

전압안정도 평가 모듈 개발 및 개발 모듈의 검증

남수철 이재걸 신정훈 김태균
한전 전력연구원

Development and verifying of QSS algorithm

Suchul Nam Jaegul Lee Jeonghoon Shin Taekyun Kim
Korea Electric Power Research Institute

Abstract - 상정사고가 발생하거나 전력계통의 구조가 변경된 경우 빠른 시간 안에 계통의 변화 추이를 알 수 있다면 계통 운영에 많은 이점이 있다. 그러나 기존의 시간모의 방법은 모의에 많은 시간이 소요되어 충분한 검토시간을 갖지 못하는 단점이 있고, 준동적 시간모의는 빠른 시간모의가 가능하나 자코비안 특이점으로 인하여 수치해석 오류가 종종 발생하는 단점을 갖고 있다. 전력연구원에서는 이러한 단점이 극복 가능한 연속법이 적용된 QSS에 대한 연구를 진행 중에 있다.

1. 서 론

우리주변에서 일어나는 모든 일들을 미리 예측할 수 있다면 편리한 삶을 살 수 있을 것이다. 단 몇 초라도 앞으로 일어날 일을 알 수 있다면 길을 건다 돌부리에 걸려 넘어지지 않을 것이며, 매일 같이 발생하는 교통사고도 예방할 수 있을 것이다. 그렇지만 아무도 불확실한 미래를 예측할 수 없으며, 그로인해 많은 사회적 경제적 어려움을 겪고 있다.

전력계통의 경우도 마찬가지이다. 전력계통을 운영함에 있어 앞으로 일어날 일을 예측하지 못하는 불확실성은 전력계통을 운영하는 운영자에게 많은 어려움을 준다. 전력계통의 모든 설비를 대상으로 발생가능한 모든 사고의 목록을 작성하고 매 시간마다 변화하는 환경에 따라 상정사고를 검토하여 운영전략을 세운다. 이렇게 작성된 운영전략에 따라 예상치 못하게 발생하는 상정사고에 대처하게 된다. 만약 이러한 과정이 원활히 이루어지지 않으면 전력계통 운영의 불확실성은 더욱 커지고 예기치 않은 사고의 발생이 파급되어 대규모 정전상태로 진행될 수 있다. 우리는 이러한 경우를 근래에 발생한 대규모 정전사고에서 찾아 볼 수 있다.

2003년 북미에서 발생한 광역정전은 사전에 상정사고에 대한 검토를 통한 적절한 운영전략이 마련되지 않은 상태에서 계통상태를 파악하지 못하여 결국 대규모 정전사고로 파급된 경우이다. 같은 해 발생한 유럽의 정전사고도 계통운영자가 사전 검토한 운영전략을 따르지 않고 경험에 의한 조작이 부정적인 영향을 일으켜 발생하였다.

이렇듯 전력계통의 안전한 운영을 위하여 상정사고에 대한 사전검토와 운영전략 수립은 중요한 요소이지만 날이 갈수록 대형화 되고 복잡해지는 현대 전력계통의 해석은 쉽지 않은 일이다. 계통을 구성하고 있는 모든 설비를 대상으로 실시해야 하는 검토과정은 많은 시간을 필요로 한다. 더구나 상정사고가 발생하거나 계통 구성이 변경되는 시점에서 즉시 발생 가능한 상황에 대한 검토가 이루어져야 하므로 계통 검토의 소요시간은 운영전략을 세우는 데 있어 중요한 역할을 한다. 그러나 일반적인 기존 계통해석방법을 통해서만 빠른 검토가 불가능하여 운영자는 중요한 몇 가지 사고만을 선택하여 검토하고 운영전략을 세우게 된다.

만일 빠른 해석방법을 이용한 검토방법이 있다면 운영자는 보다 많은 경우의 상황에 대비하여 불확실성을 줄일 수 있어 계통을 보다 안정하게 운영할 수 있게 된다. 이러한 방법 중에 하나가 바로 준동적시간모의방법인 QSS(Quasi Steady State) 방법이다.[1]

전력연구원에서는 이미 개발에 성공한 KW-PSS (KEPCO World Power System Simulation) 에 안전도 평가 기능의 추가를 위하여 QSS의 개발을 고려대학교 대전전 센터와 함께 2007년부터 진행 중에 있다.

