

배합표에 의한 경기북부 레미콘의 압축강도 추정에 관한 연구

The Estimation of Compressive Strength of Ready-Mixed Concrete in the North Territory of Gyeonggi on the base of Mix Design

임 창 훈*
Im, Chang Hoon

지 남 용**
Jee, Nam Yong

조 홍 범***
Cho, Hong Bum

ABSTRACT

Quality control of ready-mixed concrete is most important in the production step because, the performance of hardened concrete is revealed due to ready-mixed concrete. Hardened concrete has several properties physically. Above all things compressive strength of concrete has a great effect in the design of structures, analysis, and durability. Compressive strength is simply predicted by w/c up to date, but there are some limits because different compressive strengths can be revealed in the same w/c.

Therefore this study contributes to the quality control of ready-mixed concrete through statistical analysis for the relation between mix factors in mix design and compressive strength, predictable equation for compressive strength.

1. 서론

1.1 연구배경 및 목적

건축구조용 재료로서 레미콘은 가장 일반적인 재료이며, 사용량이 계속 증가하고 있다. 따라서 콘크리트의 품질관리는 보다 엄격하고 합리적으로 이루어지는 것이 중요하다. 그 중에서도 콘크리트는 생산단계에서의 품질관리가 무엇보다도 중요한데, 이는 레미콘이 경화된 콘크리트의 성능을 좌우하기 때문이다. 콘크리트가 가지는 물리적 특성에는 여러 가지가 있으나, 이 중 건축구조물의 설계, 해석 및 내구성 확보에 가장 중요한 영향 인자로 콘크리트의 압축강도를 들 수 있다.

압축강도는 현재 몰시멘트비로 간단한 추정이 가능하나, 동일한 몰시멘트비에서도 다른 수준의 강도가 나오는 다양한 배합이 가능하기 때문에 강도 추정에는 한계가 있는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 시방배합표와 실험실에서의 품질 시험결과를 바탕으로 배합표상의 배합인자들과 압축강도와의 관계를 통계적인 방법을 이용하여 분석하고, 압축강도를 예측할 수 있는 강도추정식을 도출하여 레미콘의 품질관리를 위한 기초적인 자료로서 제안 하고자 한다.

* 정회원, 한양대학교 대학원 건축공학부 석사과정

** 정회원, 한양대학교 건축공학부 교수, 공학박사

*** 정회원, 한양대학교 대학원 건축공학부 박사과정

1.2 연구방법 및 범위

본 연구의 자료수집은 경기북부지역을 대상으로 하였다. 경기북부지역 레미콘 공장 수는 총 42개, 출하량 11,107,551(m³/년)이고, 이중 3개 지역(양주, 포천, 파주)에서 생산되는 출하량은 경기북부지역의 58%에 해당된다. 이들 3개 지역에서 5개 레미콘 공장을 선정하여 출하된 레미콘의 배합보고서 및 시방배합표와 실험실에서의 굳지않은 콘크리트 및 경화된 콘크리트에 대한 품질시험 결과자료를 수집하였다. 이중 보통포틀랜드 시멘트 이외의 결합재를 사용한 배합은 제외하였으며, 수집된 데이터의 분류는 표 2와 같다. 압축강도는 KS F 2403에 의거하여 제작되어 실험실에서 수중양생한 재령 7일 및 재령 28일 공시체를 대상으로 한 것이다.

표 1 경기북부 레미콘 공장 현황 (2002년)

시 군	양주군	포천군	파주시	구리시	고양시	남양주시	가평군	연천군	계
업체 수	7	10	12	1	3	6	2	1	42
출하량(m ³ /년)	2,060,421	1,455,884	2,960,808	1,008,579	1,616,331	1,503,745	334,506	167,227	11,107,551

표 2 수집 데이터 분류

공장수	배합종류	강도데이터 개수	설계기준강도 (kgf/cm ²)	슬 럼 프 (cm)
5	108	8341	210, 240, 270, 300, 350	8, 10, 12, 13, 15, 18

2. 분석결과 및 고찰

2.1 레미콘의 강도관리 수준

수집된 배합표상 사용재료의 종류와 물성을 레미콘 회사별로 분류하면 표 3과 같으며, 108개의 배합 가운데 설계기준강도별 기초통계 분석 한 결과는 표 4에 같다. 기초통계 분석 결과 설계기준강도별 모든 데이터는 정규분포를 따르고 있으며, 평균 압축강도는 설계기준강도에 비하여 17~22% 상회하는 것으로 나타났다. 또한 설계기준강도가 클수록 설계기준강도와 평균압축강도와의 표준편차는 커지는 것으로 나타났다.

