論 文
51C-6-4

이물 낙하법에 의한 GIS 초음파 진단 기술 연구

A Study on the Technology to Diagnose GIS with Acoustic Emission by Dropping Particles Method

金 光 和* · 崔 再 九** · 宣 鍾 好*** · 金 益 洙§ · 尹 珍 烈§§ · 朴 基 濬§§§
(K. H. Kim · J. G. Choi · J. H. Sun · I. S. Kim · J. Y. Yoon · K. J. Park)

Abstract - This paper describes the acoustic emission measurement method to diagnose GIS for particles. We measured and analyzed the signals of acoustic waves using acoustic two types sensors with 125㎑ and 50㎑ resonant frequency respectively when the particles were dropped on the surfaces of circular plates and inside of GIS tanks. We found that the difference between peak outputs of two sensors depended on the types and materials of particles and the conditions of dropping position. These results showed that the outputs of 125㎑ sensor were higher than those of 50㎑ sensor in circular plate and 362kV GIS tank made of steel and vice versa in circular plate and 800kV GIS tank made of aluminum. The ratios outputs of 125㎑ sensor to those of 50㎑ sensor were 1.4 - 2.37 in 800kV GIS tank and were 0.5 - 1.0 in 362 kV GIS tank. Therefore we knew that adaption of two types acoustic sensors which had different resonant frequencies was a very useful method in diagnosis of GIS.

Key Words : 진단, 초음파, 부분방전, GIS, 절연

1. 서 론

최근의 전력기기는 용량이 증대하고, 충전부를 최대한 밀폐형으로 설치면적을 적게 하여 경제성 및 신뢰성을 향상시키고 있으므로 변전소에서 GIS를 많이 도입하고 있다. GIS는 SF_6 가스를 절연으로 하는 밀폐형 개폐기류를 총합시킨 것으로 외부탱크간에 매우 높은 전계강도를 SF_6 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 SF_6가스의 분해가 일어나고 절연내력을 매우 낮추게 되어 절연파괴 고장을 잘 일으킬 수 있다. 이와 같은 고장을 미리 막기 위해서 이물이 발생하지 않도록 설치와 보수에서 이물 제거와 운전에서 발생할 수 있는 요소를 억제하는 것도 한계가 있으므로 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.[1-6]

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.

본 연구에서는 GIS에서 이물의 진단을 위한 초음파 측정기술의 개발 일환으로 이물을 낙하시켜 탱크재질과의 관계에서 발생하는 초음파의 주파수 특성을 이용하기 위하여 공진주파수 특성이 다른 2가지의 센서로 GIS에서 이물을 진단하는 기술을 연구하였다. 그리고 전압을 인가한 경우의 결과는 다음 논문에서 밝히고자 한다.

2. 초음파의 특성

초음파는 음파 중에서 주파수가 사람이 들을 수 없는 20㎑이상인 범위를 말하며 음파의 성질과 같다. 음파는 크게 종파와 횡파로 구분되며 액체와 기체에서는 종파의 형태로 진행되지만, 고체에서는 종파 및 횡파의 두 가지 형태로 진행한다. 특히 횡파는 구조물의 크기, 형상 등에 따라 파의 전달형태가 바뀌어 나타나므로 표면파, 판파 등으로 분류되기도 한다.[1-4]

음파는 진행할 때 매질을 통과하면서 일부 흡수되어 감쇠가 일어나고, 공간적으로 확산이 되면서 공간적인 감쇠가 일

* 正 會 員 : 韓國電氣研究院 新電力機器그룹 責任研究員
** 正 會 員 : 韓國電氣研究院 試驗技術研究室 先任研究員
*** 正 會 員 : 韓國電氣研究院 試驗技術研究室 責任研究員
§ 正 會 員 : 韓國電氣研究院 新電力機器그룹 先任研究員
§§ 正 會 員 : 韓電 電力研究院 先任研究員
§§§ 正 會 員 : 韓電 電力研究院 先任研究員
接受日字 : 2002年 1月 22日
最終完了 : 2002年 3年 22日

어난다. 그리고 다른 매질로 통과하면서 반사 현상이 일어난다. 이러한 현상은 물질의 특성에 의존하며 매질의 특성임피던스에 의해 좌우된다.

음파의 속도는 유체의 탄성특성, 가스에서는 단열변화 특성 그리고 고체에서는 Hooker Law에 의해 결정되며 음파의 압력과 입자의 속도간의 비를 음파의 특성임피던스라고 부르며 이는 다음 식(1)과 같이 표시된다.[1)]

$$\vec{Z}=\frac{\vec{p}}{v} \tag{1}$$

평면파에서의 스칼라 값으로는 $z = \rho_o C$ 로 되며 매질의 특성임피던스라 한다.

