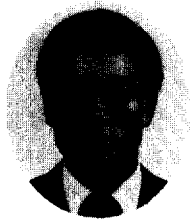


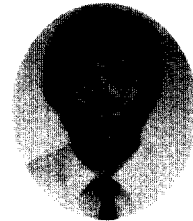
## 매스 및 고강도 콘크리트의 시공

### An Example of Mass and High Strength Concrete Construction in High-Rise Building

—Indonesia Amartapura Residential Palace Project—



안 응 영\*



홍 춘 식\*\*

#### 1. 공사 현황

Amartapura Residential Palace Project는 인도네시아 자카르타시 북부에서 서쪽으로 약 18km 떨어진 Lippo Village내에 2개 동의 건물을 짓는 공사이며 각동은 51층 및 41층으로 되어 있는 초고층 건물이다. 4,000 평의 부지 위에 연면적 33,000평에 이르는 본 건물은 각 층이 8개의 unit와 core로 구성되어 총 716 세대의 초고층 아파트를 건립, 분양하는 공사로 총 150만평 규모의 신도시 개발사업의 주거부문을 이루게 된다.

본 프로젝트는 인도네시아의 개발 업체인 Lippo사와 현대건설이 공동으로 투자하고 현대건설과 현지 건설 업체인 Duta Graha Indah 사가 joint operation 형태로 시공을 담당한다. 구조 설계는 현지 업체인 Davy Sukamta & Partners 가 미국의 Skilling Ward Magnusson Barkshire 사의 자문하에 수행하였다.

공사기간은 24개월로 97년 2월에 본 건물이 완

공되면 인도네시아에서 최고로 높은 건물이 되게 된다. 본 건물의 완성후 조감도를 사진 1에 나타내었다.

본 고에서는 공사를 수행함에 있어 기초의 매스 콘크리트와 저층부 core wall과 기둥의 고강도 콘크리트 관련 시공 경험을 기술하고자 한다.



사진 1  
완공후 조감도

\* 현대건설 인도네시아 AMATA 현장 소장

\*\* 현대건설 인도네시아 AMATA 현장 공무차장

## 2. 구조시스템

### 2.1 하부 구조

하부구조는 현장타설 말뚝과 이를 연결하는 철근 콘크리트 매트로 이루어져 있다. 현장 타설 말뚝은 직경 1,000 및 1,200mm 두 종류로 각 동별 총 109개이며, A동은 1,200mm의 경우 750t, 1,000mm의 경우 600t, B동은 1,200mm의 경우 700t, 1,000mm의 경우 500t의 연직하중을 담당하도록 되어 있다. 철근 콘크리트 매트의 두께는 A동의 경우 중심부가 3.5m, 외곽부가 2.5m, B동의 경우는 각각 3.0m, 2.0m 이다. 하부 구조 전체를 pile-raft 시스템으로 보고 구조 해석을 수행한 결과 전체 하중의 82%를 파일이 지지하고 18%를 raft가 지지하는 것으로 나타나 있다.

### 2.2 상부 구조

상부구조는 gravity 시스템과 lateral 시스템으로 나눌 수 있다. 전자는 개구부 주위에 몇몇의 보를 제외하고는 주로 철근 콘크리트 flat plate 로 구성되며, 후자는 core-wall과 outrigger wall로 구성되어 있으며 outrigger wall은 A동의 경우 24층과 26층 사이, B동의 경우 16층과 18층에 걸쳐 배치되어 있다.

## 3. 매스 콘크리트의 시공

### 3.1 일반

2.1절에서 기술한 바와 같이 하부구조를 이루는 raft를 그림 1(a)와 1(b)에 나타내었다. A동의 경우 총 콘크리트 물량이 3,600m<sup>3</sup>, B동의 경우 3,000m<sup>3</sup>에 달하며 시공의 편의를 도모하고 부동침하를 방지하려는 raft의 주 기능을 살리기 위하여 그림 1(b)의 하부(300m<sup>3</sup>)를 선 타설하고 상부를 2차로 타설하는 시공계획을 수립하였다. 이는 동시에 타설할 경우 단면이 변하는 부위에서 소성침하에 대한 대책 수립이 어렵고, 콘크리트 타설중에 갑자기 타설 물량이 중앙부에서 집중되어 cold

joint를 막기 위한 시공 조절상에 문제점이 대두됨에 따른 것이었다.

