

유중방전 초음파 신호의 광학적 측정 및 wavelet 분석

(The optical measurement and wavelet analysis about ultrasonic signals by discharge in oil)

이상훈* · 이현철 · 지승욱 · 김충년 · 송현직 · 이광식

(S.H. Lee, H.C. Lee, S.W. Jee, Ch.N. Kim, H.J. Song, K.S. Lee)

Abstract

It is well known that a discharge in oil is the source of various physical phenomena. Ultrasonic-wave detection is a useful method to the diagnosis of the transformer-insulation condition. Conventionally, ultrasonic waves are detected by Piezo- electric transducer, and we use optical method that has many advantages. In this paper, we constructed a Mach-Zehnder interferometer with optical fiber and investigated the principle of operation. Test arrangement is based on the needle-plane electrode system in oil and applied AC high voltage. Ultrasonic waves were detected and showed signal- analysis results with wavelet transform.

1. 서 론

유압변압기가 국내에서 1959년 22 kV급으로 생산된 이래 산업의 성장에 따라 유압변압기의 수요는 급성장 하였으며, 90년대 말에는 765 kV급 초고압 변압기가 상용화되기 시작했다. 사용전압 증가에 따라 전력계통의 규모가 확대되고 있으며, 고신뢰성 확보를 위한 기술이 요구되고 있다.

절연유를 이용한 전력기기에서 발생하는 주된 열화원인으로는 고온 운전에 따른 열적열화, 외부 단락에 기계적 손상 및 부분방전 열화가 대표적이며, 이로 인해, 전기적 기계적 성능저하가 발생한다. 열화로 인하여 전력기기에서는 기계적 강도 저하, 진동 증가, 가연성 가스 발생 등의 현상이 나타나고 절연파괴로 진전된다. 또한, 사용전압이 고압 이상인 변압기의 경우 부하평형을 유지하기 위한 탭체인저(tap-changer)를 가지고 있으며, 이러한 부분에서는 접점의 개폐에 의한 방전이 지속적으로 발생되고 있다. 유중에서의 초음파는 방전이 초음파의 열원(thermal source)으로 작용하고 이렇게 발생된 초음파는 절연유를 통해 전파하게 된다. 즉, 전압인가에 의해 전자 및 양이온의 숫자가 증가되고 이들이 집단적으로 사태를 발생하고, 이것이 일반적으로 말하는 방전(spark)이며, 초음파의 소스(source)가 되며, 발생된 초음파가 매질을 통해 전파되어지는 것이다.

이러한 초음파의 측정을 통해 절연유 내부에서 발생하는 방전의 빈도수 및 초음파 크기(intensity) 분석이 가능하며, 분석을 통한 자료는 유압변압기의 상태진단에 활용가능하다. 그리고, 초음파를 이

용한 방식은 방전이 발생하는 위치 검출이 가능하며 이상 부위의 수리를 용이하게 할 수 있을 뿐 아니라 수리에 소요되는 경비와 시간을 경감할 수 있는 장점을 가지고 있다.

본 논문에서는 절연유 내부의 방전 발생시 매질을 통해 전파되어지는 초음파를 측정 및 분석하여 절연진단에 응용하고자 다음과 같은 연구를 수행하였다.

먼저, Mach-Zehnder 간섭계의 원리를 이용한 광섬유 센서를 구성하고, 절연유중에 배치한 전극에 교류 고전압을 인가하고 방전 발생시 절연유 내부로 전파되어지는 초음파를 광섬유 센서로 측정하였다. 측정된 초음파를 푸리에 변환을 통해 주파수 스펙트럼을 분석하였으며, 측정시 방전에 의한 노이즈를 제거할 목적으로 웨이브렛 변환을 실시하여 초음파 신호를 분석하였다. 이상의 결과는 광섬유 센서를 이용한 초음파 측정의 기초 기술의 확립과 방전해석이 어려운 유중방전에 의한 초음파 특성을 확인함으로써 향후 유압변압기 절연진단시스템 구축시 중요한 자료로 활용가능하리라 판단한다.

