

# 海外論文紹介

鄭 在 吉\*

**Newton法에 의한 Penalty factor의 直接  
算出法 F.L. Alvarado, "Penalty Factors  
from Newton's Method" IEEE Trans, Vol  
PAS-97, No. 6, pp. 2031~2040, Nov/Dec,  
1978.**

On line에 의한 經濟給電은 發電機의 増分費用과 送電線의 損失을 고려한 Penalty factor의 概念에 基礎를 두고 있다. 從來의 經濟給電運用은 線路의 損失을 發電機 出力의 2次式으로 表示하는 損失方程式 即 B係數法이 널리 利用되어 왔다. 本論文은 損失方程式의 B係數 및 入의 計算을 必要로 하지 않고 Newton 潮流計算方法의 轉置 Jacobian 行列(極座標法)을 利用하여 직접 Penalty factor를 正確하게 算出하는 方法 및 Algorithm을 開發하여 大規模 電力系統의 經濟給電運用に 利用할 수 있도록 하였다. 이 方法의 概念은 増分損失  $\frac{\partial P_L}{\partial P_{ei}}$ 는  $P_{ei}$ 의 微少한 増分을 要하며 이것은 損失과 負荷의 同一한 増分에 依하여 需給平衡되어야 하고 負荷增加에 따른 周波數의 微少한 増分에 依하여 遂行된다는데 근거를 두고 있다.

따라서 各母線의 負荷( $P_{ei}$ )는 一定負荷( $P_{ei}^0$ )와 周波數의 敏感한 負荷(frequency sensitive load)로 區分하여 다음 (1)식으로 表示하였으며(여기서  $l_i^p$ 는 그運轉狀態에서 求할 수 있음) Penalty factor를 求하기 위하여 (7)~(4)식의 等式 拘束條件을 세우고 다시 이 拘束條件下에서 獨立變數  $P_e$ 에 關한 總損失의 導函數를 求하기 위하여 (5)식과 같은 Lagrange의 未定乘數를 導入하는 方式을 使用하였다. 이와같이 하여 (6)식을 誘導하고 (6)식으로부터  $\bar{\beta}$ 를 求한 다음 (7)식에서 増分損失을 求하여 (8)식으로부터 Penalty factor를 求한다.  $P_{ei} = P_{ei}^0 + l_i^p \cdot P_D \dots (1)$  [단  $P_D$ 는 系統의 總 Frequency sensitive 負荷,  $l_i^p$ 는 各母線 負荷의 周波數感度係數(또는 負荷配分係數임)]

$$\Delta P_i = -\Delta P_{ei} + P_{ei}^0 + l_i^p \cdot P_D + P_i(\bar{V}) = 0$$

$$(단 i=1, 2, \dots, m) \dots \dots \dots (2)$$

$$\Delta P_i = P_{ei}^0 + l_i^p \cdot P_D + P_i(\bar{V}) = 0 \quad (단 i=m+1, \dots, n) \dots \dots \dots (3)$$

$$\Delta Q_i = Q_{ei}^0 + l_i^q \cdot P_D + Q_i(\bar{V}) = 0 \quad (단 i=m+1, \dots, n) \dots \dots \dots (4)$$

단  $m$ : 발전기 모선수,  $n$ : 전모선수,  $\bar{V}$ : 전압의 列 벡터.

$$L = P_L + \sum_{i=1}^m \beta_i^p \cdot \Delta P_i = \sum_{i=1}^m P_{ei} - \sum_{i=1}^m P_{ei}^0 - P_D + \sum_{i=1}^m \beta_i^p \cdot \Delta P_i + \sum_{i=m+1}^n \beta_i^q \cdot \Delta Q_i \dots \dots \dots (5)$$

단  $\beta_i$ 는 Lagrange의 未定乘數

$$\left[ J^t + \frac{\partial P_i}{\partial \bar{V}} \right]^t \left[ -\frac{1}{l_i^p} \right] \bar{\beta} = -\frac{1}{l_i^p} \left[ \frac{\partial P_i}{\partial \bar{V}} \right]^t \dots \dots \dots (6)$$

$$\frac{\partial P_L}{\partial P_{ei}} = 1 - \beta_i^p \dots \dots (7), \quad L_i = \frac{1}{\beta_i^p} \dots \dots (8)$$

