

# 경제성을 고려한 초고강도 강섬유보강 콘크리트의 구성인자 분석

## The Analysis about Economical Composition in Ultra High Strength Fiber Reinforced Concrete

강수태<sup>\*</sup> 박정준<sup>\*\*</sup> 류금성<sup>\*\*</sup> 고경택<sup>\*\*\*</sup> 김성욱<sup>\*\*\*</sup> 이장화<sup>\*\*\*\*</sup>  
Kang, Su Tae Park, Jung Jun Ryu, Gum Sung Koh, Kyung Taek Kim, Sung Wook Lee, Jang Hwa

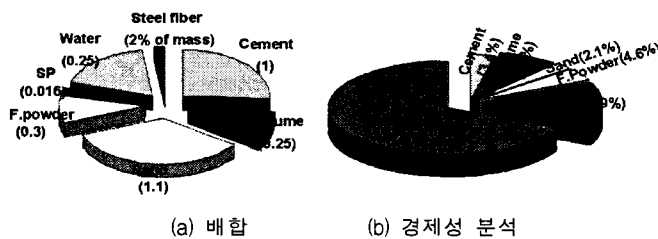
### ABSTRACT

In manufacturing Ultra high strength fiber reinforced concrete(UHSFRC), steel fiber, super-plasticizer and silica fume are important but they are imported materials therefore very expensive. consequently it is necessary to find substitutes of them or to develop producing techniques in order to manufacture UHSFRC economically.

In this study, we investigated if it was possible to substitute blast-furnace slag instead of silica fume and steel fiber of home manufacture instead of one of overseas manufacture.

### 1. 서론

기존 연구에서 개발된 초고강도 강섬유보강 콘크리트는 실리카폼, 고성능감수제 및 강섬유 등 고가의 재료를 대량으로 사용하고 있어 경제성에 다소 문제점이 있다. <그림 1>은 강섬유보강 콘크리트 배합의 구성인자에 따른 경제성 분석결과이다. 강섬유보강 콘크리트를 제조하는데 비용을 가장 많이 차지하는 재료는 강섬유로서 제조원가에 68% 정도로 나타났고, 고성능 감수제 및 실리카폼이 각각 13.9%, 8.1%으로 나타났다. 따라서 강섬유보강 콘크리트 제조하는데 있어서 경제성의 문제점을 해결하기 위해서는 수입에 의존하는 고가의 강섬유, 고성능 감수제 및 실리카폼을 국산화하거나 대체재료를 검토할 필요가 있다. 따라서 본 연구에서는 경제성을 고려한 적정 강섬유보강 콘크리트의 적정 배합을 도출하기 위해서 실리카폼의 대체재료 분석 및 강섬유의 국산화 여부를 검토하였다.



<그림 1> 강섬유보강 콘크리트의 배합 및 경제성 분석

\*정회원, 한국건설기술연구원 연구원  
\*\*정회원, 한국건설기술연구원 선임연구위원  
\*\*\*정회원, 한국건설기술연구원 수석연구위원  
\*\*\*\*정회원, 한국건설기술연구원 연구위원

## 2. 실리카폼 대체재료의 분석 실험

### 2.1 실험개요

실리카폼의 대체재료를 분석하기 위해 <표 1>에 나타난 바와 같이 두 가지로 구분하여 실험을 실시하였다. Series I에서는 실리카폼을 대체하기 위하여 고로슬래그 미분말과 플라이애쉬와 같은 광물질 혼화재료 사용을 검토하였고, Series II에서는 고로슬래그 미분말 분말도의 영향을 검토하였다. Series I에서 실리카폼은 시멘트 대비 0, 0.125, 0.25, 0.25, 플라이애쉬는 0.1, 0.2, 0.3, 고로슬래그 미분말(분말도 4,000 $\text{cm}^2/\text{g}$ )은 0.2, 0.4, 0.6으로 하였다. 그리고 Series II에서 고로슬래그 미분말 분말도 4,000, 6,000, 8,000 $\text{cm}^2/\text{g}$  3종류에 대해 실리카폼 0.125와 고로슬래그 미분말 0.125의 조합, 실리카폼 0과 고로슬래그 미분말 0.25의 조합, 모두 6 종류에 대해 검토하였다.

