

부분방전의 초음파 측정에 관한 연구

선종호, 류희석, 김광화
한국전기연구소

A Study on the Ultrasonic Measurement of Partial Discharge

J. H. Sun, H. S. Ryoo, K. H. Kim

Korea Electrotechnology Research Institute

ABSTRACT

In this paper, we describe that the acoustic PD detection is examined in the various structures and position shapes of sensors. We find that the acoustic waves have the complexity in various structures and position shapes of sensors may reduce the complexity of the acoustic wave in the PD detection of transformers

1. 서론

전력설비는 운전중에 전기적, 기계적, 열적, 환경적인 영향을 받아 점차 절연이 열화되어 사고에 이르게 된다. 산업의 발전과 더불어 전력설비가 대용량화 되므로써 사고에 따른 파급효과도 커지고 있다. 이에 따라 전력설비의 사고예방을 위한 연구가 꾸준히 진행되어 왔으며, 그 중의 한 방법이 전력설비의 중대사고인 절연파괴의 전구현상으로서 나타나는 부분방전을 측정하는 것이다.

부분방전 측정법은 운전중에 전력설비의 상시감사가 가능한 진단법으로서 전기적인 방법과 비전기적인 방법으로 분류될 수 있다. 전기적인 측정은 널리 알려져 있는 부분방전 측정법으로서 부분방전량, 펄스전류, 펄스 수, 펄스분포형태등을 측정하는 것이다. 그러나 이 방법은 전력설비의 정전용량에 따라 측정형태가 다양하게 나타나며, 발생원의 위치탐색도 불가능할 뿐만 아니라 매우 미소한 전기신호를 측정해야 하므로 전자파나 전자기적 잡음이 큰 현장에서는 전기적인 부분방전의 검출이 매우 어려운 단점을 가지고 있다. 그러므로 부분방전측정으로서 전력설비의 상시감사에 대한 신뢰도를 향상시키기 위하여 최근 센서기술의 발전과 더불어 초음파센서를 이용하여 부분방전이 발생할 때 나타나는 음향신호(초음파)를 측정하는 비전기적인 측정법이 널리 연구되고 있다.

음향신호는 시료의 정전용량에 따라 측정결과가 일정하고, 전자기적 잡음의 영향을 받지 않으며, 주위의 진동이나 소음같은 기계적 잡음과의 구별도 용이하며, 전기적신호와 음향신호와의 전달시간차를 이용하여 부분방전의 발생위치탐색도 가능하다. 그러나 음향신호는 지향성이 강하여 전달매질 및 센서가 부착된 위치의 구조에 따라 측정감도가 좌우되므로 구조가 복잡한 전력설비에서의 전달매질과 부착위치구조에 따른 전파특성의 분석은 초음파 진단에서 매우 중요한 요인이다.

본 연구에서는 부분방전에 의한 초음파의 측정감도를 향상시키기 위한 일환으로서 전달매질 및 센서가 부착되는 위치와 구조의 변경에 의한 전파특성을 분석하였다.

2. 초음파의 특성

음파는 어떤 공간적인 위치에서 발생한 진동에너지를 매질을 전파하여 가는 현상을 말한다. 초음파의 특성을 요약하면 다음과 같다.

가. 지향성

지향성의 양호는 진동에너지를 목적하는 방향에 유효하게 전파시켜 어느정도 먼 쪽에서의 반사정보를 수신가능한 가의 지표로 된다. 계속 사용되는 초음파는 평면파 쪽이 전파효율은 양호하다. 평면파의 매체에 의한 감쇄는

$$P = P_0 \cdot \exp(-\alpha \cdot \gamma)$$

P_0 : 발진 강도, α : 감쇄계수, γ : 거리 로 표시된다.

나. 파장의 전파 속도

음속, 즉 초음파의 전파속도 C_u 는

$$기체: C_u = \frac{\gamma_0 \cdot P_0}{\rho}$$

γ_0 : 비열, P_0 : 압력, ρ : 밀도

$$액체: C_u = \frac{K}{\rho}$$

K : 체적 탄성률, ρ : 밀도

$$고체(종파): C_u = \frac{E}{\rho} \cdot \frac{1-\sigma}{(1+\sigma)(1-2\sigma)}$$

E : young 률, σ : poisson 비

일반적으로 계산치로서는 공기중에서 340m/s, 액체중에서 1500m/s, 금속중에서는 6000m/s 정도이다.

