철근콘크리트 구조물의 성능저하 진단

이중원 / 연구개발부 대리

콘크리트 구조물의 수명은 반영구적이라고 하지만 재료 자체의 결함이나, 설계대로 시공되지 않았을 경우, 구조물의 성능이 급속히 저하되어 버린다는 사실이 실증되고 있다. 따라서 철근, 철골 등 부식하는 철재가 콘크리트와 함께 사용되고 있는 한, 콘크리트의 보호능력이 점차 저하해감에 따라 철재의 부식, 보호콘크리트의 박락, 부식의 가속, 내력의 저하 등을 거쳐 그 구조물은 수명을 다하게 된다. 현재 구조물의 수명을 판정하는 확실한 기준은 없으며 또 구조물의 성능 저하는 단계적이 아니라 연속적이기 때문에 어떠한 상태에서 수명을 다하는지를 판단하는 것은 매우 어렵다.

여기에서는 구조물의 수명을 판단하기 위해 그 변수를 콘크리트의 중성화 및 철근의 부식으로 단순화시키고 확률에 근거하여 그 수명을 정량적으로 평가하는 방법을 소개하고, 콘크리트의 중성화에 의한 철근부식으로 구조물의 성능저하가 발생하는 경우를 중점적으로 기술한다. (염해나 알칼리 골재반응 등의 화학적 작용이라든가 화학공장의 영향을 받을 때, 또는 격렬한 기상의 작용을 받는 것 등 특수한 환경에 노출되는 경우는 논의에서 제외한다)

본고의 내용은 대한 건축학회 세미나집 '건축물의 안전진단과 보수보강'과 콘크리트 학회지(1994. 4월호)를 요약하여 정리했음을 밝혀둔다.

1. 철근 콘크리트 구조물의 성능저하 진단

철근 콘크리트 구조물은 균열 등의 내부결함, 중성화, 철근부식 등 여러가지 요인에 의해 그 성능이 점차 저하된다. 이 성능의 저하도를 명확히 하고 아울러 장래의 내구성저하의 경향을 예측하는 방법을 성능저하 진단이라 부른다.

콘크리트의 중성화는 일반 환경에서 흔히 발생하기 때문에 콘크리트에 묻혀있는 철근은 언젠가 부식할 수 있다.

본고에서 기술하는 성능저하 진단의 특징은, 철근 콘크리트 구조물에 있어서 콘크리트 중성화의 깊이와 철근 피복두께의 분산을 통계학적으로 고려해서 구조물의 설계수명 또는 철근부식에 의한 구조물의 성능저하를 철근이 부식하는 확률로 정량적으로 정의한 것이다.

여기서 정의되는 기본 개념은 아래와 같다.

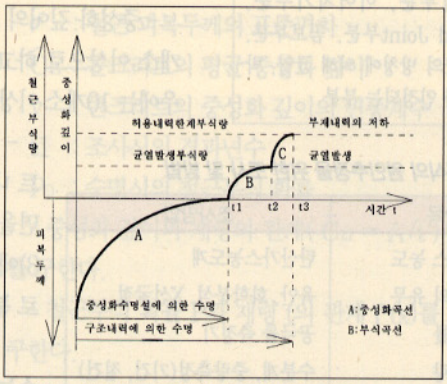
- 콘크리트 중성화 깊이는 시간의 경과에 따라 증대한다.
- 콘크리트 중성화 깊이 및 철근의 피복두께는 분산이 존재한다.
- 콘크리트 중의 철근 부식상황은 환경조건에 의해 다르지만, 콘크리트의 중성화 깊이와 철근 피복두께와의 관계에 의해 결정된다.

따라서 이 성능진단법에 의해 신뢰성 공학에 근거하여 정량적으로 구조물의 수명을 추정할 수가 있다.

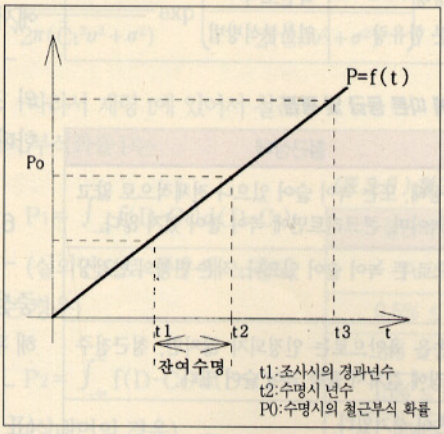
2. 잔여수명의 측정

철근콘크리트 구조물을 실제로 조사해보면, 일반적인 환경하에서 철근부식은 중성화 깊이와 피복두께의 상대관계에 의해 결정됨을 알 수 있다. 콘크리트가 중성화되어 철근부식이 시작되고 철근콘크리트 구조물이 수명에 이르는 개념을 표시하면 (그림 2-1)과 같다. 즉 t1은 중성화 영역이 철근표면에 도달하는 시점, t2는 그 결과 철근이 부식해서 콘크리트에 균열을 일으키는 시점, t3는 부재내력이 한계에 달한 시점을 나타내고 있다.

