

CSA계 무수축 콘크리트 시공 사례

노 재 호

(동양중앙연구소 건설재료연구실 선임연구원)

송 용 순

(동양중앙연구소 건설재료연구실 주임연구원)

김 시 년

(동양시멘트(주) 특수영업부 제품개발팀장)

1. 서 론	4.2.2 팽창율
2. 시공개요	4.2.3 균열시험
3. 팽창재 종류 및 콘크리트 배합	4.2.4 수밀성 및 기공율
4. 콘크리트 물성측정 결과	4.2.5 콘크리트 온도변화
4.1 굳지않은 콘크리트	5. 침전지 콘크리트
4.2 경화콘크리트	6. 결 론
4.2.1 강도 및 탄성계수	

1. 서 론

상수도수의 공급을 위해 건설되는 정수장 구조물은 상수도수의 정화 공정에 필요한 여러 용도가 다른 저수조 및 침전지로 이루어져 있으며 이러한 콘크리트 구조물은 밀실한 벽체를 필요로 한다. 벽체 구조물은 외부 구속이 큰 구조물로 수화열과 건조수축의 조합에 의한 균열 발생의 가능성이 높으므로 시공에 많은 주의가 요구된다.

금번의 무수축 레미콘이 타설된 △△정수장의 응집지 및 침전지 등의 저수 구조물의

시공에는 25-240-12 규격의 레미콘이 타설되었다. 기존의 25-240-12 레미콘으로 시공 하였던 경우, 계절 환경(대기 온도 및 습도) 및 콘크리트 구조물 치수에 따른 균열 발생 상황의 차이가 있었으나, 두께 약 50cm, 높이 약 5m, 길이 약 30m의 벽체를 예로 들면 여름철에는 약 1m 간격으로 폭 0.3~0.4mm 정도의 균열이 수직 방향으로 발생하였다. 이러한 균열의 감소를 위하여 플라이애쉬를 사용하고 철근을 보강하는 등의 여러 방법을 사용하였으나 균열 저감에는 별 효과가 없었다.

이에 고성능감수제를 다량 사용하여 단위

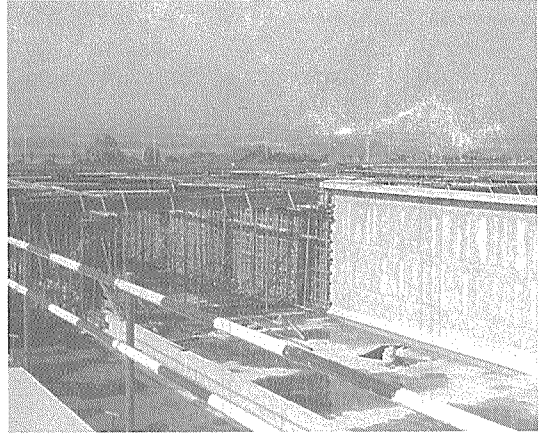
수량 및 단위시멘트량을 약 25% 감소시켜 콘크리트의 건조수축을 저감시키는 배합의 레미콘을 타설한 경우에는 균열 간격이 약 4~5m, 균열 폭이 약 0.1~0.2mm로 감소하여 콘크리트의 균열을 약 50% 이상 저감시키는 효과를 확인하였다.

그러나 여름철에는 레미콘의 온도가 30℃ 이상으로 되어 수화열에 의한 열응력과 건조수축이 증가하여 균열 발생의 문제점을 완전히 해결하기는 어려워 칼슘 설포 알루미늄이트(calcium sulfo aluminat) 계열의 팽창재를 첨가한 콘크리트로 무수축 레미콘을 제조 및 시공하여 그 물성을 측정하고 벽체의 균열 발생 현황을 조사하여 무수축 레미콘의 균열 저감효과를 확인하였다.

