Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers Vol. 14, No.6, pp. 35~42 November 2000 [논문 : 14-6-6]

음향방출법에 의한 몰드형 전력변압기의 절연열화 진단

(Diagnosis of Insulation Deterioration in Cast-Resin Power Transformer using Acoustic Emission Techniques)

이상우* · 김인식** · 이동인*,** · 이광식***

(Sang-Woo Lee · In-Sik Kim · Dong-In Lee, Kwang-Sik Lee)

요 약

본 연구에서는 몰드형 전력변압기의 절연열화 상태를 진단하기 위해 에폭시 수지의 보이드방전에 의한 절연열화의 상태를 트리의 길이에 따라 열화 초기, 중기 및 말기로 구분하고, 이때 방출된 음향신호를 분석하였다. 또한 보이드방전에 의한 음향신호를 측정할 때 몰드변압기의 철심에서 발생되는 자기적 음향 노이즈가 중첩됨으로 이를 구분하기 위해 용량 500[kVA]인 실용 몰드변압기를 배전 계통 22.9[kV]의 선로에 접속하였을 때, 자화전류 및 부하전류에 의해 각 상에서 발생되는 음향 노이즈 신호의 주파수 스펙트럼을 분석하였다 실험 결과, 에폭시수지의 보이드방전에 의해 발생된 음향방출신호의 주파수 스펙트럼은 열화상태에 따라 약 50-230[㎑]의 범위에서 측정되었으나, 배전계통에 접속된 실용 몰드변압기의 자화전류 및 부하전류에 의해 발생된 자기회로의 음향 노이즈에 대한 주파수 스펙트럼은 약 40-120[㎑] 대역인 것으로 나타났다

Abstract

In this paper, AE(Acoustic Emission) signals detected from the growth of the electrical tree in an epoxy resin under ac high-voltage application were analysed to diagnose the insulation deterioration of cast-resin power transformer. Frequency spectra of AE signals generated from the magnetizing and the load currents in the actual operating cast-resin power transformer of 500[kVA] under distribution system of 22.9[kV] were also analysed to distinguish the AE signals due to void discharges from the magnetic circuit noises in the core of the transformer. As the experimental results, we could distinguish the AE signals whether those signals were caused due to the void discharges or due to the magnetic circuit noises by analyzing the frequency spectrum of AE signals. The frequency spectra of AE signals generated from the cast-resin power transformer in operation due to both the magnetizing and the load currents appeared in the range of 40-120[㎑], but the frequency band of AE signals emitted from the void discharges in an epoxy resin sample was about 50[㎑] to 230[㎑].

Key Words : Acoustic Emission, Cast-Resin Power Transformer, Insulation Diagnosis

1. 서 론

오늘날 전력 계통에서는 화재 등의 사용 환경이 열악한 장소에 몰드변압기가 널리 사용되고 있다. 몰드변압기는 유입변압기에 비해 난연성이 우수하고, 소형화가 가능한 특징이 있으며 최근에는 에폭시 수

* 정회원 : 영남이공대학, 구미1대학 강사
** 정회원 . 경일대학교 전기공학과 교수
*** 정회원 · 영남대 공대 전자정보공학부 교수
접수일자 : 2000년 9월 14일

지의 발달로 인해 옥외용으로도 개발되고 있다 그러나 몰드변압기는 1차 및 2차 권선을 일체형으로 몰드시켜 제작됨으로써 내부의 방열이 곤란하고, 또한 열진달율은 물질에 따라 매우 큰 차이가 있으므로 권선의 온도 변화에 따른 수지 또는 철심의 계면에서 열응력(thermal stress)이 증대하여 내부 균열(crack) 또는 보이드(void) 등이 발생될 수 있다[1][2]. 고전압 기기의 내부에서 균열이나 보이드가 존재하면 부분방전이 발생되며, 이러한 부분방전이 계속되면 주변 절연물에 대해 절연열화를 일으킨다는 것은 잘 알려진 사실이다 몰드변압기는 일반적으로 에폭시수지를 절연물로 사용하고 있기 때문에 보이드 등에 의한 부분방전에 의해 주변 에폭시수지를 열화시키고, 수지 내부는 소위 전기적 트리(electrical tree)가 성장하여 결국 절연열화에 의한 전로파괴가 발생되는 것으로 보고하고 있다[3][4].

