

외부 전자파와 다중 전송선로의 전자파결합 특성 해석

주재철 · 박범준 · 박동철

충남대학교

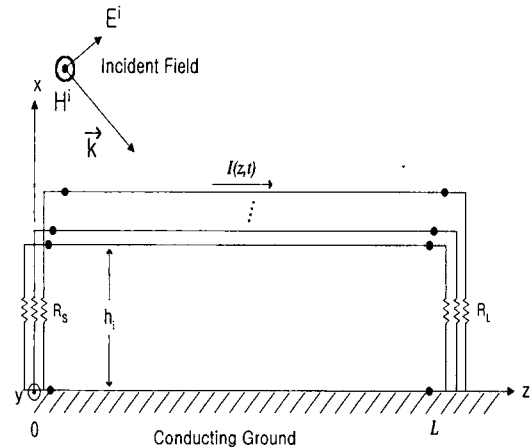
I. 서론

외부로부터 발생한 전자파가 다중 전송선로 (Multiconductor Transmission Line : MTL)에 잡음 전압(전류)을 유도하는 현상은 전자파 양립성 (Electromagnetic Compatibility : EMC) 분야에서 매우 중요하게 다루어져 왔다. 이러한 외부 전자파가 통신 시스템 성능에 영향을 줄 수 있는데 특히 낙뢰 전자파 펄스로 인하여 통신선로와 접속된 전화기, 교환기 등 단말장치의 피해가 많이 발생하고 심한 경우 통신선, 단자함 등이 파손되는 경우도 있다. 이에 따른 대비책을 강구하기 위해서는 각각의 전기전자 기기에서의 대책뿐만 아니라 전송선로의 전자파 감응특성을 잘 파악하여야 한다.

본 기술해설에서는 낙뢰 전자파 펄스를 모델링하고 다중 전송선 방정식을 FDTD 법으로 전개하여 통신 가입자 선로에서의 낙뢰에 의한 유도전압을 계산하였다. 또한 계산치와 실험치의 비교를 위해 TEM 셀을 이용하여 사다리꼴 전자파 펄스를 옥내전화선으로 사용되는 KSC 3340 TIV와 LAN에 사용되고 1쌍끼리 서로 꼬여져 있는 UTP Category 5에 입사시키고 유도되는 전압을 측정하고 전송선 방정식으로 해석한 시뮬레이션 결과와 비교하였다.

II. 다중 전송선 방정식

외부로부터 입사하는 전자파와 다중 전송선로의 구조는 [그림 1]과 같다. 입사하는 전자파가 다중 전송선로에 전압(전류)을 유도하는데 이러한 전자기적 결합 현상은 다중 전송선 방정식으로 해석할



[그림 1] 외부에서 입사하는 전자파와 다중 전송선로

수 있다. 본 논문에서는 산란전압을 이용하는 Agrawal 방법^[1]을 채택하여 해석하였다. Maxwell 방정식으로부터 식(1), (2)를 유도할 수 있다^[2].

$$\frac{\partial}{\partial z} [V^s(z, t)] + [R][I(z, t)] + [L] \frac{\partial}{\partial t} [I(z, t)] = \begin{bmatrix} \vdots \\ E_z^i(i\text{-번째 도체}, z, t) - E_z^i(\text{기준 도체}, z, t) \\ \vdots \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$\frac{\partial}{\partial z} [I(z, t)] + [G][V^s(z, t)] + [C] \frac{\partial}{\partial t} [V^s(z, t)] = 0 \quad (2)$$

여기서 $[V^s(z, t)]$ 와 $[I(z, t)]$ 는 각각 산란전압과 총전류 행렬을, $[R]$, $[L]$, $[G]$, $[C]$ 는 각각 단위길이당 저항, 인덕턴스, 컨덕턴스, 커패시

턴스 행렬을 나타내며, 식 (1) 우변 항의 E_z^i 는 입사전기장의 전송선로 길이 방향 성분 행렬의 i 번째 행을 의미한다.

또한 총전압은 산란전압과 입사전압의 합으로 다음과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} [V(z, t)] &= [V^s(z, t)] + [V^i(z, t)] \\ &= [V^s(z, t)] - \int_0^{h_i} [E_x^i(z, t)] dx \end{aligned} \quad (3)$$

여기서 $[V^i(z, t)]$ 는 입사전압 즉 입사전기장의 수직성분을 적분한 양이고, h_i 는 [그림 1]에 보인 바와 같이 i 번째 도체의 높이이다.

