

有限要素法과 農工學에의 活用 (Ⅲ)

李 宰 泳

(全北大學校 農科大學 農工學科)

3. 有限要素法 活用の 實際

有限要素法을 活用하려면 어느 程度의 專門 知識이 필요한가? 이에 대해서는 一律적으로 答할 수 없다. 만일 既存의 소프트웨어를 利用하여 有限要素解析을 하는 境遇라면 極端적으로 말해서 有限要素法에 대한 專門知識이 전혀 必要하지 않다고도 할 수 있을 것이다. 反面에 有限要素法을 새로운 類型의 問題에 適用하려고 하거나, 또는 프로그램을 직접 作成해야할 境遇라면 상당히 깊은 知識이 必要하다. 農工學分野에서 이 方法을 使用하는 것은 대체로 前者에 가깝다고 본다. 그래서 여기서는 前者의 立場에서 有限要素法의 活用과 關聯된 내용들을 살펴보기로 하겠다.

가. 有限要素解析 過程

有限要素解析은 入力데이터를 만드는 過程, 데이터를 入力하여 컴퓨터로 計算을 實行하는 過程과 計算된 結果를 分析하는 過程등을 거쳐서 이루어진다. 이들 過程을 각각 前處理(preprocessing), 處理(processing) 및 後處理(postprocessing)過程이라고 한다. 有限要素法의 實用化 初期에는 處理過程만 컴퓨터에 의해 遂行되었으며, 데이터를 作成하거나 結果를 分析하는 일은 사람 손에 의해 일일이 이루어졌다. 따라서 既存의 프로그램을 使用하여 有限要素解析을 한다고 하더라도 前處理와 後處理過程에 많은 努力과 時間과 費用이 따라야만 했다. 특히 複雜한 問題를 解析할 境遇에는 龍大한 入力데이터를 作成하는데 엄청난 作業이 必要했으며 이 過程에서 誤謬가 생기기 쉬웠고 이

러한 誤謬를 찾아내거나 修訂하는 일은 극히 힘들었다. 解析을 통해서 出力되는 結果도 역시 복잡해서 解析 結果의 全體의인 輪廓을 把握하고 重要한 問題點을 찾아내는데 많은 어려움이 있었다. 그래서 有限要素解析에서 前後處理의 問題가 점차 重要時 되었으며, 이 過程의 自動化에 관한 研究가 오래전부터 활발히 이루어져 왔다. 요즘은 開發되는 대부분의 有限要素解析 프로그램은 前後處理機能이 強化되었으며 前後處理 專用소프트웨어도 普及되고 있다. 前處理, 處理 및 後處理過程에서 遂行되는 일을 要約하면 다음과 같다.

1) 前處理過程

- 가) 解析領域의 形狀을 모델링 한다(解析領域의 輪廓線 設定).
- 나) 有限要素網(finite element mesh)을 發生시킨다.(節點座標 計算, 要素의 連結性 附與)
- 다) 要素性質, 境界條件, 荷重條件등을 附與한다.
- 라) 節點番號, 또는 要素番號등을 最適化한다.
- 마) 필요하면 데이터를 處理프로그램에 맞도록 轉換하고 그 附合성을 點檢한다.
- 바) 入力데이터를 圖式화한다.

2) 處理過程

- 가) 要素性質行列과 列벡터를 구한다. 즉 要素方程式을 세운다.
- 나) 要素方程式을 組立하여 全體方程式을 세운다.
- 다) 方程式을 풀어서 未知의 場變數들을 구한다.

- 라) 2次變數를 구한다.
- 3) 後處理過程
 - 가) 解析 結果를 加工한다. 예를 들어서 積分點의 應力으로 부터 節點의 應力을 算出하고, 主應力의 크기와 方向 등을 구한다.
 - 나) 加工된 結果를 圖式的으로 表現한다. 예를 들어서 節點의 應力으로부터 等應力 線圖를 만들거나, 節點의 流速으로부터 流速벡터나 有線을 구한다.
 - 다) 表現된 結果를 分析한다.
 - 라) 結果를 後續되는 解析프로그램에 맞도록 轉換한다.

