

유중 부분방전에 의한 음향신호의 주파수특성 분석

박대원* · 김일권* · 박찬용* · 지홍근* · 길경석**

*한국해양대학교 전기전자공학부

Frequency Analysis of Acoustic Signal Generated by Partial Discharge in Insulation Oil

Dae-Won Park* · Il-Kwon Kim* · Chan-Yong Park* · Hong-Keun Ji* · Gyung-Suk Kil**

*Division of Electrical and Electronics Engineering, National Korea Maritime University, Busan 606-791, Korea

요 약 : 본 논문에서는 유입변압기 진단을 위해 유중부분방전에 의한 음향신호의 측정과 주파수 특성 분석에 관해 연구하였다. 유입변압기에서 발생 가능한 부분방전을 모의하기 위해 침-평판, 평판-평판, 보이드 및 플로팅 전극계를 제작하였으며, 음향신호의 고감도 검출이 가능한 역결합 회로와 저잡음·광대역 증폭기를 설계·제작하였다. 결함구조에 따른 음향신호의 주파수 스펙트럼 분석결과, 침-평판 전극계에서의 주파수대역은 70 kHz~210 kHz, 평판-평판, 보이드 및 플로팅 전극계에서는 80 kHz~268 kHz, 76 kHz~280 kHz, 60 kHz~193 kHz로 나타났으며, 최대주파수는 각각 132 kHz, 130 kHz, 128 kHz, 126 kHz로 측정되었다.

핵심용어 : 음향신호, 초음파 센서, 유입변압기 진단, 전극계, 부분방전, 유입변압기 진단, 주파수 스펙트럼

ABSTRACT : This paper dealt with the frequency spectrum analysis of acoustic signal generated by partial discharge (PD) in insulation oil to apply in diagnosis of oil insulated transformers. four types of electrode system ; the needle-plane, the plane-plane, the void and the floating electrode were assembled to simulate partial discharges in oil insulated transformers. A decoupler and a low-noise, wide-band amplifier were designed to detect acoustic signal with high sensitivity. The frequency spectrum of the acoustic signal were 70 kHz~210 kHz in the needle-plane, 80 kHz~268 kHz in the plane-plane, 76 kHz~280 kHz in the void electrode and 60 kHz~193 kHz in the floating electrode system. Their main frequencies were 132 kHz, 130 kHz, 128 kHz and 126 kHz, respectively.

KEY WORDS : Acoustic signal, AE sensor, Oil insulated transformer diagnosis, Electrode system, Partial discharge (PD), Frequency spectrum

1. 서 론

전력수요의 증가와 고품질 전력공급의 요구로 전력설비가 초고압·대용량화 되면서 예방진단기술에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 절연은 전력설비의 성능과 수명에 직접적 관련이 있으며 절연열화에 영향을 주는 요인으로는 전기적, 열적, 화학적 스트레스가 있다[1]. 특히 초고압 변압기는 사고시 정전

범위가 넓고 수리나 교체에 막대한 비용이 소요되는 등 기술적·경제적으로 막대한 손실이 발생하므로 안정적인 전력공급을 위해 주기적인 진단과 상시 모니터링이 필요하다[2]-[7]. 이러한 변압기의 예방진단을 위한 기술로는 가스분석법, 부분방전 측정법, %Z 측정법, 유전손 측정 등이 있으며, 최근 절연진단법으로 부분방전측정법이 주류를 이루고 있다. 부분방전은 절연물에 결함이 생기면 이 부분에서 전계가 집중되어 발생하는 것으로 열화를 초기에 검출할 수 있는 특징이 있다[8]-[10].

