

반원 확장을 이용한 초광대역 슬롯 안테나 설계

The Design of the Ultra-Wideband Slot Antenna by Using a Semi-Circular Extension

이정남 · 이효경 · 장화열 · 박종권*

Jung-Nam Lee · Hyo-Kyoung Lee · Hwa-Yeol Jang · Jong-Kweon Park*

요 약

본 논문에서는 반원 확장을 이용한 Ultra-Wideband(UWB) 슬롯 notch 안테나를 제안하였다. 제안된 안테나는 UWB 통신 주파수 대역인 3.1~10.6 GHz 대역을 만족했으며, IEEE 802.11a 주파수 대역인 5.15~5.825 GHz는 안테나 패치면에 형성한 $\lambda/4$ 길이의 슬롯에 의해 필터링 되었다. 안테나는 유전율이 4.4이며 두께가 0.8 mm인 FR-4로 제작하였으며, VSWR 특성을 측정하였다. 슬롯의 길이 변화에 따른 notch 특성을 측정하였으며, 경로 손실과 그룹딜레이를 측정하였다. 제안된 안테나는 IEEE 802.11a 주파수 대역을 제외하고는 평탄한 이득 변화량 (1.9 dBi)을 나타내었다.

Abstract

In this paper, we have proposed a Ultra-Wideband slot notch antenna by using a semi-circular extension. The proposed antenna cover the entire UWB band(3.1~10.6 GHz) and notch out the IEEE 802.11a frequency band(5.15~5.825 GHz) by inserting a $\lambda/4$ length slot into the patch. A prototype antenna was fabricated on FR-4($\epsilon_r=4.4$, substrate thickness=0.8 mm) and measured for VSWR characteristics. The measured notched frequency variations versus frequency for different slot length. The path loss and group delay were measured. The proposed antenna also show a good gain flatness(1.9 dBi) except the IEEE 802.11a frequency band.

Key words : Ultra-wideband, Notch, CPW, Slot Antenna, Group Delay, Path Loss

I. 서 론

미 연방 통신 위원회(FCC)는 실내에서 사용 가능한 UWB(Ultra-Wideband) 시스템으로 3.1에서 10.6 GHz의 주파수 대역을 배분하였다. 특히 UWB 통신 시스템에서 가장 중요한 요소 중 한 가지로 UWB 안테나가 주목을 받고 있으며 세계적으로 연구가 활발히 진행 중이다. 초기의 UWB 안테나는 크기도 클 뿐만 아니라 이득 변화량도 매우 크며, 간섭의 영향이 존재할 수 있는 IEEE 802.11a 주파수 대역(5.15~5.825 GHz)은 고려하지 않은 안테나가 대부분이었

다^{[1]~[3]}. 그러나 최근에는 같은 통신 주파수 대역을 공유하여 채널간 간섭을 줄 수 있는 IEEE 802.11a 주파수 대역을 필터링할 수 있는 notch 기능을 갖는 안테나가 많이 연구되어지고 있다^{[4]~[6]}. 그러나 이런 notch 안테나 역시 여전히 이득 변화량이 크며, 안테나 크기가 크다는 단점을 가지고 있다. UWB 통신에서 원하는 안테나는 관심 대역 전 주파수에 대해 안테나 패턴이 무지향성이고 위상의 변화가 작아야 하며, 이동성을 고려하여 안테나의 크기도 작아야 한다. 또한 펄스 통신시 신호의 왜곡이 없어야 하며 관심 대역에서 감쇄가 일정해야 한다.

국립한밭대학교 정보통신전문대학원(Graduate School of Information & Communications, Hanbat National University)

*국립한밭대학교 정보통신컴퓨터공학부 전파공학전공(Department of Radio Wave Engineering, Hanbat National University)

· 논문 번호 : 20050613-067

· 수정완료일자 : 2005년 8월 11일

본 논문에서는 CPW-fed를 이용한 슬롯 안테나를 제안하였다. CPW-fed 슬롯 안테나는 마이크로 스트립 방식에 비해 낮은 방사 손실과 분산이 적은 장점이 있고, 마이크로 스트립 패치에 비해 안테나 크기를 줄일 수 있는 특징이 있다^{[7]-[9]}. 또한 사다리꼴 모양의 패치는 일반 사각형 모양의 패치보다 더욱 넓은 대역폭을 나타낸다^[10]. 제안된 안테나는 반원 확장장과 다수의 스텝을 이용하여 안테나의 크기를 줄이고 임피던스 정합을 유도하였으며, 사다리꼴 패치와 슬롯을 이용하여 초 광대역을 얻었으며, 반원 확장을 이용하여 평탄한 이득 변화량을 얻었다. 사다리꼴 패치면에 $\lambda/4$ 길이의 슬롯을 형성하여 IEEE 802.11a 주파수 대역을 필터링 하였고 슬롯의 길이를 변화해 가면서 측정하여 필터링 하고자 하는 주파수 대역이 조절 가능함을 확인하였다. 또한 안테나간 path loss를 측정하였으며, 그룹 딜레이를 측정하여 안테나 성능을 확인하였다.

