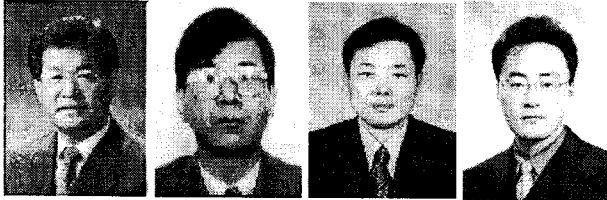


# 초고층 주상복합 해운대 I-PARK 현장 기초 응결지연형 콘크리트를 이용한 수평분리타설 시공사례



이종상상무  
현장총괄소장

조창흠부장  
현대산업개발  
현장소장

유세근부장  
현대산업개발  
현장소장

안정찬부장  
현대산업개발

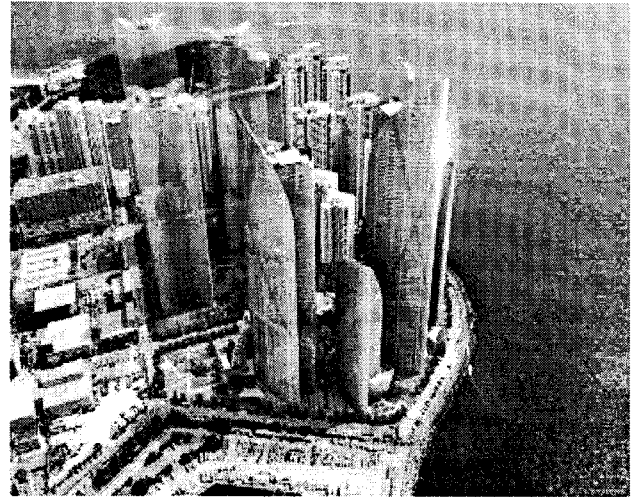


그림 1. 조감도

## 1. 머리말

세계적인 거장 다니엘 리벤스킨드가 설계한 초대형 주거복합 건물인 해운대 I-PARK 현장은 최고높이 72층, 292m 규모로 해운대 바다와 요트경기장과 인접한 천혜의 자연경관이 어우러진 명품해양 레저단지로서 독특한 외관은 해운대지역의 랜드마크로서의 자리매김 할 것으로 기대되는 프로젝트이다.

표 1. 현장개요

구 분	내 용		
프로젝트명	해운대 우동 I-PARK 신축공사		
대지위치	부산시 해운대구 우동 1408번지 외		
대지면적	46,111.8㎡	건축면적	15,390.2㎡
연면적	563,126.5㎡	용적율	899.06%
건축규모	지하6층, 최고층72층(292m) 6개동 타워동 3개동, 호텔1개동 외 2개동		
구조형식	철근콘크리트조, 철골조		
세대수	1,631세대		
기초면적	MAT부위	3,000 m <sup>2</sup>	
기초두께	PIT부위	3.2 m	
	MAT부위	4.0 m	
기초물량	PIT부위	2,000 m <sup>3</sup>	
	MAT부위	11,000 m <sup>3</sup>	
타설시간	펌프카7대경우	26시간	

당 현장의 기초타설을 위한 제반여건은 40MPa 고강도콘크리트로 국내에서는 최초로 4m부재를 타설해야하는 설계조건과, 외부적으로는 도심지 공사에서 발생하는 주변민원인해 야간 연속 타설이 불가한 제약조건을 갖고 있었다. 이를 극복하기위해 응결지연제를 활용한 현대산업개발의 기초분리타설 시공기술 및 관리기법을 소개하고자 한다.

