

위치추적용 센서를 위한 초소형 초광대역 모노폴 안테나

박 영 진*, 조성배**, 김원호* 김 관 호*, 이재조*
*한국전기연구원, 한전 KDN (주)

A Novel Stepped Fat Monopole Antenna for Precision Location Application using an Impulse

Young-Jin Park*, Sung-Bae Cho**, Won-Ho Kim*, Kwan-Ho Kim*, Jae-Jo Lee*
*Korea Electrotechnology Research Institute, **Korea Electric Power Data Network

Abstract -

본 논문에서는 초광대역 기술을 이용한 고정밀 위치 추적용 센서를 위한 소형, 저가의 안테나를 제안한다. 안테나는 Fat monopole 과 유사하지만, Fat monopole의 상대적인 협대역 특성을 개선하기 위해 탭을 추가하여 고주파에서의 특성을 향상시켰다. 또한 급전은 제작이 용이한 Coplanar 도파관 구조를 사용하였다. 검증용 위해 3.1GHz ~5.1GHz 대역에서의 고정밀 위치 추적용 센서를 위한 안테나를 설계하였다. 상용 EM 프로그램을 사용하여 안테나의 치수들에 대한 최적화 작업이 이루어 졌다. 실제 제작 결과와 시뮬레이션 결과가 비교되었고 상당히 일치함을 확인 할 수 있었다. 제작된 안테나는 2.5GHz ~ 7GHz대역내에서 10dB 이상의 Return loss를 가졌다.

1. Introduction

최근 임펄스를 사용한 초광대역 (Ultra Wideband : UWB) 기술은 고해상도 센서의 구현 및 차세대 근거리 무선 통신 수단으로 급부상되고 있다. 이는 시간영역에서 극초단의 펄스를 사용하기 때문에 고속 데이터 통신이 가능하고, 특히 고정밀의 위치추적이 가능하여 향후 유비쿼터스 센서 네트워크 구현이 가능하기 때문이다 [1]~[4].

초광대역 기술에서 사용되는 임펄스는 주파수 영역에서 초광대역의 스펙트럼 분포를 가진다. 그러므로 기존 정현파를 사용한 방식에서 사용된 협대역 안테나로는 임펄스를 왜곡없이 보낼 수가 없다. 이러한 이유로 극초단의 임펄스를 송수신하기 위해서는 초광대역 특성을 갖는 방사체가 필요하다. 특히 고정밀 센서 시스템을 위해, 무지향성의 방사 패턴과 원하는 대역폭에서 일정한 이득을 갖는 안테나가 요구되며 또한 물리적인 관점에서는 제조공정이 쉬워야 하며, 작고 가벼운 안테나가 권장 된다.

본 논문에서는 UWB 기술을 이용한 위치추적 시스템 구현을 위한 최적의 안테나를 제안한다. 제안된 안테나는 Stepped-fat monopole 형태이다. 이는 기존의 fat monopole의 대역폭 제한을 극복하였다. 특히 급전 부분에 있어서 시스템 집적화를 위해, Coplanar Waveguide(CPW) 형태의 급전 기법이 사용되었다. 실제 구현을 위해 단일밴드 3.1GHz~5.1GHz대역폭을 갖는 초광대역 안테나가 설계되었다. 시뮬레이션을 통해 안테나의 최적 치수를 결정하였고, FR4 기판을 ($\epsilon_r=4.5$) 사용하여 안테나를 구현하였다.

다음 Section에서는 안테나의 설계 과정과 시뮬레이션 및 측정 결과를 보일 것이다.

2. Stepped-Fat 모노폴 안테나

그림 1은 평판형 Stepped-Fat 모노폴 안테나이다. Fat monopole이 가지고 있는 사각형 Fat 암에, Stepped 사각형 Fat 암이 추가되었다. 그리고 급전에 있어서는 마이크로 스트립 급전 등이 가능하나 시스템

집적화와 임피던스 매칭을 고려하여 CPW 구조로 만들었다. 또한 접지면을 중심 주파수의 0.25배 되도록 잡았다. 접지면의 길이에 따라, 주파수 특성이 달라지므로 원하는 주파수에 적합한 길이 선택이 필요하다. 특히 전체 구조가 유전체의 한쪽 면에만 프린팅 되어 있고 반대쪽 면은 비금속화 되어있어, 시스템 집적화가 쉽게 이루어 질것이다.

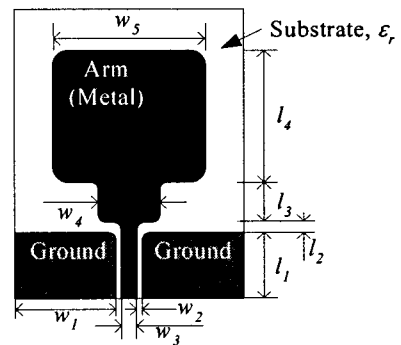


그림 1. Stepped-Fat 모노폴 안테나.

