

변압기 화재·폭발 원인 및 대책

Cause and Countermeasure of Fire Explosion in Transformer

한국사이버대학교 소방방재학부장 **이창우** · 한국전기안전공사 **김만건**

경원전문대학 소방시스템과 **최돈묵** · 서울지방경찰청 **이상준**

Chang-Woo Lee · Man-Keon Kim · Don-Mook Choi · Sahg-Jun Lee

요 약

본 연구에서는 변압기의 종류와 각 변압기의 특징에 대해 살펴보았다. 최근 변압기 사고의 발생현황과 통계를 살펴보고, 화재 및 폭발 안전성에 가장 취약한 지상설치형 유입식 변압기를 대상으로 절연유 분출원인 및 폭발 현상 등 변압기 사고의 주요 원인에 대해 이론적으로 연구하였다. 또한, 화재·폭발 메카니즘을 살펴봄으로써 그 위험성을 인지하고, 유입식 변압기의 사고의 방지를 위한 대책 마련을 하고자 하였다.

키워드(key word) : 변압기, 화재, 폭발, 절연유

I. 서 론

1. 연구의 배경 및 목적

생활수준의 향상 및 정보통신과 컴퓨터 기술의 발달로 전기기기가 첨단화되어 전력수요가

급격하게 증가하고 있는 추세이다. 이에 따라 전력계통에서 가장 중요한 역할을 담당하는 변압기가 과부하로 인해 고장 및 사고가 급속히 증가하고 있다. 변압기에 사고가 발생하면 전력공급의 중단과 피해복구에 많은 시간과 비용이 소요될 뿐만 아니라 2차 사고인 통신선의 화재로 파급되어 경제적인 피해는 물론 산업 전반에 큰 장애를 초래할 우려가 있다. 또한 변압기 화재로 인한 폭발사고는 인명피해를 수반하고 있어 국민들로 하여금 불안감을 조성하고 있다. 특히 2006년 8월 2일 고양시 일산동구 정발산동에 위치한 한 변압기에서 높은 기온, 과부하 및 경년 열화 등의 여러 가지 원인으로 인해 휴즈가 단락되어 변압기의 휴즈를 교체·수리하던 중 화재가 발생하였고 신고를 받고 출동한 소방대원이 진화 작업을 완료하고 철수 준비를 하는 과정에서 변압기 내부에서 폭발이 일어나는 사고가 발생하였다. 폭발에 이은 화재는 후발대에 의해 10여 분 만에 진화되었지만 이 사고로 인하여 인근 상가 건물에는 9시간여 동안 전기 공급

II. 본 론

이 중단되었으며, 무엇보다도 국민의 생명과 재산을 지키기 위해 노력하고 있는 소방관 4명이 중경상을 입는 안타까운 사고가 발생하였다. 특히 여름철만 되면 변압기 화재가 자주 발생하고 있다. 이러한 변압기화재 예방에 대한 철저한 대책이 시급한 실정이다.

최근 도심지에서 주상변압기가 여러 차례 폭발하는 사례가 발생하여 매스컴에 종종 보도되고 있다. 변압기의 화재·폭발사고로 주변의 정전사고, 행인의 인명 피해가 발생할 가능성이 있으며, 또한 화재 진압시 소방관의 인명피해가 발생하는 등 안전상 커다란 문제로 나타나고 있다.

따라서 본 연구에서는 변압기의 종류별 특성을 살펴보고 변압기에서 화재 및 폭발이 일어나게 되는 구체적인 메카니즘을 명확하게 규명하고 이에 대한 유사사고의 방지대책을 알아봄으로서 변압기 폭발사고를 미연에 방지하고 화재 진압 시 소방관의 인명피해를 줄일 수 있는 대책을 마련하는데 있다.

2. 연구의 범위 및 방법

본 연구의 범위는 현재 사용 중인 변압기의 종류와 각 변압기의 특징에 대해 알아보고, 화재 및 폭발 안전성에 가장 취약한 지상설치형 유입식 변압기를 대상으로 절연유 분출원인 및 폭발 현상에 대한 이론적 연구를 하였다.

연구의 진행 방법은 변압기의 종류에 대해 알아보고 각 변압기의 특징에 대해 살펴보았다. 최근 변압기 사고의 발생현황과 통계를 살펴보고 변압기 사고의 주요 원인을 검토해 보았다. 또한, 화재·폭발 메카니즘을 살펴봄으로서 그 위험성을 인지하고, 유입식 변압기의 사고의 방지를 위한 대책 마련을 하고자 하였다.

