

# 아시아 최고 높이의 주거 건축물 부산 해운대 워브더제니스 기초공사 적용기술 - 두산건설(주)



**강희섭** 상무  
(주)렉스콘  
연구개발담당중역



**이병훈** 상무  
두산건설(주)



**황인진** 부사장  
두산건설(주)  
건축사업본부

감리사	(주)ITM코퍼레이션, 한국방재기술(주), (주)세종기술단
규모	지하 5층, 지상 70층/75층/80층 - 3개동
대지면적	42,478 m <sup>2</sup>
건축면적	16,192 m <sup>2</sup>
연면적	572,534 m <sup>2</sup>
건폐율	38.2 %
세대	1788세대(3개동)

## 1. 개요

대한민국 최대의 항구도시 부산광역시의 스카이라인을 두산건설에서 바꾸고 있다.

2007년 12월 부산의 명품 주거단지로 떠오르고 있는 해운대 마린시티(옛 수영만 매립지)에 80층 규모의 초고층 주상복합 아파트 공사가 시작되었다. 이 건축물은 해운대구 우동 일대 42,000m<sup>2</sup>에 145.2(44PY) ~ 323.4(98PY) m<sup>2</sup> 총 1,788가구가 건립된다. 80층, 75층, 70층 등의 주거타워 3개동과 판매시설 및 업무시설로 이루어지는 복합단지 형태로 주거건축물로는 아시아 최고 높이인 295.5 m에 달한다. 현장 개요는 표 1과 같다.

표 1. 현장개요

공사명	해운대 두산워브 더 제니스
공사기간	2007년 12월 ~ 2012년 1월
대지위치	부산광역시 해운대구 우동 1407번지외 11필지
발주처	대원플러스건설(주)
설계사	DeStefano, JERDE, TTE, W.M.A, S.W.A, 간삼파트너스, 부산건축, 이웨스

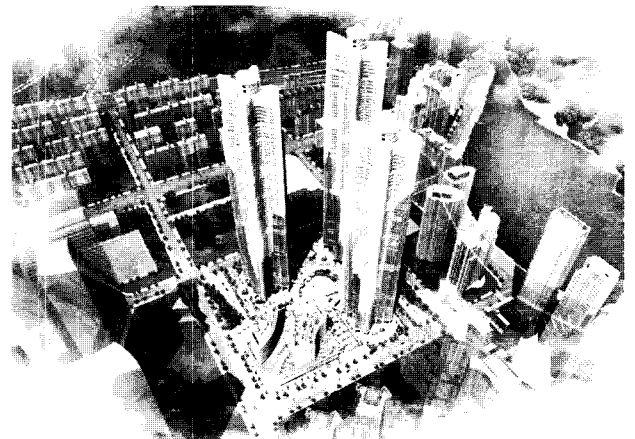


그림 1. 조감도



그림 2. 위치도

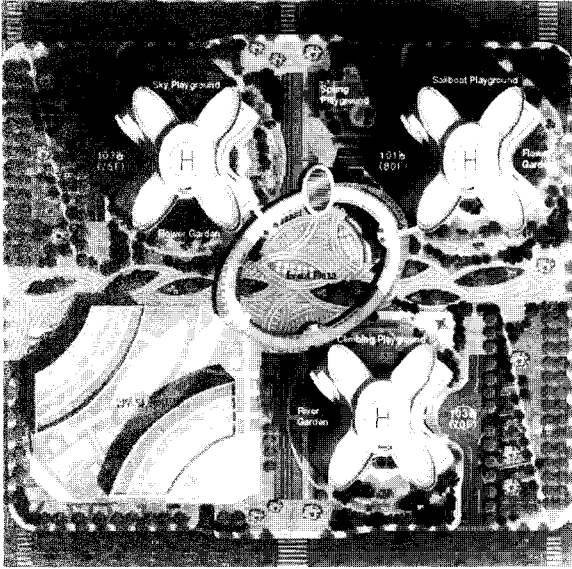


그림 3. 단지배지도

## 2. 공정계획 및 공사현황

### 2.1 주요공정계획

- (1) 토 공 사 : 2007년 12월~2009년 08월
- (2) 골 조 공 사 : 2008년 09월~2011년 01월
- (3) 커튼월 공사 : 2009년 09월~2011년 03월
- (4) 내부마감공사 : 2009년 12월~2011년 11월
- (5) 입 주 준 비 : 2011년 11월~2011년 12월

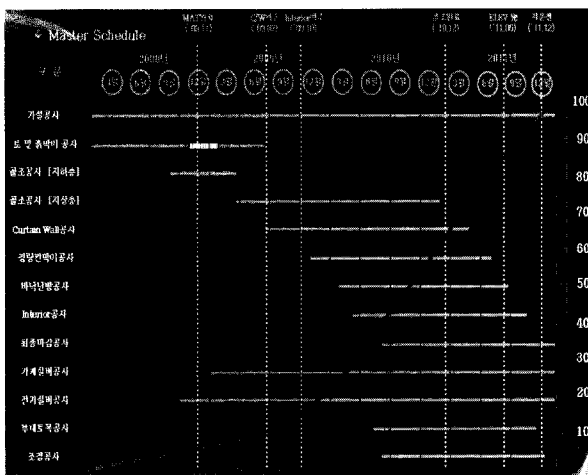


그림 4. 주요 공정표

### 2.2 현재공정

2008년 11월 현재 공정을 약 9%로 토공사, 가설공사, 기초 및 지하층 골조공사가 진행 중이다.

