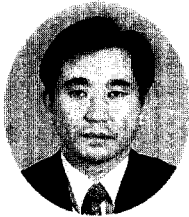


도곡동 캐릭터 199 프로젝트에 대한 고강도 콘크리트의 적용 및 품질관리

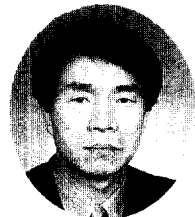
Application and Quality Control of High Strength Concrete for the Project of Togok Character 199



김 원 섭*



김 세 현**



신 성 우***

1. 서 론

우성도곡 캐릭터-199 프로젝트는 국내에서 철근 콘크리트 구조물로서는 가장 높은 140m(지하21m 포함)로 일반강도의 콘크리트로 설계할 경우 공간 활용에 많은 제약에 받게 된다. 따라서 이 프로젝트는 건물설계 초기단계에서부터 고강도콘크리트의 사용을 고려하게 되었으며 최종적으로 설계기준 압축강도 $420\text{kg}/\text{cm}^2$ 의 고강도콘크리트로 사용하여 설계되었다. 국내에서 주로 보통강도만 사용하는 건설현장 여건으로 볼때 이 건물은 시공상 품질관리에 많은 어려움이 예상되어 철저한 사전 준비와 대책을 통하여 건물의 시공에 임하였는데 본고에서는 이러한 일련의 준비과정 및 초고층 건물을 시공·관리하면서 얻은 고강도콘크리트 적용 방안과 품질관리에 대해 기술하고자 한다.

이 프로젝트와 관련해서 콘크리트 제품을 취급하는 실무기술자 입장에서 여러가지 핵심기술이 있는데 다음과 같이 요약할 수 있다.

첫째는 국내에서 본격적으로 고강도 콘크리트의 현장적용이다.

고강도콘크리트를 사용하는 주목적중의 하나는 초고층 건물을 철근콘크리트로 설계 시공하는 것이며 고강도콘크리트를 초고층 건물에 사용하게 되면 부재단면을 줄여 공간확보가 용이할 뿐만 아니라 공사비 절감, 공기단축, 내구성 증진 등의 이익을 얻을 수 있다.

콘크리트 제품을 취급하는 모든 기술자들의 기술개발 뿐만 아니라 품질관리에 대한 새로운 의식 전환을 꾀할 수 있다.

둘째는 제조 기술이다. 외국의 경우는 $400\sim 500\text{kg}/\text{cm}^2$ 강도가 거의 일반적으로 사용되고 있지만 아직까지도 국내에서는 $210\sim 300\text{kg}/\text{cm}^2$ 의 콘크리트가 주로 사용되고 있다. 제조회사나 건설회사의 경우로 고강도 콘크리트 적용에 대한 기술

* 정회원, 우성건설 우성도곡 캐릭터 199 현장소장
** 정회원, 우성건설 우성도곡 캐릭터 199 공사차장
*** 한양대학교 건축공학과 교수, 공학박사

개발에 투자를 적극적으로 하지 않는 편이다. 콘크리트의 고강도화는 먼저 단위 시멘트량이 많아지는 것이 특색이며, 아울러 고성능 감수제를 사용하여 W/C를 낮추는 방법을 주로 택하고 있다. 국내의 제조기술력은 400~500kg/cm² 정도의 콘크리트는 대체적으로 고성능 감수제를 사용하고 제조에 관련된 기술자들의 품질관리에 관한 책임의식만 고취되면 충분히 가능하다고 할 수 있다. 이 프로젝트의 경우 당초 현장 베퉀 설치는 적극적으로 검토해 보았으나 부지확보, 환경법 적용 등의 여건이 맞지 않으므로 제조사의 제품을 납품하기로 하였다. 납품사 선정 방법은 납품 가능한 거리에 있는 A, B, C 3개사를 선정하여 고강도 생산 및 연구소 연구실적, 기술개발능력, 제조공장의 품질관리, 기술자 보유현황 골재 보관, 상태를 파악하여 A, B 2개 회사를 선정하여 동일한 조건에서 현장 시험타설하여 생콘크리트 시험 결과, 수화열제어 정도로 강도발현등에 의하여 납품사를 선정하였다.



