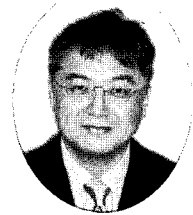


트럼프월드 II 현장에 적용된 콘크리트 관리기술

- Quality Control of Concrete applied in Trumpworld II Site -



채신일*
Chae, Sin Ill

1. 개요

최근 건축물은 대형화·고층화·복합화 경향이 대두되어 대형 건설회사를 중심으로 초고층 빌딩 건립이 활성화 되고 있으며, 특히 주거용 아파트에 초고층 빌딩 개념이 도입되어 우리나라 건축 기술 발달에 큰 획을 긋고 있다.

미국의 Empire State Building은 1931년에 준공된 이래 지금도 뉴욕의 상징이 되고 있듯이, 초고층 빌딩은 일단 완공되면 그 시대의 기술과 문화를 상징하는 역사적인 건물로 남게 되기 때문에, 초고층 건축물은 기술적, 상징적 파급효과가 크다고 할 수 있다.

따라서, 본고에서는 국내 최초로 초고층 순수 RC조 아파트로서 시공된 트럼프월드 I에 이어 트럼프월드II에 적용된 매스 및 고강도 콘크리트 품질관리기술에 대하여 살펴보기로 하겠다.

2. 매스 콘크리트

다음과 같은 진행에 따라 전체적인 품질관리를 실시하였다.

(주)대우건설 주택사업본부 주택기술팀 차장

표 1. 트럼프 월드 II 설계 개요

공사명	여의도 주거복합 신축공사	
대지현황	위치	서울시 영등포구 여의도동 번지
	대지면적	4,602.00 m ² (1,394.55평)
	지역, 지구	일반상업지역, 주차장설치 제한지역
	공사종별	신축
건설규모	용도	아파트, 업무시설(오피스텔), 근린생활시설, 운동시설
	구조	철근 콘크리트조(Wide Beam + RC Core Wall + Outrigger)
	층수	지하 6층, 지상 34층
	건물높이	127.2 m
	건축면적	2,234.83 m ² (677.22평)
	건폐율	법정 건폐율 : 50 % 계획 건폐율 : 48.56 %
	연면적	68,204.80 m ² (20,668.12평)
외장재료	외벽	알루미늄 커튼월, 탄성텍스처드 코팅, 두께 24 칼라복층 유리
	지붕	콘크리트 평슬래브
구조재료	콘크리트	$f_{ck} = 27 \sim 42 \text{ N/mm}^2$
	철근	$f_y = 400 \text{ N/mm}^2$

