

# 코어 및 비파괴 시험에 의한 재생골재 콘크리트의 압축강도 평가에 대한 실험적 연구

## An Experimental Study on the Evaluation of Compressive Strength of Recycled Aggregate Concrete by the Core and the Non-Destructive Testing

양 근 혁\*      김 용 석\*\*      정 현 수\*\*  
Yang, Keun-Hyeok      Kim, Yong-Seok      Chung, Heon-Soo

### ABSTRACT

Compressive strength of recycled aggregate concrete was tested by the core and by the non-destructive testing. A prediction model of compressive strength considering the replacement level of recycled aggregate was suggested by multi-regression analysis and was compared with test results. Also, Test results showed that the ratio of compressive strength by core and non-destructive testing to actual was somewhat affected by the replacement level of recycled aggregate.

### 1. 서론

콘크리트의 압축강도는 반발경도법 및 초음파속도법에 의해 간편하게 평가할 수 있지만 그 정확도는 다소 떨어진다. 반면 코어채취에 의한 압축강도 평가는 매우 정확한 방법이지만 채취 시의 번거로움과 채취된 부분의 보수, 보강 문제가 남는다. 천연골재를 사용한 보통콘크리트에서 비파괴시험에 의한 압축강도 평가 및 실제 구조물에서의 강도와  $\Phi 100 \times 200 \text{mm}$ 의 몰드를 이용한 강도의 상관관계에 대해서는 많은 연구가 진행되었다. 이들의 결과로서 반발경도법 및 복합법에 의한 압축강도 평가모델들이 제시되고 있으며 실제 구조물에서의 강도는 몰드를 이용한 강도보다 크기효과 및 장기강도 저감을 고려하여 0.85의 보정계수 적용이 제안되어 실제 설계에 반영되고 있다.

재생골재를 이용한 콘크리트는 재생골재 내부의 균열 및 공극과 표면에 부착된 모르타의 영향으로 보통콘크리트에서 제시되고 있는 비파괴시험법은 상당한 오차가 있음을 김무한<sup>2</sup>, 정현수<sup>5</sup> 등의 여러 연구자들에 의해 지적되고 있다. 또한 코어채취에 의해 평가된 재생골재 콘크리트의 압축강도도 몰드에 의해 평가된 것에 비해 보통콘크리트의 경우보다는 높은 블리딩과 건조수축 등의 영향으로 인해 낮게 나타날 수 있는 가능성이 있다.

본 연구에서는 비파괴 시험에 관련된 실험결과들을 이용하여 재생골재 콘크리트에서 비파괴 시험에 의한 압축강도 평가모델을 제시하였다. 또한 이에 근거하여 재생골재 콘크리트 슬래브에서 비파괴 시험 및 코어시험에 의한 압축강도와  $\Phi 100 \times 200 \text{mm}$  몰드 압축강도 상관관계를 비교하였다.