有限要素解析을 위한 소프트웨어가 하나의 單一-프로그램으로 된 경우는 드물고, 여러개의 獨立된 모듈로 構成되어 있는 것이 一般的이다. 그래서 흔히 有限要素解析“팩키지”, 또는 “시스템”이라고 부른다. 그림4는 有限要素解析을 위한 소프트웨어와 하드웨어의 構成을 概略的으로 나타낸 것이다.

全處理를 위한 프로그램을 preprocessor라고 한다. 初期의 preprocessor는 데이터의 檢索이나 간단한 要素發生(mesh generation)등의 단순한 機能을 갖고 있는 것이 고작이었으며, 대부분 解析을 위한 본프로그램 안에 포함되어 있었다. 또한 카드리더나 키보드를 이용하여 데이터를 入力시켰으므로 前處理를 위해 별다른 장비가

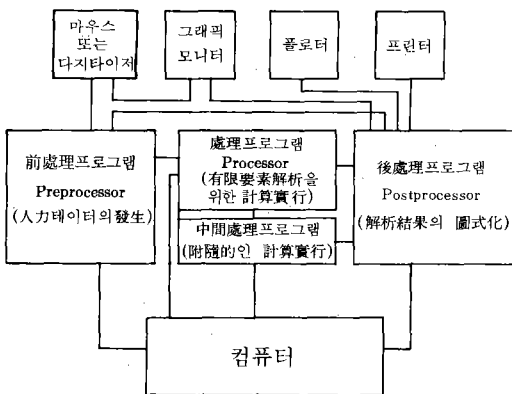


그림. 4. 有限要素解析을 위한 소프트웨어와 하드웨어의 構成.

필요하지 않았다. 그러나 最新의 preprocessor는 데이터의 生成에 必要한 複雜한 機能을 갖춘 龐大한 프로그램(100,000 statement 이상)으로 發展하였다. 이러한 preprocessor는 使用者의 便宜를 위하여 그래픽 모니터를 비롯해서, 디지털타이저, 마우스, 스캐너등의 多樣한 裝備를 利用할 수 있도록하고 있다.

有限要素解析의 本格的인 計算을 實行하는 處理프로그램을 processor, 또는 analyzer라고 한다. 處理過程은 많은 컴퓨터 記憶容量과 計算時間을 要한다. 요즘은 프로그래밍技法和 方程式 解法이 發達하여 퍼스날 컴퓨터를 利用하더라도 數千個의 未知數를 갖는 問題를 解析할 수 있게 되었다. 處理過程에서는 中間處理(예를 들어서 節點변위로부터 節點應力을 구하는 따위)를 위한 補助的인 프로그램을 한 段階 더 거치는 것이 보통이다.

後處理를 위한 프로그램을 postprocessor라고 한다. 後處理過程에서는 解析結果를 陰影表現(shading), 等高線表現(contouring), 또는 animation등의 여러 방법으로 나타낸다. 이 때 그래픽 모니터를 이용하여 만족할만한 映像을 얻은 後에 이를 永久 保存할 수 있도록 플로터나 하드카피어로 出力하는 것이 一般的 節次이다.

나. 使用者의 意思 決定

既存의 有限要素解析 프로그램을 利用하는 境遇라고 하더라도 모든 作業이 처음부터 끝까지 自動으로 遂行되는 것은 아니며, 中間過程에서 使用者와 컴퓨터 間의 相互作用(interaction)이 있기 마련이며, 이 과정에서 使用者가 내리는 決定 如何에 따라서 解析 結果의 正確性和 計算時間, 費用등이 달라진다. 그러므로 좋은 結果를 經濟的으로 얻기 위해서는 이 方法에 대한 經驗과 感覺이 必要하다. 使用者가 判斷해서 내려야할 決定事項들은 다음과 같다.

