

네모난 금속홈에 의한 TM 평면파 산란의 해석적 해

조 용 희

목원대학교 정보통신공학부

E-mail: yhcho@mokwon.ac.kr

Analytic solution of TE plane-wave scattering from rectangular grooves

Yong H. Cho

School of Information and Communication, Mokwon University

Abstract

중첩 T블록 방법을 이용하여 네모난 금속 홈에 평면파가 입사되는 경우의 해석적인 산란해를 구한다. 여러 개의 금속 홈이 있는 경우에도 각 영역을 세부 영역으로 나누어 수치효율을 증대시킨다. 최종 산란해가 빠른 적분식을 가진 간단한 닫힌 해로 표시된다.

TM plane-wave scattering from finite rectangular grooves in a conducting plane is systematically analyzed with the overlapping T-block method. Multiple rectangular grooves are divided into several overlapping T-blocks to obtain the fast CPU time, CAD applicability, and wide versatility. The scattered fields are obtained in simple closed forms including a fast-convergent integral.

Key words: 전자파 산란, 금속홈, 그린함수, 모드정합법

I. 서론

금속 평면을 가진 네모난 금속 홈에 의한 TM(Transverse Magnetic) 평면파 산란은 RCS(Radar Cross Section) 특성 해석을 위한 기초 자료로서 현재까지 막대한 연구가 이루어 졌다 [1-6].

본 논문에서는 금속 평면을 가진 네모난 금속 홈의 산란을 중첩 T블록 방법을 이용하여 유도한다. 중첩 T블록 방법은 리지 도파관(ridge waveguide)의 분산관계를 얻기 위하여 [7]에서 제안되었다.

본 연구의 주요 장점은 유수정리(residue theorem)[3]나 적분방정식[1,2] 처리없이 간단한 해석적인 닫힌 해(analytic closed solution)를 얻을 수 있는 것에 있다. 중첩 T블록 방법을 이용하면 빠르게 수렴하는 적분식을 유도하여 수치효율을 상당히 개선할 수 있다

II. 단일 홈의 전자파 해석

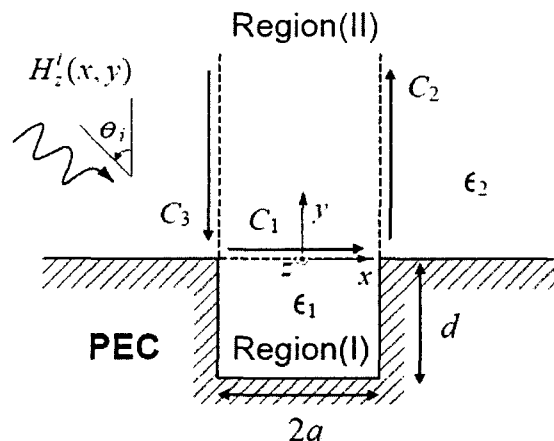


그림 1. 네모난 단일 금속홈의 구조

그림 1은 TM 평면파가 네모난 금속 홈에 입사하는 구조를 보여주고 있다. 평면파 이론을 이용하면

$$H_z^i(x, y) = \exp[ik_2(\sin \theta_i x - \cos \theta_i y)] \quad (1)$$

$$H_z^r(x, y) = \exp[ik_2(\sin \theta_i x + \cos \theta_i y)] \quad (2)$$

여기서 k_2 는 영역(II)의 파수(wavenumber)이며, θ_i 는 입사각이다. 모드정합법(mode-matching method)과 중첩 T블록 방법을 이용하면

$$H_z^I(x, y) = \sum_{m=0}^{\infty} q_m \cos a_m(x+a) \cos \xi_m(y+d) [u(x+a) - u(x-a)] \quad (3)$$

$$H_z^{II}(x, y) = - \sum_{m=0}^{\infty} q_m \frac{\epsilon_2}{\epsilon_1} \xi_m \sin(\xi_m d) [H_m(x, y) + R_m^H(x, y)] \quad (4)$$

여기서 q_m 은 미지계수이며, a_m, ξ_m 은 모드정합법의 각 모드별 파수이며, k_1 은 영역(I)의 파수이다.

