

안전점검 및 정밀안전진단 세부지침해설서(공통편)

2011. 12.



국토해양부



한국시설안전공단

머 리 말

우리나라는 '60년대 이후의 급속한 경제성장 과정에서 대부분의 시설물들이 “공기단축”과 “공사비절감” 위주로 건설되어 선진국의 시설물에 비해 시작부터 안전에 취약할 수밖에 없었습니다. 그럼에도 불구하고 사용 중 유지관리 마저 소홀히 하여 '90년대 들어 성수대교와 삼풍백화점 붕괴사고 등의 값비싼 대가를 치른 경험이 있습니다.

이에 따라 정부에서는 1995년 「시설물의 안전관리에 관한 특별법」을 제정하여 시설물의 안전관리를 시행하고 있으며, 특히 시설물의 안전점검 및 정밀안전진단 업무를 표준화하기 위하여 국토해양부와 우리공단은 교량·댐 등 12개 국가 주요시설물의 점검·진단 업무의 실시방법 및 절차 등을 규정한 세부지침을 마련하였습니다.

해설서는 2010.12월 출간된 「안전점검 및 정밀안전진단 세부지침」에 대한 바른 이해와 적절한 적용에 도움이 되도록 하기 위하여 작성되었습니다. 본 해설서(공통편)는 세부지침 공통편 내용 중에 외관조사와 재료시험 중 가장 많이 사용되는 균열조사와 재료시험 요령에 대한 것으로 한정하였습니다. 금년에는 공통편과 시설물편 6종(교량, 터널, 댐, 항만, 상수도, 건축)의 해설서를 발간하며, 2012년에는 시설물편 나머지 6종(하구둑, 수문, 제방, 하수처리장, 옹벽, 절토사면)의 해설서를 계속 발간할 예정입니다.

아울러 본 해설서는 초보자가 알기 쉽도록 그림과 사진 등을 많이 포함하여 편집 구성에 최선을 다하였으나 미흡한 점도 많을 것입니다. 앞으로 계속 보완 발전시켜 시설물의 안전점검 및 정밀안전진단에 유용하게 활용될 수 있도록 최선을 다하겠습니다.

끝으로 본 해설서 개발작업에 참여하여 주신 직원과 자문위원 여러분들의 노고에 깊은 감사를 드리는 바입니다.

2011년 12월

한국시설안전공단 이사장 김 경 수

제 목 차 례

1. 균열조사 요령

1.1 일반	1
1.2 균열조사	1
1.3 비파괴시험에 의한 균열깊이 조사	6

2. 재료시험 요령

2.1 반발경도시험	12
2.2 초음파전달속도시험	28
2.3 콘크리트 코어시험	45
2.4 철근탐사시험	57
2.5 철근부식도시험	72
2.6 콘크리트 탄산화 깊이 측정	85
2.7 강재 용접부 비파괴시험	95

균열조사 및 재료시험 요령

1. 균열조사 요령
2. 재료시험 요령

1. 균열조사 요령

1.1 일반

균열의 발생은 콘크리트 체적변화와 구속조건에 기인하는 것이지만 그 원인은 다양하고 그것이 복합되어 균열이 발생하는 경우가 많다. 그 때문에 균열이 발생했다면 여러 가지 관점에서 그 원인을 추적할 필요가 있으므로 균열의 형태에 대한 조사가 필요하다.

연속된 하나의 균열이라 해도 위치에 따라 폭이 다른 것이 보통이며, 보수·보강의 필요 여부 판정의 자료로 할 경우에는 최대 균열폭을 이용하게 된다. 그러나 최대 폭을 나타내는 부분이 균열의 전체 길이 중 극히 일부분 일 경우나, 균열의 가장자리의 콘크리트가 국부적으로 일그러진 탓으로 다른 부분에 비교하여 큰 최대 폭이 되었을 경우 등에는 과잉 보수를 하게 되는 경우가 있다.

단순히 최대 균열폭에만 주목하는 것이 아니라 균열이 전 구간에 걸친 균열폭의 분포에도 유의해야 한다.

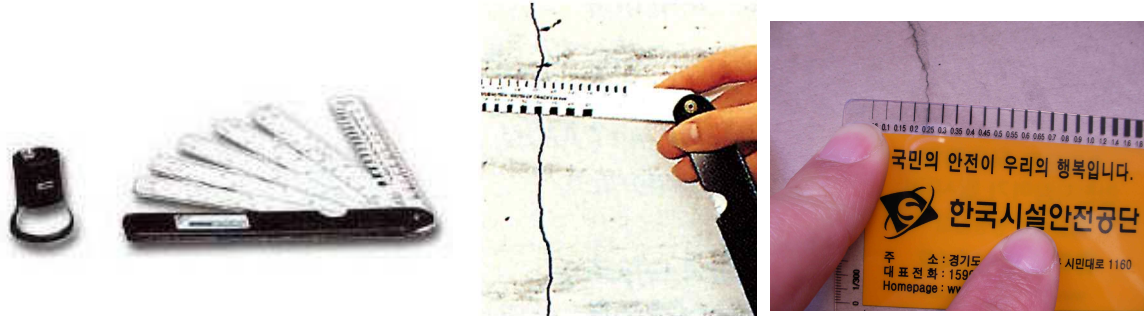
1.2 균열조사

가. 균열폭의 측정

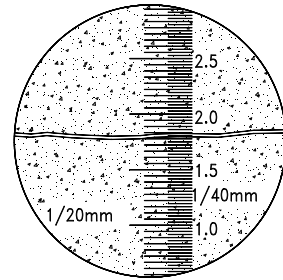
- ① 균열폭은 콘크리트의 표면에서 균열 방향에 대해 직각으로 측정한 폭을 측정 기록한다.
- ② 균열폭은 균열 발생의 원인 추정, 보수·보강 필요 여부의 판정, 보수·보강의 판단 자료가 되므로 측정 시 변동 원인을 고려하여 목적에 맞도록 측정해야 한다.
- ③ 균열폭의 측정은 균열자(Crack Scale), 균열현미경 등을 사용한다.

【해설】

1. 일반적으로 균열폭을 측정할 경우는 균열스케일(Crack Scale)을 사용하며, 균열현미경(7배율 이상, 라이트 부착형 : 「시설물의 안전관리에 관한 특별법」 시행규칙 [별표 1]의 진단측정장비)은 정밀한 균열폭을 측정할 때 사용한다.



a) 균열스케일 및 측정 예



b) 균열 현미경 및 측정 화면



c) 균열 폭 측정 광경(균열현미경)

[해설 사진 1.2.1] 균열 폭 측정기 및 측정광경

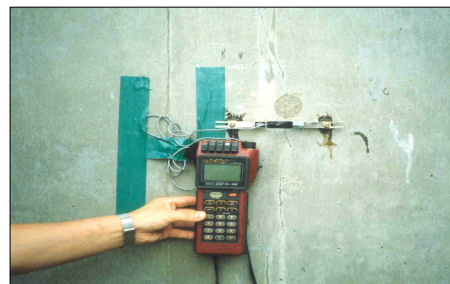
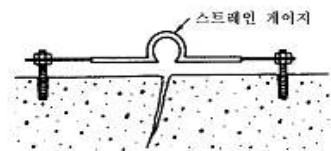
나. 변동 균열의 측정

진행성 균열의 측정은 전기적인 측정 방법과 클립게이지를 사용하는 방법, 전기식 다이얼 게이지를 사용하는 방법이 있다. 또 표적기간을 접착게이지를 사용해 측정해도 된다.

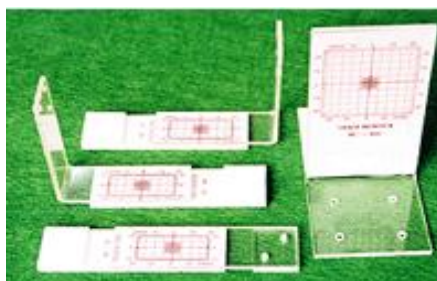
균열폭의 변동을 검토할 경우는 초기 값을 측정한 위치를 구조물에 기록하여 두고 그 후 같은 위치에서 측정하며, 다음 사항을 준수하는 것이 측정 결과의 신뢰성을 확보하는 바람직한 측정 방법이다.

- ① 균열폭은 온도나 습도에 따라 변화되므로 변동 측정을 할 경우에는 측정시의 온·습도의 조건은 가능한 같도록 하는 것이 원칙이다.
- ② 하루의 온도는 시각에 따라 변화되므로 측정 시각은 되도록 일정하게 오전 10시 전후에 하는 것이 좋으며, 이 시각의 온도는 하루 평균기온에 거의 상당하므로 자료의 해석에 적합하다.
- ③ 직접 비를 맞는 경우의 구조물이나, 건축물의 외벽·지붕 슬래브 등의 부재에서는 강우가 있는 후 적어도 3일간 이상 경과된 뒤에 측정한다.
- ④ 보 등의 휨균열에서 구조내력 혹은 철근의 부식이 문제가 된다고 볼 수 있는 경우에는 철근과 같은 위치의 표면균열 폭을 측정한다.

【해설】



a) 클립 게이지(clip gauge) 및 측정 예



b) 간이형 균열 측정기

c) 단차 측정(간이형과 말발굽형 변형률계 혼용)

【해설 사진 1.2.2】 진행성 균열의 측정

다. 균열의 진행성

형성된 균열의 진행은 여러 요인의 영향을 받는다. 특히 균열제어 철근이 불충분하면 현저하게 영향을 받는다. 균열의 진행은 보수시 어떤 재료를 사용할 것인가와 언제 시행하는 것이 최적기인가에 영향을 주므로 보수작업을 시행하기 전에 장래 균열 움직임에 대한 평가를 하는 것은 중요하다.

따라서 균열을 발견한 경우는 그것이 진행성인 것인지 여부를 확인하여야 한다. 이것은 구조물 변상의 원인 추적, 균열의 성질 판정 및 방법의 결정을 위한 중요한 요소가 된다.

균열이 진행성인 경우 다음 사항을 조사한다.

1) 측정시기와 간격 및 기간

균열의 진행 상태 측정 간격은 균열의 진행 정도에 따라 다르나 초기에는 빈틈이 없이 조사기간 중 1~2주 정도의 간격으로 측정을 하고, 필요시 진행 정도가 둔한 경우에는 순차로 간격을 지연시켜 기간은 반년 이상으로 하는 것이 좋다.

균열이 진행하지 않는 경우라도 계절의 변화(건습이나 온도의 변화)에 따라 균열폭과 길이가 변화되므로 측정은 가급적 장기간 실시하는 것이 좋다. 균열의 진행이 급속한 경우에는 이미 발생된 균열과 균열 사이에 새로운 균열이 발생되는지의 여부를 조사한다.

2) 구조물에 가해지는 하중의 조사

균열의 진행이 인정되는 경우에는 구조물에 작용하는 하중에 대해서 조사한다. 이것은 활하중에 대해서 뿐만 아니라 토압, 기초의 이동, 회전, 침하, 인접 구조물에서의 영향 등 작용하는 하중의 크기와 그 이력에 대해서 조사한다.

3) 구조물의 구조 결함 조사

구조물의 콘크리트가 박락 등의 단면의 결손으로 철근이 부식, PS 강재의 절단 또는 정착부의 이완 등이 생긴 경우에는 부재의 강성이 저하되어 변형이 커지게 되고 균열이 진행되므로 구조상 결함의 유무에 대해서 조사한다.

4) 구조물의 환경 조사

건습의 반복 상태, 한랭지에서의 동결융해 상태 등을 조사한다.

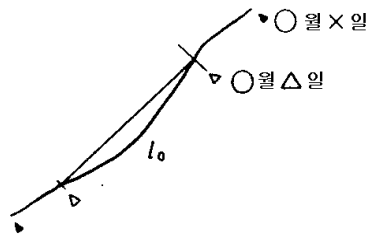
5) 사용재료의 조사

콘크리트 재료의 체적변화를 일으키는 것이 있는 경우, 예를 들면 알칼리 골재 반응을 일으키는 골재, 페이스트의 팽창 계수와 차이가 큰 골재, 팽창물질을 함유한 골재, 혼화재료, 특히 팽창제의 사용 등 균열 발생에 영향을 주는 재료의 사용 유무를 조사한다.

라. 균열의 길이와 형태

균열의 길이는 균열의 원인 추정과 보수·보강의 필요 여부 판정에는 그다지 크게 관계되지는 않으며, 길이에 따라서 균열이 국부적인 원인에 의한 것인지, 광범위한 원인에 의한 것인지 등의 파악이 필요하다.

균열의 길이는 주로 보수·보강의 규모 파악과 공사비의 산출에 필요하므로 적어도 균열폭이 0.05mm 정도 이상은 길이를 측정하고 기록할 필요가 있으며, 하나의 연속된 균열에서 보수하는 부분과 보수하지 않는 부분으로 구별하는 일은 거의 없으므로 가능한 눈으로 확인할 수 있는 전구간의 길이를 파악해 놓는 것이 좋다.



[그림 1.1] 균열 길이의 기록 예

마. 균열의 관통 여부

균열이 관통 여부는 물이나 공기가 통하는가의 여부로 판정되며, 관통 여부의 조사는 콘크리트의 양면에서 관찰이 가능한 경우에는 표면과 이면의 형태가 일치되고 있는가 하는 점이 점검사항이 된다.

균열의 관통 여부 측정에는 다음과 같은 방법이 있다.

- ① 균열 부분을 정확하게 육안으로 확인한다.
- ② 액체를 부어서 누수되는 위치나, 모양 등을 확인한다.
- ③ 코어링을 한다.
- ④ 초음파의 전달속도를 측정한다.

상기 균열조사 ①, ② 방법의 경우 균열에 빨간 잉크 등 색소(액체)를 미리 주입하여 액체와 공기가 통과하는가를 확인하면 된다. 한편, 콘크리트 양면이 관찰될 수 있는 경우는 표면과 이면의 형태가 일치하는가를 확인하면 된다.

바. 균열부 상황의 기록

균열부의 상태에서 이물질 충전의 유무, 백태현상의 유무, 철근의 녹 유무 등을 관찰하여 기록한다.

1.3 비파괴시험에 의한 균열깊이 조사⁸⁾

가. 일반

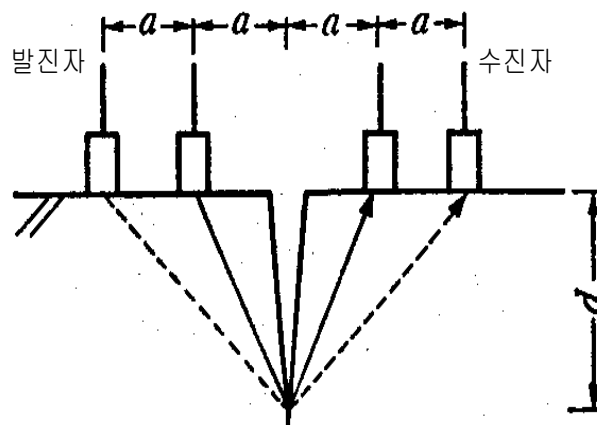
콘크리트 구조물에 발생된 균열깊이를 측정하기 위한 기본은 초음파전달속도법에 의하여 비파괴시험 방법으로 측정한다. 초음파의 발·수신자를 균열 근방에 설치하여 균열을 측정하는 방법을 기술한다.

초음파 발·수신자를 설치하는 위치와 탐촉자 직경에 따라 실제의 pulse 전달 거리와 전달속도가 다르므로 균열깊이 추정 시에는 주의가 필요하다.

【해설】

1. 전달시간을 기초로 균열깊이를 추정하는 방법은 일반적으로는 T법, T_c-T₀법, BS법이 주로 이용된다. 이들 방법은 [해설 그림 1.3.1]과 같이 송신 탐촉자로부터 발신된 초음파가 균열선단을 향해 직진하여 균열선단에서 회절한 후 수신 탐촉자를 향해 직진하는 경로를 밝는 것으로 가정하고, 그 기하학적 조건(직각 삼각형의 피타고라스 정리)으로부터 균열깊이를 역산해 구하는 것이다. 따라서, 본 방법이 적용되기 위해서는 다음 조건을 만족해야 한다.

- (1) 전파시간이 정확하게 측정 가능할 것
- (2) 균열깊이를 추정할 때 가정한 전파경로를 따라 초음파를 포착하는 것이 만족되어야 한다.



[해설 그림 1.3.1] 초음파의 전달경로

8) 콘크리트 및 강재 비파괴시험 매뉴얼 : 한국시설안전기술공단('06.12)

나. T-법

T-법은 발진자(Tx)를 고정하고, 수신자(Rx)를 10~15cm 간격으로 이동시켜 전파거리와 전달시간의 관계(주시곡선)로부터 균열 위치의 불연속 시간 T를 도면 상에서 다음 식을 이용하여 균열 깊이 h를 구한다.

$$h = \frac{T \cos \alpha (T \cot \alpha + 2L)}{2 (T \cot \alpha + L)} \quad \text{or} \quad h = \frac{L}{2} \left(\frac{T_2}{T_1} - \frac{T_1}{T_2} \right)$$

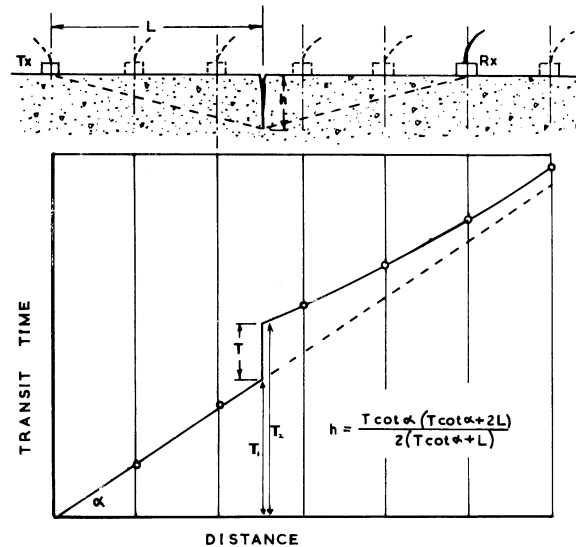
여기서, $T : T_2 - T_1$

L : 발진자(Tx)에서 균열까지의 거리

α : 주시곡선 시작점에서 균열까지의 전달시간 기울기

T_1 : 주시곡선의 측정 시작점에서 균열까지의 전달시간

T_2 : 주시곡선의 균열 시작점에서 이후의 전달시간



[그림 1.2] T-법

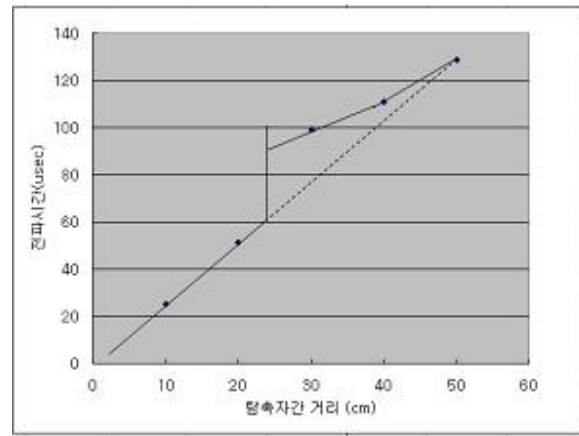
【해설】

1. 균열 깊이 조사 예시(T-법)

- (1) A 현장의 콘크리트 구체에 발생된 폭 0.5mm 균열의 깊이를 T법으로 측정하기 위하여 탐촉자를 [그림 1.2]와 같이 배치하여 다음과 같은 결과를 얻었다. 발진자에서 균열까지의 거리(L)는 25cm로 하였다.

(2) 측정결과

측정간격(cm)	전달시간(usec)
10	25.2
20	51.2
30	99.2
40	110.8
50	128.8



<T법에 의한 측정 초음파 전달시간>

<탐색자간 거리와 전파시간의 관계>

(3) 균열깊이평가

$$\tan \alpha = 100 / 40 = 2.5, \quad \cot \alpha = 0.4,$$

$$T = 32.0 \text{ usec}$$

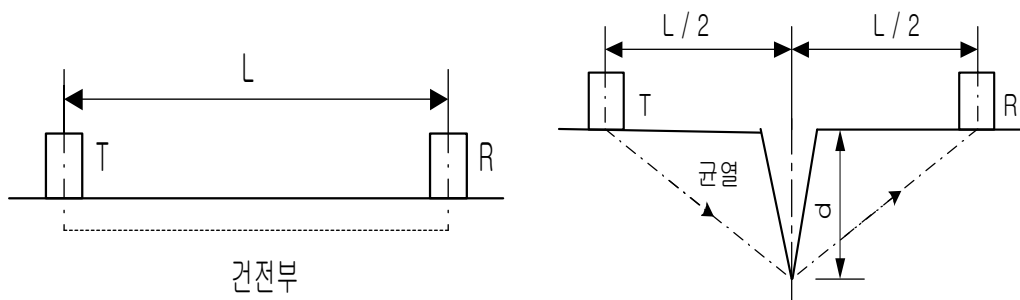
$$\begin{aligned} \text{균열깊이 } h &= \frac{T \cot \alpha (T \cot \alpha + 2L)}{2 (T \cot \alpha + L)} = \\ &= \frac{32.0 \times 0.4 \times (32.0 \times 0.4 + 2 \times 25)}{2 \times (32.0 \times 0.4 + 25)} = 10.6 \text{ cm} \end{aligned}$$

다. Tc-To 법

이 방법은 수신자와 발신자를 균열의 중심으로 등간격 x 로 배치한 경우의 전파시간 T_c 와 균열이 없는 부근 $2x$ 에서의 전파시간 T_o 로부터 균열깊이를 추정하는 방법으로 균열 면이 콘크리트의 표면과 직각으로 발생되어 있으며, 균열 주위의 콘크리트는 어느 정도 균질한 것이라고 가정하여 유도한 것이다.

이 방법의 균열깊이 탐사 결과는 15% 정도의 오차를 가지고 있으며, 균열에서 발 · 수신자까지의 거리 x 는 탐촉자까지의 거리이다.

$$h = X \sqrt{\left(\frac{T_c^2}{T_o^2} - 1\right)}$$



[그림 1.3] Tc-To 법

【해설】

1. 균열 깊이 조사 예시(Tc-To법)

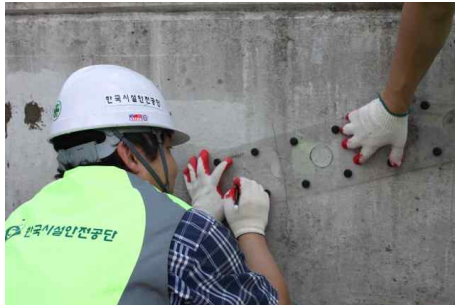
(1) A 현장의 콘크리트 구체에 발생된 0.5mm 균열의 깊이를 Tc-To법으로 측정하기 위하여 탐촉자를 [그림 1.3]과 같이 배치하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

(2) 측정결과

측정길이	L=300 mm	
전달시간	균열이 있는 경우(Tc)	균열이 없는 경우(To)
	62.9 usec	52.0 usec

(3) 균열깊이의 평가

$$\text{균열깊이 } h = \frac{L}{2} \sqrt{\left\{\left(\frac{T_c}{T_o}\right)^2 - 1\right\}} = \frac{300}{2} \sqrt{\left\{\left(\frac{62.9}{52.0}\right)^2 - 1\right\}} = 68.0 \text{ mm}$$



1. 측정점 표시



2. 접촉매질 도포



3. 균열부위 측정



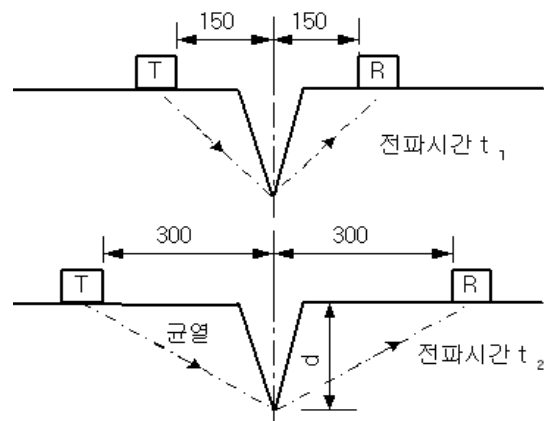
4. 건전부 측정

[해설 사진 1.3.1] 균열 깊이 측정 광경(Tc-To 법)

라. BS 법

BSI 1881 Part No. 203에 규정되어 있는 방법으로 발·수신자 배치를 균열 개구부에서 $a_1=150\text{mm}$ 일 경우의 전파시간 T_1 , $a_2=300\text{mm}$ 일 경우의 전파시간 T_2 를 이용하여 균열깊이 d 를 추정하는 방법으로 콘크리트 내부에 존재하는 철근의 영향으로 측정 결과의 오류를 나타낼 수 있으므로 주의가 요구된다.

$$d = 150 \sqrt{\frac{(4T_1^2 - T_2^2)}{(T_2^2 - T_1^2)}}$$



[그림 1.4] BS 법

【해설】

1. 균열 깊이 조사 예시(BS법)

(1) A 현장의 콘크리트 구체에 발생한 0.5mm 균열의 깊이를 BS법으로 측정하기 위하여 탐촉자를 [그림 1.4]와 같이 배치하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

(2) 측정결과

측정거리(mm)	전달시간(usec)
150	125.2
300	227.2

(3) 균열깊이 평가

$$d = 150 \sqrt{\frac{4 t_1^2 - t_2^2}{t_2^2 - t_1^2}} = 150 \sqrt{\frac{4 \times 125.2^2 - 227.2^2}{227.2^2 - 125.2^2}} = 83.3 \text{ mm}$$

마. 균열깊이 측정의 제약조건⁹⁾

① 균열깊이가 1,000mm이상이 되면 수신하는 초음파전달속도가 현저하게 쇠퇴하기 때문에 일반적인 초음파측정기로는 측정이 곤란하다.

② 표층부 철근의 배근깊이가 100mm이하가 되면 철근 배근깊이 이상인 표면균열의 깊이를 측정하는 것이 곤란하다.

③ 콘크리트의 품질불량 및 콘크리트 내부에 곰보나 공동(구멍) 등 다짐불량의 가능성이 있으면 정확한 측정이 곤란하다.

④ 균열 내부에 물, 이물질이 있는 대상이나, 미세균열이 밀집되어 있는 경우에는 측정이 곤란하게 된다.

⑤ 발생한 균열이 개폐되는 경향을 나타내고 있으면 측정이 곤란하다.

⑥ 측정 대상과 측정 정밀도

- 평탄한 측정면에 직각한 균열깊이 : 200mm이하의 경우 $\pm 5\%$
- 평탄한 측정면에 직각한 균열깊이 : 1,000mm이하의 경우 $\pm 3\%$
- 경사균열의 균열깊이 길이 : $\pm 15\%$

9) 진단장비 활용·관리 매뉴얼 : 한국시설안전기술공단('06.12)

2. 재료시험 요령

2.1 반발경도시험¹⁰⁾

2.1.1 일반

가. 일반

반발경도시험은 콘크리트의 압축강도를 비파괴로 추정하는 방법의 하나로 경화된 콘크리트 표면을 타격할 때, 측정 반발도(R)와 콘크리트의 압축강도(F_c)와의 사이에 특정 상관관계가 있다는 실험적 경험을 기초로 한다.

반발경도시험 결과로 분석된 콘크리트 비파괴강도는 콘크리트 표면 상태에 국한되고 콘크리트 내부의 강도를 추정할 수 없다는 단점을 가지고 있기 때문에 콘크리트 비파괴 강도 추정 시의 유일한 지표로 사용하기에는 문제점을 내포하고 있다.

【해설】

1. 반발경도측정기는 조작의 편리성, 해석의 편리성, 측정 대상 구조물의 형상 및 크기에 영향이 없어 적용성이 좋기 때문에 널리 이용되고 있으나, 콘크리트와 같은 균일하지 못한 재료에서의 콘크리트 표면의 국소적인 타격에 의한 반발도는 타격면의 골재 유무, 건습상태, 콘크리트 재령 등에 의해 달라지므로 비파괴강도 추정의 신뢰성이 크게 높지 않는 것으로 알려져 있다.

2. 측정원리

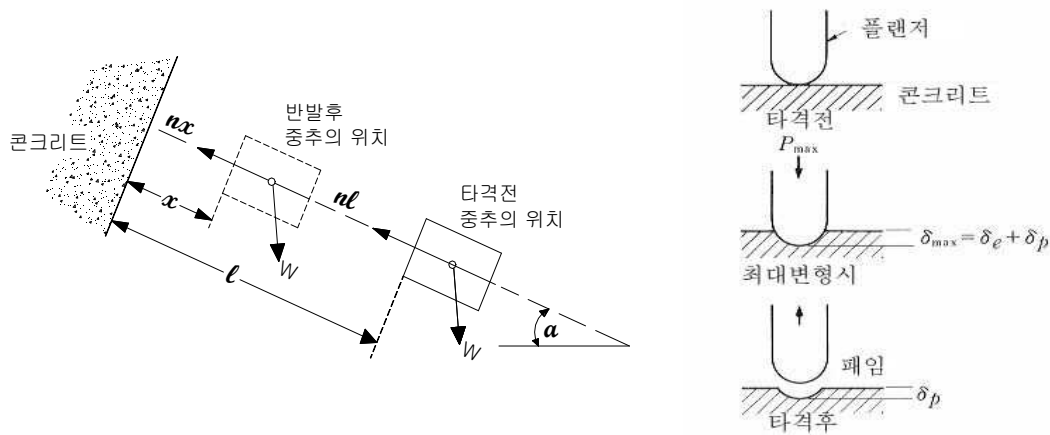
반발경도측정기는 국제적으로 가장 널리 이용되고 있는 시험이다. 반발경도시험의 원리는 슈미트 해머(schmidt hammer) 등으로 콘크리트 면을 타격할 경우, 이에 따른 반발도와 콘크리트 압축강도 사이에 상관관계가 있다는 실험적 입증에 근거하고 있다. 슈미트 해머는 1948년 스위스의 E.Schmidt에 의해 고안된 것으로 스프링의 복귀력으로 콘크리트 표면에 충격을 주어 반발경도를 측정하여 경화 콘크리트의 압축강도를 추정하는 것이다.

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.

[해설 그림 2.1.1]은 플런저라 불리는 테스트해머 선단부와 콘크리트 표면의 접촉 위

10) ○ KS F 2730:2003 콘크리트 압축강도 추정을 위한 반발경도시험 방법
○ 콘크리트 및 강재 비파괴시험 매뉴얼 : 한국시설안전기술공단('06.12)
○ 진단장비 활용·관리 매뉴얼 : 한국시설안전기술공단('06.12)

치에서의 개념도를 나타낸 것이다. 반발경도측정기에 의해 일정한 에너지로 콘크리트 표면을 타격했을 때 테스트해머의 다시 튀어 오르는 높이(반발높이 또는 반발경도)와 콘크리트의 경도(브리넬경도) 및 콘크리트의 강도와는 관련 있는 것이 입증되고 있다. 이에 따르면, 반발 높이는 타격에 의해 생기는 콘크리트의 패인 정도와 관련하여 패인 정도가 클수록 반발높이가 낮아 경도는 작은 값을 나타낸다.



[해설 그림 2.1.1] 타격에 의한 플랜저와 콘크리트의 접촉

나. 적용 범위

본 세부지침에서는 경화된 콘크리트의 반발경도와 압축강도 사이의 상관관계에 따른 상관식을 도출하여 적용하는 것을 원칙으로 하며, 이것이 쉽지 않은 경우 기존의 콘크리트 비파괴강도 제안식을 활용하여 평가할 수도 있다. 다수의 신뢰할 수 있는 비파괴강도 추정식이 제시되어 있으나, 추정식의 다양성만큼 비파괴강도가 일정하게 얻어지는 것이 아니므로, 코어 표본의 압축강도를 구하여 이 측정값과 반발도와의 상관관계를 구하는 것이 우선되어야 한다.

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

본 세부지침에서는 보통콘크리트의 비파괴강도 추정을 위한 시험 등의 절차에 대해서 기술한다.

