

# 소구경 코어에 의한 콘크리트 압축강도 추정에 미치는 골재의 영향에 관한 연구

## A Study on the Influence of Aggregate on the Estimation of Compressive Strength by Small Size Core

○김 경 민\*    백 병 훈\*\*    한 민 철\*\*\*    윤 기 원\*\*\*\*    한 천 구\*\*\*\*\*    송 성 진\*\*\*\*\*  
Kim, Kyoung Min   Baik, Byung-Hoon   Han, Min-Cheol   Yoon, Gi Won   Han, Cheon Goo   Song, Sung-Jin

### Abstract

This study is intended to investigate an influence of the kinds and the maximum size of aggregate on the compressive strength of small size core specimen. According to the results, the compressive strength of standard specimen is large in order of basalt, granite and limestone aggregate, and shows increasing tendency as the maximum size of aggregate grows large. The compressive strength of concrete using basalt aggregate shows similar tendency to granite aggregate, and that of concrete using limestone aggregate decreases slightly, compared with granite aggregate. The reducing ratio of the compressive strength of 25mm core specimen is least when the maximum size of aggregate is 10mm. But the compressive strength of 50 and 100mm core specimen is almost not influenced by the maximum size of aggregate.

키 워 드 : 소구경 코어, 코어공시체, 골재종류, 굵은골재 최대치수  
Keywords : Small Size Core, Core Specimen, Kinds of Aggregate, Maximum Size of Aggregate

## 1. 서 론

현재 실무에서 콘크리트 품질관리 및 구조체 안전진단과 관련한 압축강도 추정법으로는 슈미트햄머 및 초음파속도법 등의 비파괴 시험법과 직경 100mm 정도의 코어채취법이 가장 널리 이용되고 있다.

그러나, 이들중 비파괴 시험법은 시험의 편리성은 있으나 재령과 건설조건을 고려한 정확한 데이터를 얻기 어려워 정밀도가 떨어지고, 코어시험에서는 정밀도는 높으나 기둥, 보 등의 주요 구조부재에서의 코어채취가 어렵고 시료채취수의 제약을 받으며 채취 후 코어위치의 보수에 어려움이 있는 등 일부 문제점이 제기되고 있다. 따라서 본 연구팀에서는 비교적 강도추정의 정밀도가 높은 코어를 이용한 강도시험을 행하면서 구조체에 비교적 손상을 주지 않는 직경 25mm ~ 50mm 정도의 소구경 코어에 의한 압축강도 추정법에 관한 연구를 진행하여 왔다. 그런데, 소구경코어의 경우 직경이 작기 때문에 굵은골재의 영향을 크게 받기 때문에 그에 대한 연구가 필요할 것으로 판단된다.

그러므로, 본 연구에서는 소구경코어에 의한 압축강도 추정에 관한 연구의 일환으로 굵은골재의 종류 및 최대치수 변화에 따른 소구경코어의 압축강도에 미치는 영향을 분석하여 소구경코어에 의한 보다 정확한 압축강도 추정을 위한 참고 자료로 제시하고자 한다.

## 2. 실험계획 및 방법

### 2.1 실험계획

본 연구의 실험계획은 표 1과 같다.

표 1. 실험계획

| 실험요인 |           | 수준 |  |
|------|-----------|----|--|
| 배합사항 | W/C(%)    | 2  | 45, 55                                     |
|      | 슬럼프(cm)   | 1  | 15   |
|      | 공기량(%)    | 1  | 4.5±1.5                                    |
|      | 골재종류      | 3  | 화강암, 석회암, 현무암                              |
|      | 굵은골재 최대치수 | 3  | 10, 20, 25mm                               |
| 실험사항 | 균지않은 콘크리트 | 4  | ·슬럼프, 슬럼프플로우<br>·공기량, 단위용적중량               |
|      | 경화 콘크리트   | 2  | ·표준양생 공시체의 압축강도<br>·코어강도 (Ø 100, 50, 25mm) |

