

有限要素法과 農工學에의 活用(IV)

李 宰 泳
(全北大學校 農科大學 農工學科)

4. 農工學에의 活用

農工學은 有限要素法이 가장 널리 活用될 수 있는 分野이다. 그럼에도 불구하고 農工學分野에서 이 方法의 活用度는 微微하다. 앞으로 農工學의 發展을 위해서는 이와 같이 새롭고 強力한 解析手段을 여러 方面으로 많이 利用하여야 할 것이다. 여기서는 既存의 活用例를 중심으로 有限要素法의 適用이 要望되는 農工學의 課題들을 列舉하였다.

가. 構造解析

構造解析은 有限要素法이 가장 널리 活用되는 典型的인 分野이며, 農工學에서는 農業土木施設物의 設計를 위해서 構造解析을 한다. 農業土木施設物도 立地의 條件과 經濟性에 맞추어 大型化되고 複雜해지는 傾向이 있다. 이로 인해서 在來의 方式의 構造解析에 依存해서는 設計를 할 수 없는 단계에 이르렀으며, 有限要素法의 活用이 절실히 要求되고 있다. 構造物은 다음과 같이 몇가지 類型으로 분류되며, 각 類型別로 適用되는 有限要素는 여러가지가 있다.

1) 骨組構造

트러스, 라멘(rigid frame)과 같이 線으로 표시할 수 있는 構造物을 말하며, 直線 또는 曲線 部材要素가 適用된다. 揚排水場과 같은 建築物의 뼈대 解析이나, 水路橋, 暗渠, 潛管 등의 概略의 構造解析이 이에 該當된다. 骨組構造解析을 위한 有限要素法을 흔히 行列構造解析法이라고도 일컫는다.

2) 平面連續體

平面應力, 平面變形, 軸對稱의 세 狀態로 分類되며 각 狀態別로 三角形, 또는 四邊形의 平面要素가 있다. 댐, 用水路斷面 등의 平面的인 해석은 平面變形의 問題에 該當되며, 取水塔, 싸일로 등과 같은 構造物을 回轉體로 보고, 그 回轉斷面을 解析할 때, 이는 軸對稱問題라고 할 수 있다. 평면적인 얇은 구조물에 同一平面內에서 外力이 作用하는 境遇를 平面應力狀態라고 하는데, 農業土木構造物로서 平面應力의 問題로 取扱할 수 있는 경우는 드물다.

3) 플레이트

垂直한 방향으로 荷重을 받는 얇은 平面體를 플레이트라고 한다. 흔히 슬래브라고 일컫는 構造物이 플레이트에 해당된다. 플레이트 要素는 여러 種類가 開發된 바 있으며, 그중에서 가장 널리 이용되는 것으로는, Mindlin要素, BCIZ要素, SHEBA要素 등이 있다.

4) 셸

擁壁, 아취댐, 取水塔, 사이폰 餘水吐, 싸일로 등 크기에 비해서 두께가 얇은 構造物들이 셸에 해당된다. 셸해석을 위한 要素는 degenerate shell要素, 平版要素, SemiLoof要素 등 상당히 많은 種類의 要素가 있으며, 이들을 두꺼운 셸(thick shell)要素와 얇은 셸(thin shell)要素로 大別한다. 形態적으로는 三角形, 四邊形의 二重曲面要素, 실린더形의 要素 등이 있다.

