

765kV 송전선로용 저풍소음 복도체 방식의 코로나 특성 모의실험

주문노\*, 양광호\*, 신구용\*\*, 이동일\*\*, 민석원\*\*\*  
 \*한국전기연구소, \*\*한국전력공사 전력연구원, \*\*\*순천대학교

Simulation on the Corona Characteristics of Low Aeolian Noise Conductor Bundles for 765 kV Transmission Line

M. N. Ju\* K. H. Yang\* K. Y. Shin\*\* D. I. Lee\*\* S. W. Min\*\*\*  
 KERI\* KEPRI\*\* Soonchunhyang University\*\*\*

**Abstract** - Single phase simulations were carried out in order to determine a solutive conductor to the aeolian noise which will be locally applied to 765 kV transmission lines. Basic solutive conductors have already been proposed including conductors equipped with spiral rod, low noise conductor of a special shape and others. A low aeolian noise conductor, however, should have excellent corona characteristics in addition to aeolian noise reduction function. In this paper, we compared the performances of the audible noises and radio interferences of 6 candidate conductor bundles by using corona data. We also developed two programs to need for evaluating environmental effects of each conductor bundle. Those are a program to calculate the conductor surface gradient of various special bundles and a conversion program of single phase data to the model of transmission line. The future determination on the final low aeolian noise conductor will be made through a long-term test to verify environmental impacts at the full-scale Kochang 765 kV test line.

에서의 실규모 실증시험을 통하여 결정될 것이다.

2. 특수 Bundle의 도체표면전위경도 계산

시험도체방식의 종류는 표 1에서와 같이, 풍소음 대책전선 외에 benchmark 대상인 Cardinal×6B와 2중 소도체 방식 및 침선 방식 등이다. 2중 소도체 방식과 침선 방식은 풍소음 대책용 bundle의 전위경도를 낮춰 코로나 발생을 억제하기 위한 방법이다.

Spiral rod(이하 SR) 취부 전선 또는 LN 저소음 전선 등 표면상태가 불균일한 전선으로 구성된 복도체의 전계(bundle gradient) 계산프로그램은 지금까지 개발되지 않았다. 따라서 본 논문에서는 수치전계계산기법 중 경계분할법의 하나인 2차원장 전하중첩법(Charge Simulation Method)에 의한 계산프로그램을 개발하고, 본 프로그램을 활용하여 표 1과 같이 코로나 케이지에서의 시험전계와 모델 송전선로 각상의 도체표면전위경도(conductor surface gradient)를 계산했다. 본 데이터는 코로나 케이지 단상 시험치를 3상 모델 선로로 환산하여 코로나 소음 및 라디오 잡음의 3상 합성 소음 및 잡음을 예측하는데 사용되었다.

표 1. 특수 Bundle의 시험전계와 765kV 상용선로 도체표면전위경도 계산결과

1. 서 론

765 kV 송전선로에 국부적으로 적용할 풍소음 장해 대책으로써 특수형상의 LN(low noise) 저풍소음 전선과 직경 6 mm의 spiral rod를 본선의 표면에 pitch 주기에 맞춰 취부하는 방식 등 크게 두가지 방법이 검토되고 있다. 그러나 대책전선의 채용 시 우수한 풍소음 저감기능 외에 이로 인한 또 다른 환경장해문제의 발생 가능성에 대한 검증이 필요하며, 궁극적으로는 환경친화성을 갖추도록 개발되어야 한다. 본 논문에서는 상기 저풍소음 전선 외에 도체 전위경도 저감형 등 총 6개 도체방식들의 코로나 특성을 실험적으로 비교했다. 코로나 발생특성 모의실험은 1999년 3월부터 10월까지 고창 초고압 코로나 케이지(EHV Corona Cage)에서 수행되었다. 본 실험과정에서는 각 방식들의 환경영향평가에 필요한 특수 Bundle의 전위경도 계산프로그램을 개발하여 활용했다.

