

콘크리트 소재 구조물의 강도 측정 시험법에 관한 연구

An Introduction to the Test Methods of Concrete Strength in Existing Structures

권 영 웅*
Kwon, Young Wung



1. 서언

콘크리트의 강도는 콘크리트의 품질과 특성을 보여주는 일관 역할을 하기 때문에, 이는 콘크리트 공학에 있어서 전통적으로 가장 영향력 있는 파라미터로 취급되어 왔다.

한편, 실제로 시공중이거나 사용되고 있는 구조물에 있어서도 구조체의 사용성이나 안정성에 대하여 우려가 생기게 될 경우에도 해석적 방법이나 재하시험을 통하여 구조적인 강도 평가를 내리기 위하여 앞서 구조체의 강도를 구하는 것은 선행작업으로 널리 행해지고 있다.

그렇기 때문에 지금까지 많은 콘크리트 학자들은 콘크리트의 강도를 구하려는 노력을 경주하여 왔으며, 이는 계측기술과 통계학 및 표준화의 도움으로 실험실에서나 현장에서 구조체와 거의 사실에 가까운 강도값을 추정하기에 이르렀다.

특히 본 연구에서는 실존하는 콘크리트 구조체(existing structure)로부터 콘크리트의 강도를 얻기 위해 행해지고

있는 여러 시험법을 각국의 시방서와 매뉴얼을 참조, 간단히 소개함으로써 현장 종사자들에게 이해를 시키는 물론, 콘크리트 소재 구조물의 품질 평가에 다소나마 보탬이 되고자 한다. 본문에서 소개되는 시험법은 그림 1과 같이 내부(코어)강도, 표피강도 및 표면강도 시험법을 중심으로 전개하려 한다.

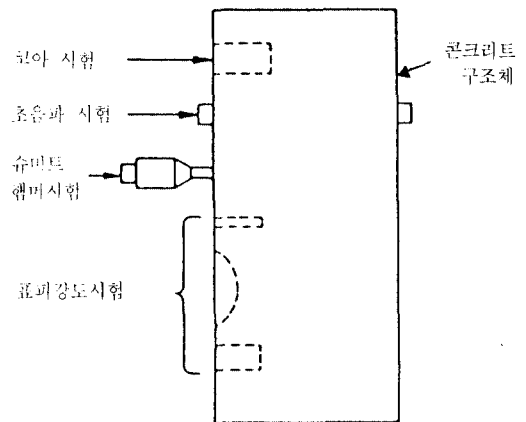


그림 1. 콘크리트 구조체의 강도시험법

* 인천대학교 건축공학과, 부교수, 공학

2. 콘크리트의 강도 추정 시험법

2-1. 콘크리트 코아의 채취와 시험

가. 준비 시험(철근탐사 시험)

(1) 개요

매설된 철근을 탐사하는데에는 매설 철근 탐지기를 사용한다. 이것은 콘크리트 보강재의 위치, 방향, 매립 깊이, 크기 등을 측정할 수 있으며, 철근 크기 측정의 정확도는 $\pm 10\%$ 의 오차를 보인다.

(2) 밸런싱(balancing)

철근 탐사기기는 매우 정밀한 기기로서, 82~85 Hz의 전파에 의해 간섭을 받으므로 근처의 작동중인 다른 기기와는 적어도 4.5m 이상의 거리를 유지하여야 한다. 처음 스위치를 켜후 30초간의 워밍업 시간을 가진후 기기를 40~50초 시간 동안 밸런싱을 실시하며, 이때 탐지봉은 급속으로 부터 적어도 30cm이상 간격을 유지한다.

(3) 골재 보정

이것은 특정 콘크리트내에서 시멘트 속의 자성 골재 특성을 보정하기 위한 것으로 먼저 75mm내에서 콘크리트 조각에 탐침봉을 접촉시켜 골재보정을 실시할 수 있다.

(4) 철근의 위치 탐지

색깔로 표시되는 발광 다이오드를 통한 탐침이 자성 물질과 비자성 물질의 존재를 알려준다. 탐침이 자성 물체 가까이에 있게 되면 다이오드의 색은 변하며 비급속 물체일 때는 적색이 된다. 한편 철근의 위치를 파악하는데에는 음향 위치의 출력을 통해서도 알 수 있다. 탐침을 정확히 밸런싱하고 콘크리트 표면에 탐침을 움직이게 되면 지속적인 작은 소리에서 소리가 점점 크게 되어 가장 큰 위치를 얻을 수 있는데, 이때의 센서 위치로부터 철근의 위치를 발견할 수 있다.