본 진단은 건물의 환경조건, 부재, 철근의 종류마다, t2에 달하고 있는 철근의 비율에 의해 수명을 정량적으로 정의한다. 즉 수명을 철근의 부식확률로 정의해서, 철근의 부식확률과 재령의 관계를 구하여 잔여수명을 추정하게 된다.



(그림 2-1) 콘크리트중의 철근부식의 개념

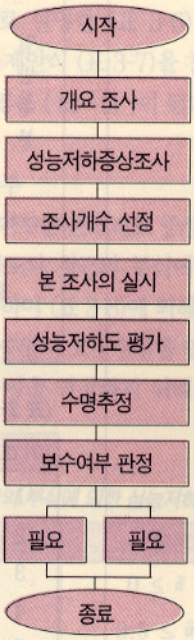


(그림 2-2) 잔여수명 추정의 설명도

3. 성능저하 진단

중성화에 의한 성능저하 진단은 (그림 3-1)의 순서에 따라 실시한다. 구조물의 개요 및 성능저하 증상을 조사하고 나서, 콘크리트의 중성화 및 철근의 부식에 대해서 조사할 개수를 선정한다. 계속해서, 설정된 방법으로 조사를 실시하고 성능저하도의 평가 및 수명을 추정하고 이들의 결과를 종합하여 보수여부를 판정한다.

1) 개요조사



(그림 3-1) 성능저하 진단 순서

조사의 대상이 되는 구조물 고유의 조건을 파악하고, 본 조사의 실시와 성능저하의 원인 추정에 필요한 참고자료를 작성한다.

2) 성능저하 증상조사

- 조사대상이 되는 구조물에서 현저하게 눈에 띄는 성능저하 증상의 정도를 외관으로 부터 파악한다.
- 녹물, 균열, 부풀음, 박락, 철근의 노출 등의 증상에 대해 성능저하 증상을 조사한다.

철근 콘크리트 구조물은 균열 등의 내부 결함, 중성화, 철근 부식 등 여러가지 요인에 의해 그 성능이 점차 저하된다.

3) 조사개소

- 가능한 많은 조건에 대해 중성화 깊이와 철근의 부식상황을 측정하는 것이 바람직하다.

(표 3-1)에 표현된 인자와 수준을 참고해서 조사할 조건을 설정한다.

4) 조사항목

- 측정개소의 환경조건, 마감재의 종류와 두께, 콘크리트의 상황, 부재명 및 기타 특기사항을 기술한다.

- 콘크리트의 중성화 깊이를 측정한다.

- 철근의 피복두께, 종류, 굵기, 방향을 측정한다.

- 콘크리트 내부의 철근 부식상황을 측정한다.

- 원인추정을 위한 조사항목으로서 (표 3-2)로 부터 적절히 선택하여 실시한다.

(표 3-1) 조사개소 선정에 참고해야할 인자와 수준

	항목	고려사항
일반부분	부위	옥내, 옥외, 동서남북, 풍향, 바다쪽, 내륙쪽, 비에 노출된 부분, 노출되지 않은 부분
	부재	기둥, 보, 벽, 바닥, 차양, 기초
	마감재	종류, 시방, 시공시기 등
	콘크리트	골재의 종류, 물시멘트비(배합강도), 시공시기(여름, 겨울)
결함부분		균열부분, 이어치기부분, Cold Joint부분, 곰보부분, 철근의 방청에 의해 균열, 박리가 인정되는 부분

(표 3-2) 중성화 및 철근부식의 원인추정을 위한 조사 및 방법

기 호	조사항목	조사방법
1	대기중의 탄산가스 농도	탄산가스농도계
2	화학적 침식물질의 유무	육안, 화학분석, X선굴절
3	콘크리트의 공극률	공극률 측정기
4	콘크리트의 함수량	수분계, 중량측정(기건, 절건)
5	콘크리트의 재료, 조합	화학분석법
6	콘크리트의 시공상황	육안조사
7	콘크리트속의 염분 함유량	염분분석방법

(표 3-3) 철근의 부식정도에 따른 등급 및 평점

등급	평점	철근상태
Ⅰ	0	흑피의 상태, 또는 녹이 슬어 있으나 전체적으로 얇고 치밀한 녹이며, 콘크리트면에 녹이 붙어 있지 않다.
Ⅱ	1	부분적으로 뜬 녹이 슬어 있으나, 작은 면적의 반점상태이다.
Ⅲ	3	단면결손은 육안으로는 인정되지 않지만, 철근전주 또는 전장에 걸쳐서 들뜸 녹이 슬어 있다.
Ⅳ	6	단면결손이 생겨있다.

