
콘크리트의 7일 강도를 이용한 28일 강도의 추정

Estimation of Concrete Strength Based on 7-day Strength



김선영*

Kim, Sun Young



권태수**

Kwon, Tae Soo



이수곤***

Lee, Soo Gon

ABSTRACT

The strength of concrete, the key factor in quality control is governed by the amount of cement, coarse and fine aggregates, water and various admixtures. For this reason, the strength of the concrete and its other properties are not precisely predictable. That is, the test cylinders from a mix designed to provide a specified strength, usually show considerable statistical variability.

This paper proposes a method of concrete strength evaluation by using the means and standard deviations of a 7-day compressive strength of concrete. For this purpose more than 7,320 strength test data have been collected and are processed by mean of a linear regression technique. The proposed method has been compared with that of Slater and JIS. In general, estimated values by the proposed method show better agreement with the actual values of concrete strength than those values proposed by other methods.

Keywords : Quality control, statistical variability, standard deviation, concrete strength

* 정회원, 전남대학교 건축공학과 대학원

** 정회원, 연세대학교 건축공학과 대학원

*** 정회원, 전남대학교 건축공학과 교수

• 본 논문에 대한 토의를 1998년 4월 30일까지 학회로 보내주
시면 1998년 6월호에 토의회답을 게재하겠습니다.

1. 서론

상황을 우리나라에만 국한한다면 구조물의 대형 사고이후 건설공사에서의 각종 품질 관리는 더욱 강화되어 가는 추세에 있다. 따라서 지금까지 당연시 되어온 사항들에 대하여도 재검토내지 재평가가 요구되는 단계에 있는 것 같다. 그중의 하나가 콘크리트의 품질관리이고, 콘크리트의 품질관리중에서도 특히 구조체의 28일 현장강도가 과연 설계기준강도(또는 콘크리트강도, f'_c)를 발휘하는가가 품질관리의 중요한 척도가 되겠다. 실제로 현장에 반입되어 구조체에 타설된 콘크리트의 28일 양생강도가 설계기준강도 또는 시공계약강도에 미달되는 경우 대단히 중대한 문제로 될 수있다. 이런점을 감안하여 문헌에서는 현장에 반입된 응결전 콘크리트의 품질은 물론 경화후의 강도까지 추정할 수 있는 여러 가지 방법들을 제시하고 있다.⁽¹⁾

최근 G. MacGregor등은 구조물의 강도 평가를 목적으로 3,756개의 공시체 강도자료와 현장 실측강도를 통계분석한 후 하나의 추정식을 제안하였다.⁽²⁾ 이들은 cylinder형 공시체 강도($\bar{f}_{c,ci}$), 설계기준강도(f'_c) 및 구조물의 현장실측강도($\bar{f}_{c,cs}$) 상관성을 조사하기 위하여 $F_1 = \bar{f}_{c,ci}/f'_c$ 와 $F_2 = \bar{f}_{c,cs}$ 를 분석인자(factor)로 택하였다. 조사결과에 의하면 28일 구조체의 현장 실측강도가 설계기준강도에 미달될 확률은 약 13%정도라고 보고 하고 있다. 또한 현장 실측 평균강도 $\bar{f}_{c,cs}$ 를 indicator variable Z_b (부재 굵이 45cm이상이면 $Z_b = 1.0$ 미만이면 $Z_b = 0.01$ 재령(a. day) 및 설계기준강도를 변수로 하여 다음과 같은 추정식을 제안하였다.

$$\bar{f}_{c,cs} = \{1.205 + 0.108Z_b + 0.125\ln(a/28)\}f'_c \text{ (MPa)} \quad (1)$$

이때 전체 자료의 분포는 변동계수(C.O.V)가 18.6%인 대수정규분포(lognormal distribution)에 가장 근접하는 것으로 보고 하였다.

