

# 열적용량과 전압안정도를 고려한 ATC 계산 방법에 관한 연구

(The ATC Calculation Method with Thermal Constraints and Voltage Stability Constraints)

김재현\*

(Jae-Hyeon Gim)

## 요 약

본 논문은 가용송전용량(ATC)를 계산하기 위한 두 가지 빠른 계산 기법을 제안한다. 이 방법들은 선로의 열적용량한계(Thermal ATC)와 전압 안정도한계(Voltage ATC)를 제약조건으로 ATC를 계산한다.

먼저 선로의 열적용량을 고려한 방법에서는 모선의 전력 변화에 대한 선로의 조류 감도인 PTDF와 n-1 상정사고를 고려한 LODF를 이용하였으며, 전압안정도를 고려한 방법에서는 2모선 등가 시스템을 이용하여 최대 전력을 구하는 방법을 이용하였다. 제안된 방법은 IEEE 30모선 계통에 적용하였으며 그 결과를 다른 방법과 비교하여 제안된 방법의 타당성을 입증하였다.

## Abstract

This paper proposes two fast calculation methods of ATC. These two methods evaluate ATC with thermal constraints (Thermal ATC) and ATC with voltage stability constraints (Voltage ATC) respectively.

The ATC with thermal constraints was based on the linear incremental power flow to account for the line flow thermal loading effects when the n-1 security constraints were included. The ATC with voltage stability constraints used two-bus equivalents of the system to find the maximum load at a load bus before reaching the voltage stability problem. The methods were tested on the IEEE 30bus systems and the results obtained were compared with those found by some other methods.

Key Words : Available Transfer Capability(ATC), Power Transfer Distribution Factors(PTDF),  
Line Outage Distribution Factors(LODF), Voltage Stability

## 1. 서 론

전력계통의 규제완화와 전력수요의 증가에 따른

을 효율적으로 이용하기 위해서는 공급지역으로부터 수요지역까지 최대가용송전용량(ATC)을 빠르고 정확하게 계산하는 것은 매우 중요하다. 특히 앞으로는 구조개편에 따른 송전선개방(Transmission Open Access)으로 인한 송전선혼잡(Transmission Congestion)으로 선로가 중부하가 되는 경우가 많아져 ATC의 평가는 더욱 중요하리라 판단된다.

오늘날 전력계통은 부하와 발전량의 편중으로 송

\* 주저자 : 순천대학교 정보통신공학부 부교수  
Tel : 061-750-3545, Fax : 061-750-3508

E-mail : jhg@sunchon.ac.kr  
접수일자 : 2006년 12월 4일  
1차심사 : 2006년 12월 7일  
심사완료 : 2006년 12월 29일

전선에 많은 부하가 흐르게 된다. ATC 계산은 선로의 열적한계, 전압 안정도 및 과도 안정도를 고려하여 계산한다. 일반적으로 단거리 송전선에서 부하의 한계는 주로 열적용량한계에 의하여 제한되지만, 장거리 송전선에서는 열적이나 과도안정도 한계보다 전압 안정도에 의하여 제한을 받게 된다. ATC 계산 방법은 계산 시간은 빠르나 비교적 큰 오차가 있는 단순 선형법[1-2], 계산은 정확하지만 계산시간이 긴 단점이 있는 연속조류계산[3]과 반복조류계산방법[4], 최적 조류계산 방법[5] 등이 있다. 전압안정도 해석에 사용되는 방법은 자코비안 행렬을 이용하는 방법, P-V와 Q-V곡선을 이용하는 방법 및 전압 안정도 인덱스를 이용한 방법 등이 있다 [7-10].

따라서 본 논문에서는 ATC 평가를 위한 수요와 공급의 다양한 시나리오를 조건으로 선로의 열적용량과 전압안정도를 제한조건으로 ATC를 계산하는 방법을 제안하였다. 먼저 선로의 열적용량을 고려한 방법에서는 참고문헌[6]에서 제안한 방법인 고선의 전력 변화에 대한 선로의 조류 감도인 PTDF(Power Transfer Distribution Factors)와  $n-1$  상정사고를 고려한 LODF(Line Outage Distribution Factors)를 이용하였으며, 전압안정도를 고려한 방법에서는 2모선 등가 시스템을 이용하여 최대 전력을 구하는 방법을 다모선 계통에 적용하는 방법을 이용하였다.

