

Digital Simulator(Hypersim)를 이용한 지역계통 전압 불안정 현상 감시

김 우 호 남 수 철 이 병 준
고려대학교 전력 시스템 기술 연구센터

Observation of Voltage Instability In Local Area Using Real-time Digital Simulator(Hypersim)

Wooho Kim Soochul Nam Byungjun Lee
Korea Univ. Advanced Power System Research Center

Abstract - 기존 계통 안정도 평가와 제어의 방법은 전체 계통의 데이터를 취득한 후 평가하고 제어하는 방식으로 이루어져왔다. 하지만 이 방식은 계산 효율 측면과 통신상의 문제로 인해 신뢰성 측면에서 문제가 있다. 더욱이 긴급한 상황에서 전압 불안정을 판단하기에는 많은 문제점이 발생한다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 PMU(Phase Measurement Unit)와 같은 측정 장치에서 제공하는 지역정보를 이용한 VIP(태브난 임피던스와 부하 임피던스의 비고 분석하여 제어하는 방법)가 제시되었다. 본 논문에서는 VIP 알고리즘을 이용한 전압 불안정 현상 모의를 실시간 Digital Simulator (Hypersim)를 이용하여 계통을 분석하였다. Hypersim에서는 실제 계통과 유사한 모의를 통해 동적 모의가 가능하게 하고 있다. 이것은 그동안 실효치 데이터를 기반으로 하는 시간 모의에서 벗어나 실제 계통과 같이 순시치 데이터를 가지고 실제 상황처럼 모의 분석할 수 있는 것이다.

1. 서 론

전력계통이 대용량화되고 구성이 복잡해짐에 따라 사고가 광역화되고 그 발생빈도 또한 점차 증가하고 있다. 더욱이 전기에 대한 의존도는 갈수록 높아져 광역정전사고가 발생할 경우 이로 인한 사회적, 경제적 피해의 규모는 증가하고 있다. 이렇게 중요한 문제임에도 불구하고 전력계통의 특성상 광역정전사고를 완벽하게 막는 것은 현재 불가능한 것으로 인식되고 있다. 하지만 정보통신 기술의 발전에 힘입어 정전의 발생 가능성을 줄이거나 발생하더라도 광역정전으로 이어지지 않도록 계통을 보호 제어하는 방안에 대한 연구가 계속되고 있다. 예로서 계통의 안정도를 실시간으로 평가 제어하는 실시간 안전도 평가 기술(on-line security assessment), 계통의 상태를 고려하여 정정기준을 자율 적용하는 적응형 보호제전 기술(Adaptive Relaying), 특정 상황에서 사고가 발생하더라도 계통의 안전한 운전을 가능하게 하는 계통 보호제어 기술(Special Protection Scheme) 등 다양한 연구 산물을 기대할 수 있다.

특히 특정 위치에서의 전압, 전류 측정치에 GPS 위성이 제공하는 시각 정보를 담아 전압과 전류의 크기 및 위상차를 제공하여 주는 PMU(Phase Measurement Unit)와 같은 실시간 측정 장비를 이용하여 연계 되는 정보를 이용한 계통 보호 방식(WAMS)은 기존의 SCADA/EMS 데이터를 적용한 안정도 평가 알고리즘이 동기 데이터 수집의 어려움과 장시간 계산 등의 문제로

인하여 적용에 어려움을 겪고 있는 것을 해결하는 방안이 될 수 있을 것이다.[1][2]

현재 이러한 실시간 계통 안정도 평가 시스템의 운영을 위해 전압 안정도를 평가 할 수 있는 방법들이 계속 제시되고 있으며, 그 제시된 알고리즘을 이용한 모의를 통해 계속된 검증이 이루어지는 단계이다.

