

혼화재를 치환한 매스 콘크리트의 품질향상에 관한 시공 사례

Article

03



홍 상 희

(주)원건축사사무소 차장 / 공학박사

1. 서론

최근 국내의 아파트 건축공사 현장의 경우 소비자의 인식향상에 따라 고품질 구조물이 요구되어지고 있는 실정이다. 최근 도십지 채택 수요 및 유동인가 증가에 따른 지가상승으로 주거시설 뿐만 아니라 상업시설의 증가로 대형화된 주상복합건물이 증가되고 있으며, 고층 아파트 구조물의 경우 대부분 콘크리트 구조로 이루어짐에 따라 품질관리의 중요성에 대한 인식은 점점 증가되고 있는 실정이다.

주상복합 구조물의 부재가 대형화됨에 따라 매스콘크리트로 타설하는 부위는 점점 많아지고, 이러한 매스콘크리트로 타설할 경우 수화열에 의한 온도응력으로 인한 균열이 품질결함의 원인으로 작용한다. 특히, 매스콘크리트에서 이미 알려진 수화열에 의한 균열방지 대책으로는 혼화재 및 저발열 시멘트를 사용하는 방법과 단위시멘트량이 적게되는 배합설계와 함께 고비용인 파이프쿨링, 재료의 프링쿨링 방법 및 2층 이상의 분할타설 등의 시공방법이 있다.

따라서 본 시공 사례에서는 주상복합 건축물에서 상가와 공동주택 경계면 즉, Flat Slab의 두께가 매스콘크리트 범주에 포함됨에 따라 계획단계에서부터 사전 현장 품질관리 향상 방안의 일환으로 수화열에 의한 온도 균열을 저감하기 위하여 분할타설 시공방법을 적용한 것이며, 이러한 사례들이 현장 업무에 많은 도움이 되었음 한다.

2. 현장 적용

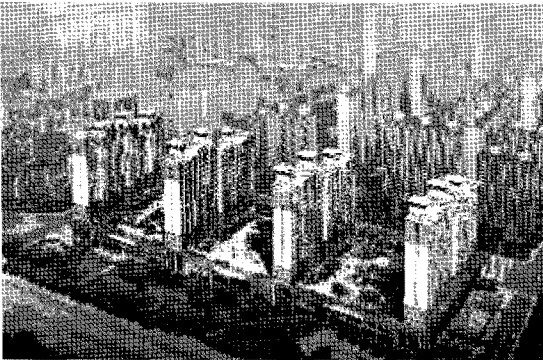
2.1 공사개요

본 연구의 실무적용 대상건물은 경기도 남양주시에 있

[표 1] 공사개요

공사명	경기도 남양주시 부영 주상복합신축공사	
지역지구	준주거지역, 제1종 지구단위계획구역, 특별계획구역	
공 사	연 면 적	163,958.50㎡
	건축면적	17,229.81㎡
개 구 조	철근콘크리트, 철근콘크리트 벽식구조	
요 구 모	지하4층, 지상1~15,16,17,18층	
최고높이	55m	

는 지하 4층, 지상15~18층 규모의 주상복합 신축공사 현장에서 공사개요는 [표 1]과 같고, [사진 1]은 조감도이다.



