

사무용 빌딩에서의 누전차단기 오동작과 전력품질 분석

(Failure of Earth Leakage Breaker and Power Quality Analysis in Office Buildings)

이상익* · 유재근 · 정종욱 · 임용배 · 전정채

(Sang-ick Lee · Jae-Geun Yoo · Jong-Wook Jeong · Yong-Bae Lim, Jeong-Chay Jeon)

Abstract

This paper presented a actual conditions on a false-tripping of ELB(Electrical Leakage Breaker) and an assessment of the harmonics due to non-linear electronic equipment such as personal computers, printers, fax machines, and test equipments in several office buildings. Actual conditions on a failure of ELB were surveyed and analyzed by making up a question to safety managers of in office buildings. Also, power quality measurements such as harmonic currents, voltage and current waveforms and current imbalance were made at various office buildings 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 waveforms.

1. 서론

누전차단기(Earth Leakage Breaker : ELB)는 교류 600V 이하의 저압전로에서 누설 전류(누전)로 인한 감전사고와 전기화재 등을 방지하기 위하여 사용되는 차단기로 누전으로 인한 재해가 예상되는 전로에서는 반드시 설치하여야 한다. 감전 및 지락사고 보호를 위해 사용되는 누전차단기는 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 설치규정을 위반하여 배선용차단기(Molded Case Circuit Breaker : MCCB)로 교체하거나 누전차단기 오동작에 대해 무감각해지고 있다. 특히, 은행 및 방송·통신시설과 같이 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 누전차단기 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.

최근, 사무용 빌딩은 점차 대형화 되어 가고 있고, 매우 많은 인원이 업무를 위해 상주하고 있게 된다. 이러한 사무용 빌딩에서는 개인용 컴퓨터, 전산설비, 팩스, 기타 다양한 설비들이 사용되고 있다. 또한 정부의 에너지 절약대책으로 전자식 안정기의 사용이 증가하고 있다. 이러한 설비들에 공급되는 전원은 대부분 스위칭 방식을 이용하고 있어 고조파 전류를 발생시키게 된다. 이러한 고조파 성분은 대지정전용량을 통하여 상용 주파수(60Hz) 누설전류가 아닌 고조파로 인한 누설전류를 발생하게 되어 누전차단기가 오동작하는 문제점이 발생하게 된다.

본 논문에서는 안전관리자가 상주하고 있는 공공기관, 학교, 금융, 전자 등 다양한 업종의 사무용 빌딩에서 발생하는 누전차단기 오동작 주요원인 및 피해형태를 조사하였다. 또한 실태조사에서 누전차단기 오동작 현상이 자주 발생하는 사무용 빌딩을 선택하여 전력품질 측정하고 그 결과를 제시하였다.

2. 본론

2.1. 누전차단기 동작원리

누전차단기는 그림 1에서와 같이 누전검출부, 전자회로부, 차단부등의 관계부품으로 구성되어 있으

며 동일 케이스내 조립된 것으로 접속된 전등기구 및 전로 등에 지락사고가 발생할 경우 지락전류의 크기에 해당하는 자속에 의하여 철심이 여자되어 영상변류기 2차권선에 기전력이 발생하게 된다. 영상변류기에서 발생한 전류를 전용 IC에 받아들여 이를 증폭하고 그 크기를 판별하여 일정기준을 초과하면 출력을 발생시켜 릴레이를 동작(ON)시키게 되는데 그 후 전류가 트립코일에 흘러 누전차단기를 트립시키게 된다[1].

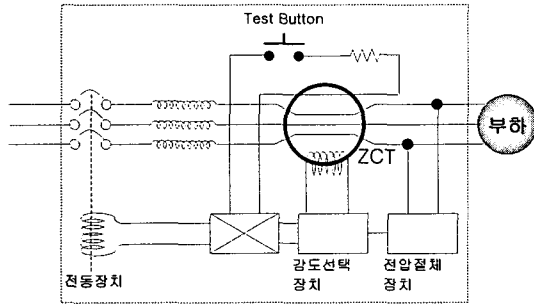


그림 1. 누전차단기 구조
Fig. 1. Structure of ELB

2.2. 누전차단기 오동작

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.

이러한 누전차단기 오동작 원인 중 최근 사무용 빌딩에서 다량의 개인용 컴퓨터 사용으로 인한 고조파 발생이 증가하고 있어 고조파 관련 누전차단기 오동작 현상은 점차 증가하고 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.

