

유도전동기 부하 고려 시 저전압 부하차단을 이용한 전력계통 안정도 향상 방안

Using the Under Voltage Load Shedding for Stability Enhancement of Power Systems Considering Induction Motor Load

이 윤 환[†]
(Yun-Hwan Lee)

Abstract - Recently, proportion of the induction motor load is gradually increased. When a contingency in the power systems, it has been discovered phenomenon that the voltage is delayed recover caused mechanical characteristics of the induction motor load. It can be a serious impact on the voltage stability of the power system considering induction motor load. The scheme to mitigate this phenomenon tripping off the motors to prevent voltage drop and delayed voltage recovery on the load demand side. Fault induced delayed voltage recovery phenomenon is caused by stalling of small induction motor load in transmission level contingencies. In this paper, fault induced delayed voltage recovery phenomenon mitigation method implementation under voltage load shedding on the Korean power system considering induction motor load.

Key Words : Delayed voltage recovery, Induction motor load, Under voltage load shedding, Voltage stability

1. 서 론

최근 전 세계적인 이상기온으로 인하여 전기를 사용하는 냉난방기기의 보급이 급증하고 있다. 사용자 편의성 및 소득수준의 향상으로 인한 냉난방기기의 보급 확대로 인하여 과거 대비 이들 기기에 의한 전력소비가 증가하고 있는 추세이다. 정부의 시책 및 정책 등으로 산업용 부하의 수요 비중은 미미한 수준으로 증가하고 있지만, 가정용 부하의 수요 비중은 큰 폭으로 증가하고 있다. 실생활에서 사용하고 있는 가정 및 소규모 건물의 난방/환기/에어컨 부하 등이 소형 가정 유도전동기의 부하에 포함 되는데 이를 HVAC (heating, ventilation and air conditioner) 기기라고 총칭하고 있다. 최근에는 소형 가정용 에어컨 부하가 많이 설치되어 있는 주거지역에 전압 불안정 현상과 계통 사고 발생 시 전압이 느리게 회복하는 현상(delayed voltage recovery)이 북미지역 등에서 관찰되고 있다[1].

이러한 현상은 사고 제거 후에도 전압이 몇 초 동안 낮은 수준 상태로 유지되는 현상으로, 전압이 빠른 시간 안에 붕괴되어 전압 불안정을 야기 시킬 수 있다. 이러한 단기 전압 안정성의 문제인 전압 지연 회복 현상 (fault induced delayed voltage recovery)이 최근 전력계통 전압안정도 분야에서 중요한 이슈로 부각되고 있다[2].

전력계통에서 유도전동기 부하가 차지하는 비중이 적었던 초기에는 전압강하와 같은 계통에 사고가 발생 시에 계통에서

분리하였다가 전압이 회복되고 사고가 복구되는 시점에 재연계하는 운전방식에 문제가 없었다. 하지만 유도전동기 부하의 비중이 점차적으로 증가되면서 전력계통 안정도에 심각한 영향을 주게 된다. 유도전동기 부하가 전력계통에 연계됨에 따라 유도전동기의 기기의 특성에 의하여 사고 시 계통의 무효전력을 급격하게 소모하여 전압이 지연 회복 되는데 영향을 미친다.

이렇게 유도전동기 부하의 비중이 점차적으로 증가하게 되면 전력계통 안정도에 심각한 영향을 줄 수 있게 되며, 계통 사고 발생 시 유도전동기 부하의 비율이 높아질수록 전압의 회복이 느려져 광역정전으로 파급될 위험성을 내포하고 있다. 전력시스템 운영의 주요 목표 중 하나는 계통의 안정도 유지이다. 무효전력은 국지적인 특성을 가지고 있으며 유도전동기의 기기의 특성에 의한 무효전력이 소모되는 현상은 전압안정도에 영향을 미친다. 그러므로 유도전동기 부하의 검토 여부는 계통의 전압특성을 완전히 다르게 나타 내기 때문에 장기 동특성 검토를 위해서 부하모델에 반영되어야 하는 중요한 요소라 할 수 있다.

