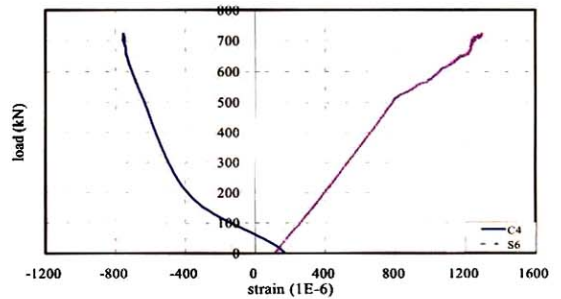


(c) PCB 3

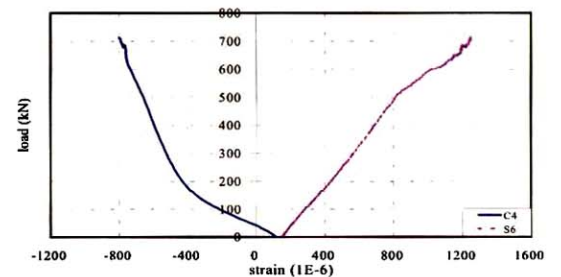
그림 7. 부분합성보의 전단연결재 파단



(a) PCB 1



(b) PCB 2

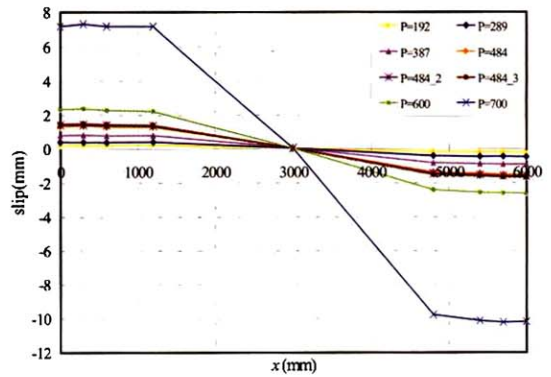


(c) PCB 3

그림 8. 강재와 콘크리트의 하중-변형률

4. 하중재분배 및 연성평가

세 개의 합성보가 합성정도는 유사하지만 전단연결재의 배치는 지점부 집중배치와 등분포배치로 차이를 가지고 있다. 대직경스테드 전단연결재를 설계에서 활용할 때에 등분포배치 혹은 지금보다 넓은 간격으로 배치되어야 하는데 이를 가능하게 하기 위해서는 전단지간내의 전단연결재들이 원활한 하중재분배와 연성을 확보하여야 한다. 실험에서 좌우측으로 각각 1.2구간에서 4곳씩 상대변위를 측정하였는데 이를 그림 9에 교축방향 위치별 상대변위 분포를 나타내었다. 우선 가장 차이가 나는 PCB1 부재와 PCB3 부재를 살펴보면 지점부 상대변위의 차이를 보이고 있고 지간중양으로 가면서 상대변위의 분포에도 차이를 보이고 있다. 그러나, 하중의 크기가 커질수록 그 차이는 줄어들고 파괴시점 근처에서는 거의 일정한 상대변위를 나타내고 있다. 등분포배치를 한 PCB3부재의 경우에는 상대변위의 분포가 측정된 구간에서 일정하게 나타났고 극한거동에서 전단지간내의 그룹으로 파단된 모습을 보였듯이 극한하중에서 상대변위의 값이 일정하면서 한번에 파단에 도달하는 양상을 보이고 있다. 이로부터 대직경이라 해도 스테드의 경우에 하중재분배능력이 양호하게 나타나고 있고 22mm스테드와 동일한 정도의 연성을 확보할 수 있음을 알 수 있었다. 현재 유로코드에서 요구하는 연성은 상대변위 6mm 이다. 그림 10의 사진에서 최종적으로 상대변위가 발생한 모습을 보여주고 있다.



(c) PCB 3

그림 9. 하중증가에 따른 상대변위 분포

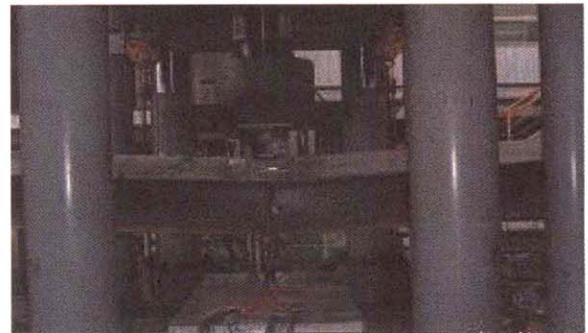
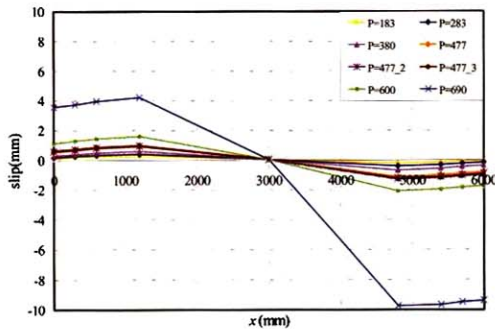
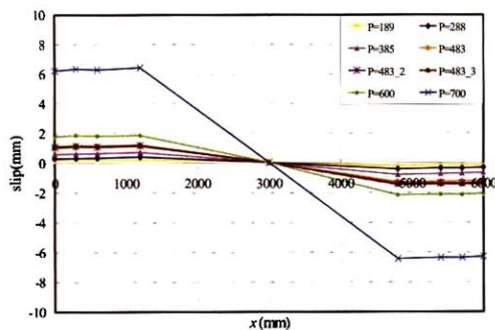


