

제3장 현장조사 및 시험

3.1 외관조사

3.2 내구성시험

제3장 현장조사 및 시험

3.1 외관조사

본 과업은 대상 시설물의 물리적, 기능적 결함을 발견하고 안전성을 판단함을 목적으로 교량 부재 전체에 대하여 근접한 상태에서 육안조사를 실시함을 원칙으로 하였다. 사전 현장답사를 통해 주변 교통여건을 파악하여 현장접근에 필요한 점검차 등 장비동원과 일정계획을 수립하여 교량의 외관 상태를 정밀하게 조사하였다.

외관조사는 『안전점검 및 정밀안전진단 세부지침(교량편, 국토교통부, 한국시설안전공단 2010.12)』에 의거 실시하였으며, 주요부재(바닥판, 거더, 하부구조, 교량받침, 신축이음 등) 및 보조부재에 대해 현 상태를 면밀히 조사하여 교량의 안전성을 저해할 만한 구조적 결함의 유무를 중점적으로 수행하였다.

또한, 기 점검 자료를 분석하여 기존 손상의 진전 및 신규 발생, 보수부 재손상을 조사하였으며, 과업지시서 내용을 충분히 반영하여 부재 및 경간별 손상정도(길이, 방향 폭, 깊이)를 정확히 파악하고 이를 바탕으로 외관조사망도 및 손상 물량표를 작성하여 상태평가, 보수·보강 및 유지관리방안의 기초자료로 활용하였다.

3.1.1 부위별 주요 항목조사

<표 3.1> 부위별 주요 조사항목

부재명	점검부위	주요 조사항목	비고
교면포장	◦공 통	◦균열(미세, 선상, 격자형) ◦소성변형(요철, 바퀴자국, 단차) ◦포트홀 ◦노면잡물(구배불량)	
	◦신축이음 전후, 구조물 경계부	◦단차, 침하	
	◦배수구 주변	◦물고임(배수구 간격, 유출구 위치)	
배수시설	◦배수구	◦파손, 누락 ◦누수, 체수(막힘) ◦오염(이물질 퇴적)	
	◦배수관	◦파손(연결 고정부 탈락) ◦배수관 길이부족(거더에 물 떨어짐) ◦유출구 위치 부적절	

<표 3.1> 부위별 주요 조사항목(계속)

부재명	점검부위	주요 조사항목	비고
방호벽	◦철근콘크리트	◦균열(부모멘트부 균열, 침하균열) ◦박리, 박락, 철근노출, 파손(충돌)	
바닥판	◦공 통	◦박리, 박락, 층분리, 철근노출, 파손 ◦백태, 오염 ◦재료분리	
신축이음	◦본 체	◦누수, 오염(배수시설 누락, 이물질퇴적) ◦유간(부족 또는 과다) ◦이상진동(충격음) ◦본체 유동 및 파손(충격음, 흔들림) ◦방수재(씰재) 파손 - 노면수 유입	
	◦후타재	◦균열, 파손(패임 및 요철) ◦전·후의 단차(교면포장과의 단차)	
교량받침	◦본 체	◦부식(오물퇴적), 변형 ◦균열, 파손 ◦가동받침의 유간부족 및 가동 장애요소 ◦받침과 거더의 밀착상태(분리) ◦앵커볼트 파손(절단) ◦가동방향 오류, 편기설치 ◦부속물 파손	
	◦받침대	◦균열, 파손 ◦부분침하	
강거더	◦공 통	◦변형, 균열, 파손 ◦표면(도장)상태 오염, 부식 ◦이상처짐 ◦연결부 볼트 이완, 파손, 이상음	
	◦받침부	◦복부판 부식 및 국부좌굴 ◦박스내부 출입구 개폐 ◦거더와 받침연결부 부식 ◦박스내부 바닥 물고임 및 부식	
	◦중앙부	◦맞대기 용접부 균열 ◦플랜지 변형 및 처짐 ◦다이하프램 연결부 균열	
	◦2차부재	◦거더와의 연결부 균열	
	◦보수부위	◦용접부 및 용접부 주변 균열	

〈표 3.1〉 부위별 주요 조사항목(계속)

부재명	점검부위	주요 조사항목	비고
교 대	◦공 통	◦균열(시공이음부 횡방향 균열) ◦박리, 박락, 층분리, 백태, 파손, 철근노출 ◦교대회전	
	◦두 부	◦두부 물고임 ◦두부와 홍벽 경계부 균열 ◦거더와 홍벽 신축유간 부족	
	◦벽 체	◦균열(수직균열) ◦벽체와 날개벽 분리(이동)	
교 각	◦공 통	◦균열 박리, 철근노출, 파손 ◦침하	
	◦두 부	◦두부 물고임 ◦받침 하부 균열 및 파손(박리, 박락)	
	◦구 체	◦수직균열 ◦이동 또는 기울음	

3.1.2 외관조사방향 설정

외관조사는 현장답사를 통해 접근방법 및 안전조치사항 등을 결정하고, 예비조사를 통해 세부적인 외관조사방법을 결정하여 외관조사를 시행하였다.

