

현장타설 콘크리트의 압축강도에 관한 연구  
Study on Compressive Strength of Field-Cast Concrete

○ 김 상 효 \*      배 규 웅 \*\*  
Kim, Sang Hyo    Bae, Kyu Woong

— ABSTRACT —

It is widely recognized that the strength of reinforced concrete members has characteristics of random variations due to the variability of the mechanical properties of concrete and steel, the dimensional error as well as incorrect placement of reinforcing bars. In those sources of randomness, variations in concrete strength may be the one affecting the strength of R.C. members most.

The concrete strength is usually assumed to have large uncertainty due to the variations in many factors, such as material properties, proportions of the concrete mix, methods of mixing, transporting, placing and curing, etc.

In this study, the random characteristics inherent in the strength of field-cast concrete have been examined based on the data collected by testing standard cylinders made of field-cast concrete and cured under in-situ condition.

1. 서론

철근콘크리트 구조물의 강도(또는 저항력)는 여러가지 요인에 의해 변이를 보이고 있다. 주요 요인들은 콘크리트와 철근의 강도 및 역학적 특성의 변이, 부재단면의 오차, 배근위치의 오차등이다. 이들중 콘크리트의 강도는 상대적으로 매우 높은 불확실성을 가지며, 다양한 요인에 의해 변화정도가 영향을 받는다. 불확실성의 요인이 되는 사항들을 살펴보면,

- 골재, 시멘트등의 기본재료의 품질 변화
- 배합비의 변화
- 배합, 운반 및 타설방법
- 양생과정

등이다. 이외에도 실제 구조물내에서의 콘크리트 강도는 실험공시체의 결과와는 타설 및 양생의 차이, 부재 크기의 영향등에 의해 현실적으로 차이를 가지고 있다.

이들 요인을 살펴보면 콘크리트 강도는 품질관리수준에 많은 영향을 받는다는 것을 알 수 있다. 실제로

\* 한국건설기술연구원 구조연구실 수석연구원 공학박사

\*\* 한국건설기술연구원 구조연구실 연구원

Bloem(1)의 연구결과에 의하면 동일품질의 콘크리트도 우수한 수준의 양생을 거친 부재에 대해 아주 일반적인 양생을 거친 부재에서의 강도는 75-85% 수준이다. 기본재료의 품질변화에 의한 강도변이는 동일한 배치내에서 나타나는 변이로 부터도 알 수 있다. 즉 동일배치에서 제작한 공시체 압축강도는 일반적으로 0.5-8.1%의 변이계수(Coefficients of variation)를 가지며(2), 3.6%의 평균치를 가지는 것으로 나타났다. 물론 이 변이의 요인에는 실험방법(실험기기, 재하속도등) 및 효율적인 혼합여부에 따른 영향도 포함된다.

현장타설 콘크리트강도의 변이는 전체적으로 볼 때, 품질관리의 수준에 따라 10-20% 정도이다. 캐나다에서 조사한 결과로는 공장타설(Precast)인 경우 12%, 공장배합 현장타설(ready-mix in-situ concrete)인 경우 15%, 현장배합 현장타설(site-mix in-situ concrete)인 경우 18%의 변이계수를 보여주고 있다(2). Tso(3)의 조사에서도 8-13%의 변이를 보이고 있다. 또한 앞에서 설명하였듯이 평균강도도 변화하는데 MacGregor(4)는 Mir-

za(2)의 조사결과에 기초하여 공칭 압축강도 3000psi, 4000psi, 5000psi에 대하여 실제 구조물내에서의 압축강도 평균을 각각 92%, 85%, 81%로 취하고 있다.

이러한 콘크리트 강도의 불확실성은 두가지로 분리하여 생각할 수 있다. 즉 재료의 특성상 제거가 불가능한 변이(inherent variability)와 세밀한 품질관리를 통하여 어느정도 제거할 수 있는 변이로 구분할 수 있다. 따라서 콘크리트 구조물의 해석에서는 어느 정도의 강도변이는 예상하여야 하며, 이러한 특성 때문에 시방서에서도 배합설계시에 공칭 설계강도로 부터 적절한 수준의 안전치를 주고 있다(5).

