

# 실시간 감시 정보를 이용한 전압안정도 제어 방안에 대한 연구

## A Study on the Voltage Stability Control Scheme using Real-time Monitoring Data

이 윤 환<sup>†</sup>  
(Yun-Hwan Lee)

**Abstract** - In this paper, using the power system information obtained from real-time monitoring device, to analyze the voltage stability margin index and described the voltage stability control scheme for voltage stability enhancement. Based on the utilization of the voltage stability monitoring index based on local information provided by the PMU(Phasor Measurement Unit), the purpose of the plan is to control the system stably in real time. In order to apply the load control scheme, the voltage stability margin is calculated using the data acquired through the PMU installed in each load bus. If the voltage drops below a certain level, load control is performed for each. The effectiveness of the voltage stability control measures is applied to the actual KEPCO system to analyze the effectiveness.

**Key Words** : Voltage instability, Voltage stability margin, Real time Monitoring

### 1. 서 론

최근 전력계통은 산업의 고도화와 기후변화 등의 요인으로 인해 전력 수요가 급증하고 있는 추세이다. 전력을 한정적으로 공급 할 수밖에 없는 상황에서 급격한 전력 수요의 증가는 전력 시스템의 불안정을 야기 할 수 있다. 또한, 다양한 분산발전자원이 계통에 투입 되면서 안정적인 전력시스템을 운용하기 위한 감시 및 제어가 점점 어려워지고 있는 실정이다. 이에 전력계통을 안정적으로 운영하기 위한 방안의 마련이 필요하다[1, 2].

전압안정도는 안정적인 전력계통을 운용하기 위해 운영 및 계획 측면에서 필수적으로 고려해야 하는 요소이다. 전력계통의 전압이 안정하게 유지되고 있는가를 평가하기 위해서 다양한 방안들이 존재하는데, 이 중 전압안정도 지수를 활용하여 계통이 불안정한 상황에 이르는 것을 사전에 방지할 수 있다. 전압안정도 지수는 계통의 전압안정도 한계점과 안정도 여유에 대한 해석을 통해 계통의 전압안정도를 판별하는 척도로 활용된다. 전압안정도 지수를 활용하면 계통의 전압안정도 수준이 악화될 경우 이를 개선하기 위한 제어방안을 적용할 수 있게 된다[3-5].

전력계통이 확장되고 복잡해지면서 단일 및 이중 상정고장에 대한 예측 불확실성이 증가하고 있다. 이러한 긴급 상황에 빠르게 대처하기 위해서 계통을 실시간으로 감시해야 할 필요성이 증대되고 있다. 이를 위해 계통의 안정도를 실시간으로 평가 제어하는 전압안정도 평가 방법들이 개발되고 있다. 또한, 실시간으로 계통의 상태를 측정할 수 있는 장비인 PMU(Phasor Measurement Unit)의 활용을 통해 보다 정확한 제어를 수행하는 연구가 이루어지고 있으며, 계통

모의를 통한 검증이 이루어지고 있다[6-8].

이에 본 논문에서는 전압안정도 감시 지수에 대한 분석을 통해 효과적인 전압안정도 지수의 활용 방안 연구를 수행한다. 또한, PMU에서 제공하는 지역 정보를 기반으로 한 전압안정도 감시 지수의 활용을 통해 실시간으로 부하를 제어하여 계통을 안정적으로 운영할 수 있는 방안 수립을 목적으로 한다. 부하 제어 방안의 적용을 위해 각 부하모선에 설치된 PMU를 통해 취득한 데이터를 이용하여 전압안정도 여유를 계산하고, 일정 수준 이하로 전압이 저하하게 되면 각각에 대한 부하 제어를 수행한다. 제안한 방안을 실제 한전 계통에 적용하여 그 효과를 알아보고, 제안 방안의 효용성을 분석한다.

### 2. 전압안정도 감시 지수 분석

전압안정도 감시 지수는 전압 붕괴 지점에 대한 근접도(Proximity) 해석을 통해 계통 운영 측면에서 계통의 전압안정도를 판별할 수 있는 기준으로 활용된다. 계통의 상태를 신속하고 정확하게 반영하기 위해서 현재 운전 점으로부터 전압불안정점까지의 선형적인 예측이 가능해야 한다. 가장 많이 활용되고 있는 전압안정도 지수에는 유효전력여유(Active Power Margin), 무효전력여유(Reactive Power Margin), L 지수 등이 있다[9, 10].