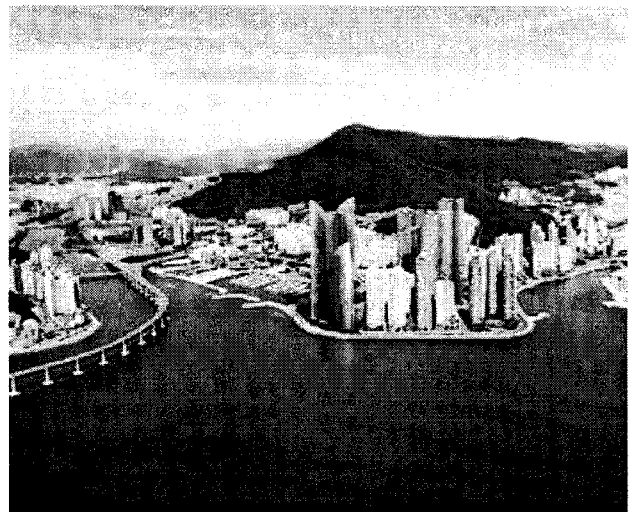


그림 2. 현장위치도

## 2. 기초 Con'c 응결 지연 성능 검증

MAT 기초의 수평 분리 타설은 분리 타설부에 전단보강근 설치와 1차, 2차 타설 부위 각각의 양생으로 인한 양생기간의 2배소요 등으로 원가상승 및 공기지연의 문제가 발생하게 된다.

이를 해결하기 위한 방안으로 1차 타설분 콘크리트의 응결을 지연시켜 2차 타설분과의 시간차를 극복하고자 하였으며 이를 위해 응결지연형 혼화제를 사용하였고 시공 시기에 맞는

기상조건에 적합한 적정 사용량을 결정한 후 6개 레미콘사별 BP TEST를 거쳐 현장에 적용하였고 이를 통해 전단철근의 보강없이 상,하 타설부의 일체화는 물론 수화열을 저감하는 효과를 거둘 수 있었다.

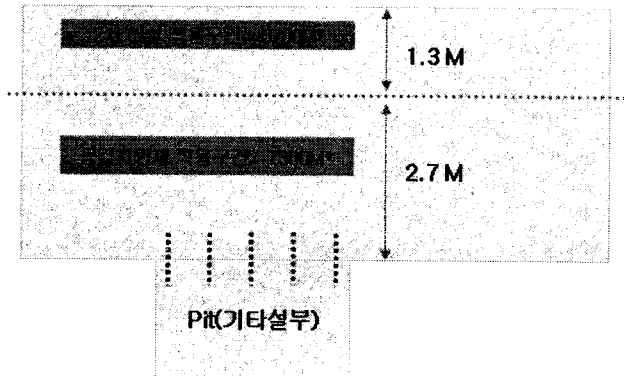


그림 3. 기초부위 개념도

### 2.1 콘크리트 응결시간 목표

콘크리트의 응결은 배합설계, 골재, 혼합수 성분, 기상조건 및 시공조건에 따라 영향을 많이 받는다.

특히 고온, 저습, 일사량, 바람 등의 영향을 많이 받게 된다.

콘크리트는 이와 같은 조건으로 인한 건조 및 응결의 진행으로 이음부에 cold joint가 발생한다. 이를 방지하기 위해서 진동한계인 프록터관입시험 초결 은 20시간이상, 종결은 26시간 이내로 정하였다.

또한 10시간 경과 후 Slump Flow는 300mm 이상을 1차 목표로 설정하였고, 목업 시험 후 프록터관입저항 0.5MPa까지 20시간을 최종목표로 설정하였다.

### 2.2 응결지연제 종류 및 적용 혼화제

#### 1) 지연제 종류

- 인산염계 혼화제
- 당류계 혼화제 (후첨가)
- 아크릴계 혼합 폴리카본산계 혼화제 등

당 현장에 적용된 아크릴계 혼합 폴리카본산계 혼화제는 기존의 폴리카본산계 혼화제의 유지제 성분을 극대화한 것으로 당 현장에 적용하기위해 개발 되어 국내 최초로 적용되었다.

