

초광대역(UWB) 마이크로스트립 패치 다이폴 안테나 설계 및 분석

장 수 근, 고 광 철
한양대학교 전기전자컴퓨터공학부, 한양대학교 전기전자컴퓨터공학부
전화 : 02-2290-0348 / 핸드폰 : 011-9885-9642

Design and Analysis of Ultra-WideBand(UWB) Microstrip patch Dipole Antenna

Soo-Keun Chang, Kwang Cheol Ko
Dept. of Electrical and Computer Engineering, Hanyang University
E-mail : jsknol@ihanyang.ac.kr

Abstract

This paper have a whole azimuth Omni-directional radiation pattern and will become the good radiation efficiency for applies in the sleeve antenna and form which is the appearance. We contain by whole course of actual implement model to antenna design. And we will confirm the efficiency the analysis of the antenna to design and through a simulated experiment according to the implementation Ideal characteristic of the antenna to be used between 3.1 and 10.6 GHz of UWB.

따라서 UWB 시스템의 핵심 기술요소 중에 하나인 안테나의 다양한 응용 분야에서 사용될 광대역 안테나 소자의 종류와 일반적인 특성들과 설계 시 고려사항 및 복사효율에 관한 연구가 필수적이다.

본 논문은 3.1~10.6GHz 대역에서 거리측정용으로 사용될 마이크로스트립 패치 다이폴 안테나에 대해 연구를 수행하는 것으로 UWB 대역에서 사용될 수 있는 마이크로스트립 다이폴 안테나 개요와 특성, 설계 시 고려사항 및 복사효율을 분석한다. 또한, 설계 틀을 이용하여 가상으로 안테나 설계 및 검증을 해보고자 한다.

I. 서론

UWB(Ultra WideBand)는 500MHz 이상 초 광대역으로 사용 대역폭이 중심주파수의 20%(점유대역폭/중심주파수 = 0.20) 이상이며, 정보 신호를 초당 수 천회에서 수백만 회까지 저 출력 펄스로 전송된다. 또한, 무선 근거리 데이터 통신, 지하에 갇힌 사람의 수색이나 교량 측면의 변형 점을 찾고 광산 벽면 투시, 침입자 감시시스템, 사람이 동물의 내시경 검사, 저장 탱크 측정에 이용되는 등 응용범위가 아주 넓고 IT 산업혁명을 일으키고 있는 신기술이다.

II. 일반적인 안테나 특성

2.1 Microstrip 단일 패치 안테나

마이크로스트립 패치 안테나(Microstrip Patch Antenna : MPA)는 한 면을 접지면으로 하는 유전체의 반대면에 평판형 혹은 비평판형의 도전체 패치로 구성되어 있다. 일반적인 구형 마이크로스트립 패치 안테나의 구조는 [그림 1]과 같다. 비유전율이 ϵ_r 이고, 두께가 h 인 기판위에 대략 길이가 반파장($\lambda/2$)에 폭 w 의 마이크로스트립 선로가 양적으로 개방 종단된 구조이다.

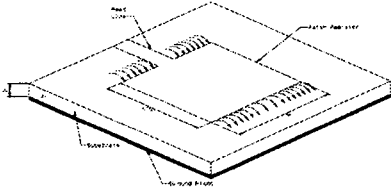


그림 1. 구형 마이크로스트립 패치 안테나

마이크로스트립 선로 폭 방향과 기판 두께 방향으로 전기장의 변화가 없다고 가정하면 패치의 측면에서 바라본 전기 분포는 [그림 2]와 같다. 마이크로스트립 선로가 양쪽으로 개방 단락된 구조이므로 전계가 양쪽 끝 지점에서 가장 강해지며, 개방 단락된 지점을 넘어서 약간의 가장자리 전자계가 형성된다.

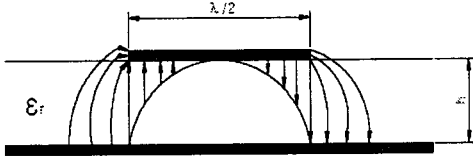


그림 2. 측면에서의 전기 분포

패치 양쪽 가장자리의 수직성분 전계는 전송선로 반파장(λ/2)의 거리를 유지하므로 서로의 위상차가 180°를 이루어 법선방향 원거리에서의 전자계는 서로 상쇄 간섭을 일으켜 0이 되는 반면에 패치 양쪽 가장자리의 수평방향 성분은 동위상을 가지므로 법선방향 원거리 전자계의 원천으로 작용하게 된다. 따라서 구형 마이크로스트립 패치 안테나는 [그림 3]과 같이 수평방향 성분을 갖는 두 개의 슬롯이 반파장(λ/2)의 거리를 두고 접지면 위에 배열된 구조로 등가 변환할 수 있다.^[2]

