

각주 콘크리트 공시체의 크기 효과에 관한 연구

강수철* · 은희창**

A Study on Size Effects of Square Cross-Section Specimens on Compressive Strength of Concrete

Soo-Chul Kang* and Hee-Chang Eun**

ABSTRACT

The strength of concrete for design or core concrete for destructive test depends on several parameters including the size and type of specimen. The Korean and European Standard take $\phi 15 \times 30$ cylindrical and 15 cm cubic specimens for measuring the concrete strength, respectively. There have been rare attempts to decide the relationships according to the shape and size of squared specimens. Especially, it is incorrect to use the existing data due to the different material properties in Cheju from the others. Therefore, in this experimental study, we investigate the relationships and compare with the existing results. The experimental results will be utilized to grasp the material and mechanical characteristics of concrete in Cheju.

Key words : Squared specimen, aspect ratio, concrete strength, size effect

1. 서론

콘크리트의 압축강도는 시험체의 단면 크기, 형상비(aspect ratio), 그리고 콘크리트의 타설 방향 등에 의해 영향을 받는다. 국내나 ACI 기준에서는 설계용 콘크리트의 강도를 $\phi 15 \times 30$ 인 원주공시체를 표준공시체로 4주 압축강도를 규정하고 있으나, 입방공시체를 표준공시체로 사용하고 있는 국가도 있다.

입방공시체를 포함한 각주공시체는 원주공시체와는 달리 시험체의 측면에서 콘크리트가 타설되므로

꺾핑을 요하지 않는 차이점이 있으며, 시험체 단면의 모양 차이로 원주공시체와 각주공시체의 강도 관계를 설정하기 위하여 적절한 보정계수를 요한다. 그러나 콘크리트 구성 재료들의 물리적인 성질들이 동일하다는 가정하에 국외의 연구에서 얻은 보정 계수를 사용하고 있는 실정이다.

제주도는 지역적인 여건상 현무암질의 쇄석 조골재를 사용하고 있으며, 조골재의 물리적인 성질이 아직 명확히 파악되고 있지는 않으나, 타지역의 골재보다 흡수율이 크고 강도가 작은 것으로 보고되고 있다.¹⁾

ACI 기준에 의한 철근콘크리트 기둥의 설계에 있어서 콘크리트가 분담하는 축압축력은 $0.85f_{ck}(A_g - A_{st})$ 으로, 여기서 콘크리트의 설계용 압축강도 f_{ck} 를 85%로 감소시킨 것은 표준 원주 공시체에서 얻은 강도와

* 제주대학교 대학원
Graduate school, Cheju Nat'l Univ.

** 제주대 건축공학과
Dept. of Architectural Eng., Cheju Nat'l Univ.

기둥에서 사용된 콘크리트 강도와와의 차이를 설명하는 계수를 나타낸다.²⁾ 즉, 장방형 기둥의 세장비와 단면의 모양을 고려한 감소계수로 형상비가 2인 표준 원주공시체에 대한 보정계수를 나타내고 있다.

따라서 본 연구에서는 각주공시체의 세장비와 크기를 변수로 압축강도 실험을 실시하여 재령에 따른 압축강도 변화 추이와 파괴 양상으로부터 표준 원주공시체와 각주공시체와의 강도 관계를 파악하고 그 결과를 기존의 보정 계수와 비교한다. 다음으로 제주 현무암의 특성을 고찰하고자 타지역의 쇄석 조골재와의 강도 특성을 비교하여, 제주 현무암이 콘크리트 강도에 미치는 영향을 파악한다.

