

혼화제 사용 콘크리트의 응결 및 강도발현에 미치는 온도의존성에 관한 연구

A Study on the Temperature Dependency Affecting Setting and Strength Development of Concrete Using Mineral Admixtures

주은희* 손명수** 전현규** 한민철*** 한천구****
Joo, Eun Hi Shon, Myeong Soo Jeon, Hyun Kyu Han, Min Cheol Han, Cheon Goo

ABSTRACT

This experimental study investigate temperature dependency affecting setting and strength development of concrete using mineral admixtures such as CKD, FA and BS. For the properties of setting at 5°C, setting time of concrete with mineral admixture was delayed about 3~14 hour compared with that of plain concrete. Use of CKD had a desirable effect on reducing setting retard under 5°C because of CaCO₃ of CKD while use of FA and BS retarded setting time greatly. For compressive strength under 5°C, concrete with CKD had the most compressive strength in early age compared with the other mineral admixtures but exhibited slight strength loss in -5°C at 28days. Especially, concrete with FA and BS was observed in early stage at low curing temperature because of strength loss remarkably in -5°C.

1. 서론

현재 건설공사용 레미콘 생산에서 주로 이용되고 있는 혼화제로는 플라이애쉬(이하 FA)와 고로슬래그 미분말(이하 BS) 등이 있다.

그런데, 이러한 플라이애쉬 및 고로슬래그 미분말과 같은 혼화제를 사용한 콘크리트의 성상에 대해서는 이미 국내외적으로 많은 연구가 진행되었고, 아울러 최근 본 연구팀에서는 시멘트를 생산하는 과정 중 클링커를 소성하는 과정에서 발생하는 시멘트 킬른더스트(이하 CKD)의 활용방안에 대한 일련의 연구를 진행한 바 있다. 일반적으로 플라이애쉬 및 고로슬래그 미분말은 저온환경에서 응결 지연으로 인한 초기강도 발현의 문제점이 지적되고 있는데 비하여, 본 연구팀에서 검토 중인 시멘트 킬른더스트는 주성분이 탄산칼슘으로 저온에서의 응결지연은 거의 발생하지 않고 초기강도 발현에도 효과가 있는 것으로 나타나 향후의 활용성이 기대되고 있다.

따라서 본 연구에서는 선행적인 연구결과를 토대로 FA, BS 및 CKD 등의 혼화제를 사용한 콘크리트의 응결 및 강도발현에 미치는 온도의존성에 관한 실무활용성을 검토하기 위하여 표준온도와 겨울철 온도를 상정한 공시체 조건의 실험과 벽체를 가정한 모의구조체 조건으로 검토·실험을 실시하고 자 한다.

* 정회원, 청주대학교 대학원 석사과정

** 정회원, GS건설 기술연구소 전임연구원

**** 정회원, 청주대학교 교 산업과학연구소 전임연구원

***** 정회원, 청주대학교 건축공학부 교수

표 1. 콘크리트의 실험계획 및 배합사항

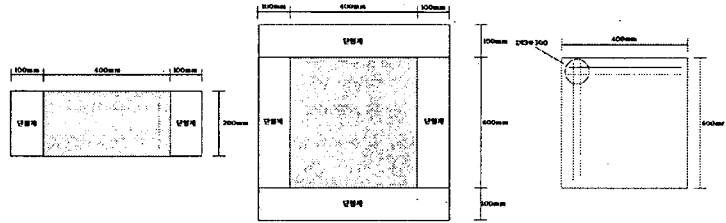
기호	W/B(%)	단위수량 (kg/m ³)	혼화제			S/a (%)	SP/C (%)	AE/C (%)	질량배합(kg/m ³)			
			CKD	FA	BS				C	B	S	G
Plain	45	175	0	0	0	43	0.10	0.002	389	0	728	999
CKD			10	0	0		0.30	0.003	350	38.9	726	996
FA			0	10	0		0.35	0.010	350	38.9	723	991
BS			0	0	10		0.30	0.004	350	38.9	727	998

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획

본 연구에서 사용한 콘크리트의 실험계획 및 배합사항은 표 1과 같다. 우선 배합사항으로는 W/B 45%에 대하여 Plain, CKD, FA 및 BS를 각각 10%로 치환하여

공시체 및 200×600×600mm의 크기로 모의 벽체부재를 제작하였다.(그림 1 참조) 이때 목표슬럼프 및 목표공기량은 각각 150±20mm, 4.5±1.5%가 되도록 SP제 및 AE제를 조절하여 배합설계하였다.



