

論	文
36~5~1	

온라인 고속想定事故選擇에 관한 研究

A Study on the on-line fast Automatic Contingency Selection

宋吉永* · 金榮漢** · 盧大錫***

(Kil-Yeong Song · Yeong-Han Kim, · Dae-Seok Ro)

Abstract

In the on-line security analysis of power system, Automatic Contingency Selection (ACS) is commonly used to reduce the number of contingency cases which will be evaluated in detail.

This paper describes a fast and reliable ACS method which adopts DC load flow in conjunction with compensation theorem to improve execution time, and applies severity performance index, divided on each limit level for considering overload rate, to make reliable contingency ranking.

The method has been tested in IEEE 25 bus system and KEPCO 130 bus actual power system. The results of these tests verify its superiority to both the execution time and reliability, and illustrate its effectiveness for the practical use.

1. 머리말

電力系統運用에서 事故를 가정하여 그와같은 事故가 실제로 발생하거나 또는 설비의 점검 및 보수를 위해 어느설비를 정지 혹은 제외시킬 때 系統의 安全度(security)는 어떻게 될 것인가를 사전에 파악하여 만일 불안전할 경우에는 신속히 豫防措置를 취하므로써 대형사고를 미연에 방지할 수 있게하는 想定事故 解析의 필요성이 날로 높아가고 있다.¹⁾

電力系統이 복잡 다양하고 대규모인 系統에서는 사고의 要因 및 종류도 다양해서 고려해야할 想定事故도 방대하게 되는데, 電力系統의 實時間 制御를 위해 제한된 짧은 시간내에서 이들을 해석하기는 ILPF (Iterative Linear Power Flow)²⁾ 및 FD-LF (Fast Decoupled Load Flow)³⁾ 등의 빠른 해석 기법이 개발되었어도 거의 불가능하며, 또한 制御

시스템에 큰 부담을 줄 것으로 생각된다.

따라서 個個想定事故의 해석시간을 줄이는 것보다 우선 高速簡易解法으로 전체 想定事故중에서 系統에 큰 영향을 주게 될 가혹한 想定事故만을 선택한 후 이것을 상세하게 해석하는 想定事故選擇法 (Automatic Contingency Selection) 이 널리 적용되고 있다.^{4)~7)}

想定事故의 選擇法으로는 分配係數法 (Distribution Factor Method)⁴⁾, 傾斜法 (Gradient Method),⁵⁾ 및 直流潮流計算法 (DC Flow Method)⁶⁾ 등이 개발되었으며, 최근에는 交流潮流計算法 一回反復法 (AC Flow One Iteration Method)⁷⁾ 이 발표되고 있다.

本 研究에서는 ①想定事故의 高速簡易解析을 위해 直流潮流計算法에 補償理論 (Compensation Theorem)⁸⁾을 응용해서 計算時間의 단축을 기하였으며 ②想定事故의 順位選定에 있어서는 線路의 過負荷率을 고려하여 限界值 種類別 (Limit level)로 荷酷度評價指數 (Severity Performance Index)를 채택하므로써 想定事故 選擇의 信賴性을 높였고 ③여기에 限界值 變更乘數 (Limit Change Multiplier)를 도입하므로써 가혹도 평가치수 산정시 한계치 변경의 便利性을 제고하였다. 事例研究로는 IEEE 25

*正會員: 高麗大 工大 電氣工學科 教授 · 工博

**正會員: 韓電發電處 給電運用部長

***正會員: 韓國電氣研究所 研究員

接受日字: 1986年 11月 7日

1次修正: 1986年 12月 18日

母線 모델계통⁵⁾과 우리나라 130母線 實系統을 이용하였는 바, 적용결과에 의하면 本 研究에서 개발한 方法이 想定事故選擇의 信賴性과 계산소요시간 면에서 종래의 方法보다 우수함을 확인할 수 있었으며 또한 實時間 制御를 위한 實用化에 있어서도 이것이 有用하다는 것을 밝힐 수 있었다.

2. 종래의 想定事故 選擇法

2.1 分配係數法 (Distribution Factor Method)

Enns, Quada 및 Sackett가 제안한 이 방법⁶⁾은 사고시 다른 모든 선로의 潮流變化를 다음과 같이 계통 임피던스에 의한 일정한 分配係數로 표현하고 있다.

$$DF_{ij}^{km} = \frac{\Delta \theta_i - \Delta \theta_j}{x_{ij}} \quad (1)$$

$$\Delta P_{ij} = DF_{ij}^{km} \cdot P_{km}^{(0)} \quad (2)$$

- 但, DF_{ij}^{km} : 선로 l_{km} 의 사고시 선로 l_{ij} 의 분배 계수.
- $\Delta \theta_i, \Delta \theta_j$: i, j 모선에서의 전압위상각 변화.
- $P_{km}^{(0)}$: 선로 l_{km} 의 사고전 조류.
- x_{ij} : 모선 i, j 간의 선로 리액턴스

이 방법은 계산속도가 빠르다는 장점은 있지만 한편 精度가 떨어지고 系統構成變更 (Topology Change) 시 마다 分配係數를 재계산해야 하는 단점이 있다.

