



# 01

## 초고층 건축에서의 고성능 콘크리트 최적배합설계 및 품질관리

Optimum Mixture Design and Quality Management of High Performance Concrete for Super Tall Building Construction

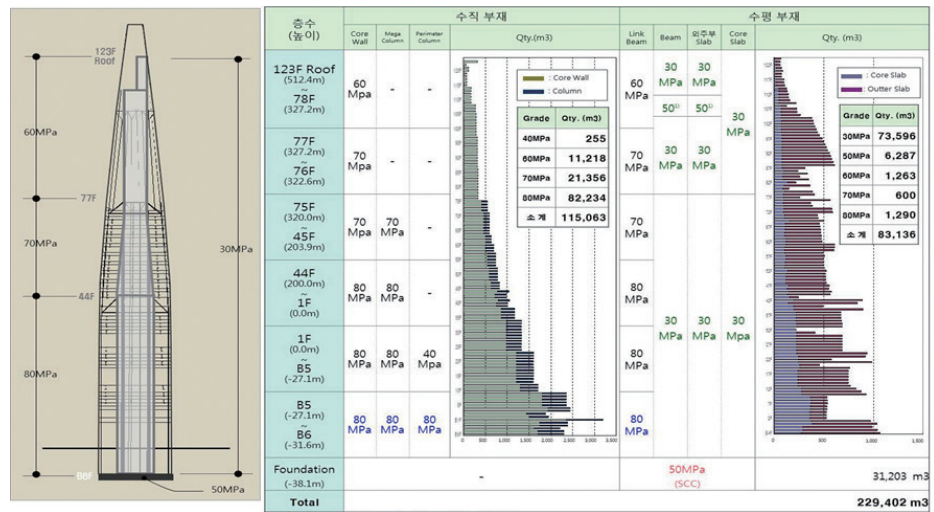
김규동 Gyu-Dong Kim  
롯데건설 잠실제2롯데월드현장 수석

### 1. 머리말

초고층 건축은 높은 생산파급효과 및 고용창출 등의 경제적 이점뿐만 아니라 건설생산성 향상 및 건설기술시공능력의 선진화 등의 많은 부가가치로 인하여 최고 높이를 더해가고 있다. 500m가 넘는 극초고층 프로젝트를 추진하기 위하여 여러 요소기술 개발이 필수적이지만, 특히 RC 공사에서 고강도, 고유동 및 고성능 콘크리트(이하 고성능 콘크리트)의 개발은 타 공정을 이끌어 가는 선도적 역할을 담당하는 가장 중요한 위치에 있다고 할 수 있다.

실제 초고층 공사시 요구되는 콘크리트의 요구조건은 <그림 1>과 같이 부재별, 높이별, 층수별로 고성능 콘크리트가 구분되어 적용되고 있기 때문에 조기강도, 고유동성 및 고압송성, 수축특성 제어, 수화열 제어 및 내화특성 제어 등의 다양한 요구조건을 만족한 고성능 콘크리트가 현장에 적용되어야 한다. 현재까지 국내에서는 고성능 콘크리트가 80층, 300m급 초고층 프로젝트에 적용된 실적을 가지고 있으며, 이를 500m 이상의 초고층 프로젝트에 적용하기 위해서는 보다 많은 항목에 대하여 충분한 검토가 수행되어야 할 것이다.

본 특집 기사에서는 높이가 500m 이상인 잠실제2롯데월드 현장에 80MPa 고성능 콘크리트를 적용하기 위하여 수행된 현장 품질관리기준의 검토, 각종 원재료 검토, 최적 배합도출을 위한 실내배합 및 레미콘 공장 실생산성능 검토 그리고 실물크기의 Mock-up Test 등의 일



1) 87F ~ 102F Hotel : Flat Slab 50MPa

그림 1. 초고층용 콘크리트 적용 개요

련의 최적배합설계 도출 과정을 소개하고자 한다.

## 2. 초고층 건축용 고성능 콘크리트 요구 성능 및 배합설계 접근 방향

### 2.1 요구 성능

500 m급 초고층 프로젝트에 적용하기 위한 고성능 콘크리트의 요구 성능은 고강도/수축제어, 고탄성, 고유동성 및 조기강도, 수화열 제어 및 고층부 압송성능 등이 해당되며, 수직부재의 경우 3시간 내화성능을 확보되어야 한다. 따라서 이러한 요구 성능을 만족하는 고성능 콘크리트의 신뢰도 높은 배합설계가 필요하며, 각각에 대해 살펴보면 다음과 같다.

