

# 도곡동 타워팰리스 매트 기초에 적용된 매스 콘크리트 시공 사례

## - A Case of Mass Concrete for Mat Foundation in Tower Palace -



홍건호\*



김원식\*\*



박용목\*\*\*



백두현\*\*\*\*

### 1. 머리말

서울특별시 도곡동에 위치한 타워팰리스는 4개 동의 고층부 타워로 이루어진 주상 복합 빌딩으로서 신개념 초고층 주거 공간 창조와 경제적이고 가변적인 구조로 설계되었다. 타워팰리스의 기초 구조 시스템은 지내력 200t 이상의 경질 암반 위에 고층부 타워 하부의 매트 기초(두께 2.7m)와 저층부의 독립 기초로 설계되었다. 상부 구조의 구조 형식은 설계 기준 강도 500 kgf/cm<sup>2</sup>의 고강도 콘크리트로 구성된 내부 코어 벽체와 철골 철근 콘크리트 구조의 외부 뼈대 구조로 이루어져 있으며, 타워의 중간층과 최상층에 Outrigger와 Belt Truss를 설치하여 내부 코어와 외부의 뼈대 구조를 서로 묶어줌으로써 건물의 안정성을 향상시켰다. 단지 내 타워 중 최고층인 B동(지상 66층) 하부의 매트 기초는 그 크기가 50.6m × 43.1m × 2.7m

의 대규모 부재로서 시공시 콘크리트의 열 특성 및 구조적 중요성으로 인하여 이 부분의 시공에 각별한 주의가 요구되었다. 이에 따라 본 현장에서는 대규모 부재의 시공에 따른 수화열의 해석 및 시험 시공 등을 통하여 부재의 열적 거동을 분석하고 이에 대한 대응 방안을 수립하여 매트 기초부의 매스 콘크리트 시공을 성공적으로 완수하였다.

본고에서는 향후 본 현장과 유사한 대형 프로젝트의 자료로 활용될 수 있도록, 본 현장의 매스 콘크리트 시공에 따른 문제점과 대책 및 계측 결과를 중심으로 사례를 소개하고자 한다.

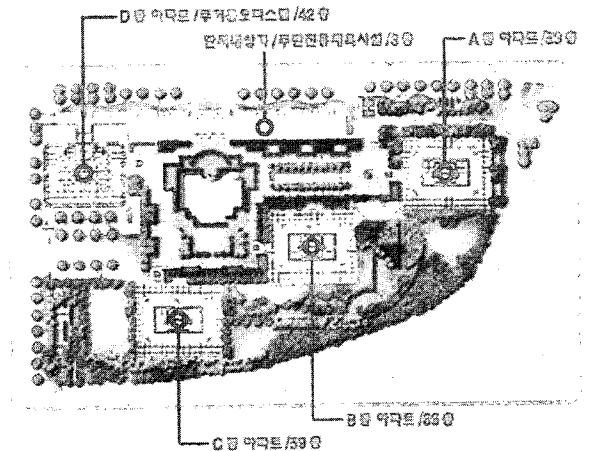


그림 1. 타워팰리스 전체 평면도

### 2. 공사 개요

- 공사명 : 도곡동 TOWER PALACE 신축공사
- 공사기간 : 1999. 7. 1 ~ 2002. 9. 30
- 위치 : 서울시 강남구 도곡동 467
- 대지면적 : 33,696.1m<sup>2</sup>(10,193.07평)
- 연면적 : 457,995.4m<sup>2</sup>(138,543.6평)
- 지역지구 : 일반 상업, 주차장 정비 지구

\* 정희원, 호서대학교 건축학과 교수  
 \*\* 삼성물산(주) 건설부문 이사, 현장총괄소장  
 \*\*\* 삼성물산(주) 건설부문 과장, 건축과장  
 \*\*\*\* 정희원, 한미파슨스(주) 수석부장

