

송전선로에 의한 풍소음 발생 저감 기법

신구용*, 이동일*, 윤진열*, 오창호**, 김세현**, 김재열**
 한전 전력연구원*, 한국전력공사**

A study on the wind noise from transmission line
 and mitigation methods

K.Y.Shin*, D.I.Lee*, J.Y.Yoon*, C.H.Oh**, S.H.Kim**, J.Y.Kim**
 KEPRI*, KEPCO**

Abstract - Measurements of wind noise, generated by High-voltage overhead transmission lines placed in a uniform flow are carried out in the Anechoic windtunnel. High-voltage overhead transmission lines generates audible wind noise, which cause a serious environment problem. Accordingly, wind noise has become one of major concerns for design engineers and operations personnel. In the present research, tests were mainly performed with various configuration of transmission line with spiral wires. Remarkable noise reduction was observed for some of the spiral transmission lines, compared with the noise generated without the spiral wire.

를을 따라 통상 "Karmans vortex"라 부른다. 주기적인 와류홀림 때문에 전체 유동장은 기본적으로 비정상유동 특성을 갖는다. 이에 따라서 실린더 표면의 주기적인 양력 및 항력의 변화가 발생하여 이것이 원거리 소음의 형태로 방사하게 된다.

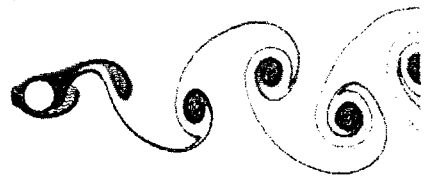


Fig.1 주기적인 와류 홀림

물체주위의 유동장이 비정상운동(Unsteady motion)을 하면 지속적인 와류의 홀림이 발생하는데 와류는 특정 주파수를 가진 주기적인 특성을 나타낸다. 이 주파수를 무차원화하여 Strouhal number라 하며 풍소음의 중요한 매개변수로서 사용된다[1].

1. 서 론

현재 건설이 진행중이며 일부구간은 345 kV로 가압되어 계통운전에 들어간 765 kV 상용 1차선로의 일부구간에서 발생하고 있는 풍소음 민원개소의 조사결과에 의하면 전선, 애자, 첩탑등에 강풍이 불면 불연속적인 충격음(Impulsive Noise)의 일종인 풍소음이 발생한다. 첩탑의 높이와 전선의 지상고가 높게 설계되고 송전선로의 선로, 지지물, 부속물등에 부딪치는 바람의 세기도 상공높이 올라갈수록 빨라지며 특히 계곡형단이나 해안가 인접 구간 초고압 송전선로 부근의 주거지역에서는 풍소음으로 인한 민원발생의 여지가 크다. 이러한 풍소음은 크게 전선 풍소음과 첩탑을 포함한 애자풍소음으로 구분되나, 애자 및 첩탑풍소음은 국부적인 점소음에 해당하여 거리에 따른 감쇄특성이 큰 반면에 전선 풍소음은 전 송전선로에 걸쳐서 연속적으로 발생하는 선소음에 해당되어 거리에 따른 감쇄특성이 적고 포괄적이므로 본 연구에서는 주로 전선 풍소음에 대한 해석과 대책을 다루고 있다.

$$St = \frac{fD}{U_\infty} \quad \text{---(1)}$$

여기서

- f : 와류홀림주파수
- D : Diameter
- U_∞ : 전방 속도

Strouhal number(St)는 유동장의 점성 특성을 나타내는 Reynolds 수의 함수로 나타낼 수 있고 물체의 사각형, 삼각형 등 형상에 따른 특정한 실험적 수치를 갖는다. 원형 실린더의 경우는 대략 실험적인 값으로 넓은 대역의 Reynolds 수, 즉 $10^3 \sim 10^5$ 까지, $St=0.2 \sim 0.22$ 의 범위에서 Aeolian tone을 갖는다.

특히 우리나라와 같이 국토가 좁아 송전선로주변에 인가가 근접하게 되고, 특정 주파수의 소음이 사람의 귀를 자극하여 심야에는 공포심까지 유발시키므로서 점차적으로 증가되고있는 송전선로에 대한 주민들의 반대민원에 대비하여 인가를 지나는 송전선로에 대하여는 설계시점부터 송전선로 운전시 발생될수 있는 민원을 예방하는 차원에서 대책이 요구되고 있다.

