

요 약

실내 및 근거리에서 이용될 수 있는 무선통신의 보호를 위해, 주변 전자과환경의 상황을 일반적인 CISPR 측정 시스템을 이용하여 복사성 잡음원의 위치와 진폭을 탐지하는 방법과 알고리즘을 소개하고, 여기서 탐지된 잡음원의 위치와 진폭에 대한 탐지 정밀도에 대해 분석함으로써 보다 신뢰성 있는 EMC 설계에 이용할 수 있을 것이다.

I. 서 론

전자기기, 장치의 고속화, 휴대전화의 보급 증대, 전파이용이 급증함에 따라 이들로부터 발생하는 전자파에 의해 데이터 통신 품질의 열화와 라디오, 텔레비전 등의 수신장해와 기타 기기의 오동작 등, 다양한 장애의 원인이 될 가능성이 있다.

이에 따라 전자기기, 장치로부터 발생하는 전자파 저감을 위해 CISPR 등에서는 복사성 장애 전자파의 허용치 및 측정법을 국제적으로 표준화하고, 국내에서도 이에 준하는 규제가 시행되고 있다.

일반적으로 전자파의 저감은 매우 어렵고 첨단 설계기술과 경험이 요구되며, 이것은 전자파 발생원을 특정지을 수 없기 때문이다. 여기서 본 연구의 목적은 전자기기, 장치의 잡음 신호원 위치와 진폭을 탐지하는 기술을 개발하여 전자파 저감을 위한 유효한 수단으로 사용하기 위해서이다.

잡음 신호원을 탐지하는 방법으로 종래에는 근거

리 자기장 프로브를 사용하여 근거리장 측정을 행하는 방법이 있지만, 원거리장 장애 전자파 측정치와의 상관관계가 불분명하고 또한 측정자가 프로브를 손에 들고 피시험체에 접촉하기 때문에 인체가 전자계를 교란하여 정확한 측정이 불가능하였다. 한편, 원거리장 전자계 측정치로부터 신호원을 탐지하는 방법으로 합성 개구면법^[1], MUSIC 법^[2], 최대 entropy 법^[3] 등이 제안되고 있지만, 어느 것도 전자계의 진폭과 위상 모두에 대한 측정치가 필요하기 때문에 측정이 어려우며 CISPR 장애 전자파 측정 시스템만을 이용하는 것이 불가능하고, 또한 일반 전자기기의 복사성 장애 전자파의 위상이 불규칙하게 변동하기 때문에 위상의 정확한 측정이 어렵다는 문제가 있다.

따라서, 본 연구에서는 이러한 문제를 해결하는 새로운 방법으로 전자계 산란문제에 이용되고 있는 이산적 특이점법 및 위상 근사치를 이용하는 탐지 이론^[5]을 응용하여 전자계 진폭정보 만으로부터 신호원 탐지를 행하는 방법을 제안한다. 이 방법은 전자계 측정치의 진폭만을 이용하기 때문에 일반적인 CISPR 복사성 장애 전자파 측정시스템을 그대로 이용할 수 있고, 특히 신호원의 위상이 변동하는 경우에도 적용 가능하다는 장점이 있다.

본 연구에서는 이 방법을 이용하여 전자파 암실에 배치된 1개 이상의 신호원을 대상으로 한 컴퓨터 시뮬레이션을 위한 알고리즘을 개발하였다. 또한 복수 신호원의 상가성(相加性) 계산을 개선하여 탐지 정밀도 향상 방법을 제시하였으며, 특히 신호원 위치의 영향과 계산속도를 분석하였다.

II. 신호원 탐지방법

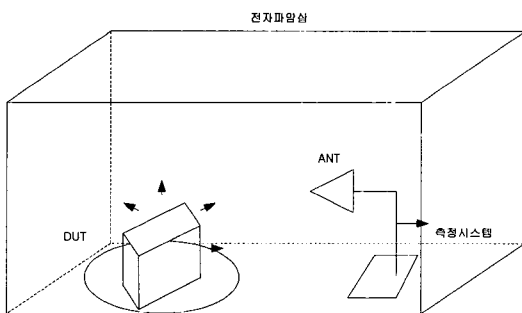
2.1 복사성 잡음의 측정법

복사성 잡음의 측정법은 국제적으로 표준화가 진행되고 있고, 현재의 규격 대상주파수는 30 MHz~1 GHz 까지로, 측정 개요를 [그림 1]에 나타내었다.