모의실험은 IEEE 30모선 계통에 적용하였으며 그 결과를 PSS/E 프로그램의 결과와 비교하여 앞에서 제안한 방법의 타당성을 입증하였다.

## 2. ATC 계산

ATC 계산은 전력계통의 모든 제약 조건을 고려하여 한 지역에서 다른 지역으로 추가로 전송할 수 있는 능력이다. 이것은 현재 운전되고 있는 상태에서 계통의 안정도 한계까지 얼마의 여유가 있는지를 나타낸다. 그 계산은 다음과 같다.

$$ATC = TTC - TRM - CBM - ETC \quad (1)$$

여기서 총송전용량(Total Transfer Capability :

TTC)은 전력계통의 최악 상정사고에서 전력전송경로의 열적 용량 제한 전압과 안정도에 대한 제한을 만족하는 전체적인 송전용량이고 송전 신뢰 여유도(Transmission Reliability Margin : TRM)는 불확실성이 포함된 전력전송에 필요한 신뢰를 확보하기 위한 여유이다. 설비편의 여유도(Capacity Benefit Margin : CBM)은 전력계통의 설비들이 무리없이 운전할 수 있는 여유를 말한다. 현재 전송전력량(Existing Transmission Commitments : ETC)은 현재 운전되고 있는 전송전력량이다.

본 논문에서는 안정도 한계의 제약으로 열적용량 한계와 전압 안정도 한계를 고려하여 ATC를 계산하였다.

### 2.1 열적용량을 고려한 ATC 계산

#### 2.1.1 PTDF

직류조류계산의 선형 특성을 이용하여 모선에 전력을 주입하였을 때 각 선로의 조류 감도를 PTDF라 한다. 즉 PTDF는 모선에 주입되는 전력에 대한 선로의 조류 감도이다.  $PTDF_{ij, mn}$ 은 모선  $m$ 과 모선  $n$ 에 주입된 전력이 모선  $i$ 와 모선  $j$ 에 연결된 선로의 조류 감도를 나타낸 것으로 식은 다음과 같다.

$$PTDF_{ij, mn} = \frac{X_{im} - X_{im} - X_{in} + X_{jn}}{x_{ij}} \quad (2)$$

여기서  $x_{ij}$ 는 모선  $i$ 와 모선  $j$ 에 연결된 선로의 리액턴스이고  $X_{im}$ 은 모선 리액턴스 행렬의  $i$ 행에  $m$ 열의 요소이다.

새로이 추가된 주입 전력에 대한 선로의 조류 변화는

$$\Delta P_{ij}^{new} = PTDF_{ij, mn} P_{mn}^{new} \quad (3)$$

여기서  $i, j$ 는 주입되는 모선이고  $m, n$ 은 선로이다.  $P_{mn}^{new}$ 는 새로이 추가되는 전력이다.

#### 2.1.2 LODF

$LODF_{i, k}$ 는  $k$ 선로가 개방되었을 때  $k$ 선로에 흐

르는 조류에 대한  $l$ 선로에 변화하는 조류의 배분율이다.

$$LODF_{l,k} = \frac{\Delta P_{l,k}}{P_k} \quad (4)$$

여기서  $P_k$ 는  $k$ 선로의 고장 전에 흐르는 조류이고,  $\Delta P_{l,k}$ 는  $k$ 선로 고장 후  $l$ 선로에 흐르는 조류 변화분이다.