- 층수 : 4개 동, 지하 5층 ~ 지상 66층  
 (A, C동 : 59층, B동 : 66층, D동 : 42층)
- 용도 : 공동 주택, 업무 시설, 판매 시설
- 최고 높이 : 233.9m
- 주요 구조부 시스템
  - ① 타워부 : RC Core + Outrigger + Belt Truss + SRC
  - ② 지하층부 : PC + 일부 RC
  - ③ 기초부 : 매트 기초 + 독립 기초
- 콘크리트 강도
  - 매트 기초 :  $400 \text{ kgf/cm}^2$
  - 지하 슬래브 :  $270 \text{ kgf/cm}^2$
  - 지상 슬래브 :  $240 \text{ kgf/cm}^2$
  - 지하 외 벽 :  $270 \text{ kgf/cm}^2$
  - Core Wall 및 기둥

압축강도 ( $\text{kgf/cm}^2$ )	A동	B동	C동	D동
500	지하5층 ~20층	지하5층 ~20층	지하5층 ~20층	지하5층 ~14층
400	21층~ 40층	21층~ 40층	21층~ 40층	15층~ 28층
300	41층 이상	41층 이상	41층 이상	29층 이상

### 3. 매스 콘크리트에 대한 고찰

#### 3.1 매스 콘크리트 개요

시멘트는 물과의 화학 반응으로 수화열이 발생하게 되며( $120 \text{ cal/g}$ ), 이와 같은 수화열은 콘크리트의 열 전도율이 낮아 내부의 열소산이 서서히 진행됨에 따라 콘크리트 내외부의 온도차이가 발생하게 된다. 이와 같은 내외부의 온도차는 부재 내에 열 응력을 발생시킴으로써 균열을 유발하는 주요한 원인이 될 수 있다.

매스 콘크리트란 수화열에 의하여 상당한 온도 상승이 일어날 정도의 큰 단면이나 온도 상승에 의한 균열이 고려되어야 하는 콘크리트라고 정의할 수 있으며, 그 상세한 정의 및 범위는 국가 및 규준에 따라 차이를 보이고 있다.

국내의 콘크리트표준시방서 및 건축공사표준시방서에 의하면 매스 콘크리트의 정의를 두께 약  $80 \sim 100 \text{ cm}$  이상의 콘

크리트로 정의하고 있으나, 일본건축학회의 규정에 의하면 부재 치수  $80 \text{ cm}$  이상으로서 내외부 온도차가  $25^\circ\text{C}$  이상으로 예상되는 콘크리트로 정의하고 있다. 또한, ACI 301위원회의 규정에 의하면 최소 단면의 두께가  $75 \text{ cm}$  이상의 콘크리트를 매스 콘크리트로 정의하고 있다.

모든 콘크리트 부재는 경화 과정에서 수화반응에 의한 수화열이 발생하게 되지만, 매스 콘크리트의 경우와 같이 크기가 큰 경우에는 열의 소산이 늦어져 내부의 온도가 크게 상승하게 된다. 이러한 내부의 온도 상승은 콘크리트의 체적 팽창을 유발하게 되나, 이러한 체적 팽창이 구속을 받게 되면 온도 응력이 발생하게 된다. 이때 발생된 온도 응력이 콘크리트의 인장강도보다 크면 균열이 발생하게 되며, 이러한 균열을 온도 균열이라 한다.

온도 균열은 그 균열 발생의 특성에 따라 내부 구속 균열과 외부 구속 균열로 구분할 수 있는데, 콘크리트의 온도 강하시 수축이 내부의 콘크리트에 의하여 구속되어 발생하는 것을 내부 구속 균열이라 하며(그림 4) 이를 방지하기 위해서는 타설 초기에 콘크리트 표면의 급냉을 피해야 한다. 외부 구속 균열이란 콘크리트의 수화열에 의한 온도 상승이 최고에 달한 후에 온도 강하에 의한 수축이 의

