

고속 계산을 위한 연속 조류 계산 시스템의 향상

박민석, 송화창, 이병준, 권세혁
고려대학교 전기전자전파공학부

The Enhancement of Continuation Power Flow at Minimal Computational Costs

Minseok Park · Hwachang Song · Byongjun Lee · Sae-Hyuk Kwon
Schools of Electrical Engineering, Korea University

Abstract - Continuation power flow has been developed to remove the ill-condition problem caused by singularity of power flow Jacobian at and near steady-state voltage instability point in conventional power flow. When solving large-scale power transmission systems, continuation power flow require large computational costs. Therefore, technique to improve the speed of continuation power flow system was required. In this paper, Decoupled Power Flow Method (DPFM), Enhanced Decoupled Power Flow Method (EDPFM), Robust Fast Decoupled Power Flow Method (RFDPFM) are applied to continuation power flow algorithm to improve the speed of continuation power flow system.

키기 위해 재구성된 전력 조류 방정식의 결과를 구하기 위해 연속 조류 계산은 현재의 해로부터 다음해의 추정 값을 구하는 예측 과정과 이 값을 이용하여 정확한 조류 해를 구하는 수정 과정으로 이루어져 있다. 예측 과정은 현재의 조류해로부터 다음해의 추정 값을 구하는 과정으로 식 (1)로서 나타내어진다.

$$\begin{bmatrix} \frac{P_\delta}{Q_\delta} & \frac{P_V}{Q_V} & \frac{P_\lambda}{Q_\lambda} \\ e_k \end{bmatrix} \begin{bmatrix} d\delta \\ dV \\ d\lambda \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{H}{K} & \frac{N}{L} & \frac{P_\delta}{Q_\delta} \\ e_k \end{bmatrix} \begin{bmatrix} d\delta \\ dV \\ d\lambda \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \pm 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

식 (1)에서 조류 방정식의 자코비안인 $\begin{bmatrix} H & N \\ K & L \end{bmatrix}$ 이 특이성을 갖더라도 전체 행렬은 특이성을 갖지 않게 되어 접선 벡터 $[d\delta \ dV \ d\lambda]^T$ 를 쉽게 구할 수 있다. 이 접선 벡터를 이용하여 다음해의 근사치 $[\delta^* \ V^* \ \lambda^*]$ 를 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} \delta^* \\ V^* \\ \lambda^* \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \delta \\ V \\ \lambda \end{bmatrix} + \sigma \begin{bmatrix} d\delta \\ dV \\ d\lambda \end{bmatrix} \quad (2)$$

여기에서 '*'는 다음 부하 파라미터 λ 에 대한 예측된 해에 해당되고 σ 는 스텝 크기에 해당된다. 스텝 크기는 수정 과정의 수렴 변경 안에서 추정된 해가 존재하도록 정해져야 한다.

수정 과정은 예측 과정에서 계산한 다음해의 근사치 $[\delta^* \ V^* \ \lambda^*]$ 로부터 전력 조류 방정식을 만족하는 정확한 평형해를 구하는 과정이다. 예측된 해를 초기 추정값으로 하여 식 (3), (4)의 반복계산으로 구현된다.

$$\begin{bmatrix} \frac{H}{K} & \frac{N}{L} & \frac{P_\delta}{Q_\delta} \\ e_k \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta\delta \\ \Delta V \\ \Delta\lambda \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -P(\delta^*, V^*, \lambda^*) \\ -Q(\delta^*, V^*, \lambda^*) \\ 0 \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$\begin{bmatrix} \delta^{*(k+1)} \\ V^{*(k+1)} \\ \lambda^{*(k+1)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \delta^{*(k)} \\ V^{*(k)} \\ \lambda^{*(k)} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \Delta\delta \\ \Delta V \\ \Delta\lambda \end{bmatrix} \quad (4)$$

