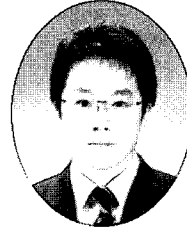


특 집

|| 온도조건 하의 콘크리트 기술 ||

한중 및 서중 콘크리트의 적용 기술

- Technical Application for Cold weather and Hot weather Concretes -



김경민*
Kim, Kyoung Min



한천구**
Han, Cheon Goo

1. 온도조건 하의 콘크리트 분류

최근 초고층 건물과 같은 현대 건설물은 건설공기의 중요성이 강조됨에 따라 연중시공이 필수적으로서 온도 영향에 따른 한중 및 서중 콘크리트의 필요성은 어느 때 보다 강조되고 있다.

먼저 한중 콘크리트란 저온의 동결환경에 대응하는 콘크리트의 시공법을 말하는 것으로, 겨울철 공사에 의한 이익과 추가 공사비가 상쇄될 수 있거나 혹은 이익이 남는 경우, 노동정책을 국가에서 적극적으로 반영하여 공사를 지시·발주하는 경우, 겨울철이 아니면 공사가 불가능한 경우 및 긴급을 요하는 공사인 경우 등의 조건에서는 한중 콘크리트의 시공이 필수적이다. 또한 서중 콘크리트는 고온으로 콘크리트의 품질저하가 우려되는 경우에 시공되는 콘크리트를 말하는 것으로, 높은 기온에 의해 콘크리트의 온도가 높아져 운반 중의 슬럼프 저하, 공기량의 감소, 콜드조인트 발생, 온도균열 발생 등 여러 위험성이 증가하므로 적절한 조치를 취하여야 한다. 이와 같이 콘크리트는 주변의 환경, 특히 외기온의 영향에 의해 민감하게 반응하며, 이러한 외기온에 따른 콘크리트의 대응으로는 아래와 같이 4단계로 구분된다.

(1) 한중 콘크리트

콘크리트를 부어넣은 후 양생기간 동안 콘크리트가 동결할 염려가 있을 경우에 시공되는 콘크리트를 말하며, 이때에는 초기동해에 대한 대책과 저온에 의한 강도증진 저하를 고려하여야 한다. 한중 콘크리트의 적용기간은 한국콘크리트학회의 「콘크리트표준시방

서」에 따르면 '하루의 평균기온이 4°C 이하로 되는 것이 예상되는 기상조건 하에서' 적용하도록 되어 있다.

(2) 한랭기 콘크리트

건축공사인 경우, 콘크리트를 부어넣은 날로부터 28일 동안의 예상 평균기온이 4°C 이상 17°C 이하인 기간을 말한다. 즉, 「건축공사표준시방서」에서 이 기간에는 배합강도 결정시 기온 보정강도를 고려하거나 콘크리트의 양생시 관리재령을 연장하는 조치를 취하는 기간이 된다.

(3) 보통 콘크리트

콘크리트를 부어넣은 날로부터 28일간의 예상 평균기온이 17°C 이상이고, 또한 하루 평균기온이 25°C를 넘지 않는 기간으로 기온에 대한 특별한 고려가 필요 없는 기간이다.

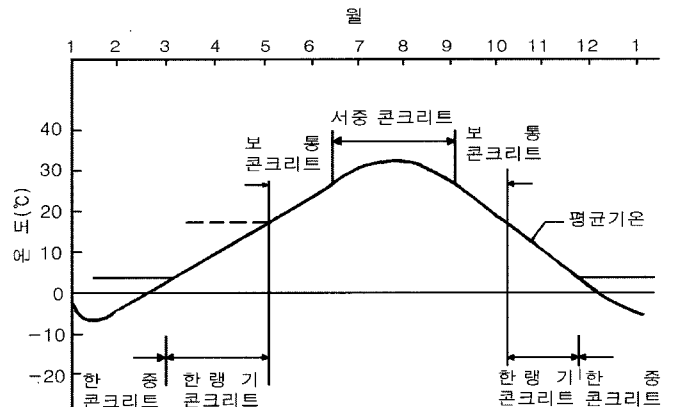


그림 1. 기온에 의한 콘크리트의 구분

* 정회원, 두산산업개발(주) RC연구개발팀 연구원

** 정회원, 청주대학교 건축공학부 교수

(4) 서중 콘크리트

콘크리트 표준시방서에 따르면, 하루의 평균기온이 25°C를 초과하는 것이 예상되는 경우에는 서중환경에 따른 피해를 방지할 수 있는 대책을 마련하고 서중 콘크리트로 시공하여야 한다.

