

# 세퍼레이터 백필터 집진 미립자시멘트 (SBFC : Separator Bag Filter Cement)의 활용성 검토

## Investigation for Utilization of Separator Bag Filter Cement

(2010년 9월 1일 원고접수, 2010년 9월 13일 심사완료/ Received September 1, Accepted September 13, 2010)

김경민<sup>1)\*</sup>, 박상준<sup>1)</sup>, 유재강<sup>1)</sup>, 이의배<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> 대우건설기술연구원 건축연구팀

Kyoung-Min Kim, Sang-Joon Park, Jea-Kang Yoo, Eui-Bae Lee

<sup>1)</sup> Architectural Technology Research Team, DEAWOO E&C, Suwon, 440-800, KOREA

### Abstract

This paper presents the feasibility of incorporating ultrafine particles collected in the separator bag filter (separator bag filter cement, SBFC) during the cement manufacturing process as a substitution material for cement. SBFC does not require additional processes needed in the existing processes to manufacture high early strength cement such as modifying mineral components and adjusting the firing temperature. Moreover, it can also solve the issue of efficiency decrease resulted from the increase of the grinding time applied in the existing process of manufacturing microcement. Therefore, this research has examined the characteristics of SBFC and fresh properties and mechanical properties after making paste and mortar using SBFC in order to use SBFC as a material to gain early strength of concrete. For results, analyzing the chemical composition and physical properties of SBFC, its blaine value was 6,953cm<sup>2</sup>/g, about double than that of OPC, but its chemical composition showed no significant difference. According to the result of the paste and mortar examination, the paste and mortar mixed with SBFC showed a lower flowability, earlier setting time, and higher compressive strength than that with OPC. The result of microstructure analysis of paste, the paste mixed with SBFC indicated about 9% lower internal porosity at an early age than that of OPC. The compressive strength and flexural strength of mortar were higher in the order of SBFC ratio of 100, 50 and 0% SBFC.

**키워드** : 세퍼레이터 백필터 집진 미립자시멘트, 조기강도

**Keywords** : Collected in the Separator Bag Filter during the Process of Manufacturing Cement(SBFC), High Early Strength

## 1. 서론

건설현장의 골조공사 공기단축 기술은 건설산업 발전을 위해 매우 중요하게 인식되고 있다. 현재 시스템 거푸집, 선조립 철근의 사용 등 여러가지 방법들이 사용되고 있지만 이와 같은 방법의 활용시에도 병용되어야 할 요소는 콘크리트의 조기강도 발현에 의한 거푸집 제거 시기의 단축이다. 이를 위해 조강시멘트의 사용, 조강성 화학혼화제의 사용 등이 제시되고 있지만 공사비의 증가, 성능 발현의 한계에 의해 널리 사용되지 못하고 있는 실정이다. 따

라서 이와 같은 문제에 부응하는 특수 시멘트의 요구가 점차 증대되고 있지만, 대량생산을 목적으로 하는 몇몇의 규격 시멘트만을 주력으로 생산하고 있는 실정이다.1)

따라서 이와 같은 문제점을 해결하고자 기존의 보통포틀랜드 시멘트 분쇄과정 중 Separator Bag Filter에서 집진되는 입자가 작은 시멘트 (이하 SBFC라 함)를 별도의 우회배관 설비로 포집하여 조강성 시멘트로서 활용하는 연구를 진행 중에 있다. 이러한 방법의 시멘트는 조강시멘트 제조과정에서 요구되는 광물의 성분조정 및 소성온도 조절과 같은 추가 공정이 없으며, 기존 마이크로시멘트의 분쇄시간을 증가시켜 미분쇄함에 따른 경제성 저하에 대한 단점을 해결할 수 있다.

\* Corresponding author

E-mail: kmkim@dwconst.co.kr

따라서 본 연구에서는 SBFC의 기본 성능을 분석하고, 페이스트 및 모르타에서의 공학적 특성을 검토하여, 향후 경제적인 조강콘크리트 개발을 위한 방안으로 활용하고자 한다.