II. 안테나 구조 및 설계 변수

2-1 제안된 안테나 구조

그림 1은 제안된 안테나 구조를 나타낸 것이다. 안테나의 크기가 작으면서 주파수의 변화에 관계없이 일정한 임피던스 특성을 가짐으로써 광대역 특성을

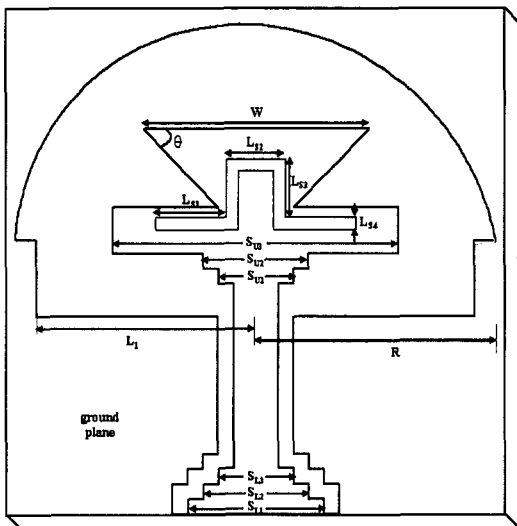


그림 1. 제안된 안테나 구조
Fig. 1. Geometry of the proposed UWB antenna.

을 구현하기 위해 그림에서 보는 바와 같이 여러 가지 방법이 사용되었다. 임피던스 정합을 위해 사다리꼴 패치와 급전선 사이에 $\lambda/4$ 변환기를 사용하여 크기와 길이가 서로 다른 사각형 모양의 스텝을 삽입하였으며, 급전이 이루어지는 초기단계도 스텝을 사용하였다. 안테나 크기와 이득 변화량을 줄이기 위해 용량성 결합 방법을 사용하여 사각형 모양의 슬롯과 반원 모양의 슬롯을 결합하였으며, 특히 반원 모양의 슬롯은 전·자기 필드가 반원 모양으로 자연스럽게 퍼져나가도록 유도되어 광대역 특성이 나타나고 안테나 크기와 이득 변화량을 동시에 줄일 수 있다. 안테나 크기는 25 mm×25 mm이며, 두께가 0.8 mm이고 유전율이 4.4인 FR-4 기판을 사용하였다. 입력 임피던스 50 Ω 정합을 위하여 feeding line과 gap의 넓이를 아래의 공식을 이용하여 계산하였다.

$$Z_0 = \frac{30\pi}{\sqrt{\epsilon_{eff}}} \frac{K'(k)}{K(k)} \quad (1)$$

$$k = \frac{s}{s+2w}$$

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

여기서 s : 스트립라인 폭, w : 갭의 폭이다.

$$\epsilon_{eff} = 1 + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \frac{K(k)K(k_1)}{K(k)K(k_1)}$$

$$k_1 = \frac{\sinh(\pi a/2h)}{\sinh(\pi b/2h)} \quad (2)$$

여기서 ϵ_r : 기판의 비유전율, h : 기판의 두께이다.

식 (1)과 (2)를 이용하여 feeding line의 넓이는 3.6 mm, gap의 넓이는 0.4 mm로 구하였으며 이와 같은 경우에 특성 임피던스는 50 Ω , 유효 유전율은 약 2.168을 얻는다. 유효 유전율을 사용하여 L_1 사각 슬롯의 길이를 구할 수 있다.

안테나 설계 파라미터는 표 1을 참고하기 바란다.

2-2 제안된 안테나 설계 변수

제안된 안테나는 크게 3가지 설계 변수로 구분지을 수 있다. 첫째, 스텝단 유·무에 따른 방사 손실 변화, 둘째, 반원 모양 슬롯의 지름 변화에 따른 방사 손실 변화, 셋째, 슬롯 내부에 위치한 사다리꼴

표 1. 제안된 안테나 파라미터

Table 1. The proposed antenna parameters.

