

신기술공법을 적용한 공동주택 신축공사현장의 콘크리트 품질향상에 관한 시공사례

Article

04



홍 상 희
(주)원 건축사 사무소
공학박사

1. 서론

최근 국내의 아파트 건축공사 현장의 경우, 친환경적인 아파트 단지조성이 활발히 추진됨에 따라 지하주차장 비율이 증가되고 있으며, 지하 기초구조의 경우도 종전에는 독립기초로 시공되었으나 공기단축 등 제반여건을 고려 매트기초로 시공하는 경우가 보편화 되었다. 따라서, 기초부분의 매트콘크리트의 시공은 주변의 쾌적한 환경조성과 공기단축 문제를 해결하면서 건축물의 하부구조를 안전하게 지지하는 역할은 만족되었지만, 80cm를 넘는 매스콘크리트로 시공되는 경우가 많아짐에 따라 수화열에 의한 균열문제 등은 콘크리트 품질향상에 있어 새롭게 해결해야만 하는 중요한 과제로 등장하고 있다. 이와같은 매스콘크리트에서 이미 알려진 수화열에 의한 균열방지 대책으로는 혼화재 및 저발열 시멘트를 사용하는 방법, 단위시멘트량이 적게되는 배합설계와 함께 고비용인 파이프쿨링, 재료의 프리쿨링 방법 및 2층이상 분할타설 등의 시공방법이 있다.

따라서, 시공되는 구조물에서도 매트콘크리트 구조물

에 발생하는 수화열 저감방법을 해결하는 방안 및 품질 관리 향상에 중점을 둔 시공회사의 요구에 따라 한천구(청주대학교)교수의 기술지문을 받아 건설신기술 제353호(백선탕, PEO 증점제, AE제를 일정비율로 혼합한 당류계 초지연제의 응결시간차를 활용한 수평분할타설 건축기초 매스콘크리트의 수화열 조정공법) 및 건설신기술 제264호(벨라민계 유동화제, PEO 증점제, AE제를 일정비율로 혼합한 분리저항형 유동화제 및 이를 이용한 준고유동 콘크리트의 개발)를 적용하여 품질향상을 목표로 시공 계획하였다.

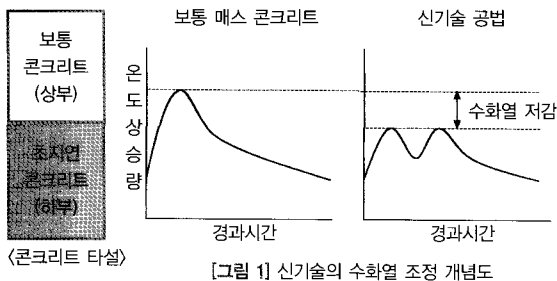
본 현장의 특성상 지하구조물이 많은 관계로 신기술을 적용함으로써 콘크리트 부어넣기시 콜드조인트가 없는 일체화 시공 및 매스콘크리트(기초부위)의 수화열 조절에 의한 균열저감 등 품질 향상면에 많은 기대를 할 수 있을 것으로 판단된다.

그러므로, 본 고에서는 신기술을 적용한 내용을 현장 적용 실험을 보고형태로 작성하며, 이러한 사례들이 현장 업무에 많은 도움이 되었음 한다.

