

전압저하를 완화시키기 위한 배전계통 구조변화에 관한 연구

오용택, 노대석, 김진성\*  
한국기술교육대학교

A Study on Changing the Structure of Distribution System for Mitigating Voltage Sags

Yong-Taek Oh, Dae-Seok Rho, Jin-Sung Kim\*  
Korea University of Technology and Education

**Abstract** - The sag is phenomenon that magnitude of load voltage temporarily decreases because of power system fault. If a certain equipment in industrial process have any trouble result from sag, it can cause utility to be charged for enormous economics loss. Therefore it need to analyze the characteristic of sag and then mitigation method for sags in distribution system in oder to increase reliability. This paper gives an overview of sags characteristic due to short circuit fault in distribution system and after a general discussion of the various forms mitigation, gives a sags mitigation method with concentrating on changing the distribution system like spot network, on-site generation

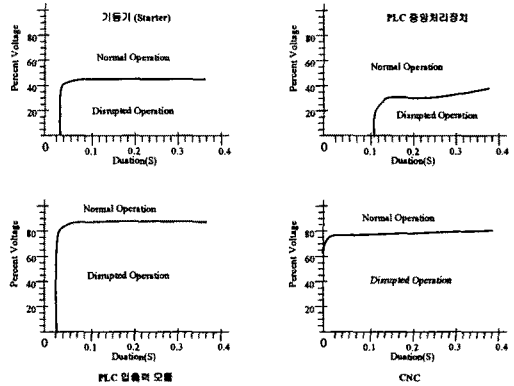


그림 1.2 제어장비들에 대한 장비민감도 곡선

1. 서 론

전압저하는 그림 1.1처럼 부하에 공급되는 전압의 크기가 어느 시간동안 일시적으로 감소하는 현상으로 주로 계통상의 단락회로 사고에 의해 발생하며 대용량 모터의 기동, 부하의 갑작스런 증가 그리고 콘덴서 뱅크의 투입 같은 스위칭 작용에 의해서도 발생한다.

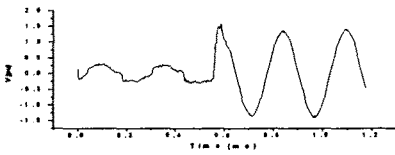


그림 1.1 단락회로 고장에 의한 전압저하

문제는 전압저하가 그림 1.2에서처럼 전압의란에 민감한 장비들에게 영향을 주었을 경우 산업설비 또는 다른 특정한 장비를 오동작 시키는 등 전체 설비 시스템의 동작 신뢰도를 감소시켜 막대한 경제적 손실을 초래하게 된다는 것이다.[1][2] 따라서 최근 들어 배전계통상에서 전압저하를 저감시키는 방법이 계통의 신뢰도를 높이는 데 중요한 문제로 다루어지기 시작했다.[3][4][5]

전압저하를 완화시키는 방법으로는 크게 4가지 형태로 분류되는데 본 연구에서는 배전계통을 변화시켜 전압저하를 완화시키는 방법에 초점을 두었다. 특히 부분 네트워크(Spot Network)설정과 지역발전기(Local Generation)의 설치를 각각 적용하여 두 가지 방법이 적용된 경우와 그렇지 않은 경우를 비교하여 전압저하가 완화되는지를 확인하였다. 비교방법은 3상 단락사고 발생 시 부하에 공급되는 전압의 크기를 고장점 거리의 함수로 표현하여 해석하였다.

2. 고장점 거리에 따른 전압크기 (Sag Magnitude)

방사(radial)전력계통에서 전압저하 시 전압의 크기를 정량화하기 위해서 그림 2.1과 같은 전압 분배 모델을 사용된다.

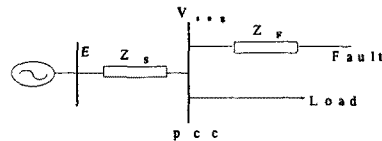


그림 2.1 전압분배 모델

3상 단락사고가 발생하고 부하전류를 무시하여 부하와 pcc사이에 전압강하가 없다고 가정하면 부하전압  $V_{sag}$ 는 다음과 같이 고장점 거리의 함수로 표현할 수 있다.

$$V_{sag} = \frac{Z_F}{Z_S + Z_F} E = \frac{zL}{Z_S + zL} \times 1 [pu] \quad (2.1)$$

L : 고장점거리, z : 단위길이(km)당 피더임피던스

3. 전압저하 저감 방법

전압저하를 완화시키는 방법들은 여러 가지가 있는데 그림 3.1처럼 크게 4가지 형태로 분류할 수가 있다.

