

콘크리트 구조물의 유지·관리 시스템과 당면과제

박 승 범
충남대학교 토목공학과

Maintenance / Control System and Urgent Projects of Concrete Structures

Seung-Bum Park
Chungnam National University

1. 머리말

콘크리트 구조물은 안전한 상태로 유지하여 소요의 내용기간중 그 기능을 충분히 발휘하도록 하는 것이 공공구조물에서 취할 기본조건이다. 콘크리트 구조물은 건설후 각종 자연력 및 인위작용을 받아 시간경과와 함께 물리적·화학적으로 변질·변형되고, 작은 결함이라도 그대로 방치해두면 열화가 진행되어 심한 손상이 발생한다. 특히 그다지 사용실적이 거의 없는 재료의 사용 및 부적합한 설계·시공방법을 이용하였거나 또는 사용조건 및 환경조건이 가혹한 경우에는 조기에 열화·손상이 발생·진행되어 구조물로서의 안전성, 내구성 및 기능성이 저하된다.

따라서 구조물에 요구되는 기능을 만족시키기 위해서는 어떤 대책이 필요하게 되었고, 이를 위해 구조물 및 구성부재의 종류, 사용목적 및 요구수준에 부응하는 체계적인 검사 및 진단을 통하여 열화·손상의 조기발견과 그 원인구명 및 손상정도의 평가·관정을 통하여 적절한 보수·보강을 실시함으로써 구조물의 계획수명을 확보 또는 연장할 수 있는 구조물의 유지·관리가 중요하게 되었다.

① 콘크리트 구조물의 합리적인 유지관리를 위해서는 기본적으로 보다 적은 노력과 비용으로 당해 콘크리트 구조물을 공용기간내에 소정의 기능을 갖춰 만족하도록 관리하는 것이다. 이러한 방침에 따라 종래부터 콘크리트 구조물의 관리주체에 있어서 “유지수선요강”, “점검·보수요령”과 같은 유지관리시스템이 제정되었고 이에 준하여 실무가 진행되어 왔다. 이러한 시스템에서는 콘크리트 구조물의 열화상황은 주로 균열폭 및 균열발생상황, 덮개 콘크리트의 박리 유무 등 육안관찰에 의한 외관조사에 의해 판정되는 것이 대부분이었으나 최근에는 비파괴검사를 이용한 콘크리트 구조물의 안전진단 기술을 시스템에 포함한 예방보전방식의 유지관리시스템이 제안되고 있다.

② 구조물의 유지·관리·보전시스템에는 심한 열화·손상이 발생한 뒤에 보수·보강 등의 조치를 취하는 사후보전방식(breakdown maintenance method)와 구조물이 열화·손상을 일으키기 전 단계 또는 경미한 열화가 발생했을 때 그 원인을 제거한 다음 적절한 조치를 취하여 문제의 발생을 사전에 예방하는 예방보전방식(preventive maintenance method)이 있는데, 종래에는 일반적으로 사후보전방식이 채용되어 왔으나,

현재는 구조물이 결함 및 손상에 의하여 공용성이 저하되지 않도록 계속하여 감시하는 예방보전방식이 정착되어 가고 있다. 특히 토목구조물의 경우는 옥외에 축조되어 장기간에 걸쳐 내하성·내후성·내진성 및 내구성 등의 기능이 요구되기 때문에 열화·손상의 초기 단계에서 조치함으로써 보수공사가 소규모이고 구조물의 기능도 높은 수준에서 유지할 수 있으므로 경제적이고 또한 산업활동의 안전성을 확보하기 위한 측면에서도 중요하다.

따라서 본 고에서는 콘크리트 구조물의 유지·관리·보전방법 및 유지·관리기술의 현황, 문제점과 앞으로의 과제에 대하여 기술하였다.

2. 콘크리트 구조물의 유지관리 시스템

토목구조물은 구조설계, 재료, 안전성, 환경 등의 설계조건 및 입지조건이 상당히 다르고, 열화·손상의 형태도 다양하며, 또한 부재자체에서도 다른 거동을 나타내는 경우가 많다. 따라서 이들 구조물들을 총괄하여 효과적인 예방보전을 실시하는 것이 필요하고, 이를 위해서는 정확한 검사 및 유지·관리와 이에 따른 적절한 조치가 기본조건이다. 구조물의 기능상태를 판정하는 행위에는 진단(유지·관리), 검사, 점검 등 여러가지가 있다. 진단(diagnosis)은 의사가 환자를 진료해 그 상태를 판단하듯 구조물을 조사해 결함유무 등 그 상태를 판단하는 것이고, 검사(inspection)는 어느 기준에 따라 적부, 이상이나 부정의 유무를 조사하는 것이며, 점검(examination)은 하나 하나 상세하게 조사하는 것이다. 이와 같이 진단은 기능의 양부를 판정할 때 판단이 큰 요소가 되

고 검사·점검은 모두 어느 기준에 따라 양부를 판정하는 것이다. 특히 구조물의 경우 재질, 구조이외에 지형, 지반등의 환경요소가 크고, 또한 이들 요소가 복잡하게 영향을 미치기 때문에 최종적으로 검사와 진단에 따른 종합판단이 필요하다.

진단은 검사와 점검결과에 기술적 지식·경험에 의한 고찰과 종합판단이 부가되어 최초로 구조물의 기능평가가 가능하게 되는 것이다.

즉, 검사와 진단의 목적은 안전에 대해 안정한 기능을 보증하는 것으로서, 검사는 부분적기능의 보증을 위한 것이고, 진단은 구조물의 종합적 기능평가를 위한 방법이다.

3. 검 사

검사에는 양부를 판정하는 기준이 수량적으로 표현되고 측정할 수 있어야 하고, 조사하여 양부판정이 가능한 대상물이어야 한다는 두가지 조건이 필요하다.

