

# 부순모래 콘크리트의 비파괴 시험에 의한 압축강도 추정

## The Compressive Strength Prediction of Crushed Sand Concrete by Non-Destructive Test Method

김 명 식\*      장 희 석\*\*      백 동 일\*\*\*      신 남 균\*\*\*\*      김 강 민\*\*\*\*\*  
Kim, Myung Sik      Jang, Hei Suk      Beak, Dong Il      Sin, Nam Gyun      Kim, Kang Min

### ABSTRACT

Schmidt hammer and ultra-sonic method are commonly used for crushed sand concrete compressive strength test in a construction field. At present, various of equations for prediction of strength are present, which have been used in a construction field.

The purpose of this study is to evaluate the correlation between prediction strength by presentation equations and destructive strength to test specimen, and find out which is a suitable equation for the construction site. In this study, a strength test was carried out destructive test by means of core sampling and traditional test. Non-destructive test was conducted Schmidt hammer and ultra-sonic method, the experimental parameter were concrete age, curing condition, test method and strength level.

It is demonstrated that the correlation behavior of crushed sand concrete strength in this study good due to the perform analysis of correlation between core, destructive strength and non-destructive strength.

### 1. 서론

콘크리트의 비파괴 강도를 측정하는 방법으로는 반발경도법, 초음파속도법, 충격파법, 조합법 등이 있으나 시험방법이 간편하고 국제적으로 표준화되어 있어 널리 사용되고 있는 반발경도를 구하는 슈미트 해머법과 초음파속도법 그리고 조합법이 주로 사용되며 강도추정을 위해 주로 일본에서 제안된 식을 사용하고 있다. 그러나 이들 제안식들은 시험조건과 환경의 차이에 따라 변동성이 크므로 동일한 반발경도를 나타내더라도 제안식마다 상이한 값을 나타내기 때문에 정확한 강도추정이 어려운 실정이다.

따라서 본 연구에서는 최근 천연강모래의 고갈로 인한 부순모래 사용량이 급격하게 증가함에 따라 부산근교에서 생산된 부순골재를 사용하여 제작된 부순모래 콘크리트의 보다 더 정확하고 신뢰성 있는 비파괴 강도 추정을 위하여 비파괴 강도시험과 파괴 강도시험을 병행하여 각종 제안식과 그에 따른 상관관계를 알아봄으로서 현장의 부순모래 콘크리트 구조물의 평가기술 향상을 위한 기초 자료로 삼고자 한다.

\* 정회원, 부경대학교 건설공학부 교수

\*\* 정회원, 부경대학교 건설공학부 교수

\*\*\* 정회원, 부경대학교 토목공학과 박사수료

\*\*\*\* 정회원, 부경대학교 토목공학과 석사과정

\*\*\*\*\* 정회원, 부경대학교 토목공학과 석사과정

## 2. 실험개요

### 2.1 재료의 특성

본 실험에서는 비중이 3.14인 국내 A사에서 생산되는 보통포틀랜드시멘트를 사용하였다. 골재는 부산근교에 위치한 김해지역 석산에서 생산된 부순자갈과 부순모래와 낙동세사를 혼합한 혼합모래를 사용하였으며 부순골재의 품질특성은 표 1과 같다.

표 1 부순골재의 품질특성

시료	시험	조립률	밀도	흡수율	마모율	단위용적중량	유기물순물	0.08mm채 통과량	실적율	편장석률	안정성
굵은 골재	KS 규격	6~8	2.5이상	3.0이하	40이하	-	-	1.0이하	55이상	20이하	12이하
	부순자갈	7.12	2.70	1.3	12	1494	-	0.2	55	8	3.2
잔골재	KS 규격	2.3~3.1	2.5이상	3.0이하	-	-	표준색	7.0이하	53이상	-	10이하
	부순모래	4.14	2.54	2.3		1690	담황색	3.8	67	-	2.0

### 2.2 시편제작

본 실험에 사용한 부순모래 콘크리트의 설계기준강도 21MPa과 30MPa, 슬럼프 15cm, 공기량 4.5%로 배합설계를 실시하여 비파괴 강도측정을 위한 시편은 30×30×30cm의 큐빅 공시체와 파괴 압축강도 측정을 위한 시편으로 Ø10×20cm의 코어채취와 Ø10×20cm인 압축강도용 원주형 공시체를 제작하였다. 비빔은 50ℓ 강제식 믹서를 사용하였으며 다짐은 다짐봉을 사용하여 KS규정에 따라 수행하였다. 양생은 온도조절이 가능한 양생조를 사용하여 수중양생과 시험실 내에서 기건양생을 실시하였다.

### 2.3 실험방법

실험방법은 혼합모래(부순모래 : 낙동세사=7 : 3)를 사용한 부순모래 콘크리트의 파괴·비파괴 강도 측정을 위해 수중과 기건양생의 시편을 각각 제작하였다. 비파괴 강도 측정을 위해 반발경도법과 초음파속도법을 파괴 압축강도 측정을 위해 코어채취와 압축강도용 원주형 공시체를 이용한 압축강도 측정을 7일(1주), 14일(2주), 28일(4주)에 실시하였다.