Table 1. Experiment Factor and Types

Factor		Types	
I	Chemical & Physical Properties	3	Chemical, Blaine, Grade
	Exp. Item	Paste Properties	3 Ring Flow, Setting Time, Compressive Strength
		Microstructure Analysis	1 Porosity (3, 28days)
II	Mix. Item	Mix Ratio	3 1:1, 1:3, 1:5
		Binder Type	3 OPC, SBFC, OPC+SBFC (1:1)
		Flow	1 150 ± 10 mm
Exp. Item	Fresh Mortar	3	Flow, Air Content, Setting Time
	Hardened Mortar	2	Compressive Strength (1, 3, 7, 28days), Flexural Strength (1, 3, 7, 28days)

Table 2. Mix Design of Mortar

Mix Ratio	W/C (%)	Absolute volume (1/m <sup>3</sup> )			Unit weight (kg/m <sup>3</sup> )		
		W	C	S	W	C	S
1:1	28.0	279	317	394	279	998	998
1:3	50.8	250	156	583	250	492	1,476
1:5	73.4	240	103	646	240	327	1,635

## 2. 실험계획 및 방법

### 2.1 실험계획

본 연구의 실험계획은 Table 1과 같다. 먼저, 시리즈 I에서는 본 연구의 대상재료인 SBFC의 화학성분 분석을 실시한 후 기초 물성시험 및 미세구조 분석을 페이스트 상태에서 진행하는 것으로 계획하였다. 시리즈 II에서는 모르타 3종류의 결합재 (OPC, SBFC, OPC+SBFC)에 대하여 굳지않은 모르타의 기초물성 및 경화 모르타의 압축강도와 휨강도를 측정하는 것으로 실험 계획하였다. 모르타의 배합사항은 Table 2와 같다.

## 2.2 사용재료

본 연구의 사용재료로서 시멘트는 한국 A사의 시멘트 분쇄공정 중 Separator Bag Filter에서 집진된SBFC 및 OPC를 사용하였다. 모르타 실험에 사용된 잔골재는 밀도 2.68 g/cm<sup>3</sup>, 조립율 3.03 % 강모래를 사용하였다.

Table 3. Chemical properties and Module

Item	Chemical properties (%)								Module		
	LOI	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>	K <sub>2</sub> O	LSF	SM	IM
SBFC	0.54	21.24	5.01	3.68	62.91	2.00	3.17	1.31	89.55	2.44	1.36
OPC	0.35	21.88	5.02	3.66	64.18	2.01	1.83	0.92	90.44	2.52	1.37

Table 4. Blaine properties

Item	n	Blaine (cm <sup>2</sup> /g)	Sieve (%)	
			44 μmR	88 μmR
SBFC	6	6,953	4.2	0.1
OPC	6	3,380	7.0	0.5

### 2.3 실험방법

시리즈 I에서는 화학분석을 X-Ray Fluoresc. (XRF) 분석기를 이용하였고, 입도분석 시험은 입도분석기를 이용하여 입도분포 및 입자크기를 측정하였다. 또한, 미세구조 분석은 페이스트 물시멘트비 50%에 대하여 SBFC 혼입율 0, 30, 50, 100%에 대하여 포로시메터의 수은압입법으로 측정하였다. 시리즈 II에서는 배합비별 OPC 사용배합의 목표 플로를 150±10mm로 선정하고 이를 만족하는 물시멘트비를 결정한 후 결합재 종류에 관계없이 동일한 물시멘트비를 적용하는 것으로 실험하였다. 시리즈 I 및 II의 기타 실험은 KS, JASS 및 ASTM의 시험방법에 준하여 실시하였다.

## 3. 실험결과 및 분석

### 3.1 시리즈 I

#### 3.1.1 화학물리적 특성

##### (1) 화학성분 분석

Table 3은 분쇄 공정에 따른 SBFC 및 OPC의 화학성분 분석을 나타낸 결과이다. 블레인치가 높은 SBFC의 경우 LOI, SO<sub>3</sub> 및 K<sub>2</sub>O는 증가하는 것으로 나타났고, CaO의 경우 다소 감소하는 경향으로 평가되었다. 특히 SO<sub>3</sub> 함량이

크게 증가하였는데 이는 연질인 석고의 재료적 특성상 Tube Mill에서 미세하게 분쇄되어 Cyclone Separator 공정 중 공기와 함께 Separator Bag Filter로 이동되어 집진되었기 때문인 것으로 분석된다.