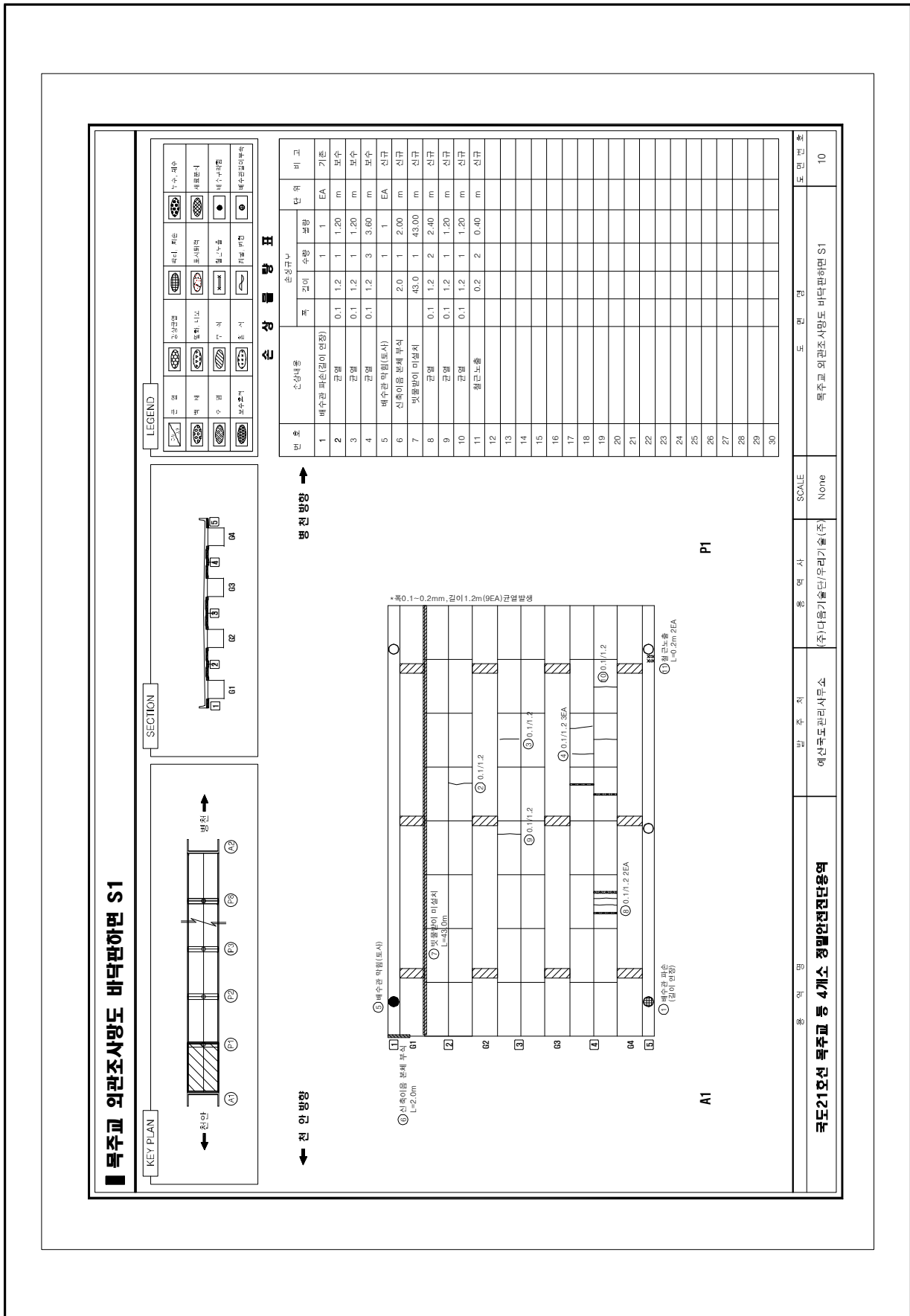
〈표 3.2〉 외관조사 방향

구 분	외관조사 방향
현장답사	◦현장접근에 필요한 고소차 등의 접근방법, 장비동원과 일정계획을 수립 ◦예비조사를 통해 교량에 발생된 주요 결함을 형태별로 분류 ◦결함 및 손상의 발생 원인을 추정하고 조사방향 결정 ◦현장조사 안전조치 사항
예비조사 및 감독관협의	◦교면포장 망상균열, 균열, 소성변형 등의 결함 발생 현황 ◦방호벽 철근노출 등으로 인한 내구성 저하 여부 ◦신축이음장치의 토사퇴적, 후타재 손상 발생 현황 ◦바닥판하면 손상 발생 현황 ◦거더에 발생된 도장손상, 용접불량(PIT, 용접누락) 발생 현황 ◦하부구조의 손상 현황 ◦받침장치의 이동량 측정, 기능성 여부 및 손상 발생 현황 ◦신축이음부의 손상 및 유간측정, 차수기능 저해 여부 확인

3.1.3 외관조사망도 작성방향

외관조사망도 작성은 최근에 실시한 2014년 정밀점검 외관조사망도를 기준으로 손상의 진행 및 보수여부를 파악하기 위하여 전회와 금회 표기 모양을 달리 사용하여 각 손상의 조사 시기를 파악 할 수 있도록 아래와 같이 구분하여 표기하였다.

〈그림 3.1〉 외관조사 작성 예(바닥판 상면)



〈그림 3.2〉 외관조사 현황

	
교량점검차를 이용한 현장조사 ①	교량점검차를 이용한 현장조사 ②
	
사다리를 이용한 현장조사 ①	사다리를 이용한 현장조사 ②
	
단면 제원 조사	도보 점검

3.2 내구성 시험

3.2.1 개 요

본 과업 구조물의 상태평가를 적절히 수행하기 위해서는 정밀점검의 목적에 부합하는 내구성 조사 및 시험을 실시하여야 하며, 이를 통해 3.1에서 기술한 외관조사 내용과 함께 재료시험은 구조물에 열화 손상이 이미 현저하게 진행되었을 경우 열화의 정도 및 그 원인 관계를 조사하고 보수·보강 여부를 판정하기 위함이며, 아직 열화 손상이 없거나 경미한 구조물은 내구성 조사에 의해서 향후 열화 경향을 예측하고 예방보전을 검토하기 위한 자료를 수집하는 것을 목적으로 한다.

내구성 조사 및 시험은 구조물의 특성을 간접적으로 측정하는 방법으로 사용장비 및 측정방법, 적용한계 등을 고려하여 사용법을 충분히 숙지한 자가 검·교정을 필한 장비를 사용하여 실시한다.

〈표 3.3〉 내구성조사 항목 및 계획

내구성 조사 항목	조 사 방 법	조 사 내 용	비고
콘크리트 압축강도	반발경도법	- 슈미트햄머로 반발경도를 측정하여 콘크리트 강도를 측정	
	초음파 속도법	- 초음파 전달속도를 측정하여 콘크리트 강도를 측정	
	코어 채취	- 채취한 코어시료를 이용하여 콘크리트 강도를 측정	
철근탐사	전자파법	- 배근된 철근의 간격 및 피복두께 추정	
탄산화	페놀프탈레인 용액 이용	- 콘크리트 표면을 드릴링하고 그 구멍에 페놀프탈레인 용액을 분사하여 공용년수에 대한 탄산화상태 조사	
균열 깊이	초음파 속도	- 건전부와 균열부에 대해 초음파 속도를 측정하여 균열 깊이 추정	
철근부식도	전위차 측정	- 전위차를 이용하여 전압을 측정한 결과로부터 등전위 선도를 나타내어 철근 부식 확률을 추정	
염화물 함유량	염화물함유량 시험	- 구조물내 환산염화물 함유량을 측정하여 내구성평가의 기초자료로 활용	
강재 용접부 조사	초음파탐상시험 (UT)	- 초음파를 이용하여 맞대기 용접부 내부의 결함유무를 판정	
	자분탐상시험 (MT)	- 필렛 용접부에 자분이 응집되는 것을 관찰하여 결함유무를 판정	

3.2.2 반발경도

가. 개 요

반발경도법은 콘크리트 표면의 경도로부터 콘크리트의 압축강도를 추정하는 방법으로 측정방법 및 적용 가능한 강도 범위, 판정식 및 판정의 평가방법에 대한 고려가 강도를 판정하는 과정에서 필요하다.

(1) 원 리

반발경도의 원리는 슈미트 햄머로 경화 콘크리트를 타격시 반발경도(R)과 콘크리트 압축강도(f_{ck})와의 사이에 특정관계가 있다는 실험적 경험을 기초로 한다.

슈미트 햄머는 대상물의 표면에서 직접 측정한 반발경도(R)에 타격각도에 따른 보정값(ΔR)을 고려하여 수정 반발경도(R_o)를 구하고, 이 값으로부터 재령에 대한 영향을 보정한 후 제안되고 있는 여러 산출식을 적용하여 콘크리트 강도를 산출한다. 일반적으로 타격시의 반발경도는 타격에너지 및 타격체의 형상, 크기, 재료의 물리적 특성과 관계되는 물리량에 따라 다르다.