#### 2.1 유효전력 여유(Active Power Margin)

유효전력 여유는 부하 증가를 전압불안정의 요인으로 보고 계통의 전체 부하를 증가시켜 발전 단으로부터 부하 단으로 공급할 수 있는 최대 유효전력 전송량을 계산하여 현재 부하 수준에서 전압 붕괴 전까지의 유효전력의 증가 여유를 나타낸다. 유효전력 여유를 계산하기 위해서는 계통의 전압 붕괴 지점을 찾는 것이 중요한데, 이 지점은 부하 증가가 불가능한 지점으로써 수학적 특이성(Singularity) 문제

<sup>†</sup> Corresponding Author : Coon Tec, Korea

E-mail : yunan2@naver.com

접수일자 : 2017년 11월 3일

최종완료 : 2017년 11월 23일

가 발생하게 된다. 이러한 원인으로 정확한 전압 붕괴 지점을 찾는 것이 불가능해져 대략적인 붕괴 지점을 찾을 수 있는 연속조류계산법이 활용되고 있다. 연속조류계산법을 활용하면 계통의 전압 붕괴 근사 지점을 파악할 수 있어, 현재의 부하수준으로부터 전압 붕괴 지점까지의 부하 값의 차이를 통해 유효전력 여유를 계산할 수 있게 된다. 다음은 부하의 증가에 따라 연속적으로 조류계산을 수행해나가면서 전압 붕괴 지점인  $P_{critical}$ 를 찾는 과정을 부하와 모션 전압의 관계로 나타내고 있다.

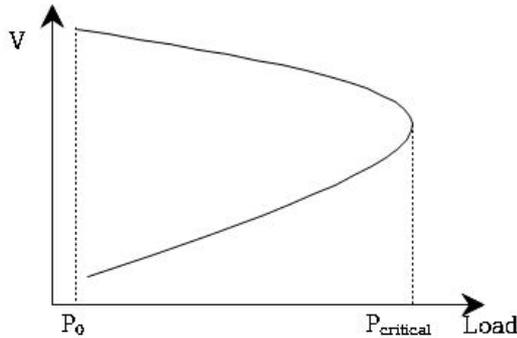


그림 1 유효전력 여유 개념  
Fig. 1 Active Power Margin Concept

유효전력 여유는 전압 붕괴 점에서의 부하량과 초기 부하량의 차이로부터 구할 수 있다.

$$Active\ Power\ Margin = P_{critical} - P_0 \quad (1)$$

식 (1)의 유효전력 여유는 그림 1과 같이 연속적인 전력 조류계산을 통해 얻어지게 된다. 하지만, 계통 전체의 정보가 필요하여 실시간으로 전압안정도를 감시하기 위한 방법으로 사용하기에는 무리가 있다고 판단된다.

### 2.2 무효전력 여유(Reactive Power Margin)

무효전력 여유 해석은 전압불안정이 부하단에서의 무효전력 수급의 부족으로부터 기인한다는 점에 초점을 맞춘다. 부하모션 별로 추가적으로 소모할 수 있는 무효전력의 최대량을 무효전력 여유로서 나타내게 된다. 하지만 무효전력의 국지적인 특성으로 인해 각 모션 또는 지역별로 계통으로부터 공급받을 수 있는 무효전력의 정보를 한정적으로 제공하게 된다.

무효전력 여유를 측정하기 위한 V-Q곡선을 활용하는데 다양한 전압값에 대한 무효전력 발전량과의 관계를 그림 2와 같이 나타낸다. 그림 2에서 0은 무효전력 발전을 하지 않은 초기 상태를 의미하며, 무효전력 발전기가  $Q_{critical}$  값만큼의 무효전력을 소비할 때 전압 붕괴가 일어나게 된다. 무효전력 여유는 초기상태( $Q_c=0$ )로부터 전압 붕괴 지점에서의 무효전력 소비량 ( $Q_{critical}$ )을 뺀  $Q_{margin}$ 이 된다.

그러나 유효전력 여유와 마찬가지로, 무효전력 여유 역시 조류계산의 반복 계산으로부터 얻어지기 때문에 실시간 전압안정도 감시를 위한 지수로 사용하기에는 무리가 있다고 판단된다.

