

電力系統過負荷自動豫防法에 관한 研究

論 文

27~1~4

Automatic Suppression of Power System Overload

朴 永 文* 梁 興 錫** 文 永 鉉***

(Young Moon Park, Heung Suk Yang, Young Hyun Moon)

Abstract

A new method is suggested for the bus active power vs. line power flow sensibility vector, applying the Optimally-Ordered Triangular Factorization Technique, and new algorithms are derived for the optimum measures against overloaded lines and transformers resulting from contingency analysis. According to the algorithms an online-purpose FORTRAN computer program package is developed and tested on the actual 48-bus, 91-line power system with good results.

1. 序 論

近來 電力系統의 大形化 및 複雜化와 電力供給에 對한 社會的 要請의 嚴格化 傾向에 따라, 電子計算機를 主軸으로 하는 電力系統 自動運用方式이 普遍化되고 있다. 特히 美國 北東部, 日本 中央部 等の 大停電事故의 쓰라린 經驗으로 外國에서는 電力供給의 信賴度 向上을 目的으로 하는 一連의 自動系統監視 및 制御體系인 所謂 電力系統信賴度制御(power system security control)가 새로 탄생하기에 이르러, 요즈음에는 이 方面의 研究와 實用化가 電力系統 自動運用的 하이라이트(highlight)로 浮刻되고 있다.

이 電力系統信賴度制御 中 가장 基本的이고 基礎的인 部門은 電子計算機에 依하여 系統事故를 온라인리알타임(online, real time)으로 시뮬레이션(simulation)한 後, 系統過負荷地點을 檢出하여 系統運用要員에게 自動通告하는 想定事故解析(contingency analysis)과, 이 情報에 따라 亦是 온라인리알타임으로 이 過負荷를 最適方法에 依하여 自動解消케 하는 方案 即 想定事故對策(contingency measures)이라 할 수 있다.

前者에 對하여는 이미 本學會誌에 發表한 바 있으며⁽¹⁾, 本 研究는 後者에 對한 研究結果이다.

電力系統過負荷自動豫防法에 對한 研究는 最近에 始

作되고, 또 研究의 主體가 主로 電力會社인 關係로, 이 方面에 關한 仔細한 文獻을 入手하기가 어려운 實情이다. 그러나 日本電氣學會의 研究調查資料⁽²⁾에 依하면, 電力系統 過負荷 解消對策 알고리즘의 誘導에는 大略 過負荷解消效果係數法을 導入하고 있으며, ELD 條件付 過負荷 解消計算法의 適用 可能性도 提示하고 있으나 實際로는 前者만을 利用하고 있다.

前者의 過負荷效果係數法은 解消效果가 가장 큰 調整設備(發電機)부터 逐次的으로 調整하는 方法이며, 이 方法은 임피던스行列法(impedance matrix method)과 潮流直流法(flow direct current method)으로 다시 細分된다. 이 方法은 알고리즘의 單純性과 計算速度面에서는 長點을 지니고 있으나, 그 基本概念이 解消效果가 큰 調整設備부터 最大限으로 調整하기 때문에 그 解가 理論的인 最適解가 될 수 없고, 無効電力은 固定되고 있으며, 經濟的 發電出力 配分條件이 無視되고, 임피던스行列을 記憶해야 하므로 記憶容量이 過多하게 增加되는 短點을 지니고 있다⁽²⁾.

後者의 ELD條件付 過負荷 解消計算法은 從來의 ELD 問題에 電力系統의 潮流에 對한 制限條件을 加味한 것으로 最近 이 方面의 研究結果가 더러 發表되고 있다⁽²⁾⁽³⁾. 이 方法은 그 解가 最適解가 되는 理論的 長點을 지니고 있으나, 問題의 設定이 많은 等式 및 不等式條件을 包含하는 非線型 目的函數의 最適化問題로 歸着하므로 計算時間의 觀點에서 具體적으로 온라인 用으로 實用하기에는 아직 요원한 形便이며, 다만 오프라인(off-line) 計劃用으로 實用이 試圖되고 있을 따름이다.

* 正 會 員 : 서울大學校工科大学敎授·工博(當學會事業理事)

** 正 會 員 : 서울大學校工科大学敎授·工博(當學會副會長)

*** 正 會 員 : 서울大學校工科大学 大學院

接受日字: 1977年 12月 14日

그 自動豫防法에 關하여, 計算速度의 向上과 記憶容量의 節減의 兩 觀點을 同時이 充足시키고, 그 解가 理論的인 最適解에 거의 接近할 수 있는 새로운 알고리즘을 誘導한 後, 이를 土臺로 하여 電算프로그램 팩키지를 開發하고, 韓電實系統에 事例研究를 通하여 프로그램 테스트를 行하여 그 實用性을 確認하였으므로 그 研究結果를 發表코져 한다.

本 研究에서는 이미 本 學會誌에 發表한 電力潮流計算法⁽⁴⁾에 使用한 分割 潮流計算法(decoupled load-flow calculation)과 最適配置三角因數化技法(optimally-ordered triangular factorization technique)을 基幹으로 하는 直接法(direct method)을 다시 導入하여, 母線有効電力對線路潮流感度벡터(bus-power vs. line-flow sensibility vector)를 誘導한 後, ELD 條件과 過負荷解除條件을 同時에 考慮한 一括 最適豫防對策 알고리즘을 創出하였으며, 最小 負荷遮斷(minimum load shedding) 알고리즘과 協調시켜, 總括的인 過負荷最適解除對策 알고리즘을 誘導하였다.