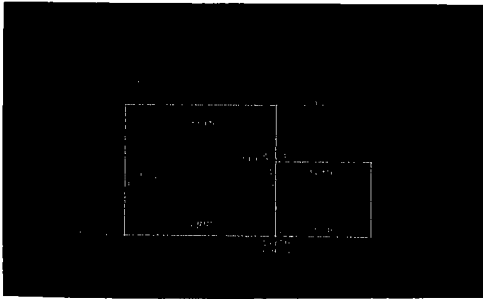
5) 3次元 連續體

댐, 餘水吐, 排水閘門 軀體등 立體的인 덩어리로 이루어진 構造物을 3次元 連續體라고 한

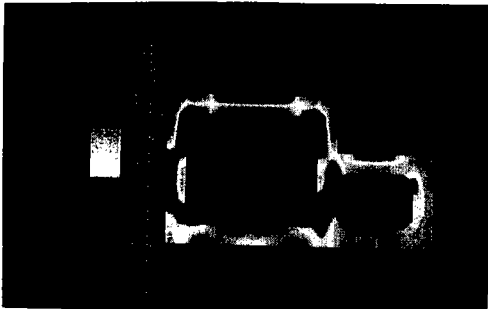
* 前號 37페이지 繼續

다. 三次元 連續體의 構造解析에 가장 普遍的으로 이용되는 것은 四面體, 六面體, 및 프리즘形의 isoparametric 要素이다.

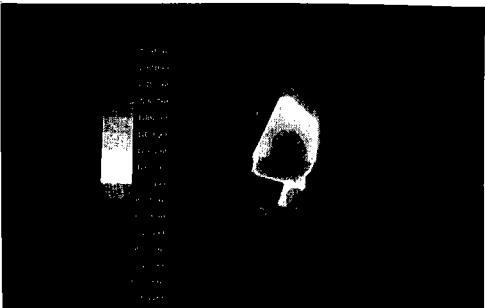
이상과 같이 構造物을 몇가지로 分類하였는데, 동일한 構造物도 보는 觀點이나 要求되는 正確度 또는 얻고자 하는 데이터의 種類에 따라서 각기 달리 分類하여 解析할 수 있다. 그림. 7은 박스 暗渠를 frame, 平面變形, 또는 쉘로 취급하여 각기 달리 解析할 수 있음을 例示한 것이다.



(a)



(b)



(c)

그림 7. Box暗渠의 構造解析.

(a) Frame解析 (b) 平面變形解析 (c) 쉘 解析

有限要素法은 構造力學 分野에서 應力計算 이외의 構造安定解析(stability analysis), 接觸問題(contact problem), 分裂力學(fracture mechanics) 등에도 널리 活用되고 있다.

나. 流體解析

복잡한 流體의 解析을 위해서는 過去에는 有限要素法이 支配的으로 많이 이용되어왔다. 그러나 有限要素法이 發達되므로서 점차 이 方法으로 代替하게 되었다. 流體解析은 대체로 完全流體, 壓縮性 非粘性 流體, 慣성이 없는 非壓縮性 粘性 流體, 慣성이 있는 非壓縮性 粘性 流體 및 壓縮性 粘性 流體로 分類하여 解析한다. 이와 같이 分類된 流體의 種類에 따라서 基本支配方程式이 다르므로, 각기 適用되는 要素와 解析過程이 서로 다르다.

다음에 記術한 몇가지 例는 農工學 分野에서 흔히 부딪치는 流體力學의 問題로서 有限要素法에 의한 解析이 바람직한 것들이다.

1) 排水閘門 流速計算 및 通水能力檢討

排水閘門의 適正 規模는 閘門의 通水能力을 檢討하여 결정한다. 通水能力은 閘門의 數值的 模擬操作(numerical simulation)을 통해서 推定한다. 여기에서 基本이 되는 것은 内外水位差에 의한 通水流量의 計算이다. 우리의 農業土木 分野에서는 이를 위해서 몇가지 内水位와 外水位 狀態로 區分하여 오리피스 또는 웨어의 流速公式를 적용하여 閘門으로 排出되는 流量을 계산하는 것이 관행이었다. 여기에는 많은 모순과 오차가 포함되어 있다. 이를 개선하는데는 有限要素法에 의한 모델링이 가장 적합하다. 그림. 8은 有限要素法에 의한 排水閘門 流速計算 모델링의 한 예를 나타낸 것이다. 여기서는 自由水面을 갖는 完全流體로 假定하여 解析한다.