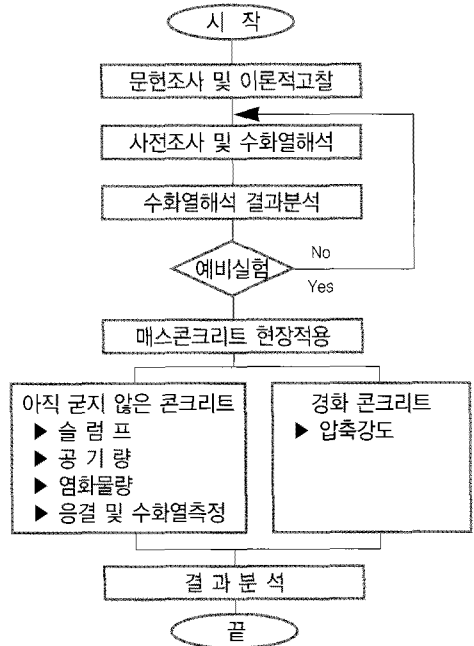
[사진 1] 조감도

2.2 Flat Slab 타설 계획

경기도 남양주시 주상복합 건물의 지상 주거부분 기초는 매트기초이다. 특히 평면의 길이가 길고, 높이가 1800mm이므로 부어넣게 되는 콘크리트는 외부구속 응력에 의한 수화열에 의한 균열발생 가능성이 큼에 따라 수화열 감소 및 온도균열을 저감할 수 있는 방법에 대하여 검토가 요구되었다.

먼저, 매스콘크리트에서 발생될 수 있는 문제점을 대하여 사전조사를 실시하며, 레미콘사의 협조를 받아 미리 당 현장에 사용될 콘크리트의 배합사항을 전제로 수화열 해석프로그램을 이용하여 사전에 발생될 수 있는 문제점을 검토한다.

따라서 설계된 콘크리트의 규격은 25-27-15이므로 사전에 수화열 해석 프로그램을 이용하여 균열지수를 산정하였다. 또한 그 해석결과를 바탕으로 레미콘 공장에서 예비실험을 실시하였으며, 적정성을 확인한 후 현장 매스콘크리트 적용하는 것으로 하였다. 그림 1은 진행 흐름도를 나타낸 것이다.



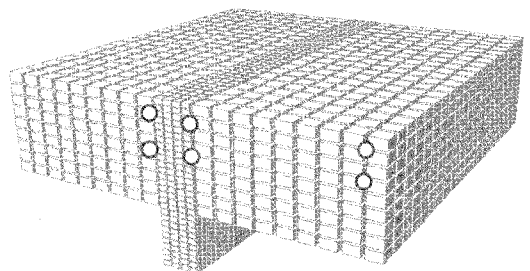
[그림 1] 진행흐름도

2.2.1 수화열 해석 결과

먼저 부재 모델링의 개요는 표 2와 같고, 1/4로 모델링을 하였다. 결합재는 배합조건으로 보통 포틀랜드 시멘

[표 2] 부재 모델링이 개요

구분	매트기초의 두께 (m)	설계기준강도 (MPa)	결합재의 종류
매트 기초	1.8	27	OPC 100%



[그림 2] 매트기초의 모델링

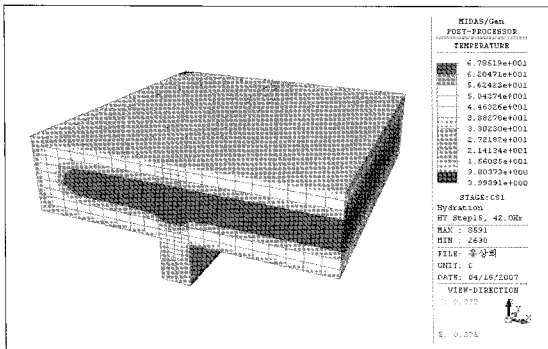
트를 사용하였고, 양생방법으로는 특별한 양생방법을 적용하지 않고, 외기에 노출시켜 양생한 경우에 대하여 검토 하였다. 부재의 모델링은 [그림 2]와 같다.

[표 3] 수화열 해석을 위한 입력 Data

물 성	사용재질	매트 슬라브 및 보
비열 (kcal/kg°C)		0.25
밀도 (kg/m³)		2,400
열전도율 (kcal/mhr°C)		2.3
열전달률* (kcal/m²h°C)	노출/살수	12.0
외기온도 (°C) - 1일 기준		5 ~ 18 (반복)
콘크리트 타설온도 (°C)		15
91일 압축강도 (kg/cm²)		300
압축강도 발현계수		a=4.5 b=0.95
91일 탄성계수 (×10⁹/cm²)		2.4474
열팽창계수 (×10⁻⁵/°C)		1.0
포아송비		0.167
단위시멘트량 (kg/m³)		388
발열함수 계수		K=55.68, a=1.4384