즉, 반드시 재료의 강도와 일률적인 관계가 성립되는 것은 아니며 콘크리트와 같은 불균질한 재료에서는 슈미트 햄머로 표면에서 국부적 타격을 하는 경우에 반발경도는 타격면에서 존재하는 골재의 유무, 습윤 상태, 콘크리트의 재령 등에 따라 차이가 있으므로 콘크리트 구조체 내부의 강도를 명확히 측정하기는 곤란하다.

(2) 측정기 종류의 선정 및 검정

보통 콘크리트의 경우는 N형과 NR형이 일반적으로 사용되며, 반발경도를 직접 읽는 N형이 있으며, NP형은 반발경도를 숫자로 기록하므로 측정치의 기록과 처리가 정확하며 간단하다. ND형은 실제의 반발경도를 직접 읽을 수 있으므로 개인의 측정오차가 없으며 간단, 정확, 신속하게 구조체 시험을 실시할 수 있다.

초기강도 등을 추정하는 경우는 저장도용 P형이 사용되며, L형은 경량콘크리트용, M형은 매스콘크리트용으로 사용되고 있다.

슈미트 햄머에 의한 콘크리트 강도 추정법은 그 목적에 대응하는 적절한 기종을 사용할 필요가 있으며, 또한 각 기종의 강도 측정범위가 아래 표에 나타나 있으므로 이를 이용하여야 한다. 본 과업에서는 N형을 이용하였다.

〈표 3.4〉 슈미트 햄머의 종류

기 종	충격에너지 (kg·m)	강도측정범위 (kg/cm ²)	자중 (kg)	비 고
N형 (보통콘크리트용)	0.225	150 ~ 600	1.0	반발경도R을 직접 읽음
NR형 (보통콘크리트용)	0.225	150 ~ 600	1.4	반발경도R을 자동 기록
NP형 (보통콘크리트용)	0.225	150 ~ 600	1.6	반발경도R을 자동 기록
ND형 (보통콘크리트용)	0.225	150 ~ 600	1.6	반발경도R이 디지털 표 시기에 나타남
MTC형 (보통콘크리트용)	0.225	150 ~ 1,000	1.6	콘크리트 압축강도기록
P형 (저강도콘크리트용)	0.09	50 ~ 150	2.7	전자식 초기강도 추정
L(R)형 (경량콘크리트용)	0.075	100 ~ 600	1.2	자동기록
M형 (매스콘크리트용)	3.0	600 ~ 1,000	12.0	댐이나 활주로 등의 매스콘크리트용

(3) 측정 방법

① 측정개소의 측정

- 두께 10cm 이하의 판재, 1변이 15cm 이하인 단면의 기둥·보 등 작은 치수의 부재는 피한다.
- 측정면은 균질하고 평활한 평면부를 고른다.

② 반발경도 측정방법

- 측정대상 면에 도장이 되어 있는 경우는 이것을 제거하여 콘크리트 면을 노출시킨다. 측정부위에 대하여 연마석을 이용하여 콘크리트 면을 편평하게 갈아낸 후 분말 및 기타 부착물을 없앤 뒤에 측정한다.
- 타격은 수직면에 직각으로 서서히 힘을 가하며 한다.
- 1개소의 측정은 모퉁이에서 3cm이상 들어간 곳에서 가로, 세로 3cm 간격의 가로 4줄, 세로 5줄의 교차점 20점에 대하여 타격하여 데이터를 획득한다.
- 측정된 20개의 데이터중 타격시 반향음이 이상하거나 타격치의 $\pm 20\%$ 를 상회하는 경우는 이상치(Error)로 보고 제외시킨다. 이상치를 제외시킨 측정치의 평균을 그 측정개소의 반발경도(R)로 한다.

③ 타격방향

타격방향은 수평방향이 일반적이나, 수평 이외의 타격시에는 반발경도(R)가 중력에 의해 변화하는 것을 보정하기 위하여 타격각도에 따른 보정치를 구하여 보정하여야 한다.

〈표 3.5〉 타격방향에 따른 보정치

반발경도 R	수 평 과 이 루 는 각 도				비 고
	+90° (상향 수직)	+45° (상향 경사)	-45° (하향 경사)	-90° (하향 수직)	
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	-2.1	+2.0	+2.7	
50	-3.1	-2.7	+1.6	+2.2	
60	-2.3	-1.6	+1.3	+1.7	

④ 콘크리트 강도의 환산

ㄱ. 콘크리트 재령에 따른 콘크리트 압축강도의 보정

장기재령의 콘크리트 강도추정에 있어 일반적으로 적용되는 관계식이나 도표에서 재령에 따른 보정계수를 적용할 필요성이 있다.

일반적으로 수년이 경과한 콘크리트 구조물은 표면강도가 높기 때문에 재령 28일의 압축강도로 수정하여야 하며, 수정계수는 다음과 같다.

〈표 3.6〉 재령에 의한 보정표

재령	4일	5일	6일	7일	8일	9일	10일	11일	12일	13일
α	1.90	1.84	1.75	1.72	1.67	1.61	1.55	1.49	1.45	1.40
재령	14일	15일	16일	17일	18일	19일	20일	21일	22일	23일
α	1.36	1.32	1.28	1.25	1.22	1.18	1.15	1.12	1.10	1.08
재령	24일	25일	26일	27일	28일	29일	30일	32일	34일	36일
α	1.06	1.04	1.02	1.01	1.00	0.99	0.98	0.96	0.95	0.95
재령	175일	200일	250일	300일	400일	500일	750일	1000일	2000일	3000일
α	0.73	0.72	0.71	0.70	0.68	0.67	0.66	0.65	0.64	0.63

ㄴ. 강도의 환산

보통 콘크리트용 슈미트햄머를 이용한 반발경도에 의한 강도를 추정하는데 사용되는 판정식은 다음 두 식을 이용하였으며, 이 두 값의 평균값을 설계강도와 비교하였다.

◆ $F_c = 1.27R_0 - 18.0 \text{ MPa}$ (일본 재료학회) - 공식 1

◆ $F_c = (7.3R_0 + 100) \times 0.098 \text{ MPa}$ (일본건축학회) - 공식 2

여기서, F_c : 추정강도(MPa), R_0 : 반발경도

(4) 평가기준

평가기준 : 비파괴 추정식으로 평가된 강도가 설계강도의 90%이상이면 적정

(일본 국토개발기술연구센터)

나. 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.

