

초음파법 비파괴 시험에 의한 현무암 골재를 사용한 콘크리트의 강도평가

Estimation of Compressive Strength of Concrete Using Whinstone Aggregates by Ultrasonic Non-destructive test

김 상 우^{*} 이 백 수^{**} 이 승 석^{***} 류 현 기^{****} 김 무 한^{*****} 한 천 구^{*****}
Kim, Sang woo Li, Bai Shou Lee Seung Seok Ryu, Hyun Ki Kim, Moo Han Han, Cheon Goo

ABSTRACT

This paper provide nondestructive test method of concrete by applying ultrasonic pulse test. Whinstone aggregates produced from cheju island are used for coarse aggregate. The purpose of this study is to contribute to the standardization of nondestructive test for estimating compressive strength of concrete manufactured from cheju island. According to experimental results, it is found that compressive strength of Whinstone aggregates concrete shows higher than that of granite stone concrete, whereas ultrasonic pulse of Whinstone aggregates concrete shows lower that of granite concrete Based on the results of this study, estimation formula for compressive strength by ultrasonic pulse test are presented in Fig 2.

1. 서 론

철근 콘크리트 구조물에 있어서 구조체 콘크리트의 강도를 정확히 추정하는 것은 구조물의 품질 관리 및 유지관리측면에서 매우 중요한 사항이다. 그런데, 콘크리트의 강도 및 초음파법 비파괴시험에 있어 초음파 전파속도는 배합사항, 골재의 종류 및 재령과 양생조건등에 따라 차이가 현저하게 나타날 수 있는데, 특히, 우리나라 제주도의 경우는 육지와 달리 골재의 물리적 성질 및 입자특성이 매우 다른 현무암 골재를 콘크리트에 사용하고 있어, 제주지역 특성에 맞는 콘크리트의 강도평가를 위한 초음파법 비파괴시험의 표준화가 절실히 요구되고 있는 실정이다.

그러므로, 본 연구에서는 제주도에 널리 분포되어 있는 현무암골재를 대상으로 육지 골재인 화강암과 비교하여 물시멘트비, 양생요인 및 재령변화에 대하여 압축강도와 초음파 속도에 의한 비파괴 시험을 실시하여 제주도지역 콘크리트의 압축강도 추정 비파괴시험 표준화에 한 참고자료로 제시하고자 한다.

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획

- * 정회원, 청주대학교 대학원, 석사과정
- ** 정회원, 중국연변대학 건축공정계, 교수
- *** 정회원, 한국표준과학연구원 책임연구원

- **** 정회원, 충주대학교 교수, 공학박사
- ***** 정회원, 충남대학교 교수, 공학박사
- ***** 정회원, 청주대학교 교수, 공학박사

본 연구의 실험계획은 표 1과 같다. 즉, 골재의 종류는 현무암과 화강암 2종류로 하였고, W/C는 30~70%까지 10%간격의 5 수준으로 하였으며, 슬럼프치와 공기량은 각각 15 ± 1 cm, $4.5 \pm 1\%$ 를 만족시키는 범위로 하였고, 양생조건은 표준양생과 기중양생으로 하였다. 실험사항은 굳지않은 콘크리트에서는 슬럼프 및 공기량을 측정하였으며, 경화콘크리트에서는 3, 7, 14, 28, 91일 재령에서 압축강도 및 초음파 속도를 측정하였다.

2.2 사용재료

본 실험에 사용되는 재료로 시멘트는 국내산 H사의 보통 포틀랜드시멘트(비중 :

3.15, 분말도 : $3,415 \text{cm}^3/\text{g}$), 잔골재는 현무암 굵은 골재인 경우 완도 앞바다에서 채취한 해사(비중 : 2.57, 조립율 : 2.55)와 화강암 굵은 골재의 경우 충북 청원군 부강면 미호천산 강모래(비중 : 2.56, 조립율 : 2.64)를 사용하였으며, 굵은 골재는 제주일대에 널리 분포되어 있는 다공질 25mm 현무암(비중 : 2.67, 조립율 : 7.18)과 충북 괴산산 25mm 화강암(비중 : 2.67, 조립율 : 6.82)을 사용하였다. AE감수제는 및 고성능감수제는 나프탈렌계를 사용하였고, 물은 상수도를 사용하였다.