II. 실험 방법 및 결과

2.1 시험체 제작 및 실험

원주시험체의 경우는 코아 콘크리트와의 강도 관계를 설정하기 위해 단면이 작은 경우가 고려될 수 있으나, 각주시험체의 경우는 무의미하다. 따라서, 본 연구에서는 단면의 크기 및 세장비를 실험기기의 용량을 고려하여 단면이 10, 15, 20, 25cm, 세장비가 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 3.0, 4.0인 각주, $\phi 15 \times 30$, $\phi 10 \times 20$ 원주, $\phi 10 \times 20$ 와 동일한 단면적과 세장비의 8.9cm 각주시험체를 제작하였다. 이들 세장비와 크기를 변수로 재령에 따른 강도 변화를 측정하기 위하여 표1에서 보는 바와 같이 각 변수에 대해 9개씩 제작하였다. 각주시험체의 거푸집은 콘크리트의 타설 방향을 고려하여 횡방향으로 가로 놓혀 제작되었다.

배합 강도가 210 kgf/cm^2 인 균일한 콘크리트를 위하여 레미콘을 사용하였으며 그 배합설계는 표2와 같다. 콘크리트 타설전에 슬럼프를 측정하여 약 18cm의 슬럼프치를 얻었다. 사용 골재는 지역여건상 잔골재는 조립율이 2.8, 비중이 2.58인 영산강 소재의 강모래를, 굵은 골재는 제주도 에월의 석산에서 채취한 조립율 6.5, 비중 2.68, 최대 치수가 25mm인 쇄석을 각각 사용하였으며, 혼화제로는 고강도용 혼화제 일반형인 ECONEX 액체형을 사용하였다.

모든 시험체는 3일후 거푸집을 제거하여 동일 조

건하에서 대기중에 양생을 실시하였다. 실험은 콘크리트 타설후 7일, 14일, 28일에 각각 3개의 시험체에 대해 압축강도 실험을 실시하였다. 압축강도는 제주대학교 소재 300tf 용량의 만능시험기를 사용하였으며, 매 실험후 콘크리트의 파괴 양상을 육안으로 판별하였다.

2.2 실험결과

2.2.1. 파괴양상

물, 모래, 자갈, 시멘트로 이루어진 콘크리트는 골재와 모르타르 강도 사이의 범위에 강도를 보인다.

Table 1. Summary of experimental results

Specimen (breadth × width × height)	Average compressive strength according to age (kgf/cm ²)		
	7days	14days	28days
10×10×5	312.5	331.7	386.2
10×10×10	170.5	208.7	244.3
10×10×15	176.0	185.1	227.8
10×10×20	132.7	185.0	216.4
10×10×30	157.5	173.7	215.2
10×10×40	164.4	189.4	232.3
15×15×7.5	214.0	310.2	362.2
15×15×15	176.5	195.6	231.0
15×15×22.5	176.2	190.6	203.8
15×15×30	179.6	195.6	224.2
15×15×45	153.4	169.6	211.3
20×20×10	272.6	297.2	346.4
20×20×20	179.6	187.6	225.8
20×20×30	143.8	160.5	205.2
20×20×40	169.6	182.0	201.3
25×25×25	119.2	132.3	173.0
25×25×37.5	140.7	155.3	170.9
$\phi 10 \times 20$	163.4	225.6	266.2
$\phi 15 \times 30$	-	-	265
8.9×8.9×17.8	179.0	208.8	258.4

Table 2. Mixing proportion of concrete

Units : kgf/m³

cement	water	sand	gravel	admixture
333	190	818	998	0.83

따라서 콘크리트 공시체의 파괴 양상은 모르타르와 골재의 접촉면의 부착파괴나 모르타르 파괴를 나타내며, 때론 골재의 파괴 양상을 볼 수 있으나 이 양상은 경량 콘크리트에서 볼 수 있다. 골재의 강도가 약하다면 골재 파괴를 나타내어 전체적으로 콘크리트의 강도가 저하될 것이다.

본 실험에서 사용된 골재의 강도를 비교하고자 5×5×10cm인 석재 시험체에 대해 전북 익산의 쇠석과 제주 지역에 현무암의 압축강도를 비교하였다. 각각 3개의 압축강도를 측정하여 평균 압축강도를 표 3에 나타내고 있다. 이 표에서 볼 수 있듯이 익산 지역의 골재 강도가 제주지역 골재 보다 약 2배 정도 강한 것으로 나타났다.