LN 저풍소음 전선과 spiral rod 취부전선은 기존의 ACSR 전선과는 달리 코로나 방전원이 될 수 있는 돌기부를 공히 갖고 있다. 따라서 이 돌기부에서의 전계 집중에 따른 환경장해 발생의 정도를 확인한 후에 풍소음 대책전선으로써 선정되어야 할 것이다. 모의실험의 결과 풍소음 대책용 후보전선방식을 선정할 수 있었으며, 실용화에 이르는 풍소음 대책의 기반기술을 마련할 수 있었다. 향후 최종적인 풍소음 대책전선은 시험선로

| 특수 Bundle의 종류     | Bundle Gradient (kV/cm) |                |        | Cardinal 대비 G <sub>max</sub> 증가율 | 소도체 단면 형상 |
|-------------------|-------------------------|----------------|--------|----------------------------------|-----------|
|                   | 코로나 케이지 시험전압 별 Gradient | 765kV 현수형 상용선로 |        |                                  |           |
|                   |                         | 각상             | 3상 평균치 |                                  |           |
| Cardinal×6B       | 250kV                   | 13.95          | 14.02  | 13.97                            | 1.00      |
|                   | 268kV                   | 14.96          | 13.93  |                                  |           |
|                   | 286kV                   | 15.96          | 13.96  |                                  |           |
| SR밀착2중×6B         | 250kV                   | 21.80          | 24.67  | 24.58                            | 1.76      |
|                   | 268kV                   | 23.37          | 24.51  |                                  |           |
|                   | 286kV                   | 24.94          | 24.57  |                                  |           |
| SR대각밀착4중×6B       | 250kV                   | 21.40          | 22.76  | 22.68                            | 1.62      |
|                   | 268kV                   | 22.94          | 22.61  |                                  |           |
|                   | 286kV                   | 24.48          | 22.66  |                                  |           |
| LN 610mm×6B       | 233kV                   | 18.62          | 20.35  | 20.27                            | 1.45      |
|                   | 250kV                   | 19.98          |        |                                  |           |
|                   | 268kV                   | 20.90          |        |                                  |           |
|                   | 286kV                   | 22.31          |        |                                  |           |
|                   | 304kV                   | 24.30          |        |                                  |           |
| SR대각밀착4중×6B - 침선  | 250kV                   | 20.07          | 21.05  | 21.02                            | 1.50      |
|                   | 268kV                   | 21.51          | 20.96  |                                  |           |
|                   | 286kV                   | 22.95          | 21.04  |                                  |           |
| 480mm×4 + 810mm×2 | 252kV                   | 13.21          | 13.33  | 13.29                            | 0.95      |
|                   | 271kV                   | 14.21          |        |                                  |           |
|                   | 290kV                   | 15.21          |        |                                  |           |
|                   | 309kV                   | 16.20          |        |                                  |           |
|                   |                         |                |        |                                  |           |

### 3. 코로나 장애 특성시험결과

코로나 케이지에서 얻은 단상 모의 시험치를 765kV 현수형 상용선로 모델로 환산하여 선로 중심에서 29.5m 되는 지점에서의 코로나 소음과 라디오 잡음 발생량을 예측계산한 결과는 표 2, 표 3과 같다. 계산 결과에 의해서 각 특수 Bundle에 의한 환경장애 발생량 비교 및 환경설계목표치 만족 여부 등을 파악할 수 있다. 특수 Bundle 방식 별 환경장애 발생량의 변화 pattern은 동일한 시험조건을 가정하면 대체적으로 도체표면전위경도에 대수함수적으로 비례할 것으로 예상할 수 있다.

#### 3.1 코로나 소음

##### 3.1.1 清明時 코로나 소음

표 2에서와 같이 2중 복도체 방식과 LN 저소음 전선이 가장 낮은 약 37 ~ 38 dBA 수준을 보였다. 기타 방식들에 있어서는 대각밀착 4조 방식이 약간 낮은 발생량을 보였으며, 전반적으로는 약 40 dBA 수준이다. 이와 같이 모든 방식의 청명시 코로나 소음이 37 ~ 40 dBA 범위 내에 있는 것은 spiral rod 취부 등 특수한 전선 표면상태에도 불구하고 코로나가 거의 발생되지 않기 때문이다. 따라서 gradient(3상 평균치)와 코로나 소음의 상관관계도 잘 나타나지 않는다.

