

각종 비파괴 검사법에 의한 압축강도 상관연구

A Study on The Compressive Strength Correlation by Various Nondestructive Test Method

최 원 호*, 신 도 철**, 이 대 우***

Choi Won Ho, Shin Do Chul, Lee Dae Woo

ABSTRACT

Schmidt hammer and ultra-sonic method are commonly used for concrete compressive strength test in a construction field. At present, various kinds of equations for estimation of strength are present, which have been used in a construction field.

The purpose of this study is to evaluate the correlation between estimation strength by presentation equations and destructive strength to test specimen, and find out which is a suitable equation for this construction site. In this study, a strength test was carried out destructive test by means of core sampling. Non destructive test was conducted Schmidt hammer and ultra-sonic method, the experimental parameter were concrete age, test method and strength level.

It is demonstrated that the correlation behavior of concrete strength in this study good due to the performs analysis of correlation between core strength and non destructive strength.

1. 서 론

현재 콘크리트의 비파괴 강도를 측정하는 방법으로는 반발경도법, 초음파탐사법, 충격파법, 조합법이 있으나 실제로는 반발경도를 구하는 슈미트 해머법과 초음파법, 조합법이 시험방법이 간편하고 국제적으로 표준화되어 있어 널리 사용되고 있다. 국내 건설현장에서도 구조물의 비파괴 강도를 판정하기 위해서 주로 슈미트해머에 의한 반발경도법과 반발경도와 초음파법을 조합한 조합법이 주로 사용되고 있으며 강도추정을 위해서 주로 일본에서 제안된 추정식을 사용하고 있다. 그러나 각종의 제안식들은 시험조건과 환경의 차이가 클 경우 변동성이 매우 크고, 동일한 반발경도라 하더라도 적용하는 각 제안식마다 상이한 값을 나타내기 때문에 정확한 강도추정이 어려운 실정이다. 특히 대부분의 선행 시험들이 시험실적인 공시체를 대상으로 강도제안식을 추정하여 현장여건과 많은 차이를 가질 수가 있다. 따라서 본 연구에서는 보다 더 정확하고 신뢰성 있는 콘크리트 비파괴 강도를 추정하기 위하여 현장 제작 시험편과 구조물을 대상으로 비파괴 강도시험과 파괴강도(코어강도)를 병행하여 각종 제안식과 상관관계를 비교하고 적용식을 도출함으로써 본 현장의 콘크리트 구조물의 평가기술 향상을 위한 기초자료로 삼고자 한다.

* 신공항건설공단 공항건설기술연구실 건설시험소 PM

** 정희원,신공항건설공단 공항건설기술연구실 건설시험소 PM

*** 정희원,신공항건설공단 공항건설기술연구실 건설시험소 PM

2. 실험개요

2.1 실험방법

(1) 시험계획

콘크리트 비파괴 강도시험을 위한 시험인자와 수준은 표 1과 같으며, 측정은 현장에서 가장 많이 적용되고 있는 슈미트 해머법과 초음파법을 이용하였으며, 각 비파괴 강도 추정결과와 시험체의 실제 파괴강도와의 상관관계를 알아보기 위해 비파괴 시험후 동일 부위에 대해 코아강도를 측정하였다.

표 1. 비파괴 강도시험을 위한 시험인자 및 수준

시험구분	평가방법	측정방법	재령(개월)	시험체 환경조건
비파괴 시험법	슈미트 해머	· 타격각도(α) : 0° · 타격점 : 20회/개소	1,2,3,4개월 *24개월 장기재령 까지 평가예정	현장 옥외 자연방치
	초음파 탐사법	· 배치방법 : 직접법,반직접법,간접법 · 측정단자: 50 KHz		
파괴시험법	코아	· 강도: 3개/1회 평균치		

(2) 시험체 제작

비파괴 강도시험을 위한 시험체를 합판거푸집을 이용하여 100 cm(폭) x 150cm(높이) x 20 cm(두께)의 크기로 제작하여 각 재령별, 강도 조건별로 시험실 강제믹서(용량:100 l)를 이용 혼합한 후 옥외에서 타설하였다. 시험체 제작 5일후 탈형하여 현장에 자연방치한 후 소요재령에서 각 실험을 실시(사진 1,2)하였다.

