

중성점 비접지 UPS시스템의 부동현상에대한 실험적 연구

(Experimental Study of The Floating-Phenomenon on Neutral Ungrounded UPS System)

심해섭*

(Hae-Sup Shim)

Abstract

In this study we investigate the background of UPS output transformer(Δ -Y) operation on neutral ungrounded system, and perform field experiment of neutral floating-phenomenon for the inter-locked securing of electric facilities and improvement of neutral floating-phenomenon. Experiment results show that a floating-phenomenon occurs when four-pole input-breaker trip and the neutral to earth voltage occurring concurrently is identified as phantom voltage. And the measures for the transient overvoltage that can occur in floating-state also are investigated. As a result, the risk elements of neutral ungrounded method as well as neutral floating-phenomenon are removed by installation of separate solidly-grounded transformer and switching four-pole input-breaker to three-pole input breaker.

Key Words : Neutral Floating-Phenomenon, Phantom Voltage, Transient Overvoltage

1. 서 론

국내 UPS 출력변압기(Δ -Y)는 발전기 및 주변압기와의 연동시 발생할 수 있는 중성선-접지선간의 유도성 순환전류 때문에 출력변압기를 중성점 비접지방식으로 운용하는 경우가 발생한다. 출력변압기를 Y형 비접지방식으로 운영 시에도 상시에는 어떤 가지적인 문제점도 발생하지 않는다. 그러나 주의해야 할 것은 UPS의 전원 공급용 4극(Pole) 차단기가

차단 될 경우다. 4극의 입력차단기가 차단된다는 것은 전원측으로 직접접지된 중성선이 차단되는 것이며 이때부터 UPS와 부하측의 전원은 비접지의 형태로 공급된다. 중성점 부동현상의 시작이며 Y형 비접지시스템의 전형적인 위협요소로부터 전기설비는 위협받기 시작한다.

부동현상은 중성점이 기준전위를 상실하고 계통전압과 전원환경에 추종하여 발생하는 중성점과 접지간 상용주파 이상전압이다. 이러한 부동현상의 발생원인인 Y형 비접지시스템은 NEC 250.20의 명백한 위반이며 UPS 접지방식 권고인 IEEE Std. 142, 1100에도 부적합하다. 본 연구에서는 국내에 중성점 부동현상과 관련한 명확한 정의의 부재로 이를 현장 실험하여 원인을 규명하고 관련한 해외의 기술기준과 규

* 주저자 : 기상청 국가기상위성센터
Tel : 043-717-0214, Fax : 043-717-0210
E-mail : hookmeter@korea.kr
접수일자 : 2011년 2월 14일
1차심사 : 2011년 2월 17일
심사완료 : 2011년 3월 17일

격을 국내현황에 맞게 적용하여 문제점에 대한 대책을 제안하였다.

2. 중성점 부동현상

2.1 중성점 비접지방식의 적용배경

국내 UPS 출력 변압기가 중성점 비접지방식으로 운용되는 것은 그림 1과 같은 유도성 순환전류의 발생과 그로인한 전원공급설비의 오작동 때문이다. 만약 UPS출력변압기의 중성점을 직접접지하면 중성선과 접지선은 폐회로가 형성된다. 폐회로는 전력간선에 유도되어 유도성 순환전류가 흐르게 되고 이는 발전기의 경우 접지측 변류기, 지락과전류계전기, 주차단

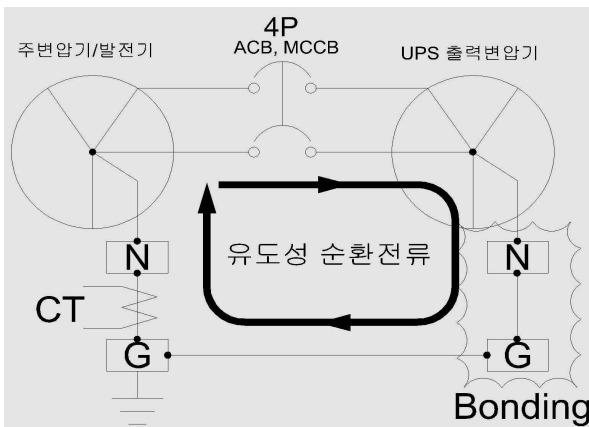


그림 1. UPS 전원시스템의 유도성 순환전류
Fig. 1. Inductive-circulating-current of UPS power system

