

콘크리트의 초기강도 발현에 미치는 시멘트 요인의 영향

Influence of Cement Factor on the Strength Development of Concrete at the Early Age

김광화*
Jin, Guang Hua

김은호*
Jin, En Hao

임 주 혁**
Im, Ju Hyeuk

김 규 동***
Kim, Gyu Dong

한 천 구****
Han, Cheon Goo

ABSTRACT

In this study, the influence of cement factor on the early strength gain and the other properties of concrete is discussed. According to the result, the setting time is faster in order of alumina cement(AC), high-early-strength cement(HSC) and ordinary Portland cement(OPC), and when OPC are replaced with HSC and AC, the final setting time is faster than when only OPC is used. At 10% replacement of AC, the instant setting happens. As the particle of cement is minute, setting time is shortened. As the properties of hardened concrete, the time when compressive strength of 5MPa, which the form can be removed, is gained is about 18 and 16 hours in the case of OPC and HSC respectively, and in the case of AC, it is about 5 hours. It also shows 16 hours at the replacing ratio of HSC of 50%, and 26 and 72 hours at the replacing ratio of AC of 5 and 10% respectively. And it shows 21, 16 and 12 hours with variation of fineness of cement, so early strength gain is fast with an increase of fineness. The coefficient of correlation between compressive strength and the rebound value is over 0.97, is very favorable. Therefore, if the rebound value of P type Schmidt hammer is more than 25, it is thought that the side forms can be removed.

1. 서론

현행 우리나라 콘크리트 표준시방서에서는 기초, 보열, 기둥 및 벽 등의 측면거푸집널 탈형시기는 구조체 콘크리트의 압축강도가 5MPa 이상 발휘된 것을 확인하고 해제하도록 규정되어 있다.

따라서 건설물 시공과정에서 공기를 단축하기 위하여는 콘크리트의 초기 강도증진으로 거푸집 제거 시기를 단축시켜볼 필요성이 제기된다. 콘크리트의 강도증진에 관련하여 배합비, 사용재료 등 많은 요인이 존재하지만, 사용재료 중에서도 특히 시멘트의 종류가 크게 영향주는 것으로 이에 대한 검토가 필요하게 되었다.

그러므로, 본 연구는 콘크리트 초기강도의 발현과 관련한 실험적 연구로 시멘트 종류에 따른 콘크리트의 초기강도 특성 및 P형 슈미트햄머에 의한 거푸집 탈형강도 측정가능성에 대하여 검토하고자 한다.

2. 실험계획 및 방법

* 정회원, 청주대학교 대학원, 석사과정

** 정회원, 삼성물산(주) 건설부문 주택기술팀 차장

*** 정회원, 삼성물산(주) 건설부문 기술연구소 전임연구원

**** 정회원, 청주대학교 건축공학부 교수

2.1. 실험계획

본 연구의 실험계획은 표 1과 같다. 즉, 실험요인으로 W/C 45%에서 시멘트 종류는 보통 포틀랜드시멘트(OPC), 조강시멘트(HSC), 알루미늄시멘트(AC)의 3수준으로 하였고, 시멘트 치환요인은 조강시멘트 50%치환 1수준과 알루미늄시멘트 5, 10%를 치환하는 2수준의 총 3수준으로 하였다. 또한 시멘트 입도분포 요인은 A(분말도 3000cm²/g), B(분말도 4600cm²/g), C(분말도 8000cm²/g)의 3수준으로 실험계획 하였다. 이때 시

표 1 실험계획

실험요인	W/C (%)	1	45
	목표 슬럼프 (cm)	1	15±1.5
목표 공기량 (%)	1	4.5±1.5	
시멘트 종류	시멘트 종류	3	OPC, HSC, AC
	시멘트 치환 (%)	3	HSC 50; AC 5, 10
	시멘트 입도분포	3	A, B, C
실험사항	굳지않은 콘크리트	5	슬럼프, 슬럼프플로우, 공기량, 단위용적중량, 응결시간
	경화 콘크리트	2	압축강도 (9, 12, 18, 24시간) P형 슈미트햄머 반발도 (9, 12, 18, 24시간)

OPC:보통 포틀랜드시멘트 HSC:조강시멘트 AC:알루미늄시멘트
A:분말도 3000 cm²/g B:분말도 4600 cm²/g C:분말도 8000 cm²/g

멘트 종류에 따른 실험에서만은 목표 슬럼프치는 15±1.5cm, 목표 공기량은 4.5±1.5%를 만족하도록 배합설계하였다. 실험사항으로 굳지않은 콘크리트에서는 슬럼프, 슬럼프플로우, 공기량, 단위용적중량 및 응결시간을 측정하였고, 경화 콘크리트에서는 재령 9, 12, 18, 24시간에 압축강도를 측정하였으며, 동시에 P형 슈미트햄머 반발도도 측정하였다. 이때 콘크리트의 배합사항은 표 2와 같다.

