

철근콘크리트 구조물의 열화 진단시스템 개발

- 열화요인 진단을 중심으로 -

Development of Deterioration Diagnosis System for the R/C Structures

- Mainly on Cause of Deterioration -

이 장 화* 박 흥 석** 유 영 찬** 김 도 겸** 송 영 철***
Lee, Jang-Hwa Park, Hung-Seok You, Young-Chan Kim, Do-Gyeum Song, Young-Chul

ABSTRACT

The purpose of this study is to develop Deterioration Diagnosis System for the Reinforced Concrete structure which can be used preliminary in determining the factors causing deterioration by simple inspection and mapping of the indicators of deterioration. Total 29 items comprising material, structural and constructional factors causing deterioration were considered in this system. Also the indicators of deterioration were subdivided into 54 items such as concrete crack pattern and steel corrosion etc.,. Each indicator of deterioration was quantified by allocating and giving grade to each item which has extra weight according to its consequence. Satisfactory results were obtained by applying this Diagnosis system to the indicators of deterioration in ref. [3]. Further research was required on the indicators of deterioration in construction site to enhance the field applicability of this system.

1. 서 론

건설재료로서 가장 큰 비중을 차지하고 있는 철근콘크리트 구조물은 타재료에 비해 상대적으로 저렴한 공사비와 반영구적인 사용수명 등으로 그 사용실적이 점점 증대하고 있다. 그러나 내구성이 풍부하고 유지관리가 비교적 용이하다고 알려져 있는 철근콘크리트 구조물도 최근에는 각종 열화요인에 의한 조기성능저하 등의 문제점이 노출되면서 보수 및 보강 사례가 증가되고 있으며 이에

따른 보수 및 보강을 위한 열화요인 판단의 중요성이 인식되고 있다. 한편 콘크리트 구조물에 나타나는 열화현상은 매우 복잡하며 단일요인에 의해서라기 보다는 여러 요인의 복합적인 작용에 의해 나타나므로 그 원인 규명 및 판단에 어려움을 주고 있다. 따라서 본 연구에서는 각 열화요인에 따른 균열의 발생시기, 형태, 발생부위, 발생범위 및 콘크리트에 나타나는 현상, 철근에 미치는 영향 등을 정량화함으로써 사용자의 1차조사에 의한 균열의 형태, 콘크리트의 형상 등에 의하여 대략적인 열화요인 판정을 가능하게 하고 2차 상세조사를 통하여 정확한 열화요인을 판단할 수 있는 철근 콘크리트 구조물의 열화요인 진단시스템을 구축하고자 한다.

* 한국건설기술연구원 구조연구실 수석연구원
** 한국건설기술연구원 구조연구실 연구원
*** 한국전력기술연구원 원자력연구실 선임연구원

2. 열화요인 진단시스템의 구성

2.1 열화요인의 종류

본 연구에서는 열화요인을 크게 구조적 요인, 재료적 요인, 시공적 요인, 환경적 요인 등의 총 29개의 열화요인으로 구분하여 분류하였다.

2.1.1 구조적 요인

(1) 휨균열 - 설계하중 또는 구조내력 이상의 과대하중이 작용할 때 발생하며 보와 슬래브의 인장측에 수직균열을 발생시킨다.

(2) 전단균열 - 설계하중 또는 구조내력 이상의 과대하중이 작용할 때 발생하며 보, 기둥, 벽 등에 45° 방향의 경사균열을 발생시킨다.

(3) 부등침하에 의한 균열 - 지반의 균등하지 않은 침하에 의해 발생하며 구조물이 침하한 방향으로 45° 방향의 큰 경사균열을 발생시킨다.

(4) 지진에 의한 균열 - 횡방향 충격파인 지진에 의한 균열로 기둥에 횡방향 균열과 슬래브와 벽 또는 슬래브와 기둥이 접하는 부위에 크고 불규칙적인 균열을 발생시킨다.

(5) 피복두께 부족에 의한 균열 - 설계·시공상의 오류 등으로 인해 철근의 피복두께가 부족할 때 발생하는 균열로 보의 하부 등에서 철근에 연한 균열을 발생시킨다.