운전중인 고전압 기기에서 부분방전이 발생되면 방전점으로부터 음파가 발생하는 것은 주지의 사실이다. 이러한 음파는 주위 매질에 급격한 압축을 일으켜 진동파 형태로 전파되므로 이를 검출하여 방전점과 같은 음원의 상태를 조사하는 기법을 음향방출(acoustic emission ; 이하 AE라 함)법이라 한다. AE법은 대형구조물 또는 저장탱크 등에서 응력(stress)이나 변형(strain)에 의해 발생되는 음향신호를 분석하여 구조물의 안전 감시용으로 이용되어 왔으나, 최근 고전압 기기의 절연진단에 적용하려는 연구가 활발히 진행되고 있다[5][6]. AE법이 주목받게 된 이유로서는 측정장치가 간단하여 현장 적용에 용이하고, 전기적 측정법과 상호 간섭을 일으키지 않으며, 운전중인 상태에서도 상시 예방진단(on-line monitoring)이 가능하다는 점이다 또한 이 방법을 이용하여 부분방전을 측정할 경우 방전점의 위치를 비교적 정확하게 검출할 수 있으므로 고장 부위의 수리에 소요되는 비용 및 시간을 절약할 수 있는 특징이 있다[7][8]. 한편, AE법에 의해 실제 운전중인 몰드변압기의 절연열화 상태를 진단하기 위해서는 절연열화를 일으키는 부분방전에 의한 AE신호 성분과 변압기의 부하전류 및 자화전류 등에 의해 철심으로부터 상시 발생되는 전자적(電磁的) 음향 노이즈인 AE성분을 구분할 필요가 있다 왜냐하면, AE센서에서는 이들 두 개의 신호 성분이 중첩되어 동시에 검출됨으로써 측정상 오류가 발생될 수 있기 때문이다 또한 부분방전에 의한 AE신호의 크기는 매우 작기 때문에 이를 효율적으로 검출하여 감도가 높은 측정 시스템을 구성하기 위해서는 부분방전과 전자적 음향 노이즈에 대한 AE신호의 주파수 스펙트럼 분석이 요구되고 있으나, 이에 대한 연구는 아직까지 발표되지 않고 있다. 따라서 본 연구에서는 에폭시수지 시료를 사용하여 인공적인 보이드를 형성하고, 교류전압을 인가하였을 때, 에폭시수지 시료의 트리 성장에 의한 절연파괴를 열화 초기, 중기 및 말기로 구분하여 이때 검출된 AE신호에 대한 주파수 스펙트럼을 분석하였다. 또한 몰드변압기의 철심에서 발생되는 자기회로의 음향 노이즈를 분석하기 위해 용량 500[kVA]인 실용 몰드변압기를 배전계통 22.9[kV]의 선로에 접속하고, 변압기의 2차측을 무부하인 경우와 부하를 인가한 경우 변압기 외함으로부터 직접 검출된 각상의 AE신호에 대한 주파수 스펙트럼을 분석하였다.

2. 실험 장치 및 방법

2.1 시료 제작 및 보이드방전에 의한 AE신호의 측정

보이드방전에 의한 AE신호를 측정하기 위해 본 실험에서는 에폭시수지를 사용하여 시료를 제작하였다. 에폭시수지는 고온 경화용 주형수지로서 상온에서 액상인 비스페놀-A형(Bisphenol A type, Ciba-Geigy Co. Swiss)을 사용하였다. 경화제는 가사 시간이 길고 반응시 발열량이 적은 산무수물 계통의 MeTHPA(Methly Tetra Hydro Phthalic Anhydride)를 사용하였다. 에폭시수지를 100[%]으로 하였을 때 경화제(Hardner HT 903)는 35[%]의 비율로 배합하여 시료를 제작하였다. 제작 과정으로서는 에폭시수지를 약 130[℃]까지 가열한 후, 30분 동안 에폭시주제와 경화제를 혼합하여 주입하였으며, 13시간의 경화시간을 경과한 후 시간당 약 4[℃]의 비율로 실온까지 냉각하였다.

에폭시수지 시료에서 전기적인 트리를 용이하게 형성시키기 위해 침대 평판전극으로 구성하였으며, 그림 1은 시료의 형상을 나타낸 것이다 시료의 크기는 30×40×6[㎜]으로 하였으며, 시료의 하부에는 직경 100.0[㎜], 두께 10.0[㎜]인 황동제의 평판전극을 설치하였다. 침 전극은 직경 4.0[㎜]인 스테인레스강(stainless steel)을 사용하였으며, 침의 선단 각은 약 30도, 선단

곡율 반경은 약 20[㎛]으로 되도록 연마하였다.

또한, 침 전극은 에폭시수지가 경화되기 전에 미리 삽입하였으며, 경화된 후 침 전극을 빼어 길이 1.0[㎜]인 인공 보이드를 형성하였다 따라서 침 전극 선단에서 평판전극까지의 거리는 3.0[㎜]이다.

