

송전선로 EMI 특성 실험용 인공잡음발생장치 설계, 제작 및 적용

論 文
51A-1-4

The Design, Manufacture and Applications of a Gap Noise Generator for Testing the Characteristics of EMI from Transmission Lines

朱 垸 魯* · 梁 光 鎬** · 明 聖 鎬** · 李 東 一*** · 申 玖 容[§]
(Mun-No Ju · Kwang-Ho Yang · Sung-Ho Myung · Dong-Il Lee · Koo-Yong Shin)

Abstract - In order to survey the radiation characteristics of pure line noise of unwanted noise from overhead high voltage AC transmission lines, a disk type gap noise generator was manufactured. Disk size which decides capacitance between the noise generator and earth was selected through preliminary indoor experiments and analysis by using surface charge method. The capacitance is one of principal parameters related to the injection of a proper noise current into lines. On the basis of the capacitance obtained from calculation, 5 mm of space was given to the gap of the noise generator to be installed on test line, and an aluminum disk of 60 cm radius was made. The field experiments were performed with the noise generator hung on the Kochang 765 kV full scale test line. As the results, the useful data which can be used to analysis the radiation characteristics of noise from transmission lines were obtained. Those are the directivity of antenna toward the line, lateral profiles, frequency spectra, height pattern and so on.

Key Words : Transmission Line, EMI, Radio Noise, TV Noise, Gap Noise Generator, Propagation, Noise Current

1. 서 론

송변전 및 배전 설비에서 발생하는 잡음은 주변 지역에 있어서 라디오 및 텔레비전 수신에 방해를 줄 수 있다. 따라서 전력설비의 설계단계에서 라디오 및 텔레비전 수신에 지장을 주는 이러한 불요잡음을 예방할 수 있는 저감대책 수립을 위해 장애범위가 넓은 송전선로를 중심으로 선로잡음의 방사특성을 조사하고 잡음량을 정략적으로 파악할 필요가 있다. 이러한 조사를 위해 코로나 잡음 계측기(Finder)등과 장비를 이용하거나 본 논문과 같이 인공잡음 발생장치를 이용한다. 선로에 인공잡음 발생장치를 설치하면 선로의 정전용량이 인위적으로 크게 되며, 선로에 낮은 전압을 인가해도 인공잡음 발생장치에서의 Gap방전에 의해 큰 잡음전류를 선로에 주입할 수 있다. 따라서 잡음발생장치를 이용하면 초고압 시험선로에서의 라디오 선로잡음 측정 시 에자, 금구류, 금속부의 부식 또는 불량 연결부 등에서 발생할 수 있는 불요잡음을 배제하고 순수한 라디오 전선 잡음만을 측정할 수 있으며, Gap방전에 의한 직접방사특성도 조사할 수 있다. 해외 각국에서도 라디오 및 텔레비전 장애 발생특성 조사를 위해 Gap방전 원리를 이용한 인공 Gap Noise 발생장치(이하 잡음발생장치)를 사용하였다.[1][2][3]

* 正 會 員 : 韓國電氣研究院 先任研究員
 ** 正 會 員 : 韓國電氣研究院 責任研究員 · 工博
 *** 正 會 員 : 韓國電力公社 電力研究院 責任研究員 · 工博
[§] 正 會 員 : 韓國電力公社 電力研究院 先任研究員
 接受日字 : 2001年 8月 22日
 最終完了 : 2001年 11月 29日

2. 인공잡음발생장치 설계 및 제작

2.1 코로나 잡음전류발생 등가회로

잡음발생장치로부터 송전선로에 인가되는 고주파 잡음전류량(I_{og})은 식 (1)에서와 같이 정전용량에 비례한다. 식 (1)의 고주파 유도전압 V_{og} 는 실제 시스템에서 해석적으로 구할 수 없으므로, EMI Meter가 충분히 감지할 수 있는 잡음발생장치와 대지간의 상호 정전용량 C_{og} 를 예비 성능실험을 통하여 구한 후, 실제로 적용하고자 하는 시험선로에서의 실험을 통하여 기준으로 설정한 C_{og} 를 확보할 수 있도록 고주파 발생장치의 크기를 계산하였으면 그림 1에 등가회로를 나타냈다.