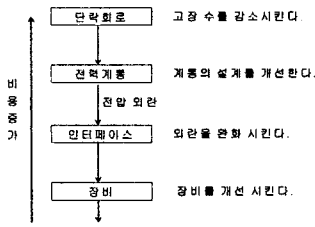


그림 3.1 전압저하 완화방법의 분류

그 중 전력계통을 변화시키는 방법은 부하가 연계된 계통구조를 변화시키는 것으로, Normally Open Switch, 부하 절환(Load Transfer)스위칭, 계통 병렬 운전, 부분 네트워크, 민감한 부하 근처의 지역 발전기 설치 등에 의해 이루어지는데 이 방법은 계통상에서 발생한 고장에 의한 전압감소를 보충하여 설비 쪽에 양질의 전력을 효과적으로 공급해 줄 수 있기 때문에 전압의란에 민감하게 반응하는 설비가 많이 연결되어 있는 배전 계통에 적합한 방법이라 할 수 있다.

### 3.1 부분 네트워크(Spot Network)

부분 네트워크는 그림 3.2처럼 분리되어 있는 두 개 또는 그 이상의 다른 버스들을 하나의 버스에 같이 연결시킨 계통을 말하며 이 때 공유된 부하 버스전압의 크기는 다음과 같다.

$$V_{\text{sag}(\text{load})} = V_1 + \frac{Z_{11}}{Z_{11} + Z_{12} + Z_{s2}}(1 - V_1) \quad (3.1)$$

$$\begin{aligned} Z_{11}, Z_{12} : & \text{변압기 임피던스} \\ Z_{s1}, Z_{s2} : & \text{전원 임피던스} \end{aligned} \quad V_1 = \frac{zL}{zL + Z_{s1}}$$

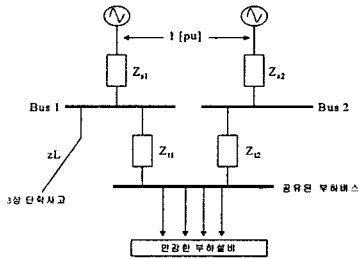


그림 3.2 부분 네트워크 구성

### 3.2 지역발전(Local Generation)

방사(Radial) 배전계통에 지역발전기가 설정되었을 경우 크게 두 가지 방법에 의해 전압저하를 완화시켜 준다.

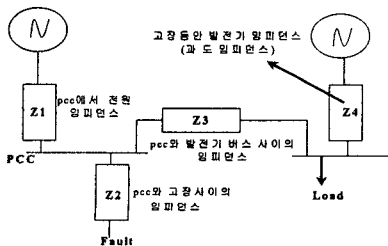


그림 3.3 지역발전에 대한 등가회로

발전기는 배전 피더상에 고장용량을 증가시켜 전압저하를 완화시키는데 특히 정상동작 상태가 취약한 계통에 적합하다. 또한 다른 지역계통에서 고장이 발생하더라도 부하버스의 전압을 유지시켜 주므로 전압저하를 완화시킬 수 있다. 그림 3.3처럼 표현된 등가회로에서 부하 버스전압 크기를 구하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} (1 - V_{\text{sag}(\text{load})}) &= \frac{Z_4}{V_3 + V_4}(1 - V_{\text{pcc}}) \\ \therefore V_{\text{pcc}} &= \frac{Z_2 L}{Z_1 + Z_2 L} \quad L : \text{고장점 거리} \end{aligned} \quad (3.2)$$

$V_{\text{pcc}} = 0$ 일 경우(정전)에도  $V_{\text{MIN}(\text{load})} = \frac{Z_3}{Z_3 + Z_4}$ 가 되어 발전기 과도임피던스와 연결 버스사이의 임피던스 크기에 따른 전압을 부하에 공급해 줄 수 있다.

