

건물내 전력선에 존재하는 전도성 잡음에 관한 연구

(A Study on the Conducted Noise of the Intrabuilding Power Line)

鄭虎泳* · 康昌彥**
(Ho Young Jung · Chang Eon Kang)

要 約

본 논문에서는 전도성 잡음의 형태로 전파되는 건물내 전력선 상의 잡음 종류와 분포 특성을 살펴 보았으며, 세가지 방법으로 나누어 현장 시험을 수행하고 그 결과를 분석하였다. 측정 결과를 보면, 전 주파수 대에 걸쳐 존재하는 랜덤 잡음 외에도 60Hz전원 주파수와 동기되어 나타나는 고주파 잡음 및 TV, 모터 등에 의한 임펄스 잡음등이 건물내 전력선 전도 잡음의 주류를 이루고 있다.

ABSTRACT

In this paper, the characteristics of the conducted noise on the intrabuilding power line are measured and analyzed with three steps. In the result, the conducted noise on the intrabuilding power line is mainly divided into three types: the random disturbance which is the background noise with full band spectrum, the harmonic noise correlated with the 60Hz power frequency, and the periodic impulse noise of 120 Hz synchronized with the 60Hz power frequency.

I. 서 론

최근 디지털 기술과 반도체 기술 등의 급격한 발달에 따라 전자 산업 및 통신 기술에 눈부신 발전을 가져왔으며, 기기를 가볍게, 얇게, 작게, 빠르게, 광대역 특성을 갖게 만들 수 있게 됨에 따라 극히 적은 구동 에너지로도 동작을 실현하게 되었다. 그러나, 인위적인 제어가 어려운 자연현상을 원인으로 하는 미소한 전자파 장애(EMI : Electromagnetic Interference)에도 민감하게 반응하여 오동작을 일으키게 되므로써 EMI / EMC가 새롭게 중요한 문제로 대두되고 있다.⁽¹⁾

EMI 현상에는 3가지 요소가 존재하게 되는데 그림 1과 같이 전도나 방사형태의 전자에너지를 방출하는 잡음원과 전기 에너지를 전달하는 전파 매개체 및 잡음에 의해 피해를 받는 피해기이며 이러한 요

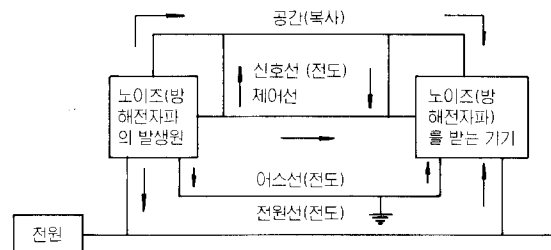


그림 1. EMI의 3가지 요소
Fig 1. Three elements of EMI

* 延世大 電子工學科

** 正會員, 延世大 電子工學科 教授

소 중에서 어느 한가지만 배제되어도 전자 방해 현상은 일어나지 않게 된다.

전력선을 매체로 전달되는 잡음은 전력선이 고유하게 가지고 있는 잡음과 이에 유입되는 잡음이 더해진 교란현상(Disturbance)으로 간주될 수 있는데, 이것을 전원선방해(PLD : Power Line Disturbance)라 하여 EMI/EMC의 가장 원초적인 문제로 취급하고 있다. PLD는 고주파 잡음이나 임펄스에 따른 과도현상과 외부 불요전자파 신호의 유입에 이르기까지 전력선에 미치는 외란 현상을 총칭하는 것으로 여러가지 전자용설비 또는 시스템의 정상적인 동작에 외란을 주는 전기환경오염이다.

대부분의 전기 에너지 이용설비는 어느정도의 전자파 장애를 일으키며, 이러한 잡음은 공중을 통한 전자 복사의 형태나 전력선과 같은 도선을 통한 전도의 형태로 전달된다. 본 논문에서는 이와같이 전력선을 매체로 피해기에 전달되는 전도성 잡음 중에서 주로 건물내 전력선상에 존재하는 잡음을 현장시험을 통해 측정하고 이를 분석·고찰하였다.

