

상하부 콘크리트간의 수화발열량 및 수화발열시간차 조정에 의한 건축매트기초 매스콘크리트의 균열제어공법

Article
03

김 종

(주)선엔지니어링종합건축사사무소 건설기술연구소 선임연구원, 공학박사

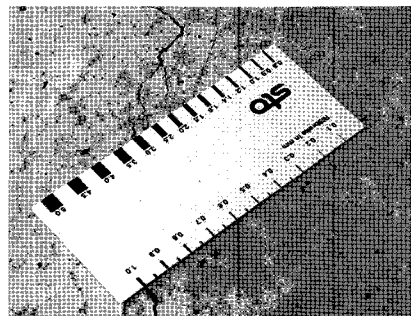
1 수화발열량 및 발열시간차 공법 개발배경

최근의 건설 산업은 고도로 발전됨에 따라 그 규모가 점점 대형화되어 초고층, 초대형화 건축물이 증가하고

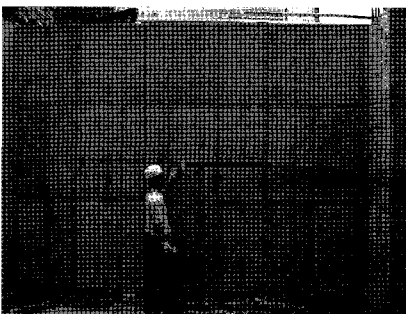
있다. 이러한 건축물은 그 기초가 매트기초로 시공되어 지는데, 특히, 두께가 800mm를 넘는 매스콘크리트로 시공되어져 대량의 콘크리트를 한꺼번에 타설하는 급속 시공이 이루어지고 있다.



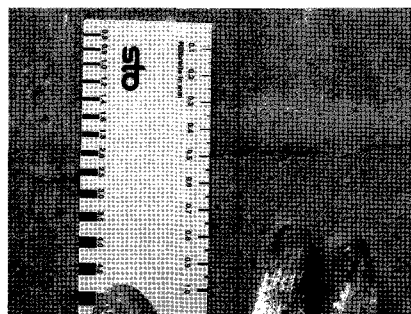
a. 매스 콘크리트 수화열 균열(중심과 표면과의 온도차)



이로 인해 매트매스콘크리트는 초기재령에서 높은 수화열에 의해 내·외부 구속에 의하여 온도응력이 발생하고, 콘크리트 부재 내의 발생한 온도응력이 콘크리트의 인장강도 이상이 되었을 때 [사진 1]과 같이 온도균열이 발생한다.



b. 타설시간차에 의한 상하부 층분리 균열



[사진 1] 매스콘크리트의 균열 모습

국내 건설 현장에서는 온도균열을 제어하기 위하여 구조물의 설계적인 측면, 콘크리트 배합 설계적인 측면, 시공적인 측면 등에서 다양한 방안들이 강구되어지고 있으나, 공사비 및 양생 기간 증가에 의하여 매스콘크

리트 균열제어공법이 범용적으로 사용되지 못하고 있다.

따라서, 건설 현장에서 기초 매트매스콘크리트의 균열 제어방안 중 경제적이면서 품질을 확보할 수 있는 기술 개발은 건설 구조물의 안정성과 내구성 확보 측면에서 반드시 해결해야 할 과제이다.

2 공법 개요

본 공법은 [그림 2]와 같은 개념으로 매스콘크리트의 온도균열제어가 가능하게 하였다.

