

기존 구조물 콘크리트 강도의 검사 및 평가

Test and Evaluation of Concrete Strength of Existing Structures



김 중 구*

1. 서 론

콘크리트 구조물의 안전성을 평가하는 기본적인 요소는 콘크리트의 강도이며, 콘크리트가 소정의 강도를 확보하고 균질성을 유지하여야 한다. 이러한 구조물 콘크리트의 강도를 검사 및 평가하는 방법으로는 표 1과 같이 비파괴검사법과 코어 시험법으로 크게 나눌 수 있다. 실린더, 큐브 또는 보와 같은 표준공시체를 사용한 시험과 구분되는 이 방법은 다음과 같은 경우에 적용된다.

- 1) 실린더 시험 등에 의하여 기준소요강도에 대한 인정을 얻지 못하였을 경우
- 2) 기푸집의 제거후 콘크리트의 표면으로 부터 판단할 수 있는 것처럼, 콘크리트의 타설공정에 의심스러운 증상이 나타나는 경우
- 3) 시공단계마다 콘크리트의 강도발현을 감시할 필요가 있는 경우
- 4) 일정기간 사용후 구조물에 성능저하 현상이 나타나는 경우
- 5) 구조물의 증개축 또는 용도변경 등을 위한 기존 구조물의 내력에 대한 평가가 필요한 경우
- 6) 화재나 폭발 등으로 인한 구조물의 손상정도

* 정회원, 고려대학교 강사, 공학박사

를 평가할 필요가 있는 경우

2. 비파괴검사

구조물의 콘크리트 품질을 측정하기 위한 비파괴검사는 1940년대 후반부터 활발한 연구가 진행되어 왔다. 많은 비파괴검사가 제안되었으나 여전히 그 결과에 대한 또한 높은 신뢰성을 가지기 어렵다. 그러나 비파괴검사는 품질관리, 기푸집 제거 시기를 결정, 기존의 구조물의 안전성 평가 등에 유용하다

이러한 비파괴검사는 콘크리트의 압축강도를 직접 측정하는 것이 아니라 강도와 상관관계를 가진 비파괴검사의 측정치인 다른 성질을 사용하여 강도를 평가하는 것이다. 불행하게도 비파괴검사의 측정치는 골재의 형태와 크기, 콘크리트의 재령, 함수율, 배합비 등의 여러가지 요소에 의하여 영향을 받으므로 다른 콘크리트로 부터 측정된 측정치와 강도의 상관관계는 각기 다르다. 그러므로 이러한 상관관계는 대상 콘크리트로 부터 결정되어야 한다.

여기서는 여러 비파괴검사법들 중 표면경도법, 관입저항법, 인발법, break-off법 대하여 간단히

표 1 구조물 콘크리트 강도 추정을 위한 시험방법

시 험 종 류	시 험 방 법	장 점	단 점	
비파괴 시험법	표면경도법	강구또는 햄머를 사용하여 콘크리트 표면을 타격하고, 그 들어간 깊이, 직경 면적등을 측정하여 압축강도를 평가.	측정이 비교적 용이. 파괴정복의 형상과 치수에 관계없이 사용 가능.	측정주위가 콘크리트표면에 제한. 동일개소 반복적용 불가능.
	반발경도법	슈미트햄머 등을 사용하여 콘크리트 표면을 타격하고, 그 반발경도를 측정하여 압축강도를 평가.	측정이 간편. 파괴정복의 형상과 치수에 관계없이 사용 가능.	측정주위가 콘크리트표면에 제한됨. 동일개소 반복적용 불가능.
	조음파속도법	콘크리트를 통과하는 조음파 진동의 속도와 파형을 측정하여 압축강도, 성질 등을 평가.	파괴정복의 형상과 치수에 제약이 적음.	배합비, 함습률, 골재의 종류에 따라 음속이 다름. 강도 추정의 정도가 낮음.
	관입저항법	화약 또는 스프링을 사용하여 콘크리트에 핀을 박아 그 깊이로 부터 압축강도를 평가.	표면의 강도를 어느정도 측정할 수 있음.	화약을 사용하므로 위험. 시험후 보수 필요.
	인발법	콘크리트 속에 묻혀진 볼트 등의 뿔힘내력으로 부터 압축강도를 평가.	콘크리트의 압축강도와 상관성이 좋음.	사진 준비가 필요한. 시험후 보수 필요.
	brerak-off법	콘크리트에 드릴로 홈을 파서 휘강도를 측정하고, 압축강도를 평가.	휘강도를 직접 구함. 휘시험후 코아의 압축강도를 구할 수 있음.	시험이 상당히 복잡. 시험후 보수 필요.
코어시험법	콘크리트로 부터 드릴로 코아를 채취하여 압축강도를 측정.	압축강도를 직접 구함. 탄성계수 등 다른 성질을 조사할 수 있음.	비용이 많이 듦. 시험후 보수 필요.	

