

# 보수보강후성능관리

토목공학과  
교수 최준혁

# NCS 기반 교과 운영 계획서

## 교과목 정보검색

대상학과	토목공학과	교과목명	보수보강후성능관리	이수구분	전공선택
학년-학기	23년 2학년 2학기	학 점	2학점	시수	30시간
강의유형	이론(50%) 실습(50%)	수업운영 유형	대면수업	담당교수	최준혁

## 능력단위 정보

대분류	건설	중분류	건설공사관리	소분류	건설시공후관리	세분류/ 직무명	유지관리
능력 단위	보수·보강 후 성능관리 시행		능력단위 코드	LM1401030110_14v2		능력단위 교육시간	25
능력 단위 요소	요소명			요소코드		교과적용여부	
	성능관리 지침 및 매뉴얼 파악하기			1401030110_14v2.1		사용	
	성능관리 수시 점검 실시하기			1401030110_14v2.2		사용	
	성능관리 대장 작성하기			1401030110_14v2.3		사용	

교과목 개요 및 특징	<p><b>[교과 개요]</b> 손상된 시설물의 본래 기능 유지 및 성능을 향상시키거나, 원상복구하기 위하여 필요한 보수·보강 후 성능관리 지침 및 매뉴얼을 파악하고, 성능관리를 위한 수시점검 등을 실시할 수 있어야 함. 보수·보강 후의 성능관리를 위한 점검결과는 성능관리를 위한 대장을 작성하여 유지관리가 효율적으로 수행될 수 있도록 해야 하며, 여러 가지 사례를 통하여 그러한 능력을 학습할 수 있도록 함</p>
	<p><b>[교과 특징]</b> 손상된 시설물의 본래 기능 유지 및 성능을 향상시키거나, 원상복구하기 위하여 필요한 보수·보강 후 성능관리 지침 및 매뉴얼을 파악하고, 수시점검 등을 통하여 성능관리 대장 작성하는 등의 업무에 대하여 개념과 활용도, 사례를 통한 실습으로 학습함</p>
교과 목표	손상된 시설물의 본래 기능 유지 및 성능을 향상시키거나, 원상복구하기 위하여 필요한 보수·보강 후 성능관리 지침 및 매뉴얼을 파악하고, 수시점검 등을 통하여 성능관리 대장 작성 등을 수행할 수 있다.

교수·학습 방법	이론강의	실습	발표	토론	팀 프로젝트	캡스톤 디자인	포트 폴리오	기타 (기재)
	○	○						
a. 이론강의, b. 실습, c. 발표, d. 토론, e. 팀프로젝트, f. 캡스톤디자인, g. 포트폴리오(학습자/교수자), h. 기타								

교재 (NCS 학습모듈)	구분	교재명	저자명	출판사	구분
	주교재	보수보강후성능관리	-	-	학습모듈
	부교재				
	참고 교재				

## [ 현장 조사 및 시험 ]

### 1. 균열조사

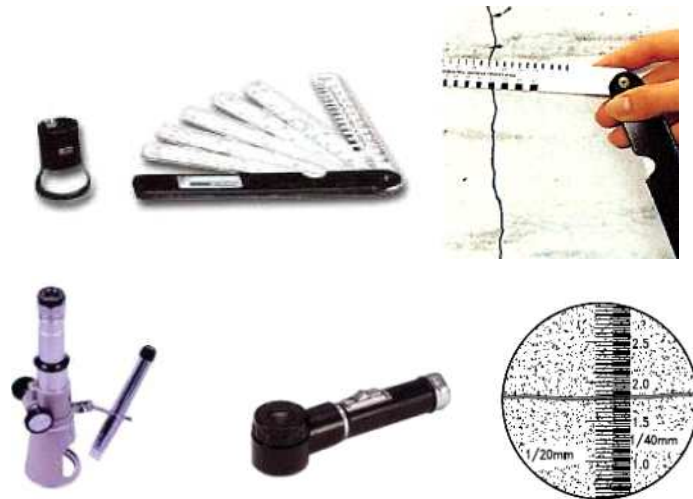
#### 1.1 개요

균열은 일반적으로 콘크리트의 체적 변화와 구속에 의해 발생하지만 그 원인은 다양하고 여러 가지 원인이 복합적으로 작용한다. 따라서, 균열은 여러 가지 관점에서 발생원인이 추적되어야 하고 균열의 형태에 대한 조사도 필요하다.

연속된 균열의 경우에도 위치에 따라 균열의 폭이 다르며 보수, 보강 여부 또는 적용에 있어서도 최대 균열폭 뿐만아니라 전 구간에 걸친 균열폭의 분포도 중요하다.

#### 1.2 균열폭의 측정

일반적으로 균열폭을 측정할 경우는 균열스케일(Crack Scale)을 사용하며, 균열현미경(7배율 이상, 라이트 부착형)은 정밀한 균열폭을 측정할 때 사용한다. 균열폭은 콘크리트 표면에서 균열 방향에 대해 직각으로 측정한 폭을 측정, 기록한다. 균열폭은 균열발생 원인의 추정, 보수, 보강 필요여부의 판단 자료가 된다.



<균열폭 측정 : 균열스케일, 균열현미경>

#### 1.3 균열의 진행성

균열의 진행은 보수, 보강시 어떤 재료를 사용할 것인가와 언제 시행할 것인지에 영향을 주기 때문에 균열의 진행에 대한 평가는 매우 중요하다. 따라서, 균열의 조사시에는 그것이 진행성인지, 비진행성인지 여부를 확인해야한다. 이는 구조물 균열 발생의 원인 추적, 균열의 성징 및 방법의 결정에 중요하다. 균열이 진행성인 경우 다음과 같은 사항을 조사한다.

##### (1) 측정시기와 간격, 기간

균열의 측정기간은 균열의 진행 정도에 따라 다르나 보통 1~2주 간격으로 측정하고, 진행정

도가 둔한 경우에는 순차로 간격을 지연시켜 가면서 6개월 이상을 측정하는 것이 좋다.

균열이 진행하지 않더라도 계절, 진습, 온도의 변화에 따라 균열의 폭과 길이가 변화되므로 가급적 장기간 측정하는 것이 좋다. 또한 균열의 진행이 급속한 경우에는 이미 발생한 균열과 균열사이에 새로운 균열이 발생되는지 여부를 조사한다.

## (2) 구조물에 가해지는 하중의 조사

균열이 진행되는 것으로 인정되는 경우에는 구조물에 작용하는 하중에 대해 조사한다. 이것은 활하중 뿐만 아니라 토압, 기초의 이동, 회전, 침하, 인접구조물의 영향, 하중의 이력 등에 대해서도 조사한다.

## (3) 구조물의 결함조사

균열의 진행은 콘크리트의 발락 등의 단면의 결손, 철근의 부식, 강성저하, 변형 등 구조물의 결함에 의해서도 발생되므로 이에 대해 조사한다.