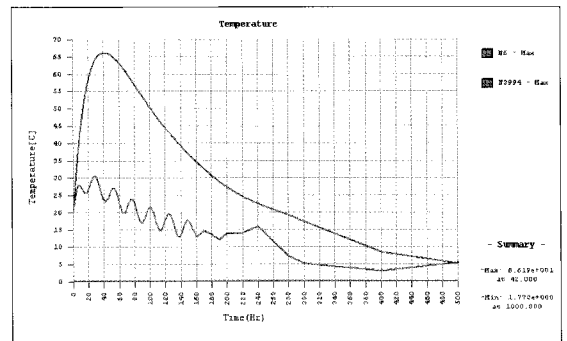
* 콘크리트 표준시방서의 열전달률 (W/m²°C)를 (kcal/m²h°C)로서 환산한 값.

[표 3]은 수화열 해석을 위한 입력 데이터로서 콘크리트 예상 타설온도는 15°C, 단위시멘트량은 레미콘 배합 자료를 참조하였다.

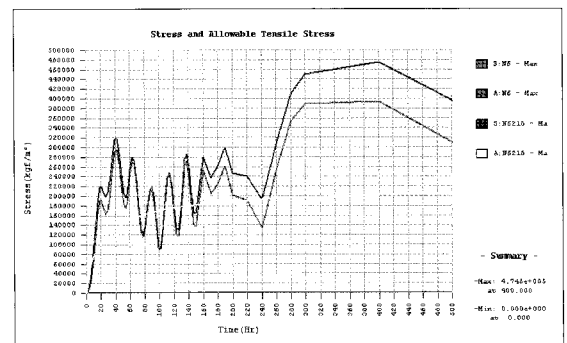


[그림 3] 온도분포(Temp. Max -42시간, 67.86°C)

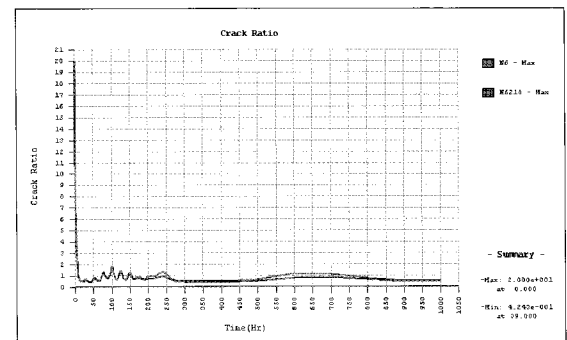
[그림 3] 및 [그림 4]는 해석프로그램에 의한 온도분포로 슬라브 중심부 및 표면부 온도 이력을 나타낸 그림이다. 먼저, 중앙부의 경우 42시간 이후 최고 68°C로 나타났으며, 슬라브 중심부 및 표면부의 온도차이는 35°C이상으로 나타나 표면에 균열 발생 확률이 높은 것으로 나타났다.



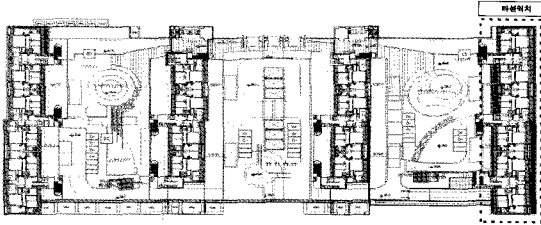
[그림 4] 슬라브 중심부 및 표면부 온도이력



[그림 5] 슬라브 중앙부 및 표면부 절점의 응력이력



[그림 6] 슬라브 중앙부 및 표면부 절점의 균열지수 (Crack Ratio Min.-0.424)



[그림 7] Flat Slab매스부재의 배치도

[그림 5]는 중앙부 및 표면부 절점의 응력 이력율, [그림 6]은 균열지수를 나타낸 그림이다. 먼저, 초기응력 발생으로 240시간 전후에 허용응력 초과로 균열발생이 높은 것으로 나타났으며, 균열지수 0.424로 균열발생 확률은 95% 이상인 것으로 평가됨에 따라 수화열 저감을 위한 저발열 시멘트 및 적절한 배합설계가 요구되어지며, 아울러 매스콘크리트 내외부의 온도차를 줄일 수 있는 보온양생 개념의 양생 방안이 요구되었다. 따라서, 한 번에 부어넣기 보다는 분할타설 및 혼화재를 이용한 배합조정과 적절한 양생방법을 적용하여 매스콘크리트 타설계획을 세웠다.