$\max(|\Delta\delta|, |\Delta V|, |\Delta\lambda|) < \epsilon$ ϵ : 수렴 허용오차

2.2 DPF법을 적용한 연속 조류 계산 시스템

2.2.1. 예측 과정에서의 적용

DPF 법은 자코비안을 완전한 형태로 사용하지 않고 $P-\delta$, $Q-V$ 에 관한 계통 특성을 고려한 이른바 $P-Q$ 분할특성을 이용해 고속 조류 계산에 사용되는 알고리즘이다. 식 (1)에 DPF법을 적용하기 위해 $P-Q$ 분할특성을 이용해서 식 (1)을 간략화 하면 식(5)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{bmatrix} \frac{H}{K} & 0 & \frac{P_\delta}{Q_\delta} \\ 0 & \frac{L}{L} & \frac{Q_\delta}{Q_\delta} \\ e_k \end{bmatrix} \begin{bmatrix} d\delta \\ dV \\ d\lambda \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \pm 1 \end{bmatrix} \quad (5)$$

e_k 에서 결정되어지는 연속 파라미터의 선택은 전압과 부하 파라미터중에서 제한할 수 있다. 그러면 식 (6)과 같이 나타낼 수 있다.

1. 서 론

계통의 전압 안정도 해석에서 정적인 전압 불안정점을 계산하는 것은 아주 중요하다. 그러나 일반적인 뉴턴-랩슨(N-R) 법에서는 정적인 전압 불안정점 부근에서 자코비안이 특이성을 갖게 되므로 조류 계산이 발산하게 되고 따라서 정적인 전압 불안정점을 구할 수 없었다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 강인한 수렴 특성을 갖는 연속 알고리즘을 전력 조류 계산에 적용한 연속 조류 계산 시스템이 개발되었다.[1] 그러나, 실제 적용시 계산시간이 많이 소요된다는 문제가 발생되어 이의 개선을 위한 노력이 필요하게 되었다.

본 논문에서는 이러한 관점에서 연속 조류 계산 시스템의 수행 능력의 향상 즉, 계산 속도의 향상을 위하여 기존의 N-R 법을 적용하였던 연속 조류 계산 시스템에 Decoupled Power Flow(DPF) 법[2], Enhanced Decoupled Power Flow(EDPF) 법[3], Robust Fast Decoupled Power Flow(RFDPF) 법[4] 등을 적용한 연속 조류 계산 시스템을 개발하고 각각의 시스템의 수행 능력을 검토하고자 한다.

먼저 각각의 알고리즘을 연속 조류 계산 시스템의 예측 과정과 수정 과정에 적용하는 과정을 보인다. 그리고, 사례 연구에서는 각각의 알고리즘을 적용한 연속 조류 계산 시스템의 계산 능력을 기존의 N-R 법을 적용한 연속 조류 계산 시스템과 비교한다. 771 모선 실제통과 1221 모선 실제통에 대해 각각의 시스템을 통하여 조류해 경로를 구한 후 P-V 곡선 비교와 계산 수행 시간 비교를 통하여 각각의 시스템들의 연속 조류 계산 능력을 비교하게 된다.

2. 수정된 연속 조류 계산 시스템

2.1 연속 조류 계산 시스템

연속 조류 계산은 연속 알고리즘을 적용한 전력 조류 계산으로 기본해로부터 시작하여 부하 변화에 따라 조류 해를 추적하는 알고리즘이다. 부하를 파라미터로 포함시

$$\begin{bmatrix} H & \Omega & P_2 \\ \Omega & L & Q_2 \\ \Omega & e_k & I \end{bmatrix} \begin{bmatrix} d\delta \\ dV \\ dI \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Omega \\ \Omega \\ \pm 1 \end{bmatrix} \quad (6)$$

식 (6)을 두 부분으로 나누면 식 (7), (8)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{bmatrix} H & P_2 \\ \Omega & I \end{bmatrix} \begin{bmatrix} d\delta \\ dI \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Omega \\ \pm 1 \end{bmatrix} \quad (7)$$

$$\begin{bmatrix} L & Q_2 \\ \Omega & I \end{bmatrix} \begin{bmatrix} dV \\ dI \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Omega \\ \pm 1 \end{bmatrix} \quad (8)$$

