

高周波 放射에 의한 루프形 構造物에서의 誘起電壓 測定

崔相源 · Tsutomu KODAMA* · Hajime TOMITA* · Nobumaro KOMATSU*

韓國産業安全公團 産業安全保健研究院, *勞働省 産業安全研究所

1. 서론

지금까지는 전자파의 위험성으로 인체 유해성 문제와 기기의 오작동에 대해서는 널리 알려져 왔으나, 전자파의 유기에 의한 감전 및 점화 위험성에 대해서는 국내에서 그다지 인지하지 못하고 있는 실정에 있었다. 그러나 이러한 전자파중 고주파 방사에 의한 감전 및 점화 위험성은 수신 안테나로 작용하는 금속성 구조물의 종류가 다양하기 때문에 이에 따른 전기적인 등가회로도 각각 달라 현장에서 일일이 측정할 데이터를 사용하는 시뮬레이션 및 실험이 필요하다.^{[1]~[6]}

본 논문에서는 고주파 방사에 의한 수신 안테나로 작용하는 구조물에서 감전 및 점화 위험성을 평가할 목적으로 실험실 수준의 고주파 방사에 의해 타워 크레인과 같은 루프형 구조물에서 방사조건과 구조물의 방향에 따른 유기 전압을 측정하였다.

2. 고주파 방사에 의한 감전 및 점화 위험성

고주파 방사에 의해서 타워 크레인에서 심한 전격이나 화상/화재를 일으킬 수 있는 아크 또는 라디오 소리를 듣는 등 여러 가지의 이상 징후 사례가 나타나고 있다.^[1]

이러한 고주파 방사에 의한 위험성은 무선주파수 송신기에 의해 발생하는 전자파가 금속성 도체 구조물과 충돌하여 전류를 유기시키는데 이때 유기된 전류의 진폭은 송신된 신호의 파장 및 전자장의 파장에 관련된 구조물의 형상과 크기에 의존하게 된다. 정상적으로 접속된 구조물이 진동 등에 의하여 순간적으로 차단 및 분리될 때 유기되는 전압 또는 전류가 충분히 큰 경우 스파크가 발생된다. 이러한 상황에서 신체적인 접촉이 이루어진다면 감전의 재해로 진행되며, 또한 가연성 물질이 존재하는 장소에서 발생된다면 화재·폭발의 위험상태가 초래될 수 있다. 그러나 감전 및 점화의 가능성은 아래와 같은 여러 가지 요건에 의존한다.

- 방사되는 전자파의 세기
- 수신 안테나로서 작용하는 구조물의 특성
- 수신 전력의 크기
- 가연성 물질의 특성
- 통전 시간과 경로

2.1 수신 안테나로 작용하는 구조물

두 개의 도전성 물체가 고주파 방전의 간헐적 접촉을 가질 때 전자장에서 금속물체에 전압과 전류가 유기된다. 이때 감전 및 점화를 일으킬 수 있는 고주파 전력원은 전자장안에 위치한 안테나이다. 안테나 형태는 그림 2.1과 같이 금속물체 또는 파이프 라인, 크레인의 로프로 형성될 수 있다. 구조물은 크게 루프형과 수직형으로 나뉘어 진다.

2.2 유기전력의 측정방법

구조물에 대한 현장실험은 유기전력의 측정을 포함하며, 현재 구조물로부터 추출할 수 있는 전력의 최대 주파수는 30 MHz이다. 무선과장에 의해 조사된 구조물의 불연속 지점에서 추출할 수 있는 전력은 직접측정에 의해 결정할 수 있으며, 그림 2.2는 이들의 측정방법에 대한 것을 나타낸 것이다.

