

# 고강도 콘크리트의 통계적 특성을 이용한 품질관리

오 병 환\* 이 성 로\*\*

## 1. 서 론

콘크리트가 적용되는 구조물이 고강화 되면서 풍하중에 대한 충분한 안전성과 저층 콘크리트 구조의 비대함에 대한 사용성 및 외적 비관에 대한 고려를 해야 한다.

고층 건축물과 같은 장대구조에는 특히 횡방향 풍하중에 대한 충분한 강성(rigidity)이 필요한 바, 이것은 높은 탄성계수를 가지는 재료의 사용에 의해 만족시킬 수 있다.

강재의 강성(rigidity)은 단위 체적당 보통 콘크리트의 강성에 비해 5-7배 정도로 높아 고층 건축물의 시공재료로 적당하지만 가격이 콘크리트의 20-30배 정도로 경제적인 측면에서 불리하다.

높은 탄성계수를 가지는 고강도 콘크리트 (560kg/cm<sup>2</sup> 이상)는 강재를 사용하는 경우에 비해 단위 가격당 6배 정도의 강도를 가지므로 장대구조의 고층 건축물에 그 적용이 많아지고 있다.

그러나 구조가 복잡하고 안전성이 중요시되는 고층 건축물의 시공재료로서의 고강도 콘크리트의 선택은 강재의 선택에 비해 높은 위험부담 즉, 시공기간의 지연이나 구조적 기능의 결함에 대한 가능성을 가지고 있다.

따라서 고강도 콘크리트의 구조적 건전성수준 (the level of structural integrity)은 보통 콘크리트의 그것보다 높아야 한다.

콘크리트의 구조적 건전성은, 보다 안전측의 가정과 콘크리트 배합강도를 설계강도 보다 높게 규정함으로써 종래의 전통적 방법에 비해 높은 수준을 유지할 수 있으며,

더욱 엄격한 품질관리체통의 구축에 의해서도 높은 건전성을 유지할 수 있다.

그러나 고강도 콘크리트를 적용하는 경우에 있어 콘크리트의 평균 배합강도를 과다하게 높게 규정하기는 어려운 바, 이것은 배합강도의 크기가 재료적 특성과 시공현상의 적용기술 수준에 의해 결정되어야 할 문제이며 과다한 배합강도 규정은 경제성이 떨어지기 때문이다.

이러한 제약조건으로 말미암아 품질관리체통의 측면에서 보다 특별한 신뢰도를 부여하여 높은 건전성 수준을 유지함이 바람직하며 높은 신뢰도를 만족시키기 위해서는 콘크리트 강도의 통계적 평가 및 품질관리가 중요한 도구가 된다.

따라서 본고에서는 고강도콘크리트를 적용함에 있어 필요한 통계적 특성을 설계강도 700kg/cm<sup>2</sup>의 콘크리트를 예로 들어 소개하고자 한다.

## 2. 고강도 콘크리트의 품질에 영향을 주는 요소

콘크리트 구조물을 성공적으로 건설하는 데에는 수많은 요소가 영향을 주게 되며, 고강도 콘크리트를 적용하는 경우에는 이들 중의 상당수가 결정적 요인으로 작용한다. 즉, 고강도 콘크리트의 품질변동성은 보통강도 콘크리트보다 크다고 볼 수 있다.

대개의 경우 콘크리트를 생산함에 있어서 몇가지 요소물/시멘트비, 골재등급, 배합시간에 대해서만 품질관리의 영향인자로 고려하였으나, 고강도 콘크리트의 경우는 품

\* 서울대학교 공과대학 토목공학과 교수  
 \*\* 서울대학교 대학원 박사수료

질의 신뢰도가 설계조건을 만족시키도록 생산 및 타설과정에서 불필요한 변동성을 제한하는 데에서 성공적인 생산 및 타설 여부가 결정된다.

통계적 품질관리시스템의 기능은 명백하지 않은 제조소를 파악하고 종래의 슬럼프와 압축강도 발현에 필요한 관리를 하여 콘크리트의 품질을 일정수준 이상으로 유지하는 것으로 물/시멘트비와 같은 일반적 요소들은 그 특성이 명백하고 인식도가 높으므로 콘크리트의 품질관리를 수행함에 있어 큰 문제를 내포하지 않는다.

고강도 콘크리트는 보통 콘크리트와 달리 최대골재의 치수, 혼화제 사용, 슬럼프 손실 등에서 콘크리트의 품질을 좌우하는 슬럼프 및 압축강도에 영향을 많이 미치므로 이들 요소를 분석하여 보통 콘크리트보다 높은 수준의 품질관리를 해야 한다.

### 3. 고강도 콘크리트 배합특성

고강도 콘크리트의 배합은 보통 콘크리트의 경우에 비해 낮은 물/시멘트비를 적용함으로써 인해 작업성 (workability) 이 문제시 되어 감수제의 사용이 불가피하므로 혼화제의 사용에 대한 품질의 변동성을 파악하여야 하며, 슬럼프 손실에 대해서도 고려를 해야 한다.

