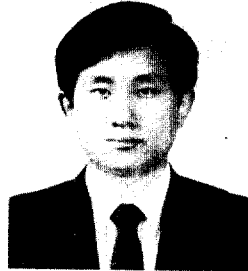


철근콘크리트 구조물의 내구성진단

Durability Diagnosis of Concrete Structures



박 석 균*

1. 머리말

최근 콘크리트 구조물의 시공추세가 점차 고층화·대형화·다양화 되어지고 있다. 이에 따른 설계 및 시공기술의 발전은 물론 고급화된 재료의 시공 품질 안정성 점검, 효율적 공사진척 및 내구성 향상을 위한 설계대로의 시공여부 판정등 현장 품질검사기술이 절실히 요구되고 있다. 또한 매년 증가되는 노후 및 성능저하구조물의 성능저하상태 점검, 해체여부 판정 또는 보수·보강 대책수립등을 위한 진단기술 필요성 역시 절실해지고 있다.

특히 기존의 구조물에 대해서도 정기적으로 그 구조물의 내구성을 진단하고 장기간을 기준으로 그 구조물을 봤을 때 어떠한 성능저하가 진행할 것인가를 사전에 예측하고 언제 어떠한 보수·보강을 행해야 좋은가를 판단하는 일은 구조물을 당초 목표한 이상으로 장기간 건전하게 사용하기 위해서 매우 중요하다.

콘크리트 구조물은 사회 및 개인의 재산으로서 나아가 장래의 안정적인 사회·경제를 지탱할 수 있는 기반이 되기 때문에, 이상에서 언급하였듯이 신축 구조물은 물론이거니와 기존의 방대한 량의 구조물을 양호한 상태로 보전하기 위해서는 내구성진단의 종합적 진단기술이 필요하다.

따라서 본 내용은 내구성진단의 기본체계와 진단기술로서 화학적 검사법, 비파괴 검사법의 일부기술을 간단히 소개하고자 하였다.

2. 내구성진단 개요

2.1 내구성 진단의 의미

구조물을 장기간에 걸쳐 건전하게 사용하기 위해 대상 구조물의 내구성 입장에서 본 현상과 약, 성능저하의 원인추정, 진행상황의 예측, 보수·보강여부의 판정 및 대책수립등을 통하여 유지관리 및 보수·보강을 위한 제반정보를 얻기 위한 종합적 진단이다.

* 정회원, 쌍용양회 중앙연구소 선임연구원

2.2 내구성진단의 필요성

1) 구조물의 다양화·다목적화 추세에 따른 시공 및 현장 품질 검사기술의 취약

2) 海砂 등의 대체골재 사용과 혼화재료 오염 등에 따른 구조물의 조기성능저하 및 성능저하요인의 증대

3) 고도 경제성장과 건설 수요증가에 따른 내구성의 경시

- 고임금상승과 노동자수의 부족
- 노동력 절감 추구에 의한 설계·시공기술의 변화
- 구조물의 양적 수요선결에 따른 질적 향상의 경시

2.3 내구성진단의 목적

- 1) 성능저하도의 현상 파악
- 2) 성능저하의 조기탐지와 억제대책의 실시
- 3) 유지관리 대책의 선정
- 4) 보수·보강대책의 책정 및 평가
- 5) 안전성 평가와 잔존 내용년수의 추정
- 6) 내구성향상을 위한 설계자료의 수집

2.4 내구성진단의 효과

- 구조물의 適期 내구성진단에 의한 보수·보강 효과로 구조물의 수명연장

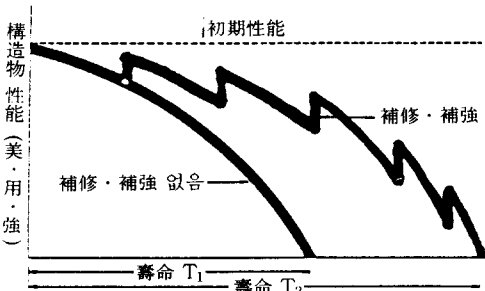


그림1. 구조물의 성능과 진단에 의한 적기 보수·보강의 효과

2.5 내구성진단의 분류

표1. 내구성진단의 분류체계

목적별 진단	
• 예방진단	• 보수·보강진단
• 증상진단	• 내구성능회복
• 유지 관리진단	• 거주성능회복

성능저하현상별 진단	
• 중성화 진단	• 표면성능저하 진단
• 철근부식 진단	•凍害 진단
• 균열진단	• 내부결합 진단
• 강도성능저하 진단	• 변형(처짐)진단