지금까지 7일 강도로부터 28일 강도를 예측하는 방법으로 Slater식, 일본공업규격(JIS)식 및 여러나라에서 추정하는 식들이 쓰여왔다. 그러나 실제의 실측자료를 추정식에 적용시켜보면 어느것이나 오차가 있게 된다. 이는 7일 강도나 28일 강도 모두가 확정

변수(deterministic variable)가 아닌 확률변수(random variable)임을 뜻한다. 따라서 본 연구에서는 대한 주택공사가 발주하여 이미 완공되었거나 시공중인 콘크리트 내력벽식 아파트 현장의 콘크리트 시험일지로부터 수집된 자료를 이용하여 콘크리트 강도를 추정하는 식을 제안한다. 수집한 강도 자료는 약 7,320개 그중 1/3은 7일 강도이고 그 나머지는 28일 강도시험치다. 최초 제안식은 주로 광주·전남지방에서 수집한 자료에 의한 것이었으므로 타지방에서의 타당성 조사를 위하여 약 5,200개의 서울 지방 자료를 수집·분석하였다. 끝으로 현장 실측강도와 제안식과의 차이를 알아보기 위하여 총 30개 현장 300개소에서 강도측정을 실시하였다. 강도측정은 비파괴 시험법의 하나인 Schmidt hammer test에 의존하였다.

2. 자료수집 및 분석

2.1 자료수집

콘크리트가 지정된 설계강도로 배합설계된후 레미콘 차량에 의하여 현장에 도착하게 되면 KS F2403 규정에 맞추어 원주형 공시체 12개가 제작된후 수중 양생된다. 수중 양생중인 12개의 공시체중 3개는 7일 지난후 양생조에서 꺼내어 KS F2405에 의한 시험을 진행한다. 나머지 9개의 공시체는 계속 수중 양생후 28일 지나면 7일 강도 측정때와 동일한 방법으로 파괴시의 하중값을 측정한다. 이와같은 과정을 거쳐 한 장의 콘크리트 시험일지가 완성된다. 이렇게 수집한 자료를 강도별, 지역별로 분류하면 다음 Table 1과 같다. 압축강도 추정식은 광주 지방에서 수집한 자료로부터 유도된 것이다. 따라서 추정식의 타당성 검토를 위해서 타지방에서의 강도 시험 자료를 수집하였다.

Table 1 Categorization of test data (Seoul area)

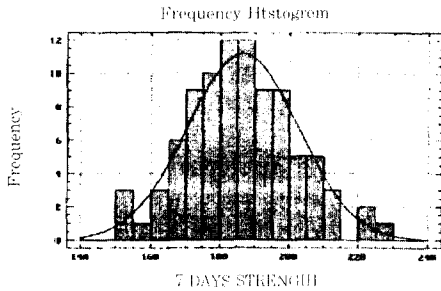
Specified strength kgf/cm	210	240	270
No. of data	1200 (3100)	4800 (2100)	1320 (1200)

2.2 자료분석

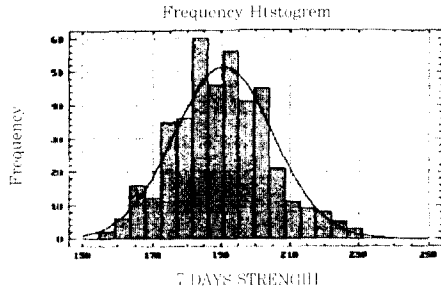
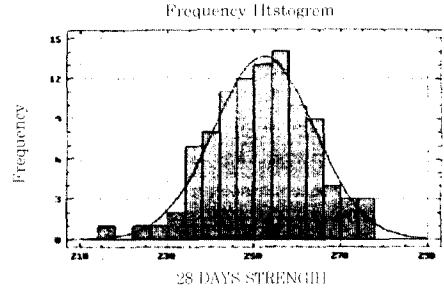
수집된 자료를 설계 기준 강도별로 분류한후 이들을 이항분포(binomial distribution), 포아송분포(Poisson distribution), k^2 분포(k^2 distribution), 바이블 분포(Weibull distribution), 대수정규분포(lognormal distribution), 정규분포(normal distribution)등 여러 수학적 model에 적용시켜 분결과 평균치에 대하여 대체로 좌우대칭적인 형태를 취하고 있다. 따라서 Julian이나 Shalon의 연구에

서 지적인 대로 강도분포는 정규분포 곡선으로 나타낼 수 있다. Fig.1은 수집한 자료의 설계기준강도별로 강도분포를 나타낸 정규분포이다. 그림에서 알 수 있듯이 강도분포는 대체로 좌우대칭적인 형태를 취하고 있다. 지면 관계상 설계 기준 강도별 통계처리 결과는 생략하고 전체 자료의 분석결과만을 Table 2에 제시하기로 한다.