또한 콘크리트의 강도발현에 중대한 영향을 미치는 굵은 골재의 최적치수도 신중히 결정되어야 한다.

다음은 설계강도  $700\text{kg}/\text{cm}^2$ 의 고강도 콘크리트 배합에 대한 특성이다.

굵은 골재의 특성이 콘크리트의 구조적 성질에 중대한 영향을 미치므로  $700\text{kg}/\text{cm}^2$ 의 설계강도를 가지기 위해서 사용될 굵은 골재의 최적치수를 결정해야 한다.

그림1을 보면 알 수 있듯이 일반적으로 일정한 물, 시멘트비에서 최대골재치수가 가장 작은 경우의 콘크리트가 가장 높은 강도를 나타내는데 이것은 골재치수가 작을수록 골재와 시멘트사이의 부착강도가 증가하기 때문이다.

고강도 콘크리트는 28일 이후의 강도발현이 매우 크므로 압축강도 측정기준을 56일 또는 90일로 하고 있는 바, 그림2는 최대 골재치수에 따른 물/시멘트 비와 56일 압축강도 사이의 관계를 나타낸 것이다.(여기서,  $1\text{psi}=0.07\text{kg}/\text{cm}^2$ 이고,  $1\text{in}=25.4\text{mm}$  이다).

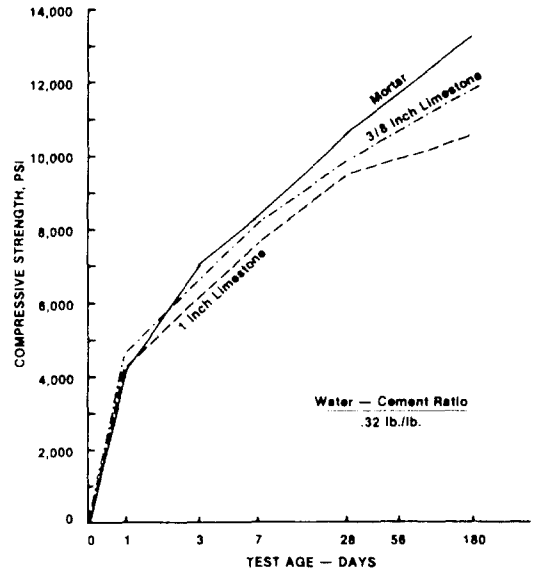


그림 1. 굵은골재의 치수가 다른 콘크리트와 몰타르의 압축강도 비교 (물-시멘트비가 0.32인 경우) ( $1\text{psi}=0.07\text{kg}/\text{cm}^2$ )

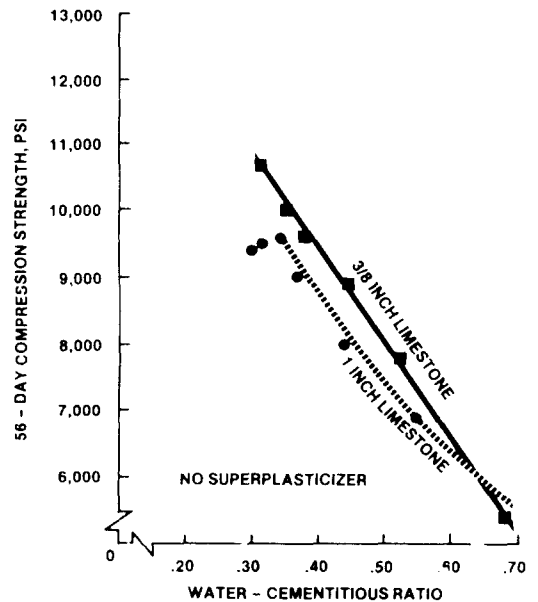


그림 2. 굵은골재의 치수가 다른 경우의 물-시멘트비와 압축강도의 관계

또한 같은 치수의 굵은 골재를 사용하더라도 보통감수제 (water-reducer)를 사용한 경우보다는 고성능 감수제 (superplasticizer)를 사용한 경우가 강도가 높다. (그림3, 4참조)

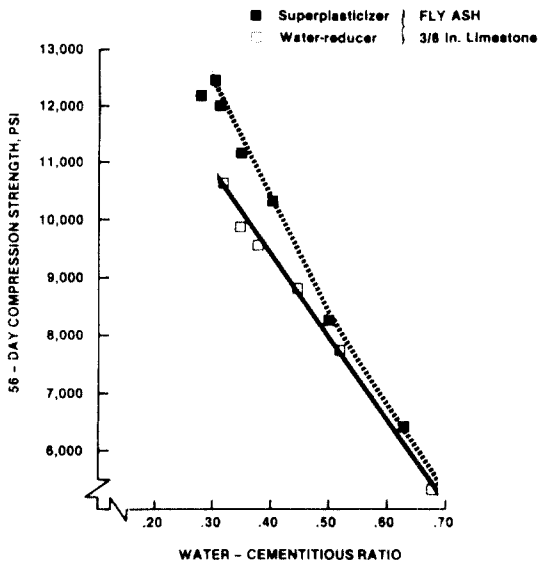


그림 3. 고성능감수제의 사용에 따른 물-시멘트비와 압축강도의 관계 (굵은골재의 최대치수가 9.5mm이하인 경우)