본고에서는 한중 및 서중 환경하에서 콘크리트에 적용된 기술을 소개하여 온도조건에 따른 콘크리트 시공에 참고자료를 제시하고자 한다.

2. 한중 콘크리트의 개요

2.1 한중 콘크리트의 시공계획

한중 콘크리트의 적용기간은 한중 콘크리트 시공에 있어 가장 기초가 되는 것으로서, 타설한 콘크리트가 정상적인 강도발현 및 초기 동해를 받지 않도록 특별한 배려를 필요로 하는 기간을 설정하는 것이다. 즉, 건설공사 현장에서 한중 콘크리트 적용기간을 공사계획 단계에서부터 미리 입안하여 당해 지역의 한중 콘크리트 적용기간이 임박한 시점에서 한중 콘크리트 시공에 요구되는 배합계획, 한중 콘크리트용 가설재의 이용 방안 및 양생계획 등을 조기에 수립한다. 그러므로 겨울철에 건설공사 현장에서 미처 예상치 못했던 저온에 의한 콘크리트의 피해에 대하여 보다 신속하고 유연하게 대처해 나갈 수 있으며, 이는 결국 경제적이면서도 합리적인 공사관리를 수행할 수 있다는 점에서 한중 콘크리트 적용기간의 설정과 공사계획 단계에서의 입안은 그 중요성이 매우 크다.

2.2 한중 콘크리트의 특성

2.2.1 초기동해

겨울철 추운 기온조건하에서 특별한 대책 없이 타설되는 콘크리트는 콘크리트가 동결됨에 따라 구조체 콘크리트의 품질에 중대한 문제로 발생할 수 있다. 이와 같은 피해를 초기 동해라 하는데, “콘크리트를 부어넣은 후부터 경화의 초기단계에 있어서 동결 또는 수 회의 동결 용해 작용 반복에 따라 강도저하, 파손, 균열을 일으키는 피해”로 정의되고 있다.

아직 굳지않은 콘크리트가 극히 초기 단계에서 동결한 후에는 콘크리트의 손상이 현저하여 그 피해 콘크리트의 재시공이 필요한 경우도 있다. 또한 어느 정도 경화된 단계의 동결에서는 그 피해상황을 눈으로 판단하기는 곤란하나, 경화 후에 충분한 강도발현이 얻어지지 않는 경우가 있고, 더욱이 그 콘크리트의 성질도 취약하게 된다. 한중 콘크리트 공사의 실패가 나중의 동해에 의한 피해까지 유발시키는 예도 많다.

2.2.2 저온에 의한 콘크리트 강도발현의 지연

콘크리트의 강도는 시멘트와 물이 접촉 할 때 복잡한 화학반응에 따라 서서히 수화물이 생성되면서 증진되는 것으로, 이러한 수화반응은 온도 의존성이 크게 된다. 즉, 시멘트의 수화반응 속도는 일반적으로 온도의 영향을 크게 받게 되어 양생온도가 높으면 수화반응 속도가 빠르고, 낮으면 수화반응이 늦어져 콘크리트의 강도발현이 저하 및 지연된다. 따라서 저온에 의한 강도저하는 배합설계에서 물-시멘트비를 낮춰 강도발현을 보장해야 하고, 또한 지연문제는 단순히 수화반응의 지연으로 경화불량과는 구별하여 고려해야 한다.

3. 서중 콘크리트의 특성

최근의 콘크리트 시공은 시멘트의 분말도 증가, 일시에 대량의 콘크리트 부어넣기, 매스 혹은 얇은 부재단면의 설계, 시공속도의 증가 등에 의해 서중 콘크리트의 장애요인이 증가하는 경향이 있다. 일반적으로 서중 환경하에서의 콘크리트의 특성은 다음과 같이 요약된다.

