

의복용 U-슬롯을 갖는 빔 조향 마이크로스트립 안테나

Beam Steering Antenna Using Microstrip Patch with U-Slot for Wearable Fabric Applications

하 상 준 · 정 창 원

Sang-Jun Ha · Chang Won Jung

요 약

본 논문에서는 직물형 회로 기판상에 설계된 U-슬롯을 갖는 빔 조향(*beam steering*) 마이크로스트립 패치(*microstrip patch*) 안테나를 제안하였다. 본 안테나는 직물형 회로 기판 및 의복상에 제작하는 것을 목적으로 설계되었으며, 동작 주파수 6.0 GHz에서 빔 조향이 가능하도록 설계되었다. 빔 조향을 위해 U-슬롯과 간접적 급전(*in-direct feed*) 방식이 적용되었으며, 안테나 패치 부분과 간접 급전부 사이에 두 개의 가상 스위치(*line connection*)을 이용하였다. 두 개의 가상 스위치 조합(S_0, S_1, S_2)에 따라, 최대 빔 방사 방향은 yz -평면상에서 $\theta=0^\circ, 30^\circ, 331^\circ$, 세 방향으로의 빔 조향이 가능하다. 전체 반전력 빔 폭(*HPBW*)에 의한 빔 커버리지는 약 115° 이고, 빔 조향 시 6.11~6.69 dBi의 최대 이득(*peak gain*)을 갖는다.

Abstract

Reconfigurable beam steering using microstrippatch antenna with U-slot is proposed for wearable fabric applications. The proposed antenna is manufactured on a fabric substrate, and designed to steer the beam directions at the operation frequency of 6.0 GHz. The U-shaped slot and the indirect feeding-techniques are utilized in designing the proposed antenna. By the configuration of two artificial switches(S_0, S_1, S_2) in between the indirect feed and the antenna patch, the antenna has three beam directions. The maximum beam directions are steerable in the yz -plane($\theta=0^\circ, 30^\circ, 331^\circ$), and the overall *HPBW* is 115° . The measured peak gains are 6.11~6.69 dBi.

Key words : Reconfigurable Antenna, Microstrip Patch Antenna, Beam Steering, Fabric Antenna, RF-Switches

I. 서 론

최근 인체 중심의 무선 통신(*wireless body-centric networks*)은 이동 통신 시스템의 중요한 요소가 되고 있다. 그 중 안테나 분야에서 주된 연구 주제로는 입을 수 있는 의복용 직물 기반의 안테나이다. 직물형 회로 기판(*textile substrate*) 안테나는 의복의 일부분으로 구성되어 트래킹과 내비게이션, 모바일 컴퓨

팅, 개인 안전을 위한 통신 등을 위해 사용하는 것을 주목적으로 한다^{[1],[2]}.

직물형 회로 기판 안테나의 제작은 평판형 다이폴(*dipole*) 안테나와 모노폴(*monopole*) 안테나, PIFA (*Planar Inverted-Fs*), 마이크로스트립 패치(*microstrip patch*) 등의 안테나와 같이 의복 상에 부착될 수 있는 평판형 안테나들이 응용되었다^{[3]~[6]}. 하지만 의복용 안테나의 특성상 전자파 인체 흡수율(*SAR: Speci-*

「이 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2010-0027822).」

서울과학기술대학교 NID융합기술대학원(Graduate School of NID Fusion Technology, Seoul National University of Science and Technology)

· 논문 번호 : 20110516-040

· 교신저자 : 정창원(e-mail : changwoj@snut.ac.kr)

· 수정완료일자 : 2011년 7월 27일

fic Absorption Rate)을 고려해야 하기 때문에, 전방향 방사 특성을 갖는 구조의 안테나들은 적합하지 않다^[1]. 이로 인해, 접지면에서 수직지향적(perpendicular) 방사 특성을 갖는 마이크로스트립 패치 안테나가 의복용 안테나로 적합한 구조로 여겨진다. 마이크로스트립 안테나는 시스템과 집적성이 용이한 평판형 안테나로, 소형이면서 제작이 간편하고 제작비가 저렴하다는 장점을 지니고 있다. 또한, 바닥면을 둘러싼 도체판이 안테나 뒷면에 구현될 시스템 회로의 접지로 활용될 수 있으므로, 간략한 시스템 구현에 적합한 설계상 이점을 가지고 있다^[8].