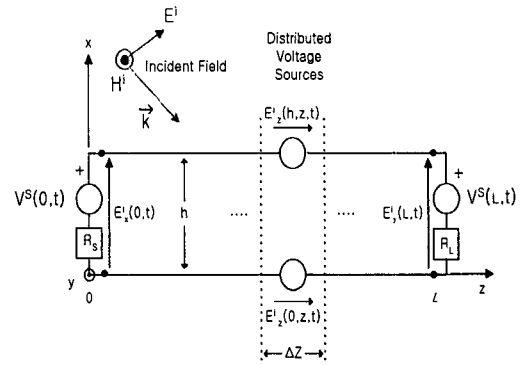
전송선로의 양단에서 $[V^s(z, t)]$ 의 경계조건은 테브난(Thevenin) 정리를 이용하여 식 (4)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} [V^s(0, t)] &= -[R_S][I(0, t)] + \int_0^{h_i} [E_x^i(0, t)] dx \\ [V^s(L, t)] &= [R_L][I(L, t)] + \int_0^{h_i} [E_x^i(L, t)] dx \end{aligned} \quad (4)$$

여기서 $[R_S]$, $[R_L]$ 은 각각 입력단과 출력단의 저항 행렬을 의미한다. 이때 전류의 순방향을 +z 방향으로 정하였기 때문에 식 (4)에서 부호의 차이가 있다.

이상으로 얻은 다중 전송선 방정식은 산란전압 방식(scattered voltage formalism)이라고 하며 입사전기장의 수직 및 수평성분이 전송선로에 전원으로 나타나게 된다. 즉, 전송선로의 양 끝단에서는 입사전기장의 수직성분이, 가운데 부분에서는 입사전기장의 수평성분이 등가 분포전원으로 [그림 2]와 같이 나타난다^[3].

다중 전송선 방정식을 살펴보면 행렬 파라미터 $[R]$, $[L]$, $[G]$, $[C]$ 가 포함되어 있음을 알 수 있다. 기본적으로 이들 파라미터들은 전송선로 구



[그림 2] 외부 입사장을 전송선의 분포전원으로 등가화한 모델

조에 의해서 결정되는 것으로, 이들 값을 구하는 것 자체가 전송선 방정식을 해석하기 위한 첫번째 중요한 과정의 하나라고 할 수 있다.

전송선로는 크게 도체들이 균일 매질(homogeneous medium) 속에 있는 경우와 비균일(inhomogeneous) 매질 속에 있는 경우로 분류하여 생각할 수 있다. 먼저 균일 매질 속에 도체선들이 놓여 있는 경우

$$\begin{aligned} [L][C] &= [C][L] = \mu\epsilon[1_n] \\ [L][G] &= [G][L] = \mu\sigma[1_n] \end{aligned} \quad (5)$$

의 관계식이 만족된다. 여기서 $[1_n]$ 은 n 차 단위 행렬이다. μ , ϵ , σ 는 각각 균일 매질의 투자율(permeability), 유전율(permittivity) 및 전도도(conductivity)를 나타낸다. 위 식으로부터 알 수 있는 바와 같이 $[L]$, $[C]$, $[G]$ 파라미터 중 어느 하나를 결정하게 되면 다른 값들은 자동적으로 결정됨을 알 수 있다.

반면 도체선들이 비균일 매질 속에 놓여 있는 경우에는 이와 같은 관계가 성립되지 않는다. 따라서 일반적으로 $[L]$, $[C]$, $[G]$ 파라미터를 따로 구할 수 밖에 없게 된다. 하지만 비균일 매질이 유

전체와 같이 비자성체인 경우에는 $[L]$ 은 도체선들이 자유공간($\mu = \mu_0, \epsilon = \epsilon_0$)에 놓여 있는 경우의 값, $[L_0]$ 와 동일한 값을 갖게 된다. 따라서 자유 공간에 묻혀 있는 경우의 $[C_0]$ 를 계산한 다음 식 (5)로부터 $[L]$ 을 구하고 유전체를 고려하여 $[C]$ 를 계산한다^[2].

