

펄스레이저 및 광다이오드를 이용한 변압기 절연유의 절연감시법

조정수\*, 양동민, 안광선, 윤성호, 김희제.  
부사대학교 전기공학과

Monitoring method of transformer insulating oil using pulsed-laser and photodiode

J. S. Cho\*, D. M. Yang, K. S. An, S. H. Yoon, H. J. Kim.  
Dept. of Electrical Eng., Pusan national Univ.

**Abstract** - This paper is research for the practicability of instrument which can apply to the transformer on the spot with the criteria of insulation oil with the method of measuring the volume of H<sub>2</sub>O in the insulation oil by playing insulation oil with the significant role for precaution diagnosis on breakdown of transformer among power system into Nd:YAG laser.

하면 절연파괴 전압, 산가(酸價), 체적저항,  $\tan \delta$ , 안정도, 점도, 인화점, 색깔 등에 영향을 미친다. 이러한 변압기내 절연유의 측정은 원칙적으로 1년에 1회 절연 파괴시험 및 산가측정시험을 통해 절연유열화정도를 파악하여 열화된 절연유는 재생 및 교체를 통하여 변압기 사고를 사전에 예방하고 있다.

1. 서 론

최근 산업의 발달로 인한 전력사용량의 증대는 전력을 구성하는 기기의 대용량화와 초고압화를 초래하였으며, 이에 따른 전기의 안정적 공급이 요구되고 있다. 특히, 자가용 수변전설비의 사용에서 가장 중요한 역할을 하는 변압기는 돌발적인 사고시 정전구역이 광범위할뿐만 아니라, 사고복구시간이 오래 걸리기 때문에 이로 인한 생산차질 및 경제적 손실은 매우 크다고 할 수 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 변압기의 열화진단법에 대한 연구는 오래전부터 지속적으로 이루어져 왔다.

특히, 유입변압기내의 절연유는 절연과 냉각에 있어서 매우 중요한 요소로 경년열화로 인한 변압기의 이상유무를 파악하는 주요 자료가 되므로 정확한 절연유 열화정도를 파악하여 열화로 인한 변압기사고의 예방진단에 대한 중요 자료로 활용되고 있다.

기존의 절연유 열화정도를 측정하는 방법으로는 변압기내의 절연유 시료를 채취하여 절연유내압시험기로 일정 승압비에 따라 전압을 상승시켜가면서 절연유의 절연 파괴 전압을 측정하는 절연내압시험이 보편적으로 이루어지고 있고, 이 밖에 절연유중에 존재하는 산소에 의해서 산화작용을 받아 절연유의 주성분인 탄화수소가 유기산으로 되어 이것에 의하여 슬러지(sludge)를 생성하므로 절연유의 전기절연성이나 냉각능력을 현저하게 저하시키는 산가성분을 측정하는 산가측정 방법을 사용하고 있다.

본 연구에서는 펄스형 Nd:YAG 레이저의 SHG변환을 통한 녹색광의 우수한 출력특성과 직진성을 이용하여 절연유 열화의 주원인이 되는 절연유내의 수분함량을 측정하여 녹색광 투과로 인한 절연유의 흡광도를 기존의 측정치와 비교 검토하였다. 또한 광다이오드를 이용, 수광부를 설계하여 레이저 흡광도에 의한 절연유 양부 판정기준과 현장에 설치된 변압기에 적용할 수 있는 레이저 광 분석 계측기의 활용가능성에 관하여 검토하였다.

2. 실험방법 및 결과

절연유는 변압기의 전기적 절연과 냉각작용에 중요한 역할을 담당하고 있으나 사용중 온도, 수분, 수소 등의 영향을 받아 열화하여 절연내력 및 냉각능력이 저하하게 되므로 변압기사고의 원인이 된다.

그림 1은 절연유 열화과정을 나타낸다. 절연유가 열화

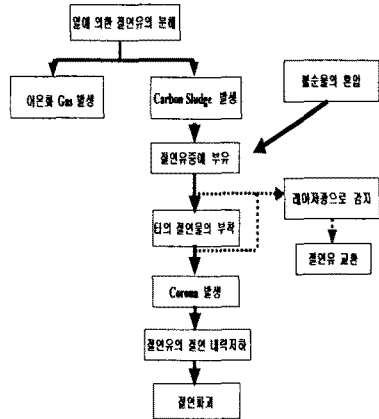


그림 1. 절연유 열화과정

그림 2는 열감량분석기로 절연유내의 수분함량을 측정 한 것으로 절연파괴전압이 증가함에 따라 수분함량은 감소하였고 절연파괴전압이 감소함에 따라 수분함량은 증가함을 알 수 있다. 즉, 절연유내의 수분함량에 따라 절연파괴전압이 일정하게 변화함을 보여주고 있다.

