

최단붕괴 전압안정도여유를 고려한 수송능력산정 알고리즘의 개발에 관한 연구

論文

52A-10-1

A Study on Development of Power Transfer Capability Calculation Algorithm Considering the Closest Saddle Node Bifurcation for Voltage Stability

金龍河* · 鄭鉉成[§] · 羅仁奎** · 趙成麟*** · 李宰杰***
(Yong-Ha Kim · Hyun-Sung Jung · In-Gue Na · Sung-Rin Jo · Jae-Gul Lee)

Abstract - This paper presents a power transfer capability calculation algorithm considering the closest saddle node bifurcation for voltage stability margin. In this method, voltage stability margin constraints considering the closest saddle node bifurcation are incorporated into a power transfer capability formulation to guarantee adequate voltage security levels in an interconnected power system. The proposed method is applied to IEEE-24 reliability test system and the results show the effectiveness of the method.

Key Words : 수송능력, 최단전압붕괴점, 전압안정도여유제약식, Costate 방법

1. 서 론

최근, 송전망의 자유로운 접근(Open Access)과 같은 전력정책의 변화로 인하여 전력계통은 고부하상태에서 운전될 가능성이 더욱 높아지게 되었다. 전력계통의 부하가 증가하면 전압안정도 여유가 감소하므로 전력계통은 전압붕괴와 같은 전압안정도 문제를 야기시킬 수 있다. 전압안정도여유는 전압붕괴점과 현재 운전점사이의 거리를 의미한다. 전압안정도문제가 비교적 최근에 발생하는 현상일지라도 전력계통의 안전한 운전과 계획을 위하여 전압안정도 문제와 관련된 연구가 지금까지 활발하게 진행되어 왔다[1,2,3,4]. 한편, 전압붕괴점은 부하증가 방향에 따라서 달라질 수 있으며, 이부하증가 방향에 따라서 최소의 사고로도 전압붕괴를 일으킬 수 있다[5]. 이와 같은 문제를 사전에 예방하기 위해서는 전압안정도 여유를 고려한 계통계획 및 운전시에 전압안정도여유에 대한 최단전압붕괴점을 반영하는 것이 필요하다고 할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 전력계통의 수송능력 산정문제에 대해 최단붕괴 전압안정도여유 제약을 고려 할 수 있는 수송능력산정 알고리즘개발에 연구의 목적을 두고 있다. 이를 위해 본 연구에서는 최단붕괴 전압안정도여유를 수송능력 계산문제에 고려할 수 있도록 전압안정도 여유제약식을 정식화하였으며 또한 이와 같이 정식화된 전압안정도 여유제약식을 수송능력산정문제에 반영할 수 있는 방법을 제안하였다. 그리고 정식화된 비선형 수송능력계산문제

의 효율적인 계산을 위해 정확도면에서 우수한 것으로 입증된 Costate방법을 사용하여 비선형식으로 표현되는 수송능력 계산문제를 선형화 하였으며, 이와 같이 정식화된 LP문제를 Interior point 방법을 이용하여 수송능력계산을 수행하였다. 본 연구에서 제안한 방법을 시험계통에 적용시켜 본 연구의 타당성을 검증하고 각종 유용한 정보를 도출하였다.

2. 수송능력계산문제

일반적으로 수송능력 계산문제는 주어진 부하 및 계통조건하에서 연구지역에서 참여지역으로 또는 참여지역에서 연구지역으로 보낼 수 있는 최대전력수송능력을 계산하는 문제이며 다음과 같이 정식화된다

$$\text{Max} \sum_{(i,j) \in K} P_{ij} \quad (1)$$

S.t. 조류방정식

운전제약조건

제어변수의 상·하한

단, P_{ij} : 선로 i-j사이를 흐르는 유효전력

K : 지역(Area)들을 연결하는 연계선의 집합

본 연구에서는 위의 식(1)로 정식화되는 수송능력 문제의 효율적인 계산을 위하여 이와 관련된 수송능력계산 문제를 다음 식(2)와 같이 정식화하였다[8].

$$\text{Max. } \mu \sum_i^n (| \Delta P_{Mi} | + | \Delta Q_{Mi} |) + \sum_{(i,j) \in K} P_{ij} \quad (2)$$