#### 2) 현장배합을 위한 시험변수

기초콘크리트에 사용되는 혼화제는 기본적으로 폴리 카본산계 혼화제를 사용하고 지연제로는

A:표준형 폴리카본산계혼화제 + 인산염계 0.4%사용

B:표준형 폴리카본산계혼화제 + 인산염계 0.5%사용

C:표준형 폴리카본산계혼화제 + 인산염계 0.6%사용

D:지연형 혼합 폴리카본산계 혼화제(현장 적용됨)

4가지 타입으로 시멘트 응결시험을 실시함

### 2.3 응결시간 측정결과

구분	현장목표	초결시간	종결시간
	0.5 MPa	3.5 MPa	28 MPa
D	20h	26h	30h
A	16h	18h	36h
B	21h	33h	43h
C	20h	35h	48h

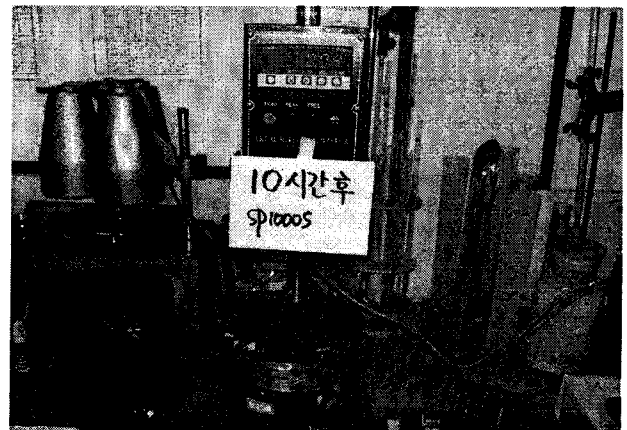


그림 4. 프록터 관입저항시험

### 2.4 Slump Flow 경시변화

경시변화 목표는 10h 이후

- 기온이 20℃이상일 경우 Slump 180mm 이상,
- 기온이 15℃이하일 경우 Slump Flow 300mm 이상을 목표로 함

표 2. 혼화제별 경시변화시험결과

구 분	즉 시	10시간경시변화
지 연 형 폴리카본산계 혼 화 제		
표 준 형 폴리카본산계 혼 화 제		

1차 타설부와 2차 타설부의 시간차 9시간을 극복하고 2차

타설시 1차 타설분과의 일체화를 위해 바이브레이터를 사용할 수 있도록 10시간 경시변화 목표를 설정하였다. 표면부는 바람이 강하거나 일사량이 많을 경우 표면부의 갈마름 현상이 발생할 수 있으므로 주의해야 한다. 당 현장의 경우 야간 시간대에 9시간을 대기에 노출되어 일사량과는 무관하였으나 바람의 영향은 일부 받았다.

### 3. 분리타설부 구조적 접합여부 확인

초고층 건물의 기초부재는 구조적 중요성이 가장 높은 부재로 분리 타설부의 구조적 일체화를 검증하기 위해 일체로 타설한 시험체와 현장조건과 같은 분리타설 시험체를 제작하여 비교시험 하였다.

#### 3.1 강도 및 접합부 성능확인

- 1) 분리 타설로 제작한 압축강도 시험체와 휨강도 시험체 강도확인
- 2) 분리 타설부 전단접착력 TEST

KS F 2760에 의거해 제작한 시험체 압축강도 시험을 거쳐 접합부 균열 발생여부 확인



그림 5. 분리타설 시험체 제작 및 시험

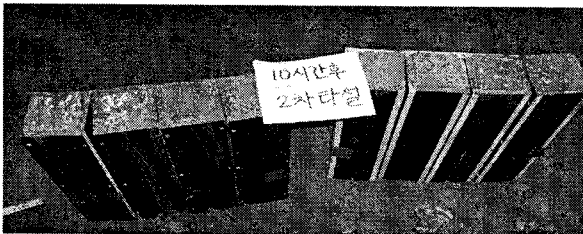


그림 6. 전단접착력시험체 제작

#### 3) 분리 타설 시험체 시험결과

구 분	분리타설부	일체타설
28일 압축강도	33.9 MPa	32.3 MPa
56일 압축강도	43.8 MPa	43.9 MPa
접합부 균열여부	없음	-
휨몰드 균열여부	없음	-

