

주파수특성이 다른 2개의 초음파 센서에 의한 GIS 이물진단 기술 연구

論 文

52C-5-5

A Study on the Technology Diagnosing Particles with Two Acoustic Emission Sensors Which have the Different Characteristics of Frequency in GIS

金光和*·崔再九**·宣鍾好***·金益洙§·尹珍烈§§
(K. H. Kim · J. G. Choi · J. H. Sun · I. S. Kim · J. Y. Yoon)

Abstract - This paper described about the acoustic wave measurement method to diagnose GIS for particles. We measured and analyzed the signals of acoustic waves with two type acoustic sensors having 125kHz and 50kHz resonant frequency respectively when the particles were bounced on the inside surfaces of GIS tanks by the electrostatic force. To use two sensors for the diagnosis of GIS, we set up the calibration method for this measurement method. We showed the output characteristics of two sensors according to the sizes and materials of particles in the experiment. As the results, the inception voltages bouncing particles depended on the materials and the extinction voltages bouncing them depended on the sizes and materials. We found out that the relationship between sizes of particles and output voltages of sensors didn't have linearity but the ratios of between peak values of two sensors depended on the materials of GIS enclosures and the sizes of particles.

Key Words : GIS diagnosis, acoustic emission sensor, particle, calibration

1. 서 론

최근의 전력기기는 용량이 증대하고, 충전부를 최대한 밀폐형으로 하여 설치면적을 줄이고 신뢰성의 향상을 위하여 변전소에서 GIS를 많이 도입하고 있다. GIS는 SF₆ 가스를 절연으로 하는 밀폐형 개폐기류를 총합시킨 것으로 도체와 탱크 사이에 매우 높은 전계강도를 SF₆ 가스로 절연을 유지하고 있지만, 내부에서 절연에 영향을 주는 요소가 발생하면 절연파괴와 같은 고장을 쉽게 일으키게 된다. GIS에서 절연에 큰 영향을 주는 요소 중의 하나는 내부에 이물이 있는 경우이며 이는 제작시 또는 설치시에 발생할 수 있을 뿐만 아니라, 운전 중에 기계적인 진동과 개폐시의 충격 등으로 만들어 질 수도 있다. 이러한 이물이 발생하면 기기 내부에서 정전력에 의해 탱크내부 표면에서 기립하고 도체쪽으로 진동하며 부상하여 섬락하기도 한다. 이때 부분방전도 발생하며 이로 인하여 SF₆가스의 분해가 일어나고 절연내력을 매우 낮추게 되어 절연파괴 고장을 잘 일으킬 수 있다. 이와 같은 고장을 미리 막기 위해서 GIS 내부에 이물의 진단에 관한 여러 가지 방법의 연구들이 진행되어 왔다. 대표적인 방법은 부분방전의 전기적 측정법에

의한 진단방법과 탱크의 진동을 측정하는 음파측정법(가속도 또는 초음파)이 가장 많이 연구되었고 이들은 유효한 것으로 알려져 있다.¹⁻⁸⁾

GIS에서 초음파 측정법은 현장에서 사용하기 쉽고 전기적인 잡음의 영향이 거의 없어 현장기술로 많은 연구가 이루어져 왔으나 초음파는 절대치로 측정하기가 어렵고 감쇠 및 반사 등의 복잡한 특성이 있어 이물의 크기 등을 진단하기가 어려우므로 GIS 내부에서 절연에 크게 영향을 줄 수 있는 이물의 상태를 밝히는 데는 어려움이 있다.

지금까지 진행된 초음파 측정을 이용한 GIS 진단기술연구는 부분방전량에 따른 초음파세기에 대한 것, 거리에 대한 감쇠특성, 2개 이상의 센서에서 측정치의 시간차에 의한 방전 발생위치 표정 및 여러 가지 이물에 대한 초음파 주파수 스펙트럼 특성이 연구되었으나^{3,5)}, 이들은 실적용에 한계가 있는 것으로 사료되며, GIS 진단에서 가장 중요한 것은 절연 파괴의 가능성이며 이물이 존재할 때는 이물의 크기와 전계강도가 매우 중요한 요소가 되는 것으로 보고하고⁷⁾ 있으므로 이물의 크기를 진단할 수 있는 기술이 필요하다.

GIS에서 이물의 진단을 위한 초음파 측정기술의 개발 일환으로 이물을 낙하시켜 탱크내면과의 관계에서 발생하는 초음파를 주파수 특성이 다른 두 개의 센서 측정결과를 본 논문의 선행논문인 참고문헌(8)에서 기술하였다.

본 논문에서는 800kV 및 362kV GIS 실모델을 사용하여 전압을 인가하고 이물이 기립하고 진동하여 발생시키는 초음파 특성을 주파수 특성이 다른 두 개의 초음파 센서로 측정하며 측정값을 규정화하기 위한 센서의 교정방법과 이물의 크기와 의 관계를 연구하고자 한다.