S.t. 전력평형식

부하모션전압크기

선로의 피상조류

* 正會員 : 인천대학교 전기공학과 교수

** 正會員 : 인천대학교 대학원 전기공학과 박사과정

*** 正會員 : 인천대학교 대학원 전기공학과 석사과정

§ 正會員 : 한국수력원자력(주) 근무

接受日字 : 2003年 6月 2日

最終完了 : 2003年 8月 18日

발전기모선의 무효전력
제어변수의 상·하한
단, μ : 가상발전기 출력의 가중치
 $\Delta P_{Mi}, \Delta Q_{Mi}$: 가상발전기 출력 변화량

3. 최단전압붕괴 전압안정도여유를 고려한 수송능력

3.1 최단전압붕괴점계산[5]

최단전압붕괴점계산은 현재 운전점에서 전압붕괴가 발생할 수 있는 최단거리에 있는 전압붕괴점을 계산하는 방법으로서 직접법과 반복법이 있다. 그림1은 간단한 2모선 계통의 부하파라미터 공간을 도시한 그림이다. 그림 1에서 Σ 는 계통의 전압붕괴점의 집합인 특이곡면을 나타내고 있다. 지금, 현재운전점 λ_0 에서 가장 가까운 전압붕괴점을 구하기 위해서는 전압붕괴점의 범선벡터(N_i)를 구한 뒤 이 범선벡터를 이용하여, 다음 번째의 단위방향벡터인 n_1 을 구한다. 이러한 과정의 반복을 통하여 최단전압붕괴 방향벡터인 n_* 을 구한 후 최단전압붕괴점을 계산하게 된다. 이때, 최단전압붕괴방향 n_* 의 유효부하성분을 n^b 라고 한다면 이 성분은 다음에 설명하는 3.2절의 전압안정도여유제약 정식화에 반영된다.

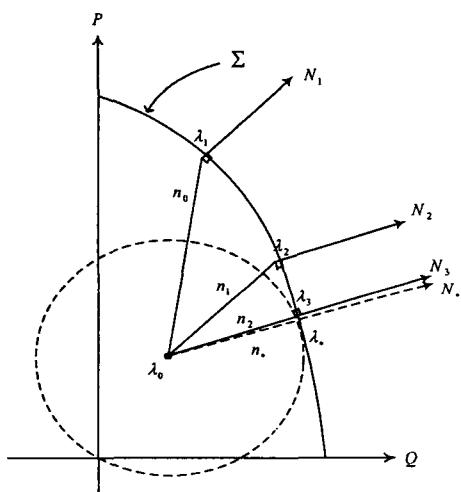


그림 1 부하파라미터 공간
Fig. 1 Load parameter space

다음은 본 연구에서 적용한 반복법(Iterative Method)으로 최단 전압붕괴점을 계산하는 계산과정을 나타낸다.

- ① n_* 방향에 대해서 임의의 초기값 n_0 를 설정.
- ② λ_i 가 특이곡면상에 존재하도록 하기 위해 전 단계의 단위 vector n_{i-1} 을 이용하여 λ_i 를 구한다.
 $\lambda_i = \lambda_0 + n_{i-1} l_i \in \Sigma$. (단, $l_i = |\lambda_i - \lambda_0|$, i 는 반복회수)
- ③ $f(x_i, \lambda_i)$ 에서의 Jacobian 고유치 0에 대응되는 좌고유 벡터 w_i 의 계산. (단, x_i 는 상태변수)

- ④ 범선벡터 $N(\lambda_i) = w_i f_{\lambda}$ 를 구하고 scaling factor α 를 이용하여 범선벡터에 대한 단위벡터 $n_i = \alpha w_i f_{\lambda}$ 결정.
- (단, f_{λ} 는 Jacobian에서 부하모선에 대응되는 단위행렬)
- ⑤ 최단 붕괴점에서의 n_* 에 n_i 가 수렴할 때까지 ①~④의 과정 반복.