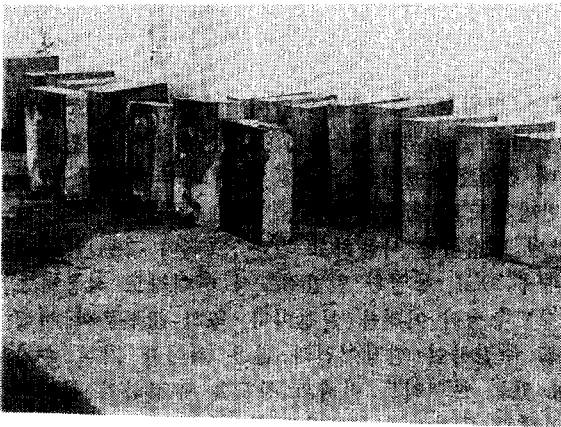


사진 1. 시험용 시편의 제작상태



사진 2. 코아강도를 위한 시편채취

2.2 콘크리트 배합

실험에 사용된 콘크리트 배합은 28일 설계 기준강도 180, 280, 350 kg/cm² 의 3조건으로 하였으며 사용 시멘트는 본 현장의 특성을 고려 S사의 1,5종 포틀랜드 시멘트를 사용하였고, 분말도 4200cm²/g 미분말 슬래그를 사용하였다. 콘크리트 배합조건은 표 2와 같다.

표 2. 콘크리트 배합비

σ _{ck}	W/C (%)	S/A (%)	단위 재료량(kg/m ³)								
			C1	C2	W	S1	S2	G	ACA	SP	AE
180	59.5	50.0	289	-	172	931	-	949	-	-	0.48
280	41.8	45.0	287	96	160	562	242	996	3.9	2.49	0.77
350	44.0	46.0	363	64	188	771	-	923	-	-	0.73

주) C1 : 시멘트(180,380 kg/cm² : 1종, 280 kg/cm² : 5종), C2 : 슬래그분말(A사)
 S1 : 세척해사(인천산,FM:2.82), S2 : 부순모래(신불도,FM:2.87), G : 부순돌(25mm,신불도)
 ACA : 아질산계 방청용 혼화제(J사), SP : 나프탈렌계 고성능 감수제(J사), AE : 공기연행제(D사)

2.2 비파괴 강도 추정을 위한 적용식

비파괴시험법에 의한 콘크리트 압축강도를 추정하기 위해 사용된 제안식은 일본,미국,루마니아,헝가리 등 각국마다 매우 다양한 식들이 제안되어 있으나 본 실험에서는 표 3과 같이 국내에서 주로 적용되고 있는 일본과 미국의 각 연구기관에서 제안된 식을 이용하여 본 시험체를 대상으로한 실제 파괴강도(코아강도)와 비파괴 강도 제안식과의 상관성을 비교하였다.

표 3. 비파괴 강도 추정을 위한 사용된 제안식

비파괴 시험구분	제안	강도추정식
슈미트헤머 (R)	일본 재료학회(Eq.1)	$F_c = 13R - 184 \text{ (kg/cm}^2\text{)}$
	동경도 건축재료 검사소(Eq.2)	$F_c = 10R - 110 \text{ (kg/cm}^2\text{)}$
	일본 건축학회(Eq.3)	$F_c = 7.3R + 100 \text{ (kg/cm}^2\text{)}$
	US Army 시험소(Eq.4)	$F_c = -120.6 + 8.0R + 0.0932 R^2 \text{ (kg/cm}^2\text{)}$
	스위스 연방재료 시험소(Eq.5)	* 슈미트헤머 환산표
초음파법 (Vp)	일본 谷川 등(Eq.6)	$F_c = 15.5R - 193 \text{ (kg/cm}^2\text{)}$
	일본 건축학회(Eq.7)	$F_c = 215 V_p - 620 \text{ (kg/cm}^2\text{)}$
복합법 (R,Vp)	일본 谷川 (Eq.8)	$F_c = 173V_p - 500 \text{ (kg/cm}^2\text{)}$
	일본 건축학회(Eq.9)	$F_c = 8.2R + 269 V_p - 1094 \text{ (kg/cm}^2\text{)}$
	일본 谷川 등(Eq.10)	$F_c = 10.2 (K \cdot R) + 223V_p - 960 \text{ (kg/cm}^2\text{)}$

