

초기최대수송능력을 고려한 수송능력산정 알고리즘의 개발에 관한 연구

(A Study on the Development of Power Transfer Capability Calculation Algorithm Considering Initial Maximum Power Transfer Capability)

김용하* · 이 범 · 문정호

(Yong - Ha Kim · Buhm Lee · Jeong - Ho Moon)

요 약

전력산업 구조개편시 효율적인 계통운용을 위하여 계산시간이 빠르고 신뢰적인 연계계통에서의 수송능력을 산정하는 알고리즘개발에 관한 연구는 필수적이라고 할 수 있다. 이를 위하여 본 연구에서는 효율적인 수송능력산정문제의 정식화 및 수송능력 산정시 초기 최대수송능력을 계산한 다음, 이로부터 계산된 발전기 출력의 초기값을 이용함으로써 수송능력계산의 수렴속도를 개선할 수 있는 방법을 제시하였다. 또한 이를 시험계통에 적용하여 본 연구의 타당성을 검증하고 유용한 정보를 도출하였다.

Abstract

This paper presents a power transfer capability calculation algorithm considering initial maximum power transfer capability. In this method, initial maximum power transfer capability is calculated first. Then, the initial value of active power outputs of generators is gotten for power transfer capability calculation. The proposed method is applied to IEEE-24 Reliability Test System and the results show the effectiveness of the method.

Key Words : Initial Maximum Power Transfer Capability, Equivalent Load, Study Area, Participating Area.

1. 서 론

최근 과학기술의 발달로 인한 사회생활의 고도화와 정보화로 인해 전력수요가 급증하고 있을 뿐만 아니라 무정전, 고품질, 저가격, 고안전성 등이 절대적

으로 요구되고 있다. 많은 나라들은 이를 해결하고자 전력의 생산 및 분배의 효율성을 극대화시키려는 연구가 진행되고 있으며, 전력산업에 시장경쟁원리를 도입함으로써 전력산업구조의 변화를 일으키고 있다. 즉, 수직독점의 형태에서 생산 및 분배의 기능을 고려한 수평·개방적 시장경쟁체제로 변화하고 있다. 외국의 경우에는 이와 관련하여 매우 활발한 움직임이 일어나고 있다. 1990년 영국의 전력산업구조개편을 필두로 전 세계는 본격적인 전력산업 구조개편의 시대를 맞이하게 되었다. 이로 인하여 결국 송전망의 사

* 주저자 : 인천대학교 전기공학과 교수
Tel : 032-770-8434, Fax : 032-766-8434
E-mail : yhkim@incheon.ac.kr
접수일자 : 2002년10월10일
1차심사 : 2002년10월21일
심사완료 : 2002년12월 9일

용에 대한 규제완화(Deregulation)와 송전망의 자유로운 접근(Open Access)과 같은 전력정책의 변화로 인해 인접지역과의 연계가 용이하게 되었으며, 이로 인해 타 지역과의 수급계약이 활발해 질 수 있게 되었다. 우리 나라에서도 전력산업 구조개편 작업이 진행되고 있으나, 구조개편에 따른 효율적인 계통운용 및 계통계획을 위한 여러 분야의 작업들은 아직 초보적인 상태로서 그 기반이 미약할 것으로 사료된다. 특히, 구조개편후의 효율적인 계통운용 및 계획을 위해서는 계통의 수송능력(Power Transfer Capability)을 산정하는 작업이 필수적이다. 수송능력은 공급지역에서 수요지역까지 신뢰적인 전력전송을 가능케 하는 송전회로망의 능력으로써 정의된다. 이미 외국에서는 이와 같은 수송능력분야에 대한 연구가 활발하게 진행되어오고 있다[1,2,3,4].