II. 母線有効電力對線路潮流感度벡터

過負荷自動豫防對策 알고리즘의 誘導에 앞서 母線有効電力對線路潮流感度벡터를 定義하고, 그 計算式을 誘導하기로 한다.

電力系統想定事故解析 結果로 電力系統의 l 線路에 過負荷가 檢出되었다고 할 때, 이 線路를 흐르는 電力潮流 S_e 은 各 母線 電力의 函數로서

$$S_e \triangleq \sqrt{P_e'^2 + Q_e'^2} = f_e(P_1, P_2, \dots, P_n, Q_1, Q_2, \dots, Q_n) \quad (1)$$

但, P_e', Q_e' : l 線路의 有効 및 無効電力潮流

P_i, Q_i : i 母線의 有効 및 無効電力

와 같이 주어진다. 그런데, 母線 無効電力 變化는 電壓調整母線電壓이 規定值에서 크게 解脫할 餘가 없으므로, 優先은 母線無効電力을 一定值로 維持한다고 假定할 때(나중에 다시 調整함), S_e 의 變分 ΔS_e 은

$$\Delta S_e \triangleq \sum_i K_i^l \Delta P_i \quad (2)$$

但 $K_i^l \triangleq \partial f_e / \partial P_i$

와 같이, 各 母線 有効電力의 變分量 ΔP_i 의 一次結合으로 近似化할 수 있다. 여기서, K_i^l 을 l 母線의 有効電力對 線路 電力潮流感度로서 또,

$$K^l \triangleq [K_1^l, K_2^l, \dots, K_n^l] \quad (3)$$

을 母線有効電力對 l 線路電力潮流感度 벡터로서 定義한다.

l 線路가 p, q 母線에 接續되어 있다고 하면 P_i' 와 Q_i' 는

$$P_i' = V_p^2 g_l / t_{lp}^2 - V_p V_q \{g_l \cos(\theta_p - \theta_q) + b_l \sin(\theta_p - \theta_q)\} / (t_{lp} t_{lq}) \quad (4)$$

$$Q_i' = V_p^2 (b_l + 0.5 b_e') / t_{lp}^2 - V_p V_q \{b_l \cos(\theta_p - \theta_q) - g_l \sin(\theta_p - \theta_q)\} / (t_{lp} t_{lq}) \quad (5)$$

但 V_p, V_q : p 및 q 母線電壓

g_l, b_l : l 線路에 드미턴스의 實數 및 虛數部

b_l : l 線路의 充電에 드미턴스

t_{lp}, t_{lq} : l 線路의 p 및 q 母線側 變壓器非公稱 탭

θ_p, θ_q : p 및 q 母線의 電壓位相角

로서 주어진다(4).

따라서 P_i' 의 變分 $\Delta P_i'$ 는 母線電壓絕對值가 不變한다고 보면,

$$\Delta P_i' = [V_p V_q \{g_l \sin(\theta_p - \theta_q) - b_l \cos(\theta_p - \theta_q)\} / (t_{lp} t_{lq})] \Delta(\theta_p - \theta_q) \quad (6)$$

와 같이 表示된다.

한편, 電力潮流計算에 適用되는 分割法에 依하면,

$$[\Delta P] \triangleq [H'] [\Delta \theta] \quad (7)$$

但 ΔP : 母線 有効電力 變分벡터

$\Delta \theta$: 母線 電壓位相角 變分벡터

H' : 지코비안行列

로서 주어지나, 이를 다음과 같은 形態로 變形할 수 있다(4).

$$[\Delta P/V] = [H] [V \Delta \theta] \quad (8)$$

$$[\Delta P/V] \triangleq [\Delta P_1/V_1, \Delta P_2/V_2, \dots, \Delta P_n/V_n]^t$$

$$[V \Delta \theta] \triangleq [V_1 \Delta \theta_1, V_2 \Delta \theta_2, \dots, V_n \Delta \theta_n]$$

따라서, 式(8)로부터,

$$[V \Delta \theta] = [H]^{-1} [\Delta P/V] = [Z] [\Delta P/V] \quad (9)$$

$$\text{또는 } \Delta \theta_i = \frac{1}{V_i} \sum_k [Z_{ik} \Delta P_k / V_k] \quad (10)$$

를 얻고, 式(10)의 關係를 式(6)에 代入하면,

$$\Delta P_i' = \Phi_i \sum_k (V_q Z_{pk} - V_p Z_{qk}) \Delta P_k / V_k \quad (11)$$

但, $\Phi_i \triangleq \{g_l \sin(\theta_p - \theta_q) - b_l \cos(\theta_p - \theta_q)\} / (t_{lp} t_{lq})$

와 같고, 式(2) 및 (3)에 依하여, 感度 및 感度벡터는

$$K_i^l = \frac{\partial f_i}{\partial P_i} = \frac{\partial f_i}{\partial P_i'} \frac{\partial P_i'}{\partial P_i} = \frac{P_i'}{\sqrt{P_i'^2 + Q_i'^2}} \Phi_i (V_q Z_{pi} - V_p Z_{qi}) / V_i \quad (12)$$