精度별 진단	
• 1차 진단(증상조사)	
• 2차 진단(中程度 진단)	
• 3차 진단(상세진단)	

3. 내구성진단의 운영체계

내구성진단의 일반 운영체계는 다음 그림2와 같다. 1차진단은 주로 육안관찰에 의한 계수적 진단으로 세부진단의 계속실시 여부 및 성능저하 현상을 선별한다. 2차·3차진단은 각 성능저하 현상별 계량적 진단으로 보수·보강여부를 판정하며 2차는 주로 비파괴시험인 반면 3차는 파괴시험도 포함한다.

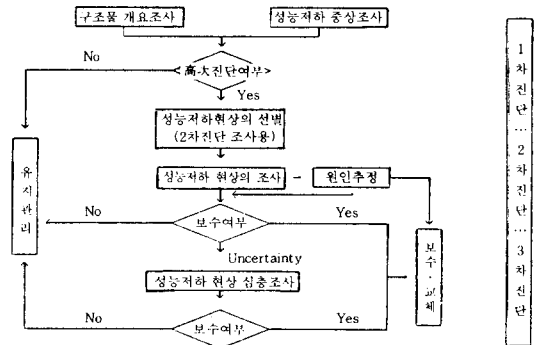


그림2. 성능저하진단의 전체 흐름도

표2. 1차·2차·3차 진단의 차이점

진단 精度	목적·내용	행위자	방법		조사결과와 표시	적 용
1차 진단	概要진단, 保全진단	총괄적인 내용 의 진단	육안관찰, 體感, 問診	보조기구 필요없고, 마감재 벗김없음	記述 및 計數	각 성능저하현상 공통 적 진단
2차 진단	성능저하진단	中程度의 진단	비파괴 시험이 중심	사다리정도의 보조기구, 마감재 의 벗김	計 量	개별적 진단
3차 진단	성능저하진단	상세한 진단	파괴 시험을 포함	대형 보조기구, 구조체로부터의 시료채취	計 量	개별적 진단

4. 콘크리트 구조물과 성능저하 현상

콘크리트 구조물은 장기간의 내구성을 갖는 장점을 갖고 있으나, 염분작용이나 중성화등에 의한 철근의 부식, 알칼리골재반응등의 조기성능저하문제로 인해 10년이나 20년이 경과하기 전에 성능저하되는 경우도 있다.

이는 구조물 시공시부터 결함을 갖게되기 때문으로, 규정치 이상의 海砂나 혼화재료, 알칼리량이 많은 시멘트, 반응성 물질을 다량 함유한 골재, 毛管孔隙이 많은 시멘트경화제 조직, 시공불량에 의한 空洞 및 피복두께 부족등에 의한 경우가 많다.

다음 표3은 콘크리트 구조물에 자주 발생하는 대표적인 성능저하현상을 정의한 내용이다.

5. 내구성진단 검사기술

구조물의 내구성진단을 위해서는 구조물의 종류, 중요도, 환경조건, 용도(기능), 손상내력등에 따라 다양한 성능저하현상이 산재해 있으므로 각 경우에 따라 효과적으로 대처할 수 있는 종합적인 진단 검사기술이 필요하다.

이들은 크게 육안관찰법, 화학적 검사법, 비파괴 검사법(내하력 검사포함)으로 나뉘어질 수 있다.

다음 표4는 성능저하현상의 대표적인 조사항목에 대한 주요 검사항목과 조사 및 검사내용을 간단히 정리해 본 것이다.

