

이차함수 근사화를 이용한 가용송전용량과 송전신뢰 및 설비편익 여유도 산정

論 文

53A-5-6

Calculation of CBM, TRM and ATC using Quadratic Function Approximation

李孝祥* · 申尙憲** · 申東峻* · 金鎮吾***

(Hyo-Sang Lee · Sang-Hun Shin · Dong-Joon Shin · Jin-O Kim)

Abstract - The Available Transfer Capability (ATC) is defined as the measure of the transfer capability remaining in the physical transmission network for further commercial activity above already committed uses. Available Transfer Capability (ATC) calculation is a complicated task, which involves the determination of total transfer capability (TTC), transmission reliability margin (TRM) and capability benefit margin (CBM). As the electrical power industry is restructured and the electrical power exchange is updated per hour, it is important to accurately and rapidly quantify the available transfer capability (ATC) of the transmission system.

In ATC calculation, the existing CPF method is accurate but it has long calculation time. On the contrary, the method using PTDF is fast but it has relatively a considerable error.

This paper proposed QFA method, which can reduce calculation time comparing with CPF method and has few errors in ATC calculation. It proved that the method can calculate ATC more fast and accurately in case study using IEEE 24 bus RTS.

Key Words : Available transfer capability, total transfer capability, transmission reliability margin, capacity benefit margin, Quadratic Function Approximation.

1. 서 론

전력산업 구조개편에 따라 전력거래에 참여하는 모든 전력회사의 경제성과 효율성이 강조되고 있다. 이에 따라 송전망 운영도 과거의 신뢰도 위주의 운영방식에서 벗어나 신뢰도 한계 내에서 최고의 효율적 운영을 추구하는 방식으로 변화하게 되었다. 이는 송전용량이 타송(Bilateral) 및 풀(Pool)의 효율적 전력거래를 가능케 하는 핵심적인 요소로 떠올랐기 때문이다. 따라서 송전선을 안정적으로 운용하면서 상업적 이용을 확대하기 위하여, 기존에 사용하고 있는 용량에 추가적으로 사용할 수 있는 가용송전용량(Available Transfer Capability : ATC)의 빠르고 정확한 계산의 중요성이 확대되고 있다.

지금까지 전력회사들은 가용송전용량(ATC)을 측정하기 위해 첫 상정사고시 전체송전용량 (First Contingency Total Transfer Capability : FCTTC)이란 용어를 사용해 왔으나, 전력산업 구조개편이 진행되면서 같은 개념인 가용송전용량(ATC)이란 용어를 사용하기 시작했다. 가용송전용량이란 송전계통에 주어진 시간동안 사용하지 않고 남아있는 용량

을 측정하는 것이다. 가용송전용량의 계산은 불확실성으로 인해 매우 복잡하고 어려운 문제이며, 가용송전용량 계산에 있어 고려해야할 중요한 요소는 전체송전용량(Total Transfer Capability : TTC)과 두 신뢰도 여유도인 송전신뢰도 여유도(Transmission Reliability Margin : TRM), 설비편익 여유도(Capacity Benefit Margin : CBM)이다. 신뢰도 여유도는 송전계통의 불확실성으로부터 계통을 안전하게 운영하고 발전설비신뢰도 기준을 만족시키기 위해 필요한 송전용량이다.

ATC계산에서 기존의 연속조류계산법(Continuous Power Flow : CPF)은 정확하지만 계산시간이 오래 걸리는 단점을 가지고 있고, PTDF(Power Transfer Distribution Factor)는 계산 시간은 빠르나 비교적 큰 오차를 보이는 단점을 가지고 있다.

따라서 본 논문에서는 CPF와 비교해 계산 시간을 크게 단축하면서 CPF와 거의 오차가 없는 이차함수 근사화(Quadratic Function Approximation : QFA)기법을 제안하고 IEEE 24bus RTS를 통한 사례연구를 통해 증명하였다.

