

HVDC 가공 송전선로 전기환경특성 모의시험용 코로나 케이지 계측시스템 개발

論 文

55C-5-4

Development of Corona Cage Measurement System for Simulation on Electrical Environmental Characteristics of HVDC Overhead Transmission Line

朱 琬 魯[†] · 吉 暉 碩^{*} · 梁 光 鎬^{**} · 李 性 斗^{***}
(Munno Ju · Gyungsuk Kil · Kwangho Yang · Sungdo Lee)

Abstract - Corona characteristics of conductors are dependent on the electric field conditions in the immediate vicinity of the conductors. In case of DC transmission line, particularly, the space charge plays an important role in the electric field distribution. Therefore, DC corona cage simulation is necessary for long-term test in the same conditions. This paper presents the results of designing and constructing hardwares such as DC power supply, measurement system and DAS to carry out the simulation. The corona cage longitudinally is divided into five equal length sections and three inner sections of those are isolated from the ground of outer cage. The measurement items are radio noise, corona current, television noise, audible noise and meteorological conditions. In the next step, various simulations about the type and configuration of two or three candidate conductors will be conducted. And then finally an environmentally-friendly conductor for HVDC overhead transmission line will be decided.

Key Words : Corona Cage, Space Charge, Radio Noise, Corona Current, Environment, HVDC Transmission

1. 서 론

국내의 송전선로가 765kV까지 초고압화 됨에 따라 송전선로 주변의 전기적 환경장해, 즉 가청소음, 라디오 잡음, 텔레비전 잡음 등에 의한 장해대책이 요구되고 있다. 또한 국가간의 전력교류를 위한 동북아시아 전력계통 연계 시나리오인 러시아-북한-남한 간에 있어서 초고압 대용량 직류 송전선로의 건설 가능성에 대비한 친환경기술 개발의 필요성이 대두되고 있다. 직류와 교류 코로나의 발생 메커니즘의 차이는 공간電荷(space charge)의 영향에 의해 코로나 진전과정이 달라 기상별 각종 환경장해의 발생특성이 서로 상반되게 나타난다는 것이다. 교류의 경우는 청명시보다 강우 시에 코로나 잡음과 소음 등이 보다 크게 발생하지만, 직류의 경우는 오히려 청명 시에 문제시 된다[1]. 이러한 현상은 강우 시 도체에 부착되는 물방울(水滴) 주변에서의 이온발생 메커니즘의 차이에 기인한 것이다. 대용량 장거리 송전에 적합한 초고압 직류송전선로에서의 환경문제를 평가하기 위해서는 실규모의 시험선로를 이용하는 것이 가장 신뢰성이 높은 방법이다. 그러나 상용선로와 동일한 조건의 실규모 실증시험을 위해서는 상당한 시간적, 경제적 부담이 요구된다. 따라서 이러한 난제의 해결책으로써 후보도체방식들의 환경특성 모의시험이 가능한

코로나 케이지(corona cage)를 활용했다. 코로나 케이지를 이용하면 도체방식을 용이하게 변경하면서 낮은 전압으로 실규모 선로의 코로나 방전을 모의할 수 있어 매우 효율적이며 경제적이다. 본 논문에서는 직류 코로나 케이지 모의시험에 필수적인 직류시험 전원설비, 코로나 잡음 계측시스템과 실시간으로 장기간 측정과 저장이 가능한 Window 기반 DAS를 설계하여 구축한 결과를 보이고, 2단계 모의시험계획을 제시하였다.

