

매스 콘크리트 현장적용사례 : The# StarCity 신축현장

- Application of Mass Concrete in The#StarCity -



김광흥*
Kim, Kwang Heung

1. 개요

일반적으로 매스 콘크리트 구조물의 온도균열은 구조물의 구속조건, 콘크리트 배합 및 양생조건 등 다양한 요인에 따라 다르지만, 대개 그 폭이 크며 구조물을 관통시켜 구조상 결함을 유발하는 등 구조물의 내력, 내구성, 수밀성 및 미관 등을 손상시키게 된다. 그러나 대부분의 매스 콘크리트 구조물들은 다양한 재료의 물성이나 양생조건 및 시공조건 등에 관한 엄밀한 검토 없이 단지 단위시멘트량에 따른 간이 수화열 해석이나 시방서에서 제시하고 있는 간단한 수치계산 과정만을 거친후 시공되어 왔거나 기존의 시공실적이나 경험에 의존하는 경우가 많았습니다.

따라서 매스 콘크리트의 배합조건, 구조물의 구속조건, 단위시멘트량, 콘크리트 타설온도, 양생방법 및 재료, 콘크리트의 물성, 구조물의 형상, 기후조건 등 각종 요인에 따라 온도나 응력이 다르기 때문에 적용현장의 특성에 따른 적절한 매스 콘크리트의 품질관리 방안이 요구된다. 당 현장에서 적용한 사례(A동 사례중심)를 통하여 도출할 수 있는 제반 특성에 대하여

비교, 분석 및 검토하여 향후 참고 자료로 활용하길 바랍니다.

표 1. 건축개요

- 공사명 : The#StarCity 신축공사
- 건축면적 : 1만 6,867.729 m² (5,102.48 평)
- 건물높이 : 184.25 m(A동)
- 구조형식 : 철근 콘크리트조
- 공사규모 : 지하 3층 지상 58층(A동)
- 공사기간 : 2003년 06월 ~ 2006년 10월
- 매스 콘크리트 적용부위 : 매트기초슬래브
- 매스 콘크리트 두께 : 3.0 m
- 매스 콘크리트 규격 : 25-30-23
- 매스 콘크리트 총 타설량 : 5,800 m³ (A동)

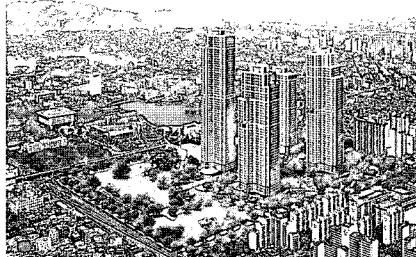
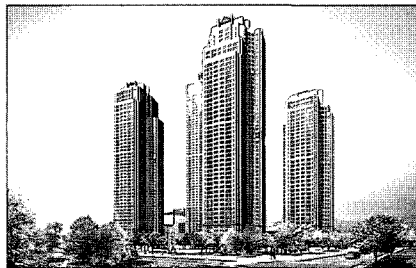


그림 1. 조감도

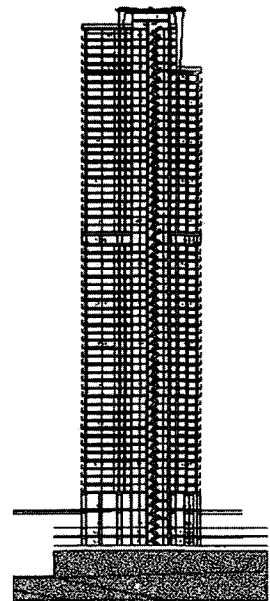


그림 2. 타워 A(58F) 단면도

2. 매스 콘크리트의 현장적용

매스 콘크리트의 최대 고려사항은 수화열에 의한 균열문제로서 온도상승시 단면 내에서의 온도차에 의해 발생하는 내부구속 응력이 주로 문제가 되지만, 최대 온도도달 후에는 온도 하강시 외부구속과 내부구속에 의한 두 가지 응력이 복합된 복합 응력이 문제가 되며, 각각의 양상에 따라 온도균열의 발생시기 및 발생빈도가 매우 차이가 나므로 적절한 온도균열의 제어대