마지막으로, $[R]$ 파라미터는 전송선로에 이용된 도체의 전도도(conductivity)와 도체의 두께 및 폭 등을 이용하여 구할 수 있다. 그러나 여기에서 문제가 되는 것은 표피 깊이(skin depth)의 영향으로 이 값이 주파수의 함수로 주어지게 되어 시간 영역에서의 해석에 컨볼루션(convolution) 적분이 필요하게 되므로 계산이 매우 복잡해지게 된다는 점이다. 일반적으로 전송선의 저항에 의한 도체 손실과 매질의 유전체 손실 값이 작은 경우 $[R]$, $[L]$, $[G]$, $[C]$ 파라미터 값 중 $[L]$, $[C]$ 파라미터만 고려하여 계산한다.

전송선 방정식은 여러 가지 방법으로 해석될 수 있는데 본 논문에서는 시간영역에서 전자파 펄스에 의한 유도전압을 계산하기 위하여 FDTD 법을 사용하였다. FDTD 법에서는 전송선로를 Δz 간격으로 샘플링하여 전압과 전류를 계산하게 되는데 Δz 는 보통 입사장의 최대 주파수성분에서의 파장의 $\frac{1}{10}$ 보다 작게 결정하며 Δt 는 Courant의 안정조건^{[1],[2]}에 맞도록 설정하여 전압과 전류를 계산해 나가는 방식이다.

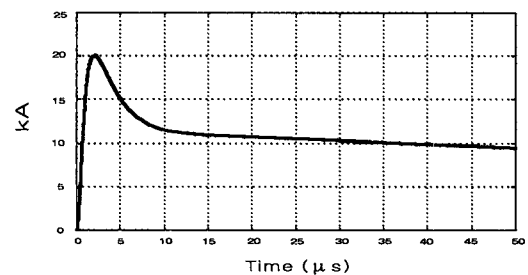
전송선로 양단에 유도되는 전압(전류)을 구하는 순서는 먼저 입사장을 소스화하고 전송선로에서의 전압 값을 계산한 후 이 계산된 전압 값을 이용해서 전류 값을 계산한다. 다음 시간 스텝에는 이전에 계산된 전류 값을 이용해서 전압 값을 계산하고, 계산된 전압 값을 이용해서 다시 전류 값을 구한다. 그리고 전송선로 양단에서의 총전압은 계산된 산란전압에 입사전기장에 의한 입사전압을 더해 주어 얻게 된다.

III. 낙뢰전자파 유도전압

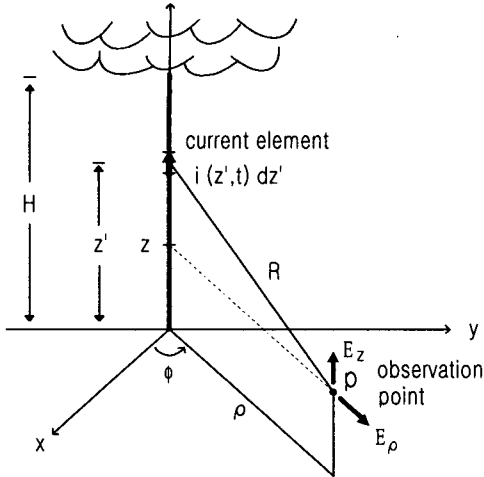
외부 전자파에 의한 전송선로에서의 유도 전압(전류)을 계산하기 위해서는 입사장에 대한 전송선로에서의 분포 소스를 결정해야 하므로 시간에 따라 전송선로의 모든 위치에서 각 성분별로 입사장을 정확히 계산하여야 한다. 본 절에서는 전송선로의 근방에서 발생되어 발생지점으로부터 원통형으로 전파되는 귀환낙뢰 전자파의 전자계를 계산하고 이 낙뢰전자파에 의한 전송선로에서의 유도 전압을 계산하고자 한다.

먼저 낙뢰 경로를 접지면 위의 수직안테나로 가정하고 이 안테나에 낙뢰전류가 대지에서 구름 쪽으로 상승하며 대지면에서의 낙뢰 전류파형을 국내 측정값^[4]의 대표치를 이용하여 [그림 3]과 같이 모델링하였다. 이 낙뢰전류의 상승속도는 8.0×10^7 m/s, 전류파고치는 20 kA, 파고시간은 $2 \mu s$, 50% 파고시간은 $40 \mu s$, 전류상승률은 $10 \text{ kA}/\mu s$ 이다.

대지를 완전도체로 가정하고 [그림 4]와 같이 낙뢰 채널의 높이 z' 에서 미소 길이 dz' 의 미소 수직 다이폴에 의한 수직 전기 dE_z 와 수평 전기 dE_ρ 를 높이 z 와 거리 ρ 만큼 떨어진 p 지점에서 식 (6), (7)과 같이 대지면의 낙뢰 전류, $i(0, t)$ 의 함수로 표현할 수 있다^[5].