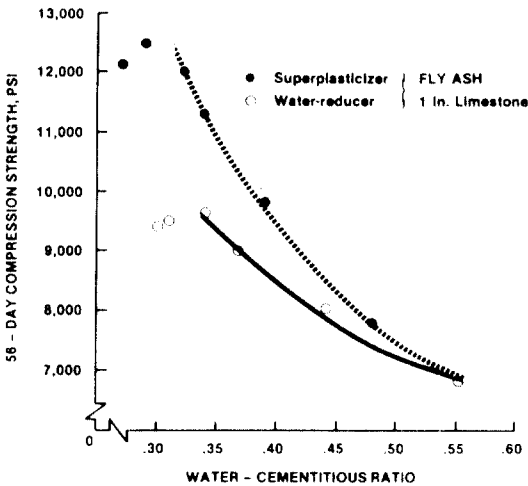


그림 4. 고성능감수제의 사용에 따른 물-시멘트비와 압축강도의 관계 (굵은골재의 최대치수가 25.4mm인 경우)

그림4에서 보면 25.4mm(1 in)의 굵은 골재를 사용한 경우 고성능 감수제를 사용함으로써  $w/c=0.3$ 에서 보통 감수제 사용에 비해  $210\text{kg}/\text{cm}^3$  정도의 강도증가가 있는데 이러한 강도증가는 물/시멘트비가 0.5이하에서 나타난다.

혼화제의 사용은 시멘트와 기타 접합물질의 상호작용에 의해 콘크리트의 품질에 영향을 미치는 바, 고강도 콘크리트의 경우 대부분의 건설현장에서 혼화제 생산자가 제시한 투입량보다 많은 양의 혼화제를 투입하여 작업성을 높이는 경향이 있으므로, 최적의 혼화제 투입량은 혼화제 양을 달리하여 시험혼합을 한 후 결정하여야 하며, 특히 레미콘 생산의 경우 기기의 동작 불량이나 작업자의 실수등으로 과다 투입하는 사례가 많으므로 이에 대한 조치를 해야 한다.

표 1. 고성능감수제의 투입효과

투입량( $\text{kg}/\text{m}^3$ )	3.8	7.3
압축강도( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )		
1 일	418.9	428.8
3 일	546.2	666.8
7 일	617.8	775.6
28 일	772.7	909.3
56 일	799.1	984.9
180 일	871.2	1045.4

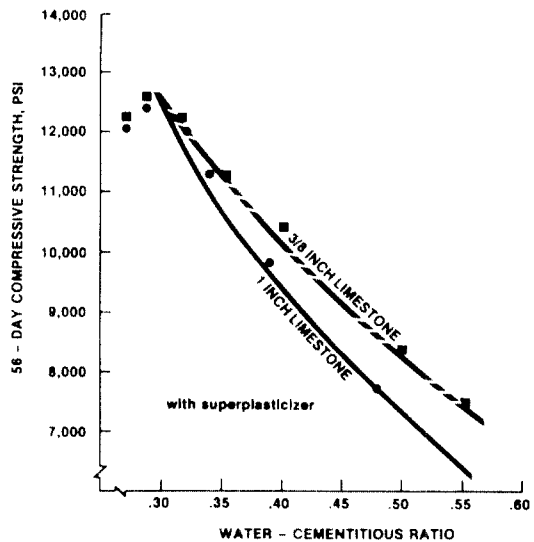


그림 5. 굵은골재의 치수가 다른 경우의 물-시멘트비와 압축강도의 관계 (고성능감수제를 사용한 경우)

