

광대역 혼 안테나용 발룬 설계 및 안테나 특성 해석

문선주*, 임동균**, 최재연***

요약

TEM 혼 안테나의 두 도체에 흐르는 전류가 축 방향 성분만 존재한다고 가정하면 안테나는 여러 개의 다이폴로 구성된 구조로 가정할 수 있고, 평행회로인 TEM 혼 안테나에 불평행회로인 동축케이블로 급전할 경우 발룬이 필요하다. 본 연구에서는 발룬으로 안테나의 상하에 180° 위상차를 주어 급전할 필요가 있으므로 90° 위상차를 갖는 6개 디지트 랑게 커플러를 2단 종속 접속하고, 안테나 입력 임피던스와 커플러출력 임피던스를 정합시키기 위하여 단락선 정합법과 선형 이중 테이퍼를 함께 적용하여 안테나의 입력임피던스와 반사손실, 그리고 발룬의 전달특성등을 해석한다.

Design and the Characteristic Analysis of Balun for Broadband Horn Antenna

Sun-Joo Moon*, Dong-Kyun Lim**, Jae-Yeon Choi***

ABSTRACT

In this study, the balun for the broadband TEM horn antenna is designed and analyzed. The assumption can make the analysis easy that there exists the only the vertical component of the current on the conducting plates. According to this assumption, the TEM horn antenna can be approximated to many dipole antennas. The TEM horn is fed by the balun which is designed here. The two stage cascaded Lange coupler composes the balun and the impedance transformer is already designed by the short-linear matching method and the linear double taper method. The TEM horn antenna is analyzed by measuring the input impedance and the return loss. The transfer characteristics of the balun is also analyzed.

Key Words : Lange Coupler, balun, aperture antenna, moment method, impedance transformer

* Imperial college London, UK, Dept. of Communications and signal processing(☐sunjoo.moon08@imperial.ac.uk)

** 한양사이버대학교 컴퓨터공학과

*** 남서울대학교 정보통신공학과

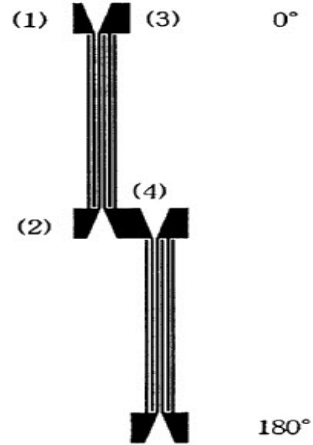
· 제1저자(First Author) : 문선주 · 교신저자(Correspondent Author) : 최재연

· 접수일(2010년 11월 5일), 수정일(1차 : 2010년 12월 3일), 게재확정일(2010년 12월 6일)

1. 서 론

광대역이면서 높은 이득을 요하는 안테나로서 TEM 혼 안테나가 주목받고 있는데[1][2][3] 이 안테나와 동축선로의 정합시에 불평형회로인 동축선로로써 평형회로인 안테나를 급전할 경우, 발룬을 사용해야 한다. 발룬은 동축선로를 이용하는 방법, 페라이트를 이용하는 방법 그리고 마이크로 스트립 선로를 이용하는 방법이 있으나 동축선로나 페라이트를 이용하는 방법은 100MHz 이하 주파수 대역에서 사용하고 있으며, 본 논문에서 제작하는 안테나의 경우 1.5GHz 이상에서 사용하므로 마이크로스트립 선로를 이용하여 설계하고자 한다. 90°의 위상차를 갖는 랑게커플러를 해석하고, TEM 혼 안테나에 180°위상차를 주기위해 2단으로 종속 접속한 커플러의 설계 패턴을 제시한다. 정합될 안테나의 입력임피던스 특성과 반사손실을 구하고, 발룬을 설계한뒤 전달특성을 구하여 안테나와 정합토록 한다.

제안한 방법을 적용하여 설계하였다.



- (1) 입력 단자
- (2) 커플드 단자
- (3) 다이렉트 단자
- (4) 아이솔레이트 단자

그림 1. 랑게 커플러 패턴도
Fig. 1. Pattern Diagram of Lange Coupler

II. 랑게 커플러를 이용한 발룬(Balun)의 설계

랑게 커플러는 서로 엇갈린 마이크로스트립 선로로 구성된 깎지형(inderdigit type) 마이크로스트립 결합기로서 감쇠기, 평형 증폭기, 평형믹서, 평형 안테나 급전소자로서 널리 사용된다. 1969년 Lange[4]는 3dB 깎지형 커플러를 처음으로 제안하였으며, 그후 1975년 Ou's[5]는 마이크로스트립 선로간의 우수 및 기수 모드 임피던스 관계를 처음으로 해석하였으며, Aktar zad[6]는 깎지형 마이크로스트립 선로의 우수 및 기수 모드 임피던스를 계산하여 W/H, S/H를 구하고 이를 이용하여 커플러의 크기를 구하는 방법을 제시하였다. 본 논문에서는 광대역 안테나에 급전할 발룬 설계에 목적이 있으므로 디지털(digit)수가 많은 즉 6개의 디지털을 갖는 커플러를 1981년 Osmani[7]가