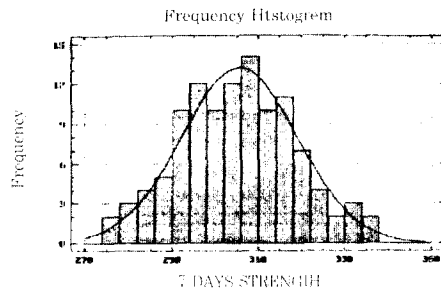
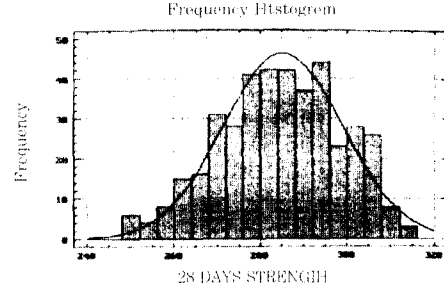
통계분석 결과 설계 기준 강도별 변동계수는 210, 240, 240kgf/cm²일 때 각각 5.7, 4.4, 5.4%로 모두 10%이하로 나타났다. 설계 기준 강도가 280kgf/cm²



a) $f_c = 210 \text{ kgf/cm}^2$



b) $f_c = 240 \text{ kgf/cm}^2$



c) $f_c = 270 \text{ kgf/cm}^2$

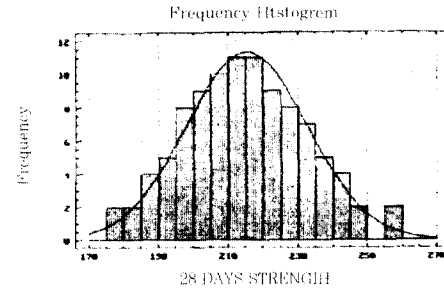


Fig.1 Strength Distribution Curve

Table 2 Statistic analysis of total data (7-day strength in the parenthesis)

Average	292(193)
Median	295(192)
Mode	306(204)
Geometric mean	290(192)
Variance	862(467)
Standard Deviation	29(22)
Standard Error	1.31(0.97)
Minimum	184(138)
Maximum	418(295)
Range	234(157)
Lower Quartile	278(180)
Upper Quartile	308(204)
Interquartile range	30(24)
Skewness	-0.80(0.42)
Standardized Skewness	-7.33(3.83)
Kurtosis	2.51(1.16)
Standardized Kurtosis	11.44(5.28)

이하일 때 평균변동계수가 각각 10, 15, 20%이하일 때 우수, 보통, 불량품질 관리로 판정하는데 콘크리트의 품질관리는 우수한 것으로 판정된다. 한편 7일 강도 발현률은 210, 240, 270kgf/cm²일 때 각각 74, 66, 71%이었다. 따라서 7일 강도는 28일 강도의 2/3 이상이 되도록 규정하고 있으므로 수집된 자료는 모두 규정에 맞는 것으로 판정된다.

3. 추정식의 제안

앞에서 말한 것처럼 공시체의 7일 강도와 28일 강도는 대체로 정규분포 상태를 보이고 있다. 여기에서는 7일 강도의 평균치 \bar{F}_7 과 그 표준편차 σ_7 를 변수로 하여 다음과 같은 28일 강도 F_{28} 추정식을 제안하기로 한다.

