

공장전기설비에서의 누전차단기 오동작과 전력품질 분석

이상익, 유재근, 전정채, 전현재, 허혜성*, 최규하*
한국전기안전공사, 건국대학교*

Power Quality Analysis and Failure of Earth Leakage Breakers in Plant

S.I Lee, J.G Yoo, J.C Jeon, H.J Jeon, H.S Heo, G.H Choe
KESCO, Konkuk Univ.

ABSTRACT

This paper presented a actual conditions on a false-tripping of ELB(Earth Leakage Breakers) and an assessment of the harmonics due to non-linear electronic equipment such as personal computers, rectifier, electric furnace and test equipments in plant installations. Actual conditions on a failure of ELB were surveyed and analyzed by making up a question to safety managers of plant installations. Also, power quality measurements such as harmonic currents, voltage and current waveform and current imbalance were made at various plant installations where nuisance tripping of ELB is often occurred. The results of this study can be used in making decisions regarding cause of ELB trip and operating and tripping characteristics test of ELB when subjected to distorted current waveform.

1. 서 론

최근 전력전자 장비들의 사용이 증가하고 있는데 이들 전력 전자 장비들은 SMPS, UPS, 교류전동기, 직류가변속 구동장치 등을 다수 사용하고 있다. 이와 같이 교류를 직류로 변환하여 사용하는 과정에서 발생하는 고조파와 같은 장애요인으로 인하여 전원품질이 저하되고 있다. 이러한 전원품질 저하의 원인이 되는 고조파가 인체의 감전제해와 전기설비 보호를 위하여 반드시 설치하여야 하는 누전차단기(Earth Leakage Breaker : ELB)의 오동작 원인으로 지목되고 있다. 누전차단기는 교류 600V 이하의 저압전로에서 누설 전류로 인한 감전사고와 전기 화재 등을 방지하기 위하여 사용되는 차단기로 그 필요성이 증가하고 있고, 설치의무 장소도 점차 증가하는 추세에 있다.

그러나, 누전차단기는 감전 및 지락사고 예방이라는 중요한 역할을 담당하고 있지만 원인을 알 수 없는 오동작이 빈번히 발생함에 따라 누전차단기 설치규정을 위반하여 배선용차단기(Molded Case Circuit Breakers : MCCB)로 교체하거나 누전차단기 오동작에 대해 무감각해지고 있다. 특히, 전원의 신뢰성이 중요시 되는 장소에서의 누전차단기 오동작은 심각한 문제를 야기하게 된다. 누전차단기의 오동작은 제품불량, 노후화, 서지, 유도전류, 오결선, 고조파 등 다양한 원인에 의해 발생할 수 있다^[1]. 이러한 누전차단기 오동작에 의한 피해가 증가함에 따라 차단기 특성 분석 및 서지에 의한 배선용 및 누전

차단기 오동작 특성 관련 연구가 수행되어 원인분석 및 대책마련을 위한 노력이 이루어지고 있다^[2,3,4]. 그러나 아직까지는 체계적인 오동작 현황 및 원인분석 방법 등에 대한 정립이 이루어지지 않고 있다. 그러므로 누전차단기 오동작의 주요 원인을 분석하고 주요 원인별 오동작 특성 분석을 통해 적절한 대책을 강구하거나 오동작 요인을 제거할 필요가 있다.

또한, 컴퓨터, 전자식 안정기, 전산설비, 팩스 등 다양한 설비 사용이 증가하고 있다. 이러한 용량성 부하들은 고조파를 발생시키게 되고, 누설전류가 흐르게 되어 누전에 의한 누전차단기의 동작이 아닌 누설전류에 의해 누전차단기가 동작하게 하는 문제점이 발생하게 된다. 그러나 대다수 전기설비를 관리하는 안전관리자들이 이러한 인식보다는 누전차단기의 오동작 인식이 많은 실정이다. 따라서 본 논문에서는 안전관리자가 상주하고 있는 공장설비에서 발생하는 누전차단기 오동작 주요원인 및 피해형태에 대하여 실태를 조사하고, 누전차단기 오동작 현상이 자주 발생하는 공장전기설비를 선택하여 전력 품질을 측정 및 분석하고 그 결과를 제시하였다.

