

역산 기법을 이용한 EMI Source의 모델링

임창환^{*}, 정현교^{**}, 김형석^{***}, 이정해^{***}

^{*}서울대학교 전기공학부, ^{**}순천향대학교 정보기술공학부, ^{***}홍익대학교 전파통신공학과

Modeling of EMI Source Using Inverse Techniques

Chang-Hwan Im^{*}, Hyun-Kyo Jung^{**}, Hyeong-Seok Kim^{***}, Jeong-Hae Lee^{***}

^{*}Seoul National University, ^{**}Soonchunhyang University, ^{***}Hongik University

Abstract - In this paper, a technique to estimate EMI source distribution on a digital circuit board is introduced. A sensitivity analysis method is applied to reconstruct the source distribution from measured electric field data. Results from a single-layer measurement and a double-layer measurement are compared. It will be shown, from the simulation, that the use of sensitivity analysis for the EMI source reconstruction problem can be a very promising technique.

1. 서 론

일반적으로 PCB Board 나 PC의 main board 등 디지털 회로에서 유도되는 EMI source는 수치 해석적인 관점에서 볼 때, 소자 하나 하나를 정확하게 모델링하고 해석하는 것이 거의 불가능하다. 이러한 경우 회로 기판 표면에서의 등가적인 source 분포로 나타내어야 한다 [1], [2]. 본 논문에서는 등가적인 source 분포를 구하기 위해서 민감도법에 기초한 역산 기법을 적용하였다 [3]-[5]. 민감도법에 의한 역산 기법은 물질값이나 전류원 등의 복원 문제에 많이 사용되어왔으나 EMI source의 역산 문제에의 적용은 처음으로 시도된 것이다. 민감도법 (sensitivity analysis method)에 의한 역산은 Sin Value Decomposition(SVD)법 등과 같은 직접법에 비해서 많은 양의 설계 변수를 효과적으로 처리할 수 있으며 수렴의 속도도 매우 빠른 장점이 있다. 본 논문에서는 source 평면에서 각 위치 별로 설계 변수를 설정하여 역산을 수행하였으며 변수의 값을 갱신하기 위해서 최대 경사도법(Steepest Decent Method)을 적용하였다. 기의 논문에 제시되었던 single-layer 측정법 이외에 연속되는 2개의 측정 면을 이용하는 double-layer 측정을 시도하였다. 그 결과 보다 향상된 복원 결과를 얻을 수 있었다. 제시된 방법을 여러 가지의 정해가 있는 경우에 적용하여 방법의 타당성을 검증하였다.

2. 문제의 개요 및 역산 기법

2.1 문제의 개요

그림 1은 EMI Source 역산 문제의 개념을 잘 나타내고 있다. 그림과 같이 디지털 회로의 표면에 다양한 소자들에 의한 전계 source가 형성되면 이 source에 의한 전계의 값을 회로 표면 위에서의 격자 형태의 전계 probe를 이용하여 측정하게 된다. 물론 격자 형태의 센서를 제작하기 힘들기 때문에 실제 실험은 probe의 위치를 옮겨가면서 측정하는 형식이 되어야 한다. 문제는 센서에서 측정된 전계의 값들을 이용하여 source 평면에서의 전계의 값을 계산하고 나아가 공간 전체에서의 전계 분포를 예측하는 것이 가장 중요한 문제이다. 이와 같은 문제의 경우 자체 해석의 경우와는 달리 전계의 source를 명확한 물리량을 이용하여 정의할 수 없다.

본 연구의 최종적인 목표는 전체 공간 내에서의 전계 분포를 측정치만을 이용하여 복원하는 것이므로 전계의 source를 가상의 물리량을 이용하여 따로 정의해야 한다. 우선 문제를 단순화시키기 위하여 측정 지점에서 측정하는 전계의 값이 수직 성분만이 측정 가능하다고 가정하자. 그러면 전계의 source는 회로 기판에 역시 수직한 성분만이 존재하며 가상의 전계 source의 값을 S라는 물리량으로 정의하면 임의의 위치에서의 전계 값은 가상 source에 $1/r^2$ 을 곱한 값으로 정의할 수 있다 [1].

