

혼화콘크리트의 비파괴 강도 추정에 관한 연구

A Study on the Estimation of Strength
Nondestructive Test of the Admixture Concrete

김 정 섭*

Kim, Jeong-Sup

신 용 석**

Shin, Yong-Seok

김 판 선***

Kim, Pan-Sun

조 철 희***

Cho, Cheol-Hee

Abstract

This study made member specimen for taking specimen, core with the concrete mixing normal concrete, admixture and conducted the same air curing as field conditions. After performing destructive and nondestructive test by age, estimate expression was suggested by analyzing correlations between compressive strength, rebound number and ultrasonic pulse velocity and the results are as follows. As a result of comparing error rate of existing expressions and this estimation expression, error rate of this estimation is reduced compared to existing expressions and has higher reliability. When conventional concrete expression is applied to admixture concrete, error rate occurs and then this study suggests the estimation expressions depending on types of admixture concrete.

요 지

본 연구는 비파괴 실험을 통해 공시체와 부재 시험체의 코어 공시체를 채취 후, 파괴실험과 비파괴 실험을 실시하여 압축강도의 추정식을 제안한 것으로, 그 결과는 다음과 같다. 혼화콘크리트에 대해 기존의 보통콘크리트 제안식을 적용하면 파괴압축강도와 추정강도간의 오차율이 발생하게 되므로, 본 연구에서는 혼화재 종류 및 시험방법에 따라 다음과 같은 추정식을 제안한다.

Keywords : Admixture, Nondestructive Testing, Strength

핵심 용어 : 혼화재, 비파괴 시험, 강도

* 정회원, 조선대학교 건축학부 교수, 공학박사

** 정회원, 조선대학교 박사과정

*** 정회원 조선대학교 박사과정 수료

E-mail: jsdkim@mail.chosun.ac.kr, 011-625-7146

• 본 논문에 대한 토의를 2005년 12월 31일까지 학회로 보내 주시면 2006년 4월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

1. 서론

1.1 연구의 배경

콘크리트의 강도에 대한 평가는 유지관리 및 구조적 안전성 측면에서 중요하다.

파괴실험은 구조물에 손상을 주어 치명적인 문제점을 초래할 수 있어 비파괴실험을 통해서 강도를 평가하는 것이 바람직 할 것이다.

혼화제를 혼입한 혼화콘크리트의 사용이 증대되고 있으나, 이에 사용되는 비파괴 추정식은 보통콘크리트에 대한 추정식이므로 혼화콘크리트에 적용시에는 적당하지 않다.

본 연구에서는 자원의 재활용으로 인해 시멘트 대체 사용이 증대되고 있는 혼화제인 플라이애시, 고로슬래그, 실리카흙을 대상으로 하였다. 콘크리트 재령에 따라 파괴실험과 비파괴실험후, 회귀분석을 통하여 혼화콘크리트에 적용 가능한 새로운 강도 추정식을 제안하고자 한다.

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획

보통콘크리트를 기준으로 배합계획하였다. 예비실험을 실시후 배합비를 결정하였고, 공시체와 부재시험체를 제작하였다.

Table 1 실험계획

실험요인		수준	
배합사항	W/C	45%	
	혼화제	<ul style="list-style-type: none"> • 플라이애시(F)-30%치환 • 고로슬래그(G)-20%치환 • 실리카흙(SF)-30%치환 	
	슬럼프(cm)	15±2	
	공기량(%)	4±1	
부재	공시체	공시체(M)	
	부재	벽체	상부(CH)
			하부(CL)

2.2 사용재료

본 실험에 사용한 시멘트는 S사의 1종 보통포틀랜드시멘트를 사용하였으며, 그 물리적 성질은 Table 2와 같다.

잔골재는 KS F 2502(골재의 체가름 실험 방법)의 규격에 적합한 강모래를 사용하였고, 굵은골재는 KS F 2502(골재의 체가름 실험 방법)의 규정에 적합한 켄자갈을 사용하였으며, 잔골재, 굵은골재의 물리적 성질은 Table 3과 같다.

플라이애시는 충남 보령화력발전소에서, 고로슬래그 미분말은 광양제철소에서, 실리카흙은 삼림산업에서 수입한 Elken Micosilica를 사용하였으며, 혼화제의 화학적 성분은 Table 4와 같다.

