

한중콘크리트에 사용되는 내한성 혼화제의 특성



(사)한국건설안전기술협회
한 경 보 회장

1. 서 론

최근 건축공사는 대규모화, 고층화 등으로 건설공기의 중요성이 강조됨에 따라 연중시공 활동이 중요하게 부각되고 있다. 특히, 이러한 연중시공 활동은 겨울철 동계 공사가 불가피한 실정으로 한중콘크리트 공사의 적용이 필수적이다.

이러한 한중콘크리트 공사는 겨울철 건설공사 활성화와 아울러 관련설비의 유효활용 및 노동자의 상시고용 등 지역경제의 활성화에도 큰 의미가 있다.

그러나, 동절기 공사 즉, 한중콘크리트 적용이 필수적인 반면 가장 중요한 문제로는 경화 초기단계의 콘크리트 중에 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, 가열보온 양생 및 배합의 조정으로 대응하고 있지만, 이 중에서 콘크리트 자

체에 내한성을 부여하여 가열보온 양생이 불필요한 혼화제를 이용하는 방법이 많이 사용되어지고 있다.

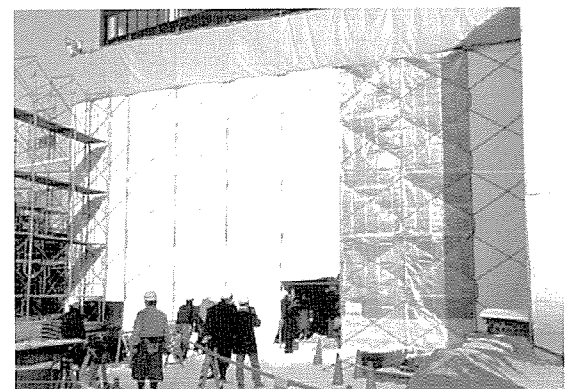
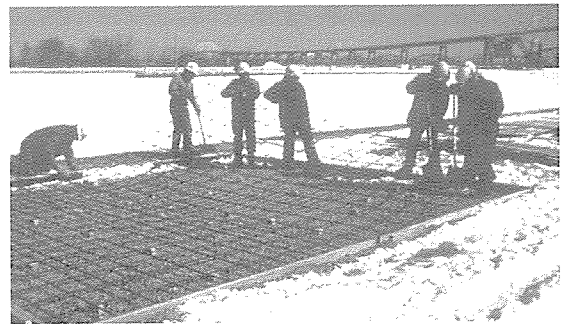


사진 1. 한중콘크리트 시공 전경

그러므로 본 고에서는 겨울철에 국내 건설현장에서 사용되는 대표적인 혼화제를 사용하여 콘크리트 특성을 분석하여 안전점검시 효율적인 업무에 활용토록 하고자 한다.

2. 이론적 고찰

2.1 내한성 혼화제의 종류

(1) 내한촉진제 및 방동제

내한촉진제 및 방동제는 시멘트의 수화반응을 촉진하



사진 2. 콘크리트의 동해



사진 3. 양생관리 미흡

고 한중기에 있어서 타설한 콘크리트의 초기동해를 방지하기위한 목적으로 개발되어진 혼화제이다.

이러한 종류의 혼화제는 예전부터 내한·방동제 혹은 방동성 혼화제(Antifreezer)로 불리는 계통에 속하고, 이제까지는 콘크리트 중에 수분의 동결점 저하에 관하여 성능이 강조되어지고 있다.

그러나, 최근의 여러 기관에서의 연구에서는 이러한 종류의 혼화제에 의하여 초기동해방지의 효과, 동결점 저하 뿐만아니라 저온 환경하에서의 응결, 경화촉진 작용의 역할이 중요하다고 알려지고 있다.

내한촉진제 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 초기에 강도를 발휘시키기 위하여 사용하는 혼화제를 말한다. 특히 조강제는 경화촉진제라고도 하며, 이러한 혼화제는 거푸집의 조기탈형에 의한 거푸집 사용 회전을 높이고, 한냉시 콘크리트의 응결, 경화불량방지 및 양생기간의 단축 등을 목적으로 사용하는 혼화제를 말한다.