$$I_{og} = j\omega C_{og} V_{og} = j(2\pi f) C_{og} V_{og} \quad (1)$$

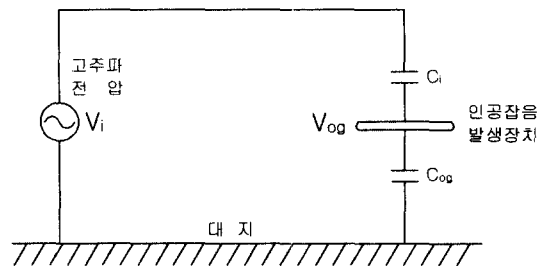


그림 1 송전선 하 인공잡음발생장치의 등가회로
 Fig. 1 Equivalent circuit of gap noise generator hung on transmission line

- V_i : 송전선로 고주파 전위
- V_{og} : 잡음발생장치의 고주파 유도전압
- C_i : 송전선로와 발생장치간의 상호 정전용량
- C_{og} : 잡음발생장치와 대지간의 상호 정전용량

잡음발생장치와 대지간의 상호 정전용량 C_{og} 는 인근 송전선로의 기하학적 구조에 영향을 받게 되므로, 결국 C_{og} 를 계산하기 위해서는 발생장치와 송전선로를 포함한 시스템 방정식을 풀어야 한다. 또한, 본 논문의 모델은 송전선로와 코로나 잡음 발생장치의 기하학적 구조가 3차원이므로, 3차원 정전용량을 계산하기 위해서는 3차원 송전선로 모델링과 잡음 발생장치의 모델링이 요구된다.

2.2 예비 성능실험

잡음발생장치에 대한 예비성능실험은 RIV(Radio Influence Voltage)시험규격인 NEMA 107-1987에 준하여 수행하였으며, 그림 2에 실험회로의 개략도를 나타냈다. NEMA 107-1987은 600V 이상의 송전 및 배전선로에 이용되는 고전압 설비에서 발생하는 0.015~30MHz 대역의 RIV를 측정하는 방법을 나타내고 있다. 그림 2에서 실험전압은 변압기를 통해 잡음발생장치(Artificial Noise Gap Generator)에 인가되며, 이 때 잡음발생장치 갭 부분에서 발생하는 방전에 의해 나타나는 RIV를 측정회로를 통해 계측기로 측정한다. 또한 커패시터스(Coupling Capacitor) 상부에 쇼크(Line Choke)를 설치하여 RIV의 손실을 제한하고 인가전압에 영향을 받지 않도록 하였다.

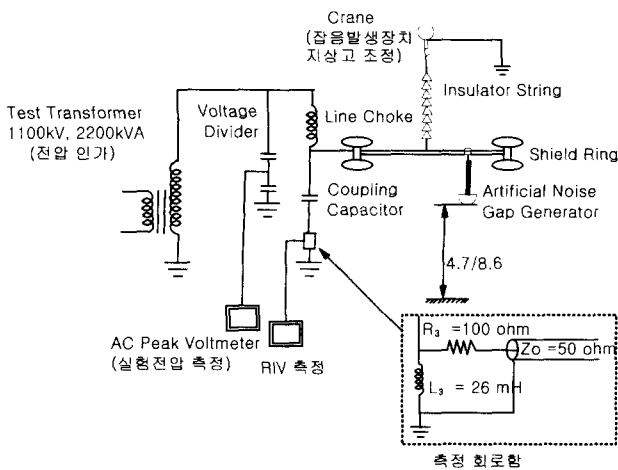


그림 2 인공잡음발생장치의 예비 성능실험
Fig. 2 Preliminary performance experiment of gap noise generator

예비 성능실험에 이용된 잡음발생장치는 그림 3과 같은 형상으로 제작되었다. 예비 성능실험에서는 최종적으로 시험선로에 설치할 잡음발생장치의 사양을 결정하기 위해서 다양한 데이터들을 얻을 필요가 있다. 따라서 잡음발생장치의 반구 크기와 지상고를 가변하면서 예비 성능실험을 수행하였다. 측정주파수는 고장 시험선로 실증시험에서 사용하고 있는

475kHz와 75MHz로 하였다.

실험결과 잡음발생장치의 지상고가 낮을수록, 그리고 반구의 크기가 클수록 잡음전압은 크게 측정되었으며, 잡음발생장치의 정전용량을 최종적으로 결정하기 위한 모델의 지상고, 반구의 크기, 전압 등의 조건을 결정하였다.

