

가공선로 표지용 구의 소음 특성

추장희, 신구용, 이성두, 이동일
 한전 전력연구원 전력계통연구실

Characteristics of Wind Noise from Warning Spheres for Overhead Transmission Line

Jang Hee Chu, Koo-Yong Shin, Seong-Doo Lee, Dong-Il Lee
 KEPRI

Abstract - 가공선로 표지물로 사용되는 구에서 발생하는 소음의 특성을 조사하였다. 현재 한전에서 사용하고 있는 표지용 구의 크기는 직경 62 cm이며 두께가 3 mm 인 합성수지로 만든 반구를 접합부분에 요철형상으로 결합하도록 되어있다. 현장에서 발생하는 소음 스펙트럼을 측정하여, 무향 풍동에서 측정한 구형 셀에서 발생하는 스펙트럼과 비교하였다. 백색음을 입사하여 구형 셀의 크기에서 발생하는 기본음의 스펙트럼을 조사하였다.

Keyword : 가공선로 표지용 구(warning sphere for overhead transmission line), 풍소음(wind noise), 공명음(resonance sound), 풍동(wind tunnel), 헬름홀츠 공명음(Helmholtz resonance)

1. 서 론

송전설비와 관련한 소음, 진동 문제는 전기적 잡음(electric noise), 유체 유발 진동(flow induced vibration), 그리고 wind noise를 들 수 있다. 전기적 잡음은 고전압 코로나 방전 소음으로 코로나 방전이 발생할 때 현상이 발생한다. 유체로 인한 진동의 예는 송전선 주위에 불어오는 바람으로 인한 진동의 주기적인 흔들림으로 발생하는 전선 진동이 있다. 그리고 wind noise는 구조물에 빠른 속도의 바람이 부딪힐 경우 생기는 소리로, 물체 주위의 유동에 의해 소음이 발생하는 경우이다. 송전설비에서 발생하는 소음원은 첩탑과 송전선, 송전선을 첩탑에 지지하기 위한 절연 애자장치, 그리고 송전선로 표시구(warning sphere) 등이 될 수 있다. 송전선로 표시구는 항공기의 안전운항을 위하여 송전선에 직접 맞는 낙뢰를 방지하며 송전선로 단락 및 단선사고 시 보호계전기 동작신호 전송을 위한 고압송전선 위에 가설되어 있는 가공지선(overhead ground wire)에 설치되어 있다. 송전설비에서의 wind noise는 전선소음의 경우와 애자장치로부터 발생하는 소음은 약 10 m/s 이상의 강풍에서 발생한다. 송전선로 표시구에서 소음은 5 m/s 이하에서도 발생하는 것이 관찰되고 있다. 풍속은 지상보다 상공에서 더 빨라지는 데, 최근 송전설비의 고전압, 고용량화로 송전선의 높이가 높아지고 송전선의 도체수도 많아지므로, 송전설비 주변에서 wind noise의 발생 가능성이 증가하고 있다.

첩탑에서 발생하는 소음원은 구조물의 돌출부와 첩탑 구조물을 구성하는 삼관의 구멍에 의해서 휘파람 소리같이 발생할 수 있는데, 이에 대한 대책으로는 불필요한 구조를 제거하고, 뚫린 구멍을 막는 방법을 적용하고 있다. 송전선은 바람에 의해서 주기적인 진동이 발생하고 이 진동은 다시 유동에 영향을 미쳐 전선의 표면에서 와류의 박리에 의한 소음이 발생하고 있다. 이러한 소음을 줄이는 방법으로 전선의 표면을 매끄럽게 하지 않고, 돌출부를 형성하여 와류의 박리를 불규칙적으로 만들어 소음을 줄이는 방법이 적용되고 있다[1-2]. 절연연결을 위하여 첩탑지지물에 설치하는 애자장치로부터 소음이 발생하는 경우도 애자다발의 구조적인 특성과 공기흐름이