나. 코아의 채취

(1) 개 요

강도 측정 시험체를 준비하는데 쓰이는 경화 콘크리트의 샘플링은 모르타르와 골재 사이의 부착이 방해받지 않으면서 샘플을 채취할 수 있을 정도로 경화된 콘크리트여야 한다. 일반적으로 시험체 채취는 재령 14일 이상이

어야 하며, 경화된 콘크리트에서 시험체를 준비할 때는 특이한 결함이 있거나 채취 과정에서 크게 손상을 입은 것은 시험하지 않는다.

철근이 묻힌 시험체는 활열인장 강도를 구할 때는 사용할 수 없으며, 휨강도를 구하는 시험체의 경우에도 시험체의 인장력을 받는 부분에 철근이 묻혀 있으면 안된다. 철근이 묻혀 있으면 압축강도의 분포가 달리 나타날 수 있는데 이때 가능하면 시험체의 길이/직경(L/D)의 비가 1.0 이상이면 철근을 제거하는 편이 좋다.

(2) 코아 드릴링

표면에서 하향 직각으로 코아를 잘라낼 때에는 원래 타설된 콘크리트본체와 코아의 축이 직각이 되도록 하고, 접합부나 가장자리에 가까운 위치는 되도록 피해야 한다. 세로면에 직각이나 홈이 있는 표면으로 부터 직각으로 코아를 채취할 때에는 가능하면 콘크리트 몸체의 중앙에서 채취하도록하고 접합부나 가장자리는 피해야 한다.

(3) 시험체 채취

필요한 횟수에 맞게 충분히 큰 시험체를 채취하며 이때 균열, 갈라진 틈, 언더컷, 손상 부위 등이 없도록 주의해야 한다.

다. 코아 시험체의 길이

코아 시험체의 길이를 결정하기 위해서는 최소 10cm의 직경이 필요하다. 그리고 길이측정 과정은 KS F24 12-80에 따른다.

라. 압축 강도

(1) 시험체

압축강도를 결정하기 위한 시험체의 직경은 콘크리트에 사용된 최대 골재 치수의 3배 이상이어야 하며, 부득이한 경우에 최소 2배 이상까지 허용한다. 캠핑전 시험체의 길이가 그 직경의 95% 미만(L/D<0.95)이거나 캠핑후 그 직경보다 낮은 높이를 갖는 시험체는 사용할 수 없다.

(2) 단부 마감

압축 시험할 시험체의 단부는 반드시 매끈해야하고 수평을 유지해야하며, 공시체의 몸체와 같은 직경을 갖도록 해야 한다. 필요하다면 이 조건을 만족시키도록 캠핑하거나 그라인더로 마감질을 한다.

(3) 돌출부(Projection)

만약 돌출부가 있다면 단부 표면에서 5mm를 넘지 않아야 한다.

(4) 단부 표면은 수평에서 5° 이내에 들도록 처리해야 한다.

(5) 단부 표면의 직경은 전체 평균 직경과 2.5mm 이하의 차를 갖도록 한다.

(6) 건조·습윤 상태

만일 구조물에서의 콘크리트의 사용상태가 건조된 경우 라면 코아는 시험전 7일동안 공기로 건조시킨 후(온도 15~27°C, 상대습도 60% 이하) 기건 상태에서 시험하여야 한다. 그러나 만약 구조물 콘크리트의 사용 상태가 습윤 상태인 경우라면 압축 시험 바로전에 23.0±1.7C 되는 석회수(lime-saturated) 물에 40시간 동안 시험체를 담근다. 시험체를 물에서 꺼낸 후 신속하게 시험한다. 물에서 꺼낸 후 시험하기 전까지 시험체는 젖은 담요나 그 밖의 천등으로 덮어서 습윤을 유지한다.

(7) 켈핑

압축 시험에 앞서서 시험체의 양쪽 끝 표면을 모르타르나 유황 및 그라인딩 등으로 켈핑처리한다. 켈핑된 시험체의 표면은 반드시 일정한 편평도(plainness)를 유지해야 한다.