* dwpark77@hhu.ac.kr

* kkony@bada.hhu.ac.kr

*sksbest2@nate.com

*adonis1024@nate.com

** kilgs@hhu.ac.kr

부분방전측정에는 전기적 방법과 비전기적 방법이 있으며, 전기적 방법은 감도가 우수하여 정밀 측정이 가능하지만 주변 전자계에 의한 영향을 받기 쉬우며, 초고압의 경우 운전 중 결합 회로망의 설치가 불가능한 단점이 있다. 비전기적 방법에는 음향검출, 광학적 검출 및 화학적 검출법이 있으며, 그 중에서 음향검출법은 전기적 방법에 비해 감도는 낮지만, 운전 중 센서의 설치가 용이하고 전기적으로 절연되어 있어 주변 전자계 노이즈에 강한 장점이 있다. 또한 다수의 센서를 설치하여 음향신호의 도달시간차를 측정하면 부분방전 즉, 결합의 위치를 추정할 수 있다. 본 논문에서는 초고압 변압기의 상시 절연 진단에 음향검출법을 적용하기 위해, 유중에서 부분방전을 모의하고 이때 발생하는 음향신호의 검출과 주파수 특성분석에 관하여 연구하였다.

2. 음향신호 측정 시스템

유중부분방전에 의해 발생하는 음향신호를 검출하기 위해 주파수대역 50 kHz~200 kHz, 150 kHz의 공진주파수를 가지는 AE(Acoustic Emission)센서(R15I-AST, PAC)를 사용하였다. AE센서는 전원선과 신호선을 공통으로 사용하므로 직류 전압원과 음향신호를 분리하기 위한 필터특성의 역결합회로와 음향신호의 고감도 검출을 위한 저잡음·광대역 증폭기가 필요하다.

본 논문에서는 음향신호의 효과적 검출을 위해 역결합회로와 증폭회로를 Fig. 1과 같이 설계하였다.

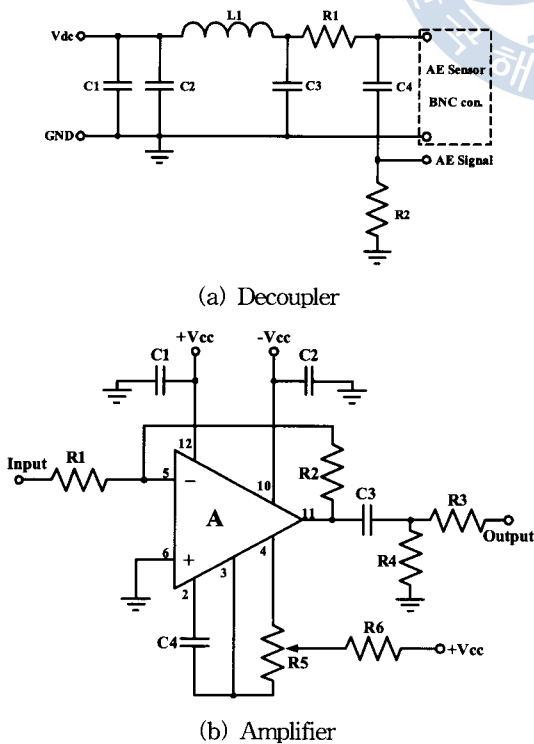


Fig. 1 Detection circuit of acoustic signal

역결합회로의 주파수응답은 Fig. 2와 같으며, AE센서에서 직류 전원측으로 10 kHz이상의 음향신호는 120 dB 이상 감쇄(attenuation)시키며, 증폭회로의 입력단 즉, R2로는 감쇄없이 전달하는 특성을 갖는다.