## (4) 구조물의 환경조사

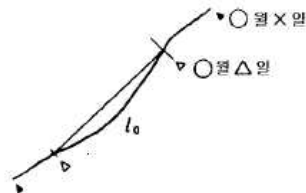
진습의 반복 상태, 동결융해 등을 조사한다.

## (5) 사용재료의 조사

콘크리트의 재료의 체적변화를 일으키는 경우(알칼리 골재반응 재료, 팽창계수가 큰 골재, 팽창물질 함유 등) 균열 발생에 영향을 주는 재료의 사용 유무를 조사한다.

# 1.4 균열의 길이와 형태

균열의 길이는 균열의 원인 추정과 보수, 보강의 필요여부 판정에는 그다지 크지 않으며, 균열이 국부적인 원인에 의한 것인지, 광범위한 원인에 의한 것인지 등의 파악이 필요하다. 균열의 길이는 주로 보수보강의 규모 파악과 공사비의 산출에 필요하므로 균열폭이 0.05mm 정도 이상은 길이를 측정하고 기록할 필요가 있다. 하나의 연속된 균열에서 보수하는 부분과 보수하지 않는 부분을 구별하는 일은 거의 없으므로 가능한 눈으로 확인할 수 있는 전 구간의 길이를 파악해 놓는 것이 좋다.



<균열 길이의 기록 예>

# 1.5 균열의 관통 여부

균열의 관통 여부는 물이나 공기가 통하는 지 여부로 판정하며 콘크리트 양면이 관찰되는 경우는 표면과 이면의 표면이 일치하는 지를 확인한다.


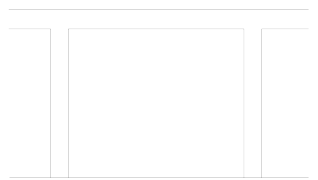
# 1.6 균열부 상황의 기록

균열부의 이물질 충전, 백태현상의 유무, 철근의 녹 유무 등을 관찰, 기록한다.

# 1.7 균열부 상황의 기록 예시

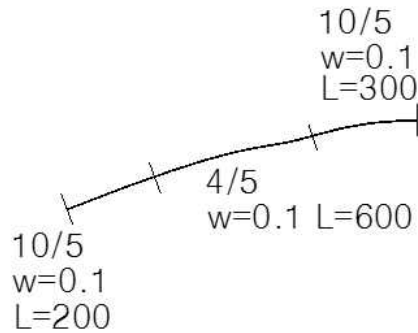
[균열 현황 표]

동, 호, 층, 실 등	부위	균열유형, 형상	균열 폭 (mm)	균열 길이 (mm)	균열의 진행상황	비고 (원인, 발견시기 등)
지하 1층 구조실험실	벽체 1-L	단일 균열	0.2	1.5	진행	보수 후 재균열
“	벽체 2-R	망상 균열	0.03	3.0	비진행	표면 균열

위치, 부재 :	일련번호 :
<ul style="list-style-type: none"><li>• 점검일자 :</li><li>• 점검자 :</li><li>• 점검장비 :</li><li>• 특이사항 :</li></ul>	범례 : 
<p>(벽체)</p> 	

## ● 균열조사의 기록

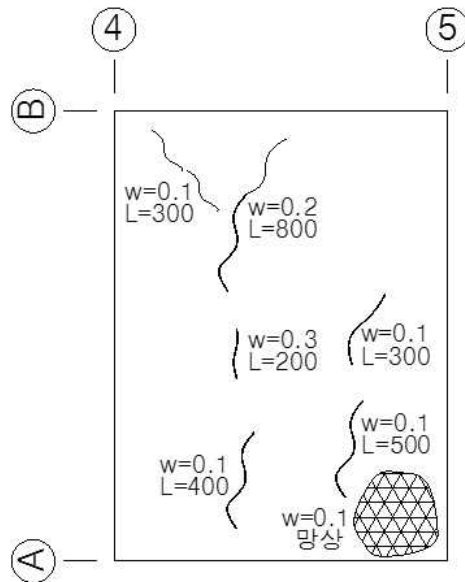
### ▶ 균열의 길이, 폭 기록



- 균열 길이, 폭의 기록은 측정 일자와 균열 폭, 균열길이, 측정 범위 등을 표시한다.
- 기록 방법 및 양식은 균열 조사전 검토된 조사방법에 준하며 향후 점검자가 변동되더라도 조사방법과 기록방법의 차이가 없도록 한다.
- 단위는 mm로 통일하도록 한다.

## ● 균열조사의 기록

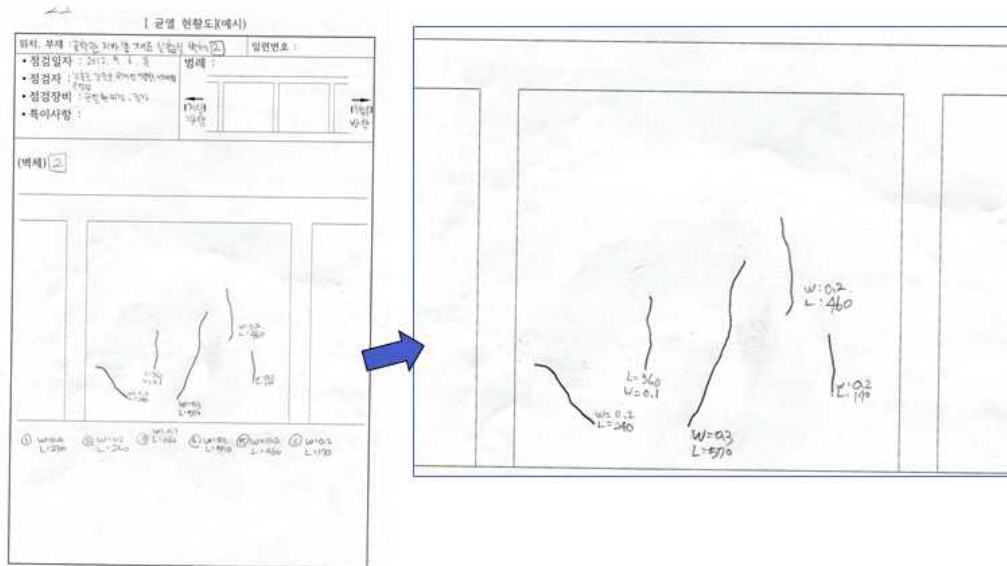
### ▶ 균열의 조사 결과 기록 예



- 균열 조사는 조사 전 현장 도면의 입수 또는 구조물 사전 조사로 부터 조사결과를 기록할 기록지를 미리 만든 후 조사를 시행한다.
- 특이사항이나 균열 양상을 기록해 두면 더 좋다.
- 균열 조사 부위의 위치를 파악할 수 있도록 방향, 기호 등을 표시한다.