[그림 3] 낙뢰 전류파형



[그림 4] 낙뢰 전류와 관측점에서의 전기

$$dE_z(\rho, z, t) = \frac{dz'}{4\pi\epsilon_0} \left[\frac{2(z-z')^2 - \rho^2}{R^5} \cdot \exp(-z'/\lambda) \times \int_0^t i(0, \tau - z'/v - R/c) d\tau \right. \\ \left. + \frac{2(z-z')^2 - \rho^2}{cR^4} \exp(-z'/\lambda) i \cdot (0, t - z'/v - R/c) - \frac{\rho^2}{c^2 R^3} \exp(-z'/\lambda) \cdot \frac{\partial i(0, t - z'/v - R/c)}{\partial t} \right] \quad (6)$$

$$dE_\rho(\rho, z, t) = \frac{dz'}{4\pi\epsilon_0} \left[\frac{3\rho(z-z')}{R^5} \right] \cdot \exp(-z'/\lambda) \times \int_0^t i(0, \tau - z'/v - R/c) d\tau \\ \left. + \frac{3\rho(z-z')}{cR^4} \exp(-z'/\lambda) \cdot i(0, t - z'/v - R/c) + \frac{\rho(z-z')}{c^2 R^3} \cdot \exp(-z'/\lambda) \frac{\partial i(0, t - z'/v - R/c)}{\partial t} \right] \quad (7)$$

여기서 c 는 자유공간에서의 전파속도이다. 점 p 에서의 총 수직전계 E_z 와 총 수평전계 E_ρ 는 z 축의

낙뢰채널과 그 이미지를 적분하여 구할 수 있다.

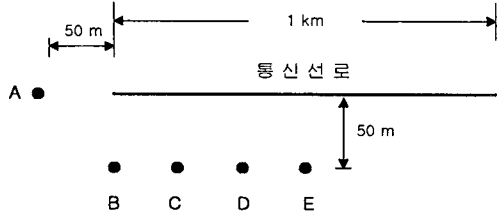
식 (6), (7)의 각 항을 살펴보면 낙뢰전기장의 수직성분은 R^3, R^2, R^1 , 수평성분은 R^4, R^3, R^2 의 비로 감소하여 거리에 따라 수평성분의 크기가 빨리 감소함을 알 수 있다. 또한 수평성분은 접지면 위의 낙뢰채널과 접지면 아래의 이미지 채널에서 방사되는 낙뢰전기장들의 시간 차이에 의해서 나타나는 성분으로 대지의 전도도에 따라 수직성분에 비해 상대적으로 많은 영향을 받는다^{[6],[7]}.

이렇게 계산된 낙뢰전기장을 입사장으로 하고 가입자 통신선로를 무손실 직선 도체로 가정하여 유도전압을 계산하였다. 그리고 낙뢰가 심한 지역에 설치하는 가공지선은 직격뢰로부터 통신선로를 보호하기 위해 설치된 도체로 통신선로의 약 1m 상단에 통신선로와 평행하게 설치되어 있는데 양쪽 단말은 10 Ω이하의 저항을 갖는 접지체에 접지되어 있다.

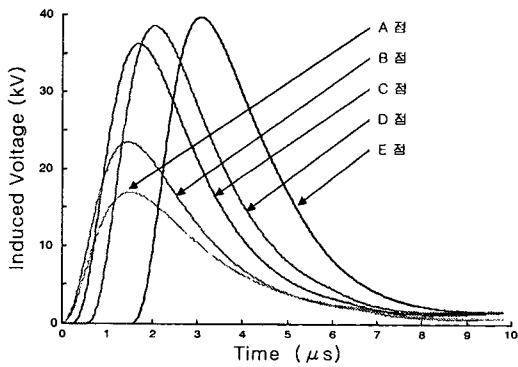
통신선로와 가공지선에 관한 파라미터는 다음과 같다. 통신선로의 길이는 1 km, 높이는 4 m(통신선로)와 5 m(가공지선), 단말저항은 600 Ω(통신선로)과 10 Ω(가공지선), 도체반경은 0.5 mm(통신선로)와 1.6 mm(가공지선)이다.