그림 1에서 단자1에 입사된 전력은 단자2, 와 3으로 입사된 전력의 1/2전력으로 양분되어 출력되고, 2번 단자와 3번 단자와 90°위상차를 가지며, 단자4로는 전파되지 않는다. TEM 혼 안테나의 급전은 180°위상차를 주어 급전하여야 하므로 랑게 커플러를 2단으로 설계하였으며, 그림1.은 설계하고자하는 랑게 커플러의 패턴도이다. 마이크로스트립 선로의 분산 특성을 고려하지 않고 급전선의 특성 임피던스와 비유전율이 주어졌을 경우, 마이크로스트립모드의 임피던스는 아래식과 같다[5]

$$Z_{0o} = Z_0 \left(\frac{1-c}{1+c} \right)^{1/2} \cdot \frac{(k-1) \cdot (1+q)}{(c+q) + (k-1) \cdot (1-c)} \quad (1)$$

$$Z_{0e} = Z_\infty \frac{(c+q)}{(k-1) \cdot (1-c)} \quad (2)$$

여기서 $q = [c^2 + (1-c)^2(k-1)^2]^{1/2}$

k : 마이크로스트립 선로수

c : 커플링 계수

Z_0 : 급전선의 특성 임피던스

이다. 기수모드와 우수모드의 각 스트립선로의 두께와 폭의 비(W/H)는 다음 식과 같다.

$$(W/H)_{sc} = \frac{8}{p} \cdot \left[\frac{p(7+4/\epsilon_r)}{11.0} + \frac{1+1/\epsilon_r}{0.81} \right]^{1/2} \quad (3)$$

$$(W/H)_{so} = \frac{2}{\pi} \cosh^{-1} \left[\frac{(g+1)f-2}{g-1} \right] + r \cdot \cosh^{-1} \left[\frac{\cosh^{-1} \left(\frac{(g+1) \cdot f + g-1}{2} \right)}{\cosh^{-1} g} \right] \quad (4)$$

여기서

$$p = \left[\exp \left(\frac{Z_{0o,0e}}{84.8} (\epsilon_r + 1)^{1/2} \right) - 1 \right]$$

$$f = \cosh \pi \frac{(W/H)_{sc}}{2}$$

$$r = \frac{1}{\pi} \quad \epsilon_r > 6$$

$$r = \frac{8}{\pi(\epsilon_r + 2)} \quad \epsilon_r < 6$$

이다. 식(4)로부터 최적의 g 를 구한 다음 두께와 선로의 폭비(W/H) 그리고 두께와 선로 간격비(S/H)는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$(W/H) = \frac{1}{\pi} (\cosh^{-1} h + \cosh^{-1} g) \quad (5)$$

$$(S/H) = \frac{1}{\pi} \cosh^{-1} g \quad (6)$$

여기서 $h = (g+1) \cdot \frac{f}{2} + \frac{g-1}{2}$

이다. 또한 마이크로스트립 선로의 실효 유전율은 아래식과 같다.[8]

$$\epsilon_e = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \cdot \frac{1}{(1 + 12H/W)} \quad (7)$$

유전율과 급전선로의 특성 임피던스가 주어졌을 때 입력 단자의 폭과 높이의 비는 다음과 같다.

$$\frac{W}{H} = \frac{8e^A}{e^{2A} - 2} \quad \text{for } W/H < 2$$

$$= [B - 1 - \ln(2B - 1) + \frac{\epsilon_r - 1}{2\epsilon_r} (\ln(B - 1) + 0.39 - \frac{0.61}{\epsilon_r})] \quad \text{for } W/H > 2 \quad (8)$$

여기서, $A = \frac{Z_0}{60} \sqrt{\frac{\epsilon_r + 1}{2}} + \frac{\epsilon_r - 1}{\epsilon_r + 1} (0.23 + \frac{0.11}{\epsilon_r})$,

$B = \frac{377\pi}{2Z_0 \sqrt{\epsilon_r}}$ 이다.