#### 2.2.1 공동가설공사

- 타워크레인 6호기 설치 완료
- 주변건물 사전안전진단 보고
- 가설도로 부지정리 및 Con'c 타설

#### 2.2.2 토공 및 흙막이공사

- 토사반출 진행중
- E/A공사 진행중
- 계측기 설치 및 계측관리

#### 2.2.3 골조공사

- 1공구 : B2~B4 지하 합벽 및 슬라브 공사 진행중
- 2공구 : B3~B5 지하 합벽 및 슬라브 공사 진행중
- 3공구 : 매트기초 콘크리트 타설 완료

## 3. 기초공사 주요 적용공법

### 3.1 기초보강공법

당 현장에서 사용한 기초보강 공법은 초고층현장에서 건조되는 거대한 Mat 기초에 대한 1일 타설량의 한계로 인한 시공 Joint 발생, 과도한 철근배근 및 두꺼운 Mat기초로 인해 발생하는 높은 수화열의 문제점을 저감하고자 Mat기초의 두께를 감소시킬 수 있는 공법이다.

본 공법은 일부 기둥에 국부적인 응력 집중현상으로 인하여 전체적인 Mat 기초의 두께가 두꺼워 지는 것을 보강하기 위하여 기초보강재를 적용함으로써 아래 그림 5와 같이 매트기초의 두께를 저감할 수 있다. 기존의 거대한 Mat기초 사용으로 인하여 발생할 수 있는 문제들을 저감하여 시공 및 공정상의 문제점을 줄임과 동시에 공사비 절감 효과를 보여주는 공법이다.

기초보강재의 적용성에 있어 휨부재의 공학적 원리는 아래 그림 6에서 보여주는 바와 같이 일반적인 휨부재의 경우 기둥부위에 휨모멘트와 Punching이 지배적이다. 하지만 유효깊이가 깊은 Mat 기초와 같은 휨부재는 전단응력으로 인하여 부재의 크기가 결정되기 때문에 이러한 전단응력을 감소 시켜 주는 것이 기초보강재의 기본적인 공학원리이다.

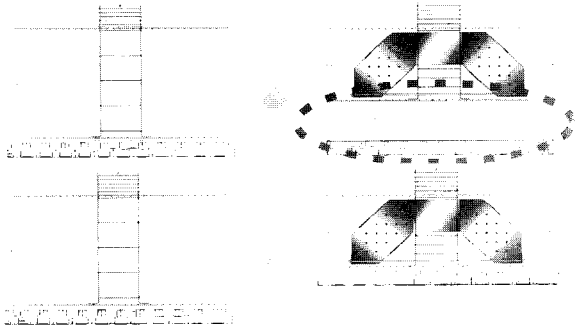


그림 5. 기초보강재 기본 개념

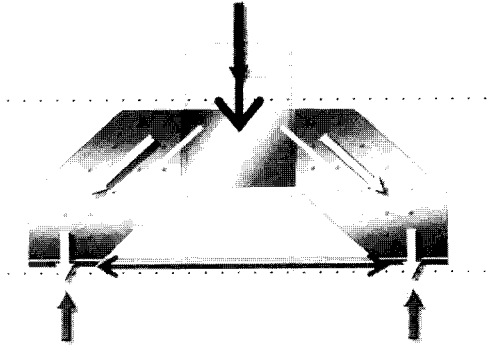


그림 7. 기초보강재 힘의 흐름도

항목	일반적인 휨부재	유효깊이가 깊은 휨부재
배근		
휨응력		
전단응력		
힘의작용		

그림 6. 휨부재의 공학적 원리

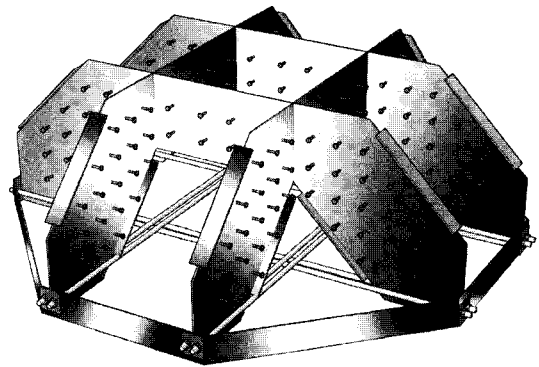


그림 8. 기초보강용 철물의 형상

이러한 기초보강재 사용으로 인하여 다음과 같은 시공적인 측면에서의 장점이 있다.

