

고조파 전류에 의한 배선용 차단기 동작 특성

(Operating Characteristics of Molded Case Circuit Breakers by Harmonic Currents)

전정채* · 유재근 · 이상익

(Jeong-Chay Jeon · Jae-Geun Yoo · Sang-Ick Lee)

요 약

고조파 전류에 의한 배선용 차단기 오동작 및 원인불명 동작이 보고되고 있으나 고조파 전류에 의한 배선용 차단기 동작을 설명할 수 있는 자료가 없는 실정이다. 본 논문에서는 네 가지 형태의 배선용 차단기(열동식, 열동 전자식, 완전 전자식 및 전자식)에 대해 고조파 전류의 영향을 시험하였다. 실험 결과 정격전류 이하의 고조파가 포함된 시험 전류에서는 어떤 종류의 배선용 차단기에서도 오동작은 발생하지 않았다. 그리고 다양한 고조파 부하 조건에서 열동식과 열동 전자식의 경우 제조사의 동작 시간에 별다른 영향을 보이지 않았다. 그러나 완전 전자식 차단기는 과부하 조건에서 고조파 전류가 증가할수록 동작 시간이 점차 둔화되었고 이는 케이블 과열을 야기할 수 있을 것이다. 따라서 고조파 전류가 심한 곳에서는 완전 전자식 배선용 차단기의 사용을 피해야 할 것이다.

Abstract

Malfunction and nuisance tripping of molded case circuit breaker(MCCB) caused by harmonic currents have been reported. But no data is available on the behavior of MCCB under harmonic currents. This paper tested the effects of harmonic currents on four common types of MCCB(thermal, thermal magnetic, magnetic and electronic types). Results of experiment detected no nuisance tripping with any of the breakers tested under test currents, included harmonic current, below rated currents. Additionally it was found that varying harmonic loading conditions did not affect manufacturer specified trip times for thermal only and thermal magnetic circuit breakers. However, under overloaded conditions, trip times of the magnetic only circuit breakers were gradually slowed according to increasing of harmonic currents, and it could cause hazardous overheating of cables. So, the use of magnetic only circuit breakers in the place harmonic currents are serious must be avoided.

Key Words : Malfunction, Nuisance tripping, Molded case circuit breakers, Harmonic currents

1. 서 론

많은 상업용 및 산업용 설비에서 배선용 차단기(Molded Case Circuit Breaker : MCCB)를 포함한 과전류 보호장치들은 과열 및 원인불명 오동작을 경험하고 있어 전기설비 및 인체의 안전을 위협하고

* 주저자 : 한국전기안전공사 전기안전연구원 연구원

Tel : 031-580-3054, Fax : 031-580-3111

E-mail : cameleon@kesco.or.kr

접수일자 : 2006년 1월 19일

1차심사 : 2006년 1월 26일

심사완료 : 2006년 2월 6일

있다. 이러한 보호장치의 오동작은 불특정하게 나타나고 그 원인에 대해 설명하기 곤란한 경우가 많다.

특히 저압계통의 전기 수용가에서 전기설비보호 및 안전사고 예방을 위해 많은 신뢰성이 요구되고 있는 배선용 차단기는 과열, 오동작 및 안전사고가 발생하였을 경우 구체적인 원인을 밝히기는 매우 곤란하다. 따라서 대부분의 원인규명은 단순히 추정에 의해 이루어지고 있다.

최근 전력변환장치 등의 사용으로 인해 고조파가 발생하고 그로 인한 배선용 차단기 오동작이 발생할 우려가 있다는 주장하고 보고되는 사례가 증가하고 있다. 이러한 고조파에 의한 배선용 차단기 오동작에 대한 주장과 관련하여 Brozek는 고조파 전류가 어떻게 열동 전자식(Thermal Magnetic) 차단기의 전류 검출 능력에 영향을 미치는가를 [1]에서 서술하였고 실제로 300[Hz]에서 225[A] frame 배선용 차단기의 트립 포인트는 10~20[%] 감소된다고 주장하였다.

Solidone Corporation사의 Aaron Reynose는 열동 전자식 차단기가 60[Hz]이상의 주파수에서 사용될 때는 주파수에 따라 차단능력이 떨어지므로 특별한 고려를 해야 한다고 주장하였다[2].

