Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers Vol. 22, No.9, pp. 111~119 September 2008 논문 22-9-16

배전계통에서 변압기 결선에 의한 역 조류현상에 관한 연구

(A Study on the Reverse-Power-Flow Phenomenon due to Transformer Wiring Types in Distribution System)

신동열* · 하복남 · 정원욱 · 차한주
(Dong-Yeol Shin · Bok-Nam Ha · Won-Wook Jung · Han-Ju Cha)

요 약

본 논문에서는 최근 분산전원 확대보급에 따라 계량오차 발생, 변전소 CB 또는 Recloser, 수전설비 VCB의 OCGR 오동작, 배전자동화 시스템 거짓FI 정보발생 등 한전 배전계통에서 발생되는 오동작 현상에 대해서 원인분석을 수행하였고 그 원인은 변압기 결선에 의한 역 조류현상임을 규명하였다. 이러한 역 조류현상의 영향으로 배전계통의 3상 기본파 전류가 N상에서 동상이 되어 3배의 전류로 합산되었으며, 이 현상을 근거로 새로운 계통해석 방법을 제시하였다.

새로운 계통해석 방법을 적용하여 구간별 고장전류를 해석하였고, 역 조류현상 규명을 위해 변압기 결선형태 별로 역 조류 발생여부를 실험하였다. 또한 PSCAD/EMTDC로 실제 계통을 모의함으로써 역 조류에 의한 오동작 현상을 줄이기 위한 방법으로 중성선의 영상임피던스를 조절하는 방법을 제시하였다.

Abstract

As the penetration of distributed generation systems is recently high, there have been metering errors, trips of protective devices in KEPCO distribution systems including an occurrence of false fault-indicator in distribution automation system. The cause of malfunctions was the reverse-power-flow phenomenon due to transformer wiring types. By the effect of the reverse-power-flow, each of phase's fundamental currents was added by about 3 times on the neutral line. A new method based on the analysis of the reverse-power-flow is proposed in this paper.

Fault currents on each section were analyzed by the proposed method, and the effect of types of transformer wiring was examined experimentally. In order to reduce the malfunctions due to the reverse-power-flow, controlling the zero-sequence impedance of transformer was designed and verified by using PSCAD/EMTDC software.

Key Words : Distributed Generation System, OCGR Trip, Metering Errors, Fault Event

* 주저자 : 한전 전력연구원 연구원
Tel : 042-865-5943, Fax : 042-865-5904
E-mail : sdy9199@kepco.co.kr
접수일자 : 2008년 8월 11일
1차심사 : 2008년 8월 12일
심사완료 : 2008년 8월 20일

1. 서 론

대규모 발전전원은 대부분 송전계통에만 연계되어 왔지만 현재에는 소규모의 분산전원이 신재생에너지 확대보급 정책과 맞물려 배전계통에 많이 연계되고 있다. 따라서 현재의 배전계통은 과거 부하설비만 존재하는 것과는 달리 발전설비와 부하설비가 혼재되어 있고, 수전용 변압기과 송전용 변압기가 각각 다른 결선형태로 다양하게 연계되고 있다. 특히 이러한 변압기 결선으로 인해 계통해석이 복잡해지고, 이로 인해 전력량계 계량오차 발생과 보호계전기 등 배전기기들이 오동작하는 사례가 증가되고 있고 이에 대한 정확한 원인분석과 해석방법이 필요한 실정이다[1]. 따라서 본 논문은 변압기 결선에 의한 역 조류현상을 규명하였고, 현행 배전계통에서 N상 과전류로 인한 기기 오동작 사례를 설명하였고, 중성선 전류가 상전류보다 크게 발생되는 현상을 분석하였다. 또한, 배전계통에서 3상 기본파 전류가 N상에서 3배의 전류로 합산되는 현상을 규명하였고, 이러한 현상을 근거로 새로운 계통해석방법과 대책을 제시하였다.

2. 현재 배전계통의 구성현황과 배전설비 오동작 발생사례

2.1 송, 수전 연계용 변압기 결선형태

배전계통은 3상4선식 다중직접접지 방식으로 구성되어 있다. 과거에는 변전소에서 수용가 쪽으로 단 방향 형태의 부하설비만 존재하였다. 그러나 현재는 분산전원 확대보급으로 배전계통은 부하설비와 발전설비가 혼재된 양방향 형태의 설비로 구성되어지고 있다. 따라서 배전계통의 연계방식은 크게 수전용 변압기와 발전용 변압기로 연계된다. 이들 차이점은 변압기의 결선형태에 따라 2가지로 구분한다.