설명하고, 비교적 많이 사용되는 반발경도법, 조음파속도법에 대하여 상세히 설명하고자 한다.

2.1 표면경도법(surface hardness method)

가장 오래된 시험방법으로 추정되는 이것은 1930대에 독일에서 개발되었다. 기본적으로 콘크리트의 표면에 여러가지 방법으로 충격을 가하고 그 크기를 측정하는 방법이다. 표면의 경도와 콘크리트의 강도와는 이론적인 관계는 없으나 대상 콘크리트에 대한 실험적인 상관관계를 만들 수 있다. 여러가지 시험법이 있으나 프랑크 스프링햄머가 가장 일반적인 것이다. 충격부위의 직경이나 깊이를 측정하며, 콘크리트의 강도를 평가하기 위하여서는 배합비, 시멘트와 골재의 종류, 함습율에 대한 정보가 필요하다. 그러나 이러한 정보가 있다 하더라도 그 정확도는 약 20~30% 정도이다.

2.2 반발경도법(rebound hammer test)

가장 일반적인 비파괴검사법인 반발경도법은 간편성으로 인하여 널리 사용되고 있다. 일반적으로 콘크리트의 균일성과 서로 비교하는데 유용하며, 대략적인 강도를 평가하는데 사용된다. 측정기로는 1948년 개발된 슈미트햄머를 사용한다. 이 방법은 스프링에 의하여 콘크리트에 충격을 가하는 강재 햄머의 반발치를 측정한다.

2.2.1 측정기기

슈미트햄머(그림 1)는 측정대상 구조물의 콘크리트 종류에 따라 적절한 기종을 선택하여야 하며, 슈미트햄머의 종류는 표 2와 같이 구분된다. 슈미트햄머는 테스터엔빌을 사용하여 정기적으로 검정 보정하여야 한다. 테스터엔빌에 타격시 반발도 $R_0=80\pm 1$ 이 되는 것이 바람직 하나 $R_0=80\pm 2$ 까지 허용된다.

- 1 Impact plunger
- 2 Housing compl.
- 3 Rider with guide rod
- 7 Pushbutton compl.
- 8 Disk
- 9 Cap
- 10 Two-part ring
- 11 Rear cover
- 12 Compression spring
- 14 Pawl
- 14 Hammer mass
- 15 Retaining spring
- 16 Impact spring
- 17 Guide sleeve
- 18 Felt washer
- 19 Plexiglass window scale printed on window
- 20 Trip screw
- 21 Lock nut
- 22 Pin
- 23 Pawl spring

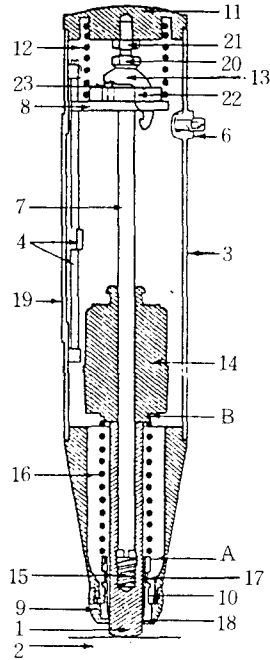


그림 1 슈미트햄머

표 2 슈미트햄머의 종류

종류	대상콘크리트	타격에너지 (kg·m)	강도측정범위 (kg/cm ²)	비고
N형	보통콘크리트	0.225	150-600	반발경도식
NR형	보통콘크리트	0.225	150-600	반발경도 자동기록식
L형	경량콘크리트	0.075	100-600	반발경도식
LR형	경량콘크리트	0.075	100-600	반발경도 자동기록식
P형	저강도콘크리트	0.09	50-600	진자식
M형	매스콘크리트	3.00	600-1000	반발경도식