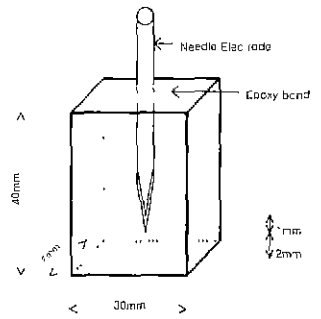


그림 1. 시료의 형상
Fig. 1. Configuration of Sample

본 실험에서 사용된 광대역 AE센서(wide-band AE sensor)의 주파수 범위는 약 100[㎑]-2[㎒]이며, 이 센서의 주파수 응답 특성 및 측정 회로는 이미 보고하였다[9]. 보이드방전으로부터 발생되는 AE신호를 효과적으로 검출하기 위하여 AE 센서는 평판 전극의 밑면에 절연용 폴리에틸렌 필름을 사용하여 부착하였으며, AE신호는 디지털 오실로스코프(LeCroy 9350AL)를 사용하여 관찰하였다.

고전압 발생장치는 코로나 측정시스템(Corona detecting apparatus system set. 일본 Pultec Electronics Co.)을 사용하였으며, 이 장치의 주파수는 60[Hz], 1차 입력전압은 220[V], 2차 최대 출력전압은 30[kV]이다. 인가된 고전압을 정밀하게 측정하기 위해 분압비가 2000:1인 고압프로브(High Voltage Probe, type, EP-50K, 일본 Pulse Electronic Engineering Co.)를 사용하였다.

보이드방전에 의한 트리의 진행을 관찰하기 위해 상용주파수 교류전압은 약 1.0[kV/s]의 속도로 승압하여 20[kV]까지 전압을 인가한 후 절연파괴시까지 일정하게 유지하였다.

2.2 몰드변압기에 대한 전자적 음향노이즈의 측정

실제 진력 계통에서 운전중인 전력용 몰드변압기는 여러 가지 AE신호가 발생되어 소위 배경 노이즈(background noise)로서 나타나므로 AE 센서를 이용하여 부분방전에 의한 절연열화를 진단할 경우 이러한 노이즈에 대한 분석이 요구되고 있다. 이러한 배경 노이즈에는 바람, 모래의 충돌, 빗방울의 임항 및 명판의 진동 등이 있으나, 그 중에서 가장 현저한 영향을 미치는 음향 노이즈는 변압기의 철심에서 발생되는 자화전류 및 부하전류에 의한 자기회로의 음향 노이즈이다 본 실험에서는 표 1과 같이 실제 사용되고 있는 정격용량 500[kVA], 정격전압 22,900/380[V]인 몰드변압기를 모델로 선정하여 부하 상태에 따른 AE신호를 측정하고, 이를 주파수 스펙트럼으로 분석하였다.

표 1. 실험에 사용된 몰드변압기의 규격
Table 1. Specification of cast resin transformer in test

No	Type of Tests	Quantity
1	Rating Frequency	60[Hz]
2	Rating Capacity	500[kVA]
3	Rating Voltage(prim./sec.)	22,900/380[V]
4	Rating Current(prim./sec.)	12.6/760[A]
5	BIL(prim.)	95[kV]
6	Power Frequency Test Voltage(prim./sec.)	50/3[kV]
7	Temperature Rise	80[℃]
8	Total Weight	1,650[kg]

측정은 부하의 변동이 비교적 작을 뿐만 아니라 선로의 개폐 운전에 따른 주변 음향 노이즈의 영향이 작다고 생각되는 자정부터 새벽 3시경 사이에 실시하였다. 자화전류 및 부하전류의 영향을 조사하기 위해 무부하인 경우와 부하가 접속된 경우에 대해 측정하였다. 무부하 상태의 측정은 변압기의 고압측 단자를 1차 배전전압 22.9[kV]의 선로에 접속하고, 변압기 2차측 단자는 무부하로 하였을 때, 몰드변압기의 외함에 직접 부착된 AE센서를 사용하여 자화전류에 의한 전자적 음향 노이즈를 측정하고 이를 주파수 스펙트럼으로 분석하였다. 부하전류 인가에 의한 측정은 변압기의 2차측 단자에 정격부하의 약 10.6[%]인 53[kVA]의 부하를 사용하고 있을 때, 각상의 변압기 외함으로부터 AE신호를 측정하고, 주파수 스펙트럼으로 분석하였다. 이 경우에 있어서 변압

기 각상에 흐르는 2차측의 선진류는 약 81[A]인 것으로 나타났다. 사진 1은 운전중인 3상 몰드변압기와 AE 측정시스템을 나타낸 것이다. 사진 1에서는 A상 변압기에 AE 센서가 부착되어 있으며, AE신호 증폭을 위한 전치 증폭기(pre-amplifier), 증폭기 회로용 전원장치 및 디지털 오실로스코프가 나타나 있다.