첫째 수전설비인 수전용 변압기는 대부분 △-Y결선 또는 Y-△결선 형태로 변압기 1차 중성점을 비접지 형태로 운영한다. 둘째 발전설비인 송전용 변압기는 Y-△결선 또는 Y-Y-△결선 형태로 변압기 1차 중성점을 접지하는 방식으로 운영하고 있다. 변압기의 1차 또는 2차를 △결선으로 사용하는 이유는 고조파 성분이 계통 쪽으로 유입되는 현상을 방지하기 위해서 이다[2, 4].

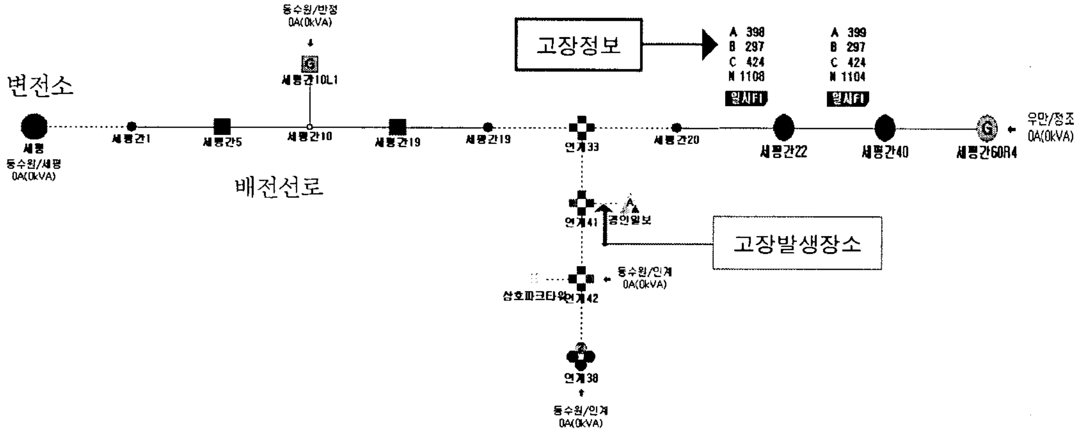


그림 1. 배전자동화 시스템에서 고장발생정보 화면
Fig. 1. The scene of fault occurrence information in the distribution automation system

2.2 대칭좌표법을 이용한 계통해석

배전계통에서 선로고장의 종류는 크게 3가지로 구분 하는데, 첫째 1선 지락고장, 둘째 선간 단락고장, 셋째 3상 단락고장으로 나눌 수 있고, 고장전류의 크기를 알아야 차단기 용량 결정, 보호계전기의 정정, 전력선 부근의 통신선 유도장해 결정 등 고장시의 상황에 대처할 수 있다. 특히 상별 고장전류의 크기는 대칭좌표법(Symmetrical Coordinates Method)으로 정상분, 역상분, 영상분을 나누어서 해석한다.

예를 들면 3상 단락고장은 정상분 만을 고려해서 해석하고, 선간 단락고장은 정상분과 역상분을 나누어 해석하고, 1선 지락고장은 정상분, 역상분, 영상분 각각 해석해서 합산하면 상별 고장전류의 크기를 알 수 있다. 그림 1은 배전자동화 시스템에서 A상에 398[A], B상 297[A], C상 424[A], N상 1108[A]가 발생하였다. 해당선로에는 발전고객은 없고, 자동화 개폐기 전원 측에서 1선 지락고장이 발생하였다. 특히 N상에 상전류의 300[%]전류가 발생된 원인은 대칭좌표법으로 고장전류에 대한 해석이 불가능함으로 새로운 계통해석 방법이 필요하다.

2.3 역 조류로 인한 배전설비 기기 오동작 사례

첫 번째 사례는 ○○지점 관내 발전설비가 연계된 배전선로에서 보호기기(Recloser)가 동일변전소 동일 뱅크 내 타 배전선로 지락 고장시 오동작하였다. 그 원인은 발전측의 연계용 변압기로 인해서 역 조류현상에 의한 오동작으로 분석되었다[10].

두 번째 사례는 심야시간대 발전설비와 무관하게 ○○태양광 발전소 고객구내에 있는 지락과전류 계전기(51G)가 오동작하였다. 그 원인은 발전설비가 연계된 배전선로에서 단상심야부하로 인해 22시경에 불평형 부하가 발생하였다. 이때 발전측 연계용 변압기에서 역 조류현상이 발생하였고, 이로 인해 보호계전기가 오동작하였다[11].

세 번째 사례는 ○○태양광 발전소 수전용 계량기가 정상계량 보다 3~4배 과다 계량된 사례이다. 그 원인은 발전측 연계용 변압기의 역 조류현상에 의해서 계량기가 과다계량된 것으로 분석되었다[7-9]. 네 번째 사례는 ○○지점 관내 고객구내에서 케이블 고장으로 정전이 발생했으나 고장구간 부하측에 있는 자동화개폐기에서 거짓 고장정보를 발생시켜 고장위치를 잘못 판단하여 계통절체를 잘못하였다. 그 원인은 고장선로 말단에 수전측 연계용 변압기(Y-△) 1차 중성점을 접지함으로써 역조류에 의해서 고장표시기가 오동작된 것으로 분석 되었다[12].