결합하여 물체 주위의 압력변동으로 소음이 발생한다[3]. 최근에 송전선로 표시구에서도 소음이 발생하는 사례가 보고 되어 이에 대한 소음 특성 및 원인을 검토하였다. 공중에 매달려 있는 구형 셀의 구조물에서의 음의 발생 가능성을 조사하였고, 백색음과 풍동 실험으로 음의 특성을 조사하여 비교하였다. 본 논문에서는 송전선로 표시용 구에 대하여 구조적인 음의 특성을 조사하였고, 소음이 발생하는 현장에서 측정한 소음 스펙트럼을 분석하여 구의 특성에서 발생하는 음의 특성과 비교한 내용을 정리하였다.

2. 본 론

2.1 송전선로 표시 구 형상

우리 나라 항공법에 따르면 항공보안설비의 구분을 항공보안무선시설, 항공통화, 주간장애표지로 나누어 규정하고 있다. 가공송전선의 경우에는 항공장애등과 주간장애표지를 설치해야 하는데, 한전에서는 첩탑에 항공장애등을 설치하며, 주간장애표지로는 황적색의 구를 송전선로 맨 위에 설치되어 있는 가공지선에 매달아서 운용하고 있다. 가공선로용 표시구는 송전선로의 가공지선에 설치하여 항공기가 원거리에서도 식별이 가능하도록 함으로서 사고를 방지하기 위하여 설치한다. 가공선에 설치하는 표지물의 기준은 직경이 50 cm 이상의 구형으로서 적색, 황적색 또는 백색 중 1 색인 표시물을 45 m 간격으로 설치하도록 되어있다.

한전에서 사용하는 가공선로 표시구의 모양은 그림1과 같다. 속이 빈 반구를 결합하여 선로에 설치하는 구조로 되어 있다. 두 반구를 맞물림하는 부분은 요철모양으로 만들어져 결합하도록 되어 있으며, 10 mm 정도로 돌출된 테두리를 형성한다. 선로에 고정하는 방법은 클램프부분을 볼트로 조임하여 고정하도록 구성되어 있다. 구의 크기는 직경이 610 mm이면 반구에는 구 내부로 스며들 물을 배출하기 위한 직경 8 mm 정도의 구멍이 선로방향과 직각으로 자오면에 5개씩 뚫어져 있다. 선로에 고정하는 부분인 클램프부분의 크기는 두께가 24 mm, 너비가 110 mm이며, 길이는 85 mm 로 한 쪽에 4개의 볼트로 조임을 하도록 되어 있다.

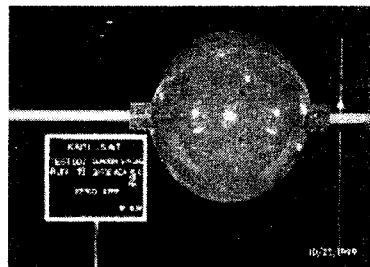


그림 1. 가공선로 표시용 구

2.2 구형 셀의 음 특성

테두리가 있는 반구의 맞물림으로 구성된 속이 빈 구형 셀에서 발생하는 음의 특성은 원형 멤브레인의 특성으로 고려할 수 있다[4]. 파동방정식은 Bessel 함수로 표현되며, 기본음에 대하여 공명음의 관계식은 표1에 나타내었다.

표1. 원형 멤브레인의 공명주파수 관계

$f_{01} = 1.0f_{01}$	$f_{11} = 1.593f_{01}$	$f_{21} = 2.135f_{01}$
$f_{02} = 2.295f_{01}$	$f_{12} = 2.917f_{01}$	$f_{22} = 3.500f_{01}$
$f_{03} = 3.598f_{01}$	$f_{13} = 4.230f_{01}$	$f_{33} = 4.832f_{01}$