2. 가용송전용량의 결정

미국 북미 신뢰도 위원회(North American Electric Reliability Council)의 정의[1]에 따르면 가용송전용량(ATC)은 송전선을 안정적으로 운용하면서 상업적 이용을 확대하기 위하여, 기존에 사용하고 있는 용량에 추가적으로 사용할 수

* 正會員 : 漢陽大 工大 電氣工學科 博士課程

** 學生會員 : 漢陽大 工大 電氣工學科 碩士課程

*** 正會員 : 漢陽大 工大 電氣工學科 副教授

接受日字 : 2003年 11月 25日

最終完了 : 2004年 3月 22日

있는 송전용량, 즉 송전계통에 주어진 시간동안 사용하지 않고 남아 있는 용량을 측정하는 것이다. 전체송전용량(TTC)은 한 지역에서 다른 지역으로 계통 안전도의 위반 없이 안전하게 송전할 수 있는 최대 송전량이다. TTC를 결정하는 요소에는 계통 조건, 주요 상정사고 등이 있다. 송전신뢰도 여유도(TRM)는 계통의 불확실성을 고려하여 전력계통의 안정적인 운전을 보장하기 위해 필요한 양이고 설비편의 여유도(CBM)는 발전설비 신뢰도 기준을 만족시키기 위해 필요한 양이다. 가용송전용량의 계산은 다음과 같다.

$$TTC = \text{Min of (Thermal, Voltage, Stability Limit)}$$

$$ATC = TTC - TRM - \text{현재사용량(CBM 포함)}$$

3. 연속조류계산법(CPF)을 이용한 전체송전용량 계산

현재 널리 사용되고 있는 TTC 계산 방법 중 CPF방법은 최대 주입전력량을 찾는 일반적인 방법으로, 전력을 주입하는 지역의 유효 전력량을 계통 안전도 위반을 발생시키지 않는 범위까지 증가시킴으로써 TTC를 구하는 방법이다. CPF방법을 이용하여 TTC를 계산하는 알고리즘은 그림 1에 나타내었다.

또한 CPF와 RPF 방법을 이용하여 TTC를 결정하는 방법의 수학적인 표현은 다음과 같다. TTC를 계산하기 위해 λ 의 식으로 나타내면

목적함수 : Maximize λ

$$P_{Li} = P_{Li0}(1 + \lambda K_{Pi}) \quad (1)$$

$$Q_{Li} = Q_{Li0}(1 + \lambda K_{Qi}) \quad (2)$$

여기서

λ : 모선 발전량 증가를 표현하는 파라미터,
 $\lambda = 0$ 은 base case, $\lambda = \lambda_{max}$ 일 때 최대전력전송

P_{Li0}, Q_{Li0} : i 모선의 base case 유효·무효전력

K_{Pi}, K_{Qi} : participation factor

이때 제약조건은

$$P_{Gi} - P_{Li} - \sum_{j \in i} V_i V_j (G_{ij} \cos \theta_{ij} + B_{ij} \sin \theta_{ij}) = 0 \quad (3)$$

$$Q_{Gi} - Q_{Li} - \sum_{j \in i} V_i V_j (G_{ij} \sin \theta_{ij} - B_{ij} \cos \theta_{ij}) = 0 \quad (4)$$

