



# 해운대 I'PARK 콘크리트 적용기술

## Concrete Technology of Haeundae I'PARK

**이종식** Jong-Shik Lee  
현대산업개발  
건축본부 건축본부장

**김국태** Kook-Tae Kim  
현대산업개발  
건축본부 건축PM

**안정찬** Jung-Chan An  
현대산업개발  
기술연구소 부장

### 1. 머리말

세계적인 거장 다니엘 리벤스킨드가 설계하고 현대산업개발이 개발, 시공한 초대형 주거복합 건물인 해운대 I-PARK 현장은 최고 높이 72층, 292m 규모로 해운대 바다와 요트경기장과 인접한 천혜의 자연경관이 어우러진 명품해양 레저단지로서 독특한 외관은 해운대 지역의 랜드마크로 자리매김을 할 것으로 기대되는 프로젝트이다(그림 1).

해안가에 인접한 지역적 특성과 지하 6층, 지상 72층의 초대형 건물로써 콘크리트적용기술로는 강도 60 MPa의 초고강도 콘크리트와 화재 안전성 확보를 위한 내화콘크리트 기술, 두께 4m 이상의 초대형 기초부재의 저발열 매스콘크리트 기술과 응결지연형 콘크리트 기술이 융합되었으며, 기초부위에 내염콘크리트 기술과 초고층 펌핑 관련 기술이 적용되었다. 사용된 콘크리트 강도는 지하 주차장 30 MPa, 타워동 수직부재는 B6F~51F까지는 60 MPa, 그 이상층에서는 45 MPa, 수평부재는 51층까지 45 MPa, 그 이상층은 35 MPa이었으며, 타워동 기초부위는 40 MPa이었다. 특히 타워동 기초부위의 콘크리트는 두께 4m, 13,000 m<sup>3</sup>의 초대형 부재를 타설해야 하는 설계조건과 도심지 현장 인접주택 단지의 민원발생으로 야간 연속 타설이 불가능한 상황을 극복하고, 구조물의 일체성을 확보하기 위해 응결지연형 콘크리트를 적용하여 기초 분리 타설한 시공기술이 적용되었다.



그림 1. 현장 전경

표 1. 현장개요

구분	내용		
프로젝트명	해운대 우동 I'PARK 신축공사		
대지위치	부산시 해운대구 우동 1408번지 외		
용도	공동주택, 판매업무시설		
대지면적	46,111.8 m <sup>2</sup>	건축면적	15,390.2 m <sup>2</sup>
연면적	563,126.5 m <sup>2</sup>	용적률	899.06%
건축규모	지하 6층, 최고층 72층(292m) 6개동 타워동 3개동, 호텔1개동 외 2개동		
구조형식	철근 콘크리트조, 철골조		
세대수	1,631세대		



사진 1. 내화성능 시험체 제작과정

## 2. 내화 콘크리트

초고층 건물의 고강도 콘크리트는 화재발생시 콘크리트 폭렬에 의한 안전성 우려가 있을 뿐만 아니라 국도해양부령에 의해 50 MPa 이상의 콘크리트는 내화성능을 인증받도록 하고 있다. 고강도 콘크리트의 내화성능을 확보하기 위해 rubber powder와 PP 섬유를 혼입하여 화재발생시 발생하는 콘크리트 내부의 수증기압을 효율적으로 저감할 수 있는 특허기술을 개발하여 적용하였다(사진 1).

폭렬방지 방안으로 일반적으로 가장 많이 사용되는 섬유혼입방식은 초고층 펌핑시 콘크리트의 워커빌리티에 지장을 초래하므로 가능한 혼입량이 적도록 배합설계 되어야 하고, 사전 펌핑시험을 통해 배합조정 및 대책을 세워야 한다(표 2). 또한 기둥, 보 부재는 3시간 내화성능 인증을 받아야 한다.

## 3. 내염 콘크리트

지하구조물은 해안가에 인접한 지리적 영향에 의해 해수의 직접적인 영향을 받게 되기 때문에 염해 저항성이 우수한 콘크리트 배합설계가 필요하였다. 염해 저항성을 향상시키기 위해 폴리카본산계 고성능 감수제를 사용하고 단위시멘트 중량에 대하여 고로슬래그 시멘트와 플라이 애쉬를 다량 치환하는 방안을 채택하였다. 배합설계에 첨가된 플라이 애쉬는 시멘트 수화생성물인 수산화칼슘과의 포졸란 반응에 의한 콘크리트 내부의 공극을 충전시켜 투수성을 저하시킬 뿐 아니라 구산칼

표 2. 내화 콘크리트 배합비

규격	단위용적량(kg/m <sup>3</sup> )						
	W	BSC	C	S	G	PP	고무분말
20-60-600	163	427	183	701	916	0.5	0.5

슌수화물의 지속적인 생성으로 강도 증가에 도움을 줄 수 있는 물질이다. 또한 고로슬래그 또한 내염저항성이 우수한 재료로 초기강도발현이 지연될 수 있지만 장기 강도발현에 도움을 줄뿐만 아니라 조직을 치밀하게 만들어 내염저항성을 높여 줄 수 있다.