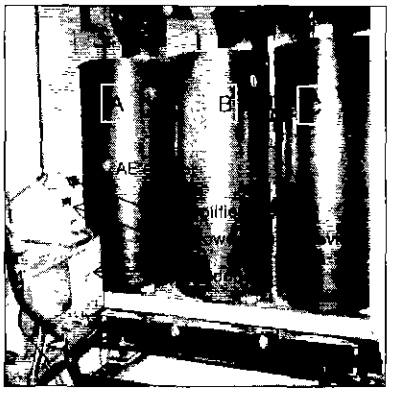


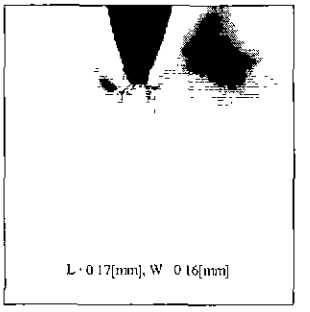
사진 1. 전력용 몰드변압기와 AE 측정 시스템
Photo. 1. AE measurement system and cast resin transformer

3. 실험 결과 및 고찰

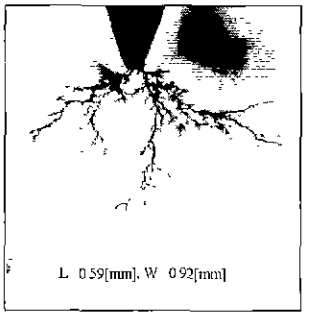
3.1 트리에 의한 에폭시수지의 열화 특성

사진 2는 제작된 에폭시수지 시료에 교류전압 20[kV]을 인가한 경우 열화 초기, 중기 및 말기에 대한 에폭시수지의 대표적인 트리의 진행 상태를 나타낸 것이다

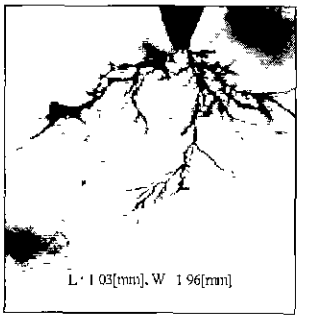
사진 2와 같이 발생된 트리는 수지형(branch type)이며, 열화가 진전됨에 따라 침 전극 선단 및 트리의 주 통로로부터 많은 분기(分岐)가 평판전극을 향해 방사상으로 성장되고 있다. 트리의 길이는 보통 침 전극의 축 방향에서 가장 크게 나타나는 경향이 있으며, 트리의 내부 채널은 지름 수[㎛]의 미세한 관으로 구성되어 있다. 본 실험에서 트리의 길이는 전압인가 후 약 2-10분까지에 해당되는 열화 초기에서는 비교적 빠르게 진전되었으나, 그후 열화 중기에서는 열화시간에 비례하여 점진적으로 성장하는 특성을 나타내고 있다. 그리고 열화말기에서는 트리가 매우 급격히 진행되어 곧 절연파괴가 발생하는 것으로 나타났다. 사진 2에서는 열화가 진전됨에 따라 전기적인 트리는 방사상으로 성장되고 있으며, 전극 구조상 심한 불평등전계를 형성함으로 트리의 최대 폭(W)이 최대길이(L)보다 큰 것으로 나타났다.



(a) 열화 초기(3분)



(b) 열화 중기(13분)



(c) 열화 말기(30분)

사진 2 에폭시수지의 대표적인 트리 성장
Photo. 2. Typical tree growth in epoxy resin

3.2 보이드방전에 의한 AE신호의 주파수 스펙트럼

그림 2는 제작된 에폭시수지 시료의 침 전극에 교류전압 20[kV]을 인가하였을 때, 보이드방전에 의한 대표적인 AE신호 파형을 나타낸 것이며, 이때 오실

로스코프의 시간 스케일(time scale)은 50[μs/div]이다. AE신호는 방전 에너지가 압전 진동자(PZT)에 작용함으로써 그림과 같이 고주파 밴드의 감쇠진동 형태로서 나타나고 있으며, 잔향시간은 약 0.12[ms]이다. 이는 보이드 내부에서 발생된 기중 코로나에 의해 국부적인 발열과 방전에 의한 높은 충격 에너지 등이 에폭시 절연물에 작용하여 트리가 발생되고, 이 에너지가 주변 매질에 전파됨으로써 이와 같은 AE신호가 나타나는 것으로 생각된다.

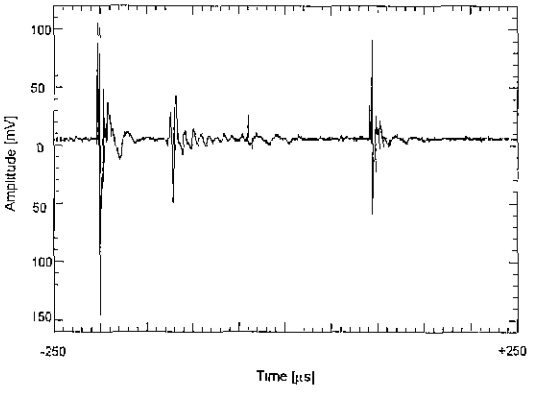
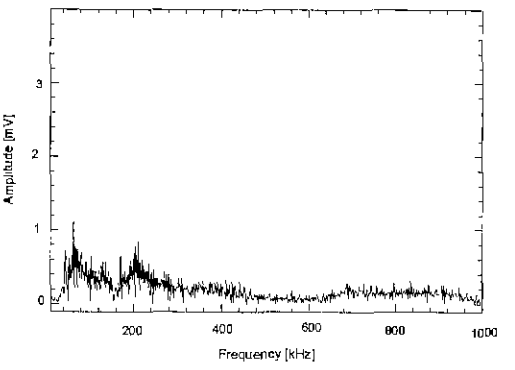