식 (8)에서 접선벡터 $[d\delta \ dV \ dI]^T$ 중 $[dV \ dI]^T$ 성분을 구할 수 있다. 식 (8)에서 구해진 dI 값을 식 (7)에 반영하기 위해 식 (7)을 식 (9)와 같이 수정한다.

$$\begin{bmatrix} H & P_2 \\ \Omega & I \end{bmatrix} \begin{bmatrix} d\delta \\ dI \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Omega \\ \pm 1 \end{bmatrix} \quad (9)$$

식 (9)의 우변의 dI' 은 식 (8)에서 구해진 dI 값을 나타낸다. 식 (9)에서 $d\delta$ 성분을 계산하여 포함시키면 접선벡터 $[d\delta \ dV \ dI]^T$ 를 구할 수 있게된다.

즉, 식 (1)로 나타내어졌던 예측 과정이 식 (8), (9)와 같이 분할 수정되어진다.

2.2.2 수정 과정으로의 적용

2.2.1에서와 마찬가지로 P-Q 분할특성(Decoupling)을 이용해서 전개하면 식 (3)은 식 (10), (11)과 같이 분할 수정되어진다.

$$\begin{bmatrix} L & Q_2 \\ \Omega & I \end{bmatrix} \begin{bmatrix} dV \\ dI \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\Omega \delta^* & V^* & \lambda^* \\ 0 \end{bmatrix} \quad (10)$$

$$\begin{bmatrix} H & P_2 \\ \Omega & I \end{bmatrix} \begin{bmatrix} d\delta \\ dI \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -P \delta^* & V^* & \lambda^* - N dV \end{bmatrix} \quad (11)$$

2.2.3 Dishonest DPF 법

N-R 법의 반복 과정에서 $h(x) = c$ 의 해 (x_s)에 접근해갈 때, 자코비안에 큰 변화가 생기지 않으면(조류 계산 문제에 있어서 자코비안의 큰 변화는 PV 모선이 PQ 모선으로 바뀌면서 발생하는 자코비안 차원의 변화를 의미한다.) 자코비안을 갱신하지 않고 초기 추정값에서의 계산된 자코비안을 계속 이용하는 방법을 Dishonest N-R 법이라고 한다. 이 알고리즘을 연속 조류 계산에 적용했을 경우, 자코비안 행렬의 차원이 변하지 않는다면 각 시스템의 수정 과정에서 한번의 자코비안 계산과 행렬 분해만을 필요로 하므로 대형 계통에 대한 연속 조류 계산 수행시 계산량과 계산 시간 단축이 가능하다[5].

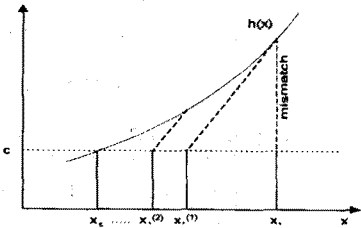


그림1 Dishonest N-R 법의 개념

Dishonest DPF 법은 Dishonest N-R 법의 개념을 DPF 법에 적용한 것으로, 초기 추정값에서 계산된 두 개의 부분 자코비안 $\begin{bmatrix} L & Q_2 \\ \Omega & I \end{bmatrix}$, $\begin{bmatrix} H & P_2 \\ \Omega & I \end{bmatrix}$ 을 수정 과정의 반복계산에 계속 이용하는 것이다. 이 알고리즘과 Dishonest N-R 법에 대한 장점은 PV모선이 PQ모선으로 바뀔 때 $\begin{bmatrix} L & Q_2 \\ \Omega & I \end{bmatrix}$ 의 차원은 변하더라도, $\begin{bmatrix} H & P_2 \\ \Omega & I \end{bmatrix}$ 의 차원은 변하지 않기 때문에 두 개의 부분 자코비안 중 $\begin{bmatrix} L & Q_2 \\ \Omega & I \end{bmatrix}$ 만 갱신하면 된다는 것이다. 이 방법을 통해 연

속 조류 계산 수행시 계산량과 계산시간의 단축이 가능해진다.