2.2 방사패턴 및 특성 임피던스

[그림 3]의 등가 방사 슬롯 두 개 중 하나의 슬롯에 의한 방사패턴을 구하기 위해 [그림 4]에 하나의 슬롯과 해석에 사용될 좌표계를 표시하였다. 방사 슬롯의 전기장 E_a 에 의한 등가 자기전류 M_s 는 다음과 같이 구해 질 수 있다.

$$\vec{M}_s = -\vec{n} \times E_a \vec{a}_z = -\vec{a}_y \times \vec{a}_z E_a = E_a \vec{a}_x \quad \text{식(2-1)}$$

여기서 식(2-1)의 자기 전류는 접지면으로 인하여 영상정리를 적용하면

$$\vec{M}_s = 2E_a \vec{a}_x, \quad \begin{cases} -\frac{h}{2} < x < \frac{h}{2} \\ -\frac{w}{2} < z < \frac{w}{2} \end{cases} \quad \text{식(2-2)}$$

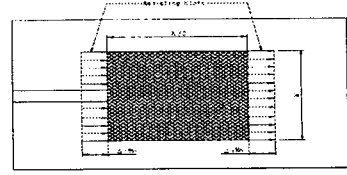


그림 3. 등가 방사 슬롯

이 되며, 전기 벡터 전위(Electric vector potential)는

$$F = \frac{\epsilon}{4\pi} \int_V \vec{M}_s \frac{e^{-jkr}}{R} ds' \approx \frac{\epsilon}{4\pi} \int_V \vec{M}_s \frac{e^{-jkr}}{r} ds' \quad \text{식(2-3)}$$

이 된다.

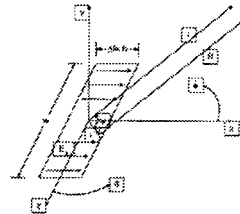


그림 4. 단일 슬롯

벡터 L의 각 성분을 다음 식(2-4)와 같이 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} L_x &= \int \int 2E_a \cos\theta e^{jkr \cos\theta} dx' dz' \\ L_y &= \int \int 2E_a \cos\theta e^{jkr \cos\theta} dx' dz' \\ L_z &= 0 \end{aligned} \quad \text{식(2-4)}$$

여기서 식(2-5)의 적분 공식에 의하여 전기 벡터 전위는 식(2-6)과 방사패턴은 식(2-7)과 같이 구할 수 있게 된다.

$$\int_{-\frac{\epsilon}{2}}^{\frac{\epsilon}{2}} e^{mz} dz = c \left\{ \frac{\sin\left(\frac{\alpha}{2} c\right)}{\frac{\alpha}{2} c} \right\} \quad \text{식(2-5)}$$

$$\vec{F} = \frac{\epsilon}{4\pi} \frac{e^{-jkr}}{r} (L_x \vec{a}_r + L_y \vec{a}_\theta) \quad \text{식(2-6)}$$

$$\begin{aligned} E_\theta &= j\omega F_\theta \\ &= -j2E_a k_0 w h \frac{e^{-jkr}}{4\pi r} \sin\theta \left\{ \frac{\sin X}{X} \right\} \left\{ \frac{\sin Z}{Z} \right\} \\ E_\phi &= -j2V_0 k_0 w \frac{e^{-jkr}}{4\pi r} \sin\theta \left\{ \frac{\sin X}{X} \right\} \left\{ \frac{\sin Z}{Z} \right\} \end{aligned} \quad \text{식(2-7)}$$

여기서 상호 컨덕턴스를 고려한 특성 입력 임피던스는

$$Y_c(z) = \frac{2G(1 \pm g_{12})}{\cos^2 \beta z}, \quad \beta z = \frac{\pi}{2} \quad \text{식(2-8)}$$

위와 같이 구할 수 있다.^[1]

2.3 Ideal Dipole Antenna

다이폴 안테나는 모든 안테나의 기본형이다. 모든

안테나는 이 다이폴 안테나의 이론에서 모양이 변형되어 성능을 향상시킨 안테나들이다. 다이폴 안테나의 종류로는 수평형과 수직형 2가지가 있으며 안테나의 기본형이며, 대부분의 아마추어 무선사들이 설치 가능한 안테나로서, 장소가 좀더라도 엘레먼트를 변형하여 설치할 수 있으며 설치비용이 매우 적게 든다.

