



(19)대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(51) 。 Int. Cl.
G06F 19/00 (2006.01)

(11) 공개번호 10-2007-0037164
(43) 공개일자 2007년04월04일

(21) 출원번호 10-2005-0092457
(22) 출원일자 2005년09월30일
심사청구일자 2005년09월30일

(71) 출원인 고려대학교 산학협력단
서울 성북구 안암동5가1 고려대학교 내

(72) 발명자 이병준
서울특별시 성북구 안암동5가 1번지 고려대학교 전기공학과
서상수
서울특별시 성북구 안암동5가 1번지 고려대학교 전기공학과

(74) 대리인 김정식

전체 청구항 수 : 총 10 항

(54) 전력 계통의 전압 안정도 평가 시스템 및 방법

(57) 요약

본 발명은 전력 계통의 전압 안정도 평가 시스템 및 방법에 관한 것으로, 본 발명의 전압 안정도 평가 시스템 및 방법은, 뉴턴-랩슨 전력 조류 계산을 통해 전압 안정도를 평가 시 분할 전력 조류 계산법(DPF) 또는 고속 분할 전력 조류 계산법(FDPF)에서 유효전력(P)-무효전력(Q) 결합이 강해짐에 따라 역행렬 반복 계산 횟수 및 전체 계산 시간이 현저하게 늘어나는 경우, 분할 전력 조류 계산법(DPF) 또는 고속 분할 전력 조류 계산법(FDPF)의 수렴 특성을 향상시키기 위해 뉴턴-랩슨 전력 조류 계산의 비대각 부분 행렬($\underline{N}$, $\underline{K}$)의 영향을 부분적(선택적)으로 무시하는 고속화 분할 전력 조류 계산법(EFD)을 적용하여 연속 조류 계산을 수행한다. 이에 따라, 전력 계통에 대해 보다 정확하고 안정되며 신속한 전압 안정도 평가가 가능하다.

대표도

도 1

특허청구의 범위

청구항 1.

전압 안정도 평가 방법에 있어서,

전력 계통으로부터 상기 전압 안정도 평가에 필요한 데이터를 추출하는 단계;

상기 데이터를 기초로 분할 전력 조류 계산법(DPF) 또는 고속 분할 전력 조류 계산법(FDPF) 중 어느 적어도 어느 하나를 이용한 전력 조류 계산시 유효전력(P)-무효전력(Q)의 결합 강도가 임계값 이상으로 예상되는 지를 판별하는 단계; 및

상기 결합 강도가 상기 임계값 이상으로 판단되면 고속화 분할 전력 조류 계산법(EFD)을 이용한 전력 조류 계산을 상기 전압 안정도 평가를 위해 선택적으로 수행하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 전압 안정도 평가 방법.

청구항 2.

제 1항에 있어서,

상기 전압 안정도 평가에 필요한 데이터는, 모선 전압, 선로 조류, 및 계전기 온/오프 정보 중 적어도 어느 하나를 포함하는 것을 특징으로 하는 전압 안정도 평가 방법.

청구항 3.

제 2항에 있어서, 상기 판별 단계에서는,

상기 전압 안정도 평가를 위한 자코비안 역행렬의 반복 계산 횟수가 설정치 이상이 필요한 경우, 및 상기 분할 전력 조류 계산법(DPF) 및 상기 고속 분할 전력 조류 계산법(FDPF) 중 적어도 어느 하나를 이용한 전력 조류 계산시 수렴이 불가능한 경우 중 적어도 어느 하나의 경우에 상기 결합 강도를 상기 임계값 이상으로 판단하는 것을 특징으로 하는 전압 안정도 평가 방법.

청구항 4.

제 1항 내지 제 3항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 유효전력(P)-무효전력(Q)의 결합 강도가 변하는 요인은,

상기 전력 계통에 설정된 기준값 이상의 중부하가 걸릴 경우, 소정 개수의 송전선이 소정값을 초과하는 R/X 비를 가질 경우, 및 사고의 기준치를 초과하는 상정사고(Contingency)가 발생될 경우 중 적어도 어느 하나를 포함하는 것을 특징으로 하는 전압 안정도 평가 방법.

청구항 5.

제 4항에 있어서,

상기 고속화 분할 전력 조류 계산법(EFD)은,

상기 자코비안을 완전한 형태로 사용하는 뉴턴-랩슨 전력 조류 계산법을 나타낸 수학식
$$\begin{bmatrix} \underline{H} & \underline{N} \\ \underline{K} & \underline{L} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \underline{\delta} \\ \Delta \underline{V} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\underline{P} \\ -\underline{Q} \end{bmatrix}$$

에서, 비대각 부분 행렬 ($\underline{N}$, $\underline{K}$) 중 어느 하나의 행렬을 무시하는 수학식
$$\begin{bmatrix} \underline{H} & \underline{N} \\ \underline{0} & \underline{L} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \underline{\delta} \\ \Delta \underline{V} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\underline{P} \\ -\underline{Q} \end{bmatrix}$$
 및

$$\begin{bmatrix} \underline{H} & \underline{0} \\ \underline{K} & \underline{L} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \underline{\delta} \\ \Delta \underline{V} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\underline{P} \\ -\underline{Q} \end{bmatrix}$$
 중 어느 하나의 형태를 취하는 것을 특징으로 하는 전압 안정도 평가 방법.

청구항 6.

전압 안정도 평가 시스템에 있어서,

전력 계통으로부터 상기 전압 안정도 평가에 필요한 데이터를 추출하는 데이터 추출부;

상기 데이터를 기초로, 분할 전력 조류 계산법(DPF) 또는 고속 분할 전력 조류 계산법(FDPF) 중 어느 적어도 어느 하나를 이용한 전력 조류 계산시 유효전력(P)-무효전력(Q)의 결합 강도가 임계값 이상으로 예상되는 지를 판별하는 판별부; 및

상기 결합 강도가 상기 임계값 이상으로 판단되면 고속화 분할 전력 조류 계산법(EFD)을 이용한 전력 조류 계산을 상기 전압 안정도 평가를 위해 선택적으로 수행하는 조류계산부를 포함하는 것을 특징으로 하는 전압 안정도 평가 시스템.

청구항 7.

제 7항에 있어서,

상기 추출부에서 상기 전압 안정도 평가를 위해 추출하는 데이터는, 모선 전압, 선로 조류, 및 계전기 온/오프 정보 중 적어도 어느 하나를 포함하는 것을 특징으로 하는 전압 안정도 평가 시스템.

청구항 8.

제 8항에 있어서, 상기 판별부는,

상기 전압 안정도 평가를 위한 자코비안 역행렬의 반복 계산 횟수가 설정치 이상이 필요한 경우, 및 상기 분할 전력 조류 계산법(DPF) 및 상기 고속 분할 전력 조류 계산법(FDPF) 중 적어도 어느 하나를 이용한 전력 조류 계산시 수렴이 불가능한 경우 중 적어도 어느 하나의 경우에 상기 결합 강도를 상기 임계값 이상으로 판단하는 것을 특징으로 하는 전압 안정도 평가 시스템.

청구항 9.

제 7항 내지 제 9항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 판별부는,

상기 전력 계통에 설정된 기준값 이상의 중부하가 걸릴 경우, 소정 개수의 송전선이 소정값을 초과하는 R/X 비를 가질 경우, 및 사고의 기준치를 초과하는 상정사고(Contingency)가 발생할 경우 중 적어도 어느 하나를 포함되는 경우에, 상기 유효전력(P)-무효전력(Q)의 결합 강도가 변하는 것으로 판단하는 것을 특징으로 하는 전압 안정도 평가 시스템.

청구항 10.

