

고조파 부하에서의 30mA 누전차단기 동작특성

전정채, 이상익, 유재근
 한국전기안전공사 부설 전기안전연구원
 e-mail:cameleon@kesco.or.kr

Operating Characteristics of 30mA Residual Current Protective Device under Harmonic Load

Jeon-Joeng Chay, Sang-Ick Lee and Jae-Geun Yoo
 Korea Electrical Safety Corporation, Electrical Safety Research Institute

요 약

본 논문에서는 누전차단기에 대한 고조파 영향을 규명하기 위해 고조파 합성장치를 이용하여 누전차단기 동작 특성을 시험하였다. 시험결과 3차 고조파가 기본파에 합성되었을 때 기본파보다 작은 값의 누설전류에서 누전차단기가 동작되어 오동작 될 수 있는 가능성이 있었고 기본파에 더해진 고조파 차수가 증가할수록 누전차단기 동작전류는 증가하였다. 따라서 사무용 빌딩 등과 같이 3차 고조파가 존재하는 장소에서는 누전차단기가 오동작 될 수 있으므로 사용에 주의가 필요한 것으로 나타났다.

1. 서론

누전차단기(한국산업규격 KSC 4613에 의한 표기 -Residual Current Protective Devices : RCDs-)는 저압 전로에서 감전사고와 지락사고 등을 방지하기 위하여 내선규정 등의 설치규정에 따라 규정된 장소에 설치되어야 한다[1, 2]. 그러나 수용가에서 누전차단기의 잦은 불필요 동작이 발생하고 업무중단 등의 피해로 이어지고 병원, 은행 및 방송·통신시설과 같이 전원의 신뢰성이 중요시 되는 장소에서는 심각한 문제를 야기하게 된다.

최근 전력품질을 다루는 기업을 중심으로 고조파에 의한 누전차단기 불필요 동작에 대한 주장이 제기되고 있다. 고조파에 의한 누전차단기 불필요 동작은 그림 1의 회로에서와 같이 부하에 흐르는 전류 I_L 이 차수별 고조파 (I_1 : 기본파, I_3 : 3차, I_n : n 차)에 의해 식 (1)과 같이 계산되고 고조파와 대지정전용량에 의한 누설전류 I_g 는 식 (2)와 같이 정전용량(C)과 주파수(f_i)에 비례하여 증가됨으로써 누전차단기가 동작하게 된다.