S_{L1}	S_{L2}	S_{L3}	S_{U1}	S_{U2}	S_{U3}	R
3.6 mm	3.0 mm	2.5 mm	3.0 mm	5.0 mm	13 mm	12 mm
L_{S1}	L_{S2}	L_{S3}	L_{S4}	W	L_1	θ
3.5 mm	4.0 mm	3.5 mm	0.1 mm	12 mm	11 mm	40.6°

모양의 패치를 변화해 가면서 시뮬레이션 하였다. 시뮬레이션은 사다리꼴 패치면에 슬롯이 없는 경우에 대하여 우선 시뮬레이션 하였으며, 안테나 최적화 설계가 완료된 후 패치면에 IEEE 802.11a 주파수 대역(5.15~5.825 GHz)의 중심 주파수인 5.48 GHz에서의 $\lambda/4$ 길이의 슬롯을 형성하여 IEEE 802.11a 주파수 대역에서 notch 특성이 나타나는지를 시뮬레이션 하였다.

그림 2는 모든 변수는 그림 1과 같이 고정한 채 스텝의 유·무에 따른 반사 손실을 시뮬레이션한 결과이다. 그림에서 보는 바와 같이 급전 초기단 및 급전 마지막단에 스텝이 없을 때는 6 GHz 이상의 고주파수 대역에서 임피던스 정합이 일어나지만, 6 GHz 이하의 주파수 대역에서는 임피던스 정합이 이루어지지 않았다. 50 Ω 급전 라인 하나만으로는 UWB 전 주파수 대역에서의 임피던스 정합에 어려움이 있다 판단되어 사다리꼴 패치와 급전선 사이에 임피던스가 서로 다른 사각 스텝을 삽입하였다. 그림에서 보는 바와 같이 스텝이 전혀 없을 때보다는 향상된 결과가 나타나는 것을 볼 수 있다. 그러나 아직도 완

벽한 정합이 이루어지지 않아 급전선 초기단에도 $\lambda/4$ 변환기를 사용하여 다단의 스텝을 삽입하였다. 그림에서 보는 바와 같이 UWB 주파수 대역(3.1~10.6 GHz)을 만족하는 것을 볼 수 있다.

그림 3은 반원 슬롯의 지름을 변화시켰을 때의 반사 손실 시뮬레이션 결과이다. 원형 슬롯의 지름은 원하는 주파수 대역에서 가장 낮은 주파수 파장의 $\lambda/2$ 일 때 공진이 이루어진다^[11]. 본 논문에서는 가장 낮은 주파수인 3.1 GHz에서 약 24 mm로 원형 슬롯의 지름을 결정하였고 이를 반원 슬롯에 적용하였다. 그림에서 보는 바와 같이 $2L_1 \geq 2R$ 경우에는 반원의 지름이 줄어들게 되기 때문에 원하는 주파수 대역에서 공진이 이루어지지 않게 된다. 또한 전·자기 필드가 사각 슬롯에서 넓게 형성되어 진행되다가 원형 슬롯에서 갑자기 좁아지게 되어 광대역 특성이 나타나지 않게 된다. 때문에 공식에 적용된 가장 낮은 주파수 파장의 $\lambda/2$ 의 길이인 24 mm 즉, $2L_1 \leq 2R$ 인 경우에만 UWB 주파수 대역을 만족하였다.

그림 4는 사다리꼴 패치 모양을 변화해가면서 시

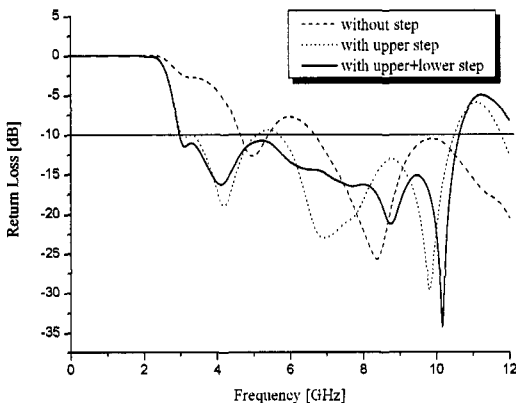


그림 2. 스텝 유·무에 따른 반사 손실 시뮬레이션
Fig. 2. Simulated return loss as a function of step.

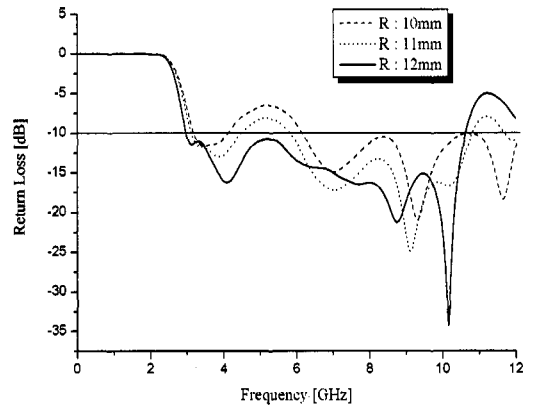


그림 3. 반원 지름 변화에 따른 반사 손실 시뮬레이션
Fig. 3. Simulated return loss for different semi-circular radius.