전반적인 코로나 소음 발생량을 시험 시 주위소음보다도 낮은 41 dBA 이하로서 문제가 되지 않는 정도이며, 청명시 코로나 소음 면에서는 spiral rod 대각밀착 4조 방식이 특별히 우수하다는 점을 찾을 수 없다.

##### 3.1.2 強雨時 코로나 소음

Spiral rod 취부 조수가 증가하면 도체 전위경도는 미세하게 감소하나, 지배적인 코로나 발생원인 水滴의 개수는 특수전선의 종류에 관계없이 전선 하부에 충분히 많이 생성된다. 이 때문에 강우시(heavy rain)에는 취부방식 간의 미세한 bundle gradient 차이만큼의 코로나 소음 발생량 차이가 뚜렷하게 나타나지 않는 것으로 판단된다. 전체적으로는 47 ~ 52 dBA 범위에서 분포되어 있다.

강우시 코로나 소음이 가장 낮은 것은, Cardinal×6B gradient보다도 약 60 % 높음에도 불구하고, SR 대각밀착 4조로서 47.3 dBA이다. SR 밀착 2조의 51.6 dBA를 제외하고 대부분의 방식들이 설계목표치 50 dBA를 만족하고 있다.

표 2. 특수 Bundle의 765kV 모델 송전선로의 코로나 소음 환산예측결과

| No. | Spiral Rod 취부방식 및 특수 Bundle | Weather Condition, dBA |      |      |
|-----|-----------------------------|------------------------|------|------|
|     |                             | 청명                     | 강우   | 중우   |
| 1   | Cardinal×6B                 | 40.6                   | 50.3 | 42.9 |
| 2   | SR밀착2조×6B                   | 39.5                   | 51.6 | 48.3 |
| 3   | SR대각밀착4조×6B                 | 39.4                   | 47.3 | 43.4 |
| 4   | LN610mm×6B                  | 38.0                   | 49.0 | 44.1 |
| 5   | SR대각밀착4조×6B + 첩선            | 39.6                   | 49.0 | 42.3 |
| 6   | 480mm×4 + 810mm×2           | 37.2                   | 49.5 | 42.5 |

#### 3.1.3 經雨時 코로나 소음

경우시의 전선상태는 많은 水滴이 유지되지 않고 낙하되며, 주로 전선표면의 젖은 상태(wet condition)가 특징적이다. 따라서 強雨時와는 달리 水滴에 의한 영향이 뚜렷하게 나타나지 않으므로 bundle gradient가 낮은 만큼 적은 량의 코로나 소음이 발생하는 경향을 보이며, 모든 방식들이 설계목표치 50 dBA를 만족했다. 주요 실험결과를 요약하면 아래와 같다.

- SR 대각밀착 4조 경우에 첩선을 추가하여 bundle gradient를 약 7.3% 저감할 수 있고, 이에 따라 經雨時 코로나 소음이 약 1.1 dBA 저감됨을 알았다. 해당 지점에서의 코로나 소음은 42.3 dBA이다.

- 현재까지의 시험결과에 의하면, 코로나 소음 면에서 SR 대각밀착 4조 방식이 밀착 2조 및 1조 방식에 비하여 월등히 우수하다는 결론을 내릴 수 있다.

- LN 저소음 전선의 gradient는 SR 대각밀착 4조 방식에 비해 불과 2.4 kV/cm 낮기 때문에 유사한 특성을 보였으며, 코로나 소음은 약 44 dBA이다.

#### 3.2 라디오 잡음

코로나 케이지에서서의 실측치를 765kV 송전선로 외측 29.5 m 지점에서의 라디오 잡음량으로 환산예측한 결과를 표 3에 종합했다. 라디오 잡음 측정 고정주파수는 475 kHz이나, 측정에 방해가 되는 불요잡음과 방송신호가 간헐적으로 인입되는 경우가 있어 ANSI/IEEE Std 430(1986)에 의거한 0.5±0.1 MHz 주파수 범위 내의 불요잡음의 영향이 적은 주파수에서 가변적으로 측정을 수행했다.