3. 역 조류현상 발견과 새로운 계통 해석방법

3.1 배전계통에서 역 조류현상 발생원인

정상상태에서의 배전선로 전압강하는 변전소에서 부하말단으로 멀어질수록 거리와 부하에 따라 3상 전압이 일정하게 떨어진다.

그러나 배전선로에서 고장발생 또는 불평형 부하가 발생되면 상별 전압강하가 다르게 발생한다. 예를 들어 그림 2와 같이 A상 지락고장이 발생되면 변전소에서 고장발생지점까지 A상의 전압은 심하게 떨어지고 B, C상 전압은 정상적으로 유지된다.

이때 선로말단에 연계용 변압기(Y-△결선, 1차측 중성점 접지)에 의해서 떨어진 만큼 a상 전압을 보상하기 때문에 말단 연계변압기에서 고장지점까지 A상은 역 조류가 발생되고 B, C상은 정 방향 조류가 발생된다.

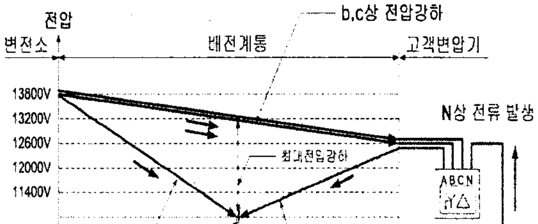


그림 2. 지락 고장시 전압강하
Fig. 2. Voltage profile during ground fault

이와 같이 전원 측에서 1선 지락고장이 발생하면 한상의 전압이 심하게 떨어지고, 이때 연계용 변압기에서 나머지 두상의 전압이 역V 결선형태로 전력을 공급함으로써 떨어진 전압만큼 보상하기 때문에 역 조류현상이 발생된다.

3.2 3상 기본파 전류가 N상에 3배로 합산되는 현상 규명

그림 3은 N상전류의 크기가 상전류의 300[%] 정도 발생되는 현상을 설명하기 위한 Y-△결선, 1차 중성점이 접지된 연계용변압기의 결선도이다. 배전계통에서 1선 지락고장, 전선단선고장, 불평형부하 등이 발생하면 배전선로에는 상별 불평형 전압이 발생하게 되고, 이로 인해서 역 조류현상이 발생한다.

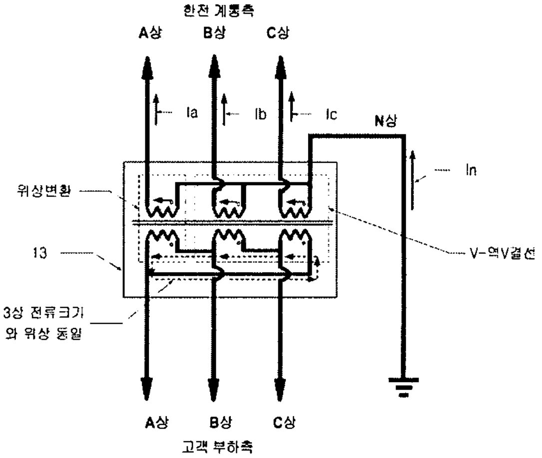


그림 3. 변압기 결선에 대한 해석
Fig. 3. Analysis for the transformer wiring

예를 들어 A상 지락고장 발생시 A상의 전압이 떨어지고, 나머지 B, C상 전압은 정상적으로 연계용 변압기에 공급되는데, 이때 1차 입력은 B상, C상, N상의 2상3선 형태로 공급되고 2차 측은 역V결선 형태로 A, B, C상 전압이 모두 발생되고, 다시 2차측 △결선에 의해서 만들어진 가상의 A상 전압은 역으로 1차 측으로 위상 변환되어 계통에서 떨어진 전압만큼 보상하는 것으로 분석되었다.

특히 이러한 역 조류 발생시 A, B, C상 전류의 크기는 같고, 위상이 같아 되는 이유는 변압기 2차측 △결선에 의해서 상전류가 직렬로 순환되어 전류의 크기와 위상이 같은 것으로 분석되었고, 이로 인하여 중성선 전류는 상전류의 300[%] 전류가 발생되고, 이때 A상에 발생되는 역 조류의 크기는 B, C상 정 방향 조류의 합과 같은 것으로 분석되었다. 특히 단 방향 계량기에서 계량오차가 크게 발생되는 이유는 역 방향 전력을 Zero 계량하고, 정 방향 계량만 하기 때문에 계량오차가 발생되는 것으로 분석되었다[9].

