

# 입도분급 미분 시멘트를 이용한 조강형 콘크리트의 현장실용화에 관한 연구

## A study on the Practical Application of High Early Strength Type Concrete Using Fine Particle Classifying Cement

최성용\*      노동현\*\*      김기훈\*\*\*      김경민\*\*\*\*      한민철\*\*\*\*\*      한천구\*\*\*\*\*

Choi, Sung-Yong    No, Dong-Hyun    Kim, Ki-Hoon    Kim, Kyung-Min    Han, Min-Cheol    Han, Cheon-Goo

### Abstract

This study investigates practical application of high early strength type concrete using fine particle classifying cement, and the results are summarized as following. The replacement use of FC 30% did not great influence on concrete mix, therefore mixing without additional SP and AE was available using equal mix with OPC. The ratio of increasing temperature by heat of hydration was similar with OPC, and the compressive strength was over then 5MPa at -28oC outside temperature on 2nd day. Therefore, it is considering that the first purpose, the effect of shortening terms of work by early demolding, will be available. The rebound rate of type "P" schumidt hammer was relative with compressive strength, and the rebound rate for verifying 5MPa of compressive strength was estimated about 55 considering rate of safety. Therefore, assuming demolding date is available efficiently.

키 워 드 : 미분 시멘트, 압축강도, 적산온도, 등가재령  
Keywords : Fine Particle Cement, Compressive Strength, Maturity, Equivalent Age

## 1. 서 론

최근 우리나라 건축공사 현장에서는 아파트 등 공동주택의 분양가 상한제, 후 분양 제도의 도입 등 각종 규제 및 제도의 강화에 의하여 어느때 보다도 공기단축에 의한 공사비 절감이 절실히 요구되는 상황에 놓여 있다.

이와 관련하여 골조콘크리트의 가장 효과적인 공기단축의 방법으로는 선 조립철근 사용 및 시스템 거푸집의 활용 등이 될 수 있다. 그러나 이와같은 방법에 의하여 최대한 공기를 단축한 선진기업의 입장에서는 콘크리트의 조기강도 발현에 의한 거푸집 탈형 시기의 단축방법에 대하여 검토할 수밖에 없다.

즉, 현재 공동주택용 골조 콘크리트는 대부분 설계기준강도 21~27MPa 범위가 가장 많이 사용되는데, 이러한 수준의 콘크리트에 소요되는 거푸집 탈형시기는 현재의 기술수준으로 는 1일 이상이 소요되어 공기단축에 적지않은 부담이 된다.

현재까지 알려진 대부분의 조기강도 발현 기술은 배합적인 측면에서 W/C를 낮추거나, 재료적인 측면에서 조강형 시멘트, 광물질 혼화재 및 감수제(촉진형) 등을 사용하는 방법이 주를 이루고 있는데, 대부분 요구되는 조강성능의 발휘에는 한계가 있거나, 큰 비용 증가 등의 문제점을 가지고 있다.

이에 본 연구팀에서는 이러한 콘크리트의 조기강도 발현기술 개발을 목적으로 시멘트생산 라인 중 분쇄공정에서 입자크기별로 분급된 시멘트를 별도의 바이패스웨이(bypass way) 설비로 분말도가 6,000~7,000cm<sup>2</sup>/g 정도인 미분 시멘트(이하 FC)만을 별도로 포집하여 이를 활용하는 방법을 검토 중에 있다.

그러므로 본 연구에서는 상기의 방법으로 제조된 FC 치환 콘크리트의 현장실용화를 목표로 공동주택 현장적용 후 이에 따른 역학적 특성을 검토하여 콘크리트의 조기강도발현기술을 개발하고자 한다.

## 2. 실험계획 및 방법

### 2.1 공사개요

대상 건물은 서울시 강동구 길동 D시공사 A아파트 신축현

\* 청주대 대학원 석사과정  
\*\* 청주대 대학원 박사과정  
\*\*\* 아세아시멘트(주) 연구원  
\*\*\*\* (주)대우건설 기술연구원 건축연구팀 전임연구원, 공학박사  
\*\*\*\*\* 청주대 건축공학부 전임강사, 공학박사  
\*\*\*\*\* 청주대 건축공학부 교수, 공학박사

장으로써 공사개요는 표 1과 같고, 사진 1은 조감도를 나타낸 것이다.

