

전자식 저압 차단기의 전류 고조파 시험에 대한 고찰

김명석*, 오준식*, 한규환*
*LG신전 전력시험기술센터

A Study on the current harmonic testing for the low-voltage circuit-breaker with electronic over-current protection

Myoung-Seok Kim*, Jun-Sick Oh*, Gyu-Hwan Han*
*LGIS Power Testing & Technology Institute (PT&T)

Abstract - 본 논문은 저압 차단기에 적용되는 IEC 60947-2 (Circuit breakers)와 전류고조파(Current harmonic) 내성시험 규격인 IEC 61000-3-2, IEC 61000-3-4에 대한 규격의 적용범위, 시험범위, 고조파에 대한 개념, 차단기의 고조파에 대한 영향 및 시험설비의 요구조건을 고찰하고, 16A 초파 전류 고조파 시험 적용 방법과 시험결과를 고찰하고자 한다..

파형의 차만큼 전원측으로 유입이 된다.

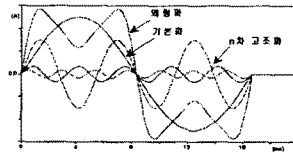


그림 (1)

1. 서 론

전력산업 기기 환경에서 파워일렉트로닉스의 도입 및 발전을 바탕으로 양질의 전력품질을 제공하기 위하여, 전력전자 기기의 대용량화, 고성능화, 첨단화로 발전하고 있다. 이러한 전력용 비선형 기기로 인하여 저압계통에는 고조파가 함유된 환경에서 기기를 사용함으로써 인하여 기기의 오동작이나 손상 등 제품의 성능을 감소하는 원인이 된다. 고조파에 의한 계통내 폐해에는 기기의 이상음, 진동, 과전류나 기기의 이상발열, 절연파괴 및 파손, 축전기기류의 오차발생 또는 오동작, 통신선로의 유도장해, 배전계통의 전압, 전류파형의 왜형 등이 있다. 이러한 고조파는 배전계통의, 발전기 및 변압기에 철손과 동손을 증가를 시켜 효율을 저하시킨다. 이러한 폐해를 방지하기 위하여, 고조파 발생원을 줄이는 것, 필터를 설치하여 계통 임피던스를 변경하는 것, 기기의 고조파 내량을 강화하는 방법 등을 사용하고 있다. 본 논문에서는 고조파에 대한 개념과 발생원 및 국제규격(IEC)의 시험범위 및 시험설비에 대하여 기술하고자 한다.

2.1.1 고조파의 발생원(IEEE Std.519)

고조파는 전력시스템에 설치되어 있는 비선형 부하로부터 발생되며, 이러한 비선형 부하는 비정현 전류를 흐르게 한다. 비선형부하에는 인버터, 아크로, 정지형 무효 전력 보상기(Static VAR Compensator), 자여자전류 펄스 스위칭 증폭기형, 자여자 고주파 링크형, 자여자 펄스폭변환형, 선전류형과 같은 분산 발생형 인버터(Inverter for dispersed Generation), 전자식 위상 제어, Cycloconverter, SMPS(Switch mode power supply), PWM(Pulse width modulated) Drive가 있다.

2.1.2 차단기의 고조파 영향

저압기기에는 배선용차단기 및 기중차단기가 있고, 이는 계통내에서 전기설비의 과전류, 순시, 단락 등 비정상 조건에서 전기설비 보호를 위해 선로를 차단하는 기능을 수행한다. 차단기의 트립유닛(Trip unit)은 두가지로 구분되며 열동전자식(TM: Thermal-magnetic trip unit type)과 전자제어식(EC: Electronic control trip unit type or solid-state type)으로 구분할 수 있다. 열동전자식은 정격전류 범위가 작고, 소용량에 채용하는 반면, 전자식은 정격전류의 0.5~1.0배까지 제어하며, 대용량에 채용하여 제품 개발이 되어 있다. 최근의 제품개발 동향은 점차적으로 소용량 제품에도 전자식 기능을 갖는 제품으로 변천하고 있다. 기계식의 경우 바이메탈(Bimetal)과 자계코일로 구성되어 있어, 한시특성은 바이메탈의 만곡메커니즘을 이용하고, 순시특성은 자계코일을 이용하며, 전자식은 전류감지센서(Current transformer)와 연산처리 회로 및 트립 장치(Actuator)로 구성되어 있다. 전자제어식의 Block diagram을 그림(2)에 표현하였다. 전류감지센서는 고조파 유입 계통에서 실효치의 변화는 식(2)와 같이 변화한다.