## 4. 사례연구

### 4.1 지역발전(Local Generation)

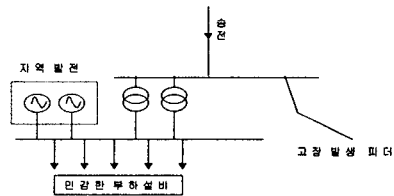


그림 4.1 지역발전이 설정된 배전계통

표 4.1 계통 데이터

| 변수          | 값           | 변수           | 값       |
|-------------|-------------|--------------|---------|
| 변압기 전압      | 22.9/6.6 KV | 발전기용량        | 20 MVA  |
| 피더 임피던스     | 0.3Ω/km     | 변압기 1차측 고장용량 | 900 MVA |
| 발전기 과도 리액턴스 | 17%         | 변압기 2차측 고장용량 | 200 MVA |

그림 4.2는 지역발전을 한 경우와 그렇지 않은 경우의 부하 버스 전압을 출력한 것인데 전압크기는 고장점 거리가 증가할수록 커짐을 알 수 있다. 왜냐하면 거리가 늘수록 피더 임피던스가 커지기 때문이다. 또한 지역발전을 한 경우에 같은 고장점 거리에서 전압의 크기가 더 높게 나타남을 알 수 있으며 모선에서의 사고로 정전이 발생하더라도 지역발전에 의해 전압이 유지됨을 알 수 있다. 위의 계통에서 정전 시 최소 전압 값은 0.26 [pu]이며 그림 4.3과 표 4.2에서 보여지듯 발전용량을 높이든지 아니면 발전기 수를 늘려서 전압저하 시 보상전압과 정전 시의 최소 전압 값을 상승시킬 수 있다.

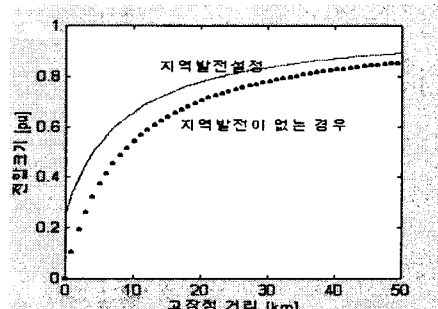


그림 4.2 지역발전 유무에 따른 전압크기

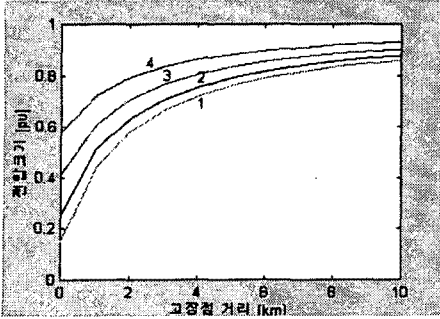


그림 4.3 발전기 수에 따른 전압크기

표 4.2 발전기 수에 따른 전압크기

| 발전기 수 | 최소 전압 값 [pu] | 고장점 거리에 따른 전압 [pu] |        |        |
|-------|--------------|--------------------|--------|--------|
|       |              | 1km                | 3km    | 10km   |
| 1     | 0.1513       | 0.4410             | 0.6678 | 0.8627 |
| 2     | 0.2576       | 0.5110             | 0.7094 | 0.8799 |
| 3     | 0.4097       | 0.6112             | 0.7689 | 0.9045 |
| 4     | 0.5815       | 0.7244             | 0.8362 | 0.9323 |

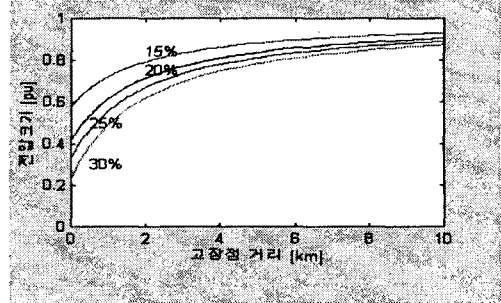


그림 4.6 2차 변압기 임피던스에 따른 전압크기

표 4.3 2차 변압기 임피던스에 따른 전압크기

| % Tr2        | 최소 전압 값 [pu] | 고장점 거리에 따른 전압 [pu] |        |        |
|--------------|--------------|--------------------|--------|--------|
|              |              | 1km                | 3km    | 10km   |
| 15 %         | 0.5792       | 0.6274             | 0.6968 | 0.8165 |
| 20 %<br>모의계통 | 0.4197       | 0.4862             | 0.5819 | 0.7469 |
| 25 %         | 0.3291       | 0.4059             | 0.5166 | 0.7074 |
| 30 %         | 0.2298       | 0.3180             | 0.4451 | 0.6641 |

