

풍력발전 계통 연계시 전압품질(sag)의 특성분석

김진성*, 오용택*

*한국기술교육대학교

e-mail : westsea@kut.ac.kr

The Characteristics Analysis of Voltage Quality(sag) in Distribution System Connected with Wind Power

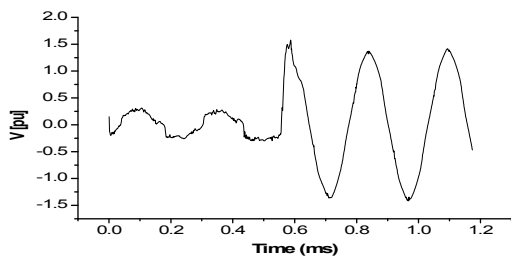
Jin-Sung Kim*, Yong-Taek Oh*

요 약

본 논문에서는 풍력발전 시스템이 연결된 배전계통에 고장이 발생한 경우 부하가 어떠한 특성을 보이는가를 분석하였다. 고장이 발생하면 부하전압이 감소하는 전압저하(sag)현상이 발생하는데, 특히 동적인 동작 특성을 가진 유도전동기 같은 부하인 경우에는 고정부하와 달리 고장시 뿐만 아니라 고장이 복구된 후에도 재기동에 의해 2차 전압감소가 발생하여 전동기 동작이 정지되는 등의 심각한 상황이 발생할 수 있다. 따라서 풍력발전 시스템이 연결된 전동기 부하와 연결되지 않은 전동기 부하의 전압저하 현상을 비교 분석함으로써, 신재생에너지로 크게 각광받고 있는 풍력발전시스템의 계통연계에 따른 전압 저하현상 개선 특성을 분석 검토 하였다.

1. 서론

전압저하(sag)는 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] 전압저하(sag)특성 곡선

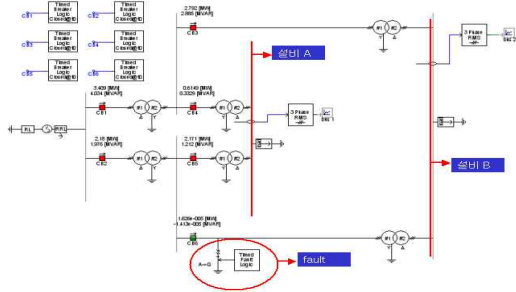
대형유도전동기 연결계통에서 고장발생시 전압감소에 따른 감속을 하는 동안 전동기는 발전기처럼 동작을 하여 모선의 전압이 바로 감소하는 것이 아니라 서서히 감소하는 형태를 갖게 되고 고장 복구 후에는 다시 전동기가 가속을 위해 상당한 기동전류가 필요하기 때문에 부하전류가 급격히 상승하게 된다. 이것은 고장이 제거 된 후에도 발생하는 또 다른 외

란현상으로서 전압저하 현상의 또 다른 형태를 취하게 되는 것이다.

따라서 이 논문에서는 대형 유도 전동기가 주요한 부하를 이루고 있는 배전계통에서 단락회로 고장이 발생했을 때 전압저하의 특성을 분석하고자 한다. 분석방법은 PSCAD/EMTDC 시뮬레이션 해석소프트웨어를 이용하였으며 실제 배전계통상에 존재하는 대용량 유도전동기 부하를 두 개의 설비모선에 적용하였다. 배전계통상에 단락회로 고장이 발생하였을 때 발생한 전압저하가 대형 유도전동기에 어떤 영향을 미치는지 살펴보고자 전동기 부하가 있을 때와 없을 때를 각각 적용하는 방식으로 비교 분석하였다. 또한, 전동기의 주요한 특성요인으로 고장 발생시 전동기가 서서히 감속하는 과정에서 풍력발전기 역할과 고장 복구 후 재 가속하는 과정에서 발생하는 또 다른 과부하전류에 의한 새로운 전압저하 현상에 중점을 두었다.

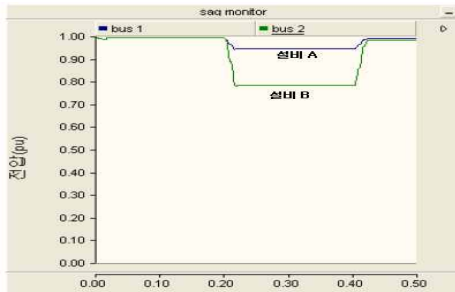
2. 일반부하와 대형유도전동기 부하의 전압저하 특성

그림 2.1는 배전계통에 일반 저항성 부하가 연결된 계통도를 보여준다.