또는

$$VK^l = \frac{P_i'}{\sqrt{P_i'^2 + Q_i'^2}} \Phi_i \{ [H] \}^{-1} \begin{pmatrix} 0 \\ \vdots \\ 0 \\ V_q \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \\ -V_p \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{pmatrix} \begin{matrix} p\text{行} \\ \\ \\ q\text{行} \end{matrix} \quad (13)$$

와 같이 誘導되므로, 感度벡터는 行列法으로 一括計算 可能하고, 式(13)의 $[H]^t$ 의 逆行列은 直接 計算하는 代身 이미 開發된 想定事故解析 프로그램[1]에 適用된 最適配置三角因數技法을 使用하여 記憶容量을 大幅 減少시키고 同時에 想定事故解析 프로그램의 그것과 記憶領域을 共用케 함으로써, 計算速度와 記憶容量面에서 多大한 利益을 얻을 수 있다.

III. 過負荷 最適豫防對策 問題의 定式化

여기서 過負荷最適豫防對策이라 함은 電力系統의 想定事故解析의 結果로 어느 線路나 線路에 接續된 過負荷가 온라인으로 檢出되면, 이 過負荷를 許容量 以下로 다음 原則下에 抑制하도록 各 發電 有効 및 無効出力과 調相容量을 온라인으로 調整함을 뜻한다.

- a) 負荷遮斷量 合計를 可能한 限 最小로 한다.
- b) 電力 需給條件, 發電出力上下限條件 및 a)項의 條件을 充足시키는 範圍에서 發電燃料費 合計가 最小가 되도록 各 發電有効出力을 再配分한다.
- c) 電壓調整母線의 電壓이 可能한 限 規定值로 維持되도록 各 母線의 無効出力을 再配分한다.

이 問題를 數式化하면 다음과 같은 最適化問題로 歸着된다.

[目的函數]

優先目的函數 J_R (負荷遮斷量合計)

$$= \text{Min} \sum_j \Delta P_{ij} \tag{14}$$

但, ΔP_{ij} : j 母線의 負荷遮斷量

二次目的函數 J_F (燃料費增分合計)

$$= \text{Min} \sum_i \{F_i(P_{gi} + \Delta P_{gi}) - F_i(P_{gi})\}$$

$$= \text{Min} \sum_j \{b'_i \Delta P_{gi} + c_i \Delta P_{gi}^2\} \tag{15}$$

但, $F_i(P_{gi}) = a_i + b_i P_{gi} + c_i P_{gi}^2$
 = i 發電所 燃料費函數
 a_i, b_i, c_i : i 發電所 燃料費定數
 $b'_i \triangleq b_i + 2c_i P_{gi}$
 $P_{gi}, \Delta P_{gi}$: i 發電所 調整前有效出力 및 그 增分

[制限條件]

過負荷解消條件

$$\sum_i K_i^l \Delta P_{gi} + \sum_j K_j^l \Delta P_{rj} \leq -O_l \tag{17}$$

但, O_l : l 線路의 過負荷量
 ΔP_{rj} : j 母線의 負荷遮斷量

電力需給條件:

$$\sum_i \Delta P_{gi} + \sum_j \Delta P_{rj} = \Delta L \tag{18}$$

但, ΔL : 線路損失增分

發電所有効出力上下限條件:

$$P_{gii} - P_{gi} \leq \Delta P_{gi} \leq P_{gui} - P_{gi} \tag{19}$$

但, P_{gui}, P_{gii} : i 發電所 有效出力上下限

$$P_{rjj} - P_{rj} \geq \Delta P_{rj} \geq 0 \tag{20}$$

但, P_{rjj} : j 母線 負荷最小許容殘存量

IV. 負荷遮斷量 最適配分 알고리즘

第III節의 解를 얻기 위한 알고리즘은 負荷遮斷量 最適配分 알고리즘, 發電所有効出力 最適再配分 알고리즘 및 最小負荷遮斷量 探索 알고리즘으로 細分되는데, 먼저 負荷遮斷量 最適配分 알고리즘에 對하여 記述하기로 한다.

優先目的函數值 J_R 을 미리 알고 있다고 假定할 때, 이 값을 各 母線負荷에 對하여 最適遮斷量을 配分하는 알고리즘은 式(18)의 電力需給條件을 度外視하고(이 條件은 發電所有効出力 最適再配分 알고리즘에서 考慮함), $P_{gi} = \text{const}$ (即 $\Delta P_{gi} = 0$)라 할 때, 다음 O_l' 를 最小로 하는 各 ΔP_{rj} 를 決定하는 過程을 意味한다.