이러한 분할 타설에도 불구하고 수화열에 의한 온도조절이 필수적이었다. 이를 위하여 재료의 적절한 선택, 사전냉각 및 사후냉각 등 여러가지 방법이 있을 수 있으나 본 공사에서는 특별한 냉각 조치 없이 타설하였다. 사후냉각의 경우 냉각 파이프의 배관, 냉각수 온도의 조절 및 그라우팅의 문제가 따르게 되는데 이에 대한 효율 및 경제성이 판단되지 않은 상태였다. 사전 냉각의 경우 chiller plant를 이용하여 배합수의 온도를 내리는 것이 일반적이었지만 본 공사의 경우 4개의 배치 플랜트에서 콘크리트를 공급받을 수 밖에 없는 상황이었고, 인도네시아의 기후가 적도 지방 특유의 무더운 날씨임에도 불구하고 인도네시아에서는 일반적으로 별도의 냉각장치를 가동하지 않는 상황때문에 이 또한 적용이 불가능하였다. 따라서 골재에 물을 뿌려주고 shading 시설을 하는 방법을 적용하려 했으나 실 시공시 제대로 지켜지지 않았다.

또다른 어려움은 raft 콘크리트의 강도가 고강도라는 사실이었다. 설계강도가 400kg/cm<sup>2</sup>으로 초기 배합 설계시 단위 시멘트량이 500kg/m<sup>3</sup>에 달하였다. 단위 시멘트량이 많은 이유는 인도네시아

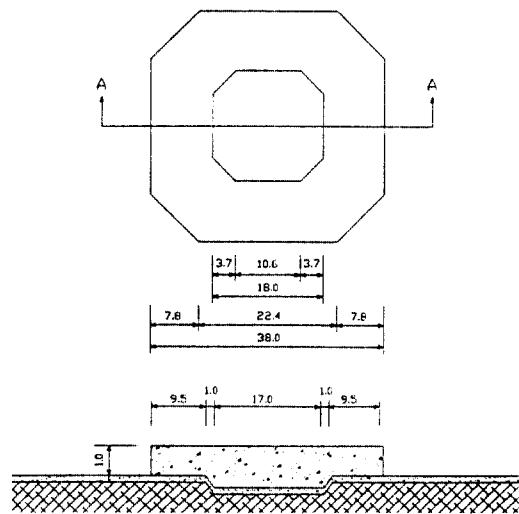


그림 1(a) 기초의 평면도 (b) 기초의 단면도

시멘트 품질에 균질성을 가하기 어렵고 품질관리 수준이 떨어져서 배합강도를 설계강도보다 높게 산정할 수밖에 없었기 때문이었다.

### 3.2 배합

인도네시아에서는 플라이 애쉬 사용이 보편화되어 있어 플라이 애쉬를 단위 시멘트량이 30% 혼합하여 수화열 발생을 줄일 수 있도록 배합비를 수정하였다. 한편 인도네시아의 기후를 고려하여 자연제를 첨가하였다. 또 raft의 하단부에는 철근이 과도하게 배근되어 있어 타설에 상당한 어려움이 예상되었다. 따라서 raft 콘크리트의 목표 슬럼프는 12cm 였지만 철근이 집중되어 있는 경우 타설 시에는 현장에서 유동화제를 첨가하여 슬럼프를 14~15cm로 증가시켜 타설하였다. 최대골재치수는 20mm였으며 표 1에 배합표를 나타내었다.

표 1 Raft 콘크리트의 배합표

설계강도	시멘트	F.A.	물	조골재	세골재	혼화제	W/C
kg/cm <sup>2</sup>	kg/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>	%	
400	370	160	180	1010	610	0.70	0.34

### 3.3 생산, 운반 및 타설

최소한 시간당 100m<sup>3</sup>의 콘크리트를 타설하기 위하여 4개의 B/P를 동원하였다. 이는 모두 현장에서 1시간내에 도착할 수 있는 거리에 위치하였지만 1개의 B/P는 교통 체증시 1시간 이내에 도



사진 2 기초콘크리트의 타설현황

착하는 것이 불가능하여 야간 타설시만 동원하였다. 따라서 최대 130m<sup>3</sup>, 평균 85m<sup>3</sup>의 콘크리트를 생산할 수 있었다. 콘크리트 타설은 4대의 펌프카를 이용하였다. 사진 2는 타설 광경을 보여주고 있다.

펌프카의 pipe 조작을 용이하게 하기 위하여 한 쪽에서 반대방향으로 소요 두께를 한꺼번에 타설하는 방식을 택하면서 타설하였다.

