

초음파 시험법에 의한 실존 콘크리트 구조체의 압축강도 제안식에 관한 연구

A New Equation for the Compressive Strength of Existing Concrete Structures by Ultrasonic Pulse Velocity Test

권 영 웅^{*} 신 정 식^{**} 유 재 은^{***} 이 성 용^{****}
Kwon, Young Wung Shin, Jeong Sik Yu, jae Eun Lee, Seong Young

ABSTRACT

This paper concerns the new equations for the compressive strength of existing concrete structures by ultrasonic pulse velocity test . The proposed equation are as follows;

$$f_c = 5255.9 - 3365.8V_p + 548.4V_p^2$$

(here, $r^2 = 89.7\%$)

1. 서론

초음파속도 시험법에 의해 실존 콘크리트 구조물의 강도를 추정하는 강도식은 많이 존재한다. 그러나 대부분 강도식들은 실존 구조체의 강도 기저(basis)가 불확실하고 실험환경(experimental environment)이나 실험수준(level)이 상이할뿐더러 양생(흡수)조건에 따라 민감한 반응을 보이는 계측치의 변동성으로 말미암아 잘 맞지 않는다.

최근의 연구에 의하면 실존 콘크리트 구조체의 강도는 표준시험법으로 수중 양생된 콘크리트나 현장 양생된 콘크리트가 아닌 구조체로부터 절취한 코어강도가 가장 가까운 것으로 보고 있다. 본 연구에서는 콘크리트 재령 180일 이내에서의 콘크리트 구조체의 기저를 코어강도로 보고 이에 상응하는 초음파속도로부터 직접적인 회귀분석을 통하여 새로운 강도 추정식을 제안하고자 한다.

* 정회원, 인천대학교 건축공학과 교수, 공학박사

** 정회원, 인천대학교 대학원, 석사과정

*** 정회원, 인천대학교 교육대학원, 석사과정

**** 정회원, 인천대학교 산업대학원, 석사과정

2. 실험

2.1 실험환경

본 실험을 위하여 제작된 3개의 콘크리트 구조벽체는 그 표준압축강도가 각각 202, 252, 650kgf/cm²으로 제작된 것이다. 이때, 초음파속도의 측정은 코어를 채취하기 이전의 벽체에서 직접법으로 구하였으며, 초음파 속도 시험에 사용된 시험체의 재령은 3, 7, 14, 28, 90, 180일이며, 그 강도는 99~671kgf/cm²에 분포되어 있다.

2.2 사용재료

표 1 시멘트의 물리적 특성

비 중	분말도 (cm^2/g)	안정도 (%)	응결시간(분)		압축강도(kgf/cm^2)		
			초결	종결	3일	7일	28일
3.15	3350	0.03	250	360	210	280	360

표 2 골재의 물리적 특성

구분	비중	조립률	흡수율(%)	단위용적중량 (kgf/m^3)	0.08mm체 통과율 (%)	비고
잔골재	2.62	2.82	0.8	1600	0.3	
굵은골재	2.62	5.75	0.5	1560	0.3	

표 3 혼화제의 물리적 특성

콘크리트 압축강도(kgf/cm^2)	종 류	주 성 분	형 태	색 상	비중(20℃)
202	AE감수제	유기산계	액상	무색	1.04
252	고성능 AE복합감수제	라푸탈린계	액상	암갈색	1.15
605	폴리카본산염	폴리카본산계	액상	살색	1.2

2.3 콘크리트의 배합

본 실험에 사용된 콘크리트의 표준압축강도는 202, 252, 650kgf/cm²로서, 이때 압축강도에 따라 소요된 단위시멘트량은 219, 326, 506kgf/m³, 단위수량 142, 148, 134kgf/m³, 세골재율 51, 46, 37%, 물·시멘트비(W/CM)는 72, 45, 25, 단위수량 142, 148, 134kgf/m³로 하였으며, 최대골재치수, 슬럼프, 공기량 등은 각각 25mm, 120mm, 4.5%로 하였다. 또한 플라이애쉬와 혼화제도 사용하였으며, 이들을 종합하면 표4와 같다.