## ● 균열조사의 기록[실습 예] - 벽체

### ▶ 균열의 조사결과 [균열현황도]



## ● 균열조사의 기록[실습 예] - 벽체

### ▶ 균열의 조사결과 [균열현황표]

[균열 현황 표]						
동, 호, 층, 실 등	부위	균열유형, 형상	균열폭 (mm)	균열길이 (mm)	균열의 진행상황	비고 (원인, 발생시기 등)
2002-9-6 2층 1호실	벽체 2-①		0.4	235	비진행	2002-9-6 9월 11일
"	벽체 2-②		0.2	240	"	"
"	벽체 2-③		0.1	360	"	"
"	벽체 2-④		0.3	510	"	"
"	벽체 2-⑤		0.2	460	"	"
"	벽체 2-⑥		0.2	170	"	"
"	기둥 4-①		0.4	230	"	2012-9-6
"	" 4-②		0.2	240.5	"	"
"	" 4-③		0.5	60	"	"
"	" 4-④		0.2	210	"	"
"	" 4-⑤		0.3	180.2	"	"
"	" 4-⑥		0.2	150.3	"	"
"	" 4-⑦		0.2	220.5	"	"

\* 균열위치는 정확하게 도면에 표기하며, 균열의 유형 및 형상은 필요시 사진촬영을 한다.  
 \* 균열길이의 최대 균열폭은 mm 단위로 기록하며, 균열부위를 잘라보기 쉽도록 기록한다.  
 \* 균열의 진행상황은 전회 점검시 변경된 상황을 기록한다.

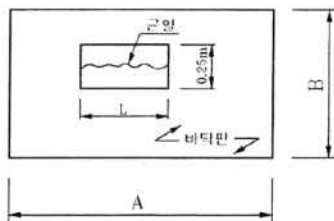
## 1.8 균열에 대한 구조물의 상태평가

- RC 및 PC 바닥판, 슬래브 구조물에 적용

기준	균열		열화 및 손상
	1방향 균열	2방향 균열	
a	○ 균열폭 0.1mm미만	○ 망상균열폭 0.1mm미만	○ 없음
b	○ 균열폭 0.1mm이상~0.3mm미만 ○ 균열을 2%미만	○ 망상균열폭 0.1mm이상~0.3mm미만	○ 표면 손상면적 2%미만
c	○ 균열폭 0.3mm이상~0.5mm미만 ○ 균열을 2%이상~10% 미만	○ 망상균열폭 0.3mm이상	○ 표면 손상면적 2%이상~10%미만 ○ 철근부식 손상면적 2%미만 ○ 데크플레이트 박리 및 누수 발생
d	○ 균열폭 0.5mm이상~1.0mm미만 ○ 균열을 10%이상~20%미만	○ 망상균열의 진전으로 인한 콘크리트 박리 발생	○ 표면 손상면적 10%이상 ○ 철근부식 손상면적 2%이상 ○ 데크플레이트 박리가 심하고 누수로 인한 부식 발생
e	○ 균열폭 1.0mm이상 ○ 균열을 20%이상	○ 망상균열에 인한 박리가 심하여 펀칭파괴 발생 가능성 있음	○ 부식으로 인한 철근의 단면감소가 심하여 바닥판의 안전성이 저하되는 경우

- 균열을 산정방법

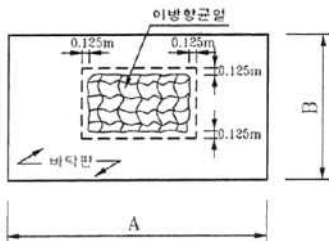
### ■ 1방향 균열인 경우



- 균열발생 면적은 길이 당 0.25m의 폭을 차지하는 것으로 하며, 균열의 개수가 2개 이상일 경우는 각 균열길이에 0.25m의 폭을 곱해서 합산하여 구한다.
- 균열 면적율은 아래 식으로 산정한다.

$$\frac{\text{균열발생면적}}{\text{조사단위면적}} \times 100 = \frac{\text{균열길이}(L) \times 0.25}{A(m) \times B(m)} \times 100 = \%$$

### ■ 2방향 균열인 경우



- 균열발생 면적은 균열발생 부위를 가로, 세로의 최외측 균열을 경계로 하여 사각형 형태로 구획한 후, 점선내 면면적인 (가로길이+0.25m)×(세로길이+0.25m)로 구한다.
- 균열 면적율은 아래 식으로 산정한다.

$$\frac{\text{균열발생면적}}{\text{조사단위면적}} \times 100 = \frac{\text{균열발생면적}(m^2)}{A(m) \times B(m)} \times 100 = \%$$



## 2. 반발경도시험

### 2.1 개요

반발경도시험은 콘크리트의 압축강도를 비파괴로 추정하는 방법의 하나로 경화된 콘크리트 표면을 타격할 때, 측정 반발도와 콘크리트의 압축강도와 사이에 특정 상관관계가 있다는 실험적 경험을 기초로 한다.

반발경도측정기는 조작의 편리성, 해석의 편의성, 측정 대상 구조물의 형상 및 크기에 영향이 없어 적용성이 좋기 때문에 널리 이용되고 있다.

그러나, 반발경도시험 결과로 분석된 콘크리트 비파괴강도는 콘크리트 표면 상태에 국한되고 콘크리트 내부의 강도를 추정할 수 없다는 단점을 가지고 있기 때문에 콘크리트 비파괴강도 추정 시의 유일한 지표로 사용하기에는 문제점을 내포하고 있다. 또한, 콘크리트와 같은 균일하지 못한 재료에서의 콘크리트 표면의 국소적인 타격에 의한 반발도는 타격면의 골재 유무, 진습상태, 콘크리트 재령 등에 의해 달라지므로 비파괴강도 추정시에는 신중을 기해야 한다.

### 2.2 측정원리

반발경도측정기는 국제적으로 가장 널리 이용되고 있는 시험이다. 반발경도시험의 원리는 슈미트 해머(schmidt hammer) 등으로 콘크리트 면을 타격할 경우, 이에 따른 반발도와 콘크리트 압축강도 사이에 상관관계가 있다는 실험적 입증에 근거하고 있다. 슈미트 해머는 1948년 스위스의 E.Schmidt에 의해 고안된 것으로 스프링의 복귀력으로 콘크리트 표면에 충격을 주어 반발경도를 측정하여 경화 콘크리트의 압축강도를 추정하는 것이다.

콘크리트 표면의 경도로부터 콘크리트의 압축강도를 추정하는 방법으로 그 시험 방법, 적용 가능한 강도 범위, 판정식 및 판정의 평가 방법에 대한 고려가 강도를 판정하는 과정에서 필요하다.

반발도는 콘크리트의 탄성계수와 비례 관계에 있고, 강도는 탄성계수와 관계가 있으므로 이에 의해 반발경도와 압축강도의 관계식을 이용하여 압축 강도를 추정할 수 있다.

### 4.3 측정기의 점검 및 교정

반발경도측정기는 엄밀한 검사를 하더라도 사용 후에 기계적인 오차가 발생하는 단점이 있으므로 사전에 테스트 앤빌(test anvil)에 의한 정기 교정을 실시하여야 한다.