그러나 이러한 주장들은 고조파 전류에 의한 배선용 차단기의 동작 특성을 설명할 정확한 실험적 데이터가 부족하다.

따라서 본 논문에서는 고조파가 배선용 차단기에 미치는 영향을 규명하기 위해 먼저 배선용 차단기가 사용되고 있는 장소의 고조파를 측정 및 분석하였고 국내 · 외 고조파 관련 배선용 차단기 시험규격을 조사하였다. 이러한 조사 결과를 바탕으로 국내에서 생산 및 사용되고 있는 열동식(Thermal Type), 열동 전자식(Thermal Magnetic Type), 완전 전자식(O.D.P Type) 및 전자식(Electronic Type) 배선용 차단기에 대해 고조파를 포함한 시험 전류(정격전류의 100[%] 및 200[%])를 통전시켜 동작 특성을 분석하였다.

2. 전류 고조파 실태 분석

본 연구에서 배선용 차단기가 사용되고 있는 장

소에서 고조파를 사무용 빌딩과 공장설비로 구분하여 측정 및 분석하였다. 각기 서로 다른 사무용 빌딩 25개소 공장설비 15개소의 분전반에서 측정하였다.

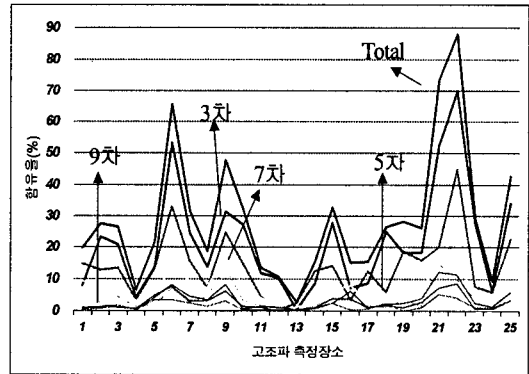


그림 1. 사무용 빌딩의 전류 고조파 함유율
Fig. 1. Current harmonic THD at office buildings

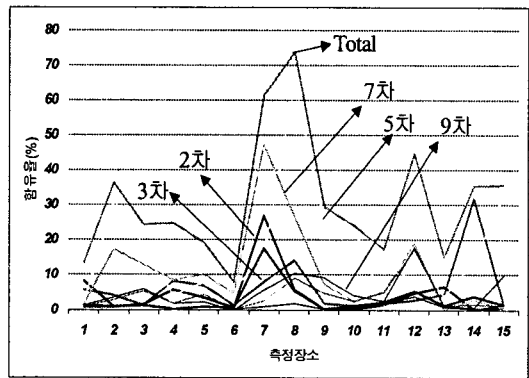


그림 2. 공장설비에서의 차수별 전류 고조파 함유율
Fig. 2. Current harmonic THD at Industrial Plants

그림 2는 공장설비 15개소의 전류 THD를 보여주고 있다. 전류 THD가 20[%]이상을 나타내는 수용가는 10개소로 조사되었고 30[%]이상은 5개소로 전체 측정 수용가의 33[%]를 차지하는 것으로 나타났다. 그림 2에서 알 수 있듯이 공장 전기설비에서의 전류 고조파 차수별 함유량은 대부분이 5, 7차 고조파가 가장 많이 발생하고 있는 것으로 조사되었다.

그림 1은 사무용 빌딩 25개소의 각 상별 전류 고

고조파 전류에 의한 배선용 차단기 동작 특성

조파 왜형률(Total Harmonic Distortion : THD)을 보여주고 있다. 상전류 THD는 최고 73[%], 최소 2.5[%]정도를 나타내었고 상 전류 THD가 20[%]이상을 나타내는 수용가는 16개소로 조사되어 사무용 빌딩의 64[%]정도가 많은 양의 고조파 전류가 발생되고 있어 전류파형의 왜곡 정도가 높음을 알 수 있다. 사무용 빌딩에서는 그림 1에서와 같이 3차 고조파가 가장 많이 발생하였으며 9차 고조파 이상부터는 3, 5, 7차 고조파에 비해 아주 작은 양이 발생하였다.