표 4 사용콘크리트의 배합내용

콘크리트 압축강도 (kgf/cm^2)	W/CM (%)	S/A (%)	중량배합 (kgf/m^3)						굵은골재 최대치수	슬럼프 (mm)	공기량 (%)
			W	C	S	G	Fly Ash	AD			
202	72	51	142	219	970	883	33	2.02	25mm	120	4.5
252	45	46	148	326	818	927	58	1.92	25mm	120	4.5
605	25	37	134	506	597	904	127	14.56	25mm	120	4.5

2.4 시험체의 제작 및 양생

본 실험에 사용되는 콘크리트 구조시험체는 28일의 압축강도 202, 252, 605kgf/cm², 가로×세로×두께를 2m×1.2m×0.2m의 콘크리트 벽체로 하였다. 구조체(코어)의 강도는 현장양생 벽체로부터 $\phi 100 \times 200$ 의 코어를 재령 3, 7, 14, 28, 90, 180일에 3개씩 상·중·하로 천공하였다.

2.5 시험값의 획득

본 시험을 위하여 사용된 초음파 시험기는 미국 N사의 초음파 시험기로서 시험전 계기를 교정기로(calibration) 검정하였다. 철근탐사기로 철근의 위치를 확인하고, 코어 채취이전에 코어위치에서 초음파 속도를 측정하고, 그 평균값을 초음파속도로 하였다.

표 5 초음파속도와 코어의 강도

초음파속도(km/sec)	코어강도(kgf/cm ²)	초음파속도(km/sec)	코어강도(kgf/cm ²)	초음파속도(km/sec)	코어강도(kgf/cm ²)
3.31	95	3.34	134	3.57	214
3.29	102	3.39	142	3.60	220
3.42	142	3.43	162	3.78	221
3.34	140	3.55	159	3.73	220
3.30	145	3.57	188	4.08	653
3.66	364	3.72	396	4.06	631
3.59	320	3.70	442	4.08	636
3.70	362	3.45	184	3.53	247
3.31	118	3.45	196	3.60	248
3.23	110	3.48	201	3.73	284
3.35	152	3.57	244	3.81	296
3.39	157	3.61	239	4.02	671
3.42	155	3.73	222	4.12	629
3.74	401	4.00	636	4.08	637
3.78	294	3.92	629		

3. 강도식의 추정

3.1 회귀분석

회귀분석(regression analysis)이란 변수들의 관련성을 규명하기 위해 수학적 모형을 데이터로부터 추정하는 것으로, 일반적으로 추정된 모형을 이용하여 필요한 예측을 하거나 관심이 있는 통계적인 추론을 하는 것이다. 최소자승법을 이용한 추정회귀식을 구한 후에는 추정회귀선의 타당성을 검증하여야 한다. 이를 위한 방법으로 회귀계수에 대한 t-검정, 분산분석을 위한 F-검정, 그리고 총변동 중에서 회귀모형에 의해 설명되어지는 결정계수 r^2 등으로 하였다.

3.2 회귀내용

회귀분석에 의한 초음파 속도에 따른 실존 콘크리트 구조체의 추정 강도식은 식1, 식2와 같으며, 회귀 내용은 그림1과 표6 및 표7과 같다.

$$f_c = -2124 + 668V_p \dots \dots \dots \text{(식1)}$$

(단, $s = 68.1$, $r^2 = 86.1\%$)

표 6 - 분산분석(1)

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	1300931.1	1300931.1	280.26	0.000
Residual error	45	208882.8	4641.8		

$$f_c = 5255.9 - 3365.8V_p + 548.4V_p^2 \dots \dots \dots \text{(식2)}$$

(단, $s = 59.2$, $r^2 = 89.7\%$)

표 7 - 분산분석(2)

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	2	1355301.4	677650.7	192.94	0.000
Residual error	44	154512.5	3511.6		

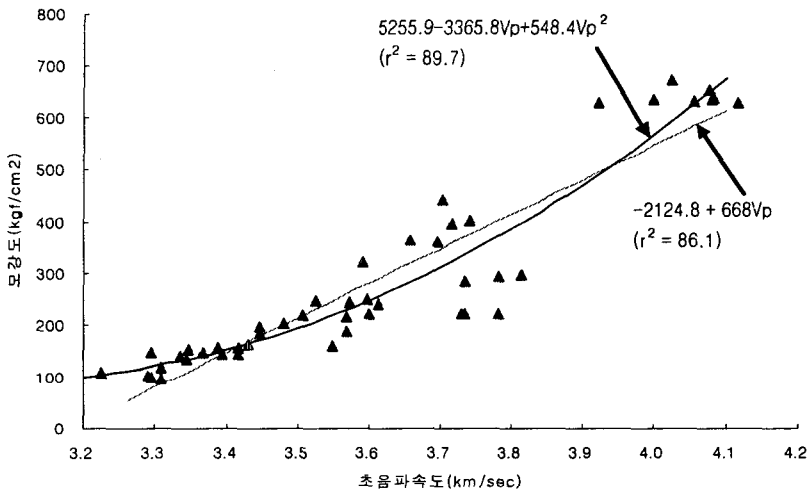


그림 1 초음파속도와 콘크리트 압축강도와의 관계

3.3 강도식의 타당성 분석

기존 제안식과 비교하면 다음과 같다.