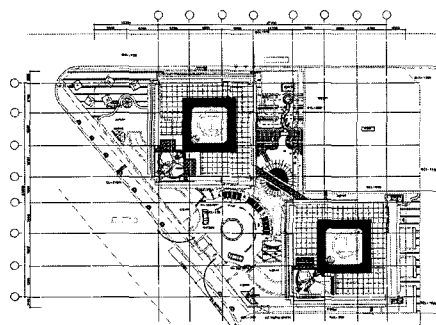


그림 1. 배치도

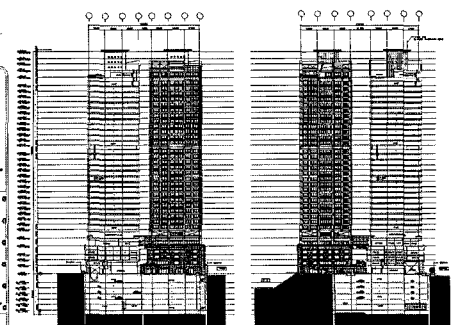


그림 2. 단면도

표 2 레미콘 공장 조사표

조사항목	A	B	C	D	E	F	G	H
공장위치	서울시	부천시	부천시	부천시	서울시	부천시	서울시	부천시
품질관리 인원	5인	7인	7인	5인	9인	7인	8인	5인
현장까지 거리	16 km (평균 30분)	20 km (평균 40분)	26 km (평균 45분)	16 km (평균 40분)	8 km (평균 20분)	20 km (평균 40분)	9 km (평균 20분)	17 km (평균 30분)
계량설비(플라이 애쉬)	500 kg	250 kg	500 kg	80 kg	350 kg	500 kg	500 kg	-
배합설비	one shaft (300 m ³ : 2기)	one shaft (210 m ³ : 2기)	twin shaft (270 m ³ : 2기)	one shaft (210 m ³ : 1기)	one shaft (210 m ³ : 3기)	twin shaft (210 m ³ : 2기)	one shaft (210 m ³ : 2기)	one shaft (210 m ³ : 1기) tilting (150 m ³ : 1기)
시멘트 저장설비	300톤(4기)	350톤(3기)	1,000톤(3기)	1,500톤(1기)	2,000톤(1기)	500톤(2기)	500톤(2기)	100, 200, 300톤(1기씩)
플라이 애쉬 저장설비	200톤(2기)	200톤(1기)	150톤(2기)	100톤(1기)	200톤(1기)	100톤(1기)	240톤(2기)	-
혼화제 저장설비	50톤(5기)	10톤(5기)	10톤(3기)	10톤(2기)	10톤(5기)	10톤(4기)	57톤(10기)	17, 7톤 1기씩
제조능력	330 m ³ /hr	420 m ³ /hr	540 m ³ /hr	420 m ³ /hr	560 m ³ /hr	420 m ³ /hr	420 m ³ /hr	360 m ³ /hr
운반설비	87대	70대	95대	85대	110대	90대	85대	75대
표면수 자동설비	있음	있음	있음	있음	없음	없음	있음	있음
고강도 콘크리트	30 및 40 N/mm ² (타설량: 5,000 m ³)	40 N/mm ² (타설량: 4,000 m ³)	35 및 40 N/mm ² (타설량: 500 m ³)	40 N/mm ² (타설량: 700 m ³)	70 N/mm ² (타설량: 560 m ³)	40 N/mm ² (타설량: 300 m ³)	40 N/mm ² (타설량: 1,300 m ³)	40 N/mm ² (타설량: 250 m ³)
기타 콘크리트	경량: 15 ~ 21 N/mm ² (타설량: 5,000 m ³)	섬유: 30 N/mm ² (타설량: 3,000 m ³)	-	섬유: 27 N/mm ² (타설량: 900 m ³)	-	저발열: 24 N/mm ² (타설량: 2,000 m ³)	-	-

2.1 현장요청

매스 콘크리트 시공을 계획하고 있는 현장조건 및 부재크기 등을 검토하고, 이를 바탕으로 현장담당자와의 사전협의를 수행한다. 이 과정에서 타설 블록과 타설량을 결정한다.

2.2 레미콘사 선정

현장으로부터의 거리, 제조설비 및 품질관리 등을 종합적으로 평가하여 레미콘사를 선정하였다. <표 2>에 레미콘 공장 조사표를 나타냈다.

2.3 배합검토

콘크리트를 공급한 레미콘사가 선정되면, 작업성 및 수화열 등을 고려한 기본 배합을 검토한다. 실내실험을 통하여 여러 가지 변수에 대해 기본적인 물성을 검토하여, 4개 이상의 배합을 선정한다.

2.4 단열온도 상승시험

배합검토 단계에서 선정된 기본배합에 대해 단열온도 상승시험을 수행한다. 매스 콘크리트는 시멘트에 의한 수화열이 문제가 되기 때문에, 단열온도 상승시험을 통

해 최고상승온도 및 상승기울기 등을 파악하여, 가장 우수한 성능을 나타내는 최적 배합을 선정한다. <그림 3>에 단열온도 상승시험 장치의 개요를 나타냈다.

2.5 실물모형 부재시험

단열온도 상승시험을 통해 선정된 최적 배합에 대해 실제 부재와 같은 크기의 시험체를 제작하여, 콘크리트의 수화발열 특성 및 강도특성 등을 파악하였다.