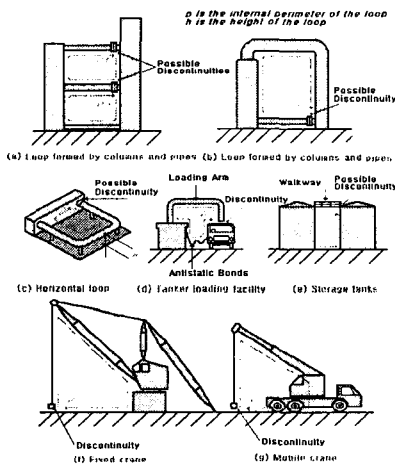


그림 2.1 루프형 구조물의 예

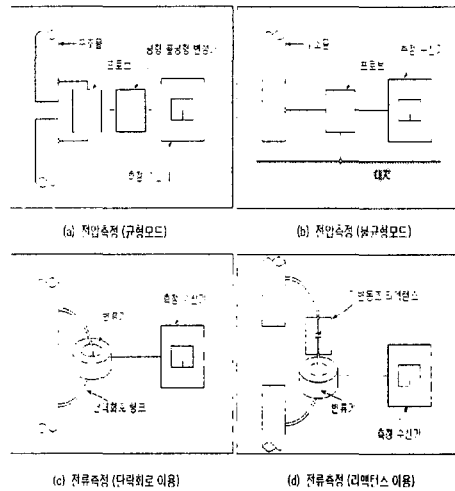


그림 2.2 유기전력의 측정방법

3. 유기전압 측정을 위한 실험 및 결과

전자파에 의한 대형 크레인에 유기되는 전압에 의한 감전 및 점화 위험성을 평가할 목적으로 무선 주파수의 전자파에 의한 루프형 구조물의 안테나에 유기되는 전압의 변화량을 측정하였다.

3.1 실험 방법

전자파 차폐실을 이용하여 전자파의 방사 주파수, 전자파의 방사 에너지, 송신 안테나의 방향, 송신 안테나의 높이 및 수신 안테나 구조물 (루프 길이: 2.75m, 스테인리스 환봉, 4각

형 태)의 방향을 바꾸어 가면서 수신 안테나의 구조물에 유기되는 전압을 측정하였다.

그림 3.1은 실험장치의 구성도를, 그림 3.2는 실험에 사용한 전자파 송신용 안테나를, 그림 3.3은 전자파 수신용 루프 구조물을 나타낸 것이다. 또한 표 3.1은 실험에 사용한 설비 및 장비의 사양을 나타낸 것이다.

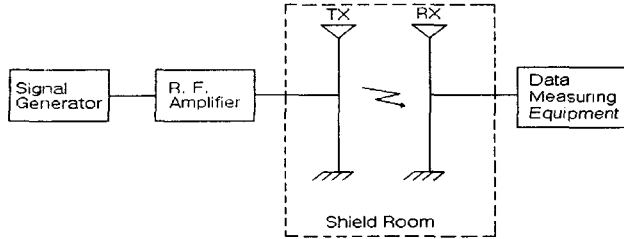


그림 3.1 실험장치의 구성도

표 3.1 실험 설비 및 장비의 사양

설비/장비명	사양
전자파 암실	<ul style="list-style-type: none"> - 실내 치수: L7m×W5.5m×H5m - 외형 치수: L9m×W7.5m×H5.5m - 실드 재료: 은도금 동판 - 전파 흡수체: 발포 스티로폼 + 페라이트 전파흡수체 - 용도: FCC의 3m 범에 근거로 한 방사방해 전계강도 측정, 방사성 전자계에 의한 Immunity 시험 - Site Attenuation: 30MHz~1GHz±4dB 이내 (CISPR/A82.1 규격)
Bi-conical Antenna	<ul style="list-style-type: none"> - 형식: KBA-523E - 주파수 범위: 25~280MHz - 임피던스: 50Ω(N Type Connector) - 제조자: 協立電子工業(株) - 공중선 형식: bi-conical 공중선(비동기) - 허용전력: 최대 200W
R.F. Amplifier	<ul style="list-style-type: none"> - 형식: R50FC - 출력: 50W CW - Duty Factor: 100% - 제조자: RF Power Labs - 이득: 47dB - 주파수 범위: 1~500MHz - 입력, 출력 임피던스: 50Ω
Signal Generator	<ul style="list-style-type: none"> - 형식: 8647A - 주파수 범위: 250kHz~1000MHz - 출력임피던스: 50Ω - 제조자: HP - 분해능: 1Hz - 출력 범위: +10~-136dB
Digital Storage Oscilloscope	<ul style="list-style-type: none"> - 형식: TDS520A - 주파수 범위: DC~500MHz - 제조자: Tektronix - Channel: 2 - Sampling Rate: 200GS/s
Plotter	<ul style="list-style-type: none"> - 형식: HP7440A - 제조자: HP