선로  $l$ 에 고장 후의 조류 변화는

$$\Delta P_{l,k} = PTDF_l \times \mathcal{P}_k \quad (5)$$

여기서  $\mathcal{P}_k$ 는 고장 선로의 조류를 영(0)으로 만드는 조류이다. 고장 후  $k$ 선로의 조류는

$$\mathcal{P}_k = P_k + PTDF_k \times \mathcal{P}_k \quad (6)$$

$$\mathcal{P}_k = \frac{P_k}{1 - PTDF_k} \quad (7)$$

그러므로

$$LODF_{l,k} = \frac{\Delta P_{l,k}}{P_k} = \frac{PTDF_l \times \mathcal{P}_k}{P_k} = \frac{PTDF_l \times \frac{P_k}{1 - PTDF_k}}{P_k} = \frac{PTDF_l}{1 - PTDF_k} \quad (8)$$

### 2.1.3 PTDF를 이용한 ATC 계산

PTDF를 이용한 ATC 계산은 모선  $m$ 과 모선  $n$ 에 주입된 전력으로 모선  $i$ 에서 모선  $j$ 로 흐르는 전력,  $\Delta P_{ij}$ 이 계산된다. 그 선로에 새로이 흐르는 조류는 원래 흐르는 조류,  $P_{ij}^0$ 와  $\Delta P_{ij}$ 의 합이다. 이 합이 선로 조류 한계,  $P_{ij}^{\max}$ 보다 적어야 한다. 즉,

$$P_{ij}^{\text{new}} = P_{ij}^0 + \Delta P_{ij} \leq P_{ij}^{\max} \quad (9)$$

식 (3)을 적용하면 다음과 같다.

$$P_{mn,ij}^{\max} \leq \frac{P_{ij}^{\max} - P_{ij}^0}{PTDF_{ij,mn}} \quad (10)$$

여기서,  $P_{mn,ij}^{\max}$ 는 모선  $m$ 과 모선  $n$ 사이의 최대 허용 전송 전력이다. 그러므로 ATC는 모든 선로의  $P_{mn,ij}^{\max}$ 중에 최소가 되는 값이 된다. 즉,

$$ATC_{mn} = \min P_{mn,ij}^{\max} \quad (11)$$

### 2.1.4 상정사고를 고려한 ATC 계산

DC조류계산으로 각 선로의 고장을 고려하고 PTDF를 이용하여 전송 전력을 계산한다. 또한 LODF를 이용함으로써 상정사고를 고려할 수 있으며 ATC계산 시간을 단축할 수 있다. 즉 LODF와 PTDF를 조합하여 한 개의 상정사고( $n-1$ 사고) 발생 시 한 모선에서 다른 모선으로 전송할 수 있는 최대 증분을 계산할 수 있다. 모선  $r$ 과 모선  $s$ 사이의 선로 사고 시 모선  $m$ 에서 모선  $n$ 으로 추가로 전송할 수 전력은 다음과 같다.

$$\Delta P_{rs}^{\text{new}} = PTDF_{rs,mn} \cdot P_{mn}^{\text{new}} \quad (12)$$

선로  $rs$ 고장 시 선로  $rs$ 에 흐르는 전력이 선로  $ij$ 에 변화되는 전력과 모선  $m$ 에서 모선  $n$ 으로 추가로 전송하는 전력이 선로  $ij$ 에 추가되는 전력의 합은 다음과 같다.

$$\Delta P_{rs}^{\text{new}} = (PTDF_{rs,mn} + LODF_{ij,rs} \cdot PTDF_{rs,mn}) P_{mn}^{\text{new}} \quad (13)$$

그러므로 상정사고를 고려한 최대 전송 전력의 관계는

$$P_{mn,ij,rs}^{\text{Max}} \leq \frac{P_{ij}^{\text{Max}'} - P_{ij}^0}{PTDF_{ij,mn} + LODF_{ij,rs} \cdot PTDF_{rs,mn}} \quad (14)$$

여기서  $P_{ij}^{\text{Max}'}$ 는 선로  $ij$ 에 고장 후 흐를 수 있는 전력으로 정상상태의 최대 전송 전력보다 일반적으로 크다. 상정사고를 고려하기 위하여 모든 가능한 사고를 조합하여 선로에 흐르는 전력을 제한하게 된다.