本方式에 依하여 求한 Penalty factor는 從來의 B係數法에 依하여 求한 값과 같지는 않으나 모두 比例하므로 經濟給電運用に 適用時에는 何等의 差異가 없다. Penalty factor를 求하는 從來의 B係數法은 系統의 發電機數의 2乘에 比例하는 計算을 必要로 하는데 비해 轉置 Jacobian法을 使用하는 本方式은 總母線數의 2倍보다 적은  $[2n-m]$ 의 計算을 要한다.

따라서 本方式은 극히 적은 系統이나 發電機數가 극히 적은 系統을 除外하고는 모든 系統에 있어서 B係數法에 비해 計算時間이 매우 빠르다는 特徵을 갖고 있다.

**非線形성을 保有한 高速 電力潮流解析法  
S. Iwamoto, Y Tamura. "A Fast Load  
Flow Method Retaining Nonlinearity"  
IEEE Trans. Vol 97, No. 5 pp. 1586~1599  
sep/Oct, 1978.**

本論文은 2次式으로 表示되는 多變數 電力潮流 方程式을 近似式이 아닌 完全正確한 Tailer級數의 展開式

\*正會員: 中央大 工大 電氣工學科副教授(當學會編修委員)

으로 表示함으로서 電子計算機에 의한 潮流計算에 있어서 1회 反復計算時 計算所要時間을 大幅으로 減少시켜 總計算時間을 상당히 短縮시킬 수 있는 새로운 電力潮流計算法을 提示하였다. 그 概要는 電力潮流方程式은 直交座標 表示法에서 多變數의 2次式으로 表示될 수 있으므로 이 多變數函數를 Tailer 級數로 제 3項 즉 2次項까지만 포함되고 2次項 以上은 零이 된다는 근거를 두고 있다. 즉 電壓의 有效 및 無効分에 對應되는 未知 變數(眞值)의  $n \times 1$  列벡터를  $X$ , 電力의 有效分, 無効分 및 電壓의 絕對值에 對應되는 指定值의  $n \times 1$  列벡터를  $Y$ ,  $n \times n^2$ 의 係數行列을  $A$ , 變數의 推定值(近似解)의  $n \times 1$  列벡터를  $x$ ,  $X_0$ 의 誤差(修正量)의  $n \times 1$  列벡터를  $\Delta x$  라고 하면  $Y$ 는 다음 (1)식으로 表示할 수 있으며 (1)을 Tailer 級數로 展開하면 (2)식의 正確한 式으로 表示할 수 있다.

$$[Y_i] = [A] \begin{pmatrix} X_1 & X_1 \\ X_1 & X_2 \\ \vdots & \vdots \\ X_i & X_j \\ \vdots & \vdots \\ X_n & X_n \end{pmatrix} \dots\dots\dots(1)$$

$$[Y_i] = [Y(X_0)] + [J][\Delta X] + \frac{1}{2}[H] \begin{pmatrix} \Delta X_1 & \Delta X_1 \\ \Delta X_1 & \Delta X_2 \\ \vdots & \vdots \\ \Delta X_i & \Delta X_j \\ \vdots & \vdots \\ \Delta X_n & \Delta X_n \end{pmatrix} \dots\dots\dots(2)$$

단  $[J]$ 는  $N-R$  方法과 같은 Jacobian 行列,  $[H]$ 는  $Y_i$ 의 2次偏導函數의  $n \times n^2$  行列임. 다시 (2)식의 右邊 3項은  $[Y(\Delta x)]$ 로 되어  $Y_i$ 는 (3)식으로 簡單化 할 수 있다.

$$[Y_i] = [Y(X_0)] + [J][\Delta X] + [Y(\Delta X)] \dots\dots(3)$$

따라서  $J \cdot \Delta X^{(r+1)} = Y_i - Y(X_0) - Y(\Delta X^{(r)}) \dots(4)$ 으로 表示된다.