Table 3. Strength of aggregates

Chenbook Iksan	Cheju
559.2 kgf/cm ²	276.0 kgf/cm ²

시험체의 압축강도 실험결과, 시험체의 파괴 양상은 부착이나 모르타르의 파괴 외에 모든 시험체내의 일부는 골재의 파괴를 보였다. 특히 시험체의 크기가 작은 경우에는 골재의 파괴 부분이 많이 나타났다. 이는 현무암질의 쇠석인 골재의 강도가 작다는 것으로부터 유추될 수 있다.

2.2.2. 표준공시체와 각주공시체의 강도 관계

국내에서는 표준공시체로 $\phi 15 \times 30$ 의 원주공시체를 규정하고 있으며, $\phi 10 \times 20$ 인 시험체의 사용도 인정하고 있다. 표4는 표준공시체의 28일 압축강도에 대한 각 시험체의 평균 강도비를 재령에 따라 나타내고 있다. 이 표에서 28일 압축강도를 비교한다면 각주공시체의 형상비가 0.5일 경우를 제외하고는 각주공시체의 강도가 작다는 것을 알 수 있다. 즉, 28일 압축강도는 원주공시체의 압축강도가 각주공시체의 압축강도를 상회함을 알 수 있다. 또한, 입방형 시험체의 압축강도는 표준공시체의 강도보다 작으며, 각주공시체의 크기가 작아짐에 따라 압축강도는 증가되는 것을 볼 수 있다.

Table 4. Strength ratio with standard cylindrical specimen

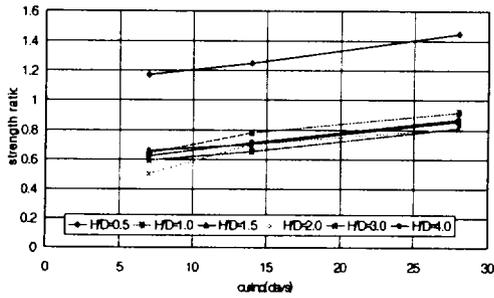
Specimen	Strength ratio with standard specimen		
	7days	14days	28days
10×10×5	1.17	1.25	1.45
10×10×10	0.64	0.78	0.92
10×10×15	0.66	0.7	0.86
10×10×20	0.5	0.7	0.81
10×10×30	0.59	0.65	0.81
10×10×40	0.62	0.71	0.87
15×15×7.5	0.8	1.17	1.36
15×15×15	0.66	0.74	0.87
15×15×22.5	0.66	0.72	0.77
15×15×30	0.67	0.73	0.84
15×15×45	0.58	0.64	0.79
20×20×10	1.02	1.11	1.30
20×20×20	0.67	0.7	0.85
20×20×30	0.54	0.60	0.77
20×20×40	0.64	0.68	0.76
25×25×25	0.45	0.5	0.65
25×25×37.5	0.53	0.58	0.64

형상비가 동일할 경우에 원주공시체가 각주공시체보다 큰 강도를 나타낸다는 기존의 결과와 동일하나 정량적으로는 차이를 나타내고 있다. 그러나 형상비가 1인 입방형 공시체의 강도가 원주공시체보다 크다는 기존의 결과와는 상반되는 실험 결과를 나타내고 있다. 이는 사용 재료 특히 골재의 특성에 의한 것으로 판단된다.

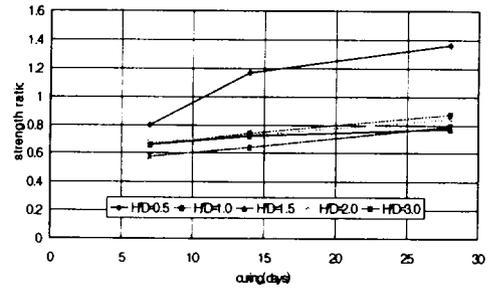
2.2.3. 세장비에 따른 강도 변화

각주공시체에서 형상비는 단면의 폭에 대한 공시체의 높이의 비로, 그림 1은 동일 단면의 각주공시체에서 형상비와 표준공시체의 28일 강도에 대한 압축강도비를 재령에 따라 나타내고 있다. 이 그림에서 형상비가 작아짐에 따라 압축강도가 증가하는 추세를 보이며, 특히 형상비가 0.5일 경우 28일 압축강도는 원주공시체의 강도보다 크게 나타났으며, 표준공시체와 동일한 형상비를 지닌 각주공시체의 28일 압축강도가 또한 저하됨을 볼 수 있다.

