

# 콘크리트 압축강도 측정법과 공시체 내 철근이 압축강도 측정에 미치는 실험적 연구

이원홍<sup>1</sup>, 최상기<sup>2\*</sup>, 이승열<sup>3</sup>, 안진희<sup>4</sup>, 강범주<sup>5</sup>

## An Experimental Study on the Compressive Strength of Reinforcing Bars in Concrete Specimens and Compressive Strength Measurement Methods

Won-Hong Lee<sup>1</sup>, Sang-Gi Choi<sup>2\*</sup>, Seuong-Yeol Lee<sup>3</sup>, Jin-Hee Ahn<sup>4</sup>, Beom-Ju Kang<sup>5</sup>

**Abstract:** Measuring the compressive strength of concrete is a very important factor in the safety review of concrete structures. Concrete compressive strength measurement methods include destructive and non-destructive methods. The destructive method includes the uniaxial compression failure method, and the non-destructive method includes the rebound hardness method and the elastic wave measurement method. In this study, the type of measurement method and the effect of reinforcing bars inside the concrete were tested to examine the relationship between them. Regardless of the type of specimen, the average compressive strength by the elastic wave measurement method among the three experimental methods was greater than the average compressive strength by the other methods. When the specimen type is the same, the standard deviation of the measured values of the elastic wave measurement method is smaller than that of the other measurement methods, so it can be seen that the elastic wave measurement method does not show large variance in the measured values compared to the other two measurement methods. When the average compressive strength according to the test method for each specimen was compared with the average compressive strength of the compressive failure test method, the average compressive strength was measured to be high in the order of the elastic wave measurement method, the compression failure test, and the rebound hardness method. Since the measured values of the compressive strength of concrete are different depending on the method of measuring the compressive strength of concrete and the presence or absence of reinforcing bars inside the concrete, further research is required considering the effect of various concrete covers.

**Keywords:** Destructive method, Non-destructive method, Compressive strength, Reinforcing bar, Concrete cover

### 1. 서 론

콘크리트는 개발 이래 다른 건설 재료에 비해 내구성 및 내열성이 우수하고 여러 형상의 구조물을 용이하게 시공할 수 있다는 장점에 따라 건축 및 토목분야에 널리 이용되고 있다. 최근에는 콘크리트의 사용성이 대형화, 다양화 되어 고성능 콘크리트의 새로운 영역이 만들어져 콘크리트 기술 개발에 큰 변화가 일고 있다. 하지만, 토목 구조물에 콘크리트를 적용한 역사가 길어짐에 따라 우리나라를 비롯한 세계 각지에서 기존 구조물의 노후화가 심각해지고 있으며, 신규 건설 중인 대형 구조물의 붕괴 사고 발생에 따라 콘크리트 구조물의 안전진단 및 평가에 대한 필요성이 증가하고 있다. 이와 더불어

재건축을 위한 안전진단 기준이 개선되어 구조 안전성의 가중치가 20%에서 50%로 증가함에 따라 보다 신속하고 신뢰성 높은 콘크리트 구조물의 안전진단기법에 대한 연구가 필요한 실정이다(Hong et al., 2018). 따라서 콘크리트 구조물의 강도 변화 등을 평가하기 위한 콘크리트의 압축강도의 평가에 대한 다양한 연구들이 진행되었다. E.Schmidt는 1948년 슈미트 해머를 제안하고, 1951년 슈미트 해머의 타격각도에 대한 보정치  $\Delta R$  를 구함으로써 슈미터 해머의 실용화를 가져왔으며, J.Koler는 1958년 슈미트 해머의 타격각도에 대한 R0의 보정식을 구하였다.

E.Schmidt와 K.Gaede는 1960년 슈미트 해머를 이용하여 콘크리트 강도를 측정할 수 있는 실험결과와 장기재령시 반발도를 측정할 경우는 보정계수를 고려하며, 타격각도에 대한 보정식을 시험에 의하여 적합함을 연구하였다. J.R.Lesile와 W.J.Bone은 1949년 최초로 소닉스코프(Sonicscope)를 이용하여 댐의 콘크리트 열화와 균열을 측정하였고, S.M.Breuning와 A.J.Bone은 1954년 초음파속도법을 이용하여 콘크리트의 열화된 부분에 대해 연구하였다. 1972년 펀디트(PUNDIT)는 현장에서 콘크리트의 초음파 속도를 측정할 수 있기 때문에 초

<sup>1</sup>정회원, 경상국립대학교 토목공학과 교수

<sup>2</sup>정회원, (주)수성, 부장

<sup>3</sup>정회원, 경상국립대학교 토목공학과 공학박사

<sup>4</sup>정회원, 경상국립대학교 토목공학과 부교수

<sup>5</sup>학생회원, 경상국립대학교 토목공학과 석사과정

\*Corresponding author: choi916438@hanmail.net

187, Gigol-ro, Yeongdong-eup, Yeongdong-gun, Chungcheongbuk-do, Korea

•본 논문에 대한 토의를 2022년 1월 31일까지 학회로 보내주시면 2022년 2월 호에 토론결과를 게재하겠습니다.