3.2 최단전압붕괴 전압안정도 여유제약식의 정식화

본 연구에서는 최단붕괴 전압안정도 여유제약을 수송능력계산 문제에 반영하기 위하여 먼저, 전압안정도 여유 Voltage Stability Margin(이하 VSM)을 다음 식(3)과 같이 정의하였다[1].

$$VSM = \frac{\sum_{j \in J_L} P_j^L - \sum_{j \in J_L} P_j^N}{\sum_{j \in J_L} P_j^L} \quad (3)$$

여기서, N : 현재 운전점

L : 전압안정한계점

P_j^L : 전압안정한계점에서 j모선의 유효부하

P_j^N : 현재 운전점에서 j모선의 유효부하

J_L : 부하모선의 집합

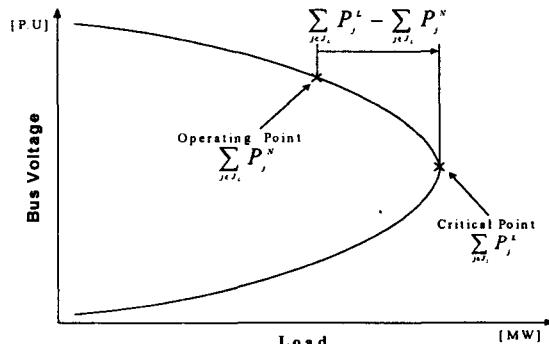


그림 2 전압안정도 여유
Fig. 2 Voltage stability margin

식(3)에서 안정한 초기 운전조건에 대하여 VSM은 0과 1 사이의 값을 갖으며 전압안정한계점에서 VSM은 0이다. 한편, 전력계통의 안전한 운전을 위해서는 현재의 운전점이 전압붕괴점으로부터 안전한 전압안정도여유를 유지하여야 한다. 이때, 계통운영자가 전압안정도 여유를 확보하기 위한 전압안정도 여유제약은 다음 식(4)와 같이 표현된다.

$$\frac{\sum_{j \in J_L} P_j^L - \sum_{j \in J_L} P_j^N}{\sum_{j \in J_L} P_j^L} \geq VSM^{spec} \quad (4)$$

단, VSM^{spec} : 최소전압안정도여유 지정치($0 < VSM^{spec} < 1$)

그리고, 전압안정도 한계점에서의 i모선의 유효부하 P_i^L 은 다음 식(5)과 같이 표현할 수 있다.

$$P_i^L = \alpha_i (\sum_{j \in J_L} P_j^L - \sum_{j \in J_L} P_j^N) + P_i^N \quad (5)$$

단, α_i : 계통 전체부하증가에 대한 부하모선 i 의 부하증가율

위의 식(5)에서 부하증가율 α_i 는 최단전압붕괴점 계산시의 부하증가 방향으로 변화되어야 하므로 부하증가율 α_i 는 수정되어야 한다. 즉, 본 연구에서는 최단전압붕괴점 계산시에 다음 식(6), (7)로 표현되는 연속조류계산법을 이용하였다.

$$P_{Li} = P_{L0} + \lambda (K_{Li} S_{\Delta base} \cos \psi_i) \quad (6)$$

$$Q_{Li} = Q_{L0} + \lambda (K_{Li} S_{\Delta base} \sin \psi_i) \quad (7)$$

단, P_{Li} : 부하모선 i 의 유효부하

P_{L0} : 초기상태에서의 부하모선 i 의 유효부하

Q_{Li} : 부하모선 i 의 무효부하

Q_{L0} : 초기상태에서의 부하모선 i 의 무효부하

λ : 부하파라미터

K_{Li} : 전체부하변화에 대한 부하모선 i 의 부하분배율

$S_{\Delta base}$: λ 의 스케일을 조절하는 피상전력량

ψ_i : 부하모선 i 의 역률각

이 경우 최단전압붕괴점을 계산할 경우에는 위의 식(6), (7)은 최단전압붕괴방향의 단위방향벡터인 n_* 를 적용하여 다음 식(8), (9)로 수정된다.

$$P_{Li} = P_{L0} + \lambda (n_*^P K_{Li} S_{\Delta base} \cos \psi_i) \quad (8)$$

$$Q_{Li} = Q_{L0} + \lambda (n_*^Q K_{Li} S_{\Delta base} \sin \psi_i) \quad (9)$$

단, n_*^P : 최단전압붕괴방향의 단위방향벡터 n_* 의 유효부하성분

, n_*^Q : 최단전압붕괴방향의 단위방향벡터 n_* 의 무효부하성분

즉, 최단붕괴점 계산시에 부하증가방향은 유효부하 P_{Li} 에 대해서는 $n_*^P K_{Li}$, 무효부하 Q_{Li} 는 $n_*^Q K_{Li}$ 에 의하여 결정된다. 따라서, 지금 식(5)의 부하증가율 α_i 도 최단전압붕괴점 계산시의 부하증가방향과 일치된 방향으로 표현되어야 하므로 본 연구에서는 α_i 를 다음 식(10)과 같이 구성하였다.

$$\alpha_i = n_{i*}^P K_{Li} / \sum_{j \in J_L} (n_{j*}^P K_{Lj}) \quad (10)$$

위의 식(10)에서 $\sum_{j \in J_L} (n_{j*}^P K_{Lj})$ 로 규준화한 이유는 식(5)에서 α_i 는 계통전체부하증가에 대한 부하모선 i 의 부하증가율을 의미하기 때문이다.

