絶緣設計를 支援하는 Personal CAE시스템의 構築

崔 永 燦°*·大島 浩嗣*·大山 龍一郎**·金古 喜代治***
東海大学 工学部 電気工学科 *大学院 **専任講師 ***教授

Construction of Personal Computer CAE System Support to Insulation Design

Young-Chan CHOI, Hirotsugu OHSIMA, Ryu-ichiro OHYAMA, Kiyoji KANEKO
Dept.of Electrical Engineering, Tokai University, Japan

ABSTRUCT

This paper presents a CAE(Computer Aided Engineering)system for solving electrostatic field problems by means of a small size computer such as a personal computer. The system software operated on the personal computer is composed of a CAD(Computer aided Design), electric field analysis by using FEM(Finite Element Method)and DB(Data Base)of insulating materials. In addition,we discuss an application of the system to analyzing electric field such as parallel plate electrodes with an insulation spacer; which result suggests that the visualization of electric field distribution and tolerance for insulation strength enables us to assure a simplified evaluation of the insulating design.

1.序論

電界解析을 하기 위한 CAE (Computer Aided Engeering) 시스템은 CAD (Computer Aided Design) 部와 電界計算을 하는 DA (Design Automation) 部로 構成되어 高電壓現象解析, 가스絶緣遮斷機, 電力用變壓器 및 電力케이블등의 電氣絶緣裝置의 設計支援에 使用되고 있다. 從來의 CAE 시스템은 주로 絶緣部의 電界分布만을 檢討하였으나[1], 絶緣設計者는 電界分布뿐만 아니라 絶緣材料의 許容電界値에 대한 電界의 分擔率인 絶緣裕度를 分析할 필요가 있다. 絶緣裕度는 絶緣設計가 적당한가, 부적당한가를 檢討하는데 有用하다.

本稿에서는 PC(Personal Computer)에 의한 CAE시스템[2,3]의 構築을 提案한다. 이 CAE시스템은 CAD部, 有限要素法 (FEM)을 利用한 電界解析部와 絶緣材料의 Data Base部(DB)로 構成된다. 絶緣設計의 適用例로서 支持材를 挿入한 平行板電極모델의 電界分布와 絶緣裕度分布를 表示하여 絶緣設計를 간단히 評價하였다.

2. 시스템의 概要

2.1有限要素法用의 自動메쉬分割 CAD

本 시스템의 数値計算와 複雜한 形態의 電極이나 複合媒質의 問題解決에 適切한 有限要素法을 適用하였다. 그러나 有限要素法에 의한 電界計算은 解析데이타의 作成에 많은 時間이 必要하고 많은 메모리領域을 必要로 하는 缺點이 있다. 本 시스템에서는 이 缺點을 解決하기 위하여 專用의 CAD를 構築하고 数値計算에 必要한 데이타를 自動으로 作成한다. 또한 band-matrix法을 利用하여 메모리領域과 데이타를 最小로 한다. 一般的으로 数値計算에 필요한 데이타를 自動作成하기 위해서는 既存의 CAD를 利用하는 方法과 專用의 CAD를 構築하는 方法등이 있다. 그러나 既存의 CAD를 利用하면 計算部와의 変換이 상당히 複雜해지고, 專用의 CAD를 構築하는 方法에 있어서는 有限要素法의 特性을 충분히 活用한 프로그램와 아직 報告되지 않았다. 從來의 有限要素法을 利用한 Personal Computer 自動메쉬分割프로그램와 주로 BASIC에 의해 技述되어있고, 4角形領域을 指定하여 計算領域内에 節點을 發生시켜 그 節點을 移動, 削除함에 따라 任意의 3角形으로 分割하였다. 또한 節點의 移動, 削除에 대한 情報를 index에 貯

藏함으로써 3角形要素데이타를 作成하고 있다. 따라서 複雜한 形態의 모델을 計算하는 경우에는 節點의 移動이나 削除를 여러번 反復해야 하므로 많은 時間을 필요로 한다.

本 시스템에서 構築한 專用의 CAD는 우선 任意의 多角形領域과 媒質의 境界를 指定하고 領域內部에만 節點을 發生시킨다. 이 節點의 生成에서 複雜한 形態의 境界面은 3角形要素의 密度를 稠密하게 할 수 있고, 특히 節點의 移動, 削除, 追加가 容易하고 細分化된 데이타의 作成이 可能하다. 本 시스템의 CAD는 一種의 AI技能을 가지고 作成된 3각형要素가 領域內部에 있는지, 同一 3각형은 없는지, 또는 틀린 데이타가 作成되지 않았는지 등을 判斷하면서 가장 가까운 위치의 節點을 連結하여 3角形要素 데이타를 自動으로 作成한다. 이 데이過程은 전부 메뉴形式으로 마우스操作에 의하여 実行되고 3角形要素데이타가 完成되면 데이타를 最適化하여 시스템內部의 데이타部에 格納한다.