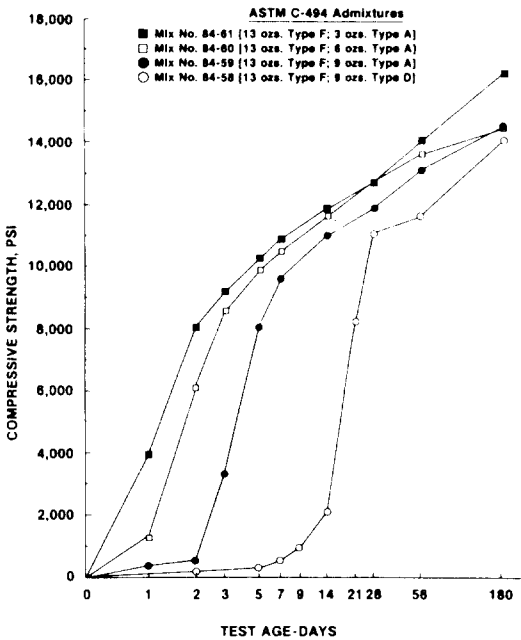


그림 6. 콘크리트의 압축강도 발현에 대한 감수제 투입량의 효과

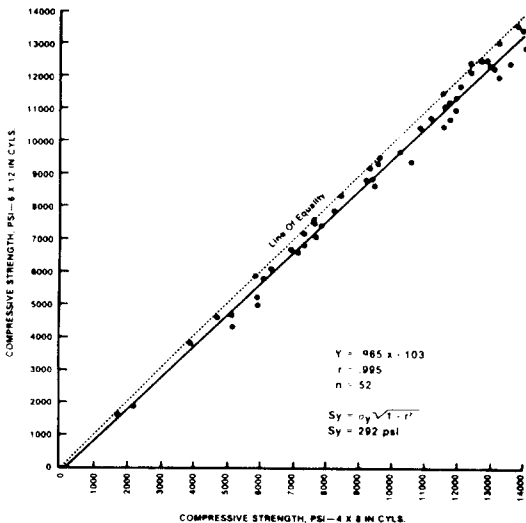


그림 7.  $\phi 10 \times 20$ cm 시편과  $\phi 15 \times 30$ cm 시편의 압축강도 관계

슬럼프 손실이 문제가 되는 경우는 고성능 감수제를 재투입하여 원하는 슬럼프를 유지할 수 있는데 감수제를 재투입하게 되면 슬럼프 증가 뿐만 아니라 강도가 증가

되므로 여름에 고강도 콘크리트를 타설할 경우 매우 유리한 것으로 보여진다. 표1은 이러한 결과를 나타내고 있다.

다음의 표2는 설계강도  $700\text{kg/cm}^2$ 의 고강도 콘크리트의 현장 시험배합과 강도시험 결과를 나타낸 것으로 실린더 시편은  $\phi 15 \times 30\text{cm}$ 의 플라스틱 몰드 (plastic mould)를 사용하였다.

실험실에서는  $\phi 10 \times 20\text{cm}$ 의 플라스틱 몰드를 사용하여 두시편 사이의 관계를 결정하였는데 그 결과는 그림7에 나타나 있다.

그림7에 의하면  $\phi 10 \times 20\text{cm}$ 시편의 경우가  $\phi 15 \times 30\text{cm}$ 시편의 경우보다 5%정도 높은 강도를 가짐을 알 수 있으며 실험실의 배합강도를 결정할 때 이러한 차이를 고려해야 한다.

#### 4. 탄성계수

일반적으로 콘크리트의 탄성계수는 다음의 식에 의해 구한다.

$$E_c = 15,000\sqrt{f'_c} \quad (\text{kg/cm}^2) \quad (1)$$

한편, 고강도 콘크리트의 탄성계수는 ACI 363 Committee에서 다음의 식을 제시하고 있다.

$$E_c = 10,500\sqrt{f'_c} + 70,000\text{kg/cm}^2 \quad (2)$$

위의 두식을 이용하면 설계강도  $700\text{kg/cm}^2$ 의 고강도 콘크리트의 탄성계수는  $3.5\text{--}4.0 \times 10^6\text{kg/cm}^2$  범위에 있게 된다.

콘크리트의 탄성계수는 장대구조물에서 주요 설계 고려사항이므로 ASTM C 469 표준 시험방법을 사용하여 결정해야 하는데 표2에서 보면 설계강도가  $700\text{kg/cm}^2$ 인 경우 56일 기준 탄성계수가  $4.55\text{--}4.7 \times 10^6\text{kg/cm}^2$ 를 나타내고 있어 식 (1),(2)에 의한 경우보다 높은 값을 가지고 있다.

그림8은 지난 7년간의 고강도 콘크리트에 대한 탄성계수의 실험자료를 나타낸 것으로 회귀분석식은 다음과 같다.

$$E_c = Wc^{.255}f'_c{}^{.0316} \quad (\text{psi}) \quad (3)$$

여기서,  $w_c = 151\text{ lb/ft}^3$ 이며  $f'_c$ 의 단위는 (psi)이다.

위의 식을 ACI에서 제시한 (1), (2)식과 비교하여 보면 (1), (2)식이 (3)식 보다 과소평가 하고있음을 알 수 있다.

그러나 그림의 회귀분석식은 자료의 분산도가 심하므로 그대로 적용하기 어려운 점이 있다.