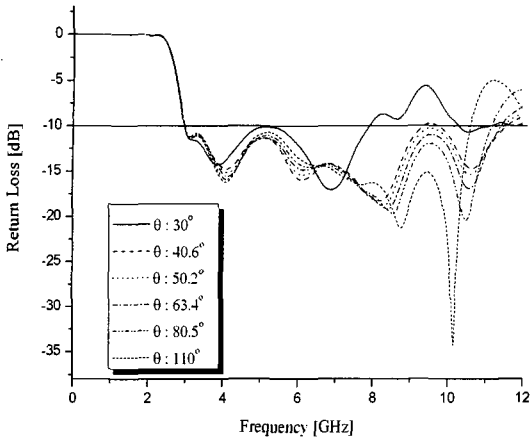


그림 4. 패치 모양 변화에 따른 반사 손실 시뮬레이션
Fig. 4. Simulated return loss for different patch shape.

플레이션 한 결과이다. 그림에서 보는 바와 같이 θ 가 $40^\circ \sim 90^\circ$ 까지 변하는 경우 UWB 주파수 대역을 만족하며 40° 이하인 경우와 90° 이상인 경우에는(사다리꼴의 윗변보다 아랫변의 길이가 길어지는 경우) UWB 주파수 대역을 만족하지 못하였다. 시뮬레이션 결과 중 최적값인 θ 가 40.6° 일 때를 선택하여 설계하였다.

III. 시뮬레이션 결과 및 측정 결과

그림 5는 패치면의 슬롯 유·무에 따른 VSWR 측정 결과이다. 그림에서 보는 바와 같이 패치면에 슬롯이 없는 경우에 $VSWR \leq 2$ 에서 UWB 주파수 대역을 만족하며 패치면에 IEEE 802.11a 주파수 대역

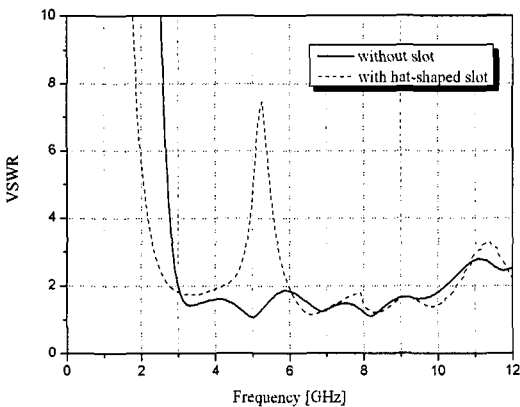


그림 5. 슬롯 유·무에 따른 VSWR 측정 결과
Fig. 5. Measured VSWR as a function of slot.

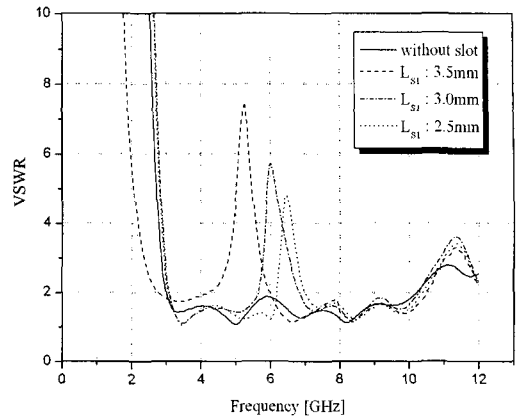


그림 6. 슬롯 길이 변화에 따른 VSWR 측정 결과
Fig. 6. Measured VSWR for different slot length.

(5.15~5.825 GHz)의 중심 주파수인 5.48 GHz에서의 $\lambda/4$ 길이의 슬롯을 형성한 경우 IEEE 802.11a 주파수 대역보다 조금 넓은 4.22 GHz에서 6 GHz 사이의 주파수 대역이 필터링 되었다.

그림 6은 패치면의 슬롯의 길이를 변화시켰을 때의 VSWR 측정 결과이다. 그림에서 보는 바와 같이 L_{sl} 의 길이를 3.5 mm, 3.0 mm, 2.5 mm로 변화했을 때 주파수가 이동하면서 notch 특성이 나타나는 것을 확인하였다. 측정 결과로 인해 필터링 하고자 하는 주파수 대역을 패치면에 형성한 슬롯인 L_{sl} 의 길이를 변화시키면서 필터링할 수 있다.

