

조강시멘트를 이용한 속경성 자기충전 콘크리트의 배합인자별 품질특성 및 활용에 관한 연구

Study on the qualities & application of Super High Early Strength -Self Compact Concrete using Type III Cement for productabilities-

엄태선^{*} 임채용^{**} 유재상^{***} 이종열^{****}
Tae-Sun Um Chae-Yong Lim Jae-Sang Ryu Jong-Ryul Lee

ABSTRACT

We carried out the feasibility study of super early self compacting concrete having the characteristics of 1 day demoulding without steam curing, high flowable concrete with self compacting, high strength and high durability etc.

Here, We test and selected by several methods using high early cement with and without admixtures for the condition of super early strength self compacting concrete's manufacture (SSCC). We succeeded to meet at the goal of SSCC with 30~35N/mm² in 1 day, without steam curing and with slump flow about 60~65cm and suggest various concrete products to apply the developed SSCC for practical use in factory and in site place

1. 서론

콘크리트 제품에서 강조되고 있는 생산성, 시공성, 기능성과 함께 미려한 표면에 대한 요구를 만족하기 위해 조강시멘트를 기초 시멘트로 하여 속경성 자기충전콘크리트의 배합인자별 품질특성을 검토하고 적용사례별로 목적성을 분석하여 향후 속경성 자기충전 콘크리트의 적용기반을 제시하고자 하였다. 속경성 자기충전 콘크리트를 2차제품 생산에 적용할 경우 무 증기양생, 1일 이내 탈형출하, 또는 1일 2~3회 몰드회전 생산으로 고강도 기능성 제품을 고도 생산성과 품질 안정성을 확보할 수 있을 것으로 판단된다. 특히 대형 토목용 PC제품을 현장타설 제품으로 무 증기양생, 대형 고가몰드 회전용 증대, 인력타설 및 다짐봉의 충전장비의 불필요, 대형 구조물에서 상 하부체의 충전율 양호 등에 장점과 동절기에서 구조물을 양생시기를 단축하고 동절기 시공 및 타설을 가능하게 할 수 있다.

건축 또는 토목구조물에 현장 타설용으로 적용할 경우에는 철근 건축물을 철골 건축물의 시공성으로 시공일을 단축할 수 있으며 또한 slip form 시공 또는 PC Box 형 Culvert를 사용하는 사장교에는 속경성 자기 충전 고강도콘크리트를 사용하면 그의 시공품질과 생산성이 크게 증진할 수 있다. 특히 속경성 고강도콘크리트의 자기충전성은 점차 복잡형상과 대형화 되고 또한 철근배근도 복잡하여 콘크리트 타설에 불량과 시공의 복잡성에 의한 생산성이 극도로 저하되고 있는 현실에서 매우 양호한 대안이다.

- * 정회원, 쌍용양회공업(주) 기술연구소 콘크리트연구실 책임연구원
- ** 정회원, 쌍용양회공업(주) 기술연구소 콘크리트연구실 연구원, 공학박사
- *** 정회원, 쌍용양회공업(주) 기술연구소 콘크리트연구실 실장, 공학박사
- **** 정회원, 쌍용양회공업(주) 기술연구소 소장

본 자료는 제품의 생산효율, 인력의 성력화 및 양생비용 절감을 위해 속경성 자기충전 콘크리트(SSCC)의 장점을 살릴 수 있는 용처와 적용성을 제시하기 위한 기초적인 품질실험과 적용사례를 조사한 것이다.

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험목적

속경성 자기충전 콘크리트는 적용목적과 제품에 따라 자기충전성 및 유동성을 갖는 시기를 달리해야 한다. 이런 목적에서 사용한 감수제와 혼합재의 종류에 따라 달리 확보되는 유동성과 강도특성을 조사하였다.