$H_m(x, y)$ 와 $R_m^H(x, y)$ 은 중첩 T블록 이론에 사용되는 등가모드함수(equivalent mode function)와 상쇄복사함수(cancelling radiation function)이다. 복사조건을 이용하여 등가모드함수를 구하면

$$H_m(x, y) = \frac{e^{i\eta_m y}}{i\eta_m} \cos a_m(x+a) [u(x+a) - u(x-a)] \quad (5)$$

등가모드함수 $H_m(x, y)$ 에 의해 자기장 불연속이 나타나므로 이를 상쇄하기 위해 [7]에 주어진 것과 유사한 상쇄복사함수 $R_m^H(x, y)$ 를 사용한다. [7]에 주어진 그린함수(Green's function) 관계식을 $H_m(x, y)$ 와 $R_m^H(x, y)$ 에 적용하면 다음과 같은 빠르게 수렴하는 상쇄복사함수 $R_m^H(x, y)$ 를 적분식

형태로 얻을 수 있다.

$$R_m^H(x, y) = \frac{k_2}{\pi} \int_0^{\infty} \frac{(2v-i) \cos(\eta y)}{\zeta^2 - a_m^2} \times [(-1)^m \operatorname{sgn}(x-a) e^{i\zeta|x-a|} - \operatorname{sgn}(x+a) e^{i\zeta|x+a|}] dv \quad (6)$$

여기서 η, ζ 는 연속 파수(continuous wavenumber)이며 $\eta = k_2 v(v-i)$ 이다.

(6)식을 살펴보면 여타 이론에서 유도되는 적분식과는 다르게 특이점(singular point)이 존재하지 않는 것을 알 수 있다. 특이점이 존재하지 않으므로 가우스 적분법(Gaussian quadrature)을 이용해서 쉽게 수치적으로 적분할 수 있다. 적분구간이 $v > 0$ 인 무한대이지만 수렴이 빠르므로 효과적으로 수치적분할 수 있다. v 최대값을 10 이상으로 두면 대부분의 산란 특성 해석의 경우 빠르게 수렴한다.

y 가 커지면 (6)식의 수치해석적 수렴 특성은 나빠지므로 그린함수의 특성을 이용하면

$$H_m(x, y) + R_m^H(x, y) = -\frac{i}{2} \int_{-a}^a [H_0^{(1)}(k_2|\rho - \rho'|) \cos a_m(x'+a) - \frac{2i}{\pi} \log|x-x'| \cos a_m(x+a)] dx' + \frac{\cos a_m(x+a)}{\pi} [(a+x) \log|a+x| + (a-x) \log|a-x| - 2a] \quad (7)$$

(7)식을 살펴보면 $-a < x < a$ 인 유한적분(finite integral)이면서도 특이점(singular point)이 존재하지 않아 수치효율이 (6)보다도 좋아지는 것을 확인할 수 있다. 초등적인 함수만이 사용된 유한적분이므로 수치코드로 효과적으로 구현할 수 있다.

원거리장(far-field region)에서는

$$H_z^{II}(\rho, \theta) \sim \frac{e^{i(k_2\rho + \pi/4)}}{\sqrt{2\pi k_2\rho}} \frac{\epsilon_2}{\epsilon_1} \sum_{m=0}^{\infty} q_m \xi_m \sin(\xi_m d) G_m(-k_2 \sin \theta; a) \quad (8)$$

III. 여러 개 홈의 전자파 해석

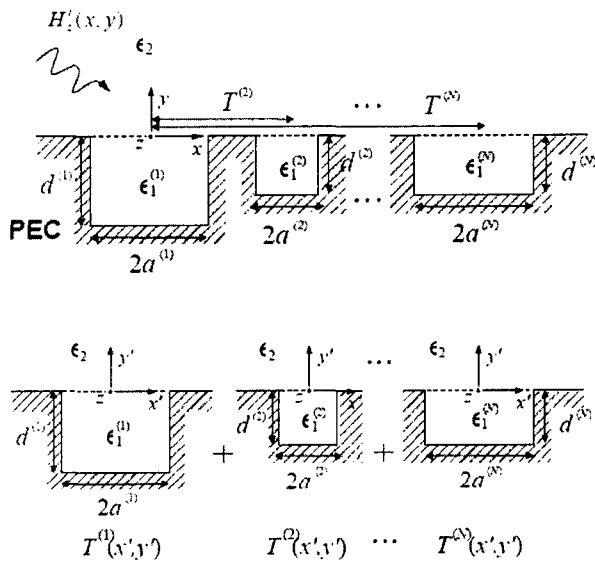


그림 2. 네모난 여러 개 금속홈의 구조와 중첩 T블록을 이용한 구조 분해

II절에서 논의된 결과를 이용하면 여러 개의 금속홈이 있는 구조의 TM 평면파 산란해석을 효과적으로 수행할 수 있다. [7]의 방법을 이용하면 그림 2의 구조를 그림 1과 유사한 세부구조로 분해할 수 있다. 각 구조는 중첩의 원리를 사용하여 전체적으로 결합하면 원래의 구조로 항상 만들 수 있다. 이런 방식은 중첩 T블록 방법을 수치해석 CAD(Computer Aided Design)에 직접적으로 연관 되도록 할 수 있다. RCS 계산을 위한 그림 2의 영역장은 (8)식을 이용하여 계산할 수 있다. 자세한 세부적인 방법을 [7]에 주어져 있다.