2. 본 론

2.1 준동적 시도의 방법(QSS)

일반적으로 계통에 외란이 발생한 후에 시간에 따른 전압안정도 해석을 위한 전체적인 모델은 다음과 같다.

$$\dot{x} = f(x, y, z_D, z_C) \quad (1)$$

$$0 = g(x, y, z_D, z_C) \quad (2)$$

$$z_D(k^+) = h_D(x(k^-), y(k^-), z_D(k^-), z_C(k^-)) \quad (3)$$

$$\dot{z}_C = h_C(x, y, z_D, z_C) \quad (4)$$

여기서 x 는 transient state variable이고, y 는 network bus voltage and angle이다. z_D 는 discrete variable, z_C 는 continuous variable이다. 위의 모델은 시간에 따른 응답 특성에 따라 두 그룹으로 나눌 수 있다.

식 1은 발전기, 터빈, 조속기 등 빠른 제어 특성을 갖는 기기의 응답특성을 반영하며, 식 2는 계통을 구성하는 방정식이다. 모선의 개수가 N개일 경우 2N개의 대수 방정식을 구성한다. 식 3은 조상설비 ULTC, OXL 등 제어기의 불연속 동작을 나타내며, 식 4는 제어기 연속 동작이나 부하 회복특성을 나타낸다.

기존의 시도의 방법은 전력계통의 다양한 기기들의 동특성을 반영하기 위하여 많은 미분방정식을 계산하여야 한다. 그래서 우리가 원하는 수십분(Long-term)에 해당 하는 영역의 시뮬레이션을 수행하기 위하여 많은 시간이 필요하며, 그 결과 또한 신뢰하기가 어려워 실시간 환경 하에서 사용할 수 없다.

QSS는 위에서 설명한 네 가지 식 중에서 단기 동특성을 반영하는 식 1을 식 5와 같이 간략화 하여 모의 시간을 단축하는 장점이 있다.

$$\dot{x} = f(x, y, z_D, z_C) \rightarrow 0 = f(x, y, z_D, z_C) \quad (5)$$

단기 전압안정도는 안정할 것이라는 가정 하에 단기 동특성 식을 0으로 놓는다.

다음 그림 1은 TSAT을 이용하여 모의한 Full Time 시뮬레이션과 QSS 해석의 비교이다.

그래프를 보면 QSS가 상정사고 발생시 나타나는 과도 상태를 정확하게 모의하지는 못하지만, 전체적인 흐름은

찾아간다는 것을 확인할 수 있다. 같은 CASE를 모의하는 경우 Full Time 모의에 비해 훨씬 빠른 시간에 완료되는 것을 확인할 수 있다.

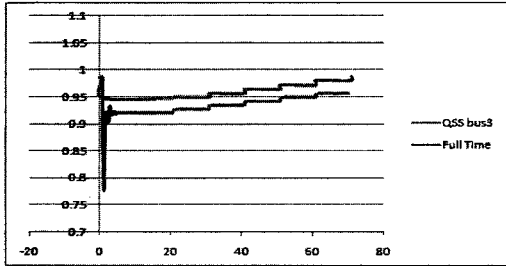


그림 1 QSS와 Full Time 모의 비교

이러한 준동적 시간모의도 단점을 갖고 있다. 시간의 흐름에 따라서 전압 값을 계산할 때 사용되는 '자코비안'이라는 행렬이 역행렬을 가지지 않게 되어 특이점(singular point)에 위치하게 되면, 더 이상 계산을 수행해 낼 수가 없게 된다. 이로 인하여 계통의 왜란 이후 일어나는 전압 불안정 지점을 어느 정도 예측은 할 수 있으나, 정확한 위치를 알아낼 수 없는 문제점을 가지게 된다. 따라서 본 논문에서는 조류계산의 자코비안 특이점 문제를 해결하기 위하여 제시되었던 연속법을 QSS에 도입, 이러한 문제를 해결하고자 한다.

2.2 연속법의 적용

연속법이란, 어떠한 전압 평형점(Equilibrium point)을 찾을 때 그 값을 직접적으로 찾는 것이 아니라, 예측과정(Predictor)과 수정과정(Corrector)을 거쳐서 찾아내는 방식을 의미한다. 여러가지 변수에 대하여, 현재 위치에서의 기울기를 찾아낸 후, 주어진 Step size만큼 이동시켜 예측점을 찾아내고, 예측점으로 올 때, 값이 가장 많이 변화한 변수를 고정시키고 정확한 해를 찾는 방식이다. [2]

$$\begin{bmatrix} F_x & F_x & F_y & 0 \\ I_x & I_x & 0 & I_h \\ G_x & 0 & G_y & 0 \\ e_k \end{bmatrix} \begin{bmatrix} dx_{n+1} \\ dx_{n+1} \\ dy_{n+1} \\ dh_{n+1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ \pm 1 \end{bmatrix} \quad (6)$$

