

슈미트 해머 시험법에 의한 고강도 콘크리트의 강도 추정식

Strength Prediction Equations of High Strength Concrete by Schmidt Hammer Test

박송철* 유재은** 김민수*** 권영웅****

Park, Song Chul Yoo, Jae Eun Kim, Min Su Kwon, Young Wung

ABSTRACT

This study concerns the equation of high strength concrete by schmidt hammer test. There are not only few prediction strength equations of concrete by schmidt hammer 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 schmidt hammer test with in existing 1,095days' concrete structures and proposed equations as follows ;

$$\text{Linear} : f_{ck} = -45.35 + 2.44R \quad (r^2 = 72.7\%)$$

$$\text{Quadratic} : f_{ck} = -502.08 + 24.0R - 0.25R^2 \quad (r^2 = 82.4\%)$$

here, f_{ck} : Estimated compressive strength of concrete by MPa, R : Rebound index of concrete

Keyword : 콘크리트, 비파괴시험, 슈미트해머시험, 강도추정식

Concrete, Nondestructive test, Schmidt hammer test, Strength equation

1. 서론

콘크리트 구조체를 구조적으로 평가하는데 있어 콘크리트의 강도는 매우 중요한 의미를 갖는다. 구조물의 강도를 추정하는 비파괴 시험은 접촉방식의 슈미트해머 시험법, 국부파괴방식의 관입저항시험법, 비접촉방식방식 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 상이할뿐만 아니라 환경(양생)조건에 따라 민감한 반응을 보이는 계측치들의 변동성으로 말미암아 잘 맞지 않는다. 뿐만 아니라 최근 건축물이 고층화, 대형화 되어감에 따라 고강도 콘크리트가 널리 사용되고 있지만 이러한 강도 추정식들은 대부분 보통 콘크리트에 대한 것이다. 보통 콘크리트와 고강도 콘크리트의 강도 발현은 그림 1에서 볼 수 있듯이 그 성향이 매우 다르다. 더욱이 보통 콘크리트와 고강도 콘크리트 강도값을 강도식으로 추정했을 때 실험수준의 범위와 단부에 위치하는 고강도 콘크리트 값이 통계적 신뢰성이 떨어지게 나타나기 때문에 부정확하게 나타난다. 따라서 고강도 콘크리트의 수준(level)을 잘 반영시킨 강도식의 제안이 매우 필요한 실정이다.

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 1,095일 이내에서의 콘크리트 구조체의 기저를 코어강도로 보고 이에 상응하는 직접적인 반발도로부터 회귀분석을 통하여 고강도 콘크리트의 강도추정식을 제안하고자 하였다.

*정회원, 인천교육과학연구원, 공학박사

**정회원, 인천대학교 건축공학과, 교육학석사

***정회원, (주)합 건설방재기술단, 공학박사

****정회원, 인천대학교 건축공학과 교수, 공학박사

2. 실험계획

2.1 실험요인 및 수준

본 실험에 사용된 모 콘크리트 강도는 28일 표준실린더의 압축강도가 65.0MPa로 제작된 콘크리트 만능시험체이다. 실험재령은 3, 7, 14, 28, 90, 180, 365, 730, 1,095일이며 모 콘크리트 공시체의 강도는 38.4~74.36MPa로 분포되어 있다.

2.2 사용재료

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

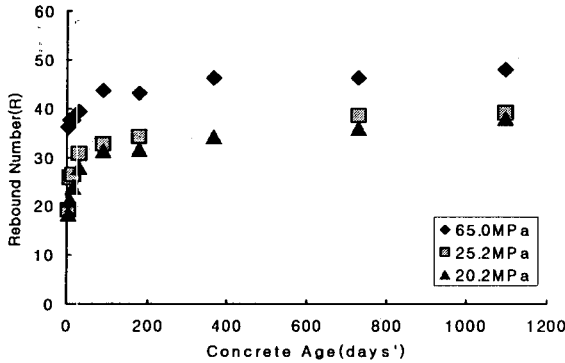


그림 1 재령에 따른 반발도

표 1. TYPE I 시멘트의 물리적 특성

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

표 2. 골재의 물리적 특성

Aggregate	Specific gravity	Finess modulus	Absorption (%)	Unit weight(N/m ³)	Percentage passing of 0.08mm sieve(%)
Fine	2.62	2.82	0.8	16.0	0.3
Coarse	2.62	57.5	0.5	15.6	0.3