사진 1 완공후의 건물 조감도

셋째는 이 프로젝트의 경우 기초가 상당한 mass 부재로 고강도 콘크리트를 사용하도록 설계

되어져 있다. 일반강도의 콘크리트보다 단위 시멘트량이 많으므로 강화시 상당한 수화열이 발생되어 양생시 수화열로 인한 균열 발생 가능성이 상당히 높다. 건축공사의 경우 토목 구조물과는 달리 수화열 처리를 위한 다른 방법을 적용하기가 어려우므로 mass 부재의 경우 분리 타설이 불가피하다. 최대 mass의 크기가 9.4×14m 크기의 타설 높이 2m로 수화열로 인한 균열대책을 사전에 수립하여야 한다. 강도가 확보되는 가능한 범위내에서 가능한 단위 시멘트량을 줄이고 fly-ash 등 결합재를 일부 대체하는 방안도 사전에 강구하여야 한다.

셋째는 양생이다. 콘크리트 양생은 사전에 콘크리트 제품의 특성을 충분히 파악하여 제품 특성에 맞는 양생 방법을 채택하여야 할 것이다. 특히 고강도콘크리트는 보통강도 콘크리트에 비해 블리딩 발생량이 적기 때문에 표면이 넓은 기초판 등에 타설후 수분증발을 막아 주고 또한 내외부 온도차를 최대한 줄여주는 방법을 강구하여야 할 것이다.

2. 프로젝트 개요

이 프로젝트는 94년 5월에 착공하여 98년 7월에 완공된다. 건물은 31층 3개동으로 2개동은 철근 콘크리트 구조물로 공동 주택용이고 나머지 1개동은 철골조로 오피스텔 용도로 철근 콘크리트 tower는 고강도 콘크리트가 적용되는 국내 최대 건축 현장이다. 구조적인 측면에서 볼 때는 2중 튜브구조로 내진효과가 있으며, 실내 공간은 사용자의 편의에 따라 공간을 구획할 수 있도록 설계되어져 있다.

층별 콘크리트 강도분포는 다음 표와 같다.

표 1 층별 강도 분포

설계기준압축강도 (kg/cm ² /)	타설량(m ³)	타 설 부 위
420	20,000	지하 4층~지하1층 수직부재 및 기초
360	2,000	1층~4층 수직부재 (옹벽포함)
300	2,500	5층~10층 수직부재
240	60,000	상기 부위를 제외한 모든 부위

3. 제 조

고강도 콘크리트의 제조는 사용 골재의 크기 및 제품을 특별히 규정하여 사용하는 제조법도 있으나 이 프로젝트의 경우 가능하면 국내의 현 생산 시스템을 이용하면서 사용 골재도 일반강도 콘크리트와 동일하게 하여 경제적인 측면을 최대한 고려하였다. 이 프로젝트의 요구강도 $420\text{kg}/\text{cm}^2$ 정도는 현재 사용하고 있는 재료를 좀 더 품질관리만 하면 가능하다는 것을 실험으로 알 수 있었다.

제조에 대한 사전연구 사항을 알아보면 다음과 같다

1) 물시멘트 비 (물-결합재비)

배합재료가 정해져 있는 경우 콘크리트의 압축강도를 결정하는 가장 중요한 요소는 물-시멘트비이며 물-시멘트비가 감소함에 따라 압축강도는 급격하게 증가한다.

따라서, 콘크리트가 주어진 배합조건하에서 높은 강도 발현을 위해 가능한한 물-시멘트비를 낮춰야 한다. 일반적으로 시멘트-물비와 콘크리트 압축강도는 선형관계에 있다고 할 수 있다.

2) 단위 수량 및 단위 시멘트량

단위 수량은 작업이 가능한 범위 내에서 가장 적게 되도록 하여야 한다. 고강도 콘크리트의 경우 단위 시멘트량이 많음에 따라 수화발열에 의한 균열발생 위험성이 높기 때문에 가능한한 시멘트의 사용량을 줄이는 것이 중요하다. 또한 콘크리트의 단위수량이 증가하게 되면 건조 수축량의 증가 등 콘크리트의 역학적 성질에 악영향을 미치기 때문에 작업성을 확보하는 범위내에서 단위수량을 줄이는 것이 바람직하다. $400\sim 500\text{kg}/\text{cm}^2$ 범위의 고강도 콘크리트의 단위수량은 $165\sim 175\text{kg}/\text{cm}^2$ 이다. 단위 시멘트량을 소정의 강도 및 작업성을 갖는 콘크리트가 얻어지도록 실험으로 정해진 물-시멘트비와 단위수량으로 부터 구한다.