$$O_l' = O_l + \text{Min}_j \sum_j K_j^l \Delta P_{rj} \tag{21}$$

$$\sum_j \Delta P_{rj} - J_R = 0 \tag{22}$$

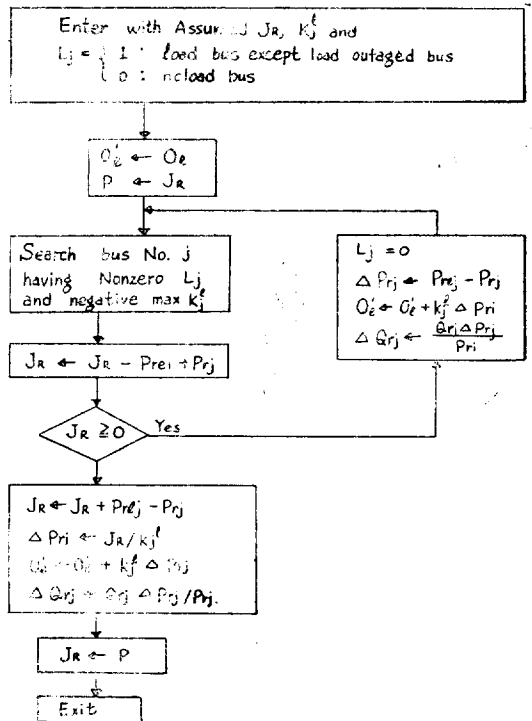


그림 1. 負荷遮斷量 最適配分 플로우차트
 Fig. 1. Flowchart for optimum allocation of load-shedding quantities.

$$P_{r1j} - P_{rj} \geq \Delta P_{rj} \geq 0 \quad (20)$$

따라서, 最適遮斷配分量은 負荷號를 갖는 K_j^i 中에서 그 絶對值가 큰 順으로 $\Delta P_{rj} = P_{r1j} - P_{rj}$ 만큼 順次的으로 取하고 마지막 順序에서는 $J_R = \sum_j \Delta P_{rj}$ 의 條件이

充足하도록 配分한다. 그리고 有效負荷가 遮斷되면 이에 相應하는 無効負荷도 同時に 遮斷되므로, 無効負荷 遮斷配分量 ΔQ_{rj} 는 다음 比例關係에 依하여 計算된다.

$$\Delta Q_{rj} = Q_{rj} \Delta P_{rj} / P_{rj} \quad (23)$$

이 過程을 플로우차트로 表示하면 그림 1과 같다.

V. 發電所有效出力 最適再配分 알고리즘

前述한 알고리즘에 依하여 各 負荷遮斷配分量 $\Delta P_{rj} + j \Delta Q_{rj}$ 와 J_R 및 O_i' 가 決定되면, 다음에는 發電所有效出力 最適再配分 過程으로 移行한다.

一部 發電所에 有效出力이 이미 再配分되어 있다고 假定할 때, 나머지 發電所의 有效出力 再配分の 最適化는 式(15)~(18)로 부터(式(19)는 追後 考慮함) 構成한

$$J_p = \sum_i (b_i' \Delta P_{gi} + c_i \Delta P_{gi}^2) - \lambda_1' (\sum_i K_i^i \Delta P_{gi} + O_i'') - \lambda_2 (\sum_i \Delta P_{gi} + J_R' - \Delta L) \quad (24)$$

$$\text{但, } O_i'' = O_i' + \sum_k K_k^i \Delta P_{gk}$$

$$J_R' = J_R + \sum_k \Delta P_{gk}$$

i : 未配分 各 母線番號

k : 既配分 各 母線番號

λ_1' , λ_2 : 라그랑제 乘數

에 對하여 이를 最小로 하는

$$\partial J_p / \partial \Delta P_{gi} = b_i' + 2c_i \Delta P_{gi} - \lambda_1' - \lambda_2 M_i = 0$$

$$\text{또는 } b_i'' + 2c_i' \Delta P_{gi} - \lambda_1 K_i^i - \lambda_2 = 0 \quad (25)$$

但, M_i : 스페널티팩터 (penalty factor)

$$\begin{aligned} &= 1 - \partial \Delta L / \partial \Delta P_{gi}' \\ &= 1 - 2 \sum_i B_{ii} P_{gi} \end{aligned} \quad (26)$$

B_{ii} : B 定數

$$b_i'' \triangleq b_i' / M_i = (b_i' + 2c_i P_{gi}) / (1 - 2 \sum_i B_{ii} P_{gi}) \quad (27)$$

$$c_i' = c_i / M_i = c_i / (1 - 2 \sum_i B_{ii} P_{gi}) \quad (28)$$

$$\lambda_1 = \lambda_1' / M_i = \lambda_1' / (1 - 2 \sum_i B_{ii} P_{gi}) \quad (29)$$

와 式(17) 및 (18)을 同時に 滿足시키는 ($\Delta L = 0$)

$$\lambda_1 = \frac{(\sum_i \frac{K_i^{i2}}{c_i'}) (\sum_i \frac{b_i''}{c_i'} - 2J_R') - (\sum_i \frac{K_i^i}{c_i'}) (\sum_i \frac{b_i'' K_i^i}{c_i'} - 2O_i'')}{(\sum_i \frac{K_i^{i2}}{c_i'}) (\sum_i \frac{1}{c_i'}) - (\sum_i \frac{K_i^i}{c_i'})^2} \quad (30)$$

$$\lambda_2 = \frac{(\sum_i \frac{1}{c_i'}) (\sum_i \frac{b_i'' K_i^i}{c_i'} - 2O_i'') - (\sum_i \frac{K_i^i}{c_i'}) (\sum_i \frac{b_i''}{c_i'} - 2J_R')}{(\sum_i \frac{K_i^{i2}}{c_i'}) (\sum_i \frac{1}{c_i'}) - (\sum_i \frac{K_i^i}{c_i'})^2} \quad (31)$$