2.2 사용재료

1) 시멘트 및 기타 재료

3종 시멘트를 대상으로 속경성을 부여하기 위한 조강재와, 유동성을 주기 위한 고성능감수제 그리고 분체의 증량재로 슬래그미분말과 플라이애쉬 그리고 증점제를 조합원료로 하였다.

표. 1 사용재료의 성분

	화 학 성 분(%)										광 물 조 성(%)				비 고
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	I-loss	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF		
시멘트	1종	20.7	6.2	3.1	62.2	2.8	2.1	0.84	0.10	2.1	44.0	26.2	11.1	9.3	-
	3종	19.9	5.6	3.0	62.3	2.8	4.2	0.84	0.10	1.4	48.5	20.5	9.8	9.1	-
조강재	용결조정제, 경화촉진재의 조합물(AG, NN)													속경성	
고성능감수제	고성능 AE감수제, 고성능감수제(PNS, M)													유동성	
기타	polysaccharide (증점제 : 재료분리방지), 슬래그미분말, 플라이애쉬													-	

표. 2 사용 시멘트의 물성

	분말도 (cm ² /g)	비 중 (g/cm ³)	응 결		압 축 강 도(kgf/cm ²)			
			초 결 (min)	종 결 (hr:min)	1일	3일	7일	28일
1종시멘트	3224	3.15	260	6:49	100	213	293	373
3종시멘트	4350	3.12	185	4:50	150	270	366	470

2.3 실험조건

표. 3 실험 조건

인 자	Cement	단위 Cement량	*F	단위수량	*SP(%)	혼합재	증점제 (Foxcrete)	양생조건
수 준	3종	460	A	200	1.5~3.0	0	0	표준양생 증기양생
	3종+조강재	500				Slag 20% Fly ash 20%		

※ F(응결조정제, 경화촉진제) : 4 % × Cement량
 SP : 폴리카본산계(1종), 나프타렌계(2종), 멜라민계(1종)

2.4 평가항목

굳지 않은 콘크리트에서는 유동성과 재료분리 특성을 평가하였고, 굳은 콘크리트는 12hr, 16hr, 18hr, 1일, 2일 14일 재령강도를 측정(표. 5 참조)하였다.

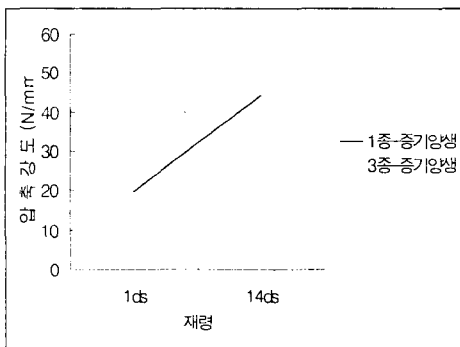
표. 4 속경성 자기충진 콘크리트의 특성평가를 위한 시험항목

구분	평가물성	비고
굳지 않은 콘크리트	Slump, Slump Flow 경시변화, U-박스 단차	유동성, 작업성
굳은 콘크리트	압축강도(12, 16, 18시간, 1, 2, 14일), 길이변화, 동결융해	강도, 내구성

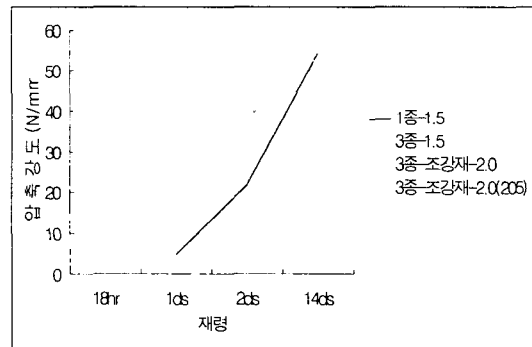
3. 실험결과

3.1 시멘트의 영향

그림 1의 a)에서와 같이 증기양생에 의해 양생된 1종 보통콘크리트와 조강 콘크리트의 탈형강도는 20~35N/mm² 수준이며 b)의 3종 조강시멘트와 조강재를 사용한 속경성 콘크리트 배합은 동일재령에서 거의 유사한 재령강도들이 측정되었다. 또한 표. 6에서와 같이 자기충진성과 재료분리 저항성이 매우 우수하였다.