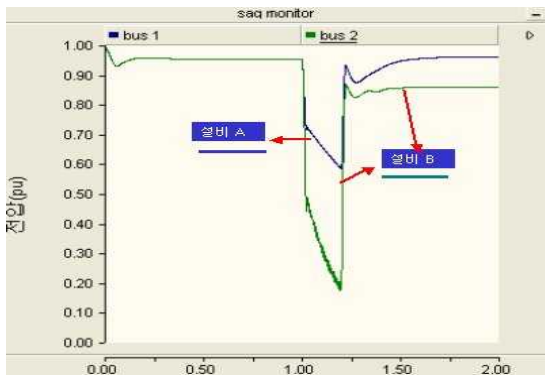
[그림 2.1] 저항성 부하가 연결된 배전계통

설비 A와 B에 동일한 부하가 있으며 설비 B와 연결된 피더(feeder)상에 단상 지락사고가 발생하면 그림 2.2에서처럼 모션전압은 즉시 감소하고 고장 제거 후에는 바로 고장 전의 값으로 복구됨을 알 수 있다.



[그림 2.2] 고정부하시 전압저하 현상(단상지락)

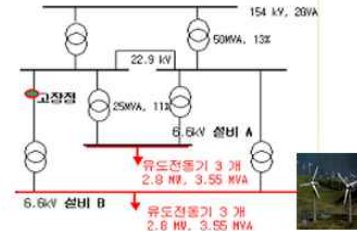
그러나 고정부하가 아닌 유도전동기인 경우에는 그림 2.3처럼 전압이 즉시 감소하는 것이 아니라 서서히 감소한다는 것이다. 이것은 전동기의 공급전압이 감소하면서 전동기가 일시적으로 발전기 모드로 동작을 하여 모선에 전압을 공급한다는 전동기 특성에 기인한다. 또한 고장 후에는 전동기가 재 기동을 함으로서 일시적으로 전압이 감소하다가 설비A는 정상전압으로 복구되지만 설비B는 정상전압으로 복구되지 않는 제2차 전압저하를 발생시킨다.



[그림 2.3] 전동기 부하시 설비 전압저하 현상(단상지락)

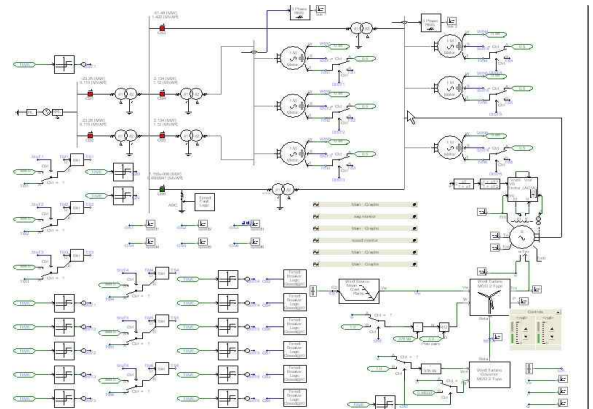
3. 풍력발전에 연결된 전동기 부하의 전압저하 특성

그림 3.1은 설비 A와 B에 각각 3개씩의 동일한 대형유도전동기가 설치된 계통 구성도이며 설비 B에 분산전원으로 풍력발전시스템이 연결된다.



[그림 3.1] 모의실험 계통 구성도

컴퓨터 시뮬레이션을 위한 EMTDC/PSCAD 프로그램의 배전계통 모델 도면은 그림 3.2와 같다.



[그림 3.2] EMTDC/PSCAD Schematic 도면

적용된 계통의 주요한 데이터는 다음과 같다.

- 1) 154 kV, 60Hz, 2000MVA 메인 버스
- 2) 각각 5 MVA, 10km의 선로(0.224 Ω/km, 1.13 mH/km, 10.3 nF/km)
- 3) 50MVA, 13%, 154/22.9kV 변압기 2대
- 4) 25MVA, 11%, 22.9/6.6kV 변압기 4대
- 5) 고장시간 : 1s에서 발생하여 200ms동안 지속
- 6) 고장위치 : 22.9kV 버스에서 1km 떨어진 거리
- 7) 고장유형 : 3상단락

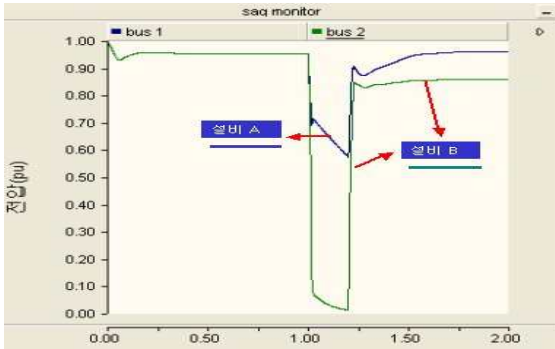
또한 부하로 적용된 주요한 전동기 특성은 다음과 같다.