2.2.2 검사방법

1) 검사표면 선정 및 준비

측정면은 평탄한 면을 선정하고 미장 모르터나 도장이 되어있으면 제거하고 연마석을 사용하여 평탄하게 한다. 측정면에 부착된 요철이나 부착물 등은 제거하고 측정면내의 곰보, 공극, 자갈이 노출된 부위는 제외한다. 대상표면은 10 cm이상의 두께를 가지고 구조물에 단단히 고정되어 있어야 한다. 작은 시험체를 사용할 경우 시험체를 단단히 고정시켜야 한다.

2) 측정방법

측정개소마다 타격점은 20개를 표준으로 하고, 상호간의 간격은 3 cm를 표준으로 가로로 5열 세로로 4열을 그어 직교점을 택한다. 타격의 방향은

수평타격을 원칙으로 하며, 구조물 부재의 종류에 따라 수직하향, 수직상향, 경사상향, 경사하향으로 실시할 수있으며 경사각도에 따라 보정되어야 한다. 측정치는 정수값을 읽으며, 측정시 반향음이 이상하거나 타격점이 움푹들어가거나, 평균치와의 오차가 20%를 상회하면 제외시킨다. 그리고 평균값은 이러한 이상치를 제외하고 구한다.

2.2.3 강도추정

반발경도법에 의한 콘크리트 강도의 평가에서

표 3 반발도-추정강도 환산표

R	$\alpha=90^\circ$	$\alpha=45^\circ$	$\alpha=0^\circ$	$\alpha=45^\circ$	$\alpha=90^\circ$
20	125	115			
21	135	125			
22	145	135	110		
23	160	145	120		
24	170	160	130		
25	180	170	140	100	
26	198	185	158	115	타격각도 α
27	210	200	165	130	105
28	220	210	180	140	120
29	238	220	190	150	138
30	250	238	210	170	145
31	260	250	220	180	160
32	280	265	238	190	170
33	290	280	250	210	190
34	310	290	260	220	200
35	320	310	280	238	218
36	340	320	290	250	230
37	350	340	310	265	245
38	370	350	320	280	260
39	380	370	340	300	280
40	400	380	350	310	295
41	410	400	370	330	310
42	425	415	380	345	325
43	440	430	440	360	340
44	460	450	420	380	360
45	470	460	430	395	375
46	490	480	450	410	390
47	500	495	465	430	410
48	520	510	480	445	430
49	540	525	500	460	445
50	550	540	515	480	460
51	570	560	530	500	480
52	580	570	550	515	500
53	600	590	565	530	520
54	600이상	600이상	580	550	530
55	600이상	600이상	600	570	550

표 4 기존의 강도추정식

규 준	추 정 강 도
일본재료학회	$F_c = 13R - 184$
동경도 건축재료 검사소	$F_c = 10R - 110$
건축학회 대뉴얼	$F_c = 7.3R + 110$

여기서 F_c = 압축강도, $R = R_0 + \Delta R$ R = 기준강도

R_0 = 측정강도 ΔR = 타격방향등에 의한 보정치

콘크리트의 강도와 반발경도의 측정치와의 이론적인 관계는 없으며 실험적인 상관관계에 의하여 강도를 평가할 수 있다. 그리고 대상 콘크리트와 같은 종류 또는 대상 콘크리트로 부터 측정된 반발경도와 압축강도와의 상관관계에 의하여 작성된 추정식 사용하여 콘크리트 강도를 평가함을 원칙으로 한다.

1) 기존의 추정식

위의 방법에 의하여 추정식을 작성하지 못한 경우, 일반적으로 표 3의 스위스 연방재료시험소 공식에 의한 압축강도 환산표를 사용하거나 표 4의 강도추정식을 사용할 수 있다.