2.1.2 재료적 요인

(1) 시멘트의 이상응결에 의한 균열 - 저품질의 시멘트 사용 등에 의한 균열로 혼합후 30분 ~1시간 정도에 발생하며 폭이 크고 짧은 불규칙한 균열을 발생시킨다.

(2) 수화열에 의한 균열 - 시멘트와 물의 수화반응시 부재중앙부와 표면의 온도응력이 콘크리트의 인장강도보다 커질때 발생하는 균열로 매스콘크리트 등에서 길고 규칙적인 균열을 발생시킨다.

(3) 골재에 포함된 미립분에 의한 균열 - 미립분이 많이 함유된 골재를 사용하는 경우에 발생하는 균열로 콘크리트 표면의 건조상태에 따라 불규칙적인 망상균열을 발생시킨다.

(4) 저품질 골재의 사용에 의한 균열 - 조골재로서 풍화암을 사용하는 경우에 발생하는 균열로 Popout로 다습한 곳에 많이 발생한다.

(5) 알칼리 골재반응에 의한 균열 - 반응성

실리카를 함유한 골재의 사용에 의해 시멘트 중의 수산화알칼리와 골재중의 실리카 성분이 반응·팽창하여 발생하는 균열이다. 기둥과 보와 같이 축방향 변형이 구속된 경우에는 축방향 균열이 발생되며 팽창이 구속되지 않은 무근콘크리트와 주변의 변형이 구속된 벽과 슬래브의 경우에는 불규칙적인 망상균열과 함께 콘크리트 표면층이 비늘모양으로 박리하는 균열단면을 형성한다. 균열폭은 피복두께가 클수록 커진다.

(6) 콘크리트중의 염화물에 의한 균열 - 염화물이 함유된 해사 또는 혼화제를 사용하는 경우에 발생하는 균열로 판부재의 경우 철근의 부식에 의해 주근 또는 배력근의 배치와 동일한 격자모양의 균열이 발생된다.

(7) 콘크리트의 침하·블리딩에 의한 균열 - 비중이 큰 콘크리트 입자가 콘크리트중의 철근이나 굵은 골재에 의해 자유로운 침하가 방해되어 발생하는 균열로 콘크리트 타설후 1~2시간 후에 발생하며 보의 상단, 슬래브 등의 철근 윗부분 또는 벽과 바닥의 경계선에 폭이 크고 길이가 짧은 균열이 발생된다.

2.1.3 시공적 요인

(1) 혼화재료의 불균일한 분산에 의한 균열 - 콘크리트의 배합·믹싱시에 투입된 혼화제 등이 균일하게 분산되지 않았을 경우 발생하는 균열로 초기에 발생하며 부분적인 찢고 불규칙한 균열 또는 부분적인 Popout를 발생시킨다.

(2) 장시간의 믹싱에 의한 균열 - 콘크리트의 운반거리가 길어 장시간의 믹싱이 행하여질 때 발생하는 균열로 전면에 망상의 균열과 길이가 짧은 불규칙한 균열이 발생된다.

(3) 타설불량에 의한 균열 - 시공시의 부적절한 타설방법, 급속한 타설 등에 의해 발생하는 균열로 초기에 발생하며 지면과 평행한 벽체 및 보의 수평단면균열이 발생된다.

(4) 다짐불량에 의한 균열 - 콘크리트의 타설후 불충분한 다짐에 의해 발생하는 균열로 찢고 군집된 형태로서 존재한다.

(5) Cold Joint에 의한 균열 - 콘크리트 타설시 콘크리트 타설이 중지되어 계속되지 않은 장소에 생기는 타설이음으로서 cold joint 발생면에서 균열이 발생하여 누수 등을 발생시킨다.

(6) 거푸집의 변형에 의한 균열 - 콘크리트 타설후 거푸집이 배부름 등의 변형을 일으켜 발생하는 균열로 거푸집이 이동한 방향과 평행하게 국부적인 균열이 발생된다.

(7) 동바리의 침하에 의한 균열 - 거푸집을 지지하고 있는 동바리의 파괴 또는 침하에 의해 발생하며 바닥과 보의 단부상단 및 중앙부 하단, 접합부 등에 수평의 긴 균열을 발생시킨다.