$$ATC_{mn,rs} = \min(\min P_{mn,ij}^{\text{Max}}, \min P_{mn,ij,rs}^{\text{Max}}) \quad (15)$$

## 2.2 전압 안정도를 고려한 ATC 계산

이 절은 전압 안정도에 대한 개념을 설명하고 이를 이용하여 다 모선 전력계통에 적용하여 최대 전송 전력을 계산한다. 우선 2모선 계통에서 최대로 전송할 수 있는 전력 계산식을 유도하고 다 모선 계통을 2모선 계통으로 모델링하여 이를 적용한다.

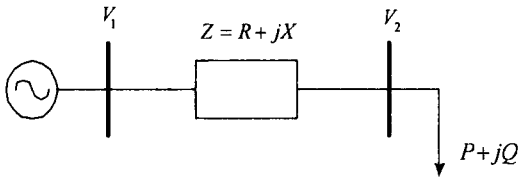


그림 1. 2모선 전력 계통  
Fig. 1. Two Bus Power System

2모선 계통은 모선 1은 스윙 모선이고 모선 2는 부하 모선이고 선로의 임피던스,  $Z = R + jX$ 로서 그림 1과 같다. 각 모선의 전압은  $V_1 < \delta_1$ ,  $V_2 < \delta_2$  이고 부하는  $S = P + jQ$  일 때 모선 1의 전압 관계식은 다음과 같다.

$$V_1^2 = V_2^2 + 2(RP + XQ) + (R^2 + X^2) \frac{P^2 + Q^2}{V_2^2} \quad (16)$$

식 (16)를 정리하면

$$V_1^2 + [2(RP + XQ) - V_1^2] V_2^2 + (R^2 + X^2)(P^2 + Q^2) = 0 \quad (17)$$

식 (17)에서  $V_2^2$ 을  $x$ 로 치환하면

$$a_1 x^2 + b_1 x + c_1 = 0 \quad (18)$$

여기서,  $a_1 = 1$ ,  $b_1 = 2(RP + XQ) - V_1^2$ ,

$c_1 = (R^2 + X^2)(P^2 + Q^2)$ 이다. 식 (18)

의 해는 2차 방정식의 근의 공식에 의하면

$$x^+ = \frac{-b_1 + \sqrt{d}}{2a_1} \quad (19a)$$

$$x^- = \frac{-b_1 - \sqrt{d}}{2a_1} \quad (19b)$$

여기서  $d = b_1^2 - 4a_1 c_1$ 이다. 식 (19)로부터 모선 2의 전압을 계산하면

$$V_2^+ = \left( \frac{-b_1 + \sqrt{d}}{2a_1} \right)^{1/2} \quad (20a)$$

$$V_2^- = \left( \frac{-b_1 - \sqrt{d}}{2a_1} \right)^{1/2} \quad (20b)$$

여기서 판별식  $d$ 는

$$d = V_1^4 + 4[2PQRX - V_1^2(RP + XQ) - R^2 Q^2 - X^2 P^2] \quad (21)$$

여기서  $V_2^+$ 는 고전압 해로서 안정영역에서의 해이고,  $V_2^-$ 는 저전압 해로서 불안정 영역의 해이다. 부하가 영(0)이면  $V_2^+$ 는  $V_1$ 이 되고  $V_2^-$ 는 영(0)이다. 부하가 증가함에 따라  $V_2^+$ 는 감소하고  $V_2^-$ 는 증가한다.  $V_2^+$ 와  $V_2^-$ 의 값은 같은 값까지 부하를 증가할 수 있다. 이때의 부하가 최대 부하가 된다. 그리고 시스템은 전압 안정도의 한계에 도달하게 되는 것이다.  $V_2^+$ 와  $V_2^-$ 같은 값일 때 판별식  $d$ 는 영(0)이 된다.