그림 2 보이드방전에 의한 대표적인 AE신호 파형
Fig. 2. Typical AE signal due to void discharges

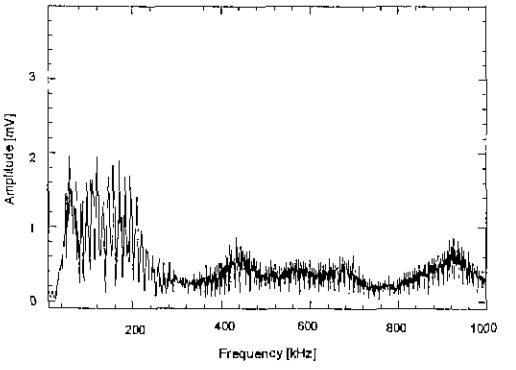
열화시간이 경과하여 트리가 진행됨에 따라 AE신호의 펄스 크기 및 펄스 수는 증가하였으나, 외관상의 신호 형태는 그림 2와 유사한 것으로 나타났다. 그리고 그림 2에서 보이드방전에 의한 AE신호는 최대 펄스의 진폭이 상하 비대칭적인 형태를 나타내고 있다. AE법에 의해 열화상태를 진단하기 위해서는 AE신호의 펄스 크기 및 펄스 수를 계수하여 이를 기준 값과 비교하여 열화의 정도를 판정하고 있다.

이때 보이드방전에 의한 AE신호에는 변압기의 내부 소음에 의한 음향 노이즈가 중첩될 수 있으므로 이를 분리하기 위해서는 AE신호의 주파수 분석이 요구되고 있다. 그림 3은 열화시간에 따른 보이드방전에 의한 AE신호의 주파수 스펙트럼을 나타낸 것이다.

그림 3(a) 및 그림 3(b)은 각각 열화 초기 및 열화 말기의 대표적인 AE신호의 주파수 스펙트럼 분포이다. 열화 초기인 경우 그림 3(a)과 같이 주파수 스펙트럼은 약 50-240[㎑] 범위에서 주로 분포되어 있다.



(a) 열화 초기



(b) 열화 말기

그림 3. 보이드방전에 의한 AE신호 주파수 스펙트럼
Fig. 3. Frequency spectrum of AE signal due to void discharge

이와 같이 넓은 주파수 범위에 분포되어 있으나, 약 160[㎑] 부근에서는 AE신호의 크기가 매우 낮은 값을 나타내고 있으므로 주파수 스펙트럼의 분포는 약 50-150[㎑] 및 170-240[㎑] 대역에서 나타나고 있다. 그리고 가장 현저하게 나타나고 있는 주된 주파수 영역은 60[㎑]과 220[㎑]이다. 동일한 에폭시수지 시료에서 열화 중기 영역에 대한 주파수 스펙트럼은 그림 3(a)과 거의 동일한 특성으로 나타났으며, 열화 초기와 같이 약 50-240[㎑] 범위에 분포되어 있다. 다만, 열화 초기에서는 약 160[㎑] 부근에서 AE신호는 거의 나타나지 않았으나, 열화 중기에서는 이 영역에서도 AE신호가 어느 정도 발생된 것으로 나타났다. 한편 열화 말기의 주파수 스펙트럼은 그림 3(b)과 같이 약 50-230[㎑] 대역인 것으로 나타났다. 이때의 주파수 스펙트럼 분포는 열화초기에 비해 AE신호의 크기는 약 2배 이상으로 증가하였으며, 또한

50-230[㎑] 범위에서 거의 균일한 크기로서 나타나고 있다. 따라서 보이드방전에 의한 AE신호의 주파수 스펙트럼 분포는 트리의 성장에 따라 큰 차이가 없음을 알 수 있다. 그러나 트리가 진행됨으로써 AE신호의 필스 크기는 트리의 길이에 비례하여 증가된 것으로 나타났다. 이미 보고된 유중에서 침대 평판전극을 사용한 코로나방전에 의한 AE신호의 주파수 스펙트럼은 약 130[㎑]이하의 영역에서 분포되어 있으므로[9], AE신호에 의해 절연열화를 진단할 경우 부분방전의 패턴에 따라 AE신호의 주파수 대역은 상이함을 알 수 있다.