테스트 앤빌에 의한 반발경도측정기(N형)의 반발경도 R은 80을 기준으로  $80 \pm 2$ 의 범위를 정상으로 할 경우, 가능한 한  $80 \pm 1$ 의 범위이어야 한다. 이 범위의 값을 벗어날 경우 조정하여야 한다. 반발값이 72 정도까지 나타나고 더 이상 반발값이 올라가지 않을 경우에는 다음 식에 의하여 보정하며, 이 이상의 보정값을 필요로 하는 반발경도측정기는 사용하지 않는 것이 좋다.

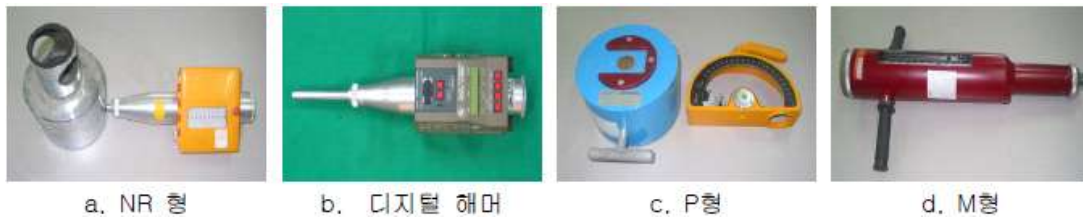
$$R = R_o \times 80 / R_a$$

여기에서  $R_a$  : 테스트 앤빌에 따른 하향 타격시( $\alpha = -90^\circ$ )의 반발도,  $R_o$  : 반발도 R의 평균값이다.

반발경도측정기와 테스트 앤빌의 보정 특성인 액면 수치(Ra)는 제작사에 따라 교정반발경도의 치수의 범위는 차이를 나타내므로 유의하여 사용하여야 한다. 이는 제조사가 다른 반발경도측정기와 앤빌을 혼용하여 이용할 경우에는 그 결과 값(Ra)이 상이하므로 특별한 주의가 필요하며, 무심코 이를 혼용하여 사용하였을 경우 평가된 콘크리트 비파괴강도의 신뢰성에 문제점으로 나타난다.

## (1) 측정기

일반적으로 사용하고 있는 테스트 해머는 N형(NR형), 디지털 해머, P형 및 M형 등이 있으며, 각각의 테스트 해머는 표와 같이 각각의 용도에 맞추어 사용한다.



〈사진〉 반발경도 측정기 종류

〈표〉 반발경도기 각 형식별 용도

형식	충격에너지 (kg m)	강도측정범위 (kgf/cm <sup>2</sup> )	자중 (kg)	용 도
N형	0.225	150 ~ 600	1.0	보통 건축물과 교량 구조물의 콘크리트에 사용
NR형	0.225	150 ~ 600	1.4	N형과 동일. 기록장치가 부착
L형	0.075	100 ~ 600	1.2	N형의 축소판. 경량 콘크리트나 인공 석의 작고 충격에 민감한 부분을 시험
LR형	0.075	100 ~ 600	1.2	L형과 동일 기록장치 부착
P형	0.090	50 ~ 150	2.7	무게가 가벼운 건축자재, 회반죽 건조물 및 포장재와 같이 경도와 강도가 낮은 물질을 시험하는데 사용된다. 강도가 낮은 저강도 콘크리트(5 ~ 25N/mm <sup>2</sup> 의 큐브 압축강도) 건축자재를 시험하기 위해 개발되었다.
M형	3.0	600 ~ 1000	12.0	콘크리트 도로 포장과 비행장 활주로, 댐, 암반 등의 매스콘크리트를 시험하는데 적합하다.

## (2) 연삭 슷돌

연삭 슷돌은 대상 콘크리트의 면을 간단히 정리할 때 사용되며, 중간 거칠기의 탄화규소 또는 그에 준하는 재질로 구성한다.

### (3) 테스트 엔빌

테스트 해머는 측정횟수가 증가하거나 시일이 오래 지나면 스프링의 장력이나 중추의 마찰 등으로 기계적인 오차를 일으키게 된다. 따라서 사용할 테스트 해머장비를 캘리브레이션 할 필요가 있으며, 이를 위하여 해머를 타격하였을 때 일정경도가 재현되는 시편이 요구되며 이를 테스트 엔빌이라 한다. 테스트 엔빌은 지름 150mm 정도의 타격 면을 갖는 금형의 원주체로 제작회사에서 제공하는 교정 값을 정확히 인지하고 활용하여야 한다. 측정기의 테스트 엔빌에 의한 교정은 현장에서 사용하기 전에 실시하는 것이 바람직하다.



a. 테스트 엔빌 종류



b. 반발경도측정기(NR형) 교정 광경

<그림> 테스트 엔빌

## 2.4 시험 등의 절차

- 반발경도측정기의 기종 선정
  - 사용 전 측정기 점검
  - 반발경도측정기 교정
- 교정장치에 의한 정도 확인
- 측정 장소의 확인, 요철·이물질 제거
- 측정 점의 표시 (가로 세로 방향 간격을 3cm 기준)
- 시 험
  - 현장시험 장소 점검
  - 제약조건 및 영향인자 검토
- 측정치 20점(또는 25점)의 산술평균 (→ 로 조정)
- 타격 방향과 압축응력, 습윤상태 등의 보정 (결정)
- 비파괴강도 추정식에 의한 계산
- 사용 후 측정기 점검
- 재령보정계수(  $\alpha$  ) 적용 시험결과의 편차요인 검토
- 비파괴강도 추정



<반발경도측정시험 광경>

#### 가. 보정반발경도( $R_o$ )의 계산

- ① 반발경도시험 값( $R_m$ ) 20개의 평균을 산정
- ② 평균값에서  $\pm 20\%$ 이상 벗어나는 경우의 시험값은 버리고 나머지 시험값의 평균( $R$ )을 산출
- ③ 시험값 중 버리는 값이 4개 이상인 경우는 시험 부위의 결정에서 문제가 있을 수 있으므로 전체 시험값 군을 무시
- ④ 반발경도시험 현장의 여건 등을 고려하는 반발경도에 영향을 미치는 요인을 검토하여 각종 보정값( $\Delta R$ )을 산정
- ⑤ 산정한 보정값( $\Delta R$ )을 평균시험값( $R$ )에 가감하여 보정반발경도( $R_o$ )를 결정하여 콘크리트 비파괴강도 추정에 적용
- ⑥ 보정반발경도( $R_o$ )는 소수 첫째자리 기준