지금 위의 식(4)와 식(5)로부터 최단전압붕괴점을 고려한 전압안정도 여유제약을 유도하면 다음 식(11)과 같이 표현된다.

$$P_i^L \geq P_i^N + \frac{VSM^{spec}}{1 - VSM^{spec}} \alpha_i \sum_{j \in J_L} P_j^N = CP_i \quad (11)$$

3.3 수송능력문제에 대한 전압안정도여유제약식의 고려

앞의 식(2)로 구성되는 수송능력계산문제를 앞에서 유도한 전압안정도 여유제약식인 식(11)까지 고려하여 재구성하면 수송능력계산문제는 다음과 같이 정식화된다. 이때, 제약조건식은 현재 운전점에서의 운전제약과 최단전압붕괴 전압안정도여유와 관련된 운전제약으로 구분하였다.

목적함수

$$Max. \mu \sum_i^N (| \Delta P_{Mi} | + | \Delta Q_{Mi} |) + \sum_{(i,j) \in K} P_{ij} \quad (12)$$

제약조건식

① 현재 운전점에서의 운전제약

$$\sum_i P_{Gi}^N - P_L - q = 0 : 전력평형식 \quad (13)$$

$$V_{Di}^{\min} \leq V_{Di}^N \leq V_{Di}^{\max} : 부하모선 전압크기 \quad (14)$$

$$Q_{Gi}^{\max} \leq Q_{Gi}^N(X^N, U) \leq Q_{Gi}^{\min} : 발전기모션의 무효전력 \quad (15)$$

$$F_i^N(X^N, U) \leq F_i^{\max} : 선로피상조류 \quad (16)$$

여기서, μ : 가상발전기 출력의 가중치

$\Delta P_{Mi}, \Delta Q_{Mi}$: i 번 째 모션의 가상발전기 출력변화량

P_{ij} : i 모션에서 j 모션으로 흐르는 유효전력조류

P_{Gi}^N : i 번 째 발전기의 유효전력출력

P_L : 총 계통부하

q : 총 계통손실

X^N : 현재 운전점에서의 부하모선 전압크기, 위상각

U : 제어변수(변압기 텁, 발전기모션 전압크기,

조상설비, 발전기의 유효출력)

② 최단전압붕괴 전압안정도여유와 관련된 운전제약

$$P_i^L(X^L, U) \geq CP_i : 전압안정도여유 제약조건 \quad (17)$$

$$P_{Gi}^{\min} \leq P_{Gi}^L(X^L, U) \leq P_{Gi}^{\max} : 발전기 모션의 유효전력 \quad (18)$$

단, X^L : 최단 전압안정한계점에서의 부하모선 전압크기, 위상각

③ 제어변수관련 제약식

$$t_i^{\min} \leq t_i \leq t_i^{\max} : 변압기 텁 \quad (19)$$

$$V_{Gi}^{\min} \leq V_{Gi}^N \leq V_{Gi}^{\max} : 발전기 모션전압 \quad (20)$$

$$b_{ci}^{\min} \leq b_{ci} \leq b_{ci}^{\max} : Shunt Capacitor \quad (21)$$

$$b_{ri}^{\min} \leq b_{ri} \leq b_{ri}^{\max} : Shunt Reactor \quad (22)$$

$$P_{Gi}^{\min} \leq P_{Gi}^N \leq P_{Gi}^{\max} : 발전기의 유효전력출력 \quad (23)$$

결국, 최단붕괴 전압안정도여유 제약식을 고려한 수송능력계산문제는 앞의 식(12)~(23)으로 구성되며, 이 경우 발

전기출력 P_G 는 현재 운전점에서의 운전제약조건에서는 수송능력최대화를 위한 제어변수로 사용되지만 최단전압붕괴 전압정도여유와 관련된 제약조건에서는 종속변수가 되어 운전제약조건에 포함된다. 그 이유는 전압안정도여유와 관련된 제약조건에서는 LP를 이용한 최적화계산에서 주어진 최소전압안정도여유 지정치를 확보하기 위하여 전압안정한 계점이 증가할 때, 즉 한계점부하가 증가할 때 발전기출력 P_G 는 이 증가된 부하에 비례해서 변화를 해야 하므로 종속변수로 취급된다.