위에서 구한 랑게커플러의 설계 파라미터로 설계한 발룬은 별도의 임피던스 변환기를 이용하여 단락선 정합법과 선형 테이퍼를 이용하는 방법을 사용하여 정합시킨다. 단락선 정합법은 안테나 입력 임피던스의 리액턴스값을 제거하도록 설계하였으며, 선형 테이퍼는 랑게 커플러의 출력 임피던스와 안테나 입력 임피던스의 실수부를 정합하도록 설계하도록 한다.

III. 광대역 안테나의 설계 및 특성

광대역 TEM 혼 안테나를 제작하기 위한 중요한 파라미터는 크게 4가지로 구분된다. 첫째는 안테나 도체판의 길이, 두 번째는 측정하고자하는 펄스의 폭, 세 번째는 앞의 두 가지 파라미터에 의해 결정되는 도체판 사이의 각이고 네 번째는 안테나 도체판의 벌어진 각 즉 도체판의 폭이다. 이 연구에서는 TEM 혼 안테나의 한 도체판의 길이는 30cm로 하고 이 안테나를 이용하여 보어사이트에서 측정할 수 있는 펄스의 폭을

15ps이하로 하면 두 도체판 사이의 각은 20°가 된다. 도체판의 폭은 실험에 의해 안테나의 특성(return loss)이 도체판의 폭을 증가시킴에 따라 좋아지는 경향을 보이므로 안테나 도체판의 길이와 같은 30cm로 결정하였다.

안테나의 두 도체판은 GLASS EPOXY ($\epsilon_r = 4$) 기판으로 제작하였고 안테나가 일정한 각도(20°)를 유지할 수 있도록 하기 위해 스티로폼을 사용하여 고정시켰다. 안테나의 입력단과 발룬은 SMA 커넥터를 사용하여 접속하였다. 이 연구에서 제작한 TEM 혼 안테나의 입력임피던스, 반사손실(return loss)을 측정하기 위한 측정 시스템은 그림 2와 같이 구성된다.

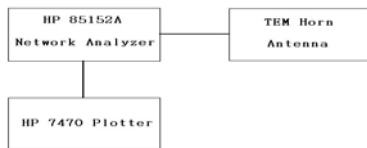
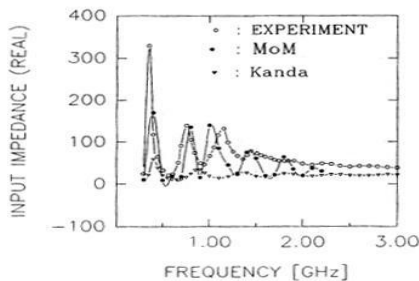
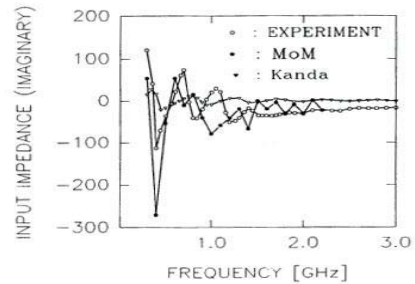


그림 2. 측정 시스템 구성도
Fig. 2. Configuration Diagram of Measuring System

그림 3은 제작된 안테나의 입력임피던스의 변화이다. 측정범위는 300MHz부터 3GHz까지이고 본 연구에서 제안한 근사모델과 Kanda의 근사모델에 의한 계산치 그리고 측정된 결과를 나타낸 것이다.



(a) 임피던스의 실수부
(a) Real part of Impedance



(b) 임피던스의 허수부
(b) Imaginary part of Impedance
그림 3. 입력 임피던스의 변화

Fig. 3. variation of input impedance

이 연구에서 제안한 근사모델이 Kanda의 근사모델 [3] 보다 측정결과에 더 근접한 특성을 보임을 알 수 있다. 그림 3a는 안테나 입력임피던스의 실수부이고 그림 3b는 허수부이다. 이 연구에서 제안한 모델에서 나타난 오류는 모먼트 법에서의 조각(segment)의 갯수를 증가시킴으로써 해결될 수 있다. 그림 3에서 알 수 있듯이 2GHz 이상에서는 주파수 증가와는 무관하게 임피던스가 거의 일정하게 유지되어 임피던스 정합이 용이해진다.

그림 4는 측정된 반사손실(return loss)이다. 측정범위는 45MHz부터 3GHz까지이다. 45MHz부터 1GHz까지는 입력신호의 대부분이 반사되고 1GHz 이상에서는 -10dB 이하로 만족할 만한 결과를 얻을 수 있었다.

