

소형 펄스 안테나를 위한 분포저항 장하 기법과 특성 분석

강병구 · 전상재 · 박의준

금오공과대학교 전자공학부

요 약

광대역 스펙트럼을 갖는 신호의 송, 수신을 위한 안테나는 분산 및 단부(end points)에서의 전류 반사가 최소로 되어야 한다. 이를 위해 안테나 상에 저항을 적절히 분포시키는 방법을 소개하고, 그 방법을 사용한 대표적인 펄스 송, 수신 안테나의 특성을 살펴보고자 한다. 그리고 비선형적으로 분포된 저항을 갖는 다이폴 안테나의 β s 전자기 펄스 송, 수신 특성을 펄스폭, 안테나 길이와 형상 등을 변수로 하여 시간영역 해석을 통해 엄격히 분석한다.

I. 서 론

펄스안테나는 전자기 펄스 센서, 임펄스 레이더, spectrometer, 지하침투 레이더(ground penetrating radar) 시스템 등에서 광대역 비정현신호 송, 수신용으로 많이 사용되고 있다. 대표적인 광대역 안테나로는 와이어 진행파 안테나, 유전체 기판을 사용한 테이퍼형 슬롯 안테나로서 지수함수적으로 테이퍼된 비발디(vivaldi)형 안테나, LTSA(linearly tapered slot antenna) 및 부분적으로 일정한 폭을 갖는 CWSA(partially constant width slot antenna) 등이 있다^[1]. 그 외 spiral, bow-tie 안테나^[1] 및 SBH(slotline bowtie hybrid) 안테나^[2] 등이 있는데 이 안테나들은 대부분 안테나 형상을 변화^[3]시켜 대역폭을 개선시킬 수 있었으나 단부에서의 반사파에 의해 그 대역폭에는 한계가 있다. 이상적인 경우 안테나의 길이

가 무한히 길면 주파수에 독립적이 되어 무왜곡 펄스 송, 수신이 가능하지만 유한한 길이의 안테나의 경우는 단부에서의 반사파를 가능한 한 억압시킬 필요가 있다. 또한 소형화시킬수록 공진에 의한 주파수 의존성을 줄일 수 있는 반면 감도(sensitivity)가 감소하는 단점을 가진다. 따라서 안테나 크기와 양호도(fidelity) 및 감도 등의 적절한 타협이 이루어야 하며 그 최적의 타협점은 안테나 상에 저항을 적절히 분포시키는 방법으로 찾을 수 있다. 안테나 상의 내부 반사를 줄이기 위한 방법으로서 1961년 Altshuler^[4]는 최초로 이산적인 저항을 다이폴의 단부에서부터 $\lambda/4$ 지점에 부착하여 진행파 안테나를 구현하였으나 펄스안테나의 광대역 특성은 만족시키지 못하였다. 펄스안테나의 조건으로서는 안테나 상의 반사신호 피크치가 인가 신호의 40 dB 이하를 만족시키는 범위를 대개 정하고 있다. 1965년 Wu와 King^[5]은 다이폴 안테나 상에 저항을 연속적으로 분포시키는 방법을 제시하였으며, 오늘날 WK 프로파일로 알려지면서 많이 응용되고 있다. WK 프로필을 기초로 하여 분포저항 장하 안테나에 관한 연구가 많이 진행되어 왔으며, 오늘날의 장하 방법으로는 얇은 유전체 sheet에 저항성 필름 혹은 금속 합금의 폭을 가변시켜 침전시키는 방법^[6]과 연속적인 분포저항 프로필을 이산적으로 근사화시켜 서로 다른 값을 갖는 일정한 길이의 저항 필름을 이산적으로 분포시키는 방법^[7] 등이 있다. 본 고에서는 저항분포의 대표적인 방법을 소개하고, 분포저항 장하 안테나의 시간영역 해석을 통해 고려해야 할 변수와

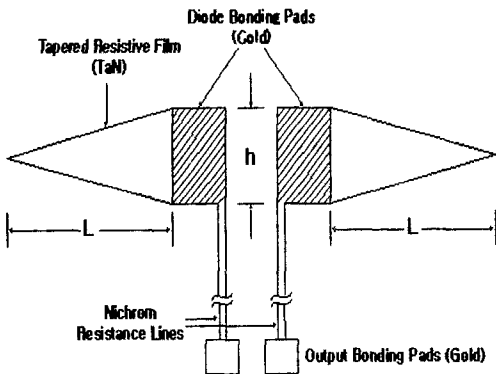
그 특성을 분석한다.