2.2 EDPF법을 적용한 연속 조류 계산 시스템

전력 시스템에 부하가 과중하게 걸리거나 혹은 큰 교란이 있을 때는 무효 전력과 전압 위상각 그리고 유효 전력과 전압 크기와의 결합(Coupling)이 중요하게 된다. 더욱이 전력 시스템에 여러 개의 높은 R/X 비를 가진 송전선이 있게 되면, 자코비안 행렬의 비대각 부행렬(off-diagonal submatrices)의 중요도가 증가하게 된다. 따라서, 이 때 DPF 법 혹은 FDPF 법에서와 같이 자코비안 행렬의 비 대각 부 행렬을 완전히 무시하게 되면 수렴성이 떨어지게 된다. Enhanced Decoupled Power Flow (EDPF) 법은 DPF 법이 P-Q 결합이 강해짐에 따라 반복 계산 횟수와 전체 계산 시간이 현저하게 늘어날 경우에, DPF 법의 수렴 특성을 향상시키기 위해 제안되어진 것이다. EDPF 법은 N-R 법에서 비대각 부분 행렬 (N, K)의 영향을 부분적으로 무시하는 것으로 수렴특성과 전체 계산속도가 DPF 법보다 많은 개선되어진 방법이다. 따라서, 식 (10)과 식 (11)에 EDPF 법을 적용한 연속 조류 계산 시스템의 수정 과정은 다음 두 식으로 나타내어지게 된다.

$$\begin{bmatrix} L & Q_2 \\ \Omega & I \end{bmatrix} \begin{bmatrix} dV \\ dI \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\Omega \delta^* & V^* & \lambda^* \\ 0 \end{bmatrix} \quad (12)$$

$$\begin{bmatrix} H & P_2 \\ \Omega & I \end{bmatrix} \begin{bmatrix} d\delta \\ dI \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -P \delta^* & V^* & \lambda^* - N dV \end{bmatrix} \quad (13)$$

즉, DPF 법을 적용한 연속 조류 계산 시스템과의 차이점은 식(13)의 우변에 $-N dV$ 를 포함시킨다는 점이다.

그리고, 2.1.3에서 소개한 Dishonest N-R 법의 개념을 EDPF 법에도 적용시킬 수 있으며, 이것을 "Dishonest EDPF 법"이라 하였다.

2.3 RFDPF법을 적용한 연속 조류 계산 시스템

FDPF 법은 그 빠르고 강력한 수렴 특성으로 인해 효과적인 전력 조류 계산 도구로 사용되어져 왔다. 하지만, 몇몇 송전선이 높은 R/X 비를 가지거나 중부하인 경우 모선의 낮은 전압으로 인해 FDPF 법은 수렴성이 많이 떨어지게 된다. Robust Fast Decoupled Power Flow (RFDPF)법은 FDPF 법의 수렴성 향상을 위해 높은 R/X 비와 낮은 전압으로 인한 문제를 다루기 위해 제안되어진 것이다.

RFDPF 법에서는 높은 R/X 비 문제를 다루기 위해 DPF 법이 도입되었으며, δ 와 V 사이의 결합을 줄이는 목적으로 Q-V 반복 과정에 ΔP 부분을 도입한다. ΔP 부분의 도입량은 $t \Delta P$ 에 의해서 정해지며 여기서 t 는 계통의 평균적인 R/X 비에 의해 결정되어진다. 그리고, 낮은 전압으로 인해 발생하는 문제를 다루기 위해 General Voltage Normalization Method (VNM)가 사용되었다.

파라미터 t 는 전력 조류 계산의 처음 부분에 결정되어지고 몇 번의 반복 계산 후, 표준 이하의 낮은 전압이 감지되면 VNM이 사용되어지게 된다. 이것이 RFDPF 법의 기본 개념이 된다.