2. 본 론

2.1. Mach-Zehnder 간섭계

Mach-Zehnder 간섭계는 Michelson 간섭계와 더불어 레이저에서 나온 빔이 서로 다른 경로를 거쳐 합쳐질 때 발생하는 간섭현상을 이용하는 형태로 그림 1에 개념도를 나타냈다. 레이저에서 발진된 빔은 커플러에서 크기가 동일한 두개의 빔으

로 나누어지고, 하나의 빔은 측정하고자 하는 대상이 있는 검출영역(sensing part)을 지나고 다른 한 빔은 레이저 위상의 기준이 되는 빔으로 참조영역(reference part)을 지나게 된다. 검출영역에서는 방전에 의해 발생한 초음파의 영향으로 미소 길이 변화를 일으킨 광섬유에 의해 참조영역을 지나서 빔과의 위상변화가 발생하게 되며, 이러한 두빔이 다시 커플러에서 합쳐지면서 간섭현상을 발생시킨다. 일반적인 간섭형 센서의 경우 $10^{-13} \sim 10^{-15}$ 정도의 스트레인(strain)에 높은 감도를 가지는 센서로 구성이 가능하다고 알려져 있다.

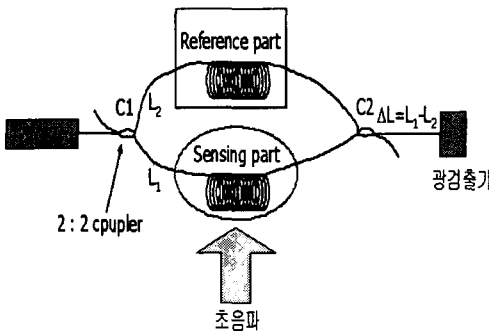


그림 1. Mach-Zehnder 간섭계 개념도.

광섬유 Mach-Zehnder 간섭계의 동작원리는 다음과 같다. Mach-Zehnder 간섭계에는 두 개의 커플러가 사용되는데, 레이저 빔이 들어오는 부분부터 C_1 , C_2 라 하고, C_1 과 C_2 에서의 출력 커플링 계수(power coupling coefficient)를 k_1 , k_2 라 하고, 검출부와 참조부 광섬유에서의 손실을 각각 α_s , α_r 이라고 하면, 검출부와 참조부를 거쳐 나온 optical field는

$$E_r = E_0 \sqrt{\alpha_r k_1 k_2} \cos(\omega_0 t + \phi_r),$$

$$E_s = E_0 \sqrt{\alpha_s (1-k_1)(1-k_2)} \cos(\omega_0 t + \phi_s). \quad (1)$$

간섭계를 통한 출력의 크기는 다음과 같다.

$$I = \langle E_r^2 \rangle + \langle E_s^2 \rangle + 2 \langle E_r E_s \rangle. \quad (2)$$

여기서, $\langle \rangle$ 표시는 $2\pi/\omega_0$ 보다 충분히 긴 주기 동안의 시간평균을 의미한다.

여기서, $\alpha_s = \alpha_r = \alpha$ 라고 가정하고, 식을 좀더 간단히 하기 위해 $k_1 = k_2 = 0.5$, 간섭계의 위상지연이 크기 ϕ_s 인 시그널 항 $d\phi$, 주파수 ω , 느리게 변화하는 위상변화(phase shift) ϕ_d 로 구성되

어 있다고 가정하면,

$$I = \frac{I_0 \alpha}{2} [1 + \cos(\phi_d + \phi_s \sin \omega t)]. \quad (3)$$

이러한 빔의 출력은 광검출기에 의해 전류로 변환된다. 광전류를 이산조합(differential combination)한 출력은

$$i = \epsilon I_0 \alpha \cos(\phi_d + \phi_s \sin \omega t). \quad (4)$$

여기서, ϵ 은 광검출기의 응답도이다. 식 (4)을 Bessel 함수를 이용해 전개하면,

$$i = \epsilon I_0 \alpha \left[\cos \phi_d \left\{ J_0(\phi_s) + 2 \sum_{n=1}^{\infty} J_{2n}(\phi_s) \cos 2n \omega t \right\} + \sin \phi_d \left\{ 2 \sum_{n=0}^{\infty} J_{2n+1}(\phi_s) \sin((2n+1) \omega t) \right\} \right]. \quad (5)$$

여기서, $J_n(\phi_s)$ 는 변수 ϕ_s 의 n 차 Bessel 함수이다.