측정은 외래 전자파와 벽면 등에 의한 반사영향을 제거하기 위해 6면 또는 5면 전자파 암실과 야외 시험장 등의 측정시설 내에서 수행한다. 1 회전하는 턴테이블 위에 피시험체를 설치하고 일정거리에 위치한 안테나로 그 복사성 전기장을 수신하여 측정된 값과 CISPR 한계치를 비교하여 적합성을 평가하고 있다.

2.2 장애 신호원 모형

먼저, 전자 기기 및 장치에서 발생되는 잡음 신호원을 모형화하기 위해 기본 좌표계를 [그림 2]와 같이 설정한다. 여기서, 설정된 신호원의 좌표위치는 $Q_i(x_i, y_i, z_i)$ 이며, 신호원은 전류진폭이 ($J_i = J_{Ri}, J_{Ii}$)인 미소다이폴 신호원을 설정하였다. 단, 간략화하기 위해 전류 벡터는 z 성분만이 존재한다고 가정한다. 첨자 i 는 i 번째 신호원을 나타내며, 전류원의 총수를 N 으로 두었다. $P_m(x_m, y_m, z_m)$, ($m =$



[그림 1] 복사성 잡음의 측정 개요.

$1, 2, 3, \dots, M$)은 측정점의 좌표로 [그림 3]에 나타난 일정 측정반경을 갖는 원통 상의 점이고, M 은 총 측정점수이다.

E_{mi} 는 전류원 J_i 에 의해 만들어진 측정점 P_m 에서의 전기장 세기이다. 단, 이것은 준정전계 및 유도계를 무시하고 원거리장 복사계만으로 근사화한 것이다.

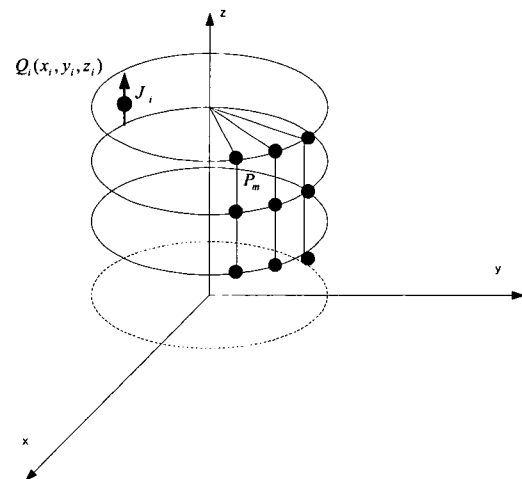
임의의 원거리장 관측점에 있어서 복사전기장 E_{mi} 를 식 (1)과 같이 정하고 이하의 전기장 계산에 이용한다.

$$E_{mi} = J_i \exp(-jk\hat{r}_i)/\hat{r}_i \quad (1)$$

여기서, J_i 는 i 번째 신호원의 복소진폭, j 는 허수 단위, k 는 파수 ($2\pi/\lambda$), \hat{r}_i 는 i 번째 신호원과 측정점 사이의 거리로

$$\hat{r}_i = \sqrt{(x_m - x_i)^2 + (y_m - y_i)^2 + (z_m - z_i)^2} \quad (2)$$

이다.



[그림 2] 기본 좌표계.

2-3 탐지 계산 방법

2-1절에서 수행된 EMI 측정방법을 이용하여 1회전하는 턴테이블 위에 피시험체를 설치하고 일정 거리에 위치한 안테나로 그 복사성 전기장을 측정하여 컴퓨터를 이용하여 이 수신신호를 수치화하고 데이터 파일링한다. 신호원의 위치와 진폭을 탐지기 위해 사용되는 계산의 기본 데이터는 2-1의 측정방법에 의해 얻어진 전기장 측정치를 입력 데이터로 이용한다.

