

鐵筋콘크리트 구조물의 構造診斷

尹 在 換
공학박사
수원대학교 건축공학과 교수

1. 머릿말

최근의 신도시건설등 건설붐에 따라 철근 콘크리트 구조물이 대량으로 건설되고 있으며 또한 신행주대교의 붕괴, 청주 우암아파트의 붕괴등 잇따른 건설재해로 인하여 아까운 人命이 손실될 뿐만 아니라, 철근 콘크리트 구조물의 안전성에 커다란 문제점을 제기하여 기존 구조물의 안전성 확보를 확인하기 위한 구조안전진단이 요망되고 있다.

건물진단이란 기존건물에 대한 현지조사를 실시하여 耐用年數에 맞는 耐久性, 安全性, 및 使用性이 확보되어 있는가의 여부를 진단하여 적절한 대책을 강구하는 행위를 말한다. 건물의 진단은 구조체가 소요의 안정성을 확보하고 있는지를 조사하는 調査安全診斷과 마감재등의 열화등 건물의 기능을 유지하는데 필요한 유지관리 대책을 검토하는데 필요한 耐久性診斷으로 나눌 수 있다. 특히 外國에서는 에 대한 防災적인 의미에서의 耐震진단을 構造진단이라는 용어를 사용하고 있으나 우리나라에서는 이러한 용어는 사용되지 않고 있다.

건물의 life cycle에서는 구조체보다도 마감재의 劣化가 선행된다. 마감재의 열화는 바로 건물수명의 단축을 의미하는 것은 아니나, 방치하면 콘크리트의 균열로부터 빗물이 침투하여 철근을 부식시키는등 내구성뿐만 아니라 安全性을 손상시키는 원인이 된다.

본고에서는 철근 콘크리트 구조물에 대하여 구조진단 및 내구성의 양면에서 진단요령을 文獻"을 인용하여 기술한다. 또한 현장에서의 비파괴 검사법으로써 초음파측정기술을 구조체조사에 응용한 최신의 計測法을 소개하고 바닥슬래브의 조사방법을 채택하여 해설하였다.

2. 진단순서와 조사항목

구조진단의 일반적인 순서는 예비조사·계획 →조사·해석·평가→대책→보수와 같은 과정을 거친다(그림 1). 다음에 실시시의 유의점을 든다.

(1) 진단계획단계 (제1단계)
의뢰자의 의도가

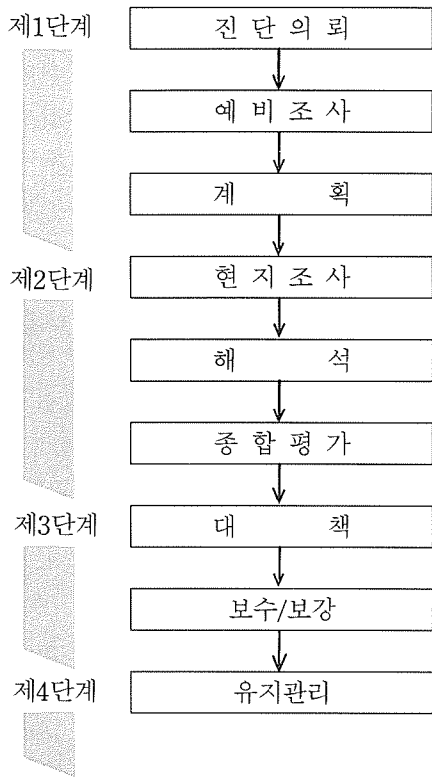


그림1. 진단의 흐름도

- (a) 용도변경이나 증, 개축에 따른 구조내력의 평가
 - (b) 균열, 처짐, 진동등의 장해에 대한 대책
 - (c) 지진, 화재, 폭발사고등의 복구대책
 - (d) 내구성, 구조적 불안의 해소
 - (e) 열화나 장해의 사전예방
- 의 어디에 해당하는지를 확인하여, 비용이 헛되지 않도록 배려하여 계획서를 작성한다. (a) 및 (c)에 대하여는 건축법과 소방법에 의한 소급, 규제의 유무에 주의한다.

(2) 진단실시단계 (제2단계)

작업계획서를 작성하여 현장작업의 내용, 진동·소음발생의 유무, 동력물, 자재의 지급, 작업시간 안전관리에 대하여 관리책임자와 미리 협의한다.

