

## 복합비파괴검사법에 의한 콘크리트 강도평가와 그 응용

한 혁 상\*

Estimation of concrete strength by non - destructive combined  
method and its application

Hyuk Sang Hahn\*

abstract : The purpose of this report is to obtain a practical expression for estimating the compressive strength of concrete using the non - destructive method of testing combining rebound number and ultrasonic pulse velocity at the construction sites for obtaining highest accuracy in predicting the compressive strength.

### 1. 서 론

콘크리트에 대한 비파괴검사 목적은 여러 가지가 있으나, 본지에서는 비파괴검사중 가장 많이 사용하고 있는 기법인 현장콘크리트의 강도측정법에 대하여 논하고자 한다.

비파괴검사를 이용하여 얻어지는 여러 종류의 Parameter들은 강도를 추정하는데 어떠한 상관관계를 가지고 있는 것으로 알려져 있으며 이들 상관관계는 많은 조건을 전제로 하고 있다.

더우기 이러한 상관관계의 정도는 사용하

는 시험기법에 따라 다양하게 나타나고 있다. 보다 정확도가 높은 현장 콘크리트의 강도를 추정하기 위하여 여러 전문가들에 의해 두가지 이상의 비파괴시험법을 이용한 연구가 활발히 진행되어 왔다.

Kesler, Higuchi, Facaoaru, Galan 및 Wiebenga는 이러한 분야에서 가장 활발한 연구를 수행해 온 사람들이다.

### 2. 복합비파괴시험법

시험실이나 현장에서 사용되어 지고 있는

\* (주) 한서엔지니어링(HANS Engineering Co., Ltd)  
접수 : 1991년 9월 26일(Received September 26, 1991)

복합비파괴시험중 신뢰도 및 사용상의 간편성등의 측면에서 가장 많이 사용되어 지고 있는 기법은 초음파펄스속도법과 슈미트햄머를 이용한 반발경도법이며 현존하는 비파괴 시험법중 70% 이상이 동기법을 사용하고 있다.

Facaoaru, Wiebenga는 이분야에서 대표적인 사람들로써 많은 논문을 발표하였다.

초음파속도법과 슈미트햄머에 의한 반발경도법을 복합적으로 사용한 기법(이후 복합비파괴시험법이라 함)은 현장타설 콘크리트구조체에서 초음파펄스시험을 실시한 후 동일한 부위에 반발경도시험을 실시하여 여기서 얻어진 자료는 복합 선회기분석식(Equation by Multiple Linear Regression)을 얻기위한 독립변수로 사용되어지며 비파괴시험을 실시한 동일부위에서 채취된 코어에서 얻어진 압축강도는 종속변수로서 사용되어진다.

이렇게 얻어진 식은 초음파펄스속도나 반발경도만을 이용한 단일 비파괴시험 결과보다 훨씬 더 정확한 측정강도를 얻게된다. Wiebenga에 의하여 제안된 Regression은 Equation 다음과 같다.

$$\text{Log } S = Av + BR - C$$

- 여기서 S : Cube의 압축강도(KN/cm<sup>2</sup>)
- V : Pulse velocity(Km/sec)
- R : Rebound number
- A, B, C : Constant

Facaoaru는 복합비파괴시험법의 사용에 관한 가장 종합적인 자료를 발표하였으며 또한 표준 콘크리트 배합시 초음파펄스속도와 반발경도치만 알면 압축강도를 읽을 수 있는 강도환산곡선을 만들었다(참고 Fig. 1).