\* 정회원, 청주대 대학원, 석사과정  
\*\* 정회원, 연세대 대학원, 박사과정  
\*\*\* 정회원, 중부대 건설공학부 강사진담 전임강사, 공학박사  
\*\*\*\* 정회원, 주성대 건축공학과 조교수, 공학박사  
\*\*\*\*\* 정회원, 청주대 건축공학과 교수, 공학박사  
\*\*\*\*\* 정회원, 연세대 건축공학과 교수, 공학박사

먼저, 배합사항으로는 W/C는 45, 55%의 2수준에 대하여 화강암골재 및 굵은골재 최대치수 25mm를 사용한 콘크리트의 목표 슬럼프를  $15 \pm 2.5$ cm, 목표 공기량을  $4.5 \pm 1.5$ %가 만족하도록 배합설계하여 골재종류 및 최대치수 변화의 다른 배합에도 동일하게 적용하였고 골재종류변화는 굵은골재 최대치수를 25mm, 굵은골재 최대치수 변화는 화강암골재만을 대상으로 하였는데, 배합사항은 표 2와 같다.

실험사항으로 굳지않은 콘크리트에서는 슬럼프, 슬럼프플로우, 공기량 및 단위용적중량을 측정하도록 하였고, 경화콘크리트에서는 먼저 표준양생 공시체의 압축강도를 1, 3, 7, 28일 재령에서 측정하고, 코어공시체의 압축강도는 재령 28일에서  $\phi 25$ mm,  $\phi 50$  mm,  $\phi 100$ mm 코어를 채취하여 측정하였다.

### 2.2 사용재료

본 실험에 사용한 시멘트는 국내산 보통포틀랜드 시멘트를 사용하였는데 그 물리적 성질은 표 3과 같다. 잔골재는 인천중구 항동에서 채취한 세척사(비중 : 2.60)를 사용하였고, 굵은골재로써 현무암은 제주산, 석회암은 충북 제천산, 화강암은 충북 옥산산으로 사용하였는데 그 물리적 성질은 표 4와 같고, 혼화제는 나프탈렌계 AE 감수제를 사용하였는데, 그 물리적 성질은 표 5와 같다.

### 2.3 실험방법

본 연구의 실험방법으로 먼저, 콘크리트의 혼합은 강제식 팬믹서를 사용하였다.

굳지않은 콘크리트의 실험으로 슬럼프는 KS F 2402에 따라 실시하였고, 공기량 시험은 KS F 2421, 단위용적중량은 KS F 2409의 규정에 준하여 실시하였다.

경화 콘크리트의 실험으로 압축강도는 실험계획된 재령에서 KS F 2405 규정에 의거 실시하였다. 코어공시체의 압축강도는  $200 \times 200 \times 200$ mm 입방공시체를 제작하여 수중양생한 후 재령 28일에서  $\phi 100$ mm 코어 3개,  $\phi 50$ mm 코어 8개,  $\phi 25$ mm 코어 12개를 채취(사진 1 참조)하여 높이지름비(h/d)가 2가 되도록 절단하여 유헤캡핑을 실시하였다.

