

콘크리트 배합표에 의한 현장 콘크리트의 압축강도 추정에 관한 연구

A Study on the Estimation of Compressive Strength of Ready-mixed Concrete On the basis of Mix-Design

조 홍 범^{*}
Cho, Hongbum

윤 상 천^{**}
Yoon, Sangchun

지 남 용^{***}
Jee, NamYong

ABSTRACT

There are only a few tests to ensure concrete quality before placing in domestic situ; One is slump test for workability, the other is air content test for durability. , the concrete compressive strength which is one of important factors to influence on concrete quality has been tested after 28 days placing.

Methods on early judgement of concrete strength have been introduced for concrete quality management, but such methods are time consuming, expensive, and required special expertise. Therefore, these have difficulty in situ application for concrete management.

This study aimed at reviewing application of estimated equation of compressive strength as means for ready-mixed concrete, making an estimated equation which enables to estimate 28 days compressive strength by using regression formula analysis on basis of mixing designs of ready mixed concrete and results of compressive strength.

1. 서론

국내 현장에서는 콘크리트의 품질을 확인하기 위하여 타설 전에 콘크리트의 시공성 판단을 위한 슬럼프시험과 내구성 차원에서 공기량시험을 시행하고 있으나 콘크리트 품질특성 중에서 가장 중요한 압축강도는 타설 후 28일이 경과한 후에야 측정하게 되어 있어 시험결과를 신속하게 공사에 반영할 수 없기 때문에 경화 후의 콘크리트 압축강도를 조기에 판정할 수 있는 방안이 요구된다. 현재 콘크리트의 품질관리에 있어 압축강도의 조기판정을 위한 여러 방법들이 소개되고 있으나, 이러한 방법들은 수시간 및 수일이 소요되거나, 작업이 번거롭기 때문에 현장에서 콘크리트의 품질관리를 위한 적용에는 어려움이 많았다.

따라서, 본 연구에서는 현장 콘크리트의 강도관리를 위해 현장 콘크리트의 배합표와 시험일지를 바탕으로 각 구성재료의 구성비와 압축강도와의 관계를 다중회귀분석을 통하여 분석하여 구조체에 타설되기 이전의 콘크리트 28일 압축강도를 예측할 수 있는 강도추정식을 도출하고 현장 콘크리트 강도관리 도구로의 활용성을 검토하고자 한다.

- * 한양대학교 대학원 건축공학과 석사과정
- ** 경주대학교 건축공학과 교수, 공학박사
- *** 한양대학교 건축공학부 교수, 공학박사

2. 현장 콘크리트의 배합자료 수집

인천·경기 지역 9개 공사현장에서 1999년 4월부터 2001년 7월 사이에 타설된 17개 레미콘 공장의 콘크리트 배합보고서와 시방배합표, 시험일지를 수집하였다. 수집된 배합데이터 중에 굵은골재 최대치수가 25mm, 설계기준강도가 180~270kgf/cm², 슬럼프가 8~15cm 범위의 배합을 대상으로 분석·검토하였다. 콘크리트의 압축강도 시험값은 KS F 2401에 따라 굳지 않은 콘크리트를 채취하여 제작한 공시체를 현장수중양생하여 얻은 28일 압축강도의 평균값이다.

수집된 자료의 배합종류와 시험체 개수, 재료의 종류와 특성을 규격별(강도-슬럼프)로 분류하면 표 1과 같다.

표 1 배합의 규격별 분류

규격		180-12	180-15	240-8	240-12	240-15	270-15
현장수		1	5	8	5	9	5
레미콘 공장수		1	5	7	5	9	11
배합 종류		1	6	8	5	20	21
시험체 개수		18	72	642	39	2319	441
시멘트	종류	보통 포틀랜드 시멘트					
	비중	3.15	3.14 & 3.15	3.15	3.15	3.15	3.15
	강도	평균 380kg/cm ²					
잔골재	종류	세척사	세척사, 부순모래				
	비중	2.6	2.59~2.61	2.59~2.61	2.59~2.61	2.59~2.61	2.59~2.61
	조립율	2.9	2.87~2.91	2.7~2.93	2.81~2.91	2.75~2.97	2.70~2.90
굵은골재	종류	부순돌					
	비중	2.62	2.62~2.64	2.62~2.67	2.62~2.65	2.60~2.69	2.60~2.67
	조립율	6.5	6.5~6.87	6.5~6.87	6.0~6.7	6.53~6.94	6.53~6.90
혼화제		AE감수제 표준형					

3. 압축강도 데이터의 분석

설계기준강도별 압축강도 데이터의 분포를 검토하고, 기초통계자료를 분석하여 콘크리트의 품질관리 상태를 파악한다. ACI 214-77에는 품질관리의 정도가 다른 조건에서 콘크리트의 표준편차가 28.1kgf/cm²이하일 때 매우 우수, 28.1kgf/cm²~35.2kgf/cm²일 때 우수, 35.2kgf/cm²~42.2kgf/cm²일 때 양호하다고 판정하고 있다.

