

저발열 배합 및 이중버블시트에 의한 기초 매트 매스 콘크리트의 무균열 시공

Zero-Crack Construction on the Fundamental Mass Concrete Using Double Bubble Sheets and Applying Low Heat Mixture

박 용 규*
Park, Yong-Kyu

송 성 빈**
Song, Sung-Bin

백 병 훈***
Baek, Byung-Hoon

한 천 구****
Han, Cheon-Goo

Abstract

This study investigates the field application, Songdo the # 1st WORLD, on zero-crack construction of the fundamental mass concrete using double bubble sheets and applying low heat mixture. Experimental results of hydration heat analysis showed that crack modulus of concrete incorporating 20% of blast furnace slag cement was 1.0 in 120 hours, representing 50% probability of crack occurrence, thus requiring additional measures. As for a curing method, a specimen insulating two layers of vinyl chloride+double bubble sheets exhibited only 16.5°C difference between upper and lower sections, and it also showed favorable workability as well as competitive economic side. Therefore it was determined to use it for curing method in this field. For the curing results of practical field, using 2 layers of vinyl chloride+double bubble sheets and applying low heat mixture on the fundamental mass concrete in 3A residential building exhibited less than only 15°C difference between surface and center section of that in 5 days elapse and less than 20°C in 9 days. This means that the crack by hydration heat was prevented, and other fields structures also resisted the plastic shrinkage by insulating the vinyl, sinking crack by second temping, even drying shrinkage by the mixture of low unit water. Therefore the crack on the placement has not been found so far, since the construction was started before 6 month.

키 워 드 : 이중버블시트, 저발열배합, 기초매스콘크리트, 무균열

Keywords : Double Bubble Sheets, Low Heat Mixture, Fundamental mass Concrete, Zero-Crack

1. 서 론

최근 도심지나 신개발 단지에 건설되는 초고층 건축물은 지상의 고층화와 아울러 지하공간도 고심도화 및 대규모화로 말미암아 지하구조의 안정화가 꾸준히 요구되고 있다. 특히, 건축물의 안전성과 직결되는 기초 구조는 지하공간의 효율적 활용, 지하수압 등과 연관한 구조적 안정성, 시공의 편리성 및 경제성과 관련하여 주로 매트구조의 매스 콘크리트 형식을 채택하게 된다.

그러나 이와 같은 매트 콘크리트의 매스 콘크리트를 일반 단면의 콘크리트와 동일하게 시공하게 되면 침하균열, 소성수축균열 및 수화열에 의한 온도응력 균열 등이 발생하기 용이하므로 더욱 철저한 품질관리가 요구되는데 불구하고 실무에서는 세심하게 고려하지 않음에 따라 비경제적으로 되거나 혹은 균열 등 품질 결함을 발생시키는 경우가 가끔 존재한다.

그러므로 본 연구에서는 인천 송도에 건설 중인 「송도 the# 1st WORLD 주상 복합 신축공사」의 기초 매트 매스 콘크리트 시공시 저발열 배합 및 이중버블시트에 의한 표면단열 양생 방법 등이 검토 및 적용 되었음에 이와 같은 사례를 중심으로 기초 매트 매스콘크리트의 무균열 시공법을 제안하고자 한다.

2. 공사개요

저발열 배합 및 이중버블시트에 의한 기초 매트 매스 콘크리트의 균열 저감을 시도한 대상건축물인 송도 the # 1st WORLD 주상 복합 신축공사 현장의 공사 개요는 표 1과 같고, 조감도는 그림 1과 같다.

3. 수화열 해석에 의한 검토

3.1 대상 및 조건

대상 건축물이 위치한 대지의 토질은 서해안을 준설한 매립

* 정회원, 청주대학교 대학원 석사과정

** 정회원, 포스코 건설 송도 the # 1st WORLD 품질·환경 팀장, 시공기술사

*** 정회원, 포스코 건설 송도 the # 1st WORLD 현장 총괄 소장, 공학박사

**** 정회원, 청주대학교 건축공학부 교수

토로서 지상구조물의 하중 분포에 따라 기초 구조는 RCD 대구경 말뚝 지점 혹은 고강도 콘크리트 직타 말뚝지점에 매트 콘크리트 형식의 기초판으로 역시 지상 구조물의 하중분포에 따라 그 두께는 450mm로부터 최대 3,300mm이고, 강도는 35MPa이었다. 따라서 본 수화열 해석의 대상은 최불리 조건을 고려하여 고층부 주거 시설의 매트 기초로서 매트두께 3,300mm 설계기준강도 35MPa를 대상으로 보통 포틀랜드 시멘트(OPC)만을 100% 사용하는 경우와 고로슬래그 시멘트에 플라이 애시를 20% 치환한 것(SLC)의 2종류를 검토하였다. 이때 구조해석 모델 제원은 그림 2와 같은 상태에서 360시간(15일) 양생하는 것으로 하여 MIDAS-Civil 프로그램으로 해석하였는데, 이때 사용재료의 열특성 데이터는 표 2와 같다.