본 연구에서는 구조개편시의 효율적인 계통운용을 위하여 필수적으로 고려되어야 하는 계산시간이 빠르고 신뢰적인 연계계통에서의 수송능력을 산정하는 알고리즘개발에 연구의 목적을 두고 있다. 이를 위하여 효율적인 수송능력산정문제의 정식화 및 수송능력 산정시 초기 최대수송능력을 계산한 다음, 이로부터 계산된 발전기 출력의 초기값을 이용함으로써 수송능력계산의 수렴속도를 개선할 수 있는 방법을 제시하였다. 또한 이를 시험계통에 적용하여 본 연구의 타당성을 검증하고 유용한 정보를 도출하였다.

2. 초기최대수송능력계산

본 연구에서는 연계계통을 전력전송의 대상이 되는 연구지역(Study Area)과 전력전송에 참여하는 참여지역(Participating Area)으로 구분하였다. 그리고, 참여지역에서 연구지역으로 전력을 수송하는 것으로 수송능력을 계산하였다. 이 경우 계통의 손실을 고려하지 않은 상태에서의 초기 최대수송능력은 참여지역에서 연구지역으로 보낼 수 있는 이상적인 최대수송능력이 되며, 이때의 발전기 출력을 수송능력 계산시 초기 발전기 출력 값으로 할 경우 해에 근접한 초기값을 가지게 되어 해의 수렴성을 개선할 수 있다. 본 연구에서 제시하는 초기 수송능력결정과정은 다음과 같다. 송전계통을 고려하지 않고 단순히 발전기

출력과 부하만 고려할 경우 참여지역에서는 여유용량의 한계치까지를 연구지역으로 전송할 수 있다. 지역별 여유용량의 한계치는 다음 식(1), (2)와 같이 각 지역의 발전기 출력의 상·하한과 그 지역의 부하량으로 결정된다.

$$P_{A, surplus}^{min} = \sum_{i=1}^{NG} P_{A, gi}^{min} - P_{A, D} \quad (1)$$

$$P_{A, surplus}^{max} = \sum_{i=1}^{NG} P_{A, gi}^{max} - P_{A, D} \quad (2)$$

- 단, $P_{A, surplus}^{max}$: A지역의 여유용량의 상한치
- $P_{A, surplus}^{min}$: A지역의 여유용량의 하한치
- $P_{A, D}$: A지역의 총 부하량
- $P_{A, gi}^{max}$: A지역의 i발전기 출력 상한치
- $P_{A, gi}^{min}$: A지역의 i발전기 출력 하한치

지금, 초기 최대수송능력은 다음과 같은 4가지 상황을 고려하여 계산할 수 있다.

○ 연구지역 여유용량의 하한치

연구지역에서 전송받을 수 있는 초기 최대수송능력을 고려하기 위해서는 연구지역의 모든 발전기는 하한치로서 운전되어야 한다. 즉 식(1)에 의해 구해진 연구지역의 여유용량의 하한치는 연구지역의 총 부하량을 만족시키기 위한 부족분이 되며 이 값이 연구지역에서 전송 받을 수 있는 최대량이 된다.

○ 참여지역 여유용량의 상한치

참여지역에서는 그 지역의 총 부하량을 만족시키는 범위에서 연구지역으로 최대한 전력을 전송하여야 한다. 따라서 각 참여지역의 모든 발전기는 발전기 상한치를 운전하여야 하므로, 식(2)에서 구해진 각 참여지역의 여유용량의 상한치는 자신의 총부하량을 만족시키면서 연구지역으로 전송할 수 있는 최대 전력량이 되며, 연구지역에서 전송 받을 수 있는 최대량을 넘을 수 없다. 그러므로 지역별 여유용량의 한계치에 의한 최대전력수송능력 MPTC* 는 다음 식(3)에 의해 결정된다.

$$MPTC^* = \text{Min.} \left[| P_{\text{study, surplus}}^{\text{min}} |, \sum_{A \neq \text{study area}} P_{A, \text{surplus}}^{\text{max}} \right] \quad (3)$$

○ 연계선로의 한계치를 고려

식(1)~(3)에 의해서 구해진 지역별 한계치에 의한 참여지역에서 연구지역으로의 전력 수송량은 연구지역과 각 참여지역간의 연계선로 용량 한계치를 초과할 수 없다. 즉 MPTC*는 식(4)에서와 같이 연계선로의 용량에 의해 제한되며, 이때의 MPTC값을 MPTC⁰로 하였다.