$$I_L = \sqrt{I_1^2 + I_3^2 + \dots + I_n^2} \quad (1)$$

$$I_g = \sqrt{\sum_{i=0}^n (2\pi f_i C V_i)^2} \quad (2)$$

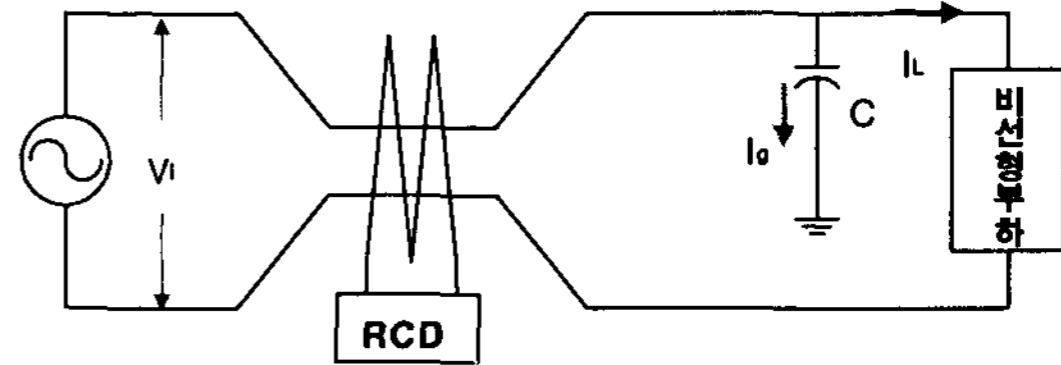


그림 1. 고조파에 의한 누설전류와 누전차단기 동작

그림 1과 같은 고조파 의한 누전차단기 동작에 대한 이론적 주장은 실제로 고조파와 정전용량에 의해 어느 정도 크기의 누설전류가 흘러야 동작되는지 설명되지 않고 있다. 예를 들어 고조파가 존재할 때 30mA 누전차단기(15~30mA에서 동작)가 고조파 차수와 함유율 그리고 대지정전용량에 따른 동작전류의 크기가 설명된 자료 및 연구는 거의 없어 수용가 또는 관련 담당자에게 잘못된 인식을 심어 주게 된다. 즉, 수용가에서 누전차단기 오동작 원인이 불명확한 경우 고조파를 가장 먼저 의심하게 되고 이로 인해 누전차단기 대신 배선용차단기를 사용하거나 직결해서 사용함으로써 전기안전사고가 발생하게 된다.

따라서 본 논문에서는 누전차단기 관련 시험 규격을 조사하고 고조파 발생장치를 이용하여 기본파 전압에 고조파를 합성시켜 정전용량에 의해 동작되기 위한 누설전류의 크기를 시험하였다. 시험결과 고조파에 의한 30mA 누전차단기 동작 누설전류값은 고조파 차수와 양에 따라 다르게 나타나서 이론적 누전차단기 동작 누설전류(15~30mA에서 동작)와는 차이를 보여주었다.

2. 본론

2.1 누전차단기 관련 규격 및 동향

국내 누전차단기 표준규격은 KSC 4613이며 누전차단기에 요구되는 성능 및 시험규정 등을 정의하고 있다. KSC 4613에 의하면 정격 부동작 전류는 정격 감도 전류의 50% 이상(다만, 정격 감도 전류가 10mA 이하인 것은 60%이상)으로 규정되어 있다[1]. 또한 우리나라에서는 누전차단기 관련 국제 규격 IEC 61009-1에 대해 기술적 규격 및 서식을 변경하지 않고 KS 규격으로 제정하여 사용하고 있으며 이와 더불어 누전차단기 관련 국제규격으로는 IEC 61008-1 및 IEC 61543이 있다[3~5].

IEC 61008-1은 누전차단기에 관한 일반 요구사항으로 부속서 H(규정)에 누전차단기의 전자기 적합성(Electromagnetic Compatibility : EMC) 요구 사항의 적합성 확인을 위한 시험 항목 및 추가 시험절차 등에 대해 규정되어 있으며 IEC 61543에 EMC 성능 및 시험 조건이 규정되어 있다. 이중 누전차단기의 고조파 시험규격은 IEC 61543에 현재 검토중인 것으로 조사되었다.

2.2 시험방법

누전차단기의 고조파 영향을 평가하기 위해 IEC 61008-1의 누전차단기 동작특성을 검증하기 위한 회로를 참고로 하여 그림 2와 같이 실험회로를 구성하였다.