2.1.4 환경적 요인

(1) 초기 건조수축에 의한 균열 - 바닥슬래브 등 표면적이 넓은 부재에 타설된 콘크리트에 건조한 외기나 바람, 고온 등으로 수분의 불리딩률보다 수분증발률이 더 큰 경우에 발생하는 균열로 부재의 전면에 걸쳐서 균열이 발생한다.

(2) 경화후 건조수축에 의한 균열 - 보나 기둥 등 두께가 두꺼운 부재에서는 수분을 함유한 내부 콘크리트가 외부 콘크리트의 건조수축을 구속하여 외부표면에 인장응력을 발생시키는데 이 인장응력이 콘크리트의 인장강도를 초과하는 경우에 발생한다. 슬래브나 벽체와 같이 두께가 얇고 면적이 넓은 부재에서는 체적변형을 구속하는 단부의 보나 기초 등 구속부재에 의해 좁은 폭의 미세한 균열이 발생된다.

(3) 환경 온·습도의 변화에 의한 균열 - 구조물의 사용환경 변화에 의해 발생하는 균열로 기둥 및 보 등에 의해 구속된 구석부분과 개구부 등에서 주로 발생된다. 구조물이 고온·다습에 의해 팽창하는 경우는 八자형의 균열이, 저온·저습에 의해 수축하는 경우는 역八자형의 균열이 발생된다.

(4) 부재양면의 온·습도차에 의한 균열 - 부재양면의 온·습도차에 의해 발생하는 균열로 저온 또는 저습인 쪽에 균열이 발생한다. 주로 벽체에는 수직균열이, 슬래브에는 등간격의 수평균열이 발생하며 그 형태는 크고 직선적인 모양을 띤다.

(5) 초기동해에 의한 균열 - 동절기 콘크리트 타설시의 양생불량에 의해 발생하는 균열로 콘크리트의 강도가 현저히 저하되어 강도중진이 이루어지지 않으며, 작은 균열과 함께 거푸집 제거시 콘크리트가 흰빛을 띠며 떨어져 나오기도 한다.

(6) 동결융해에 의한 균열 - 콘크리트 내부에 존재하는 공극수의 동결융해 반복작용에 의해 발생하는 균열이다. 주로 우각부 및 모서리, 조인트 등에 미세한 균열이 연속적으로 발생하며 표면의 스킨링과 미세한 균열로 둘러 쌓인 원추상의 파편 등의 형태로 나타난다.

(7) 화재에 의한 균열 - 구조물에 화재가

발생하였을 경우 발생하는 균열로 표면전체에 망상균열이 발생된다.

(8) 화학적 침식에 의한 균열 - 강알칼리성의 물에 접하는 구조물, 폐수에 접하는 구조물, 산, 염류 등을 취급하는 공장 등에서 발생하는 균열로 산 등에 의해 침식되는 경우에는 콘크리트의 연화(軟化), 골재의 박락, 철근의 부식 등이 발생된다.

(9) 중성화에 의한 균열 - 콘크리트의 수산화칼슘($\text{Ca}(\text{OH})_2$) 등이 대기중의 이산화탄소(CO_2) 등과 반응을 일으켜 콘크리트의 pH를 서하시킴으로서 발생하는 균열로 그 특징은 미세한 균열이 발생하는 것 이외에는 없으나 중성화가 내부철근의 위치까지 도달하였을 경우 철근의 부식을 발생시켜서 피복콘크리트의 박리·박락현상을 일으킨다.

(10) 염해에 의한 균열 - 구조물이 해양환경에 위치하여 해수중의 NaCl이 침투하는 경우, 응결제 제설제로 NaCl, CaCl_2 등을 사용하여 염분이 침투하는 경우에 발생하는 균열로 철근의 부식에 의해 피복두께가 얇은 철근을 따라 부분적인 균열 및 박리, 녹물 등의 현상이 발생된다.

