

실시간 수도권 정보만을 이용한 전압안정도 평가

한상욱*, 이병준*, 김상태**, 문영환***
고려대학교*, 한전KDN**, 전기연구원***

Real-time voltage stability assessment using only data of metropolitan area

Sangwook Han*, Byongjun Lee*, Sangtae Kim**, Younghwan Moon***
Korea University*, KDN**, KERI***

Abstract - PMU로부터 전압, 전류 Phasor 정보를 실시간으로 취득하게 되면서 실시간으로 전압안정도를 감시하는 것이 가능하게 되었다. PMU 정보만을 이용하여 전압안정도를 감시하는 기술은 기존의 SCADA/EMS 데이터를 전혀 사용하지 않고도 매우 빠른 속도로 계통의 전압안정성을 판별해 낼 수 있다. 본 논문에서는 광역전압안정도를 감시하는 기술을 응용하여, 수도권 정보만을 사용하여 실시간으로 전압안정도를 감시하는 방법을 제안하고자 한다. 기존의 방법보다 적은 수의 PMU를 필요로 하며, 대신에 계통데이터 중 선로임피던스를 필요로 한다. 본 방법을 검증하기 위하여 한전 실계통을 사용하도록 한다.

1. 서 론

PMU(Phasor Measurement Unit)가 개발된 이후로 실시간 전압안정도 해석에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다. PMU는 계통의 변전소 등에 연결되어 실시간으로 전압과 전류를 Phasor 형태로 측정하는 장치이다. 기존의 측정 장비와는 다르게 GPS를 통하여 매우 정밀하게 시간(時刻) 동기화되며, Sampling 주기가 매우 짧아, 더 빠르게 더 많은 정보를 취득할 수 있다. 이러한 특성으로 전력계통 전체의 Dynamic Snapshot을 실시간으로 취득하는 것이 가능하다. 이는 기존의 SCADA/EMS 시스템의 단점을 크게 극복한 것으로써 그 활용도는 매우 높다고 할 수 있다.

PMU를 활용하여 실시간으로 전압안정도를 평가하는 방법은 크게 두 가지로 분류할 수 있다.

- 지역(Local area) 전압안정도 평가
- 광역(Wide area) 전압안정도 평가

지역 전압안정도 평가 방법 중 가장 널리 알려져 있는 방법은 ABB사의 VIP(Voltage Stability Index)이다[1]. VIP는 계통의 한 모선에서만 전압 및 전류 페이저 정보를 취득하고, 이를 사용하여 지역 전압안정도를 평가한다.

광역 전압안정도 평가 방법에는 ABB사에서 개발한 VIP++와 국내연구진이 개발하고 있는 WAVI(Wide Area Voltage stability Index)가 있다 [2-3]. 두 방법의 기본알고리즘은 거의 동일하지만 일부 파라미터 선정 방식에 차이점을 두고 있다. 이들은 최소 두 개 이상의 PMU로부터 전압 및 전류 페이저 정보를 취득하고, 이를 사용하여 광역 전압안정도를 평가한다.

본 논문에서는 광역 전압안정도 평가 방법 중 하나인 WAVI를 변형하여, 수도권 지역의 정보만으로도 광역 전압안정도를 평가할 수 있는 방법을 제시하고자 한다. 계통의 선로 임피던스는 알고 있다는 가정 아래, 수도권의 전압 및 전류 정보를 이용하여 비수도권의 전압 및 전류 정보를 계산하고 이를 통하여 광역 전압안정도를 평가한다. 수도권 지역의 정보만을 사용하기 때문에, PMU를 기존의 WAVI에 비하여 절반만 사용하게 된다. 이는 PMU의 설치 수가 한정될 때, 경제적으로 매우 유리하게 작용된다고 할 수 있다.

본 평가 방법을 검증하기 위하여, 2005년도 하계 피크시의 한전 실계통(약 1400모선)을 사용하도록 한다. 또한 그 결과는 WAVI의 결과와 비교하도록 한다. 시간축(Time-domain) 시뮬레이션을 위하여 PowerTech사의 DSA-Tools에 포함되어있는 TSAT을 사용한다.