- 1) 고강도/수축제어: 초고층 건축에서 고강도 콘크리트는 기동축소 및 건조수축 균열을 최소화할 수 있어야 하며, 특히 초기 수화반응시에 발생하는 자기수축에 대한 제어에 대해 검토되어야 한다.
- 2) 고탄성: 코어 월이나 메가기둥과 같은 수직부재의 경우 풍하중과 같은 횡하중에 대한 저항성능을 확보할 수 있는 높은 탄성계수가 요구된다.
- 3) 고유동성: 초고층 건축용 골조의 경우 내부에 과밀한 철근배근 및 부재 사이즈가 크고, 층고가 높기 때문에 재료분리 저항성을 확보하면서 고유동성을 확보해야 한다.
- 4) 조기강도: 초고층 건축은 골조공정을 단축하기 위해 조기공정 Cycle을 채택한다. 사례 프로젝트에서도 최초 4-Day Cycle(4일에 1개 층씩 시공)을 계획하였고, 이를 만족하기 위해서 콘크리트의 조기강도에 대한 발현성능이 요구된다.
- 5) 수화열 제어: 초고층 건축용 골조의 경우 코어 월의 최대 치수는 2.0 m, 메가기둥의 최대 치수는 3.5 m로써 매스 콘크리트 부재로 충분한 양생을 실시해야 하는 부재임에도 불구하고 조기공정 Cycle로 인해 거푸집을 조기에 탈형해야 하는 상황으로 내외부 온도차이에 따른 수화온도균열에 대한 대책 수립이 필요하다.
- 6) 고압송성: 500 m급 초고층 건축시 콘크리트를 해당 공사구간에 효율적으로 압송하기 위해서 직접

압송을 실시하게 된다. 이 경우 해당 구간까지 원활한 작업성을 확보할 수 있고, 콘크리트가 소요량을 효과적으로 압송될 수 있도록 유동성 및 유지성능, 점성 및 마찰저항성능 등에 대한 검토가 종합적으로 이루어져야 한다.

- 7) 내화성능: 고강도 콘크리트의 경우 낮은 물결합재비 및 공기량 등으로 인해 화재시 폭렬에 취약하다. 국토해양부 고시 2008-334호 「고강도콘크리트 기동, 보의 내화성능 관리기준」에서는 50 MPa 이상 고강도콘크리트에 대해 별도 내화대책을 수립하도록 되어 있으므로 메가기둥의 경우 이에 대한 대책이 요구된다.
- 8) 배합설계 신뢰도: 실제 국내 초고층 건축의 경우 대부분 도심지에 위치하도록 계획되는데, 이 경우 부지면적이 협소하여 현장 내에 자체 배치 플랜트를 설치하기 어려운 여건으로 인근 레미콘사들을 다수 활용해야 하는 상황이다. 이 경우 레미콘사마다 설비 및 사용재료, 운반거리 등의 차이로 인하여 생산되는 고성능 콘크리트의 동일한 물성을 기대하기 어렵기 때문에 이를 고려한 신뢰도 높은 고성능 콘크리트의 배합설계가 필요하다.

### 2.2 배합설계 접근 방향

2.1의 1) ~ 8)번까지 초고층 건축용 고성능 콘크리트 각각의 요구 성능을 만족할 수 있는 각 요인별 배합인자 및 이를 토대로 <사진 1>과 같은 고성능 콘크리트를 제조할 수 있는 배합설계 접근 방향을 <표 1>과 같이 정리하였다.

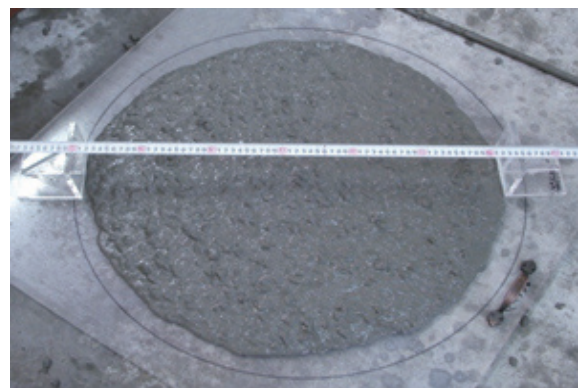


사진 1. 고성능 콘크리트 일례(80 MPa)