이 논문에서는 현재 제시되고 있는 여러 알고리즘 중 지역 또는 모선의 정보만으로 전압안정성을 평가할 수 있는 VIP(Voltage Instability Predictor)[2]를 선택하였으며, 알고리즘의 검증은 실효치 데이터 기반의 시간 모의 틀이 아닌 순시치 데이터를 이용한 과도현상 분석을 위한 실시간 Digital Simulator인 Hypersim을 이용하였다.

2. 본 론

2.1 지역 정보를 이용한 전압 안정도 평가 알고리즘 VIP(Voltage Instability Predictor)

VIP는 모선에서 측정되는 전압과 전류로부터 계통의 전압안정도 여유를 계산하여 필요시 부하차단을 시행할 수 있는 알고리즘이다. 그림 1과 같이 계통을 측정하는 부하 모선을 기준으로 태브난 임피던스와 부하 임피던스를 측정하여 아래 조건에 따라

$$\text{안정할 조건} = \frac{Z_{th}}{Z_{app}} = Z_{index} < 1$$

계통의 안정도를 판단하는 계통 평가 알고리즘이다. 자세한 내용은 [3]~[6]참조.

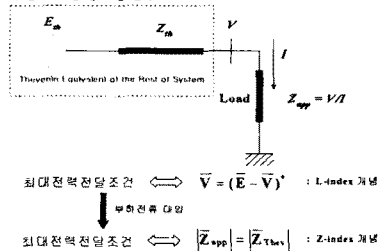


그림 1. VIP 알고리즘 기본 원리

2.2 Hypersim을 이용한 순시치 환경 모의

전력계통은 많은 형태의 전자기 과도현상을 포함하는데 이 과도현상은 동기기기에서와 같은 전기 기계에서 발생하는 현상에서부터 스위치, 고장 등과 같은 전압, 전류가 급변하는 현상까지 포함한다. 보통의 정상상태 동작 중에 일어나는 과도현상은 계통 내부에 순간적인 과전압을 일으키므로, 전력 계통에 심각한 영향을 주게 된다. 전력 계통은 이들 과전압에 견딜 수 있도록 설계되거나 그 내부에 보호 장치를 가지고 이 과전압의 영향을 줄여야 한

본 논문은 과학기술부·한국 과학기술재단 지정 명지대 차세대 전력기술센터 사업(NTPC)에 의해서 지원되어 작성되었습니다.

다. 따라서 적정 수준의 설정 및 신뢰할 수 있는 보호 장치의 설계를 위해 과도현상에 대한 정확한 시뮬레이션이 필요하다.[7] Hypersim은 실제 계통과 유사한 모의를 통해 이러한 동적 모의를 가능케 하고 있다. 이것은 그동안 실효치 데이터를 기반으로 하는 시간 모의에서 벗어나 실제 계통에서의 같이 순시치 데이터를 가지고 실제 상황처럼 모의 분석할 수 있는 것이다.

그림 2는 Simulation이 행해진 계통이다. 3개의 발전기, 4개의 부하, 10모선으로 구성되어 있다. 부하는 Hypersim에서 제공하는 Dynamic Load Model을 이용하여 총 3개의 ULTC가 동작한다. 발전기의 총 용량은 790MW이며 총 부하량은 680MW, 170MVar이다. Shunt의 투입으로 인해 128.88MVar의 무효전력을 더 공급하고 있다. 모의 계통은 발전용량이 큰 부분(위)과 부하용량이 큰 부분으로 나뉘지며 전력은 위에서 아래로 전송되고 있다.