부재 상, 중, 하에 온도측정용 센서를 매립하여 시간에 따른 온도이력을 파악하였다. 주요 변수로 콘크리트 타설온도 및

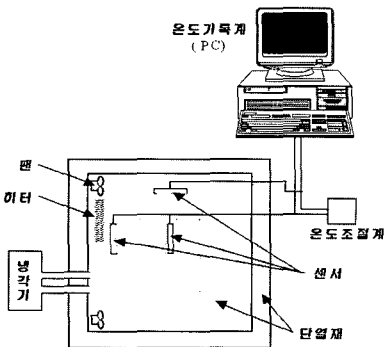


그림 3. 단열온도 상승시험 장치의 개요

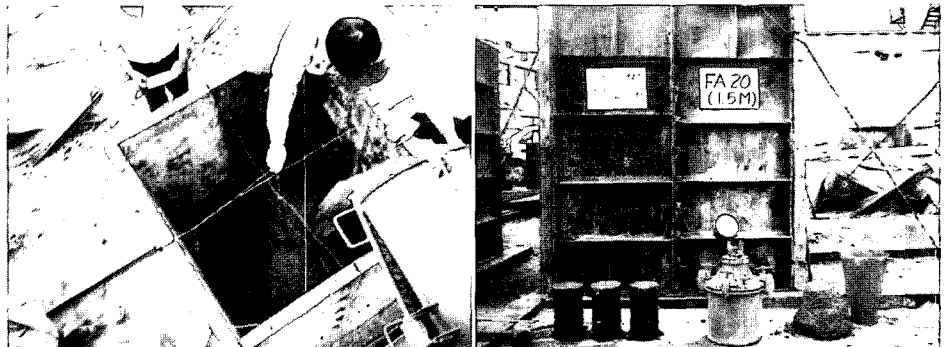


사진 1. 실물모형 부재시험(mock-up test)

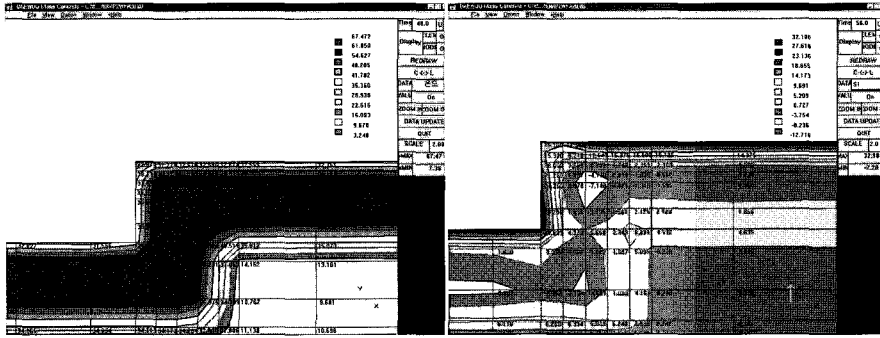


그림 4. 수화열 해석결과

그림 5. 수화응력 해석결과

부재시험 상황을 나타내고 있다.

2.6 수화열 해석(최적양생방안 선정 단계)

실물모형부재시험을 통해 도출된 시험결과를 입력자료로 하여 수화열 해석을 실시하였다. 본 단계에서는 FEM 해석을 통하여, 최적양생기간 및 양생방법을 산정하였다. <그림 4> ~ <그림 6>에 수화열해석 결과 및 양생방법 산정 결과를 나타냈다.

2.7 현장 품질관리

콘크리트 타설 당일 레미콘 B/P와 현장에 대한 품질관리를 체계적으로 실시하였다. 품질이 안정될 때까지 매차에 대해 레미콘 공장과 현장에서 품질관리 시험을 실시하여, 고품질 매스 콘크리트 시공이 가능하도록 하였다. 또한, 현장과 레미콘 공장간의 긴밀한 연락체계를 확립하여 품질의 변동에 따른 즉각적인 대처가 가능하도록 하였다.