2.2. 사용재료

본 실험에 사용한 시멘트는 국내산 A사의 OPC(비중:3.15, 분말도:3,265cm²/g), S사의 HSC(비중:3.11, 분말도:4,400cm²/g), U사의 AC(비중:3.03, 분말도:4,849cm²/g)를 사용하였고, 시멘트 입도분포는 B입도인 HSC를 분급하여 A, C로 구분하여 사용하였다. 잔골재는 인천 중구

표 2 콘크리트의 배합

종류	구분	W/C (%)	단위수량 (kg/m ³)	S/a (%)	SP/C (%)	절대용적배합 (ℓ/m ³)			중량배합 (kg/m ³)		
						시멘트	잔골재	굵은골재	시멘트	잔골재	굵은골재
시멘트	OPC	45	170	45	0.10	120	299	366	378	772	958
	HSC					121	299	365	378	771	957
	AC					117	305	373	355	787	976
시멘트 치환 (%/C)	HSC 50	45	170	45	0.10	OPC 60	299	336	OPC 189	772	958
	HSC 60					HSC 189					
	OPC 108					OPC 340					
	AC 12					AC 38					
입도분포 변화(HSC)	A	45	170	45	0.20	121	299	365	378	771	957
	B										
	C										

항동산 세척사(비중:2.58, 조립률:2.89)를 사용하였고, 굵은골재는 경기도 광주산 25mm 부순 굵은골재(비중:2.62, 조립률:6.75)를 사용하였다. 또한, 혼화제로서 고성능감수제는 국내산 D사의 나프탈렌계를 사용하였고, AE제는 빈줄계를 사용하였다.

2.3. 실험방법

본 연구의 실험방법으로 콘크리트의 혼합은 강제식 팬믹서를 사용하였다. 굳지않은 콘크리트의 실험으로 슬럼프는 KS F 2402에 의거 실시하였고, 슬럼프플로우는 슬럼프 측정이 끝난 후 최대직경과 이에 직교하는 직경의 평균치로 하였으며, 공기량 및 단위용적중량은 KS F 2421, 2409, 응결시간은 KS F 2436의 관입저항침 시험방법에 의거 실시하였다. 경화 콘크리트의 실험으로 압축강도는 KS F 2405에 의거 실시하고, P형 슈미트햄머 반발도는 20×20×20cm인 입방공시체를 제작하여 초기재령에서는 거푸집이 탈형되지 않았으므로 상부표면을 수평타격 하였다.

3. 실험결과 및 분석

3.1. 굳지않은 콘크리트의 특성

표 3은 시멘트 종류, 치환, 입도분포의 변화에 따른 슬럼프, 슬럼프플로우, 공기량 및 단위용적중량 등 굳지않은 콘크리트의 특성을 정리하여 나타낸 것이다.

먼저, 시멘트 종류별 슬럼프, 공기량은 목표 슬럼프 및 공기량을

만족하였다. 시멘트 치환요인으로 HSC를 OPC와 치환하였을 경우 굳지않은 콘크리트의 특성은 OPC와 비슷하였고, AC를 치환한 경우는 치환을 증가에 따라 유동성이 특히 저하하는 것으로 나타났다. 시멘트 입도분포 변화에 따른 유동성은 입도분포가 잔입자일수록 슬럼프 및 슬럼프플로우가 저하하는 것으로 나타났는데, 이는 시멘트 입자가 미분일수록 비표면적이 크기 때문에 많은 량의 물을 흡착하여 유동성이 저하된 것으로 분석된다. 공기량은 시멘트 입자가 미분일수록 공극충전효과에 의해 저하하는 것으로 나타났다.