표 1. 현장개요

구 분	내 용
공 사 명	D시공사 A아파트
공사위치	서울시 강동구 길동 298-1
대지면적	42,543.00 m <sup>2</sup>
규 모	지하 2층, 지상 13~25층 10개동 및 부속시설
시 공 사	D시공사



그림 1. D시공사 A아파트 조감도

### 2.2 실험계획

본 연구의 실험계획은 표 1과 같고, 배합사항은 표 2와 같다.

먼저, W/B는 48%의 1수준으로 계획하였으며, 목표슬럼프 및 공기량은 각각 150±25, 4.5±1.5로 계획하였고, 실험실 실험<sup>1)</sup>과 현장 실험을 통하여 보통포틀랜드시멘트(이하 OPC)에 대한 FC 치환율 30%를 최적배합으로 실험계획 하였다.

실험사항으로 굳지않은 콘크리트에서는 슬럼프, 공기량, 응결시간을 측정하며, 경화 콘크리트에서는 수화열 및 구조체

표 1. 실험계획

실 험 요 인		실 험 수 준	
배 합 사항	W/C(%)	1	48
	목표 슬럼프 (mm)	1	150±25
	목표 공기량 (%)	1	4.5±1.5
	FC 치환율 (%)	2	0, 30
실 험 사항	굳지않은 콘크리트	3	<ul style="list-style-type: none"> <li>슬럼프</li> <li>공기량</li> <li>응결시간</li> </ul>
	경화 콘크리트	4	<ul style="list-style-type: none"> <li>모의부재 내부 수화열 측정</li> <li>구조체 온도이력에 의한 적산온도 측정</li> <li>P형 슈미트햄머 반발도 측정 (1, 2, 3, 7, 14, 28일)</li> <li>압축강도(구조체 관리용 공시체 1, 2, 3, 7, 28일)</li> </ul>

표 2. 콘크리트의 배합표

W/C (%)	FC 치환율(%)	S/a (%)	SP/C (%)	질량배합(kg/m <sup>3</sup> )						
				W	C	FC	FA	CS	S	G
48	0	49.6	1.1	165	316	-	28	268	623	922
	30	49.6	1.2	165	214	102	28	268	623	922

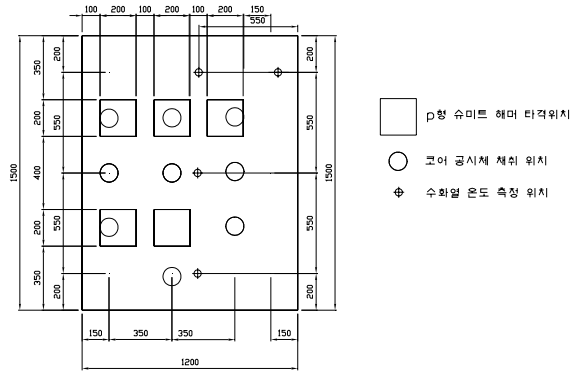


그림 2. 모의부재 입면도 및 실험 측정 위치

온도이력에 의한 적산온도, P형 슈미트햄머 반발도, 코어공시체 강도, 구조체 관리용 공시체 강도를 각각의 재령에 맞추어 측정하는 것으로 한다. 또한, 모의부재의 입면도 및 각각의 실험 측정 위치는 그림 2와 같다.

