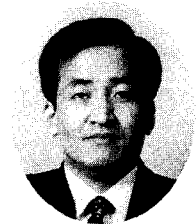


## 유동화 콘크리트의 시공 및 품질 관리 사례

- Construction and Quality Control Example of Flowing Concrete -



권영진\*

### 1. 머리말

우리나라의 경우 건축용 콘크리트는 단위수량이 많은 상태에서 슬럼프 18 ~ 21 cm 정도의 묽은비빔 콘크리트를 사용하도록 규정되어 왔으나, 실제로는 된비빔 콘크리트인 슬럼프 8 ~ 12 cm 를 주문하고 현장에서 가수하는 사례가 대부분 있었다. 이러한 묽은비빔 콘크리트는 품질상 여러 가지 불리한 측면을 가지고 있으나 부재 단면이 작고, 배근량이 많은 부위에 콘크리트를 채우기 위해서는 어찌할 수 없이 사용되었다. 이에 콘크리트 배합 설계에서 높은 유동성과 낮은 단위수량이 상반되는 두 개의 요구에 균형을 취하는 것이 주요한 목표로 되어 왔다.

이러한 배경에서 단위수량의 증가 없이 감수제의 사용에 의해 적정의 유동성을 만족시키는 유동화 콘크리트가 개발되었으나, 종래의 감수제를 사용한 유동화 콘크리트는 일반적으로 응결 지연이나 다소의 공기 연행성을 갖기 때문에 그 사용량에 한도가 있었다. 그러나, 최근에 개발된 고분산 작용을 갖는 고성능 감수제는 다량 사용해도 응결 지연이나 경화 불량 발생이 발생하지 않으며, 단위수량을 더욱 저감시키면서 유동성을 향상시킬 수 있어 최근에는 우리나라에서도 건축 공사 등에 사용되고 있다.

본고에서는 유동화 콘크리트의 현장 적용 사례를 통하여 레미콘 공장에서의 유동화 콘크리트 제조 가능성 및 품질 관리상의

문제점, 현장 적용시의 품질 평가 및 품질 확보를 위한 품질 관리 시스템, 또한 현재 제조 및 시공법상의 개선점에 대하여 기술하고자 한다.

### 2. 공사 개요 및 유동화 콘크리트의 소요 품질

#### 2.1 공사 개요

유동화 콘크리트의 현장 적용을 위한 대상 구조물의 공사 개요는 <표 1>과 같으며, 공사 현장의 전경을 <사진 1>에 나타낸다.

표 1. 공사 개요

구 분	내 용
1. 공사 명	○○지구 ○○○아파트 신축 공사
2. 공사 위치	대전광역시 유성구 노은동
3. 공사 기간	1998. 10. 01 ~ 2001. 05. 31
4. 대지 면적	50,521.09m <sup>2</sup> (2,879.58평)
5. 건축 면적	9,519.24m <sup>2</sup> (2,879.58평)
6. 연 면 적	160,316.35m <sup>2</sup> (48,495.7평)
7. 구 조	철근 콘크리트 구조(RC조)
8. 규 모	15 ~ 25층 16개 동
9. 건물 현황	아파트, 부대 복리 시설

\* 정회원, 흥용리플래시건설(주) 기술사업본부장, 전무이사

## 2.2 유동화 콘크리트의 소요 품질

현장 적용을 위한 유동화 콘크리트의 소요 품질은 <표 2>에 나타낸 바와 같다. 유동화 콘크리트의 유동성, 즉 슬럼프 및 슬럼프-플로우의 유지 성능은 <그림 1>에 나타낸 바와 같이 운반, 타설 대기, 타설 소요 시간 등을 고려하여 60~90분으로 설정하였으며, 목표 공기량을  $4.5 \pm 1.5\%$ 로 설정하였다.