식 (5)에서 작은 변수(예를 들어, $\phi_s \ll 1$)에 대해 생각해 보면, $J_0 = 1$, $J_1(\phi_s) = \phi_s/2$ 이고, 식 (5)의 시간변화량 부분에 대해서만 고려하면,

$$di \sim \epsilon I_0 \alpha \sin \phi_d \phi_s \sin \omega t. \quad (6)$$

식 (6)으로 부터, 신호 $d\phi$ 의 크기는 $\sin \phi_d$ 의 값에 의존적임을 알 수 있다. 따라서, 열적유동(thermal drift)이 존재하는 하에서 ϕ_d 의 변화는 다음과 같은 결과를 일으킨다.

- 1) $\phi_d = m\pi$ 일 때, 신호는 사라진다.
- 2) 반면, $\phi_d = (2m+1)\pi/2$ 일 때, 신호는 최대다.

2.2. 방전과 초음파

방전에는 다양한 형태가 있으며 이중 스파크(spark)와 글로우 방전(glow discharge)는 천칭적(electro-acoustic) 트랜스듀서(transducers)로 이용되어진다. 이들 방전의 이용은 소위 짧은 방전(short discharge), 다시 말해, 갭간격 0.2~1.5 mm에서 일어나는 것을 이용하는 것이다. 스파크는 초음파의 열원(thermal source)으로 작용하며, 다음과 같은 특징을 가진다.

- a) 아주 작은 초음파 원으로 작용하며, 무지향성 방사 패턴을 가지며, 구면파의 형태이다.
- b) 전파모드에서 큰 음향에너지로 가지며, 주파수 대역이 넓고, 파형의 끝단이 급준한 모양을 하고 있다.
- c) 방전펄스의 임의적 특성으로 인하여 초음파 발생원으로서의 불확실성을 가지며, 진동하는 형태의 파형을 가진다.
- d) 방전으로 인한 주변공간으로의 강한 전자기적 간섭을 발생시킨다.

글로우 방전은 압력변화(음압포함)에 의해 측정기에서 전기적인 요인의 변화로 나타나므로, 초음파 검출기, 즉 방전마이크(discharge microphone)으로 이용 가능하다.

초음파원으로서의 스파크는 다음의 두 이론에 의해 기술되어진다.

(1) 타운젠트 이론에서 두 가지 측면에서 도전로(conducting channel)의 생성을 가정하였다.

- a) 전자사태의 생성-이온과 전자의 집단이 생성되는 것
- b) 방전-인가전압을 상승시킴에 따라 전자사태와 이온들의 수가 방전을 일으킬 만큼 증가된다.

이러한 타운젠트 이론에 따라 어떤 방전값에서의 파괴전압은 아래와 같은 관계를 가지게 된다.

$$p \cdot d \leq 266. \quad [Pa \cdot m]$$

(2) 채널 방전(channel discharge)는 전극 양단에 스트리머(streamers)를 형성하게 되고, 이것이 매우 빠르게 스파크를 형성하게 된다. 그러므로, 이런 형태의 방전은 열적으로 높은 에너지를 가지고 있으며, 초음파를 발생시킨다. 채널 방전은 인가전압의 증가로 인해 형성되며 타운젠트 이론에 따른다. 타운젠트 이론에 따른 대기압 하에서의 방전값은 약 2.6 mm이며, 인가전압은 10.8 kV이다. 침-침 전극을 이용한 스파크 갭을 초음파 발생장치로 이용하며, 갭이 커지면 이상적인 초음파 발생원으로서 동작하기 어려우며, 갭간격과 인가전압과는 선형적인 관계가 아니다.