- ① 직사일광을 받은 재료를 사용할 경우에는 콘크리트의 온도를 현저히 높게 하여 콘크리트의 단위수량이 증가하게 된다.
- ② 시멘트의 수화반응 촉진으로 장시간 운반하는 콘크리트는 수분의 증발 및 응결이 빨라지므로 컨시스턴시의 저하가 크게 된다.
- ③ 콘크리트에 공기연행이 어려워지고 공기량의 조절이 곤란하게 된다. 또한 컨시스턴시의 저하 및 연행공기의 조절이 곤란하게 되어 소요 슬럼프의 확보가 어렵게 된다.
- ④ 콘크리트의 응결이 빨라지기 때문에 시공에 필요한 시간이 단축됨으로써 다짐 등이 불충분하게 되어 콜드조인트가 발생하기 쉽다.
- ⑤ 콘크리트의 표면으로부터 수분이 급속하게 증발하고 시공 중에 수분이 부분적으로 불균일하게 되므로 아직 굳지않은 콘크리트 및 경화 콘크리트에 균열이 발생하는 경향이 크게 된다.
- ⑥ 콘크리트의 온도가 높으면 단위수량이 증가하게 되며, 또한 시멘트의 수화과정에서 콘크리트의 강도를 저하시키는 겔이 형성되어 강도가 저하하는데, 특히 28일 이후의 강도 저하가 크다.
- ⑦ 고온에서 제조, 시공된 콘크리트는 동결점이하의 온도 및 습도의 반복 작용에 의해 내구성이 저하한다.
- ⑧ 경화 콘크리트가 냉각할 경우 변형이 크게 되거나 균열이 발생하기 쉽게 된다.
- ⑨ 기온이 25°C 정도라도 일광의 직사, 저습, 높은 풍속 등의 기상조건은 콘크리트의 소수수축 균열 등 품질에 크게 영향을 미친다.

3. 시공현장 적용사례

3.1 한중 콘크리트

겨울철 한중 콘크리트 시공과 관련하여 현장에 적용된 기술로는 건설물의 건설장소, 시기, 용도, 형상, 구조형식, 부재의 형상 및 치수 등에 따라 다양할 수 있다. 또한, 한중 시공의 목표도 응결지연대책, 레미콘 생산시 온도관리 대책, 강도저하에 따른 보상대책 및 초기동해 방지대책 등 다양하게 고려될 수 있다. 그러나 이번 절에서는 기존의 한중 시공에서 일반적으로 시행되고 있는 아파트 등의 공간가열 방법, 조강 포틀랜드시멘트 사용 등 일반 공법은 생략하고, 주로 동결온도 저하 및 응결축진의 내한제 이용공법, 열선이용 공법 및 단열양생 공법 등에 대하여 실무에서 효율적으로 활용한 사례 등을 간단히 소개한다.

3.1.1 내한제 적용사례

이 사례는 (주)대우건설에서 여의도에 신축한 트럼프 월드 1차 현장의 3개층(41층, 42층 및 옥탑층)에 내한축진제를 사용하여 한중 콘크리트를 타설하고, 각 부위별 온도이력과 재령별 강도발현성상 등을 검토한 예이다. 이 공법은 기존 방식에 의한 한중 콘크리트와의 시공성 및 경제성 등에 대해서도 유리함으로써 향후 적용될 각종 한중 콘크리트 공사에서 유익한 참고자료가 될 수 있다. (자료제공: (주)대우건설 원철 과장)

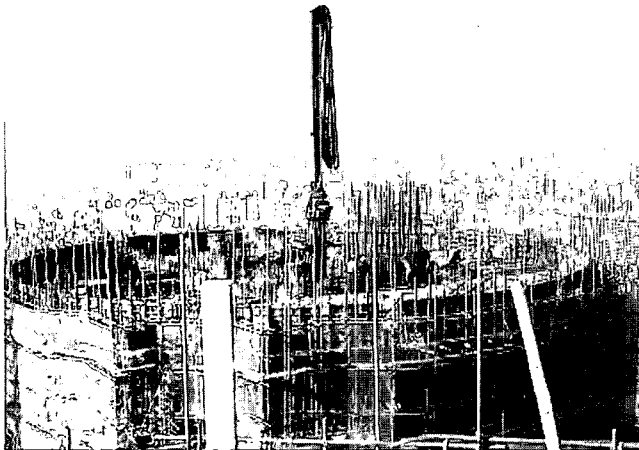


사진 1. 현장 콘크리트 타설 모습

표 1. 콘크리트의 온도이력

타설순서	규격	측정 부위		측정개수 (point)
		구조체	시험체	
1차 타설	25-240-18	슬래브 상, 중, 하 외기	외부봉함 간이단열(내)	7
3차 타설	20-300-50	슬래브 상, 중 아웃리거 상, 중 외기	외부봉함 간이단열(내) 합판거푸집(내)	10