2.2.2 실험계획

본 연구의 현장 실험계획은 [표 4]와 같고, 레미콘사의

[표 4] 실험계획

실험요인		수준	
배합사항	설계기준강도(N/mm ²)	1	27
	슬럼프(cm)	1	15
	목표공기량(%)	1	4.5±1.5
	혼화재치환율	3	0(Plain), Slag:F.A 10:10(A사), Slag:F.A 15:5(B사)
실험사항	굳지 않은 콘크리트	3	· 슬럼프 · 공기량 · 수화열 측정
	경화 모르타르	1	· 압축강도 (7, 28일)

[표 5] 현장배합사항

구분	종류	질량배합(kg/m ³)								
		W/C (%)	S/a (%)	AE제 (%)	단위수량 (kg/m ³)	C	F.A	Slag	S	G
A사	base	46	50	0.8	176	326	0	0	853	876
	10:10	46	46	0.9	174	302	38	38	783	933
B사	base	49	48	1.0	184	376	0	0	836	908
	15:5	49	47	1.1	181	296	19	56	797	913

현장배합사항은 [표 5]와 같다. [그림 7]은 현장적용 Flat slab 매스 부재의 배치도이며, 크기는 가로 91,200mm, 세로 16,000mm, 두께 1,800mm로 전체 콘크리트 타설 물량은 2,870m³ 이나, 3회분할 타설로 1회 타설물량은 1,100m³ 이다.

먼저, 레미콘의 배합사항으로 주문자의 강도는 25-27-15이다. 현장 부어넣을 콘크리트는 미리 선정된 레미콘 공장의 혼화재의 사용 및 출하시 공장의 혼화재 적용 유무에 따라 레미콘 공장의 배합설계에 맞게 A사, B사 모두 고로슬래그 및 플라이애쉬를 시멘트로 일부 치환 사용하는 것으로 한다. 따라서 현장타설 콘크리트의 경우 A사의 경우 고로슬래그:플라이애쉬 10:10, B사의 경우 고로슬래그:플라이애쉬 15:5로 치환하여 배합설계 하는 것으로 하였다.

실험사항으로 굳지않은 콘크리트의 경우 슬럼프, 공기량, 응결시간 및 콘크리트 온도를 측정하고, 경화콘크리트의 경우, 거푸집 탈형 시기를 고려하여 7일의 조기재령과 28일 표준재령에서 각각 압축강도를 측정하였다.

2.3 사용재료

본 연구의 사용재료로써 시멘트는 국내산 H 및 A사의 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하고, 굵은골재는 경기도 포천일대에서 생산되는 부순 굵은골재를 사용하며, 잔

골재는 경기도 퇴계원 일원에서 생산되는 부순모래를 사용하였다. 혼화제로는 고로슬래그 및 플라이애쉬를 사용하였는데, 각각의 물리적 성질은 [표 6~9]와 같다.

[표 6] 시멘트의 물리적 성질

구분	밀도 (g/cm ³)	분말도 (α /g)	안정도 (%)	응결시간(분)		압축강도(MPa)		
				초결	종결	3일	7일	28일
A사	3.14	3,457	0.07	250	330	21.2	28.1	40.3
B사	3.15	3,144	0.18	230	375	20.9	28.4	38.9

[표 7] 골재의 물리적 성질

구분	골재 종류	밀도 (g/cm ³)	조립률 (F.M)	흡수율 (%)	단위용적 질량 (kg/m ³)	입형판정 실적률 (%)	No.200 체통과율 (%)
	굵은골재	2.63	6.95	0.82	1,531	57.0	0.5
B사	잔골재	2.60	2.95	1.27	1,617	-	2.1
	굵은골재	2.64	6.86	0.69	1,546	57.0	0.4

