

콘크리트 압축강도 예측식의 일반화 및 이들 식의 검증

Generalization and its Verification of Concrete Compressive Strength Prediction Equation

최 중 철* 이 성 태** 양 은 익*** 김 동 용**** 손 석 호***** 문 병 석*****
Choi, Joong Cheol Yi, Seong Tae Yang, Eun Ik Kim, Dong Yong Son, Suk Ho Mun, Byung Suk

ABSTRACT

In previous study, the effect of specimen sizes and shapes on the compressive strength of concrete specimens was experimentally investigated based on fracture mechanics. In this study, the relationship between the cube compressive strength and the cylinder strength for representative specimen sizes was investigated by linear regression analyses. And, by reanalyzing the compressive strength prediction equations with specimen size and shape obtained in previous studies, the compressive strength prediction equations were generalized. In addition, its verification was investigated by comparing with the results obtained from other researchers.

1. 서론

최근 널리 사용되는 콘크리트의 압축강도범위를 대상으로 하여 본 논문의 저자들에 의해 수행된 이전의 연구¹⁾에서는 실험적·해석적 검토를 수행함으로써 공시체 크기, 형상 및 타설방향에 따라 압축강도를 예측할 수 있는 모델식 및 환산계수를 수정된 크기효과 법칙(modified size effect law, MSEL)을 이용하여 제시하고, 강도수준이 압축강도의 크기효과 및 형상효과에 미치는 영향을 검토하였다. 이번 연구에서는 저자들이 기 수행한 연구¹⁾에 대해 추가적인 해석을 수행하여 기존의 예측모델식을 보다 일반화시키는 작업(즉, 일반적으로 널리 사용되는 공시체의 크기 및 형상에 따른 강도 값들 사이의 관계 및 원주공시체의 강도로부터 입방체 및 각주의 강도를 예측할 수 있는 예측식의 제안), 타 연구자들의 연구²⁾로부터 얻어진 결과치와 본 연구에서 제시된 예측식들을 비교·분석하여 이 연구에서 개발된 식에 대한 검증 작업을 수행하고자 한다.

2. 기존의 연구

현재까지, 공시체의 크기 및 형상이 콘크리트 축압축강도에 미치는 영향에 대한 연구의 대부분은 표준 원주공시체와 입방체에 국한되어 왔으며, 압축강도 수준에 따른 체계적인 연구는 여전히 부족한 실정이다. 그 동안 기 수행된 몇몇 연구자들의 연구결과들을 소개하면 다음과 같다.

- * 정회원, 동성엔지니어링 구조부 대리
- ** 정회원, 충청대학교 토목공학과 교수
- *** 정회원, 강릉대학교 토목공학과 교수
- **** 정회원, 동성엔지니어링 구조부 전무
- ***** 정회원, 동성엔지니어링 구조부 이사
- ***** 정회원, 동성엔지니어링 구조부 차장

표 1 공시체의 형상이 콘크리트 압축강도에 미치는 영향에 대한 기존연구

연구자	압축강도	사용공시체	연구결과
Mansur 등 ²⁾	50-120 MPa	100×100×100 mm cube 100×100×200 mm prism φ100×200 mm cylinder φ150×300 mm cylinder	φ100×200 mm 원주공시체의 강도에 비해 φ150×300 mm 원주공시체와 100×100×200 mm 각주가 약 2% 작은 강도를 나타내며, 100×100×100 mm 입방체는 3% 큰 강도를 나타냄.
野口貴文 등 ³⁾	20-160 MPa	"	100×100×200 mm 각주는 원주공시체와 동등한 압축강도를 나타내므로 원주공시체의 대체 공시체로 이용 가능함.
Chin 등 ⁴⁾	50-120 MPa	75×75×100 mm prism 100×100×200 mm prism 125×125×250 mm prism φ100×200 mm cylinder	가장 큰 각주(125×125×250 mm)는 전체 강도범위에서 약 9 MPa 더 작은 값을 보이며, 형상효과 측면에서는 각주가 전체 강도범위에 걸쳐서 대응되는 원주공시체보다 약 간 더 큰 강도를 나타냄.