(3) 대책실시단계 (제3단계)

보수·보강계획에 대해서는 실시범위와 조건을 의뢰자와 협의한다.

장래의 유지관리적인 관점에서부터 조사항목에 대응하여 보수·보강후의 데이터채취를 위한 조사비용도 공사예산에 포함시키는 것이 바람직하다.

(4) 유지관리단계 (제4단계)

보수·보강의 방법에 따라서는 효과의 지속성에 대한 확인이 바람직하며 필요에 따라 정기적인 검사와 진단을 실시한다.

다음에 구조진단에 필요한 정보를 정리하면 다음과 같다.

- ① 경년열화 : 구조부재의 균열, 손상, 변형의 정도, 재료강도, 마감재의 변화 상태
- ② 환경조건 : 배열, 배기가스, 폐액, 진동등 열화촉진 요인의 영향도
- ③ 사용방법 : 과하중, 충격하중, 빈도가 높은 반복하중의 정도
- ④ 기초지반상태 : 기초나 말뚝의 형식, 지반지지력, 지하수의 수위, 수질
- ⑤ 구조 : 건물형상, 구조형식, 구조치수, 내력, 강성

조사항목에 따라서는 현장에 직접적으로 특정지울수 없는 것도 있으며, 또한 기존건물에서는 파괴검사의 실시가 곤란하기 때문에 각종 비파괴검사를 많이 사용한다.

3. 철근콘크리트 구조체의 조사

(1) 조사의 관점

철근 콘크리트 구조는 말할 필요도 없이 철근과 콘크리트로서 이루어진 구조이며 재료적으로는 압축력이 강하며 또한耐火性能이 뛰어난 콘크리트와 압축력, 인장력 모두 강하나 挫折할 우려가 있으며 녹이 슬기 쉽고 고온에 노출되면

耐력을 상실하는 철근과를 상호보완한 형태로 조합시킨 것이라 할 수 있다. 이와같은 관점으로 부터 보면 RC구조체에 대한 조사는 콘크리트가 철근을 보호하며 그 耐력을 충분하게 발휘시킬수 있는 상태에 있는가가 중요한 관점의 하나가 된다. 구조진단에 필요한 정보는 앞에서 정리한 바와 같이

- ① 經年劣化 ② 환경조건, ③ 사용방법, ④ 기초지반의 상태, ⑤ 구조이지만 대상건물에 따라서는 모두가 필요한 것은 아니다.

(2) 조사방법

위와같은 필요정보를 얻기위한 조사방법중 현장조사방법을 분류하여 다음에 나타낸다. 각각의 조사방법에 의한 상세 및 판정법은 다른 文獻⁹⁾를 참고해 주시기바란다.

- ① 육안조사 : 건물의 균열, 손상, 변화상태의 조사, 또한 설계도서와 대조함에 따라 經年劣化 또는 구조체의 현재상태에 관한 정보가 얻어진다.
- ② 청문조사 : 건물의 관리자, 사용자등으로부터 청문에 의해, 건물이력, 환경조건의 변화, 사용방법의 변천, 현재상태, 진동장해등에 관한 정보를 얻는다.
- ③ 스케일등에 의한 실측조사 : 스케일에 의한 건물 각부분의 치수, 부재단면 치수등 실측에 의해 구조체의 형태치수가 얻어지며 레벨등에 의한 실측에 의해 건물, 바닥등의 부재, 혹은 지반의 변형상태가 얻어진다. 트랜시트 혹은 다짐추에 의한 실측에 의해 건물의 기울기등의 상태를 파악할 수 있다.
- ④ 샘플링 혹은 일부 파쇄에 의한 조사 : 콘크리트의 코어 채취에 의하여 마감상태, 콘크리트의 시공상황, 압축강도, 중성화깊이, 철근위치, 철근갯수, 피복두께, 부식상황등의 정보가 얻어진다. 더욱이 철근의 샘플링에 의해 강도에 대한 정보가 얻어진다. 또한 기초둘레에 대한 굴삭에

의해 기초·말뚝상태 혹은 水位등에 관한 정보가 얻어진다. 일반의 건물진단에서는 그다지 행하여지지 않으나 지반에 원인이 있다고 생각되는 장해가 보일 때는 지반의 보링조사를 할 필요가 있다.

