

A Method of Determining the Maximum Interface Flow Limit Using Continuation Algorithm

金 슬 기* · 宋 和 昌** · 李 炳 峻*** · 權 世 熾§
 (Seul-Ki Kim · Hwa-Chang Song · Byong-Jun Lee · Sae-Hyuk Kwon)

Abstract - This paper introduces a method of determining the maximum real power transfer limit of interface lines, which connect two areas of a power system, using locally parameterized continuation algorithm. This method traces the path of power flow solutions as interface flow is gradually increased under a certain load demand condition and finds the steady state voltage stability limit, the interface flow limit. Voltage stability index is used to indicate how close the maximum limit is reached. Also, this study presents a procedure to determine the security-constrained interface flow limit using the above method. Contingency ranking index is proposed to identify the severity of contingencies. The case study is performed according to the suggested procedure.

Key Words : interface flow limit, continuation algorithm, voltage stability index, contingency ranking index

1. 서 론

세계 각국의 전력분야에서는 시장경쟁원리를 도입하여 전력산업의 구조개편을 본격화하고 있고, 우리나라도 장기적으로 경제적이며 안정적으로 전력을 공급하려는 계획을 수립 중에 있다. 이러한 시점에서 계통의 여러 지역을 연결하거나 다른 두 계통을 연결하는 연계선로의 송전운용한계를 결정하는 것은 새로운 전력산업 구조에서의 효율적인 송전 계통의 계획수립, 관리 및 운용에 필수적이다.

연계선로의 유효전력 송전한계를 구하는 것은 이미 1970년대 초반부터 연구되어 온 여러 지역 간의 유효전력 교환능력(interchange capability)을 구하는 문제와 비슷하다 [1,2,3]. 그러나 교환능력은 한 지역의 발전기 사고에 대비하여 다른 지역에서의 공급 가능한 유효전력을 구하는 것으로 이루어지는 데 비하여 본 연구에서의 유효전력 송전한계는 계통에서 발전단가가 낮은 한 지역에서 상대적으로 단가가 높은 다른 지역으로 전력을 공급할 때 선정된 심각한 상정사고를 고려하여 전압안정도 관점에서 최대로 공급할 수 있는 송전조류의 한계를 구하는 것으로 이루어진다.

본 논문에서는 국부적으로 파라미터화된 연속알고리즘 기법[4,5] 이용하여 고정된 부하수준에서 연계선로의 조류

증가에 따른 전압의 변화 궤적(연계선로조류-전압 곡선)을 추적하고 연계선로에서 송전할 수 있는 최대 송전 가능 조류를 결정하는 방법을 제시한다. 임계점을 용이하게 찾기 위해 전압안정도지수를 정의하고 심각한 선로 상정사고를 찾는 기준이 될 수 있는 상정사고지수를 소개한다. 연계선로조류-전압 곡선과 상정사고지수를 이용하여 계통의 안전도를 고려했을 때의 송전계통의 연계선로 운용 계획 수립에 필요한 운용한계를 결정하는 절차를 소개한다. 운용한계를 결정할 때 전압안정도 기준에서 제시하는 계통의 불확실성을 고려한다[6,7]. 사례연구에서는 New England 39 모선 계통의 선로들의 상정사고지수를 구해 심각한 상정사고를 예측하고 연계선로조류-전압 곡선을 이용하여 연계선로의 송전조류 운용한계를 결정한다.

2. 연계선로 최대 송전 가능 조류계산을 위한 연속알고리즘의 적용

2.1 전력조류방정식의 재구성

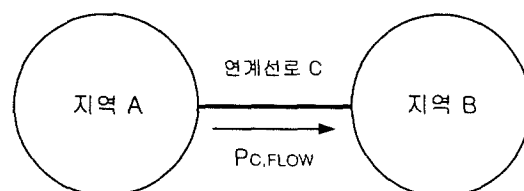


그림 1 연계선로를 가지는 계통

Fig. 1 An interconnected system with interface lines

연속알고리즘을 이용해 정적인 전압안정도를 고려한 연

* 準 會 員 : 高麗大 電氣·電子·電波工學部 碩士課程
 ** 正 會 員 : 高麗大 電氣·電子·電波工學部 博士課程
 *** 正 會 員 : 高麗大 電氣·電子·電波工學部 副教授·工博
 § 正 會 員 : 高麗大 電氣·電子·電波工學部 教授·工博
 接受日字 : 1999年 12月 13日
 最終完了 : 2000年 1月 10日