II. 분포저항 장하 안테나

도체로 이루어진 안테나는 정재파 전류분포에 의해 높은 주파수 의존성을 갖는다. 따라서 도체 안테나의 동작주파수 범위는 공진주파수에 의해 한계를 가지게 되며, 안테나의 길이는 주파수 함수가 된다. 그러므로 안테나의 길이를 짧게 하므로서 광대역에서 평탄한 주파수 응답을 가지게 할 수 있다. 그러나 안테나 이득을 고려하여야 하므로 안테나 길이, 대역폭 및 이득간의 적절한 타협이 이루어져야 하며, 안테나 단부에서의 주파수 의존성 반사파를 최대한으로 억압시킬 필요가 있다. 이는 [그림 1]과 같은 분포저항 장하 진행파 안테나^[8]로 구현할 수 있다.

s 방향으로 놓인 다이폴안테나의 한 변의 길이를 L, 다이폴의 반경을 a라고 하면 WK 프로필에 의해 단위길이당 분포저항 임피던스는 다음과 같이 주어진다.

$$r(s) = \frac{60 Re[\psi]}{L-S} \quad [\Omega/m] \quad (1)$$

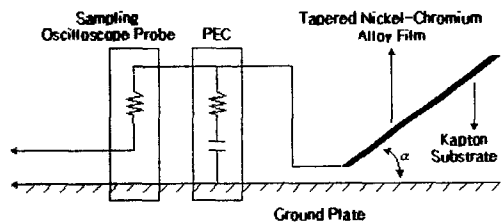


[그림 1] Al₂O₃기판상에 침전된 테이퍼형 저항성 필름으로 구성된 다이폴 센서

$r(0)$ 는 안테나 상에서 저항 분포 시작점에서의 분포저항값이며 ψ 는 다음과 같이 표현된다.

$$\psi \approx 2 \left[\sinh^{-1} \left(\frac{L}{a} \right) - C(2ka, 2kL) - jS(2ka, 2kL) \right] + \frac{j}{kL} (1 - e^{-j2kL}) \quad (2)$$

여기서 $C(\cdot)$ 와 $S(\cdot)$ 는 각각 일반화된 cosine 및 sine 적분을 의미하고, k 는 파수를 의미한다. 허수부는 실수부에 비해 매우 작으므로 무시될 수 있고, 결과적으로 저항값은 실수가 될 수 있다. 예로서 안테나의 주파수에 대한 감도와 대역폭(100 KHz~18 GHz)을 고려하여 8 mm ($L=4$ mm)다이폴을 선정하고 $r(0)$ 을 95 Ω/mm 로 둘 경우 식 (1)을 사용하면 단부에서 무한대의 저항을 가지게 된다. 이를 실제로 구현하기 위해 Kanda^[8] 등은 9.5 Ω/sq 의 저항율을 갖는 tantalum nitride(TaN) 필름을 침전시켰다. 이때 식 (1)의 분포저항을 위해 $h=0.15$ mm에서 안테나 단부까지 선형으로 테이퍼링 시켰다. 광대역 동작을 위해서는 적어도 5 K Ω 의 급전부 저항을 가져야 하며 이를 위해 표면저항 250 Ω/sq 인 니크롬(NiCr) 선로를(선로폭: 0.025 mm, 선로간격: 0.025 mm, 선로길이: 40 mm) 알루미늄 Oxide 기판상에 에칭시켜 각 선로의 총 저항이 약 400 K Ω 이 되도록 하고 출력 분당 패드로 종단시켰다. 그 결과 수신 전달함수를 $R(\omega) = 10 \log(V_{max} / E_i^2)$ 로 정의할

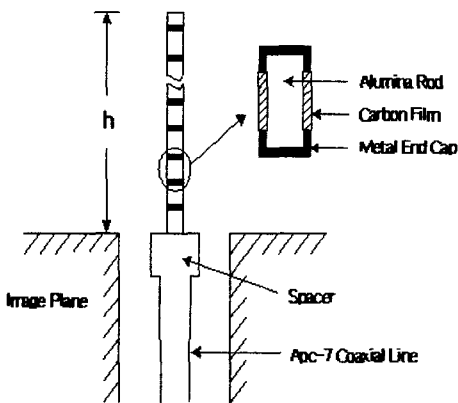


[그림 2] 테이퍼된 저항성 필름으로 구성된 V-모노폴 센서

때 1 MHz~15 GHz에서 -58 ± 2 dB의 전달합수를 구현할 수 있었다. 여기서 E_i 는 입사 전계의 크기이며 V_{max} 는 다이오드를 통해 수신된 최대 DC 전압을 의미한다.