3.3 몰드변압기의 전자적 음향노이즈에 대한 주파수 스펙트럼

앞 절에서 언급한 바와 같이 보이드방전에 의한 AE신호를 분석함으로써 변압기의 절연열화 상태를 파악할 수 있으나, 산업 현장에서 운전중인 몰드변압기에서는 여러 가지 AE신호가 배경 노이즈로써 발생됨으로 이에 대한 분석이 요구되고 있다.

본 실험에서는 내부 도체에서 부분방전이 발생되지 않는 몰드변압기를 선정하여 외함에 AE 센서를 부착하여 무부하인 경우와 실부하가 가해진 경우 변압기 권선의 전자력에 의한 음향 노이즈를 주파수 스펙트럼으로 분석하였으며, 이를 보이드방전에 의한 스펙트럼 특성과 비교하였다.

3.3.1 자화전류에 의한 AE신호의 주파수 스펙트럼

그림 4는 실용 몰드변압기의 2차측에 부하를 접속하지 않고 매전전압 22.9[kV]를 인가하였을 때, 변압기의 자화전류에 의해 발생된 대표적인 AE신호 파형이며, 그림 5는 각상에 나타난 AE신호의 주파수 스펙트럼을 나타낸 것이다.

그림 4에서 자화전류에 의한 AE신호는 보이드방전에 의한 것보다 신호의 발생 빈도는 적게 나타나고 있으나, 신호의 크기는 보이드방전에 비해 매우 큰 것으로 관측되었다. 또한 AE신호의 잔향시간도 보이드방전에 비해 훨씬 긴 것으로 나타났다. 그림 4에서 측정된 AE 파형은 최대 필스의 크기가 약 350[mV]으로서 상하 거의 대칭적인 형태로 나타나고 있다. 몰드변압기의 내부에서 부분방전의 발생 여부는 이전 시험에서 30[kV]까지 조사한 결과 발생하지 않았으나 신뢰성을 고려하여 훨씬 낮은 전압을 인가하

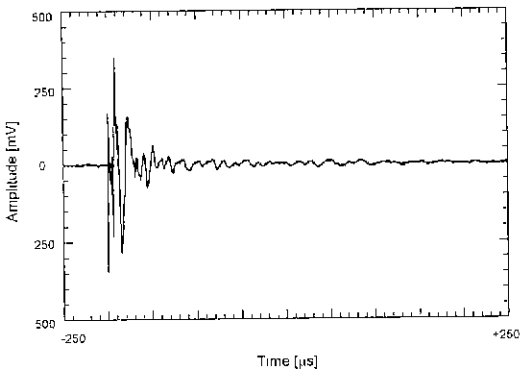
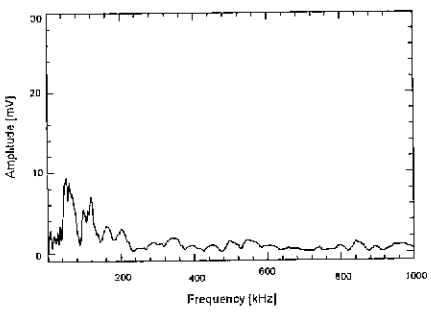
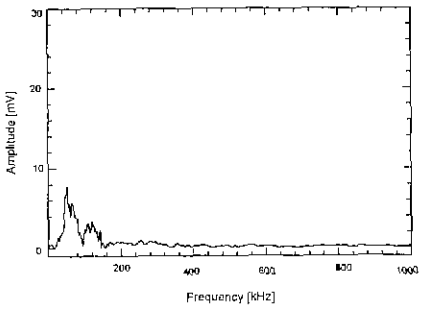


그림 4. 자화전류에 의한 대표적인 AE신호 파형
Fig 4 Typical AE signal due to magnetizing current

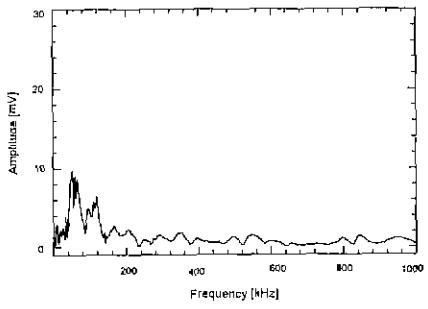
였다. 측정된 그림 4의 AE신호는 자화전류에 의한 자기적 음향 노이즈라고 판단된다. 변압기 자화전류는 그 값이 크지 않기 때문에 부하전류가 흐르는 경우에 비해 비교적 낮은 레벨의 AE신호가 검출되었다 무부하 운전에 대한 변압기 A상의 음향 노이즈에 대한 주파수 대역은 그림 5(a)와 같이 약 40-120[㎑]인 것으로 나타났다. 이 신호의 주된 주파수 스펙트럼은 약 50-60[㎑]이다 그리고 이 대역의 AE신호는 보이드방전에 의한 신호와 무관한 것으로 생각된다. 몰드변압기의 B상 및 C상의 경우에도 그림 5(b) 및 그림 5(c)와 같이 약 40-120[㎑]의 대역에서 검출되었으며, A상의 주파수 스펙트럼 대역과 동일한 것으로 나타났다. 그리고 몰드변압기의 B상 및 C상 모두 약 50-60[㎑] 대역에서 가장 높은 신호가 발생되고 있으나, 약 90[㎑] 부근에서는 AE신호가 거의 발생되지 않는 것으로 나타났다. 이는 몰드변압기의 자화전류에 의해 철심의 압축 변형에 따른 공진 작용에 의한 것으로 생각된다



