

초음파시험법에 의한 콘크리트의 강도 추정

A New Strength Equation of Concrete by Ultrasonic Pulse Velocity Test

유재은* 박송철** 김민수*** 권영웅****
Yoo, Jae-Eun Park, Song-Chul Kim, Min-Su Kwon, Young-Wung

ABSTRACT

This study concerns the new strength equation of concrete by ultrasonic pulse velocity test. There are not only few estimate strength equations of concrete by ultrasonic pulse velocity test, but also many problems to apply them because of time, cost, easiness, structural damage, reliability and so on.

For this study, there performed a series of test and proposed equations as follows ;

Linear : $f_{ck} = 65.43Vp - 207.18$ $r^2=80.8\%$
Quadratic : $f_{ck} = 42.35Vp^2 - 250.71Vp + 378.8$ $r^2=83.7\%$

here, f_{ck} : Estimated compressive strength of concrete by MPa Vp : Ultrasonic Pulse Velocity of concrete by km/sec
Keyword : 콘크리트, 비파괴시험, 초음파속도시험, 강도추정식

Concrete, Nondestructive test, Ultrasonic Pulse Velocity test. Strength equation

1. 서론

콘크리트 구조체를 구조적으로 평가하는데 있어 콘크리트의 강도는 매우 중요한 의미를 갖는다. 구조물의 강도를 추정하는 비파괴 시험은 슈미트햄머 시험법, 초음파속도 시험법, 관입시험법, 인발시험법 등이 많이 사용되고 있다. 그러나 이러한 비파괴 시험법은 시험에 소요되는 비용이나 속도, 시험의 편의성, 구조체의 손상, 신뢰성 등에 있어서 저마다의 문제점을 가지고 있다.

비파괴시험에 의해 콘크리트 구조체의 강도를 추정하는 강도식은 많이 존재한다. 그러나 대부분 강도식들은 실존 구조체의 강도 기저(basis)가 불확실하고 실험환경이나 실험수준(level)이 상이할뿐더러 양생(흡수)조건에 따라 민감한 반응을 보이는 계측치들의 변동성으로 말미암아 잘 맞지 않는다.

최근의 연구에 의하면 실존 콘크리트 구조체의 강도는 표준시험법으로 수중 양생된 콘크리트나 현장 양생된 콘크리트가 아닌 구조체로부터 절취한 코어강도가 가장 신뢰성 있는 것으로 보고 있다. 본 연구에서는 콘크리트 재령 730일 이내에서의 모 강도 9.9~69.0MPa의 콘크리트 구조체의 기저(Basis)를 코어강도로 보고 이에 상응하는 직접적인 초음파시험으로부터 회귀분석을 통하여 새로운 초음파 시험법에 의한 강도 추정식을 제안하고자 한다

2. 실험계획

2.1 실험요인 및 수준

본 실험에 사용된 모 콘크리트 강도는 28일 표준실린더의 압축강도가 20.2, 25.2, 65.0MPa로 제작된 콘크리트 만능시험체이다. 실험재령은 3, 7, 14, 28, 90, 180, 365, 730일이며, 모 콘크리트 공시체의 강도는 9.9~69.0MPa로 분포되어 있다.

2.2 사용재료

만능시험체를 제작하는데 사용된 콘크리트는 인천지역에서 생산되는 S사의 레미콘을 사용하였고, 시멘트, 골재, 혼화재의 물리적 특성은 Table 1~3이고, 콘크리트 배합비는 Table 4와 같다.

* 정희원, 인천대학교 건축공학과 교육대학원, 석사과정

** 정희원, 인천대학교 건축공학과 대학원, 박사과정

*** 정희원, (주)함 건설방재기술단, 공학박사

**** 정희원, 인천대학교 건축공학과 교수, 공학박사

Table 1. Physical Properties of TYPE I Cement

Specific gravity	Blaine (cm ² /g)	Stability (%)	Setting Time(min)		Compressive Strength(MPa)		
			initial	final	3 day	7 day	28 day
3.15	3,350	0.03	250	360	21.0	28.0	36.0

Table 2. Physical Properties of Aggregates

Aggregate	Specific gravity	Finess modulus	Absorption (%)	Unit weight (kgf/m ³)	Percentage passing of 0.08mm sieve(%)
Fine	2.62	2.82	0.8	1600	0.3
Coarse	2.62	57.5	0.5	1560	0.3