* 正 會 員 : 韓國電氣研究院 産業電氣研究團 責任研究員
** 正 會 員 : 韓國電氣研究院 試驗評價部 先任研究員
*** 正 會 員 : 韓國電氣研究院 産業電氣研究團 先任研究員
§ 正 會 員 : 韓國電氣研究院 試驗評價部 責任研究員
§§ 正 會 員 : 韓電力研究院 송변전그룹 부장
接受日字 : 2002年 7月 7日
最終完了 : 2003年 3月 14日

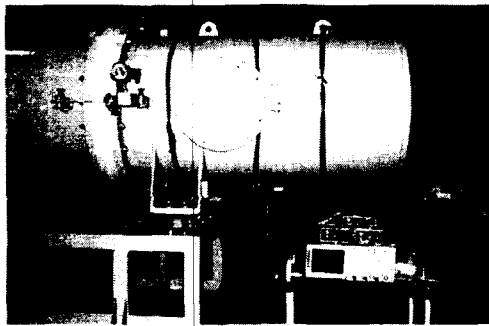
2. 실험설비 구축 및 실험방법

2.1 실험설비 구축

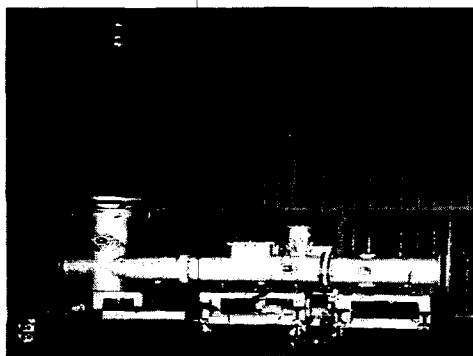
GIS의 이물에서 발생하는 초음파는 GIS 탱크를 통하여 진동의 형태로 전달되므로 이물 진단용 자료를 구축하기 위한 실험용 GIS는 실물크기와 같은 것이 필요하다. 따라서 800kV 및 362kV급의 GIS 탱크를 그림 1과 같이 제작하였다.

800kV GIS 탱크의 크기는 내경 1,000mm, 두께 80mm이며, 알루미늄으로 제작되었고, 362kV급 GIS 탱크의 크기는 내경이 530mm, 두께 12mm이며, 스테인레스 스틸로 제작되었다.

800kV급의 GIS는 정상 운전전압에서 도체와 탱크간에 걸리는 사용전압이 약 440kV이므로 실물 크기의 탱크에서 실험하기 위해서는 매우 높은 전압인가를 필요로 한다. 실물크기의 탱크를 그대로 사용하고 탱크 내부의 표면에서 정상전압의 전계강도가 6.16kV/cm로 실제와 같이 유지시킬 수 있는 전압 감소용 보조전극을 도체에 덮어서 도체의 직경을 증가시키면 인가전압을 1/4로 줄여도 정상상태와 같은 조건으로 실험하는 것이 가능하다. 보조전극과 아크릴 절연물로 된 이물방지턱은 그림 2와 같이 설계 및 제작을 하였다.



(a) 800kV용 GIS 탱크
(a) GIS tank for 800kV

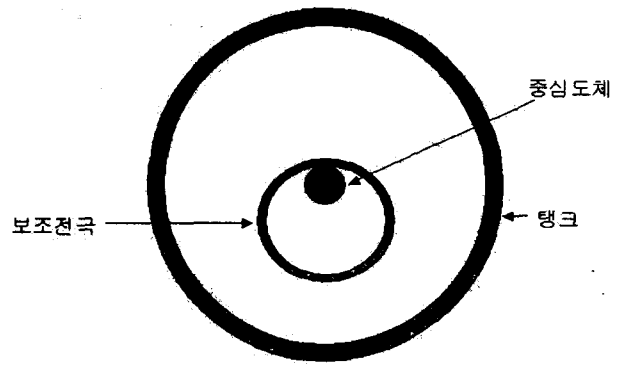


(b) 362kV용 GIS 탱크
(b) GIS tank for 362kV

그림 1 실모델 GIS 탱크
Fig. 1 Mock-up GIS tank

2.2 실험방법

각종 이물들이 GIS 실모델 탱크에서 어떤 특성을 갖는가를 밝히기 위하여 다음 표 1과 같은 이물에 대하여 실험을 실



(a) 보조전극의 구성도

(a) Design of the electrode decreasing applied voltage



(b) 보조전극과 이물방지턱

(b) The electrode decreasing applied voltage and the box confining particles

그림 2 보조전극과 이물방지턱

Fig. 2 The electrode decreasing applied voltage and the box confining particles

표 1 실험에 사용된 이물의 종류, 크기 및 무게

Table 1 Specimens, size and weight of particles

종류	Al(0.80φ)			Cu(0.65φ)		
크기(mm)	15	10	5	15	10	5
무게(mg)	22.0	15.0	7.5	40.0	26.0	13.5

표 2 초음파센서 종류별 특성

Table 2 The characteristics of acoustic sensors

모델	최고 감도	동작 주파수	공진 주파수	비고
R 6I	120dB	40~100kHz	50kHz	40dB Gain Amp 내장
R 15I	109dB	70~200kHz	125kHz	40dB Gain Amp 내장

시하였다. 이들의 금속이물은 GIS에서 가장 잘 만들어질 수 있는 알루미늄과 구리의 재질로 이물의 크기는 정상운전에서 위험한 크기인 5 - 15mm로 하였다. 5mm 이하의 이물은 정상운전 전압에서 진동을 하지 않으며, 15mm 이상의 이물은 전압 인가시 바로 절연파괴로 이행할 확률이 높으므로 표 1

과 같은 이물로 하였다.

