

PSC-I 거더의 균열 발생 이후의 휨거동에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on the Flexural Behavior after Crack Initiation of PSC I-Girder

심 종 성* 오 흥 섭** 김 민 수***
Jong-Sung Sim Hong-Seob Oh Min-Su Kim

Abstract

The main objective of this study is to develop the PSC-I girder for long span bridge. This study investigates the structural behavior of Postcracking stage and efficiency of proposed PSC-I girder using 1/2 scaled prototype beam specimen. Three specimens are tested under three point static loading system. Ideally, the Load-displacement relationship is trilinear. The crack patterns and failure mode of each specimen are reported in this paper and they are compared to each other with ductility and strength .

1. 서론

본 연구는 PSC거더의 장기간화에 대한 연구의 일환으로서, 일반적으로 프리스트레스 콘크리트 구조체 단면의 균열 발생 여부에 관계없이 이상적인 하중 처짐 관계는 3단계의 선형을 갖는다. 즉 거더에 균열이 없는 탄성영역으로서 균열 전 단계, 사용한계상태로서 거더에 허용범위내의 균열이 진전되는 균열 후 단계, 그리고, 인장철근의 응력이 항복강도를 지난 한계상태인 사용성을 지난 단계를 갖게 된다[4]. 그러나 실제 PSC-I형 거더의 거동은 균열 발생전 영역은 유사한 거동을 보이거나 균열발생 이후 거동은 실제의 이상적인 거동에 이르지 못하는 경향을 보인다. 특히 본 연구에서 제안된 PSC-I형거더의 경우 장기간화를 위해 적합단 단면으로 설계되어 Spliced 접합시공공법을 적용하였다. 따라서 균열 발생이후의 거동이 일반적인 거동과 차이점 보이므로 이의 거동특성을 분석하고자 한다. 일반적으로 연성(Ductility)은 재료, 구조단면, 구조부재의 구조계에 있어서 파괴 전까지 보여주는 변형의 정도를 나타내는 정성적인 개념으로 강성 및 극한강도와 함께 구조물의 안전도를 평가함에 있어서 고려해야 할 가장 중요한 요소 중에 하나이다. 또한 필요한 연성의 확보는 일반구조물에서는 물론 내진 설계시에는 유입된 지진에너지를 흡수 소모하는 지표로서 안전도 평가에 필수적이다.[3,5] 따라서 본 연구에서는 PS강재의 항복점이 뚜렷하지 않은 PSC-I형 거더의 휨실험 결과인 하중-처짐관계를 에너지 개념을 바탕으로한 연성지수 평가식을 도입함으로써 장기간화에 적합하도록 제안된 단면 및 Spliced 공법을 적용한 PSC-I형 거더의 균열발생 이후의 거동상의 특성 및 연성증대효과를 비교하고, 이의 효율성 및 안전도를 검토하고자 한다.[1,2]

* 정회원, 한양대학교 토목환경공학과 교수

** 정회원, 한양대학교 토목공학과 대학원 박사과정

*** 정회원, 한양대학교 토목환경공학과 대학원 석사과정

2. PSC-I 거더의 휨실험

본 연구는 장경간하에 적합하도록 개발된 단면 및 시공방법을 사용한 축소모델의 실험을 통하여 PSC-I형 거더의 균열발생이후의 휨거동에 관한 특성을 규명하고자 하였으며, 또한 실험 결과를 기초로 하여 해석결과와 비교 및 연성증대효과를 살펴봄으로서 안전도 평가를 수행하였다. 축소모델 실험은 50m 제안단면의 1/2 축소모델 시험을 수행하였으며, 설계 조건 등은 실험 여건 및 시공상 문제점 등을 감안하여 가급적 제안 단면의 경우와 동일하게 적용하였다.

2.1 실험단면 및 실험변수

PSC-I형 거더 시험체의 설계지간은 24.9m이며, 교폭은 7.42m의 2차선 교량으로 설계하였다. 교량 상판의 경우 슬래브 최소 두께는 15cm로 설계하였으며, 시험체에 사용된 콘크리트와 PS강재, 그리고 철근의 물성은 각각 다음과 같다. 콘크리트의 압축강도는 400 kg/cm²의 콘크리트를 사용하였으며, PS 강재로는 ϕ 12.7 mm의 저연성 strand를 사용하였다. 사용량은 지름 5.4 cm의 쉬스관 4개를 사용하여 각 쉬스관마다 strand 7 가닥씩 총 28개의 PS강재를 사용하였으며, 종방향 철근은 SD30의 D13철근을 사용하였다.