II. 건물내 전력선 잡음 종류 및 특성

건물내 전력선 잡음은 SCR과 같은 개폐 소자나 power supply등에 의해 야기되는 60Hz와 동기된 고조파 잡음, 전력선 주파수와 동기되어 동작하지 않는 부하들에 의해 발생하는 백색성 잡음, 60Hz 주파수와 상관 관계가 없는 선 스펙트럼을 형성하는 잡음으로서 주로 TV 수상기에 의해 생기는 비 동기 주기성 잡음, 그리고 60Hz 전력 전압의 양 및 부 사이클과 동기되어 대략 120Hz의 주기로 발생하는 스파이크 성 임펄스 잡음 등이 있으며, 잡음 전력의 레벨은 주파수가 증가함에 따라 점차 감소하는 경향을 보인다. 그리고 피해기에 가장 가까이 있는 잡음원이 대부분의 잡음 성분을 형성하고 있으며 피해기에 오동작을 일으키는 주된 원인이 되는 한편, 이들은 관측 장소와 시간에 따라 많은 변화를 나타낸다.⁽²⁾

전력선상의 잡음은 대체로 다음 세가지 종류로 분류할 수 있다.

1. 60Hz 전력 주파수와 동기된 잡음

이러한 잡음은 SCR과 같은 개폐 소자나 전원(power supply)들에 의해 야기된다. SCR을 어느 임계값을 통과하는 전력 전압에 대해 개폐 동작을 행

하며 전력 전압은 사이클 주기를 가지고 있어서 SCR은 60Hz나 그 정수배 주파수에서 개폐동작을 행한다. 따라서 60Hz나 그 정수배 주파수의 고조파 잡음을 유기하게 되며 60Hz 전력 주파수와 동기되어 나타나거나 그 주위에서 선 스펙트럼으로 발생한다. SCR은 거의 모든 배전선의 소자로서 도처에 사용되고 있으며 조도조절기(light dimmer)등의 전기적 부하의 부품으로 쓰이고 있다.

2. 백색성 잡음

이러한 잡음은 전력선 주파수와 동기되어 동작하지 않는 부하들에 의해 발생하는 것으로 전기드릴 등에 쓰이는 일반 전동기에서 발생하는 잡음은 이러한 잡음의 좋은 예가 된다. 브러쉬를 가진 전동기들은 전동기의 속도에 따라 변하는 시간 간격에 따라 전류의 스위칭 현상을 일으키게 되며 사실상 이러한 잡음은 시불변 선 스펙트럼이 없는 백색 잡음성 스펙트럼(smooth spectrum)을 가진다고 간주할 수 있다.

3. 임펄스 잡음

임펄스 잡음에는 천둥이나 자동 온도 조절기(thermostats) 및 다른 스위칭 현상 등에 의해 발생하는 단발 임펄스 잡음이 있고, 비동기성 임펄스 잡음으로는 60Hz 전력 주파수와 상관 관계가 없는 선 스펙트럼을 형성하는 잡음으로서 가장 일반적인 잡음원으로는 TV 수상기를 들 수 있다. TV 수상기는 그 정수배 주파수의 톤(tone)을 발생한다. 임펄스 잡음의 특성을 요약하면 다음과 같다.

(1) 임펄스의 세기는 대개의 경우 배경 잡음 레벨에 비해 10dB이상 크고 40dB를 초과할 수도 있다. 임펄스의 강도는 잡음원이 수신기에 얼마나 가깝게 위치하고 있는나 하는 것 이외에도 잡음원의 종류에 따라 달라진다.

(2) 현저하게 나타나는 임펄스 열의 임펄스 주파수는 대개 120Hz인데 이는 60Hz의 전력 전압의 양 및 부 사이클과 동기화되어 있다.

(3) 120Hz 임펄스 잡음에 대해 임펄스의 폭은 임펄스 주기의 수 퍼센트 만큼 변화할 수 있다.

(4) 임펄스의 폭과 임펄스 사이의 시간간격은 측정된 진폭의 레벨에 따라 결정된다.

(5) 우리가 원하는 신호뿐만 아니라 잡음도 감쇄의 영향을 받기 때문에 피해기에 가깝게 위치한 잡음원이 전도성 잡음 구성에 가장 심한 영향을 미치는데 이는 네트워크의 감쇄가 클 때 특히 그러하다.

(6) 어떤 잡음원은 배경 잡음 전력을 증가시키고 또 어떤 잡음원은 임펄스의 잡음 전력을 증가시킨다. 2개의 잡음 형태의 전력을 모두 증가시키는 잡음원도 존재한다.