음파의 세기는 최대치압력, 최대치속도를 포함한 여러 가지 방법으로 표현되며 다음 식(2)와 같이 표시할 수 있다.[1)]

$$I=\overrightarrow{vp}=\frac{p^2}{\rho_o C}=V^2\rho_o C \tag{2}$$

v : 입자속도 , ρ_o : 압력 , p : 최대치압력,

V : 최대치속도, C : 음속

데시벨로 이를 표기하면 다음 식(3)과 같이 나타난다.

$$10\log_{10}\left(\frac{I}{I_o}\right)=20\log_{10}\left(\frac{\rho}{\rho_o}\right) \tag{3}$$

이상과 같은 파의 세기는 발생원에서 거리가 멀어짐에 따라 세기가 줄어드는 감쇠현상이 일어난다. 특히 공간적인 감쇠에서 구형파는 발생원 거리의 제곱에 반비례하여 줄어들며, 실린더형파는 발생원 거리에 반비례하여 줄어드는 현상이 물리적으로 일어난다.

두 매질 사이에서 음파의 전달계수는 다음 식(4)와 같이 특성임피던스에 의해 결정된다.[1)]

$$\alpha=\frac{I_t}{I_i}=\frac{4z_1z_2}{(z_1+z_2)^2} \tag{4}$$

입사되는 음파가 비스듬한 각도로 들어가면 굴절현상이 일어난다. 이것은 빛의 굴절과 마찬가지로 Snell's Law에 따른다.

앞에서 말한 바와 같이 GIS에서 결함이 존재하면 부분방전이 발생하고 이로부터 전자파 및 음파가 발생된다. 초음파는 결함종류에 따라 크게 다르며 인가전압에 따라 크게 차이가 나지 않는 것으로 알려져 있다. 이물의 진동으로 나타나는 초음파 주파수 대역의 중심이 50~100㎑ 범위인 것으로 보고되고 있다. 그리고 이물의 종류에 따라 약간의 차이가 있는 것으로 보고되고 있다.[5,6)]

본 연구에서는 이상과 같은 음파특성이 GIS에서 어떻게 나타나는지를 평판형 원판과 실모델 GIS에서 실험적으로 초음파특성을 다음과 같이 이물 낙하법에 의한 방법으로 연구하였다.

3. 실험설비 및 실험방법

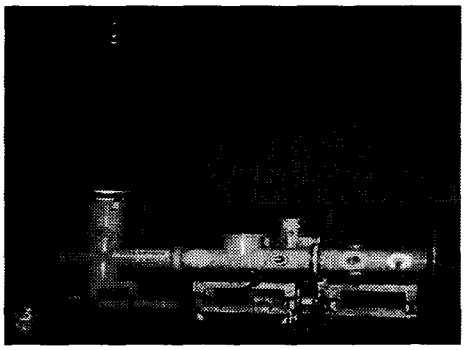
3.1 실험설비

초음파의 여러 가지 특성은 전달하는 매체에 따라 달라지므로 이물의 진동에 의해서 발생하는 음파는 이물과 GIS 탱크재질에 의존할 수밖에 없다. GIS 탱크제작에 스틸 또는 알루미늄이 사용되므로 이를 모의하기 위하여 직경 1000㎜, 두께 10㎜ 그리고 표면의 조도가 0.8인 스틸과 알루미늄의 원형 평판을 각각 그림 1과 같이 제작하였고, 이 원판의 중심에서 이물을 낙하시킬 수 있는 도구를 취부하였으며, 원판의 밑면에 센서를 부착하는 것으로 하였다.

GIS에서 이물 진단을 위한 자료의 구축에는 실물크기의 GIS가 필요하므로 362kV 및 800kV급의 GIS탱크를 그림 2와 같이 제작하였다. 800kV GIS탱크의 크기는 내경 1,000㎜, 두께 80㎜ 이며, 알루미늄으로 제작되었고, 362kV급 GIS탱크의 크기는 내경이 530㎜, 두께 12㎜ 이며, 스텐레스 스틸로 제작되었다.