내어 균열 발생확률 50%이상을 나타내었다. 특히, 심각한 경우는 콘크리트 타설 90시간에서 온도균열지수는 0.6인 최소값을 나타내어, 균열발생확률은 90%이상으로 반드시 균열이 발생하는 상황임을 알 수 있었다.

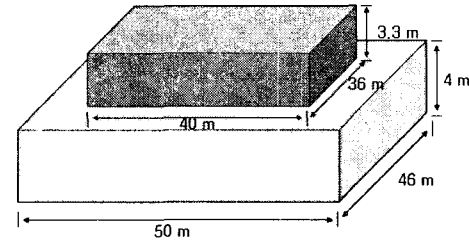


그림 2. 구조해석모델 제원

표 1. 공사개요

구분	내용
공사명	송도 the # 1st WORLD 주상복합신축공사
공사기간	2005년 5월 ~ 2009년 1월(45개월)
설계자	KPF(미), 건원
감리자	티씨엠씨
시공자	포스코 건설
현장위치	인천광역시 연수구 송도동 4-1번지 일대
지역지구	중심상업지역, 특별설계구역
용도	주거시설/업무시설/판매시설/운동시설
건축면적	27,369.53㎡
연면적	531,606.312㎡ (161,810.19평)
규모	<ul style="list-style-type: none"> 주거시설: 6개동 2654세대 업무시설: 6개동, 판매시설: 2개동 지하 주차장 (최고 고층건물: 지하 2층 지상 64층)

표 2. 사용재료의 열특성 데이터

사용재질	슬래그 시멘트	OPC	지반
물성			
비열(kcal/kg°C)	0.25	0.25	0.2
단위중량(kg/m³)	2335	2335	1800
열전도율(kcal/mhr°C)	2.3	2.3	1.7
대류계수	외기노출면	4.5	4.5
(kcal/mhr°C)	철재거푸집	7	7
외기온도(°C)인천지방			
평균기온	4.5	4.5	-
타설온도(°C)	15	15	-
56일 압축강도(MPa)	42	42	-
압축강도 발현계수	a=6.2 b=0.93	a=6.2 b=0.93	-
56일 탄성계수(MPa)	2.5×10 ⁴	2.5×10 ⁴	1.0×10 ³
열팽창계수	1.0×10 ⁻⁵	1.0×10 ⁻⁵	1.0×10 ⁻⁵
프라이송비	0.16	0.16	0.2
단위 시멘트량(kg/m³)	352	352	-
발열합수 계수	K=43.9 a=0.5658	K=58.6 a=1.120	-

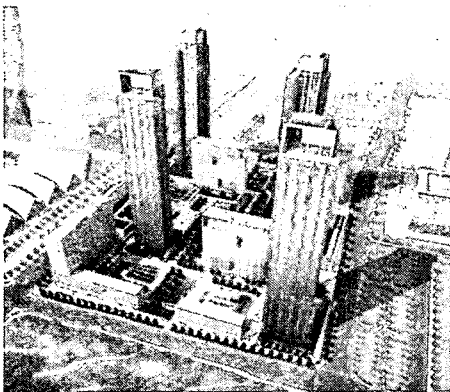


그림 1. 송도 the # 1st WORLD 주상복합 신축공사 조감도

3.2 해석 결과 및 분석

수화열 해석에서부터 얻어진 최고온도, 인장응력 및 온도균열지수의 결과로서 OPC의 경우는 그림 3, SLC의 경우는 그림 4와 같다.

