

## 비상발전기 보호용 원판형 지락과전류계전기의 고조파영향에 관한 연구

(A Study on the Harmonics Effect of Disc-Type Over Current Ground Relay for  
Emergency Generator Protection)

김경철\* · 고 훈\*\*

(Kyung-Chul Kim · Hun Kho)

### Abstract

When an emergency generator is running, it supplies the power for critical loads. Generator protection requires the consideration of many abnormal conditions that may occur with generators include overvoltages and ground faults. Modern day power systems create harmonics within the electrical network that can have an impact upon the associated protective system. This paper focuses on the analysing of the cause and development of a solution for the malfunction of induction disc type overcurrent ground relay by generation of harmonics during emergency generator operation.

Key Words : Emergency Generator, Overcurrent Ground Relay, Harmonics Effect

### 1. 서 론

비상발전기는 정상적인 전력공급이 어려울 경우에 사용되며 주요부하에 전력을 공급하게 된다[1].

LED조명과 같은 전등부하는 비선형부하로 고조파를 발생시키고, 각종 설비의 과열을 초래하고, 역률저하뿐만 아니라 보호계전기의 토크를 증가시켜 오동작을 일으킬 수도 있다[2-5].

본 논문은 사례연구로 비상발전기 투입 시에 비상발

전기 보호용 지락과전류계전기가 트립된 사고로 탐값에 미치지 않는 전류였음에도 제 3고조파가 다량 함유된 전류가 중성선에 흘러 유도원판형 지락과전류계전기가 오동작을 일으킨 사례를 다루고자 한다.

고조파가 원판형 과전류계전기 토크에 미치는 영향을 이론적으로 고찰하고, 특성시험을 통하여 검증하고, 중성선에 흐르는 고조파전류를 저감시켜 오동작을 예방하는 기법을 제시한다.

### 2. 유도원판형 지락과전류계전기

보호계전기는 정확성, 신속성 및 선택성의 3요소를 갖추고 발전기를 비롯한 전력계통의 구성요소를 항상 감시하여 이들에 고장이 발생하든가 계통운전에 이상이 있을 때는 즉시 이를 검출 동작하여 고장부분을 분

\* Main author : Professor of Electrical Engineering Department, Hongik University

\*\* Corresponding author : Master's Course, Hongik University

Tel : 044-860-2568, Fax : 044-863-7605

E-mail : yangjier@hongik.ac.kr

Received : 2015. 3. 3

Accepted : 2015. 3. 20

리시킨다.

유도원판형 계전기는 자기유도에 의해서 접점을 붙이게 되면, 자기유도현상은 교류의 크기에 따라 자기유도력이 달라지며, 유도원판형 회전자에 발생하는 토크는 유도전동기에 발생하는 토크와 같은 원리로 만들어진다. 동작원리는 이동자계와 이동자계로 도체에 발생하는 와류와의 상호작용으로 도체가 회전하는 것이다. 일반적으로 비자성의 도체로 된 원판에 2개의 자속을 작용시켜서 그 자기유도력으로 회전체가 움직인다[그림 1][6-9].

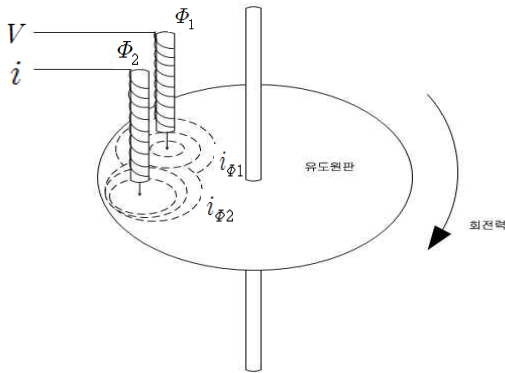


그림 1. 유도원판형계전기의 토크발생원리  
Fig. 1. Torque generation principle of induction disc type relay

유도원판형 과전류계전기 구조는 그림 2와 같다. 과전류계전기와 지락과전류계전기는 일반적으로 함께 구성되어 있다. 규정된 전류 제한치를 초과할 때 동작한다.