풍소음은 유동의 운동방정식(Navier-Stokes식)과 연속 방정식(Continuity식)의 지배를 받는데, Lighthill[2]은 이것으로부터 풍소음의 지배방정식을 유도하고, 그 해를 다음과 같이 나타내었다.

2. 본 론

2.1 풍소음 발생원리

송전선에서 바람에 의한 소음은 물리적으로는 물체 표면으로부터의 주기적인 유동 박리로 인한 비정상 하중(Unsteady aerodynamic loading)의 변화때문에 발생한다. 주기적으로 유동박리 영역에서 vortex가 물체의 위 아래 영역에서 교차적으로 흘러지고 Fig.1과 같은 와류의 형태로 후류로 움직이게 되는데 이것을 발견자의 이

$$p(x,t) = \frac{1}{4\pi a_0^2} \frac{x_j x_j}{x^3} \frac{\partial^2}{\partial t^2} \int T_{ij} \left(y, t - \frac{r}{a_0} \right) dV(y) \quad \text{---(2)}$$

여기서,

$p(x,t)$: 관측자, x에서의 음압

$T_{ij} = \rho u_i u_j + p_{ij} - a_0^2 \rho \delta_{ij}$: Lighthill의 Acoustic stress tensor

y : 음 dV의 위치원 부분,

$r = x - y, \rho$: 공기밀도, a_0 : 음속

위식을 좀더 변화시키면 원주소음은 Dipole형태로 Curly 방정식[3]의 형태로 표현할 수가 있다. 따라서 풍소음의 중요한 요인으로는 물체표면의 압력변화와 주위 유동장의 난류강도가 소음 발생원인으 나타난다.

2.2 풍소음 측정

송전선 풍소음의 측정은 KAIST항공우주공학과 무향 풍동(Anechoic windtunnel)을 이용하여 측정하였으며 시설의 관련된 제반 사항은 다음과 같다.

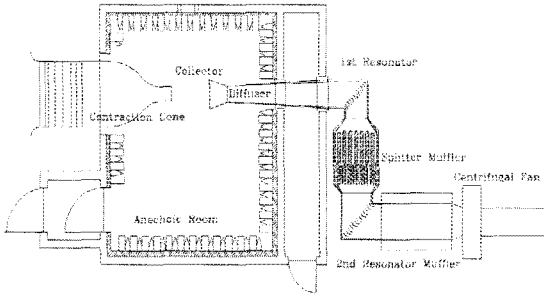


Fig.2 Layout of KAIST's Anechoic Windtunnel

[제원]

- Anechoic Room : 655 (m)
- Test section : 0.350.35 (m)
- Fan : 22kW (backward curved centrifugal)
- Maximum velocity : 62.8 (m/s)
- Suction type : Double door, two Resonator Muffler and two Splitter Muffler.

소음의 측정은 B&K의 PULSE Mutli-analyzer System-Type 3560을 통하여 Free-field type 1/2 마이크로폰을 이용하여 측정하였다. 모든 속도영역에서 A-weighting 적용하여 데이터를 나타내었다.

실험의 종류는 기본 송전선에 대하여 3종류의 나선송전선을 각각 4가지 속도에 대하여 방사되는 소음을 측정하였다. 풍동의 토출부에 대하여 송전선과 마이크로폰의 위치는 그림과 같으며(단위는 cm) 1.5m 길이의 송전선의 양단을 지지대를 통하여 고정시켰다.

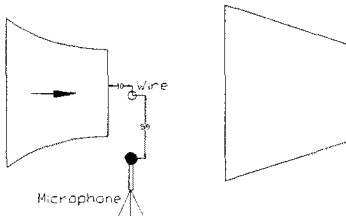


Fig.3 시험부와 측정위치

2.3 저풍소음 기법

풍소음은 앞서 언급한 바와 같이 와류의 주기적인 홀림으로 인한 물체표면의 압력변동으로부터 발생하고 이것이 소음으로 전파하게 된다. 따라서, 풍소음은 주위 유동의 난류 상태와 유동 박리를 변화시키는 물체의 표면

거칠기를 증가시킴으로써 감쇄시킬 수가 있다. 이러한 원리를 적용한 풍소음저감법으로 Spiral rod의 취부와 저풍소음도체 개발을 진행중에있다. 이것의 기본적인 구조는 다음 그림과 같다.