2.3 실험방법

본 연구의 실험방법으로 콘크리트의 혼합은 강제식 팬믹서를 사용하여 골재, 시멘트를 투입하여 건비빔을 실시한 후 물, AE감수제를 넣어 총 3분간 혼합하는 것으로 하였다. 굳지 않은 콘크리트의 실험으로 슬럼프의 측정은 KS F 2402, 공기량은 KS F 2421, 공시체 제작은 KS F 2403 규정에 따라 실시하였다. 경화 콘크리트의 압축강도시험은 KS F 2405 규정에 의거 ($\phi 10 \times 20 \text{cm}$) 공시체로 실시하였고, 초음파속도측정은 ($20 \times 20 \times 20 \text{cm}$) 공시체에 대하여 PUNDIT 초음파 속도 측정기를 이용하여 KS F 2418의 규정에 의거 실시하였다.

3. 실험결과 및 분석

3.1 굳지 않은 콘크리트의 특성

굳지 않은 콘크리트의 실험결과는 표 2과 같다. 실험결과 모두 실험계획에서 목표한 슬럼프 및 공기량을 만족하는 것으로 나타났는데, 단, 현무암골재의 공기량 시험에서 골재의 수정계수는 2%전후로 나타났다.

3.2 경화 콘크리트의 특성

그림 1은 현무암 및 화강암골재를 이용한 콘크리트의 물시멘트비 별 재령 경과에 따른 압축강도를 나타낸 그래프이다. 당연한 결과이겠지만, 재령이 경과할수록, 또한 물시멘트비가 낮아질수록 각각 강도는 증가하는 것으로 나타났다. 골재종류별로는 현무암이 화강암보다 높은 강도 특성을 나타내었는데, 이러한 특성은 제주산 현무암 골재가 육지의 화강암 골재 보다 골재간 결합력이 크고, 내

표 1. 실험계획

실험요인		실험수준	
배합사항	굵은골재 종류	2	제주권 현무암, 충청권화강암
	W/C	5	30, 40, 50, 60, 70
	목표 슬럼프(cm)	1	15 ± 1
	목표 공기량(%)	1	4.5 ± 1
	양생방법	2	표준양생, 기중양생
	공시체 종류	2	압축강도 측정용 : $\phi 10 \times 20 \text{cm}$ 비파괴시험용 : $20 \times 20 \times 20 \text{cm}$
실험사항	재령	5	3일, 7일, 14일, 28일, 91일
	굳지 않은 콘크리트	2	슬럼프, 공기량
	경화 콘크리트	2	압축강도, 초음파속도

표 2. 굳지 않은 콘크리트의 실험결과

W/C(%)		30	40	50	60	70
현무암	슬럼프(cm)	16	16	14	14	14
	공기량(%)	3.5	3.9	4	5.3	4.3
화강암	슬럼프(cm)	16	15.8	14	15	16
	공기량(%)	4.5	4	4	4.8	5

부 및 표면에 노출된 공극은 시멘트·페이스트와의 부착력이 큰 것과 골재의 경도가 높음으로 인해 압축강도가 높게 나타난 것으로 분석된다. 그림 2는 현무암 및 화강암 골재를 이용한 콘크리트의 압축강도를 양생조건별로 비교한 그래프와 회귀식이다. 현무암골재를 이용한 콘크리트가 양생조건에 관계없이 약간 높은 강도로 나타났다.

3.3 초음파 속도의 특성

그림 3은 골재 종류별 초음파속도를 양생조건별로 나타낸 그래프와 회귀식이다. 초음파속도는 현무암골재를 사용한 콘크리트 및 기준양생에서 특히 W/C가 큰 경우 일수록 매우 작게 되는 것으로 나타났다.

표 2. 초음파속도법에 의한 강도추정식

양생 조건	재령	회기식	상관계수
		현무암	현무암
표준 양생	3	$sf_3=571.4sV_P-1847$	0.906
	7	$sf_7=921.7sV_P-3233$	0.992
	14	$sf_{14}=885.5sV_P-3130$	0.989
	28	$sf_{28}=850.6sV_P-3076$	0.951
	91	$sf_{91}=1313.6sV_P-5078$	0.907
	총합	$sfc=504.8sV_P-1653$	0.859
기준 양생	3	$Af_3=460.8A V_P-1408$	0.854
	7	$Af_7=716.5A V_P-2332$	0.979
	14	$Af_{14}=670.8A V_P-2211$	0.971
	28	$Af_{28}=576.7A V_P-1866$	0.984
	91	$Af_{91}=567.7A V_P-1868$	0.929
	총합	$Afc=516.5A V_P-1623$	0.928