### 2.4 비파괴 압축강도 추정을 위한 적용식

비파괴시험법에 의한 콘크리트 압축강도를 추정하기 위해 사용된 제안식은 일본, 미국, 루마니아, 헝가리 등 각국마다 매우 다양한 식들이 제안되어 있으나 본 실험에서는 표 2와 같이 KS규정에 제안된 식을 이용하여 본 시편을 대상으로 압축강도용 원주형 공시체의 강도와 비파괴 강도 제안식과의 상관성을 비교하였다.

표 2 비파괴 압축강도 추정을 위해 사용된 제안식

비파괴 측정구분	제안	압축강도 추정식
반발경도법(R)	일본재료학회 (Eq. 1)	$F_c=13R-184$ (kgf/cm <sup>2</sup> )
	동경건축재료검사소 (Eq. 2)	$F_c=10R-110$ (kgf/cm <sup>2</sup> )
	일본건축학회 (Eq. 3)	$F_c=7.3R+100$ (kgf/cm <sup>2</sup> )
	U.S Army (Eq. 4)	$F_c=-120.6+8.0R+0.0932R^2$ (kgf/cm <sup>2</sup> )
	木村 (Eq. 5)	$F_c=9.37 \times (0.987)^R + (1.3t-109)$ (kgf/cm <sup>2</sup> )
초음파속도법(V <sub>p</sub> )	일본건축학회 (Eq. 6)	$F_c=215V_p-620$ (kgf/cm <sup>2</sup> )
	일본재료학회 (Eq. 7)	$F_c=102V_p-117$ (kgf/cm <sup>2</sup> )
	J.Pysziak (Eq. 8)	$F_c=92.5V_p^2-508V_p+782$ (kgf/cm <sup>2</sup> )
	谷川 (Eq. 9)	$F_c=172.5V_p-499.6$ (kgf/cm <sup>2</sup> )

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1 부순모래 콘크리트의 반발경도법에 의한 압축강도 추정식

재령 7일, 14일, 28일 경과된 시편의 반발도와 압축강도용 원주형 공시체의 강도를 측정한 결과 각 측정치와 파괴강도와의 상관관계는 그림 1, 표 3과 같다. 반발경도법에 따라 압축강도를 추정한 결과 수중양생시킨 시편의 상관계수가 기건양생시킨 시편보다 훨씬 높은 0.76정도로 신뢰성이 다소 높은 것을 알 수 있다. 이와 같은 현상은 수중양생에 따른 균등한 수화반응에 의한 것으로 판단된다.

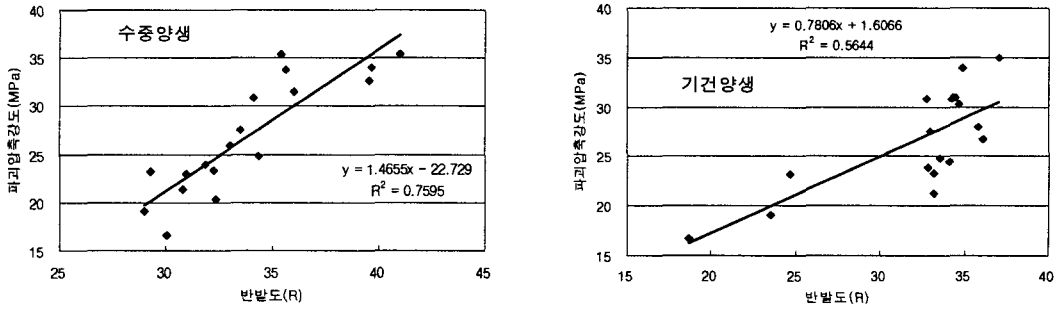


그림 1 파괴압축강도와 반발도와의 상관성

표 3 반발경도법에 의한 압축강도 추정식

양생조건	압축강도 추정식	R <sup>2</sup>
수중	$F_c = 1.4655R - 22.729$ (MPa)	0.7595
기건	$F_c = 0.7806R + 1.6066$ (MPa)	0.5644

#### 3.2 부순모래 콘크리트의 초음파속도법에 의한 압축강도 추정식

재령 7일, 14일, 28일 경과된 시편의 초음파속도와 압축강도용 원주형 공시체의 강도를 측정한 결과 각 측정치와 파괴강도와의 상관관계는 그림 2, 표 4와 같다. 초음파 속도법을 이용한 압축강도 추정식의 경우 역시 수중양생시킨 시편의 상관계수가 기건양생시킨 시편보다 조금 높은 수치를 나타내고 있으나 양생조건에 관계없이 직접 투과법인데도 불구하고 상관계수가 0.36정도로 강도추정 방법으로 신뢰성이 크게 떨어지는 것을 알 수 있다.