1) 모델링方法

同一한 問題를 使用者의 觀點이나 또는 與件에 따라서 여러가지로 달리 모델링할 수 있다. 예를 들어서 터널斷面의 應力을 解析함에 있

어서 이를 平面變形의 問題로 看做하여 解析할 수 있는가하면, 셸(Shell)이나 3次元固體 構造物로서 解析할 수도 있다. 어떻게 모델링 하느냐에 따라서 解析 結果로 얻을 수 있는 情報의 種類나 正確도가 상당히 달라질 수 있다.

2) 解析方法

有限要素解析방법은 다음과 같이 몇가지로 分類되는데 使用프로그램의 解析能力, 費用, 問題의 性格, 要求되는 正確度등에 따라서 適合한 方法을 選擇하여야 한다.

가) 時間依存性에 따른 分類:

- 靜的(static)解析, 또는 停留狀態 (steady state) 解析
- 動的(dynamic analysis), 또는 過渡狀態 (transient state) 解析

나) 方程式의 非線形性에 따른 分類

- 線形(linear)解析
- 非線形(nonlinear)解析

다) 데이터의 確率的 性格에 따른 分類

- 確定論的(deterministic)解析
- 確率論的(stochastic/probabilistic)解析

參考로 말하면 確率的인 解析은 아직 研究 段階에 머물러 있으나, 動的解析과 非線形解析 方法은 이미 高度로 발달되었으며, 大部分의 大規模프로그램들은 이러한 能力을 保有하고 있다. 그러나 統計에 의하면 實際의 有限要素

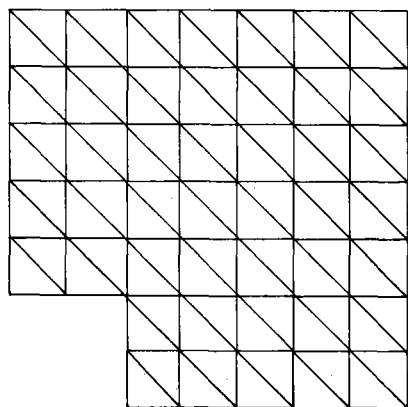
解析 중에서 95%以上이 靜的, 線形解析의 範疇에 속한다고 한다.

3) 要素의 種類

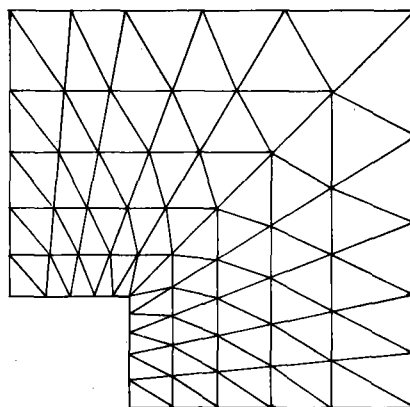
한가지 問題를 해석할 수 있는 要素에는 定式化 方法, 形態, 節點數등에 따라서 여러 種類가 있다. 예를들면 셸構造物의 解析을 위한 要素의 種類는 數百個가 넘는다. 불행히도 이 중에서도 唯一無二한 最上의 要素는 存在하지 않는다. 그러므로 프로그램 내에 포함되어 있는 여러개의 要素들 중에서 使用者가 適合한 要素를 選擇하지 않으면 안된다. 이를 위해서는 要素의 性格, 收斂性등을 잘 파악하는 것이 바람직하다. 프로그램의 使用指針書에는 一般의 要素에 관한 情報가 簡略하게 記述되어 있다.