표 1에 나타낸 바와 같이 몇몇 연구자들에 의해 공시체의 크기 및 형상이 콘크리트의 압축강도에 미치는 영향이 실험을 통해 증명되기도 했지만, 대부분 강도환산계수만 제시하였고 크기 및 형상, 타설방향 그리고 강도수준 등을 체계적으로 고려한 연구는 아직도 수행되지 않고 있다. 따라서 현재까지도 이들 예측식간의 일반화 또한 이루어 지지 못하고 있는 실정이다.

3. 해석방법 및 절차

먼저 본 연구의 저자들에 의해 이전의 연구¹⁾에서 얻어진 실험결과를 이용하여 대표적인 공시체의 크기 및 형상에 대한 축압축강도 사이의 관계를 선형회귀분석을 통해 검토하고, 이전 연구¹⁾에서 제시한 공시체 형상별 크기에 따른 축압축강도 예측식을 이용해 형상 간 강도예측의 일반식을 제시한 후, 앞 절에서 소개한 기존 연구결과들과 비교·검토하여 이 식의 적합성에 대한 검토를 수행한다.

4. 해석결과

4.1 공시체의 크기 및 형상에 따른 강도 값 사이의 관계

그림 1은 이전 실험결과¹⁾에서 얻어진 데이터를 이용해 널리 사용되는 대표적인 공시체 크기 및 형상(즉, 입방체 100×100×100 mm와 150×150×150 mm 및 원주공시체 φ100×200 mm와 φ150×300 mm) 사이의 압축강도관계를 그림으로 나타낸 것이다. 실선은 선형회귀분석을 통해 얻어진 식을, 점선은 $y=x$ 를 그린 것이다. 그림 1(a)로부터 사용 콘크리트의 압축강도가 낮을 때는 입방체의 강도가 표준 원주공시체의 강도보다 크지만 약 65 MPa에서는 이들 강도가 같아지고 이 값을 넘어서면 오히려 원주공시체의 강도가 조금 더 커짐을 알 수 있다. 그림 1(b)와 (c)로부터는 회귀분석식의 기울기가 그림 1(a)의 경우보다는 덜 급하지만 그 경향은 그림 1(a)와 유사함을 알 수 있다. 그림 1(d)에서도 그림 1(a)와 유사한 경향을 알 수 있었지만 약 60 MPa에서 이들 공시체의 강도가 같아짐을 확인할 수 있었다.

4.2 원주공시체의 압축강도로부터 입방체 및 각주의 강도를 예측할 수 있는 식의 제안

이전의 실험결과에서 얻은 각 형상별 공시체 크기에 따른 예측식 들(즉, 식(1), 식(2), 및 식(3))간의 관계를 검토하여 그림 2(a)와 그림 2(b)에 나타낸 일반식을 제시하였다. 그림 2(a)와 (b)에서 실선은 일반식을, 점선은 $y=x$ 를 나타낸다. 이들 그림으로부터 이 논문에서 제시된 일반식들이 입방체와 원주공시체, 각주와 원주공시체의 압축강도 간의 관계를 잘 나타냄을 알 수 있다.