잡음 신호원의 위치와 진폭은 아직 미지이며, 여기서의 문제는 이 설정위치와 전류원 진폭을 정확하게 추정하는 것이다.

다음에, 실제 전자기기에 있어서는 그 내부에 흐르는 각각의 디지털신호 고조파 성분이 불규칙하게 위상변동하여 이로 인한 복사성 장애 전자파의 고조파 성분도 20 rad 이상의 큰 위상 변동을 갖고, 또한 복수 신호원의 전기장 상가성은 전력가산에 가까운 특성을 보인다고 알려져 있다.

따라서 본 탐지 계산에 있어서도 신호원의 위상변동은 불규칙하고 복수 신호원의 상가성이 전력가산이라고 가정하여 전기장 계산에 다음 식을 이용한다.

$$E_m = \sqrt{\sum_{i=1}^N (E_{mi})^2} \quad (3)$$

III. 컴퓨터 시뮬레이션 알고리즘

3-1 데이터 파일링

일반적으로, 전자계는 정전계, 유도계, 복사계에 의한 합성 벡터값이지만, 신호원으로부터 신호 파장 길이 정도 이상 위치하고 있으면 복사계만으로 근사 가능하다. 따라서, 임의의 관측점에 있어서 복사 전기장 E는 식 (1)을 이용한다.

좌표 원점을 중심으로 한 관측 반경을 일정하게

하여, [그림 2]와 같이 각도를 변화시키면서 원통형 주사를 수행한 경우에 관측점 높이마다의 복사전기장의 집합을 파일링하여 탐지 계산의 입력 데이터로 이용한다.

이 데이터 파일을 원통방향의 패턴 그래프로 표시한 예를 [그림 3]에 보였다. 여기서, 좌표원점은 턴테이블의 중심 바닥면이고, 각도 0 도가 +x 방향이고, 각도 90 도가 +y 방향이다. 그림 중의 1 m~3 m는 관측점의 높이이고, 원의 중심(-20 dB)부터 외원(10 dB)에 가까워지는 경우 전기장 레벨이 높아지는 것을 나타낸다. 그림 (a)는 6면 전자파 암실(바닥면을 포함하여 전체 내면에 전파흡수체가 있는 경우)이며, 그림 (b)는 5면 전자파 암실(벽면과 천정은 전자파 흡수체가 있고 바닥면만 반사하는 경우)에 따른 계산 결과이다.

아무래도 2개 신호원의 위상관계에 의해 상호간섭이 발생하여 복잡한 패턴을 나타내고 있다. (a)에서, 관측점이 높아짐에 따라 전기장 레벨이 낮아지는 것은 신호원으로부터 관측점까지의 길어지기 때문이다. 또한 (b)에서, 특히 바닥면으로부터의 반사파의 영향을 받아 패턴이 변화하고 있는 것을 알 수 있다.

3-2 시뮬레이션 조건

1개 신호원을 대상으로 한 경우의 신호원 탐지 컴퓨터 시뮬레이션을 수행하였다. 조건은 <표 1>과 같으며, 관측반경 등은 전자파암실에 있어서 설정 가능한 값이다.

<표 1> 시뮬레이션 조건.

주파수 40 MHz	설정치	위치 (0.5 m, 1 m, 1.5 m)
관측반경 3 m		진폭 (1+j0)
각도간격 20 도		
높이 간격 0.5 m	초기치	위치 (1 m, 1 m, 1 m)
편파방향 수직		진폭 (0.5+j0.5)

먼저, 모든 측정점의 측정 전기장을 계산하여 입력한다. 즉, 검증실험을 행할 때에 실제 측정에서 얻어진 데이터를 이용한다. 다음에, 적당한 신호원 초기치를 근거로 얻어진 근사 전기장을 계산하고, 측정 전기장과 편차(norm)가 최소가 되도록 하기 위해 이산적 특이점법에 의한 신호원 위치와 진폭의 보정치 계산을 수행하여 새로운 추정치를 구한다.