2. 모의실험장치

2.1 직류전원장치

교류 고전압을 직류로 정류할 때 주로 이용되는 것은 변압기, 정류기 및 평활용 콘덴서로 구성된 반파정류회로로서, 고전압 시험용 변압기의 2차전압을 직접 정류하여 직류고전압을 발생시킨다. 따라서 고차 직류케이지 시험장의 직류전원설비도 교류변압기(22.9 kV/600 kV)의 2차측에 직류전압 ±600 kV, 200 mA)을 발생시킬 수 있는 배전압 정류회로(Voltage Double Circuit)를 이용하였다. 설치된 직류전원발생장치는 선로환경장해시험에 적합하도록 맥동을 고려해 200mA일 때 3% 이하가 되도록 설계하였다. 본 시스템은 직류전압 발생기, AC/DC 전압계, 접지장치, 제어장치 등 크게 4가지로 구분하여 나타낼 수 있으며, 그림 1은 현장에 설치된 직류 고전압 발생장치이다.

2.2 코로나 케이지

코로나 케이지는 실규모 상용선로의 도체에서 발생하는 코로나 방전을 모의하기 위해 제작되었다. 상용선로에서의 도체

† 교신저자, 正會員 : 韓國電氣研究院 電力研究團 前任研究員
E-mail : mnju@keri.re.kr

* 正會員 : 韓國海洋大學校 電氣電子工學部 副教授 · 工博

** 正會員 : 韓國電氣研究院 電力研究團 責任研究員 · 工博

*** 正會員 : 韓國電力研究院 電力系統研究所 研究員

接受日字 : 2005年 12月 22日

最終完了 : 2006年 2月 15日

표면 전계강도를 모의해 이 때 발생하는 전기환경장해를 측정, 평가할 수 있다. 코로나 케이지는 그림 2와 같이 각 4m 씩 5개 부분으로 되어있고, 중앙의 3개 부분(A, B, C)은 라디오 잡음과 코로나 전류를 측정하기 위해 대지로부터 절연되어 있다. 이 구간의 직류케이지는 내부 케이지와 접지된 외부 케이지가 부착된 2중 구조로 되어 있다. 또한 전원 측에서 발생하는 노이즈가 선로에 유입되는 것을 차단하기 위해서 전원 측에 Blocking Coil을 설치하였다. Blocking Coil 사양은 도체의 정전용량과 라디오 잡음 측정주파수를 고려하여 40dB 이상 감쇄되도록 결정하였다. 그림 3은 코로나 케이지의 전원 측에 설치한 Blocking Coil을 나타낸다.

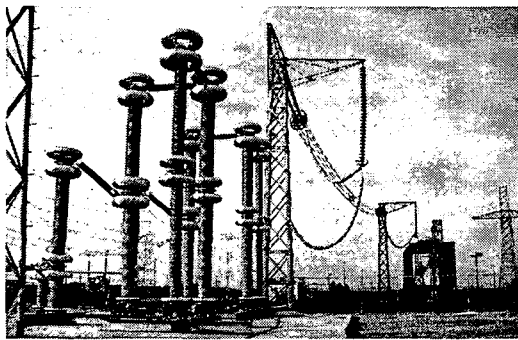


그림 1 직류 고전압 발생 설비의 사진
Fig. 1 Photograph of the DC high voltage generator

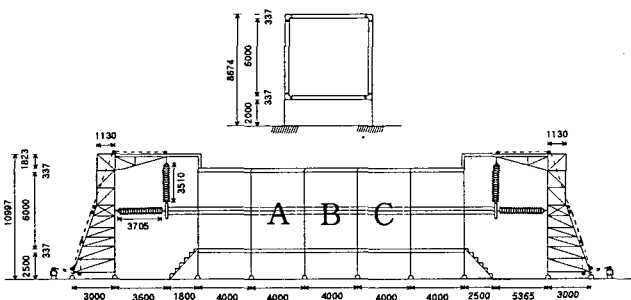


그림 2 직류 코로나 케이지
Fig. 2 DC corona cage

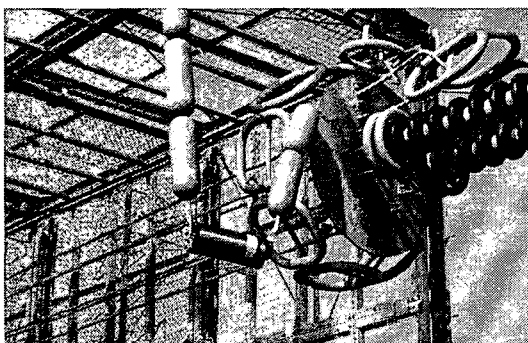


그림 3 전원 측 불요잡음 차단용 Blocking Coil
Fig. 3 Blocking Coil for Trapping Unwanted Noises from Power Supply

