

고조파에 의한 배선용 차단기의 영향 해설

유재근 · 이상익 · 전정채 <한국전기안전공사>

1 서론

저압계통의 수용가에서 배선용 차단기는 전기안전 측면에 있어 많은 신뢰성이 요구되는 장비이지만, 배선용 차단기의 과열, 오동작 및 관련 안전사고로 피해를 입은 수용가에서는 정확한 원인의 진단을 요구하고 있다.

이에 따라 차단기 동작특성 분석, 서지에 의한 오동작 특성 관련 연구가 일부 수행되었으나[1,2], 수용가에서 발생하는 배선용 차단기 오동작에 대한 주요 원인 및 피해현황 등에 대한 조사와 실험을 통한 영향분석이 체계적으로 이루어지지 못하고 있는 실정이다. 따라서 전기안전관리자가 체감하고 있는 배선용 차단기 오동작 현황에 대해 조사하고, 배선용 차단기의 종류 및 동작원리와 고조파가 배선용 차단기에 미치는 영향에 대해 실험을 통해 분석하였다.

1 장애 실태 조사

장애실태 조사의 목적은 실제 전기안전관리자가 체감하고 있는 배선용 차단기의 오동작에 대한 구체적인 사례를 조사하기 위해 2004년에 전기안전관리자가 상주하고 있는 전국 자가용 수용가 중 1,200호를 무작위로 선정하여 실시하였다.

조사방법은 우편에 의한 설문조사를 실시하였으며,

설문조사지는 조사의 배경 및 조사 내용에 대한 간략한 설명과 함께 발송되었다. 또한 설문조사의 신뢰성을 높이기 위해 발송된 설문지 중 일부를 선택하여 직접 전화 연락 후 설문지의 작성 내용에 대해 확인하였다. 주요 조사내용은 배선용 차단기 고조파 장해 경험 여부 및 발생빈도, 추정원인 등에 대해 조사하였다. 설문조사를 실시한 결과, 218개 수용가로부터 회신을 얻어 회수율은 18.2[%]였으며, 구체적인 결과는 다음과 같다. 응답수용가의 86[%](188개소)에서 배선용 차단기의 오동작을 경험했으며, 이중 원인규명을 수행한 수용가는 82[%](153개소)이며, 원인 분석은 전기안전관리자의 추정에 의한 것으로 판단된다.

배선용 차단기의 오동작 주요원인에 대해 복수선택이 가능하도록 질문한 결과 그림 1과 같이 응답수용가 218개소의 29[%]는 노후화가 주요원인이라고 응답하였으며, 원인불명(22[%]), 고조파(20[%]), 제품불량(20[%]), 기타(9[%])의 순서로 나타났다. 특히 제품불량에 의한 배선용 차단기 오동작 발생비율이 2002년 기술표준원에서 실시한 배선용 차단기의 KS 표시제품 시험결과에서 나타난 제품불량 20[%]와 유사한 결과를 나타내어 제품불량이 오동작 요인의 중요한 원인으로 작용하고 있는 것을 알 수 있다. 또한 최근 증가하고 있는 전력전자설비, 전기로 등에 의한 고조파 발생 및 이상전원에 의한 연간 오동

작 발생빈도와 원인불명의 오동작 발생빈도에 대해 분석하였다. 고조파 및 이상전원이 배선용차단기 오동작 발생빈도에 대한 조사한 결과 그림 2와 같이 45개소(56%)는 연 1회 이하로 발생하고 있고 25개소(31%)는 연 2~3회 정도, 나머지 10개소(13%)는 연 5회 이상 발생하는 것으로 나타났다.

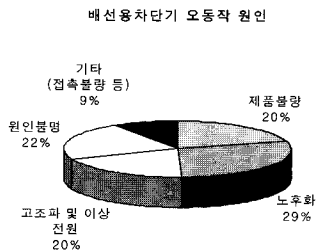


그림 1. 오동작 주요원인

고조파 및 이상전원에 의한 배선용차단기 오동작 발생빈도

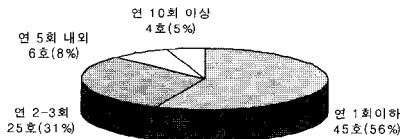


그림 2. 고조파 및 이상전원에 의한 오동작 발생빈도

2. 배선용사단기의 종류

배선용 차단기는 정격전류를 초과하는 과전류가 흐를 때 개폐기구를 동작시키기 위해 설치되어 있으며, Frame의 크기, 극수, 정격 전류, 전압, 과전류 차단 방식, 취부구조, 한류장치의 유무, 용도 등에 따라 다양한 종류가 있다. 이 중에서 과전류 동작 장치의 종류 및 동작원리에 따라 열동식(Thermal Type), 열동 전자식(Thermal Magnetic Type : TM), 완전

전자식(Hydraulic Magnetic Type : HM), 전자식(Electronic Type) 등으로 구분된다(3).