조강제의 용도로는 한냉기 콘크리트 시공에 있어서 응결, 경화를 촉진시켜 동해에 견딜수 있는 강도를 초기에

발현하다든지, 2차제품으로 공장에서 거푸집의 회전을 빠르게하여 가열양생에 소비되는 열량의 절약을 목적으로 감수제 및 AE 감수제와 병용하여 사용한다.

| 표 1 | 실험요인 및 수준

| 배합 사항 | 요인 | 수준 | |
|-------|------------|----|------------------------------------|
| | | 1 | 수준 |
| 배합 사항 | W/C | 1 | 50% |
| | 목표 슬럼프(cm) | 1 | 18±1.5 |
| | 혼화제 | 3 | • 내한제, 방동제, 조강제 |
| 실험 사항 | 혼화제량(%) | 2 | • 0, 적정혼입율 |
| | 양생온도(°C) | 3 | • 20°C, 5°C, -5°C |
| | 굳지않은 콘크리트 | 4 | • 슬럼프 • 공기량 • 염화물량 • 응결시간(20, 5°C) |
| | 경화 콘크리트 | 1 | • 압축강도 |

3. 실험계획 및 방법

3.1 실험계획

본 연구의 실험계획은 [표 1]과 같고, 배합사항은 [표 2]와 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 혼입율은 무혼입 및 혼화제 회사에서 추천하는 적정 혼입율을 적용하여 실험계획 하였다.

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

3.2 사용재료

본 실험에서 사용된 재료로 시멘트는 국내산 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였고, 골재로써 잔골재는 강모래, 굵은골재는 부순돌을 사용하였다. 시멘트 및 골재의 물리적 성질은 [표 3] 및 [표 4]와 같다. 혼화제는 유동성

| 표 2 | 콘크리트 배합표

| W/C (%) | 단위수량 (kg/m³) | 잔골재율 (%) | 감수제 (C×%) | AE제 (C×%) | 절대용적배합(l / m³) | | | 중량배합(kg/m³) | | |
|---------|--------------|----------|-----------|-----------|----------------|-----|------|-------------|-----|------|
| | | | | | 시멘트 | 잔골재 | 굵은골재 | 시멘트 | 잔골재 | 굵은골재 |
| 50 | 172 | 46 | 0.30 | 0.09 | 109 | 310 | 364 | 344 | 797 | 953 |

및 공기량 확보를 위하여 나프탈렌계 감수제 및 음이온계 AE제를 사용하였고, 내한제, 방동제 및 조강제는 국내에서 유통되는 것으로서 각 혼화제의 물리적 성질은 [표 5]와 같다.

| 표 3 | 시멘트의 물리적 성질

| 비중 | 분말도 (cm²/g) | 안정도 (%) | 응결시간(분) | | 압축강도(kgf/cm²) | | |
|------|-------------|---------|---------|-----|---------------|-----|-----|
| | | | 초결 | 종결 | 3일 | 7일 | 28일 |
| 3.15 | 3,415 | 0.06 | 236 | 340 | 244 | 303 | 389 |

| 표 4 | 골재의 물리적 성질

| 골재 종류 | 비중 | 조립율 | 흡수율 (%) | 단위용적 중량 (kg/m³) | 입형판적 실적율 (%) | 0.08mm체 통과율 (%) |
|-------|------|------|---------|-----------------|--------------|-----------------|
| 강모래 | 2.64 | 2.62 | 1.46 | 1,598 | 61.0 | 2.06 |
| 굵은골재 | 2.63 | 6.83 | 1.31 | 1,536 | 59.1 | - |

3.3 실험방법

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

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

4. 실험결과 및 분석

4.1 슬럼프 및 공기량

[그림 1] 및 [그림 2]는 혼화제 종류별 변화에 따른 슬럼프 및 공기량을 막대 그래프로 나타낸 것이다. 먼저, 슬

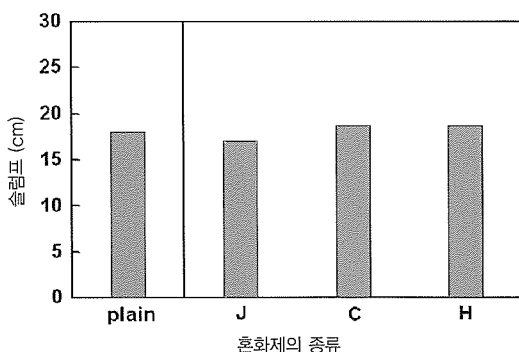


그림 1. 혼화제 종류에 따른 슬럼프

표 5 | 내한성 혼화제의 특성

| 종류 | 기호 | 주 성분 | 첨가량(C×%) | 비중 | pH | 빙점(°C) | 외관 | 비고 |
|-----|----|--------|----------|------|----|--------|--------|-----|
| 내한제 | J | 함질소화합물 | 4 | 1.34 | 9 | -30 | 연노랑 액체 | 일본산 |
| 방동제 | C | 염화칼슘계 | 8 | 1.16 | - | -15 | 임갈색 분말 | 중국산 |
| 조강제 | H | 질산칼슘염 | 0.5 | 1.16 | 8 | 10 | 임갈색 액체 | 국내산 |