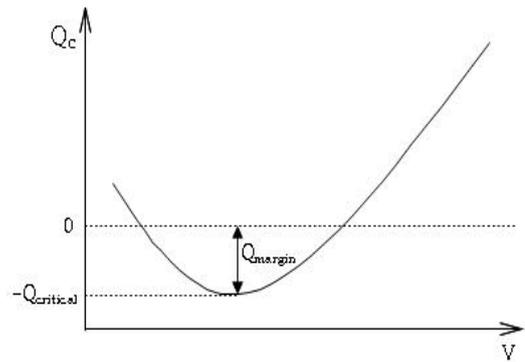


그림 2 무효전력 여유 개념  
Fig. 2 Reactive Power Margin Concept

### 2.3 L 지수(L Index)

L지수는 조류계산 데이터만으로 간단하게 계산이 가능하며, 전압안정도 결과를 0~1사이의 값으로 간단하게 표현이 가능하다. L지수의 계산 원리는 최대전력전송 가능 시점을 전압 안정도 한계점으로 판단하고, 테브난 전압에 대한 부하단의 전압비로서 계통의 전압 안정도를 판별하게 된다. 발전 단으로부터 부하 단으로의 전력 전송량은 부하 단에 걸리는 전압이 계통의 테브난 전압의 절반이 되는 지점에서 최대가 된다. 이 지점을 지나게 되면 계통이 전력 전송 제어 능력을 상실하여 계통은 전압불안정 상태가 된다. 그림 3은 부하단의 전압과 전송 전력과의 관계를 나타내고 있다.

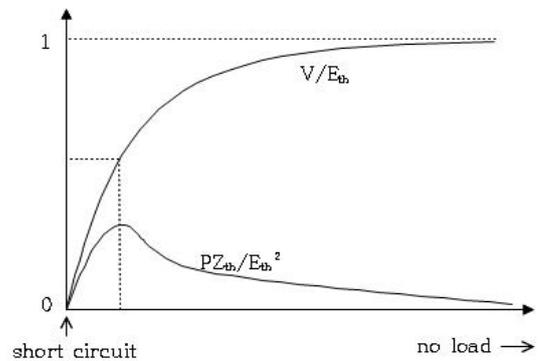


그림 3 L 지수 개념  
Fig. 3 L Index Concept

그러나 L지수도 유효전력, 무효전력 여유와 마찬가지로 전력조류계산이 반복적으로 필요하여, 긴급한 경우 계통 제어를 위한 지수로 사용하기에는 무리가 있다고 판단된다.

## 3. 실시간 감시 정보를 이용한 전압 안정도 제어 방안

### 3.1 Z 지수 활용 방안

Z지수는 기존의 저전압 계전기와 연계되어, 급격한 사고 발생 시 계통 보호 차원에서 부하를 계통으로부터 분리시키도록 저전압 계전기에 신호를 주는 온라인 감시 지수로 주

로 사용된다. 온라인 감시를 위한 Z지수의 원리를 살펴보면, 계통의 변화에 따라 부하의 임피던스가 테브난 임피던스에 가까워진다는 사실에 착안하여, 시간에 따른 부하의 임피던스 궤적을 통해 전압 안정도 측면에서 사고의 심각성을 판별하게 된다[11].

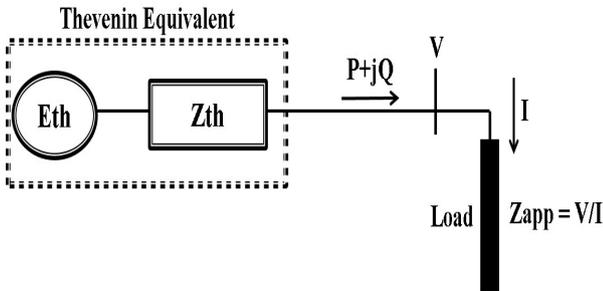


그림 4 Z 지수 개념  
Fig. 4 Z Index Concept

전력계통에서의 최대전력전달 조건은 부하의 임피던스와 계통 임피던스가 같게 될 때이다.

$$|Z_{th}| = |Z_{app}| \quad (2)$$

식 2의 조건이 만족되는 순간을 전압 붕괴 지점으로 간주할 수 있다. 안정한 상태에서 계통 임피던스에 비해 큰 값을 갖는 부하 임피던스는 계통의 상태가 전압 붕괴 지점에 가까워짐에 따라 부하 임피던스는 계속 줄어들면서 결국 전압 한계점에서 두 임피던스는 같은 값을 나타내게 된다. Z 지수는 기존의 저전압 계전기와 연계되어 온라인 계통 보호 차원에서 매우 유용하게 사용될 수 있으나, 계통 전체의 전압 안정도 해석 차원으로 사용되기에는 힘들다. 그러나 모션 전압으로부터 테브난 임피던스와 테브난 전압을 구하는 방법을 통해 긴급한 경우 계통의 지역정보만으로 전압 불안정 현상을 제어할 수 있는 방안으로 활용이 가능하다.

### 3.2 전압안정도 제어 방안

전압 불안정 현상을 해결하여 전압안정도 향상을 위한 여러 가지 방안 중에서 다른 요인으로 인한 영향을 받지 않는 저전압 부하 제어(Under Voltage Load Control) 방안이 있다. 이는 부하를 탈락시킴으로써 계통의 전압을 효과적으로 회복시키며, 설비 투입에 따른 근본적인 문제 해결 이전에 적용할 수 있는 가장 경제적인 방법이다. 현재 국내에서는 저전압 부하 제어 시스템을 계통에 적용하여 심각한 사고가 발생했을 경우 제어 방안으로 적용하고 있다.