를 優先 計算한 後, 이를

$$\Delta P_{gi} = (\lambda_1 K_i^i + \lambda_2 - b_i'') / (2c_i') \quad (32)$$

에 代入함으로써 이루어지게 된다. 그러나 式(17)과 (18)이 相互從屬인 경우에는 式(31)과 (32)의 解를 얻을 수 없으므로, 이때에는 式(18)의 電力需給條件만을 充足시키는

$$J_p = \sum_i (b_i' \Delta P_{gi} + c_i \Delta P_{gi}^2) - \lambda \sum_i \Delta P_{gi} + J_R' - \Delta L \quad (33)$$

에 對한 $\partial J_p / \partial \Delta P_{gi} = 0$ 의 條件과 式(18) ($\Delta L = 0$)로 부터

$$\lambda = \left(\sum_i \frac{b_i''}{c_i'} - 2J_R' / \sum_i 1c_i' \right) \quad (34)$$

$$\Delta P_{gi} = (\lambda - b_i'') / (2c_i') \quad (35)$$

의 關係에서 最適解 ΔP_{gi} 를 얻을 수 있다.

이렇게 求해진 ΔP_{gi} 는 各 發電所 有效出力의 上下限 條件 式(19)의 充足與否를 檢査해야 한다. 만일 모든 ΔP_{gi} 가 式(19)을 充足시키면 이때의 各 ΔP_{gi} 가 最適解가 된다. 그렇지 못하는 경우에는 上下限値를 벗어난 ΔP_{gi} 를 上限値 또는 下限値로 固定시켜 既配分된 것으로 하고, 벗어나지 아니한 ΔP_{gi} 에 對하여는 式(30)~(31)에 依하여 다시 λ_1 , λ_2 를 計算하여 式(32)에 依하여 ΔP_{gi} 를 얻어서(또는 式(34)에 依하여 λ 를 計算하여 式(35)에 依하여 ΔP_{gi} 를 얻어서) 上述한 上下限 條件을 다시 檢査하는 過程을 反復하는 알고리즘을 優先생각 할 수 있다. 그러나 이 알고리즘에 依하면 最惡의 경우 모든 ΔP_{gi} 가 그 上下限値로 固定되어 電力需給 條件 式(18)을 不充足시킬 可能性이 있다.

따라서, 本 研究에서 採擇한 알고리즘은 同一한 過程에서 얻은 ΔP_{gi} 中에서 上下限値를 벗어나는 ΔP_{gi} 가 共存한다면 上限値를 벗어나는 ΔP_{gi} 만을 上限値로 固定하여 既配分量으로 確定하고, 다른 ΔP_{gi} 에 對하여 上述한 過程을 反復하고, 下限値를 벗어나는 ΔP_{gi} 는 存在하나 上限値를 벗어나는 ΔP_{gi} 가 存在하지 아니할 경우에는 이를 下限値로 固定하고 마찬가지로 上述한

過程을 反復토록 하였다. 그리하여 同一過程에서 얻은 모든 ΔP_{gi} 가 上下 限値를 벗어나지 아니하거나 또는 모든 ΔP_{gi} 가 上下 限値를 벗어나 上述한 限界値로 固定 確定될 때까지 上述한 過程이 反復된다.

마지막 過程에서 式(17) 및 (18)이 相互獨立임과 同時에 모든 ΔP_{gi} 가 上下 限値를 벗어나지 아니한다면 이 값이 假定한 J_R 에 對한 最適解가 되나, ΔP_{gi} 가 上下 限値를 벗어나지 아니하더라도 式(17) 및 (18)이 相互 從屬이면 式(17)의 過負荷 解消條件이 充足되지 아니하므로 解가 될 수 없다. 따라서, 後者의 경우에는 第IV節의 負荷 遮斷量 最適配分 過程으로 移行하게 된다.

마지막 過程에서 모든 ΔP_{gi} 가 上下 限値를 벗어나지

限界値로 固定될 경우에는 式(17)과 (18)의 어느 條件도 充足하지 못하나, 이 경우에는 式(18)의 電力需給 條件을 優先적으로 考慮하여야 하므로 發電出力再配分量의 合計가 負荷遮斷量合計보다 크면 이미 上 限値로 固定, 確定된 ΔP_{gi} 分을 다시 풀어 未配分 ΔP_{gi} 로 還 充시켜 上述한 過程을 다시 反復함으로써 電力需給條件의 充足 可能性을 探索한다.