- 공장생산을 통한 현장 작업최소화로 인한 기초 부분의 품질확보
- 장비를 사용한 시공으로 시공의 생력화(省力化)
- 매트 두께의 감소로 인한 상부 철근 작업성의 향상
- 기초보강재 양중고리 설치를 통해 작업안전성 확보

Mat기초와 같이 유효깊이가 깊은 부재의 경우 위의 공학적 원리에서 보여 준 바와 같이 전단응력이 크게 발생함으로 부재의 두께가 두꺼워 지게 된다. 이러한 부분을 아래 그림 7에 보여주는 바와 같이 전단응력을 마치 아치형태와 같이 분산시키고 인장력이 강한 철근을 Strut Tie 공법을 적용하여 전단응력의 일부를 담당하고 그 외 응력을 지반으로 분산시킴으로써, Mat 기초의 두께를 감소시키는 역할을 한다.

그림 8은 기초보강재용 철물의 형상이다.

기초보강재 시공 순서는 그림 9에 나타내었다.

버림 콘크리트 타설 후 기초 보강재를 설치하고 기둥 및 벽체 Dowel Bar를 설치한다. 마지막으로 상부 철근 설치 후 콘크리트를 타설하면 시공이 완료된다.

1. 버림콘크리트 타설	2. 기초보강재 설치
3. 기둥 및 벽체 Dowel Bar 설치	4. 상부철근 설치 후 콘크리트 타설

그림 9. 기초보강재 시공 순서

### 3.2 초지연콘크리트를 적용한 매스콘크리트타설

당 현장의 경우 80층의 초고층 건축물을 축조함으로써, 기초보강재를 적용하였음에도 불구하고 두께 3.8 m(적용전 4.5 m)의 매우 두꺼운 Mat 기초가 된다. 이러한 Mat 기초에서는 수화열에 의한 악영향이 없다면, 일체 타설하는 것이 가장 좋은 시공방법이다. 하지만 당 현장과 같은 초고층 현장은 주로 도심지나 인근에 기존 주거민들이 기거를 하고 있는 상황이 많아 민원의 발생소지가 큼으로 장시간타설을 통한 일체 타설이 이루어지기 어려운 경우가 대부분이다. 이렇게 일체 타설이 어려운 경우 끊어치기하는 방법을 선택하게 된다. 하지만 이러한 끊어치기의 경우 전단보강근을 추가로 설치해야하는 문제점이 있으며, 전단보강근 설치로 인한 비용이 발생되고, 전단보강근을 설치하지 않을 경우 타설된 구조체가 일체화 되도록 특별한 조치를 취해야 한다.

타현장과 마찬가지로 당 현장에서도 아래와 같은 현상여건으로 인하여 일체타설에 어려움이 있었다.

- 주변 주민들의 민원으로 인한 장시간 연속타설에 의한 일체화 타설의 어려움(야간작업 금지)
- 협소한 부지와 인접도로의 교통체증 야기로 인한 한정된 펌프카 설치(제한된 펌프카 배치)

이러한 문제점으로 인해 콘크리트의 장시간타설을 통한 일체타설이 어려운 실정이었다. 이러한 경우 신, 구 콘크리트의 일체화를 이루기 위한 방안을 모색한 결과 아래와 같은 방안이 제시되었다.

- ① 전단보강근 설치를 통한 수평분할 타설
- ② 초유동 콘크리트사용을 통한 야간작업 소음 저감
- ③ 초지연콘크리트를 사용한 콘크리트의 일체화

표 2. 매스콘크리트 타설 방안 평가

항 목	①	②	③
경제성	×	▲	●
시공성	×	●	▲
안전성	▲	×	●
평 가	×	▲	●

상 : ● 중 : ▲ 하 : ×

이상의 방안 중 당 현장에 가장 합리적인 방법으로 매스콘크리트 타설할 수 있는 방안을 아래 표2와 같이 검토하여 평가하였다.

위 평가 결과로 초지연콘크리트를 사용한 매트기초 일체화타설 방안의 실효성을 확보하고 안전성을 검토하기 위해 예비실험과 실물대실험을 실시하였다.

#### 3.2.1 초지연 콘크리트의 개념

초지연콘크리트란 콘크리트의 종결시간을 요구 시간까지 경화 콘크리트의 물성에 영향을 미치지 않고 지연시키는 콘크리트를 말한다.