[그림 5]에 낙뢰발생 위치를 나타내었다. A점은 통신선로의 끝쪽에서 E점은 가운데에서 낙뢰가 발생한 경우이다. [그림 6]에 가공지선이 없는 경우 낙뢰 위치에 따라 통신선로에 유도되는 전압을 시뮬레이션한 결과를 보였다. 낙뢰 위치에 따라 유도전압이 차이가 나는데 선로의 가운데에서 발생한 낙뢰가 가장 큰 전압을 유도하는 것으로 나타났다.

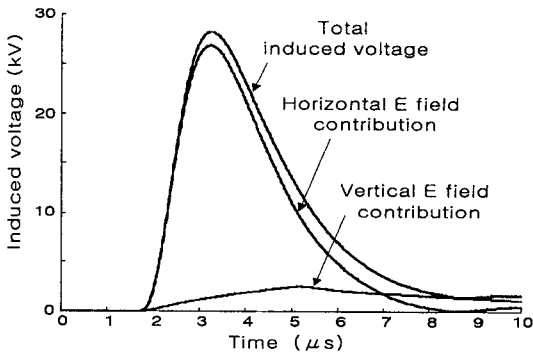
[그림 7]에서는 가공지선이 있는 경우 E지점에서 발생한 낙뢰에 의한 전기장의 수직성분과 수평성분을 따로 고려하여 유도전압을 시뮬레이션하였다. 식 (6), (7)에서 알 수 있듯이 수평성분은 수직성분에 비해 크기가 작고 거리에 따라 빨리 감소하지만 전송선로의 길이가 긴 경우 전송선로에



[그림 5] 통신선로와 뇌격지점



[그림 6] 낙뢰 위치에 따른 유도전압



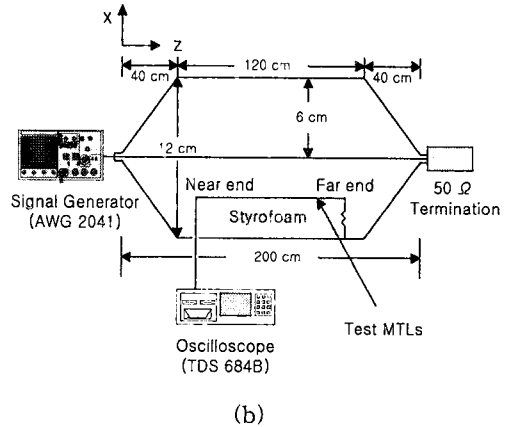
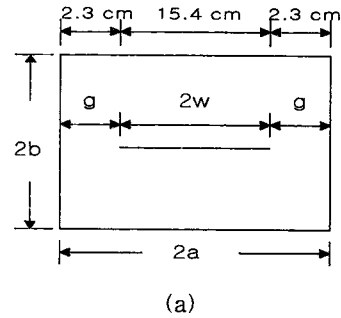
[그림 7] 낙뢰 수직, 수평 전자계의 유도전압 기여도

나타나는 유도전압은 수평성분의 기여가 더 크다. 또한 가공지선이 있는 경우 대략 30%의 차폐효과를 보임을 알 수 있다. 최근에는 대지의 전도도를 고려하여 낙뢰전기장의 수평성분을 계산하고 실제 낙뢰현상을 축소된 실험으로 재현하여 선로에 나타나는 유도전압을 실험하고 시뮬레이션하는 연구

가 진행되고 있다^[7].

IV. 실험구조 및 결과비교

외부로부터 입사하는 전자파에 의해 다중 전송선로에 유도되는 전압을 측정하기 위한 장비 구성은 [그림 8]과 같다. 이때 제작된 TEM 셀 내부에서 테스트 전송선로에 전자파 펄스를 입사시키기 위해서 Tektronix사의 모델명 AWG (Arbitrary Waveform Generator) 2041을 사용하였다. 또한 이 전자파 펄스와 테스트 전송선로의 감응을 시간영역에서 측정하기 위해 1 GHz 분해 대역폭을 갖는 Tektronix사의 TDS 684B 디지털 실시간 오실로스코프를 사용하였다.