2.2 傾斜法 (Gradient Method)

Ejebe와 Wollenberg가 제안한 이 방법⁵⁾은 評價指數 (PI : Performance Index)의 正規化 感度 Normalized Sensitivity)를 써서 想定事故의 順位를 정하는 것이다.

$$PI = \sum_{l=1}^{NL} w_l \left(\frac{P_l}{\bar{P}_l} \right)^{2n} \quad (3)$$

$$P_l = B_l (\theta_i - \theta_j) \quad (4)$$

$$PI = \sum_{l=1}^{NL} h_l (\theta_i) \quad (5)$$

$$\Delta PI = \sum_{l=1}^{NL} \frac{\partial h_l}{\partial \theta_i} \Delta \theta_i \quad (6)$$

- 但, w_l : 선로의 가중계수.
- P_l : 선로 l 의 유효전력조류.
- \bar{P}_l : 선로 l 의 한계치.
- B_l : 선로 l 의 서셉턴스.

$h_l (\theta_i)$: 전압위상각 함수.

ΔPI : 평가지수의 정규화 감도

이 방법은 Tellegen's Theorem을 사용하여 Gradient Vector를 빠르게 계산하고 있으나 PI가 선로 서셉턴스에 대해 單調特性 (Monotonic Function) 이 아니기 때문에 信賴性이 떨어진다는 지적을 받고 있다.⁶⁾

2.3 直流潮流計算法 (DC Load Flow Method)

Errisarri와 Sasson등이 제안한 이 방법⁶⁾은 선로 사고시의 서셉턴스의 변화를 계산한 후 母線間 電壓位相角 벡터를 구하고 이것을 써서 아래와 같이 線路의 潮流變化를 계산한다.

$$P_k^l = P_k + b_l (M_k^T B^{-1} M_l) B_k \theta_l, \quad k \neq l \quad (7)$$

$$P_k^l = (P_l - \Delta B_l Q_l) [I - b_l (M_l^T B^{-1} M_l)], \quad k = l \quad (8)$$

- 但, P_k : 선로 k 의 기준조류
- P_k^l : 선로 l 의 사고후 선로 k 의 유효전력 조류.
- M_k : 접속행렬.
- ΔB_l : 선로 l 의 서셉턴스 변화

이 방법은 計算精度가 높아 많이 이용되지만 一時的 線路事故의 해석을 위해서는 그때마다 서셉턴스行列의 再分解 (Refactoring)가 필요하고 또 想定事故順位選定에서 Masking Problem이 발생된다는 결점이 있다.

3. 새로운 想定事故選擇法

3.1 直流潮流法の 適用

일반적으로 直流潮流計算法에서 母線注入電力 (Bus Injection Power)의 변화분을 行列로 표시하면 다음과 같다.

$$[\Delta P] = [B] [\Delta \theta] \quad (9)$$

$$[\Delta \theta] = [B]^{-1} [\Delta P] \quad (10)$$

- 但, $[\Delta P]$: 모선 주입전력 변화분 벡터
- $[B]$: 직렬서셉턴스 행렬

(10)식에 따라 想定事故로 선로 l_{km} 이 系統에서 제외될 경우 선로 l_{ij} 의 潮流變化를 계산하기 위하여 母線 i, j 간의 電壓位相角 變化를 구해보면 다음과 같다.

($\Delta P^{(c)}$)은 테브난의 정리에 기초를 둔 補償理論을 응용하면 다음과 같이 표현할 수 있다.

(그림2)에서 母線 k-m간의 선로에 사고가 발생해서 이를 系統으로부터 제외시킬 경우에는 $W_{km} = -x_{km}$ 을 병렬로 연결해주면 새로운 임피던스 $\frac{-x_{km}^2}{x_{km} - x_{km}} = \infty$ 가 되어 개방상태가 된다. 지금 사고전의 선로 l_{km} 에 흐르던 전력을 $P_{km}^{(0)}$ 이라하면 사고후 모선 k 및 m의 전체 母線注入 電力變化는 $\Delta P_k = +P_{km}^{(0)}$ 및 $\Delta P_m = -P_{km}^{(0)}$ 가 되지만 이중 系統에 영향을 주는 모선주입전력의 변화분, 즉 補償母線注入電力 $\Delta P_{km}^{(c)}$ 는 [k-m] 모선에 대하여 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\Delta P_{km}^{(c)} = P_{km}^{(0)} - \frac{\Delta \theta_{km}}{W_{km}} \quad (17)$$

$$\Delta \theta_{km} = \Delta P_{km}^{(c)} \cdot X_T \quad (18)$$

$$\Delta P_{km}^{(c)} = \frac{W_{km}}{X_T + W_{km}} P_{km}^{(0)} \quad (19)$$

여기서 X_T 는 사고가 난 母線 k, m에서 바라본 테브난의 등가리액턴스로서 \bar{X} 의 대각선 요소인 $X_{km, km}$ 이다.