4) 要素의 租密度

解析 領域을 여러개의 要素로 租密하게 分割할수록 正確한 結果를 얻을 수 있지만 그 대신 所要 記憶容量과 計算時間이 增大되므로, 要求되는 正確度, 使用 컴퓨터의 可用記憶容量등을 考慮하여 適切한 租密度를 決定하여야 한다. 또한 效果의인 解析을 위해서는 그림.5와 같이 解析 領域의 形象이나 境界條件등에 따라서 部分的으로 租密度가 다르게 要素를 配置하여야 하는데 이것도 역시 使用者가 決定하여야 한다. 그러나 租密度에 따라서 正確도가 어느 정도 되는지, 또 解析 領域의 어느 部分을 더

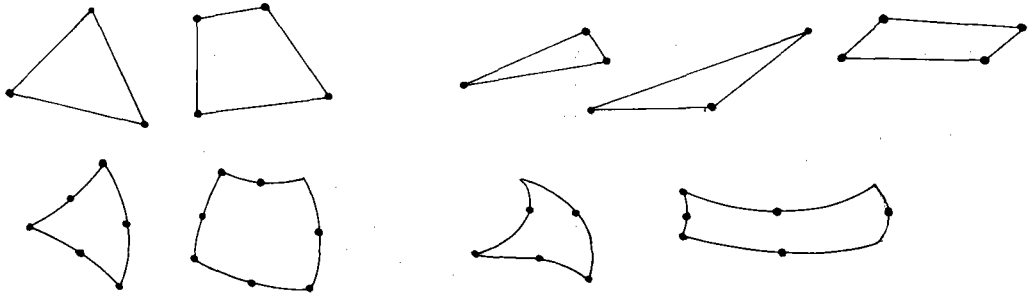


(가) 均等한 分割



(나) 效率性을 높이기 위한 不均等 分割

그림. 5. 有限要素의 分割.



(가) 形狀比가 良好한 要素

(나) 形狀比가 不良한 要素

그림. 6. 要素의 形狀比.

조밀하게 해야되는지를 판단하는 것은 어려운 일이며 이는 經驗에 依存할 수 밖에는 없다. 最近에는 이를 解決하기 위하여 컴퓨터가 最適의 租密度를 自動으로 決定하도록 하는 “要素分割 最適化 方法”, “適應 分割 方法” 등이 研究되고 있으나 아직 實用的으로 活用할 수 있는 段階에는 이르지 못하였다.

5) 其他

그외에 사용자가 決定해야할 事項으로서 非線形解析 方法(逐次法, 漸増法 등), 逐次回數와 같은 것은 計算時間에 相當한 影響을 준다. 또 同一한 要素를 使用하여 同一한 租密度로 分割하더라도 그림6에서 比較한 바와 같이 各要素의 形狀比를 어떻게 되도록 하느냐에 따라서 正確도가 크게 달라진다. 좋은 形狀比를 갖는 要素의 分割은 使用者의 經驗과 判斷에 依存하는 수 밖에 없다.

다. 有限要素解析을 위한 소프트 웨어

有限要素解析을 위한 소프트웨어가 지난 20 余年間 活潑히 開發되어 全世界的으로 널리 보급되어 왔다. 初期에는 주로 大學을 中心으로 開發되었으나 最近에는 소프트웨어 하우스등을 통해서 開發된 多數의 프로그램들이 商業的으로 普及되고 있다. 그러나 이들 중에서 그 어느 것도 最上의 完備한 소프트웨어라고 할 수는 없을 것이다. 프로그램 마다 각기 長短點을 지니고 있어서 解析하려는 問題의 性格이나, 컴퓨터環境, 使用者의 背景에 따라서 프로그램의 適合성이 달라질 수 있다. 프로그램의 適合성을

判定하는데 基準이 되는 몇 가지 要素들을 列舉하면 다음과 같다.

1) 普遍性

解析할 수 있는 問題의 種類(應力解析, 熱傳達, 流體解析등), 解析方法(線形, 非線形, 靜的, 動的解析등), 要素의 種類(要素의 形態, 節點數등)가 多樣할수록 普遍性이 크다고 할 수 있다. 프로그램使用의 用途가 어떤 特定한 問題로 局限될 境遇에는 普遍性이 크다고 반드시 좋은 것은 아니지만 多用途로 使用하고자 할 境遇에는 普遍性이 매우 重要하다.

