

식물성 절연유의 전력용 변압기 적용에 따른 문제점 고찰 및 전망

Problem considerations and expectations in applying vegetable oil to power transformer

박 현 수*, 김 지 호*, 이 향 범**

Hyun-Soo Park, Ji-Ho Kim and Hyang-Beom Lee

Abstract

In past, transformer connection study was concentrated on efficiency improvement and life time broadening. But environmental side began to become important recently. In existing, quick transaction of mineral oil used to insulation oil of transformer is possibility to be difficult and causes environmental pollution in case of was outpoured and there is worry of fire occurrence. Accordingly, nonflammable performance becomes many interest in excellent vegetable oil because ignition point is high than mineral oil and environment friendly material. But, vegetable oil is cooling of transformer and insulation problem of insulating paper for cause of insulation oil special quality. Therefore, in this paper, special quality of vegetable oil that there are being a lot of mineral oil and the latest interest examined about problem and consideration item to be solved to analyzed comparison and applies vegetable oil to transformer for electric power.

Keywords : Power transformer, Vegetable Oil, transesterification, insulating paper

I. 서 론

1885년 미국에서 처음으로 배전급 건식변압기가 제작된 이래 1892년 광유를 적용한 변압기가 GE(General Electric) 사에 의해 처음으로 개발 되었다. 당시 유입변압기의 냉각 매체로서 광유의 성능을 향상시키려는 연구와 더불어 식물성 절연유를 사용하려는 여러 가지 실험이 이루어 졌으며 식물유는 산화안정성의 부족과 높은 점도로 인한 흐름성의 부족으로 사용화 되지는 못 하였다[1].

광유는 석유로부터 추출된 물질로 가연성이 있으므로 화재 위험성이 있다. 따라서 이를 해결하기 위한 방안으로 PCB(Polychlorinated Biphenyl)등을 함유하는 비가연성 절연유가 한동안 사용되었으나, 1976년 PCB의 인체 위험성 및 심각한 환경오염 등을 문제로 독극물질 규제 법안에 따라 강도 높은 비난이 시작 되었고 EPA의 규제가 가해짐에 따라 마침내 PCB의 추가적인 생산과 상업화에 대한 금지 조치가 단행 되었다. 이러한 계기를 바탕으로 화재에 대한 안정성을 확보할 수 있는 다른 변압기의 연구 개발이 시작 되었고 PCB가 포함되지 않은 친환경적인 불연성 냉각매체가 개발되었다[2-3].

그 후 화재 발생의 문제점을 해결하기 위한 노력으로 SF6 가스를 절연 매체로 하는 가스 변압기와 R-Temp 등의 난연유를 절연 매체로 하는 난연유 변압기 등의 약 10종의 냉각매체가 개발되었다. 하지만 대도시 일부 변전소

에 적용된 SF6 가스절연 변압기는 SF6 가스가 지구온난화를 가속화시키는 물질이기 때문에 사용규제를 받고 있고, 구입가격도 비싸 확대에 한계가 있다. 또한 난연유도 광유처럼 누출 시 토양이나 수자원 오염을 일으켜 생산이 중단된 상태다.

이러한 먹을 수 없는 오일을 포함하는 책임 위험과 환경적인 규제에 따라 결과적으로 확대된 연구개발의 노력으로 1990년대 초에 식물성 절연유에 대한 연구가 다시 시작 되었다. 하지만 현재 국내 기술 상태에서 일반 변압기에 그대로 식물성 절연유를 적용한다면 초기 식물유 구입비용이 약 1.2 ~ 1.3배정도 높게 나타나며 추정 수명 또한 20년 이내로 광유와 큰 차이가 없다.

이러한 기술적 한계를 극복하고 환경적인 부분에서 그 효용가치가 높은 식물성 절연유를 변압기에 적용하기 위해서는 어떠한 문제점이 있으며 기존에 사용하던 광유와는 어떠한 차이점이 있는지에 대하여 본 논문에서 검토하였다.

II. 본 론

1. 해외 기술 현황 및 국내 기술 현황.