전압안정도 제어를 위해 전압안정도 여유의 계산은 감시하고자 하는 부하 모션에서 측정된 실시간 정보와 계산된 부하로 공급되는 유효전력 및 무효전력을 계산하고, 사고 해석을 통해서 계산한 등가 전압과 임피던스를 이용하여 테브난 등가회로로 구성한다. 각 부하 모션의 등가 전압과 등가 임피던스를 추정된 값을 이용하여 각 부하모션에서 최대 전력 전달 가능한 값에서 부하의 유효전력, 무효전력 값을 제외하게 되면 부하 각각의 유효전력, 무효전력 여유가 계산된

다. 이러한 일련의 과정을 통해 최대 전력 전달 가능 값을 계산할 수 있으며 이는 전압불안정 현상을 감시할 수 있는 요소로 사용될 수 있다. 계산된 실시간 유효전력 여유를 통하여 실제 계통의 실시간 전압안정도를 판별이 가능해졌다. 이를 통해서 부하 제어가 필요할 경우, 각 변전소에 부하 제어를 알릴 수 있는 지표로 사용하여, 일정 수준 이하로 여유량이 떨어지게 되면 부하 제어를 수행하게 된다[12].

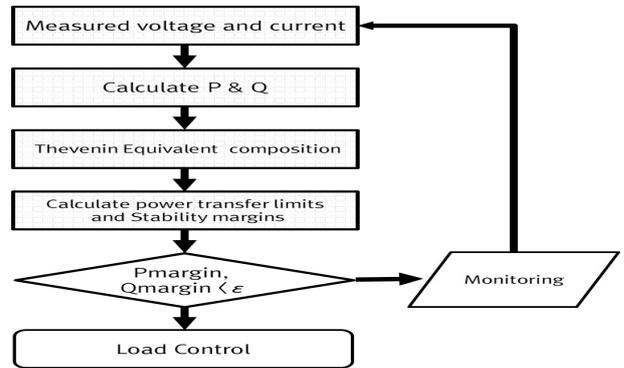


그림 5 전압안정도 제어 방안 절차  
Fig. 5 Voltage Stability Control Method Flowchart

PMU와 같은 측정 장비를 통해서 취득된 데이터를 이용하여 실시간으로 계통 내 부하모션을 개별적으로 감시한다. 또한 실시간으로 계통의 위험상태를 판단할 뿐 아니라 실시간으로 유효전력 여유량이 계산되므로 위험이 감지되면 최적의 차단량을 실시간으로 제어할 수 있다.

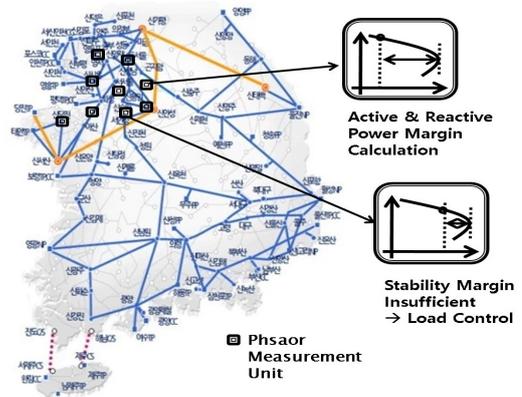


그림 6 전압안정도 제어 방안 개념도  
Fig. 6 Voltage Stability Control Scheme Concept

## 4. 사례연구

한전의 실제 계통 데이터를 이용하여 전압안정도 제어 방안의 효용성에 대한 사례연구를 수행한다. 한전 계통은 수도권 지역에 많은 부하가 밀집되어 있는 것에 반해 그에 대응하는 발전량을 비수도권에서 공급받고 있는 특징을 가지고 있다. 수도권으로 융통되는 선로에 사고가 발생하게 되면, 계통에 심각한 악영향을 미치게 된다. 이를 위해 계통에 전압 불안정 현상이 일어나는 시나리오를 적용하고, 전압안

정도 여유 해석을 통해 안정화 방안에 대한 사례연구를 수행한다. 사례연구를 위해 한전의 하계 첨두부하 계통데이터를 이용하였으며, 동특성 분석을 위해 PowerTech의 TSAT 10.0을 이용하였다.