* 포스코건설 건대부지개발추진본부
the#StarCity 신축공사현장 소장

표 2. MAT 기초 타설 현황

구분	타설일시	타설량(m ³)	레미콘 공급회사	비 고	
				타설고(m)	규격
Tower A	2003.12.30	5,800	A사 B사 C사	3.0	25-30-23

표 3. MAT 기초 타설 현황

규격	업체	배합비							
		W/B	S/a	W	C	F/A	S	G	AD(%)
20-30-23	신일	40.0	46.8	160	280	120	834	963	1.6
	삼표	40.0	46.8	160	280	120	826	968	1.6
	우림	40.0	47.0	160	280	120	812	940	1.6
	성신	40.0	45.0	160	280	120	792	979	1.6

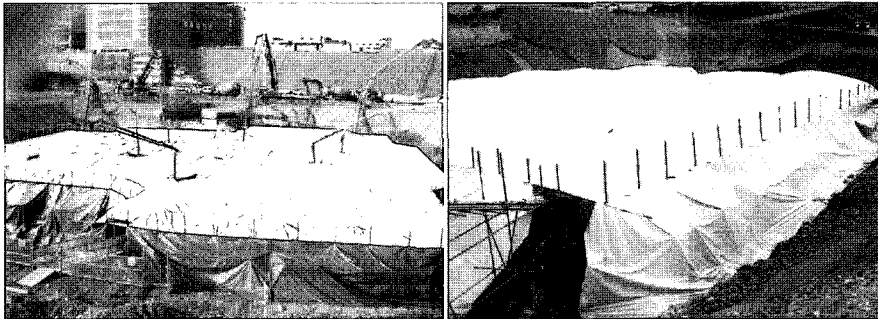


그림 3. 매트 기초 타설 및 보양 전경

표 4. 재령별 압축강도 시험결과

납품업체	시험차량	7일 강도(MPa)		28일 강도(MPa)		비고
신일	No.5	26.5	26.4	39.4	39.8	
		27.0		39.4		
		25.7		40.5		
	No.76	26.9	26.9	39.0	39.2	
		26.5		39.6		
		27.3		38.9		
	No.151	27.2	26.5	41.3	41.5	
		26.1		41.0		
		26.3		42.1		
	No.226	27.2	27.2	39.4	40.1	
		26.9		40.6		
		27.6		40.4		
	No.301	27.4	26.9	41.6	40.7	
		26.8		40.5		
		26.4		40.1		
		평균	26.8	평균	40.3	

책을 수립할 필요가 있다. 즉, 온도균열의 발생인자 및 원인을 충분히 인식규명 한 후 각 시공조건에 따라 이에 맞는 시공대책을 수립할 필요가 있다.

당 현장의 매트 기초 크기는 2,500 mm ~ 3,000 mm로서 콘크리트 타설시

수화열에 의한 온도응력의 발생으로 균열의 발생이 예상되기 때문에 수화열 제어 위한 관리방안에 대하여 검토하지 않으면 콘크리트 품질에 약 영향을 미칠 것으로 판단되었다.

당 현장의 A동 매트 기초 설계강도는

30 MPa이며, 높이가 3m인 대형 기초 구조물로서, 핵심공정중 가장 초기 공정이므로 이 부분에 대한 공정관리는 전체공정의 성패를 가름할 수 있는 중요한 부분이었다.

따라서 공사시 예상되는 여러 가지 문제점 즉 공사 소음에 의한 민원 발생 가능성, 수화열의 지나친 상승으로 품질저하, 지나친 양생기간으로 공사기간 지연, 콘크리트 양생시 초기 팽창에 의한 압축응력 발생으로 균열 발생 문제 등을 사전에 철저히 고려한 계획이 필요하였다.