이 실험에서는 탱크의 내부전극에 전압을 인가하고 상승시키면서 관측창을 통하여 이물의 거동을 보고 탱크의부에 초음파 센서(R6I, R15I, PAC Co.)를 부착하여 측정을 실시하였다. 각 앰프의 출력은 디지털 오실로스코프(TDS510 Tecktronics)로 측정하였다. 사용된 각 센서의 특성은 다음 표 2와 같다. 그리고 센서 및 탱크의 특성을 고려하기 위하여 모든 실험에 앞서 교정을 실시하여야 한다. 초음파 센서의 교정은 ASTM E 976에 여러 가지 방법이 규정되어 있으며 가스분사법, 전기적 필스에 의한 교정법, 연필심 또는 모세관 부러뜨리기법이 있고 이들 중 현장에서 손쉽게 할 수 있는 방법은 연필심 부러뜨리기법이다. 이 방법은 샤프연필(mechanical pencil)의 심을 일정 길이로 하여 GIS 탱크의 외부표면에서 부러뜨리기를 하는 것이다. 따라서 본 실험에서는 이 방법을 기본으로 하여 적용하였다.9)

3. 실험결과

3.1 교정 실험결과

실모델 GIS에서 탱크, 센서 및 앰프의 특성을 고려한 교정을 실시하기 위하여 ASTM E 976에 의한 교정법에 의해 센서와의 거리가 60cm인 외함의 외부의 한 지점에서 연필심 부러뜨리기를 하여 동일한 지점의 두 종류 초음파센서(R6I, R15I)에서 그림3과 같이 측정하는 교정법으로 하였다.

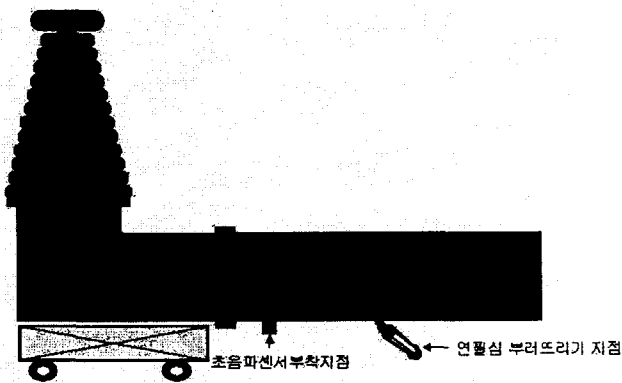


그림 3 초음파 센서의 교정방법도

Fig. 3 The calibration diagram of the acoustic emission sensors

800kV 실모델 GIS에서 탱크, 센서 및 앰프의 특성을 고려한 교정을 실시하기 위하여 연필심 부러뜨리기를 센서와의 거리를 60cm 간격을 두고 두 종류의 초음파센서(R6I, R15I)를 같은 지점에 부착하여 측정을 하였다. 그 결과는 그림 4와 같다.

그림 4에서 횡축은 앰프의 증폭율이며, 21dB까지는 1단 증폭을 하였으며, 20-0부터는 2단 증폭을 의미하고, 종축은 앰프 출력전압의 값이다. R6I의 센서에서 측정된 값이 R15I센서에서 측정된 값보다 약 25% 큰 것으로 나타났다. 교정용 음원으로 사용한 연필심 부러뜨리기는 결과에서 보인 바와 같이 앰프의 증폭율간에 큰 편차가 없는 것으로 측정되었다.

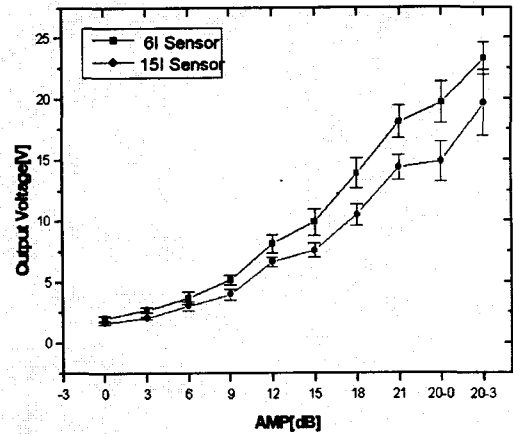


그림 4 연필심 부러뜨리기에 의한 초음파 교정결과(800kV)

Fig. 4 The result of acoustic signals calibrated by broken the lead of mechanical pencil

362kV 실모델 GIS에서 탱크, 센서 및 앰프의 특성을 고려한 교정을 실시하기 위하여 연필심 부러뜨리기를 센서와의 거리를 60cm 및 120cm 간격을 두고 두 종류의 초음파센서(R6I, R15I)를 같은 지점에 부착하여 측정을 하였다. 그 결과는 그림 5와 같다. 그림 5에서 60cm인 경우는 R15I의 센서에서 측정된 값이 R6I센서에서 측정된 값보다 약 40% 크고, 120cm인 경우는 약 10% 큰 것으로 나타났다. 이 결과는 800 kV 실모델 GIS 결과와 반대 현상으로 나타났으며, 120cm인 경우가 60cm인 경우보다 R15I에서 더 작은 증가율을 갖는 것은 초음파가 전파할 때 고주파의 감쇠가 높다는 것을 의미한다.