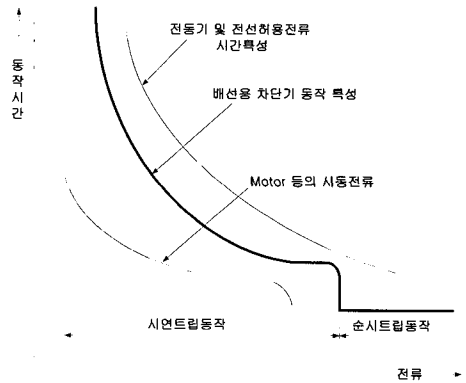


그림 3. 배선용 차단기 동작특성 곡선

배선용 차단기의 과전류 트립 특성은 일반적으로 시연 트립 특성과 순시트립 특성을 가지고 있는 것이 표준이지만 대형 프레임 등에서는 선택차단협조가 필요하므로 단한시 트립특성을 가진 것도 있다.

시연트립특성은 과전류 크기에 반비례하여 동작하는 것을 말하며 순시 트립 특성은 단락전류가 흐를 경우 순시에 회로를 차단하는 것을 말한다. 이러한 순시 트립 특성은 과전류의 크기가 어느 일정치를 넘어서면 순시에 회로를 차단하는 특성으로 전자 개폐기 등의 기타 보호기기와의 동작협조가 용이하게 얻어지는 이점이 있다. 이러한 배선용 차단기의 동작특성을 그림 3에 나타내었다. 단한시 트립특성은 저압배전선로의 선택차단협조를 고려하여 단시간의 동작시간 지연을 갖는 트립특성을 의미한다.

2.1 열동식(Thermal Type)

열동식은 그림 4, 5와 같이 정격전류이상의 과전류가 흐를 경우 바이메탈(Bi-metal)의 선단이 저항열에 의해 휘어지게 되고 Trip Bar를 회전시켜서 개폐기구부를 풀어주게 되어 트립이 된다. 열동식은 크기

기술해설

가 작고 구조가 간단하여, 작은 정격에 저차단 용량형에 적합하다.

2.2 열동 전자식(Thermal Magnetic Type : TM)

열동 전자식(TM)은 열동식 차단기 구조에 순시 동작을 수행하는 전자석장치를 추가한 방식으로써 그

림 6, 7에서와 같이 전류는 Heater로 흐르게 되는데, 규정치 이상의 전류가 흐르면 열이 발생된다. 이때 상부의 바이메탈이 한쪽으로 휘게 되어 결국은 Trip cross bar를 움직이면서 차단기가 트립하게 되며 이러한 경우를 시연 트립 동작이라 한다. 마찬가지로 대전류 인가시에는 바이메탈이 동작하기 전에 고정철심이 가동철심을 흡인하게 된다.