3.4 선형계획문제로의 정식화

본 연구에서는 식(12)~(23)으로 구성되는 수송능력계산을 LP문제로 해결하였고 이 경우 비선형식의 선형화를 위하여 대규모 계통에서 계산속도와 정확도면에서 효율성이 우수한 것으로 입증된 Costate 방법을 이용하였다. 그리고 선형계획법을 사용한 최적화 모델에 포함되는 변수의 개수를 줄이기 위해서 가상발전기 출력 및 발전기의 출력을 각각 하나의 변수로 표현하여 계산량을 감소시키도록 하였다[8]. 그 결과, 식(12)~(23)으로 구성되는 수송능력계산문제는 다음 식(24)~(37)과 같이 표현되는 선형계획문제로 정식화된다.

목적함수

$$\text{Max. } c_{F_1}v + \sum_{i=1}^{N\text{AREA}} c_{F_i}w_i + \sum_{c=N\text{AREA}+2}^{NCV} c_{F_c}\Delta u_c \quad (24)$$

제약조건식

① 현재 운전점에서의 운전제약

전력평형식

$$a_{g_i}v + \sum_{i=1}^{N\text{AREA}} a_{g_i}w_i + \sum_{c=N\text{AREA}+2}^{NCV} a_{g_c}\Delta u_c = -g_s(X^0, U^0) \quad (25)$$

부하모션전압크기

$$\Delta V_{D_i}^{\min} \leq a_{V_i}v + \sum_{i=1}^{N\text{AREA}} a_{V_i}w_i + \sum_{c=N\text{AREA}+2}^{NCV} a_{V_c}\Delta u_c \leq V_{D_i}^{\max} \quad (26)$$

선로의 피상조류

$$a_{T_i}v + \sum_{i=1}^{N\text{AREA}} a_{T_i}w_i + \sum_{c=N\text{AREA}+2}^{NCV} a_{T_c}\Delta u_c \leq \Delta F_t^{\max} \quad (27)$$

발전기모션의 무효전력

$$\Delta Q_{G_i}^{\min} \leq a_{Q_i}v + \sum_{i=1}^{N\text{AREA}} a_{Q_i}w_i + \sum_{c=N\text{AREA}+2}^{NCV} a_{Q_c}\Delta u_c \leq \Delta Q_{G_i}^{\max} \quad (28)$$

② 최단전압붕괴 전압안정도여유 관련 운전제약

전압안정도여유 제약조건

$$\sum_{c=N\text{AREA}+2}^{NCV} a_{VP_c}\Delta u_c \geq \Delta C_P \quad (29)$$

발전기 모션의 유효전력

$$\Delta P_{G_i}^{\min} \leq \sum_{c=N\text{AREA}+2}^{NCV} a_{P_c}\Delta u_c \leq \Delta P_{G_i}^{\max} \quad (30)$$

③ 제어변수관련 제약식

가상발전기 출력 감소율

$$0.0 \leq v \leq 1.0 \quad (31)$$

i 번째 지역의 경제급전발전량의 변화량

$$P_{ED_i} - P_{ED_i}^{\min} \leq w_i \leq P_{ED_i}^{\max} - P_{ED_i} \quad (32)$$

발전기모션별 개별급전발전량

$$P_{ID_i} - P_{ID_i}^{\min} \leq \Delta P_{ID_i} \leq P_{ID_i}^{\max} - P_{ID_i} \quad (33)$$

발전기모션 전압크기

$$V_{Gi} - V_{Gi}^{\min} \leq \Delta V_{Gi} \leq V_{Gi}^{\max} - V_{Gi} \quad (34)$$

변압기 텁

$$t_l - t_l^{\min} \leq \Delta t_l \leq t_l^{\max} - t_l \quad (35)$$

Shunt Capacitor

$$b_{ci} - b_{ci}^{\min} \leq \Delta b_{ci} \leq b_{ci}^{\max} - b_{ci} \quad (36)$$

Shunt Reactor

$$b_{ri} - b_{ri}^{\min} \leq \Delta b_{ri} \leq b_{ri}^{\max} - b_{ri} \quad (37)$$

단, $N\text{AREA}$: 지역 수

NCV : 제어변수의 수

c_* , a_* : 선형화식의 각 제어변수에 대한 계수

u_c : v , w 를 제외한 제어변수

P_{ED_i} : i 번째 지역의 ED의 경제급전 발전량

P_{ID_i} : i 번째 모션의 개별급전 발전량

본 연구에서 제안한 최단붕괴 전압안정도여유를 고려한 수송능력계산문제의 흐름도는 그림3과 같다.