그림 7은 안테나의 이득을 시뮬레이션 한 것이다. 안테나 패턴이 어느 한 방향으로 지향성을 가진다면

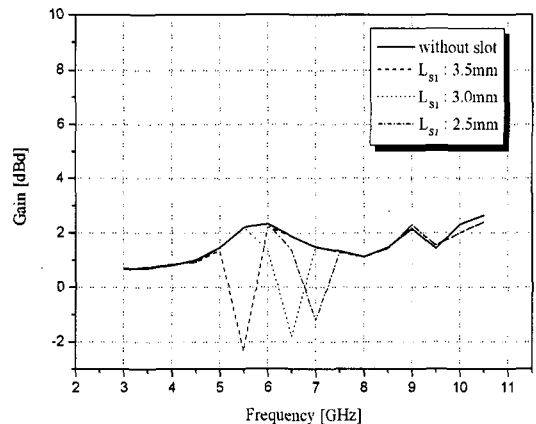


그림 7. 제안된 안테나의 이득 시뮬레이션
Fig. 7. Simulated the proposed antenna gain versus frequency.

즉 이득 변화량이 크다면 안테나의 위치 변화와 각도 변화에 따라 신호를 수신하지 못하고 지향성이 큰 방향으로만 수신되는 문제가 발생한다. 제안된 안테나는 그림에서 보는 바와 같이 이득 변화량이 IEEE 802.11a 주파수 대역을 제외하고 0.8 dBd~2.5 dBd로 약 1.7 dBd로 매우 작음을 확인할 수 있었다. 이는 제안된 안테나가 모든 방향에서 송·수신할 수 있는 무지향성 방사 패턴이 나타남을 확인할 수 있다. 반면에 패치면에 서로 다른 길이의 슬롯을 형성한 부분에서는 이득이 급격히 감소해 낮치 특성이 나타나는 주파수 대역은 방사가 되지 않는 것을 확인할 수 있다.

UWB 무선 통신 기술은 디지털 부호 정보를 나노세컨드 이하의 매우 짧은 폭을 가지는 임펄스 신호로 변환하여 무선으로 전송하는 기술이기 때문에 펄스의 왜곡 정도를 나타내는 지표인 그룹 딜레이 측정이 중요하다^[6].

그림 8은 송·수신 안테나 거리를 30 cm로 이격시킨 후 그룹 딜레이를 측정하는 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 그룹 딜레이 변화량이 1 ns에서 일정하게 변화하는 것을 볼 수 있다. 이는 far-field의 위상이 UWB 주파수 대역에서 선형 특성을 나타냄을 예상할 수 있으며, 펄스 특성도 왜곡 없이 송·수신될 것이라 예상할 수 있다^[6]. 그러나 패치면에 형성한 슬롯 길이의 변화에 따라 낮치 특성이 나타나는 주파수 대역은 그림 9에서 보는 바와 같이 그룹 딜레이가 약 3.5~4 ns로 갑자기 증가하는 것을 볼 수 있

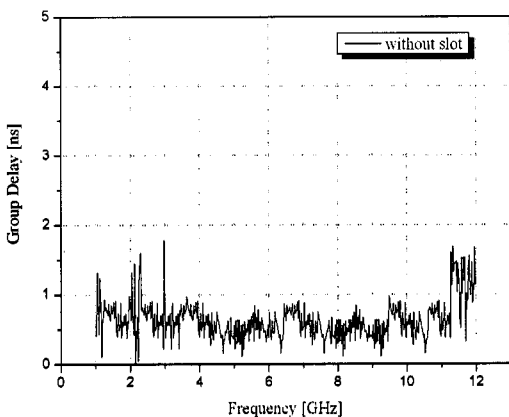


그림 8. 슬롯이 없을 때의 그룹 딜레이 측정 결과
Fig. 8. Measured group delay for without slot.