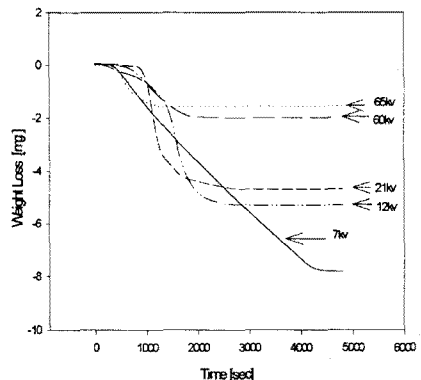


그림 2. 절연내력에 따른 수분함량

그림 3은 절연유 열화측정장치의 개략도이다. 중앙에 단일타원구조의 레이저헤드가 있고, 전반사경(반사율 99.5[%]이상, 곡률 반경 2[m]의 옴목거울)과 부분반사경(반사율 60[%]의 평면거울), 1064[nm]의 적외선 광을 532[nm]의 녹색광으로 변환시키는 SHG(Second Harmonic Generation)변환기로 구성되어 있다.

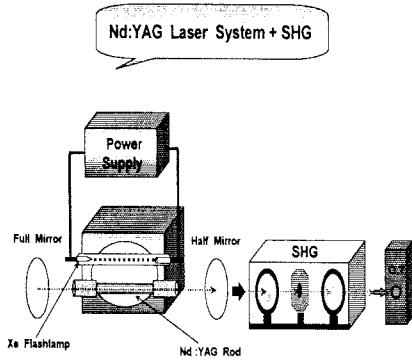


그림 3 레이저를 이용한 절연유 분석장치

레이저헤드 내부에는 금막 코팅처리가 되어있으며, 초점이 2개로써 하나의 초점에는 플래쉬램프를 두고, 또다른 하나에는 Nd:YAG 로드(rod)를 두어 플래쉬램프에서 방사한 광이 모두 로드를 향하도록 설계되었다. 그리고 1064nm의 파장을 가진 적외선 레이저 출력인 KTP(온도 176°F로 유지됨)를 통과한 후 532(nm)의 파장을 가진 녹색광원으로 변환되도록 설계하였다.

Nd:YAG에서 나오는 레이저빔은 1064(nm)인 적외선이므로 절연유의 절연열화를 일으키기 때문에 SHG변환기를 통과하여 532(nm)의 파장을 가진 녹색광원으로 변환시키면 가시광선의 파장이 되므로 절연유의 화학적 변화 없이 정확한 데이터를 얻을 수 있다.

먼저, 몇 개의 변압기에서 채취한, 사용기간이 다른 열화된 절연유들을 절연 내압 시험기로 진단을 하였다. 다음은 본 실험에서 사용한 절연유 내압시험기의 규격이다.

- ① 입력전압 : AC 100 [V] 50/60 [Hz]
- ② 입력전압 조정범위 : AC 0 - 130 [V]
- ③ 용량 : 500 [VA]
- ④ 오일컵내 전극구경 : 12.5 [φ]
- ⑤ 시료용량 : 200 [cc]
- ⑥ 기기중량 : 약 30 [kg]

사용방법으로는 먼저 전원조정부와 고압발생부를 약 1 [m]정도 이격시켜 전원조정부와 고압발생부를 리드선으로 연결시키고, 오일컵의 극 간격을 2.5 [mm]되게 조정하여 절연유를 채우고 전압 3 [kV/sec]로 상승되게 하여 고전압이 절연유에 가해지면서 절연파괴될 때까지 전압을 인가하여 절연파괴되는 값을 측정하였다. 측정된 값은 5회 측정하여 최고값과 최저값을 삭제하고 평균을 취하였다. 표 1은 현장에서 채취한 각 시료를 절연내압시험기로 측정한 측정값이다.

	1회	2회	3회	4회	5회	평균(kV)
A시료	15	8	5	7	7	7
B시료	24	19	22	18	25	21
C시료	42	41	37	39	39	40
D시료	62	59	60	61	60	60
E시료	64	65	65	67	65	65

표 1. 각 시료에 대한 절연내압시험기 측정값

이 시료들을 녹색광이 수직으로 통과할 수 있도록 특수하게 제작된 원통형 유리병에 각각 담은 후에 출력이 200[mJ]로 고정된 녹색광을 절연유에 투과시켰다. 이때, 각각의 절연파괴전압에 대한 레이저 출력을 얻었다. 그림 4는 절연파괴전압에 따른 레이저 출력에너지의 특성을 보이고 있다.