2.3 계측시스템 및 데이터 취득장치

전기환경의 관점에서 직류케이지에서의 측정항목은 라디오

장해(Radio Interference, RI), 텔레비전 장해(Television Interference, TVI), 코로나 소음(Audible Noise, AN), 코로나 전류(Corona Current, CC)이며, 기상조건에 따른 각 장해항목의 특성을 평가하기 위해서 풍향, 풍속, 온도, 습도의 기상조건도 동시에 계측한다. 그림 4는 계측시스템 전체의 구성도이다. 라디오 잡음은 제작된 회로를 통해 계측기에서 검출된 신호를 범용인터페이스버스(General Purpose Interface Bus; GPIB)통신으로 PC로 송출한다. 텔레비전 잡음은 케이지 중앙에 설치된 안테나를 통해 계측기에서 신호를 측정하여 라디오 잡음과 같이 GPIB통신으로 PC에 저장한다. 코로나 소음은 마이크로폰으로 검출된 신호를 계측기(Type 4435)를 통해 Serial 통신으로 PC에 보내고, 주파수 스펙트럼 조사는 스위치를 절체 하여 코로나 소음의 FFT 분석을 한다. 코로나 전류와 기상요소는 검출된 각각의 물리적인 신호를 DAQ Board를 통해 PC에 각각의 데이터를 저장한다. 도체에 동일한 전압을 인가해도 기상조건과 같은 주변 환경의 변화에 따라서 코로나 방전의 현상이 달라지기 때문에 코로나 방전에 의한 환경장해량은 상당한 발생편차를 가질 수 있다. 따라서 데이터 취득장치를 구축하여 동일한 시험전압의 조건에서 3 시간동안 10초마다 발생량을 측정하여 각 장해항목별 50%의 중간값을 구한다. 각 계측장비를 제어하기 위한 구동 드라이버 그리고 데이터를 측정하고 저장하기 위해 사용한 DAS 운용 Software는 National Instruments사의 그래픽 언어인 LabView Version 7.0 Express를 이용하였다.

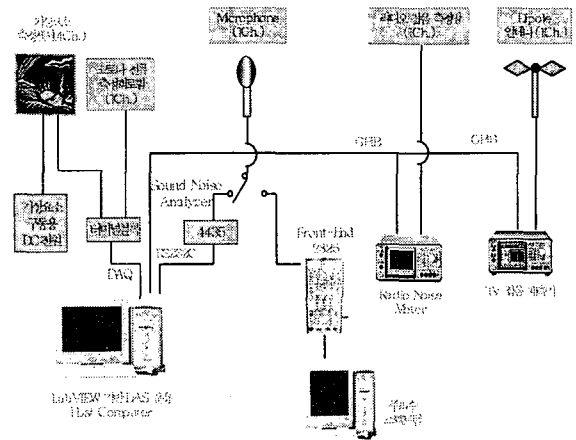


그림 4 계측시스템 구성도
Fig. 4 Configuration of the measurement system

3. 계측시스템 구축 및 교정실험

코로나 소음과 텔레비전 잡음을 직류케이지에서 측정할 경우 마이크로폰과 Dipole 안테나로 사용하기 때문에 별도의 교정실험이 필요하지 않지만, 라디오 잡음과 코로나 전류의 경우는 '내부케이지'로 측정하기 때문에 검출회로에 대한 교정실험이 요구된다.