(8) 측정

시험에 앞서 켈핑한 시험체의 길이를 2.5mm 단위까지 측정하여 길이/직경비를 계산할 때 사용한다. 평균직경은 시험체의 중간 높이 정도에서 서로 직각이 되는 두곳을 측정하여 평균한다. 코아의 지름은 가능한한 0.25mm까지 측정되되 최소한 2.5mm까지는 측정해야 한다.

(9) 압축 강도 시험

KS F2405-79의 규정에 따라 압축강도를 시험한다.

(10) 압축 강도의 계산

시험체의 평균 직경으로 전체 표면적을 계산하여 각 기형체의 압축 강도를 계산한다. 시험체의 L/D 비가 2보다 현저히 적으면 도표 1과 같은 보정계수를 압축 강도에 곱하여 사용한다.

이 보정계수는 1600~1920kg/m³되는 경량 콘크리트와 보통 콘크리트에 적용한다. 재하시 습윤이나 건조한 콘크리트 모두에 적용할 수 있으며 표에 주어지지 않은 값에

도표 1-코아시험체의 길이/직경 보정계수

L/D	보 정 계 수		
	KS F2422	ASTM C42-77	BS 1881: 1970
2.00	1.00	1.00	1.00
1.75	0.98	0.98	0.98
1.50	0.96	0.96	0.96
1.25	0.93	0.93	0.94
1.00	0.89	0.87	0.92

대하여는 보간법으로 구한다. 보정 계수는 150~400 kg/cm²의 압축 강도를 갖는 보통 콘크리트에 적용할 수 있고 강도나 탄성 계수등 여러가지 조건에 따라 다르다. 표에는 평균값이 주어지 있다.

(11) 보고서

코아강도 시험을 나타내는 보고서는 다음과 같은 실험 수준(level)을 기재하여 작성한다.

(1) 시편 번호(ID-Number)

(2) 공시체의 길이와 직경(L/D)

(3) 공시체의 단면적(A)

(4) 공시체에 가해진 최대 하중(Pc)

(5) 코아 강도(F_c)

(6) 파괴 유형

(7) 결함

(8) 재령

(9) 켈핑 전후의 시험체 길이

(10) 시험체 지름을 0.25mm까지 측정하였을 때는 압축 강도는 69kPa까지, 2.5mm까지 경우는 345kPa까지. L/D비에 따라 보정이 필요한 경우는 수정한 후에 기록한다.

(11) 콘크리트 타설 방향을 기준으로한 재하 방향

(12) 시험때의 습윤상태

(13) 콘크리트의 최대 골재 치수

2-2. 초음파 시험법

가. 개 요

초음파가 고체를 통과하는 속도는 대상 물질의 밀도와 탄성적 성질에 따라 좌우된다. 이런 원리를 이용한 초음파 시험기를 가지고 콘크리트에 적용하여 콘크리트의 균질성, 공극, 균열, 결함의 발견, 시멘트에 따른 콘크리트의 변화, 즉 시멘트의 수화작용, 화재, 동해, 화학 반응,

강도등에 관련한 콘크리트의 성질을 파악할 수 있다.

나. 시험 표면과의 커플링(coupling)

정확한 통과 시간을 측정하기 위해서는 시험체 표면과 센서(transducer)간의 면을 충분히 밀착시켜야 한다. 이때 일반적으로 밀착을 돕기 위해 그리이스유를 사용하며, 거친 표면에는 콘크리트나 몰탈, 에폭시등을 사용하고, 이때 표면이 젖어 있으면 커플링 손실을 줄일 수 있다. 통과시간이 다른 시험체가 ±1% 오차내에 있으면 정상적인 커플링인 것으로 간주한다.

다. 시험 방법

초음파를 이용하여 재료의 성질을 파악하기 위해서는 고도의 정밀을 요한다. 따라서 시험 대상 재료에 적합한 펄스를 사용할 수 있도록 기기를 조절하여 통과 시간과 통과한 거리를 측정한다. 이때 펄스 속도의 미소차이가 콘크리트내에서는 큰 변화를 가져오므로 각각의 오차는 ±1%의 한계를 갖도록 한다. 펄스 속도는 다음식으로 계산한다.

$$\text{펄스 속도}(V) = \frac{\text{통과거리}(L)}{\text{통과 시간}(T)}$$

시험 방법 중에는 센서의 위치에 따라 직접법, 간접법, 반직접법 등이 있으나 직접법(V_D)이 가장 바람직하며 간접법(V_I)을 사용한 경우 그 관계는 $V_D = 1.05 V_I$ 가 된다.