2) 반발경도의 보정

1. 타격방향에 따른 보정

종래의 실험자료의 대부분은 수평타격에 의한 것으로 이때의 측정치가 안정된 값을 나타내므로 수평타격을 원칙으로 한다. 그러나 부재에 따라 수평이외의 방향으로 타격한 경우 그림 2에 의하여 보정하여야 한다.

2. 재령에 의한 보정

재령의 증가에 따라 반발경도가 증가하므로 28일강도를 추정하기 위하여서는 표 5의 재령계수를

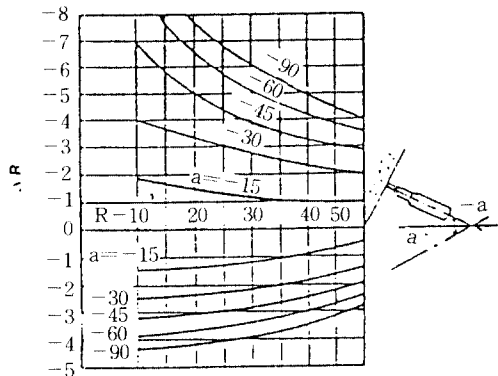


그림 2 타격 각도에 대한 보정치

표 5 재령에 따른 보정계수

재령 (일)	10	20	28	50	100	150	200	300	500	1000	3000
재령계수 α	1.55	1.15	1.00	0.87	0.78	0.74	0.72	0.70	0.67	0.65	0.63

사용하여 보정한다.

2.2.4 반발경도에 영향을 미치는 요인

위에서 기술한 타격각도와 재령에 의한 영향 이외에도 다음과 같은 요인 들이 반발경도에 영향을 미친다.

1. 대상 콘크리트의 표면상태 : 미장한 표면의 강도가 거푸집 표면의 강도보다 크다.
2. 콘크리트의 습윤정도 : 건조한 콘크리트의 강도가 젖은 콘크리트의 강도보다 크다.
3. 온도 : 얼은 콘크리트의 강도는 매우 크게 측정되므로 시험전 녹혀야 한다.
4. 대상부재의 강성
5. 표면의 탄화정도 : 표면의 탄화는 표면 경도를 50%까지 높인다.

2.3 관입저항법(penetration resistance test)

이 시험방법은 주어진 양의 에너지에 의하여 발사되는 그림 3과 같은 강재 프로브의 관입에 대한 콘크리트의 저항을 측정하는 것이다. 가장 일반적인 기구는 웨스터 프로브이다.

이 기술은 프로브가 콘크리트 내부로 상당히 관입되기 때문에 표면상태나 탄화정도에는 영향을 적게 받는다. 그러나 배합비나 재료의 성질에 영향을 받으며, 측정기구는 반드시 대상 콘크리트에 대하여 수정되어야 한다. 단단한 골재를 사용하여

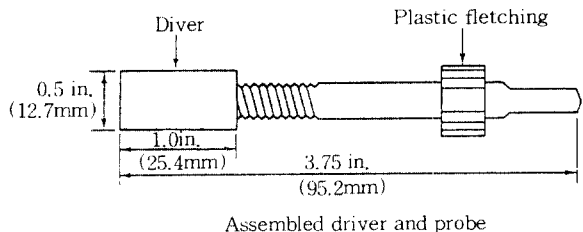


그림 3 윈드솔 프로브 : 드라이브와 프로브가 조립된 모습

경우에는 실제보다 높은 압축강도를 나타내는 경향이 있다.

2.4 인발법(pull-out test)

인발법은 콘크리트에 매입된 강재 매입물을 콘크리트로 부터 뽑아내는데 소요되는 힘으로 측정한다. 이 방법에는 콘크리트를 타설할때 매입하여 두는 프리세트범과 콘크리트의 경화 후 케미컬 앵커 등을 용하는 포스트세트범이 있으며, 여기에 사용되는 기구는 그림 4와 같다. 이 방법은 압축강도와 관계가 있는 콘크리트의 전단강도를 측정하며, 상당히 깊은 깊이의 콘크리트를 시험하므로 위의 시험법에 비하여 정확하다. 그러므로 시공현장에서의 품질관리와 프리캐스트 공장에서 탈형시기 및 프리스트레스 도입시기를 결정하는데 유용하다. 이 방법은 보수를 필요로 하는 구멍이 발생하지만 경제적이고 신속히 시행될 수 있다.