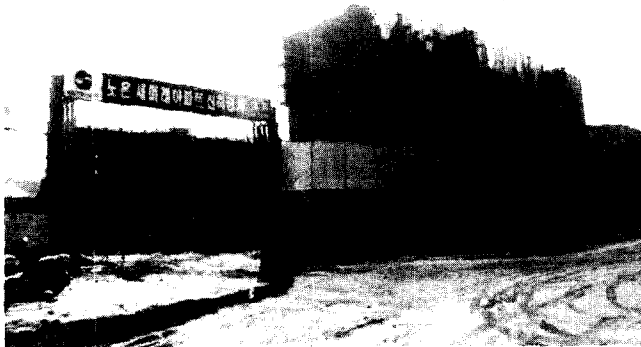


사진 1. 공사 현장의 전경

표 2 유동화 콘크리트의 소요 품질

평가 항목	목표 값	비 고
설계 기준 강도	240kgf/cm <sup>2</sup>	· 배합 설계 산정 · 규격 - KS F 2405
품질 기준 강도	270kgf/cm <sup>2</sup>	
배합강도	310kgf/cm <sup>2</sup>	
슬럼프	18~22cm	· KS F 2402 (유동성 유지 시간 60~90분)
슬럼프-플로우	35~45cm	
공기량	4.5±1.5%	· KS F 2421

## 2.3 배합 강도의 설정

유동화 콘크리트의 배합 강도는 「コンクリート調合設計指針・同解説」(일본건축학회)를 참조하여 다음과 같이 산정하였다.

### 1) 품질 기준 강도

구조물 및 부재의 요구 성능을 얻기 위해 필요한 콘크리트의 압축 강도로서 일반 설계 기준 강도와 내구 설계 기준 강도를 확보하기 위하여 콘크리트의 품질을 기준으로 하여 설정한 강도

$$F_q > = F_c + \Delta F = 240 + 30 = 270\text{kgf/cm}^2$$

$$F_q > = F_d + \Delta F = 240 + 30 = 270\text{kgf/cm}^2$$

$F_q$  : 품질 기준 강도(kgf/cm<sup>2</sup>)

$F_c$  : 설계 기준 강도(kgf/cm<sup>2</sup>)

$F_d$  : 내구 설계 기준 강도(표준등급 : 240kgf/cm<sup>2</sup>)

$\Delta F$  : 표준공시체와 구조체 콘크리트의 압축 강도 차를 고려한 할증 강도(≒ 30kgf/cm<sup>2</sup>)

### 2) 배합 강도

$$28F \geq F_q + T_{28} + K_2 \cdot \sigma$$

$$28F \geq \alpha (F_q + T_{28}) + K_3 \cdot \sigma$$

$mT_m$  : 4~8월까지 일평균 기온이 15°C 이상이므로 T=0

$K_2$  : 불량률 5% 이하로 하기 위한 정규편차(K=1.645)

$K_3$  : 품질 기준 강도에 대하여 허용 최소치와의 비( $\alpha=0.85$ )

$$28F \geq 270 + 1.645 \times 25 \approx 310\text{kgf/cm}^2$$

$$28F \geq 0.85 (270 + 0) + 3.0 \times 25 \approx 304.5\text{kgf/cm}^2$$

따라서 배합 강도는 310kgf/cm<sup>2</sup>로 설정하였다.

## 3. 현장 적용 실험

### 3.1 사용 재료

사용 재료는 레미콘 공장에서 일반적으로 사용되는 재료를 기준으로 하였다.

시멘트는 1종 보통 포틀랜드 시멘트로서 사일로에 저장된 벌크(Bulk) 형태인 국내 A사의 제품을 사용하였으며, 시멘트의 물리적 성질은 <표 3>에 나타낸 바와 같이 모두 KS 규격을 만족하였다.

골재로서 굵은골재는 대전에서 생산되는 최대 치수 25mm 부순자갈, 잔골재는 연기군에서 생산되는 강모래를 사용하였으며, 골재의 물리적 성질은 <표 4>에 나타낸 바와 같다. 골재의 표면수율은 2회/일 측정하여 골재 호퍼에 매설된 함수량 측정 센서의 측정 결과와 비교하여 배합 설계에 반영하였다. 또한, 현장 타설 시 표면 수량의 변동을 최소화하기 위해 통풍이나 증발로 인한 변화를 방지하는 장치를 설치하였다.