제 10항에 있어서, 상기 고속화 분할 전력 조류 계산법(EFD)은,

상기 자코비안을 완전한 형태로 사용하는 뉴턴-랩슨 전력 조류 계산법을 나타낸 수학적식
$$\begin{bmatrix} \underline{H} & \underline{N} \\ \underline{K} & \underline{L} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \underline{\Delta \delta} \\ \underline{\Delta V} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\underline{P} \\ -\underline{Q} \end{bmatrix}$$

에서, 비대각 부분 행렬($\underline{N}$, $\underline{K}$) 중 어느 하나의 행렬을 무시하는 수학적식
$$\begin{bmatrix} \underline{H} & \underline{0} \\ \underline{0} & \underline{L} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \underline{\Delta \delta} \\ \underline{\Delta V} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\underline{P} \\ -\underline{Q} \end{bmatrix}$$
 및

$$\begin{bmatrix} \underline{H} & \underline{0} \\ \underline{K} & \underline{L} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \underline{\Delta \delta} \\ \underline{\Delta V} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\underline{P} \\ -\underline{Q} \end{bmatrix}$$
 중 어느 하나의 형태를 취하는 것을 특징으로 하는 전압 안정도 평가 시스템.

명세서

발명의 상세한 설명

발명의 목적

발명이 속하는 기술 및 그 분야의 종래기술

본 발명은 전력 시스템(이하, “전력 계통”)에서 전력 에너지의 안정적 운용 여부(이하, “전압 안정도”)를 해석 및 분석하기 위한 전압 안정도 평가 시스템 및 방법에 관한 것으로, 보다 상세하게는, 보다 정확하고 신속하게 전압 안정도를 평가할 수 있는 전압 안정도 평가 시스템 및 방법에 관한 것이다.

일반적으로, 전력 계통의 전압 안정도는 선로 조류의 증가, 부하의 편중, 무효전력공급원의 부족 등과 밀접한 관계가 있다. 특히 전력시스템에 있어서, 비정상적인 전압의 출현 및 모선 전압의 저하는 이러한 전압 저하의 진전으로 인하여 종국에는 전체 전력 계통의 정전에 이르는 아주 심각한 문제를 초래할 수 있다.

이를 위해, 국내외적으로 전압 안정도에 관한 많은 해석기술이 발표되고, 이를 이용한 해석시스템이 일부 개발되었다. 그러나 아직까지 전력시스템의 특성상, 전압붕괴점 및 전압붕괴점 부근에서의 정확한 해를 구할 수 없는 실정이다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 제안된 전압 안정도 평가 시스템 중 하나가 조류 계산 방법이다.

조류 계산 방법은 발전기, 변압기, 콘덴서 등으로 구성된 계통에서 발전기로부터 발전된 유효전력, 무효전력 등이 어떤 상태로 흘러가며 각 지점에서의 전압이나 전류가 어떤 수준으로 될 것 인가를 예측하기 위한 계산으로 전압과 전력을 사용하여 나타낸다. 즉, 조류 계산 방법은 전력 계통의 각 모선에 존재하는 전압의 크기와 그 위상각, 유효, 무효 전력의 4개의 변수들 중에서 알고 있는 기지량과 지정되는 운용조건들을 바탕으로 해서 미지의 전기량을 수치적으로 산출하는 방법이다.

일반적인 전력 조류 계산 방법은 정적인 전압 붕괴점과 그 부근에서 자코비안이 특이성을 갖게 되어 조류 계산이 발산하는 문제점이 있다. 이를 해결하기 위해 제안된 것이 뉴턴-랩슨(Newton-Raphson: N-R) 전력 조류 계산 방법이다. 뉴턴-랩슨 전력 조류 계산 방법은 국부적 파라미터를 이용한 연속 조류 계산을 도입함으로써 상기 문제점을 극복한 것이다.

그런데 뉴턴-랩슨 전력 조류 계산 방법은 유도된 계산식을 풀기 위해서는 매 반복 시마다 자코비안의 역행렬을 풀어야한다. 따라서 뉴턴-랩슨 전력 조류 계산 방법은 현실적으로 전력 계통이 규모가 커지고 그 구조가 복잡해짐에 따라, 컴퓨터의 기억 용량 및 계산 시간이 증가하게 되는 문제점이 있다.

발명이 이루고자 하는 기술적 과제

상기와 같은 문제점을 해결하기 위한 본 발명의 목적은, 보다 정확하고 신속하게 전압 안정도를 평가할 수 있는 전압 안정도 평가 시스템 및 방법을 제공하는 데 있다.

본 발명의 다른 목적은, 뉴턴-랩슨 전력 조류 계산을 통해 전압 안정도를 평가할 때 유도된 계산식을 풀기 위해 매 반복 시마다 자코비안의 역행렬을 계산함에 따라 발생하는 계산 시간 증가의 문제점을 해결할 수 있는 전압 안정도 평가 시스템 및 방법을 제공하는 데 있다.

본 발명의 또 다른 목적은, 뉴턴-랩슨 전력 조류 계산을 통한 전압 안정도를 평가 시 전력 계통의 규모가 커지고 그 구조가 복잡해짐에 따라 발생하는 기억 용량 및 계산 시간의 증가에 따른 문제점을 해결할 수 있는 전압 안정도 평가 시스템 및 방법을 제공하는 데 있다.

발명의 구성

상기와 같은 목적은 본 발명의 실시예에 따라, 전압 안정도 평가 방법에 있어서, 전력 계통으로부터 전압 안정도 평가에 필요한 데이터를 추출하는 단계; 데이터를 기초로 분할 전력 조류 계산법(DPF) 또는 고속 분할 전력 조류 계산법(FDPF) 중 어느 적어도 어느 하나를 이용한 전력 조류 계산시 유효전력(P)-무효전력(Q)의 결합 강도가 임계값 이상으로 예상되는 지를 판별하는 단계; 및 결합 강도가 임계값 이상으로 판단되면 고속화 분할 전력 조류 계산법(EFD)을 이용한 전력 조류 계산을 전압 안정도 평가를 위해 선택적으로 수행하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 전압 안정도 평가 방법에 의해 달성된다.

상기 전압 안정도 평가에 필요한 데이터는, 모선 전압, 선로 조류, 및 계전기 온/오프 정보를 포함한다.

상기 판별 단계에서는, 상기 전압 안정도 평가를 위한 자코비안 역행렬의 반복 계산 횟수가 설정치 이상이 필요한 경우, 및 분할 전력 조류 계산법(DPF) 및 고속 분할 전력 조류 계산법(FDPF) 중 적어도 어느 하나를 이용한 전력 조류 계산시 수렴이 불가능한 경우 중 적어도 어느 하나의 경우에 결합 강도를 임계값 이상으로 판단한다.

상기 유효전력(P)-무효전력(Q)의 결합 강도가 변하는 요인은, 상기 전력 계통에 설정된 기준값 이상의 중부하가 걸릴 경우, 소정 개수의 송전선이 소정값을 초과하는 R/X 비를 가질 경우, 및 사고의 기준치를 초과하는 상정사고(Contingency)가 발생될 경우 중 적어도 어느 하나를 포함한다.

상기 고속화 분할 전력 조류 계산법(EFD)은, 상기 자코비안을 완전한 형태로 사용하는 뉴턴-랩슨 전력 조류 계산법을 나

타낸 수학적식
$$\begin{bmatrix} \underline{H} & \underline{N} \\ \underline{K} & \underline{L} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \underline{\Delta \delta} \\ \underline{\Delta V} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\underline{P} \\ -\underline{Q} \end{bmatrix}$$
에서, 비대각 부분 행렬($\underline{N}$, $\underline{K}$) 중 어느 하나의 행렬을 무시하는 수학적식
$$\begin{bmatrix} \underline{H} & \underline{N} \\ \underline{0} & \underline{L} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \underline{\Delta \delta} \\ \underline{\Delta V} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\underline{P} \\ -\underline{Q} \end{bmatrix}$$
 및
$$\begin{bmatrix} \underline{H} & \underline{0} \\ \underline{K} & \underline{L} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \underline{\Delta \delta} \\ \underline{\Delta V} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\underline{P} \\ -\underline{Q} \end{bmatrix}$$
 중 어느 하나의 형태를 취하는 것이다.