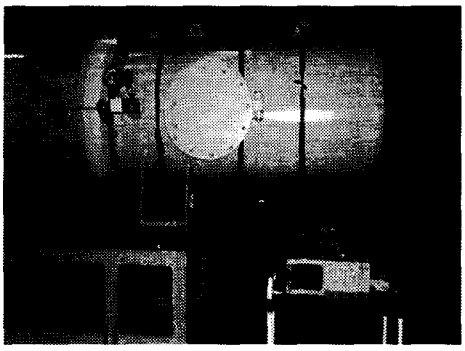
그림 1 초음파특성 실험에 사용된 원판

Fig. 1 Circular plate for testing acoustic wave characteristics



(a) 362kV용 GIS 탱크

(a) GIS tank for 362kV



(b) 800kV용 GIS 탱크

(b) GIS tank for 800kV

그림 2 실모델 GIS 탱크

Fig. 2 Mock-up GIS tank

3.2 실험방법

본 실험에 사용된 이물은 표 1과 같으며, 형상적으로는 원통 막대모양과 구모양의 것을 대표적인 것으로 하였다.

원판에 표 1과 같은 이물을 중심에 낙하시켜 밑면에 부착된 2종류의 초음파 센서 (R15I, R6I, PAC Co.)와 가속도 센서(728A)를 각 앰프에 연결하여 디지털 오실로스코프(TDS510 Tecktronics)로 측정하였다. 이때 낙하높이 낙하지점과 센서와의 거리를 변화시키면서 측정을 실시하였다. 사용된 각 센서의 특성은 다음 표 2와 같다. 이 표에서 R6I 센서는 50㎑ 공진주파수 특성을 갖고 R15I센서는 125㎑의 공진특성을 갖는 것으로 나타났다. 그리고 가속도 센서(728A)는 10㎑ 이하의 낮은 주파수 영역에서 아주 평활한 주파수 대역특성을 가지고 있다.

실 GIS에서도 이물을 탱크내부에 떨어뜨리고, 낙하높이를 변화시키면서 측정을 실시하고 그 결과를 비교하였다.

표 1 실험에 사용된 이물의 종류, 크기 및 무게
Table 1 Specimens, size and weight of particles for experiment

종류	Al(0.80φ) (길이)			Cu(0.65φ) (길이)			세라믹볼 (직경)			금속구 (직경)	
크기	15 ㎜	10 ㎜	5 ㎜	15 ㎜	10 ㎜	5 ㎜	3.6 ㎜	2.1 ㎜	1.5 ㎜	1.0 ㎜	0.7 ㎜
무게 (mg)	20.0	15.0	7.5	40.0	26.0	13.5	79.0	17.0	5.0	8.0	2.8

표 2 각 센서별 특성
Table 2 The characteristics of each sensor

(a) 초음파센서 종류별 특성
(a) The characteristics of acoustic sensors

Model	검출면 재료	콘넥터 종류	최고 감도	동작 주파수	공진 주파수	비고
R6I	Ceramic	BNC	120dB	40~100㎑	50㎑	40dB Gain Amp 내장
R15I	Ceramic	BNC	109dB	70~200㎑	125㎑	40dB Gain Amp 내장

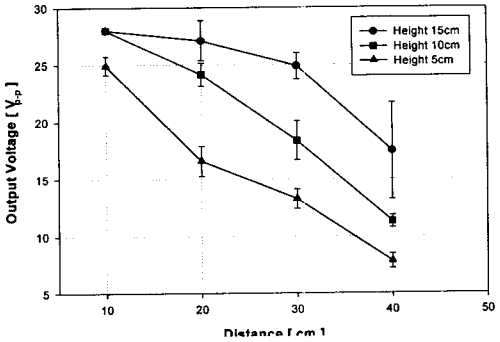
(b) 가속도센서 특성
(b) The characteristics of accelerometer

감도	측정범위	증폭의 비선형성	주파수 응답
500 (mV/g)	15g peak	1%	±5%:3-5,000Hz (3-7,200 Hz) ±3dB:1-10,000Hz (1-13,000 Hz)