2.3. 사무용 빌딩에서의 누전차단기 오동작

본 연구에서는 금융, 전자, 교육, 공공기관 등의 사무용 빌딩에 상주하고 있는 전기안전관리자를 대상으로 누전차단기 오동작 발생현황, 오동작 주요 원인, 오동작 발생시 원인분석 여부, 피해 형태 등을 설문 조사하

였다. 설문조사에서 총 50호의 수용가에서 응답하였고 그 결과를 분석하였다.

사무용 빌딩에서의 누전차단기의 오동작은 그림 2와 같이 누전차단기는 응답수용가 50호의 84%(42호)로 대부분의 수용가에서 오동작을 경험하는 것으로 나타났다. 누전차단기 오동작 원인에 대해 복수응답이 가능하도록 하여 조사한 결과 그림 3과 같이 원인불명이라고 응답한 수용가가 27.3%로 가장 많았고, 그다음으로 고조파 등 이상전원이 25%, 노후화가 23.9%, 제품불량 19.3% 순으로 나타났다.

이러한 원인 분석결과로써 누전차단기가 오동작 하는 경우 전기안전관리자가 대부분 원인규명에 어려움을 겪고 있음을 알 수 있으며 누전차단기 오동작 원인 중 고조파 등 이상전원은 누설전류가 정상일 경우, 추정하는 가장 많은 이유라 사료된다. 또한 누전차단기의 제품불량은 2002년 실시한 기술표준원 시험결과 KS 표시제품 가운데 20%이상이 불량으로 판명된 결과와 본 연구에서 조사된 오동작 원인(19.3%)에서 알 수 있듯이 상당한 비율을 차지하고 있는 것을 알 수 있다.

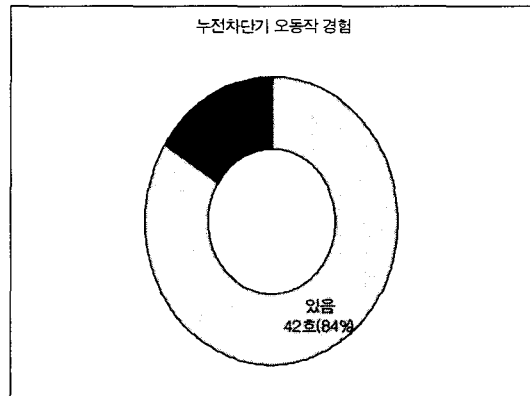


그림 2. 사무용 빌딩에서의 누전차단기 오동작
Fig. 2. Failure of ELB in the office building

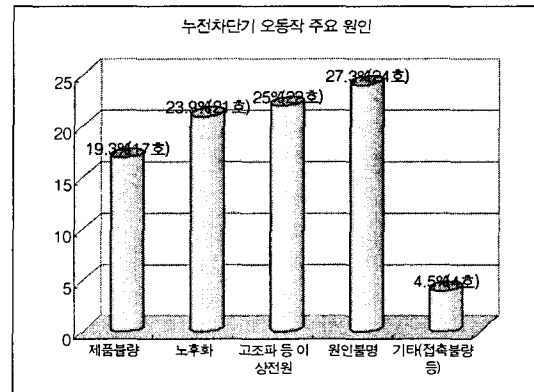


그림 3. 누전차단기 오동작 주요원인
Fig. 3. Major causes of false-tripping of ELB

고조파 등의 이상전원이 누전차단기 오동작 원인이라고 응답한 수용가에서 오동작 발생 빈도는 그림 4와 같이 31.8%는 연 1회 정도 발생하고 있고, 63.6%는 연 2~3회 정도, 나머지 4.5%는 연 5회 또는 10회 이상 자주 발생하는 것으로 나타났다.

또한 누전차단기 오동작에 있어 원인이 불명확한 경우에서 오동작 발생빈도는 그림 5에서와 같이 58.3%가 연 1회 정도가 발생하고 원인을 밝히지 못한 수용가에서 33.3%는 연 2~3회 정도, 나머지 8.4%가 연 5회 이상 발생하는 것으로 나타났다.

이러한 결과에서 알 수 있듯이 누전차단기 오동작 원인 중 고조파 등의 이상전원에 의한 발생비율이 20% 이상을 차지하고 있으며 발생빈도가 연 2~3회 이상으로 나타나 고조파에 대한 정확한 동작 특성 규명이 필요할 것으로 사료되며, 누전차단기 오동작 원인규명 방법에 대한 종합적인 검토가 필요할 것이다.