a) 시멘트별 증기양생조건



b) 속경성 배합의 선별

그림. 1 사용시멘트의 배합과 양생조건에 따른 재령별 강도발현특성

표. 5 사용시멘트와 배합조건별 Workabilities 특성

구분	특성	슬럼프(cm)		슬럼프 프로(cm)		U자 단차 (cm)
		즉시	30분	즉시	30분	
1종-1.5%-200kg/m ³		25.0	24.5	55.0	53.0	12.0
3종-1.5%-200kg/m ³		26.0	22.5	58.0	45.0	5.0
3종-조강재-2.0%-200kg/m ³		27이상	23.5	60.0	47.0	0.0
3종-조강재-2.0%-205kg/m ³		27이상	24.5	64.0	50.0	0.0

3.2 혼화제 사용량

조강시멘트와 조강재를 사용하는 배합조건에서 P계 혼화제(1.5~2.0%)와 단위수량(200~210kg/m³)에서 강도특성과 자기충전성을 평가하였다.

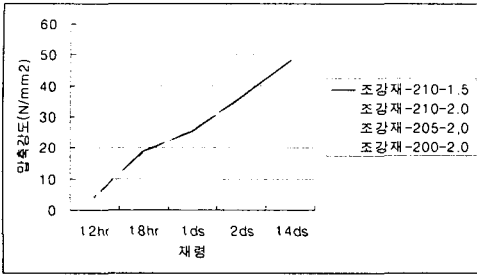


그림. 2 배합조건에 따른 강도특성

W/C가 낮아지거나 감수제 사용량을 증가시킬 경우 다소의 1일 재령이내에 강도증진이 있으나 공정이나 제품의 생산성을 대폭 기대할 수 있는 강도의 변화나 향상을 기대할 수 없다,

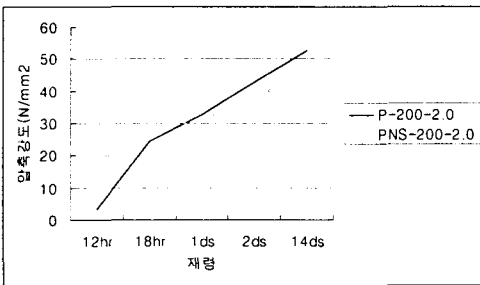
따라서 단순히 P계의 혼화제를 사용해서는 동일 재료를 사용하는 1일 이내의 속경성 강도 증진에 효과는 작으나 자기충전 유지시간의 확보에는 양호하다.

표. 6 조강시멘트를 사용한 배합에 따른 Workabilities 특성

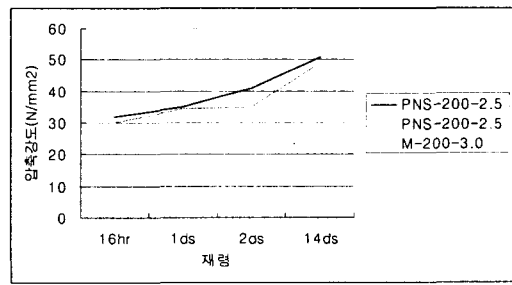
특성 구분	슬럼프(cm)		슬럼프 프로(cm)		U자 단차 (cm)
	즉시	30분	즉시	30분	
조강재-210-1.5	27이상	26.0	59.0	54.0	2.5
조강재-210-2.0	27이상	26.0	64.0	55.0	0.0
조강재-205-2.0	27이상	26.0	65.0	55.0	0.0
조강재-200-2.0	27이상	24.0	65.0	51.0	0.0