또 구형의 구조에서 발생가능한 음은 물빠짐 구멍에서 발생하는 음이 있을 수 있다. 일반적으로 소리는 공기의 델럼으로 인하여 발생하는데, 이러한 소리는 관이나 공동(cavity)에 의해 공명을 일으키기도 한다. 이러한 공명은 공동의 크기가 음파의 파장에 비하여 큰 경우에 공동 내부에서 음파의 정상파가 생겨서 공명을 일으킨다. 그러나 음파의 파장보다 아주 작은 구멍과 같은 경우는 공동이 내부에 음파가 존재하여 공명을 일으키는 과정이 아니라 주위에서 발생한 유동이 구멍에 의해서 소리로 만들어지는 것으로 일반적인 공동의 공명과 구별하여 덩어리 소리 요소(lumped acoustic elements)로 설명한다. 이러한 공명기를 헬름홀츠 공명기(Helmholtz resonator)로 불린다. 헬름홀츠 공명기의 부피와 공동의 열린 면적, 공동의 목 길이와 공명주파수의 관계는 다음 식으로 표현된다[5].

$$f = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\frac{S}{l_{eff}V}} \quad (1)$$

여기서 c 는 음속이며, S 는 공동의 열린 부분의 면적, V 는 공동의 부피, l 은 공동의 목 길이이다. l_{eff} 는 유효 목 길이로서 실제 공동의 목 길이 l 보다 길다. S 를 원의 면적으로 가정했을 때 해당하는 반경이 a 일 때 유효 목 길이는 목에 플랜지의 유무에 따라서 다음과 같이 주어진다.

$$l_{eff} = l + 1.5a \quad (\text{unflanged})$$

$$l_{eff} = l + 1.7a \quad (\text{flanged}) \quad (2)$$

식(1)에 구형 셀의 형상에 해당하는 값을 대입하여 공명주파수를 계산하면 46 Hz 정도에서 나타남을 알 수 있다. 여기서 목 길이 l 은 구형 셀의 두께로 하고 플랜지가 있는 경우로 고려하면 된다.

2.3 송전선로 표시 구의 소음 특성

구형 셀에 대하여 무향 풍동에서 바람의 영향으로 나타나는 음의 특성을 조사하여 그림2에 보였다. 무향풍동에서 발생하는 음의 스펙트럼은 물 빠짐 구멍을 스치는 바람에 의하여 직경이 작은 구멍에서의 높은 주파수의 순음이 발생하였다. 나타나는 음의 특성은 구멍의 크기가 크면 주파수는 낮아지며, 작은 구멍에서 높은 주파수의 음이 발생하였다. 수 kHz에 있는 음은 발생되기 어려워 발생이 되어도 멀리 전파하지 못하는 특성이 있다. 이 스펙트럼의 앞쪽에 나타나는 스펙트럼 구조는 몇 개의 피크가 나타나는 구조임을 알 수 있다.

구형 셀에서 발생하는 음의 특성을 현장에서 측정된 음과 풍동실험에서 나타난 스펙트럼 및 백색음을 입사하여 나타나는 스펙트럼을 조사하여 그림3에 나타내었다. 그림3 (c)에서 보면 46 Hz에서 나타나는 피크가 있음을 확인할 수 있다. 이 음은 앞에서 고려한 헬름홀츠 공명음을 알 수 있다. 구의 공명음을 살펴보면 첫 번째 피크인 386 Hz를 기본 주파수로 하고, 이에 대한 고차의 Bessel 함수 해로 나타남을 알 수 있다. 표1에 나타낸

원형 멤브레인 특성을 나타내는 주파수 특성을 나타낼 수 있다.