2.2 진단항목의 분류

2.2.1 균열

(1) 균열 발생시기 - 초기균열은 거푸집의 제거시기를 고려하여 타설후부터 48시간 이내, 중기균열은 콘크리트가 수화반응을 거의 완료하여 제강도를 발휘하는 28일까지, 장기균열은 28일 이후로 구분하였다.

(2) 균열 길이 - 보통 사람이 일반적으로 길고 짧음을 판단하는 기준이라 판단되는 30cm를 기준으로 하였다.

(3) 균열 범위 - 균열이 일부분에만 존재하는가 아니면 전면에 걸쳐 존재하는가에 따라 부재일 부분과 부재 전체로 구분하였다.

(4) 균열 부위 - 1차적으로 균열의 발생위치가 외부인가 내부인가로 구분하고 2차적으로 외부일 경우는 외벽과 지붕슬래브로, 내부일 경우는 슬래브, 보, 기둥, 벽으로 구분하였다. 건물 전체에 걸쳐 광범위하게 분포되어 있는 경우는 건물 전체로 구분하였다.

(5) 균열의 규칙성 - 균열이 규칙성을 지니고 있는가 또는 불규칙적인가로 구분하였다.

(6) 균열 형태 - 균열의 방향성에 따라 수직균열, 수평균열, 경사균열, 망상균열 및 철근에 의한 균열로 구분하였다.

(7) 균열의 진행성 - 균열의 활동성 여부에

따라 진행과 정지로 구분하였다.

(8) 균열 깊이 - 균열이 철근위치까지 도달하였는가를 판단하기 위하여 슬래브, 벽체의 피복두께 3cm와 보, 기둥의 피복두께 4cm를 근거로 하여 3cm를 기준으로 하였으며 표층(3cm 이하), 중간(3cm 이상), 관통으로 구분하였다.

(9) 균열 폭 - 철근콘크리트 구조의 허용균열폭(ACI 224R 80)을 기준으로 해수나 해풍을 반복하여 받는 상태의 허용균열폭 0.15mm와 건조한 공기 또는 보호막이 있는 상태의 허용균열폭 0.41mm를 기준으로 하여 0.15mm 이하, 0.15~0.4mm, 0.4~1.0mm, 1.0mm 이상으로 구분하였다.

2.2.2 콘크리트

(1) 콘크리트의 변형성 - 콘크리트에 나타난 균열이 콘크리트의 팽창성에 의한 것인지 또는 수축성에 의한 것인지 등을 구분하기 위하여 팽창성, 수축성, 침하성, 휨·전단성으로 구분하였다.

(2) 콘크리트의 박리 - 콘크리트 박리상태에 따라 박리현상 없음, 부분적 박리, 전면적 박리 및 Popout 현상을 고려하여 원추상 박리로 구분하였다.

(3) 콘크리트의 박락 - 콘크리트가 떨어져 나간 부분이 있는가에 따라 박락현상의 유·무로 구분하였다.

(4) 콘크리트의 연화 - 화학반응에 의한 콘크리트 표면에서의 연화현상의 유·무로 구분하였다.

(5) 콘크리트의 부서짐 - 콘크리트의 degradation에 의해 콘크리트 표면이 바삭바삭 부서지는 현상이 있는지 여부로 구분하였다.

(6) 콘크리트 내부의 gel 형성 - 콘크리트의 화학반응에 의해 gel 물질이 형성되는지의 여부로 구분하였다.

(7) 콘크리트의 백화현상 - 시멘트 중의 가용성 성분의 석출에 의해 발생하는 백화현상의 유·무로 구분하였다.

2.2.3 철근

(1) 철근의 부식 - 철근의 부식 정도를 전면적 부식, 부분적 부식과 부식없음으로 구분하였다.

(2) 철근의 노출 - 철근의 노출 정도를 전면적 노출, 부분적 노출, 노출현상 없음으로 구분하였다.