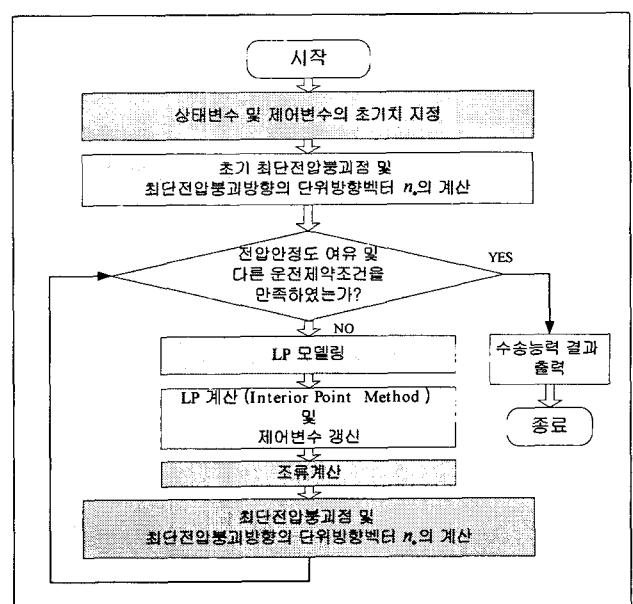


그림 3 제안한 알고리즘의 흐름도

Fig. 3 Flow chart of proposed algorithm

4. 사례연구

본 연구에서는 제안한 알고리즘을 IEEE RTS-24모델계통 [9]에 적용시켜 각종 유용한 정보를 도출해 내었다.

4.1 최단전압붕괴 전압안정도여유 및 수송능력의 수렴과정분석

먼저, 그림4는 최단붕괴 전압안정도여유 지정치를 10%로 지정하였을 경우에 대한 매 반복계산시 전압안정도 여유 및 수송능력의 수렴과정을 보여준다. 이 그림4로부터 본 연구에서 제안한 방법은 6회의 반복계산만에 수송능력계산이 수렴한다는 것을 알 수 있다. 그리고, 그림4에서 보듯이 반복계산횟수 5회에서 전압안정도여유가 지정치를 만족하였지만 수송능력이 수렴하지 못한 이유는 10번 선로의 피상조류제약조건이 한계치를 위반하였기 때문이며 결국, 6회에서 전압안정도 여유에 대한 제약조건 및 본 연구에서 고려된 각각의 제약조건들이 제한치를 모두 만족함에 따라 수렴하였다.