당 현장과 같이 매스콘크리트 타설시 시간차를 두고 끊어서 타설해야 하는 경우나, 타설시간이 길어 상하부간 타설시간차가 크게 나타나는 부재는 하부에 먼저 타설된 콘크리트의 수화반응은 빨리 발생하여 가속화되고, 상부에 후 타설된 콘크리트는 소성을 상실하게 되는 초결단계가 동시에 발생하게 된다. 따라서, 하부는 팽창을 상부는 소성을 상실함에 따라, 유동성을 상실하고 인장응력이 발생하게 된다. 이때 온도차는 가장 크게 나타나게 되며, 이 온도차에 의한 온도응력을 줄이기 위해서는 하부에 먼저 타설된 콘크리트의 응결시간을 지연시킴으로써 상부에 늦게 타설된 콘크리트와 동시에 소성과 발열이 발생하도록 조정하면 된다.

이렇게 응결시간을 적절히 잘 조정한다면, 신구 콘크리트의 일체화 및 온도차 저감을 동시에 만족할 수 있다. 이에 대한 개념도를 그림 10에 나타내었다.

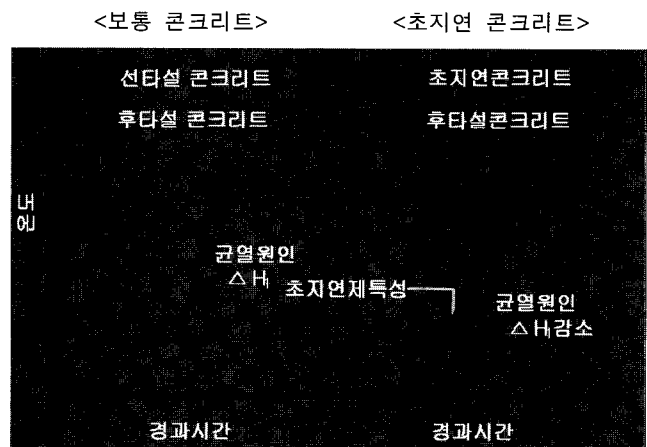


그림 10. 초지연의 개념도

### 3.2.2 초지연콘크리트의 예비실험

초지연콘크리트의 예비 실험은 당 현장에 매스콘크리트에 사용될 규격 25-35-500으로 강도관리 재령 56일 배합은 W/B 38 %, 관리재령 28일은 36.5 %를 사용하여 실험을 실시하였으며, 목표 지연시간은 W/B 38 %의 경우 0, 18, 24시간으로 하였으며, W/B 36.5 %는 0, 6시간으로 하였다. 이에 대한 실험 계획은 표 3과 같다.

표 3. 예비실험계획

강도관리 재령(Day)	W/B (%)	목표 지연시간(Hour)	혼입률 (%)
56	38	0	0
		8	0.51
		24	0.84
28	36.5	0	0.99
		6	0

예비실험 결과 굳지않은 콘크리트는 요구성능 슬럼프 플로 500±75 mm, 공기량 4.5±1.5 %를 만족하였다.

본 실험에서 중요한 지연제 혼입률에 따른 응결경화 실험 결과 W/B 38%에서 목표 지연시간 8시간의 경우 약 11시간 정도 지연되었고, 목표 지연시간 24시간의 경우 약 33시간 정도 지연되었다. 표준양생 W/B 36.5 %에서 목표 지연시간 6시간의 경우 약 8시간 정도 지연되었다. 따라서 목표 지연시간 보다 조금 더 지연되고 있었지만, 실물대 실험 및 현장 타설 시 매스콘크리트의 수화열로 인한 응결속도와 레미콘 생산 및 현장 도착 시간에 따른 시공성능을 감안한다면 문제는 없을 것으로 사료되었다. 실험결과를 표 4와 그림 11에 나타내었다.

표 4. 예비실험결과

강도관리 재령(Day)	W/B (%)	시료명	목표지연 시간(Hour)	실측지연 시간(Hour)
56	38	38-0	0	-
		38-8	8	11
		38-24	24	33
28	36.5	36.5-0	0	-
		36.5-6	6	8

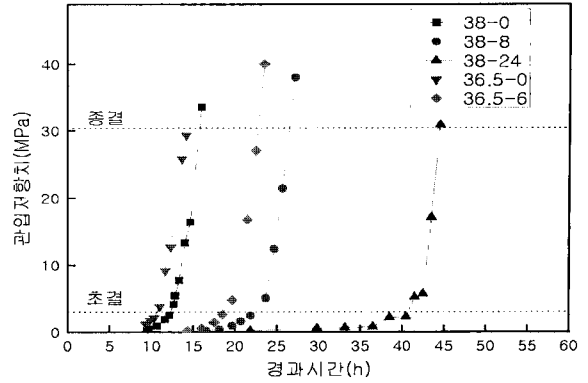


그림 11. 응결경화 실험결과(예비실험)

### 3.2.3 초지연콘크리트의 실물대 실험

실물대 실험에 사용할 배합은 당 현장에서 사용될 배합으로써 예비실험에 사용한 배합을 사용하였다.

