

765 kV 송전선로의 풍소음 발생특성과 대책연구

이동일, 신구용, 추장희, 김상범, 이상두, 김정부  
한전전력연구원

Characteristics of wind noise on 765kV Transmission Line  
and countermeasure against wind noise

Dong Il Lee, Koo Yong Shin, Jang Hee Chu, Sang Beom Kim, Seong Doo Lee, Jeong Boo Kim  
KEPRI

**Abstract** - KEPCO 765 kV Transmission Lines where seasonal winds intersect to the direction of the transmission line route cause aeolian complaints from residents near the transmission lines due to 1.5 times sub-conductors numbers and about 2 times of tower height comparing 345 kV transmission lines.

To decrease the wind noise generation, KEPRI developed two countermeasures. One is to install the Spiral Rod on wired 765 kV Cardinal conductor. The other method is to wire the Low Noise conductor which has salient part on the surface.

1. 서 론

세계적으로 송전선의 풍소음 현상이 보고된 것은 60년대에 프랑스였으며, 그후 일본에서 우리나라 765 kV와 동일한 상당 6 소도체방식이며 비슷한 철타설높이를 갖는 500 kV가 도입되면서 풍소음 민원이 발생되었고, 1000 kV 송전선로 건설과 더불어 본격적인 민원에 대응하는 풍소음 저감대책이 연구개발되었다. 우리나라경우는 현재 건설이 진행중이며 일부구간은 345 kV로 가압되어 재동운전에 들어간 765 kV 선로의 일부구간에서 발생하고 있는 풍소음 민원개소의 조사결과에 의하면 전선, 애자, 철타등에 강풍이 불면 불연속적인 충격음(Impulsive Noise)의 일종인 풍소음이 발생하게 된다. 765 kV 송전선로의 경우, 철타의 높이와 전선의 지상고가 높게 설계되고 송전선로의 전선, 지지물, 부속물등에 부딪치는 바람의 세기도 상공 높이가 올라갈수록 빨라지게 되어, 계곡 횡단이나 해안가 인접 구간의 초고압 송전선로 부근의 주거지역에서는 풍소음으로 인한 민원발생이 빈번히 일어나게 된다. 이러한 풍소음은 크게 전선 풍소음과 철타를 포함한 애자풍소음, 항공장애구 풍소음등으로 구분되나, 애자풍소음은 국부적인 점소음에 해당하여 감쇄특성이 크고 포괄적이므로 주로 전선 풍소음이 저감대책의 주 대상이 된다. 따라서, 본 논문에서는 주 풍소음 민원의 원인이 되고 있는 전선 풍소음에 대한 원인과 그 대책을 제시하고자 하였다.

2. 본 론

2.1 초고압 송전선로에서의 풍소음원

일반적인 송전선로에서의 풍소음은 송전선로 전방에 걸쳐 발생하는 전선에서의 풍소음을 중심으로 연구되었으며 다음과 같은 발생특징을 갖고 있는 것으로 관찰되고 있다.

- 1) 바람방향이 방향이 거의 직각에 가까운 계곡횡단 지역이나 해안가 인접 구간에서 주로 발생하게 된다.
- 2) 풍소음은 동절기의 계절풍등의 강풍시에 많이 발생하며, 항공장애구를 제외하고는 일반적으로 풍속이 10 m/s 이상인 경우부터 발생하는 것으로 관찰되고 있다.
- 3) 도체가 다도체화됨에 따라 풍소음 발생이 증가한다.

2.2 전선 풍소음의 발생

전선 풍소음은 "도체표면의 공기흐름의 박리현상"에 의해 유체중의 압력변동으로 박리의 위상이 불규칙하게 되기 때문에 발생하는 맥놀이 형태의 소음이 되는 경우가 많이 발생한다.

(1) 풍소음 발생기구

풍소음의 발생은 전선재질에는 무관하고 전선 외면형상(의형, 표면조각, 소선교임방향등)에 의해 좌우되는 것으로 보고되고 있다.[3]

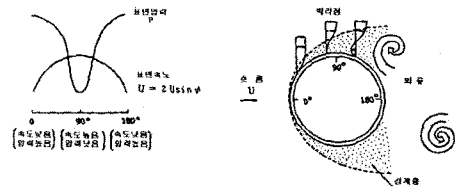
전선풍소음의 가장 기본적 성질은 현저한 주파수 특성에 있다. 즉, 풍소음의 탁월주파수  $f$  [Hz], 풍속  $U$  [m/s], 전선직경  $D$  [m]의 사이에는 다음의 관계가 성립한다.