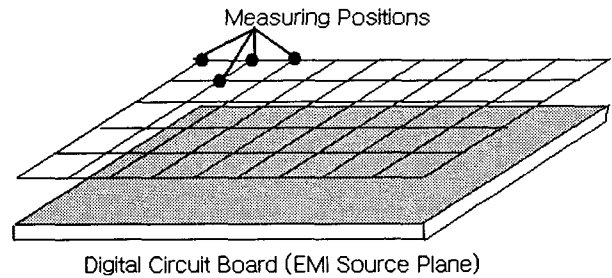


그림 1. EMI Source 역산 문제의 개요

2.2 역산 기법 - 민감도법

본 논문에서 고려한 문제는 기본적으로 under-determined한 성질을 가진다. 즉 센서의 수 보다 source를 복원하는 지점들의 수가 훨씬 더 많은 문제이다. 이와 같은 문제를 풀기 위해서는 역산 기법들을 적용하여야 한다. 가장 간단한 방법으로는 SVD를 사용하는 직접적인 해법이 있다. 하지만 본 논문에서는 source 평면에 약 10000개 이상의 설계 변수가 존재하기 때문에 직접법 타입의 방법을 적용할 경우 거의 해법이 불가능하다. 따라서 본 논문에서는 간접적인 역산 기법 중 대표적인 방법인 민감도법을 적용하였다. 역산에서의 목적함수는 다음과 같이 정의하였다.

$$F = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{N_s} (E_i^c - E_i^o)^2 \quad (1)$$

이 때, N_s 는 센서의 수(위치), E_i^c 는 현재 스텝에서의 계산에 의한 전계 값, E_i^o 는 측정된 전계 값을 나타낸다. 각 설계변수에 대한 민감도의 값은 다음 식에 의해서 계산된다.

$$\frac{dF}{dS_k} = \sum_{i=1}^{N_s} (E_i^c - E_i^o) \frac{dE_i^c}{dS_k} \quad (2)$$

여기서 S_k 는 k 번 째의 설계변수 값(k 번 째 위치에서의 source 값)을 나타낸다. 이 때, (3)의 관계에 의해서 최민감도 식은 식 (4)와 같게 된다.

$$E_i^c = \sum_{j=1}^{N_s} \frac{1}{r_{ij}^2} \cdot S_j \quad (3)$$

$$\frac{dF}{dS_k} = \sum_{i=1}^N (E_i^c - E_i^o) \frac{1}{r_{ik}^2} \quad (4)$$

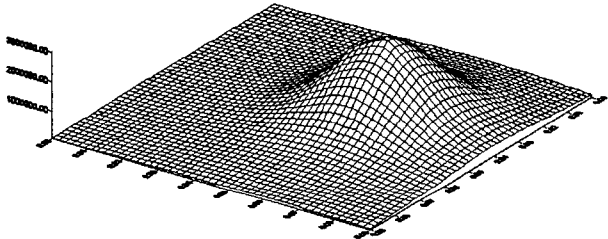
이 때, r_{ij} 는 i 번째 센서 위치와 j 번째 source 위치와의 거리를 나타낸다. 이와 같이 각 설계변수마다 민감도가 계산되면 식 (5)에서 제시된 최대 경사도법 (Steepest Decent Method)을 이용하여 각 설계 변수의 값을 갱신하게 된다.

$$S_k^{(l+1)} = S_k^{(l)} - \alpha \frac{F}{\|dF/dS\|^2} \frac{dF}{dS_k} \quad (5)$$