그림 1은 시멘트 종류, 치환, 입도분포별 경과시간에 따른 관입저항치를 나타낸 것이고, 그림 2는 초결, 종결시간을 나타낸 것이다. 시멘트 종류에 따라 OPC, HSC, AC를 사용하였을 경우 종결은 각각 10, 9, 5시간 전후로 나타났고, 시멘트 치환의 경우는 모두 OPC보다 종결이 빨랐는데, HSC를 50% 치환한 경우 종결이 8시간 전후, AC를 5%치환한 경우 종결이 5시간 전후였으나, 10%를 치환한 경우 초기 순결현상에 의해 종결이 1시간 전후였다. 시멘트 입도분포에 따라 종결은 11, 9, 7시간 전후로 입도분포가 미분일수록 비표면적 증가에 따른 수화반응 촉진으로 종결이 빠르게 나타났다

표 3 굳지않은 콘크리트의 성질

구분 실험사항	시멘트 종류			시멘트 치환 (OPC를 치환)			입도분포 변화(HSC)		
	OPC	HSC	AC	HSC 50%	AC 5%	AC 10%	A	B	C
슬럼프 (cm)	16.3	14.5	14.5	16.5	11.0	9.80	17.6	14.5	2.00
슬럼프플로우 (cm)	28.1	24.8	24.1	28.6	24.3	21.5	28.3	24.8	20.1
공기량 (%)	4.8	3.6	3.6	5.5	5.4	5.1	4.5	3.6	2.1
단위용적중량(kg/m ³)	2336	2369	2371	2320	2321	2328	2348	2369	2408