2. 본 론

2.1 누전차단기 오동작 요소

누전차단기의 작동 가운데 본래의 목적인 누전에 의한 것을 정상작동이라고 한다면 여러 가지 원인에 의해 동작하는 불필요한 작동을 오동작이라 분류할 수 있다. 누전차단기의 오동작은 제품불량, 노후화, 부적당한 감도전류선정, 서지에 의한 것, 순환전류에 의한 것, 유도에 의한 것, 오결선, 부적당한 접지, 고조파 등 다양한 원인들이 존재할 수 있다.

그러나 누전차단기가 오동작 되었을 때 트립이 재현되지 않거나 고조파의 영향 등으로 누설 전류치 등의 측정이 곤란해질 경우는 정확한 원인분석을 하기 어려워 대부분 추정에 의해 원인을 규명하고 있어 오동작에 대한 정확한 대처방안을 강구하지 못하고 있는 실정이다.

2.2 공장전기설비의 누전차단기 오동작

본 논문에서는 제조를 주 업무로 하는 공장전기설비에서 전기설비를 상주하면서 관리하고 있는 전기안전관리자를 대상으로 누전차단기 오동작 발생현황, 오동작 주요 원인, 오동작 발생시 원인분석 여부, 피해 형태 등을 조사하였다. 조사에서 총 140회의 수용가에서 응답하였고 그 결과를 분석하였다.

공장전기설비에서 누전차단기의 오동작은 응답수용가 140호의 77%(108호)로 대부분의 수용가에서 오동작을 경험하는 것으로 나타났다. 누전차단기 오동작 원인에 대해 복수응답이 가능하도록 하여 조사한 결과 그림 1과 같이 원인불명이라고 응답한 수용가가 26.2%로 가장 많았고, 그다음으로 노후화가 25.8%, 제품불량 20.9%, 고조파 등 이상전원이 18.8%, 기타 8.3% 순으로 나타났다.

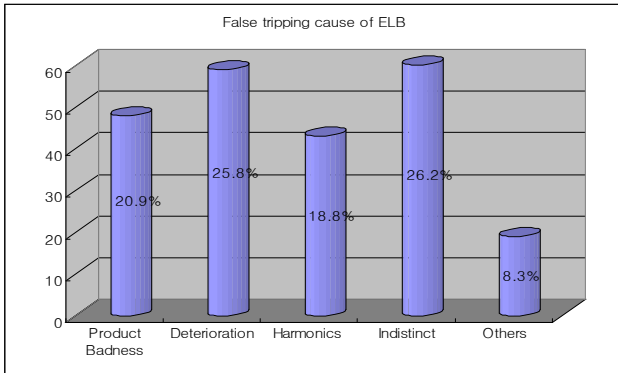


그림 1 누전차단기 오동작 원인
Fig. 1 False-tripping causes of ELB

누전차단기의 오동작의 주요 원인 중 원인불명을 오동작의 주요 원인으로 응답한 수용가의 전기안전관리자 대부분이 원인 규명에 어려움을 겪고 있음을 알 수 있으며, 누전차단기 오동작 원인 중 고조파 등 이상전원은 누설전류가 정상일 경우로 추정하는 가장 많은 이유라 사료된다. 또한 누전차단기의 제품 불량은 2002년 실시한 기술표준원 시험결과 KS 표시제품 가운데 20%이상이 불량으로 판명된 결과와 본 연구에서 조사된 제품 불량 20.9%에서 알 수 있듯이 상당한 비율을 차지하고 있는 것을 알 수 있다.