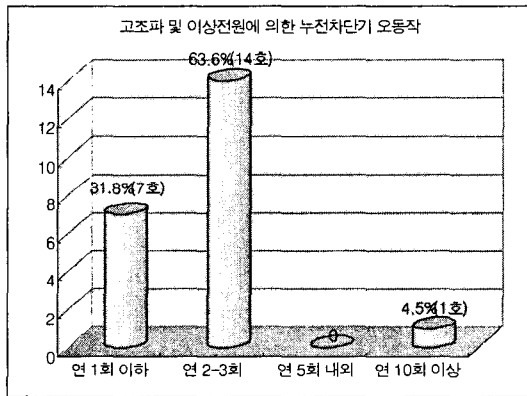


그림 4. 고조파 및 이상전원에 의한 누전차단기 오동작 발생빈도

Fig. 4. Frequency of nuisance tripping of ELB by harmonic and abnormal power

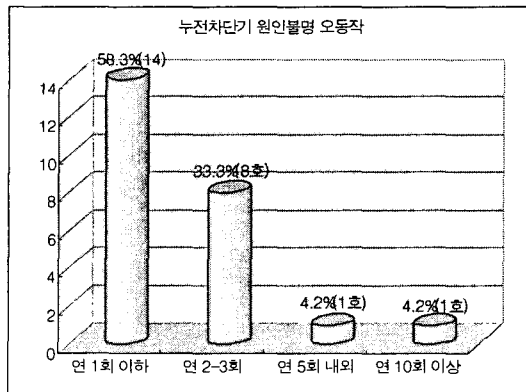


그림 5. 원인불명에 의한 누전차단기 오동작 발생빈도

Fig. 5. Frequency of nuisance tripping of ELB

누전차단기 오동작 발생시 전력품질을 분석하는 경우는 장비, 인력 부족 등의 이유로 쉽게 이루어지지 못하는 실정으로 그림 6과 같이 수용가의 73% 이상은 전력품질 분석을 적극적으로 수행하지 않고 있는 것으로 분석되었다. 이러한 결과는 누전차단기 오동작 원인 중 고조파 등의 이상전원이 차지하는 비중이 20% 이상임에도 불구하고 전력품질 분석의 필요성에 대한 인식이 저조한 것으로 사료된다.

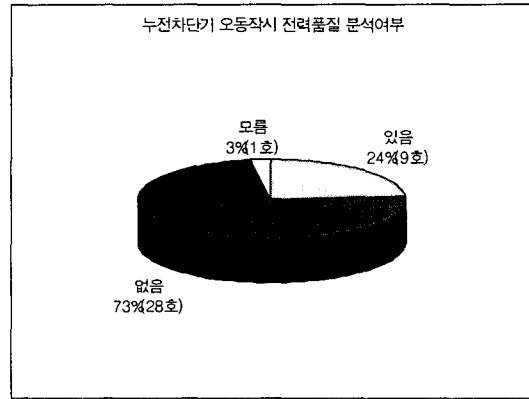


그림 6. 누전차단기 오동작시 전원품질 분석 여부
Fig. 6. Whether power quality analysis when false-tripping of ELB

누전차단기의 오동작에 의한 사무용 빌딩에서의 2차적 피해유형은 복수응답이 가능하도록 질문한 결과 그림 6에서와 같이 정보손실이 39%로 가장 많았고 그다음으로 기기손상 26%, 업무 및 조업중단 12%, 제품생산 차질 7% 순으로 나타났으며 기타 의견들이 16% 정도의 비율을 차지하였다.

특히, 통신 및 전자제품 등의 생산시설이 오피스 빌딩 내부에 있는 경우는 제품 동작 프로그램 다운로드시의 에러 등으로 인하여 많은 손실을 겪을 것으로 예상된다.