마이크로스트립 안테나를 의복과 결합하기 위한 연구에서는 유연성(flexibility) 및 양호한 착용감(wearability)을 유지시켜야 한다. 이를 위해 실버 페이스트(silver-paste) 같은 전도성 도료를 도포하여 제작하는 방법과 구리 박판(copper sheet)을 사용하여 부착시키는 방법, 연성 인쇄 회로 기판(flexible PCB)에 제작하여 의류에 부착시키는 방법, 도전사(electrothread)를 이용하여 제작하는 방법 등으로 이루어져 왔다^{[7]~[10]}. 의복용 안테나 제작은 의류의 특성상 안테나의 형태가 고정될 수 없기 때문에 변형이 생겨도 양호한 성능을 나타내야 하며, 세탁 등 오염에 의한 훼손이 지속적으로 가해지므로 내구성도 뛰어나야 한다. 의복과 동일한 면에 구성되어야 하기 때문에 평판형의 안테나 구조가 적합하다.

빔 조향 방법은 다수 안테나 배열(array)로 각 안테나 간의 위상을 변화시켜 방사 방향을 조절하는 방법^[12]과 단일 안테나 상에 스위치 소자(diode, MEMS switch)^[13]를 이용하여 방사 방향을 조절하는 방법으로 분류할 수 있다. 다수 안테나 배열에 의한 방법은 매우 높은 이득을 가지나, 넓은 조향각을 갖기에는 어려움이 있으며, 다수의 안테나로 인해 단일 안테나에 비해 크기가 커지고 구성이 복잡하다는 단점이 있다. 단일 안테나 상에서 빔 조향(steering) 기술을 구현하는 안테나의 경우, 현재까지 연구된 방법들^{[14]~[16]}은 특정한 안테나 구조에 국한되어 있으며, 스위치 소자를 이용하므로 bias 회로가 필요하며, 설계 난이도가 높다는 단점이 있다. 하지만, 비교적 구조가 간단하고, 다수 안테나 배열에 의한 방법에 비해 소형이며, 넓은 빔 조향 각을 유지할 수 있다. 이러한 이점으로 인해 의복상에 빔 조향이 가능한 RF 시

스템 구현 시에는 단일 안테나에 의한 방법이 더욱 적합하다.

본 연구에서는 그라운드 반사판(reflector)이 있어서 전자파 인체 흡수율이 비교적 낮은 구조인 마이크로스트립 패치 안테나를 의복용 안테나에 적용하였다. 또한, 개개인이 착용 시 혼잡해질 전과 환경을 가정하여 주파수 간섭을 경감시키고, 개인의 움직임 및 이동에 따른 방사 방향 변화에 안정적인 성능을 갖도록 하기 위해 단일 안테나 상에서 빔 조향이 가능한 방법을 구현하였다. 제안된 안테나는 2개의 스위치를 이용하여 3개의 빔 방향 제어가 가능하며, 빔 조향 가능성을 확인하기 위하여 가상의 스위치(line 연결)를 이용하였다. 시뮬레이션 및 측정된 반사 손실을 통해서 제안된 안테나의 동작 주파수를 검증하였고, 각 동작 주파수에서의 방사 패턴 및 이득 측정을 통하여 yz-평면상에서 전체 반전력 빔 폭(HPBW)에 의한 빔 커버리지가 120°가 되는 빔 조향 특성을 가지고 있음을 확인하였다.