### 3. 초고층 건축용 고성능 콘크리트 최적배합설계

#### 3.1 품질관리 기준 수립

〈표 1〉과 같은 배합 인자 및 배합설계 접근 방향을 설정한 후 발주 특기사항 및 관련 시방기준을 만족할 수 있도록 초고층 건축용 고성능 콘크리트의 품질관리 기준을 〈표 2〉와 같이 수립하였다. 이후 원재료에 대한 검토, 배합변수 도출을 위한 실내실험 및 레미콘 공장 실생산성능 테스트 및 1:1 Scale Mock-up 테스트를 실시하였다.

#### 3.2 최적배합설계용 원재료 검토

〈표 2〉와 같은 고성능 콘크리트 각 규격별 품질관리 기준을 만족하기 위한 첫 번째 단계로 콘크리트용 원재료에 대한 검토를 수행하였다.

사용재료의 최적화를 위해 먼저 시멘트의 경우 동일 시멘트사 제품을 설정하였다. 시멘트의 경우 페이스트 플로우 및 시멘트 K 강도가 시멘트사마다 다르기 때문에 이를 복수 레미콘 공장에서 생산시 각각의 물성 변화 차이에 지대한 영향을 미치게 된다. 따라서 고성능 콘크리트용으로 1개 시멘트사를 정하여 이에 대한 지속적 품질관리 모니터링을 시멘트사 및 레미콘사에서 실시토록 관리하였다.

조기강도 발현특성에 영향을 미치는 실리카 폼의 경우

표 1. 초고층 건축용 고성능 콘크리트 요구성능별 배합인자 및 접근 방향

번호	요구 성능	배합 인자	배합설계 접근 방향
1	고강도/수축제어	- 물/결합재 비 - 시멘트 재료의 구성비율 - 실리카 폼 - 수축저감제	- 물결합재비를 가능한 낮게 설정 - 단위수량을 최소화 - 자기수축 저감제 추가 검토 - 양생관리 방법 효율화 검토
2	고탄성	- 굵은 골재 종류 - 굵은 골재 크기 - 결합재 구성비율	- 굵은골재 종류 변경(기준: 화강암 → 석회암) - 골재치수 변경(25 mm → 20 mm)
3	고유동성	- 잔골재율 - 모래 입도/조립률 - 결합재량 및 구성비율	- 잔골재율 높게 설정 - 잔골재 입도/입형(F.M 2.7 ~ 2.9) - 표준 입도곡선 내 관리 - 플로우 편차 최소화(±100 mm → ±75 mm)
4	조기강도	- 결합재구성 - 화학 혼화제 - 실물강도 평가	- 실리카폼 사용 - 폴리카르보나트계 고성능 감수제 사용 - Semi/Full Mock-up 테스트 실시
5	수화열 제어	- 저발열 배합(FA) 최적화 - 생산온도 품질관리 - 수화열 해석 및 계측	- FA 치환율 최대치(20%) - 결합재량 감소 - Premixing Cement(하절기)
6	내화성능	- 수증기압 완화를 위한 섬유혼입공법 적용 - 섬유혼입에 따른 유동성 추가 확보	- 폴리믹스 F(특허등록제품) 사용 - PP(25%) + Nylon(25%) + Polymer 분말 - 공인시험기관 3시간 인증시험
7	고층부 압송성능	- 고유동성 확보 - 적정 잔골재율, 저점성 확보 - 굵은 골재 입형/크기 - 혼화재료(FA, SF, 혼화제) 적용	- 결합재량 비교 검토(30 MPa 대상) - Rheometer 테스트(사진 2) - 실리카폼 및 FA 치환 - 사전 압송테스트 실시
8	배합설계 신뢰도	- 원재료 검토 및 관리 프로세스 확립 - 한중/서중/고강도 생산 설비 검토 - 특수콘크리트 납품실적 및 제조노하우 - 품질관리 의지	- 원재료 일원화: 시멘트/FA/SF 제품 및 산지 일원화, 유동성, 유지성능, 점성확보 - 잔골재 지속적 품질 모니터링