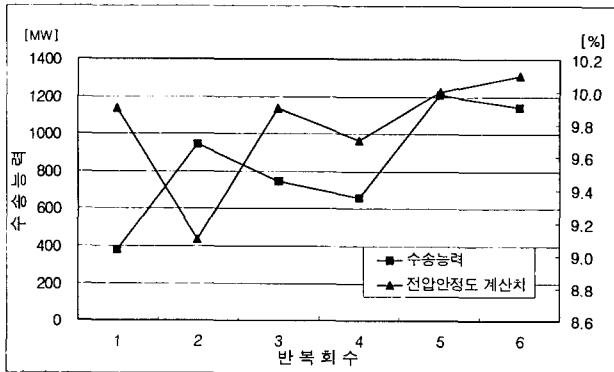


그림 4 전압안정도 여유 및 수송능력의 수렴과정

Fig. 4 Convergence process of voltage stability margin & transfer capability

4.2 전압안정도 여유의 변화에 따른 수송능력분석

다음에 그림5는 전압안정도 여유를 고려한 수송능력계산시에 연속조류계산법[6](이하 CPF)을 이용하여 전압안정도 여유를 계산한 경우와 최단전압붕괴점 계산법[5](이하 CSNB)을 이용하여 전압안정도 여유를 계산한 경우의 전압안정도여유 지정치에 대한 수송능력을 보여준다. 그림5에서 보듯이 CPF법을 이용하였을 경우에는 수송능력계산시 전압안정도 여유를 최대 41[%]까지 고려할 수 있었지만 CSNB법을 이용하였을 경우에는 전압안정도 여유를 최대 10[%]까지만 고려할 수 있었다. 따라서, 최단붕괴 전압안정도여유를 반영하여 수송을 계산할 경우 그렇지 않은 경우(CPF법을 이용할 경우)에 비해서 전압안정도 여유 확보면에서 큰 차이가 있다는 것을 알 수 있으며, 이러한 결과로부터 전압안정도여유를 고려한 수송능력계산시에 부하증가방향이 전압안정도여유에 큰 영향을 준다는 것을 알 수 있다.

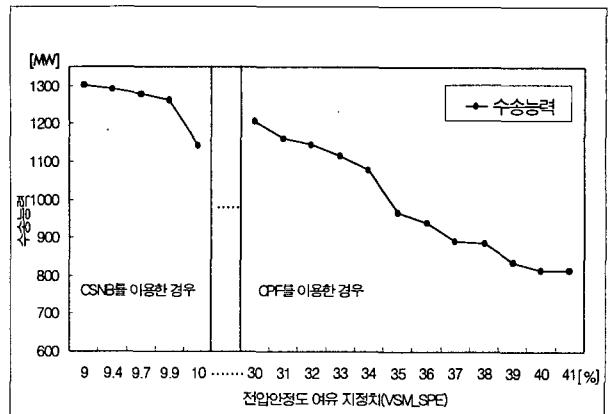


그림 5 전압안정도여유 지정치와 수송능력과의 관계

Fig. 5 Relation of specified voltage stability margin and transfer capability

다음에 전압안정도여유 변화에 대한 수송능력의 변화량을 분석하기 위하여 그림6을 도시하였다. 전압안정도여유를 고려한 수송능력을 계산할 때 CPF법을 이용하게 되면 그림6에서 보듯이 전압안정도여유를 30[%]~41[%]변화시켰을 경우 수송능력은 1205[MW]~815[MW]로 계산이 되었다. 한편 CSNB법을 이용하였을 경우에는 전압안정도여유를 9[%]~10[%]변화시켰을 경우 수송능력은 1302[MW]~1142[MW]로 계산이 되었다. 이와 같은 사실로부터 전압안정도여유 변화에 대한 수송능력의 변화량을 살펴보면 CPF법을 이용하였을 경우에는 전압안정도여유 1[%] 변화시 수송능력은 약 35[MW]의 변화를 보였고, CSNB법을 이용하였을 경우 전압안정도여유 1[%] 변화시 수송능력은 약 160[MW]의 변화를 보였다. 즉 최단붕괴 전압안정도여유를 고려한 경우가 그렇지 않은 경우(CPF법을 이용한 경우)에 비해서 전압안정도여유를 증가시킬 경우 수송능력이 감소하는 폭이 크다는 것을 알 수 있으며, 전압안정도여유를 고려한 수송능력 계산문제에 부하증가방향이 전압안정도여유 및 수송능력에 미치는 영향이 매우 크다는 것을 알 수 있다.