#### 나. 반발경도시험의 제약 조건

- 대상구조물의 제약조건과 종류, 측정범위 등을 파악하여 시험 결과의 정밀도를 높일 수 있는 방법을 강구하여야 한다.
- 콘크리트에서의 반발도와 비파괴강도와의 관계는 각종 영향인자에 따라 다르므로 비파괴강도 추정의 정도를 향상시키기 위해서는 반드시 이들 인자에 관한 정보를 입수하여 이를 반영시켜야 한다.
- 현장측정 및 결과분석에 대한 절차는 KS F 2730의 규정에 준한다.
- 측정 부재의 선정
  - 부재의 두께 : 측정부의 콘크리트 두께 10cm 이상인 장소 선정
  - 측정 위치 : 보, 기둥 등 모서리로부터 3 ~ 6cm 이상 떨어진 장소에서 측정
- 측정 장소의 선정
  - 넓은 바닥판이나, 벽에서는 고정단 부근이나, 지지면에 가까운 장소를 선정, 보, 기둥 등에서는 시공이음부, 재료분리, 높이, 방향 등의 강도변화를 고려해서 측정 장소를 선정

- 측정면이 모르타르, 타일 등 부착물이 있는 장소 등은 회피
- 미장, 도장이 있을 경우 이것을 제거하여 콘크리트 면을 노출
- 타격방향은 항상 측정면에 대하여 직각방향으로 조용히 눌러서 측정
- 측정개소는 가능한 한 많은 것이 좋다.
- 대상부재에 따른 측정위치는 다음과 같으며, 측정결과의 신뢰성 제고가 필요하다.
  - (1) 콘크리트 구조물 기둥의 경우에는 상부 중앙부 하부 등
  - (2) 보의 경우는 양단부 중앙부 등의 양측면
  - (3) 벽의 경우는 기둥·보·바닥에 가까운 부분 및 중앙부 등으로 한다.

#### 다. 반발경도시험에 영향을 미치는 인자

- 반발경도에 미치는 영향인자와 시험결과에 편차 요인에 대하여 시험 전·후에 이를 파악하여 산정한 각종 보정값( $\Delta R$ )을 콘크리트 비파괴강도 추정에 적용하여야 한다.
- 콘크리트 및 반발경도측정기의 온도
- 콘크리트 표면의 함수 상태
- 콘크리트 탄산화(중성화) 정도
- 측정 시 타격방향
- 반발경도측정기의 종류
- 콘크리트의 거동
- 시험결과 편차의 요인과 표준편차
- 콘크리트의 재료와 조합의 관계 : 시멘트, 골재 등
- 측정 대상면의 상태 : 콘크리트 표면상태, 측정 높이, 구속력 등
- 콘크리트의 재령
- 비파괴강도 추정 제안식의 이용

#### ① 콘크리트의 내부온도 및 반발경도측정기의 온도

0° C 이하의 온도에서 콘크리트는 정상보다 높은 반발경도를 나타내어 신뢰성이 낮아질 수 있으므로, 이러한 경우 콘크리트 내부 온도가 완전히 용해된 후에 시험을 실시하는 것을 원칙으로 한다. 또한 테스트 해머의 자체 온도가 반발도에 영향을 주므로 외기 온도가 극심하게 변동되는 경우 시험을 자제해야 한다.

- 대상부재 온도 외에 측정기 자체의 온도가 저하되거나 상승되는 경우에는 해머의 장력 변화 등을 이유로 반발도 값이 변동될 수 있다.
- 동절기 및 하절기 등 온도가 극심하게 변동되는 환경에서는 그 영향을 고려한 수 정 값이 적용되어야 한다.
- -18° C의 온도에서 반발경도측정기는 2.0~3.6 정도 감소된 반발도를 나타낼 수 있다.

#### ② 습윤 상태

콘크리트는 함수율이 증가함에 따라 반발경도가 저하되므로, 가능하면 표면이 젖어있지 않은 상태에서 시험을 해야 한다. 그러나 습윤 상태를 피할 수 없는 경우에는 다음 일본 토

목연연구소에서 제시하고 있는 방법에 의해 반발경도를 보정하는 것이 바람직하다.

- 측정위치가 습하고 타격의 흔적이 보이는 경우 : 보정값 3을 더한다.
- 측정위치가 완전히 젖어 있는 경우 : 보정값 5를 더한다.

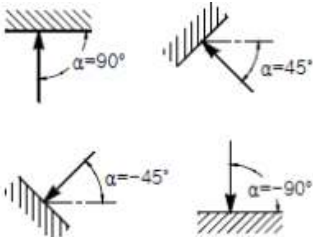
### ③ 콘크리트 탄산화(중성화) 정도

콘크리트의 재령이 경과함에 따른 반발경도와 압축강도의 상관관계는 변하게 하며, 탄산화의 효과는 콘크리트의 표면반발경도를 증가시킨다. ASTM C805에서는 6개월 이상 재령의 콘크리트의 경우 약 5mm를 연마하여 시험하도록 추천하고 있다. 그러나, 콘크리트를 연마하여 다량의 시험을 수행하는 것은 어려움이 있으므로, 장기재령 콘크리트의 강도 추정에서는 재령 28일의 강도추정식에서 구해진 비파괴강도에 슈미트해머 제조사에서 제시하고 있는 재령 보정계수( $\alpha$ )를 곱하여 평가하도록 한다.

### ④ 측정시 타격방향

반발경도에 의한 압축강도 추정식의 산정 시 타격방향은 수평을 기준으로 산정하기 때문에 수평으로 타격하는 경우가 아닌 경우는 추가 중력의 영향을 받게 되어 장치특성에 맞는 보정이 필요하게 된다. 이 경우는 테스트 해머 제조사가 제시하는 보정 값을 적용하는 것이 바람직하다. 이때 반발경도가 제시된 값들 사이로 측정된 경우에는 인접한 값들을 이용한 직선 보간법으로 산출한다.

〈표〉 타격방향에 대한 보정값

R	+90°	+45°	-45°	-90°	타격방향( $\alpha$ )
10	-	-	+2.4	+3.2	
20	-5.4	-3.5	+2.5	+3.4	
30	-4.7	-3.1	+2.3	+3.1	
40	-3.9	-2.6	+2.0	+2.7	
50	-3.1	-2.1	+1.5	+2.2	
60	-2.3	-1.6	+1.3	+1.7	

[주] 보정은 다음 식에 의한다

$$R = R_0 + \Delta R$$

보정한 값 R : ,  $R_0$  : 측정값,  $\Delta R$  : 보정값

### ⑤ 테스트 해머의 종류

서로 다른 종류의 테스트 해머를 이용할 경우, 시험값은  $\pm 1$ 에서  $\pm 3$  정도의 차이를 나타내므로 동일한 테스트 해머를 사용하여야 한다.

### ⑥ 콘크리트의 거동

반발경도 시험시에는 큰 진동과 시험 대상 콘크리트의 움직임이 없어야 한다.

## 2.5 콘크리트 비파괴강도 추정

### 가. 코어 표본을 이용한 반발경도와 압축강도의 상관관계

반발경도와 압축강도 사이의 상관관계를 구하는 방법 중 가장 신뢰할 수 있는 것은 현장 콘크리트의 코어를 통해 정보를 얻는 것이다.