3. 배선용 차단기 시험 규격

배선용 차단기의 시험항목 및 기준은 한국 산업규격(Korea Industrial Standards : KS) KSC 8321에 명시되어 있고 과전류에 대한 동작 시간은 표 1과 같다[3]. 그러나 배선용 차단기의 고조파 영향을 시험하기 위한 규격은 아직 까지 구체적으로 정해지지 않았다. 다만 KSC/IEC 60947-2(정격 전압이 1,000[V] 교류 또는 1,500[V] 직류를 초과하지 않는 차단기와 연결될 주요 접속기인 차단기에 적용된다)에서 전자기 호환성(EMC)에 대한 요구 사항과 시험 방법을 다루고 있으며 KSC/IEC 60947-2의 부속서 F에서 전자식 과전류 보호 차단기에 대해 고조파 영향을 시험하기 위한 전류 크기를 표 2에서와 같이 규정하고 있다[4].

표 1. KSC 8321의 과전류의 트립 동작시간
Table 1. Trip times overcurrent in KSC 8321

차단기의 정격 전류 A	동작 시간(분)	
	정격 전류의 200[%] 전류	정격 전류의 125[%] 전류
30이하	2	60
30초과 50이하	4	60
50초과 100이하	6	120
.	.	.
.	.	.

표 2. KSC/IEC 60947-2의 부속서 F의 고조파 전류

Table 2. Harmonic currents in annex F of KSC/IEC 60947-2

구분	옵션 A	옵션 B
실험 전류	<ul style="list-style-type: none"> · 기본파 및 3 고조파 성분으로 구성된 파형 - 기본파 성분의 72[%] ≤3고조파≤기본파 성분의 88[%] - 파고율 : 2.0±0.2 	<ul style="list-style-type: none"> · 기본파, 3고조파, 5고조파, 7고조파 성분으로 구성된 파형 - 각 반-파장 동안 전류 통전 시간 ≤ 주기(Period)의 21[%] - 파고율 ≥ 2.1
	<ul style="list-style-type: none"> · 기본파 및 5 고조파 성분으로 구성된 파형 - 기본파 성분의 45[%] ≤5고조파≤기본파 성분의 55[%] - 파고율 : 1.9±0.2 	<ul style="list-style-type: none"> ※ 옵션 b의 실험 전류는 적어도 기본파 성분에 다음의 고조파 성분을 가지고 있다. - 3 고조파 > 60[%] - 5 고조파 > 14[%] - 7 고조파 > 7[%]

4. 실험 방법

배선용 차단기의 고조파 영향을 평가하기 위한 시험회로는 그림 3과 같이 구성하였다. 기본파와 고조파를 합성시키기 위해 PACFIC사의 5[kVA]급 Programmable AC power source를 사용하였다. 이 장비는 사용자가 임의적으로 파형을 합성시킬 수 있고 고조파의 크기를 조절할 수 있다. 또한 고조파 전류를 흘릴 수 있도록 부하(임피던스)로는 10[Ω] 2[kW] 저항 3개를 병렬로 연결하여 구성하였고 배선용 차단기에 공급되는 정확한 전류의 파형 및 고조파 크기를 분석하기 위해 RPM 1650 전력 분석계를 사용하였다.

본 연구에서 사용된 시료는 국내에서 KS 인증을 받은 5개 제조사에 대해 열동식, 열동 전자식, 완전 전자식 배선용 차단기와 같이 동작 원리별로 각각 3개씩 주문 제작하였고 전자식 배선용 차단기는 국내의 2개 제조사 제품을 각각 3개씩 주문 제작하였다. 배선용 차단기의 정격전류는 15[A]로 시료 모두 동일하며, 동작시간은 배선용 차단기의 형태별 및 제조사별로 상이하다.