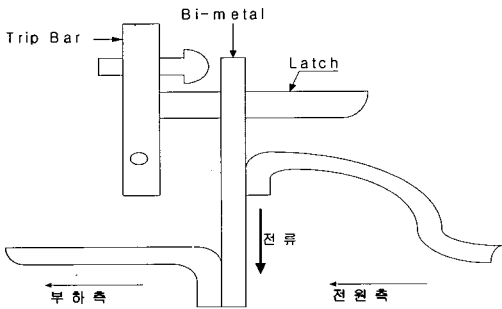


그림 4. 열동식의 구조

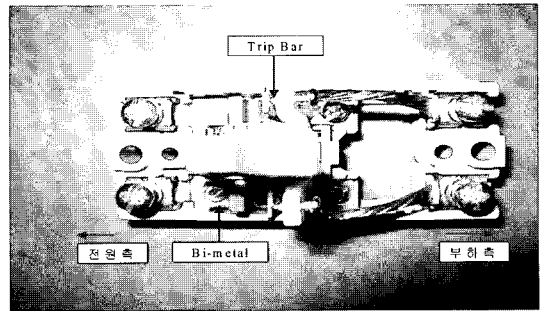


그림 5. 열동식의 실제 사진

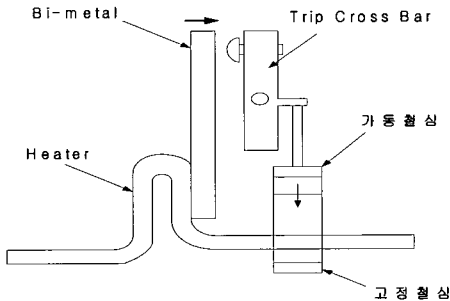


그림 6. 열동 전자식의 구조

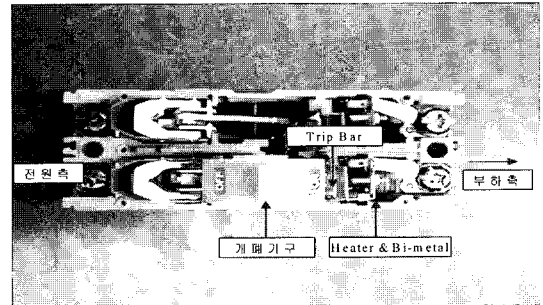


그림 7. 열동 전자식의 실제 사진

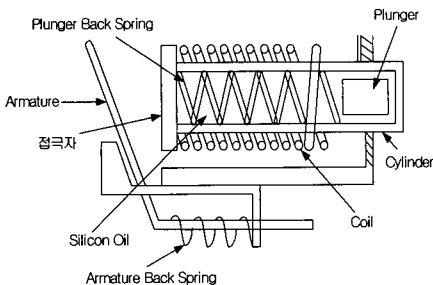


그림 8. 완전 전자식의 구조

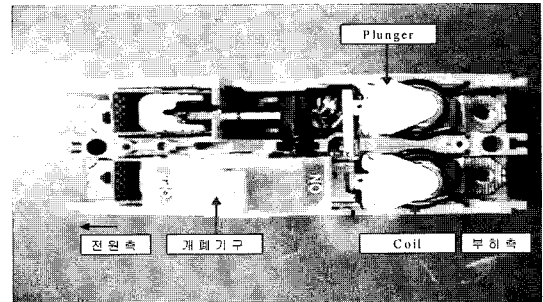


그림 9. 완전 전자식의 실제 사진

2.3 완전 전자식(Hydraulic Magnetic Type : HM)

완전 전자식은 그림 8, 9와 같이 전자석의 원리에 의해 동작하게 된다. 동작원리를 보면 그림의 Coil 부분을 통해 전류가 흐르는데, 만약 기준치 이상의 전류가 흐르게 되면 전자석의 원리에 의해 자속이 생성되어 Plunger가 이동하고 상부에 있는 Armature를 흡인하게 된다. 이러한 동작으로 Trip cross bar를 움직이게 하여 차단기를 트립하게 된다. 이 경우는 시연 트립이라고 하며 일반적인 과전류가 인가시 동작하는 원리이다.

2.4 전자식(Electronic Type)

전자식은 그림 10, 11과 같이 전류 검출부를 전자화한 것으로서 제품 내부 CT(Current Transformer)를 통하여 감지된 전류를 전자회로를 통해 Trip crossbar를 동작시켜 차단기가 트립된다.