$$MPTC^0 = \text{Min.} \left[MPTC^*, \sum_{(i,j) \in K} P_{ij}^{\text{max}} \right] \quad (4)$$

단, MPTC⁰ : 초기 최대 수송능력
 P_{ij}^{max} : 선로 i-j의 선로용량
 K : 지역(Area)들을 연결하는 연계선의 집합

○ 각 지역별 등가부하의 산정

각 참여지역에서 연구지역으로의 초기최대수송능력은 각 참여지역의 참여율 τ_A에 의해 결정되며, 참여율 τ_A는 개별 참여지역의 여유용량의 상한치와 모든 참여지역의 여유용량 상한치의 합에 의해 결정하였으며, 이에 대한 관계식은 식(5)와 같다.

$$\tau_A = \frac{P_{A, \text{surplus}}^{\text{max}}}{\sum_{A \neq \text{study area}} P_{A, \text{surplus}}^{\text{max}}} \quad (5)$$

단, τ_A : A지역의 참여율(A≠study area)

지금, 각각의 참여지역에서 담당해야할 초기최대수송능력은 참여지역의 발전기가 그만큼 더 많은 발전기 출력을 내어야 하는 것을 의미한다. 즉, 참여지역의 발전기가 담당해야 할 부하량을 의미하며, 연구지역은 참여지역에서 전송받는 전력량만큼 발전기출력을 적게 내어도 되므로 참여지역으로부터 받은 전력량만큼 부하가 감소한 것으로 등가적으로 생각할 수 있다. 이로부터 초기 최대수송능력에 따른 각 지역별 등가부하는 다음 식(6),(7)로부터 계산된다.

즉, A 지역의 등가부하 =
 A 지역의 실제부하 + τ_A × MPTC⁰ (6)
 (단, A≠study area)

연구지역의 등가부하 =

$$\text{연구지역의 실제부하} - \tau_A \times MPTC^0 \quad (7)$$

본 연구에서는 수송능력계산시 발전기 출력의 초기값으로 앞에서 설명한 지역별 등가부하로부터 산정되는 각 지역별 경제부하배분의 결과를 이용함으로써 수송능력계산의 수렴특성을 개선하였다.

3. 수송능력계산문제의 정식화

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

$$\text{Max} \sum_{(i,j) \in K} P_{ij} \quad (8)$$

S.t. $\sum_i P_{Gi} - P_L - q = 0$: 모션별 조류방정식
 $C^{\text{min}} \leq C(X, U) \leq C^{\text{max}}$: 운전제약조건
 $U^{\text{min}} \leq U \leq U^{\text{max}}$: 제어변수의 상·하한

단, P_{ij} : 선로 i-j사이를 흐르는 유효전력
 K : 지역(Area)들을 연결하는 연계선의 집합
 C(X, U) : 운전제약조건
 U : 제어변수

본 연구에서는 위의 식(8)로 정식화되는 수송능력 문제의 효율적인 계산을 위하여 이와 관련된 최적조류계산 문제를 다음과 같이 정식화하였다. 즉, 계통의 상태변수를 x, 제어변수를 u 라 할 때, 주어진 운전 상태 x⁰, u⁰가 조류방정식의 해가 아닐 경우 조류방정식의 계산치 전력과 지정치 전력간에 편차가 발생한다. 이때, 모든 모선에 가상발전기를 배치시킨 다음, i 모선에서의 편차를 P_{Mi}+Q_{Mi}라하고, 이 편차를 i 모선의 가상발전기가 담당하도록 한다면, 이때, x⁰와 u⁰는 가상발전기 출력을 포함한 현재 계통의 운전조건을 나타낸다. 이 경우 조류방정식의 해는 가상발전기의 출력 P_{Mi}와 Q_{Mi}이 0으로 되도록 제어변수 u를