다. 매질중의 전파속도

다른 물질간의 전파에 관해서는 음향임피던스 Z 라고 불리는 물질 고유의 중요한 변수가 있다. 이것은 다음과 같이 정의된다.

$$Z = \rho \cdot C_u$$

다른 2개의 물질에서의 임피던스는

$$R = \left(\frac{Z_1 - Z_2}{Z_1 + Z_2} \right)^2$$

여기서 $R=0$ 이면 무과, $0 < R < 1$ 이면 일부 무과 나머지는 반사, $R=1$ 이면 전반사한다.

3. 실험방법

초음파가 전달되는 전파매질 및 센서의 취부구조에 따른 음향신호의 전파특성을 분석하기 위하여 다음과 같은 시험을 실시하였다.

방법(1)

그림 1은 초음파의 전파매질을 금속판으로 했을 때의 시험법이다. 이 시험에서는 부분방전 발생원으로 부터의 거리에 따른 초음파 강도를 측정하였으며, 사용된 금속판의 종류 및 크기는 표 1과 같다.

표 1. 금속판의 종류 및 크기

물 질	두께(mm)	폭(mm)	길이(mm)
철	2	50	1000
구리	7	50	1500

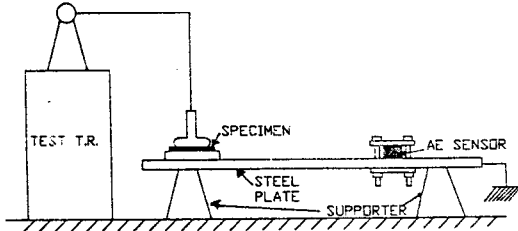


그림 1. 금속판을 통한 초음파의 측정시험

방법(2)

그림 2는 전파매질을 FRP봉으로 했을 때의 시험법이다. 측정거리는 부분방전 발생원로부터 25cm, 52cm지점이다.

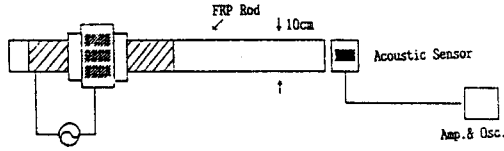


그림 2. FRP봉을 통한 초음파의 측정시험

방법(3)

전력용 변압기와 같이 외함속에 절연유가 있는 경우에 전기적 신호와 초음파신호의 시간차를 측정하여 부분방전 발생위치를 탐색할 수 있다. 변압기의 외함은 구조상 요철부분이 많으며, 적절한 부분에 센서를 취부하면 매우 효과적으로 초음파 신호를 측정할 수 있다. 이러한 것을 모의하여 그림 3과 같은 시험을 수행하였으며, 그림 3의 (b)에서 형상 1, 2, 3, 4는 센서취부위치이고 외함 평면을 기준으로 1은 돌출부위, 2는 들어간 부위, 3은 평면, 4는 2보다는 덜 들어간 부분을 뜻한다.

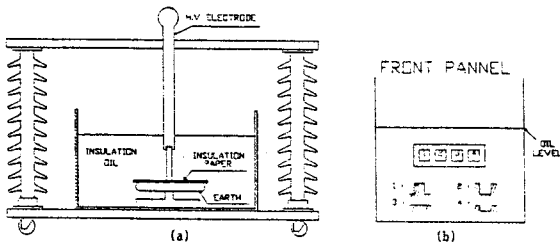


그림 3. 절연유와 외함을 통한 초음파의 측정시험

4. 실험 결과

방법(1)

이 시험에서는 인가전압과 전기적인 부분방전크기에 대한 관계와 금속판의 거리에 따른 초음파 강도와와의 관계를 측정하였다. 측정결과로서 그림 4는 인가전압과 부분방전량과의 관계를, 그림 5와 그림 6은 철과 동에 대한 각 전압에서의 거리별 초음파강도와와의 관계를, 그림 7은 일정전압에서 측정거리별 초음파강도와와의 관계를 보여주고 있다.

방법(2)

그림 8은 FRP봉에서 부분방전 발생원으로부터의 거리에 대한 초음파 강도와와의 관계를 보여주고 있다. FRP 봉에서는 부분방전 발생원으로부터 측정거리가 멀어질수록 초음파강도는 감소함을 알 수 있었다.