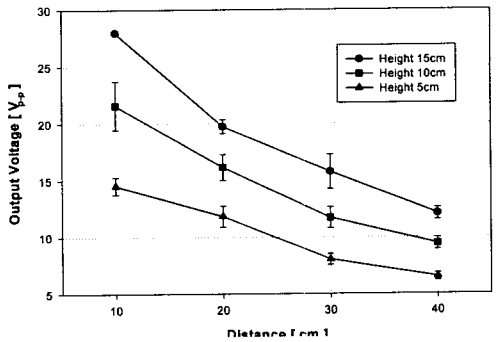
4. 실험결과

4.1 원판에서의 초음파 특성 실험결과

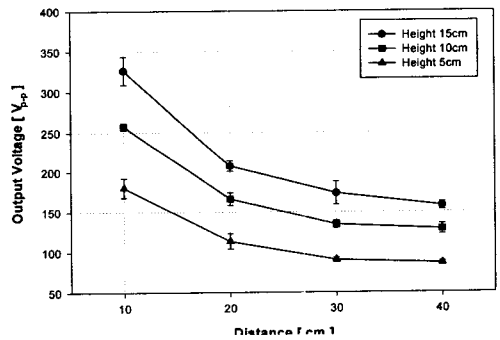
스틸과 알루미늄으로 만들어진 각각의 원판에 5cm, 10cm, 15cm 높이에서 직경이 0.7(㎜)인 금속구를 낙하시킬 때 원판의 밑면에 설치된 각 센서에서 얻어진 결과는 그림 3 및 그림 4와 같다. 그림 3은 스틸 원판에 금속구를 낙하시킬 때 낙하지점에서 10cm, 20cm, 30cm, 40cm 떨어진 곳에서 측정된 결과이고 그림 4는 알루미늄 원판에서 측정된 결과이다.



(a) R15I

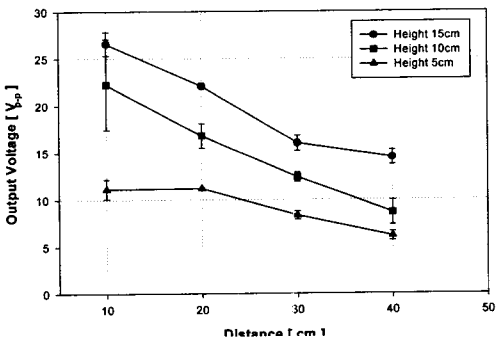


(b) R6I

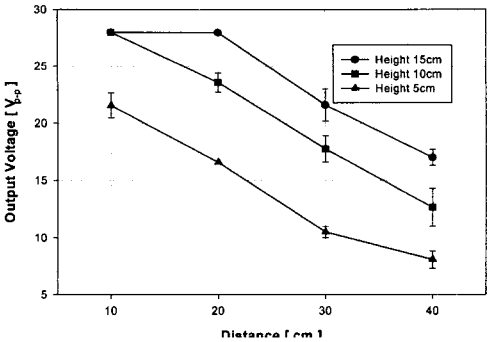


(c) 728A

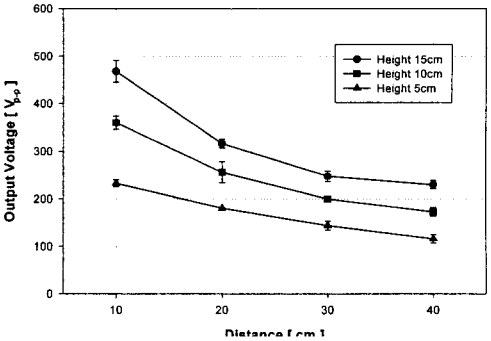
그림 3 스틸 원판에서 측정된 각 센서의 출력
Fig. 3 Output peak voltage of each sensors in steel plate



(a) R15I



(b) R6I



(c) 728A

그림 4 알루미늄 원판에서 측정된 각 센서의 출력

Fig. 4 Output peak voltage of each sensors in aluminum plate

강구에 의한 낙하실험의 결과에서 그림 3의 스틸원판에서는 R15I 초음파 센서의 측정치가 상대적으로 크게 측정되었고 그림 4의 알루미늄 원판에서는 R6I 초음파 센서의 측정치가 상대적으로 크게 측정되었다. 그리고 가속도를 측정한 결과에서 알루미늄 원판 측정치가 더 크게 나타났다. 모든 측정결과는 낙하지점에서 거리가 멀어짐에 따라 초음파 신호의 감쇠현상을 보여 주었다.

4.2 모델 GIS에서의 초음파 특성 실험결과

800kV 및 362kV 모델GIS 탱크에서 표 1의 이물들을 낙하시켜 초음파 센서(R15I, R6I)로 측정한 결과는 표 3과 표 4이다. 표 3은 800kV 모델 GIS에서 실험한 결과이며 이물의 낙하높이는 4㎜ 및 1㎜로 하였다. 표 4는 362kV모델 GIS에서 실험한 결과이고 이물의 낙하 높이를 25㎜로 하였다. 측정시 높이를 다르게 한 것은 앰프에서 쉽게 측정 가능한 앰프 출력 기준으로 이물의 낙하높이를 정하였기 때문이다.