계선로의 송전조류한계를 구하기 위해서 발전 파라미터 λ 를 이용하여 계통내의 두 지역의 발전량을 각각 조절하고 이를 통해 두 지역을 연결하는 연계선로의 조류를 조절할 수 있도록 전력조류방정식을 재구성할 필요가 있다. 한 계통이 그림 1과 같이 발전비용이 상대적으로 낮은 지역A, 이에 비해 발전비용이 상대적으로 높은 지역B 그리고 이 두 지역을 연결하는 연계선로C로 이루어져 있으며 지역B의 부하를 부분적으로 담당하기 위해서 지역A에서 지역B로 일부 전력을 공급하고 있다고 하자. 계통의 부하수준이 일정하다고 할 때 지역A와 지역B의 각 모선의 발전은 다음과 같다.

$$N_G = N_{GA} + N_{GB} \quad (1a)$$

$$P_{G, total} = P_{GA, total} + P_{GB, total} \quad (1b)$$

$$P_{GA, total} = \sum_{i=1}^{N_{GA}} P_{Gi} \quad (1c)$$

$$P_{GB, total} = \sum_{i=N_{GA}+1}^{N_G} P_{Gi} \quad (1d)$$

$P_{G, total}$: 계통 전체의 유효전력 발전

$P_{GA, total}$: 지역A 전체의 유효전력 발전

$P_{GB, total}$: 지역B 전체의 유효전력 발전

N_G : 계통의 전체 발전기모선 수

N_{GA} : 지역A의 전체 발전기모선 수

N_{GB} : 지역B의 전체 발전기모선 수

P_{Gi} : 모선i의 유효전력 발전

연계선로 C를 통해 지역A에서 지역 B로 흐르는 전력조류는 계통의 유효전력손실을 고려하지 않는다면 지역B의 총 부하와 총 발전의 차와 같으므로 이는 식 (2)로 표현되고,

$$P_{C, FLOW} = P_{LB, total} - P_{GB, total} \quad (2)$$

$P_{C, FLOW}$: 연계선로 C에 흐르는 유효전력조류 (A→B)

$P_{LB, total}$: 지역 B의 총 부하

식(2)에서 지역B의 총 부하는 일정하므로 연계선로C에 흐르는 조류는 계통 전체 $P_{GB, total}$ 를 증가 또는 감소시킴으로써 조절 할 수 있다. 요약하면 지역B의 각 발전기모선에서의 유효전력 발전을 발전 파라미터 λ 를 포함한 식으로 나타내고 이를 각 모선에서의 전력조류방정식에 대입하여 재구성한다. 먼저, N모선 계통의 i모선에서 전력조류방정식은 다음과 같다.

$$P_{Gi} - P_{Li} - P_{Ti} = 0 \quad (3a)$$

$$, P_{Ti} = \sum_{j=1}^n V_i V_j y_{ij} \cos(\delta_i - \delta_j - \theta_{ij})$$

$$Q_{Gi} - Q_{Li} - Q_{Ti} = 0 \quad (3b)$$

$$, Q_{Ti} = \sum_{j=1}^n V_i V_j y_{ij} \sin(\delta_i - \delta_j - \theta_{ij})$$

P_{Li}, Q_{Li} : 모선i에서의 유효, 무효전력 부하

P_{Ti}, Q_{Ti} : 모선i에서 계통으로 주입되는 유효, 무효전력

여기에서 일정한 부하수준을 고려하고 있으므로 모선의 유효전력, 무효전력 부하는

$$P_{Li} = P_{Lio} \quad (4a)$$

$$Q_{Li} = Q_{Lio} \quad (4b)$$

로 표현되고 발전기 모선에서의 유효전력발전은 발전 파라미터 λ 를 이용하여 나타낸다. 여기서 계통의 부하가 일정하므로 계통의 총 발전이 일정하도록 지역B의 총 발전감소와 지역A의 총 발전증가가 같도록 한다.

지역B의 발전기 모선의 경우

$$P_{Gi} = P_{Gio} - \lambda k_{GBi} P_{GBo, total} \quad (5a)$$

지역A의 발전기 모선의 경우

$$P_{Gi} = P_{Gio} + k_{GAi} \Delta P_{GB, total} \quad (5b)$$

$$, \Delta P_{GB, total} = \sum_{i=N_{GA}+1}^{N_G} \lambda k_{GBi} P_{GBo, total}$$