2.1.1에서 DPF 법을 적용하는 것과 마찬가지로 전개하게 되면 RFDPF 법을 적용한 연속 조류 계산 시스템의 예측 과정은 다음 식 (14)와 (15)로 나타내어지게 된다.

$$\begin{bmatrix} V B' & Q_2 \\ \Omega & I \end{bmatrix} \begin{bmatrix} dV \\ dI \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Omega \\ \pm 1 \end{bmatrix} \quad (14)$$

$$\begin{bmatrix} V B' & V & P_2 \\ \Omega & I \end{bmatrix} \begin{bmatrix} d\delta \\ dI \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Omega \\ \pm 1 \end{bmatrix} \quad (15)$$

그리고, 2.1에서 DPF 법을 적용하는 것과 마찬가지로 전개하게 되면 RFDPF 법을 적용한 연속 조류 계산 시스템의 수정 과정은 VNM을 사용하지 않을 경우에는 식 (16)과 (17)로 VNM을 사용하게 되는 경우에

는 식 (18) 와 (19)로 나타내어지게 된다.

$$\begin{bmatrix} \frac{V B' V}{e_k} & \frac{Q_d}{1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta V \\ \Delta \lambda \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -t P(\delta^*, V^*, \lambda^*) - Q(\delta^*, V^*, \lambda^*) \\ 0 \end{bmatrix} \quad (16)$$

$$\begin{bmatrix} \frac{V B' V}{0} & \frac{P_d}{1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta \\ \Delta \lambda \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -P(\delta^*, V^*, \lambda^*) \\ \Delta \lambda' \end{bmatrix} \quad (17)$$

$$\begin{bmatrix} \frac{V D' V}{e_k} & \frac{Q_d}{1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta V \\ \Delta \lambda \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -t P(\delta^*, V^*, \lambda^*) - Q(\delta^*, V^*, \lambda^*) \\ 0 \end{bmatrix} \quad (18)$$

$$\begin{bmatrix} \frac{V D' V}{0} & \frac{P_d}{1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta \\ \Delta \lambda \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -P(\delta^*, V^*, \lambda^*) \\ \Delta \lambda' \end{bmatrix} \quad (19)$$

3. 사례 연구

3.1 P-V 곡선 비교

본 논문에서 제안한 DPF 법, Dishonest DPF 법, EDPF 법, Dishonest EDPF 법, RFDPF 법을 각각 적용한 수정된 연속 조류 계산 시스템의 수행 능력을 기존의 N-R 법과 Dishonest N-R 법을 적용한 연속 조류 계산 시스템과 비교 검토하기 위해 771 모선 실계통과 1221 모선 실계통에 적용하여 각각의 조류해 경로를 구하여 본다. 먼저 계산 결과의 정확성을 비교하기 위해 각각의 P-V 곡선을 비교해 본다.

그림 2 와 그림 3에서 보듯이 각 시스템의 조류해의 궤적은 거의 완전히 일치하였으며 전압 불안정점도 일치하였다.

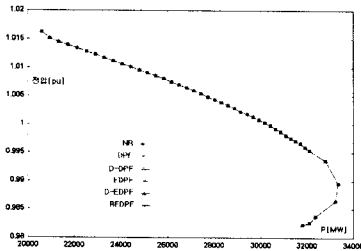


그림 2 771 모선 실계통의 P-V곡선

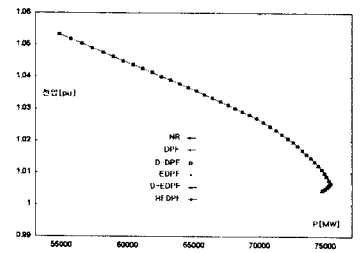


그림 3 1221모선 실계통의 P-V곡선

3. 2 계산 수행 시간 비교

여기서는 각각의 연속 조류 계산 시스템의 계산 수행 시간을 비교하기 위해 각각의 시스템에 대한 소요 시간을 비교한다. PC는 펜티엄-3 550 Mhz를 사용하였다. 각 시스템의 성능을 비교하기 위해 771 모선과 1221 모선 실계통에 대해서 초기해로부터 전압 불안정점까지의 총 40 스텝을 경부하(전반 20스텝)와 중부하(후반 20스텝)으로 나누어 한 스텝당 평균 계산 소요 시간을 표 1과 표 2에 나타내었다. 백분율은 N-R 법을 적용한 기존의 연속 조류 계산 시스템의 계산 소요 시간을 100%로 했을 때의 비율이다.