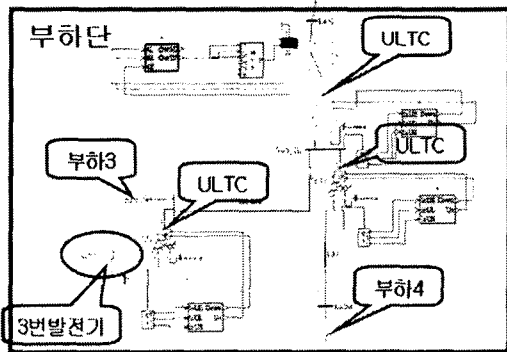
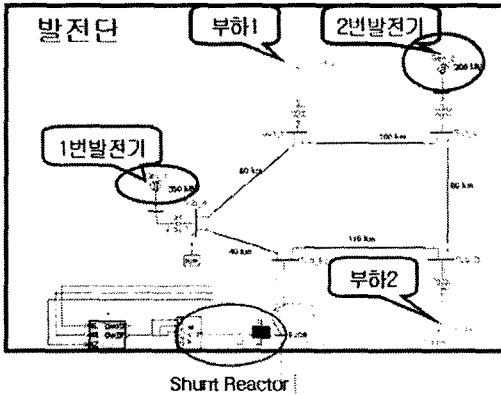


그림 2 3기 10모선 모의 계통

2.2.1 발전기 탈락 모의를 통한 사례 연구

그림 3과 4는 120초에 발전기의 탈락시킨 이후, 전압과 인덱스 추적을 통해 계통의 상태를 추정한 것이다. 여기서 모의는 2가지로 이뤄졌는데 발전기 3대중 2번과 3번 발전기의 탈락 이후의 전압과 인덱스를 보여준다. 2대의 발전기를 각각 모의한 이유는 2번 발전기의 경우 발전단에 있으면서 300MW의 출력을 내고 있는데 이것은 총 발전량의 절반에 가까운 양이므로 사고가 날 경우 계통 전체에 심각한 문제를 발생시킬 것이기 때문이다. 반면 발전기 3의 경우 발전 용량은 140MW이며 2번 발전기의 절반에 미치지 못하기 때문에 전체 계통에 미치는 영향은 2번 발전기에 비해 적다고 볼 수 있다.

발전기 2번이 탈락한 경우 발전기 2의 용량이 크기 때문에 계통에 주는 영향이 크다. 사고 이후 인덱스가 1에 가까워지고 있는 것을 통해 계통이 불안정해지는 것을 알 수 있다. 특히 사고 이후 인덱스 값의 진동이 점점

커지는 것을 알 수 있는데 순시치 전압을 실효치로 변환하는 과정에서 주파수가 떨어짐으로 인해서 실효치 값이 일정하게 나오지 않는 문제 때문에 발생하는 것이다. 현재 적용하는 실효치 계산 방법은 순시치의 제곱값을 주기의 길이로 나누는 것인데 주파수가 떨어지면서 주기의 길이가 달라지기 때문에 값의 변화가 생기는 것이다.

3번 발전기를 계통에서 분리할 경우 전압과 인덱스를 그림4에 나타내었다.

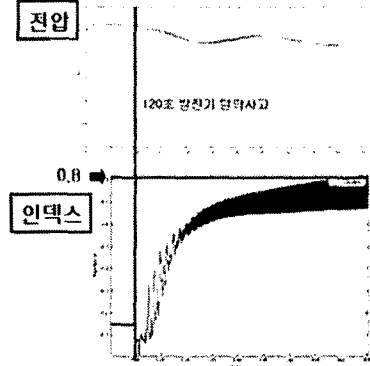


그림 3. 2번 발전기 탈락

발전기 용량이 계통에 미치는 영향이 생각보다 크지 않음을 알 수 있다. 사고전압의 변동 폭은 거의 없으며, 인덱스 역시 많은 차이를 보이지 않고 있어 계통에 큰 문제는 발생하지 않는 것을 보여준다. 하지만 이러한 경우에도 인덱스를 살펴보면 사고 이후 순간적으로 썩어지다가 발생하는 것을 볼 수 있다. 이런 원인에 의해 계전기들이 오동작을 일으킬 수 있으므로, 신뢰할 수 있는 보호 장치의 설계를 위해 과도현상에 대한 정확한 시뮬레이션이 이뤄져야 하는 것이다.