$$S_{ij} \leq S_{ij, max} \quad (5)$$

여기서

P_{Gi}, Q_{Gi} : 모선 i 에서 발전기 유효·무효전력

P_{Li}, Q_{Li} : 모선 i 에서 부하 유효·무효전력

G_{ij}, B_{ij} : 모선 어드미턴스 행렬의 유효, 무효 부분

S_{ij} : 송전 선로 ij 의 피상전력

$S_{ij, max}$: 송전선로 ij 의 정격용량

θ_{ij} : 모선 i 와 j 의 위상각차

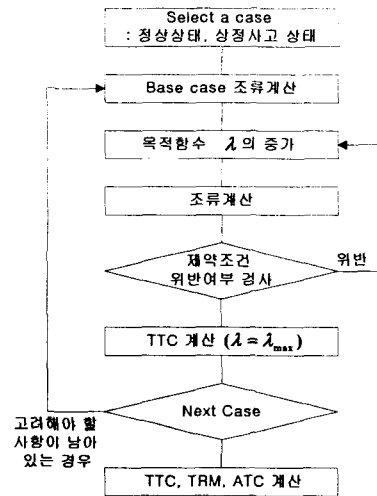


그림 1 CPF 방법을 이용한 TTC 계산 알고리즘

Fig. 1 TTC calculation algorithm using CPF

CPF방법은 안전도 조건을 위반하지 않는 범위까지 주입 전력량을 점차 증가시킨다. 즉 위 식에서 $\lambda = 0$ 인 base case로부터 $\lambda = \lambda_{max}$ 가 되는 경우까지 P_{Li0}, Q_{Li0} 를 증가시킨다. $\lambda = \lambda_{max}$ 인 경우 TTC가 결정된다. 결국 IEEE RTS를 Area 1과 Area 2로 나누어 두 지역을 나누는 tie-line을 CPF를 사용하여 TTC를 계산한다.

4. QFA를 이용한 전체송전용량 계산

4.1 Quadratic Function Approximation (QFA)

한 모선에서의 발전량 변화는 계통 조류에 비선형적인 영향을 끼친다. 이러한 이유로 CPF 기법에서는 조류계산을 반복 수행하여 전력 전송용량을 계산하며 매우 정확한 결과를 얻을 수 있지만 매우 긴 계산시간을 요구하는 단점을 보이고 있다. 이와 반대로 PTDF 기법은 선로 조류 변화를 선형적으로 근사화하여 전송용량을 계산하기 때문에 짧은 계산시간이라는 장점을 보이지만 비교적 큰 오차를 보이고 있다.

이와 같은 기존의 두 기법의 단점을 보완하기 위하여 본 논문에서는 선로의 조류 변화를 이차함수로 근사화하는 QFA기법을 제안하였다.

발전량 변화에 대한 조류 변화량의 이차함수 근사화는 다음과 같은 식으로 표현할 수 있다.

$$P_{ij} = a_0 P_x^2 + a_1 P_x + a_2 \quad (6)$$

여기서,

P_x : 모선 x 에 주입되는 유효전력

P_{ij} : 송전선로 ij 를 통해 흐르는 유효전력

위의 식으로부터, Base Case에서의 조류 변화량과 발전량 증가에 따른 조류 변화량을 가지고 적합곡선 방법(Curve Fitting)으로 상수 a_0, a_1, a_2 을 결정한다. 적합곡선 방법으로는 최소자승법(Least Square Method)을 이용하였다. 그림 2는 Base Case경우의 발전량 변화에 의한 조류 변화량을 이차함수 근사화한 것이다. 이러한 근사화를 통해 다음에 설명된 송전선로에 흐르는 최대 발전량을 구한다.

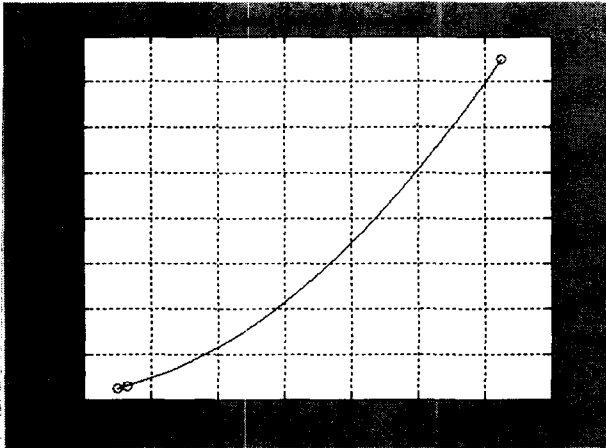


그림 2 Base Case 경우 QFA

Fig. 2 QFA in Base Case

4.2 QFA를 이용한 TTC 계산

QFA 기법은 발전기의 유효전력을 증가시켜 선로에 흐르는 조류량을 계산하고, 발전 가능한 최대 발전량을 예측한다. 그러나 유효전력만을 고려하였을 경우 상당한 오차를 발생시키므로 이런 오차를 줄이기 위해 무효전력[2]까지 고려하여야 한다. 그림 2에 나와 있듯이 송전선로에서 조류 운영점(operating point)은 P_{ij0}, Q_{ij0} 를 최대 허용하는 원(limiting circle), $P_{ij}^2 + Q_{ij}^2 = S_{ij,max}^2$ 내부로 제한된다. 선로