따라서 (19)식은

$$\Delta P_{km}^{(c)} = \frac{x_{km}}{x_{km} - X_{km, km}} \cdot P_{km}^{(0)} \quad (20)$$

와 같이 되고, 이것을 (12)식에 대입하면

$$\Delta \theta_i = (X_{ik} - X_{im}) \frac{x_{km}}{x_{km} - X_{km, km}} \cdot P_{km}^{(0)} \quad (21)$$

와 같이되어 사고후의 電壓位相角 變化分을 쉽게 계산할 수 있다.

이상의 내용을 일반화하여 표시하면 다음과 같다.

$$\Delta \theta = (X^k - X^m) \cdot \Delta P_{km}^{(c)} \quad (22)$$

但, X^k : [B]⁻¹의 k번째 열 (Column)

3.2.2 二重 線路事故

二重線路事故로 선로 l_{ij} 및 l_{km} 이 동시에 系統으로부터 제외될 경우 補償母線注入 電力은 다음과 같다.

먼저 이들 선로가 제외될 母線間的 電壓位相角 變化는 (13)식과 (14)식으로 부터 다음과 같이 된다.

$$\begin{aligned} \Delta \theta_{ij} &= X_{ij, ij} \Delta P_{ij}^{(c)} + X_{ij, km} \Delta P_{km}^{(c)} \\ \Delta \theta_{km} &= X_{km, ij} \Delta P_{ij}^{(c)} + X_{km, km} \Delta P_{km}^{(c)} \end{aligned} \quad (23)$$

한편 補償母線注入電力을 사고전 線路潮流와 電壓

位相角 變化의 項으로 표시하면 다음식과 같이 된다.

$$\Delta P_{ij}^{(c)} = P_{ij}^{(0)} - \frac{\Delta \theta_{ij}}{W_{ij}} \quad (24)$$

따라서 補償母線注入電力은 식 (23)과 (24)로부터 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} \Delta P_{ij}^{(c)} \\ \Delta P_{km}^{(c)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_{ij, ij} + W_{ij} & X_{ij, km} \\ X_{km, ij} & X_{km, km} + W_{km} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} W_{ij} \\ W_{km} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_{ij}^{(0)} \\ P_{km}^{(0)} \end{bmatrix} \quad (25)$$

따라서 電壓位相角 變化分은 (25)식에 (12)식에 대입 하므로써 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\Delta \theta_{ij} = (X^i - X^j) \Delta P_{km}^{(c)} + (X^k - X^m) \Delta P_{km}^{(c)} \quad (26)$$

3.2.3 發電機와 線路의 二重事故

發電機와 線路의 同時事故는 발전기 사고를 먼저 해결한 뒤에 선로사고를 해결하는 順次的인 方法을 사용하였다.

發電機事故는 脱落發電量을 나머지 발전기에서 각각의 參與率 (Participation factor)에 의해 증발시킴으로서 변화하게 되는 母線注入電力의 變化分을 산정해서 해석하였다.

지금 發電機 i가 事故로 정지될 경우 事故前 出力을 $P_{ci}^{(0)}$ 라 하면 發電力의 變化는

$$P_i = -P_{ci}^{(0)} \quad (27)$$

가 되며, 이에 따라 系統내의 발전기중 가령 발전기 j가 증발해야 할 量은

$$\Delta P_j = A_j \cdot P_{ci}^{(0)} \quad (28)$$

가 된다. 여기서 A_j 는 經濟配分에 의해 지정된 발전기 j의 參與率이며 운전중인 모든 발전기의 참여율 合計는 다음과 같은 관계를 만족한다.

$$\sum_{j=1}^n A_j = 1 \quad (29)$$

但, n: 참여 발전기 수

만일 (28)식에 의해 증발되도록 할당된 量이 그 발전기의 出力上限值를 넘게 될 경우, 即

$$P_{ci}^{(0)} + \Delta P_j > \bar{P}_{cj} \quad (30)$$

但, ΔP_j : 발전기 j의 증발량

\bar{P}_{cj} : 발전기 j의 출력상한치

인 경우에는 增發量이 다음과 같이 수정 되도록 하였다.

$$\Delta P_j = \overline{P_{Gj}} - P_{Gj}^{(0)} \quad (31)$$

단, 이 경우에 발생하는 增發量의 차이는 다른 발전기에서 재배분되도록 하였다. 이와같은 過程을 반복하여 ΔP 를 정한 후 식 (10) 및 (11)에 의하여 각각 $\Delta \theta$ 와 $\Delta P^{(k)}$ 를 구하도록 하였다.

이와같이 發電 事故에 대한 새로운 潮流가 계산되면 다음에는 이것을 기준으로 하여 3.2.1에서와 같이 單-線路 事故에 대한 절차를 이용하여 발전기와 선로의 二重事故를 해결할 수 있다.