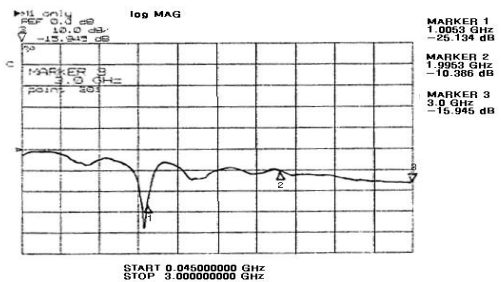


그림 4. 안테나의 반사손실
Fig. 4. Return loss of Antenna

IV. 발룬의 설계 및 특성

랑게 커플러는 그 특성이 광대역이며, 기판의 비유전율이 2.1, 기판의 두께가 0.16cm인 테프론 기판을 사용하였다. 또한 TEM 혼 안테나의 급전은 두 암(arm) 간에 180° 위상차를 주어 급전하여야 하므로 90° 위상차를 갖는 랑게 커플러를 2단으로 설계하였다. 중심주파수는 1.5GHz이고, 입력임피던스는 50 Ω이며 마이크로스트립 선로의 폭이 0.0369cm이고 간격이 0.0218cm인 랑게 커플러를 제작하였다. 랑게 커플러의 계산된 결과들은 표 1과 같다.

표 1. 랑게 커플러의 설계 데이터
Table 1. Lange Coupler design data

parameter	data	W/H	0.2309
ϵ_r	2.1	S/H	0.1365
ϵ_e	1.625	Z_{0e}	243.32
K	6	Z_{0o}	82.44
결함계수	3.0	Z_0	50

임피던스 변환기는 먼저 안테나 입력임피던스를 측정하는 다음, 선형 이중 테이퍼형태로 랑게 커플러의 출력단의 50 Ω과 중심주파수가 1.5GHz에서 60 Ω으로 되는 길이와 폭을 구하였다. 또한 리액턴스 성분을 상쇄시키기 위해서 중심주파수 1.5GHz에서의 측정된 리액턴스를 길이로 환산하여 스텝을 제작하였다. 임피던스 변환기의 길이와 폭은 표 2와 같다.

표 2. 임피던스 변화에 따른 선로 폭 및 길이[cm]
Table 2. Impedance changes according to the line width and length

입력선로	50Ω	스텝폭150Ω	0.0516
TEM 혼안테나 입력임피던스	60Ω	테이퍼길이	3.92
50Ω선폭	0.516	스텝길이	1.96
테이퍼폭60Ω	0.385		

이 연구에서는 랑게 커플러와 임피던스 변환기를 각각 만들어 연결할 때 발생하는 손실을 줄이기 위해서 한 개의 패턴으로 발룬을 제작하였으며, 제작한 발룬의 패턴도는 그림 5와 같다.

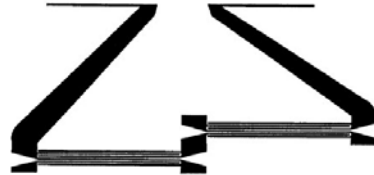
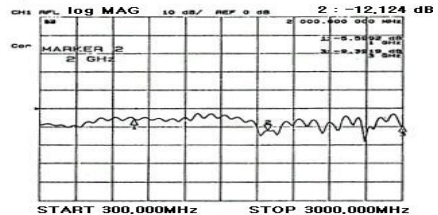
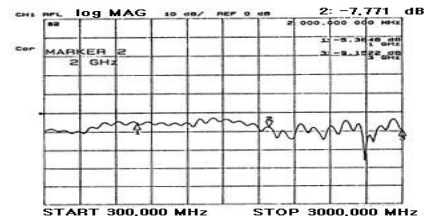


그림 5. 발룬의 패턴도
Fig. 5. Pattern of Balun

본 논문에서는 1.5 ~ 3GHz에서 동작이 가능하도록 안테나를 제작하였으며, 각 주파수에 따른 복사패턴을 측정하였다. 안테나 입력단의 임피던스를 측정하여 이에 따라 발룬을 제작하였다. 랑게 커플러각 단자의 전달특성은 그림 6과 같다.



(a) 커플드 단자(port 2)
(a) Coupled port(port 2)



(b) 다이렉트 단자(port 3)
(b) Direct port(port 3)

그림 6. 커플러의 전달특성
Fig. 6. Transfer Characteristic of Coupler

그림 6으로부터 단자2와 단자3의 전달특성은 300MHz ~ 3GHz에서 -5dB정도로서 고른 특성을 보이며, 두 단자간에 전달 특성이 잘 일치하는 것으로 보아 1/2로 양분되어 출력되고 있음을 확인하였다.