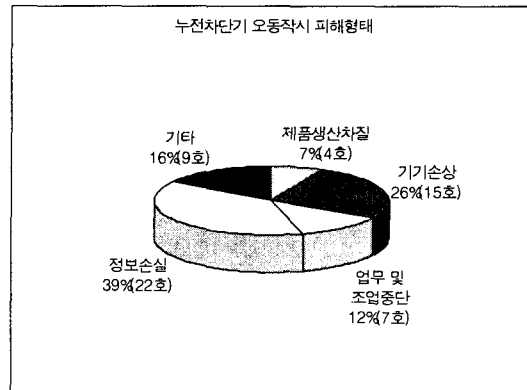


그림 7. 누전차단기 오동작시 피해 유형
Fig. 7. Damage types when false-tripping of ELB

2.4. 전력품질 측정 및 분석

일반적으로 전력품질은 그림 8에서와 같이 크게 분류할 수 있으며 플리커 등도 추가 할 수 있다. 본 논문에서의 전력품질 측정은 RPM사의 1650 장비를 이용하여 학교 2개 수용가, 은행 1개 수용가, 병원 4개 수용가, 전자업 1개 수용가에서 누전차단기 오동작이 자주 발생하는 사무용 빌딩의 각 층 부하 말단의 분전반에서 대부분 1시간 동안 측정하였다. 전력 품질을 측정된 사무용 빌딩들은 대부분 누전차단기 오동작시 절연저항 및 누설전류 등을 측정하여도 특별히 문제가 없었으나 누전차단기가 자주 트립되는 곳을 선정하였다. 이러한 사무용 빌딩들의 분전반에서는 각 층에 있는 전등, 전열, 개인용 컴퓨터, 전산장비, 팩스 등에 전원을 공급하고 있다.

Disturbances	Duration time	Disturbances	Duration time
Transient	> 3ms (> 0.18 cycles)	Overtoltage	> 3sec (< 180 cycles)
Sag	8ms ~ 3sec (0.5 ~ 180 cycles)	Interruption	> 8ms (< 0.5 cycles)
Swell	8ms ~ 3sec (0.5 ~ 180 cycles)	Notches	Steady state
Undervoltage	< 3sec (< 180 cycles)	Harmonics	Steady state

그림 8. 전력품질의 요소
Fig. 8. Elements of power quality

2.4.1 전압 및 전류파형

대부분의 측정 장소에는 컴퓨터, 팩스 등의 단상부하의 사용으로 인해 전압 및 전류파형은 왜곡되어 있었고 그림 9에는 000 빌딩에서의 대표적인 상(Phase) 전압파형을 나타내고 있고 그림 10은 상 전류 파형을 보여주고 있다. 전압파형은 최대치가 정현파의 형태를 이루지 못하고 있고 전류파형은 많은 왜곡 현상이 나타나고 있음을 알 수 있다. 특히, 중성선에 많은 기본파 및 고조파 전류가 흐름을 알 수 있다. 이러한 전압 및 전류파형의 왜곡으로 인해 최대치를 검출하여 동작하는 기기에는 오동작 현상이 발생할 수 있다.

또한 crest factor(최대치/실효치)의 경우 1.414가 이상적이거나 대부분의 경우에서 전압은 정상치 이하로 발생하였고, 전류의 경우는 정상치 이상이 되었다. 대표적인 경우로 그림 8과 그림 9에서와 같이 전압의 경우 1.28로 정상치보다 부족하여 최대치가 완전한 곡선을 이루지 못하고 있고, 전류의 경우는 2.18로 고조파로 인해 최대치가 커져있음을 알 수 있다.