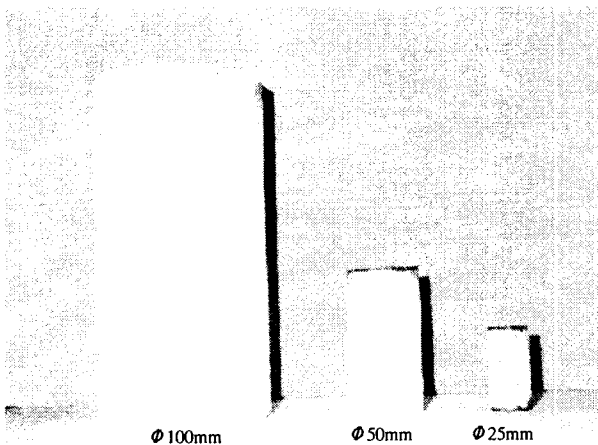


사진 1. 직경별 코어공시체

표 2. 배합사항

| W/C (%) | 목표슬럼프 (cm) | W (kg/m <sup>3</sup> ) | S/a (%) | AE제 (%) | 절대용적(ℓ/m <sup>3</sup> ) |     |     |
|---------|------------|------------------------|---------|---------|-------------------------|-----|-----|
|         |            |                        |         |         | C                       | S   | G   |
| 45      | 15         | 170                    | 45      | 0.45    | 120                     | 299 | 366 |
| 55      | 15         | 170                    | 48      | 0.30    | 98                      | 330 | 357 |

표 3. 시멘트의 물리적 성질

| 비중   | 분말도 (cm <sup>2</sup> /g) | 안정도 (%) | 응결시간(분) |     | 압축강도(kgf/cm <sup>2</sup> ) |     |     |
|------|--------------------------|---------|---------|-----|----------------------------|-----|-----|
|      |                          |         | 초결      | 종결  | 3일                         | 7일  | 28일 |
| 3.15 | 3,522                    | 0.16    | 208     | 353 | 214                        | 305 | 392 |

표 4. 골재의 물리적 성질

| 구 분 | 비중   | 조립률  | 흡수율 (%) | 단위용적중량 (kg/m <sup>3</sup> ) |
|-----|------|------|---------|-----------------------------|
| 화강암 | 2.64 | 6.90 | 1.20    | 1,526                       |
| 석회암 | 2.67 | 6.83 | 2.01    | 1,482                       |
| 현무암 | 2.71 | 7.11 | 1.77    | 1,502                       |

표 5. 혼화제의 물리적 성질

| 명 칭    | 주성분   | 형태 | 색상  | 비중(20℃) |
|--------|-------|----|-----|---------|
| AE 감수제 | 나프탈렌계 | 액상 | 암갈색 | 1.18    |

## 3. 실험결과 및 분석

### 3.1 굳지않은 콘크리트의 특성

표 6은 굳지않은 콘크리트의 슬럼프, 슬럼프 플로우, 공기량 및 단위용적중량을 나타낸 것이다.

표 6. 굳지않은 콘크리트의 실험결과

| W/C (%) | 골재종류 및 크기 | 슬럼프 (cm) | 슬럼프 플로우 (cm) | 공기량 (%)   | 단위용적중량 (kg/m <sup>3</sup> ) |
|---------|-----------|----------|--------------|-----------|-----------------------------|
| 45      | 화강암       | 15.4     | 27.1         | 4.3       | 2,346                       |
|         | 현무암       | 15.0     | 26.1         | 5.7(4.7)* | 2,337                       |
|         | 석회암       | 16.0     | 26.7         | 4.5       | 2,349                       |
|         | 10        | 17.0     | 28.3         | 5.1       | 2,321                       |
|         | 20        | 16.0     | 26.8         | 4.4       | 2,330                       |
|         | 25        | 15.4     | 27.1         | 4.3       | 2,341                       |
| 55      | 화강암       | 16.3     | 26.7         | 4.0       | 2,296                       |
|         | 현무암       | 16.8     | 27.1         | 5.5(4.5)* | 2,284                       |
|         | 석회암       | 17.0     | 28.3         | 4.1       | 2,299                       |
|         | 10        | 17.3     | 27.8         | 6.0       | 2,281                       |
|         | 20        | 16.8     | 27.0         | 5.0       | 2,290                       |
|         | 25        | 16.3     | 26.3         | 4.0       | 2,298                       |