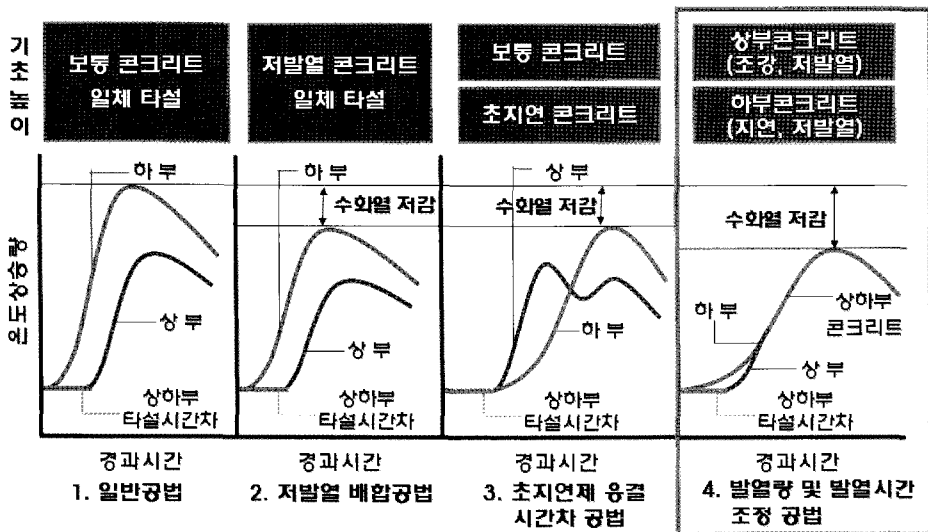
먼저, [그림 2] 기존공법의 경우 하부콘크리트를 절반 높이까지 타설한 후에 상부콘크리트를 타설하게 되는데, 이때 상하부 콘크리트간의 타설시간차가 발생하여 타설 초기 중심부와 표면간의 온도차가 커져 온도균열이 발생하고, 전체적으로 수화열이 높아진다.

[그림 2] 저발열 배합공법은 저발열 콘크리트로 상하부를 타설함으로써, 전체적인 수화열은 저감시키지만,

상하부 타설시간차에서 오는 중심부와 표면부간의 온도차는 축소시키지 못하는 문제점이 있다.

[그림 2] 초지연제 공법은 초지연제를 일정량 혼합하여 하부콘크리트에 타설하고, 상부에는 보통콘크리트를 일체로 타설하여 상하부간 응결시간차를 활용하여 수화열을 조정하는 공법이지만, 고도의 기술이 요구되고, 공사비가 추가 되는 문제점이 있다.

이에, [그림 2] 발열량 및 발열시간 조정공법은 매스콘크리트의 타설층을 하부층과 상부층으로 구분하여 하부층에는 혼화재와 혼화제를 조합사용하여 응결지연시킴과 동시에 전체적인 수화열을 저감시키고, 상부층 콘크리트는 하부콘크리트보다 상대적으로 발열량이 크고, 응결시간이 빠른 콘크리트를 타설하므로써 수화열도 저감시키고, 응결시간차도 축소시킬 있는 콘크리트를 연속적으로 타설함으로써 궁극적으로는 중심부와 상부표면간의 온도차이를 줄임으로써 온도차에 의한 인장응력을 축소시켜 매스콘크리트의 균열을 제어하는 방법이다.



[그림 2] 수화 발열량 및 발열시간차 공법 개념도

특히, 이와 같은 방법에 의하여 상부콘크리트의 조속한 강도 발현으로 후속공정이 빨라지고, 기존 공법 대비 경제성과 품질확보에도 장점이 있다.

3 공법의 장점 및 기존공법 비교

3.1 공법의 장점

본 공법은 매스콘크리트로 시공하는 콘크리트의 수화열 저감 및 온도균열 방지방안으로써, 하부콘크리트에는 고지연 및 저발열형 콘크리트 배합을 사용하고, 상부콘크리트는 하부보다 저지연 및 발열량이 상대적으로

큰 일반 및 촉진형 콘크리트를 타설함으로써 궁극적으로 수화열 및 응결시간을 제어하여 온도균열을 억제할 수 있다. 특히, 상부층 콘크리트의 조속한 강도발현은 후속공정이 빨라지며, 혼화재 사용에 따라서는 재료비 절약, 균열발생방지로는 보수비용 절감 및 내구성 확보 등에 큰 효과가 있다.

- ① 매스콘크리트의 전체적인 수화열 저감
- ② 매스콘크리트 중심부와 표면부 간의 온도차 축소
- ③ 매스콘크리트 상부의 조속한 강도 발현으로 후속공정이 빨라져 공기단축
- ④ 광물질 혼화재(플라이애시, 고로슬래그미분말, 석회석미분말) 사용으로 재료비 절약