[그림 8] (a) 제작된 TEM셀의 단면구조
(b) 실험장치 set-up

먼저 실험에 사용된 TEM 셀의 특성 임피던스와 차단주파수는 다음식으로 얻을 수 있다^[8].

$$Z_0 = \frac{376.7}{4 \left[\frac{a}{b} - \frac{2}{\pi} \ln \left(\sinh \frac{\pi g}{2b} \right) \right]} \quad [\Omega] \quad (8)$$

$$f_c = \frac{75}{a} \sqrt{1 + \frac{4a}{\pi b \ln \left(\frac{8a}{\pi g} \right)}} \quad [\text{MHz}] \quad (9)$$

여기서 a , b , g 는 [그림 8]에 있으며 $a = 10$ cm, $b = 6$ cm, $g = 2.3$ cm이며 TEM 셀의 특성 임피던스는 50Ω , 차단주파수는 1.029 GHz로 설계, 제작되었다. Vector Network Analyzer를 이용하여 제

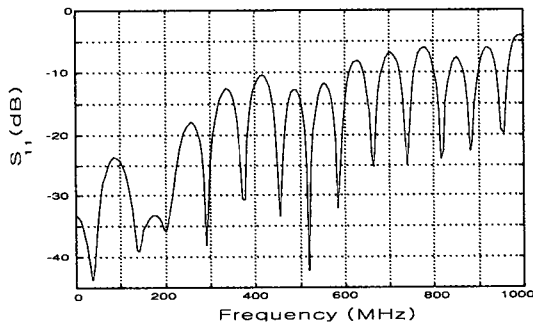
작된 TEM 셀의 반사손실(S_{11})과 삽입손실(S_{21})을 측정된 결과를 [그림 9]에 보였다. 대략 600 MHz까지는 -10 dB 이하의 특성을 보이고 있고 특히 저주파수 부분에서 -20 dB 이하로 반사손실이 비교적 적음을 알 수 있다.

AWG 2041에서 TEM 셀의 내부 도체인 septum에 인가해 주는 전압 파형은 수십 MHz의 주파수성분을 갖는 10 ns의 상승 및 하강시간을 갖는 크기가 1 V인 사다리꼴 펄스를 사용하였고 TEM 셀의 종단을 50Ω 으로 터미네이션하여 임피던스를 매칭시켰다. septum과 TEM 셀의 외부도체와의 거리 b 가 6 cm 이므로 TEM 셀 안에서 전송선로 방향으로의 전기장의 세기는 인가해 준 전압을 거리로 나눈 값 즉, -인가전압/0.06 V/m가 된다.

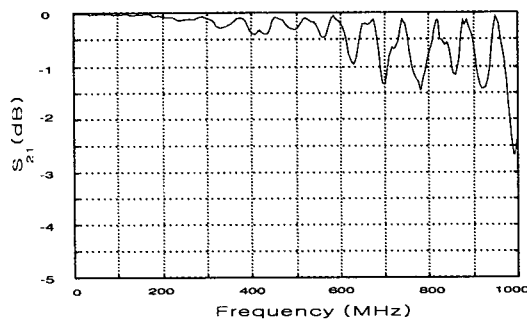
테스트 선로는 옥내 전화선으로 쓰이는 PVC 절연체로 피복된 1 쌍 연동선 (KSC 3340 TIV), 그리고 IEEE 802.3 100 base-T 적용표준인 PE 절연 PVC 자켓 재질로 피복된 4쌍 UTP Category 5를 사용하였다. 선로의 길이는 90 cm이고 50Ω 의 고주파용 칩 저항으로 종단하였다. 이때 접지판으로는 $120 \times 20 \times 0.3$ cm의 알루미늄 판을 사용하였는데 이는 접지를 이루는 동시에 TEM 셀의 외부 도체를 이루게 된다. 또한 이 전송선로를 공기와 유전율이 비슷한 스트로폼으로 지지하였다.

[그림 10]에 이 선로들의 단면구조를 나타내었다. 이 단면구조로부터 전송선 방정식의 파라미터인 $[L]$, $[C]$ 를 계산하였고 $[R]$, $[G]$ 는 0인 무손실 경우로 가정하고 시뮬레이션하였다. 도체가 2개인 연동선의 직경은 0.8 mm이고 도체간격은 2 mm이다. 그리고 접지판과의 높이는 3 cm에서 실험되었다. 그 실험결과를 [그림 11]에 보였고 시뮬레이션 결과와 잘 일치함을 알 수 있다.