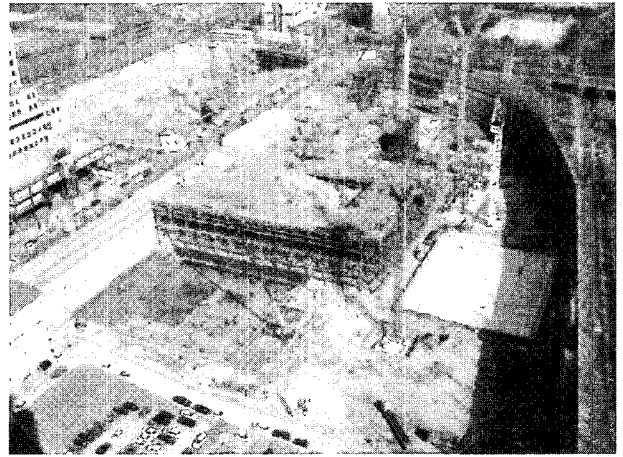


그림 2. 타워몰리스 지하층 공사 전경



그림 3. 타워몰리스 지상층 공사 전경

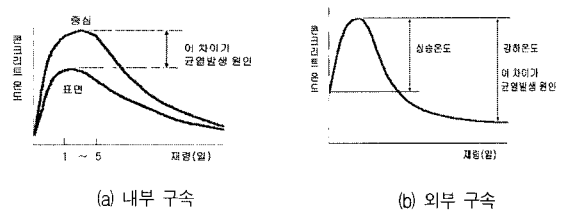
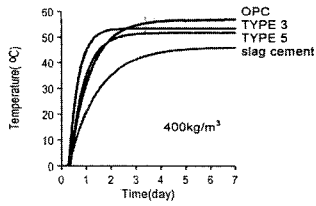


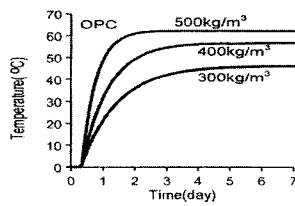
그림 4. 온도 균열의 발생 원인

적으로 구속되어 발생하는 것을 의미하며, 내부 구속 균열과는 달리 구조물을 관통하는 경우가 많다. 이를 방지하기 위해서는 콘크리트의 수화열을 가능한 억제하고 최대 온도에 달한 후의 온도 강하 속도를 빠르게 않도록 조절하여야 한다.

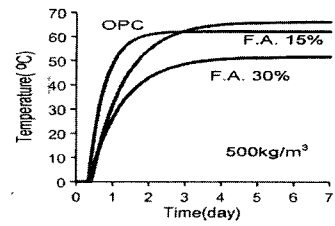
매스 콘크리트에 발생하는 균열은 이와 같은 온도 균열 이외에도 타설 초기의 소



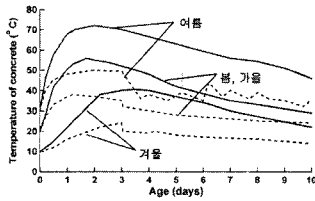
(a) 시멘트의 종류



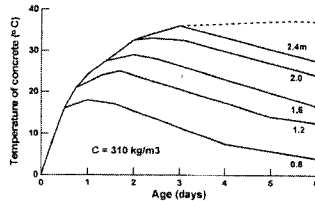
(b) 단위시멘트량



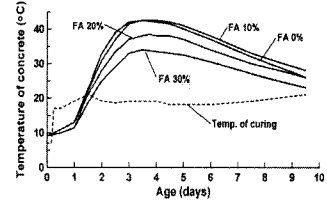
(c) 플라이애쉬 치환량



(d) 타설 온도



(e) 타설 두께



(f) 플라이애쉬 치환량(구조물)

그림 5. 수화열 상승 영향 요인

성 수축 균열 및 침강 균열에 대한 고려도 필요하게 된다.

### 3.2 매스 콘크리트의 수화열 저감 방안

매스 콘크리트에서 수화열 상승에 영향을 미치는 주요 인자들을 살펴보면 다음과 같으며, 그 영향 정도는 <그림 5>와 같다.