부하의 역률에 따라 전압의 특성은 다르게 나타나므로 피상전력과 역률의 변화에 따른 전압과의 관계는  $P = S_m \cos \theta$ ,  $Q = S_m \sin \theta$  ( $\theta$ 는 역률 위상각)을 식 (21)에 대입하면

$$a_2 S_m^2 + b_2 S_m + c_2 = 0 \quad (22)$$

여기서,  $a_2 = 4[RX \sin(2\theta) - R^2 \sin^2 \theta - X^2 \cos^2 \theta]$ ,

$b_2 = -4V_1^2(R \cos \theta + X \sin \theta)$ ,  $c_2 = V_1^4$ 이다. 식 (22)의 해는

$$S_m = \frac{V_1^2}{2} \frac{Z - (R \cos \theta + X \sin \theta)}{(R \sin \theta - X \cos \theta)^2} \quad (23)$$

여기서  $Z = (R^2 + X^2)^{1/2}$ 이다. 근중에서 음(-)수

열적용량과 전압안정도를 고려한 ATC 계산 방법에 관한 연구

인 해는 해가 될 수 없다. 최대 피상 전력,  $S_m$ 을 식 (20)에 대입하여 임계전압  $V_{cr}$  구하면 다음과 같다.

$$V_{cr} = \left[ \frac{V_1^2 - 2S_m(R \cos \theta + X \sin \theta)}{2} \right]^{1/2} \quad (24)$$

부하 모션 전압이 어느 특정 전압,  $V_{2sp}$ 보다 높은 조건에서 최대부하를 구하는 식은 식 (16)에서  $V_2 = V_{2sp}$ 일 때 부하가 되므로 다음 식과 같다.

$$a_3 S_{sp}^2 + b_3 S_{sp} + c_3 = 0 \quad (25)$$

여기서,  $a_3 = R^2 + X^2$ ,  $b_3 = 2V_{2sp}^2(R \cos \theta + X \sin \theta)$ ,  $c_3 = V_{2sp}^4 - V_1^2 V_{2sp}^2$ 이다. 식 (25)의 근은 다음과 같다.

$$S_{sp} = \frac{-V_{2sp}^2(R \cos \theta + X \sin \theta)}{R^2 + X^2} \pm \frac{\sqrt{V_{2sp}^4(R \cos \theta + X \sin \theta)^2 - (R^2 + X^2)(V_{2sp}^4 - V_1^2 V_{2sp}^2)}}{R^2 + X^2} \quad (26)$$

2.2.1 부하모션의 테브난의 등가회로

모선  $k$ 의 테브난의 등가 전압,  $V_{th}$ 는 조류계산 결과를 이용한다. 모선  $k$ 를 제외한 다른 모든 모선의 부하를 고려해서 조류계산을 실행한다. 테브난의 등가 임피던스  $Z_{kk}$ 는 모선 임피던스 행렬의  $k$ 모선의 대각 항이 된다. 이때 모선 임피던스 행렬의 계산은  $k$ 모선의 부하를 제외한 다른 모선의 부하는 임피던스로 환산하여 모선 임피던스 행렬에 포함하고 발전기의 임피던스는 무시한다. 모선  $i$ 의 부하를 임피던스로 환산은 다음 식과 같다.

$$Z_{ii}^L = \frac{|V_i|^2}{P_i - jQ_i} \quad (27)$$

2.2.2 테브난의 등가 임피던스

테브난의 등가 임피던스는 전원을 단락하고 전체 임피던스를 계산하므로 모선 임피던스 행렬은 발전기 모선을 단락하고 계산한다. 부하모션의 부하를 고려한모선 임피던스 행렬이므로  $k$ 번째 대각 요소인  $Z_{kk}$ 는 모선  $k$ 의 부하를 무시한 테브난 등가 임피던스,  $Z_{th}$ 와 모선  $k$ 의 부하,  $Z_k^L$ 와 병렬 합성이

된다. 이를 식으로 나타내면 다음과 같다.

$$Z_{kk} = \frac{Z_k^L Z_{th}}{Z_k^L + Z_{th}} \quad (28)$$

그러므로 테브난의 등가 임피던스는

$$Z_{th} = \left( \frac{1}{Z_{kk}} - \frac{1}{Z_k^L} \right)^{-1} \quad (29)$$

이다.