2) 防潮堤 縮切區間의 流速計算

防潮堤의 縮切이 漸高, 또는 漸縮으로 進行됨에 따라 流速이 增加하게 되며, 특히 最終縮切時의 流速은 最終縮切의 計劃과 方法 및 材料를 결정짓는 重要한 要素이다. 현재 사용되고 있는 計算方法은 간략한 웨어의 公式에 의한 것이므로

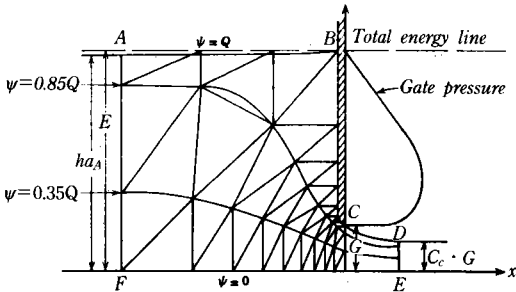


그림. 8. 排水開門의 流速計算을 위한 有限要素解析 모델.

로 正確한 結果를 기대하기가 어렵다. 이 問題는 有限要素法에 의하여 縮切 區間에서의 斷面의 急速한 變化, 背水의 影響 등을 고려한 解析을 하므로서 正確한 모델링이 가능하다.

3) 河口的 水理現象 모델링

河口に 댐을 築造함으로써 上下流部에 發生하는 水理現象은 매우 복잡하여 간단한 數式에 의한 모델링은 별로 意味가 없다. 그래서 주로 水理模型試驗에 의존해왔으나, 模型의 製作과 試驗에 많은 費用이 소요될 뿐만 아니라, 定量的으로 正確한 結果를 얻기가 힘들다. 최근에 컴퓨터에 힘입어 발달된 數值解析的인 모델링이 많이 이용되는 경향이 있다. 數值解法으로서 지금까지 주로 이용되어온 方法은 有限差分法인데 이 方法은 복잡한 地形을 幾何學的으로 精巧하게 모델링하기가 힘들고, 空間格子의 間隔에 비해 時間間隔이 클 경우에는 解가 發散되기 쉽고, 또 普遍性 있는 프로그램을 만들 수 없다는 短點을 지니고 있다. 이러한 短點이 有限要素法에 의해서 모두 해결될 수 있다. 그러나 현재 활용되고 있는 것은 垂直平均速度를 變數로 하는 平面的인 모델이며, 그 正確度에는 限界가 있으며, 垂直方向의 流速分布등을 알 수 없다. 有限要素法에 의하여 3次元的으로 河口的 여러 水理現象을 解析하려는 研究가 현재 進行되고 있다.

4) 波浪解析

防潮堤나 防波堤와 같은 海岸 施設物에 작용하는 波濤의 傳播, 反射, 回折 등 여러가지 現

象을 有限要素法으로 모델링할 수 있다. 有限要素法에 의해 얻은 結果에 設計波高를 決定하는데 直接이용될 수도 있지만, 水理模型試驗에서 얻은 結果를 分析하는데 이용되기도 한다.

5) 浸潤 解析

흙댐 堤體내의 浸潤은 댐의 機能과 安定에 큰 影響을 준다. 빠른 浸潤 速度로 인한 파이핑 현상은 댐이 崩壞되는 주요 원인이 된다. 水面의 急降下로 인한 浸潤線의 急變도 댐의 安定을 위협한다. 그러므로 여러가지 狀況에서 浸潤線 變化를 豫測하여 댐을 설계하지 않으면 안 된다. 이를 위해서는 면밀한 浸潤線解析이 요구된다. 堤體내의 浸潤線 解析에는 圖解法이나 數式에 의한 簡易法이 흔히 이용되어 왔다. 그러나 이들 方法은 堤體의 構造가 복잡하고 構成材料가 非均一, 異方性일 경우에는 적용이 곤란하다. 더우기 時間經過에 따른 浸潤線의 變化를 解析하는 것은 불가능하다. 이 문제는 有限要素法에 의해서 쉽게 해결된다. 有限要素法에 의한 해석은 堤體의 構造나 材料의 복잡성에 전혀 구애되지 않으며, 飽和 및 非飽和 解析이 가능하고, 浸潤線의 動的인 變化를 解析할 수 있고, 堤體의 安定을 診斷하는데 필요한 여러가지 데이터를 얻을 수 있다.