유동화 콘크리트의 유동성을 확보하기 위해서 고성능 감수제를 사용하였으며, 고성능 감수제의 물리적 성질은 <표 5>와 같다. 또한, 고성능 감수제의 투입 방법은 B/P의 믹서에 콘크리트를

표 3. 시멘트의 물리적 성질

종 류	비중	분말도 (cm <sup>2</sup> /g)	안정성	응결 시간		압축 강도(kgf/cm <sup>2</sup> )		
				초결	종결	3일	7일	28일
보통 포틀랜드 시멘트	3.15	3.250	양호	4:30	7:20	195	290	375

표 4. 골재의 물리적 성질

종 류	최대 치수 (mm)	비중	흡수율 (%)	조립률 (F.M.)	단위용적중량 (kg/m <sup>3</sup> )
굵은골재	25	2.57	1.96	6.54	1503
잔골재	5	2.55	1.21	2.72	1589

표 5. 고성능 감수제의 물리적 성질

종 류	주성분	색 상	비 중	특성	유형
N형	Copolymer	암갈색	1.20	무	액상

N형 : 나프탈렌계

배합하면서 직접 첨가하는 방법을 채용하였다.

### 3.2 콘크리트의 배합 및 제조 방식

〈표 1〉에 나타난 유동화 콘크리트의 소요 품질을 만족하기 위하여 유동화 콘크리트의 기본 배합은 실내 실험을 거쳐 〈표 6〉과 같이 설정하였다.

한편, 유동화 콘크리트의 제조 방식은 〈그림 1〉과 같이 현장 첨가 방식과 공장 첨가 방식 및 공장 유동화 방식으로 구분되며, 본 현장 적용 실험에서는 레미콘 공장에서 소요 품질을 목표로 유동화 콘크리트를 제조한 후 운반하여 시공 현장에서 직접 타설하는 공장 유동화 방식을 채용하였다.

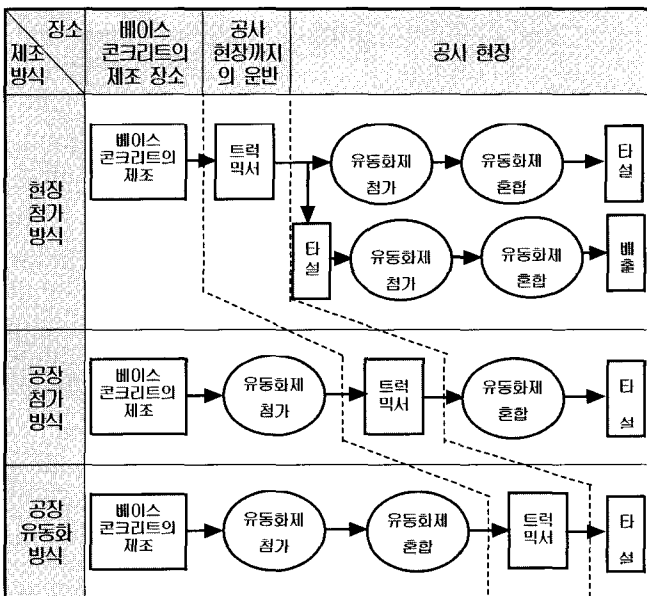


그림 1. 유동화 콘크리트의 생산 방식

## 4. 유동화 콘크리트의 품질 평가

### 4.1 월별 일평균 기온의 분포

〈그림 2〉는 유동화 콘크리트의 타설 기간 중 월별 외기와 수중의 일평균 기온을 나타낸 것이다. 월별 외기의 일평균 기온은 각각 12.5℃/4월, 17.9℃/5월, 20.9℃/6월, 24.6℃/7월, 25.8℃/8월로 나타나 전반적으로 예상된 온도인 15℃를 만족하였다.

### 4.2 굳지않은 콘크리트의 성상

#### 4.2.1 슬럼프의 경시 변화

본 공사 현장에 사용된 유동화 콘크리트의 제조 방식은 공장 유동화 방식이며, 〈그림 3〉은 유동화 콘크리트의 경과 시간에 따른 슬럼프의 변화를 개념적으로 나타낸 것으로, 타설 예상 시간인 60~90분에서도 소요의 목표 슬럼프를 만족하도록 하였다. 〈사진 2〉는 본 공사에 사용된 유동화 콘크리트의 슬럼프 시험의 한 장면을 나타낸 것이다.