라. 시험 조건의 영향

펄스 속도는 다음과 같은 요인에 의해 영향을 받는다.

- (1) 통과 거리(path length)-- 최대 골재 치수가 20mm 일 때 통과 거리가 100mm 이상이거나, 최대 골재 치수 40mm 일 때 통과 거리 150mm 이상이면 통과 거리의 영향은 무시할 수 있다.
- (2) 시험체의 단면 치수-- 파장의 크기와 관련하여 5 54KHz 일 때 최소 80mm를 갖도록 한다.
- (3) 철근의 유무-- 강재(철근)에서는 콘크리트보다 진동 속도가 빨라지게 되지만, 철근의 양이 통과 거리에 비해 작거나 펄스 경로(pulse path)에 직각 방향으로 철근이 있으면 그 영향은 무시할 수 있다. 가능하면 철근의 영향을 피할 수 있는 경로를 선택하도록 한다.
- (4) 콘크리트 수분의 함유량-- 수분 함유량이 높을수록 펄스 속도는 증가하며 건조 상태보다 포화상태에서 약

2% 가량 높고 고강도일수록 이런 경향은 감소한다.

2-3. 슈미트 햄머 시험법

가. 개요

슈미트 햄머에 의한 콘크리트의 강도는 표면 경도(surface hardness)에 근거하는 것으로서, 타격 방향(각도), 타격 횟수, 타격 위치(부재), 콘크리트의 재령, 콘크리트의 흡수 정도, 단면 시멘트량, 골재의 종류, 표면의 상태, 탄산화의 정도, 콘크리트의 양생, 콘크리트의 충전 정도, 콘크리트의 체적, 부재의 세장성과 지지조건, 시험 콘크리트의 응력 상태, 사용기기와 콘크리트의 온도 및 햄머의 검정(calibration)등에 따라 각각 달리 나타나고 있는데 이를 주요 영향별로 살펴보면 다음과 같다.

나. 타격 방향(각도)의 영향

슈미트 햄머에 의한 타격 방향은 수평 타격($\alpha = 0^\circ$)을 원칙으로 하여 수직 하향($\alpha = -90^\circ$), 수직 상향($\alpha = +90^\circ$), 경사 하향($\alpha = -45^\circ$), 경사 상향($\alpha = +45^\circ$) 및 경사 정도에 따라 다음식으로 보정한다.

$$R_0 = R + \Delta R$$

이때 R_0 , R, ΔR 은 각각 수정 반발 경도, 측정 반발 경도 및 타격 각도에 의한 보정 반발 경도이다.

다. 콘크리트의 양생(흡수 정도)의 영향

수중 양생을 실시한 콘크리트를 건조시키지 않고 측정 한 경우는 보정치 $\Delta R = +5$ 로 한다.

라. 타격 횟수 및 타격 위치 영향

슈미트 햄머에 의한 강도는 타격 횟수와 타격 위치(기둥, 보, 벽체등)에 따라 그 신뢰성이 좌우된다. 일반적으로 타격 횟수는 20회로 하되 최소 9회 이상으로 하며 타격점의 간격은 3cm를 표준으로 한다.

마. 콘크리트 재령의 영향

내력 진단을 목적으로 한 기성 콘크리트의 압축강도 추정은 재령에 따라 보정되어야 하는데 이는 연수(年數)를 경과한 건조된 콘크리트가 일반적으로 재령에 따라 과대한 반발 경도를 나타내는 경향이 있기 때문이다.

이때 인용되는 재령계수로는 스위스연방 재료시험소의 제안값을 사용한다.

바. 측정 기기의 검정

슈미트 햄머를 사용할 경우에 있어서는 시험전에 반드시 테스트 앤빌(test anvil)로서 슈미트 햄머를 검정하여야 하며 이때 기준 반발도는 $R_0 = 80$ 이다. 슈미트 햄머는 R_0 값이 80 ± 1 로 하되 $R_0 = 80 \pm 2$ 의 범위내에서는 사용이 가능하다. 그러나 이 값을 벗어날 때는 슈미트 햄머의 초기 반발도가 72까지에 한하여 다음식으로 보정해 주되, 그 신뢰성에는 논란의 여지가 있다.

$$R = R_m \frac{80}{R_a}$$

이때 R_m = 평균 측정 반발도, R_a = 앤빌의 수직 하향 타격($\alpha = -90^\circ$)시의 반발도이다.