한편, 상기과 같은 목적은 본 발명의 실시예에 따라, 전압 안정도 평가 시스템에 있어서, 전력 계통으로부터 전압 안정도 평가에 필요한 데이터를 추출하는 데이터 추출부; 데이터를 기초로, 분할 전력 조류 계산법(DPF) 또는 고속 분할 전력 조류 계산법(FDPF) 중 어느 적어도 어느 하나를 이용한 전력 조류 계산시 유효전력(P)-무효전력(Q)의 결합 강도가 임계값 이상으로 예상되는 지를 판별하는 판별부; 및 결합 강도가 임계값 이상으로 판단되면 고속화 분할 전력 조류 계산법(EFD)을 이용한 전력 조류 계산을 전압 안정도 평가를 위해 선택적으로 수행하는 조류계산부를 포함하는 것을 특징으로 하는 전압 안정도 평가 시스템에 의해 달성된다.

상기 추출부에서 전압 안정도 평가를 위해 추출하는 데이터는, 모선 전압, 선로 조류, 및 계전기 온/오프 정보 중 적어도 어느 하나를 포함한다.

상기 판별부는, 전압 안정도 평가를 위한 자코비안 역행렬의 반복 계산 횟수가 설정치 이상이 필요한 경우, 및 분할 전력 조류 계산법(DPF) 및 고속 분할 전력 조류 계산법(FDPF) 중 적어도 어느 하나를 이용한 전력 조류 계산시 수렴이 불가능한 경우 중 적어도 어느 하나의 경우에 결합 강도를 임계값 이상으로 판단한다.

상기 판별부는, 전력 계통에 설정된 기준값 이상의 중부하가 걸릴 경우, 소정 개수의 송전선이 소정값을 초과하는 R/X 비를 가질 경우, 및 사고의 기준치를 초과하는 상정사고(Contingency)가 발생될 경우 중 적어도 어느 하나를 포함되는 경우에, 유효전력(P)-무효전력(Q)의 결합 강도가 변하는 것으로 판단한다.

본 발명에 따르면, 뉴턴-랩슨 전력 조류 계산을 통해 전압 안정도를 평가 시 분할 전력 조류 계산법(DPF) 또는 고속 분할 전력 조류 계산법(FDPF)에서 유효전력(P)-무효전력(Q) 결합이 강해짐에 따라 역행렬 반복 계산 횟수 및 전체 계산 시간

이 현저하게 늘어나는 경우, 분할 전력 조류 계산법(DPF) 또는 고속 분할 전력 조류 계산법(FDPF)의 수렴 특성을 향상시키기 위해 뉴턴-랩슨 전력 조류 계산의 비대각 부분 행렬(N, K)의 영향을 부분적으로 무시하는 고속화 분할 전력 조류 계산법(EFD)을 적용하여 연속 조류 계산을 수행함으로써, 보다 정확하고 안정되며 신속한 전압 안정도 평가가 가능하다.

이하, 본 발명의 바람직한 실시예들을 첨부한 도면을 참조하여 상세히 설명한다. 본 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있는 공지 기능 및 구성에 대한 상세한 설명은 생략한다.

뉴턴-랩슨 전력 조류 계산을 통한 전압 안정도 평가 시 매 반복 시마다 자코비안의 역행렬을 풀어야 하는 문제점을 해결하기 위해, 자코비안을 완전한 형태로 사용하지 않고, $P-\delta$, $Q-V$ 에 관한 전력 계통 특성을 고려하여 자코비안 역행렬을 계산한 후 정확도가 떨어진 만큼 역행렬 계산의 반복 횟수를 늘려 이를 수정하는 방법이 제안된다. 이러한 관점에서 이른바 $P-Q$ 분할에 의한 분할 전력 조류 계산법(Decoupled Power Flow: DPF) 및 고속 분할 전력 조류 계산법(Fast Decoupled Power Flow: FDPF)이 제안되었다.

한편, 전력 계통에 여러 개의 높은 R/X 비를 가진 송전선이 있거나, 부하가 과중하게 걸리는 경우에 유효 전력과 전압 크기와의 결합이 중요하게 된다. 그 결과로서 자코비안 행렬의 비 대각 부분 행렬(off-diagonal sub-matrices)의 중요도가 증가하게 된다. 따라서, 이때 분할 전력 조류 계산법(DPF) 및 고속 분할 전력 조류 계산법(FDPF)에서와 같이 자코비안 행렬의 비 대각 부분 행렬을 완전히 무시하게 되면 수렴성이 떨어지게 된다. 이러한 단점을 해결하기 위한 본 발명에 따른 전압 안정도 평가 방법이 고속화 분할 전력 조류 계산법(Enhanced Fast Decoupled: EFD)이다.

즉, 고속화 분할 전력 조류 계산법(EFD)은 분할 전력 조류 계산법(DPF) 또는 고속 분할 전력 조류 계산법(FDPF)이 P-Q 결합이 강해짐에 따라 반복 계산 횟수와 전체 계산 시간이 현저하게 늘어날 경우에, 분할 전력 조류 계산법(DPF) 및 고속 분할 전력 조류 계산법(FDPF)의 수렴 특성을 향상시키기 위해 제안한다.

도 1은 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 전력 계통의 전압 안정도 평가 시스템을 도시한 블록도이다.

도시된 바와 같이, 전력 계통의 전압 안정도 평가 시스템은 전력 계통(100), 데이터 추출부(200), 판별부(300), 및 전력 조류 계산부(400)로 구성된다.

여기서 전력 조류 계산부(400)는 분할 전력 조류 계산법(DPF) 또는 고속 분할 전력 조류 계산법(FDPF)을 이용하여 전압 안정도 측정을 위한 전력 조류 계산을 수행하는 제1전력조류 계산부(420), 및 고속화 분할 전력 조류 계산법(EFD)을 이용하여 전압 안정도 측정을 위한 전력 조류 계산을 수행하는 제2전력조류 계산부(460)를 갖는다.

데이터 추출부(200)는 전력 계통(100)으로부터 전압 안정도 평가에 필요한 데이터를 추출한다. 여기서 상기 데이터는 모선 전압, 전로 조류, 및 계전기 온/오프 정보 등을 포함한다. 데이터 추출부(200)는 추출한 데이터를 판별부(300)에 제공한다.

판별부(300)는 데이터 추출부(200)에서 제공된 전압 안정도 평가에 필요한 데이터를 기초로 분할 전력 조류 계산법(DPF) 또는 고속 분할 전력 조류 계산법(FDPF) 중 어느 하나를 이용한 전력 조류 계산시 유효전력(P)-무효전력(Q)의 결합 강도가 임계값 이상으로 예상되는 지를 판별한다.

판별부(300)는 결합 강도가 임계값 이상으로 판단되면, 고속화 분할 전력 조류 계산법(EFD)을 이용한 전력 조류 계산을 전압 안정도 평가를 위해 선택적으로 수행하도록 데이터 추출부(200)에서 추출한 전압 안정도 평가에 필요한 데이터를 제2전력조류 계산부(460)로 출력한다.

이에 따라, 전력 조류 계산부(400)의 제2전력조류 계산부(460)는 판별부(300)로부터 입력되는 전압 안정도 평가에 필요한 데이터를 기초로 고속화 분할 전력 조류 계산법(EFD)을 이용하여 전압 안정도 측정을 위한 전력 조류 계산을 수행한다.

한편, 판별부(300)는 전압 안정도 평가를 위한 자코비안 역행렬의 반복 계산 횟수가 설정치 이상이 필요한 경우, 및 분할 전력 조류 계산법(DPF) 및 고속 분할 전력 조류 계산법(FDPF) 이용한 전력 조류 계산시 수렴이 불가능한 경우에, 결합 강도가 임계값 이상으로 예상되는 것으로 판단한다.

