

# 화강암 골재를 사용한 콘크리트의 비파괴 시험에 의한 강도평가

## Estimation of Compressive Strength of Concrete with Granitic Aggregates : Rebound hammer and Ultrasonic Methods

김 현 우\* 이 종 태\* 윤 기 원\*\* 김 병 극\*\*\* 김 무 한\*\*\*\* 한 천 구\*\*\*\*\*  
Kim, Hyun Woo Lee, Jong Tae Yoon, Gi Won Kim, Byoung Geuk Kim, Moo Han Han Cheon Goo

### ABSTRACT

It is required that the compressive strength of concrete should be estimated accurately from the view point of efficient quality control and maintenance of buildings. In this paper, the equations to estimate the compressive strength of concrete using granite aggregates were suggested for both rebound hammer method and ultrasonic pulse velocity method. The results were compared with those for different age or curing condition. The rebound numbers for concrete cured in air were larger than for concrete cured in water. The difference between rebound numbers for concrete cured in water and in air was larger when water cement ratio was high. Also, with the increase of age, the velocity of ultrasonic pulse for concrete cured in air was measured larger when compared with that in water.

### 1. 서 론

철근콘크리트 구조물에 있어서 구조체 콘크리트의 강도를 정확히 추정하는 것은 구조물의 품질관리 및 유지관리측면에서 매우 중요한 사항이다. 그런데, 콘크리트의 강도는 배합사항, 골재의 종류 및 재령에 따라 그 차이가 현저하게 나타날 수 있는데, 반발경도법 및 초음파속도법 등에 의한 종전의 강도 추정식은 산발적으로 혹은 부분적인 조건에서만 제안되어 우리나라의 실정에 종합적으로 적용하기에는 문제시되고 있다.

따라서, 본 연구에서는 국내조건에 맞는 전국적인 추정식제안을 목적으로 진행된 종합적인 연구중 특히, 충청권에 많이 분포되어 있는 화강암을 대상으로 하여 일반강도 범위에서 재령 및 양생요인에 따른 반발도 및 초음파속도법에 의한 강도 추정식을 비교, 분석 하므로써 국내의 콘크리트 강도 비파괴 시험의 추정식 제정에 한 자료로 제시하고자 한다.

### 2. 실험계획 및 방법

#### 2.1 실험계획

---

\*정회원, 청주대학교 대학원  
\*\*정회원, 주성대학 건설재료공학과 전임강사  
\*\*\*정회원, 한국표준과학연구원 책임연구원  
\*\*\*\*정회원, 충남대학교 건축공학과 교수  
\*\*\*\*\*정회원, 청주대학교 건축공학부 교수

본 연구의 실험계획은 표 1과 같고, 콘크리트의 배합사항은 표 2와 같다. 먼저, 실험계획으로 W/C는 40~70%까지 10% 간격의 4개 수준으로 하고, 목표 슬럼프치와 공기량은 각각  $15 \pm 1\text{cm}$ ,  $4.5 \pm 1.5\%$ 를 만족시키는 범위로 한다. 양생 조건은 표준양생과 기중양생으로 하고, 실험사항은 굳지않은 콘크리트에서는 슬럼프 및 공기량을 측정하며, 경화 콘크리트에서 3, 7, 28, 91일 재령에서 압축강도, 반발도 및 초음파 속도를 측정한다.

표 1. 실험계획

실험요인		수준
배합사항	W/C (%)	4 40, 50, 60, 70
	공시체 제작	2 · 압축강도 : $\phi 10 \times 20\text{cm}$ · 비파괴시험 : $20 \times 20 \times 20\text{cm}$
	양생	2 표준양생, 기중양생
실험사항	굳지않은 콘크리트	2 · 슬럼프( $15 \pm 1\text{cm}$ ) · 공기량( $4.5 \pm 1.5\%$ )
	경화 콘크리트	3 · 압축강도(3, 7, 28, 91일) · 반발도(3, 7, 28, 91일) · 초음파속도(3, 7, 28, 91일)

## 2.2 사용재료

본 연구의 사용재료로 시멘트는 국내산 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하고, 잔골재는 충북 현도산 강모래(비중 : 2.57, 조립률 : 2.67)를 사용하며, 굵은골재는 충북 괴산산 25mm 부순돌(비중 : 2.61, 조립률 : 6.83)을 사용한다. AE감수제는 나프탈렌계를 사용하고, 물은 상수도를 사용한다.