- ① 코어 표본의 반발경도시험은 코어 표본을 채취하고자 하는 위치에서 코어채취 이전에 실시하여야 한다.
- ② 반발경도시험값 군의 평균과 코어 표본으로 구한 압축강도를 통해 개별 시험값을 플롯트 하고 전체 결과에 대한 선형 회귀식을 최소 제곱법에 의해 해당 시설물의 콘크리트 비파괴강도( $F_c$ ) 제안식을 도출한다.

$$F_c = k_1 \cdot R_0 + C \text{ (MPa)}$$

여기서,  $R_0$  : 반발도 R의 평균값,  $k_1$ , C는 상수

### 나. 기존의 제안식을 이용한 콘크리트 비파괴강도 추정

반발경도를 이용한 비파괴강도 추정은 가급적 시험 대상 구조체의 수 개소에 대해서 반발경도를 구하고, 상기 성형 및 코어 표본에 의한 반발경도와 압축강도의 비파괴강도 제안식을 이용해야 한다.

다음은 국내에서 주로 이용되고 있는 제안식을 정리한 것으로 이외의 신뢰성 있는 제안식을 이용할 수 있으며, 제안식의 적용은 시험 방법 및 시험 조건에 맞는 제안식을 선정하는 것이 중요하다.

<표> 비파괴 강도 추정 제안식

연구자	추정 제안식 (MPa)	비고
일본재료학회	$F_c = -18.0 + 1.27 \cdot R_0$	
동경 건축재료 검사소	$F_c = (10R_0 - 110) \times 0.098$	
일본건축학회	$F_c = (7.3R_0 + 100) \times 0.098$	
U.S Army	$F_c = (-120.6 + 8.0R_0 + 0.0932R_0^2) \times 0.098$	
木村	$F_c = (9.37 \times (0.987)^t R_0 + (1.3t - 109)) \times 0.098$	t는 재령(년)

※ 최근에는 고강도 콘크리트를 사용하는 경우가 많아지고 있으며, 고강도콘크리트의 경우 기존의 반발경도에 의한 강도추정식을 적용하는 경우, 강도가 실제 강도보다 낮게 평가되

는 경우가 많은 것으로 보고되고 있다. 따라서 고강도콘크리트인 경우, 별도의 추정식이 마련될 필요가 있으며, 현재 고강도콘크리트의 반발경도에 의한 추정식은 다음과 같은 것이 제시되고 있다.

$$F_c = (15.2 R_0 - 112.8) \times 0.1 \text{ (MPa)}$$

#### 다. 재령보정계수

콘크리트의 재령이 경과함에 따른 반발경도와 압축강도의 상관관계는 변하게 하며, 탄산화의 효과는 콘크리트의 표면반발경도를 증가시킨다. 따라서 장기재령 콘크리트의 강도 추정에서는 재령 28일의 강도추정식에서 구해진 비파괴강도에 슈미트해머 제조사에서 제시하고 있는 재령 보정계수( $\alpha$ )를 곱하여 평가한다.

〈표〉 재령보정계수,  $\alpha$  의 값 ( $F_{28} = F_c \times \alpha$ )

재령(일)	28	100	300	500	1000	3000
$\alpha$	1.0	0.78	0.70	0.67	0.65	0.63

#### 라. 코어강도를 고려한 비파괴강도 보정계수

신뢰성있는 비파괴강도 추정을 위해서는 실구조물에서 채취한 코어강도를 고려할 필요가 있으며, 이를 위하여 선정된 비파괴강도 제안식에 아래와 같이 보정계수를 산출한 후, 보정계수를 제안식에 곱하여 대상 시설물의 콘크리트 비파괴강도를 추정하는 것이 바람직하다.

$$\text{보정계수, } C_t = \frac{1}{k} \left( \sum_{i=1}^k \frac{R_{pr}}{R_{st}} \right)$$

여기서,  $R_{pr}$  : 코어 압축강도(MPa)

$R_{st}$  : 반발경도시험에 의해 추정된 비파괴강도(MPa)

k : 자료의 개수

## 2.6 시험보고서

시험보고서에는 다음과 같은 사항을 추가하여 측정결과와 함께 작성한다.

- 시험 일자, 시간
- 구조물에서 시험 영역의 위치
- 시험 대상 구조물 또는 표본에 대한 설명
- 콘크리트의 설계 조건
- 시험 위치의 표면 상태, 마무리 정도, 균열, 박리, 화재 피해 유무 등
- 시험시의 온도 및 콘크리트의 재령
- 콘크리트 내부의 함수 상태, 습윤 상태, 표면 건조 상태, 기건 상태 등
- 반발경도측정기의 종류 및 제품 번호



- 반발경도측정기의 타격 방향
- 시험 부위별 반발경도의 평균값
- 버린 반발경도의 값 및 위치

(1) 시험보고서(예시)

측정 위치	측정값					평균	타격 방향	표면상태/ 함수상태	설계 강도	시험기종류/ 번호	시험일자/ 재령
S3 슬래브 하면	43	51	50	50	48	53	상향	양호/ 기건	24MPa	NR/ 100059	'09.11.25/ 12년
	52	53	41	51	53						
	46	52	53	51	52						
	40	54	52	18	59						

(2) 반발경도 산출(예시)

본 현장은 재령이 5년인 콘크리트구조물이며, 콘크리트강도를 추정하기 위하여 기존에 제시된 추정식을 활용하기로 하였다. 콘크리트압축강도의 추정은 반발경도법에 의하여 각 부재에서 반발경도를 획득하였으며, 이때 수평으로 타격한 반발경도자료 중 경도의 분포를 고려하여 3개소에서 코어채취 위치를 정하고 코어를 채취하여 적정한 추정식을 선정하여 평가하기로 하였다. 코어를 채취한 위치에서의 최종반발경도와 코어강도 시험결과는 아래 표와 같다.

최종 반발경도	코어강도(MPa)
41	24.2
49	29.5
54	34.1

(3) 추정식 산출

- ① 현장에 적합한 추정식을 선정하기 위하여 기존에 주로 사용하는 3개의 식을 선정하여 코어강도와 비교하여 최적의 추정식을 선정하고자 하였다.
- ② 획득된 반발경도를 각각의 식에 대입하고 재령계수 0.64를 적용하여 추정강도를 각각 산출하고, 이를 각각 코어강도와 비교 하였으며 결과는 아래 표와 같다.

코어번호	반발경도	일본재료학회 $\alpha(-18.0+1.27R)$		일본건축학회 $\alpha(7.3Ro+100)\times 0.098$		동경 건축재료 검사소 $\alpha(10R-110)\times 0.098$		코어강도 (MPa)
		강도 (MPa)	코어강도 비교강도	강도 (MPa)	코어강도 비교강도	강도 (MPa)	코어강도 비교강도	
1	41	21.8	1.11	25.0	0.97	18.8	1.29	24.2
2	49	28.3	1.04	28.7	1.03	23.8	1.24	29.5
3	54	32.4	1.05	31.0	1.10	27.0	1.26	34.1
상관계수 평균			1.07		1.03		1.26	

① 현장에 획득한 반발경도 자료의 획득 현황은 다음 표에 나타낸 바와 같다.