[그림 12]에는 도체가 8개인 UTP Category 5를 시뮬레이션하고 측정된 결과를 비교하였다. UTP Category 5는 한 쌍씩 서로 약 2 cm 간격으로 꼬



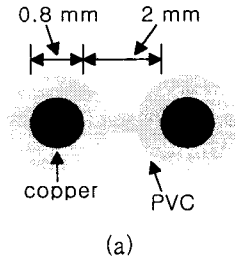
(a)



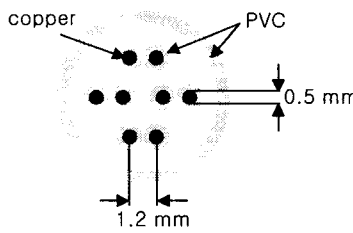
(b)

[그림 9] (a) TEM 셀의 S_{11} 측정치

(b) TEM 셀의 S_{21} 측정치



(a)

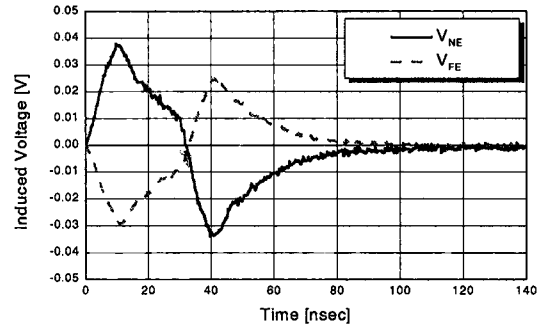


(b)

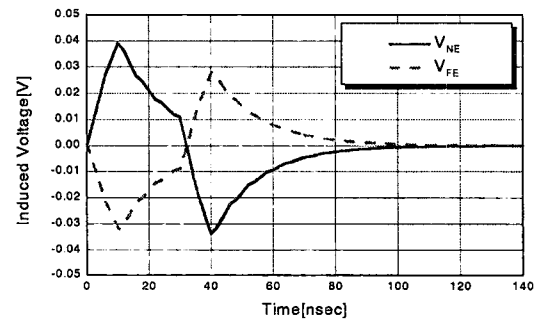
[그림 10] 전송선로의 단면구조
(a) KSC 3340 TIV (b) UTP Category 5

여져있다. 따라서 전송선 방정식의 $[L]$, $[C]$ 파라미터 값이 선로의 길이방향에 따라 변하게 된다. FDTD 법은 전송선로를 Δz 간격으로 샘플링하여 계산하므로 각각의 샘플링 포인트마다 $[L]$, $[C]$ 값을 계산하여 해석할 수 있다. [그림 12](a)는 실험결과이고 [그림 12](b)는 $[L]$, $[C]$ 를 변화시키며 시뮬레이션한 결과인데 8개 선로 모두에서 유도된 전압들이 거의 비슷한 파형들을 보이고 있다. [그림 12](c)에는 선로들이 꼬여져 있지 않고 직선으로 있다고 가정하고 $[L]$, $[C]$ 를 계산하여 시뮬레이션한 결과를 보였다.

[그림 10](b)의 위쪽 2개 도체에 가장 큰 전압이 유도되고 좌우 양쪽의 2개, 아래쪽 2개, 그리고 가운데 2개 도체의 순으로 유도전압의 크기가 작아졌다. 위쪽 2개 도체에 가장 큰 전압이 유도되는 이유는 전송선로의 접지면으로부터 선로의 거리가 멀어지면 식(4)에 보인 바와 같이 그 선로의 양단에서 분포전원의 값이 커지기 때문이다.



(a)

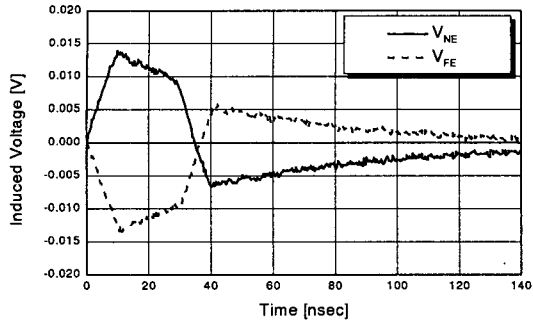


(b)

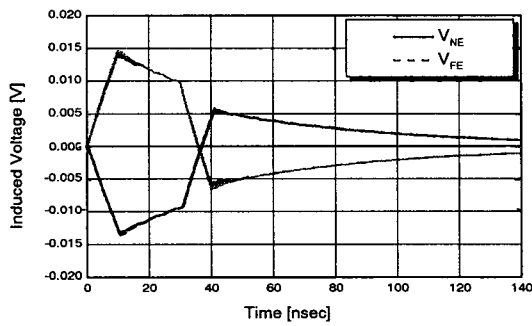
[그림 11] KSC 3340 TIV의 유도전압
(a) 실험 (b)시뮬레이션