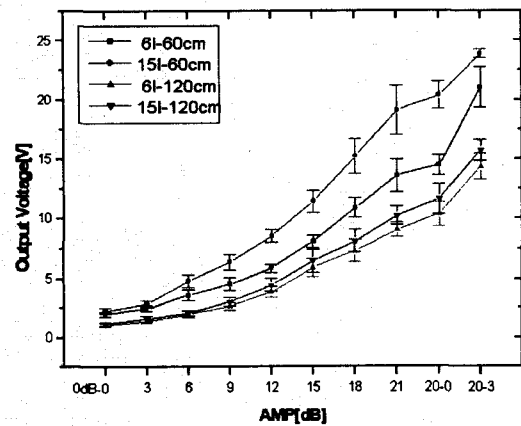


그림 5 연필심 부러뜨리기에 의한 초음파 교정결과(362kV)

Fig. 5 The result of acoustic signals calibrated by broken the lead of mechanical pencil

그림 4와 그림 5의 결과에서 60cm인 경우의 교정에서 보면 800kV GIS에서 R6I가 R15I보다 25% 큰 값으로 측정되었고, 362kV GIS에서는 R15I가 R6I보다 40% 큰 값으로 측정된 것은 GIS 탱크의 재질이 다르기 때문에 음파의 발생 및 전달 특성이 다른 것으로 사료되며 참고논문(8)의 특성과 일치하는 것으로 평가된다.

3.2 전압 인가법에 의한 실험방법

3.2.1 전압인가에 의한 이물의 기립특성

GIS 내에 존재하는 이물은 일정 전계 이상이 되면 기립을 하여 진동하며 전계가 더욱 높아지면 부상하기도 한다. 이와 같은 특성을 살펴보기 위하여 이물의 크기와 종류에 따른 기립전압 및 소멸 전압특성을 구하였다. 여기서 기립전압은 전압을 천천히 상승시킬 때 이물이 기립하여 진동하는 순간의 전압을 말하며, 소멸전압은 이물이 기립한 후 전압을 천천히 감소시킬 때 이물이 진동을 멈추고 탱크바닥으로 쓰러지는 순간의 전압을 말한다.

그림 6은 800kV급 GIS에서 각 이물의 종류에 따른 기립 및 소멸전압을 나타내고 있다. 같은 크기의 이물에서 구리의 경우가 기립 및 소멸전압이 더 높으며, 기립전압은 같은 종류의 이물에서 크기에 관계없이 거의 일정하고 소멸전압은 이물이 작을수록 높았다.

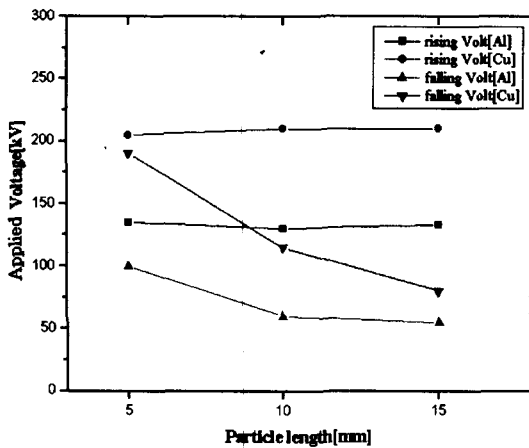


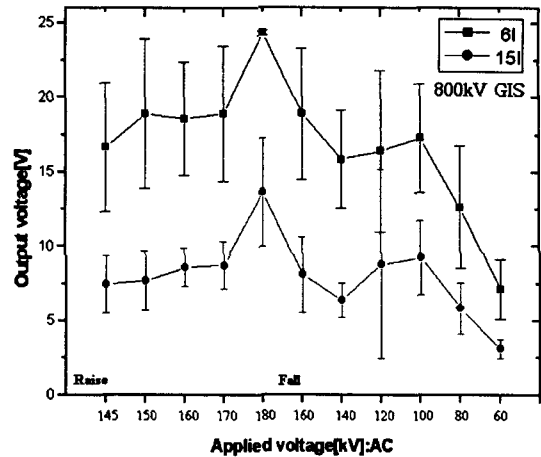
그림 6 알루미늄과 구리이물의 기립 및 소멸전압 특성(800 kV)

Fig. 6 The characteristics of rising voltages and extinction voltages for Al & Cu particles