2.3. 실험방법

그림 2에 본 실험의 장치도를 나타냈다. 광원으로는 파장이 632.8[nm]인 He-Ne 레이저를 이용하였다. 레이저에서 나온 빔을 싱글 모드 광섬유로 커플링 하였으며, 2:2 커플러를 이용하여 크기가 같은 두개의 빔으로 분리하였다. 여기서 2:2 coupler는 광분할기(beam splitter)와 같은 역할을 하는 것이다. 분리된 두 빔중 하나는 절연유속에 위치한 검출영역(sensing arm)을 지나게 되고, 다른 한 빔은 편광조절기(polarization controller)를 거쳐 참조영역을 지난다. 이렇게 서로 다른 경로를 지나온 빔은 다시 두 번째 2:2 coupler에서 합쳐지게 된다. 이는 앞에서 설명한 Mach-Zehnder 간섭계의 원리를 실험상에서 구현한 것으로 검지영역 광섬유에 방전에 의해 발생한 초음파가 압력을 가하게 되어 미세한 길이 변화가 발생하면 두 경로를 지나온 빔사이에 위상차가 발생하게 되는 것이다. 광섬유는 코어 직경 4[μm], 전체 직경 125[μm],

길이 10[m]인 싱글모드 광섬유를 이용하였다. 광섬유 센서의 감도를 높이기 위해 광섬유를 맨드릴(mandrel)에 감는 방법을 이용하였다. 본 실험에서는 검지 영역의 광섬유를 직경 10[cm]인 알루미늄관에 감아놓은 형태로, 광섬유를 감을 때 적당한 인장력(tention)을 주어서 감는다. 참조영역을 지나가는 빔의 경우, 먼저 편광조절기를 지나게 되는데, 이는 신호손실(signal fading) 문제를 해결하기 위해 사용하였다. 편광조절기는 세 개의 광섬유 코일을 만들게 되는데 각 광섬유 코일의 직경은 1.06[inch] 정도이다.

절연유 내부에서의 방전을 발생시키기 위한 전원으로는 입력 교류전압 220 V, 최대 출력 교류전압 30 kV인 코로나 측정시스템(Corona detecting apparatus system set. Japan, Pultec Electronics Co.)의 전원을 사용하였다. 그리고, 방전전류의 측정은 동일 시스템에 접속된 방전전류 측정용 프로브를 이용하였다. 실험에 사용한 절연유로는 1종 2호 광유로 주로 유입변압기나 유입차단기에 사용 되는 것이다.

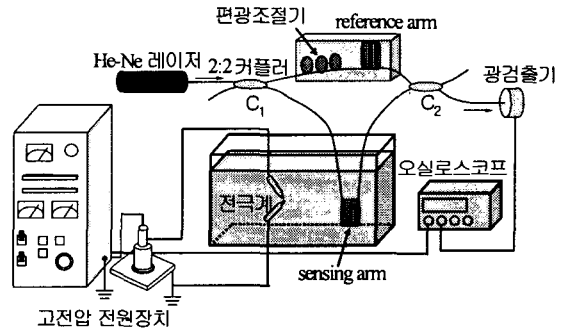


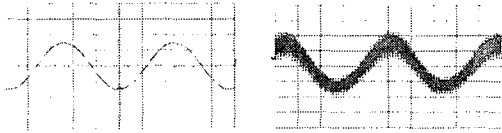
그림 2. 실험장치도.

2.4. 실험결과 및 고찰

광섬유 센서의 초음파 측정 능력 확인을 위한 실험으로 압전소자식 초음파 발생장치를 이용해 초음파를 발생시키고, 발생한 초음파를 광섬유 센서로 측정하는 실험은 정격 200 kHz인 초음파 발생기에 함수발생기 신호를 인가하여 초음파를 발생시켰다.

그림 3에는 초음파를 발생시키기 위해 인가한 함수발생기의 신호와 광섬유 센서로 측정된 신호를 나타냈다. 광섬유 센서와 초음파 발생기와의 거리는 10 cm로 하였다. 그림을 살펴보면 인가신호와 동일한 형태의 신호가 광섬유 센서로 측정됨을 볼 수 있다. 그림 (a)와 (b) 신호에서 사인파의 시작점이 다른 것은 유중에서의 초음파 전달 속도 차

에 의한 것이다. 일반적으로 정상상태에서의 절연 유 내부에서의 초음파 전달 속도는 약 1400 m/s이다.