콘크리트 타설은 95년 7월 22일부터 24일까지 연속 타설하였고, B동의 경우 8월 24일부터 25일까지 걸쳐 타설을 완료하였다.

### 3.4 양생

매스 콘크리트의 양생은 내외부의 온도차를 줄이기 위한 양생이 콘크리트의 품질을 결정하는 중요한 요소중의 하나이다. 상면 양생은 마대와 비닐을 한층으로 하여 세개의 층으로 단열양생을 도모하였으며 이를 사진 3에 나타내었다. 측면 양생은 A동의 경우 18mm 합판을 사용하였고, B동의 경우는 3mm 합판을 비닐과 함께 덧대어 사용하였다.



사진 3 마대와 비닐을 이용한 총양생

### 3.5 온도 측정

매스 콘크리트 시공전 본사 기술연구소의 지원을 받아 해당 구조물의 온도 해석을 통하여 최대 온도 상승과 내외부의 최대 온도차이를 예측하였지만 사용된 콘크리트의 온도 발열 특성과 양생조

건에 따른 온도 경계조건에 차이가 있으므로 thermocouple을 매입하여 온도 상승을 관찰하였다. 온도를 관찰함으로써 초기에 설정한 상면 양생을 보강하는 데 목적이 있었으며 실제로 온도 결과로부터 양생을 보강하였다.

매입된 온도계의 위치를 그림 2에 나타내었으며 대기온도를 포함하여 각동마다 총 12개소의 온도를 자동 측정 장치를 이용하여 매 15분마다 자동적으로 측정하였다.

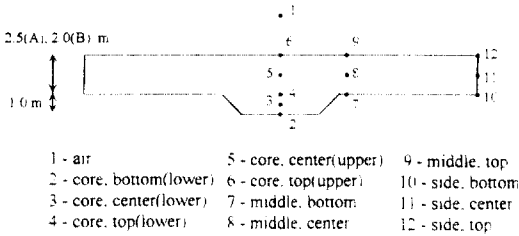


그림 2 온도계의 매입위치

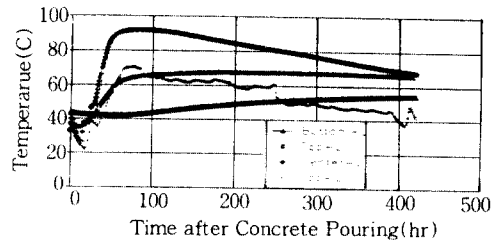
### 3.6 온도 측정 결과

그림 3에 B동에 대하여 각 위치마다 온도 측정 결과를 도시하였고 표 3에 그 결과를 정리하였다. 0.5m의 두께 차이에도 불구하고 최대 상승온도가 비슷한 것은 내부가 거의 단열 상태임을 보여주고 있다고 판단된다.

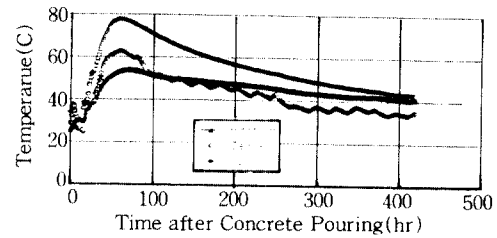
표 2 온도 측정 결과

	A 동		B 동	
	최대온도	최대온도차	최대온도	최대온도차
Core 부	91.9	25.4	92.0	33.4
중간부	92.4	17.8	88.9	32.0
측면부	70.8	10.5	77.8	20.0

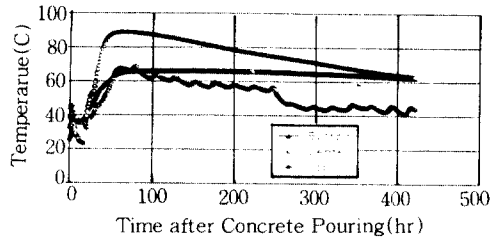
A동의 경우 중심부에서 초기에 이미 온도차가 크게 발생하였다. 이는 중심부에 core wall로 인한 철근 finisher가 접근할 수 없는 상태에서 표면 양생이 늦게 시작한 결과였다. 이 부분에 양생을 보강하여 이후 온도차이를 더 이상 확대되는 것을 방지하였다. B동의 경우는 타설 후 초기부터 온도 차이가 크게 발생하였는데 이는 작업자의 실수로 마대+비닐 양생을 2개층만 하였기 때문이었고 즉시 수정이 가능하였다.