제안자	제안식	실험요인
일본건축학회	보통콘크리트 $F_c = 215V_p - 620$	W/C : 50, 60, 70% 재령 : 7일, 28일, 3개월, 6개월, 1년
J.Pyszniak	$R = 782 - 508V_1 + 92.5V_1^2$	조립용 콘크리트 부재
오창희	$\emptyset 15 \times 30$ $F_c = 461.9V_p - 1671.2$	고강도 콘크리트 재령 : 3일, 7일, 28일
연길환	원주형 공시체 $F_c = 100.9V_p^2 - 595V_p + 1001.7$	W/C : 40, 60% 재령 : 3일, 7일, 28일, 91일, 182일, 273일, 365일

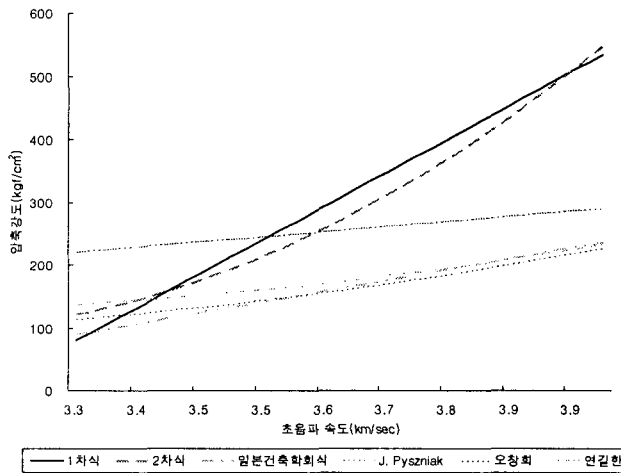


그림 2 추정식에 따른 압축강도 비교

본 실험에서 제안한 초음파 속도에 의한 콘크리트 강도추정식은 t-검정과 분산분석 결과 모두 유의 (significant) 한 것으로 나타났다. 특히 본 실험에서는 재령180일까지의 강도추정식이 결정계수로 미루어 볼 때 2차 곡선식이 더욱 타당한 것으로 나타났다.

4. 결론

실존 콘크리트 구조시험체로부터 초음파속도에 의한 일련의 비파괴시험을 통하여 구한 강도제안식은 다음과 같다.

$$f_c = 5255.9 - 3365.8V_p + 548.4V_p^2$$

($r^2 = 89.7\%$)

감사의 글

본 연구는 (주)합 건설방재기술단과 인천대학교가 지원한 연구비에 의해 수행되었으며, 두 기관에 깊은 감사를 드립니다.

참고문헌

1. 권영웅외, "콘크리트 코어의 강도특성에 관한 연구," 한국콘크리트학회 가을 학술발표회 논문집, 2002.12.
2. 권영웅외, "콘크리트 코어의 강도특성에 관한 연구", 한국콘크리트학회, 2002 가을학술발표대회.
3. 권영웅외, "관입시험에 의한 콘크리트 압축강도 추정식의 제안에 관한 연구", 한국콘크리트학회, 2002 가을학술발표대회.
4. 권영웅외, "슈미트햄머 시험법에 의한 실존 콘크리트 구조체의 압축강도 추정식에 관한 연구", 한국구조물진단학회 2002 가을학술발표대회.
5. Young-Wung, Kwon , "A Study on the Estimation of Concrete strength in Existing Buildings Using NDT Results, "KCI-JCI Joint Seminar, 1994.
6. 권영웅외, "시멘트, 콘크리트의 품질시험 및 품질관리," 한국콘크리트학회 기술강좌교재, 1999.
7. 권영웅외 "콘크리트 구조물의 비파괴 검사 및 안전진단," 한국콘크리트학회 기술강좌, 1993.
8. 권영웅, "콘크리트 소재 구조물의 강도특성시험에 관한 연구," 콘크리트 학회지, 1992.11.
9. A.M Nevile, "Properties of Concrete," final edition, 1995.
10. S.Mindess, J.F.Young, "Concrete," Prentice-Hall, 1981.