2.3 배합계획

시험체에 사용된 콘크리트는 설계기준강도 24MPa, 콘크리트의 배합순서는 잔골재, 시멘트, 혼화제, 굵은골재와 같은 순서로 투입하였으며, 비빔을 한 후 KS F 2402(포틀랜드 시멘트 콘크리트의 슬럼프 시험

Table 2 시멘트의 화학적 성분 및 비중

화학적 성분 (%)							비중
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Ig loss	
21.90	6.59	2.81	60.69	3.32	2.11	2.58	3.15

Table 3 골재의 물리적 성질

골재종류	최대치수 (mm)	비중	흡수율 (%)	조립율 (F.M)	단위용적중량(kg/m ³)
잔골재	5	2.61	1.05	2.69	1643
굵은골재	20	2.67	1.24	6.83	1,550

Table 4 혼화제의 화학적 성분

구분	화학적 성분 (%)							비중	분말도
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Ig loss		
플라이애시	52.09	25.36	12.90	2.58	1.37	0.07	3.70	2.15	2.15
고로슬래그	34.14	17.04	0.32	43.31	6.35	0.08	0.88	2.90	2.90
실리카	90.00	1.50	3.00	2.00	3.00	-	3.00	2.51	2.51

Table 5 콘크리트 배합표

종류	재료	W/C (%)	치환율 (%)	질량 배합(kg/m ³)				혼화재
				W	C	S	G	
고로슬래그 콘크리트		45	30	158	245	889	907	105
플라이애시 콘크리트			20	158	280	889	907	70
실리카흙 콘크리트			20	158	280	889	907	70

방법)의 규격에 의하여 슬럼프를 확인한 후 부어넣기 하였다.

동시에 KS F 2405(콘크리트 압축강도 시험 방법)의 규격에 따라 원주형 시험체를 제작하여 재령별 압축강도를 측정하였으며, 콘크리트 배합표는 Table 5와 같다.

2.4 시험체의 제작 및 양생

본 실험에 사용되는 콘크리트 구조체는 Fig. 1과 같은 벽체를 제작하였으며, 같은 조건으로 공시체를 제작하여 기중양생하였다. 코어의 강도는 벽체(Thk 20cm)에서 재령 7일, 14일, 28일, 60일, 90일, 180일에 상부와 하부에서 $\phi 10 \times 20$ cm로 친공하였다.

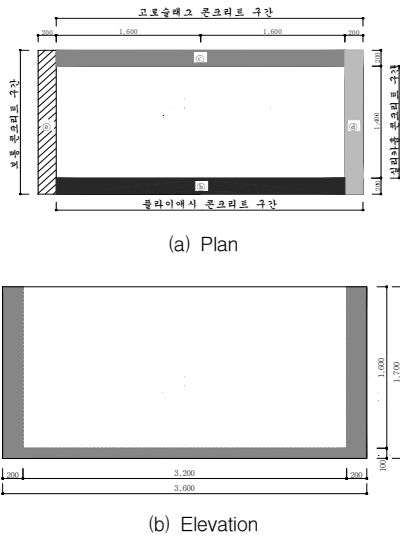


Fig. 1 부재 시험체 평면도, 입면도

3. 실험 방법 및 결과

3.1 실험 방법

3.1.1 반발경도 측정

본 시험은 KS F 2730(콘크리트 압축강도 추정을 위한 반발경도시험)에 의하여 시험을 한다. 사용된 슈미트 햄머는 스위스 K사의 제품으로서 시험전 엔빌(test envil)로 보정하였으며, 코어 채취 후 20회를 타격하여 반발도를 구고 시험값중 평균의 $\pm 20\%$ 를 초과하는 시험값을 제거 후 재 평균하여 반발경도(R)로 한다.

3.1.2 초음파속도 측정

본 시험은 KS F 2731(콘크리트 압축강도 추정을 위한 초음파 펄스 속도 시험 방법)에 의하여 시험을 실시한다. 측정은 두 진자의 접착도를 높이기 위하여 그리스를 얇게 도포한 하였으며, 수진자와 발진자를 서로 교대하여 일정한 힘으로 양면을 가압한 후 2회 측정하여 그 평균값을 초음파속도(V_p)라 한다.

3.1.3 압축강도 실험

공시체와 코어공시체는 양생하여 표면 연마 후 최대 하중 100tonf의 만능구조실험기(U.T.M)를 사용하여 KS F 2405(콘크리트 압축강도 시험 방법)에 따라 실험한다.