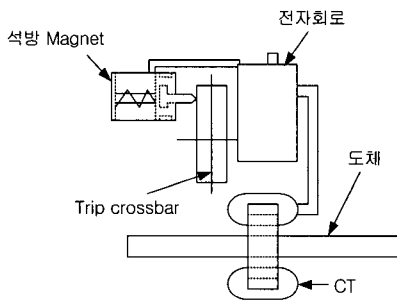


그림 10. 전자식의 구조

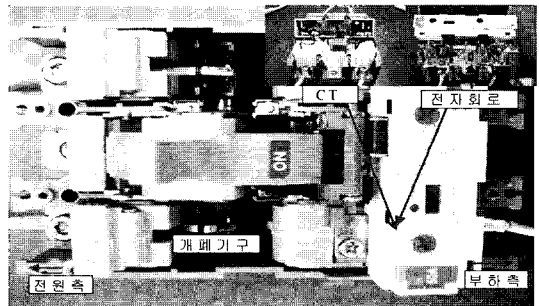


그림 11. 전자식의 실제 사진

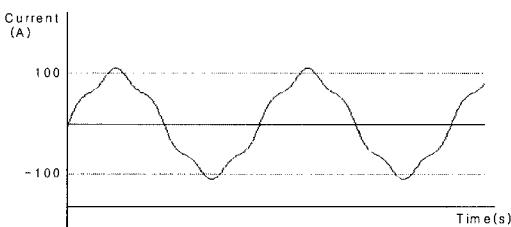


그림 12. 10(%)의 5고조파가 포함된 전류파형

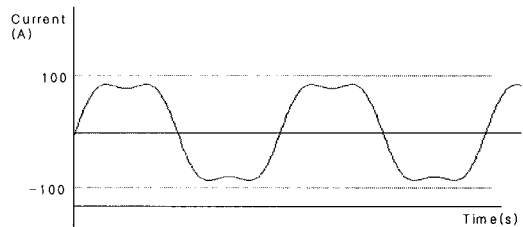


그림 13. 20(%)의 3고조파가 포함된 전류파형

가 발생하고 이는 계통의 전류를 왜곡시키게 된다. 이에 따라 과전류 보호를 위해 사용되는 피크치 검출 방식의 과전류 보호 장치들에 있어 과보호(Overprotection) 및 부족보호(Underprotection) 현상이 발생한다.

과보호 현상은 기본파에 고조파가 포함될 경우, 정상상태시 실제 RMS값보다 계산된 RMS 값이 클 경우 발생된다. 예를 들어 그림 12는 기본파에 5차 고조파 전류가 10[%] 정도 함유되어 있는 파형을 나타내고 있다. 여기서 true rms 전류는 71.1[A]이다. 그러나 110[A]의 피크치에 기초하여 계산된 RMS 값은 $110/1.414$ 또는 77.8[A]가 된다. 피크 검출 장치를 72[A]로 세팅했을 경우, 이는 원인불명(Nuisance Trip) 동작 및 과보호동작을 하게 된다. 역으로 부족보호는 계산된 RMS 값이 실제 RMS 값보다 작은 경우 발생한다. 그림 13은 20[%]의 3차 고조파가 함유된 파형으로, True RMS 값은 71.1[A]이지만 피크치 85[A]에 기초하여 계산된 RMS 값은 $85/1.414$, 즉 60.1[A]가 된다.

그러나 현재 전류의 피크치를 검출하여 동작하는 과전류 보호 장치는 국내에서 거의 사용되지 않고 있어 위의 주장들은 타당성이 떨어진다고 볼 수 있다. 이러한 피크치 검출 및 동작을 제외한 다른 주장들은 다음과 같이 몇몇의 예를 들 수 있다. Brozek는 고조파 전류가 어떻게 열동 전자식(Thermal magnetic) 차단기의 전류 검출 능력에 영향을 미치는가에 대해서 서술하였다(1). 몇몇 차단기의 순간적인 메카니즘은 기본파 이상의 주파수에 대한 손실에 기인한 추가적인 열로 사라지게 하는 솔레노이드 방식으로 이러한 열은 thermal 디바이스의 온도를 상승시켜 트립 포인트를 감소시킨다. 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 주

파수에 따라 차단능력이 떨어지므로 특별한 고려를 해야 한다고 주장하였다(2). 또한 미국 육군 건설기술연구소(Army Construction Engineering Research Lab.)의 고조파 부하에서의 차단기 실험을 실시한 연구보고서(1995년)에서 전자식(magnetic) 차단기가 고조파로 인해 과열 및 동작 실패를 경험할 수 있다고 주장하였다(5).

그러나 이러한 주장들은 고조파 전류에 의한 배선용 차단기의 동작 특성을 설명할 정확한 실험적 데이터가 부족하다. 따라서 고조파가 배선용 차단기에 미치는 영향을 규명하기 위해 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(Hydraulic Magnetic Type) 및 전자식(Electronic Type) 배선용 차단기에 대해 고조파를 포함한 시험 전류(정격전류의 100[%] 및 200[%])를 통전시켜 동작 특성을 분석하였다.

3.1 실험방법

배선용 차단기의 시험항목 및 기준은 한국 산업규격(Korea Industrial Standards : KS) KSC 8321에 명시되어 있으나, 고조파 영향을 시험하기 위한 규격은 아직까지 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 시험방법을 다루고 있으며 KSC/IEC 60947-2의 부속서 F에서 전자식 과전류 보호 차단기에 대해 고조파 영향을 시험하기 위한 전류 크기를 규정하고 있다(6).