이러한 전압 지연 회복 현상을 완화시키기 위하여 여러 가지 방안들이 고려되고 있는데, 사고 제거 시간에 따라 전압의 회복 특성이 크게 달라지는 점을 이용하여 사고 제거 시간을 감소시키는 방안이 있다. 유도전동기 부하의 비율과 지역적 특성을 고려하여 전압 지연 회복 현상 발생지역에 무효전력보상기기를 투입하여 전압 지연 회복 현상을 완화시킬 수도 있다. 또한, 계전기 동작 시간을 빠르게 제설정하는 방안은 기기의 성능의 개선 및 보호협조를 고려하여야 한다 [3, 4].

본 논문에서는 유도전동기 부하의 스톨(stall)에 의해 사고 후 전압 지연 회복 현상에 대한 특성연구를 수행하였으며,

[†] Corresponding Author : Korea Smart Grid Institute, Korea

E-mail : yunan2@naver.com

접수일자 : 2015년 11월 16일

수정일자 : 2016년 2월 14일

최종완료 : 2016년 2월 26일

전력계통에서 유도전동기 부하를 고려하였을 경우 계통에 미치는 영향을 고찰하였다. 유도전동기의 부하 고려 시 전압 지연 회복 현상이 관찰되면 부하를 차단하여 계통의 전압을 회복시키는 저전압 부하차단(under voltage load shedding) 방안을 활용하여 전압 지연 회복 현상을 완화시켜 전력계통의 안정도를 향상시키는 방안을 제안하였다. 계통의 안정화 여부를 정확하게 판단할 수는 없지만 계통이 안정한 경우 전압이 빠르게 회복할 것이며, 전압이 빠르게 회복이 되지 않을 경우 부하를 차단하는 방안을 통하여 계통의 안정화를 달성할 수 있다. 이를 위해 유도전동기 부하가 실제 전력계통에 일정 비율로 포함되어 있다고 가정하여 동적 시뮬레이션을 수행하였으며 계통도의 해석 툴을 사용하여 전압 지연 회복 현상을 완화시키는 저전압 부하차단 방안의 효용성을 입증하였다.

2. 전압 지연 회복 현상의 특성

해외 문헌[5] 등에 따르면 실제 전력계통에서 유도전동기 부하가 차지하는 비율은 계통 전체 부하의 50~60%의 정도라고 언급하고 있다. 유도전동기 부하는 회전기의 특성을 가지고 있기 때문에 유도전동기 부하 시 계통이 안정한 경우에도 전압 파형에 영향을 미칠 수 있다. 현재 국내에서는 ZIP모델만을 고려하여 계통을 검토 하고 있으나, 유도전동기 부하가 고려된 경우 계통 검토 결과에서 차이를 보일 수 있으므로 유도전동기 부하를 고려하여 계통을 검토하여야 정확한 검토가 가능하다는 것을 알 수 있다. 실제 계통에서 유도전동기 부하의 비율이 높은 편이므로 유도전동기 부하를 고려하지 않고 계통의 상태를 검토하기에는 한계가 존재할 수밖에 없다. 정확한 파라미터가 없는 경우 단기 전압 파형을 통하여 부하차단 다단계화가 구현 가능하나 보다 정확하고 안정적인 제어를 위하여 부하모델에 대한 연구가 필요하다.

전압 지연 회복 현상은 사고 제거 후 전압이 낮은 상태에서 대개 수초 이상으로 지연 회복되는데, 유도전동기 부하의 내부 보호 기능에 의하여 사고 전 전압보다 높아지는 모습을 보이게 된다. 커패시터의 동작에 의해 과전압을 감소시키고, 정상 전압 레벨로 감소 후에 타임 스케일에 따라 정상화되는 모습을 보이게 된다. 아래 그림 1은 전형적인 전압 지연 회복 현상을 나타낸다.