[그림 2]는 얇은 Kapton 기판상에 침전시킨 nichel chromium 합금필름으로 구성된 V-모노폴 안테나^[6]를 보인 것이다. 필름의 표면저항은 약 $17 \Omega/sq$ 이며 급전부의 폭을 1 cm로 둘 경우 WK 프로필을 만족시킬 수 있도록 안테나 단부까지 선형으로 테이퍼된 형태를 가지고 있다. Essells 등은 $L=30$ cm로 하고 펄스 수신 파형 측정을 위해 500Ω 디지털 오실로스코프 프로브 사이에 응답 등화회로(response equalizer circuit)를 구성하였다. 필름의 가장 넓은 폭을 갖는 급전부에 [그림 1]과 같이 gold 패드를 두고 이 패드에 REC와 프로브를 접촉시켜 실험하였다. 그 결과 100 MHz~1.1 GHz 범위에서 -58 ± 2 dB의 수신 전달특성 ($R(\omega) = V_r(\omega)/E_i(\omega)$)을 가졌으며, 이는 인가 가우시안 펄스 폭이 갖는 주요 스펙트럼(1.4 GHz)를 양호하게 수신할 수 있음을 보였다.

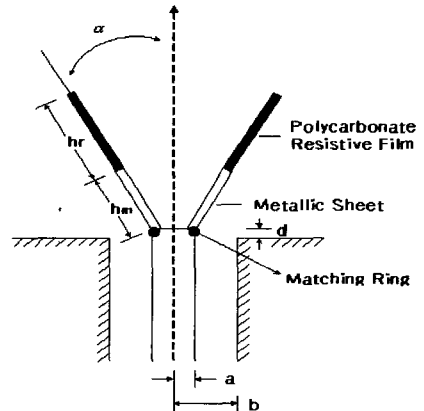
[그림 3]은 동축선로로 급전되고 WK 프로필이 적용된 저항성 튜브를 사용한 모노폴 복사 안테나^[9]



[그림 3] 저항성 모노폴 송신 안테나

를 도시한 것이다. 앞서 언급한 침전 폭의 변화를 통한 분포저항 구현시 발생할 수 있는 제한된 필름 폭을 극복하는 하나의 방법으로서 [그림 3]은 연속적 프로필을 근사적으로 만족시키는 이산적인 저항들로 분포시킨 것이다. Maloney^[9] 등은 APC-7 동축선로 급전을 고려하여 최적화된 저항을 10개의 이산 저항 소자로 구현하였다. 각 저항들은 알루미늄나 rod ($\epsilon_r \approx 10$)상에 carbon 필름을 침전시켜 구현된다. 변화되는 저항 크기는 각 셀의 길이로 조절된다. 결과적으로 안테나 단부에서의 반사파를 억압시키므로서 원거리 전장에는 떨림(ringing) 현상이 최소화되도록 하였다. [그림 4]는 저항성 코니컬 안테나^[7]를 보인 것이다. 7 mm APC-7 동축선로 급전시 급전부에서의 반사를 줄이기 위해 offset 높이를 $d = a / \tan \alpha$ 로 두고 동축선로 내부 도체와 cone 접합부에 완전 도체로 이루어진 정합 링을 설치하므로서 보상전의 경우 보다 반사 전압이 35 dB 줄어들 수 있음을 보였다.

이는 $\alpha = 47^\circ$, $h = (h_r + h_m) a = 99.7$ 로 두고 최적화된 결과이다. 안테나 단부에서의 반사파는 위의 모노폴 안테나와 같이 저항의 연속적인 분포 대신 근사적인 이산 저항을 분포시켜 최소화시킨다. 이



[그림 4] 저항성 코니컬 안테나

때 h/h_m 과 최소 저항의 크기는 최적화시켜 구한다. 그 결과 10:1 보다 큰 대역폭에서 이득의 변동폭이 ± 1 dB 이내를 만족시킨다.