1. 변압기 종류 및 특징

변압기는 철심과 권선을 가지고 교류전압을 받아 전자유도 작용에 의해 전압 및 전류를 변성하여 다른 한 개 또는 두 개 이상의 회로에 동일 주파수의 교류전압을 공급하는 장치이다. 특히, 발·변전소에서 송전하는 전압은 일반수용가(가정, 공장, 아파트, 호텔, 백화점 등)의 각종 부하(전등, 냉장고, 승강기, 펌프 등)에서 직접 사용할 수 없으므로 일반수용가에게 전력을 공급하기 위하여 전압을 변성하는 장치를 배전용 변압기라고 한다.

변압기는 절연방식에 따라 유입식, 건식, 몰드식, 가스식으로 구분하며 그 형태는 Figure 1과 같다.

Figure 1(a)의 유입식 변압기는 절연유가 담긴 탱크 속에 권선을 담은 구조로 제작이 용이하고 다른 변압기에 비해 저렴하며 사용범위가 넓어 소용량에서 대용량 저전압에서 고전압까지 사용범위가 넓어 가장 많이 사용하는 변압기이다. 또한, 철제 외함으로 견고하고 밀폐된 구조이므로 옥내·외 구분 없이 사용이 가능하다. 유입식 변압기는 전기 절연유에 권선 함침(광유, 혼합유, 실리콘유 등)되어 있으며 오일에 함침함에 따라 흡습에 의한 절연열화가 없으며, 소음진동이 적고 서지에 강하고 주기적인 점검에 의해 수명 예측이 가능하다. 이에 반해 다른 변압기에 비해 설치공간을 많이 차지하며 절연유를 사용하므로 화재의 우려가 있다. 따라서, 정기적인 절연유의 점검 및 보수가 필요하다.

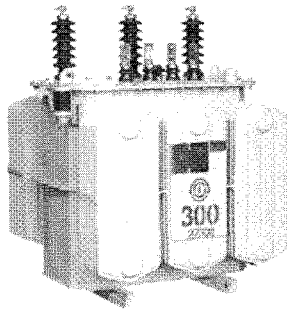
Figure 1(b)의 몰드변압기는 고압 및 저압 권선을 자기소화성을 가지고 있는 에폭시 수지를 이용하여 몰드한 방식으로 난연성, 무보수화, 무부

하 손실이 적어 에너지절약 등의 이점이 있어 최근 많이 사용하나, 충격에 약하고 인출부 절연과 방열에 문제가 있어 고전압 대용량화에는 한계가 있다. 몰드 변압기는 권선이 수지에 함침되어 있어 흡습이 거의 없으며, 소형, 경량이고 분해, 반입, 현장조립도 가능한 장점이 있으나, 다른 변압기에 비해 설치공간을 많이 차지하며 소음이 크고 서지에 약하므로 기중절연이므로 옥외 설치시 전용함이 필요하다. 또한, 절연유의 점검이 필요하며 수명 예측이 곤란하다.

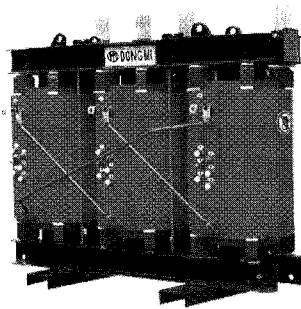
Figure 1(c)의 건식변압기는 권선을 절연지로 절연하여 바니시 등에 함침한 것으로 절연유를 사용하지 않고 내열성이 높은 고체 절연체만으로 절연을 유지하는 것으로 화재의 위험성이 없

어 화재 예방을 중시하는 건물에 사용하였으나 몰드변압기의 등장으로 최근에는 소용량의 강압용 변압기로 주로 사용한다. 건식변압기는 점검 및 보수가 용이하나, 견고성이 다소 떨어지며 절연내력이 낮고 소음, 진동이 크고 서지에 약하다. 또한, 몰드변압기에 비해 내습성이 약간 떨어진다.

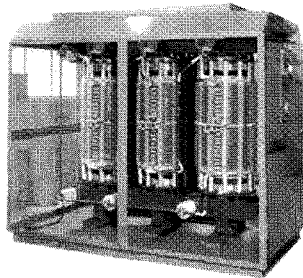
Figure 1(d)에 나타난 가스절연변압기는 철심, 권선이 밀봉탱크에 수납되어 있어 견고하고 절연 매체로 SF6 가스를 사용한 변압기로 불연성, 방재성, 안정성 우수하고 전기적 특성이 좋아 내부의 보수점검 불필요하나 가격이 고가인 단점을 가지고 있다.