따라서 알루미늄으로 된 800kV의 탱크에서는 초음파가 높은 감도로 측정되나, 362kV의 탱크에서는 상대적으로 낮은 감도로 측정됨을 실험 결과로부터 알 수 있었다.

표 3의 결과에서 금속구의 초음파 신호 출력이 가장 크고 다음으로 세라믹 볼이고 알루미늄과 구리는 비슷한 출력이었지만 크기에 비례하는 특성은 부분적으로 나타났다. 50㎑ 공진 특성을 갖는 R6I 센서 출력이 125㎑ 공진 특성을 갖는 R15I 센서 출력보다 큰 것으로 측정되었다.

표 4의 결과에서 이물별로 나타나는 초음파 출력의 크기 순은 표 3의 결과와 같은 순으로 측정되었으나, R15I 센서 출력이 R6I 센서 출력에 비하여 큰 것으로 측정되었다.

표 3 800kV모델 GIS의 결과

Table 3 The result of 800kV mock-up GIS

낙하높이		4㎜ Height				1㎜ Height			
센서종류		Channel 1 (R6I sensor)		Channel 2 (R15I sensor)		Channel 1 (R6I sensor)		Channel 2 (R15I sensor)	
종류	크기	Average	S.D (%)	Average	S.D (%)	Average	S.D (%)	Average	S.D (%)
Al	15㎜	2.37	0.73	1.16	0.35	0.28	0.09	0.17	0.05
	10㎜	0.62	0.19	0.34	0.08	0.18	0.05	0.12	0.02
	5㎜	1.06	0.78	0.62	0.5	0.34	0.18	0.18	0.06
Cu	15㎜	0.9	0.29	0.64	0.32	0.25	0.03	0.15	0.03
	10㎜	0.97	0.24	0.45	0.18	0.3	0.07	0.15	0.04
	5㎜	0.83	0.21	0.44	0.17	0.28	0.07	0.16	0.02
세라믹 볼	대	1.52	0.83	0.81	0.34	0.34	0.06	0.18	0.03
	중	2.36	0.9	1.23	0.32	0.39	0.08	0.2	0.05
	소	2.03	0.77	0.93	0.42	0.29	0.04	0.16	0.05
금속구	1.0㎜	6.17	1.92	2.87	1.02	1.28	0.27	0.54	0.11
	0.7㎜	5.48	0.8	3.42	0.76	1.34	0.31	0.71	0.2

표 4 362kV모델의 실험결과

Table 4 The result of 362kV mock-up GIS

낙하높이		25㎜ Height			
센서종류		Channel 1 (R6I sensor)		Channel 2 (R15I sensor)	
종류	크기	Average	S.D(%)	Average	S.D(%)
Al	15㎜	6.94	2.71	8.04	3.27
	10㎜	5.42	2.66	6.48	3.23
	5㎜	3.36	1.37	3.96	1.72
Cu	15㎜	7.34	3.65	8.66	4.58
	10㎜	10.14	3.39	11.86	3.84
	5㎜	8.24	3.1	9.96	3.75
세라믹 볼	대	21.66	4.25	21.58	3.84
	중	21.36	2.96	23.5	1.18
	소	3.72	1.53	4.56	1.99
금속구	1.0㎜	14.14	3.11	20.94	3.55
	0.7㎜	6.04	0.89	12	2.1

5. 실험결과의 검토

그림 3 및 4의 원판실험결과에서는 원판의 재질에 의해 센서의 특성에 따라 감도가 달라지는 것을 알 수 있었다. 스틸원판에서는 125㎑의 공진특성을 갖는 R15I센서에서 측정결과가 50㎑의 공진특성을 갖는 R6I센서 측정결과 보다 50%정도 큰 출력을 나타내고 있음을 알 수 있었고 알루미늄 원판에서는 반대로 나타났음을 알 수 있었다. 따라서 이물의 충격시

스틸에서는 알루미늄보다 고주파영역(125㎑ 부근)의 초음파가 크게 발생하고 알루미늄에서는 상대적으로 저주파 영역(50㎑ 부근)의 초음파가 크게 발생된다고 사료된다.