현장조사방법으로서 최근 비파괴시험·검사기기가 사용되고 있으며, 이것들을 다음에 나타낸다.

⑤ 전기적 방법 : 전기저항을 이용한 변형, 응력측정, 초음파를 이용한 콘크리트의 두께, 균열깊이, 압축강도등의 측정, 磁氣 및 電磁波를 이용한 철근탐지기등이 실용화되고 있다. 초음파이용의 조사기술에 대해서는 다음 절에 소개한다.

⑥ 물리적 방법 : 표면반발경도로서 콘크리트의 압축강도를 추정하는 슈미트햄머는 자주 이용되는 방법이다. 지반의 지내력을 구하는 경우 앞에서 기술한 보링조사를 샘플링시험이라 한다면, 평판재하시험은 물리적인 방법이라 할 수 있다. 또한 赤外線 thermography는 외장마감재 조사에는 사용하는 경우가 있으나 구조체조사에 직접 적용하는 것이 부적합하다.

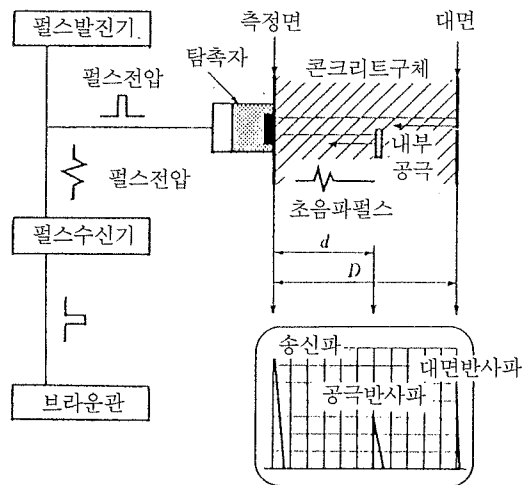


그림 2. 일탐촉자-반사법에 의한 판두께, 내부공극의 측정

⑦ 화학적 방법 : 이방법의 앞의 ④의 샘플링 혹은 파쇄조사 결과 얻어진 자료를 대상으로 행해진다. 페놀프타레인 시약에 중성화 깊이의 측정 혹은 시약반응에 의한 콘크리트중의 염분 농도측정법등이 있다.

(3) 초음파측정기술에 의한 조사방법

콘크리트의 판두께, 균열깊이, 또한 압축강도의 측정을 할 수 있는 비파괴검사 초음파측정 기술을 소개한다.

판 두께의 측정은 그림 2에 나타낸 바와 같은

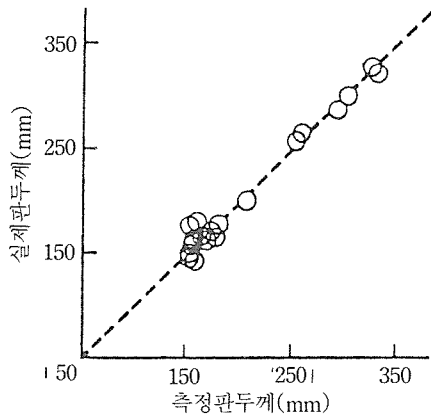


그림 3. 초음파 측정기에 의한 판두께 측정결과

一探觸子·반사법으로 행한다. 그림 3은 바닥슬래브와 PC보에서 실시한 측정결과이며 실제의 판두께와 좋은 대응을 보이고 있다.

균열깊이는 균열을 사이에 두고 송수신탐촉자를 배치하고 균열선단에서 회절 또는 산란하는 초음파를 이용하여 측정한다. 그림 4는 시험체의 인공적인 균열(slit)과 휨을 가해 발생시킨 균열에 대하여 본 측정법을 적용한 결과를 나타내고 있으며 계측결과와 실측한 균열깊이와는 좋은 대응을 보이고 있다.

압축강도는 일탐촉자·반사법으로 측정한다.