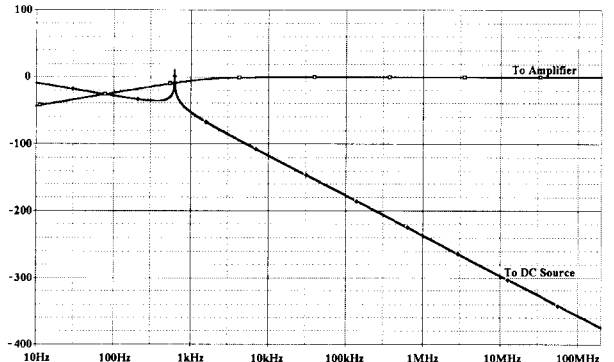


Fig. 2 Frequency response of the decoupler

증폭회로에는 이득·주파수 대역이 70 MHz인 광대역 연산증폭기를 사용하였으며, 이득은 40 dB로 설계하였다. 제작된 음향신호 검출회로는 함수발생기로 1 kHz에서 2 MHz까지 정현파 입력전압에 대한 출력전압의 비율로서 주파수 특성을 분석하였으며, Fig. 3과 같이 -3 dB의 고역차단 주파수는 1.8 MHz, 저역차단 주파수는 1.6 kHz로 AE센서의 주파수대역(50 kHz~200 kHz, -3 dB)을 충분히 포함하고 있음을 알 수 있다.

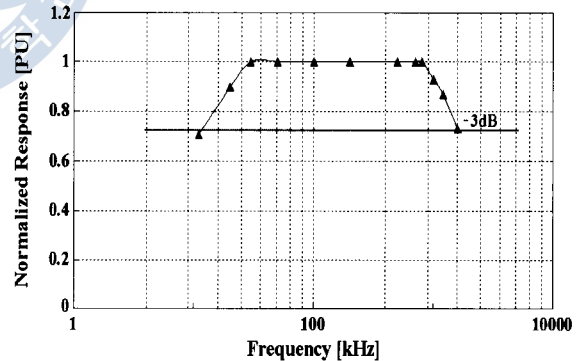


Fig. 3 Frequency response of the amplifier

3. 실험 및 분석

본 논문에서는 유입변압기의 상시진단을 위한 방법으로 음향신호 검출법을 적용하였으며 유중부분방전 발생패턴에 따른 음향신호의 측정과 주파수 특성을 분석하였다. 유중부분방전을 모의하기 위하여 금속제 외함(740 mm×740 mm×1000 mm)과 절연물의 결합에 따른 부분방전 발생모델로 침-평판, 평판-평판, 보이드 및 플로팅 구조의 전극계를 Fig. 4와 같이 제작하였다. 평판전극은 텅스텐과 구리의 합금으로 두께 1.5 mm, 지

름 60 mm로 설계하였으며 가장자리를 둥글게 처리하여 전계의 집중이 발생하지 않도록 하였다.

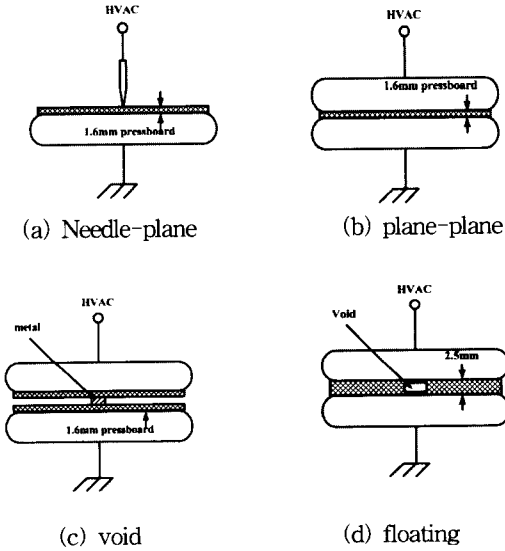


Fig. 4 Configuration of the electrode system

유입변압기의 모의실험장치는 Fig. 5와 같이 구성하였으며, 전극계를 유중에 위치시키고 교류전압을 가변(0~50 kV)하여 부분방전 발생을 모의하였다. 유중부분방전에 의한 음향신호는 금속 외함에 설치된 AE센서로 검출되며 역결합회로와 증폭회로를 통해 오실로스코프(LeCroy 9314C, 400 MHz)로 전달된다.