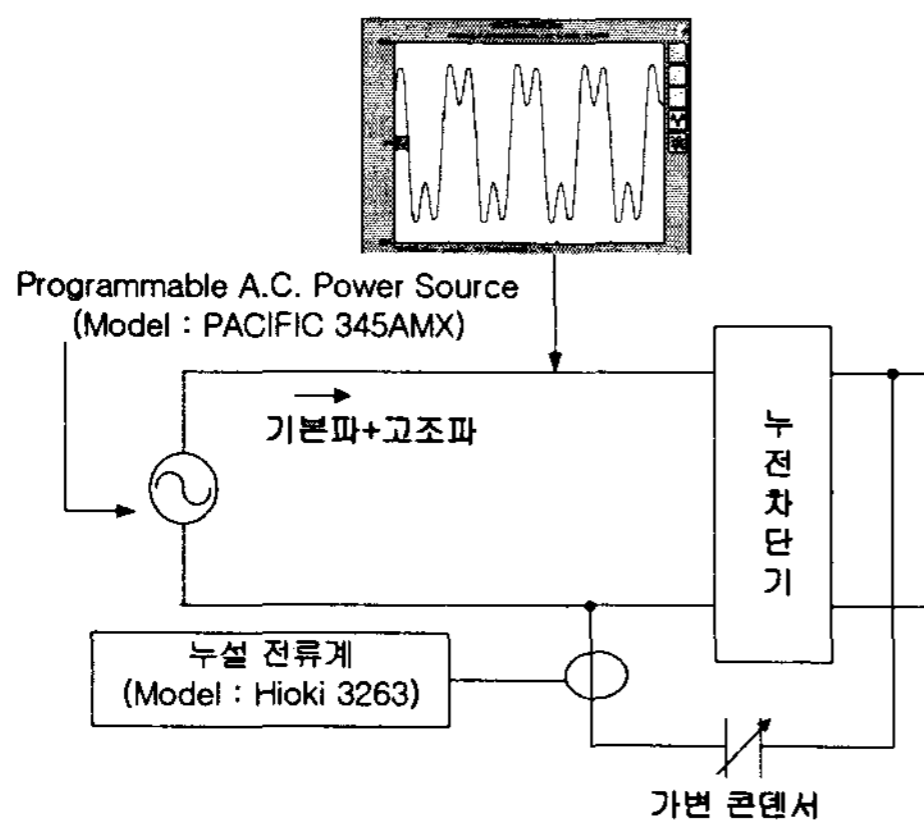


그림 2. 누전차단기 시험회로

기본파에 고조파를 합성시키고 전원의 크기를 달리하기 위해 PACIFIC사의 5kVA급 Programmable AC power source(모델 : 345 AMX)를 사용하였다. 이 장비는 임의적으로 파형을 합성시킬 수 있고 고조파 차수별 함유량을 조절할 수 있다. 본 연구에서 고조파 함유량은 5%에서부터 50%까지 5% 크기 간격으로 점차 증가시켰으며 정전용량은 가변콘덴서(0.5 μF ~10 μF)를 사용하여 0.5 μF 단위로 크기를 조절할 수 있도록 하였다. 시험에 사용된 누전차단기는 30mA 누전차단기로서 6개사 24개(제조사별로 3개씩)를 시험하였고 고조파와 정전용량에 의해 누전차단기가 동작되는 시점의 누설전류는 클램프형 누설 전류계(모델 : Hioki 3263)를 사용하였다.

2.3 결과 및 고찰

먼저 3차 고조파가 기본파에 더해졌을 때 전형적인 특성은 그림 3에서와 같이 기본파에 3차 고조파 15~25% 정도일 때 가장 작은 값의 누설전류에서 누전차단기가 동작하였다. 즉, 3차 고조파가 15~25% 정도 존재할 때 기본파만 존재할 경우(그림 3에서 3차 고조파 함유율이 "0" 일 경우)보다 더 작은 누설 전류값에서 빨리 동작 된다는 것을 알 수 있다. 하지만 3차 고조파가 존재할 경우의 동작전류는 누전차단기 규격인 KSC 4613에서 명시한 부동작 전류 50%를 만족하였다.

비록 3차 고조파에 의한 30mA 누전차단기 부동작 전류는 KS 4613규격을 만족하였지만 일부 누전차단기 (B사 차단기 시료 2번의 경우 3차 고조파 20%인 경우)의 경우에는 3차 고조파 전압이 20%일 때 거의 누전차단기 부동작 전류와 비슷한 값에서 동작하게 됨으로써 충분히 오동작이 야기될 수 있게 된다. 또한 대부분의 누전차단기가 3차 고조파가 기본파에 더해졌을 때는 기본파 전압만 존재한 경우보다 더 작은 누설전류 값에서 동작하므로 사용자 또는 관리자 입장에서는 오동작으로 생각될 가능성이 매우 높다.

기본파에 5차 고조파 전압이 포함된 전압이 공급되었을 그림 4에서와 같이 B사를 제외한 대부분의 제조사의 누전차단기 시료에서 10% 이상부터 누전차단기 정격 감도전류를 초과하여 동작하였고 고조파 함유율이 높아질수록 30mA 누전차단기 동작 전류는 더욱 증가하여 C사의 경우에는 1,000mA 이상의 누설전류에서 동작하기도 하였다. B사의 시료 3개는 차단기 정격감도전류 이내에서 동작하다가 고조파 함유율이 25%이상일 때는 정격감도전류를 조금씩 초과하여 나타났다. 따라서 단순히 누설전류 크기만을 가지고 해석하고 누전차단기 입장에서 보면 5차 고조파 전압에 의한 오동작을 발생하지 않고 오히려 부동

작이 나타난다는 결론에 도달할 수 있다. 하지만 사용자 입장에서 해석해 보면 5차 고조파 전압이 20% 이내이고 사용자가 고조파와 정전용량에 누설전류를 인식하지 못한다면 누전차단기 동작은 오동작으로 인식될 수 있고 그 원인을 밝히기 어려울 것이다.