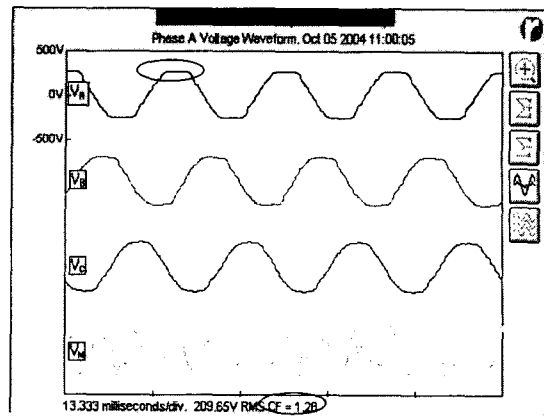


그림 9. 전압파형
Fig. 9. Voltage waveforms

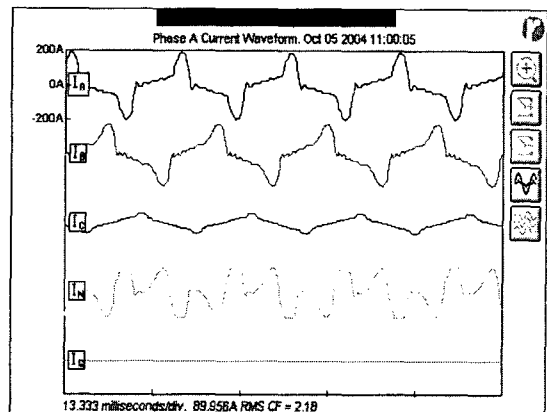


그림 10. 전류 파형
Fig. 10. Current waveforms

2.4.2 고조파 전류

그림 11은 본 연구에서 측정된 대표적인 사무용 빌딩에서 한 상의 전류고조파 스펙트럼을 보여주고 있고 그림 12에 한상의 전류고조파 데이터를 나타내었다. 그림에서 알 수 있듯이 사무용 빌딩에서는 3고조파가 가장 많이 발생하고 있음을 알 수 있다.

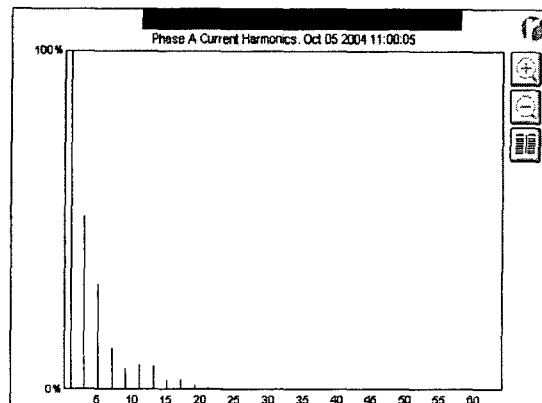


그림 11. A 상의 전류 고조파 스펙트럼
Fig. 11. Current harmonic spectrum of phase A

Harmonic	RMS Value	Phase	Percent
0	501.7mA	180□	0.656%
1	76.44A	358.1□	100%
2	259.0mA	271.7□	0.338%
3	39.59A	308.9□	51.92%
4	240.6mA	109.6□	0.314%
5	24.24A	264.8□	31.71%
6	43.58mA	21.80□	0.057%
7	9.599A	202.7□	12.68%
8	241.4mA	219.5□	0.315%
9	5.302A	90.61□	6.935%
10	206.8mA	210.5□	0.270%
11	6.11A	357.8□	7.892%
12	121.7mA	266.1□	0.159%
13	5.781A	278.1□	7.562%
14	294.0mA	332.0□	0.384%
15	2.585A	124.8□	3.382%
16	228.1mA	272.0□	0.298%

Odd Harmonics: 83.752% Even Harmonics: 0.809% Total: 83.758%

그림 12. 상 A의 전류 고조파 데이터
Fig. 12. Current harmonic data of phase A

또한 그림 13과 14에서는 대표적인 사무용 빌딩의 중성선의 전류고조파 스펙트럼과 전류고조파 데이터를 나타내었다. 대부분의 사무용 빌딩은 3상 4선식 계통을 채택하고 있어 각 상의 3고조파 전류가 중성선에 합쳐져 흘러 각 상의 3고조파 전류보다 훨씬 커지게 된다.

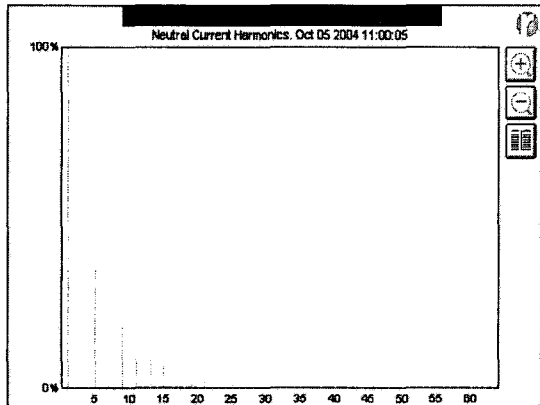


그림 13. 중성선의 전류 고조파 스펙트럼
Fig. 13. Current harmonic spectrum of neutral line

Harmonic	RMS Value	Phase	Percent
0	58.26mA	180□	0.109%
1	53.13A	111.4□	100%
2	423.3mA	86.57□	0.796%
3	76.00A	132.4□	143.0%
4	71.50mA	354.8□	0.134%
5	18.82A	136.1□	35.42%
6	276.5mA	183.6□	0.520%
7	6.757A	277.3□	12.71%
8	219.9mA	137.3□	0.413%
9	10.75A	244.4□	20.23%
10	45.33mA	270□	0.085%
11	4.942A	187.1□	9.301%
12	137.3mA	199.2□	0.258%
13	4.835A	54.77□	9.099%
14	145.8mA	200.8□	0.274%
15	3.990A	330.6□	7.510%
16	60.05mA	49.39□	0.113%