2.8 지속적인 계측관리

최적양생방안에 따라 양생을 수행하게 되지만, 예상치 않은 기온의 변화나 현장

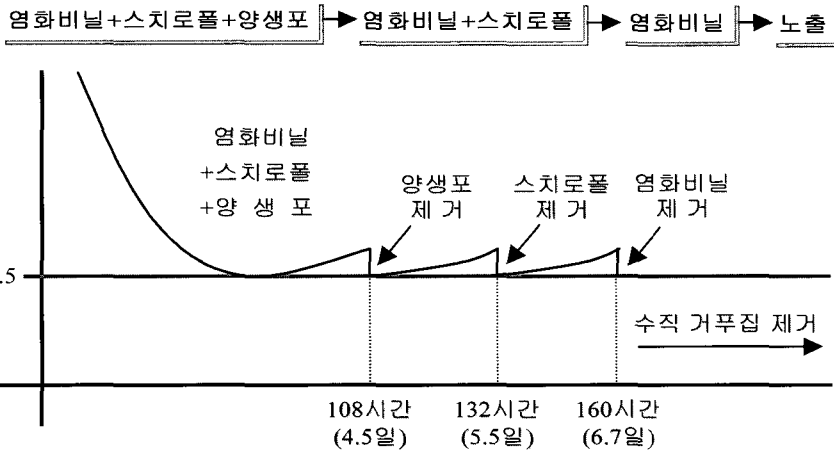


그림 6. 최적양생기간 및 양생방법 산정 결과

플라이 애쉬 치환율을 선정하여, 각 변수별 발열특성을 검토하였다. 또한, 소요 재령(7, 28일)에 있어서 슈미트 햄머에 의

한 반발경도 시험을 수행하고, 28일 재령에서는 코어를 채취하여 실제 부재의 압축강도를 평가하였다. (사진 1)은 실물모형

표 3. 시공관리의 점검 시기 및 항목

점검 시기	점검 항목
A 시공 계획 시	① 설계계획과 설계도 비교(공사감리자와 시공관리자), ② 시공계획 검토 - 콘크리트 계획배합 및 방법결정, 운반계획, 타설·양생계획, 거꾸집 선정, 철근가공·조립순서 및 배근·이음방법 결정, ③ 기상조건 조사 및 검토, ④ 품질관리 기준설정 - 책임기술자 결정 및 품질관리 조직구성
B 콘크리트 제조 계획 시	① 계획배합 - 종류, 설계기준강도, 슬럼프, 공기량, 단위용적중량, 온도, ② 제조 - 제조능력, 운반시간, 품질관리 정도, 책임기술자 자격, 제조설비(저장 및 운반설비, 배치 플랜트 사양, 운반차, 기록장치), ③ 원 재료의 품질검토(철근포함), ④ 시험배합, ⑤ 시험시설의 설비 및 규모
C 콘크리트 타설 계획/협의	① 시공계획 설명, ② 시방서의 요점 설명, ③ 운반, 타설, 양생계획 설명, 시공업자(거꾸집, 철근, 콘크리트 타설, 전기, 급배수, 승강기 등)의 책임 범위 확인, 콘크리트 배치방법, ④ 작업분담 범위의 상호확인
D 콘크리트 타설 준비 시	① 기상·기온의 측정 기록, ② 타설 순서·방법, 타설 구획의 검토, ③ 타설 절차 준비, 펌프·다짐기구, ④ 관련공사의 중간검사 - 거꾸집 정밀도 및 받침기둥, 배근, 철근 이음부 선정 및 확인·보수, 전기배선 박스 및 배관 위치 확인, ⑤ 작업반 편성 및 배치, ⑥ 야간작업 및 강우 시 대책, ⑦ 거꾸집 청소
E 콘크리트 타설 시	① 콘크리트 품질시험 - 슬럼프, 공기량, 단위용적중량, 온도, 용적, ② 콘크리트 강도관리 - 출하 시 품질검사용 공시체, 구조체강도 추정용, 및 거꾸집 받침기둥 제거 시의 강도 추정용 공시체, ③ 배합·운반 관리 - 철근 보호, ④ 타설 및 다짐방법, ⑤ 마감·타설 이음부 처리방법
F 콘크리트 타설 완료 시	① 타설 완료 시 점검사항 - 타설 구획, 타설 두께 및 치수점검, 마감처리 방법, 배관박스 등 노출물 위치, 표면수, 타설 용적, 바닥 콘크리트의 평탄성 및 균열 등의 결과와 대책, ② 타설 완료 후 양생방법, ③ 타설 완료 후 조치 - 거꾸집·받침기둥 안전점검, 표면수 처리, 바닥 마무리 공법, ④ 공시체의 관리방법 및 점검
G 콘크리트 타설 완료 후	① 구조체 콘크리트의 강도 추정시험(거꾸집 받침기둥의 조기 제거시험), ② 기타 품질시험 - 슈미트 햄머시험 등, ③ 시험결과 검토(공사감리자에게 보고), ④ 계획외의 파인 적재물에 대한 건물 안전성 점검, ⑤ 결함 및 보수방법, ⑥ 탈형 후 구조체의 수평·수직에 대한 점검, ⑦ 공사 보고서, 시공기록 작성