ij 를 통해 흐를 수 있는 최대 피상 전력은 두 원의 교차점에서 결정된다. 최대 흐를 수 있는 전력을 P_{ij}^*, Q_{ij}^* 로 나타내었으며 다음 식에 의해 구해진다.

$$P_{ij} + jQ_{ij} = V_i^2 G_{ij} - V_i V_j Y_{ij} \cos(\theta_{ij} + \delta_i - \delta_j) + j[V_i^2 B_{ij} - V_i V_j Y_{ij} \sin(\theta_{ij} + \delta_i - \delta_j)] \quad (7)$$

여기서

$$G_{ij} + jB_{ij} = \frac{1}{[R_{ij} + jX_{ij}]}$$

θ_{ij} : 위상각

이 식은 유·무효전력으로 나누어 다음과 같이 변형할 수 있다.

$$P_{ij} - V_i^2 G_{ij} = -V_i V_j Y_{ij} \cos(\theta_{ij} + \delta_i - \delta_j) \quad (8)$$

$$Q_{ij} + V_i^2 B_{ij} - V_i^2 B_{ij} = -V_i V_j Y_{ij} \sin(\theta_{ij} + \delta_i - \delta_j) \quad (9)$$

위 두 식 (8)과 (9)를 조합하면 (10)식이 된다.

$$(P_{ij} - V_i^2 G_{ij})^2 + (Q_{ij} + V_i^2 B_{ij} + V_i^2 B_{ij})^2 = (V_i V_j Y_{ij})^2 \quad (10)$$

이 식을 일반식으로 다시 나타내면 다음과 같다.

$$(P_{ij} - P_{ij0})^2 + (Q_{ij} - Q_{ij0})^2 = (V_i V_j Y_{ij})^2 \quad (11)$$

$$P_{ij}^2 + Q_{ij}^2 = S_{ij,max}^2 \quad (12)$$

최대로 흐를 수 있는 전력 P_{ij}^*, Q_{ij}^* 는 (11), (12)식의 이차방정식 해가 된다.

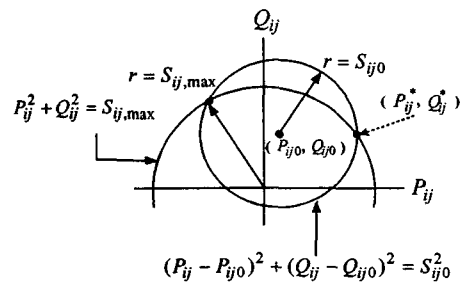


그림 3 최대 송전 가능 운영점

Fig. 3 Maximum transfer operating point

이때 송전선로에 흐르는 최대전력량인 P_{ij}^* 는 식 (11)과 (12)에 의해 구해진다. 이 값으로부터 모선에 흐르는 최대 발전량은 다음 식에 의해 구해진다.

$$P_x^{*ij} = a_0 (P_x^{*ij}) + a_1 (P_x^{*ij}) + a_2 \quad (13)$$

여기서,

P_x^{*ij} : 모선에서의 최대발전량. 즉 계통에서 안정도 위반하지 않는 범위에서의 발전량.

여러 송전선로를 통해 가장 작은 P_x^{*ij} 값을 갖는 선로가 가장 제약을 받는 선로(the most limiting line)가 된다. 이때의 전력량이 계통에서 최대 송전할 수 있는 양이 된다.

$$TTC = \text{Min.} \{ \text{모든 } i\text{-line의 } \Delta P_x^{*ij} \}$$

ΔP_x^{*ij} : ij 가 the most limiting line일 때 모선에서의 최대 발전증가량

5. 신뢰도 여유도 계산

5.1 Transmission Reliability Margin(TRM)

TRM[4]은 계통 상태에 있어 고유의 불확실성을 고려한 것으로 운영상의 유연성을 확보함으로써 계통상태의 변화로부터 안전하게 계통을 운영할 수 있도록 한다. 그러므로

TRM을 고려하기 위해서는 계통에서 발생 가능한 모든 경우를 고려해야만 한다.