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

여기서, R_{pr} : 코어 압축강도(MPa)

R_{st} : 반발경도시험에 의해 추정된 비파괴강도(MPa)

k : 자료의 개수

3.2.3 초음파 강도

가. 시험 개요

초음파 속도시험은 콘크리트의 균질성, 내구성 등의 판정 및 강도의 추정 등에 이용된다. 그러나, 콘크리트 중의 음속은 측정조건, 사용골재의 종류, 양, 콘크리트의 함수상태, 내부 철근의 양과 배합 등 많은 요인의 영향을 받으므로 음속만으로 콘크리트 압축강도의 정도를 양호하게 추정하는 것은 곤란한 경우가 많다. 단지, 주요 조건이 유사한 경우는 음속과 강도 사이에 거의 일정한 상관성이 보여, 어느 정도의 강도 추정은 가능하다. 그러므로, 음속법에 의한 콘크리트 강도 추정에 있어서는 대상으로 하는 콘크리트에 대한 가능한 많은 정보를 입수하여 강도의 추정에 반영시키는 것이 바람직하다.

(1) 시험 목적

콘크리트의 강도, 노후화 현상 및 균열의 깊이를 조사함을 목적으로 한다.

(2) 시험 장비

◆ Pundit7(Portable ultrasonic Non-Destructive Indication tester)system

(3) 시험 방법

① 측정 준비

- 측정면은 평탄한 곳, 균열이 없는 곳을 선정한다.
- 도장된 곳이나 덧씌운 곳은 제거
- 요철, 공극, 자갈 노출부는 회피
- 그라인더로 요철, 분말 등을 제거
- 측정부위의 종·횡방향으로 최소 50cm 이상 그라인딩

② 측정 방법

- 측정 대상면에 접촉제(그리스)를 바르고 발·수진자를 밀착하여 측정한다.

- 측정 전 측정기의 전원을 10~20분간 켜놓고 안정된 상태에서 측정한다.
- 측정 전 Calibration Bar를 이용하여 0점 조정을 실시한다.
- 측정위치에서 종·횡방향으로 측정을 실시한다.
- 측정시 발진자를 고정하고 수신자를 이동하며 측정한다.
- 측정거리(표면법의 경우 : 탐촉자간의 간격)
- 콘크리트의 이질적인 성질이 시험에 영향을 미치지 않도록 충분히 길어야 한다.
- 굽은골재의 최대치수가 20mm 미만의 경우 측정거리는 100mm 이상
- 굽은골재의 최대치수가 20~40mm의 경우 측정거리는 150mm 이상

(4) 평가 방법

강도 추정은 측정된 자료를 분석하여 전파속도를 결정하고, 현장에 적합한 강도 추정식을 선정하여 평가하도록 한다.

$$\diamond F_c = (215V_d - 620) \times 0.098 \text{MPa} \text{ (일본 건축학회식) - 공식 1}$$

$$\diamond F_c = (102V_d - 117) \times 0.098 \text{MPa} \text{ (일본 재료학회식) - 공식 2}$$

여기서, F_c : 콘크리트의 압축강도(MPa)

V_d : 초음파 전달속도로써, $V_d \simeq 1.05 V_i$ (km/sec)

(5) 판정기준

초음파에 의한 콘크리트 비파괴 강도는 재료의 매질, 공극, 균열, 철근 배근상태에 따라 다소 차이가 있다. 따라서, 이는 콘크리트의 강도 측정정보는 재료의 결함 및 시공 상태에 초점을 두어야 할 것이다.

비파괴 추정식으로 평가된 강도가 설계기준강도의 90% 이상을 만족하면 적정한 것으로 판단한다. (일본 국토개발기술연구센터)

$$\text{평가기준} : \frac{f_{\text{비파괴}}}{f_{\text{설계기준}}} \geq 0.90 \quad \text{-----} \quad \text{건전}$$

나. 코어강도를 고려한 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} : 반발경도시험에 의해 추정된 비파괴강도(MPa)

k : 자료의 개수

3.2.4 코어 압축강도 시험

가. 개 요

이 방법은 현장에서 코어를 채취하여 콘크리트의 압축강도를 추정하는 국부파괴시험으로 비파괴시험과는 구별되지만 구조물의 실제 강도를 추정하는데 신뢰도가 가장 높다. 현장조사에서 필요한 수량만큼 코어를 채취하는 것은 구조물에 나쁜 영향을 끼칠 수 있기 때문에 비파괴시험에서 도출회귀식과 상관계수 적용에 필요한 수량만을 채취하며, 코어는 콘크리트의 각종 물성과 강도시험을 실시하고, 통상 비파괴시험에 의한 분석 자료와 비교·분석한다.

(1) 시험방법

- 압축강도시험은 코어의 높이/직경 비가 “2” 이상이 되도록 하는 것이 바람직하다.
- 양쪽 단면은 마감불량이나 축선 불일치에 의한 강도저하 등의 시험오차를 줄이기 위하여 유황 등을 사용하여 코어 축선에 직각이 되도록 Capping한다.
- 일반적으로 코어강도는 공시체 강도에 비해 약 10%정도 강도가 낮게 평가되므로 대상 부재의 강도평가지 이를 고려하여야 한다.
- 강도시험은 KSF 2422-2002(콘크리트 압축강도 시험방법)에 의하여 실시하였다.

(2) 보정계수

영향인자	보 정
◦ 반복시험	◦ 영향무시
◦ 콘크리트강도 및 공시체의 건조상태	◦ 보통강도 수준에서는 20% 감소 ◦ 고강도 수준에서는 21%감소
◦ 시험시 코어의 건습상태	◦ 시험전 48시간 수중침적 공시체 강도기준 - 기건상태 10% 증가 - 수침 8시간 5% 증가 - 수침 24시간 1.5% 증가 - 수침 7일 1%감소 * 최소 24시간이상 수침 실시
◦ 공시체 직경의 영향	◦ 직경 10cm×길이 20cm기준 - 직경 7.5cm×길이 15cm는 2.4%강도증가 - 직경 15cm×길이 30cm는 3.2%강도감소
◦ 코어시험기 영향	◦ 무시가능

〈표 3.7〉 코어 압축강도 영향인자

〈표 3.8〉 높이와 직경의 비영향

높이/직경	보정율	높이/직경	보정율
2.00	1.00	1.25	0.93
1.75	0.98	1.10	-
1.50	0.96	1.00	0.89

① 코어채취방향

- 콘크리트 타설방향 기준 직각인 경우 5% 강도저하

② 공시체 절단 단면형상

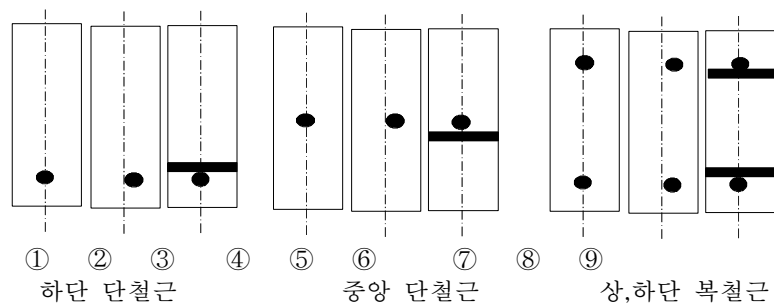
- 상하부 단면형상 차이가 5mm이내의 경사면 무시 가능

③ 코어채취시 토오크 영향

- 토크가 1.5kg·m이하이면 영향없음
- 토크가 1.8kg·m이상이면 5%감소
- 토크가 2.0kg·m이상이면 10%감소

④ 철근배근의 영향

- ①, ②, ③ 배근시 영향무시
- ④, ⑤, ⑥ 배근시 17%강도저하
- ⑦ 배근시 15%강도저하
- ⑧ 배근시 20%강도저하 (편심량 25mm)
- ⑨ 배근시 30%강도저하