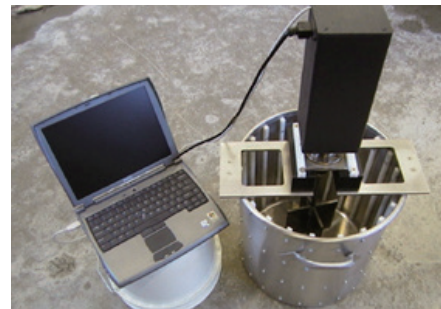


사진 2. Rheometer 테스트 일례



사진 3. 수평가열로 내화시험 실시 일례



사진 4. 수평압송테스트 실시 일례

표 2. 초고층 건축용 고성능 콘크리트 품질관리 기준 일례

항목	부재 구분						
	수직 부재				수평 부재	MAT	PRD
	20-80-650	20-70-650	20-60-675	20-40-550	20-30-550	20-50-550	20-60-600
설계기준강도	80 MPa	70 MPa	60 MPa	40 MPa	30 MPa	50 MPa	60 MPa
목표 강도	80 MPa@56D	70 MPa@56D	60 MPa@28D	40 MPa@28D	30 MPa@28D	50 MPa@56D	60 MPa@28D
탄성계수	37,808 MPa@56D	36,318 MPa@56D	34,694 MPa@28D	30,891 MPa@28D	-	-	-
조기강도	10 MPa@16H(ACS 거푸집 상승, 4일 공정)				-	-	-
슬럼프 플로우	650 ± 75 mm	650 ± 75 mm	675 ± 50 mm	550 ± 75 mm	550 ± 75 mm	650 ± 50 mm	600 ± 100 mm
공기량	2.0 ± 1.0%	2.0 ± 1.0%	2.0 ± 1.0%	3.5 ± 1.5%	3.5 ± 1.5%	3.5 ± 1.5%	3.5 ± 1.5%
플로우 유지	120분 이내(하절기 90분 이내)						
염화물량	0.3 kg/m³ 이하						
온도	시방기준: 5 ~ 35°C, 자체관리기준: 10 ~ 32°C						
수화열 제어	◎	◎	◎	-	-	◎	-
내화성능	◎	◎	-	-	-	-	-
고층부 압송성	◎	◎	◎	-	◎	-	-
비고	1) 수화열 제어(MAT 기초 일례: 중심부 최대온도: 71°C 이하/중심부와 표면부 온도차이: 최대 20°C 이내(수화열 계측 및 해석) 관리) 2) 내화성능 인증 필요: 주요구조부재, 메가기둥 및 보에 적용되는 설계강도 50MPa 이상 고강도 콘크리트(사진 3) - 3시간 내화성능 인증(KS F 2257-1) 3) 고층부 압송성능 확보를 위한 압송(수평)테스트 실시(사진 4) - 최고 압송높이: 512.4m(목표) 4) 수직부재에 대한 Creep & Shrinkage 테스트						

유동성 및 유지성능 소요의 점성기준을 만족하는 제품을 선정하였고, 단일 원산지 관리를 통해 품질변동폭을 최소화하였다. 플라이 애시의 경우 강열감량(LOI) 5% 미만의 제품을 사용하였고, 동일 화력발전소 산지에서 납품되도록 관리하였다.

화학혼화제는 상대적으로 낮은 단위수량에 대해 플로우 유지성능 및 조기강도 발현 특성을 만족할 수 있도록 폴리카르본산계 고성능 감수제를 사용하였고, 실제 혼화제 사용량은 고강도 콘크리트의 경우 결합재량 대비 최소 1.0% 이상 사용됨으로써 당초 기준(표준

기: 120분 이내, 하절기 90분 이내)을 모두 만족할 수 있도록 하였다.

골재로써 잔골재는 세척사 100% 사용을 원칙으로 하였고, 입도 및 입형관리를 지속적으로 실시하여 조립율(F.M.)이 2.7 ~ 2.9의 범위 내에 있고 표준 입도곡선 내 관리되고 있는 잔골재만을 사용하였다. 특히 굵은 골재의 경우 역학적으로 안정적인 탄성계수를 확보하기 위하여 상대적으로 우수성이 입증되고 입형판적 실적율이 상대적으로 우수하여 마찰계수 저감을 통한 압송부하 저감이 가능한 20mm 석회암 골재를 굵은 골재로써 활용하



사진 5. 초고층 건축용 고성능 콘크리트 원재료 일례

표 3. 폭발방지 내화섬유의 물리적 성질

재질	밀도(kg/m³)	길이(mm)	직경(mm)	용융점(°C)	인장강도(MPa)
폴리프로필렌 섬유(PP)	0.9	19	0.07	162	400 ~ 550
나일론 섬유(NY)	1.2	12	0.02	220	400 ~ 550
폴리머 분말(PM)	0.9	-	0.25	120	-

였다. 각 원재료에 대한 형상은 <사진 5>와 같다.