지락과전류계전기의 기본적인 결선도는 그림 3과 같다.

각상의 과전류계전기는 각 상의 CT에 연결되어 있고, 지락과전류계전기는 지락 고장전류를 검출하도록 중성선 N상에 연결된다.

지락고장이 발생하면, 대지로 귀로하는 단락전류는 각 상과 대응하는 CT에 흐르고, 중성선 N상에 합쳐져 지락과전류계전기를 작동시킨다. 중성선에는 기본파의 불평형전류 뿐만 아니라 비선형부하로 인한 영상 고조파전류가 흐른다.

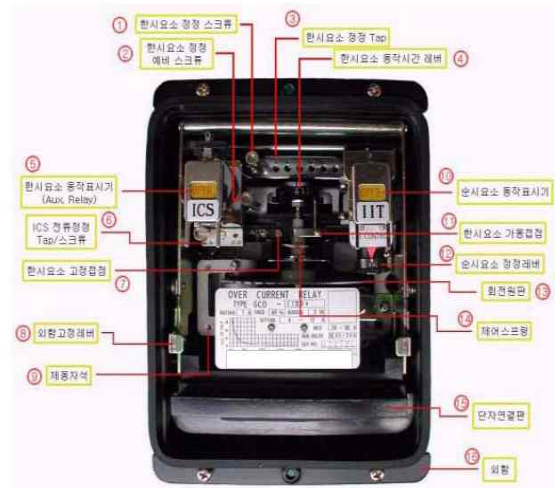


그림 2. 유도원판형 지락과전류계전기의 구조  
Fig. 2. The Structure of induction disc type ground over current relay

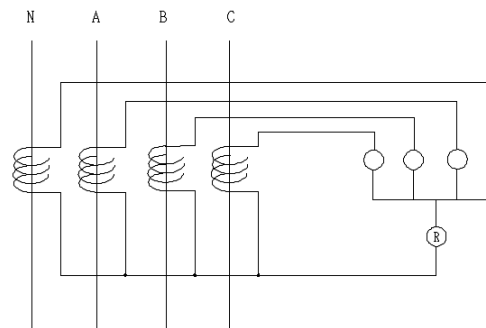


그림 3. 지락과전류계전기의 결선도  
Fig. 3. OCGR connection diagram

### 3. 사례연구

#### 3.1 비상발전기 보호용 지락과전류계전기 오동작사례

본 논문의 연구사례는 정전 시 비상발전기 투입 시 지락과전류계전기가 허용전류 이하였음에도 트립되어 운전 실패한 경우이다.

당시의 지락과전류계전기 CT비는 1500:5이고, 탭은 1.0으로 300A의 전류에 트립됐어야 하나 탭에 미치지 않는 전류 242A에 트립되어 운전실패를 한 사고로 제 3고조파가 다량 함유된 전류가 중성선에 흘러 원판

형 지락과전류계전기가 오동작을 일으켰다.

LED등과 같은 비선형부하에서 발생하는 영상분 고조파는 중성선에 중첩되어 여러 가지 문제를 일으키게 된다.

고조파 측정장비 BMI-PX5로 측정한 데이터를 요약하는 표 1과 그림 4와 같다.