3.3 혼화제 영향

P계, PNS계, M계의 혼화제를 선정하여 1일이내의 속경성 강도특성을 검토하였다. P계와 달리 PNS계와 M계의 혼화제는 초기 재령에서의 속경성에 양호한 강도특성을 갖고 자기충전 유지시간도 단축된다.



a) P와 PNS혼화제의 영향



b) P와 M혼화제의 영향

그림. 3 혼화제의 종류에 따른 강도특성

표. 7 혼화제의 종류에 따른 Workabilities 특성

특성 구분	슬럼프(cm)		슬럼프 프로(cm)		U자 단차 (cm)
	즉시	30분	즉시	30분	
P-200-2.0	27이상	24.0	65.0	51.0	0.0
PNS-200-2.0	24.0	20.0	50.0	40.0	3.0
M-200-3.0	26.0	24.0	63.0	48.0	0.0

3.4 혼합재

슬래그 미분말을 첨가하여 분체계 속경성 자기충전콘크리트의 특성을 검토하였다. 그림. 4에서 보는 것과 같이

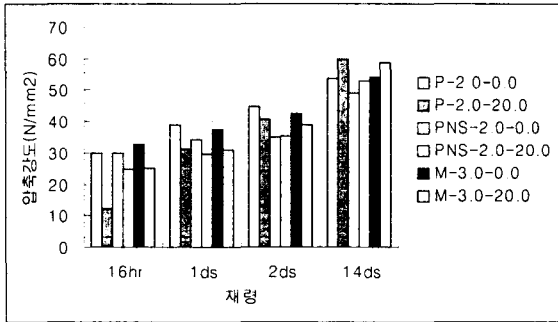


그림.4. 혼합재와 혼화제에 따른 강도특성

초기재령(16hr, 1ds, 2ds)에서 강도하락이 뚜렷하나 14일 재령에서는 모든 배합조건에서 강도발현이 회복되어 오히려 증진된 효과를 나타내고 있다.

여기서 PNS계, M계의 고성능감수제는 P계 감수제에 비하여 초기강도하락이 작으며 1일재령에서 약 30N/mm²의 강도가 확보되어 탈형강도 확보에도 문제가 없을 것으로 판단된다. 한편 슬래그 미분말의 사용은 PNS계와 M계의 감수제는 자기충전 시간이 길어지는 경향이나 P계 감수제에서는 초기유동성과 자기충전 유지시간이 다소 저하되는 경향이다.

표. 8 혼합재와 혼화제에 따른 Workabilities 특성

특성 구분	슬럼프(cm)		슬럼프 프로(cm)		U자 단차 (cm)
	즉시	30분	즉시	30분	
P - 2.0 - 0.0	26.0	23.5	62.0	50.0	0.0
P - 2.0 - 20.0	25.0	24.0	54.0	43.0	1.5
PNS - 2.5 - 0.0	25.0	23.0	58.0	40.0	4.0
PNS - 2.5 - 20.0	26.0	25.0	64.0	49.0	0.0
M - 3.0 - 0.0	26.0	24.0	63.0	48.0	0.0
M - 3.0 - 20.0	27.0	26.0	65.0	58.0	0.0

4. 적용사례 및 선정요소

국내에서는 속경성 자기충전콘크리트의 활용사례는 물론이고 개발을 위한 연구보고도 없는 실정이나 이미 일본, 구미지역에서는 탈형강도 30~40 N/mm² 이상의 속경성 자기충전콘크리트가 2차제품 생산은 물론이고 시공 기간 단축과 성력화 및 고품질 확보를 위해 구조물의 벽체, 바닥판, 슬래브, 기둥 등 이외에, 동절기 등 비수기용 대체 레미콘으로 그의 사용이 증가되고 그의 적용사례를 보고하고 있다.