표 3. 초음파속도법에 의한 강도추정식

양생 조건	재령	회기식	상관계수
		화강암	화강암
표준 양생	3	$sf_3=421.3sV_P-1428$	0.950
	7	$sf_7=492.1sV_P-1753$	0.972
	14	$sf_{14}=647.7sV_P-2473$	0.950
	28	$sf_{28}=520.5sV_P-1943$	0.876
	91	$sf_{91}=562.7sV_P-2053$	0.982
	총합	$sfc=415.6sV_P-1447$	0.895
기준 양생	3	$Af_3=437.2A V_P-1519$	0.962
	7	$Af_7=506.9A V_P-1804$	0.977
	14	$Af_{14}=413.9A V_P-1418$	0.947
	28	$Af_{28}=494.5A V_P-1784$	0.933
	91	$Af_{91}=368.6A V_P-1200$	0.940
	총합	$Afc=427.8A V_P-1480$	0.945

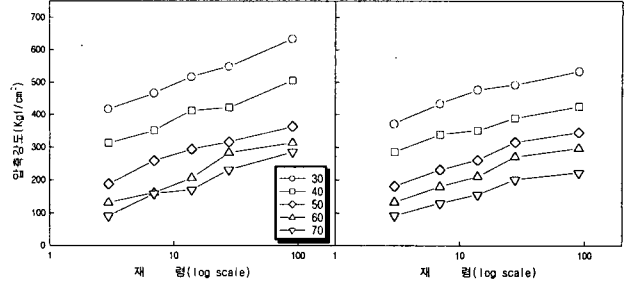


그림 1 현무암 골재 및 화강암 골재를 사용한 콘크리트의 재령경과에 따른 물시멘트비별 압축강도

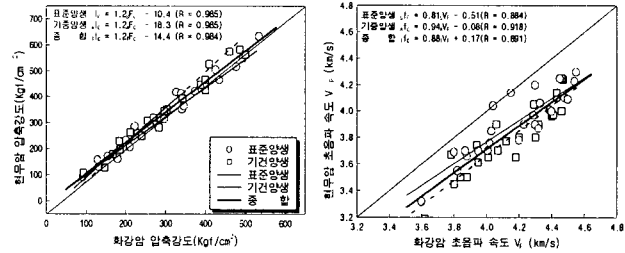


그림 2. 현무암 및 화강암을 이용한 콘크리트의 양생조건별 압축강도 비교 및 회귀식

그림 3. 현무암 및 화강암을 이용한 콘크리트의 양생조건별 초음파속도 비교 및 회귀식

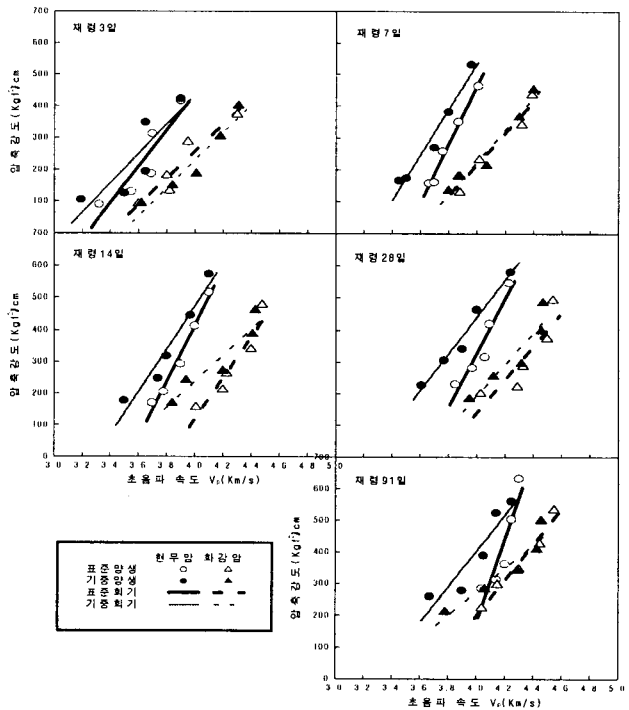


그림 4. 현무암 및 화강암 골재 사용한 콘크리트의 물시멘트비별 재령경과에 따른 압축강도 및 초음파 속도

3.4 초음파 속도에 의한 압축강도 추정

그림 4는 초음파 속도와 압축강도의 관계를 재령, 골재종류 및 양생조건별로 비교한 것이며, 표 2와 표 3은 골재종류 및 재령별 회귀식으로 나타낸 것이다. 동일 초음파속도에서 추정될 수 있는 압축강도는 현무암과 화강암간에 대단히 큰 차이가 발생하고 있음을 알 수 있었고, 또한, 기중양생과 수중양생간의 차이도 현무암골재가 화강암골재보다 크게 차이가 남을 알 수 있었다. 현무암 골재내부의 공극에 의해 콘크리트 내부를 통과하는 음속이 늦어져 화강암과 비교하여 초음파속도가 늦어지는 것으로 사료되며, 또한, 표준양생과 기중양생의 초음파속도의 차이는 W/C비가 작을수록 내부조직이 치밀하여 초음파속도가 빠르게 나타나는 것으로 차이가 작은 반면, W/C비가 높은 경우에는 재령 경과에 따라 공시체 내부의 건조에 따른 함수상태 변화에 기인하여 초음파속도의 차이가 크게 나타나는 것으로 사료된다.