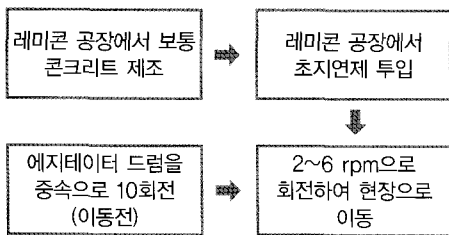
2. 신기술 적용에 따른 이론적 고찰

2.1.1 응결시간차를 활용한 초지연제의 특성

본 공법은 기초 매트 부재가 매스 콘크리트의 경우 수화열에 의한 균열문제를 해결하기 위한 방법으로 백설 탱크, PEO증점제 및 AE제를 일정비율로 혼합하여 저렴하고 양호한 품질의 당류계 초지연제를 개발하고, 이 초지연제를 일정한 혼입하여 제조한 초지연 콘크리트를 하부에 타설하고, 동시에 상부에는 보통 콘크리트를 일체 타설하는 방법으로 상하부 타설 콘크리트간의 접합부를 없애고, 공기도 단축시키면서 상하부간 응결시간차를 활용하여 수화열을 조정함으로써 최고 상승온도를 낮추고, 수화열 구배를 완만하게 하여 수화열에 의한 온도균열 문제를 해결하고자 하는 시공기술이다.



[그림 1] 신기술의 수화열 조정 개념도



[그림 2] 초지연 콘크리트의 제조단계

2.1.2 초지연 콘크리트의 제조방법

본 신기술에서의 초지연제 투입 방법으로, 초지연제

의 투입량은 보통 콘크리트를 초지연 콘크리트로 제조하기 위한 첨가량을 배합설계 자료를 이용하여 1m³의 적정량을 결정한 후, 6배를 곱하여 레미콘 트럭 1대의 사용량으로 결정하였다. 이렇게 결정된 초지연제의 양은 혼화제 공장에서 제조할 때 레미콘 트럭 1대분 사용량을 용기 1통에 담아 구입할 수 있도록 주문하여, 레미콘 공장에서 레미콘 트럭 1대에 초지연제 1통을 투입하므로 별도의 계량 장치가 필요 없었다.

초지연 콘크리트의 제조는 다음 [그림 2]와 같은 순서로 실시하였다.

- ① 레미콘 공장에서 일반조건외의 보통 콘크리트를 제조한다. 단, 레미콘 공장은 소정의 제조방식에 따라 소요품질의 콘크리트를 제조할 수 있는 제조설비와 품질관리 능력을 갖추고 있어야 한다.
- ② 현장으로 출발 전에 레미콘 공장에서 에지테이터 트럭 후미에서 차량 1대분으로 계량하여 준비한 플라스틱 용기로 초지연제를 투입한다.
- ③ 현장으로 이동 전 에지테이터 드럼을 중속으로 10회전하여 혼합한다.
- ④ 지연 콘크리트를 2~6rpm으로 회전하여 현장으로 이동한 후 품질검사를 규정에 따라 실시한 다음 펌프카를 이용하여 타설한다.

2.1.3 기존공법과 초지연 콘크리트의 비교

콘크리트의 온도균열을 제어하기 위한 방법으로는 콘크리트의 온도 저감, 온도 응력 완화 및 저항력을 증대시키는 방법 등이 있다. 매스콘크리트의 온도균열을 방지하기 위한 대책은 무수히 많은 요소를 고려하여야 하겠지만 대표적인 사항에 대한 특징 및 문제점을 들면 다음 [표 1]과 같다.

[표 1] 기존 공법과의 비교

항목		장점	문제점
구분	내용		
기 존 기 술	수화열이 적은 배합	· 수화열 저감 양호 · 저렴, 수화열 저감 양호 · 저렴, 수화열 저감 양호 · 저렴, 수화열 저감 양호 · 수화열 저감 양호	· 고가, 시멘트 구득이 곤란 · 초기강도 저하, 중성화 문제 · 펌프압송 곤란 · 시공 번잡 · 냉각 설비 필요
	구조적인 고려	· 온도 철근 배근 · 파이프 쿨링	· 철근량 증가, 비경제적 · 고비용 요구
	시공적인 고려	· 수평분할 타설	· 간단한 방법
신기술	· 초저연체의 응결시간차를 활용	· 기존기술의 모든 방법 활용 · 접합부 일체화 및 공기지연 문제 해결	· 고도의 기술 요구

본 공법은 [표 1]의 공법에서 수화열이 적은 배합, 구조 및 시공적인 고려는 동일하게 활용할 수 있어 필요하면 기존 공법의 장점을 모두 도입할 수 있다. 그러면서 본 공법은 수평분할 타설에서 얻는 수화열 저감 이점을 추가적으로 얻을 수 있고, 접합부 일체 곤란 및 공기 지연 까지도 해결할 수 있는 방법이 된다.