3) 슬럼프

고강도 콘크리트는 보통 강도 콘크리트에 비하여 시간 경과에 따른 슬럼프 손실이 클 뿐만 아니라 점성이 높아 펌프 압송시 높은 압력이 걸리므로 원활한 작업을 위해서는 높은 슬럼프를 유지하는 것이 바람직하다. 보통 강도 콘크리트의 경우

에는 슬럼프 값이 너무 크면 작업은 쉽게 되지만 블리링이 많아지고 골재 분리 현상이 발생하기 쉽다. 그러나 고강도 콘크리트는 단위 시멘트량이 많고 물-결합재비가 낮기 때문에 높은 슬럼프 범위에서도 골재 분리에 대한 저항성이 크고 블리링도 그다지 발생되지 않는다. 일반적으로 고강도 콘크리트는 운반 시간이 길 경우 또한 기온이 높은 경우에는 슬럼프가 크게 저하되므로 운반중의 슬럼프 손실을 고려한 슬럼프 값에 대하여 배합을 정해두어야 하며, 운반 도중이나 타설 직전에 고성능감수제를 추가 투여할 경우의 투여량은 반드시 시간 경과에 따른 슬럼프 손실 실험 결과를 바탕으로 하여 결정하여야 한다.

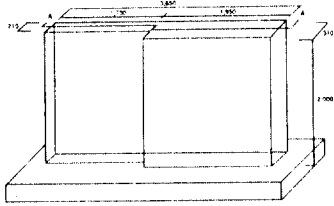
4) 잔골재율

일반적으로 잔골재율은 소요의 성능을 얻을 수 있는 범위내에서 작게 정하는 것이나, 물-시멘트비, 공기량, 골재의 입도 및 입형 등에 의해 변화되므로 표준치를 정하기 어렵다. 또한 고성능감수제를 사용할 경우 잔골재율은 고성능감수제의 단위 사용량에 의해서도 달라지기 때문에 최적의 잔골재율은 시험 비법에 의하여 결정하여야 한다.

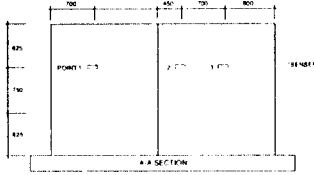
잔골재율을 낮추면, 소요의 작업성을 갖는 콘크리트를 제조하기 위하여 필요한 단위 수량이 감소되고 아울러 단위 시멘트량이 적어져서 경제적으로 된다. 그러나 잔골재율을 너무 작게 하면, 기친 배합이 되고 재료 분리에 대한 저항성이 감소하여 작업성이 좋지 않은 콘크리트가 된다. 고강도 콘크리트는 단위 시멘트량이 많은 부배합이므로 미세입자를 다량 함유하고 있어 보통 강도 콘크리트에 비하여 최적 잔골재율이 감소한다.

4. 현장실험

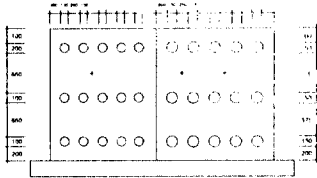
배합은 앞서도 언급한 바와같이 고강도 콘크리트가 타설되는 부분은 지하 및 저층부위로서 기초의 경우 큰 매스 구조물이므로 수화열 응력에 의한 균열 발생위험을 줄이기 위하여 최초 배합 설계단계에서부터 fly-ash 사용을 고려하였다. 또한 강도와 작업성이 허용하는 범위내에서 결합재량을 줄이기 위한 배합이 되도록 하였으며 동일



(a) 시험벽체규격



(b) 수화열측정 온도센서설치



(c) 강도확인을 위한 코어배치도

그림 1 시험벽체 설치



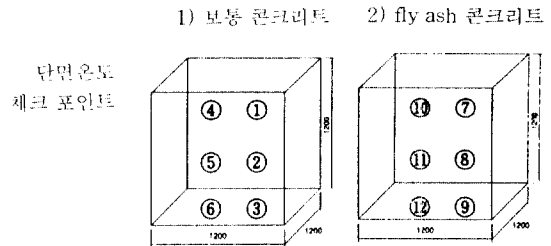
사진 3 강도확인을 위한 코어 채취장면

물결합재 비에서 결합재량이 줄게 되면 콘크리트 점성이 증가하여 작업성이 저하되므로 작업성 확보에도 중점을 두었다.