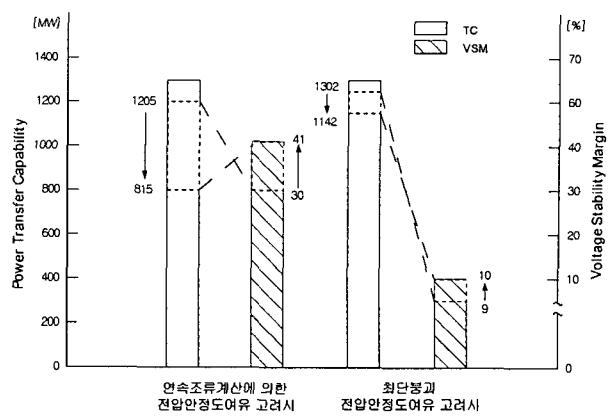


그림 6 전압안정도 여유변화에 따른 수송능력

Fig. 6 Transfer capability according to change of voltage stability margin

5. 결 론

본 연구에서는 최단봉과 전압안정도여유를 수송능력 계산 문제에 고려할 수 있도록 전압안정도·여유제약식을 정식화 하였으며, 또한 이와 같이 정식화된 전압안정도 여유제약식을 수송능력산정문제에 반영할 수 있는 방법을 제안하였다. 그 결과 본 연구에서 제안한 수송능력계산 방법을 통하여 전압안정도면에서 가장 심각한 방향(worst case)으로 증가하는 부하상태까지 고려한 전압안정도 여유를 확보하면서 연계 계통으로 보낼 수 있는 수송능력을 효율적으로 계산할 수 있었다. 그리고 전압안정도여유 변화가 수송능력에 미치는 영향을 분석함으로써 계통운영자에게 필요한 각종 유용한 결과들을 도출해 내었다. 향후 이에 기초하여 실계통에의 적용 및 수도권과 비 수도권간의 전력융통을 증진시킬 수 있는 방안에 대한 연구가 필요하며 남북한 연계를 대비한 전력탁송문제에의 적용을 통해 실질적인 각종 정보를 도출하는 작업이 필요할 것으로 사료된다.

감사의 글

“본 연구는 한국과학재단 지정 인천대학교 동북아전자물류연구센터의 지원으로 수행되었습니다.”

참 고 문 헌

- [1] O. O. Obadina G. J. Berg, "VAR PLANNING FOR POWER SYSTEM SECURITY" IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 4, No. 2, May 1989.
- [2] C. A. Canizares, editor, "Calculating optimal system parameters to maximize the distance to saddle node bifurcations", IEEE Transactions on Circuits and Systems-I; Fundamental Theory and Application, Vol.45, No.3, March 1998, pp. 225-237
- [3] W. Rosehart, C. Canizares, V. Quintana, "Costs of voltage security in electricity markets", Proceedings of IEEE PES Summer Meeting, Vol.4, 2000, pp. 2115-2120.
- [4] Deb Chattopadhyay, Deqiang Gan, "Dispatch Optimization Incorporating Transient and Voltage Stability Constraints" IEEE 2000.
- [5] I. Dobson, and L. Lu, "New methods for computing a closest saddle node bifurcation and worst case load parameter margin for voltage collapse," IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 8, No. 3, August 1993.
- [6] V. Ajjarapu, C. Christy, "The Continuation Power Flow: A Tool for Steady State Voltage Stability Analysis", IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 7, No. 1, Feb. 1992.
- [7] 홍상은, 김용하, 이범, 최상규, 정현성, 문혁기, 이재걸, "전압안정도 여유를 고려한 수송능력산정 알고리즘의 개발에 관한 연구", KIEE Summer Annual Conference, pp. 19-21, 7. 2002

- [8] 김용하, 이범, 최상규, 문혁기, 정현성, "환경제약을 고려한 수송능력산정 알고리즘의 개발에 관한 연구", 전기학회 논문지 A권 제51권, 제11호, pp. 551-558, 11, 2002
- [9] IEEE Committee Report ; "IEEE Reliability Test System-Extensions to and Evaluation of the Generating System", IEEE, Vol. PWRS-1, No.4, pp.1-7, Nov., 1986.

저 자 소 개



김 용 하 (金 龍 河)

1959년 5월 16일생, 1982년 고려대학교 전기공학과 졸업. 1987년 고려대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1991년 동대학원 전기공학과 졸업(박사). 1992년~현재 인천대학교 전기공학과 교수.
Tel : (032) 770-8434, Fax : (032) 766-8434
E-mail : yhkim@incheon.ac.kr



정 현 성 (鄭鉉成)

1975년 10월 25일생. 2000년 인천대학교 전기공학과 졸업. 2000년~2003년 2월 동대학원 석사과정 졸업, 2003년~현재 한국수력원자력(주) 근무
E-mail : capjhs@hanmail.net



나 인 규 (羅仁奎)

1955년 5월 10일생. 1987년 서울산업대학교 전기공학과 졸업. 1987년~1989년 8월 한양대학교 산업대학원 전기공학과 석사과정 졸업. 2002년~인천대학교 전기공학과 박사과정, 현재 인천광역시청 근무
E-mail : nain0510@yahoo.co.kr



조 성 린 (趙成麟)

1961년 1월 10일생. 2002년 인천대학교 전자공학과 졸업. 2002년~인천대학교 대학원 전기공학과 석사과정, 현재 한국전력공사 근무
E-mail : josli@kepco.co.kr



이 재 걸 (李宰杰)

1976년 08월 19일생. 2001년 시립인천대학교 전기공학과 졸업. 2001년~현재 동대학원 재학
Tel : (032) 882-4746
E-mail : jaelry@hanmail.net