P_{Lio}, Q_{Lio} : 모선 i의 원래 부하의 유효전력, 무효전력

P_{Gio}, Q_{Gio} : 모선 i의 원래 유효전력, 무효전력 발전

k_{GAi} : 지역A의 총 발전증가 중 모선i의 분담률

k_{GBi} : 지역B의 총 발전감소 중 모선i의 분담률

$P_{GBo, total}$: 지역B의 원래 총 유효전력 발전

$\Delta P_{GB, total}$: 지역B의 총 발전감소

식 (3a),(3b)에 식(4a),(4b),(5a) 와 (5b)를 대입해서 다음과 같이 전력조류방정식을 재구성 할 수 있다

지역A의 경우

$$P_{Gio} + k_{GAi} \Delta P_{GB, total} - P_{Lio} - P_{Ti} = 0 \quad (6a)$$

$$Q_{Gi} - Q_{Lio} - Q_{Ti} = 0 \quad (6b)$$

지역B의 경우

$$P_{Gio} - \lambda k_{GBi} P_{GBo, total} - P_{Lio} - P_{Ti} = 0 \quad (7a)$$

$$Q_{Gi} - Q_{Lio} - Q_{Ti} = 0 \quad (7b)$$

여기서 k_{GAi} 와 k_{GBi} 는 계통의 각 모선에서의 고유한 값들로써 계통의 지역A와 지역B에서 발전기모선의 유효전력 발전을 감소 또는 증가시킬 때의 분담비를 나타내는데 연계선로C의 조류를 증가시키기 위해 지역A와 지역B에서 어느 발전기의 발전을 증가(감소)시킬 것인가에 따라 결정된다. 결국 발전증가(또는 감소)시나리오에 따라서 다른 조류해를 가지게 되고 연계선로의 최대송전조류도 달라진다.

2.2 자코비안

$$\begin{bmatrix} f_\delta & f_V & f_\lambda \\ e_k \end{bmatrix} \quad (8)$$

예측과정과 수정과정의 자코비안은 식(8)과 같다[5]. 여기서 e_k 는 k번째 성분만이 1이고 나머지 성분들은 0인 행 벡터이다. 위 식에서 재구성된 전력조류방정식을 전압의 위상각 δ , 전압의 크기 V , 발전량파라미터 λ 에 대해 각각 편미분해서 자코비안의 f_δ, f_V, f_λ 성분을 얻는다. 여기서는 f_λ 성분만 나타내었다.

지역A의 모선의 경우

$$\frac{\partial P_{Gi}}{\partial \lambda} = -k_{GBi} P_{GBo, total} \quad (9a)$$

지역B의 모선의 경우

$$\begin{aligned} \frac{\partial P_{Gi}}{\partial \lambda} &= k_{GBi} \frac{\partial \Delta P_{GB, total}}{\partial \lambda} \\ &= k_{GAi} \sum_{i=N_{GA}+1}^{N_G} k_{GBi} P_{GBo, total} \\ &= k_{GAi} P_{GBo, total} \end{aligned} \quad (9b)$$

2.3 전압안정도지수

연속알고리즘에서 발전 파라미터 λ 의 미분변화에 대한 계통의 물리량(예>모선전압의 크기, 발전기의 무효전력발전량, 선로의 유효, 무효전력 손실 등등)의 미분변화를 알아봄으로써 정적인 전압안정도 해석에 유용한 정보를 얻을 수 있는데, 이 절에서는 λ 의 미분변화에 대한 모선전압크기의 미분변화를 고려한다.

그림 1에서 연계선로C의 유효전력조류의 증가 미분변화는 지역B의 총 유효전력발전의 감소 미분변화와 같고 k_{GBi} 와 $P_{GBo, total}$ 는 일정한 상수이므로 발전 파라미터 λ 의 미분변화는 연계선로조류의 미분변화를 의미한다.

$$dP_{C, FLOW} = -dP_{GB, total} \quad (10)$$

$$-dP_{GB, total} = d\lambda \cdot \left(\sum_{i=N_{GA}+1}^N k_{GBi} P_{GBo, total} \right) \quad (11)$$

$dV_i/d\lambda$ 는 선로조류의 미분변화에 대한 i모선 전압크기의 미분변화로써 i모선이 정적인 전압불안정점 근처에서 얼마나 약한지를 보여 준다. 약한 모선은 선로조류의 증가에 대해 전압크기의 감소가 다른 모선에 비해 상대적으로 커서 전압붕괴를 일으킬 가능성이 큰 모선으로 가장 약한 모선은 dV_i 가 가장 큰 모선이다. $d\lambda$ 와 dV_i 는 예측과정의 접선 벡터로부터 얻어진다.

$$VININDEX = \frac{-d\lambda}{dV_{MAX}} \quad (12)$$

전압안정도지수를 식(12)와 같이 정의함으로써 계통이 연계선로의 최대 송전 가능 조류, 즉 정적인 전압 불안정점에 이르렀는지를 알 수 있다. dV_{MAX} 는 가장 약한 모선의 전압크기의 미분 변화이다. 전압안정도지수는 임계점을 지나기 전에는 양의 값을 가지고 감소하다가 정확한 임계점에서 영(0)이 되고 임계점을 지나서는 음의 값을 갖는다.