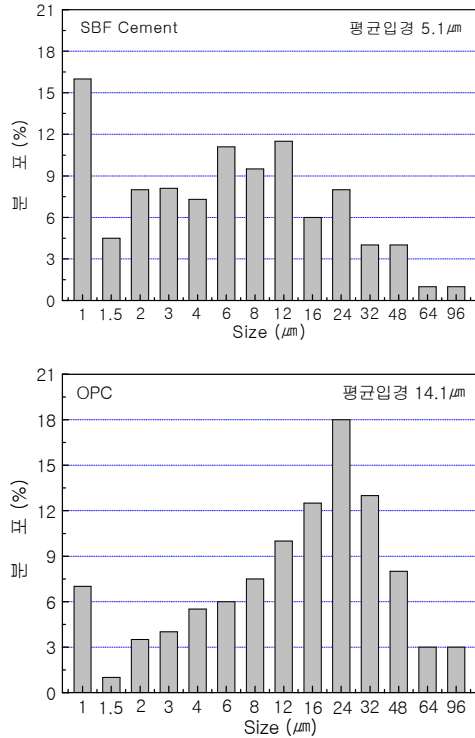


Fig. 1. Particle size distribution

한편 석회석 포화도 (LSF), 규산율 (SM) 및 철율 (IM)은 유사한 결과인 것으로 평가되었다.

### (2) 분말도

Table 4는 분쇄 공정에 따른 SBF 및 OPC의 분말도 결과를 나타낸 것이다. SBF의 경우 OPC 대비 약 1/2 수준임을 알 수 있었고, 44 μm 잔사량 결과에서도 약 2배 정도 미립분이 많은 것으로 평가되었다.

### (3) 입도분포

Fig. 1은 분쇄 공정에 따른 SBF 및 OPC의 입도분포를 나타낸 것이다. 측정결과 SBF의 경우 평균입경 1 μm 통과분이 전체의 약 16% 수준으로 나타났으며 OPC의 경우에는 24 μm 이하 통과분이 전체의 약 70% 수준인 것으로 평가되어 SBF의 경우 특히 1 μm 이하의 미립분이 많은 것으로 평가되었다.

## 3.1.2 페이스트 특성

### (1) 링 플로

Fig. 2는 분쇄 공정에 따른 SBF 및 OPC의 유동성 평가를 위한 링 플로 실험 결과를 나타낸 것이다. 실험결과 SBF의 경우 플로 측정이 불가능한 수준으로 평가되었다. 이는 높은 분말도에 기인한 것으로 분석되며 사용량 조절 등 향후 유동성 개선에 대한 대책마련이 필요할 것으로 판단된다.

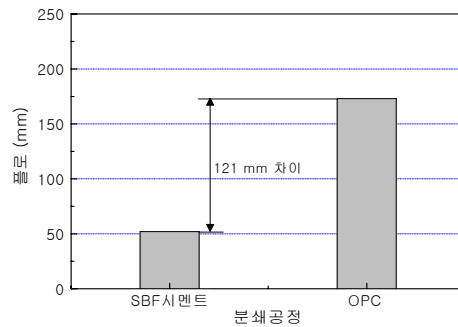


Fig. 2. Ring flow

### (2) 응결시간

Fig. 3은 SBF 및 OPC의 응결시간 실험 결과를 나타낸 것이다. SBF의 경우 OPC 대비 초결에서 약 50분, 종결에서 약 60분 가량 단축되는 것으로 평가되었다. 즉, SBF의 경우 빠른 응결시간에 의해 콘크리트의 초기강도 발현에도 영향을 미칠 것으로 사료된다.

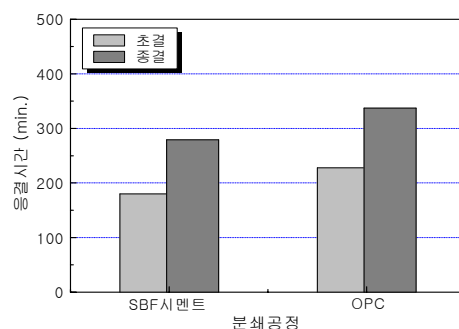


Fig. 3. Setting time

### (3) 압축강도

Fig. 4는 SBF 및 OPC의 재령별 압축강도 결과를 나타낸 것이다. SBF의 경우 전반적으로 크게 증가하는 것으로 나타났는데, 이는 낮은 분말도에 의한 시멘트 비표면적

이 넓어져 수화반응이 활발히 진행되었기 때문인 것으로 분석된다. 이는 3종시멘트인 조강시멘트의 강도규격을 만족하는 수준인 것으로 평가되었다. 특히, 미립자시멘트의 경우 1일 재령에서 약 29 MPa로 평가되어 조강성능이 우수한 것으로 나타났고, 28일 재령에서는 약 49 MPa 수준으로써, 장기 재령에서도 큰 압축강도 발현을 나타내었다.