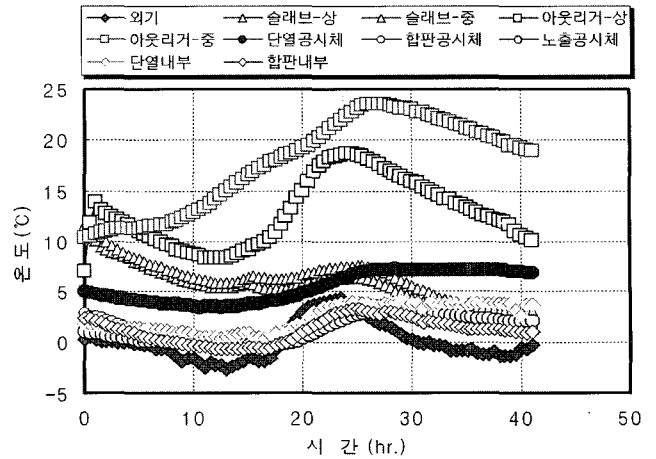


그림 2. 구조체 콘크리트의 온도이력(3차타설)

3.1.2 내한제 개발(폐부동액 + 아질산염)

이 방법은 산업폐기물인 폐부동액을 이용하여 무염화물형 내한제를 개발하는 방법으로써, 분말상 아질산염을 폐부동액에 용해시켜 환경부하 저감형 내한제를 개발하여 이를 활용하는 공법이다. 내한제의 재료는 <표 2>와 같고, 폐부동액 내한제를 사용하였을 때 적산온도에 따른 압축강도의 예는 <그림 3>과 같다.

표 2. 내한제 제조재료의 물리적 성질

종류	색상 및 형태	주성분	비중	표준사용량 (C×%)	비고
폐부동액	진녹색, 액체	물+에틸렌글리콜 (CH ₂ OHCH ₂ OH)	1.09	-	트리에탄올 아민 함유
아질산염	흰색, 분말	아질산염, 특수계면활성제	1.12	2~3	-
유동화제	연황색, 액체	멜라민계	1.20	0.3~0.5	-

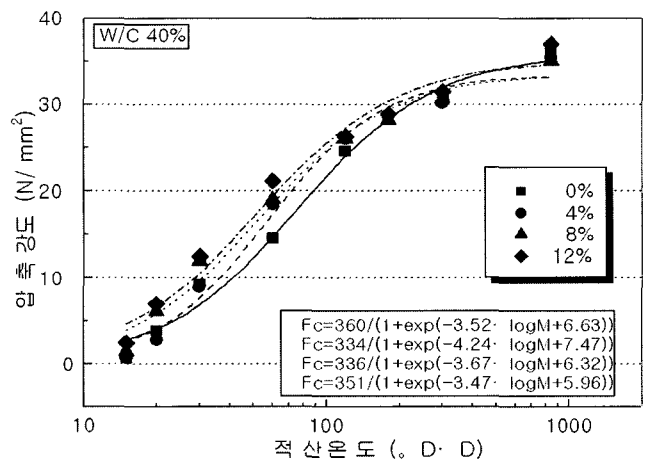


그림 3. 적산온도에 따른 압축강도

3.1.3 열선적용 사례

이 공법은 대림산업(주)에서 한중 콘크리트 타설시 열선을 이용하여 가열보온 양생을 실시한 예로써 각 구조체별 열선 및 가

열양생을 병용하여 초기동해를 방지한 공법이다. <표 3>과같이 여러 구조체에서 양생을 실시하였는데, 대표적으로 슬래브의 온도이력은 <그림 4>와 같다.(자료제공 : 대림산업(주) 이도범 부장)