* K : 재령에의한 보정계수(13주 이하 = 1.0, 13~26주 = 0.9~1.0)

3. 시험결과 및 고찰

3.1 각 비파괴 시험방법에 따른 강도의 상관특성

(1) 코아강도와 반발경도 및 초음파 속도와의 상관성

재령 1개월, 3개월 경과된 시험편을 대상으로 반발경도와 초음파 속도를 측정한 후 측정부위에 대한 코아를 채취하여 압축강도를 측정하고 각 측정치와 코아강도와의 상관관계를 그림 1과 2에 나타

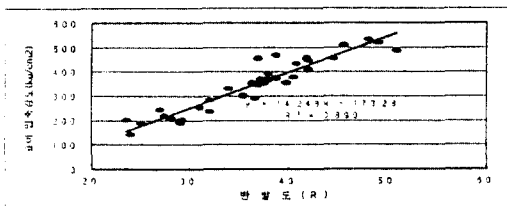


그림 1. 코아강도와 반발도와의 상관성

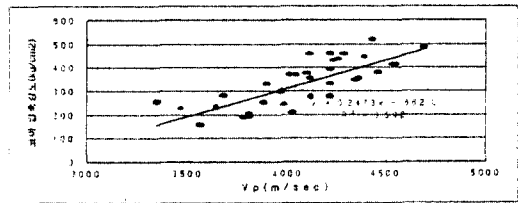


그림 2. 코아강도와 초음파속도와의 상관성

내었다. 본 실험에 의해 측정된 코아 압축강도와 슈미트해머의 반발도(R)와의 상관계수는 0.89로 반발경도와 압축강도간의 상관계수가 매우 양호한 것으로 나타나고 있으며, 초음파법은 직접투과법인데도 불구하고 코아압축강도와 초음파 속도에 의한 추정 강도간의 상관계수가 0.59로 신뢰성이 크게 떨어지고 있다. 코아강도와 반발도, 초음파속도를 조합하여 중회귀 분석한결과 $F_c = 13.6R + 0.0167V_p(m/sec) - 219$, 상관계수 0.944로 반발경도 단독보다는 다소 향상하지만 선행연구 결과보다는 반발경도와 초음파속도의 조합에 의한 효과가 적게 나타나고 있다. 이러한 원인은 본 실험에 의해 추정된 반발도의 강도 추정식 자체가 측정 시편에 대해 반발경도와 코아강도를 직접 상관분석 함으로써, 측정정도가 낮은 초음파법의 조합은 상관계수 향상에 크게 기여하지 못했기 때문이다.

(2) 각종 비파괴 제안식에 의한 추정 압축강도와 코아강도와의 상관성

본 실험조건에 가장 적합한 비파괴 강도제안식을 산출하기 위해서 표 3의 식에 반발도와 초음파 속도를 적용하여 강도를 구한 후 실제 측정된 코아강도와의 차이에 대한 표준편차를 표4에 비교하여 나타내었으며, 그림 3에는 각 추정식에 의한 강도와 코아강도간의 차이를 도시하였다.