3. 현장적용 사례

3.1 공사개요

실무현장 적용 대상건물은 청주시 용암 2지구 공동주택 신축공사 현장으로 공사개요는 [표 2]와 같다.

[표 2] 공사개요

공사명	청주용암동 청주 00아파트 신축공사	
공 사 개 요	대지위치	청주시 용암동 용암택지 개발지구 2블록
	지역지구	택지개발지구, 일반주거지역
	연 면 적	80,650m ²
	건축면적	5,768m ²

구 조	철근콘크리트 라멘 및 벽식구조
규 모	지하1층, 지상4~15층
감 리 자	(주) 원 건축사 사무소

3.2 실험계획

공동주택 신축공사 현장의 지하구조는 매트기초이다. 특히 평면이 길고, 높이가 80cm이므로 부어넣기 되는 콘크리트는 외부구속 응력에 의한 균열 저감 및 수화열을 감소시켜 온도균열을 저감할 수 있는 방법에 대하여 검토하였다. 즉, 당초 설계된 콘크리트의 규격은 25-240-12 이었는데, 이를 매스콘크리트의 문제점을 해결하고자 25-240-8로 수정하고, 시공성 향상 및 매스 콘크리트의 품질향상을 위하여 유동화 콘크리트공법을 도입하여 12cm로 유동화 하는 것으로 한다.

본 연구의 현장 실험계획은 [표 2]과 같고, 레미콘사의 현장배합사항은 [표 3]과 같다. [그림 3]은 현장적용 기초 매스부재의 배치도이며, 기초크기는 가로 71.230m, 세로 31.950m, 두께 0.8m로 총 콘크리트 타설물량은

1,584m³이었다.

[표 2] 구조체 적용시험의 실험계획

실험요인		실험수준		
배합 사항	설계기준강도(kgf/cm ²)	1	240	
	슬럼프(cm)	2	베이스콘크리트 8±2.5 유동화콘크리트 14±1.0	
		목표공기량(%)	1	4.5±1.5
	초지연제 첨가율(%)	2	0, 0.15	
타설 방법		2	·상부(40cm) - 보통 유동화콘크리트 ·하부(40cm) - 초지연 유동화콘크리트	
실험 사항	굳지않은 콘크리트	보통유동화 콘크리트 (상 부)	·슬럼프 ·공기량	
		초지연유동화 콘크리트 (하 부)		
	경화 콘크리트	보통유동화 콘크리트 (상 부)		·압축강도 : 표준양생 (3. 7, 28일) ·수화열 측정
		초지연유동화 콘크리트 (하 부)		

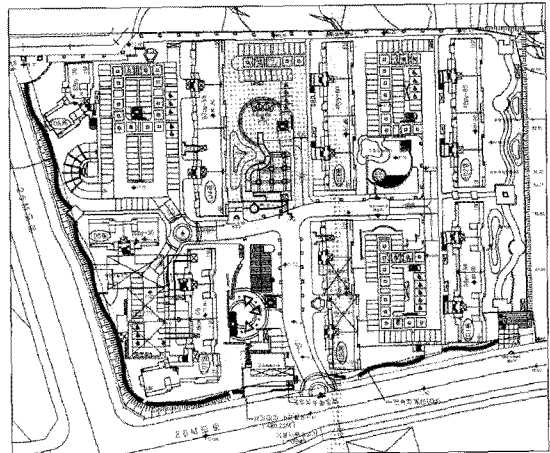
[표 3] 현장배합 사항

구분	W/C (%)	S/a (%)	AE제 (%)	단위수량 (kg/m ³)	초지연제 혼입률(C%)	용적배합(L / m ³)		
						C	S	G
A사	49.7	47.4	0.5	165	0.15	104	332	369
B사	48.9	47.0	0.5	164	0.15	106	328	372