표 1 771 모선 실계통에서 한 스텝당 평균 계산 소요 시간 비교(ms)

적용 알고리즘	전반 20스텝(ms)	후반 20스텝(ms)
N-R	194.00 (100 %)	279.61 (100 %)
Dishonest N-R	161.20 (83.9 %)	265.50 (94.95 %)
DPF	230.12 (118.6 %)	425.45 (152.16 %)
Dishonest DPF	107.07 (55.19 %)	200.90 (71.85 %)
EDPF	161.32 (83.15 %)	281.40 (100.64 %)
Dishonest EDPF	94.23 (48.57 %)	169.15 (60.49 %)
RFDPF	106.53 (54.91 %)	199.21 (71.46 %)

표 2 1221 모선 실계통에서 한 스텝당 평균 계산 소요 시간 비교(ms)

적용 알고리즘	전반 20스텝(ms)	후반 20스텝(ms)
N-R	359.75 (100 %)	420.29 (100 %)
Dishonest N-R	336.79 (93.62 %)	385.89 (91.82 %)
DPF	404.62 (112.47 %)	468.80 (111.54 %)
Dishonest DPF	175.35 (48.74 %)	213.94 (50.90 %)
EDPF	306.50 (85.20 %)	367.91 (87.54%)
Dishonest EDPF	156.45 (43.49 %)	185.60 (44.16 %)
RFDPF	172.45 (47.94%)	195.97 (46.63 %)

표 1 과 표 2에서 보면, Dishonest EDPF 법을 적용한 연속 조류 계산 시스템이 경부하와 중부하 모두에서 가장 뛰어난 성능을 나타내었다. 이런 결과가 나타난 이유를 분석하기 위해 각 시스템별 평균 반복 횟수와 한 번의 반복 계산(1 iteration)에 소요되는 평균 계산 시간으로 나누어서 비교한 결과가 표 3, 표 4, 표 5에 정리되어 있다.

표 3 771 모선 실계통에서 한 스텝당 평균 반복 횟수(iteration) 비교

적용 알고리즘	전반 20스텝	후반 20스텝
N-R	2.4	3.35
Dishonest N-R	2.8	4.6
DPF	8.7	17.6
Dishonest DPF	8.5	17.5
EDPF	4.85	9.75
Dishonest EDPF	5.4	11.40
RFDPF	8.25	16.85

표 4 1221 모선 실계통에서 한 스텝당 평균 반복 횟수(iteration) 비교

적용 알고리즘	전반 20스텝	후반 20스텝
N-R	1.8	1.65
Dishonest N-R	1.8	1.65
DPF	9.2	11.6
Dishonest DPF	9.25	12.1
EDPF	6.05	7.7
Dishonest EDPF	6.10	7.95
RFDPF	8.65	11.2

표 5 한 번의 반복 계산(1 iteration)에 소요되는 평균 계산 시간(ms)

적용 알고리즘	771 모선(ms)	1221 모선(ms)
N-R	61.110	141.248
Dishonest N-R	44.436	130.945
DPF	23.164	38.217
Dishonest DPF	10.998	16.585
EDPF	26.672	43.448
Dishonest EDPF	14.011	21.174
RFDPF	11.282	16.746

표 5에서 나타나듯이 한 번의 반복 계산(1 iteration)에 소요되는 평균 계산 시간은 Dishonest DPF 법과 RFDPF 법을 적용한 경우가 가장 짧은 시간을 나타내었고, 다음으로 Dishonest EDPF 법을 적용한 경우가 짧은 시간을 나타내었지만, 표 3과 표 4에서 보듯이 반복 횟수에서 EDPF 법이 DPF 법과 RFDPF 법에 비해 뛰어난 수렴성을 나타냄을 볼 수 있다. 따라서, 표 1 과 표 2에서 나타난 것처럼 적은 반복 횟수와 짧은 계산 소요 시간의 특징을 모두 가진 Dishonest EDPF 법을 적용한 경우가 가장 좋은 성능을 나타냄을 확인할 수 있다.

그리고, 각 시스템의 전체적인 계산 소요 시간 성능을 비교하기 위해 초기해로부터 전압 불안정점에 도달하기까지의 소요 시간을 표 6 과 표 7에 나타내었고 N-R 법을 적용한 것과 비교하기 위해 역시 N-R 법을 적용한 기존의 연속 조류 계산 시스템을 100 % 로 하여 나타내었다. 여기서의 단위는 초(sec)를 사용하였다.