#### 4.2.2 월별 슬럼프 및 공기량의 변화

〈그림 4〉와 〈그림 5〉는 4~7월에 타설된 유동화 콘크리트의 슬럼프와 공기량의 변화를 월별로 나타낸 것으로, 슬럼프 및 공기량은 거의 모두 목표로 한 값을 만족하였다.

〈사진 3〉은 유동화 콘크리트의 타설 장면을 나타낸 것이며, 〈사진 4〉는 타설 면 마감 및 양생 장면을 나타낸 것이다.

### 4.3 경화 콘크리트의 성상

#### 4.3.1 압축 강도 발현 성상

〈그림 6〉은 공사 현장에서 타설되는 유동화 콘크리트를 표준

표 6. 유동화 콘크리트의 기본 배합

배합 강도 (kgf/cm <sup>2</sup> )	목표 슬럼프 (cm)	공기량 (%)	W/C (%)	굵은골재 최대 치수 (mm)	잔골재율 (%)	단위 수량 (kg/m <sup>3</sup> )	단위용적 (ℓ/m <sup>3</sup> )			단위중량 (kg/m <sup>3</sup> )			
							시멘트	잔골재	굵은골재	시멘트	잔골재	굵은골재	혼화제
270	18~22	4.5±1.5	45	25	50	175	124	335	341	389	853	877	3.89

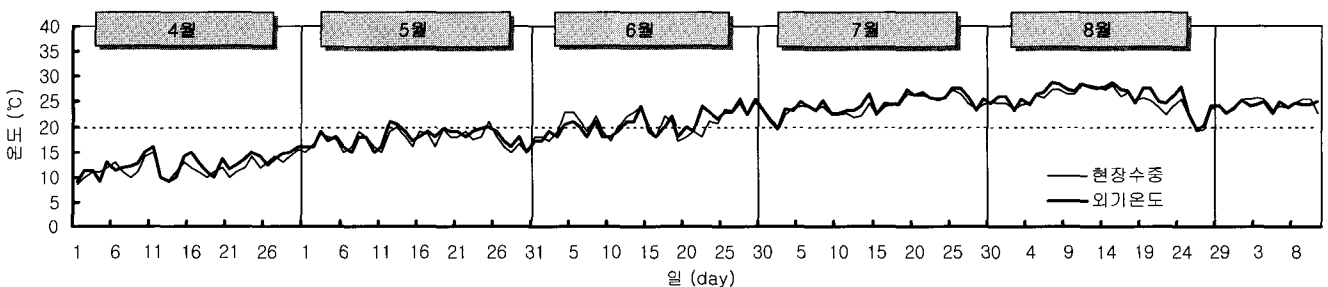
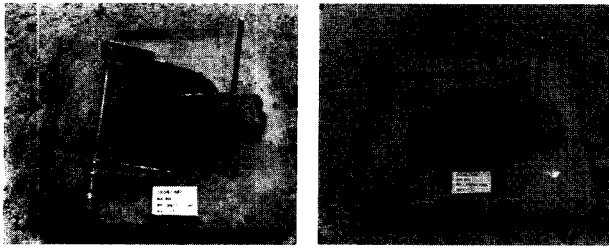


