

설계강도 60MPa급 고강도 PSC의 내하성능 검토

An Experimental Study for Performance of PSC-I Girders with 60MPa High-Strength Concrete

이재용* 민경환** 양준모** 정해문*** 안태송*** 윤영수****
Lee, Jae Yong Min, Kyung Hwan Yang, Jun Mo Cheong, Hai Moon Ahn, Tae Song Yoon, Young Soo

ABSTRACT

PSC-I girder is widely used in designing bridge. Currently partial advanced country have constructed bridge with high strength concrete, while in-country rather less concrete strength(40MPa) has been used to build bridge girder. So, this paper presents characteristics and behavior of member casted by high strength concrete to apply practically.

For this aim, 4 girders were fabricated to investigate performance and structural behavior. Prior to test, structural analysis was performed with common program. Steel gages and concrete gage were filled up to measure longitudinal and vertical strain of reinforcement and concrete. Linear Variable Differential Transducer and concrete surface gage were also set to measure deflection and strain of concrete. Load-deflection relation and crack mode were analyzed at transfer and test and compared with the structural analysis

요약

PSC-I거더형태는 교량설계에 있어 널리 쓰이는 형태이다. 현재 일부 선진국가들은 고강도콘크리트를 교량에 적용하고 있는 반면 국내에는 다소 낮은 강도의 콘크리트(40MPa)를 사용하고 있다. 이에 따라 본 논문은 고강도 콘크리트를 실용화하기 위해 고강도 콘크리트를 타설한 부재의 특성과 거동에 대해 연구하였다. 이를 위해 4개의 거더를 제작하여 부재의 성능과 구조적 거동을 분석하였다. 실험에 앞서 상용프로그램을 이용하여 예상되는 거동을 구조해석을 통해 알아보았다. 스틸 게이지와 콘크리트 게이지를 매립하여 철근과 콘크리트의 종방향, 횡방향 변형율을 측정하였고, LVDT(Linear Variable Differential Transducer)을 중앙부와 지점에 설치해 부재의 처짐 및 변형을 측정하였다. 긴장작업시와 구조실험간 하중-처짐 관계와 균열하중의 실험결과를 구조해석 결과와 비교 분석하였다. 이를 통해 고강도 콘크리트를 부재에 적용하였을 때 거동변화와 긍정적인 효과에 대해 알아보았다.

* 정회원, 고려대학교 건축·사회환경공학과 석사과정
** 정회원, 고려대학교 건축·사회환경공학과 박사과정
*** 정회원, 한국도로공사 도로교통연구원 도로연구팀 수석연구원
**** 정회원, 고려대학교 건축·사회환경공학과 교수

1. 서 론

현재 일부 선진국들은 고강도 콘크리트에 대해 활발히 연구를 진행하고 이를 교량에 적용하여 실용화하고 있다. 미국, 캐나다, 일본등 나라의 경우 이미 1990년대에 60MPa~70MPa 콘크리트로 교량을 시공한 사례가 있다. 하지만 현재 국내는 교량에 40MPa의 다소 강도가 낮은 콘크리트를 적용하고 있고, 고강도 콘크리트의 실용화는 아직 미흡한 실정이다.

본 논문은 고강도 콘크리트 실용화를 목적으로 고강도 콘크리트를 적용한 부재의 특성에 대하여 구조실험을 통해 분석하였다. 60MPa와 40MPa 콘크리트를 각각 적용한 축소 거더를 통해 내하성능 및 구조 거동을 검토하였다. 구조실험결과를 토대로 하중-처짐, 균열크기 및 간격에 대해 검토하였다.

2. 실험 방법 및 사용재료

2.1 실험체 계획

총 4개의 부재가 제작하였다. 각각 부재의 제원은 표 1과 같다. 부재 BA40 다른 부재들과 비교 대상이 되는 기본군이며, BA60은 BA40단면에 콘크리트의 강도를 증진시킴으로써 얻을 수 있는 특성에 대해 알아보기 위해 제작되었다. MA60 부재는 강도가 높아짐에 따라 콘크리트의 허용인장, 압축응력이 커지는데, 구조해석을 통해 허용응력 범위내에 최대한의 강선을 배치하였다. OP60은 기본군의 단면을 축소하고 60MPa의 콘크리트 강도의 허용응력범위내에 강선을 배치함으로써 BA40의 휨강도를 발현할 수 있도록 제작하였다. 실험체 단면형상은 그림 1과 같다.