설계기준강도별 압축강도의 기초통계분석 결과는 표 2와 같다. 설계기준강도 180kgf/cm², 240kgf/cm², 270kgf/cm² 모두 표준편차 28.1kgf/cm² 이하로 ACI 214-77의 기준을 만족하였으며, 설계기준강도 180kgf/cm²과 270kgf/cm²의 품질관리가 240kgf/cm²보다 우수하다고 판단된다.

표 2 설계기준강도별 기초통계분석

설계기준강도 (kg/cm ²)	180	240	270
평균	235	307	308
표준편차	14.00	25.43	15.29
변동계수 (%)	5.96	8.28	4.96
분산	195.94	646.75	233.66
최대값	266	389	364
최소값	208	247	275

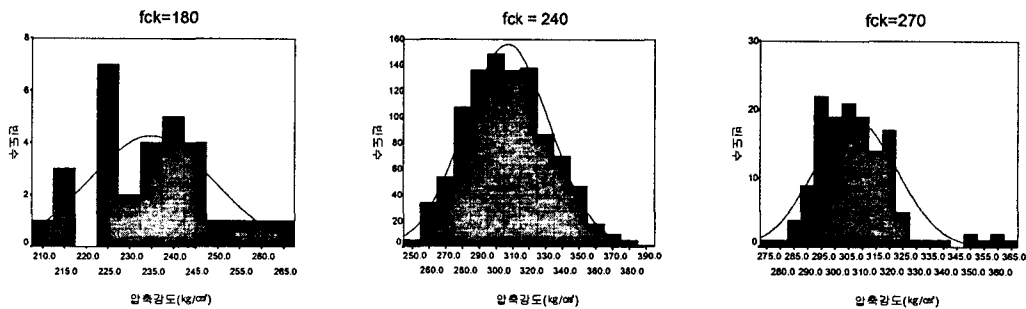


그림 1 규격별 압축강도 분포곡선

4. 현장 콘크리트 압축강도의 추정

4.1 각국의 배합설계 방법 검토·비교

국내 콘크리트 표준시방서, 일본의 JASS 5, 미국의 ACI 211.1의 배합설계에 있어서 재료의 구성비와 압축강도의 관계에 대해 언급된 부분은 주로 물시멘트비(W/C)와 압축강도에 관계에 관한 것이 전부이며, 그 내용은 표 3과 같다.

표 3 각국 시방서의 강도에 따른 물-시멘트비 산정방법

한국 콘크리트학회 표준시방서	일본 JASS 5	미국 ACI 211.1		
$W/C = \frac{215}{f_{cr} + 210} \quad \text{-- 식 1}$ $\Rightarrow f_{28} = -210 + 215 \times C/W$ $W/C = \frac{61}{f_{cr}/k + 0.34} \quad \text{-- 식 2}$ k : 시멘트의 강도 (kgf/cm ²) 위의 식1, 2 중 작은 값 택	$W/C = \frac{51}{f_{28}/k + 0.31}$ 강도단위 : N/mm ²	압축강도 (kgf/cm ²)	물-시멘트비	
			Non AE 콘크리트	AE 콘크리트
		450	0.38	-
		400	0.43	-
		350	0.48	0.40
		300	0.55	0.46
		250	0.62	0.53
200	0.70	0.61		
150	0.80	0.71		

물시멘트비 산정식은 압축강도에 따른 물시멘트비를 구하는데 사용되므로 역으로 물시멘트비에 따른 압축강도의 계산에도 사용될 수 있다. 따라서, 수집된 배합데이터의 시멘트물비를 기준으로 현장콘크리트의 압축강도와 시방서의 배합설계에 제시된 시멘트물비 산정식을 사용하여 계산된 압축강도를 비

교·분석한다. 시멘트 강도는 현장콘크리트 배합에 사용된 시멘트의 1999년과 2000년 평균 압축강도인 380kgf/cm²을 사용하였다.