표3. 콘크리트의 대표적 성능저하현상 및 정의

성능저하현상	정 의
콘크리트의 중 성 화	콘크리트가 공기중의 탄산가스, 수중에 존재하는 탄산, 그외의 산성 가스 혹은 염류의 작용에 의해 알칼리성을 상실해가는 현상
철근 부식	콘크리트의 중성화나 균열, 침식성화학물질(CI, SO ₂)에 의해 철근에 녹이 발생하는 현상
콘크리트의 간 열	타설시점에서는 一體였던 콘크리트 부재에 그후 콘크리트의 허용응력도 이상의 응력(주로 인장강도 이상의 응력)이 작용하여 생긴 콘크리트의 거시적, 부분적인 파괴현상, 콘크리트의 타설이음매, cold joint등의 콘크리트의 불연속 부분과는 발생과정상에서 구별된다.
누 수	물이 존재하는 환경하에서 물이 부재 단면을 투과해서 스며 나오든가 혹은 부재내 및 부재간의 간극부분을 통해 누출하는 현상. 여기서 말하는 간극부분으로는 콘크리트 부재내에 발생한 균열, cold joint, honeycomb등 외에 부재간의 타설이음매, 접합부등을 총칭한다.
콘크리트의 강도성능저하	저품질재료, 사용환경, 열작용, 화학작용, 피로등에 의해 콘크리트 강도가 저하하는 현상.
변 형 (처 집)	철근의 부식, 균열, 강도성능저하외에 설계, 시공 결함, 구조적 외력작용, 열작용등에 의해 주로 수평부재가 크게 변형하는 현상
표면성능저하	콘크리트의 표면이 사용환경, 열작용, 화학작용에 의해 손상되고, pop out이나 박리·박락 등을 일으키는 현상, 오염, 백화, 들뜸, 박락, 마모(마멸), 부식, 취약화, 粉狀化등
凍害	콘크리트중의 수분이 동결용해를 반복해서, 균열이 발생하기도 하고, 표층이 박리하기도 하여 표층으로부터 차츰 성능저하해가는 현상

표4. 성능저하조사 항목별 주요 검사방법 및 내용

(화: 화학적검사법, 비: 비파괴검사법)

성능저하조사항목	주요조사방법	조사 및 검사내용
중성화	화 케놀프탈레인 시약분무법(중성화깊이) 비 화학분석, X선회절, 탄산가스농도계, Porosimeter	대기중의 탄산가스농도, 화학적 침식 물질의 유무, 콘크리트의 함수량, 공극, 배합, 시공상황
철근부식	화 Potentio-graph(CI량) 비 자연전위법, 분극저항법(철근부식용) 레이다법(피복두께 및 철근)	동해의 유무, 배합 콘크리트중의 염분함유량, 화학적 침식물질의 유무, 동해의 유무, 콘크리트배합
균열	비 초음파법(균열깊이) Micro-scope(균열폭) Level(부동침하)	균열의 형태, 폭, 깊이 및 성장경과, 철근부식의 유무, 콘크리트의 중성화, 균열관통유무, 콘크리트강도, 시공상황, 콘크리트 재료·배합 구조내력, 부동침하
누수	비 착색수, Gas 감지법 적외선법(누수부위)	누수부위 및 규모, 습윤상태, 구조체 콘크리트의 상황, 水原부분의 탐색
강도성능저하	비 Schmidt hammer법, 초음파속도법 Core 채취	표면반발경도, 초음파속도, Core 압축강도, 배합추정
변형(치짐)	비 진동시험(고유진동수) 재하시험(잔유치짐율)	고유진동수, 잔유치짐율, 콘크리트강도, 단면형상
표면성능저하	비 적외선법(박리부위 및 규모)	표면취약도, 박리 부위 및 규모, 강도성능저하, 콘크리트의 중성화깊이, 성능저하깊이
凍害		균열, 표면취약도, 강도성능저하, 콘크리트의 중성화깊이, 철근부식
내부결함	비 Impact-echo법, 초음파법	空洞, Cold joint, 층간 경계깊이(두께조사)

*육안관찰법은 각 성능저하 조사항목별 공통

5.1 화학적 검사법

콘크리트 성능저하현상의 대부분이 외부환경 또는 사용재료에 의한 화학적 성질변화에 기인된 것으로 성능저하의 현상 파악, 원인추정, 진행상황 예측등을 위한 내구성진단시에 필요한 기술이다. 이의 검사법은 진단 목적별로 사용재료의 품질과 배합추정을 위한 진단방법, 콘크리트 조직의 진단방법, 콘크리트내의 성능저하진행상황의 진단방법의 3가지 방법으로 다시 나뉘어지며, 각 목적별 진단방법의 세부구성체제는 다음 표5에서와 같다.