조기최대수송능력을 고려한 수송능력산정 알고리즘의 개발에 관한 연구

제어함으로써 구해지게 된다. 즉, P_{Mi} 와 Q_{Mi} 를 줄여 나감에 따라 조류계산의 해가 구해질 수 있다[5,6]. 따라서 본 연구에서는 수송능력 산정문제를 다음과 같이 정식화하였다[1].

$$\text{MAX } \mu \sum_i (|\Delta P_{Mi}| + |\Delta Q_{Mi}|) + \sum_{(i,j) \in K} P_{ij} \quad (9)$$

S.t. $\sum_{i \in S} P_{Gi} - P_L - q = 0$: 전력평형식

$V_{Di}^{\min} \leq V_{Di} \leq V_{Di}^{\max}$: 부하모선전압크기

$F_i(X, U) \leq F_i^{\max}$: 선로의 피상조류

$Q_{Gi}^{\min} \leq Q_{Gi}(X, U) \leq Q_{Gi}^{\max}$: 발전기모선의 무효전력

제어변수의 상·하한

$P_{Gi}^{\min} \leq P_{Gi} \leq P_{Gi}^{\max}$: 발전기의유효전력출력

$t_i^{\min} \leq t_i \leq t_i^{\max}$: 변압기 탭

$V_{Gi}^{\min} \leq V_{Gi} \leq V_{Gi}^{\max}$: 발전기모선전압

$b_{ci}^{\min} \leq b_{ci} \leq b_{ci}^{\max}$: 모든 Shunt Capacitor

가 있는 모선 i 에 대해

$b_{ri}^{\min} \leq b_{ri} \leq b_{ri}^{\max}$: 모든 Shunt Reactor

가 있는 모선 i 에 대해

단, μ : 가상발전기 출력의 가중치

$\Delta P_{Mi}, \Delta Q_{Mi}$: 가상발전기 출력 변화량

본 연구에서는 수송능력계산을 LP문제로 해결하였고 이 경우 식(9)으로 구성되는 최적조류계산 문제는 대규모 문제이다. 따라서 본 연구에서는 신속한 수송능력 계산을 위하여 선형화과정에 대규모 계통에서 계산속도와 정확도 면에서 효율성이 우수한 것으로 입증된 Costate 방법을 적용하였다. 그리고 선형계획법을 사용한 최적화 모델에 포함되는 변수의 개수를 줄이기 위해서 가상발전기 출력 및 발전기의 출력을 각각 하나의 변수로 표현하였으며 최적화과정에 유효 제약조건만을 포함시킴으로써 계산량을 감소시키도록 하였다. [5,6] 따라서, 다음 식(10)과 같이 문제의 크기가 축소된 수송능력계산문제로 정식화 된다.

$$\text{Max. } c_{F1} v + \sum_{i=1}^{NAREA} c_{Fn} w_i + \sum_{c=NAREA+2}^{NCV} c_{Fc} \Delta u_c \quad (10)$$

S.t.

전력평형식

$$a_g v + \sum_{i=1}^{NAREA} a_{Rn} w_i + \sum_{c=NAREA+2}^{NCV} a_{Rc} \Delta u_c = -g_i(X^0, U^0)$$

부하모선전압크기

$$\Delta V_{Di}^{\min} \leq a_{V1} v + \sum_{i=1}^{NAREA} a_{Vn} w_i + \sum_{c=NAREA+2}^{NCV} a_{Vc} \Delta u_c \leq V_{Di}^{\max}$$

선로의 피상조류

$$a_{T1} v + \sum_{i=1}^{NAREA} a_{Tn} w_i + \sum_{c=NAREA+2}^{NCV} a_{Tc} \Delta u_c \leq \Delta T_l^{\max}$$

발전기모선의 무효전력

$$\Delta Q_{Gi}^{\min} \leq a_{Q1} v + \sum_{i=1}^{NAREA} a_{Qn} w_i + \sum_{c=NAREA+2}^{NCV} a_{Qc} \Delta u_c \leq Q_{Gi}^{\max}$$