7차, 9차 등의 고조파에서는 고조파가 증가할 수록 누전차단기가 동작하기 위한 누설전류는 점차 증가하였고 대표적으로 7차 고조파에 대한 누전차단기 동작특성을 그림 5에 나타내었다.

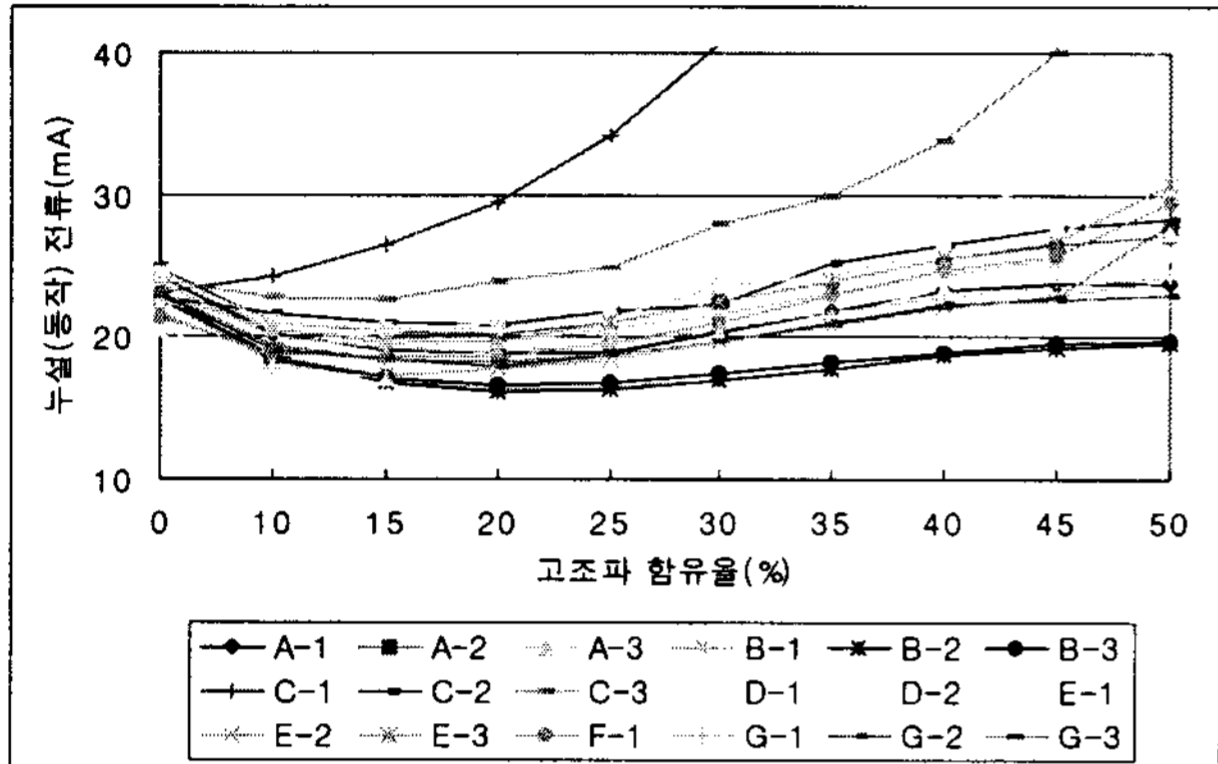


그림 3. 3차 고조파 전압 함유율에 따른 30mA 누전 차단기 동작 특성

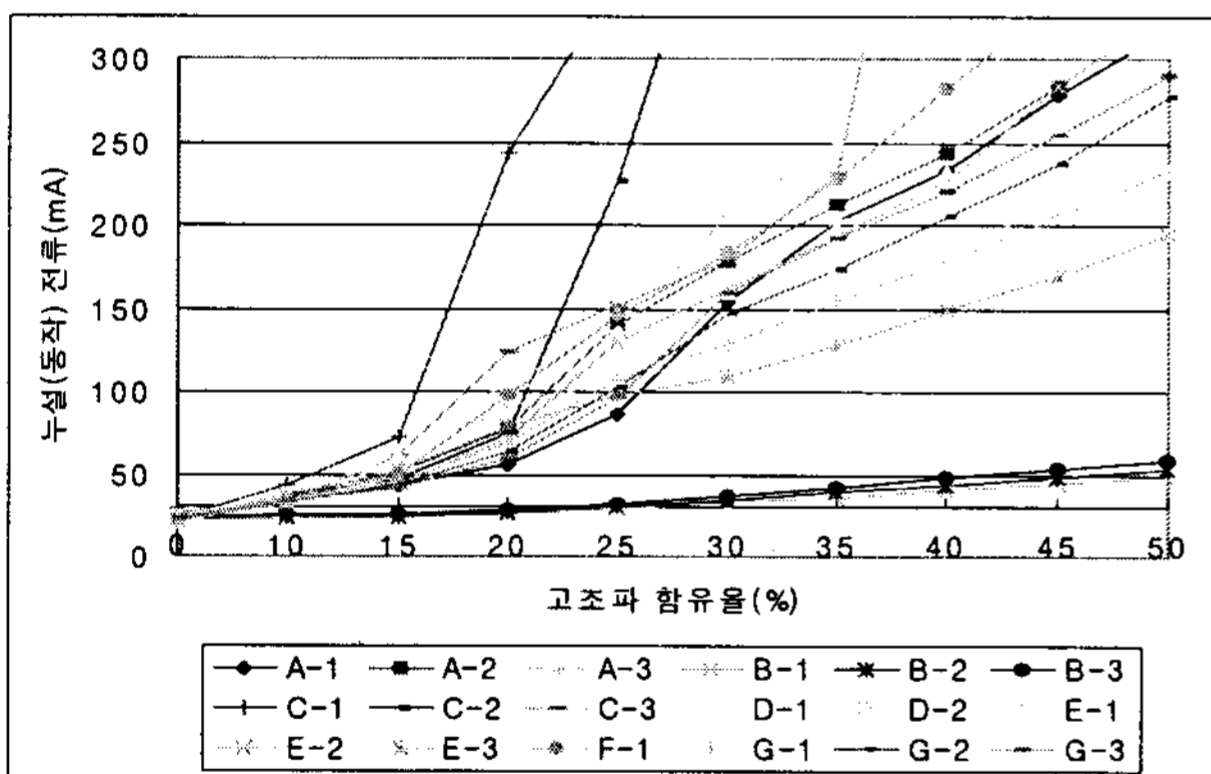


그림 4. 5차 고조파 전압 함유율에 따른 30mA 누전 차단기 동작 특성