2) 規模

大規模 有限要素解析 프로그램이라면 그 길이가 보통 100000개의 FORTRAN statement에서 부터 1000000개를 넘는 것(例NASTRAN)도 있다. 大型, 또는 슈퍼 컴퓨터를 이용할 경우에는 프로그램의 길이가 별로 문제가 되지 않는만, 퍼스날 컴퓨터와 같이 可用記憶容量이 작은 경우에는 制限 要因이 된다. 有限要素解析 패키지 중에서 여러개의 모듈로 構成되어서 必要한 部分만 選擇의으로 積載할 수 있도록 하여 記憶容量을 效果的으로 使用할 수 있도록 한 것도 있다.

3) 移植性

컴퓨터의 種類마다 構造와 運用시스템이 달라서 여기에 附合되는 프로그램만 實行이 可能하다. 그러므로 어떠한 有限要素解析 프로그램도 모든 컴퓨터에서 使用할 수 있도록 되어 있지는 못하다. 프로그램이 얼마나 많은 컴퓨터에 附合한지의 程度를 移植性이라고 한다.

表-2. 有限要素解析 소프트웨어 目錄(여기에 열거된 것은 일부분에 불과함).

프로그램名	開發 機關	主開發者	年度	特 徵
大規模 汎用 프로그램				
ADINA	MIT	Bathe	1974-	動的非線形 解析 能力이 뛰어난
ANSYS	Swanson Analysis	Swanson	1970-	商業的으로 開發된 專門프로그램
GIFTS	Arizona大		1979-	그래픽 機能이 우수한 教育用
MARC	MARC Analysis	Marcal	1969-	應力解析을 위한 汎用프로그램
SAP	Californina大	Wilson		非商業的으로 가장 많이 普及된 汎用프로그램
PATRAN	Kins Development			前處理 및 後處理 機能의 卓越
NASTRAN	NASA		1966-	宇宙航空設計를 위해 開發된 프로그램
MSC/NASTRAN	MacNeal Swandler			商業的로 普及되고있는 NASTRAN Version중의 하나
퍼스날 컴퓨터用 프로그램				
ANSYS-PC	Swanson Analysis		1985	ANSYS를 PC用으로 改造한 프로그램
MSC/Pal2	MacNeal Swandler		1986	平面構造物을 PC로 해석할 수 있도록 開發
Super Sap	Algor Corp.		1986	SAP을 위한 前處理 및 後處理 專用 프로그램
農工學 分野에서 開發된 프로그램				
FEM Macintosh	Cornell大	Cooke	1986-	Macintosh用 有限要素解析프로그램
FEM Apple II	Washington 州立大	Davis	1985	Apple II用 有限要素解析프로그램
Purdue Analyser	Purdue大		1979	木材構造物 解析 및 設計用프로그램
Solver	Cornell大	Lee	1983	教育用 骨組構造解析프로그램
FEMPAC	Minnesota大	Gustafson	1977	教育用 有限要素解析프로그램
國內에서 開發된 프로그램				
K-Truss	KAIST	김문현	1986	骨組構造物 解析프로그램
SWAN88	KAIST	이동근	1988	住宅建設用 平面構造物 解析프로그램
ANIFRAME	農業振興公社	이재영	1979	3次元 骨組構造解析프로그램
FEMAND	全北大,農振	이재영	1987-	農業土木設計를 위한 汎用프로그램

Graphic機能이 強化된 프로그램 일수록 一般的으로 移植性이 적다.

4) 便易性

使用하기 쉽고 便利한 程度를 말한다. 前後處理 機能이 좋은 프로그램 일수록 便易性이 높다. 프로그램 마다 자체의 前後處理 機能이 어느정도 있지만 대체로 貧弱하다. 最近에 開發되는 프로그램들은 이 機能이 強化되고 있으며, 前後處理 專用프로그램도 나오고 있다.

5) 價 格

오래전에 大學에서 開發된 프로그램 중에는 現在 無料로 普及되고 있는 것도 있지만(SAP), 商業的인 目的으로 開發된 프로그램들은 대체로 高價이다. 例를 들어서 슈퍼컴퓨터용으로 供給되는 PATRAN은 10만불, ABACUS는 6만불대이다. 이들 프로그램은 維持管理費만도 年間 數千弗을 要한다. 퍼스날 컴퓨터용인 AN-SYS-PC/Linear는 6천불, MSC/Pal-2는 2천불에 판매되고 있다.