표 1. 접지방식 및 입력차단기 적용 현황
Table 1. Application of grounding method and input-breaker

수용가명	UPS 전체 용량[kVA]	출력변압기 접지방식	입력차단기 극수
**위성센터	900	Δ-Y형 비접지	4
**청	1,200	Δ-Y형 비접지	4
**병원	1,500	Y-Δ형 비접지	3
**전산센터	2,880	무변압기 타입	4
**센터	5,700	Δ-Y형 비접지+ 무변압기 타입	4

기의 오작동을 유발하여 발전기 운용을 불가능하게 한다. 주변압기와 배전반의 경우는 중성점 접지측 지락검출용 변류기와 영상변류기의 오작동으로 지락 및 누전경보가 발생할 수 있다. 결국 주변압기, 발전기 등과 같은 전원공급설비와의 연동 시 발생하는 문제에 대한 대책으로 UPS 출력 변압기를 비접지방식으로 운용하고 있다. 표 1에 국내 UPS측 차단기 및 접지방식 적용현황을 단적으로 나타내었다.

2.2 현장실험

중성점 비접지방식으로 운용하는 UPS 출력변압기의 가시적인 문제는 중성선-접지간 이상전압(NEV : Neutral to Earth Voltage)의 발생이다. 중성점이 기준전위를 상실한 경우 NEV가 발생하며 이에 대한 명확한 정의의 부재로 이에 대한 실험이 요구된다.

실험 대상 회로의 구성은 그림 2와 같다. 주변압기(Δ-Y) 2차측 차단기는 4극으로 구성되며 UPS 출력 변압기 중성점 접지방식은 비접지방식이다.

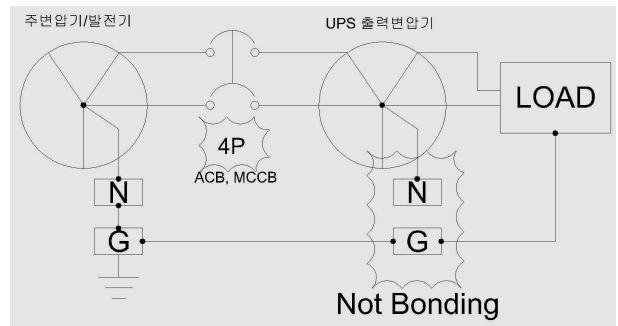


그림 2. UPS 접지시스템 구성
Fig. 2. Diagram of UPS grounding system

실험대상 전원설비 사양은 표 2와 같으며 분전반 주차단기 2차측으로 전력분석기를 설치하여 부동현상 발생 시 전압변동을 측정하였으며 중성점-접지간에 110[V] 30[W] 백열전구를 추가로 설치하여 측정된 NEV의 진위판정 즉 허전압(PV : Phantom Voltages) 판정에 활용하였다. 실험 방법은 표 3과 같고 그 결과는 그림 3, 표 4에 나타내었다. 실험결과로서 한국전력 공사측 정전과 같이 UPS 입력측 차단기가 투입상태

를 유지하는 경우, 즉 중성점이 기준전위를 유지하는 경우에는 NEV이 발생되지 않는다. 그러나 UPS만의 전원출력의 경우 즉 입력차단기의 차단상태(오작동,

차단기 2차측 고장 차단)로서 전원측 직접접지된 중성선이 차단되는 경우 NEV이 차단기 재투입까지 지속된다.