$$f = S \cdot U / D \quad (1)$$

( S : Strouhal 수,  $S = 0.2 \sim 0.22$  )

유동장의 특징점에서, 모든 유동량은 물체로부터 박리되는 와류의 특정 주파수에 따라 변하는데 이 주파수를 스트로홀 상수(Strouhal number)라 정의한다.

$$S_s = f \cdot D / U_{\infty} : \text{Strouhal number} \quad (2)$$



<그림 1> 와류발생 개념도

이 Strouhal number( $St$ )는 유동장의 점성 특성을 나타내는 Reynolds 수의 함수로 표현되고 물체형상(사각형, 삼각형 등)에 따른 특정한 실험적 곡선을 나타내게 된다. 원형 실린더의 경우는 대략 실험적인 값으로  $St=0.2\sim0.22$ 의 범위에서 Aeolian Tone을 갖는다.

이러한 풍소음 발생특성을 좀더 구체적으로 설명하면 <그림 1>과 같이 유체중에 전선이 놓여질 경우에 원주표면의 압력분포를 보면 유체가 전면으로부터 후면으로 감에 따라 속도는 증가하고 압력은 낮아져 90° 부근에서 최소화되고 이후 압력은 역으로 상승하는 현상이 나타난다.

이러한 압력 상승에 의해 원주표면에 연하여 흐르는 유체는 점성 때문에 흐름이 방해되어 원주표면에서 박리에 의한 와류발생으로 풍소음이 발생하는 것이다. 이러한 풍소음을 줄이기 위해서는 박리점 부근에 요철을 만들어 규칙적인 와류의 발생을 막는 방법이 주로 적용되고 있다.

### 3. 전선 풍소음 대책

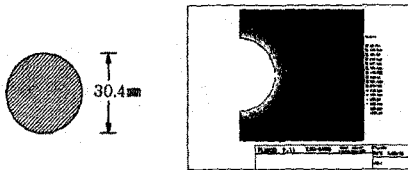
앞 절에서 제시한 박리점 부근에 요철을 만들어 규칙적인 와류를 막는 전선풍소음 저감대책으로는 Cardinal 도체로 가선이 끝난 765 kV 송전선로 구간에는 Spiral Rod 공법을 적용하고, 향후 건설예정인 765 kV 선로에서는 풍소음 발생이 예상되는 구간에 처음부터 765 kV 저풍소음 도체용으로 개발된 LN-Grackle 610 mm<sup>2</sup> 저풍소음 도체를 적용하는 것이다.

#### 3.1 기존 765 kV 선로 풍소음 저감용 Spiral Rod

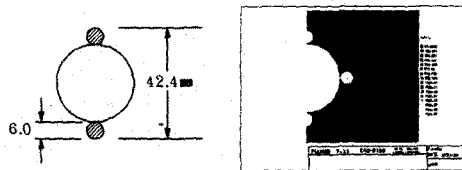
이미 Cardinal 전선으로 가선이 완료되었거나, 완료단계에 있는 765 kV 송전선로의 풍소음 대책은 Spiral Rod 적용을 검토하였는데, 설치방식에 따라 1조, 밀착 2조, 대각 2조, 대각밀착 4조등이 검토되어 코로나발생에 영향을 미치는 Bundle gradient가 가장 작은 대각밀착 4조를 최종 선정하고, 상용선로에 적용하기 위한 사전단계로 고장 765 kV 실증시험선로의 중간 경간에 99년 12월부터 시범적으로 적용하여 풍소음 저감특성과 코로나 특성 실증시험을 2000년 8월까지 수행하고 있다.

<그림 2>는 Spiral rod설치방식에 따른 소도체 단면형상과 Bundle Gradient 계산결과를 나타낸 것이다.

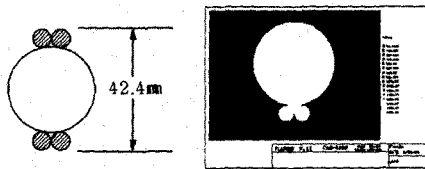
- 대상: ACSR 480 mm<sup>2</sup> Cardinal 전선
- 계산조건: 전선 직경 30.4 mm, 전압 100 V, 지상고 5 m



(a) 전선전선 ( $G_{max} = 1.043$  kV/m)



(b) 대각 2조 설치 전선 ( $G_{max} = 1.984$  kV/m)

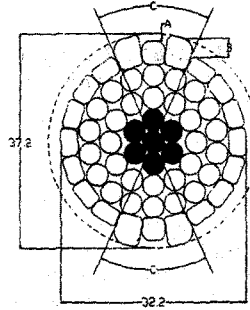


(c) 대각밀착 4조 설치 전선 ( $G_{max} = 1.834$  kV/m)