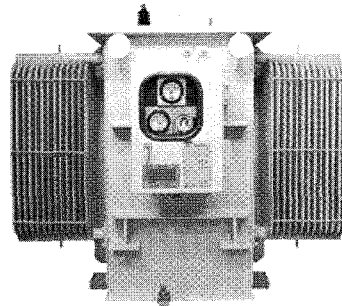
(a) 유입식변압기



(b) 몰드변압기



(c) 건식변압기



(d) 가스절연변압기

〈Figure 1〉 변압기의 종류별 형태

한편, 이들 각 변압기의 종류별 특징을 Table 1에 정리하여 나타내었다. Table에서 알 수 있는

바와 같이 화재·폭발의 위험성이 가장 높으며, 가격이 저렴하고 사용범위가 넓어 소용량에서

대용량까지 가장 많이 사용하는 유입식변압기를 중심으로 화재·폭발 메카니즘, 화재·폭발 시

위험성 및 사고사례 등을 통하여 대책을 제시하고자 한다.

<Table 1> 변압기의 특성

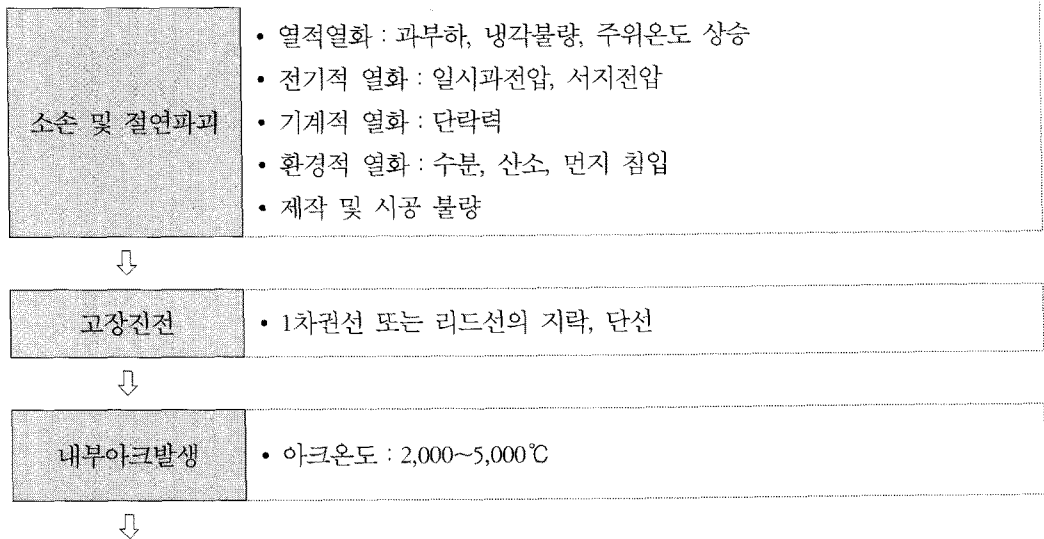
구분	방식	유입식	건식	MOLD
특성	절연종류	A종	H종	B종
	권선온도상승	55℃	125℃	100℃
	연소성	가연성	난연성	난연성
	폭발성	가능	불가	불가
	내진성	보통	보통	강함
	내습성	개방형은 흡습	흡습	흡습하지 않음
	내화학성	보통	강함	매우 강함
	소음	적다	크다	적다
	전력손실	보통	크다	적다
	단락강도	강함	강함	매우 강함
	절연특성	안정	불안정	안정
	치수 및 중량	대	중	소
점검	<ul style="list-style-type: none"> ① 질소가스 누설점검 ② 브리자 흡습제 점검 ③ 유면계 누유점검 ④ 온도계 감시 	<ul style="list-style-type: none"> ① 외관 점검 ② 온도계 감시 	<ul style="list-style-type: none"> ① 외관 점검 	
보수 (정기적)	<ul style="list-style-type: none"> ① 절연유 특성체크 ② 절연유 여과 ③ 내부본체 	<ul style="list-style-type: none"> ① 진공청소기에 의한 청소 ② 운전재개 직전 외관 검사 ③ 건조필요 	<ul style="list-style-type: none"> ① 걸레, 진공청소기 등에 의한 청소 ② 외관점검 	
부대 시설	소화시설	필요	유입보다 소규모 필요	건식보다 소규모로 필요
	보수 점검 용	<ul style="list-style-type: none"> ① 본체 인양시 변압기 상부공간 및 설비 ② 여과 설비 및 절연유 보관 TANK 	외함에 들어있는 경변압기 인출시 점검 공간	외함에 들어있는 경우 변압기 인출시 점검공간
경제성		100	180	200