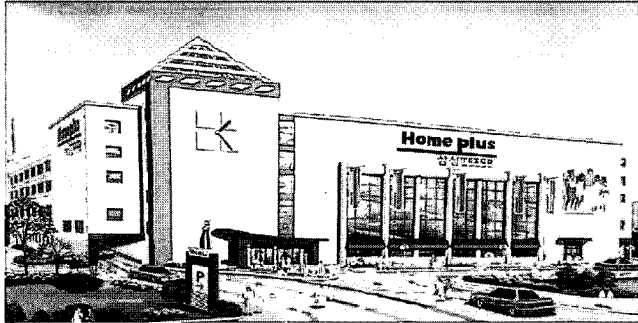


사진 2. 적용 현장 조감도

표 3. 콘크리트의 구조체별 구체보양 방법

부위	규격	보양방법	목표
벽	T = 700 이상 지하옹벽	상하부만 열선(만 1.6일) 상부 천막지(만 2.5일)	동해 방지
매트 기초	T = 400 이상	표면막 열선(@300)(만 1.8일) 타설후 바로 비닐 + 부직포(만 2.5일)	동해 방지
슬 래 브	T = 200 이하 (STF 없음)	타설후 바로 비닐 + 부직포(만 5.1일) 하부 공간가열 20°C(만 4.1일)	동바리 해체
	T = 200 이하 (STF 있음)	양생천막(H = 2.0) 타설전 설치 (만 5.8일) 표면막 열선(@300)(만 4.8일) 타설 익일 아침 비닐 + 부직포(만 5.8일) 하부 공간가열 20°C(익일 아침까지) 하부 공간가열 10°C(2일 아침까지) 하부 공간가열 이후 없음	
기둥	800 × 800 이상(실내)	실내조건에서 보양 없음 (만 2.0일)	동해 방지
보	실내	실내조건에서 보양 없음 (만 6.0일)	동바리 해체

- 주 1) 동해 방지강도 5 MPa
 2) 동바리 해체강도 = $2/3 \cdot f_{ck} = 2/3 \cdot 24 = 16 \text{ MPa}$
 3) 허용 외기조건 대부분 -10°C(일최저) 정도이나 부위 및 양생 방법에 따라 변동이 있으므로 자세한 내용은 별도자료 참조
 4) 콘크리트의 현장 반입시 온도는 13°C 이상
 5) 상기 양생방법은 설계기준강도 24 MPa 이상의 콘크리트에서만 유효

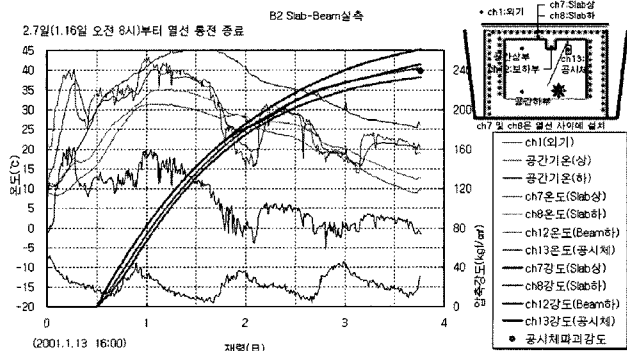


그림 4. 슬래브 온도이력

3.1.4 단열거푸집 적용

이 공법은 (주)대원 칸타빌 현장에서 내한제 및 단열거푸집을 병용한 사례이다. 한중 콘크리트 시공시에는 초기동해 방지를 위한 대책이 무엇보다 중요한데, 이 공법은 공사시 경제성 및 환경친화면에서 가장 효율적일 것으로 무염화물형 새로운 내한제의 활용 및 단열거푸집에 의한 단열양생을 실시한 예이다. 내한제는 폐부동액을 이용한 내한제이고, 단열거푸집은 폴리프로필렌판 + 스티리폼 + 합판을 이용하여 개발한 것이다.

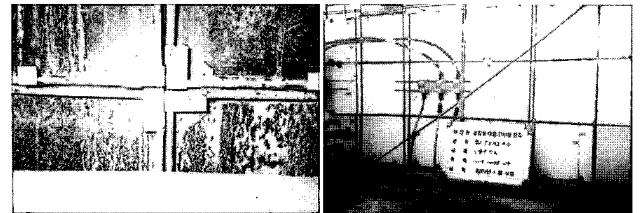


사진 3. 단열거푸집 시공

<그림 5>는 시험체 종류별 시간경과에 따른 슬래브 콘크리트의 온도이력을 나타낸 것이다. 구조체 I(보통 콘크리트 + 유로폼), II(보통 콘크리트 + 단열거푸집), III(내한제 콘크리트 + 단열거푸집)에 있어 최저온도가 2°C, 4°C, 5°C를 기록하였고, 최고 온도 또한 7°C, 12°C, 15°C를 기록함으로써 구조체 III, II, I 순으로 온도가 높게 나타났는데, 이는 단열거푸집의 단열효과와 내한제의 초기응결 촉진에 기인한 온도차이로 분석된다.