1) 평면도 2) 입면도 3) 철근배근도
그림 1. 모의 벽체부재의 평면도, 입면도 및 철근배근도

2.2 사용재료

본 연구에 사용된 시멘트는 국내산 A사의 보통포틀랜드시멘트(밀도:3.15g/cm³, 분말도: 3,265cm²/g), CKD는 국내산 A사(밀도:2.67g/cm³, 분말도:8,200cm²/g), FA는 보령화력산(밀도:2.21g/cm³, 분말도:3,368cm²/g), BS는 포항제철소산(밀도:2.89g/cm³, 분말도:4,650cm²/g)을 사용하였다. 잔골재는 인천 중국 향동산 세척사(표건밀도:2.58g/cm³, 흡수율:1.12%), 굵은골재는 경기도 광주산 25mm 부순골재(표건밀도:2.58g/cm³, 흡수율:1.2%)를 사용하였고, 혼화제로 고성능 감수제는 국내산 D사의 나프탈렌계, AE제는 빈줄계를 사용하였다.

2.3 실험방법

본 연구의 실험방법으로 먼저, 콘크리트의 혼합은 강제식 팬믹서를 사용하여 혼합하였다. 슬럼프는 KS F 2402 규정에 의거 실시하였고, 슬럼프플로우는 최대직경 및 직교하는 직경의 평균치로 하였으며, 공기량 및 단위용적질량은 KS F 2421 및 2409, 응결시간은 KS F 2436에 의거 측정하였다. 수화열 온도이력은 T타입 열전대를 모의부재의 중앙에 매립하여 600시간까지 데이터로거로 측정하였고, 압축강도는 KS F 2403의 규정에 의거 공시체를 제작하여 KS F 2405 규정에 따라 측정하였는데, 공시체의 양생방법은 모의 벽체부재의 경우 콘크리트 타설 후 5℃에서 2일간 기중보함양생을 실시한 뒤 -5℃에서 26일간 양생하고, 표준양생용 공시체의 경우는 20±3℃에서 28일간 양생하는 것으로 하였다. 한편 구조체 관리용 공시체는 모의 벽체부재와 동일한 요령으로 양생한 후 압축강도 실험을 실시하였다. 재령 28일에서 모의 벽체부재의 코어를 채취하여 압축강도를 측정하였다.

3. 실험결과 및 분석

3.1 굳지않은 콘크리트의 특성

표 2는 굳지않은 콘크리트의 실험결과를 나타낸 것이다. 전반적으로 배합설계를 실시한 것이므로 목표 슬럼프 150±20mm, 목표공기량 4.5±1.5%에 모두 만족하였다.

3.2 응결 특성

그림 2는 양생온도별 시간경과에 따른 관입저항값을 나타낸 것이다. 먼저 양생온도 20℃의 경우는 응결 시간이 플레인에 비하여 혼화재를 사용한 경우 약간 지연되는 것으로 나타났으나 큰 차이는 아닌 것으로 분석되며, 혼화재 종류별로는 상호간에 큰 차이를 보이지 않았다. 그러나 양생온도 5℃의 경우 플레인에 비하여 CKD를 사용한 경우 3시간, BS를 사용한 경우 8시간, FA를 사용한 경우 14시간 정도 응결이 지연되어 저온환경에서 혼화재를 사용할 경우 응결이 크게 지연되는 것으로 나타났다. 단 CKD를 사용한 경우에는 지연폭이 여타의 경우보다 짧은 것으로 나타났는데, CKD를 치환할 경우 플레인에 비해

단위시멘트량 감소에 기인한 응결시간 지연 및 CKD의 탄산칼슘에 의한 초기 수화반응을 촉진시키는 두가지 반응의 복합작용으로 인해 응결지연 폭이 다소 작은 것으로 사료되며, FA 및 BS를 치환한 경우는 저온환경에서의 포졸란 반응 및 잠재수경성 반응을 일으키는 자극제의 발생이 늦어짐에 기인하여 응결이 크게 지연된 것으로 판단된다. 따라서 본 연구결과에 의해 실무현장에서 혼화재 즉 FA 및 BS를 사용할 경우 특히 저온환경에서는 응결시간 지연에 따른 고려가 필요할 것으로 사료된다.