실물대 부재는 실험부지(15×55 m)에 가능한 수직으로 3.8×3.8×3.8 m의 크기를 매설할 수 있는 3개의 구덩이를 만든 후 타설방법으로 보통콘크리트 일체 타설, 응결시간차 2단 타설 및 4단 타설로 하며, 면정리 즉시 비닐 보양을 실시하고, 다음날 이른 새벽(타설완료 후 약 10~12시간 후) 이중버블시트 보양을 실시하였다.

실험사항으로는 굳지않은 콘크리트에서 슬럼프, 슬럼프플로, 공기량실험을 실시하여 물성 확인을 하였으며, 초지연콘크리트를 사용한 매스콘크리트 타설 공법에서 가장 중요한 수화열, 응결경화에 대하여 검토하였다. 또한 쿨드 조인트에 대한 여부를 파악하기 위하여 소닉 테스트와 보링 테스트를 실시하였다.

표 5. 실물대 실험계획

항 목	수 준	
배합 사항	W/B (%)	38.0, 36.5
	목표 슬럼프 플로 (mm)	500 ± 75
	목표 공기량 (%)	4.5 ± 1.5
시험체 크기(m)		3.8×3.8×3.8 (지반매설)
실험 항목	굳지않은 콘크리트	슬럼프, 슬럼프플로, 공기량, 응결시간
	경화 콘크리트	<ul style="list-style-type: none"> <li>수화열 측정</li> <li>압축강도</li> <li>소닉 테스트</li> <li>- 28일 건전도 측정(일체화)</li> <li>보링 테스트</li> <li>- 부착정도의 육안관찰</li> </ul>

실물대 실험 계획 및 콘크리트 타설방법을 표 5와 6에 나타내었으며, 그림 12에 실험준비과정을 보여주고 있다.

표 6. 실물대 실험 타설방법

타설종류	타설방법
56일 재령관리 콘크리트 일체타설	56일재령관리 콘크리트 매 2시간 간격 타설(38-0)
응결시간차 2단 타설	2단 : 56일재령관리 콘크리트 0시간 지연(36.5-0) 1단 : 초지연콘크리트 8시간 지연(38-8)
응결시간차 4단 타설	4단 : 56일재령관리 콘크리트 0시간 지연(36.5-0) 3단 : 초지연콘크리트 6시간 지연(36.5-6) 2단 : 초지연콘크리트 18시간 지연(38-18) 1단 : 초지연콘크리트 24시간 지연(38-24)
양생방법	2중 버블시트

콘크리트 타설은 현장에서 타설 가능한 매트 기초 타설 시간을 감안하여 현장여건과 동일하게 2일에 걸쳐 타설을 실시하였다.

각 실물대 실험체 마다 수평분할 방법을 다르게 하여 타설을 3가지 방안으로 일체타설, 2단 분할타설, 4단 분할 타설로 시험을 실시하였다. 또한 계측을 위하여 수화열 센서를 필요 위치에 설치하도록 하였다. 이에 대한 도면 및 모식도는 그림 13에 나타내었다.