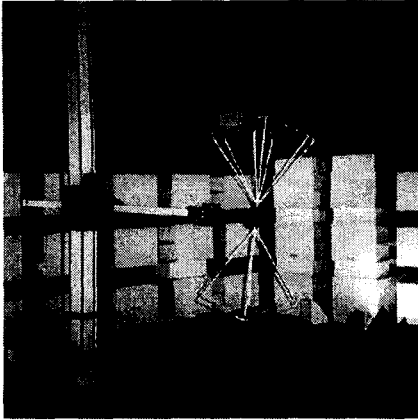


그림 3.2 안테나

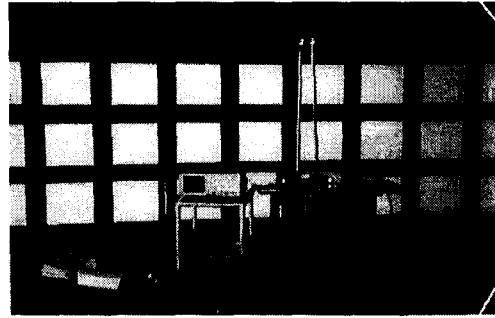


그림 2.3 루프형 구조물

3.2 실험 결과 및 검토

그림 3.4부터 3.7까지는 루프 구조물에 유기된 전압을 측정하여 도식화한 그래프이다. 그림 3.4은 송신 안테나를 수직방향, 높이를 1.3m, 합수 발생기의 이득을 -20dBm , 방사 주파수를 61MHz 로 하였을 때 루프 구조물의 수신방향을 회전시키면서 루프에 유기된 전압을 측정한 것이다. 그 결과 송신 안테나와 루프 방향이 230° 일 때 가장 크게 유기되었으며, 140° 일 때 가장 적게 유기되었다. 그림 3.5는 송신 안테나를 수직방향, 높이를 1.3m, 루프 구조물을 송신 안테나와 정면 (0°), 방사 주파수를 61MHz 로 방사전력을 증가시켰을 때 루프에 유기된 전압을 측정한 것이다. 그 결과 방사전력의 증가에 따라 유기되는 전압은 지수적으로 증가하였다. 그림 3.6은 송신 안테나를 수직방향, 높이를 1.3m, 루프 구조물을 송신 안테나와 정면 (0°), 합수 발생기의 이득을 -10dBm 으로 하였을 때의 방사 주파수에 따른 루프에 유기된 전압을 측정한 것이다. 그 결과 방사주파수 61MHz 에서 가장 크게 나타났으며, 그 이상 및 이하의 주파수에서는 지수적으로 감소하였다. 그림 3.7은 합수 발생기의 이득을 -20dBm , 루프 구조물을 송신 안테나와 정면 (0°)으로 하였을 때, 송신 안테나의 방향과 높이에 따른 루프 구조물에 유기된 전압을 측정한 것이다. 그 결과 송신 안테나의 방향이 수직일 때가 수평일 때보다 유기전압이 크게 나타났으며, 또한 송신 안테나의 높이가 루프 구조물의 높이와 같은 1.3m 에서 가장 크게 유기전압이 나타났다.

그림 3.8부터 그림 3.11까지는 유기전압의 각종 파형을 측정한 것이다. 그림 18은 송신 안테나를 수직방향, 높이를 1.3m, 루프를 정면 방향, 방사 주파수를 61MHz 하였을 때 유기전압을 측정한 파형이다. 최대 111.2Vp-p 가 측정되었다. 그림 3.9는 송신 안테나를 수직방향, 높이를 2.6m, 방사 주파수를 25MHz , 합수 발생기 이득을 $+10\text{dBm}$, 루프를 측면 (90°)으로 하였을 때 유기전압을 측정한 것이다. 유기전압 파형은 많은 왜형을 포함하고 있다. 그림

3.10은 송신 안테나를 수직방향, 높이를 1.3m, 방사 주파수를 61MHz, 흡수 발생기 이득을 +10dBm, 루프를 측면 (90°)으로 하였을 때 유기전압을 측정된 것이다. 그림 3.11은 송신 안테나를 수직방향, 높이를 1.3m, 방사 주파수를 61MHz, 흡수 발생기 이득을 -20dBm, 루프를 측면 (90°)으로 하였을 때 유기전압을 측정된 것이다. 그 결과 방사 에너지가 클수록 유기전압은 크게 나타났다.