사. 강도의 추정

슈미트 햄머에 의한 구조체 콘크리트의 압축 강도는 품질 관리나 내력진단등의 목적에 따라 약간씩 다르다. 일반적으로 경화 콘크리트는 미리 구해놓은 반발도와 압축강도와의 상관 관계식이나 상관도 및 상관표를 사용하여 압축 강도를 추정한다. 그러나 이것은 어디까지나 편의의 한 방법이며 원칙적으로는 실험을 통하여 상관 관계식을 구하여 강도를 추정해야 하는데, 이때 품질 관리를 목적으로 할 경우에는 추정하고자 하는 콘크리트 배합 강도를 포함한 3종류 이상의 콘크리트 공시체를 제작하여 반발도와 압축강도 관계식을 구하는 것이고, 내력 진단을 목적으로 할 경우에는 해당구조물의 일부에서 채취한 코아의 압축강도와 해당개소에서의 반발도와의 관계에서 추정치를 구하면 된다.

아. 슈미트 햄머에 의한 강도 추정식

슈미트 햄머에 의한 보통 콘크리트의 강도 제안식은 많은 학자들에 의해 제안되었다. 지금까지 제안된 강도식들은 50여가지로서 그 실험조건(level)은 모두 달리고 있다.

특히 이러한 강도 제안식 가운데에서 우리나라에서 많이 인용되어 왔던 강도식은 직선식으로서 일본 재료학회의 제안식과, 동경도 건축재료 시험소의 제안식 및 일본 건축학회 제안식 등으로 각각 다음과 같다.

$$F = -184 + 13R_0$$

$$F = -110 + 10R_0$$

$$F = 100 + 7.3R_0$$

2-4. 감마선 시험

감마선에 의해서 콘크리트의 강도를 측정하는 것은 아직까지도 그 신뢰성에 있어서 문제가 있지만, 그러나 이 방법은 밀도차이나 철근의 위치, 덕트의 그라우트 효율성에 대해서는 유용한 정보를 제공해준다. 이 조사방법은 강도평가에서 권장되고 있지 않으므로 더 자세한 사항은 본 연구에서 제외하였다.

2-5. 표면시험(near-to-surface test)

최근에는 콘크리트 구조체로 부터 표피 강도를 측정하는 방법이 많이 개발되고 있다. 그러나 이러한 표피시험은 많은 부재에 대해서 거시적으로 조심스럽게 다루어져야 하며, 또한 초기 배합시의 충전에 기인하는 경질 표피의 상황도 고려해야 할 것이다.

가. 인발시험(pull out test)

이 시험법은 콘크리트 속에 단부가 펼쳐진 특수장치를 매설케하고 이를 인발해내는데 필요한 힘을 측정하는 시험법이다.

보통 경화 콘크리트에 뚫은 구멍속에 기기를 확장하는 스플리트슬리브(spilt-sleeve)나 에폭시수지로 설치된 볼트를 인발한다.

나. 절단시험(break-off tests)

콘크리트 표면에 평행하고 일정한 거리 떨어진 고리모양의 단면에서 휨강도를 구하는 직접 시험법이다.

다. 관입시험(penetration test)

경화 합금 탐침을 콘크리트 표면에 발사시킬 때, 이때 표면을 관통할 때 생기는 저항정도를 측정하는 시험법이다.

2-6. 내부파괴시험(internal fracture test)

가. 일반 사항

이 시험방법은 1976년에 개발되어서 오늘날까지 시행되는 시험법으로서 실제 데이터는 많은 편이 아니다. 가끔 이 시험법은 '인발시험'이라 불리어진다. 내부파괴시험은 콘크리트 부재의 표면 또는 표피에 대한 정보를 제공한다.

나. 시험위치의 선정

시험은 콘크리트 표면에서 직경 6mm, 깊이 30~35

mm의 구멍을 뚫는다. 시험방법은 가로 약 50mm정도되는 표면에 얇은 구멍을 남기면서 콘크리트를 파괴할 수 있어야 한다. 그러므로, 시험하는 곳의 위치는 표면이 손상되도록 적절히 계획되어야 한다. 구멍은 모서리 또는 불연속위치에서 50mm이내, 또는 다른 시험위치에서 100mm이내, 또는 피복이 25mm이내이면 철근에서 25mm 근처에서는 어떠한 점에서도 구멍을 뚫어서는 안된다.