V. 결 론

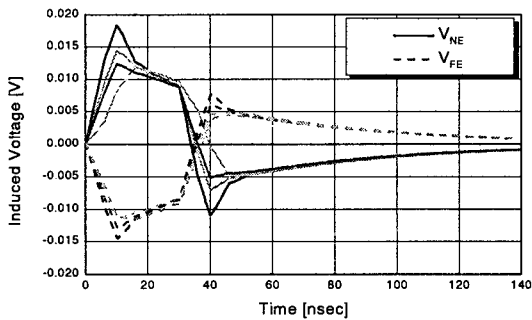
외부로부터 발생한 전자파가 다중 전송선로에 입사할 때 전송선로에 유도되는 전압을 FDTD 법을 이용해 수치해석적으로 계산하였다. 낙뢰전자파를 모델링하여 가입자 통신선로에 유도되는 전압을 계산하였고 가공지선이 있는 경우와 비교하여 가공지선의 차폐효과를 확인하였다. 또한 TEM 셀을 이용하여 실제 통신선로로 이용되는 KSC 3340 TIV와 UTP Category 5 케이블에 사다리꼴 전자파 펄스를 인가하여 유도되는 전압을 실험하고 시뮬레이션을 통하여 두 결과가 잘 일치함을 확인하였다.



(a)



(b)



(c)

[그림 12] UTP Category 5의 유도전압

(a) 실험 (b) 시뮬레이션(twisted)

(c) 시뮬레이션(straight)

이러한 전송선로들에서 결합현상을 이해하고 해석함으로써 복잡한 PCB나 집적회로 등에서의 전자파 양립성(Electromagnetic Compatibility : EMC) 문제 및 통신시스템 성능에 미치는 영향을 평가하

고 이에 따른 대비책을 강구할 수 있을 것이다.

참고 문헌

- [1] A. K. Agrawal, H. J. Price, and S. E. Gur-baxani, "Transient Response of Multiconductor Transmission Lines Excited by Nonuniform Electromagnetic Field," *IEEE Trans. Electromagn. Compat.*, vol. EMC-22, pp. 119-129, May 1980.
- [2] C. R. Paul, *Analysis of Multiconductor Transmission Lines*, Wiley Interscience, New York, 1994.
- [3] F. M. Tesche, M. V. Ianoz, and T. Karlsson, *EMC Analysis Methods and Computational Models*, Wiley Interscience, New York, 1997.
- [4] 한국전기연구소, 뇌격위치 표정장치를 이용한 한반도 낙뢰통계 작성 연구, 1996.
- [5] M. J. Master and M. A. Uman, "Transient Electric and Magnetic Fields Associated With Establishing a Finite Dipole," *Am. J. Phys.*, no. 51, pp. 118-126, 1983.
- [6] C. A. Nucci, F. R. Rachidi, and M. V. Ianoz, "Lightning-Induced Voltages on Overhead Lines," *IEEE Trans. Electromagn. Compat.*, vol. EMC-35, pp. 75-86, Feb. 1993.
- [7] M. Ishii, K. Michishita, and Y. Hongo, "Experimental Study of Lightning Induced Voltage on Overhead Wire over Lossy Ground," *IEEE Trans. Electromagn. Compat.*, vol. 41, pp. 39-45, Feb 1999.
- [8] M. L. Crawford and J. L. Workman, "Using a TEM cell for EMC measurements of electronic equipment," *NBS Tech. Note* #1013, 1979.

≡필자소개≡

주 재 철

1991년 2월: 명지대학교 전자공학과
(공학사)

1996년 7월: Okalahoma State University, Stilwater(공학석사)

1997년 3월~현재: 충남대학교 전자공학과 박사과정 재학중(한국표준과학연구원 학연과정)

[주 관심분야] 전자장 수치해석, EMI/EMC



박 범 준

1994년 2월: 충남대학교 전자공학과
(공학사)

1998년 3월~현재: 충남대학교 전자공학과 석사과정 재학중

[주 관심분야] 전자장 수치해석, EMI/EMC



박 동 철

1974년 2월: 서울대학교 전자공학과
(공학사)

1976년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과(공학석사)

1984년 12월: University of California, Santa Barbara(공학박사)

1976년 3월~현재: 충남대학교 공과대학 전자, 전파공학과 교수

1996년 1월~현재: 한국전자과학회 부회장

1998년 8월~현재: 충남대학교 부설 전자과학기술연구소장

1998년 11월~현재: IEEE EMC Korea Chapter Chairman

[주 관심분야] 마이크로파 수동소자 설계, EMI/EMC, 전자파 이론 및 안테나