6) 地下水의 흐름 解析

水理구조물의 下部에 작용하는 揚壓力이나 그 밑을 흐르는 浸透水量은 流線網으로부터 구한다. 이는 不透水層 境界面으로 둘러싸인 地下水의 흐름 問題로 취급할 수 있다. 地下水의 흐름 解析은 위에 기술한 浸潤解析과 類似한 성격을 띄고 있으나, 前者는 potential flow의 問題에 해당되는데 반해서 後者는 自由水面을 갖는 不定流의 問題로 취급된다는 점에서 근본적으로 다르다. 有限要素法에 의한 解析은 幾何學的인 複雜性(不透水 境界面の 複雜性和 不規則性)이나 透水層의 複雜성을 쉽게 受容할 수 있다는 점이다. 地下水흐름 解析에서는 흐름 函數(stream function)나 또는 水頭(potential)중 어느 하나를 場變數(field variable)로 할 수 있다. 흐름 函數를 場變數로 할 경우에는 流線이 구

해지고, 水頭를 場變數로 하면 等水頭線이 구해진다. 流線網은 等水頭線과 流線을 겹쳐서 만든다. 이들은 두개의 분리된 解析課程을 통해서 구할 수도 있지만 等水頭線을 구하여 이로부터 流線을 誘導해내는 방법도 있다.

다. 土質 및 基礎

土質이나 基礎地盤의 學動解析은 根本的으로 構造解析과 다를 바가 없다. 그러나 材料의 性質이 一般構造物과 크게 다르고, 흔히 半無限體의 性格을 띄고 있다는 점에서 構造解析과는 別途로 取扱된다. 이는 有限要素解析의 경우에도 마찬가지이다.

1) 壓密 沈下解析

構造物의 築造로 인한 基礎地盤의 沈下, 또는 흙댐이나 堤防의 變形이 時間이 經過함에 따라 進行되는 過程을 有限要素法에 의해서 推定할 수 있다. 均一한 土質의 一次元的인 壓密은 壓密 沈下公式에 의하거나 또는 圖解的인 方法에 의해서도 概略的으로 計算할 수 있다. 그러나, 여러 土層으로 이루어진 地盤의 一次 및 二次 壓密沈下를 解析하려면 컴퓨터를 이용한 數值解法이 필요하다. 특히 과일이 있는 基礎地盤은 二次元的으로 解析하여야 하며 이를 위한 有限要素解析이 연구된 바가 있다. 또한 土木纖維에 의해 補強된 基礎地盤이나, Sheet pile, 擁壁 등의 背面土의 壓密은 interface要素를 이용하여 效果的으로 모델링할 수 있다.

2) 댐의 安全度 分析

흙댐의 安全度を 分析하는 在來的인 方法으로 分轄法(method of slice), ϕ -圓法(ϕ -circle method) 등이 있다. 이들 方法은 計算規則이 간단하고 計算量이 작기 때문에 手計算이 가능하다는 이점이 있다. 현재 우리나라의 農業土木分野에서 이용되고 있는 斜面安全度 分析 프로그램도 이러한 計算方法을 電算化한 것들이다. 이들 方法에 의한 安全度란 가정된 滑動圓을 따른 抵抗모멘트와 滑動모멘트라는 人爲的인 概念에 바탕을 두고 있다. 有限要素法에 의하면 댐에 發生하는 最大剪斷應力과 最大剪斷抵抗力의

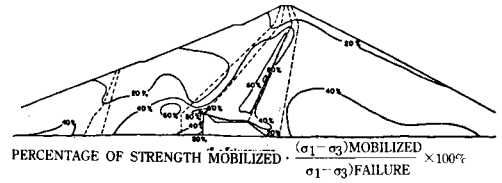


그림 9. 有限要素法에 의한 흙댐의 安全度 分析.