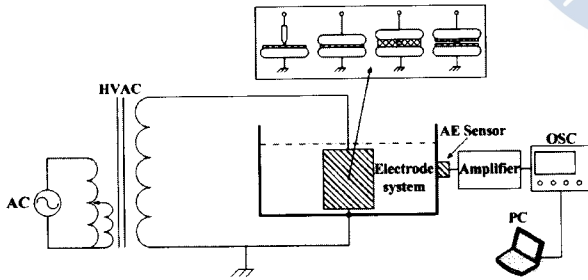
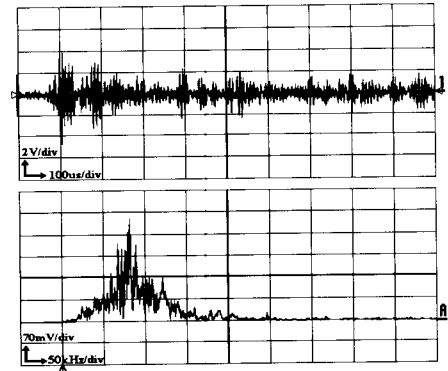
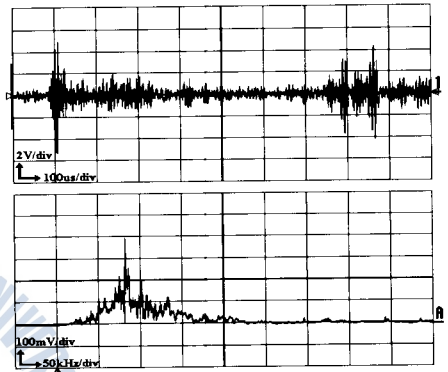


Fig. 5 Configuration of the experimental apparatus

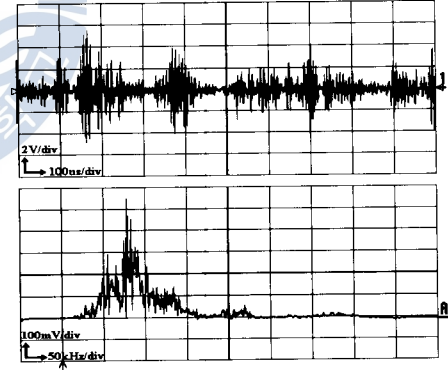
4가지 형태의 전극계에서 측정된 부분방전의 음향신호와 주파수 스펙트럼을 Fig. 6에 나타내었다. 음향신호의 주파수 스펙트럼 분석결과, 침-평판 전극에서 발생한 음향신호의 주파수대역은 70 kHz~210 kHz에 분포하며 최대주파수는 132 kHz이었다. 평판-평판 전극에서는 80 kHz~268 kHz, 최대주파수는 130 kHz로 측정되었으며 보이드 전극에서는 76 kHz~280 kHz, 최대주파수 128 kHz의 주파수특성을 나타냈으며 평판-평판 전극과 보이드 전극에서의 음향신호는 침-평판 전극에 비해 넓은 플로팅 전극에서는 60 kHz~193 kHz, 최대주파수 126 kHz로 침-평판, 평판-평판, 보이드 전극에 비해 낮게 분석되었다.