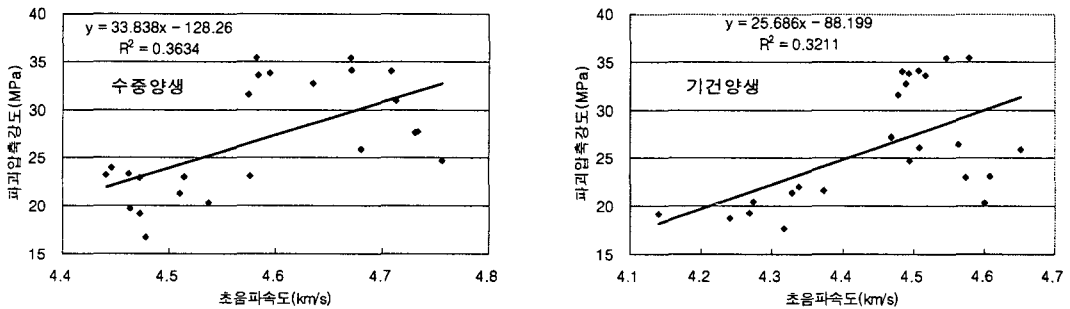


그림 2 파괴압축강도와 초음파속도와의 상관성

표 4 초음파속도법에 의한 압축강도 추정식

양생조건	압축강도 추정식	R <sup>2</sup>
수중	$F_c=33.838V_p-128.26$ (MPa)	0.3634
기건	$F_c=25.686V_p-88.199$ (MPa)	0.3211

### 3.3 각종 비파괴 제안식에 의한 추정 압축강도와 파괴강도와의 상관성

본 실험조건에 가장 적합한 비파괴 강도 제안식을 산출하기 위해 표 2에 제안된 식에 반발도와 초음파 속도를 적용하여 강도를 추정한 후 압축강도용 원주형 공시체의 파괴강도와의 차이에 대한 표준편차를 표 5에 비교하여 나타내었다. 그 결과 반발경도법의 경우는 기건양생시킨 시편보다 수중양생시킨 시편의 압축강도를 추정한 경우가 더 낮은 표준편차를 보이고 있으나 초음파속도법은 작은 차이지만 그와 반대되는 수중양생시킨 시편에 비해 기건양생시킨 시편이 더 낮은 표준편차를 보여주고 있다. 그리고 반발경도법은 일본재료학회의 제안식이 초음파속도법은 J.Pysziak의 제안식이 가장 낮은 표준편차를 보여주고 있다.

표 5 압축강도용 원주형 공시체의 파괴강도와 각 추정식에 의한 강도간의 차이에 대한 표준편차

양생조건	반발경도법						초음파속도법				
	실험식	Eq. 1	Eq. 2	Eq. 3	Eq. 4	Eq. 5	실험식	Eq. 6	Eq. 7	Eq. 8	Eq. 9
수중	3.9	2.8	3.4	3.8	4.2	4.3	4.7	4.9	5.3	4.7	5.0
기건	4.4	4.7	4.4	4.5	4.6	5.2	4.4	4.6	5.3	4.3	4.8

## 4. 결론

부순모래 콘크리트를 각종 비파괴 시험법과 제안식을 이용하여 구한 압축강도와 압축강도용 원주형 공시체의 파괴강도와의 상관성을 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었을 수 있었다.

- (1) 본 실험에서 반발도(R)와 압축강도와의 상관관계는 수중양생의 경우  $F_c=1.4655R-22.729$  (MPa),  $R^2=0.76$ 과 기건양생의 경우  $F_c=0.7806R+1.6066$  (MPa),  $R^2=0.56$ 으로 수중양생의 경우의 상관계수가 더 양호한 것으로 나타났다.
- (2) 초음파 속도( $V_p$ :km/s)와 압축강도와의 상관관계는 수중양생의 경우  $F_c=33.838V_p-128.26$  (MPa),  $R^2=0.36$ 과 기건양생의 경우  $F_c=25.686V_p-88.199$ (MPa),  $R^2=0.32$ 로 기건양생의 경우의 상관계수가 조금 더 양호한 것으로 나타났으나 신뢰성이 크게 떨어진다는 것을 알 수 있었다.
- (3) 반발경도법과 초음파속도법에 대한 기준에 제안된 강도 추정식을 이용하여 실제 파괴강도와 상관성을 분석한 결과 강도의 편차가 2.8~5.2MPa 수준으로 폭 넓게 나타났으며 반발경도법에 의한 제안식은 일본재료학회, 초음파속도법에 의한 제안식은 J.Pysziak가 가장 근접한 것으로 나타났다.

### 참고문헌

1. 최원호, 신도철, 이대우, “각종 비파괴 검사법에 의한 압축강도 상관연구”, 한국콘크리트학회 가을 학술발표회 논문집 Vol.10 No.2, 1999.