그림 2. 월별 외기 및 수중의 일평균 기온 변화



(a) 비빔 직후 (b) 경과 시간 60분

사진 2. 유동화 콘크리트의 슬럼프

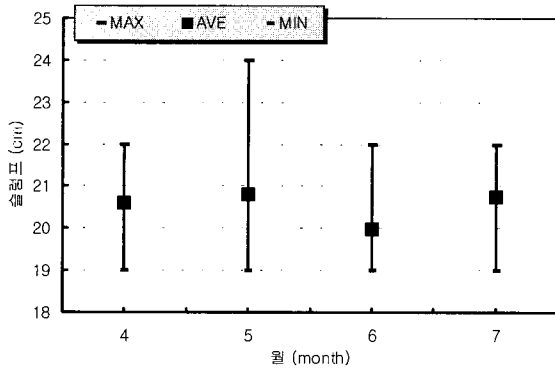


그림 4. 월별 슬럼프의 변화

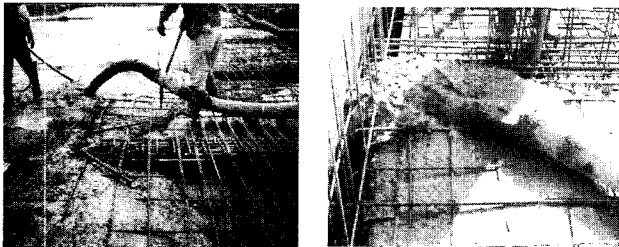


사진 3. 유동화 콘크리트의 타설 장면

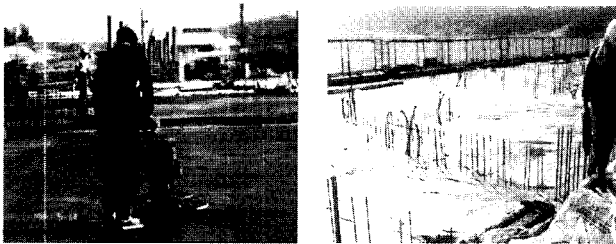


사진 4. 유동화 콘크리트의 마감 및 보양 장면

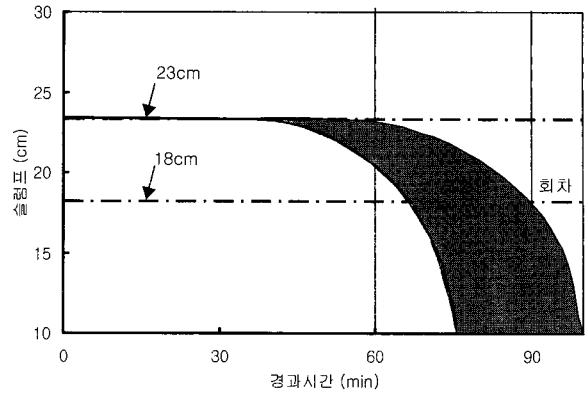


그림 3. 경과 시간에 따른 슬럼프의 변화

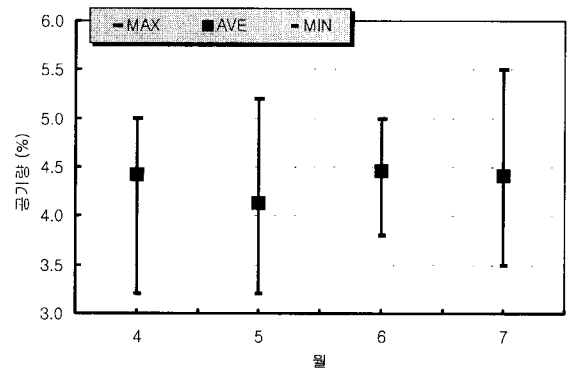


그림 5. 월별 공기량의 변화

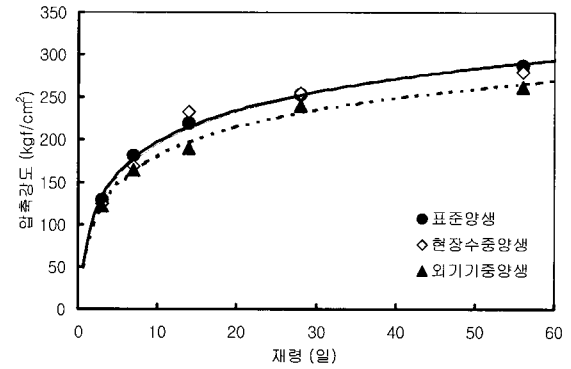


그림 6. 양생 방법별 압축 강도의 발현

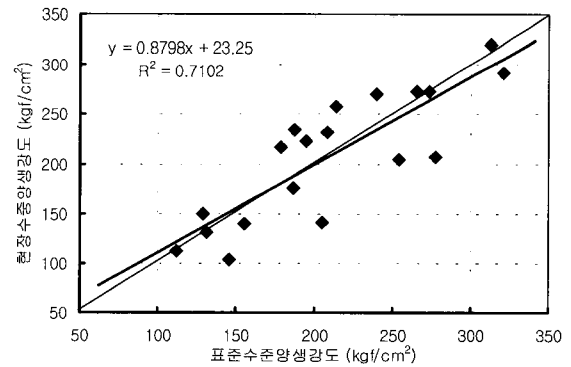


그림 7. 표준 양생 강도와 현장 수중 양생 강도와의 관계

양생과 현장 수중 양생 및 외기기건 양생의 세 가지 양생 방법으로 나누어 실시한 시험체의 압축 강도를 재령에 따라 나타낸 것이다. 본 공사에 사용된 유동화 콘크리트의 강도 발현 성상을 살펴보면 표준 양생과 현장 수중 양생한 시험체의 강도 발현 성상은 매우 유사한 경향을 보이고 있는데 이는 표준 양생 및 현장 수중 양생의 온도 범위가 5~6월에 타설 및 양생된 콘크리트의 경우 유사했기 때문으로 사료되며, 외기기중 양생의 경우 약 8% 정도 낮게 발현되었다. 또한 표준 수중 양생 강도와 현장 수

중 양생 강도와의 관계를 나타낸 <그림 7>에서도 강도가 거의 유사하게 발현된 것으로 나타나고 있다.

#### 4.3.2 적산 온도와 압축 강도 발현

최근 건설 기술 및 시공 기술이 발전되면서 공사 기간과 시공 공간의 문제가 중요한 관심사로 대두되고 있으며, 특히 초기 재령에서 현장 타설 콘크리트의 압축 강도 예측이 중요하게 되고 있다. 일반적으로 초기 재령에서 현장 타설 콘크리트의 강도를

