

# 콘크리트의 압축강도에 공시체의 크기와 형상이 미치는 영향

## Effect of Specimen Sizes and Shapes on Compressive Strength of Concrete

최 중 철\* 양 은 익\*\* 이 성 태\*\*\* 김 명 유\* 이 광 교\*  
Choi, Joong Chul Yang, Eun Ik Yi, Seong Tae Kim, Myung You Lee, Kwang Gyo

### ABSTRACT

The compressive strength of concrete is used as the most fundamental and important material property when reinforced concrete structures are designed. It has been problem to use this value, however, because the control specimen sizes and shapes are different from every country. In this study, the effect of specimen shapes and sizes on compressive strength of concrete members was experimentally investigated based on fracture mechanics. Experiments for the mode I failure was carried out by using cylinder, cube, and prism specimens. The test results are curve fitted using least square method(LSM) to obtain the new parameters for the modified size effect law(MSEL). The analysis results show that the effect of specimen sizes and shapes on ultimate strength is apparent. The results also show stronger size effect in member when the casting direction is perpendicular to loading direction

### 1. 서 론

어떠한 재료를 막론하고 그 재료에는 고유한 성질이 있으며 이것이 공시체의 크기나 형상, 그리고 기타의 요인과 무관할 때 이 성질을 그 재료의 재료적 특성이라 한다. 콘크리트도 하나의 합성재료로서  $\phi 150 \times 300$  mm 원주공시체나 150 mm 혹은 100 mm 입방체의 압축강도를 가장 기본적인 재료특성으로 간주하고 있다. 그러나 이 압축강도가 공시체나 구조물의 크기와 형상에 따라 달라진다면 재료적 특성이라고 보기에는 문제가 있다. 그런데 실제로 콘크리트 재료는 그 파괴특성으로 인해 이러한 현상을 보인다. 원주공시체에 대해서는 김진근 등<sup>(1)</sup>에 의해 많은 연구가 이루어져 왔다. 하지만 입방체와 각주에 대해서는 연구가 아직도 불충분한 실정이다. 본 논문에서 각주의 거동을 추가로 검토해본 이유는 스테럽으로 보강된 철근콘크리트 기둥에서 덮개의 역할을 제외하면 그 내부의 형상이 각주와 유사하므로 기둥의 실질적이며 파괴역학적인 특성을 살펴보기 위함이다.

\* 정회원, 강릉대학교 토목공학과 대학원 석사과정

\*\* 정회원, 강릉대학교 토목공학과 교수

\*\*\* 정회원, 충청대학 토목공학과 교수

따라서 본 연구에서는 콘크리트의 압축강도에 공시체의 크기와 형상이 미치는 영향을 살펴보고 이들(공시체의 크기와 형상) 사이의 압축강도를 서로 환산할 수 있는 보정계수(Correction factor, CF)를 회귀분석을 통해 제시하고자 한다.

## 2. 실험방법

### 2.1 실험개요

본 연구에서는 현재 사용되고 있는 다양한 콘크리트의 강도수준에 대하여 공시체의 크기와 형상이 압축강도에 미치는 영향을 살펴보고자 한다. 더불어 입방체와 각주에 대해서 타설방향이 압축강도에 미치는 영향도 추가로 살펴보고자 한다. 본 연구에 사용되는 공시체의 형상은 원주와 입방체, 그리고 각주로 하였고, 콘크리트의 강도수준 즉, 설계기준강도는 250, 350, 550, 그리고 750 kgf/cm<sup>2</sup>로 하였다.

### 2.2 배합설계

고강도 콘크리트는 저강도 콘크리트와 비교해서 취성적인 거동이 더욱 뚜렷이 나타난다. 이것은 파괴진행영역(Fracture process zone, FPZ)의 크기가 상대적으로 작고 따라서 크기효과가 더 크게 나타난다는 것을 의미한다. 이와 같은 성질을 강도예측식에 반영하기 위해 저강도에서 고강도에 이르는 다양한 강도수준의 공시체를 제작하여 실험을 수행했으며, 이때 사용된 콘크리트 배합표는 Table 1에 주어져 있다.