**4.1 사례연구 환경 설정**

사례연구를 위해 가장 심각한 상정고장인 신서산-신안성 765kV 선로에 고장이 발생되었다고 가정하였다. 전압불안정을 해결하기 위해 부하 제어를 수행하게 되는데, 수도권 내 사고 시 가장 민감한 변화를 보이는 14개 모선을 선정하여 사례연구를 수행한다. 이 부하모선들은 동적해석을 수행하기 위해서 부하에 60%는 유도전동기 부하를 적용하고, 남은 부하 40%의 유효전력은 고정 전류부하를 취하였고, 무효전력은 고정 임피던스 부하로 고려하였다. 유도전동기 부하가 주거, 상업, 산업분야에서 많은 부분을 차지하고 있고 실제 계통에서 60% 가량 전력을 소모하기 때문에 사례연구 수행 시 유도 전동기 부하 부분을 고려하였다. 4개의 회선 중에서 하나의 회선은 일반 부하이므로, 나머지 3개의 회선은 유도 전동기 부하로 조류가 흐르도록 설정하였다. 아래 표 1은 사고 시나리오에 대해서 적용하는 해당 부하모선의 정보를 나타낸다.

**표 1** 일반부하 및 모터부하의 유효/무효전력

**Table 1** Active/Reactive Power of Load and Motor Load

Bus No.	Load Active Power [MW]	Load Reactive Power [MVar]	Motor Active Power [MW]	Motor Reactive Power [MVar]
1	24.243	10.206	38.966	12.659
2	15.168	13.029	25.352	16.894
3	54.521	23.993	84.381	33.34
4	8.19	4.068	14.885	3.453
5	23.386	16.667	37.68	22.351
6	12.961	9.862	21.276	19.776
7	46.923	32.069	72.986	45.454
8	99.898	41.904	152.446	60.207
9	24.95	13.384	40.026	17.426
10	72.505	30.349	111.359	42.873
11	38.505	19.024	60.675	25.887
12	41.886	18.552	65.428	36.802
13	53.218	29.411	82.428	41.467
14	47.245	27.936	73.017	39.253
<b>Total</b>	<b>563.599</b>	<b>290.454</b>	<b>880.905</b>	<b>417.842</b>

**4.2 연속조류계산을 활용한 전압안정도 제어 방안 검증**

연속조류계산 방법을 활용하여 전압안정도 제어 방안에 대한 비교 및 검증을 수행하였다. 검증을 위한 시나리오는 다음과 같다.

**표 2** 검증 시나리오

**Table 2** Validation Scenario

Division	Implementation details
Validation Scenario	Gen : KEPCO system total increase
	Load : Each load bus line increases

**4.2.1 검증 시나리오 결과 분석**

위와 같은 시나리오를 통해서 연속조류계산 해석 결과와 전압안정도 제어 방안의 결과를 비교하였다. 동일한 조건에서 유효전력 여유를 부하량으로 각각 나누었을 때, 부하량 대비 전압안정도 제어 방안의 여유량 비와 부하량 대비 연속조류계산의 여유량의 비를 비교하였다. 이는 해당 부하 모선들의 증감의 변화를 볼 수 있기 때문에 부하량을 나누지 않은 부분에 비해 좀 더 정확한 경향을 볼 수 있다. 표 3은 전압안정도 제어 방안을 통한 여유량과 연속 조류 계산을 통한 여유량을 부하량으로 각각 나누었을 때에 대한 결과를 나타낸다.

**표 3** 검증 결과 분석

**Table 3** Validation Results Analysis

Ranking	Ranking of voltage stability control scheme against load	Ratio of voltage stability control scheme against load	Ranking of CPF calculation against load	Ratio of CPF calculation against load
1	Bus 8	2.6946	Bus 8	2.8777
2	Bus 10	5.6065	Bus 10	5.4462
3	Bus 12	5.7769	Bus 13	5.3865
4	Bus 7	6.0091	Bus 12	5.7259
5	Bus 13	6.1083	Bus 7	5.8299
6	Bus 6	7.4021	Bus 6	7.2924
7	Bus 3	9.6275	Bus 3	7.6527
8	Bus 11	9.8064	Bus 11	8.3595
9	Bus 14	12.429	Bus 14	10.784
10	Bus 9	13.825	Bus 9	11.44
11	Bus 5	14.39	Bus 5	12.982
12	Bus 1	19.751	Bus 1	15.711
13	Bus 2	25.01	Bus 2	19.625
14	Bus 4	45.612	Bus 4	34.527

해당 부하 모선 별 분석 결과를 보면, 부하량 대비 전압안정도 제어 방안의 비와 연속조류계산의 비를 정량적으로 비교했을 때에는 약 3개의 모선(Bus 1, Bus 2, Bus 5)을 제외한 나머지 모선들의 차이는 1 이하로 나타났다. 또한 정성적으로 검증 분석 결과를 비교해 보면, Bus 12, Bus 7, Bus 13을 제외한 나머지 부하 모선들의 순위를 동일한 경향을 보이는 것을 알 수 있다. Bus 12, Bus 7, Bus 13 모선은 전압안정도 제어 방안의 결과에서 순위만 조금 바뀌어 있고 제어방안과 계산의 비에서 차이가 1이하의 값을 보이므로 큰 영향을 미치지 않는 것으로 분석된다.