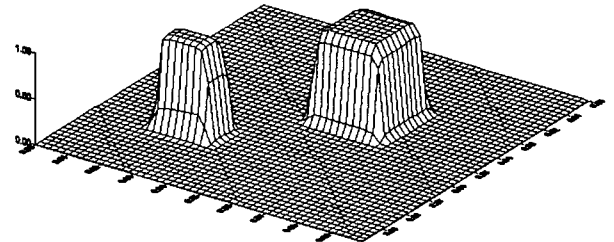
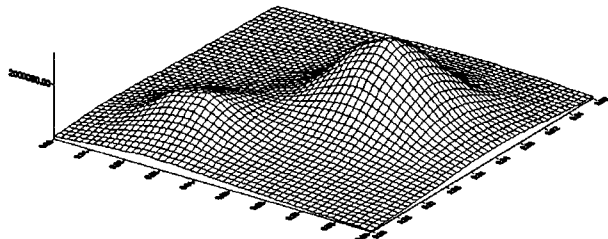
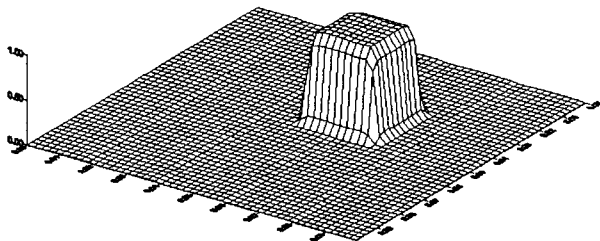
이 때, 위 첨자 (l), ($l+1$)은 현재의 iteration 스텝을 나타내며 $\| \cdot \|$ 은 모든 변수의 민감도 값에 대한 norm을 나타낸다. α 는 감속 계수(relaxation factor)로서 지나 변화로 인해 해가 발산하는 것을 방지해 준다. 본 논문에서는 모든 경우에 대해 이 값을 0.3으로 고정시켰다.

2.3 역산을 위한 데이터의 구축

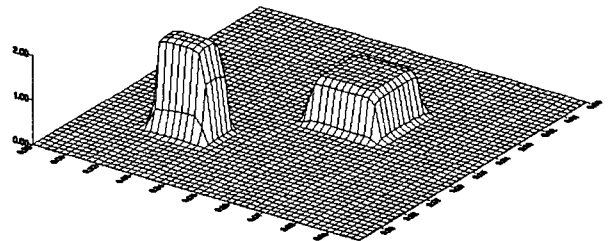
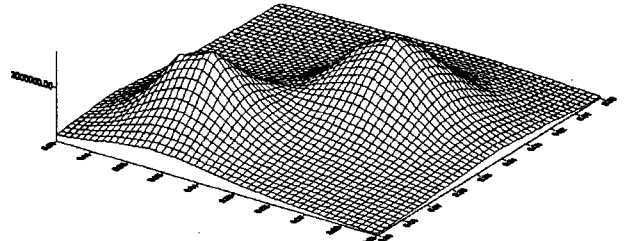
아쉽게도 본 논문에서 제시한 방법에 대한 실험 환경은 아직 구축되지 못한 실정이다. 따라서 측정 시스템을 모사하기 위해서 정해(exact solution)가 있는 5가지 source 분포를 가정하고 이에 대한 forward solution 풀어서 가상 실험 데이터를 만들었다. 실제 실험과 최대한 유사한 상황을 가정하기 위해서 forward 데이터에 최대 5%의 랜덤한 Gaussian 노이즈를 첨가하였다. 그림은 5가지의 source 분포 및 single-layer 측정을 한 경 센서 평면에서의 전계 분포를 나타내고 있다.



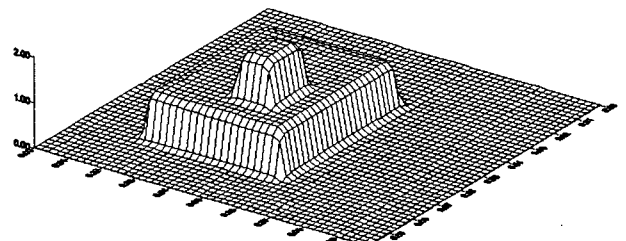
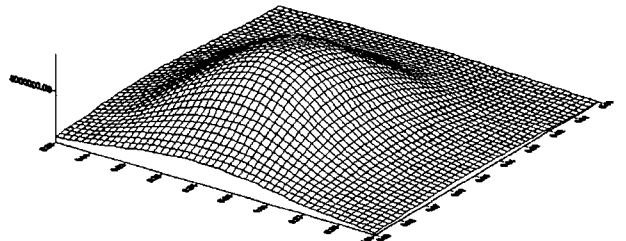
(a) 타입 1 - 최대값 1인 1개의 peak



