

# 초고성능 섬유보강 시멘트 복합체로 제작된 전단보강이 없는 PSC 보의 거동에 대한 실험적 연구

## The Experimental Study of Behaviors in Prestressed Concrete Beam made of Ultra High Performance Cementitious Composites without Stirrups

강수태\*    박정준\*    류금성\*    고경택\*\*    김성욱\*\*\*    한상묵\*\*\*\*  
Kang, Su Tae   Park, Jung Jun   Ryu, Gum Sung   Koh, Kyung Taek   Kim, Sung Wook   Han, Sang Muk

### ABSTRACT

Ultra high performance cementitious composites(UHPCC), which is composed of micro-sized ultra fine particles, is characterized by high strength, high ductility and excellent durability. so if we make prestressed concrete bridge girder using UHPCC, we can obtain the safety and economical efficiency in bridge girder construction.

In this study, we performed the experiments to evaluate the load capacity, failure process and mode of prestressed concrete without stirrups using UHPCC.

### 1. 서론

현재 PSC 교량은 재료 본래의 장점과 기술의 향상 등에 의해 사용이 크게 증가하는 추세에 있으며, 앞으로도 사용이 계속 늘어날 전망이다. PSC 교량은 철근 콘크리트와 비교하여 구조적으로 효율적이고 높은 안전성을 가지고 있으며, 강교와 비교하여도 경제성 및 내구성에 있어 상대적으로 우수한 성질을 가지고 있다. 앞으로 이와 같이 안전성과 함께 경제성이 제고된 PSC 교량을 건설하기 위해서는 콘크리트의 고강도화가 필수적인 사항이 되며 따라서 현재의 설계강도 범위 400kgf/cm<sup>2</sup>~600kgf/cm<sup>2</sup>의 수준을 획기적으로 높은 강도 수준으로 높여, 안전성과 함께 경제성을 높일 필요성이 절실히 대두되고 있다. 이러한 필요성 측면에서 볼 때 고강도, 고내구성을 가진 UHPCC는 가장 적합한 재료라고 할 수 있으며, UHPCC를 이용할 경우 PSC 거더의 형고를 낮추고 지간을 장경간화하며 내구성, 경제성 및 안전성이 확보된 장경간 PSC 거더의 개발이 가능하다. 이와 같은 UHPCC를 이용한 PSC 거더를 개발하기 위한 연구의 일환으로 우선 전단보강이 없는 UHPCC를 사용한 I형 PSC 거더의 거동평가를 위한 실험을 수행하였다.