레미콘의 압축강도는 각종 요인에 의해 변동이 발생할 수 있다. 이러한 강도의 변동은 표준편차를 통해 분석함으로써 콘크리트의 강도관리 수준을 평가할 수 있다. 수집된 강도시험 데이터의 표준편차 분석결과 ACI 214-77에 제시된 '매우 우수' 등급으로 평가되는 14.1kgf/cm²이하로 나타난 것은 설계기준강도 240kgf/cm², 270kgf/cm², 300kgf/cm², 350kgf/cm²이었고, '우수' 등급으로 평가되는 14.1~17.6kgf/cm²이었던 것은 210kgf/cm²으로 나타나 낮은 설계기준강도에서 강도관리가 미흡한 것으로 판단된다.

그림 1은 설계기준강도별 압축강도의 표준편차를 나타낸 것이고, 그림 2는 레미콘 공장별 압축강도 표준편차를 나타낸 것으로 모든 공장에서 재령 7일 압축강도보다 재령 28일 압축강도의 표준편차가 큰 것으로 나타나 재령 28일의 강도관리가 상대적으로 미흡한 것으로 판단된다.

표 3 콘크리트 구성재료의 물성

회 사		A	B	C	D	E
시멘트	종 류	보통포틀랜드시멘트(1종)				
	제 조 사	h	s	h	d	y
	비 중	3.14	3.15	3.14	3.14	3.14
	28일 압축강도 (kg/cm ²)	383~400	422	403	388	384
잔골재	분 말 도 (cm ² /g)	3424~3579	3513	3383	3511	3186
	종 류	부순 모래				
	모 암	화 강 암				
	비 중	2.61	2.61	2.58	2.60	2.59
	조 립 륙	2.93	2.96	2.86	2.89	2.89
	흡 수 율 (%)	1.40	1.32	0.92	1.39	0.92
	단위용적중량 (kg/m ³)	1634	1647	1609	1637	1578
굵은골재	산 지	BJ	BJ	BJ	BJ	BJ
	종 류	부순 돌				
	모 암	화 강 암				
	비 중	2.62	2.65	2.64	2.63	2.61
	조 립 륙	6.94	6.74	6.82	6.91	6.52
	실 적 륙 (%)	59.7	60	62.5	59.2	60.3
	흡 수 율 (%)	0.72	0.61	0.66	0.69	0.77
혼화제	단위용적중량(kg/m ³)	1553	1581	1577	1545	1588
	연 석 량 (%)	0.4	0.3	-	0.4	0.3
	산 지	BJ	BJ	BJ	BJ	BJ
	종 류	고성능 AE 감수제	고성능 AE 감수제	AE 감수제 표준형	고성능 AE 감수제	AE 감수제 표준형
사용수	감 수 율 (%)	18	21	17	19	14.5
	염 소 이 온 량(ppm)	51	19	19.4	32	46
배 합 종 류		29	18	19	4	38
강도데이터 개수		1478	1595	950	159	4159

표 4 설계기준강도별 기초통계분석 결과

설계기준강도(kgf/cm ²)	210	240	270	300	350
평 균	253	292	323	356	411
표 준 편 차	16.14	10.28	12.93	12.36	9.93
데이터 개수	3388	4177	489	152	135