(3) 평가기준

〈표 3.9〉 압축강도 시험결과 평가

압축강도 값	평 가	비 고
코어 공시체의 평균값이 fck의 85%에 달하고, 코어 각각의 강도가 fck의 75%보다 작지 않은 경우	건 전	콘크리트 구조설계기준 (국토해양부, 2011)
위의 조건에 해당하지 않는 경우	구조적인 검토 필요	

3.2.5 철근탐사

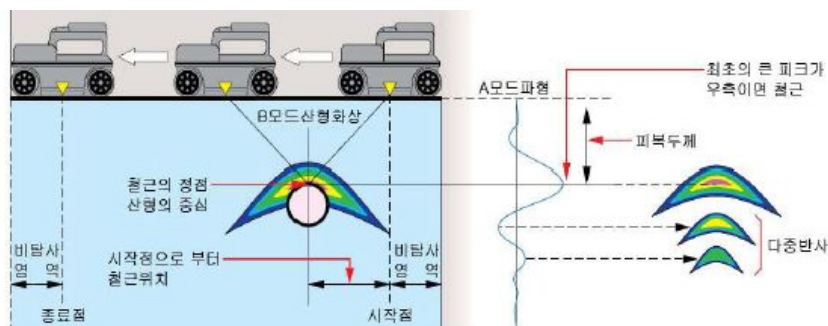
가. 개 요

전자파 레이더법은 콘크리트 구조물 내의 매설물 및 콘크리트 성상(부재두께 · 공동 등) 조사방법의 하나로서 취급이 간단하면서 단시간에 광범위한 조사가 가능하고 특별한 자격 · 면허 등을 필요로 하지 않으며 바로 결과가 얻어지는 방법이다. 그러나 간편한 방법이지만 면서도 작업자의 기량과 경험에 의존하는 경향이 많은 방법이기도 하다.

(1) 원 리

전자파 레이더의 원리는 현재 넓게 이용되고 있는 레이더와 기본적으로 같다. 콘크리트용 전자파 레이더는 임펄스상의 전자파를 콘크리트 내로 송신안테나로부터 방사하면 그 전자파가 콘크리트와 전기적 성질(비유전율 · 도전율)이 다른 물체(철근 · 매설관)와의 경계면에서 반사한다. 이를 수신 안테나로 수신하고, 그에 소요되는 왕복 전파시간으로부터 반사물체까지의 거리(D)를 계산하면 그 위치를 구할 수 있다.

$$D = \frac{1}{2} VT \text{ (m)}$$



〈그림 3.10〉 RC-Radar 원리

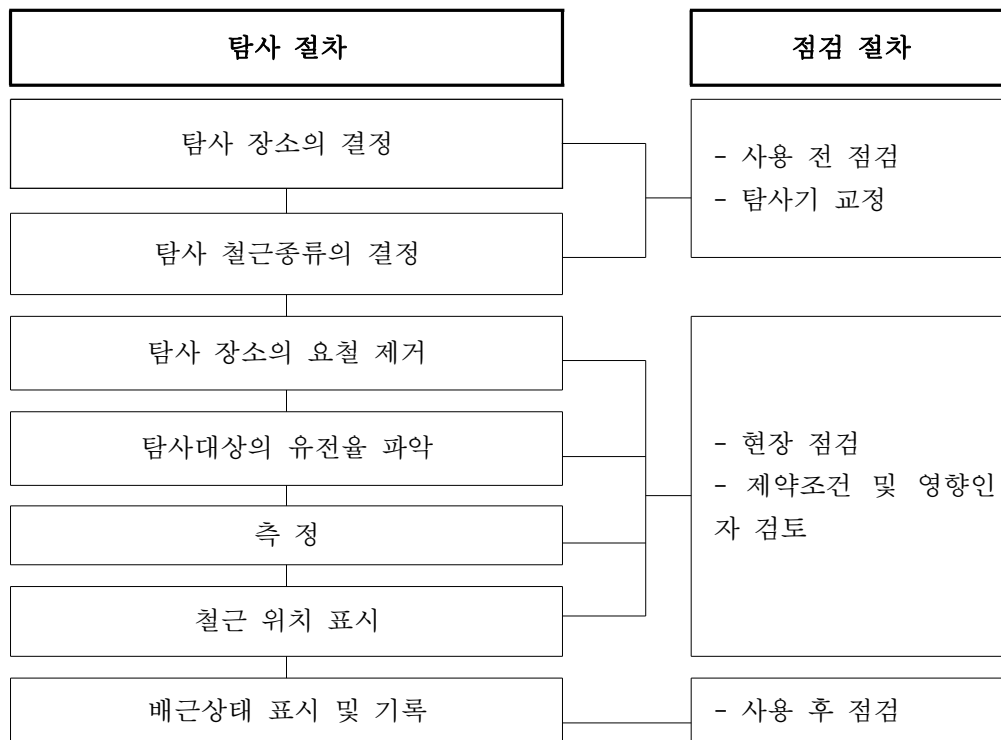
(2) 장 비

- 장비명 : 철근탐사기(RC-Radar)
- 모델명 : NJJ-53B
- 제작사 : 일본, 일본무선(주)

(3) 탐사 방법

- 측정대상 구조물의 측정하고자 하는 지점의 표면에 안테나를 밀착시키고 수평 및 수직 방향으로 진행시킨다.
- 안테나의 진행속도는 0.4m/s 이하를 유지한다.
- 화면을 필터링하여 철근 배근상태와 철근 피복두께를 확인한다.

(4) 탐사 절차



〈그림 3.11〉 RC-Radar 탐사절차

(5) 탐사결과 분석

- 철근의 피복두께 및 배근상태를 준공도면과 비교하여 적정성여부를 판단한다.
- 실측된 철근배근 간격과 피복두께는 평균적인 개념으로 판단한다.