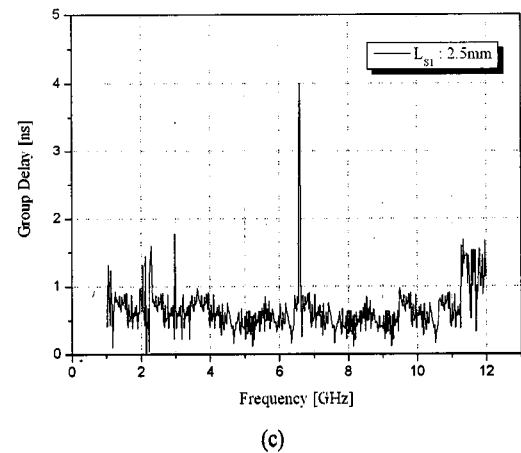
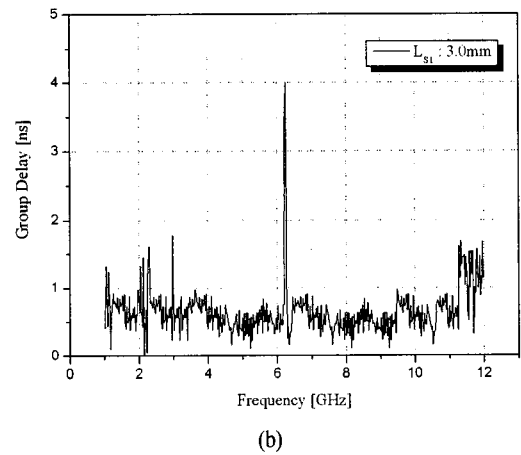
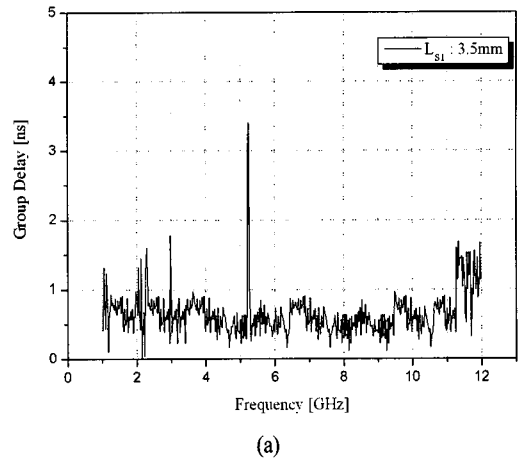
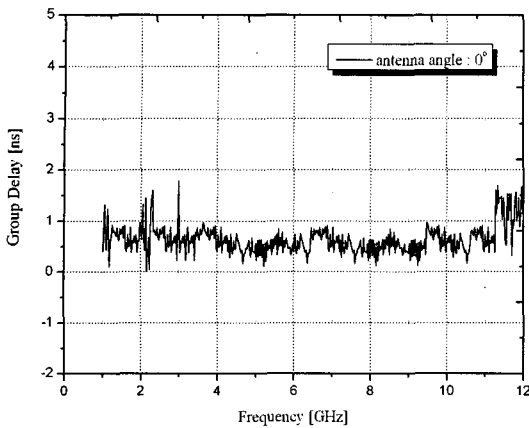
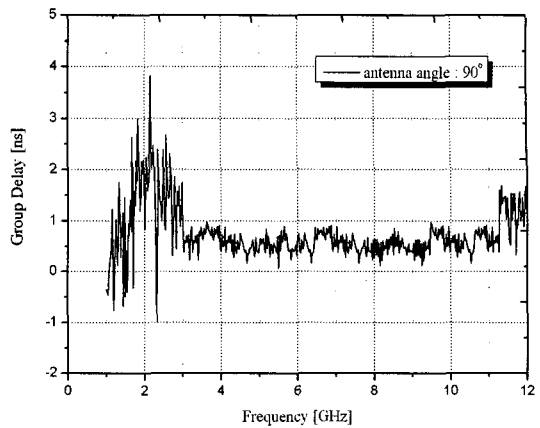


그림 9. 슬롯 길이 변화에 따른 그룹 딜레이 측정 결과
Fig. 9. Measured group delay for different slot length.

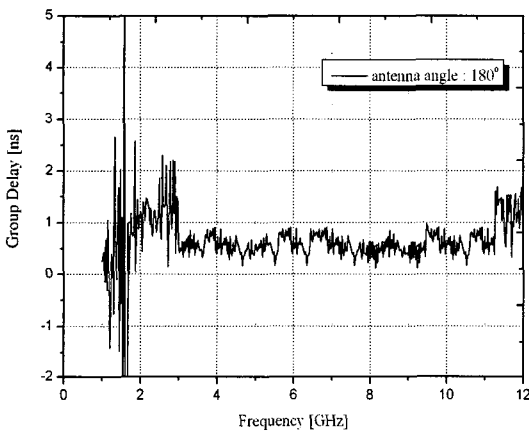
는데 필터링 하고자 하는 주파수 대역은 펄스의 왜곡 정도가 심해 송·수신이 불가능함을 알 수 있다.