TRM을 결정하는 과정[3]은 아래 그림과 같다. base case TTC와 고려되어야 할 모든 경우의 TTC를 계산한다. TTC는 가장 작은 값을 갖는 TTC로 결정되므로, base case TTC와 가장 작은 값을 갖는 TTC간의 차이가 TRM이 된다. 즉 그림 4의 TTC와 TTC1과의 차이가 TRM이 되는 것이다.

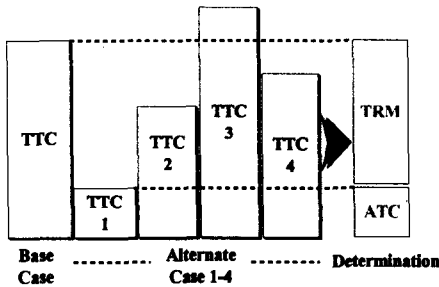


그림 4 TRM 결정
Fig. 4 TRM determination

본 논문에서 TRM을 계산하기 위해 고려한 사항은 송전선로 정격용량 감소 방법과 연계선로(tie line)의 상정사고, 각 지역의 가장 큰 발전기의 고장, 부하의 불확실성을 고려하였다. 송전선로 정격용량 감소 방법의 경우 일반적으로 정격용량의 2~5%를 감소시키며, 사례연구에서는 정격용량의 3%를 감소시켜 적용하였다.

5.2 Capacity Benefit Margin(CBM)

CBM[4]은 발전설비 신뢰도 기준을 만족시키기 위한 예비용량이다. 각 지역은 일정 수준의 발전설비 신뢰도를 유지하여야 하고, 발전설비 신뢰도를 계산하는 방법에는 결정론적 방법과 확률론적 방법이 있다. 결정론적 방법은 가장 큰 발전 unit의 손실에 대비한 예비용량, 혹은 이미 정해진 특정한 양의 예비용량을 유지해야 하며, 확률론적 방법은 일반적으로 사용되는 신뢰도 지수인 Loss of Load Probability (LOLP), Loss of Load Expectation(LOLE)등을 산정하여 예비용량을 결정한다. 특히 발전 예비력에 대해 확률론적인 방법을 적용하면 LOLE가 특정한 범위 안, 즉 $LOLE < 0.1$ [day/year]를 만족해야 한다. LOLE는 평가대상 기간동안 공급지장이 평균적으로 몇 일 또는 몇 시간 발생할 것인가를 나타내는 지수이다.

일반적으로 단기간에는 발전기에 대한 FOR에 대한 불확실성이 낮기 때문에 결정론적 방법을 적용하고, 장기간에는 많은 불확실성과 변수로 인해 확률론적 방법을 적용한다.

본 논문에서는 CBM 결정에 확률론적 방법을 사용하였다. 일별 부하 모델(Daily load model)에서 $LOLE < 0.1$ [day/year] 혹은 시간별 부하 모델(hourly load model)로 나타내어 $LOLE < 2.4$ [hour/year]를 만족해야 하고, 본 논문에서는 시간별 부하 모델을 사용하였다. 또한 two-state 모델을 사용하였고, 2500번의 sampling과 exponential 분포의 random 변수를 사용하였다.