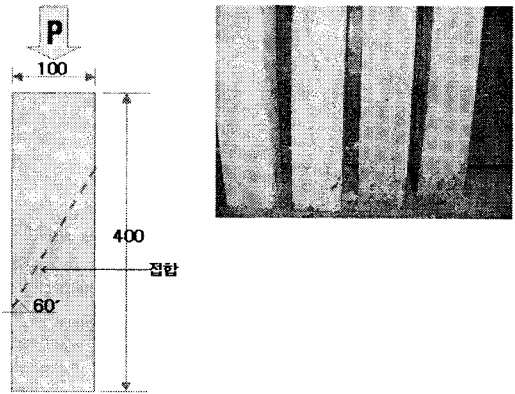


그림 7. 전단접착력시험체 압축강도시험 후 균열양상

#### 3.2 현장 목업 시험

현장목업시험으로 부재규격 1500\*1500\*1500규격으로 2개를 만들어 지연형 혼화제와 표준형 혼화제를 비교 시험하였다.

그림8은 1차로 지연형 혼화제 적용된 콘크리트 타설 후 10시간 뒤 표준형 혼화제 적용된 콘크리트를 타설하는 장면이다.

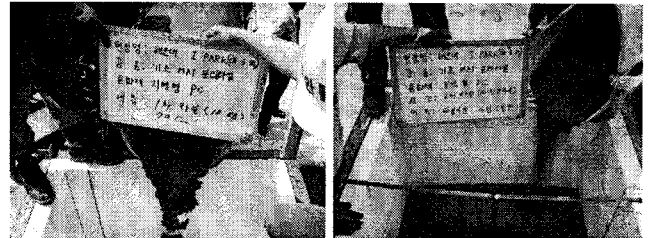


그림 8. 목업시험체 1차타설, 10시간후 2차타설 모습

양생완료시 거푸집 해체 후 cold joint 발생여부를 비교하였고 지연형 혼화제 적용콘크리트는 색깔 차이는 발생하였지만 cold joint 발생하지 않았고 표준형 콘크리트로만 시공한 시험체는 cold joint 뿐만 아니라 턱짐 현상까지 발생하였다.

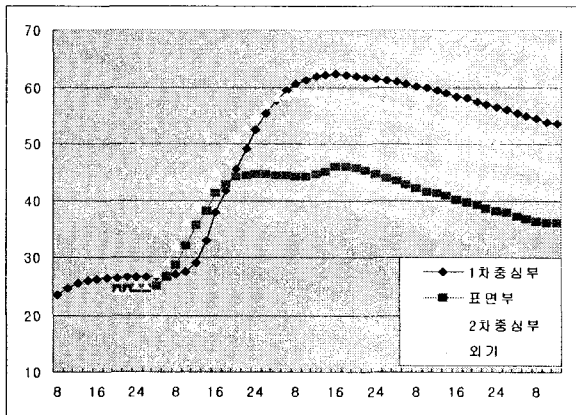


그림 9. Mock-Up시험체 탈형모습

#### 3.3 Mock-Up시험체 수화열 계측결과

1차 타설부위는 24시간 이후부터 온도상승이 시작되었고 2차 타설부위는 6시간 이후부터 온도상승이 시작되어 1, 2차 타설 부위의 온도상승은 거의 유사하게 온도상승이 되어 1차 타설부의 콘크리트 응결이 지연됨을 확인할 수 있었다.