결과분석으로, 먼저 OPC의 경우는 그림 3의 가. 1)과 같이 중앙부에서는 90시간에 69.5°C, 2)와 같이 단부에서는 20시간에 33.3°C의 최고온도가 산출되었다. 이에 따라 OPC 시험체의 인장응력곡선은 나. 1)과 같이 중앙부에서는 인장응력이 인장강도를 초과하지 않아 거의 문제시 되지 않았지만 2)인 단부에서는 30시간 이후부터 180시간 까지는 인장응력이 인장강도를 상회하여 다.에서와 같이 온도균열지수는 1.0이하의 값을 나타

따라서 저발열 콘크리트 배합인 SLC인 경우는 그림 4와 같은데 먼저 부재 발열곡선에서 최고 온도는 중앙부인 경우 120시간에서 51.9°C, 단부인 경우 20시간에서 19.7°C로 OPC보다 17.6°C 및 13.6°C 낮게 나타났다. 이에 따라 SLC 시험체의 인장응력 곡선은 단부의 경우 120시간에서 인장강도와 인장응력이 동일하므로써 온도 균열지수 1.0을 나타내어 50%의 균열발생확률이 나타났다. 따라서 OPC보다는 균열 발생확률이 적어지는 하였지만 유해한 균열이 발생할 수 있어 이를 제한하기 위해서는 양생 방법 등으로 별도의 대책을 검토하게 되었다.

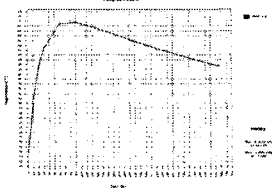
4. 양생 방법에 대한 검토

4.1 검토 방법

전 수화열 해석에서 대상부재의 경우는 3,300mm 두께의 초대형 매스 콘크리트로서, SLC의 저발열 콘크리트 배합일지라도 유해한 균열이 발생할 수 있음을 알 수 있었다. 따라서 금번에는 매스 콘크리트의 양생법 변수로서 표 3과 같은 양생방법 변수로서 중심과 상, 하부 표면간의 온도 분포 이력을 해석하

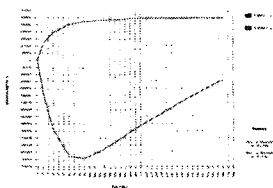
여 최적안을 선정하도록 하였다.

가. OPC 시험체의 부재발열 곡선

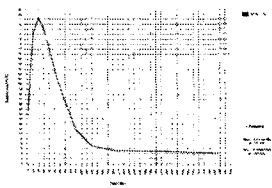


1) 중앙부 최고온도 : 69.53℃, 90hr

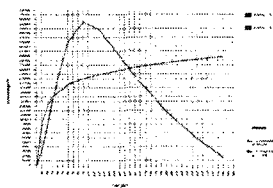
나. OPC 시험체의 인장응력 곡선



1) 중앙부 최고인장응력 : 2.95MPa, 360hr

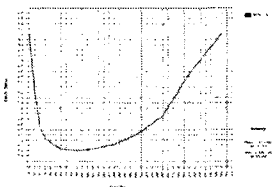


2) 단부 최고온도 : 33.3℃, 20hr

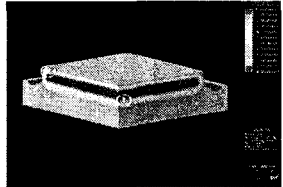


2) 단부 최고 인장응력 : 3.15MPa, 90hr

다. OPC 시험체의 온도균열지수 곡선 라. OPC 시험체의 온도분포



온도균열지수 : 0.6, 90h



①기초매스 중앙부, ②기초매스단부

그림 3. OPC의 수화열 해석 결과

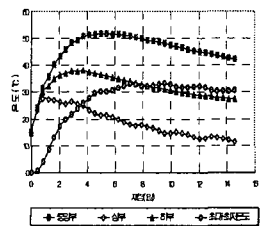
표 3. 양생법의 구분

구분	양생방법	열전달계수 (kcal/m ² hr℃)	무게 (kg/m ³)
Case 1	노출+살수	10.0	-
Case 2	염화비닐+부직포	3.5	0.178
Case 3	염화비닐+이중버블시트 2겹	1.6	0.193

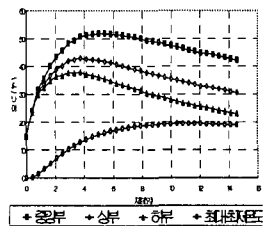
4.2 해석 결과 및 분석

표 3과 같이 노출+살수 양생방법(Case 1), 염화비닐+부직포(Case 2), 염화비닐+이중버블시트 2겹의 각 양생방법에 따른 각 부위별 온도 이력 및 중심과 표면간의 온도차를 해석한 결과는 그림 5와 같다.

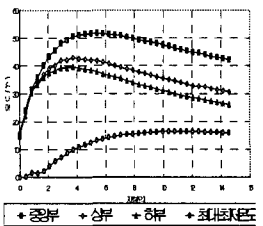
온도 이력 결과에서 Case 1은 중심과 표면간의 온도차가 최대 33℃정도로서 균열발생확율은 매우 높지만 Case 2는 19.