3.1. 검사 방법 및 특징

구조물을 대상으로 하는 검사방법에는 다음과 같이 3가지로 분류할 수 있고 그 특징은 다음과 같다.

표 1. 검사방법의 분류

종 류	방 법
육 안 검 사	육안으로 상태를 관찰하여 양부판정
계 측 검 사	계측기기를 이용해 계측하여 계측값에 의해 양부판정
기술적 유추에 의한 검사	不可視部分에 대하여 각종시험 및 기왕의 경험등으로부터 기술적근거에 근거해 양부판정

3.1.1. 육안검사

어느 상태를 육안으로 관찰하여 기술·경험 또는 시각·청각 등에 의해 양부를 판정하는 방법이다. 그러나 이 방법에는 다음과 같은 문제점이 있다.

① 검사결과를 수량적으로 표현하기 어렵고, 숙련한 기술자의 지식·경험에 의존하기 때문에 검사를 할 수 있는 사람이 한정되어 있고, 또 그 양성에도 많은 시간이 소요된다.

② 양부판정은 개인차가 크고, 그때의 환경조건에 영향을 받기 쉽다. 이러한 육안검사의 단점을 보완

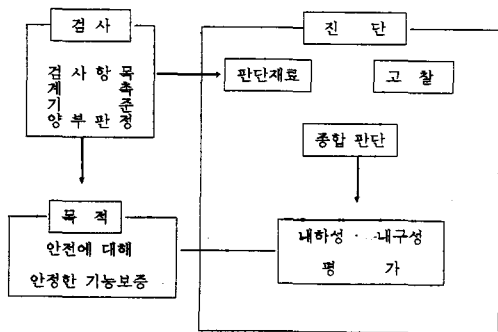


그림 1. 검사와 진단의 역할

하기 위해서 지식·시각 등에 대하여 수량적 표현에 의한 판정기준을 만들 필요가 있다.

3.1.2. 계측검사

구조물의 경우 양부를 판정하는 값으로서는 절대적인 기준값이 아니라 표준값인 경우가 많다. 이것은 구조물 기능의 양부가 하나의 요소만으로 판정되는 것이 아니라 재질, 구조, 환경등의 측면에서 종합적인 판정이 필요하고, 또한 개별성이 강하기 때문에 일률적으로 기준값을 정하는 경우가 어렵기 때문이다.

3.1.3. 기술적 유추에 의한 검사

직접 검사할 수 없는 것에 대한 양부판정은 직접 가능한 요소만을 검사하고, 그 검사결과로부터 不可視部分에 대하여 기술적으로 유추하여 구조물 전체의 양부를 판정한다. 이 경우 과거에 경험했거나, 또는 다른 지역에서 발생한 유사한 사례로부터 不可視部分의 상태를 유추하는 것도 가능하다.

3.2. 비파괴검사의 종류 및 문제점

3.2.1. 철근 부식에 관한 비파괴검사

철근부식에 관한 비파괴검사에는 표 2. 에 나타난 것처럼 일반적으로 전기화학적 방법이 이용되는 경우가 많다. 이 중에는 일반적으로 가장 널리 이용되고 있는 것이 자연전위법이다. 자연전위법은 1977년 ASTM C 876-77로서 제정되었고, 1991년에는 BS 7361도 제정되었기 때문에 측정방법은 대체로 확립되었다고 생각할 수 있다. 그러나 자연전위 측정시에는 측정결과에 재현성(再現性)이 있거나, 사용하는 기기, 다른 측정자에 의해 측정결과가 다르게 나

올 가능성이 있으며, 대체로 30~50 mV정도의 오차가 포함될 가능성이 있다고 알려지고 있으므로 측정시 주의가 요망된다.

콘크리트중에 있는 강재의 부식은 보통 전기화학 반응에 의해 생기고, 강재는 부식상태에 대응해 전위분포를 나타낸다. 자연전위법을 콘크리트중의 강재와 콘크리트 표면상의 照合電極과의 전위차를 측정하여 비파괴적으로 강재의 부식상태를 검토하는 것이다(그림 2.). ASTM에 의하면 전위 E [단위는 포화황산구리 전기기준에서의 전압(V)]가 측정된 그 부분에서의 강재의 부식상태는 다음과 같다고 되어 있다.

-0.20 < E	90%이상의 확률로 부식이 일어나 있지 않음
-0.35 < E ≤ -0.20	불확정
E ≤ -0.35	90% 이상의 확률로 부식이 일어나 있음

표 2. 검사 방법의 분류

- 자연전위법
- 분극저항법
 - 교류임피던스법
 - 직류분극저항법
- 전기저항법
- 표면전위차법

3.2.2. 균열 깊이의 비파괴검사

균열깊이의 비파괴검사방법에는 일반적으로 초음파와 충격탄성파를 이용한 측정방법이 채용되는 것이 일반적이다. 여기에서는 지금까지 비교적 적용빈

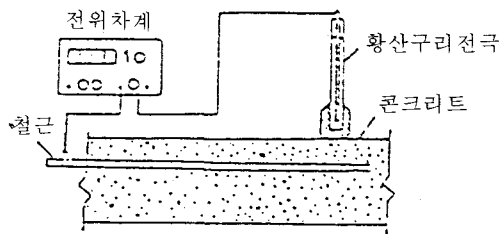


그림 2. 자연 전위 측정 방법

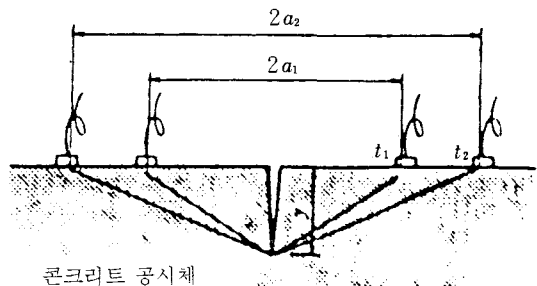


그림 3. 수정 BS법에 의한 균열 깊이 측정법

도가 많은 콘크리트에 발생한 균열깊이를 추정하는 초음파 전파시간을 이용한 방법에 대하여 소개하였다.