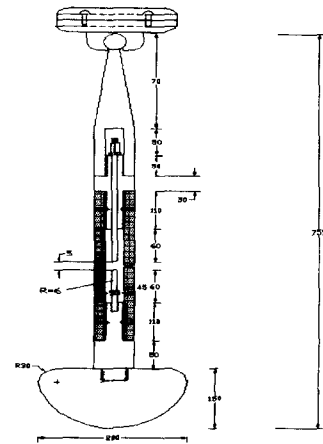


그림 3 예비 성능실험에 이용된 반구형 인공잡음발생장치
Fig. 3 hemisphere-type gap noise generator used for preliminary performance experiment

2.3 인공잡음발생장치의 모델링

잡음발생장치의 반구 모델의 표면은 그림 4와 같이 도체로 둘러싸여 있다. 반구의 윤곽선은 spline 곡선으로 나타내고, 표면은 띠전하(strip charge)로 모의하였다. 표면전하법(SCM)은 전극표면을 여러 개로 나누어 각 분할편 표면의 전하분포를 좌표의 함수로 두어 경계조건으로부터 전하밀도를 구하며, 그림 4의 링전하 경우는 전극표면에 대하여 면적분을 취함으로써 임의의 점에서의 전위를 구하는 방법이다.

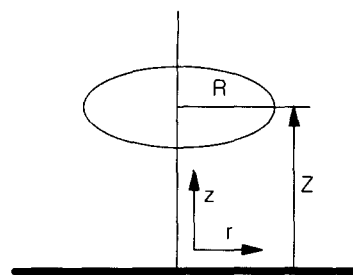


그림 4 링전하 모델
Fig. 4 Model of ring charge

본 계산에서는 모델의 표면전하를 좀더 정확하게 계산하기 위해 20개의 축대칭 띠전하를 각각 4등분하여 $\pi/2$ 의 내각을 갖는 80개의 분할된 요소 띠전하로 모의하였다.

이와 같은 방법으로 예비 성능실험에서 결정된 모델에 대해 계산한 결과, 그림 5와 같이 정전용량의 크기는 약 10 pF이었기 때문에 시험선로에서 시험할 잡음발생장치의 정전용량 설계사양을 10 pF로 동일하게 결정하였다.

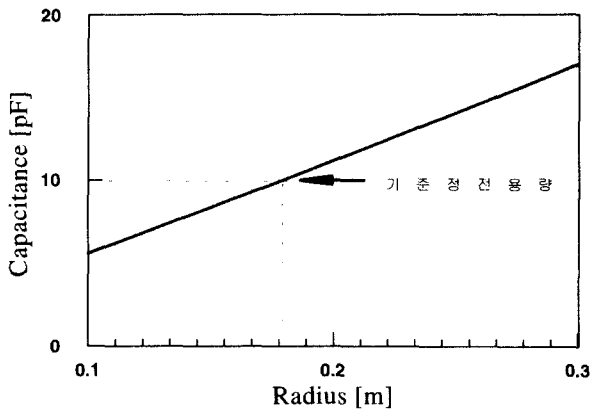


그림 5 예비 성능시험 조건에서의 인공잡음발생장치 반구 크기에 따른 정전용량

Fig. 5 Capacitance by the radius of gap noise generator in preliminary experimental conditions

2.4 인공잡음발생장치 제작

예비 성능시험에서 이용된 반구형태의 잡음발생장치를 지상고 28 m인 시험선로 下相에 설치했을 때 예비 성능시험에서 얻었던 10 pF의 정전용량을 갖도록 반구를 제작하는데는 무게의 증가 문제와 제작과 설치상의 어려운 점이 있어 최종적인 잡음발생장치의 선로 형상은 원판(disk)형으로 하였다. 원판형으로 시험선로에서 10 pF의 정전용량을 갖도록 원판의 크기를 결정하기 위해 그림 6과 같이 원판의 크기에 따른 정전용량을 계산했다. 그 결과, 원판의 크기는 반경이 최소한 40 cm 정도는 되어야 한다는 것을 알 수 있었다.