2.2.3 테브난의 등가 전압

모선  $k$ 의 전압,  $V_k$ 는 계통의 모든 부하를 고려하였을 때의 조류계산 결과이다. 모선  $k$ 의 부하를 무시하였을 때 테브난의 등가 전압,  $V_{th}$ 는 다음 식과 같다.

$$V_{th} = \left( 1 + \frac{Z_{th}}{Z_k^L} \right) V_k \quad (30)$$

한 모선에 대한 테브난의 등가회로를 구하였다. 이 모선의 최대 부하는 부하,  $Z_k^L$ 를 증가하면서 구할 수 있다.

위에서 구한  $V_{th}$ 와  $Z_{th}$ 로 식 (23) 또는 식 (26)에서  $V_1$ 과  $Z$ 에 대입하여 전압 안정도를 분석할 수 있다. 이 방법은 선형 특성을 이용한 방법이므로 계산 결과를 이용하여 조류계산을 수행해야 하므로 수렴될 때까지 반복한다.

3. 모의계통 및 실험결과

3.1 모의 계통

본 논문에서 개발한 가용송전용량을 계산 기법을 적용하기 위한 모의실험 계통은 그림 2와 같이 IEEE 30모선 계통을 이용하였다. 30모선은 6대의 발전기, 41개의 송전선로 및 4개의 변압기로 구성되어 있으며, 총 부하는 195[MW]이다. 선로용량은 조류계산 결과를 이용하여 임의로 가정하여 선정하였다.

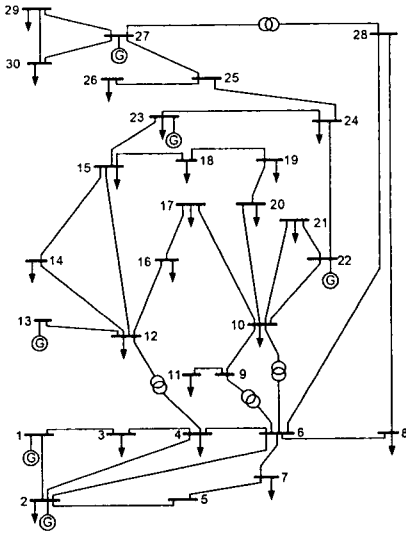


그림 2. IEEE 30모선 계통도  
Fig. 2. IEEE 30Bus System

### 3.2 모의실험과 결과분석

#### 3.2.1 열적용량을 고려한 ATC 계산

모의실험 계통의 시뮬레이션 시나리오는 하나의 지역에서 하나의 지역으로 송전하는 것을 기준으로 삼고, 다음의 두 가지 경우를 선정하였다. 사례연구 A는 모선 10번을 수전하는 축의 부하 모선으로 하고 송전하는 축의 발전기는 2, 13, 23번으로 선정하며, 사례연구 B는 부하모선은 모선 15번으로 하고 발전기는 2, 22, 27번을 선정하였다.

표 1과 2는 상정사고를 고려하지 않고 선로의 열적제약에 의한 ATC의 계산 결과이다. 사례연구 A는 반복조류계산 결과와 같음을 알 수 있다. 그러나 B-2의 경우는 상대적으로 오차가 크게 나타났다. 이는 선형화 기법으로 유효전력만 고려하고 무효전력을 고려하지 않았기 때문이다. 그러나 모든 경우에 모두 같은 선로에 과부하로 인하여 전송 전력이 제한되었다.

표 3과 4는 같은 사례에 상정사고( $n-1$ )를 발생하였을 때 전송할 수 있는 전력을 계산한 결과이다. 선로용량은 정상상태 용량보다 고장시의 용량이 증가되지만 본 논문에서는 같은 용량으로 가정하였다. 이 사례는 상정사고를 고려하지 않은 경우보다 오차

는 더 크게 나타났지만 과부하 선로와 상정사고 선로는 같게 나타났다.