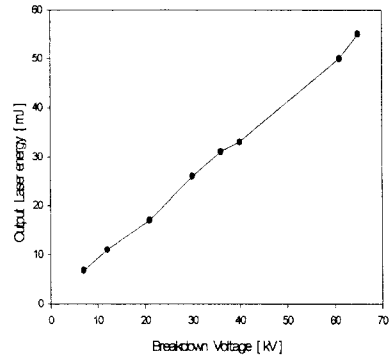


그림 4. 절연파괴전압에 따른 레이저출력

그림 4에서 알 수 있는 바와 같이 열화된 절연유를 투과시킨 녹색광 레이저 출력의 변화추이가 절연내압 시험기로 측정된 결과와 비슷한 경향을 나타냄을 알 수 있다. 절연파괴전압이 낮은 것은 절연유 속에 불순물이 많이 포함되어 있기 때문에 투과시킨 레이저 출력도 감소하는 것을 알 수가 있다. 이 실험결과에 따르면 전기적 절연파괴 시험을 하지 않고도 충분히 그 열화 성능을 판단할 수 있다.

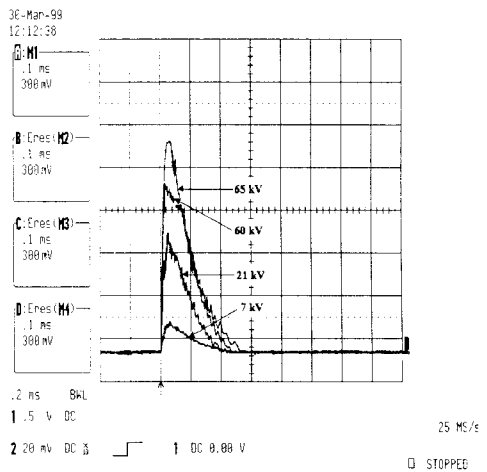


그림 5. 절연파괴전압에 따른 광다이오드 출력

그림 5는 절연파괴 전압에 따른 광다이오드(MRD721 PIN photodiode)의 출력파형으로 실변압기에 계측기로 활용시 저가격의 비용으로 레이저 절연내압시험기제작이 가능함을 보여준다. 파형의 변화는 절연파괴전압이 높아짐에 따라서 광다이오드의 신호파형이 크게 나타난다. 이는 절연유 층을 통과하면서 흡수와 산란에 의해 광의 세기가 줄어드는 Lambert-Beer 법칙 [9]에 의한 것이다. 즉, 신호의 크기에 비례하는 절연유

의 열화상태를 판별할 수 있다.

### 3. 결 론

본 연구에서는 절연유내의 수분함량에 따른 절연유 열화정도를 분석하였고, 분석된 시료에 펄스형 Nd:YAG 레이저의 제2고조파 변환을 통한 녹색광을 투과시켜 흡광도를 측정하여 다음과 같은 결론을 얻었다

1. 절연내력에 따른 절연유내의 수분함량 비율은 절연파괴전압이 상호 역비례관계를 가지고 있다.
2. 절연유내의 수분함량비율에 따라 레이저광 투과량이 비례하였다..
3. 레이저광 출력량에 따른 광다이오드 전류파형의 피크치는 선형성을 가지며 저가격의 계측기 개발에 활용할 수 있다.

### (참 고 문 헌)

- [1] 홍상근 외2인 "柱狀 變壓器 事故 豫防 對策"
- [2] T. O. Rouse. IEEEIntern. Symp. Electr. Insulcll 1287-2EI, 250(1978)
- [3] R. A Lipshtein, M.Z shakhnovichi. Transformer Oil, p126 Isreal Program Transation(1970)
- [4] 신규식. "柱上變壓器 絶緣油 熱火過程 研究調査" 韓國電力公社 技術研究報告
- [5] "注入 變壓器 外部診斷 技術"
- [6] "變電機器의 豫防保全 ( Prevention Maintenance for substain equipment)" 眞壁政治 富士時報 p138.
- [7] Hee-Je Kim, Jon-Han Joung, Dong- Hoon Lee, and Dong-Hyun Kim " Active two-pulsed superposition technique of a pulse Nd:YAG laser ", Optical Engineering, Vol 37, Issue 6, pp. 1780-1784, June 1 998.
- [8] Koechner.W. " Solid-State Laser Engineering. Springer Verlag",New York, Heidelberg, pp. 341-343, 578-583. 1996.
- [9] Leno J. Radziemski, Richard W. Solarz, Joffery A. Poisner. "Laser Spectroscopy and Its Applications "MARCEL DEKKER. INC. New York and Bassel p26 1-263 1987