또한 수화열에 의한 온도균열저감대책의 일환으로 레미콘 규격 25-30-23에 대하여 시멘트 중량비로 플라이 애쉬 30%를 치환한 저발열 콘크리트로 배합설계를 실시하였으며, 나프탈렌 계열의 고성능 감수제를 사용하여 단위수량을 최소화 하였다.

실 시공에 있어서는 수화열에 의한 온도균열의 발생여부에 대한 검토가 필요하며, 온도균열 발생을 저감할 수 있는 최적의 온도균열 저감대책이 수립되어야 한다. 따라서 현장에 적합한 최적의 온도균열 저감공법 선정을 위하여 수화반응에 의한 콘크리트의 온도를 예측하고, 시간별 온도응력을 해석함으로써 매트 콘크리트 타설시 최적의 온도균열 저감방안을 수립, 균열저감을 위한 사전관리가 필요하다. 이에 따라 수화열에 따른 관리방안을 사전에 도출해내기 위해 수화열 및 온도해석 프로그램을 사용하여 레미콘 공장의 배합설계 자료를 기초로 한 수화열 해석을 수행 하였으며, 현장에서 타설된 부재를 대상으로 수화열을 측정하여 재령별 양생관리 및 품질관리를 실시하였으며, 현장에 적용한 매트 콘크리트의 최적배합은 <표 3>과 같다.

콘크리트 수화열을 줄이기 위하여 시멘트 대체재로서 플라이 애쉬를 사용하는 것을 기본으로 콘크리트의 유동성에 적합한 치환율(30%)을 선정하였다.

2.1 매트 콘크리트의 수화열 해석 결과

수화열 해석조건으로 당현장에서는 플

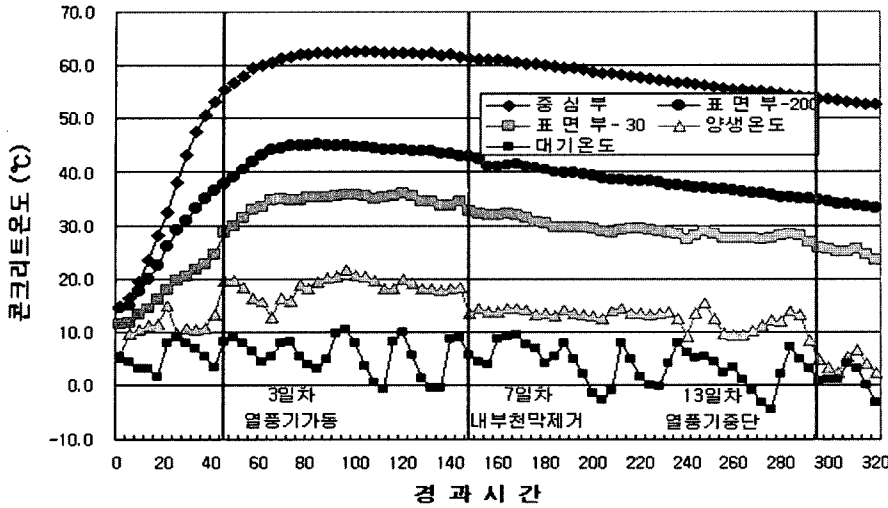


그림 4. A동 매트 수화열 측정기록(2003년 12월 30일 ~ 2004년 1월 12일)

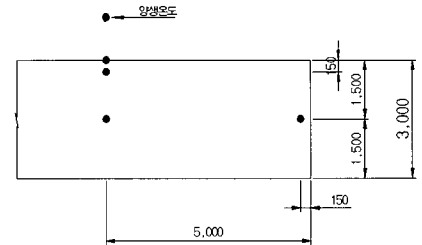


그림 5. 매트 콘크리트 센스 위치도(단위: mm)

라이 애쉬 치환율 30%, 염화비닐 2겹-양생포-천막-상부 천막지붕의 양생조건으로 가정하였으며, 부재의 최고온도는 콘크리트의 초기온도에 따라 약간 다르지만 초기 온도를 약 8°C로 가정하면 3일후에 약 61.5°C가 발생되는 것으로 예상되었으며, 최대온도차는 가열양생 중에는 약 19.9°C, 가열해제 후 양생포 양생 중에는 약 28°C가 발생되는 것으로 예측되었다.