위의 실험결과로부터 아래와 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 동일한 송신 파라미터에서 루프형 구조물에 유기되는 전압은 구조물의 수신방향에 따라 크게 다르게 나타나며, 그 차이는 약 6.5배가 되었다. 이는 루프형 안테나와 같이 구조물이 수신전력에 대하여 송신 안테나와 같은 방향성을 갖기 때문이다.
- 송신기의 송신 출력을 증가시킬 수록 루프형 구조물에 유기되는 전압은 지수적으로 크게됨을 알 수 있었다.
- 송신 주파수에 따른 유기전압은 61MHz에서 가장 크게 나타났다. 이는 송신 주파수와 구조물의 길이에 따른 파장과 관계된 것으로 판단되었다.
- 송신 안테나의 방사 위치와 방사형태에 따른 유기전압은 송신 안테나의 방사 높이가 수신 루프 구조물과 가장 가까운 거리에서 가장 크게 유기되었다. 이는 전파의 경로와 관계된 것으로 판단된다.

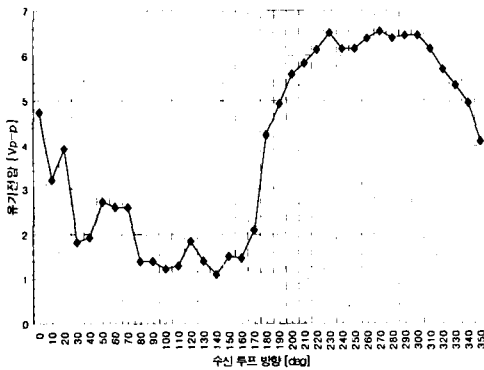


그림 3.4 유기전압 측정결과-1

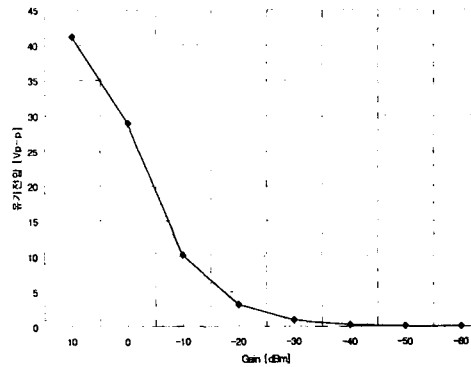


그림 3.5 유기전압 측정결과-2

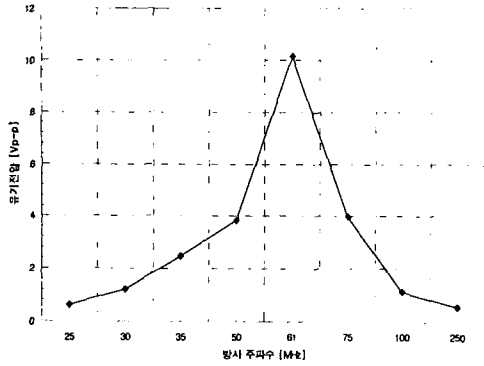


그림 3.6 유기전압 측정결과-3

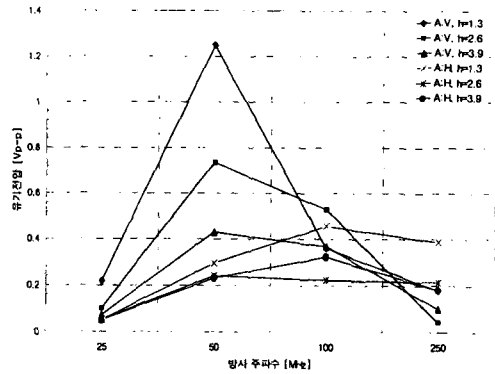


그림 3.7 유기전압 측정결과-4

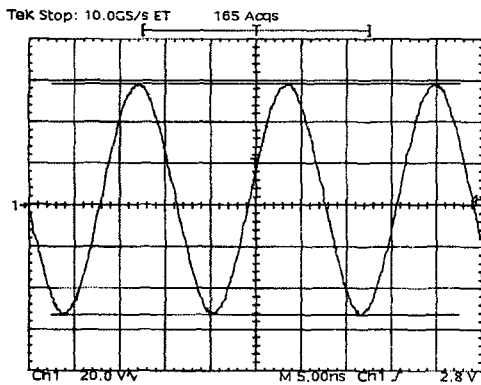


그림 3.8 유기전압 파형-1

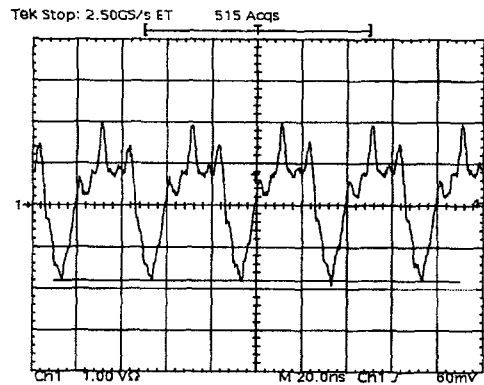


그림 3.9 유기전압 파형-2

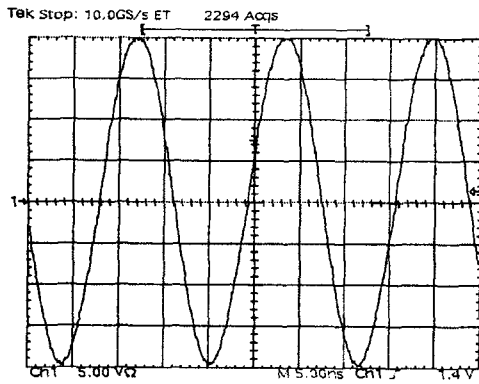


그림 3.10 유기전압 파형-3

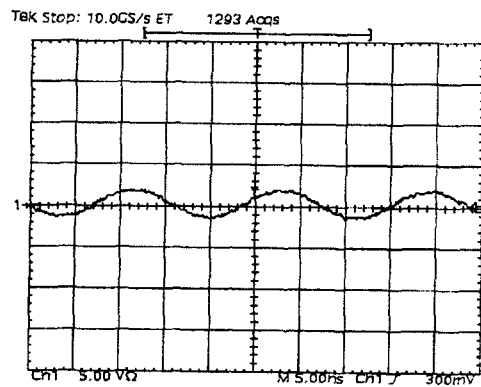


그림 3.11 유기전압 파형-4

4. 결 론

고주파 방사에 의한 수신 안테나로 작용하는 타워 크레인에서 감전 및 점화 위험성을 평가할 목적으로 실험실 수준에서 루프형 구조물에서 측정된 데이터를 통하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 동일한 송신 파라미터에서 루프형 구조물에 유기되는 전압은 구조물의 수신방향에 따라 큰 차이로 나타났다.
- (2) 송신기의 송신 출력을 증가시킬 수록 루프형 구조물에 유기되는 전압은 지수적으로 증가하였다.
- (3) 송신 주파수에 따른 유기전압은 61MHz에서 가장 크게 나타났다.