성능비교 배합설계는 호칭강도 30, 40 MPa에 대한 4개 회사 8개 배합과 OPC로 제작한 35 MPa 배합설계안과 호칭강도 30 MPa 배합설계의 물리적 성질 및 내구성을 비교 평가하였으며, 황산염 농도는 보통의 경우를 적용하였다(표 3, 4). 포졸란 물질은 그 자체로는 수경성이 없으나 시멘트 수화에 의해 생성되는 수산화칼슘과 상온에서 서서히 반응하여 시멘트성 물질을 생성하는 물질로 콘크리트 경화체 조직을 치밀하게 하여 공극의 크기도 작아지고 염소이온 투과저항성을 증가시켜 염소이온 확산계수를 감소시킨다. 따라서 염해 저항성 향상을 위해 다량의 고로슬래그를 쓰는 것이 가장 유리하다고 할 수 있다(그림 2, 3).

현장의 수질검사 결과 바닷물과 비교해서 농도가 1/10 정도이며, 내염 배합 설계된 콘크리트는 강도뿐만 아니라 철근부식율과 염소이온 확산계수에서 우수한 성능을 발휘하는 것을 알 수 있다(표 5, 6).

## 4. 저발열 콘크리트

타워동 기초는 강도가 40 MPa이며, 두께는 PIT 부위 7m, 기초부위 4m로 타설량이 13,000 m<sup>3</sup>가 되는 초대형 매스 콘크리트로 수화열저감을 위해 저발열 콘크리트를 사용하였다. 콘크리트 배합의 결합재량을 줄이기

표 3. 황산염을 포함한 용액에 노출된 콘크리트에 대한 기준

황산염 노출상태	황산염농도 (ppm)	최대 물-시멘트비	최소설계기준강도 (MPa)
보통(바닷물)	150 ~ 1,500	0.5	27

표 4. 내염성능 향상을 위한 배합설계

호칭강도	회사	W/B	단위용적량(kg/m <sup>3</sup> )					
			W	OPC	S/C	FA	S	G
30 MPa	A	43.4	165	0	290	90	842	943
	B	44.2	168	0	293	87	824	939
	C	42.1	160	0	290	90	859	936
	D	42.1	160	0	290	90	859	936
35 MPa	-	40.0	164	410	0	0	842	945

표 5. 철근 부식을 결과

호칭강도	레미콘사	철근부식면적률(%)	
		28일	56일
30 MPa	A	11.7	14.6
	B	13.4	15.8
	C	13.6	16.3
	D	13.1	15.3
35 MPa	비교배합	13.9	17.5

표 6. 염소이온 확산계수 비교결과

호칭강도	레미콘사	염소이온 확산계수 ( $\times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{sec}$ )	
		28일	56일
30 MPa	A	2.48	2.10
	B	2.94	2.74
	C	3.97	3.49
	D	2.71	2.39
35 MPa	비교	3.98	3.58



그림 2. 염화물확산계수측정 및 결과

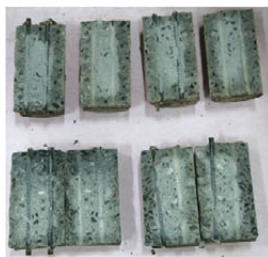
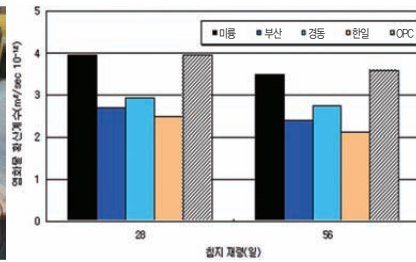
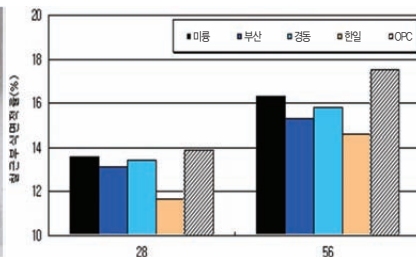


그림 3. 철근부식을 측정 및 결과



위해 먼저 콘크리트 관리재령은 56일로 정하였고, 단위 결합재량을 기존배합설계에서 80kg를 줄여 410kg로 결정하였다. 단위결합재량에서 플라이 애쉬를 25% 치환하고, 나머지 부분은 고로슬래그시멘트로만 사용하였다. 그 결과 중심부 수화열온도를 87℃에서 68℃로 줄일 수 있었다.