(\*) 은 골재수정계수를 적용한 값임

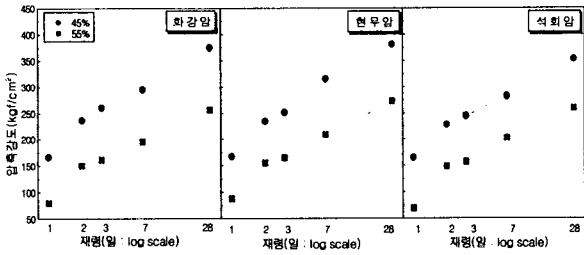


그림 1. W/C와 골재종류별 재령경과에 따른 압축강도

슬럼프는 화강암을 기준으로 동일한 배합일 경우 현무암은 큰 차이가 없으나, 석회암의 경우 약간 큰 것으로 나타났고, 골재 최대치수에 따라서는 골재최대치수가 증가할수록 감소하는 경향이였다. 또한, 공기량은 골재종류 및 크기에 관계없이  $4.5 \pm 1.5\%$ 를 만족하였는데, 현무암골재를 사용한 경우가 다소 크게 나타났다. 이는 다공질인 현무암의 특수성 때문인데 골재수정계수를 적용한 공기량은 타골재와 비슷하게 나타났다. 또한 굵은골재 최대치수가

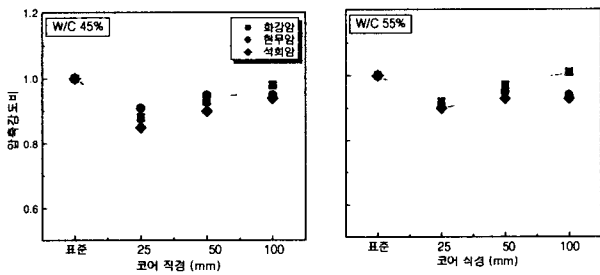


그림 2. 골재종류별 표준양생공시체에 대한 강도비 비교

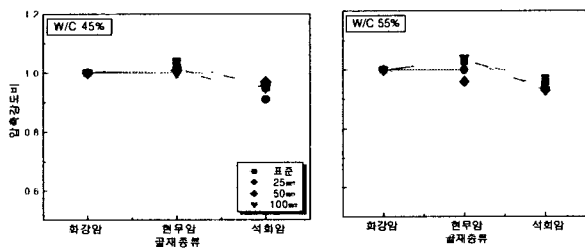


그림 3. 코어직경별 화강암에 대한 강도비 비교

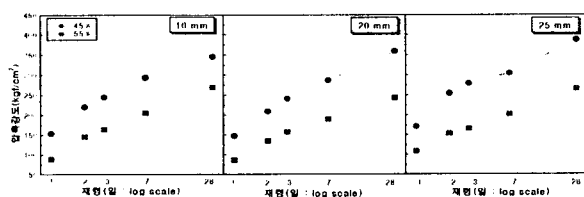


그림 4. W/C와 골재크기별 재령경과에 따른 압축강도

증가할수록 공기량은 감소하는 경향이였다. 단위용적중량은 물시멘트비가 증가할수록 공기량이 증가할수록 감소하는 것으로 나타났다.

### 3.2 경화콘크리트의 특성

#### 1) 골재 종류의 영향

그림 1은 W/C 및 골재종류별 재령경과에 따른 압축강도를 나타낸 것이다.

당연한 결과로 재령이 경과할수록 물시멘트비가 작을수록 압축강도가 크게 나타났다. 골재종류에 따라 비교하면, 화강암을 사용한 콘크리트의 압축강도와 비교하여 현무암 골재의 경우가 3%정도 크게 나타났고, 석회암 골재의 경우는 4%정도 작게 나타났다. 이는 현무암 골재의 경우 표면에 노출된 유공조직에 기인하여 골재간 결합력이 크고, 시멘트 페이스트와의 결합력을 증대시켜 압축강도가 다소 크게 나타난 것으로 분석되고, 석회암 골재의 경우는 골재의 강도가 다소 작고 표면조직이 매끄러움에 기인하여 압축강도가 약간 저하한 것으로 분석된다.

그림 2는 골재종류별 표준양생공시체의 압축강도에 대한 직경별 코어공시체의 압축강도비를 W/C에 따라 비교하여 나타낸 것이다.