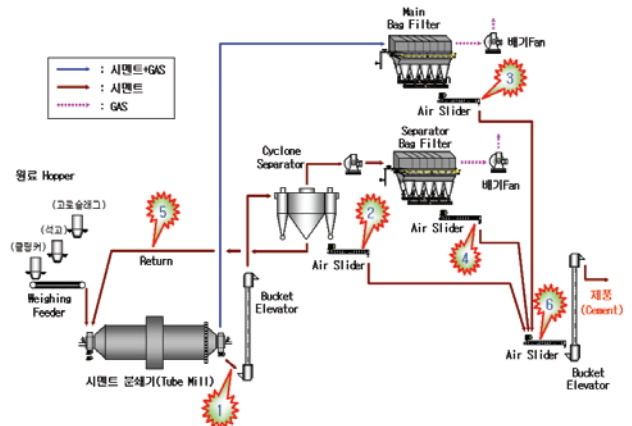


그림 3. 포틀랜드 시멘트의 분쇄 공정도

한편, FC의 제조공정과 관련하여 그림 3은 포틀랜드 시멘트 생산과정 중 Tube Mill의 분쇄 공정도를 나타낸 것으로 Tube Mill에 클링커 및 기타 원료가 투입되면 분쇄된 원료는 ①라인에서 Cyclone Separator로 이동 된다. 이때 FC는 ④라인에서 포집되는데, 이렇게 포집된 시멘트 시료는 분말도 6,000~7,000 cm<sup>2</sup>/g 수준의 미분 시멘트가 된다.

### 2.3 사용재료

본 실험에 사용한 재료의 물리적 성질은 표 3~6과 같다. 즉, 시멘트는 국내 A사산 OPC 및 FC를 사용하였고, 골재는

국내 B사의 골재를 사용하였으며, SP제 및 AE제는 국내 E사의 나프탈렌계 및 음이온계를 사용하였다.

표 3. OPC 및 FC의 물리적 성질

구 분	밀 도 (g/cm <sup>3</sup> )	분말도 (cm <sup>2</sup> /g)	안정도 (%)	응결시간(분)		압축강도(MPa)		
				초결	종결	3일	7일	28일
OPC	3.15	3,302	0.08	208	351	20.4	29.4	38.7
FC	3.12	6,953	-	180	279	35.6	42.5	48.6

표 4. 시멘트의 화학성분 구성

시 료	화학성분 (%)								LSF	SM	IM
	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			
OPC	0.35	21.88	5.02	3.66	64.18	2.01	1.83	0.92	90.44	2.52	1.37
FC	0.54	21.24	5.01	3.68	62.91	2.00	3.17	1.31	89.55	2.44	1.36

LOI : 강열감량, LSF : 석회포화도, SM : 규산률, IM : 철률

표 5. 골재의 물리적 성질

구 분	밀도 (g/cm <sup>3</sup> )	조립률	흡수율(%)	0.08mm체 통과량(%)
잔 골 재	2.59	2.67	1.11	1.12
굵은골재	2.71	7.01	1.18	0.11

표 6. 혼화제의 물리적 성질

구 분	형태	주성분	색상	pH	밀도(g/cm <sup>3</sup> )
감수제	액상	나프탈렌계	미백색	6.5	1.060
AE제	액상	음이온계	미백색	-	1.040

## 2.4 실험방법

본 연구의 실험방법으로 콘크리트의 혼합은 S레미콘에서 콘크리트를 믹싱하여 레미콘 차량을 통해 현장 타설을 실시하였다.



사진 2. 현장실험 모습

굳지않은 콘크리트의 실험으로 슬럼프는 KS F 2402 규정에 의거 실시하였으며, 응결시간은 KS F 2436의 프록터 관입저항 시험방법에 의거 측정하였고, 경화 콘크리트의 압축강

도시험은 Ø100×200 공시체를 소요재령까지 현장조건으로 양생한 후 KS F 2405 규정에 의거하여 실시하였다.

## 3. 실험결과 및 분석

### 3.1 굳지않은 콘크리트의 특성

표 7은 W/C 및 FC 치환율별 굳지않은 콘크리트의 기초적 특성을 나타낸 것이다.

표 7. 굳지않은 콘크리트의 기초물성

W/C(%)	FC치환율 (%)	슬럼프 (cm)	공기량 (%)	응결시간 (hr.)	
				초결	종결
48	0	15.1	5.3	14.5	22
	30	16.2	4.2	12	17

실험결과로써 슬럼프의 경우 목표한 슬럼프치에 만족한 결과를 나타냈으며, 공기량 또한 목표한 공기량을 만족하였다. 응결시간의 경우는 FC 30% 치환시 약 22%정도 응결시간이 단축되는 것으로 나타났다.

또한, FC 30% 치환시 표 2의 콘크리트의 배합표에서도 나타났듯이 SP, AE제의 증감없이 OPC 배합조건과 거의 동일한 배합을 나타냄으로써, FC 30% 치환시 굳지않은 콘크리트의 물성에 미치는 영향은 거의 없는 것으로 나타났다.