먼저, 레미콘의 배합사항으로 강도수준은 240kgf/cm²의 1개 수준에 목표슬럼프는 베이스 콘크리트의 슬럼프 8cm를 14±1.0cm로 유동화 하고, 목표 공기량은 4.5±1.5%를 만족하는 배합을 결정하였다. 하부 40cm 두께 부분 콘크리트의 초지연제 혼입율은 2~3일 응결지

연 범위인 C×0.15%의 1개 수준으로 계획하였다.

즉, 현장 부어넣기 시험의 콘크리트 제조는 실제 레미콘 배치 플랜트를 통하여 슬럼프 8cm인 베이스 콘크리트인 경우와 초지연제를 혼입하고 교반한 초지연제 콘크리트, 초지연제 콘크리트에 유동화제를 혼입하여 교반한 지연 유동콘크리트 및 보통 콘크리트에 유동화제를 혼입한 보통 유동화 콘크리트 4종류에 대하여 실험하였다. 특히, 현장에 적용한 콘크리트의 종류로는 지하 매트구조 하부 40cm는 초지연 유동화 콘크리트를 사용하였고, 상부 40cm의 경우는 보통 유동화 콘크리트를 적용하였다. 베이스 및 초지연 콘크리트의 경우는 현장에 적용한 콘크리트의 경우와 비교하여 분석하였다. 레미콘 회사로는 콘크리트 물량 공급으로 2개사를 선정하여 실험하였다.



[그림 3] 적용부재의 배치도

3.3 사용재료

본 연구의 사용재료로서 시멘트는 국내산 L 및 H사의 보통포틀랜드 시멘트를 사용하였는데, 그 물리적 성질은 [표 4]와 같다. 골재로서 잔골재 및 굵은골재는 모

두 충복산을 사용하였는데, 그 물리적 성질은 [표 5]와 같다.

[표 4] 시멘트의 물리적 성질

	비중	분말도		안정도 (%)	응결 시간(분)		압축 강도(kg/cm ²)		
		(cm ² /g)	(%)		초결	종결	3일	7일	28일
A사	3.15	3.568	0.14	214	320	230	293	377	
B사	3.15	3.331	0.12	209	309	245	329	397	

A사 : L시멘트 (고려레미콘), B사 : H시멘트 (옥산레미콘)

[표 5] 잔골재의 물리적 성질

	골재 종류	비중	조립율 (F.M)	흡수율 (%)	단위용적 중량(kg/m ³)	입형편적	No.200제
						실적율(%)	통과율(%)
A사	잔골재	2.56	2.74	0.87	1,589	-	0.62
	굵은골재	2.65	6.98	1.03	1,588	60	0.34
B사	잔골재	2.58	2.75	0.90	1,573	-	0.80
	굵은골재	2.64	6.97	0.60	1,570	60	0.30

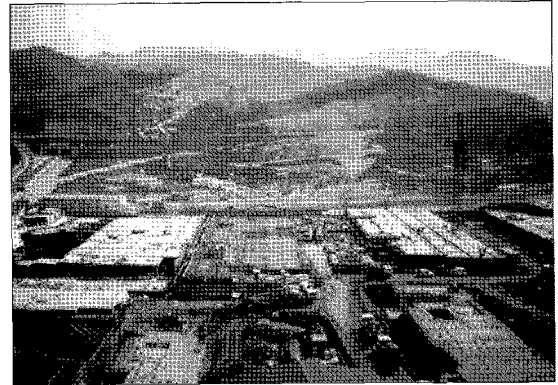
초지연제로는 건설신기술 제 353호의 제품(슈퍼리에)을 사용하였는데 그 물리적 성질은 [표 6]과 같다.