3.3 苛酷度 評價指數의 導入

종래의 想定事故 選擇法에서는 順位決定을 위한 評價指數로서 (3)식과 같은 방법을 많이 이용하고 있다. 그러나 이와같은 방법에서는 소위 "Masking Problem"이라고 불리어지고 있는 다음과 같은 문제점이 있다.^{5)~7)}

(1) 어느 想定事故가 일부의 線路에서는 過負荷를 일으키지만 한편 다른 여러 線로에서는 潮流를 감소시키게 되어 그 결과 評價指數가 상대적으로 감소되는 결과가 되어 過負荷를 검출하지 못하는 경우가 발생한다.

(2) 어느 線路에서도 過負荷를 일으키지 않으나 여러 線路에 潮流증가를 일으켜 重負荷로 되게 하는 想定事故가 하나의 線로에만 過負荷를 일으키게 하는 想定事故보다 順位가 높게 선정될 수 있다.

현재이에대한 改善方法으로서 전체系統을 몇개의 區域으로 나누어 線路수를 分割(Partitioning)하고 각 구역별로 順位를 정하는 複數順位決定(Multiple Ranking)방법이 제안되고 있으나¹¹⁾ 아직 완전한 解法으로 평가받지 못하고 있다.

本 研究에서는 이러한 문제점을 개선하고 또한 선로의 過負荷率이 고려되어 想定事故 順位가 선정되도록 다음과 같은 苛酷度 評價指數(Severity Performance Index)를 도입한 새로운 알고리즘을 개발하므로써 想定事故 順位決定의 信賴性을 높일수 있었다.

먼저 선로의 過負荷率을 다음과 같이 정의한다.

$$R = \frac{P_l}{\overline{P_l}} \quad (32)$$

여기서 $R \geq 1$ 즉 과부하 분만을 고려하기 위해서

$$R_{ov} = \frac{|P_l| - \overline{P_l}}{\overline{P_l}} \quad (33)$$

으로 변형하여 R_{ov} 가 양수인 것만을 선택하도록 하였다.

한편 선로별 한계치를 繼電器限界値(Relay Limit), 非常限界値(Emergency Limit) 및 正規限界値(Normal Limit)의 3종류로 나누어 正規限界値는 선로의 連續許容容量의 80%로 하고 非常限界値는 선로의 연속허용용량이 되도록 正規限界値의 130%를 고려하였으며, 繼電器限界値는 과부하보호를 기준으로 하여 正規限界値의 150%로 해서 각 한계치별로 過負荷率이 다음과 같이 구분되도록 하였다.

$$R_{ov}(k) = \frac{|P_l| - \overline{P_l}(k)}{\overline{P_l}(k)} \quad (34)$$

따라서 想定事故 順位決定을 위한 苛酷度 評價指數는 과부하 선로별로 (34)식의 값을 합계하는 것으로 해서 다음과 같이 정의하였다.

$$SI(k) = \sum_l W_l \left(\frac{|P_l| - \overline{P_l}(k)}{\overline{P_l}(k)} \right)^2 \quad (35)$$

이와같이 하므로써 想定事故 順位가 限界値 종류별로 過負荷率이 고려되어 결정되고 각 한계치 종류간의 Masking Problem이 해소되며 또한 l 은 $(P_l - \overline{P_l}(k))$ 가 陽數인 선로만을 취하도록 하므로써 한계치를 초과하지 않는 線路潮流의 변화분에서 기인되는 Masking Problem을 제거시킬 수 있다.

한편 線路別限界値는 夏節期와 冬節期등 계절에 따라 변화하므로 이를 손쉽게 변경할 수 있어야 하며, 또한 直流潮流計算法에서는 어느선로의 潮流가 想定事故 결과 過負荷가 아니었지만 交流潮流計算法에서는 이것이 과부하로 나타날 수도 있기 때문에 이러한 想定事故의 選擇을 위해 어느 정도 한계치의 허용값을 손쉽게 고려할 수 있어야 한다.

이를 위해 限界値 變更乘數 a 를 선로별 한계치에 곱하여 최종적으로는 苛酷度 評價指數를 다음과 같이 정의해서 사용하였다.

$$SI(k) = \sum_l w_l \left(\frac{|P_l| - a \cdot \overline{P_l}(k)}{a \cdot \overline{P_l}(k)} \right)^2 \quad (36)$$

但, $\overline{P_l}(k)$: 선로의 한계치 종류별 유효전력 한계치

k : 선로의 한계치 종류

\sum_l : 과부하가 일어난 선로에 대한 합

여기서 限界値 變更乘數 a 는 선로용량을 夏節期에

비해 冬節期에는 5~15% 증대하여 고려할 수 있으므로 1.05~1.15로 하는 것이 좋다.

3.4 想定事故 選擇의 信賴性 判定

일반적으로 信賴性을 判定하는 기준을 세우기 위해 다음과 같은 要素를 정의한다.¹¹⁾

(1) MISS : 위험성이 있는 想定事故 (Critical) 를

위험성이 없는 想定事故 (Non-Critical)로 判別하는 경우.

(2) FALSE ALARM : 위험성이 없는 想定事故를 위험성이 있는 想定事故로 判別하는 경우.