### 2. 실험내용

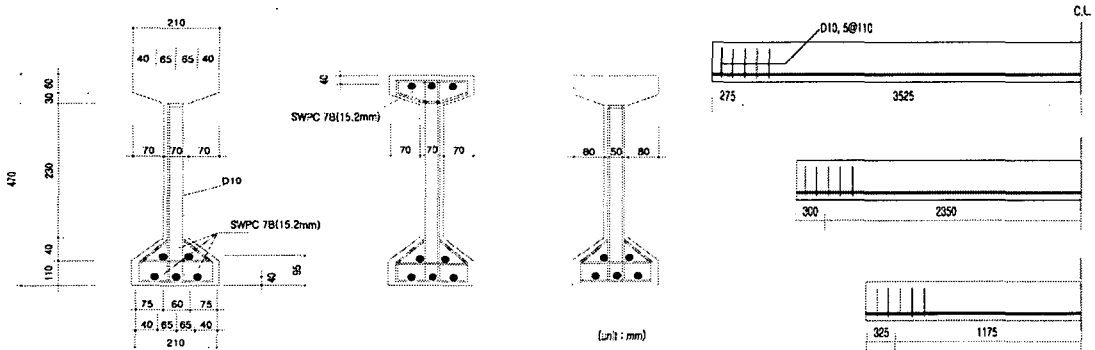
\*정회원, 한국건설기술연구원 연구원

\*\*정회원, 한국건설기술연구원 선임연구원

\*\*\*정회원, 한국건설기술연구원 수석연구원

\*\*\*\*정회원, 금오공과대학교 토목공학과 교수

본 실험에서는 UHPCC를 사용한 PSC 교량 거더의 거동을 파악하기 위하여 축소모형 거더를 제작하였다. 단면의 형상은 현재 국내에 일반적으로 적용되고 있는 국내 표준 PSC 거더 단면을 근거로 하고 ASSHTO 표준 PSC 거더 단면 및 Washinton주 표준 PSC 거더 단면을 참고하여 UHPCC의 특성을 효과적으로 발휘할 수 있는 단면으로 결정하였으며 각각 경간형고비( $L/h$ ), 초기긴장력( $P$ ), 복부폭( $bw$ ) 및 긴장재배치를 실험변수로 설정하여 시험체 12개를 제작하여 실험을 수행하였다. 12개의 시험체의 단면형상 및 치수는 <그림 1>과 같다.



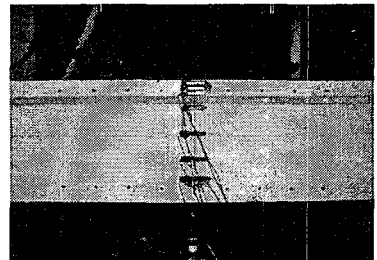
<그림 1> 시험체의 단면형상 및 치수

### 3. 시험체 제작

시험체의 제작공정은 재료건비빔 후, 배합수를 투입하고, 강섬유를 투입하는 순서로 하였으며 각 공정별로 정해진 시간과 방법에 따라 제작되었다. 플로우 및 공기량은  $21 \pm 2\text{cm}$ 와 3~4%가 되도록 배합설계를 하였으며 타설 후 양생은 상온에서 1일 습윤양생을 실시한 후  $80 \pm 5^\circ\text{C}$ 에서 1일 증기양생을 실시하였다. 이와 같은 방법은 이전의 연구결과로부터 1일 습윤양생 후 증기양생을 실시하는 것이 강도발현에 가장 효과적인 방법이기 때문이다. 양생이 끝난 후 긴장재를 절단하고 거푸집을 탈형한 시험체를 다시  $80 \pm 5^\circ\text{C}$  상태로 하루 더 증기양생을 실시하여 소요 압축강도를 발현하였으며 이후 실험재령까지 상온에서 습윤양생을 실시하였다. 각각의 실험조건에 대해 초고성능 시멘트 복합재료를 소요 압축강도  $150\text{MPa}$ 에 대해 <표 1>과 같은 배합설계를 통해 시험체를 제작하였으며 각각의 시험체에 대한 실험변수 값 및 재령별 발현 강도는 <표 2>와 같다.

### 4. 실험방법

100tonf 용량의 UTM을 이용하여 4점재하 시험을 실시하였다. 시편의 양쪽 단부로부터 일정한 거리에서 강재로울러를 설치하여 시편의 지지점으로 하였으며, 하중 가력점은 시편의 중심에서 각각 300mm씩 떨어진 곳에 위치시켰다. 따라서 두 가력점 사이의 600mm의 구간을 순수 휨 구간으로 하였다. 재하는 2.0mm/min의 속도로 변위제어 방식으로 실시하였으며, 작용하중에 대한 처짐을 측정하기 위하여 보의 중앙부에 변위계(LVDT)를 설치하였으며, 중앙단면에서의 각 하중단계에서의 높이별 변형률을 측정하기 위하여 콘크리트 변형률 게이지를 설치하여 측정하였다.