3. 진단시스템의 구축

3.1 진단항목의 정량화

지식베이스를 근간으로 정해진 법칙에 의해 열화요인을 추적하는 작업은 전형적인 전문가 시스템의 한 종류라 할 수 있다. 전문가 시스템에서의 추론기능은 지식베이스에 담겨있는 여러가지 사실과 전문지식을 바탕으로 연역적 추론(deductive reasoning)을 전개하여 주어진 문제에 대한 해답을 얻어낸다. 이러한 추론기능의 구축에는 전문가적인 지식이 필요한 뿐만 아니라 많은 시간을 필요로 한다. 한편 본 연구에서의 진단시스템은 현장근무자들의 간단한 현장조사에 의해 1차적인 열화요인을 근사적으로 유출해 내는 것을 목적으로 하고 있으므로 복잡한 연역적 추론에 의한 추론기능을 반드시 필요로 하는 것은 아니다. 따라서 본 연구에서는 <표 1>에서 보는 바와 같이 선정된 각각의 열화현상 항목에 대한 해당여부를 현장조사에 의해 작성한 후 각 열화요인별 표준자와 상호 비교하여 그 해당항목별 점수를 합산함으로써 열화요인을 추정하는 방법을 사용하였다.

3.2 가중치의 설정

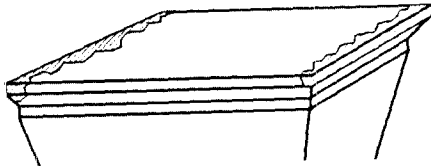
본 진단시스템에서는 각 열화요인별 표준자와의 상호비교를 통하여 해당항목별 점수를 합산함으로써 열화요인을 근사적으로 추정하는 방법을 사용한다. 한편 해당항목별 점수를 동일하게 한정한 경우에는 해당되는 항목수에 따라 열화 요인점수가 계산되므로 열화요인이 상이한 경우에도 해당되는 항목수만 같으면 동일한 열화도 점수를 출력하는 결과를 낳는다. 따라서 본 연구에서는 요인별로 고유한 현상이라 판단되는 항목을 설정하고 설정된 열화항목의 중요도에 따라 해당항목별 점수를 부여함으로써 진단시스템의 신뢰도를 높이도록 하였다. 고유항목으로는 균열의 형태 및 발생부위별 공통항목으로 하고 각 요인별로 1~2개 항목내외로 국한하였다.

4. 진단시스템의 적용

본 연구에서는 구조물 열화진단시스템의 사용성 검증을 위하여 실제 구조물에서 발생한 균열사례에 대하여 본 시스템에 의해 도출된 균열원인과 전문가에 의해 판단된 균열원인을 비교·분석하였다.

4.1 균열원인에 대한 전문가의 판단

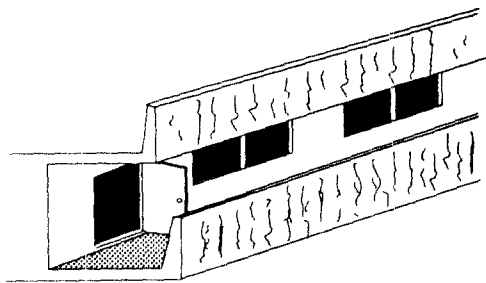
<사례 1> 시공후 수년이 경과한 교각에 <그림 1>과 같은 0.2mm 이하의 미세한 망상 균열이 발생하였고 부분적으로 콘크리트가 떨어져 나간 곳도 있었다.



<그림 1> 교량의 교각에 나타난 균열

전문가의 판단 콘크리트의 변형 원인은 균열의 부위 및 형태 등을 고려할 때 기초침하 등 외력과는 관계없으며 콘크리트 재료상의 「수축성」 또는 「팽창성」에 기인한 것으로 사료된다. 균열발생원인은 시멘트의 이상 팽창, 반응성 골재의 사용, 혼화재료의 불균일한 분산, 동결융해의 반복, 산염류의 작용 등을 고려할 수 있으나 균열발생장소가 화학적 침식을 받는 곳이 아니고 장기균열에 해당하며 발생장소가 산간부 한랭지이고 동절기에 기온이 영하 15℃ 정도까지 내려하는 점에 미루어 볼 때 동결융해의 반복작용이 균열의 주원인으로 추정된다.

<사례 2> 준공후 10년이 지난 15층 건물의 복도난간에 피복콘크리트가 박리되고 철근이 부식되었다. 또한 복도슬래브 하단에서 철근 배치와 같은 간격으로 균열이 발생하였다.