표 2. 실험 대상 전원설비
Table 2. Power facility under Experiment

전 원	UPS, 출력변압기(Δ-Y, 300[kVA])
간선케이블 종류/거리	TFR-8, 240[mm ²]/1C×4×135[m] GV, 120[mm ²]/1C×135[m]
부하종류	정보통신기기(용량성 부하)
실부하전류[A]	R : 65, S : 61, T : 51, N : 22
역률/THD	95[%]/V-THD : 3[%], I-THD : 15[%]
접지시스템 구성	기초접지극(Mesh) → 전산실하부 보조접지(Mesh)→ 분전반접지단자 → 기기(일점접지)

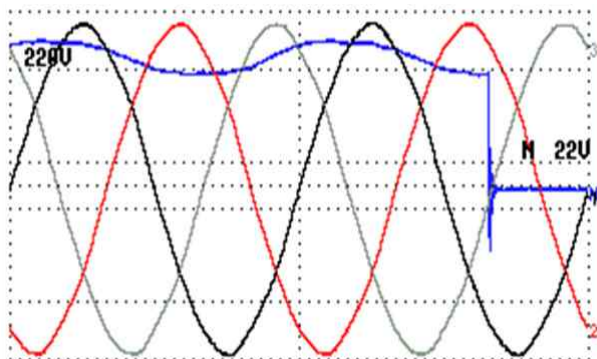


그림 3. 중성점 부동 현상
Fig. 3. Neutral floating Phenomenon

표 3. 실험 방법
Table 3. Experiment method

시험 절차
UPS 가압(상용전원)→NEV 측정→UPS 전원 입력용 ACB, MCCB 순차 차단→NEV 측정
측정 기기
전력분석기 : FLUKE 434B(입력임피던스4[MΩ]) 백열전구 : 110[V], 30[W]
결과 확인
NEV : 시험 순서 전체가 진행되는 동안 기록된 피크전압 NEV의 PV 판정 : 백열전구 점등 여부

표 4. 실험 결과
Table 4. Experiment results

	ACB 차단	MCCB 차단
NEV[V]	300	300
선간전압[V]	380	380
상전압[V]	220	220
백열전구 점등상태	미점등	미점등

2.3 실험 결과

실험결과표 4에서와 같이 상전압과 선간전압은 중성점 부동상태에서도 정상전압을 유지하고 NEV는 최대 300[V]가 측정된다. 그러나 NEV의 PV 판정을 위한 백열전구가 미점등 되는 것은 NEV가 PV임을 증명한다. PV는 측정기가 가지고 있는 큰 입력임피던스(4[MΩ])와 선간 및 선대지간 정전용량이 측정되는 현상이다. 트레이(Tray)나 배관에 케이블이 집적되고 케이블의 절연피복이나 공기가 유전체 역할을 하여 정전용량이 분포된다. 마지막으로 개(Open)회로에 측정기를 접속하므로 회로가 완성되어 측정되는 전압으로 매우 작은 정전용량을 포함하는 물리적 현상이다[1]. PV는 부하에 에너지를 공급하지 못하며 인축에 대한 생리적 위험요소가 될 수 없고 전로의 길이에 비례하며 통상 15[m] 이상의 전로에서 측정된다. 이를 방지하기 위해서는 낮은 입력 임피던스의 아날로그 측정기(통상 3[kΩ]이하)나 디지털 측정기에 PV용 어댑터(Adapter)를 사용한다[2].

상충되는 것은 중성점 부동현상과 관련한 IEEE의 연구보고서에 따르면 중성점 부동 현상은 상전압변동과 불균형을 유발한다고 명시하고 있어 차 후 이에 대한 좀 더 명확한 실험과 연구가 요구된다[3].