표 3. 혼화재료의 특성

28days' Strength of Concrete(MPa)	Type	Component	Content	Color	Specific gravity(20℃)
65.0	poly-carbon acid salts	poly carbon acid	fluid	bright pink	1.2

표 4. 콘크리트 배합설계

Concrete Strength(MPa)	W/CM(%)	S/A (%)	Unit Weight of Ingredient (MPa)						Max. Aggregate size	Slump(mm)
			W	C	S	G	F	A		
65.0	25	37	1.34	5.06	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 65.0MPa로, 가로×세로×높이×두께를 2m×1.0m×1.2m×0.25m의 콘크리트 벽체로 제작하였다. 구조체(코어)의 강도는 현장양생 벽체로부터 ø100×200의 코어를 재령 3, 7, 14, 28, 90, 180, 365, 730, 1,095일에 3개씩 상·중·하로 천공(Drilling)하였다.

3. 실험방법

3.1 슈미트해머 시험

본 시험을 위하여 사용된 슈미트 해머는 일본 K사의 슈미트해머로서 시험전 시험엔빌(test envil)로 사용 슈미트해머를 검정하였으며, 코어 채취이전에 코어위치에서 20곳의 반발도를 구하여 시험값 중 상·하 각각 2개씩을 제거한 후 16개의 평균값을 시험반발도로 하였다.

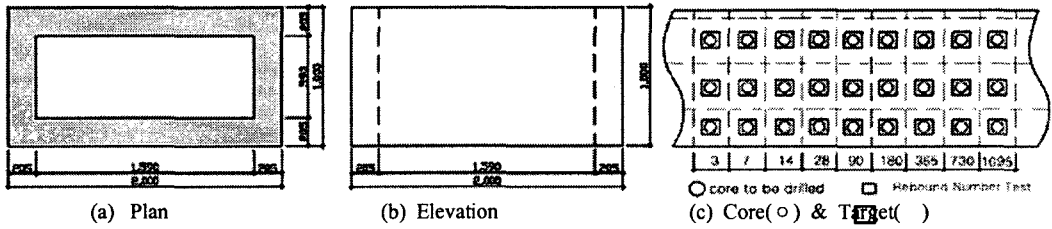


그림 2. 콘크리트 시험체의 형상 및 시험위치

3.2 코어강도시험

시험에 사용된 압축시험기는 미국 M社의 100t 유압압축시험기로서, 급격한 하중과 편심압축 방지를 위해 내압판 사이에 구면좌-실린더-load cell 및 특수 saddle를 사용하였다. 하중 변화의 계측장치는 Kyowa산 만능측정기 UCAM-70A로서 load cell에 연결하여 하중을 측정하였다. 또한 재하속도는 약 0.3MPa/sec 이었다. 실험을 통하여 구한 반발도와 코어 압축강도 실험결과값은 표 5와 같다.

표 5. 반발도와 코어강도와의 관계

Age (Days)	Rebound index	Core strength(MPa)	Age (Days)	Rebound index	Core strength(MPa)	Age (Days)	Rebound index	Core strength(MPa)
3	36.3	38.4	28	39.3	63.2	365	46.3	65.6
	-	-		38.9	63.6		46.8	66.6
	37.1	42.3		39.1	62.9		46.4	63.9
7	37.7	40.1	90	43.6	65.3	730	46.3	69.3
	37.7	44.7		43.8	63.1		48.6	68.4
	38.1	40.8		41.8	63.6		49.0	69.0
14	37.5	48.2	180	43.1	67.1	1,095	48.0	71.1
	37.4	39.6		43.3	62.9		49.0	73.1
	37.0	44.2		43.3	63.7		51.0	74.3

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 추론을 하는 것이다. 최소제곱법을 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.