Table 3. Properties of Admixtures

28days' Strength of Concrete(MPa)	Type	Component	Content	Color	Specific Gravity(20℃)
20.2	AE-admixture	acid	fluid	achromatic	1.04
25.2	super plasticizer AE-admixture	naphthalene	fluid	dark brown	1.15
65.0	poly-carbon acid salts	poly carbon acid	fluid	bright pink	1.2

Table 4. Mix Proportioning of Concrete

Concrete Strength (MPa)	W/CM (%)	S/A (%)	Unit Weight of Ingredient (MPa)						Max. Aggregate size	Slump (mm)
			W	C	S	G	F	A		
20.2	72	51	14.2	21.9	97.0	88.3	33.0	0.2	25mm	120
25.2	45	46	14.8	32.6	81.8	92.7	58.0	0.2	25mm	120
65.0	25	37	13.4	50.6	59.7	90.4	12.7	1.5	25mm	120

W: Water, C: Cement, S: Sand, G: Gravel, F: Fly ash, A: Admixture

2.3 만능시험체의 제작 및 양생

본 실험에 사용되는 콘크리트 구조시험체는 28일강도 20.2, 25.2, 65.0MPa로, 깊이 × 높이 × 두께를 2m × 1.2m × 0.2m의 콘크리트 벽체로 제작하였다. 구조체(코어)의 강도는 현장양생 벽체로부터 ø100×200의 코어를 재령 3, 7, 14, 28, 90, 180, 365, 730일에 3개씩 상·중·하로 천공(Drilling)하였다.

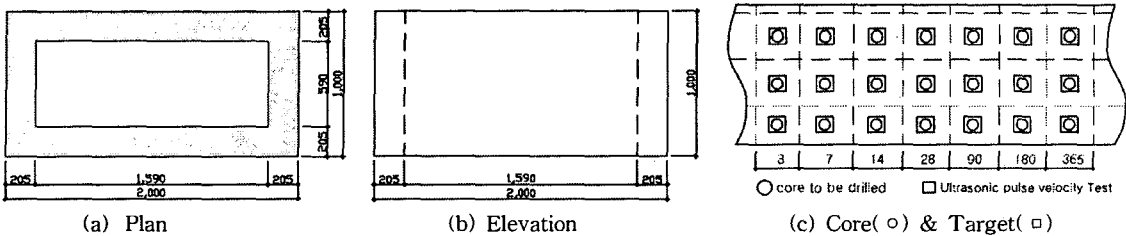


Figure 1. Specimen of Concrete Structure

3. 실험방법

3.1 초음파 시험

초음파 시험기는 미국 JAMES INSTRUMENT사의 초음파 시험기(V-METER)로서 시험진 계기를 교정기로 검증(calibration)하였다. 코어 채취 전에 동일 위치에서 실험면을 정리한 후 초음파 속도를 1 개소에 대해 2회 측정하고, 그 평균값을 초음파 속도로 하였다.

3.2 코어강도시험

코어강도 시험에 사용된 실험기기는 미국 M社의 100t 유압압축시험기로서, 급격한 하중과 편심압 방지를 위해 내압판 사이에 구면좌-실린더- load cell 및 특수 saddle를 사용하였고, 하중 변화의 계측장치는 Kyowa산 만능측정기 UCAM-70A로서 load cell에 연결하여 하중을 측정하였다. 또한 재하속도는 약 0.3MPa/sec 이었다.

실험을 통하여 구한 초음파속도와 코어 압축강도 실험 결과값은 Table 5와 같다

4. 강도식의 추정 및 고찰

4.1 회귀분석

회귀분석(regression analysis)이란 변수들의 관련성을 규명하기 위해 수학적 모형을 데이터로부터 추정하는 것으로, 일반적으로 추정된 모형을 이용하여 필요한 예측을 하거나 관심이 있는 통계적인 추론

을 하는 것이다. 최소자승법을 이용한 추정회귀식을 구한 후에는 추정회귀선의 타당성을 검증하여야 한다. 이를 위한 방법으로 회귀계수에 대한 t-검정, 분산분석을 위한 F-검정, 그리고 총 변동 중에서 회귀모형에 의해 설명되어지는 변동의 크기인 결정계수 r^2 등이다.