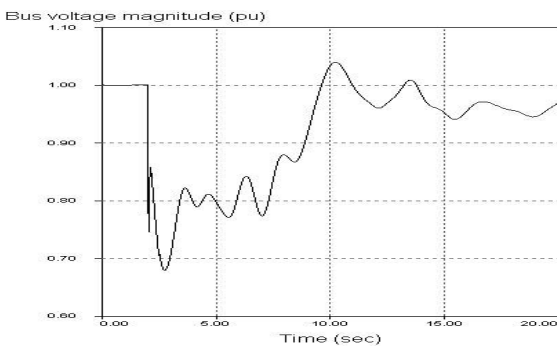


그림 1 전압 지연 회복의 전형적인 현상
Fig. 1 Typical phenomenon of fault induced delayed voltage recovery

그림 1과 같이 허용치 이하의 저전압 상태가 수 초 동안 지속되면 유도전동기 토크가 압축기의 압력을 감당할 수 없게 되어 스톨이 발생한다. 대형 상업 및 산업용 HVAC기기는 저전압보호 계전기가 장착되어 있어 스톨 발생 전에 유도전동기 보호 기능에 의하여 트립이 가능하며 높은 관성으로 인하여 스톨현상에 미약하게 영향을 미친다. 반면, 소형 HVAC기기는 스톨 발생 전에 유도전동기 보호 기능이 존재하지 않아 트립이 불가능하여 낮은 관성이 스톨을 야기시키는데, 소형 가정용 에어컨이나 냉장고에 사용되는 단상 유도전동기가 이에 속한다.

이는 전압 레벨에 따라 매우 높은 전류를 유도하여 유도전동기 정격 전압이 회전자 구속 전류 상태가 되어 과전압 지속되면 보통 3~30초에서 트립되어 유도전동기의 역률에 영향을 미치게 된다. 이 현상이 지속되어 전압 회복이 지연되면 특정 상황에서 전압 붕괴를 일으킬 수 있다. 유도전동기가 스톨 되면 부하가 유도전동기 회전자의 회전을 방해하여 회전자가 회전하지 못하도록 구속되어 정격전류의 6~7배의 전류가 흘러 전동기의 권선이 과열되거나 소손될 수 있다. 따라서 순간 전류는 최대가 되는데 회전자가 전혀 돌지 못하도록 계속 구속되면 회전자 구속전류(locked rotor current)상태가 된다.

전동기를 구속하지 않으면 회전자가 돌기 시작하여 슬립이 줄어 회전자의 전류가 감소하고 전동기 축 전류도 변압기의 원리에 따라 정격전류 부근으로 줄어들게 된다. 부하가 없는 구속 상태에서 회전을 하지 않게 되면 1차 코일에서 2차 코일로 여자 시켜 주기 위한 전류만 흘러 무효전력이 소모하게 되어 전압이 감소되어 계통에 영향을 미치게 된다. 유도전동기 부하가 스톨하면 무효전력 소비가 기하급수적으로 증가하여 전압 불안정을 발생시키고 지역 내 무효 전력원의 고갈로 인해 인근지역으로 과급된다.

따라서 저전압 상태가 지속되면 발전기를 트립 시키거나 과여자 리미터가 무효전력 출력을 조절하여 전압 붕괴를 방지하지만 저전압 상태가 지속되면 사용자와 전기 시스템 및 장비 등에 손상을 줄 수 있게 된다. 저전압이 일정시간 동안 지속되면 전력 품질의 저하 및 시스템의 전압 붕괴를 야기시킬 수 있는 특성이 있다.

3. 유도전동기의 부하 모델링

3.1 유도전동기 부하의 기본 파라미터

유도전동기 부하의 기본 파라미터는 동작 상태와 동작 온도에 따라 변동되는데, 고정자와 회전자의 저항, 리액턴스 값은 물리적 단위를 가지지 않는 상대적인 값이며, 파라미터의 변동의 영향에 대한 특성 고찰이 필요하다. 회전자 저항(R_r)의 변동은 회로에 인가되는 전류의 주파수에 따라 변동되는데, 이는 표피효과에 의해 증가 저항값이 달라져 회전자 저항이 변동 된다. 회전자 리액턴스(X_r)값 역시 표피효과의 영향을 받게 되는데 회전자에서는 변화가 크지 않으나 회전자 전류의 크기에 따른 약간의 변화가 존재한다.