가상발전기 출력 감소율

$$0.0 \leq v \leq 1.0$$

i 번째지역의 경제급전발전량의 변화량

$$P_{ED,i} - P_{ED,i}^{\min} \leq w_i \leq P_{ED,i}^{\max} - P_{ED,i}$$

발전기모선별 개별급전발전량

$$P_{ID,i} - P_{ID,i}^{\min} \leq \Delta P_{ID,i} \leq P_{ID,i}^{\max} - P_{ID,i}$$

발전기모선 전압크기

$$V_{Gi} - V_{Gi}^{\min} \leq \Delta V_{Gi} \leq V_{Gi}^{\max} - V_{Gi}$$

변압기 탭

$$t_l - t_l^{\min} \leq \Delta t_l \leq t_l^{\max} - t_l$$

Shunt Capacitor

$$b_{ci} - b_{ci}^{\min} \leq \Delta b_{ci} \leq b_{ci}^{\max} - b_{ci}$$

Shunt Reactor

$$b_{ri} - b_{ri}^{\min} \leq \Delta b_{ri} \leq b_{ri}^{\max} - b_{ri}$$

단, NAREA : 지역 수

NCV : 제어변수의 수

c_n, a_n : 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 번째모선의 개별급전 발전량

제한한 최대수송능력 산정문제의 계산과정은 다음 그림 1과 같다.

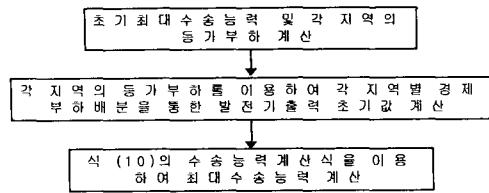


그림 1. 수송능력의 계산과정
Fig. 1. Calculation Process of Proposed Method

4. 사례연구

본 연구에서는 제안한 알고리즘을 IEEE RTS-24 모델계통에 적용시켜 각종 유용한 정보를 도출해 내었다. 그림 2는 IEEE RTS-24 모델계통을 보여주고 있다. 수송능력은 참여지역에서 연구지역으로 또는 연구지역에서 참여지역으로 모두 계산이 가능하나, 본 연구에서는 AREA 10을 연구지역으로 하고 AREA 20과 30을 참여지역으로 하여 제안한 알고리즘을 분석하였다. 먼저, 표 1은 RTS-24 모델계통에 대한 지역별 발전기출력의 한계치 및 연계선로의 한계치를 보여준다.

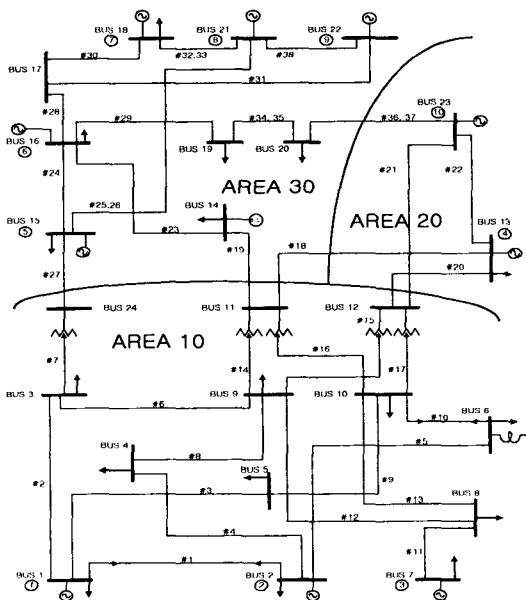


그림 2. IEEE RTS-24 모델계통
Fig. 2. Model System of IEEE RTS-24 Bus

조명 · 전기설비학회논문지 제17권 제1호, 2003년 1월

표 1. IEEE RTS-24 모델계통에 대한 발전기출력 및 연계선로 한계치

Table 1. Limit of connected line and active power outputs of generators for IEEE RTS-24

지역 번호	총 부하량	발전기 출력 상한치	발전기 출력 하한치	여유 용량 상한치	여유 용량 하한치	연계 선로 한계치
10	1,332	1495	94	163	-1,238	-
20	265	2,600	89	2,335	-176	1,425
30	1,253	1,875	187.5	622	-1,065	950

본 연구에서는 계통의 신뢰성을 위하여 연계선의 용량에 5%의 여유를 두도록 하였다. 따라서, 표 1의 연계선로의 한계치는 연구지역과 참여지역과의 연계 선용량의 95%를 나타낸다. 표 2는 초기 최대수송능력 계산을 통하여 구하여진 각 지역별로 계산된 등가 부하량을 보여주고 있다. 본 연구에서는 이 표 2의 갱신된 등가부하량에 의해 지역별 경제부하배분을 행함으로써 수송능력계산시 사용될 발전량의 초기치를 구하였다.

