

한중콘크리트 시공시 이용되는 혼화제의 특성

1. 서론

콘크리트의 연중시공은 동절기에 있어서 건설공사의 효율화를 가져오고, 노동자의 상시고용에 의한 경제 활성화 등 큰 영향을 미치게 된다.

동절기 공사 즉, 한중콘크리트 적용이 필수적인 반면 가장 중요한 문제로는 경화 초기단계의 콘크리트 중 수분이 동결하는 것에 의해서 발생하는 초기동해가 있고, 콘크리트 경화 후에 강도와 내동해성 등의 성상에 악영향을 미치게 된다. 이러한 초기동해를 방지할 목적으로 한중콘크리트 시공시 이용되는 방법으로는 구조물에 보온덮개로 양생 또는 양생보호막을 설치하는 방법, 기열보온 양생 및 배합의 조정으로 대응하고 있지만, 이 중에서 콘크리트 자체에 내한성을 부여하여 기열보온 양생이 불필요한 혼화제를 이용하는 방법이 많이 사용되어지고 있다.

그러나 건설공사 현장에서는 무리한 공사기간으로 인하여 적절한 보온대책이 수립하지 않은 채 품질이 확인되지 않는 혼화제를 사용하여 초기동해 문제를 해결하려는 사례도 있다. 또한, 경우에 따라서는

구조체에 커다란 문제점으로 작용될 수 있어 이와같은 구조물의 안전진단에 많은 어려움도 제기된다.

그러므로 본고에서는 겨울철에 국내 건설현장에서 사용되는 대표적인 혼화제를 사용하여 콘크리트 특성을 분석하여 안전 점검시 효율적인 업무에 활용토록 하고자 한다.

2. 이론적 고찰

2.1 내한성 혼화제의 종류

(1) 내한축진제 및 방동제

내한축진제 및 방동제는 시멘트의 수화 반응을 촉진하고 한중기에 있어서 타설한 콘크리트의 초기동해를 방지하기 위한 목적으로 개발되어진 혼화제이다. 이러한 종류의 혼화제는 예전부터 내한·방동제 혹은 방동성 혼화제(Antifreezer)로 불리는 계통에 속하고, 이제까지는 콘크리트 중 수분의 동결점 저하에 관하여 성능이 강조되어지고 있다. 그러나, 최근 여러 기관에서의 연구에서는 이러한 종류의 혼화제에 의하여 초기동해방지의 효과, 동결점 저하뿐만 아니라 저온 환경하에서의 응결, 경

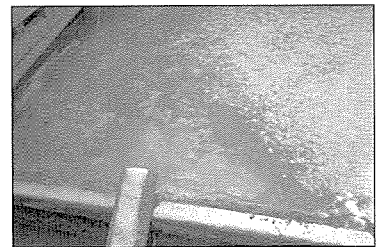


사진1. 콘크리트의 동해

화촉진 작용의 역할이 중요하다고 알려지고 있다.

내한축진제 및 방동제의 대부분은 염화물을 주성분으로 하고, 다량으로 사용하여 콘크리트의 동결을 방지하고, 시멘트의 수화반응을 촉진시켜 응결시간을 단축하고, 초기강도 증진을 유도하는 혼화제를 말한다. 하지만 염화물은 장기재령에서 강도발현이 문제가 되고, 특히 철근콘크리트의 철근부식의 우려가 있어, 일본 및 한국에서는 콘크리트에 염화물량을 엄격히 규제하여 사실상 사용에 주의를 하여야 한다.

