

## 선 타격 반발도 시험기의 반발도 경향에 관한 실험적 연구

안효수<sup>1)\*</sup> · 서치호<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> 건국대학교 건축공학과

(2003년 7월 25일 원고접수, 2005년 5월 20일 심사완료)

### An Experimental Study on the Rebound Degree Tendency of Linear Hitting Test Hammer

Hyo-Soo Ahn<sup>1)\*</sup> and Chee-Ho Seo<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> Dept. of Architectural Engineering, Konkuk University, Seoul, 143-701, Korea

(Received July 25, 2003, Accepted May 20, 2005)

#### ABSTRACT

Recently, as the remodeling market gradually substitute for new construction market and safety diagnosis for reconstruction apartment become a matter of principal interest, it is demanded that scientific diagnosis and evaluation for existing concrete structure state. And it is increasing that the significance for reliability of data which is used for estimating the concrete compressive strength by nondestructive test. As a result, it is found that different proposal to material age and hitting angle is good to improving the reliability of presumption of concrete compressive strength in the linear hitting rebound test hammer. And for the reason that mutual relation between the compressive strength and rebound degree is highest in linear hitting rebound test hammer 25mm in all portion according to early and middle material age and hitting angle except the early material age  $-45^\circ$ , analysis showed that linear hitting rebound test hammer is more reliable than existing schmidt hammer in presumption of concrete compressive strength.

**Keywords :** nondestructive test, rebound test hammer, linear hitting, presumption, schmidt hammer

#### 1. 서 론

최근 들어 리모델링 시장이 점차 신축시장의 대체시장으로 부각되고, 재건축아파트에 대한 안전진단의 문제가 사회의 주요 관심사가 되면서 기존 콘크리트 구조체의 상태에 대해 체계적이고 과학적인 구조물 진단 및 평가가 요구되고 있으며, 비파괴시험방법에 의한 콘크리트 압축강도를 추정하기 위한 데이터의 신뢰성에 대한 중요성이 점점 증대되고 있다.

콘크리트의 압축강도는 콘크리트가 가지고 있는 제반 성질 가운데 물리적, 역학적 특성을 대변하는 가장 중요한 지표로 활용되고 있다. 그것은 압축강도가 다른 강도에 비해 상당히 크고, 콘크리트 부재의 설계에도 유효하게 사용되기 때문이며, 압축강도로부터 다른 강도의 크기와 강도 이외의 굳은 콘크리트의 성질을 개략적으로 추정할 수 있을 뿐 아니라 시험방법이 간단하기 때문이다. 그러나 콘크리트의 압축강도는 사전에 공시체를 제작하고 이를 표준

양생방법을 통해 양생한 후 파괴시험을 통해 그 결과를 얻을 수 있을 때만이 효용성을 가질 수 있다. 특히 현장에서 양생된 콘크리트와 실험실에서 양생된 콘크리트 사이에는 양생조건의 상이함으로 인해 품질의 편차 및 변동이 발생하게 되어 그 상관관계를 추정하기 곤란한 경우가 발생하며, 과거에 시공된 기존 콘크리트 구조체의 경우에는 콘크리트의 압축강도를 측정할 수 없게 된다.

따라서 콘크리트를 파괴하지 않고 콘크리트의 품질관리 및 성능평가를 위한 비파괴시험방법의 필요성이 제기되었고, 이에 대한 여러 가지 시험기기 및 방법이 제안되었으며, 실질적으로 광범위하게 적용되고 있는 실정이다. 콘크리트에 대한 비파괴시험방법은 대상 구조물에 손상을 주지 않으면서 콘크리트의 상태를 점검할 수 있는 검사방법으로써 그 가운데 가장 대표적으로 사용되는 방법이 슈미트해머법이다.<sup>1,2)</sup>

슈미트해머법의 경우에는 사용의 편리성과 간단한 조작법, 경제성 등의 장점으로 인하여 콘크리트의 압축강도를 추정하는 비파괴시험방법에 있어서 가장 널리 이용되고 있는 시험법이기도 하나, 20세기 중반에 스위스에서 개발<sup>3)</sup>된

\* Corresponding author

E-mail : burindol@lycos.co.kr

©2005 by Korea Concrete Institute

어 이미 반세기 가 지난 과거의 유물이라고 할 수 있다. 그러나 국내에서는 아직 재래의 기법을 그대로 도입하여 적용하고 있으며, 새로운 시험기기의 개발도 데이터 측정의 정확성을 증대시키는 측면으로 개발되기보다는 단순히 출력방식의 편의성에 초점을 맞추고 있는 실정이다.

슈미트해머법은 시멘트 화합물과 골재, 공기로 구성되어 있는 콘크리트의 재료적 특성을 반영하지 못하고 점 타격 개념에 의한 표면의 반발도에 의해서만 콘크리트의 압축강도를 추정함으로써 그 추정 값의 신뢰성이 낮아 이를 단순한 보조자료 또는 참고자료로만 활용하고 있다<sup>4)</sup>.

따라서 본 연구에서는 콘크리트의 특성에 보다 적합할 뿐 아니라 신뢰성이 있는 비파괴시험방법에 대한 개발의 필요성이 제기되고 있다는 측면에서 선 타격 개념의 반발도 시험기를 적용하여 콘크리트 압축강도 추정의 신뢰성을 향상시키는 방안을 모색하고 타격각도에 따라 선 타격 반발도 시험기에 적용할 수 있는 압축강도 추정식을 제안하여 콘크리트의 품질 평가의 정확성을 제고하고 경제적인 구조물 안전진단이 가능하도록 유도함에 그 목적이 있다.

## 2. 선 타격 반발도 시험기에 대한 고찰

### 2.1 슈미트해머의 개요 및 문제점

반발도법에 의한 콘크리트 강도의 추정은 테스트 해머에 의하여 콘크리트 표면 반발도를 측정하여 대상 콘크리트의 강도를 추정하는 방법<sup>5)</sup>으로서 반발도법에 의하여 측정된 값은 기본적으로 현장이나 기존 콘크리트 구조물의 콘크리트 균질성 정도를 파악하거나 혹은 변질의 정도를 알아보는 경우, 그리고 타설 후 시간 경과에 따른 콘크리트의 변화를 측정하고 이에 따른 거푸집 및 비계의 철거시기를 예측하기 위하여 사용되고 있다.<sup>6)</sup> 슈미트해머는 1948년에 개발되었으며, 끝 부분이 반구모양인 해머로 콘크리트를 타격하여 반발도를 측정하여 콘크리트의 압축강도와 반발도 사이의 관계식을 이용하여 콘크리트의 압축강도를 추정하는 시험기<sup>7,8,9)</sup>로서 다음의 Fig. 1과 같다.