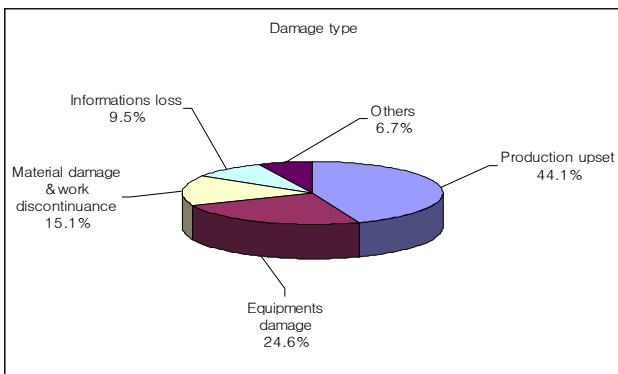


그림 2 누전차단기 오동작시 피해 유형
Fig. 2 Damage types when false-tripping of ELB

누전차단기의 오동작에 의한 2차적 피해유형은 복수응답이 가능하도록 질문한 결과 그림 2와 같이 제품생산차질이 44.1%로 가장 많았고, 그다음으로 기기손상 24.6%, 원료손상 및 조업중단 15.1%, 정보손실 9.5% 순으로 나타났으며 기타 6.7% 정도의 비율을 차지하였다. 특히, 통신 및 전자제품 등의 생산 시설이 공장내부에 있는 경우는 제품 동작 프로그램 다운로드 시 에러 등으로 인하여 많은 경제적 피해를 입을 것으로 예상된다.

2.3 전력품질 측정 및 분석

전기설비 계통의 전력 품질을 측정하고 분석하는 요소로는 과도현상, 새그, 스웰, 부족전압, 과전압, 플리커, 고조파 등으로 분류할 수 있다. 이와 같은 요소 중 계통의 전압과 전류 파형의 왜곡을 표현할 수 있는 대표적인 지표는 식 (1), (2)로 표현할 수 있는 전압 THD와 전류 THD이다. THD는 총 고조파율로서 기본파 성분과 그 외 파형간 모양의 근접도를 나타내는 지표이며 기본파 성분에 대한 퍼센트 비율로 표현한다.

$$VTHD = \frac{\sqrt{V_2^2 + V_3^2 + \dots + V_n^2}}{V_1} \times 100\% \quad (1)$$

$$ITHD = \frac{\sqrt{I_2^2 + I_3^2 + \dots + I_n^2}}{I_1} \times 100\% \quad (2)$$

계통의 파형 왜곡을 표현하는 전압 및 전류 THD에 대해서는 미국, 일본 등의 국가에서 기준을 마련하여 규제하고 있다. 대표적으로 IEEE 519에 의하면 전압 THD의 기준은 5%이하로 규정하고 있다.

전압 및 전류 파형의 왜곡을 표현할 수 있는 또 다른 요소는 식 (3)과 같이 전류 파형의 피크값과 실효 값의 비로 나타내는 crest factor로 이상적인 값은 1.414이다.

$$crest\ factor = \frac{I_{peak}}{I_{RMS}} \quad (3)$$

crest factor 값이 1.414보다 작을 경우 전압과 전류 파형의 최대값이 함몰되는 Flat-topping 현상이 발생하고, 1.414 이상이 되었을 경우는 파형의 최대값이 뾰족해지는 현상이 발생하여 릴레이 오동작 등의 현상이 발생할 수 있다^[5].