또한 고정자 저항(R_s)은 여러 개의 도체를 직병렬로 연결하여 사용하므로 회전자저항에 비하여 표피효과는 무시된다. 고정자 리액턴스 (X_s)는 고정자 리액턴스 고정자의 슬롯이

개방되어 있는 관계로 회전자 리액턴스만큼 전류의 크기에 대해 민감하지 않다. 결국, 회전자 및 고정자의 저항과 리액턴스는 전압파형에 직접적인 영향을 미치지 않는다고 판단할 수 있다. 따라서 유도전동기 부하의 파라미터 중 저항 및 리액턴스 성분의 변화는 무효전력 소비량을 변화시키는 효과는 있지만 계통의 전압파형이 밀접하게 연관되지 않는다고 할 수 있다.

이러한 반면에 관성(H)은 전압파형에 영향을 미쳐 지연 회복 현상을 발생시키게 되어 계통의 안정성에 직접적으로 연관되어 있다. 따라서 유도전동기 부하의 저항 및 리액턴스 파라미터는 일반적인 경우에 적용될 수 있는 문헌상의 값들을 그대로 적용하여도 계통의 안정도에 크게 영향을 주지 않기 때문에 무리가 없다고 생각할 수 있다. 그러므로 유도전동기 부하를 적용한 동특성 해석 시 불확실성을 고려한 계통 검토를 수행하기 위해서는 계통 안정성에 직접적인 영향력을 보이는 관성 값과 계통 내 존재하는 유도전동기 부하의 비율을 다양하게 검토하여 모든 경우에 대하여 계통의 안정성을 확보할 수 있는 방안이 고려되어야 한다. 하지만 유도전동기 부하 모델링이 정확하게 되어 있지 않은 상황에서 유도전동기 부하 파라미터를 임의로 선정하기에는 불확실성이 크다. 표 1은 유도전동기의 기본적 파라미터에 대하여 일반적으로 사용되는 파라미터 값을 용량별로 구분하여 나타낸 것이다[5].

표 1 유도전동기 부하의 기본 파라미터

Table 1 Basic parameter of induction motor load

파라미터	대형 유도전동기	중간급 유도전동기	소형 유도전동기
고정자 저항 (Rs)	0.007	0.043	0.078
고정자 리액턴스 (Xs)	0.082	0.074	0.065
회전자 저항 (Rr)	0.0062	0.025	0.0
회전자 리액턴스 (Xr)	0.053	0.051	0.049
자화 리액턴스 (Xm)	3.62	3.14	2.67
관성 (H)	1.6	1.0	0.5

이렇듯 유도전동기 부하는 여러 파라미터들로 구성되어 있으나 이 중 계통의 안정성에 가장 큰 영향을 주는 파라미터는 관성(H)이라 할 수 있다. 관성 파라미터를 순차적으로 변화시켜봄으로써 사고 시 계통의 안정 및 불안정 여부를 판별하고 계통이 안정한 경우 전압회복 특성과 불안정한 경우의 전압 회복 특성을 분석할 수 있다.

3.2 유도전동기 부하의 기본 모델

유도전동기 부하의 가장 기본적인 등가회로는 그림 2와 같다. 유도전동기 부하에서 소비되는 부하량은 그림 2의 등가회로에 근거하여 관련 수식을 모델링할 수 있다. 하지만, 계산식이 복잡하여 적용 및 분석하기가 어려워 수식을 간략화 할 필요가 있다. 일반적인 경우 고정자 측의 저항은 매우 작으므로 0으로 간주할 수 있다. 또한, 고정자 측의 리액턴스는 상호 리액턴스 값에 비하여 매우 작기 때문에 고정자 측의 리액턴스와 회전자 측의 리액턴스를 합하여 등가

리액턴스로 구성할 수 있다. 이렇게 단순화된 회로를 그리면 그림 3의 간략화 된 유도전동기 등가모델과 같다[6].