- ① 재료 인자 : 시멘트 종류, 단위 시멘트량, 혼화재, 혼화제
- ② 환경 인자 : 외기 온도(타설 온도)
- ③ 기타 사항 : 구조물의 형상·치수, 거푸집의 종류 및 제거 시기

이와 같은 수화열에 의한 매스 콘크리트의 온도 균열을 제어하기 위해서는 <그림 6>과 같이 여러 가지 제어 방법을 사용할 수 있다. 수화열 제어 대책을 각 공정 단계별로 살펴보면 다음과 같다.

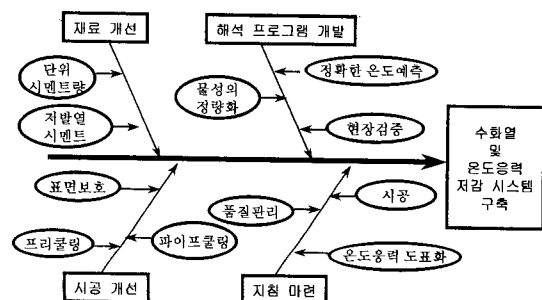


그림 6. 수화열 제어 대책

#### ① 설계 단계

- 온도 철근의 배근으로 균열 분산
- 균열 유발 준위의 설치
- 적절한 타설 구획을 설정

#### ② 배합 설계 단계

- 단위 시멘트량 저감
- 시멘트의 개선(저발열 시멘트)

#### ③ 제조 단계(선냉각법)

- 재료 준비시 : 냉각수, 냉풍, 액화질소 사용
- 콘크리트 배합시 : 액화질소, 드라이아이스 사용
- 콘크리트 운반시 : 액화질소 사용

#### ④ 시공 단계

- 파이프 쿨링 간격 : 50 ~ 70 cm
- 콘크리트 내외부 온도차 저감

단열 거푸집 사용  
거푸집 제거 시기 증대  
표면부 양생포 보호  
신구 콘크리트 온도차 감소

#### ⑤ 보강 공법

- 균열 폭 조절 : 온도 철근 배근
- 프리스트레스
- 인장 저항력 증대
- 강섬유, 폴리머계 콘크리트 보강

## 4. 타워팰리스 현장 매스 콘크리트 타설

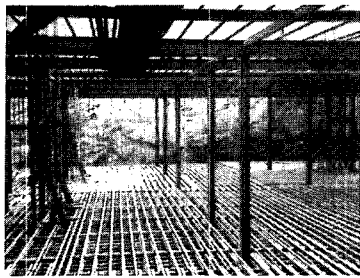
### 4.1 현장의 특수성

매트 기초 부위에 타설되는 매스 콘크리트와 관련하여 본 현장의 여건을 고려한 상황적 조건은 다음과 같다.

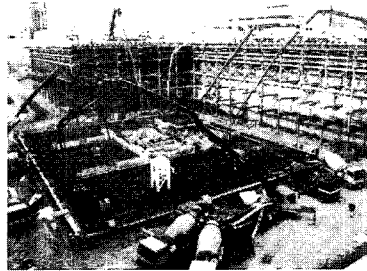
- ① 동절기 시공에 따른 콘크리트의 양생 기간이 길어짐.
- ② 고층부 타워의 축 하중 증대에 따른 뿔뿔 전단을 고려하여 부재의 두께가 두꺼워졌으며, 이에 따라 수화열의 방출이 늦어짐.
- ③ 고강도 콘크리트( $f_{ck} = 400 \text{ kg/cm}^2$ )의 사용에 따른 수화열 발생량이 증가함.
- ④ 기초 주변 암반의 강성이 크에 따라 온도 응력이 크게 발생함.
- ⑤ 저발열 시멘트의 사용이 불가능함.
- ⑥ 공기를 고려할 때 분할 타설이 곤란함.