본 시험에서는 일체제작 Control 거더와 Spliced 거더, 그리고 슬래브를 타설한 합성 Spliced 거더 시험체를 제작하였으며, 시험 변수 및 시험체의 단면제원은 표 1과 같다.[2]

표 1 시험변수 및 단면제원

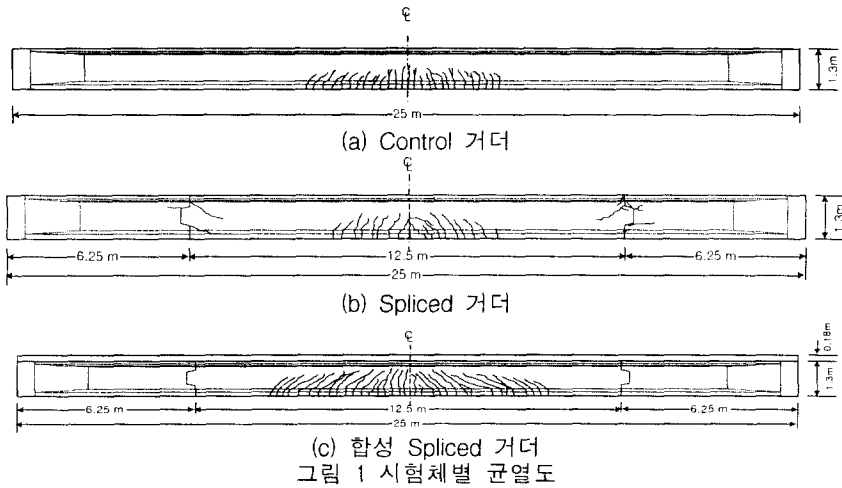
설계 지간	콘크리트 강도	거더 시공방법	상부 슬래브	시험체 명	시험체 갯수	슬래브폭 (높이)	상(하)부 플랜지폭	상(하)부 플랜지두께	상(하)부 현치높이	거더 높이	거더 부부폭
25m	400kg/c m ²	일체제작	×	Control 거더	1	100 (15)	60 (45)	7.5 (12.5)	5 (10)	130	13
		segment제작	×	Spliced 거더	1						
		segment제작	○	합성 Spliced 거더	1						

2.2 재하 및 측정방법

휨 파괴 시험의 가력장치는 200ton 용량의 유압잭(Oil Jack)을 사용하여 3점 재하 방법으로 중앙집중 재하하였고, 이때 하중은 10ton 단위로 증가시킨후, 탄성회복 될 때까지 하중을 제거하였다가 다시 가력하는 방법을 사용하여 극한 하중까지 하중제어 방법에 의해 시험을 수행하였다. 시험체 중앙부 철근에 철근게이지를 부착하였으며, 시험체 중앙부지점에서 변위를 측정하였다.

3. PSC-I 거더의 휨실험 결과 및 고찰

휨파괴 시험결과 시험체별 균열은 그림 1과 같다. Control 거더는 균열하중 이후 전형적인 휨균열이 진전되어 파괴되는 휨-압축파괴 형태를 나타내었으며, Spliced 시험체의 경우에는 접합부의 경계조건 변화에 의하여 접합부에 휨인장균열이 발생한 것으로 나타났으며, 시험체 중앙부의 균열 개수는 감소하는 것으로 관찰되었다. 그러나 Spliced 거더의 휨파괴모드는 Control 거더와 동일한 복합파괴형태를 나타내었다. 합성 Spliced 거더의 경우에는 비합성단면 시험체에 비하여 휨균열의 개수가 증가하였으며, 균열의 폭이 감소하는 것으로 관찰되었고, 파괴형태 또한 연성적인 휨파괴형태를 나타내었다.



Load-Displacement 관계를 통한 거동을 분석한 결과 Spliced girder, 일체제작된 Control girder, 와 합성 Spliced girder의 구조거동은 그림 2와 같다. 그림 2에 나타낸 것과 같이 Control 시험체와 Spliced 시험체의 전체적인 거동은 유사한 것으로 나타났으며, 균열 하중 및 최대하중은 Spliced 시험체의 경우 약간 낮게 관찰되었다. 그러나 균열 이전 및 이후의 강성은 두 시험체 모두 거의 동일한 것으로 고찰되었다. 합성 Spliced 거더의 경우에는 비합성 단면에 비하여 구조성능이 우수한 것으로 나타났으며, 또한 철근의 항복이후 충분한 연성을 확보한 것을 알 수 있다. 이것은 상부 슬래브 합성으로 인하여 중립축이 상대적으로 높아졌기 때문인 것으로 판단되며, 따라서 실제 거더의 현장 적용시에도 사용하중단계에서 충분한 안전도를 획득할 수 있을 것으로 판단된다.