2.3.1 전압 및 전류 파형

계통에서의 전력 품질 측정은 RPM사의 1650 장비를 이용하여 누전차단기 오동작이 자주 발생하는 공장전기설비의 분전반에서 대부분 1시간 동안 측정하였다. 전력 품질을 측정한 공장들은 대부분 누전차단기 오동작시 절연저항 및 누설전류 등을 측정하여도 특별히 문제가 없었으나 누전차단기가 자주 트립되는 곳을 선정하였다. 이러한 공장들의 분전반에서는 정류기와 전기로 및 압출기, 냉동기, 히터, 모터 등에 전원을 공급하고 있었다. 대부분의 측정 장소에는 3상 부하를 사용하고 있었으며 그림 3에는 OO공장에서의 대표적인 상 전압 파형을 나타내고 있고, 그림 4는 상 전류 파형을 보여주고 있다. 전압 파형은 일부 왜곡된 형태를 보여주고 있고, 전류 파형은 정류부하와 압출기 등의 사용으로 인해 많은 왜곡 현상이 나타나고 있음을 알 수 있다. 이러한 전류 파형의 왜곡으로 인해 최대치를 검출하여 동작하는 기기에는 오동작 현상이 발생할 수 있다.

2.3.2 고조파 전압 및 전류

그림 5는 본 연구에서 측정한 대표적인 공장에서의 한 상의 전류 고조파 스펙트럼을 보여주고 있다. 그림에서 알 수 있듯이 공장전기설비에서는 5, 7고조파가 가장 많이 발생하고 있음을 알 수 있다.

공장전기설비에서의 각 상의 전압 및 전류 고조파 값을 표

1에 나타내었다. 표에서 알 수 있듯이 대부분의 상에서 전류고조파는 5고조파를 위주로 7고조파 등이 발생하여 전류 THD가 20%이상 발생함을 알 수 있다.