판별부(300)는 전력 계통에 설정된 기준값 이상의 중부하가 걸릴 경우, 소정 개수의 송전선이 소정값을 초과하는 R/X 비를 가질 경우, 및 사고의 기준치를 초과하는 상정사고(Contingency)가 발생할 경우에, 유효전력(P)-무효전력(Q)의 결합 강도가 변하는 것으로 판단한다.

도 2는 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 전력 계통의 전압 안정도 평가 방법을 도시한 흐름도이다.

먼저, 데이터 추출부(200)는 전력 계통(100)으로부터 전압 안정도 평가에 필요한 데이터를 추출한다(S110). 여기서 상기 데이터는 모선 전압, 선로 조류, 및 계전기 온/오프 정보 등을 포함한다. 데이터 추출부(200)는 추출한 데이터를 판별부(300)에 제공한다.

판별부(300)는 데이터 추출부(200)에서 제공된 전압 안정도 평가에 필요한 데이터를 기초로 분할 전력 조류 계산법(DPF) 또는 고속 분할 전력 조류 계산법(FDPF) 중 어느 하나를 이용한 전력 조류 계산시 유효전력(P)-무효전력(Q)의 결합 예상 강도를 산출한다(S130).

이에 따라, 판별부(300)는 전력 조류 계산시 유효전력(P)-무효전력(Q)의 결합 예상 강도와 설정된 임계값을 비교하여, 전력 조류 계산시 유효전력(P)-무효전력(Q)의 결합 예상 강도가 임계값 이상인지를 판별한다(S150).

결합 예상 강도가 임계값 이상으로 판단되면, 판별부(300)는 고속화 분할 전력 조류 계산법(EFD)을 이용한 전력 조류 계산을 전압 안정도 평가를 위해 선택적으로 수행하도록 데이터 추출부(200)에서 추출한 전압 안정도 평가에 필요한 데이터를, 고속화 분할 전력 조류 계산법(EFD)을 이용하여 전압 안정도 측정을 위한 전력 조류 계산을 수행하는 제2전력조류 계산부(460)로 선택 출력한다(S170).

이에 따라, 전력 조류 계산부(400)의 제2전력조류 계산부(460)는 판별부(300)로부터 입력되는 전압 안정도 평가에 필요한 데이터를 기초로 고속화 분할 전력 조류 계산법(EFD)을 이용하여 전압 안정도 측정을 위한 전력 조류 계산을 수행한다.

S150 단계에서 결합 예상 강도가 임계값보다 작은 것으로 판단되면, 판별부(300)는 분할 전력 조류 계산법(DPF) 또는 고속 분할 전력 조류 계산법(FDPF)을 이용하여 전력 조류 계산을 전압 안정도 평가를 위해 선택적으로 수행하도록 데이터 추출부(200)에서 추출한 전압 안정도 평가에 필요한 데이터를, 분할 전력 조류 계산법(DPF) 또는 고속 분할 전력 조류 계산법(FDPF)을 이용하여 전압 안정도 측정을 위한 전력 조류 계산을 연속 수행하도록 제1전력조류 계산부(420)에 선택 출력한다(S190).

이하, 종래 및 본 발명에서 이용되는 전력 조류 계산법을 적용한 연속 조류 계산 방법에 대해 보다 상세하게 설명한다.

1. 분할 전력 조류 계산법(DPF)을 적용한 연속 조류 계산 방법(Continuation Power Flow: CPF)

이하, 분할 전력 조류 계산법(DPF) 및 고속 분할 전력 조류 계산법(FDPF)을 적용한 연속 조류 계산 방법(Continuation Power Flow: CPF)의 개념에 대해 설명한다. 분할 전력 조류 계산법(DPF) 및 고속 분할 전력 조류 계산법(FDPF)은 유사한 방법을 이용하기 때문에 이중 분할 전력 조류 계산법(DPF)의 예를 설명한다.

일반적으로 유효 전력(P)은 모선 전압(V)의 크기에는 별 영향을 받지 않고 주로 위상각(δ)의 변화에 민감하게 영향을 받고

있다. $(\frac{\partial P_i}{\partial \delta_j} \gg \frac{\partial P_i}{\partial V_j})$ 한편, 무효 전력(Q)은 전압의 위상각(δ)의 변화보다도 전압(V)의 크기의 변화에 큰 영향을 받고 있

다. $(\frac{\partial Q_i}{\partial V_j} \gg \frac{\partial Q_i}{\partial \delta_j})$ 이것을 P-Q 분할 특성(P-Q Decoupling)이라 한다.

자코비안을 완전한 형태로 사용하는 뉴턴-랩슨 전력 조류 계산법을 나타내면 아래 수학식 1과 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} \underline{H} & \underline{N} \\ \underline{K} & \underline{L} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \underline{\delta} \\ \Delta \underline{V} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\underline{P} \\ -\underline{Q} \end{bmatrix}$$

여기에서 행렬 $\underline{H}$, $\underline{N}$, $\underline{K}$, $\underline{L}$ 의 정의는 아래 수학식 2a 내지 2d와 같이 나타낼 수 있다.

$$\underline{H} = \underline{P}_\delta = \begin{bmatrix} \frac{\partial P_2}{\partial \delta_2} & \frac{\partial P_2}{\partial \delta_3} & \dots & \frac{\partial P_2}{\partial \delta_n} \\ \frac{\partial P_3}{\partial \delta_2} & \frac{\partial P_3}{\partial \delta_3} & \dots & \frac{\partial P_3}{\partial \delta_n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial P_n}{\partial \delta_2} & \frac{\partial P_n}{\partial \delta_3} & \dots & \frac{\partial P_n}{\partial \delta_n} \end{bmatrix}$$

$$\underline{N} = \underline{P}_V = \begin{bmatrix} \frac{\partial P_2}{\partial V_2} & \frac{\partial P_2}{\partial V_3} & \dots & \frac{\partial P_2}{\partial V_n} \\ \frac{\partial P_3}{\partial V_2} & \frac{\partial P_3}{\partial V_3} & \dots & \frac{\partial P_3}{\partial V_n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial P_n}{\partial V_2} & \frac{\partial P_n}{\partial V_3} & \dots & \frac{\partial P_n}{\partial V_n} \end{bmatrix}$$

$$\underline{K} = \underline{Q}_\delta = \begin{bmatrix} \frac{\partial Q_2}{\partial \delta_2} & \frac{\partial Q_2}{\partial \delta_3} & \dots & \frac{\partial Q_2}{\partial \delta_n} \\ \frac{\partial Q_3}{\partial \delta_2} & \frac{\partial Q_3}{\partial \delta_3} & \dots & \frac{\partial Q_3}{\partial \delta_n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial Q_n}{\partial \delta_2} & \frac{\partial Q_n}{\partial \delta_3} & \dots & \frac{\partial Q_n}{\partial \delta_n} \end{bmatrix}$$

$$\underline{L} = \underline{Q}_V = \begin{bmatrix} \frac{\partial Q_2}{\partial V_2} & \frac{\partial Q_2}{\partial V_3} & \dots & \frac{\partial Q_2}{\partial V_n} \\ \frac{\partial Q_3}{\partial V_2} & \frac{\partial Q_3}{\partial V_3} & \dots & \frac{\partial Q_3}{\partial V_n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial Q_n}{\partial V_2} & \frac{\partial Q_n}{\partial V_3} & \dots & \frac{\partial Q_n}{\partial V_n} \end{bmatrix}$$

여기서, $P-Q$ 분할 특성을 이용하면 수학식 1을 아래 수학식 3과 같이 간략하게 나타낼 수 있다.

$$\begin{bmatrix} \underline{H} & \underline{0} \\ \underline{0} & \underline{L} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \underline{\Delta \delta} \\ \underline{\Delta V} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\underline{P} \\ -\underline{Q} \end{bmatrix}$$

이때 수학식 3은 아래 수학식 4a 및 4b와 같이 두 부분으로 분할하여 정리할 수 있다.

$$\underline{H} \underline{\Delta \delta} = -\underline{P}$$

$$\underline{L} \underline{\Delta V} = -\underline{Q}$$

이와 같이 원래의 전력 조류 계산을 $P-\delta$, $Q-V$ 의 문제로 분할해서 풀고자 하는 것이 분할 전력 조류 계산법(DPF)이다.