### 3.2 경화 콘크리트의 특성

그림 4는 OPC 및 FC 30% 치환에 따른 수화열 온도이력을 나타낸 그래프이다.

먼저, OPC 및 FC 30% 치환 모두 기동부재의 경우는 내부 수화열로 인한 온도상승량이 뚜렷하게 나타났으나, 벽체 모의 부재의 경우는 부재의 단면크기가 상대적으로 작아 수화열로 인한 온도상승량이 올바르게 나타나지 않았다. 기동부재의 수화열 온도이력의 OPC 및 FC 30% 치환에 따른 수화발열량의 차이는 많은 차이를 보이지는 않았으나, FC 30% 치환시 OPC에 비하여 수화발열량이 소폭 증가한 것을 알 수 있었다.

그림 5는 OPC 및 FC 30% 치환에 따른 구조체 관리용 공시체의 압축강도를 나타낸 그래프으로써, FC 30% 치환의 경우 선행연구<sup>1)</sup>와 마찬가지로 초기강도에서 OPC에 비하여 뚜렷한 강도증가효과를 나타냈으며, 재령이 경과함에 따라 FC 30%

표 8. OPC 및 FC 30% 치환에 따른 Carino 해석모델식의 실험상수

배합사항	실험상수				
	E <sub>a</sub> (KJ/mol)	S <sub>u</sub>	k <sub>r</sub>	t <sub>0</sub>	R <sup>2</sup>
OPC	25.8	40.7	0.17	0.408	0.993
FC 30%	24.4	32.9	0.30	0.379	0.985

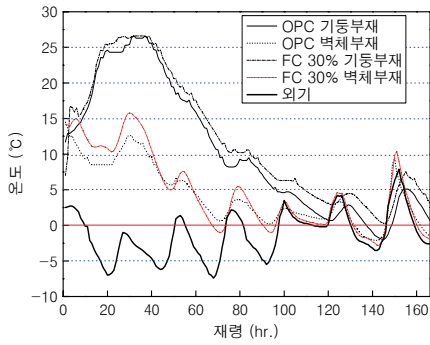


그림 4. OPC 및 FC 30% 치환에 따른 수화열 온도이력

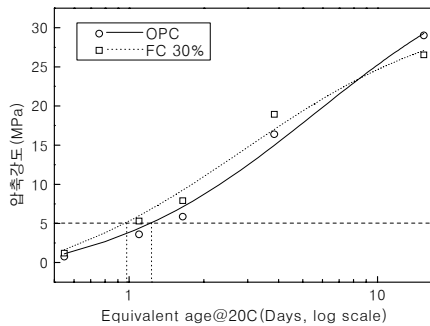


그림 6. OPC 및 FC 30% 치환에 따른 Carino 해석모델식을 사용한 콘크리트의 강도증진해석

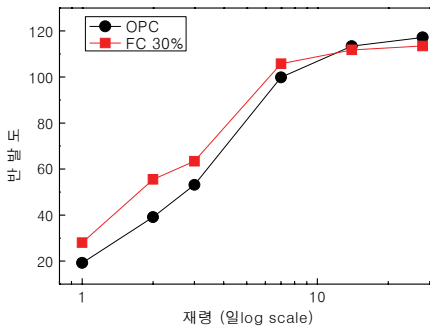


그림 7. OPC 및 FC 30% 치환에 따른 P형 슈미트 햄머 반발도

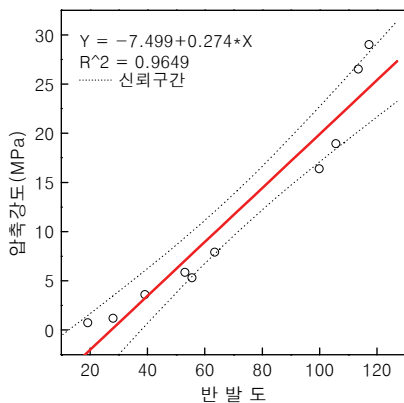


그림 8. P형 슈미트 햄머와 압축강도의 상호 비교

치환의 강도증가율은 감소하며, OPC와 유사한 강도값을 나타냈다.