- 1) 2.8 MW, 3.55 MVA 6대, 3상 농형 유도전동기
- 3) 고정자 저항 : 0.007 pu
- 4) 고정자 리액턴스 : 0.2 pu

3-1. 풍력발전이 없는 경우 전동기 부하특성

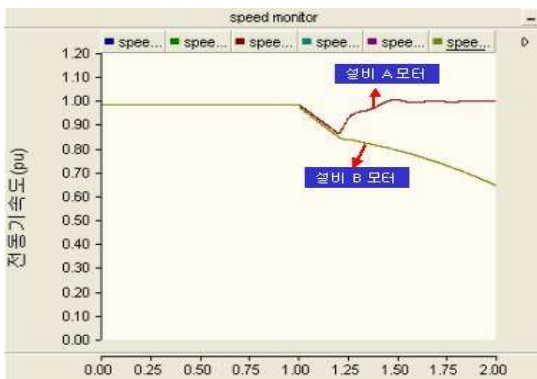
풍력발전이 없는 경우 3상단락 사고가 발생 했을시 두 설비모선의 전압은 그림 3.3과 같다. 여기서 주목

할 점은 전압이 각각의 최소값으로 감소할 때 즉시 감소하는 것이 아니라 서서히 감소한다는 것이다. 이것은 그림 2.3의 단상지락시의 현상과 동일한 전동기 동작특성 때문이다.



[그림 3.3] 풍력발전이 없는 경우 설비전압(3상단락)

또한 고장 후의 전압 형태를 보면 마찬가지로 즉시 원래의 전압 값으로 복구하는 것이 아니라 서서히 증가한다는 것이다. 특히, 고장 후에 전동기가 재가속을 함으로서 기동전류에 의한 약 0.2[pu]의 전압감소를 다시금 일으킨다는 사실이다. 재가속 후 설비 A는 원래의 전압 값으로 복구가 되지만 설비 B의 모션전압은 약 0.82[pu]의 전압으로 유지되어 새로운 전압저하 현상을 일으키고 있음을 알 수 있다. 이로 인해 설비 B는 고장복구 후에도 새로운 전압외란현상을 경험해야하는 문제점에 부딪치게 된다. 이것은 그림 3.4에서 보이는 것처럼 전동기의 속도변화에서도 쉽게 확인할 수 있다.



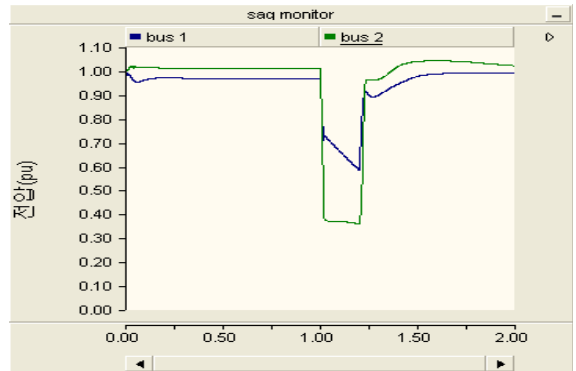
[그림 3.4] 풍력발전이 없는 경우 전동기 속도

즉, 고장이 발생하면 설비A와 B의 전동기들은 속도가 같이 감소하지만 고장 후에는 설비A의 전동기들이 원래의 정상속도를 유지하는 반면 설비B의 전동기들은 정상속도를 유지하지 못하고 계속 감소하여 전동기의 동작에 문제가 발생함을 예상할 수 있다.

3-2. 풍력발전이 연결된 경우 전동기 부하특성

그림 3.5와 3.6은 각각 풍력발전이 연결된 경우 모든 동일한 조건에서 3상단락 사고가 발생했을시 부하 모션의 전압과 전동기 속도를 보여준다. 고장 후에도 고장전의 전압으로 복구가 되며, 전동기 속도 또한 고장전의 정상속도를 유지함을 볼 수 있다. 적용된 풍력발전의 주요한 데이터는 다음과 같다.