표 4. 코아강도와 각 추정식에 의한 강도간의 차이에 대한 표준편차

구분	슈미트해머에 의한 반발경도법							초음파법			복합법		
	실험식	Eq.1	Eq.2	Eq.3	Eq.4	Eq.5	Eq.6	실험식	Eq.7	Eq.8	실험식	Eq.9	Eq.10
Sx	24	35	44	37	31	31	27	34	60	69	23	44	39

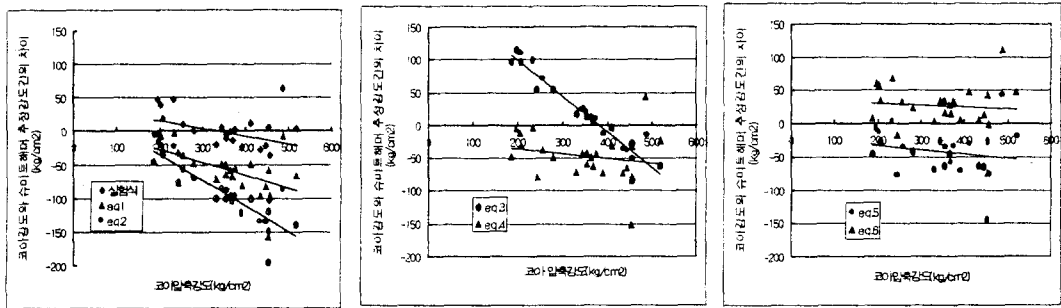


그림3-1. 코아강도와 반발강도 추정치(실험식,Eq1~Eq6)간의 차이

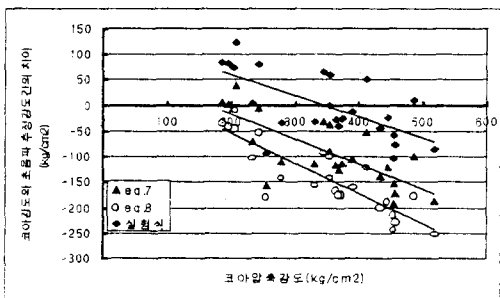


그림 3-2. 코아강도와 초음파 추정강도(Eq.7,8)간의 차이

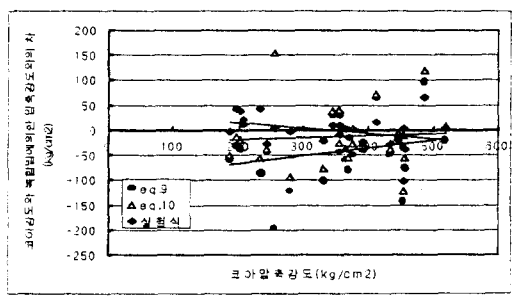


그림 3-3. 코아강도와 조합법 추정강도(Eq.9,10)간의 차이

기존 반발경도 추정식에 의한 강도특성은 전반적으로 고강도로 갈수록 실측치와의 차이가 커지는 경향이 있으며, 일본 건축학회식(Eq.3)과 谷川 등(Eq.6)의 식을 제외하고는 절대치가 50~70 kg/cm² 정도 낮게 나타난다. 또한 강도의 표준편차도 본 실험식이 24kg/cm² 수준으로 고강도,저강도 구역 모두 균일한

산포를 보여주고 있는데 반해, 기존 반발경도식에 의한 강도의 편차는 27 ~ 44kg/cm² 수준으로 크게 나타난다. 본 실험조건과 가장 근접한 강도를 나타내는 식은 谷川 식(Eq.6)으로 나타났으며, 초음파법은 반발경도법 보다 편차가 2배 정도 크게 나타나고 있어 강도판정 방법으로는 신뢰성이 크게 떨어지는 것을 알 수 있다.

3.2 반발경도에 의한 재령별 강도변화 특성

반발경도를 이용한 재령별 강도특성을 평가하기 위해 강도수준별로 제작된 시험체를 대상으로 재령 1,3,4개월별로 반발경도 측정과 대상 부위에 대한 코아를 채취하여 강도의 상관성을 분석하였다. 이때 반발경도에 의한 강도추정은 본 실험식을 사용하였다.

