

# 초고성능 콘크리트의 I형 PSC거더 적용성에 관한 고찰

## On Applicability of Ultra High Performance Concrete for Prestressed Concrete I-Girder

강수태<sup>\*</sup> 박정준<sup>\*</sup> 류금성<sup>\*</sup> 고경택<sup>\*\*</sup> 김성욱<sup>\*\*\*</sup> 한녹희<sup>\*\*\*\*</sup>  
Kang, Su Tae Park, Jung Jun Ryu, Gum Sung Koh, Kyung Taek Kim, Sung Wook Han, Nock Hee

### ABSTRACT

Ultra high performance concrete(UHPC) has an excellent strength, toughness, and durability. It seems that it is very efficiently applicable for various structures such as bridge, building. When it is used to bridge girder, It is possible to reduce the amount of concrete and steel, to cut down costs for construction. This paper estimated whether it was applicable and how it was efficient. It was confirmed that the height of girder could be reduced by 40% or more in using UHPC. We can also think that the stirrups can be removed considering the ductile tensile behavior of UHPC and that its very high compressive strength make the anchor plate smaller from this study.

### 1. 서론

입경 1mm이하의 입자들의 적절한 비율로 구성되며 일반적으로 RPC(Reactive Powder Concrete)라고 일컬어지는 시멘트 기반 매트릭스에 고강도 콘크리트에서 문제 시 되는 취성거동을 보완하기 위하여 강섬유가 보강된 초고성능 콘크리트는 매우 높은 강도를 나타냄과 동시에 인성 및 내구성 측면에서도 매우 우수한 성능을 발휘한다. 이와 같은 많은 장점으로 초고성능 콘크리트는 1997년 캐나다의 sherbrook 보도 교량에 처음으로 적용된 이후 호주, 일본, 미국, 독일 등 많은 나라에서 구조물 적용사례가 점차 늘어나고 있다. 초고성능 콘크리트는 단위체적 당 콘크리트의 제조비용은 비록 일반 콘크리트에 비해 비싸지만 단면의 절감, 철근량의 감소 등의 효과와 유지관리 비용의 절감 등을 종합적으로 고려해 볼 때 훨씬 경제적인 것으로 판단된다. 본 연구에서는 초고성능 콘크리트를 I형 PSC 거더에 적용하였을 경우에 대해 단면절감 효과와 시공단계별 안전성 및 사용성 등에 대해 검토하였다.

### 2. 적용대상 및 검토조건

#### 2.1 적용대상

- \* 정회원, 한국건설기술연구원 연구원
- \*\* 정회원, 한국건설기술연구원 선임연구원
- \*\*\* 정회원, 한국건설기술연구원 수석연구원
- \*\*\*\* 정회원, (주)효명ECS 대표이사

본 연구에서는 초고성능 콘크리트(UHPC)를 활용하여 PSC거더교를 제작할 경우, 시공단계별 안전성에 대한 검토를 바탕으로 단면을 얼마나 축소할 수 있는지에 대한 해석적 평가를 실시하였으며, 검토대상 교량은 현재 도로교에서 표준적으로 적용하고 있는 지간장 30.0m, 형고 2.0m의 형상을 가진 PSC거더교를 대상으로 하였다.

## 2.2 검토조건

초고성능 콘크리트의 대상 구조물 적용성 평가를 위한 검토조건은 다음과 같다. PSC거더에 사용되는 초고성능 콘크리트에 대한 물리상수는 현행 도로교설계기준(2005)<sup>1)</sup> 4.2.3에서 규정하고 있는 계산식을 적용하였고, 또한 허용응력은 도로교설계기준(2005) 4.6.3.3에서 규정한 기준을 적용하였다. 제작공정 상의 프리스트레싱은 기존의 PSC거더교 제작방법과 동일한 포스트텐션 공법을 적용하는 것으로 가정하였으며, PS강재는 다양한 형상으로 배치가 가능하나, 기존의 PSC거더교의 PS강재 배치와 유사한 형상으로 배치하고 PS강선의 본수도 4본으로 가정하였으며, 계산된 응력에 따라 PS강선의 단면적을 조정하여 적절한 강재량을 결정하였다. 정착구의 경우, 거더높이가 낮아질 경우 거더 단부의 단면이 감소하여 현재 사용되는 정착구 지압판을 배치하기가 어려워지지만, PSC거더에 사용되는 콘크리트의 압축강도가 증가하게 되면 지압판의 규격도 줄어들게 되는 점 등을 감안하여 본 검토에서는 기존 PSC거더와 유사하게 정착구를 배치하는 것으로 가정하였다.