- 1) 6.6 kV 정격전압 동기발전기
- 2) 터빈 : 2MVA 정격용량, 회전자 반경 10m
- 3) 평균풍속 8m/s, Gear Ratio 55



[그림 3.5] 풍력발전 연결시 설비전압(3상단락)



[그림 3.6] 풍력발전 연결시 전동기 속도(3상단락)

4. 결과고찰

컴퓨터 시뮬레이션을 통한 모의시험 결과에서 풍력발전이 없는 경우 3상 단락사고 발생시 부하전압과 전동기 속도변화는 표 4.1과 같다.

[표 4.1] 풍력발전이 없는 경우

	고장전		고장기간		고장후	
	A	B	A	B	A	B
설비						
전압값(pu)	1	1	0.58	0	1	0.83
전동기속도(pu)	1	1	0.87	0.85	1	0.65

표에서 볼 수 있듯이 설비B에서는 고장제거 후에도 전압이 지속적으로 감소되며, 전동기가 원래의 속도를 유지하지 못하는 문제가 발생함을 알 수 있다. 이 현상을 극복하기 위한 방법은 다양하게 적용될 수 있을 것이지만 여기서는 분산전원의 한 형태인 풍력발전을 연결함으로써 다른 장치의 사용이 없는 경제적인 방법을 선택해 보았다. 동일한 조건에서 풍력발전이 연결된 경우의 부하전압과 전동기 속도 변화는 표 4.2와 같다.

[표 4.2] 풍력발전이 연결된 경우

	고장전		고장기간		고장후	
	A	B	A	B	A	B
전압값(pu)	1	1	0.6	0.35	1	1
전동기속도(pu)	1	1	0.95	0.86	1	1

따라서 표 4.3에서 보는 것처럼 풍력발전이 연결된 경우 고장발생시 고장에 민감한 설비B에 대한 전압안정 효과가 크게 발생함을 알 수 있다.

[표 4.3] 설비B의 전압안정 효과

	전압(pu)		전동기속도(pu)	
	풍력(X)	풍력(O)	풍력(X)	풍력(O)
고장기간	0	0.35	0.86	0.86
고장후	0.83	1	0.65	1

5. 결론

이상에서 대용량 전동기가 부하로 연결된 계통에서 고장이 발생한 후에도 심각한 2차 전압저하가 발생함을 살펴보았으며 풍력발전 같은 분산전원을 대형 전동기 부하에 연결했을 때에는 2차적인 전압저하 현상을 극복할 수 있음을 살펴보았다. 이것은 풍력발전을 어느 곳에 연결하는 것이 효율적인가에 대한 단순하지만, SVC, DSTATCOM, DVR 같은 별도의 안정화 장치를 사용하지 않고 풍력발전 자체를 연결하는 것만으로도 전압저하를 극복할 수 있기에 아주 경제적인 방법이라 할 수 있을 것이다. 하지만 이 경우는 풍력발전이 단순히 보조 발전기로서의 역할을 함으로써 전압을 안정화시키고 유도전동기의 동작 상태를 원활히 유지시키는 기능에 중점을 두었기 때문에 계통에 연계될 풍력발전시스템이 가져올 수 있는 좋지 않은 특성에 대해서도 연구가 더 많이 진행되어야 할 것이다. 즉, 풍력발전 시스템을 계통망

에 접속함으로써, 전압변동, 고조파 왜곡, 플리커 등이 발생되며 심지어 전압의 불안정이 야기되기도 한다. 따라서 계통 연계시에 발생하는 전력품질문제를 심도 있게 파악함으로써 양질의 전압품질을 유지하면서도 계통망의 사용 효율을 높일 수 있을 것이다.

참고문헌

- [1] M. Z. EL-Sadez, "Voltage instabilities subsequent to short circuit recoveries", Electric Power Syst. Res., Vol. 21, 1991, pp.9-16
- [2] T. C. Das, "The effect of momentary Voltage dips on the operation of induction and synchronous", IEEE Transaction on Industry Application, Vol. 26, 1990, pp.711-718.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] Roger C. Dugan, Mark F. McGranaghan, H. Wayne Beaty, "Electrical Power Systems Quality", 1996.
- [6] 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.
- [7] 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
- [8] G. G. Karady, "Concept of a combined short circuit limiter and series compensator", IEEE Transaction On Power Delivery, Vol. 6, No. 3, July 1991, pp. 1031-1037
- [9] 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
- [10] Ma가 McGranaghan, Bill Roettger, "Economic Evaluation of Power Quality", IEEE Power Engineering Review, February 2002, pp. 8-12