원판의 실험에서 측정신호가 거리가 멀어짐에 따라 감쇠하는 현상이 발생하고 있다. 감쇠는 이론적으로 공간감쇠와 재질에 의한 감쇠가 합하여져 나타나므로 앞의 식(4)와 실린더 형파의 공간감쇠 현상을 고려하여 식을 도출하면 다음 식(5)와 같다.

$$p = \frac{p_o}{\sqrt{x}} e^{-\alpha x} \tag{5}$$

식(5)를 그림 3 및 4의 감쇠현상을 잘 보여 주는 결과에 적용하여 계산된 결과를 표로 나타내면 다음 표 5와 같다. 표 5의 계산값은 식(5)의 p_o 를 10㎝의 값으로 구하였고 재료의 감쇠인 지수량을 제외하고 계산을 하였다. 거리가 멀어짐에 따라 초음파센서의 측정치는 계산치보다 20%~30%정도 더 감쇠하는 것으로 계산되었고 가속도센서는 10%이내인 것으로 계산되었다. 가속도의 측정결과는 거의 공간적 감쇠에 지배되고, 초음파 센서 R6I 및 R15I의 결과는 재료 감쇠효과가 어느 정도 나타나며 알루미늄에서 재료에 의한 감쇠효과가 큰 것으로 표 5에서 보여주고 있다.

표 5 실측치와 계산치의 비교에서 초음파의 감쇠특성

Table 5 Characteristics of acoustic wave attenuation in the comparison of measured values and calculated value.

원판의 재질	센서 (낙하높이)	구분	측정지점			
			10㎝	20㎝	30㎝	40㎝
스틸	R15I (5㎝)	실측치	25.	16.5	13.0	7.8
		계산치	25.0	17.6	14.4	12.5
	R6I (5㎝)	실측치	14.5	12.0	8.0	6.5
		계산치	14.5	10.2	8.4	7.2
	728A (15㎝)	실측치	0.33	0.21	0.17	0.16
		계산치	0.33	0.23	0.19	0.16
	728A (10㎝)	실측치	0.26	0.17	0.13	0.125
		계산치	0.26	0.18	0.15	0.13
	728A (5㎝)	실측치	0.18	0.11	0.09	0.085
		계산치	0.18	0.12	0.10	0.09
알루미늄	R15I (10㎝)	실측치	22	16.5	12.5	8.5
		계산치	22	15.5	12.7	10.9
	R6I (5㎝)	실측치	21.5	16.5	10.15	7.5
		계산치	21.5	16.5	12.4	10.7
	728A (15㎝)	실측치	0.47	0.32	0.25	0.23
		계산치	0.47	0.33	0.27	0.23
	728A (10㎝)	실측치	0.36	0.25	0.20	0.18
		계산치	0.36	0.25	0.20	0.18
	728A (5㎝)	실측치	0.23	0.18	0.14	0.11
		계산치	0.23	0.16	0.13	0.11

표 3과 표 4의 결과에서 이물의 낙하를 위치에너지로 환산하여 초음파센서의 출력결과와 비교하면 표 6 - 표 8과 같다. 이 결과에서 에너지에 대하여 출력이 비례하지 않았지만, 같은 이물에 대해서 에너지가 증가하면 출력이 증가하는 경향을 보였다. 이물 중에서도 금속구가 다른 이물에 비해 에너지 당 출력이 크고, 그 다음은 알루미늄, 세라믹볼, 구리 순으로 계산되었다. 이상과 같이 위치에너지에 비례하여 출력이 측정되지 않는 것은 이물이 낙하할 때 이물이 부딪치는 상태와 낙하지점에 따라 초음파 발생현상이 다르기 때문인 것으로 고찰된다.

표 6 800㎸모델 GIS에서 이물의 낙하에너지와 초음파 측정치의 비교

Table 6 The comparison of kinetic energies by dropping particles and value of acoustic wave in 800㎸ GIS

낙하높이			4㎜ Height			
센서종류			Channel 1 (R6I sensor)		Channel 2 (R15I sensor)	
종류	크기	낙하에너지	Average	S.D(%)	Average	S.D(%)
Al	15㎜	7.84×10^{-1}	2.37	0.73	1.16	0.35
	10㎜	5.88×10^{-1}	0.62	0.19	0.34	0.08
	5㎜	2.94×10^{-1}	1.06	0.78	0.62	0.5
Cu	15㎜	1.57×10^{-0}	0.9	0.29	0.64	0.32
	10㎜	1.10×10^{-0}	0.97	0.24	0.45	0.18
	5㎜	5.29×10^{-1}	0.83	0.21	0.44	0.17
세라믹볼	대	3.10×10^{-0}	1.52	0.83	0.81	0.34
	중	6.66×10^{-1}	2.36	0.9	1.23	0.32
	소	1.96×10^{-1}	2.03	0.77	0.93	0.42
금속구	1.0㎜	3.14×10^{-1}	6.17	1.92	2.87	1.02
	0.7㎜	1.10×10^{-1}	5.48	0.8	3.42	0.76