(4)식은 近似式이 아니고 正確한 展開式으로 부터 誘導된 式이고  $\Delta X$  및  $Y(\Delta X)$ 는 反復計算동안 그 값이 變하므로 初期推定值  $X_0$ 는 常數로 取級할 수 있으며 또한  $X_0$ 의 函數인  $J$ 도 일단 한번 計算되면 反復計算 동안 繼續 常數로 取級된다.

따라서  $\Delta x^{(r)}$ 를 求하는 데 1회 反復에 要하는 計算時間을 大幅 減少시킬 수 있다.

計算反復回數는  $X_0$ 의 初期值 選定에 큰 영향을 받으며 이를 適當히 選定하면(즉  $e+jf=0.866+j0.50$ ) Newton Raphson 方法( $N-R$  方法)과 큰 差異가 없다. 따라서 總計算時間은  $N-R$  方法에 비해 상당히 短縮시킬 수 있다. 또한 本論文에서는 (4)식에서  $\Delta X$ 를 求하는데  $J$ 의 三角因數化(Triangular Factorization) 方法을 適用하여 더욱 電子計算機의 記憶容量의 節減 및

計算時間의 短縮을 企하고 있다. 그러나 計算機의 記憶容量은 多少 많이 所要된다.

本論文과 類似한 概念의 論文으로는 IEEE Trans. PAS 96, No.1, pp.189~197 Jan/Feb 1977.에 이미 發表된 "a second order Load Flow technique"가 있으며 本論文의 評價에 關하여는 討論者에 따라 意見을 달리하고 있으나 이를 綜合하면 計算時間은 상당히 短縮할 수 있을 것 같으나 아직 問題點은 남아 있는 것 같으며 앞으로 더욱 開發할 價値가 있는 것으로 生覺된다.

**線路潮流 制約을 考慮한 經濟的 發電出力의 再配分**

**K.R.C. Mamandur, G.J. Berg, "Economic shift in Electric Power Generation with Line Flow Constraints" IEEE Trans. Vol PAS-97, No. 5 pp. 1618~1626 Sep/Oct, 1978.**

電力系統에 있어서 連系線路나 脫落等에 의한 偶發事故가 發生하면 많은 線路 및 電壓器가 過負荷를 招來하게 되고 이 過負荷를 輕減하기 爲하여 發電出力의 再配分이 要求되며 이 때문에 脫落事故前에 最適經濟運轉하고 있는 系統(各 發電機에서 增分運轉費用이 같도록 運轉)에서 運轉費用을 增加시키게 된다. 따라서 本論文에서는 系統의 脫落事故等的 偶發事故狀態(contingency state)에서 各線路 및 變壓器의 過負荷를 解消하고 또는 連絡線의 潮流를 計劃대로 維持할 수 있도록 함과 同時에 發電機出力 再配分에 따른 運轉費用의 增加를 最少化 하기 위한 最適經濟給電方法을 提示하고 있다. 本方法의 解析節次는 ① 線路의 脫落狀態下에서(發電機出力은 事故前과 同一) 基本的인 最適經濟給電을 위한 潮流狀態의 解를 求한다. ② 線路의 潮流가 過負荷인가 또는 計劃레벨에 있는가를 試驗한 후 만일 모든 線路가 制約值를 벗어나지 않는다면 通常의 最適化法에 따르며 그렇지 않다면 다음 段階로 넘어가서 ③ 線路의 過負荷의 解消 및 指定值로의 回復을 위해 다음에 記述하는 修正給電 algorithm을 使用 反復計算에서 解를 求한다.

$$\frac{\partial P_L}{\partial P} = \frac{\partial P_L}{\partial Q} \frac{\partial P_L}{\partial V} \frac{\partial Q}{\partial P} \dots\dots\dots(1)$$

$$\frac{\partial P_L}{\partial Q} \frac{\partial P_L}{\partial V} = \frac{\partial P_1}{\partial Q} \frac{\partial P_1}{\partial V} + \frac{\partial P_2}{\partial Q} \frac{\partial P_2}{\partial V} +$$