미국은 1990년대 말부터 기업들이 ETV 프로그램을 적극 활용해 왔으며 그 결과 Cooper사와 ABB사에서 절연유를 개발하였으며, 배전용 변압기나 녹지나 공원에 설치되는 변압기의 절연유를 환경을 고려한 식물성 절연유로 채택하여 운용하고 있다. 식물유에 대한 현장 경험은 약 6~7년 가까이 되었으며, 사용량이 매년 증가하고 있다[4].

일본의 경우 2000년에 들어서 환경 친화적인 식물성 절연유를 연구하시 시작하였다. 일본의 관서전력은 전 세계

접수일자 : 2009년 08월 14일

최종완료 : 2009년 08월 14일

*숭실대학교 전기공학과 대학원

**숭실대학교 전기공학과

교신저자, E-mail : hyang@ssu.ac.kr

적으로 실시되고 있는 3R(Reduce, Reuse, Recycle) 프로젝트의 일환으로 식물성 절연유의 연구를 하여 환경 적합성과 우수성을 검증하고 있다.

우리나라에서 식물성 절연유는 전기연구원에서 기술 개발 연구가 수행되었으며 최근 동남석유가 개발 및 시험을 완료했으며, 신화유화에서도 개발 중이다. 식물성 절연유를 사용한 변압기는 한전에서 시범운행 하고 있으며, 사용된 변압기는 풍산전기에서 개발되었다. 그리고 한전 전력연구원에서도 식물성 절연유를 사용한 변압기 연구가 수행중이다.

2. 식물성 절연유와 광유의 화학적 특성

변압기의 냉각 작용은 자연대류에 의해 이루어지고 있다. 자연대류에 의한 열전달 특성은 유체의 속도, 밀도, 점도의 함수이며 액체의 점도가 증가하는 주요 원인은 분자간의 응집력 때문이다. 식물성 절연유는 광유에 비해 약 3배 정도 점도가 높아 변압기 냉각에 상당한 영향을 주게 된다. 또한 식물유는 온도가 낮을수록 점도가 급격히 높아지기 때문에 겨울철에 변압기 부하가 낮거나 교체 운전 초기에는 냉각이 원활하지 않아 과열점 온도가 급격히 상승되거나 강제 순환방식의 변압기의 경우 절연유순환펌프의 작동을 어렵게 하여 변압기의 수명을 단축시킨다.

이와 같은 식물성 절연유의 점도를 낮추는 방법으로 식물성 절연유를 식물유와 알코올의 에스테르 교환반응에 의해 얻는 방법이 있다. 이와 같은 알코올의 에스테르 교환반응을 이용하여 식물성 절연유를 얻을 경우 점도를 낮출 수 있다. 에스테르 교환반응을 통하여 제조된 식물성 절연유는 점도가 광유의 70% 수준으로서 유동성이 좋아 냉각 성능의 향상을 도모할 수 있으므로 기기의 수명을 증가시키는 효과를 기대 할 수 있다[4].

변압기에 사용되는 식물성 절연유는 내부에서는 온도 특성과 절연능력이 좋고 화학적으로 안정되어야 하며 외부적으로는 독성이 없고 생분해성이 좋아야 한다. 기존의 광유 및 실리콘유와 비교할 때 실리콘유는 거의 생분해가 되지 않고 광유는 약 30% 정도 분해가 된다. 이에 비하여 식물유는 생분해도가 90%이상으로서 환경에 영향을 덜 미친다.

표 1. 광유 절연유의 기준 및 식물성 절연유의 특성
Table 1. The standards of mineral oil and characteristics of the vegetable oil

	광유 절연유 기준	식물성 절연유 특성
비중	(15℃) 0.91 이하	(25℃) 0.92
동점도	40℃	13cSt 이하
	100℃	4cSt 이하
유동점	-27.5℃ 이하	-21℃
인화점	140℃ 이상	330℃
전산값	0.02mgKOH/g 이하	0.04mgKOH/g
산화안전성	0.4mgKOH/g이하	-
수분함량	30ppm 이하	30ppm
절연파괴전압	(2.5mm)	(2.0mm)
	40kV 이상	56kV

표 1은 광유의 절연유 기준과 식물성 절연유의 특성을 비교 한 것이다[4].