표 7 800㎸모델 GIS에서 이물의 낙하에너지와 초음파 측정치의 비교

Table 7 The comparison of kinetic energies by dropping particles and value of acoustic wave in 800㎸ GIS

낙하높이			1㎜ Height			
센서종류			Channel 1 (R6I sensor)		Channel 2 (R15I sensor)	
종류	크기	낙하에너지	Average	S.D(%)	Average	S.D(%)
Al	15㎜	1.96×10^{-1}	0.28	0.09	0.17	0.05
	10㎜	1.47×10^{-1}	0.18	0.05	0.12	0.02
	5㎜	7.35×10^{-8}	0.34	0.18	0.18	0.06
Cu	15㎜	3.92×10^{-1}	0.25	0.03	0.15	0.03
	10㎜	2.55×10^{-1}	0.3	0.07	0.15	0.04
	5㎜	1.32×10^{-1}	0.28	0.07	0.16	0.02
세라믹볼	대	7.74×10^{-1}	0.34	0.06	0.18	0.03
	중	1.67×10^{-1}	0.39	0.08	0.2	0.05
	소	4.90×10^{-8}	0.29	0.04	0.16	0.05
금속구	1.0㎜	7.84×10^{-8}	1.28	0.27	0.54	0.11
	0.7㎜	2.74×10^{-8}	1.34	0.31	0.71	0.2

표 8 362kV모델 GIS에서 이물의 낙하에너지와 초음파 측정치의 비교

Table 8 The comparison of kinetic energies by dropping particles and value of acoustic wave in 362kV GIS

낙하높이			25㎜ Height			
센서종류			Channel 1 (R6I sensor)		Channel 2 (R15I sensor)	
종류	크기	낙하에너지	Average	S.D(%)	Average	S.D(%)
Al	15㎜	4.90×10^{-6}	6.94	2.71	8.04	3.27
	10㎜	3.68×10^{-6}	5.42	2.66	6.48	3.23
	5㎜	1.84×10^{-6}	3.36	1.37	3.96	1.72
Cu	15㎜	9.80×10^{-6}	7.34	3.65	8.66	4.58
	10㎜	6.37×10^{-6}	10.14	3.39	11.86	3.84
	5㎜	3.31×10^{-6}	8.24	3.1	9.96	3.75
세라믹볼	대	1.94×10^{-5}	21.66	4.25	21.58	3.84
	중	4.17×10^{-6}	21.36	2.96	23.5	1.18
	소	1.23×10^{-6}	3.72	1.53	4.56	1.99
금속구	1.0㎜	1.96×10^{-6}	14.14	3.11	20.94	3.55
	0.7㎜	6.86×10^{-7}	6.04	0.89	12	2.1

800kV GIS탱크에서 실험된 표 3의 결과에서 센서 R6I와 R15I에서 측정된 값을 센서 R15I에 대한 R6I의 비로 나타내면 다음 표 9와 같다. 이 결과에서는 R6I쪽이 큰 값으로 나타났고, 그 비값은 1.4~2.37로 계산되었으며 대략적으로 2부근인 것으로 평가된다.

표 9 800kV GIS 측정결과에서 R6I/R15I 비값

Table 9 The ratios R6I to R15I in the result of 800kV GIS

높이		R6I/R15I	
종류	크기	4㎜	1㎜
Al	15㎜	2.04	1.64
	10㎜	1.82	1.5
	5㎜	1.70	1.88
Cu	15㎜	1.40	1.66
	10㎜	2.15	2.00
	5㎜	1.88	1.75
세라믹볼	대	1.87	1.88
	중	1.91	1.95
	소	2.18	1.81
금속구	1.0㎜	2.14	2.37
	0.7㎜	1.60	1.88

362kV GIS 탱크에서 실험된 표 4의 결과에서 센서 R6I와 R15I에서 측정된 값을 800kV급과 똑 같이 센서 R15I에 대한 R6I의 비로 나타내면 다음 표 10과 같다. 이 결과에서는 R15I쪽이 큰 값으로 나타났고 그 비값은 0.5~1.0의 범위로 계산되었다.