그림 3은 혼화재 치환 콘크리트의 시간경과에 따른 수화열 온도 이력을 나타낸 것이다. 모의 벽체부재 및 구조체 관리용 공시체는 타설 후 5℃에서 2일간 양생 후 -5℃에서 26일간 양생하였는데, 타설 후 플레인의 경우 약 8.5시간에서 31℃ 정도의 최고온도를 나타내었고, CKD를 치환한 경우 11시간에서 32℃ 정도의 최고 온도가 나타났으며, FA 및 BS는 15~18시간 사이에 30℃ 정도의 최고 온도를 나타내었다. 이는 플레인 및 CKD의 경우 저온에서 여타의 혼화재에 비하여 비교적 빨리 수화반응이 이루어져 온도의 상승에 기여한 것으로 판단된다. 한편, 0℃ 도달시간은 플레인의 경우 약 300시간, CKD는 275시간, FA는 260시간, BS는 285시간 정도로 나타났다. 궁극적으로 CKD를 사용할 경우 저온에서 초기 수화반응이 촉진되어 온도이력을 확보함으로써 겨울철 초기동해 방지 및 초기강도 발현에 효과적일 것으로 사료된다.

3.2 경화콘크리트의 특성

그림 4는 양생온도별 혼화재를 치환한 콘크리트의 압축강도를 나타낸 것이다. 전반적으로 재령이 증가할수록 양생온도가 높을수록 강도는 증가하는 것으로 나타났다. 혼화재 종류에 따라서는 양생온도 20℃의 경우 초기재령에서는 플레인, CKD, BS, FA 순서로 압축강도가 크게 나타났으나, 28일 재령에

표 2. 굳지않은 콘크리트의 실험결과

배치	항목	슬럼프 (mm)	슬럼프플로우 (mm)	SP/C (%)	공기량 (%)	단위용적질량 (kg/m ³)	AE/C (%)
45-P		150	222	0.10	4.7	2,290	0.002
45-CKD		145	228	0.30	3.5	2,322	0.003
45-FA		170	325	0.35	5.0	2,300	0.010
45-BS		154	300	0.30	5.7	2,263	0.004

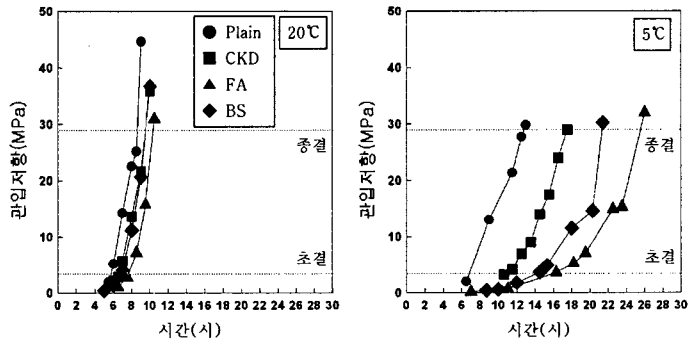


그림 2. 양생온도별 혼화재 치환 콘크리트의 시간경과에 따른 관입저항

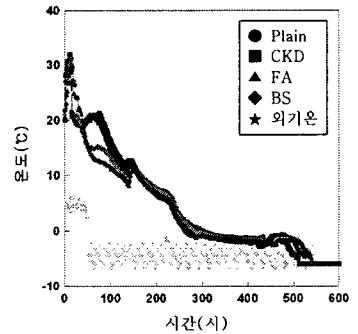


그림 3. 혼화재 치환 콘크리트의 시간경과에 따른 수화열 온도이력

서는 플레인, BS, CKD, FA 순으로 BS의 경우 재령 7일 이후부터 강도가 증가하여 28일에서는 플레인과 거의 차이가 없는 것으로 나타났다. 반면에 양생온도 -5℃의 경우 초기재령에서는 CKD를 치환한 콘크리트가 탄산칼슘에 의한 수화반응 촉진으로 인하여 압축강도가 제일 크게 발현되었고, FA 및 BS를 치환한 경우는 본 연구의 응결특성과 관련되어 압축강도가 다소 낮게 나타났다. 재령 28일에서는 CKD를 치환한 경우 플레인에 비하여 강도가 다소 저하하는 것으로 나타났으나 FA나 BS에 비해서는 매우 양호한 강도발현을 보이고 있었다.