[표 8] 고로슬래그의 물리, 화학적 성질

구분	밀도 (g/cm ³)	분말도 (α /g)	MgO (%)	SO ₃ (%)	lg-loss (%)	Cl ⁻
고로슬래그	2.91	5,190	5.30	1.30	0.63	0.008

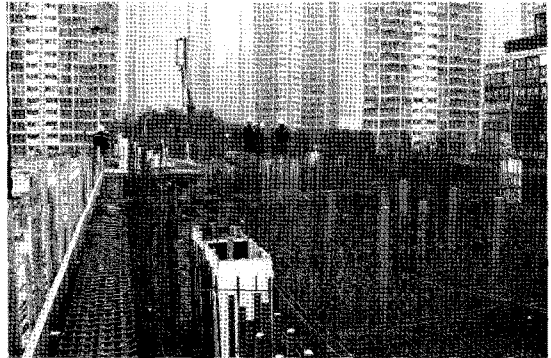
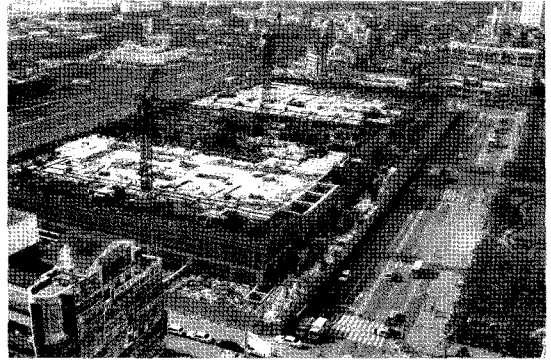
[표 9] 플라이애쉬의 물리, 화학적 성질

구분	밀도 (g/cm ³)	분말도 (α /g)	lg-loss (%)	SiO ₂ (%)	Cl ⁻
플라이애쉬	2.20	3,481	3.10	56.3	0.40

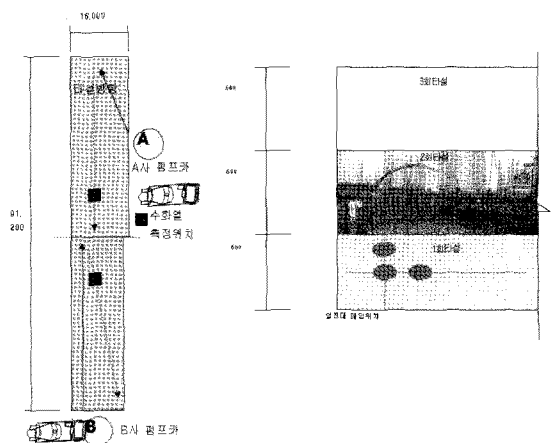
2.4 타설계획 및 실험방법

[사진 5]는 현장 적용 Flat Slab 타설 전경이며, [그림 8]은 콘크리트 타설순서 및 구조체 열전대 매입위치를 나타낸 것이다.

실험사항으로 굳지않은 콘크리트의 슬럼프시험은 KS F 2402, 공기량은 KS F 2421, 응결시간 측정은 유압반



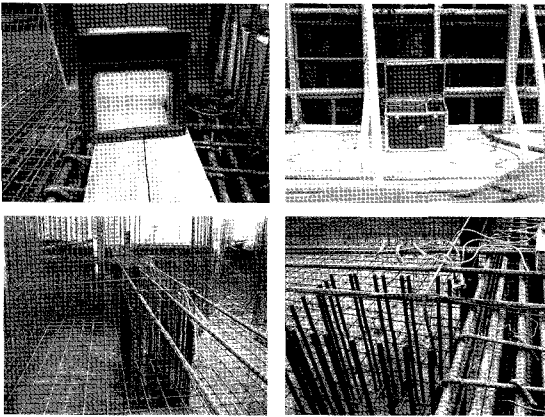
[사진 2] 콘크리트 타설



[그림 8] 콘크리트 타설전경 및 구조체 열전대 매입위치

력식 몰탈 관입기를 이용하여 KS F2436의 관입저항침에 의한 콘크리트의 응결시간의 시험방법에 따라 측정하였다. 또한 경화 콘크리트의 압축강도는 KS F 2405

의 규정에 의거 실시하였다. 구조체 매스콘크리트의 내부 수화열 측정은 [그림 8]과 같이 중앙부와 표면에 T 타입 열전대를 매입하고, 데이터로거(사진 3)를 이용하여 콘크리트 내부에서 발생하는 수화열에 의한 온도이력을 측정하였다.