3.3 상별 입력전압 변동에 따른 변압기(Y-△)의 역 조류현상 모의실험

그림 4는 배전계통에서 역 조류현상을 모의하기 위해서 실험용 3상 변압기(Y-△결선, 3[kVA])에 상별로 입력전압을 조절하였을 때 전력분석기를 이용하여 역 조류현상을 실험하였다.

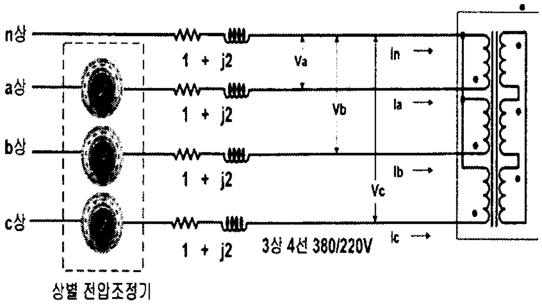


그림 4. 변압기 역 조류 실험 회로도
Fig. 4. The diagram of reverse power flow experiment for transformers

표 1과 같이 상별로 입력전압을 변압기 1차측에 각각 인가하였을 때 역 조류현상을 측정하였고, 그 결과는 다음과 같다.

실험 1은 정상적인 상태로 입력전압을 220[V] 균일하게 인가하였고, 측정결과는 그림 5의 좌측 그림과 같이 각 상별 전압보다 전류위상이 일정하게 55~70[°] 지상 운전되고 있다. 실험 2와 같이 A상 입력 전압만 198[V]로 10[%] 적게 입력하였을 때 실험결과는 그림 5의 우측 그림과 같이 상별 전류의 크기

가 각각 1.061[A], 1.484[A], 1.064[A]로 모두 300[%] 이상 증가하였고, a상 전압보다 전류의 위상이 185[°] 뒤진 역방향 전력이 발생되고, B상과 C상은 전압과 전류의 위상차가 90[°] 이내로 정 방향 전력이 발생되었다. 특히 이때 n상 전류는 2.794[A]로 a상 전류의 대략 263[%]가 발생되었다.

표 1. 변압기의 역 조류현상실험
Table 1. state experiment for the reverse-power -flow due to transformer wiring

구분	a상	b상	c상	비 고
실험1	220	220	220	정상시
실험2	198	220	220	1선 지락, 1선 단선, 1상 부하증가
실험3	242	220	220	2선 지락, 2상 부하증가
실험4	209	219	232	상별 부하불평형

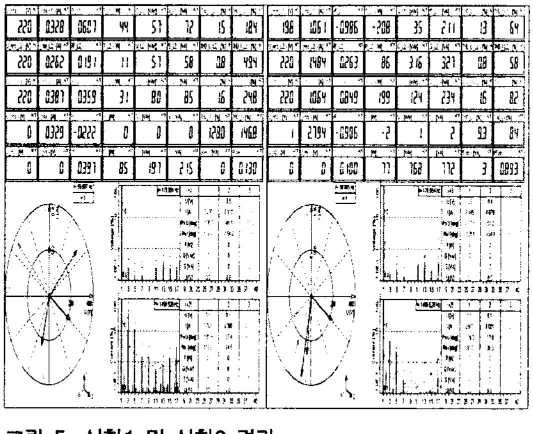


그림 5. 실험1 및 실험2 결과
Fig. 5. The results of experiment 1 and 2

실험 3은 입력전압을 242[V]로 10[%] 높게 입력하였을 때 실험결과는 그림 6의 좌측 그림과 같이 A상의 전류의 위상각이 30[°] 이내로 정 부하로 작용하고, B상과 C상은 전압과 전류의 위상차가 100~120[°]로 역 방향 조류가 발생되었고, N상 전류는 3.216[A]로 a상 전류의 대략 198[%]가 발생되었다. 실험 4는 입력전압을 209[V], 219[V], 232[V]로 각각 5[%] 다르게 입력하였을 때 실험결과는 그림 6의 우측 그림과 같이 A상 전류는 위상각이 125[°]로 역 방향 전력으로 측정되었고, B상의 전류는 위상각이 105[°]로 역 방향 전력으로 측정되었고, C상은 전압과 전류의 위상차가 5[°]로 정 방향 전력으로 발생되었다. 이때 N상 전류는 3.216[A]로 A상 전류의 대략 285[%]가 발생되었다. 특히 이번 실험결과 손실이 없는 이상적인 변압기의 경우 역 조류현상은 상별 전류의 크기와 위상이 동일한 것으로 분석되었고, N상의 전류는 상전류의 300[%]가 발생되는 것으로 나타났다. 결론적으로 변압기 결선에 의한 역 조류현상은 기본파 성분의 상전류가 중성선에 합산되는 현상을 규명하였다.