(a) 함수발생기 신호 (b) 광섬유 센서로 측정된 신호

그림 3. 초음파발생용 신호와 센서로 측정된 신호.

그림 4에는 그림 3의 (b)신호에 대한 웨이브렛 변환 결과를 나타냈다. 처리에 이용된 데이터 개수는 2만개이며, db8을 모함수로 하여 8단계로 분석을 실시하였다. Daubechies 웨이브렛(db) 중 8을 이용한 것은 숫자가 낮을수록 고주파 신호를 숫자가 높을수록 저주파 신호를 잘 표현하며, 본 실험에서 초음파 발생을 위해 200 kHz를 인가하였으므로, db8을 이용하였다. 즉, 웨이브렛 변환은 일종의 소프트웨어적인 필터라 볼 수 있다. 그림을 살펴보면, D1~6은 고주파 노이즈 신호를 나타내고 있으며, A6의 경우 초음파 발생기에서 인가한 신호와 동일한 주기의 파형을 보여주고 있으며, 노이즈가 제거된 깨끗한 신호를 제공한다. 그러므로 이러한 웨이브렛 변환을 통하여 신호에 포함된 노이즈 제거할 수 있다.

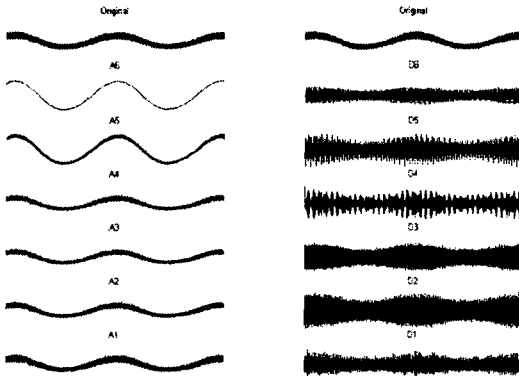


그림 4. db8을 이용한 웨이브렛 변환 결과.

그림 5에는 A6신호에 대한 푸리에 변환을 통해 주파수 스펙트럼 분석을 실시하였다. 결과를 살펴보면 195 kHz에서 피크치를 나타냈다. 초음파 발생 장치에 인가한 200 kHz와는 차이를 보이는데, 이는

함수발생기 신호가 압전소자식 초음파 발생장치에 인가되면서 발전시 생기는 장치에 의한 오차 및 퓨리에 변환은 이론적으로 무한대의 데이터 개수를 요구하는 변환으로 측정시 오실로스코프의 최대 데이터 개수가 2만개 이므로 데이터 부족에 의한 결과로 판단된다.

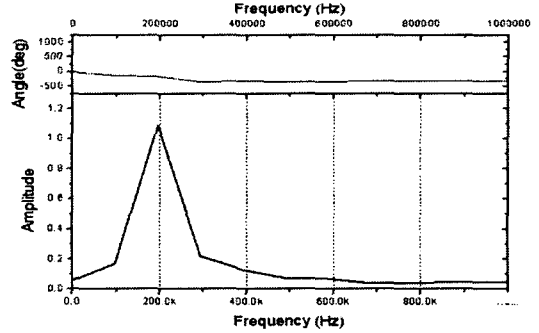
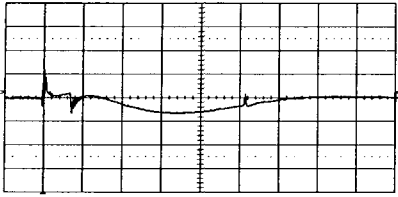


그림 5. A6 신호의 주파수 스펙트럼.

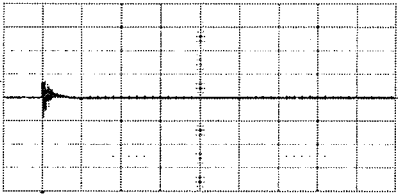
광섬유 센서로 측정된 초음파에는 많은 노이즈를 포함하고 있다. 그러므로 이러한 노이즈 신호를 제거하기 위한 신호처리 방법이 필요하며, 노이즈 제거를 통해 초음파 신호의 분석이 가능해진다. 본 논문에서는 웨이브렛 변환을 통해 신호에 포함된 노이즈 신호를 제거하고 제거된 신호의 주파수 스펙트럼 분석을 통해 측정된 초음파의 주파수 스펙트럼을 분석하였다.