Table 1. Mixture proportions of concrete

w/c (%)	s/a (%)	Unit weight (kg/m <sup>3</sup> )					S.P.* (%)
		W	C	S	G	Silica fume	
67	50	185	276	900	962	-	-
50	48	180	360	837	970	-	-
35	46	175	500	755	948	-	1.0
28	44	165	531	692	942	59	2.5

Table 2. Dimension of specimens

Shape	Dimensions (mm)	Shape	Dimensions (mm)	Shape	Dimensions (mm)
Cylinder (Cy)	50×100	Cube (Cu, Cu <sub>p</sub> )	50×50×50	Prism (Pr, Pr <sub>p</sub> )	50×50×100
	100×200		100×100×100		100×100×200
	150×300		150×150×150		150×150×300
	200×400		200×200×200		200×200×400

\* superplasticizer

### 2.3 공시체의 크기 및 형상

본 실험에서 사용한 공시체는 원주공시체와 입방체, 각주로서 이들 크기는 Table 2에 나타나 있다. Table 2에서 Cy는 원주공시체를 의미하며, Cu와 Pr은 각각 타설방향과 재하방향이 서로 직각인 입방체와 각주를 의미한다. 또한, Cu<sub>p</sub>와 Pr<sub>p</sub>는 각각 타설방향과 재하방향이 서로 평행한 즉, 원주공시체와 재하방향이 같은 입방체와 각주를 의미한다. 이 변수들은 본 연구를 통해 제시된 형상과 크기에 따른 강도예측식에 사용되었다.

## 3. 실험결과 및 분석

Bazant의 크기효과법칙(Size Effect Law, SEL)<sup>(2)</sup>이 발표된 이후, 김진근 등<sup>(3)</sup>은 부재의 크기와 무관한 항인  $\sigma_0$ 항을 고려함으로써 초기 균열이 없는 경우 혹은 비유사 균열을 가진 콘크리트 부재의

강도 예측을 위한 수정된 크기효과법칙(Modified Size Effect Law, MSEL), 즉, 식(1)을 제안하였다.

$$f_{cu}(d) = \frac{Bf_{cu}}{\sqrt{1 + \frac{d}{\lambda_0 d_a}}} + \alpha f_{cu} \quad (1)$$

여기서  $f_{cu}(d)$ 와  $f_{cu}$ 는 각각 임의 크기의 원주공시체와 표준 원주공시체 ( $\phi 150 \times 300$  mm)에 대한 압축강도를 나타내고,  $d$ 와  $d_a$ 는 각각 공시체의 직경과 굵은 골재의 최대치수를, 그리고  $B$ ,  $\lambda_0$ ,  $\alpha$ 는 실험상수를 나타낸다.  $\lambda_0$ 는 일반적으로 2.0~3.0<sup>(1,2,4)</sup>의 값을 갖는 것으로 알려져 있으며 본 연구에서는 2.0의 값을 사용하였다.

총 300개의 실험결과와 MSEL을 이용하여 크기와 형태에 따른 압축강도 예측모델식을 제안했으며 각각의 경우,  $f_{shape}(d)/f_{cu}$ 와  $d$ 의 관계곡선을 그리면 Figure 1과 같다. 이를 정리하여 표로 나타내면 Table 3과 같다.

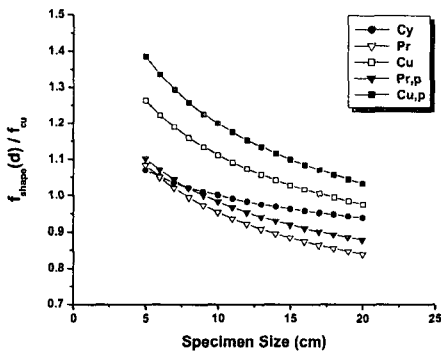


Figure 1. Relationship between  $f_{shape}(d)/f_{cu}$  and specimen size  $d$

Table 3. Coefficients for MSEL ( $B, \alpha$ )

Shape & direction	$B$	$\alpha$	$r^2$	MSEL
Cy	0.53	0.76	0.98	$f_{shape}(d) = \frac{Bf_{cu}}{\sqrt{1 + \frac{d}{2 \times 1.3}}} + \alpha f_{cu}$ <p> <math>d</math> : Diameter or width of specimen(cm)  <math>f_{shape}(d)</math>: Compressive strength of specimen with sizes and shapes  <math>f_{cu}</math> : Compressive strength of <math>\phi 100 \times 200</math> mm cylinder specimen (<math>\text{kgf/cm}^2</math>)                 </p>
Cu	1.17	0.58	0.95	
Pr	1.00	0.50	0.92	
Cu,p	1.43	0.55	0.94	
Pr,p	0.91	0.57	0.96	

콘크리트에서의 압축파괴도 결국은 국소화된 횡방향 인장력으로 인한 조깅균열의 발생과 합체 및 전파에 의해 일어나므로 Figure 1에서 알 수 있는 바와 같이 모든 형상의 공시체에서 크기효과가 발생하며, 입방체와 각주의 경우 원주공시체에 비해 크기효과가 더욱 뚜렷이 발생한다는 사실을 확인할 수 있었다.