2. 본 론

2.1 고조파의 개념

고조파는 기본파(50 Hz 또는 60 Hz의 정현파)의 정수 배의 주파수를 가진 전류 또는 전압이며, 고조파의 차수는 보통 제3 고조파, 제5 고조파 등으로 부른다. 이는 기본주파수의 3배 또는 5배의 주파수를 가진 것을 의미하며, 식(1)과 같이 표현할 수 있다..

$$fn = n \times f \quad \text{----- (1)}$$

$$n = \frac{fn}{f}$$

고조파의 파형은 그림(1)과 같이 기본파 60 Hz 정현파형에 비해 왜곡된 파형(왜형파)이 된다. 그림(1)은 기본파와 제3 고조파, 제5 고조파, 제7 고조파 및 합성 고조파(기본파+3고조파)인 왜형파를 표현하였다.

고조파(Harmonic)에는 전압과 전류 고조파로 구분할 수 있으며, 배전계통의 전력품질에 해당되는 요소로서 전기기기의 제어를 위해 전압, 전류, 주파수를 제어하므로서 필연적으로 발생하는 고조파와 비선형 부하로 인한 공진으로부터 발생하는 고조파로 구분할 수 있다. 이러한 고조파는 전원공급 전압 또는 전류파형에 대한 부하

$$I_{rms} = \sqrt{I_1^2 + I_2^2 + \dots + I_n^2} \quad \text{----- (2)}$$

각각의 전류 고조파 왜형비를 I_n / I_1 라 하고, 전고조파 왜형을 $\sum D_n$ 로 표현하면, 식(3)과 같이 된다.

$$I_{rms} = I_1 \sqrt{1 + \sum D_n^2} \quad \text{----- (3)}$$

기본파 성분의 첨두계수(Peak factor)는 전류 최대치 $Peak I_1 = \sqrt{2} I_1$ 로 단상의 경우 $\sqrt{2}$ 가된다. 따라서 전 전류에 대한 왜형파의 첨두계수는 식(4)와 같다.

$$Peak I = \sqrt{2} \cdot I_{rms} = \sqrt{2} \cdot I_1 \sqrt{(1 + \sum D_n^2)} \quad \text{--- (4)}$$

만일 첨두계수가 $\sqrt{2}$ 보다 큰 경우, 실효치 이하에서 차단기는 오동작을 할 수 있고, $\sqrt{2}$ 보다 작은 경우, 실효치 이상이 되어 차단기 과열의 위험이 발생할 수 있다. 따라서 전자식의 경우 고조파에 대한 필터(Filter)를 적절히 설계되어야 하며, 연산 처리속도 및 신호 샘플링을 정밀도를 높여야 하고, 사용자는 계통내의 부하 실효치에 맞도록 차단기의 설정값을 조정하여야만 한다.

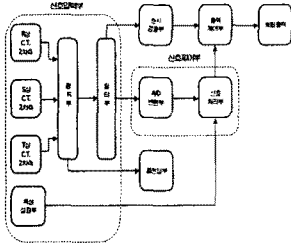


그림 (2)

2.2 차단기의 고조파 관련 규격

저압 차단기에 해당하는 규격으로 저압기기 공통 규격인 IEC 60947-1 제품군 규격(Product family)과 IEC 60947-2 제품규격(Product standard)의 부속서, 고조파 16 A이하 입력전류에 대한 고조파 전류의 제한 규격인 IEC 61000-3-2 Limits for harmonic current emissions, equipment input current ≤ 16 A per phase, IEC 61000-3-4 Limits for harmonic current in low-voltage power supply systems for equipment with rated current greater than 16 A 및 참조규격으로 고조파의 발생원, 시스템 응답특성, 고조파 영향, 고조파 제어 및 전력보상 등에 대한 권고 사항은 IEEE Std. 519(Recommended practices and requirements for harmonic control in electrical power system)가 있다.