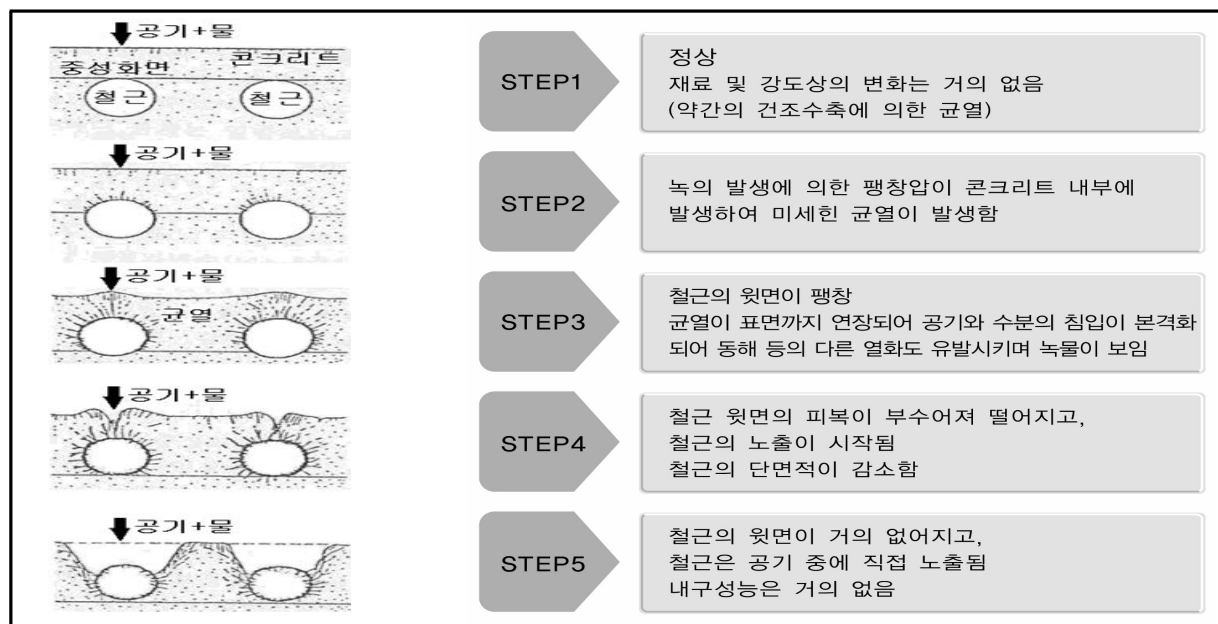
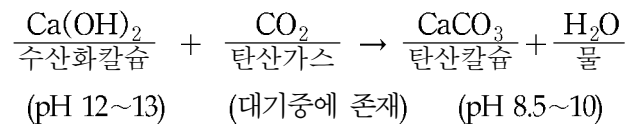
3.2.6 탄산화

가. 개 요

건전한 콘크리트는 경화시멘트 풀의 수산화합물 중 약 25%를 차지하는 수산화칼슘($\text{Ca}(\text{OH})_2$)의 영향으로 pH가 12~13인 강알칼리성을 나타낸다. 그러나 콘크리트가 대기 중에 노출되면 대기 중에 약 0.035% 포함되어 있는 약산성의 탄산가스(CO_2)와 수산화칼슘이 반응하여 탄산칼슘(CaCO_3)으로 환원되면서 표면부터 콘크리트의 pH가 서서히 10이하로 낮아지는데 이를 탄산화라고 정의한다.

이와같이 콘크리트가 탄산화가 되면 철근표면의 부동태 피막이 파괴되어 철근이 부식됨으로써 콘크리트의 내구성이 저하된다.

탄산화시험은 드릴링한 콘크리트면에 페놀프탈레인 1%를 섞은 알코올 용액을 분무한다. 탄산화된 콘크리트는 무색 반응을 보이는 반면에 탄산화가 진행되지 않은 건전한 콘크리트는 적색으로 변하게 되므로 탄산화의 유무를 판단할 수 있다.



〈그림 3.12〉 탄산화에 의한 철근부식 메커니즘

(1) 탄산화 속도에 미치는 요인

탄산화 속도에 영향을 미치는 요인으로서는 환경조건을 주원인으로 하는 외적요인과 콘크리트 자체의 성능·품질을 주원인으로 하는 내적요인에 의해 복합적인 영향을 받는 것으로 알려져 있다. 대표적인 원인을 정리하면 다음과 같다.

〈표 3.13〉 탄산화 속도 영향 인자

구분	영향 인자	탄산화 속도
내적 요인	시멘트의 종류	- 수화반응이 느릴수록 탄산화 속도가 빠름 - 조강 포틀랜드시멘트<보통 포틀랜드시멘트<중용열 포틀랜드시멘트
	골재의 종류	- 투기성이 큰 골재일수록 탄산화 속도가 빠름 - 강모래, 강자갈<강모래, 화산골재<화산골재
	계면활성제 종류	- 동일 물-시멘트비, 동일 슬럼프라면 탄산화 속도와 무관함
	압축강도	- 압축강도가 낮을수록 탄산화 속도가 빠름
	물-시멘트비	- 물-시멘트비가 증가하면 탄산화 속도가 빠름
	시공 정밀도	- 다짐이 불충분할수록 탄산화 속도가 빠름
	콘크리트 결함부	- 균열부위, 이음부, 손상부위 등에서 탄산화 속도 빠름
환경 조건	온 도	- 온도상승 시 탄산화 속도 빠름 - 20~50℃ 사이에서는 영향이 크지 않음
	이산화탄소 농도	- 농도가 클수록 탄산화 속도 빠름 - 탄산가스농도 3~10% 사이에서 상승비율이 큼
	습 도	- 상대습도 50~70%에서 탄산화속도가 최대
	실내, 실외	- 실내의 탄산화속도가 빠름.

(2) 시험 방법

콘크리트 표면에서 드릴링($\phi 20\text{mm}$ 이상) 실시하고 콘크리트 가루 등의 이물질을 완전히 제거한 뒤, 페놀프탈레인 용액을 분무하여 무색반응을 보이는 콘크리트 깊이를 측정한다.

(3) 평가기준

〈표 3.14〉 탄산화 상태평가 기준

등급	탄산화 잔여 깊이	철근부식의 가능성
a	· 30mm이상	탄산화에 의한 부식발생 우려 없음
b	· 10mm이상~30mm미만	향후 탄산화에 의한 부식발생 가능성 있음
c	· 0mm이상~10mm미만	탄산화 의한 부식발생 가능성 높음
d	· 0mm미만	철근부식 발생
e	-	-

3.2.7 염화물 함유량

가. 개 요

콘크리트가 탄산화 되거나 염화물이 침투하게 되면 철근 주위의 산소 차단 역할을 하는 부동태막이 파손되고, 강재 표면이 활성화되면 철근의 부식이 시작된다. 일반적으로 부재의 단면이 작으면서 철근량이 많고 슬럼프가 큰 콘크리트를 사용하는 구조물에서는 염분에 의한 철근 부식이 일어나기 쉽다.

염화물에 의하여 발생하는 콘크리트의 염해는 강재 부식 등 심각한 문제를 일으킬 수 있으므로 콘크리트 구조물의 건전성 평가시 염해에 대한 평가가 필요하다. 염화물 함유량 분석은 주철근 깊이까지 깊이별로 단계를 구분하여 염화물 분포를 파악함을 원칙으로 한다.

철근의 녹은 다공질에 흡수성이 있어 녹이 두껍게 형성되어도 부식을 억제하는 효과는 적으며, 녹슨 부분은 원래체적의 약 2.5~7배 팽창하기 때문에 피복 부분에 균열을 일으키고, 이에 따라 부식 작용은 더 가속화된다.