배선용 차단기의 고조파 영향을 평가하기 위한 시험회로는 그림 14와 같이 구성하였다. 기본파와 고조파를 합성시키기 위해 PACIFIC사의 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 10[Ω] 2[kW] 저항 3개를 병렬로 연결하여 부하를 구성하였고 배선용 차단기에 공급되는 정확한 전류의 파형 및 고조파 크기를 분석하기 위해 RPM 1650 전력 분석계를 사용하였다.

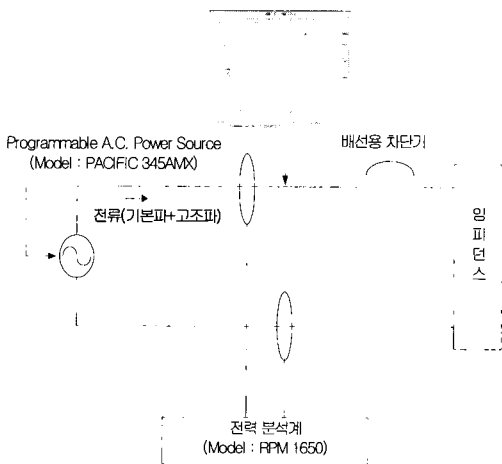


그림 14. 배선용 차단기 시험회로

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 KSC/IEC 60947-2의 부속서 F의 고조파 실험 전류를 참고하여 기본파 및 3고조파 또는 5고조파 또는 7고조파 또는 9고조파 성분으로 구성된 파형을 사용하였다. 실험에 사용된 배선용 차단기는 수직배치를 하였고 상온·상습에서 시료별로 각각 3회씩 고조파 전류에

따른 동작 특성을 실험하고 기본파 전류에서 동작시간에 대한 고조파 차수 및 함유량별 동작 시간 변화율을 조사하였다.

3.2 실험결과

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 동작특성의 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 15와 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 다음으로는 5차 및 9차 고조파가 비슷한 동작시간 둔화율을 보였고 3차 고조파가 가장 적은 영향을 미쳤다.

기술해설

실험결과에서 알 수 있듯이 고조파 발생이 심한 곳에서는 완전 전자식 배선용 차단기의 사용시 주의가 필요하거나 다른 트립 방식의 차단기 사용이 필요할 것이다. 즉 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 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.

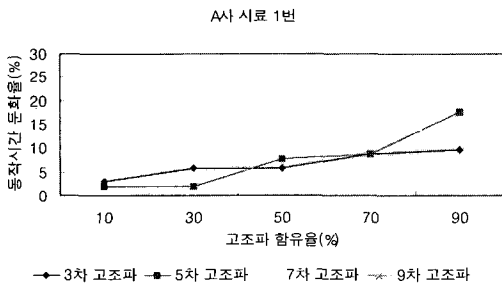


그림 15. 완전 전자식의 동작 특성

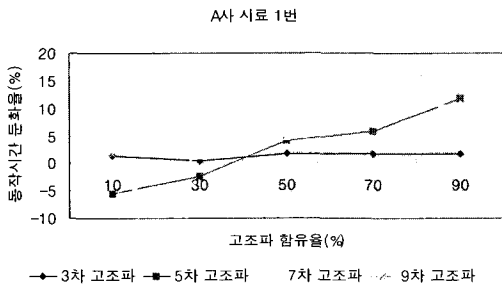


그림 16. 전자식의 동작 특성

그림 16은 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.

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

1) 고조파가 포함된 전류가 정격전류이하인 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 다음으로는 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.

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

일부 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 것

이다. 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 판단된다.

본 연구는 전력산업기반기금 전력산업연구개발사업의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- [1] J. P. Brozek, "The Effects of Harmonics on Overcurrent Protection Devices", Proc. 1990 IAS, pp. 1965~1967, 1990.
- [2] Aaron Reynose of Solidone Corporation "Use of electronics for over-current protection" August 26, 2003.
- [3] www.lsis.biz, 배선용 차단기 기술자료.
- [4] Indrajit Purkayastha and Paul, J. Savoie, "RMS Digital Trips Offer Increased Accuracy and Reliability Advances in Low-Voltage Circuit Breaker Trip Technology", IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. 26, No. 1, pp. 160-166, Jan. 1990.
- [5] Estrada, T., Briggs, S. J. and Khosal, N. "Test of circuit breakers under harmonic loading Conditions" Final report, Nov. 01, 1995, Army Construction Engineering Research Lab., Champaign, IL(United States).
- [6] 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.

◇ 저 자 소 개 ◇



유재근(兪在根)

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.



전정채(全正采)

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