도체방식 별 라디오 잡음의 크기는 그림 1과 같이 765kV 현수용 상용선로 bundle gradient의 상대적인 크기와 일치하는 결과를 얻었다. 즉, 각 도체방식의 gradient 중에 크기가 가장 작은 2중 복도체방식의 라디오 잡음 발생량이 가장 작게 나타났으며, gradient가 가장 큰 SR 밀착 2조의 잡음 발생량이 가장 크게 나타났다. 또한 기타 도체방식들도 gradient의 상대크기 순으로 라디오 잡음 발생량이 예측되었다. 그림 1에 특수 bundle 별 청명시 라디오 잡음 발생량의 lateral profile을 나타내었다.

송전선로에서의 라디오 전파 수신장애의 기준은 ANSI/IEEE Std. 430-1986에 따르면 청명시 신호와 잡음의 비(SNR)가 24 dB 이상이면 장애가 없다고 평가하고 있다. 또한 국내 방송신호의 전계강도는 구 체신부 고시 제1992-126의 잡음등급별 방송구역 전계강도를 근거로 라디오 장애 평가기준의 신호강도는 71 dB $\mu$ /m로 하고 있다. 따라서 밀착 2조의 라디오 잡음 발생량은 SNR이 6.8dB인 64.2 dB $\mu$ /m로서 송전선로 주변에서 라디오 수신장애로 인한 민원을 유발할 가능성이 매우 높은 수준이다. 대각밀착 4조 및 이의 첩선방식 실험결과도 SNR 24dB 이하로서 기준치를 만족하지 못한다. 그러나 실제적인 수신품질의 수준은 다음과 같다. 즉, FCC, IEEE 기준에 의하면 라디오 수신이 가능한 최소한의 품질은 SNR 13 dB(D등급)로서 라디오 Noise는 58 dB $\mu$ /m까지 허용된다. 따라서 대각밀착 4조의 SNR 18.1dB는 양호하지는 못한 수준이나 청취가 가능한 D등급에 해당되고, 대각밀착 4조 + 첩선의 경우도 SNR이 22.1dB이므로 청취가 양호한 C등급에 해당된다. 따라서 실질적인 라디오 수신장애 문제는 발생되지 않을 것이라는 평가가 가능하다. 대각 밀착 4조의 경우 청명시 SR 밀착 2조와 비교하면 약 11dB 라디오 잡음량이 낮아졌고, 첩선 가선으로 청명시 약 4 dB 잡음량이 추가로 낮아졌다. Cardinal×6B, 2중 복도체 방식 및 LN 610mm 전선의 경우는 모두 SNR 24dB 이상을 만족하여 송전선로 주변에서의 라디오 수신장애는 발생되지 않을 것으로 예측된다. 따라서 현재까지의 특수전선 실험결과에 의하면 청명시 라

디오 잡음 면에서 SNR 24dB를 만족하는 LN 610mm 전선의 전기적 특성이 가장 우수한 것으로 요약할 수 있다.

강우시 라디오 잡음은 청명시와 같이 bundle gradient의 크기 순으로 뚜렷한 차이는 나타나지 않으나, SR 대각밀착 4조+침선의 경우가 라디오 잡음 발생량이 가장 작게 발생한 것 이외에는 거의 유사한 수준을 나타냈다. 현재의 실험결과로 강우시 SR 대각밀착 4조+침선 도체방식의 발생량이 다른 도체방식보다 작게 나타난 것을 명확하게 규명할 수는 없지만, 침선의 취부가 각 소도체 하부 물방울에서의 코로나 방전에 큰 영향을 미친 것으로 추정된다.