2.2 경화콘크리트의 압축강도 특성

당 현장에 적용한 매스 콘크리트의 배합조건에 있어서 플라이 애쉬의 치환율이 높기 때문에 초기재령에서 응결지연현상을 일으키고, 재령이 증가함에 따라 플라이 애쉬의 포졸란 반응에 의해 강도발현이 크게 나타난 것으로 판단된다. 이와 같이 초기재령에 있어서 응결지연현상은 콘크리트의 소성수축 및 경화수축과 같은 건조수축에 의한 균열제어에 효과적이기 때문에 플라이 애쉬 치환율을 높여 사용하는 것이 매스 콘크리트의 수화열 및 건조수축 저감 측면에서 바람직하다.

당 현장의 콘크리트 설계기준강도는 30 MPa이며, <표 4>는 A동 매트 콘크리트 타설시 납품회사의(신일) 제작한 공사체의 7일 및 28일에서의 압축강도 시험결과를 나타낸 것으로 이를 살펴보면 7일에서의

압축강도는 25.5 ~ 26.8 MPa으로 설계 기준강도의 84% ~ 89%의 양호한 압축 강도 발현을 보이고 있으며, 또한 28일에서의 압축강도는 35.6 ~ 40.3 MPa으로 설계기준강도의 118% ~ 134%를 나타내고 있다.

2.3 온도상승시험 결과

매스 콘크리트의 수화열을 제어하기 위한 배합조건에서는 시공성을 고려한 동일 강도범위에서 플라이 애쉬 치환율을 높게 사용하는 것이 바람직할 것으로 사료된다.

부재중심부에서 최고온도는 타설완료 후 104시간에서 62.5°C를 기록하였으며, 이후에 부재중심부와 표면부의 온도차가 20°C를 넘지 않도록 유의하여 양생관리를 실시하였다.

2.4 매스 콘크리트의 양생방법 및 양생기간의 선정

<표 6>는 매트 콘크리트 타설 후 양생 과정 중 진행상황을 나타낸 것으로 타설 후 1일차에 표면의 재 미장후 PE 필름을 피복하였다. 2일차에는 보양포 및 내부의 천막을 피복하였으며, 3일차 부재내부의 온도가 62.5°C로 최고로 도달한 이후에 열풍기를 가동하여 수화열에 의한 중심부

온도와 표면부의 온도차가 20°C를 넘지 않는 범위내에서 이루어지도록 관리하였다. 6일차에는 내부의 천막을 제거하였으며 12일차에 내부에서 가동하고 있는 열풍기를 중단하여 부재의 온도를 저하시키도록 유도하였다. 그리고 13일차에는 외부의 상옥을 제거, 14일차에는 보양포를 제거하였으며 15일차에 표면부의 PE 필름을 제거하도록 유도하였다.

2.5 콘크리트 온도균열

일반적으로 매스 콘크리트의 온도균열은 구조물의 사용성 및 내구성 등에 치명적이라 할 수 있다. 그러나 육안관찰로 본 결과 온도균열의 발생은 거의 없는 것으로 나타났다. 매스 콘크리트의 건조의 수축과정에서 인장응력의 부족에 따른 결과라고 할 수 있다. 또한 기타 일부 표면부위에도 건조수축에 의한 균열이 발생하였는데, 이는 초기 재령시 콘크리트의 소성과정에서의 충분한 보온양생 및 다짐작업의 영향에 의해 나타난 결과라고 판단된다.

