

동절기 Shotcrete 시공을 위한 미립자 시멘트의 활용

Practical Application of Fine Particle Cement for Shotcrete in Cold Weather

김 경 민* 황 인 성** 김 성 수*** 한 민 철**** 한 천 구*****
Kim, Kyoung Min Hwang, In Sung Kim, Sung Soo Han, Min Cheol Han, Cheon Goo

ABSTRACT

Strength development of concrete subjected to cold weather is generally delayed due to its low temperature. In case of soil nailing method, it is necessary to apply the shotcrete. However, the shotcrete placement under low temperature experiences retardation of strength development due to delayed hydration reaction. Therefore, in this paper, the use of fine particle cement which is produced through particle classification in cement manufacturing process, is discussed to enhance the strength development of the shotcrete under low temperature. According to the results, the concrete containing 100% of fine particle cement had excellent strength development even at -9°C of temperature and at 5days, it reached design strength with PE film curing. It is thought that more than 70% of fine particle cement can secure required strength of the shotcrete even at low temperature condition.

요 약

동절기 공사시에는 낮은 외기온에 기인하여 콘크리트의 조기강도 발현이 취약하게 된다. 특히, 동절기 공사 중, 외부의 절취면을 대상으로 Nail를 삽입함으로써 사면 전체를 일체화시키는 Soil Nailing 공법을 적용하는 경우에는 낮은 외기온에 기인한 Shotcrete의 강도발현에 많은 어려움이 있을 것으로 예상되고 있다. 따라서, 본 연구에서는 상기의 어려움을 해결할 목적으로, 시멘트 생산과정 중 부수적으로 발생하는 초미립자 시멘트(이하 미립자 시멘트라 칭함)를 이용하여 동절기 Shotcrete공사의 조기강도 발현성능을 확보하고자 하였다. 실험결과, 외기온이 최저 -9°C 의 극저온 조건이라 할지라도 미립자 시멘트를 100% 사용하면서, 간단한 비닐보양 양생을 실시한다면 약 5일 정도의 단기재령만으로도 설계기준강도를 만족하는 우수한 품질의 Shotcrete를 경제적으로 제조 할 수 있는 것으로 나타났다.

* 정회원, (주)대우건설기술연구원 건축연구팀 전임연구원

** 정회원, 아세아시멘트(주) 연구개발팀 선임연구원

*** 정회원, 아세아시멘트(주) 연구개발팀 팀장

**** 정회원, 청주대학교 건축공학부 전임강사

***** 정회원, 청주대학교 건축공학부 교수

1. 서론

동절기 공사시에는 낮은 외기온에 기인하여 콘크리트의 초기강도 발현이 취약하게 된다. 특히 토공사시 절취면을 대상으로 Nail를 삽입함으로써 사면 전체를 일체화시키는 Soil Nailing 공법을 적용할 경우 Shotcrete가 사용되는데, 이 경우 초기강도 발현은 구조체의 안정성 확보를 위하여 매우 중요하다. 즉, Shotcrete의 강도발현 역시 온도에 민감한 영향을 받게 되고, 동절기 공사시 낮은 외기온에 기인하여 Shotcrete의 강도발현이 저하되는 문제가 발생하게 된다.

따라서, 본 연구에서는 시멘트 생산공정 중 입도분급에 의해 포집된 미립자를 (이하 미립자 시멘트라 칭함) 이용하여 동절기 Shotcrete공사의 초기강도 향상방안에 대하여 검토하였다.

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획

미립자 시멘트를 Shotcrete에 적용함에 있어 강도발현특성 검토를 위한 실험계획은 표 1과 같고, 배합사항은 표 2와 같다. 먼저, 배합사항으로는 기존에 적용하고 있는 설계기준강도 18 MPa급 Shotcrete의 배합조건을 대상으로 미립자시멘트를 전혀 사용하지 않는 경우와 전체를 미립자시멘트만으로 사용하는 2개 수준 그리고, 각각 50%, 70%를 사용하는 총 4개 수준으로 계획하였다.

실험사항으로 양생조건은 외기에 노출시키는 경우와 동일 조건에서 비닐로 보양하는 조건으로 구분하고, 여기에 각 조건별 공시체의 온도측정 및 재령별 압축강도를 측정하는 것으로 계획하였다. 현장개요는 사진 1 및 표 3과 같다.

2.2 사용재료

본 실험에 사용한 시멘트는 보통 포틀랜드시멘트 및 미립자시멘트를 사용하였는데, 각각의 화학성분 및 물리적 성질은 표 4와 같다. 잔골재는 밀도 2.55g/cm³, 조립율 2.91의 북인천산 세척사를 사용하였고, 굵은골재는 밀도 2.62g/cm³, 조립율 7.05의 남양석산 13 mm 쇄석을 사용하였다. 또한, 급결재는 국내 A사의 분말형 칼슘알루미네이트계를 사용하였다.