그림 10. 최종 변형 형상



(a) PCB 1



(b) PCB 2

5. 결 론

직접 전단실험으로부터 구한 대직경스테드 전단연결재의 정적 및 피로거동을 검증하기 위해 부분합성으로 설계된 합성보에 대한 정적실험을 수행하였고 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- (1) 부분합성보의 극한휨강도는 전단연결재의 강도에 의해 결정되는데 이로부터 평가된 전단연결재의 강도는 휨강도의 증진이 순수하게 전단연결부의 강도증진에 따른 것이라고 가정하면 push-out 실험에 비해서 1.95배의 극한강도 증가를 보였다.

- (2) 합성보의 최대하중 도달시점에 측정된 극한상대변위의 값으로부터 대직경스터드 전단연결재가 충분한 연성을 확보하고 있음을 확인하였다.
- (3) 하중-상대변위곡선과 합성보 파단면의 관찰결과로부터 대직경스터드 전단연결재의 하중재분배 능력이 양호하고 파괴양상이 전단지간내의 스테드가 함께 파괴에 도달하는 모습을 보임으로써 직경을 증가시키고 간격규정내에서 스테드 배치간격을 넓혀도 무방함을 검증하였다. 이는 앞으로 적용될 수 있는 프리캐스트 바닥판을 이용한 강합성교량에 적용할 때 상당히 유리한 설계를 할 수 있도록 한다.

감사의 글

본 연구는 과학기술부의 국가지정연구실(NRL)사업의 연구비 지원으로 수행되었으며 이에 감사를 드립니다.

참 고 문 헌

심창수, 이필구, 김현호, 윤태양, 대직경 스테드 전단연결재의 피로거동, 한국강구조학회논문집, 2003, 12.

이필구, 심창수, 윤태양, 대직경 스테드 전단연결재의 정적거동, 한국강구조학회논문집, 2003, 12.

장승필, 심창수, 윤석구 (1999), 합성교량 스테드 전단연결부의 극한한계상태, 대한토목학회논문집, 제19권, 제 I-4호, pp.613~621.

Badie, S.S., Tadros, M.K., Kakish, H.F., Splittgerber, D.L., Baishya, M.C. (2002), Large Shear Studs for Composite Action in Steel Bridge Girders, *Journal of Bridge Engineering*, Vol. 7, No. 3, May, pp.195-203

Eurocode 4 (1997): Design of composite steel and concrete structures, Part 2: Composite bridges (ENV 1994-2), CEN.

Johnson, R.P. (2000), Resistance of stud shear connectors to fatigue, *Journal of Constructional Steel Research*, Vol.56, pp.101-116.

Maeda, Y. and Matsui, S. (1983), Effects of

concrete placing direction on static and fatigue strengths of stud shear connectors *Tech. Rept. Osaka University*, Vol.33, No. 1733, Oct., 397-406.

Mainstone, R.J., Menzies, J.B. (1967), Shear connectors in steel-concrete composite beams for bridges 1: Static and fatigue tests on push-out specimens, *Concrete*, Sept., pp.291-302.

Menzies J.B., (1971), CP117 and shear connectors in steel-concrete composite beams with made with normal-density and lightweight concrete, *Structural Engineer*, 49, Mar., pp. 137-153.

Oehlers, D.J. and Coughlan, C.G. (1986), The shear stiffness of stud shear connections in composite beams, *Journal of Constructional Steel Research*, Vol.6, 273-284.

Oehlers, D.J. and Johnson, R.P. (1987), The strength of stud shear connectors in composite beam, *The structural Engineer*.

Oehlers, D.J. (1992), Residual strength of structural component subjected to cyclic loads, *Journal of Structural Engineering*, ASCE, Vol.118, No. 10, 2645-2659.

Ollgaard J.G. et al. (1971)., Shear Strength of stud connectors in light-weight and normal-weight concrete, *Engineering Journal of American Institute of Steel Construction*, 8, Apr., pp. 55-64.

Shim, C.S., Kim, J.H., Chung, C.H. and Chang, S.P. (2000), The Behavior of Shear Connection in Composite Beam with Full-Depth Precast Slab, Structures and Buildings, *The Institution of Civil Engineers*, Jan., Vol.140, pp.101-110.

Slutter, R.G., Driscoll, G.C. (1962) Test Results and Design Recommendations for Composite Beams, Fritz Engineering Laboratory, Lehigh University, Report 297.10.

(접수일자 : 2004. 3. 5 / 심사일 2004. 3. 22 / 심사완료일 2004. 7. 26)