【해설】

1. 반발경도측정기를 이용한 평가 방법은 콘크리트 압축강도 추정 이외에도 콘크리트의 균일성 확인, 특정 요구조건에 관련된 참고용 자료 제공, 성능에 직접적 영향을 미치는 콘크리트 표면 특성(마모 저항 등)의 결정, 재령의 변동에 따른 강도 발현 양상을 파악하여 거푸집 및 동바리의 제거시기를 결정하는 데 이용할 수 있다.
2. 반발경도법에 의하여 압축강도를 추정하고자 하는 경우 우선적으로 동일위치에 대해서 반발경도 및 코어강도시험을 실시하고 코어강도와 가장 유사한 상관계수 값이 선정되는 공식을 선택한 후 상관계수를 이용하여 비파괴시험에 의한 강도로 치환하여야 한다.

다. 측정기의 점검 및 교정

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

테스트 앤빌에 의한 반발경도측정기(N형)의 반발경도 R은 80을 기준으로 80 ± 2 의 범위를 정상으로 할 경우, 가능한 한 80 ± 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 평균값

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

【해설】

1. 측정기

일반적으로 사용하고 있는 테스트 해머는 [해설 사진 2.1.1]과 같이 N형(NR형), 디지털 해머, P형 및 M형 등이 있으며, 각각의 테스트 해머는 [해설 표 2.1.1]과 같이 각각의 용도에 맞추어 사용한다.



a. NR 형



b. 디지털 해머



c. P형



d. M형

[해설 사진 2.1.1] 반발경도 측정기 종류

[해설 표 2.1.1] 슈미트 해머의 각 형식별 용도

형 식	충격에너지 (kgm)	강도측정범위 (kgf/cm ²)	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 인공석의 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 ² 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 슛돌

연삭 슛돌은 대상 콘크리트의 면을 간단히 정리할 때 사용되며, 중간 거칠기의 탄화 규소 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. [해설 사진 2.1.2] 참조.



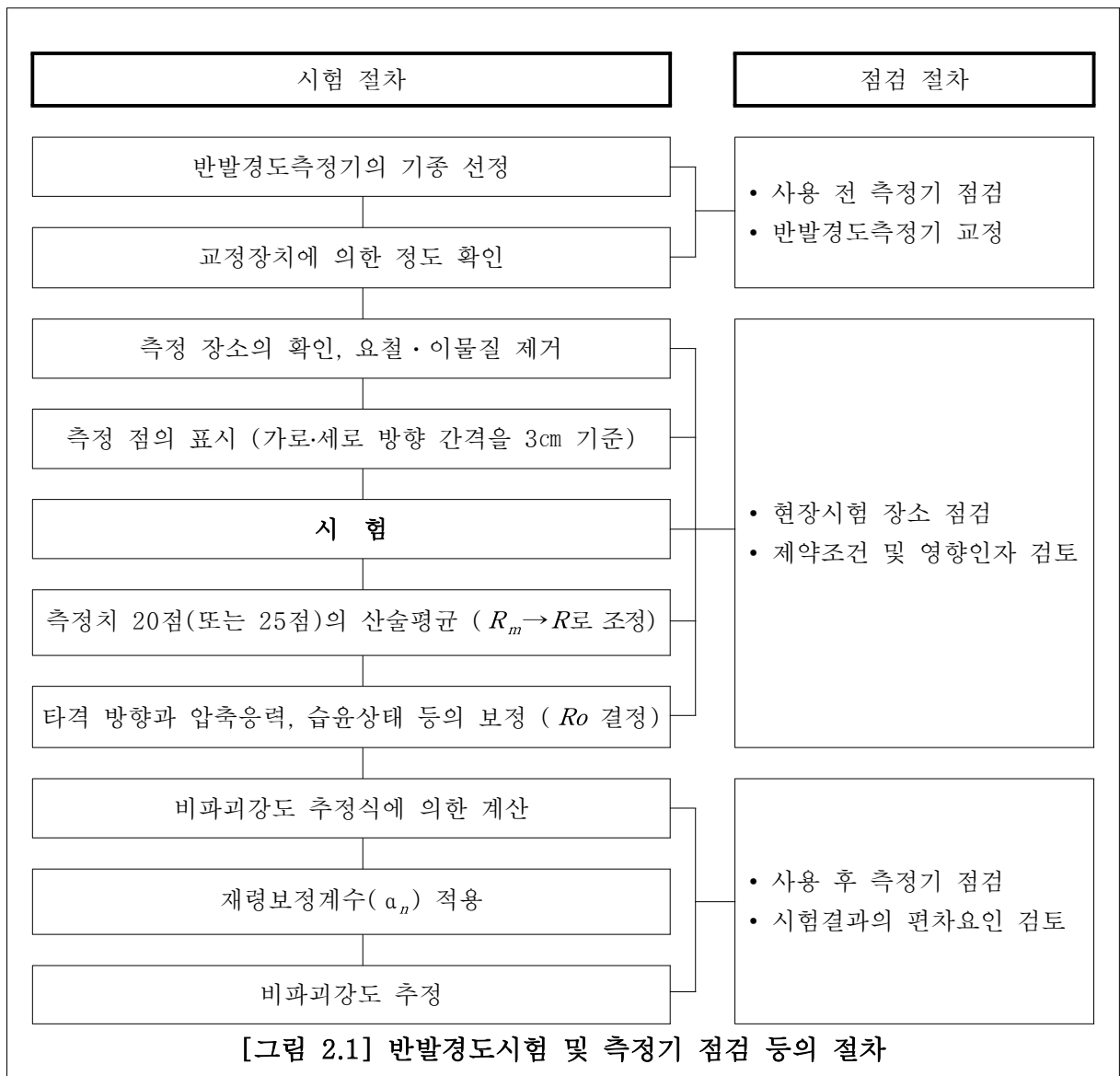
a. 테스트 앤빌 종류



b. 반발경도측정기(NR형) 교정 광경

[해설 사진 2.1.2] 테스트 앤빌

2.1.2 시험 등의 절차



【해설】



1. 측정장소 요철, 이물질 제거



2. 측정 점의 표시



3. 타격 시험



4. 결과 확인

【해설 사진 2.1.3】 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(ΔR)을 산정
- ⑤ 산정한 보정값(ΔR)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

1) 반발경도측정기 활용을 위한 제약조건의 검토

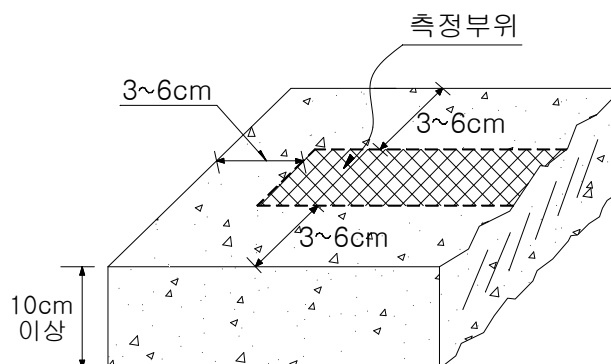
- 대상구조물의 제약조건과 종류, 측정범위 등을 파악하여 시험 결과의 정밀도를 높일 수 있는 방법을 강구하여야 한다.
- 콘크리트에서의 반발도와 비파괴강도와 관계는 각종 영향인자에 따라 다르므로 비파괴강도 추정의 정도를 향상시키기 위해서는 반드시 이들 인자에 관한 정보를 입수하여 이를 반영시켜야 한다.
- 현장측정 및 결과분석에 대한 절차는 KS F 2730의 규정에 준한다.

2) 대상 구조물의 제약조건

- 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
 - 얇은 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

【해설】

1. 측정부재의 선정



[해설 그림 2.1.2] 측정부재의 조건에 따른 측정부위의 선정

2. 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.
3. 미장이나 도장이 있을 경우는 이것을 제거하여 원래의 콘크리트 면을 노출시킬 필요가 있다. 이것은 미장의 경도가 콘크리트 경도와 다르기 때문이다. 단, 미장 제거후 원상복구 방법에 따른 논의가 필요하므로 사전에 관리주체와 협의결과에 따라 실시하는 것이 바람직하다.



[해설 사진 2.1.4] 측정면이 몰탈 등일 경우의 측정 광경

다. 반발경도시험에 영향을 미치는 인자

반발경도에 미치는 영향인자와 시험결과에 편차 요인에 대하여 시험 전 · 후에 이를 파악하여 산정한 각종 보정값(ΔR)을 콘크리트 비파괴강도 추정에 적용하여야 한다.

- 1) 반발경도에 미치는 영향인자
 - 콘크리트 및 반발경도측정기의 온도
 - 콘크리트 표면의 함수 상태
 - 콘크리트 탄산화(중성화) 정도
 - 측정 시 타격방향
 - 반발경도측정기의 종류
 - 콘크리트의 거동
- 2) 시험결과의 편차 요인
 - 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

【해설】

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.

- (1) 대상부재 온도 외에 측정기 자체의 온도가 저하되거나 상승되는 경우에는 해머의 장력 변화 등을 이유로 반발도 값이 변동될 수 있다.
- (2) 동절기 및 하절기 등 온도가 극심하게 변동되는 환경에서는 그 영향을 고려한 수정 값이 적용되어야 한다.
- (3) -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 토목연구소에서 제시하고 있는 방법에 의해 반발경도를 보정하는 것이 바람직하다.

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

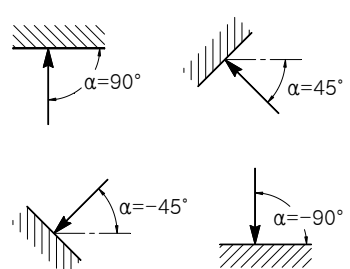
3. 콘크리트 탄산화(중성화) 정도

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 [표 2.2]의 재령보정계수(α)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 [해설 표 2.1.2]와 같은 테스트 해머 제조사가 제시하는 보정 값을 적용하는 것이 바람직하다. 이때 반발경도가 제시된 값들 사이로 측정된 경우에는 인접한 값들을 이용한 직선보간법으로 산출한다.

[해설 표 2.1.2] 타격방향에 대한 보정값

α R	+90°	+45°	-45°	-90°	타격방향(α)
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

$$R = R_0 + \Delta R$$

R : 보정한 값, R_0 : 측정값, ΔR : 보정값

5. 테스트 해머의 종류

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

6. 콘크리트의 거동

반발경도 시험시에는 큰 진동과 시험 대상 콘크리트의 움직임이 없어야 한다.

2.1.3 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 플롯하고 전체 결과에 대한 선형 회귀식을 최소 제곱법에 의해 해당 시설물의 콘크리트 비파괴강도(F_c) 제안식을 도출한다.

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

여기서, R_o : 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 2.1] 기존의 비파괴강도 추정 제안식

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

【해설】

1. 최근에는 고강도 콘크리트를 사용하는 경우가 많아지고 있으며, 고강도콘크리트의 경우 기존의 반발경도에 의한 강도추정식을 적용하는 경우, 강도가 실제 강도보다 낮게 평가되는 경우가 많은 것으로 보고되고 있다. 따라서 고강도콘크리트인 경우, 별도의 추정식이 마련될 필요가 있으며, 현재 고강도콘크리트의 반발경도에 의한 추정식은 다음과 같은 것이 제시되고 있다.

- 과학기술부 $F_C = (15.2R_0 - 112.8) \times 0.1 (MPa)$

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 [표 2.2]의 재령보정계수(α)를 곱하여 평가한다.

[표 2.2] 재령보정계수, α 의 값 ($F_{28} = F_c \times \alpha$)

재령(일)	28	100	300	500	1000	3000
α	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.

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

여기서, R_{pr} : 코어 압축강도(MPa)

R_{st} : 반발경도시험에 의해 추정된 비파괴강도(MPa)

k : 자료의 개수

2.1.4 시험 보고서

시험결과 보고서는 반발경도시험에서 권장하는 사항에 따라 시험되었음을 명확히 하고, 시험조건 및 피시험체와 관련된 정보를 제공할 수 있도록 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

【해설】

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)

- (1) 본 현장은 재령이 5년인 콘크리트구조물이며, 콘크리트강도를 추정하기 위하여 기존에 제시된 추정식을 활용하기로 하였다. 콘크리트압축강도의 추정은 반발경도법에 의하여 각 부재에서 반발경도를 획득하였으며, 이때 수평으로 타격한 반발경도 자료 중 경도의 분포를 고려하여 3개소에서 코어채취 위치를 정하고 코어를 채취

하여 적절한 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

(2) 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.

[해설 표 2.1.3] 코어와 추정강도와의 비교(예시)

코어번호	반발경도	일본재료학회 $\alpha(-18.0+1.27R)$		일본건축학회 $\alpha(7.3R_0+100)\times 0.098$		동경 건축재료 검사소 $\alpha(10R-110)\times 0.098$		코어강도 (MPa)
		강도 (MPa)	코어강도 비파괴강도	강도 (MPa)	코어강도 비파괴강도	강도 (MPa)	코어강도 비파괴강도	
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	

- ③ 분석결과 본 현장에서는 일본건축학회 추정식이 가장 적합한 것으로 나타났으며, 이에 따라 현장에서 획득한 반발경도를 일본건축학회식을 적용하되 상관계수 1.03를 곱하여 비파괴 강도를 추정하기로 하였다.
- ④ 본 현장의 적합한 수정 추정식 = 일본건축학회식 $\times$ 1.03

$$= \alpha(7.3R_0+100)\times 0.098 \times 1.03$$

(3) 콘크리트 압축강도 추정

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

[해설 표 2.1.4] 현장에서 획득한 반발경도 현황(예시)

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		
천정 #2	48	49	49	47	49	+90°	기건
	32	48	51	49	48		
	50	40	50	31	48		
	44	48	49	50	47		
바닥판 #1	45	48	42	43	45	-90°	습윤 (물이 체수된 부분)
	44	32	48	45	44		
	49	50	47	46	49		
	51	44	49	41	45		
바닥판 #2	27	45	48	48	50	-90°	습윤 (물이 체수된 부분)
	45	46	25	40	44		
	44	41	47	48	45		
	49	59	45	57	44		
.....							

② 콘크리트 압축강도를 산출한 결과는 다음 표와 같다.

[해설 표 2.1.5] 콘크리트 압축강도 산출결과(예시)

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								
바닥하면#2	48	49	49	47	49	46.4	37.1 ~ 55.6	48.0	-3.3	0	44.7	27.5	
	(32)	48	51	49	48								
	50	40	50	(31)	48								
	44	48	49	50	47								
바닥상면#1	45	48	42	43	45	45.4	36.3 ~ 54.4	46.1	+2.4	+5	53.5	31.7	
	44	(32)	48	45	44								
	49	50	47	46	49								
	51	44	49	41	45								
바닥상면#2	(27)	45	48	48	50	44.9	35.9 ~ 53.8	-	-	-	-		편차 심하 여버림
	45	46	(25)	40	44								
	44	41	47	48	45								
	49	(59)	45	(57)	44								
.....													

()는 신뢰범위를 벗어난 자료

* 각도 보정 각도보정표를 이용하여 보정한 예 $-3.9 + \frac{(-3.1 - (-3.9))}{10} \times 4.1 = -3.6$

2.2 초음파전달속도시험¹¹⁾

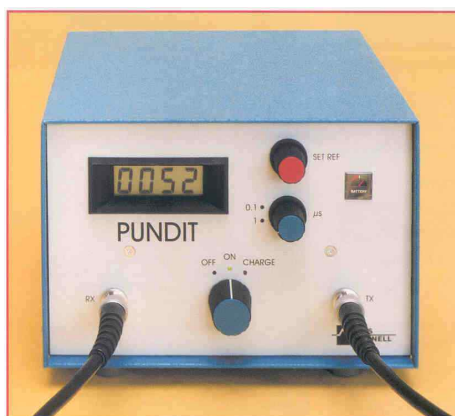
2.2.1 일반

가. 일반

콘크리트에서의 초음파전달속도시험은 음향적 측정방법인 음속법의 하나로 초음파의 투과속도가 콘크리트의 밀도 및 탄성계수에 따라서 변화하는 것을 이용하며, 초음파가 콘크리트를 통과하는 시간(Pulse Velocity)을 측정하여 이로부터 콘크리트의 비파괴강도, 결함의 유무, 균열 및 콘크리트의 내부 분리, 공동현상 등을 추정하는 비파괴적인 방법에 이용한다.

일반적으로 점검과 진단에서 사용하고 있는 콘크리트 초음파측정기는 측정대상 콘크리트에 동일한 사용목적을 가지며, 초음파전달속도는 콘크리트의 구성 성분, 다짐 정도, 숙성도, 콘크리트 제품과 구조물 내에 본래부터 존재하는 자유수의 함유량에 따라 결정된다.

【해설】



a) Pundit



b) TR-300

【해설 사진 2.2.1】 초음파속도 측정기

- 11) 。 KS F 2731:2003 콘크리트 압축강도 추정을 위한 초음파 펄스 속도 시험 방법
- 콘크리트 및 강재 비파괴시험 매뉴얼 : 한국시설안전기술공단('06.12)
 - 진단장비 활용·관리 매뉴얼 : 한국시설안전기술공단('06.12)



a) 본체와 탐촉자 및 교정봉



b) 탐촉자와 케이블 연결 상태

[해설 사진 2.2.2] PUNDIT의 구성

나. 적용범위

본 세부지침에서의 초음파전달속도시험은 콘크리트의 한쪽 끝에 접촉시킨 탐촉자로부터 발신한 초음파 펄스가 콘크리트 내부를 통과하여 반대방향의 다른 끝 쪽에 접촉시킨 탐촉자에 도달할 때까지의 소요시간 및 양 탐촉자간 거리를 측정하여 음속을 구하고, 그 음속값을 이용하여 콘크리트의 비파괴강도를 추정하기 위하여 실시한다.

이 시험 방법은 콘크리트 비파괴강도 추정 이외에도 콘크리트의 탄성 계수, 균열 깊이, 내부 결함 등을 검사하는 데 이용할 수 있으며, 콘크리트의 비파괴강도를 추정하는 경우 다수의 신뢰할 수 있는 추정 제안식이 제시될 수 있으나, 추정식의 다양성만큼 비파괴강도가 일정하게 얻어지는 것이 아니므로 성형 또는 코어 표본의 압축강도를 구하여 이 측정값과 펄스속도와의 상관관계를 구하는 것이 우선되어야 한다.

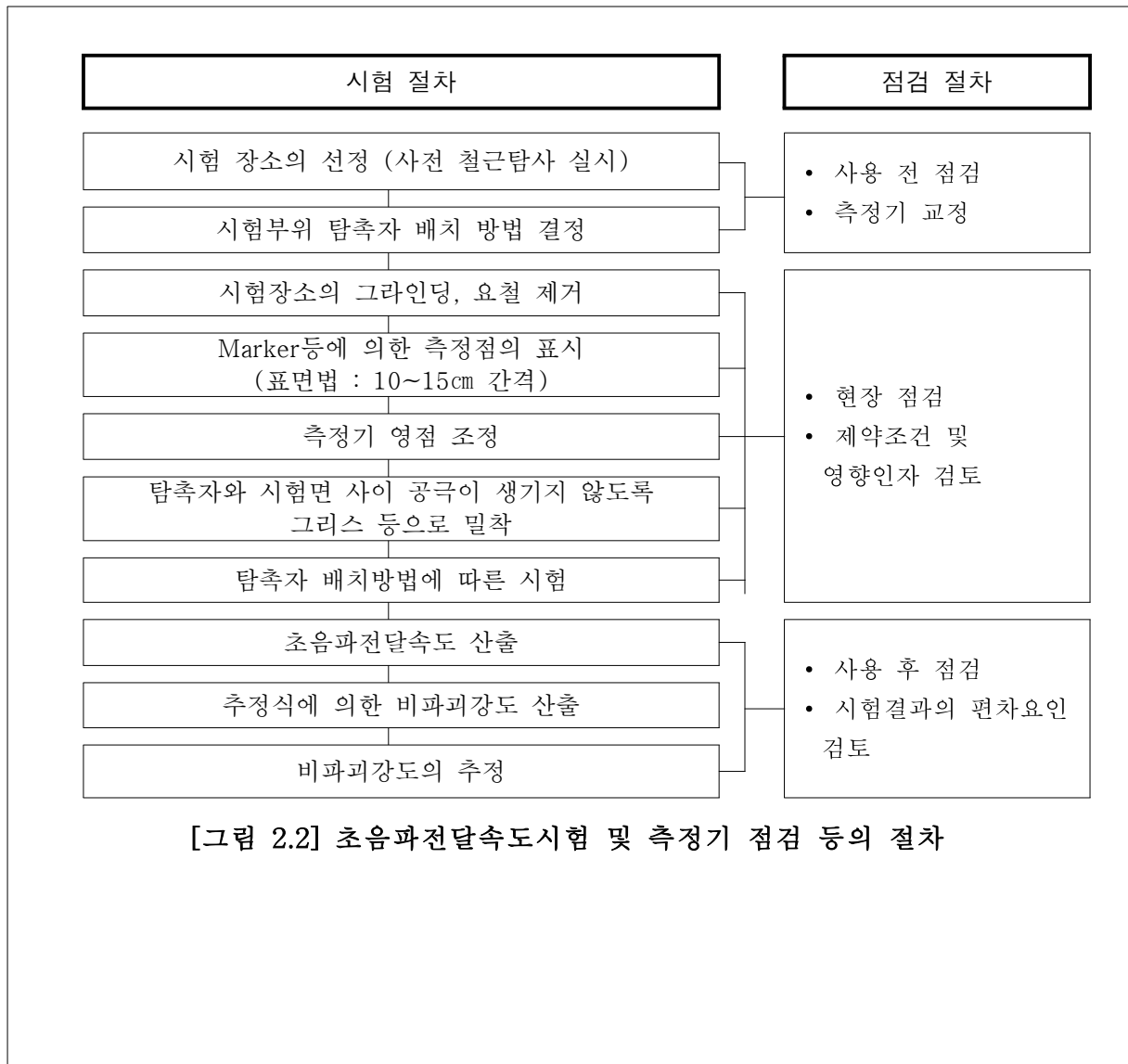
다. 측정기의 영 보정(Zero Setting)

- 측정기를 사용하기 전에는 반드시 측정기에 대한 교정을 하여야 한다.
- 발신 및 수신 탐촉자를 합쳐서 측정 거리가 Zero의 경우에서 전달시간이 영점으로 타나는 확인 여부와 측정 전에 표준시험체(교정봉)로 측정해서 미리 영보정을 하여야 한다.
- 탐촉자 및 케이블의 교체의 경우 매번 영 보정하여야하며, 전자회로나 케이블의 안정성을 확인하기 위해 수시로 영 보정을 재확인할 필요가 있다.

【해설】

1. 시험 장치의 정밀도를 높이기 위해서는 영보정을 실시할 필요가 있다. 측정되는 펄스의 전달시간이 영향 요인으로부터 간섭받지 않기 위해서 시간 지연 조정을 해야 한다. 시간 지연 조정은 전달되는 시간이 정확히 알려진 레퍼런스 바의 대향면에 탐촉자를 쌍으로 연결시켜 실시하되, 레퍼런스 바에 탐촉자를 접촉하는 방법은 항상 일정해야 한다. 최소량의 접촉 매질을 사용하고 탐촉자는 바의 끝에 견고하게 압착되어야 한다. 레퍼런스바 위에서 탐촉자를 미끄러지게 하는 것은 영보정의 오차를 일으키므로 피해야 한다. 시험 장치의 정확한 영보정을 위해 시간 지연 조정은 시험 장치나 탐촉자가 교체될 때마다, 또는 길이가 다른 케이블이 사용될 때마다 매번 실행하여야 한다. 또한 전자 회로나 케이블의 안정성을 확인하기 위해 수시로 영보정을 재확인할 필요가 있다. 기타 영조정 방법은 각 기종의 취급 설명서에 따른다.

2.2.2 시험 등의 절차



【해설】

측정 순서는 다음에 준한다.

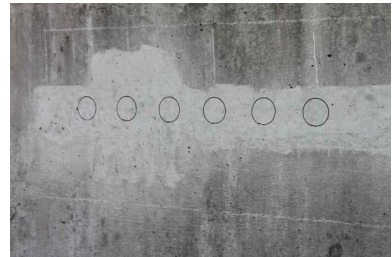
1. 측정 10~30분 전에 측정기에 전원을 넣어, 충분히 안정된 상태로 하여 둔다.
2. 영조정을 하고, 장비에 따라서는 표준시험체(레퍼런스 바)를 이용하여 교정한다.
3. 측정 대상면에 그리스·고형 파라핀 등의 점착제를 바르고, 탐촉자가 잘 밀착되도록 알맞게 힘을 가한다.
4. 탐촉자를 밀착시킨 상태에서 계기의 수신신호가 안정될 때까지 유지하여, 유효숫자 세 자리를 읽거나, 기종에 따라서는 응답펄스파형을 저장하고 분석하여 전파시간을 정한다.
5. 전파거리를 유효숫자 세 자리로 구한다.
6. 측정 후, 콘크리트 면에 남은 그리스·파라핀 등은 천 등으로 닦아낸 후, 벤젠 등을 이용하여 깨끗하게 한다.



1. 시험장소 그라인딩



2. 측정점의 표시



3. 측정점 표시결과



4. 측정기 영점 조정



5. 접촉매질 도포



6. 측정

【해설 사진 2.2.3】 초음파 속도 측정 광경 (표면법)

나. 초음파전달속도시험의 제약조건

1) 측정기 활용을 위한 제약조건의 검토

- 측정 대상구조물의 제약조건과 종류, 측정범위 등을 파악하여 측정 정밀도를 높일 수 있는 방법을 강구하여야 한다
- 콘크리트 중의 초음파전달속도와 압축강도의 관계는 각종 영향인자에 따라 다르다. 비파괴강도 추정이나, 결함탐사의 정도를 향상시키기 위해서는 반드시 이들 영향인자에 관한 정보를 입수하여 이를 반영시켜야 한다.
- 현장측정 및 결과분석에 대한 절차는 KS F 2731의 규정에 준한다.

2) 측정 대상으로 하는 구조물에서의 제약조건

① 측정 대상구조물 : 콘크리트 구조물 전반

② 제약조건

- 콘크리트 표면에 도장이나, 외장재 및 구조물 내부에 철근이 과밀 배근되어 있는 경우, 균열 내부에 수분, 충전물, 미세균열, 밀집균열 등이 존재하는 구조물에서의 초음파전달속도의 시험은 곤란하다.
- 초음파전달속도시험 대상 콘크리트 면에 강재나 공동(구멍), 곰보가 존재하는 경우에는 초음파전달속도시험 결과가 크게 변화될 수 있다.
- 초음파전달속도시험에서는 시험 결과에 영향을 미칠 수 있는 부분과 없는 부분에 대한 병용 시험을 통해서 이를 확인하는 것이 바람직하다.
- 측정하기 전에 측정 위치 부근에 철근탐사장비로 철근이나 강재 등의 배치 여부 등을 확인하는 것이 필요하다.

다. 초음파전달속도시험에 미치는 영향인자

초음파전달속도에 미치는 영향인자와 시험결과에 편차 요인에 대하여 시험 전 · 후에 이를 파악하여 산정한 각종 영향계수를 콘크리트 비파괴강도 추정에 적용하여야 한다.

1) 초음파전달속도에 미치는 영향인자

○ 콘크리트의 함수량

- 콘크리트는 습윤상태일수록 초음파전달속도는 커진다.
- 대상 부재의 함수량 차이를 고려하여 측정된 초음파전달속도를 보정해야 한다.

○ 콘크리트의 온도

- 콘크리트의 온도변화에 따라 초음파전달속도는 변한다.
- 콘크리트가 고온일 경우 초음파전달속도는 감소하며, 저온으로 동결되었을 경우 초음파전달속도는 증대하므로 이에 대한 보정이 필요하다.

○ 측정거리(표면법의 경우 : 탐촉자간의 간격)

- 콘크리트의 이질적인 성질이 시험에 영향을 미치지 않도록 충분히 길어야 한다.
- 굵은골재의 최대치수가 20mm 미만의 경우 측정거리는 100mm 이상
- 굵은골재의 최대치수가 20~40mm의 경우 측정거리는 150mm 이상

○ 시험체의 형상

- 시험대상이 되는 부재의 단면치수에 따라 초음파전달속도에 영향을 미친다.
- 시험대상의 최소허용 측면 치수를 고려하여 시험하여야 한다.

○ 철근의 영향

- 강재에서의 초음파전달속도는 약 5.1km/s로 콘크리트보다 크다.
- 강재는 콘크리트에서 추정된 초음파전달속도의 정확도를 감소시키므로 가능한 철근이 탐촉자 사이의 직진 경로 그 가까이에 놓여 있지 않는 조건에서 시험해야 한다.
- 철근 간섭을 허용하기 위한 초음파전달속도 시험값의 보정의 경우는 다음과 같으며, 이에 대한 보정한다.
 - 철근이 초음파 경로와 평행으로 배근된 경우
 - 철근이 초음파 경로와 직각으로 배근된 경우

○ 접촉매질

- 탐촉자와 콘크리트면과의 접촉(밀착) 상태가 불량한 경우에는 측정치의 재현성은 없어지고, 그 신뢰도 확보가 곤란하다.
- 접촉매질로 인해 콘크리트의 특성이 연속성을 잃을 수 있으므로, 접촉매질의 층이 얇아져 최소값이 얻어질 때까지 읽기를 반복한다.

2) 측정결과와 편차요인

○ 콘크리트의 재료, 배합, 재령

- 콘크리트의 재료, 배합, 재령 등에 따라 초음파전달속도는 다르므로 비파괴강도 추정 전에 반드시 이들 정보를 입수하여 검토한 결과를 반영하여야 한다.

○ 측정 대상면의 상태

- 콘크리트 표면에 모래입자, 먼지, 수분함유, 미세균열 등은 초음파전달속도에 영향을 미치므로 이를 고려한 시험이 필요하다.

○ 측정기의 사용요령

○ 탐촉자의 연결

○ 초음파전달속도의 관계

○ 비파괴강도 추정식의 이용

【해설】

1. 콘크리트의 함수량

콘크리트의 수화 조건이나 양생 조건의 차이 및 공극 속에 있는 자유수의 존재 때문에 기인되는 대상 부재의 함수량 차이를 고려하여 펄스 속도를 보정해야 한다. 콘크리트의 함유 수분은 음속에 큰 영향을 미치며, 습윤 상태일수록 파속은 커지게 된다. 함수율이 1% 증가하면 음속은 약 50~100m/s 증대되므로, 강우 등에 의해 콘크리트가 습윤 된 경우는 시험을 자제해야 한다. 다만 시험기기 메이커가 제시하는 보정값을 적용할 수 있다.

2. 콘크리트의 온도

콘크리트의 온도 변화에 따른 펄스 속도의 수정은 [해설 표 2.2.1]에 따른다.

[해설 표 2.2.1] 펄스 전달에 미치는 온도의 영향

콘크리트의 온도 (°C)	펄스 속도에 대한 보정(%)	
	기건 상태의 콘크리트	습윤 상태의 콘크리트
60	+5	+4
40	+2	+1.7
20	0	0
0	-0.5	-1
-4	-1.5	-7.5

3. 시험체의 형상

시험 대상이 되는 부재의 단면은 [해설 표 2.2.2]의 요구 치수 이상이어야 한다.