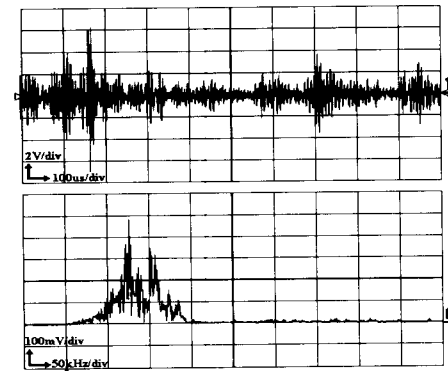
(a) Needle-plane



(b) plane-plane



(c) void



(d) floating

Fig. 6 Acoustic signals and FFT results

5. 결 론

본 연구에서는 유중부분방전의 음향신호를 측정, 분석하였다. 모의 결합구조로 4종의 부분방전 전극계를 제작하고 유중에서 인가전압에 따른 부분방전 음향신호를 측정하였다. 측정에는 50 kHz~200 kHz의 주파수대역을 갖고 공진주파수가 150 kHz인 AE센서를 사용하였으며 주파수대역 1.6 kHz~1.8MHz(-3 dB), 40 dB의 이득을 갖는 증폭회로를 구성하였다. 유입변압기에서 발생할 수 있는 부분방전을 모의하기 위해 침-평판, 평판-평판, 보이드 및 플로팅 전극계를 제작하였으며 침-평판전극과 평판-평판전극사이에는 프레스보드 절연지를 삽입하여 프레스보드 절연지 내부의 부분방전을 모의하였다. 침-평판 전극에서 음향신호의 주파수특성 분석결과, 주파수대역은 70 kHz~210 kHz로 나타났다. 평판-평판 전극에서 음향신호의 주파수대역은 80 kHz~268 kHz로 나타났다. 보이드전극과 플로팅전극에서 측정된 음향신호의 주파수대역은 76 kHz~280 kHz 및 60 kHz~193 kHz로 나타났으며 각 전극에서 발생한 음향신호의 최대주파수는 132 kHz, 130 kHz, 128 kHz, 126 kHz로 측정되었다. 실험결과로부터 AE센서를 이용하여 유중부분방전의 검출이 가능함을 확인하였다. 결합의 종류에 따른 음향신호의 주파수 성분이 달라지므로, 데이터의 분석과 축적을 통하여 변압기 진단에 충분히 활용할 수 있을 뿐만 아니라 진단의 신뢰도를 향상시킬 수 있을 것으로 기대한다.

참 고 문 헌

- [1] P. D. Agoris, S. Meijer and J. J. Smit "Evaluation of On-Line Insulation Condition Assessment Techniques for power transformers", International Symposium on High-Voltage Engineering(ISH), Beijing, China, 2005
- [2] S. Tenbohlen et al., "Enhanced Diagnosis of Power Transformers using On-line and Off-line Methods: Results, Examples and Future Trends", CIGRE Paris, paper 12-204, 2000
- [3] T. Leibfried, K. Feser: "Off-line and On-line Monitoring of Power Transformers using the Transfer Function Methode", IEEE Intern. Symposium on Electrical Insulation, Montreal, pp. 34-37, 1996
- [4] Th. Aschwanden, M. Hassig, V. Der Houhanessoan, "Development and Application of New Condition Assessment Methods for Power Transformers", CIGRE Paris, paper 12-207, 1998
- [5] P. Guinic and J. Aubin, "Cigre's Work on Power Transformers", EPRI, Substation Equipment Diagnostics Conference IX, New Orleans, Louisiana, USA, 2001

- [6] H. Kawada, M. Honda, T. inoue, T. Amemiya, "Partial discharges automatic monitor for oil-filled power transformer", IEEE Transaction on Power Apparatus and System, Vol.PAS-103, No.6, 1986, pp. 1045-1048.
- [7] 권동진, 박재준, "변압기 부분방전 상시 감시기법에 관한 연구", 한국전기전자재료학회논문지, Vol. 14, No.12, pp. 1032, 2001.
- [8] Ghirelli. L., Koltunowicz. W., et al., "Acoustical method for partial discharge detection in high power capacitors", IEE Conf. Publication, Proc. of the Intern. Conf. on Partial discharge, Canterbury, pp. 92-93, 1993
- [9] E. Howells, E. T. Norton, "Detection of Partial discharge in Transformers Using Acoustic Emission Techniques", IEEE Transaction on Power apparatus and System, Vol. PAS-97, No. 5, pp. 1538-1549, 1978
- [10] P. M. Eleftherion, "Acoustic Emission-Based PD Source Location In Transformers", Electrical Insulation Magazine, IEEE, Volume: 11, Issue: 6, pp. 22-26, Nov.- Dec. 1995

원고접수일 : 2008년 1월 10일

원고채택일 : 2008년 1월 23일