표. 9 속경성 자기충전콘크리트의 적요사례 및선정요소

적용사례	적용 및 선정요소	강도(N/mm ²)	
		탈형	출하
U자 PC girder	U자 PC girder는 투입구의 개수가 제한되고 PC강재와 철근이 많기 때문에 보통 콘크리트로는 타설하기 곤란한 제품임	40	50
PC침목	보통 콘크리트를 사용하면 진동을 걸어 밀실하게 다짐해야 하는데 침목제작에서는 레일체결장치가 진동에 의해 움직이기 때문에 소정배치가 어렵다. 자기충전제품으로 불량률과 생산효율을 향상함	40	50
PC방설 암거	다짐의 간편성을 위해 수평타설을 해야 하는데 제품당 제작장소를 널리 잡아야 한다. 종방향타설 제품을 고안하여 이의 문제해결과 충전을 용이하고 시간을 단축하는 효과를 얻음	40	60
스타디움용 SRC건축부재	대들보 타설은 통상 3회 타설하는데 자기충전콘크리트를 적용하여 부재료를 90도 회전시켜 횡타설하므로서 1회 타설로 생산효율을 꾀함	12	50

표 10 적용제품 사례별 요구품질 및 실측강도 수준

특성 적용	굳지 않은 콘크리트			굳은 콘크리트				
	S.F (cm)	T50 (sec)	Air (%)	압축강도(N/mm ²)				
				탈형		7일	28일	
				목표	실측	실측	목표	실측
U자 PC거더	60	7.8	3.2	40	42.3	56.6	50	68.4
RC Culvert	66	-	4.4	20	46.5	55.3	50	-
PC침목	66	-	4.3	40	42.2	57.8	50	65.6
PC방설거	60	5.0	4.5	40	44.6	64.7	60	73.5
PC눈 턱	61	6.0	4.2	40	40.6	56.8	60	68.3
Stadium SRC부재	67	4.0	3.5	12	22.1	53.0	50	59.3
PC 단상판	65	6.2	5.1	35	36.5	52.5	50	61.5
PC 건축부재	57	11.0	4.1	36	42.4	61.0	60	72.1

5. 결론

- 1) 1종 또는 3종시멘트를 사용해 증기양생으로 제조되는 공장 제품의 1일 탈형강도는 속경성 자기 충전콘크리트를 사용하면 무 증기양생에서 1일 재령이전에 탈형강도가 확보되고 자기충전성을 확보할 수 있다.
- 2) 속경성 자기충전콘크리트는 사용 감수제의 종류와 혼합재의 조건에 따라서 초기재령 강도(12hr~2ds)가 크게 영향을 받으므로, 적용제품의 생산공정과 제품 마무리에 따라 가사시간이 달라 되도록 제품별로 품질제어기술이 필요로 한다.
- 3) 속경성 자기충전콘크리트는 2차제품 생산은 물론이고, 구조물의 시공기간 단축과 성력화 및 고품질 확보를 위해 구조물의 벽체, 바닥판, 슬래브, 기둥 등 이외에, 동절기 등 비수기용 대체 레미콘으로 적용이 기대된다.
- 4) 장기 품질 안정성을 위한 수화열 온도계측 및 평가, 건조수축, 동결융해 특성 등 기타 내구성 평가 등을 수행할 예정이다.

본 과제는 한국과학재단이 지원하는 콘크리트 신제품 신기술 연구회(신기회장, 이종렬, 쌍용기술연구소장) 회원이 공동으로 추진하고 있습니다.

참고문헌

1. 川島 滿成 외 2인, "고유동콘크리트에 의한 공장제품의 제조", 日, コンクリート工学 Vol.38, No. 5, 2000.5)
2. 高田 和法, J C Walraven 외 1인, "자기충전콘크리트 실용화의 현상과 금후의 전망(네덜란드)." 日, コンクリート工学 Vol.38, No. 3, 2000. 3.
3. 正木寛昭 외 1인, "제품공장에서 고유동콘크리트 -타사와의 차별화를 도입목표-", 日 콘크리트 技術 Vol.21, No. 3, Mar, 2002. 3.