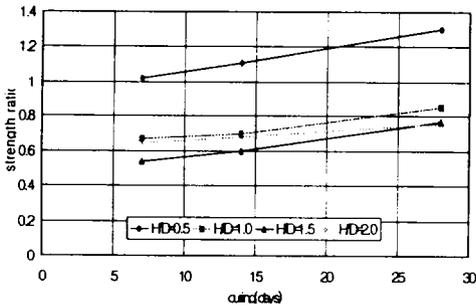
철근콘크리트 기둥에서는 형상비가 대부분 2이상



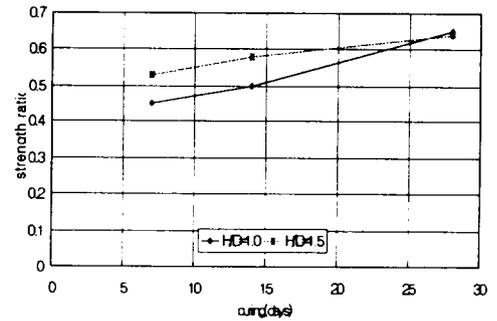
a) Squared specimen with 10cm squared section



b) Squared specimen with 15cm squared section



c) Squared specimen with 20cm squared section



d) Squared specimen with 25cm squared section

Fig. 1 Strength variation of squared specimen according to curing days

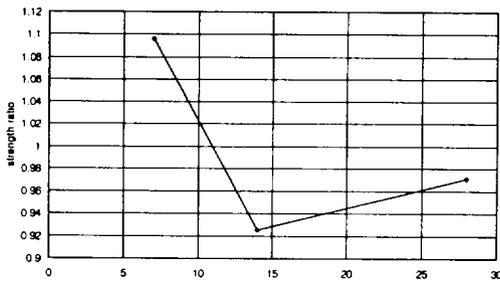


Fig. 2 Strength variation of 8.9×8.9×17.8cm squared specimen

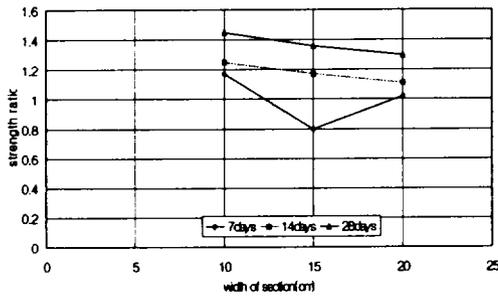
의 값이 된다. 철근콘크리트 기둥의 설계에서 콘크리트의 강도 감소계수 0.85는 상이한 형상비와 크기에 대해서 수립되는 값으로 볼 수 있다. 그러나 본 실험 결과에 의하면 형상비가 클 경우에 0.85보다 작게 나타나, 철근콘크리트 기둥 설계의 기준이 과대 평가되었음을 알 수 있다. 이는 본 실험에서 사용된 재료의

성질로부터 판단될 수 있다. 그림 2는 표준공시체와 동일한 단면적을 지닌 형상비가 2인 각주시험체와의 강도 관계를 재령에 따라 비교하였다. 이 그림에서 표준공시체와의 강도 차이가 약±10%정도이며, 28일 강도는 약3% 차이를 보인다. 즉, 단면이 8.9×8.9cm이며 형상비가 2인 각주공시체가 표준 원주공시체와 거의 유사한 압축강도를 보였다.