슈미트해머를 이용한 표면 반발도의 측정은 스프링의 압축에 의해 내부에 있는 해머가 임팩트 플랜저를 타격하게 되고 그 반발량을 측정하여 압축강도를 추정하고 있다. 이때, 임팩트 플랜저의 끝 부분은 곡면으로 가공되어 있어 슈미트해머를 이용한 타격은 기본적으로 점 타격의 개념을 도입하고 있다. 슈미트해머는 타격하는 측점이 작기 때문에 타격력이 콘크리트 내부까지 전달되지 못하여 콘크리트가 가지고 있는 총체적인 재료 본래의 반발력을 측정하는 것이 아니라 콘크리트 겉 표면의 반발력만 측정할 수밖에 없다. 따라서 시멘트 복합체로서의 콘크리트에 대한 일체적인 시험이 이루어지지 못하기 때문에 압축강도 추정결과와 실제 콘크리트 압축강도 사이의 상관관계가

저하된다는 문제점을 가질 수밖에 없는 것이다.

또한 슈미트해머는 타격각도에 따라 측정값이 변화하게 된다. 직각으로 타격할 때와 45°로 타격할 때, -90°로 타격할 때, 모두 측정값이 달라지게 되고 각도가 조금씩 변화할 때마다 측정값도 동시에 변화되어진다. 현재, 슈미트해머 타격시의 각도를 유지하기 위한 보조장치가 개발되어 있으나 사용상 번거롭고 불편한 점이 많아 현실적으로는 사용되지 않고 있으며, 대부분 사용자의 감각에 의존하여 타격을 실시하고 있는 실정이다. 따라서 실질적인 콘크리트 반발도 측정작업에 있어서는 타격 시마다 조금씩 타격각도에 오차가 발생하게 되고, 이렇게 각도의 변화가 생겼을 경우, 데이터의 신뢰성은 저하하게 된다. 이것은 기본적으로 슈미트해머가 점 타격이므로 일정한 측정각도를 유지하는 것이 어렵기 때문에 발생하는 문제점이라고 할 수 있다.

### 2.2 선 타격 반발도 시험기

슈미트해머가 가지고 있는 문제점과 한계점을 개선하기 위한 방향은 기본적으로는 콘크리트가 가지고 있는 재료적 특성을 반영할 수 있는 반발도 시험기가 되어야 한다는 것이며, 이차적으로 시험자에 의해 발생할 수 있는 오차의 범위를 축소할 수 있어야 한다는 것이다. 이러한 점에 착안하여 콘크리트를 타격하게 되는 임팩트 플랜저의 형태를 선으로 제작한 선 타격 반발도 시험기가 개발되었다. 선 타격 반발도 시험기의 임팩트 플랜저를 Fig. 2에 나타내었으며, 임팩트 플랜저가 설치된 선 타격 반발도 시험기는 Fig. 3에 나타내었다.

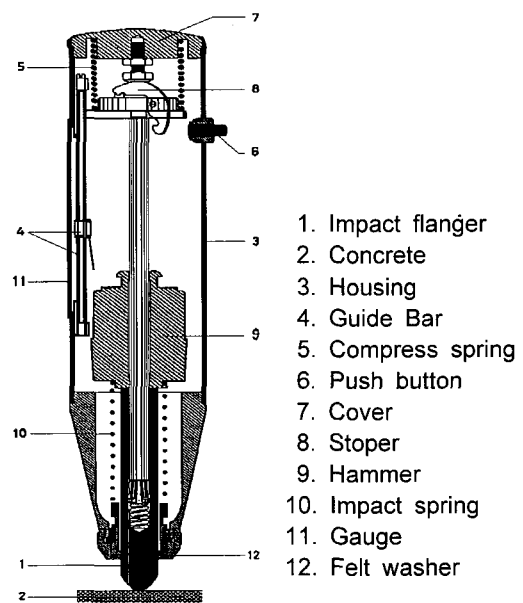


Fig. 1 Appellation and section of schmidt hammer<sup>12)</sup>

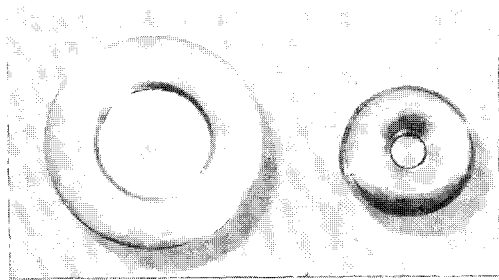


Fig. 2 Impact flanger of linear hitting test hammer

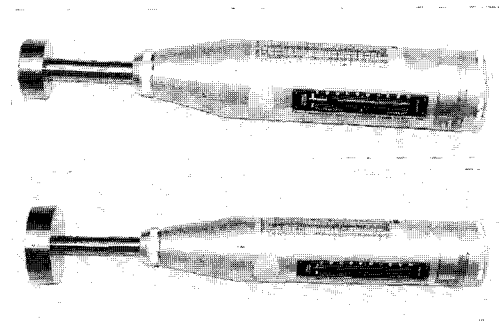


Fig. 3 Linear hitting test hammer

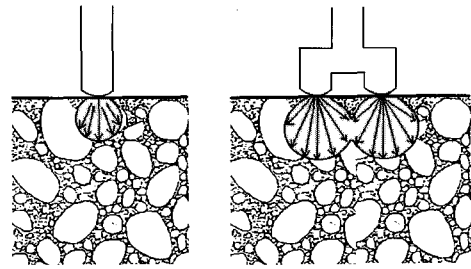


Fig. 4 Comparison concept of point and linear hitting

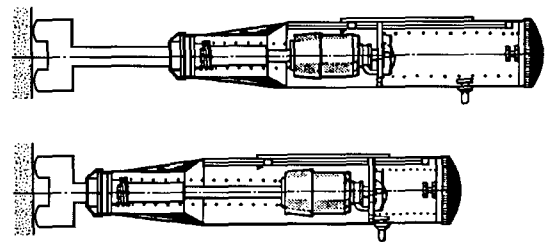


Fig. 5 Concept of linear hitting rebound degree test hammer

반발도법에 의한 콘크리트 압축강도 추정 시험에 있어서 가장 요구되고 있는 사항은 시멘트 복합체인 콘크리트의 각 구성요소들을 동시에 반발도 측정부위에 포함 시킴으로써 일체화된 콘크리트의 압축강도 성능에 대한 추정이 가능할 수 있도록 해야 한다는 것이다. 그러나 기존의 반발도 시험기는 점 타격에 의해 콘크리트의 반발도를 측정하기 때문에 시멘트 화합물로 형성되어 있는 부분과 굵은골재가 있는 부분을 별도로 타격하여 그 평균값으로 반발도를 측정하고 있다. 반면, 선 타격 반발도 시험기는 선 타격에 의해 콘크리트의 반발도를 측정하기 때문에 콘크리트 내부의 넓은 부위로 힘이 전달되고 그에 대한 응력분포도가 형성되므로 일체화된 콘크리트의 재료적 특성을 반영한 반발도를 측정할 수 있게 될 것으로 기대된다. 이러한 개념을 도시한 것이 다음의 Fig. 4이다.