표 2. 배합사항

W/C (%)	단위수량 (kg/m <sup>3</sup> )	잔골재율 (%)	AE 감수제 (C%)	절대용적배합 (ℓ/m <sup>3</sup> )			중량배합 (kg/m <sup>3</sup> )		
				시멘트	잔골재	굵은골재	시멘트	잔골재	굵은골재
40	185	39	0.60	147	243	380	463	625	992
50	185	42	0.50	118	274	378	370	704	988
60	185	46	0.53	98	309	363	308	795	947
70	195	50	0.40	88	336	336	279	863	876

## 2.3 실험방법

본 연구의 실험 방법으로 콘크리트의 혼합은 강제식 팬믹서를 사용하여 골재, 시멘트를 투입하여 건비법을 실시한 후 물, AE감수제를 넣어 혼합하는 것으로 한다. 굳지않은 콘크리트의 실험으로 슬럼프의 측정은 KS F 2402, 공기량은 KS F 2421, 공시체 제작은 KS F 2403 규정에 따라 실시한다.

경화 콘크리트의 압축강도시험은 KS F 2405 규정에 의거  $\phi 10 \times 20\text{cm}$  공시체로 실시하고, 반발도와 초음파속도측정은  $20 \times 20 \times 20\text{cm}$  공시체로 NR형 슈미트 햄머와 PUNDIT 초음파 속도 측정기를 이용하며, 시험방법은 일본건축학회의 『콘크리트 강도추정을 위한 비파괴시험방법 매뉴얼』에 의거 실시한다.

## 3. 실험결과 및 분석

표 3. 굳지않은 콘크리트의 실험결과

W/C (%)	40	50	60	70
슬럼프(cm)	15.8	15.8	15.5	15.0
공기량(%)	5.5	4.9	5.9	4.9

### 3.1 굳지않은 콘크리트

굳지않은 콘크리트의 실험결과는 표 3과 같이 목표한 결과치로 나타났다.

### 3.2 경화 콘크리트

#### 3.2.1 반발도 특성

그림 1은 슈미트 햄머의 반발도와 압축강도의 관계를 재령 및 양생조건별로 비교한 것으로 당연한 결과이겠지만 반발도가 증가할수록 압축강도도 증가하는 경향으로 나타났다. 양생조건에 따른 반발도 및 압축강도는 재령 7일의 경우 표준양생이 기중양생보다 약간 상부에 위치한 상태에서 모두 반발도가 커질수록 압축강도의 구배는 유사하게 증가하는 것으로 나타났으나, 재령 28일 및 91일의 경우는 W/C가 큰 범위인 60, 70%는 동일 압축강도에서 기중양생의 반발도가 크게 나타났고, 반발도 증가에

따른 압축강도의 증가구배는 기중양생이 크게 나타났다. 구체적으로 W/C 40, 50, 60%는 재령 및 양생별로 유사하게 나타나고 있지만, W/C 70%는 재령 7일에서 동일 압축강도에서 기중양생보다 표준양생의 경우가 약 8%정도, 재령 28일에서 약 15%정도, 재령 91일에서 약 16%정도 반발도가 작게 나타나고 있다. 이는 기중양생의 경우 표면이 대기중에 노출되므로 표준양생보다 탄산화가 촉진되어 표면의 경도가 커지므로 표준양생의 경우보다 비교적 큰 반발도를 나타낸 것으로 사료된다.

그림 2는 그림 1의 결과를 재령 및 양생조건별의 회귀식을 서로 비교하고, 또한, 반발도법을 이용한 강도 추정회귀식을 도출한 것이며, 표 4는 재령별, 양생 조건별 반발도의 회귀식을 나타낸 것이다. 전반적으로 재령 및 양생조건에 따라 약간의 차이가 있으나 전체적으로 반발도에 의한 압축강도 추정 상관성은 양호한 경향을 보이고 있었는데, 반발도에 의한 압축강도추정식은 식(1) 및 식(2)와 같다.