(1) 수정 BS 법

그림 3. 에 나타낸 것처럼 탐촉자로부터 균열까지의 거리를 a_1 , a_2 라고 하고, 각각의 탐촉자 간격에서의 초음파 전파시간을 t_1 , t_2 로 한다. 균열깊이의 추정값 y 는 다음식으로 나타낼 수 있다.

$$y = \sqrt{\frac{t_1^2 a_2^2 - t_2^2 a_1^2}{t_2^2 - t_1^2}}$$

(2) Tc-To법

탐촉자의 간격을 L 로 하고 균열을 가로질러 측정 한 초음파의 전파시간을 T_c , 균열이 없는 경우의 전파시간을 T_0 로 했을 때 균열깊이의 추정값 y 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$y = \frac{L}{2} \sqrt{\frac{T_c^2}{T_0^2} - 1}$$

수정 BS 방법의 경우와 달리 계산값 및 측정값도 균열에서 탐촉자까지의 거리가 클 수록 오차는 크게 된다. 이와 같이 초음파 전파시간으로부터 균열깊이를 추정하는 경우 탐촉자의 배치위치가 균열깊이의 오차를 작게 하는데 중요하다.

한편, 균열을 끼고 철근이 존재하는 경우의 균열 깊이를 추정하는 경우 균열선단을 회절하여 도달하는 초음파보다도 철근을 끼고 전파하여 수신탐촉자에 도달하는 초음파가 먼저 수신되기 때문에 경우에 따라서는 정확한 균열깊이 추정이 곤란하게 되는 것 도 지적되고 있다.

이와 같은 문제를 피하기 위해 수신파형을 관찰하여 철근을 끼고 전파한 철근을 판별하여 제2파 이후의 초음파 전파시간에 의하여 균열깊이를 추정하는 방법도 검토되고 있고, 최근에는 직각회절파법 및 초음파 스펙트로스코피 라고 하는 새로운 측정방법이 개발되었는데, 직각회절파법은 제1파가 첫번째로 위상이 변화하는 위치를 찾아내어 위상변화점으로 부터 균열까지의 거리가 균열깊이와 같다고 하는 것이고, 초음파 스펙트로스코피법은 균열깊이 및 내부결

함 등의 정보가 주파수 영역에서 응답특성에 반영시키는 것을 이용한 것으로서 수신파형을 변환하여 얻을 수 있는 응답스펙트럼 관계가 이용된다. 이 방법들은 모두 초음파 전파시간을 측정할 필요가 없는 특징을 가지고 있으므로 실용화가 기대되고 있다.

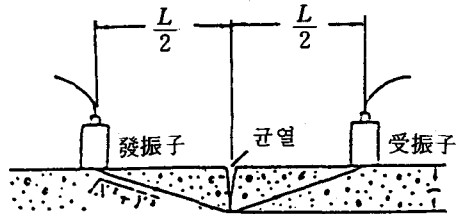


그림 4. Tc-To법에 의한 균열깊이 측정법

3.2.3. 철근 탐지기에 의한 비파괴검사

콘크리트중에 배치되어 있는 철근의 위치와 방향, 철근의 피복두께 측정 및 철근직경을 추정할 수 있는 철근탐지기가 이용되고 있다. 측정원리는 평행공진회로의 댐핑(damping)에 기초하고 있고, 주어진 진동수의 교류전위가 탐침코일에 흘러 여기에 교류 자기장을 발생하여 피복두께와 철근직경에 의해서 한쪽의 코일전압이 변화하는 것에 의하고 있다. 콘크리트는 일반적으로 비자성체이기 때문에, 그 측정에는 거의 영향을 주지 않는다. 실제 구조물에 있어서의 조사에 의하면 피복두께, 철근의 위치 탐사는 가능하지만, 온도 및 주변의 금속류의 영향을 받기 쉽기 때문에 신중한 배려가 요망된다.

4. 점 검

4.1. 점검의 목적

점검은 현재 또는 잠재하고 있는 열화·손상을 조기에 발견하여 그 원인을 파악하고 구조물의 안전도 평가와 열화·손상부의 보수·보강여부를 판단하는데 정보를 제공하기 위하여 실시한다. 또한 구조물의 상태, 시간경과에 따른 변화의 체계적인 정보를 기록하고 적절한 보수·보강을 효과적이고 경제적으로 시공하기 위한 필요한 정보를 파악하며 건설시의 설계, 재료, 시공의 적부판단과 건설에의 feed-back에도 이용된다.

4.2. 점검의 종류

점검을 크게 분류하면 실내점검(내업)과 현지점검(외업)으로 나눌수 있다.

4.2.1. 실내 점검

구조물은 오랜 기간 사용하면 사용도중에 설계, 시공, 재료에 대한 적용기준의 개정이 이루어지므로 현존하는 구조물을 새로운 기준에 적용시켜 그 구조물이 새로운 조건하에서의 안전성 여부를 검토할 필요가 있다. 과거의 설계계산, 시공방법, 사용재료 등을 조사하여 결함이 생길 우려가 있는 구조물을 적출하는 점검으로서, 이에 따라 결함을 일으킬 가능성을 가진 구조물의 조사는 현지점검에 의하여 검사한다.

4.2.2. 현지 점검

현지점검은 다시 다음과 같이 3가지로 나눌수 있다.

(1) 일상 점검 (통상점검)

일상점검은 구조물의 외관, 부속설비, 누수되는 곳이나 공동의 유무, 이상음 등을 검사하는 것으로서 가장 일반적인 점검이며, 일반 노상 또는 계단에서 육안, 쌍안경 및 감각에 의해 손상을 발견하여 판정한다. 일상점검에 의해 큰 균열폭 ($w > 0.3\text{mm}$), 박리, 유리석회 및 그밖의 이상이 발견된 경우에는 가능한 한 빨리 상세점검을 실시할 필요가 있다.