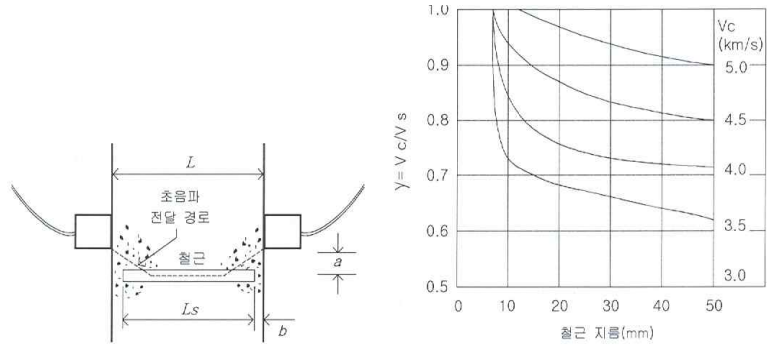
[해설 표 2.2.2] 펄스 전달에 미치는 시험체 치수의 영향

주파수 kHz	콘크리트 내에서의 펄스 속도(km/s)		
	Vc=3.5	Vc=4.0	Vc=4.5
	시험체의 최소 허용 측면 치수 mm		
24	146	167	188
54	65	74	83
82	43	49	55
150	23	27	30

4. 철근의 영향

(1) 철근이 측정 방향과 평행한 경우

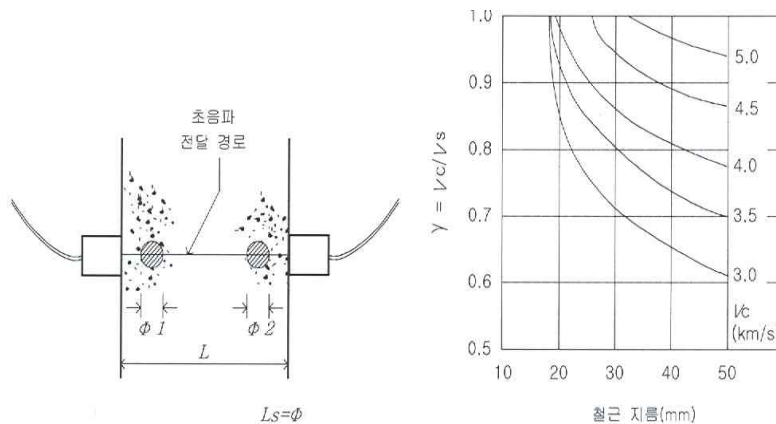
철근이 측정 방향에 평행하여 놓여 있는 경우는 철근의 직경이 초음파 속도에 영향을 미치며, $L_s:L$ 의 비율을 알고 있다면 측정된 초음파 속도는 그 비율과 콘크리트 품질과 같은 요인들을 수정해서 그 비율을 늘임으로써 수정될 수 있다. 그러나 이러한 배열을 하지 않는 것이 바람직하다.



[해설 그림 2.2.1] 철근이 측정 방향과 평행한 경우

(2) 철근이 측정 방향과 연직인 경우

철근이 측정 방향과 연직하게 놓여 있는 경우로 철근의 직경과 콘크리트 품질 등으로 결정되며, 가능한 한 철근의 영향력에서 멀리 떨어져서 초음파 속도를 측정한다.



[해설 그림 2.2.2] 철근이 측정 방향과 연직인 경우 초음파 전달속도의 영향

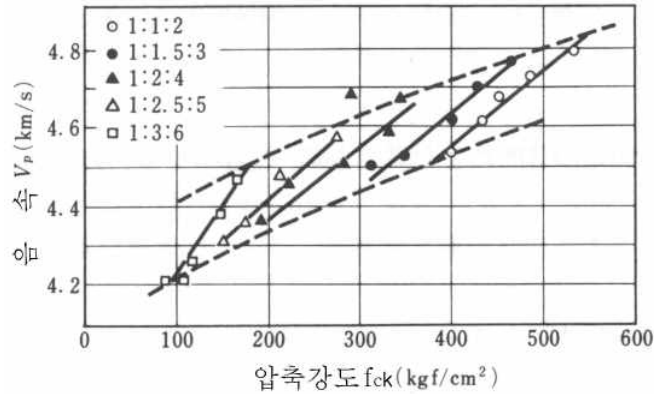
5. 접촉매질

탐촉자와 콘크리트 면과의 접촉(밀착) 상태가 불량할 경우에는 측정치의 재현성은 없어지고, 그 신뢰도 확보가 곤란하게 된다. 따라서 초음파 펄스 물결이 콘크리트와의 접촉에 의해 산란되거나, 쇠퇴하지 않고, 충분한 음향학적 결합 상태를 얻을 수 있도록 그리스 등 접촉매질로 콘크리트 면과 탐촉자를 충분하게 밀착시키는 것이 필요하며, 측정치의 재현성이 있는 것을 확인하여야 한다. 접촉매질의 두께도 측정치에 영향을 미치게 되므로 사전 재현성을 확인하는 것이 필요하다.

- (1) 탐촉자와 측정면이 양호한 음향결합을 얻기 위해서는 반드시 접촉매질을 측정면에 도포한다.
- (2) 접촉매질이 측정면에 악영향을 끼치지 않도록 영향이 없는 매질을 고르는 것이 필요하다.

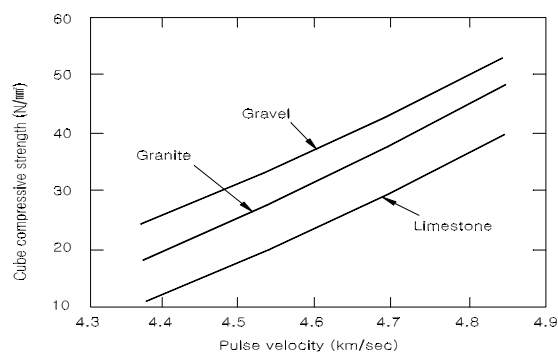
6. 콘크리트의 재료 · 배합 · 재령 등

- (1) 콘크리트의 음속과 압축강도의 관계는 [해설 그림 2.2.3]에 나타난 바와 같이 콘크리트의 배합에 따라서 다를 뿐만 아니라 사용재료, 특히 골재의 품질에 따라 서로 다르다.
- (2) 콘크리트 비파괴강도의 추정에 있어서는 반드시 재료 · 배합 · 재령 등의 정보를 입수하여 검토하고 추정강도의 정도 향상을 도모하여야 한다.



[해설 그림 2.2.3] 콘크리트 배합에 따른 압축강도와 초음파 속도와의 관계

- (3) 콘크리트의 배합이 다르면 [해설 그림 2.2.3]에서 볼 수 있듯이 동일강도의 콘크리트에서도 음속은 다르다. 또한 굵은골재량이 증가하면 일반적으로 콘크리트 강도는 저하하지만, 음속은 증대한다.
- (4) 골재 특히, 굵은골재의 석질은 음속과 강도의 관계에 영향을 미친다. 예를 들면, 석회암질 골재를 사용한 콘크리트는 안산암질 골재를 사용한 것보다도 동일강도의 경우에서 음속은 커지게 된다.

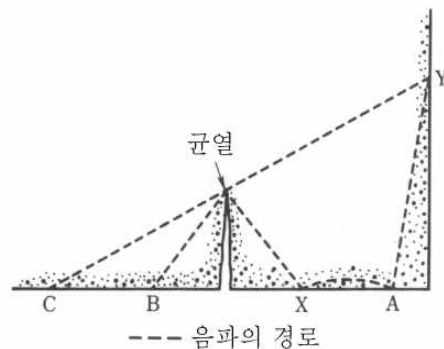


[해설 그림 2.2.4] 골재종류에 따른 초음파 속도와 압축강도와의 관계

- (5) 3개월 이상의 장기재령이 되면 콘크리트 강도의 증가에 비해 초음파 속도는 그만큼 증가하지 않고, 또한 강도의 증대가 거의 없는 경우에는 초음파 속도는 저하하는 경향을 나타내는 경우가 있다. 이는 콘크리트 내부의 함유수분의 변화, 미세균열 발생 등의 영향으로 판단된다.

7. 콘크리트 대상면의 상태

- (1) 콘크리트 표면에 모래입자나 먼지 등이 있는 경우는 음파의 감쇠가 현저하고, 수신 펄스의 오독 또는 측정불능의 원인이 된다. 측정면은 가능하면 거꾸집면으로 하는 것이 바람직하며, 표면이 거친 경우에는 연마하든가 충전재(유사배합의 모르타르 등)를 얇게 발라 평활하게 할 필요가 있다.
- (2) 콘크리트 중의 함유수분은 음속에 큰 영향을 미치며, 습윤 상태일수록 음속은 커지게 된다. 공시체 표면의 건조에 의한 음속의 변화는 보이지 않으나, 함수율의 대소에 따라 음속은 변화하며, 함수율 1% 증감에 음속은 50~60m/s 증감하는 것으로 보고되고 있다. 또한, 함수율 1%의 증감에 의해 음속은 약 90m/s정도 증감한다는 보고도 있다.
- (3) 콘크리트 중에 큰 균열이나 공극이 있을 때, 다음 그림에 나타낸 바와 같이 초음파는 이들을 우회하여 전달되므로 겉보기 음속은 작아지게 된다. 또한, 미세균열(microcrack)이나 미세공극이 있는 경우도 이들의 수가 증가할수록 음속은 작아지는 경향이 있다.



[해설 그림 2.2.5] 표면 균열의 경우 초음파 경로

8. 측정기의 사용요령

- (1) 적용 주파수가 클수록 파의 지향성(확산되지 않고 특정방향으로 직진하는 성질)은 향상되지만, 감쇠는 커지게 된다. 콘크리트의 경우 주파수가 200kHz 이상이 되면 측정이 곤란하게 되며, 20kHz 이하에서는 지향성이 저하되어 모두 측정 정도의 저하에 기여한다.
- (2) 측정기 본체 및 탐촉자의 온도는 측정값에 영향을 미치므로, 측정 중에 이들 온도가 경시적으로 변화할 염려가 있을 경우에는 측정기의 교정을 빈번하게 할 필요가 있다. 또한 측정기를 축한지에서 외부에 방치시키거나 하절기에 직사광선에 그대로 방치하면 고장의 원인이 되기 쉬우므로 주의가 필요하다.
- (3) 탐촉자(발·수신자)와 콘크리트 면의 접촉이 적당하지 않을 경우에는 수신에 곤란하기도 하고 측정에 오차를 초래하는 경우도 있다. 그러므로 측정면에 구리스 등을 도포하고 탐촉자를 콘크리트에 밀착시키는데, 1mm 이하의 두께이면 음속측정값에 미치는 영향은 거의 무시할 수 있다.
또한, 탐촉자를 콘크리트에 밀착시킬 때의 축압(사람의 손에 의한 경우)에 의해서도 $\pm 0.25\mu\text{s}$ 정도의 차이가 발생한다.

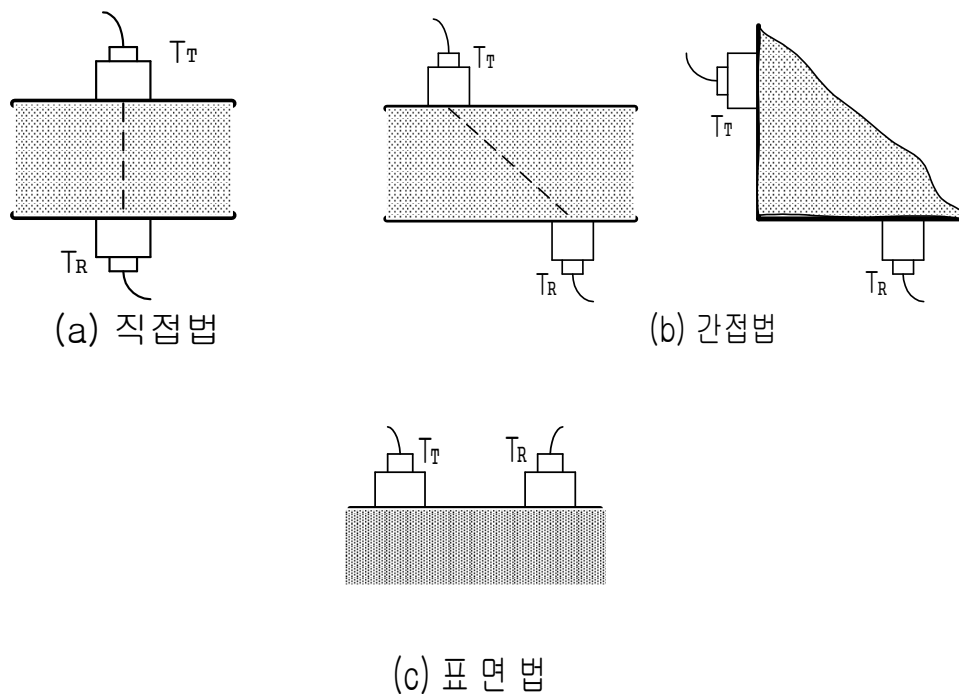
2.2.3 초음파전달속도시험

가. 탐촉자의 배치

본 시험의 정확도는 주로 투과 거리 측정의 정확도에 의해 좌우되며, 이 경우 탐촉자 간의 에너지 이동이 최대이기 때문에 비파괴강도 추정 시에는 [그림 2.3]에서 (a)의 직접법인 대향면의 배치방법을 원칙으로 한다.

다만 현장에서 탐촉자를 직접법으로 배치할 수 없는 경우 [그림 2.3]의 (b)와 (c)와 같은 간접법과 표면법으로의 측정은 그 신뢰성에 문제가 제기되고 있으나, 현장 조건에서는 표면법 적용의 경우가 많다.

이때 표면법의 탐촉자 간격은 100~150mm 간격으로 측정하는 것이 좋다.



[그림 2.3] 초음파 펄스 시험을 위한 탐촉자 배치 방법

나. 초음파전달속도의 산정

1) 직접법(V_d)

$$V_d = \frac{L}{T}$$

여기에서 V_d : 직접법에 의한 초음파전달속도(m/s)

L : 투과 거리(m)

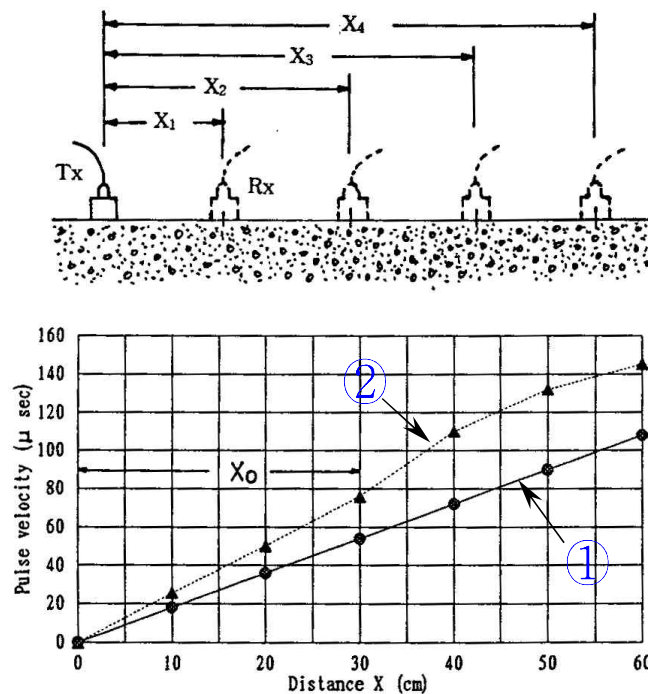
T : 유효 시간(s)

2) 표면법(V_i)

[그림 2.4]에서 ①의 경우로 각 거리 X_i 에 대한 전달시간 T_i 를 측정하여 X_i 와 T_i 의 관계를 그래프에 도시하여 나타나는 회귀직선식 $T = a + b \cdot S$ 의 상관계수에서 기울기의 함수를 초음파전달속도 V_i 를 결정한다.

$$\frac{dS}{dT} = \frac{1}{b} \quad (= V_i: \text{표면법 초음파전달속도})$$

[그림 2.4] ②의 경우인 콘크리트 내부의 구성 요소와 균열 및 결함 등에 의해 초음파전달속도가 분산되면 경험적으로 3점 이상이 일직선으로 형성되는 구간의 회귀직선식에서 분석된 결정계수 r^2 값이 99% 이상([그림 2.4]에서 X_0 구간)이 되는 전달속도 V_i 를 결정한다.



[그림 2.4] 표면법에 의한 초음파전달속도의 측정

2.2.4 콘크리트 비파괴강도 추정

가. 코어 표본을 이용한 초음파전달속도와 압축강도의 상관관계

본 시험에 의한 콘크리트 비파괴강도를 도출하기 위해서는 구조체의 콘크리트에서 채취한 코어 표본을 이용하는 것이 유효하다.

- 절단과 습윤 처리된 코어 표본의 초음파전달속도는 구조물의 일부로 구성되어 있을 때보다 일반적으로 높게 나타나므로 코어 표본 채취 전에 초음파전달속도를 시험을 하는 것이 필요하다.
- 초음파전달속도시험 값과 코어 표본으로 구한 압축강도 시험 값을 플롯하고 전체 결과에 대한 선형회귀식을 최소 제곱법에 의해 해당 시설물의 콘크리트 비파괴강도 제안식을 도출한다.

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

- 코어 표본의 압축강도 시험은 KS F 2422¹²⁾에 따른다.

나. 기존의 제안식을 이용한 콘크리트 비파괴강도 추정

초음파전달속도를 이용한 비파괴강도 추정은 코어 표본에 의한 초음파전달속도와 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 2.3] 기존의 비파괴강도 추정 제안식

연구자	추 정 식 (MPa)	비 고
일본건축학회식	$F_c = (215V_d - 620) \times 0.098$	V_d : 직접법에 의한 초음파전달속도 (km/s)
일본재료학회식	$F_c = (102V_d - 117) \times 0.098$	
J.Pysziak의 제안식	$F_c = (92.5V_d^2 - 508V_d + 782) \times 0.098$	
谷川의 제안식	$F_c = (172.5V_d - 499.6) \times 0.098$	

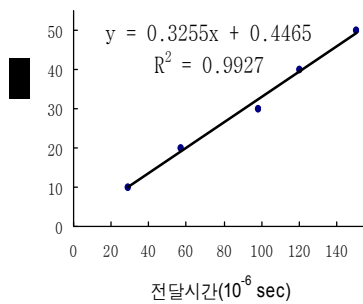
12) KS F 2422 : 콘크리트에서 절취한 코어 및 보의 강도시험 방법

【해설】

- 본 현장은 재령이 5년인 콘크리트구조물로, 콘크리트강도를 평가하기 위하여 기존에 제시된 초음파전달속도법에 의한 추정식을 활용하기로 하였다. 현장에서 획득한 전달 길이와 전달시간을 이용하여 초음파전달속도를 산정하였으며, 분포등급을 고려하여 3개소의 코어채취 위치를 정하고 코어를 채취하여 적합한 추정식을 선정하기로 하였다. 현장의 여건을 고려하여 간접법에 의하여 자료를 획득하였으며, 이를 이용하여 초음파전달속도를 산출한 결과는 다음 표와 그림에 나타낸 바와 같다.

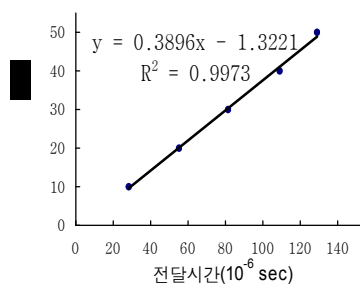
[해설 표 2.2.3] 현장에서 획득한 전달거리 및 전달시간

슬래브 #1		벽체 #1		벽체 #2	
전달거리 (cm)	전달시간 (μ s)	전달거리 (cm)	전달시간 (μ s)	전달거리 (cm)	전달시간 (μ s)
10	29	10	28	10	28
20	57	20	55	20	55
30	98	30	81	30	81
40	120	40	109	40	109
50	150	50	129	50	129



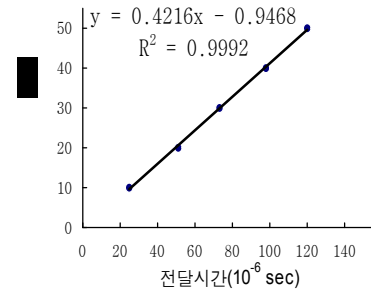
$$\text{초음파 전달속도(km/s)} = 0.3255 \times 10 = 3.255 \text{ km/s}$$

a) 슬래브 #1



$$\text{초음파 전달속도(km/s)} = 0.3896 \times 10 = 3.896 \text{ km/s}$$

b) 벽체 #1



$$\text{초음파 전달속도(km/s)} = 0.4216 \times 10 = 4.216 \text{ km/s}$$

c) 벽체 #2

[해설 그림 2.2.6] 초음파 전달속도의 산정(벽체 #2)

[해설 표 2.2.4] 초음파 전달속도와 현장 채취 코어강도

초음파전달속도(km/s) (간접법)	초음파전달속도(km/s) (직접법으로 환산)	코어강도(MPa)
3.255	3.418	18.9
3.896	4.091	26.8
4.216	4.427	32.4

$$\text{초음파 전달속도(직접)} = \text{초음파 전달속도(간접)} \times 1.05$$

2. 적합한 추정식 선정

- (1) 현장에 적합한 추정식을 선정하기 위하여 기존에 주로 사용하는 3개의 식을 선정하여 코어강도와 비교하여 최적의 추정식을 선정하고자 하였다.
- (2) 획득된 초음파전달속도를 각각의 식에 대입하고 추정강도를 각각 산출하고, 코어강도와의 상관계수를 각각 산정하였으며 결과는 아래 표와 같다.

[해설 표 2.2.5] 초음파 전달속도에 따른 추정식들의 코어강도

코어 번호	초음파 전달속도 (km/s)	일본재료학회 (102Vp-117)×0.098		일본건축학회 (215Vp-620)×0.098		谷川 (172.5Vp-499.6)×0.098		코어 강도 (MPa)
		강도(MPa)	코어강도 비파괴강도	강도(MPa)	코어강도 비파괴강도	강도(MPa)	코어강도비 파괴강도	
1	3.418	22.7	0.83	11.3	1.67	8.8	2.15	18.9
2	4.091	29.4	0.91	25.4	1.06	20.2	1.33	26.8
3	4.427	32.8	0.99	32.5	1.00	25.9	1.25	32.4
상관계수 평균			0.91		1.24		1.58	

- (3) 분석결과 본 현장에서는 일본재료학회 추정식이 가장 적합한 것으로 나타났으며, 현장에서 획득한 반발경도를 일본재료학회식을 적용하되 상관계수 0.91을 곱하여 압축강도를 평가한다.

- (4) 본 현장의 적합한 수정 추정식 = 일본재료학회식 × 0.91 (MPa)

$$= (102Vp - 117) \times 0.098 \times 0.91 \text{ (MPa)}$$

다. 초음파전달속도의 관계

초음파전달속도는 재료의 종류, 배합, 함수율 등 여러 가지의 원인으로 변동을 나타내고 있으며, 현장 콘크리트의 초음파전달속도 관계는 $V_d \approx 1.05 \sim 1.15 V_i$ 의 사이에 있다고 경험적으로 보고되고 있으며, PUNDIT 사용 설명서에서는 정량적인 콘크리트에서는 $V_d \approx 1.05 V_i$ 의 근사적인 관계로 나타내고 있다고 하였다.

보다 정확한 직접법(V_d)과 표면법(V_i)의 초음파전달속도의 관계를 파악하기 위해서는 표면법 측정을 수행한 동일한 부위에서 채취한 코어의 종파(직접법)속도를 측정하여 상관관계에 의해 환산하여 이용하는 방법이 바람직하다.

라. 비파괴강도 보정계수

선정된 비파괴강도 제안식에 아래와 같이 보정계수를 산출한 후, 보정계수를 제안식에 곱하여 대상 시설물의 콘크리트 비파괴강도를 추정한다.

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

여기서, R_{pr} : 코어 압축강도(MPa)

R_{st} : 초음파전달속도시험에 의해 추정된 비파괴강도(MPa)

2.2.5 시험 보고서

보고서는 초음파전달속도시험이 관련 근거에서 권장하는 사항에 따라 시험되었다는 것을 명확히 하고, 시험조건 및 피시험체와 관련된 정보를 제공할 수 있도록 하여야 하며, 다음 사항을 기록한다.

- 시험 일자, 시간
- 구조물에서 시험 영역의 위치
- 시험 대상 구조물 또는 표본에 대한 설명
- 콘크리트의 설계 조건
- 초음파전달 경로와 탐촉자 위치에 대한 스케치
 - 시험 부위 근처의 철근 또는 덕트의 세부 사항 포함
- 시험 위치의 표면상태
 - 마무리 정도, 균열, 박리, 화해 유무 등
- 시험시의 온도 및 콘크리트의 재령
- 콘크리트 내부의 함수 상태
 - 습윤상태, 표면건조상태, 기건상태 등
- 장치의 종류, 신뢰도, 주파수 및 주요 특징
- 투과거리, 시험방법 및 결과의 정확도
- 초음파전달속도의 시험 값
- 철근 간섭으로 보정된 초음파전달속도 값

【해설】

1. 시험보고서(예시)

측정 위치	측정값		전달속도 (km/s)	측정 상황	표면상태 /함수상태	설계 강도	시험기종류 /번호	시험일자 /재령	시험방법
	길이 (cm)	시간 (μsec)							
S3 슬래브 하면	10	21	2.534	철근부 회피	요철제거/ 기건	24MPa	PUNDIT/ 100059	'09.11.25 /12년	간접법 10cm 씩 5점
	20	42							
	30	63							
	40	84							
	50	100							

2.3 콘크리트 코어시험¹³⁾

2.3.1 일반

가. 일반

채취한 코어의 시험은 콘크리트 상태평가에 대한 가장 신뢰할 수 있는 시험 방법이나, 콘크리트 구조물에서 코어를 광범위하게 채취하지 못하는 현장여건의 어려움으로 대표적인 부분에 대해서 코어를 채취하고 광범위하게 실시한 비파괴시험 결과의 모체로서 콘크리트 강도 및 내구성 평가에 이용되고 있다.

현장에서 채취한 코어로부터 압축강도를 추정하는 방법은 국부파괴시험으로 비파괴 시험과는 구별되지만, 구조물의 실제 강도를 추정한다는 관점에서 비파괴적인 방법과 함께 실시한다. 그러나 내하 콘크리트 구조물에 있어 휨 부재에 대한 적용은 제한적이며, 구조물에 한정적으로만 적용이 가능하다는 단점이 있다.

코어채취의 기본적인 제약점들은 소요비용, 채취의 불편함, 콘크리트 구조물의 국부파손 등의 특징이 있다.

【해설】

1. 코어채취기의 종류

일반적으로 건설공사에서의 배관공사, 전기설치 및 통신공사 등의 목적으로 사용되고 있는 코어채취기를 시설물의 점검과 진단에서 콘크리트의 열화상태, 품질정도, 강도 등 파악의 목적으로 이용되고 있다. 코어채취기의 사용 목적에 따라 엔진식과 전기(모터)식으로 분류되나, 특별한 목적이 없는 경우에는 안전점검과 정밀안전진단에서는 전기식 코어채취기를 일반적으로 사용한다.

(1) 엔진식 코어채취기

콘크리트 블록이나, 도로포장, 활주로 등의 수평면으로부터의 코어의 천공에 사용하며, 기계의 자중에 의해 코어를 천공하는 방법으로 앵커볼트의 설치가 필요하지 않다.

(2) 전기식 코어채취기

콘크리트의 열화진단을 위한 벽체이나 툴 등의 수직면으로부터 코어채취는 전기식의 보링머신이 사용하며, 엔진식에 비해 휴대가 간편하다. 전기식 보링머신의 경우에는 기계를 고정하기 위한 앵커 볼트의 설치가 필요하지만, 최근 보링머신을 진공 패드에 의해 고정하고 앵커 볼트를 채용하지 않는 기종도 시판되어 있다.

13) ○ KS F 2422:2002 콘크리트에서 절취한 코어 및 보의 강도 시험 방법
○ KS F 2405:2005 콘크리트의 압축강도 시험 방법
○ 진단장비 활용·관리 매뉴얼 : 한국시설안전기술공단('06.12)



[해설 사진 2.3.1] 엔진식 코어채취기



[해설 사진 2.3.2] 전기식 코어채취기

나. 적용 범위

채취된 코어의 활용 목적은 다음과 같다.

- ① 대상 콘크리트의 관련 제반 정보 수집
- ② 코어강도와 각 비파괴시험법에 따른 비파괴강도 추정식의 신뢰성 확보를 위한 보정
- ③ 내부철근의 피복과 직경 측정 결과의 확인
- ④ 철근부식 상태 측정 결과의 확인
- ⑤ 발생 균열깊이의 측정 결과의 검증 및 보수상태 확인
- ⑥ 물리성 조사 : 탄산화깊이, 염화물함유량, 알칼리 골재 반응시험 등

다. 코어비트

보통 코어비트의 유효 천공지름으로는 $\phi 10 \sim 400\text{mm}$ 정도이며, 천공지름은 일반적으로는 내경을 나타내고 있어 코어채취 시에 코어비트의 두께 등을 고려하여야 한다.

1) 습식 코어비트

일반적으로 사용하는 코어드릴의 비트는 다이아몬드를 절삭재로 사용하여 박아 만든 보링용 비트로 절단 작업 중 코어드릴에 냉각수를 공급하면서 천공하는 습식을 주로 이용하고 있다.

코어채취 시 필요한 냉각수의 양과 필요 천공속도를 파악하여야 한다.

2) 건식 코어비트

코어를 채취하는 과정에서 콘크리트 중 일부 성분의 유출을 방지 할 목적으로 천공하는 건식은 내열성의 코어비트를 사용한다.

【해설】

1. 습식 코어비트

일반적으로 사용하는 코어비트로 [해설 사진 2.3.3]과 같이 3단으로 구성되어 냉각수의 공급이 필요한 코어비트로 보통 3단으로 구분되어 있으며, 비트, 튜브, 커플링을 조립 후에 커플링을 코어 채취기의 척에 연결하는 과정으로 조립이 완료된다. 사용 중 마모 및 손상의 경우에 부분적인 교체가 가능하다.

2. 건식 코어비트

건식용의 코어비트는 냉각식과는 달리 특수한 가공(내열처리) 처리를 하였으며, 코어 비트 중간에 홈이 있어 냉각수의 공급이 필요하지 않다. 건식 코어비트는 일체로 구성되어 사용되고 있으며, 채취하는 과정에서 발생하는 가루(먼지)를 흡인·회수하면서 채취 작업이 이루어진다.

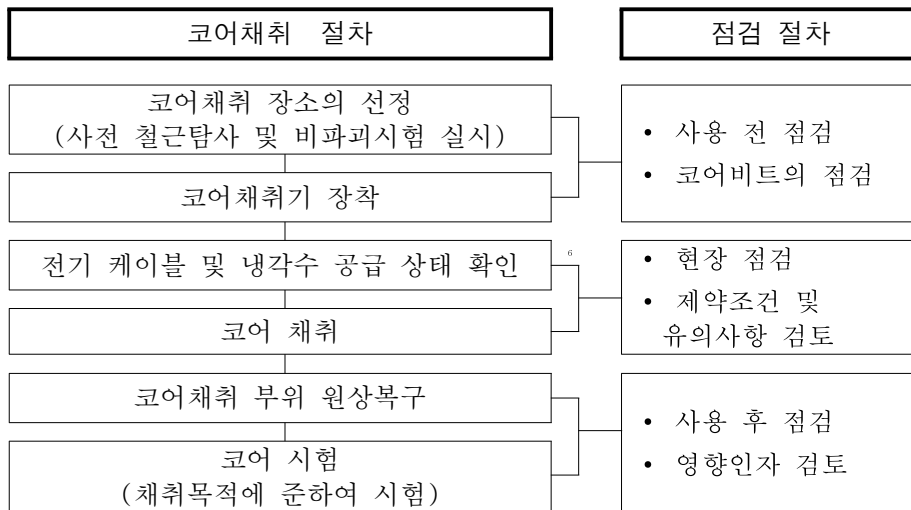


【해설 사진 2.3.3】 코어비트

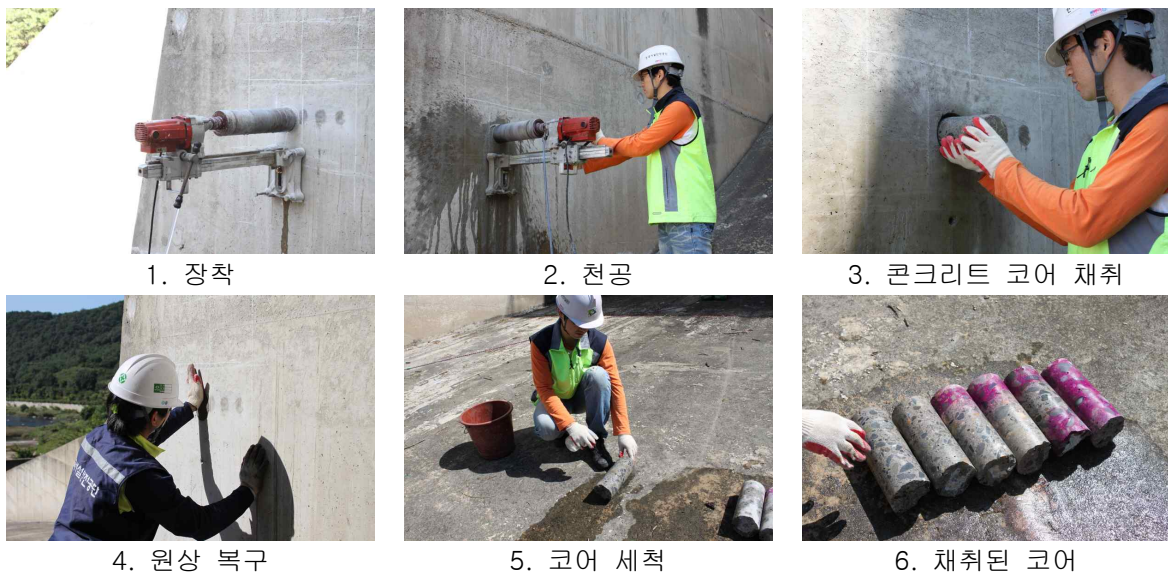
2.3.2 코어채취

가. 채취기의 활용을 위한 제약조건 검토

- 코어채취 대상구조물의 제약조건과 종류, 채취범위 등을 파악하여 결과의 정밀도를 높일 수 있는 방법을 강구하여야 한다.
- 열화 손상이 심한 장소에서 코어를 채취할 경우에는 인접하여 비교적 양호한 장소에서도 코어를 채취하여 상호 비교하는 것이 바람직하다.
- 코어채취 과정에서 구조물 및 코어 공시체가 손상이 되지 않도록 하여야 하며, 채취된 코어의 강도시험 방법은 KS F 2422 규격에 준한다.