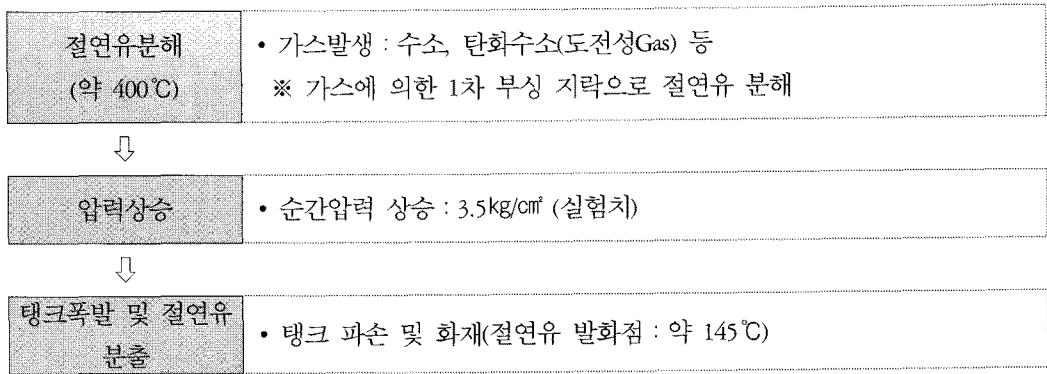
구분	방식	유입식	건식	MOLD
장	점	① 가격저렴 ② 저소음 ③ 권선의 온도 상승이 적다	① 난연성 ② 유입식에 비해 소형경량 ③ 비폭성	① 내습성, 내진성이 강함 ② 지전력 손실 ③ 과부하 내량 크다 ④ 전기적 신뢰도가 크다 ⑤ 소형, 경량 ⑥ 비폭성, 난연성
단	점	① 가연성, 폭발성 ② 환경오염의 우려 ③ 전력손실이 크다 ④ 크기와 중량이 크다	① 습기에 약함 ② 소음이 크다 ③ 전력손실이 가장 크다	① 가격이 고가

3. 변압기 폭발 사고의 진행과정

절연유분출 및 폭발사고의 전형적인 진행과정은 고압권선에 있어 절연파괴로 시작된다. 이의 발생 초기에는 낮은 전류를 가지는 즉, 임피던스가 높은 사고이나, 턴간 또는 층간의 사고가 감소하게 되어 고장전류의 큰 증가를 야기하게 된

다. 이 고장전류(아크전류)는 절연유를 분해하여 변압기에 높은 압력을 가하게 되어 절연유 분출 및 폭발사고로 이르게 한다. 이러한 진행과정을 Figure 2에 나타내었으며, 아크발생의 전 단계인 절연파괴 요인의 양상과 사고원인을 Table 2에 나타내었다.





〈Figure 2〉 절연유 분출 및 폭발사고의 진행과정

변압기 폭발은 짧은 시간에 여러 가지 원인에 의해 순식간에 발생하기 때문에 폭발의 진행상황은 정확히 알 수 없으나, 일반적으로 주상변압기는 장시간 과부하로 경년열화가 될 경우 변압기 내부 절연물의 손상으로 누설전류가 증가하게 되어 권선간 단락으로 발전하게 된다. 권선간 단락이 일어날 경우 단락전류를 필요로 하게 되며, 이로 인해 절연물이 급격하게 열화되고 권선

층간 단락으로 확대된다. 권선층간 단락이 발생하게 되면 변압기 내부 아크 단락사고로 발전되며, 이때 발생된 에너지에 의해서 절연유는 휘발성 가스로 분해된다. 이 분해된 가스는 급격한 압력상승을 유발하여 변압기 상부 공기층을 압축하게 되고 밀폐되어 있는 변압기 내부에 압력이 과대해지면 절연유 분출 및 화염과 함께 폭발이어난다.

〈Table 2〉 변압기 절연파괴 요인의 양상과 사고원인

이상요인의 종류	이상요인의 양상과 요인
전기적	<ul style="list-style-type: none"> - 뇌격에 의한 계통이상전압에 기인하는 권선의 단락, 단선, 지락 등에 의한 절연파괴 - 코로나 방전, 간헐적인 아크방전, 유증이물에 의한 유증 섬락, 흡습, 유 누설, 유의 열화에 의한 절연파괴 - 특히 권선, 리드선 등 돌발적 사고로 되는 경우가 많음
열적	<ul style="list-style-type: none"> - 누설지속에 의한 순환전류나 와전류에 의한 철심, 탱크, 권선의 과열 - 통전부의 접촉불량, 조임부의 이완 - 과부하 운전 - 외부 단락에 의한 권선, 리드선 등의 과전류 - 내부이상열적이상 등)

기 계 적

- 여자진동 및 수송시 각부 체부개소의 이완, 접촉불량, 리드선의 손상
- 전자기계력에 의한 권선의 변형
- 진동 과대에 의한 권선의 피로 절단
- 진동, 충격에 의한 철심, 접지선의 이완, 절단
- 철심체부부와의 이완, 과전압에 의한 이상진동
- 기계진동적 이상은 변압기의 외부 이상이 많지만 내부에서 이상이 발생하면 전기적 혹은 열적 이상으로 진전하는 경우가 많음.