분할 전력 조류 계산법(DPF)을 연속 조류 계산 방법에 적용하기 위해서는 뉴턴-랩슨 전력 조류 계산법을 적용한 연속 조류 계산 방법의 예측 과정과 수정 과정을 수정하는 것으로 나누어진다.

먼저, 연속 조류 계산 방법의 예측 과정이 분할 전력 조류 계산법(DPF)을 적용함으로써 인해서 어떻게 변경되어지는지 살펴본다.

수학식 3을 P-Q 분할 특성(Decoupling)을 이용해서 간략화하면 아래 수학식 5와 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{bmatrix} \underline{H} & \underline{0} & \underline{P}_\lambda \\ \underline{0} & \underline{L} & \underline{Q}_\lambda \\ & \underline{e}_k & \end{bmatrix} \begin{bmatrix} d\delta \\ dV \\ d\lambda \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \underline{0} \\ \underline{0} \\ \pm 1 \end{bmatrix}$$

그리고 $\underline{e}_k$ 에서 결정되어지는 연속파라미터의 선택은 수렴성의 문제로 인해 δ 성분은 선택하지 않는 것으로 가정할 수 있다. 그러면 수학식 5는 아래 수학식 6과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{bmatrix} \underline{H} & \underline{0} & \underline{P}_\lambda \\ \underline{0} & \underline{L} & \underline{Q}_\lambda \\ \underline{0} & \underline{e}'_k & \end{bmatrix} \begin{bmatrix} d\delta \\ dV \\ d\lambda \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \underline{0} \\ \underline{0} \\ \pm 1 \end{bmatrix}$$

즉, $\underline{e}_k$ 를 모든 성분이 0인 행벡터 $\underline{0}$ 와 $\underline{e}'_k$ 로 분리해서 나타난다. 여기서, $\underline{e}'_k$ 는 k번째 성분이 1이고 나머지 성분은 1인 행벡터이다. 모든 성분이 0인 행벡터 $\underline{0}$ 의 원소의 수는 $n_1 + n_2$ 가 되고 $\underline{e}'_k$ 의 원소의 수는 n_1 이 된다.

수학식 6을 두 부분으로 나누면 아래 수학식 7a 및 7b와 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{bmatrix} \underline{H} & \underline{P}_\lambda \end{bmatrix} \begin{bmatrix} d\delta \\ d\lambda \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \underline{0} \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \underline{L} & \underline{Q}_\lambda \\ & \underline{e}'_k \end{bmatrix} \begin{bmatrix} dV \\ d\lambda \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \underline{0} \\ \pm 1 \end{bmatrix}$$

수학식 7a는 방정식의 수보다 변수의 수가 하나 더 많기 때문에 $d\lambda$ 성분의 계산은 연속 파라미터의 선택이 포함된 수학식 7-2에서 행해져야 한다. 따라서 수학식 7b에서 접선 벡터 $\begin{bmatrix} d\delta & dV & d\lambda \end{bmatrix}^T$ 중 $\begin{bmatrix} dV & d\lambda \end{bmatrix}^T$ 성분을 구할 수 있다.

다음에 수학식 7b에서 구해진 $d\lambda$ 값을 수학식 7-1에 반영하여 $d\delta$ 성분을 얻기 위해서는 수학식 7a가 아래 수학식 7c와 같이 수정되어야 한다.

$$\begin{bmatrix} \underline{H} & \underline{P}_\lambda \\ \underline{0} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} d\delta \\ d\lambda' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \underline{0} \\ \end{bmatrix}$$

수학식 7c의 우변의 $d\lambda'$ 은 수학식 7b에서 계산되어진 $d\lambda$ 값을 나타낸다.

따라서, 수학식 7c에서 $d\delta$ 성분을 계산하여 $[d\underline{V} d\lambda]^T$ 에 포함시키면 접선 벡터 $[d\underline{\delta} d\underline{V} d\lambda]^T$ 를 구할 수 있다. 즉, 예측 과정이 분할 전력 조류 계산법(DPF)을 적용함으로써 인해 수학식 7b 및 7c의 두 부분으로 수정된다.

다음으로, 연속 조류 계산 방법의 수정 과정이 분할 전력 조류 계산법(DPF)을 적용함으로써 어떻게 변경되어지는지 살펴본다.

수학식 1에 대해 P-Q 분할 특성(Decoupling)을 이용해서 간략화하면 아래 수학식 8과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{bmatrix} \underline{H} & \underline{0} & \underline{P}_\lambda \\ \underline{0} & \underline{L} & \underline{Q}_\lambda \\ \underline{e}_k \end{bmatrix} \begin{bmatrix} d\underline{\delta} \\ d\underline{V} \\ d\lambda \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\underline{P}(\underline{\delta}_1^*, \underline{V}_1^*, \lambda_1^*) \\ -\underline{Q}(\underline{\delta}_1^*, \underline{V}_1^*, \lambda_1^*) \\ 0 \end{bmatrix}$$

예측 과정에서와 마찬가지로 $\underline{e}_k'$ 에서 수렴성의 문제로 인해 δ 성분은 선택하지 않는 것으로 가정한다. 그러면 수학식 8은 아래 수학식 9와 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{bmatrix} \underline{H} & \underline{0} & \underline{P}_\lambda \\ \underline{0} & \underline{L} & \underline{Q}_\lambda \\ \underline{0} & \underline{e}_k' \end{bmatrix} \begin{bmatrix} d\underline{\delta} \\ d\underline{V} \\ d\lambda \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\underline{P}(\underline{\delta}_1^*, \underline{V}_1^*, \lambda_1^*) \\ -\underline{Q}(\underline{\delta}_1^*, \underline{V}_1^*, \lambda_1^*) \\ 0 \end{bmatrix}$$

수학식 9를 두 부분으로 나누면 아래 수학식 10a 및 10b로 나타낼 수 있다.

$$\begin{bmatrix} \underline{H} & \underline{P}_\lambda \end{bmatrix} \begin{bmatrix} d\underline{\delta} \\ d\lambda \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\underline{P}(\underline{\delta}_1^*, \underline{V}_1^*, \lambda_1^*) \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \underline{L} & \underline{Q}_\lambda \\ \underline{e}_k' \end{bmatrix} \begin{bmatrix} d\underline{V} \\ d\lambda \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\underline{Q}(\underline{\delta}_1^*, \underline{V}_1^*, \lambda_1^*) \\ 0 \end{bmatrix}$$

여기서 수학식 10b에서 $[d\underline{\delta} d\underline{V} d\lambda]^T$ 중 $[d\underline{V} d\lambda]^T$ 성분을 구할 수 있다. 다음에 수학식 10b에서 구해진 $d\lambda$ 값을 수학식 10a에 반영하여 $d\underline{\delta}$ 성분을 얻기 위해서는 수학식 10a을 아래 수학식 10c와 같이 수정하여야 한다.

$$\begin{bmatrix} \underline{H} & \underline{P}_\lambda \\ \underline{0} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} d\underline{\delta} \\ d\lambda \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\underline{P}(\underline{\delta}_1^*, \underline{V}_1^*, \lambda_1^*) \\ d\lambda' \end{bmatrix}$$

수학식 10c의 우변의 $d\lambda'$ 은 수학식 10b에서 계산되어진 $d\lambda$ 값을 나타낸다. 수학식 10c에서 $d\underline{\delta}$ 성분을 계산하여 $[d\underline{V} d\lambda]^T$ 에 포함시키면 $[d\underline{\delta} d\underline{V} d\lambda]^T$ 를 구할 수 있다.