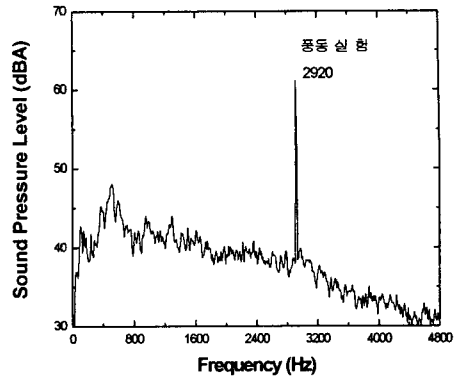


그림 2. 풍동실험에서 얻은 가공선로 표시용 구의 스펙트럼

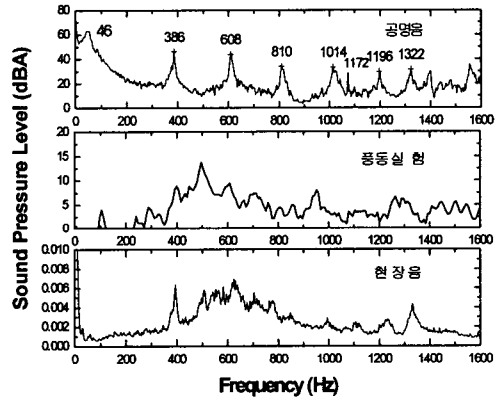


그림 3. 가공선로 표시용 구의 음의 스펙트럼 (a) 현장 측정음 (b) 풍동실험 (c) 백색음을 입사하여 측정된 공명음

그림 3에서 (a)와 (b)를 비교하면 현장 측정음과 풍동실험에서 얻은 스펙트럼의 구조가 비슷함을 알 수 있다. 또 공명음 스펙트럼과 비교하면 구의 특성에서 발생하는 공명음이 나타나는 것으로 판단할 수 있다.

다른 장소에서 측정된 현장 측정음을 그림4에 비교하였다. 당진지역에서 측정된 음의 스펙트럼은 320 Hz에 피크를 가지는 넓은 주파수 특성을 갖는 구조로 나타났으며, 울주군 지역에서 측정된 스펙트럼은 구의 공명음의 구조를 가지는 스펙트럼으로 나타났다. 이 이유는 소리가 발생할 때의 구의 결합상태에 따라서 달라질 것으로 예상된다. 만약 넓은 틈이 벌어진 경우라면 구의 공명음 구조는 깨지고 바람에 의한 소음이 발생하는 것으로 생각할 수 있다.

3. 결 론

가공송전선로 표시용 구에서 발생하는 음의 특성을 조사하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

① 송전선로 표시용 구는 원형 멤브레인 구조의 특성을 나타내었다. 구 표면에 있는 물 빠짐 구멍에서 46 Hz 근처의 낮은 헬름홀츠 공명음을 발생시킨다.

② 풍동실험에서 얻은 음의 스펙트럼은 물 빠짐 구멍의 크기에 의해 결정되는 2~3 kHz에 존재하는 공명음을 발생시킨다. 구멍의 크기가 작을수록 높은 주파수가 발생되었다. 이 음은 선로에서 발생되기는 어려울 것으로 판단된다.

③ 현장에서 측정한 소음의 스펙트럼은 경우에 따라서 다르게 나타났는데, 이것은 구의 결합상태에 따라 다르게 나타날 것으로 예상된다.

④ 소음 발생을 줄이기 위해서는 두 반구를 견고하게 결합하도록 하는 구조로 변경하여 구의 떨림을 줄이고, 공중에서 바람의 영향을 받아도 구의 결합상태를 완전하게 유지되도록 설치구조를 변경할 필요성이 있다.

(참 고 문 헌)

- [1]. 이덕주, "송전선의 항력저감 및 소음에 관한 수치 연구", '98 전력기술 기초연구 성과발표 논문집, pp.623-625 (기초전력공학공동연구소, 서울대학교, 1998).
- [2]. 이동일, 신구용, 추장희, 김상범, 이성두, 김정부, "765 kV 송전선로의 풍소음 발생특성과 대책연구", 2000년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp. 2005-2007.
- [3]. H. Arbey, M. Morpau, J. Delcambre, R. Michaud, L. Pargamin, and J. M. Parot, "International Conference on Large High Voltage Electric Systems, Aeolian Noise from Electrical Lines(CIGRE) Stockholm Symposium, 232 05 (1985).
- [4]. Kinsler L. E., *Fundamentals of Acoustics*, 3rd ed. 1982. p.85.
- [5]. Kinsler L. E., *Fundamentals of Acoustics*, 3rd ed. 1982. p.13.