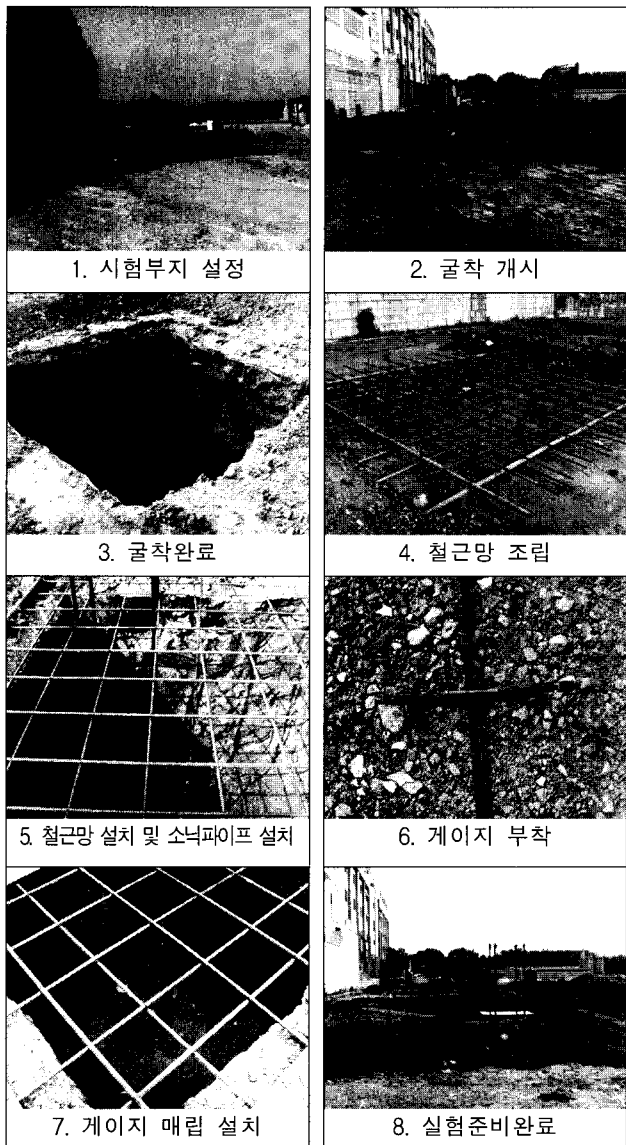


그림 12. 실물대 실험 준비 과정

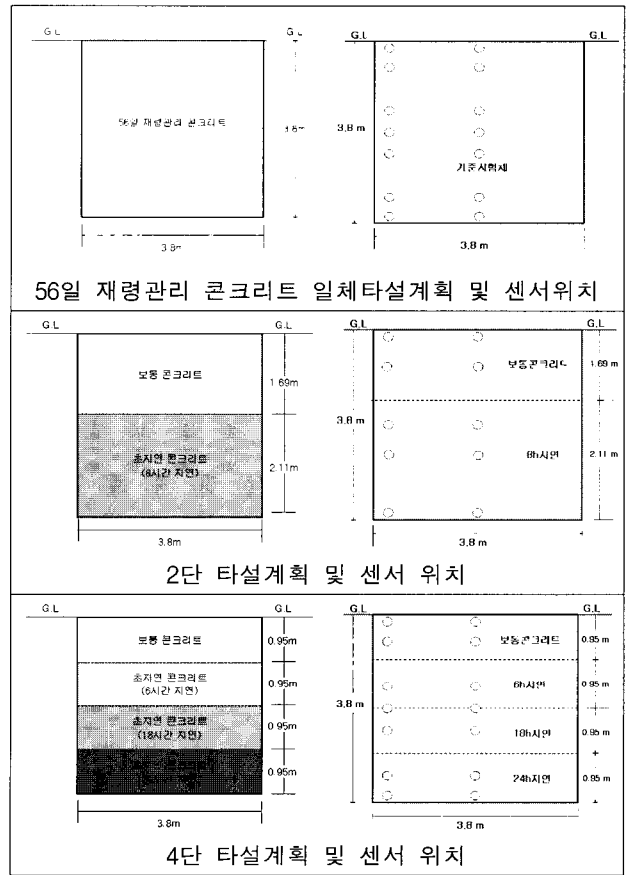


그림 13. 시험체별 타설계획 및 센서 위치

실물대 실험은 우선적으로 당 현장에 사용하는 25-35-500 기준 콘크리트를 생산하고 이에 대한 물성을 확인한 후 초지연제를 투입하고 드럼에서 재 비빔을 통하여 초지연 콘크리트를 제작하게 된다. 이때 초지연 콘크리트에 대한 굳지 않은 콘크리트 물성을 검토하여 당 현장에서 요구하는 품질성능을 만족하는지 확인한 후 실물대 실험체에 타설을 실시하였다.

또한 시간대별 초지연 콘크리트 타설에 있어서는 각각 지연시간에 따라 그 다음 콘크리트를 타설하게 된

다. 시험체 별 타설 시간에 대한 부분을 표 7에 나타내었다.

표 7. 콘크리트 타설시점 및 종류

공법	타설시점 및 콘크리트 종류	타설량 (m3)	타설높이 (m)
일체타설	1단 1일차 보통 콘크리트	54.9	3.8
2단 타설	1단 1일차 초지연콘크리트	30.5	2.11
	2단 2일차 보통 콘크리트	24.4	1.69
4단 타설	1단 1일차 초지연콘크리트	13.7	0.95
	2단 1일차 초지연콘크리트	13.7	0.95
	3단 2일차 초지연콘크리트	13.7	0.95
	4단 2일차 보통 콘크리트	13.7	0.95



그림 14. 실물대 실험 타설

수화열의 경우 4단 타설이 가장 좋은 결과를 나타내었으며, 다음으로 2단 타설, 일체타설 순으로 나타났다. 이러한 수화온도에 대한 부분과 경제성을 감안

한다면 2타설이 가장 우수 할 것이라 판단된다. 보링과 소닉 테스트 결과 대부분의 시험체에서 양호한 결과를 나타냈지만, 소닉 테스트에 있어서 속도 저감 부분으로 인하여 일부 구간에 결함이 있는 것으로 나타났다. 하지만 2단 타설의 경우 속도 저감 부분이 발생하지 않고 있어 가장 우수한 결과를 나타내었다.

이러한 실험 결과에 대한 요약 및 평가를 표 8에 나타내었으며, 수화열 실험결과와 소닉 테스트 결과에 대해서 그림 15, 16에 나타내고 있다.