2.3 고조파 적용규격 및 시험범위

2.3.1 IEC 60947-2 Annex F

(Low-voltage switchgear and controlgear- Part 2 Circuit-breakers)

전자식 과전류 보호장치를 갖는 차단기에 적용하며, 규격의 과전류 보호기능이 고조파 환경에서 만족한 성능을 수행하는지를 시험을 통하여 검증한다. 부속서에는 전자파장애 내성을 위한 시험규격 항목 내성기준과 환경기준으로 분류되어 있고, 계통내에서 차단기의 과전류 보호 장치에 대하여 고조파, 전류강하 및 전류 인터럽트(current interruptions)의 내성기준이 있다. 전류 고조파시험은 Option 1 또는 Option 2로 분류되며, 시험전류 발생장치는 사이리스터, 포화코어, 전원제어장치 및 전원장치로 구성된다. 시험조건은 아래와 같다.

- 1) Option a: 기본파+3차, 5차 고조파
기본파 $72\% \leq 3$ 차 고조파 \leq 기본파 88%
기본파 $45\% \leq 5$ 차 고조파 \leq 기본파 55%
- 2) Option b: 기본파+3차+5차+7차 고조파
3차 고조파) 기본파 60%
5차 고조파) 기본파 14%
7차 고조파) 기본파 7%

시험절차는 차단기의 설정전류의 0.9배 전류에서 트립되지 않아야 하고, 시험시간은 2.0배의 트립시간의 10 배로 한다. 회로의 결선은 삼상 직렬 또는 삼상 병렬로 하며, 시험 후 결과에 대한 판정기준 아래와 같다.

- 1) 판정기준 A: 시험중 차단기는 설정전류의 0.9배에서 트립되지 말아야 하며, 설정전류의 2.0배에서 트립시간은 제조자의 시간전류 특성에 최소치의 0.9배와 최대치의 1.1배 안에 있어야 한다.
- 2) 판정기준 B: 시험중 차단기는 설정전류의 0.9배에서 트립되지 말아야 하며, 시험후 제조자가 제시하는 시간전류 특성표에 따라야 한다.

2.3.2 IEC 61000-3-2

(Limits for harmonic current emissions: equipment input current ≤ 16 A per phase)

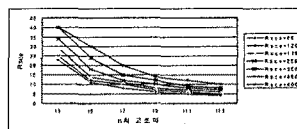
상용전력계통에서 유입되는 고조파전류의 제한에 대하여 규정하며, 각 상의 16 A를 포함한 저압 배전계통에 사용되는 전기·전자기기에 대하여 적용한다. 전기·전자기기에 따라, 시험조건 및 범위가 구별되며 분류는 아래와 같다.

- 1) Class A:
3상 평형기기 및 Class A, B, C를 제외한 모든 기기
기수 $n=3, 5, 7, 9, 11, 13, 15 \leq n \leq 39$ (각 고조파 차수(n)에 최대 허용 고조파 전류)
우수 $n=2, 4, 6, 8 \leq n \leq 40$
- 2) Class B:
휴대용(이동용) 기기로 Class A의 최대 허용 고조파 전류 $\times 1.5$ 미만의 고조파 전류(A)
- 3) Class C:
감광기를 갖는 조명설비로 $n=2, 3, 5, 7, 9, 11 \leq n \leq 39$ (각 고조파 차수에 대한 입력 전류의 %전류)
- 4) Class D: 특수 파형(Special wave shape) 및 600 W 미만 기기로 $n=2, 3, 5, 7, 9, 11, 13 \leq n \leq 39$ (각 고조파 차수(n)에 대한 최대 허용 고조파 전류 및 mA/W)