표 2. 설계강도 700kg/cm<sup>2</sup>인 콘크리트의 배합비 및 현장배합의 시험결과

	GHS-119 (9.5mm Limes- tone)	GHS-120 (25.4mm Limes- tone)
재료/m <sup>3</sup>		
시멘트 (Type D),kg	274.9	273.1
플라이애쉬(Type C),kg	114.8	113.9
굵은골재 - ASTM C-33,kg	803.8	904.5
잔골재 - ASTM C-33,kg	522.1	461.3
물,kg	126.6	113.4
혼화제 (Type A)-ASTM C494,	0.97	0.97
혼화제 (Type F)-ASTM C494,	2.44	2.42
배합특성		
슬럼프,cm(전/후 Type F혼화제 첨가)	4.55/25.4	6.35/23.5
단위중량,kg/m <sup>3</sup>	2409.2	2441.3
물 - 시멘트비	0.33	0.29
공기량, %	1.30	0.80
플라이애쉬, %	29.50	29.40
압축강도, kg/cm <sup>2</sup> (습윤양생)		
1 일	133.0	109.2
3 일	496.9	466.8
7 일	646.0	649.4
28 일	806.5	786.5
56 일	866.3	871.4
90 일	903.1	938.1
휨강도,kg/cm <sup>2</sup> (3점재하)		
3 일	66.2	61.3
7 일	78.8	70.4
28 일	101.2	90.0
56 일	101.5	97.7
탄성계수, (X10 <sup>6</sup> )kg/cm <sup>2</sup>		
7 일	3.8	4.2
28 일	4.4	4.5
56 일	4.6	4.7
90 일	4.7	4.9

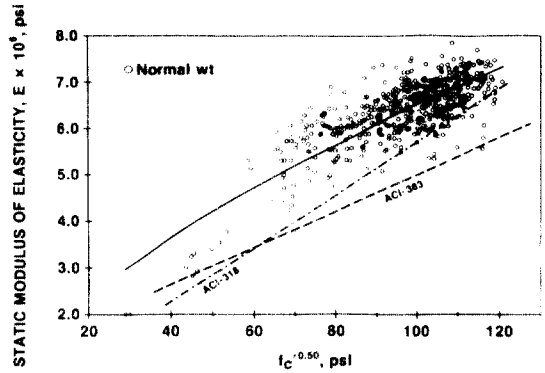


그림 8. 콘크리트의 압축강도와 탄성계수와의 관계

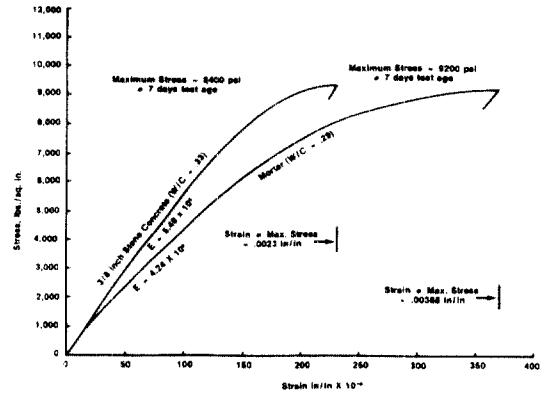


그림 9. 고강도 몰타르와 콘크리트의 응력-변형도 관계  
(굵은골재의 최대치수가 9.5mm인 경우)

그림9는 콘크리트의 탄성계수에 대한 굵은 골재의 영향을 나타낸 것으로 골재의 양이 많을 수록 탄성계수가 커짐을 알 수 있다. 골재의 양은, 최대골재의 치수가 가능한 큰 경우가 작은 경우에 비해 증가하게 되어 높은 탄성계수를 얻을 수 있는 바, 최대 골재치수가 25.4mm(1in)인 경우의 탄성계수는  $4.23 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$ 이고 최대 변형도는 0.0020(mm/mm)이다.

따라서 고강도 콘크리트에서의 이러한 영향을 줄이기 위해서는 굵은 골재의 양을 줄이는 대신 잔골재, 시멘트 양을 늘리는 방향으로 배합을 해야 한다.

## 5. 평균 배합강도

ACI Building Code에서는 콘크리트를 현장경험이나 실

험실의 시험배합에 기초하여 혼합하도록 규정하고 있는데 이러한 요구조건을 만족시키기 위해서는 현장시험의 평균 압축강도가 설계 압축강도 보다 어느정도 높아야 한다.

이런 과다설계에 대한 조건은 평균 배합강도가 규정강도보다 표준편차의 1.34배 이상이어야 한다는 것으로 다음 식으로 표시할 수 있다.

$$f_{cr} = f_c + 1.34s \quad (4)$$

$$\text{또는 } f_{cr} = 0.90f_c + 2.33 \quad (5)$$

여기서, s=표준편차이다.

식(5)는 ACI 318의 식(4-2)의 수정식으로 210-420kg/cm<sup>2</sup> 사이의 강도를 기초한 것이다.

ACI Building Code에서는 설계강도별로 소요 평균강도를 Code의 Table에 나타내고 있는데 이 중의 일부분을 다음의 표3에 수록하였다.