또한 보링 한 시험체 사진을 그림 17에 나타내었다.

표 8. 타설방법에 따른 실험결과 요약 및 평가

항목	일체타설	2단타설	4단타설
보링테스트 결과	우수	우수	우수
소닉테스트	부분양호	양호	부분양호
발생균열	0.08 mm 1개 0.30 mm 2개 총 3개	0.10 mm 2개	0.30 mm 3개
최대 균열폭 (mm)	0.3	0.1	0.3
발생장소	센서철근 주위	센서철근 주위	센서철근 주위
평가	실험체 제작 당시 안전상의 문제로 적절한 표면마무리를 실시하지 못한 점이 크게 작용한 것으로 사료됨	온도 균열 저감효과가 우수할 것으로 사료됨 피막보양을 유효하게 실시한다면, 동일수준으로 관리 가능할 것으로 사료됨	민원문제에 대해 가장 안정적인 방법이며, 타설 첫날 타설량을 높인다면 2단 타설과 동일한 수준으로 관리 가능할 것으로 사료됨

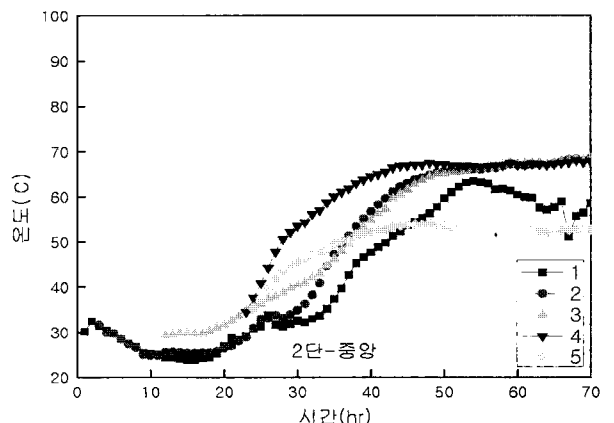


그림 15. 수화열 실험 결과

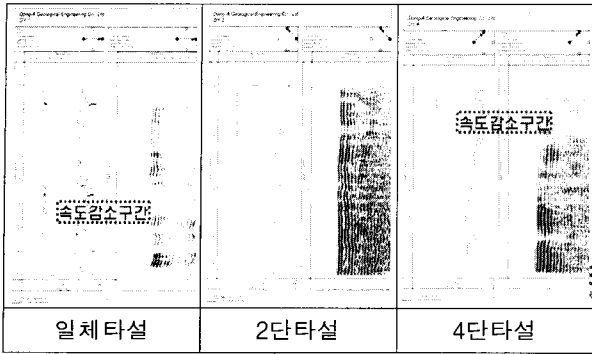


그림 16. 소닉테스트 실험결과

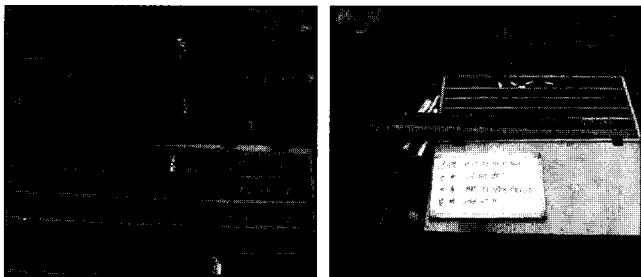


그림 17. 보링 채취 형상

### 3.2.3 초지연콘크리트의 현장 Mat기초 타설

예비 실험과 실물대 실험을 통하여 도출한 결과 현장 매트기초 타설에 있어서는 초지연콘크리트를 사용하여 2단 타설 공법으로 확정하고, 타설을 실시하였다. 당 현장의 매스 콘크리트 기초 높이와 물량은 표 9에 제시하였다.

표 9. 매스콘크리트 기초 높이 및 콘크리트 물량

구분	층수 (층)	지정	기초두께 (m)	콘크리트 물량(m³)
101동	80	Face Mapping	3.8	12 200
102동	75	Face Mapping	3.8	12 200
103동	70	RCD	3.5	13 000

이상과 같이 매스콘크리트 타설 물량은 각동에 차이는 있지만 전체적으로 총37,400m³를 타설한다.

현재 101동 매스 콘크리트를 타설 완료 하였으며, 타설시 초지연콘크리트의 물성을 검토하고 이에 대한 굳지않은 콘크리트 실험을 실시하고 이에 대하여 타설을 실시하였다. 현장에서 매스 타설시 수화열 계측을

실시하여 균열 발생에 대한 문제점을 파악하기도 하였다.

타설 결과 기본 개념과 유사하게 수화온도가 발생되었으며, 기본 개념에서 언급한 바와같이 1, 2단 타설 온도의 최고 온도가 거의 유사한 재령에 나타나고 있어 온도로 인한 균열은 발생하지 않은 것으로 판단되었다.

