

FDTD 방법을 이용한 유전체를 입힌 동축 케이블의 표면파 로운처에 관한 연구

정진우, 이창원, 김중표, 손 현
 경북대학교 전자전기공학부
 대구광역시 북구 산격동 1370번지

Study for surface wave launcher of dielectric coated coaxial cable using FDTD method

Jin Woo Jung, Chang Won Lee, Joong Pyo Kim, Hyun Son
 Kyungpook National University
 School of Electronics and Electrical Engineering

Abstract— The surface wave launcher from the dielectric coated coaxial cable to dielectric slab is investigated. FDTD method using local subcell and contour-path model is applied to determine the fine geometrical features. The reflection coefficient in coaxial cable region is found using extract algorithm. In this paper, two structures are presented as coaxial slot surface wave launcher. One structure has a vertical launching angle, and the other has an arbitrary launching angle. The numerical results show that a certain launching angle is minimized the reflection coefficient.

과 FDTD법을 이용해 해석한 결과로, 두가지의 경우에 대해 동축 케이블 영역에서의 반사계수(reflection coefficient)가 서로 잘 일치함을 알 수 있고, 슬롯의 폭이 변함에 따라 반사 계수가 주기성을 갖고 변하게 됨을 알 수 있다. 또한, 로운칭 각도가 임의로 변하는 구조에 대해서는, 수직 로운칭 각도를 갖고 슬롯의 폭만 변화시켰을 때에 비해, 보다 낮은 반사계수를 가지고 더 많은 필드를 슬롯 바깥 영역으로 복사 시킬 수 있다. 반사계수가 가장 낮은 각도로 로운칭 될 때, 슬롯을 통해 가장 많은 양의 필드가 빠져 나갈 것 이라 예측된다.

I 서 론

동축 케이블(coaxial cable)을 이용한 표면파(surface wave) 로운처(launcher)에 대한 연구가 1970년대에 이루어 졌다. William J. Dewar[1]는 ϕ 방향으로 단일 슬롯(slot)을 가지는 동축 케이블 로운처에 대하여 실험적 연구를 하였고, James R. Wait[2]는 동축 케이블을 유전체(dielectric)로 차폐시킨 구조에 대해 정량적으로 해석하였다. 그러나, 단일 슬롯에 의한 표면파 로운처는 로운칭 효율면에서 VHF 주파수 영역에서 입사파에 대해 약 18 퍼센트 정도밖에 슬롯 바깥 영역으로 복사 시키지 못하는 단점을 가지고 있다.

본 논문에서는 동축 케이블에 있는 내심 도체를 임의의 로운칭 각도를 갖는 구조로 확장시켜 유전체 슬래브(dielectric slab)의 중심도체가 되도록 하여, 유전체 슬래브에 표면파를 로운칭(launching)시키는 방법에 대해 연구하였다. 이러한 임의의 로운칭 각도를 가지는 구조는 기존의 MOM(moment of method)이나 모드 매칭 방법(mode matching method)에 의해서는 해석하기 어렵기 때문에, 본 논문에서는 유한 차분 시간 영역 해석법(Finite Difference Time Domain : FDTD)을 이용 하였다.

수직 로운칭 각도를 가지는 구조에 대해서 모드 매칭 방법

II 본 론

유전체 슬래브위에 표면파를 로운칭시키는 방법으로 그림1과 그림2와 같은 두가지 구조에 대하여 연구해 보았다.