III. 잡음 측정 시험

1. 잡음 측정 방법

잡음 측정에는 다음과 같이 두가지 방법이 있다. 첫째, 측정의 대상이 되는 잡음이 갖는 일반적 성질을 표현할 수 있도록 기초가 되는 여러 양을 측정하는 것이고, 둘째 전력선 통신과 같이 특정 목적에 대한 장애의 정도를 나타내는 양을 집중적으로 측정하는 방법이 있다.

원래, 잡음은 그 명칭이 말해주듯 매우 복잡하고 또한 불규칙한 시간적 변화를 수반하는 전기적 양이므로 이것을 완전하게 표현한다는 것은 불가능하지만, 통계적인 방법에 의해 어느정도 정확한 표현이 가능하기도 한다. 기초적 측정에 속하는 주된 항목으로는 다음과 같은 것이 있다.⁽³⁾

- (1) 잡음 전압의 측정
- (2) 잡음 파형의 관측
- (3) 주파수 스펙트럼의 측정
- (4) 잡음 발생원의 측정

전력선에 존재하는 잡음특성은 측정하는 시기, 장소 등에 따라 많은 차이를 보이고 있다. 본 논문에서는 II 절에서 언급한 전력선의 전도성 잡음을 측정하기 위해 다음과 같은 세가지 방법을 이용하여 현장 시험을 수행하였다.

[방법 1]

먼저 객관적인 측정 데이터를 얻기 위해 전력선 평균 임피던스 표준화 네트워크인 LISN을 이용하여 잡음 전압을 측정하는바 측정을 위한 회로는 그림 2와 같으며 춘계 연세대학교 공학관의 100V, 220V 전원에서 발생하는 잡음 전압을 측정하였다.

220V 전원 잡음 측정에서는 LISN을 통과한 잡음 신호에 6dB 감쇄기를 통과시킨 후 Analyzer에 입력한 것은 220V 전원에 연결된 LISN출력 레벨이 Interference Analyzer의 한계 입력 레벨을 초과하여 계측 기기의 보호를 위해 6dB 감쇄기를 사용하였다. 따라서 220V 전원 전도성 잡음 측정 결과를 분석할 경우에는 6dB의 감쇄량을 고려해야 할 것이다.

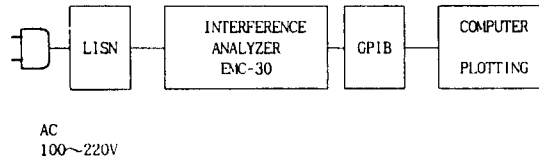


그림 2. LISN을 사용한 전력선 측정 회로 구성

Fig 2. Block diagram of the power line noise measurement system using LISN

[방법 2]

건물내 전력선 상에 존재하는 잡음 특성 중 고주파 잡음을 조금 더 상세히 살펴보기 위해 그림 3과 같은 측정 시험도를 구성하여 연구동 건물내에 있는 220V 전원으로부터 잡음 데이터를 얻었다.

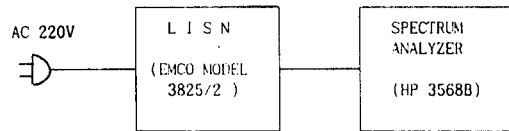
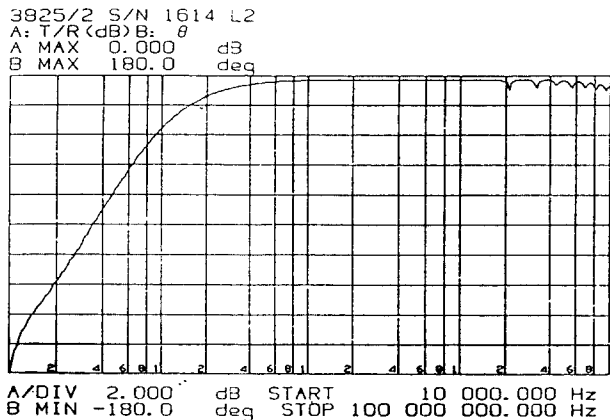


그림 3. LISN을 이용한 전력선 잡음 측정 시험도(방법 2)

Fig 3. Block diagram of the power line noise measurement system using LISN(method 2)

본 측정에서 사용된 EMCO MODEL 3825/2 LISN은 TWO-CHANNEL HPF 네트워크로 VDE 및 FCC가 정하는 표준에 따라 고주파의 전도성 잡