정리하면, 뉴턴-랩슨 전력 조류 계산 방법을 이용하는 연속 조류 계산 시스템과 마찬가지로 분할 전력 조류 계산법(DPF)을 적용한 연속 조류 계산 시스템은 수학식 7b 및 7c를 통한 예측 과정과 수학식 10b 및 10c를 통한 수정 과정을 반복해 가며 전력 조류 방정식의 평형해의 경로를 추적한다.

2. 고속화 분할 전력 조류 계산법(EFD)을 적용한 연속 조류 계산 방법(Continuation Power Flow: CPF)

이하, 본 발명에 따른 고속화 분할 전력 조류 계산법(EFD)을 적용한 연속 조류 계산 방법(Continuation Power Flow: CPF)에 대해 설명한다.

기존에는 전력 계통이 적절한 전압 크기와 작은 위상각을 가지고 정상적인 부하가 걸려있을 때는 분할 전력 조류 계산법(DPF) 및 고속 분할 전력 조류 계산법(FDPF)이 빠르고 강력한 수렴 특성으로 인해 가장 효과적인 전력 조류 계산 도구로 사용되었다. 그러나 분할 전력 조류 계산법(DPF) 및 고속 분할 전력 조류 계산법(FDPF)은 전력 계통에 심한 중부하가 걸릴 때, 몇몇 송전선이 높은 R/X 비를 가질 때, 또는 심각한 상정사고(Contingency)가 발생할 때와 같은 경우에는, 과도한 반복 계산(iteration)이 요구되거나 수렴이 어렵게 되는 경우가 발생할 수 있다.

전력 계통에 부하가 과중하게 걸리거나 혹은 큰 교란이 있을 때는 무효 전력과 전압 위상각 그리고 유효 전력과 전압 크기와의 결합(Coupling)이 중요하게 된다. 더욱이 전력 계통에 여러 개의 높은 R/X 비를 가진 송전선이 있게 되면, 자코비안 행렬의 비대각 부행렬(off-diagonal submatrices)의 중요도가 증가하게 된다. 따라서, 이때 분할 전력 조류 계산법(DPF) 및 고속 분할 전력 조류 계산법(FDPF)에서와 같이 자코비안 행렬의 비대각 부행렬을 완전히 무시하게 되면 수렴성이 떨어지게 되는 특성이 있다.

본 발명에 따른 고속화 분할 전력 조류 계산법(EFD)은 분할 전력 조류 계산법(DPF)이 P-Q 결합이 강해짐에 따라 반복 계산 횟수와 전체 계산 시간이 현저하게 늘어날 경우에, 분할 전력 조류 계산법(DPF)의 수렴 특성을 향상시키기 위한 것이다.

고속화 분할 전력 조류 계산법(EFD)은 개념은 뉴턴-랩슨 전력 조류 계산법에서 비대각 부분 행렬($\underline{N}$, $\underline{K}$)의 영향을 부분적으로 무시하는 것으로 얻어진다. 자코비안을 완전한 형태로 사용하는 뉴턴-랩슨 전력 조류 계산법은 아래 수학식 11과 같이 나타낼 수 있다. 이는 수학식 1과 같다.

$$\begin{bmatrix} \underline{H} & \underline{N} \\ \underline{K} & \underline{L} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \underline{\Delta \delta} \\ \underline{\Delta V} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\underline{P} \\ -\underline{Q} \end{bmatrix}$$

여기에서 행렬 $\underline{H}$, $\underline{N}$, $\underline{K}$, $\underline{L}$ 각각의 정의는 수학식 2-1 내지 2-4와 같다.

P-Q 분할 특성을 이용한 분할 전력 조류 계산법(DPF)에서는 수학식 3과 같이 $\underline{N}$, $\underline{K}$ 두 비대각 부행렬 부분을 완전히 무시하는 것에 비해, 본 발명에 따른 고속화 분할 조류 계산법(EFD)은 $\underline{N}$, $\underline{K}$ 두 비대각 부행렬 중 하나의 행렬만 무시하는 것으로 구성된다. 이에 따라 P-Q 분할 특성을 이용한 고속화 분할 조류 계산법(EFD)을 이용하면 수학식 11은 아래 수학식 12와 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{bmatrix} \underline{H} & \underline{N} \\ \underline{0} & \underline{L} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \underline{\Delta \delta} \\ \underline{\Delta V} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\underline{P} \\ -\underline{Q} \end{bmatrix}$$

이때 수학식 12는 아래 수학식 13a 및 13b와 같이 두 부분으로 분할하여 정리할 수 있다.

$$\underline{L} \underline{\Delta V} = -\underline{Q}$$

$$\underline{H} \underline{\Delta \delta} = -\underline{P} - \underline{N} \underline{\Delta V}$$

이와 같이 나타내어지게 되며 수렴 특성과 전체 계산속도가 분할 전력 조류 계산법(DPF) 알고리즘보다 많이 개선되어진 방법이다.

연속 조류 계산법의 수정 과정이 고속화 분할 조류 계산법(EFD)을 적용함으로써 인해서 분할 전력 조류 계산법(DPF)을 적용하는 것과 비교해서 어떻게 변경되어지는지 살펴보자.

전술한 분할 전력 조류 계산법(DPF)을 적용한 연속 조류 계산 시스템의 수정 과정을 나타낸 수학식 10b 및 10c를 이용하여, 고속화 분할 조류 계산법(EFD)을 적용한 연속 조류 계산법의 수정 과정은 아래 수학식 14a 및 14b와 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{bmatrix} \underline{L} & \underline{Q}_\lambda \\ \underline{e}'_k & \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \underline{\Delta V} \\ \underline{\Delta \lambda} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\underline{Q}(\underline{\delta}_1^*, \underline{V}_1^*, \underline{\lambda}_1^*) \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \underline{H} & \underline{P}_\lambda \\ \underline{0} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \underline{\Delta \delta} \\ \underline{\Delta \lambda} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\underline{P}(\underline{\delta}_1^*, \underline{V}_1^*, \underline{\lambda}_1^* - \underline{N} \underline{\Delta V}) \\ \underline{\Delta \lambda}' \end{bmatrix}$$

정리하면, 분할 전력 조류 계산법(DPF)을 이용하는 연속 조류 계산법과 마찬가지로 고속화 분할 조류 계산법(EFD)을 적용한 연속 조류 계산법은 수학적 7b 및 7c를 통한 예측 과정과 수학적 14a 및 14b를 통한 수정 과정을 반복해 가며 전력 조류 방정식의 평형해의 경로를 추적해 나가게 된다.

3. 본 발명의 고속화 분할 조류 계산법(EFD)을 이용한 연속 조류 계산법과, 뉴턴-랩슨 전력 조류 계산법 및 분할 전력 조류 계산법(DPF)을 이용한 연속 조류 계산법에 따른 수행 결과 비교

본 발명에 따른 고속화 분할 조류 계산법(EFD)의 수행 능력을 기존의 뉴턴-랩슨 전력 조류 계산법과 비교 검토하기 위해 1998년 실 전력 계통과 2000년 실 전력 계통에 적용하여 각각의 조류해 경로를 구하여 본다. 실험을 위해 사용된 PC 시스템은 펜티엄-4 1.8Ghz급 이다.

또한, 정전력(constant power) 부하 모델을 이용하였고 부하 증가는 모선의 부하를 일정 역률로 증가시킨다. 전체 부하 증가량을 선택된 각 발전기의 초기 분담비에 따라 분담시켜 전력 수급 조건을 만족시키도록 한다.

3-1. P-V 곡선 비교

뉴턴-랩슨 전력 조류 계산법, 분할 전력 조류 계산법(DPF), 및 본 발명의 고속화 분할 조류 계산법(EFD)을 이용한 연속 조류 계산법의 계산 수행 시간 비교에 앞서 계산 결과의 정확성을 비교하기 위해 각각의 P-V곡선을 비교해 본다.