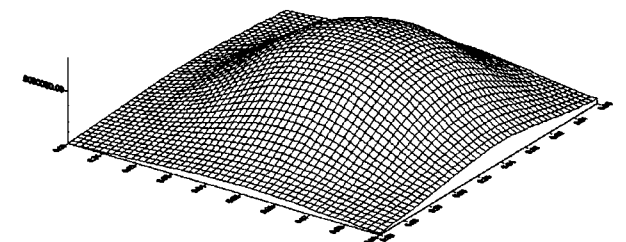
(b) 타입 2 - 최대값 1인 2개의 peak

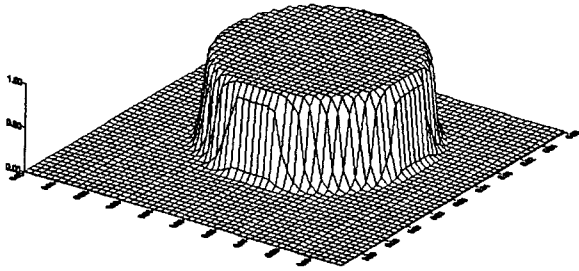


(c) 타입 3 - 최대값 1인 peak와 최대값 2인 peak



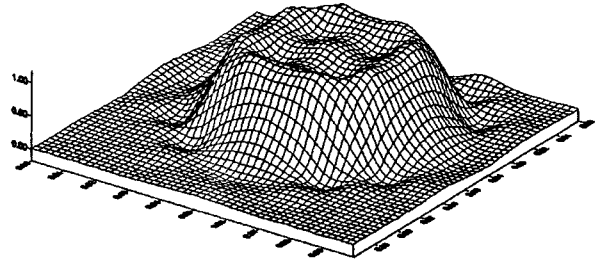
(d) 타입 4 - 최대값 1인 소스 내에 최대값 2인 소스가 들어 있는 형태





(e) 타입 5 - 최대값 1인 일반적인 형태 - 원형

(d) 타입 4의 역산 결과, 최대값 1.97



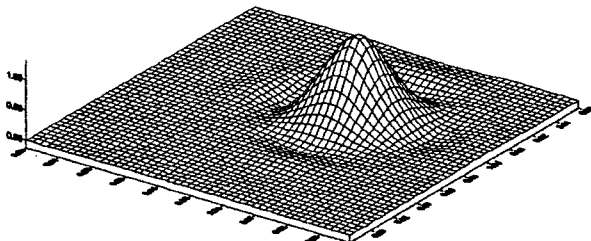
(e) 타입 5의 역산 결과, 최대값 1.13

그림 2. 각 source 타입 별 센서 평면에서의 측정값 (obtained by forward solving) 및 소스 평면에서의 정 (exact solution)

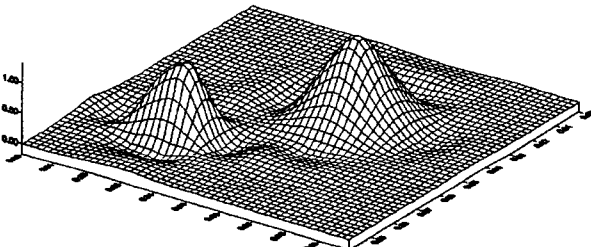
3. 결과 및 토의

3.1 Single-layer 데이터를 이용한 복원 결과

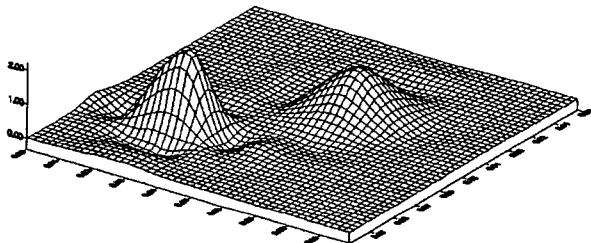
그림 3은 표면에서 10mm 떨어진 위치에 있는 10×10(100개)의 센서 위치에서의 forward solution을 이용하여 source 분포를 역산한 결과를 나타낸다. 모든 결과는 800번의 iteration 이후에 얻어진 것이며 소스 평면에는 100×100(10000개)의 설계변수를 가정하였다.