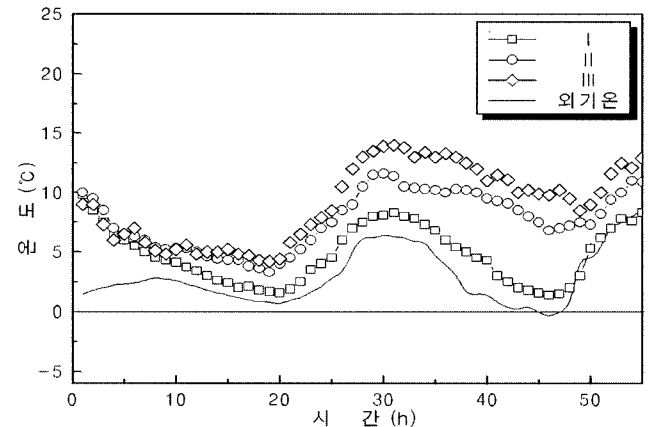


그림 5. 슬래브 온도이력

3.1.5 버블시트를 이용한 단열양생

본 공법은 삼성물산(주) 건설부문의 청주 중원관광호텔 건설공사에 타설하는 상점부의 RC 프레임 공법의 데크 플레이트 상부 슬래브 콘크리트의 한중 콘크리트 단열양생 방법에 대한 것이다. 즉, 데크 플레이트 슬래브에 타설하는 콘크리트를 대상으로 버블시트에 의한 단열양생 효과를 검토함으로써, 한중 콘크리트의 효율적인 단열양생 방법에 따른 품질관리 방안을 제시하고 있다.(자료제공 : 삼성물산(주) 건설부문 임춘근 소장)

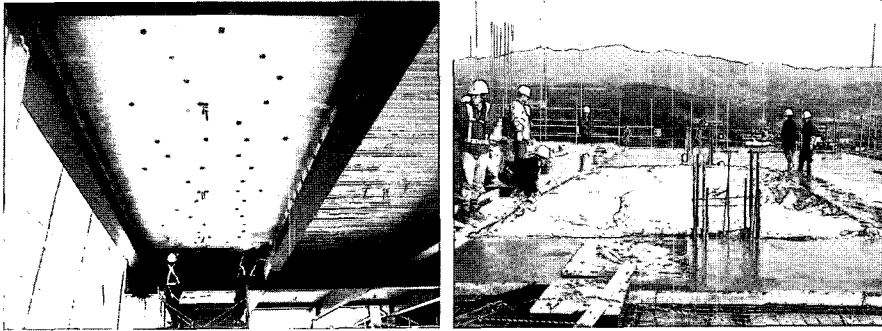


사진 4. 버블시트에 의한 표면단열양생 및 하부 단열양생

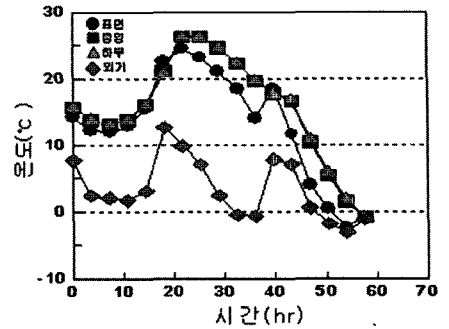


그림 6. 슬래브 온도 변화

3.2 서중 콘크리트

기온에 대응하는 콘크리트로서 우리나라의 여름철 서중 콘크리트는 겨울철의 한중 콘크리트보다 적용기간도 짧고, 고온의 영향도 그리 크지 않아 콘크리트의 품질저하가 별로 문제시 되지 않으므로 특별히 공법적으로 적용한 예는 거의 없다. 그렇지만 소극적인 내용에 탁상공론적인 일일지라도 가능할 수 있는 저발열 배합 및 콘크리트의 온도를 낮출 수 있는 방법에 대하여 고찰할 수 있는데, 그 내용을 요약하여 정리하면 다음과 같다.

3.2.1 저발열 배합

일반적으로 서중 콘크리트는 외기온이 고온이 됨에 따라 많은 양의 시멘트가 배합된 콘크리트에서 수화반응이 촉진되고, 수화발열량이 많아짐에 따라 많은 문제가 제기되므로 1차 저발열 배합을 검토하게 된다. 저발열 배합은 콘크리트의 소요의 품질이 얻어지는 범위 내에서 단위시멘트량을 될 수 있는 한 작게 하여 수화온도를 낮추는 것이다. 배합상 단위시멘트량을 저감하는 방법은 아래의 방법과 같다.