5.2 비파괴검사법

콘크리트 비파괴검사는 근래에 자주 논의되고

있는 바와 같이 해당 시험체에 손상을 주지않고 물리적 성질 및 제반 특성등을 검사할 수 있는 방법으로, 표6에서와 같이 다양한 구조적 성능저하검사는 물론 그 밖의 구조성능 파악을 위한 내구성진단시의 가장 효율적인 검사기술이다.

그러나 일부기술은 아직 연구단계이고, 精度에 문제가 있긴하나, 검사경험의 축적, 보정기술의 개발, 화학적검사·국부과피등의 보조자료활용등을 통하여 신뢰성 향상이 가능하며, 최신기술이 개발되어 실용화되고 있다. 더욱이 경제성, 효과성 등의 여러장점으로 앞으로도 가장 기대되고 발전 가능성이 큰 검사기술이다.

이중에서 현장적용이 가능하고, 최신기술로서 향후 전망이 밝은 일부기술에 대하여 당초 연구결과와 적용사례를 포함하여 간략히 소개하였다.

표5. 각 목적별 화학적 검사진단방법의 구성체제

진단 목적	콘크리트 표본 채취시료 부분		
	콘크리트	시멘트	골재
사용재료의 품질과 배합추정을 위한 진단	콘크리트중의 CI정량 CI배합재료중의 Ca, Na, K의 추정 수 분용산분, Ig.loss, Ca, Na, K의 정량 ↓ 단위시멘트량, 수량, 골재량의 추정 시멘트중의 알칼리량 (R ₂ O)의 추정	EPMA, PG AA 각종원소 분석 조성도의 판정 XRD, EPMA, IA 슬라그 플라이 애쉬량의 추정 슬라그·플라이 애쉬중의 Ca, Na, K의 추정	IC, AA, ICP, PM Ca, Na, K의 정량 PM, XRD, IA 압석·광물종류 판정, 반응성 광물의 검출과 정량, 개재물질·풍화도 입자형상
콘크리트 조직의 진단	공기량, 공기분포 O ₂ 와 CI의 확산계수 반응생성물관찰 Ettringite관찰 공극수 조성	IA OA SEM, EPMA AA, IC, ICP	PO XRD, DTA SEM
콘크리트내 성능저하진행 상황의 진단	단면의 CI농도 분포 단면의 알칼리량 분포 반응생성물관찰 Ettringite 관찰 공극수 조성	SEM, EPMA AA, IC, ICP	PM, (DTA) 중성화 깊이 (CaCO ₃ 의 정량) PM, EPMA, SEM 시멘트-골재계면의 관찰

*분석기기

IA: 晝象 해석장치, XRD: X선 회절 분석장치, PM: 편광현미경
 IC: 이온 크로마토 어넬라이저, AA: 原子吸光分光光度計,
 ICP: 고주파 플라즈마 分光분석장치, EPMA: 전자선 마이크로어넬라이저
 SEM: 走査 전자현미경, DTA: 示差熱 분석장치,
 OA: 酸素濃度 확산 시험장치, PO: 細孔 구조해석장치, PG: Potentio-graph

1) 초음파 검사법에 의한 강도 및 균열깊이 측정

壓電형 탐촉자로 초음파 펄스를 콘크리트에 발사시켜, 지지거리간의 전파시간을 측정하고 속도등을 구해 콘크리트 품질을 추정하는 초음파

검사법은 비파괴 검사법중 가장 널리 알려진 방법 중의 하나이다.