대상구조물인 PSC 거더의 거더높이는 표 1에서와 같이 기존의 표준 PSC거더교의 높이인 2.0m로부터 0.1m씩 줄여 1.2m까지 검토를 수행하였다.

표 1 검토조건 구분에 따른 설계 관련 제한

No	$f_{ck}$ (MPa)	높이(mm)	PS강재 단면적
1	40	2,000	Ø12.7-12T-4EA (A=47.38cm <sup>2</sup> )
2	180	2,000	Ø12.7-12T-4EA (A=47.38cm <sup>2</sup> )
3	180	1,900	Ø12.7-12T-4EA (A=47.38cm <sup>2</sup> )
4	180	1,800	Ø12.7-12T-4EA (A=47.38cm <sup>2</sup> )
5	180	1,700	Ø12.7-12T-4EA (A=47.38cm <sup>2</sup> )
6	180	1,600	Ø15.2-12T-4EA (A=66.58cm <sup>2</sup> )
7	180	1,500	Ø15.2-12T-4EA (A=66.58cm <sup>2</sup> )
8	180	1,400	Ø15.2-12T-4EA (A=66.58cm <sup>2</sup> )
9	180	1,300	Ø15.2-12T-4EA (A=66.58cm <sup>2</sup> )
10	180	1,200	Ø12.7-19T-4EA (A=75.02cm <sup>2</sup> )

## 2.3 검토 시 설계에 반영된 UHPC의 재료 특성

초고성능 콘크리트의 기존 실험결과<sup>2,3)</sup>를 근거로 하여 압축강도는 180MPa로 가정하였으며, 평균인장강도는 10MPa, 탄성계수는 45GPa로 가정하여 설계에 반영하였다. 크리프 계수는 열처리 전에는 극한크리프 계수 2.27을 적용하였으며, 열처리 후에는 0.3을 적용하였으며, 건조수축은 열처리 후에는 발생하지 않는다고 가정하였다.

## 3 검토결과

### 3.1 휨모멘트에 대한 검토

형고감소에 따른 휨응력의 변화는 프리스트레싱에 의한 것보다 총하중에 의한 휨응력의 변화값이 상대적으로 크게 발생한다. 프리스트레스 도입직후 및 사용하중 작용 시 상연 또는 하연에 작용하는 압축응력은 모든 경우에 대해 허용값에 비해 여유가 많다. 설계 시에는 일반적으로 프리스트레스 도입직후의 상연의 인장응력과 사용하중 상태에서의 하연의 인장응력에 의해 형고 감소와 긴장력이 결정되어지는데, 그림 1과 그림 4에서 보는 바와 같이 동일한 휨모멘트를 저항하기 위해서는 형고의 감소는 긴장력의 증가와 함께 고려되어야 하며, 검토결과로부터 형고를 1.2m까지 줄여도 시공단계별 휨응력에 대해서 안전한 것으로 판단되며, 형고를 더 줄일 수도 있을 것으로 보이나, 장·단축에 대한 단면의 효율성 등 여러 가지 측면들을 고려할 때 그 이하로 형고를 줄이는 것보다는 플랜지 폭 또는 복

부 폭의 축소를 통해 전반적인 단면의 축소가 보다 효율적일 것으로 판단된다.