(2) 조강제

시멘트 내에 혼합하여 시멘트의 수화반응을 촉진시켜 조기에 강도를 발휘시키기 위하여 사용하는 혼화제를 말한다. 특히 조강제는 경화축진제라고도 하며, 이러한 혼

표1. 실험요인 및 수준

요인		수준	
배합 사항	W/C	1	50%
	목표 슬럼프(cm)	1	± 1.5
	혼화제	3	• 내한제, 방동제, 조강제
	혼화제량(%)	2	• 0. 적정혼입율
배합 사항	양생온도(C°)	3	• 20° C, 5° C, -5° C
	굳지않은 콘크리트	4	• 슬럼프 • 공기량 • 염화물량 • 응결시간(20.5° C)
	강화 콘크리트	1	• 압축강도

표3. 시멘트의 물리적 성질

비중	분말도 (cm/g)	안정도 (%)	응결시간 (분)		압축강도 (kgf/cm ²)		
			초결	종결	3일	7일	28일
3.15	3.415	0.06	236	340	244	303	389

표4. 골재의 물리적 성질

골재 종류	비중	조립률	흡수율 (%)	단위용적 중량(kg/m ³)	입형판적 실적률(%)	0.075mm체 통과율(%)
강모래	2.64	2.62	1.46	1,598	61.0	2.06
굵은골재	2.63	6.84	1.31	1,536	59.1	-

화제는 거푸집의 조기탈형에 의한 거푸집 등을 목적으로 사용하는 혼화제를 말한다. 사용 회전율을 높이고, 한냉시 콘크리트의 응결, 경화불량방지 및 양생기간의 단축 조강제의 용도로는 한냉기 콘크리트 시공에 있어서 응결, 경화를 촉진시켜 동해

에 견딜 수 있는 강도를 조기에 발현하다든지, 2차제품으로 공장에서 거푸집의 회전을 빠르게 하여 가열양생에 소비되는 열량의 절약 등을 목적으로 감수제 및 AE 감수제와 병용하여 사용한다.

3. 실험계획 및 방법

3.1 실험계획

본 연구의 실험계획은 표 1과 같고, 배합 사항은 표 2와 같다. 실험계획 중 배합사항으로는 W/C 50% 1개 수준으로 하였고, 혼화제 종류로는 내한제(J), 방동제(C) 및 조강제(H)는 국내에서 유통되는 혼화제를 사용하였다. 혼화제 혼입률은 무혼입 및 혼화제 회사에서 추천하는 적정 혼입률을 적용하여 실험계획을 하였다.

실험사항으로는 굳지않은 콘크리트에서 슬럼프, 공기량 및 응결시간을 측정하였고, 경화 콘크리트에서는 압축강도를 측정하였다.

3.2 사용재료

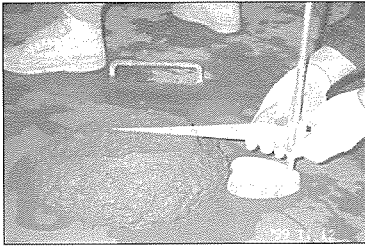
본 실험에서 사용된 재료로 시멘트는 국

표2. 콘크리트 배합표

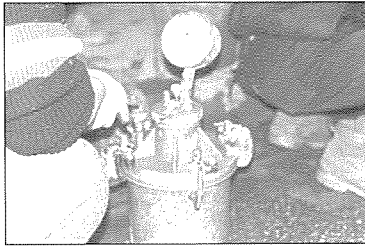
W/C (%)	단위수량 (kg/m ³)	잔골재율 (%)	감수제 (C×%)	AE제 (C×%)	절대용적배합(l/m ³)			중량배합(kg/m ³)		
					시멘트	잔골재	굵은골재	시멘트	잔골재	굵은골재
50	172	46	0.30	0.09	109	310	364	344	797	953

표5. 내한성 혼화제의 특성

종류	기호	주성분	첨가량 (C×%)	비중	pH	빙점(°C)	외관	비고
내한제	J	함질소화합물	1	1.34	9	-30	연노랑 액체	일본산
방동제	C	염화칼슘계	8	1.16	-	-15	암갈색 분말	중국산
조강제	H	질산칼슘염	0.5	1.16	8	-10	암갈색 액체	국내산



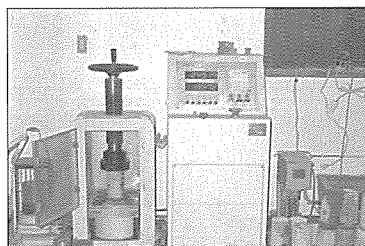
슬럼프 시험



공기량 시험



염화물 시험



압축강도 시험

내산 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였고, 골재의 잔골재는 강모래, 굵은골재는 부순돌을 사용하였다. 시멘트 및 골재의 물리적 성질은 표 3 및 표 4와 같다. 혼화제는 유동성 및 공기량 확보를 위하여 나프탈렌계 감수제 및 음이온계 AE제를 사용하였고, 내한제, 방동제 및 조강제는 국내에서 유통되는 것으로서 각 혼화제의 물리적 성질은 표 5와 같다.