(2) 정기 점검 (상세점검)

정기점검은 구조물을 문제의식을 가지고 점검하는 것으로서, 일상점검에서 점검하지 않은 구조물을 일상점검의 경우보다 구조물에 접근하여 구조물을 세부적으로 육안, 사진촬영 또는 필요에 따라서 crack-scale, 현미경 등의 각종 측정기구를 이용하여 균열, 박리, 마멸, 유리석회, 공동, 누수, 강재부식 등을 정해진 연차계획에 따라 검사한다. 즉, 정기점검의 목적은 구조물의 기능저하를 일으키는 손상 및 2차손상으로 진행되는 손상을 조기에 발견하고, 장래의 점검계획 및 보수계획을 수립하기 위한 자료를 얻는 것이다.

정기점검은 관리통로, 구조물에 설치된 사다리(계단), 비계, 맨홀, 플랫폼 등을 이용하여 육안, 쌍안경으로 실시하는 것이 일반적이다.

정기점검은 일반적으로 1년마다 1회 실시하는 것

이 보통이지만, 콘크리트 구조물의 경우 균열의 진전상황을 관찰하는 것도 필요하므로 월 1회 또는 년 2회 실시되는 균열동태조사도 정기점검에 포함되므로 검사원은 설계·시공경험이 있는 기술자를 선정하면 좋다. 정기점검 결과, 이전보다 큰 균열폭 및 큰 손상이 발견된 경우는 그 부분에 관해서 상세점검의 주기를 단축하던가, 또는 다음의 표준조사에서 그 원인을 상세하게 조사할 필요가 있다. 또한 상세점검시마다 균열길이가 늘어나고 있는 경우는 균열진전상황을 기록할 필요가 있고, 사진촬영, 스케치 외에 콘크리트 표면의 균열을 따라 유성매직 등으로 그리고 그 선단에 점검한 날짜를 기록해 두는 것이 좋다.

(3) 임시 점검 (이상시 점검)

이상에 의해 손상이 생긴 경우 또는 그것이 예상되는 경우에 이것에 대처하기 위한 점검으로서, 예를 들면 화재가 구조물 주변에서 발생한 경우, 지진이 발생한 경우 및 정기점검에서 같은 손상이 다수 발견된 경우와 유사한 구조물을 실내점검에서 선출하여 동일 개소에 대하여 점검을 실시하는 것이다.

5. 진단

5.1. 진단 (유지·관리) 업무의 내용

진단은 여러종류의 다양한 토목구조물을 예방보전을 실시한 경우 빼놓을 수 없는 중요한 수단이다. 따라서 열화·손상상태의 파악, 그 원인의 구명, 안전도 평가 뿐 아니라 조치방법의 책정에 이르기까지 구조물 전체의 유지·관리에 관한 일체의 업무를 포괄한 광범위한 진단기술이 요구된다.

5.1.1. 열화·손상 상태의 파악

구조물의 종류별, 구축년차, 주변의 지형, 지질, 열화·손상 상황, 환경변화의 유무 및 그 상태 등을 파악하는 것이 기본이다. 이를 위해서는 조사가 필요하고, 조사에는 현지조사 및 정보수집이 있다. 현지조사는 현상태의 파악외에도 건설당시의 경력, 기왕의 재해·손상 경력 등에 관한 정보를 수집하는 것이 바람직하다. 육안만으로 열화·손상 및 그 진행상태를 파악하기 어려운 경우 시험 및 계측에 의한 정량적 파악이 필요하다.

표 3. 주요 조사 내용 및 조사 항목

구 분	조 사 내 용	조 사 항 목	조사방법기기
예비 조사	조 사 방 법	가교상태, 전체변화상태	육안, 쌍안경, Camera
	자 료 조 사	제원, 문헌, 환경, 경력 등	관리자와 협의
1 차 조사	손 상 조 사 (외 관)	균열의 상태, 간격, 폭 유리석회, 누수, 백화 등 표면부식(곰보, 박리, 철근노출) 포장상태(균열, 소성변형) 기 타	Crack Scale 육안 쌍안경, Camera 육안
	형 상 조 사	형상치수(크기)	Scale
	구조계산(추정)	추정 또는 내하력 측정지침	
2 차 조사 (상세 조사)	손 상 조 사 (접 촉)	균열밀도 박리, 탈락	Marking Sketch, 화상처리(SCIP), Test Hammer
	형 상 조 사	형상치수	Scale
	비파괴조사	압축강도, 압축탄성계수 균열의 깊이, 폭 철근위치, 크기, 깊이 철근부식 결합부 표면수분 콘크리트 박리, 탈락 중성화 깊이	반발경도법(Schmidt Hammer), 초음파측정(Pundit) 초음파측정, Contact Gauge 전자파측정(Pachometer), Radar측정 전위차측정 충격탄성파측정(Oscillo-Graph) 고주파 수분계 적외선측정(적외선 방사온도계) 중성화측정
	구조계산	부동침하에 의한 영향 또는 내하력 측정지침	
정밀 조사	시료채취조사	압축강도, 압축탄성계수 염분함유량 팽창량(알칼리 반응성 골재) 골재감정 내부변화상태 배합분석 부착염분량	압축시험기(UTM), 매립 Pin법 염분분석기 Contact Gauge 편광현미경 광학내시경,Radar,충격탄성파측정 배합분석 시험기 염분탐지기
	재하시험	비틀림량 처짐량 진동량 응력빈도	비틀림 측정기 변위계(LVDT) 가속도계, 동적비틀림 측정기 전자 Oscillo-Graph Histogram Record
	구조계산	유한요소법, 격자해석법 또는 내하력 측정지침	