특히 골재의 형태나 종류 또는 콘크리트배합시 여러가지 변수들을 처리할 수 있는 보정계수를 제시하였다. 이러한 복합비파괴시험이 현장 콘크리트의 압축강도 추정을 위하여 루마니아의 여러 건축현장에서 사용하였는데 Table 1.에 초음파펄스속도법과 반발경도법을 각각 사용하였을 때와 두가지 시험법을 복합적으로 사용하였을 때의 강도추정 정

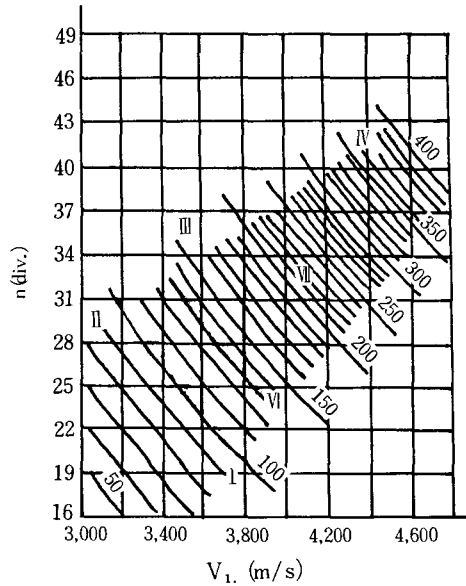


Fig. 1 Correlation graph for combined pulse velocity/rebound index methods if standard concrete is used.

도를 나타내어 주고있다. 복합비파괴 시험법을 사용함으로써 통계적으로 압축강도의 추정정도가 향상되는 원인은 정확하게 알려져 있지 않으나 Elvery나 Forrester 이러한 원인이 아마도 강도추정의 정확도를 향상시킬 수 있는 시험자료 모집단을 증가시키기 때문이라고 믿고 있다. 그러나 Facaoaru에 의하면 복합비파괴 시험법에 의한 강도추정은 각각의 두가지 시험을 실시하여 얻어진 강도의 단순한 평균강도가 아니라는 점이다.

Table 1.에 의하면 복합비파괴시험에 의한 강도의 추정이 Core 또는 Specimen에 의해 얻어지는 실제강도와 가장 가까운 결과치를 얻고 있음을 잘 보여주고 있다.

### 3. 국내에서의 비파괴 검사

국내 여러현장에서 조사한 자료를 중심으로 분석한 결과가 Table 2.에 잘나타나 있다. Table 1.과 같은 자료와 같이 여기에서는 복합비파괴 시험법에 의한 강도추정법과 반발

Table 1.—Comparison between actual and predicted strengths using the ultrasonic pulse velocity and the rebound hammer

Project	Nature of concrete tested	Actual compressive strength		Predicted compressive strengths						Difference between actual and predicted values, percent		
				Combined method		Pulse velocity only		Rebound hammer only		Combined method	Pulse velocity	Rebound hammer only
		psi	kg/cm <sup>2</sup>	psi	kg/cm <sup>2</sup>	psi	kg/cm <sup>2</sup>	psi	kg/cm <sup>2</sup>			
Industrial building	Lab specimens	2160	152	2135	150	2800	197	2475	174	-2	+29	+15
	In situ	...	...	2065	145	2445	172	2875	202	...	...	...
Tower block	Lab specimens	1140	80	1310	92	1720	121	1750	123	+15	+51	+54
	In situ	...	...	1280	90	1735	122	1680	118	...	...	...
Precast factory	Cores	5645	397	6145	432	6855	482	7795	548	+9	+21	+38
	In situ	...	...	5975	420	6830	480	7540	530	+6	+21	+33
Precast factory	Cores	2420	170	2630	185	2960	208	3015	212	+9	+22	+25
	In situ	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
Frame	Lab specimens	4495	316	3870	272	4055	265	4255	299	-13	-16	-5
	In situ	...	...	1850	130	2065	145	1920	135	...	...	...
Hotel	Cores	925	65	855	60	895	63	1310	92	-8	-3	+43
	In situ	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
Prestressed beams	Specimens	7540	530	7255	510	6685	470	8535	600	-4	-11	+13
	Cores	6375	448	6445	453	5735	403	7200	506	-3	-10	+13
	In situ	...	...	5945	418	5645	397	6900	485	-5	-11	+8
Chemical plant	Specimens	3243	228	3200	225	3825	267	2890	203	-1	+17	-11
	In situ	...	...	2900	204	...	...	...	...	...	...	...