현장에서 모의 벽체 및 매스콘크리트 부재를 제작하고 열전대를 매립하여 수화열을 측정하였으며, 벽체의 경우는 코어를 채취하여 구조체에 타설된 고강도 콘크리트가 실제 기준강도를 확보하고 있는가 실험하였다. 실험타설에 사용한 고강도 콘크리트 배합표는 다음 표 2와 같다.



사진 2 현장 시험타설 장면



보통 콘크리트와 fly ash 콘크리트 단면온도 비교도

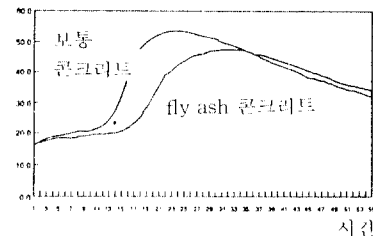


그림 2 매스부재 수화열 측정 시험체 및 측정결과 그래프

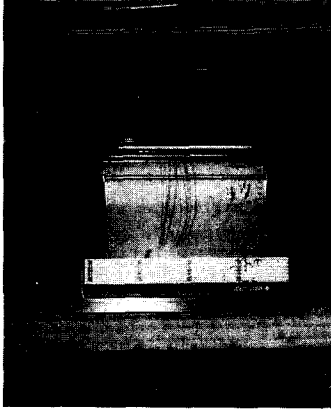


사진 4 수화열 측정 장면

표 2 고강도콘크리트의 배합표

W/B (%)	S/A (%)	단위중량 (kg/cm ³)					SP B×(%)
		W	C	F.A	S	G	
33.9	43.6	168	396.5	99.1	754.0	966.8	2.0

실험에 이용된 운반된 생콘크리트에 대한 시험 결과는 표 3과 같다.

일반 콘크리트의 경우도 지하구조물 전체면적인 2800평으로 가로 세로 100m 정도가 되므로 일반 배합으로 할 경우 신축으로 인한 균열이 예상된다. 균열을 주로 W/C 비가 높을 수록 많이 발생하므로 고성능 감수제를 사용하여 W/C를 낮추고 일부 시멘트를 fly-ash로 대체하여 균열방지에 최대한 중점을 두었다. 배합표 표 4와 같다.

표 3 슬럼프 및 슬럼프플로우 압축강도 및 경시변화

측 정 항 목	경과시간 (분, 콘크리트 제조직후부터)				
	40	60	80	100	120
슬 럽 프 (cm)	24	22	22	1	19
슬럼프플로우(cm)	40	38	35	32	29
압축강도 (kg/cm ³)	540	539	532	528	530

표 4 균열방지를 위한 240kg/cm² 강도콘크리트 배합표

W/C (%)	S/A (%)	단위중량 (kg/cm ³)					SP B×(%)
		W	C	F.A	S	G	
46.02	47.6	162	264	88	872	971	2.0

5. 현장 타설

고강도 콘크리트는 보통강도 콘크리트에 비해

점성이 크므로 콘크리트 압송시 장비에 더 많은 부하가 걸린다. 따라서 현장 타설시 펌프카의 압력을 적절히 조절하고 배관 부위에 에어벤트를 설치하여 유입된 공기를 배출하는 방법을 채택하였다. 점성이 크므로 작업성이 저하되기 때문에 정확한 타설위치에 정확한 타설량을 타설하는 것이 무엇보다 중요하다. 고강도 콘크리트는 일반강도 콘크리트에 비하여 재료분리 및 블리킹 현상은 훨씬 줄어들 수 있으나 층고가 (6.6m) 높이므로 수직부재 타설시 트래미관을 이용하였다.

타설 방법은 다음 그림 3과 같다.