標의 標準化된 感度는  $S_i = \frac{\Delta PI}{\Delta Y_i} \cdot \Delta Y_i$ ,  $S_G = \frac{\Delta PI}{\Delta G_i} \cdot \Delta G_i$ ,  $\Delta PI_{total} = \sum_i S_i + \sum_i S^r$  로 表示되나 Tellegen의 定理를 利用하여 導誘한 性能指標의 感度는 電壓性能指標에 對하여는 (3)식, 有效電力性能指標에 關하여는 (4)식으로 表示된다.

$$\Delta PI = - \sum_i R_i (\hat{V}_i \cdot V_i \cdot \Delta Y_i) \dots \dots \dots (3),$$

$$\Delta PI = \sum_i \hat{Q}_i \cdot Q_i \cdot \Delta B_i \dots \dots \dots (4)$$

따라서 線路脫落에 關한 偶發事故 優先順位 決定은 各線路 脫落에 對한 系統性能指標感度を (3), (4)式을 計算하여 이 感도가 가장 큰 것으로 부터 順次 적은 順으로 配列함에 依하여 定하여진다.

이 偶發事故順位를 決定 이의 目錄을 作成함으로서

此後에 系統에 있어날 수 있는 모든 偶發事故를 豫測하고 非正常狀態를 決定할 수 있으며 또한 系統運轉員으로 하여금 現在 運轉되고 있는 狀態의 脆弱領域을 말아낼 수 있게하여 1次 偶發事故에 對備할 수 있도록 할 수 있다.

記 號 說 明

NB: 全母線數, NG: 全發電機數, W: 力重值係數 (weighting factor)  $\Delta V_i^{lim}$ : 電壓偏差限界 ( $V_i$ : deviation limit),  $P_i^{lim}$ : l선로의 MW容量 n: Penalty 函數의 指數(exponent)로 보통  $n=1$ ,  $|V^{ref}|$ 을 定格(또는 指定) 電壓,  $\hat{V}_i, \hat{Q}_i$ 의  $\wedge$ 은 adjoint network의 값을 表示함.

<p.44의 계속>

7. Chung, W.L. IGCAD: Part I. Overview and hardware system. KIST Software Development Center Newsletter 10-1 (March 1979), 6-24.
8. English, C.H. Interactive computer-aided technology. CAD 9-4 (Oct. 1977), 243-254.
9. Fritz, W.B. and Lansberry, C.R. Ship modeling with interactive graphics. Datamation (Dec. 1975), 54-58.
10. Grover, D. Hardware for visual information. CAD 9-4 (Oct. 1977), 223-232.
11. Hatvany, J., Newman, W.M., and Sabin, M.A. World survey of computer-aided design. CAD 9-2 (Apr. 1977), 79-98.
12. Kaplan, G. Computer-aided design. IEEE Spectrum 12-10 (Oct. 1975), 40-47
13. Martin, J. Design of Man-Computer Dialogues. Prentice-Hall, N.J., 1973.
14. Merryweather, H. Two application programs

- which link design and manufacture. Proc. of NCC 1974, 805-811.
15. Nitzan, D. and Rosen C.A. Programmable industrial automtion. IEEE TR on Computers C-25, No. 12 (Dec. 1976), 1259-1270.
16. Rocenbluth, W. Design automation: Architecture and. applications. Computer 9-2 (Feb. 1976), 12-17
17. Ruehli, A.E. et al. Macromodelling-an approach for analyzing large-scale circuits. CAD 10-2 (March 1978), 121-129
18. Teicholz, E. Interactive graphics comes of age. Datamation (Dec. 1975), 50-53.
19. Warn, D.R. VDAM-a virtual data access manager for computer aided design. Proc. of the Workshop on Data Bases for Interactive Design edited by van Cleemput, Sept. 1975, Waterloo, Canada, 104-111.