표 1. PTDF를 이용한 A 사례의 ATC 계산 결과  
Table 1. ATC Results for Case A Using PTDF

Case	From	To	ATC[MW]		Overloading Branch
			PTDF	Pss/e	
A-1	2	10	70.7767	70.3	15-18
A-2	13	10	35.7172	33.1	15-18
A-3	23	10	35.2753	30.5	15-18

표 2. PTDF를 이용한 B 사례의 ATC 계산 결과  
Table 2. ATC Results for Case B Using PTDF

Case	From	To	ATC[MW]		Overloading Branch
			PTDF	Pss/e	
B-1	2	15	44.6896	41.9	12-15
B-2	22	15	62.1511	54.1	12-15
B-3	27	15	24.9597	24.5	25-24

표 3. LODF를 이용한 A 사례의 ATC 계산 결과  
Table 3. ATC Results for Case A Using LODF

Case	From	To	ATC[MW]		Overloading Branch	Outage Branch
			LODF	Pss/e		
A-1	2	10	44.3332	39.7	15-18	9-10
A-2	13	10	23.8363	12.4	15-18	12-16
A-3	23	10	19.6139	10.3	15-18	23-24

표 4. LODF를 이용한 B 사례의 ATC 계산 결과  
Table 4. ATC Results for Case B Using LODF

Case	From	To	ATC[MW]		Overloading Branch	Outage Branch
			LODF	Pss/e		
B-1	2	15	34.9551	35.7	12-15	14-15
B-2	22	15	43.6867	46.5	12-15	23-24
B-3	27	15	11.5014	3.4	24-25	27-28

표 5는 PTDF와 LODF를 이용한 방법과 반복조류계산으로 계산한 시간을 비교한 것으로 PTDF와 LODF를 이용한 방법이 소요시간이 적었다. 반복조류계산법은  $\lambda$ 값이 커짐에 따라 소요시간은 적었지만 발생하는 오차는 증가하였다.

표 5. ATC 계산 시간  
Table 5. ATC Calculation Time

System		PTDF [sec]	LODF [sec]	RPF	
				[sec]	
				$\lambda = 0.01$	$\lambda = 0.05$
Case A	1	0.39	0.56	48.39	5.88
	2	0.47	0.53	22.70	4.92
	3	0.31	0.59	20.92	4.75
Case B	1	0.31	0.66	19.53	4.33
	2	0.33	0.64	24.17	5.27
	3	0.44	0.56	12.45	2.81

3.2.2 전압 안정도를 고려한 ATC 계산

전압 안정도를 고려한 ATC 계산을 위하여 식 (25)을 이용하여 전송 전력을 계산하였다. 전압 안정도의 붕괴전압은 매우 낮은 전압이지만 일반적으로 전력계통을 운영할 때는 높은 전압에서 운전되므로 모선의 한계전압은 0.9[pu]로 계산하였다.

표 6와 7은 정태 전압안정도를 고려한 최대 전송 전력 결과이다.

표 6. A사례의 ATC 계산 결과  
Table 6. ATC Results for Case A

Case	From	To	ATC		Low Voltage	repeat number
			P[MW]	Q[Mvar]		
A-1	2	10	114.99	39.65	11	4
A-2	13	10	104.68	36.09	17	5
A-3	23	10	89.30	30.79	19	4

표 7. B사례의 ATC 계산 결과  
Table 7. ATC Results for Case B

Case	From	To	ATC		Low Voltage	repeat number
			P[MW]	Q[Mvar]		
B-1	2	15	96.37	29.39	15	7
B-2	22	15	92.67	28.26	15	7
B-3	27	15	92.99	28.36	15	10

표 8은 전압 안정도를 판별하기 위하여 반복되는 횟수를 비교한 것으로 본 논문에서 개발한 방법이 현저히 적었다.