$$sf_c = 11.5R - 84 \quad (\text{상관계수} = 0.982) \dots \text{식(1)}$$

$$af_c = 14.6R - 185 \quad (\text{상관계수} = 0.961) \dots \text{식(2)}$$

표 4. 반발도법을 이용한 강도추정식

양생 조건	재령	회귀식	상관계수
표준양생	3	$sf_3 = 9.5sR_3 - 51$	0.989
	7	$sf_7 = 12.2sR_7 - 103$	0.969
	28	$sf_{28} = 10.4sR_{28} - 44$	0.995
	91	$sf_{91} = 12.3sR_{91} - 102$	0.987
	종합	$sf_c = 11.5R - 84$	0.982
기중양생	7	$af_7 = 12.8aR_7 - 134$	0.965
	28	$af_{28} = 16.9aR_{28} - 246$	0.991
	91	$af_{91} = 20.1aR_{91} - 379$	0.973
	종합	$af_c = 14.6R - 185$	0.961

### 3.2.2 초음파속도 특성

그림 3은 초음파 속도와 압축강도를 재령 및 양생조건별로 비교한 것이다. 전체적으로 양생조건에 따라 표준양생이 기중양생보다 초음파속도가 빠르게 나타났고, 동일 초음파속도에 의한 압축강도는 기중양생에 비하여 표준양생의 경우가 재령 7일에서는 약 14%정도, 재령 28일에서는 약 35%정도, 재령 91일에서는 약 37%정도 작게 나타났다. 또한, 재령이 경과할수록 기중양생의 경우가 표준양생보다 초음파속도가 늦어지는 것으로 나타났는데, 이는 공시체 내부의 건조에 따른 함수상태 변화에 기인하여 초음파 전파속도의 차이가 나타나는 것으로 사료된다.

그림 4는 초음파 속도법을 이용한 강도추정식만을 재령 및 양생조건별로 서로 비교하고, 또한, 초음파속도법을 이용한 강도추정 회귀식을 도출한 것이며, 표 4는 재령별 및 양생조건별 초음파속도법에 의한 강도추정식을 나타낸 것이다. 재령이 증가할수록 초음파속도법 강도추정은 기중양생보다 표준양

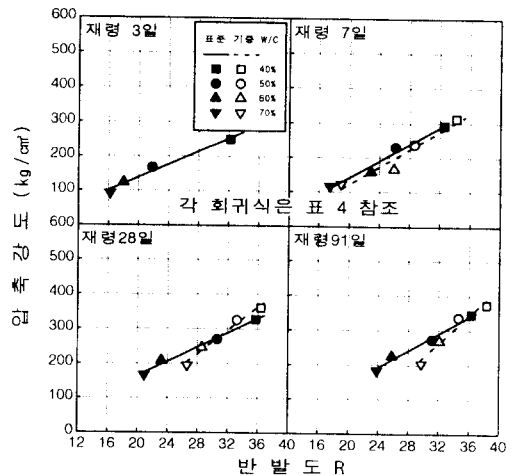


그림 1. 반발도와 압축강도의 비교

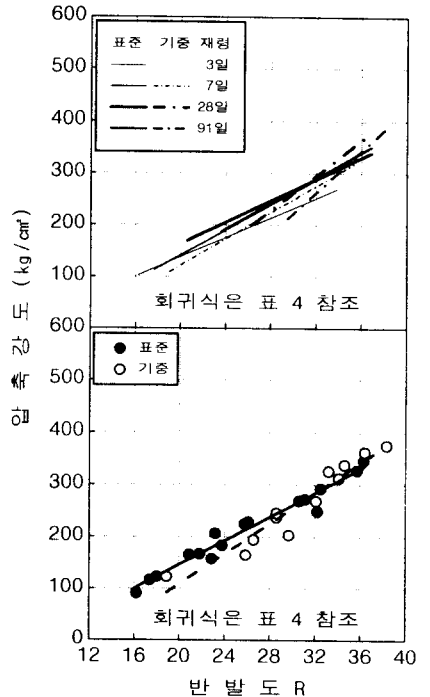


그림 2. 반발도법 강도추정

생의 경우가 매우 작은값으로 추정되는 것으로 나타났다. 양생조건의 차이에 기인하여 표준양생과 기중양생으로 나누어 초음파 속도에 의한 압축강도추정식은 식(3) 및 식(4)와 같다.