2.3 실험방법

본 연구의 실험방법으로 슬럼프 시험은 KSF 2402, 공기량 시험은 KSF 2421의 규정에 따라 실시하였고, 응결시험은 관입저항 침에 의한 방법으로 측정하였고, 염화물량은 콘크리트 염화물 측정기(EM-250)를 이용하였다.

압축강도(KS F 2405) 시험은 표 6에서와 같이 계획된 재령에서 적산온도로 환산하여 측정하였다.

4. 실험결과 및 분석

4.1 슬럼프 및 공기량

그림 1 및 그림 2는 혼화제 종류별 변화에 따른 슬럼프 및 공기량을 막대 그래프로

나타낸 것이다. 먼저, 슬럼프의 경우는 내한제, 방동제 및 조강제인 경우 모두 플레인에 비하여 큰 유동성 변화는 없는 것으로 나타났으며, 공기량도 KS 규격의 규정치에는 큰 문제가 없는 것으로 나타났다.

4.2 염화물 및 응결 특성

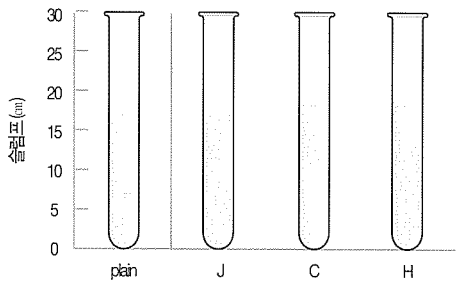
그림 3은 혼화제 종류에 따른 염화물량을 나타낸 그래프이다. 먼저, 염화물량은 플레인과 비교하면 내한제 및 조강제의 경우는 KS 범위를 초과하지 않는 것으로 나타났으나, 방동제에서는 염화물량이 매우 큰 것으로 나타나 우리나라의 KS F 4009 및 건축공사 표준시방서 규정상 사용이 불가능한 것으로 나타났다.

그림 4는 양생온도 20℃와 5℃에서 혼화제 종류별 변화에 따른 콘크리트의 응결특성을 그래프로 나타낸 것이다.

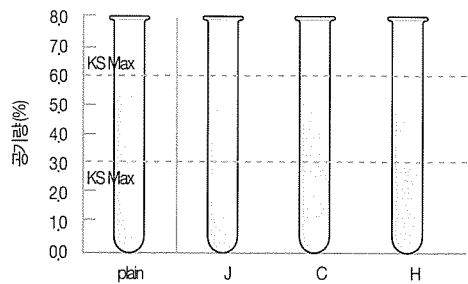
양생온도 20℃에서는 내한제 및 조강제의 경우 플레인과 유사하게 나타난 반면, 방동제를 혼입한 콘크리트의 경우는 초결은 80분, 종결 270분 정도 지연되는 것으로 나타났다. 특히, 저온인 5℃의 경우 응결시간 차이는 20℃보다 더욱 큰 것으로 나타났는데, 플레인에 비하여 내한제, 방동제에서는 초결 및 종결 공히 모두 빠른 응결

표 6. 재령 및 적산온도

양생온도 (°C)	적산온도 및 재령	30 (°DD)	60 (°DD)	120 (°DD)	180 (°DD)	300 (°DD)	510 (°DD)	840 (°DD)	1500 (°DD)	2520 (°DD)
20	일	1	2	2	6	10	17	28	50	84
5		2	1	1	12	20	34	56	100	168
-5		6	12	12	36	60	102	168	300	504