인발강도, f_p 는 파괴표면을 절두체로 가정하면 다음과 같다.

$$f_p = \frac{F}{A}$$

여기서 F는 파괴시 램의 힘이고 절두체의 면적은 다음과 같다.

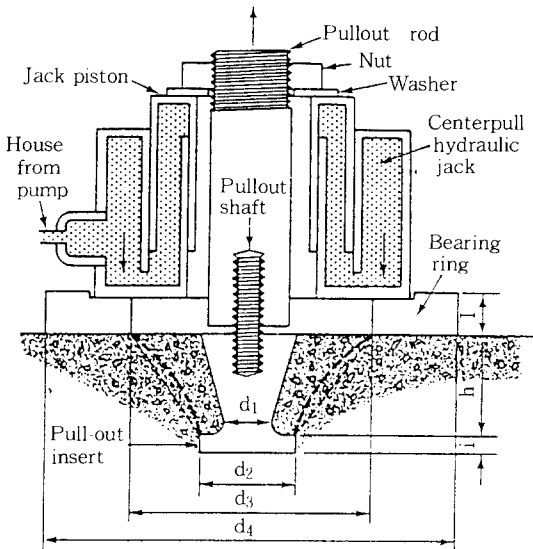


그림 4 인발시험장치

$$A = \frac{\pi}{4}(d_3+d_2)\sqrt{4h^2+(d_3+d_2)^2}$$

2.5 초음파속도법(ultrasonic pulse velocity test)

이 방법은 발진자로부터 방사되어 수신자로 전달되는 초음파의 속도를 측정하는 것으로 콘크리트의 품질을 평가하는 매우 편리한 방법이다. 즉 품질관리, 강도평가, 내구성, 균열 및 탄성계수를 조사하는데 사용할 수 있다. 기계적인 진동이 재료에 가하여지면 종파, 횡파, 표면파의 3가지 파가 발생한다. 그중 종파가 가장 빠르고 이 시험에 사용된다. 이 파의 속도는 그 자체가 품질검사에 사용되나 보다 일반적으로 콘크리트의 강도와 연관하여 사용된다. 초음파속도법에 사용되는 파의 진동수는 10~150 kHz이고 속도는 약 3~5 km/sec.이며 일반적으로 콘크리트의 강도가 크면 음파의 속도가 빠르다. 음파의 속도, V는 콘크리트의 탄성계수, E와 관계가 있다는 사실에 근거를 두고 있다.

$$V^2 = K \frac{E}{\rho}$$

여기서 ρ 는 재료의 단위중량이다.

2.5.1 측정장치

측정기의 구성은 그림 5에서처럼 발진자, 수신자, 본체부로 구분된다.

발진자는 진동발진회로의 전기신호를 10~150 kHz의 진동수를 가진 기계적인 진동으로 변환시키는 장치이며, 수신자는 발진자와 같은 구조이지만 반대로 진동신호를 전기신호로 변환시키는 장치이다. 본체부는 진동발진회로, 전원부, 시간측정회로, 증폭기, 동기회로 및 표시부로 구성되어 있다. 발진회로에서는 1초에 10~150회로 진동을 반복하여 발생시키는 장치이다.