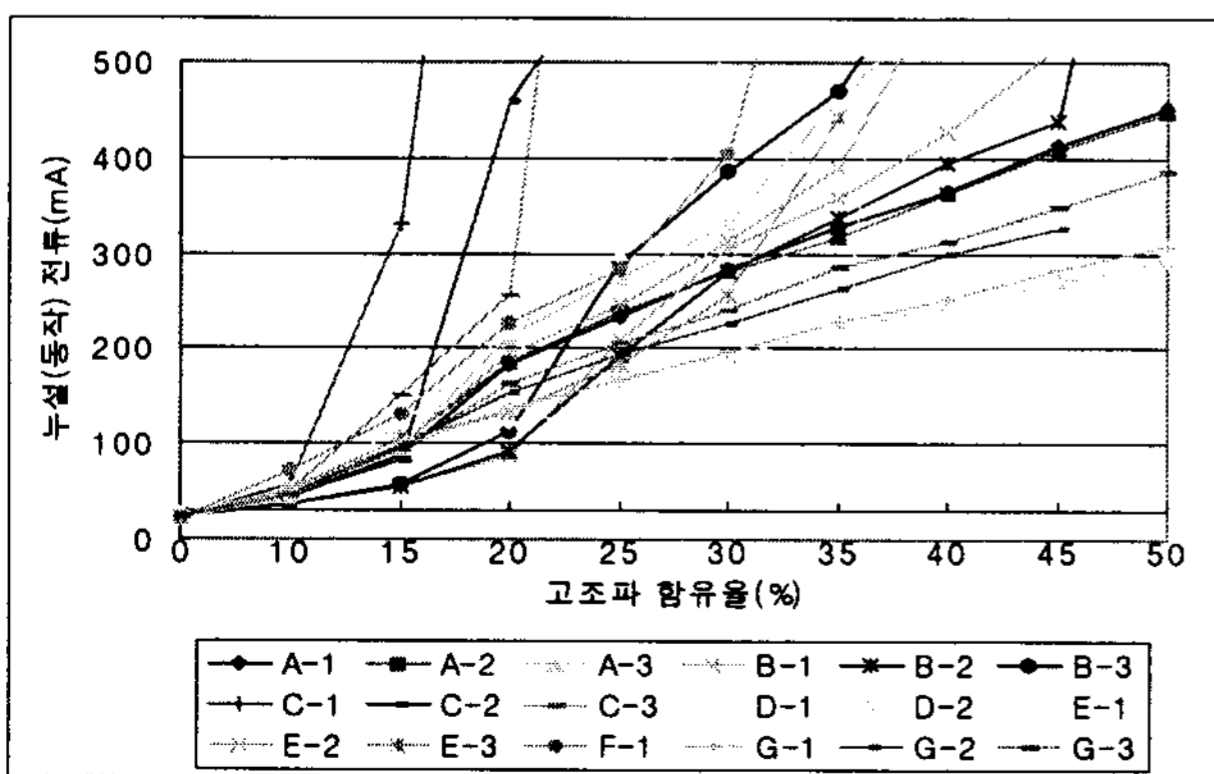


그림 5. 7차 고조파 전압 함유율에 따른 30mA 누전차단기 동작 특성

기본파에 두개 이상의 고조파가 합성되었을 때 누전차단기의 동작 특성을 시험하였고 그림 6과 7에는 대표적으로 3차 및 5차 그리고 5차 및 7차 고조파의 함유율에 따른 누전차단기가 동작되는 누설전류를 보여주고 있다. 그림 7과 8에서 알 수 있듯이 복수 고조파가 합성되었을 때는 누전차단기가 동작하기 위한 누설전류(동작전류)는 고조파 함유율에 따라 증가하였다. 두개 이상의 고조파가 기본파에 합성되었을 경우에는 누전차단기 오동작 가능성은 점점 낮아지고 높은 차수의 고조파가 포함되었을 경우에는 상당한 크기의 누설전류가 흘러야 누전차단기가 동작되는 것으로 나타났다. 즉, 5차 이상의 높은 차수의 고조파가 두 개 이상 포함되었을 경우 정전용량에 의한 누설전류는 고조파가 증가하는 것과 비례하여 누전차단기가 동작되는 누설 전류 값도 증가하게 됨을 알 수 있었으며 높은 고조파 차수가 포함되어 있고 함유율이 높을수록 누전차단기 동작 가능성은 낮아짐을 알 수 있었다.