한편 고강도 콘크리트 내화성능 관리규정을 만족하기 위한 폭발억제대책으로 폭발방지 내화섬유재를 배합설계시 혼입하는 섬유혼입 공법을 채택하였는데, 주요 구성은 <표 3>과 같이 폴리프로필렌 섬유(Poly Propylene Fiber), 나일론 섬유(Nylon Fiber), 폴리머 분말(Polymer Powder)이 각각 25:25:50% 혼합되어 수증기압 완화 성능 및 섬유혼입에 따른 유동성능 저하를 최소화하도록 하였다(제품명: 폴리믹스 F, 특허번호: 제10-1008322호).

### 3.3 최적배합설계용 배합변수 도출

검토된 원재료를 활용하여 각 배합변수별 실내실험을 실시하였다. 약 2년 여간에 걸쳐 500여 차례 실내실험을 실시하였고, 이 때 콘크리트 규격별로 최초 설정한 실험 범위 내에서 양호한 굳지않은 특성 및 역학적 특성을 만족할 수 있는 최적 범위를 도출하였다.

<표 4>와 같이 80MPa 고강도 콘크리트의 물결합재비의 경우 재령 56일 설계기준강도를 발현할 수 있도록 23.8%로 설정하였고, 단위수량과 단위결합재량은 강도발현 측면에서 안전 측을 고려하여 각각 155 kg/m<sup>3</sup>, 650 kg/m<sup>3</sup>으로 결정하였으며, 수화열 저감 및 압송성능 향상을 위해 플라이 애시 치환율을 20% 결정하였고, 조기강도 발현 및 경제적 확보 측면에서 실리카 폼 치환율을 6%로 결정하여 최적 실내 배합비를 결정하였다.

### 3.4 레미콘 실생산성능 검토

일반적으로 실내실험에 비해 B/P에서 실 생산되는 콘크리트의 경우 공장 설비의 차이 및

원재료 특히, 잔골재의 품질 여부 등에 따라 공장별로 상이한 특성을 나타내므로 실제 적용성을 평가하기 위해서는 B/P 테스트가 반드시 필요하다.

B/P 테스트는 업체별 시방배합의 적정성을 평가하고자 굳지 않은 콘크리트의 물성시험과 역학적 특성시험을 수행함으로써 현장 콘크리트 품질기준의 만족여부를 평가하여 최종적으로 배합의 승인을 득하기 위해 <사진 6>과 같이 수행하였다.

### 3.5 Mock-up 테스트

현장 Mock-up 테스트는 현장 상황과 동일한 조건 속에서 현장 타설 시 콘크리트의 품질 및 시공성에 문제가 발생하지 않도록 하기 위해서 실 부재와 동일한 단면의 부재를 제작하여 적절한 다짐방법 및 다짐시간, 양생방법, 거푸집 존치기간 등을 결정하고, 굳지 않은 콘크리트의 물성시험과 경화콘크리트의 표준공시체 및 코어 공시체의 재령별 압축강도 및 탄성계수 등을 측정하여 시방배합의 적정성을 평가하기 위하여 실시된다.



사진 6. 레미콘 실생산 성능 BP 테스트 일례



사진 7. Mock-up 테스트 수행 일례

사진 8. Mock-up 부재 코어링 일례

표 4. 초고층 건축용 고성능 콘크리트 실내실험 최적범위 도출 일례(80 MPa 대상)

실험변수	실험 범위	최적 범위	비고
물결합재비(%)	22.0 ~ 26.0	23.5 ~ 25.0 %	압축강도
단위수량(W)	150 ~ 165 kg/m <sup>3</sup>	155 ~ 158 kg/m <sup>3</sup>	유동성, 반죽질기(점성)
단위결합재량(B)	620 ~ 670 kg/m <sup>3</sup>	630 ~ 650 kg/m <sup>3</sup>	압축강도, 수화열
잔골재율(S/a)	45.0 ~ 50.0 %	47.0 ~ 48.0 %	유동성, 압송성
실리카 폼 치환율(%)	4.0 ~ 10.0 %	6 % 이상	압축강도, 경제성
플라이 애시 치환율(%)	10 ~ 20%	20 %	유동성, 수화열