5.1.2. 열화·손상의 원인 규명
열화·손상의 원인규명은 상황을 정확하게 파악하거나 조치의 시기·방법을 책정하기 위해서도 가장 중요하다. 열화·손상의 발생에는 외력(하중, 홍

표 4. 콘크리트 구조물의 조사 항목과 그 방법

조 사 항 목	조 사
1. 균열 a) 길이 b) 폭 c) 폭의 변화 d) 깊이	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 스케일 등에 의한 측정 ◦ crack scale, 현미경 ◦ 변형 게이지, 콘택트 게이지 등에 의한 측정 ◦ 절취 및 초음파법에 의한 측정, 코어채취에 의한 조사
2. 콘크리트의 품질 a) 중성화 깊이 b) 콘크리트의 강도 c) 배합·화학분석 d) 반응성 골재	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 페놀프탈레인, pH계에 의한 측정 ◦ 초음파 전파속도측정, 코어에 의한 압축강도 추정, 슈미트해머에 의한 강도추정 ◦ 코어에 의한 배합·화학분석 ◦ 겔 및 반응 메카니즘의 확인, 코어에 의한 팽창량 측정
3. 철근의 조사 a) 피복두께, 철근직경 b) 철근의 부식 c) 철근의 항복강도	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 절취에 의한 측정, 철근 탐지기에 의한 추정 ◦ 절취에 의한 측정, 자연전극전위법에 의한 추정 ◦ 절취 철근조각의 팽창시험
4. PC강재 a) 강재의 위치, 그라우트의 유무 b) 강재의 파단	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 절취에 의한 조사, 초음파법에 의한 측정, 방사선 투과에 의한 그라우트 조사 ◦ 파단면 관찰에 의한 원인 추정
5. 변형상태의 조사 a) 처짐 b) 진동 c) 응력 d) 깊이	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 변위계에 의한 측정 ◦ 진동계, 가속도계에 의한 고유진동수, 감쇠정수 측정 ◦ 계산서에 의한 응력 조사, 응력측정

수, 지진 등), 시간경과, 환경 등의 요인을 고려할 수 있으나, 직접적인 원인으로서는 재질, 구조에 기인하는 구조물의 본체에 의한 것과 지지지만, 주변의 지형에 기인하는 주변의 환경에 의한 것이 있다.

5.1.3. 안전도 평가

열화·손상의 원인 규명을 통하여 그 실태가 정확하게 파악되면, 현상태 및 홍수, 지진시 등에 있어서의 내하성, 내구성 및 기능성 등을 검토하여 안전도를 평가할 필요가 있다. 이 경우 열화·손상의 진행 및 이것에 수반한 구조물균에 있어서의 지장 등의 2차적 손상의 발생도 고려하여 하중 외력조건, 지지·구조조건하에서의 내하성, 내구성 및 기능성 등을 검토해 놓을 필요가 있다.

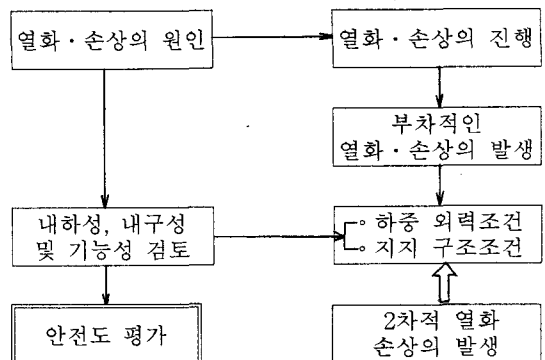


그림 5. 안전도 판정방법

이와 같이 장래 상정할 수 있는 조건하에서의 내하성, 내구성 및 기능성 등을 검토해 놓으면 조치방

법의 시기판단, 장애의 상황변화에 대한 적절한 검토가 가능하다. 또한 안전도를 평가할 경우에는 구조물 주변의 지형등의 환경조건의 변화와의 관련성을 명확하게 해 놓을 필요가 있다. 콘크리트 구조물의 전반에 대한 안전도 평가의 한 예를 나타내면 표 5. 와 같다.

표 5. 구조물의 안전도 판정 구분 예(日本國有鐵道)

판정구분	운전보안 등에 대한 영향	열화·손상의 정도	조치
A	AA 위험	중대함	즉시 조치
	A1 조만간 위험을 느낌 이상 외력의 작용시 A2 위험	변형상태가 진행되어 기능저하도 진행	시급히 조치
	A2 장애 위험을 느낌	변형상태가 진행되어 기능저하도 우려됨	필요한 시기에 조치
B	진행하면 A상태로 됨	진행하면 A상태로 됨	감시(필요에 따라 조치)
C	현상태에는 이상 없음	견미함	중점적으로 검사
S	영향없음	없음	

5.1.4. 조치 방법

조치방법에는 기능저하에 대하여 감시 및 규격에 의해 안전을 도모하거나 소규모의 보수·보강에 의해 기능저하의 방지를 위한 잠정조치와 열화·손상이 발생한 구조물의 개축이나 개량에 의해 기능을 갱신하기 위한 영구조치가 있다. 이들 조치 중 어느 것을 채용하는가에 대해서는 열화·손상의 정도, 구조물의 공용빈도 및 중요도, 비용 등을 고려하여 결정한다.

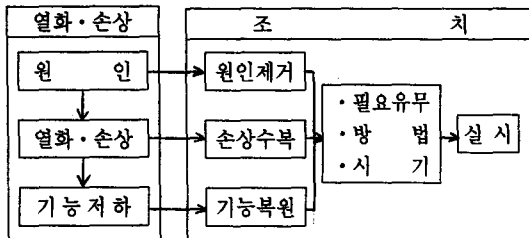


그림 6. 열화·손상에 대한 조치순서

5.1.5. 결과의 데이터화

진단을 실시한 경우에는 그 때 마다 진단결과를 File화하여 그 업무에 관계된 자가 바뀌어도 소정의

진단방식에 기초하여 구조물의 유지·관리·보전을 할 필요가 있다.