### 4.3 전압안정도 제어 방안 적용 사례 분석

한전계통에서 전압안정도 제어 방안의 효용성을 입증하기 위해서는 전압 불안정이 발생하는 심각한 사고 시나리오가 필요하다. 본 논문에서 가정한 전압 불안정 시나리오는 다음과 같다.

표 4 전압불안정 시나리오

Table 4 Voltage Instability Scenario

Step	Time(sec)	Details
1	2.0000	765kV Transmission line fault
		Disconnect Sh- Reactor
2	2.0833	Clearing of a line fault
3	2.1500	Disconnect generator
4	~60	Real-time effective power margin of load bus less than 10%, Load Control
5		Monitoring of active power margin each load bus
6		Monitoring bus voltage observation

전압 불안정 시나리오는 한전 계통에서 가장 심각한 상정 사고인 2초에 신서산-신안성 선로 사고를 적용하고, 2.0833초에 사고를 제거, 2.15초에 사고가 발생한 선로에서 가장 근접한 발전기인 당진 5개 발전기(당진3G, 당진4G, 당진5G, 당진6G, 당진7G)를 탈락시키게 된다. 총 60초간 시뮬레이션을 진행하는데 14개의 부하 모선의 유효전력의 여유량이 사고 전의 여유량에 대비하여 10% 이하로 떨어지게 되면, 해당 부하의 모선을 100% 전량 차단함으로써 계통의 전압 불안정을 현상을 방지하기 위한 제어를 수행한다. 임계비율을 10%로 설정한 이유는 한전계통에서 적용하고 있는 저전압 부하 제어 시스템이 사고 후 0.5초 후에 부하를 차단하고 있는데, 해당 부하 모선들의 사고 후 0.5초 후의 평균적인 유효전력의 여유량이 약 10%로 계산되었기 때문이다.

부하 제어를 수행한 후 신서산-신안성 사고를 감시하는 모선인 서서울 345 kV의 전압을 관찰하여 전압불안정이 발생 여부를 판단한다. 사고 발생 후 전압이 급격하게 강하함에 따라 유효전력의 여유량 또한 떨어지게 된다. 그림 7은 각 모선별 유효전력 여유량의 시간에 따른 변화 결과를 나타낸다.

각 부하모선의 유효전력의 여유 변화 결과를 살펴보면 사고가 발생 한 2초 이후 많은 변화가 일어나는 것을 볼 수 있다. 각 부하모선의 유효전력 여유가 10%로 떨어진 시점에 부하 제어를 수행하게 된다. 총 10개의 모선에 대한 부하 제어를 수행한다. 표 5는 부하 제어를 수행한 모선의 번호, 차단시점과 차단 용량, 사고 전의 유효전력 여유량을 나타낸다.

부하 제어를 수행하지 않은 모선은 Bus 2, Bus 3, Bus 10, Bus 13 4개의 모선이다. 이 모선들은 사고 후 유효전력 여유가 10% 이하로 떨어지지 않았기 때문에 부하 제어를 수행 하지 않았다. 해당 모선들은 전압 불안정 사고 발생 후 계통의 전압은 크게 떨어졌지만, 다른 부하 모선들의 부하 제어 수행으로 인하여 유효전력 여유가 많이 떨어지지 않았다. 표 6은 부하 제어를 수행 하지 않은 모선들의 사고