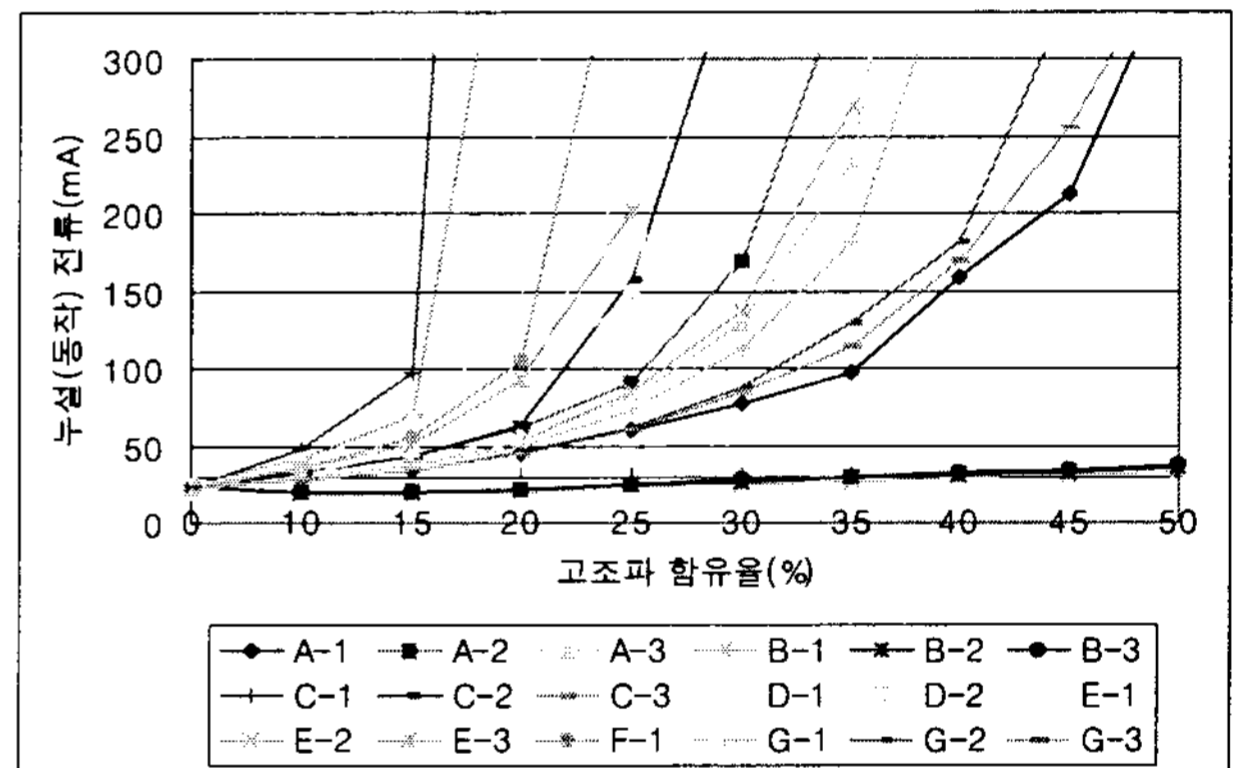


그림 6. 3 및 5차 고조파 전압 함유율에 따른 30mA 누전차단기 동작 특성

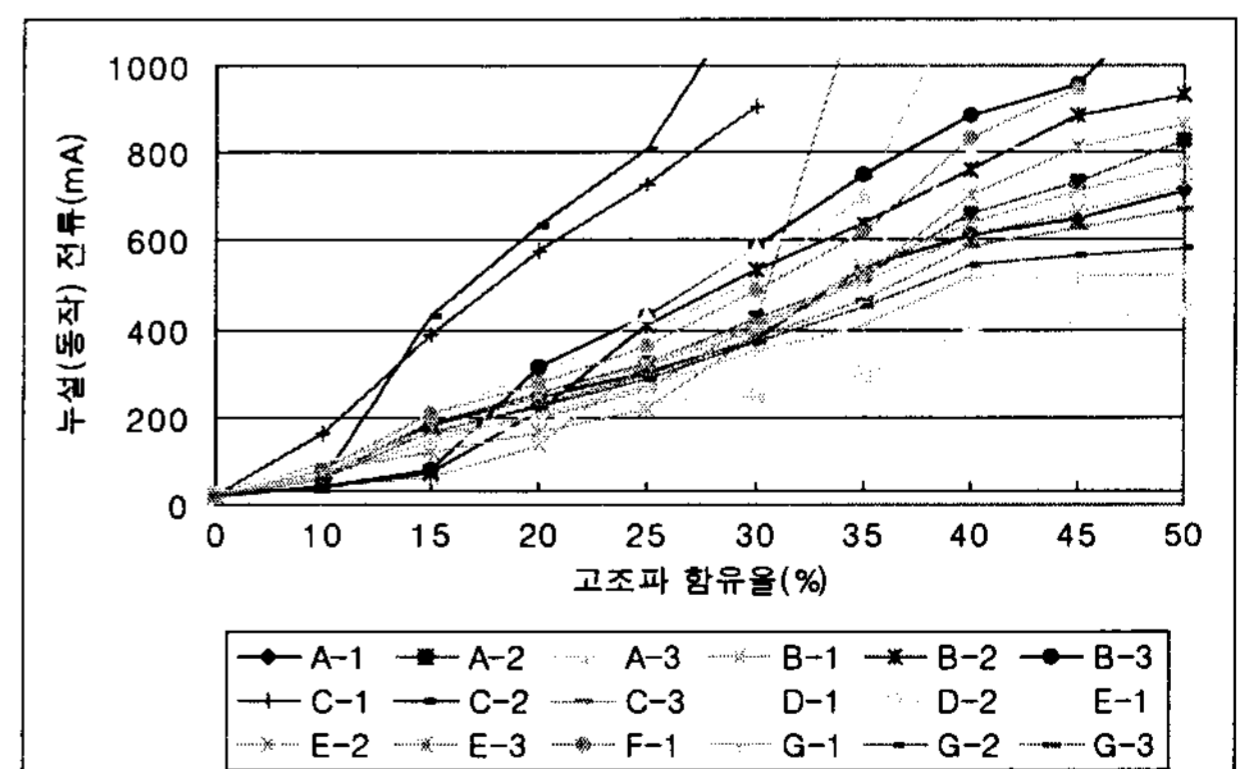


그림 7. 5 및 7차 고조파 전압 함유율에 따른 30mA 누전차단기 동작 특성

3. 결론

본 논문에서는 고조파에 의한 누전차단기 동작특성을 실험을 통해 입증하였다. 기본파에 3차 고조파가 선로에 존재할 때는 기본파만 존재할 때보다 더 작은 누설전류(대지정전용량에 의한 누설전류)에서 누전차단기가 동작되어 오동작 또는 원인불명 동작이 발생할 수 있다. 5차 이상의 고조파 고조파와 두 개 이상의 고조파가 기본파에 합성되었을 경우에는 고조파와 대지정전용량에 의한 누설전류가 상당한 크기로 흘러야 되므로 고조파 차수가 높고 함유량이 높을수록 고조파에 의한 누전차단기 동작은 거의 발생할 가능성이 없는 것으로 나타났다.

대부분의 S.M.P.S를 사용하는 단상 부하는 필연적으로 3차 고조파를 발생시키고 이러한 3차 고조파와 정전용량에 의해 누설전류가 발생함으로써 누전차단기가 동작하게 됨으로써 오동작으로 볼 수 있는 현상이 나타나게 된다. 특히 S.M.P.S 내부의 고주파 노이즈 방출 억제를 필터회로에 설치된 캐패시터(보통 10~100nF)에 의한 정전용량과 선로의 대지정전용량 등에 의한 누설전류를 사용자가 인식하지 못한다면 누전 차단기 동작은 오동작으로 인식될 수 있다.