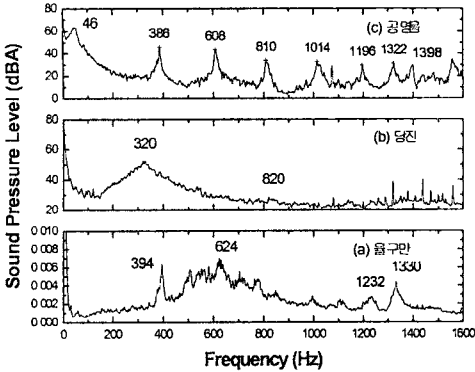


그림 4. 가공선로 표시용 구의 현장 측정음 특성
(a) 삼해 T/L 유구만 지역 측정 스펙트럼
(b) 당진 지역 측정 스펙트럼
(c) 구의 공명음 스펙트럼

2.4 소음 발생 원인 고찰

가공송전선로 표시용 구에서 발생하는 음의 특성은 구의 구조에서 발생하는 공명음으로 판단되었다. 이것은 구의 설치를 견고하고 완전하게 하면 소음발생을 줄일 수 있음을 의미한다.

송전선로 표시용 구에서 소음이 발생하는 경우를 살펴 보면, 공중에서 바람에 의해 미풍진동이 발생하고 있는 전선 위에 설치되어 있는 표시구의 클램프 조임부분의 나사가 풀리거나 반구가 어긋나게 맞추어져 불안전하게 결합된 경우 틈이 만들어지고, 이 틈을 통하여 전선 진동의 영향을 받아서 틈이 발생하는 것으로 판단된다. 구의 결합부분이 잘 결합되어 있을 때는 소음이 발생하지 않는 것으로 보고 되고 있다.

현장에서 확인한 결과로는 클램프 부분의 볼트 조임 상태가 풀렸을 때에 접합부의 틈이 벌어지며, 볼트 조임 상태가 단단한 경우에도 구의 접합부에 틈이 벌어진 경우가 보고 되고 있다. 이러한 현상을 막기 위해서는 현재 사용하는 구의 모양을 공중 작업을 용이하도록 하면서, 바람과 진동의 영향을 받아도 구의 접합부가 잘 벌어지지 않는 디자인으로 보완해야 할 것으로 판단된다.

현재 사용하는 구의 구조에서는 요철형 맞물림의 결합은 불안정한 결합을 일으킬 가능성이 크며, 바람에 의하여 구의 떨림이 발생할 가능성도 있다. 이러한 부분의 보완은 반구를 지지봉과 같은 구조로 조임을 하여 일체의 특성을 가지도록 하는 것이 바람직하다. 결합도 견고할 뿐만 아니라 구의 떨림을 현저하게 줄일 수 있는 장점이 있다.

또한 가공선로가 바람에 의해 계속적인 진동을 일으켜 볼트 조임이 완화되는 현상도 보완하여야 할 부분으로 지적된다. 구의 설치상태가 불량할수록(틈이 많이 벌어진 경우) 낮은 풍속에서 높은 풍속 범위까지 넓은 풍속 범위에서 소음이 발생하는 것을 관찰할 수 있었으며, 다소 양호한 상태의 설치 상태는 낮은 풍속에서나 아주 높은 풍속에서는 오히려 소음이 발생하지 않는 것이 관찰되었다.

항공장애표시구의 설치상태는 작업 시 제대로 설치하지 않은 경우와 또 초기에는 제대로 설치되었어도 시간이 경과하면서 상태가 불량해지는 결과로서 이는 제품의 견고성과 작업성을 개선하는 보완방법을 검토하여야 할 점으로 지적되었다.