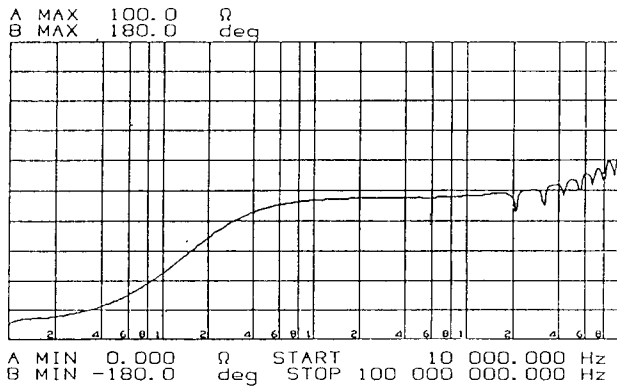


(a) LISN의 주파수에 따른 감쇄 특성

(a) Attenuation characteristic of LISN

그림 4. LISN의 주파수 특성

Fig. 4. Frequency characteristics of LISN



(b) LISN의 임피던스 특성

(b) Attenuation characteristic of LISN

그림 4. LISN의 주파수 특성

Fig. 4. Frequency characteristics of LISN

음 측정이 가능하도록 설계되어 있다. LISN의 주파수 특성을 살펴보면 140kHz 이하의 주파수에서는 감쇄가 급격하여 10kHz에서 최고 -20dB 정도의 심한 감쇄를 보여주고 있으므로 140kHz 이하의 대역에서 측정된 잡음레벨은 이러한 감쇄 정도를 고려하여 판단하여야 할 것이다. LISN의 주파수에 따른 감쇄 임피던스 특성을 그림 4에 보였다.

[방법 3]

건물내 전력선에 존재하는 잡음 형태 중에서 임펄스 잡음(impulse noise)은 전력선 채널에서 60Hz의 전력신호와 동기되어 스위칭 작용을 하는 부하, 즉 SCR과 같은 스위칭 기기들에 의해 발생되는데, 이러한 주기적인 충격성 잡음을 살펴보기 위해 그림 5와 같은 시험 구성도를 이용하여 측정시험을 수행하였다. 주 잡음원으로는 모터(motor)와 TV수신기, 스위칭 전원(switching power supply), 조도 조절기 등이 있으나 조도 조절기에서 발생하는 60Hz와 동기된 잡음을 주로 고려하였다.

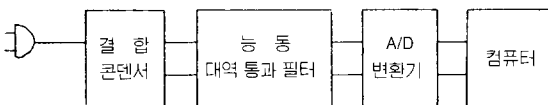


그림 5. 잡음 측정에 사용된 시스템 구성도

Fig 5. Block diagram of the noise measurement system

위의 측정 시험 구성도를 보면, 120V 벽면 콘센트에서 HPF까지의 간격은 12m이고, 조도 조절기는

정격 전압 100V, 정격 소비전력 60W인 효성 조명의 AURORA 8000을 사용하였으며 HPF와의 간격은 3m였다. 측정시각은 00시부터 02시 사이였으며, 이 시간에 측정된 연구동은 주로 대형 모터를 이용한 기기들과 컴퓨터 등의 기기들이 동작하고 있었는데, 거의 일정한 상태를 유지하고 있었다. 60Hz의 고 전압을 차단 시키기 위한 HPF와 BPF를 직렬로 연결시켜준 전체 여파기의 특성은 그림 6과 같으며 이 측정에서 사용된 A/D 컨버터는 Data Translation社의 DT 2827로서 48kHz의 표본화율로 잡음을 A/D 변환하였다.