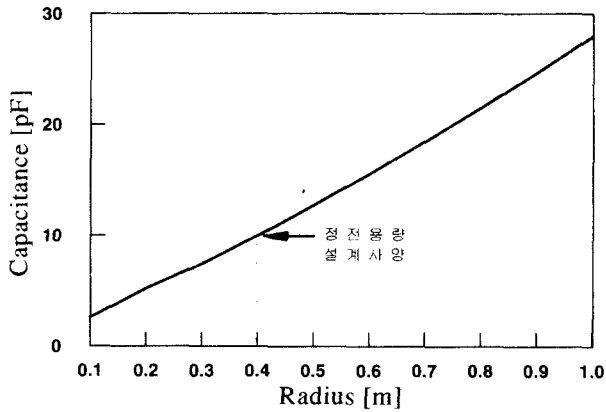


그림 6 인공잡음발생장치를 시험선로 下相에 설치하는 경우의 원판 크기에 따른 정전용량

Fig. 6 Capacitance by disk size when the noise generator is installed on the lower phase of test line

이상과 같은 원판의 크기에 따른 정전용량 계산결과를 기초로 실제 시험선로에 설치할 잡음발생장치의 갭 간격은 5 mm로 하고, 원판을 여유도를 고려하여 반경 60 cm의 알루미늄 판으로 제작하였다. 그림 7에 최종적인 인공잡음발생장치의 제작도면을 나타내었다.

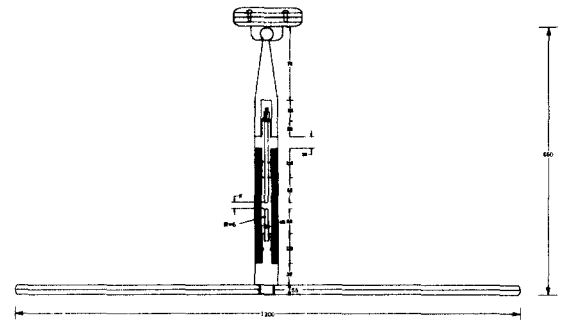


그림 7 원판형 인공잡음발생장치의 제작도면

Fig. 7 Drawing for manufacturing the disk-type gap noise generator

3. 실증시험 및 결과

3.1 실증시험

3.1.1 측정장치

측정장치는 측정용 차량 내부에 설치하였으며, 그림 8은 계측시스템을 장착한 측정차량이다. 라디오 잡음 계측기(ESH 30)와 텔레비전 잡음 계측기(ESVS 30)는 차량 내부에 탑재하고, 차량의 천장에는 안테나 Master를 설치하여 각 안테나를 고정시켰다.

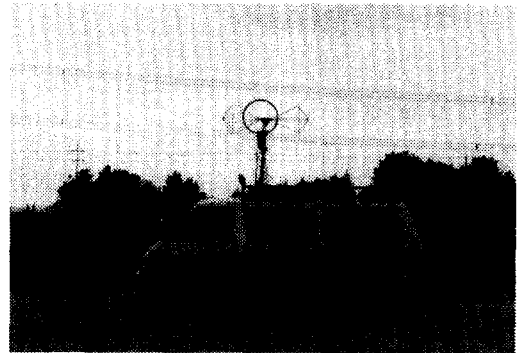


그림 8 선로잡음 측정용 차량

Fig. 8 Vehicle for measuring the line noise

주요 계측시스템은 측정차량의 내부에 설치되어 있으며, 표 1에 계측장치의 사양을 나타내었다.

표 1 선로잡음 계측장치의 사양

Table 1 Specifications of measuring instruments for line noise

	라디오 잡음	텔레비전 잡음
계측기	Rhode & Schwarz EMI receiver (ESHS 30)	Rhode & Schwarz EMI receiver (ESVS 30)
측정주파수	475 kHz	75 MHz
Measure	QP level	QP level
안테나	active loop antenna (HFH2-Z2)	biconical antenna (HK-116)

3.1.2 잡음발생장치 설치지점과 측정지점

전북 고창 765 kV 환경실증시험장의 시험선로 하상에 인공 잡음발생장치를 설치하고 수행한 EMI 실험 시의 잡음발생장치 설치지점과 각종 측정을 수행한 지점들을 그림 9에 나타내었다.