3.2.2. 인가전압의 변화에 따른 이물에서의 초음파세기

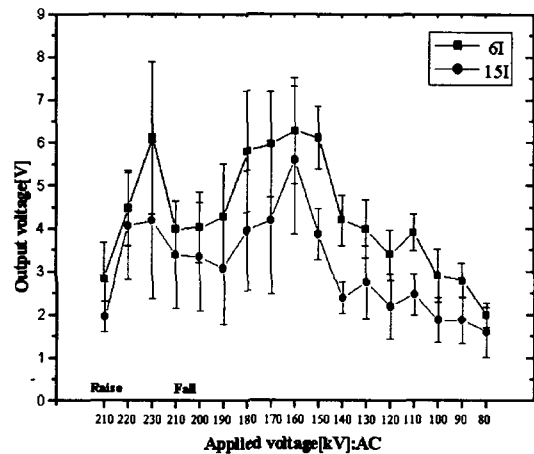
이물은 인가되는 전압의 크기 즉 이물에서의 전계강도의 세기에 따라 이물에 정전력이 주어지고 정전력과 이물에 작용하는 중력의 균형에 의해 이물의 부상정도가 달라지므로 초음파의 세기도 변할 것으로 사료된다. 그림 7은 알루미늄 및 구리 이물의 크기가 15mm인 것을 800kV급 GIS 탱크에 넣어 전압을 변화시키면서 측정한 결과이다. 그림 (a)의 알루미늄 이물의 경우, 약 145kV에서 기립하였으며, 전압이 증가하면 이물에서 출력되는 값이 증가하였다. 그리고, 전압을 감소시켜 60kV가 되자 기립진동을 멈추고 바닥에 누웠다. 구리 이물의 경우는, 기립전압이 210kV, 소멸전압이 80kV였다.

따라서 다음의 각 이물에 대한 실험에서 800kV GIS에서는 본 실험 전극구조의 정격전압에 해당되는 110kV와 이보다 과전압인 150kV에서 측정을 하는 것으로 하였고, 362kV GIS에서는 정격전압인 200kV에서 측정을 하는 것으로 하였다. 여기서 800kV GIS가 362kV GIS보다 인가 전압이 낮은 것은 앞에서 설명한 보조전극을 사용하였기 때문이며, 800kV GIS의 전압값을 4배로 하면 실 GIS에서 인가되는 전압 값이 된다.



(a) 알루미늄 이물에서 출력결과

(a) The outputs of acoustic signals for Al particles (앰프증폭율 21dB)



(b) 구리이물에서 출력결과

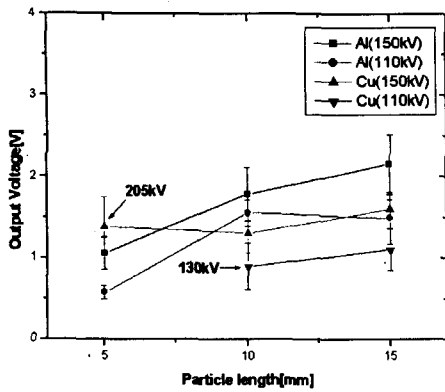
(b) The outputs of acoustic signals for Cu particles (앰프증폭율 23dB)

그림 7 인가전압 변화에 따른 이물별 초음파 출력특성(800 kV)

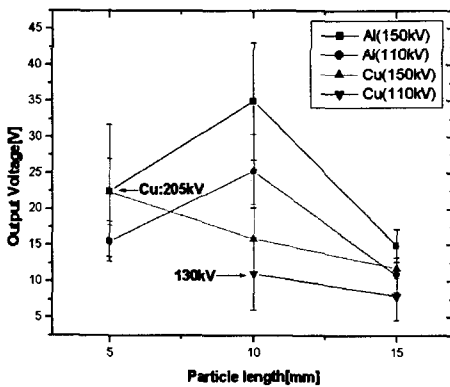
Fig. 7 The outputs characteristics of acoustic signals for particles according to applied voltages

3.2.3 이물에 따른 초음파의 세기특성

GIS 내부에 존재하는 이물은 인가된 전압하에서 기립하여 진동을 하게 되므로 이를 초음파센서로 측정하는 실험을 하였다. 그 결과인 그림 8은 800kV급 GIS에서 이물의 초음파 세기를 측정하여 나타내는 것으로 그림 8(a)는 R15I 센서에서 측정된 값이고 그림 8(b)는 R6I 센서에서 측정된 값이며 이 값들은 앰프의 증폭율을 21dB로 교정한 값으로 나타낸 것이다. 여기서 앰프의 증폭율을 21dB로 한 것은 대부분의 측정값이 앰프의 증폭율을 21dB로 하였기 때문이다. 측정된 초음파 신호는 R6I에 비해 R15I의 센서에서 작았다. 알루미늄 이물에서 측정된 신호가 구리 이물보다는 약간 큰 값으로 측정되었다. 이물의 크기에 대한 신호 출력의 비례특성은 보기가 힘든 것으로 나타났다.



(a) R151 센서 측정결과
(a) The result measured by R151 sensor



(b) R61 센서 측정결과
(b) The result measured by R61 sensor

그림 8 이물별 인가전압에 따른 초음파 측정결과(800kV)

Fig. 8 The outputs characteristics of acoustic signals for particles according to applied voltages

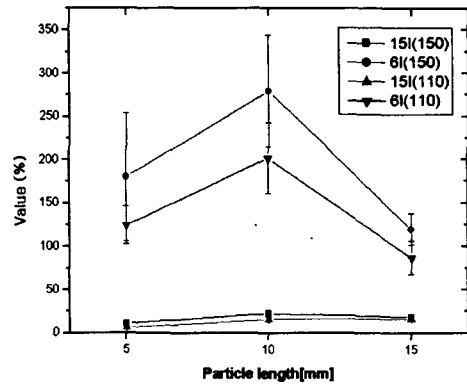
초음파 센서는 센서 자체의 특성과 부착시 부착상태의 특성에 의해 측정의 감도가 달라지므로 이의 오차를 줄이기 위하여 실험 전에 실시하는 3.1항의 교정실험결과를 측정결과에 다음의 식(1)과 같이 적용하면 이 오차를 줄일 수 있다. 본 연구에서 식(1)의 값을 절대값이라고 하겠다.