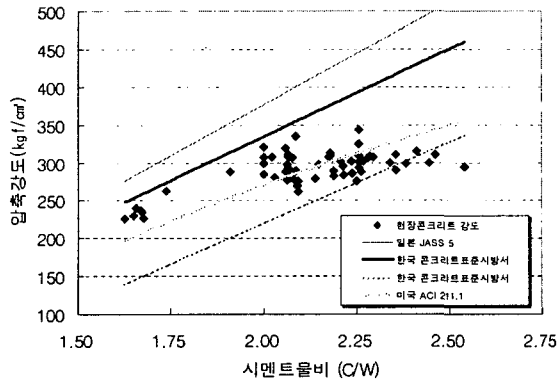


그림 2 시멘트물비(C/W)와 압축강도와의 관계

표 3의 국내 콘크리트표준시방서의 식 1을 사용하면 현장콘크리트의 압축강도가 상대적으로 낮게 평가하게 되고, 식 2와 JASS 5의 식을 사용하면 압축강도가 높게 평가되게 된다. ACI 211.1의 AE콘크리트에 있어서의 규정은 현장 콘크리트의 압축강도에 가장 근접하게 평가할 수 있지만 동일 시멘트물비에서 압축강도의 편차가 70kgf/cm² 정도 나기 때문에 시멘트물비로 콘크리트의 강도를 평가하는 데는 한계가 있다. 따라서, 시멘트물비와 다른 재료의 구성비를 함께 고려한 새로운 압축강도 추정식이 필요하다.

4.2 압축강도 추정식 도출

공기량은 정확한 측정이 어려우며 작업자에 따른 편차가 크고 KS F 4009에 제시된 공기량 4.5±1.5%의 기준을 충족하므로 강도영향요인에서 제외하였다.

현장 콘크리트 압축강도 영향요인들의 상관관계를 분석하여 표 4의 상관계수를 얻었다.

표 4 재료와 구성비간의 상관계수

	f_p	C/W	W	C	S	G	S/A	A/C
f_p	1.00							
C/W	0.71	1.00						
W	-0.06	-0.06	1.00					
C	0.65	0.91	0.37	1.00				
S	-0.59	-0.76	-0.26	-0.82	1.00			
G	0.22	0.38	-0.45	0.17	-0.60	1.00		
S/A	-0.48	-0.66	0.02	-0.61	0.93	-0.84	1.00	
A/C	-0.67	-0.87	-0.42	-0.99	0.81	-0.12	0.58	1.00

배합 구성비와 압축강도의 상관성은 시멘트물비(C/W), 골재시멘트비(A/C), 단위시멘트량의 순으로 높게 분석되어 현장 콘크리트의 압축강도를 결정짓는 중요한 요인으로 분석되었다.

단위수량과 단위시멘트량의 압축강도와의 관계에서 볼 수 있듯이 현장콘크리트의 압축강도는 단위수량보다는 단위시멘트량이 압축강도와 더 밀접한 상관성이 있음을 알 수 있다. 또, 골재에 있어서는 굵은 골재보다는 잔골재가 콘크리트의 강도와 밀접한 상관성이 있는 것으로 분석되었다.

현장콘크리트의 압축강도 영향요인들의 상관관계를 분석결과 모든 인자들이 압축강도와 상관성이 있기 때문에 콘크리트의 압축강도 추정을 위한 다중회기분석의 독립변수로서 표 5와 같은 요인들을 채택하였다.

표 5 다중회귀분석의 변수 설정

종속변수	배합별 콘크리트의 평균 압축강도 (kgf/cm ²)
독립변수	시멘트물비, 단위수량, 단위시멘트량, 잔골재량, 굵은골재량, 잔골재율, 골재시멘트비
강도추정식 형식	$f_p = b_0 + b_1(C/W) + b_2(W) + b_3(C) + b_4(S) + b_5(G) + b_6(S/A) + b_7(A/C)$

현장콘크리트의 압축강도추정식 도출을 위하여 콘크리트의 구성비와 압축강도와의 관계를 다중회귀 분석 한 결과는 표 6과 같다.

표 6 다중회귀 분석결과

Model NO.	회귀계수								R ²	추정의 표준오차
	b ₀	C/W b ₁	W b ₂	C b ₃	S b ₄	G b ₅	S/A b ₆	A/C b ₇		
W/C의 범위 : 0.394~0.615										
1	114.77	82.56	0	0	0	0	0	0	0.499	17.41
2	124.63	82.44	-0.05*	0	0	0	0	0	0.490	17.56
3	114.74	81.02	0	0.01*	0	0	0	0	0.490	17.56
4	2214.80	-914.78	-11.58	5.50	0	0	0	0	0.583	15.89
5	4674.20	-1002.40	-14.04	4.40	-0.22*	-0.57	-670.36*	-84.92	0.777	11.63
6	4839.80	-1038.80	-14.32	4.53	0	-0.59	-1087.30	-94.94	0.777	11.63
7	3969.10	-1119.20	-14.58	4.91	0	-0.03*	0	-114.50	0.741	12.51
8	3945.70	-1116.80	-14.474	4.86	0	0	0	-116.13	0.745	12.43
9	4299.70	-987.10	-13.84	4.37	-0.43	-0.40	0	-80.08	0.775	11.68