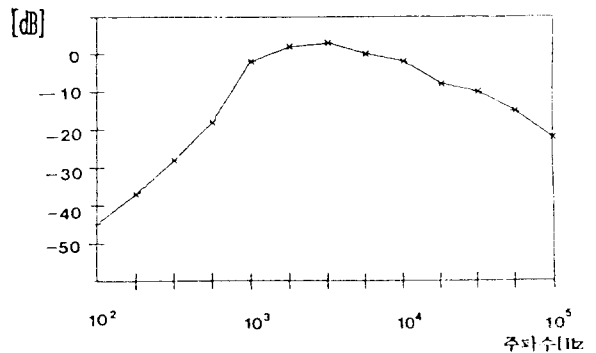


그림 6. 여파기의 주파수 특성

Fig 6. Frequency characteristic of BPF

그림 7은 조도 조절기의 구조를 나타낸 것이다. 조도 조절기는 백열등에서 연속적으로 변화하는 밝기를 제공하기 위해 그 내부에서 다이리스터나 트라이악을 사용하는데 이것을 높은 레벨의 임펄스성 고조파 잡음을 유발하는 잡음원이 된다. 그림에 나타나 있는 조도조절기는 트라이악을 사용해서 스위칭을 행하고 있고 고조파 잡음의 억압을 위해 저역 통과 필터를 사용하고 있다. 이 그림에서 트라이악은 처음 반 주기의 앞 부분에서의 최대 밝기를 생성하기 위해 닫히고 밝기가 점점 약해지다가 처음 반 주기의 뒷부분에서는 최소의 밝기를 가지면서 영 교차점 동안에는 열리게 되고 다음 반 주기의 뒷부분에서는 처음에는 최대의 밝기를 가지다가 밝기가 약해지는 동작을 되풀이하면서 60Hz 전력신호와 동기된 주기적인 임펄스 잡음을 생성한다.

이러한 임펄스 잡음은 60Hz의 짝수배와 홀수배의 고조파로 이루어지고 진폭은 램프의 부하와 조도 조절기의 내부에 있는 저역 통과 필터에 의해 결정된다.

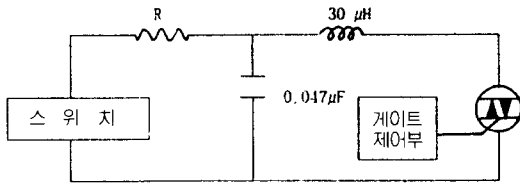


그림 7. 조도조절기의 구조
Fig 7. Light dimmer circuit

IV. 측정 결과 및 검토

1. LISN과 스펙트럼 분석기를 이용한 측정결과 및 검토(방법 1)

방법 1을 이용하여 100V 전원에서 측정된 결과는 그림 8에 나타내었고, 200V 전원에서 측정된 결과는 그림 9에 나타내었다.

측정 결과를 보면, 일반 건물내 전력선이 가지는 잡음 특성과 같이 주파수 증가에 따라 잡음 전압이 감소하는 현상을 나타내 보이고 있으나 150Hz 근방에서부터 급격한 잡음 전압의 증가가 관찰되고 있다.

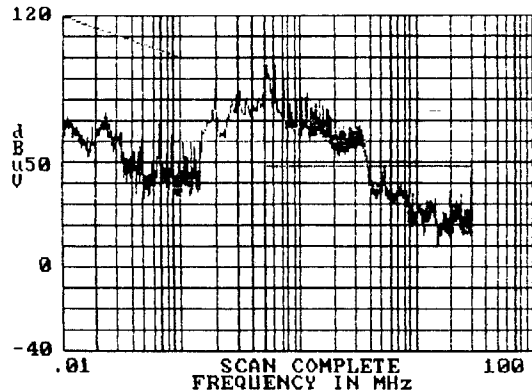


그림 8. 연구동 건물내 100V 전력선 잡음 분포 특성
Fig 8. 100V power line noise spectrum of the research building

증가된 잡음 전압은 500kHz부터 다시 감소하는 현상을 보이고 있는 바 이는 150kHz~500kHz에서의 고잡음원의 접촉으로 판단되기 보다는 Interference Analyzer의 Scanning BW에 기인한 것으로 판단된다. 이는 실험에 사용한 Interference Analyzer의 전압 계산 주파수 간격이 0~150kHz에서는 200Hz 단위로, 150kHz~500kHz에서는 9kHz 단위로 계산되기 때문이다.