도 3은 1998년도 전력 계통의 P-V 곡선 실예를 도시한 그래프도이다. 이는 동서울 모선의 P-V 곡선 실예이다.

먼저, 1998년도 한국전력 전력 계통의 경우, 초기 부하는 20608 [MW]에서 시작됨을 알 수 있다. 도시된 바와 같이, 뉴턴-랩슨 전력 조류 계산법, 분할 전력 조류 계산법(DPF), 및 본 발명의 고속화 분할 조류 계산법(EFD)을 이용한 연속 조류 계산법의 경우에서, 각각의 조류해의 궤적은 거의 완전히 일치함을 알 수 있다. 여기서 전압 붕괴점은 3종류의 연속 조류 계산법 모두 33360 [MW]를 나타낸다.

도 4는 2000년도 전력 계통의 P-V 곡선 실예를 도시한 그래프도이다. 이는 동서울 모선의 P-V 곡선 실예이다.

2000년도 한국전력 전력 계통의 경우, 초기 부하는 54849 [MW]에서 시작됨을 알 수 있다. 도시된 바와 같이, 뉴턴-랩슨 전력 조류 계산법, 분할 전력 조류 계산법(DPF), 및 본 발명의 고속화 분할 조류 계산법(EFD)을 이용한 연속 조류 계산법의 경우에서, 각각의 조류해의 궤적은 거의 완전히 일치함을 알 수 있다. 여기서 전압 붕괴점은 3종류의 연속 조류 계산법 모두 75350 [MW]를 나타낸다.

도 3 및 도 4에서 보여지 듯 각각의 수정된 연속 조류 계산 시스템의 계산 결과의 정확성은 뉴턴-랩슨 전력 조류 계산법을 적용한 연속 조류 계산법의 것과 비교해서 그 차이가 심하지 않음을 알 수 있다.

3-2. 계산수행 능력 비교

뉴턴-랩슨 전력 조류 계산법, 분할 전력 조류 계산법(DPF), 및 본 발명의 고속화 분할 조류 계산법(EFD)을 이용한 연속 조류 계산법의 계산 수행 능력을 비교하기 위해, 각각의 방법에 대한 소요 시간을 비교한다. 실험을 위해 사용된 PC 시스템은 펜티엄-4 1.8Ghz급이고, 시간의 단위는 [sec]를 사용한 것이다.

도 3에 나타난 1998년도 한국전력 전력 계통에 따라 뉴턴-랩슨 전력 조류 계산법(N-R), 분할 전력 조류 계산법(DPF), 및 본 발명의 고속화 분할 조류 계산법(EFD)을 이용한 연속 조류 계산법에 대해서 전압 붕괴점에 도달하기까지의 총소요시간(sec)을 비교하면 아래 표 1과 같다.

[표 1]

연속 조류 계산법 적용 알고리즘	전체 소요 시간(sec)	소요시간 비율
N-R 법	3.455	100%
DPF 법	3.605	104.34%
EFD 법	1.823	52.76%

이를 기초로 1998년도 전력 계통의 부하에 따른 해당 조류 계산법의 적용에 따라 연속 조류 계산법의 계산 소요 시간을 나타내면 도 5와 같다.

이를 통해 알 수 있듯이, 1998년도 전력 계통에 있어서 본 발명의 고속화 분할 조류 계산법(EFD)을 이용한 연속 조류 계산법이, 뉴턴-랩슨 전력 조류 계산법(N-R) 또는 분할 전력 조류 계산법(DPF)을 이용한 연속 조류 계산법에 비해 계산 소요 시간이 가장 적게 걸리는 것을 알 수 있다.

도 4에 나타낸 2000년도 한국전력 전력 계통에 따라 뉴턴-랩슨 전력 조류 계산법(N-R), 분할 전력 조류 계산법(DPF), 및 본 발명의 고속화 분할 조류 계산법(EFD)을 이용한 연속 조류 계산법에 대해서 전압 붕괴점에 도달하기까지의 총소요시간(sec)을 비교하면 아래 표 2와 같다.

[표 2]

연속 조류 계산법 적용 알고리즘	전체 소요 시간(sec)	소요시간 비율
N-R 법	5.738	100%
DPF 법	6.409	111.69%
EFD 법	2.934	51.13%

이를 기초로 2000년도 전력 계통의 부하에 따른 해당 조류 계산법의 적용에 따라 연속 조류 계산법의 계산 소요 시간을 나타내면 도 6과 같다.

이를 통해 알 수 있듯이, 2000년도 전력 계통에 있어서 본 발명의 고속화 분할 조류 계산법(EFD)을 이용한 연속 조류 계산법이, 뉴턴-랩슨 전력 조류 계산법(N-R) 또는 분할 전력 조류 계산법(DPF)을 이용한 연속 조류 계산법에 비해 계산 소요 시간이 가장 적게 걸리는 것을 알 수 있다.

즉, 1998년도 전력 계통과 2000년도 전력 계통에 있어서 모두 기존의 조류 계산법을 적용한 것보다 본 발명에 따른 고속화 분할 조류 계산법(EFD)을 이용한 연속 조류 계산법이 가장 빠른 계산 속도를 나타냄을 알 수 있다.

또한, 도 5 및 도 6에 도시된 바와 같이, 중부하로 갈수록 한 스텝에서 소요되는 계산시간이 증가함을 알 수 있다. 그러나 고속화 분할 조류 계산법(EFD)을 이용한 연속 조류 계산법의 경우, 중부하에서의 계산 속도가 뉴턴-랩슨 전력 조류 계산법(N-R) 또는 분할 전력 조류 계산법(DPF)을 이용한 연속 조류 계산법에 비하여 훨씬 빠르게 진행됨을 알 수 있다.

따라서, 본 발명에 따라 전력 계통은 중부하인 경우가 많으므로 이러한 경우 고속화 분할 조류 계산법(EFD)을 이용한 연속 조류 계산법을 이용한다면 조류 계산에 수행되는 소요 시간을 기존의 방법에 비해 상당히 줄일 수 있다.

이상에서는 본 발명에서 특정의 바람직한 실시예에 대하여 도시하고 또한 설명하였다. 그러나 본 발명은 상술한 실시예에 한정되지 아니하며, 특허 청구의 범위에서 첨부하는 본 발명의 요지를 벗어남이 없이 당해 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 누구든지 다양한 변형 실시가 가능할 것이다.

발명의 효과

본 발명에 따르면, 뉴턴-랩슨 전력 조류 계산을 통해 전압 안정도를 평가 시 분할 전력 조류 계산법(DPF) 또는 고속 분할 전력 조류 계산법(FDPF)에서 유효전력(P)-무효전력(Q) 결합이 강해짐에 따라 역행렬 반복 계산 횟수 및 전체 계산 시간이 현저하게 늘어나는 경우, 분할 전력 조류 계산법(DPF) 또는 고속 분할 전력 조류 계산법(FDPF)의 수렴 특성을 향상시키기 위해 뉴턴-랩슨 전력 조류 계산의 비대각 부분 행렬(N, K)의 영향을 부분적으로 무시하는 고속화 분할 전력 조류 계산법(EFD)을 적용하여 연속 조류 계산을 수행함으로써, 보다 정확하고 안정되며 신속한 전압 안정도 평가가 가능하다.