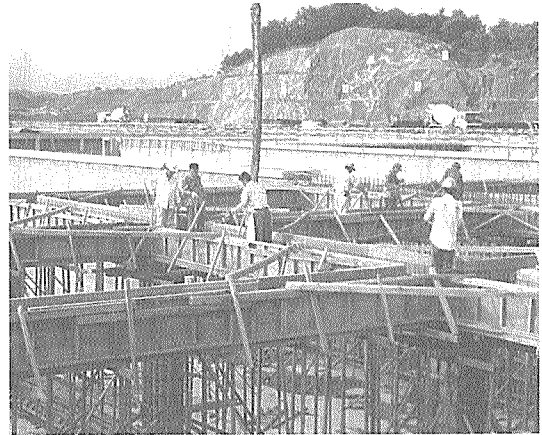
2. 시공 개요

금번의 무수축 콘크리트가 시공된 현장은 경기도 남양주시에 위치한 △△정수장이다. 시공 대상의 콘크리트 구조물은 균열이 가장 많이 발생하는 침전지 벽체로서 400m²가 1회에 타설되었다. 침전지 벽체의 평면도 및 거푸집 형상, 타설 전경은 <그림 1> 및 <사진 1>, <사진 2>와 같다. <그림 1>에서 나타난 바와 같이 침전지 벽체 내부의 콘크리트의 온도를 측정하기 위하여 온도 측정용 열전대를 매설하였다.

CSA계 무수축 콘크리트의 수화열 저감 효과와 균열 저감 효과를 일반 콘크리트와 비교 검토하기 위하여 고성능감수제만을 사용한 일반 콘크리트 200m²를 타설한 후, 이어서 CSA 무수축 콘크리트를 타설하였다. 또한 각각의 콘크리트의 물성을 측정하기 위하여 레미콘 공장에서 제조되어 레미콘 트럭으로 현장에 도착한 2대의 레미콘에서 콘크리트를 샘플링하여 슬럼프와 공기량, 온도를 측정하