(1) 염화물의 구성

콘크리트 내 염화물의 구성은 수용성 염화물과 고정 염화물로 구성되어 있다. 이 2 종류의 염화물을 일컬어 전염화물이라고 하며 현재는 철근의 임계 발청농도를 전 염화물을 기준으로 정하고 있다.

- ① 수용성 염화물 (가용성 염화물) - 온수에 의해 추출
- ② 고정화된 염화물 - 질산용액에 의해 추출

(2) 분석 및 평가

염해는 염분제거가 불충분한 해사의 사용에 의하여 콘크리트 내에 이미 염화물이 혼입된 경우와 외부환경으로부터 염화물이 콘크리트에 침투된 경우를 들 수 있다. 어느 경우라도 철근위치에 존재하는 염화물 이온량의 측정결과를 근거로 다음 표에 따라 염화물에 의한 손상을 판단한다.

〈표 3.15〉 염화물 상태평가 기준

등급	환산 염화물 이온량	철근부식의 가능성
a	염화물 $\leq 0.3\text{kg/m}^3$	염화물에 의한 부식이 발생할 우려 없음
b	$0.3\text{kg/m}^3 < \text{염화물} \leq 1.2\text{kg/m}^3$	염화물이 함유되어 있으나, 부식발생 가능성 낮음
c	$1.2\text{kg/m}^3 < \text{염화물} \leq 2.5\text{kg/m}^3$	향후 염화물에 의한 부식 발생 가능성 높음
d	염화물 $\geq 2.5\text{kg/m}^3$	철근부식 발생
e	-	-

3.2.8 초음파속도법에 의한 균열깊이 평가

가. 개 요

이 시험은 콘크리트에 발생된 균열을 초음파속도를 이용하여 콘크리트의 균열깊이를 평가할 수 있다.

(1) 시험방법

① 사전준비

- 측정부위에 사전에 철근탐사시험으로 철근의 위치를 파악하여 둔다.
- 측정 전 측정기의 전원을 미리 켜놓고 안정된 상태에서 측정한다.(10-20분)
- 측정 전 Calibration Bar를 이용하여 0점 조정을 실시한다.

② 측 정

- 측정은 주로 간접법에 의해 측정되는 경우가 많으므로 간접법에 의한 측정방법을 기준으로 한다.
- 그라인딩은 콘크리트표면에 이물질을 제거하기 위하여 실시하며, 각 시험법에 따라 필요한 길이로 실시한다.
- 발·수신자 위치에 철근이 직접 놓이지 않도록 한다.
- 측정대상면에 접촉제(구리스 등)를 바르고 발·수신자를 밀착하여 측정한다.
- 측정자료가 안정될 때의 초음파 시간을 측정한다.

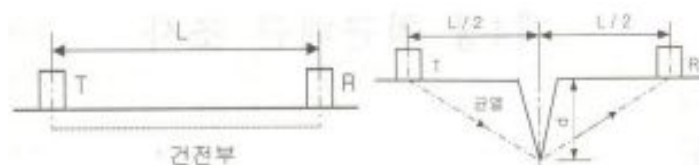
측정 시 특이한 상황에 대해서는 스케치하여 후에 자료 분석에 이용하도록 한다.

- 발생된 균열의 시점과 종점, 중간점에서 각각 측정하여 균열의 현황을 파악할 수 있도록 한다.

(2) 평가기준

Tc-To법은 수신자와 발신자를 균열을 중심으로 등간격 L/2로 배치한 경우의 전파시간 Tc와 균열이 없는 부근 L에서의 전파시간 To로부터 균열깊이 h를 다음 식에 의해 추정하는 방법으로 균열면이 콘크리트의 표면과 직각으로 발생되어 있으면, 균열 주위의 콘크리트는 어느 정도 균질한 것이라고 가정하여 유도한 것이다.

$$C = \frac{L}{2} \sqrt{\frac{(T_c^2)}{(T_o^2)} - 1}$$



<그림 3.13> Tc-To법에 의한 균열깊이의 측정방법

3.2.9 철근 부식도 조사

가. 개 요

철근의 부식은 콘크리트의 부식도와 연계지어 언급되는 것이 일반적이지만, 기타 외부 환경적인 영향과 콘크리트 내부의 공극, 밀도, 균열 등에 대해서도 지배를 받는다. 철근이 부식되면 철근의 녹 발생에 따른 체적팽창에 의해 콘크리트면에는 균열이 발생하여 콘크리트면이 탈락된다.

이러한 콘크리트 열화현상의 계속적인 발생가능성 유무는 철근의 부식 발생여부와 진행 정도를 측정함으로써 간접적으로 파악할 수 있다.

철근의 부식 정도를 측정하는 방법으로는 육안관찰, 물리적 방법, 전기화학적 방법 등이 있으나 콘크리트 면을 파취하지 않고 철근 부식위치와 부식정도를 측정하여 콘크리트의 열화정도를 검출하는 방법으로는 전기화학적 방법이 대표적이다.

본 진단에서는 전기화학적 방법 중 자연전위법에 의한 부식조사 방법으로 철근의 부식 정도를 조사하였다.

나. 자연전위법에 의한 철근부식도 측정

① 조사장비 및 탐사부위

- 조사기구 : Bloodhound System
- 탐사부위 선정 : 콘크리트 표면이 건전한 벽체

② 측정 방법

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

철근부식 측정은 전기화학적 방법 중 자연전위법을 이용하였으며, 레이더로 철근위치를 측정하고 이때 측정된 철근부위를 $\phi 10\text{mm}$ drill로 천공하여 노출된 철근의 표면을 정리한 후, Connection Clamp를 밀착 고정시켜 철근과 전극을 전압계의 단자에 도선으로 접속하고 콘크리트 표면을 따라 전극을 이동시켜 여러 점에서 철근 전위를 측정하였다.

③ 평가기준

일반적으로 콘크리트 내부의 철근부식도 측정은 자연전위 측정법에 의해 구해진 전위치로부터 철근의 부식 상태를 진단하는 것으로, 다음 표에 나타난 평가기준이 적용된다.

〈표 3.16〉 전위에 의한 철근부식 평가 기준

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

3.2.10 강재 초음파탐상 (UT : Ultrasonic Testing)

가. 개 요

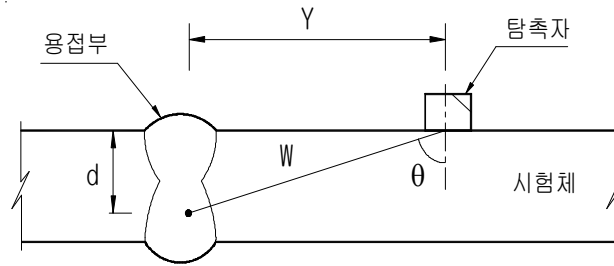
가청 주파수 이상의 주파수를 갖는 초음파(20000Hz이상)를 시험체 내에 전달하여 초음파 진행경로 상에 존재하는 결함부로부터 반사하는 초음파 신호를 수신하여 탐상기 CRT 스크린상에서 에코파형을 확인함으로써 결함의 존재여부 및 결함정보를 알아내는 검사방법이다.