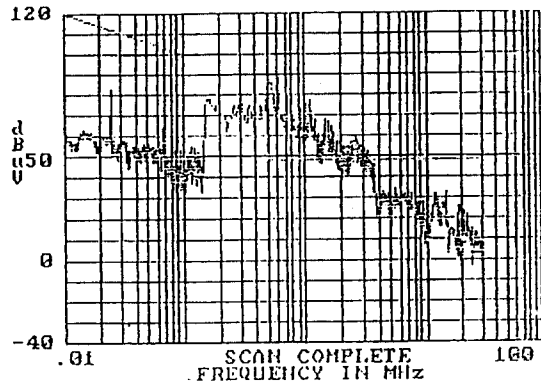
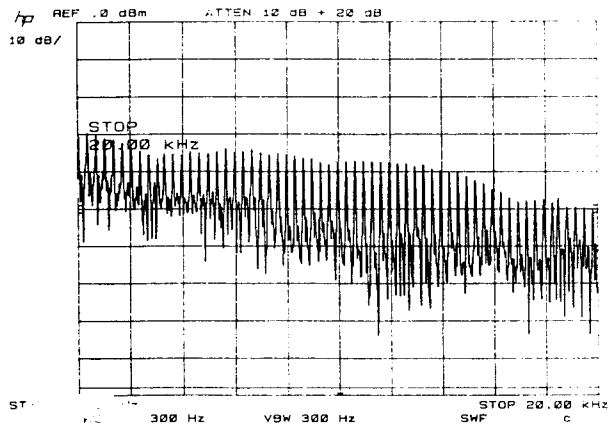


그림 9. 연구동 건물내 200V 전력선 잡음 분포 특성 (6dB 감쇄)
Fig 9. 220V power line noise spectrum of the research building(6dB attenuation)

10kHz 근방에서는 잡음 전압이 68dB μ V 정도이며 100kHz에서는 40dB μ V 정도를 나타내고 있어 전력선상의 잡음에 대한 규제로서의 국제 기구인 CISPR의 규정치 이하를 보인다. CISPR의 잡음 전압 규제안은 주파수가 525kHz 이상 1605kHz 이하 범위(중파 라디오 주파수)에서 잡음이 65dBmV 이하의 값을 가져야 한다.

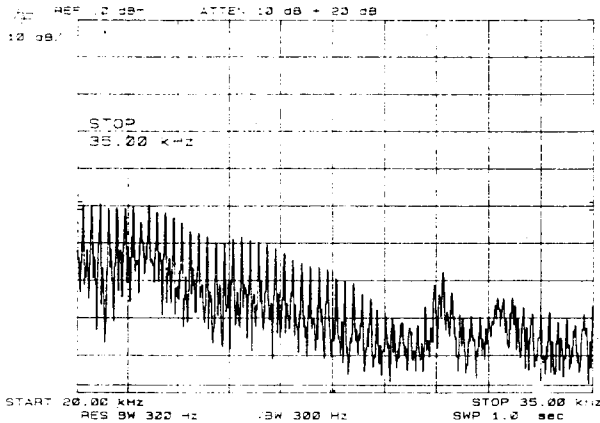
2. 고조파 잡음 측정 결과 및 검토(방법 2)

그림 10은 그림 3의 측정회로를 이용하여 얻은 전력선 상의 잡음 분포를 보여주고 있다. 그림 10의 (a)와 (b)는 각각 50kHz~20kHz 및 20kHz~35kHz 대역



(a) 5kHz~20kHz 사이의 잡음 분포 특성
(a) Noise spectrum over the 5~20kHz frequency band

그림 10. 주파수에 따른 잡음 분포 특성
Fig. 10. Noise spectrum



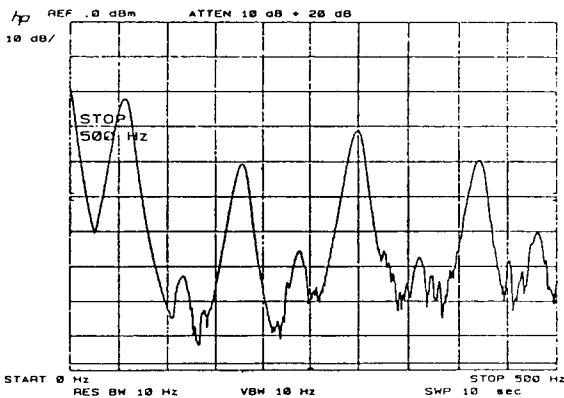
(b) 20kHz ~ 35kHz 사이의 잡음 분포 특성
 (b) Noise spectrum over the 20~35kHz frequency band

그림 10. 주파수에 따른 잡음 분포 특성
 Fig. 10. Noise spectrum

사이의 주파수에 따른 잡음 분포 특성을 나타내고 있으며 60kHz 전원 주파수에 동기되어 나타나고 있는 고조파 잡음을 뚜렷하게 볼 수 있다.