Odd Harmonics: 150.163% Even Harmonics: 1.205% Total: 150.168%

그림 14. 중성선의 전류 고조파 데이터
Fig. 14. Current harmonic data of neutral line

표 1. 2에서는 대표적인 병원, 학교, 은행용 빌딩 등에서의 각 상과 중성선의 전압 및 전류 고조파 값을 보여주고 있다. 표에서 알 수 있듯이 대부분의 상에서 전류고조파는 3고조파를 위주로 5고조파 등이 발생하여 전류 THD(Total Harmonic Distortion)가 20%이상 발생함을 알 수 있다. 또한 중성선에서는 측정 장소마다 3고조파가 가장 많은 비율을 차지하고 있고 전체 전류 THD가 100%이상 됨을 알 수 있다. 이러한 중성선 고조파 전류는 각 상의 3고조파 등의 영상분 고조파가 스칼라적 합이 되어 중성선에 흐르게 됨으로써 발생하게 된다.

표 1. 상의 전류 및 전압 고조파
Table 1. Current harmonics of Phase

단위 : %

고조파 상	○○병원			○○빌딩			○○은행			○○학교		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
전류 THD	20	17	16	64	50	28	21	24	45	31	32	32
3차	7.9	5.6	1.6	52	41	22	14	13	35	24	25	25
5차	15	15	13	32	24	14	13	17	24	16	15	15
7차	9.4	5.2	7.8	13	9.7	8	5.8	9	12	9.4	9.9	9.9
9차	2.0	1.5	0.9	7	7.9	3.7	1.7	2.9	4.0	2.6	4.2	4.2
11차	0.6	0.2	0.7	8	4.7	2.2	4.1	1.3	5.0	4.6	6.3	6.2
13차	1.1	0.2	1.0	8	4.7	1.5	4.7	1.9	4.7	3.0	5.2	5.2
전압 THD	1.5	1.4	1.5	8.7	8.7	6.4	3.9	3.1	4.1	2.8	2.8	2.8
3차	0.5	0.9	0.8	7.1	7.7	5.6	1.6	1.2	1.6	1.1	1.0	1.0
5차	1.0	0.6	0.6	3.6	2.6	2.1	1.9	1.5	2.0	2.2	2.0	1.9
7차	0.4	0.4	0.9	1.4	1.7	1.4	2.0	1.8	2.0	0.7	0.9	0.9
9차	0.2	0.2	0.1	1.9	2.1	1.3	0.5	0.5	0.6	0.3	0.6	0.6
11차	0.2	0.2	0.2	1.5	0.9	0.7	0.5	0.4	0.7	0.7	0.9	0.9

표 2. 중성선의 전류 고조파
Table 2. Current harmonics of Neutral

단위 : %

고조파	○○병원	○○빌딩	○○은행	○○학교
전류 THD	138.5	150.1	112.4	675.9
3차	129	143	107.8	669.6
5차	15	35.4	17.0	31.9
7차	22.9	12.7	13.5	20.0
9차	36.6	20.2	12.9	69.2
11차	6.2	9.3	6.2	30.4
13차	4.0	9.1	6.2	10.5

2.4.3 기타

그림 15와 16에서는 사무용 빌딩의 상 벡터도와 전류 불균형(imbalance)을 보여주고 있다. 그림에서 알 수 있듯이 각 상별 부하사용의 불균형으로 부하의 재분배가

필요한 것으로 나타났다. 하지만 사무용 빌딩의 특성상 사용되는 주 부하인 컴퓨터, 팩스 등의 일정한 분배가 어려운 실정이다.