또한 신뢰성 있는 콘크리트 반발도 측정을 위해서는 정확한 타격각도를 유지하여 측정여건과 시험자의 자세 등에서 오는 반발도 측정 데이터의 편차 발생을 근원적으로 차단하는 것이 요구되고 있다. 그러나 슈미트해머는 임팩트 플랜저의 타격면이 반구형이기 때문에 필연적으로 각도변화에 따른 오차가 발생하게 되나, 선 타격 반발도 시험기는 임팩트 플랜저의 형상이 콘크리트 표면에 밀착될 수 있는 원형의 선을 형성하고 있으므로 항상 반발도 시험기의 타격각도가 콘크리트 면과 직각을 이룰 수 있도록 하여, 타격각도의 변화에 따른 데이터의 오차가 발생하지 않도록 한 특징이 있다. 이러한 개념을 Fig. 5에 나타내었다.

### 3. 실험

#### 3.1 실험계획

선 타격 개념의 반발도 시험기를 적용하여 콘크리트 압축강도 추정의 신뢰성을 향상시키는 방안을 모색하고 타격각도에 따라 선 타격 반발도 시험기에 적용할 수 있는 압축강도 추정식을 제안하기 위한 본 연구의 목적을 달성하기 위해 현재 가장 일반적으로 사용되는 압축강도 24 MPa의 콘크리트를 대상으로 다음의 Table 1과 같은 실험 인자와 수준을 결정하였다. 실험에 사용된 반발도 시험기는 슈미트해머와 임팩트 플랜저의 직경이 각각 25 mm 및 50 mm의 선 타격 반발도 시험기를 적용하였으며, 재령에 따른 반발도의 변화요인을 분석하기 위하여 3일에서 12주까지의 반발도를 측정하였다. 또한 타격각도에 따른 선 타격 반발도 시험기의 영향요인을 파악하기 위하여 5개 수준으로 타격각도의 변화를 주었다.

Table 1 Factors and level

Item	Compressive strength	Rebound test hammer	Age	Hitting angle
Factor	24 MPa	Schmidt hammer linear hitting test hammer 25 mm, 50 mm	3 and 5 days 1, 2, 3, 4, 6, 8, 10, 12, and 14 weeks	+90° +45° 0° -45° -90°
Level	1	3	11	5

### 3.2 시험체 계획 및 제작

본 실험을 위하여 +90도, +45도, 0도, -45도, -90도의 타격이 가능하도록 다음의 Fig. 6과 같은 단면을 가진 폭 300mm의 시험체를 재령에 따라 제작하였다. 시험체의 규격은 Fig. 6에 나타난 바와 같으며, 반발도 시험기의 타격 에너지의 산란을 방지하기 위해 타격 각도를 고려하여 150mm 이상이 되도록 계획하였다. 철근에 의한 영향요인을 피하기 위하여 시험체에는 철근을 배근하지 않았다. 거푸집은 목재와 코팅합판으로 제작하고 탈형이 용이하도록 박리제를 도포하였다.

시험체를 제작하기 위해 타설된 콘크리트의 양이 많은 관계로 콘크리트를 실험실에서 제조하게 되면 품질의 편차가 발생할 가능성이 있으므로 KS 규격에 적합한 공장에서 생산된 레미콘을 사용하였으며, 시험체의 제작과 동시에 압축강도 시험용 공시체를 만들었다. 공시체의 제작은 배합된 콘크리트를 KS F 2403(콘크리트의 강도 시험용 공시체 제작방법)에 따라 각 배합별로  $\phi 100 \times 200$ mm의 원주형 몰드를 사용하여 타격각도별, 재령별로 3개씩을 만들었으며, 양생실에서 24시간 양생한 후, 탈형하여  $23 \pm 2^\circ\text{C}$ 의 온도로 수중 양생하였다. 슈미트해머 및 선 타격 반발도 시험기의 반발도 측정용 시험체의 양생은 모든 시험체를 양생실에서 24시간 양생한 후, 거푸집을 탈형하였고 탈형한 즉시 부직포를 덮어 습윤양생을 실시하였다.

### 3.3 실험방법

콘크리트의 압축강도 시험은 KS F 2405(콘크리트의 압축강도 시험방법)에 따라 시험체 높이의 중앙에서 서로 직교하는 두 방향의 지름을 0.01mm의 정밀도로 측정하여 그 평균값을 구하여 시험체의 단면적을 계산하였으며, 시

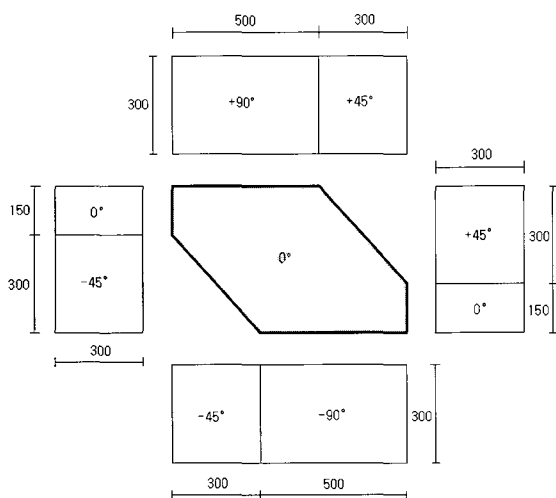


Fig. 6 Section form and standard of sample

험체를 만능시험기의 가압판 위에 놓고 콘크리트를 타설한 방향을 가압방향으로 하였고, 시험기의 가압판과 시험체의 단면을 밀착시킨 상태에서 시험체가 충격을 받지 않도록 고르게 하중을 가했다. 또한, 압축강도는 시험체가 파괴되었을 때 시험기에 나타난 최대하중을 시험체의 단면적으로 나눈 값을 시험횟수에 대한 평균값으로 구하였다. 슈미트해머는 P사의 NR형을 사용하였고, 사용 전에 테스트 엔벨을 사용하여 반발도가  $80 \pm 2$ 의 범위에 들도록 조정하였으며, 선 타격 반발도 시험기는 조정이 완료된 동일한 슈미트해머의 임팩트 플랜저를 선 타격 50mm 및 25mm 임팩트 플랜저로 교체하여 사용하였다. 타격회수는 슈미트해머와 선 타격 반발도 시험기 모두 동일하게 각도별로 20회를 타격하여 그 평균값을 구하였으며, 타격시 반발도의 감쇄를 방지하기 위하여 시험체를 모래지정하여 거치시키고 상부에 모래주머니 및 다른 시험체를 사용하여 재하, 고정하여 시험을 실시하였다.

## 4. 실험결과 및 분석

### 4.1 실험결과

슈미트해머 및 선 타격 반발도 시험기를 이용한 콘크리트의 재령별, 각도별 반발도 시험 결과와 공시체에 대한 압축강도 시험 결과는 다음의 Table 2와 같다.

### 4.2 타격각도에 따른 반발도 경향

슈미트해머의 반발도는 타격각도에 의해 변화한다고 알려져 있으며, 이러한 오차를 보정하기 위하여 일반적으로 각도보정계수를 사용하고 있다. 슈미트해머의 경우는 특성상 정확한 타격각도를 유지하기 어려운 관계로 일정정도 각도상의 편차가 발생할 수밖에 없는 한계가 있다. 각도보정계수는 수평타격  $0^\circ$ 를 기준으로 하여 (+) 타격인 경우에는 반발도가 높게 나오기 때문에 반발도 크기와 타격각도에 따라 5.4~1.6의 범위에서 반발도를 감하여 계산하며, (-) 타격각도인 경우는 반발도가 상대적으로 낮게 나오기 때문에 3.4~1.3의 범위에서 일정 수치를 증가시켜 콘크리트의 압축강도를 추정하고 있다. 슈미트해머 및 선 타격 반발도 시험기의 타격각도 변화가 콘크리트 반발도에 미치는 영향에 대해 그 결과를 나타낸 것이 다음의 Fig. 7이다.