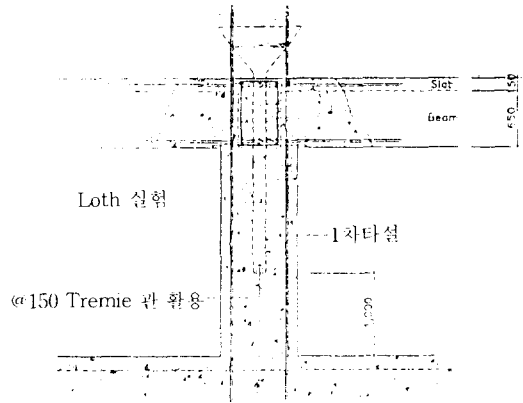


그림 3 기둥 및 보, 슬라브 타설방법

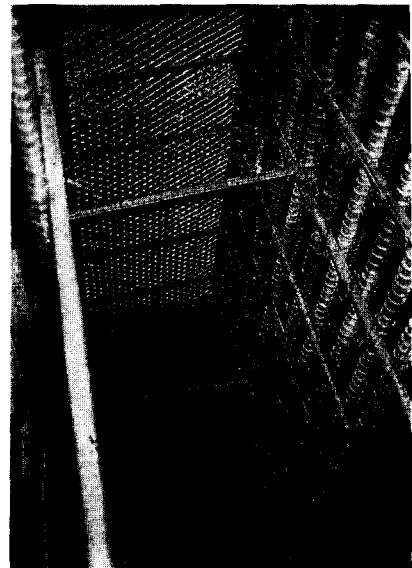


사진 5 끊어치기 타설장면

기초부위는 두께가 2m인 매스콘크리트이므로 고강도 콘크리트를 타설할 경우 균열 발생이 우려되었다. 따라서 다음 그림 4와 같이 기초를 3등분 분리타설 하였다. 기초는 1차 타설후 양생포를 덮고 살수하여 3일간 습윤양생을 실시하고 2차, 3차 타설을 실시하였다. 습윤양생시 수화열에 의한 균열방지를 위하여 살수 시점은 콘크리트 응결이 끝난 시점 및 수화열 측정기로 부재내부온도 및 표면온도를 측정하면서 내·외부 온도차가 줄어드는 시점으로 하였다. 기초 분리 타설은 다음 그림 4와 같다.

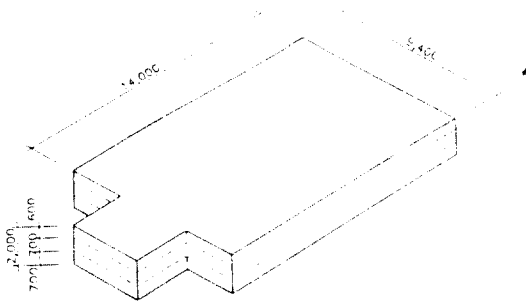


그림 4 기초 분리 타설 방법

고강도 콘크리트를 사용한 1200×1200×5000mm 매스콘크리트 기둥 부재의 경우 기둥집



사진 6 기둥 부재 외부 보양 장면

으로 12mm 합판을 사용하고 내외부 온도차로 인한 균열방지를 위해 거푸집위에 압출 스티로폼을 설치하여 단열로 인한 온도차를 최대한 줄이는 방법을 채택하였다.

고강도 콘크리트는 외기온도에 민감하고 경시변화가 심하게 일어날 수 있으므로 제조, 운반, 타설 계획을 사전에 충분히 검토하여 수립한 후 각 단계에서 문제점 발생으로 야기되는 대기시간을 가능한 줄여야 한다.

6. 품질관리결과 및 분석

설계기준 압축강도는 현장 타설을 계속하면서 품질관리 시험결과를 측정한 결과 다음 표 5와 같다

표 5 고강도 콘크리트 압축강도 품질 시험결과표

항 목	계 령			
	3일	7일	14일	28일
평균(kgf/cm ²)	311	394	441	513
표준편차(kgf/cm ²)	34.68	35.86	34.53	34.86
변동계수(%)	11.15	9.10	7.83	6.80

현장에 타설된 고강도 콘크리트의 압축강도 시험 결과를 통계적으로 분석한 결과 배합강도는 변동계수 11%로 가정하여 KSF 4009에 따라 500kg/cm²로 정하였는데, 실제로 타설된 고강도 콘크리트에 대한 통계적인 품질관리 결과는 평균 압축강도는 513kg/cm²로 목표 배합강도를 약간 상회하는 수준이며 변동계수는 6.8%로 나타났는데 관

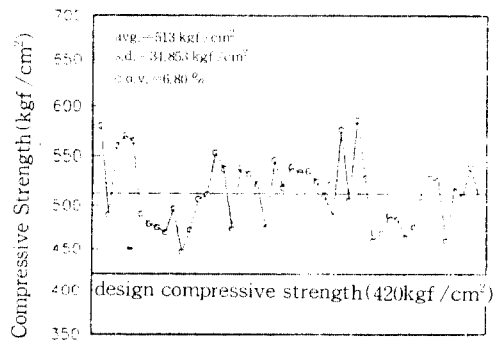


그림 5 타설 순서에 따른 콘크리트의 압축강도의 변화

리목표로 정한 11%보다 상당히 낮아 매우 만족한 품질관리가 이루어진 것으로 나타났다.