Source : Ref. 124.

경도시험법 그리고 실제 현장에서 채취한 코어와의 상호관계를 비교하여 보았다. 특히 반발경도법은 일본 지침 즉 일본재료시험협회 실시 콘크리트 강도 판정위원회에서 제시한 공식과 코어와 반발경도치간의 선회귀분석식(Equation by Simple Linear Regression)에 의해 얻어진 추정강도치를 상호 비교하여 이를 실제강도인 코어의 파괴강도와 비교하여 보았다. 일본재료시험협회의 제안식과 비교한 까닭은 일반적으로 동제안식이 국내에서 가장 많이 사용되고 있기 때문이다.

또한 국내에서는 현장 콘크리트강도를 추정함에 있어 아직도 슈밋트햄머와 초음파펄스속도법을 단일 비파괴검사 방법으로 이용하여 강도를 추정하고 있는 실정이다. Fig. 2, 3에 나타난 것과 같이 슈밋트햄머나 초음파펄스속도법을 개별적으로 사용할 경우 강도의 추정정도는 Fig. 4와 같이 두가지를 복합적으로 사용할 때보다 현저히 그 정확도가 떨어진다는 것을 보여주고 있다. 특히 일본

재료시험협회에서 제안한 식인  $F_c = -184 + 13R(Kg/cm^2)$ 를 그대로 사용한다는 것은 사용상 문제가 많음을 Table 2.에 잘 나타나 있다. 이는 일본재료시험협회에서 동공식을 유출할 때 사용한 콘크리트의 재료들이 우리 국내의 재료와 상이하기 때문일 것이다. 따라서 슈밋트햄머만 사용할 경우 시험시편(Cylinder 혹은 Cube)을 얻어 강도를 추정하여야만 한다.

이러한 경우 조사대상 부재에 슈밋트햄머에 의한 반발시험을 실시하고 동일부위에서 코어를 채취하여 압축시험을 실시하여 반발치와 압축강도간에 다음과 같은 단순회귀분석식(Equation by Simple Regression)을 구한 후 반발경도시험을 실시해야 한다.

$$y = a + bx$$

여기서  $y = \text{Concrete strength}(Kg/cm^2)$   
 $x = \text{Rebound number}$   
 $b = \text{Constant}$

Table 2. Difference between core, rebound test and combined method

현장명	코어	초음파 속도 km/sec	반발치	압축 강도 kg/cm <sup>2</sup>	복합비파괴법		단일비파괴법		실강도와 추정강도간의 차(%)			
					PROCEQ	회기식 <sub>a</sub>	JIS	회기식 <sub>b</sub>	PROCEQ	회기식 <sub>a</sub>	JIS	회기식 <sub>b</sub>
도서관 빌딩	1	3.73	30.3	160	160	161	210	152	0	+0.6	+31	-5
	2	3.75	33.0	160	175	164	245	167	+9	+2.5	+53	+4
	3	3.68	31.2	160	157	155	222	157	-2	-3.1	+39	-2
	4	3.65	29.8	150	148	152	203	149	-1	+1.3	+35	-1
	5	3.48	27.2	130	119	132	170	135	-8	+1.5	+31	+4

\*\*복합비파괴 시험식(Ultrasonic pulse velocity+Rebound Index)

PROCEQ식 :  $LOG f_c = (0.3794 V_c + 0.01149R - 0.5688) \times 10.2 (r^2 = 0.83)$

중회기식<sub>a</sub> :  $f_c = 114.4V_c + 0.208R - 272 (r^2 = 0.88)$

\*\*단일비파괴 시험식(Rebound Test)