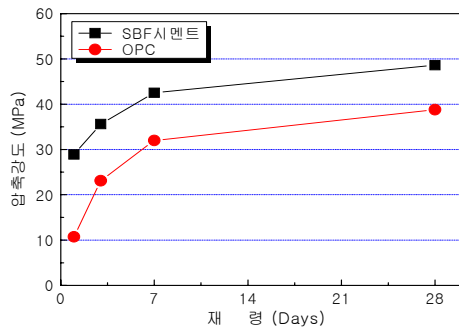


Fig. 4. Compressive strength

### 3.1.3 포로시메타 분석

Fig. 5는 조강형 SBFC 혼입을 변화에 따른 내부 공극률 변화를 나타낸 것이다. 측정결과, 먼저 3일 재령에서 혼입율 0%의 경우 약 34% 정도로 나타난 반면, 혼입율 30%는 약 31%, 혼입율 100%는 약 25%로 측정되어 혼입율이 증가할수록 수화생성물에 의해 내부 공극은 감소하는 것으로 나타났다. 반면, 재령 28일의 경우에는 SBFC 혼입율 증가에 따른 공극률 차이는 약 2% 내외인 것으로 나타나 장기재령에서는 혼입율에 따른 내부 공극률 차이는 미미한 것으로 나타났다. 즉, 초기재령에서는 빠른 수화반응이 진행되지만 장기재령에서는 이미 수화반응이 많이 진행된 상태이기 때문에 혼입율별 내부공극률 차이가 적은 것으로 분석된다.

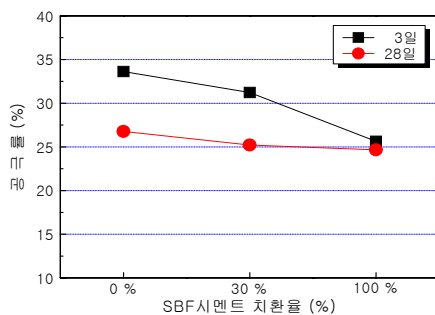
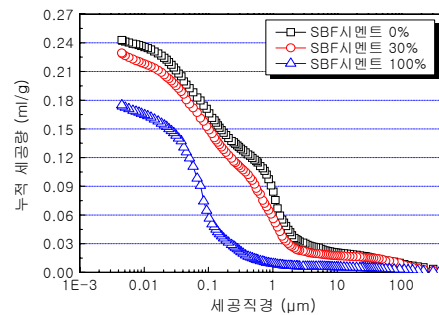
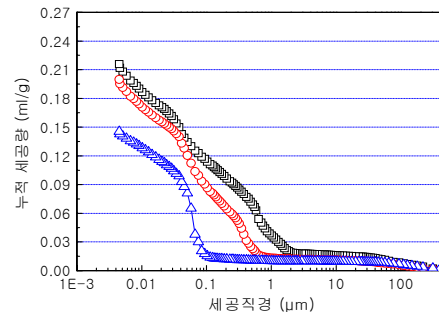


Fig. 5. Pore volume

Fig. 6은 SBFC 혼입율에 따른 콘크리트 내부의 누적세공량을 나타낸 것이다. 전반적으로 혼입율 및 재령이 증가함에 따라 누적 세공량은 감소하는 것으로 평가되었는데, 먼저 재령 3일에서는 무혼입의 경우 비교적 사이즈가 큰 1 μm 부근의 세공량이 주로 측정되었고, 특히, 혼입율 100%의 경우 0.1 μm 부근의 세공량이 증가하는 경향으로 나타나 SBFC 혼입율이 증가할수록 조직이 치밀해지는 것으로 나타났다. 또한, 28일의 경우에는 전체적으로 재령 3일과 유사한 경향으로 나타났으며, 0% 혼입 대비 100% 혼입 시 0.001 μm 이상의 누적 세공량이 약 36% 가량 감소하는 것으로 평가되었다.



(a) 3 days



(b) 28 days

Fig. 6. Cumulative distribution of inner pore

## 3.2 시리즈 II

### 3.2.1 굳지않은 모르터

#### (1) 플로

Fig. 7은 결합재 및 배합비 변화에 따른 모르터의 플로 결과를 나타낸 것이다. 배합비별 차이는 있었지만 전반적으로 목표플로 대비 SBFC 및 OPC+SBFC의 경우 유동성이 다소 저하하는 것으로 나타났고, 큰 차이는 아니지만 블레

인이 높은 SBFC의 경우가 OPC+SBFC에 비해서 저하하는 것으로 평가되었다.