그림 5는 재령 28일 압축강도를 콘크리트 타설 순서에 따라 표시한 것인데, 월별 및 계절별로 압축강도에 큰 차이없이 품질관리가 되었음을 알 수 있다.

매스콘크리트 부재의 수화열 관리는 이 프로젝트에서 상당히 중요한 관리 항목으로 앞에서 언급한 바 대로 분리타설한 결과 타설 두께 700mm에 대한 수화열 측정 결과는 아래 그림 6과 같다.

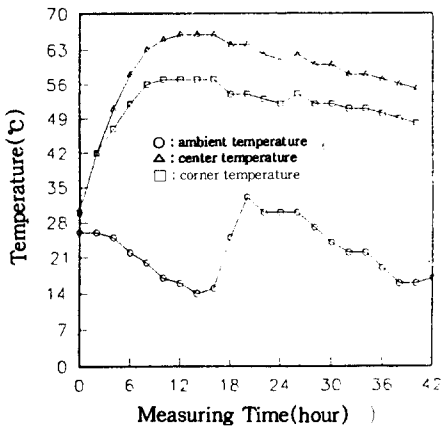


그림 6 두께 700mm 기초판에 대한 수화열 측정결과

일반적으로 부재 내·외부 온도차가 15°C 이상이면 수화열 응력에 의한 균열 위험성이 있다고 인정되는데 실측정 결과는 기초판 내·외부에 대하여 10°C의 온도차를 보였으며 타설후 콘크리트 표면을 육안 관찰한 결과 수화열로 인한 균열은 전혀 발생하지 않았다. 한편 고강도 콘크리트는 결합재량이 많고 점성이 높아 보통 강도 콘크리트에 비하여 블리링이 적어 넓은 기초판등에 고강도 콘크리트를 타설할 시에는 표면 건조 등에 의한 소성수축 균열 발생 위험이 높다. 실제로 본 타설 현장에서도 적절한 보양 대책을 강구하지 않은 경우에는 소성수축 균열이 발생하기도 하였다. 여러 가지 보양 방법을 사용하면서 소성수축 균열 방지 정도를 관찰해 본 결과 균열방지를 위해서는 콘크리트 응결이 끝난 즉시 살수하여 표면에 수분을 충

분히 공급하고 비닐을 덮고 양생마대를 설치하여 보양하는 방법이 가장 효과적이었다.

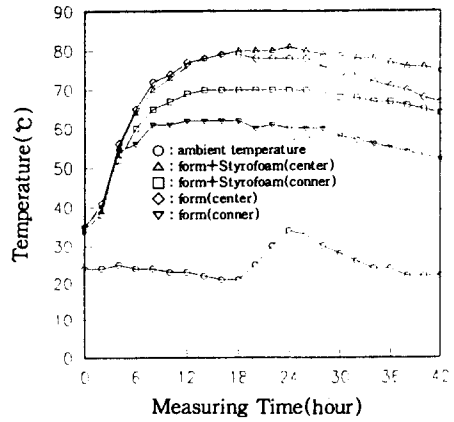


그림 7 보양방법에 따른 1200×1200×1500mm 기둥에 대한 수화열 측정 방법

다음 그림 7은 1200×1200×5000mm 기둥에 대한 그림에서 나타난 바와 같이 거푸집만을 사용한 기둥의 중심부는 최고온도가 79°C로 나타났고, 압출 스티로폼을 사용한 기둥의 중심부 최고 온도는 81°C로 나타나 최고 온도에 있어서는 스티로폼을 사용한 경우가 2°C 높았다. 그러나 부재 내·외부 온도차는 스티로폼을 사용한 경우가 11°C, 거푸집만을 사용한 경우가 18°C로 나타나 매스콘크리트 부재에서는 스티로폼 등을 사용하여 적절하게 단열 보양을 실시하면 수화열 응력에 의한 균열 발생 위험성을 현저히 줄일 수 있다. 고강도 콘크리트는 단위 시멘트량이 많아 보통 강도 콘크리트에 비하여 수화발열량이 많다. 따라서 수화열 응력에 의한 위험을 줄이기 위해서는 강도 및 작업성이 확보되는 범위내에서 시멘트의 사용량을 줄이고 fly-ash 등의 결합재를 사용하는 것이 좋다. 또한 시공시 적절한 타설 및 보양 방법을 선정하여 균열발생 위험을 줄이는 것이 중요하다.