- A : 선로 상 인공잡음발생장치 설치지점
- B ~ C : Lateral Profile 측정지점
- F : 선로잡음의 수평성분 측정지점

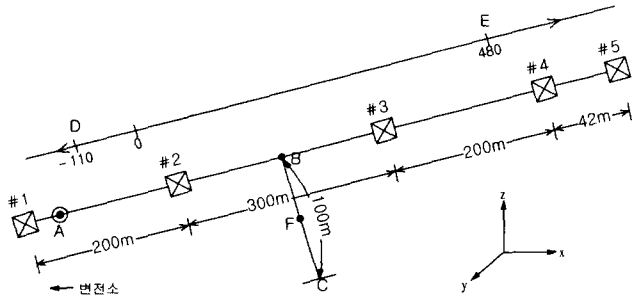


그림 9 잡음발생장치 설치 위치와 각종 측정지점
 Fig. 9 An installation position of gap noise generator, and several measuring points

3.2 실험결과 및 평가

그림 10과 같이 시험선로 下相의 A지점에 잡음발생장치를 설치하고 각종 EMI 특성실험을 수행하였다. 시험전압은 잡음발생장치 내 전극간 gap 방전개시전압과 잡음발생장치 외 시험선로의 모든 설비가 corona free가 되는 전압간의 범위 내에서 정하여야 한다. 따라서 시험용 변압기의 Tap 사양까지 고려하여 시험전압은 90 kV로 정했다.

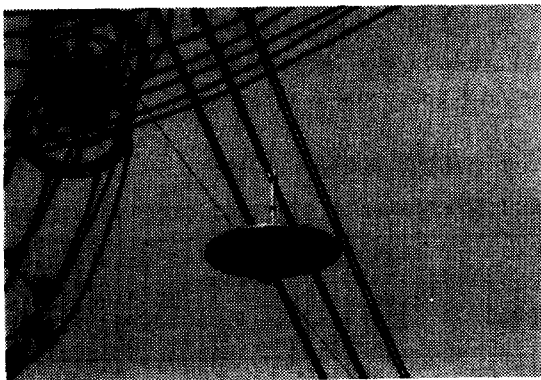


그림 10 시험선로에 설치된 인공잡음발생장치
 Fig. 10 Gap noise generator installed at the test line

3.2.1 최대 잡음 수신방향

Lateral profile 측정 시 측정지점에 따라서 잡음발생장치로부터 전선에 주입되는 잡음전류에 의한 잡음보다 잡음발생장치 자체에서 직접 방사되는 잡음의 영향으로 측정에 오차를 가져올 수 있다. 잡음발생장치에서 직접 방사되는 잡음의 영향을 조사하기 위해 그림 9의 F지점에서 선로에 대한 안테나의 최대 수신방향을 측정하기 안테나를 수평으로 360° 회전하여 잡음강도를 측정하였다. 선로방향을 0° 로 하고, 잡음발생장치의 방향이 약 290° 되는 F지점에서의 측정결과를 그림 11, 12에 나타내었다.

라디오 주파수 대역에서는 그림 11과 같이 안테나의 최대 수신방향이 선로 방향인 것을 알 수 있다. 따라서 라디오 주파수 대역에서는 lateral profile 측정 시 안테나의 방향을 선로 측으로 하면 잡음발생장치에서 직접 방사되는 잡음이 선로의 전선에서 발생되는 잡음측정에 영향을 미치지 않는다는 것을 확인할 수 있었다. 그러나 텔레비전 대역에서는 그림 12와 같이 선로에서 발생되는 잡음보다 잡음발생장치의 갭에 의한 직접적인 방사잡음이 크다는 것을 알 수 있으며, 이는 송전선로에서 선로잡음 외에 애자, 금구류 등과 같은 갭 방전 잡음이 텔레비전 수신장해를 결정할 수 있고, 본 실험방법으로 이러한 noise source를 확인할 수 있음을 보여준 것이다.