比率에 의해 安全도를 정한다(그림. 9 참조). 斜面의 崩壞가 局部的인 破壞로부터 進展되어 發生하며, 斜面의 滑動이 실제로 있어서는 복잡한 樣態를 띤다는 점을 고려할 때, 安全度에 대한 後者의 基準이 더 合理的이라고 할 수 있다. 有限要素解析의 利點은 복잡한 斷面의 構造와 荷重條件을 그대로 反映할 수 있으며, 安全도와 더불어 斷面의 力學的인 學動을 이해하여, 댐의 薄弱部位를 把握할 수 있고, 動的解析을 할 경우에는 地震, 水位急降下 등의 影響을 考慮할 수 있다는 점이다.

라. 流出解析

가지야미式에서 부터 탱크모델에 이르기까지 기존의 流出解析方法은 주로 統計的인 概念에 바탕을 둔 black box形式의 方法들이다. 그러나 컴퓨터에 의한 龐大한 計算을 前提한다면 水理學的인 計算에 바탕을 둔 流出解析이 가능하다. 여러 研究에서 有限差分法과 有限要素法에 의해 이를 實行하려고 試圖한 바 있다. 水理學的인 流出解析은 流域의 地形, 局部的인 被覆狀態의 變化등을 反映할 수 있으며, 主觀的인 判斷이나 不確實에 의한 影響을 어느 정도 排除할 수 있는 長點이 있다. 流出解析을 위한 有限要素의 定式化는 아직 初期의 開發段階에 있다고 볼 수 있으며, 그 適用範圍가 短期 流出로 局限되어 있다. 앞으로 이를 좀더 發展시키면 正確하면서도 詳細한 結果를 얻을 수 있는 流出解析의 手段이 될 수 있을 것이다. 또한 統計的인 概念을 導入한 有限要素가 開發된다면 長期流出의 解析에도 適用할 수 있을 것으로 展望된다. 이는 農工學에서 다루어야 할 중요한

研究課題라고 할 수 있다.

다. 擴散 및 熱傳達 解析

擴散(diffusion)과 熱傳達은 서로 類似한 점 이 많으며, 모두 有限要素法이 흔히 活用되는 典型的인의 問題들이다.

가) 熱傳達 解析

穀物貯藏庫, 사이로, 廢棄物 處理裝置등 각종의 農業施設物 內에서의 熱傳達 또는 物質 傳達 解析에 有限要素法을 適用한 예는 많다. 또한 農作物의 乾燥 및 貯藏과 관련해서, 과일이나 穀物 內部的 熱傳導 現象을 이해하려는 研究가 農工學에서 오래전부터 이루어져왔으며, 최근에는 有限要素法이 그 수단으로 흔히 이용되고 있다. 가축의 피부를 통한 熱傳導 現象을 有限要素法으로 分析한 재미있는 예도 찾아 볼 수 있다. 食品의 효과적인 貯藏을 위한 熱傳達 解析의 예를들면 버터덩어리의 溫度分布分析, 통조림 포장의 熱遮斷效果 分析등 다양하다. 그림. 10은 도살된 肉牛 몸통의 熱傳達 解析을 위

한 有限要素모델을 例示한 것이다.

2) 鹽分의 舉動解析

河口에서 潮水와 淡水의 混合 現象이나 閘門을 통해 侵入한 鹽分의 舉動은 擴散에 의한 物質 移動의 問題로 取扱할 수 있으며, 이는 有限要素法을 이용하여 一次元, 二次元, 또는 三次元的으로 모델링할 수 있다.

3) 土壤內 水分의 浸透 및 移動해석

土地의 排受의 관련하여 水分의 浸透와 移動 狀態를 有限要素法으로 分析할 수 있다. 이를 위한 有限要素法은 Darcy의 法則과 質量收支式을 바탕으로 定式화된 것이다. 有限要素法에 의하면 여러층으로 이루어진 土壤內에서 水分移動의 方向과 速度뿐만 아니라 時間經過에 따른 變化를 예측할 수 있다.