기에 개발된 장비를 사용하였을 경우 보다 콘크리트의 균열성, 공극, 균열 등 콘크리트 내부결합의 여부와 콘크리트 강도 측정의 용이함에 대해 발표하였다. 일본건축학회에서는 초음파 측정법을 이용하여 보통콘크리트와 경량콘크리트에 대한 콘크리트 압축강도 추정식을 제시하였다(KISTEC, 2014). 국내 연구에서는, 외국에서 이미 제안된 강도 추정식에 대한 신뢰도를 평가할 수 있는 식을 제안하였고(Park et al, 2015), 철근 콘크리트 구조물의 기둥, 벽체, 보 및 슬래브에 대한 비파괴 실험을 실시하고 각 실험법의 오차율을 도출하였다(Hong et al., 2019). 하지만 콘크리트 구조물의 경우 현장에서 채취한 콘크리트 공시체의 압축 강도를 확인하는 것이 일반적이거나 기존 구조물의 콘크리트는 비파괴 실험 및 채취한 공시체에 대한 파괴실험을 통하여 콘크리트의 압축강도를 평가할 수 있다. 콘크리트의 압축강도 평가의 경우 구조물 내부 철근이나 채취된 콘크리트 공시체 내부의 철근의 영향을 받을 수 있으므로 콘크리트의 정확한 압축강도를 평가하기 어려울 수 있다. 하지만 철근 콘크리트 부재 내부의 철근이 압축강도 측정에 미치는 영향에 대한 연구는 부족한 실정이다. 그러므로 각 실험방법과 콘크리트 내부 철근의 유무 그리고 철근의 종류에 따라 측정되는 콘크리트 압축강도의 평가가 필요하다. 따라서 본 연구에서는 콘크리트의 압축강도 평가를 위하여 현장에서 채취한 공시체에 철근의 유·무와 압축강도 측정법에 따른 콘크리트 압축강도와와의 관계를 고찰하고자 하였다.

따라서, 본 연구에서는 각 실험법에 의한 압축강도의 차이와 콘크리트 내부 철근이 압축강도에 미치는 영향을 파악하기 위하여 무근 공시체 10개와 D16, D22, D25 철근이 피복두께 80mm로 배치된 공시체를 각각 10개씩 4종류로 제작하였다. 콘크리트 압축강도에 대한 비파괴 실험을 위하여 제작된 각 공시체를 대상으로 비파괴검사를 각 5회 실시하고 측정된 값 중 최대 및 최소 값을 제외한 3개의 값을 평균하여 그 공시체를 대상으로 압축강도를 평가하였다. 또한, 철근을 배치한 4종류의 공시체의 각각에 대해서도 측정된 값 중 최대 및 최소값을 제외한 8개 공시체의 평균값을 계산하여 각 공시체의 압축강도를 평가하였다. 제작된 공시체에 대한 비파괴 실험 후 각 공시체에 대한 실제 압축강도를 평가하기 위하여 압축 파괴실험을 실시하고 비파괴 실험 결과와 비교하였다.

## 2. 콘크리트 공시체 압축강도 평가방법

콘크리트의 압축강도를 평가방법으로 압축파괴 검사법과 비파괴 검사법으로 구분할 수 있다. 압축파괴 검사는 기존의 콘크리트 구조물에서 코어를 채취하여 이를 실내에서 파괴하여 압축강도를 측정하는 일축압축강도를 측정하는 방법임으로 가장 정확한 방법이나, 통상적으로 철근 콘크리트 구조물

은 치수, 배합조건 양생 등의 시공조건이 다르기 때문에 표본 선정이 어렵고, 코어 채취 작업 시 철근의 절단 등에 의한 구조물의 변형이 일어날 수 있으므로 코어 채취 시 철근의 위치를 정확히 파악한 후 실험을 하여야 하며, 비록 국부 파괴이나 구조물의 손상은 피할 수 없다. 이러한 문제점을 해결할 수 있는 방안으로는 대상 구조물의 압축강도 측정 시 구조물의 피해를 최소화 할 수 있는 비파괴 측정방법을 필요로 하게 된다. 비파괴 측정방법으로는 반발경도법, 초음파(탄성파) 측정법 등이 있으며, 반발경도법이 널리 사용되고 있다.

### 2.1 파괴실험

#### 2.1.1 압축파괴 실험

본 연구에서 적용한 압축파괴 실험은 콘크리트 압축강도 시험방법(Testing Method for Compressive Strength of Molded Concrete Cylinders, KS F 2403, 2405)에 따라 진행되었다. 압축강도 실험은 습윤양생한 공시체를 대상으로 하며 시험 전, 공시체의 단면적과 재원을 계산하기 위하여 공시체의 지름을 최소 0.25mm까지 측정하였으며, 공시체의 높이 또한 최소 2.5mm까지 측정하였다. 압축강도 평가를 위한 하중 재하 후 공시체의 평균단면적을 통하여 압축강도를 0.1 MPa의 정밀도까지 평가하였다.