3.1 라디오 잡음 측정회로

3.1.1 측정주파수

송전선로에 의한 라디오 잡음을 측정하기 위한 측정주파수는 조사 현지의 환경에 따라 결정되어야 하고, 또한 방송신호

대역을 피해 기준 주파수의 0.5±0.1MHz 범위 내에서 선택할 수 있다[2]. 따라서 본 실험에서의 라디오 잡음 측정주파수는 고창 시험장의 방송신호 특성상 475kHz에서 수행하였다[3].

3.1.2 내외부 케이지 간의 정전용량

라디오 잡음 측정회로의 소자 값은 측정 주파수와 케이지 간의 정전용량을 고려하여 결정해야 한다. 측정주파수에서 내부 및 외부 케이지간 정전용량에 대한 임피던스가 측정회로의 임피던스 값보다 수십 배 이상 되어야 한다. 또한 불요잡음전류를 없애기 위해 RL회로로 저주파대의 잡음전류를 제거시키며, 측정주파수에서 RC회로를 통과하는 잡음전류가 거의 100% 되도록 결정해야 한다. 따라서 본 실험에서는 우선 그림 5와 같이 내부케이지와 외부 케이지의 정전용량을 병렬 공진법으로 측정하였다.

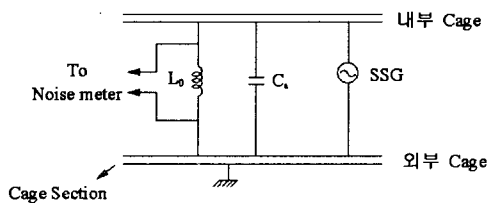


그림 5 병렬 공진법을 이용한 정전용량 측정
Fig. 5 Measurement of capacitance by the parallel resonance method

표준신호발생기(SSG)와 기지의 인덕턴스(L_o)를 내부케이지와 외부케이지에 연결하고 병렬공진현상을 이용하여 임피던스가 무한대가 되는 공진주파수를 조사하였으며 실험결과는 표 1과 같다.

표 1 병렬공진법에 의한 단자전압
Table 1 Terminal Voltages by Parallel Resonance Method

인가주파수[kHz]	단자전압[mV _{rms}]	비 고
333	645	SSG 개방시 출력전압(Z=∞): 802 mV
417	738	
500	780	
550	800	
625	724	

실험을 통해 SSG 개방시 출력전압과 동일할 때의 공진주파수를 조사하고, 이 주파수를 식 (1)로 내부와 외부 케이지 간의 정전용량을 계산하면 0.25nF로 나타나며, 이 값을 라디오 잡음 측정회로 제작 시 활용하였다.

$$f_c = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (1)$$

3.1.3 라디오 잡음 측정회로 특성

내부와 외부케이지간의 정전용량이 0.25nF이고, 라디오 잡음 측정주파수가 0.5MHz인 경우 측정회로의 임피던스를 10Ω 이하로 하면 측정회로로 계측할 수 있는 라디오 잡음전류는 99.1% 이상을 측정할 수 있다. 따라서 측정주파수 0.5MHz에서 측정회로의 임피던스가 10Ω 이하 되도록 측정회로의 수동소자값을 결정하였다. 제작된 회로의 등가임피던스를 구하기 위해 회로를 코로나 케이지에 그림 6과 같이 설치하여 정전류원인 표준신호발생기(SSG)로 10μA(CT로 전류

크기 반복 확인)를 회로에 입력한다. 이 때 주파수별로 측정된 임피던스 특성값을 그림 7에 나타내었다. 측정된 결과를 통해 측정회로의 등가임피던스가 측정주파수 475kHz일 때 등가임피던스는 7.76Ω임을 알 수 있었다.