### 3.2 전단력에 대한 검토

설계 단면의 휨응력 조건의 만족과 더불어 반드시 전단력에 대한 검토가 필요하며, 작용전단력과 비교하여 이에 대한 적절한 전단보강을 필요로 한다. 해석은 전단력이 가장 크게 작용하는 지점부에 대해 수행하였으며 그 결과는 그림 5와 같다. 그림 5에서 보는 바와 같이 콘크리트의 저항전단력은 모든 경우에 대해 약 340에서 380tonf 범위에 있으며, 강도감소계수를 고려한 저항전단력( $\Phi V_c$ )은 작용전단력( $V_u$ )보다 2배 이상 크게 나타났다. Habel<sup>4)</sup>의 실험결과에 따르면 UHPC의 인장거동은 충분한 연성을 가지는 것으로 나타났으며 따라서 추가적인 실험 등에 의해 전단철근의 생략이 가능함을 보인다면 최소전단철근의 생략까지 가능할 것으로 판단된다. 하지만 이에 대한 충분한 실험적 검증과 함께 추가적인 연구와 함께 신중한 접근이 요구된다.

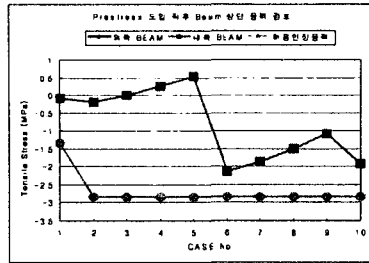


그림 1 프리스트레스 도입직후 상면응력

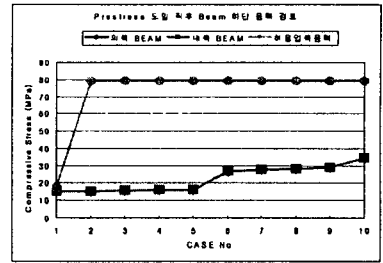


그림 2 프리스트레스 도입직후 하면응력

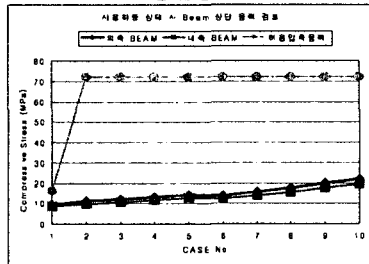


그림 3 사용하중 작용시 상면응력

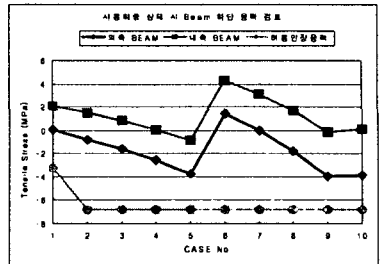


그림 4 사용하중 작용시 하면응력

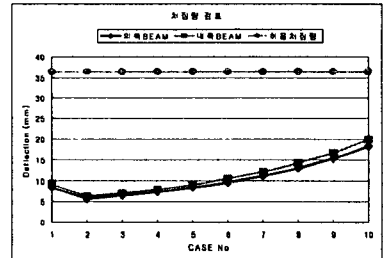


그림 6 처짐량 검토결과

### 3.3 처짐량 검토

단면의 감소는 강성의 감소로 이어져 사용성 측면에서 볼 때 불리한 요소가 된다. 따라서 처짐에 대한 검토를 실시하였다. 중앙단면에서의 처짐량을 검토한 결과, 그림 6과 같은 결과를 볼 수 있었다. 도로교 설계기준에 따르면 허용처짐량은  $L/800$ 로 하고 있으며 그 값은 약 36.84mm이다. 해석결과 가장 처짐이 많이 발생한 No.10의 경우 발생 처짐량이 19.80mm로 허용범위 내에서 충분히 여유가 있음을 알 수 있다.