3. 향후 품질관리 방안

현재 매스콘크리트의 품질관리시스템은 최적의 배합설계를 통하여 수화열 해석 프로그램에 의한 온도 균열지수를 평가하고,

표 5. 매트 콘크리트 타설 후 양생시 진행상황(일정별)

일정	세부내용
1일차	외기온도가 영하로 내려가 콘크리트가 동해를 입을 우려가 있으면 열풍기를 이용하여 내부온도를 12 ~ 15°C로 유지/약 12시간 이후 재 미장실시/재 미장 후 PE 필름피복
2일차	보양포, 천막을 이용하여 부재 피복 콘크리트 수화작용에 의해 온도가 상승하면 열풍기 중단
3일차	최고온도 도달시 열풍기 중단 하강시부터 표면부와 중심부의 온도편차 확인 온도편차 Max. 20°C로 관리
4일차 ~ 12일차	열풍기 가동(외기변화에 따라 가동여부 결정)
12일차 ~ 15일차	열풍기 중단(양생포유지-온도차에 의해 양생포 매수결정)
15일차	내부양생포 제거

표 6. 매트 콘크리트 타설 후 양생시 진행상황(내용별)

구분	콘크리트 타설 후 양생 경과일수														
	1일	2일	3일	4일	5일	6일	7일	8일	9일	10일	11일	12일	13일	14일	15일
PE Film 피복	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
보양포 피복		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
내부천막 피복		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
열풍기 가동			■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
내부천막제거						■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
열풍기 중단													■	■	■
외부상옥 제거														■	■
보양포 제거															■
PE Film 제거															■

이를 근거로 현장에서의 양생 방안을 강구하는 절차로 수행하고 있다. 이와 같은 절차에 따라 지금까지 당 현장에 적용하여 온도이력을 측정한 결과, 수화열 해석에 의한 온도이력과 차이가 나타났다. 따라서 향후에는 컴퓨터 시뮬레이션에 의한 수화열 해석이 현장계측과 거의 유사할 정도로 신뢰할 수 있는 값이 얻어질 수 있도록 영향인에 대하여 더욱 검토할 필요성이 있다.

수화열 관리계획이 있어서는 중심부와 표면부와의 온도차이를 20°C 이내로 관리할 수 있는 저발열형 매스 콘크리트 배합선정 또는 양생방법의 선정 및 제거시기에 대하여 현장여건에 맞게 계획을 세워야 할 것이다.

앞으로 현장에 매스 콘크리트를 적용할 경우에 수화열 관리 및 타설관리를 현장여건에 맞게 검토한 후 이에 적합한 매스 콘크리트를 적절하게 적용함으로써 고품질의 매트기초를 생산할 수 있을 것이다. □

국제회의의 개최 안내

The First International Conference of Asian Concrete Federation(ACF)

1. Date : October 28 ~ 29, 2004
2. Place : Chiang Mai, Thailand
3. Organized : Thailand Concrete Institute, Sirindhorn International Institute of Technology Chiang Mai University
4. Conference Theme
 - Raw materials for concrete production, cement, aggregate and admixture
 - Mix proportion, fresh concrete properties
 - Durability of Concrete
 - Concrete at early ages
 - Inspection, repair, maintenance and strengthening of concrete
 - Non-destructive testing
 - Recycling of concrete and aggregate
 - Behavior, analysis and design of concrete, RC and PC structures
 - Technology of concrete construction
 - Situation of concrete industry
 - Constitutive modeling and finite element analysis of concrete
 - Codes and specifications
5. Important Dates
 - Submission of abstract : March 31, 2004
 - Acceptance of abstract : April 20, 2004
 - Submission of full paper : May 31, 2004
 - Acceptance of full paper : August 15, 2004

Conference Secretariat

All enquiries and mailing correspondence should be addressed to:
 Secretariat, The first ACF conference
 Dr. Amorn Pimanmas
 Sirindhorn International Institute of Technology,
 Thammasat University
 P.O. Box 22, Thammasat Rangsit P.O.
 Pathumthani 12121, Thailand
 Phone: +66-2-986-9009 ext. 2403
 Fax: +66-2-986-9009 ext. 1905
 Email: amorn@siit.tu.ac.th
 Web: http://www.acfconf.com