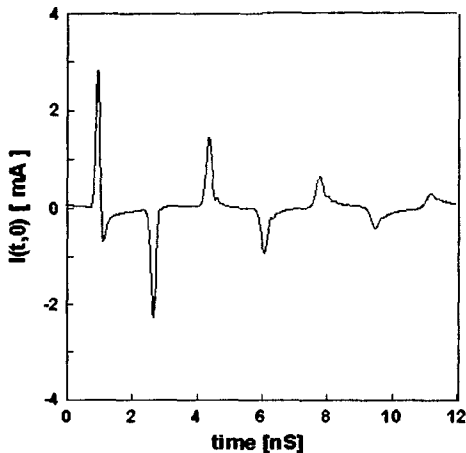
III. 분포저항을 갖는 펄스안테나 특성 해석

1990년 Shen^[10] 등은 상승시간 56 ps와 펄스폭 66 ps (14 GHz 대역폭)를 갖는 가우시안 펄스 신호에 대해 도체 선형 모노폴에 비해 도체 V-형 모노폴의 감도가 같은 대역폭에서 약 8배가 됨을 근사화된 시간 영역 해석에서 보인 바가 있다. 이는 형상 변형을 통한 대역폭이 향상된 예이다. 이 때 안테나의 단부에서의 반사파에 의해 대역폭에 한계를 가지므로 ps 신호에 대해 분포저항을 장하시킨 V-안테나의 송, 수신 특성을 수치해석(모멘트법)에 입각하여 분석해 보았다. 전류의 기저함수 및 무게함수를 펄스함수로 두었다. 기저함수의 계수를 I_n 으로 두고, 전압행렬을 V_m 이라 두면, 일반화된 임피던스 행렬은 $[Z_{mm}] [I_n] = [V_m]$ 으로 표현될 수 있다. 분할된 와이어의 n 번째 조각과 $(n+1)$ 번째 조각 사이에 R_n 의 집

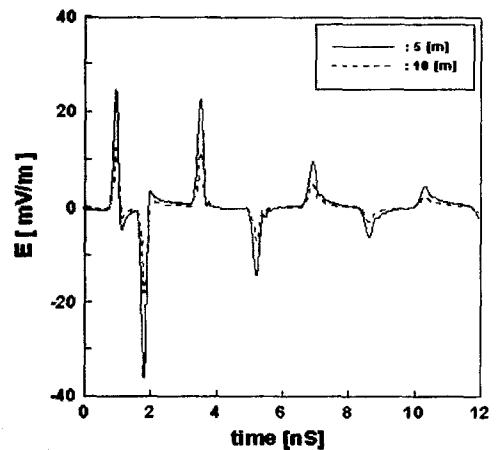
중저항 소자가 장하되어 있다면 이 저항에 의해 전압 강하가 발생할 것이므로 $[Z'_{mm}] [I_n] = [V_m]$ 으로 수정되어지며, 여기서 $m=n$ 일 때 $Z'_{mm} = Z_{mm} + R_m$, $m \neq n$ 일 때 $Z'_{mm} = Z_{mm}$ 으로 둘 수 있다. 분포저항으로 장하될 경우 각 구간에서의 분포저항 $R(\Delta s_n)$ 은 일정하지만 분할 개수를 크게 하면(본 연구에서는 $N=160$) 저항이 거의 연속적으로 분포된 것으로 간주할 수 있으며, 이 분포저항에 의해 각 구간에서의 전압 강하가 발생함으로써 집중저항 소자를 고려한 모멘트법과 동일한 형태로 취급할 수 있다. IDFT를 사용하여 시간영역 계산 결과를 다음에 보였다.

[그림 5]는 한 번의 길이가 $L=25$ mm인 직선형 도체 다이폴 안테나의 delta 갭 급전부에 펄스폭이 200 ps, 크기가 1 V/m인 가우시안 펄스를 인가시켰을 경우의 급전부 전류분포를 보인 것이다. 이 그림으로 부터 안테나 단부에서 부터 연속적으로 반사파가 존재함을 알 수 있다. [그림 6]은 boresight 원거리 전장의 과도파형을 계산한 결과이다.

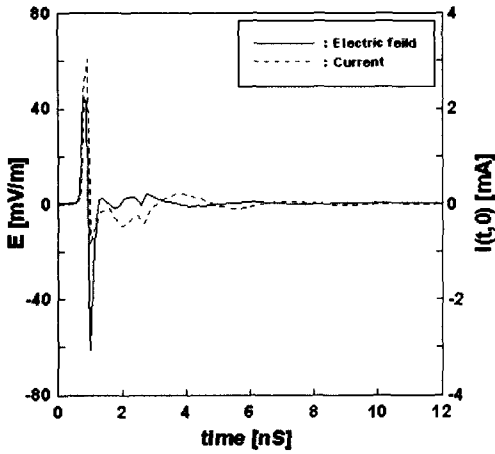
[그림 7]은 $L=25$ cm, 사이각 90° 인 V-다이폴



[그림 5] 저항이 분포되지 않은 Straight 와이어 급전부 전류



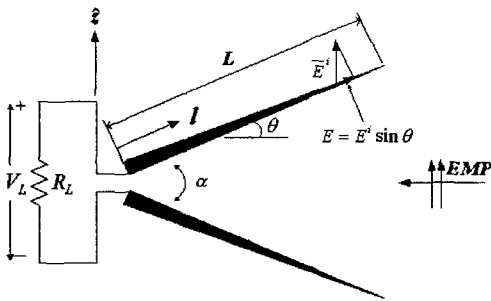
[그림 6] Straight 와이어 안테나 원거리 전장의 과도파형



[그림 7] 분포저항이 장하된 V-안테나의 5 m 전장과 급전부 전류

안테나에 저항을 분포시켜 계산한 안테나 급전부 전류와 5 m (boresight) 거리에서의 전장을 도시한 것이다. 이 때 안테나 단부에서 한변의 중심까지 $60 \sim 0 \Omega$ 의 저항^[10]을 분포시켜 계산하였으며, 그 결과 안테나 내부 반사파 억압에 의해 떨림 현상이 크게 개선됨을 알 수 있다. 여기서 분포저항값은 반복법을 사용하여 도출한 결과이다.