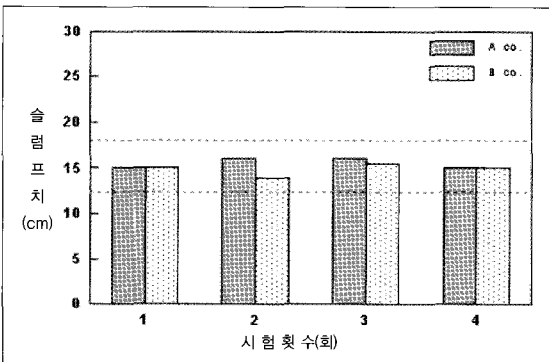
[사진 3] 데이터로거를 이용한 콘크리트 내부 수화열 측정

3. 실험결과 및 분석

3.1 굳지 않은 콘크리트의 특성

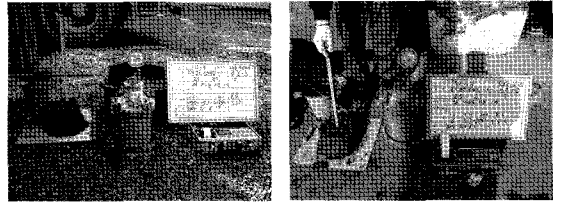
1) 슬럼프 및 공기량 특성

[그림 10] 및 [사진 4]는 제조사별 시험에 따른 슬럼프



[그림 10] 시험횟수에 대한 슬럼프치

시험 결과를 나타낸 것이고, [그림 11]은 공기량을 나타낸 것이다.

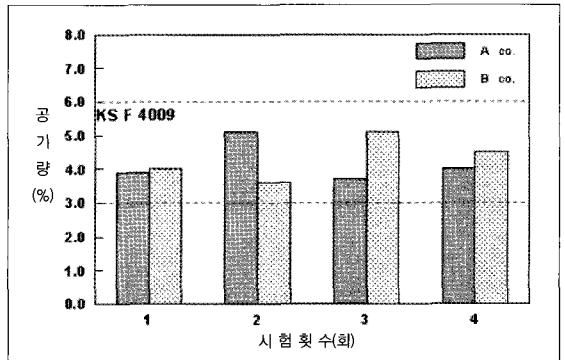


A사(SF 10:10)

B사(SF 15:5)

[사진 4] 제조회사별 슬럼프 시험

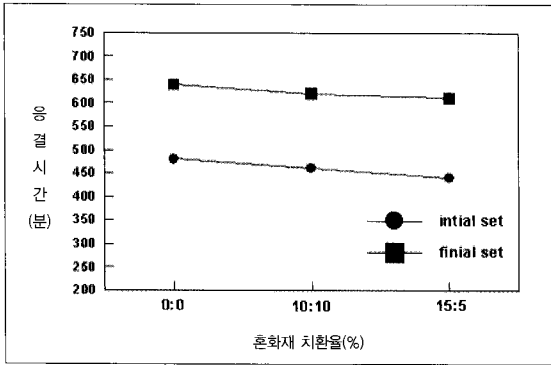
슬럼프의 경우 현장에서 요구하는 기준치에 제조회사별 공히 모두 만족하였으며, 공기량 또한 4.5 ± 1.5 범위를 만족하였다.



[그림 11] 시험횟수에 대한 공기량

2) 응결 특성

[그림 12]는 혼화재 치환율별 응결시간을 초결 및 종결 시간을 나타낸 것이다. 먼저, 베이스 콘크리트에 비하여 고로슬래그 및 플라이애쉬 치환한 배합에서 초결 및 종결 공히 모두 응결시간이 빠르게 나타났다. 특히 고로슬래그 15%, 플라이애쉬 치환율 5%인 경우에서 초결 및 종결에서 1시간 정도 빠른 것으로 나타나 응결에 문제가 없는 것으로 나타났다.