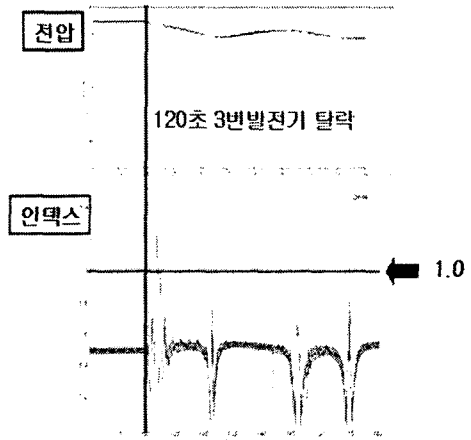


그림 4. 3번 발전기 탈락

2.2.1 Hypersim을 이용한 위상각 측정

전압과 전류의 동기화된 위상각을 시간 모의 틀이 아닌 과도해석을 위한 Hypersim에서 구하는 모습을 아래와 같이 보여주고 있다. 실효치 데이터를 기반으로 하는 볼의 경우 주파수 변화에 의한 실효치 값의 변화를 보여주지 못한다. 그림 5에서 보면 그림 3의 2번 발전기 탈락의 경우에도 Swing Bus의 전압 위상각을 기준으로 측정 모선의 전압과 전류의 상대적인 위상각의 차이는 일정한 것을 알 수 있다. 하지만 인덱스를 구할 경우 점점

오차가 심해지는 것을 알 수 있는데, 주파수가 떨어지면서 실효치 값에 오차를 주기 때문이다.

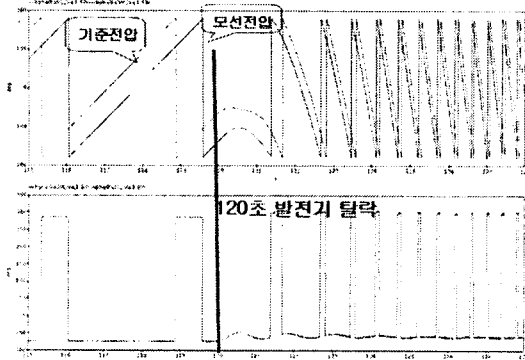


그림 5 Hypersim에서 기준전압과 모션 전압의 위상각

그림 5는 기준 전압의 위상각(Swing Bus Angle)과 모션전압의 위상각, 위상각의 차이를 표현한 것이다. 120초 발전기 탈락 사고이후 위상각이 -180도에서 180도까지 일정하게 상대적인 위상각을 유지하면서 증가하고 있다. 사고 이후 위상각은 증가하지 않고 감소하고 있는데 이것은 계통의 주파수가 떨어지기 때문에 위상각이 감소하는 것이다.

2.2.2 Sampling 결정

실효치 데이터가 아닌 순시치 데이터를 이용할 경우 발생하는 문제점은 데이터 양의 문제가 있다. 순시치 데이터를 Hypersim에서는 사이클당 16회 정도 Sampling 하였는데 이것은 초당 960개의 데이터를 가지게 된다. 만약 실 계통에서도 이정도 Sampling이 필요하다는 가정하에 VIP를 적용할 경우 결과를 처리하는 시간이 문제가 될 수 있을 것이다. VIP의 경우 테브난 임피던스를 구하기 위해 필요한 식은 4개이나 우리가 얻을 수 있는 데이터는 2개에 불과하기 때문에 최소자승법을 이용하여 결과를 얻어내게 된다. 이 경우 오차가 발생하기 때문에 최소자승법에 이용할 수 있는 데이터의 양은 어느 정도 크기 이상이어야 한다. 지금 위에서 나온 결과는 데이터 창이 200개로 한 것이며 이것의 처리 시간은 실제통에 적용할 때 문제점으로 작용한다.