표 1. 실험계획

배합사항		실험수준	
배합조건	W/B (%)	1	42.5
	양생조건	2	· 외기 노출양생 · 비닐 보양양생
	배합 종류	4	· 플레인 배합 · 미립자시멘트 50 % · 미립자시멘트 70 % · 미립자시멘트 100 %
실험사항	굳지않은 콘크리트	1	· 콘크리트 온도측정
	경화 콘크리트	1	· 압축강도 (3hr ~ 28일)

표 2. Shotcrete의 배합조건

구분	굵은골재 최대크기 (mm)	W/B (%)	단위질량 (kg/m ³)					
			W	OPC	미립자 시멘트	급결재	S	G
기존배합	13	42.5	170	400	-	17	977	721
미립자시멘트 50%				200	200			
미립자시멘트 70%				120	280			
미립자시멘트 100%				-	400			

표 3. 현장개요

구분	내용
공사명	파주푸르지오 신축공사
공사기간	2008. 2. 1 ~ 2010. 12. 31.
규모	지하 2층, 지상 17층 8개동
시공사	(주)대우건설
위치	경기도 파주시 조리읍



사진 1. 현장 조감도

2.3. 실험 방법

본 연구의 실험방법으로서 배합은 사진 2의 a)와 같이 건식 배합법을 적용하였으며, 실험은 사진 2의 b)에서와 같이 한국콘크리트표준시방서의 「슛크리트 제조방법」 및 KCI-SC101의 「슛크리트의 압축강도 시험용 공시체 제작방법」에 따라 표준적으로 제작하였다. 또한, 압축강도 실험은 KS F 2405에 준하여 실시하였다.

표 4. 시멘트의 화학성분 및 물리적 성질

구분	화학성분 (%)								LSF	SM	IM	Blaine (cm ² /g)
	LOI	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O				
OPC	0.35	21.88	5.02	3.66	64.18	2.01	1.83	0.92	90.44	2.52	1.37	3,380
미립자 시멘트	0.54	21.24	5.01	3.68	62.91	2.00	3.17	1.31	89.55	2.44	1.36	6,953

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



a) 재료 투입



b) 압축강도 공시체 제작

사진 2 실험모습

3. 실험결과 및 분석

표 5와 그림 1은 미립자 시멘트의 혼입을 변화에 따른 압축강도 특성을 각 재령별로 구분하여 나타낸 것이고, 그림 2는 외기온도 및 양생 방법에 따른 공시체의 중심부 온도를 나타낸 것이다. 즉, 당초 실험계획에서는 초기 압축강도 평가 재령으로 콘크리트 혼합 후 3 시간, 12 시간 및 17시간부터 28일까지 측정하는 것으로 계획하였으나, 시험 당일의 외기온이 최저 -9 °C 정도까지 낮아졌던 점에 기인하여 압축강도 측정이 불가능 하였다. 따라서 이후, 17 시간 이후부터 강도를 평가할 수 있었다.

표 5. 미립자 시멘트 혼입율별 Shotcrete 압축강도 결과

단위 : MPa

재령	구분	외기노출				비닐보양			
		0%	50%	70%	100%	0%	50%	70%	100%
3 hr.*		-	-	-	-	-	-	-	-
12 hr.*		-	-	-	-	-	-	-	-
17 hr.		3.3	4.4	4.8	-	1.2	1.5	1.8	-
1일		0.3	0.9	1.5	1.9	0.3	0.8	1.4	1.8
3일		4.2	6.6	13.6	16.6	4.2	8.4	10.7	17.7
5일**		-	-	-	17.8	-	-	-	20.1
28일		8.4	11.6	18.4	22.2	10.0	12.5	19.6	24.7

* 타설 후 3 hr.과 12 hr.의 경우는 압축강도 측정 불가

** 5일 재령의 경우 미립자 시멘트 100%만을 대상으로 평가함

전반적으로 미립자 시멘트의 혼입율이 증가할수록 압축강도는 증가하는 것으로 나타났다. 즉, 재령 1 일에서 외기에 노출시킨 공시체의 압축강도는 미립자 시멘트의 혼합비율이 50%이고, 플레인 배합에 비해 약 3배, 70% 혼입의 경우는 5배, 100% 혼입의 경우는 6.3배 가량 증가하는 것으로 나타났으며, 동일재령에서, 비닐보양 한 경우는 각각 2.7배 (50% 혼입), 4.7배 (70% 혼입) 그리고 6배 (100% 혼입) 가량 증가되는 것으로 평가되었다.

또한, 외기노출조건에서 3 일간 양생한 경우는 플레인 배합 대비 미립자 시멘트를 50% 혼입한 경우 1.57배, 70% 혼입한 경우는 3.23배 그리고, 미립자 시멘트만을 사용한 경우는 3.8배 가량 증가하는 것으로 나타났다. 한편, 공시체를 비닐 보양하여 양생한 경우는 각각 미립자시멘트 혼입율 50%에서 2배, 미립자시멘트 혼입율 70%에서 2.55배 그리고, 미립자시멘트 혼입율 100%에서 4.21배씩 증가하는 것으로 평가되었다. 여기서 미립자 시멘트를 100% 사용한 경우는 실제 압축강도가 17.7 MPa 정도인 것으로 나타났는데, 이러한 결과는 설계기준강도 (18 MPa)에 거의 도달하고 있는 수준인 것이다.