3.1.4 코어채취

부재 시험체에서 상부와 하부로 나누어 코어를 채취 하였으며, 코어 채취시 구조물의 손상을 방지하기 위하여 재령 28일부터 채취하고, 코어채취시 발생하는 진동으로 인한 영향을 최소화 하기 위해 저속으로 코어를 채취하였다.

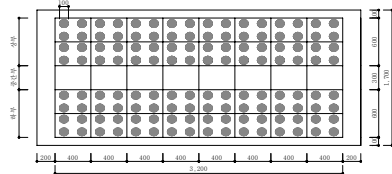


Fig. 1 부재시험체 평면도, 입면도

3.2 실험 결과

(1) 파괴 압축강도

파괴압축강도 실험에서는, 재령 14일부터 재령 28일 사이에 압축강도 발현에 따른 증가폭이 가장 크게 나타났다.

공시체와 코어 공시체를 비교하였을 경우, 코어공시체의 파괴압축강도가 높게 나타났다.

코어공시체의 상부와 하부를 비교하였을 때, 상부보다 하부의 압축강도가 높게 경향을 보였으며, 재령이 경과할수록 상부와 하부의 차이는 감소하였다. 이는 콘크리트 부어넣기 후 수분의 영향인 것으로 사료된다.

혼화재를 혼합한 콘크리트가 보통콘크리트보다 초기

강도는 낮은 경향이 보였으나, 재령이 경과할수록 그 차이는 감소하였다.

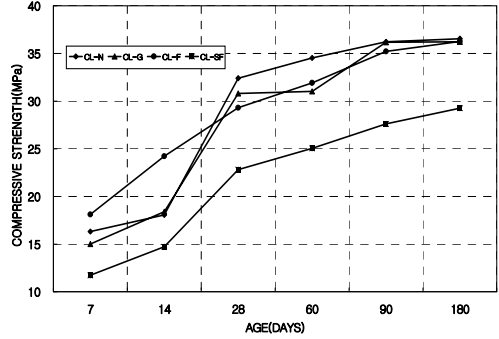
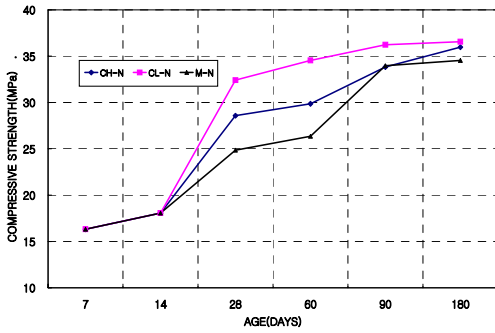
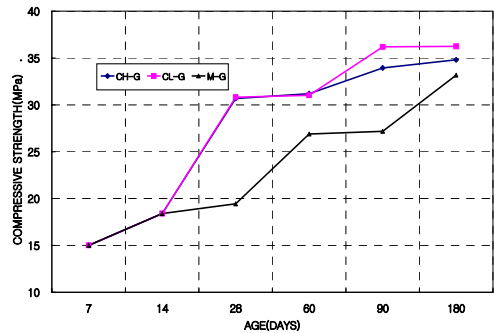


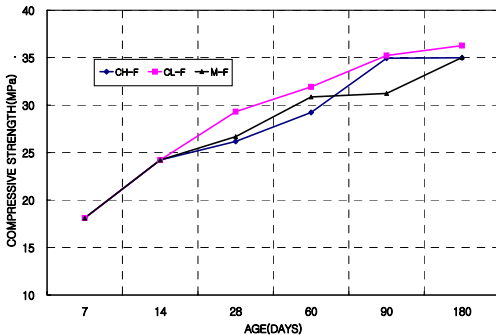
Fig. 3 코어공시체 하부 시험체별 재령에 따른 압축강도



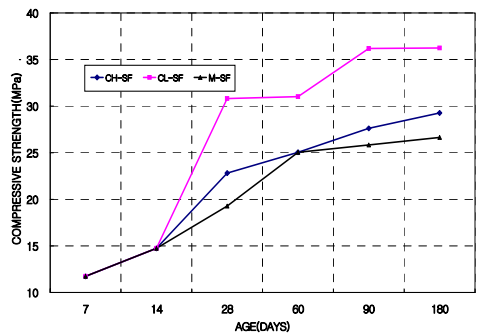
(a) 보통콘크리트



(b) 플라이애시 콘크리트



(c) 고로슬래그 콘크리트



(d) 실리카흙 콘크리트

Fig. 2 시험체별 재령에 따른 압축강도

(2) 반발경도

반발경도 측정 결과는 파괴 압축강도와 마찬가지로 재령 14일부터 재령28일 사이의 반발경도 증가폭이 가장 크게 나타났다.