권선 층간단락과 같은 변압기 내부 사고의 보호 장치로서 주상변압기 1차측에는 COS가 설치되어 있어 동작하도록 되어 있다. 그러나 만약 휴즈가 용단하지 않았거나 용단할 경우라도 보수원이 COS 동작 원인을 조사하기 위하여 COS에 휴즈를 갈아 끼우고 재투입하는 경우 약화된 변압기 절연 부분은 내부 아크 단락사고로 이르게 되고 이 때 발생한 아크에너지에 의해 절연유는 휘발성 가스로 분해된다. 분해된 가스

는 급격한 압력상승을 일으키면서 피스톤 운동을 하게 되어 변압기 상부 공기부분을 압축하게 된다. 특히 밀폐계 변압기에서 내부압력 상승이 과대해지면 절연유와 화염의 분출과 함께 폭발이 일어나게 된다.

변압기 부분별 고장 종류와 원인에 대해 Table 3에 나타내었다. 사고 조사 시 각 부분에 나타난 이상증상으로부터 그 원인을 예상할 수 있을 것이다.

<Table 3> 변압기 부분별 고장 종류 및 원인

구 분	고장의 종류	주요 원인
권선, 리드선	선 간 단 락	절연피복의 열화
	코 일 의 단 락	과부하에 의한 열화, 이상전압 침입
	지 락	단락시의 전자기계력에 의한 절연물의 손상
	변 형 , 단 선	단락시의 전자기계력에 의한 변형단선 과도한 진동
철심	접 지 불 량	진동, 충격에 의한 접지선의 이완, 절단
	국 부 과 열	조임볼트의 절연열화 국부적인 폐회로의 생성에 의한 순환전류
	소 음 , 진 동	조임부의 이완
탭 절환기	통 전부 불부착	접촉압력부족, 접촉면 불평활 → 아크발생
	부 품 손 상	접촉불량, 재질불량
	절 연 파 괴	권선, 리드선과 동일

4. 내부 층간 단락시 아크(Arc)진행 현상 과 폭발원인

4.1. 아크(Arc)에 의한 압력 발생기구

절연유 아래의 아크발생 위치의 깊이에 따른 압력이 작용하는 형태는 3가지로 분류된다. 아크 발생 위치의 깊이가 탱크의 반경보다 깊을 때 아크 주위에 형성되어 팽창하는 기포로 가해지는 압력은 유표면을 일정하게 위로 움직이게 한다. 즉, 이는 움직이는 유피스톤에 의한 공기층의 단열압축과정으로 작용한다. 아크발생 위치의 깊이가 유표면 아래 약 8~15cm로 될때 기포는 바로 아크 위 절연유 표면을 부풀려 둥근 표면을 만든다. 이 경우에는 유 피스톤은 그 형태를 유지 할 수 없고 아크 바로 위의 둥근 형 중심에서의 유속은 탱크 벽면 근처의 유속보다 2배 이상 빠르게 된다. 가혹한 사고로 둥근 표면을 형성할 경우 공기층 체적이 주위 압력이 방출되는 아크에너지에 비해 너무 적어서 뚜껑에 직접적인 유(Oil)충격이 가해진다. 또한, 아크 발생 위치의 깊이가 유표면 아래 7.6cm 이하일 때 팽창하는 기포는 즉시 표면을 통과하여 공기층 내로 직접 발산 할 수 있다. 이 경우 아크 발생후 연속적인 시간 간격에 대한 유 표면의 변화를 나타낸 것으로 빠른속도를 보이나 기포가 공기층으로 발산될 때 절연유에 가해지는 구동력이 사라져 위험스러운 과압력은 만들지 못한다. 이는 기포가 가진 큰 에너지가 공기층의 공기와 기포가 섞일 때 짧은 시간에 혼합, 냉각되어 분산되기 때문이다.

4.2. 발생 압력의 크기

1) 유중최대압력

유중의 최대압력은 하향력으로 탱크 바닥에 직접적으로 전달되는 것이며, 최대압력은 아크 전류가 순간적으로 커지는 아크 개시 시점에 발생된다. 최대압력의 크기는 공기층의 압력보다 5~10배 더 높은 크기이나 비교적 짧은 지속시간을 갖는다.