위의 문제 외에도 전송 데이터양의 문제가 있다. 데이터를 취득한 이후 연산을 수행하는 곳으로 보내는 과정에 전송량 한계가 존재한다. 많은 데이터를 취득하는 것이 정확한 결과를 얻어내기 위해서는 좋은 것이지만 현실적인 문제로 인하여(통신 용량의 한계) 이러한 문제를 고려하여야 하는 것이다.

아래의 그림들은 데이터 전송량에 따른 결과이다. 그림 6은 사이클당 16회에서부터 2사이클당 1회의 Sampling 결과를 이용할 경우 인덱스를 나타낸 것이다.

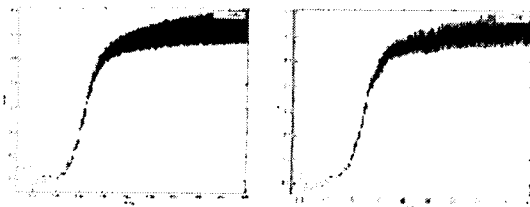


그림 6 사이클당 1회 2사이클당 1회

그림 6에서 보듯이 Sampling 횟수가 2사이클당 1회(초당 30회) 정도라도 결과의 차이가 많이 나지는 않는 것을 알 수 있다. 결과적으로 통신 용량이나 계산 속도를 고려할 경우 최소 2사이클에 1회 정도의 데이터만으로도 우리가 원하는 결과를 얻을 수 있다는 것을 알 수 있었다.

3. 결 론

이 논문에서는 실시간 계통 안정도 평가 시스템의 운영을 위해 전압 안정도를 평가 할 수 있는 여러 알고리즘 중 지역 또는 모션의 정보만으로 가능한 VIP (Voltage Instability Predictor)를 선택하여, 과도현상 분석을 위한 실시간 Simulator인 Hypersim을 이용한 검증을 하였다. 실효치 환경이 아닌 순시치 환경에서 과도 모의에 따른 변화를 Hypersim의 3기 10모션의 계통을 이용해 모의하여 실제와 유사한 데이터를 획득하고 이것을 이용하여 실제 계통에 적용할 경우 발생할 수 있는 문제를 확인할 수 있었다.

Hypersim의 경우 실제 계통과는 비교 할 수 없을 만큼 작은 계통의 모의가 가능할 뿐이다. 그런 이유로 실제 계통에 적용 할 경우 발생하는 문제에 대해서는 다른 사례를 통한 많은 연구가 진행되어야 할 것이다. 앞으로의 계획은 실시간 Simulator의 경우 시험계통의 튜닝과 SCADA 환경 구축을 통해 좀 더 실제와 가깝게 모의하는 것이다.

[참 고 문 헌]

- [1] A.R. Khatib, R. F. Nuqui, M.R. Ingram, A.G. Phadke "real time Estimation of Security from Voltage Collapse Using Synchronized Phasor" Conference. IEEE 2004 General Meeting, Denver, Colorado USA, 06/06/2004 - 06/10/2004
- [2] White Paper-Final Draft. "Phasor Data Requirements For Real Time Wide-Area Monitoring, Control and Protection Applications" EIPP-Real Time Task Team Jan. 26, 2005
- [3] K.T Vu et al. "Voltage Instability Predictor(VIP) -Method and system for performing adaptive control to improve voltage stability in power systems", United State Patent No. US6,219,591 B1, Apr. 17, 2001
- [4] Vu, k, M M Begovic, D Novosel and M M Saha, "Use of local Measurements to Estimate Voltage Stability Margin", 20th International Conference on Power Industry Computer Application. IEEE.
- [5] 김상암, 이병준, "계통 지역정보를 이용한 전압안정성 감시 및 보호계전기예의 적용"
- [6] Ohgu Kang, Byongjun Lee, "Evaluation of Voltage Instability Using Local Measurements", 1th International Conference APAP, 2004
- [7] "EMTP Theory Book" Drs. Tsu-huei Liu and W. Scott Meyer