표 3. 설계강도별 평균 배합강도

설계압축강도 $f_c$ (kg/cm <sup>2</sup> )	평균배합강도 $f_{cr}$ (kg/cm <sup>2</sup> )
210kg/cm <sup>2</sup> 이하	$f_c + 70$
210-350kg/cm <sup>2</sup>	$f_c + 84$
350kg/cm <sup>2</sup> 이상	$f_c + 98$

이 표는 시방규준이 현장생산 콘크리트의 강도와 실험실의 시험배합 강도를 같다고 가정한 것이 문제점으로 나타났다.

왜냐하면 현장에는 강도의 변동성과 강도측정에 영향을 주는 요소가 많으므로 실험실 조건과는 차이가 나기 때문이다.

경험으로 미루어 보면 고강도 콘크리트의 경우 현장조건에서의 강도는 실험실의 시험강도의 90% 이하를 나타내므로 실험실과의 최소 1%가 규정강도의 90%이하로 떨어지지 않도록 하는 평균 배합강도식을 표3을 기초로 하여 제안하면, 350kg/cm<sup>2</sup> 이상인 경우의 평균 배합강도식은 다음과 같다.

$$f_{cr} = (f_c + 98)/0.90 \quad (6)$$

또한 강도특성 뿐만 아니라 탄성계수, 크리프와 건조수축, 수화열 등을 고려하면 700kg/cm<sup>2</sup>설계강도에 대한 배합강도는 56일 기준으로 실험실 평균강도가 927.5kg/cm<sup>2</sup>이어야 하는데 이러한 강도는 식(6)에 의한 강도보다 5%가 높은

값이다.

## 6. 압축강도 시험결과 분석

표4는 상업실험실 (commercial laboratory)과 콘크리트 제조회사 품질관리 실험실 (producer quality control laboratory)에서 설계강도가 700kg/cm<sup>2</sup>인 고강도 콘크리트의 상도시험 결과를 통계해석한 것인데 이에 의하면 저강도 및 보통강도 콘크리트에 사용되는 일반적인 품질관리 기법이 고강도 콘크리트에 적절하지 않은 것으로 보여진다.

또한 시험자료의 상대수가 정규분포를 가진다는 가정은 skewness와 kurtosis의 계산에 의한 검정이 선행되어야 한다.

그림10은 주어진 자료를 정규분포로 가정하여 나타낸 그림인데 자료가 평균강도 주변에서 대칭이 아니거나 자료분포가 고르지 못하면 정규분포로 가정하여 해석한 결과는 맞다고 볼 수 없다.

자료의 skewness와 kurtosis는 다음식에 의해 계산할 수 있다.

$$Sk = \sqrt{\beta_1} = \frac{\sum(X_i - \bar{X})^3/n}{s^3} \quad (7)$$

$$Ku = \beta_2 = \frac{\sum(X_i - \bar{X})^4/n}{S^4} \quad (8)$$

식(7)에서 좌우 대칭인 정규분포의 경우 Sk값이 0과 같게 된다.

표4의 자료에서 Sk값을 구하여 보면 상업실험실(commercial laboratory)에서의 자료가 값이 크고 시험재량이 클 수록 그 값이 증가함을 볼 수 있다.

skewness가 작은 경우 Sk값은 2(X-Mo.)/s로 간단히 할 수 있는데 이것은 평균과 모우드강도 (Mode strength, Mo.) 사이의 거리의 2배를 의미한다.

상업실험실(commercial laboratory)의 56일 강도 시험결과에서는 Sk값이 -0.6120으로 평균강도가 모우드강도보다 작으며, 표준편차의 0.306배만큼 떨어져 있음을 알 수 있어 콘크리트 제조회사 품질관리실험실(producer laboratory)의 경우보다 분산이 큼을 알 수 있다.

한편 식(8)에 의해 kurtosis를 계산할 수 있는데 정규

표 4. 설계강도 700kg/cm<sup>2</sup>인 콘크리트 강도시험의 통계적 평가

시험재령	28 일	56 일	180 일
상업실험실(Commercial laboratory)			
시험수(n)	422	415	381
평균강도( $\bar{X}$ ), kg/cm <sup>2</sup>	780.4	844.8	937.8
표준편차(S), kg/cm <sup>2</sup>	59.9	59.5	55.4
분산계수(V), %	7.7	7.1	6.0
설계강도( $f_{cm}$ ), kg/cm <sup>2</sup>	700.2	765.0	863.3
모우트강도(Mo.), kg/cm <sup>2</sup>	797.3	863.0	962.3
$\sqrt{\beta_1}$	-0.5645	-0.6120	-0.8846
$\beta_2$	4.0950	3.6760	3.9620
압축강도가 $f_c$ 이하일 확률 (정규분포곡선)		1/132	
압축강도가 $f_c$ 이하일 확률 (비정규분포곡선)		1/1200	
콘크리트제조회사 품질관리실험실 (Producer quality control lab.)			
시험수(n)	139	139	138
평균강도( $\bar{X}$ ), kg/cm <sup>2</sup>	783.4	845.7	942.3
표준편차(S), kg/cm <sup>2</sup>	47.5	47.7	50.7
분산계수(V), %	6.1	5.7	5.4
설계강도( $f_{cm}$ ), kg/cm <sup>2</sup>	719.8	781.8	874.4
모우트강도(Mo.), kg/cm <sup>2</sup>	780.6	847.6	950.9
$\sqrt{\beta_1}$	+0.1185	-0.9797	-0.3377
$\beta_2$	3.2180	3.1740	3.4100
압축강도가 $f_c$ 이하일 확률 (정규분포곡선)		1/900	
압축강도가 $f_c$ 이하일 확률 (비정규분포곡선)		1/1400	