코어공시체의 상부와 하부의 반발경도를 비교하며, 상부보다 하부의 반발경도가 높게 나타났다.

또한 재령이 60일 이후부터 혼화콘크리트가 보통콘크리트보다 반발경도가 높게 나타났다.

(3) 초음파속도

초음파속도 측정 결과는 파괴 압축강도와 반발경도와 마찬가지로 재령 14일부터 28일 증가폭이 가장 크게 나타났다. 코어공시체는 상부보다 하부의 초음파속도가 높게 나타났다.

초음파속도의 특성상 초음파속도는 재령경과에 따른

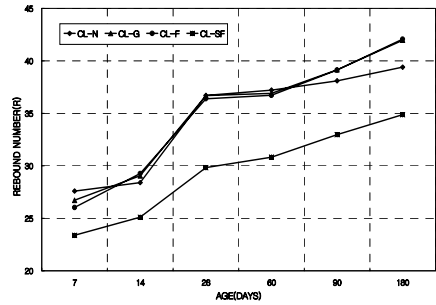
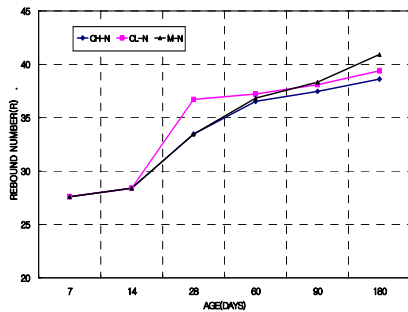


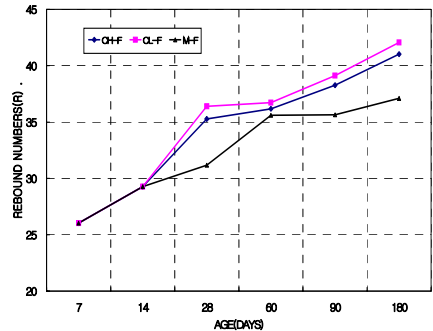
Fig. 5 코어공시체 하부 시험체별 재령에 따른 반발경도

반발경도와 파괴 압축강도의 증가치보다 매우 작은 경향을 보였다.

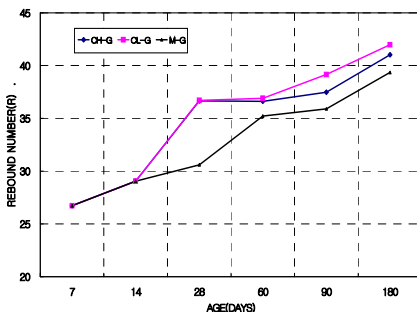
반발경도와 마찬가지로 재령이 경과할수록 혼화콘크리트가 보통콘크리트보다 초음파속도가 빠르게 나타났다.