[표 6] 초지연체의 물리적 성질

주성분	색상	성상	비중 (20°C)	표준사용량 (C×%)
Sucrose+Poly ethylene oxide+Sodium lauryl sulfate	흰색	액상	1.2	0.15~0.6

3.3 타설계획 및 실험방법

[사진 1]은 매트기초 타설 전경이다. 타설방법으로는 먼저, 콘크리트의 제조는 레미콘사의 베퉀플랜트에서 베이스(Base)콘크리트를 제조하는 것으로 하며, 초지연제 첨가는 레미콘사에서 레미콘 트럭에 초지연제를 투여한 다음 트럭 내에서 충분히 교반되도록 중속으로 10 회전 후 현장으로 출발하는 것으로 하였다.



[사진 1] 콘크리트 타설전경

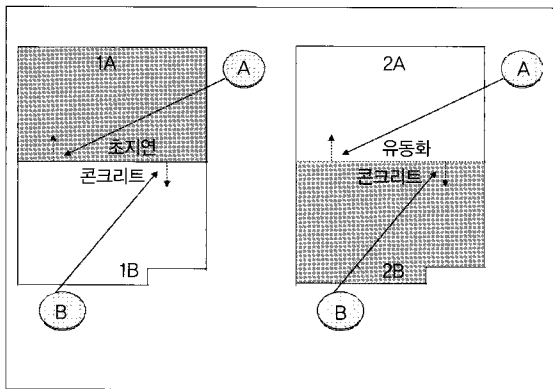


[사진 2] 유동화제 투입

또한, 현장 타설방법은 부어넣기 5분전 위치에서 유동화제를 [사진 2]와 같이 레미콘 트럭 후미에 투입하고, 충분히 유동화 시킨 후 타설하였다.

콘크리트 타설순서는 일반 콘크리트와 동일하게 적용하며, [그림 4]와 같은 방법으로 타설한다.

먼저, 1단계로 초지연 유동화 콘크리트를 높이 40cm 까지 타설한 후 2단계로 보통 콘크리트를 유동화 시킨 유동화 콘크리트를 타설하여 일체화 시키면서 콘크리트 부어넣기를 완료한다. 다짐은 바이브레이터를 충분히 준비하여 밀실한 구조체가 되도록 다짐하며, 표면 마감은 건축공사 표준시방서에 규정된 정밀도를 고려하여 면밀히 시공한다.



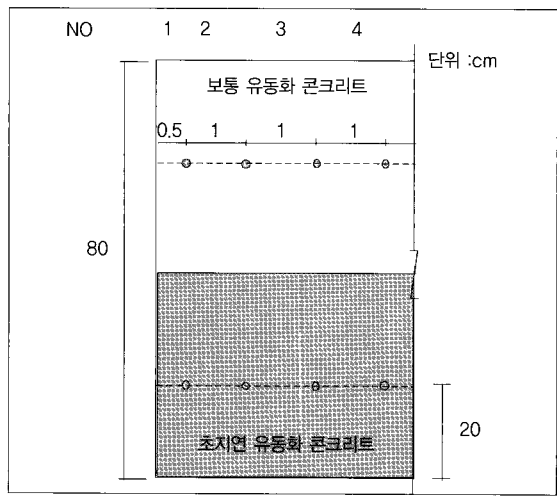
[그림 4] 콘크리트의 타설순서



[사진 3] 테이터로거를 이용한 콘크리트 내부 수화열 측정

실험사항으로 굳지않은 콘크리트의 슬럼프 시험은 KS F 2402, 공기량은 KS F 2421 따라 측정하였다. 또한 경화 콘크리트의 압축강도는 KS F 2405의 규정에 의거 실시하였다.

구조체 매스콘크리트의 내부 수화열 측정은 [그림 5]와 같이 초지연 콘크리트 4개소, 보통콘크리트 4개소 즉, 8개소에 T타입 열전대를 매입하고 테이터로거(사진 3)를 이용하여 콘크리트 내부의 수화열에 의한 온도이력을 약 6일간 측정하였다.