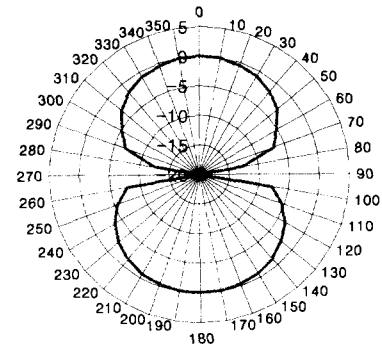


그림 11 라디오 잡음 최대수신방향
 Fig. 11 Direction of receiving maximum radio noise

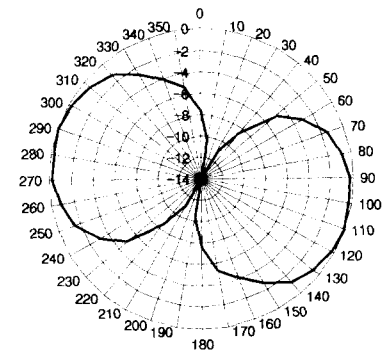


그림 12 텔레비전 잡음 최대수신방향
 Fig. 12 Direction of receiving maximum television noise

3.2.2 거리감쇠특성

거리에 따른 잡음강도(E)는 식 (2)와 같이 표현되기 때문에 잡음원과의 거리(d)와 파장(λ)에 따라 특성이 달라진다. 여기서 $K_1 \sim K_3$ 는 측정조건에 따라 결정되어지는 상수이고 H_1 은 잡음원의 높이, H_2 는 측정지점의 높이이다.

$$E \propto \frac{K_1}{d} \sqrt{K_2 - 2K_3 \cos\left(\frac{4\pi H_1 H_2}{d\lambda}\right)} \quad (2)$$

선로의 도체에서 발생하는 라디오 잡음의 거리감쇠특성을 조사하기 위해서 측정차량을 그림 9의 B지점에서 C지점으로 이동하면서 lateral profile를 측정하였고, 이의 측정결과와 식 (2)에 의한 계산결과를 그림 13에 나타냈다. 라디오 주파수 대역의 선로잡음강도는 선로에서의 이격거리에 비례하여 감소됨을 확인하였다.

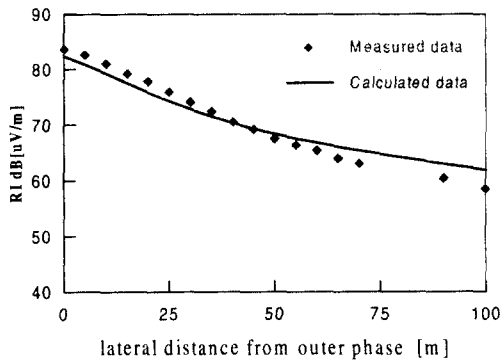


그림 13 시험선로 라디오 잡음의 거리감쇠 특성곡선
Fig. 13 Lateral profile of radio noise from the test line

텔레비전의 잡음 특성은 선로의 도체에서 발생하는 잡음량보다 갭에 의한 방전이 지배적이기 때문에 잡음발생장치를 설치한 지점에서 거리감쇠특성을 조사하였고, 그 측정결과와 식 (2)에 의한 계산결과는 그림 14와 같다. 텔레비전 대역의 주파수는 수십 MHz이상이기 때문에 라디오 대역보다 파장이 짧다. 따라서 라디오 잡음특성과는 달리 텔레비전 잡음 강도는 식(2)에 의해 선로의 형상과 측정주파수에 따라서 수십 m에서 수백 m지점까지 극대·극소점을 반복하면서 감소하는 특성을 나타내며 이를 확인할 수 있었다.[4][5]

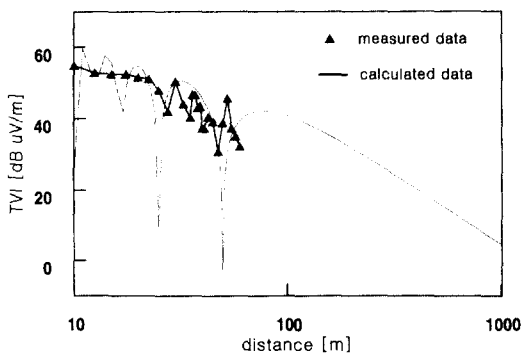


그림 14 시험선로 텔레비전 잡음의 거리감쇠 특성곡선
Fig. 14 Lateral profile of TV noise from the test line