슈미트해머의 경우  $0^\circ$ 의 반발도를 기준으로 하여 각 평균값을 비교한 결과  $+90^\circ$ 는 4.52,  $+45^\circ$ 는 3.64가 높은 것으로 나타났으며,  $-45^\circ$ 는 1.05,  $-90^\circ$ 는 1.20이 낮은 것으로 나타나 Table 3과 유사한 경향을 가진 것으로 분석되었다. 선 타격 반발도 시험기 50mm의 경우는  $+90^\circ$ 에서 4.80,  $+45^\circ$ 에서 2.70으로 반발도가 크게 측정되었으며,  $-45^\circ$ 와  $-90^\circ$ 에서도 각각 0.66 및 2.11이 큰 것으로 측정되어

**Table 2** Test result

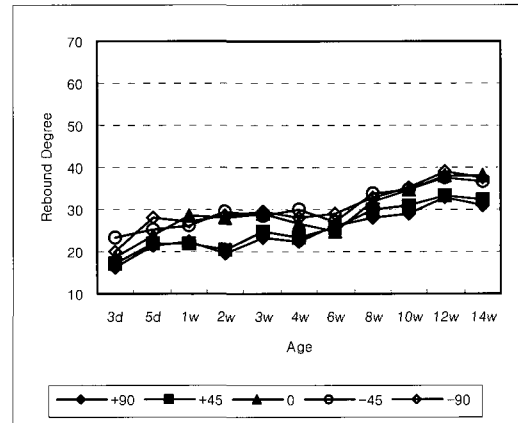
Type	Age	Rebound degree in hitting angle					Compressive strength (MPa)
		+90°	+45°	0°	-45°	-90°	
Schmidt hammer	3 days	16	17	18	23	20	13.5
	5 days	22	22	24	25	28	15.2
	1 week	23	22	29	26	27	16.6
	2 weeks	19	21	28	30	28	22.2
	3 weeks	24	25	29	29	30	24.5
	4 weeks	22	23	27	30	28	25.2
	6 weeks	26	26	25	27	29	26.4
	8 weeks	28	30	32	34	33	28.0
	10 weeks	29	31	35	35	35	28.5
	12 weeks	33	33	38	37	38	30.1
14 weeks	31	32	38	37	38	31.3	
Linear hitting test hammer 50 mm	3 days	29	27	26	25	31	13.6
	5 days	30	28	31	30	33	15.8
	1 week	32	30	36	31	34	17.4
	2 weeks	23	26	28	32	27	21.4
	3 weeks	25	32	34	37	35	24.3
	4 weeks	29	34	41	36	31	26.1
	6 weeks	39	35	34	36	36	27.6
	8 weeks	42	47	47	48	42	28.7
	10 weeks	39	45	48	45	46	27.7
	12 weeks	48	52	56	54	43	29.0
14 weeks	46	53	51	54	57	30.6	
Linear hitting test hammer 25 mm	3 days	23	20	20	24	22	13.6
	5 days	25	23	27	26	26	15.4
	1 week	27	26	32	27	31	17.1
	2 weeks	19	20	29	28	22	21.9
	3 weeks	23	25	32	30	26	24.7
	4 weeks	28	29	35	31	29	25.8
	6 weeks	31	32	33	33	30	26.5
	8 weeks	38	41	44	42	39	28.0
	10 weeks	39	42	49	44	46	28.0
	12 weeks	44	46	54	51	48	29.1
14 weeks	46	47	51	50	52	30.6	

**Table 3** Presumption equation of compressive strength

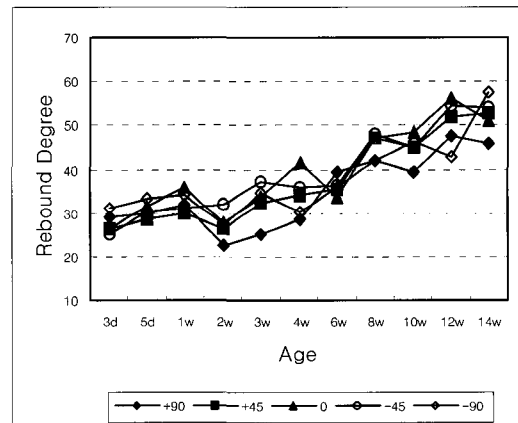
Type	Angle	Age	Presumption
Linear hitting test hammer 50 mm	+90°	Initially	$F_c = 1.1276 R_0 - 18.558$
		Midterm	$F_c = 0.2894 R_0 + 16.427$
	+45°	Initially	$F_c = 1.1166 R_0 - 15.992$
		Midterm	$F_c = 0.2759 R_0 + 15.708$
	0°	Initially	$F_c = 0.3892 R_0 + 3.4395$
		Midterm	$F_c = 0.2502 R_0 + 16.331$
	-45°	Initially	$F_c = 0.589 R_0 - 1.365$
		Midterm	$F_c = 0.2864 R_0 + 14.649$
	-90°	Initially	$F_c = 1.1772 R_0 - 23.14$
		Midterm	$F_c = 0.2589 R_0 + 16.655$
Linear hitting test hammer 25 mm	+90°	Initially	$F_c = 0.9278 R_0 - 7.7236$
		Midterm	$F_c = 0.2655 R_0 + 17.939$
	+45°	Initially	$F_c = 0.5669 R_0 + 2.4721$
		Midterm	$F_c = 0.263 R_0 + 17.542$
	0°	Initially	$F_c = 0.2889 R_0 + 7.7989$
		Midterm	$F_c = 0.2487 R_0 + 16.653$
	-45°	Initially	$F_c = 0.9555 R_0 - 9.0354$
		Midterm	$F_c = 0.2648 R_0 + 16.612$
	-90°	Initially	$F_c = 0.405 R_0 + 4.8473$
		Midterm	$F_c = 0.2239 R_0 + 18.659$

슈미트해머와는 다른 경향을 가지는 것으로 나타났다. 선 타격 반발도 시험기 25mm의 경우, 타격각도에 따른 반발도는 +90°에서는 5.80, +45°는 4.49가 큰 것으로 나타났고, -45° 및 -90°에서는 각각 1.48 및 2.77이 큰 것으로 측정되었다.