본 연구에서는 이러한 spiral 송전선의 소음 저감 특성을 파악하기 위해서 주전선에 일정 직경과 일정한 pitch를 가진 나선형의 보조 전선을 3종류의 방법으로 감아서 그에 대한 소음 특성을 관찰한다. Pitch(P)가 33cm이고 직경(d)이 6.1mm를 갖는 Spiral rod(8mm²)를 밀착하여 나선을 구성하였다.

실험에 사용된 Spiral 송전선의 종류는 그림 4와 같고 저풍소음도체의 단면은 그림 5와 같다.

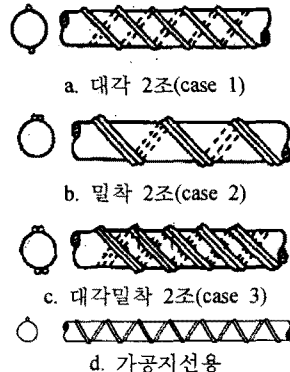


Fig.4 나선송전선의 종류

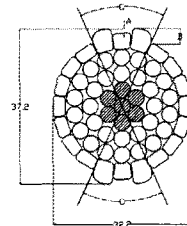


Fig.5 저풍소음 도체인 LN-Grackle(610mm²)의 단면

2.4 무향풍동시험 결과

송전선을 감싸는 spiral rod는 송전선에 붙어오는 바람의 방향에 상관없이 전선에서 난류 유동을 발생시키는 turbulence generator 역할을 하며 송전선을 따라 phase가 달라짐으로써 압력변화를 분산시키는 역할을 한다. 따라서 전선소음의 주된 원인인 주기적인 vortex의 생성을 억제할 수가 있고 vortex으로 인하여 발생하는 소음을 피할 수가 있다. 그러나 전반적인 난류의 증가로 이에 따르는 광대역소음(broadband noise)은 높은 주파수 영역에서 증가함을 그래프들을 통하여 관찰할 수가 있다. 본 시험은 국내에서 최초로 전선 풍소음의 발생특성을 규명하고 소음의 저감을 위한 전선형상 설계 목적으로 수행된 시험이며 특히 무향풍동 시험설비의 유효토출구 규모가 350mm x 350mm로 765 kV 상용선로용 송전도체방식인 Cardinal(480mm²) x 6도체방식을 실험크기로 시험할수 없으므로 다양한 풍향각 및 풍속시험을 통하여 최적의 시험조건을 결정하여 각 전선형태별 풍소음발생량을 비교분석하였다. 본 논문에서는 표와 그래프

를 통하여 Spiral rod 및 저풍소음도체에 대한 최종 비교시험 결과만을 기술하였다.

표 1 및 그림 6의 결과와 같이 Spiral rod 취부시 전반적인 속도영역에서 침두주파수에서는 spiral이 없는 기본 전선과 비교할 때 8~10 dBA 정도의 감쇄가 관찰되었고 전 주파수 영역을 합한 값(OASPL)에서는 0.5~2 dBA 정도의 감쇄가 관찰되었다. A-weight의 소음특성에 의해 전대역소음치의 경우 저주파 Peak의 영향은 적으나 저주파는 통상 원거리까지 감쇄되지 않고 전파되기 때문에 심각한 저주파 영역의 소음을 저감시키는 것이 효과적이라 하겠다. 3종류의 spiral 전선에 대한 소음 측면의 평가는 case3가 peak value와 overall value로 비교하였을 때 대체로 모든 속도 영역에서 좋은 결과를 보였으며 도체표면전계강도의 해석 결과 3종의 spiral 전선중 가장 적합한 조건을 지니므로 이미 기준에 가선되어 되어있는 송전선로용 저풍소음도체으로 제시하고자 한다.