- ① 배합강도의 관리재령을 시공상 장애가 되지 않는 범위에서 길게 하여 단위시멘트량을 저감한다.
- ② 시공상 소요의 품질을 얻는 범위에서 낮은 슬럼프로 하여 단위시멘트량을 저감한다.
- ③ 고성능 AE감수제, 유동화제 등의 화학혼화제의 사용으로 단위시멘트량을 저감한다.
- ④ 굵은골재 최대치수를 크게 하여 단위수량을 저감시킨다.
- ⑤ 플라이 애쉬, 고로슬래그 등의 혼화재료를 사용한다.

이상을 고려하여 시험비빔을 통한 적절한 재료의 배합을 피하는데 단위수량, 단위시멘트량, 잔골재율, 혼화제량, 플라이 애쉬 혼입률 등을 결정하게 된다.

3.2.2 콘크리트의 온도를 낮추는 방법

콘크리트 타설시의 온도는 타설 후의 온도상승속도, 최고온도,

온도강하속도 등에 큰 영향을 미치고 이러한 것이 균열의 발생유무, 균열폭 등에 직접영향을 미치게 되므로 가능한 한 비빔온도를 낮게 유지하는 것이 바람직하다. 각 재료의 온도가 비빔직후 콘크리트의 온도에 미치는 영향은 대략 골재의 경우 $\pm 2^{\circ}\text{C}$ 에 대해 $\pm 1^{\circ}\text{C}$, 물은 $\pm 4^{\circ}\text{C}$ 에 대해 $\pm 1^{\circ}\text{C}$, 시멘트는 $\pm 8^{\circ}\text{C}$ 에 대해 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 정도이다.

프리쿨링의 방법으로 먼저 배합수의 경우는 냉수나 얼음을 따로따로 혹은 조합해서 사용하는 방법이 있고, 골재의 경우는 골재를 냉각하는 방법, 냉각수로 잔골재를 냉각하는 방법 등이 사용되며 액화질소를 사용하여 냉각하는 방법 등도 있다.

(1) 배합수의 냉각

콘크리트의 타설온도를 관리해야한다는 관점에서 ACI에서는 배합수를 일정하게 관리할 것을 권장하고 있다. 또한, 배합수 자체만 냉각할 것인지 아니면 골재 등도 함께 냉각할 것인지에 대한 고려가 반드시 필요하다고 설명하고 있다.

(2) 배합수로 얼음의 사용

서중 콘크리트 배합에서 배합수를 얼음으로 사용하는 것은 타설온도를 저감하는데 기본적인 매우 효과적인 방법 중에 하나이다. 이전의 서중 콘크리트 공사에서는 얼음덩어리나 얼음을 부수어 사용하였으나, 최근에는 얼음 분쇄설비에서 분쇄되어 칩(chip)상이나 후레이크(flake)상으로 만들어 직접 사용되고 있다. 한편, 콘크리트의 균질성을 확보하기 위해서는 배합을 실시하기 전에 얼음은 반드시 녹여지도록 하여야 한다.

(3) 골재의 냉수·냉각

잔골재를 냉각하는 가장 유효한 방법은 냉각수를 이용하는 것이다. 흐르는 냉각수를 잔골재 저장탱크로 유입한 후 과도하게 미분말이 제거되지 않게 한 후에 냉각수는 다시 냉각기로 되돌아오는 방법을 취한다. 이러한 방법으로 잔골재는 균일하게 저온의 온도를 유지할 수 있다.

(4) 굵은골재 더미의 살수

굵은골재 더미에 지하수 등 냉각수를 살수하여 냉각할 경우 값은 저렴하지만 골재의 온도를 줄이는 데는 덜 효과적이다. 이것은 자연적인 증발에 의존하는 것으로 온도, 바람 및 상대습도 등에 영향을 받는다. 또한, 이 경우는 적당한 배수구가 골재더미 하부에 설치되어 있어야 한다.

(5) 골재의 진공냉각

진공냉각은 대기압 보다 낮은 경우에 물의 낮은 끓는점과 액체에서 수증기로 변할 때 물의 높은 열흡수 용량을 이용하는 방법이다. 잔골재와 모든 크기의 골재가 이 방법에 의하여 효과적으로 냉각될 수 있다. 골재는 반드시 수분을 함유하고, 골재로부터 수분이 증발할 만큼의 충분한 열량을 흡수할 수 있는 충분한 양이 있어야 한다.