즉, 외기노출조건인 경우는 28일 재령에서 저온조건에 의한 강도발현 지연효과의 영향으로 미립자

시멘트 70% 및 100%의 경우를 제외한 모든 조건에서 설계기준강도를 만족하지 못하는 것으로 나타났다.

본 연구범위에서, 재령 17시간의 압축강도는 양생조건이나 미립자 시멘트의 혼입율 변화에 따른 구분 없이 3.3~5.2 MPa 수준인 것으로 나타나, 재령 1일의 압축강도보다도 높게 되는 것으로 나타났는데, 이는 적용 당시의 외기온도가 최저 -9℃ 까지 저하함으로서 외기에 노출된 공시체의 경우 중심부 온도가 최저 -5℃ 정도이었고, 비닐양생의 경우는 최저 -3℃ 수준까지 낮아지는 여건에 기인한 것으로 분석된다. 즉, 낮은 외기온에 기인하여 Shotcrete 내의 수분이 일부 동결함으로서 압축강도가 높게 평가된 것으로 사료된다. 그러나 양생조건이 최저 -9℃까지 낮아지는 극한 외기노출 조건이라 할지라도 미립자 시멘트를 70% 이상 사용한 경우는 재령경과에 따라 강도가 지속적으로 증가하는 것으로 나타나, 초기강도 증진특성 뿐만 아니라 초기동해 방지에도 매우 효과적이라는 것을 알 수 있었다. 더욱이, 미립자 시멘트를 100% 사용한 경우는 재령 5일(외기노출양생)만에 설계기준강도를 상회하는 것으로 평가되었을 뿐만 아니라, 시험과정에 나타난 결과로 리바운율도 크게 저감됨으로서 경제적 측면에서도 매우 유리한 것으로 평가되었다.

4. 결론

본 연구에서는 동결기 Shotcrete공사의 초기압축강도 증진을 목적으로 미립자 시멘트의 활용성을 검토하였는데, 그 결과를 정리하면 다음과 같다.

1) 영하 이하의 극저온 환경에서도 미립자 시멘트의 혼입율이 증가할수록 초기 압축강도는 비례적으로 증가하는 것으로 나타났다. 즉, 미립자 시멘트를 100% 사용한 경우 재령 5일(외기노출양생)만에 설계기준강도를 상회하였고, 아울러 리바운율도 크게 저감되는 것으로 평가되었다.

2) 저온조건에서 Shotcrete를 시공할 경우는 미립자 시멘트를 70%이상 사용하고, 간단한 보온양생을 실시한다면 초기동해방지나 공기단축, 그리고 경제적 측면에서 매우 효과적일 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 콘크리트표준시방서, 한국콘크리트학회, 2003
2. 입도분급 조강형 시멘트를 이용한 콘크리트의 조기강도 발현기술 개발과 현장 실용화 연구보고서, 청주대학교 산학협력단, 2007. 11

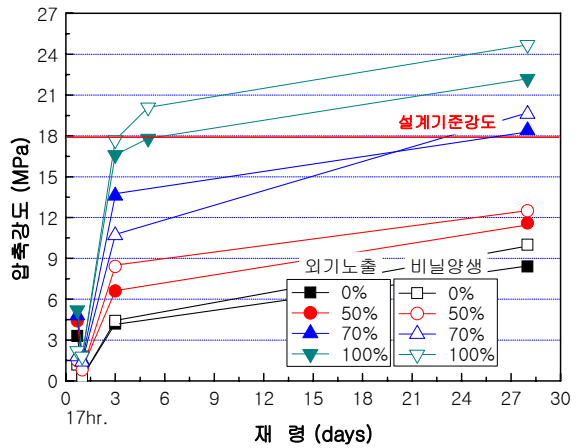


그림 1. 양생조건별 미립자시멘트 혼입율에 따른 압축강도

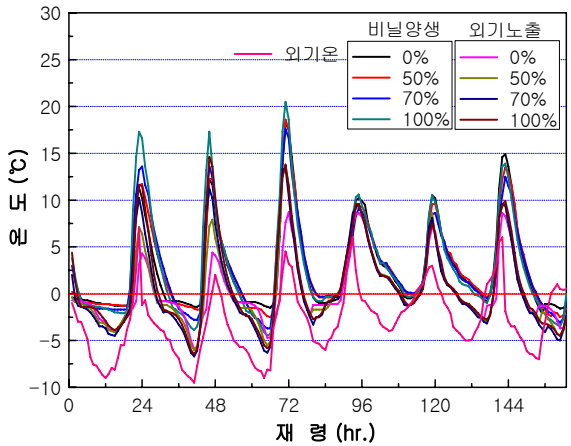


그림 2. 외기온 및 공시체 온도