현장에서도 타설 후 균열 조사 결과 균열이 거의 발생되지 않아 초지연콘크리트를 사용한 매스콘크리트 현장 적용에서는 매우 좋은 결과를 보여 주었다.

이러한 현장 적용에 있어서 초지연콘크리트를 사용한 매스 콘크리트 타설에 있어서 전단보강근 사용으로 인한 원가 상승 부분을 절감할 수 있으며, 또한 주민들의 소음으로 인한 민원을 해결 할 수 있어 당 현장에서는 좋은 결론을 얻을 수 있었다.

이렇듯 도심지의 공사에 있어서 주변 환경에 의하여 끊어치기 하는 경우 초지연콘크리트 공법을 사용하면 좋은 결과를 얻을 수 있을 것으로 판단된다.

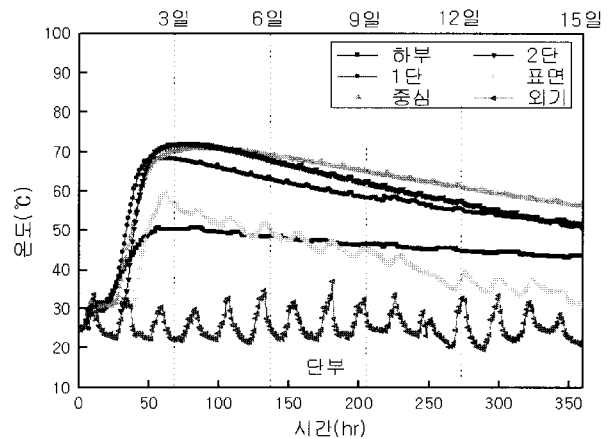


그림 18. 현장 계측 수화열 결과

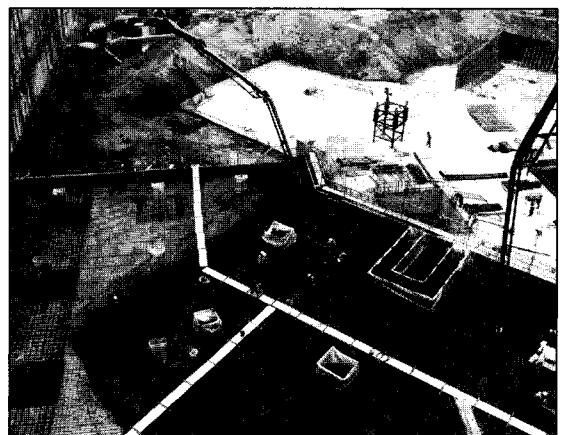


그림 19. 현장 타설 전경



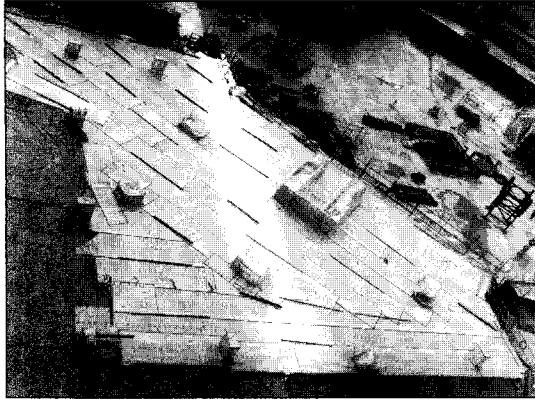


그림 20. 타설 후 보양 전경

적 안정성을 확보하기 위해 최선의 노력을 다함으로써 아시아 주거 최고층, 최고높이 건축물의 위상을 높일 것이다.

향후 고층부 공사에서는 강한 바람과 점점 낮아지는 온도 및 기압 등 기존공사에서 볼 수 없었던 어려운 공사환경이 예상되지만, 현재 다방면으로 검토된 앞선 기술력을 접목시킴으로써 안전하고 품격 높은 해운대 두산위브 더 제니스를 실현하도록 노력할 것이다.



그림 21. 타설 완료 전경

당 현장에서 초지연콘크리트를 사용한 매스 콘크리트 타설공법 적용시 현장 계측한 수화열 결과를 그림 18에 나타내었으며, 현장 타설 전경과 타설 이후 보양 전경을 그림 19, 20에 보여주고 있으며, 타설 완료 전경을 그림 21에 보여 주고 있다.

#### 4. 맺음말

아시아 주거 최고 높이의 부산 해운대 워브더제니스 현장은 2008년 11월 현재 약 9%공정을 진행 중에 있다.

현재 토공사, 기초공사 및 지하골조 공사가 한창 진행 중이며, 고품질의 주거공간 확보와 안전한 시공, 쾌적한 주변 환경의 유지를 위하여 최고의 기술력을 개발, 검토하여 적용하고 있으며, 무엇보다도 내진, 내화 등 인명보호를 최우선 목표로 하여, 건축물의 구조