6. 사례 연구

본 논문에서는 IEEE 24모선 Reliability Test System

(RTS)을 이용하여 ATC와 TRM, CBM을 계산하였다. 연계선로(tie line)의 ATC를 계산하기 위해 RTS를 두개의 지역으로 나누었고 그림 5에 나타냈다. 또한 기존 RTS에서 LOLE 계산시 지역 1의 $LOLE = 16.456$, 지역 2의 $LOLE = 440.575$ 로, 두 지역 모두 신뢰도 기준인 $LOLE < 2.4$ hour/year를 만족하지 않는다. 따라서 본 사례연구에서는 기존 RTS 데이터에 지역 1에 4대, 지역 2에 3대, 총 7대의 발전기의 용량을 증가시켰으며, 증가시킨 발전기의 접속 위치 및 증가 용량을 표 1에 나타내었다.

위와 같은 조건 하에서 기존의 CPF를 이용한 ATC, CBM, TRM 계산 결과와 계산 시간인 CPU time[sec.]을 나타내었고, 본 논문에서 제안한 QFA기법을 이용한 계산 결과와 CPU time[sec.]를 나타내어 CPF를 기준으로 오차를 비교하였다.

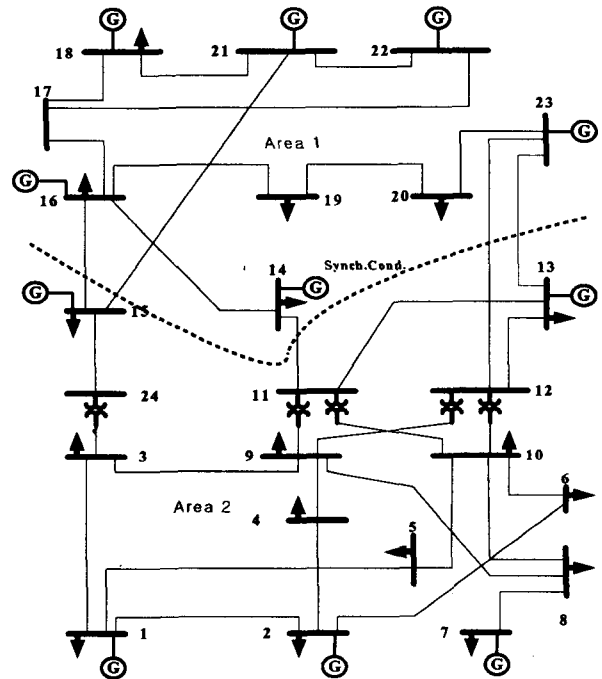


그림 5 IEEE 24모선 RTS
Fig. 5 IEEE 24 bus RTS System

표 1. 추가 발전량
Table 1. Added Generator

지역	모선	발전기 수	발전용량
1	16	1	20 MW
	22	2	50 MW
2	13	2	197 MW
	15	2	155 MW

6.1 CBM 계산

각 지역의 발전설비 신뢰도를 계산하기 위해 신뢰도 지수 중 LOLE를 사용하였다. LOLE 계산 기법은 확률론적 방법을 사용하였으며 Hourly load model을 사용하여 $LOLE < 2.4$ [hour/year]를 만족시키는 CBM 용량을 계산하였으며, 그 결과는 표 2와 그림 6, 그림 7에 나타내었다.

표 2. 발전량 수입 후 LOLE 변화

Table 2. LOLE change after power import

지역	LOLE [hour/year]	수입하는 양	수입후 LOLE [hour/year]
1	2.718	40MW	1.852
2	1.336	-45MW	2.188

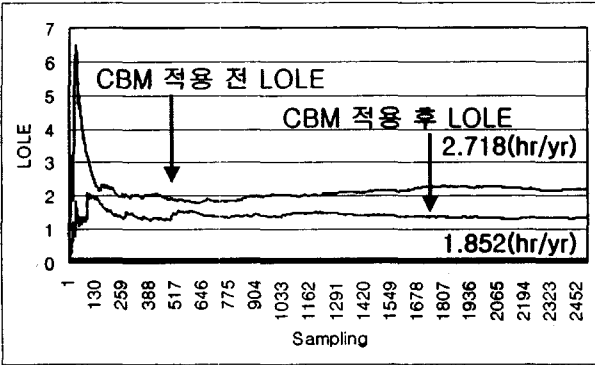


그림 6 CBM 적용시 지역 1의 LOLE 변화

Fig. 6 LOLE change of Area 1 after CBM applied.