이산적 특이점법은 비선형 최적화 문제를 풀어 미지수 β 의 보정량 $\Delta\beta$ 를 구하는 것으로, 여기서 미지수 β 는 추정 신호원의 위치와 전류값을 나타낸다.

관측 반경 : 3 m, 주파수 : 100 MHz
 신호원 1 : 위치(0.5 m, 0.5 m, 1 m) 진폭 (2+j0)
 신호원 2 : 위치(0 m, 0 m, 2 m) 진폭 (1+j1)

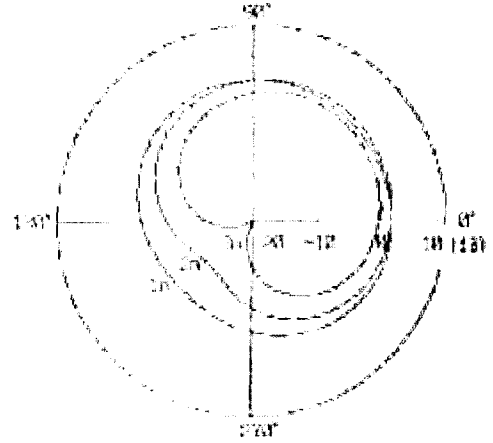
특히, 본 계산을 n 회 반복하여 추정치를 설정치에 근사시킨다. 여기서, n 회 계산시의 추정 신호원의 위치를 $Q_i(x_i^{(n)}, y_i^{(n)}, z_i^{(n)})$, 전류원을 $J_i^{(n)} = (J_{Ri}^{(n)}, J_{Ii}^{(n)})$ 이라고 하고, 근사 전기장을 $E_m^{(n)}$ 이라고 둔다.

시뮬레이션 알고리즘에 따라 반복 계산하였을 때, 빠른 계산속도로 정확한 계산 결과를 얻기 위한 지표로써 측정 전기장과 근사 전기장과의 차이인 norm I 와 탐지 정밀도의 지표로써 위치편차 Δd 와 전류편차 Δj 를 각각 식 (4), (5), (6)과 같이 정의한다. 여기서, N 은 신호원 수, M 은 관측점 수이다.

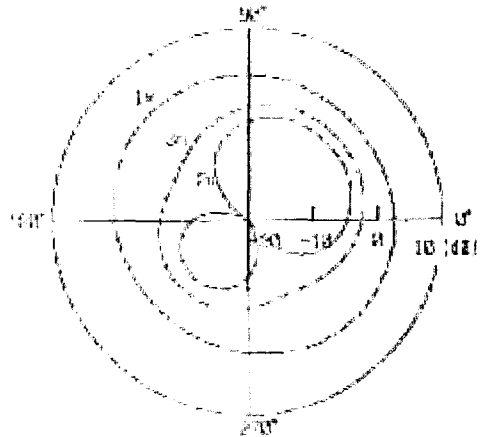
$$I = \frac{\sum_{m=1}^M |E_m^{(n+1)} - E_m^M|^2}{\sum_{m=1}^M |E_m^M|^2} \quad (4)$$

$$\Delta d = \sum_{i=1}^N \frac{\sqrt{(x_i - x_i^{(n)})^2 + (y_i - y_i^{(n)})^2 + (z_i - z_i^{(n)})^2}}{N} \quad (5)$$

$$\Delta j = \sum_{i=1}^N \frac{|20 \log_{10}(|J_i^{(n)}|/|J_i|)|}{N} \quad (6)$$