5.2. 진단 업무의 특징

진단업무는 구조물의 기능을 종합적으로 평가할 필요가 있기 때문에 기존의 검사데이터만으로는 판단하기 어려운 경우도 있다. 이와 같은 경우에는 판단하기 위하여 필요한 정보, 시험데이터를 고려하여 진단계획을 세우고 판단재료를 수집하여 이것에 정량적·정성적 고찰을 덧붙여 기능을 평가하고 진단 목적에 적합한 조치방법을 취해야 한다.

진단업무는 각 구조분야에 대한 전문적 지식과 경험을 필요로 하고 관찰결과나 수집한 모든 정보, 데이터 등을 시스템적으로 취급하여 내화·내구성능의 평가에 접근해 갈 고찰력과 평가에 대한 판단력 및 조치방법에 대한 제안능력이 요구된다.

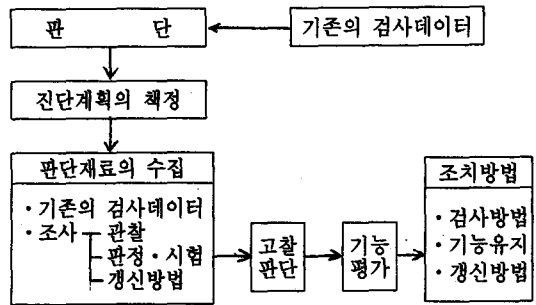


그림 7. 진단방법

5.3. 진단의 종류

진단은 실시대상, 시기에 의해 다음과 같이 나눌 수 있다.

5.3.1. 진단 대상에 따른 분류

(1) 전반 진단

구조물의 기능 상태를 주로 육안으로 진단하는 것으로서 가장 간편한 방법이다. 그러나 각종 다양한 구조물과 함께 주변의 환경을 진단하여 구조물의 기능을 평가하게 되므로 상당한 시간과 노력이 필요하다. 또한 육안에 의해 진단하기 때문에 진단자는 구조물의 각 구조분야에 대하여 풍부한 기술적 지식과 경험을 가져야 함과 동시에 지형·지질 등의 환경에 관한 지식도 필요하다. 그리고 외관만

으로는 직접 확인할 수 없는 잠재적인 결함을 예측하고 발견할 수 있는 직감력도 요구된다.

(2) 개별 진단

구조물의 기능상태를 개별적으로 진단하는 것으로서, 보통 전반진단이나 정기검사 결과 중대한 변상이 발견되어 정밀한 진단이 필요하다고 판단되는 경우에 변상의 원인을 규명하여 현행 및 가까운 장래의 내하·내구성능을 평가하는 것이다.

기존의 정보 및 데이터만으로는 판단하기 어려운 경우가 많고, 진단자는 어떠한 데이터가 필요한가를 판단함과 동시에 수집한 정보, 데이터 및 진단자의 관찰결과 등을 유기적으로 결부시켜 인과관계를 구명하는 고찰력이 필요하다.

(3) 목적별 진단

목적별 진단은 구조물의 기능을 보전, 개선하는 경우 및 구조물의 증축이나 용도 변경 등 특별한 목적을 위하여 해당 구조물에 대하여 정확한 기능평가를 실시하고, 쉽게 조치를 취하는 것을 목적으로 한 것이다.

이 진단은 목적에 해당하는 항목에 관해서만 구조물 전체를 진단하므로 상당히 광범위하게 실시하는 것이다. 따라서 목적에 적합한 검사항목과 판정표준을 설정하여 점검 매뉴얼을 작성하고, 이 매뉴얼에 따라 진단을 실시하여 판정표준에 알맞는지 여부를 판단하면 능률적이다.

5.3.2. 진단 시기에 따른 분류

(1) 정기 진단

주기를 정하여 정기적으로 구조물의 기능상태를 진단하는 것으로 전반진단과 개별진단에 적용된다. 그러나 현실적으로는 정기검사에 의해 검사항목에 따라 그 양부가 check되어 있으므로 다음에 나타낸 것처럼 고도의 판단을 필요로 하는 경우 이외에는 정기진단을 필요로 하는 경우는 거의 없다.

① 구조물의 기능에 영향을 미칠 우려가 있는 변상이 장기간 지속되어 계속 이들의 영향을 평가할 필요가 생긴 경우

② 구조가 복잡하여 不可視범위가 크기 때문에 검사항목에 따라 검사할 수 없는 경우, 또는 그것만으로는 구조물의 기능상태를 판단하기 어려운 경우

③ 기능저하가 현저하기 때문에 정기적으로 진단

을 계속할 필요가 있는 경우

(2) 임시 진단

필요가 있는 경우에 임시적으로 구조물의 기능상태를 진단하는 것으로서, 전반진단, 개별진단, 목적별 진단 모두 적용된다. 임시진단을 필요로 하는 경우에는 일반적으로 다음과 같은 경우를 들 수 있다.

① 신설구조물은 준공후 5~10년간에 각종 초기변상이 발생하기 쉽고, 이들 변상을 조치한 다음에는 안정기에 들어가지만 그후 서서히 시간경과와 함께 열화가 진행되어 다시 불안정기에 들어가는 경향을 나타낸다. 준공후 초기 및 시간경과에 따른 열화가 진행되는 불안정기에는 원인을 판단하기 어려운 변상이 많이 발생하는 경우가 있기 때문에 전반진단이 필요하게 된다.

② 판단할 수 없는 변상중에는 그대로 방치해 두면 변상이 빨리 진행되어 구조물의 내하기능에 직접 영향을 주는 경우가 있다. 변상의 초기단계에서는 경미한 조치로 완료함에도 이 단계에서는 대책수립에 곤란이 수반될 위험성이 있다. 따라서 검사만으로는 판단이 곤란한 변상 또는 환경변화가 생긴 경우에는 개별진단이 필요하게 된다.