#### 4.2 부분 네트워크(Spot Network)

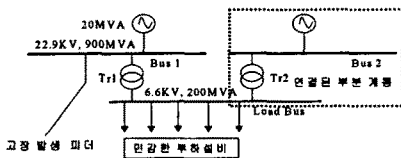


그림 4.4 부분 네트워크 구성도

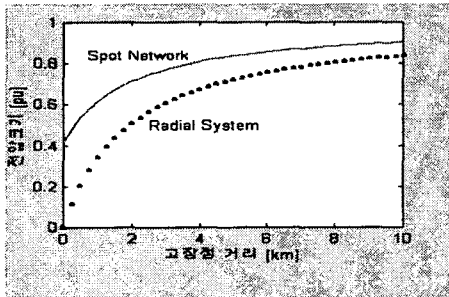


그림 4.5 부분 네트워크에 의한 전압크기

그림 4.5는 부분 네트워크를 설정한 경우와 그렇지 않은 경우의 부하버스 전압을 출력한 것이며 마찬가지로 고장점 거리가 증가할수록 전압이 커짐을 알 수 있다. 또한 부분 네트워크를 설정한 경우에 같은 고장점 거리에서 전압의 크기가 더 높게 나타남을 알 수 있으며 모선에서의 사고로 정전이 발생하더라도 연결된 다른 계통에 의해 전압이 유지됨을 알 수 있다. 위의 계통에서 정전 시 최소 전압 값은 0.42 [pu]이며 그림 4.6과 표 4.4에서 보여지듯 연결되는 계통의 2차 변압기 임피던스에 따라 전압저하 시 보상전압과 정전 시의 최소 전압 값을 상승시킬 수 있다.

즉, 연결되는 계통의 변압기의 정격용량이 적을수록 임피던스가 증가하여 전압저하에 대한 보상전압이 감소하게 된다. 따라서 부분 네트워크 구성 시 임피던스가 같은 변압기나 더 적은 임피던스를 갖는 변압기가 있는 계통에 네트워크를 설정하는 것이 보다 더 효과적임을 알 수 있다.

#### 5. 결 론

본 연구에서는 배전계통에서 발생하는 단락사고에 의한 전압저하 현상을 저감시키는 두 가지 방법을 제안하였다. 그것은 배전계통의 구조를 변화시키는 방법 이었으며 또한 두 가지 방법 모두 전압저하 현상을 저감시킨다는 것을 모의실험을 통하여 확인하였다. 또한 지역발전을 통한 방법에서는 설치되는 발전기의 용량과 수가 증가할수록 전압저하 저감의 효과가 높았고 부분 네트워크에서는 2차 변압기의 임피던스가 적을수록 전압보상이 뛰어나다는 것도 확인하였다.

이상과 같은 연구 결과는 다수의 부하설비가 연결된 배전계통상에 갖은 전압외란이 발생할 경우에, 소요되는 비용과 효과 측면을 고려하여 경제적인 실리가 있다고 판단될 때에 배전계통의 신뢰도 향상에 기여할 수 있는 방법이라 생각된다.

#### (참 고 문 헌)

- [1] Van E. Wagner, Allen A. Andreshak, Joseph P. Staniak, "Power Quality and Factory Automation", IEEE Transaction on Industry Application, Vol. 26, No. 4, July/August 1990.
- [2] Christopher J. Melhorn, Timothy D. Davis, George E. Beam, "Voltage Sags : Their Impact on the Utility and Industrial Customers", IEEE Transaction on Industry Application, Vol. 34, No. 3, May/June 1998.
- [3] Lj. Kojovic and S. Hassler, "Application of current limiting fuses in industrial system for improved power quality and protection", IEEE Transaction on Power Delivery, Vol. 12, No. 2, April 1997, pp. 791-800.
- [4] Fabio Tosato and Stefano Quaia, "Reducing Voltage Sags Through Fault Current Limitation", IEEE Transaction On Power Delivery, Vol. 16, No. 1, January 2001, pp. 12-17
- [5] Sang-Hoon Lee, Jae-Ho Choi, "Instantaneous Voltage Sag Corrector in Distribution Line Using Series Compensator", Trans. KIEE, Vol. 50B, No. 1, January 2001, pp. 15-22.