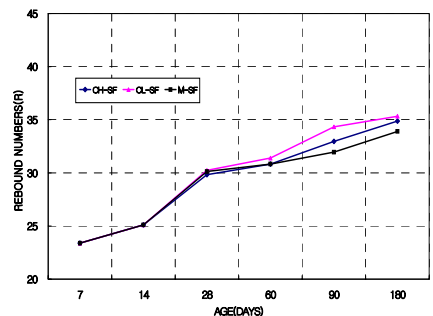
(a) 보통콘크리트



(b) 플라이애시 콘크리트

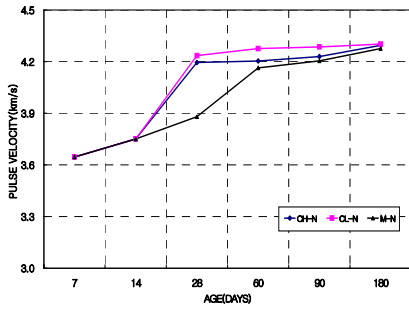


(c) 고로슬래그 콘크리트

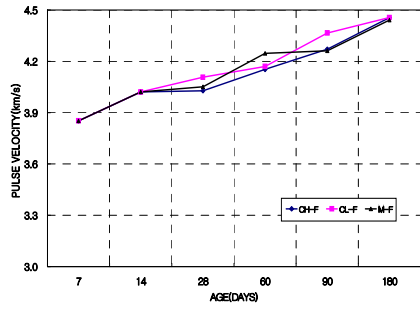


(d) 실리카흄 콘크리트

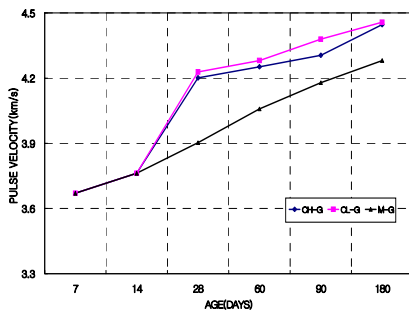
Fig. 4 시험체별 재령에 따른 반발경도



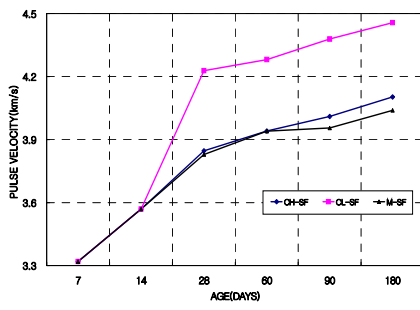
(a) 보통콘크리트



(b) 플라이애시 콘크리트



(c) 고로슬래그 콘크리트



(d) 실리카흄 콘크리트

Fig. 6 시험체별 재령에 따른 초음파속도

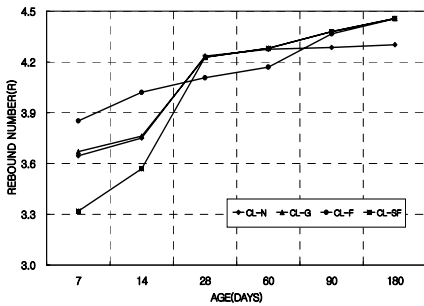
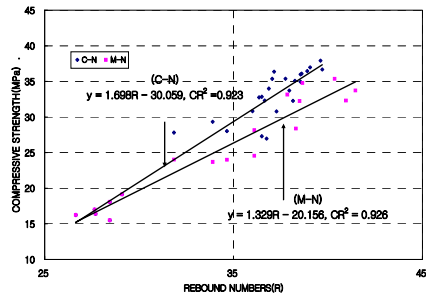


Fig. 7 코어공시체 하루 시험체별 재령에 따른 초음파속도

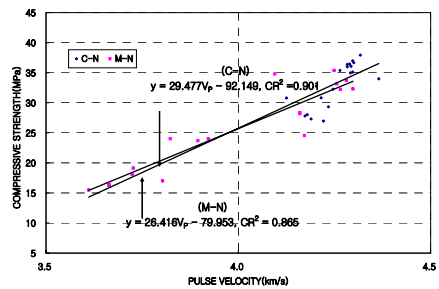
4. 회귀분석에 의한 추정식 제안

추정식은 SPSSWIN 10.0 통계 프로그램을 이용하였으며, 실험결과값을 기준으로 반발경도법과 초음파속도법의 의한 추정식은 Fig. 9~Fig. 12와 같다.

회귀분석에 의한 추정식 제안 결과, 초음파속도법보다 반발경도법의 회귀식의 적합도를 나타내는 결정계수가 높았다.