세라믹볼의 경우가 비값이 큰 것으로 나타났는데 이것은 앰프의 포화특성으로 인한 것이며 포화되지 않은 세라믹 볼이 소인 경우 0.81로 계산되며 금속구인 경우는 0.68~0.5로 더 작은 값으로 얻어졌다 따라서 362kV GIS 탱크에서의 비값은 0.85부근인 것으로 평가된다. 이 결과는 원판의 결과와 비슷한 특성을 보여 주고 있다.

표 10 362kV GIS 측정결과에서 R6I/R15I 비값

Table 10 The ratios R6I to R15I in the result of 362kV GIS

높이		R6I/R15I
종류	크기	0.86
Al	15㎜	0.84
	10㎜	0.85
	5㎜	0.85
Cu	15㎜	0.85
	10㎜	0.85
	5㎜	0.83
세라믹볼	대	1.00
	중	0.90
	소	0.81
금속구	1.0㎜	0.68
	0.7㎜	0.50

6. 결 론

본 연구에서는 GIS의 이물의 진동에 따른 음파의 특성을 알기 위하여 원판을 사용한 실험과 실모델 GIS탱크에서 이물을 낙하하여 얻어지는 특성을 구하였다. 그의 결론은 다음과 같다.

가. 이물의 낙하시 스틸 원판에서는 125㎑ 공진 특성을 갖는 초음파센서(R15I)에서 50㎑ 공진특성을 갖는 초음파센서(R6I)보다 50%정도 크게 측정되었고, 알루미늄 원판에서는 반대의 결과를 얻었다. 따라서 충격을 받는 재질에 따라 초음파 발생의 특성이 달라지는 것으로 사료되었다.

나. 원판의 실험으로 초음파의 발생에서 측정위치에 따른 감쇠효과가 실측정치와 이론적 평가의 비교에서 거의 공간적인 감쇠에 의존하였고, 재질적인 감쇠효과는 고주파 부분에서 알루미늄일 경우가 큰 것으로 평가되었다.

다. 실 모델 GIS탱크에서는 알루미늄으로 제작된 800kV급 GIS가 스텐레스 스틸로 제작된 362kV급 GIS에 비하여 초음파 발생의 세기가 훨씬 큰 것으로 평가되었다.

라. 낙하에너지에 대한 초음파센서의 각 출력이 비례하지 않는 것은 이물이 낙하할 때 부딪치는 이물의 상태와 낙하지점에 따라 초음파 발생현상이 다르기 때문인 것으로 고찰된다.

마. 800kV급 GIS에서 측정된 초음파 신호가 R15I 출력에 대

한 R6I 출력비가 1.4~2.37로 계산되었지만 대략 2정도인 것으로 평가되었다. 362kV급 GIS에서 측정된 초음파 신호가 R15I 출력에 대한 R6I 출력비가 0.5~1.0으로 계산되었지만 약 0.85인 것으로 평가되었다. 이 결과는 원판의 결과와 같은 경향을 보였다.

바. 이상의 연구결과는 GIS의 이물진단 기술의 개발을 위한 초음파 진단기술의 토대가 되며 방전현상을 고려한 실적용수준의 연구와 진단장치 개발연구가 더 필요한 것으로 사료된다.

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,

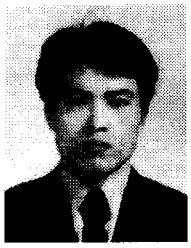
[6] T. Hucher, H.-G. Kranz, "New approach in partial discharge diagnosis and pattern recognition", IEE Proc.-Sci. Meas. Technol. Vol. 142 No. 1, January 1995. pp89-94

저 자 소 개

김 광 화(金 光 和)

1956년 5월 12일생. 1983년 부산대 대학원 전기공학과(석사). 1992년 부산대 대학원 전기공학과(공박). 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

선 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 秀)

1957년 8월 20일생. 1981년 부산대학교 전기공학과 졸업. 1983년 동대학원 전기공학과 졸업(석사). 2000년 동대학원 전기공학과 졸업(공박). 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(공박). 현재 한국전력연구원 전력계통연구실 선임연구원

Tel : 042-865-5872, Fax : 042-865-5844
E-mail : jyyoon@kepri.re.kr

박 기 준 (朴 基 濬)

1968년생. 1991년 인하대 공대 응용물리학과 졸업. 1993년 Univ. of Central Florida 전기전자공학과 졸업(석사). 1997년 Univ. of Central Florida 전기전자공학과 졸업(공박). 1996 - 현재 한국전력연구원 전력계통연구실 선임연구원.

Tel : 042-865-5895, Fax : 042-865-5844
E-mail : killer@kepri.re.kr