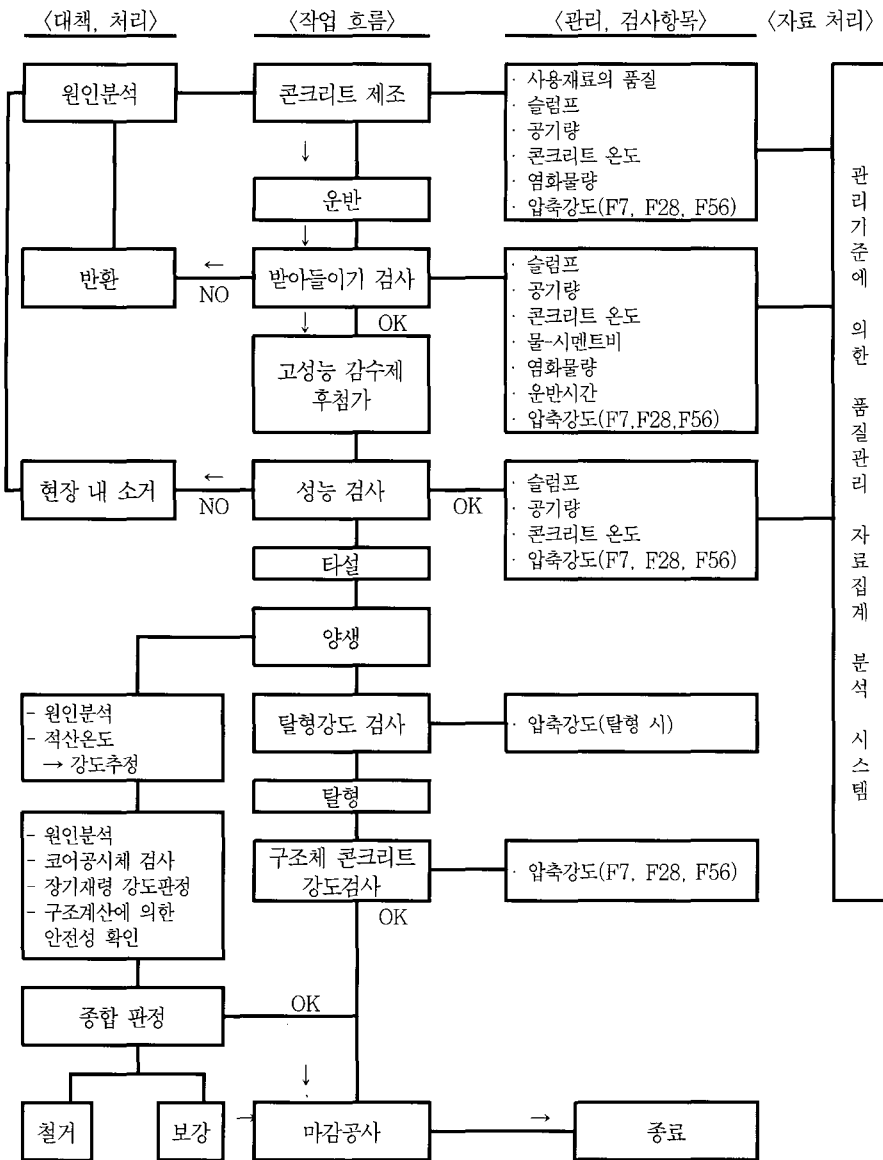


그림 7. 고강도 콘크리트의 품질관리 흐름도

여건의 변화에 신속하게 대응하도록 하기 위해, 매스 콘크리트 구조물에 대한 수화열 계측을 실시하였다. 가능하다면, 부재 중앙부와 표면부의 온도차가 20°C 이내로 유지되도록 보양 등에 주의하였다.