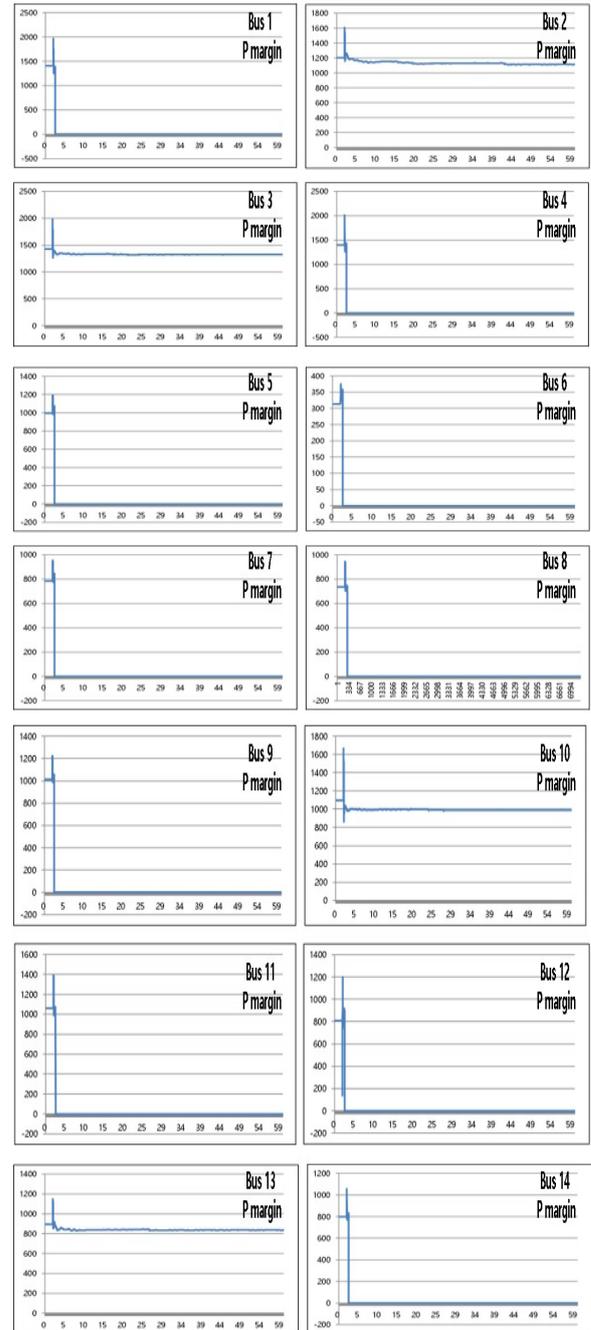


그림 7 각 부하모선의 유효전력 여유 변화  
Fig. 7 Variation of Active Power Margin Load Bus

전과 후의 유효전력 여유를 나타낸 표이다.

감시모선인 서서울 모선의 전압을 관찰해보면 사고 직후 전압이 급격히 떨어졌으나, 모선 별 유효전력 여유가 10% 이하로 떨어졌을 때 개별적으로 부하 제어를 수행함으로써 전압이 회복하는 것을 볼 수 있다. 그림 8은 서서울 모선의 전압 변화를 나타낸다.

전압안정도 제어 방안을 적용한 사례의 감시모선의 전압 변동을 분석해 보면, 사고 발생 후 전압이 급격하게 강하하는 모습을 보이지만 부하 제어 수행 후 전압이 정상상태로 회복하는 것을 볼 수 있다. 사고 전 감시모선의 전압은

표 5 부하 제어 시점, 차단량, 유효전력 여유

Table 5 Load Shedding Time, Amount, Active Power Margin

Bus No.	Time [sec]	Amount [MW]	Pre-contingency active power margin [MW]
Bus 5	2.3832	68.466	994.78
Bus 7	2.3999	127.309	782.84
Bus 6	2.4166	41.637	313.28
Bus 9	2.4832	72.376	1010.7
Bus 14	2.5082	7.7200	798.01
Bus 8	2.5165	259.744	736.28
Bus 4	2.5915	30.475	1394.3
Bus 12	5.2903	114.714	798.75
Bus 11	5.9650	106.792	1062.2
Bus 1	5.9900	70.609	1404.5

표 6 부하 제어를 수행하지 않은 모선의 유효전력 여유

Table 6 Active Power Margin of Not Load Shedding Bus

Bus No	Pre-contingency active power margin [MW]	Post-contingency active power margin [MW]
Bus 2	1205.20	1113.30
Bus 3	1429.00	1323.20
Bus 10	1010.70	990.25
Bus 13	893.15	835.52

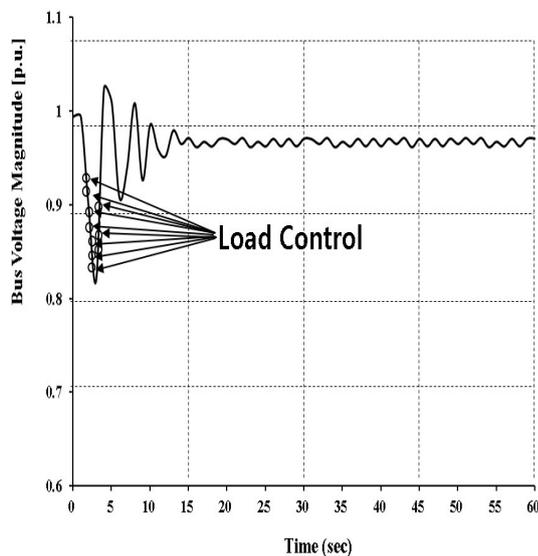


그림 8 감시모선의 전압 변화

Fig. 8 Voltage variation of Monitoring Bus

1.0027V로 관찰되었으며, 부하 제어 수행 후 감시모선의 전압은 0.9895V로 회복되는 모습을 보이고 있어 전압안정도 제어 방안이 계통을 안정화 할 수 있는데 효과가 있음을 확인하였다.