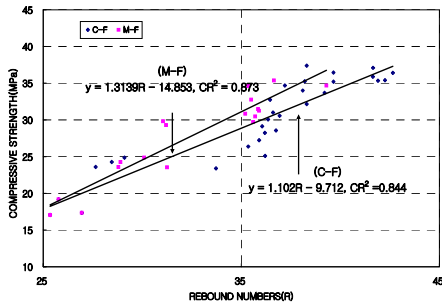


(a) 반발경도법의 강도 추정식

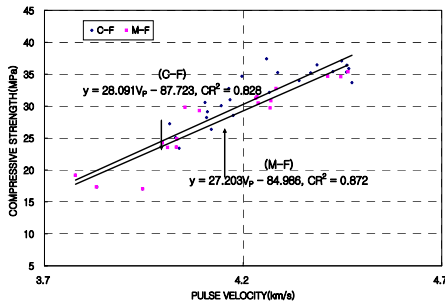


(b) 초음파속도법의 강도 추정식

Fig. 8 보통콘크리트의 강도 추정식

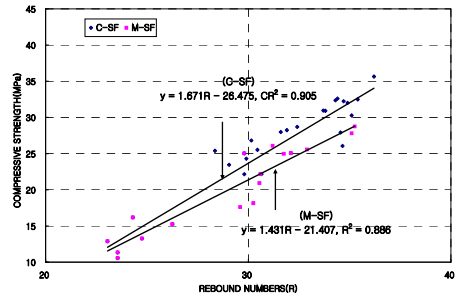


(a) 반발경도법의 강도 추정식

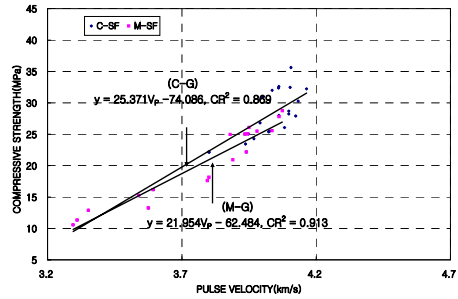


(b) 초음파속도법의 강도 추정식

Fig. 9 플라이애시 콘크리트의 강도 추정식

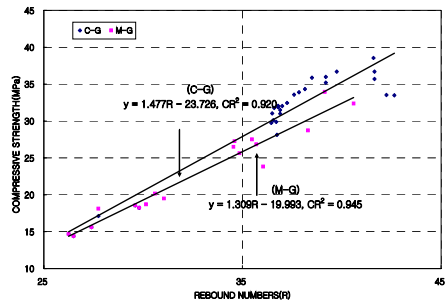


(a) 반발경도법의 강도 추정식

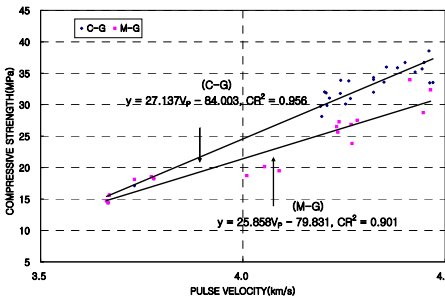


(b) 초음파속도법의 강도 추정식

Fig. 11 실리카흄 콘크리트의 강도 추정식



(a) 반발경도법의 강도 추정식



(b) 초음파속도법의 강도 추정식

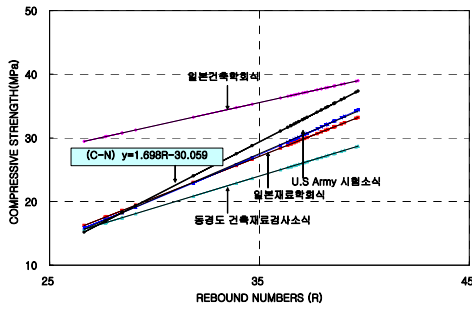
Fig. 10 고로슬래그 콘크리트의 강도 추정식

5. 기존 제안식과 추정식 비교

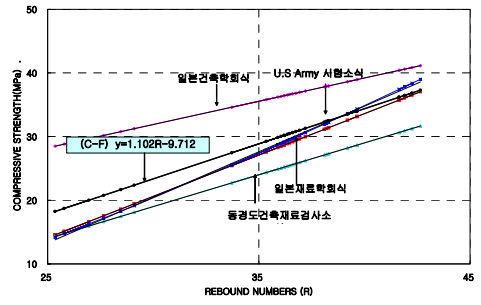
5.1 반발경도법의 기존 제안식과 추정식 비교

반발경도법에 이용한 기존 제안식에 본 연구에 의한 시험체별 반발경도 결과를 적용했을 경우, 일본재료학회식과 U.S Army 시험소식은 2~12%, 동경도 건축재료 검사소식은 13%~18%, U.S Army 시험소식은 1%~12% 정도 파괴압축강도보다 추정강도가 낮게 나타났으며, 일본건축학회식은 26%~40%정도 추정강도가 높게 나타났다.