2.5.2 검사방법

발진자와 수신자의 배치방법은 일반적으로 그림 6에서와 같이 직접전달법, 반간접전달법 및 표면전달법의 3가지로 분류할 수 있다. 직접전달법

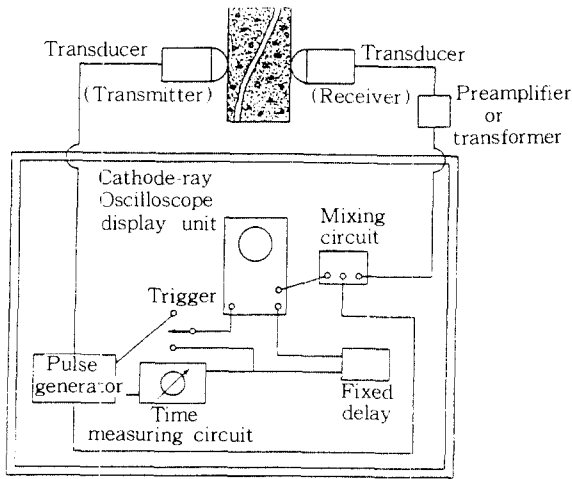


그림 5 초음파속도법 측정기기의 구성

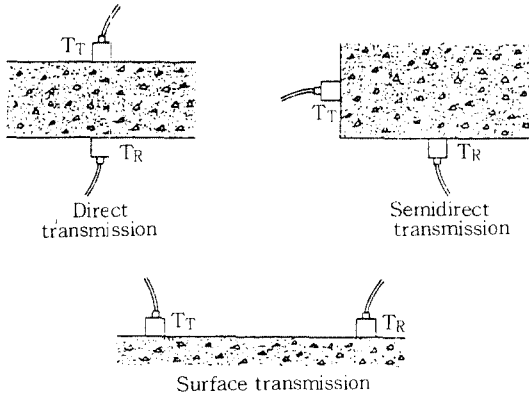


그림 6 발진자와 수신자의 배치방법

과 반간접전달법은 주로 전파속도를 측정하여 콘크리트의 강도 추정 또는 내부 결함조사에 사용되고 표면전달법 균열심도, 내부결함, 두께 등의 검사에 사용된다.

2.5.3 강도추정

강도추정은 원칙적으로 시험자가 동종의 콘크리트를 대상으로 실험을 통하여 작성하여 사용한다. 그러나 이 방법에 의한 강도추정은 신뢰도가 그다지 높지 못하므로 참고치로 사용한다.

2.5.4 초음파 속도에 영향을 미치는 요인

다음과 같은 요인들이 초음파 속도에 영향 미친다.

1. 접촉면의 평탄성 : 만약 콘크리트 표면이 평

탄하지 않으면 평탄하게 갈아내어야 한다. 발진자(수진자)와 콘크리트 사이에는 반드시 그리이스를 발라야 한다.

2. 전달거리 : 초음파의 속도는 전달거리에 따라 다르며, 전달거리가 길수록 속도가 다소 느려진다.

3. 온도 : 초음파의 속도는 $5^{\circ}\text{C} - 30^{\circ}\text{C}$ 사이에서의 온도에서는 민감하지 않으나, 높은 온도에서는 느려지고 빙점이하에서는 빨라진다.

4. 함유율 : 초음파의 속도는 함유율이 높을수록 빨라진다.

5. 내부강재의 존재 여부 : 내부에 강재가 존재하는 초음파의 속도는 빨라진다.

6. 재령 : 초음파의 속도가 같은 경우라도 재령이 오래된 콘크리트의 강도가 크다.

2.6 Break-off법

Break-off법은 스웨덴이나 노르웨이에서 표준화 되고 있는 방법으로 콘크리트 실린더시험체의 휨강도를 측정함으로써 압축강도를 평가하는 방법이다. 시험방법은 2가지 방법이 있으며, 미리 플래스틱 원통형 형틀을 설치하여 콘크리트를 타설한 후 시험하는 방법과 콘크리트에 드릴로 홈을 파서 시험하는 방법이 있다. 이 시험방법의 원리는 콘크리트의 압축강도와 휨강도의 양호한 상관관계를 이용한 것이다.

3. 코아시험법(Core Test)

코아시험법은 전술한 비파괴검사법과는 달리 채취한 시험체로부터 직접 강도를 측정하는 방법이다. 그러므로 코아시험법은 코아 채취 등에 비용이 많이들고 사후 보수를 요구하나, 건물의 조사에서나 콘크리트의 품질평가에서 가장 신뢰성이 높다. 실린더 코아 시험체를 채취하기 위하여 다이아몬드 드릴을 사용한다

3.1 시험체의 채취

시험체의 채취는 모르타와 골재가 충분히 부착

되도록 경화 된후 하여야 하며, 일반적으로 재령 14일의 이후에 실시한다. 시험체는 표면에 직각으로 채취해야 한다. 시험체의 채취 위치는 조사목적에 따라 적절한 평가가 이루어 지도록 하며, 철근을 포함하지 않고 작업이 용이하며 가능한한 구조내력에 영향을 주지 않는 곳으로 한다.