혼화제의 종류
그림 1. 혼화제 종류에 따른 슬럼프



혼화제의 종류
그림 2. 혼화제 종류에 따른 공기량

특성을 나타냈다. 참고적으로 초기동해는 응결 과정 또는 응결 후에 아직 충분한 강도가 발현되지 않은 단계에서 콘크리트 중의 수분이 동결하는 것에 의해서 발생한다. 그러므로 초기동해를 방지하기 위해서는 저온환경하에서 큰 폭으로 응결축진이 나타나는 것이 바람직한데, 특히 내한제에서는 5°C 경우에 플레인에 비하여 초결 200분, 종결 470분, 방동제의 경우는 초결 270분, 종결 300분 정도 빠른 응결축진 효과가 나타나 저온에서의 강도증진도 양호할 것으로 예상된다. 그러나 조강제의 경우는 20°C 및 5°C에서 플레인과 거의 유사하게 나타났다.

4.3 압축강도 특성

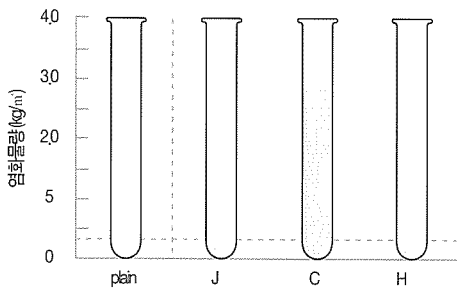
그림 5는 적산온도 증진에 따른 압축강도를 혼화제 종류 및 양생온도별로 나타낸 그래프이다. 전반적으로 적산온도가 증가함에 따라 강도는 증진되는 것으로 나타났으며 양생온도가 낮을수록 강도증진은 둔화되는 것으로 나타났다.

먼저, 내한제, 방동제 및 조강제를 혼입하지 않은 플레인의 경우는 양생온도가 높을수록 초기 적산온도에서는 높은 강도증진을 보이고 있었다.

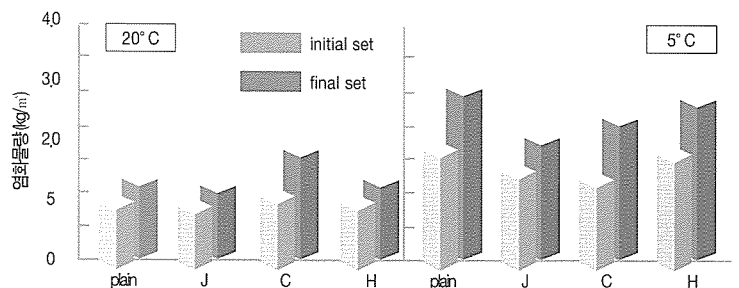
그러나 내한제 및 방동제를 혼입한 경우는 양생온도가 높을수록 혼입하지 않은 경우와 큰 차이를 보이지 않으나, 저온인 경우에는 강도발현은 양호하게 나타났다. 따라서 내한제 및 방동제의 품질 효과는 저온에서 양호함을 확인할 수 있었다. 특

히 방동제인 경우에는 초기적산온도 30°D.D부터 저온에서도 비교적 큰 강도증진을 보이고 있었는데 이는 저온에서의 빠른 응결로 인한 영향으로 분석된다. 그러나, 조강제의 경우는 플레인과 큰 차이가 나타나지 않았다. 특히, 일부 건설현장에서는 한중사공에 조기강도 발현을 목적으로 조강제를 사용하는 경우가 있는데, 조강제의 경우 저온에서의 강도증진 효과는 다소 있지만 그 값은 매우 미미한 것으로 나타나 저온에서의 사용은 주의해야 할 것으로 사료된다.