표 3. 지연형혼화제시험체 수화열측정결과



### 4. 레미콘 타설

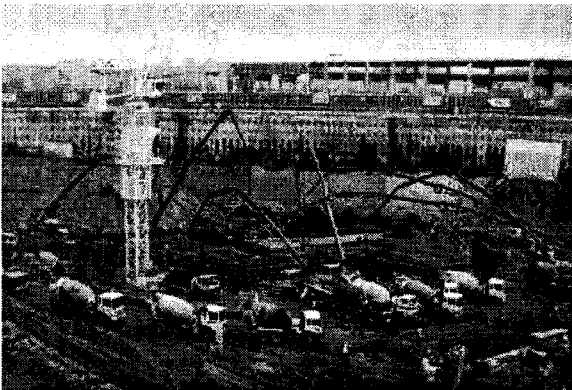


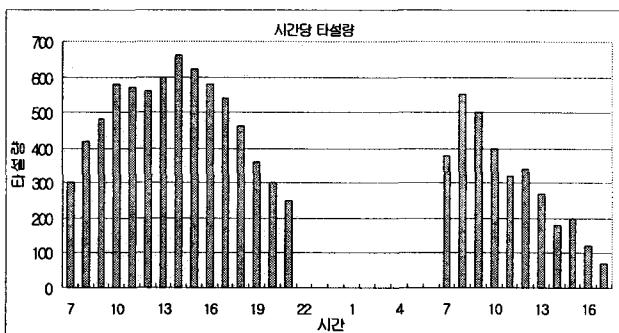
그림 10. 타설전경

#### 4.1 시간대별 타설량

기초콘크리트 타설은 1일차에 펌프카 7대로 07시부터 22시까지 타설하였고 2일차에는 펌프카 6대로 07시부터 18시까지 타설하였다.

레미콘사는 6개사에서 납품하였고 1일차 7,300m<sup>3</sup>, 2일차에는 3,300m<sup>3</sup> 타설하였다. 시간당 최대 토출량은 95m<sup>3</sup>/hour, 대로 타설은 빠르게 진행되었지만 2일차 상부 마무리하는 시점에서는 다소 진행이 지연되었다.

표 4. 시간대별타설량



### 4.2 현장반입콘크리트 시험결과

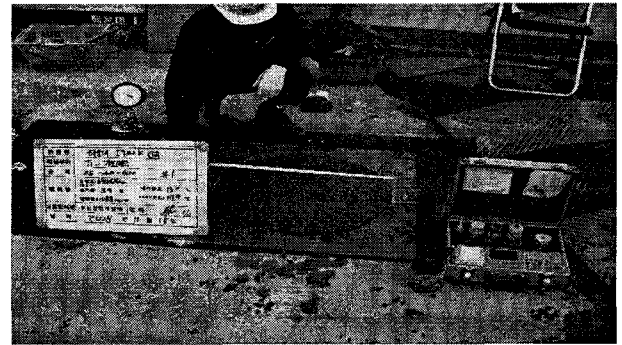
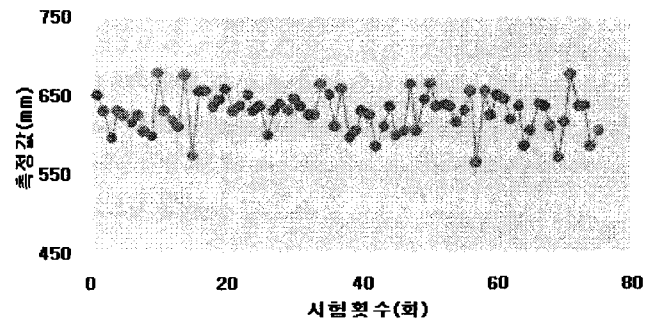


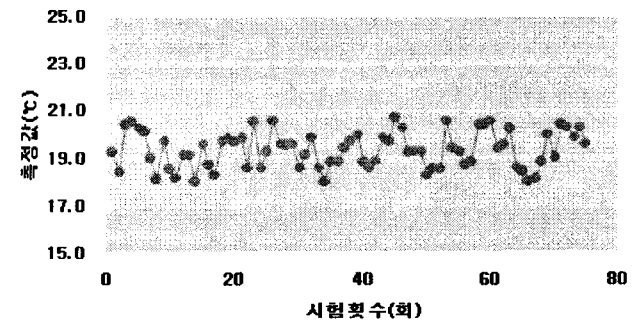
그림 11. 현장시험전경

현장 반입 콘크리트는 타설초기에는 Slump Flow 600mm 정도에서 1일차 후반부에는 650mm 정도를 목표로 하였다. 현장 시험 항목은 Slump Flow, 공기량, 염화물량, 생콘크리트 온도 등을 측정하였다.