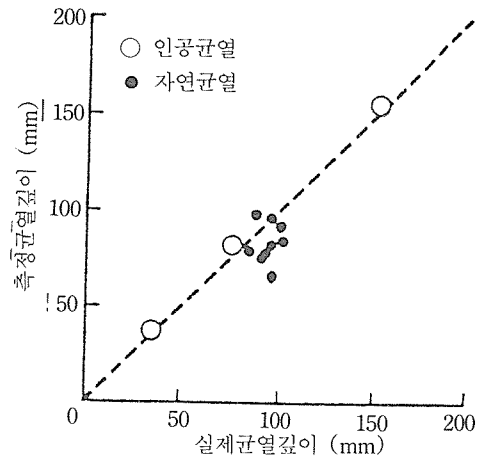


그림 4. 초음파 측정기에 의한 균열깊이 측정결과

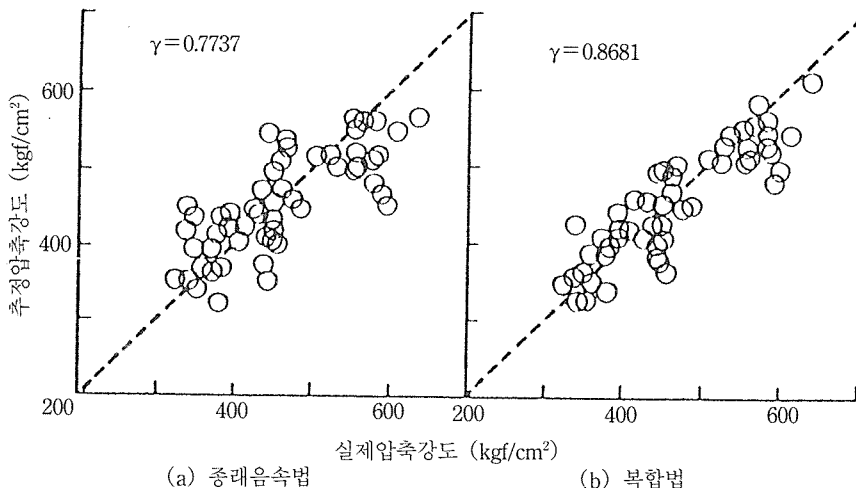


그림 5. 초음파 측정기에 의한 압축강도 측정결과

지금까지 행해져온 縱波를 사용한 초음파법이 큰 오차를 가지고 있는 것에 비해 6종류의 음파 정보의 조합에 의한 초음파 복합법은 그림 5에서 알 수 있듯이 보다 정확하게 실제의 압축강도를 추정할 수 있다.

4. 構造體의 진단

4.1 耐久性진단 방법

RC구조물의 내구성은 철근부식에 의해 결정된다. 내구성진단은 구조진단과 같은 정량적인 진단법이 확립되어 있다고 볼 수 없다.

문헌⁴⁾에 의하면 내구성은 「어느 허용열화도에 달할 때까지의 시간이다」로 정의되어 있으며 그림 6에 나타낸 바와 같이 구조물의 열화도가 별도로 정의된 허용열화도에 달했을때(그림에서는 t_{01} t_{02}) 그 구조물의 내구성 한계로 한다. 이에 의하면 조사시의 시간을 T로 하면 내구성 한계에 달하는 시간은 (t_{01} T) 또는 (t_{02} T)가 된다. 그림 7은 구조물의 열화도가 철근의 부식도에 의해 결정되며 동일한 철근부식도에 있어서는 철근의 부식속도에 관계없이 구조물의 열화도도 동일하게 된다고 가정하여 얻어진 것이다. 문헌에서는 내구성설계의 관점에서 필요내용연수로부터 부식속도를 구하고 있으나 내구

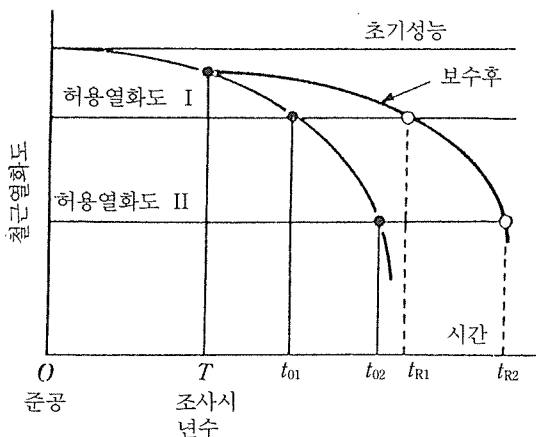


그림 6. 구조물의 열화속도와 수명

성진단의 관점으로부터는 그림에 나타낸 바와 같이 허용열화도로부터 철근의 부식도를 구하고, 철근의 부식도로부터 내용년수 t_0 를 구할 수 있다. 조사시점을 T로 하면, 내구성한도에 달할 때까지의 시간은 (t_0 T)가 된다.