7. 결 론

현장 고강도 적용 및 품질관리에 있어서 시공

관리를 하면서 원재료 및 배합비를 최적으로 선택하고 적절한 품질관리를 수행하면 고강도 콘크리트의 경우도 보통강도 콘크리트처럼 적절한 작업성 확보가 가능하다. 또한 고강도 콘크리트의 타설속도는 보통 강도 콘크리트와 유사하며 짐성이 크므로 표면 마무리 작업에서는 더 많은 인력이 소요되며 장비 압송 부하도 많이 걸리므로 적절한 품질 관리가 요망된다. 특히 고강도 콘크리트는 보통강도 콘크리트에 비하여 블리딩 발생이 적어 넓은 기초판 등에 타설할 시에는 표면 건조 등에 의한 소성 수축 균열 발생위험이 높으므로 균열 방지를 위해서는 일정시간(3시간후) 지난 후 살수

거푸집 존치(3일)의 적절한 기간이 필요하다. 고강도 콘크리트는 보통강도 콘크리트에 비하여 유동성이 커 거푸집 사이의 작은 틈으로도 시멘트 페이스트가 유출되어 부재 외관을 손상시킬 수 있으므로 치밀한 거푸집 조립이 필요하다. 고강도 콘크리트의 현장 적용 및 품질관리를 위해서는 제조 기술도 중요하지만 더욱더 중요한 것은 각 단계별 제품 취급자의 의식 전환이 무엇보다 중요하다. 콘크리트도 마찬가지로이지만 고강도 콘크리트 취급에 대한 취급자에게 충분히 교육시켜 사전 계획 하에 구조물 공사를 시행하면 좋은 결과가 있을 것으로 본다. □

콘크리트학의 전문서적 보급안내

철근콘크리트 구조설계매뉴얼(신간)

■한국콘크리트학회 편

본서는 극한강도 설계공식에 근거하여 도표와 설계예제를 작성하였으며, 그림을 이용하여 설계를 쉽고 빠르게 할 수 있고 또, 설계과정에서 반복되는 계산을 함축하여 계산과정을 단축시켜 설계실무에 편리하도록 집필되어 있다.

- A4 · 3권 / 총가 37,000원(회원 10% 할인), 우송시 송료 2,700원 별도부담
- 제1권 : 보 · 브라켓 · 기초의 설계
- 제2권 : 기둥 · 벽체의 설계
- 제3권 : 슬래브의 설계

콘크리트구조물의 비파괴검사 및 안전진단(신간) - 제2회 기술강좌 교재 보정판 -

■한국콘크리트학회 편

이 책은 건설현장 기술자들이 유용하게 활용할 수 있는 비파괴시험의 관련 원리 및 적용방법에 대한 최신 기술은 물론, 건축 · 토목공사용 콘크리트구조물의 안전진단 및 유지관리 · 보수방법과 콘크리트의 내구성 향상과 관련 시험방법에 관한 내용을 이해하기 쉽게 상세히 기술하고 있다.

- B5 · 408면 / 定價 17,000원(회원 10% 할인), 우송시 송료 2,100원 별도부담

최신 콘크리트공학

■한국콘크리트학회 편

이 책은 콘크리트 기본 구성재료의 특성 및 요건 등을 분석하고, 이들 구성재료를 이용한 배합설계, 굳지 않은 콘크리트의 기본성질, 혼합, 운반 및 타설과정의 특기사항, 양생, 콘크리트의 시험, 품질관리, 내구성 뿐만 아니라 최근에 개발되고 있는 새로운 콘크리트의 제조 및 제반 특성에 이르기까지 포괄적인 내용을 실고 있다.

- B5 · 682면 / 定價 18,000원(회원 10% 할인), 우송시 송료 2,100원 별도부담