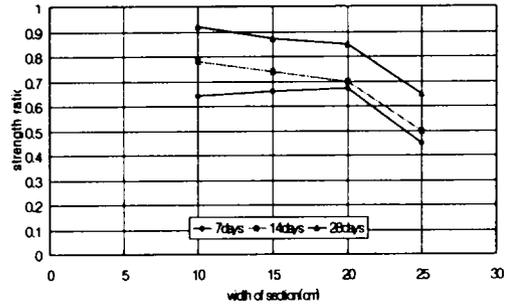
2.2.4. 동일 형상비에서 공시체의 크기 영향

콘크리트의 강도는 동일 형상비의 각주시험체에 대해 단면의 크기에도 영향을 받는다.

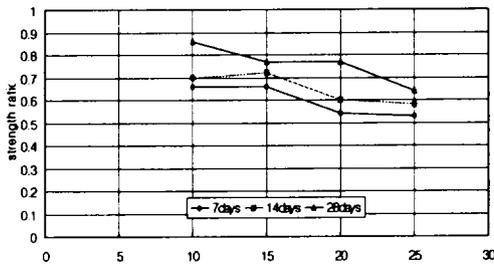
본 실험에서는 동일 형상비에서 공시체의 크기가 증가하면 압축강도가 감소됨을 그림 3에서 볼 수 있다. 이 그림에서 표준 원주공시체의 28일 강도 또한 각주공시체 보다 크게 나타나고있음을 볼 수 있다. 이 결과 또한, 보통의 철근콘크리트 기둥의 단면이 25cm 이상임을 감안한다면 0.85 계수가 과대 평가됨



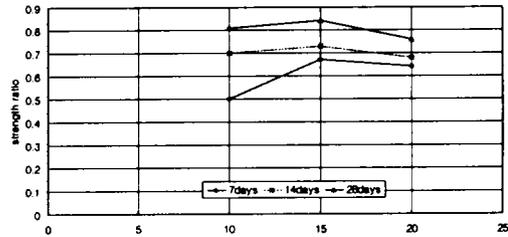
a) Squared specimen with shape ratio 0.5



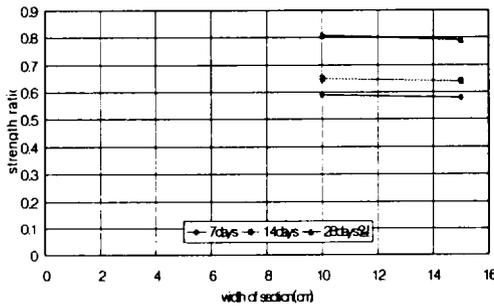
b) Squared specimen with shape ratio 1.0



c) Squared specimen with shape ratio 1.5



d) Squared specimen with shape ratio 2.0



e) Squared specimen with shape ratio 3.0

Fig. 3 Comparison of size effect under constant shape ratio

을 알 수 있으며, 사용 재료의 차이로부터 그 원인을 찾을 수 있다.

2.2.5. 기존 연구 결과와의 비교

기존의 연구결과로 가장 많이 활용되고 있는 Gonnerman의 결과와 비교를 그림4에 나타내고 있다. 이 그림에서 입방형 공시체의 경우 7일의 강도는 거의 유사하게 나타났으나, 28일 강도는 실험의 결과가

작게 나타나고 있음을 볼 수 있다. 반면에 각주시험체의 경우 7일 강도는 실험 결과가 크게 나타났으나 28일 강도는 오히려 작게 나타났음을 볼 수 있다.

이상의 결과로부터 사용 골재의 성질이 콘크리트의 역학적인 특성에 크게 영향을 미침을 알 수 있으며, 기존의 국외 자료보다는 새로운 자료의 축적이 필요함을 알 수 있다.