2.4 상정사고지수

상정사고를 고려한 연계선로조류의 운용한계를 결정하기 위해 계통의 선로 상정사고를 실시할 때 어느 선로의 사고가 계통에 심각한 영향을 미칠 것인가를 예측할 수 있는 요인을 여러 가지를 들 수 있겠지만 그 중 가장 중요한 것 두 가지를 들 수 있다.

- ① 선로에 흐르는 유효전력조류의 크기 P_{ij} - 많은 전력을 수송하고 있는 선로일수록 사고가 났을 때 계통에 심각한 영향을 주는 경향이 있다.
- ② 연계선로의 조류의 미분변화에 대한 다른 선로에서의 유효전력조류의 미분변화의 크기 $dP_{ij}/d\lambda$ - 연계선로조류가 증가할 때 많이 영향 받는 선로, 즉 선로조류증가가 많은 선로에 사고가 났을 때 연계선로의 조류한계(연계선로조류-전압 곡선의 임계점)에 심각한 영향을 줄 수 있다.

정적인 전압안정도 측면에서 계통에 심각한 영향을 주는 상정사고를 찾기 위해 상정사고지수를 위의 두 가지 가정을 바탕으로 ①과 ②를 곱한 것으로 정의한다.

$$\text{상정사고지수} = P_{ij} \cdot \frac{dP_{ij}}{d\lambda} \quad (13)$$

그림 2는 i모선과 j모선에서 전압 $V_i < \delta_i, V_j < \delta_j$ 와 임피던스 $Z_{ij} < \theta_{ij}$ 를 갖는 선로 i-j를 나타낸다.

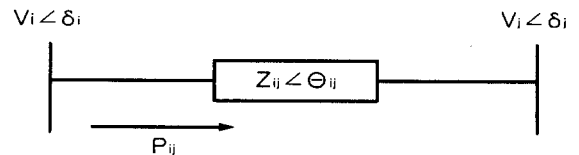


그림 2 계통의 선로 i - j

Fig. 2 Branch i - j

그림 2에서 선로에 흐르는 유효전력은 식 (14)로 나타내고 여기서 발전 파라미터 λ 에 대한 미분변화는 식 (15)와 같이 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} P_{ij} &= \frac{1}{Z} [V_i^2 \cos \theta_{ij} - V_i V_j \cos(\delta_i - \delta_j + \theta_{ij})] \quad (14) \\ \frac{dP_{ij}}{d\lambda} &= \sum_{k=1}^n \frac{\partial P_{ij}}{\partial V_k} \frac{dV_k}{d\lambda} + \frac{\partial P_{ij}}{\partial \delta_k} \frac{d\delta_k}{d\lambda} \\ &= \frac{1}{Z} [(2 V_i \cos \theta_{ij} - V_j \cos(\delta_i - \delta_j + \theta_{ij})) \frac{dV_i}{d\lambda} \\ &\quad - V_j \cos(\delta_i - \delta_j + \theta_{ij}) \frac{dV_j}{d\lambda} + V_i V_j \sin(\delta_i - \delta_j + \theta_{ij}) \frac{d\delta_i}{d\lambda} \\ &\quad - V_i V_j \sin(\delta_i - \delta_j + \theta_{ij}) \frac{d\delta_j}{d\lambda}] \quad (15) \end{aligned}$$

건전 계통의 임계점에서 각 선로들의 상정사고지수를 비교해서 심각한 상정사고를 예측할 수 있는데 사례연구에서 그 유용성을 보인다.

3. 안전도를 고려한 연계선로의 송전조류의 한계를 결정하기 위한 절차

지금까지는 한 계통의 고정된 부하상태에서 두 지역 간을 연결하는 연계선로의 최대 송전 가능 조류를 정적인 전압안정도 관점에서 연속알고리즘을 이용하여 결정하는 방법을 제시하였다. 여기서는 앞에서 설명한 방법을 이용하여 안전도를 고려한 운용적인 면에서의 연계선로 조류한계를 구하는 절차를 소개한다. 연계선로의 송전운용한계는 계통에 가장 심각한 상정사고를 일으키더라도 계통이 정적인 전압 불안정점에 이르지 않으면서 연계선로에 흐를 수 있는 최대조류를 의미한다. 그 절차는 다음과 같다.