고성능 콘크리트 현장 적용시 발생할 수 있는 문제점을 사전에 도출 및 검토하고, 효율적인 품질관리가 가능하도록 기존의 Semi Mock-up 테스트 결과를 바탕으로 <사진 7>과 같이 1:1 Scale의 Mock-up 테스트를 실시하였고, 대상 부재 Size는 <표 5>와 같다.

Mock-up 테스트 결과 각종 시공성에 대한 검증 및 콘크리트 물성에 대한 확인이 가능하였다. 특히 <그림 2>와 같이 수화열 관리를 실시하고, 거푸집 제거 후 수

화균열 발생 패턴에 대해 분석한 뒤 사전 해석결과와의 비교 검토를 통하여 실제 현장 적용시 수화온도균열을 최소화할 수 있도록 수화열 재해석 및 온도철근 배근 기초 자료로 활용하였다.

<사진 8>과 같은 코어링 강도의 경우 재령 28일 및 56일에서 메가기둥 및 코어 월의 코어강도 측정 결과, 재령 28일 강도는 설계 강도를 100% 발휘하였고, 특히 재령 56일에서는 설계 강도 대비 평균 10% 정도 코어강도가 높게 나타나 우수한 역학적 특성을 확인하였다.

표 5. Mock-up 테스트 대상 부재

항목	실부재 Size	Mock-up Size	콘크리트 강도
메가 기둥	3.5m×3.5m×H	3.5m×3.5m×4.5m	80 MPa(내화)
코어 월	2.0m×L×H	2.0m×15.0m(90) x5.0m×4.5m	80 MPa

### 3.6 최적 배합설계 수립

최초 품질관리 기준 수립, 원재료 검토, 배합변수 도출을 위한 실내실험, 배합신뢰도 확보 및 감리단 승인을 위

표 6. 초고층 건축용 고성능 콘크리트 최적 배합설계 일례

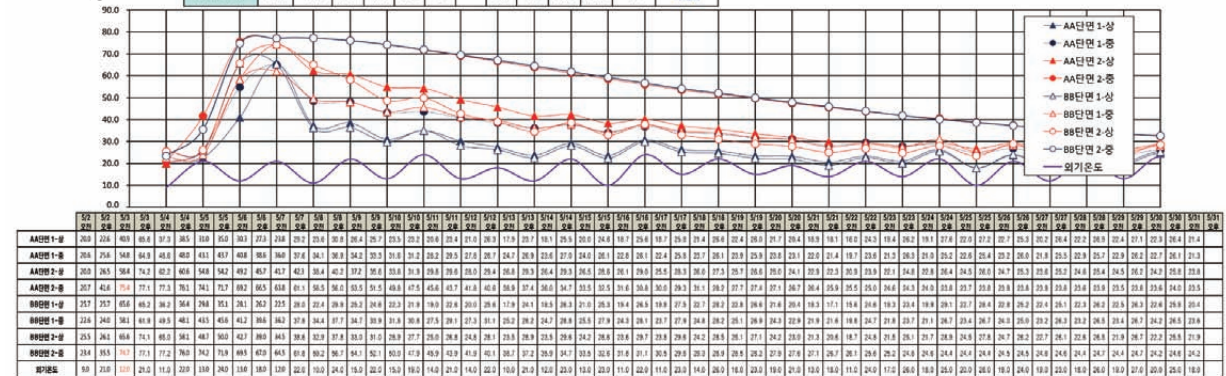
적용 부재	적용 층수	규격	설계 강도 (MPa)	W/B (%)	S/a (%)	배합구성(kg/m <sup>3</sup> )								
						W	B	결합재			골재		혼화제	
								OPC	FA	SF	잔골재	굵은 골재		
수직 부재	코어 월	B6 ~ L44	20-80-650	80	23.8	45.0	155	650	481	130	39	697	874	8.5 ~ 11.7
	메가기둥	B6 ~ L44	20-80-650	80	23.8	45.0	155	650	481	130	39	697	874	8.5 ~ 11.7
	코어 월	L45 ~ L77	20-70-650	70	27.2	48.0	158	580	443	114	23	770	865	5.7 ~ 9.0
	메가기둥	L45 ~ L77	20-70-650	70	27.2	48.0	158	580	443	114	23	770	865	5.7 ~ 9.0
	코어 월	L78 ~ L120	20-60-675	60	29.6	49.0	163	550	418	110	22	815	875	4.5 ~ 7.5
수평 부재	슬래브	B6 ~ L74	20-30-550	30	41.0	49.0	168	410	369	41	-	Var.	Var.	4.1 ~ 4.5
		L75 ~ L123	20-30-600	30	35.9	50.0	165	460	391	69	-	857	880	3.7 ~ 5.5