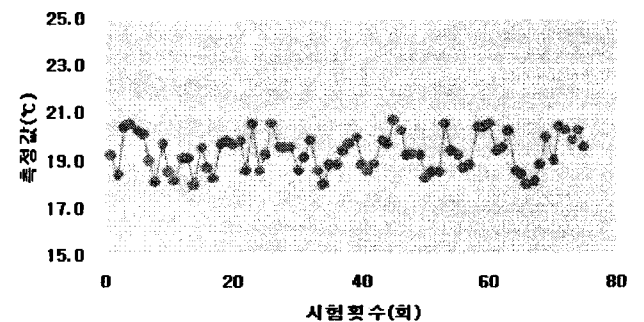
- 플로우시험결과



- 공기량시험결과



- 콘크리트 온도측정결과



- 염분량 측정결과

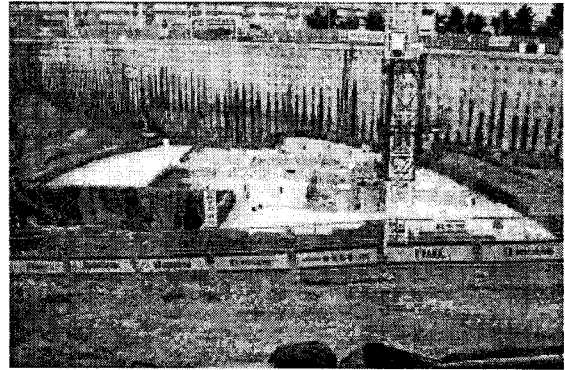
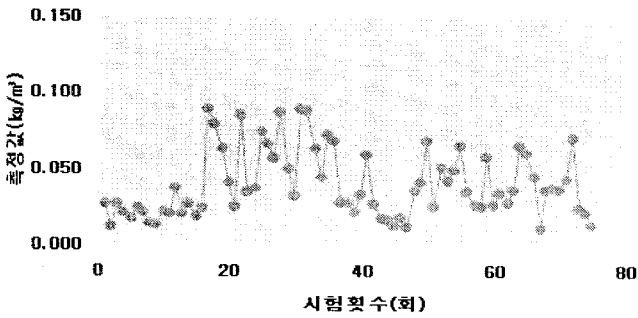


그림 13. 보양전경

시공순서는 타설 완료된 부위는 1차 탬핑과 2차 탬핑이 완료되는 시점에서 담수 혹은 버블시트를 2겹으로 겹쳐 깔기 하였다.

5. 수화열 측정 및 양생

5.1 수화열 계측

수화열 Sensor는 중심부 2m 부위와 표면부 -10cm부와 버블시트아래, 버블시트 사이, 측면부와 외기를 측정하였다. 수화열측정결과 중심부 최고온도는 69℃ 까지 상승하였으며 1일 0.6℃씩 강하하였다.