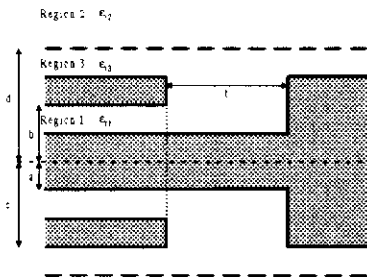


Fig. 1. 수직 로운칭 각도를 가지는 동축 케이블 표면파 로운처 구조의 단면

구조상 ϕ 방향으로 변화가 없으므로 2차원 문제로 쉽게 모델링 하였으며, 실린더 좌표계를 이용한 FDTD방정식을

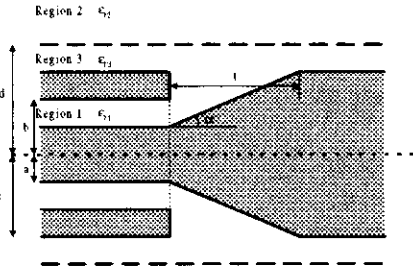


Fig. 2. 임의의 로운칭 각도를 가지는 동축 케이블 표면파 로운처 구조의 단면

전개하여 적용하였다. 흡수 경계 조건(Absorbing Boundary Condition)[4]은 Mur이 제시한 방법을 실린더 구조에 맞게 1차 근사항으로 전개하여 적용하였다. 입력은 동축 케이블내의 영역(I)을 전영역 (total-field region)과 산란영역(scattered-field region)으로 나누어 동축 케이블에 전압을 인가한 형태로 구현하였고, 이렇게 나누어진 산란 영역에서 구해지는 반사파로 입사파에 대한 반사계수를 구하였다. 그림1은 수직 로운칭 각도를 가지는 구조로서 로운칭 영역에서 슬롯의 폭을 조절하여 로운칭 특성을 변화시킬 수 있는데, 본 논문에서는 그림2와 같은 임의의 로운칭 각도를 가지는 구조로 발전시켜 가기 위한 과정으로 볼 수 있으며, MOM이나 모드 매칭법등을 이용하여 해석 가능하다. 슬롯의 폭(t)을 변화시키면서 영역(I)로 되돌아 오는 반사파의 반사계수를 구해서 반사파를 최소화시키는 적절한 슬롯의 폭을 찾아 보았다. 반사계수를 구하기 위해서 산란영역에서의 H_0 필드에 대해 Mittra가 제시한 추출 알고리즘(extract algorithm)[6]을 다음과 같이 적용하였다.

$$\tilde{H}_N = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N H(i\delta t + T_{INIT})e^{-j\omega(i\delta t)} \quad (1)$$

여기서, \tilde{H}_N 는 추출되어진 복소 자장(complex magnetic field)값이고, T_{INIT} 는 추출이 되기 이전 시간은 제외하는 초기 시간이며, N 은 추출이 진행되는 동안 반복적으로 합해지는 시간에 대한 현재의 수이다. ω 는 입력에 대한 각주파수(angle frequency)이고, δt 는 시간축에 대한 시간 격자 증가분이다. 이렇게 구한 반사계수의 크기를 그림3에 나타내었다.

그림2에 대한 구조는 동축케이블(영역I)에 있는 내심 도체를 유전체 슬래브쪽으로 임의의 각도로 확장시켜 입력된 필드가 유전체 슬래브의 표면파로 진행해 갈 수 있도록 하는 구조이다. 임의의 각도로 나누어 지는 격자에 대해서는 격자간격을 조절하여 항상 로운칭 영역안에서 ρ 방향과 z 방향의 격자수가 같도록 subcell 모델링을 하였으며, 임의의 각도를 가지는 로운칭 슬로프(slope)가 지나가는 격자에 대해 항상 대각선을 이루도록 하였다. 이렇게 대각선으로 나누어진 격자에 대해서는 패러데이 법칙(Faraday's law)을 이용한 적분형으로 FDTD 방정식을 전개[5] 하였다.

또한 각 경우에 대해 슬롯을 등가원리(equivalence theo-

rem)을 이용하여 PMC(perfectly magnetic conductor)로 대체시키고, 이면에 법선 벡터(normal vector)와 수직인 전장(Electric field) 성분을 추출하여 자기전류(Magnetic current)를 구하였다.

$$\tilde{M}_o(z) = \frac{2}{N} \sum_{i=1}^N E_z(i\delta t + T_{INIT})e^{-j\omega(i\delta t)} \quad (2)$$

여기서, \tilde{M}_o 는 추출된 복소 자기 전류값이다.

여기서 구한 \tilde{M}_o 의 크기에 의해 슬롯 바깥영역으로 복사하는 필드의 양을 간접적으로 알 수가 있다.

이렇게 전개되는 파(radiation wave)는 두가지 형태의 파로 구별 할 수 있는데, 그 중 하나는 영역(II)에서 복사되는 공간파(space wave)이고, 다른 하나는 $\pm z$ 방향으로 유전체에 갇혀 진행하거나, 유전체 위에서 진행되는 표면파(surface wave) (영역(II)와 영역(III))이다.