1) Case 1(노출+살수)



2) Case 2(비닐+부직포)



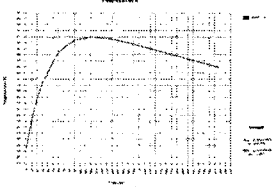
3) Case 3(비닐+이중버블시트 2겹)

그림 5. 양생방법별 온도 이력

5℃, Case 3은 16.5℃로서 Case 3이 제일 균열발생확율이 낮게 나타났다.

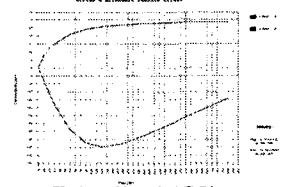
특히, Case 3 방법을 이용할 경우는 무게가 크게 무겁지 않아 시공이 편리 할뿐만 아니라 전용성이 양호하며 가격까지도 저렴한 편이므로 우수한 재료로 사료되어 실무 적용을 결정하였다.

가. SLC 시험체의 부재발열 곡선

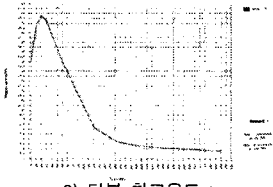


1) 중앙부 최고온도 : 51.9℃, 120hr

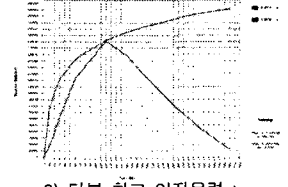
나. SLC 시험체의 인장응력 곡선



1) 중앙부 최고인장응력 : 2.88MPa, 360hr

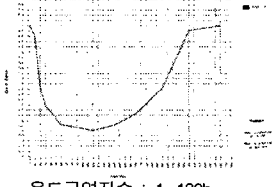


2) 단부 최고온도 : 19.7℃, 20hr

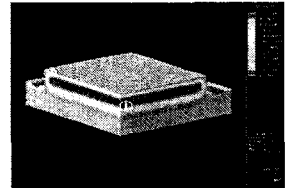


2) 단부 최고 인장응력 : 3.31MPa, 360hr

다. SLC 시험체의 온도균열지수 곡선 라. SLC 시험체의 온도분포



온도균열지수 : 1, 120h



①기초매스 중앙부, ②기초매스단부

그림 4. SLC의 수화열 해석 결과

5. 실제 시공 결과

5.1 시공개요

송도 주상복합현장의 매트 콘크리트는 국내에 전례를 찾기 힘들 정도로 광범위하다. 즉, 표 4는 대상 건설현장의 매트 콘크리트 두께별 타설 콘크리트 물량을 나타낸 것으로 총 73,838 m³로서 이중 1000mm이상 매트 콘크리트는 39,875m³로 약 4만 m³가 된다. 따라서 실제 시공 결과에서 수화열 기록은 3A 주거동 기초 매트에 해당하는 타설높이 3,300 mm, 타설량 5511m³의 25-35- 52(±5:슬럼프 플로우)규격의 레미콘 타설에 대하여 보고한다. 참고적으로 콘크리트 타설일은 2006년 4월 7일이였다.

이때 콘크리트의 배합사항은 표 5와 같다.

각 배합에 사용되는 재료는 국내 산이었는데 특히, 잔골재는 세척사를 사용하였고, 굵은골재는 25mm 부순굵은골재를 사용하였다. 시공과정 중 품질관리로서 굳지 않은 콘크

표 4. 대상건설현장의 매트 콘크리트 타설량

타설부위	A (THK=3,300)				B (THK=1,600/1700/2,200)				C (THK=1,100)				3D, 4D주차장A (THK=450)
	1A	2A	3A	4A	1B	2B	3B	4B	1C	2C	3C	4C	
타설량(m ³)	5,511	5,511	5,511	5,511	2,927	2,927	4,128	4,007	962	980	950	950	33,963
합계	22,044 m ³				13,989 m ³				3,842 m ³				99,963 m ³

리트 및 경화 콘크리트의 제반시험사항은 KS규격의 표준적인 시험방법에 따랐고, 결과분석은 건축공사 표준 시방서 및 특기 시방서에 따라 실시하였다. 품질관리 결과는 정상적인 상태에서 특기할만한 사항이 발견되지 않았으므로 본 연구에서는 생략한다.

콘크리트 타설은 43m펌프카 5대와 진동기 12대(10대+예비2대)로 콘크리트 타설공 30명이 시공에 참여하였다.