2) 공기층에서의 최대압력

앞서 압력발생기구에서 설명한 바와 같이 아크 발생 위치에 따라 단열압축과정에서는 기포가 유표면 위로 발산되지 않고 움직이는 유는 공기층의 단열압축에 의하여 뚜껑에 직접 충격을 가하지는 않는다. 또한, 탱크의 크기에 따라 아크에너지와 최대압력은 다르게 나타난다. 최대압력의 순간에 유는 멈추게 되고 운동에너지는 공기층에 저장된 압축의 위치에너지로 된다. 이 압축에너지는 아크에 의해 소비되는 총에너지의 5~10%뿐이며 아크에너지의 대부분은 다른 형태에 의해 분산된다. 뚜껑에 의한 유의 충격의 경우 가혹한 사고시 공기층 체적과 주위압력이 방출되는 아크에너지에 비해 너무 작아 뚜껑에 대하여 직접적으로 유 충격이 가해질 수 있다. 한편, 아크 발생 위치의 깊이가 유표면 아래 7.6cm 이하일 때 팽창하는 기포는 표면을 빠르게 통과하여 공기층에서 함께 혼합됨으로서 에너지 전달이 되지 않고 분해된 유에서의 발생가스가 직접적으로 과압력을 만든다.

5. 변압기 사고 발생현황 및 분석

5.1. 발생현황

변압기 폭발 사고는 장시간의 과부하 운전,

경년열화 및 사고 변압기 COS의 재편입 등의 원인외에 단시간의 지나친 과부하운전, 제작불량, 1차 리드선 단락선 접지와외의 아크발생, 절연유감소로 인해 고압선이 노출되어 접지와외의 아크가 발생하고 이 때 변압기 내 상부의 가연성 가스를 발화시키는 경우 등을 생각할 수 있다. 그러나 이상의 경우를 살펴보면 폭발사고의 직접적인 원인은 아크발생이라고 할 수 있다. 주상변압기의 절연유 분출 및 폭발사고는 굉음발생, 뚜껑비산, 화재수반 등의 공중안전을 위협하는 사회적인 문제와 전력공급의 신뢰성 및 경제적 손실 등을 야기하는 것으로 변압기가 관심의 대상이 되어 왔으며, 외국에서도 이에 대한 연구를 행하여 절연유분출 및 폭발에 대한 특별한 관심을 가져왔다.

국내의 주상변압기의 절연유분출 사고의 연도별 발생현황은 Table 4에 나타내었다. Table에서 보는바와 같이 80년대 초 절연유분출 사고가 감소 추세에 있다가 80년대 중반을 기점으로 점차 증가하여 상당수의 사고 건수를 보여주고 있다. 이러한 경향성은 배전 전압의 특고압화 및 계통전원 용량의 증가에 따른 아크 전류의 증가, 최근 부하밀도의 증가에 따른 변압기 설치대수의 증가와 최대부하를 형성하였던 부하 종류가 전

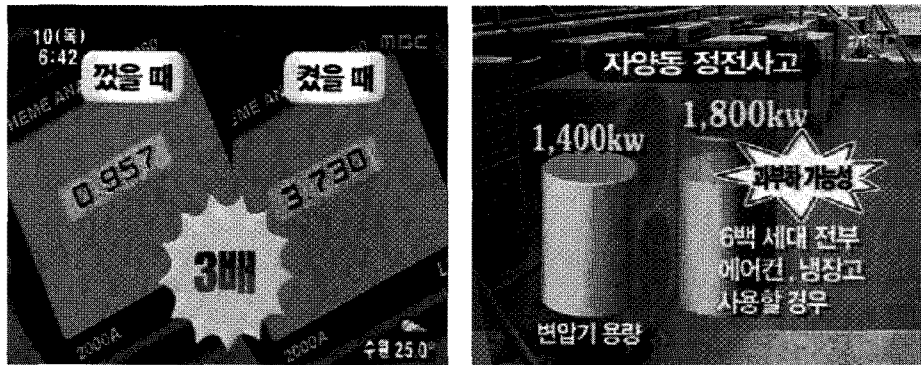
등부하에서 냉방부하로 변화되고 있기 때문으로 분석된다. 또한, 변압기 절연유 분출사고를 계절별로 분석하여 Table 5에 나타내었다. Table에서 알 수 있는 바와 같이 1982년부터 1990년 8월까지의 절연유 분출사고는 71건 중 여름철에 집중하여 58건 즉, 전체 사고의 81.7%를 차지하고 있다. 이는 여름철 냉방을 위한 전력사용량의 증가로 각 가정에 보급된 에어컨 등 가전제품의 대형화와 대량설치로 변압기의 과부하 운전에 의해 발생하는 빈도가 높고 외기 온도의 상승과 전력수요가 급증하기 때문인 것으로 분석된다. 실제로 에어컨 사용 전·후의 전기 사용량 변화를 Figure 3에 나타내었다. 에어컨의 사용시 전기 사용량이 무려 3배 이상 높게 나오는 것을 알 수 있으며, 공동주택의 각 세대에서 에어컨과 냉장고를 사용할 시 과부하 가능성이 있는 것으로 나타났다. 또한, 변압기 절연유의 온도가 1°C 상승함에 따라 0.075%씩 증가하는 온도 특성을 가지므로 주위온도와 태양광에 의한 복사열로 인해 절연유의 체적증가 및 증기발생량이 큰 여름철에 가장 사고가 가장 많이 발생하는 것이다. 즉, 이는 주위 온도가 최고 온도가 되는 시각에 냉방부하가 가동되어 과부하가 되고 변압기 온도도 최고로 상승하기 때문이다.