신뢰성 향상을 위해 국내실정에 맞는 상관식의 개발, 측정영향인자 보정기술등이 필요한데, 여기서는 철근과 시험체 크기에 대한 보정기술을 예로

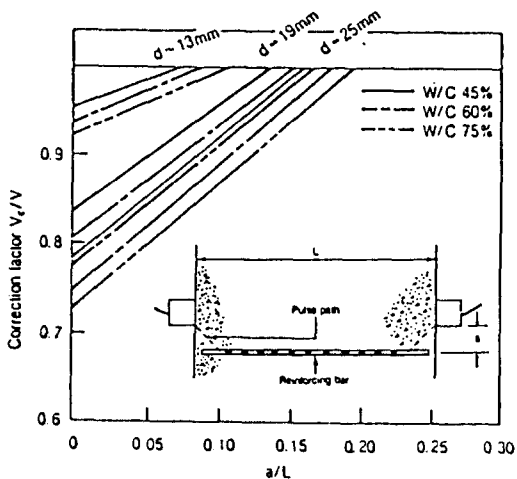
표6. 구조물과 구조적 성능저하 검사항목

구조적성능저하 검사항목	구조물 분류	일	터	향	폴	교
		반	터	만	트	교
		건	널	구	기	량
		축	물	조	초	량
		물		물		
콘크리트 강도		○	○	○	●	○
콘크리트 탄성계수		△	○	△	○	○
구조물 변위·변형		○	○	△	△	○
구조물 강성		○	△	△	△	○
관 열	분 포	○	○	○	○	○
	폭	○	○	○	○	○
결함, 공동	깊 이	○	△	○	△	○
	박 리	●	○	○	△	○
	내부공동	○	○	△	△	○
	배면공동	-	●	-	-	-
철 근	위치, 직경, 피복	●	△	○	-	○
	부 식	●	○	●	-	○
치수·두께		○	○	△	△	○

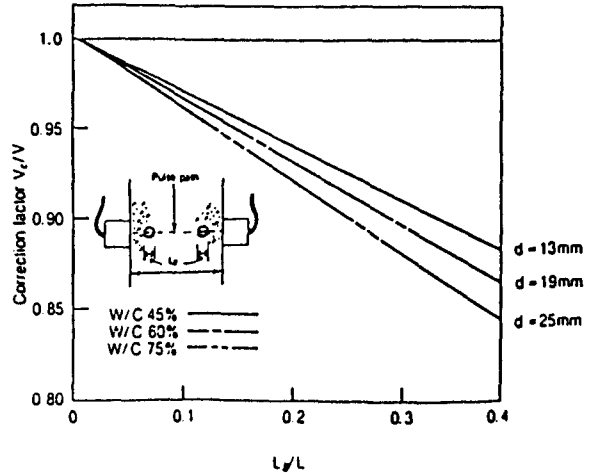
●: 중요, ○: 필요, △: 참고

들었다.

그림3은 초음파가 철근을 따라 전파될 경우 속도가 빠르게 오인되어 측정되는 철근영향을 보정해 주기 위한 도표로서, 각 배근조건 및 콘크리트 등급별 해당 측정조건에 맞는 보정계수를 찾아 측정 속도값에 곱하여 주게 작성되어 있다.



(a) 중방향 배근시



(b) 횡방향 배근시

그림3. 초음파속도 측정시의 철근보정계수

다음 그림4는 동일강도하계서도 시험체크기가 커질수록 속도값이 감소되는 경향을 나타낸 도표로서, 강도와 속도간 상관식 때의 시험체 크기로 속도보정이 되어야 한다. 이들 외에도 온도, 습윤 상태등 각종 영향인자에 대한 보정도 필요시 요구된다.

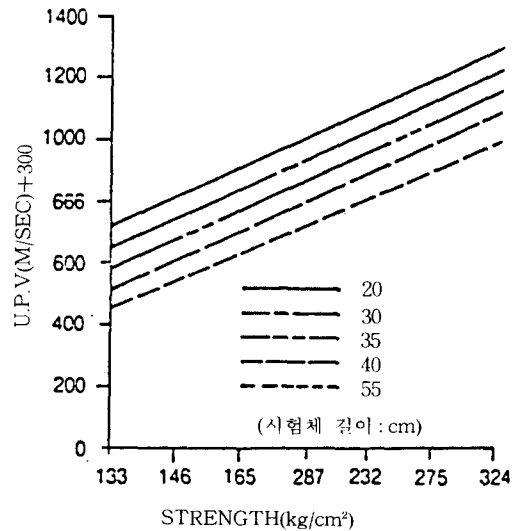


그림4. 시험체 크기변화별 초음파속도변화(감쇄보정)