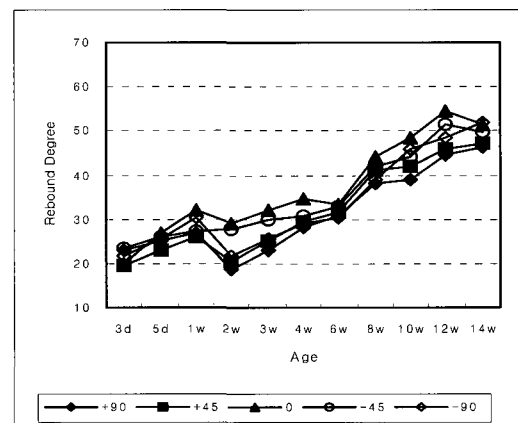
선 타격 반발도 시험기 50 mm 및 25 mm 모두 수평타격



(a) Schmidt hammer



(b) Linear hitting test hammer 50 mm



(c) Linear hitting test hammer 25 mm

**Fig. 7** Rebound degree in hitting angle

에 비하여 직각방향으로 각도가 커질수록 편차가 큰 경향을 보이고 있으며, + 각도에 비해 - 각도에서의 편차가 작은 것으로 나타나 선 타격 반발도 시험기의 타격각도에 따른 반발도 경향은 슈미트해머와 다른 것으로 분석되었으며, 선 타격 반발도 시험기의 타격각도에 따른 관계식을 별도로 제안할 필요가 있는 것으로 판단된다.

### 4.3 재령에 따른 반발도 경향

슈미트해머의 경우 일반적으로 초기재령에서는 반발도가 저하되고 장기재령으로 갈수록 압축강도에 비해 반발도가 커지기 때문에 이를 상쇄시키기 위하여 재령보정계수를 사용하여 보정하도록 되어 있다. 다음의 Fig. 8은 3일 재령에서부터 재령 14주까지 수평타격각도인 0°에서의 압축강도 및 반발도 사이의 관계식과 상관관계를 도시한 것으로써 슈미트해머는  $R^2=0.6839$ , 선 타격 반발도 시험기 50mm의 경우는  $R^2=0.6179$ , 선 타격 반발도 시험기 25mm의 경우에는  $R^2=0.7366$ 으로 나타나 비교적 압축강도와 반발도 사이의 상관관계가 높은 것으로 나타났다.

본 연구에서의 실험결과를 보면, Fig. 8에 도시한 바와 같이 3일에서 1주일까지의 초기재령에서의 반발도 발현상과 2주 이후의 중기재령에 있어서의 반발도 발현상상이 상이한 것이 비교적 명확하게 나타나기 때문에 이를 동일 관계식으로 분석할 경우 상관관계가 낮아질 뿐 아니라 콘크리트 압축강도 추정의 정확성과 신뢰도가 저하될 우려가 있으므로 이를 초기재령과 중기재령으로 구분하여 분석을 실시하였다.

#### 4.3.1 초기재령(3일~1주)

초기재령의 콘크리트를 평가하는 가장 유효한 방법은 공시체를 파괴하여 압축강도를 측정하는 것이며, 반발도 시험은 품질관리를 위한 보조적인 수단이나 경우에 따라 공시체가 확보되지 못한 구조체에 사용할 수도 있는 제한적 용도의 범위에 적용하는 것이다.

##### 1) +90°하향타격

초기재령에 있어서 +90°하향 타격식 측정자세에 의한 콘크리트 반발도시험결과를 도시한 것이 Fig. 9이다. 전체적으로 슈미트해머의 반발도가 가장 작았으며, 선 타격 반발도 시험기 25mm, 50mm의 순으로 반발도가 크게 나타났다. 슈미트해머의 경우, 압축강도는 13.5~16.6 MPa의 범위에서 측정되었고 반발도는 16~23의 범위에서 측정되어 상호간의 관계식은  $y=0.4166x+6.732$ 이고  $R^2=0.9129$ 로 도출되어 압축강도와 반발도 사이의 상관관계가 높은 것으로 분석되었다. 선 타격 반발도 시험기 50mm의 경우는 재령에 따라 13.6~17.4 MPa로 압축강도가 측정되었으며, 이때의 반발도는 29~32로 나타나 상호간의 관계식과 상관관계가  $y=1.1278x-18.558$ ,  $R^2=0.9426$ 이었으며, 슈미트

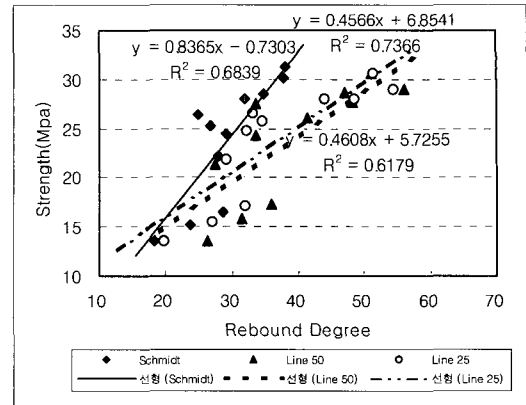


Fig. 8 Compressive strength and rebound degree in 0°

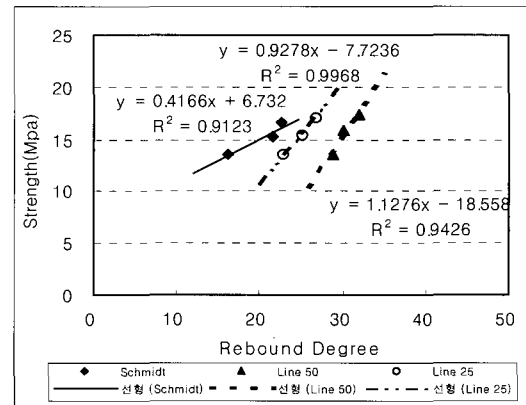


Fig. 9 Compressive and initially age rebound degree +90°

해머에 비해 보다 상관성이 높은 것으로 나타났다.

선 타격 반발도 시험기 25mm의 경우에는 13.6~17.1 MPa의 범위에서 압축강도가 발현된 것으로 나타났으며, 반발도는 23~27인 것으로 측정되어 압축강도와 반발도 사이의 관계식과 상관관계는  $y=0.9278x-7.7236$ ,  $R^2=0.9968$ 로 매우 상관성이 높은 것으로 나타나 콘크리트의 초기재령 압축강도를 추정하는데 있어서 슈미트해머에 비해 높은 신뢰성을 확보하는 것이 가능한 것으로 분석되었다.

##### 2) +45°하향타격

초기재령에 있어서 +45°의 하향식 타격에 의한 반발도 측정결과를 나타낸 것이 다음의 Fig. 10이다. 슈미트해머의 경우 17~22의 범위에서 반발도가 측정되었고, 이때의 관계식 및 상관관계는  $y=0.4787x+5.3492$ ,  $R^2=0.8163$ 인 것으로 나타났으며, 선 타격 반발도 시험기 50mm의 경우는 27~30의 범위로 반발도가 측정되어  $y=1.116x-15.992$ 의 관계식과  $R^2=0.9966$ 의 매우 높은 상관관계를 나타내었다. 선 타격 반발도 시험기 25mm는 20~26의 범위에서 반발도가 측정되어  $y=0.5669x+2.4721$ 의 관계식과  $R^2=0.9985$ 의 매우 높은 상관관계를 가지고 있어 슈미트해머에 비해 초기

재령의 콘크리트에 대한 압축강도 추정의 신뢰성을 높일 수 있는 것으로 분석되었다.