[그림 2.5] 코어채취 방법 및 기기 점검 등의 절차



[해설 사진 2.3.4] 코어 채취 방법

나. 코어채취의 유의사항

1) 코어채취 장소의 선정

① 코어채취 방향

- 코어채취 방향, 위치 및 수분공급의 유무 등에 의해 콘크리트의 품질이나 열화 정도가 다르기 때문에 조사목적에 맞는 채취 방향과 위치를 정하여야 한다.

② 코어채취장소의 선정

- 코어채취에 앞서 다음 사항에 대한 사전조사가 반드시 필요하다
 - 철근이나 배관·배선 등의 유무나 위치의 확인
 - 예정되어 있는 채취 장소의 작업환경에 대한 검토
 - 작업에 따르는 소음과 냉각수(배수·먼지 등)가 주변에 끼치는 영향

2) 대상 시설물에 따른 코어 채취 장소

- 대들보나, 슬래브에서는 주철근을 절단하는 경우가 없도록 유의하여야 한다.
- 코어를 완전 추출 또는 중간 추출할 것인지 등의 판단이 필요하다.
- 코어를 추출한 장소에 대해서는 신속히 보수하여야 한다.

3) 채취 코어의 직경 결정

- 강도평가의 경우 코어 공시체의 지름은 일반적으로 굵은골재 치수의 3배 이상으로 하고, 어떤 경우에도 2배 이하로 되어서는 안 된다.
- 조사 목적에 따라 콘크리트 중 일부 성분의 유출이 방지되도록 건식 코어비트의 사용이 필요하다.

4) 코어의 보관

- 코어 추출 즉시 코어에 부착되고 있는 가루 및 먼지 등을 씻어 내고, 철근이나 균열 등의 유무를 확인하고, 사진촬영 한다.
- 세척된 코어 표면의 변색깊이나 탄산화 깊이 등을 조사해 둔다.
- 세척과 확인 및 사진촬영이 끝나면 즉시 습기 찬 형겅 등으로 코어를 감싼 후 두꺼운 비닐봉투에 수납하여 시험을 하는 장소로 발송한다.

5) 강도시험용 코어의 조건

- 채취한 코어는 거의 완전한 원기둥 모양의 공시체를 채취할 수 있어야 한다.
- 코어 공시체에 재료분리, 공극의 과다 및 코어의 단면 전체에 굵은골재가 포함될 경우 등은 강도시험용 공시체로서는 부적절이다.
- 코어의 표층으로부터 1cm 정도의 부분은 공시체로서 사용하지 않는 것이 좋다.
- 시험 중에 코어가 파손될 경우가 있기 때문에 예비 코어 공시체가 있는 것이 바람직하다.
- 채취된 코어는 채취 후 3~4일 이내에 시험을 하는 것이 바람직하다.

【해설】

1. 코어채취 장소의 선정

(1) 코어채취 방향

건물 외벽 또는 교각과 같이 연속하고 있는 콘크리트 구조체에서 코어채취 방향(수평방향과 연직방향 등) 또는 위치(상하 방향 또는 외부로부터 수분공급의 유무 등) 등에 의해 콘크리트의 품질이나 열화 정도가 다르기 때문에 조사목적에 맞는 채취 방향과 위치를 정하여야 한다. 특히 알칼리골재반응이 있는 구조물에서는 채취 방향과 위치 등의 영향이 현저하게 나타나는 경우가 많으므로 주의하여야 한다.

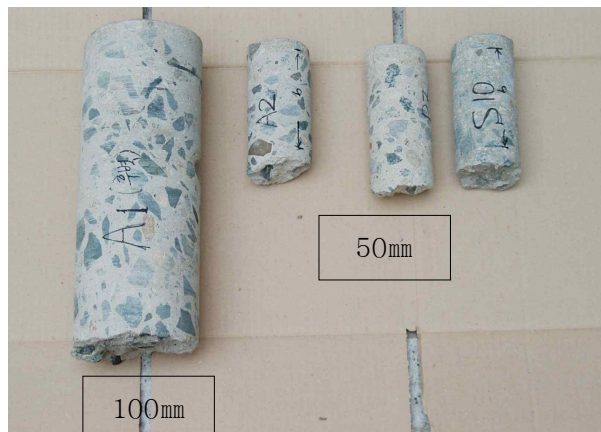
(2) 코어채취장소의 선정

코어채취 위치가 결정된 후에 있어서 가장 중요한 작업은 철근이나 배관·배선류 등의 위치를 가능한 한 정확하게 파악하는 것이 필요하며, 우선 건물이나 구조물의 배근·배관도를 입수 할 필요가 있다. 그러나 도면을 입수하여도 실제의 구조물에서는 반드시 도면대로 배근·배관되지 않는 경우가 있기 때문에 배근·배관도는 어디까지나 참고 정도라고 생각해야 한다. 따라서 코어채취를 시작하기 전에는 철근탐사장비를 이용하여 배근·배관의 위치를 확인하여야 한다.

2. 채취 코어의 직경 결정

(1) 강도시험용의 경우

코어의 직경은 철근간격과 강도시험 실시 유무 등의 조건으로 정하게 되며, 일반적으로 철근간격이 12cm인 경우에 내경 10cm의 코어비트를 사용하면 직경이 약 10cm의 코어채취가 가능하다. 배근간격이 10cm의 경우에는 내경이 7.5cm의 코어비트를 사용하게 되므로 얻을 수 있는 코어의 직경은 약 7.5cm가 된다.



【해설 사진 2.3.5】 채취된 코어

(2) 콘크리트의 내구성 조사의 경우

콘크리트 내부의 철근 부식상태, 염화물함유량 및 중성화 깊이 등을 조사할 경우에는 내경 5cm의 코어비트를 사용하여 노출시킨 철근의 외관상태, 표면으로부터의 염화물의 분포, 중성화의 진행 상황을 조사하는데 있어 코어채취는 비교적 간단하게 할 수 있으므로 비교적 많은 코어를 이용한 조사가 가능하게 된다.



중성화 시험



내부철근 상태 조사

[해설 사진 2.3.6] 채취된 코어의 이용 예

3. 코어의 보관

- (1) 코어에 부착되고 있는 가루(먼지)와 철근이나 균열 등이 있으면 강도시험에 중대한 지장을 초래하므로, 추가 코어채취의 필요 여부 등을 판단하여야 한다.
- (2) 추가 코어채취가 필요 없으면 번호나 채취 장소 등을 기입한다. 중성화 부분과 알칼리성을 띄고 있는 부분과의 경계는 시간경과와 함께 불선명해질 경우가 있으므로 추출된 코어를 즉시 세척하여 확인하고, 사진촬영을 한다.

4. 강도시험용 코어의 조건

- (1) 채취코어의 일부에 손상 및 결함이 있어도 직경 4배 정도의 코어를 채취하면 추정식의 적용 범위내의 공시체를 얻을 수 있을 경우가 많으나, 시험 중에 코어가 파손될 경우가 있기 때문에 예비 코어 공시체가 있는 것이 바람직하다.
- (2) 코어의 표층 부분은 열화 및 손상된 경우가 많이 존재하므로 적어도 표층으로부터 1cm 정도의 부분은 공시체로서 사용하지 않는 것이 좋다.

2.3.3 코어강도에 미치는 영향인자

가. 코어의 보존

- 코어의 수분함유에 있어서 포화건조상태는 공기 중 건조상태에 비해 10~15% 정도의 적은 값을 나타내므로 채취된 코어와 현장 콘크리트의 수분 상태를 고려하여 시험하는 것이 중요하다.

【해설】

1. 채취된 코어는 수송 중에 파손하지 않도록 충분히 양생하고 건조를 막기 위해서 밀봉하며, 채취 후 3~4일 이내에 시험을 하는 것이 바람직하다.
2. 채취된 코어의 보관 및 시험전까지의 코어보관에 대해서 KSF 2422-2002(콘크리트 압축강도 시험방법) 규정에 준하도록 실시한다.

나. 높이/직경비의 영향

- 코어 공시체의 높이/직경비(h/d)가 적어질수록 겉보기 압축강도는 커진다.
- 공시체 높이가 직경의 2배보다 작을 경우에는 보정계수를 곱하여 공시체의 높이가 직경의 2배가되는 코어 공시체의 압축강도로 환산하여야 한다.

【해설】

1. 코어 공시체의 높이/직경비(h/d)가 적어질수록 겉보기 압축강도는 커지게 되므로 공시체 높이가 직경의 2배보다 작을 경우에는 시험으로부터 얻은 압축강도에 높이 보정계수를 곱하여 공시체의 높이가 직경의 2배가되는 코어 공시체의 압축강도로 환산하여야 한다.

[해설 표 2.3.1] 코어 공시체의 높이/직경비(h/d)에 의한 압축강도 보정계수

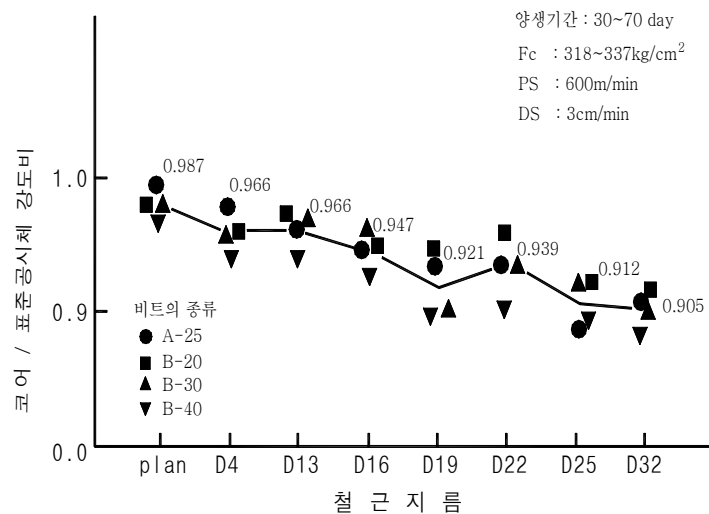
h/d	보정계수	비 고
2.00	1.00	h/d가 중간값일 경우에는 직선보간법을 이용하여 보정계수를 구한다.
1.75	0.98	
1.50	0.96	
1.25	0.93	
1.00	0.89	

다. 매입 철근의 영향

- 코어를 가로지르는 철근은 강도시험 결과 5~10% 정도가 감소된다.
- 코어 축에 수직으로 철근이 존재한다면 압축강도는 보정을 하며, 보정 값이 10%를 초과하는 코어강도는 제외한다.

【해설】

1. 코어 비트에 따라 약간의 차이가 있으나, 철근의 직경이 증가함에 따라 코어강도는 저하되는데 국토해양부 교량관리체계개선('95. 5) 보고서에 의거 철근직경에 따른 코어강도의 영향은 다음 그림과 같다



【해설 그림 2.3.1】 코어강도/표준공시체 강도비에 미치는 철근지름의 영향

2. 코어에 존재하는 철근의 영향에 대한 연구 결과에 의하면 측정강도의 감소는 10% 이내로 코어 축에 수직으로 철근이 존재한다면 코어의 압축강도 추정에 다음의 식으로 보정을 하며, 보정값이 10%를 초과하는 코어강도는 제외한다고 하였다.

$$\sigma_{cf} \cong \sigma_{cf} \times [1.0 + 1.5 \left(\frac{\phi_r}{\phi_c} \times \frac{h}{l} \right)]$$

여기서, ϕ_r = 철근의 직경 (mm), ϕ_c = 코어의 직경 (mm)

h = 코어 끝단에서 철근까지 가까운 거리 (mm)

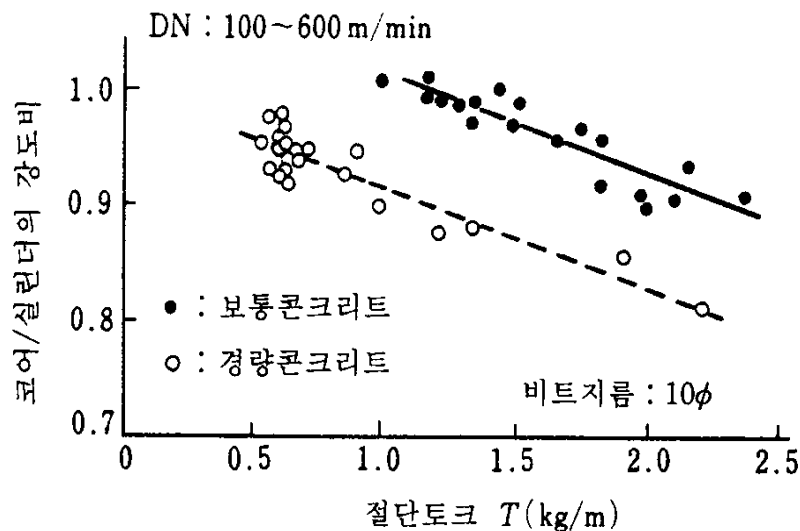
l = 코어의 길이 (mm, 캡핑전)

라. 드릴링의 영향

- 절단토크와 코어강도의 관계는 절단토크에 반비례해서 코어강도가 감소한다.
- 드릴링에서 토크(Torque)의 세기가 크면 클수록, 드릴링 속도가 빠르면 코어강도는 저하한다.

【해설】

1. 코어채취 과정에서 드릴링 작업에 의해서 코어시료가 어느 정도 교란되기 때문에 코어 공시체의 압축강도는 동일 조건의 표준공시체 압축강도보다 항상 작은 값을 나타내게 된다. 즉, 드릴링에서 토크(Torque)의 세기가 크면 클수록, 드릴링 속도가 빠르면 코어강도는 저하한다. 절단토크와 코어강도의 관계는 절단토크에 반비례해서 코어강도가 감소한다.
 - (1) 절단토크 1.8kg·m까지의 것은 구속 600cm/min으로 절단 폭이나 코어면의 요철은 0.1~0.3mm의 정도로 작고 강도저하도 0~4% 정도로 나타낸다.
 - (2) 300cm/min 이하의 저구속으로 절단속도를 올리면 코어비트가 진동이나 흔들림을 일으키기 시작하고 절단토크는 1.8kg·m 이상으로 되어 코어강도는 10%에 가까운 강도가 저하되고 흐트러짐도 크게 나타난다. 이때의 채취된 코어면의 요철은 0.5~1.0mm 정도이다.



[해설 2.3.2] 절단토크와 코어/실린더의 강도비

마. 코어채취 위치와 방향의 영향

- 일반적으로 콘크리트 채취방향이 콘크리트 타설방향과 직각인 경우(보통 수평방향 채취)는 평행인 경우에 비하여 약 8% 강도 저하가 발생하는 것으로 보고되고 있어 이를 고려할 필요가 있다.

【해설】

1. 코어는 일반적으로 구조물의 최상단에서 가장 낮은 강도를 가지며, 밑으로 깊이가 커질수록 코어의 강도는 증가하지만 300mm 이상의 두께에서는 더 이상의 강도증가는 없는 것으로 보고되고 있으며, 수평방향으로 채취된 코어는 수직방향의 코어보다 큰 값으로 나타나, 연구 결과는 서로 다르지만 평균오차 8% 정도로 보고되고 있으며, 보편적으로 수평방향으로 채취한 코어에 대한 압축강도 감소의 영향을 8% 정도를 고려하고 있다.

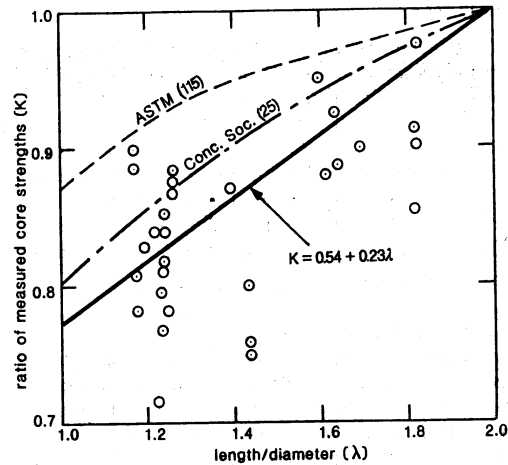
바. 코어 직경의 영향

- KS F 2405에서 사용되는 콘크리트강도 시험용 표준공시체는 $\phi 15 \times 30\text{cm}$ 의 원주형 공시체를 사용
- 공시체의 형상이 닳은꼴이면 공시체의 치수가 작을수록 압축강도는 크게 나타나는 경향이 있으므로 설계기준에서는 $\phi 10 \times 20\text{cm}$ 공시체로 시험한 압축강도의 97%를 $\phi 15 \times 30\text{cm}$ 의 공시체 강도로 환산하도록 규정하고 있다.

【해설】

1. $\phi 100\text{mm}$ 코어

KS F 2405에서 사용되는 콘크리트강도 시험용 표준공시체는 $\phi 15 \times 30\text{cm}$ 의 원주형 공시체를 사용하며, 최대치수 25mm 이하인 굵은골재를 사용한 콘크리트는 $\phi 10 \times 20\text{cm}$ 의 원주형 공시체를 이용하여 시험을 해도 좋다고 하였으나, 공시체의 형상이 닳은꼴이면 공시체의 치수가 작을수록 압축강도는 크게 나타나는 경향이 있으므로 설계기준에서는 $\phi 10 \times 20\text{cm}$ 공시체로 시험한 압축강도의 97%를 $\phi 15 \times 30\text{cm}$ 의 공시체 강도로 보도록 규정하고 있다.



[해설 그림 2.3.3] 적은 코어(small core) 길이/직경(h/d) 비

2.3.4 시험 보고서

보고서는 코어채취 및 강도시험 등의 관련 근거에서 권장하는 사항에 따라 시험되었다는 것을 명확히 하고, 시험조건 및 피시험체와 관련된 정보를 제공할 수 있도록 하여야 하며, 다음 사항을 기록한다.

- 코어의 번호
- 코어의 채취 위치
- 코어의 채취방법
- 재령
 - 채취 시의 재령 및 시험 시의 재령, 또는 그 어느 것으로 한다.
- 코어의 평균 지름(mm), 평균 높이(mm) 및 보정계수
- 최대 시험하중(N)
- 코어 압축강도(MPa)

【해설】

1. 시험보고서(예시)

채취 위치	채취방법	코어형상			설계 강도	시험일자/재 령	최대시험 하중(N)	코어강도 (MPa)
		평균지름 (mm)	평균높이 (mm)	보정계수				
S3 슬래브 하면	습식채취	102	180	0.97	21	'09.11.25/1 2년	45000	25.4

2.4 철근탐사시험¹⁴⁾

2.4.1 일반

가. 일반

철근콘크리트의 철근량은 구조물 안전성 평가 결과에 영향을 크게 미치는 인자이므로 대상 구조물의 정확한 철근 정보를 파악하는 것은 매우 중요하다.

철근탐사장비의 사용법에 있어서는 제작사의 매뉴얼에 의하여 비교적 쉽게 사용 가능하지만 탐사 결과의 판독에 있어서는 각 장비마다 제공하는 탐사 가능 범위 및 오차가 실제와는 다른 경우가 많고, 분석 방법에 따라 또는 판독자에 따라 많은 오차 가능성을 포함하고 있다.

현재 사용되고 있는 철근탐사 방식은 보편적으로 전자기유도(자기감응) 방식과 전자파레이더 방식 등이 있다

【해설】

1. 철근탐사장비의 사용법에 있어서는 제작사의 매뉴얼에 의하여 비교적 쉽게 사용 가능하지만 탐사 결과의 판독에 있어서는 각 장비마다 제공하는 탐사 가능 범위 및 오차가 실제와는 다른 경우가 많고, 분석 방법에 따라 또는 판독자에 따라 많은 오차 가능성을 포함하고 있다.
2. 현재 시중에 사용되고 있는 철근탐사장비의 종류는 많으나, 탐사방식은 보편적으로 전자기유도(자기감응) 방식인 FerroScan과 Profometer 등과 전자파레이더 방식인 RC Radar, IRON-Seeker 등이 있다.



a. Profometer 4



b. Ferroscan

【해설 사진 2.4.1】 전자기 유도방식 철근탐사 시험기

- 14) ○ KS F 2734:2004 전자기유도법에 의한 철근 탐사 시험 방법
○ KS F 2735:2004 전자파레이더법에 의한 철근탐사 시험 방법
○ 콘크리트 및 강재 비파괴시험 매뉴얼 : 한국시설안전기술공단('06.12)
○ 진단장비 활용·관리 매뉴얼 : 한국시설안전기술공단('06.12)



a. RC Radar



b. Iron Seeker

[해설 사진 2.4.2] 전자파 레이더방식 철근탐사 시험기

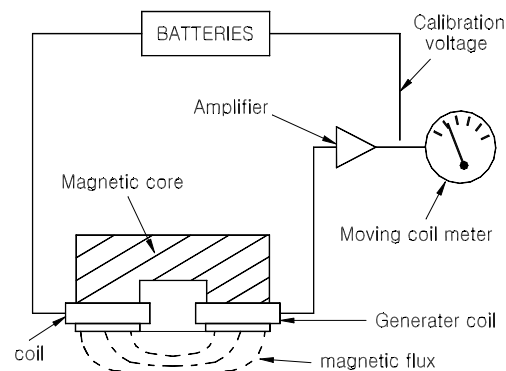
나. 적용 범위

전자기유도 및 전자파레이더 방식에 의한 철근탐사 장비를 사용하여 철근 콘크리트 구조물에 배근된 철근의 위치, 지름, 콘크리트 피복 두께의 탐사에 적용한다.

- ① 철근의 위치, 지름, 콘크리트 피복 두께는 철근 콘크리트 구조물의 내력을 평가하는 데 이용할 수 있다.
- ② 콘크리트 강도, 품질 및 내구성 조사에 앞서 철근의 위치를 탐사하는 예비 시험 방법으로 적용할 수 있다.
- ③ 탐사한 철근 위치, 지름, 그리고 콘크리트 피복 두께는 콘크리트 타설 후의 각 부재 배근의 적절성 여부를 판단하는 근거로 활용할 수 있다.

다. 전자기유도 방식

전자기유도 방식을 이용한 장비는 기본적으로 평행 공진(共振)회로의 전압진폭 감소에 기초를 두고 있으며, Probe나 Scanner에서 만들어진 코일에 전류를 흘려 교류자장을 만들어 내고, 코일 전압의 변화는 자장내 자성체의 특성 및 거리에 의해 변하기 때문에 콘크리트 내부에 철근의 위치 및 직경 등을 구하는 방법으로 이용되고 있다.



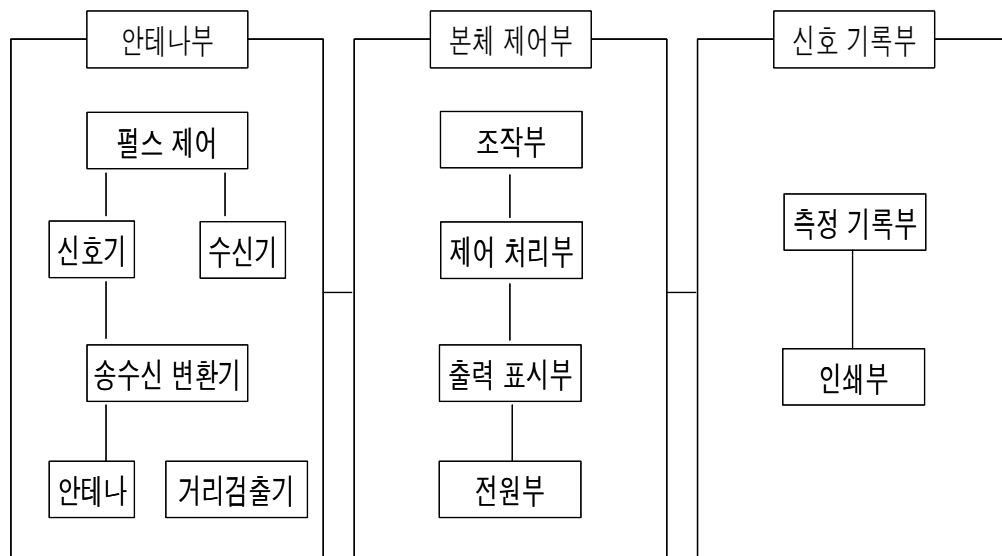
[그림 2.6] 전자기유도 방식에 의한 철근탐사장비의 구성

【해설】

1. 전자기 유도 : 자상체를 자기장 안에 놓을때 자상체가 자화하는 현상
2. 자기감응(磁氣感應) : 자성이 없던 물질이 자석 부근에 접근하면 자화되어 자성을 갖게 되는 현상
3. 자장(磁場) : 자력(磁力)이 미치는 범위를 말하며, 자력은 일종의 물에너지로서 보이지 않지만 확실히 존재하고 있다.

라. 전자파레이더 방식

해당 물체 내의 송신된 전자파가 전기적 특성(유전율 및 전도율)이 다른 물질(철근, 매설물, 공동 등)의 경계에서 반사파를 일으키는 성질을 이용해 콘크리트 표면으로부터 내부를 향해 전자파를 안테나로부터 방사하여 목표물에서 반사해 온 신호를 안테나로 수신한 후 콘크리트 내부의 상태를 수직 단면도로 본체 표시기에 나타내어 준다.



[그림 2.7] 전자파 레이더법에 의한 철근탐사장비의 장치 구성도

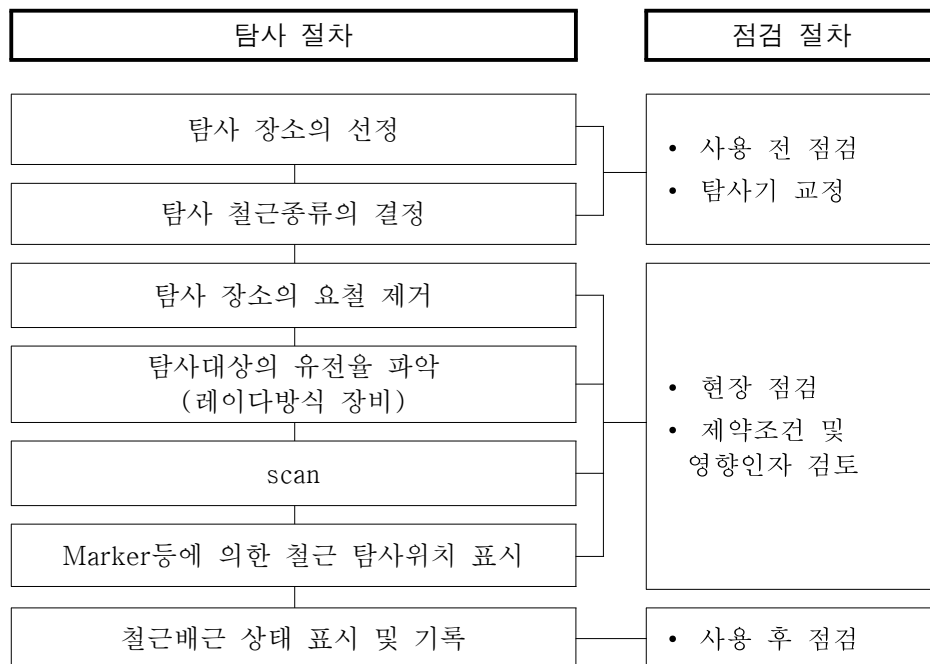
【해설】

1. 유전율(誘電率, Permittivity ; Dielectric Constant)
전속밀도 D와 전기의 세기 E와의 비를 뜻하며, 유전체에 따라 정해지는 고유의 값이다. (매질의 함수율, 습윤상태, 밀도, 공극률, 간극률 등에 따라 변화된다.)

2.4.2 시험 등의 절차

가. 철근탐사시험을 위한 제약조건 검토

- 콘크리트 중의 각종 영향인자에 따라 철근탐사 결과가 다르게 나타나므로 이들 인자에 관한 정보를 입수하여 이를 반영시켜야 한다.
- 탐사 대상구조물의 제약조건과 종류, 탐사범위 등을 파악하여 탐사 정밀도를 높일 수 있는 방법을 강구하여야 한다.
- 탐사 장소의 이동 시 마다 전자파레이더 방식 장비는 탐사 대상체의 유전율을 최소한의 드릴링에 의한 실측 피복두께 파악하여 이를 고려한 교정을 실시하여야 한다.
- 철근탐사시험 방법에 대한 절차는 KS F 2734 및 KS F 2735의 규정에 준한다.



[그림 2.8] 철근탐사 및 장비 점검 등의 절차

【해설】

1. 우천 시, 폭발성 가스 및 중독성 가스가 발생하는 장소에서는 사용하지 않는다. 주위 온도 0~40℃, 상대 습도 45~90%에서 사용하며 시험기기 내부의 결로가 발생할 수 있는 온도 변화가 급격한 곳에서는 사용하지 않도록 한다.
2. 철근콘크리트 구조물의 배근상황은 보, 슬래브, 기둥, 벽체 등 각 부재마다의 일정경향이 있다. 따라서 철근탐사에 있어서 설계도 등을 참고로 함과 동시에 이 특성을 숙지한 다음 실시하는 것이 바람직하다.
3. 또한, 높은 정도의 측정을 하고 싶은 경우에는 검출된 철근의 대표개소에 대해서 피복

콘크리트를 깨내는 등의 방법을 통해 추정치와 실측치를 비교하여 보정함으로써 기기 계측에 대해서 신뢰성을 확인하는 것이 바람직하다.