그리하여 發電出力再配分量의 合計가 負荷遮斷量合計보다 적으면 負荷遮斷量 最適配分 過程으로 移行하게 된다. 兩合計가 同一하면 式(17)의 過負荷 解消條件 充足時에는 假定한 J_R 에 對한 最適解가 되어 不充足時에는 解가 없는 것으로 하여 負荷遮斷量 最適配分 過程

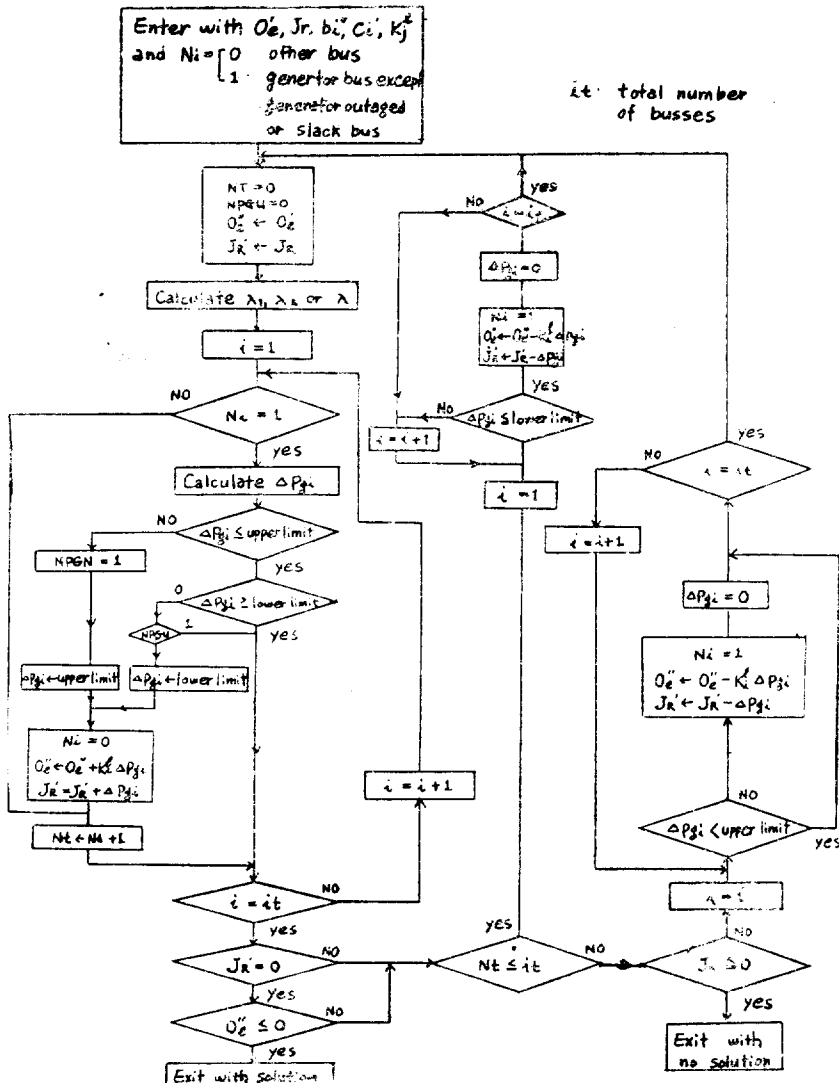


그림 2. 發電所有効出力 最適再配分 플로우차트

Fig. 2. Howchart for optimum reallocation of generating powers.

으로 移行하게 된다.

上述한 負荷遮斷量最適配分過程으로의 移行時에는 J_R 値를 다시 假定하여야 한다.

發電所 有効出力 最適再配分 알고리즘을 플로우차트로 圖示하면 그림 2와 같다.

VI. 最小負荷遮斷量 探索 알고리즘

前述한 發電所 有効出力 最適再配分 알고리즘은 任意로 假定한 J_R 에 依據하였는데, 이 假定値는 式(17)~(19)의 制約條件을 充足하는 最小値를 探索하는 알고리즘에 對하여 記述한다.

假定한 J_R 에 對하여는 負荷遮斷量最適配分 알고리즘으로 $\Delta P_{rj} + j\Delta Q_{rj}$ 의 各 負荷遮斷量이 決定되고, 過負荷率이 O_i 에서 O_i' 로 減少되나, 電力需給에 있어서는 J_R 만큼의 不平衡이 이루어지게 된다. 다음 發電所 有効出力 最適再配分 알고리즘의 透行의 結果로 各 制約條件을 充足하는 各 ΔP_{rj} 의 解를 얻을 수도 있고, 過負荷가 完全解消되지 못하거나 ($O_i' > 0$) 電力需給條件의 不充足으로 ($J_R' \neq 0$) 解를 얻지 못할 兩 경우가 생긴다.

前者의 경우에는 이미 假定한 J_R 보다 작은 J_R 을 다시 假定하고, 後者의 경우에는 보다 큰 J_R 을 다시 假定하여 上述한 두 알고리즘 過程을 最適解에 이를 때까지 反復한다. J_R 의 初期値는 $J_R = 0$ 으로 假定하여 有効出力 最適再配分過程을 逐行한 後, 解를 얻지 못할 경우에는 J_{Rmax} 를 J_R 의 값으로 代置하고 다음 式으로 J_R 의 값을 다시 假定한다.

$$J_R \leftarrow J_R - O_i' / K_{jm}^l \quad (36)$$

但, K_{jm}^l : 現在 負荷遮斷 可能한 各 母線($L_j=1$)에 對應하는 K_j^l 그 絕對値가 最大인 負荷 感度

式(36)에 依하여 假定한 값으로 上述한 두 알고리즘 過程을 逐行한 後에도 亦是 解를 얻지 못할 경우에는 解에 이를 때까지 式(36)에 依해서 또다시 J_R 을 假定하여 두 알고리즘 過程을 反復한다. 解에 이르게 되면 ($O_i' \leq 0$ 및 $J_R' = 0$), 그 以後부터는 다음 式으로 J_R 의 값을 假定하여 두 알고리즘 過程을 反復한다.