### 2. 비파괴 시험에 의한 재생골재 콘크리트의 압축강도 평가

\* 목포대학교 건설공학부 건축공학전공 조교수

\*\* 목포대학교 건설공학부 건축공학전공 교수

\*\*\* 정희원, 중앙대학교 건축공학과 교수

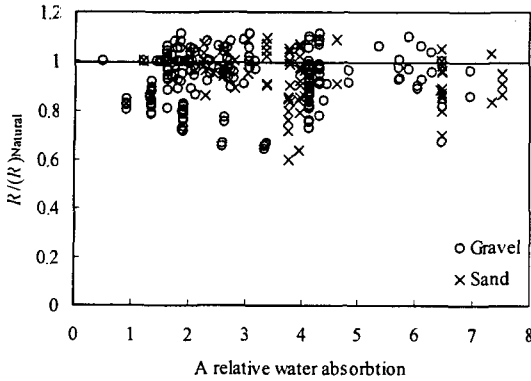


그림 1. 상대흡수율과 R/(R)Natural의 관계

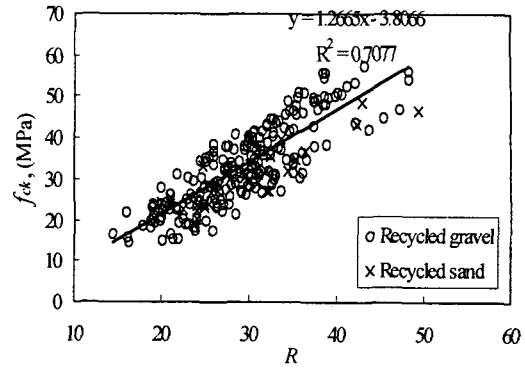


그림 2. 반발도와 압축강도의 관계

비파괴 시험에 의한 재생골재 콘크리트의 압축강도를 평가하기 위하여 본 연구자 및 김무한<sup>2</sup>, 석창훈<sup>3</sup> 등의 기존 연구결과들을 함께 이용하였다.

재생골재 콘크리트의 역학적 성능은 재생골재의 품질 및 치환율에 의해 영향을 받는다. 본 연구에서는 재생골재의 품질과 치환율의 영향을 고려하기 위하여 식 (1)에 나타난 상대 흡수율( $Q_w$ )개념을 적용하였다.

$$Q_w = (Q_{VC} \times a + Q_{RC} \times b + Q_{VN} \times c + Q_{RN} \times d) / (a + b + c + d) \quad (1)$$

여기서  $Q_{VC}$ 는 천연조골재의 흡수율을,  $Q_{RC}$ 는 천연세골재의 흡수율을,  $Q_{VN}$ 는 재생조골재의 흡수율을,  $Q_{RN}$ 는 재생세골재의 흡수율을 각각 나타낸다.  $a, b, c, d$ 는 각 골재의 절대용적( $l/m^3$ )을 나타낸다.

그림 1에 상대 흡수율과 반발경도 비의 관계를 나타내었다. 세로축의 반발경도비는 재생콘크리트에서의 반발경도를 동일조건외의 보통콘크리트의 반발경도로 무차원한 값이다. 재생조골재와 재생세골재가 사용된 콘크리트에서의 반발경도는 보통콘크리트에서보다 낮게 있었다. 따라서 재생골재 콘크리트에서 적용할 수 있는 강도평가 모델이 필요함을 알 수 있다.

그림 2에는 반발경도와 재생골재 콘크리트의 압축강도의 관계를 나타내었다. 재생골재 콘크리트의 압축강도는 반발도와 직선비례하지만 편차가 크게 있었다. 정현수 등은 재생골재 콘크리트에서 초음파 속도와 압축강도의 상관관계는 매우 낮음을 제시하였다. 이는 재생골재에 부착된 모르타 및 골재 내부의 균열로 초음파의 단적 및 우회로 인하여 전파속도가 늦어지기 때문이다. 따라서 초음파 속도에 의한 재생골재 콘크리트의 압축강도 평가는 적합하지 않기 때문에 본 연구에서는 반발도와 물-결합재비, 상대흡수율 및 재령 등의 고려하여 SPSS의 선형 회귀분석을 이용하였다.

선형 회귀분석 결과 비파괴 시험에 의한 재생골재 콘크리트의 압축강도는 식 (2)와 같이 나타낼 수 있었다. 식 (2)에 의해 평가된 압축강도와 실험값의 비교를 그림 3에 나타내었다. 실험 값 대비 식 (2)에 의한 제안 값은 평균 1.0, 표준편차 0.18로서 실험결과와 잘 일치하였다.

$$f_{ck} = 0.75R - 16.4(W/B) - 0.92(Q_w) + 0.18(D) + 15 \quad (2)$$

여기서  $W/B$ 는 물-결합재비,  $D$ 는 재령(일)을 각각 나타낸다.