이 要素들에 따라 信賴性을 判定하는 Capture Rate (CR)는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

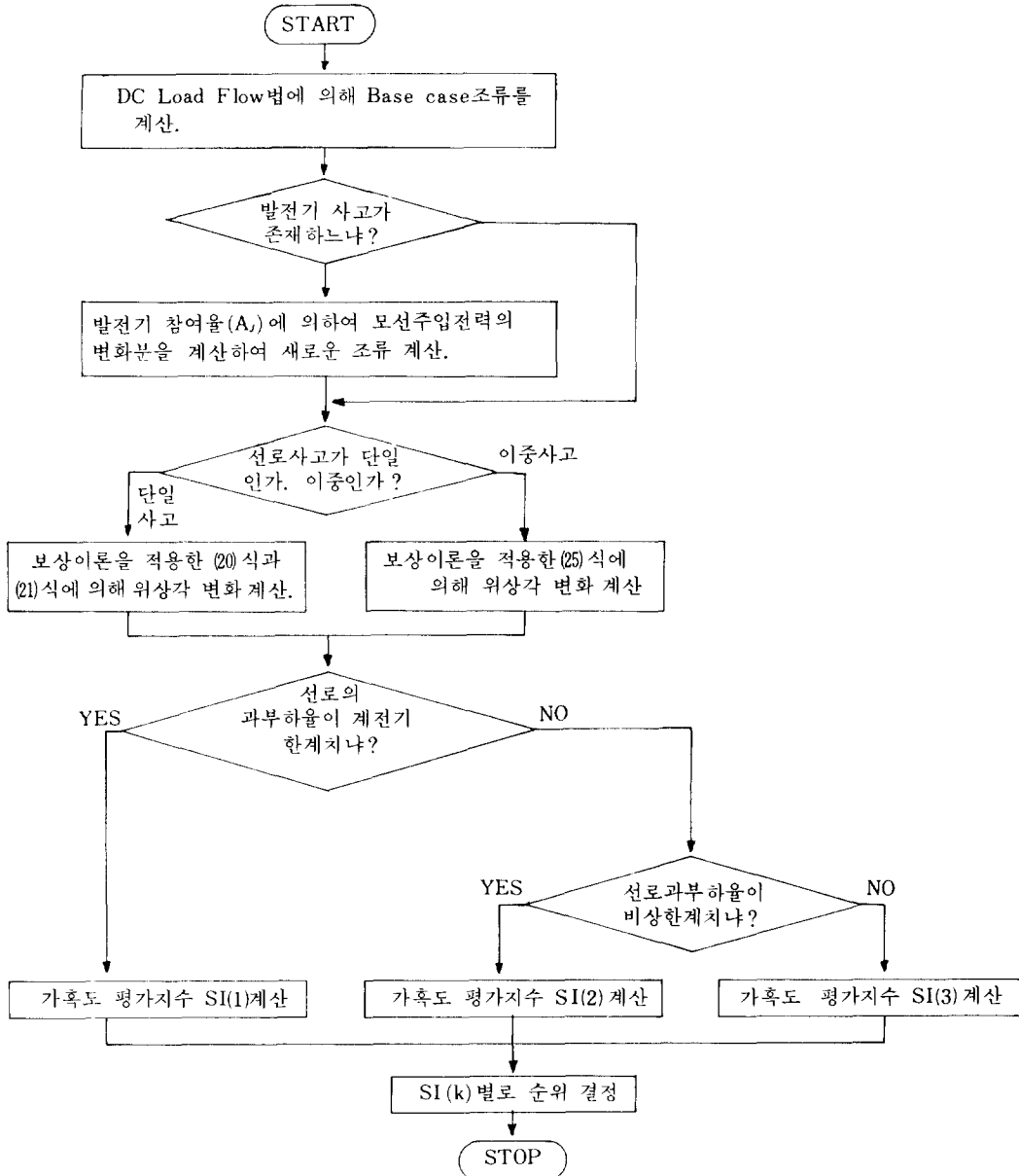


그림 3. 想定事故 選擇法의 흐름도.

Fig 3. Flow chart for the ACS method.

$$CR = 1 - \frac{NM}{NNC} \quad (37)$$

但, NM : MISS의 수

NNC : Non-Critical 想定事故 수

식 (37)은 MISS의 수가 적을수록 좋은 信賴性을 의미하므로 1(단위값)에 근접될 수록 좋다.

한편, CR과 더불어 완전한 신뢰성 기준을 위하여 False Alarm Rate (FR)을 나타내면 다음과 같다.

$$FR = \frac{NFA}{NC} \quad (38)$$

但, NFA : False Alarm의 수

NC : Critical 想定事故 수

식 (38)은 False Alarm의 수가 적을수록 좋은 信賴性을 의미하므로 0(零)에 가까울수록 좋다.

이상에서 기술된 想定事故 選擇法의 알고리즘을 요약하여 나타내면 <그림 3>의 흐름도와 같다.

4. 研究事例

<適用例 1>, IEEE 25 Bus 系統.