표 5. 콘크리트의 배합표

규격	W/B (%)	s/a (%)	단위재료량(kg/m ³)						
			W	B	SLC	FA	S	G	WRA
25-35-52	44	48.5	155	352	282	70	884	945	3.87

5.2 양생방법

기초 매트 매스 콘크리트에는 서론에서 언급한 바와 같이 여러요인에서 많은 균열이 발생할 수 있다. 즉, 시공초기에는 소성수축 및 침하균열이 발생할 수 있고, 그 이후에는 수화열에 의한 균열 및 건조수축 균열 등이 발생할 수 있다. 따라서 본 매트의 매스콘크리트 양생에서는 그림 6과 같은 흐름으로 균열을 방지하도록 양생 관리하였다.

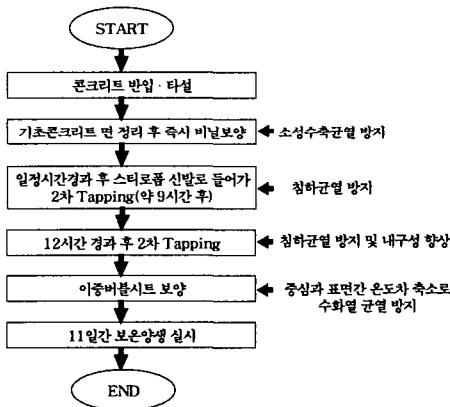


그림 6. 매트 매스 콘크리트의 양생 흐름도

5.3 결과 및 분석

그림 7은 본 건설공사 시공 중 양생과정에서의 온도 기록을 나타낸 것이다. 그림에서와 같이 재령 5일까지는 중심과 표면간의 온도차가 15℃이하를 나타내고 있고, 9일차까지는 20℃이하로서 수화열에 의한 온도균열이 완벽하게 방지되게 관리하고 있음을 알 수 있다. 특히 타설과 동시에 비닐보양으로 소성수축균열을 방지하고, 1차 및 2차 탭핑으로 침하균열까지 완벽하게 방지함에 따라 시공 후 6개월이 지난 현재까지 기초 매트의 매스콘크리트 타설면에서는 어떠한 균열도 존재하지 않고 있다.

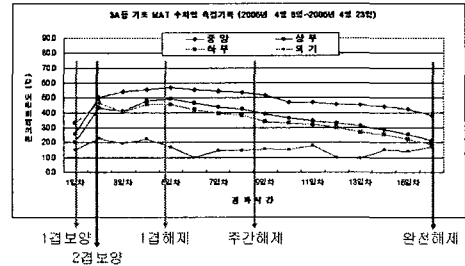


그림 7. 기초 매트 매스 콘크리트의 온도 기록 그래프

6. 결론

저발열 배합 및 이중 버블시트 양생에 의한 무균열 시공을 「송도 the # 1st WORLD 주상복합 신축공사」 현장의 기초매트 매스 콘크리트에 대하여 적용한 결과를 종합하면 다음과 같다.

- 1) 설계기준강도 35MPa, 높이 3,300mm인 기초 매트 콘크리트에 대하여 수화열 해석한 결과 OPC만을 사용한 경우는 콘크리트 타설 90시간에서 온도 균열 지수 0.6으로 90%이상의 확률로 균열이 발생할 수 있는데 비하여 고로슬래그 시멘트에 플라이 애시를 20%치환한 콘크리트는 120시간에 1.0으로 50%확률로 균열이 발생할 수 있어 균열 발생 확률이 낮아지기는 하였지만 추가적인 대책이 필요함을 알 수 있었다.
- 2) 상기 조건에서 표면양생을 노출+살수, 염화비닐+부직포, 염화비닐+이중버블시트 2점을 표면 양생조건으로 해석한 결과 염화비닐+이중버블시트 2점에서 상하 온도차가 16.5℃로 제일 적고, 시공성도 양호하며, 가격도 저렴하여 본 건설 공사 현장에 양생 방법으로 채택하였다.
- 3) 검토대상인 3A 주거동 기초매트 콘크리트 타설에서 저발열배합과 염화비닐+이중버블시트 2점을 시공한 결과 재령 5일까지 중심과 표면간의 온도차 15℃이하, 9일까지 20℃이하인 결과를 얻어 매스 콘크리트의 수화열 균열이 방지되고 기타 타설면 비닐깔기로 소성수축균열, 1, 2차 탭핑으로 침하균열, 낮은 단위수량 배합으로 건조수축균열까지 방지되어 시공 후 6개월이 지난 현재까지 콘크리트 타설면에서 균열이 전혀 없는 무균열 시공을 완성할 수 있었다.