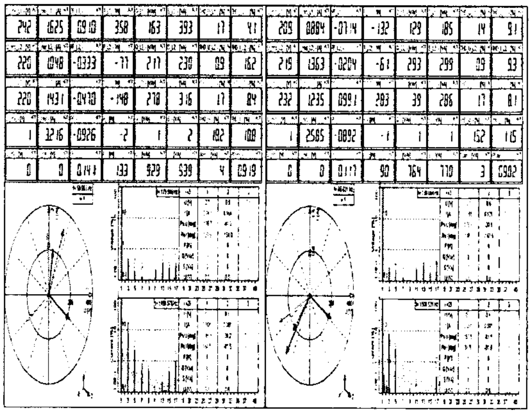


그림 6. 실험 3 및 실험 4 결과
Fig. 6. The results of experiment 3 and 4

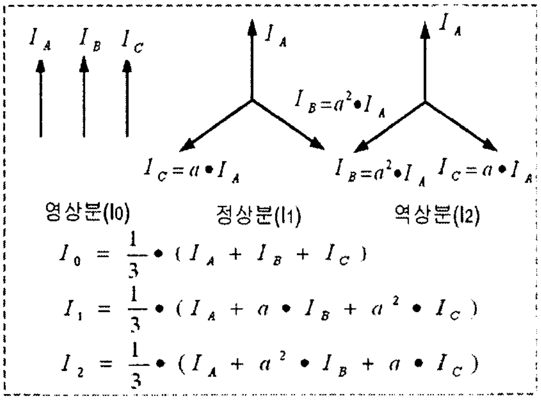
3.4 역 조류현상을 고려한 새로운 계통 해석방법

그림 7과 같이 역 조류현상을 이용한 새로운 계통 해석 방법을 설명하기 위한 고장전류의 크기를 해석하기 위한 벡터도이다.

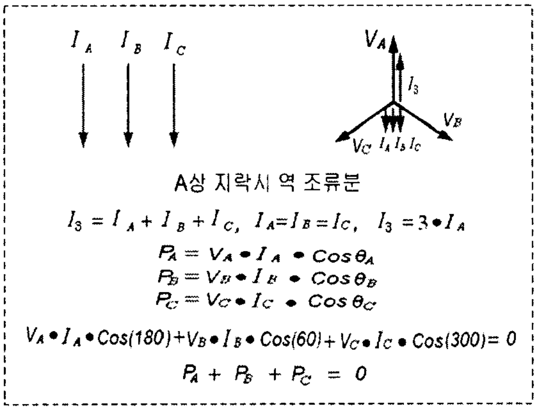
종래의 계통해석 방법은 변압기 역 조류현상을 무시하고 그림 7 (a)과 같이 1선 지락 고장시 대칭좌표법으로 정상분, 역상분, 영상분을 각각 계산하여 모두 중첩시켜 고장전류의 크기를 해석하였으나 실제 발생되는 고장전류의 크기와 많이 달랐다. 따라서 그림 7 (b)와 같이 변압기에 의한 역 조류 해석을 동시해 함으로써 실제현장 상황과 동일하게 계통해석

이 가능하였다.

변압기에 의한 역 조류는 상별로 크기와 위상은 일치한다. 따라서 N상의 전류는 상전류의 3배가 되고, 영상전류와 벡터방향이 반대방향이다.



(a) 1선 지락시 대칭좌표법 해석



(b) 변압기에 의한 역조류 해석

그림 7. 새로운 계통해석 방법
Fig. 7. The new method for the system analysis

그림 8은 역 조류현상을 이용한 새로운 계통해석 방법을 적용하여 배전계통에서 1선 지락 고장이 발생하였을 때 구간별 고장전류의 크기를 각각 계산하였다. ①은 전원 계통측의 상별 고장전류의 값이고, ②는 고장발생지점의 상별 고장전류 값이다. ③은 Y-△ 변압기가 연계된 부하측의 상별 고장전류 값이다.

종래에는 a상 지락 고장발생시 ①과 ② 지점의 고장전류는 동일하고, ① 지점에서 A상과 N상의 고장전류가 동일하다고 생각했었다.