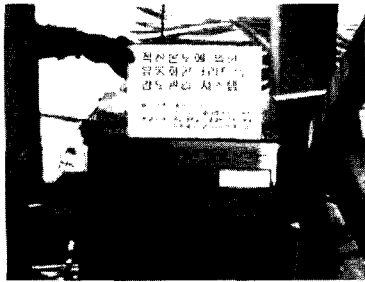


사진 5. 콘크리트 내부 온도 측정 장치

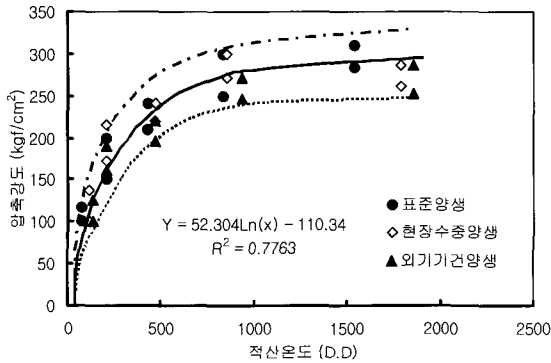


그림 8. Plowman식에 의한 적산 온도와 실측치와의 관계

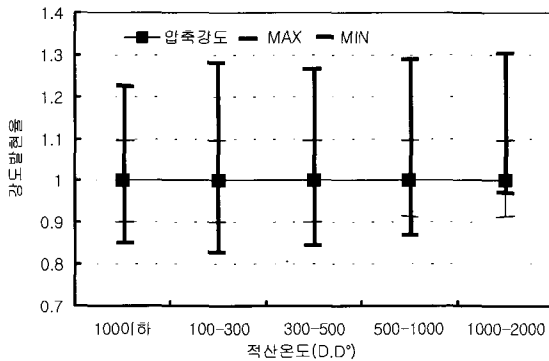


그림 9. 적산 온도와 강도발현율

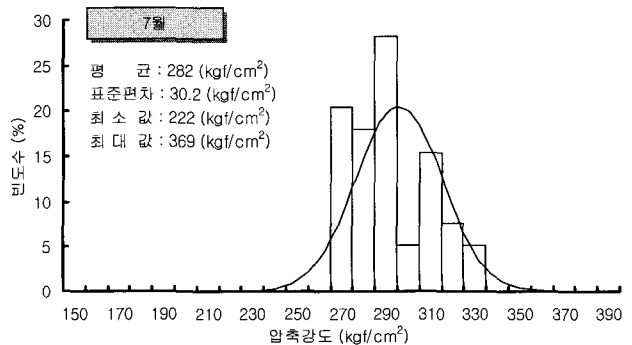
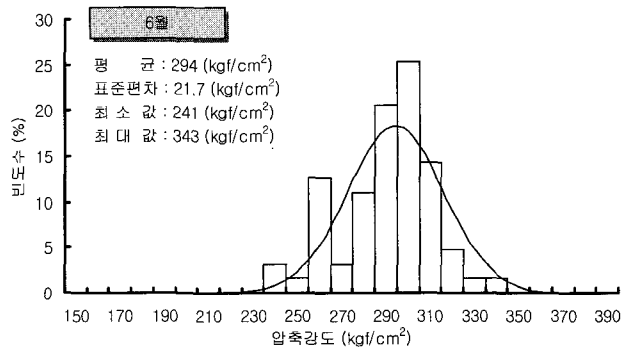
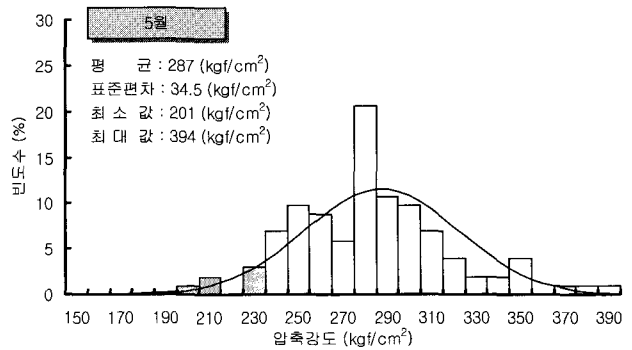
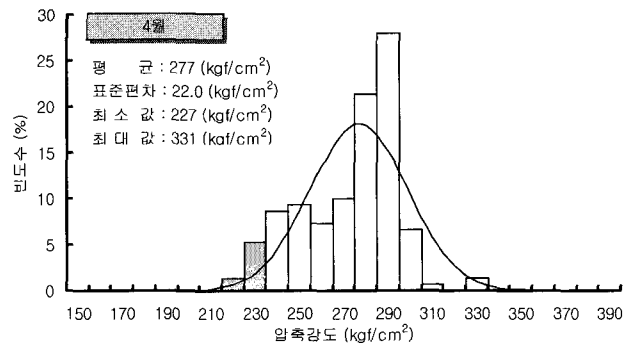


그림 10. 월별 압축 강도 시험 결과의 정규분포도

예측하기 위한 방법으로 적산 온도 방정식과 활성화 에너지를 이용한 등가재령에 의한 방법이 있다. 이에 본 현장 적용 실험에서는 적산 온도 방식을 도입하여 현장 타설된 유동화 콘크리트의 초기 재령에서 강도 발현 특성을 검토하였으며 이에 의해 구조체 콘크리트의 압축 강도를 평가하였다. <사진 5>는 콘크리트의 내부 온도 측정 장치를 나타낸 것이다.