### 2.2 비파괴 실험

#### 2.2.1 반발경도 실험

반발경도법은 콘크리트의 표면 강도를 측정하여 측정치로부터 콘크리트의 압축강도를 비파괴로 판정하는 검사 방법이다. 반발경도법은 타격법 중의 하나의 방법이며, 콘크리트의 표면을 해머로 타격하여 표면의 손상정도나 반발 정도를 측정한다. 반발경도를 구하는 방법은 슈미트 해머(Schmidt Hammer)법이 가장 널리 사용되며, 콘크리트의 강도에 따라 반발경도가 변화하는 점을 이용한 방법으로서 실험방법이 간편하고 국제적으로 표준화되어 있다. 이 방법은 콘크리트의 표면부를 타격하여 반발력을 측정하므로 표면부의 품질과 타격조건에 따라 영향을 받기 쉬우며 콘크리트 구조체 내부의 강도를 명확하게 측정하기는 곤란하다.

반발경도법의 원리는 슈미트 해머(Schmidt Hammer)로 경화 콘크리트면을 타격시 나타나는 반발도( $R$ )와 콘크리트의 압축강도( $F_c$ )의 특정 상관관계가 있다는 실험적 경험을 기초로 한다. 일반적으로 타격시 반발도( $R$ )는 타격에너지 및 타격체의 형상, 크기, 재료의 물리적 특성과 관계는 물리량에 따라 다르다. 특히, 콘크리트와 같은 불균질한 재료에서는, 슈미트 해머로 표면에서 국부적 타격을 하는 경우에는, 반발도( $R$ )는 타격면에 존재하는 골재의 유무, 습윤상태, 콘크리트의 재령 등에 따라 차이가 난다. 하지만, 간편하고 짧은 시간에 강도 추

정이 가능한 우수한 사용성과 콘크리트 구조물 전체에 대해 강도 측정이 가능하다는 점에는 유효한 실험법이라 할 수 있다.

슈미트 해머에 의한 콘크리트 압축강도 추정에는 아래의 강도추정식 3가지 및 반발도-추정강도 환산표와의 산술 평균치로 추정할 수 있다. 보통 콘크리트의 압축강도( $F_c$ )와 반발경도( $R_o$ )의 관계에 대해서 제안된 여러 가지 보통콘크리트에 대한 대표적인 강도추정식은 일본재료학회에서 제시하는 Eq. (1)과 동경도재료검사소에서 제시하는 Eq. (2), 스위스 연방재료시험소에서 제시하는 반발도-추정강도 산정표를 통하여 산정할 수 있다. 일본재료학회 및 동경도재료검사소에서 제시하는 추정식의 경우, 타격방향, 콘크리트의 재령 등 측정시 제시된 조건에 따라서 반발경도 및 추정 강도를 보정할 수 있다. 일반적으로 콘크리트 압축강도는 스위스 연방재료시험소 공식에 따른 “압축강도 환산표”를 이용하고 있다.

콘크리트 압축강도 추정식 및 환산표를 이용하여 추정된 압축강도의 경우, 스위스 연방재료시험소의 환산표에 따라 평가된 압축강도가 가장 크게 계산되며, 동경도재료검사소 추정식 Eq. (2)에 따른 압축강도가 가장 작게 계산된다. 통상적으로 반발경도에 의한 압축강도추정은 3개의 평균값으로 적용한다(KISTEC, 2014).

$$F_c = 13R_o - 184 \quad (1)$$

$$F_c = 10R_o - 110 \quad (2)$$

반발경도 및 추정강도의 보정은 수평방향 이외의 방향으로 타격한 경우에는 Table 1의 반발경도 보정치를 이용하여 보정값을 계산한다. 건조수축 상태에 따른 보정은 콘크리트가 기

**Table 1** Rebound hardness correction value

R	$\Delta R$			
	+90°	+45°	-45°	-90°
10	-	-	+2.4	+3.2
20	-5.4	-3.5	+2.5	+3.4
30	-4.7	-3.1	+2.3	+3.1
40	-3.9	-2.6	+2.0	+2.7
50	-3.1	-2.1	+1.6	+2.2
60	-2.3	-1.6	+1.3	+2.2

**Table 2** Value of age coefficient  $\alpha_n$

Day	4	7	15	28	50
$\alpha_n$	1.90	1.72	1.32	1.00	0.87
Day	100	300	500	1000	3000~
$\alpha_n$	0.78	0.70	0.67	0.65	0.63

건상태로 있는 것을 기준으로 하여 습윤상태인 경우에는 = + 5로 한다. 재령에 따른 보정은 실험시 콘크리트의 재령에 따라 Table 2의 콘크리트 강도에 보정계수 ( $\alpha_n$ )를 곱하여 추정 강도를 보정한다.