바. 其他

1) 管網 解析

有限要素法의 方程式 組立解法이 管網의 解析에 직접적으로 이용된다. 기존의 水理網의 解析 方法으로는 Hardy Cross法, Newton-Raphson法이 있으나, 이들 方法은 축차대입법의 성격을 띄고 있으며, 복잡한 管網의 해석에 적용하기는 어렵고, 計算 알고리즘이 컴퓨터 프로그램化에 적합하지 않다. 線形理論에 有限要素法의 技法을 응용한 管網解析 알고리즘은 컴퓨터 프로그램化가 용이하며 所要되는 記憶容量이나 計算速度面에서 效率的인 演算規則을 갖고 있어서 복잡한 管網을 쉽게 처리할 수 있다.

2) 生體의 力學的 解析

農工學에서는 여러가지 이유에서 生命體의 力學的인 舉動을 解析한다. 예를 들어서 搾乳機의 設計에 필요한 데이터를 얻기 위해서 젖소의 搾乳 部位의 應力을 解析하고 脫殼氣의 設計와 관련해서 衝擊으로 인해 땅콩껍질에 發生하는 應力을 計算한다. 葉孔의 力學的인 舉動과 같이 生命體의 顯微鏡的인 메카니즘을 이해하기 위해 分析을 하는 境遇도 있다. 과일의 올바른 貯藏法을 研究하기 위해서는 과일 간의 接觸에 의해서 發生하는 應力을 分析할 필요가

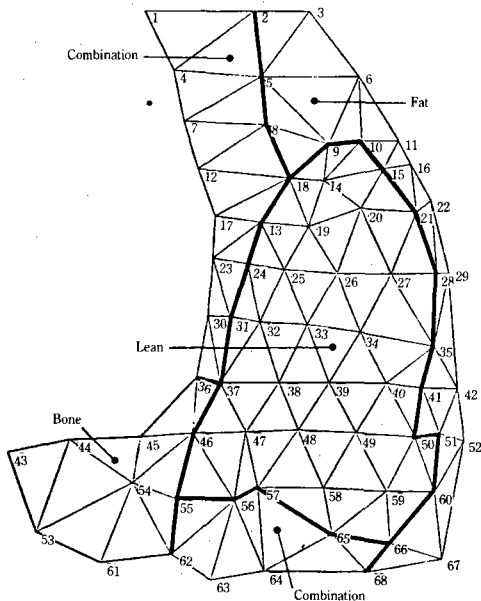


그림 10. 쇠고기 덩어리의 熱傳導 分析을 위한 有限要素網.

생긴다. 生命體의 力學的인 構成關係(彈性係數, 포아슨비 등)를 糾明하기 위해서 試驗結果와 數值的인 計算結果를 비교하는 경우도 있다. 農業과 관련하여 生命體를 力學的으로 解析하고 그 舉動을 理解하는 것은 農工學에서 다루어야 할 課題이며, 이를 위해 가장 적합한 手段이 有限要素法이다.

5. 有限要素法の 研究課題

有限要素法에 관한 研究는 크게 세 가지로 구분된다. 즉 理論的인 開發과 이의 履行(소프트웨어의 開發) 및 그 應用에 관한 것이다.

有限要素法과 관련된 研究들을 자세히 살펴 보면 몇가지 分野로 細分되어 있음을 알 수 있다.