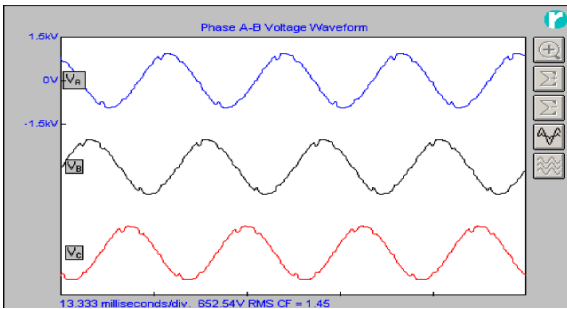


그림 3 전압파형
Fig. 3 Voltage waveform

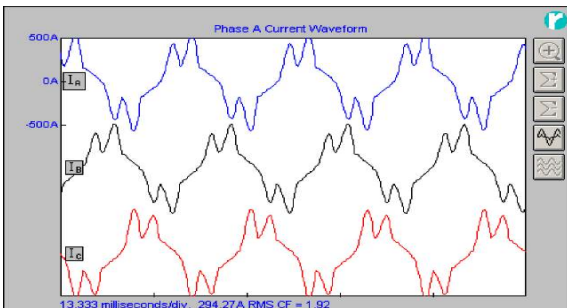


그림 4 전류파형
Fig. 4 Current waveform

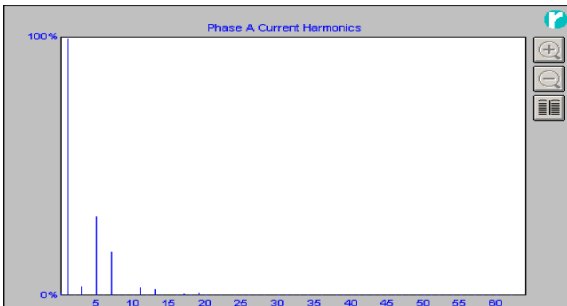


그림 5 A상의 전류 고조파 스펙트럼
Fig. 5 Current harmonic spectrum of phase A

표 1 상 전류 및 전압 고조파
Table 1 Phase currents and voltages harmonics

고조파(%)	○○화학			○○산업			○○철강			○○산업		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
전류THD	36	34	37	73.9	76.7	99.3	44.5	48.3	42.7	35.5	33	33.3
2차	1.03	0.8	1.2	5.6	6.3	7.4	4.6	5.9	2.3	0.7	0.5	0.6
3차	3.9	5.8	9.8	14.1	17.7	4.5	3.6	4.7	7.8	1.8	3.5	4.4
5차	31.2	28.3	29.9	65.2	65.2	88.3	14.6	17.4	21.0	32.7	30.3	30.5
7차	17.3	16.1	17.9	26.5	31.8	40.9	18.9	19.8	18.2	0.5	2.6	2.4
9차	0.9	0.8	1.0	5.4	6.9	1.9	5.4	4.5	2.6	1.5	1.4	1.6
전압THD	3.3	3.5	3.2	8.7	9.0	8.9	818	660	763	5.2	5.5	5.6
2차	0.01	0.02	0.01	0.03	0.1	0.04	0.1	1.2	19.9	0.1	0.1	0.2
3차	0.03	0.1	0.2	0.4	0.1	0.1	562	455	530	0.1	0.1	0.1
5차	1.4	1.48	1.4	7.7	7.3	7.5	137	83	110	4.5	4.9	4.8
7차	1.6	1.7	1.6	3.9	5.3	4.8	142	141	147	1.0	1.0	1.0
9차	0.1	0.05	0.06	0.4	0.3	0.1	186	144	171	0.1	0.1	0.03

3. 결론

본 논문에서는 공장전기설비에서의 누전차단기 오동작 현황 및 피해 등을 조사 및 분석하였고, 누전차단기 오동작이 자주 발생하는 공장전기설비에서 전력품질을 측정하였다. 공장전기설비에서의 누전차단기 오동작은 대부분의 수용가에서 자주 경험하는 것으로 나타났고, 수용가 18% 이상에서 오동작 원인을 고조파 등과 같이 이상전원으로 추정하였다.

누전차단기 오동작이 자주 발생하는 곳에서의 전력품질을 측정한 결과 측정 수용가의 50% 이상이 IEEE 519의 수용가 전압 THD 규정 5%를 만족시키지 못하는 것으로 나타났다. 특히 정류기 부하를 사용하는 곳에서 많이 발생하는 것으로 나타났으며 전기로를 부하로 사용하는 곳은 전압 THD가 300% 가까이 나타나 대책 마련이 시급한 것으로 나타났다.

공장전기설비에서는 정류기, 전기로 등 유도성 부하의 사용으로 인한 5차, 7차 고조파가 가장 많이 발생하고 있었으며, 2차 고조파를 포함한 짝수 고조파도 다수 발생하고 있었다. 전기로를 사용하고 있는 공장에서는 전압불평형이 12%정도 나타나 대책이 필요한 것으로 나타났다. 그리고 용량성 부하를 많이 사용하는 공장은 부하의 적절한 분배를 통해 고조파 전류의 과다 발생 억제와 상간 불평형을 없앨 필요가 있고, 정류기 및 전기로 등을 사용하는 곳에서는 고조파 및 플리커에 대한 대책이 필요하다. 또한 전기설비의 고조파 내성 및 신뢰성 향상과 같은 다각적인 검토가 필요할 것으로 사료된다.

이 논문은 전력산업기반기금 전력연구개발사업의 연구비 지원에 의하여 연구되었음

참고 문헌

- [1] LG 산전, 누전차단기 기술자료
- [2] 이승철, 장석훈, 이복희, "서지전압에 대한 50[A]용 누전차단기의 부동작 특성", 한국조명 전기설비학회지, 제11권 5호, 1997. 10, pp. 44-52
- [3] 이재복 외 4명, "누전차단기의 뇌찌지 동작특성 분석 및 오동작 대책", Trans. KIEE. Vol. 51C, No. 10, Oct, 2002, pp. 479-484
- [4] Estrada, T. Briggs, S. J. Khosia, N. "Test of circuit breakers under harmonic loading conditions", Final Report, Army Construction Engineering Research Lab. Champaign, IL(United Sates), Nov. 1995.
- [5] J. Arrillaga, N. R. Watson and S. Chen, "Power System Quality Assessment", WILEY, 2001.