유동성을 평가하기 위하여 KS L 5105에서 제시된 시험기구를 이용하여 시멘트 페이스트의 이동이 멈춘 후 퍼진 최대직경과 그것에 교차하는 위치에서의 직경을 측정하여 두 직경의 평균치를 플로우치로 측정하였다. 온도 20 $^{\circ}\text{C}$ , 상대습도 65%가 되는 조건에서 젖은 양생포를 이용한 습윤양생을 1일간 실시한 후 공시체를 탈형하고, 그 후 온도 90 $\pm$ 2 $^{\circ}\text{C}$ 에서 증기양생을 3일 동안 실시하여 20 $^{\circ}\text{C}$ 에서 상대습도 65% 유지된 상태에서 3일간 양생 후 압축강도를 측정하였다.

<표 1> 실리카폼 대체재료의 분석 실험변수 및 배합

재 료		상 대 비
물-결합재비		0.20
시멘트		1
Series I	실리카 폼	0, 0.125, 0.25
	플라이애쉬	0.1, 0.2, 0.3
	고로슬래그 미분말	0.2, 0.4, 0.6
Series II	고로슬래그	4000 SF0.125+BS0.125, SF0+BS0.25
	미분말	6000 SF0.125+BS0.125, SF0+BS0.25
		8000 SF0.125+BS0.125, SF0+BS0.25
골 재		1.1
충전재		0.3
고성능감수제		0.02
강섬유		콘크리트 체적의 2%

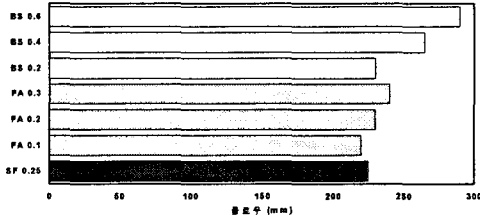
<표 2> 시멘트 및 광물질 혼화재의 물리·화학적 성질

Item Type	Surface Area ( $\text{cm}^2/\text{g}$ )	Density ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	Ig.loss (%)	Chemical composition (%)					
				SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>
OPC	3,413	3.15	1.40	21.01	6.40	3.12	61.33	3.02	2.14
FA	3,850	2.13	3.82	65.3	16.6	5.58	-	0.82	0.51
BS4000	4,463	2.91	0.05	34.56	15.80	0.09	43.3	5.90	2.78
BS6000	6,240	2.91	0.05	33.80	14.50	0.01	42.1	5.80	1.89
BS8000	8,350	2.91	0.05	33.20	14.40	0.02	41.0	5.50	1.12
SF	240,000	2.10	1.50	96.00	0.25	0.12	0.38	0.1	-

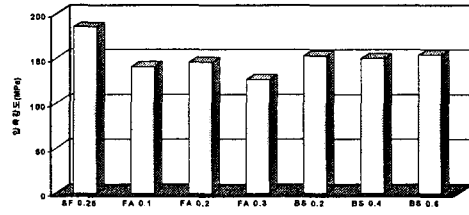
### 2.2 실험결과 및 고찰

<그림 2>에 광물질 혼화재의 종류에 따른 유동성을 나타내었다. SF 0.25는 압축강도 180MPa를 발현하는 적정 배합의 플로우를 나타낸 것으로 225mm의 플로우 값을 나타내고 있다. 그리고 플라이애쉬와 고로슬래그 미분말을 사용한 경우 광물질 혼화재의 첨가비가 증가할수록 유동성이 향상되고 있음을 알 수 있었다. 따라서 고로슬래그 미분말을 실리카폼의 대체재료로 선택하여 사용한다면 소정의 유동성을 확보하는 데 필요한 고성능 감수제 사용량을 감소시킬 수 있으므로 경제적으로 강섬유보강 콘크리트를 제조할 수 있을 것으로 판단된다. <그림 3>은 광물질 혼화재의 종류에 따른 강섬유보강 콘크리트의 압축강도 시험결과이다. 강섬유보강 콘크리트의 적정배합을 통해 제조된 SF 0.25는 압축강도가 약 180MPa를 나타내고 있다. 플라이애쉬의 경우 첨가비 0.1, 0.2는 약 140MPa를 나타내었고, 첨가비 0.3에서는 약 130MPa로 다소 감소하는 경향을 나타내었다. 한편 고로슬래그의 경우 모든 첨가비에서 150MPa 정도로 비슷한 압축강도를 나타내었다. 따라서 초고강도 강섬유보강 콘크리트의 제조