IV. 수치 해석

네모난 금속홈의 산란 특성을 이해하기 위하여 2차원 RCS를 다음과 같이 정의한다.

$$\sigma = \lim_{\rho \rightarrow \infty} 2\pi\rho \left| \frac{H_z^{II}(\rho, \theta)}{H_z^i(\rho, \theta_i)} \right|^2 = \frac{1}{k_2} \left| \sum_{n=1}^N \frac{\epsilon_2}{\epsilon_1^{(n)}} e^{-ik_2 \sin \theta T^{(n)}} \sum_{m=0}^{\infty} q_m^{(n)} \xi_m^{(n)} \sin(\xi_m^{(n)} d^{(n)}) G_m(-k_2 \sin \theta; a^{(n)}) \right|^2 \quad (9)$$

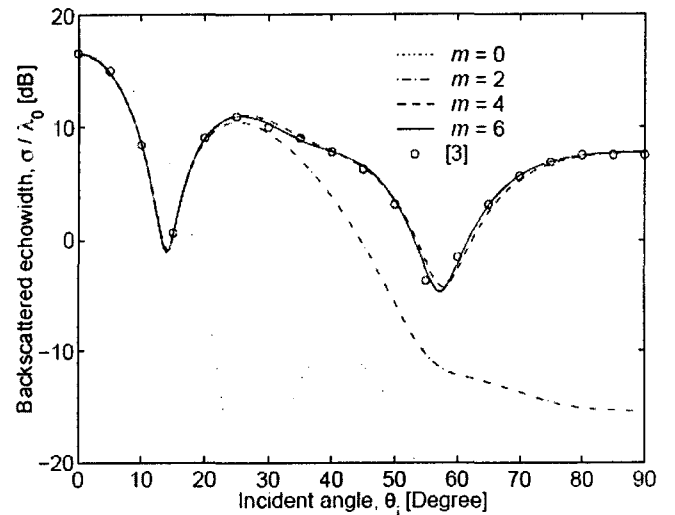


그림 3. 입사각이 변하는 경우의 RCS 변화

그림 3은 입사각이 변하는 경우 단일 홈의 RCS 변화를 나타낸다. 수렴 특성을 살펴보면 $m=0$ 인 경우의 특성이 $0^\circ < \theta_i < 6^\circ$ 인 경우 잘 맞는 것을 확인할 수 있다. $\theta_i > 30^\circ$ 인 경우는 고차 모드($m=4, 6$)를 사용해야 함을 수렴특성을 통해 확인할 수 있다.

참고문헌

- [1] T. B. A. Senior, K. Sarabandi, and J. R. Natzke, "Scattering by a narrow gap," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 38, no. 7, pp. 1102-1110, July 1990.
- [2] K. Barkeshli and J. L. Volakis, "Scattering from narrow rectangular filled grooves," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 39, no. 6, pp. 804-810, June 1991.
- [3] T. J. Park and H. J. Eom, "An analysis of transverse electric scattering from a rectangular channel in a conducting plane," *Radio Sci.*, vol. 28, no. 5, pp. 663-673, Sept.-Oct. 1993.
- [4] Y. Shifman and Y. Leviatan, "Scattering by a groove in a conducting plane-A PO-MoM hybrid formulation and wavelet analysis," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 49, no. 12, pp. 1807-1811, Dec. 2001.
- [5] E. Howe and A. Wood, "TE solutions of an integral equations method for electromagnetic scattering from a 2-D cavity," *IEEE Antennas Wireless Propagat. Lett.*, vol. 2, pp. 93-96, 2003.
- [6] Y. H. Cho, "TM scattering from finite rectangular grooves in a conducting plane using overlapping T-block analysis," 2005 IEEE/ACES International Conference on Wireless Communications and Applied Computational Electromagnetics, 2005.
- [7] Y. H. Cho and H. J. Eom, "Analysis of a ridge waveguide using overlapping T-blocks," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 50, no. 10, pp. 2368-2373, Oct. 2002.