[표 1] 기존 공법 비교

구 분	항 목		장 점	단 점
	내 용			
수화열이 적은 배합	① 저발열 시멘트 사용 (중용열, 저열) ② 혼화재 치환 ③ 굵은골재 최대치수 크게 ④ 저슬럼프 유동화 ⑤ 비빔온도 낮춤	· 수화열 저감 양호 · 저열, 수화열 저감 양호 · 저열, 수화열 저감 양호 · 저열, 수화열 저감 양호 · 수화열 저감 양호	· 고가, 시멘트 구득이 곤란 · 초기강도 저하, 중성화 문제 · 팽프압송 곤란 · 시공 번잡 · 냉각 설비 필요	
구조적인 고려	① 온도 철근 배근 ② 파이프 쿨링	· 일반 시공으로 가능 · 확실한 수화열 저감	· 철근량 증가, 비경제적 · 고비용 요구	
시공적인 고려	수평분할 타설	· 간단한 방법	· 접합부 일체 곤란 · 공기지연	
신기술 350	냉각탑을 이용한 순환형 파이프 쿨링공법	· 확실한 수화열 저감	· 고비용 요구 · 다소 복잡한 설계 과정 · 추가공정 필요 · 타설 초기에 발생하는 표면부와 중심간의 온도차 제어 불가능	
신기술 353	초지연제 콘크리트를 이용한 응결시간차 공법	· 기존기술의 모든 방법 활용 · 접합부 일체화 및 공기지연 문제 해결	· 고도의 기술 요구 · 비용 추가 요구	
수화발열량 및 발열시간차 공법		· 수화열 균열 제어 · 공기단축 · 추가 공사비 없음 · 시공이 간단함		

- ⑤ 균열발생 방지로 보수비용 절감
- ⑥ 내구성 확보로 품질확보
- ⑦ 산업부산물 활용으로 저탄소 녹색공법

수히 많은 방법이 있지만, 대표적인 공법에 대한 장단점을 비교하면 [표 1]과 같다.

3.3 기존공법 비교

매스콘크리트의 온도균열을 방지하기 위한 대책은 무

4 모의 구조체를 통한 성능실험

본 연구의 실험계획은 [표 2]와 같고, 배합사항은 [표

[표 2] 실험 계획

배합사항	W/B(%)	1	45			
	슬럼프(mm)	1	150±25			
	공기량(%)	1	4.5±1.5			
	혼화재(%)	3	0, LSP20, FA30			
	혼화제	3	표준형, 촉진형, 지연형			
모의부재	크기(mm)	2	300×300×400(2단 타설) / 300×300×600(3단 타설)			
	타설방법	10	2단타설	상부층(200mm)	하부층(200mm)	
			A*	표준형+Plain (S-P)		
			B*	표준형+FA30% (S-F30)		
			C**	표준형+Plain (S-P)		
			D**	표준형+FA30% (S-F30)		
			E**	촉진형+Plain(E-P)	표준형+FA30%(S-F30)	
			F**	표준형+Plain(S-P)	표준형+FA30%(S-F30)	
			G**	촉진형+Plain(E-P)	지연형+FA30%(R-F30)	
			H**	표준형+Plain(S-P)	지연형+FA30%(R-F30)	
			I**	표준형+LSP20%(S-L20)	지연형+FA30%(R-F30)	
	3단타설	상부	중앙부	하부		
	J**	촉진형+Plain (E-P)	표준형+FA30% (S-F30)	지연형+FA30% (R-F30)		
실험사항	균지않은 콘크리트	5	· 슬럼프, 슬럼프플로우 · 공기량, 단위용적질량 · 응결시간			
	경화 콘크리트	1	· 모의부재 수화열 온도 이력(상부중앙, 하부중앙, 외기온도) · *J의 경우 중앙부 중앙온도 추가측정 · 압축강도 측정(표준양생 및 코어 공시체)			