3) 0°수평타격

콘크리트에 대한 성능조사를 위해서는 주로 수평적인 입향자세를 취하게 되므로 반발도 시험에 의한 대부분의 추정식이 이를 기준으로 하고 있는 경우가 많이 있다. 이렇게 가장 일반적인 입향 타격자세에 의한 타격각도 0°의 초기재령 반발도 시험결과를 도시한 것이 Fig. 11이다.

초기재령에 있어서 반발도 시험기에 따른 압축강도와 반발도 사이의 관계식은 슈미트해머의 경우  $y=0.295x+8.1506$  이었고, 선 타격 반발도 시험기 50mm의 경우는  $y=0.3892+3.4395$ 였으며, 25mm의 경우에는  $y=0.2889x+7.7989$ 로 나타났다. 슈미트해머 및 선 타격 반발도 시험기 모두  $R^2=0.99$  이상의 매우 높은 상관관계를 나타내고 있어 재령별 압축강도 추정식의 제안이 재령보정계수를 적용하는 것보다 비파괴시험의 신뢰성을 향상시키는 방안이 될 수 있다는 것을 반증해 주고 있는 것으로 판단된다.

4) -45°상향타격

상향자세에 의한 -45°타격각도의 반발도 시험 결과를

나타낸 것이 Fig. 12이다. 슈미트해머의 경우 23~26의 범위에서 반발도가 측정되었으며, 이때의 관계식 및 상관관계는 각각  $y=0.9078x-7.5072$ ,  $R^2=0.9929$ 로 나타나 매우 상관성이 높은 것으로 분석되었다. 선 타격 반발도 시험기 50mm 및 25mm의 관계식과 상관관계는  $y=0.589x-1.365$ ,  $R^2=0.937$  및  $y=0.9555x-9.0354$ ,  $R^2=0.976$ 으로 나타나 슈미트해머에 비해 약간 차이가 있으나 매우 상관관계가 높은 것으로 나타났다.

5) -90°상향타격

슬래브 또는 보의 하부 면을 타격하게 되는 -90°에서의 압축강도 및 초기재령 반발도에 대해 나타낸 것이 Fig. 13이다. -90°의 타격각도에 있어서 슈미트해머는 20~28의 범위에서 반발도가 측정되어  $R^2=0.7334$ 의 상대적으로 낮은 상관관계를 가지고 있는 것으로 나타났으며, 이는 5일 재령의 반발도가 압축강도에 비해 비교적 높게 나타난 결과 때문인 것으로 분석된다. 선 타격 반발도 시험기 50mm는 31~34의 범위로 반발도 측정 결과를 보였고,  $R^2=0.9904$ 로 매우 높게 나타났으며, 선 타격 반발도 시험기 25mm의 경우는 22~31 범위에서  $R^2=0.9911$ 의 상관관계를 나타내었다.

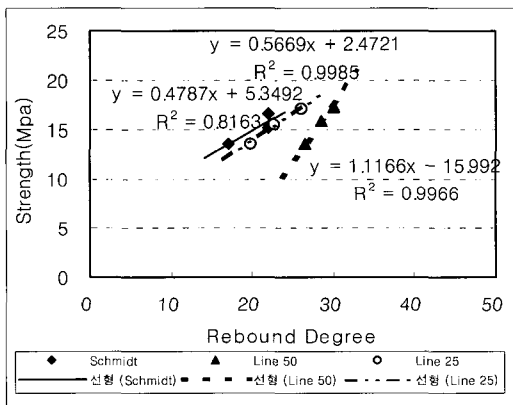


Fig. 10 Compressive and initially age rebound degree +45°

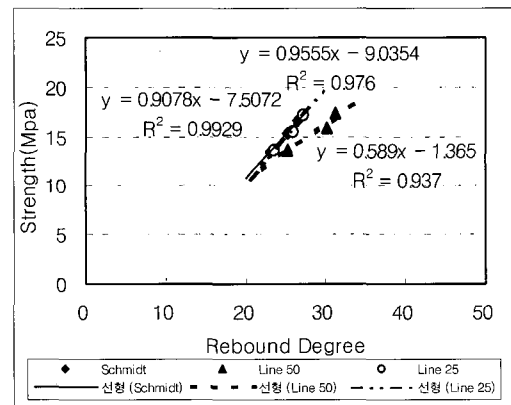


Fig. 12 Compressive and initially age rebound degree -45°

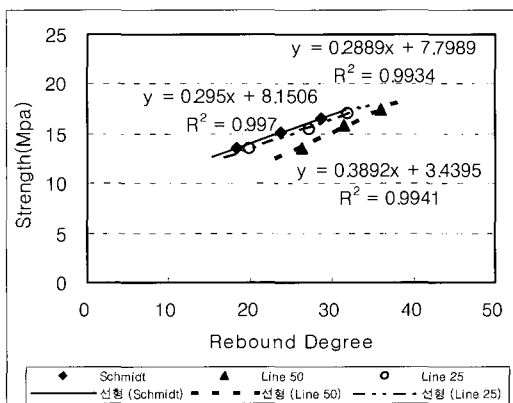


Fig. 11 Compressive and initially age rebound degree 0°

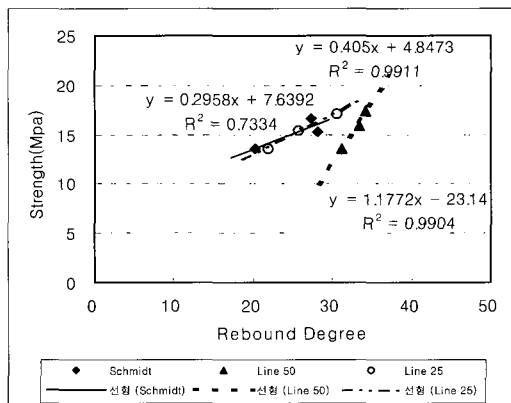


Fig. 13 Compressive and initially age rebound degree -90°

콘크리트의 압축강도 발현성상을 추정하기 위한 3일에서 1주일 사이의 초기재령에 있어서 슈미트해머와 선 타격 반발도 시험기 50mm 및 25mm를 이용한 반발도 시험결과는 전체적으로 모두 압축강도와 높은 상관관계를 유지하고 있어서 기존의 재령보정계수 및 각도보정계수를 적용한 단일 추정식에 비해 압축강도 추정의 신뢰성을 증대시킬 수 있을 것으로 기대된다.

#### 4.3.2 중기재령(2주~14주)

콘크리트 재령 2주~14주까지의 중기재령의 압축강도와 반발도사이의 관계를 도기한 것이 다음의 Figs. 14~18이다. 콘크리트의 압축강도는 21.4~31.3MPa의 범위에서 측정되었으며, 전체적으로 앞의 Fig. 8과 비교해 볼 때, 모든 타격각도 및 비파괴 시험기의 종류에 관계없이 콘크리트의 압축강도와 반발도 사이의 회귀식의 상관관계가 높은 것으로 나타나 각도 및 재령에 따라 별도의 관계식을 도출하는 것이 보다 타당한 것으로 판단된다.