### 4.2 현장 매스 콘크리트 타설

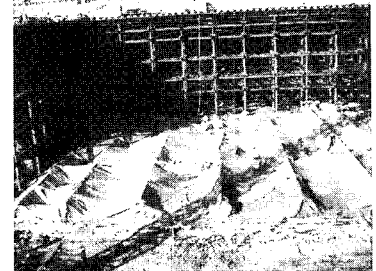
위와 같은 현장의 특수성으로 인하여 본 현장에서는 매스 콘크리트의 수화열 제어를 위한 방안으로 재료적인 측면에서 수차례의 콘크리트 배합 설계를 통한 저발열



(a) 매트 기초 배근 현황

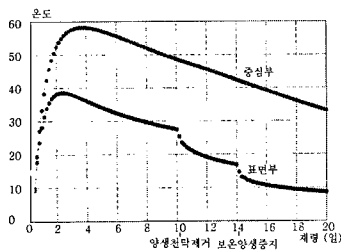


(b) 매트 기초 콘크리트 타설

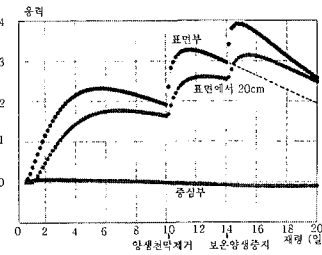


(c) 매트 기초 콘크리트 양생

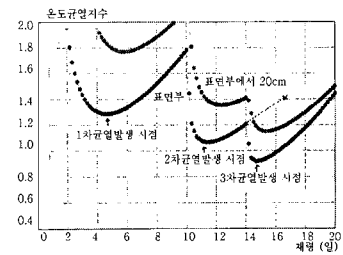
그림 7. 타워팰리스 매트 기초 콘크리트 타설



(a) 온도 해석 결과



(b) 온도 응력 해석 결과



(c) 온도 균열 지수

그림 8. 엘리베이터 피트 해석 결과

표 1. 콘크리트 배합 설계

강도 (kgf/cm <sup>2</sup> )	W/B (%)	Water (kg/m <sup>3</sup> )	Cement (kg/m <sup>3</sup> )	FA (kg/m <sup>3</sup> )
400	35.5	167	352	118

콘크리트 배합 설계안을 도출하였다(〈표 1〉 참조). 온도 균열을 제어하기 위한 시공 단계의 방안으로는 보온 양생을 강화하여 매스 콘크리트의 초기 균열을 억제할 수 있도록 하였으며, 양생 기간을 증대시켜 열 방출 속도를 줄이고 외방수 공법의 적용으로 구조물의 내구성을 증대시키도록 하였다.

또한, 대형 단일 부재인 매트 기초의 매스 콘크리트(50.5 × 43.1 × 2.7 m)를 타설하기 전에 현장 엘리베이터 피트(8 × 8 × 2.7 m) 부분에 대한 해석 및 실물 크기의 모형 실험(Mock-up test)을 실시하여 실제 매트 기초

타설 공법의 타당성을 검증 및 보완하도록 하였다.

엘리베이터 피트 부분에 대한 수화열 해석은 매트 기초의 최적 양생 조건을 파악하기 위하여 양생 천막 제거 시기 및 보온 양생 중지 시기 등 2가지 종류의 변수에 대한 해석을 실시하였다. 엘리베이터 피트 부분에 대한 해석 결과는 〈표 2〉, 〈그림 8〉과 같으며, 해석 결과에 기초하여 시험 타설된 엘리베이터 피트의 양생 방법은 〈표 3〉과 같다.

표 2. 엘리베이터 피트 수화열 해석 결과

양생 천막 제거 시기(일)	보온 양생 제거 시기(일)	위험 재령(일)	온도 균열 지수	균열 발생 확률(%)
6	10	10.5	0.73	82
	12	7.5	0.84	66
	14	7.5	0.84	66
8	10	10.5	0.71	84
	12	12.5	0.82	68
	14	9	0.94	47
10	12	12.5	0.80	71
	14	14.5	0.92	52

매트 기초의 매스 콘크리트 타설은 엘리베이터 피트 부분에 대한 해석 및 실험 결과를 바탕으로 양생 방법을 결정하였으며, 이에 따라 실제 매트 기초 부위의 타설시에 사용된 작업 공정 및 양생 방법은 〈표 4〉 및 〈표 5〉와 같다.