表-2에는 有限要素解析 소프트웨어 중의 一部를 列舉하였다.

라. 有限要素解析 프로그램의 開發 動向과 展望

有限要素解析 프로그램이 本格的으로 開發되기 시작한 것은 대략 1970年代初라고 할 수 있다. 그 後로 수많은 프로그램들이 쏟아져 나왔고 大型의 汎用有限要素解析 패키지들이 學界와 産業界에서 그 位置를 確固히 다져왔다. 國內에서도 外國에서 開發된 프로그램을 導入하여, 有限要素法이 많은 分野에서 活潑히 이용되는 가운데 다른 한편에서는 獨自적으로 프로그램을 開發하려는 노력이 계속되어 왔다. 특히 지난 數年동안 이 分野의 發展은 슈퍼컴퓨터의 등장, 퍼스날 컴퓨터의 大衆化 및 컴퓨터그래픽의 발달에 크게 영향을 받았다.

有限要素法은 以前에 풀 수 없었던 아주 복잡한 問題들을 수없이 解決해 주었다. 그럼에도 불구하고 計算期間이나 記憶容量이 너무 많이 所要되어 有限要素法의 適用이 現實的으로 不可能한 問題들도 없지 않았다. 例를 들어서 空

氣動力學의 渦流解析과 같은 問題는 理論上 有限要素法으로 풀 수 있지만, 이 方法을 適用하려면 既存의 大型 컴퓨터가 保有하고 있는 記憶容量의 수십배, 또는 수백배가 필요하고 計算時間이 數個月이 所要되므로 事實上 解決이 不可能한 문제중의 하나였다. 그러나 計算速度와 可用記憶容量에서 懸隔하게 改善된 슈퍼컴퓨터가 登場 하므로서 이러한 문제들까지도 解析이 가능해졌다. 그리하여 多數의 有限要素解析 패키지들이 슈퍼컴퓨터의 並列處理方式에 맞도록 改造, 設置되어 이러한 問題의 解析에 活潑히 利用되고 있다.

슈퍼컴퓨터의 發達과 同時에 다른 한편으로는 小型의 퍼스날 컴퓨터의 性能이 急速度로 向上되어 有限要素解析도 實行할 수 있는 단계에 이르렀다. 퍼스날 컴퓨터의 發達이 有限要素解析에 대해서 갖는 重要한 意味는 값싼 컴퓨터의 大量 生産, 大量 普及에 의한 컴퓨터의 大衆化라고 할 수 있다. 이는 곧 有限要素法의 大衆化와 直結되기 때문이다. 그동안 既存의 有限要素解析 프로그램들이 퍼스날 컴퓨터에 맞도록 轉換되어 널리 보급되는가 하면, 여러 소프트웨어 회사에서 퍼스날 컴퓨터를 겨냥한 프로그램들을 새로 개발하여 내놓고 있다.

컴퓨터 關聯 技術 중에서 最近에 가장 눈부시게 발전한 부분이 컴퓨터 그래픽스이다. 有限要素解析의 前後處理方法은 컴퓨터 그래픽스 技術을 導入 하여 크게 變貌하였다. 以前에 카드리더나, 키보드, 프린터등을 이용한 入出力方式에서 脫皮하여 高性能의 그래픽 모니터를 이용하여 圖式的, 對話的인 方法으로 데이터를 만들고, 結果를 分析할 수 있게 된 것이다. 이에 따라서 프로그램의 소위 "user friendliness"와 "interactiveness"가 顯著히 向上되었다. 商業的인 觀點에서 볼 때, 이제 그래픽스에 의한 前後處理機能은 必須的인 要件이 되었다. 그래서 最近에 開發된 프로그램일수록 前後處理를 위한 그래픽機能이 強化되는 傾向이 있으며, 既存의 有限要素解析 프로그램에서도 이러한 機能이 점차 補強되고 있다. 지금까지 有限要素解析을 위한 소프트웨어가 수 없이 開發되었고,