수화열저감대책으로 현장에서 적용한 방안은 설계상

표 7. 저발열 콘크리트 배합비

규격	W/B	단위용적량(kg/m <sup>3</sup> )					
		W	BSC	FA	S	G	AD
40 MPa	39	160	308	103	811	943	4.92

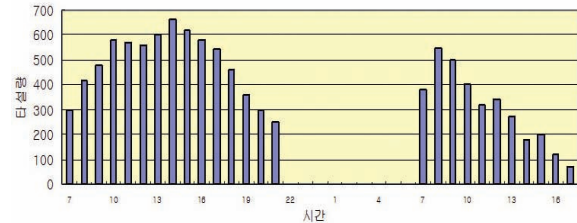


그림 4. 시간당 타설 물량

의 방안으로 온도철근의 배근, 재료상의 제어대책으로 저발열 콘크리트 배합(표 7)과 프리쿨링, 압축강도 관리재령변경을, 시공상의 대책으로는 이중버블시트, 담수양생을 채택하였다. 콘크리트 타설량은 시간당 펌프차 1대당 평균 60m<sup>3</sup>/h이며, 최대 100m<sup>3</sup>/h로, 타설 완료시점에는 타설량이 급격하게 줄어드는 것을 알 수 있었다(그림 4).

수화열 측정결과 사전 예측값과 거의 유사하였고, 기초두께가 4m로 두껍기 때문에 중심부 일일 저감온도가 0.6℃로 중심부온도의 표면부와 평형이 되는 시점은 상당한 시일이 소요될 것으로 판단되었다. 콘크리트 양생기간 및 양생방법을 선정하기 위해 콘크리트 내부 발생응력을 사전 해석하여 선정하였고, 양생방법은 외기가 15℃ 이상일 경우 담수양생을 실시하였으며, 15℃ 이하일 경우에는 버블시트 양생을 실시하였다.

## 5. 응결지연형 콘크리트

타워동 기초 콘크리트는 펌프차 7대로 타설할 경우 연속으로 27시간이 소요될 것으로 예상되어 도심지 공사의 특성상 주변 민원으로 인한 야간 연속 타설이 불가능하였고, 이를 극복하기 위한 방법으로 응결지연형 콘크리트 기술을 적용하게 되었다. 지연 목표는 초결 20시간을, 콘크리트 경시변화에서는 10시간 이후 슬럼프 플로우 400mm를 목표로 하였다. 응결지연제는 초지연제를 별도로 첨가하지 않고, 고성능감수제인 폴리카본산계 혼화제를 최대한 지연형으로 변형

시켜서 적용하였다. 배합비는 앞에서 언급한 방법으로 하였으며, 1차타설 후 10시간 동안 표면의 건조나 블리딩은 Mock-up 타설 결과 문제가 없었다. 1차 타설과 2차 타설의 경계면의 구조적인 검증을 위해 다음과 같은 실험들을 진행하였다.

먼저, 실제 타설과 동일한 형태의 시편제작에 중점을 두었으며, 시험 항목으로 압축강도, 휨강도, 전단접착강도, Mock-up 타설을 통한 접합부 목측, 10시간 경시 변화, 관입저항시험을 통한 초, 종결시험을 수행하였다 <사진 2~5>. 구조적 검토 결과 시공이음부의 구조적인 일체화가 확인되었고, 응결지연형 콘크리트의 소정의 목표값을 만족시키기 위해 즉시 생산된 콘크리트의 슬럼프 플로우는 650 ~ 680mm가 가장 이상적이며, 혼화제의 적정사용량과 PC 혼화제의 외기조건별 지연 성능에 대한 데이터를 확보하였다.

1차 타설 후 2차 타설은 10시간이 경과한 후 타설해야 되는 상황이라 2차 타설 직전 진동다짐기로 1차 타설 부위를 교반하여 2차 타설분과 일체화가 되도록 하는 것이 가장 중요한 핵심이라 할 수 있다. 1차 타설 물량은 7,300 m<sup>3</sup>로 15시간동안 타설하였고, 9시간 이후 익일 2차 타설 물량은 3,700 m<sup>3</sup>로 9시간동안 타설하였다.