#### 잠실슈퍼타워용 Core Wall MOCK-UP TEST

- 시험기간 : 1개월(2011. 05. 2월(타설) ~ 05. 30(월))
- 부재크기 : 3.5×3.5×4.5M (=56m)
- 관련업체 : 시공업체 (Mock-up 제작, 설치), 신일CM(레미콘 제조), 심한건설중기(폼폼, 타설), 리더스큐엠(센서설치, 계측)
- 수화온도 관리기준 : 25℃(사전 해석치, Mock-up 결과 반영 후 재조정 예정)

- 배합설계 (20-80-650)

- 일반 온도 측정



\* 데이터 표기는 2회/일이며(실측은 1회/시간) 표기시간은 오전 07:30 오후 07:30 기준

그림 2. 수화열 관리 일례


한 레미콘공장 실생산성능 검토, 고강도 콘크리트 내화 성능 확보시험 및 500m 수평압송테스트 실시, 시공성 및 각종 역학적 특성을 검토하기 위한 1:1 Scale Mock-up 테스트 결과를 통해 500m급 초고층 건축에 적용하기 위한 최적 배합설계가 <표 6>과 같이 수립되었다.

#### 4. 맺음말

초고층 건축에서의 고성능 콘크리트 최적배합설계 및 품질관리를 위하여 다음과 같은 사항에 대해 고려할 필요가 있다.

- (1) 초고층 건축용 고성능 콘크리트는 요구조건에 따라 목표값 및 사용재료 등이 결정되기 때문에 현장의 시방조건이나 설계조건 및 시공프로세스 등을 정확히 검토한 후 이를 고려한 요구조건을 설정하여야 한다.
- (2) 사용재료는 콘크리트의 품질 요구조건을 고려하여 양질의 원재료를 사용해야 하며, 도심지 복수 레미콘의 운영효율화를 고려한 재료의 선정, 그루핑을 통해 콘크리트의 균일한 품질을 확보할 수 있도록 해야 한다.
- (3) 초고층 건축의 경우 높이 및 부재별로 콘크리트 규격이 다양하고, 동절기와 하절기의 계절적인 요인을 감안한 배합설계가 검토되어야 한다. 다양한 콘크리트 규격을 최대한 단순화하고, 고성능감수

제의 성능개선과 철저한 양생관리를 통해 보다 효율적인 현장품질관리를 수행해야 한다.

- (4) 현재 초고층 건축용 고성능 콘크리트에 대한 국내 전문시방서 및 특기시방서는 실제 현장의 요구조건이나 공정 Cycle이 반영된 실질적인 가이드라인으로서 역할이 부족한 상황이다. 따라서 본 사례와 같은 초고층 건축용 콘크리트 배합설계 및 품질관리 기술은 이러한 시방 및 관련 기준 보완의 기초자료로 유용하게 활용될 것으로 판단된다. 

담당 편집위원 : 김재요(광운대학교) kimjiyo@kw.ac.kr



**김규동 수석**은 한양대학교 건축공학과에서 석사학위를 취득한 후, 삼성건설 기술연구소와 부루즈 칼리파 현장에 근무하였으며, 현재 롯데건설(주) 잠실 롯데월드타워 현장의 기술부 총괄팀장으로 재직 중이다. 고성능 콘크리트의 재료기술연구와 실무 적용분야의 초고층 압송 관련 핵심기술 전문가이며, 특히 세계 최고층 건축물인 부루즈 칼리파 시공시 고성능 콘크리트의 배합설계, 품질관리, 시공관리 및 세계 최고높이의 압송기술 관리를 담당하였다.

concrete123@lottenc.com