III 수치해석 및 결론

본 논문에서의 동축 케이블의 내,외심 도체의 반경과 입혀진 유전체의 두께는 다음과 같다. $a = 0.0625 \lambda$, $b = a + 0.2 \lambda$, $c = b + 0.05 \lambda$, $d = c + 0.1 \lambda$. 또한, $\epsilon_{r1} = 2.5$, $\epsilon_{r2} = 1.0$, $\epsilon_{r3} = 2.5$ 로 두었고, 주파수는 1 GHz를 사용하였다. 먼저 수직 로운칭 각도를 가지는 구조에 대해서 반사계수를 보면, FDTD법을 이용해서 구한 반사계수와 모드 매칭 방법을 이용하여 해석한 반사계수를 비교하였는데, 서로 잘 일치함을 알 수 있다(그림3). 슬롯 폭(t)의 변화에 대해서 본 논문에서는 약 0.78λ 근처에서 반사 계수가 가장 낮았는데 그 값은 약 0.763정도이다.

임의의 로운칭 각도를 가지는 경우의 반사계수를 보면 수직인 경우보다 현저히 낮은 값을 알 수 있는데, 이는 슬롯을 통해서 훨씬 많은 양의 필드가 빠져나가게 된다고 할 수 있겠다(그림4). 실제로 각 경우면 위의 등가 표현된 자기 전류의 크기를 보면, $t = 0.5\lambda$ 일 때 보다 $\alpha = 30^\circ$ 일 때 훨씬 큰 값을 가진다(그림5). 또한, 각 경우 모두 가장자리 조건을 잘 만족하고 있음을 알 수 있다. 마찬가지로, $t = 0.5\lambda$ 일 때 $\alpha = 30^\circ$ 일 때의 H_0 필드의 형태로도 위와 같은 결과를 알 수 있다(그림6 과 그림7).

$\alpha = 30^\circ$ 일 때와 $\alpha = 60^\circ$ 일 때의 필드 형태의 비교에서는 반사계수가 낮은 30° 에서 더 많은 필드가 슬롯을 빠져 나가는 형태임을 알 수 있다(그림7 과 그림8). 본 논문의 결과에 의하면 로운칭 각도가 약 38° 근처에서 최소 반사계수를 가지고, 이 때 반사계수의 값은 약 0.283정도이다. 또한 이때 슬롯을 통해 가장 많은 필드가 복사하게 될 것이라 예측된다(그림9).

만약, 이렇게 복사되는 필드에 의해 공간으로 복사해 나가는 공간파와 $\pm z$ 방향을 따라 진행되는 표면파의 전력(power)을 구한다면, 적절한 로운칭 각도에서 최대의 표면파를 여기시키는 Surface Wave 로운처를 구현할 수 있을 것이다.

References

- [1] W. J. Dewar, and J. C. Beal , "Coaxial-slot Surface Wave Launchers," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, Vol. MTT-18, No.8, August 1970 pp.449-455
- [2] J. R. Wait, and D. A. Heal , "On the Electromagnetic Field of a Dielectric Coated Coaxial Cable with an Interrupted Shield," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, Vol. AP-23, No.4, July 1975 pp.470-479
- [3] S. Xu, J.T.Peng, and F. K. Shwering, "A millimeter-wave Omnidirectional Circular Dielectric Rod Grating Antenna," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, Vol.39, No.7, July 1991 pp.883-891
- [4] G. Mur "Absorbing Boundary Conditions for the Finite-Difference Approximation of the Time-Domain Electromagnetic-Field Equation," *IEEE Trans. Electromagnetic compatibility*, Vol. EMC-23, No.4, November 1981 pp.377-382
- [5] A. Taflove, K. R. Umashankar, B. Bekar, F. harfoush, and K. S. Yee "Detailed FD-TD Analysis of Electromagnetic Fields Penetrating Narrow Slots and Lapped Joints in Thick Conducting Screens," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, Vol.36, No.2, February 1988 pp.247-257
- [6] R. Mittra, and P. H. Harms, "A new Finite-Difference Time-Domain (FDTD) Algorithm for Efficient Field Computation in Resonant or Narrow-Band Structures," *IEEE Microwave and Guided Wave Letters*, Vol. 3, No. 9, September 1993 PP.316-318
- [7] K. S. Yee, "Numerical Solution of Initial Boundary Value Problems Involving Maxwell's Equations in Isotropic Media," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, Vol. AP-14, No.3, May 1966 pp.302-307