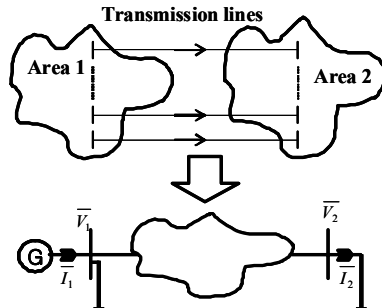
2. 본 론

2.1 광역전압안정도지수 (WAVI)

광역전압안정도 지수는 PMU로부터 취득된 전압과 전류의 실시간 Phasor 정보를 바탕으로 계통의 전압안정성을 감시한다. 광역(Wide Area)을 감시하기 위하여 계통을 발전지역과 부하지역으로 나누고 각 지역에서 취득되는 Phasor정보를 이용하여 계통을 축약한다. 축약된 계통으로부터 테브닌임피던스를 구하고 최대전달전력 법칙을 이용하여 전압안정도를 판별하게 된다.

2.1.1 계통축약

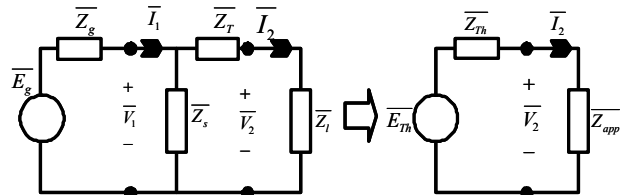
WAVI에 이용하는 계통 축약방법을 그림1에 나타내었다. 계통전체를 발전지역(Area1)과 부하지역(Area2)로 구분을 한다면, 두 지역은 송전선로로 연결되게 된다. 광역을 감시하기위하여 여러 개의 PMU가 설치된다면, Area1과 Area2에 각각 여러 개의 PMU가 설치되게 된다. 각각의 지역으로부터 얻어지는 전압, 전류 정보를 이용하여 각 지역은 하나의 가상모선(Virtual bus)으로 축약되게 된다. V_1 과 V_2 는 Area1과 Area2에서 취득되는 모든 모선전압의 평균이며, I_1 과 I_2 는 각 지역으로 흘러가는 전류의 총 합이 된다.



<그림 1> WAVI의 계통축약 개념

2.1.2 테브닌임피던스 계산

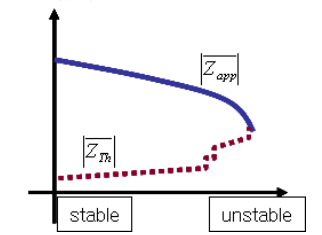
축약된 계통은 그림2의 형태로 표현할 수 있으며 테브닌임피던스와 부하임피던스로 표현할 수 있다. 키르히호프의 법칙을 이용하여 간단하게 계산할 수 있다.



<그림 2> 축약계통의 테브닌 등가회로

2.1.3 전압안정도 판별

최대전력전달법칙에 의하면 계통의 테브닌임피던스와 부하임피던스가 같아지는 때에 최대 전송 전력이 일어나게 된다. 또한 계통이 정상적으로 운전될 때에는 부하임피던스가 테브닌임피던스보다 훨씬 크게 된다. 따라서 Z_{Th} 와 Z_{app} 의 비를 감시함으로써 계통의 전압안정도를 판별할 수 있다. Z_{Th}/Z_{app} 를 계산하여 그 값이 0에 가까우면 안정하고 1에 가까워지면 불안정하다고 볼 수 있다.



<그림 3> 전압안정도 판별 개념도

2.2 수도권 정보만을 이용하는 WAVI

WAVI를 한전계통에 적용할 때, PMU를 6개의 용통선로 양단에 설치

한다고 가정하면 총 12개의 PMU가 필요하게 된다. 이곳에서 얻어지는 실시간 Phasor정보를 이용하면 추가의 다른 정보 없이 WAVI를 계산할 수 있다.