<그림 2> 측정게이지 및 LVDT 위치

<표 1> 시멘트 복합재의 기본 배합표(중량비)

W/B	시멘트	실리카폼	충전재	잔골재	고성능감수제
0.21	1	0.25	0.3	1.1	0.02

<표 2> 시험체의 분류 및 재령별 발현 강도 특성

구 분	경간형고비 (L/h)	초기 긴장력 ( $P_c$ , tonf)	강선배치	긴장재 절단 시 압축강도 (MPa)	양생완료 시 압축강도 (MPa)	실험재령에서의 강도특성			
						실험재령 (일)	압축강도 (MPa)	인장강도 (MPa)	탄성계수 (GPa)
FP-W7-L15	15	60	하부플랜지	112	143	26	159	12.9	47.8
HP-W7-L15	15	30	하부플랜지	120	137	21	149	11.5	47.5
NP-W7-L15	15	0	하부플랜지	124	139	18	150	10.8	45.5
FP-W7-L15-B	15	30(상) 60(하)	상·하부 플랜지	112	143	26	159	12.9	47.8
FP-W7-L10	10	60	하부플랜지	120	137	22	149	11.5	47.5
FP-W7-L10-B	10	30(상) 60(하)	상·하부 플랜지	124	139	19	150	10.8	45.5
FP-W5-L10	10	60	하부플랜지	127	145	32	161	12.8	48.3
HP-W5-L10	10	30	하부플랜지	120	137	22	149	11.5	47.5
NP-W5-L10	10	0	하부플랜지	112	143	27	159	12.9	47.8
FP-W5-L5	5	60	하부플랜지	127	145	33	161	12.8	48.3
HP-W5-L5	5	30	하부플랜지	120	137	23	149	11.5	47.5
NP-W5-L5	5	0	하부플랜지	119	143	28	159	12.9	47.8

\* FP-W7-L15-B :

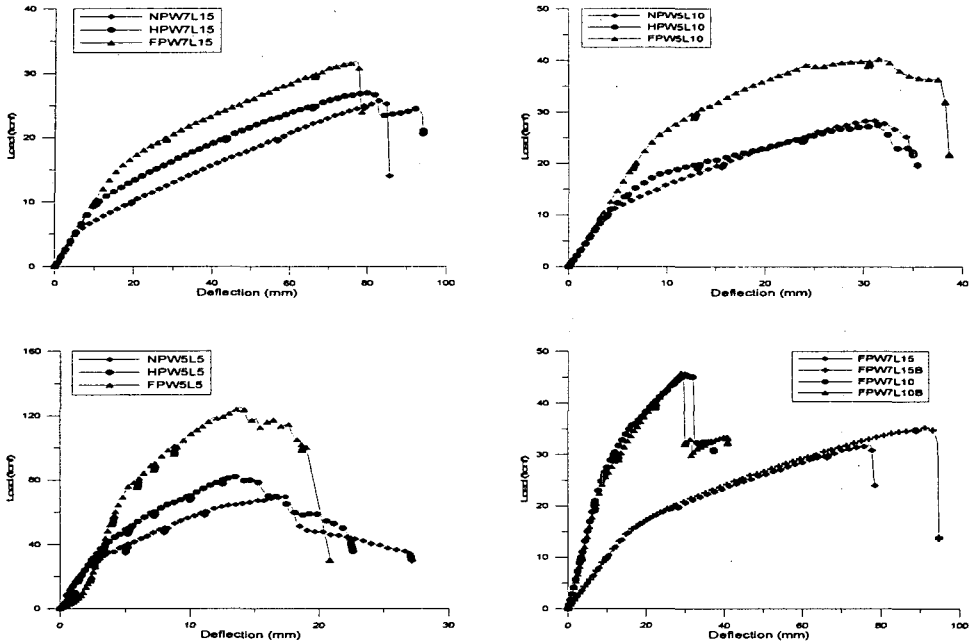
FP : 초기 긴장 시 작용하는 긴장력에 의해 상연에 발생하는 응력이 허용응력값  $0.5\sqrt{f_c}$  을 초과하지 않는 범위에서 작용시킬 수 있는 긴장력을 Pa라고 할 때 FP는 Pa가 작용한 상태를 의미함. 0.5Pa의 경우는 HP로 표시하고 강선에 긴장력이 없는 경우는 NP로 표시함.  
W7 : 복부(web)폭이 70mm임을 의미함. W5는 복부폭 50mm를 나타냄.  
L15 : 경간형고비(L/h) 15를 의미하며, L10, L5는 각각 경간형고비 10, 5를 나타냄.  
B : 상하부플랜지에 모두 프리스트레싱을 가한 경우를 의미함.