6. 유지·관리의 현황과 문제점

6.1. 콘크리트 구조물의 유지·관리 기술의 현황

콘크리트 구조물의 유지·관리 기술의 현황과 앞으로 연구개발이 필요한 분야에 대한 개요를 나타내면 표 6. 파 같다.

한편, 검사 및 진단시 비파괴검사가 어느 정도 실시되고는 있으나, 그 빈도는 상당히 적은 실정이다. 이는 육안검사는 통상점검 등에 실시되고 있지만, 비파괴검사는 상세조사에만 이용되기 때문이며 코어에 의한 압축시험보다는 그 실시빈도가 적은 편이다. 코어채취는 구조물에 상당히 큰 손상을 주고, 경우에 따라서는 철근 등의 보강강재를 절단할 우려가 있으며, 코어채취후 보수가 필요한데 비하여 비파괴검사는 구조물에 미치는 손상이 없음에도 불구하고 그 실시빈도가 적은 원인은 일반적으로 그 역사가 짧고 시험방법이 표준화되어 있지 않으며 시험오차에 대해서도 명확히 구명되어 있지 않기 때문이다. 또한 보다 본질적으로는 비파괴검사를 실

표 6. 유지·관리 기술의 현황과 사후 필요한 연구개발

		현 황		사후의 연구개발	
		실제상황	설 명	필요성	가능성
열화예측		△	철근부식에 의한 열화예측이 가능하고, 개발되고 있으나 어렵다.	유	유
점 검	육안점검	○	객관적 평가로서는 문제가 있다.	유	유
	화면점검	△	전반적으로 개발이 늦어지고 있다.	유	유
	비파괴 진단기술	△	육안을 대신하는 비파괴진단 기술은 불충분.	유	유
	부분파괴 진단기술	○			
	재하시험	○			
평가	내부결함	△	상당히 큰 결함이 아닐 경우 곤란.	유	유
	재료평가	○			유
	제 3자에 대한위험도의평가	△	국부적인 콘크리트의 박리에 의한 콘크리트의 떨어짐을 미연에 안다는 것은 상당히 어렵다.	유	유
	종합판정	△	열화인자와 열화도의 관계, 판정기준, 구조물의 수명 등, 불확정한 곳이 많다.	유	유
대책	선 정	△	객관적인 선정기준은 불명확.	유	유
	보 수	△	수명 불명확.	유	유
	보 강	○	수명 불명확.	유	유
	해 체	○	공해에 문제가 있음.	유	유

시하는 이유가 모호하고, 콘크리트 기술자에게는 친숙하지 않은 학문분야의 지식을 요구하고 있으며, 여러가지 비파괴 시험중에서 안전도 진단시 필요 또는 적용가능한 검사항목을 판단하기 어렵기 때문이다.

6.2. 유지·관리의 문제점

콘크리트 구조물의 결함발생은 반드시 설계, 시공, 유지·관리 과정중 어느 한 곳의 잘못으로 인하여 발생된다. 최근 삼풍백화점, 성수대교의 붕괴사고를 비롯한 많은 대형사고들은 철저한 설계·시공 및 유지·관리의 중요성을 다시 한번 깨닫게 한 사건들이었다.

특히 이제까지 콘크리트 구조물의 유지·관리에 대해서는 거의 무관심과 무지로 콘크리트 구조물이 손상되었더라도 대부분이 하자보수 성격으로 은폐

시킨채 형식적인 보수·보강을 실시하여 공용기간중에 더 큰 문제점과 사고를 가져왔음이 사실이다.

따라서 이러한 우리의 현 실정에서 검사 및 진단시의 문제점을 정리하면 다음과 같다.

- ① 유지·관리에 필요한 작업공간의 확보를 소홀히 하는 경우가 많다.
- ② 입지조건 때문에 복잡한 구조 또는 비이상적인 구조로 설계·시공되는 경우가 있으며, 이런 경우 계획·설계·시공시에 예상하지 못한 손상의 발생을 수반하는 경우가 있다.
- ③ 유지·관리, 보수·보강을 실시하는데 기초자료가 되어야 할 건설당시의 데이터(재료강도, 시공관리결과, 설계도서, 시공도면 등), 점검결과 및 보수·보강 이력에 관한 자료가 보관되어 있지 않은 경우가 많다.
- ④ 구조물의 내용년수를 명확히 하고, 초기경비와

유지·관리비를 합한 총경비를 최소로 하는 설계·시공 및 유지·관리방법을 확립할 필요가 있다.

- ⑤ 일상점검은 대개 전문적인 지식과 경험을 갖추지 못한 사람에 의해 점검하는 경우가 많고, 매우 광범위한 관찰범위를 단시간에 점검하므로 손상을 발견하지 못할 가능성이 많다.
- ⑥ 정기점검은 점검기준에 따라 전문가에 의해 점검하므로 대부분의 손상을 발견할 수 있으나 주로 육안에 의존하므로 점검계획을 세워 상세하게 점검하여 보수·보강의 여부판단 및 우선순위를 결정하고, 점검기준에 기재되어 있지 않은 손상에 대해서도 철저히 조사해야 한다.
- ⑦ 점검결과 손상에 대하여 경제적·기술적 판단에 의해 보수·보강의 우선순위가 판정되지만, 손상에 대하여 구조부재가 어느 정도의 내구성과 안전성을 가져야 하고, 보수·보강시 어느 정도의 개선효과가 있는가에 대한 정량적인 판정기준이 명확하지 못하다.

이러한 사항들을 고려하여 개선하므로써 합리적인 구조물의 유지·관리가 이루어져야 할 것이다.