$$J_R \leftarrow (J_{Rmax} + J_{Rmin}) / 2 \quad (37)$$

但, J_{Rmax} : 解를 얻지 못한 只今까지의 J_R 假定値中의 最大値(初期値 0)

J_{Rmin} : 解를 얻은 只今까지의 J_R 假定値中의 最小値(初期値는 ∞)

J_R 의 逐次 假定과 上述한 두 過程의 反復逐行에 따라 J_{Rmax} 와 J_{Rmin} 은 漸次로 接近하게 되며, 드디어 充分히 작은 陽數 ϵ 에 對하여

$$J_{Rmin} - J_{Rmax} \leq \epsilon \quad (38)$$

의 條件이 充足되며, 이 때의 J_{Rmin} 값이 바로 最小負荷

遮斷量 合計가 되고, 直前의 各 $\Delta P_{rj} + j\Delta Q_{rj}$ 는 負荷 遮斷最適配分量을, 各 ΔP_{rj} 는 發電所 有効出力 最適再配分量을 意味하게 된다.

이 알고리즘을 플로우차트로 表示하면 그림 3과 같다.

VII. 他 알고리즘과의 協調

負荷遮斷量最適配分 알고리즘, 發電所 有効出力 最適再

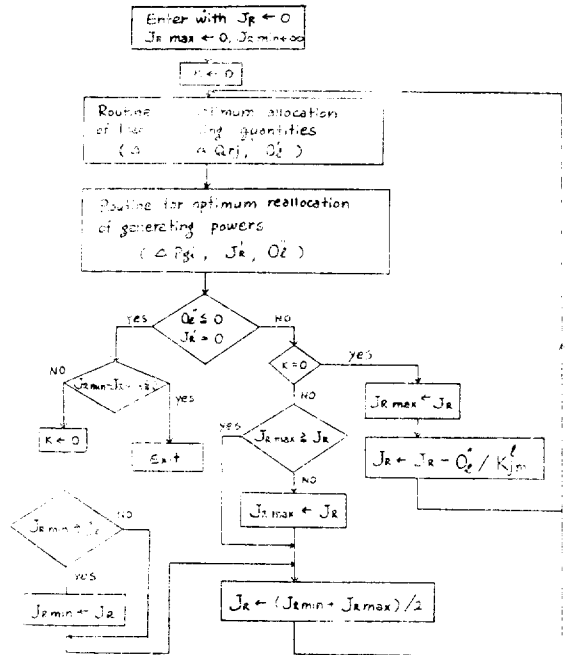


그림 3. 過負荷最適豫防對策計算 플로우차트

Fig. 3. Flowchart for optimum overload suppression

配分 알고리즘 및 最小負荷遮斷量探索 알고리즘으로서 構成되는 過負荷最適豫防對策 알고리즘은 單獨으로는 使用할 수 없고, ELD 알고리즘, 電力潮流計算 알고리즘(4) 및 想定事故解析 알고리즘(1)과 相互協調下에 비로소 그 機能을 發揮할 수 있다. 따라서 그 接續關係를 略述하면 다음과 같다.

a) 必要한 데이터 및 制御 情報를 미리 入力 또는 貯藏해둔다.

b) 電力潮流計算 및 想定事故解析에 依하여 過負荷 線路 및 過負荷度를 自動檢出한다.

c) 式(27) 및 (28)에 依하여 各 b_i' 및 c_i' 를 計算한다.

d) 最大過負荷를 갖는 線路 l 을 發見하고, 그 過負荷量 O_l 을 計算한다.

e) 式(13)에 依하여 感度係數 K^l 을 計算한다.

f) 그림 3의 過負荷最適豫防對策 알고리즘에 依하여 最適負荷遮斷量 및 發電所 最適再配分量을 決定한다.

- g) 이 決定值에 對하여 電力潮流計算을 行하여 第Ⅲ節 c)에서 記述한 바와 같은 母線調相容量을 再配分한다.
- h) 다시 d)에서와 같은 過負荷線路 檢出過程을 거쳐 檢出이 되면 c)로 移行하고 檢出이 되지 아니하면 i)로 移行한다.
- i) f)의 決定值 및 g)의 計算結果值를 出力시킨다.
- j) 다른 想定事故解析過程으로 移行한다.
- 以上 記述한 內容을 플로우차트로 表示하면 그림 4와 같다.