특성으로는 수평형은 수평편파로 지향성은 90도보다 우넛형 8자가 되고, 수직형은 수평편파로 지향성은 없고 360도로 전파가 방사된다.^[1]

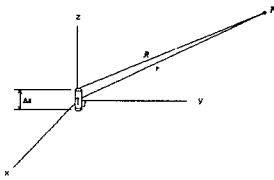


그림 5. 이상적 다이폴

이상적인 다이폴은 전류가 자계와 위상 사이에서 균일하며 전기적으로 매우 작은 것($\Delta z \ll \lambda$) 을 말한다. 또한, 단형 다이폴은 전기적으로 작으며, 중앙 급전(center-fed) 도선 안테나로 중앙에서 도선 끝으로 갈수록 전류가 점점 감소해 0이 되는 전류분포를 가지며, 이상적 다이폴과 같은 방사패턴을 갖게 된다.

$$A = \hat{z} \mu I \int_{-\Delta z/2}^{\Delta z/2} \frac{e^{-jkr}}{4\pi R} dz' \quad \text{식(2-9)}$$

위와 같은 식은 체적적분이 선적분으로 바뀌어 길이 Δz 는 파장 및 거리 R에 비해서 매우 작음을 나타낸다. 여기서 식(2-9)에 R대신 r을 대입하고 적분하면,

$$A = \frac{\mu I e^{-jkr}}{4\pi r} \Delta z \hat{z} \quad \text{식(2-10)}$$

으로 표현할 수 있다.^[3]

2.4 Dipole Antenna의 방사패턴 및 특성

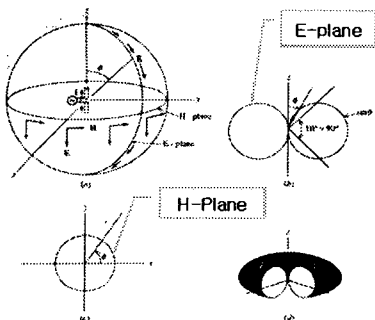


그림 6. 이상적 다이폴의 방사

좌측 아래 그림은 이상적 다이폴의 방사에 대한 (a) 장성분 (b) $|E_{\theta}|$ 또는 $|H_{\phi}|$ 의 E 평면 방사패턴의 극좌

표 (c) $|E_{\theta}|$ 또는 $|H_{\phi}|$ 의 H평면 방사패턴의 극좌표를 나타내고 있으며, (d)는 방사패턴의 3차원 그림을 나타내고 있다. 일반적으로 이상적인 다이폴을 나타내는 몇가지 중요한 특성들에서 아래와 같은 식들은 원거리장 조건, $f(\theta, \phi)$ 의 정규화된 장 패턴(normalized field pattern), 빔 입체각(Ω_A), 지향성, 이득, 방사효율들의 일반적인 정의를 보여주고 있다.^[3]

$$r > \frac{2D^2}{\lambda}$$

$$r \gg D$$

$$r \gg \lambda \quad \text{식(2-11)}$$

$$F(\theta, \phi) = \frac{E_{\theta}}{E_{\theta \max}} \quad \text{식(2-12)}$$

원거리장 조건 정규화된 장 패턴

$$\Omega_A = \iint |F(\theta, \phi)|^2 d\Omega \quad \text{식(2-13)}$$

빔 입체각

$$D = \frac{4\pi}{\Omega_A} \quad \text{식(2-14)} \quad G(\theta, \phi) = \frac{4\pi U(\theta, \phi)}{P_m} \quad \text{식(2-15)}$$

지향성

이득

$$e_r = \frac{P}{P_m}, \quad 0 \leq e_r \leq 1 \quad \text{식(2-16) 방사효율}$$

III. 마이크로스트립 패치 다이폴 안테나 설계 및 분석

3.1 마이크로스트립 패치 다이폴 안테나 설계

아래 그림은 appCAD 2.0을 사용하여 다음과 같이 다이폴의 크기를 부여하고 유전율은 $\epsilon_r=1$ 로 두고, Dielectric material은 air로 설정했다.

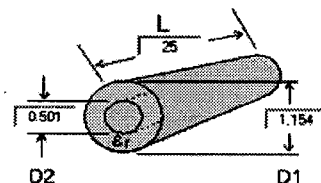


그림 7. 다이폴 안테나의 Round Coax

여기서 주파수는 3 ~ 10GHz로 놓고 입력 임피던스는 50Ω, electric length는 0.834λ(5.24 rad), $V_p = 1$, $D1/D2 = 2.303$ 로 설정했으며, 마이크로스트립 패치도

이와 같은 방법으로 아래와 같이 설정을 했다.