배선용 차단기에 공급되는 시험전류는 배선용 차단기 사용장소의 고조파 측정결과와 표 2의 KSC/IEC 60947-2의 부속서 F의 고조파 실험 전류를 참고로 하여 기본파 및 3고조파 또는 5고조파 또는 7고조파 또는 9고조파 성분으로 구성된 파형을 사용하였다. 실험에 사용된 배선용 차단기는 그림 4에서와 같이 수직배치를 하였고 상온·상습에서 시료별로 각각 3회씩 고조파 전류에 따른 동작 특성을 실험하고 기본파 전류에서 동작시간에 대한 고조파 차수 및 함유량별 동작 시간 둔화율을 조사하였다.

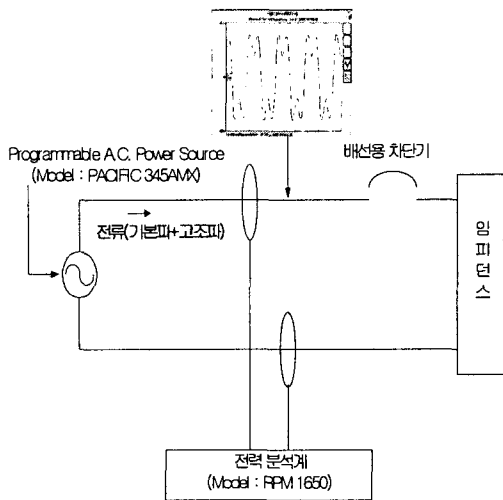


그림 3. 배선용 차단기 시험회로
Fig. 3. Test circuits for MCCB

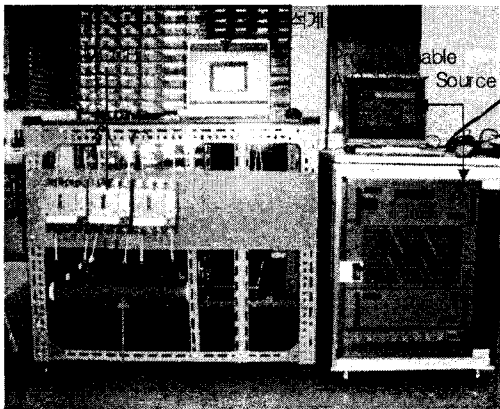


그림 4. 배선용 차단기 동작특성 실험 장면
Fig. 4. Operating characteristics test scene of MCCB

5. 실험결과 및 고찰

먼저 고조파가 포함된 시험전류가 정격전류의 100[%]인 시험에서는 모든 종류의 배선용 차단기에서 오동작이 발생하지 않았다. 이는 수용가에서 고조파가 포함된 부하전류가 정격전류 이하라면 배선용 차단기 동작에 영향을 미치지 않는 것을 말해준다. 따라서 고조파에 의해 배선용 차단기의 오동작이 발생할 가능성은 없는 것으로 나타났다.

다음으로 200[%] 전류(고조파가 포함된 전류가 배선용 차단기 정격전류의 200[%]) 시험을 실시하고 결과를 분석하였다. 실험결과 열동식 및 열동 전자식 배선용 차단기는 고조파 함유율에 따라 동작 특성의 변화가 나타나지 않았다. 이러한 결과는 열동식 및 열동 전자식의 차단기가 Root Mean Square(RMS) 값에 대응하여 동작하므로 당연한 것이라 할 수 있다. 그러나 시험 시료 중 일부 제조사의 배선용 차단기가 KS규격에서 제시한 동작시간(정격전류의 200[%]시험에서 2분 이내 동작)을 만족하지 못하거나 기계적인 결함이 발생하는 등 제품불량이 나타나 제품제조에 있어 더욱 엄격한 관리가 요구되는 것으로 조사되었다.

완전 전자식 배선용 차단기의 경우에는 그림 5에서 보는 바와 같이 기본파 전류만 있는 시험전류에 비해 고조파 차수 및 함유율에 따라 차단기 동작시간이 점차 느려졌다. 7차 고조파의 경우 함유율이 90[%]인 경우 배선용 차단기 동작시간이 기본파만 존재할 때의 차단기 동작시간에 비해 최소 20[%] 정도에서 최대 46[%]까지 느려졌다. 그리고 7차 고조파 다음으로 5차 및 9차 고조파가 비슷한 동작시간 둔화율을 보였고 3차 고조파가 가장 적은 영향을 미쳤다.