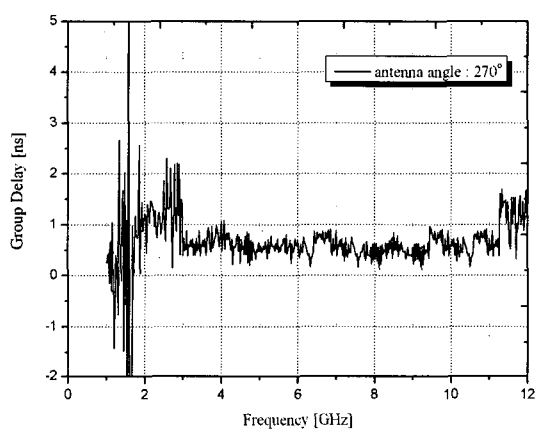
(a)



(b)



(c)



(d)

그림 10. 안테나 각도 변화에 따른 그룹 딜레이 측정 결과
Fig. 10. Measured group delay for different antenna angle.

그림 7의 시뮬레이션 결과와 그림 8의 측정 결과를 바탕으로 제안된 안테나는 모든 방향에서 송·수신이 가능하다는 것을 예상할 수 있다. 이를 증명하기 위해 패치면에 슬롯이 없는 안테나를 거리 30 cm로 이격시킨 후 수신 안테나의 각도를 $0^\circ \sim 270^\circ$ 로 변화하면서 그룹 딜레이를 측정하였다.

그림 10은 수신 안테나의 각도를 변화하면서 그룹 딜레이 특성을 측정한 그림이다. 그림 10(a)는 송신 안테나의 각도를 0° 로 고정된 후(송·수신 안테나의 패치면을 마주 보게 고정) 그룹 딜레이를 측정한 결과이다. 그림에서 보는 바와 같이 1 ns 범위에서 일정하게 변하는 것을 볼 수 있다.

그림 10(b)에서 10(d)는 송신 안테나는 그림 10(a)와 같이 고정한 채 수신 안테나의 각도를 $90^\circ, 180^\circ,$

270° 로 변화하면서 그룹 딜레이를 측정한 결과이다. 그림에서 보는 바와 같이 수신 안테나의 각도가 변화해도 그림 10(a)의 결과와 마찬가지로 1 ns 범위에서 일정하게 변하는 것을 확인할 수 있다. 측정 결과로 인해 제안된 안테나는 매우 작은 이득 변화량으로 인해 무지향성 패턴이 나타나며 안테나의 각도가 변화해도 모든 방향에서 송·수신이 가능하다는 것을 증명할 수 있었다. 또한 위의 측정 결과를 바탕으로 펄스 통신의 경우 안테나의 각도가 변화해도 펄스 통신이 가능하다는 것을 예상할 수 있다.

그림 11은 그룹 딜레이 측정과 마찬가지로 송·수신 안테나의 거리를 30 cm로 이격시킨 후 안테나 간의 path loss를 측정하는 것이다. 이는 안테나간의 통과 성능을 나타내는 것으로써 path loss가 일정하게

참고 문헌

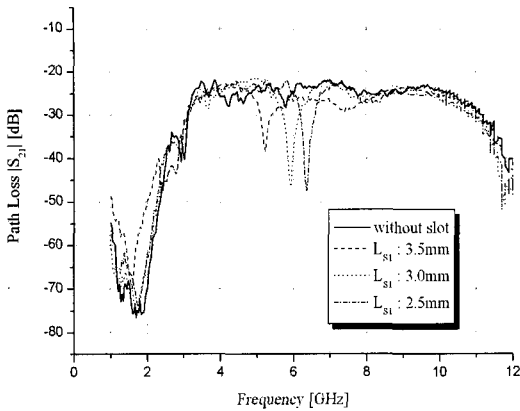


그림 11. 경로 손실 측정 결과
Fig. 11. Measured path loss.

변하지 않고 그 변화량이 크면 안테나간의 송·수신 성능이 떨어지게 되고 이는 그룹 딜레이 변화량도 1 ns를 초과하게 되며 결과적으로 펄스의 왜곡을 초래해 펄스 통신이 불가능하게 된다. 그림에서 보는 바와 같이 패치면에 슬롯이 없는 경우는 UWB 통신 주파수 대역에서 거의 일정하게 변화하는 것을 볼 수 있으며 IEEE 802.11a 주파수 대역을 포함하여 필터링 하고자 하는 주파수 대역에서는 급격이 감소해 notch 특성이 나타나는 주파수 대역은 송·수신이 불가능하다는 것을 알 수 있다.