가. 要素의 開發

有限要素法の 理論的인 發達에 있어서 가장 中樞的인 部分은 要素의 開發이라고 할 수 있다. 有限要素法을 여러 種類의 問題에 適用할 수 있음은 이미 앞에서 언급한 바와 같다. 이 方法을 어떠한 問題에 適用하든간에 그 解析過程은 대체로 類似하며, 단지 要素行列의 計算過程이 다르다. 새로운 類型의 問題에 적용하려면 이를 위한 要素를 개발하여야 한다. 要素의 개발이란 要素 행렬의 계산 方法을 定式化함을 의미한다. 동일한 問題의 解析을 위한 要素라고 하더라도 定式化의 方法에 따라서 각기 달라질 수 있다. 要素가 기본적으로 갖추어야 할 필수적인 要件은 要素의 수를 增加시킴에 따라서 解析 結果가 精確한 값에 收斂하여야 한다는 것이다. 여기에 덧붙여서 좋은 要素가 되기 위한 條件은

- 1) 收斂速度가 빠를 것
- 2) 演算規則이 간단해서 프로그램화가 容易할 것
- 3) 普遍性이 클 것 등을 들 수 있다.

要素의 開發은 크게 두가지 類型이 있다. 첫 번째는 새로운 問題의 解析을 위한 要素의 開

發이다. 만일 아직까지 시도된 적이 없는 장기 流出解析에 有限要素法을 적용하려면 이를 위한 要素를 開發하여야 한다. 두 번째는 計算上의 效率性을 높이기 위해서 새로운 要素를 開發하는 것이다. 예를 들어서 플레이트와 셸 構造의 應力解析을 위한 要素는 이미 수없이 많이 開發된바 있다. 그럼에도 불구하고 좀더 改善된 플레이트나 셸 要素를 開發하려는 研究가 끊임 없이 계속되고 있다.

나. 解析技法에 관한 研究

3절에서 기술한 바와 같이 有限要素解析의 종류는 線形解析, 非線形解析, 靜的解析, 動的解析, 確定論的 解析, 確率論的 解析 등 여러가지 分類할 수 있다. 어떠한 種類의 解析을 하든간에 基本的으로 이용되는 要素는 靜的 線形解析의 경우와 동일하다. 그러나 解析의 種類에 따라서 전체적인 計算 過程에 差異가 있게 되는데, 效率的인 計算過程을 開發하는 것도 有限要素法과 관련된 중요한 研究課題의 하나이다. 예를 들어서 有限要素解析을 위한 技法으로는 2階모멘트(平均과 分散)에 의하는 方法, simulation에 의한 方法, 또는 이들을 折衷한 方法 등이 있는데, 각 方法에 따라서 計算 時間과 解析 結果에 상당한 차이가 있다. 計算上의 效率性을 높이고, 좀더 正確한 結果를 얻기 위하여 새로운 解析技法들이 研究되고 있다.

다. 有限要素解析과 관련된 數値解法

有限要素法 자체가 數値解法의 하나이지만, 이 方法에는 여러가지의 다른 數値解析的인 技法이 동원된다. 예를 들자면 非線形解析을 위한 逐次代入法이나 漸增法의 여러가지 技法, 確率解析이나 最適化解析을 위한 再解析技法, 數値積分方法, 固有值 解析方法, 등등 여러가지가 있다. 이러한 數値解析方法을 有限要素解析 過程에 效果的으로 利用하는데 대한 研究가 많이 이루어져왔다.

라. 方程式의 組立解法

有限要素解析에서 가장 큰 문제는 컴퓨터 記憶容量과 計算時間 이라고 할 수 있다. 解析對象이 복잡해지면 計算時間과 所要의 記憶容量이 急速度로 增加하기 때문이다. 記憶容量과 가장 밀접한 관계가 있는 것은 有限要素解析과정중에서 方程式을 組立하고 이를 풀어내는 過程이라고 할 수 있다. 가장 보편적으로 많이 이용되고 있는 組立解法으로서는 substructuring, skyline method, frontal solution technique 등으로 大別되는데 이들 방법을 개선하는 문제도 有限要素法과 관련된 研究課題이다.

마. 前處理와 後處理

有限要素解析과 관련된 研究중에서 최근에 와서 크게 浮刻되고 있는 主題는 入力데이터를 발생시키는 前處理(preprocessing)와 解析結果를 圖式化하는 後處理(postprocessing)에 관한 것이다. 前處理및 後處理와 관련된 주요 研究主題를 열거하면 다음과 같다.