- (4) 송신기의 방사 위치와 방사 형태에 따른 유기전압은 송신기의 방사 높이가 수신 루프 구조물과 가장 가까운 거리에서 가장 크게 유기되었다.

위를 종합해 볼 때 루프형 구조물에 유기된 전압을 측정된 결과 심실세동을 일으키는 전류는 여러 가지 변수가 있으나 고소작업자의 경우 루프가 불연속 상태에서 인체에 접촉시 전격에 의한 추락재해와 스파크에 의한 화상재해가 발생될 수 있다는 것을 추정할 수 있었다. 또한, 이러한 현상들이 가연성 물질을 사용하는 화학공장 등에서 발생하는 경우는 루프의 불연속 지점에서 발생하는 스파크에 의한 화재·폭발을 유발시키는데 충분한 에너지가 됨을 확인할 수 있었다.

향후 이러한 실험과 현장측정 및 시뮬레이션을 통하여 우리 나라 주파수 분배에 따른 방 송용 송신 타워 등의 위치를 파악하여 전자파에 의한 감전 및 점화 위험성을 나타내는 취약지역을 조사한 후, 지리정보시스템 (GIS)을 구축할 필요가 있다. 또한, 좀더 정확한 이론 근거를 제시하기 위하여 전자파 차폐실내에서의 루프의 길이의 단계별로 변화, 안테나의 형상 및 종류에 따른 유기전압의 변화와 유기되는 전력 및 루프 부근에서 전자장의 세기 등을 측정할 예정이다.

참고문헌

- [1] E. W. Plischke and W. F. Wolff, "Tuned in or Turned on RF Radiation Study", ASSE Journal, pp. 12-15, June 1969
- [2] G. H. Butcher, P. S. Excell and D. P. Howson, "The Ignition Hazard Due to Radiation from Radio Transmitters", Postgraduate School of Electrical and Electronic Engineering, University of Bradford, UK., pp. 143-147, 1975.

- [3] A. J. Maddocks, and G. A. Jackson, "Measurements of Radio Frequency Voltage and Power Induced in Structures on the St Fergus Gas Terminals", *The Radio and Electronic Engineers*, Vol. 51, No. 4, pp. 187-194, April 1981
- [4] BS 6656, "Prevention of inadvertent ignition of flammable atmospheres by radio-frequency radiation", 1991.