에 있어 실리카폼 대신 플라이애쉬나 고로슬래그 미분말을 사용하여도 140~150MPa의 압축강도를 얻을 수 있으며, 유동성 또한 양호하기 때문에 대체재료로 충분히 가능성이 있음을 알 수 있다. <그림 3>에서 압축강도의 발현형태가 실리카폼 > 고로슬래그 미분말 > 플라이애쉬 순으로 나타난 것을 통해 혼화재 종류에 따른 압축강도의 차이의 원인은 분말도 차이에 기인하는 것으로 판단된다.

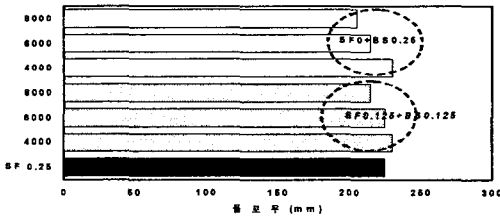


<그림 2> 광물질 혼화재의 종류에 따른 유동성

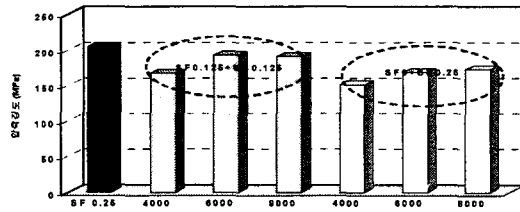


<그림 3> 광물질 혼화재의 종류에 따른 압축강도

<그림 4>에 고로슬래그 미분말이 유동성에 미치는 영향을 나타내었다. 고로슬래그 미분말의 분말도 클수록 유동성이 다소 작아지고 있으나, 그 영향은 그리 크지 않는 것으로 나타났다. 그리고 실리카폼 0.25에 대해 고로슬래그 미분말로 50% 치환한 0.125 배합시리즈가 실리카폼에 대해 고로슬래그 미분말로 완전히 치환한 0.25 배합시리즈에 비해 다소 유동성이 높게 나타났다. 그러나 모두 200mm 이상의 플로우 값을 나타내 유동성이 SF 0.25에 비해 차이가 매우 적으며 소정의 유동성을 확보하는 데 어려움이 없을 것으로 판단된다. <그림 5>는 고로슬래그 미분말이 압축강도에 미치는 영향을 나타내었다. 실리카폼 0.25에 대해 고로슬래그 미분말로 50% 치환한 0.125 배합 시리즈에서 분말도 6000, 8000의 경우에는 압축강도가 각각 180MPa 이상이고, 고로슬래그 미분말로 완전히 치환하고 분말도를 변화시킨 경우 분말도가 증가할수록 압축강도가 증가하였다.



<그림 4> 고로슬래그 미분말이 유동성에 미치는 영향



<그림 5> 고로슬래그 미분말이 압축강도에 미치는 영향

### 3. 고탄성 강섬유의 국산화 연구

#### 3.1 실험개요

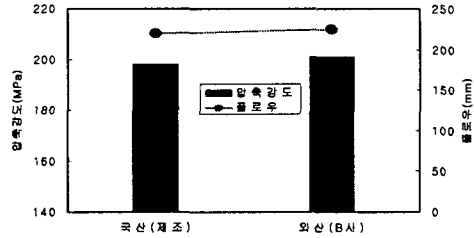
Richard, P. 등의 200MPa 급 초고강도 강섬유 보강 콘크리트를 박스 거더에 적용하는 연구에서 강섬유를 혼입하지 않은 초고강도 콘크리트의 제조비는 500\$/m<sup>3</sup>, 강섬유를 혼입한 경우에는 1,400\$/m<sup>3</sup>로 강섬유를 혼입함으로써 제조비가 3배 정도 상승하는 것으로 나타났다. 본 절에서는 초고강도 강섬유보강 콘크리트의 제조에 필요한 고탄성용 강섬유의 국산화를 위해 국내 생산여부 조사 및 시범 생산된 강섬유를 이용하여 초고강도 강섬유보강 콘크리트를 제조하여 그 물성을 평가하였다.