### 2.2.2 탄성과 실험

탄성과 실험은 취성재료(특히 콘크리트)의 시험에 가장 적합한 50-60 kHz의 Pulse를 사용하여 재료의 밀도(Density), 탄성(Elasticity)정도, 균질성(Homogeneity), 공극(Void)이나 공동(Cavity)의 유무, 화학적 손상 및 노후화에 의한 열화 및 탄산화 현상 등을 측정할 수 있으며 콘크리트의 강도시험에 적용할 수 있다. 일반적으로 탄성과 실험은 균질성의 콘크리트에서는 강도, 노후화 현상 및 균열의 깊이를 조사하는 것을 목적으로 하지만 비균질성의 콘크리트에서는 품질검사 위주로 시행한다. 탄성과 실험의 콘크리트 압축강도 측정을 위하여 본 연구에서는 대칭법(직접법)을 이용하여 콘크리트의 압축 강도를 계산하였다.

본 연구에서는 전달속도에 따른 콘크리트 압축강도 추정을 위하여 초음파속도와 압축강도의 상관관계를 RILEM CNDT 소위원회 공동시험결과에서 도출한 다음 식을 사용하였으며, 이외에 J.Pyszniak의 추정식  $F'_c = 92.5 V_p^2 - 508 V_p + 782$  등도 사용되고 있다. Eq.(3)에서  $F_c$ 는 추정압축강도(MPa),  $V_p$ 는 직접법에 의한 초음파 종파전달속도(km/sec)이다(KISTEC, 2014).

$$F_c = (215 V_p - 620)/9.8 \quad (3)$$

## 3. 실험 개요

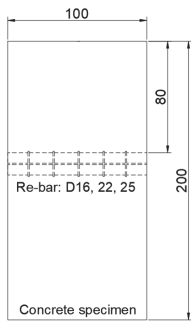
본 연구에서는 콘크리트 공시체 강도 실험 방법 중 비파괴 실험인 반발 경도법(Schmidt Hammer, NR형, DT-2000)과 탄성과 측정법(Pundit)에서는 각 공시체에 5회씩 측정을 실시하고 측정된 값 중 최대값과 최소값을 제외하고 평균값을 계산하여 해당 공시체의 압축강도로 결정한 후, 압축파괴실험(Universal Test Machine) 순으로 실시하였다. 또한, 콘크리트 공시체 종류별 각각 10개씩 측정하여 측정된 값 중 최대값과 최소값을 제외하고 평균값을 계산하여 압축강도 측정 실험법에 따른 공시체 종류별 압축강도로 계산하였다.

### 3.1 공시체 제작

철근 유무에 따른 콘크리트 공시체의 압축강도 평가를 위하여 총 40개의 압축강도 공시체를 제작하였다. 철근 지름에 의한 영향을 파악하기 위하여 철근의 지름이 16mm, 22mm, 25mm인 경우와 철근이 설치되지 않은 공시체를 각각 10개씩 제작하였다. 공시체의 제작은 굽은 골재의 최대 치수가

**Table 3** Desing mixing ratio of 27MPa design strength

W/C (%)	S/a (%)	Water (kg)	Cement (kg)	Fine agg. (kg)	Coarse agg. (kg)	Superplasti-cizer (kg)
42.2	42.5	154	365	774	1,059	2.19



(a) Dimensions



(b) Specimen(in re-bar)

**Fig.1** Dimensions and test specimen

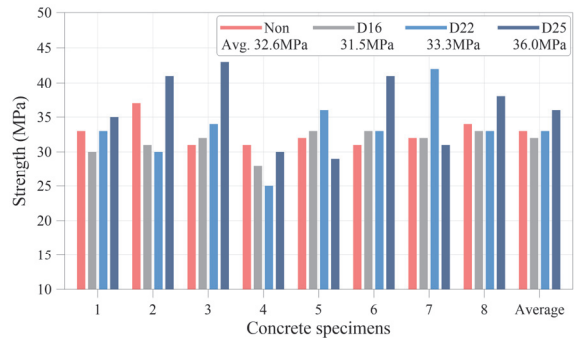


**Photo 1** Curing of test specimens

25mm, 설계슬럼프가 120mm이며, 콘크리트의 설계압축강도가 27 MPa의 지름 100mm의 공시체를 제작하였다. Table 3은 콘크리트 공시체의 배합비를 나타낸 것이다. 콘크리트 피복 두께를 확보하기 위해 철근 단락의 양 끝을 가는 실로 연결하고 공시체 몰드 상단에서부터 80mm에 위치하도록 하여 고정하였으며, 콘크리트를 타설하고 28일 간 습윤양생하여 압축강도 평가를 실시하였다. Fig. 1은 압축강도 추정을 위하여 제작된 공시체의 제원과 제작된 압축강도 공시체의 모습을 나타내었으며, Photo 1은 압축강도 공시체를 양생하는 모습을 나타내었다.