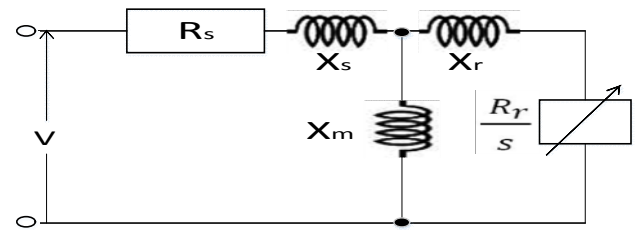


그림 2 기본적인 유도전동기 등가회로
Fig. 2 Basic induction motor equivalent model

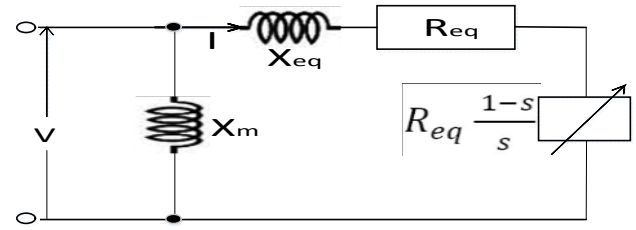


그림 3 간략화 된 유도전동기 등가모델
Fig. 3 Simple induction motor equivalent model

$$I^2 = \frac{V^2}{X_{eq}^2 + (R_{eq}/s)^2} \tag{1}$$

여기서, R_r, R_s : 회전자 및 고정자 저항

X_r, X_s : 회전자 및 고정자 리액턴스

R_{eq} = 고정자 저항

X_{eq} : 고정자 리액턴스 + 회전자 리액턴스

X_m : 자화 리액턴스

s : 슬립

위 수식으로부터, I를 이용하여 유도전동기에서 소비되는 부하량을 계산할 수 있는데, 전압 및 저항 등의 파라미터는 이미 알고 있는 값을 활용할 수 있다. 전압의 가변에 따라 소비되는 무효전력의 부하량의 관계를 표현하면 그림 4와 같다. 그림 4로부터 유도전동기 부하의 특성을 살펴보면, 모선 전압이 정격전압 근처에 있을 경우 유도전동기 부하로부터 소비되는 무효전력 부하량은 전압이 감소하면 기율기가 매우 작기 때문에 정전력(constant power)과 유사한 특성을 보인다. 하지만, 모선전압이 일정수준 이하로 감소하여 유도전동기의 스톱 전압 근처로 떨어지면 소비되는 무효전력 부하는 기하급수적으로 증가한다. 전압이 스톱 전압에 가까워질 때 소비되는 무효전력 양이 크게 증가하는 특성을 유지시키므로 유도전동기 부하의 특성을 유지시키는 방법이라 할 수 있다[6].

자화 리액턴스(Xm)값을 조절한다는 의미는 무효전력 QI 그래프를 유지하고 Qm 특성만을 변형하겠다는 의미와 같다. 만약 계통의 전압이 심각한 고장에 따라 크게 감소한다면,

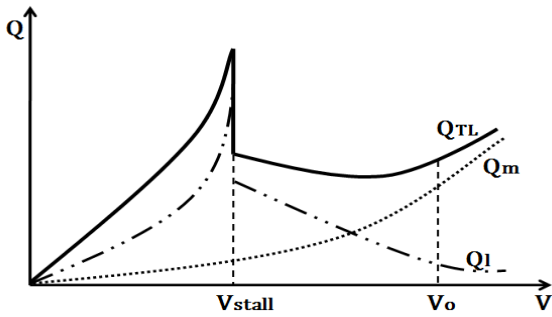


그림 4 유도전동기 부하의 무효전력 소비량
 Fig. 4 Reactive power consumption of induction motor load

실제로는 유도전동기 부하의 특성에 따라 무효전력 부하가 크게 증가하게 되고 이는 결과적으로 계통 불안정을 야기하게 되는 것이다.