$$F_{28} = a\bar{F}_7 + b\sigma_7 + c \quad (2)$$

(2)식 중의 상수 a, b, c는 선형회귀분석으로부터 결정하였다. 강도별 및 수집된 자료 전체의 상수값과 제안한 추정식과 공시체 강도와의 오차는 Table 3과 같다. 제안식의 오차의 범위가 JIS, Slater식 보다 더 작음을 알 수 있다. 또한 7일 강도의 표준편차 계수 b는 28일 콘크리트 강도의 추정에 큰 영향을 주지 않으므로 7일 강도의 평균표준편차를 대입해서 식

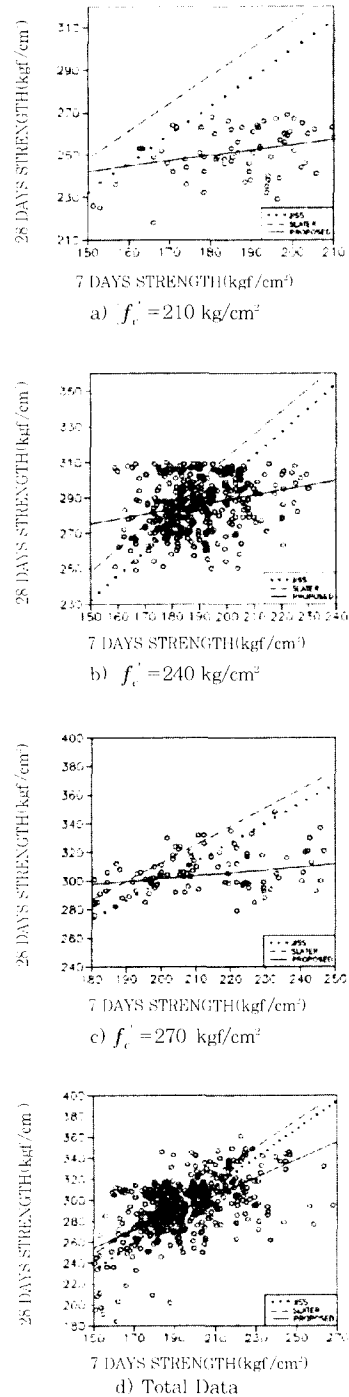


Fig.2 Relation between 7 and 28 days

선식을 유도하면, 각각 식(3), (4), (5), (6)과 같고 Fig.2에서 JIS, Slater식과 같이 표현한 것이다. 그

림에서 제안식이 다른 두 식보다도 강도를 더 낮게 평가함을 알 수 있다.

$$F_{28} = 0.25\overline{F_7} + 205(210\text{kg/cm}^2) \quad (3)$$

$$F_{28} = 0.27\overline{F_7} + 235(240\text{kg/cm}^2) \quad (4)$$

$$F_{28} = 0.20\overline{F_7} + 262(270\text{kg/cm}^2) \quad (5)$$

$$F_{28} = 0.84\overline{F_7} + 128(\text{total data}) \quad (6)$$

Table 3 Result of regression analysis and error

f_{c1}	Regression constants			Error(%)		
	a	b	c	Proposed	JIS	Slater
210	0.25	0.005	201.79	11.5 -7.2	30.2 -1.4	31.8 4.0
240	0.27	-0.510	236.93	14.0 -12.6	22.3 -25.5	24.3 -18.1
270	0.20	-0.220	262.70	9.2 -12.5	23.4 -10.5	25.0 -5.3
Total	0.84	-0.370	130.08	29.1 -16.7	28.7 -26.4	32.1 -19.1

f_{c1} = Specified compressive strength(kgf/cm²)

4. 타지역의 자료를 통한 제안식 검증

제안식의 검정을 위하여 서울지방에서 설계기준강도가 210, 240 kgf/cm²인 자료 5,200개를 수집하여 JIS와 Slater식과의 오차를 비교하였다. Table 4에서 알 수 있듯이 제안식의 오차가 다른 식들보다도 강도를 더 낮게 평가하고 최대 오차도 훨씬 작음을 알 수 있다. 따라서 제안식이 안전측임을 알 수 있다.