*A, B부재 : 상하부일체타설

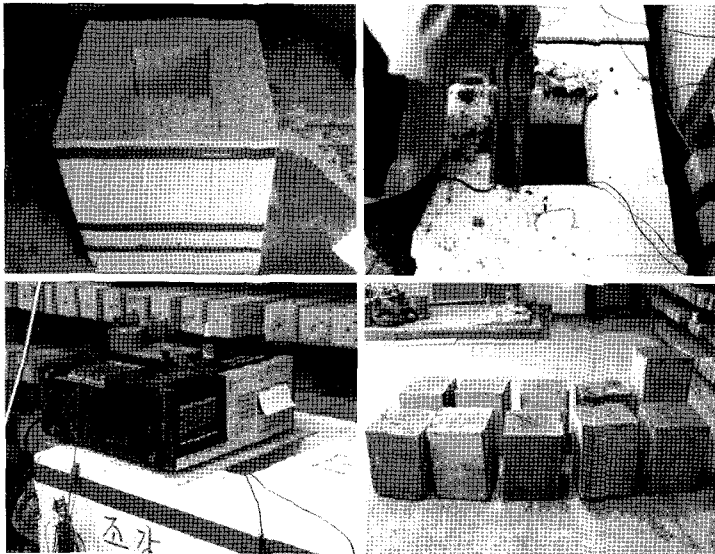
**C~J부재 : 4시간 타설시간차

S : AE감수제 표준형, R : 지연형, E : 촉진형

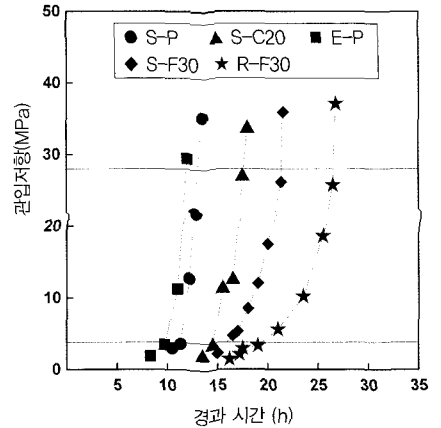
P : Plain, F30 : 플라이애시 30%치환, L20 : 석회석미분말 20%치환

[표 4] 측정항목의 신뢰성 검증

배합	W/B(%)	단위수량 (kg/m ³)	S/a(%)	혼화제	혼화제(%)	AE감수제 /C(%)	질량배합(kg/m ³)			
							시멘트	혼화재	잔골재	굵은골재
S-P	45	175	43	표준형	0	0.40	389	0	708	984
S-L20				표준형	LSP20	0.50	311	78	704	978
E-P				촉진형	0	0.75	389	0	708	984
S-F30				표준형	FA30	0.55	272	117	692	961
R-F30				지연형		0.70	272	117	692	961



[사진 3] 모의 구조체 제작 및 온도이력 측정



[그림 7] 혼화제 조합사용별 경과시간에 따른 관입저항

3)과 같다.

○ 응결 특성

[그림 7]은 모의 구조체에 사용된 콘크리트의 응결특성을 나타낸 것이다.

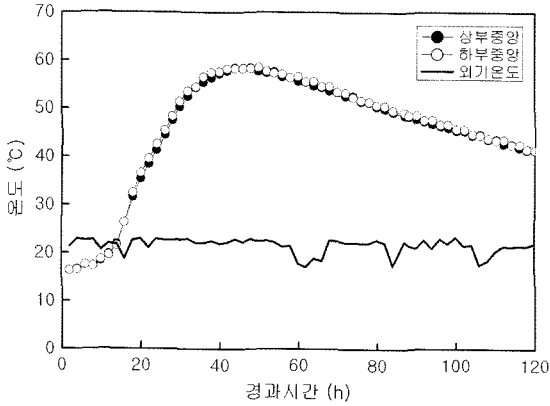
먼저 S-P배합의 종결은 13시간, E-P배합의 경우는 12시간으로 나타났는데, 이것은 촉진형 AE감수제의 효과로 E-P배합 종결시간을 약 1시간 정도 단축시킨 것으로 분석된다. 또한 S-L20배합의 종결은 17.5 시간, S-F30배합의 경우는 21.5시간, R-F30배합의 경우는 26.5시간으로 나타났다. 따라서, 응결시간이 가장 빠른

E-P배합과 가장 늦은 R-F30배합간에는 약 14.5시간의 응결시간차를 나타내었다.

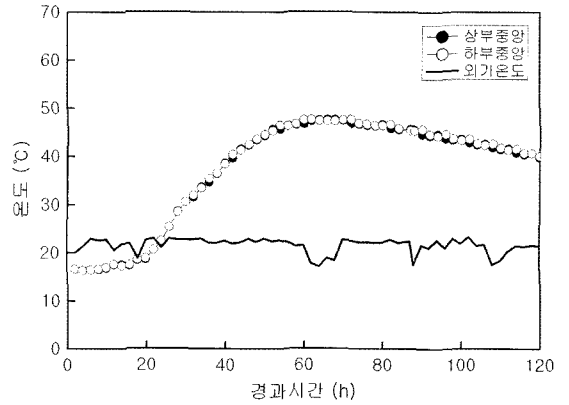
○ 수화발열 특성

[그림 8~17]은 수화열 온도이력 측정결과를 그래프로 나타낸 것이고, [표 4]는 모의부재별 수화 최고온도 및 도달시간을 나타낸 것이다.