본 연구에서는 국내 건축구조물 현장에서 레미콘에 의해 운반, 펌프타설 차량등에 의해 타설되는 콘크리트를 타설현장에서 직접 채취하여 제작한 공시체의 압축강도 실험결과를 중심으로 국내 현장타설 콘크리트의 강도의 수준 및 확률적 특성을 분석하고자 한다.

## 2. 조사 및 실험방법

현장타설 콘크리트 수집은 서울 및 경인지역의 11개 건축공사 현장에서 실시하였다. 채취한 콘크리트는 설계강도 180, 210, 240kg/cm<sup>2</sup> 등으로 210kg/cm<sup>2</sup> 강도가 널리 사용되고 있는 관계로 가장 많다. 채취횟수는 한 현장당 2-3회로 전체 25회이며, 제작공시체는 5개 기본 단위로 100조(500개)이다. 이들중 현장조건양생이 64조, 습윤양생이 36조인데 습윤양생조는 현장조건양생조와 항상 같은 레미콘에서 제작하여 그 결과를 비교할 수 있도록 하였다. 한 레미콘차량에서는 각 1조만 제작하였다. 채취한 콘크리트의 생산레미콘회사는 모두 8개사 이었다.

공시체 제작용 콘크리트는 현장에서 발생할 수 있는 요인을 가능한 모두 고려하기 위하여, 콘크리트 펌프차 등에 의해 타설부위까지 운반된 콘크리트를 채취, 사용하였다. 채취된 위치는 지상1층에서 부터 지상14층까지 고루 분포되어 있다. 공시체는 현장작업인 관계로 규격  $\phi 10 \times 20$ cm를 1회용 플라스틱몰드를 이용하여 한국공업규격(KS F2404)에 준하여 제작하였다. 제작된 공시체는

현장창고등 외부환경에 영향을 안반는 장소로 옮겨 24시간 양생한 뒤, 실험실로 운반하여 습윤양생 및 현장조건양생을 실시하였다. 습윤양생은 한국공업규격(KS F 2404)에 준하여 실시하였다. 현장조건양생은 공시체 제작후 습윤양생조와는 달리 콘크리트 표면을 공기에 그대로 노출시켰으며, 실험실에 운반한 후에도 실험실내에서 습기가 달지 않도록 하였다.

압축강도 실험은 28일 강도를 대상으로 한국공업규격(KS F2405)에 준하여 실시하였는데, 재하속도 매초 2.5 kg/cm<sup>2</sup> 를 유지하도록 하였다.

## 3. 실험결과 및 분석

본 연구는 아직 실험이 모두 끝나지 않아, 현재까지 완료된 실험결과를 중심으로 정리·분석하고자 한다. <표1>에는 현장조건으로 양생된 공시체의 압축강도 실험결과가 정리되어 있다. 이 결과는 1조 5개의 공시체 중에서 각 조별 평균값 근처의 3개 결과만을 정리한 것이며, 5개 모두를 이용한 결과는 괄호속에 정리되었다. 표에서 보다시피 그 차이는 매우 작아 무시할 정도이다.