6.3. 앞으로의 과제

콘크리트 구조물은 어떻게 관리하는가에 따라 구조물의 사용기간이 결정된다. 따라서 합리적인 유지·관리를 실시하기 위해서는 다음과 같은 유지·관리방법 및 평가방법이 확립되어야 한다.

6.3.1. 합리적인 유지·관리 방법의 확립

점검 및 조사에 있어서 누락되는 곳이 없도록 하기 위해서는 점검 및 조사계획을 수립해야 하며, 다음과 같은 사항이 선행되어야 한다.

- (1) 전문기술자의 육성 : 전문기술자의 교육계획 작성 및 자격규정에 의한 자격심사
- (2) 유지·관리방법의 개발 : 특히 육안점검을 보조하는 간단하고 간편한 점검기구의 개발

또한 구조물의 각 부위별 부재를 구분하여 사용 한계상태나 중국한계상태를 도면 등에 표시하여 손상의 발견을 놓치지 않아야 한다.

6.3.2. 판정 및 평가 방법의 확립

점검 및 조사결과에 대한 정량적인 판정기준의 확립이 요망된다.

- (1) 구조물별 안전도 평가방법을 확립할 필요가 있다.
- (2) 사용재료의 시험결과, 하중상태, 실제 작용응력 및 실제 구조물의 공용년수에 따른 성질 등에 대하여 장기간에 걸친 정량적인 데이터를 축적하는 것이 중요하다. 이를 위하여 영구측정시스템을 설치하여 지속적인 자료수집을 통하여 유지·관리뿐만 아니라 신설 구조물에도 설계 및 시공자료를 제공할 수 있다.
- (3) 내용년수의 설정이 필요하다.

이를 위해서는 다음과 같은 사항을 고려할 필요가 있다.

- ① 하중의 실패와 공용년수의 변화
- ② 각 부재의 피로수명
- ③ 구조부재별 부식속도
- ④ 보수·보강, 교체 종류와 회수, 경제적인 보수·보강 주기
- ⑤ 내용년수와 총비용의 관계
- ⑥ 교통을 통제할 경우의 사회적·경제적 영향

7. 맺음말

콘크리트 구조물에 대한 유지·관리는 당초 목표한 구조물의 기능을 충분히 지속시키는데 있다. 이를 위해서는 정기적인 점검하에 손상을 조기에 발견하고 정확한 원인분석을 통하여 적절한 재료와 공법을 적용하여 초기에 보수를 실시해야 한다. 이들 손상을 장기간 방치하여 손상상태가 크게 발전하면 보강 또는 재시공이 불가피하게 되므로 이용상 불편은 물론 막대한 예산이 소요되므로 예방보전방식에 의한 콘크리트 구조물의 유지·관리가 적절히 실시되어 초기에 보수는 것이 바람직하다.

따라서 보수효과가 확실하도록 하여 한번의 보수로 구조물의 장수명화를 도모한다고 하는 자세로 구조물의 유지·관리를 진행하기 위해서는 구조물에 발생한 열화·손상을 주의깊게 관찰해야 한다. 이것을 적절하게 실시하기 위해서는 육안검사만으로는 결코 충분하지 못하고 비파괴검사에 근거하여 조사를 실시할 필요가 있으며, 비파괴검사를 적극적으로

이용하기 위해서는 시험방법에 대한 표준화가 요구되며 또한 시험오차에 대한 명확한 구명이 필요하다.

한편, 유지·관리업무는 구조물의 대상에 따라 다소 차이가 있을 수 있다. 그러나 전반적인 흐름에 있어서는 구조물의 종류에 따른 차이보다 유지·관리를 담당할 조직체의 여건에 따라 구성체계가 달라진다. 따라서 구조물이 건설되어 최종완성검사를 거쳐 유지·관리단계에 접어들면 적절한 유지·관리 체계를 구상하여야 하고 담당기관의 실정에 맞는 업무분담을 하여야 한다. 그러나 유지·관리의 구상은 담당기관의 실정에 맞추는 것이 바람직하지만 현실적인 제약에 맞추다보면 새로운 시도는 어렵다. 특히 우리나라의 경우 유지·관리에 대한 인식부족과 유지·관리에 대한 예산부족, 전담요원 및 기술자 육성이 잘 되어 있지 않을 뿐만 아니라, 제도적 뒷받침이 되는 규정 등이 뒤따르지 못하여 현재까지 능동적·적극적인 대처를 못하고 있다.

따라서 유지·관리분야에 대한 연구가 다양하게 이루어져 지금까지 소홀히 취급되어 왔던 유지·관리 부분에 대한 인식을 제고하고 효과적인 유지·관리가 실현되어 구조물의 안전성과 사용성의 확보는 물론 사회기반시설로서의 토목구조물의 기능을 발휘할

수 있도록 하여야 할 것이다. 아울러 정부와 기업은 구조물을 손상된채 파괴에 이를 때까지 방치하여 철거하고 새로운 구조물을 건설하는 것은 여러 측면에서 어렵고 엄청난 비용이 드는 만큼, 그 유지·관리에 대하여 건설에 못지 않는 관심이 있기를 제안하는 바이며, 유지·관리에 투자함에 인색하지 않아야 할 것으로 판단된다.

참고 문헌

1. 박승범 외, “콘크리트구조물의 비파괴검사 및 안전진단” 기문당(KCI), (1995)
2. 박승범 외, “공공구조물의 유지·관리·보전 시스템 개발”, 한·일 국제공동연구 보고서(1), 충남대 산기연, (1995)
3. 建設省土木研究所 ユンラリート 研究室, 日本 構造物診断技術協會, “ユンクリート 構造物の健全度診断技術の開発に 關する 共同研究報告書” 第 106号, (1994. 7)
4. AASHTO, “Manual for Maintenance Inspection of Bridges”, (1983)
5. S.N., Andrzej, “Bridge Evaluation, Repair and Rehabilitation”, Kluwer Academic Pub., (1990)