(a) A상



(b) B상



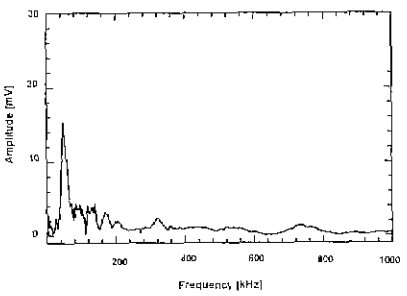
(c) C상

그림 5. 자화전류에 의한 AE신호의 주파수 스펙트럼
Fig. 5. Frequency spectrum of AE signal due to magnetizing current

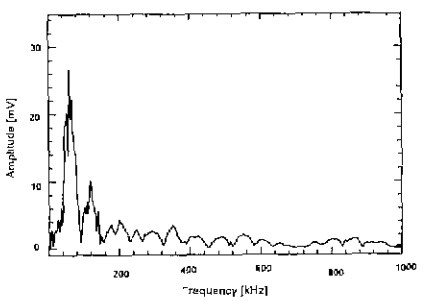
3.3.2 부하전류에 의한 AE신호의 주파수 스펙트럼

몰드변압기의 2차측 각상에 정격부하의 10.6[%]인 53[kVA]의 부하를 연결하였을 때, 각상에 나타난 대표적인 AE신호는 자화전류에 의한 그림 4와 유사한 형태를 갖고 있다. 다만 부하전류에 의한 AE신호의 진폭은 자화전류에 의해 관측된 그림 4에 비해 큰 것으로 나타났다. 부하전류에 의한 변압기 각상의 AE신호에 대한 주파수 스펙트럼은 그림 6에 나타내었으며, 주된 주파수 대역은 각상에서 모두 약 40-120[kHz]인 것으로 나타났다. 그리고 그림에서 나타난 바와 같이 약 50-60[kHz] 부근에서 AE신호는 가장 크게 나타나고 있으며, 이는 무부하 운전시의 특성과 일치되고 있다 부하전류에 의한 AE신호의 주파수 스펙트럼 특성은 자화전류에 의한 분포와 거의 동일하게 나타나고 있으나, 자화전류에 비해 부하전류의 값이 매우 크기 때문에 스펙트럼의 진폭은 각상에서 모두 증가된 것으로 나타났다. 특히 A상 및 B상의 경우에는 자화전류에 의한 최대 진폭보다 약 16배 및 2.6배 높은 것으로 나타났다.

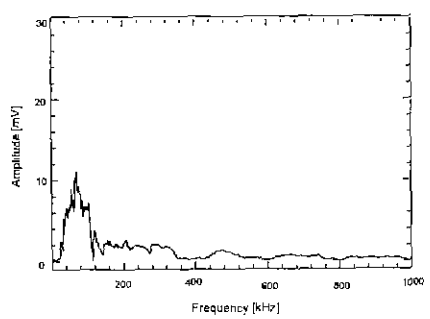
이는 부하전류의 불평등에 기인하며, 변압기의 철심에서 공진 조건이 상이하기 때문이라고 생각된다. 자화전류 및 부하전류에 의한 주파수 스펙트럼 분포는 비교적 단순한 형태로써 나타나고 있으나, 보이드 방전에 의한 주파수 스펙트럼은 매우 많은 스파이크 형태가 나타나고 있어, 보이드방전과 음향 노이즈의 구별은 주파수 대역에서 뚜렷한 차이가 있을 뿐만 아니라 스펙트럼 분포의 외관에서도 명확한 차이가 나타나고 있다



(a) A상



(b) B상



(c) C상

그림 6. 부하전류에 의한 AE신호의 주파수 스펙트럼
Fig. 6. Frequency spectrum of AE signal due to load current