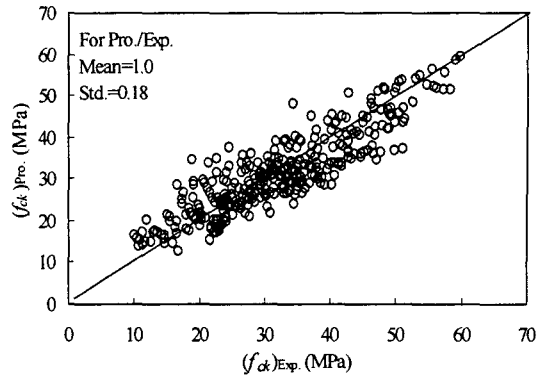
### 3. 콘크리트 슬래브에서의 코어 및 비파괴 시험

#### 2.1 시험 개요

재생골재 콘크리트에서  $\Phi 100 \times 200$ mm의 몰드 강도에 대한 실 구조체의 강도 및 반발도에 의한 압축강도의 비를 파악하기 위하여 두께 200mm의  $3,000 \times 3,000$ mm의 슬래브를 제작하였다. 코어채취 및 비파괴 시험은 재령 28일에서 행하였으며 몰드와 슬래브 모두 동일 조건의 대기양생을 하였다. 코어채취한 공시체는 몰드와 동일 크기인  $\Phi 100 \times 200$ mm이며 가력 전 표면연마 하였다.

반발경도를 측정하기 위하여 보통콘크리트용인 그림 3. 제안식 (2)에 의한 압축강도와 실제강도의 비교 NR형 슈미트 햄머를 이용하였다. 슈미트 햄머에 의한 반발경도 측정은 슬래브에서는 수직방향으로 타격하였으며, 몰드에서는 약 80MPa의 응력상태에서 수평방향으로 타격하였다. 몰드의 수평 타격 시 5MPa의 응력을 가한 후 타격한 이유는 5MPa까지는 가력 응력에 따라 반발도의 편차가 컸기 때문이다.

표 1에 시험체 개요 및 결과를 나타내었다. 주요 변수는 재생조골재 치환율( $R_{RG}$ )이다. 재생조골재 치환율은 0, 30, 50, 75, 100%로 하였다. 재생조골재는 비중 2.4, 흡수율 6.24로서 KS 기준의 등급분류상 3등급에 해당되었다. 표 1에서  $R$ 는 슬래브에서의 반발경도 값을,  $(f_{ck})_{core}$ 는 코어시험에 의한 압축강도를,  $(f_{ck})_R$ 는 식 (2)에 의해 산정된 압축강도를 각각 나타낸다.



#### 2.2 반발도 및 압축강도의 비교

그림 4에는 재생골재 치환율과 반발도의 관계를 나타내었다. 재생골재 치환율이 증가할수록 반발도는 감소하였다. 재생골재 콘크리트를 사용한 슬래브와 몰드에서의 반발도의 차이는 보통콘크리트와 동일할 수준으로 있었다.

그림 5에는 재생골재 치환율과 압축강도 비의 관계를 나타내었다. 압축강도 비는  $\Phi 100 \times 200$ mm 몰드 강도에 대한 코어강도 및 반발도를 식(2)에 대입하여 구한 강도의 비를 나타낸다. 몰드강도에 대한 코어강도는 재생골재 치환율이 증가할수록 감소하는데 재생골재 100%가 치환되면 크기효과에 의한 강도감소율은 보통콘크리트에 비해 약 5% 증가하였다. 또한 몰드강도에 대한 반발도를 식(2)에 대입하여 구한 강도의 비도 재생골재 치환율이 증가할수록 보통콘크리트에 비해 감소하지만 실험결과와 잘 일치하였다. 따라서 재생골재 콘크리트를 적용한 실제 구조물의 압축강도 평가 시 코어 및 비파괴 시험에 의한 강도평가는 보통콘크리트보다 낮게 있음을 분명히 인지해야 할 것이다.