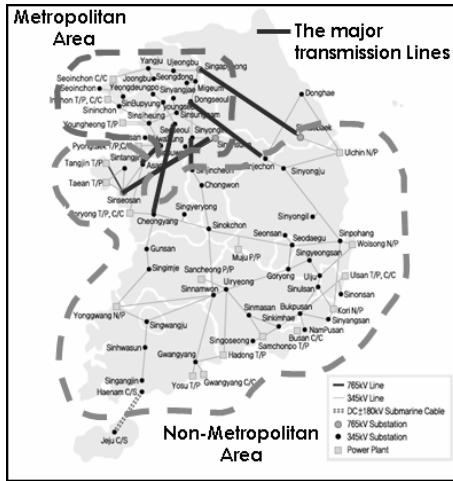
그런데 만약 융통전선의 임피던스를 알고 있다면 굳이 12개의 PMU가 필요하지 않다. 같은 지역(Areal 또는 2)에 있는 6개의 PMU로부터 전압, 전류 정보를 얻는다면 선로임피던스를 이용하여 반대쪽 지역 6개의 전압, 전류를 계산할 수 있다. 식 (1)과 (2)를 이용하여 전압과 전류를 쉽게 구해낼 수 있다.

$$V_2 = V_1 - \left(\frac{S}{V_1} \right)^* - j \frac{B}{2} V_1 \times Z \quad (1)$$

$$I_2 = \left(\frac{V_2 - V_1}{Z} + j \frac{B}{2} V_2 \right) \quad (2)$$

- V_1 : voltage of bus #1
- I_1 : current of bus #1
- V_2 : voltage of bus #2
- I_2 : current of bus #2
- S : power transferred bus#1 to bus#2
- Z : R+jX, impedance of line
- B : charging susceptance of line

6개의 PMU를 수도권에 설치하면, 기본적으로 그곳의 전압, 전류 실시간 Phasor 정보를 얻을 수 있으며, 위 식을 이용하여 전압안정도 또한 감시할 수 있다.



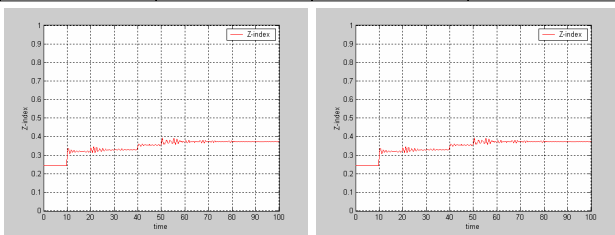
<그림 4> 한전계통과 주요 동통선로

2.3 수도권 정보만을 이용하는 WAVI의 검증

수도권 정보만을 이용하는 WAVI가 기존의 WAVI와 비교하였을 때, 동일한 결과를 내는지를 비교하기 위하여 한전계통에 적용해보도록 한다. 동일한 시나리오를 이용하여 두 결과를 비교해 보도록 한다. 첫 번째 시나리오는 사고 시나리오이며 이는 표1과 같다. 매10초 간격으로 선로를 하나씩 Open하여 전압강하를 일으키는 시나리오이다. 100초간 시뮬레이션하며 전압붕괴는 발생하지 않는다.

<표 1> 사고 시나리오

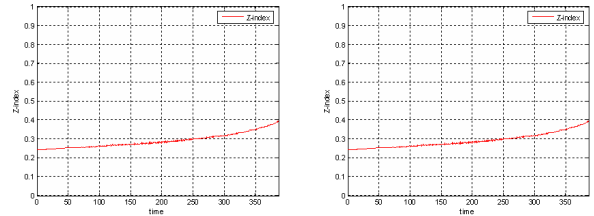
At time	From	To	CKT
10 sec	신가평	신태백	1
20 sec	신안성	신서산	1
30 sec	신용인	신진천	1
40 sec	광주	신제천	1
50 sec	청원	신옥천	1&2



<그림 5> 사고 시나리오 결과
(a)수도권정보만을 이용하는 WAVI (b)WAVI

그림5에서 볼 수 있듯이 수도권정보만을 이용하여 계산한 WAVI와 기존 WAVI의 차이점은 보기 힘들다. 실제적으로 둘의 값을 비교하면 오차는 약 10^{-9} 정도이다. 수도권 정보만으로도 전압안정도를 감시하는 것이 가능하다고 할 수 있다.