(a) 6면 전자파 암실에서 측정

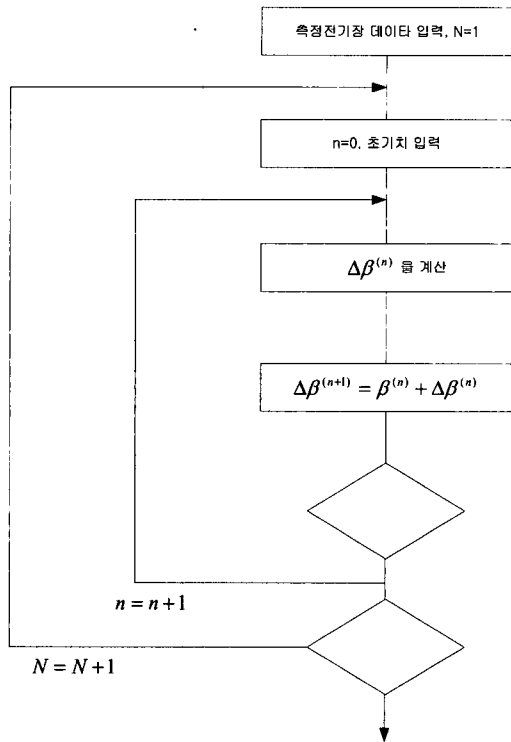


(b) 5면 전자파암실에서 측정

[그림 3] 복사성 전기장의 패턴 예.

이와 같은 순서에 따라 개발된 신호원 탐지의 기본 알고리즘을 [그림 4]에 보였다.

norm, 위치편차, 진폭편차의 반복회수 의존성은 6면 전자파 암실의 경우에, norm의 감소가 빠르게 나타났고 계산속도가 특히 우수하였다. 또한, 계산회수 500회에 있어서 위치편차 0.1 m 이하, 진폭편차 0.1 dB 이하가 되었으며, 고정밀도의 탐지가 가능한 것



[그림 4] 기본 알고리즘 순서.

을 알 수 있었다. 5면 전자파암실에 있어서는 6면 전자파 암실과 비교하여 계산속도, 편차 모두가 열악하였다. 이것은 바닥면 반사파의 영향에 의해 실질적인 신호원수가 2배가 된 것 때문이며, 또한 복사성 전기장 패턴이 복잡한 때문이라고 생각된다.

여기서는 주파수 40 MHz의 경우만을 나타내었지만, 다른 주파수에 있어서도 동일한 결과를 얻을 것으로 예측된다. 또한 본 결과는 1개 신호원을 대상으로 하였던 것이지만 다음에 복수신호원을 대상으로 한 경우는 위상관계에 의한 상호간섭의 영향

을 고려할 필요가 있다.

IV. 결 론

전자기기, 장치의 복사성 전자파 저감을 시도하기 위해 잡음 신호원의 위치와 진폭을 탐지하는 방법을 소개하였다.

1개의 신호원을 대상으로 한 컴퓨터 시뮬레이션에서는 특히 고정밀도의 탐지결과 (위치편차 0.1 m 이하, 진폭편차 0.1 dB 이하)가 얻어졌다.

앞으로, 검증실험을 통해 시뮬레이션 알고리즘의 타당성을 확인하고, 2 개 이상의 신호원을 대상으로 한 컴퓨터 시뮬레이션 및 검증실험에 의해 위상관계에 의한 상호간섭의 영향에 관하여 연구할 예정이다. 특히 본 기술을 전개하여 모의 신호원뿐만 아니라 케이블과 실제 기기에 대한 적용도 시도할 예정이다.

참 고 문 헌

- [1] C. Wu, K. Y. Kiu and M. Jin, "Modeling and correction algorithm for spaceborne SAR signals", *IEEE Trans. Aerosp. and Electro. Sys.*, vol. AES-18 no. 5, pp. 563-575, 1982.
- [2] R. O. Schmidt, "Multiple emitter location and signal parameter estimation", *IEEE Trans. Antenna Prop.*, vol. AP-34, no.3, pp.276-280, 1986.
- [3] W. J. Gabriel, "Spectral analysis and adaptive array superresolution techniques", *Proc. IEEE*, vol. 68, no. 6, pp.654-666, 1996.

≡ 필자소개 ≡

임 계 재

현재: 관동대학교 정보통신공학과 부교수