직경별 코어공시체의 압축강도는 표준양생공시체의 압축강도와 비교하여 작게 나타났고, 직경이 감소할수록 더 크게 감소하였다. 코어 직경별 강도비는  $\phi 25\text{mm}$  코어의 경우 약 89%,  $\phi 50\text{mm}$  코어는 94%,  $\phi 100\text{mm}$  코어의 경우는 약 96% 정도로 나타났다.

그림 3은 골재의 영향을 분석하기 위해 코어 직경별로 화강암을 사용한 콘크리트의 압축강도에 대한 현무암 및 석회암의 압축강도비를 나타낸 것이다.

골재종류에 따른 코어공시체의 압축강도 특성으로 석회암을 사용한 코어공시체의 압축강도가 화강암에 비해 더 크게 저하하였고 현무암의 경우는 화강암에 비교하여 비슷한 경향을 보였다. 이처럼 석회암을 사용한 코어공시체의 압축강도가 더 크게 저하하는 것은 석회암을 사용한 콘크리트의 압축강도가 다소 작고 또한 표면이 매끄러워 골재와 시멘트페이스트와의 결합력이 작기 때문에 코어 채취시 진동에 의해 골재와 시멘트페이스트의 접합면에 결합이 보다 쉽게 발생하기 때문인 것으로 판단된다.

#### 2) 굵은골재 최대치수의 영향

그림 4는 W/C 및 굵은골재 최대치수별 재령경과에 따른 압축강도를 나타낸 것이다. 당연한 결과로 압축강도는 W/C가 낮을수록 재령이 경과할수록 증가하였다. 굵은골재 최대치수에 따라서는 전반적으로 공기량의 영향으로 굵은골재 최대치수가 커질수록 압축강도는 증가하는 경향이였다.

그림 5는 굵은골재 최대치수별 표준양생공시체의 압축강도에 대한 직경별 코어공시체의 압축강도비를 비교하여 나타낸 것이다.

전반적으로 표준양생공시체에 비해 직경이 작아질수록 압축강도는 저하하였다.  $\phi 25\text{mm}$  코어공시체는 굵은골재 최대

치수 10mm에서 강도저하율이 가장 작았는데 이는 코어직경에 비해 굵은골재의 최대치수가 상대적으로 작음에 따라 골재사이수에 의한 강도편차요인이 작아지고 이에 따라 강도저하가 상대적으로 작음에 기인한 것으로 판단된다. 굵은골재 최대치수 20 및 25mm에서는  $\phi 25$ mm 코어공시체의 강도저하율은  $\phi 50$  및  $\phi 100$ mm 코어와 비슷한 경향을 나타냈다.  $\phi 50$ mm 및  $\phi 100$ mm 코어공시체의 표준양생공시체에 대한 굵은골재 최대치수별 압축강도비는 굵은골재 최대치수 25mm와 유사한 경향을 나타냈다.

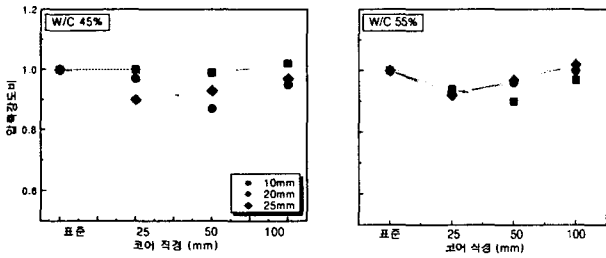


그림 5. 굵은골재 최대치수별 표준양생공시체에 대한 강도비 비교

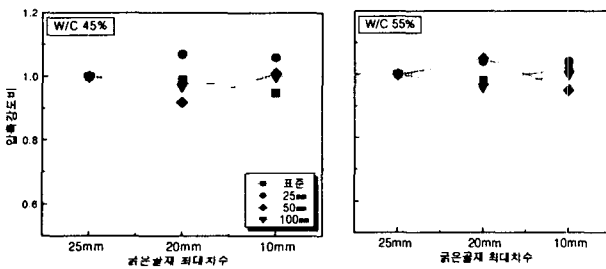


그림 6. 코어직경별 굵은골재 최대치수 25mm에 대한 강도비 비교

그림 6은 코어직경별 굵은골재 최대치수 25mm에 대한 압축강도비를 나타낸 것이다.