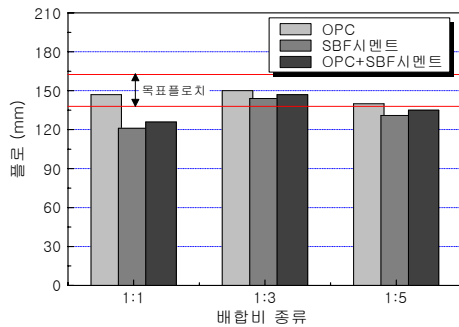


Fig. 7. Mortar flow

(2) 공기량

Fig. 8은 결합재 및 배합비 변화에 따른 모르터의 공기량 결과를 나타낸 것이다. 먼저, 시멘트 대비 잔골재량이 증가할수록 공기량은 증가하는 경향이었고, 유동성과 유사하게 OPC 대비 SBFC 및 OPC+SBFC의 경우 다소 감소하는 것으로 평가되었다. 이는 미세한 결합재에 의한 공극충전 효과로 판단되며 향후 콘크리트 적용시에는 AE제 혼입을 조절이 필요할 것으로 사료된다.

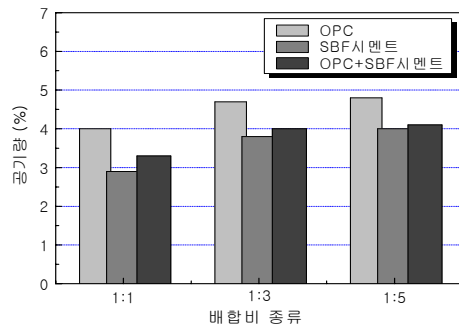


Fig. 8. Air content

(3) 응결시간

Table 5는 결합재 및 배합비 변화에 따른 초결 및 종결 시간을 나타낸 것이다. 먼저, 시멘트 대비 잔골재량이 증가할수록 물시멘트비가 커짐에 따라 응결은 지연되는 것으로 나타났다.

결합재별 응결시간은 분말도 크기 순인 SBFC, OPC+SBFC, OPC 순으로 응결이 촉진되었는데, SBFC의 종결시간을 기준으로 OPC의 경우 약 2시간, OPC+SBFC의 경우 약 50분 가량 차이를 나타내었다. 즉, SBFC의 경우

콘크리트의 초기강도 발현에 우수한 효과가 있을 것으로 예상되어 진다.

Table 5. Setting time (hr. : min.)

Mixture	Setting	OPC	SBFC	OPC+SBFC
1 : 1	Initial	4 : 05	2 : 50	3 : 20
	Final	7 : 20	5 : 00	5 : 50
1 : 3	Initial	5 : 30	4 : 05	4 : 20
	Final	10 : 00	7 : 50	8 : 40
1 : 5	Initial	6 : 40	5 : 05	5 : 30
	Final	11 : 00	8 : 50	9 : 45

3.2.2 경화 모르터

(1) 압축강도

Fig. 9는 결합재 및 배합비 변화에 따른 재령별 압축강도를 나타낸 것이다. 먼저, 배합비에 관계없이 SBFC를 사용한 배합의 압축강도가 증가하는 것으로 나타났고, 특히 SBFC의 경우 3일 재령에서 OPC 28일 재령 강도와 유사한 결과를 나타내었다. 또한, OPC+SBFC의 경우에도 전 재령에서 OPC 대비 높은 압축강도를 발현하는 것으로 평가되었다.

(2) 휨강도

Fig. 10은 결합재 및 배합비 변화에 따른 재령별 휨강도 결과를 나타낸 것이다. 휨강도 결과는 압축강도 결과와 유사한 경향으로 나타났는데, 배합비에 관계없이 블레인 크기순인 SBFC, OPC+SBFC, OPC 순으로 휨강도는 증가하는 것으로 나타났다.