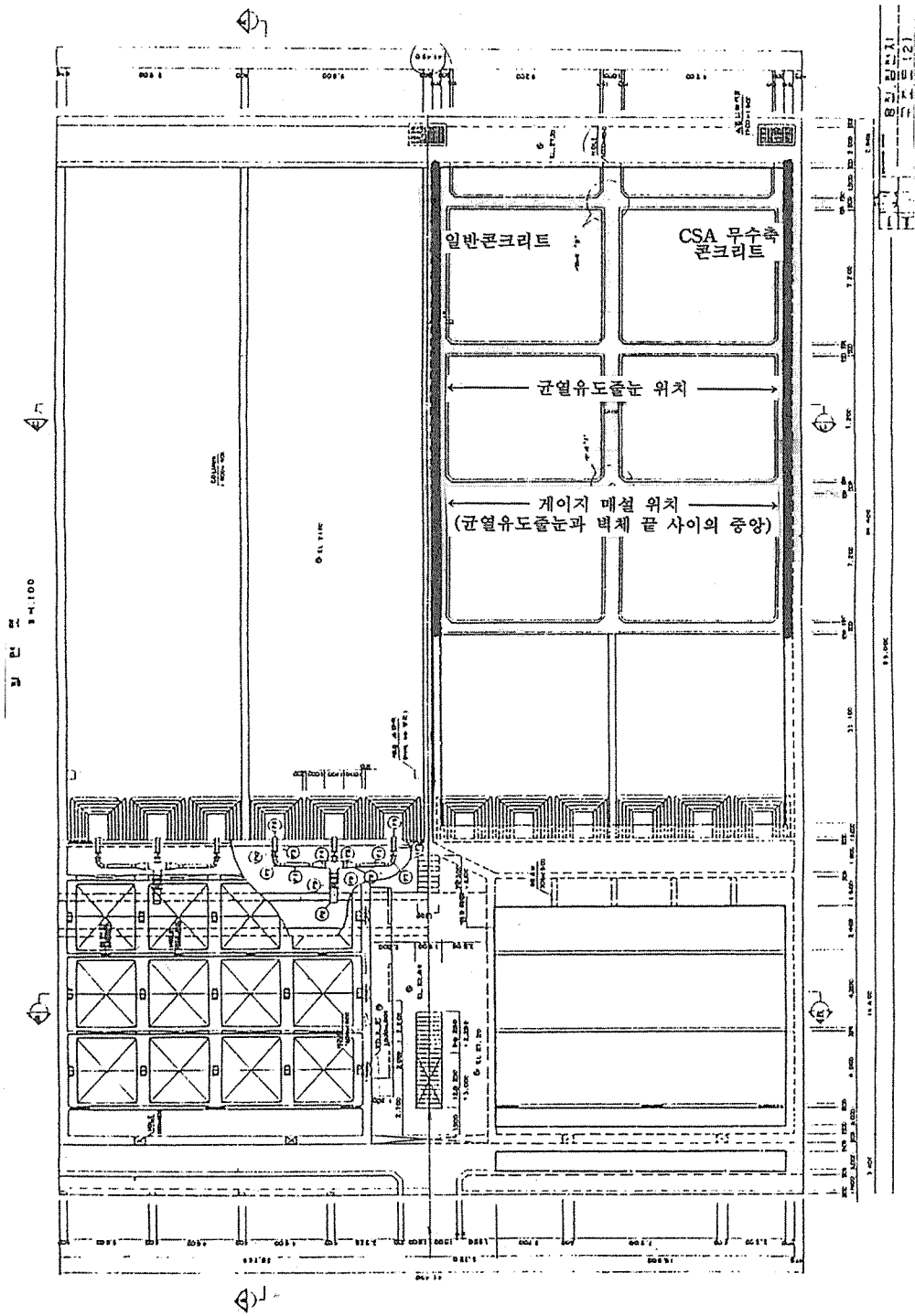
<사진 1> 침전지 벽체의 거푸집 설치



<사진 2> 콘크리트 타설 전경

<표 1> 물성시험 항목 및 측정 재령

시험 항목	측 정 재 령
압 축 강 도	3일, 7일, 28일
휨꺾인장강도	3일, 7일, 28일
정탄성계수	3일, 7일, 28일
팽 창 율	탈형후 1주까지 1일 간격으로 측정, 이후 2개월간 1주 간격 측정
수 밀 성	28일
기 공 율	28일
균열 관찰 시험	1일간 대기 양생하여 탈형, 7일간 수중 양생 실시, 이후 옥외의 대기 중에 방치하고 계속적으로 육안 관찰
벽체 내부 온도	1일~3일 : 1시간 간격, 4일~7일 : 3시간 간격, 7일~14일 : 6시간 간격



〈그림 1〉 침전지 벽체 평면도 및 게이지 매설 위치

고 <표 1>과 같이 역학적 특성과 길이변화율을 파악하기 위한 공시체를 제조하고 기타 물성 실험을 실시하였다.

타설시기는 1996년 7월 중순으로 레미콘은 정수장 공사현장에서 레미콘 트럭으로 약 20분 거리에 위치한 동양시멘트(주) 서울공장에서 제조되었다.

3. 팽창재 종류 및 콘크리트 배합

무수축 레미콘 제조에 사용된 CSA계 팽창재는 석회, 석고, 보크사이트의 소성 화합물을 적정한 입도로 분쇄한 것으로 아우인(hauyne), 유리석회(CaO), 유리석고(CaSO₄)의 3가지 주요 광물로 구성되어 있다. CSA계 팽창재는 수화반응에 의해 생성된 에 트 링 자 이 트 (3CaO · Al₂O₃ · 3CaSO₄ · 32H₂O)는 수 마이크로의 매우 작은 결정으로 시멘트 페이스트의 경화과정에서 콜로이드 상으로 겔 간극의 미세한 공극에 침투하여 모양으로 발포되어 CSA 팽창재의 첨가량에 따라서는 겔의 경화 과정에서 발생하는 콘크리트의 건조수축을 저감시키거나 팽창시키는 작용을 한다.