### 3.2 반발경도법에 의한 콘크리트 압축강도 실험

반발경도법에 따른 콘크리트 압축강도 실험은 제작된 공시체를 대상으로 5회 타격 후 최대 및 최소 측정값을 제외하고 평균을 계산하여 그 공시체의 압축강도로 결정하였다. 반발



**Fig. 2** Compressive strength test(Rebound Method)



**Photo 2** Schmidt hammer test

**Table 4** Average Compressive strengths (Unit : MPa)

	Non-rebar	D16	D22	D25
Avg.	32.6	31.5	33.3	36.0

경도 측정을 위하여 슈미트 해머를 이용하여 콘크리트 압축강도를 평가하였으며, 그 결과를 Fig. 2에 정리하여 나타내었다. Photo 2에 나타난 것과 같이 슈미트 해머를 이용하여 반발경도법으로 공시체의 압축강도를 측정된 결과, 무근 공시체의 경우 압축강도가 31 MPa ~ 37 MPa, D16 철근이 삽입된 공시체의 압축강도는 28 MPa ~ 33 MPa, D22 철근이 삽입된 공시체의 압축강도는 25 MPa ~ 42 MPa, D25 철근이 삽입된 공시체의 압축강도는 29 MPa ~ 43 MPa으로 나타났으며, 평균 압축강도는 Table 4에 나타낸 것과 같이 무근 공시체는 32.6 MPa, D16 철근이 삽입된 공시체는 31.5 MPa, D22 철근이 삽입된 공시체는 33.3 MPa, D25 철근이 삽입된 공시체의 압축강도는 36.0 MPa로 평가되었다. 반발경도법에 따라 평가된 압축강도의 경우, 무근 공시체의 평균압축강도와 D16, D22 철근이 삽입된 공시체의 평균압축강도는 거의 비슷한 것으로 나타났으나, 상대적으로 철근 지름이 큰 D25 철근 삽입 공시체의 평균압축강도가 상대적으로 크게 평가되었다.

### 3.3 탄성과 측정법에 의한 콘크리트 압축강도 실험

탄성과 측정법에 따른 콘크리트 압축강도 평가 또한 제작된 공시체를 대상으로 5회의 탄성과 도달 시간을 측정하였다.



탄성과 측정은 펀디트(Pundit)를 이용하였으며, 한 공시체 측정 중 가장 최소 도달시간을 측정값으로 하고, 이 과정을 5회 반복 측정된 탄성과 도달시간의 최대 및 최소 측정값을 제외하고 평균을 계산하고 이를 통하여 공시체의 압축강도로 결



Photo 3 Pundit and elastic wave test

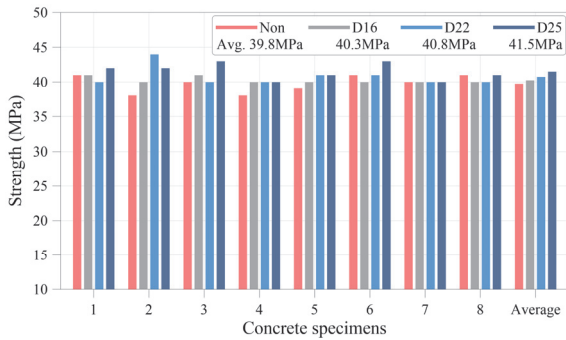


Fig. 3 Compressive strength test(Elastic Wave)

Table 5 Average Compressive strengths (Unit : MPa)

	Non-rebar	D16	D22	D25
Avg.	39.8	40.3	40.8	41.5

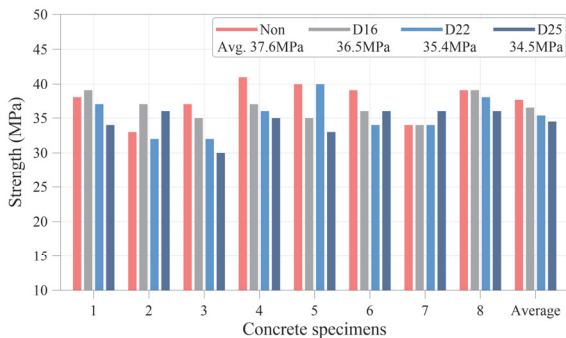


Fig. 4 Compressive strength test(Compressive failure)

Table 6 Average compressive failure strengths (Unit : MPa)

	Non-rebar	D16	D22	D25
Avg.	37.6	36.5	35.4	34.5

정하였다.