1. 시험장소 그라인딩



2. 비유전율 파악을 위한 천공



3. 비유전율 파악을 위한
철근깊이 측정



4. 비유전율 setting



5. scan



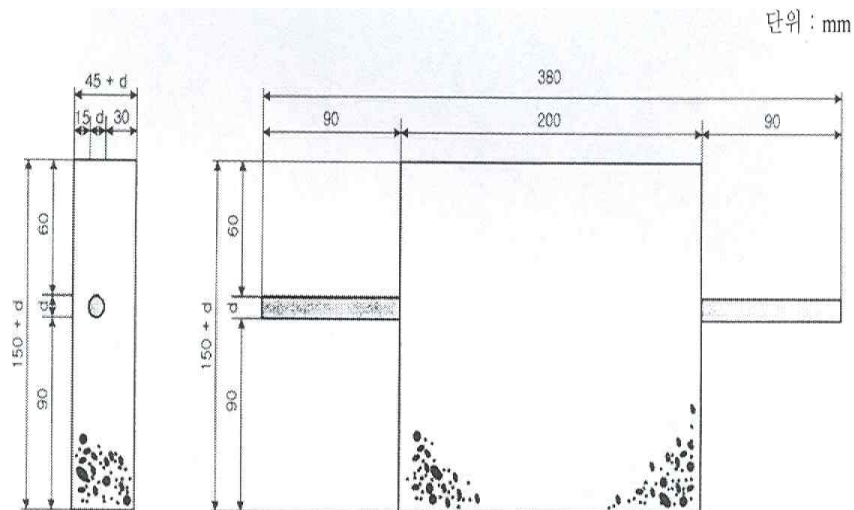
6. 결과 확인

[해설 사진 2.4.3] 철근탐사 광경(전자파 레이다 방식)

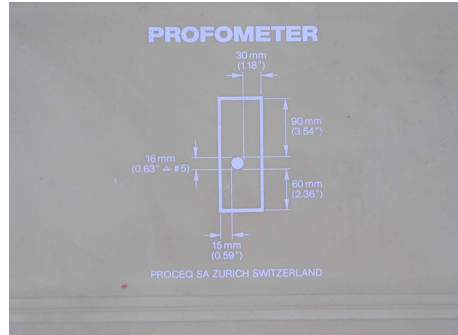
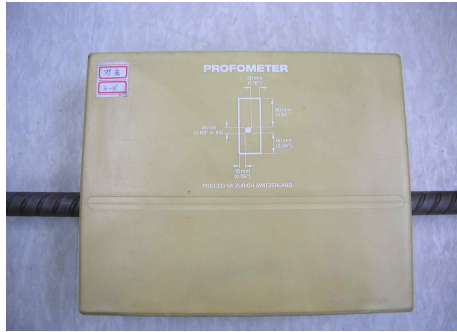
4. 탐사장비의 교정

(1) 전자기유도 방식

[해설 사진 2.4.4]와 같이 탐사장비 제조사에서 제공하는 보정용 시험체를 이용하며, [해설 그림 2.4.1]과 같이 전용 시험체를 제작하여 이용한다.



[해설 그림 2.4.1] 전자기유도 방식의 철근탐사장비 보정용 시험체

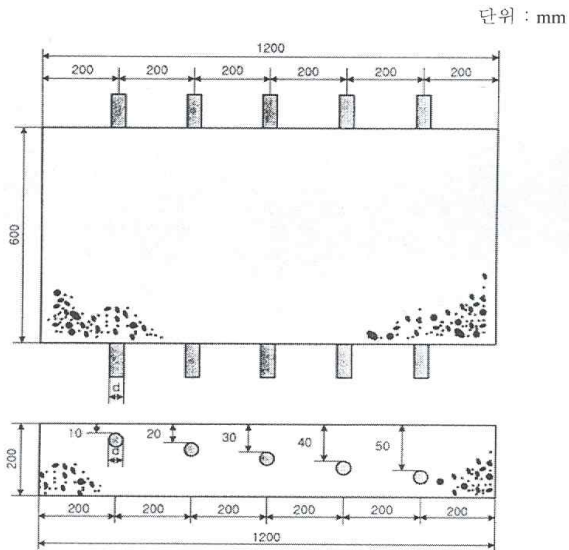


[해설 사진 2.4.4] Profometer 교정용 표준 시험체 (제조사 제공)

(2) 전자파레이더 방식

철근탐사장비 제조사에서 제공하는 보정용 시험체를 이용하거나, [해설 그림 2.4.2]와 같이 전용 시험체를 제작하여 이용한다.

- ① 탐사한 콘크리트 피복 두께의 정확도는 오차범위 $\pm 0.5\text{mm}$ 이어야 한다.
- ② 탐사하는 콘크리트의 상태에 따라서 콘크리트 피복 두께에 대한 측정값을 보정해야 한다.
- ③ 콘크리트의 보정은 콘크리트 비유전율($\epsilon_r=8$)을 표준값 0으로 하여 [해설 표 2.4.1]을 적용한다.



[해설 그림 2.4.2] 전자파레이더 방식의 철근탐사장비 보정용 시험체

[해설 표 2.4.1] 비유전율에 따른 콘크리트 피복 두께의 보

콘크리트 피복 두께 보정값(cm)	-3	-2	-1	0	1	2	3
비유전율(ϵ_r)	6.2	6.8	7.4	8.0	8.9	9.8	10.7

※ 피복 두께에 대한 보정값은 시험기기에 따라 다소 차이가 있을 수도 있다.

나. 철근탐사장비별 시험 정밀도를 위한 제약조건

철근탐사장비의 특성에 따라 탐사 및 결과 처리방법이 상이하므로 이의 시험정밀도를 높일 수 있도록 다음의 사항을 검토하여 시험하여야 한다.

또한, 탐사방식에 따른 환경과 영향인자 등을 고려하여 시험하여야 한다.

- 탐사조건 및 적용한계
- 활용에서의 주의사항
- 활용 제고를 위한 조건

【해설】

1. 전자기유도 방식

(1) 적용조건

시험 대상 콘크리트 피복 두께의 측정 가능 깊이는 약 50~300mm(시험기의 성능에 따라 측정가능 깊이는 확장될 수 있다.)이며 측정 대상 철근의 지름은 D6 이상이어야 한다. 시험대상 콘크리트의 품질은 균질해야 하며 시험대상면은 평활해야 한다. 철근의 부식이 상당히 진전되었거나 창문틀, 철재거푸집, 배관 등의 자성체가 탐촉자의 주변에 위치하는 경우에는 측정하지 않도록 한다.

(2) 정밀도

시험기의 정밀도는 콘크리트 피복 두께에 대하여 오차 범위는 $\pm 2\text{mm}$ 로 하고 철근의 배근 간격에 대하여서는 오차 범위 $\pm 5\text{mm}$ 로 한다.(KS F 2734)

《참고사항》

시험기의 정밀도에 대하여 BS 1881 : Part204에서는 콘크리트 피복 두께의 오차 범위는 $\pm 2\text{mm}$ 또는 $\pm 5\%$ 중 큰 값으로 규정하고 있다. 즉 콘크리트 피복 두께가 100mm인 경우 기기의 정밀도에 대한 오차 범위는 $\pm 5\text{mm}$ 이다.

2. 전자파레이더 방식

(1) 적용조건

콘크리트 내부에서 전파의 감쇠가 작으며 측정대상물이 전파를 반사하는 물체이고, 반사 펄스가 충분히 수신 가능해야 한다. 시험 대상 콘크리트 피복 두께의 측정 깊이는 약 200mm 이내이어야 하며, 측정 대상 철근의 지름은 D6 이상이어야 한다. 시험대상 콘크리트의 품질은 대부분 균질해야 한다. 시험대상 표면에 금속과 같이 전파를 양호하게 반사하는 물체가 배치되어 있고 그 아래의 철근 등이 존재하는 경우에는 측정하지 않는다.

(2) 정밀도

기기의 정밀도는 비유전율이 최적인 경우, 콘크리트 피복 두께에 대하여 $\pm 2\text{mm}$, 철근 간격에 대하여는 $\pm 5\text{mm}$ 로 한다.(KS F 2735)

<참고> 철근탐사장비 특성 및 현장적용 비교

구분	전자기 유도방식		전자파 레이더방식	
	FERROSCAN	RROFOMETER-4	RC-Radar	IRON SEEKER
선정	배근도 작성 및 동절기 이용	각 장비의 탐사결과 검증	철근탐사 기준 장비	깊은 심도 철근탐사에 이용
탐사 심도	100mm 이내	100mm 정도	100mm 내외	200mm 정도
탐사 조건	측정면적 800×800mm 이상	측정면 폭 200mm, 측정방향 길이 300mm 이상	안테나 폭 이상 측정방향 길이 600mm 이상	안테나 폭 이상 측정방향 길이 600mm 이상
사용 온도	-5 ~ 30℃	-5 ~ 40℃	5 ~ 30℃	15 ~ 30℃
복잡 구조	미약	양호 (사용자 숙련의 경우)	보통	보통
이물질	불가	불가	보통	보통

출처 : 진단장비 활용관리매뉴얼(한국시설안전공단, 2006.12)

2.4.3 시험 보고서

보고서에는 탐사방식에 따른 시험의 관련 근거에서 권장하는 사항에 따라 시험되었음을 명확히 하고, 시험조건 및 피시험체와 관련된 정보를 제공 할 수 있도록 기록하여야 한다.

가. 전자기유도 방식

- 날짜, 시간, 측정 장소, 기온, 습도
- 시험 대상 구조물이나 부재에 대한 상세
- 시험 부위의 콘크리트 상세
- 시험 위치
- 사용한 철근탐사 시험기의 유형과 검 · 교정한 날짜
- 보정법에 대한 상세
- 철근의 지름, 위치 그리고 콘크리트 피복 두께에 대한 시험값
- 정밀도
- 시험한 철근의 배근상태에 대한 그림
- 참고 문헌

【해설】

1. 시험보고서(예시)

탐사 위치	시험기 종류	검교정 일자	부재현황	시험일자/ 재령	보정법	측정값			정밀도
						직경(mm) (설계도서)	간격 (mm)	피복 (mm)	
S3 슬래브 하면	PROFOME TER	'09.4.1	콘크리트 균열발생	'09.11.25 /12년	실측에 의한 보정	19	100	45	±5%

2. 철근탐사 시험 사례

(1) Ferrosan 이용

① 개요

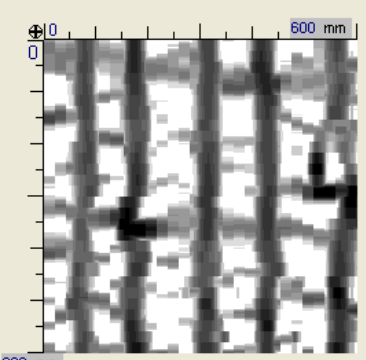
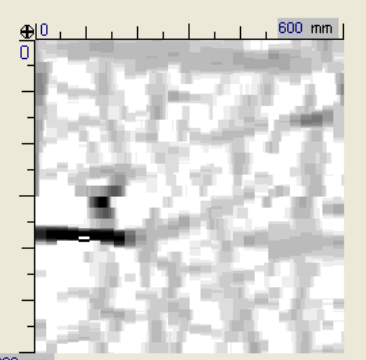
본구조물은 철근콘크리트 박스구조물로 콘크리트 내 매입된 철근의 배근유무 및 피복두께를 파악하기 위하여 철근탐사시험을 실시하였다. 설계도면을 검토한 결과 철근의 간격은 종 · 횡 모두 125mm로 설계되었으며 피복두께는 40mm로 배근됨을 확인하였다.

② 탐사 방법

본 조사에 사용된 철근 탐지기는 Ferrosan RV-10 모델이다. Ferrosan RV-10은 자기장 발생 코일과 2개의 탐지 코일로 구성되어 있으며, 자기장 발생 코일에 교류 전류가 흐르면 코일면에 수직인 방향으로 자기장이 생기고, 이 자기장 안으로 자성 금속체가 들어오면 자기장에 변화가 일어난다. 변화된 자기장은 두 개의 탐지코일에 유도전류를 만들어 탐지 코일 양단에 유도전이 형성되어 이를 측정하여 철근의 피복두께와 직경을 조사하는 것이다. 탐사방법은 철근을 탐지하고자 하는 콘크리트표면에 접촉테이프가 있는 모눈종이를 붙인 후 그 위를 탐지하여 철근의 이미지를 획득하였다.

③ 탐사결과 및 분석

현장에서 획득한 자료를 분석하여 다음 그림과 같은 결과를 도출하였다.

	
정모멘트 구간 중앙부 횡방향 철근간격 : 100 ~ 125mm 종방향 철근간격 : 100 ~ 125mm 피복두께 42mm	부모멘트 구간 단부 피복두께가 두꺼워 철근이 선명하지 않음

[해설 그림 2.4.3] Ferrosan을 이용한 철근탐사 결과

박스 구조물은 정모멘트 구간에서 탐사한 철근은 배근 간격이 양호한 것으로 나타났고 부모멘트에는 피복두께가 두꺼워 선명하게 나타나지는 않았지만 배근 간격과 피복두께는 양호한 것으로 조사되었다.



[해설 사진 2.4.5] Ferroskan RV-10을 이용한 철근탐사시험 전경



[해설 사진 2.4.6] Profometer 4를 이용한 철근탐사장면

(2) 철근탐사 시험 사례(Profometer 4 사용)

① 개요

본구조물은 철근콘크리트 박스구조물로 콘크리트 내 매입된 철근의 배근유무 및 피복두께를 파악하기 위하여 철근탐사시험을 실시하였다. 설계도면을 검토한 결과 종방향 철근간격은 200mm 피복 38mm로, 횡방향 철근간격은 125mm 피복 22mm로 확인되었다.

② 탐사 방법

본 조사에 사용된 철근탐사 장비는 Profometer 4로 탐사하고자 하는 철근의 직각 방향으로 조사를 하였다. 스캔을 하면서 철근을 지나치는 경우 ‘삐’하는 소리가 날 때 분필로 그 위치를 표시하고 역방향으로 후진하여 다시 철근을 지나칠 때 ‘삐’하고 나는 위치를 다시 표시하여 그 중간부분의 피복이 가장 낮게 측정되는 위치의 피복을 각각 측정하였다.

③ 탐사 결과

철근콘크리트 박스구조물로의 철근탐사결과를 정리하여 아래 표에 나타내었다.

[해설 표 2.4.2] Profometer 4를 이용한 박스 구조물의 철근탐사 결과 (단위 : mm)

측정 위치	탐사철근	철근직경	피복두께 및 배근간격	측정결과	설계도면
벽체	1	종방향철근	D16	피복두께	40 ~ 43
				배근간격	150 ~ 200
		횡방향철근	D16	피복두께	26 ~ 27
				배근간격	110 ~ 150
	2	종방향철근	D16	피복두께	30 ~ 42
				배근간격	180 ~ 240
		횡방향철근	D16	피복두께	21 ~ 23
				배근간격	120 ~ 160

나. 전자파레이더 방식

- 날짜, 시간, 시험 장소, 기온, 습도
- 시험 대상 구조물에 대한 설명이나 탐사 시의 현장 조건
- 시험 위치
- 시험 한계 (잡음의 원인, 장애물 등등)
- 시험값과 필터, 안테나 주파수 등의 매개변수의 표시
- 시험 대상 면에서의 안테나 횡단 위치, 작동 방향 및 방위
- 피복두께와 철근의 지름에 대한 실측값과 보정한 값
- 정밀도
- 시험한 철근의 배근상태에 대한 그림
- 참고 문헌

【해설】

1. 시험보고서(예시)

탐사 위치	시험기 종류	부재현황	시험일자/ 재령	보정법	측정값			정밀도
					직경(mm) (설계도서)	간격 (mm)	피복 (mm)	
S3 슬래브 하면	RC- RADAR	콘크리트 균열발생	'09.11.25/ 12년	실측에 의한 보정	19	100	45	±5%

2. 철근탐사 시험사례

(1) RC-Radar 이용

① 개요

공도교 바닥판을 대상으로 구조물안전성을 평가하기 위하여 철근의 배근상태를 파악하고자 철근탐사시험을 수행하였으며, 장비는 RC-Radar를 이용하였다. 중·횡방향 철근의 배근상태 및 피복두께를 조사하였다.

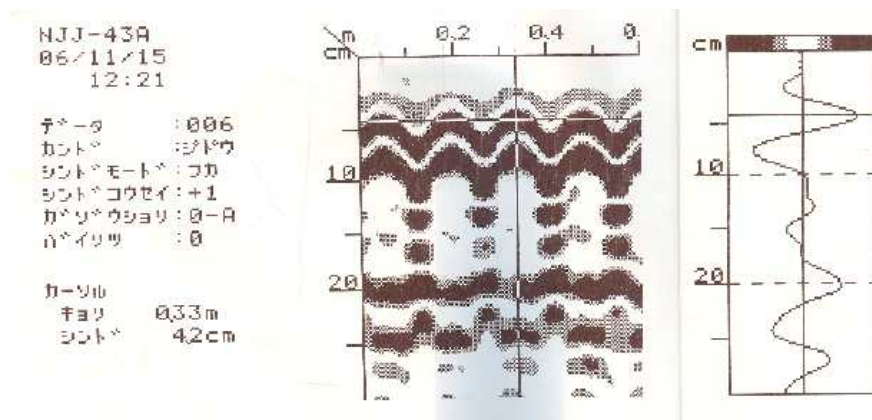
② 탐사방법

(가) 현장에 도착하여 측정위치1에서 철근탐사를 실시하였으며 철근이 위치한 콘크리트표면에서 드릴링을 실시하고 철근까지의 깊이를 버어니어캘리퍼스로 실측하였다.

(나) 철근까지의 실측값을 42mm 획득하여 RC-RADAR의 측정모드를 +1모드로 설정하므로써 비유전율에 대한 적합한 모드를 설정하여 측정을 실시하였다.



[해설 사진 2.4.7] RC-Radar를 이용한 철근배근탐사



[해설 그림 2.4.4] 전자파 레이더법을 이용한 철근탐사 결과의 일례

③ 탐사결과

철근탐사결과는 다음 표에 나타난 바와 같다

[해설 표 2.4.3] RC-Radar를 이용한 철근탐사 결과

(단위 : mm)

측정 위치	탐사철근	철근직경	피복두께 및 배근간격	측정결과	설계도면
바닥판	1	D16	피복두께	40 ~ 43	38
			배근간격	180 ~ 200	200
		D16	피복두께	26 ~ 27	22
			배근간격	110 ~ 150	125
	2	D16	피복두께	50 ~ 52	38
			배근간격	180 ~ 240	200
		D16	피복두께	21 ~ 23	22
			배근간격	120 ~ 160	125

바닥판 하면에서 탐사된 횡방향 철근의 피복과 배근은 설계도와 유사하며, 매 입철근의 배근간격의 표준편차는 $\pm 1\text{cm}$ 로 평가되었다.

교량 바닥판의 배근간격은 약 2cm정도의 변동을 갖는 설계도와 유사하게 분석되었으며, 측정된 바닥판의 주철근 피복두께 변동폭이 9~29% 정도로 나타내고 있다.

각 부재에서 측정된 최소 피복두께는 콘크리트 구조설계기준의 현장치기 콘크리트의 최소 피복두께인 바닥판 2cm의 규정을 만족하고 있다.

(2) Iron Seeker 이용

① 개 요

본 구조물은 콘크리트 덩체 및 여수로이며, 철근의 배근상태를 확인하기 위해 콘크리트 강도시험 위치와 동일한 장소에 Iron-seeker를 사용하여 측정하였다. 종·횡방향 철근의 배근상태 및 피복두께를 조사하였다.

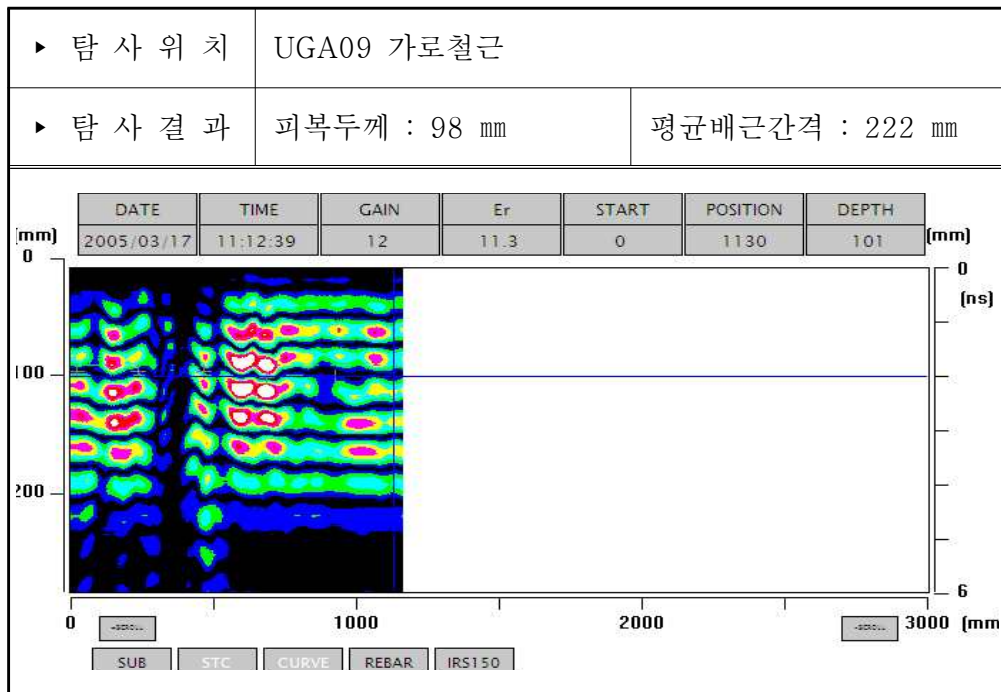
② 탐사방법

현장조건 및 피복두께를 고려하여 탐사심도가 400mm까지 조사 가능한 안테나 (IRS-400)를 사용하였다. 철근배근상태의 비교기준은 설계도면의 배근도를 기준으로 하였다.

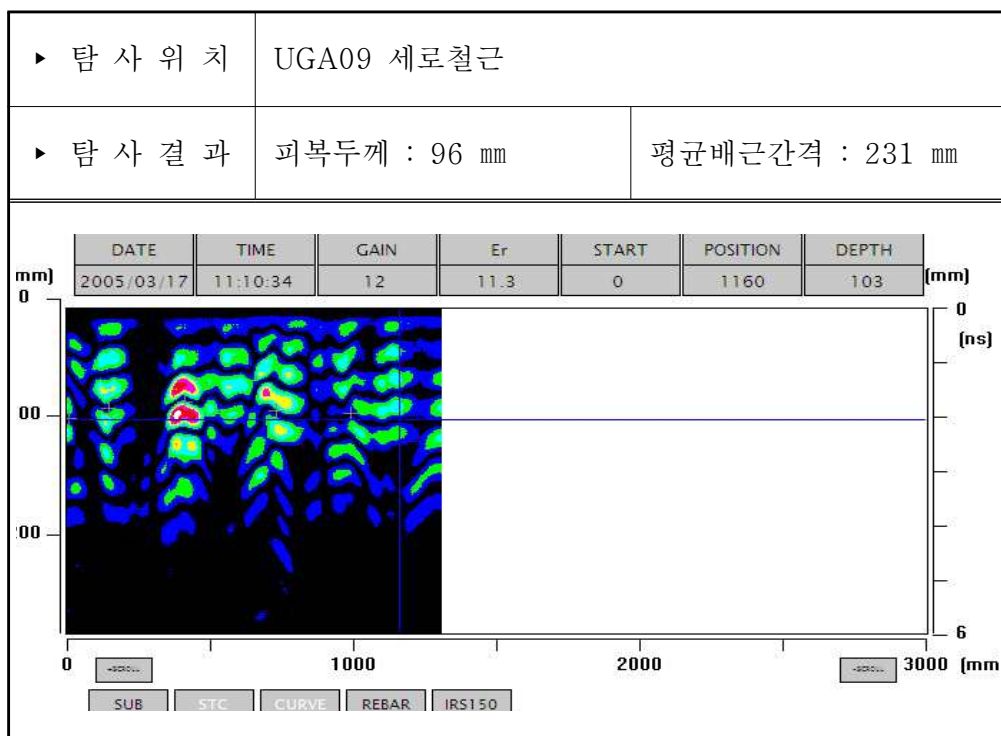


[해설 사진 2.4.8] Iron-seeker를 이용한 철근배근탐사

③ 측정결과 분석



[해설 그림 2.4.5] UGA09 위치의 철근배근 측정



[해설 그림 2.4.5] UGA09 위치의 철근배근 측정(계속)

[해설 표 2.4.4] Iron Seeker를 이용한 철근 탐사 결과

(단위 : mm)

개별시설	복합부재	위치	철근	측정결과		설계도면기준		비고
				피복두께	간격	피복두께	간격	
댐체	댐체 내부 점검 통로	UGA03	가로철근	102	313	100	300	D13
			세로철근	93	252	100	200	D19
		UGA06	가로철근	93	238	100	300	D13
			세로철근	-	-	100	200	D19
		UGA09	가로철근	98	222	100	300	D13
			세로철근	96	231	100	200	D19
		UGA12	가로철근	108	323	100	300	D13
			세로철근	86	338	100	200	D19
여수로	피어	PR01	가로철근	95	395	100	300	D19
			세로철근	94	233	100	300	D25
		PR03	가로철근	87	330	100	300	D19
			세로철근	105	220	100	300	D25
		PR05	가로철근	85	245	100	300	D19
			세로철근	107	243	100	300	D25
		PR06	가로철근	97	322	100	300	D19
			세로철근	92	220	100	300	D25

측정결과 댐체 및 여수로의 철근배근간격은 대체로 설계기준치를 만족하는 것으로 조사되었다. 철근 피복 두께도 설계기준과 대체로 일치하는 것으로 조사되었다.

「콘크리트 구조설계기준('07, 국토해양부)」에 의하면 흙에 접하거나 옥외의 공기에 직접 노출되는 콘크리트로 D25이하 철근일 경우 피복두께 5cm 정도면 문제가 없는 것으로 평가하고 있다. 본 사례에서 측정한 부재는 대체로 피복두께가 5cm를 상회하고 있으며, 적정한 피복두께를 확보하고 있는 것으로 조사되었다.

2.5 철근부식도시험¹⁵⁾

2.5.1 일반

가. 일반

철근콘크리트에 매입되어 있는 철근부식은 전기화학적 반응에 의거하여 진행하므로 철근부식시험은 전기화학적 방법을 적용한다. 정상적인 콘크리트는 강알칼리성으로 철근은 부동태로 전위는 $-100 \sim -200\text{mV}(\text{CSE})$ 를 나타내지만, 염화물의 침투와 탄산화(중성화)로 철근이 활성상태로 되어 부식이 진행하면 전위는 부(-)방향으로 진행한다.

철근의 전위는 철근부식 장소의 검출과 상태를 파악하는데 효과적이거나, 현장 구조물에서 철근부식은 위치와 진행 속도 등 불균일하게 발생하기 쉬워 현장시험 상의 제약으로 시험방법과 결과의 분석에서 여러 가지의 곤란한 문제가 따른다는 것을 유의해야 한다.

【해설】

1. 콘크리트는 알칼리도가 매우 높아서 철근을 부식으로부터 보호하는 작용을 하지만, 염소 이온의 침투나 중성화(carbonation)가 발생할 경우에는 철근의 부동태화(passivation)가 파괴되면서 부식이 발생하게 된다. 철근 부식은 철근의 단면 손실과 콘크리트의 팽창 균열 등을 유발하여 부착 강도 감소 및 구조 내력의 감소를 일으키므로 구조물의 상태를 평가하는데 있어서 철근 부식 정도를 조사하는 것은 매우 중요한 요소가 된다.
2. 콘크리트 중의 철근부식은 전기화학적 현상으로 이를 초기 단계에서 철근부식 여부를 파악하는 비파괴적인 조사에 이용하는 장비는 철근콘크리트 중의 강재가 부식을 일으키는 활성상태의 정도를 측정한다.
3. 일반적으로 진단기관에서 사용하고 있는 장비는 다음과 같으며, 이의 사용 목적은 비슷하나, 결과를 표시하는 형식에서 차이를 나타내고 있다.



CANIN



TR-01

【해설 사진 2.5.1】 철근부식도 측정장비 종류

- 15) ○ KS F 2712:2002 콘크리트 내부 철근의 반전지 전위 시험 방법
○ 콘크리트 및 강재 비파괴시험 매뉴얼 : 한국시설안전기술공단('06.12)
○ 진단장비 활용·관리 매뉴얼 : 한국시설안전기술공단('06.12)

나. 적용 범위

본 세부지침에서는 철근부식시험과 관련하여 시험기구 및 시험방법 등의 비교에서 사용 빈도가 높은 자연전위법을 대상으로 기술한다.

[표 2.4] 철근의 부식진단에 관한 전기화학적 비파괴시험 방법

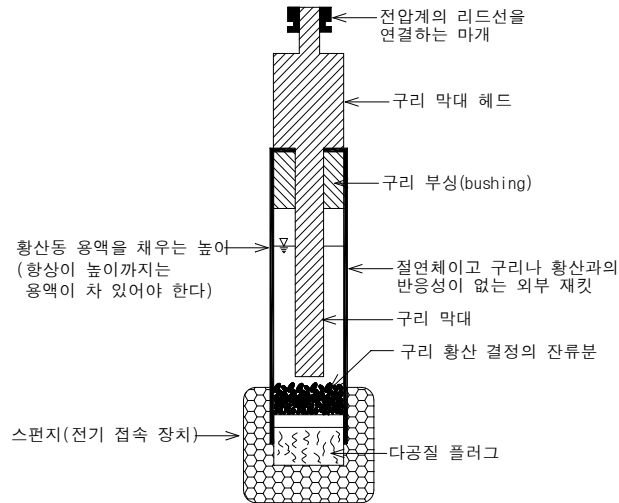
시험 종류	측정 내용	적용성		부식의 유무
		실험실	현장	
자연전위법	자연전위 측정으로 철근 부식 상태 판정	높다	높다	정성적
표면전위차법	전위 기울기의 측정으로 철근 부식 상태 판정	높다	높다	정성적
분극저항법	미소 직류의 인가로 분극저항 측정으로 철근부식 속도 측정	높다	중간	정량적

자연전위법은 조사시점에서 부식 가능성을 진단하는 것으로 구조물 내에서 철근부식 가능성이 높은 장소를 찾아내며, 공용 중에 내부철근이 부식되고 이로 인해 콘크리트에 균열이 발생할 때까지 철근이 부식하는 초기 단계를 파악하는 것에 유효하다.

- 자연전위법은 조사시점에서의 철근의 부식 가능성에 대해서 진단하는 것이며, 철근의 부식속도를 측정하는 것이 아니다.
- 보다 정확한 철근부식의 진단을 실시하기 위해서는 다음의 시험결과를 종합하여 철근의 부식 정도를 판정하는 것이 바람직하다.
 - 철근의 피복두께
 - 콘크리트 중의 염화물함유량
 - 콘크리트의 탄산화(중성화) 깊이
 - 콘크리트의 저항률 측정
 - 콘크리트 구조물의 균열 상황 등의 관찰

다. 반전지

동-황산동 반전지는 동이나 황산동과 반응하지 않는 절연체로 된 딱딱한 튜브 또는 용기, 모세관 현상에 의해 습윤 상태로 유지되는 다공질의 나무 또는 플라스틱 플러그 그리고 포화 황산동 용액이 담겨 있는 튜브 속에 침지된 구리 막대로 구성된다.

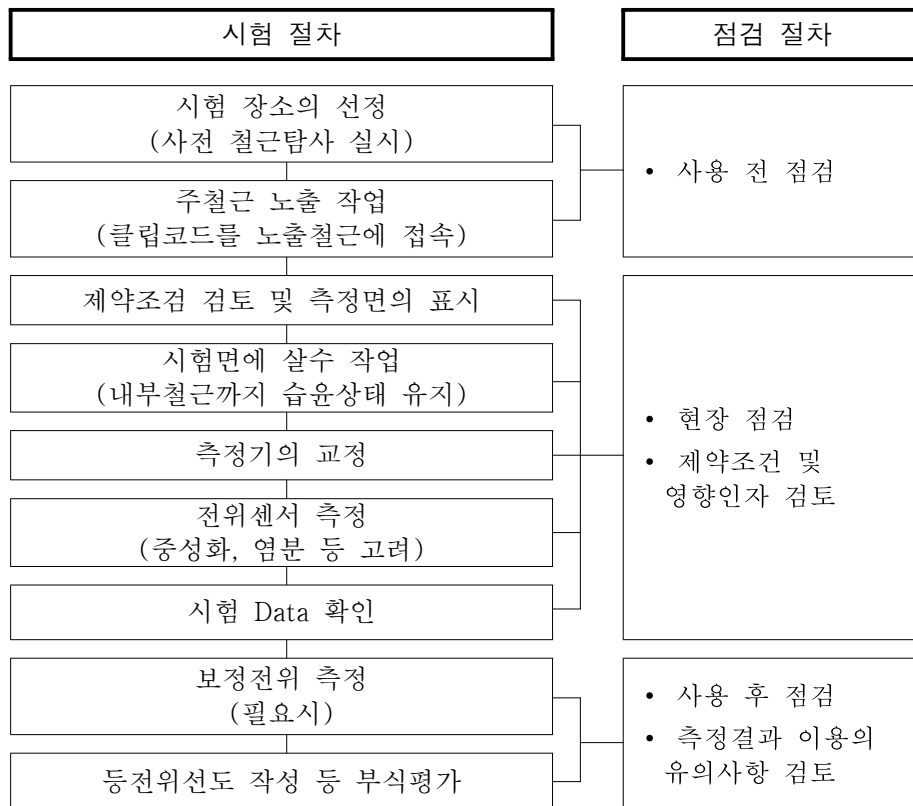


[그림 2.9] 동-황산동 반전지의 단면

2.5.2 시험 등의 절차

가. 철근부식측정장비의 활용을 위한 제약조건 검토

- 시험 대상구조물의 제약조건과 종류, 측정범위 등을 파악하여 시험 정밀도를 높일 수 있는 방법을 강구하여야 한다.
- 콘크리트 중의 각종 영향인자에 따라 측정결과가 다르게 나타나므로 이들 인자에 관한 정보를 입수하여 이를 반영시켜야 하며, 시험 대상은 시험정밀도의 저하 혹은 시험 불가능한 조건이 아닌 범위에 있어서는 자연전위의 측정이 가능하다.
- 현장시험 및 결과분석에 대한 절차는 KS F 2712의 규정에 준한다.