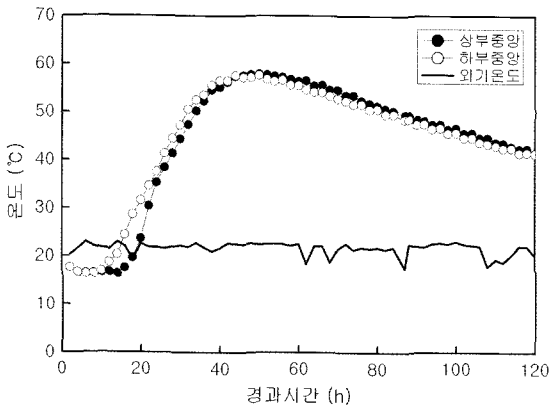
먼저, 모의구조체 A와 B부재는 상하부콘크리트를 일체타설 한 것으로 상하부콘크리트 간의 온도차가 발생하지 않았다. B의 경우는 A에 비해 약 10℃의 수화열저감 효과가 있고, 최고온도 도달시간이 20시간 정도 지연



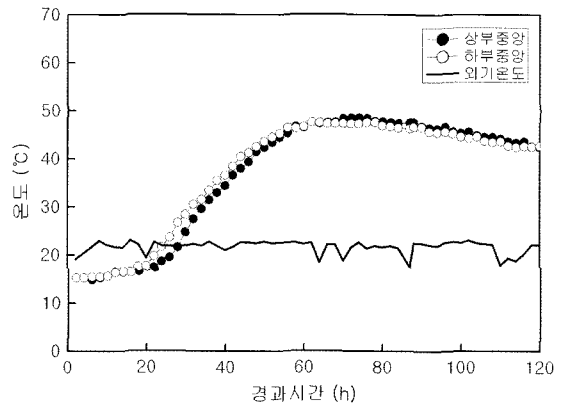
[그림 8] A부재의 수화열 온도이력



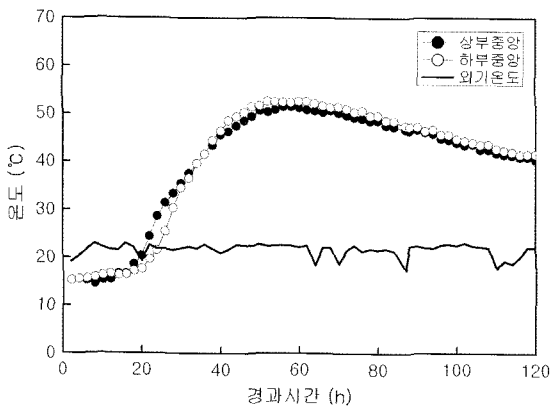
[그림 9] B부재의 수화열 온도이력



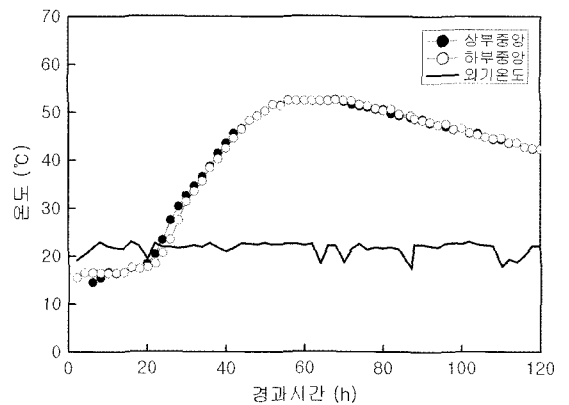
[그림 10] C부재의 수화열 온도이력



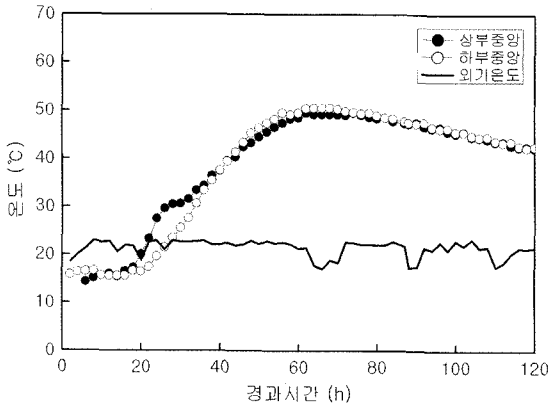
[그림 11] D부재의 수화열 온도이력



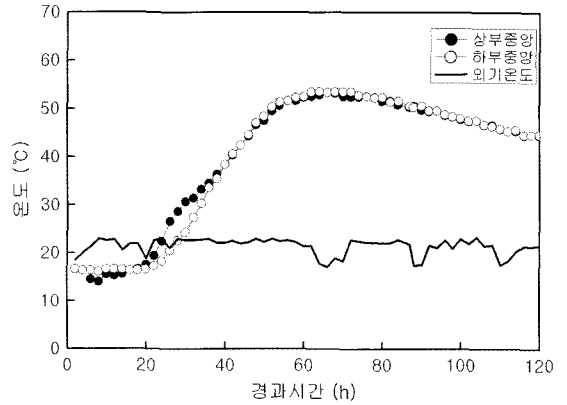
[그림 12] E부재의 수화열 온도이력



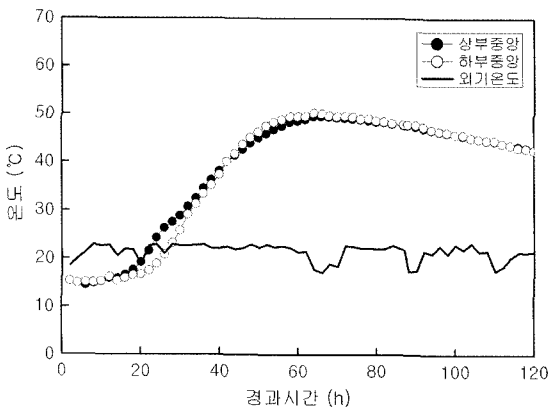
[그림 13] F부재의 수화열 온도이력



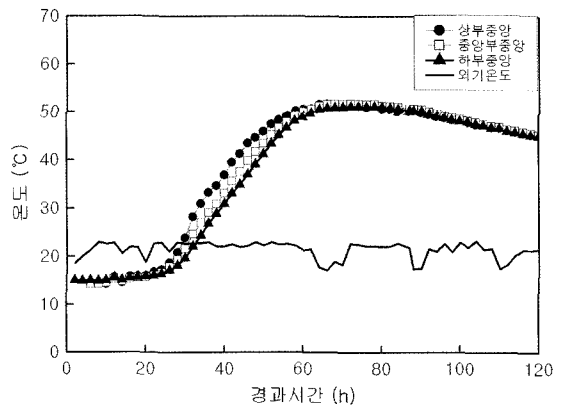
[그림 14] G부재의 수화열 온도이력