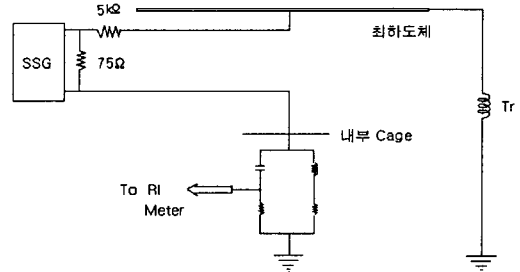


그림 6 라디오 잡음 측정회로의 등가임피던스 계측도
Fig. 6 Diagram for measuring equivalent impedance of radio noise measuring circuit

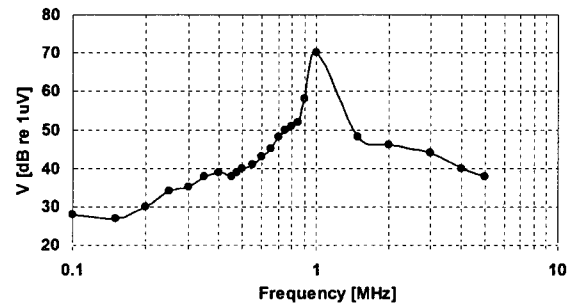


그림 7 라디오 잡음 측정회로의 주파수 응답특성
Fig. 7 Frequency response characteristic of radio noise measuring circuit

3.1.4 라디오 잡음 측정회로 교정

코로나 케이지의 길이가 짧은 경우 End Effect를 줄이기 위해 케이지를 여러 구간으로 나누어 바깥쪽 케이지는 접지시키고 중앙의 세 구간만을 측정에 이용한다. 이 때 주의 할 점은 코로나 발생원이 도체에서 케이지간 거리의 수배에 걸쳐 분포하므로 어느 정도의 전류는 측정구간을 벗어나 직접 대지로 흘러 들어갈 우려가 있기 때문에 측정된 전압과 도체 상에서 발생하는 전류간의 상관관계를 구하여 측정전압을 보정해야 한다. 따라서 보정계수인 K_{rms}를 구하기 위해 비교적 넓은 주파수대에 걸쳐 균일한 코로나 전류를 발생하는 구역을 이용하여 보정시험을 수행하였다. 코로나 케이지의 시험전선에 전압이 인가된 상태에서 Gap 장치를 도체에 설치한 후 중앙의 3개 section에서 각각의 잡음량을 검출한다. 이와 같은 갭 방전실험을 시험전선의 전장(全長)에 걸쳐서 수행한 실험결과를 그림 8에 나타냈다. 따라서 라디오 잡음측정회로를 통해 얻어진 전압과 케이지 변수, 보정계수를 이용해 라디오 잡음전류를 구한다.

3.1.5 라디오 잡음 발생함수

송전선로 주변에서 발생하는 라디오 잡음의 크기는 본질적으로 도체에서의 코로나 발생여부와 선로에서의 코로나 전류 전파특성에 의존한다. 이론적 관점뿐만 아니라 실제로 불규칙하고 맥동적인 코로나 전류특성을 도체근처의 공간전하와 전

계분포에만 의존하고, 도체와 선로형상에 영향을 받지 않는 코로나 발생량으로 정의하는 것은 매우 실용적이다. 이러한 물리적인 양은 먼저 전파분석으로 발생밀도(Generation Density: GD)를 정의한 Adam에 의해 제안되었다.

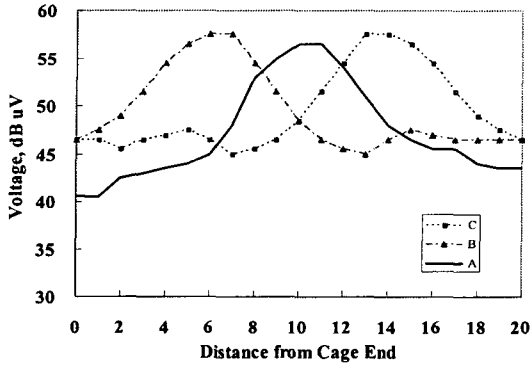


그림 8 구갯 위치에 따른 라디오 잡음전압
Fig. 8 Radio noise voltages as a function of the locations of Sphere Gap