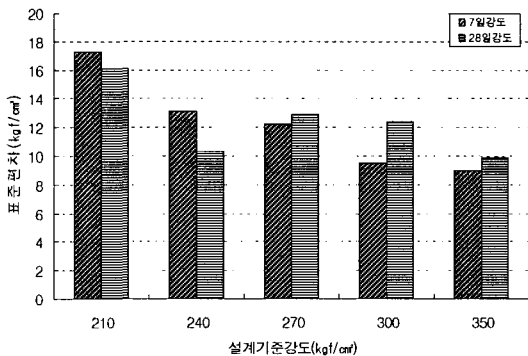


그림 1 설계기준강도별 압축강도 표준편차

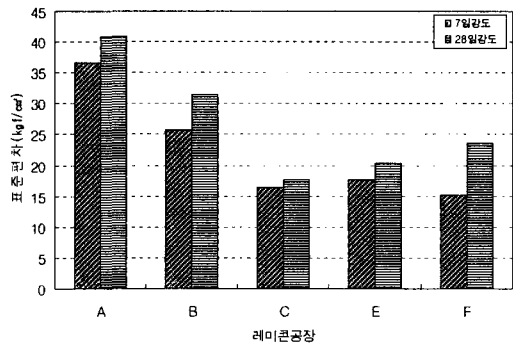


그림 2 레미콘 공장별 압축강도 표준편차

2.2 레미콘의 압축강도 추정

2.2.1 압축강도와 배합인자의 상관관계분석

기존 배합표의 배합인자들과 콘크리트 강도 메카니즘 분석을 토대로 새롭게 도출된 인자들의 압축강도와의 상관관계는 표 5와 같다. 압축강도와 상관관계가 높게 나온 배합인자는 물시멘트비, 시멘트물비, 시멘트골재비, 시멘트량으로 나타나 이들이 레미콘의 압축강도를 결정짓는 중요한 배합인자라고 판단된다.

표 5 배합표의 배합인자와 압축강도와의 상관계수

	Uw	W/C	S/a	C/W	C/(S+G)	W	C	S	G	G/(S+G)	7일강도	28일강도
7일강도	0.256	-0.834	-0.391	0.847	0.822	0.223	0.837	-0.531	-0.072	0.364	1.000	0.818
28일강도	0.150	-0.761	-0.56	0.798	0.856	0.405	0.858	-0.717	0.092	0.561	0.818	1.000

Uw: 단위용적중량, W/C: 물시멘트비, S/a: 잔골재율, C/W: 시멘트물비, W: 물, C: 시멘트, S: 잔골재, G: 굵은골재, G/(S+G): 굵은골재율

2.2.2 압축강도 추정식 도출

종속변수를 7일, 28일 압축강도로 하고, 독립변수는 표 5에 나와있는 배합인자로 한 회귀분석은 단계선택(stepwise) 방식을 이용하였다. 단계선택 방식을 이용하여 나온 추정모형 가운데 표 5에 나타난 압축강도와 상관관계가 높은 인자가 포함되고, 추정의 정도가 높은 모형을 선택하였다.

선택된 모형에서 재령 7일과 재령 28일의 압축강도와 가장 상관관계가 높은 배합인자로는 시멘트골재비로 나타났다. 이는 콘크리트의 강도는 골재와 골재를 결합해주는 결합재의 양과 강도에 따라서 결정되므로, 시멘트골재비가 가장 중요한 인자로 판단된다.

다중회귀 분석 결과는 표 6과 같으며, 각 독립변수들의 회귀계수의 유의수준은 0.05이하이며, 독립변수들 간의 공선성은 3.3이하를 만족하였다.

표 6 다중회귀분석 결과

$$f_0 = b_0 + b_1 (c/(s+g)) + b_2 (Uw) + b_3 (g/(s+g)) = b_4 (w)$$

재령	회귀계수					수정된 R ²	추정의 표준오차
	b ₀ (상수)	b ₁ (시멘트골재비)	b ₂ (단위용적중량)	b ₃ (굵은골재율)	b ₄ (물)		
7일	-621.289	1132.178	0.312	130.904	-1.136	0.759	14.21
28일	-724.902	1035.520	0.281	438.192	-0.476	0.797	13.83

표 6의 결과로부터 압축강도 추정식을 도출하면 다음과 같다.

$$f_{p7} = - 621.289 + 1132.178 (c/(s+g)) + 0.312 (Uw) + 130.904 (g/(s+g)) - 1.136 (w) \dots\dots (식 1)$$

$$f_{p28} = - 724.902 + 1035.520 (c/(s+g)) + 0.281 (Uw) + 438.192 (g/(s+g)) - 0.476 (w) \dots\dots (식 2)$$

- 여기서, f_{p7} : 재령 7일 추정 압축강도, kgf/cm²
- f_{p28} : 재령 28일 추정 압축강도, kgf/cm²
- $c/(s+g)$: 시멘트골재비
- Uw : 단위용적중량, kg/m³
- w : 단위수량, kg/m³
- $g/(s+g)$: 굵은골재율

그림 3, 4는 재령별 실측 압축강도와 추정 압축강도의 관계를 표현한 것으로서 실험실의 데이터는 각 배합의 평균 압축강도를 사용했다.