방법(3)

절연유와 외함의 경계면에서 굴절과 반사현상이 발생하며, 그에 대한 측정결과를 그림 9에서 보여주고 있다. 그림 9의 (a)와 (b)는 부분방전의 발생에 의하여 검출된 초음파 신호와 전기적 신호와의 시간지연관계를 보여주고 있고, (c)와 (d)는 센서의 취부위치에 따른 초음파의 측정결과를 보여주고 있다.

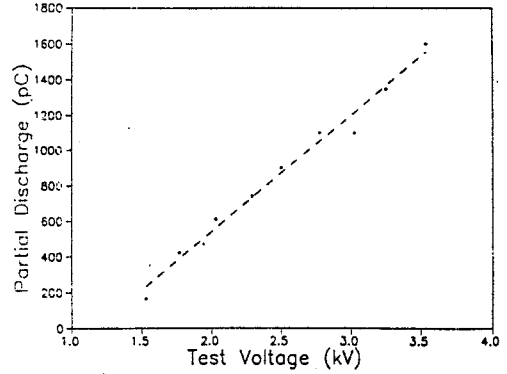


그림 4. 인가전압과 부분방전량과의 관계

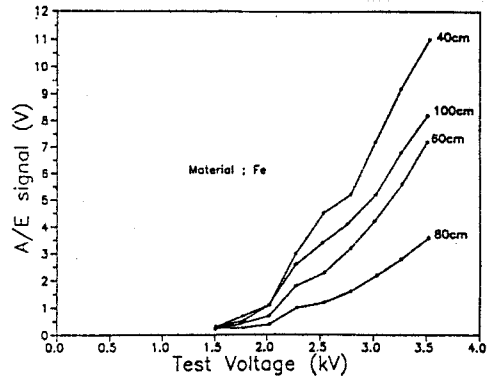


그림 5. 철판에서의 인가전압과 측정거리에 대한 초음파 강도와와의 관계

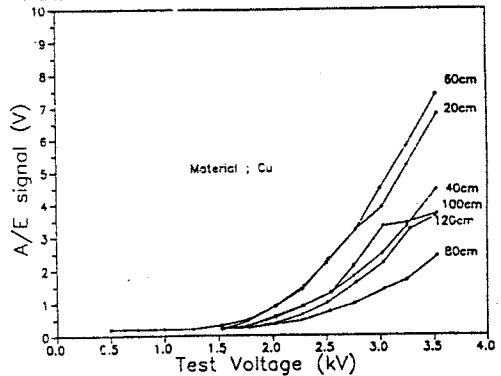


그림 6. 동판에서의 인가전압과 측정거리에 대한 초음파 강도와와의 관계

5. 시험분석

방법(1)

초음파의 강도는 부분방전 발생원에서 멀어짐에 따라 계속 감소하지 않고 일정 거리에서 다시 상승하는 것은 초음파는 금속체의 끝에서 반사되어 횡파와 종파가 복합적으로 작용하므로써 오히려 그 크기가 증가하는 것으로 생각된다.

방법(2)

초음파의 강도는 부분방전 발생원에서 거리가 멀어짐에 따라 계속 감소하였으며, 이것은 방법(1)의 시험결과와는 달리 FRP봉의 끝에서의 초음파 성질은 종파가 작용한 것으로 생각된다.

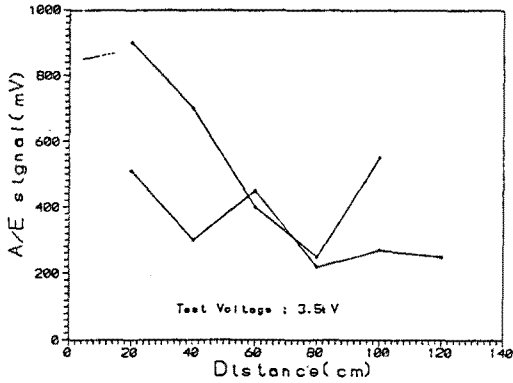


그림 7. 초음파 강도와 측정거리와의 관계

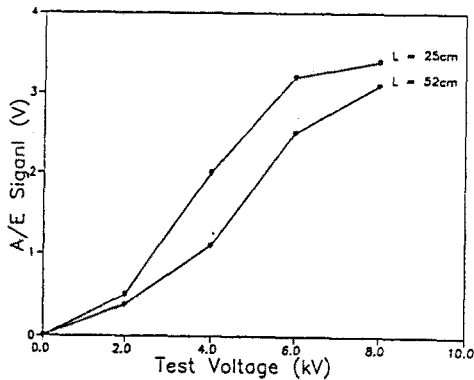
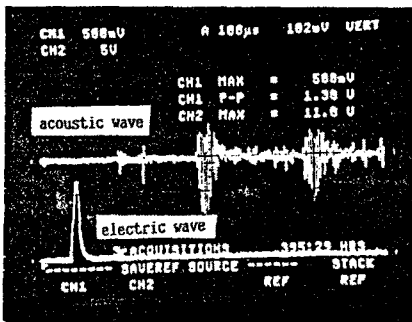