표 1. 시험체 일람 및 결과

Specimen	$R_{RG}$ (%)	W/C	S/A	Unit weight(kgt/m <sup>3</sup> )					SP (%)	R	$f_{ck}$ (MPa)				$\frac{(f_{ck})_{core}}{(f_{ck})_{mold}}$	$\frac{(f_{ck})_R}{(f_{ck})_{mold}}$
				W	C	S	G	RG			Core	$\Phi 100 \times 200$ 몰드	Eq.(2)			
RG0	0	0.42	0.5	175	417	837	821	0	1.0	38.5	32.3	35.6	40.4	0.909	1.136	
RG30	30						574	238		35.2	30.6	34.4	37.3	0.890	1.086	
RG50	50						410	397		35.0	30.9	34.5	36.9	0.897	1.071	
RG75	75						205	596		31	28.3	32.0	33.3	0.887	1.041	
RG100	100						0	795		28	25.0	29.3	30.5	0.853	1.044	

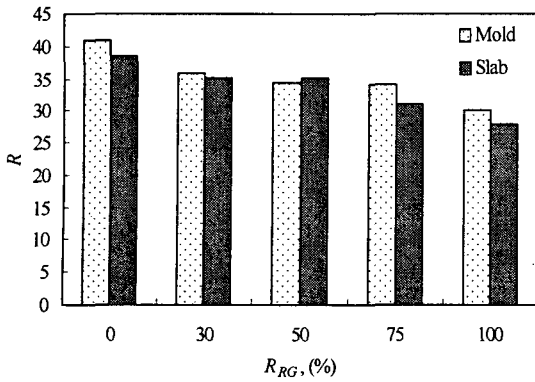


그림 4. 재생골재 치환율과 반발도의 관계

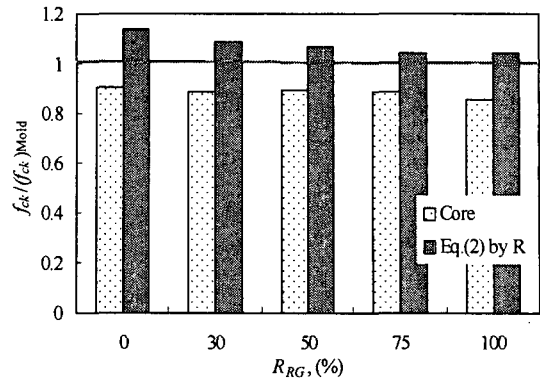


그림 5. 재생골재 치환율과 압축강도 비의 관계

### 3. 결론

- 1) 비파괴 시험에 의한 재생골재 콘크리트의 압축강도는 식 (2)와 같이 제시하였으며, 실험 값 대비 제안 값은 평균 1.0, 표준편차 0.18로서 실험결과와 잘 일치하였다.
- 2) 재생골재 콘크리트를 사용한 슬래브와 몰드에서의 반발도의 차이는 보통콘크리트와 동일한 수준으로 있었다.
- 3) 몰드강도에 대한 코어강도는 재생골재 치환율이 증가할수록 감소하는데 재생골재 100%가 치환되면 크기효과에 의한 강도감소율은 보통콘크리트에 비해 약 5% 증가하였다.

### 감사의 글

이 연구는 2004년도 건설핵심기술연구개발사업의 지원에 의해 수행되었음.

### 참고문헌

1. 권영진, 오상근, 김무한, “콘크리트의 압축강도 추정을 위한 비파괴 시험식에 관한 연구”, 구조물진단학회지, 제 1권 1호, 1997. 6, pp.97-105
2. 김두한, 한천구, 남상일 외 3인, “재생골재 콘크리트의 강도조기추정 비파괴시험 적용성에 관한 실험적 연구”, 대한건축학회논문집, 제9권 12호, 1993. 12, pp. 151-160
3. 석창훈, 이수용, “재생자갈 콘크리트의 비파괴 강도추정에 관한 실험적 연구”, 대한건축학회논문집 구조계, 제19권 6호, 2003. 6, pp. 111-118
4. 임서형, 강현식, 지남용, “비파괴시험에 의한 콘크리트의 압축강도 추정에 관한 연구”, 대한건축학회논문집 구조계, 제18권 8호, 2002. 8, pp. 51-58
5. 정현수, “비파괴 시험에 의한 재생골재 콘크리트의 압축강도 평가”, 한기건축시공학회논문집 제 4권 4호, 2004. 12, pp. 63-70
6. Kashiwa, C., Non-Destructive Testing Method of Concret-e, 기문당, 1979
7. 日本建築學會, 콘크리트 強度推定のための非破壊試験法マニュアル, 1983, pp.18-52