도면의 간단한 설명

도 1은 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 전력 계통의 전압 안정도 평가 시스템을 도시한 블록도,

도 2는 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 전력 계통의 전압 안정도 평가 방법을 도시한 흐름도,

도 3은 1998년도 전력 계통의 P-V 곡선 실예를 도시한 그래프도,

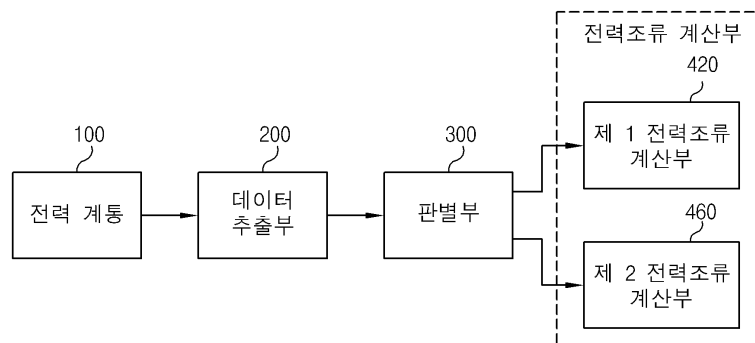
도 4는 2000년도 전력 계통의 P-V 곡선 실예를 도시한 그래프도,

도 5는 1998년도 전력 계통의 부하에 따른 종래와 본 발명의 조류 계산법의 적용에 따라 연속 조류 계산법의 계산 소요 시간을 비교한 그래프도, 그리고

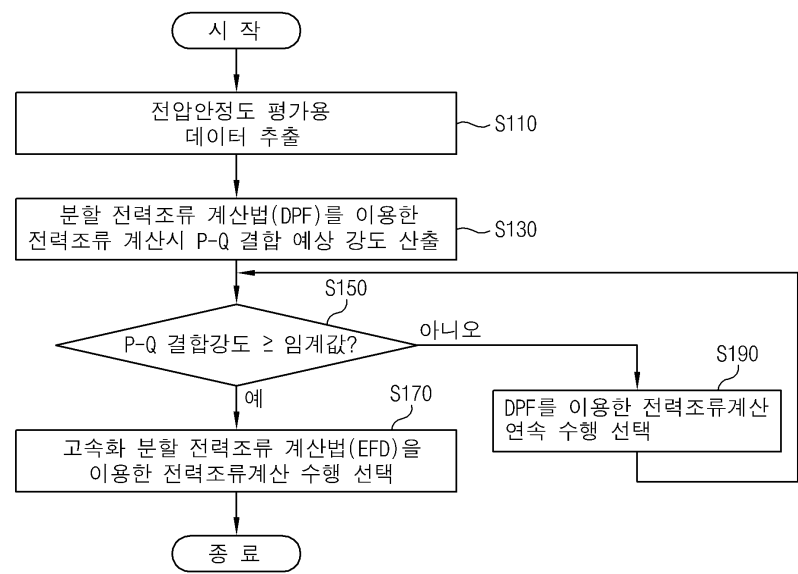
도 6은 2000년도 전력 계통의 부하에 따른 종래와 본 발명의 조류 계산법의 적용에 따라 연속 조류 계산법의 계산 소요 시간을 비교한 그래프도이다.

도면

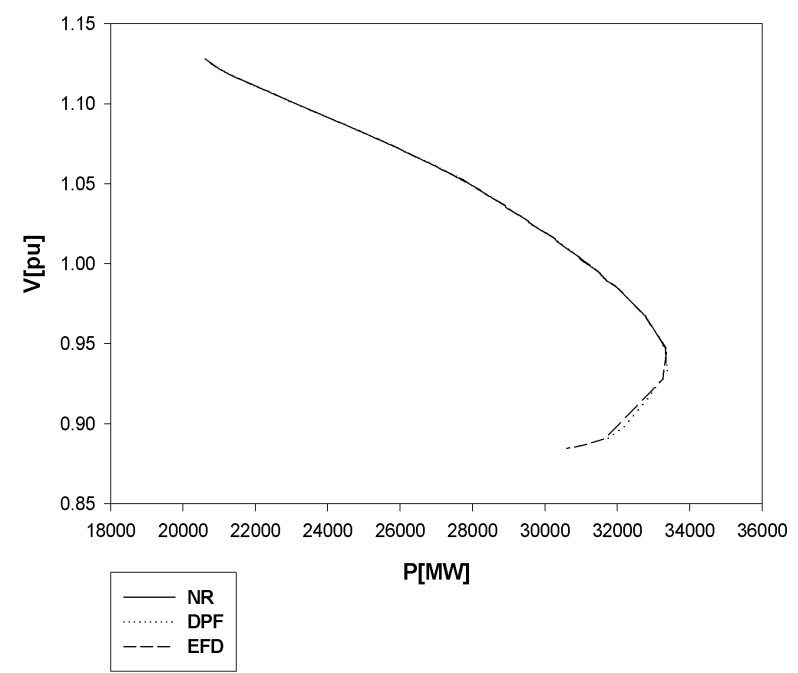
도면1



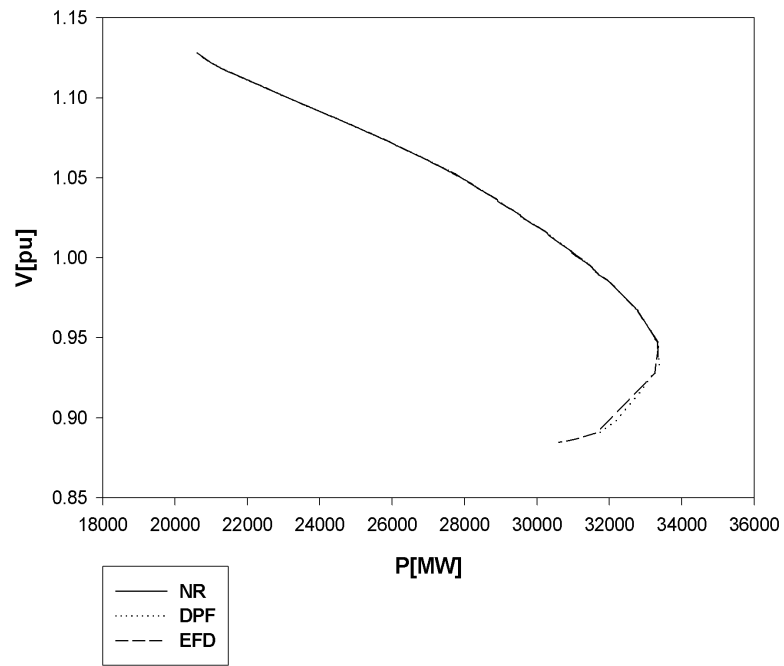
도면2



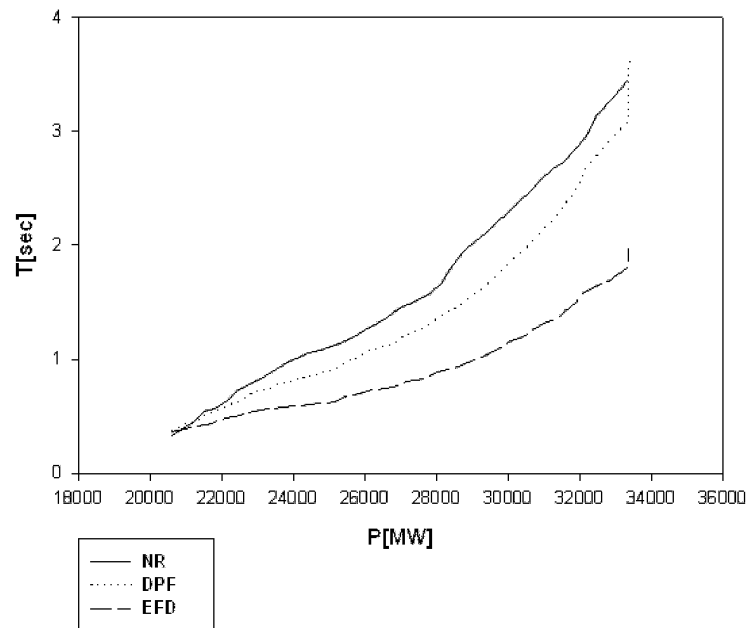
도면3



도면4



도면5



도면6