〈Table 4〉 연도별 절연유분출 사고 분석

연도별	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990.8	합계
발생건수	10	7	6	1	2	3	4	10	28	71

〈Table 5〉 계절별 절연유분출 사고 분석

연도별	봄	여름	가을	겨울	합계
발생건수	6	58	3	4	71
점유율(%)	8.5	81.7	4.2	5.6	100



〈Figure 3〉 에어컨 사용 전후 전기 사용량 변화

2005년 주상변압기의 절연유 분출사고의 유형별, 사용 기간별 현황을 Figure 4, 5에 각각 나타내었다. 유형별로는 열화에 의한 사고가 76.4%로 대부분을 차지하고 있다. 이는 과부하, 냉각 불량, 주위온도 상승 등의 열적 열화, 일시과전압, 서지전압 등의 전기적 열화, 단락력 등의 기

계적 열화 및 절연저하, 오손, 트래킹 등을 유발시키는 습기, 먼지 등에 의한 환경적 열화에 의한 사고가 76.4%로 가장 높게 나타났다. 또한, 변압기의 사용 기간별로는 10년 이상이 47.1%, 5년 미만이 35.3%의 순으로 나타났다.

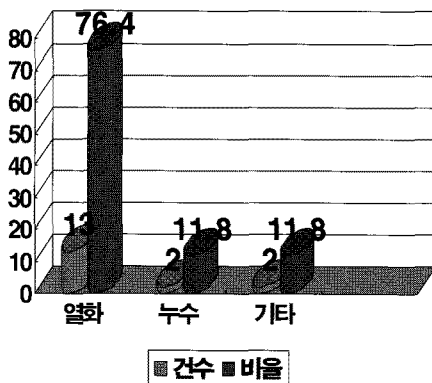


Figure 4. 사고 유형별 분석(2005년)

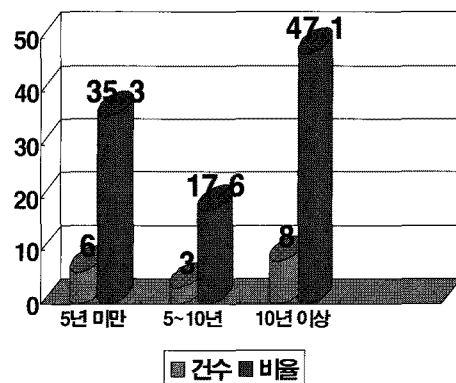


Figure 5. 사용 기간별 분석(2005년)

5.2. 분석

전기안전공사에 따르면 지난 7월과 8월 무더위 기간 중 발생한 아파트단지의 정전사고 19건 중 14건은 과부하로 인한 사고였고, 과부하 정전

사고 중 76%인 11건이 변압기 과부하 사고였다. 특히 최근 변압기 과부하로 인한 정전사고가 잇따라 발생함에 따라 노후 아파트의 변압기 교체에 대한 대책마련이 시급하다는 지적이 일고 있다. 15년 이상 된 소형 주공 아파트의 경우 변압

기 용량이 가구당 0.6~0.9kW, 민간 대형 아파트도 약 2kW 정도에 불과하다. 하지만 변압기 용량을 늘리는데 100kW당 1000만원 이상의 비용이 들기 때문에 용량증가가 쉽지 않은 실정이다. 이로 인해 용량 증설 없이 노후 변압기를 그대로 사용하고 있어 과부하로 인한 화재 사고에 무방비로 노출돼 있어 연례행사처럼 되풀이 되고 있다. 따라서 노후 아파트 변압기 사고에 대한 시급강제규정 등 근본대책 마련이 선행되어야 한다.

5.3. 지상변압기 안전관리 실태

- 변압기 보호장치의 비보호구간 상존으로 자체 보호기능 미흡
- 변압기 내부의 급격한 압력 상승시 현행 방압밸브의 방출능력 미흡
- 변압기 내부 구조 복잡
- 유분출고장시 인명피해 발생으로 사회적 물의 야기
- 지중배전용 지상기기의 크기가 과대하여 부정적 이미지 팽배
- 한전 용역회사가 관리
- 유지관리에 따른 대처방법 등 안전교육 미흡

III. 결론 및 제언

변압기 사고는 과거에 비해 국민소득과 생활수준이 향상되어 각 가정에 보급된 에어컨 등 가전제품의 대형화와 대량설치로 변압기의 과부하 운전에 의해 발생하는 빈도가 높고 외기 온도의 상승과 전력수요가 급증하는 여름철에 집중적으로 발생되므로 이 기간 동안 철저한 관리

가 요구됨으로 일상점검과 부하변동 추이, 변압기 온도상승 등에 대한 기록유지 및 분석, 판단 등을 통하여 결과에 따라 용량 부족 변압기 교체 등 근본적인 조치가 있어야 할 것이다.