<그림 8>은 Plowman식에 의한 적산 온도와 압축 강도 실측치와의 관계를 나타낸 것으로, 건설 생산 현장에 있어서 유동화 콘크리트의 강도 예측에 적산 온도 방식을 활용하는 것이 가능한 것으로 나타났다. 또한, <그림 9>는 적산 온도와 강도발현율을 나타낸 것으로 대부분 강도발현율  $1 \pm 0.3\%$  범위 안에 있는 것으로 나타났다. 따라서, 유동화 콘크리트 적용 현장에서 구조체 콘크리트의 압축 강도는 타설 및 다짐, 기온 조건 등 제반 조건을 고려하여 현장 양생과 외부기건 양생의 경우에 적산 온도 방식을 적용하여 보다 정확한 강도 관리를 할 수 있을 것으로 판단된다.

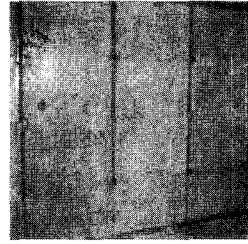
#### 4.3.3 월별 압축 강도 시험 결과

<그림 10>은 4월부터 7월까지의 월별 압축 강도 시험 결과의 정규분포도로, 4, 5월의 경우 정규편차가 다소 크고 불량률이 높게 나타나는데 이는 유동화 적용 단계에서의 인식 부족, 관리용 공시체의 제조 및 치수 오차, 골재 표면수 적용 오차 등이 의한 것으로 판단된다. 따라서, 유동화 콘크리트의 강도에 대한 불량률을 저감하기 위해서는 제조시 원재료 품질 변동의 철저한 관리, 시공자의 유동화 콘크리트에 대한 충분한 이해 등이 선행되어야 할 것으로 판단된다. 또한, 공사 현장에서 강도 관리도의 작성 및 분석 시스템의 도입에 의하여 강도 관리 수준이 크게 향상되었으며, 월별 강도 분포를 검토하여 평균값과 표준편차를 통해 보다 균일한 콘크리트를 제조할 수 있는 기초 자료로서 활용 할 수 있을 것이다.