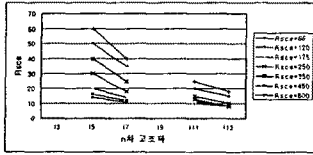
2.3.2 IEC 61000-3-4

(Technical report: Limits of emissions of harmonic current in low-voltage power supply systems: equipment with rated current > 16 A)
공칭전압이 240 V 이하 단상 2, 3권선, 600 V 이하 삼상 3, 4권선, 공칭주파수 50 Hz 또는 60 Hz의 배전계통의 저압 교류에 접속되며, 정격입력 전류가 16 A를 초과하는 전기·전자기기에 대하여 적용하며, 배전계통내 결선방식에 따른 R_{sc} (단락회로비)에 대하여 규정하며, R_{sc} (단락회로비)는 계통에 따른 설비의 특성값으로 단상설비는 $R_{ser} = (U^2/Z)/(3U_{상}I_{상})$, 각 상의 설비는 $R_{ser} = (U^2/Z)/(2U_{상}I_{상})$, 삼상설비는 $R_{ser} = (U^2/Z)/(\sqrt{3}U_{상}I_{상})$ 로 표현하며, 시험절차 및 시험조건 아래와 같다.

- 1) Stage 1: 간이 결선 절차
 R_{sc} (단락회로비)이 33이상 제공되는 계통에서, $n=3, 5, 7, \dots, 31, \geq 33$ 에 대응하는 고조파 전류비(%)
- 2) Stage 2: 설비자료 및 전력계통을 근간으로 하는 결선 절차로 Stage 1이 적용되지 않는 설비로 R_{sc} (단락회로비)이 33이상인 계통.
(1) 단상, 상간, 불평형 삼상: $n=3, 5, 7, 9, 11, 13$ 에 대응되는 고조파 전류비(%)



- (2) 평형 삼상: n=3, 5, 7, 11, 13에 대응되는 고조파 전류비(%)



- 3) Stage 3: 사용자가 제시하는 전력을 근간으로 하는 결선 절차로 사용자 설비의 유효전력을 바탕으로 75 A 초과 또는 Stage 1과 Stage 2가 적용되지 않는 곳에 적용하며, 해당 지역 전력 공급의 요구 조건에 따른다.

2.4 전류 고조파 시험설비의 사양

2.4.1 전류고조파 발생장치

전류고조파 발생기는 규격에서 요구되는 시험조건에 따라, 시험전압(U)은 피시험품의 정격전압을 인가하고, 아래의 요구조건을 따른다.

- 1) 시험전압(U)은 정격전압이고, 이러한 경우 전압 범위는, 시험전압(U)이 단상 또는 삼상인 경우 230 V(상간) 또는 400 V(선간전압)를 인가하여야 하며, 전압은 $\pm 2.0\%$ 이내로 유지하여야 하고, 주파수는 $\pm 0.5\%$ 이내일 것.
- 2) 삼상인 경우 위상각은 기본과 각 상이 $120^\circ \pm 1.5^\circ$ 일 것.
- 3) 시험전압(U)에 대한 고조파 비율은 피시험품 정상 사용과 같이 결선하여 아래값을 초과하지 말 것.
제3 고조파: 0.9%, 제5 고조파: 0.4%, 제7 고조파: 0.3%, 제9 고조파: 0.2%, 우수 고조파 제2~10: 0.2%, 기수 고조파 제11~40: 0.1%
- 4) 시험전압(U)의 침투치는 실효치의 1.40~1.42배 이내이고 위상 영점 후에 $87^\circ \sim 93^\circ$ 이내일 것. 단, Class A 또는 Class B의 시험에는 적용하지 않는다.
- 5) 전류감지부와 선로 임피던스에서의 시험전압(U) 강하는 $0.5 V_{peak}$ 를 초과하지 말 것.
- 6) 만일 요구된다면, 설비 전력은 피시험품의 시험전류와 시험전압을 사용하여 측정할 것.