더욱이 이 문헌에서는 철근의 부식속도는 콘크리트나 사용재료의 품질, 설계조건(피복두께, 마감의 종류등)과 환경조건(습도, 온도등)에 의해 영향을 받는다고 기술되어 있다. 기존 구조물인 경우에는 이들 조건의 대부분이 이미 결정되어 있으나 마감의 종류 혹은 환경조건의 일부는 변경이 가능하다. 따라서 내구성의 잔존수명이 작은 경우에는 이들 조건을 변화시킴으로써 그림 6, 그림 7 중의 굵은선으로 나타낸 바와 같이 수명을 연장시킬 수 있다.

구조물의 허용열화도에 대해서는 구조내력만이 확보되어 있으면 좋은 구조물과 사람이 거주하는 주택이나 일반건물, 혹은 도심지나 사람들 눈에 띄기쉬운 장소에 있는 구조물등, 구조물의 종류, 용도, 소재지, 구조물에 대한 요구성능등에 따라 상당한 차이가 있다. 문헌에서는 사람이 거주하는 주택이나 일반건축물에서는 피복 콘크리트에 균열이 발생하는 시점을 허용열화도로 하는 것이 합리적이라고 기술하고 있다. 그러나 이 단계에서는 구조물의 내력은 거의 저하하지 않는다. 철근의 부식을 중심으로 한

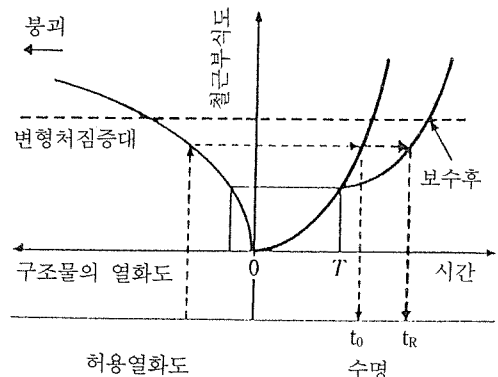


그림 7. 구조물의 내구성 개념

콘크리트 부재의 수명에 관해서는 다른 문헌⁹⁾에 상세히 기술되어 있으므로 참조하기 바란다.

4.2 구조진단

4.2.1 바닥슬래브의 조사

여기에서는 바닥슬래브에 대한 진단을 예를 들어 해설한다.

바닥슬래브에 대한 조사는 처짐, 균열장해와 더불어 진동이 있다거나, 화재로 인한 피해, 혹은 용도변경에 따른 현상과악이외에도 보수, 보강 효과에 대한 확인등 여러 목적으로 행해진다. 철근콘크리트 바닥슬래브의 처짐, 균열, 진동에는 상호관계가 있으며 장해가 생기게 되는 과정은 그림 8과 같다.

한편 장해를 가져오는 원인도 내력의 여유부족, 콘크리트 강도부족, 배근의 부족, 과대하중, 충격하중, 반복하중 등이 있으며 더구나 이들이 복합적으로 얽혀져 있는 경우가 있다. 따라서 원인을 하나로 규정짓지 않고 모든 가능성을 고려하여 현지조사를 하는 것이 중요하다. 시험

에는 진동시험과 재하시험의 2가지가 있다. 진단의 순서는 다음과 같다.

(1) 상황파악(제1단계) : 바닥슬래브의 균열, 처짐, 진동레벨등을 육안, 청문, 측정에 의해 현장조사한다. 동시에 용도변경과 피해이력, 사용상황(특히 하중)을 조사한다.

(2) 시험·검사(제2단계) : 바닥슬래브의 진동성상(고유 진동수, 진동모드, 진폭, 감쇄상수 등)을 진동시험에 의해 측정한다. 균열, 처짐이 현저한 경우에는 필요에 따라 재하시험을 행하여 검토한다. 동시에 구조치수, 배근상황, 콘크리트 강도를 조사한다.

(3) 해석·평가(제3단계) : 시험결과에 근거하여 바닥슬래브의 강성, 내력에 대하여 설계치와의 과부족을 검토한다. 시험을 실시할 수 없는 경우에는 계산에 의한다. 장해정도 혹은 열화정도에 따라 내력보강, 보수, 사용개선의 여부를 검토한다.