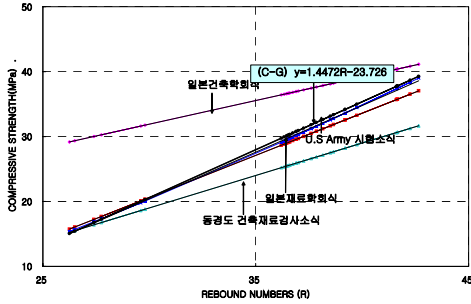
기존 제안식중 파괴 압축강도와 비슷한 경향을 보인 일본재료학회식, U.S Army 시험소식과 본 연구의 추정식과의 오차율을 비교해보면, 재령 초기와 재령 60일부터 90일까지의 기존 제안식의 오차율보다 본 연구의 추정식의 오차율이 큰 감소를 보였으며, 본 연구의 추정식의 신뢰도가 높은 것으로 판단된다.



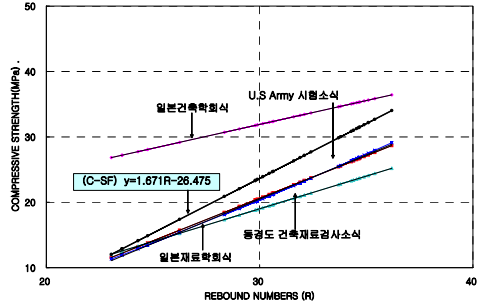
(a) 보통콘크리트



(b) 플라이애시 콘크리트

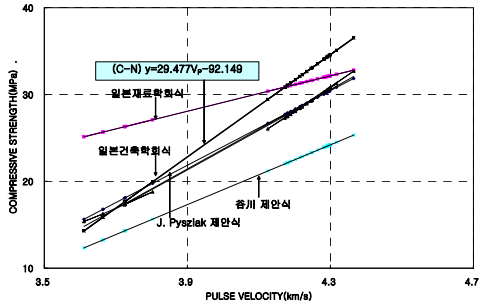


(c) 고로슬래그 콘크리트

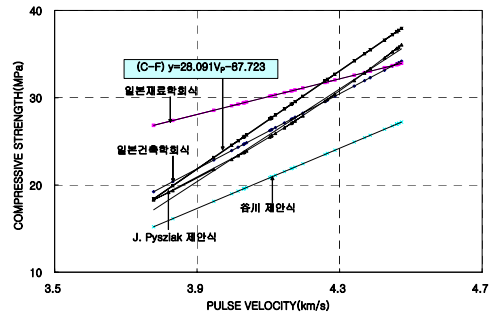


(d) 실리카흄 콘크리트

Fig. 12 반발경도법의 기존 제안식과 추정식 비교



(c) 고로슬래그 콘크리트



(d) 실리카흄 콘크리트

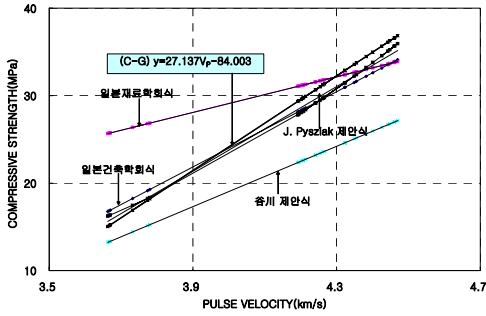
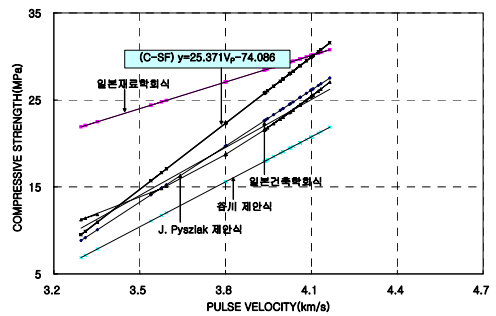


Fig. 13 초음파속도법의 기존 제안식과 추정식 비교



5.2 초음파속도법의 기존 제안식과 추정식 비교

본 연구에 의한 시험체의 초음파속도를 기존 제안식에 적용했을 경우, 일본건축학회식은 4%~11%, J. Pysziak의 제안식은 3%~12%, 谷川의 제안식은 24%~30%정도 파괴압축강도 보다 추정강도가 낮게, 일본재료학회식은 7%~11%정도 추정강도가 높게 나타났다.