커플러의 위상특성을 보면, 광대 커플러의 위상차는 1GHz일때 185.267°, 2GHz 일때 206.085°, 3GHz 일때 108.93°이므로 커플드단자와 다이렉트 단자간의 위상차는 1.7GHz이하에서는 180°위상차가 나고 있으나 그 이상에서는 편차가 크게 발생하였다.

V. 결 론

광대역 TEM 혼 안테나를 위한 발륜을 설계하고 특성을 해석하였고 입력임피던스와 반사손실을 통하여 발륜으로 정합되는 광대역 안테나의 특성해석하였다. 해석의 편리성을 위해 안테나의 개구면 도체판에 흐르는 전류는 수직축 방향 성분만을 가정하였으며, 또한 도체면위에 흐르는 전류는 균일하다고 가정하였다. 안테나를 급전하기 위한 발륜은 마이크로스트립 선로를 이용하여 설계하였다. 발륜은 두 출력 단자 간에 180°위상차를 주기 위하여 90°위상차를 갖는 6 디지털 커플러를 2단으로 종속 접속하여 설계하였으며, 안테나와 입력임피던스와 커플러 출력임피던스를 정합시키기 위하여 단락선정합법과 선형 이중 테이퍼법을 함께 적용하였다. 제작한 TEM 혼 안테나는 수치해석 결과와 측정결과 모두 1.5GHz ~ 3GHz 범위에서 임피던스 변화가 작게 나타나고 있어 광대역으로 사용할 수 있음을 알 수 있다. 다만 TEM 혼안테나는 안테나 길이에 의해 사용 주파수 대역의 하한 주파수가 결정되는 특성이 있으므로, 통상의 EMI 주파수 범위를 30MHz ~ 3GHz로 볼 때 낮은 주파수 범위를 측정하려면 TEM 혼 안테나의 크기가 매우 커지는 문제점이 있다. 이는 향후 안테나 도체 상에 저항성 부하를 분포시키는 광대역 안테나 시스템이나, TEM 혼 안테나의

구조를 변화시켜 TEM과의 특성임피던스를 길이에 따라 변화시키는 시스템비균일 전파 시스템 (nonuniform propagating system)법을 이용하여 극복될 수 있을 것이다.

참고문헌

- [1] R. Todd Lee and Glenn S. Smith, "A design study for the basic TEM horn antenna," IEEE Antennas Propagat. Mag., Vol. 46, No.1, pp. 86-92, Feb. 2004.
- [2] D. A. Kolokotronis, Y. Huang and J. T. Zhang, "Design of TEM horn antennas for impulse radar", IEEE High Frequency Postgraduate Student Colloquium, Leeds, U.K., pp. 120-126, Sept. 1999.
- [3] Motohisa Kanda, "The Effects of Resistive Lading of TEM Horn," IEEE Trans. EMC, Vol. EMC-24 No.2, pp.246-255, May 1982.
- [4] J. Lange, "Interdigitated stripline quadrature hybrid," IEEE Trans. on Microwave Theory Tech, Vol. MTT-17, pp.1150-1151, Dec. 1969.
- [5] W. P. Ou, "Design equations for interdigitated directional coupler," IEEE Trans.on Microwave Theory Tech, Vol. MTT-23, pp.253-255, Feb. 1975.
- [6] S. Aktharzad et al, "The Design of Coupled Microstriplines," IEEE Trans.on Microwave Theory Tech, Vol. MTT-23, pp.486-492, June.1975.
- [7] R. M.Osmani, "Synthesis of lange couplers" IEEE Trans. on Microwave Theory Tech., Vol. MTT-29, No.2, pp.168-171, 1981.
- [8] D. M. Pozar, Microwave Engineering, Addison-Wesley, pp.183-189, 1990.



문선주(Sun-joo Moon)

2007 남서울대학교 정보통신공학과

현재 Master's course, Dept. of Communications and
signal processing, Imperial college London, UK



임동균(Dong-Kyun Lim)

1985년 한양대학교 공학사
1987년 한양대학교 공학석사
2001년 한양대학교 공학박사

2003년 ~ 현재 한양 사이버 대학교 컴퓨터공학과 교수



최재연(Jae-Yeon Choi)

1987년 한양대학교 전자통신공학과
(공학석사)
1998년 한양대학교 전자통신공학과
(공학박사)

삼성종합기술원, LG정보통신연구소

1996년~현재 남서울대학교 정보통신공학과 교수

남서울대학교 정보통신연구소

※ 관심분야: MMIC, 안테나공학