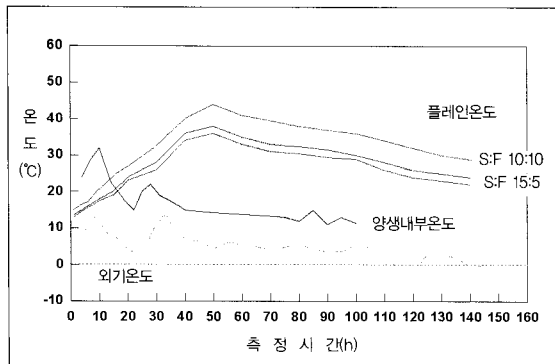


[그림 12] 혼화제 치환율 변화에 따른 응결시간

3.2 경화 콘크리트의 특성

1) 온도이력 특성

[그림 13]은 시간경과에 따른 구조체 내부의 온도이력을 나타낸 것이다.



[그림 13] 혼화제 치환율 변화에 따른 콘크리트 내부의 수화열에 의한 온도이력

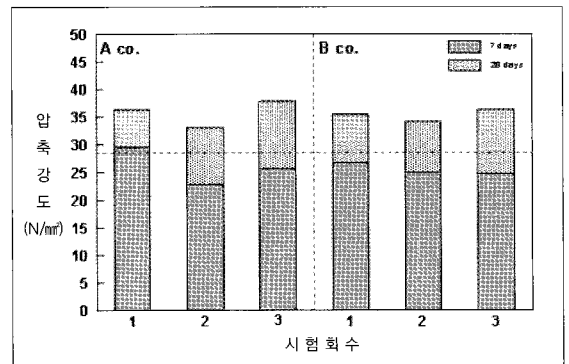
콘크리트의 타설은 새벽부터 부어넣기 하였으며, 제조 회사별로 타설계획에 따라 부어넣었다. 콘크리트 부어넣기시 외기온의 경우는 일평균 8.0°C 이며, 타설되는 콘크리트의 온도는 약 10~16°C 정도 이었다.

온도이력 특성으로 먼저 시간이 경과할수록 콘크리트의 내부 온도는 증가하였으며, 타설후 50시간에서 최고

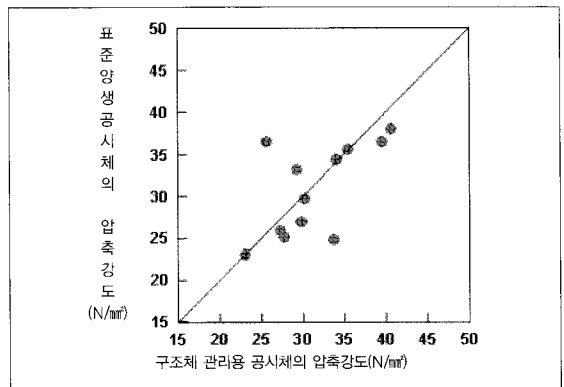
피크점을 보였으며, 그 이후 온도는 감소하는 것으로 나타났다. 특히, 수화열 해석에 의한 베이스 콘크리트 온도보다 고로슬래그 및 플라이애쉬를 치환한 배합의 경우가 약 8~10°C 정도 낮은 것으로 나타나 혼화제에 의한 수화열 감소효과를 얻을 수 있었다. 또한, 양생포 내의 외기온은 초기에 집중관리 하였으며, 시간경과에 따라 15~18°C 범위에서 반복 관리함으로써 온도균열의 발생에는 그다지 문제가 없는 것으로 나타났다.

2) 압축강도 특성

[그림 14]는 제조사별 시험횟수에 따른 압축강도를 나타낸 그래프이다. 전반적으로 28일 압축강도는 구조체



[그림 14] 재량별에 따른 압축강도



[그림 15] 구조체관리용 공시체와 표준양생공시체의 압축강도

의 설계기준강도 27N/mm^2 을 상회하고 있으며, 제조사 별로는 약간의 차이는 있으나, 요구성능을 만족하는 것으로 나타났다.