측정위치	측정반발경도					타격방향	습윤상태
벽체 #1	47	42	44	50	43	0°	반습윤 (비를 맞아 일시적으로 젖어 있는 상태)
	42	48	43	47	47		
	43	48	42	44	41		
	43	41	41	40	40		
벽체 #2	54	40	50	32	38	0°	반습윤 (비를 맞아 일시적으로 젖어 있는 상태)
	43	37	40	40	37		
	45	48	37	42	41		
	46	44	40	42	45		
천정 #1	41	45	44	45	42	+90°	기건
	43	43	45	44	43		
	43	45	45	42	45		
	46	44	44	48	44		

② 콘크리트 압축강도를 산출한 결과는 다음 표와 같다.

측정위치	측정반발경도					평균	신뢰 범위	재평균	각도 보정	습윤 보정	최종반발 경도	추정 강도 (MPa)	비고
벽체 #1	47	42	44	50	43	43.8	45.2 ~ 52.6	43.8	0	+3	46.8	28.5	
	42	48	43	47	47								
	43	48	42	44	41								
	43	41	41	40	40								
벽체 #2	(54)	40	50	32	38	42.1	33.6 ~ 50.5	41.4	0	+3	44.4	27.4	
	43	37	40	40	37								
	45	48	37	42	41								
	46	44	40	42	45								
바닥하면#1	41	45	44	45	42	44.1	35.2 ~ 52.9	44.1	-3.6*	0	40.5	25.6	
	43	43	45	44	43								
	43	45	45	42	45								
	46	44	44	48	44								

## ● 반발경도시험 결과보고서 예

[반발경도법 시험결과보고서]

측정 위치	측정반발경도					평균	신뢰 범위	재평 균	각도 보정	습윤 보정	최종 반발 경도	추정 강도 (1)	추정 강도 (2)	추정 강도 (3)	추정 강도 평균
1	47	47	60	63	47	47.28 ~ 60.42	47.6	X	X	47.6	43.9	44.7	40.3	49.6	
	63	43	61	47	61										
	64	61	47	44	40										
	43	47	61	42	46										

2	42	47	46	40	47	43 ~ 64.4	43.7	X							
	43	47	46	47	44										
	46	47	49	47	60										
	48	47	42	44	43										

3	47	47	46	60	46	44.6 ~ 66.8	45.7	X							
	46	46	61	40	44										
	44	44	47	60	47										
	44	60	48	43	48										

4	42	47	47	48	47	44.6 ~ 67	45.3	X	X	X	42.1	44.7	46.8		
	47	47	47	47	43										
	44	44	47	48	47										
	49	47	48	46	43										

[반발경도법 시험결과보고서]

측정 위치	측정반발경도					평균	신뢰 범위	재평 균	각도 보정	습윤 보정	최종 반발 경도	추정 강도 (1)	추정 강도 (2)	추정 강도 (3)	추정 강도 평균
1	47	47	60	63	47	47.28 ~ 60.42	47.6	X	X	47.6	43.9	44.7	40.3	49.6	
	63	43	61	47	61										
	64	61	47	44	40										
	43	47	61	42	46										

## ● 반발경도시험 측정광경



## ● 반발경도시험 측정 데이터

38	35	40	39	26	49
41	42	46	43	38	44
38	45	40	41	44	39
31	40	34	36	41	50

평균 : [  $960/24=40$  ]    신뢰범위(+/- 20%) : [ 32 ] - [ 48 ]

## ● 평균값 재산출

38	35	40	39	26	49
41	42	46	43	38	44
38	45	40	41	44	39
31	40	34	36	41	50

평균 :  $(960-156)/20=804/20=40.2$

## ● 제안식에 의한 강도 추정

연구자	추정 제안식 (MPa)	재령보정(0.63)
일본재료학회	$F_c = -18.0 + 1.27 \cdot R_o = 33.1$	$f_c' = 20.8 \text{ MPa}$
동경 건축재료 검사소	$F_c = (10R_o - 110) \times 0.098 = 28.6$	$F_c' = 18.0 \text{ MPa}$
일본건축학회	$F_c = (7.3R_o + 100) \times 0.098 = 38.5$	$F_c' = 24.2 \text{ MPa}$

## 시험결과보고서(반발경도법)

측정 위치	측정반발경도						평균	신뢰 범위	재평 균	각도 보정	습윤 보정	최종 반발 경도	추정 강도 (1)	추정 강도 (2)	추정 강도 (3)
하향															
수평															
상향															