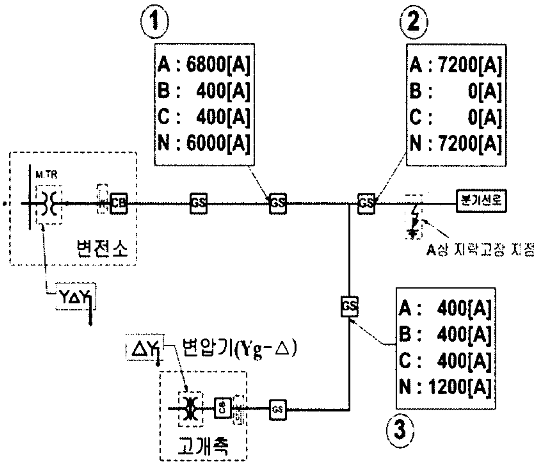


그림 8. 구간별 상별 고장전류크기
Fig. 8. The magnitude of fault current at each section and phase

따라서 본 논문에서는 실제 현장에서 발생된 구간별, 상별 전류의 크기를 변압기에 의한 역 조류에 현상을 감안하여 그림 9와 같이 벡터를 해석하였다.

그림 9의 ③ 지점의 벡터도와 같이 A상 지락고장 발생시 변압기 결선에 의해서 A상 고장전류는 전압위상의 반대방향으로 400[A]가 발생되고, B상과 C상도 고장전류의 크기와 위상이 같다.

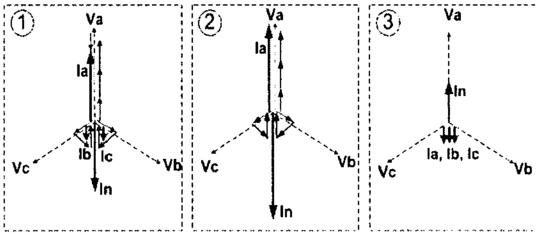


그림 9. 구간별 새로운 벡터해석 방법
Fig. 9. The new vector analysis method by at each section

따라서 N상 전류는 A상 전류와 반대방향으로 3배의 1200[A]가 발생한다. ② 지점의 벡터도와 같이 A상 고장전류는 7200[A]로 전압위상과 동상이고, N

상은 A상 고장전류와 크기는 같고 180[°] 반대방향이다.

① 지점의 벡터도는 A상 고장전류는 ② 지점의 a상 전류(7,200[A])와 ③ 지점의 A상 전류(-400[A])를 중첩하면 6,800[A]가 발생되고, B상과 C상 전류는 각각 400[A]로 A상 전압위상과 반대방향으로 발생된다. 이때 N상 고장전류는 ② 지점의 N상 전류(7,200[A])와 ③ 지점의 N상전류(-1,200[A])를 중첩하면 6,000[A]가 발생된다.

즉, 다시 요약하면 ①, ②, ③ 지점 중 고장전류가 가장 큰 지점은 ② 지점이고, ② 지점의 A상 고장전류는 ① 지점과 ③ 지점의 합으로 발생되고, ② 지점의 N상 고장전류는 ① 지점과 ③ 지점의 합으로 발생된다.

특히 ③지점의 N상 고장전류는 상전류의 3배의 전류가 발생함으로 인해서 보호계전기가 오동작하거나 배전자동화 시스템에서 거짓 고장정보를 발생하는 등 여러 가지 문제점이 제기되고 있다.

3.5 역 조류현상의 방지방법

이러한 역 조류현상을 방지하기 위해서는 변압기 결선을 변경하는 방법과 영상 임피던스를 조절하는 2가지 방법이 있다. 먼저 변압기 결선형태별로 역 조류현상 발생여부를 실험하였고, 다음 영상 임피던스 크기를 조절하는 방법으로 그림 10과 같이 PSCAD /EMTDC로 배전계통 상황을 동일하게 모의해서 영상 임피던스 값에 따른 역 조류의 크기를 모의를 하였고, 이들 방지대책을 각각 제시하였다.

표 2의 실험 1~7과 같이 연계용 변압기 1차측을 부동운전하면 역 조류현상은 발생되지 않았고, 실험 6~7과 같이 Y-Δ결선 또는 Y-Y-Δ결선은 1차측 중성점을 접지하면 역 조류현상이 발생되는 것으로 나타났다. 그리고 Y-Y결선인 경우 1차 측을 계통에 접지하여도 역 조류현상은 발생되지 않는 것으로 나타났다.

그럼에도 불구하고 변압기 1차 중성점을 접지하는 이유는 전원측 고장으로 변전소 CB 또는 Recloser가 Trip되었다고 가정하고 분산전원에서 계속해서 발전할 경우, 이때 중성점을 부동운전하면 상별 부하에 따라 상별 불평형 부하로 이상전압이 발생하게 된다.

이와 같은 이유로 발전고객의 1차측 중성점을 반드시 접지운전 하도록 배전계통연계기준에 명시되어 있다.