4. 사례 연구

유도전동기 부하가 사고 후 전압 회복에 미치는 영향을 관찰하기 위하여 한국전력의 실 계통을 활용하여 사례연구를 수행하였다. 먼저 유도전동기가 계통에 미치는 영향을 관찰하기 위하여 유도전동기 부하를 고려하지 않은 경우와 유도전동기 부하를 고려한 경우로 나누어 동적 시뮬레이션을 수행하였다. 유도전동기 부하가 계통에 미치는 영향을 관찰하기 위하여 유도전동기 부하를 전체 계통의 60% 비율로 적용하였다. 계통에 전압 불안정 현상이 일어나는 사고를 모의하고, 사고 후 단기 전압파형을 관찰하여 계통의 안정 여부를 판단하고 불안정이 판단될 경우 저전압 부하차단 방안을 이용하여 계통을 안정화 시키게 된다.

계통이 안정한 경우 전압이 빠르게 회복할 것이므로 빠른 회복이 보이지 않는 경우 부하를 차단하여 계통을 안정화하여 전력계통의 안정도를 향상시킬 수 있다. 이러한 경우 빠른 부하차단이 수행되지 않으면 계통의 불안정 현상을 방지할 수 없다. 한편 계통에서 가장 심각한 사고인 대용량 송전선로인 신안성-신서산 765 kV 선로에 고장이 났을 경우를 전압 불안정 시나리오로 선정하였고, 전압 지연 회복 현상을 완화시키는 저전압 부하차단 방안의 효용성에 대한 사례 연구를 수행하였다. 이러한 동특성 모의 시뮬레이션은 PowerTech의 TSAT 10.0을 이용하였다.

대부분 전력계통의 계획 및 운영은 전력 시스템의 동적 해석 시뮬레이션에 의존하고 있다. 이에 정확한 부하 모델을 갖는 것은 실제적인 전력 시스템을 계획하고 운영하는데 매우 중요하다고 할 수 있다. 유도전동기 부하가 고려된 경우 동적 해석 결과에서 차이를 보이게 되므로 유도전동기 부하를 고려하여 계통을 검토하여야 정확한 검토가 가능하다. 하지만 유도전동기 부하 모델링이 정확하게 되어 있지 않은 상황에서 유도전동기 파라미터를 임의로 선정하기에는 불확실성이 크다. 특히, 유도전동기 부하가 계통에 미치는 영향을 관찰하기 위하여 유도전동기 부하를 적용하지 않은 경우와 전체 계통에 60% 비율로 적용한 경우로 구분하여 동적 시뮬레이션을 수행하였다.

그림 5 및 그림 6은 대용량 송전선로(신안성- 신서산

표 2 적용된 유도전동기 부하 기본 파라미터
 Table 2 Applied parameter for induction motor load

파라미터	적용값
고정자 저항 (Rs)	0.043
고정자 리액턴스 (Xs)	0.074
회전자 저항 (Rr)	0.025
회전자 리액턴스 (Xr)	0.051
자화 리액턴스 (Xm)	3.14
관성 (H)	1.0

TL) 사고 후의 4개의 감시모선(서서울, 신운양, 화성, 아산)의 전압파형을 나타내고 있다. 1초에 사고가 발생하였으며, 그림 5의 경우 전압이 지연 없이 회복 되는 것을 볼 수 있다. 하지만 그림 6의 경우 사고 후에 몇 초 동안 전압이 안정한 전압레벨로 회복되지 못하고 전압이 지연 회복되는 모습을 보이고 있어 그림 6에서 전압 지연 회복 현상이 관찰 되고 있다.

일반적으로 유도전동기 부하 고려에 따른 전압 지연 회복 현상은 전압이 정상전압의 70%(0.5~0.7 P.U.) 수준일 때를 말하며, 그림 6과 같이 유도전동기 부하를 고려한 케이스에서 전압 회복 지연 현상이 발생하는 것을 관찰 할 수 있다. 유도전동기 부하를 고려한 케이스에서 유도전동기의 기기적인 특성에 의한 스톨 현상이 발생하는 것을 알 수 있다.