$$(\text{앰프 증폭율로 환산된 값}/\text{같은 증폭율에서 환산된 교정치}) \times 100 = \text{절대값}(\%) \quad (1)$$

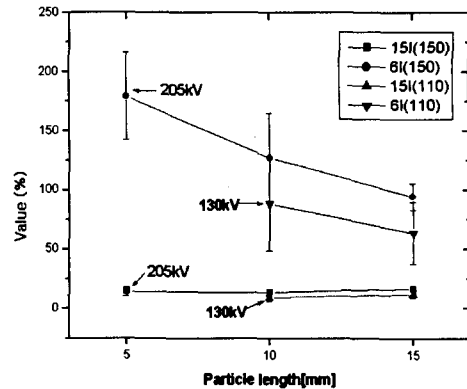
그림 8에서는 각 센서별로 측정된 값을 나타냈으며, 그림 9는 그림 8의 결과를 이물의 종류로 나누고 열필성 부러뜨리기의 교정치를 고려한 값으로 식(1)과 같이 환산하여 나타낸 것이다.

그림 10은 362kV급 GIS에서 이물의 초음파 세기를 측정하여 나타내는 것으로 측정값과 절대값으로 나타낸 것이다. 800kV GIS와 같이 R61의 출력이 크지만, 상대적인 차이는 작았다.

그림 9(a)와 그림 10과 같이 일정전압 인가시 초음파 측정 결과에서 이물의 크기에 비례하여 출력이 증가하지 않고 이물이 10mm인 경우에 가장 큰 초음파 출력이 나타났으나, 이물이 15mm로 커지면 초음파 출력이 크게 감소하는 결과를 얻었다.



(a) 알루미늄 이물의 경우
(a) Al particles



(b) 구리 이물의 경우
(b) Cu particles

그림 9 절대값으로 나타낸 초음파 측정결과(800kV)

Fig. 9 The acoustic measuring result shown by changing absolute values

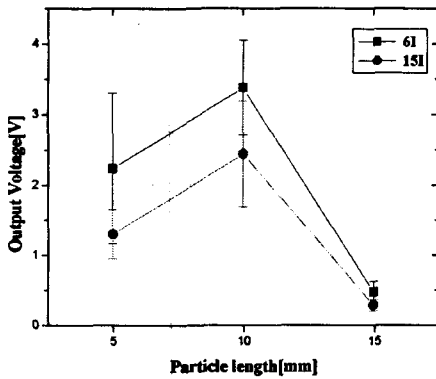
4. 실험 결과 검토

교정실험에서 탱크의 재질이 알루미늄인 800kV GIS에서는 R151 센서에 비해 저주파센서인 R61센서에서 출력이 25% 정도 크게 되었고, 362kV GIS에서는 반대로 R61 센서에 비해 고주파 센서인 R151센서에서 출력이 10%에서 40% 정도 크게 되었으며, 측정거리를 120cm로 증가시켰을 때 고주파인 R151 센서에서 상대적인 출력의 감쇠가 크게 되어 10% 정도 큰 것으로 측정되었다. 이것은 일반적으로 알려진 초음파가 고주파에서 감쇠현상이 크다는 연구결과¹⁻³⁾와 일치한다고 사료된다. 이와 같이 초음파로 측정전에 본 연구에서 제안된 교정을 실시하면 탱크의 재질에 관한 초음파의 특성을 얻을 수 있는 것으로 생각된다.

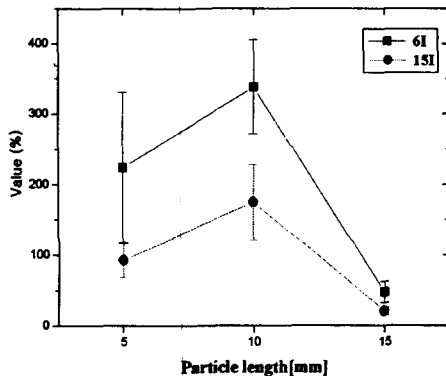
이물의 기립 및 소멸전압 실험결과를 고찰하면 다음 표 3과 같이 된다. 기립전압은 크기에 관계없이 알루미늄인 경우 130kV 정도이고 구리인 경우는 210kV정도이므로 같은 형상의 이물에서는 밀도에 관계가 있다고 사료되며, 알루미늄인 경우 15mm 이물에서 5mm로 작아짐에 따라 소멸전압은 55kV에서 100kV로 증가하였고 구리인 경우 15mm 이물에서 5mm로 작아짐에 따라 80kV에서 190kV로 증가하였다. 따라서 소멸전압은 이물의 크기와 밀도에 관계가 있다고 사료된다.

이것은 이물이 탱크바닥에 누워 있으므로 기립시에는 탱크

바닥의 전계강도에 의한 정전력과 이물의 밀도에 관계가 있으므로 기립전압은 크기에 관계없이 거의 일정한 전압의 결과를 얻는 것으로 사료되며, 소멸전압은 이물의 크기가 클수록 같은 전압에서 이물에 미치는 전계강도가 높으므로 소멸전압이 낮아지는 것으로 사료된다.