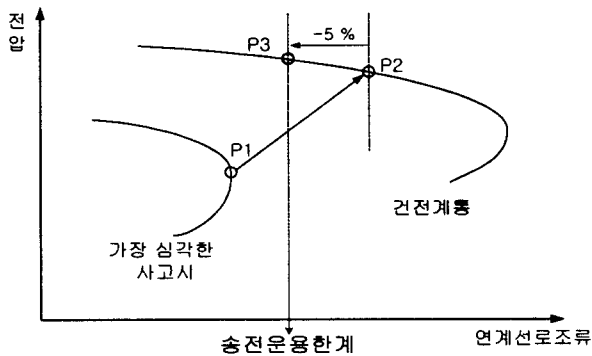


그림 3 안전도를 고려한 연계선로 조류한계
Fig. 3 Security-constrained interface flow limit

1. 상정사고지수를 이용하여 심각한 상정사고 후보선로들을 찾고 상정사고를 실시하여 각각에 대해 연계선로조류-전압 곡선을 그린다.
2. 가장 작은 최대 송전 가능 조류를 가지는 사고를 가장 심각한 상정사고로 한다.
3. 가장 심각한 상정사고를 실시한 계통의 연계선로조류-전압 곡선에서 임계점(P1)을 가질 때의 각 발전기들의 유효전력 발전량을 구한다. - 임계점의 발전 파라미터 값의 값을 구한다.
4. 정상계통에서의 연계선로조류-전압 곡선에서 3번에서의 각 발전기의 유효전력량과 같은 데이터를 갖는 지점(P2)의 선로조류를 구한다. - 3번과 같은 λ 값을 갖는 지점의 선로조류를 구한다. 그림 3을 참고한다.
5. CIGRÉ 전압안정도 기준[7]에 의한 계통의 불확실성을 고려해서 이 지점의 선로조류보다 5% 낮은 지점(P3)의 선로조류를 연계선로조류의 송전운용한계로 정한다.

4. 사례 연구

국부적으로 파라미터화된 연속 알고리즘을 이용해 계통의 두 지역 사이를 연결하는 송전선로의 조류증가경로와 최대 송전조류를 찾기 위해 New England 39모선 계통을 이용하였다. 사례연구를 위해 New England 39모선 계통을 그림 4와 같이 5개의 발전기 모선과 7개의 부하 모선을 갖는

지역 A와 5개의 발전기 모선과 10개의 부하모선을 갖는 지역B로 나누었으며 이 때 16-17 선로, 4-14 선로 와 6-11 선로가 지역 A 와 B를 연결하는 연계선로들이다. 기준모선은 35번 발전기 모선으로 했다. 초기 계통에서 지역 A에서 지역 B로 연계선로를 통해 흐르는 유효전력조류와 지역 A와 B의 총 발전과 총 부하를 표 1과 표 2에 나타내었다.

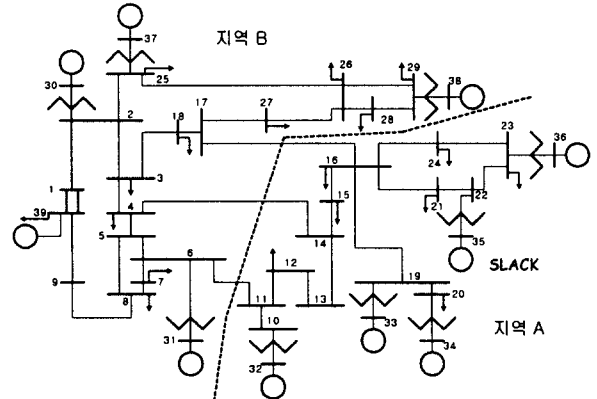


그림 4 New England 39 모선 계통도
Fig. 4 New England 39-bus system

표 1 초기 계통의 연계선로조류

Table 1 Initial interface flows

연계선로 (A → B)	유효전력조류(A → B)
16-17 선로	259.5 MW
14-4 선로	270.4 MW
11-6 선로	341.1 MW
총 합	871.0 MW

표 2 지역 A와 B의 총 발전 및 부하

Table 2 Total generations and loads of area A and B

	총 발전	총 부하
지역 A	3,161.81 MW	2,268.00 MW
지역 B	3,193.56 MW	4,042.00 MW

본 사례연구에서는 지역A에서 지역B로 3개의 연계선로를 통해 보낼 수 있는 최대 송전 가능조류를 구하고 임계점 근처에서의 전압안정도지수 변화를 살펴본다. 또한 2장 4절에서 정의한 상정사고지수를 이용하여 심각한 선로 상정사고를 찾고 안전도를 고려한 연계선로의 송전운용한계를 3장에서 제시한 절차에 따라 구하였다.

4.1 연계선로조류-전압 곡선

연계선로를 통해 지역A에서 지역B로 가는 송전조류한계를 추적해 나가는 과정을 그림 5의 연계선로조류-전압 곡선에서 볼 수 있다. 이 때의 각 스텝에서의 전압안정도지수의 변화도 같이 나타내었다. 표 3은 임계점에서의 각 연계선로의 유효전력조류이다. 그림 5에서 보듯이 전압안정도지수를 통해서 계통이 정적인 전압불안정상태에 얼마나 가까이 이르렀는지를 판별할 수 있는데, 연계선로조류가 임계점에 가까워짐에 따라 전압안정도지수는 양의 값에서 점점 감소하

다가 정적인 전압불안정점을 지날 때 영(0)을 지나며 점점 음의 값을 가지게 된다.