만약 안테나의 Step 폭, w_4 가 신호선의 두께 w_3 와 같다면 이 안테나는 단순히 평면형 Fat 모노폴 안테나가 된다. 하지만 참고문헌 [5]에 언급된 것처럼 이러한 안테나는 평면형 다이폴 안테나에서 보이는 것처럼, 그 자체가 상대적으로 협대역 특성을 갖는다. 이러한 협대역 문제점을 해결하기 위해, Stepped 사각형 암을 사용하여 이 단점을 극복하였다. 물리적인 이유는 Stepped Fat로 인해 안테나는 저주파와 고주파에서 두 개의 공진 점을 갖게 되어 전체 동작 대역폭이 개선된다.

제안된 안테나는 기본적으로 간단한 모노폴 형태의 안테나로 고려될 수 있기 때문에 하위 주파수는 대략 $L_1=l_2+l_3+l_4$ 의 1/4배에 의존하고 상위 주파수는 길이 $L_2=l_2+l_3$ 의 약 1/4배로 제한된다. 따라서 위에서 언급한 것처럼 두개의 공진이 얻어진다.

임피던스 정합을 위해 중심주파수의 $\lambda/4$ 를 접지면의 높이로 사용하였다. 또한 CPW의 접지면이 안테나의 접지면으로 사용되기 때문에, 넓이 w_1 은 w_5 의 1/2보다 더 넓어야 한다.

마지막으로, CPW의 특성 임피던스가 고려되어 w_2 와 w_3 가 결정된다. 참고문헌 [6]에서의 특성임피던스 근사식에 따라, CPW의 특성임피던스 근사 값이 다음과 같이 계산된다.

$$Z_{0cpw} = \frac{30\pi K'(k)}{\sqrt{\epsilon_{re}} K(k)} \quad (1)$$

여기서,

$$\frac{K(k)}{K'(k)} = \begin{cases} \frac{\pi}{\ln[2(1+\sqrt{k})/(1-\sqrt{k})]} & \text{for } 0 \leq k \leq 0.707 \\ \frac{1}{\pi} \ln[2(1+\sqrt{k})/(1-\sqrt{k})]} & \text{for } 0.707 \leq k \leq 1 \end{cases} \quad (2)$$

$$\epsilon_{rc} = 1 + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \frac{K(k_2)}{K'(k_2)} \frac{K'(k_1)}{K(k_1)} \quad (3)$$

이고 k' , k_1 , k_2 는 다음과 같다.

$$k' = \sqrt{1 - k^2},$$

$$k_1 = \frac{w_3}{w_2} \sqrt{\frac{1 - w_2^2 / w_1^2}{1 - w_3^2 / w_1^2}},$$

$$k_2 = \frac{\sinh(\pi w_3 / 2h)}{\sinh(\pi w_2 / 2h)} \sqrt{\frac{1 - \sinh^2(\pi w_2 / 2h) / \sinh^2(\pi c / 2h)}{1 - \sinh^2(\pi w_3 / 2h) / \sinh^2(\pi c / 2h)}}. \quad (4)$$

c 는 자유 공간에서 빛의 속도, ϵ_r 은 기판의 상대 유전율을 그리고 h 는 기판의 두께를 나타낸다. 하지만 위 계산식으로는 특성 임피던스의 근사 값만이 구해지기 때문에, 좀 더 정확한 결과를 위해 3D EM simulator를 사용하여 원하는 특성 임피던스에 맞게, 안테나의 각 치수들을 튜닝될 수 있다.

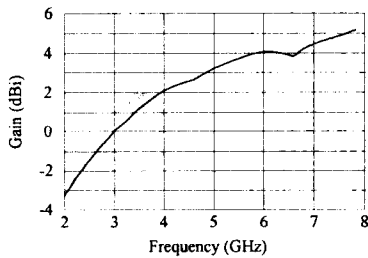
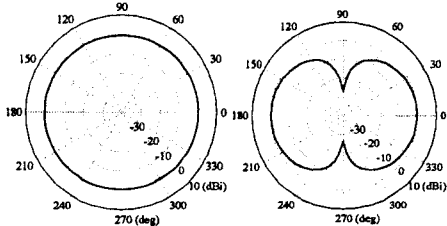
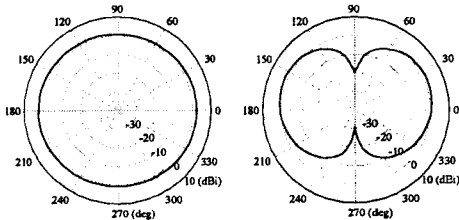


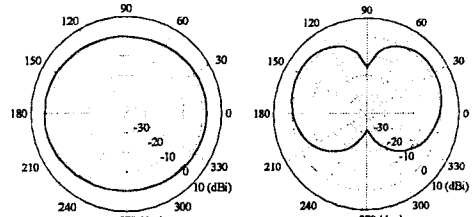
그림 2. 안테나 이득 시뮬레이션.