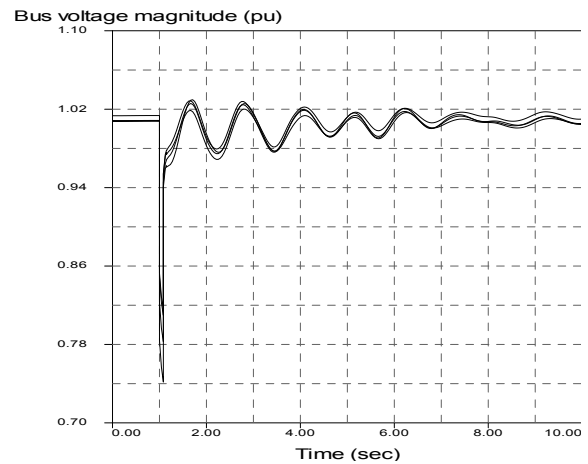


그림 5 유도전동기 부하를 고려하지 않은 경우의 전압변동
 Fig. 5 Voltage variation with not considering of induction motor load

이와 같이 유도전동기 부하를 고려할 경우 사고 후 단기 전압파형을 관찰하여 계통의 안정 여부를 판단하고 불안정이 판단될 경우 적절한 조치를 취하게 된다. 계통의 안정화 여부를 정확하게 판단할 수는 없지만 안정한 경우 전압이 빠르게 회복될 것이다. 만약, 전압이 빠르게 회복이 되지 않을 경우에 부하를 차단하는 방안 통하여 계통의 안정화를 달성할 수 있다. 저전압 부하차단 방안을 적용하기 위하여 대용량 송전선로(신안성-신서산 TL) 사고 시 수도권 내 부하모선 중에서 민감한 변화를 보이게 되는 모선들을 선정하여 사고 후 0.5초 후에 부하 차단을 수행 하였다.

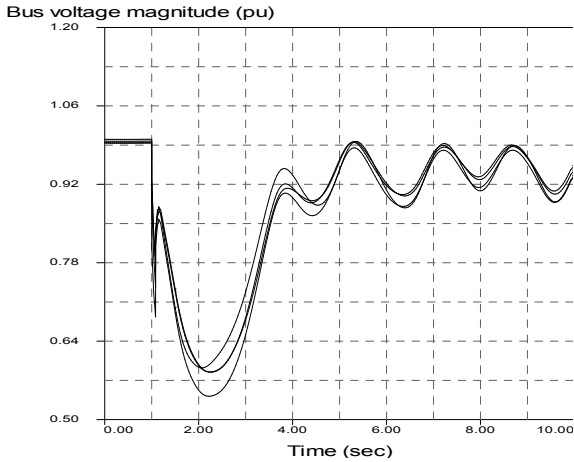


그림 6 유도전동기 부하(60%)를 고려한 경우의 전압변동
 Fig. 6 Voltage variation with considering of induction motor load (60%)

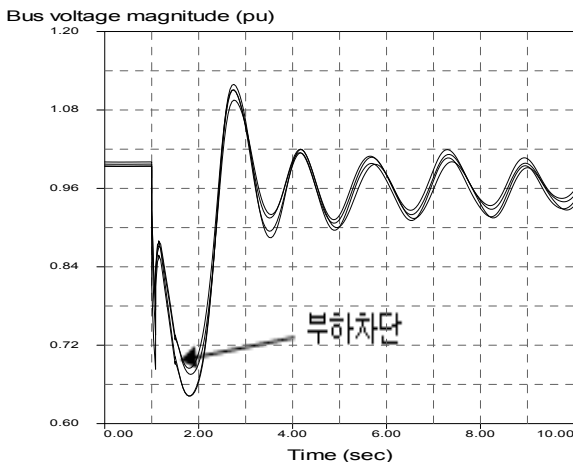


그림 7 저전압 부하차단을 적용한 경우
 Fig. 7 The results of applied scheme in case of under voltage load shedding

그림 7에서는 사고 후에 유도전동기 부하의 기기적인 특성에 의하여 전압 지연 회복 현상이 저전압 부하차단 적용 후에 완화되는 모습을 보이고 있다. 전압이 사고 후에 다시 안정화되는 모습을 보이고 있는데, 이는 부하 차단 후에 전압 지연 회복이 완화된 계통이 빠르게 안정화되는 모습을 보이고 있다. 서론에서 언급한 전압 지연 회복 현상을 완화시키기 위한 방안으로 저전압 부하차단(under voltage load shedding) 방안을 적용하여 실제 전압 지연 회복 현상이 완화되는 것을 확인하였으며 실제 시스템에 적용하여 저전압 부하차단 방안의 효용성을 입증하였다.