무수축 콘크리트가 타설된 정수장의 침전지 콘크리트 벽체는 두께 50cm, 높이 5m, 길이 29m의 매시브하고 길이가 긴 콘크리트 구조물이기 때문에 수화열에 의한 온도응력 균열 및 건조수축 균열이 예상되어 수화열 억제형 팽창재(상품명 동양 CSA 100R)를 사용하였다. 팽창재의 물리화학적 성능은 <표 2>와 같다.

<표 2> 팽창재의 물리화학적 성능

CaO	SO ₃	Al ₂ O ₃	SiO ₂	MgO	Fe ₂ O ₃	비중	블레인값 (cm/g)	감열감량
51.2	31.9	10.0	4.0	0.6	1.0	2.9	2,700	0.8

일반 레미콘과 무수축 레미콘의 배합은 <표 3>과 같다. 팽창재의 사용량은 실내에서 팽창재 사용에 따른 압축강도 및 길이변화율 시험을 거쳐 일반 콘크리트의 시멘트량에 대하여 중량비로 10%를 치환 첨가하였다.

<표 3> 콘크리트 배합

콘크리트 종 류	조골재 최대치수 (mm)	S/A (%)	W/C (%)	W (kg/m ³)	단위량(kg/m ³)				
					시멘트	팽창재	모래	자갈	고성능 감수제
일반형	25	47	49	160	330	0	834	1010	5.89
CSA 무수축					300	30			

4. 콘크리트 물성 측정결과

4.1 굳지않은 콘크리트

현장에 도착한 레미콘에서 채취한 굳지 않은 콘크리트의 물성 측정 결과는 <표 4>와 같다. 시험값은 일반 레미콘 및 무수축 레미콘에 대하여 콘크리트 시료를 각각 2회씩 채취하여 평균한 값이다.

<표 4> 굳지 않은 콘크리트의 물성

콘크리트 종 류	슬럼프 (cm)	공기량 (%)	콘크리트 온 도
일반형	18	1.7	33.5 ℃
CAS 무수축	16	1.9	33.0 ℃

4.2 경화 콘크리트

4.2.1 강도 및 탄성계수

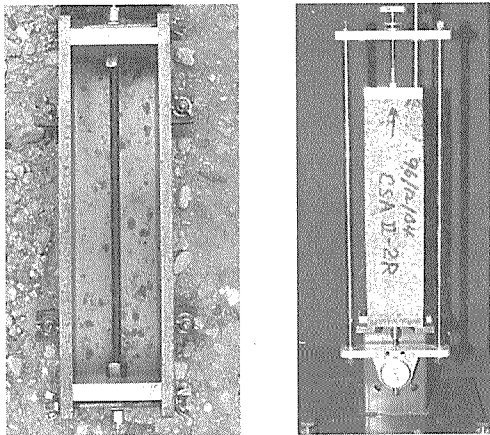
압축 및 할렬인장강도는 각각 KS F 2405 및 KS F 2424의 방법에 따라 측정하였으며 정탄성계수는 KS F 2438에 따라 측정하였다. <표 5>에 나타낸대로 일반 콘크리트와 CSA 콘크리트의 강도 및 탄성계수는 큰 차이가 없었다.

〈표 5〉 콘크리트의 강도 및 탄성계수 결과

시험항목 종 류	압축강도 (kgf/cm ²)			할렬인장강도 (kgf/cm ²)			탄성계수 (×10 ⁵)		
	3일	7일	28일	3일	7일	28일	3일	7일	28일
일반형	140	201	260	14	18	23	1.42	1.93	2.19
CSA 무수축	127	205	268	13	18	23	1.41	2.01	2.23