4. 결 론

본 연구는 몰드형 전력변압기의 열화 상태를 진단하기 위해 에폭시수지를 사용하여 인공 보이드를 형성하고 교류 고전압을 인가하였을 때 보이드방전에 의한 절연열화의 상태를 트리의 길이에 따라 구분하여 AE신호를 측정하고, 이를 주파수 스펙트럼으로 분석하였다. 또한 운전중인 몰드변압기에서는 자화전류 및 부하전류에 의해 변압기 내부로부터 자기적 음향 노이즈가 발생되므로 이를 구분하기 위해 실용되고 있는 500[kVA] 몰드변압기를 22.9[kV] 선로에 접속한 경우 각상에서 나타난 AE신호에 대한 주파수 스펙트럼을 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 에폭시수지의 보이드방전에 의한 AE신호의 주파수 스펙트럼은 열화 초기 및 중기에서는 약 50-240[㎑] 범위에 분포되고 있으며, 열화 말기에서는 약 50-230[㎑]인 것으로 나타났다. 따라서 보이드방전에 의한 AE신호의 주파수 스펙트럼 분포는 트리의 길이에 따라 큰 차이가 없음을 알 수 있었다.

2) 에폭시수지의 보이드방전에 의한 AE신호의 주파수 스펙트럼을 열화 상태에 따라 비교하였을 때 열화 초기에 비해 열화 말기의 스펙트럼 진폭은 약 2배 이상 증가되었으며, 50-230[㎑] 범위에 대한 열화 말기의 스펙트럼 진폭은 거의 균일한 것으로 관측되어, 열화 초기의 형태와는 매우 상이한 것으로 나타났다.

3) 실용 몰드변압기의 무부하 운전시, 자화전류에 의한 AE 노이즈 신호의 주파수 스펙트럼은 약 40-120[㎑]인 것으로 나타났으며, 주된 주파수 스펙트럼은 약 50-60[㎑] 대역에서 분포되고 있다.

4) 실용 몰드변압기의 부하 운전시, 부하전류에 의한 AE 노이즈 신호의 주파수 스펙트럼은 자화전류인 경우와 동일한 대역에서 분포되어 있으나, 변압기 정격의 약 10% 부하전류에 의한 스펙트럼의 진폭은 자화전류만에 의한 진폭보다 각상 모두 높게 나타났으며, 본 실험에서 B상의 경우에 최고 2.6배 높은 것으로 나타났다.

참 고 문 헌

[1] 이운응, 조한구, 김석수, 박영두 "매진용 주상 몰드변압기의 온도분포 및 열응력 해석" 대한전기학회 하계학술대회 논문집, 제C권, pp.1900-1902, 2000

[2] 남기동, 정중일, 이창수 "몰드변압기용 에폭시 수지의 열 일화 특성에 관한 연구" 대한전기학회 하계학술대회 논문집, 제C권, pp.1572-1574, 2000.

[3] S. W. Lee, I. S. Kim, K. S. Lee and D. I. Lee, "Ultrasonic Signal Characteristics due to Treeing Deterioration in Epoxy Resin," The 9th Asian Conference on Electrical Discharge, pp A2-3, 1998

[4] C. Mayoux and C. Laurent, "Contribution of Partial Discharges to Electrical Breakdown of Solid Insulating Materials", IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, Vol. 2, No. 4, pp. 641-652, 1995.

[5] L. E. Lundgaard, "Acoustic Partial Discharge Detection Practical Application", IEEE Electrical Insulation Magazine, Vol. 8, No. 5, pp. 34-43, 1992.

[6] E. Howells, "Acoustic Emission from Stressed Dielectric Liquids", I. S. A. 20th International Symposium, pp 63-66, 1974.

[7] P. M. Eleftheriou, "Acoustic Emission-Based PD Source Location in Transformers", IEEE Electrical Insulation Magazine, Vol. 11, No. 6, pp. 22-26, 1995.

[8] E. Howells and E. T. Norton, "Detection of Partial Discharges in Transformers using Acoustic Emission Techniques", IEEE Trans., Vol. PAS-97, No. 5, pp. 1538-1549, 1978.

◇저자소개◇

이 상 우(李相雨)
1967년 4월 11일생. 1992년 경일대학교 전기공학과 졸업 1995년 동 대학 산업대학원 졸업(석사) 2000년 영남대 공대 전기공학과 졸업(박사). 현재 영남이공대학, 구미1대학 강사

김 인 식(金寅湜)
1953년 10월 3일생 1974년 영남대 공대 전기공학과 졸업 1988년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사) 1990~1991年 美國 University of Southern California대 초빙 교수. 현재 경일대학교 전기공학과 교수.

이 동 인(李東仁)
1936년 10월 19일생. 1959년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1973~1977年 영국 Strathclyde대 대학원 졸업(박사) 1982~1983년 미국 South Carolina대 방문 교수 현재 당 학회 대구·경북 지회 이사 영남대 공대 전자정보공학부 교수.

이 광 식(李廣植)
1948년 10월 20일생 1971년 영남대 공대 전기공학과 졸업 1987년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1988~1989년 Nagoya Institute of Technology대 초빙 교수. 현재 당 학회 부회장. 영남대 공대 전자정보공학부 교수. 영남대 산업대학원장