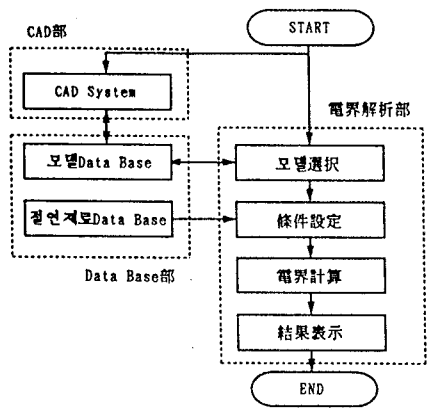

그림 1 本시스템의 構成要素

2. 2 시스템의 起動

그림 1은 本 시스템의 構成要素를 나타낸다. 시스템을 可動시키면 專用의 CAD 에서는 解析対象領域의 데이타를 作成할 것 인지 아니면 絶緣設計시스템에 의한 数値計算을 할 것 인지를 메뉴에 따라서 選択할 수 있다. 使用者가 後者의 数値計算을 選択하였을 경우, 專用의 CAD에서 作成한 데이타를 데이타部에서 選択하여 媒質條件과 境界條件을 入力함으로써 演算을 実行한다. 一般的으로 有限要素法에 의한 数値計算은 full matrix (節点数×節点数)가 必要하다. 그러나 本 시스템에서는 메모리를 節約하기 위하여 band matrix 法을 適用하여 数値計算을 하였다. 本 시스템은 使用者의 要求에 따라 電位分布, 電界分布 및 絶緣裕度分布를 CRT에 10색상으로 表示했다. 絶緣裕度分布와 選定된 絶緣材料의 許容電界値에 대한 電界의 分擔率을 나타내는 指表이다. 즉, 임의의 點i에 있어서 絶緣裕度 Ai는

$$Ai = \{1-(Ei/Eti)\} \times 100\ [\%] \qquad (1)$$

式으로 나타낸다. 여기서 Ei는 點i 에서의 電界値이고 Eti와 點i를 包含하고 있는 絶緣材料의 許容電界値를 나타낸다. 또한 데이타部에 氣体, 液体, 固体의 絶緣材料에 관한 電氣的特性을 收録하여 絶緣設計를 할 경우 絶緣裕度分布를 보면서 收録되어 있는 絶緣材料의 特性値를 檢索함으로써 適切한 絶緣材料를 選定할 수 있다. 本 시스템에서는 実行速度의 向上을 목적으로 MS-DOS에 C言語 (Turbo C.Ver2.0)로 記述하여 使用者와 対話형식을 취하고 있다.

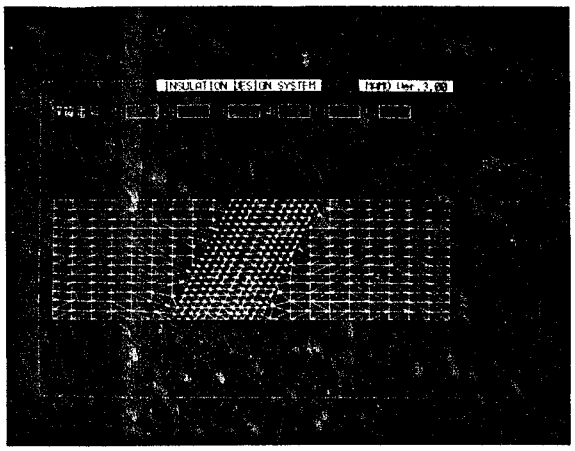

그림 2 解析모델

3. 適用事例

그림 2와 複合媒質의 適用例로서 平行板電極間에 에폭시樹脂의 支持材를 挿入한 경우의 모델이다. 解析領域內에 459個의 節点을 発生시키고 846個의 3각형要素로 分割하였다. 中央의 媒質領域에는 誘電率 ε=5.6, 許容電界値 13.4[kv/mm]의 에폭시樹脂이고, 이 媒質領域이외의 領域에는 誘電率 ε=1, 許容電界値가 3[kv/mm]의