3. 고강도 콘크리트의 품질관리

3.1 품질관리 방안

고강도 콘크리트는 보통 콘크리트에 비하여 외부조건에 따라 특성이 변화되기 쉽고, 또한 철저한 관리를 통한 재료의 효율을 극대화하는 과정이므로, 항상 현장시공에 앞서 구체적인 품질관리 조직을 구성하고 세부 업무를 분담하여 품질에 대한 책임을 부여함으로써 품질관리의 계획에서부터 문제제기, 해결방안 추진 및 통제에 이르기까지의 요구하는 품질을 획득하기 위한 제반사항을 담당하게 한다.

품질관리자는 공사 진행이 설계도나 시방서에 준하며, 고강도 콘크리트의 요구 성능이 확보되도록 <표 3>과 같이 시공계획에서 타설 완료까지의 각 공정의 점검항목을 숙지하고, 적절한 방법으로 관리하여 사고를 미리 방지할 수 있도록 조치해야 한다. 특히, 필요하다면 고강도 콘크리트 배합 및 시공방법을 변경하여 시공이 확실하고 안전하게 끝나도록 관리해야 한다.

<그림 7>은 고강도 콘크리트 품질관리 흐름도를 나타낸 것이다.

고강도 콘크리트는 특정 공정의 작업지연 또는 관리 미숙에 의하여 전체공정 및 품질에 지대한 악영향을 미치게 되므로 항상 각 공정의 특징 및 차후 공정과의 연계성을 고려하여 작업진행을 체계화함으로써 원활한 작업이 진행되도록 해야 한다.

3.2 품질관리 체계

보다 정확하고 체계적인 품질관리를 위해서 기술연구소에서는 공사계획단계부터 콘크리트 공사에 대한 현장과의 협의를 지속적으로 수행하였고, 매 타설 시마다 레미콘 공장 및 현장에 대한 Inspection

단 계	품질관리 항목	연구소 (품질관리 담당)	현장 (공사책임자)	레이콘공장 (품질관리실장)
타설계획	사전 준비	타설일정 확인	타설계획	레이콘 생산준비
레이콘공장 품질관리	원재료 관리	검수 및 확인		수입검사 실시 • 시멘트/플라이애쉬 • 골재/고성능감수제
	제조/생산관리	검수 및 확인		배출플랜트 별도관리 • 조작자 교육 • 비법시간 • 레미콘 트럭 • 콘크리트 품질
현장 품질관리	굳지 않은 상태의 품질관리	검수 및 확인	수입검사 확인	수입검사 실시 • 슬럼프 플로우 • 공기량/염화물량
	경화 상태의 품질관리		강도 확인	강도시험 실시