本 研究에서 이용한 모델 系統은 <그림 4>와 같으며 이 系統에 單一線路事故, 二重線路事故 및 發電機-線路事故를 적용하여 <표 1>과 같은 각 사고 시물레이션에 따른 想定事故 選擇 計算時間을 얻었다. 이 계산시간은 PDP11/24에 의해 측정된 것으로서, 補償理論을 응용한 想定事故 選擇法이 종래의 想定事故 選擇法보다 계산소요시간이 $\frac{1}{10} \sim \frac{1}{15}$ 이상으로 단축되어 實系統의 온라인 적용에 충분히 이용할 수 있음을 알 수 있었다.

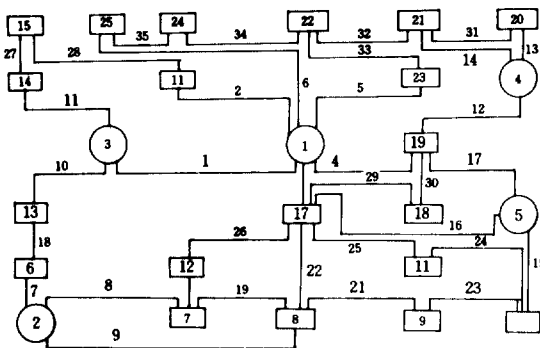


그림 4. IEEE 25 母線 系統 構成圖

Fig.4. IEEE 25 bus system configuration.

또한 想定事故選擇을 위한 종래의 評價指數와 새로운 苛酷度 評價指數에 의한 順位決定 結果를 <표 2>와 <표 3>에 보인다.

<표 2>에서 본다면 종래의 評價指數에 의한 想定事故順位에서는 18번線路 想定事故시에 어느 선로에도 過負荷를 일으키지 않지만 過負荷를 일으키는 10번 선로보다 評價指數 값이 커서 順位가 높게 나타날 뿐만 아니라 最大過負荷率이 가장 높은 12번線路 想定事故가 3번째 順位로 나타나 있고, 또한 가장 順位가 높은 16번 선로 想定事故는 과부하율

표 1. 平均計算時間 比較

Table 1. A comparison of the average execution time.

상정사고 선택법 비교		Full Ac Load Flow법	Original DC Load Flow법	보상이론 응용한 DC Load Flow법
단일	개개사고	128	6.5	0.556
선로사고	전체사고	4608	234	20
이중	개개사고	152	5.8	0.121
선로사고	전체사고	90592	5244.8	72
발전기	개개사고	151	6.2	0.38
선로사고	전체사고	21291	868	55.5

표 2. 종래의 評價指數에 의한 想定事故 順位

Table 2. Contingency ranking with the traditional performance index.

순위	선로사고 번호	종래의 평가지수 (PI) 값	최대 과부하율 및 과부하 선로
1	16*	0.20185E+02	1.51060*(24)
2	17	0.18309E+02	1.63085 (30)
3	12*	0.17440E+02	1.76947*(33)
4	6	0.16467E+02	1.33333 (34)
5	11	0.15887E+02	1.66667 (28)
6	7	0.14917E+02	1.33334 (10)
7	1	0.13858E+02	1.17040 (27)
8	9	0.12570E+02	1.39151 (19)
9	2	0.12386E+02	1.50000 (27)
10	5	0.12291E+02	1.15168 (32)
11	27	0.11717E+02	1.00001 (29)
12	13	0.11697E+02	1.33676 (14)
13	8	0.11065E+02	1.17234 (9)
14	14	0.10955E+02	1.07663 (31)
15	32	0.10800E+02	1.05887 (33)
16	15	0.10788E+02	1.03887 (21)
17	18*	0.10653E+02	-
18	10	0.10448E+02	1.25000 (18)
19	20	0.10409E+02	-
20	3	0.10274E+02	-

표 3. 苛酷度 評價指數에 의한 想定事故 順位

Table 3. Contingency ranking with the new severity performance Index.

순 위	선로 사고 번호	새 로 운 가 혹 도 평 가 지 수 값			최대 과부하율 및 과부하 선로
		S I (1)	S I (2)	S I (3)	
1	12	0.32272E-01			1.76947(33)
2	11	0.12346E-01			1.66667(28)
3	17	0.10947E-01			1.63058(30)
4	16	0.49955E-04			1.51060(24)
5	2	0.17354E-06			1.50000(27)
6	9		0.49554E-02		1.39151(19)
7	13		0.79945E-03		1.33676(14)
8	7		0.65759E-03		1.33334(10)
9	6		0.65748E-03		1.33333(34)
10	10			0.62499E-01	1.25000(19)
11	1			0.40301E-01	1.17040(27)
12	8			0.29769E-01	1.17254(19)
13	5			0.23006E-01	1.15168(32)
14	14			0.58722E-02	1.07663(31)
15	15			0.47098E-02	1.06863(21)
16	32			0.34653E-02	1.05887(33)
17	27			0.14330E-09	1.00001(28)

이 가장 높지 않아 Masking Problem에 의해 상정 사고 순위가 과부하율과는 다르게 나타나고 있어 신뢰성이 떨어져 있음을 알 수 있다.