표 2. IEEE RTS-24 모델계통에 대한 각 지역별 등가부하

Table 2. Equivalent load of each area for IEEE RTS-24

지역 번호	참여율	초기 최대수송량 (MW)	실제부하량 (MW)	등가부하량 (MW)
10	-	-1,238.00	1,332.00	94.00
20	0.78965	977.59	265.00	1,242.59
30	0.21035	260.41	1,253.00	1,513.41

다음에, 그림 3은 IEEE RTS-24 모델계통에 대하여 본 연구에서 제안하는 초기 최대수송능력을 고려한 경우와 그렇지 않은 경우(각 지역별 실제 부하량으로 경제부하배분을 실시하여 얻어진 발전기출력을 수송능력계산 시 발전기출력의 초기값으로 사용한 경우)에 대한 수송능력 계산시의 수렴특성을 비교한 것이다. 이 그림 3으로부터 알 수 있듯이 초기 최대수송능력을 고려하지 않을 경우 9회 반복계산만에 수렴하였으나, 본 연구에서 제시한 초기 최대수송능력을 고려

초기최대수송능력을 고려한 수송능력산정 알고리즘의 개발에 관한 연구

한 경우 5회 만에 수렴하였다. 그 이유는 그림4에서 보듯이 해에 근접해 있는 초기치를 사용했기 때문이다.

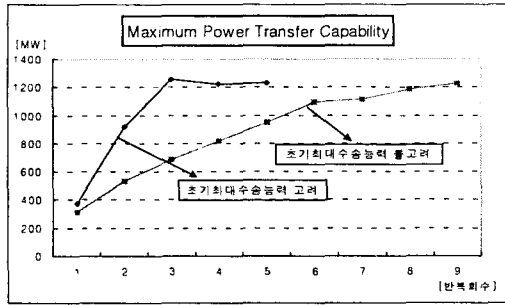


그림 3. 수렴특성의 비교
Fig. 3. Comparison of convergent Characteristics

그림4는 초기 최대수송능력을 고려한 경우와 고려하지 않은 경우의 수송능력계산시의 발전기 출력(최대출력)을 비교한 것이다. 그림4에서 알 수 있듯이 초기 최대수송능력을 고려한 경우에는 초기 최대수송능력을 고려하지 않은 경우에 비해서 해 근접한 초기값을 가짐을 알 수 있다.

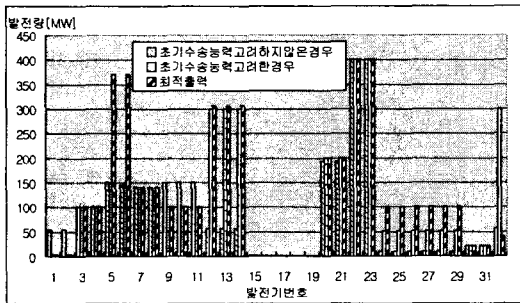


그림 4. 발전기 출력 비교
Fig. 4. Comparison of generators' output

마지막으로, 본 연구에서는 제시한 알고리즘의 신뢰성을 증명하기 위하여 연구지역의 부하량을 변화시켜가면서 수송능력계산결과를 분석하여 보았다. 표 3으로부터 알 수 있듯이 본 연구에서 제안하는 방법은 연구지역의 부하가 변화해도 수송능력계산시의 수렴특성은 별로 영향을 받지 않고 신뢰적인 결과를 보여준다는 것을 알 수 있다.