표 1 시멘트 종류별 물성

부재	경간 l (mm)	높이 h (mm)	콘크리트 강도(MPa)	강선비 ρ_p (%)	주철근 비 ρ_t (%)
BA40	600	600	40	0.286	0.452
BA60		600	60	0.286	0.452
MA60		600	60	0.3553	0.452
OP60		480	60	0.503	0.496

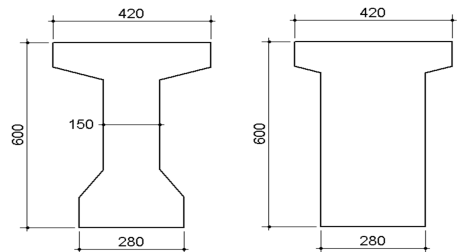


그림 1 BA40단면 (center, support)

2.2 실험 방법

긴장작업은 강선의 극한강도 1860MPa의 $0.7f_{pu}$ 인 1302MPa로 긴장하였다. 최초 10톤을 긴장한 후 1분마다 100kN으로 긴장하였다. 그림 2는 구조실험의 test setup이다. 3점재하 휨실험을 실시하였고 양쪽 지점은 각각 힌지와 롤러로 설치하였다. 전단지간은 2.8m이며 하중은 2000kN 용량의 가력기로 50kN 단위로 가력하였다. 구조실험간 부재의 각 위치별 변형을 및, 강선의 변형율을 측정하였다. 하중은 가력기의 하중표시계와 로드셀을 이용하여 측정하였다.



그림 2 Test setup

3. 결과 및 고찰

3.1 일반적인 거동 - 파괴 및 균열양상

4개 부재의 파괴형태는 콘크리트 압축파괴로 나타났다. 하중이 증가하면서 균열은 최초 중앙부 하단 하부 플랜지에 나타났고, 하중이 계속 증가함에 따라 웹으로 휨 전단균열이 진전되었다. 균열 진행방향은 하중재하점을 향하고 있었다. 하중이 극한하중에 도달함에 따라 상부 플랜지에 균열이 급속도로 발생하여 상부플랜지 피복 바깥부분이 파괴되는 압축파괴형태를 보였다. 상부플랜지의 압축파괴가 발생했던 부분까지 부재 하부의 균열이 진전되었다. 이는 파괴시까지 부재가 충분히 효율적으로 거동했다고 볼 수 있다. 60MPa의 부재들은 파괴하중에서 큰 소리를 내면서 BA40보다 다소 취성적으로 파괴되는 모습을 관찰할 수 있었다.

3.2 균열

각 부재의 초기 균열하중과 극한하중에 대해 구조해석하고 측정된 값을 표 3에 정리하였다. 표 3을 보면 실험부재의 균열하중은 계산한 값과 유사하다는 것을 알 수 있다. 휨강도는 OP60을 제외한 나머지는 부재들은 설계값과 유사한 휨강도를 보였다. BA40과 BA60의 극한하중과 균열하중을 비교해보면 콘크리트 강도 증가가 균열하중과 극한하중에 큰 영향이 없는 것으로 나타났다. BA60과 MA60의 균열하중을 보면 긴장력이 클수록 균열하중이 증가한다는 것을 알 수 있다.

표 3 균열하중과 극한하중

부재	균열하중 (실험값)	극한하중 (실험값)	균열하중 (해석값)	극한하중 (해석값)	비고 (kN)
BA40	151.41	444	156.3	440	압축 파괴
BA60	168	454.89	162	454	
MA60	180	530.27	185.7	527	
OP60	146.74	424.21	145.6	437.42	

표 4 균열폭(center)

	BA40	BA60	MA60	OP60
200kN	0.1	0.1	0.1	0.1이하
250kN	0.25	0.15	0.2	0.15
300kN	0.3	0.2	0.2	0.25
350kN	0.4	0.3	0.3	0.4
400kN	1.69	1	0.4	1.25

표 4는 하중단계별 균열폭, 그림 3은 균열 간격을 나타내고 있다. BA40, BA60, MA60을 비교해보면 BA40의 균열폭이 다른 BA60, MA60에 비해 균열폭이 큰 것을 알 수 있다. 고강도 콘크리트는 보통 콘크리트에 비해 많은 균열수와 작은 균열폭을 가지는 것으로 연구되어 왔다. 표 4를 보면 콘크리트 강도가 증가할수록 균열폭이 작아지는 것을 알 수 있었다. 이는 콘크리트 강도가 증가함에 따라 콘크리트와 철근의 부착강도 증가로 최대 균열폭이 작아지기 때문이다. 이같이 콘크리트 강도가 올라갈수록 균열폭이 작아지고 균열수가 많아지는 것은 연성측면에서 볼 때 좋은 거동이라 판단된다.

OP60 부재는 다른 부재보다 상대적으로 작은 강성으로 인해 균열폭이 상대적으로 큰 값을 보였다.