이에 대하여 <표 3>의 새로운 苛酷度評價指數에 의한 想定事故 順位는 <그림 5>에서 쉽게 알 수 있듯이 過負荷率의 苛酷도에 따라 順位가 選定되어 Masking Problem이 改善되었을 뿐만 아니라, <표 4>의 교류조류계산에 의한 想定事故 順位를 기준으로 하여 信頼性を 비교해 본 결과 <표 5>에서 알 수 있듯이 새로운 苛酷度評價指數에 의한 方法이 종래의

評價指數에 의한 方法보다 信頼성이 우수함을 알 수 있다.

마찬가지로 二重線路事故와 發電機-線路事故에 대해서도 거의 같은 結果를 얻을 수 있다.

표 4. AC潮流法에 의한 想定事故 順位.

Table 4. Contingency ranking with the AC load flow method.

순위	상정사고 선로번호	평가 지 수 P1값	최대과부하율 및 과부하 선로
1	16	0.80115E+01	1.43566(15)
2	12	0.79286E+01	1.69017(33)
3	17	0.76693E+01	1.45912(29)
4	11	0.60906E+01	1.67168(28)
5	2	0.43024E+01	1.41290(27)
6	6	0.31948E+01	1.33340(34)
7	9	0.28993E+01	1.27163(19)
8	10	0.27031E+01	1.26469(18)
9	1	0.22476E+01	1.07223(27)
10	5	0.21886E+01	1.08527(35)
11	7	0.18929E+01	1.37584(10)
12	13	0.16068E+01	1.26758(14)
13	8	0.12892E+01	1.13543(9)
14	15	0.11062E+01	1.05177(21)
15	27	0.10500E+01	1.02470(2)
16	32	0.10101E+01	1.00505(33)

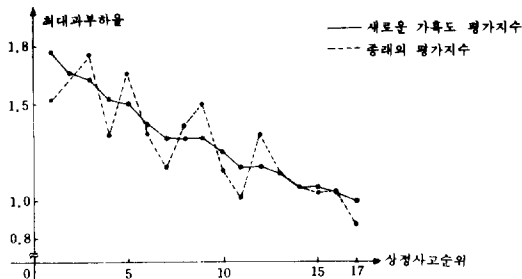


그림 5. 想定事故順位 對 最大過負荷率 比較

Fig.5. A comparison of contingency ranking vs. maximum overload rate.

표 5. 想定事故 選擇結果의 信賴性 評價

Table 5. Reliability assesment of the ACS results.

평가지수 \ 비교	CR (Capture Rate)	FR (False alarm Rate)
PI	0.8889	0.11765
SI(k)	0.9444	0.0588

〈適用例 2〉 KEPCO 實系統

本 研究에서 이용한 것은 1986年 3月 20日 오후 3時에 실제 運用된 總負荷 8958MW인 KEPCO 實系統으로서 單一線路事故에 대한 想定事故 選擇計算時間 및 順位決定 結果를 〈표 6〉과 〈표 7〉 및 〈표 8〉에 보인다.

여기서 計算時間은 KEPCO의 IBM4341에 의한 CPU Time인데 〈표 6〉에서 알 수 있듯이 補償理論을 응용한 方法이 종래의 方法에 의한 想定事故 選擇 소요시간보다 단일선로 사고의 경우 $\frac{1}{30}$ 이상 단

표 6. 平均計算時間 比較

Table 6. A comparison of the average execution times.

비교	상정사고 선택법	Original DC Load Flow법	보상이론 응용한 DC Load Flow법
	개개의 사고		17.71
전 체 사고		3364.9	114.54

단위: sec

축되었으며, 또한 〈그림 6〉에서 쉽게 알 수 있듯이 새로운 苛酷度 評價指數에 의한 順位決定이 종래의 方法보다 信賴性이 우수함을 알 수 있었다.

표 7. 종래의 評價指數에 의한 想定事故 順位.

Table 7. Contingency ranking with the traditional performance index.

순위	선로 사고 번호	종래의 평가지수 (PI) 값	최대 과부하율 및 과부하 선로
1	98*	0.25328E+02	1.17384 (104)*
2	80	0.24469E+02	1.35478 (69)
3	45*	0.23228E+02	-
4	40	0.22879E+02	1.29267 (138)
5	43*	0.22544E+02	-
6	44*	0.22544E+02	-
7	100	0.22028E+02	1.08902 (104)
8	135	0.21993E+02	1.06098 (131)
9	47	0.21941E+02	1.16994 (125)
10	130*	0.21567E+02	-
11	111	0.21436E+02	1.0529 (104)
12	85	0.21434E+02	1.13720 (90)
13	14*	0.21099E+02	-
14	164*	0.21099E+02	-
15	156	0.20836E+02	1.05729 (104)
16	21*	0.20784E+02	-

표 8. 새로운 苛酷度 評價指數에 의한 想定事故 順位

Table 8. Contingency ranking with the new severity performance index.