(a) E-field (Left) and H filed (right) at 3 GHz



(b) E-field (Left) and H filed (right) at 4 GHz



(c) E-field (Left) and H-filed (right) at 5 GHz

그림 3. 주파수에 따른 안테나 방사 패턴

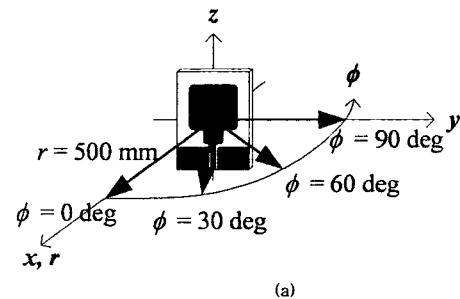
3. Numerical Analysis

언급한 이론적인 방법을 이용하여 정밀 위치 시스템을 위해 3.1 GHz~5.1 GHz 의 동작 주파수를 가지는 Stepped-fat 평판형 모노폴 안테나를 설계하였다. 방사 손실과 일정한 이득 측면에서 최적의 안테나를 디자인하기 위해, 유한 적분 해석 방법(FIT)에 기초한 CST-MWS 시뮬레이터를 사용하였다.

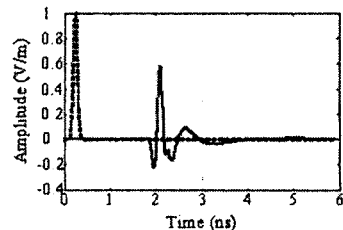
유전체 기판으로는 구하기가 쉬운 FR4 ($\epsilon_r=4.5$, $h=1.52$)를 사용하였고, SMA 피딩을 위해 CPW의 특성 임피던스를 50 Ω 로 정하였다. 식 (1)에 의해 CPW의 대략적인 치수를 결정하였고, CST-MWS 시뮬레이션을 사용하여 최적화된 치수를 구했다.

안테나 시뮬레이션을 위해, 이전 Section에서 언급된 설계 과정에 따라 구해진 초기 근사값을 사용하였다. 원하는 주파수 특성과 일정한 이득 특성을 고려하여 여러 번의 시뮬레이션이 이루어져, 다음과 같이 안테나의 치수를 결정하였다. $w_1=3$ 0 mm, $w_2=3.6$ mm, $w_3=2$ mm, $w_4=8$ mm, $w_5=20$ mm, $l_1=9$ mm, $l_2=1.5$ mm, $l_3=5.5$ mm, $l_4=18$ mm. 그림 2는 설계된 안테나의 이득을 나타낸다. 높은 주파수로 갈수록 이득이 높아짐을 알 수가 있다. 이는 높은 주파수로 갈수록 파장이 짧아지기 때문에 이득이 주파수에 비례하는 것은 당연한 결과이다.

그림 3은 각기 다른 주파수에 대해 시뮬레이션 된 안테나의 방사패턴이다. 이 패턴은 안테나가 Omni-directional 특성을 갖고 있다는 것을 알 수 있다.



(a)



ϕ_0 (deg)

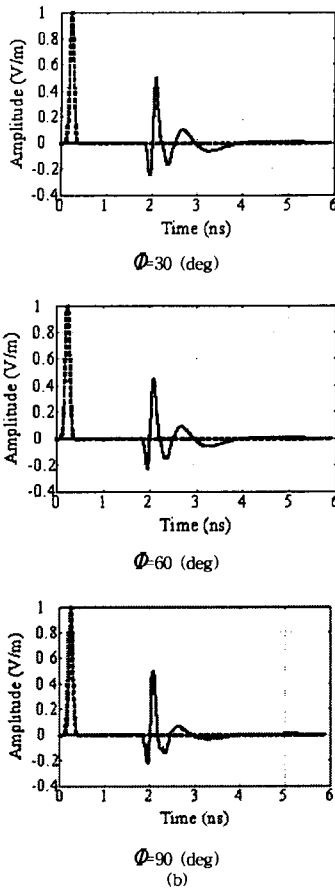


그림 4. (a) Coordinate 시스템과 (b) $r=500$ mm 에서 벡터 r 의 E-field 스칼라 값의 시뮬레이션 수신 신호(실선 : 수신 신호, 점선 : 송신 신호)