이 후 Gary는 Adam의 제안을 심층 연구하여 실험적으로 측정 가능하고, 상용 송전선로 형상의 전파분석에 이용되는 '발생함수'(Γ , excitation function)의 개념을 개발하였다. 단일 도체에서 도체근처의 코로나 발생에 의해 생성된 전하 ρ 의 이동은 도체 상에서 전류를 유도시키며, 이 유도전류 I_c 는 식(2)와 같다[4, 5].

$$I_c = \rho \cdot \frac{C}{2\pi\epsilon_0} \cdot \frac{1}{r} v_r \quad (2)$$

C는 도체의 단위길이 당 정전용량, r은 전하 ρ 로부터의 방사거리, v_r 은 방사속도이다. 식(2)는 식(3)과 같이 다시 표현할 수 있다.

$$I_c = \frac{C}{2\pi\epsilon_0} \cdot \frac{\rho}{r} v_r = \frac{C}{2\pi\epsilon_0} \Gamma \quad (3)$$

식(3)과 같이 $\frac{\rho}{r} v_r$ 을 Γ 로 대체하면, Γ 는 도체근방에 존재하는 공간전하의 이동도만의 함수가 된다. 따라서 도체 상에 유도되는 전류는 본질적으로 두 가지 요소만 고려할 수 있다. 첫째는 도체의 형상에만 의존하는 도체의 정전용량이고, 둘째는 도체주위의 전계분포에만 의존하는 도체 근방의 공간전하 밀도와 이동이다. I_c 는 도체 상에 유도되는 불규칙적인 전류 펄스로써 계측기로 측정할 수 있다. 따라서 Excitation Function 개념의 주요 장점은 식(3)을 통해 코로나 케이지에서 용이하게 얻을 수 있는 데이터를 이용해 구할 수 있고, 도체와 선로배열에 독립적이기 때문에 Γ 를 통해 무한선로의 라디오 잡음량으로 환산이 가능하다는 점이다. 최종적으로 케이지의 측정값에서 Γ 로의 환산식은 식(4)를 이용해 구할 수 있으며, Γ 에 의해 도체간의 라디오 잡음특성을 비교한다.

$$\Gamma = V_r - 20 \log Z - 20 \log (\sqrt{I} K_{rms}) + 20 \log (2\pi\epsilon_0 / C) \quad (4)$$

V_r 은 측정단자전압, Z 는 측정주파수에서의 라디오 잡음

검출회로의 등가임피던스이다.

3.2 코로나 전류 측정회로

코로나 케이지의 내부 케이지와 외부 케이지 간에 저항을 삽입하여 급속망에 흐르는 전류를 측정하고, 시험전선에서의 코로나방전이 코로나 케이지의 유효한 길이에 걸쳐서 일정하게 발생한다고 가정하여 단위길이 당 코로나 전류를 구한다. 측정 데이터의 신뢰성을 높이기 위해 코로나 전류를 측정하는 내부케이지의 크기(길이)는 클수록 좋다. 측정용 내부 케이지의 길이가 짧으면 전선표면의 방전점이 제한되어 데이터의 변동 폭이 크게 되어 그 신뢰도가 낮아진다. 따라서 본 실험에서는 그림 9와 같이 내부 케이지의 2번째와 4번째 section을 연결하여 2개의 section으로 측정하도록 했다. 측정 저항값은 시험도체의 코로나 전류 발생을 고려하여 측정전압이 수 mV 이상 되도록 500Ω 이상을 선택하였으며, 저항값을 가변할 수 있게 하였다. 또한 노이즈 대책으로 shunt 저항에 병렬로 콘덴서를 삽입하였다. 시정수는 0.1~0.2sec 정도 되도록 하였다.