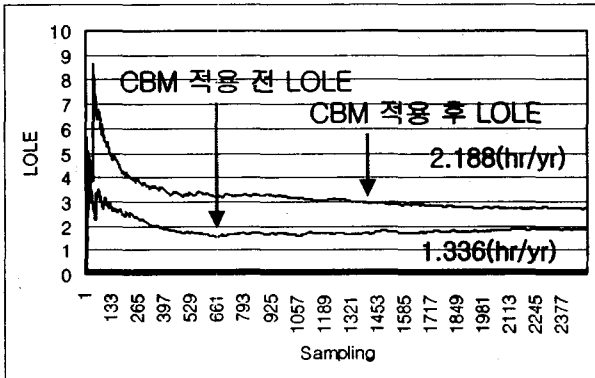


그림 7 CBM 적용시 지역 2의 LOLE 변화

Fig. 7 LOLE change of Area 2 after CBM applied

LOLE < 2.4[hour/year]을 만족시키기 위해 지역 1은 지역 2로부터 45 MW만큼의 발전용량을 수입한다. 45 MW용량을 수입한 후 지역1과 지역2는 모두 LOLE < 2.4[hour/year]을 만족시킨다. 그러므로 CBM은 45 MW로 결정된다.

6.2 ATC 계산

6.2.1 CPF에 의한 ATC 계산

정상상태의 TTC는 119.73 MW이고, 각 경우 중 가장 작은 TTC는 송전선로 정격감소(3%)로 107.78 2MW이다. 그러므로 TRM은 정상상태의 TTC와 가장 작은 값을 나타내는 TTC의 차이므로 11.95 MW가 된다. ATC = 정상상태 TTC - TRM - CBM 이므로 62.79 MW가 되고 이때의 CPU time은 1458.8[sec.]가 된다.

표 3. CPF에 의한 ATC계산 결과 및 CPU time[sec.]

Table 3. ATC Calculation and CPU time[sec.] using CPF

Case	TTC [MW]	TRM [MW]	CBM [MW]	ATC [MW]	CPU time[sec.]
정상상태	119.73				
지역1 가장 큰 발전기 고장	116.76				
지역2 가장 큰 발전기 고장	125.29				
송전선로 정격 감소(3%)	107.78				
line 15-16 상정사고	114.53	11.95	45	62.79	1458.81
line 15-21 상정사고	126.91				
line 11-14 상정사고	185.81				
line 12-23 상정사고	185.95				
line 13-23 상정사고	170.11				

6.2.2 QFA에 의한 ATC 계산

QFA기법을 적용한 ATC 계산 결과와 계산 시간인 CPU time을 표 4에 나타내었다. 정상상태의 TTC는 119.586 MW 이고, 각 경우 중 가장 작은 TTC는 송전선로 정격감소(3%)로 108.898 MW이다. 그러므로 TRM은 정상상태의 TTC와 가장 작은 값을 나타내는 TTC의 차이므로 10.688 MW가 된다. ATC=정상상태 TTC-TRM-CBM이므로 63.816 MW가 되고 이때의 CPU time은 39.816[sec.]가 된다.

표 4. QFA에 의한 ATC계산 결과 및 CPU time[sec.]

Table 4. ATC Calculation and CPU time[sec.] using QFA

Case	TTC [MW]	TRM [MW]	CBM [MW]	ATC [MW]	CPU time[sec.]
정상상태	119.59				
지역1 가장 큰 발전기 고장	120.73				
지역2 가장 큰 발전기 고장	163.66				
송전선로 정격 감소(3%)	108.89				
line 15-16 상정사고	114.02	10.69	45	63.89	39.82
line 15-21 상정사고	131.17				
line 11-14 상정사고	185.22				
line 12-23 상정사고	186.16				
line 13-23 상정사고	170.41				

6.2.3 CPF와 PTFD방법에 의한 ATC 결과 비교

CPF기법은 ATC를 계산하는 기본적인 방법이다. 하지만 표 5로부터 CPF는 계산의 정확성에도 불구하고 계산시간이 많이 걸림을 알 수 있다. 표 5에서 QFA기법은 기존의 CPF기법과 비교해 ATC 계산에 오차가 거의 없음을 알 수 있다. 또한 QFA는 CPF와 비교한 계산 시간이 2.7%임을 알 수 있다.