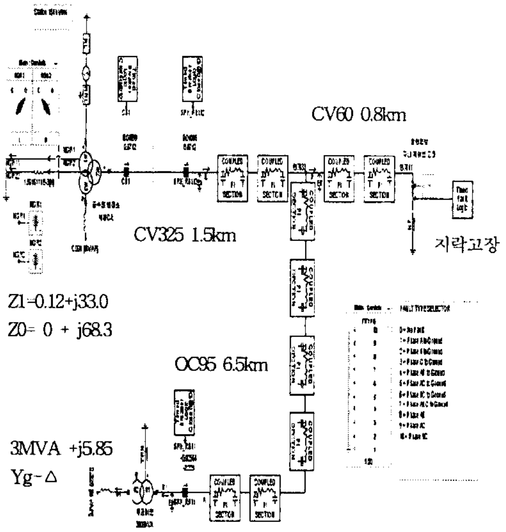


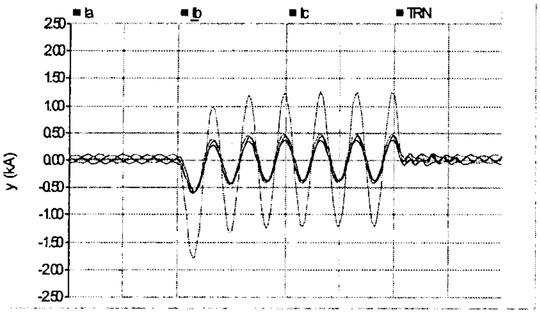
그림 10. PSCAD/EMTDC 계통모의 구성도
Fig. 10. The diagram of the model system for PSCAD/EMTDC simulation

표 2. 변압기 결선 방식별 역 조류현상
Table 2. The reverse-power-flow due to transformer wiring types

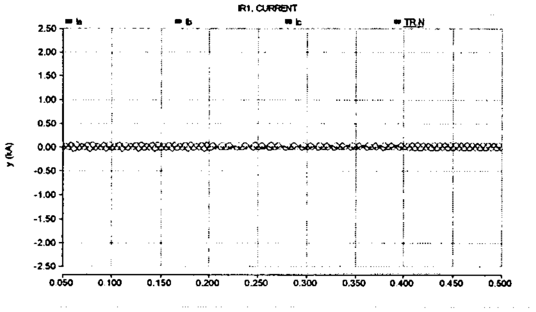
구분	변압기 결 선	접지 방식	실험결과
실험1	Y-Y	접지	미 발생
실험2	Y-Y	부동	미 발생
실험3	Δ-Y	부동	미 발생
실험4	Y-Δ	부동	미 발생
실험5	Y-Y-Δ	부동	미 발생
실험6	Y-Δ	접지	역 조류 발생
실험7	Y-Y-Δ	접지	역 조류 발생

따라서 1차 중성점을 접지하면 역 조류현상이 발생되고, 접지하지 않으면 이상전압이 발생되는 문제

가 있다.



(a) 1차 중성점 접지운전



(b) 1차 중성점 부동운전

그림 11. 접지방식에 따른 역 조류현상
Fig. 11. The reverse-power-flow due to the ground condition

표 3. 영상임피던스 크기에 따른 역 조류현상
Table 3. The reverse-power-flow due to the magnitude of zero-sequence impedance

구분	상 평균전류	n상전류	비 고
접지운전	400[A]	1203[A]	그림 11 (a)
5[Ω]	300[A]	901[A]	
10[Ω]	200[A]	607[A]	
20[Ω]	120[A]	361[A]	
40[Ω]	60[A]	180[A]	
부동운전	0[A]	0[A]	그림 11 (b)

실험 6~7에서 역 조류현상을 줄이기 위한 방법으로 연계용 변압기 1차 중성선에 저항을 삽입하여 상별 전류를 제한하는 방법으로 PSCAD/EMTDC로 계통을 모의하였다. 시뮬레이션 결과는 고장전류의 파형은 그림 11과 같다. 또한 표 3과 같이 영상임피던스의 저항 값에 따라 고장전류의 크기가 조절되는 것을 알 수 있다. 따라서 역 조류에 의한 오동작 현상을 방지하기 위해서는 보호계전기 정정치 보다 낮게 전류를 제한해야 한다.

4. 결 론

본 논문에서는 배전계통에서 발생되는 여러가지 오동작 현상에 대한 사례를 설명하였고, 그 원인은 변압기 결선이 Y-△ 또는 Y-Y-△결선으로 1차 측 중성점이 접지되어 있는 경우에 역 조류현상이 발생되는 것으로 분석되었다. 이러한 역 조류현상은 배전선로에 지락고장, 전선단선고장, 선간단락고장, 불평형 부하가 발생하였을 때 나타나는 것으로 확인되었고 이에 대한 대책이 시급한 것으로 분석되었다.