표 1. 측정데이터  
Table 1. Measured data

구 분		A상	B상	C상	N상
전압	V <sub>rsm</sub> (V)	213.8	213.5	214.9	0.314
	V <sub>THD</sub> (%)	2.428	2.622	2.395	102.3
전류	I <sub>rms</sub> (A)	249.8	287.8	311.5	242.6
	I <sub>THD</sub> (%)	32.65	35.90	31.40	476.5
피상전력(VA)		52,860	60,190	66,990	76,560
유효전력(W)		49,130	55,800	63,310	-13,080
무효전력(VAR)		8,645	9,624	8,048	-6,581
역률(%)		0.929	0.927	0.945	0.171
K-Factor		2.468	2.392	2.035	8.911

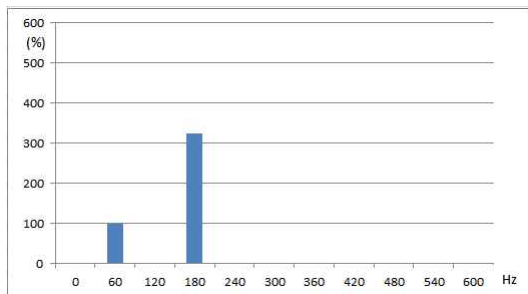


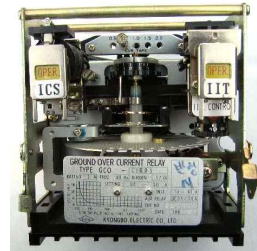
그림 4. 중성선 고조파 스펙트럼  
Fig. 4. Harmonic spectrum of the neutral line

측정된 데이터를 보면 기본파에 대한 제 3고조파가 약 3.3배에 달하며 중성선에 흐르는 전류 242A중에 제 3고조파 전류는 231A로 중성선에 과전류가 흐른다. 이는 지락과전류계전기의 영향을 끼쳐 오동작을 일으키게 만든 사례이다.

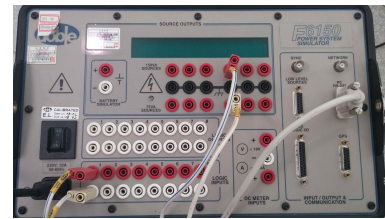
### 3.2 원판형 지락과전류계전기 특성시험

계전기 시험은 제 3고조파의 함유량에 따른 원판형

지락과전류계전기의 동작여부를 시험하였다. 계전기 시험장비로는 Doble F6150 Power System Simulator와 지락과전류계전기는 경보 GCO-CIID5를 사용하였고 한시탭은 1A, 한시레버는 2로 설정하여 시험하였다[그림 5].



a) 지락과전류계전기



b) Doble Power System Simulator

그림 5. 계전기 시험 장비  
Fig. 5. Relay test equipment

원판형 과전류계전기의 구동토크는 다음 식으로 표현된다[10-13].

$$T = K\omega\Phi_1\Phi_2\sin\theta - K_S = K_1I^2 - K_2$$

여기서  $T$ : 회전력,  $\Phi$ : 자속,  $\omega$ : 각속도,  $\theta$ : Shading Ring을 통과하는 자속과 Shading Ring이 없는 자로를 통과하는 자속과의 위상차,  $K_S$ : 스프링의 억제력,  $K_1, K_2$ : 상수이다.

기본파 60Hz가 흐를 경우 구동토크는 제 3고조파에 해당되는 180Hz가 흐를 경우 토크의 3배의 차이를 갖는다. 즉 고조파의 함유량에 따라 원판형 과전류계전기의 원판의 도는 힘이 강해진다 할 수 있다.

첫 번째 시험으로 60Hz와 180Hz의 최초 동작가능전류를 측정함으로써 고조파가 원판 토크에 영향이 있는지 시험하였다.

표 2. 60Hz와 180Hz의 최초동작가능전류  
Table 2. The pickup current for 60Hz and 180Hz

단위 : A

구 분	60Hz	180Hz
Pickup current	0.92	0.65

두 번째 실험으로 60Hz와 180Hz 각각 1, 2, 5A를 투입하여 트립까지 걸린 시간을 측정하였다.

표 3. 전류별 트립시간 측정표  
Table 3. Trip by the current table input

단위 : sec

구 분	60Hz	180Hz
1A	42.08	7.47
2A	2.60	1.27
5A	0.48	0.26

표 3은 동일한 전류를 인가하여 원판형 계전기가 동작하고 트립까지 걸린 시간을 측정하여 60Hz와 180Hz를 비교한 표이다.