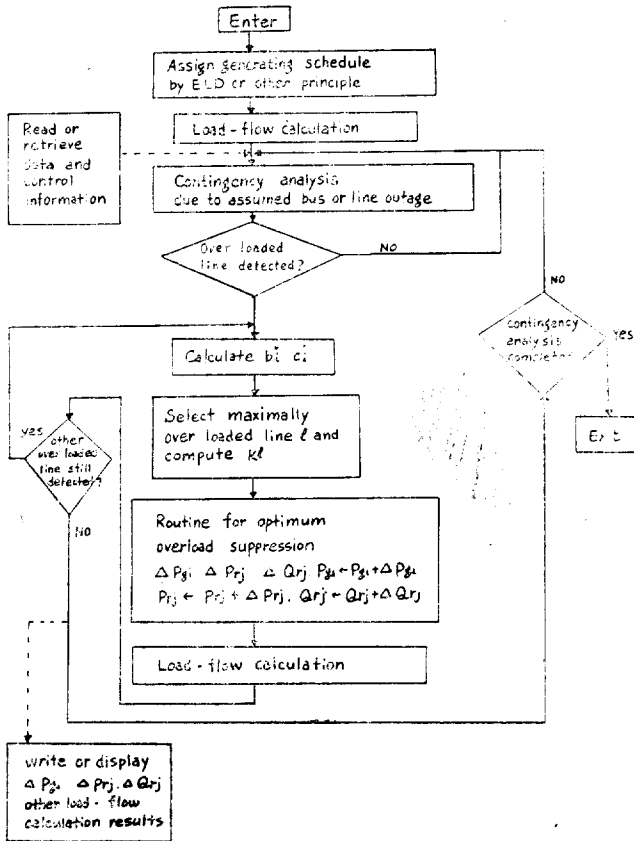


그림 4. 過負荷最適豫防對策루우틴 接續플로우차트
 Fig. 4. Flowchart for linking optimum overload suppression routine with other routines.

Ⅷ. 過負荷最適豫防對策 프로그램 및 事例 研究

前述한 過負荷最適豫防對策 알고리즘에 따라 FORTRAN 프로그램 패키지를 開發하였는데, 이 프로그램은 그림 4에서 같이 電力潮流 計算 프로그램과 想定事故解析프로그램과 連動되어야 하므로, 1976年度에 開發한 이 두 프로그램〔1〕에서 서브루틴의 形式으로

包含시켜, 總括적인 想定事故解析 및 最適對策 프로그램 패키지(Contingency analysis and optimum measures program package)를 完成시켰다. 프로그램은 우리나라의 電力系統에 適用하기에 알맞게 母線數 50個, 線路數 100個의 規模로 作成되었으며, 大部分의 서브루틴과 데이터 記憶領域을 想定事故解析루우틴의 그것과 共用한 關係로 프로그램패키지의 處理에 所要되는 記憶容量은 約 55K 바이트이나 過負荷最適豫防對策루우틴의 插入으로 因한 記憶容量의 增加分은 不過 約 10K바이트로서 充分하였다.

이 프로그램패키지의 實用性을 檢證하기 위하여, 韓電의 現電力系統에 對하여 電源脫落, 負荷遮斷 등의 母線事故 2件, 線路事故 2件 都合 4件的 想定事故解析 및 그 最適對策을 計算하는 事例研究를 韓電 保有 FACOM230 電子計算機로 遂行하였는데, 事故件當 平均 處理時間이 5.5秒가 所要되었으며, 그 結果值도 滿足스러웠다.

計算速度面에서는 外國의 그것과 對比할 때 大同小異하나, 對策內容面에서는 最小 負荷遮斷과 經濟的 發電有效出力 再配分이 이루어지고 無効電力까지도 合理的으로 調整되는 등 最適對策이 提示되고 있어 日本의 것보다는 우월한 것으로 判斷된다. 그러나 其他外國의 것에 對한 情報를 入手하지 못하여 直接比較할 수는 없었다.

Ⅸ. 結 論

以上 研究結果를 結論으로서 要約하면 다음과 같다.

a) 式(13)으로 주어지는 母線有效電力對線路潮流感度벡터式을 誘導하였으며, 電力潮流計算에 適用되는 最適配置三角因數技法의 導入으로 計算速度和 記憶容量面에서 많은 利得을 보았다.

b) 上述한 感度벡터를 利用하여, 온라인 리알타임으로 想定事故解析 및 그 最適對策(豫防) 計算을 行하는 알고리즘을 誘導하고, 이에 따라 FORTRAN 프로그램패키지를 開發하였다.

c) 이 프로그램패키지의 實用性을 韓電의 實系統에 對한 事例研究結果로 確認하였다.

d) 이 프로그램패키지는 自動給電소프트웨어시스템의 一環으로서 電力系統信賴度向上을 위한 豫防制御用 소프트웨어로서 實用되기를 期待한다.

e) 이 프로그램패키지의 主目的은 d)項에서 記述한 바와 같이 온라인用이나, 오프라인用으로 發電計劃을 위한 電力潮流計算, 線路運用을 위한 調相設備設定值 調整計算, ELD計算結果의 最適修正計算 目的에도 使用可能하다.

参 考 文 献

1. 梁興錫, 朴永文 “電力系統의 信賴度制御 ——想定事故解析을 中心으로——” 大韓電氣學會誌 Vol.26, No.3, pp.294~301, 1977年 5月
2. 日本電氣學會 “電力系統の 信賴度制御 一次案” 給電專門委員會 信賴度制御 小委員會資料, 昭和 46年 10月 13日
3. O. Alsac and B. Stott “Optimal Load Flow with Steady-State Security” IEEE Transactions on Power System Vol. PAS pp.745~751, May, 1973
4. 朴永文, 白榮植, “電力潮流計算의 改善에 關한 研究” 大韓電氣學會誌 Vol.26, No.2, pp.174~179, 1977年 3月