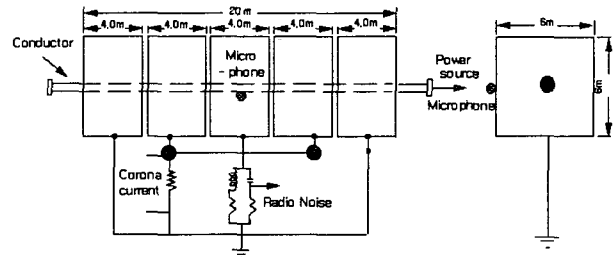


그림 9 코로나 케이지의 계측센서 및 측정회로
Fig. 9 Measuring Sensors and Circuits at Corona Cage

3.3 텔레비전 잡음

텔레비전 잡음 측정은 내외부 케이지 간의 정전용량이 0.3nF 이하이기 때문에 측정주파수인 75MHz에서 임피던스가 매우 작게 된다. 따라서 텔레비전 잡음신호를 라디오 잡음 측정 시와 같이 내부와 외부케이지 사이에 회로를 삽입하여 측정하는 것은 어렵기 때문에 내부케이지 중간부분에 dipole 안테나를 설치하여 측정한다. 직류 코로나 케이지에서 텔레비전 잡음을 측정하기 위한 계측기 및 안테나의 사양은 아래와 같다.

▶ 텔레비전 계측기 (ESVS30)

- 제작사: Rohde & Schwarz
- 측정주파수 범위: 20~1000 MHz
- 측정범위: -6 ~ 120 dBuV(ANSI C63.2)
- Measurement Mode: Average, Peak, Quasi-peak

▶ λ/4 Dipole Antenna

- 측정주파수 범위: 30~300 MHz
- Source Impedance: 50 Ω
- 정재파비(VSWR): < 2.5

3.4 코로나 소음

계측센서인 마이크로폰을 그림 9와 같이 시험전선 경간(span)의 중앙 지점에 해당하는 코로나 케이지 mesh 외측에 설치하고, 정밀소음계를 이용하여 A특성치 음압을 측정한다.

측정값은 배경소음의 영향을 보정한 후, 마이크로폰에서 시험 전선까지의 거리차이 및 시험전선 길이 등에 의해 기인하는 영향을 작게 하기 위해서 무한선로의 각 bundle에서 1m 떨어진 지점에서의 코로나 소음 출력음압레벨(P1)을 구하고, 이를 이용하여 실규모 모델 직류선로 주변 지역의 지상 1.5m 지점에서의 발생량 P를 환산의 방법으로 예측한다.

3.5 기상요소 계측설비

기상요소는 각 장애항목을 동일한 실험조건에서 평가해야 하기 때문에 반드시 필요하며, 또한 장애항목과 기상조건 간의 상관관계 조사를 위해서도 필요하다. 직류 코로나 케이지에서 측정되는 기상요소는 온도, 습도, 풍향, 풍속이다. 이것들은 코로나 장애항목들과 함께 DAS의 운용프로그램을 통해 실시간으로 모니터에 표시되고 동시에 저장된다. 기상센서 설치지점은 표준위치 요구조건을 고려하여 코로나 케이지와 측정실 사이로 하였다.