### 3.4 지압응력 검토

현재 사용되는 정착판 제품 중 최소 규격은 가로, 세로 각각 240mm의 크기를 가진다. 프리스트레스 부재에서 단면은 정착판의 크기에 의해 제약을 받게 된다. 따라서 많은 수의 긴장재를 사용할 경우 단부에서 유효단면을 확보하지 못하는 문제가 발생하여 단면의 효율적 사용에 제약적 요소로 작용하고 있다. UHPC를 사용하여 PSC 거더를 제작할 경우, 축소된 단면과 동일한 휨모멘트 저항력을 가지기 위해서는 보다 많은 긴장재의 수가 필요하게 되고 따라서 단부에서 정착을 위해서 상대적으로 큰 유효단면이 요구된다. 이와 같은 요인은 단면을 절감하는데 제약 요인으로 작용하게 된다. 그러나

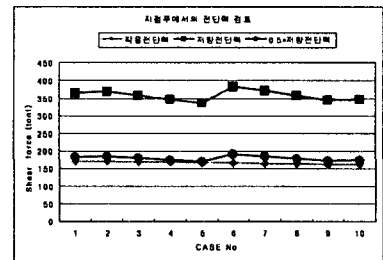


그림 5 지점부에서의 전단력 검토결과

UHPC를 사용할 경우 일반콘크리트에 비해 7~8배 이상의 압축강도를 나타내기 때문에 허용지압응력이 상당히 크게 되므로 동일한 긴장력에 대해 정착판의 유효단면을 상당히 줄일 수 있을 것으로 판단된다. 그림 7과 그림 8은 각 경우별 정착위치에서 가장 긴장력이 많이 작용하는 긴장재에 대해 작용지압응력과 허용지압응력을 나타낸 것이다. 그림 7, 8에서 볼 수 있는 바와 같이 현재의 최소규격 지압판을 사용할 경우, UHPC를 사용한 거더는 모든 형고 범위에서 허용지압응력까지 상당히 큰 여유가 있음을 확인할 수 있다.

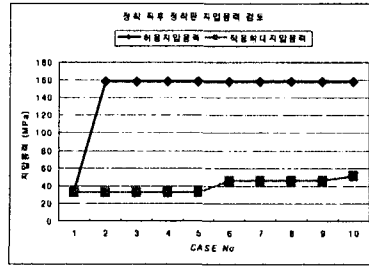


그림 7 정착 직후의 지압응력 검토결과

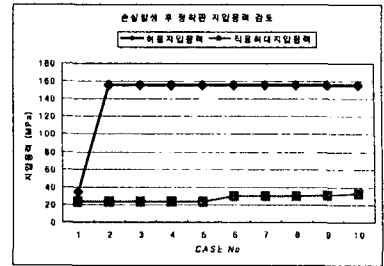


그림 8 손실발생 후 정착판 지압응력 검토결과

#### 4. 결론

- (1) 본 연구에서는 초고성능 콘크리트의 I형 PSC거더 적용성에 대한 평가를 실시하였다.
- (2) 현행 표준단면의 I형 PSC거더를 초고성능 콘크리트를 사용하여 설계할 경우, 거더의 형고를 40% 이상 줄일 수 있는 것으로 나타났다.
- (3) 전단력에 대한 검토 결과, 모든 경우에 대해 저항전단력이 작용전단력에 비해 2배 이상 높은 것으로 나타났으며 UHPC의 연성거동 특성을 충분히 반영한다면 전단스터립 공정의 생략이 가능할 것으로 판단된다.
- (4) 사용성 측면에서 처짐량이 허용값에 대해 상당히 여유가 있는 것으로 나타났으며, UHSC의 높은 압축강도 특성을 고려할 때 정착판 크기의 축소가 가능할 것으로 판단된다.

#### 감사의 글

본 연구는 2005년도 건설교통부의 건설핵심기술연구개발사업인 고성능/다기능 콘크리트의 개발 및 활용기술 개발(과제번호: 05-CCT-D11)에 관한 일련의 연구로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

#### 참고문헌

1. 건설교통부, 도로교설계기준, 2005
2. 한국건설기술연구원, 콘크리트 교량의 내구성 향상 기술 개발, 한국건설기술연구원, 2005
3. 한국건설기술연구원, 초고성능 시멘트 복합체를 활용한 교량 거더 개발, 건설교통부, 2005
4. Habel, 'Structural Behavior of Elements Combining UHPFRC and Reinforced Concrete', Doctorial Thesis, 2005