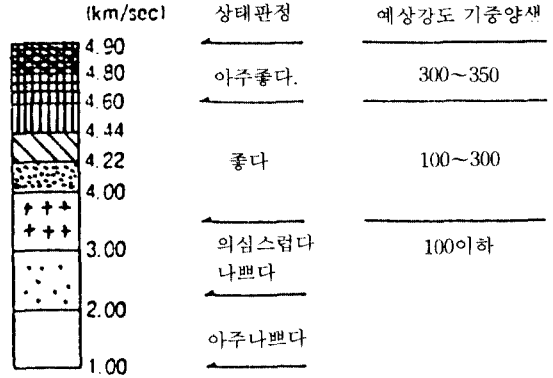
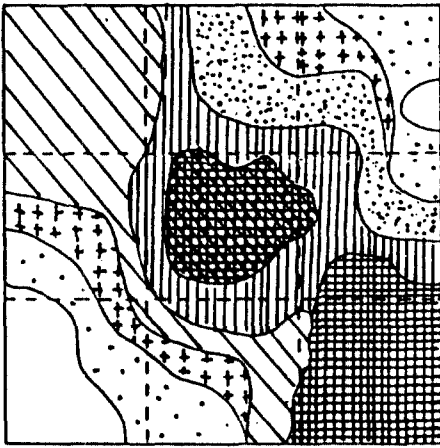


그림5. 초음파검사법에 의한 강도성능저하부검출

그림5는 인위적으로 성능저하시킨 콘크리트 슬라브에 대한 강도성능저하부 검출결과를 나타낸 것이고, 특히 반발경도법에 의한 결과등과 합해 추정된 강도값은 표7의 판정기준에 의하여 해당구조부재의 성능저하정도를 평가할 수 있다.

표7. 강도 성능저하진단의 성능저하도 구분 및 판정기준 (일본 건축물 성능저하진단 기술 지침)

성능저하도	구분의 기준(설계기준강도비 %)		구조전문가의 판단	보수·보강여부의 판정
	반발경도와 초음파속도	Core 압축강도		
I(무시)	100이상	100이상	불필요	불필요
II(中度)	90이상~100미만	85이상~100미만	필요시	구조전문가판단
III(重度)	90미만	85미만	필요	필요

또한 균열깊이 측정에도 본 검사법의 적용이 가능하며, 이의 방법에는 다음과 같이 $T_c - T_0$ 법, T법, BS4408법등이 있다.