3.2.3 주파수 특성

선로상을 전파하는 잡음전류의 진행파는 선로의 종단, 가공선과 케이블, 선로와 기기의 접속점과 같은 파동 임피던스가 다른 선로의 접속점, 즉 변이점에 도달하면 그 일부는 반사되고 나머지는 투과한다. 따라서 시험선로와 같이 dead end type인 선로의 경우 잡음전류는 일부분 반사되어 전선을 따라서 정재파를 형성하고, 주파수 특성은 주파수와 함께 단조롭게 감소되지 않고, 어느 주파수마다 극대치와 극소치를 가지게 된다. 고장 765kV 시험선로에서 측정한 라디오 잡음의 주파수 분포특성을 그림 15에 나타내었다. 그림 15와 같이 단거리 시험선로에서 측정된 극대치와 극소치를 이용해 실제 장거리 송전선로의 라디오 장애량 예측을 위한 환산계수를 기하평균법으로 구한다. 기하평균법이란 그림 15와 같이 극대치와 극소치를 이용해 실제 장거리 선로의 주파수 특성 곡선(그림 15의 점선)을 구하는 것이다. 이러한 극대치와 극소치는 선로에 잡음발생장치를 적용하면 뚜렷하게 나타나기 때문에 시험선로에 잡음발생장치를 설치하여 양호한 주파수 분포특성을 조사할 수 있었다. 또한 라디오 대역과는 달리 텔레비전 대역은 주파수가 높기 때문에 이러한 환산계수에 의한 별도의 보정 과정이 필요하지 않다.

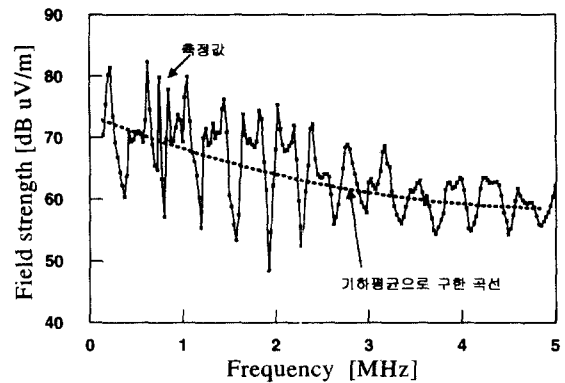


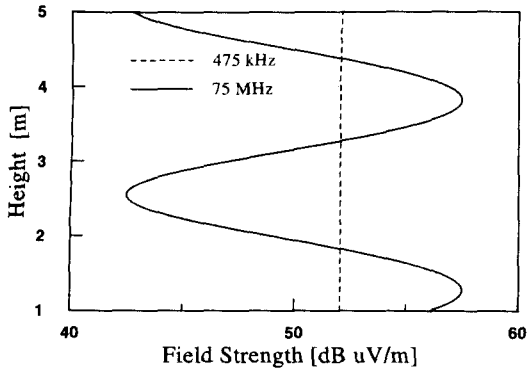
그림 15 인공잡음발생장치에 의한 선로 라디오 잡음의 주파수 스펙트럼

Fig. 15 Frequency spectrum of radio noise by using gap noise generator

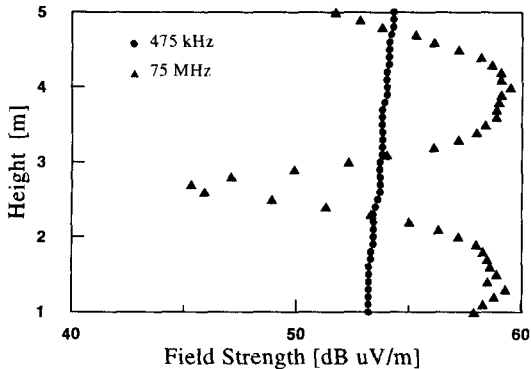
3.2.4 Height Pattern

수신안테나 높이를 지표면으로부터 수직 방향으로 상승시키면서 송전선로에서 발생하는 잡음을 측정하면 송전선로에서 방사되는 잡음강도는 공간을 전파하여 직접 수신안테나에 도달하는 전파와 대지면에 반사되어 도달하는 반사파가 서로 간섭을 일으켜 높이별로 잡음강도가 달라지게 된다. 따라서 송수신 지점간의 거리, 주파수, 송·수신안테나 높이 등의 조건에 따라 직접파와 대지 반사파에 대한 수신점에서의 위상이 달라져서 최대·최소값을 반복하는 특성을 나타내게 된다. 그림 16에는 시험선로에서 약 20m 떨어진 지점에서 안테나 높이를 1m에서 5m까지 변화했을 때의 잡음강도 측정치와 식(2)에서 H_2 를 변화하여 얻은 계산치를 나타내었다. 지상 1m에서 5m까지의 범위에서 475kHz 라디오 주파수 대역의 잡음강도는 측정 안테나의 높이에 따라 거의 영향을 받지 않는 반면에, 75MHz 텔레비전 주파수 대역의 잡음강도는 최대