Table 4 Error Comparison of Proposed Eq. with other Eq. from Seoul Province Data(%)

Eq.	f_c	210		240		Total Data	
		max	min	max	min	max	min
Proposed		6.0	-34.9	1.0	-30.5	9.8	-34.9
JIS		30.2	-27.7	20.3	-12.8	30.2	-27.7
Slater		31.8	-20.1	23.5	-7.3	31.8	-20.1

5. 현장강도의 측정에 의한 제안식 비교분석

실제 현장의 콘크리트 강도와 제안식과 비교하기 위하여 재령이 180일때에 슈미트햄머를 이용하여 강도를 측정하였다. 그리고 강도 계산시에는 재령계수 0.73을 곱하여 보정하였다. 36개의 현장에서 강도를

조사하였으며, 지면 관계상 각각의 강도별로 취합하여 실제강도와 제안식, JIS, Slater식에 대한 오차는 Table 5와 같다.

Table 5 Comparison of Proposed Eq. with Strength tested by Schmit Hammer

f_c	F7	σ_7	28 Days strength			Tested Strength	Error(%)		
			Pro.	JIS	Slater		Pro.	JIS	Slater
210	148	7.33	232	230	245	242	4.1	-10.5	1.2
240	182	4.55	279	276	200	284	1.8	2.9	2.1
270	215	3.55	309	320	332	312	1.0	2.6	6.4

6. 결론

통계분석을 통하여 콘크리트의 7일 강도 및 그 표준편차를 이용하여 재령 28일의 콘크리트의 강도를 추정할 결과는 다음과 같다.

- 1) 서울지역의 Data로 제안식의 검정을 실시 한 결과, 제안식이 JIS, Slater식보다 오차의 범위가 작고 강도를 더 낮게 평가함을 알 수 있었다.
- 2) 슈미트 햄머에 의한 현장의 실제강도와 제안식에 의한 강도의 추정은 JIS, Slater식 보다 더 잘 예측함을 알 수 있었다.
- 3) 7일 강도의 표준편차는 추정 28일 강도에 영향을 주지만, 실용적으로 간편한 식을 제안하면 다음과 같다.

$$F_{28} = 0.8\overline{F_7} + 130$$

- 4) 지금까지의 결과로 미루어 볼 때 주택공사에서 발주한 공사의 경우 대체로 콘크리트의 품질관리가 잘 이루어지고 있음을 알 수 있었다. 앞으로 다른 곳에서 발주한 경우에 대해서도 충분한 검토가 있어야 할 것으로 판단된다.

참고 문헌

1. 한천구, 「콘크리트 강도의 조기추정에 관한 연구」, 충남대학교 대학원 박사학위논문(1988)
2. Bartlett & MacGregor, Statistical Analysis of the Compressive Strength of Concrete in Structures, ACI Materials Journal, March-April 1996, pp.158-168

요 약

콘크리트는 시멘트, 잔골재 및 굵은골재, 물 및 첨가제의 양이나 투입순서, 혼합방법등 여러 가지 요인에 따라 성질이 바뀌게 되는 복합재료이다. 따라서 넓은 의미에서 품질 판정의 한 수단이 되는 콘크리트의 설계기준강도 또는 압축강도 f_c' (=28일 압축강도)는 물론 기타의 성질도 정확한 예측이 불가능하다. 즉 소요강도를 목표로 배합된 공시체의 시험결과는 예외없이 통계적 가변성을 나타낸다.

여기에서는 공시체의 7일 강도의 평균치 및 표준 편차와 공시체의 28일 강도 측정치로부터 콘크리트의 압축강도를 추정하는 식을 제안하였다. 이를 위하여 7,320개의 강도시험자료를 수집한후 이들을 선형 회귀 분석법으로 처리하였다. 제안된 식에 의한 콘크리트의 압축강도는 타 추정식에 의한 값보다 실측치에 좀더 근접함을 보여주었다. 또한 제안식의 검정을 위해 서울지역 자료 5,200개를 수집하여 제안식과 JIS, Slater식과의 오차를 비교한 결과에 따르면 제안식이 더 안전측임을 알 수 있었다. 그리고 슈미트 햄머에 의한 현장 실측 강도와 제안식과의 콘크리트 강도 오차는 대체로 2.3%이었다.

(접수일 : 1997. 11. 31)