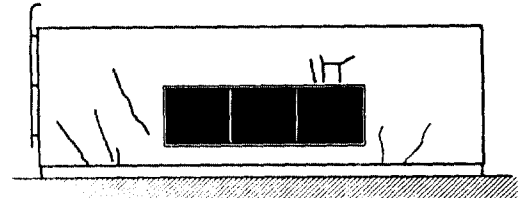


<그림 2> 복도난간 및 슬래브의 균열

전문가의 판단 철근에 대한 콘크리트의 피복두께가 매우 작았던 것이 첫째요인으로

중성화의 진행에 의해 철근이 부식되었고 철근의 부식에 의해 발생한 균열을 따라 빗물이 침투되어 철근이 부식·팽창함으로써 콘크리트 덮개가 떨어져 나가 녹이 유출된 것으로 보인다.

<사례 3> 준공후 6년이 경과한 사무실 부속건물 외벽에 균열이 발생하여 비오는 날에는 누수현상이 발생하였으며 도로에 접해 있어서 미관상으로도 문제가 발생하였다. 이 구조물은 RC라멘조 건물로 보통포틀랜드를 사용하고 설계강도는 210kgf/cm²이었다.



<그림 3> 건물 외벽의 균열

전문가의 판단 균열의 패턴이 역八字형으로 균열의 발생원인을 콘크리트의 수축과 부등침하로 추정할 수가 있다. 그러나 건물의 기초변형이 불규칙한 점과 기초가 연약지반 위에 설치된 점(설계기록) 등을 바탕으로 토질시험을 실시한 결과 침하량이 10cm에 달하였으므로 균열의 원인을 구조물의 부등침하로 결론지었다.

4.2 열화진단시스템의 적용

<표 1>과 같은 조사자료 및 입력자료를 본 진단시스템에 입력하여 얻은 결과를 나타내면 <표 2>와 같다. <표 2>에서 보는 바와 같이 각각의 열화현상에 대한 본 진단시스템의 열화요인 분석결과는 4.1절에서 기술한 전문가의 판단에 매우 근접한 결과를 나타내고 있음을 알 수 있다. 한편 본 진단시스템에 의하여 추정된 사례 3에 대한 열화요인은 「환경 및 온·습도의 변화」가 주요인이며, 「부등침하」가 부요인으로 나타난 반면에 전문가의 판단에 의한 열화요인은 「부등침하」에 의한 것으로 나타나 두 진단결과에 약간의 오차를 나타내고 있다. 이는 두 요인의 열화현상 간의 유사함에 기인하는 결과로 사료되며 전문가의 판단결과가 부등침하량의 측정결과(침하량 10cm)에 따라 유출된 것임을 고려하면 본 진단시스템의 2차조사 등을 거칠 경우 더욱 정확한 열화요인을 유출해

낼 수 있을 것으로 판단된다.