특히, 혼화재 치환에 따라 초기강도 발휘는 미비할 것으로 예상하였으나, 양생온도의 관리로 큰 영향은 없는 것으로 나타났다. 또한, 플라이애쉬를 치환한 경우가 고로슬래그를 치환한 경우보다 초기강도는 다소 작은 것으로 나타나 플라이애쉬의 치환율을 증가하는 것 보다 고로슬래그의 활용이 다소 양호한 것으로 나타났다. [그림 15]는 표준양생 공시체와 구조체 관리용 공시체의 압축강도를 비교한 그래프로 현장과 레미콘사의 압축강도기기의 종류가 상이함에 따른 오차가 발생하였지만, 큰 차이 없이 잘 상응하고 있음을 알 수 있다.

4. 결론

본 감리사례에서는 현장 사전 품질관리 일환으로 주상복합 신축 공사현장에 Flat Slab의 매스콘크리트 시공시 혼화재 종류에 따른 치환율 변화 및 분할타설 시공법으로 수화열에 의한 온도균열을 제어하기 위하여 현장에 적용한 매스콘크리트의 특성을 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 슬럼프 및 공기량은 제조회사별 공히 모두 요구수준에 만족하였으며, 응결시간은 혼화재 치환한 경우가 다소 빠른 것으로 나타나 현장 품질관리에 문제점이 없는 것으로 나타났다.

- (2) 온도이력 특성으로 베이스 콘크리트에 비하여 고로슬래그 및 플라이애쉬를 치환한 경우에서 약 $8\sim 10^\circ\text{C}$ 정도 낮은 것으로 나타나 혼화재에 의한 수화열 감소 효과를 나타내었다.

- (3) 경화콘크리트의 압축강도 특성으로 제조사별 배합의 상이로 다소 차이는 발생하였으나 구조체의 요구강도는 모두 만족하는 것으로 나타났으며, 특히, 혼화재를 치환한 경우 고로슬래그의 치환율이 증가할수록 콘크리트 강도는 플라이애쉬를 치환한 경우보다 양호한 것으로 나타났다.

이상을 종합해 보면 주상복합 신축공사 현장에서 품질 향상 방안의 일환으로 분할타설 및 혼화재를 치환하여 적용하였을 경우 시공자 및 감리자 공히 모두 충분한 사전 검토가 중요하다.

따라서 당 현장의 경우 Flat Slab의 현장배합을 통하여 고로슬래그 및 플라이애쉬를 적절하게 사용할 경우 수화열에 의한 균열 저감 뿐만 아니라 혼화재 치환에 따른 콘크리트 부어넣기시 재료분리 방지, 양호한 유동성으로 시공능률 향상, 부어넣기시 충전성 향상 등 소정의 목적을 달성할 수 있었다.

또한, 구조 해석을 통하여 해결한 씨포트 간격 조정 및 일부 씨스템 거푸집의 사용으로 안전성까지 만족하였다.

특히, 시공자 및 감리자의 사전품질계획 및 공사 전반에 걸친 관심여부에 따라 구조물의 품질 향상에 큰 영향이 있음을 알 수 있었다.

참고 문헌

1. 한천구, 레미콘 품질관리, 기문당, 2004.
2. 한민철, 한천구, 기온과 콘크리트, 기문당, 2002
3. 원철, 한천구, 수화열 해석 프로그램을 이용한 한중콘크리트의 온도이력 검토, 대한건축학회논문집(구조계), 2004,03.
4. 이진우외 4인, 매스콘크리트 배합설계를 위한 플라이애쉬 사용에 따른 수화열 및 온도응력변화에 대한 실험적 연구, 대한 건축학회추계학술발표대회논문집(구조계), 2004,10.
5. 이한승, 콘크리트 혼화재로서 고로슬래그 미분말의 사용방안, 대한건축학회국제세미나, 2003,01.
6. 손상현외 4인, 초고층빌딩 매트기초 시공사례, 대한건축학회지, 2001,11.