그림 5는 양생온도 20℃, -5℃ 및 구조체별 각종 혼화재를 치환한 콘크리트의 압축강도를 나타낸 것이다. 전반적으로 양생온도 20℃로 수중양생한 공시체의 압축강도가 가장 크게 나타났고, 양생온도 -5℃의 경우 공시체보다 구조체 코아 압축강도가 다소 크게 나타났는데 이는 공시체와 구조체의 크기(Mass) 차이에 기인하여 구조체의 경우 공시체보다 높은 온도이력을 받아 강도가 크게 나타난 것으로 사료된다.

4. 결론

본 연구에서는 혼화재를 사용한 콘크리트의 응결 및 강도발현에 미치는 온도의존성에 대하여 분석하였는데, 그 결과를 정리하면 다음과 같다.

- 1) 응결특성으로 양생온도 20℃의 경우 혼화재 종류에 따라서는 크게 차이가 없는 것으로 나타난 반면, 양생온도 5℃에서는 혼화재를 사용한 경우 플레인에 비하여 대략 3~14시간 지연된 것으로 나타났는데, 이는 FA 및 BS를 치환한 경우 시멘트량의 감소와 저온에서의 포졸란 반응 및 잠재수경성 반응의 자극제 발생이 늦어짐에 기인하여 응결시간이 크게 지연된 반면, CKD를 치환한 경우는 시멘트량은 감소되었지만 CKD의 탄산칼슘에 의한 초기수화반응 촉진 등의 작용으로 말미암아 응결지연 폭이 다소 작은 것으로 분석된다.
- 2) 압축강도 특성으로 양생온도 20℃에서는 큰 차이가 없는 것으로 나타난 반면, 양생온도 5℃의 경우 재령 1일에서는 CKD를 치환한 콘크리트의 초기 수화반응 촉진에 의해 압축강도가 가장 크게 나타났지만, 그 이후 -5℃의 저온조건에서 재령이 경과함에 따라 강도발현율이 작아지는 경향을 보였다. FA 및 BS를 치환한 경우는 저온에서 포졸란 반응 및 잠재수경성 반응의 자극제 발생속도가 저하하여 초기뿐 아니라 재령이 경과하여도 강도발현이 작게 나타남을 알 수 있었다.

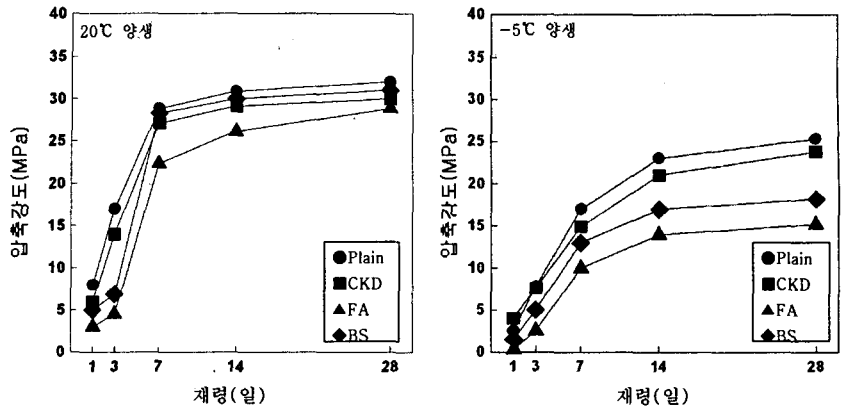


그림 4. 양생온도별 혼화재 치환 콘크리트의 재령경과에 따른 압축강도

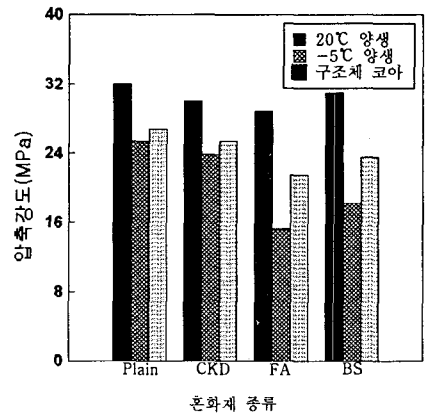


그림 5. 양생온도별 혼화재 치환 콘크리트의 28일 압축강도