지락과전류계전기의 특성곡선은 큰 과전류에서 더욱 빠르게 트립되는 강반한시 특성이므로 정확히 3배의 값은 나오지 않았지만, 180Hz가 먼저 트립됨으로 원판의 회전 토크가 180Hz에서 더 강하게 작용한다는 것을 알 수 있다.

마지막으로 실 사고사례에서 측정된 데이터를 이용한 계전기 트립여부 시험이다.

N상의 실효값은 242A로 이중 기본과 전류  $I_1$ 은 71A, 제 3고조파 전류  $I_3$ 은 231A이고 탭값은 1500:5로  $I_1$ 값은 0.237A,  $I_3$ 는 0.807A를 입력 후 전류를 투입하였고 계전기는 실제 동작 후 트립되었다.

이것은 사례의 비상발전기 투입 시 비상발전기 보호용 지락과전류계전기가 트립된 원인임을 알 수 있는 시험이다.

### 3.3 영상전류저감장치

지락과전류계전기 오동작 해결방안으로 지그재그 선을 이용한 영상전류저감장치를 적용하고자 한다.

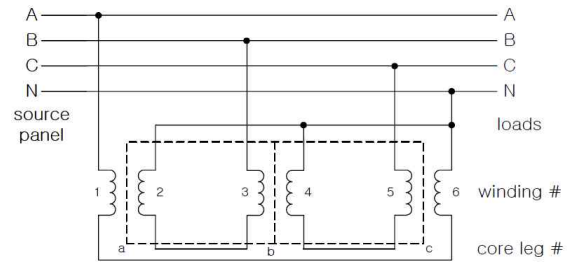


그림 6. 영상전류 저감장치 개요

Fig. 6. Zero sequence current device scheme

중성선영상전류 저감장치는 그림 6과 같이 같은 철심에 2개의 권선을 반대방향으로 감은 것으로 지그재그 변압기의 원리를 이용한다.

표 4는 영상전류 저감장치의 알고리즘을 간추려 놓았다.  $A^{\circ}$ 는 A상의 영상분,  $A^{+}$ 는 A상의 정상분,  $A^{-}$ 는 A상의 역상분을 각각 나타낸다.

표 4. 영상전류 저감장치 알고리즘

Table 4. Zero sequence current device algorithm

Phase \ Sequence	A 상	B 상	C 상
Zero	$A^{\circ} - C^{\circ}$	$B^{\circ} - A^{\circ}$	$C^{\circ} - B^{\circ}$
Positive	$A^{+} + C^{+}$	$B^{+} + A^{+}$	$C^{+} + B^{+}$
Negative	$A^{-} + C^{-}$	$B^{-} + A^{-}$	$C^{-} + A^{-}$

영상전류 저감장치는 상용화된 제품(ZED, Zero sequence harmonic currents Eliminating Device)을 적용시켜, 결과를 요약하면 표 5와 같다.

표 5. 고조파 전류비교

Table 5. Current comparisons

		ZED 설치 전 실측	ZED 설치 후 실측
A상	IA(Arms)	201.1	173.3
	ITHD,A(%)	47.2	36.6
B상	IB(Arms)	197.7	184.2
	ITHD,B(%)	55.8	36.5
C상	IC(Arms)	218.1	207.8
	ITHD,C(%)	56.7	36.5
N상	IN(Arms)	254.3	74.1
	ITHD,N(%)	1848.4	121.2

영상전류저감장치를 적용한 결과 설치 전 중성선의 전류 254A가 설치 후에는 74A로 대폭 감소하였고 전류왜형율은 설치 전 1,848%에서 설치 후에는 121%로 감소되었다.

#### 4. 결 론

본 사례연구에서 비상발전기의 지락과전류계전기의 CT비는 1500 : 5이고 탭은 1.0으로 300A의 전류에서 트립되어야 하나 탭에 미치지 않는 242A에서 트립되어 비상발전기 운전실패한 사례이다.