침-평판전극(갭 1 mm)을 이용하였으며, 전극과 광섬유 센서와의 거리는 7 cm로 하였다. 방전전류 한 펄스에 대한 분석을 위하여 측정 타임 디비전을 10 μ s로 하였다. 먼저 방전시 광검출기를 통해 들어오는 노이즈 신호를 파악하기 위해 광섬유 센서의 레이저 전원을 끈 상태에 8 kV의 교류전압을 침전극에 인가하고 이때 측정되어진 방전전류 파형과 노이즈 신호를 그림 6에 나타냈다. 그림 (a)는 방전전류를 나타낸 것으로 한 개의 방전전류 펄스가 측정되었다. 그림 (b)는 방전시 측정된 노이즈 신호로 방전이 시작되는 지점에서 노이즈가 발생 되었으며, 지수적으로 감소하는 파형을 보이고 있다. 측정된 노이즈 신호의 주파수 대역을 파악하기 위하여 퓨리에 변환한 결과를 그림 7에 나타냈다. 변환시 20 kHz대역까지 신호가 나왔지만, 그 크기가 작고 변화를 보이는 부분이 없어 가장 변화를 많이 보이는 100 MHz대역까지를 나타냈다. 노이즈는 2.4, 9.5, 35 MHz대역에서 비교적 높은 값을 가진 것으로 나타났다. 일반적으로 초음파는 20 MHz까지의 신호를 초음파로 인정하고 있으며, 이를 통해 볼 때 측정된 노이즈 신호는 전원선을 타고

들어오거나, 방전시 방사전자파에 의해 광검출기가 영향을 받은 결과라 생각된다.



(a) 방전전류 파형



(b) 광검출기로 측정된 노이즈 신호
그림 6. 방전전류 파형과 노이즈 신호.

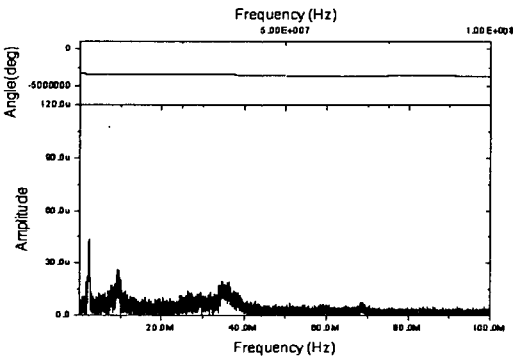
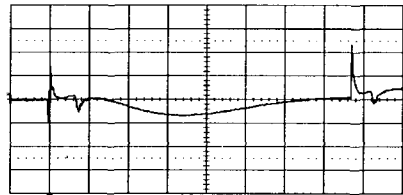


그림 7. 노이즈 신호의 주파수 스펙트럼.

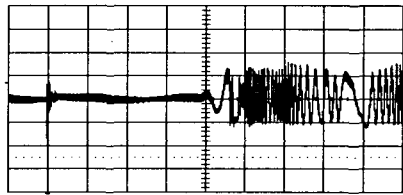
유층에 갭 1 mm인 침-평판전극을 중력에 수직방향으로 배치하고, 전극계와 갭사이의 거리를 7 cm로 하여 8 kV의 교류전압을 인가하고, 방전시 측정된 전류와 초음파 신호를 그림 8에 나타냈다. 그림을 살펴보면 방전전류는 두개의 펄스로 구성되어 있지만, 초음파의 시간지연 특성으로 본다면, 두번째 방전 펄스에 의한 초음파는 그림 8에 나타나지 않는다. 첫 번째 방전 펄스 전류에 의한 초음파가 약 45 μ s의 시간 지연후 측정되고 있으며, 이는 절연유층에서의 초음파 속도와 잘 일치한다. 측정된 초음파 신호에는 방전이 일어나는 시간과 동일한 지점에 펄스가 측정되고 있으며, 이는 그림 6에서 본바와 같이 방전시 발생하는 노이즈 신호가 광검출기를 통해 측정되어진 것이다. 측정된 신호에서 노이즈 신호를 제거하기 위하여 웨이브렛 변