선 타격 비파괴 시험기 50mm 및 25mm의 추세선의 기울기가 슈미트해머의 기울기에 비해 완만한 것으로 나타나 콘크리트의 압축강도의 증가에 대해 반발도가 예민하게 반응하는 경향을 나타내고 있으며, 전체적으로 선 타격 비파괴 시험기의 반발도가 슈미트해머의 반발도에 비해 큰 값을 보이고 있어 상대적으로 반발도의 편차비율이 적은 것으로 분석되었다.

##### 1) +90°하향타격

2주~14주까지의 콘크리트에 대한 +90°하향타격에 있어서 슈미트해머의 관계식은  $y=0.64x+10.043$ 이었고 이때의  $R^2=0.9405$ 인 것으로 분석되어 압축강도와 반발도 사이의 상관관계가 매우 높은 것으로 나타났으며, 선 타격 비파괴 시험기 50mm 경우는 상관관계가  $R^2=0.8845$ 로 도출되어 슈미트해머에 비해 약간 저하되는 것으로 나타났으나, 25mm의 경우에는  $y=0.2655x+17.542$ ,  $R^2=0.9524$ 인 것으로 분석되어 슈미트해머 보다 상관관계가 높은 것으로 나타났다.

##### 2) +45°하향타격

+45°하향타격에 있어서 슈미트해머의 반발도는 21~33의 범위에서 측정되었고 이때의 관계식은  $y=0.618x+9.9429$ 였으며, 상관관계  $R^2=0.925$ 로 나타났다. 선 타격 비파괴 시험기 50mm의 경우 반발도는 26~53의 범위에서 측정되어 슈미트해머에 비해 높게 나타났으며, 이때의 관계식 및 상관관계는  $y=0.2759x+15.708$ ,  $R^2=0.8471$ 로 분석되었다. 선 타격 반발도 시험기 25mm는 반발도가 20~47의 범위로 나타나 슈미트해머에 비해서는 높게 측정되었고, 50mm에 비해서는 6정도 낮은 반발도를 보였으며, 압축강도와 반발도 사이의 관계식과 상관관계는  $y=0.263x+17.542$ ,  $R^2=0.9383$ 인 것으로 나타났다.

+45°하향타격에서도 선 타격 비파괴 시험기 25mm의

상관관계가 가장 높고, 슈미트해머, 선 타격 비파괴 시험기 50mm의 순으로 나타나 +90°의 결과와 거의 동일한 양상을 보였다.

##### 3) 0°수평타격

일반적으로 반발도 시험의 기준이 되는 수평타격에 있어서 반발도의 크기는 선 타격 비파괴 시험기 50mm, 25mm 및 슈미트해머의 순으로 나타났으며, 콘크리트 압축강도와 반발도 사이의 상관관계는 선 타격 비파괴 시험기 25mm, 50mm, 그리고 슈미트해머의 순으로 나타나 앞의 하향타격에서의 결과와 동일하게 선 타격 비파괴 시험기 25mm의 상관관계가 가장 높게 나타났다.

이는 선 타격 비파괴 시험기가 기본적으로 점 타격 개념의 슈미트해머에 비해 콘크리트에 접하는 부위가 넓어 반발 에너지를 충분히 전달할 수 있어 반발도가 높게 측정되기 때문에 상대적으로 데이터의 편차비율이 적은 것에 기인하는 것으로 판단되며, 선 타격 비파괴 시험기 50mm가 25mm에 비해 상관관계가 저하되는 것은 선의 직경이 큰 관계로 반발 에너지가 전달과정에서 산란되었기 때문인 것으로 분석된다.

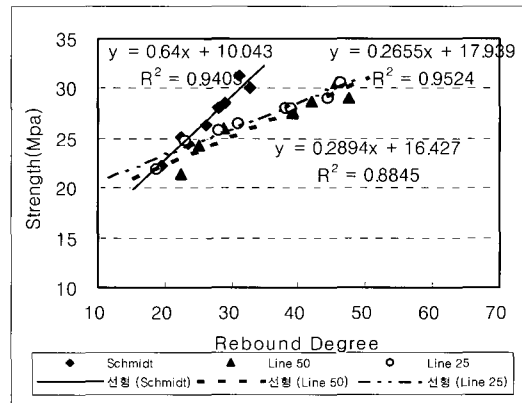


Fig. 14 Compressive and midterm age rebound Degree +90°

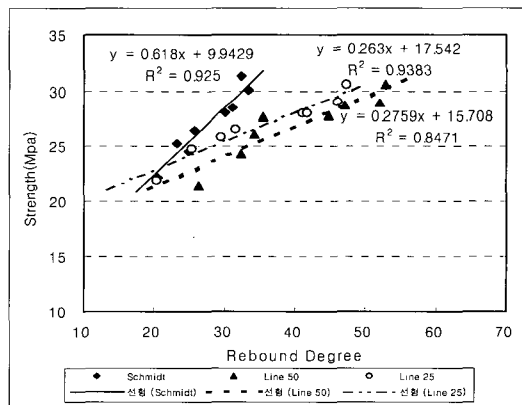


Fig. 15 Compressive and midterm age rebound degree +45°



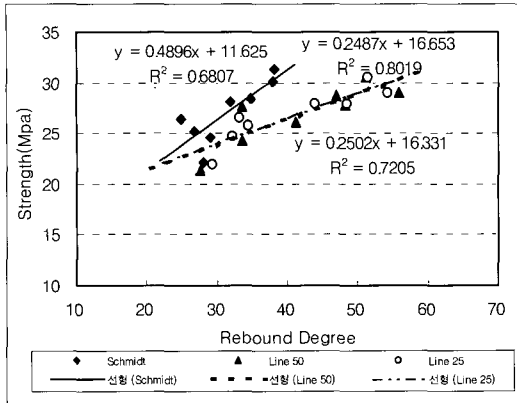


Fig. 16 Compressive and midterm age rebound degree 0°

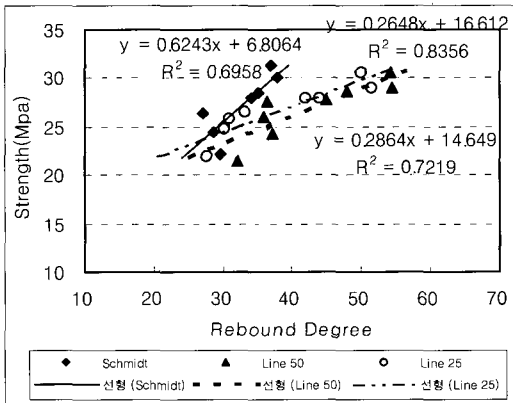


Fig. 17 Compressive and midterm age rebound degree -45°

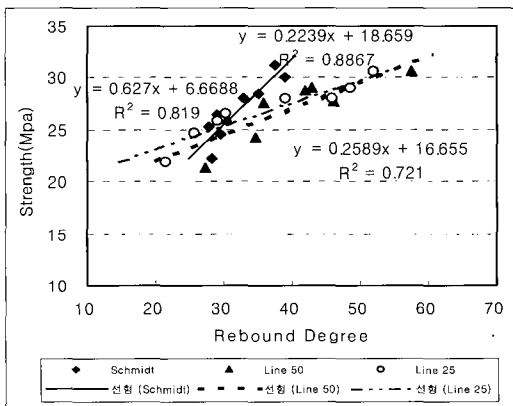


Fig. 18 Compressive and midterm age rebound degree -90°

4) -45°상향타격

-45°의 상향타격에서도 전체적인 반발도의 측정 결과는 하향 및 수평타격에서의 결과와 유사한 양상을 보이고 있어 반발도의 크기는 선 타격 비파괴 시험기 50 mm, 25 mm, 슈미트해머의 순으로 나타났고 회귀식의 기울기는

선 타격 비파괴 시험기가 완만하였으며, 콘크리트 압축강도와 반발도의 상관관계는 선 타격 비파괴 시험기 25mm, 50mm, 그리고 슈미트해머의 순으로 나타났다.