(6) 식은 예측과정에서 사용되는 자코비안 행렬의 모형이다. 여기서 구하고자 하는 값은

dx_{n+1} , dx_{n+1} , dy_{n+1} , dh_{n+1} 이다. 여기서 e_k 라는 값은 연속 파라미터라고 하는데, 이 값은 구하고자 하는 위의 4개의 값 중, 변동량이 가장 큰 변수의 위치만 1이 되고 나머지는 0이 되는 값을 의미한다. 예를 들어 dyn+1의 변동량이 가장 크다면 e_k 는 [0 0 1 0] 이라는 행렬이 된다. 연속 파라미터는 연속법에서 가장 중요한 역할을 해주는 변수로써, 이 값을 집어넣음으로써 자코비안 행렬이 특이점(singular point)을 가지는 것을 방지할 수 있게 된다. 이러한 연속법을 QSS에 도입함으로써 QSS가 갖는 단점을 극복하여 보다 정확한 모의가 가능하게 한다.

2.3 개발 모듈의 검증

개발모듈을 검증하기 위하여 New-England 39모선에 적용하였다. New-England 계통은 39개의 모선에 10개의 발전기를 가지고 있다. 위의 계통에서 장기 전압안정도 분석을 위해서 부하의 회복 특성을 부여하고 부하단에 ULTC를 연결하여 새로운 모선을 추가하였다. 다음 그림 2는 수정된 New-England 39모선이다.

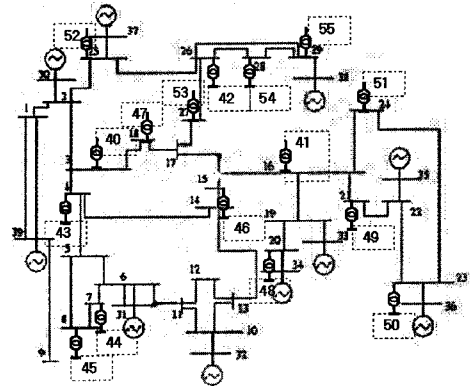


그림 2 수정된 New England 계통도

개발 모듈의 검증을 위하여 위에서 사용한 TSAT의 Fast-Time 시뮬레이션 모듈과 비교 검증하였다. 모의 시작 후 25초에 상정사고를 인가하고 연속법이 사용된 개발모듈과 연속법이 적용되지 않은 TSAT의 모의 결과를 비교하였다. 그림 3을 보면 다소 차이가 있으나 ULTC의 동작 등의 계통모의가 2개 모듈에서 모두 확인되었으나, TSAT의 Fast Time 시뮬레이션의 경우 모의 시작 후 100초경에 자코비안의 특이점이 발생하여 모의가 종료되지만 개발모듈의 경우 500초까지 모의가 진행되는 것을 확인할 수 있다.

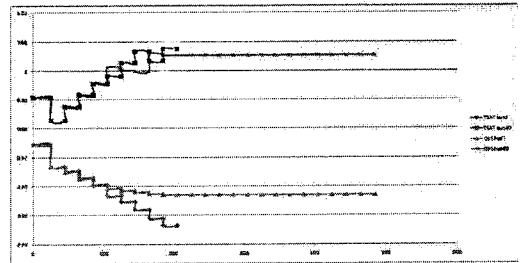


그림 3 TSAT과 개발모듈의 비교

3. 결 론

본 논문에서는 기존의 시간모의 프로그램에 비해 적은 시간으로 보다 정확한 장기 전압안정도 검토가 가능한 수정된 준동적시간모의 알고리즘을 개발하고 간단한 동작검증 결과를 소개하였다. 소개한 바와 같이 연속법이 적용된 QSS를 사용하게 되면 기존 QSS법의 단점을 극복하여 빠른 시간에 운영자가 다양한 계통 상태를 검토할 수 있게 된다.

현재 다양한 동특성기기 모델이 개발 중에 있으며, 2011년 까지 사용자 인터페이스의 개발과 보다 정확한 검증작업을 완료할 예정이다.

[참 고 문 헌]

- [1] Thierry VAN CUTSEM, Costas VOURNAS, Voltage Stability of Electric Power Systems, KLUWER ACADEMIC PUBLISHERS,
- [2] Venkataramana Aijarapu : Computational Techniques for Voltage Stability Assessment and Control, Springer, 2006