1) Mesh generation

解析領域을 幾何學的으로 모델링하고, 이를 여러개의 요소로 自動分割하며, 該當되는 節點의 좌표를 計算하는 것을 말한다. 여러가지 形態의 解析領域을 生成하기 위한 mesh generation技法이 考案된 바 있으며, 특히 最近에는 適應分割(adaptive mesh generation)과 分割最適化(mesh optimization)에 관한 研究가 활발히 進行되고 있다.

2) 番號의 最適化

동일한 組立解法을 適用하더라도 要素의 番號(frontal solution의 境遇)나, 節點의 番號(skylines solution의 境遇)에 따라서 所要의 記憶容量이 크게 좌우된다. 所要의 記憶容量이 最少化되도록 要素나 節點번호를 最適化하는 방법이 많이 제안되었지만 그중에 어느것도 絶對적인 最適化를 달성하지 못했다. 그래서 이를 改善하기 위하여 새로운 方法들이 研究되고 있다.

3) 資料構造

解析領域을 modelling하는 原始資料와 要素, 節點 및 여기에 賦與되는 各種의 條件 및 屬性 등을 어떻게 구성하느냐에 따라서 데이터의 貯藏方法, 데이터의 互換性 및 前處理프로그램의 전체적인 構造가 크게 影響을 받는다. 最近에는 다른 種類의 프로그램(예컨대 CAD 프로그램, 또는 solid modeller)에 의해 生成된 데이터를 有限要素解析의 入力데이터로 轉換하는 프로그램들이 開發되고 있다. 한편 有限要素모델링에 이용되고 있는 constructive solid geometry (CSG)技法 등에서 핵심이 되는 主題는 資料構造이다.

4) User Interface

前處理의 주된 目的은 入力데이터를 쉽게 만들어 내자는 것이다. 最新의 高級프로그램들은 前處理의 容易性和 便宜性を 높이는데 커다란 比重을 두고 있다. 그래서 computer graphics를 이용한 interactive user interface의 問題가 多角度도로 研究되고 이를 위한 手段이 개발되고 있다. 예를 들어서 平面的인 컴퓨터畫面에서 3次元의 空間座標을 편리하게 입력시키는 방법으로, multi-window, 3次元 grid, 3次元 cursor, 立體視 등 여러가지 方法이 考案된 바 있다.

5) Gradient Smoothing

有限要素法에 의해 얻은 결과는 근본적으로 근사해이며, 장변수의 도함수로부터 계산되는 이차변수의 값은 일반적으로 要素간에 불연속적이다. 예를 들어서 구조 解析의 경우에 要素간에 연속적인 절점변위의 값을 얻게되지만 그 일차도함수로부터 계산되는 변형도와 응력은 要素의 경계선에서 要素마다 서로 다른 값으로 나타난다.

또한 이들 값은 절점에서 계산되는 것이 아니라 적분점에서 산정된다. 後處理 課程에서 解析結果를 圖式化하기 위해서는 이들 積分點의 값으로부터 要素간에 연속적이며 완만하게 변화하는 절점의 값을 추정하게 된다. 이를 smoo-

thing이라고 한다. 지금까지 개발된 대표적인 방법으로는 local smoothing, global smoothing, conjugate method등 여러가지가 있다.

6) 解析結果의 表現方法

解析 결과로 얻게되는 應力, 變形, 速度등을 可視化하는 問題는 後處理의 주된 研究課題이다. 현재 많이 이용되는 방법은 等高線表現法, 벡터表示法, 歪曲法, animation등 多様하다.

6. 結 語

有限要素法은 여러 方面의 多樣한 問題를 解決할 수 있는 強力한 道具이다. 특히 農工學 分野에서 이 方法의 活用 可能性은 매우 크다. 앞으로 이 方法을 새로이 認識하고, 積極的으로 活用하면 農工學 發展을 위한 좋은 方便이 될 수 있을 것이다.