4. 결론

본 연구에서는 SBFC의 기본 성능을 분석하고, 페이스트 및 모르터에서의 각종 공학적 특성을 검토하였는데, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 화학-물리적 특성 검토 결과 OPC 대비 SBFC의 화학 성분에서는 SO<sub>3</sub> 함량 등 항목별 차이는 있었지만 큰 차이는 아닌 것으로 나타났고, 분말도의 경우 약 1/2, 평균 입경은 약 1/3 수준인 것으로 분석되었다.
- 2) 페이스트 특성 검토결과 OPC 대비 SBFC의 유동성은 저하하였고, 응결시간은 촉진되었고, 압축강도는 증가하는 것으로 나타났다.
- 3) 미세구조 분석결과 OPC 대비 SBFC의 경우 초기재령

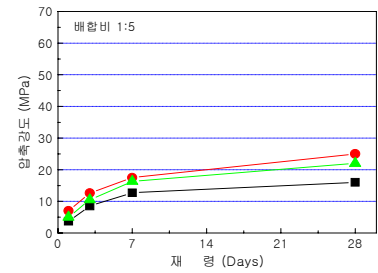
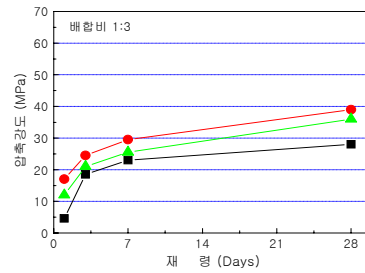
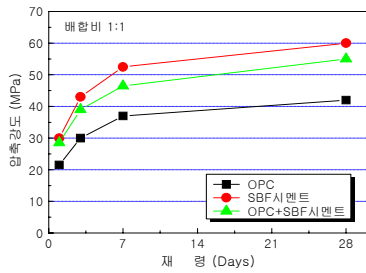


Fig. 9. Compressive strength

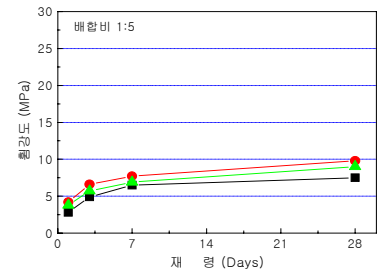
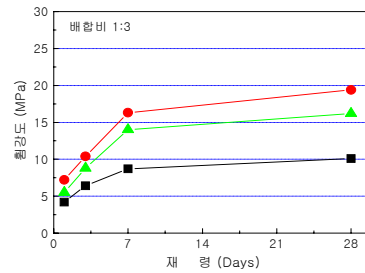
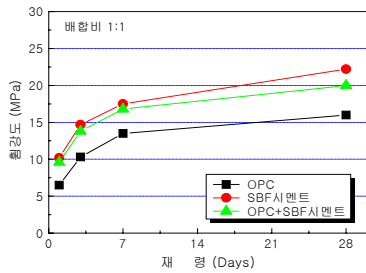


Fig. 10. Flexural strength

에서 세공량이 줄어드는 것으로 나타났다.

4) 굳지않은 모르터 실험결과 OPC 대비 SBFC 및 OPC+SBFC의 경우 유동성 및 공기량은 다소 저하하는 것으로 나타났고, 응결시간의 경우 SBFC, OPC+SBFC, OPC 순으로 촉진되는 것으로 평가되었다.

5) 경화 모르터의 압축강도 및 휨강도의 경우에는 배합비에 관계없이 블레인 크기순인 SBFC, OPC+SBFC, OPC 순으로 증가하는 것으로 나타났다.

이상을 종합해볼 때, SBFC의 우수한 조기강도 발현 성능을 확인 할 수 있었고, 유동성을 고려했을 때 OPC와 SBFC와의 적정 혼입율을 도출하여 사용하는 것이 바람직 할 것으로 판단된다.

### 감사의글

본 연구는 건설교통부 2005년도 산·학·연 과제「고성능/다기능 콘크리트의 핵심 및 활용기술 개발」에 관한 일련의 연구로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

### 참고문헌

- 1) (주)대우건설 ; “입도분급 조강형 시멘트를 이용한 콘크리트의 조기강도 발현기술 개발과 현장 실용화”, 2008.

### SBFC(Separator Bag Filter Cement)의 활용성 검토

본 연구에서는 SBFC의 기본 성능을 분석하고, 페이스트 및 모르터에서의 공학적 특성을 검토하여, 향후 경제적인 조강콘크리트 개발을 위한 방안으로 활용하고자 하였다. 실험결과 SBFC의 우수한 조기강도 발현 성능을 확인 할 수 있었고, 유동성을 고려했을 때 OPC와 SBFC와의 적정 혼입율을 도출하여 사용하는 것이 바람직 할 것으로 판단된다.