JIS식 :  $f_c = 13R - 184$

단순회기식<sub>b</sub> :  $f_c = 5.46R - 13.3 (r^2 = 0.79)$

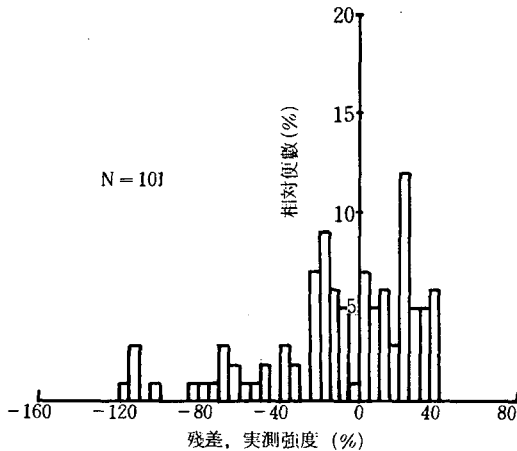


Fig. 2 General distribution curve for ultrasonic pulse method

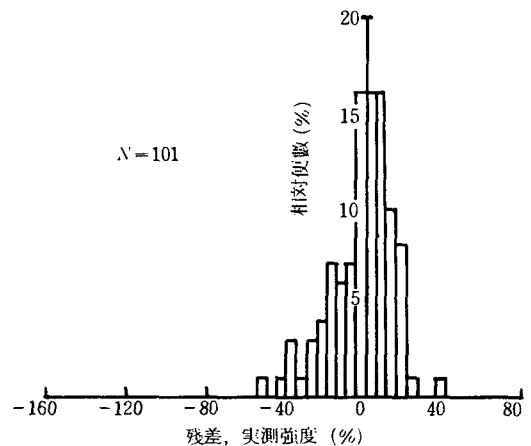


Fig. 4 General distribution curve for combined method

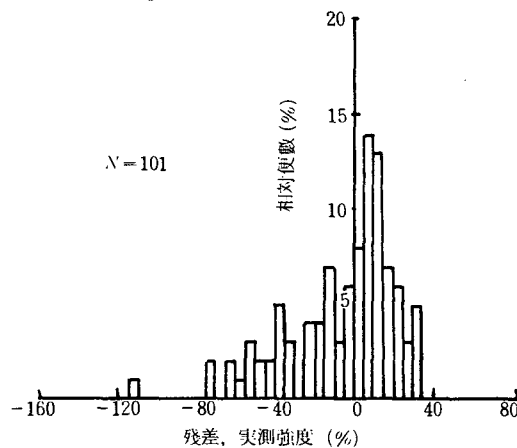


Fig. 3 General distribution curve for schmit hammer

#### 4. 결론

국내 콘크리트 비파괴검사는 동구나 일본 미국등과 같은 나라에서는 많은 기술이 축적되어 있을뿐 아니라 추정의 정도를 더욱 높이기 위한 다양한 연구가 진행되고 있는데 반하여, 아직도 슈밋햄머에 의한 단일비파괴시험을 많은 토목 및 건축현장 또는 레미콘회사에서 실시하고 있는 형편이며 특히 슈밋햄머의 정비, Anvil에 의한 Calibration등

을 실시해야 함에도 불구하고 이러한 기본적인 것이 잘 시행되지 않고 있으며 일본재료시험협회에서 제안한 공식을 그대로 도입함에 따라 콘크리트의 품질에 대한 여러가지 문제점을 야기하여 시공자와 발주자간의 마찰이 일어나고 있는것을 볼 수 있다.

따라서 비파괴검사에 의한 콘크리트의 품질검사를 위하여서는 될 수 있는대로 현장에서 제작한 공시체를 이용하거나 이것이 여의치 못할 경우 현장콘크리트에서 코어를 채취하여 코어와 비파괴시험치와 보정계수를, 취하여 기본강도 환산식에 적용하거나 Regression Equation을 구하여 사용하는 것이 가장 추정강도를 높일 수 있는 방법이라고 하겠다.

## References

1. Quality Control of Concrete in Prestressed Elements by Non-Destructive Testing Methods  
I. Facaoaru  
P. Popescu  
G. Stamate  
M. Tannenbaum
2. Non-Destructive Testing of Concrete in Romania  
I. Facaoaru
3. Testing Hardened Concrete : Nondestructive Methods American concrete institute monograph NO. 9