$$sfc=304.1sV_P-1020 \text{ (상관계수}=0.726) \dots\dots\text{식(3)}$$

$$afc=553.5_A V_P-1938 \text{ (상관계수}=0.862) \dots\dots\text{식(4)}$$

표 5. 초음파속도법을 이용한 강도추정식

양생 조건	재령	회 귀 식	상관계수
표준 양생	3	$sf_3=425.7sV_{P3}-1479$	0.774
	7	$sf_7=468.5sV_{P7}-1680$	0.502
	28	$sf_{28}=387.8sV_{P28}-1367$	0.714
	91	$sf_{91}=293.7sV_{P91}-985$	0.420
	종합	$sfc=304.1sV_P-1020$	0.726
기중 양생	7	$Af_7=837.3_A V_{P7}-3107$	0.911
	28	$Af_{28}=494.91_A V_{P28}-1604$	0.997
	91	$Af_{91}=479.4_A V_{P91}-1619$	0.989
	종합	$afc=553.5_A V_P-1938$	0.862

#### 4. 결론

본 연구는 화강암골재를 사용한 콘크리트의 재령 및 양생조건별 반발도와 초음파속도에 의한 강도추정식을 비교한 실험 연구로서 그 결과는 다음과 같다.

- 1) 동일 반발도에 의한 추정압축강도는 기중양생에 비하여 표준양생의 경우가 약 14%정도 크게 나타났다.
- 2) 화강암 골재를 사용한 콘크리트의 반발도법에 의한 압축강도추정식은 다음과 같다.

$$sfc=11.5R-84 \text{ (상관계수}=0.982)$$

$$afc=14.6R-185 \text{ (상관계수}=0.961)$$

- 3) 동일 초음파속도에 의한 추정압축강도는 기중양생에 비하여 표준양생의 경우가 약 27%정도 작게 나타났다.
- 4) 화강암골재를 사용한 콘크리트의 초음파속도법에 의한 압축강도추정식은 다음과 같다.

$$sfc=304.1sV_P-1020 \text{ (상관계수}=0.726)$$

$$afc=553.5_A V_P-1938 \text{ (상관계수}=0.862)$$

#### 참 고 문 헌

- 1) 한천구 외 4인 ; 구조물 안전진단에 있어 콘크리트 강도평가식 적용에 대한 실태조사 및 평가식 제안을 위한 연구, 한국구조물진단학회 가을학술발표회 논문집, 제2권 2호(통권 3호), 1998. 11
- 2) 이리형 외 7인 ; 콘크리트 구조물의 비파괴검사 및 안전진단, 한국콘크리트학회, 1995
- 3) 日本建築學會 ; コンクリート強度推定のための非破壊試験方法マニュアル, 1982

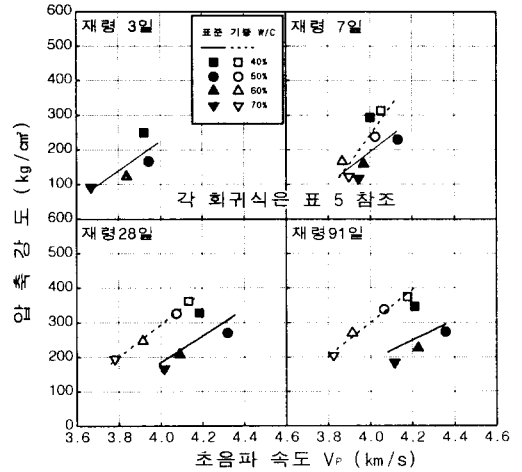


그림 3. 초음파속도와 압축강도 비교

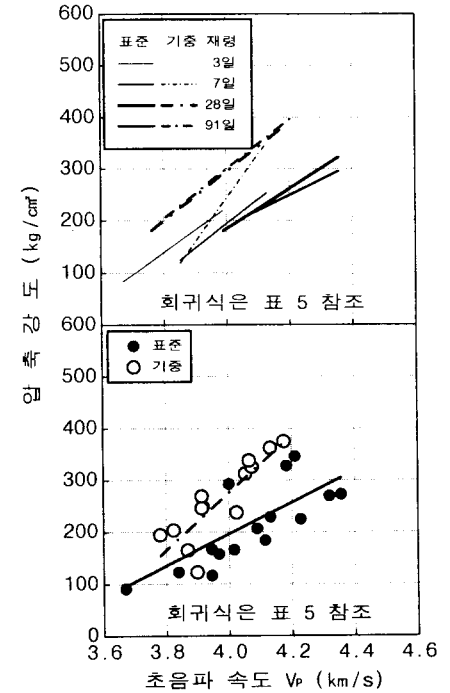


그림 4. 초음파속도법 강도추정