따라서 누전차단기를 설치하여 사용할 때에는 S.M.P.S를 사용하는 부하기에 의한 누설전류를 고려해야 되고 3차 고조파와 정전용량에 의한 누전 차단기의 잦은 동작을 예방하기 위해서는 누전차단기에 연결된 부하량을 조절할 필요가 있다. 그리고 단상부하를 주로 사용하는 빌딩과 같이 3차 고조파가 주로 발생하는 장소에서는 누전 차단기 불필요 동작을 겪을 수 있으므로 고조파 발생에 대한 주의가 필요하고 누전차단기에는 3차 고조파에 대응할 수 있는 기술에 대한 연구가 필요하다. 또한 S.M.P.S를 사용할 때 발생하는 기기에서 고주파 노이즈를 억제할 필요가 있지만 그로 인한 누설전류로 인해 발생할 수 있는 누전차단기 오동작과 안전사고 등을 종합적으로 고려한 대책이 향후 검토 되어야 할 것이다.

본 연구는 전력산업기반기금 전력산업연구개발사업의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

- [1] KSC 4613 : 누전차단기, pp. 1~22, 2002
- [2] 대한전기협회, “내선규정”, pp. 134~138, 2003
- [3] KSC/IEC 61009-1 : 가정용 및 이와 유사한 설비의 과전류 보호용 누전 차단기-제1부 : 일반 요구사항, pp. 1~100, 2002
- [4] IEC 61008-1 : Residual current operated circuit-breakers without integral overcurrent protection for household and similar uses(RCCBs)-Part 1 : General, pp. 1~255, 2002
- [5] IEC 61543 : Residual current operated protective devices(RCDs) for household and similar uses -Electromagnetic compatibility, pp. 1~19, 1995