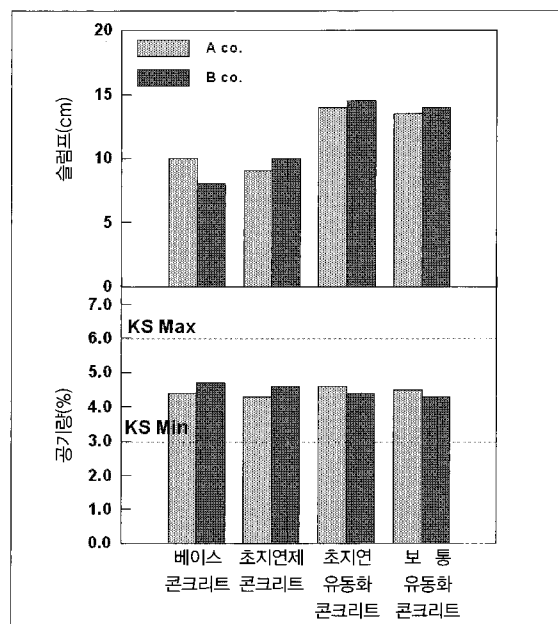


[그림 5] 구조체 열전대 매입위치

4. 실험결과 및 분석

4.1 슬럼프 및 공기량

[그림 6]은 제조사별 시험에 따른 슬럼프 및 공기량을 베이스, 초지연제, 초지연제 유동화 및 보통 유동화 콘크리트로 구분하여 나타낸 것이다.



[사진 3] 테이터로거를 이용한 콘크리트 내부 수화열 측정

	A사	B사
베이스 콘크리트		
초지연 콘크리트		
초지연 유동화 콘크리트		
보통 유동화 콘크리트		

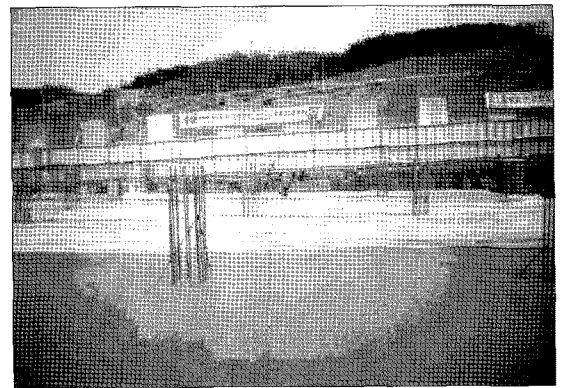
[사진 4] 슬럼프 측정

먼저, 슬럼프의 경우 베이스 콘크리트는 현장요구 슬럼프 $8 \pm 2.5\text{cm}$ 에 만족하였다. 초지연제를 혼입한 경우의 슬럼프는 증가되지 않는 것으로 나타나 지연제에 따른 슬럼프의 변화는 거의 없는 것으로 분석된다. 그러나 현장에서 초지연제를 혼입한 콘크리트에 분리저감형 유동화제를 혼입한 후 유동화 시켰을 때 슬럼프는 $14 \sim 15\text{cm}$ 로 유동성은 크게 향상되어 부어넣기시 용이하였다. 또한, 상부의 경우 베이스 콘크리트에 유동화 시켰을때도 유동성은 향상 되었다.

공기량의 경우 역시 베이스 콘크리트에 비하여 초지연 유동화 및 보통 유동화 콘크리트의 경우 모든 시험에서 1% 이내로 차이가 작게 나타나 유동화에 의한 공기량의

변화는 거의 없는 것으로 나타났다. 또한 초지연 유동화 및 보통 유동화 콘크리트의 유동화 차이도 작게 나타나 초지연제 및 유동화제 첨가에 따른 공기량 변화는 거의 없는 것으로 분석되었다.