IV. 결 론

본 논문에서는 UWB 통신 시스템에서 사용될 수 있는 반원 확장을 이용한 UWB 슬롯 notch 안테나를 설계하였다. 안테나의 대역폭은 $VSWR \leq 2$ 에서 3.1 GHz~10.6 GHz의 주파수 대역을 만족하였으며, 패치면에 $\lambda/4$ 길이의 슬롯을 형성하여 IEEE 802.11a 주파수 대역(5.15 GHz~5.825 GHz)을 필터링 시켰다. 패치면에 형성한 슬롯의 길이를 변화시키면서 VSWR 특성을 측정한 결과 필터링 하고자 하는 주파수 대역을 슬롯의 길이 변화에 의해 필터링 할 수 있음을 확인하였다. 안테나의 이득 변화율은 약 1.7 dBd로 매우 작은 이득 변화율을 나타내었으며 그룹 딜레이와 path loss를 측정하여 제안된 안테나가 IEEE 802.11a 주파수 대역을 제외한 모든 방향에서 송·수신됨을 확인하였다.

[1] S. H. Choi, J. K. Park, S. K. Kim, and J. Y. Park, "A new ultra-wideband antenna for UWB applications", *Microwave Opt. Tech. Lett.*, vol. 40, no. 5, pp. 399-401, Mar. 2004.

[2] Chen Ying, G. Y. Li, and Y. P. Zhang, "An LTCC planar ultra-wideband antenna", *Microwave Opt. Tech. Lett.*, vol. 42, no. 3, pp. 220-222, Aug. 2004.

[3] Seong H. Lee, Jong K. Park, and Jung N. Lee, "A novel CPW-fed ultra-wideband antenna design", *Microwave Opt. Tech. Lett.*, vol. 44, no. 5, pp. 393-396, Mar. 2005.

[4] H. G. Schantz, G. Wolynec, and E. M. Myszka, "Frequency notch UWB antennas", *IEEE APS* 2003.

[5] A. Kerkhoff, H. Ling, "Design of a planar monopole antenna for use with Ultra-Wideband(UWB) having a band-notched characteristic", *IEEE APS* 2003.

[6] 이정남, 이성훈, 박종권, "사다리꼴 모양의 UWB 안테나 설계", *한국전자과학회논문지*, 16(3), pp. 235-245, 2005년 3월.

[7] J. P. Carrier, D. L. Rio, and J. R. Mosig, "A new integrated match for CPW-fed slot antennas", *Microwave Opt. Tech. Lett.*, vol. 42, no. 6, pp. 444-448, Sep. 2004.

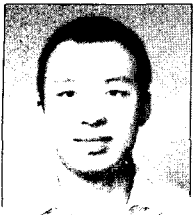
[8] X. C. Lin, L. T. Wang, C. L. Lai, and Y. S. Liu, "A broadband CPW-fed inductive slot antenna", *Microwave Opt. Tech. Lett.*, vol. 41, no. 1, pp. 12-14, Apr. 2004.

[9] M. Ali, R. Usaha, "A broadband folded-slot antenna with a semi-circular extension", *Microwave Opt. Tech. Lett.*, vol. 41, no. 1, pp. 32-37, Apr. 2004.

[10] Z. N. Chen, M. Y. W. Chia, "Impedance characteristics of trapezoidal planar monopole antenna", *Microwave Opt. Tech. Lett.*, vol. 27, no. 2, pp. 120-122, Oct. 2000.

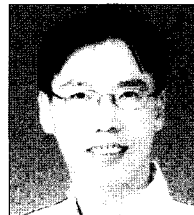
[11] W. C. Chew, "A broad-band annular-ring microstrip antenna", *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. AP-30, no. 5, Sep. 1982.

이 정 남



2004년 2월: 국립한밭대학교 정보통신공학과 (공학사)
2004년 3월~현재: 국립한밭대학교 정보통신전문대학원 석사과정
[주 관심분야] 초 광대역 안테나, RFID Reader 안테나, 전자파 응용

장 화 열



2005년 2월: 국립한밭대학교 정보통신컴퓨터공학부 (공학사)
2005년 3월~현재: 국립한밭대학교 정보통신전문대학원 석사과정
[주 관심분야] 전자파 해석, 다중대역 안테나

이 효 경



2005년 2월: 국립한밭대학교 정보통신컴퓨터공학부 (공학사)
2005년 3월~현재: 국립한밭대학교 정보통신전문대학원 석사과정
[주 관심분야] 초 광대역 안테나, 초 광대역 필터, 프랙탈 안테나

박 종 권



1994년 2월: 경북대학교 전자공학과 (공학사)
1997년 2월: 한국과학기술원 전기전자공학과 (공학석사)
2001년 2월: 한국과학기술원 전기전자공학과 (공학박사)
2001년 3월~2002년 2월: 한국전자통신연구원 선임연구원
2002년 2월~현재: 국립한밭대학교 정보통신컴퓨터공학부 조교수
[주 관심분야] 초고주파공학, 전자파 산란 수치해석, 안테나