본 실험결과에서 알 수 있듯이 고조파 발생이 심한 곳에서는 완전 전자식 배선용 차단기의 사용시 주의가 필요하거나 다른 트립 방식의 차단기 사용이 필요할 것이다. 즉 그림 6에서와 같이 고조파에 의해 배선용 차단기 동작 시간이 지연되고 전선의 허용전류 동작 특성이 감소하여 케이블 과열 및 전기화재 등의 안전사고로 이어질 수 있으므로 완전 전자식 배선용 차단기 사용에 주의가 필요하다.

다른 대책으로는 True RMS 값을 측정할 수 있는

고조파 전류에 의한 배선용 차단기 동작 특성

판넬 메타의 사용이다. 일반적으로 사용되는 판넬 메타는 고조파를 정확히 측정할 수 없으므로 사용자가 고조파로 인한 과전류를 인식하기 어렵다. 특히,

보편적인 아날로그 형태의 전류계는 여러 가지 비선형 기기에 의한 고조파 전압 및 전류의 RMS 값을 정확히 측정하기 곤란하다[5].

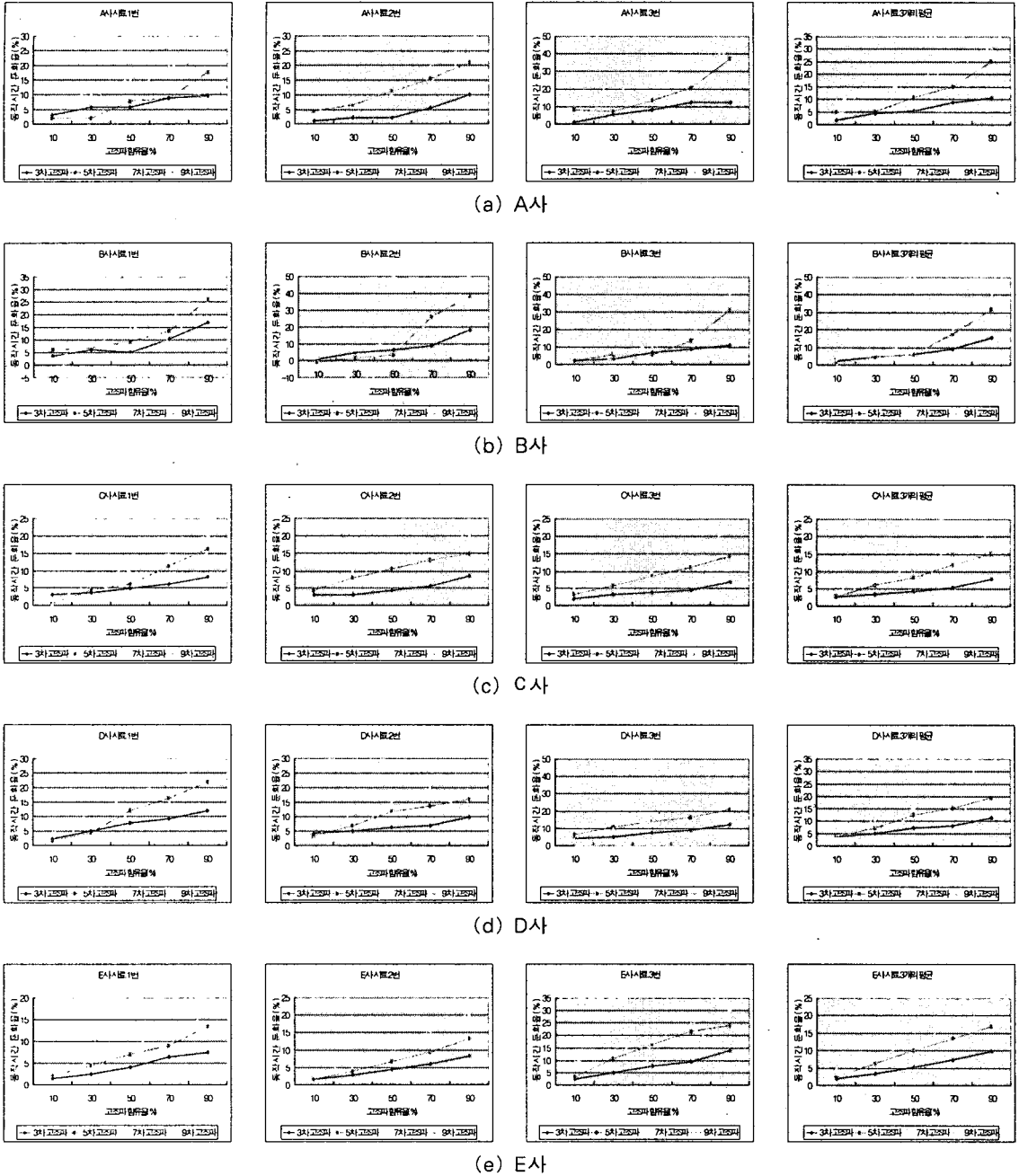


그림 5. 완전 전자식 배선용 차단기 동작 특성
Fig. 5. Operating characteristics of magnetic type MCCB

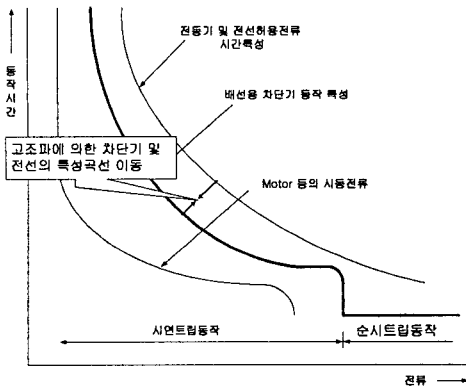