4 결론 및 향후계획

본 논문에서는 초고압 직류 가공 송전선로의 후보 송전도체방식들의 환경특성을 용이하게 평가할 수 Corona Cage DC 시험법을 효과적으로 수행할 수 있도록 환경장애항목별 시험방법과 절차를 상세히 정립하였다. 직류 코로나 케이지 모의시험에서의 측정항목은 라디오 잡음, 텔레비전 잡음, 코로나 전류, 코로나 소음 및 기상요소 등이다. 라디오 잡음과 코로나 전류의 경우는 외부케이지와 내부케이지간의 정전용량을 고려하여 제작한 회로를 케이지에 설치한 후 교정실험을 통해 각 회로의 검출감도와 특성을 확인하였다. 텔레비전 잡음과 코로나 소음의 경우는 각각 다이폴 안테나 및 마이크로폰을 케이지에 설치하여 각각의 장애 정도를 측정할 수 있도록 계측시스템을 구축하였다. 또한 시험도체방식 별 환경영향 평가 시 기상조건도 고려해야 하기 때문에 온도, 습도, 풍향, 풍속의 기상요소를 계측할 수 있는 기상시스템을 코로나 케이지 부근에 설치하였다. 이상 4종의 장애항목과 4종의 기상요소를 자체 개발한 DAS를 이용하여 정립된 시험절차에 따라 향후 480mm×6B, 810mm×4B 등의 직류송전 후보 도체방식들에 대하여 직류 코로나 케이지 환경모의시험을 수행할 예정이다. 또한 각 도체방식의 실험결과를 통해 도체표면전위 정도에 대한 장애항목별 발생특성과 기상요소간의 상관관계 등을 평가하여 전기환경 측면에서의 친환경 최적도체를 선정하고, 이를 초고압 직류송전 실증 시험선로에 가선하여 최종적인 실규모 실증시험을 수행할 예정이다. 실증시험결과는 2007~2008년경에 도출이 예상된다.

감사의 글

본 연구는 산업자원부 전력산업연구개발사업의 지원으로 수행되었습니다.

참고 문헌

- [1] 한국전력공사, 한국전기연구원, "초고압 직류 가공선로 설계 기술 및 핵심요소 기술 개발", pp. 39~40, 2004. 7.
- [2] IEEE Standard Procedures for the Measurement of Radio Noise from Overhead Power Lines and Substations,

ANSI/IEEE Std 430-1986

- [3] 주문노, 양광호, 명성호, 이동일, 신구용, "송전선로 EMI 특성 실험용 인공잡음발생장치 설계·제작 및 적용", 대한전기학회 논문지, 51A-1-4, pp. 23~28, 2001. 12.
- [4] EPRI, "HVDC Transmission Line Reference Book", TR-102764, pp 2-18~3-26, 1993
- [5] P. Sarma Maruvada, "Corona Performance of High-Voltage Transmission Lines", Research Studies Press LTD, pp 120~135, 2000

저 자 소 개



주문노(朱玟魯)

1968년 7월 7일생. 1994년 인하대 환경공학과 졸업. 1996년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 한국해양대학교 박사과정. 1996년 ~ 현재 한국전기연구원 전력연구단 전기환경·송전연구그룹 선임연구원. 2001년도 KERI 대상 수상.

Tel : 055-280-1324, E-mail: mnju@keri.re.kr



길경석(吉曠碩)

1962년 6월 30일생. 1984년 인하대학교 전기공학과 졸업. 1987년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1996년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 2003년 3월~2004년2월 영국 카디프대학 방문교수. 1996~현재 한국해양대학교 전기전자공학부 부교수

Tel: 051-403-1127, E-mail: kilgs@hhu.ac.kr



양광호(梁光鎬)

1957년 11월 16일생. 1981년 충북대 전기공학과 졸업. 1986년 성균관대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1999년 부산대 대학원 전기공학과 졸업(공학박사). 1986년~현재 한국전기연구원 전력연구단 전기환경송전연구그룹 책임연구원, 전력설비 환경설계기술팀장. 1999년도 대한전기학회 및 2000년도 한국과학기술단체총연합회 우수논문상 수상, 2001년도 KERI 대상 수상, 2003~2006년도 Marquis Who's Who 등재. KIEE, IEEE 정회원. Tel: 055-280-1322, E-mail: khyang@keri.re.kr



이성두(李性斗)

1973년 10월 10일생. 1996년 경상대학교 전기공학과 졸업. 1998년 부산대학교 전기공학과 졸업(석사) 1999년 한국전력공사 입사. 1999년 현재 한전전력연구원 전력계통연구소 연구원 Tel: 042-865-5856,

E-mail: joyful@kepri.re.kr