환을 실시한 결과를 그림 9에 나타냈다. 본 웨이브렛 변환에서는 daubechies8(db8)을 모함수로 하여 14단계로 변환을 실시하였다. 그림에서 A1은 원형 신호를 웨이브렛 변환한 저주파 성분 D1은 웨이브렛 변환한 고주파 성분을 나타낸다. 다음으로 D2는 A1신호의 고주파 성분을 A2는 A1신호의 저주파 성분을 나타낸다. 이상과 같은 과정을 통해 10단계에 걸쳐 신호에 포함된 노이즈 성분을 차츰 제거하는 과정을 거치게 된다.

그림 9을 살펴보면, D10의 경우 전원장치의 노이즈가 거의 보이지 않으며, 초음파가 발생하는 시점에 데이터가 나타나고 있다. 이를 통해 초음파가 시작하는 시점을 정확히 알 수 있어, 방전이 발생하는 위치 추정을 위해 이용될 수 있다. 그러나 D10의 경우 고주파 노이즈 성분을 그대로 포함하고 있어 초음파 분석에는 용이하지 않은 점이 있다. D10의 주파수 스펙트럼 분석을 위한 푸리에 변환 결과를 그림 10에 나타냈다.



(a) 방전전류신호



(b) 광섬유 센서로 측정된 초음파 신호
그림 8. 방전전류 파형 및 초음파 신호.

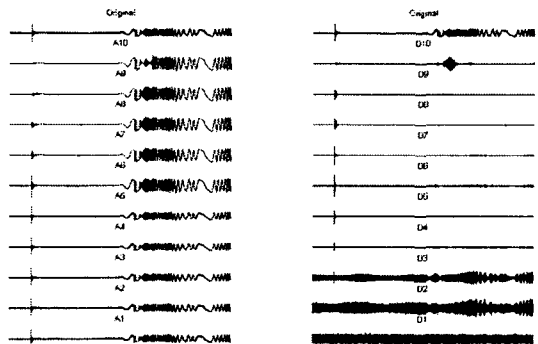


그림 9. 초음파 신호의 웨이브렛 변환(db8).

그림 10에서, D10은 1~6 MHz대역에서 신호를 가지고 있으며, 특히 2 MHz대역에서 높은 피크치 값을 가지고 있다. 이는 그림 7의 노이즈 성분 분석에서 동일주파수 대역에서 신호가 관찰되었으므로, 같은 노이즈 성분을 포함하고 있다는 것을 알 수 있다. 이는 D10의 신호의 앞부분에 노이즈 신호가 완전히 제거되지 않고 남아 있는 영향으로 보인다.

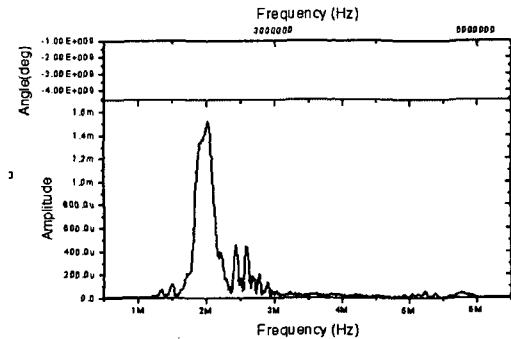


그림 10. D10 신호의 주파수 스펙트럼 분석결과.

그림 11에는 A10의 신호에 대한 푸리에 변환 결과를 나타냈다. A10은 A9신호에 대한 저주파 성분을 포함한 신호이다. 그림을 살펴보면, 3 MHz까지의 대역에서 신호가 나오고 있음을 볼 수 있다. 1.4 MHz이후의 신호는 그 앞 대역의 신호와 다른 형태를 보이고 있으며, 일반적인 초음파의 주파수 스펙트럼 분석에서의 결과와 다른 모습이다. 그러므로, 이 대역에서의 신호는 외부적 영향에 의한 노이즈 신호로 판단된다. 20~300 kHz대역에서 많은 변화를 보이고 있으며, 이 대역은 초음파를 이용한 연구에서 변압기 진단을 위해 많이 사용하는 대역과 잘 일치한다. 따라서, 웨이블릿 변환을 통해 고주파의 노이즈를 제거하고 이를 통해 측정된 초음파 신호의 주파수 스펙트럼을 분석하면 된다. 이 대역에 대한 변화분석 등을 통해 유증 방전에 의한 초음파 분석이 가능하리라 판단된다.