그림 6. 배선용 차단기 및 전선 동작 특성 곡선
Fig. 6. Operating characteristics Curves of MCCB

그림 7은 전자식 차단기에 대해 고조파 차수별 함유량에 따른 동작 시간의 변화를 나타내고 있다. 전자식 배선용 차단기는 전류 검출부를 전자화한 것으로써 제품 내부에 전류 변환기를 통하여 감지된 전류를 전자회로를 통하여 감지하여 이상전류로 판단시 차단기를 트립시키는 방식으로 국내에서는 2개 제조사에서 생산되고 있다.

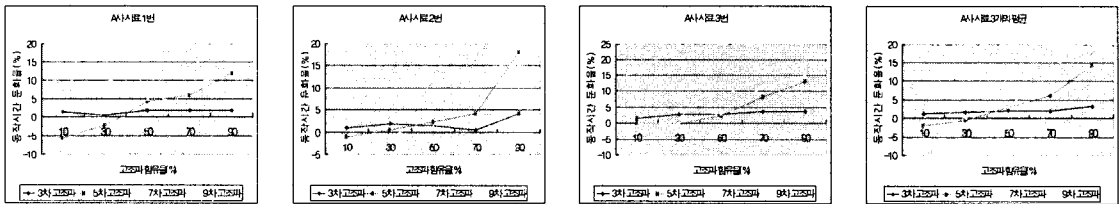
그림 7에서와 같이 A사와 B사의 차단기 중 A사는 고조파 함유량에 따라 동작시간이 약간 빨라지거나 둔화되는 경향이 있었으나 B사의 경우는 고조파 함

유량에 따라 동작 시간의 변화는 거의 나타나지 않았다. 이러한 원인은 제조사별로 이상 전류를 검출하는 정확도가 차이가 나는 것으로 추정할 수 있다.

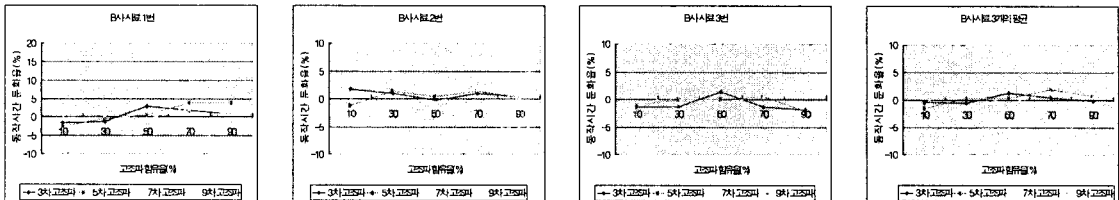
6. 결론

본 연구에서는 고조파 차수와 함유량에 따른 배선용 차단기 종류별 동작 특성을 실험을 통해 분석하였고 다음과 같은 사실을 알 수 있었다.