* 통계적으로 의미가 없는 회귀계수 (P≥0.05)

시멘트물비를 고려한 압축강도 추정식(Model No.1)식은 다음과 같으며 현장콘크리트의 물시멘트비 (W/C)산정에 활용될 수 있다.

$$f_p = 82.56(C/W) + 114.77 \quad (R^2 = 0.499)$$

f_p : 콘크리트의 추정압축강도 (kgf/cm²)

콘크리트 재료의 구성비와 압축강도의 관계를 다중회귀분석한 결과 현장콘크리트의 재령 28일의 압축강도는 다음의 식(Model No.6)을 통해 추정할 수 있다.

$$f_p = 4839.8 - 1038.8(C/W) - 14.32(W) + 4.53(C) - 0.59(G) - 1087.3(S/A) - 94.94(A/C)$$

$(R^2 = 0.777)$

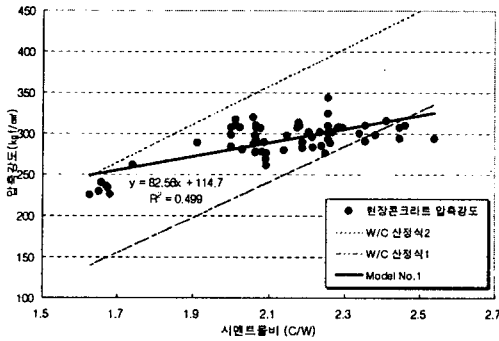


그림 3 현장콘크리트의 C/W 산정

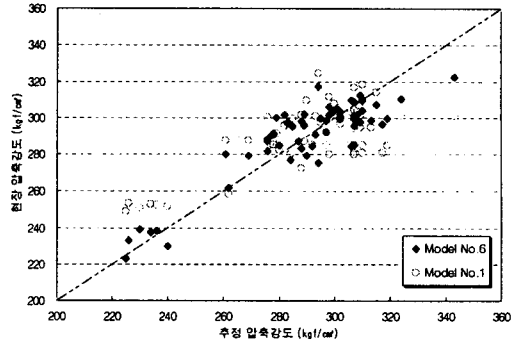


그림 4 추정압축강도와 현장압축강도의 비교

5. 결론

콘크리트 배합표와 시험일지의 현장 콘크리트 압축강도 시험값을 통계분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 설계기준강도 180kg/cm², 240kg/cm², 270kg/cm²별 압축강도 시험값의 강도관리수준은 ACI 214.77의 표준편차 28.1kg/cm²이하의 기준을 모두 만족하였으며, 설계기준강도 180kg/cm², 270kg/cm²의 강도관리가 240kg/cm²보다 우수하다고 판단된다.
2. 배합 구성비와 압축강도의 상관성이 시멘트물비(C/W), 골재시멘트비(A/C), 단위시멘트량의 순으로 높게 분석되었기 때문에 현장 콘크리트의 압축강도를 결정짓는 중요한 요인으로 판단할 수 있다.
3. 시멘트물비와 압축강도와의 관계를 다중회귀분석하여 도출된 현장콘크리트의 압축강도 추정식은 다음과 같으며, 이는 현장콘크리트 배합에 있어 배합강도에 따른 물시멘트비 산정에 활용될 수 있다.

$$f_p = 82.56(C/W) + 114.77 \quad (\text{kgf/cm}^2)$$
4. 콘크리트의 재료의 구성비와 압축강도와의 관계를 다중회귀분석하여 도출된 식은 현장콘크리트의 28일 압축강도를 추정하는데 활용될 수 있다.

$$f_p = 4839.8 - 1038.8(C/W) - 14.32(W) + 4.53(C) - 0.59(G) - 1087.3(S/A) - 94.94(A/C)$$
5. 향후 위 식의 활용성을 높이기 위해 사용재료의 특성을 고려한 현장 콘크리트의 압축강도 추정에 관한 연구가 수행되어야 할 것이다.

▣ 본 연구는 한진중공업 건설부문의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

- 1) ACI 214-77, "Recommended Practice for Evaluation of Strength Test Results of Concrete"
- 2) ACI 211.1-91, "Standard practice for selecting proportion for normal, heavyweight, and mass concrete"
- 3) Snador Popovics, "Analysis of Concrete Strength versus Water-Cement Ratio Relationship", ACI Material Journal, 1990.09
- 4) A.M. Neville, "Properties of Concrete(6th Edition)", Longman, 1995, pp269-311
- 5) 建築工事標準仕様書・同解説(JASS 5 鉄筋コンクリート工事), 日本建築學會, 1995, pp.200-223