[그림 2.10] 철근부식도시험 및 측정기 점검 등의 절차

【해설】

1. 철근의 부식도는 콘크리트 중에 포함된 염소이온, 수산화이온, 수분량, 산소량 등에 따라 주로 달라진다. 따라서 이 시험 방법으로 측정하는 반전지 전위는 철근이나 철근 콘크리트 부재 자체의 구조적 물성과는 관련이 없다.
 - (1) 반전지 전위의 측정 결과를 해석함에 있어서는 단순히 반전지 전위의 절대 값으로 철근의 부식 상태를 판단해서는 안 된다.

- (2) 반전지 전위와 철근의 부식 활성도의 관계는 일반적으로 콘크리트의 함수상태 및 노출 조건, 염화물 함유량, 중성화 정도 등에 따라 현저히 달라지는 것으로 보고 되고 있으므로 유의해야 한다.
- (3) 측정결과와 합리적인 해석을 위해서는 콘크리트의 박리 정도를 관찰하거나, 가능하다면 부식속도 측정을 병행하여 종합적으로 분석할 필요가 있다.



1. 측정면 표시



2. 철근 노출 작업



3. 노출된 철근



4. 클립코드 접속



5. 살수



6. 측정

[해설 사진 2.5.2] TR-01장비를 사용한 철근부식 측정 전경

나. 시험 정밀도를 위한 제약 조건

1) 시험 정밀도

- 동일 반전지로 동일 위치에서 반전지를 연결했을 때와 끊었을 때의 반전지 전위 측정값의 차이가 10mV를 넘어서는 안 된다.
- 두 개의 서로 다른 반전지로 동일 위치에서 측정했을 때 측정값의 차이가 20mV를 넘어서는 안 된다.
- 자연전위는 1mV의 단위까지 측정한다.

2) 자연전위법을 적용할 수 없는 경우

- 콘크리트 표면이 대단히 건조해 전기적으로 절연체에 가까울 경우
- 콘크리트 표면에 도장 등의 절연재료가 피복되어 있는 경우
- 콘크리트 표면이 물에 잠겨 있는 경우
- 내부철근이 에폭시 수지도장, 아연도금 등의 표면 코팅되어 있는 경우

3) 전위센서의 선정

- 막대형 전극 : 임의의 점을 개별적으로 측정

- 회전형 전극 : 한번에 연속해서 동일한 간격의 점을 복수 측정
- 4) 대상지점의 고려 사항

- 콘크리트 표면상태 : 동결, 습윤상태, 표면도장 여부 등
- 내부의 강재상태 : 강재표면에 절연재료의 피복 여부 등

【해설】

1. 자연전위법을 적용할 수 없는 경우

콘크리트가 충분히 축축하게 유지하고 있을 경우에만 확실한 전위의 읽기(예측) 값을 얻을 수 있는 것에 유의하여야 한다.

2. 전위센서의 선정

측정 시험장치 및 사용재료의 선정은 측정대상 및 정밀도 등에 의하여 대조전극의 형태는 막대형과 회전형으로 분류되며, 자연전위는 대조전극을 콘크리트 표면에 설치하고 나서 측정치가 안정될 때까지 약간의 시간이 필요하다. 두 형태의 전극은 측정 점에 대해 개별적으로 측정하는 것은 가능하기 때문에 어느 전극을 선정해도 개의치 않지만 측정방법은 요구 정밀도와 측정규모에 따라 선정 할 필요가 있다.

3. 대상지점의 고려 사항

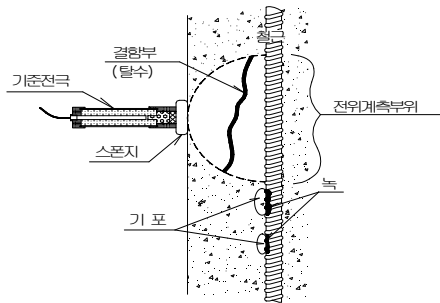
금속의 자연전위는 본래 균일한 전해질(액체) 중에서 측정하기 시작한 것이므로 정밀도가 높게 측정되나, 콘크리트 등과 같은 다공질의 고체 전해질에서는 표면에서 철근 사이에 각종의 불균질한 상태가 존재하므로 반드시 정밀도가 높은 자연전위가 측정된다고는 할 수 없으므로 측정 대상은 균열이나 재료분리 등이 없는 장소를 선정하며, 표면 청소와 기름, 이물질 등을 제거하여야 한다.

(1) 측정표면과 내부철근 사이에 결함이 있는 경우

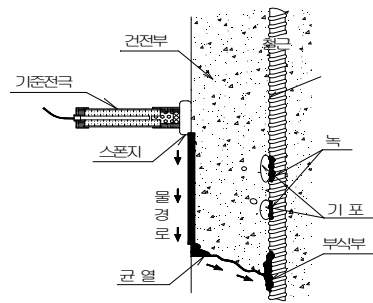
[해설 그림 2.5.1]과 같이 콘크리트 표면에 설치된 기준전극과 내부철근 사이에 결함이 있는 경우에는 측정되는 자연전위 값은 기준전극에 가까운 공극단부 밀착부분의 평균적인 전위로 나타나며, 반드시 기준전극 바로 아래의 전위가 측정되지 않으므로 철근의 부식평가에 있어서 주의가 요구된다.

(2) 콘크리트 표면 균열 등 결함 부근에서 측정 할 경우

[해설 그림 2.5.2]와 같이 측정점 부근에 균열이 있는 경우에는 물을 적신 스펀지를 끼운 기준전극을 붙여서 자연전위 측정을 실시 할 때 스펀지에서 물 흐름이 발생하여 부근의 균열 내부로 흘러들어 내부철근 부식부에 접촉하면 측정되는 자연전위 값은 기준전극이 설치된 아래 부분의 전위가 아니고 내부철근 부식부의 전위를 측정하게 될 우려가 있으므로 주의를 하여야 한다.



[해설 그림 2.5.1] 콘크리트 내부 결함부의 전위측정



[해설 그림 2.5.2] 콘크리트 표면 균열에 의한 전위측정

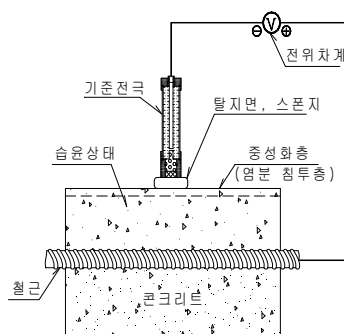
다. 측정간격의 선정

1) 통형 기준전극을 사용할 경우의 측정

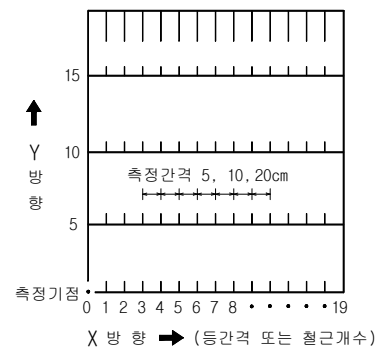
- [그림 2.11]에서 탈지면 등에 물을 적시고 충분히 짜내서 철근 바로 위 콘크리트 표면의 격자 상에서 한 점씩 측정하여 기록한다.

2) 회전식(廻) 기준전극을 사용할 경우의 측정

- 회전식 기준전극의 둘레에 고풍수성 스펀지를 장착한 회전식 기준 전극이 [그림 2.12]와 같이 선상이나 격자상으로 측정한다.



[그림 2.11] 자연전위의 측정방법



[그림 2.12] 측정범위의 표시

【해설】

1. 콘크리트 구조물에 대해 미리 정해진 최소 측정간격은 없지만 동일 지점을 두 번 측정하면 의미가 없으며, 반대로 아주 넓은 간격으로 전위를 측정하면 부식 활성도를 제대로 찾지 못하거나 평가를 위한 자료를 충분히 축적하지 못하게 된다. 따라서 측정간격은 측정 대상물이나 측정 목적에 부합하도록 정해야 한다.

(1) 통형 기준전극을 사용할 경우의 측정

막대형의 전위센서의 측정 점은 대조전극으로 콘크리트 내부의 철근까지의 저항

의 영향을 최대한 제외하기 위해서 철근 바로 위의 콘크리트 표면 위치에 설정하도록 하여야 한다.

(2) 회전식(휠) 기준전극을 사용할 경우의 측정

회전식 대조전극을 사용 할 경우에는 연속적으로 자연전위의 데이터를 수록하는 것이기 때문에, 철근 바로 위에서 측정을 한정하는 것은 반드시 현실적이지 않으므로 측정되는 자연전위 값은 측정지점 근처 철근의 평균적인 자연전위 값을 내보이는 것으로 생각되지만 자연전위의 측정 위치와 배근 위치의 관계를 명확히 해 놓아야 한다.

이것들의 유의점을 고려한 측정 간격과 측정위치의 선정은 다음과 같다.

- ① 측정 점의 간격은 일반적으로 10cm~30cm 정도이다.
- ② 표면 균열 부근의 측정은 2cm 간격 등 상세한 측정이 필요하다.
- ③ 측정 점은 가능한 한 철근 바로 위의 콘크리트 표면에 선정하는 것이 바람직하다.
- ④ 측정간격은 일반적으로 철근의 배근 간격에 맞추는 것이 합리적이다.

측정간격은 넓을수록 국부부식을 찾아내지 못할 확률이 높아진다. 측정은 격자망이나 무작위 형태 모두 가능하다. 인접 측정점 사이의 측정값이 150mV 이상(부식이 심한 지역)의 차이를 나타낼 경우에는 일반적으로 측정간격을 좁혀야 한다. 최소 측정간격은 일반적으로 두 측정점간에 적어도 100mV의 전위차를 나타내도록 정하는 것이 필요하다.

라. 철근부식도시험 조건

1) 대상지점의 내부철근과의 통전 시험

- 시험 대상으로 하는 철근의 모두가 전기적으로 서로 연속하고 있는지를 통전 시험 등을 통하여 파악하여야 한다.

2) 시험면과 내부철근 사이의 습윤 유지

- 콘크리트 표면에 살포되는 물이 콘크리트에 충분히 침투되어 있는 것을 확인한 후에 자연전위 측정을 실시하여야 한다.
- 측정 중에 콘크리트 표면이 충분한 습윤상태에 있는지를 확인하여 그러하지 않을 경우에는 다시 콘크리트 표면을 습윤 시킬 필요가 있다.

3) 대상 콘크리트의 품질상태 보정

- 시험결과와 정밀도는 콘크리트의 품질(함수상태, 중성화 정도, 염분함유량 등), 온도, 대조전극의 종류 등에 의해서 영향을 받으므로 이의 조건 등을 파악하여 기록하며, 측정결과와 보정에 이용하여야 한다.
- 철근까지 중성화가 진행된 경우에서의 전위 해석은 반드시 충분한 전문지식을 가진 부식 기술자나 전문가에 의해 분석이 이루어져야 한다.

4) 대상 콘크리트 표면과 내부의 전위차 보정

- 자연전위의 측정은 피복 콘크리트의 품질에 따라서 큰 액간전위차나 전압강하 등의 오차를 포함하여 측정되는 오차를 보정하기 위해서 보정 전위 측정이 필요하다.
- 보정전위는 표면전위와 내부전위와의 실측값 전위차이다.

【해설】

1. 대상지점의 내부철근과의 통전 시험

콘크리트 내부 철근에 전위차계의 접속하기 위하여 철근탐사를 실시하여 노출시킨 철근에 전위차계의 플러스 단자에 접속하게 되는데 측정 대상으로 하는 철근의 모두가 전기적으로 서로 연속하고 있지를 통전시험 등을 통하여 파악하여야 한다.

단자를 접속하는 철근은 접속 부분의 표면을 충분하게 청소하고 녹이나 이물질이 부착되지 않도록 하여야 하며, 철근과의 연결에 있어서, 이미 노출된 철근에 직접적으로 내부철근과 접속되어 있는 것이 확실히 입증되는 경우를 제외하고는 반드시 철근에 단자를 직접 접속해야만 한다. 그렇지 않으면 잘못된 측정값을 얻게 될 수 있다. 오랜 기간에 걸쳐 측정을 반복하는 경우에는 각 측정 점에 대해서는 동일한 연결 부위를 사용해야 한다.



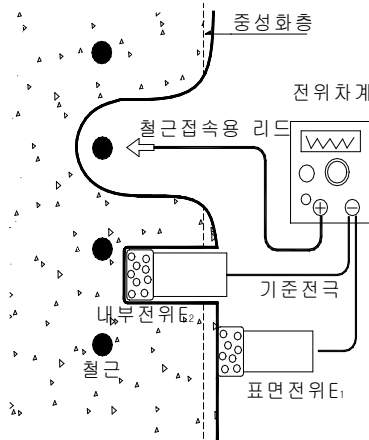
【해설 사진 2.5.3】 전위차계 단자 접속

2. 시험면과 내부철근 사이의 습윤 유지

자연전위를 측정하는데 있어 적절한 측정상태가 될 수 있는 조건으로는 콘크리트와 철근과의 사이를 수분 등의 전해질이 서로 교류하는 상태에서 측정하는 것으로 콘크리트 표면에 살포되는 물이 결함부에 집중되어 연속적인 물의 흐름이나, 수막이 생긴 상태에서는 전위측정 값은 신뢰 할 수 없다, 즉 살포수가 콘크리트에 충분히 침투되어 있는 것을 확인한 후에 자연전위 측정을 실시하는 것이 필요하다.

3. 대상 콘크리트 표면과 내부의 전위차 보정

[해설 그림 2.5.3]과 같이 콘크리트 표면에서 측정한 표면전위를 E_1 , 철근 부근의 내부전위를 E_2 , 즉, 보정전위 $\Delta E = E_2 - E_1$ 을 요구하는 방법이다. 이 보정전위를 구하여 습윤 정도에 대한 콘크리트의 영향을 최대한 배제하게 되므로 실제 부식 상황에 가까운 평가를 할 수 있다.



[해설 그림 2.5.3] 보정전위의 측정 개념도

보정전위의 측정 시에는 다음과 같이 측정에서의 주의가 필요하다.

- (1) 보정전위의 측정은 자연전위 측정의 전후 신속하게 측정한다.
- (2) 보정전위 측정구멍의 천공에 있어서 드릴 선단은 절대로 철근에 접촉시키지 않는다.
- (3) 측정 개수는 동일 측정 면에서 3~5개 정도로 하고, 그 천공 깊이는 비중성화층으로부터 2~3cm로 한다.
- (4) 측정은 1개소에서 3회 정도하여 안정한 값을 기록하고, 전체 평균값을 구하여 그 측정면의 보정전위 값으로 한다.
- (5) 콘크리트 표면 살수 시 보정전위 측정용 구멍 안으로 물을 살수하지 않는다.
- (6) 콘크리트 표면에서 물이 흐르지 않도록 한다.
- (7) 구멍에 삽입된 기준전극 선단의 스펀지는 충분히 물을 짜내어야 한다.

2.5.3 철근부식 판정

철근부식 유무의 판정은 KS F 2712에서 제시하고 있는 기준을 참고하여 다음 표와 같이 판정한다. 한편, 측정장비의 제조사에서 제시하는 판정기준을 적용할 경우 그 기준을 기술하여야 한다.

[표 2.5] 철근부식 유무의 판정기준 (자연전위 : CSE 기준)

부식 등급	KS F 2712 규격	
	자연전위 E (mV)	부식확률 P(%)
I	$E > -200$	90% 이상의 확률로 부식없음
II	$-200 \geq E > -350$	불명확
III	$-350 \geq E$	90% 이상의 확률로 부식 있음

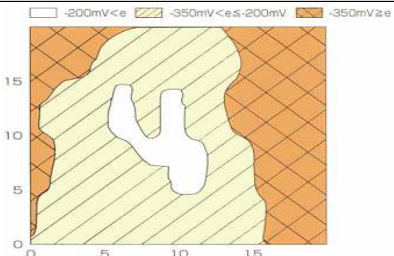
2.5.4 시험 보고서

시험 보고서는 다음 사항을 기록한다.

- 반전지의 종류(동-황산동 반전지 외에 다른 전지를 사용한 경우)
- 측정시 반전지의 평균 온도 예측값
- 콘크리트 표면의 사전 침윤 방법과 철근과의 접속 방법
- 철근의 접속 위치를 나타내는
 - 등전위도
 - 누적 도수 분포도
 - 또는 상기 두 가지 모두
- -350mV 보다 (음의 방향으로) 낮은 전위값의 백분율
- -200mV 보다 (음의 방향으로) 낮은 전위값의 백분율

【해설】

1. 시험보고서(예시)

탐사 위치	시험기 종류	반전지 종류	사전침윤/ 철근접속방법	등전위도	전위값의 백분율(%)	
					-350mV 미만	-200mV 미만
S3 슬래브 하면	TR-01	동- 황산동	사전침윤 불필요/ 클램프 이용 철근 접속		45	55

2. 자연전위법에 의한 철근부식 측정 사례

(1) 면적을 측정한 경우

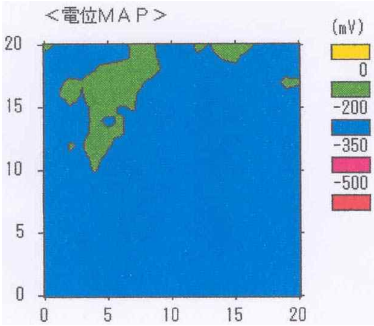
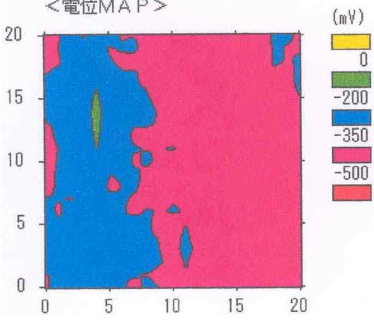
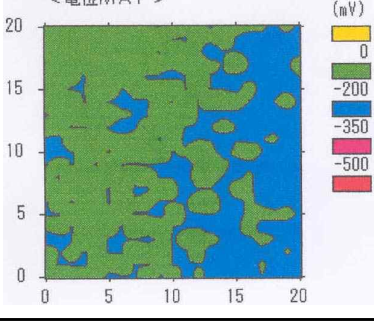
① 개요

A교량의 교각에 염해에 의한 철근부식으로 예상되는 균열이 발생하여 철근의 부식유무를 판정할 필요가 있었다. 따라서 철근부식도 측정을 교각의 철근부식의 우려가 예상되는 3곳에서 원반상의 기준전극을 사용한 장비를 활용하여 측정하였다.

② 탐사 방법 및 결과

철근부식도 장비로 TR-01 장비를 사용하였고, 인근부위에서 철근을 노출하여 도통검사를 실시하여 통전을 확인한 후, 전위차를 측정하기 2시간 정도 살수를 실시하여 철근과 센서간의 전기가 잘 흐르도록 사전작업을 실시하였다

<철근부식도 시험결과>

측정 위치	측정전위의 범위(mV)	지시율 (%)	부식성확률	전위분포도
P11-1	$-200 < E$	9.5	불확정	
	$-350 < E \leq -200$	90.5		
	$E \leq -350$	0		
P11-2	$-200 < E$	0.9	90%이상의 확률로 부식 존재	
	$-350 < E \leq -200$	35.6		
	$E \leq -350$	63.5		
P11-3	$-200 < E$	46.7	불확정	
	$-350 < E \leq -200$	53.3		
	$E \leq -350$	0		

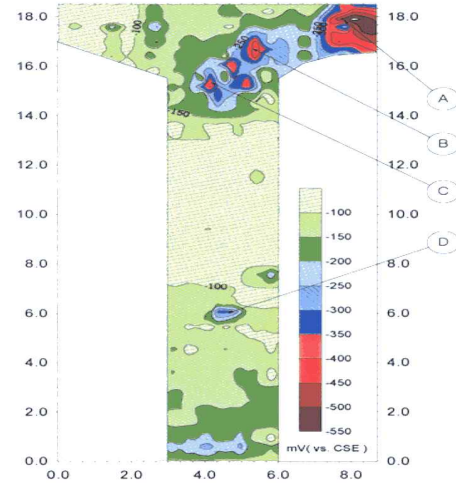
(2) 한점씩 측정한 경우

① 개 요

A교량의 교각에 염해에 의한 철근부식으로 예상되는 균열이 발생하여 철근의 부식유무를 판정할 필요가 있었다. 따라서 철근부식도 측정을 교각의 철근부식의 우려가 예상되는 곳에서 통형기준전극을 사용한 장비를 활용하여 측정하였다.

② 탐사 방법 및 결과

철근부식도 장비로 CANIN 장비를 사용하였고, 인근부위에서 철근을 노출하여 도통검사를 실시하여 통전을 확인한 후, 전위차를 측정하기 2시간 정도 살수를 실시하여 철근과 센서간의 전기가 잘 흐르도록 사전작업을 실시하였다. 다음사진은 CANIN장비를 사용하여 철근의 부식여부를 측정하고 있는 전경과 이미지 프로세싱을 통한 결과를 나타낸 것이다.



[해설 사진 2.5.4] CANIN장비를 사용한 철근부식 측정 전경 및 결과

2.6 콘크리트 탄산화 깊이 측정¹⁶⁾

2.6.1 일반

가. 일반

본 세부지침에서는 콘크리트 내에 매입된 철근을 부식시킬 수 있는 탄산화의 영향을 파악하기 위하여 페놀프탈레인 용액의 분무에 의한 탄산화 깊이를 측정하는데 목적이 있다.

【해설】

1. 콘크리트 공극에 존재하는 세공 용액 속에는 나트륨이온과 칼륨이온 및 이들과 평형 상태에 있는 수산화물이온이 해리되어 있으며, pH는 약 12~13을 나타내게 되는데 이러한 고알칼리 환경에서는 강재 표면에 부동태피막이 생겨 강재가 부식되지 않는다. 탄산화에 의하여 발생하는 물리적 성능저하는 철근의 부식에 의한 성능저하이다. 탄산화에 의하여 pH값이 감소됨에 따라 콘크리트 내부의 환경이 알칼리성에서 중성 쪽으로 변해가며 내부의 철근을 둘러싼 알칼리성 부동태피막을 불안정하게 하여 부식의 발생을 유발시킨다.
2. 자연상태에서 공기중에 존재하는 탄산가스량은 0.03%로서 pH값은 9 이하이며, 다음 표는 pH값의 변화에 따른 철근부식의 영향을 나타낸다.

(pH값)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
	녹슬기 쉬움										녹슬지 않음		

3. 이와 같이 외부에서 콘크리트 내부로 탄산가스가 침투하는 과정을 중성화 또는 탄산화라고 하며, 탄산화가 발생한 층을 중성화층 또는 탄산화층 이라고 한다.
4. 일반적으로 시험방법은 페놀프탈레인 1%용액을 분무하였을 때 pH값이 9이하에서는 무색, 이보다 높은 pH값에서는 적색을 나타내므로 매우 간편하게 식별할 수 있으며 페놀프탈레인 과 변색의 관계는 다음과 같다.

변색범위 (pH)	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
페놀프탈레인 1%용액	백색(무변화)						적색변화			

16) ○ KS F 2596:2004 콘크리트 탄산화 깊이 측정 방법
○ 콘크리트 및 강재 비파괴시험 매뉴얼 : 한국시설안전기술공단('06.12)

나. 적용 범위

이 측정 방법은 실험실 또는 현장에서 제작하여 옥내 또는 옥외 등에 보존된 콘크리트 및 모르타르 공시체, 콘크리트 구조물 또는 콘크리트 제품에서 채취된 코어 공시체, 사용 중인 콘크리트 구조물에서 채취한 시료 등에 적용할 수 있다.

다. 측정 장치

측정용 장치 및 기구는 다음 중 필요한 것을 이용하도록 한다.

- 공시체의 할렬 시험이 가능한 압축 시험기, 휨 시험기, 만능 시험기, 해머 등의 장치 및 기구
- 콘크리트 구조물을 깎아 낼 수 있는 정, 드릴, 콘크리트 커터 등의 기구
- 콘크리트의 작은 조각이나 가루 등을 제거 할 수 있는 솔, 전기 청소기
- 버니어캘리퍼스
 - 정류 눈금 0.5mm까지 읽어낼 수 있는 것
- 시 약
 - 탄산화 깊이를 측정할 때 이용하는 시약에는 KS M 8238에서 규정한 페놀프탈레인 용액 또는 이와 같은 성능을 갖는 시약을 이용한다.
 - 지시약으로 사용되는 페놀프탈레인 용액은 95% 에탄올 90mL에 페놀프탈레인 분말 1g을 녹여 증류수를 첨가하여 100mL로 한 것이다.

【해설】

1. 버니어캘리퍼스 : 정류 눈금 0.5mm까지 읽어낼 수 있는 것으로 콘크리트 구조물에서 시료를 채취한 경우에 대해서는 1mm 눈금이 부착된 것을 이용해도 좋다.

2. 시 약

공시체가 매우 건조한 경우에는 지시약으로 사용되는 페놀프탈레인 용액은 95% 에탄올의 양을 70mL로 하여 첨가하는 물의 양을 많게 할 수 있다.



【해설 사진 2.6.1】 탄산화시험 장치

2.6.2 시험방법

가. 콘크리트 구조물에서 깎아낸 면에서 시험하는 경우

- 철근 위치를 파악한 후에는 시험 위치를 결정
 - 시험개소 · 부위 · 노면 아래조건 · 주위 환경 등에 의한 방법을 적시에 선택한 후에 분진의 비산방지책을 검토해야 한다.
- 깎아낸 콘크리트 표면에 콘크리트 조각이나, 가루를 완전히 제거한다.

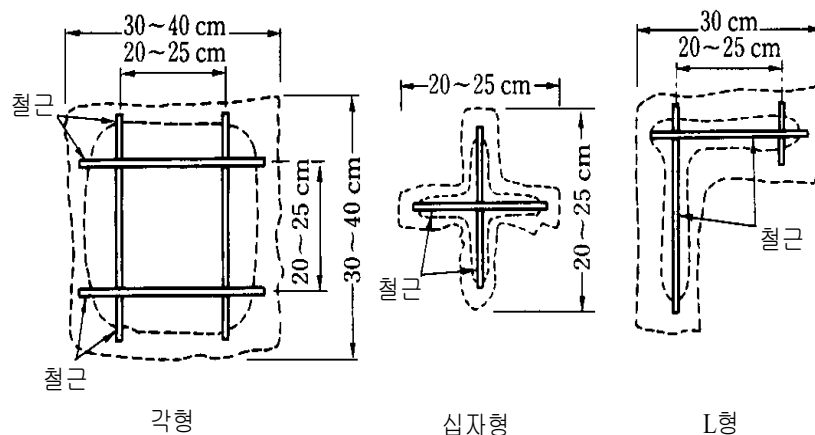
【해설】

1. 콘크리트를 사전에 깎아낼 때 깎아낼 면의 주위에 콘크리트 커터로 홈을 내놓으면 탄산화 깊이 측정이 용이해지며, 측정 면이 젖어 있는 경우는 측정 면을 자연 건조시키거나 또는 건조기 등을 이용하여 건조시킨다.

《참고사항》

일부 콘크리트를 깎아 내는 경우에는 철근의 부식상태의 확인을 동시에 하는 경우가 많다. 따라서, 철근위치를 파악한 후에는 깎을 위치를 결정하는 경우가 많다. 참고로 콘크리트의 깎음 예를 [해설 그림 2.6.1]에 나타냈다. 깎는 방법으로는 손깎음, 전동톱, 에어픽 등이 있으며, 이 순서로 작업효율이 높아진다. 대상개소 · 부위 · 노면아래조건 · 주위환경 등에 의한 방법을 적시에 선택한 후에 분진의 비산방지책을 검토해야 한다.

깎음 종료후 콘크리트표면에 콘크리트가루가 부착된 상태라면, 측정에 지장이 있으므로 블로어와 청소기 등으로 완전히 제거하는 것이 필요하다.



[해설 그림 2.6.1] 콘크리트의 일부 깎음 예



1. 콘크리트 파취



2. 페놀프탈레인 용액 분무



3. 탄산화 깊이 측정

【해설 사진 2.6.2】 탄산화 깊이 측정 장면

나. 코어 공시체를 이용하는 경우

- 코어 공시체의 지름
 - KS F 2422 「콘크리트에서 절취한 코어 및 보의 강도시험 방법」에서 규정하는 굵은골재 최대치수의 3배 이상으로 한다.
- 코어 공시체의 길이
 - 철근 피복깊이 정도로 하는 것이 적절하다.
- 코어는 구조물의 어디에서 채취한 것인지, 표면 측인지 어느 쪽인지 등의 정보를 기입해 둔다.
- 시험조건
 - 양생에 관해서는 코어표면을 충분히 세척하여 수건 등으로 표건 정도까지 닦은 후에 비닐자루로 밀봉 저장하는 것이 바람직하다.
 - 코어공시체를 할렬하고, 할렬면을 측정대상으로 하는 것이 적절하다.
- 코어 측면에서의 시험은 가능하면 피한다.
 - 코어비트 마찰에 의한 조성 변화, 커팅시의 수분에 의한 영향 등으로 시험 결과가 다를 수 있다.

【해설】

1. 압축 강도 시험에 제공하는 코어 공시체를 이용하여 탄산화 깊이의 측정을 하는 경우에는 압축 강도 시험 시에 최대 하중에 도달한 후 가능한 한 신속하게 하중을 제거하여 공시체의 완전한 파손을 피하는 것이 좋다. 측면을 측정 면으로 하는 경우에는 코어 공시체 채취 후 그 측면에 부착된 찌꺼기를 물로 씻어 제거한다.
2. 물을 뿌리지 않는 경우 절단면이 과도하게 고온이 되지 않도록 주의한다. 또 산성수(acid water)의 유무에 관계없이 콘크리트 가루나 찌꺼기가 절단면에 부착되어 있으면 탄산화 깊이의 측정이 정확하게 행해지지 않는 경우가 있다.
3. 측정 면이 젖어 있는 경우는 측정 면을 자연 건조시키거나 또는 건조기 등을 이용하여 건조시킨다.



1. 콘크리트 코어 채취



2. 페놀프탈레인 용액 분무

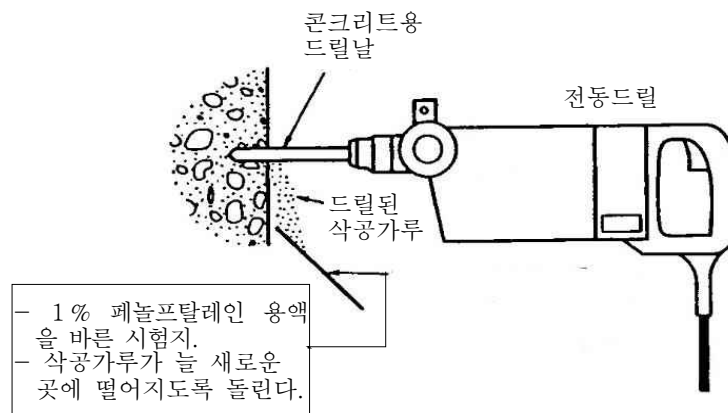


3. 탄산화 깊이 측정

[해설 사진 2.6.3] 코어 공시체를 이용한 탄산화 깊이 측정 장면

다. 드릴을 이용하는 경우

[그림 2.13]과 같이 $\phi 10\text{mm}$ 의 드릴링에 의해 채취되는 콘크리트가루를 이용하여 탄산화깊이를 시험하는 방법으로 드릴링에 의해 발생되는 콘크리트가루가 페놀프탈레인용액을 적신 원형시험지에 떨어져 변색되는 시점을 탄산화깊이로 정하고 있다.