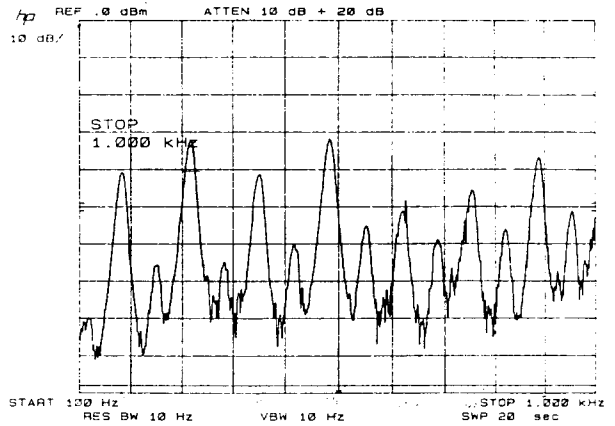
전체적으로 주파수가 증가할 수록 잡음 전력의 크기가 점차 감소하고 있음을 알 수 있으며, 최 상위 레벨을 따라 움직이고 있는 고조파 잡음에 비해 상대적으로 하위레벨을 따라 보이는 자취는 랜덤 잡음으로 분석된다.

그림 11은 주파수 범위가 1kHz까지의 잡음 특성을 나타낸 것이다. 그림에서 60kHz의 정수배에 해당하는



(a) 0~500kHz 사이의 잡음 특성
 (a) Noise spectrum over the 0~500kHz frequency band

그림 11. 0~1kHz 사이의 잡음 특성
 Fig. 11. Noise spectrum over the 0~1kHz frequency band



(b) 100Hz ~ 1kHz 사이의 잡음 특성
 (b) Noise spectrum over the 100Hz~1kHz frequency band

그림 11. 0~1kHz 사이의 잡음 특성
 Fig. 11. Noise spectrum over the 0~1kHz frequency band

주파수 마다 고조파 잡음을 확실하게 볼 수 있으며 짝수배의 고조파 잡음보다 홀수배의 고조파 잡음 전력이 더 크게 나타나고 있다. 그림 11(b)를 자세히 살펴보면 각 고조파 사이에 랜덤 잡음이 존재하고 있음을 알 수 있으며 홀수번째 잡음 중에서도 주기적으로 더 작은 고조파 전력이 나타나고 있음을 알 수 있다.

그러나 주파수가 증가할 수록 잡음 전력의 크기가 점차 줄어들어 100kHz 이상의 주파수 영역에서는 위와 같은 특성이 거의 없어지는 현상을 보이고 있다. 따라서, 피해기에 오동작을 유발하는 잡음 주파수는 고주파 성분보다는 저주파 성분의 잡음이 더 주요한 요인이 됨을 알 수 있다.

3. 결합 장치를 이용한 주기성 임펄스 잡음 측정 결과 및 검토(방법 3)

측정 결과는 그림 12와 같은 잡음 특성을 얻을 수 있는데, 이 잡음 측정에서 트라이악(triac)을 가진 조도 조절기의 직접적인 영향으로 120Hz의 큰 충격성 잡음이 생기고 그 사이에 작은 크기의 충격성 잡음이 주기적으로 관찰되고 있다.

트라이악은 60Hz에 동기되어 60Hz 한 주기 동안에 2번 충격성 잡음을 발생시키므로 이로 인해 120Hz마다 충격성 잡음은 배전선의 3상에 각각 120Hz로 발

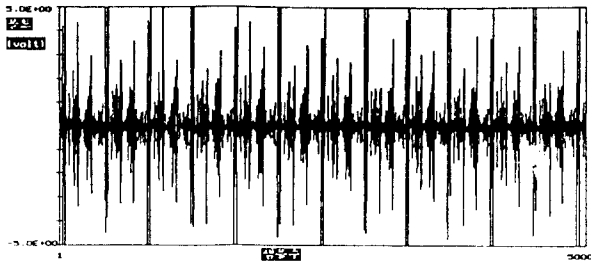


그림 12. 측정된 잡음 특성(시간 영역)
Fig. 12. Measured Noisetime domain)

생하는 주기성 충격성 잡음이 유기되어 나타나는 것으로 해석할 수 있겠다. 충격성 잡음은 조도 조절기를 연결시키기 전부터 관찰되었으나 조도 조절기를 연결시켜 조명을 최대로 해준 이후에 120Hz 주기의 충격성 잡음이 더 크게 관측되었다.