• $T_c - T_0$ 법

$$d = \frac{L}{2\sqrt{(T_c - T_0)^2 - 1}}$$

T_c : 균열부를 회절해서 도달한 초음파 전파

시간

T_0 : 건진부에서의 초음파 전파시간

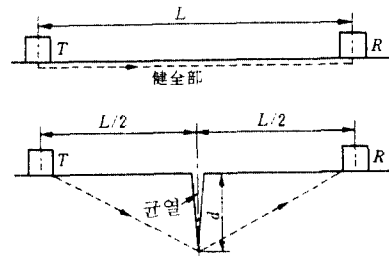


그림6. $T_c - T_0$ 법

• T법

$$d = \frac{t \cos \alpha (t \cot \alpha + 2L_1)}{2(t \cot \alpha + L_1)}$$

L : 발·수진자의 중심간 거리

L_1 : 발진자로 부터 균열까지의 거리

$\cot \alpha$: 초음파속도

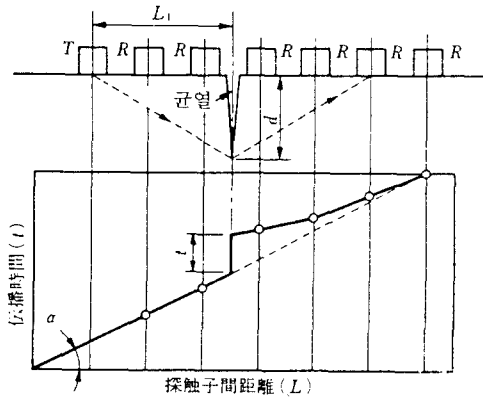


그림7. T법

• BS-4408에 의한 방법

$$d = 150 \frac{\sqrt{4t_1^2 - t_2^2}}{t_2^2 - t_1^2}$$

t_1 : 150mm pitch때의 전파시간

t_2 : 300mm pitch때의 전파시간

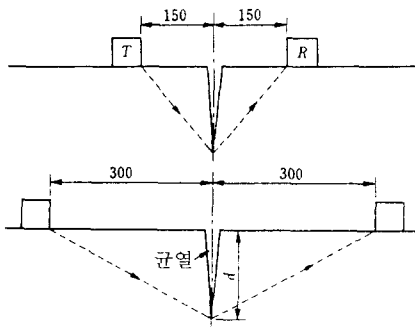


그림8. BS법

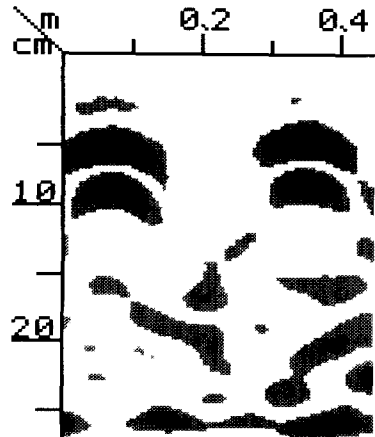
2) 레이더법에 의한 철근위치검출

콘크리트중에 0.5~수 ns 마다 전자파 안테나로부터 모노사이클 펄스를 방사해 콘크리트 중의 이물로 부터의 반사파를 검출하여 해석하는 방법이다.

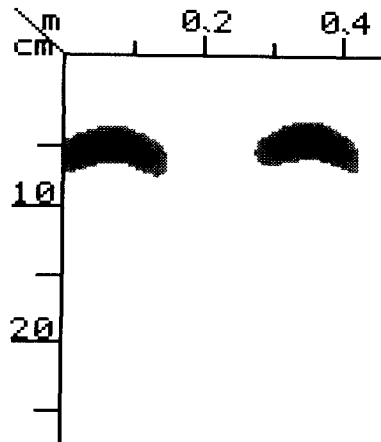
바퀴가 달린 측정장치(안테나)로 해당 시험체위를 이동시켜가면 시험체내의 철근, 배설물, 공동등

을 시각적으로 관찰할 수 있고 빠른속도로 측정이 가능하나, 조건에 따른 노이즈등의 신호 분리해석 기술이 필요하다.

그림9는 이의 검출결과로서, 가로축은 안테나의 이동방향이고, 세로축은 탐사깊이이다.



(a) 표면 echo의 처리



(b) 多重 echo의 처리

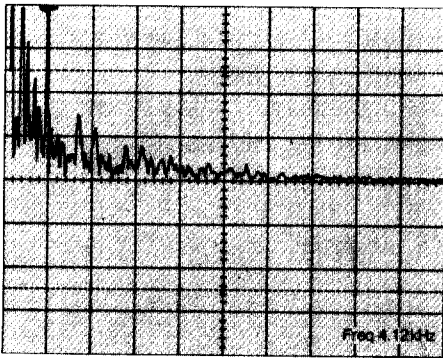
그림9. 레이더법에 의한 철근위치검출

3) Impact-echo법에 의한 내부결함검출

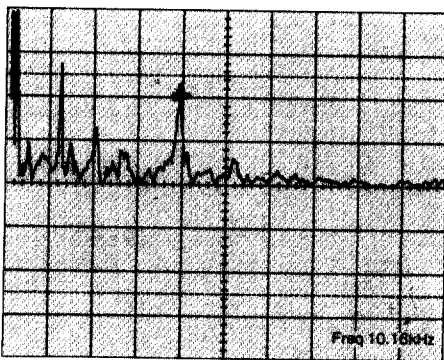
대상물체와 측정조건에 맞는 적절한 충격에너지를 주었을 때 여기서 발생된 탄성파가 물체내부의

결함 혹은 매설물등으로 부터 반사되어지는 신호 특성을 분석하여 내부의 결함위치와 크기 또는 경계층 깊이, 라이닝 두께등을 검출할 수 있는 방법이다. 레이더법과 원리는 비슷하나, 높은 에너지의 주파수를 사용함으로 투과성이 좋아 콘크리트와 같이 임자가 큰 재질에서도 내부 깊이까지 측정이 가능하다.