표 3. 특수 Bundle의 765kV 모델 송전선로의 라디오 잡음 환산예측결과

| No. | 특수 Bundle의 종류     | 청명                         | 강우<br>(dB $\mu$ V/m) | 경우<br>(dB $\mu$ V/m) |
|-----|-------------------|----------------------------|----------------------|----------------------|
|     |                   | (dB $\mu$ V/m)<br>SNR (dB) |                      |                      |
| 1   | Cardinal×6B       | 44.9<br>(440kHz)           | 67.6                 | 61.3                 |
|     |                   | 26.1                       |                      |                      |
| 2   | SR밀착2조×6B         | 64.2<br>(475kHz)           | 75.6                 | 76.4                 |
|     |                   | 6.8                        |                      |                      |
| 3   | SR대각밀착4조×6B       | 52.9<br>(475kHz)           | 69.5                 | 68.0                 |
|     |                   | 18.1                       |                      |                      |
| 4   | LN 610mm×6B       | 46.0<br>(440kHz)           | 71.3                 | 67.9                 |
|     |                   | 25.0                       |                      |                      |
| 5   | 대각밀착4조×6B + 침선    | 48.9<br>(405kHz)           | 62.2                 | 57.3                 |
|     |                   | 22.1                       |                      |                      |
| 6   | 480mm×4 + 810mm×2 | 44.8<br>(440kHz)           | 67.6                 | 61.8                 |
|     |                   | 26.2                       |                      |                      |

- 810mm×2 방식과 Spiral Rod 대각밀착4조×6B 방식이 가장 우수하며, SR 밀착 2조를 제외하고는 공히 코로나 소음 설계목표치 50 dBA를 만족한다.
- ② 청명시 라디오 잡음 면에서는 SNR 24dB를 만족하는 LN 610mm 전선과 480mm×4 + 810mm×2 방식의 특성이 가장 우수한 것으로 나타났다.
- ③ 3상 평균 bundle gradient 크기와 Noise와의 상관관계는 코로나 소음 경우는 경우시에, 라디오 잡음의 경우는 청명시에 잘 나타난다.
- ④ SR 대각밀착 4조의 침선에 의한 전계 및 Noise 저감효과를 확인했다.
- ⑤ 풍소음 대책전선으로 채용을 검토중인 Spiral Rod 대각밀착 4조×6B 방식과 LN 610mm×6B 방식의 코로나 소음 특성은 설계목표치를 만족하는 수준으로써 우수하며, 라디오 잡음 특성은 목표치를 불만족하나 실제적인 수신장애가 없는 수준의 수신품질을 보이므로, 상기 2개 방식의 실용화에는 환경적 요소의 문제는 없는 것으로 판단된다.

### [참고 문헌]

- [1] IEEE, "IEEE Standard for the Measurement of Audible Noise from Overhead Transmission Lines", IEEE Std. 656-1992, 1992. 9.
- [2] IEEE, "IEEE Standard Procedures for the Measurement of Radio Noise from Overhead Power line", IEEE Standard 430-1986, 1986.
- [3] 한전전력연구원 보고 "초고압 송전에 관한 III단계 연구 (3차년도 중간보고서)", TM. 97EJ01. M2000. 170, 2000. 4.
- [4] "가공 송전선과 풍음", 전기평론 Vol. 60, No. 12, pp. 954-960, 1975. 12.

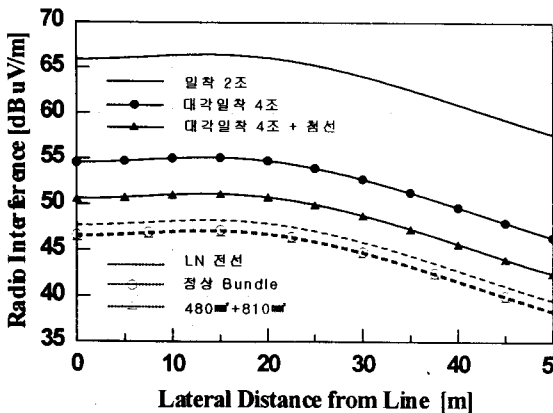


그림 1. 특수 bundle을 채용한 765 kV 송전선로에서의 청명시 라디오 잡음의 lateral profile

### 4. 결 론

본 논문에서 수행한 풍소음 대책전선 등 가공 송전선 로용 특수 bundle들의 코로나 환경특성 실험결과의 주요 내용을 요약하면 다음과 같다.

- ① 경우시 코로나 소음 특성 면에서는 480mm×4 +