표 1에서 보는 바와 같이 식물성 절연유는 광유 절연유에 비하여 인화점은 2배 이상, 절연파괴 전압은 1.5배 정도로 기존 광유의 기준보다 우수하다. 하지만 점도, 유동점, 전산값, 수분함유량은 광유의 기준에 미치지 못 하므로 이에 대한 개선 또는 대안이 필요하다.

절연유가 대기 중의 수분을 흡수하게 되면 가수 분해가 일어나거나 전기적 특성이 저하된다. 국내 배전급 변압기는 대용량의 전력용 변압기와 같이 수분 접촉을 제한하는 질소봉입이나 채습장치가 없고 밀폐형 구조가 아니기 때문에 공기 중에 중에 있는 수분에 노출될 가능성이 높다. 절연유는 그림 1에서와 같이 대기 중에 포함된 물 분자를 흡수하여 수분 함량이 증가한다. 특히 식물성 절연유는 광유에 비해 수분에 대한 친화력이 크기 때문에 보다 많은 수분을 흡수하는 특성을 나타낸다[5].

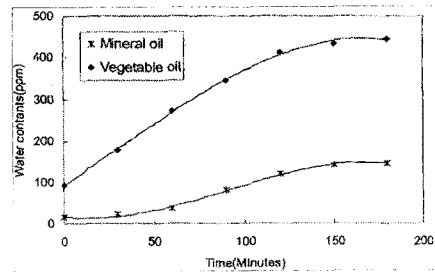


그림 1. 대기중에서 절연유의 수분 흡수

Fig. 1. Moisture absorption of fluids in the atmosphere

광유의 상온 수분 포화도가 약 160 mg/kg 정도인 반면에 식물유는 7배가 큰 약 1,100 mg/kg이다[5]. 절연유가 대기 중의 수분을 흡수하게 되면 가수분해가 일어나거나 전기적 특성이 저하된다. 특히 식물성 절연유의 경우 수분 함량이 높을수록 절연특성이 급격히 감소하는 특성을 보이기 때문에 변압기 성능향상을 위해 수분함량을 엄격히 제한하여야 한다. 반면 식물성 절연유의 높은 수분함유 특성은 변압기 층간 절연지가 함유하고 있는 수분량을 낮출 수 있으므로 변압기 층간 절연성능 향상을 기대 할 수 있다. 따라서 식물성 절연유를 사용할 경우 광유를 사용하였을 때 보다 절연지의 수명을 보다 길게 할 수 있는 장점이 있다. 이와 같이 식물성 절연유의 높은 수분 함유 특성은 변압기의 절연특성을 결정 하는데 있어서 장점과 단점을 동시에 지니고 있다. 따라서 변압기 제조과정에서 기밀구조를 견고하게 하거나 수분함량을 관리하는 기준이 설정되어야 한다.

3. 절연유에 따른 층간절연지의 전기적 스트레스

배전급 변압기는 대부분 고압측에서 층간 절연파괴 형태로 고장이 발생한다. 따라서 고압측 권선의 각 층 절연구성이 변압기 수명과 밀접한 영향이 있다. 그림 2와 같이 고압측 각 층은 절연지 3~5 매로 절연되어 있으며, 코일과 절연지 사이의 여유 공간은 절연유로 채워진다. 따라서 각 층간에는 두 종류의 절연물이 전기적 스트레스를 분담하게 된다[5].

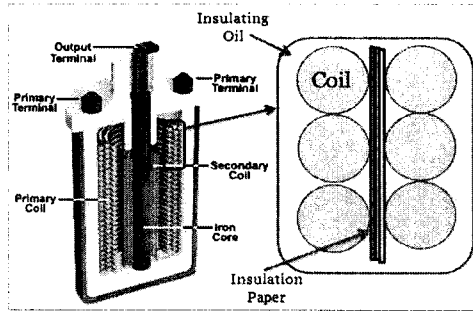


그림 2. 배전용 변압기 권선의 단면도
Fig. 2. A Partial cross section of coil winding

변압기 내부의 절연지와 코일에 작용하는 전압을 그림 3과 같이 간단하게 표현 할 경우 코일과 절연지에 작용하는 전기적 스트레스는 식 (1)과 같이 나타난다.