각주의 크기효과가 원주공시체의 그것과 유사하다는 연구결과도 보고 되어 왔다.<sup>(5)</sup> 또한, 입방체의 경우, 가압판과 공시체 단부 접촉면에서의 마찰력으로 인해 횡방향 팽창이 더 많이 구속되고 원주공시체에는 길이효과가 있기 때문에 입방체의 압축강도가 원주공시체의 압축강도보다 일반적으로 크다. 그러나 공시체의 크기가 증가함에 따라 입방체의 크기효과가 원주공시체보다 더 많이 일어나므로 두 형상 간의 압축강도 값이 점점 비슷해짐을 확인할 수 있었다. 이는 입방체의 경우, 상대적으로 충분한 파괴진행영역이 일어나지 않기 때문으로 판단된다. 한편, CEB-FIP Code<sup>(6)</sup>에서는 압축강도가 증가함에 따라 각주와 원주공시체의 강도가 비슷하게 됨을 설명하고 있다.

또한, 타설방향이 가압방향과 수직이면 평행할 때보다 더 큰 크기효과를 나타냄을 확인하였다. 입방체의 경우, 타설방향에 따른 크기효과 차이가 각주와 비교해서 뚜렷하지 않았는데 이는 입방체의 파

괴경향이 각주와 달리 횡방향 팽창에 의해 파괴가 일어나는 것이 아니라 부숴짐(Crushing)에 의해 파괴가 일어나며 횡방향 팽창을 가압판과 공시체사이의 마찰력이 더 많이 구속하기 때문으로 판단된다.

Table 4에는 본 연구에서 제시한 압축강도 예측 모델식을 기본으로 하여 임의의 크기와 형상을 가진 공시체의 압축강도를 특정 크기와 형상을 가진 공시체의 강도로 환산할 수 있는 보정계수를  $\phi$  150×300 mm 원주공시체를 기준으로 할 때와  $\phi$ 100×200 mm 원주공시체를 기준으로 할 때로 나누어 제시하였다. 필요할 경우, 이와 같은 크기 및 형상에 따른 보정계수를 이용해 임의의 공시체의 강도를 원하는 크기와 형상을 가진 공시체의 강도로 쉽게 환산할 수 있을 것으로 판단된다.

Table 4. Correction factors with sizes and shapes of the specimen

Cylinder specimen size	d (cm)	Cy	Cu	Pr	Cu,p	Pr,p
Cy(10) CF=1.00	5	1.07	1.26	1.08	1.39	1.10
	10	1.00	1.11	0.95	1.20	0.98
	15	0.96	1.03	0.88	1.10	0.92
	20	0.94	0.98	0.84	1.04	0.88
Cy(15) CF=1.00	5	1.11	1.31	1.13	1.45	1.15
	10	1.04	1.16	0.99	1.25	1.02
	15	1.00	1.07	0.92	1.15	0.96
	20	0.98	1.02	0.88	1.08	0.92

#### 4. 결 론

지금까지 수행된 대부분의 콘크리트 압축강도의 크기효과에 관한 연구들은 원주공시체에 대한 것이고 일부 입방체에 대한 것도 있었지만, 본 논문에서는 세 가지 형상에 대한 연구를 수행하여 보다 폭넓은 검토를 하고자 했으며 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 세 가지 공시체 형상의 압축강도에 크기효과가 존재함을 확인했으며, 입방체와 각주의 경우 원주공시체에 비하여 크기효과가 더 뚜렷함을 확인하였다.

(2) 공시체의 크기와 형상에 따른 압축강도 예측모델식 및 강도환산을 위한 보정계수를 제시하였으며, 타설방향과 가력방향이 수직인 경우와 평행인 경우, 입방체가 각주에 비해 더 적은 크기효과에서의 차이를 보였다.

#### 참 고 문 헌

1. Kim, J.K., Yi, S.T., Park, C.K., and Eo, S.H., "Size Effect on Compressive Strength of Plain and Spirally Reinforced Concrete Cylinders," ACI Structural Journal, Vol.96. No.1, 1999, pp.88-94.
2. Bazant, Z.P., "Size Effect in Blunt Fracture; Concrete, Rock, Metal," Journal of Engineering Mechanics, ASCE, V.110, No.4, Apr. 1984, pp.518-535.
3. Kim, J.K. and Eo, S.H., "Size Effect in Concrete Specimens with Dissimilar Initial Cracks," Magazine of Concrete Research, Vol.42, No.153, 1990, pp.233-238.
4. Kim, J.K., Yi, S.T., and Yang, E.I. "Size Effect on Flexural Compressive Strength of Concrete Specimens," ACI Structural Journal, Vol.97, No.2, 2000, pp.291-296.
5. Neville, A.M., "Properties of Concrete", 4th Edition, John Wiley & Sons, Inc., pp.605.
6. CEB-FIP, Model Code for Concrete Structures (MC-90), CEB, Thomas Telford, London, 1993.