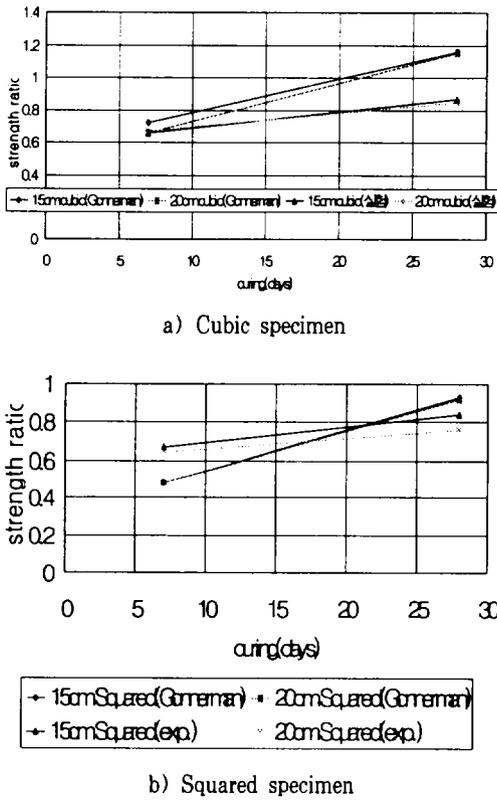


Fig. 4 Comparison with Gonnerman's results

III. 결 론

국내나 ACI 기준에서는 설계용 콘크리트의 강도를 $\phi 15 \times 30$ 인 원주공시체를 표준공시체로 4주 압축 강도를 규정하고 있다. 그러나 유럽에서는 주로 각주나 입방공시체를 표준공시체로 사용하고 있으므로 시험체 단면의 모양 차이로 원주공시체와 각주공시체의 강도 환산을 요한다. 형상비가 2이상인 각주공시체는 표준 원주공시체보다 작은 압축강도를 보이나 입방형 공시체 이하의 각주시험체에서는 큰 것이 기존의 연구 결과다.

골재의 성질은 콘크리트의 강도에 영향을 미치며 특히 제주도는 타지역과는 달리 현무암질의 조골재를 사용하는 바, 콘크리트의 역학적인 성질이 규명되어야 할 필요성에서 각주공시체의 형상비와 단면의 크

기를 변수로 실험을 실시하여 다음과 같은 결과들을 얻었다.

(1) 각주시험체에 대한 압축강도 실험으로부터 골재의 파괴 양상을 볼 수 있었다. 이 결과는 제주지역에 사용되는 조골재는 현무암으로써 내륙지방중 전북 익산의 쇠석과 골재의 강도를 비교한 결과 약 2배정도 작은 것으로 설명된다.

(2) 동일한 형상비에 대해 표준 원주공시체가 각주공시체 보다 큰 강도를 나타내는 추세는 Gonnerman의 연구 결과와 유사하나 정량적인 값에 차이를 나타내고 있다.

(3) 동일 단면에 대해 형상비가 클 경우에 강도는 저하됨을 볼 수 있다. 그러나 입방형 공시체의 강도가 표준 원주공시체의 강도에 비하여 큰 강도를 나타내는 Gonnerman의 연구 결과와는 상반되는 결과를 나타내었다. 본 실험의 결과에 의하면 표준 원주공시체와 유사한 강도를 나타내는 각주공시체는 $8.9 \times 8.9 \times 17.8$ cm인 것으로 나타났다.

(4) 이상의 결과로부터 사용 골재의 성질이 콘크리트의 역학적인 특성에 크게 영향을 미침을 알 수 있으며, 기존의 국외 자료보다는 새로운 자료의 축적이 필요함으로 이에 대한 연구를 보다 광범위하게 행할 필요성이 있다 사료된다. 특히 철근콘크리트 부재의 설계에 있어서 이러한 영향을 고려한 콘크리트의 재료적인 특성을 검토할 필요성이 있다고 판단된다.

참고 문헌

- 1) 양 창희, 1999, 제주도 현무암 쇠석 조골재를 사용한 콘크리트의 강도에 관한 실험적 연구, 제주대 산업대학원 석사학위논문
- 2) 1984, State-of-the-Art Report on High-Strength Concrete, ACI Journal, pp. 390.
- 3) Gonnerman, H. F., 1925, Effect of Size and Shape of Test Specimen on Compressive Strength of Concrete, Am. Soc. Testing Material Proc., Vol. 25, pp.237-250.