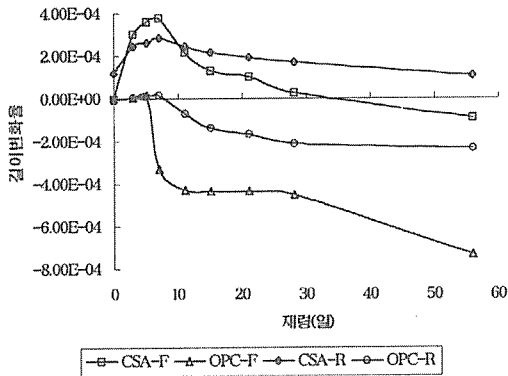
4.2.2 팽창율

팽창율 실험은 KS F 2562의 “콘크리트용 팽창재”의 규격에 따라 일축구속(CSA-R 및 OPC-R; 10×10×40cm)시의 B법(팽창 및 수축율 측정) 및 자유공시체(CSA-F 및



(a) 팽창율 시험용 몰드 (b) 팽창율 측정장치

〈사진 3〉 팽창율 시험용 몰드



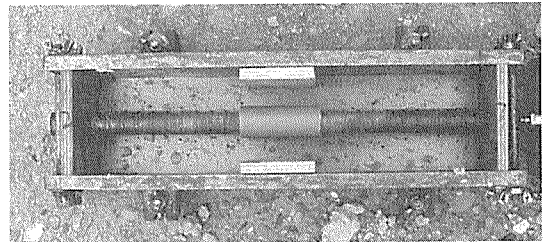
〈그림 2〉 콘크리트의 길이변화율

OPC-F; 10×10×40cm)는 현미경 콤팩테터로 실험을 행하였다(〈사진 3〉 참조).

〈그림 2〉에 나타난 바와 같이 일축구속시의 공시체 길이변화율은 CSA 팽창재를 사용한 콘크리트가 재령 2개월까지 팽창성을 유지하고 있는 반면 일반 콘크리트는 -2.00×10⁻⁴까지 수축율을 나타내고 있다.

4.2.3 균열실험

〈사진 4〉와 같은 간이균열시험용 몰드를 제작하여 7일간 수중양생후 대기중에 방치한 상태에서 균열의 발생여부를 육안으로 관찰



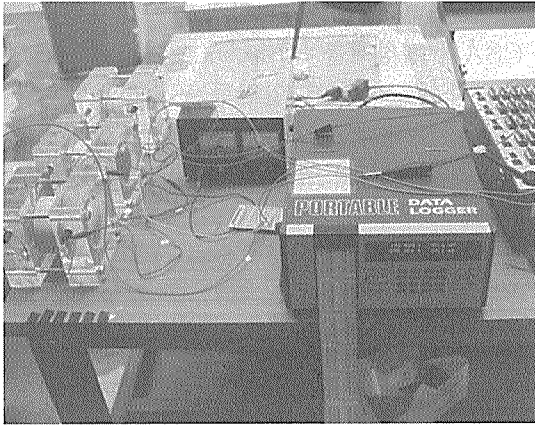
(a) 간이균열시험용 몰드



(b) 간이균열시험 공시체

〈사진 4〉 간이 균열시험용 몰드 및 공시체

하였다. 일반 콘크리트의 경우는 약 1개월 후에 건조수축에 의한 균열로 보이는 미세균열이 공시체에 발생하였으나 무수축 콘크리트의 경우는 재령 4개월까지도 균열이 발생하

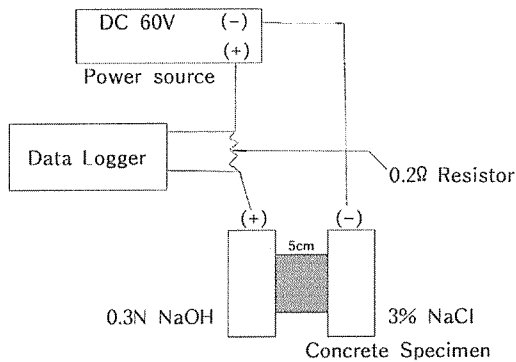


〈사진 5〉 염소이온 침투시험 전경

지 않았다.