시험결과와 콘크리트 강도 사이의 상호관계는 콘크리트의 압축변형도에 영향을 주기 때문에, 압축능력이 적은 부분에서 시험하는 것이 좋다. 선정된 시험위치는 시험을 행하는데 접근이 용이하고 충분한 시험공간을 확보할 수 있어야 한다.

다. 시험의 수

한 위치에서 평균값을 계산하기 위해 6번의 유용한 내부파괴시험이 필요하다. 6번의 시험의 평균값은 95%의 신뢰성으로 $\pm 30\%$ 범위내에서 정확하다.

라. 시험법

시험법은 해당 설명서의 권고사항을 정확하게 따라야하며, 각 시험결과를 토크메타에 지시된 최대값으로 기록해

야 한다.

3. 결론

지금까지 본 연구에서는 각국의 표준 시험법을 중심으로 콘크리트 강도를 측정하기 위한 각종 시험법을 소개하였던바, 콘크리트 강도 측정 시험법의 직·간접 양상을 콘크리트와 콘크리트 부재 별로 나타내면 도표 2와 같으며, 조직시험(시험부위)상의 특성에 따라 평가수준이나 장단점을 나타내면 도표 3으로 나타낼 수 있다.

끝으로 본 연구에서는 광학 분석이나 레이저 분석 및 이미지 분석을 통한 콘크리트 조직상의 강도 추정 시험법 등은 소개하지 못했음을 밝히둔다.

참 고 문 헌

1. KSF 2403-80, 시험실에서 콘크리트의 압축강도 및 휨강도 시험용 공시체를 제작하고 양생하는 방법

도표 2-콘크리트 시험법의 직·간접 양상

강도수준		시험법				
		콘크리트			구조체(부재)	
		석리터(큐브)	비파괴시험	코아시험	재하시험	특한 재하시험
콘크리트	심리터(큐브)강도	○	××	×	××	××
	현상강도	×	×	△	×	×
구조체(부재)	재하능력	××	××	×	○	○
	특한강도	××	××	×	×	○

○: direct △: fairly direct ×: indirect ××: very direct

도표 3-콘크리트 시험법의 상대적 특성

측정부위	시험	신뢰도	시험속도	난이도	경제성	구조물의 손상
내부	코아시험	****	**	**	*	*
	조음파시험	**	****	****	****	****
	감마선시험					
표피	내부파괴시험					
	인발시험					
	질탄시험					
표면	관입시험					
	경도시험	*	***	****	****	****

현재 개발 중임

2. KSF 2404-76, 현장에서 콘크리트의 압축강도 및 휨강도 시험용 공시체를 제작하고 양생하는 방법
3. KSF 2405-79, 콘크리트의 압축강도 시험방법
4. KSF 2412-80, 도려낸 콘크리트 코아의 길이 측정방법
5. KSF 2418-73, 콘크리트중의 펄스 속도 시험방법
6. KSF 2422-81, 콘크리트에서 절취한 코아 및 보의 강도 시험방법
7. 건설부, 건축공사 표준 시방서(KASS 5T-601, 602, 1985)
8. ACI 214-77, Recommended Practice for Evaluation of Strength Test Results of Concrete
9. ACI 228.1R-89, In-place Methods for Determination of Strength of Concrete
10. ACI 318-89, Building Code Requirements for Reinforced Concrete
11. BS 6089: 1981, Guide to Assessment of Concrete Strength in Existing Structures
12. BS 4408 Part 4, 1971. Recommendations for Non-Destructive Methods of Test for Concrete, Surface Hardness Methods
13. DIN 1048, Part 2. Test Methods for Concrete
14. ASTM 42-77, Obtaining and Testing Drilled Cores and Sawed Beams of Concrete
15. RILEM, Recommendation for Testing Concrete by Hardness Methods
16. A.M. Neville, Properties of Concrete 3rd ed., Pitman, 1981.
17. 龜倉精機株式會社, 일본, 콘크리트 햄머 $\alpha-650x$, $\alpha-740x$ 취급 설명서.
18. 일본 재료 시험 협회, 슈미트 햄머에 대한 실시 콘크리트의 압축강도 판정 방법 지침(안), 재료시험 7권 59호, 1958년, 8월.
19. 일본 건축학회, 콘크리트 강도 추정을 위한 비파괴 시험방법 매뉴얼, 1983년, 1월.