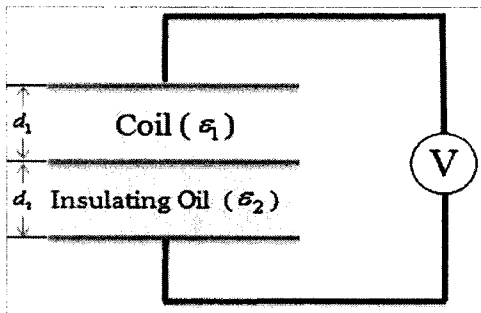


그림 3. 절연물의 유전율과 전기적 스트레스
Fig. 3. Dielectric stress distributes inversely proportional to the material permittivity

$$E_1 = \frac{V}{\frac{\epsilon_1}{\epsilon_2}d_1 + d_2} \quad (1)$$

$$E_2 = \frac{\epsilon_1}{\epsilon_2}E_1 \quad (2)$$

식 (1)과 식 (2)에서 알 수 있듯이 각 절연물에서의 전기적 스트레스는 절연물의 두께와 유전율의 함수로 결정되는데 절연지의 전기적 스트레스는 유전율이 절연지 보다 낮은 절연유에서 전기적인 스트레스를 크게 받게 된다. 식물성 절연유의 경우 비유전율은 3.0으로 광유의 약 1.4배를 갖는다. 또한 절연지와 비슷한 비유전율을 가짐으로써 광유에 비해 효과적인 절연설계가 가능하여 같은 용량에서 변압기의 크기를 줄 일수 있는 효과가 있다.

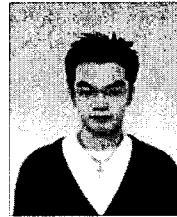
III. 결 론

현대 사회에서 가장 큰 이슈 중의 하나는 환경오염에 대한 문제이다. 이는 전력산업에도 예외가 아닐 수 없다. 이에 대한 노력으로 한국을 비롯한 여러 나라에서는 기존에 사용하던 광유의 환경오염 문제를 인식하고 식물성 절연유의 연구를 진행하고 있다. 하지만 환경오염을 줄일 수 있을 뿐만 아니라 절연내력을 높여 변압기의 소형화를 가능하게 하는 식물성 절연유는 점도와 수분함유 등의 문제로 장기 신뢰성이 떨어지는 것이 현실이다. 이에 대한 확실한 검증과 신뢰성이 확보 된다면 선진국의 환경규제정책

과 관련되어 국내에서도 환경친화적인 전력기에 응용 가능할 것으로 판단된다.

[참고 문헌]

- [1] F. M. Clark, "Insulating Materials for Design and Engineering Practice", New York : Wiley, 1962
- [2] "PCB Regulations", U. S. Environmental Protection Agency, Public Law 94-469, 1976.
- [3] "Disposal of Polychlorinated Biphenyls(PCB's)", U. S. Environmental Protection Agency, 40 CFR, Federal Register, p.750, 1998
- [4] 한국 전기연구원, "환경친화형 식물성 절연유 기술개발", 과학기술부 보고서, 2004
- [5] 이병성, "식물성 절연유를 사용한 배전용 변압기의 열화 및 냉각특성 파악", 충남대학교 박사학위 논문, 2006.



박 현 수

2009년 숭실대학교 전기공학과 졸업
2009년~현재 숭실대학교 전기공학과 석사 과정
<관심분야> 전기기기 최적설계, 전자장
수치해석, RF 소자 최적설계
<e-mail> zssampak@ssu.ac.kr



김 지 호

2004년 숭실대학교 전기공학과 졸업
2006년 숭실대학교 전기공학과(공학석사)
2008년 숭실대학교 전기공학과(박사수료)
<관심분야> 전기기기, 비파괴검사, 전자기 센서
설계 및 개발, 전자기 수치해석
<e-mail> magnetic1@ssu.ac.kr



이 향 범

1989년 서울대학교 전기공학과 졸업
1991년 서울대학교 전기공학과(공학석사)
1995년 서울대학교 전기공학과(공학박사)
1998년~현재 숭실대학교 전기공학부 교수
<관심분야> 전기기기, 비파괴검사, 전자장
수치해석 및 설계, 전자기 센서
설계 및 개발

<e-mail> hyang@ssu.ac.kr