한편 전자기와 수신용 L형 혹은 직선형 다이폴 안테나^{[7],[8]}의 경우 입사하는 전장은 안테나의 방향과 같은 방향으로 안테나의 각 segment에 동시에 도



[그림 8] 저항이 분포된 V-형 센서

달하게 된다. 하지만, [그림 8]과 같은 V-형 안테나의 경우는 도래하는 방향으로 안테나가 굽어져 있으므로 입사하는 전장은 안테나의 각 segment에 각각 다른 시간에서 도달하게 된다. 따라서 안테나의 단부에 가까울수록 더 이른 시간에 전장이 도달하게 되고, 시간지연은 곧 각 segment에서의 위상 지연을 의미한다. 시간 지연을 고려해서 안테나상의 접선 방향으로 인가되는 전장을 표현하면 다음과 같이 된다.

$$E(t, l) = \sin \theta \cdot E^i \left(t + \frac{l \cos \frac{\alpha}{2}}{c} \right) \quad (3)$$

여기서 \overline{E} 를 가우산 평면파로 가정하면 다음과 같은 푸리에 변환쌍으로 표현된다.

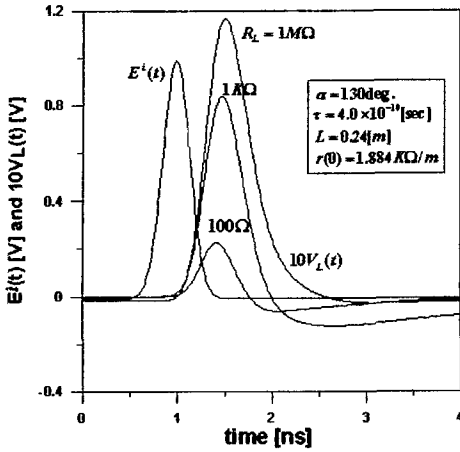
$$\overline{E}^i(t, l) = \exp \left(-g^2 \left(t - t_d - \frac{\overline{l} \cdot \hat{n}}{c} \right)^2 \right) \hat{z} \quad (4)$$

$$\leftrightarrow \overline{E}^i(\omega) = \frac{\sqrt{\pi}}{g} \exp \left(-\frac{\omega^2}{4g^2} \right) \cdot$$

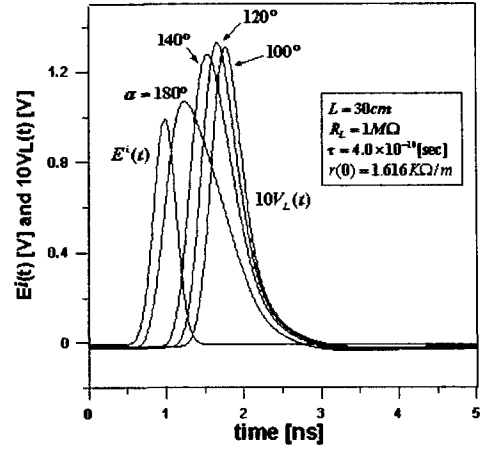
$$\exp \left(-j \left(t_d + \frac{\overline{l} \cdot \hat{n}}{c} \right) \omega \right) \hat{z} \quad (5)$$

여기서, t_d 는 가우산 펄스가 갖는 time delay의 기준시간인데, 이 항은 와이어가 꺾였을 때의 각 세그먼트에 도달하는 시간 지연을 고려한 항이다. 그리고, \hat{n} 은 입사파의 도래방향 단위벡터, $\tau = 2/g$ 는 3 dB 펄스폭을 의미한다.

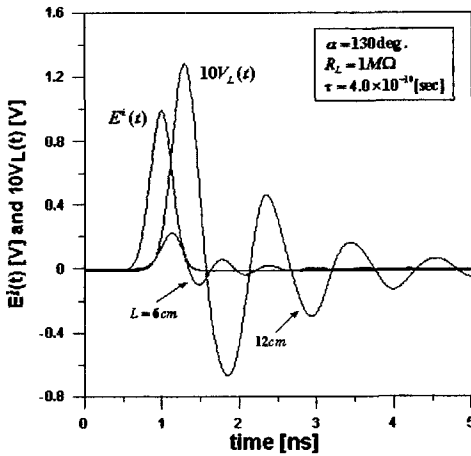
[그림 9]는 WK 프로필을 적용시킨 400 ps V-형 센서의 급전부 저항 R_L 의 변화에 따른 수신 전압파형을 도시한 것이다. 사이각 $\alpha = 130^\circ$ 일 때 급전부 저항 R_L 이 증가하면 주파수 전달함수의 평탄도 개선에 의해 수신레벨은 증가하고, 전압 reaction이 개선됨을 알 수 있다. 그러나 다음에 설명될 급전 전압의 주파수 의존성 위상차에 기인하여 펄스의 분산이 커짐을 알 수 있다. 따라서 급전부 저항 선택 시 적절한 타협이 이루어져야 함을 알 수 있다.