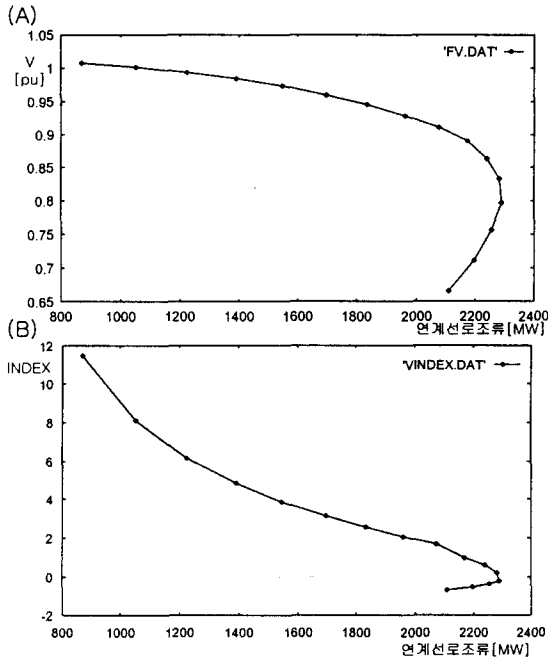


그림 5 (A) 연계선로조류-전압곡선
(B) 연계선로조류-전압안정도지수 곡선
Fig. 5 (A) Interface flow vs voltage curve
(B) Interface flow vs voltage index curve

표 3 각 연계선로의 송전조류한계
Table 3 Maximum interface flows

연계선로	송전조류한계 [MW]
16-17선로	1,203.4
14-4 선로	494.5
11-6 선로	591.7
총 합	2,289.6

4.2 상정사고지수를 이용한 심각한 상정사고 선택

심각한 상정사고를 선택하는 기준은 계통 모선들의 전압의 크기 변화나 선로의 과부하 정도 등 여러 가지 들 수 있지만 여기서는 정적인 전압안정도 관점에서 최대 송전조류한계를 심각한 사고의 기준으로 한다. New England 39 모선계통의 각 선로에 대해 상정사고지수를 구한 결과 중 비교적 지수가 큰 경우를 표 4에서 보았다. 표 4에서 보듯이 상정사고지수가 큰 선로에 사고가 일어났을 때 송전조류한계는 더 작은 값을 가지는데 이것은 사고가 더 심각함을 의미한다. 각 선로에서의 상정사고지수는 지수가 가장 큰 선로에 대한 비로 나타내었다. 상정사고지수의 크기 순서가 심각한 선로사고의 순서를 정확히 나타낸다고 할 수는 없으나(17-27 선로가 14-15 선로보다 지수가 크지만 상정사고결과 덜 심각하다) 표 4에서 지수가 가장 큰 선로 6개 경우 지수의 크기 순서에 따라 심각한 정도가 결정되는 것을 볼 때 상정사고지수를 이용해 계통의 송전조류한계에 큰 영향을 주는 사고에 대한 신뢰성 있는 예측이 가능하다고 할 수

있다. 각 선로에 대한 상정사고 실시 후의 연계선로조류-전압 곡선을 그림 6에서 보여 준다. 표 4와 그림 6에서 보듯이 심각한 사고의 순서는 21-22, 16-21, 16-17, 23-24 그리고 22-23 선로사고 순서이다.

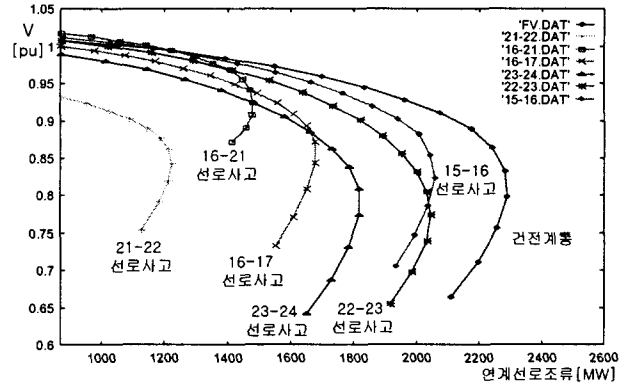


그림 6 선로상정사고시의 연계선로조류-전압곡선
Fig. 6 Interface flow vs voltage curves under contingencies

표 4 상정사고지수와 상정사고에 대한 송전조류한계
Table 4 Contingency ranking indices and transfer limits under contingencies on candidate branches