Table 5. Pulse Velocity & Compressive Strength of Concrete Core

Age (Days)	fck = 20.2MPa		fck = 25.2MPa		fck = 65.0MPa	
	Core Strength (MPa)	Pulse Velocity (km/sec)	Core Strength (MPa)	Pulse Velocity (km/sec)	Core Strength (MPa)	Pulse Velocity (km/sec)
3	9.9	3.30	14.2	3.42	38.4	3.66
	9.5	3.31	15.5	3.34	24.1	3.59
	11.2	3.29	14.5	3.3	42.3	3.7
7	14.1	3.39	18.4	3.35	40.1	3.74
	14.7	3.31	15.2	3.39	44.7	3.78
	16.0	3.23	15.7	3.42	40.8	3.78
14	14.7	3.37	16.2	3.43	48.2	3.69
	13.4	3.34	15.9	3.55	39.6	3.72
	20.0	3.39	18.8	3.57	44.2	3.7
28	18.4	3.45	24.4	3.57	63.2	3.87
	24.6	3.45	23.9	3.61	63.6	4
	21.9	3.48	22.2	3.73	62.9	3.92
90	21.8	3.51	24.1	3.8	65.3	4.08
	21.4	3.57	23.9	3.78	63.1	4.06
	22.0	3.6	25.0	3.73	63.6	4.08
180	19.9	3.57	28.4	3.73	67.1	4.02
	24.7	3.53	29.6	3.81	62.9	4.12
	24.8	3.6	21.0	3.86	63.7	4.08
365	23.9	3.64	26.6	3.74	65.6	4.03
	22.0	3.64	26.3	3.78	66.6	4.07
	24.9	3.70	26.2	3.78	63.9	4.1
730	23.4	3.57	27.5	3.67	69.3	4.21
	23.7	3.61	27.7	3.73	68.4	4.18
	24.7	3.66	27.4	3.78	69.0	4.31

4.2 회귀내용

회귀분석에 의한 콘크리트 강도 추정을 위한 초음파속도의 회귀내용은 Table 6, 7과 같다. 분산분석 결과 회귀분석에 의한 추정식은 실측강도를 설명하는데 있어 유의(significant)한 것으로 나타났다으며, 결정계수도 높게 나타났다.

Table 6. Analysis of Variance for Regression

	Source	DF	Sum of Square	Mean of Square	F-Ration	P-Value
Linear	Regression	1	20214.75	20214.75	295.18	0.000
	Residual error	70	4793.82	68.48		
Quadratic	Regression	2	20947.01	10473.50	177.93	0.000
	Residual error	69	4061.56	58.86		

Table 7. Equations of Regression

	Variable	Coefficient	Std. Error	t-Value	Sig. Level	r^2
Linear	Constant	-207.48	13.98	-14.82	0.000	0.803
	Pulse Velocity	65.43	3.79	17.18	0.000	
Quadratic	Constant	378.80	166.644	2.273	0.261	0.837
	Pulse Velocity	-250.72	89.62	-2.798	0.4952	
	Pulse Velocity ²	42.35	12.01	3.527	0.1939	