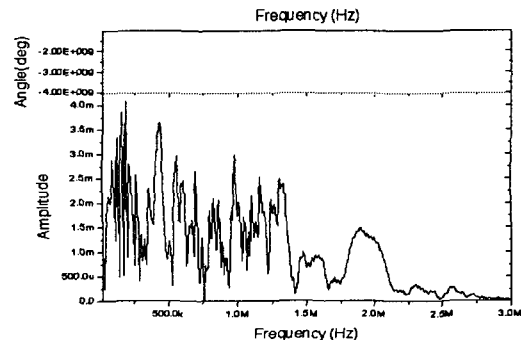


그림 11. A10 신호의 주파수 스펙트럼 분석결과.

3. 결 론

본 논문은 광섬유를 이용하여 변압기 내부에서 발생하는 방전에 의해 공간으로 전파되는 초음파를 측정할 목적으로 Mach-Zehnder 간섭계 원리를 이용하여 센서를 구성하였다. 구성된 센서의 초음파 측정 가능성을 평가하는 실험을 실시하고, 절연유증 방전에 의한 초음파를 측정하였다. 측정된 신호를 웨이블릿 변환을 이용해 노이즈를 제거하고 푸리에 변환에 의해 주파수 스펙트럼을 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 초음파 발생기를 이용한 실험에서 광섬유 센서를 이용한 초음파 측정이 가능함을 확인했으며 wavelet 변환을 통하여 노이즈 제거가 가능하였다.
- 2) 유증에 배치한 침-평판 전극에 교류전압을 인가하고 광섬유 센서로 측정한 결과 초음파의 전형적 특성인 시간지연이 확인되었다.
- 3) 방전시 발생하는 노이즈 신호는 분석 주파수 전대역에 걸쳐 넓게 발견되었으며, 광섬유 센서로 측정된 신호의 분석을 위해 웨이블릿 변환을 실시하였다.
- 4) 웨이블릿 변환을 통해 A10신호를 분석한 결과 노이즈 신호와 다른 대역에서의 신호가 관찰되었으며, 이러한 특성은 절연유 증의 방전 분석에 유용하다고 판단된다.

절연유 중에서는 다양한 형태의 방전이 발생 가능하며, 이러한 방전에 의한 초음파를 광섬유 센서로 측정하고, 웨이블릿 변환을 통해 신호에 포함된 노이즈 신호를 제거함으로써 방전에 의한 초음파 분석이 가능하며, 이는 유입변압기 진단에 유용하게 이용될 수 있다고 판단된다.

참 고 문 헌

- [1] 이상우외 6명, "음향 방출 측정법을 이용한 몰드 변압기 열화 진단", 2000년 대한전기학회 하계학술대회 논문집c권, pp 1936~1938, 2000. 07. 17.
- [2] E. Howells and E. T.Norton, "Location of Partial Discharge Sites in On-Line Transformers", IEEE Trans. PAS, Vol. 100, No. 1, pp 158~162, 1981.
- [3] John. P. Dakin, "THE DISTRIBUTED FIBER OPTIC SENSING HANDBOOK", IFS Publications, UK Springer-Verlag Berlin-Heidelberg · New York · Tokyo, 1990.
- [4] AM. Yurek, AB. Tveten, and A. Dandridge, "High Performance Hydrophones in the Arctic Environment", OFS '90, Sydney Aust, Dec 1990.
- [5] AD. Kersey, F. Bucholz, and A. Dandridge, "SENSOR TECHNOLOGY: FIBER-OPTICS", AICHE symposium series, Vol. 83, No. 258, pp 58~67, 1990.