	상정사고지수	선로사고시 송전조류한계[MW]
21-22 선로	1.00000000	1,220.1
16-21 선로	.72416220	1,482.4
16-17 선로	.60996927	1,677.4
23-24 선로	.34233968	1,818.3
22-23 선로	.24629627	2,044.7
15-16 선로	.18350440	2,056.7
17-27 선로	.14313523	2,138.8
14-15 선로	.09533110	2,116.0
6-11 선로	.07317000	2,223.1
4-14 선로	.03689180	2,256.2
건 전 계 통	x	2,289.6

4.3 안전도를 고려한 송전운용한계의 결정

앞 절에서 상정사고지수를 이용하여 후보선로를 선출하고 상정사고를 실시한 결과 가장 심각한 사고는 21-22선로 사고 이었다. 다음은 3장에서 제시한 송전운용한계 결정 절차 3단계로서 21-22선로 사고시 연계선로조류-전압곡선 임계점에서의 지역 A 와 지역 B 의 각 발전기의 유효전력발전을 알아야 한다. 각 지역의 발전기의 유효전력발전은 식 (5a)와 (5b)로 정해지고 발전 파라미터 λ을 알면 쉽게 구할 수 있다. 21-22선로 사고시 연계선로조류-전압 곡선의 임계점에서의 λ는 0.10511이고 건전 계통에서의 이 λ에 대한 연계선로조류는 1,204.8 MW이다. 이것은 건전 계통에서 1,204.8 MW의 조류가 연계선로에 흐르다가 21-22 선로가 끊어진다면 연계선로에는 1,220.1 MW의 조류가 흐르게 되고 계통은 임계점에 이르게 됨을 의미한다. 즉 건전 계통에

서 연계선로에 1,204.8 MW보다 작은 조류가 흐른다면 어떠한 선로 상정사고(본 논문에서는 단일 선로 상정사고만을 고려하였다.)가 나더라도 계통은 붕괴되지 않으므로 1,204.8 MW를 연계선로의 송전운용한계로 정할 수 있을 것이다. 그러나 운용한계를 결정하기에 앞서 입력 데이터, 설비들의 동작특성 그리고 계통의 운전조건 등에서 포함되지 않고 무시된 요소들로 인한 계통의 불확실성[6,7]을 고려해야 한다. 이러한 계통의 불확실성으로 인한 결과 데이터의 신뢰기준을 5%로 고려해서[6,7] 정적인 전압안정도 관점의 연계선로 송전운용한계를 다음과 같이 정한다(그림 7).

$$\text{송전운용한계} : (1-0.05) \times 1,204.8 = 1,144.6 \text{ [MW]}$$

이해를 돕기 위해 송전운용한계를 구한 순서를 그림 8에서 요약하였다.