굵은골재 최대치수 25mm에 대한  $\phi 25$ mm 코어 압축강도비는 굵은골재 최대치수 25mm의 경우를 기준으로 할 때 굵은골재 최대치수 20 및 10mm에서 더 크게 나타났고, 굵은골재 최대치수의 감소에 따라 증가하는 경향이였다. 그러나  $\phi 25$ mm 코어를 제외한  $\phi 50$ mm,  $\phi 100$ mm 및 표준양생공시체의 압축강도는 굵은골재 최대치수의 영향을 크게 받지 않는 것으로 나타났다.

#### 4. 결론

본 연구는 소구경코어에 의한 압축강도 추정에 관한 일련의 연구로 골재의 종류 및 최대치수변화에 따른 소구경코어의 압축강도에 미치는 영향을 비교검토한 것으로 그 결과를 종합하면 다음과 같다.

1) 골재종류에 따른 압축강도는 현무암 골재를 사용한 경우가 화강암을 사용한 경우보다 3%정도 크게 나타났고 석회암 골

재는 4%작게 나타났는데, 이는 골재표면의 다공질이 시멘트 페이스트와의 결합력을 증대시킨 것 및 낮은 강도, 매끄러운 조직이 강도를 저하시켰기 때문인 것으로 판단된다. 또한, 골재최대치수에 따른 압축강도는 굵은골재 최대치수가 증가할수록 커지는 경향이였다.

2) 골재종류에 따른 코어공시체의 압축강도는 화강암을 기준으로 할 때 현무암은 비슷한 경향을 나타냈고, 석회암의 경우 다소 강도가 저하하는 경향이었는데 이는 석회암의 경우 타골재에 비해 표면이 매끄러워 시멘트페이스트와 골재간의 결합력이 다소 작아 코어채취시 진동의 영향을 크게 받기 때문인 것으로 사료된다.

3) 굵은골재 최대치수에 따른 영향으로 굵은골재 최대치수 10mm에서  $\phi 25$ mm 코어공시체의 압축강도 저하율이 가장 작았는데 이는 직경에 비해 굵은골재의 크기가 상대적으로 작아 강도 편차요인이 작아졌기 때문으로  $\phi 25$ mm 코어의 경우 굵은골재 최대치수가 작아질수록 보다 양호한 압축강도 추정이 가능할 것으로 판단된다. 또한,  $\phi 50$ mm 및  $\phi 100$ mm 코어의 경우는 굵은골재 최대치수의 영향이 매우 미소한 것으로 나타났다.

#### 참고 문헌

1. 한국콘크리트학회 ; 콘크리트구조물의 비파괴검사 및 안전진단, 1993. 2
2. 최창식 ; 코어 채취법에 의한 콘크리트 강도평가, 구조물진단학회지, Vol. 3, No. 1, 1999. 1
3. 대한 건축학회 ; 건축물의 안전진단과 보수보강, 1993. 10
4. 明石外世樹 ; 콘크리트의非破壊試驗法, 株式会社 技報堂, pp. 11~81, 1980. 8
5. 谷川 泰雄, 寺田 謙一 ; 小徑コアによる構造体コンクリートの強度推定, セメント・コンクリート, No. 656, 2001. 10
6. 若林 信太郎, 谷川 泰雄, 中込 昭, 佐原晴也, 寺田 謙一 ; 小徑コアによる構造体コンクリート強度の推定法に関する研究, 日本建築學會構造系論文集 第555号, pp. 1-8, 2002. 5