5. 실험결과 및 분석

UHPCC를 이용한 전단보강 없는 I형 단면의 PSC 거더 시험체의 파괴과정은 <표 3>으로 나타내었다. 파괴양상은 모두 전단파괴가 발생하였으며 동일한 경간형고비에 대해 긴장력 변화에 따른 균열하중 및 파괴하중을 살펴보면 <표 3>과 <그림 3>에서 보는 바와 같이 긴장력이 클수록 인장부에서

<표 3> 균열하중 및 극한하중 실험결과

구 분	최초균열 발생 (first cracking)		최초 사인장균열 발생 (first diagonal cracking)		극한상태 (ultimate state)	
	하중(tonf)	처짐(mm)	하중(tonf)	처짐(mm)	하중(tonf)	처짐(mm)
FP-W7-L15	12.9	13.2	26.9	53.4	31.9	77.1
HP-W7-L15	9.0	9.4	17.9	35.2	27.0	80.6
NP-W7-L15	6.1	7.4	11.4	24.3	25.9	83.6
FP-W7-L15-B	12.6	12.6	25.8	46.3	35.4	92.2
FP-W7-L10	24.8	8.5	35.8	16.4	45.6	30.1
FP-W7-L10-B	20.9	7.4	38.1	19.6	46.2	29.3
FP-W5-L10	19.9	6.7	30.4	13.4	40.4	31.9
HP-W5-L10	13.8	6.0	17.3	8.6	27.4	31.5
NP-W5-L10	9.4	3.6	14.2	8.1	28.3	31.0
FP-W5-L5	49.9	3.7	49.9	3.7	125.3	14.0
HP-W5-L5	37.2	3.1	42.5	3.9	82.2	13.8
NP-W5-L5	26.5	2.2	36.4	4.4	69.9	17.0



<그림 3> 하중-처짐 곡선 실험결과

초기에 큰 압축력이 작용하여 인장응력에 도달하기까지 하중저항력이 커져 초기균열하중이 증가하여 나타났고 사인장균열이 발생하는 하중 및 극한하중도 크게 나타났으며 극한상태의 처짐은 상대적으로 적게 나타났다. 그리고 하부강선에 60tonf를 긴장한 경우와 하부강선 60tonf, 상부강선 30tonf를 함께 긴장한 경우를 비교해 보면 상부긴장에 따른 거동의 변화는 극한하중 상태의 처짐이 증가하는 것 외에는 거의 변화가 없는 것으로 나타났다.

## 6. 결론

본 연구에서는 초고성능 시멘트 복합재료를 활용하여 전단보강이 없는 I형 PSC 보의 거동특성에 관한 실험을 수행하였으며 실험변수에 따른 하중-처짐 관계, 균열형상 등을 살펴보았다. 실험결과, 기존의 PSC의 휨강도 및 전단강도 평가식은 UHPCC의 하중저항력을 다소 과소평가하고 있으며 이를 고려한 평가가 되어야 할 것으로 판단된다.

## 감사의 글

본 연구는 건교부 2004년도 산·학·연 과제 ‘초고성능 시멘트 복합재료를 활용한 교량거더 개발’에 관한 일련의 연구로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

## 참고문헌

1. ACI Committee 318, "Building Code Requirement for Reinforcement Concrete (ACI 318-99) and Commentary (318-99R)", American Concrete Institute, Detroit, 1999, pp. 133-180.
2. 한국건설기술연구원, "초고성능 시멘트 복합재료를 활용한 교량 거더 개발", 건설교통부, 2004.