고조파가 원관형 과전류계전기에 영향이 있음을 시험을 통하여 증명하였고, 전력품질 측정장비(BMI PX5)로 측정된 데이터값인 N상의 실효값 242A 중 기본과 전류  $I_1$ (71A)과 제 3고조파 전류  $I_3$ (231A)을 계전기테스트장비(Doble F6150 Power System Simulator)를 사용하여 시험하였고 그 결과 지락과전류계전기는 동작 후 트립되어 사례연구의 사고원인을 알 수 있었다.

중성선에 흐르는 고조파전류를 저감시켜 오동작을 예방하는 기법으로 영상전류저감장치(ZED)를 들 수 있다. 기존 사례에서 중성선전류는 설치 전 254A에서 설치후 74A로 감소하였고, 전류왜형률은 설치 전 1848%에서 설치 후 121%로 저감되어, 이번 사례연구에서 문제가 됐던 중성선전류의 고조파는 영상전류저감장치를 통하여 상쇄됨을 알 수 있었다.

이 논문은 2015학년도 홍익대학교 학술연구진흥비에 의하여 지원되었음.

#### References

[1] IEEE Std 446-1995, IEEE Recommended Practice for Emergency and Stand by Power Systems for Industrial and Commercial Applications.  
 [2] IEEE Std 242-2001, Protection and Coordination of Industrial and Commercial Power System.  
 [3] IEEE Std 241-1990, IEEE Recommended Practice for Electric Power.  
 [4] IEEE Std 101-2006, IEEE Guide for Generator Ground Protection.

[5] IEEE Std 141-1993, IEEE Recommended Practice for Electric Power Distribution for Industrial Plants.  
 [6] A. medina and M. Cardenas, 'Analysis of the Harmonic Distortion Impact on the Operation of Digital Protection Systems', 2005 IEEE, Power Engineering Society General Meeting.  
 [7] A. Al-Zyoud, A. Khravish and M. Shakarch, 'Protective Relay Performance in a Harmonic Environment', 2006 IEEE, Universities Power Engineering Conference.  
 [8] H. Tin, A. Abu-siada and M.S. Masoum, 'Impact of Harmonics on the Performance of Overcurrent Relays', 2011 IEEE, Universities Power Engineering Conference.  
 [9] P.M. Donohue and S. Islam, 'The Effect of Nonsinusoidal Current Waveform on Electromechanical and Solid-State Overcurrent Relay Operation', IEEE Transactions on Industry Applications, 2010.  
 [10] K. Nadipalli and et al, 'Influence of Harmonic Injections on the performance of Certain Analog and Digital Protection and Regulation Equipment', 2008 IEEE, Power Symposium.  
 [11] Jin-Cheol Hong, 'Analysis of Protective Relay Malfunction Systems in Distribution System Interconnected with Distributed Generations', Master Thesis, Jeju National University, 2011.  
 [12] Park Gwang Won, 'The Preventive Measure and the Cause Analysis for the Malfunction of Protective Relay by Harmonics in Grid-connected PV Systems', Master Thesis, Sungkyunkwan University, 2010.  
 [13] Lee Young Chol, 'Protective Relay System of Distribution Power Utility' Kidari Book Co., 2011.

#### ◇ 저자소개 ◇



**김경철**(金慶哲)

1954년 1월 20일생. 1977년 홍익대학교 전기공학과 졸업. 1977~1982년 국방과학연구소 연구원. 1982~1984년 NMSU 전기공학과 졸업(석사). 1984~1988년 UTA 전기공학과 졸업(박사). 1988~1991년 한국전기연구소 선임연구원. 1991년~현재 홍익대학교 전기공학과 교수.



**고 훈**(高勳)

1979년 11월 2일생. 2015년 홍익대학교 전기공학과 졸업. 2015년~현재 홍익대학교 전기공학과 석사 재학중.