4.2.2 바닥슬래브의 진동시험

바닥슬래브에 진동을 가하여 고유진동수와 진폭을 측정하고 초기강성과의 비교(고유진동수의 계산치와 실측치와의 비교), 측정치상호의 편차 또는 강성의 경시변화등으로부터 구조체의 일체성과 그 지속성을 평가하는 경우와 진동레벨을 측정하여 감각적인 면으로부터 바닥슬래브의 거주성과 사용성을 평가하는 경우의 2가지가 있다.

진동을 가하는 방법으로는 모래주머니를 낙하시켜서 충격력을 가하는 방법이 실용적이다. 충격력에 의해 최대진폭으로 50~100m 정도의 자유진동파형을 측정할 수 있으면 충분히 해석이 가능하며 이와같은 加振力은 10kg정도의 모래주머니를 20cm전후의 높이에서 낙하시킴으로써 용이하게 얻을 수 있다.(그림 9). 이 경우의 충격력은 일량으로 대개 2kgf·s이며 성인남자가 바닥위에서 뛰었을 때의 유효충격량에 해당한다.

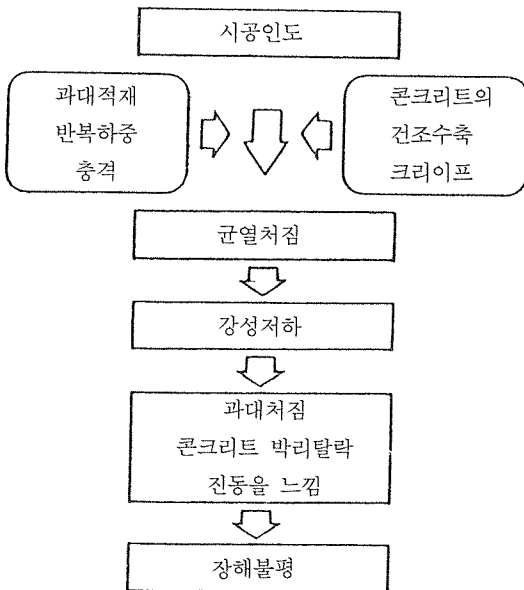


그림 8. RC 슬래브가 클레임에 이르는 과정.

다는 것이 경험적으로 확인되었다. 진동감각을 평가하기 위해서는 사람이 보행 또는 주행한 경우의 진동레벨을 측정해 두면 된다. 측정결과에 대한 평가는 아래와 같다.

(1) 고유 진동수 : 실제의 바닥슬래브는 탄성 지지되어 있기 때문에 실측치는 단순지지와 완전고정의 계산치 사이에 있다. 따라서 단순지지 계산치이하로 떨어지는지의 여부가 건전성 판단의 목표가 된다. 균열과 큰 처짐이 생긴 슬래브에서는 단순지지 계산치이하로 떨어지는 경

우가 있다. 진동수를 정기적으로 측정하여 그 변화를 추적하면 보강슬래브의 보강효과에 대한 지속성을 알 수 있다. 유지관리의 관점에서 경시적인 강성열화(剛性劣化)를 감시하는 경우에 실용적이다.(그림 10)

(2) 진동수-진폭특성 : 참고와 같이 동일형태의 슬래브가 다수 있는 경우는 진동수와 최대진폭의 실측치 분포도를 작성하면 강성열화를 초래한 장애슬래브를 선별할 수 있다.(그림 9 참조)

(3) 진동감각 : 거주성의 평가를 필요로 하는 경우에 실측할 수 있다. 일반적으로는 마이스터의 진동감각곡선을 이용하나 일본건축학회에서 정한 건물용도별의 설계목표치와 비교하면 된다.