특히, 초지연제 및 유동화제에 첨가된 증점제의 점성 특성으로 콘크리트 부어넣은 후 1시간이 경과된 후에도 [사진 6]과 같이 블리딩 및 소성수축균열은 발생되지 않아 품질관리면에서 양호한 것으로 분석된다.



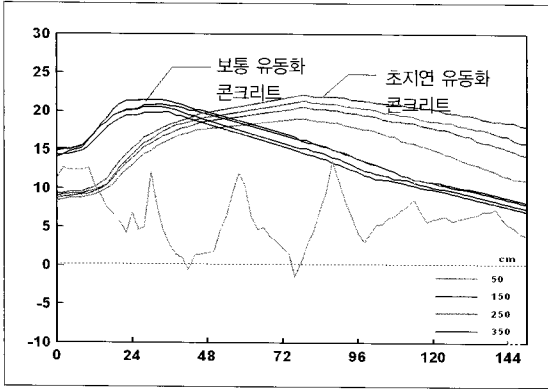
[사진 5] 콘크리트 타설 후 표면상태

4.2 경화콘크리트의 특성

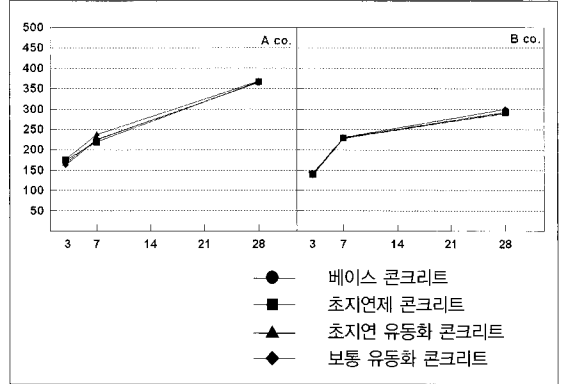
4.2.1 온도이력 특성

[그림 7]은 시간경과에 따른 구조체 내부의 온도이력을 나타낸 것이다. 콘크리트 타설은 하부 지연콘크리트의 경우 새벽부터 부어넣기 하였으며, 하부 콘크리트 부어넣기 완료 후 상부 보통 유동화 콘크리트 부어넣어 초기 온도차이는 발생하였고, 콘크리트 부어넣기시 외기온의 경우는 일평균 6.9°C 수준이었고, 타설되는 콘크리트의 온도는 약 $9 \sim 15^\circ\text{C}$ 정도 이었다.

특성으로 먼저, 상부에 타설된 콘크리트의 경우는 정상적인 수화반응에 의한 온도이력곡선을 나타내며, 타설 후 24시간 전후에서 약 23°C 정도의 수화열 피크점을



[그림 7] 콘크리트 종류에 따른 내부의 수화열 온도이력



[그림 8] 콘크리트 종류에 따른 압축강도

형성하였고, 그 후 서서히 저감하여 약 7일후에는 구조체의 내부온도가 외기온 수준으로 근접하였다. 또한, 하부에 타설된 초지연 콘크리트의 경우는 초지연제 0.15% 첨가에 의해 0.5~1일 정도 콘크리트의 응결지연을 예상하였는데, 콘크리트 타설 후 약 3.2일 전후에서 피크점이 생성되었고, 그 후 온도는 감소하였다.

이는 부재 하부 40cm의 초지연 유동화 콘크리트가 응결지연작용을 하였음에 따라 상부 보통 유동화 콘크리트 수화작용으로 최고온도를 저감할 수 있었으며, 초지연 유동화 콘크리트의 장점인 상·하부 시간차를 두어 수화열 발생시간을 조정할 결과로 사료된다.

특히, 초지연 유동화 콘크리트를 타설하지 않고 보통 콘크리트를 타설하였을 경우 높은 수화열로 인하여 품질에 영향이 미칠거라고 사료되며, 초지연 유동화 콘크리트를 사용한 경우가 보통 콘크리트에서 발생하는 수화열을 상당히 저감할 것으로 사료된다.