매트 기초 양생시의 온도 관리 기준으로는 양생 천막의 제거 이전에 기초 중심부와 표면부의 온도차가 20℃ 이내가 될 수 있도록 하였으며, 이에 따라 매트 기초의 양생은 〈표 5〉에 나타나듯이 총 20일 간에 걸쳐 보온 양생을 실시하였다.

표 3. 엘리베이터 피트 양생 방법

타설 직후	기본 보양 실시
중심부 온도가 30 ~ 40℃ 일 때	보온 양생 강화 여부 결정
재령 10일	양생 천막 제거(오전 10시 이후)
	눈이나 비가 올 경우 바로 비닐을 씌움.
재령 14일	보온 양생 제거(오전 10시 이후)
재령 15일 이후	균열 발생 여부 및 균열 폭 측정 균열 보수

표 4. 매트 기초 작업 SEQUENCE

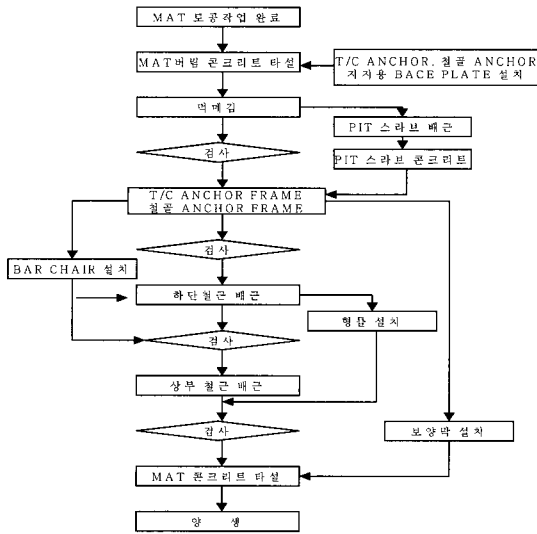


표 5. 매트 기초 양생 방법

타설 직후	기본 보양 실시
중심부 온도가 30~40℃ 일 때	보온 양생 강화 여부 결정
재령 10일	천막 내부의 뜨거운 공기가 외부로 빠져 나갈수 있게 함.
재령 14일	양생 천막 제거 오전 10시 이후 눈이나 비가 올 경우 바로 비닐을 씌움.
재령 20일	보온 양생 중지 오전 10시 이후
재령 21일 이후	균열 조사 및 외방수 실시

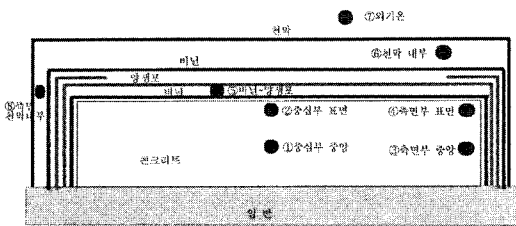


그림 9. 수화열 계측 위치도(매트 기초)

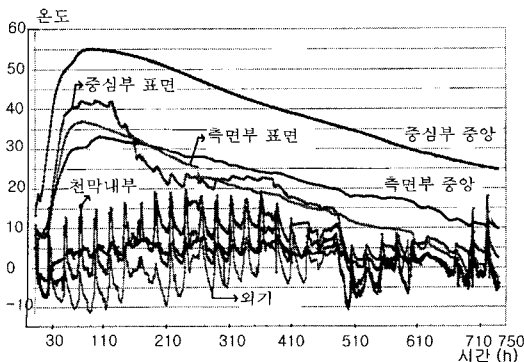


그림 10. 매트 기초 수화열 계측 결과

### 4.3 온도 계측 결과

본 현장 B동 매트 기초 부위의 매스 콘크리트 타설 이후 양생 종료시까지 부재 내·외부의 온도 변화를 계측하도록 하였으며, 그 내용은 다음과 같다(그림 9) 참조.