참고 사진 3은 양생온도 -5°C에서 적산온도 30°D.D 및 120°D.D 경과에 따라 플레인 콘크리트와 방동제를 혼입한 콘크리트의 미세구조를 SEM으로 촬영한 것이다. 방



혼화제의 종류
그림 1. 혼화제 종류에 따른 슬럼프



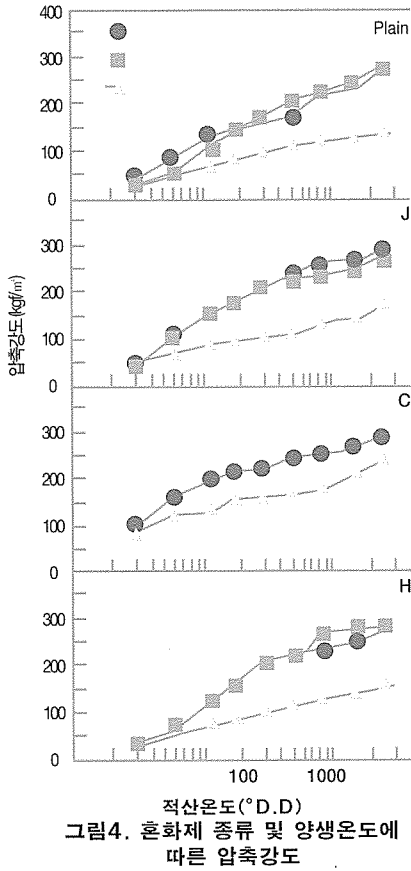


그림 4. 혼화제 종류 및 양생온도에 따른 압축강도

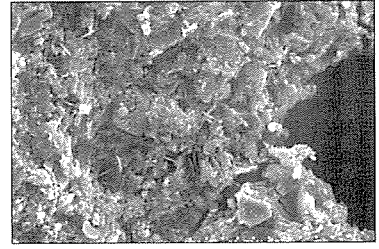
동제를 혼입한 콘크리트의 경우, 양생온도 -5℃에서는 전자현미경 사진에서 나타나는 바와 같이 적산온도 30°D.D 이전부터 수화생성물인 에트링가이트(Etringite)가 모노설페이트(Monosulfate)로 전이되는 것을 알 수 있는 반면에 플레인에서는 아직 수화생성물의 결정이 보이지 않아, 저온에서의 수화반응은 매우 빠르게 촉진되는 것을 확인할 수 있었다.

5. 결론

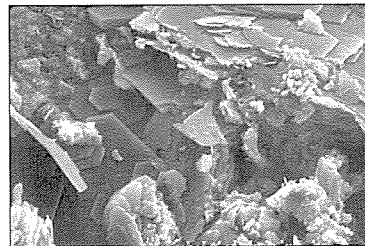
한중콘크리트 시공시 이용되는 혼화제



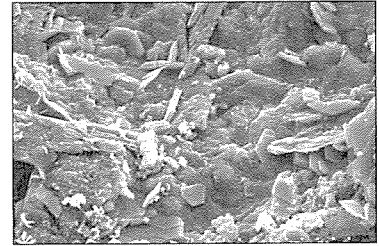
슬립프 시험



염화물 시험



공기량 시험



압축강도 시험

의 균지않은 콘크리트 및 강도증진 특성을 분석한 결과는 다음과 같이 요약된다.

(1) 균지않은 콘크리트의 슬립프, 공기량은 내한제, 방동제 및 조강제 모두 플레인과 비교하여 큰 변화는 없는 것으로 나타났다.

(2) 염화물량에서는 방동제의 경우 많은 염화물이 검출되어 KS 규격의 허용범위를 크게 초과하였다. 응결특성으로는 내한제 및 방동제에서는 촉진 경향을 나타내었으나, 조강제는 플레인과 거의 유사하게 나타났다.

(3) 강도특성으로 플레인의 경우는 -5℃의 저온양생에서 초기동해로 낮은 강도를 발휘하고 있었으나, 내한제 및 방동제인 경우는 초기강도 발현이 양호하였고, 적산온도 30°D.D 이전에 초기동해를 방지할 수 있는 압축강도 50kgf/cm² 이상을 발휘하

는 것으로 나타났다.

종합적으로 한중 콘크리트 시공시 내한제, 방동제 및 조강제를 사용할 경우는 성능, 특징과 초기양생 기간을 충분히 이해한 다음 혼화제의 종류 등 재료적인 특성도 충분히 고려하여 사용하여야 할 것으로 사료된다.



+홍상희

우리협회 건축진단부