4.2.2 압축강도 특성

[그림 8]은 제조사별 표준양생조건에서 양생한 콘크리트 종류별 재령경과에 따른 압축강도를 나타낸 것이다. 전반적으로 콘크리트 종류별 28일 압축강도는 레미콘

설계기준강도 240kgf/cm²을 상회하고 있으며, 제조사별로는 약간의 차이가 있으나 요구성능을 만족하는 것으로 나타났다. 특히, 초기강도에서 초지연 유동화 콘크리트의 압축강도가 상부 보통 유동화 콘크리트 보다 다소 높게 측정되어 초지연제가 강도발현에 큰 영향을 미치지 않았음을 확인할 수 있었다.

5. 결론

공동주택 신축공사의 기초매트 콘크리트 공사에 건설신기술(제353호 및 제264호)을 적용하여 굳지않은 콘크리트의 특성, 수화열 특성 및 경화 콘크리트의 특성을 검토한 결과를 종합하면 다음과 같다.

- (1) 슬럼프 및 공기량은 베이스 콘크리트에서 유동화한 후 초지연 유동화 및 보통 유동화 콘크리트의 경우는 1~2cm 및 1% 이내로 상호간의 차이가 매우 작아 초지연제에 따른 슬럼프 및 공기량의 변화는 거의 없는 것으로 나타나 품질관리가 양호하였다.
- (2) 온도이력 특성으로 초지연제의 응결시간차를 활용한 수화열 저감공법을 적용하였을 시 응결지연 효과로 보통콘크리트 타설시 발생하는 수화열을 감

소할수 있었다.

- (3) 경화콘크리트의 압축강도 특성으로 지연 콘크리트의 경우 보통콘크리트에 비하여 압축강도가 동등하거나 초기강도가 높게 측정되어 지연제가 강도 발현에 큰 영향을 미치지 않은 것으로 나타났다.

이상을 종합해 보면 공동주택 신축공사 현장에서의 품

질향상 방안의 일환으로 성공적인 시공사례로 사료된다. 특히, 구조물의 수화열에 의한 균열 제어 뿐만 아니라 콘크리트 부어넣기시 재료분리 방지, 양호한 유동성으로 시공능률 향상, 부어넣기시 충전성 향상 및 경제성 등 많은 장점이 있는 것으로 판단되어 당 현장에서는 아파트 구조 중 벽 및 슬라브에도 신기술을 적용하여 양호한 품질을 얻을 수 있었다.

참고 문헌

1. 구자갑 외 (1994). 안정된 지하구조물의 설계와 시공. 새론출판사
2. 구자갑, 전제성 (2003). 3차원 변위벡터 분석을 통한 전방 지반거동 예측. 대한토목학회논문집, 제13권, 제III-4호, pp. 505-519.
3. Golser, H. and A. Steindorfer (2000). Displacement Vector Orientations in Tunnelling – What do they tell?. Felsbau, Vol. 18, No. 2, pp. 16-20.
4. Itasca Consulting Group Inc. (1996). FLAC3D(Fast Lagrangian Analysis of Continua in 3 Dimensions), version 2.0, User's manual, Vol. 1, 2, 3.
5. Rokahr, R. B., Stark, A., and Zachow, R. (2002). On the Art of Interpreting Measurement Results. Felsbau, Vol. 20, No. 2, pp. 16-21.
6. Schubert, W. and A. Budil (1995). The importance of longitudinal deformation in tunnel excavation. 8th Congress on Rock Mechanics:Pro. of the Int. Society for Rock Mechanics, Tokyo, Rotterdam, Balkema, pp. 1411-1414.
7. Schubert, W., Steindorfer, A., and Button, E. A. (2002). Displacement Monitoring in Tunnels – an Overview. Felsbau, Vol. 20, No. 2, pp. 7-15.
8. Tonon, E. and B. Amadei (2000). Detection of rock mass weakness ahead of a tunnel – A numerical study. NARMS, Balkema, Seattle, pp. 105-111.