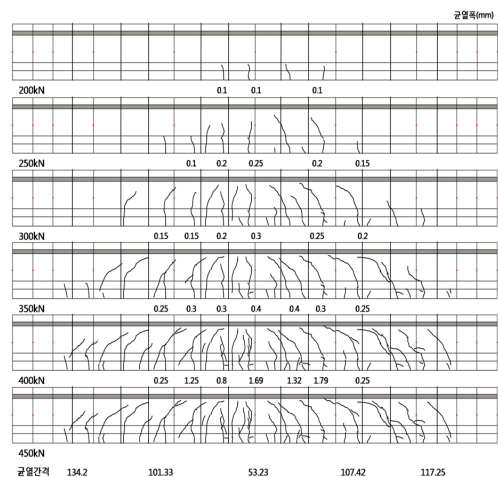


그림 3 BA40의 균열폭과 균열간격

3.3 하중 처짐

그림 4은 각 부재의 하중-처짐 관계를 나타낸다. BA40과 BA60을 보면 두 부재는 비슷한 하중에서 파괴되었지만 BA60은 BA40보다 높은 연성거동을 보였다. 이는 콘크리트 강도가 증가함에 따라 부재의 중립축이 높아지기 때문이다. BA60의 파괴하중이 미소하게 BA40보다 높은 이유도 연성거동에 의한 강도획득이라고 판단된다. OP60 부재 경우 파괴하중이 구조해석한 값보다 작게 나왔는데, 이는 초기균열이후에 다른 부재들에 비해 균열이 급격하게 진행되어 강성이 큰 폭으로 감소했기 때문이라고 판단된다. 이러한 균열이후의 강성저하 정도는 BA40, BA60, MA60의 경우와 비교해보면 초기강성 크기에 관계가 있다고 판단된다.

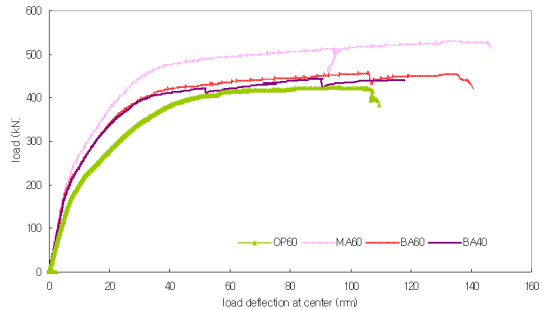


그림 4 하중-처짐 곡선

4. 결론

- 1) 상부 콘크리트가 압축파괴 날 때까지 하부 균열이 상부플랜지까지 진전되었다. 이는 단면이 구조적으로 효율적인 거동을 하였다고 볼 수 있다. BA40, BA60을 통해 콘크리트의 강도가 증가할수록 작은 균열폭을 가지고 많은 균열이 발생하는 것을 알 수 있다. 또한 균열모멘트도 다소 증가하는 것을 관찰할 수 있었다. MA60과 BA60의 경우를 보면 긴장력이 더 가해진 부재는 균열모멘트도 증가하였다.
- 2) BA40과 BA60을 휨강도 측면에서 보면 BA60의 파괴하중이 BA40보다 2.2%로 미소 증가하여 고강도콘크리트가 큰 휨증진에 기여하진 않았으나, 단면 중립축이 올라가 부재의 연성이 상당히 증가했음을 알 수 있었다.
- 3) 콘크리트강도의 증가에 따라 콘크리트 자체의 인장, 압축허용응력이 증가되어 더 많은 강선 배치가 가능하게 됨으로써 상당한 휨강도 증진이 있었다.
- 4) OP60의 경우 파괴하중의 경우 실험값이 구조해석값보다 3%낮은 값을 보였다. 이는 OP60부재가 다른 단면들에 비해 초기 강성이 작아 초기 균열이후 상대적으로 큰 폭의 강성저하를 보였기 때문이라고 판단된다. 연성측면에서는 단면을 축소하고 강선을 더 배치한 만큼 구조물의 중립축이 내려갔으나 고강도 콘크리트적용으로 중립축이 올라가 OP60은 BA40과 유사한 연성거동을 보였다.

참고문헌

1. 한국콘크리트학회, 콘크리트 구조설계기준, 한국콘크리트학회, 2007, pp.235~253
2. 대한토목학회, 도로교설계기준, 대한토목학회, 2005, pp.314-349
3. 윤영수, “철근콘크리트 역학 및 설계, 2nd Edition”, 도서출판 세론, 2008, pp.125~141
4. Collins, M. P., and Mitchell, D., “Prestressed Concrete Structures. 3rd Edition”, Response Publications, Ontario, Canada, 1997, pp. 42~142