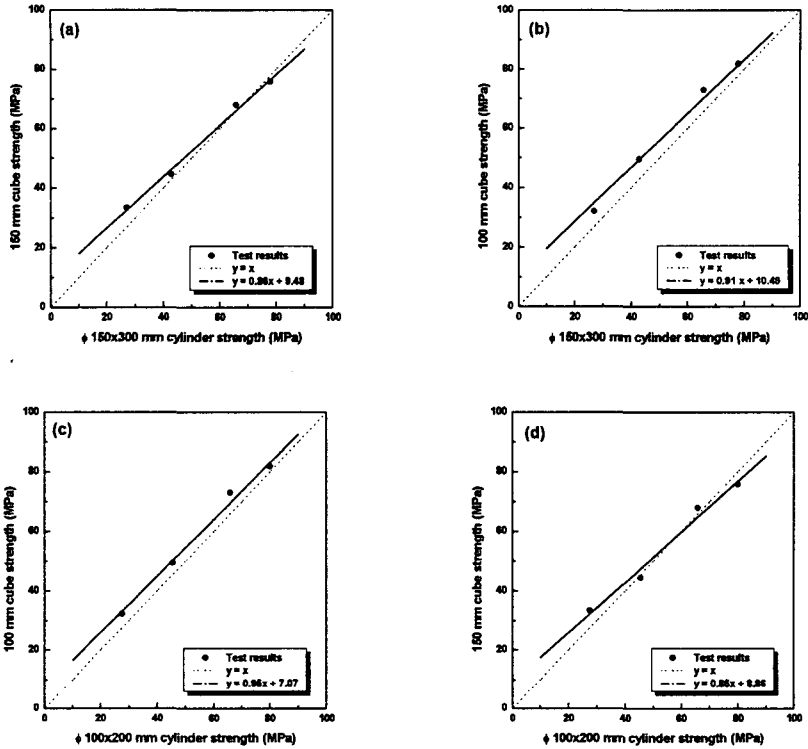


그림 1 입방체와 원주공시체의 압축강도 사이의 관계 : (a) 150 mm 입방체와 $\phi 150 \times 300$ mm 원주공시체의 압축강도 관계; (b) 100 mm 입방체와 $\phi 150 \times 300$ mm 원주공시체의 압축강도 관계; (c) 100 mm 입방체와 $\phi 100 \times 200$ mm 원주공시체의 압축강도 관계; (d) 150 mm 입방체와 $\phi 100 \times 200$ mm 원주공시체의 압축강도 관계

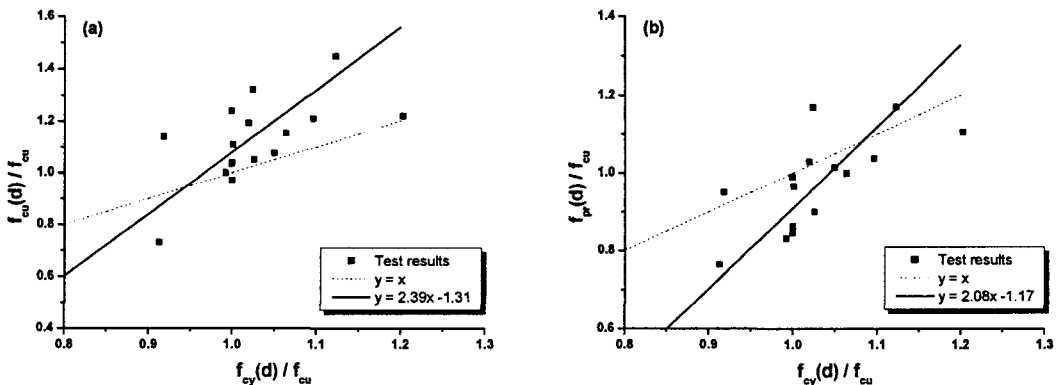


그림 2 입방체와 각주의 압축강도 예측식에 대한 일반화 : (a) 입방체와 원주공시체의 압축강도 관계; (b) 각주와 원주공시체의 압축강도 관계

$$f_{cy}(d) = \frac{0.49f_{cu}}{\sqrt{1+d/2.6}} + 0.81f_{cu} \quad (1)$$

$$f_{cu}(d) = \frac{1.17f_{cu}}{\sqrt{1+d/2.6}} + 0.62f_{cu} \quad (2)$$

$$f_{pr}(d) = \frac{1.02f_{cu}}{\sqrt{1+d/2.6}} + 0.52f_{cu} \quad (3)$$

여기서, f_{cu} 는 $\phi 150 \times 300$ mm 표준 원주공시체의 강도를, $f_{cy}(d)$ 는 원주공시체의 최소단면치수 d (cm)에 따른 축압축강도를, $f_{cu}(d)$ 는 입방체의 최소단면치수 d (cm)에 따른 축압축강도를, $f_{pr}(d)$ 는 각주의 최소단면치수 d (cm)에 따른 축압축강도를 나타내는데, 각 계수값들이 저자가 행한 기존 연구에서의 값과 다른 이유는 이전 연구에서의 기준공시체가 $\phi 100 \times 200$ mm 원주공시체였기 때문이다.