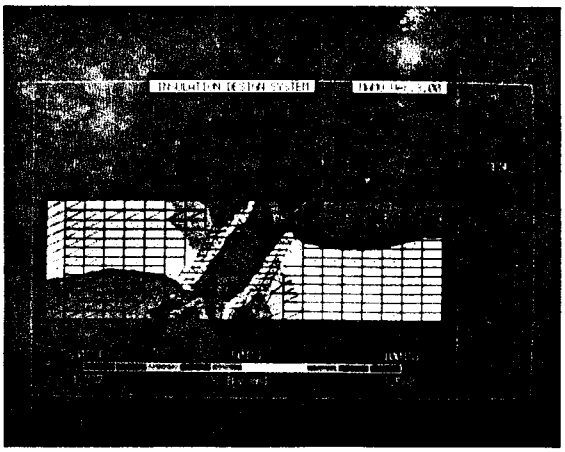

그림 3 (a) 解析모델의 電界分布

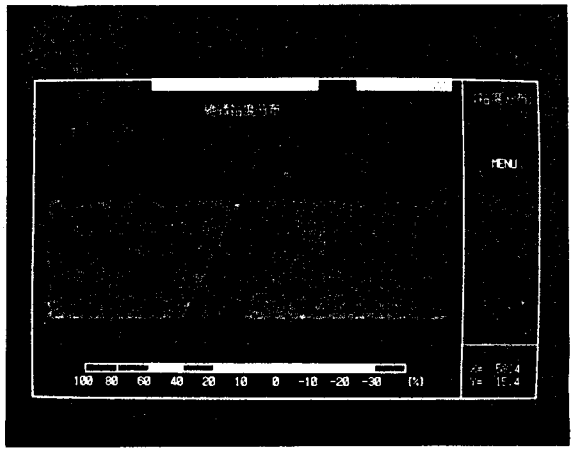

그림 4 解析모델의 絶緣裕度分布 ($S.F_6$)

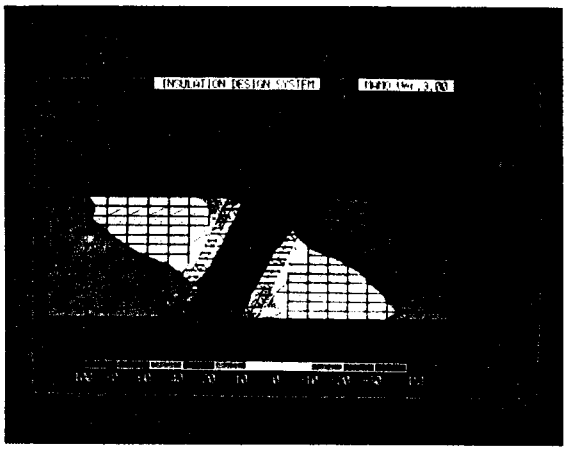

그림 3 (b) 解析모델의 絶緣裕度分布 (空氣)

空氣이다. 그림 3(a), (b)는 上部電極에 45[kv]를 印加하고 下部電極을 接地하였을 경우의 電界分布와 絶緣裕度分布를 나타낸다. 그림 3(a)의 電界分布에서 上部電極의 Triple-Junctoin(T-J) 付近에서 높은 電界가 発生됨을 볼 수 있다. 그러나 그림 3(b)의 絶緣裕度와 T-J 付近의 空氣側만이 許容値를 넘은 것으로 나타낸다. 여기서 데이타部로 부터 空氣部分을 誘電率 $\varepsilon=1$이고 許容電界値가 9[kv/mm]의 SF_6가스로 바꾸고 다시 計算을 하여 絶緣裕度分布를 그림 4에 表示했다. 즉, 空氣대신에 SF_6가스를 넣으므로 解析領域全体가 許容電界値를 넘지 않은 結果를 얻었다. 그 結果로 부터 空氣와 SF_6가스는 誘電率은 같으나 許容電界値가 다르므로 絶緣設計에 있어서 電界分布뿐만 아니라 絶緣裕度分布도 考慮하는 것이 重要하다.

4. 結果

本 論文에서는 靜電界의 解析을 支援하는 CAE 시스템에 대해 다루었다. PC로 作動되는 CAE 시스템은 메쉬作成技能을 包含한 CAD部, FEM에 의한 電界解析部 및 絶緣材料데이타部로 構成된다. Personal CAE시스템의 開発에 있어서 重要한 것은 靜電界問題에 대한 絶緣設計를 使用者가 쉽게 使用할 수 있도록 하는 것이다. 또한 이 Personal CAE 시스템을 平行板電極모델의 評價에 應用하였다. 以上의 結果로부터 電位, 電界分布뿐만 아니라 絶緣材料의 許容電界値를 考慮한 絶緣裕度分布를 表示함으로서 더욱 適切한 絶緣設計를 할 수가 있다.

参考文献

[1] R.R,Mitchel, "PC Software for Insulation Design", IEEE Electrical Insulation Magazine, 2, No. 3, pp9-14 (1986)

[2] 大久保・前原・鬼頭, "電力機器絶緣設計用CAEシステム", 日本電氣学会全国大会, No. 1356 (1991)

[3] 向井・大山・金古, "パソコンを用いた絶緣設計システム", 日本電氣学会論文誌B, 112, 357 (1992)

[4] 大西・山下・中前, "境界要素法・有限要素法併用による高精度電界分布計算", 日本電氣学会論文誌B, 109, 439 (1989)