표 6 | 재령 및 적산온도

| 양생온도 (°C) | 적산온도 및 재령 | 30 (°D.D) | 60 (°D.D) | 120 (°D.D) | 180 (°D.D) | 300 (°D.D) | 510 (°D.D) | 840 (°D.D) | 1500 (°D.D) | 2520 (°D.D) |
|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|------------|------------|------------|------------|-------------|-------------|
| 20 | 일 | 1 | 2 | 4 | 6 | 10 | 17 | 28 | 50 | 84 |
| 5 | 일 | 2 | 4 | 8 | 12 | 20 | 34 | 56 | 100 | 168 |
| -5 | 일 | 6 | 12 | 24 | 36 | 60 | 102 | 168 | 300 | 504 |

럼프의 경우는 내한제, 방동제 및 조강제인 경우 모두 플레인에 비하여 큰 유동성 변화는 없는 것으로 나타났으며, 공기량도 KS 규격의 규정치에는 큰 문제가 없으므로 나타났다.

4.2 염화물 및 응결 특성

[그림 3]은 혼화제 종류에 따른 염화물량을 나타낸 그래프이다. 먼저, 염화물량은 플레인과 비교하면 내한제

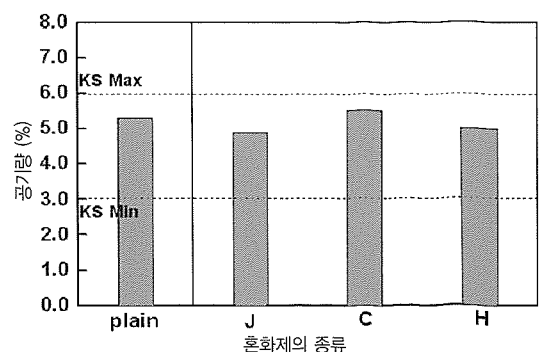


그림 2. 혼화제 종류에 따른 공기량

및 조강제의 경우는 KS 범위를 초과하지 않는 것으로 나타났으나, 방동제에서는 염화물량이 매우 큰 것으로 나타나 우리나라의 KS F 4009 및 건축공사 표준시방서 규정상 사용이 불가능 한 것으로 나타났다.

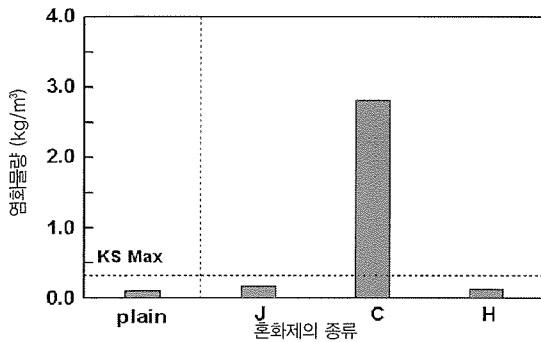


그림 4. 혼화제 종류에 따른 염화물량

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

양생온도 20℃에서는 내한제 및 조강제의 경우 플레인과 유사하게 나타낸 반면, 방동제를 혼입한 콘크리트의 경우는 초결은 80분, 종결 270분 정도 지연되는 것으로 나타났다.

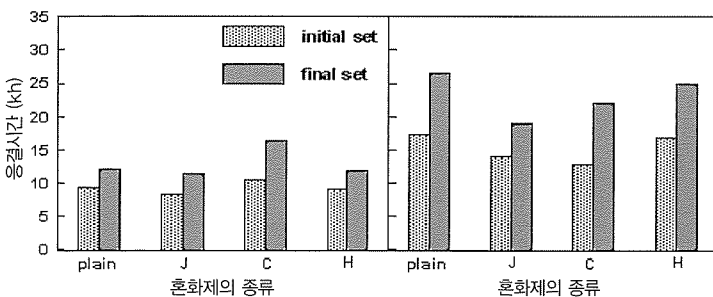


그림 5. 혼화제 종류 및 양생온도에 따른 응결특성

특히, 저온인 5℃의 경우 응결시간 차이는 20℃보다 더욱 큰 것으로 나타났는데, 플레인에 비하여 내한제, 방동제에서는 초결 및 종결 공히 모두 빠른 응결 특성을 나타냈다.

참고적으로 초기동해는 응결과정 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 바람직하는데, 특히 내한제에서는 5℃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℃ 및 5℃에서 플레인과 거의 유사하게 나타났다.

4.3 압축강도 특성

[그림 5]는 적산온도 증진에 따른 압축강도를 혼화제 종류 및 양생온도별로 나타낸 그래프 이다.