그림 6은 Carino<sup>2)</sup> 해석모델식을 사용한 콘크리트의 강도

증진해석 그래프로써, FC 30% 치환시 평균기온  $-2.8^{\circ}\text{C}$  정도의 외기온도에서 약 재령 2일( $14^{\circ}\text{D-D}$ , 등가재령 1.1일) 경과

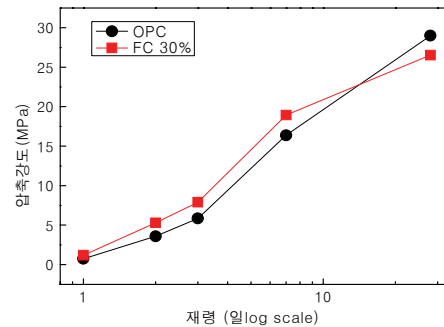


그림 5. OPC 및 FC 30% 치환에 따른 압축강도

시 5MPa이상의 강도가 나타남으로써, 조기 거푸집 탈형을 통한 공기단축이 기대되는 것으로 나타났다. 또한, Carino 해석모델식을 사용한 경우 표 8에서 나타나듯이 결정계수 0.985~0.992 정도의 매우 높은 상관성을 나타냈다.

$$S = \frac{S_u k_r (t - t_o)}{1 + k_r (t - t_o)} \dots \dots \dots (1)$$

여기서,

S : 재령 t에서의 강도(MPa)  $k_r$  : 반응율 상수  
 $S_u$  : 한계강도(MPa)  $t_o$  : 종결시간 (일)

그림 7은 OPC 및 FC 30% 치환에 따른 P형 슈미트 햄머 반발도를 나타낸 그래프이다. 압축강도 그래프와 유사한 경향으로 초기 1, 2일 재령의 경우 FC 30% 치환시 OPC에 비해서 약 28% 정도의 반발도 증가율을 나타냈으며, 장기재령으로 진행되면서 FC 30% 치환의 강도증가율은 감소하며, OPC와 유사한 반발도값을 나타냈다.

그림 8은 P형 슈미트 햄머와 압축강도의 상호 비교를 나타낸 그래프이다, 전반적으로 상관계수가 0.96이상이므로 양호한 상관성을 확인할 수 있었는데, 이때 5MPa를 나타내는 P형 슈미트 햄머의 반발도는 약 50으로 나타나 선행연구<sup>1)</sup>의 결과와 유사한 값으로 나타났다.

#### 4. 결 론

본 연구는 입도분급 미분 시멘트를 이용한 조강형 콘크리트의 현장실용화에 관한 연구를 진행하였는데, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) FC 30% 치환사용이 콘크리트 배합에 미치는 영향은 적은 것으로 나타나, 추가적인 SP, AE제의 혼입없이 OPC와 동일한 배합으로 제도가 가능한 것으로 나타났다.
- 2) FC 30% 치환사용에 따른 내부 수화열 증가율은 OPC와 유사한 경향으로 나타났으며, 압축강도면에서는 평균기온  $-2.8^{\circ}\text{C}$  정도의 외기온도에서 약 재령 2일(14° D-D, 등가재령 1.1일) 경과시 5MPa이상의 강도가 나타남으로써, 초기 연구목적이었던 조기거푸집 탈형을 통한 공기단축의 효과가 클 것으로 사료된다.
- 3) P형 슈미트 햄머의 반발도는 압축강도와 비례적인 관계를 나타냈으며, 압축강도 5MPa를 발휘하는 시점 확인을 위한 P형 슈미트 햄머의 반발도는 안전율을 고려하여 55정도로 판단되며, 이를 이용하여 거푸집 탈형 시점을 효율적으로 추정할 수 있을 것으로 사료된다.

### 참 고 문 헌

1. 최성용, 노동현, 김경민, 박상준, 권오봉, 한민철 ; 미분 시멘트의 치환율변화가 콘크리트의 역학적 특성에 미치는 영향, 한국건축시공학회 2007년 추계 학술발표대회 논문집, Vol.7 No.2, pp133~136. 2007. 11,
2. Carino N. J, Maturity Method Theory and Application, Journal of Cement Concrete and Aggregate, ASTM, 1984.

### 감사의 글

본 연구는 교육과학기술부와 한국산업기술재단의 지역혁신인력양성사업으로 수행된 연구결과임