<표 1> 열화진단시스템의 적용 예

| 현상 | | 사례 1 | 사례 2 | 사례 3 | | |
|-------|------------|-----------|-------|------|---|---|
| 관 | 발생시기 | 초기 | | | | |
| | | 중기 | | | | |
| | | 장기 | ● | ● | ● | |
| | 길이 | 30cm 이하 | ● | | | |
| | | 30cm 이상 | | ● | ● | |
| | 범위 | 부재 전체 | | ● | ● | |
| | | 부재일부분 | ● | | | |
| | 부위 | 독립구조물 | 의벽 | | ● | |
| | | | 슬래브 | | ● | |
| | | | 건물전체 | | | ● |
| | | | 슬래브 | | | |
| | | 내부 | 보 | | | |
| | | | 기둥 | | | |
| | | | 벽 | | | |
| | | | 건물전체 | | | |
| | 위치에 관계없음 | | | | | |
| | 방법 | 규칙성 | 규칙적 | | ● | |
| | | | 불규칙적 | ● | | |
| | | 형태 | 수직 균열 | | | |
| | | | 수평 균열 | | | |
| 경사 균열 | | | | | ● | |
| 망상 균열 | | | ● | | | |
| 진행성 | | 철근에 의한 균열 | | ● | | |
| | | 진행 | ● | ● | ● | |
| 깊이 | | 정지 | | | | |
| | | 표층 | ● | | | |
| | 중간 | | ● | ● | | |
| 균열폭 | 관통 | | | ● | | |
| | 0.15mm 이하 | ● | | | | |
| | 0.15~0.4mm | | | | | |
| | 0.4~1.0mm | | | ● | | |
| 변형 | 1.0mm 이상 | | ● | | | |
| | 수축성 | | | | | |
| | 팽창성 | ● | ● | | | |
| | 침하성 | | | ● | | |
| 콘크리트 | 박리 | 휨·전단성 | | ● | | |
| | | 없음 | | | | |
| | | 부분적 박리 | ● | | | |
| | 박락 | 원추상 박리 | | ● | | |
| | | 전면적 박리 | | ● | | |
| | 연화(軟化) | 있음 | ● | ● | | |
| | | 없음 | | | ● | |
| | | 있음 | ● | ● | ● | |
| | | 없음 | | | | |
| | 부서짐 | 있음 | ● | | | |
| 없음 | | | ● | ● | | |
| ge1형성 | 있음 | | ● | ● | | |
| | 없음 | ● | ● | ● | | |
| 백화현상 | 있음 | ● | | ● | | |
| | 없음 | | ● | | | |
| 철근 | 부식 | 전면적 부식 | | ● | | |
| | | 부분적 부식 | | | | |
| | 노출 | 없음 | ● | | | |
| | | 전면적 노출 | | | | |
| | | 부분적 노출 | | ● | | |
| | | 없음 | ● | ● | | |

<표 2> 추정된 열화요인 및 점수

| 열화요인 | 사례 1 | | 사례 2 | | 사례 3 | |
|----------|------|-------------|------|--------------|------|------|
| | 점수 | 열화요인 | 점수 | 열화요인 | 점수 | 열화요인 |
| 동결융해 | 81 | 중성화 | 81 | 환경(온·습도의 변화) | 71 | |
| 경화후 건조수축 | 71 | 콘크리트중의 염화물 | 81 | 부등침하 | 69 | |
| 화재 | 56 | 화학적 침해 | 81 | 중성화 | 59 | |
| 알칼리-골재반응 | 60 | 염해 | 71 | 부재양면의 온·습도차 | 51 | |
| 피복두께의 부족 | 51 | 부재양면의 온·습도차 | 56 | 동결융해 | 51 | |

5. 결론

본 연구는 앞으로 개발될 보수·보강시스템과 연계하여 신뢰성이 높고 현장실무자들이 손쉽게 사용할 수 있는 열화진단 보수·보강시스템 개발을 위한 기초적 연구로서 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 열화 요인에 따른 균열의 유형, 콘크리트의 현상, 철근의 현상 등을 분석하여 정량화 하였다.
- 2) 열화요인에 따른 현상의 정량화를 통하여 현장 실무자들이 손쉽게 사용할 수 있는 열화진단시스템을 구축하였다.
- 3) 실제사례를 통하여 열화진단시스템을 사용한 진단분석과 전문가의 판단이 일치하는 만족스러운 결과를 얻었다.
- 4) 본 시스템의 체계적 완성을 위해서는 보다 많은 사례를 통한 DATA수집이 요구되며 2차상세조사를 위한 손쉽고 정량화가 가능한 시험법의 수립이 요구된다.

參 考 文 獻

1. ACI 224R-90 "Control of Cracking in Concrete Structures", 1993.
2. ACI 201.2R-92 "Durable Concrete", 1993.
3. "콘크리트의ひびわれ調査, 補修·補強指針", 日本 콘크리트工學協會, 1989.
4. 關博 外 16人 "補修·補強", 콘크리트工學, Vol.31, No.7, 1993, pp.4~111.
5. 심중성, 심재원 "철근 콘크리트 구조물에 발생한 균열보수를 위한 전문가 시스템의 개발", 한국 콘크리트학회 추계 발표회, 제 5권, 제 2호, 1993, pp.71~77.