(a) 측정치
(a) The measuring values



(b) 환산된 절대치
(b) The absolute values

그림 10 이물크기에 따른 초음파 측정결과 (362kV급 GIS 알루미늄 이물의 경우)

Fig. 10 The result measuring acoustic signals due to the sizes of particles

표 3 이물의 기립 및 소멸전압특성(800kV)

Table 3 The characteristics of rising voltages and extinction voltages(800kV)

이물 종류	Al (15mm)	Cu (15mm)	Al (10mm)	Cu (10mm)	Al (5mm)	Cu (5mm)
기립전압(kV)	133	210	130	210	135	205
소멸전압(kV)	55	80	60	115	100	190

이상의 실험에서 구리인 경우 10mm 이하에서는 통상의 운전전압에서 기립에 의한 진동이 발생하지 않는 것으로 평가되지만, 알루미늄 이물에서는 5mm인 경우도 100kV에서 소멸되므로 이물이 5mm정도로 작은 경우도 기립하면 정격전압에서 진동하는 것으로 평가된다.

인가전압에 따른 이물의 진동에 대한 초음파의 출력은 인가전압이 높아지면 그림 7과 같이 출력이 대체로 증가하는 것으로 나타났으며 이것은 전계강도의 증가로 이물에 충전되

는 전하량이 커지므로 이물의 부상 높이가 증가하는 것이라고 생각된다. 그리고 구리이물의 출력에 비해 알루미늄 이물의 출력이 높은 것도 같은 전하량이 이물에 충전되더라도 상대적으로 무게가 가벼운 알루미늄 이물이 높게 부상하여 더 많은 위치에너지를 가지므로 낙하시 탱크에 전달하는 운동에너지가 큰 때문이라고 생각된다.

측정결과에서 이물의 크기에 따른 초음파의 세기는 이물의 크기에 비례하지 않고 추이도 같지 않으므로 초음파의 세기로 이물의 크기를 추정하는 것은 어렵다. 이와 같은 현상은 이물의 부상에 작용하는 정전력과 부상을 억제하는 중력의 작용으로 얻어지는 운동과 위치에너지에 의한 것이므로 일정 크기의 이물에서 큰 위치에너지를 흡수가 쉬우므로 큰 초음파 출력이 얻어지는 것으로 보인다.

본 연구결과에서 800kV GIS 결과는 주파수 특성이 다른 센서의 출력비가 이물의 크기와 관계가 있는 것으로 다음 표 4와 같이 정리되었다. 표 4의 결과를 보면 이물이 커지면 R6I에 비해 R15I센서출력이 상대적으로 커지는 것으로 되었다. 즉 R6I/R15I의 비값이 작아진다. 그러므로 초음파 주파수 특성이 이물의 크기와 관계가 있다고 사료된다. 그러나 362kV GIS 결과인 표 5는 이와 같은 특성이 잘 나타나지 않았다.

표 4와 표 5의 결과는 참고문헌(8)의 결과인 표 9와 표 10의 주파수 특성에 따르는 것으로 볼 수 있다. 같은 조건의 표 4의 비값이 표 5의 비값보다 크며 같은 이물에 대해 참고문헌(8)의 표 9와 표 10을 비교하면 표 9는 1.5 - 2.0의 비값을 갖고 표 10은 0.83 - 0.86의 비값을 가지므로 본 논문의 결과와 같은 추세이다. 즉, 800kV GIS에서 비값이 362kV GIS 비값보다 크다는 것에 일치하고 있다. 따라서 이상의 결과로부터 이물의 진동에 의해 발생하는 초음파는 GIS 탱크내 질과 탱크에 부딪히는 이물의 조건 또는 크기에 따라 주파수 특성이 결정된다고 사료된다.

표 4 800kV GIS 측정결과 종합표

Table 4 The table of measurement result in 800kV GIS

이물종류	앰프교정치		절대교정치		비값	
	R15I	R6I	R15I	R6I	앰프	절대
Al 15mm	1.55	10.88	16	87	7.0	5.43
Cu 15mm	1.10	7.98	11	64	7.2	5.56
Al 10mm	1.49	25.2	15	201	16.9	13.40
Cu 10mm	0.88	11.04	9	88	12.5	9.77
Al 5mm	0.57	15.55	6	124	27.0	20.60
Cu 5mm	1.38	21.35	14	170	15.4	12.14

표 5 362kV GIS 측정결과 종합표

Table 5 The table of measurement result in 362kV GIS

이물종류	앰프교정치		절대교정치		비값	
	R15I	R6I	R15I	R6I	앰프	절대
Al 15mm	0.28	0.47	20	47	1.67	2.35
Al 10mm	2.44	3.38	174	338	1.38	1.94
Al 5mm	1.30	2.24	92	224	1.72	2.43

5. 결 론

이상과 같이 GIS에서 주파수 특성이 다른 초음파센서를 사용하여 이물의 진동시 나타나는 초음파의 특성 연구결과에 따라 얻어진 결론은 다음과 같다.