분포에서 Ku값은 3이며 이보다 큰 경우는 정규분포곡선보다 뾰족한 분포를 가지며 작은 경우는 평평한 분포를 가진다.

표5는 여러 재령에 따른 Sk값과 Ku값을 나타낸 것으로 각각 0과 3에서 값이 많이 벗어나면 분포곡선이 정규분포를 따르지 않는 것으로 간주해야 한다.

그림11은 그림 10에 나타난 실험결과를 정규분포 확률지에 표시한 것인데 그림에서 직선을 나타내므로 정규분

포로 가정할 수 있고 따라서 평균강도와 표준편차를 결정할 수 있다.

그리고 설계강도는 평균에서 1.34s 거리에 있는 값으로 결정할 수 있다.

이러한 결과는 표4의 콘크리트 제조회사 품질관리실험실 (producer laboratory) 시험결과와 해석치와 거의 같음을 알 수 있다.

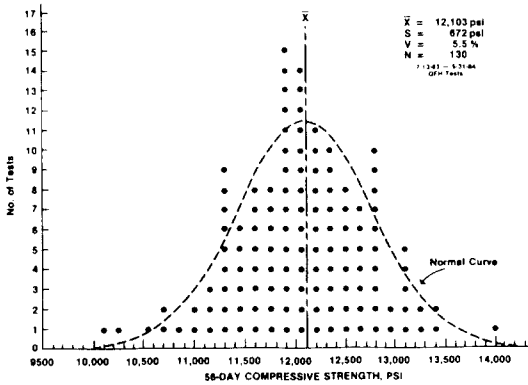


그림 10. 설계강도 700kg/cm<sup>2</sup>인 콘크리트의 압축강도 분포도

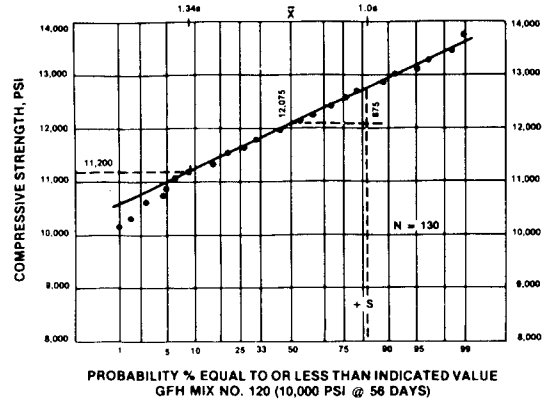


그림 11. 설계강도 700kg/cm<sup>2</sup>인 콘크리트의 시험결과 분석

표 5. 고강도콘크리트의 통계적 특성 요약

시 재	험 령	상업실험실 (commercial laboratory)					콘크리트제조회사 품질관리실험실				
		n	$\bar{X}$ (kg/cm <sup>2</sup> )	s (kg/cm <sup>2</sup> )	$\sqrt{\beta^1}$	$\beta_2$	n	$\bar{X}$ (kg/cm <sup>2</sup> )	s (kg/cm <sup>2</sup> )	$\sqrt{\beta^1}$	$\beta_2$
3	일	386	516.1	68.6	-2.5900	17.250	112	522.4	48.2	-0.5100	6.000
7	일	421	634.1	50.5	-1.1500	7.410	139	634.4	41.7	+0.1900	3.830
28	일	419	780.4	59.9	-0.5645	4.095	139	783.4	47.5	+0.1185	3.218
56	일	411	844.8	59.5	-0.6120	3.676	139	845.7	47.7	-0.0797	3.174
180	일	377	937.8	55.4	-0.8846	3.962	138	942.3	50.7	+0.3377	3.410

표 6. 콘크리트 품질관리의 기준

품 질 관 리 등 급	품질관리기준에 따른 변동계수				
	Excellent	Very Good	Good	Fair	Poor
전체변동성					
일 반 견 설 시 험	< 8	8 to 10	10 to 12	12 to 15	> 15
실 험 실 시 험 배 합	< 4	4 to 6	6 to 8	8 to 10	> 10
시험변동성					
현 장 시 험	< 3	3 to 4	4 to 5	5 to 6	> 6
실 험 실 시 험 배 합	< 2	2 to 3	2 to 3	3 to 4	> 5

## 7. 품질관리 기준

ACI 214에서 콘크리트의 품질관리 기준을 제시하고 있는데 315kg/cm<sup>2</sup> 이상의 콘크리트에서는 강도에 대한 품질관리 기준이 적절하지 못하다.