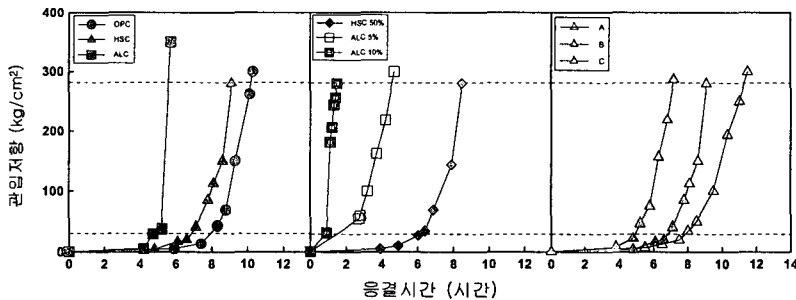


그림 1 시멘트 종류, 치환, 입도분포별 시간경과에 따른 관입저항

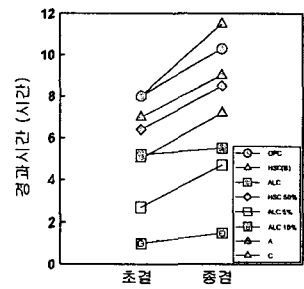


그림 2 시멘트 종류, 치환, 입도분포별 응결시간

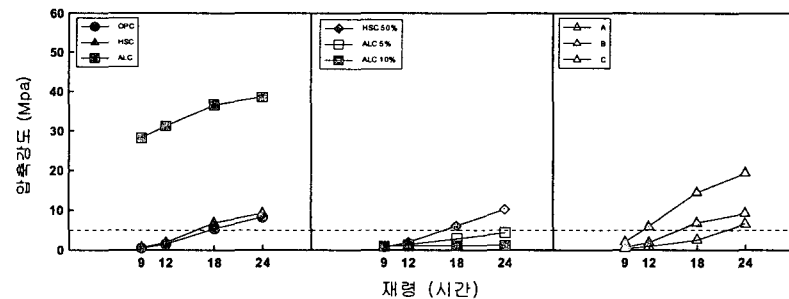


그림 3 시멘트 종류, 치환, 입도분포별 재령경과에 따른 압축강도

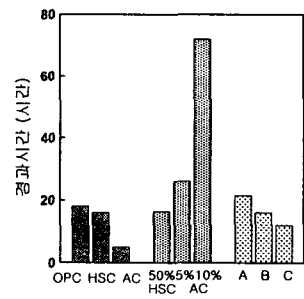


그림 4 5MPa 압축강도에 도달한 시간

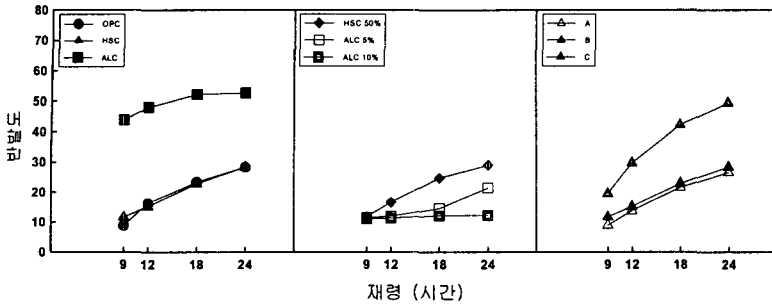


그림 5 시멘트 종류, 치환, 입도분포별 재령경과에 따른 반발도

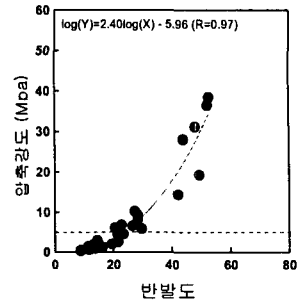


그림 6 압축강도와 P형 슈미트햄머 반발도의 비교

3.2. 경화 콘크리트의 특성

그림 3은 시멘트 종류, 치환, 입도분포별 재령 1일까지의 압축강도를 나타낸 것이고, 그림 4는 5MPa 압축강도에 도달하는 시간을 나타낸 것이다. 먼저, 측면거푸집을 탈형 할 수 있는 강도인 5MPa에 도달하는 시간은 시멘트 종류에 따라서는 OPC, HSC의 경우는 18, 16시간 전후이었고, AC의 경우는 5시간 전후로 매우 빠르게 나타났다. 시멘트 치환에 따라서는 HSC, AC 5%, 10%의 경우 각각 16, 26, 72시간 전후였는데, 단 AC 10%치환의 경우는 종결이 매우 빨리 측정된 반면 조기강도는 발휘되지 않는 것으로 나타났다. 시멘트 입도분포에 따라 A, B, C의 경우 각각 21, 16, 12시간 전후로 시멘트 입자가 미분일수록 수화반응이 촉진되어 초기 압축강도 발현이 빠르게 나타났다.

그림 5는 재령경과에 따른 P형 슈미트햄머의 반발도를 나타낸 것이고, 그림 6은 재령 1일의 압축강도와 P형 슈미트햄머의 반발도를 산점도로 비교하여 나타낸 것이다. P형 슈미트햄머의 반발도는 압축강도와 유사한 경향으로 나타났고, 초기재령에서 P형 슈미트햄머의 반발도와 압축강도의 상관계수는 0.97 이상으로 양호하게 나타났다. 따라서, 거푸집 탈형시기와 관련하여 효과적인 초기 압축강도 추정이 가능할 것으로 판단되는데, 참고적으로 수평타격의 경우 측면거푸집을 탈형 할 수 있는 강도 5MPa는 반발도 25이상이면 가능할 수 있음을 알 수 있었다.

4. 결론

콘크리트의 조기강도 발현 및 기타 특성에 미치는 시멘트 요인의 영향을 검토한 실험결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 응결시간은 AC, HSC, OPC의 순으로 빠르게 나타났고, 시멘트 치환의 경우 모두 종결이 OPC보다 빨랐는데, 특히 AC 10%치환의 경우는 순결현상이 발생하였다. 시멘트 입도분포는 입도분포가 미분일수록 응결이 촉진되었다.
- 2) 측면거푸집 탈형 가능강도인 5MPa에 도달하는 시간은 OPC, HSC는 18, 16시간 전후이고, AC는 5시간 전후로 매우 빨랐으며, HSC 50%, AC 5%, 10%를 시멘트에 치환한 경우는 각각 16, 26, 72시간 전후로 AC를 치환할 때 오히려 매우 늦게 나타났다. 시멘트 입도분포에 따라서는 A, B, C입도 각각 21, 16, 12시간 전후로 입도분포가 미분일수록 조기강도 발현이 빠르게 나타났다.
- 3) 초기재령에서 압축강도와 P형 슈미트햄머 반발도는 상관계수가 0.97이상으로 상관성이 매우 양호하였는데, 이때 수평타격의 반발도가 25 이상이면 5MPa 이상의 압축강도로 측면거푸집의 탈형이 가능함을 알 수 있었다.

참고문헌

1. 한천구, 황인성, 신병호; 콘크리트의 조기강도발현에 따른 거푸집 탈형시기 결정, 건축학회논문집, 제 18권 제 9호, 2002. 9.