4.2.3. 바닥슬래브의 재하실험

처짐성상과 내력을 직접적으로 조사하는데 있어서 확실한 방법이지만, 건물의 사용상황, 기간, 비용의 면에서 제약이 크므로 진동시험과

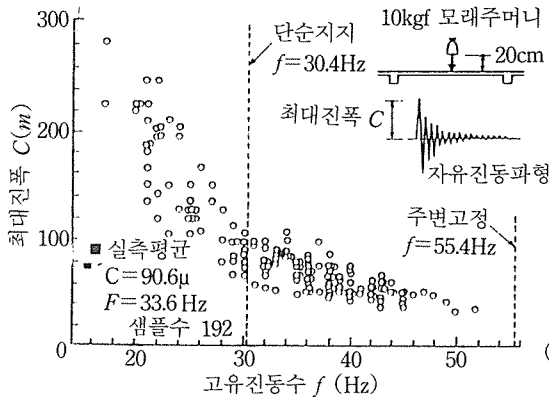


그림 9. 실제 바닥슬래브의 진동수-진폭의 실측 예

(變狀) : 바닥마감재의 들뜸·균열, 구조체콘크리트의 균열·손상등의 진행, 또는 새로운 균열발생

(障害) : 균열, 처짐, 진동등 사용상의 불편

F_1 : 전번에 측정된 개개 바닥슬래브의 고유진동수

F_2 : 이번에 측정된 개개 바닥슬래브의 고유진동수

F_p : 처리를 필요로 하는 “장애”가있는 바닥슬래브의 고유진동수

F_s : 건전한 상태에 있는 바닥슬래브의 고유진동수계산치(단순지지를 하한치로 한다)

dF : 활하중의 변동과 진동측정오차에 의한 편차 (보통은 1Hz정도를 허용해도 된다).

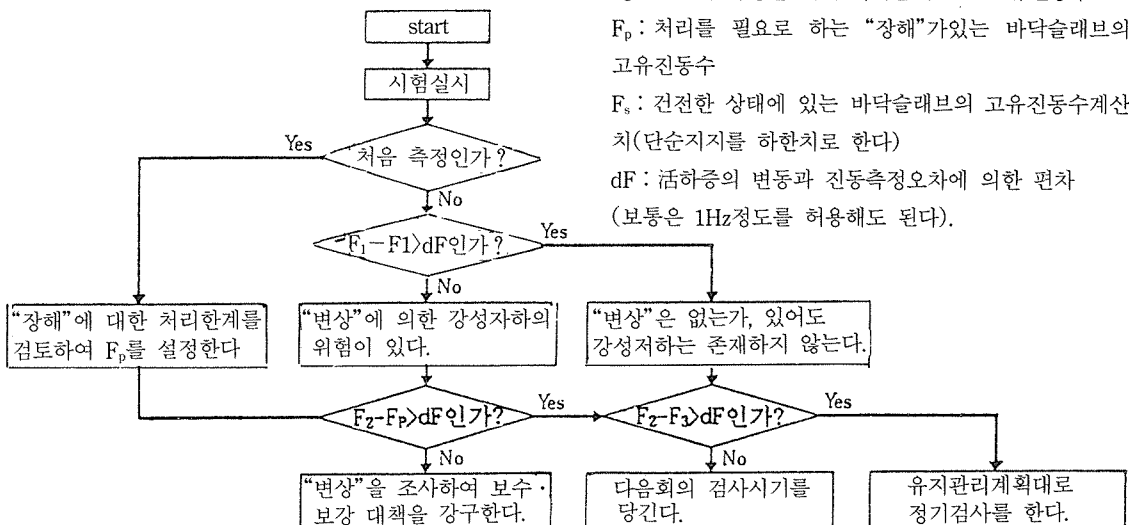


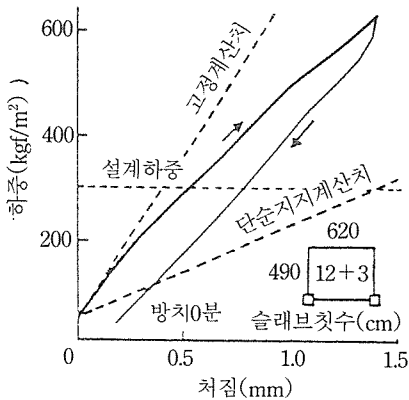
그림 10. 진동측정을 응용한 바닥 슬래브의 정기점검

같이 간단히 할 수 있는 시험은 아니다. 재하시험에서는 물을 채우거나, 시멘트푸대등으로 하중을 분포시키는 방법과 유압잭에 의한 집중하중을 가하는 방법도 있다. 시험법으로서는 일본 건축학회 舊JASS 5나 ACI(318-71), BS(CP110-1972)가 있으나 어디까지나 조사목적과 건물의 사용상황을 감안하여 계획하여야 한다. 다음에 시험결과에 대한 평가방법을 서술한다.