3.2 시험체의 치수

시험체의 직경은 10 cm 이상으로 하고 굵은골재 최대치수의 3배이상으로 한다. 시험체의 L/D는 1~2로 하고 가능하면 2로 하는 것이 바람직하다.

3.3 시험방법

코아는 침수하였다가 캡핑후 일반적인 압축강도 시험법에 의하여 시험한다.

3.4 코아 시험체의 강도에 영향을 미치는 요인

다음과 같은 요인들이 코아 시험체의 강도에 영향을 미친다.

1) 코아의 직경과 높이/직경의 비

코아의 최소 직경으로 스위스에서는 5 cm를 성공적으로 사용하고 있으나 작은 시험체로 부터 발생할 수 있는 변수를 줄이기 위하여 일반적으로 10 cm 이상이 권장되고 있다. 코아 압축강도는 높이/직경의 비가 작을수록 증가하는 현상을 나타내며 표 6에 따라 보정할 필요가 있다.

2) 콘크리트 강도

코아강도와 실린더 강도의 비는 일정하지 않으며 콘크리트강도가 의 증가하면 그 비는 감소한

표 6 높이/ 직경의 비에 따른 보정계수

높이/직경 비	ASTM C42-87	BS 1881	JIS A 1107
2.00	1.00	1.00	1.00
1.75	0.98	0.97	0.98
1.50	0.96	0.95	0.96
1.25	0.93	0.92	0.93
1.10	-	0.90	-
1.00	0.87	0.87	0.89

다. 그 비율은 일반적으로 210 kg/cm²일때 1.0에서 부터 600 kg/cm² 일때 0.7을 사용한다.

3) 코아채취 위치

코아 강도는 채취 위치에 따른 영향을 받는데, 일반적으로 상부 표면에서 코아를 채취하면 브리딩과 굵은골재의 침하에 의하여 하부에서 채취한 코아에 비하여 강도가 저하한다. 그림 7과 같이 코아의 채취 방향 또한 브리딩에 의하여 영향을 주는데, 기둥이나 벽체에서와 같이 수평으로 채취하였을 경우 약8%의 강도가 저하된다.

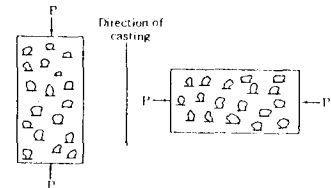


그림 7 코아 채취 방향에 따른 브리딩

4) 문헌철근

코아 시험체에 문헌철근이 존재하면 강도의 저하가 예상되고 철근이 존재하지 않는 코아에 비하여 8~13%의 강도 저하가 발생한다는 보고가 있으나 반론도 있다. 그러므로 가능한한 문헌철근이 코아 시험체는 제외하는 것이 좋다.

5) 드릴링 작업

코아 채취시 코아드릴의 토크가 세면 코아 강도에 영향을 미치므로 토크의 크기를 제한할 필요가 있으며, 드릴링 작업을 조심스럽게 행함으로써 그 영향을 줄여야 한다.

4. 맺음말

비파괴시험법이나 코아시험법은 기존건물의 안전성 평가나 시공중 콘크리트의 품질관리 등을 위하여 유용하다. 그들중 반발경도법이나 초음파속도법이 간편하며 현재 많이 사용되고 있다. 불행히도 국내에서 만들어진 강도추정식이 없으며 주로 일본식 스위스식을 사용하고 있는 실정이다. 그러나 이러한 비파괴시험의 측정치는 콘크리트의 골재 등 여러가지 요소에 영향을 받으므로 국내의 골재와 시멘트 등을 사용한 국내상황에 맞는 추정식의 제시가 필요하다. 각계에 종사하시는 분들의 관심이 요망된다. ☐