<그림 2> Spiral Rod 설치방식별 FEM 해석결과

#### 3.2 향후 건설예정 765 kV 송전선로 풍소음 대책용 LN-Grackle 610 mm<sup>2</sup> 저풍소음 도체 방식

향후 건설 예정인 765 kV 송전선로부터는 경과지가 선정되면 사전에 현재의 풍속과 풍소음 발생조건을 분석하고, 전선 선정단계에서 풍소음 발생 예상구간에 저풍소음 전선을 사용하는 것을 검토하고 있다. 따라서 현재 예비경과지를 선정하고 환경영향평가 준비중인 울진-신태백간의 765 kV 송전선로구간부터 <그림 3>와 같은 LN-Grackle 610 mm<sup>2</sup> 저풍소음도체 방식의 사용을 고려중에 있다.



<그림 3> 저풍소음 전선(LN-Grackle 610 mm<sup>2</sup>)의 형상

#### 3.3 풍소음 대책의 풍소음 저감특성

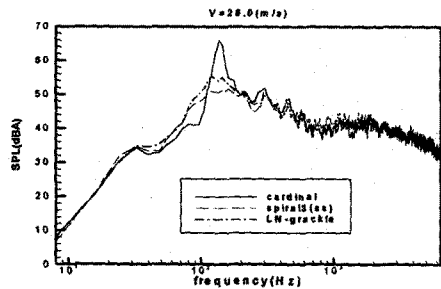
앞에서 제시한 대책에 의한 풍소음 저감특성을 확인하기 위해 풍동시험장을 이용한 실험을 통해 확인할 수 있었다. 그리고, 실제 765 kV 시험장의 시험선로에 Spiral rod를 설치하여 그 저감특성에 대한 특성시험을 실시하고 하였다.

##### 3.3.1 풍동시험에서의 풍소음 저감특성

<그림 4>와 <표 1>은 풍동시험에서 얻은 풍소음 저감특성결과이다. 결과에서 알 수 있듯이 일반전선에 비해 Spiral rod설치전선과 LN-Grackle전선의 경우, 전대역의 경우, 약 3dB정도, 침두소음치의 경우 10dB이상 저감됨을 확인할 수 있었다.

<표 1> 풍속 26 m/s의 경우 침두주파수와 침두소음치

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



<그림 4> 풍속 26 m/s시 풍소음 주파수 특성

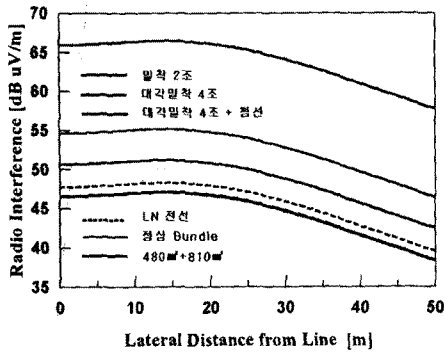
#### 3.4 Spiral rod 및 저풍소음 전선의 전기적 특성

<그림 5>는 Spiral rod 및 저풍소음 도체등에 대해 송전선로부터 거리별 라디오 장애 특성을 보여주고 있다.

<표 2>는 Spiral rod별 코로나 소음특성 및 저풍소음 저선에 따른 코로나 소음특성 예측결과를 나타낸 것으로 대각 2조에 비해 대각밀착 4조가 강우시에 코로나 소음 저감효과가 큰 것을 확인할 수 있고, LN-Grackle 전선의 경우, 청명시에 가장 낮은 코로나 소음 특성을 나타내었다.

<표 2> 코로나 케이지 특수 Bundle 모의시험치의 765kV 모델 송전선로로의 코로나 소음 환산예측결과 (29.5 m 지점)

Spiral Rod 설치방식 및 특수 Bundle	Weather Condition		
	청명 (dBA)	강우 (dBA)	경우 (dBA)
SR밀착2조×6B	39.5	51.6	48.3
SR대각밀착4조×6B	39.4	47.3	43.4
SR대각밀착4조×6B+철선	39.6	49.0	42.3
Cardinal×6B	40.6	50.3	42.9
480mm×4 + 810mm×2	37.2	49.5	42.5
LN610mm×6B	38.0	49.0	44.1
SR1조×6B	케이지 시험전계가 모델 선로 상전계 범위에 포함되지 않아 환산 불가		



<그림 5> 특수 Bundle의 청명시 거리별 라디오 잡음

4. LN-Grackle 610mm<sup>2</sup> 저풍소음도체의 허용전류

아래와 같은 허용전류 계산식(JEC-130/1976)에 따라서

$$I = \sqrt{\frac{[h_w + \gamma(hr - \frac{W_s}{\pi\theta})] d \theta r}{R_t}} \quad [A] \quad (3)$$

여기서 I : 허용전류 (Amp.)  
 d : 도체직경 (cm)  
 θ : 온도상승 (°C)  
 Rt : 교류저항(Ω/cm)

상기식에 의한 LN-Grackle 610 mm<sup>2</sup> 저풍소음도체의 허용전류는 1,041 [A]로서 Cardinal 도체의 919 [A]보다 약 13 %의 허용전류의 여유가 있다.