5) 조사방법

- 중성화 깊이 측정용의 시약은 1% 페놀프탈레인 용액을 사용하는 것을 원칙으로 한다.

- 중성화 깊이의 측정면은 콘크리트의 까낸면 또는 절취한 콘크리트의 공시체의 할열면으로 한다.

- 중성화 깊이는 측정면에 시약을 분무하고 콘크리트의 표면으로 부터 적착색부까지의 평균거리를 구하여 중성화 깊이로 한다.

- 중성화 깊이의 조사개소는, 각 조건별로 5개소 이상으로 하고, 특히 대표적인 조건의 경우에는 10개소 이상으로 한다.

- 철근의 부식상황은 콘크리트 내부의 철근을 노출시켜, 표면을 육안으로 관찰하고, (표 3-3)에 표현된 부식정도의 등급으로 분류한다.

- 철근의 부식상황의 조사개소는, 각 조건별로 5개소 이상으로 하고, 특히 대표적인 조건에서는 10개소 이상으로 한다.

- 원인추정을 위한 조사항목의 조사방법은 (표 3-1)에 의한다.

6) 성능저하도의 평가

- 성능저하도는 콘크리트의 중성화와 철근부식, 각각에 대해 평가한다.

- 콘크리트의 중성화 깊이를 (표 3-4)에 표현된 3단계에 따

(표 3-4) 콘크리트의 중성화 깊이에 따른 성능저하도의 분류

성능저하도 분류	분류종류 (중성화 깊이)	
	옥외 및 흙에 접하는 부분	옥 내
A-Ⅰ	$\bar{C}t1 < 0.5\bar{D}$	$\bar{C}t1 < 0.7\bar{D}$
A-Ⅱ	$0.5\bar{D} \le \bar{C}t1 \le \bar{D}$	$0.7\bar{D} \le \bar{C}t1 < \bar{D}+20$
A-Ⅲ	$\bar{D} \le \bar{C}t1$	$\bar{D}+20 \le \bar{C}t1$

$\bar{C}t1$: 중성화 깊이의 평균치
$\bar{D}$: 철근 피복두께의 평균치

라 분류하여 평가를 한다.

- 철근의 부식정도를 (표 3-5)에 표현된 4 단계로 분류하여 평가한다.

7) 잔여수명 추정

- 대상으로 하는 구조물의 조사결과 또는 설계도서를 근거로 하여 아래의 변수를 결정한다.

$\bar{D}$: 철근 평균 피복두께
σ : 철근 피복두께의 표준편차
$\bar{C}t1$: 콘크리트의 평균 중성화 깊이
v : 콘크리트의 중성화 깊이의 변동계수
t1 : 조사시의 경과년수
P0 : 수명시의 철근부식 확률

- 중성화 깊이와 재령의 관계($\bar{C}t1 = A\sqrt{t}$)를 구한다.

- 철근부식 확률 P와 재령 t의 관계 f (x)를 구한다.

$$f(D-C_t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi(\bar{C}_t^2 v^2+\sigma^2)}} \exp\left(\frac{-((D-C_t)-(\bar{D}-\bar{C}_t))}{2(\bar{C}_t^2 v^2+\sigma^2)}\right)$$

따라서 재령 t에 있어서 철근의 부식확률 P는

$$P_1 = \int_{-\infty}^{0} f(D-C_t)\,d(D-C_t)$$

(실외면으로 풍우에 노출되는 경우)

$$P_2 = \int_{-\infty}^{2} f(D-C_t)\,d(D-C_t)$$

(실내면의 경우)

로 되어 $\bar{C}t$, v, $\bar{D}$, σ를 대입하여 정규분포를 이용하여 철근의 부식확률 P_t를 구한다.

- P = P0 와 P = f (t)와의 교점을 구해 그 시점에서의 경과년수 t2를 구한다. t2의 시점이 건물이 수명에 달했을 때의 년수가 된다.

조사시점에서의 철근의 부식확률 P0는 구조물의 중요도, 일상의 안전도 등을 고려하여 설정할 필요가 있다. 철근의 부식확률을 성능저하증상으로 설명한 (표 3-6) 및 건축물을 대상으로한 제안식 (표 3-7)을 참고로 한다.

- 잔여수명은 (t2 - t1)이 된다.

8) 보수여부

- 보수의 여부는 콘크리트 중성화 깊이에 의한 성능저하도와 철근의 부식에 의한 성능저하도를 이용하여 (표 3-8)에 의해 판정된다.

- 추정된 수명이 요구수명을 만족하지 않는 경우에는 수명을 연장하기 위해 보수가 필요하다.