2.4.2 전류고조파 측정장치

측정장비의 공통 요구사항은 파형분석기 형식으로 사용되는 것은, 주파수-대역 방식으로 선택 증폭, Heterodyne 수신기, 스펙트럼 분석기로부터 변환된 주파수와 시간-대역 방식으로 디지털 필터 또는 불연속 푸리에 변환(DFT: Discrete-fourier transform)을 사용하여 측정한다. 측정장치는 표시형 또는 기록형이 있다.

- 1) 측정기기의 총오차는 고조파 성분의 안정화 상태에서 시험설비의 정격전류의 0.2% 또는 허용기준의 5%를 초과하지 말 것.
- 2) 측정장치의 입력 임피던스의 전압강하는 $0.15 V_{peak}$ 를 초과하지 말 것.
- 3) 시험중 제한치를 초과하여 변화된 전류를 측정할 고조파 성분은 시정수 $1.5s \pm 10\%$ 를 갖는 제1차 저역필터(Low-pass filter)를 사용하여 제한한다.

2.5 소용량 고조파 발생장치를 이용한 차단기 시험

2.5.1 시험장치 설치개요

고조파 발생장치는 정격전류 25 A/100 VA이하를 갖는 시험설비를 이용하여, 고조파를 발생하여, 포화코어를 이용한 변류된 전류로 차단기 주회로에 통전하여 시험한다. 이때, 고조파에 대한 측정설비는 전력분석장비를

이용하였다. 시험설비의 Set-up은 사진(1)과 같다.

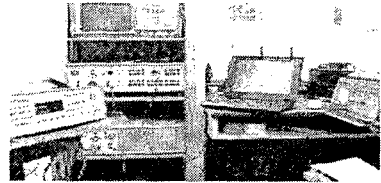


사진 (1)

2.5.2 차단기 시험결과

고조파 발생장치로 단상 결선 및 IEC 60947-2 부속서 F의 Option a)를 적용한 시험파형 및 오실로그래프 그림 (3)와 같다. 사용한 변류비는 200/5 A로 시험결과 고조파 전류의 실효치 95A를 도출하였다.

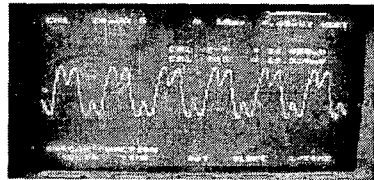


그림 (3)

3. 결 론

본 논문에서는 전력계통에서의 고조파 전류의 개념과 규격에서 요구하는 시험조건 및 시험설비에 대하여 고찰하였다. 차단기와 같이 실효치 전류로 시간-전류 특성곡선을 갖는 기기는 주회로의 인가된 전압과 무관 함으로, 보유설비를 이용한 고조파발생 장치를 구현하였다. 국내에 보유하고 있는 전류 고조파설비 용량은 최대 500 A로 국내 저압기기의 최대 정격전류인 6300 A를 시험하기 위해서는 본 논문에서 제시한 시험방법을 적용하여 검증하는 것이 경제적이고 효율적이다. 차기 논문에서는 대전류 시험용 페라이트형 변류기 제작하여 추가 검증을 하고, 아울러 전류 고조파의 순간(interruption)과 강하(Dip)에 대한 시험결과를 고찰하고자 한다.

[참 고 문 헌]

- (1) Low-voltage circuit breaker and controlgear - Part2: Circuit-breakers, IEC 947-2, Ed. 2.2, pp.235-239, 2001
- (2) Limits for harmonic current emissions: equipment input current ≤ 16 A per phase, IEC 61000-3-2, Ed. 2.0, pp29-33, 2000
- (3) Technical report: Limits of emissions of harmonic current in low-voltage power supply systems: equipment with rated current > 16 A, pp19-25, Ed. 1.0, 1998
- (4) IEEE Recommended practices and requirements for harmonic control in electrical power systems, IEEE Std 519, pp14-26, 1992