표 1. Spiral Rod 취부조건별 풍소음 침두치 비교

도체종류	침두주파수 [Hz]	침두소음치 [dB(A)]	전대역소음치 합 [dB(A)]
No spiral	144.5	54.7	63.3
Case1	143.0	42.2	61.6
Case2	144.5	46.6	62.1
Case3	146.0	41.5	61.6

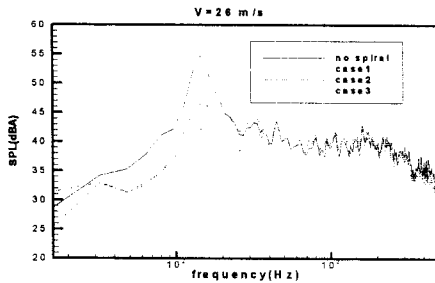


Fig.6 Spiral Rod 취부조건별 주파수 분포 특성

표 2 및 그림 7의 도체 종류별 비교시험 결과 침두소음치(Peak value)에서는 일반 Cardinal 전선과 spiral rod 취부전선을 비교할 때 10~13 dBA 정도의 감쇄가 관찰되었고 LN-Grackle 전선과 비교하였을 때 8~11 dBA 정도의 감쇄가 관찰되었다. 또한 표 3과 그림 8의 가공송전선의 경우 도체직경이 작으므로 풍소음의 침두주파수가 전선전선보다 다소 높게 나타났으며 Spiral rod 취부시 16~18 dBA의 매우 큰 저감 효과를 나타내었다. 이러한 결과로 힘음의 주요 발생주파수인 200~400 Hz 대역의 침두주파수에서 와류에 의하여 발생하는 소음을 매우 효과적으로 소멸시키는 설계임을 알 수 있다.

표 2. 도체종류별 풍소음 침두치 비교

도체종류	침두주파수 [Hz]	침두소음치 [dB(A)]	전대역소음치 합 [dB(A)]
Cardinal	136	66.1	71.0
Spiral Rod 취부	144	51.2	68.1
LN-Grackle	144	55.1	68.5

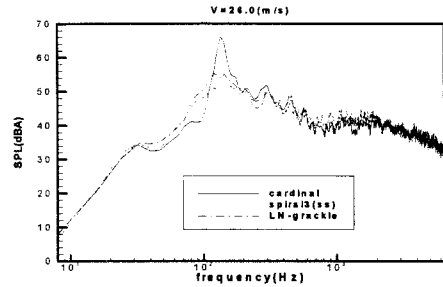


Fig.7 도체종류별 주파수 분포 특성

표 3. 가공지선 Spiral rod 취부 전,후 침두치 비교

도체종류	침두주파수 [Hz]	침두소음치 [dB(A)]	전대역소음치 합 [dB(A)]
가공지선 (200 mm ²)	216	57.6	64.9
가공지선 Spiral Rod	200	39.3	62.5

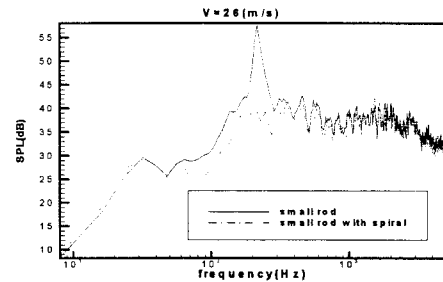


Fig.8 가공지선 Spiral Rod 취부전,후 주파수 분포 특성

3. 결 론

본 연구를 통하여 송전선에서 바람에 의해 발생하는 풍소음은 대표적인 소음저감 방법인 spiral rod 취부법 및 저풍소음전선에 적용한 나선 송전선에 의해서 저감됨을 확인하였다. 그러나 송전선의 특성상 형상의 변화에 따른 도체 표면전계강도의 변화에 따른 전기적환경장해에 대한 검토가 요구되며 이들 변수를 서로 최적화시키는 작업이 필요하므로 현재 본 연구에 이어 전기환경 모의 시험장치를 이용한 시험이 계속 진행중에 있다.

[참 고 문 헌]

- [1] Robert D. Blevins, *Flow-Induced Vibration*, 1990, Van Nostrand Reinhold.
- [2] Lighthill, M. J. On sound generated aerodynamically, I. General theory, Proc. Roy. Soc. Lon., A211(1952), 564
- [3] Curl, N. The influence of solid boundaries upon aerodynamic sound, Proc. Roy. Soc. Lon., A231 (1955), 505
- [4] William K. Blake, *Mechanics of Flow-Induced Sound and Vibration(II)*, 1986, Academic Press Inc.
- [5] 이동일,김정부,신규용, '초고압송전에 관한 III 단계연구 중간보고서', 전력연구원, 1998.5, pp.51-73, 1999.5, pp.38-74.
- [6] 이동일,신규용,정선철,정춘면,이덕주, 무향풍동을 이용한 나선송전선의 소음측정, 한국소음진동공학회, 춘계, pp. 628-632, 1999.