(표 3-5) 철근의 부식에 의한 성능저하도의 분류

성능저하도의 분류	분류기준
B-Ⅰ	$0 \le \bar{\alpha} < 0.5$
B-Ⅱ	$0.5 \le \bar{\alpha} < 1.5$
B-Ⅲ	$1.5 \le \bar{\alpha} < 3$
B-Ⅳ	$3 \le \bar{\alpha} < 6$

$\bar{\alpha}$: 철근부식 평점의 평균치

$$\bar{\alpha} = \sum_{i=1}^{n}(\alpha_i n_i) / \sum_{i=1}^{n} n_i$$

(표 3-6) 철근의 부식확률과 성능저하증상의 발생상황

철근의 부식확률	성능저하증상의 발생현황
P0 < 0.5%	성능저하증상이 없다.
0.5% ≤ P0 < 3%	소수의 녹물, 미세한 균열이 있다.
3% ≤ P0 < 15%	도처에 녹물, 균열이 있다.
15% ≤ P0 < 50%	도처에 박락, 철근노출이 보인다.
50% ≤ P0	반 이상의 면에 박락, 철근노출이 보인다

(표 3-7) 내용년수를 고려한 부식확률의 설정치

철근 종류		기둥, 보의 주근	기타 철근 (띠근, 늑근, 벽, 바닥근)	
손상될 가능성		-	유	무
구조물의 중요성	특대	3% 이하	7% 이하	15% 이하
	대	5% 이하	15% 이하	30% 이하
	보통	10% 이하	30% 이하	50% 이하

(표 3-8) 보수여부의 판정

철근부식 성능 저하도 / 중성화 성능저하도	B-Ⅰ	B-Ⅱ	B-Ⅲ	B-Ⅳ
A-Ⅰ	불필요	불필요	필요	필요
A-Ⅱ	불필요	불필요	필요	필요
A-Ⅲ	필요	필요	필요	필요

맺는말

구조물의 성능저하 진단을 위해 건물수명을 구하는 방법이나, 그 원인을 특정 요인으로 한정하는 것은 현재까지로는 해결해야 할 문제가 많다. 하지만 구조물의 내구성 진단을 정성적으로 평가해 왔던 실정에서 정량적으로 건물의 수명을 구하여 그 성능을 평가하는 것은 나름대로 의의가 크다 할 수 있다.

향후 구조균열, 알칼리골재반응 등 구조물의 성능저하에 원인이 되는 다른 요소들까지 고려하여 그 방법을 보완한다면 구조물의 내구성 진단을 위한 효과적인 방법이 될 수 있으며, 아울러 구조물의 내구성에 대한 관심이 고조되는 현시점에서 그 개념 및 평가방법의 연구, 규준의 준비 등이 필요하다.

집안 공기 오염, 화학물질이 주범

벽지, 바닥재, 접착제서 유해물질 방출 호흡기질환 등 유발, 잦은 환기가 예방책

주택에 화학물질의 사용이 늘어나면서 집안 공기가 유해물질로 오염되고 있다. 벽지와 바닥재, 그리고 새로 들여놓은 가구에 사용된 접착제, 커튼 등에서 유해 화학물질이 나와 호흡기 질환과 두통을 유발하기도 한다. 현대주택은 자연과의 친화성보다 에너지절약형이 특징. 따라서 밀폐된 공간에서 눈이나 목이 따갑고 집중력이 떨어지거나 쉽게 피로가 오는 증상이 생긴다면 한번쯤 유해화학물질에 관심을 가질 필요가 있다.

외국규제사례와 국내실태

현재 세계보건기구(WHO)의 실내오염물질 기준은 포름알데히드의 경우 0.08ppm 이하. 구미에서는 나라마다 사정이 다르지만 0.05~0.5ppm 정도.

우리나라에서는 공중위생법에서 실내환경을 다루고 있지만 먼지, 이산화탄소, 온도, 습도 등만을 열거해놓고 있을 뿐 유해화학물질에 대한 기준은 전무한 형편이다.

대안은 있는가?

현대주택의 장점인 밀폐성과 보온성이 휘발성 화학물질의 농도를 높이는 역작용을 한다. 따라서 신축가옥일수록 환기를 자주 하는 것만이 최선이다.

외국에서는 규제강화와 함께 주택업자들의 노력도 활발하다. 일본의 경우 유해물질 발산 건축자재의 사용을 줄인 '건강주택'이란 주택이 등장하기도 했다. 예컨대 포름알데히드를 함유하지 않은 접착제는 금방 굳어버려 시공성이 떨어지지만 합판 안쪽에 암모니아 화합물을 발라 포름알데히드의 방출량을 억제하는 공법을 동원하는 것 등이다.

(2월 18일자 중앙일보 참조)