[그림 15] H부재의 수화열 온도이력



[그림 16] 부재의 수화열 온도이력



[그림 17] 부재의 수화열 온도이력

되는 것으로 나타났다. 이는 FA를 시멘트량에 치환하여 사용함으로써 수화열 발생을 저감시키고, 후기에 진행되는 포졸란 반응에 기인한 것으로 사료된다.

C~J부재는 각 층별로 4시간의 타설시간차를 두었는데, 그중 C와 D의 경우는 A와 B의 경우와 비교하였을 때 수화열에 의한 최고온도는 큰 차이가 없지만, 최고온

도 도달시간은 약 10시간 정도 늦어지는 것으로 나타났다. 또한, 하부콘크리트는 상부콘크리트 보다 먼저 수화발열함으로서 상하부의 타설시간차에 의한 온도차가 발생하는데, 이것은 매스콘크리트에서 중심부 온도의 증가로 부피가 팽창된 콘크리트의 압력이 상부표면부에 인장응력을 발생시키는 원인인 것으로 사료된다.

[표 4] 모의부재별 수화 최고온도 및 도달시간

구분 \ 부재종류	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
최고온도(°C)	58.6	47.6	58.1	48.5	52.6	52.6	50.6	53.6	50.3	51.9
도달시간(h)	41	61	51	72	52	56	64	63	64	68