4.2 회귀내용

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

표 6. 1, 2차 회귀분석결과

	Source	DF	Sum of Square	Mean of Square	F-Value	P-Value
Linear	Regression	1	3432.112	3432.112	66.760	0.000
	Residual error	25	1285.233	51.409		
Quadratic	Regression	2	3884.931	1942.465	56.004	0.000
	Residual error	24	832.415	34.68		

표 7. 1, 2차 회귀방정식

	Variable	Coefficient	Std. Error	t-Value	Sig. Level	r^2
Linear	Constant	-45.35	12.69	-3.573	0.0015	0.727
	Rebound	2.44	0.298	8.171	0.0000	
Quadratic	Constant	-502.08	126.835	-3.959	0.0006	0.823
	Rebound index	24.0	5.976	4.018	0.0005	
	Rebound index ²	-0.25	0.069	-3.613	0.0014	

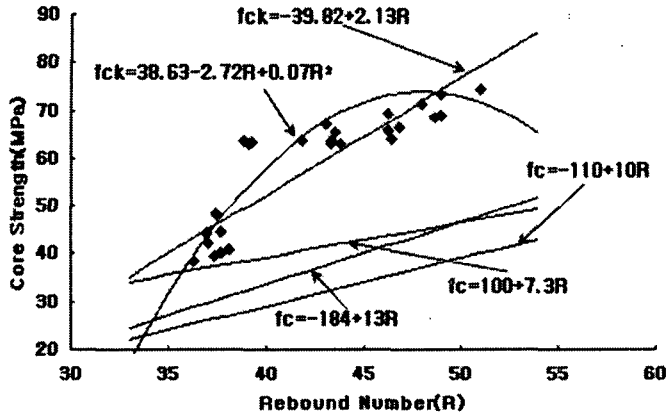


그림 3 제안식과 기존식과의 비교

4.3 고찰

본 연구에서 제안된 슈미트해머에 의한 강도식과 기존의 일본 건축학회, 재료학회 및 동경도시험식의 비교에서처럼 반발도가 커질수록 오차가 커짐을 알 수 있었다. 이는 기존식이 보통강도 콘크리트에 대한 강도추정식이기 때문이며 고강도 콘크리트 강도추정에는 본 시험에 의한 강도 추정식이 적합함을 알 수 있다. 더욱이 재형계수를 사용하면 그 정도는 더욱 더 커질것으로 판단된다.

5. 결론

본 실험에서는 비파괴시험법에 의한 고강도 콘크리트 압축강도식 추정을 위하여 65.0MPa로 제작된 만능시험체로부터 코어강도실험 및 슈미트해머시험을 수행하였으며, 이들 결과를 분석·고찰한 결과, 다음과 같은 콘크리트 강도추정식을 얻을 수 있었다. 이때, 정범위는 38.4~74.36MPa이며, t검정과 F검정의 결과 유의(significant)하다.

Linear	: $f_{ck} = -45.35 + 2.44R$	$r^2 = 72.7\%$
Quadratic	: $f_{ck} = -502.08 + 24.0R - 0.25R^2$	$r^2 = 82.3\%$
	fck = Compressive Strength, MPa	
	(평균반발도) = 54.82	
	R = Rebound Index	

감사의 말

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

참고문헌

1. 권영웅외, "콘크리트 코어의 강도특성에 관한 연구," 한국콘크리트학회, 기술발표회 논문집, 2002.10
2. 권영웅외, "슈미트해머 시험법에 의한 실존 콘크리트 구조체의 압축강도 추정식에 관한 연구," 한국구조물진단학회, 기술발표대회, 2002.11
3. 권영웅외, "콘크리트 코어의 재령에 따른 강도 발현 성향에 관한 연구," 한국콘크리트학회, 기술발표회 논문집, 2003.5
4. 권영웅외, "슈미트해머 시험법에 의한 180일 이하의 콘크리트의 압축강도식의 제안" 한국구조물진단학회, 봄학술발표대회, 2003.5
5. 권영웅외, "슈미트해머에 의한 콘크리트의 구조체의 압축강도 추정식" 한국구조물진단학회, 기술발표대회, 2003.11
6. 이성룡, "실존 콘크리트 구조체의 코어 강도에 관한 연구," 인천대학교 석사학위논문, 2003. 6
7. 신정식, "관입시험법에 의한 콘크리트의 압축강도식 제안," 인천대학교 석사학위논문, 2003. 12
8. 전익찬, "슈미트해머 시험법에 의한 콘크리트 압축강도식 제안," 인천대학교 석사학위논문, 2003. 12
9. 박승철, "비파괴시험법에 의한 고강도 콘크리트 강도추정식," 인천대학교 박사학위논문, 2005. 8