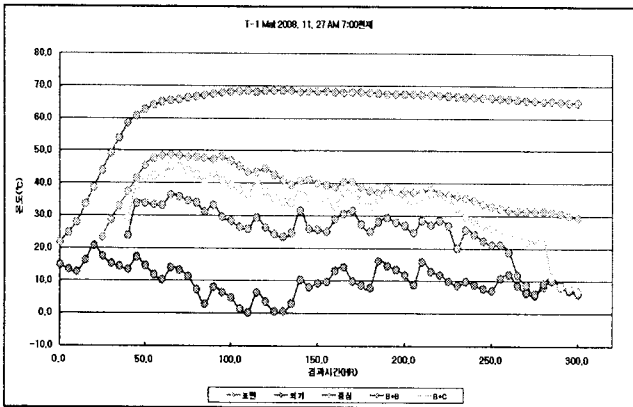


그림 12. 수화열측정결과표

중심부와 표면부의 온도차는 30℃이하로 관리가 가능하였고 버블시트 제거후 1일 1℃씩 내려감

표면부는 버블시트 2겹 양생을 실시한 결과 표면부가 45℃로 양호한 결과를 보였다

5.2 양생방안

표면부 온도차를 줄이기 당초의 계획은 비닐+보온포에 상부 타포린 천막과 열풍양생을 계획했으나 공간가열양생은 효율이 낮고 바닥면 온도상승효과가 낮다고 판단하여 외기온도에 따라 담수양생, 담수+열선양생과 시공성이 우수한 이중 버블시트 2겹으로 결정하였다.

6. 수화열 저감대책

6.1 저발열 배합 설계

수화열 저감을 위한 대책으로 수립한 여러 가지 방안들 중 가장 핵심적인 내용은 저발열 배합설계이며 이를 위해

첫째, 강도 관리재령을 56일로 변경

둘째, 최소 분체량을 결정하기 위해 4가지 배합변수인 490kg/m<sup>3</sup>, 450kg/m<sup>3</sup>, 430kg/m<sup>3</sup>, 410kg/m<sup>3</sup>로 압축강도 시험결과 410kg/m<sup>3</sup> 를 최종 분체량으로 결정

셋째, 플라이애쉬 치환율을 25%로 결정

넷째, 고로슬래그시멘트를 사용하여 혼합시멘트에 의한 내열해 성능을 향상시킨 저발열 콘크리트를 배합설계하였다

표 5. 저발열 콘크리트 시방 배합비

W/B (%)	S/a (%)	W (kg)	S.C (kg)	F/A (kg)	S (kg)	G (kg)	AD (%)
39.0	46.5	160	308	103	811	943	4.92

이렇게 3성분계 시멘트로 배합설계를 실시하여 4M 높이의 Mat기초 중심부 최고온도가 70℃이하가 되도록 배합비를 조정, 파이프쿨링을 하지 않고도 온도균열을 제어하는 시공을 할 수 있었다.

6.2 수화열 대책

그 외의 대책으로 현장에 반입되는 Fresh Con'c온도를 20℃ 이하로 납품하도록 프리쿨링을 실시하였다.

또한 균열예상부위인 우각부와 기초측면부 온도차근배근을 하였으며 수화열 해석을 통해 외기 온도 조건별로 양생방법 및 최적 양생기간을 설정 한 후 이를 적용하였다.

## 10. 결 론

초대형 건축물의 경우 부재가 Mass화 되고 콘크리트의 강도 또한 고강도화 되어 수화열이 높고 이에 따라 내,외부 온도차로 인한 응력은 점점 커져 균열의 발생이 우려되거나, 도심지 공사 특성 상 야간작업이 불가능하여 분할 타설을 해야 하는 경우에는, 지연형 혼화제를 이용한 수평 분할 타설은 Cold Joint 발생을 막고 현장에서 원가절감을 할 수 있는 우수한 공법으로 사료되며, 매스콘크리트의 양생 방안으로 외기 온도에 따른 적절한 양생방안의 선정은 시공의 편의성뿐만 아니라 최적 양생기간 선정에 의한 공기단축 효과가 높아 현장 적용성이 우수하다고 생각된다.

이상과 같이 저발열 배합설계와 응결지연형 혼화제의 적용을 통한 수평분할 타설 및 외기온도에 따른 최적의 양생 대책으로 초대형 매스콘크리트 수화열관리 및 시공을 균열없이 성공적으로 수행한 것으로 판단된다.

### 참 고 문 헌

1. 전충근,윤치환,송승현,신동안,오선교,한천구 :초지연제의 응결 시간차 공법을 이용한 기초 매트콘크리트의 수화열 저감시공 2004
2. 한국산업규격 KS F 2760- '07: 콘크리트접착제의 경사전단 접착강도 시험방법
3. 한국콘크리트학회 : 최신 콘크리트 공학 2005