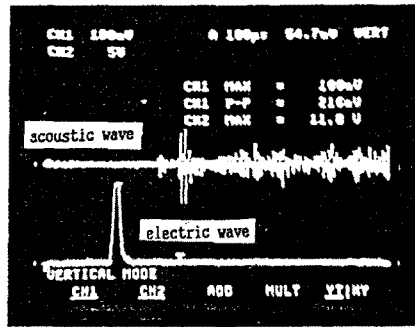
그림 8. FRP봉에서의 초음파 강도와 측정거리와의 관계

방법(3)

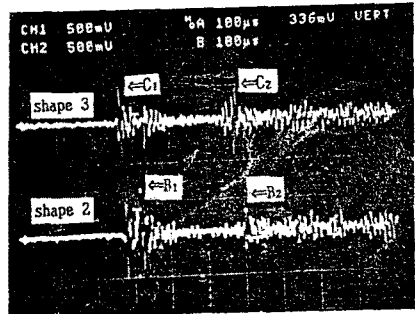
이 시험에서는 액체 매질을 통과하는 과정에서 전기적인 신호와 초음파신호사이에는 시간지연이 관측되었다. 또한 초음파 신호는 전기적인 신호보다 더 많은 잔류파형이 존재하며, 이것은 매질의 경계면에서 반사와 굴절작용이 존재하고 전기적인 에너지보다는 초음파에너지가 더욱 천천히 감소하기 때문인 것으로 생각된다. 한편, 횡파의 속도는 종파의 속도에 약 50%정도이기 때문에 크기가 작은 종파에 뒤여이 크기가 큰 횡파가 존재한다. 그림 9의 (c)와 (d)는 이러한 관계를 보여주고 있으며, 그림 3의 형상 2나 형상 3과 같이 외함 표면에서 들어간 부분에 센서를 설치하면 같은 면이나 튀어나온 부분에 설치하는 것보다 횡파에 대한 종파의 비율이 크므로 전역용 변압기와 같은 설비에서의 부분 방전에 의한 초음파 검출은 교란을 감소시키고 측정감도를 상승시키기 위해서는 이러한 관계들을 고려하여 센서를 취부해야 한다.



(a)

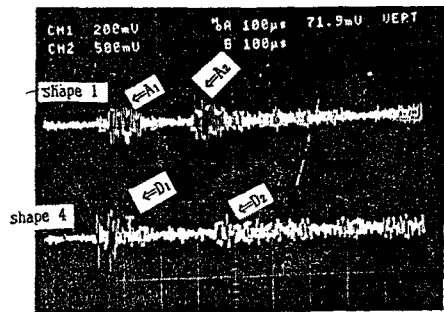


(b)



형상 '3'에서 C₁/C₂ = 1
형상 '2'에서 B₁/B₂ = 3

(c)



형상 '1'에서 A₁/A₂ = 0.7
형상 '4'에서 D₁/D₂ = 2

(d)

그림 9. 측정된 초음파 신호

6. 결 론

이상의 실험결과로부터 결론은 다음과 같다.

1. 방법(1)의 실험에서 횡파 및 종파로 전달되는 초음파신호는 반사등의 작용에 의해 방전원에서 부터 거리에 따라 일정하게 감쇄하지 않는 것으로 사료된다.
2. 방법(2)의 실험에서 종파가 우세하게 나타나는 곳에서 초음파 신호는 방전원에서 부터 거리에 따라 감쇄하는 것으로 사료된다.
3. 방법(3)의 실험에서 횡파성분을 감쇄시킬 수 있는 초음파센서에서 접촉면형상인 '1' '2'에서는 좋은 측정감도와 반사파를 가장높게 감쇄시킬 수 있었다.

참 고 문 헌

1. IEC 270
2. Boggs S.A., "Optimum Electrical PD test method for large capacitors", IEEE Trans EI-26 No. 36, 1991, p479
3. Boggs S.A., "Partial Discharge-Part II : Detection Sensitivity", IEEE EI Magazine 69/10 1992