표 3. 연구지역 부하량 변화에 대한 수송능력계산 결과
Table 3. Transfer Capability Calculation Results for Change of Study Area Loads

연구지역 부하량	초기최대수송능력을 고려한 경우		초기최대수송능력을 고려하지 않은 경우	
	반복 계산횟수	최대 수송능력 [MW]	반복 계산횟수	최대 수송능력 [MW]
6% 증가	6	1279.9	12	1282.7
3% 증가	6	1254.9	10	1242.7
3% 감소	5	1198.4	10	1203.1
6% 감소	5	1173.3	10	1179.1

5. 결 론

본 연구에서는 구조개편시의 효율적인 계통운용을 위하여 필수적으로 고려되어야 하는 계산시간이 빠르고 신뢰적인 연계계통에서의 최대수송능력을 산정하는 알고리즘을 제안하였다. 이를 위하여 본 연구에서는 효율적인 최대수송능력문제의 정식화 및 최대수송능력 산정시 초기최대수송능력을 계산한 다음, 이로부터 계산된 발전기 출력의 초기값을 이용함으로써 수렴속도를 개선할 수 있는 방법을 제시하였다.

제안한 알고리즘을 IEEE RTS-24 모델계통에 적용하여 본 결과 초기최대 수송능력을 고려하지 않은 경우보다 반복회수는 9회에서 5회로 줄어들어 수렴속도가 개선됨을 알 수 있었으며, 연구지역의 부하량을 변화시켜가면서 수송능력을 계산하여본 결과 제안한 방법의 신뢰성은 높은 것으로 나타났다.

향후 이에 기초하여 수송능력계산문제에 상정사고 및 전압안정도제약조건을 고려할 수 있는 알고리즘을 개발하고 실계통에의 적용을 통해 실질적인 각종 정보를 도출하는 작업이 필요할 것으로 사료된다.

- 감사의 글 -

“본 연구는 한국과학재단 특정기초(1999-2-302-001-3) 지원 및 한국과학재단 지정 인천대학교 동북아 전자물류 연구센터의 일부지원에 의한 것임”

References

- [1] J.C.O.Mello, A.C.G.Melo, S.Granville, "Simultaneous Transfer Capability by Combining Interior Point Methods and Monte Carlo Simulation" IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 12, No. 2, May 1997.
- [2] G.C.Ejebe, J.Tong, J.G.Waight, J.G.Frame, X.Wang, W.F.Tinney, "Available Transfer Capability Calculations", IEEE Transactions on Power Systems, Vol.13, No.4, November 1998.
- [3] Mark H.Gravener, Chika Nwankpa, "Available transfer capability and first order sensitivity", IEEE Transactions on Power Systems, Vol.14, No.2, May 1999.
- [4] "Available Transfer Capability Definitions and Determination", North American Electric Reliability Council(NERC), Jun 1996.
- [5] 조재한, 김용하, 이 범, 최상규, "Power Wheeling 알고리즘의 개발", Proceedings of the KIEE PES Spring Annual Conference, pp 40-42, 5. 1999.
- [6] 조재한, 남광우, 김용하, 이 범, 최상규, "Monte Carlo Simulation을 이용한 Power Wheeling 영향평가 알고리즘에 관한 연구", KIEE Summer Annual Conference, pp 1111-1113, 7. 1999.

◇ 저자소개 ◇

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
E-mail : yhkim@incheon.ac.kr

이 범 (李 范)

1959년 10월 28일생. 1981년 고려대학교 전기공학과 졸업. 1989년 고려대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1995년 동대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 여수대학교 전기 및 반도체 공학과 부교수
Tel : (061) 659-3313
E-mail : buhmlee@yosu.ac.kr

문 정 호 (文廷虎)

1958년 1월 20일생. 1982년 한양대학교 전기공학과 졸업. 1984년 7월~1987년 2월 금성전선 초고압본부 근무. 1987년 2월~1995년 9월 한국전력공사 송변전사업단 근무. 현재 인천국제공항공사 전력팀 근무
Tel : (032) 741-5219
E-mail : mkdwdy@airport.or.kr