펀디트를 이용하여 탄성과 측정법으로 공시체의 압축강도를 측정된 결과를 Fig. 3에 정리하여 나타내었다. Photo 3에 나타낸 것과 같이 펀디트를 이용하여 반발 정도법으로 공시체의 압축강도를 측정된 결과, 무근 공시체의 경우 압축강도가 38 MPa ~ 41 MPa, D16 철근이 삽입된 공시체의 압축강도는 40 MPa ~ 41 MPa, D22 철근이 삽입된 공시체의 압축강도는 40 MPa ~ 43 MPa, D25 철근이 삽입된 공시체의 압축강도는 40 MPa ~ 43 MPa로 나타났으며, 평균 압축강도는 Table 5에 나타낸 것과 같이 무근 공시체는 39.8 MPa, D16 철근이 삽입된 공시체는 40.3 MPa, D22 철근이 삽입된 공시체는 40.8 MPa, D25 철근이 삽입된 공시체의 압축강도는 41.5 MPa로 평가되었다. 탄성과 측정법에 의한 콘크리트 압축강도 평가 결과, 무근 공시체의 평균 압축강도와 철근이 삽입된 공시체의 평균 압축강도는 거의 비슷하여 철근의 영향을 크게 받지 않는 것으로 나타났다.

### 3.4 압축파괴 실험에 의한 콘크리트 압축강도 실험

철근 유무에 따른 콘크리트 공시체의 압축강도 평가를 위하여 만능시험기(Universal Test Machine)를 이용하여 압축강도 평가를 실시하였다. 만능 시험기를 이용하여 공시체의 압축강도를 측정된 결과를 Fig. 4와 Table 6에 정리하여 나타내었다. 압축파괴시험에 따른 공시체의 압축강도는, 무근 공시체 33 MPa ~ 41 MPa, D16 철근이 삽입된 공시체의 압축강도는 34 MPa ~ 39 MPa, D22 철근이 삽입된 공시체의 압축강도는 32 MPa ~ 40 MPa, D25 철근이 삽입된 공시체의 압축강도는 30 MPa ~ 36 MPa로 나타났으며, 평균 압축강도는 Table 6에 나타낸 것과 같이 무근 공시체는 37.6 MPa, D16 철근이 삽입된 공시체는 36.5 MPa, D22 철근이 삽입된 공시체는 35.4 MPa, D25 철근이 삽입된 공시체의 압축강도는 34.5 MPa로 평가되었다. 만능 시험기(UTM)를 이용한 압축파괴시험의 공시체 평균 압축파괴 평가 결과 무근 공시체일 경우 가장 크게 측정되었으며, 철근 직경이 클수록 평균 압축강도는 감소하는 것으로 나타났다.

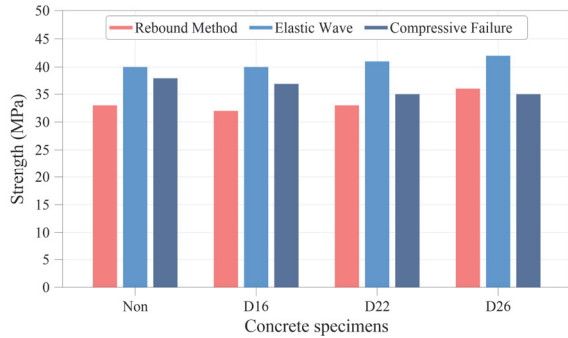
## 4. 실험결과 분석 및 고찰

### 4.1 실험 데이터의 표준편차 비교

콘크리트 공시체에 대한 철근 유무에 따른 콘크리트 압축강도 평가에 대하여 반발정도법, 탄성과속도평가, 압축강도 시험별로 나타난 압축강도 평가 결과를 비교하였다. 각 실험법을 통하여 평가한 압축강도 결과를 비교하기 위하여 각 실험별로 진행된 계측에 대한 표준편차를 평가하여 Table 7에 나타내었다. Table 7에 나타낸 것과 같이 각 실험 결과 중, 반

**Table 7** Standard deviation of data

	Non-rebar	D16	D22	D25
Rebound	2.27	1.77	4.83	5.53
Elastic wave	1.28	0.46	1.39	1.20
Compressive failure	2.85	1.85	2.88	2.14



**Fig. 5** Average compressive strength according to test methods and specimens

반발경도법에 의하여 측정된 D22, D25 공시체에 대한 압축강도의 표준편차가 크게 나타났다. 또한, 탄성과 측정법이 다른 측정법들과 비교하여 상대적으로 표준편차가 작은 것으로 평가되었다. 따라서 탄성과 측정법이 다른 두 측정법들과 비교하여 상대적으로 측정값의 변동이 크지 않음을 알 수 있다.

평균압축강도의 경우, Fig. 5에 나타난 것과 같이 탄성과 측정실험에 의한 콘크리트 평균 압축강도가 다른 측정 방법에 의해 측정된 콘크리트 평균 압축강도보다 높게 측정되었으며, 압축파괴 실험에 의한 평균압축강도는 철근의 직경이 증가할수록 감소하는 것으로 나타났다.