본 연구에서 사용되는 강섬유는 인장강도가 2,000MPa 이상인 고탄성을 지니고 직경도 0.2mm로 상당히 가는 것으로 국내에서 이런 정도의 고탄성용 강섬유 코드(steel cord)는 자동차 타이어 보강용으로 생산되고 있으며, 강섬유 코드의 인장강도를 측정된 결과, 4,265MPa로 상당히 높고 외국의 강섬유보다 품질이 더욱 우수한 것으로 나타났다. 따라서 국내 강섬유 코드를 활용한다면 초고강도 강섬유보

강 콘크리트용 강섬유를 충분히 제조가 가능할 것으로 판단된다. 본 연구에서는 국내 자동차 타이어 보강용 강섬유 코드를 이용하여 수작업을 통해 강섬유를 시범 제조하였다. 그 결과, 시범 제조된 강섬유는 수작업의 관계로 섬유 길이가 약간 편차가 있는 것을 제외하고 차이가 없는 것으로 나타났다.

### 3.3 물성평가

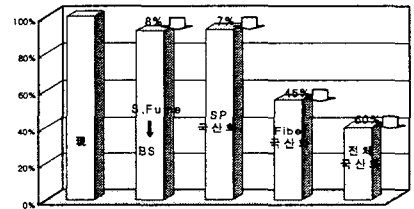
<그림 6>은 국내산 강섬유와 외국산 강섬유를 사용한 강섬유보강 콘크리트의 유동성 및 압축강도를 비교한 결과이다. 그 결과, 시범 제조된 국내산 강섬유를 사용하여 초고강도 강섬유보강 콘크리트를 제조하더라도 외국에서 고가로 수입하는 강섬유와 비교하더라도 유동성 및 강도에 영향을 주지 않는 것으로 나타났다. 따라서 국내의 자동차 타이어 보강용 강섬유 코드를 이용할 경우, 제조에 필요한 고탄성용 강섬유를 충분히 생산 가능하며, 향후 대량 생산체제를 구축한다면 고가의 외국산 강섬유를 사용하지 않더라도 다양한 강섬유보강 콘크리트 개발이 가능하게 될 것이다.



<그림 6> 국내산 및 외국산 강섬유 사용 시의 물성 비교

### 4. 경제성 분석

본 연구에서 고성능 감수제의 국산화에 대해 검토가 이루어지지 않았으나, 현재 국내 고성능 감수제의 생산 회사들과 협조를 받아 초고강도 강섬유보강 콘크리트의 제조에 필요한 고성능 감수제를 검토하고 있다. 현재로서 충분히 국산화가 이루어질 것으로 판단되며, 그 경우 가격은 현재의 1/2 정도로 형성될 것으로 추정하고 있다. <표 3>은 현재 수입가격과 국산화된 재료의 가격을 비교한 결과이고, <그림 7>은 국산화된 강섬유보강 콘크리트의 경제성을 분석한 결과이다. 실리카폼을 고로슬래그 미분말로 대체할 경우에는 현재보다 8% 정도 향상되고, 고성능 감수제가 국산화될 경우에는 7% 정도 향상되며, 강섬유가 국산화가 될 경우에는 45% 정도가 향상된다. 따라서 실리카폼, 고성능 감수제 및 강섬유를 대체 및 국산화할 경우에는 현재의 강섬유보강 콘크리트의 제조원가보다 60%를 절감할 수 있는 것으로 분석되었다.



<그림 7> 국산화 강섬유보강 콘크리트의 경제성 분석

<표 3> 시멘트 및 광물질 혼화재의 물리·화학적 성질

항목	현재	국산화	비고
실리카폼을 고로슬래그로 대체	850원/kg	44원/kg	
강섬유	9,000원/kg	3,000원/kg	추정단가, 대량 생산의 경우
고성능 감수제	16,000원/kg	8,000원/kg	더욱 가격 절감 가능

### 참고문헌

- Richard, P. and Cheyreyz, M. H., "Reactive Powder Concrete", Cement and Concrete Research, Vol. 25, No. 7, 1995.
- 한국건설기술연구원, "콘크리트 교량의 내구성 향상 기술 개발", 2005.
- 한국건설기술연구원, "초고성능 시멘트 복합재료를 활용한 교량 거더 개발", 건설교통부, 2005.