## 2.7 현장실무 사례 : 반발경도시험

### (1) 시험방법

개 요	<ul style="list-style-type: none"><li>■콘크리트 표면의 반발경도를 측정하여, 콘크리트의 압축강도를 추정하는 검사방법임</li><li>■슈미트해머는 경화된 콘크리트 표면을 타격시, 반발도(R)와 콘크리트의 압축강도(<math>f_c</math>)와의 사이에 특정 상관관계가 있다는 실험적 경험을 기초로 적용함</li></ul>																																																																
시 험 방 법	<ul style="list-style-type: none"><li>■반발경도 측정은 선정된 부위에 그라인딩 작업으로 표면 정리를 한 다음 타격점 상호간의 중·횡 간격을 30mm기준으로 그어 직교되는 부위에 20점 이상을 타격하여 반발경도 값의 산술 평균값을 구하고, 각 반발경도 값이 평균값의 <math>\pm 20\%</math>범위를 벗어나는 값들은 제외시키고 나머지 값들을 다시 산술평균하여 반발경도를 결정</li><li>■측정점간의 최소간격은 보, 기둥 등 모서리로부터 30 ~ 60mm 이상 떨어진 장소에서 측정 하고, 측정부재의 최소두께는 반발도의 영향을 고려하여 100mm이상을 원칙으로 함</li><li>■측정치는 원칙적으로 정수값을 읽고, 표면 건조상태의 부위를 선정, 측정하여 건조에 따른 보정, 압축응력에 따른 반발도의 보정과 타격 방향에 대한 보정 및 재령에 따른 보정을 적용함</li></ul>	<div><div>측정기의 기종 선정</div><div>↓</div><div>점검기에 의한 정도확인</div><div>↓</div><div>측정 장소의 확인, 요철제거</div><div>↓</div><div>Marker 등에 의한 측정점의 표시</div><div>↓</div><div>측정, 20점 이상의 평균</div><div>↓</div><div>타격 방향, 습윤 및 재령의 보정</div><div>↓</div><div>강도추정식에 의한 압축강도 산출</div><div>↓</div><div>압축강도의 추정</div></div> <p>&lt;반발경도법에 의한 강도추정 흐름도&gt;</p>																																																															
보 정 방 법	<ul style="list-style-type: none"><li>■타격방향에 따른 보정(<math>\Delta R1</math>)</li></ul> <table><tr><th rowspan="2">반발경도 (R)</th><th colspan="4">수평과 이루는 각도</th><th rowspan="2">비고</th></tr><tr><th>+90°</th><th>+45°</th><th>-45°</th><th>-90°</th></tr><tr><td>10</td><td>-</td><td>-</td><td>+2.4</td><td>+3.2</td><td rowspan="6">상향수직 : +90° 하향수직 : -90°</td></tr><tr><td>20</td><td>-5.4</td><td>-3.5</td><td>+2.5</td><td>+3.4</td></tr><tr><td>30</td><td>-4.7</td><td>-3.1</td><td>+2.3</td><td>+3.1</td></tr><tr><td>40</td><td>-3.9</td><td>-2.6</td><td>+2.0</td><td>+2.7</td></tr><tr><td>50</td><td>-3.1</td><td>-2.1</td><td>+1.6</td><td>+2.2</td></tr><tr><td>60</td><td>-2.3</td><td>-1.6</td><td>+1.3</td><td>+1.7</td></tr></table> <ul style="list-style-type: none"><li>■콘크리트의 습윤상태에 따른 보정(<math>\Delta R3</math>) 기건상태 : <math>\Delta R3 = 0</math>, 습윤상태 <math>\Delta R3 = +5</math></li><li>■콘크리트 재령에 따른 보정(<math>\alpha</math>)</li></ul> <table><tr><th>구분</th><th>7일</th><th>14일</th><th>21일</th><th>28일</th><th>100일</th><th>500일</th><th>750일</th><th>1000일</th><th>2000일</th><th>3000일</th></tr><tr><td>재령(<math>\alpha</math>)</td><td>1.72</td><td>1.36</td><td>1.12</td><td>1.00</td><td>0.78</td><td>0.67</td><td>0.66</td><td>0.65</td><td>0.64</td><td>0.63</td></tr></table> <ul style="list-style-type: none"><li>■<math>R_o = R + \Delta R</math> (<math>\Rightarrow \Delta R = \Delta R1 + \Delta R2 + \Delta R3</math>) 여기서, <math>\Delta R1</math> : 타격방향에 따른 보정값 <math>\Delta R2</math> : 압축부재의 고정하중 응력에 따른 보정값 <math>\Delta R3</math> : 콘크리트의 습윤상태에 따른 보정값</li></ul>	반발경도 (R)	수평과 이루는 각도				비고	+90°	+45°	-45°	-90°	10	-	-	+2.4	+3.2	상향수직 : +90° 하향수직 : -90°	20	-5.4	-3.5	+2.5	+3.4	30	-4.7	-3.1	+2.3	+3.1	40	-3.9	-2.6	+2.0	+2.7	50	-3.1	-2.1	+1.6	+2.2	60	-2.3	-1.6	+1.3	+1.7	구분	7일	14일	21일	28일	100일	500일	750일	1000일	2000일	3000일	재령( $\alpha$ )	1.72	1.36	1.12	1.00	0.78	0.67	0.66	0.65	0.64	0.63	<ul style="list-style-type: none"><li>■압축부재의 고정하중 응력에 따른 보정(<math>\Delta R2</math>) 압축응력 1.0kgf/cm<sup>2</sup> 인 경우 <math>\Delta R2 = -0.015R</math>, 2.5kgf/cm<sup>2</sup> 인 경우 <math>\Delta R2 = -0.05R</math> 정도임</li></ul> <p>&lt;압축응력에 따른 반발경도 보정곡선&gt;</p>
반발경도 (R)	수평과 이루는 각도				비고																																																												
	+90°	+45°	-45°	-90°																																																													
10	-	-	+2.4	+3.2	상향수직 : +90° 하향수직 : -90°																																																												
20	-5.4	-3.5	+2.5	+3.4																																																													
30	-4.7	-3.1	+2.3	+3.1																																																													
40	-3.9	-2.6	+2.0	+2.7																																																													
50	-3.1	-2.1	+1.6	+2.2																																																													
60	-2.3	-1.6	+1.3	+1.7																																																													
구분	7일	14일	21일	28일	100일	500일	750일	1000일	2000일	3000일																																																							
재령( $\alpha$ )	1.72	1.36	1.12	1.00	0.78	0.67	0.66	0.65	0.64	0.63																																																							
압 축 강 도 추정식	<ul style="list-style-type: none"><li>■일반 콘크리트 : <math>R_o = \alpha \times R</math></li><li>- 방법 1 : <math>F_c = -18.0 + 1.27 \times R_o</math> (MPa) <math>\Rightarrow</math> 일본 재료학회 추정식</li><li>- 방법 2 : <math>F_c = (7.3R_o + 100) \times 0.098</math> (MPa) <math>\Rightarrow</math> 일본 건축학회 추정식</li></ul>																																																																

※ 콘크리트 및 강재 비파괴시험 매뉴얼(한국시설안전기술공단, 2006.12) 참조

※ 진단장비 활용·관리 매뉴얼(한국시설안전기술공단, 2006.12) 참조

※ 시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침(국토교통부, 국토안전관리원, 2021.12) 참조



## (2) 현장조사

반발경도 측정은 테스트 앤빌에 의한 교정을 실시하고 콘크리트 표면의 요철, 부착물, 분말 등을 그라인딩으로 제거한 후 실시하였으며, 표면에 곰보, 공극, 노출된 자갈 등이 있는 부위들은 측정위치에서 제외하였다. 또한, 반발경도 값은 각 측정부재에 따라 타격방향, 표면의 건습상태, 재령 등에 의한 보정을 한 후 콘크리트 강도를 추정하였다. 반발경도에 의한 압축강도 추정은 상부구조는 일본재료학회식, 하부구조는 일본건축학회식을 적용한다.



〈반발경도시험 측정〉

〈반발경도법에 의한 강도 추정결과〉

측 정 위 치		평균치	보정치	기준 경도	재령 계수	각도	압축강도		평균 압축 강도 (MPa)	설계 기준 강도 (MPa)
		(R)	(ΔR)	(RO)		(°)	일본 재료	일본 건축		
상 부 구 조	S1 바닥판 하면	55.9	-2.63	53.3	0.63	90	31.2	30.2	30.7	27.0 (추정)
	S6 바닥판 하면①	63.1	-2.05	61.0	0.63	90	37.5	33.7	35.6	
	S6 바닥판 하면②	57.8	-2.48	55.3	0.63	90	32.9	31.1	32.0	
하 부 구 조	A1 구체	48.1	0	48.1	0.63	0	27.1	27.8	27.5	24.0 (추정)
	A2 구체	49.6	0	49.6	0.63	0	28.3	28.5	28.4	
	P1 기둥	53.9	0	53.9	0.63	0	31.7	30.4	31.1	
	P3 기둥	44.8	0	44.8	0.63	0	24.5	26.3	25.4	

→ 실습 : 상기 표의 계산 결과 확인을 통한 연습