## 5. 결론

본 논문에서는 실시간 감시 장치를 통해 취득한 계통 정보를 활용하여 전압안정도 여유를 실시간으로 감시하고, 이를 활용한 전압안정도 제어 방안에 대한 연구를 수행하였다. 계통의 안정화를 달성하기 위해 PMU에서 취득한 데이터를 기반으로 각 부하모선의 유효전력 여유 분석을 수행하였다.

전압안정도 제어 방안을 수립하기 위한 부하 제어 수행을 통해 실제 한전계통에 적용하여 그 효용성을 입증하였다. 전압 불안정 시나리오를 적용하여 상성고장 시 민감한 변화를 보이는 14개의 모선을 선정하여, 부하 모선의 실시간 유효전력 여유량이 사고 전과 대비하여 10%이하로 떨어졌을 경우 각각에 대한 부하 제어를 수행하였다. 부하 제어를 수행한 후 감시모선인 서서울 전압의 모선이 회복되어 계통이 안정화되는 것을 확인하였다.

향후에는 다양한 상성고장을 적용하여 그에 대응할 수 있는 향상된 전압안정도 제어 방안에 대한 연구와 계통의 상태를 좀 더 정확하게 판단할 수 있는 감시 방안에 대한 연구가 필요하다고 판단된다.

## References

- [1] KAMEL, Mariana Magdy Mounir; KARRAR, Abdelrahman A.; ELTOM, Ahmed H. "Development and Application of a New Voltage Stability Index for On-Line Monitoring and Shedding," *IEEE Transactions on Power Systems*, 2017.
- [2] LI, Shiyang, AJJARAPU, Venkataramana, DJUKANOVIC, Miodrag, "Adaptive Online Monitoring of Voltage Stability Margin via Local Regression," *IEEE Transactions on Power Systems*, 2017.
- [3] NATARAJAN, Mohandas, RAMADOSS, Balamurugan, LAKSHMANARAO, Lakshminarasimman, "Optimal location and sizing of MW and MVAR based DG units to improve voltage stability margin in distribution system using a chaotic artificial bee colony algorithm," *International Transactions on Electrical Energy Systems*, 2017.
- [4] BURCHETT, Stephen M., et al., "Voltage stability analysis of a wind hub using Thevenin equivalent models estimated from measured data," *PowerTech, 2017 IEEE Manchester*, IEEE, 2017.
- [5] CHEN, Houhe, et al., "Wide-area measurement-based voltage stability sensitivity and its application in voltage control," *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 2017.
- [6] Sachin K. Jain, Preeti Jain, Sri Niwas Singh, "A Fast Harmonic Phasor Measurement Method for Smart Grid Applications," *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. 8, no. 1, Jan, 2017.
- [7] Emily R. Fernandes, Scott G. Ghioce, "Application of a Phasor-Only State Estimator to a Large Power

- System Using Real PMU Data,” *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 32, no. 1, Jan. 2017.
- [8] VASQUEZ, Jorge A. Velez, MATAVALAM, Amarsagar R. Ramapuram, AJJARAPU, Venkataramana, “Fast calculation of Thevenin equivalents for real-time steady state voltage stability estimation,” *North American Power Symposium (NAPS)*, 2016.
- [9] V. Ajjarapu, C. Christy, “The continuation power flow: a tool for steady state voltage stability analysis,” *IEEE Trans. Power Systems*, vol. 7, no. 1, Feb. 1992, pp. 416-423.
- [10] Zhang et al., “Method For Voltage Instability Load Shedding Using Local Measurements,” United State Patent No. US 7,603,203 B2, 2009.
- [11] Sangwook Han, “A Voltage Stability Monitoring Algorithm using a Few PMUs in Metropolitan Area,” *The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers*, vol. 58, no. 12, 2009.
- [12] Yunhwan Lee, “A Study on Decentralized under Voltage Load Shedding Scheme for Preventing Wide-area Black Out,” *The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers*, vol. 63P, no. 1, 2014.

---

## 저 자 소 개



### 이 윤 환(李 允 煥)

2010년 고려대 일반대학원 전자전기공학과 졸업(석사), 2014년 동대학원 졸업(박사). 2014년~2016년 한국스마트그리드사업단 신사업추진실 대리, 2016년~쿤텍(주) 기술연구소 선임연구원

E-mail : yunan2@naver.com