그림.4는 재령별 코아강도와 반발경도 추정식에 의한 강도와의 차이를 나타낸 것으로서, 재령별 강도 차이에 대한 편차(Sx)는 재령 1개월에 14 kg/cm², 3개월에 29.6kg/cm², 4개월에는 46.9kg/cm²으로 재령경과에 따라 반발경도에 의한 강도추정에 신뢰성이 크게 떨어짐을 알 수 있다. 재령 2개월까지는 실제 파괴강도(코아강도)와 유사하게 나타나지만, 그 이후 부터는 실제 강도가 반발경도에 의한 강도추정값 보다 큰 경향을 보이고 있다. 따라서 장시간 경과된 구조물에 대한 강도추정을 위해서는 일부 코아 샘플링을 통해 강도보정을 할 필요가 있다.

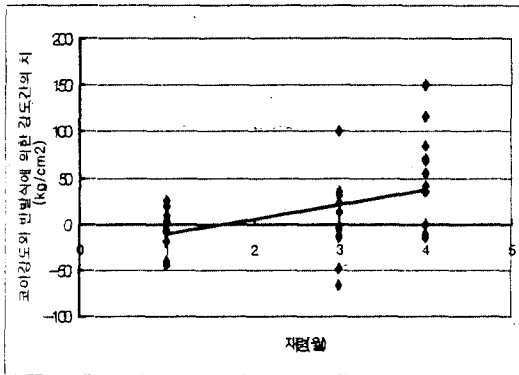


그림 4. 재령별 코아강도와 반발도에 의한 강도와의 차이

3.3 초음파 속도 측정방법에 따른 강도특성

초음파속도의 측정방법에는 발진자와 수신자의 배치방법에 따라 직접 투과법(대향배치), 반직접법(사각배치), 간접법(표면배치) 세가지가 있는데, 발진자 표면으로 부터 직각방향으로 가장 많은 에너지가 전파되는 직접법이 가장 우수한 민감도와 정확도를 가지며, 간접법이 정확도가 가장 낮다. 그러나 실제적으로 직접투과법의 적용은 곤란한 경우가 많고, 콘크리트의 균열이나 전체적인 표면부분에 대한 품질추정에는 간접법이 주로 적용된다. 본 실험에서는 초음파 속도 측정방법에 따른 민감도를 비교하기 위해 3개월 경과된 시험체를 대상으로 초음파 속도를 측정하고 각 측정방법에 따른 강도추정값과 코아강도와 상관성을 비교하였다. 이때 간접법은 측

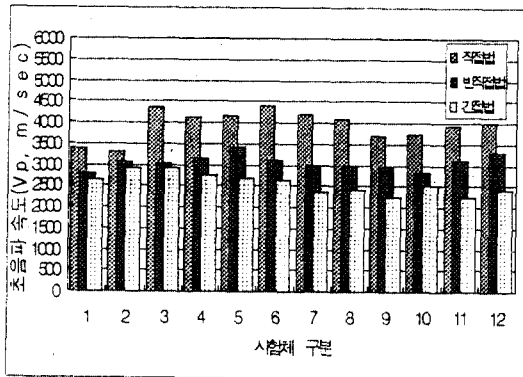
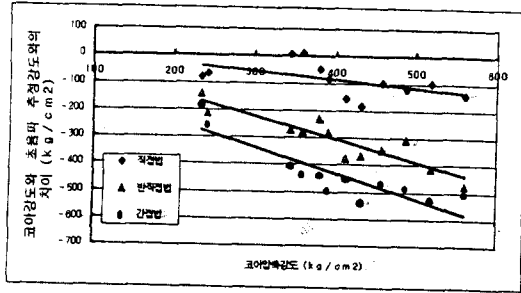


그림 5. 측정방법에 따른 초음파 속도차이

정 정밀도를 높이기 위해 수신자와 발진자의 거리를 15cm 간격을 시발로 10cm 등간격으로 55cm 까지 증가시키면서 측정한 후 가장 적절한 직선의 기울기를 평균 초음파 속도로 정하였다. 그림 5에 측정방법에 따른 초음파 속도의 차이를 나타내었다.