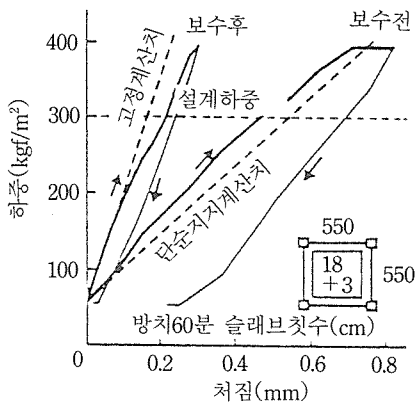
(1) 하중-처짐 성장 : 처짐의 실측값이 단순지지 계산치이내이며 또한 하중 처짐곡선이 탄성적일 것이 요망된다. 균열이나 처짐장해 또는 화재에 의한 가열을 받은 바닥슬래브라도 설계적재하중에 대하여 내력은 유지되어 있지만 하중-처짐곡선은 직선적이지 아니며 최대처짐도

크고 除荷時의 잔류처짐도 여러가지이다. (그림 11)

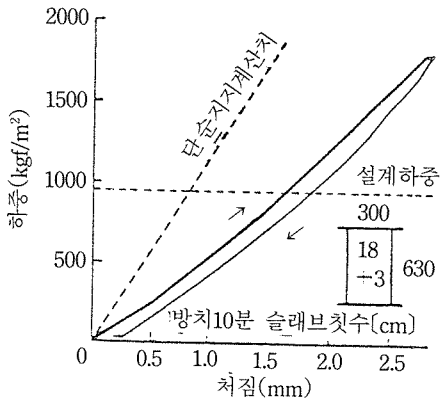
(2) 처짐의 복원 : 재하시험에서는 주로 크리이프에 의해 지속하중하에서 처짐이 진행된다. 그림 11에도 나타나듯이 장해슬래브라도 除荷 후의 복원성이 인정되는 한편 건전한 슬래브라도 처너재하에서는 잔류처짐이 생기는 경우가 있으므로 처짐의 회복율만으로써 판단하는 것은 성급하다. 舊JASS 5의 판정기준에 의하면 전 처짐에 대한 잔류처짐의 비율이 A법(등분포재하)에서는 15%, B법(오일잭에 의한 一点재하)에서는 10%를 넘는 경우에 더욱 상세한 시험을 행하든가 그 구조부를 보강하든가 하여 적당한 방법을 강구할 필요가 있다고 되어 있다.



건전한 슬래브의 처너재하



화재를 입은 슬래브



반복하중을 받아 균열이 생기고 강성저하가 현저한 슬래브

그림 11. 바닥슬래브의 하중-처짐상태

기를 향한 복지국가의 실현을 위해서는 사회간접자본의 안정된 축적이 필수불가결하다. 최근의 건설붐에 따른 부실시공이 장차 거주자의 안전과 구조물의 안전을 위협할 뿐만아니라 유지관리의 면에서 엄청난 보수비를 요한다고 가정하면 막대한 자원의 낭비이며 국가적 손실이 아닐 수 없다.

또한 새로운 구조물의 건설에는 구조물의 life cycle cost에 입각한 耐久設計의 관점에서 구조물의 기획에서부터 설계, 시공, 유지관리, 해체에 이르기까지의 장기적인 유지관리측면에서 구조물진단의 역할을 재검토하여야 할 것이다. 이를 위하여 진단기술의 확립과 더불어 유지관리기술의 확립이 필요하다고 본다.

참 고 문 헌

1) 磯畑 脩, 稻田泰夫, “鐵筋콘크리트 造建

物の構造診斷要領” 콘크리트 工學, Vol. 30, No.4. 1992.4 pp5~12

- 2) 耐久性 診斷研究委員會報告書, (社)日本콘크리트工學協會
- 3) 倉持・令井・矢部, 超音波による콘크리트 實構造物の品質測定事例”, 콘크리트의非破壞試驗法に關するシソホツウム 論文集, pp. 43~50, 콘크리트工學協會
- 4) 森永 繫: “劣化原因からみに耐久設計の考え方” 콘크리트工學, Vol. 26, No. 11, pp 25~89. 1988. 11
- 5) 磯田, 稱田他, “實務者”のための建物診斷.” テクネット, 1990. 12
- 6) 關・金子, “콘크리트部材의壽命豫測—鐵筋의腐蝕な中心として—” 콘크리트工學, Vol.29, No.8, pp.15~21, 1991.8 ㉔