5. 실증시험선로에서의 풍소음 저감특성 및 선로환경 장애량 평가

1999년 12월부터 2000년 2월까지 약 3개월간 초고압 시험선로에서 획득한 Spiral Rod 대각밀착 4조가 설치된 복도체 방식의 선로환경장애 실측 Database를 이용하여 풍소음 대책 후보전선의 풍소음 저감 효과 확인과 전기적인 각종 Noise 발생특성과 이의 설계목표치 만족여부 등을 분석했다. 그 결과는 <표 3>과 같다.

<표 3> 풍소음 및 전기환경장애 특성치 종합 비교표

	Rain		Fair		All Weather		
	L5%	L50%	L5%	L50%	Max	L5%	L50%
풍소음 (dBA)	-	-	-	-	75.0	60.2	50.3
코로나 소음 (dBA)	52.6	47.3	51.4	42.8	-	-	-
코로나 Hum음 (dB)	58.0	45.4	50.2	39.9	-	-	-
라디오잡음 장애 (dBuV/m)	70.6	62.9	51.5	46.7	57.1	48.4	48.3
TV 잡음 장애 (dBuV/m)	16.5	14.0	13.2	10.4	17.9	13.2	13.2
	18.8	17.0	19.8	17.3	19.8	17.3	17.3

주) 1. 도체방식 1 : Spiral Rod 대각밀착 4조 설치 풍소음 대책전선 (하단 수치)  
 2. 도체방식 2 : Cardinal \* 6B (상단 수치)

6. 결 론

전선에서의 풍소음은 저주파로서 차폐 및 감쇄특성이 적어 사람들에게 신경질적이며 민감하게 들리는 혐음특성을 나타내어 송전선로 인근지역에 소음 민원을 발생시키고 있다.

본 논문에서는 송전선에 돌출부 형태를 가진 Spiral rod 및 LN-Grackle 전선이 송전선에 붙어오는 바람의 방향에 상관없이 국부적으로 발생하는 칼만와류를 억제하는 난류유동을 발생시키는 돌출원(Turbulence Generator) 역할을 하며, 이것은 전선소음의 주된 원인인 주기적인 와류(Vortex)의 생성을 억제시켜 와류로 인하여 발생하는 소음의 저감효과가 있음을 확인할 수 있었다.

또한 이러한 풍소음 저감용 대책들이 송전선로 주변 전기환경에 미치는 영향들을 검토하였다. 일반 전선에 비해 Spiral rod설치 및 LN-Grackle 전선의 경우, 전반적인 속도영역에서 첨두소음치(Peak value)에서는 일반 Cardinal 전선과 spiral rod 설치전선을 비교할 때 10~13 dBA 정도의 감쇄가 관찰되었고, LN-Grackle 전선과 비교하였을 때 8~11 dBA정도의 감쇄가 관찰되었다. 특히 가공송전선의 경우 풍소음의 첨두주파수가 전선보다 다소 높게 나타났으며 Spiral rod 설치시 16~18 dBA의 매우 큰 저감 효과를 나타내었다. 이러한 결과로 혐음의 주요 발생주파수인 200~400 Hz 대역의 첨두주파수에서 와류에 의하여 발생하는 소음을 매우 효과적으로 감소시킬 수 있음을 확인할 수 있었다.

[참고 문헌]

- [1] 김정부, 이동일, 신구용, "초고압 송전에 관한 3단계 연구", 한전전력연구원, 1999, 4.
- [2] Hayes, J.P., "Pseudo-Boolean Logic Circuits", IEEE Trans. Computers, vol. C-35, no. 7, pp. 602-612, July 1988.
- [3] 정준면, 이덕주, 이동일, 신구용, 정선철, "무향풍동을 이용한 나선송전선의 소음측정", 소음진동공학회, 1999, 4.
- [4] HITACHI Cable Review No.12, "Development of Low Noise ACSR Conductor for UHV Transmission Lines", August 1993.