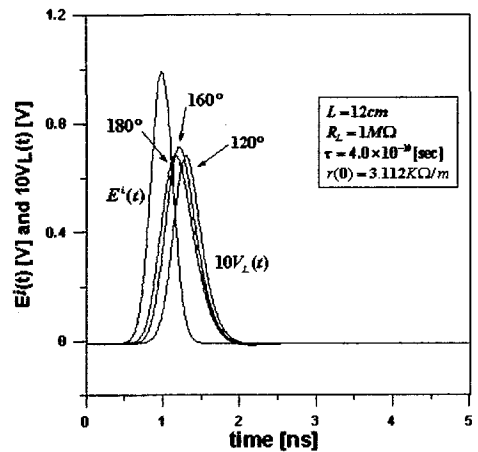
[그림 9] 저항이 분포된 V-형($\alpha = 130^\circ$) 안테나의 R_L 의 변화에 따른 수신 파형 비교



[그림 11] $L = 30$ cm일 때 α 의 변화에 따른 수신 파형 비교



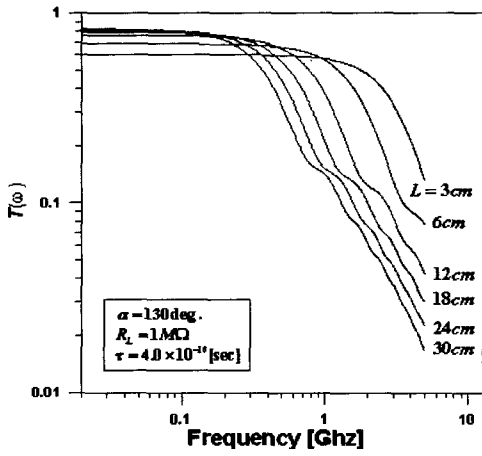
[그림 10] 분포저항이 장하되지 않았을 때의 수신 파형 비교



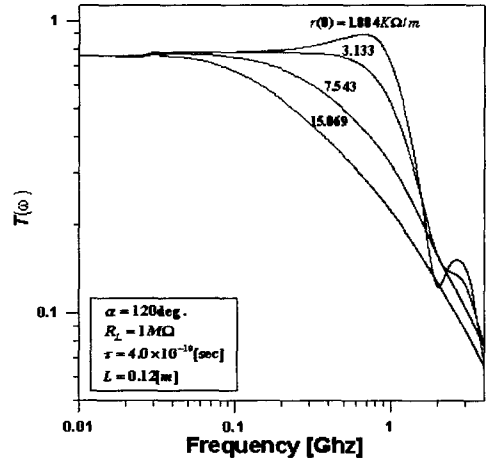
[그림 12] $L = 12$ cm일 때 α 의 변화에 따른 수신 파형 비교

[그림 10]은 분포저항이 장하되지 않았을 경우의 수신 파형을 비교한 그림이며, [그림 11]과 [그림 12]는 저항을 분포시켰을 때 α 와 L 의 변화에 따른 수신 파형을 비교한 것이다. 안테나의 길이가 $L = 42$ cm에서 사이각이 110° 일 때 수신 파형이 가장 크고, 30 cm, 24 cm, 12 cm 일 때는 각각 120° , 130° ,

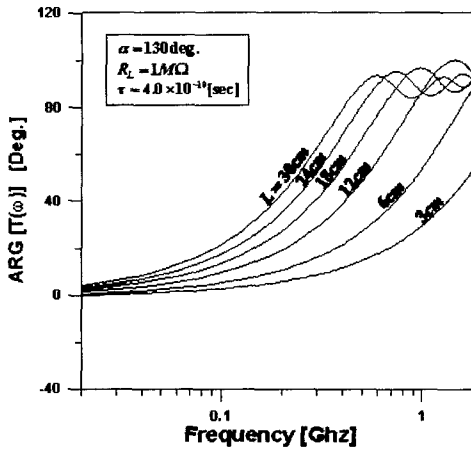
160° 일 때가 수신 파형의 크기가 가장 크다는 것을 확인할 수 있었다. 그리고 안테나의 길이가 증가함에 따라 분포저항이 장하된 V-형의 경우가 분포저항이 장하된 직선형 안테나($\alpha = 180^\circ$)보다 파형의 크기와 파형의 보전성 면에서 우수한 특성을 보임을 알 수 있다. L 의 변화에 따라 변화되는 파형은