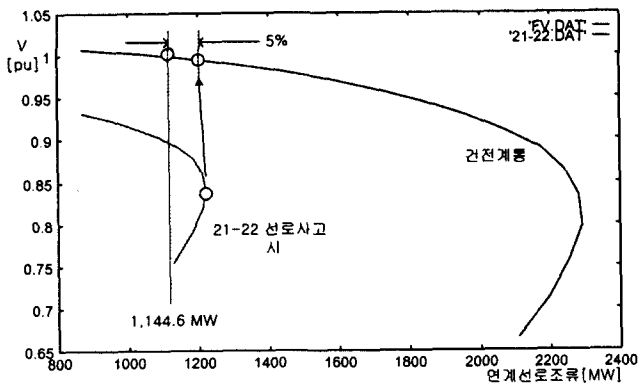


그림 7 송전운용한계의 결정
Fig. 7 Security-constrained interface flow limit

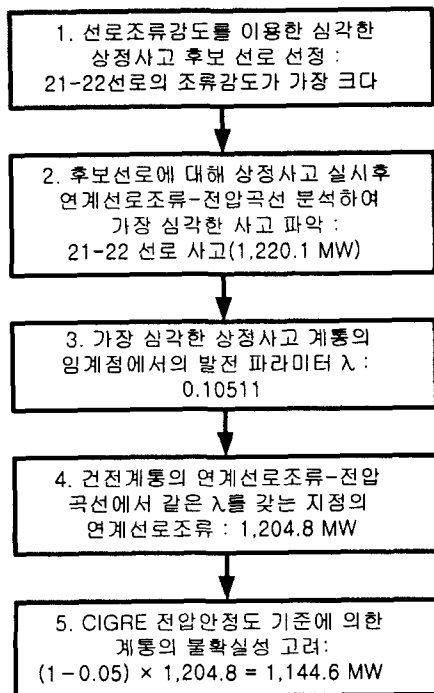


그림 8 연계선로 송전운용한계 결정 순서도
Fig. 8 Interface flow limit determination flow chart

5. 결론

연계선로를 통해 계통의 두 지역사이에서 또는 다른 두 계통사이에서 전력이 융통되고 있을 때 정적인 전압안정도 측면에서 연계선로의 최대 송전 조류를 연속알고리즘을 이용하여 추적하는 방법을 제시했다. 발전 파라미터 λ의 미소변화와 모션전압의 미소변화의 비로 전압안정도지수를 정의하고 그 부호와 절대값을 살펴봄으로써 연계선로조류-전압곡선에서 정확한 임계점을 찾을 수 있다. 본 논문에서 정의한 상정사고지수를 이용하여 심각한 상정사고 후보선로들을 정확하게 예측할 수 있었으며 연계선로조류-전압곡선을 이용하여 안전도를 고려한 연계선로조류의 운용한계를 결정하는 절차를 제시하였다. 사례연구에서는 New England 39모션 계통에 적용하여 상정사고지수에 의해 심각한 선로상정사고를 효과적으로 찾아내고 연계선로조류-전압 곡선을 이용하여 연계선로 송전운용한계를 결정하는 과정을 보였다.

유효전력 여유 및 무효전력 여유와 함께 연계 계통의 정적인 전압안정도 평가를 위한 척도의 하나로써 활용될 수 있으며 실제 계통에 적용함으로써 연계 계통의 계획 및 운용에 관한 실제적인 정보를 제공할 수 있도록 연구가 이루어져야 할 것이다.

감사의 글

본 연구는 한국학술진흥재단의 공모과제 연구비에 의하여 연구되었음.

참고 문헌

- [1] G. L. Landgren, H. L. Terhune, Roger K. Angel, "Transmission Interchange Capability - Analysis by Computer", IEEE Trans. on Power Apparatus and System, Vol. PAS-91, No. 6, Nov/Dec, 1972.
- [2] P. W. Sauer, K. D. Demaree, M. A. Pai, "Stability Limited Load Supply and Interchange Capability", IEEE T-PAS, Vol. 102, No. 11, November 1983, pp. 3637-3643.
- [3] A. J. Flueck, H. Chiang, K. S. Shah, "Investigating the Installed Real Power Transfer Capability of a Large Scale Power System Under a Proposed Multiarea Interchange Schedule Using CPFLOW", IEEE Trans. on Power Systems, Vol. 11, No. 2, May 1996, pp. 883-889.
- [4] W. C. Rheinboldt, J. V. Burkardt, "A Locally Parameterized Continuation Process", ACM Transactions on Mathematical software, Vol. 9, No. 2, June 1983, pp. 215-235.
- [5] V. Ajjarapu, C. Christy, "The Continuation Power Flow : A Tool for Steady State Voltage Stability Analysis", IEEE Trans. on Power Systems, vol. 7, no. 1, Feb. 1992, pp. 416-423.

[6] A. M. Abed, "WSCC Voltage Stability Criteria, Uundervoltage Load Shedding Strategy, and Reactive Power Reserve Monitoring Methodology", 1999 IEEE PES Summer Meeting, pp. 191-197, July 1999.

[7] CIGRÉ Task Force 38-02-017, "Criteria and Counter-measures for Voltage Collapse", CIGRÉ Brochure No. 101, October 1995

저 자 소 개



김 슬 기 (金 슬 기)

1972년 5월 7일 생. 1998년 고려대 공대 전기공학과 졸업. 1998년~현재 동 대학원 전기·전자·전파공학부 석사과정.

Tel : 02-3290-3803

E-mail: kimsk@elec.korea.ac.kr



이 병 준 (李 炳 峻)

1961년 7월 16일생. 1987년 고려대 공대 전기공학과 졸업. 1991년 미국 Iowa State Univ. 전기공학과 졸업(석사), 1994년 동 대학원 졸업(공학). 1994년~1995년 Iowa State Univ. Post Doc. 1995년 ~1996년 일본 미쯔비시 전기 근무. 현재 고려대 전기·전자·전파공학부 교수.

Tel : 02-3290-3242, Fax : 02-921-1325/0544

E-mail : leeb@elec.korea.ac.kr



송 화 창 (宋 和 昌)

1973년 1월 24일생. 1997년 고려대 공대 전기공학과 졸업. 1999년 동 대학원 전기·전자·전파공학부 졸업(석사). 현재 동 대학원 박사과정.

Tel : 02-3290-3675

E-mail: sunny@elec.korea.ac.kr



권 세 혁 (權 世 嬪)

1949년 5월 14일 생. 1974년 서울대 공대 공업교육과(전기전공) 졸업. 1976년 서울대 교육대학원 공업교육과 졸업(석사). 1980년 미국 Iowa State Univ. 졸업(석사), 1984년 미국 Iowa State Univ. 졸업(공학). 현재 고려대 전기·전자·전파공학부 교수.

Tel : 02-3290-3220, Fax : 02-921-1325/0544

E-mail : SHKWON@elec.korea.ac.kr