또한 절연유 분출 및 폭발사고는 변압기 내부 고장에 의한 큰 아크전류가 수반되어야 하므로 이에 대한 대책은 변압기 내부에 큰 아크전류가 발생하지 않도록 하는 방법과 냉각 매체로서 절연유를 사용하지 않는 변압기의 사용함으로써 막을 수 있을 것이다.

좀 더 구체적으로는 다음과 같은 내용이 개선되어야 할 것이다.

1. 유입식 변압기의 안전성 확보 방안으로 1차측(고압측)에 피뢰기와 보호퓨즈 및 2차측(저압측)에 과부하 차단기와 같은 보호장치를 하여 변압기 사고 원인인 낙뢰 등 서어징 전압의 침입을 근본적으로 차단함으로써 전기적 스트레스와 과전류에 의한 열적 스트레스를 차단하여야 한다.
2. 변압기 내부고장, 2차 저압측 고장 및 과부하시 차단이 가능한 적당한 용량의 1,2차 퓨즈를 사용함으로써 피해를 방지해야 한다.
3. 절연파괴의 원인이 되는 수분 및 산소의 침입을 막을 수 있도록 특성이 좋은 개스킷을 사용하고, 적절한 분출장치의 도입으로 정압상태 및 단락전류에 의해 발생하는 압력 등을 적절히 방출할 수 있도록 하여야 한다.
4. 변압기는 부하전류에 의해 열적 스트레스를 지속적으로 받기 때문에 합리적이며 적절한 부하관리 및 과부하 차단기의 사용 등을 통하여 변압기가 충분히 견딜 수 있는 열적스트레스 만을 받도록 하여야 한다.

- 이렇게 함으로서 단시간의 지나친 과부하 운전 및 장시간의 과부하운전에 따른 주상 변압기의 폭발원인을 줄일 수 있을 것이다.
5. 절연유 상부의 공기체적을 탱크체적의 1/3 정도가 되도록 하여 변압기 절연유 중에서의 아크 발생시 절연유의 열분해에 따른 압력상승으로 인한 폭발에 이르기까지의 시간이 길어지고 폭발을 제어할 수 있는 시간적 여유를 가질 수 있을 것이다.
 6. 유입식 변압기의 경우 절연유의 자체 경년 열화를 막을 수 없으므로 정기적인 절연유의 절연내력 시험을 통해 점검할 필요가 있다.
 7. 근본적으로는 절연유를 사용하지 않는 건식변압기 및 가스절연변압기 등의 사용을 의무화하여야 한다.
 8. 변압기 사고 유형별 SOP를 작성하고, 유지·보수자에 대한 안전교육을 철저히 시켜 사고시 적절한 대처로 화재·폭발 사고로의 전이를 막아야 억제해야 한다.

현재 이러한 안전장치가 없는 지상설치형 유입식 변압기에 동종 화재가 발생 시 폭발이 일어날 가능성을 내포하고 있다는 것을 인지하고 소화활동 시 각별한 주의를 하여야 하며, 화재 발생 시 1, 2차측 부하를 신속하게 차단하고 소화활동을 하여야 하며, 절연유가 분해되어 변압기 내부 압력이 증가 되었을 것을 고려하여 충분한 냉각으로 압력상승 요인을 막아 폭발을 저지 하여야 할 것이다.

참고문헌

1. 한국전력공사 기술연구원, “주상변압기 절연 파괴 감소대책 연구”, (1991)

2. 전력연구원, “주상변압기 품질향상 및 신기술 개발 심포지움”, (2001)
3. 전력연구원, “주상변압기 단락특성 개선에 관한 연구”, (2002)
4. 전력연구원, “지상변압기 품질개선 및 적용기술”, (1995)
5. 전력연구원, “전기절연유의 관리기준 및 분석 방법에 관한 기술보고서”, (1998)
6. 한국전력공사 기술연구원, “전력용 변압기 사고감소에 관한 연구”, (1989)
7. 전력연구원, “개폐장치 내장형 지상변압기 개발”, (1997)
8. 전력연구원, “보호장치 내장형 일단접지 지상 변압기 개발”, (1996)
9. 한국전기안전공사, “변압기 권선 층간열화 검출 프로그램개발 연구”, (2001)