5. 결 론

본 논문에서는 전력계통에서의 사고 발생 시 유도전동기 부하의 기기적인 특성에 의하여 발생하는 전압 지연 회복 현상을 저전압 부하차단 방안을 이용하여 완화 시키고 전력계통 안정도를 향상 시키는 방안에 대하여 제안하였다.

이는 가정용 소형 유도전동기 부하가 급증하는 추세에 맞추어 유도전동기 부하를 반영하여 전압 회복이 지연되는 현상을 고찰 하였고 사례연구를 통해 저전압 부하차단 방안의 효용성을 입증하였다. 계통의 모델링에 크게 의존하는 오프라인 해석기반으로는 실제 계통 상태를 예측하는데 어려움이 있으므로 정확한 유도전동기 부하 모델을 갖는 것은 실제적인 전력 시스템을 계획하고 운영하는데 매우 중요하다.

따라서 본 논문에서는 유도전동기 부하가 고려된 경우 동적 해석 결과에 차이가 나타나게 되므로 유도전동기 부하를 고려하여 계통을 검토하여야 정확한 검토가 가능하도록 하였다. 유도전동기 부하를 고려하지 않은 경우 및 부하 60[%]를 고려한 경우의 전압변동 그리고 저전압 부하차단을 적용한 경우의 사례연구를 수행하여 저전압 부하차단 방안의 효용성을 입증하였다.

근래에 소형 가정용 에어컨 부하가 많이 설치되어 무효전력을 많이 소모하는 지역의 전압 불안정 현상과 전압 지연 회복 현상이 PMU(phasor measurement unit)를 통하여 측정되고 관찰되고 있다. 이에 따라 PMU 데이터를 이용하여 보다 정확한 계통의 상태를 측정하고 반영하는 연구를 수행할 계획이다.

References

- [1] NERC Transmission Issues Subcommittee and System Protection and Control Subcommittee, "A Technical Reference Paper Fault-Induced Delayed Voltage Recovery", Version 1.2, June.2009.
- [2] G. L., Chinn, "Modeling Stalled Induction Motors," Transmission and Distribution Conference and Exhibition, 2005/2006 IEEE PES, pp.1325-1328, 21-24 May 2006.
- [3] Philip Irminger, "Air Conditioning Stall Phenomenon. Testing, Model Development, and Simulation", Transmission and Distribution Conference and Exposition (T&D), 2012 IEEE PES,
- [4] N Lu, YL Xie, Z Huang, " Air Conditioner Compressor Performance Model", Pacific Northwest, August.2008
- [5] Prabha Kundur, "Power System Stability and Control", 1994
- [6] Hua Bai, and V. Ajarapu, "A Novel Online Load Shedding Strategy for Mitigating Fault Induced Delayed Voltage Recovery", IEEE Trans. on Power Systems, Vol.26, No.1, p.294~303, 2011
- [7] G. K. Stefopoulos and A. P. Meliopoulos, "Induction motor load dynamics: Impact on voltage recovery phenomena," in Proc. IEEE Power Eng. Soc. General Meeting, Jun. 2006.
- [8] S. Mark Halpin, "Slope-Permissive Under-Voltage Load Shed Relay for Delayed Voltage Recovery Mitigation", IEEE TRANSACTIONS ON POWER SYSTEMS, VOL. 23, NO. 3, AUGUST 2008
- [9] Shinichi Imai, "Undervoltage load shedding improving security as reasonable measure for extreme

contingencies”, Power Engineering Society General Meeting, IEEE, Vol.2, 1754-1759, 2005

[10] 'Undervoltage Load Shedding Protection', IEEE PES Power System Relaying Committee Draft 4.1

저 자 소 개



이 윤 환 (李 允 煥)

2010년 고려대 일반대학원 전자전기공학과 졸업(석사), 2014년 동대학원 졸업(박사). 2014년~ 현재 한국스마트그리드사업단 신사업추진실 대리.

E-mail : yunan2@naver.com