[그림 2.13] 드릴에 의한 탄산화깊이 측정

【해설】

- 구조체 콘크리트의 품질을 평가하고 구조물의 내구성을 진단하는 것은 어떻게 조사목적에 적합한 시험 데이터를 다량으로 그리고 쉽게 입수하는가의 문제가 중요하다. 구조체 콘크리트로부터 채취한 콘크리트 코어와 쏘아내기에 의해 얻어진 시료의 시험결과는 신뢰성이 높다는 것과, 소규모이지만 파괴시험이기 때문에 구조 내력상 문제가 되는 단점이 있다. 또한, 그것이 경미한 범위라도 구조물 소유자의 심리적 저항, 오래 걸리는 작업시간, 보수 시 고가의 비용으로 인해 다수의 데이터를 얻기 불가능한 것, 점으로서의 정보를 얻을 수밖에 없는 것 등이 어려운 문제점이다. 따라서, 이러한 문제들은 비파괴적인 시험에 의하면 쉽게 해결이 가능할 수 있는데, 이 방법이 [그림 2.13]과 같은 드릴에 의한 간이 탄산화 깊이 시험방법이다.
- 이 방법에 의하여 측정된 탄산화깊이는 콘크리트 코어를 이용한 방법의 깊이와 대체

로 동일하고 파괴정도, 작업량, 보수량의 면에서 큰 개선이 기대되는 방법이다.
이 방법은 1999년 (사)일본비파괴검사협회에 의해 NDIS 3419 「드릴 삭공분을 이용한 콘크리트 구조물의 중성화시험」으로 제정되어 있다.



1. 천공 시작



2. 원형시험지 변색



3. 탄산화깊이 측정



4. 결과 확인

[해설 사진 2.6.4] 탄산화깊이 측정 광경

2.6.3 탄산화 깊이 측정

가. 측정 준비

- 측정면의 처리가 종료된 후 바로 측정면에 시약을 분무기로 액체가 떨어지지 않을 정도로 분무한다.
- 측정면의 처리가 종료된 후 바로 측정할 수 없는 경우에는 비닐필름 등으로 측정면을 밀봉한다.

【해설】

1. 측정 면을 공기 중에 장시간 방치해두면 측정 면이 탄산화 하여 정확한 탄산화 깊이를 측정할 수 없게 될 우려가 있다. 따라서 측정면의 처리가 종료된 후 바로 측정하고, 측정할 수 없는 경우에는 비닐필름 등으로 측정 면을 밀봉한다.

2. 또, 콘크리트가 건조하여 적자색으로 변색된 부분이 선명하지 않은 경우에는 시약을 분무한 측정 면에 분무기로 물을 소량 분무하거나 시약을 재차 분무하여 변색이 선명해지고 난 뒤 측정을 실시한다.

나. 탄산화깊이 측정

- 콘크리트 표면으로부터 적자색으로 변색한 부분까지의 거리를 0.5mm 단위로 측정한다.
- 선명한 적자색으로 변색된 부분보다 옅은 부분에 흐린 적자색의 부분이 나타나는 경우
 - 선명한 적자색 단면까지의 거리를 탄산화 깊이로서 측정함과 동시에 연한 적자색 부분까지의 거리도 함께 측정한다.
- 평균 탄산화깊이는 측정값의 합계를 측정 개수로 나누어 구하고, 반올림하여 소수점 이하 한 자리까지 구한다.

【해설】

1. 측정은 분무후 바로 수행하거나 변색된 부분이 안정화 되고 나서 행한다. 1~3일간 방치하거나 드라이어 등으로 측정면을 건조시키면 변색된 부분이 안정화 된다.
2. 측정 위치에 굵은 골재 입자가 있는 경우 또는 있었던 경우에는 입자 또는 입자가 빠져 패인 부분의 양단의 탄산화 위치를 연결하여 직선상에서 측정한다.

다. 측정 지점

- 공시체의 할렬면이나 절단면을 측정면으로 하는 경우
 - 탄산화의 상황에 따라 10~15mm간격마다 1곳
- 코어 공시체의 측면을 측정면으로 하는 경우는 5곳 이상
- 콘크리트 구조물의 깎아낸 면에서 측정하는 경우
 - 깎아낸 면의 크기에 따라 4~8곳 정도

[표 2.6] 페놀프탈레인 분무 시기와 측정 시기

측 정 면	정소방법 전처리법	시약의 분무시기	탄산화깊이 측정시기 (분무 후의 경과시간)
• 현장 깎아낸 면 • 코어 할렬면	blow 뿜기	직후	직후
		3~6시간 직후	1~10분 후
		1~7일 후	1분~2일 후
	blow 뿜기 후 물축임	직후~1일 후	직후
		2~4일 후	직후~2일 후
		5~7일 후	직후
• 임의 추출 코어 표면 • 콘크리트 커터 절단면	물씻기 후 표면 건조	1일 후	10분~2일 후
• 수중 양생 후의 할렬면	blow 뿜기	직후~1일 후	직후
• 수중 양생 후 콘크리트 커터 절단면	물씻기 후 표면건조, 분무 전 물축임	1일 후	10분~2일 후

2.6.4 탄산화속도계수 산정

탄산화속도는 경과시간 t 의 평방근에 비례하여 진행한다고 하는 $\sqrt{t}$ 법으로 표현된다. 탄산화깊이 C 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$C = A \times \sqrt{t}$$

여기서, C : 탄산화깊이 (mm)

A : 탄산화속도계수 (mm/ $\sqrt{\text{년}}$)

t : 재령(년)

2.6.5 시험 보고서

가. 반드시 기록하여야 할 사항

보고할 사항 중 명확히 파악할 수 없는 사항에 대해서는 [확인되지 않음]으로 표기한다.

- ① 구조물의 명칭
- ② 구조물의 경과 연수
- ③ 코어 채취 및 떼어냄을 행한 연월일 및 시험일
- ④ 코어 채취 및 떼어냄을 행한 위치
 - 옥내, 옥외, 부위, 방위, 높이 등
- ⑤ 사용 골재의 종류(보통 골재, 경량 골재)
- ⑥ 측정면의 종류
 - 코어의 측면, 코어의 할렬면, 구조물의 떼어낸 면 등
- ⑦ 시 약
- ⑧ 측정 기구
 - 버니어 캘리퍼스, 눈금자 등
- ⑨ 시약 분무로부터 탄산화 깊이까지의 시간
- ⑩ 탄산화 깊이의 측정 장소의 각 측정값, 평균값, 최대값
- ⑪ 연한 적자색으로 변색된 부분의 유무
 - 있는 경우 그 상황을 사진 등으로 기록한다.

나. 필요에 따라 기록하여야 할 사항

- ① 코어 채취 또는 떼어냄을 행한 위치에서의 누수 유무
- ② 구조물 주변의 탄산가스 농도
- ③ 콘크리트 압축 강도
 - 설계기준강도 또는 코어 강도
- ④ 탄산화 상황의 사진
- ⑤ 철근의 피복두께
- ⑥ 탄산화 속도 계수

【해설】

1. 시험보고서(예시)

탐사 위치				경과년수	사용골재	측정면 종류	측정값 (mm)		분무 후의 경과시간	연한적자 색 유무
부위	옥내외	방위	높이				최대	평균		
P3 기둥	옥외	남측	1.5m	10년	보통골재	사전침윤 불필요	12		직후	무
							10			

2. 코어 채취에 의한 탄산화 깊이 측정 사례

(1) 개 요

준공 후 10년이 경과한 여수로 피어에 탄산화에 의한 철근부식의 영향을 평가하기 위하여 코어를 채취하여 탄산화깊이를 측정하였다

(2) 측정방법

피어 대표부위에서 코어를 채취하여 페놀프탈레인 용액을 분무한 버어니어캘리퍼스로 탄산화깊이를 측정하였다.

(3) 측정결과 및 잔존수명예측

피어에서 측정한 탄산화깊이 측정 결과와 $C = A \times \sqrt{t}$ 식에서 현장에서 측정한 자료를 기초로 직접 산출한 탄산화속도계수를 활용하여 잔존수명을 예측한 결과를 아래 표에 나타내었다.

【해설 표 2.6.1】 탄산화 깊이 측정 결과 및 잔존수명 예측

측 정 위 치	철근피복 (mm)	탄산화 깊이 (mm)	A(탄산화 속도 계수)*	수명예측 (년)**	잔존수명 예측(년)***
P1	33	14	4.27	55.6	45.6
P2	45	15	4.74	90.0	80.9
P3	35	15	4.74	54.4	44.4
P4	42	15	4.74	78.4	68.4

* 탄산화 속도계수 = 탄산화 깊이 / $\sqrt{\text{재령(년)}}$

** 수명예측(년) = (철근피복/탄산화 속도계수)²

*** 잔존수명예측(년) = 수명예측년수 - 경과년수

2.7 강재 용접부 비파괴시험

2.7.1 일반

가. 일반

강재 용접부 비파괴검사를 통하여 강구조물의 주부재 용접이음부의 결함상태를 조사하고, 검출된 결함은 적용규격에 따라 등급분류를 실시하고 그 결과에 따라 결함의 영향을 평가한다.

강재 비파괴시험 적용 방법은 기본적으로 강구조물에 대하여 외관조사(VT)를 실시하고, 적절한 시험방법을 선정하여 실시한다.

【해설】



a) 강재 초음파시험기



b) 강재 자분탐상기 (MP-A : 극간법)

【해설 사진 2.7.1】 강재 용접부 시험기기

나. 시험(검사) 기술자

강재 비파괴시험을 하는 기술자는 그에 필요한 자격 또는 그에 상당하는 기초 기술의 습득 외에 모재의 재질, 용접부의 이음형상, 개선폰양, 용접방법, 용접조건 그리고 이들 조건하에서 발생하기 쉬운 용접결함 등에 관한 충분한 지식과 경험을 가져야 한다.

【해설】

1. 다른 모든 비파괴검사 방법에서도 요구되는 사항이지만 특히 초음파검사에서는 적절한 검사를 수행하기 위하여 기술자의 자격인정, 교육훈련 및 충분한 경력을 갖추고 있어야 한다. 왜냐하면 강재 초음파시험은 타 비파괴검사와 비교하여 상기의 조건이 갖추어지지 않으면 중대한 판독오류를 범할 수 있는 가능성이 높기 때문이다.

2.7.2 초음파탐상시험¹⁷⁾

가. 일반

본 시험은 강재 내부의 결함(흠)을 찾아내기 위하여 강재 내에서의 초음파 파동 특성을 이용하여 강재 용접부의 내부결함, 면상결함, 균열, 용입불량 등을 조사하는데 그 목적이 있다.

【해설】

1. 강재 초음파시험기(UT : Ultrasonic Testing)를 이용한 탐상방법은 여러 가지 방법이 있으며 시험대상물이나 시험목적에 의해 시험방법이 선정된다. 초음파시험에 쓰이는 초음파는 펄스파로서 몇 μs ($1\mu\text{s}=1\times 10^{-6}\text{s}$)정도의 짧은 시간 내의 진동을 시험체로 보낸다. 초음파 펄스를 보내는 순간부터 초음파 펄스를 수신하는 순간까지의 경과시간을 측정함으로써 결함이나 후면 등의 반사원까지의 거리 즉 결함의 위치를 알 수 있다.
2. 현재 일반적으로 사용되는 초음파시험은 펄스파를 이용한 반사법으로 시험체의 내부에서 반사되는 반사원의 면적 즉 결함의 면적이 크면 그것에 비례하여 커지는 에코우의 높이로 결함의 크기를 추정할 수 있게 된다.
3. 강재 비파괴검사의 최종적인 목적은 재료 또는 부품 등이 사용 중에 파괴되는가 안되는가의 여부를 판단하기 위해 결함의 유무, 결함의 크기 및 형태를 정확히 파악하는데 있듯이 초음파 검사도 주로 결함의 검출에 사용된다. 수문, 교량, 철골 구조물 등의 이음부는 대부분 용접으로 접합되어 있으며, 이러한 여러 분야에서 휴대용 초음파 시험기를 이용한 용접부 조사가 광범위하게 시행되고 있다.

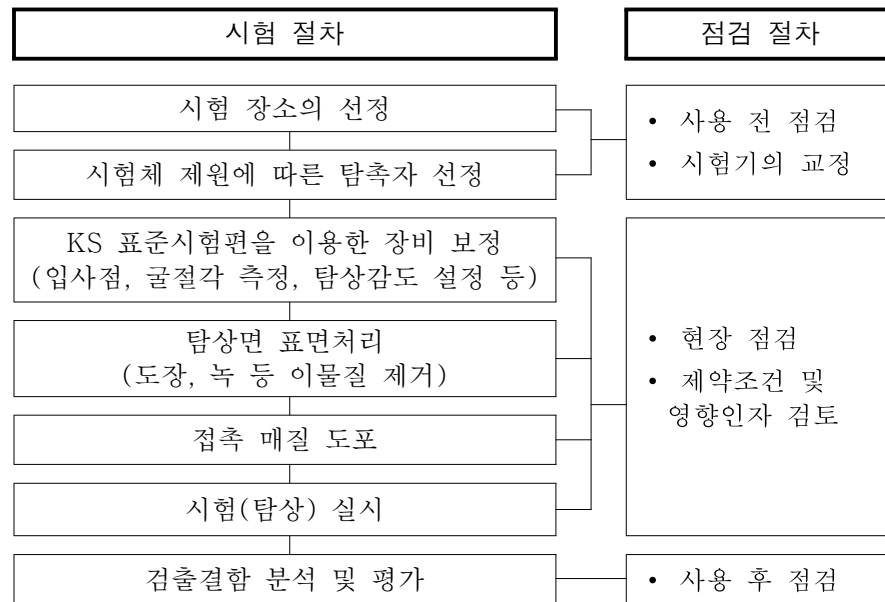
나. 적용범위

본 시험은 규격은 두께 6mm 이상의 페라이트계 강의 완전용입 용접부를 펄스 반사법을 사용한 기본표시의 초음파 탐상기에서 초음파탐상시험을 수동으로 실시하는 경우의 흠의 검출 방법, 위치 및 치수의 측정하는데 있다.

- ① 박판 용접부 및 필렛용접부 결함 검사에는 부적합
- ② 탐상기법의 특성상 시험결과의 재현성이 부족하며, 기술자는 시험대상체 및 강재 초음파시험에 대한 전문적인 지식과 충분한 경험이 필요

17) ○ KS B 0896:1999 강 용접부의 초음파 탐상 시험 방법
○ 콘크리트 및 강재 비파괴시험 매뉴얼 : 한국시설안전기술공단('06.12)
○ 진단장비 활용·관리 매뉴얼 : 한국시설안전기술공단('06.12)

다. 시험 등의 절차



[그림 2.14] 강재 초음파시험 및 탐상기 점검 등의 절차

1) 탐상기의 활용을 위한 제약조건 검토

- 시험 대상구조물의 제약조건과 종류, 범위 등을 파악하여 시험 정밀도를 높일 수 있는 방법을 강구하여야 한다.
- 탐상기의 점검, 탐상, 결과분석 등에 대한 절차는 KS B 0896의 규정에 준한다.

2) 시험 정밀도를 위한 제약조건

탐상 결과의 신뢰도를 향상시키기 위해서 시험의 제약조건을 검토하여 시험 정밀도를 향상시킬 수 있어야 하며, 그 대표적인 내용을 정리하면 다음과 같다.

- ① 시험체의 표면이 거칠면 부재로 전달되는 초음파 에너지가 적어지며, 노이즈와 신호의 구분에 어려움이 있어 모양이 일정치 않거나 너무 얇아도 곤란하다.
- ② 시험체 건전부의 재질이 균질해야 한다.
- ③ 초음파의 퍼짐에 있어 그 사각인 불감대가 존재한다.
- ④ 초음파 탐촉자와 시험체 사이에 공기층이 존재하면 시험체로 초음파의 전달이 안되므로 매질이 필요하다.
- ⑤ 주로 상대적인 값을 이용하므로 표준시험편과 대비시험편이 있어야 한다.
- ⑥ 시험체 내부 조직에 따라 측정 데이터의 해석을 달리해야 한다.
- ⑦ 결함의 방향과 초음파의 전달방향에 따른 영향이 크다.

3) 시험 정밀도의 영향인자

○ 사전정보 수집

시험에 앞서서 대상체의 모재 재질, 두께, 용접부의 이음형상, 개선각 및 형상, 용접시공 상세, 용접보수 상세, 제작상의 특기사항 등의 정보가 없으면 정확한 판단을 할 수 없다.

○ 시험면에 의한 감도 영향

시험에 부적당한 표면은 적절한 방법으로 마무리를 해야 한다. 시험면 표면 마무리는 주파수에 따라서도 감쇠 정도가 다르며, 높은 주파수일수록 그 영향은 현저하므로 주의를 요한다.

○ 용접부 시험에서의 결함 종류 추정

공용 중인 강재 구조물의 용접보수가 용이하지 않은 경우가 많으므로 가능한 정확히 결함의 종류를 추정해야 한다.

○ 온도의 영향

저온 또는 고온에서 탐촉자를 사용하는 경우에는 그 STB 굴절각은 공칭 값과 달라지므로 시험을 하는 장소에서 굴절각을 측정하여야 한다.

【해설】

1. 사전정보 수집

대상체의 모재 재질, 두께, 용접부의 이음형상, 개선각 및 형상, 용접시공 상세, 용접보수 상세, 제작상의 특기사항을 조사가 필요한 이유는 다음과 같다. 이는 시험 중에 반사원까지의 빔노정, 탐촉자-용접부 결함 거리와 에코높이 및 그 주시특성(반사패턴) 등으로 판독하므로 상기의 정보가 없으면 정확한 판단을 할 수 없다.

(1) 판두께와 개선형상

판두께와 개선형상은 최소한의 필요한 정보다. 재질 및 용접시공법에 관한 정보는 그것으로 인해 발생 가능성이 높은 결함을 알려 준다.

(2) 용접부의 시험

용접보수가 이루어진 경우는 그 상세를 파악함으로써 개선형상 및 용접시공법 등의 정보를 얻을 수 있다. 초음파시험에서 보증되어 있지 않은 강판 용접부의 경우에는 강판 중의 결함이 사각 시험에서도 검출되는 경우가 종종 있으므로 결과 해석에는 주의가 필요하다

2. 시험면에 의한 감도 영향

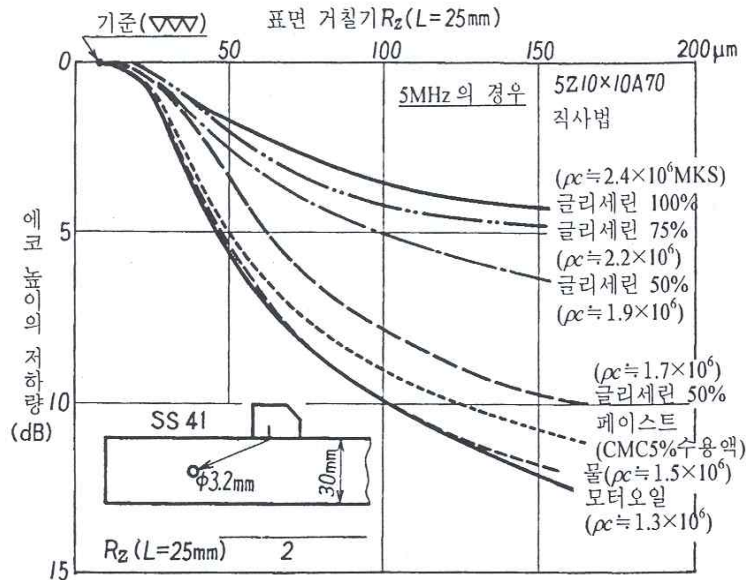
(1) 시험에 부적당한 표면

일반적으로 문제가 되는 상황은 다음과 같으며, 이들의 시험면은 초음파 전달에 영향을 주므로 시험 감도에 직접영향을 미친다. 그러므로 시험에 부적당한 표면은

마무리 정도에 대한 요구에 따라서 적절한 방법으로 마무리할 필요가 있다.

- ① 두꺼운 도장
- ② 부상한 도장 및 스케일
- ③ 이물질 부착
- ④ 용접 스파터 등

(2) 시험면의 마무리



[해설 그림 2.7.1] 표면 거칠기가 경사각 시험에서의 에코 높이에 미치는 영향

3. 용접부 시험에서의 결함 종류 추정

일반적으로 행해지고 있는 용접부의 시험에서의 결함종류의 판정을 국내 규격에서는 거의 요구하고 있지 않다. 그것은 불합격되는 결함이 검출되면 가우징하여 결함을 제거하고 용접부를 보수하기 때문에 결함의 종류를 판별할 필요가 없기 때문이다. 그러나 아주 두꺼운 용접부라든가 사용 중 시험기 또는 구조물의 중간검사와 같이 용접보수가 용이하지 않은 경우에는 여러 가지 시험 기술을 구사하여 가능한 정확히 결함의 종류를 추정해야 한다.

4. 온도의 영향

경사각 탐촉자의 “뺨기”에는 아크릴 수지와 같은 유기재가 사용되고 있다. 유기재는 온도에 의한 음속의 변화가 크다. 일반적으로 경사각 탐촉자의 공칭 굴절각은 상온 (10 ~ 30℃)에서 공칭값에 가까워지도록 만들어지고 있다.

따라서 온도의 영향에 의하여 그 STB 굴절각은 공칭값과 달라지므로 시험을 하는 장소에서 굴절각을 측정하여야 한다. 또한 시험체가 고합금강인 경우에는 탐상 굴절각이 저탄소강과 다를 수가 있다.



①용접부 표면처리



②매질(글리세린) 도포



③두께 측정



④용접부검사(UT)

[해설 사진 2.7.2] 강재 초음파 탐상 과정

라. 초음파탐상기의 조정 및 점검

- 입사점, STB 굴절각, 탐상 굴절각, 측정 범위 및 탐상감도는 시험 전에 조정한다.
- 초음파탐상기의 조정은 작업시간 4시간 이내마다 점검하여 조정시의 조건을 유지하고 있는 것에 대한 확인을 하여야 한다.

【해설】

1. 시험기의 조정 및 교정

- (1) 현장시험 전·후 시험기에 대한 성능 조정과 교정은 반드시 하여야 하며, 수시로 탐촉자 청소 등을 하여야 한다.
- (2) 시험 장소의 이동 시 마다 시험기의 교정을 하여야 한다.

2. 시험기의 점검

- (1) 현장에서 시험기를 사용할 때도 본체와 케이블 등에 대한 점검을 수시로 실시하여 시험기의 사용에 이상이 없도록 유지하여야 한다.
- (2) 강재 초음파시험기는 현장시험 전·후에 연결단자, 탐촉자 등의 점검과 시험기에 대

한 교정을 실시하여 현장시험 결과의 오차 요인을 사전에 대비하여야 한다.

- (3) 현장시험 완료 후 시험기에 대한 점검으로 시험결과와 오류 등을 검토하고, 다음 사용 준비를 위한 연결단자, 탐촉자 등의 점검으로 성능유지를 위한 지속적인 관리를 하여야 한다.

마. 결함의 판정

결함의 등급 분류는 결함 에코우 높이의 영역과 결함지시 길이에 대응하여 [표 2.7]에 따라 시행한다.

[표 2.7] 결함의 등급분류

영역		M검출 레벨은Ⅲ, L검출 레벨은 Ⅱ와Ⅲ			Ⅳ		
판 두께		18 이하	18 초과 ~ 60 이하	60 초과	18 이하	18 초과 ~ 60 이하	60 초과
등급	1 류	6mm 이하	t/3 이하	20mm 이하	4mm 이하	t/4 이하	15mm 이하
	2 류	9mm 이하	t/2 이하	30mm 이하	6mm 이하	t/3 이하	20mm 이하
	3 류	18mm 이하	t 이하	60mm 이하	9mm 이하	t/2 이하	30mm 이하
	4 류	3 류를 초과하는 것					

【해설】

- 2방향에서 탐상한 경우에 동일한 결함의 분류가 다를 때는 하위 분류를 채용한다.
- [표 2.7]의 적용에 있어서 동일하다고 간주되는 깊이에서 결함과 결함의 간격이 큰쪽의 결함의 지시 길이가 같거나 그것보다 짧은 경우는 동일한 결함군으로 간주하고, 그것들의 간격까지 포함시켜 연속한 결함으로 다룬다.
- 표의 "t"는 그루브를 뚫쪽의 모재의 두께(mm)를 의미하며, 맞대기 용접에서 맞대는 모재의 판 두께가 다른 경우는 얇은 쪽의 판두께로 한다.

바. 탐상 보고서

- ① 시험 연월일
- ② 시험 번호 또는 기호
- ③ 시험 기술자의 서명 및 자격
- ④ 재질 및 치수
- ⑤ 용접 방법 및 그루브 모양
- ⑥ 사용한 탐상기 명, 성능 및 점검 일시
- ⑦ 사용한 탐촉자, 성능 및 점검 일시
- ⑧ 사용한 표준 시험편 또는 대비 시험편
- ⑨ 탐상 부분의 상태 및 손질 방법
- ⑩ 탐상 범위
- ⑪ 접촉 매질
- ⑫ 감도 보정량
- ⑬ 검출 레벨
- ⑭ 탐상 데이터
 - 용접선 방향의 탐촉자 위치, 탐촉자 용접부 거리, 빔 노정, 최대 에코 높이 (영역), 흠의 지시 길이
- ⑮ 흠의 횡단면 위치 및 평면 위치
 - 깊이, 용접선에 직각 방향의 위치
 - 흠의 지시 길이의 시단 또는 종단
- ⑯ 합격 여부와 그 기준
- ⑰ DAC 회로를 사용하였을 때는 다음 기록을 한다.
 - 탐상기 명 및 DAC 사용시의 성능
 - 탐촉자의 제조 번호 및 DAC의 사용시의 성능
 - DAC의 기점 조정 거리
 - DAC의 경사값
 - DAC 사용시의 에코 높이 구분선
- ⑱ 검정의 결과, 음향 이방성을 가진다고 검정된 경우, 다음 기록을 한다.
 - 공칭 굴절각
 - STB 굴절각
 - L, C, (Q) 방향 및 흠을 검출한 방향의 탐상 굴절각

- 굴절 각도차($\Delta\theta$)
 - 횡파 음속비 및 그 측정 방법
- ⑲ 탠덤 탐상법을 적용한 경우는 다음 기록을 한다.
- 탐상 불능 영역
 - 탐상 지그의 시방
 - 탠덤 기준선의 위치
 - 흠의 판두께 방향의 위치(깊이)
- ⑳ 기타 사항(지정 사항, 협의 사항, 입회, 샘플링 방법 등)

【해설】

1. 용접부 내부결함 조사 사례

(1) 개 요

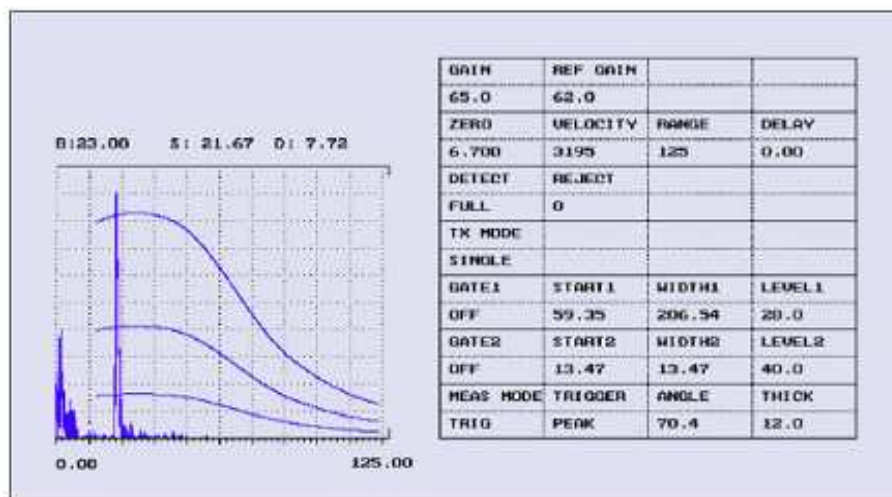
A교량의 강교 박스 거더 웨브의 맞대기 용접부의 내부결함 조사를 위하여 초음파 탐상법을 적용하였다.

(2) 탐상방법

초음파탐상기로 A 스코우표시의 펄스반사식의 SITESCAN 130을 적용하여 초음파 탐상시험을 실시하였다.

(3) 탐상결과

탐상자료를 분석한 결과는 다음과 같다.



【해설 그림 2.7.2】 초음파탐상시험 결과

상기 파형은 용접부의 종방향으로 연속적으로 분포하고 있는 용입 부족으로 분석되었고, 결함깊이는 7.7mm, 길이 500mm로 측정되었으며, 결함등급은 KS B 0896에 따라 4급으로 판정되었다.

2.7.3 자분탐상시험¹⁸⁾

가. 일반

본 시험은 자성체의 표면에 있는 불연속부를 검출하기 위하여 자성체를 자화시키고 자분(磁粉)을 적용시켜 누설자장에 의해 자분이 모이거나 붙어서 불연속부의 윤곽을 형성, 그 위치, 크기, 형태 등을 검사하는 비파괴검사 방법 중의 하나이다.

【해설】

1. 철강재료 등 자성체를 자화하게 되면 많은 자속을 발생한다. 자속은 자기의 흐름으로 나타나며, 자성체 중에서 자속은 쉽게 흐르지만 비자성체 중에서 자속은 흐르기 어렵다. 자속이 흐르는 길에 결함이 있으면 결함은 일반적으로 자성체의 불연속으로서 기체, 비금속 계재물 등 비자성체가 들어 있기 때문에 자속이 흐르기 어려워진다. 그러므로 자속은 결함이 가로막게 되면 결함이 있는 곳에서 결함을 피해가려는 모양으로 넓게 흐른다. 이로 인하여 얇은 표층부의 자속은 자성체의 표면 위의 공간으로 새어나간다. 이 결함부의 공간으로 새어나가는 자속을 누설자속이라 하고, 자성체 중에서 결함이 있는 곳으로 흐르는 자속이 많을수록, 자속을 가로막는 결함의 면적이 클수록, 또 결함의 위치가 자성체의 표면에 가까울수록 결함 누설 자속은 많아진다. 자성체중의 자속이 공기 중으로 새어나오는 곳에 N극이, 들어가는 곳에 S극이 형성되며, 이 자극의 강도는 결함 누설 자속이 많을수록 강해진다. 자화된 자성체의 표면에 색깔이 있는 자성체 미립자 즉 자분을 살포할 경우 자성체의 표면에 자속을 가로지르는 결함이 있으면 결함 누설 자속 내에 들어간 자분은 자화되어 자극을 가지는 작은 자석이 되며, 자분 서로가 얹혀 결함부의 자극에 응집 흡착한다. 이 결함부에 응집 흡착하여 생긴 자분의 모양을 결함 자분 모양이라 하며, 그 것의 폭은 결함의 폭에 비해 크게 확대되고 또 자성체 표면의 색과 콘트라스트가 높은 색의 자분을 사용함으로써 식별이 아주 쉬워진다. 이상과 같이 자성체인 어떤 시험체를 자화하여 자속을 흐르게 하고 자분을 탐상면에 뿌려서 결함부에 자분이 모여들어 형성된 결함 자분모양을 찾아내 그것을 평가함으로써 시험체 표층부에 존재하는 결함을 검출하는 과정을 자분탐상기를 이용하게 된다.