<표1> 현장조건 양생 공시체 실험결과

단위 : kg/cm<sup>2</sup>

공 칭 강 도 $f_n$		180	210	240	전 체
평 균	$f_c/f_n$ (%)	93.4 (93.5)	85.8 (85.8)	80.9 (80.7)	87.5 (87.5)
	$f_c$	168	180	194	-
변	이	0.21	0.10	0.18	0.16
계	수	(0.22)	(0.10)	(0.18)	(0.17)
표	본 수 (조)	15	29	7	51

본 연구에서 선정한 현장조건양생 방법의 양생수준을 검토하기 위해 습윤양생 공시체와 현장조건양생공시체의 실험결과를 비교한 것이 <표2>에 정리되어 있다. 현장 대 습윤의 비(<표2>의 4행)는 공칭강도에 따라 약간의 차이를 가지나 전체적으로 수중대비 92%의 수준이다. 이는 Bloem(1)의 실험에서 양호한 현장조건양생(Job cylinder) 결과 91%와 매우 잘 일치된다. 따라서 본 연구의 현장조건양생은 매우 좋은 양생조건으로 분류될 수 있다.

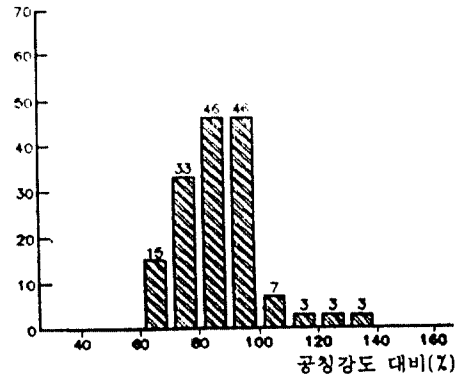
<표2> 양생조건에 따른 압축강도 비교

단위 : %

공칭 강도 1	fc / fn		현장 습윤4	표본수 (조) 5
	습윤2	현장3		
180	87.8	85.3	97	6
210	97.4	87.8	90	21
240	93.3	86.7	93	5
전체	95.0	87.2	92	32

<표1>에서 현장조건양생 콘크리트의 공칭강도 대비는 공칭강도가 증가함에 따라 93, 86, 81%로 줄어드는 것을 알 수 있는데, 이는 다른 연구결과(4)와 같은 경향이다. 전체적으로는 공칭강도 대비 87.5%이며, 현재 건축구조물 공사에서 가장 많이 사용되는 공칭강도 210 kg/cm<sup>2</sup> 에 있어서는 85.8% 수준으로 외국의 조사결과와 비교해 낮은 수준이다. <표2>의 습윤양생 공시체의 공칭강도 대비도 95% 수준이다. 이는 건축공사 표준시방서나 미국 ACI318-83등에 제시되어 있는 계획 배합강도와 비교할 때 매우 낮은 수준이다. 이러한 결과의 정확한 원인은 보다 철저한 분석이 필요하겠지만 가장 큰 원인은 현장작업자가 콘크리트 타설의 편이를 위해 다량의 가수를 한 결과인 것 같다. 한 현장에서 레미콘이 도착한 후 바로 공시체를 제작하여 본 연구에서 실시한 결과와 비교하였다. 설계강도 210kg/cm<sup>2</sup> 에 대하여 레미콘에서 채취, 습윤양생한 공시체는 238kg/cm<sup>2</sup> (3개 공시체 평균), 일상적인 가수후 타설부위에서 채취, 습윤양생한 경우 193kg/cm<sup>2</sup>, 현장조건 양생의 경우 158 kg/cm<sup>2</sup> 이 나왔으며, 다른 1조의 경우, 231-168-159kg/cm<sup>2</sup> 가 나왔다.

변이계수는 현장조건 양생공시체 전체에 있어 16%로 이는 Mirza(2)의 조사결과에 의하면 공칭강도 4000psi (약 280kg/cm<sup>2</sup>) 이하에서 보통의 품질관리 수준에 해당한다. 그러나 특이한 것은 공칭강도 210kg/cm<sup>2</sup> 에 있어 변이계수가 0.10으로 상대적으로 매우 작다. 참고문헌(5)에서도 이와 비슷한 결과가 조사되어 있다. <그림 1>은 설계강도에 관계없이 전체결과를 설계강도 대비(%)로 나타낸 분포도이다.