직접법에 비해 반직접법은 70~90%(평균 78%)의 민감도를 가지며, 간접법은 56~80%(평균 65%)의 민감도를 가지는 것으로 나타났다. 따라서 본 실험에서 구한 초음파 실험식을 이용하여 구한 강도와

초음파 측정부위에 대한 실제 파괴강도(코아강도)간의 강도차이를 분석한 결과, 그림 6에서와 같이 반



직접법과 간접법에 의한 강도의 추정은 신뢰성이 현저히 낮은 것으로 나타났다. 또한 공통적으로 고강도로 갈수록 초음파식에 의한 추정강도값과 실제 강도간에 차이가 더 커지는 경향을 보이고 있다. 따라서 콘크리트 구조물의 강도추정을 위해서는 슈미트 해머에 의한 반발경도법과 초음파 법을 복합한 조합법이 신뢰성이 높지만, 간접법, 반직접법에 의한 초음파 속도를 적용 할 경우 오히려 강도의 신뢰성이 떨어

그림 6. 초음파 측정법에 따른 코아강도와 추정강도간의 차이

질 위험이 있으므로 반발 경도법만 적용하는 것이 더 타당할 것으로 판단된다.

4. 결 론

실험실적으로 제작된 콘크리트 부재를 대상으로 콘크리트의 각종 비파괴 시험법과 산정식을 이용하여 구한 압축강도와 코아채취를 이용한 실제 파괴강도간의 상관성을 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 본 실험에 의해 측정된 코아 압축강도와 슈미트해머의 반발도(R), 초음파 속도 (V_p , m/sec)와는 각각 $F_c = 14.3 \cdot R - 173.3$ ($r^2: 0.89$), $F_c = 0.247 \cdot V_p(\text{m/sec}) - 662$ ($r^2: 0.59$) 의 상관식이 성립하고 반발경도와 압축강도간의 상관계수가 매우 양호한 것으로 나타나고 있으며, 코아강도와 반발도, 초음파속도를 조합할 때는 $F_c = 13.6 \cdot R + 0.0167 \cdot V_p(\text{m/sec}) - 219$ ($r^2: 0.944$)로 다소 향상된다.
- (2) 반발경도와 초음파법, 조합법에 대한 기존의 강도 추정식을 이용하여 실제 파괴강도와의 상관성을 분석한 결과 강도의 편차는 27 ~ 44 kg/cm² 수준으로 크게 나타났으며, 계산식에 의한 추정강도도 일본 건축학회식과 谷川 등의 제안식을 제외하고는 실제 강도보다 50~70 kg/cm² 정도 낮게 측정되었다. 본 실험조건과 가장 근접한 강도를 나타내는 식은 谷川의 제안식(Eq.6)으로 나타난다.
- (3) 재령경과에 대한 비파괴 강도시험의 상관성은 재령경과에 따라 강도측정의 신뢰성이 크게 떨어지며, 재령 2개월까지는 실제 파괴강도와 유사한 신뢰성을 보이지만, 그 이후 부터는 반발경도에 의한 강도추정값이 실제 강도보다 적게 나타난다.
- (4) 초음파 속도 측정방법은 직접투과법에 비해 반직접법은 평균 78%, 간접법은 평균 65%의 민감도를 가지는 것으로 나타나며, 반직접법과 간접법에 의한 강도추정은 상관성이 없는 것으로 나타난다.

참 고 문 헌

1. 안태송 외, 콘크리트 비파괴 검사기법 개발연구, 한국도로공사 연구보고서 1995.
2. 이종득, 콘크리트 구조물 비파괴검사, 일광, 1996, pp.14~47.
3. 小阪 義夫, 콘크리트 강도추정의ための非破壊試験, セメント・コンクリート, 1981.12.
4. 谷川 恭雄, "콘크리트의非破壊試験法, 콘크리트工學, vol.27, No.3, 1989.3.
5. 谷川 恭雄, "콘크리트의非破壊試験法に関する研究の動向, 콘크리트工學, vol.18, No.1, 1980.1.
6. 한국 콘크리트학회, 콘크리트 구조물의 비파괴 검사 및 안전진단, 한국 콘크리트학회, 제2회 기술강좌, 1993.2.