- 1) 고조파가 포함된 전류가 정격전류이 아닌 배선용 차단기의 오동작은 발생하지 않았다.
- 2) 과부하 조건(200[%] 전류 시험)에서 열동식 및 열동 전자식 배선용 차단기는 고조파에 따른 동작 시간의 변화가 거의 없었다.
- 3) 200[%] 전류 시험에서 완전전자식의 경우는 7차 고조파의 경우 동작시간 둔화가 가장 심해져 고조파 함유율이 90[%]인 경우 최소 20[%]에서 최대 46[%]까지로 나타났다. 그리고 7차 고조파 다음으로 5차 및 9차 고조파가 비슷한 동작시간 둔화율을 보였고 3차 고조파가 가장 적은 영향을 미쳤다.
- 4) 전자식의 경우는 제조사별로 상이한 특성을 나타내었고 이는 전류 검출방식의 차이로 인한 것으로 사료된다.



(a) A사



(b) B사

그림 7. 전자식 배선용 차단기 동작 특성
Fig. 7. Operating characteristics of electronic type MCCB

고조파 전류에 의한 배선용 차단기 동작 특성

5) 마지막으로 일부 배선용 차단기(주로 완전 전자식 배선용 차단기)는 고조파에 의해 소음이 발생하였고 고조파양이 증가할수록 소음도 커졌다.

전력품질 문제를 다루는 기업 및 연구자들은 고조파에 의해 배선용 차단기가 오동작 된다고 주장하고 있다. 그러나 본 연구결과에서 알 수 있듯이 고조파는 배선용 차단기 오동작에 영향을 주지 못하는 것으로 나타났다. 또한 고조파에 의한 과전류로 인해 배선용 차단기가 동작 할 수 있지만 이는 극히 정상적인 동작이므로 오동작 주장은 설득력을 얻지 못할 것이다. 다만, 완전 전자식 배선용 차단기의 경우 고조파 차수와 함유량에 따라 동작 시간이 둔화되는 것을 알 수 있고 이는 케이블 과열 등으로 이어질 수 있으므로 고조파 발생이 심한 장소(고조파 함유율이 50[%] 이상인 곳)에서 완전 전자식 배선용 차단기의 사용은 피하는 것이 좋을 것으로 사료된다.

본 연구는 전력산업기반기금 전력산업연구개발사업의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

References

- [1] J. P. Brozek, "The Effects of Harmonics on Overcurrent Protection Devices," Proc. 1990 IAS, 1990, pp. 1965-1967.
- [2] Aaron Reynose of Solidone Corporation "Use of electronics for over-current protection" August 26, 2003.
- [3] KSC 8321 : 배선용 차단기(2002).
- [4] KSC/IEC 60947-2 : 저전압 개폐 장치 및 제어장치- 제2부 : 차단기.
 - 부속서 F(규정) : 전자식 과전류 보호 차단기에 대한 추가 요구사항.
 - 부속서 J(참고) : 전자기 호환성(EMC)-차단기에 대한 요구사항 및 실험방법.
- [5] IEEE Std 141-1993, "IEEE Recommended Practice for Electric Power Distribution for Industrial Plants".

◆ 저자소개 ◆

전정채 (全正采)

1971년 6월 8일생. 1997년 원광대학교 전기공학과 졸업. 1999년 원광대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 한국전기안전공사 전기안전연구원 연구원.

유재근 (俞在根)

1965년 12월 5일생. 1990년 건국대학교 전기공학과 졸업. 1992년 건국대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1992~1996년 대우전자 연구소 근무. 현재 건국대학교 대학원 박사과정 수료. 현재 한국전기안전공사 전기안전연구원 책임연구원.

이상익 (李尙益)

1968년 12월 9일생. 1994년 호서대학교 전기공학과 졸업. 1996년 호서대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 건국대학교 대학원 박사과정 수료. 현재 한국전기안전공사 전기안전연구원 선임연구원.