콘크리트의 강도 변동계수는 강도의 크기에 큰 영향이 없어서 고강도 콘크리트와 저강도 콘크리트 사이의 품질관리 정도를 비교하는데 유용하다.

그림12가 이에 대한 좋은 예로서 모든 강도수준에서 동일한 품질관리 정도를 가지고 있다.



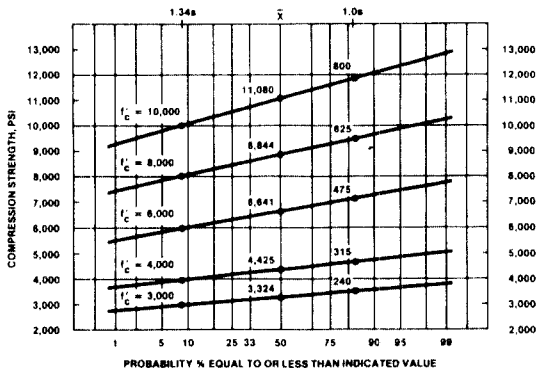


그림 12. 콘크리트의 설계강도에 따른 확률분포의 비교

이것은 모든 콘크리트가 같은 변동계수를 가지고 있고 규정강도 이하로 떨어지는 확률도 같기 때문이다.

따라서 700kg/cm<sup>2</sup> 설계강도에서 56kg/cm<sup>2</sup>의 표준편차는 210kg/cm<sup>2</sup> 설계강도에서 16.8kg/cm<sup>2</sup>의 표준편차를 가지는 경우와 같은 품질관리 수준을 갖는다고 볼 수 있다.

표6은 모든 강도수준에서 ACI 214에 의해 정해진 품질관리 표준에 대한 변동계수 값을 나타낸 것으로 압축강도 실험결과 자료를 통계해석하여 품질수준을 결정해야 한다.

## 8. 결 론

이상의 내용으로부터 다음과 같은 사실들을 요약할 수 있다.

- (1) 고강도 콘크리트 (700kg/cm<sup>2</sup>)의 생산에서는 작은 치수 (9.5mm)의 최대골재가 큰 치수의 경우에 비해 강도발현이 뛰어나나 고성능 감수제의 사용에 의해 25.4mm의 최대골재를 사용할 수 있고 작은 치수의 최대골재에 비해 큰 탄성계수를 얻을 수 있다.
- (2) 저강도 및 보통강도 콘크리트의 품질관리에 적용되는 기법은 고강도 콘크리트에서는 적절하지 않다.
- (3) 고강도 콘크리트의 특성 및 배합결정은 실험실의 시험배합에 의해 결정하는 것이 가장 효율적이며 실험실

시험배합에서 강도측정에 사용될 시편의 크기는 시공현장의 현장배합에서 사용되는 시편의 크기와 일치해야 한다.

(4) 고강도 콘크리트와 보통강도 콘크리트의 품질관리 정도를 비교하는 데에는 강도크기의 영향이 적은 변동계수를 이용함이 바람직하다.

(5) 콘크리트의 평균 배합강도는 실험실 배합조건과 현장 배합조건의 차이를 고려하고, 강도특성 뿐만 아니라 탄성계수, 크리프와 건조수축, 수화열 등을 고려하여 실험실 평균강도로 결정한다.

## 9. 참고문헌

1. ACI Committee 318, "Building Code Requirements for Reinforced Concrete (ACI 318-83)." American Concrete Institute, Detroit, 1983, 111 pp. Also, ACI Manual of Concrete Practice, Part 3.
2. ACI Committee 363, "State-of-Art Report on High Strength Concrete," (ACI 363R-84), American Concrete Institute, Detroit 1984, 48 pp. Also, ACI Manual of Concrete Practice, Part 1.
3. ACI committee 214, "Recommended Practice for Evaluation Strength Results of Concrete (ACI 214-77)," American Concrete Institute, Detroit, 1977, 14 pp. Also, ACI Manual of Concrete Practice Part 2
4. Anderson, F.D., "Statistical Controls for High-Strength Concrete," High-Strength Concrete (SP-87), American Concrete Institute, Detroit, pp. 71-82.
5. Blick, R.L., Peterson, C.F. and Winter, M.E., "Proportioning and Controlling High Strength Concrete," Proportioning Concrete Mixes (SP - 46), American Concrete Institute, Detroit, pp. 141-163.
6. Cook, J.E., "10,000 psi Concrete," Concrete International, Design & Construction, Vol. 11, No. 10, Oct., 1989, pp.67-75.