실험 데이터들에 대한 표준편차를 계산한 결과, 탄성과 측정법이 다른 측정법들에 비해 표준편차가 작게 나타났다. 따라서 탄성과 측정법이 다른 두 측정법에 비해 측정값의 변동이 크지 않음을 알 수 있다.

#### 4.2 실험 방법에 따른 평균 압축강도 비교

본 연구에서 검토된 비파괴 시험결과를 압축파괴 실험을 통하여 평가된 평균 압축강도 시험 결과를 기준으로 비교하여 Table 8에 나타내었다. Table 8에 나타난 것과 같이 압축파괴실험의 평균압축강도를 기준으로 다른 두 종류의 실험 결과를 비교하면 탄성과 측정법이 압축파괴실험보다 크게 측정되며, 반발경도 측정법은 철근 D25가 삽입된 공시체를 제외하고 압축파괴실험보다 작게 측정되는 것으로 평가되었다. 따라서, 각 공시체별 압축강도를 압축파괴 강도 기준으로 비교하면 탄성과 측정법, 압축파괴실험, 반발경도법 순으로 압축강도가 높게 측정되는 것으로 평가되었다.

**Table 8** Differences in average compressive strength according to the test methods

	Test method	Avg. comp. strength(MPa)	Avg. comp. strength diffe.(based on comp. failure, %)
Non-rebar	Compressive failure	37.6	1.00
	Elastic wave	39.8	5.85
	Rebound method	32.6	-13.30
D16	Compressive failure	36.5	1.00
	Elastic wave	40.3	10.41
	Rebound method	31.5	-13.70
D22	Compressive failure	35.4	1.00
	Elastic wave	40.8	15.25
	Rebound method	33.3	-5.93
D25	Compressive failure	34.5	1.00
	Elastic wave	41.5	20.29
	Rebound method	36.0	4.35

**Table 9** Differences in the average compressive strength on average compressive destructive strength

Spec.	Test method	Avg. comp. strength(MPa)	Non-rebar Avg. comp. strength diffe.(based on comp. failure, %)
Non-rebar	Compressive failure	37.6	1.00
	Elastic wave	39.8	5.85
D16	Compressive failure	36.5	-2.93
	Elastic wave	40.3	7.18
	Rebound method	31.5	-16.22
D22	Compressive failure	35.4	-5.85
	Elastic wave	40.8	8.51
	Rebound method	33.3	-11.44
D25	Compressive failure	34.5	-8.24
	Elastic wave	41.5	10.37
	Rebound method	36.0	-4.26

#### 4.3 철근을 고려한 평균 압축응력 비교

무근 공시체 10개에 대한 압축파괴실험법의 평균 압축강도 (38 MPa)를 기준으로 하여 공시체 종류와 실험방법에 대한 차이를 Table 9에 나타내었다. 무근 콘크리트의 압축파괴실험에 의한 평균 압축강도를 기준으로 하면 철근 D16이 삽입된 공시체의 반발경도법으로 측정된 평균 압축강도가 가장 차이가 크게 발생하였고, 철근 D16이 삽입된 공시체의 압축파괴실험법으로 측정된 평균 압축강도가 가장 차이가 작게 발생하였다. 또한, 탄성과 측정법에 의한 평균 압축강도는 무근 공시체 평균 압축파괴강도 보다 크게 측정되었고 철근이 삽입된 공시체의 압축파괴강도와 반발경도법에 의한 평균 압축강도는 무근

공시체 평균 압축파괴강도 보다 작게 평가되었다.

## 5. 결 론

본 연구는 콘크리트 공시체에 대한 철근 유무에 따른 콘크리트 압축강도의 비파괴 시험 평가법을 비교하기 위하여 설계강도 27 MPa인 무근 콘크리트 공시체와 콘크리트 공시체에 철근을 삽입한 공시체를 제작하고 콘크리트 압축강도 측정법들과 철근이 콘크리트 압축강도에 미치는 영향을 평가하였다. 다음에 본 연구 결과를 정리하여 나타내었다.