(a) Core Area



(b) Formwork Area



(c) Middle Area

그림 3 B동 기초의 온도이력

특기할만한 사실은 표면부의 온도가 단열 양생을 기하였음에도 일교차의 영향을 크게 받는다는 사실이다. 따라서 새벽에 가장 온도차이가 크게 벌어지며 최대온도 상승이후 일평균 1도정도 온도가 강하하는 현상을 확인하였다. B동 양생기간중에는 비가 와서 표면 온도가 하강하였고 이로 인하여 온도 차이가 확대된 사실이 발생하였다. 비가 온 경우 양생용 마대가 젖어서 양생포를 보강함으로써 보온을 강화하는 일이 사실상 불가능하였다.

### 3.7 균열 발생 및 보수

본 raft 콘크리트는 워낙 부피가 큰 콘크리트 구체가 되어 사실상 외부구속에 의한 균열을 고려하지 않았다. 그러나 콘크리트 타설후 7일이 경과된

시점에서 거푸집을 탈형하였을 때 외부 구속에 의한 균열이 주위에 걸쳐 발생하였다. 균열폭은 최대 0.8mm에서 평균 0.4mm 정도의 균열이었다.

B동의 경우 외부구속 균열을 억제하기 위하여 18mm 합판에 3mm 합판을 비닐과 덧대어 보온 효과를 높이고 거푸집 존치기간을 14일로 증가시켜 균열 발생을 현저하게 줄일 수 있었다.

Raft 상면에 몇개의 균열이 발생하였다. 주로 기동 철근이 배근된 부위에서 발생된 것이 대부분이었다. 실제로 이 부분에는 철근 때문에 보온 양생이 현실적으로 어려울 뿐만 아니라 후속 공정 (marking chipping 및 철근 조립등) 때문에 이 부분의 양생층을 일부 제거한 것에 기인한 것이었고 현실적으로 완벽하게 균열을 방지할 수는 없다고 판단되었다.

균열은 수화열이 강하할 때 구체의 수축을 하단부에서 구속함으로써 발생한 것이었지만 콘크리트 건조수축작용에 의하여 확대될 것이라 판단하여 1개월 정도 방치한 후에 에폭시 주입 방법으로 보수하였다.

## 4. 고강도 콘크리트의 시공

### 4.1 일반

본 공사에 사용되는 콘크리트는 현장 타설 말뚛에 250 및 275kg/cm<sup>2</sup>의 콘크리트로 부터 본 건물에 300에서 600kg/cm<sup>2</sup>에 이르기 까지 다양한 강도의 콘크리트가 사용되고 있다. 특히 본 건물 core wall 및 기둥은 설계압축강도 500 및 600 kg/cm<sup>2</sup>의 고강도 콘크리트이다. 이 콘크리트에는 실리카 흙을 사용하기로 결정하였다.

특기할 만한 사실은 인도네시아의 주된 B/P의 형식이 Dry Type 이라는 점이였다. 일반적으로 국내에서는 Wet Type이 사용되는데 근본적인 차이점은 혼합이 B/P의 강제식 믹서에서 이루어지는 것이 아니라 Mixer Truck에서 이루어 진다는 점이다. Dry Type의 장점으로는 B/P의 시설이 간단하지만 배합의 균질성을 확보할 수 없다는 데 있다. 보통의 강도 콘크리트에는 문제가 없지만 W/C비가 작은 고강도 콘크리트에는 배합을 의

심할 수 밖에 없었다. 계량된 재료를 분할 투입하는 방식으로 배합의 균질성을 최대한 확보하고 수차의 시험 배합을 통하여 Dry Type으로 고강도 콘크리트가 가능하다는 사실을 확인하였다.

최대골재치수를 20mm로 하고 목표 슬럼프를 12cm로 하여 배합비를 결정하였으며 배합표를 표 3에 나타내었다.