그림 8. 품질관리 체계도

표 4. 검사 및 시험항목 점검 리스트

번호	검사 및 시험 항목	적용규준 또는 문서	판정기준 및 검사방법
1	현장준비(유선) (1) 타설계획의 확인 - 타설 구획, - 타설량	공사시방서	- 공정계획의 확인 - 공정계획의 확인
2	레미콘 공장 준비 (1) 출하계획 (2) 재료수급 여부 - 시멘트 - 플라이애쉬 - 골재 - 고성능 감수제 계획배합의 확인 (1) 물-결합재비 (2) 잔골재율 (3) 단위시멘트량 (4) 단위수량 (5) 고성능감수제량	KS F 4009	(1) 레미콘사 출하물량 확인 - 입고 및 잔량 확인 - 입고 및 잔량 확인 - 입고 및 잔량 확인 - 입고 및 잔량 확인 (1) 재료계량확인 (2) 재료계량확인 (3) 재료계량확인 (4) 재료계량확인 (5) 재료계량확인
3	재료 수입검사 실시 (레미콘 공장 자체) (1) 시멘트 (2) 플라이 애쉬 (3) 골재 (4) 고성능감수제	KS F 4009	시험성적서 및 로트검사 (1) KS제품, 시험성적서 (2) KS제품, 시험성적서 (3) 입고 및 조립물 비중 및 흡수율(1회/月) (4) KS제품, 시험성적서
4	배치플랜트 관리 (1) 조작자 교육 - 품질매뉴얼 (2) 비빔시간 준수 - 90초 이상 (3) 레미콘 트럭 - 잔수배출확인 (4) 콘크리트 품질 - 슬럼프/플로우 - 염화물량/공기량 - 콘크리트 온도	KS F 4009	(1) 교육보고서 확인 (2) 육안검사 (3) 육안검사 (4) 품질이 안정될 때까지 - 슬럼프콘 - 염분측정기/공기량시험기 - 디지털 온도계
5	현장 수입검사 실시 (1) 슬럼프/플로우 (2) 공기량 (3) 염화물량 (4) 콘크리트 온도	KS F 4009	100 m ³ 마다 품질시험 (1) 50 ± 10 cm (2) 4.5 ± 1.5 % (3) 0.3 kg/m ³ (4) 서중 시 : 30°C 이하 한중 시 : 10°C 이상
6	강도시험 실시 (1) 재령별 압축강도 - 3, 7, 28, 56일	KS F 2403 KS F 2405	- 압축강도 시험

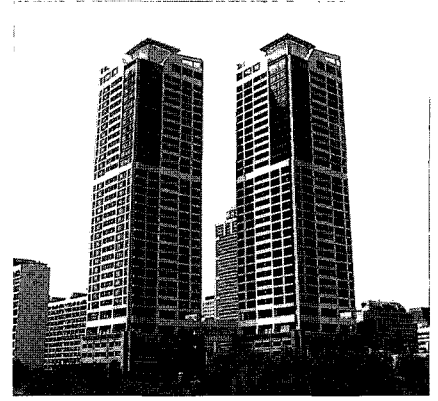


사진 2. 완공된 트럼프월드II

고, 그 결과를 기록·관리함으로써 향후 발생할 수 있는 품질관리상의 문제발생을 사전에 예방할 수 있었다. <표 4>에 검사 및 시험항목을 나타냈다.

4. 결 론

현장에 적용되는 시공기술은 어떤 현장에나 완벽하게 적용되는 기술이란 있을 수 없다. 사람의 지문이 모두 다르듯이 건물도 똑같은 조건을 가진 현장이 있을 수 없기 때문에, 시공 상황에 가장 유리하다고 판단되는 시공법을 선정하고 공사 진행에 따라 수정·보완하는 것이 좋다고 사료된다. 트럼프월드II 현장의 경우에도 시공계획(안)이 100% 완벽할 수는 없을 것이지만 최대한 다양한 시공 가정 조건을 감안하여 계획을 세우고 이를 실행하여야 시행 오차를 줄일 수 있으리라 생각된다.

마지막으로, 그동안 건설기술 연구소에 서 축척한 시공 기술이 트럼프월드II 현장에 적용되어 연구와 시공이 일체가 될 수 있도록 적극 협력하여 유종의 미를 거둘 수 있었다. □

Report를 작성하여, 발생할 수 있는 콘크리트 품질불량 문제를 사전에 예방할 수 있었다.

3.3 Inspection Report 작성

고강도 콘크리트 타설시 마다 레미콘

공장 및 현장에 대한 품질관리를 실시하고, 검사 및 시험항목에 대해서 체크 리스트를 작성하여 관리하였다.

현장, 기술연구소 및 레미콘사의 품질관리 담당자가 타설 계획부터 레미콘 공장 준비상황, 현장 수입검사 실시까지 공사시방서 및 KS규준에 준해서 검사를 실시하