또한 본 논문에서는 변압기의 상별 역 조류의 크기와 위상은 동일한 것으로 확인되었고, N상에 3배의 상전류가 발생되는 원리를 규명하였으며 이때 상별 조류의 합은 Zero가 되는 것을 확인하였다. 따라서 역 조류에 대한 새로운 계통해석 방법을 적용하여 제시하였다

결론적으로 역 조류에 대한 문제점을 해소하기 위해서는 연계용 변압기(Y-△)의 N상 영상임피던스를 적절하게 조절함으로써 설정하여 분산전원 측에서의 고장전류를 제한하여 보호계전기의 오동작을 방지하는 방법과 1차 중성점을 부동 운전시 상별 부하불평형에 따른 이상전압 방지를 위해서 고속으로 분산전원을 차단하는 방법뿐이다. 또한 새로 신설하는 분산전원 연계용 변압기는 Y-Y결선 형태로 하면 역 조류현상을 근본적으로 방지할 수 있다.

References

[1] 최준호, 노경수, 김재철 "분산전원이 연계된 배전계통의 온라인 보호협조 방안", 조명·전기설비학회 논문지 제21권 제3호, 2007년 3월.

[2] 신동열, 김숙철, 윤기갑, 차한주, "위상변환장치를 이용한 새로운 배전변압기 무정전 교체방법", 조명·전기설비학회 논문지 제21권 제6호, 2007년 12월.

[3] 정원욱, 윤기갑, 신동열, 이학주, 김숙철 "순천 태양광발전 연계 배전계통 모의해석", 대한전기학회 하계학술대회 논문지, 2007. 7월.

[4] 한국전력공사 배전처, 분산형전원 배전계통 연계기술 해설서, 2006. 9.
[5] 한국전력공사 배전처, 배전보호 기술서, 1995.
[6] 한국전력공사 서울지역본부, 배전선로 보호협조, 2002. 09.
[7] 한국전력공사 영업처 문서 " 과,부족 전력요금. 정산방법 알림", 2004. 08.
[8] 전기위원회 제정사건(사건번호 200305), "전력 계량값 차이로 인한 전력요금 정산합의서", 2004. 03.
[9] 전력연구원 배전연구소 기술지원(2007ㅓ-2001-1, 배전운영처), "발전고객 수전용 전력량계 과다계량 원인분석", 2007. 06.
[10] 전력연구원 배전연구소, 동해지점 관내 "태양광발전 공급선로 오동작 보호기기에 대한 보호협조 검토 기술지원 보고서", 2007.6.
[11] 전력연구원 배전연구소 기술지원(2008ㅓ-01 67-1,서천지점) "발전고객 수전용 OCGR 오동작 원인분석", 2008. 03.
[12] 전력연구원 배전연구소 기술지원, 경기사업본부 관내 배전자동화 개폐기 "거짓FI발생정보"에 대한 원인분석, 2008, 07.
[13] Sukumar M. Brahma; Adly A. Girgis, "Effect of Distributed Generation on Protective Device Coordination in Distribution System", Power Engineering, LESCOPE '01, Page(s):115-119, 2001.
[14] Interconnect Protection of Dispersed Generators, Charles J. Mozina, 2001.
[15] Winding Arrangements for Distributed Generation, Wayne Hartmann, 2002.

◇ 저자소개 ◇

신동열(申東烈)
1966년 4월 15일생. 1992년 1월~2006년 7월 한전 부산지사 근무. 2006년 7월~현재 한전 전력연구원 배전연구소 근무. 2007년 3월~충남대학교 전기공학과 석사과정 재학 중. 2005년 특허분야 정부 신지식인 선정(행자부). 2006년 이달의 엔지니어상 수상(과학기술부).
E-mail sdy9199@kepco.co.kr

하복남(河福男)
1958년 1월 10일생. 1986년 2월 한밭대학교 전기공학과 졸업. 1994년 2월 충남대학교 전기공학교 졸업(석사). 2004년 2월 충남대학교 전기공학과 졸업(박사). 1978년~현재 대전전력관리처. 광주전력관리처 계통2과장. 전력연구원 선임연구원. 전력연구원 책임연구원. 전력연구원 배전IT그룹장.
E-mail : bnha@kepri.re.kr

정원욱(丁元昱)
1978년 1월 25일생. 2003년 충남대학교 전기공학과 졸업. 2005년 서울대학교 전기컴퓨터공학부 졸업(석사). 전력계통 전공. 2005년~현재 한전 전력연구원 배전연구소 선임연구원, 분산전원 연계 배전계통 해석 및 마이크로그리드 분야 연구 수행
E-mail wwjung@kepco.co.kr

차한주(車翰周)
1965년 11월 20일. 1988년 서울대 전기공학과 졸업. 1990년 포항공대 전자전기공학과 졸업(석사). 2004년 미국 Texas A&M University, College station(박사). 1990~2001년 LG산전 연구소 책임연구원. 2005년~현재 충남대학교 전기정보통신공학부 전기전공 조교수.
E-mail hjcha@cnu.ac.kr