3. 중성점 부동의 문제점 고찰

3.1 관련기술기준 미준수(NEC 250.20 등)

Y형 3상 4선식 전원공급방식에 있어서 중성점을 회로 도체로 사용하는 경우(단상부하를 사용하는 경우) 중성점을 반드시 접지해야 하므로 국내 UPS 접지현황은 명백한 NEC 250.20 위반이며 UPS관련 접지시스템을 권고하고 있는 IEEE Std. 142를 참조하면 현재 운용되고 있는 UPS는 ‘분리전원공급 시스템 (Separately Derived System)’ 이나 4극 차단기와 단상부하를 사용하므로 이 또한 권고사항에 부적합하다. 국내 UPS접지방식 현황을 단적으로 나타내고 있는 표 1을 참고하면, ‘**병원’을 제외하고 모든 수용가는 4극 차단기 차단 시 중성점 비접지로 운용되므로 NEC 위반이다.

국내 전기설비 기술기준 제 6조(전기설비의 접지)와 전기설비기술기준의 판단기준 제27조(전로의 중성점의 접지)는 중성점 직접접지를 강제하지 않으며 접지가 ‘필요한 곳’과 ‘필요한 경우’에만 적용하도록 하고 있다. 즉 중성점 직접접지의 적용여부를 전기설비의 사용자가 결정할 수 있어 대부분의 경우 비접지로 운용되고 있다.

3.2 전압 변동과 불평형 발생

실험결과와 같이 PV만으로는 인체안전과 시스템 성능에 위협이 될 수 없으나 중성점이 부동상태로 지속되는 경우 상전압의 전압변동과 전압 불평형이 발생하며 이는 단상부하의 데이터손실, 기기오작 등의 원인이 될 수 있다[3].

3.3 비접지 방식의 전형적 위험 요소

중성점 비접지 시스템은 그림 4와 같이 전압선과 대지사이의 어떠한 접속도 없으나 전압선 상호간, 그리고 전압선-대지간의 정전 결합이 존재하는 전압선-대지간 정전용량(Capacitance)으로 접지된 시스템이다.

고장이 없는 건전한 상태에서는 안정된 3상 전압이 공급되며 각 상과 대지간의 용량성 충전전류(Capacitive changing current, I_{C0})의 크기가 같으나 1선 지락의 경우 지락발생 전압선의 I_{C0} 와 전압은 ‘0’이 되며 건전한 전압선의 경우는 I_{C0} 와 전압 모두 약 1.7배 상승한다. 또한 1선 지락 시 전압선-대지간에는 아크(Arc)가 발생하고 이 아크는 소멸과 재아크(Restrikes)를 반복한다. 지락된 전압선의 충전된 정전용량도 지락점을 통하여 대지로 방전 된 후 다시 충전되는 반복현상이 발생한다.

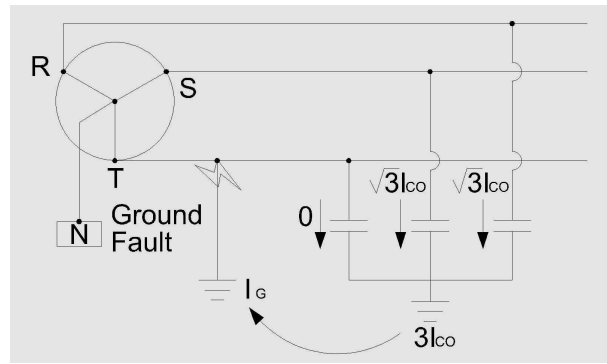


그림 4. 중성점 비접지 시스템의 1선지락[4]
Fig. 4. Single line-to-ground fault on a Neutral-point ungrounded system[4]

이러한 현상은 첫째, 건전한 상태의 전압선의 절연에 과도스트레스를 인가하여 다중 지락으로 파급될 수 있다. 두번째, 시스템의 유도성 리액턴스와 대지에 분포된 정전용량 사이의 공진발생으로 건전한 상간의 과전압 발생으로 높은 순환전류가 발생한다. 셋째, 1차 지락의 파급으로 인한 간헐아크지락 등의 발생으로 정상 상전압의 550[%](드물게 700[%])달하는 파괴적인 과도 과전압과 심각한 주파수변동이 ±200[%]까지 발생할 수 있으며 기기소손의 주요원인이 될 수 있다.이것이 중성점 비접지시스템이 권고되지 않는 주요 이유이다[3-5]. 마지막으로 중성점의 부동상태는 지락사고 시 지락전류의 귀환회로가 없어지게 되므로 충전부의 간접접촉에 대한 보호 중 자동차단에 의한 보호방법을 적용할 수 없다. TN, TT계통 접지시스템의 경우 전원으로부터 고장점까지 전압선 및 고장점