기존 제안식중 파괴 압축강도와 비슷한 경향을 보인 일본건축학회식, J.Pysziak의 제안식과 본 연구 추정식의 오차율을 비교한 결과, 전반적으로 기존 제안식보다 본 연구 추정식의 오차율이 감소하여, 신뢰도가 높은 것으로 판단된다.

6. 결론

본 연구는 비파괴 실험을 통해 공시체와 부재 시험체의 코어 공시체를 채취 후, 파괴실험과 비파괴 실험을 실시하여 압축강도의 추정식을 제안한 것으로, 그 결과는 다음과 같다.

- 1) 혼화콘크리트의 특성상 보통콘크리트 보다 초기의 압축강도 및 초음파속도, 반발경도가 보통콘크리트 보다 혼화콘크리트가 낮게 나오는 경향을 보였으나, 재령이 경과할수록 보통콘크리트보다 높게 나오는 결과를 토대로 기존 제안식을 적용할 경우 실제 압축강도와 추정강도는 많은 차이를 보일 것으로 사료되며 새로운 혼화콘크리트에 맞는 새로운 추정식이 필요할 것으로 판단된다.
- 2) 반발경도 및 초음파속도를 측정 한 결과를 기존 제안식에 적용한 결과, 반발경도법에서는 일본재료학회식과 U.S Army 시험소식이, 초음파속도법에서는 일본건축학회식과 J.Pysziak의 제안식이 파괴 압축강도와 가장 비슷한 경향을 보였다.
- 3) 회귀분석에 의한 추정식 제안 결과, 초음파속도법 보다 반발경도법이 회귀식의 적합도를 나타내는 결정계수가 높게 나타나 반발경도법의 신뢰성이 높은 것으로 판단된다.
- 4) 기존 제안식과 본 연구의 추정식을 비교했을 경우,

기존 제안식보다 본 연구의 추정식이 파괴압축강도와 비슷한 경향을 보였다.

- 5) 혼화콘크리트에 대해 기존의 보통콘크리트 제안식을 적용하면 파괴압축강도와 추정강도간의 오차율이 발생하게 되므로, 본 연구에서는 혼화재 종류 및 시험방법에 따라 다음과 같은 추정식을 제안한다.

시험체별 반발경도법에 의한 강도 추정식은 다음과 같다.

시험체명	회귀식	결정계수
C-F	$f_{cu}=1.102R-9.712$	0.844
C-G	$f_{cu}=1.477R-23.726$	0.920
C-SF	$f_{cu}=1.671R-26.475$	0.905

C-F : 플라에시 콘크리트,

C-G : 고로슬래그 콘크리트

C-SF : 실리카흙 콘크리트

시험체별 초음파속도법에 의한 강도 추정식은 다음과 같다.

시험체명	회귀식	결정계수
C-F	$f_{cu}=28.901V_P-87.723$	0.828
C-G	$f_{cu}=27.137V_P-84.003$	0.956
C-SF	$f_{cu}=25.371V_P-74.086$	0.869

감사의 글

이 논문은 2004학년도 조선대학교 학술연구비의 지원을 받아 연구되었음.

참고문헌

1. 김정섭외 4인, “콘크리트 응력 추정에 따른 초음파속도와 반발경도의 상쇄효과에 관한 실험적 연구”, 대한건축학회 논문집 제 12권 11호, 1996.11.
2. 김정섭외 4인, “현장 콘크리트 강도추정에 있어서 코어를 이용한 복합 비파괴 시험법에 관한 실험적연구”, 대한건축학회 논문집 제 13권 7호, 1997.07.
3. 권영웅외 2인, “슈미트햄머 시험법에 의한 재령 180일 이후 콘크리트 압축강도식의 제안”, 한국구조물진단학회 학술발표논문집 제7권 1호, 2003.05.

-
4. 권영웅외 3인, “슈미트 햄머 시험법에 의한 실존 콘크리트 구조체의 압축강도 추정식에 관한 연구”, 한국구조물진단학회 학술발표논문집 제 6권 2호, 2002.11.
 5. 한천구의 4인, “슈미트 햄머의 반발경도 및 초음파속도에 미치는 결합제의 영향”, 대한건축학회 학술발표논문

집 제 22권 2호, 2002.10.

6. 노운기, “콘크리트 압축강도 추정을 위한 비파괴시험식에 관한 연구”, 단국대학교 석사학위논문, 2001.02.

(접수일자 : 2004년 12월 31일)