4.3 기존 연구결과와의 비교 및 검증

4.2절에 제시한 각주에 대한 일반식이 타 연구자들의 실험결과를 잘 나타내는지를 파악하기 위해 이들 사이의 관계를 그림 3에 나타내었다. 이 그림에서 굵은실선과 가는실선, 및 점선은 각각 일반식(3), Mansur 등²⁾의 실험결과에 대한 선형회귀분석식, 그리고 $y=x$ 를 나타내고, 원은 Mansur 등²⁾으로부터의 실험결과를 의미한다. 이로부터 $f_{cy}(d)/f_{cu}$ 가 대략 1.1보다 작을 때에는 제안한 일반식이 Mansur 등²⁾에 의한 실험결과와 비교하여 원주공시체의 압축강도에 대한 각주의 압축강도를 하향 예측하고 있으나, 그 경향은 유사함을 알 수 있다. 여기서 회귀분석식들 사이에 오차가 생기는 것은 Mansur 등²⁾이 수행한 실험에서 원주공시체와 비교대상이 되는 각주의 크기가 단 한 가지이지만(즉, 결과의 비교에 문제점이 있지만) 저자들이 수행한 실험¹⁾에서는 네 가지였기 때문이다. 또한, 입방체에 대한 실험결과는 Mansur 등²⁾의 논문에서 제시되지 않아 입방체에 대한 일반식의 검증은 할 수 없었다. 추후의 연구에서는 더 많은 문헌조사와 직접적인 실험을 통해 이 일반식의 구조물 설계에 있어서의 적합성을 검증하고자 한다.

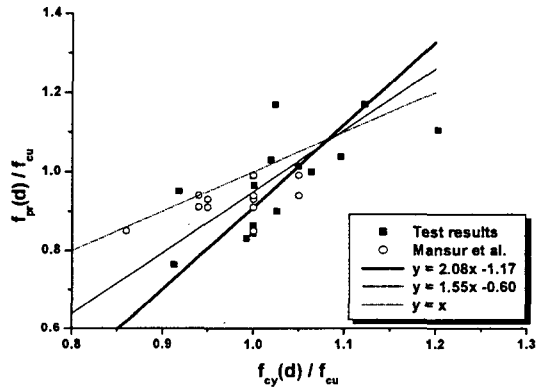


그림 3 각주에 대한 압축강도 예측용 일반식(3)의 검증

5. 결론

이전 연구에서의 실험결과를 이용하여 대표적인 공시체 크기 및 형상에 대한 축압축강도 사이의 관계를 검토하였으며, 각 형상 간 공시체 크기에 따른 압축강도의 예측을 위한 일반식을 제시하였고, 기 연구자들의 실험결과와의 비교를 통해 제시한 일반식의 적합성을 검증하였다.

참고문헌

1. 양은익, 최중철, 이성태, “콘크리트 압축강도에 공시체의 크기와 형상이 미치는 영향,” 한국 콘크리트학회 논문집, Vol.16, No.3, Jun. 2004, pp.375~382.
2. Mansur M.A., Wee T.H., and Chin M.S., “Some engineering properties of locally produced high-strength concrete,” 19th Conference on Our World in Concrete & Structures, 24-26, Aug. 1994, Singapore, pp.97~106.
3. 野口貴文, 友澤史紀, “高強度コンクリートの壓縮力學特性に及ぼす供試体寸法・形状の影響,” 日本建築學會構造系論文集, 第473号, 1995年 7月, pp.19~28.
4. Chin M.S., Mansur M.A., and Wee T.H., “Effect of shape, size, and casting direction of specimens on stress-strain curves of high-strength concrete,” ACI Materials Journal, Vol.94, No.3, May-Jun. 1997, pp.209~219.