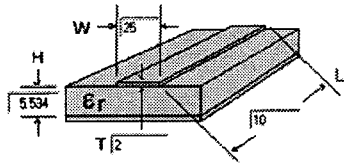


그림 8. 마이크로스트립 패치 안테나

지금까지의 설정으로 실제 시뮬레이션 하기 위한 최종 이미지는 아래와 같다.

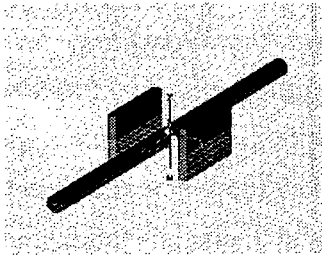


그림 9. 마이크로스트립 패치 다이폴 안테나구조

3.2 Simulation 및 Conclusion

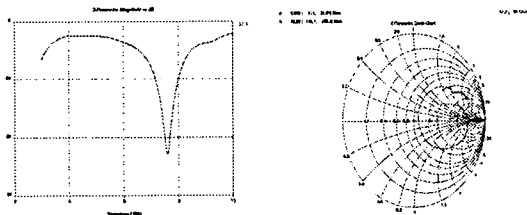


그림 10. S-parameter 와 Smith chart

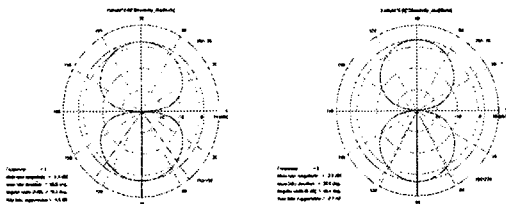


그림 11. 3GHz 와 5GHz에서의 방사패턴

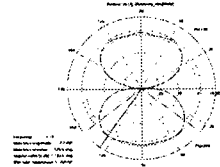


그림 12. 10GHz 에서의 방사패턴

[그림 10]의 과형은 설계 툴 CST MWS v3.0을 이용하여 결과 값을 도출하고 있으며 7.6GHz에서 공진이 되고 있다. 옆의 smith chart에서 공진이 일어나고 있는 지점에서 반사계수(VSWR)이 1에 거의 근접해지는 것으로 보아 매칭이 잘 이루어지고 있다. [그림 11]과 [그림 12]는 각각 3GHz, 5GHz, 10GHz에서 방사패턴이 원활하게 이루어지고 있다. 하지만 10GHz에서는 멀티공진에 의해서 도출되는 것이 아니라 UWB 대역에서 특히 7 GHz 대역에서 공진이 이루어졌기 때문이다. 이에 따라 최종적으로 방사패턴은 다른 대역보다 약간의 side lobe가 발생되어 왜곡 현상을 보이고 있다.

IV. 결론

다이폴 안테나와 마이크로스트립 패치 안테나는 기본적으로 비교적 저렴하다. 특히 마이크로스트립 안테나의 경우엔 협대역에서 많이 이용되며 이득이 낮다. 또한, 낮은 지향성, 낮은 입력 레지스턴스와 높은 입력 리액턴스의 특성을 갖고 있다.

본 논문은 이번 가상 시뮬레이션을 구동시키면서 기존에 생각했던 것과는 달리 다이폴의 크기를 줄임으로써 방사효율이 90°를 상회했고 반사계수(VSWR)가 예상외로 작게 나옴을 확인했다. 자계상의 방사패턴이 거의 완만한 패턴을 보여주고 있음을 확인할 수 있었지만 멀티 공진의 결과가 나오지 않았다. 하지만 높은 대역에서 공진이 이루어졌음을 알게 되었으며 복사효율이 좋음을 확인 할 수 있었다.

본 논문은 UWB 대역에서 활발하게 이루어지고 있는 안테나 분야에 다양한 구조를 설계할 수 있는 가능성과 함께 기초자료로 활용될 수 있음으로 사료된다.

Reference

- [1] www.iham.co.kr/ant2/2.htm
- [2] 맹영훈 "Patch Array를 이용한 DBS 수신용 안테나 설계" 한양대학교 2002년 12월 Page : 4 ~ 19
- [3] Warren L. Stutzman, Gary A. Thiele "Antenna Theory And Design" 1998 Page : 39 ~ 72