4. 2. 4 수밀성 및 기공율

콘크리트의 수밀성 측정은 ASTM C 1201-91(Electrical indication of concrete's ability to resist chloride ion penetration)에 따라 콘크리트의 염소 이



〈그림 3〉 염소이온 침투시험기 회로도

〈표 6〉 콘크리트의 염소 이온 침투 촉진시험 결과와 기공율(%)

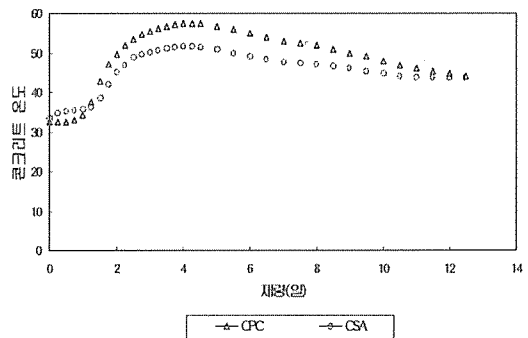
콘크리트 종류	전하량 (coulombs)	기공율(%)
일반 레미콘	3961	23.5
CSA 무수축	3177	19.3

온 침투 저항성에 의해 그 특성을 상대적으로 파악하였다(실험기기 및 회로도는 〈사진 5〉 및 〈그림 3〉 참조). 또한 콘크리트의 공시체에서 몰탈 부분을 3개 채취하여 수은(Hg)압입법 방식의 기공율 측정기(porosimeter)에 의하여 시멘트 경화체의 기공량을 측정하였다.

〈표 5〉에 나타낸 바와 같이 일반형 콘크리트에 비하여 팽창재 첨가 무수축 콘크리트를 통과한 전하량이 20% 정도 감소하였다. 이는 무수축 콘크리트에 첨가된 CSA 팽창재의 수화생성물인 에tring가이트가 미세공극을 채워줌으로써 무수축 콘크리트의 시멘트 경화체 기공율이 감소하여 콘크리트가 수밀하게 된 것이 그 원인이라고 생각된다.

4. 2. 5 콘크리트의 온도 변화

레미콘 타설이후, 콘크리트 부재 내부의 온도를 측정된 결과는 다음 〈그림 4〉 및 〈표 7〉과 같다. 수축저감형 및 무수축 콘크리트의 타설시 온도는 각각 33.0℃, 33.5℃였으며,



〈그림 4〉 콘크리트의 온도상승곡선

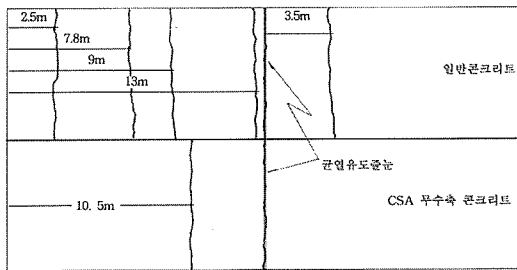
〈표 7〉 콘크리트 벽체 내부의 온도 비교

종류	항목	타설시 온도	최고 온도	온도상승량
		일반	33.0℃	57.5℃
CSA 무수축		33.5℃	51.6℃	18.1℃

콘크리트 내부의 최고온도는 타설시 온도를 고려할 때 6.4℃의 차이를 나타내었고, 온도 상승의 기울기는 무수축 콘크리트가 상대적으로 완만함을 보여주고 있다.

5. 침전지 콘크리트 벽체의 균열조사

타설후 약 10일이 경과하여 거푸집을 제거한 시점에서 벽체의 균열 여부를 조사한 결과를 <그림 5>에 나타내었다. 균열 유도줄눈에



<그림 5> 침전지 벽체의 균열발생 현황

<표 8> 균열면적 비교

항목 종류	균열길이 (m)	균열 폭 (mm)	균열면적 (cm ²)	균열면적 상대백분율(%)
일 반	30	0.13*(0.10~0.15)	39.0	100
CSA 무수축	10	0.10*(0.09~0.11)	10.0	25.6

* 균열폭은 전체 균열폭의 평균값을 취하였음.