과 전원사이의 접지선으로 구성되는 고장회로(폐회로)가 구성되지 않아 과전류차단기에 의한 지락보호가 불가능하다.

4. 중성점 부동 현상 개선

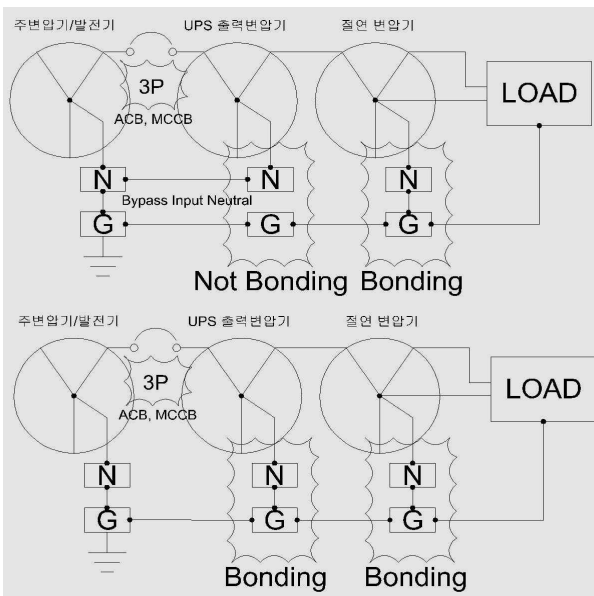


그림 5. UPS의 접지시스템 구성[4]
Fig. 5. Diagram of UPS grounding system[4]

해외의 많은 보고서와 규격은 UPS 중성점 접지방식에 대하여 그림 5와 같이 권고하고 있다[3-5]. 국내 현황과 가장 큰 차이점은 3극 입력차단기의 적용이다. 국내 전기설비기술기준은 4극의 차단기를 강제하지 않으나 설계, 감리, 시공 및 안전관리에 있어 4극을 적용하는 이유는 점검의 편리성과 공사비 경감이다. 예로 입력측 차단기를 4극으로 적용할 경우 2차측 차단기는 3극 적용이 가능하므로 경제적이고 점검에서도 4극 일괄 차단이 가능하므로 절연저항측정 등이 편리하여 대부분의 주차단기류는 4극으로 적용하고 있다. 그러나 UPS의 입력차단기로 4극을 적용하면 차단기 차단 시 중성점이 기준전위를 상실하여 부동상태가 유지된다. 또한 지락이 발생한 상태에서의 부동상태는 중성점 비접지의 방식과 동일한 문제가 발생한다. 그러므로 그림 5와 같이 UPS 입력측 차단기는 3극을 적용해야만 한다.

마지막으로 UPS의 출력변압기의 중성점을 직접접지할 수 없으므로 별도의 절연변압기를 신설하고 중성점을 직접접지하여 전원을 공급해야 한다. 이 방법은 입력 차단기를 4극으로 적용해도 부하측은 부동현상이 발생하지 않으므로 가장 현실적인 부동현상대책이 될 수 있다. 또한 UPS 부하가 대부분의 경우 정보통신기기임을 고려하면 출력변압기 2차측으로 절연변압기를 적용하면 전원 노이즈 경감의 추가효과를 기대할 수 있다[6]. 결과로서 3극 입력차단기와 별도의 절연변압기를 적용함으로써 그림 6과같이 중성점부동현상을 개선할 수 있다.