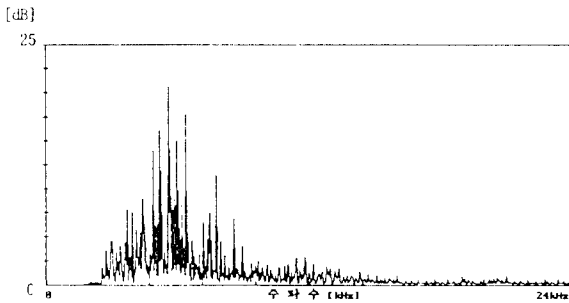


그림 13. 측정된 잡음의 주파수 특성
Fig. 13. Spectrum of the measured noise

이들에 대한 푸리에 변환(Fourier Transform: FT)을 시킨 것이 그림 13에 나타나 있다. 단위를 볼트(volt)로 나타내었을 때, 약 5kHz 이하의 성분은 여과기를 통과하면서 충분히 감쇄되었으나 5~8kHz의 성분은 원래의 잡음 성분이 크기 때문에 그 양이 저주파대역보다 덜 감쇄되어 나타나고 있으며 FFT를 시킨 표본들 간의 해상도가 낮아 고조파 성분이 분명하게 나타나지 않고 있다.

VI. 결 론

EMI에 의해 피해를 받는 것은 통신 장비, 레이더, 컴퓨터로부터 인간에 이르기까지 실로 다양하며, 이

러한 전자파 방해의 영향은 잡음원의 세기, 전달경로, 잡음원으로부터의 거리, 피해기의 내력(susceptibility) 정도에 따라 좌우된다.

대부분의 전자기기들은 전력 시스템과 연결되어 있기 때문에 공급되는 전력의 질이 어느정도 양호한가 하는 문제는 최근에 와서 수요자나 공급자 모두에게 대단히 중요한 문제가 아닐 수 없다[1].

본 논문에서는 전도성 잡음의 형태로 볼 수 있는 랜덤잡음, 60Hz 전원 주파수와 동기된 고조파 잡음 및 임펄스 잡음으로 대별할 수 있으며 이들은 주파수가 증가함에 따라 점차적으로 감소하는 경향을 띄고 있다. 전체적인 건물내 전력선 상의 잡음 분포를 보면 10kHz 부근에서 잡음 전력이 68dB μ V 정도를 보이고 있으며 이는 525kHz 이상 1605kHz 이하에서 68dBmV 이하가 되도록 규정하고 있는 CISPR의 규정치를 만족시키는 값이다. 저주파 대역에서는 60Hz 전원 주파수와 동기되어 나타나는 고조파 잡음이 뚜렷하게 측정되며 100kHz 이상의 주파수 대역에서는 감쇄 현상으로 인해 이러한 특성이 거의 없어지고 있다. 충격성 잡음은 전자기기의 오동작 뿐만 아니라 크기가 클 때에는 수명 단축등의 악 영향을 끼치기 때문에 중요하며 건물내의 경우 120Hz로 발생하는 임펄스 잡음이 뚜렷하게 나타나고 있다.

전력선 상에 존재하는 전도성 잡음의 특성은 주파수, 시간, 측정 장소 등에 따라 다양하게 변화하기 때문에 장시간에 걸친 시험이 요구되며 EMC 환경을 이루기 위해서는 이와 같은 전도성 잡음뿐만 아니라 복사 형태를 갖는 잡음에 대해서도 상세한 특성 분석이 이루어져야 할 것이다.

參 考 文 獻

- (1) Donald, R.J. White, "EMC HANDBOOK", Vol. 3. WHITE
- (2) A.A. Smith, "Power line noise survey.", IEEE Trans. Electromagn. Compat., vol. EMC-14, pp.31-32, Feb. 1972.
- (3) M.H.L. Chan and R.W. Doladson, "Amplitude, width and interarrival distributions for noise impulses and bit error rates on intrabuilding power line communication network.", IEEE Trans. Electromagn. Compat., vol. 31, pp.320-323, Aug. 1989

(4) R.T. Disney A.D. Spaulding, "Amplitude and statistice of atmospheric and man-made radio noise," ESSA, Tech. Rep. ERL 150-ITS 98, Feb. 1970.

(5) "Mearsurement of white noise power density", Hewlett-Packard Co., Palo Alto, Calif., Application Note 63 C, appendix B.