(a) 타입 1의 역산 결과, 최대값 1.05



(b) 타입 2의 역산 결과, 최대값 1.07



(c) 타입 3의 역산 결과, 최대값 2.11

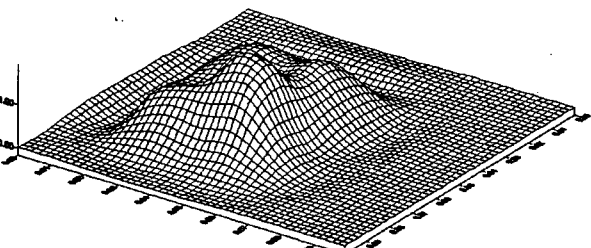


그림 3. 여러 타입에 대한 역산 결과 (single-layer)

앞선 결과들에서 볼 수 있듯이 아주 정확한 소스의 형태까지 복원하는 것은 주어진 데이터만으로는 힘들다는 것을 알 수 있다. 하지만 소스의 위치 및 최대치 등은 거의 정확하게 복원함을 확인할 수 있다.

3.2 Double-layer 데이터를 이용한 복원 결과

앞 절에서 보인 single-layer의 결과와 비교를 위해서 double-layer로 된 센서를 사용하였다. 각 층은 7×7(개)의 센서를 가지고 있으며 (총 개수는 98개) 두 층 사이의 거리는 5mm이다. 이 경우의 결과는 육안으로는 그 정확도를 비교하기가 힘이 들기 때문에 표 1에서와 같이 800번 반복 수행 이후의 목적함수 값을 비교하여 보았다. 표로부터 알 수 있듯이 거의 같은 개수의 센서를 사용하는 경우라도 2층의 센서를 사용하는 경우가 더 정확도가 높아지게 됨을 확인할 수 있다.

표 1. 단층 센서와 2층 센서의 결과 비교 (800회 수행 후의 목적함수)

	타입 1	타입 2	타입 3	타입 4	타입 5
초기치	2.91E+	4.11E+	6.33E+	5.18E+	7.10E+
1-layer	4.94E+	6.76E+	5.89E+	1.29E+	1.75E+
2-layer	4.53E+	7.47E+	4.77E+	4.91E+	1.28E+

이와 같이 구해진 source의 분포를 이용하면 원하는 지점에서의 전계의 값을 식 (3)을 이용하여 계산할 수 있게 된다.

4. 결 론

본 논문에서는 민감도법을 이용하여 측정된 전계 값을 이용하여 EMI source 분포의 역산을 수행하였다. 그 결과 비교적 적은 센서의 데이터만으로도 100개가 넘는 설계변수를 가진 source의 위치 및 최대값을 비교적 정확히 복원하는데 성공하였다. 또한 단층으로 이루어진 센서와 2개의 층을 가진 센서의 결과를 비교함으로써 2층 센서가 더 정확한 해를 구할 수 있음을 확인하였다. 현재 연구에서는 전계의 값이 z성분만 존재하는 것으로 가정하여 역산을 시도하였으므로 정확한 형태까지는 복원이 힘들었으나 향후 3 방향 성분을 모두 고려하는 역산을 수행할 경우 더 실제적인 복원이 가능할 것으로 여겨진다. 궁극적으로는 실제 PCB 기판 등에 대해서 실험을 통해 본 연구에 사용된 방법의 효용성을 검증하여야 할 것이다.

(참 고 문 헌)

[1] Amane Takei, Seiji Hayano, Yosifuru Saito, "A We Inverse Matrix Approach to Searching for the Electric Sources," *IEEE transactions on Magnetics*, Vol. 36, pp. 1031-1034, July., 2000.

- [2] Christos Christopoulos, Principles and Techniq Electromagnetic Compatibility, *CRC Press*, 1995.
- [3] Jung-Kyun Cho, seung-Bae Park, Chang-Hwan Hyun-Kyo Jung, Song-Yop Hahn, Chang-Seop "Multiresolution Analysis for Permeability Reconstr Using Wavelet", *IEEE transactions on Magnetics.*, V No.5, pp. 3757-3759, Sept., 1999.
- [4] R. Sikora, Z. Giza, F. Filipowicz, J. Sikora, "T Function Approximation of Material Coefficients Distr in the Electrical Impedance Tomography," *IEEE trans on Magnetics*, Vol. 36, No.4, pp. 1023-1026, July., 20
- [5] Chang-Hwan Im, Kwan-Ok An, Hyun-Kyo Yong-Ho Lee, Hyuk-Chan Kwon, "MEG So Reconstruction Using Sensitivity Analysis," *Proceedin biennial international conference on Biomagnetism (Biomag 2002)*, Jena, Germany, August, 2002.