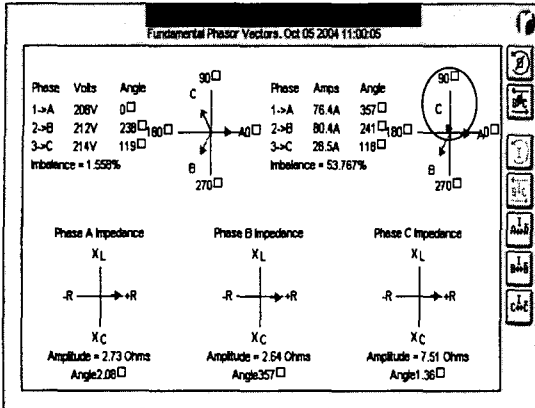


그림 15. 상 벡터도
Fig. 15. Phasor vectors

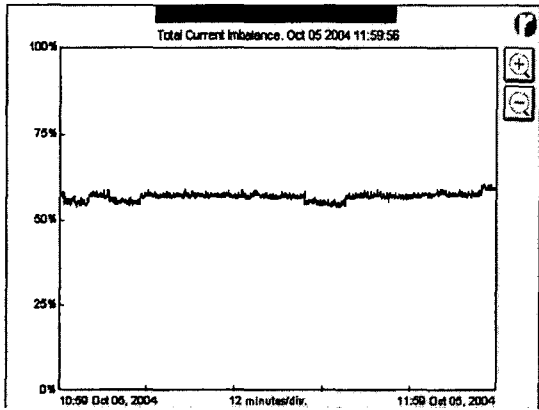


그림 16. 전류 불균형
Fig. 16. Total current imbalance

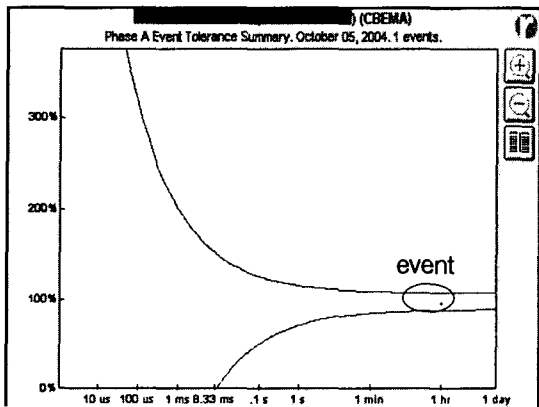


그림 17. CBEMA 곡선
Fig. 17. CBEMA curve

그림 17은 본 연구에서 측정한 사무용 빌딩의 대표적인 CBEMA(Computer and Business Equipment

Manufacturers Association) 곡선을 보여주고 있다. 대부분의 사무용 빌딩에서, Transient, Sag, Swell, Interruption 등의 특별한 이벤트의 발생은 없어 그림 17에서와 같이 대부분의 사무용 빌딩에서 전원이 안정적으로 공급되고 있었다.

3. 결론

본 논문에서는 금융, 전자, 병원 등 다양한 사무용 빌딩에서의 누전차단기 오동작 현황 및 피해 등을 조사 및 분석하였고, 누전차단기 오동작이 자주 발생하는 사무용 빌딩에서 고조파 등의 전력품질을 측정하였다.

사무용 빌딩에서의 누전차단기 오동작은 그림 2에서와 같이 대부분의 수용가에서 자주 경험하는 것으로 나타났다. 오동작 원인을 고조파 등과 같이 이상전원으로 추정하는 경우가 20%이상을 차지하는 것으로 나타났다. 누전차단기 오동작이 자주 발생하는 곳에서의 전력 품질을 측정한 결과, 전류 THD가 표 1과 2에서처럼 평균적으로 각 상에서 20% 이상 발생하고 있고 중성선에서는 100% 이상으로 많은 양이 발생하고 있는 것으로 나타났다. 또한 상간 부하 사용의 불균형이 심해 차단기 트립의 원인이 될 수 있는 것으로 나타났다.

따라서 사무용 빌딩에서는 부하의 적절한 분배를 통해 고조파 전류의 과다 발생을 억제하고 불평형을 없앨 필요가 있으며 대량의 전자식 안정기를 사용하거나 컴퓨터 등을 많이 사용하는 전산실 등에 있어서 노이즈 및 고조파 등에 대한 대책이 필요하다. 또한 방송, 통신 등의 시설에서는 누전차단기 오동작시 막대한 피해가 발생할 수 있으므로 누전차단기 시설규정에 대한 검토 또한 필요한 것으로 사료된다.

본 연구는 전력산업기반기금 전력연구개발사업의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

참고 문헌

- [1] LG 산전, 누전차단기 기술자료
- [2] 이승철, 장석훈, 이복희, "서지전압에 대한 50(A)용 누전차단기의 부동작 특성", 한국·조명 전기설비학회지, 제11권 5호, 1997. 10, pp. 44-52
- [3] 이재복 외 4명, "누전차단기의 뇌서지 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 States), Nov. 1995