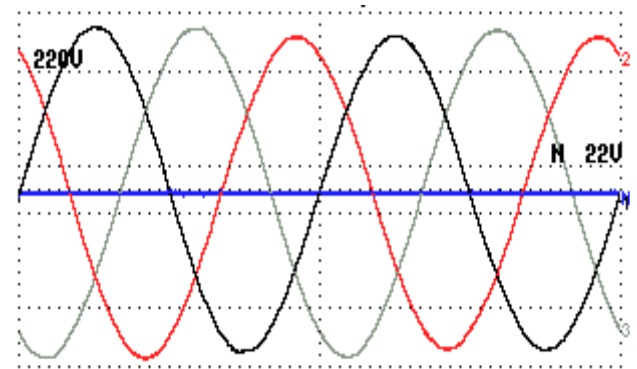


그림 6. 개선 후 정상상태 전압파형
Fig. 6. Voltages waveform of steady state after improvement

5. 결 론

본 연구에서는 국내 UPS 출력변압기(Δ -Y)가 중성점 비접지방식으로 운영되는 배경을 고찰하고 이로 인하여 발생하는 중성점 부동현상을 현장실험하고 원인을 규명하여 문제점을 개선하였다.

본 논문을 통하여 얻어진 결과는 다음과 같다.

1. UPS의 출력변압기를 중성점 비접지방식으로 운영하는 것은 NEC 250.20에 대한 명백한 위반이며 4극 입력차단기의 적용은 IEEE Std. 142, 1100 등 접지관련 해외권고 사항 등에 부적합하므로 반드시 개선되어야 한다.
2. 부동현상은 4극 입력차단기 차단 시 발생하며 이때 변압기 2차측으로 나타나는 중성선-접지간 이

상전압은 허전압이나, 지속적인 부동현상은 상전압의 불평형과 전압변동을 유발할 수 있다.

3. 부동현상 시 중성점 비접지 방식의 운용은 지락이 발생할 경우 다중지락, 과대 순환전류, 최대 $\pm 200[\%]$ 의 주파수 변동, 상전압의 최대 $700[\%]$ 달하는 과도과전압을 유발하여 기기 소손으로 파급될 수 있다.
4. 결과로서 전기설비와 연동 확보 및 비접지방식의 부동현상 개선을 위하여 추가로 중성점을 직접접지한 출력변압기를 설치하고 4극 입력차단기를 3극으로 교체하여 부동현상의 개선은 물론 중성점 비접지방식의 위험요소를 제거하였다.

본 연구의 결과는 국내 저압배전 및 접지방식을 기초로 한 UPS 시공 설계도서에 기초 자료로 활용될 수 있다. 향후 UPS의 접지 및 보호방식에 대한 국내 전기설비기술기준의 제정이 필요하며 이를 설계, 감리, 시공 및 안전관리에 적용하여 최소한의 안전과 기기의 건전한 동작을 확보해야 할 것으로 사료된다.

References

- [1] Engineering Department Bulletin, "Phantom Voltages", NEMA, No.88, 2003. 2.
- [2] Application Note, "Ghost Voltages", FLUKE, 2003.
- [3] David Shipp, Frank Angelini, Characteristics of different power systems neutral grounding techniques : Fact & Fiction, IEEE 2008 Industry applications society technical conference.
- [4] "Green Book : System grounding for uninterruptible power system", Institute of Electrical and Electronics Engineers(IEEE), pp 5-56, 2007.
- [5] S.N. Singh, "Electric power generation, transmission and distribution", Prentice-Hall, pp 384-386, 2006.
- [6] "Emerald Book : Powering and grounding electronic equipment", Institute of Electrical and Electronics Engineers(IEEE), pp 282-286, 2005.

◇ 저자소개 ◇



심해섭 (沈海燮)

1974년 1월 7일생. 2009년 서울과학기술대학교 대학원 졸업(석사). 2004~2006년 극지연구소(KOPRI) 남극세종과학기지 월동대. 2007년~현재 기상청 국가기상위성센터 근무.