서의 균열을 포함한 균열의 발생개소는 무수축 콘크리트에서 2개, 일반 콘크리트에서 6개로, 상대적으로 일반 콘크리트쪽이 많이 발생하였고, 균열폭 또한 크게 나타났다. <표 8>에 나타난 바와 같이 일반 콘크리트에 대한 무수축 콘크리트의 균열면적은 상대적으로 75%가 감소하였다.

6. 결 론

콘크리트의 건조수축 및 수화열에 의한 균열 발생을 저감시키기 위하여 수화열 억제형 CSA계 팽창재를 30 kg/m³ 첨가하여 제조한 무수축 콘크리트를 일반형 콘크리트와 함께 침전지 벽체에 타설하여 콘크리트의 물성을 비교하고 벽체의 균열 발생 정도를 조사하여 CSA계 무수축 콘크리트의 균열 발생 저감 효과를 확인한 결과는 다음과 같다.

열 발생을 저감시키기 위하여 수화열 억제형 CSA계 팽창재를 30 kg/m³ 첨가하여 제조한 무수축 콘크리트를 일반형 콘크리트와 함께 침전지 벽체에 타설하여 콘크리트의 물성을 비교하고 벽체의 균열 발생 정도를 조사하여 CSA계 무수축 콘크리트의 균열 발생 저감 효과를 확인한 결과는 다음과 같다.

- (1) 일반 콘크리트와 CSA계 팽창재를 시멘트 내비로 10%치환 첨가한 무수축 콘크리트의 슬럼프, 공기량, 온도 등은 큰 차이가 없었다.
- (2) CSA계 팽창재가 첨가된 무수축 콘크리트의 압축강도, 활렬인장강도 및 탄성계수는 일반형 콘크리트와 거의 동등한 값을 나타내었다.
- (3) 일축구속시의 B법에 의한 무수축 콘크리트는 재령 2개월까지는 1×10^{-4} 까지의 팽창율을 유지하고 있으나 일반형 콘크리트는 -2×10^{-4} 의 수축율을 나타내었다. 간이 균열시험 결과, 무수축 콘크리트 공시체는 균열 발생이 확인되지 않았으나 일반형 공시체에서는 재령 1개월에 균열 발생한 것이 확인되었다.
- (4) 무수축 콘크리트는 CSA계 팽창재의 수화에 따른 미세한 에트링가이트가 콘크리트의 미세공극을 충전시켜 콘크리트의 수밀성이 증가하므로 일반형 콘크리트에 비해 염소이온 침투시험에 의한 통과 전하량이 20% 정도 감소되었으며 수은압입방식의 기공율 측정기에 의한 기공율도 감소하였다.
- (5) 침전지 벽체 내부의 온도는 무수축 콘크리트가 일반형 콘크리트에 비해 최고 온도가 약 6.4℃ 정도 저하되었으며 내부 온도 상승의 기울기 또한 무수축 콘크리트가 상대적으로 완만하였다.

(6) 거푸집 제거후 침전지 콘크리트 벽체의 균열 발생 개소는 무수축 콘크리트가 일반 콘크리트에 비해 약 1/3 정도로 감소되었으며, 균열 면적은 약 1/4정도로 감소되었다.

(7) CSA계 팽창재를 첨가한 무수축 콘크리트의 시공으로 벽체와 같은 외부구속이 심한 구조물에 발생하는 수화열 및 건조수축

에 의한 균열의 대폭적인 감소가 가능하였다.

끝으로 본 레미콘 제조에 많은 도움을 주신 동양시멘트(주) 서울레미콘 공장 이동녕 공장장님과 신동수 품질관리실장 이하, 품질관리실 관계자 여러분과 동양중앙연구소 실험실 김기철, 이범석씨께 깊은 감사를 드립니다.

양생시에는 콘크리트에 진동이나 충격을 주지 않도록 각별히 주의한다.