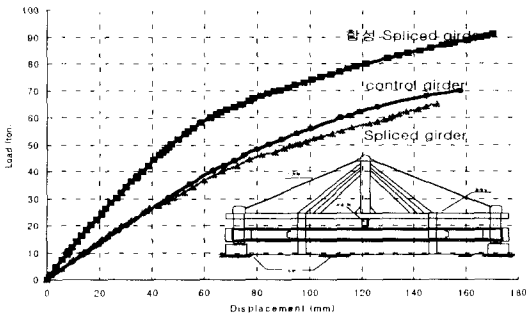


그림 2 Load-Displacement Relationship

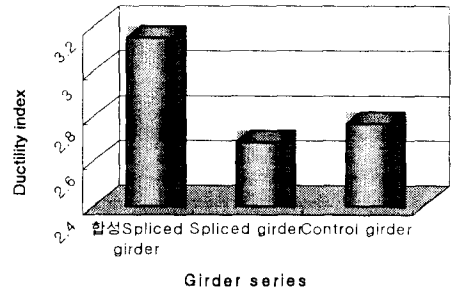


그림 3 연성지수 비교

4. 연성지수에 의한 연성증대효과 비교

철근콘크리트 및 강구조물의 경우 강재의 특성상 항복상태에 대한 정의가 명확하게 나타나나, PSC 부재의 경우 PS강재의 항복점이 뚜렷하지 않으므로 에너지 개념을 도입하여 제안한 다음과 같은 연성지수 평가식을 사용하였다[3,5].

$$\mu_E = \frac{1}{2} \left(\frac{E_{total}}{E_{elastic}} + 1 \right) \quad (식-1)$$

여기서, E_{total} 은 총 흡수에너지로서 부재의 하중-처짐 곡선 또는 단면의 모멘트-곡률 곡선에서 극한상태까지의 총 면적으로 계산되며, $E_{elastic}$ 은 탄성에너지로 총 에너지중 소모되지 않고 저장되는 변형에너지를 의미한다. 본 연구에서는 각 거더들의 연성지수를 통해 균열에너지 방출량을 비교함으로써 연성능력 및 균열제어 능력과 제안 거더의 안전도를 비교 평가하고자 하였다. Control girder와 Spliced girder의 경우 Spliced girder가 Control girder에 비하여 좀더 작은 값을 나타내고 있다 이는 Spliced 접합부 압축영역의 약간의 불연속적인 거동으로 인하여 내부 힌지와 유사한 거동을 통해 균열 제어 폭이 좁아짐에 따라 에너지 감소로 약간의 연성지수 감소를 야기한 것을 알 수 있으나, 이는 Spliced girder에 슬래브를 일체 타설한 합성 Spliced girder의 경우 불연속성을 상쇄시켜 월등한 연성능력을 보이고 있다. 따라서 제안된 Spliced 공법을 적용한 PSC-I 거더의 경우 슬래브를 합성함으로써 거더능력의 향상을 가져와 일체거더와 비교하여 큰 차이점이 없이 거동함을 알 수 있다.

5. 결론

제안된 PSC-I girder의 균열 발생 이후의 휨거동 특성을 다음과 같이 기술하였다.

- (1) 개발된 PSC 거더의 효율성 및 구조적인 안전성을 입증하기 위해 50m 제안 단면의 1/2축소모델 시험체를 설계하였으며 휨파괴 시험결과 Control 거더 시험체와 Spliced 거더 시험체의 경우 주철근 항복 후 압축응력블럭의 항복으로 인하여 급작스런 파괴의 형상을 나타내었으며, Spliced girder의 연성이 다소 적으나, 슬래브를 일체 타설함으로써 합성 Spliced 거더의 경우에는 충분한 연성거동후 상부콘크리트의 압축파괴에 의한 파괴형상을 나타내었다.
- (2) Spliced 거더의 전체적인 휨거동은 Control 거더와 거의 유사한 것으로 판단되며, 합성 Spliced 거더 시험체의 경우, 슬래브의 합성작용으로 인하여 초기 강성, 강도 및 연성이 비합성단면에 비하여 크게 증가하는 것으로 나타났다. 결국 비합성 단면에 비하여 합성단면의 저항모멘트가 증가하게 되어, 사용하중 재하시에 충분한 안전성을 확보할 수 있는 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 대우엔지니어링의 연구비 지원에 의하여 연구가 진행되었으며, 저자들은 이에 깊은 감사를 드립니다.

참고문헌

1. 심종성, 한만엽, 오홍섭, 김정구, 김민수 “장경간 Spliced PSC 거더교량의 개발에 대한 연구”, 한국콘크리트학회 학술발표 논문집, V. 10, No. 2, Nov.,1998, pp.680~685
2. 심종성, 오홍섭, 김민수 “ 장경간 Spliced PSC 거더의 휨거동에 관한 실험적연구”, 한국콘크리트학회 학술발표 논문집, V. 11, No. 1, Nov.,1999, pp.519~524
3. Bhushan L Karihaloo. " Fracture Mechanics & Structural Concrete." Concrete Design & Construction Series. 1995 pp.59-135
4. Michael P. Collins, Denis Mitchell, "Prestressed Concrete Structures", Frenice Hall, Inc., 1991
5. Skogman, B. C., Tadros, M. K., Ronald Grasmick, " Flexural Strength of Prestressed Concrete Members ", PCI Journal, September-October, 1988, pp. 2-29,