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, 저

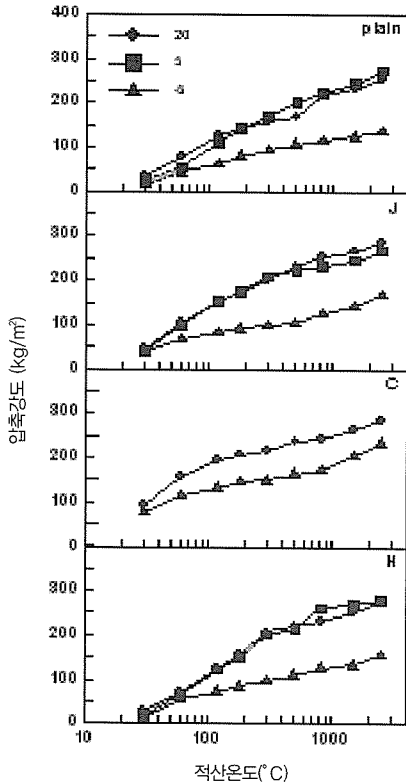


그림 6. 혼화제 종류 및 양생온도에 따른 압축강도

온인 경우에는 강도발현은 양호하게 나타났다. 따라서 내한제 및 방동제의 품질 효과는 저온에서 양호함을 확인 할 수 있었다.

특히 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 한중시공에 조기강도 발현을 목적으로 플레인 콘크리트 조강제를 사용하는 경우가 있는데, 조강제의 경우 저온에서의 강도증진 효과는 다

소 있지만 그 값은 매우 미미한 것으로 나타나 저온에서의 사용은 주의할 것으로 사료된다.

참고적으로 [사진 4]는 양생온도 -5°C에서 적산온도 30°D.D 및 120°D.D 경과에 따라 플레인 콘크리트와 방동제를 혼입한 콘크리트의 미세구조를 SEM으로 촬영한 것이다.

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

5. 결 론

한중콘크리트 시공시 이용되는 혼화제의 굳지않은 콘크리트 및 강도증진 특성을 분석한 결과는 다음과 같이 요약된다.

- (1) 굳지않은 콘크리트의 슬럼프, 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°C의 저온양생에서 초기동해로 낮은 강도를 발휘하고 있었으나, 내한제 및 방동제인

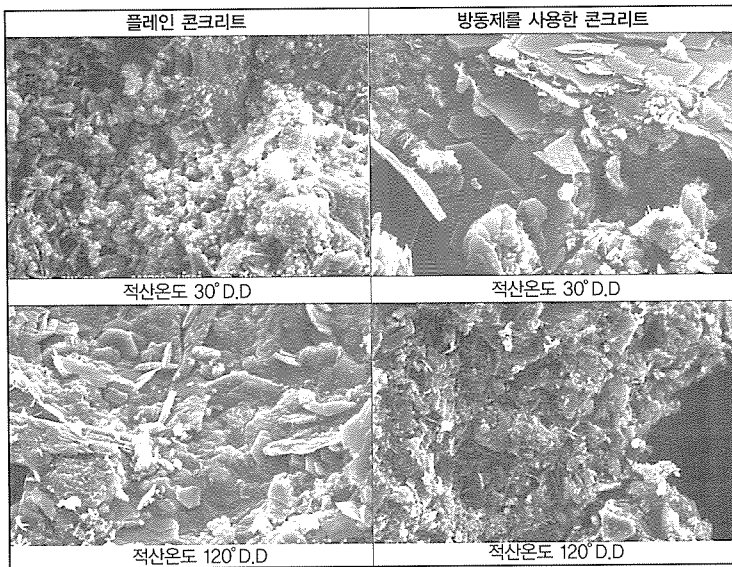


사진 4. 양생온도 -5에서의 콘크리트 미세구조(배율:1,000×)

경우는 초기강도 발현이 양호하였고, 적산 온도 30° D.D이전에 초기동해를 방지할 수 있는 압축강도 50kgf/cm² 이상을 발휘하는 것으로 나타났다.

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

참고문헌

1. 日本建築學會；寒中콘크리트施工指針・同解説, 1998.
2. 浜幸雄；耐寒促進劑による寒中콘크리트施工技術に関する研究, 北海道大學博士學位論文, 1998.
3. 浜幸雄, 鎌田英治; 耐寒促進劑を用いた콘크리트の特性, 콘크리트工學, 第37卷, 1999.
4. 浜幸雄, 鎌田英治; 無鹽化, 無알카리型防凍性混和劑による初期凍害の防止效果, 콘크리트工學論文集, 第7卷, 第1號, 1996.