표 6 771 모선 실계통에서 전압 불안정점에 도달하기까지의 총 소요시간 비교(sec)

적용 알고리즘	전체 소요 시간(sec)	소요시간 비율
N-R	9.472	100 %
Dishonest N-R	8.534	90.10 %
DPF	13.111	138.42 %
Dishonest DPF	6.159	65.02 %
EDPF	8.855	93.49 %
Dishonest EDPF	5.268	55.62 %
RFDPF 법	6.115	64.56 %

표 7 1221 모선 실계통에서 전압 불안정점에 도달하기까지의 총 소요시간 비교(sec)

적용 알고리즘	전체 소요 시간(sec)	소요시간 비율
N-R	15.396	100 %
Dishonest N-R	14.273	92.71 %
DPF	17.427	113.19 %
Dishonest DPF	7.745	50.31 %
EDPF	13.686	88.89 %
Dishonest EDPF	6.797	44.15 %
RFDPF	7.318	47.53 %

표 6, 표 7에서 보듯이 771 모선 실계통과 1221 모선 실계통에 있어서 모두 Dishonest EDPF 법을 적용한 연속 조류 계산 시스템이 가장 빠른 계산 속도를 나타냄을 알 수 있다.

4. 결 론

각각의 알고리즘을 적용한 연속 조류 계산 시스템의 771 모선 실계통과 1221 모선 실계통을 통한 사례 연구를 통하여 기존의 N-R 법을 적용한 연속 조류 계산 시스템에 비해 속도가 향상되어짐을 확인할 수 있었다. 그 중에서도 Dishonest EDPF 법을 적용한 연속 조류 계산 시스템의 계산 속도가 가장 빠름을 알 수 있었다. 각 알고리즘 적용 시스템 별 상대적인 계산 속도는 (DPF 법 < N-R 법 < Dishonest N-R 법 ≈ EDPF 법 < Dishonest DPF 법 < RFDPF 법 < Dishonest EDPF 법) 을 나타내었다. 사례 연구의 결과에서 보듯이 수렴성의 향상을 가져오기 위해 적용한 EDPF 법과 계산 속도의 향상을 가져오기 위해 "Dishonest N-R 법" 의 개념을 접목시킨 Dishonest EDPF 법을 적용한 연속 조류 계산 시스템이 계산 속도 면에서 가장 뛰어난 것을 알 수 있다. 그러나, 이 논문의 결과는 고정 크기 스

템을 사용하였기 때문에 각 알고리즘의 수정 과정에서의 비교만 이루어졌다고 볼 수 있다. 따라서, 앞으로의 연구 방향은 예측 과정의 성능을 포함한 각 알고리즘의 연속 조류 계산에서의 성능을 더 정확히 비교하기 위해 스텝 크기 선정 알고리즘을 이용 가변 크기 스텝을 적용한 연속 조류 계산 시스템에서의 각 알고리즘의 비교를 통한 연구가 진행중에 있다.

[참 고 문 헌]

- [1] V. Ajarapu, C. Christy, "The Continuation Power Flow : A Tool for Steady State Voltage Stability Analysis", IEEE Trans. on PWS, vol. 7, no. 1, pp. 416-423, February 1992
- [2] B. Stott, "Decoupled Newton Load Flows", IEEE Trans. PAS, vol. PAS-91, pp. 1955-1957, September/October 1972
- [3] 이승철, 박상수, 박경배, "Decoupled Load Flow 알고리즘에 대한 유용한 알고리즘들의 개발", Trans. KIEE, Vol. 48A, No. 12, pp1514-1999, December 1999
- [4] L. Wang and X. R. Li, "Robust Fast Decoupled Power Flow", IEEE Trans. on PWS, vol. 15, no. 1, pp. 208-215, February 2000
- [5] Samuel D. Conte, and Carl de Boor, Elementary Numerical Analysis, New York: McGraw-Hill Book Company, 1980.