두 번째 시나리오는 부하증가 시나리오이다. 총 400초 동안 시뮬레이션을 하며, 수도권지역의 부하량을 15% 증가시킨다. 부하가 천천히 증가함에 따라 전압도 천천히 떨어지게 되는 시나리오이다. 그림6에 그 결과를 나타내었다. 마찬가지로 수도권정보만을 이용하는 WAVI와 기존 WAVI의 결과이다. 이번에도 둘의 결과가 일치함을 확인할 수 있다.



(a) (b)
<그림 6> 부하증가 시나리오 결과
(a)수도권정보만을 이용하는 WAVI (b)WAVI

3. 결 론

본 논문에서는 광역 전압안정도 평가 방법 중 하나인 WAVI를 변형하여, 수도권 지역의 정보만으로도 광역 전압안정도를 평가할 수 있는 방법을 제시하였다. 계통의 선로 임피던스는 알고 있다는 가정 아래, 수도권의 전압 및 전류 정보를 이용하여 비수도권의 전압 및 전류 정보를 계산하고 이를 통하여 광역 전압안정도를 평가하는 것이다. 수도권 지역의 정보만을 사용하기 때문에, PMU를 기존의 WAVI에 비하여 절반만 사용하게 된다. 이는 PMU의 설치 수가 한정될 때, 경제적으로 매우 유리하게 작용된다고 할 수 있다. 결과적으로도 기존의 WAVI결과와 동일한 결과를 보여주고 있다.

수도권 정보만을 이용하는 WAVI의 경우 대다수의 경우 문제없이 결과를 낼 수 있지만, 만약 감시하는 선로가 2회선 모두 끊어졌을 경우에는 조류가 흐르지 않기 때문에 계산을 할 수 없는 약점이 있다. 그렇지만 PMU의 설치 개수를 절반으로 줄일 수 있고, 2회선 선로 사고가 아닌 1회선 사고이거나 감시선로를 제외한 사고의 경우에는 전압안정도를 기존의 방식과 다름없이 감시할 수 있다. 또한 부하증가와 같은 상황에도 아무런 제약 없이 전압안정도를 감시할 수 있다. 경제성을 고려해 보았을 때 수도권 정보만을 이용하는 WAVI의 활용도는 상당히 높다고 볼 수 있을 것이다.

앞으로 PMU를 활용하여 전압안정도를 감시하는 방법은 계속적으로 연구될 것이고, WAVI와 수도권 정보만을 이용하는 WAVI역시 계속적으로 수정·보완 될 것이다.

[참 고 문 헌]

[1] D. E. Julian, R. P. Schulz, K. T. Vu, W. H. Quaintance, N. B. Bhatt and D. Novosel, "Quantifying Proximity To Voltage Collapse Using The Voltage Instability Predictor(VIP)," 2000 IEEE, Jul.2000.
 [2] Mats Larsson and Joachim Bertsch, "Monitoring and Operation of Transmission Corridors,"Power Tech Conference Proceedings, 2003 IEEE Bologna, 23-26 June 2003, on page:8pp. Vol.3.
 [3] S.W. Han, B.Lee, S.T.Kim and Y.H. Moon, "Real time Wide Area Voltage stability Index in Korean Metropolitan area," 2007 APAP, April 2007.
 [4] Xu, B. and Abur A., "Observability Analysis and Measurement Placement for Systems with PMUs," IEEE paper 0-7803-8718-X/04, 2004, pp 1-4
 [5] Baldwin, T.L., Mili, L. Boisen, M.B. and Adapa,R., "Power system observability with minimal phasor measurement placement,"IEEE Transactions on Power Systems, 8, No.2, May 1993, pp707-715
 [6] Khatib, A. R., Nuqui, R. F., Ingram, M.R. and Phadke, A.G., "Real-time estimation of security from voltage collapse using synchronized phasor measurements," IEEE paper 0-7803-8465-2/03, 2004