1. 공시체의 종류와 상관없이 3가지 실험 방법 중 탄성과 측정법에 의한 평균 압축강도가 다른 측정법에 의한 평균 압축강도보다 크게 나타났으며, 이는 탄성과 전달 속도가 공시체 내부의 매질에 영향을 받아서 철근의 직경이 클수록 전달 속도가 증가하여 강도가 높게 나타남을 알 수 있다. 또한, 반발경도법은 콘크리트의 표면에 대한 강도를 측정하므로 콘크리트의 내부 강도보다 낮게 나타나는 것을 알 수 있다.
2. 공시체 종류가 같을 경우 탄성과 측정법이 다른 측정법들에 비해 측정값들의 표준편차가 작게 나타났으므로 탄성과 측정법이 다른 두 측정법에 비해 측정값의 변동이 크지 않음을 알 수 있다.
3. 각 공시체의 압축파괴강도를 기준으로 비교하면 탄성과 측정법, 압축파괴실험법, 반발경도법 순으로 평균 압축강도가 높게 나타나는 경향이 있었다. 무근 공시체 압축파괴 실험법의 평균 압축강도를 기준으로 하여 철근이 포함된 공시체의 압축강도와 비교하면 탄성과 측정법은 무근 공시체 압축파괴실험보다 높게 측정되었고, 압축파괴실험, 반발경도법은 무근 공시체 압축파괴실험보다 낮게 측정되었다.
4. 철근이 포함된 콘크리트 공시체의 비파괴 실험을 하는 경우 철근의 피복과 철근의 직경이 본 실험과 동일한 조건으로 적용되었다면 실험에서 제시된 무근 공시체 사이의 강도 차이를 감안하여 콘크리트의 압축강도를 예측할 수 있다.
5. 압축파괴 실험에서 무근 공시체와 D16, D22, D25 철근이 삽입된 공시체의 평균 압축강도를 비교하면 무근 공시체의 압축강도가 제일 높고 철근의 직경이 커지면 평균 압축강도가 감소하는 경향이 나타났다. 이는 파괴 양

상에서 파괴면이 철근 주위에서도 발생하는 점을 고려하면, 하중을 받을 때 이종 재료인 콘크리트와 철근 표면 사이의 파괴 단면 미끄러짐 현상이 발생하고 철근의 직경 증가에 따라 미끄러짐 면적이 증가하여 압축강도가 감소하는 것으로 판단된다.

콘크리트의 압축강도 측정방법과 콘크리트 내부 철근 유무 및 직경에 따라 콘크리트 압축강도 측정값이 상이하게 나타날 수 있으므로 추후 피복두께와 철근 직경의 영향을 고려하여 콘크리트의 압축강도를 평가할 수 있는 연구가 진행되어야 할 것이다.

## 감사의 글

이 논문은 2020~2021년도 경상국립대학교 대학회계 연구비 지원에 의하여 연구되었음.

## References

1. Hong, S., Lee, Y., Kim, S., Kim, J. (2018), Estimation of Compressive Strength of Reinforced Concrete Vertical and Horizontal Members Using Ultrasonic Pulse Velocity Method, Journal of the Korea institute for structural maintenance and inspection, Korea Institute for Maintenance and Inspection, 22(6), 197-205.
2. Korea Infrastructure Safety Corporation and Korea Institute for Maintenance and Inspection. (2014), Study on Development of Strength Estimation Equation for High-Performance Concrete, Korea Infrastructure Safety Corporation.
3. Park, J. W., Choo, J. H., Park, G. R., Hwang, I. B., Shin, Y. S. (2015), The Evaluation of Non-Destructive Formulas on Compressive Strength Using the Reliability Based on Probability, Journal of the Korea institute for structural maintenance and inspection, Korea Institute for Maintenance and Inspection, 19(4), 25-34.
4. Hong, S. U., Park, C. W., Lee, Y. T., Kim, S. H. (2019), Reliability Evaluation of Compressive Strength of Reinforced Concrete Members. Journal of the Korea institute for structural maintenance and inspection, Korea Institute for Maintenance and Inspection, 23(6), 132-140.

Received : 08/23/2021

Revised : 09/30/2021

Accepted : 11/09/2021

---

**요 지** : 콘크리트 구조물의 안전성 검토에서 콘크리트 압축강도 측정은 매우 중요한 요소이다. 콘크리트 압축강도 측정법에는 파괴방법과 비파괴방법이 있다. 파괴방법은 일축압축파괴방법이 있으며, 비파괴방법에는 반발경도법과 탄성과 측정법이 있다. 본 연구에는 측정법의 종류와 콘크리트 내부의 철근영향에 따른 콘크리트의 압축강도 영향을 분석하였다. 공시체의 종류와 상관없이 3가지 실험 방법 중 탄성과 측정법에 의한 평균 압축강도가 다른 방법에 의한 평균 압축강도보다 크게 나타났다. 공시체 종류가 같을 경우 탄성과 측정법이 다른 측정법들에 비해 측정값들의 표준편차가 작게 나타났으므로 탄성과 측정법이 다른 두 측정법에 비해 측정값의 변동이 크지 않음을 알 수 있다. 각 공시체별 실험 방법에 따른 평균압축강도를 압축파괴 실험법의 평균압축 강도를 기준으로 비교하면 탄성과 측정법, 압축파괴실험, 반발경도법 순으로 평균압축강도가 높게 측정되었다. 콘크리트의 압축강도 측정방법과 콘크리트 내부 철근 유무에 따라 콘크리트 압축강도 측정값이 상이하므로 추후 피복두께의 영향 등을 고려한 연구가 필요할 것이다.

**핵심용어** : 파괴 검사법, 비파괴 검사법, 압축강도, 철근, 콘크리트 피복두께

---