그림 5는 현무암 및 화강암 골재를 사용한 콘크리트의 초음파와 압축강도를 표준양생과 기중양생별로 분류하여 기존초음파속도에 의한 비파괴시험 강도추정 제안식과 비교한 것이다. 일본 건축학회식, 토목학회식 및 일본

谷川식의 경우는 초음파속도의 증가에 따라 압축강도의 증가구배가 완만하게 나타나 압축강도의 차이가 비교적 작게 나타나고 있으나, 본 연구의 결과에서 제안된 추정식의 경우는 동일초음파속도일 경우 추정되는 압축강도가 매우 큰 값이고 또한, 초음파속도의 증가에 따른 압축강도 증진구배는 화강암보다 현무암이 비교적 급하게 나타났으며, 양생조건은 표준양생이 기중양생의 경우보다 다소 완만한 구배를 나타내고 있었다.

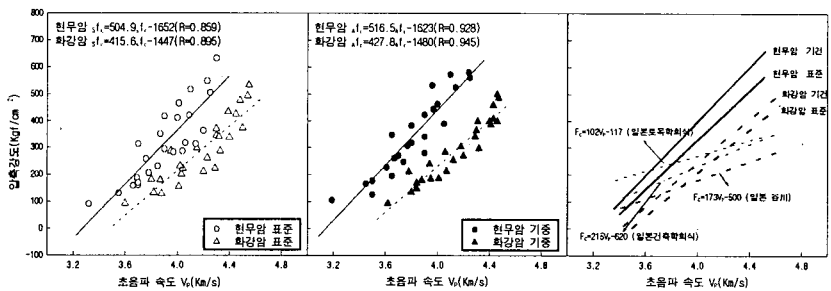


그림 5 현무암 및 화강암 골재를 사용한 콘크리트의 초음파와 압축강도의 비교

4. 결론

본 연구는 현무암골재를 사용한 콘크리트의 W/C, 재령 및 양생조건 변화에 따른 압축강도 및 초음파속도를 측정하여 화강암과 비교하고 또한, 초음파법 비파괴시험에 의한 압축강도 추정식을 제안한 결과는 다음과 같다.

- 1) 현무암골재를 사용한 콘크리트의 압축강도는 화강암골재를 사용한 경우보다 물시멘트비 별로 대략 4~10%정도의 높은 압축강도를 나타내었다.
- 2) 초음파속도의 경우는 표준 및 기중양생 모두 현무암보다 화강암골재를 사용한 콘크리트에서 더 빠르게 나타났다.
- 3) 현무암 골재를 사용한 콘크리트의 초음파속도법에 의한 압축강도 추정식은 다음과 같다.

표준양생, $f_c = 504.8sV_p - 1653$ (상관계수=0.859),

기중양생, $f_c = 516.5V_p - 1623$ (상관계수=0.928)

- 4) 동일초음파속도에서 추정되는 압축강도는 화강암보다 현무암골재를 이용하는 콘크리트에서 매우 크게 나타났고 또한, 현무암 골재를 사용한 콘크리트의 동일 초음파속도에 의한 추정압축강도는 기중양생에 비하여 표준양생의 경우가 약 10~20%정도 작게 나타났다.