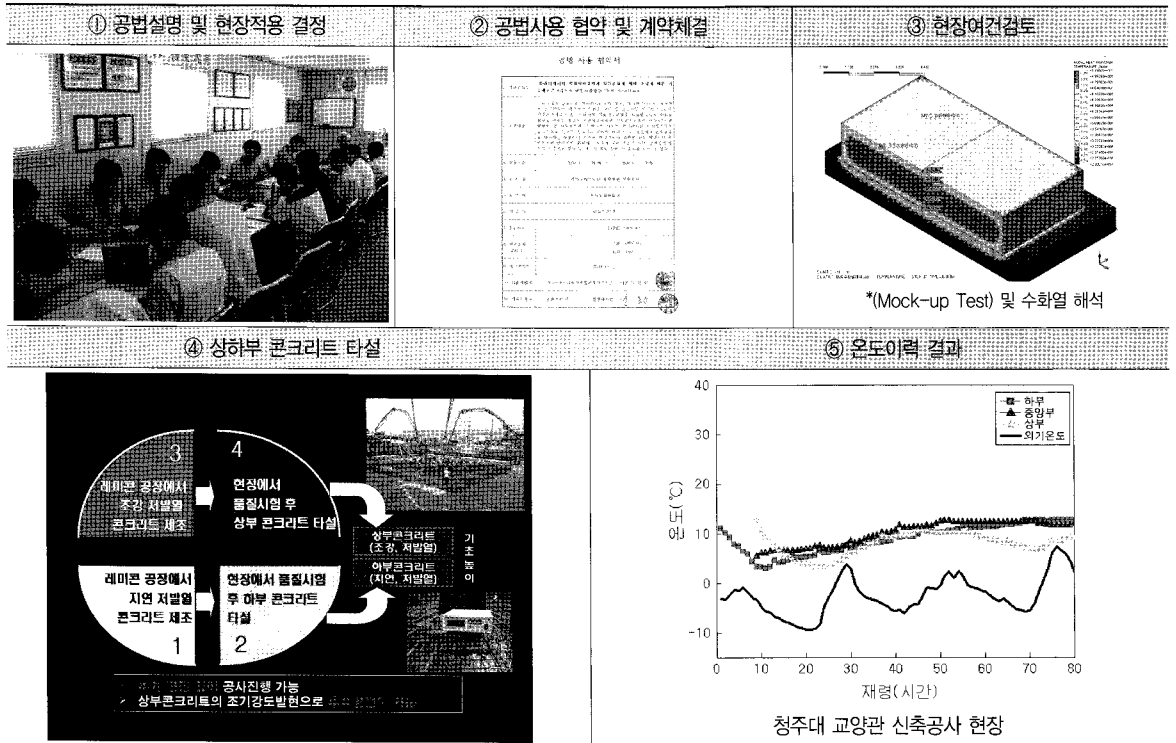
그러나, E~I부재는 층별 타설시간차가 있음에도 불구하고 하부콘크리트 보다 상부콘크리트가 먼저 수화발열 하였는데, 이는 각 배합특성에 따른 응결시간차 및 수화발열량차를 활용한 것에 기인하여, 중심부와 표면간 온도차에 의한 온도균열을 방지할 수 있을 것으로 사료된다. 수화열에 의한 최고온도 값은 각 부재별 큰 차이가 없이 50.3~53.6℃로 나타났으나, 수화열 최고온도 도달시간은 하부콘크리트의 배합 중 지연형 감수제의 영향으로 G, H, I가 E, F보다 7~12시간정도 지연되는 것으로 나타났다. I부재는 수화열 최고온도 값이 비교적 낮게 나타났는데 이는 상부콘크리트에 치환사용된 LSP가 전체적인 수화발열량을 줄이는데 효과적인 영향을 준 것으로 판단된다.

또한 J부재는 매스콘크리트의 높이가 약 1.6m~2.4m

정도일 경우 적용하기 위해 3층으로 구분하여 콘크리트를 타설하는 것을 모의한 실험으로, 상부콘크리트로부터 하부콘크리트에 이르기 까지 점진적으로 수화발열이 발생하는 것으로 나타났고, 수화열에 의한 최고온도 값은 약 52℃, 도달시간은 68시간으로 나타났다. 따라서 매트콘크리트의 두께가 매우 두꺼운 경우에도 본 수화발열량 및 발열시간차 조정 공법의 적용이 가능할 것으로 사료된다.

5 수화발열량 및 수화발열시간차 조정 공법 시공 순서

수화발열량 및 수화발열시간차 조정 공법은 아래와 같은 순서로 현장에 적용 진행 하였다.



6 결론

본 수화발열량 및 발열시간차 조정에 의한 건축매트기초 매스콘크리트의 균열제어공법에 대한 개요, 실험 및

시공사례를 소개하였는데, 기존공법대비, 수화열 최고 온도저감, 공기·공정단축, 경제성 확보, 내·외부 온도차 축소 등으로 매스콘크리트의 품질을 확보가 가능한 공법이라고 할 수 있다.