18) 。 KS D 0213:1994 철강 재료의 자분 탐상 시험 방법 및 자분 모양의 분류
。 콘크리트 및 강재 비파괴시험 매뉴얼 : 한국시설안전기술공단('06.12)
。 진단장비 활용·관리 매뉴얼 : 한국시설안전기술공단('06.12)

나. 적용 범위

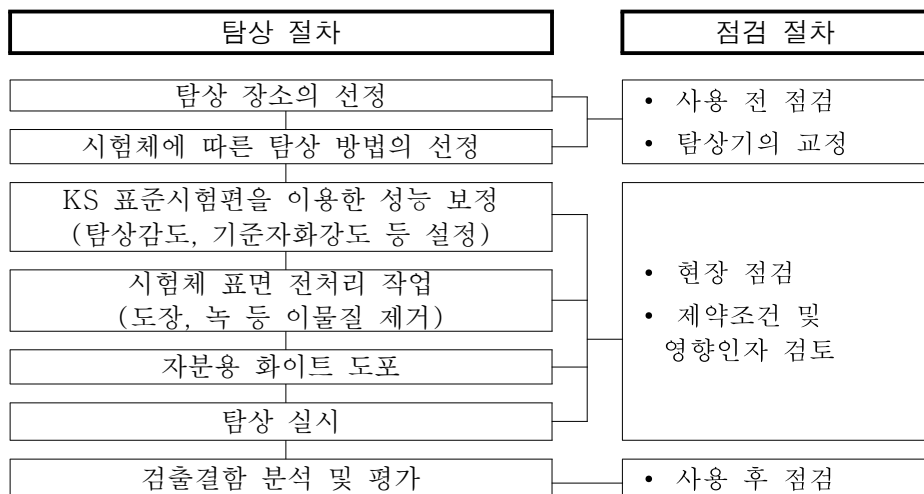
본 「세부지침」에서는 자분탐상시험 방법 중의 극간법(Yoke Method)에 대해서 적용한다.

시험체의 표면 및 표면부근에 있는 균열, 기타 흠을 검출하는 것을 목적으로 하며, 본 시험을 통하여 강구조물의 용접이음부의 결함상태를 조사하고, 그 결과에 따라 결함의 영향을 평가하나, 자성체 시험부재에만 적용 가능하다.

【해설】

1. 극간법은 시험품의 부분 또는 전체를 전자석 자극사이에 놓고 자화시키는 방법으로서 시험품에 극부 선형자장을 유도함으로 양극 사이에 직각인 방향을 갖은 결함이 가장 잘 검출할 수 있다.

다. 시험 등의 절차



[그림 2.15] 자분탐상 및 탐상기 점검 등의 절차

1) 탐상기의 활용을 위한 제약조건 검토

- 자분탐상에서 가장 적절한 탐상방법을 선택을 하여도 시험체의 탐상면 전부에 필요한 유효 자계강도를 가할 수 없어서 검출해야 할 흠(결함)을 검출할 수 없는 경우와 시험결과 생기는 자분모양에도 의사모양이 포함되는 경우가 있을 수 있으므로 탐상에 충분히 유의할 필요가 있다.
- 탐상 대상구조물의 제약조건과 종류, 범위 등을 파악하여 탐상 정밀도를 높일 수 있는 방법을 강구하여야 한다.
- 현장탐상 및 자분 모양의 분류에 대한 절차는 KS D 0213의 규정에 준한다.

2) 탐상 정밀도를 위한 제약조건

○ 전처리

- 전처리의 범위는 시험범위보다 넓게 잡아야 한다.
- 탐상 면에 대한 부적절한 전처리는 결함검출 성능을 저하시키는 요인으로 작용하게 되므로 적절한 표면상태가 되도록 하여야 한다.

○ 자분 모양의 관찰

- 자분모양의 관찰은 원칙적으로 자분의 적용이 끝난 직후에 하여야 한다.

○ 탈자

3) 탐상 정밀도의 영향인자

○ 자분 및 검사액

- 검사액 및 자분은 적당한 표준시험편 등을 사용하여 필요에 따라 그 성능을 확인하여야 한다.

○ 통전시간의 설정

- 통전시간의 설정은 통전 중의 자분의 적용을 완료할 수 있는 통전시간을 설정하여야 한다.

4) 탐상할 때의 주의사항

자분탐상에서는 탐상을 하는데 적당하지 않으면 시험체의 탐상면 전부에 필요한 유효 자계강도를 가할 수 없어서 검출해야 할 흠을 검출할 수 없는 경우가 있다. 또, 탐상 결과 생기는 자분모양에도 의사모양이 포함되는 경우가 있기 때문에 즉시 흠이라고 판정하기 곤란한 경우가 있으므로 다음의 조건을 충분히 검토하여 유의하여야 한다.

- 탐상면의 분할
- 흠의 방향을 예측할 수 없는 경우
- 흠의 판정이 곤란한 경우
- 용접부 탐상에서의 주의사항
- 균열부에 대한 탐상 요령

【해설】



①용접부 표면처리(그라인더)



②자분용 화이트 도포



③용접부검사(MT)

【해설 사진 2.7.3】 자분 탐상 과정

1. 전처리

(1) 전처리 과정

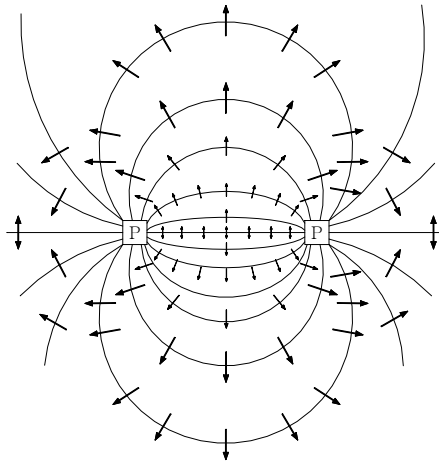
- ① 전처리의 범위는 시험범위보다 넓게 잡아야 한다. 용접부의 경우는 원칙적으로 탐상 범위에서 모재 측으로 약 20mm 넓게 잡는다.
- ② 시험체는 원칙적으로 단일부품으로 분해한다. 또, 자화되는 경우는 필요에 따라 탈자한다.
- ③ 시험체에 부착된 유지, 오염 그 밖의 부착물, 도료, 도금 등의 피막이 시험정밀도에 영향을 주는 경우 또는 검사액을 오염시킬 우려가 있는 경우는 이들을 제거하여 시험체를 청정하게 하여야 한다.
- ④ 건식용 자분을 사용하는 경우는 표면을 잘 건조시켜 둔다.
- ⑤ 타는 것을 방지하고 전류가 흐르기 쉽게 하기 위해 시험체와 전극의 접촉부분을 모두 깨끗하게 닦아 놓아야 한다. 또, 필요에 따라 전극에 도체패드를 부착한다.
- ⑥ 기름구멍, 그 밖의 구멍 등에서 탐상 후 내부의 자분을 제거하는 것이 곤란한 곳은 탐상 전에 해가 없는 물질을 채워두는 것이 좋다.

(2) 전처리 방법

- ① 그라인딩 : 형상, 거칠기의 수정, 스페터, 스케일, 기타 이물질의 제거
- ② 박리제의 도포 : 페인트의 제거
- ③ 브러싱 : 녹 등을 제거
- ④ 유기용제 세정 : 유지류의 제거
- ⑤ 건조(건식법) : 수분의 건조
- ⑥ 탈자 : 잔류자장에 의하여 검사에 영향을 미칠 우려가 있는 경우

2. 자분모양의 관찰

- (1) 자분모양을 기록할 때에는 적당한 재료(투명바니시, 투명래커 등)로 탐상면에 고정하거나, 고성능 카메라로 근접촬영을 하며, 자분모양에서 흠의 깊이를 추정하는 것은 곤란하므로 이외의 방법에 따라야 한다.



[해설 그림 2.7.3] 자극간 및 자극주변의 가장 검출하기 쉬운 결함의 방향

위 그림에서 P는 자극, 자극간을 잇는 실선은 자장을 나타내며, 화살표는 자장의 각 점에 있어서 자장과 직교하는 방향 즉 가장 검출하기 쉬운 결함의 방향을 나타낸다.

- ① 시험품을 손으로 유지하며 관찰하는 경우는 우선 유지하고자 하는 부분부터 관찰하거나 관찰이 끝난 부분을 유지하도록 한다.
- ② 자분 지시모양이 관찰되면 우선 의사지시모양인가 결함 지시모양인가를 구별한다. 자분모양에는 결함이 아닌 것이 포함되어 있으므로 주의하여야 한다.
- ③ 관찰은 가급적 관찰면에 대하여 정면에서 하도록 한다. 관찰면에 대하여 비스듬히 관찰하는 것은 미세한 자분 지시모양을 빠뜨리거나 표면 요철부 등에 부착된 자분지시모양의 구별이 곤란하게 한다.
- ④ 관찰하기 위해 광선(자외선 조사 등 또는 가시광선 램프)은 관찰면에 대해 반사광이 없는 위치와 각도에서 조사하도록 한다. 특히 관찰면의 마무리 상태가 좋은 경우에는 관찰면에 강한 반사광이 발생하여 자분 지시모양의 관찰이 곤란하게 될 때가 있으므로 주의하여야 한다.
- ⑤ 자분 지시모양의 상태로부터 결함의 깊이를 추정하는 것은 곤란하다.

3. 탈자

일반적으로 시험한 때와 같은 자화 방법으로 자장의 방향을 서로 반전하면서 자장의 강도를 감소시켜 탈자 하며, 이때의 자장의 강도는 자화된 때 보다도 큰 값 또는 시험품이 포화한 자화값으로 부터 영(zero)에 가깝게 하여야 한다. 또한, 탈자 후는 필요에 따라서 탈자 상태를 확인한다.

다음의 경우는 탈자 하여야 한다.

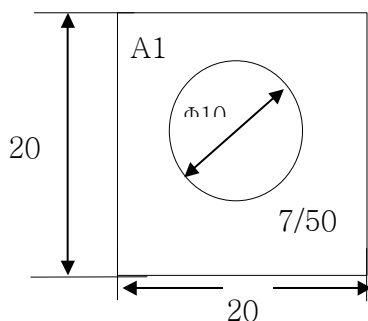
- (1) 연속하여 시험하는 자화가 전회의 자화에 의하여 나쁜 영향을 받을 염려가 있을 때
- (2) 시험품의 잔류 자기가 이후의 기계 가공에 나쁜 영향을 미칠 염려가 있을 때
- (3) 시험품의 잔류 자기가 계측 장치 등에 나쁜 영향을 미칠 염려가 있을 때
- (4) 시험품이 마찰 부분 또는 거기에 근접한 장소에 사용되는 것으로서, 마찰부분에 철분 등을 흡인하여 마모를 증가할 염려가 있을 때

4. 자분 및 검사액

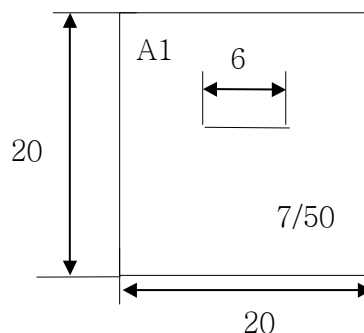
- (1) 자분은 그 적용시의 분산매의 차이에 따라 건식용과 습식용으로 나누고 다시 관찰 방법의 차이에 따라 형광자분과 비형광자분으로 분류하고, 시험체의 재질, 표면상황 및 흠의 성질에 따라 적당한 자성, 입도, 분산성, 현탁성 및 색조를 가진 것이어야 한다.
- (2) 자분의 입도는 현미경 측정방법으로 입자의 정방향 지름을 측정하고 누적체 상 20% 및 80%를 표시하는 입자지름의 범위로 나타낸다.
- (3) 습식법에는 KS M 2613에 규정하는 등유, 물 등을 분산매로 하여 필요에 따라 적당한 방청제 및 계면활성제를 넣은 검사액을 사용하고, 검사액 속의 자분 분산농도는 실제로 적용하는 위치에서의 검사액의 단위용적 중에 포함되는 자분의 무게(g), 또는 단위용적(100ml) 중에 포함되는 자분의 침전용적(ml)으로 나타내고 자분의 종류 및 입도를 고려하여 설정한다. 특히, 형광자분인 경우에는 자분의 입도 외에 자분의 적용시간 및 적용방법을 고려하여 자분 분산농도를 정하고 과잉농도를 피하여야 한다.

(4) 표준시험편

자장의 방향 및 영역의 적정성을 확인하기 위하여 KS D 0213에서 정하고 있는 시험편을 사용할 필요가 있으며 아래 그림은 그중 A형 표준시험편을 나타낸 것이다.



a) 원형 표준시험체



b) 직선형 표준시험체

[해설 그림 2.7.4] 표준시험체

라. 자분탐상기의 점검

자화전류를 설정하기 위해 사용하는 전류계 및 자화전류의 지속시간을 제어하기 위한 타이머의 점검은 적어도 년 1회하고 1년 이상 사용하지 않을 경우에는 사용 시에 점검하여 성능을 확인한 것을 사용해야 한다.

【해설】

1. 탐상기의 성능보정과 교정

- (1) 탐상 장소의 이동 시 마다 탐상기의 성능보정과 점검을 하여야 한다.
- (2) 현장탐상 전·후에 탐상기에 대한 교정과 점검은 반드시 하여야 하며, 수시로 이물질 등을 제거하여야 한다.

2. 탐상기의 점검

- (1) 현장에서 탐상기를 사용할 때도 본체와 케이블 등에 대한 점검을 수시로 실시하여 탐상기의 사용에 이상이 없도록 유지하여야 한다.
- (2) 강재 자분탐상기는 현장탐상 전·후에 본체, 전원연결 케이블 등의 점검과 탐상기에 대한 교정을 실시하여 현장시험 결과의 오차 요인을 사전에 대비하여야 한다.
- (3) 현장탐상 완료 후 탐상기에 대한 점검으로 탐상결과의 오류 등을 검토하고, 다음 사용 준비를 위한 점검으로 성능유지를 위한 지속적인 관리를 하여야 한다.

마. 자분 모양의 분류

균열에 의한 자분모양을 새로 넣고 그 밖에 독립한 자분모양, 연속한 자분모양 및 분산된 자분모양의 4종류로 대별한다.

① 균열에 의한 자분모양

흠에 의한 자분모양인지 흠에 의하지 않은 의사 모양인지를 확인함에 따라 균열로 식별된 자분모양.

② 독립한 자분모양

독립하여 존재하는 각 자분모양은 다음 2종류로 분류한다.

－ 선상의 자분모양

자분모양에서 그 길이가 나비의 3배 이상인 것.

－ 원형상의 자분모양

자분모양에서 선상의 자분모양 이외의 것.

③ 연속한 자분모양

여러 개의 자분모양이 거의 동일 직선상에 연속하여 존재하고 서로의 거리가 2mm 이하인 자분모양. 자분모양의 길이는 특별히 지정이 없는 경우, 자분모양의 각각의 길이 및 서로의 거리를 합친 값으로 한다.

④ 분산한 자분모양

일정한 면적 내에 여러 개의 자분모양이 분산하여 존재하는 자분모양.

바. 탐상 보고서

자분탐상 시험의 조작에 의해 시험결과가 크게 영향 받는 시험방법이기 때문에 시험조작의 확인을 위해 세세한 시험조건의 기록이 필요하다.

【해설】

1. 개 요

D교량은 준공 후 15년이 경과한 강교 플레이트 거더교로 하부플랜지와 덮개판 필렛 용접부의 균열발생 여부 조사를 위하여 수행하였다.

2. 탐상방법

균열을 조사하기 위하여 본 현장에서는 자분탐상시험기 MP A3를 사용하였다.

3. 탐상결과

탐상결과는 다음 사진과 같으며, 자분모양 분석결과, 이 결함은 반복하중에 의한 피로 균열로 확인되었으며, 결함길이는 340mm로 측정되었다.



[해설 사진 2.7.4] 자분탐상

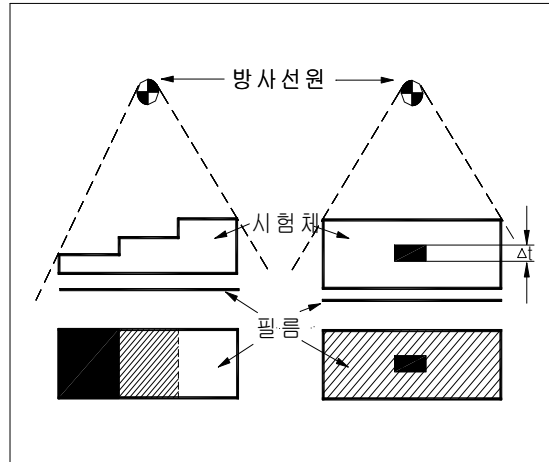
4. 방사선 투과시험에 의한 용접이음부 조사

(1) 일반

한 방향측에 방사선 발생장치를 배치하여 그 반대측에 X선 필름(방사선투과촬영에 사용하는 필름의 총칭)이 장전된 카세트를 구체면에 밀착하여 촬영한다.

X선은 물체를 투과하는 과정에서 지수 함수적으로 그 세기의 강함을 잃어 가므로 투과사진을 촬영할 때는 시험체의 두께에 따라 X선의 에너지의 세기 및 조사(노출)시간을 제어해야 한다. 에너지는 전압(관전압)에 의해, 세기는 전류(관전류)에 의해서, 또한 노출시간은 타이머에 의해 각각 제어할 수 있으며, 일반적인 휴대형의 공업용 X선 장치로는 관전류가 고정되어 있기 때문에 관전압 및 타이머에 의해 촬영조건을 제어하고 있다.

일반적으로 스틸사진이 피사체의 반사상을 찍는데 반하여 투과사진은 피사체의 투영상이다. 단, X선을 광원(선원)으로 한 경우, X선은 피사체도 투과하기 때문에 그 투과사진은 반투명한 피사체에 뒤에서 빛을 비추었을 때 반투명한 스크린 상에 얻어지는 투영상과 같다. 또한, 태양광과 같이 평행광선이면 피사체의 실태의 투영상 및 피사체 사이의 정확한 상대위치가 얻어지지만, X선을 광원으로 한 경우는 X선은 점광원으로부터 발생하는 반사광이기 때문에 얻어지는 투과사진은 기하학적으로 확대된 투영상이 된다. 따라서, 투과사진으로부터 얻어지는 정보는 피사체의 윤곽과 상대적인 밀도 및 피사체사이의 확대된 상대적인 위치관계이며, 피사체표면의 정보는 얻어지지 않는다.



[해설 그림 2.7.5] 방사선 투과시험 탐상모식도

(2) 시험방법

① 투과 사진 상질의 종류

투과 사진의 상질은 A급, B급, P1급, P2급 및 F급의 5종류로 분류하고, 강판의 맞대기 용접 이음부 및 촬영시의 기하학적 조건이 이와 동등하다고 보는 용접 이음부는 A급과 B급으로 분류하여 적용한다.

② 선원(線源)과 감광 재료의 조합

선원과 감광 재료는 투과도계의 식별 최소 선지름을 식별할 수 있도록 조합한다.

③ 조사(照射)범위의 선정

촬영시에는 조리개 또는 조사통을 사용하여 조사 범위(영역)를 필요 이상으로 크게 하지 않는 것이 바람직하다.

④ 촬영방법

(가) 방사선의 조사방향

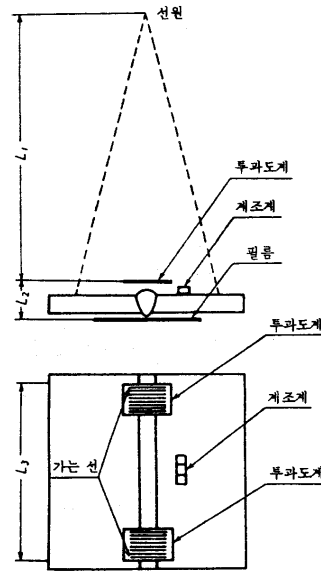
투과사진은 원칙적으로 시험부를 투과하는 두께가 최소가 되는 방향에서 방사선을 조사하여 촬영한다.

(나) 투과도계의 사용

[해설 그림 2.7.6]에 표시한 것과 같이 식별 최소선지름을 포함한 투과도계를 시험부 선원측 표면에 용접 이음부를 넘어서 시험부의 유효길이 L3의 양 끝부근에 투과도계의 가장 가는선이 위치하도록 각 1개를 둔다. 이때 가는선은 바깥쪽이 되도록 한다.

투과도계와 필름 간의 거리를 식별 최소 선지름의 10배 이상 떨어지면 투과도계를 필름에 둘 수 있다. 이 경우에는 투과도계의 각각의 부분에 F의 기호를 붙이고 투과 사진상에 필름에 둔 것을 알 수 있도록 한다.

또한 시험부의 유효 길이가 투과도계 나비의 3배이하인 경우 투과도계는 중앙에 1개만 둘 수 있다.



[해설 그림 2.7.6] 방사선 투과시험의 촬영배치

(다) 계조계의 사용

계조계는 모재의 두께가 50mm 이하인 용접 이음부에 대해서 다음 [해설 표 2.7.1]의 구분에 따라 사용하고 시험부의 유효길이의 중앙 부근에서 그다지 떨어지지 않은 경우 모재부의 필름쪽에 둔다. 다만 계조계의 값이 [해설 표 2.7.1]에 표시하는 값 이상이 되는 경우는 계조계를 선원측에 둘 수 있다.

[해설 표 2.7.1] 계조계의 적용 구분

모재의 두께(mm)	계조계의 종류
20.0 이하	15형
20.0 초과 40.0 이하	20형
40.0 초과 50.0 이하	25형

⑤ 촬영배치

선원·투과도계·계조계 및 필름의 관계 위치는 원칙적으로 [해설 그림 2.7.6]에 표시하는 배치로 한다.

(가) 선원과 필름 간의 거리 ($L_1 + L_2$)는 시험부의 선원측 표면과 필름간의 거리 L_2 의 m 배 이상으로 한다. m 의 값은 상질의 종류에 따라서 [해설 표 2.7.2]로 한다.

(나) 선원과 시험부의 선원측 표면간의 거리 L_1 은 시험부의 유효 길이 L_3 의 n 배 이상으로 한다. n 의 값은 상질의 종류에 따라서 [해설 표 2.7.2]로 한다.

(다) 시험부의 유효 길이 L_3 을 표시하는 필름 마크는 선원측에 둔다.

[해설 표 2.7.2] 계수 m 및 n의 값

상질의 종류	계수 m	계수 n
A 급	$\frac{2f}{d_f}$ 또는 6의 큰 쪽의 값	2
B 급	$\frac{3f}{d_f}$ 또는 7의 큰 쪽의 값	3

(3) 결함의 분류방법

① 결함의 종별

결함의 종류는 다음 [해설 표 2.7.3]에 따라 분류한다. 여기서 1종 결함이 제2종 결함인가의 구별이 곤란한 결함에 대하여는 그들을 제1종 결함 또는 제2종 결함으로 각각 분류하고 그중 분류번호가 큰 쪽을 채택한다.

[해설 표 2.7.3] 결함의 종별

결함의 종별	결함의 종류
제 1 종	동근 불로홀 및 이에 유사한 결함
제 2 종	가늘고 긴 슬래그 혼입, 파이프, 용입 불량, 융합불량 및 이와 유사한 결함
제 3 종	갈라짐 및 유사한 결함
제 4 종	텅스텐 혼입

② 결함 점수

제1종의 결함 점수 및 제4종의 결함 점수를 구하는 방법은 다음에 따른다.

- (가) 결함 점수는 [해설 표 2.7.4]에 표시한 시험 시야를 설정하여 측정한다. 결함이 시험 시야의 경계선상에 위치한 경우는 시야 외의 부분도 포함되어 측정한다.
- (나) 시험 시야는 시험부의 유효 길이 중에서 결함 점수가 가장 커지는 부위에 적용한다.
- (다) 제1종 결함이 1개인 경우의 결함점수는 결함이 긴지름의 치수에 따라서 [해설 표 2.7.5]의 값을 사용한다. 다만 결함의 긴지름이 [해설 표 2.7.6]에 표시한 값 이하의 것은 결함 점수로서 산정하지 않는다.
- (라) 제4종 결함은 제1종 결함과 같이 점수를 구한다. 다만 결함 점수는 결함의 긴지름의 치수에 따라 [해설 표 2.7.5]의 값의 1/2로 한다.
- (마) 결함이 2개 이상인 경우의 결함 점수는 시험 시야 내에 존재하는 각 결함의 결함점수의 합으로 한다.
- (바) 제1종 결함과 제 4종 결함이 동일 시험 시야 내에 공존하는 경우는 양자 점수의 합을 결함 점수로 한다.

[해설 표 2.7.4] 시험 시야의 크기

(단위 : mm)

모재의 두께	25이하	25초과 100이하	100초과
시험 시야의 크기	10×10	10×20	10×30

[해설 표 2.7.5] 결함 점수

(단위 : mm)

결함의 긴 지름	1.0 이하	1.0 초과 2.0 이하	2.0 초과 3.0 이하	3.0 초과 4.0 이하	4.0 초과 6.0 이하	6.0 초과 8.0 이하	8.0 초과
점 수	1	2	3	6	10	15	25

[해설 표 2.7.6] 산정하지 않는 결함의 치수

(단위 : mm)

모재의 두께	결함의 치수
20 이하	0.5
20 초과 50 이하	0.7
50 초과	모재 두께의 1.4%

③ 결함의 길이

결함의 길이는 제2종 결함길이를 측정하여 결함길 이로 한다. 다만 결함이 일직 선상에 존재하고 결함과 결함의 간격이 큰 쪽의 길이 이하의 경우는 결함과 결 함 간격을 포함하여 측정한 치수를 그 결함군의 결함 길이로 한다.

④ 결함의 분류

(가) 제 1종 및 제 4종의 결함 분류

투과사진에 의하여 검출된 결함이 제1종 및 제4종 결함인 경우의 분류는 다음 [해설 표 2.7.7]의 기준에 따라 하는 것으로 한다. 표 중의 숫자는 결함 점수의 허용 한도를 표시한다. 다만 결함의 긴 길이가 모재 두께의 1/2을 넘을 때는 4류로 한다. 또한 결함의 길이가 [해설 표 2.7.6]에 표 시한 값 이하의 것이라도 1류에 대해서는 시험 시야 내에 10개 이상 없 어야 한다.

[해설 표 2.7.7] 제 1종 및 제 4종의 결함 분류

(단위 : mm)

분 류	시험시야				
	10×10		10×20		10×30
	모재의 두께				
	100이하	10초과 25이하	25초과 50 이하	50 초과 100이하	100초과
1류	1	2	4	5	6
2류	3	6	12	15	18
3류	6	12	24	30	36
4류	결함 점수가 3류 보다 많은 것				

(나) 제 2종의 결함 분류

투과사진에 의한 결함이 제2종의 결함인 경우의 분류는 [해설 표 2.7.8]의 기준에 따라 하는 것으로 한다.

표 중의 값은 결함 길이의 허용 한도를 표시한다. 다만 1류로 분류된 경우에도 용입 불량 또는 융합 불량이 있으면 2류로 한다.

[해설 표 2.7.8] 제 2종의 결함 분류

분 류	모재의 두께		
	12이하	12초과 48미만	48이상
1 류	3 이하	모재 두께의 1/4 이하	12 이하
2 류	4 이하	모재 두께의 1/3 이하	16이하
3 류	6 이하	모재 두께의 1/2 이하	24 이하
4 류	결함 길이가 3류보다 긴 것		

(다) 제 3종의 결함 분류

투과사진에 의하여 검출된 결함이 제3종의 결함인 경우의 분류는 4류로 한다.

(라) 종합 분류

시험부의 유효길이를 대상으로 하여 결함의 종별마다 분류한 결과에 따라 결정한 종합 분류는 다음에 따른다.

- 결함의 종별이 1종류인 경우는 그 분류를 종합분류로 한다.
- 결함의 종별이 2종류 이상의 경우는 그 중의 분류번호가 큰 쪽을 종합분류로 한다. 다만 제 1종의 결함 및 제 4종 결함의 시험 시야에 분류의 대상으로 한 제2종의 결함이 혼재하는 경우에 결함 점수에 의한 분류와 결함의 길이에 의한 분류가 같은 분류이면 혼재하는 부분의 분류는 분류 번호를 하나 크게 한다. 이때 1류에 대해서는 제1종과 제4종의 결함이 각각 단독으로 존재하는 경우 또는 공존하는 경우

의 허용 결함 점수의 1/2 및 제2종 결함의 허용 결함 길이의 1/2를 각각 넘는 경우에만 2류로 한다.

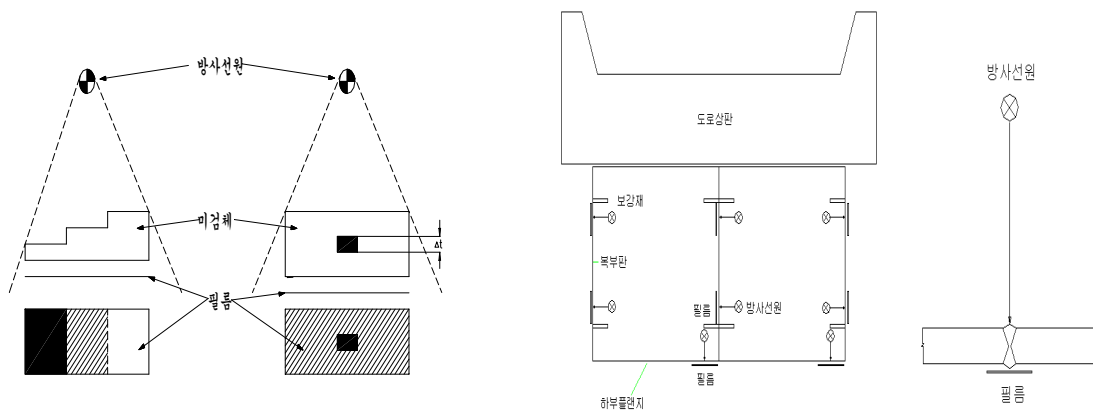
(4) 강재 용접 이음부의 방사선 투과시험 사례

① 개 요

본 교량은 총 19경간 3연속교의 강상판형교로서 4련으로 구성되어 있으며, 강재조사 부위는 하부플랜지에 존재하는 맞대기용접부에 대하여 방사선투과시험을 시행하였다.

② 탐상방법

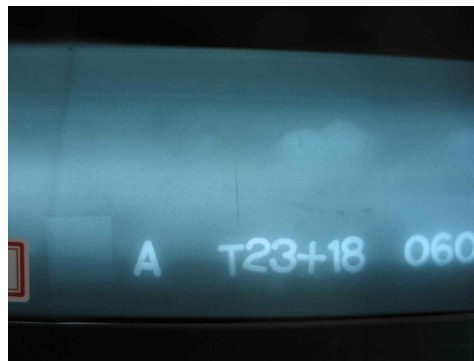
촬영은 KS-B-0845(강 용접부의 방사선 투과시험 방법 및 투과사진 등급분류 방법)를 기준으로 [해설 그림 2.7.7]과 같이 촬영하였다.



[해설 그림 2.7.7] 방사선투과 촬영방법

③ 탐상결과

방사선투과조사는 108개소를 조사, 23개소가 불합격이며, 군집기공 11개소, 슬래그 혼입 7개소, 용합불량 3개소, 용입부족 2개소로 나타났다. 방사선투과 시험에 의한 사진의 사례를 아래 [해설 사진 2.7.5]에 나타내었다.



[해설 사진 2.7.5] 방사선 투과시험에 의한 결과 판독

안전점검 및 정밀안전진단 세부지침 해설서(공통편)

발행 한국시설안전공단

2011년 12월 일 초판

* 본 세부지침해설서의 내용에 관한 질의 및 건의 사항은
한국시설안전공단으로 연락하여 주시기 바랍니다.

한국시설안전공단 (http://www.kistec.or.kr)
(우) 411-758 경기도 고양시 일산서구 고양대로 315 대표전화 1599-4114, 031-910-4114

본 세부지침해설서 및 다른 해설서 내용은
공단홈페이지에서 다운로드 받으실 수 있습니다.

공 통 편				2011. 12
시설물편	제 1 장	교	량	2011. 12
	제 2 장	터	널	2011. 12
	제 3 장	댐		2011. 12
	제 4 장	항	만	2011. 12
	제 5 장	상	수 도	2011. 12
	제 6 장	하	구 독	2012. 12 (예정)
	제 7 장	수	문	2012. 12 (예정)
	제 8 장	제	방	2012. 12 (예정)
	제 9 장	하수처리장		2012. 12 (예정)
	제 10 장	건	축 물	2011. 12
	제 11 장	옹	벽	2012. 12 (예정)
	제 12 장	절	토 사 면	2012. 12 (예정)