이 방법은 증발방법에 의한 냉각을 위하여 골재의 자유수를 이용한다. 수분이 충분한 골재는 상단과 하단이 밀봉된 저장용기에 투입되고, 증기확산펌프로 부속실로부터 진공상태를 유지해나간다. 만일 굵은골재에 의하여 운반된 1%의 표면수가 증발한다면, 굵은골재의 온도는 32°C 정도 까지 낮아질 수 있다.

(6) 액화질소

콘크리트를 확실하게 냉각시키기 위하여 액화질소를 콘크리트 믹서에 들어가기 전의 물에 투여하는데, 이는 물의 냉각을 가져오고 이로 인해 생성된 얼음조각들이 온도를 저하시킨다. 액화질소시스템은 많은 건설공사현장에서 그 효용성이 입증되었는데, 특히, 자동화 및 기계화된 공정에서 유효한 것으로 판명되고 있다. 참고적으로 서중 콘크리트에서 재료의 적극적인 냉각방법은 <표 4>와 같다.

표 4. 재료의 적극적인 냉각방법

냉각단계	냉각대상	냉각수단			
		냉수	얼음	냉풍	액화질소
배합 전에 재료를 냉각	물	○	-	-	○
	물의 일부 또는 전부를 얼음으로 대체	-	○	-	-
	모래	○	-	○	○
	자갈	○	-	○	○
	시멘트	-	-	○	○
배합 중에 콘크리트 냉각	콘크리트	-	-	-	○
배합 후 콘크리트 냉각	콘크리트	-	-	○	○

4. 종합분석 및 발전방향

콘크리트는 시멘트의 수화작용에 의하여 굳어지는 화학반응으로서 콘크리트 시공에서 온도조건의 영향을 심도 있게 고려하는 것은 당연하다. 우리나라의 기후는 유라시아 대륙 동안의 북위 중위도 지역에 위치하여 대륙의 영향을 직접 받으며, 같은 위도의 다른 지역에 비하여 연평균 기온이 낮고, 연교차가 매우 큰 대륙성 기후의 특색을 나타낸다. 특히, 콘크리트 시공과 관련하여서는 한중 및 서중 콘크리트가 모두 적용되고는 있지만, 서중보다 한중의 고려가 중요하다. 따라서 서중 콘크리트와 관련하여 특별히 적용된 기술은 거의 없고, 주로 한중 콘크리트와 관련된 기술이 중요시 된다.

그렇지만 한중 콘크리트의 경우도 대관령 등 경기·강원 북부 지방을 제외한 대부분의 지역은 일본의 북해도, 러시아의 모스크바 등의 전형적인 극심한 한중 환경과는 달리 최저기온이 -10°C 정도가 고작이고, 일반적으로는 -5°C 전후로서 간단한 한중시공으로 연중시공이 가능할 수 있다.

그러므로 우리나라의 경우 온도조건 하의 콘크리트 기술은 간단한 조치의 한중시공 공법 개발(단열 및 내한제 사용 등)로 경제성을 유지하면서 다양한 구조체 콘크리트에 폭넓게 적용할 수 있는 방안을 다각적으로 검토하는 것이 바람직한 발전 방향이 될 것으로 사료된다. □

참고문헌

1. 한국콘크리트학회, "콘크리트표준시방서", 1999.
2. 대한건축학회, "건축공사표준시방서", 1999.
3. 한천구, 한민철, "기온과 콘크리트", 기문당, 2002.
4. 한천구, 한민철, 김무한, "우리나라 건축공사의 한중콘크리트 적용 기간 설정에 관한 연구", 대한건축학회논문집 구조계, 제14권, 제 11호, 1998. 11, pp.71~78.
5. 홍상희, "내한성 혼화제를 이용한 한중콘크리트의 특성에 관한 연구", 청주대학교 박사학위 논문, 2001.
6. 원철, "내한축진제를 사용한 콘크리트의 공학적 특성 및 현장적용", 청주대학교 박사학위논문, 2004
7. 日本建築學會, "寒中コンクリート施工指針・同解説", 1998.
8. 日本建築學會, "暑中コンクリート施工指針・同解説", 2000.
9. A. M. Neville, "Properties of Concrete", Pitsman, 1984.
10. ACI Committee 305, "Hot Weather Concreting", ACI Materials Journal, 1991.