또 널리 普及되어서 有限要素法은 이미 科學과 技術의 여러 分野에서 必須的인 道具로 定着되었다. 그러나 아직도 새롭고 보다 더 나은 소프트웨어를 開發하려는 努力은 繼續되고 있다. 새로운 소프트웨어의 개발에서 대체로 注力하는 바는 프로그램의 普遍性的의 擴大, 解析能力的의 增大, 使用上的의 便易性 向上등을 들 수 있다.

컴퓨터와 有限要素法이 發達되어 가는 동안은 이를 위한 소프트웨어도 계속해서 새로이 開發되고 또 發展될 것이 분명하다. 앞으로 이 分野의 소프트웨어의 發達은 두가지 方向으로

進行되리라고 展望된다. 그 하나는 슈퍼컴퓨터를 위한 超高性能의 有限要素解析 프로그램이 出現하여 지금까지 풀지못하던 여러가지 問題들을 解決해 줄 것이며, 다른 한 方向은 使用하기 쉽고 便利한 프로그램들이 퍼스날 컴퓨터에 맞도록 開發되어 必要한 사람은 누구나 손쉽게 有限要素法을 活用할 수 있도록 大衆化가 實現될 것이다. 또한 特定 目的의 有限要素解析 프로그램이 지금의 칼큘레이터 크기의 超小型컴퓨터에 收錄되어, 심지어는 野外에서 일하는 技術者들까지도 有限要素法을 利用할 수 있는 날이 머지않을 것으로 推측된다.

鐵筋콘크리트 腐蝕 탐지장치

근래 철근 콘크리트의 부식문제가 큰 문제로 대두되고 있다. 엄청난 사고를 초래할 가능성을 지닌 곳도 많다. 영국의 철근 콘크리트 구조물의 대부분은 금세기 초에 건축되었는데, 이 때가 바로 철근이 콘크리트 내부에 처음 설치되기 시작한 시기이다. 그 후 그러한 구조물에 엄청난 무게가 계속 가해져 왔던 것이다. 불행히도 가장 문제가 되고 있는 콘크리트 구조물은 가장 중요한 역할을 하고 있는 것들이다. 예를 들면 고속도로의 기반, 다리, 방파제등에 염분의 작용으로 생선된 염화물이 균열을 통하여 스며들어 내부의 철근을 부식시키고 있다. 영국 교통부는 전국 도로의 75%에 이러한 철근 부식현상이 일어나고 있다고 평가하고 있다. 콘크리트 손상의 또 다른 주요 원인인 탄화작용은 주택 밀집지역에서는 사실상 장려되고 있다고 해도 지나친 말이 아니다. 그런 지역에서는 대기 중의 이산화탄소 함유량 증가와 외부습도의 영향으로 콘크리트의 산화가 가속화되고 있는 형편이다.

예전에는 콘크리트 내에 부식이 일어나고 있다는 사실을 녹물이라든가 콘크리트 자체의 손상 등의 외부적 관찰로 발견하는 경우가 많았다. 그러나 외부적 관찰이 가능할 때는 이미 때가 늦다. 조기 보수, 표면 도장(塗裝), 음극 보호처리와 같은 효과적인 처치를 하려면 그보다 2년 가량 더 빨리 발견해야 하는 것이다. 콘크리트 부식 탐지에 관한 영국의 어느 대학 한 유수한 회사의 공동연구의 결과로 기존의 콘크리트를 손상시키지 않을뿐만 아니라, 독특하고 포괄적인 휴대용 점검장치가 개발되었다. 이 장치는 기존의 단극(單極) 전지 이용기술(부식이 일어날 가능성이 높은, 양극이 우세한 부분을 찾아내기 위한 전압이용 감시장치)과 콘크리트 저항력 측정법을 배합하여 개발되었다.

※ 1989. 6호 영국산업뉴스 32페이지 발췌