5) -90°상향타격

구조체의 하부 면에 대해 직각방향으로 상향타격하게 되는 -90°는 전체적인 반발도의 경향이 다른 각도의 시험결과와 동일한 양상을 보였으며, 압축강도와 반발도의 상관관계도 선 타격 비파괴 시험기 25mm가 가장 높은 것으로 나타났다.

지금까지의 콘크리트 압축강도 추정을 위한 비파괴 시험에 있어서 압축강도의 추정방법은 압축강도 추정식은 매우 단순한 수식으로 제안하고 여러 변인에 따른 반발도의 변화요인을 감안하여 재령 및 각도에 대한 보정계수를 적용하는 방법이 대부분이다.

따라서 반발도 값을 사용목적에 적합한 추정식에 대입하면 비교적 간단하게 압축강도 추정값을 얻을 수 있는 장점을 가지고 있다. 그러나 이러한 방법은 기본적으로 사람마다의 편차가 발생할 수 있다는 가능성을 내재하고 있다. 가장 큰 문제점은 이렇게 단순한 수식으로 압축강도를 추정하는 것이 과연 신뢰성을 가지고 있으며, 그 추정값에 의해 콘크리트의 상태를 판단하는 것이 과연 정당한가 하는 것이다. 간편한 시험방법과 간단한 시험장비, 그리고 신뢰성 있는 추정식의 제안과 실용화가 콘크리트 비파괴 시험의 신뢰도와 활용도를 높일 수 있는 방안이 될 것이다.

5. 결 론

시멘트 복합체로 구성된 콘크리트의 특성에 보다 적합하고 신뢰성 있는 비파괴 시험방법을 개발하기 위해 선 타격 개념의 반발도 시험기를 적용하여 콘크리트 압축강도 추정의 신뢰성을 향상시키는 방안을 모색하고, 다양한 타격각도에 따라 선 타격 반발도 시험기에 적용할 수 있는 압축강도 추정식을 제안하여 콘크리트의 품질 평가의 정확성을 제고하고 경제적인 구조물 안전진단이 가능하도록 유도하기 위한 본 연구의 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 선 타격 반발도 시험기 50mm 및 25mm 모두 수평타격에 비하여 직각방향으로 각도가 커질수록 편차가 큰 경향을 보이고 있으며, + 각도에 비해 - 각도에서의 편차가 작은 것으로 나타나 선 타격 반발도 시험기의 타격각도에 따른 반발도 경향은 슈미트해머와 다른 것으로 나타났다.
- 2) 선 타격 반발도 시험기에 있어서 3일~7일까지의 초기 재령의 반발도와 압축강도의 상관관계  $R^2=0.937\sim0.9985$ 의 매우 높게 나타나 관계식을 선 타격 반발도 시험기의 압축강도 추정식으로 적용할 수 있을 것으로 판단된다.

- 3) 2주~14주까지의 중기재령에 있어서 선 타격 반발도 시험기의 반발도는 콘크리트 압축강도의 증가에 따라 예민하게 변화하는 것으로 나타났으며, 모든 타격각도에 있어서 선 타격 반발도 시험기 25mm의 상관관계가 가장 높은 것으로 나타나 보다 신뢰성 있는 비파괴 시험기로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.
- 4) 콘크리트 압축강도 추정을 위한 반발도 시험기 종류별, 콘크리트 재령별, 타격각도별 압축강도 추정 제안식은 다음에 나타난 Table 3과 같다.

추후 선 타격 반발도 시험기에 대해 추후 장기재령 콘크리트, 부재의 종류, 콘크리트의 타설 높이, 부재의 두께, 철근의 유무 및 피복두께, 다양한 콘크리트 종류 및 강도에 따른 적용성 연구 등이 계속적으로 이루어질 예정이다.

### 참고문헌

1. 권영웅, “콘크리트의 표면경도 시험법”, 콘크리트학회지, 10권 2호(통권44호), 1998, p21.

2. 안형준, 콘크리트 구조물의 안전진단, 구미서관, 1999.
3. 유택동 외, 건축재료실험교재, 공간예술사, 2001.
4. 전명훈 외, “콘크리트 비파괴시험”, 주택기술정보, 77호, 1997, p9.
5. 한국콘크리트학회 편, 콘크리트 구조물의 비파괴검사 및 안전진단, 기문당, 2001.
6. (社)日本非破壊検査協議會編, コンクリート構造物の非破壊検査, オム社, 1996.
7. 이종득 감수, 콘크리트 구조물 비파괴진단, 도서출판 일광, 2002.
8. 이차돈 외, “반발도법에 의한 콘크리트 내력평가”, 한국구조물진단학회지, Vol.3, No.1, 1999, p6.
9. (社)日本コンクリート工學協會, 콘크리트의非破壊試験法研究委員會報告書, 1992.
10. 장석환, 실험계획과 응용, 교우사, 2002.
11. 日本建築學會, 콘크리트強度推定ための非破壊検査方法 マニュアル, , 1983.

### 요 약

최근 들어 리모델링시장이 점차 신축시장의 대체시장으로 부각되고, 재건축아파트에 대한 안전진단의 문제가 사회의 주요 관심사가 되면서 기존 콘크리트 구조체의 상태에 대해 체계적이고 과학적인 구조물 진단 및 평가가 요구되고 있으며, 비파괴 시험방법에 의한 콘크리트 압축강도를 추정하기 위한 데이터의 신뢰성에 대한 중요성이 점점 증대되고 있다. 본 연구에서는 선 타격 개념의 반발도 시험기를 적용하여 콘크리트 압축강도 추정의 신뢰성을 향상시키는 방안을 모색하고, 재령 및 타격각도에 따라 선 타격 반발도 시험기에 적용할 수 있는 압축강도 추정식을 제안하고자 하였다. 연구 결과, 선 타격 반발도 시험기는 재령별, 타격각도별로 별도의 추정식을 제안하는 것이 콘크리트 압축강도 추정의 신뢰성을 향상시키는데 긍정적인 것으로 나타났으며, 압축강도와 반발도 사이의 상관관계는 초기 및 중기재령, 그리고 타격각도별로 초기재령 -45°를 제외한 모든 부분에서 선 타격 반발도 시험기 25mm가 가장 높은 것으로 나타나 기존의 슈미트해머에 비해 콘크리트 압축강도 추정의 신뢰성을 높일 수 있는 방안이 될 것으로 분석되었다.

**핵심용어** : 비파괴 시험, 반발도 시험기, 선 타격, 콘크리트 압축강도 추정, 슈미트해머