그림10은 각각 콘크리트 내부에 결함이 없고 있는 경우에 얻어진 시간대 파형을 주파수대역으로 변환시킨 결과이다.



(a) 결함이 없는 콘크리트 내의 주파수 스펙트럼
(+신호로부터의 해석결과: 박리깊이 50cm)



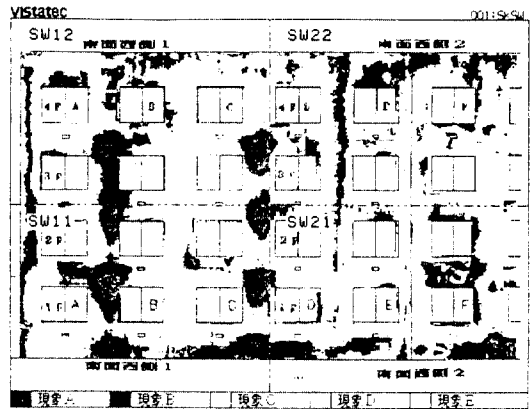
(b) 결함이 있는 콘크리트 내의 주파수 스펙트럼
(+신호로부터의 해석결과: 결함깊이 20cm)

그림 10. Impact-echo법에 의한 내부결함탐사결과

4) 적외선법에 의한 표면박리부 검출

콘크리트 구조물의 벽면은 기온 또는 태양의 복사열 변화에 따라 재료의 열전도율과 비열등의 물리적 성질이 달라져 표면형상, 상태의 차이 및 표면부의 박리유무에 따라 다른 온도변화를 보인다. 이러한 특성을 이용해 건전부와 성능저하부(누수부포함)로 부터 방사되는 적외선양의 차를 적외선 카메라로 부터 받아 성능저하부분을 시각적으로 검출해 내는 방법이다.

그림11은 건물외벽의 박리부 및 슬라브 천정의 누수부를 검출한 사례이다.



(a) 건물외벽박리



(b) 슬라브누수

그림 11. 적외선탐사 해석결과

6. 맺음말

콘크리트 구조물을 어떠한 내적·외적 성능저하 요인하에서도 장기간 건전하게 유지·보전 사용할 수 있는가 없는가의 최대 관건은 내구성 진단기술을 얼마나 효율적으로 운영하느냐에 달려 있다고 해도 과언은 아니다.

선진국에서도 이러한 내구성진단의 체계적·제도적 운영의 시급성을 절감하고, 특히 일본을 중심으로 하여 최근에 국가정책사업으로 내구성진단 기술개발에 전력을 투구해 오고 있으며, 진단도 사후처리보다 사전예방에 더 큰 중점을 두고 있다.

국내에서도 최근의 건설수요급증과 노후구조물 증가로 이에 대한 대책이 시급한 실정이며, 적절한 시기에 정기진단점검이 시행되어질 수 있는 정책적 제도의 마련과 사회적 인식이 필요하다 하겠다.

참 고 문 헌

1. 國土開發技術研究センター, 鐵筋콘크리트造建築物の耐久性向上技術, 1985年.
2. 魚本健人外, 콘크리트構造物의非破壞檢査, 森北出版社, 1990年.
3. 特集: 콘크리트構造物의耐久性診斷, 콘크리트工學 Vol.26, No.7, 1988.
4. 박석균, 콘크리트 비파괴검사 실용화 연구(I~III), 쌍용중앙연구소, 1987~90년.
5. 박석균, 임창덕, 충격탄성파법을 이용한 콘크리트 내부의 결함탐상 기술개발, 한국콘크리트학회 발표논문집 제3권1호, 1991년.
6. 박석균, 철근콘크리트 건축물의 열화진단 기술지침, 레미콘 제31호, 1992년.
7. 박석균, 철근콘크리트 구조물의 내구성 진단기술, 쌍용건설사보, 1992년 5·6월호.