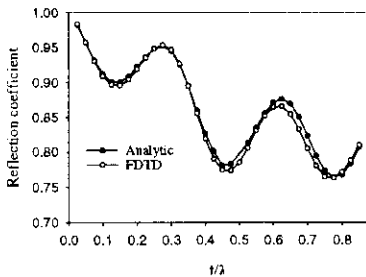


Fig. 3. 수직 로운칭 각도를 가지는 로운처에서 슬롯 폭(t)의 변화에 따른 반사계수 : Analytic(mode matching method)과 FDTD 비교

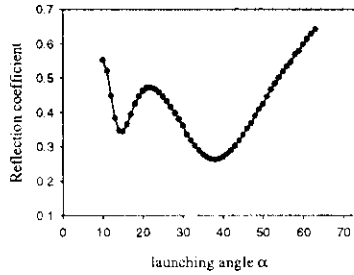


Fig. 4. 임의의 로운칭 각도를 가지는 로운처에서 로운칭 각도(α)의 변화에 따른 반사계수

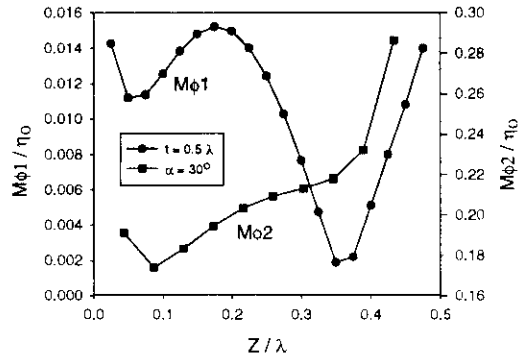


Fig. 5. 로운칭 영역에서 등가원리로 대체된 자기전류의 크기 : 수직 로운칭 각도를 가지는 로운처에서 슬롯 폭(t)이 0.5 λ 일 때와 임의의 로운칭 각도를 가지는 로운처에서 로운칭 각도(α)가 30°일때의 비교

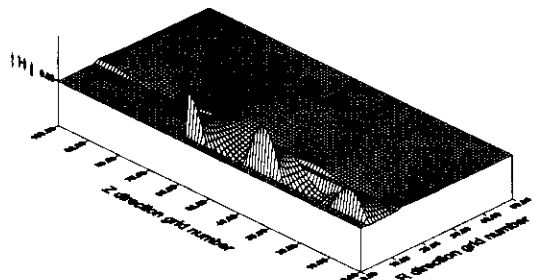


Fig. 6. 수직 로운칭 각도를 가지는 로운처에서 슬롯 폭(t)이 0.5 λ 일 때의 H_0 필드

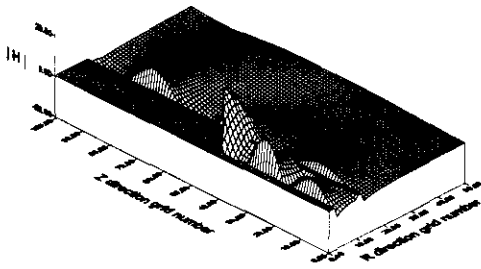


Fig. 7. 임의의 로운칭 각도를 가지는 로운처에서 로운칭 각도(α)가 30° 일 때의 H_0 필드

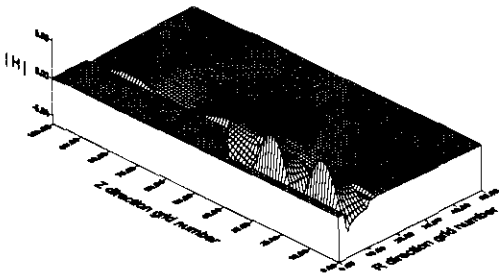


Fig. 8. 임의의 로운칭 각도를 가지는 로운처에서 로운칭 각도(α)가 60° 일 때의 H_0 필드

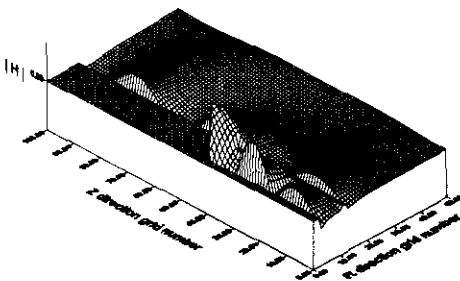


Fig. 9. 임의의 로운칭 각도를 가지는 로운처에서 로운칭 각도(α)가 38° 일 때의 H_0 필드