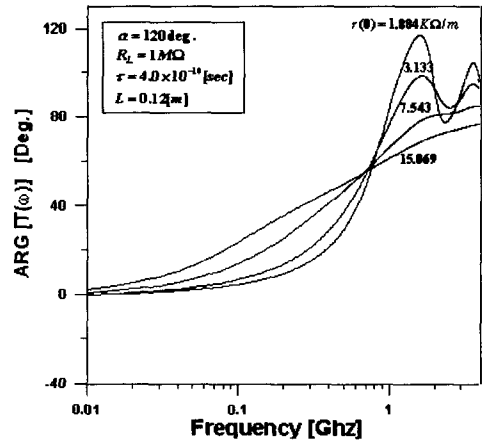
[그림 13] L 의 변화에 따른 주파수 전달함수 크기 비교



[그림 15] $r(0)$ 의 변화에 따른 주파수 전달함수 크기의 변화



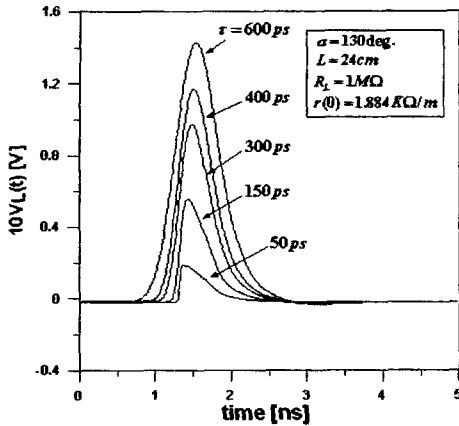
[그림 14] L 의 변화에 따른 수신 안테나의 주파수 전달함수 위상 비교



[그림 16] $r(0)$ 의 변화에 따른 주파수 전달함수 위상의 변화

[그림 13]과 [그림 14]의 주파수 전달함수로부터 쉽게 예측될 수 있다. 이 때 길이를 고려하여 전달함수를 $T(\omega) = V_L(\omega) / (E^i(\omega) \cdot L)$ 로 두었다. 이 그림들로부터 안테나 길이가 짧아지면 수신 레벨은 작아지지만 대역폭 증가와 위상의 주파수 의존성이 개선됨에 따른 분산의 감소에 의해 펄스 보전성이

향상될 수 있음을 알 수 있다. 이상의 결과들은 주어진 제원하에서 우수한 주파수 전달함수 특성을 만족시키는 $r(0)$ 의 값을 선정하여 계산된 것이다. 예로서 $\alpha = 120^\circ$ 일 때 $r(0)$ 의 변화에 따른 전달함수의 크기와 위상을 [그림 15]와 [그림 16]에 보였다.



[그림 17] 펄스폭의 변화에 따른 수신 파형 비교

이 그림으로 부터 약 $r(0) = 3.133 \text{ K}\Omega/\text{m}$ 일 때가 우수한 특성을 가짐을 알 수 있다.

[그림 17]은 사이각이 130° 일 때 펄스폭의 변화에 따른 수신 파형을 비교한 것이다. 주어진 길이에서 펄스폭이 감소하면 수신전압 크기가 줄어들고, 왜곡이 커지지만, 이는 길이를 감소시켜 극복시킬 수 있다.

IV. 결 론

본 고에서는 안테나의 광대역화를 위해 저항성 안테나 설계 방법을 소개하고, straight형 혹은 L-형보다 우수한 광대역 특성을 갖는 대표적인 진행파 안테나인 V-형 다이폴 안테나를 예로 들어 분포저항을 장하시켰을 경우의 특성을 살펴보았다. 기존의 실험적 결과를 토대로, 특히 수신 주파수 전달함수를 정의하여 전자기 펄스 센서 설계를 위해 고려해야 할 설계 변수들의 변화에 따른 수신 특성을 분석하였다. 송신 펄스안테나의 경우, 분포저항은 안테나 단부에서의 반사파를 억압시키는데 주된 역할을 하며, 급전부에서의 반사파는 광대역 임피던스 정합