또한, 안테나의 시간 영역 응답을 조사하기 위해, CST-MWS의 Probe Function이 사용되었다. 그림 4(a)는 시간 영역 응답을 시뮬레이션하기 위한 안테나의 구성이다. 안테나의 중심은 원통 좌표계 ($r(mm)$, $\Phi(deg)$, $z(mm)$)의 원점 (0, 0, 0) 에 위치해 있고, E-field Probe는 수신 임펄스를 측정하기 위해 4개의 다른 방향 (500, 0, 0), (500, 30, 0), (500, 60, 0), (500, 90, 0) 쪽으로 향해있다. 그림 4(b)는 4개의 다른 지점에서 시뮬레이션 된 결과를 보여 준다. 각각의 그림에서, 첫 번째 임펄스는 안테나에서 송신된 신호이고 두 번째 임펄스는 E-field Probe를 통해 수신된 임펄스 신호를 의미한다. 4개의 다른 방향의 응답이 매우 비슷하다는 것은 이 안테나가 Omni-directional 특성을 갖고 있다는 것을 의미한다. 또한 수신된 신호의 잔상(tail)이 존재하는데, 이는 안테나의 분산특성이라 생각된다.

4. Measurements

이전 Section의 시뮬레이션의 결과를 바탕으로 안테나가 제작되었다. 피딩을 위해 SMA Connector가 사용되었고 안테나의 반사계수를 측정하기 위해 Agilent E8363B Network Analyzer가 사용되었다. 그림 5는 Stepped-Fat 모노폴 안테나의 측정된 S_{11} 과 시뮬레이션된 S_{11} 결과이다. 시뮬레이션 결과와 측정 결과가 상당히 일치함을 볼 수 있다. 또한 2.8 GHz 와 5 GHz 두 개의 공진 주파수를 갖고 10dB Return loss 대역

폭은 2.2 GHz ~ 7GHz 로 광대역 특성을 분명하게 보여 주고 있다.

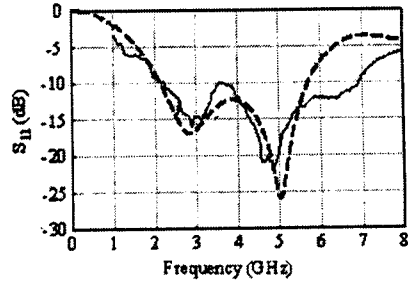


그림 5. Stepped-Fat 모노폴 안테나의 계산된 S_{11} 과 측정된 S_{11} 비교(실선 : 측정 결과, 점선 : 계산 결과).

5. 결론

정밀 위치 시스템을 위한 새로운 Stepped-Fat 모노폴 안테나가 제안 되었다. 설계 과정이 설명되었고, 시뮬레이션과 실제 제작과 측정 결과로부터 제안된 안테나는 Omni-directional 특성뿐만이 아니라 반사 손실 면에서 초광대역 특성을 가진다는 것을 알 수 있었다. 또한 제안된 안테나는 단지 한쪽 면만이 프라팅된 평판형 소형 구조여서 가격 면에서 그리고 시스템 집적화면에서 상당한 이점을 가질 것이다. 따라서 이 안테나는 정밀 위치 시스템뿐 아니라 다량의 데이터 무선 통신과 같은 여러 UWB 분야에도 넓게 응용되어질 것으로 기대된다.

[참고 문헌]

- [1] J. D. Taylor(Ed.), "Introduction to Ultra Wide Radar Systems", CRC press, 2001
- [2] Igor I. Immoreev, and V. Fedotov, "Ultra wideband radar system: advantage and disadvantage", 2002 IEEE Conf. on Ultra Wideband System and Technologies (UWBST2002), pp. 201-205, 2002
- [3] Christ R., and Lavigne R., "Radio frequency-based personnel location system", Proc., IEEE 34th Annual 2000 International Carnahan Conf. on Security Tech., pp. 141-150, 2000
- [4] Fontana R. J., and Gunderson S. J., "Ultra-wideband precision asset location system", 2002 IEEE Conf. on Ultra Wideband System and Technologies (UWBST2002), pp. 147-150, 2002
- [5] S. B. Cho, Y. J. Park, K. H. Kim, and H. G. Park, "Ultra wideband planar stepped-fat dipole antenna for high resolution impulse radar", 2003 Asia-Pacific Microwave Conf. (AP MC'03), pp. 1973-1976, 2003
- [6] K. C. Gupta, et al, Microstrip lines and sloylines 2nd Ed., Artech House, 1996