- 가. 주파수 특성이 다른 2개의 센서를 사용하는 초음파 측정법에서 ASTM-E 976의 연필심 부러뜨리기법을 기반으로 한 센서 교정방법의 절차를 제안하였다.
- 나. 전압인가시 이물의 기립은 이물의 밀도에 의존하여 기립 전압은 재질에 따라 알루미늄은 130kV, 구리는 210kV로 일정한 값이 되었고, 알루미늄 이물이 5mm에서 15mm로 커짐에 따라 소멸전압은 100kV에서 55kV로 감소하였고, 구리 이물의 것은 190kV에서 80kV로 감소하였다.
- 다. 통상의 운전전압에서 알루미늄의 이물은 5mm, 구리이물은 10mm 이상이면 계속 진동하는 것으로 실험결과에서 얻어졌다.
- 라. 인가전압이 증가하면 같은 이물에 의해 발생하는 초음파 신호의 크기는 증가하였다.
- 마. 일정전압 인가시 이물의 크기에 따라 초음파의 출력이 비례하지 않았고, 일정크기의 이물에 대해서 큰 출력을 나타내고 이보다 커지면 크게 초음파 출력이 감소하는 것으로 밝혀졌으며 알루미늄 이물의 신호가 구리이물 신호에 비해 큰 것으로 측정되었다. 이들은 이물에 충전되는 전하로 정전력에 의하여 이물이 얻는 위치에너지와 관계가 있는 것으로 사료된다.
- 바. 800kV GIS에서 측정된 두 센서의 출력비는 이물의 크기에 관계가 있는 것으로 나타났고, 이물이 5mm에서 15mm로 클수록 R6I/R15I의 비값은 27에서 7로 작아졌다.
- 사. R6I/R15I의 비값은 800kV GIS에서 얻어진 값이 362kV GIS에서 얻어진 값보다 큰 것으로 나타났으며, 관련 참고문헌[7]의 결과와 특성이 일치하는 것으로 평가되었다.
- 아. '마'와 '바'항의 결론으로부터 초음파는 탱크의 재질과 부딪히는 이물의 조건에 따라 주파수 특성이 결정된다고 볼 수 있다.

참 고 문 헌

- [1] 이종락, 초음파와 그 사용법, 도서출판 세화, pp. 44-47, 1997.
- [2] Michael R. Gorman and William H. Prosser, "AE Source Orientation by Plate Wave Analysis", Journal of Acoustics Emission Vol. 9, No. 4, pp. 283-288, 1990.
- [3] L.E. Lundgaard, "Partial Discharge - Part VIII: Acoustic Partial Discharge Detection -Fundamental Considerations", IEEE Electrical Insulation Magazine July/Aust 1992-Vol. 8, No 4, pp. 25-31..
- [4] CIGRE TF 15/33/03.05, "Partial Discharge Detection System for GIS : Sensitivity Verification for the UHF Method and the Acoustic Method", Electra No. 183, pp. 75-87, April 1999
- [5] T. Kwamura et al., "Development of GIS diagnosis and on-site testing", CIGRE 23/33-01, 1992,
- [6] T. Hucher, H.-G. Kranz, "New approach in partial discharge diagnosis and pattern recognition", IEE Proc.-Sci. Meas. Technol. Vol. 142 No. 1, January 1995. pp89-94
- [7] Y. Hasegawa K. Izumi, A. Kobayashi et al "Investigation on phenomena caused by insulation abnormalities in actual GIS", IEEE 93SM391-3 PWRD, June 1993.

- [8] 김광화 외 5인, "이물 낙하법에 의한 GIS 초음파 진단 기술 연구"대한전기학회 논문지 C권 제51권 제6호, pp246-252, June 2002.
- [9] ASTM-E 976-94, "Standard Guide for Determining the Reproducibility of Acoustic Emission Sensor Response"

저 자 소 개



김 광 화(金光和)

1956년 5월 12일생. 1983년 부산대 대학원 전기공학과(석사). 1992년 부산대 대학원 전기공학과(공학박). 1993년-현재 한국전기연구소 신전력기기 연구그룹 책임연구원
Tel : 055-280-1570, Fax : 055-280-1589
E-mail : khkim124@keri.re.kr



최 재 구(崔再九)

1969년 3월 16일생. 1994년 경북대학교 전기공학과 졸업. 1996년 동대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 한국전기연구원 산업협력부 시험기술연구실 선임연구원.
Tel : 055-280-1534, Fax : 055-280-1690
E-mail : jgchoi@keri.re.kr



신 종 호(宣鍾好)

1962년 10월 10일생. 1986년 부산대 전기공학과. 1988년 부산대 대학원 전기공학과(석사). 1989-현재 한국전기연구소 신전력기기 연구그룹 선임연구원
Tel : 055-280-1578, Fax : 055-280-1589
E-mail : jhsun@keri.re.kr



김 익 수(金益洙)

1957년 8월 20일생. 1981년 부산대학교 전기공학과 졸업. 1983년 동대학원 전기공학과 졸업(석사). 2000년 동대학원 전기공학과 졸업(공학박). 현재 한국전기연구원 시험기술연구실장. 책임연구원
Tel : 055-280-1530, Fax : 055-280-1690
E-mail : isk133@keri.re.kr



윤 진 열(尹珍烈)

1956년 3월 15일 생. 1982년 성균관대 공대 전기공학과 졸업. 1986년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2001년 충남대 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 현재 한국전력연구원 전력계통연구실 선임연구원
Tel : 042-865-5872, Fax : 042-865-5844
E-mail : jyyoon@kepri.re.kr