표 5. CPF와 QFA기법을 이용한 ATC계산 결과 비교
Table 5. Comparison two Case

기법	TTC (정상상태)	TTC (가장작은 값)	TRM	CBM	ATC	CPU time [sec.]
CPF	119.73	107.78	11.95	45	62.78	1458.81
QFA	119.59	108.89	10.69	45	63.8	39.82
오차 (%)	0.12	1.04	10.55		1.77	

7. 결 론

본 논문에서는 가용송전용량(Available Transfer Capability)의 빠른 계산을 위해 이차함수 근사화(QFA)기법을 제안하였다. 우선 ATC를 계산하기 위해 TTC와 두 예비력(TRM, CBM)을 계산하였고, TRM을 계산하기 위해 송전선로의 정격용량감소(3%), 연계선로의 상정사고, 각 지역의 가장 큰 발전기 고장을 고려한 해석적 방법을 사용하였다. 또한 CBM을 계산하기 위해 신뢰도 지수인 전력부족 기대치(LOLE)를 이용한 확률론적 방법을 사용하였다.

ATC계산에 있어서 본 논문에서 제안한 QFA기법은 기존의 CPF기법과 비교(CPU time)에서 전력계통의 안정도를 위반하지 않는 범위에서 빠르고 정확하게 가용송전용량을 계산할 수 있음을 사례연구를 통해 증명하였다. 향후 전력산업이 구조 개편되고 전력 거래가 시간 단위로 빨라짐에 따라, ATC를 빠르고 정확하게 계산하는 방법은 시장운영자뿐만 아니라 시장참여자에게 유용한 정보가 되리라 사료된다.

감사의 글

본 논문은 한국과학재단의 2003년도 국제협력연구(F01-2003-000-00073-0)의 지원으로 수행된 결과의 일부임.

참 고 문 헌

[1] North American Electric Reliability Council (NERC), "Available Transfer Capability-Definitions and Determinations", NERC Report, June 1996.
[2] P. W. Sauer, S. Grijalva, "Reactive Power Consi-

derations in ATC Computation", Systems Sciences, 1999. HICSS-32. Proceedings of 32nd Annual Hawaii International Conference on, pp.2047-2054, Nov/Dec. 1979

[3] P. W. Sauer, "Technical Challenges of Computing Available Transfer Capability (ATC) in Electric Power Systems", Proceedings, 30th Annual Hawaii International Conference on System Sciences, Jan. 1997.
[4] North American Electric Reliability Council (NERC), "Transmission Capability Margin and Their Use in ATC Determination", NERC White Paper, 1999.

저 자 소 개



이 효 상 (李孝祥)

1955년 2월생. 1981년 2월 한양대학교 전자통신공학과 졸업. 1984년 동대학 산업대학원 졸업(석사). 2003년 동대학원 전기공학과 박사과정 수료. 현 전력거래소 정보기술처 팀장
Tel : (02)3456-6770
E-mail : lhs707@kpx.or.kr



신 상 현 (申尙憲)

1976년 8월 29일생. 2000년 2월 전남대학교 전기공학과 졸업(학사). 현 한양대학교 대학원 전기공학과 석사과정.



신 동 준 (申東峻)

1972년 1월 28일생. 1998년 2월 한양대학교 전기공학과 졸업(학사). 2000년 2월 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 동 대학원 전기공학과 박사과정



김 진 오 (金鎭吾)

1956년 1월 17일생. 1980년 2월 서울대학교 전기공학과 졸업(학사). 1983년 2월 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1991년 12월 Texas A&M 대학교 전기공학과 졸업(공학박). 현재 한양대학교 전자전 기공학부 부교수