순 위	사고 선로 번호	새 로 운 가 혹 도 평 가 지 수 값			최대 과부하율 및 과부하 선로
		S I(1)	S I(2)	S I(3)	
1	80	0.24927E-01			1.35478 (69)
2	40	0.83492E-02			1.29267 (138)
3	98		0.26928E-01		1.17384 (104)
4	47		0.15611E-01		1.16994 (125)
5	69		0.97008E-02		1.14243 (80)
6	90		0.93430E-02		1.14053 (85)
7	24		0.91861E-02		1.13968 (134)
8	85		0.87343E-02		1.13720 (90)
9	134		0.50553E-02		1.11395 (133)
10	133		0.50536E-02		1.11393 (134)
11	100		0.22218E-02		1.08902 (104)
12	135		0.40680E-03		1.06098 (131)
13	156		0.30078E-03		1.05804 (104)
14	111		0.27630E-03		1.05729 (104)
15	140			0.87882E-01	1.03716 (79)
16	163			0.66334E-01	1.00604 (80)

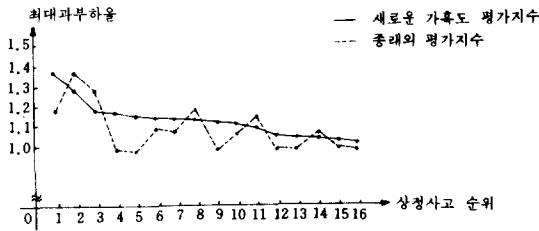


그림 6. 想定事故 順位 對 最大過負荷率 比較
 Fig.6. A comparison of contingency ranking vs. maximum overload rate.

5. 結 論

이상으로 본 研究에서는 想定事故 解析의 高速化를 위하여 直流潮流法에 補償理論을 응용하고 동시에 想定事故 順位決定의 信賴性을 높이기 위하여 苛酷度 評價指數를 導入한 새로운 高速 想定事故選擇에 관한 알고리즘을 개발하고 이를 IEEE 25 母線系統 및 KEPCO 130母線 實系統에 適用해 본 결과 다음과 같은 結論을 얻었다.

- (1) 想定事故의 解析을 위해 直流潮流法에 補償理論을 應用 하므로써 高速簡易解析을 기할 수가 있었다.
- (2) 線路의 限界值 種類別로 苛酷度 評價指數를 導入 하므로써 想定事故 順位決定의 信賴性을 높일 수 있었다.
- (3) 線路의 限界值 變更乘數를 도입함으로써 限界值의 허용값을 손쉽게 변경할 수 있었다.
- (4) 본 研究에서는 線路別 加重值를 단일값 1로 고정 하였으나 想定事故 順位決定의 精度改善을 위하여 앞으로는 線路別 加重值에 관하여 더 연구해 나갈 계획이다.

參 考 文 獻

1) T. E. Dy Liacco, "Security Functions in Power System

Control Centers, The State-of-the-Art in Control Center Design", IFAC Symposium, New Delhi, India, August 16-18, 1979.

- 2) N. M. Peterson, W. F. Tinney, and D. W. Bree, Jr., "Iterative Linear AC Power Flow Solution for Fast Approximate Outage Studies" IEEE Trans. on PAS, Vol. PAS-91, pp. 2048-2056, Sept./ Oct. 1972.
- 3) B. Stott and O. Alsac, "Fast Decoupled Load Flow", IEEE Trans on PAS, Vol. PAS-93, pp. 859-869, May 1974.
- 4) Mark K. Enns, John J. Quada, and Bert Sackett, "Fast Linear Contingency Analysis", IEEE Trans. on PAS, Vol. PAS-101, No. 4, pp. 783-791, April 1982.
- 5) T. A. Mikolinnas and B. F. Wollengerg, "An Advanced Contingency Selection Algorithm", IEEE Trans. on PAS-100, pp. 608-617, Feb. 1981.
- 6) G. D. Irisarri and A. M. Sasson, "An Automatic Contingency Selection Method for On-Line Security Analysis", IEEE Trans. on PAS, Vol. PAS-100, PP. 1838-1844, April 1981.
- 7) F. Albuyeh, A. Bose, and B. Heath, "Reactive power Considerations in Automatic Contingency Selection", Conference Proceedings 1981 IEEE-PICA, pp. 269-272, Philadelphia, Penn., May 1981.
- 8) W. F. Tinny, "Compensation Methods for Network solutions by Optimally Ordered Triangular factorization", IEEE Trans. on PAS, Vol. PAS-91, pp. 123-127, Jan./ Feb. 1972.
- 9) R. B. Gungor, N. F. Tsang, and B. Bebb, "A Technique for Optimizing Real and Reactive Power Schedules", IEEE Trans. on PAS, Vol. PAS-90, pp. 1781-1790, July / Aug. 1971.
- 10) 宋吉永, "電力系統의 解析 및 運用" 東逸出版社, 1984, 第3章, pp. 91-131.
- 11) T.F. Halpin, R. Fischl, R. Fink, "Analysis of Automatic Contingency Selection Algorithms", IEEE Trans. on PAS, No. 5, May 1984.