최소를 주기적으로 반복하는 특성을 계산 및 측정으로 확인할 수 있었다. 따라서 주파수가 높을수록 측정지점의 높이의 변화에 따른 잡음강도의 변화가 민감하다는 것을 알 수 있다. 따라서 텔레비전 잡음측정 시 잡음강도는 안테나의 높이에 영향을 크게 받기 때문에 이를 고려하여 설치해야함을 확인했다.



(a) 계산치



(b) 측정치

그림 16 시험선로에서 EMI 잡음의 height pattern

Fig. 16 Height pattern of EMI noise from the test line

4. 결 론

본 논문에서는 송전선로의 EMI 방사특성을 조사하는데 사용할 수 있는 인공잡음발생장치를 수치 해석 및 실험적인 방법으로 설계하여 제작하였으며, 765 kV 시험선로에 본 장치를 적용하여 아래와 같은 라디오 및 텔레비전 잡음의 방사특성들을 조사하는데 효과적이었음을 보였다. 따라서 본 조사 방법이 선로 잡음의 저감대책 수립 시에 유용하게 활용될 수 있을 것으로 기대된다. EMI 방사특성 실험결과 주요 확인사항과 특징은 다음과 같다.

(1) 송전선로에 의한 라디오 장애 잡음원은 전선의 코로나 방전 및 주변 설비의 겹 방전이며, 텔레비전 장애는 주로 애자 및 hardware의 겹 방전에 의한 잡음으로 결정된다는 것을 알 수 있었다.

(2) 송전선로에서 멀어질수록 라디오 잡음강도는 거리에 비례해서 감소하고, 텔레비전 잡음강도는 선로의 형상과 측정주파수에 따라서 수십 m에서 수백 m지점까지 극대·극소치를

반복하면서 감소하는 특성을 보였다.

(3) 시험선로와 같은 단거리 선로에서의 라디오 잡음강도를 실제적인 장거리 송전선로에서의 발생량으로 보정하기 위한 환산계수를 인공잡음발생장치를 이용하면 정확하게 구할 수 있음을 보였다.

(4) 안테나 높이에 따른 height pattern으로써, 안테나를 수직 방향으로 높이면 라디오 잡음강도는 거의 변하지 않지만, 텔레비전 잡음강도는 최대·최소값을 주기적으로 반복하면서 변화한다는 것을 확인할 수 있었다.

참 고 문 헌

- [1] W.E. Pakala, V.L. Chartier, "Radio Noise Measurements on Overhead Power Lines from 2.4 to 800 kV", IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-90, No.3, pp. 1155 - 1165, MAY/JUNE 1971
- [2] "Interferences Produced by Corona Effect of Electric Systems Description of Phenomena Practical Guide for Calculation", CIGRE Working Group 36.01, Part 3 Chapter 7, pp 89 ~ 97, 1974
- [3] "간조물 장해예측의 안내", 일본CATV기술협회, pp 1~5, 1995.9
- [4] "Television Interferences from AC of DC Transmission Lines - Propagation and Radiation Characteristics of a Gap Type Noise Source-", CRIEPI 179069, 1980
- [5] "Analysis of Radio Interferences Wave Propagation in Transmission Lines - A Computation Method for Non Uniform Lines-", CRIEPI 186002, 1986

저 자 소 개

주 문 노(朱 玠 魯)

전기학회논문지 A 제50권 제12호 2001년 12월 참조

양 광 호(梁 光 鎬)

전기학회논문지 A 제50권 제12호 2001년 12월 참조

명 성 호(明 聖 鎬)

전기학회논문지 C 제50권 제12호 2001년 12월 참조

이 동 일(李 東 一)

전기학회논문지 A 제50권 제12호 2001년 12월 참조

신 구 용(申 玖 容)

전기학회논문지 A 제50권 제12호 2001년 12월 참조