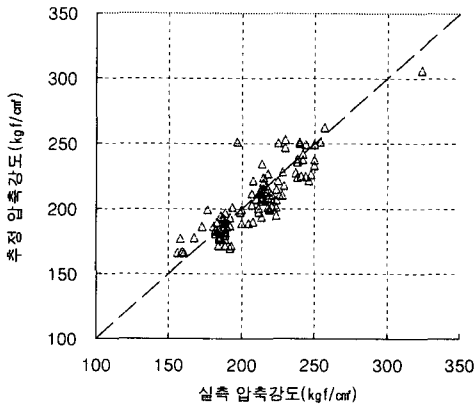


그림 3 재령 7일 실험실 압축강도와 추정 압축강도의 비교

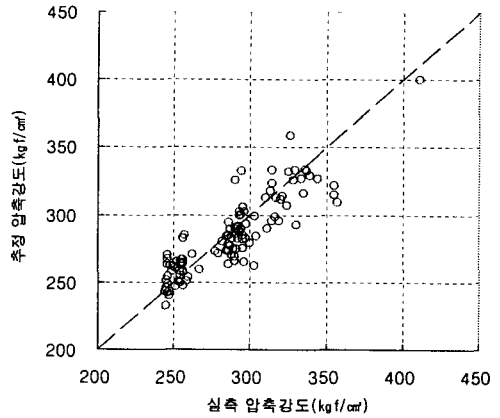


그림 4 재령 28일 실험실 압축강도와 추정 압축강도의 비교

3. 결론

배합표와 실험실에서의 시험결과 자료를 근거로 압축강도 추정식을 도출하기 위한 연구결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 수집된 자료의 기초통계분석 결과 설계기준강도가 클수록 표준편차도 크게 나타났고, 레미콘 공장 별로는 재령 7일 압축강도보다 재령 28일 압축강도의 표준편차가 큰 것으로 나타나 설계기준강도가 작은 콘크리트와 재령 28일 콘크리트의 압축강도 관리가 미흡한 것으로 판단된다. 따라서 향후 낮은 설계기준강도와 재령 28일 레미콘의 품질관리에 대한 개선 및 보완이 필요할 것으로 생각된다.
- 2) 단계선택 방식을 이용하여 다중회귀 분석을 한 결과, 추정의 정도가 높게 나온 회귀식 가운데 압축강도와 상관관계가 높게 나온 배합인자는 시멘트골재비로 나타나, 앞으로 압축강도 추정을 함에 있어서 시멘트골재비 인자의 활용성을 높이는 것이 좋을 것으로 판단된다.
- 3) 설계기준강도 210~350kgf/cm²의 레미콘을 대상으로 다중회귀 분석하여 도출된 재령 7일과 28일의 압축강도 추정식은 다음과 같다.

$$f_{p7} = - 621.289 + 1132.178 (c/(s+g)) + 0.312 (Uw) + 130.904 (g/(s+g)) - 1.136 (w)$$

$$f_{p28} = - 724.902 + 1035.520 (c/(s+g)) + 0.281 (Uw) + 438.192 (g/(s+g)) - 0.476 (w)$$

참고문헌

1. 대한건축학회, “건축공사표준시방서”, 1999.
2. 한국 콘크리트학회, “콘크리트 표준시방서”, 2000.
3. 조홍범, 윤상천, 지남용, “ 콘크리트 배합표에 의한 현장콘크리트의 압축강도 추정에 관한 연구” , 콘크리트학회 가을 학술발표회 논문집13권 2호, 2001, pp257~261.
4. ACI Committee 214, “Recommended Practice for Evaluation of Strength Test Results of Concrete (Reapproved 1997)”.
5. A.F.Abbasi, Munir Ahmad, abd Mohammad Wasim, “Optimization of Concrete Mix Proportioning Using Reduced Factorial Experimental Technique”, ACI Material Journal, V.84, November-December 1987.
6. Sandor Popovics, “Analysis of Concrete Strength versus Water-Cement Ratio Relationship”, ACI Material Journal V.87, No.5, September-October 1990, pp.517~529.
7. Francois de Larrard, Albert Belloc, “The Influence of Aggregate on the Compressive Strength of Normal and High-Strength Concrete” ACI Material Journal V.94, No.5, September-October 1997, pp.417~426.