표 8. ATC 반복 횟수  
Table 8. ATC Iteration Number

System		Voltage Stability [횟수]	RPF	
			[횟수]	
			$\lambda = 1.0$	$\lambda = 0.5$
Case A	1	4	24	49
	2	5	24	50
	3	4	21	41
Case B	1	7	13	26
	2	7	13	25
	3	10	13	25

4. 결 론

본 논문에서는 선로의 열적 제약과 모선의 전압 안정도 제약을 고려한 ATC 계산 방법을 제안하였다. 열적제약은 선형화 기법인 PTDF와 LODF를 이용하여 상정 사고( $n-1$ )를 고려한 ATC를 계산하였고 전압 안정도 제약은 2모선 등가 시스템을 이용하여 최대 전력을 구하는 방법을 다모선 계통에 적용하였다.

열적 제약을 고려한 선형화 ATC 기법은 오차는 발생하지만 계산 속도는 빠르다. 전압 안정도 제약을 고려한 ATC 계산 기법은 반복 조류계산 기법에 비하여 계산 속도와 정확도가 증진되었다. 이를 IEEE 30모선에 적용하여 만족할만한 결과를 얻을 수 있었다.

본 논문은 순천대학교 공과대학 학술 재단의 지원에 의하여 수행되었음.

References

(1) G. C. Ejebe, J. G. Waight, Manuel Santo-Nieto, W. F. Tinney, "Fast Calculation of Linear Available Transfer Capability", IEEE trans. on PS vol. 15, no. 3, pp1112-1116, August 2000.  
 (2) Richard D. Christie, Bruce F. Wollenberg, Ivar Wangensteen, "Transmission Management in the Deregulated Environment," Proceedings of the IEEE, vol. 88, no. 2, pp170-194, February 2000.  
 (3) H. Chiang, A. J. Flueck, K.S. Shah, and N. Balu, "OPFLOW: A practical tool for tracing power system

- steady-state stationary behavior due to load and generation variations," IEEE trans. on PS, vol. 10, pp623-634, May 1995.
- [4] Jaehyeon Gim, Yangil Kim, Sungwon Jeung, "A Study on the Enhancement of Available Transfer Capability Using the Flexible AC Transmission System (FACTS)," KIEE International Transactions on Power Engineering, vol. 4-A, no. 4, pp192-200, 2004.
- [5] Bresesti, P., Lucarella, D., Marannino, P.,vailati, R., Zanellini, F., "An OFF-based procedure for fast TTC analyses," Power Engineering society Summer Meeting, IEEE, vol. 3, pp1504-1509, 2002.
- [6] Sungwon Jeong, Jaehyeon Gim, "A Study in the Minimization of Generation Cost of an Indicial Power Generation Considering Available Transfer Capability(ATC)," Trans. KIEE, vol. 54A, no.12, pp586-591, Dec. 2005.
- [7] M. H. Haque, "Determination of Steady-State Voltage Stability Limit Using P-Q curve," IEEE Power Engineering review, April, 2002, p71-72.
- [8] M. H. Haque, "A fast method for determining the voltage stability limit of a power system," Electric Power System research, vol 32, 1995, p35-43.
- [9] Venjatararam Ajjarapu, Colin christy, "The Continuation Power Flow: A Tool for steady State Voltage Stability Analysis", IEEE trans of PS vol. 7, no. 1 feb. 1992, pp416-422.
- [10] A.M. chebbo, MR Irving, M.J.H. Sterling, "Voltage Collapse Proximity Indicator : Behaviour and Implications," IEE Proceedings-C, vol. 139, no. 3, May 1992. pp241-251.
- [11] Peter W. sauer, Karl E. Reinhard Thomas J, Overbye, "Extended Factors for Linear Contingency Analysis," Proceedings of the 34th Hawaii International Conference on System Sciences, 2001.

### ◇ 저자소개 ◇

#### 김재현 (金在顯)

1956년 1월 25일생. 1977년 홍익대학교 전기공학과 졸업.  
1989년 University of Texas at Arlington 졸업(석사).  
1993년 동 대학교 졸업(박사). 현재 국립 순천대학교  
정보통신공학부 부교수.