### 6. 고강도 콘크리트 및 초고층 펌핑

고강도 콘크리트의 초고층 펌핑과 관련하여 우선 고려해야 할 사항은 건축물의 최고 높이와 사용 콘크리트의 강도, 1개층 콘크리트의 타설 물량이다. 다음으로 장비 선정을 위해 펌핑 Mock-up 시험을 하는 것이 바람직하다. 고압펌프의 최대압력과 고압배관 내 부위별 압력을 파악하여 고압펌프 사양을 결정하여야 하며, 고압배관 내부 압력에 따라 고압배관의 적용두께를 결정하여야 한다. 이런 계획 수립이 완료되면 배관교체 시기 및 교체기준을 설정하고, 고압펌프에서 발생하는 소음저감을 위한 방법도 현장에서 강구하여야 한다.

고강도 콘크리트는 분체량이 많아 점성이 높고, 특히 내화콘크리트의 경우 혼입한 섬유에 의해 슬럼프 로스가 많이 발생하기 때문에 고층부 타설 시 콘크리트 점성관리를 위한 현장기준이 사전에 설정되



사진 2. 압축강도, 휨강도 실험



사진 3. 분리타설 Mock-up 시험, 응결시간 측정

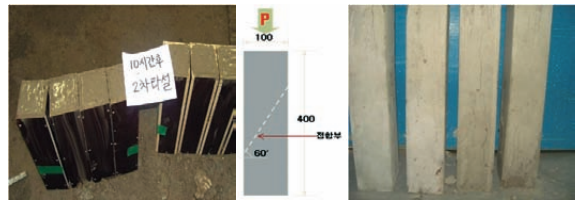


사진 4. 전단 접착강도 실험



사진 5. 경시변화 시험

어 관리되어야 한다. 현장반입 시 측정한 슬럼프 플로우는 50층 이상 펌핑 시 슬럼프 플로우 로스값이 많이 발생하므로 이를 해결하기 위한 대처방안으로 현장반입 슬럼프값을 정해야 하며, 점성관리를 위한 시험기준을 사전에 정립하여 타설 중에서의 목표 슬럼프값을 결정 후 배합조정을 하여야 한다<사진 6>.




사진 6. 점성체크 및 슬럼프로스 관리

표 8. 층별 타설 소요시간

구분	타설소요시간 (m <sup>3</sup> 당)	타설 압력	240 m <sup>3</sup> 타설 소요시간
40F 이하	8분	180 ~ 200 bar	6h
40 ~ 60F	9 ~ 12분	200 ~ 240 bar	8h
60F 이상	13 ~ 15분	200 ~ 240 bar	10h

타설 소요시간과 펌핑 소요압력은 굳지 않은 콘크리트의 슬럼프 상태에 영향을 많이 받으며, 펌핑 토출량도 이에 영향을 많이 받는다. 일반적으로 현장 타설에 문제가 되지 않는 적절한 워키빌리티를 나타낼 때 타설 소요시간 및 타설압력 실측값들을 <표 8>에 제시하였다. 고압펌프 배관두께는 8mm를 선정하였고, 현장관리측면에서 1층 곡관부와 저층부 배관두께는 2주일에 1회씩 점검하여 교체 하도록 하였다. 콘크리트 타설 시 연속 타설이 가능하도록 시공 계획을 세워야 하며, 부득이 연속 타설이 불가능할 경우 20분을 넘지 않도록 해야 한다.

## 7. 맺음말

초고층 건물은 수많은 첨단기술의 집합체이며, 그 중에서 콘크리트 기술은 골조공사의 핵심기술로 공사 착수 전 사전계획 및 배합설계에 대한 충분한 검토가 이루어져야 품질향상 및 원가절감에 기여할 수 있을 것이다. 

담당 편집위원 : 이승창(삼성물산(주)건설부문) sc88.lee@samsung.com



**이종식 전무**는 한양대학교 건축공학도를 졸업하고, 현대산업개발 건축본부장을 역임하고 있다.  
jslee@hyundai-dvp.com



**김국태 상무**는 연세대학교 건축공학도를 졸업하고, 현대산업개발 해운대아이파크 현장소장을 거쳐 건축본부 PM을 역임하고 있다.  
ktk@hyundai-dvp.com



**안정찬 부장**은 부산대학교 건축공학도를 졸업하고, 현대산업개발에서 건축팀과 기술연구소에서 근무하며, 콘크리트분야 연구를 수행하고 있다.  
okok@hyundai-dvp.com