<그림1> 현장조건양생 공시체의 28일 압축강도 분포도

<표1>에 정리되어 있는 결과로부터 실제 현장타설 콘크리트 구조물에서의 콘크리트 강도를 추정해 볼 수 있다. Bloem(1)의 실험결과를 분석하며, 잘 양생된 부재에서의 강도는 양호한 현장조건양생 공시체의 압축강도의 93% 수준이며, 일반적인 현장의 조건(비교적 불량)에서 양생된 부재의 경우는 75% 정도이며, 평균적으로 85% 수준이다. 참고로 Petersons은 보통수준의 현장양생에 대하여 90%를 추정하였다(참고문헌(2) 참조). 이를 이용하여 정리한 결과가 <표3>이다. 전반적으로 65%-80%의 수준으로 MacGregor(4)가 공칭강도 3000psi 에 대해 추정한 92%와 비교할 때 매우 낮은 수준이다.

<표3> 양생수준에 따른 현장타설 구조물의 콘크리트 압축강도

단위 : kg/cm<sup>2</sup>

공칭 강도	현장조건양생 공시체의강도	현장의 양생수준		
		불량	평균	양호
180	168 (93.4)	128 (71.0)	143 (79.4)	156 (86.9)
210	180 (85.7)	137 (65.1)	153 (72.8)	167 (79.7)
240	194 (80.9)	147 (61.5)	169 (68.8)	180 (75.2)
전체	- (87.5)	- (66.5)	- (74.4)	- (81.4)

( ) : 공칭강도 대비(%)

이상에서 분석한 결과는 공시체  $\phi 10 \times 20 \text{cm}$ 의 실험결과로써 표준공시체 ( $\phi 15 \times 30 \text{cm}$ )에 대한 보정치(0.97)를 고려하지 않았다. 따라서 이를 고려할 경우 약 3%의 강도저하가 있게 된다.

#### 4. 결론

본 연구의 분석결과는 다음과 같이 정리할 수 있다.

- 1) 현장조건양생 공시체의 28일 강도는 설계강도 대비 81-93%의 수준으로 설계강도가 높아질수록 비율이 떨어진다. 전체적으로는 설계강도대비 87.5%의 수준이다.
- 2) 이에 기초하여 현장타설 구조물내에서의 콘크리트 강도를 추정해 보면 설계강도대비 65-80%의 수준이며, 일반적인 경우 70% 수준이다. 이는 다른 연구(4)에서 추정하는 92%와 비교하여 매우 낮은 수준이다.
- 3) 습윤양생 공시체의 28일 강도도 설계강도대비 95%의 수준으로 건축공사 표준시방서에서 제시하는 계획배합강도에 비해 매우 낮은 수준이다.
- 4) 콘크리트가 현장에 운반된 뒤의 품질관리가 압축강도에 많은 영향을 미치므로 주의를 요한다.

본 연구에서 나타난 비교적 낮은 콘크리트 압축강도가 R.C 구조부재의 강도에 미치는 영향은 현재 분석중에 있다.

#### 참 고 문 헌

1. Bloem, D.L., "Concrete Strength in Structures", ACI Journal, March, 1968, pp.176-187.
2. Mirza, S.A., and MacGregor, J.G., "Statistical Descriptions of Strength of Concrete", ASCE, Vol. 105, No.ST6, June, 1979, pp.1021-1037.
3. Tso, W.K., and Zelman, I.M., "Concrete Strength Variation in Actual Structures", ACI Journal, Dec. 1970, pp.981-988.

4. MacGregor, J.G., Mirza, S.A., and Ellingwood, B., "Statistical Analysis of Resistance of Reinforced and Prestressed Concrete Members", ACI Journal, May-June, 1983, pp.167-176.
5. 한국건설기술연구원, "구조물의 신뢰성에 관한 연구", 중간보고서, 1988.
6. Campbell, R.H., and Tobin, R.E., "Core and Cylinder Strengths of Natural and Lightweight Concrete" ACI Journal, April, 1967, pp.190-195.