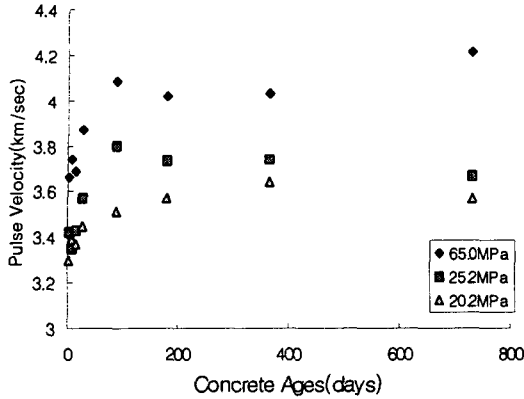


Figure 2. Pulse velocity versus Concrete age

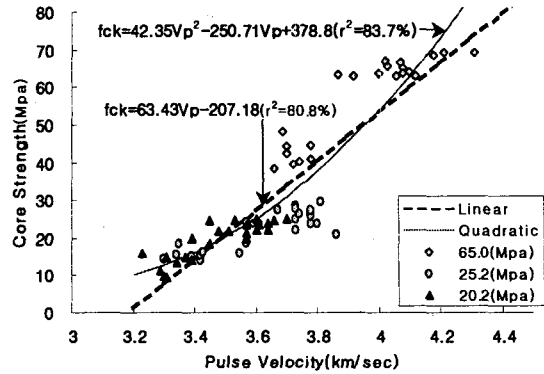


Figure 3. Regression Curve

4.3 고찰

본 연구에서 제안된 초음파 시험법에 의한 강도식은 기존의 강도식에 비해 강도가 높게 나타나는 성향을 가지고 있다. 이는 보통 콘크리트와 고강도 콘크리트의 상이, 재령에 따른 양생환경 차이등의 때문인 것으로 생각된다.

5. 결론

본 실험에서는 비파괴시험법에 의한 콘크리트 압축강도 평가를 위하여 3종류의 모 콘크리트(20.2, 25.2, 65.0MPa)로 제작된 만능시험체로부터 파괴실험 및 초음파속도시험을 수행하였으며, 이들 결과를 분석 고찰한 결과, 다음과 같은 콘크리트 강도식을 얻을 수 있었다.

$$\text{Linear} : f_{ck} = 65.43V_p - 207.18 \quad r^2=80.8\%$$

$$\text{Quadratic} : f_{ck} = 42.35V_p^2 - 250.71V_p + 378.8 \quad r^2=83.7\%$$

f_{ck} = Compressive Strength, MPa

V_p = Pulse Velocity, km/sec

이때, 측정 범위는 9.9~69.0MPa이며, t검정과 F검정의 결과 유의(significant)하다.

감사의 말씀 :

본 연구는 (주)합 건설방재기술단이 지원한 연구비에 의해 수행되었으며, 다시 한번 깊은 감사를 드립니다.

참고문헌

1. 권영웅의, "콘크리트 코어의 강도특성에 관한 연구," 한국콘크리트학회, 가을학술발표회 논문집, 2002.10
2. 권영웅의, "관입시험법에 의한 콘크리트 압축강도 추정식의 제안에 관한 연구," 한국콘크리트학회, 가을학술발표회 논문집, 2002.10
3. 권영웅의, "슈미트햄머 시험법에 의한 실존 콘크리트 구조체의 압축강도 추정식에 관한 연구," 한국구조물진단학회, 가을학술발표대회, 2002.11
4. 권영웅의, "관입시험법에 의한 콘크리트 압축강도 추정식의 제안에 관한 연구," 대한건축학회, 봄 학술발표대회, 2003. 4
5. 권영웅의, "초음파 시험법에 의한 실존 콘크리트 구조체의 압축강도 추정식에 관한 연구," 한국콘크리트학회, 봄학술발표회 논문집, 2003.5
6. 권영웅의, "콘크리트 코어의 재령에 따른 강도 발현 성향에 관한 연구," 한국콘크리트학회, 가을학술발표회 논문집, 2003.5
7. 권영웅의, "슈미트햄머 시험법에 의한 180일 이하의 콘크리트의 압축강도식의 제안" 한국구조물진단학회, 봄학술발표대회, 2003.5
8. 권영웅의, "초음파 시험법에 의한 실존 콘크리트 구조체의 압축강도 추정식에 관한 연구," 대한건축학회, 가을학술발표회 논문집, 2003.11
9. 권영웅의, "관입시험법에 의한 콘크리트 압축강도 추정식," 한국콘크리트학회, 가을학술발표대회, 2003. 11
10. 권영웅의, "슈미트햄머에 의한 콘크리트의 구조체의 압축강도 추정식" 한국구조물진단학회, 가을학술발표대회, 2003.11
11. 이성룡, "실존 콘크리트 구조체의 코어 강도에 관한 연구," 인천대학교 석사학위논문, 2003. 6
12. 신정식, "관입시험법에 의한 콘크리트의 압축강도식 제안," 인천대학교 석사학위논문, 2003. 12
13. 전익찬, "슈미트햄머 시험법에 의한 콘크리트 압축강도식 제안," 인천대학교 석사학위논문, 2003. 12
14. Young-Wung, Kwon, "A Study on the Estimation of Concrete strength in Existing Buildings Using NDT Results," "KCI-JCI Joint Seminar, 1994