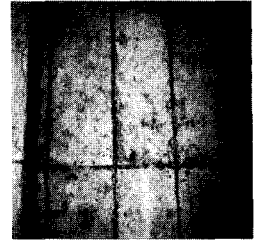
#### 4.3.4 구조체 콘크리트의 마감 면

일반적으로 유동화 콘크리트는 보통 콘크리트에 비하여 유동성이 양호하기 때문에 다짐 등에 의해 거푸집 구석구석까지 치밀하게 충전되며, 이로 인해 구조체 콘크리트의 마감 면이 보통 콘크리트에 비하여 양호하다. 본 공사에서도 콘크리트의 종류 및 거푸집의 종류에 따른 구조체 콘크리트의 마감 면을 비교하였다.

<사진 6>은 본 공사 현장에 사용된 유동화 콘크리트와 보통 콘크리트의 마감 면을 비교한 것으로, 유동화 콘크리트를 사용한 쪽이 보통 콘크리트보다 마감 면의 성상이 양호하게 나타났다. 또한, <사진 7>은 거푸집 종류에 따른 유동화 콘크리트의 마감 면을 비교한 것으로, 마감 면은 대체로 양호하게 나타났으나 거푸집 종류에 따라 그 상태는 다르게 나타나 유동화 콘크리트의 마감 면을 양호하게 하기 위해서는 거푸집 종류를 충분히 고려해야 할 것으로 판단된다.



(a. 유동화 콘크리트)



(b. 보통 콘크리트)

사진 6. 유동화 콘크리트와 보통 콘크리트의 마감면 비교

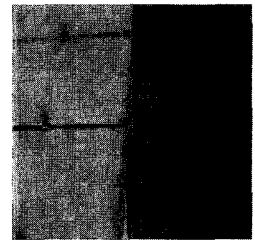
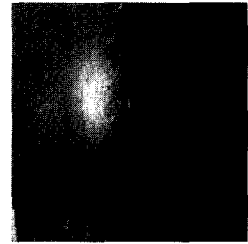


사진 7. 거푸집 종류에 따른 유동화 콘크리트의 마감면 비교

## 5. 결론

이상과 같이 유동화 콘크리트의 현장 적용 사례를 살펴본 결과, 현재의 레미콘 제조 설비에 화학혼화제의 저장 및 계량 설비 등이 보완된다면 유동화 콘크리트의 제조 및 안정적인 공급이 가능하며, 또한 사용 재료의 품질 관리 측면에서 잔골재의 표면수 변동과 같은 원재료의 변동을 최소화하기 위한 설비 및 관리 대책이 필요하다.

유동화 콘크리트의 강도 시험 결과, 표준 양생과 현장 수중 양생 시험체의 압축 강도는 거의 유사하나, 외부기건양생의 경우 상대적으로 낮게 발현되고 있어 구조체 콘크리트의 양생 방법에 대한 고려가 필요하다. 또한, 구조체 콘크리트의 압축 강도는 적산 온도 방식을 이용함으로써 보다 정확하게 강도를 관리할 수 있으며, 정규분포도에 의한 전 영역의 강도 분포를 검토하여 보다 균일한 강도 관리를 할 수 있을 것이다.

또한, 유동화 콘크리트를 적용함으로써 마감 면의 품질을 향상시킬 수 있으며, 마감 면 처리 비용의 절감이 가능할 것이다. □

## 참고문헌

1. 日本建築學會, 「コンクリートの品質管理指針・同解説」, 1999 改正.
2. 日本建築學會, 「流動化コンクリートの施工指針(案)・同解説」, 1994.
3. 권영진, 길배수, 김무한 외, “적산온도에 의한 고강도콘크리트의 압축 강도 증진해석에 관한 실험적 연구”, 대한건축학회 논문집 14 권, 1998. 12.
4. 日本建築學會 材料施工委員會 第1分科會, 「流動化コンクリートの技術の現況」, 1979. 11.