표 3 고강도 콘크리트의 배합표

설계강도 kg/cm <sup>2</sup>	시멘트 kg/m <sup>3</sup>	S.F. kg/m <sup>3</sup>	물 kg/m <sup>3</sup>	조골재 kg/m <sup>3</sup>	세골재 kg/m <sup>3</sup>	Ret. %	Sp. Li	W/C
600	520	60	160	1030	650	0.7	1-3	0.28
500	500	40	170	1030	675	0.7	1-3	0.31

표로부터 알 수 있듯이 설계강도 600kg/cm<sup>2</sup>의 경우 W/C=0.28, SF 혼입률 10% 단위 유사 시멘트량 580kg/m<sup>3</sup>으로 유지하였고, 설계강도 500kg/cm<sup>2</sup>의 경우 W/C=0.31, SF 혼입률 7%, 단위시멘트량 540kg/m<sup>3</sup>으로 유지하였다. SF 혼입량을 각각 60 및 40kg으로 한 것은 SF를 수동식으로 혼합하였기 때문에 포장 단위로 배합 설계하여 시공상 편의를 도모하였다.

### 4.2 강도 결과

현재까지 본 공사에 타설된 콘크리트의 강도 시험 결과를 표 4에 정리하였다. 이로부터 알 수 있듯이 성공적으로 고강도 콘크리트를 시공할 수 있었다. 특기할 만한 사실은 고강도 콘크리트일 수록 강도의 편차가 심하다는 사실이다. 실제 고강도 콘크리트 일수록 엄격한 품질관리가 요구되어 강도의 편차를 줄이는 것이 일반적이지만 실제 현상은 반대로 나타난 것이다. 이는 각 재료의 혼합이 Mixer Truck에서 이루어졌기 때문에 W/C비가 작을 수록 오히려 배합의 균질성을 확보하기가 어렵지 않았나 판단된다.

표 4 고강도 콘크리트의 강도 시험 결과

설계강도	평균강도	표준편차	변동계수
425kg/cm <sup>2</sup>	474kg/cm <sup>2</sup>	22.8kg/cm <sup>2</sup>	4.8%
500kg/cm <sup>2</sup>	644kg/cm <sup>2</sup>	57.3kg/cm <sup>2</sup>	8.9%
600kg/cm <sup>2</sup>	729kg/cm <sup>2</sup>	61.8kg/cm <sup>2</sup>	8.5%

한편 고강도 콘크리트의 경우 강도 시험시 시험의 capping 문제가 또 다른 어려움으로 남는다.

실제 국내 실험실에서 실험의 정밀성을 확보하기 위하여 고강도 콘크리트의 경우 연마하여 시험 오차를 줄이기도 하지만 현장에서 이를 적용하는 데는 많은 어려움이 따른다. 당 현장의 경우 호주에서 수입한 고무 패드를 이용하여 별도의 처리없이 시편의 상단에 배치하여 압축강도 시험을 수행하였다.

### 4.3 Honeycomb 발생

기동 콘크리트를 타설할 경우 전형적인 하자 유형중의 하나가 Honeycomb의 발생이다. 시공의 최선을 다하지만 경우에 따라 야간에 콘크리트를 타설할 경우도 있고, 기동 하단부에서는 때로 시멘트 페이스트가 누출되어 Honeycomb이 발생하기도 한다. 이 경우 보수가 불가피한데 기존의 보수 재료로는 동일한 강도를 확보할 수가 없었다. 따라서 본 공사에서는 기동 콘크리트에 사용된 동일한 배합비에서 조골재만을 제외한 배합비에 유동화제를 이용하여 작업성을 확보한 재료를 이용하여 보수를 실시하였다. 그러나 이 경우 물량이 소량이기 때문에 현장에서 소형 믹서를 이용하여야 하는 번거로움이 수반되었다.

## 5. 결 론

본 공사의 매스 및 고강도 콘크리트 시공을 통하여 다음과 같은 교훈을 얻을 수 있었으며 향후 유사 구조물 시공시 많은 참고가 될 수 있으리라 판단된다.

### 1) 매스 콘크리트의 시공

- 양생방법은 온도 관찰로부터 추후에 보완 가능한 것이 적절하다.
- 양생기간중 비에 대한 대책 수립이 요구된다.
- 외부 구속 균열에 대한 대비책이 충분히 수립된 후에 시공한다.
- 양생은 콘크리트 타설 직후 시작하도록 한다.
- 내외부 온도차 20도의 추천사항은 상당히 안전측의 값으로 판단된다.

### 2) 고강도 콘크리트의 시공

- SF를 적절히 혼합함으로써 Dry Type의 B/P에서도 고강도 콘크리트를 성공적으로 생산할 수 있었다.
- 하자 발생시 보수의 난이성을 감안 시공 초기부터 각별한 주의가 요구된다.
- 고강도 일수록 강도편차가 커지므로 이에대한 적절한 대비책이 요구된다. 