#### ① 측정 부위 :

- 온도 센서 매입 측정 : 7 개 소
- 외기 온도, 비닐과 양생포 사이, 양생포와 천막 사이(3개 소)
- 매트 중심부의 상부, 중심 및 측면부의 상부, 중심(4개 소)

#### ② 측정 : 양생 기간 동안

- 온도 센서 훼손 대비 동파이프 매입
- 매트 중심부 상부 및 중심(2개 소)
- 매트 측면부 상부 및 중심(2개 소)

#### ③ 측정 일정 : 1999. 12. 17 ~ 2000. 1. 7 (양생 종료 시까지)

- 센서 측정 : 개소별 매시간 자동 측정

#### ④ 측정 일정 : 1999. 12. 17 ~ 2000. 1. 7 (양생 종료 시까지)

총 11개소에 대한 온도 계측 결과 중 주요 부위에 대한 수화열 계측 결과는 <그림 10>과 같다. 계측된 온도의 분포는 전반적으로 사전에 예측된 온도와 유사하였으며, 매스 콘크리트 내외부의 최대 온도차는 대체적으로 20℃ 이내로 나타났다. 실제 육안 검사에 의한 표면 균열 검사의 결과에서도 일정 간격의 미세 균열이 일부 발견되었을 뿐 구조체에 영향을 줄 만한 대형 균열은 발견되지 않아, 외방수 공법에 의한 보수

이외의 보강이 필요하지 않았다.

### 4.4 물류 관리 시스템

본 현장에서는 규모 50.6×43.1×2.7m인 대형 부재 콘크리트 타설에 따른 수많은 레미콘 차량의 동원, 출입 시간 및 동선 계획이 필요하였다. 즉, 차량 관리, 인원 관리, 도면 관리, 공정 관리 등의 제반 물류 관리의 문제점을 효율적으로 해결하는 것이 공사 성패의 핵심 과제였다.

이러한 대형 공사를 단기간 내에 수행하기 위하여 본 현장에서는 현장 내 물류 관리의 문제점에 대비하고 효율적인 공사 관리를 위한 인터넷을 이용한 통합공사관리시스템, 즉 Cyber Integrated Construction Management(CICM) System을 개발하여 적용하였다(그림 11).

통합공사관리시스템의 개념은 현장에서 필요한 물류량을 인터넷상에 올려놓으면 협력회사에서 소요 물량을 확인하고 바코드를 출력하여 공급 물량에 부착한다. 바코드가 부착된 공급 물량은 본 현장의 출입구에서 바코드를 확인하여 도착 시간을 입력하게 되고, 물량 반입 후 공급 차량의 회차시에도 출입구에서 바코드를 확인하여 차량의 회차 시간을 입력하게 된다(그림 12)

따라서, CICM 시스템을 활용하게 되면 본 현장에서와 같은 대형 부재의 콘크리트 타설시 물류량의 이동 및 대기 차량 수·레미콘 납품 간격 등을 조정할 수 있게 되어 효율적인 물류 관리가 가능하게 된다(그림 13).

즉, 과거의 공사 관리 시스템에서는 시공시 담당자가 현장의 인원 및 자재를 취합해 시스템에 입력하는 방식으로서 현장 담당자의 과도한 업무 부담과 비효율적인 공사 관리가 이루어진 반면, CICM 시스템에서는 인원, 자재, 작업 물량, 도면 등의 관리 항목을 인터넷과 바코드를 활용하여 현장 직원 및 협력업체 간에 실질적인 정보를 실시간으로 공유함으로써, 현장 담당자의 업무 부담이 감소되었고 협력사에