초음파법의 종류는 크게 수직법과 사각법으로 대별되며, 수직법은 탐촉자를 시험체에 접촉하여 시험체에 수직으로 초음파를 전파시켜 검사하는 방법으로 통상적으로 판재 및 봉재, 주단강품 결함 검사와 부재의 부식두께 측정 등에 이용되며, 사각법은 시험체에 임의의 일정각으로 초음파를 전파시켜 검사하는 방법으로 주로 강구조물 용접부 검사에 적용된다.

(1) 시험 방법 (사각법)

일반적으로 강교 용접부의 사각탐상에서는 주로 용접부 내부에 존재하는 기공, 슬래그, 용합불량, 용입부족 등의 결함과 균열에 대한 조사가 실시되고 있으며, 각각의 결함부로부터 반사한 에코파형의 펄스형태(펄스폭&높이), 반사체(결함)까지의 진행거리, 초음파 입사각도, 에코의 반사패턴 등을 종합적으로 분석하여 결함의 입체적인 위치를 산출하고 결함종류 및 길이 등을 측정한다.

본 시험에서는 70°로 초음파를 입사하였다.



$$\begin{aligned} \text{계산식 } Y &= W \cdot \sin \theta \\ d &= W \cdot \cos \theta \end{aligned}$$

여기서 Y : 입사점-결함거리
d : 결함깊이
W : 초음파 이동거리
 θ : 입사각(70°)

〈그림 3.14〉 초음파탐상(사각법)시험 개요도

(2) 특 성

- ㄱ. 시험체가 두꺼워도 검사가 가능하다.
- ㄴ. 불연속의 위치를 정확히 알 수 있다.
- ㄷ. 검사결과를 바로 알 수 있다.
- ㄹ. 균열 등의 면상 결함의 검출에는 방사선투과검사보다 유리하다.
- ㅁ. 시험체 한면에서의 탐상이 가능하다.
- ㅂ. 결함의 종류 및 형상, 크기를 식별하기 어렵다.
- ㅅ. 금속 조직의 영향을 많이 받는다.
- ㅇ. 검사자의 기량에 의해 검사 결과가 영향을 받는다.
- ㅈ. 검사 결과의 기록보존이 어렵다

(3) 평 가

초음파 탐상검사 방법 및 지시에 대한 등급분류는 <표 3.17>와 같다.

〈표 3.17〉 결함의 등급분류

영역	결함의 크기 (mm)					
	II, III			IV		
판 두께 등 급	18이하	18~60	60이상	18이하	18~60	60이상
1 급	6이하	t/3이하	20이하	4이하	t/4이하	15이하
2 급	9이하	t/2이하	30이하	6이하	t/3이하	20이하
3 급	18이하	t 이하	60이하	9이하	t/2이하	30이하
4 급	3급을 초과하는 것					

(4) 합·부 판정기준

강도로교 용접 및 도장요령(1998. 건설교통부 제정) 기준

〈표 3.18〉 용접부 결함의 합부 판정기준

검사 부위	합 격 기 준	비 고
인장측	2급 이상	KS-B-0896
압축측	3급 이상	

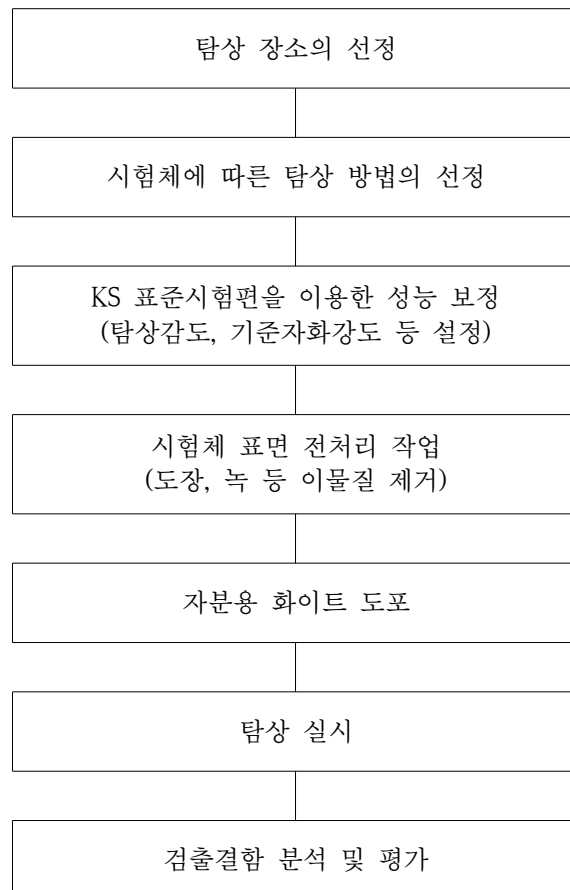
3.2.11 자분탐상시험 (MT : Magnetic Particle Testing)

가. 개 요

강자성체인 강재 용접부를 일시적으로 자화시킨 후 미세한 자분가루를 적용시켜 누설자장 주위에 자분이 응집되는 것을 관찰하여 결함유무를 판단하는 방법으로 표면균열 검출에 효과적인 검사방법이다.

(1) 시험 방법

본 과업에서의 자분 탐상 검사방법 및 등급분류는 한국산업규격 KS-D-0213에 의하여 수행하였다.



(2) 결함등급 분류

한국산업규격 KS-D-0213에 의한 자분탐상 검사의 결함지시에 대한 등급분류는 자분모양으로 분류한다.

㉠ 균열에 의한 자분모양 : 의사지시가 아닌 균열로 식별된 자분모양

㉡ 독립한 자분모양

- 선상의 자분모양 : 자분모양에서 그 길이가 너비의 3배이상인 것

- 원형상의 자분모양 : 자분모양에서 선상의 자분모양 이외의 것

㉢ 연속한 자분모양

여러개의 자분모양이 거의 동일 직선상에 연속하여 존재하고 서로의 거리가 2mm 이하인 자분모양

㉣ 분산한 자분모양

일정한 면적내에 여러개의 자분모양이 분산하여 존재하는 자분모양

〈표 3.19〉 용접부 결함의 합·부 판정기준

등 급	결함지시의 길이	비 고
1 급	1mm초과 2mm이하	
2 급	2mm초과 4mm이하	
3 급	4mm초과 8mm이하	
4 급	8mm초과 16mm이하	
5 급	16mm초과 32mm이하	
6 급	32mm초과 64mm이하	
7 급	64mm초과	

Steel Box Girder 내부의 플랜지와 복부 연결부, 보강재 연결부의 필렛 용접상태를 확인하기 위하여 조사하였다.

판정기준은 원형결함 2.0mm이하인 판독결함의 경우만을 합격으로 하고 나머지 균열에 의한 지시, 선형결함지시, 연속결함지시 및 분산지시의 경우는 불합격으로 처리하였다.