에 의해 감소시킬 수 있다. 그러나 분포저항 장하 수신안테나의 경우 급전부 저항의 크기에 의해 수신 파형의 양호성 및 감도가 크게 좌우됨을 알 수 있었다. 대략 $1\sim 5 \text{ K}\Omega$ 이상의 급전부 수신저항이 필요하며, 이는 Esselle^[6] 등의 분포저항을 갖는 수신 V-모노폴 실험 결과에서 500Ω 프로브로 이루어진 수신저항을 사용했을 때 도체 V-모노폴 혹은 L-안테나보다 낮은 수신 감도를 가지는 이유로 설명될 수 있다. 분석예로부터 분포저항에 의해 송신안테나상의 반사파가 억압되고, 그 결과 복사장에서 반복되는 반사파 복사가 제거됨을 확인할 수 있었다. 수신안테나의 경우 수신전압 파형의 ringing 현상이 제거되었으며, 또한 펄스안테나의 소형화를 위해 펄스폭, 안테나 길이 및 형상, 급전부 저항, 그리고 초기 분포저항값 $r(0)$ 간의 적절한 타협점이 존재함을 보였다. 형상변형법과 함께 분포저항 장하 방법을 통해 bowtie 안테나^[11], SBH 안테나^[12] 등의 광대역화 연구가 진행된 바 있으며, 향후 이 방법을 사용하여 소형 집적 안테나의 광대역화에 대한 연구도 필요하리라 판단된다.

참 고 문 헌

- [1] H. L. Bertoni, L. Carin and L. B. Felsen, *Ultra-wideband short-pulse electromagnetics*, Plenum Press, 1993.
- [2] K. Y. A. Lai, A. L. Sinopoli and W. D. Burnside, "A novel antenna for ultrawide-band applications", *IEEE Trans. Antennas and Propagation*, vol. 41, pp. 755-760, July 1992.
- [3] 김연선, 박의준, "펄스 복사 능력 개선을 위한 리플형 광대역특성을 갖는 비선형 와이어안테나 설계에 관한 연구", *대한전자공학회논문지*, 39TC(3), pp. 150-157, 2002년.

[4] E. E. Altshuler, "The traveling-wave linear antenna", *IRE Trans. Antennas and Propagation*, vol. 9, pp. 324-329, July 1961.

[5] T. T. Wu, W. P. King, "The cylindrical antennawith nonreflecting resistive loading", *IEEE Trans. Antennas and Propagation*, vol. 13, pp. 369-373, May 1965.

[6] K. P. Esselle, S. S. Stuchly, "A broad-resistively loaded V-antenna : experimental results", *IEEE Trans. Antennas and Propagation*, vol. 39, pp. 1587-1591, Nov 1991.

[7] J. G. Maloney, G. S. Smith, "Optimizati-on of a conical antenna for pulse radiation : An efficient design using resistive loading", *IEEE Trans. Antennas and Propagation*, vol. 41, pp. 940-947, July 1993.

[8] M. Kanda, L. D. Driver, "An isotropic electric-field probe with tapered resistive dipoles for broad-band use, 100 kHz to 18 GHz", *IEEE*

Trans. Microwave Theory and Tech., vol. MTT-35, no. 2, pp. 124-130, Feb 1987.

[9] J. G. Maloney, G. S. Smith, "A study of transient radiation from the Wu-King resistive monopole FDTD analysis and experimental measurements", *IEEE Trans. Antennas and Propagation*, vol. 41, no. 5, pp. 668-676, May 1993.

[10] 박의준, 이영순, 김병철, 정훈, 조재욱, "와이어 안테나의 광대역화를 위한 형상 굴곡화에 관한 연구", *한국전자과학회논문지*, 11(3), pp. 454-463, 1999년.

[11] K. L. Shlager, G. S. Smith and H. G. Maloney, "Optimization of bow-tie antenna for pulse radiation", *IEEE Tran. Antennas and Propagation*, vol. 42, pp. 975-982, July 1994.

[12] L. C. T. Chang, W. D. B, "An ultrawide-bandwidth tapered resistive TEM horn antenna", *IEEE Tran. Antennas and Propagation*, vol. 48, no. 12, pp. 1848-1857, Dec 2000.

≡필자소개≡

강 병 구



2000년 2월: 금오공과대학교 전자공학과 (공학사)
 2003년 2월: 금오공과대학교 대학원 전자공학과 (공학석사)
 2003년 3월~현재: LG 필립스
 [주 관심분야] 광대역 안테나설계

전 상 재



1999년 2월: 금오공과대학교 전자공학과 (공학사)
 2002년 2월: 금오공과대학교 대학원 전자공학과 (공학석사)
 2002년 3월~현재: 금오공과대학교 대학원 전자공학과 박사과정
 [주 관심분야] 마이크로파 전송선로 및 전자장 수치해석, 안테나

박 의 준



1983년 2월: 동아대학교 전자공학과 (공학사)
 1986년 8월: 고려대학교 대학원 전자공학과 (공학석사)
 1990년 2월: 고려대학교 대학원 전자공학과 (공학박사)
 1990년 2월~현재: 금오공과대학교 전자

공학부 교수

[주 관심분야] 전자장 수치해석 및 안테나, 마이크로파 전송선로 및 회로설계 등