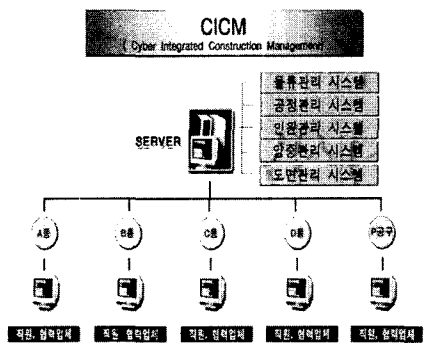


그림 11. 바코드를 이용한 CICM 시스템 구성도

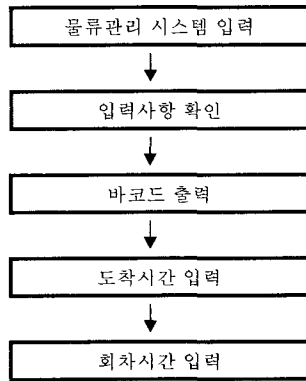


그림 12. 물류 관리 시스템 흐름도

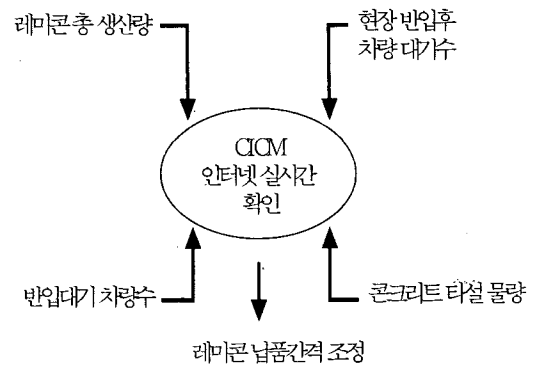


그림 13. 레미콘 물류량 통합 관리

계는 업무 분산 및 효율적인 물량 관리가 가능하게 되었다.

### 5. 맺음말

최근 국내외의 건설 시장을 살펴보면 본고에서 논한 타워팰리스 현장 이외에도 대형 건축물의 건설이 여러 곳에서 빈번하

게 이루어지고 있다. 이와 같은 대형 건축물은 필연적으로 본고에서와 같은 대규모의 부재가 필요하게 되어 재료·시공 및 설계 상으로 많은 연구가 시공 전에 요구되게 된다. 본고에서의 매트 기초와 같은 대규모 매스 콘크리트의 성공적 시공은 매스 콘크리트의 특성 및 콘크리트 재료에 대한 실용적이며 체계적인 연구와 더불어

효율적인 공사 방법 및 공사 관리에 대한 현장 자체의 노력에 힘입은 바 크다고 생각된다. 따라서, 앞으로 더욱 치열해질 국내외 건설 시장에서 국내 건설업체의 기술력 우위를 확보하기 위해서는 본 현장에서와 같은 현장 자체의 기술 개발 노력과 학계에서의 실용적인 연구가 지속되어야 할 것으로 판단된다. □

## 건설업체 부도 동향 (1998 ~ 2001. 1)

구분	1998	1999	2000	2000.1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	2001.1
부도업체 수	2,103	466	581	44	40	40	36	44	33	41	55	46	41	77	84	63
· 일반 건설업체	524	112	132	18	10	7	7	13	4	11	13	7	11	18	13	4
· 전문 건설업체	1,579	354	449	26	30	33	29	31	29	30	42	39	30	59	71	71

## 전체·건설 취업자 동향 (1997 ~ 2000. 12)

(단위 : 만명)

구분	1997	1998	1999	2000	1999.12	2000.1	3	5	7	9	10	11	12
전체 취업자	2,110	1,999	2,028	2,106	2,061	2,013	2,066	2,134	2,150	2,143	2,157	2,136	2,085
건설 취업자	200.4	157.8	147.6	158.3	154.7	139.0	148.1	164.0	165.8	165.5	169.0	165.8	161.4
- 비 중(%)	9.5	7.9	7.3	7.5	7.5	6.9	7.2	7.7	7.7	7.7	7.8	7.8	7.7
전체 실업자	55	146	135	89	104.0	112	102	82	80	80	76	79	89
전체 실업률(%)	2.6	6.8	6.3	4.1	4.8	5.3	4.7	3.7	3.6	3.6	3.4	3.6	4.1