II. 안테나 설계

2-1 결합형 안테나의 기본 구조

제안된 안테나의 기본 구조는 그림 1과 2에서 볼 수 있듯이 기존의 마이크로스트립 패치 안테나와 유사하다. 의복상(on body)에 빔 조향 안테나를 구현하기 위해, 안테나의 기판으로는 일상적으로 사용하

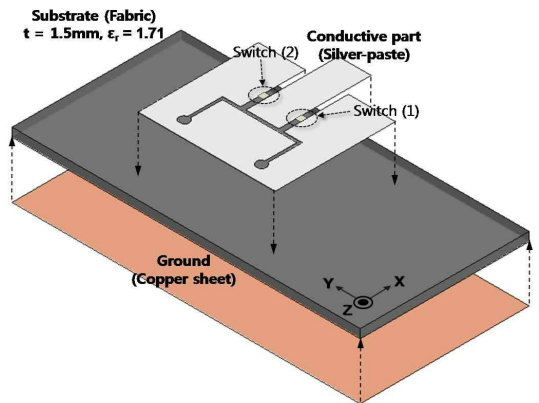


그림 1. 직물 기판 상에 설계된 재구성 빔 스티어링 패치 안테나의 구성도

Fig. 1. Schematic diagram of the proposed beam steering patch antenna on fabric substrate.

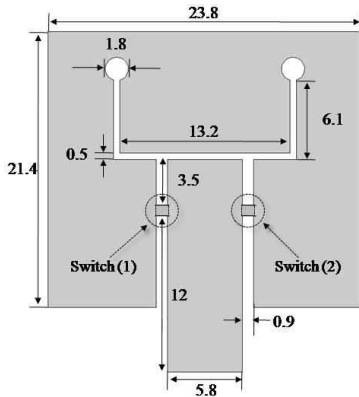


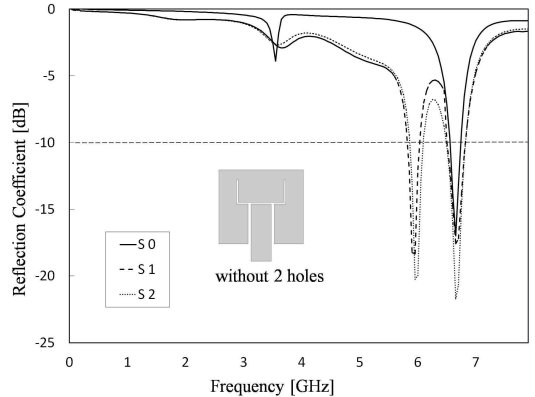
그림 2. 제안된 안테나의 구조(단위: mm)
Fig. 2. Geometry of the proposed antenna(unit: mm).

는 직물($\epsilon_r=1.71$)을 사용하였으며, 직물형 회로 기판의 크기는 60×30 mm이며, 두께는 1.5 mm이다. 또한, 단방향 방사 특성을 갖는 마이크로스트립 패치 안테나는 직사각형, 정사각형, 원형 등 다양한 형태가 있으나, 단일 사각 마이크로스트립 패치 안테나에 스위치를 적용하여 빔 조향 특성을 구현한 안테나는 없었다. 패치 안테나 내부에 전류의 흐름을 조절하기 위하여 마이크로스트립 패치 내부에 U-슬롯을 삽입하였으며, 간접 급전 방식을 적용시킨 급전부와 안테나 패치 사이에 두 개의 스위치를 두어 빔 방사 방향을 조작할 수 있도록 설계되었다. 시뮬레이션 및 제작 시 스위치는 실제 diode가 아닌 가상의 선으로 구성하였으며, 안테나는 스위치의 on/off 조합에 따라 S_0 , S_1 , S_2 의 세 가지 상태를 갖는다. S_0 는 Switch (1)과 (2)가 모두 off인 상태를 나타내며, S_1 은 Switch (1)만 on인 상태, S_2 는 Switch (2)만 on인 상태로 설정하였다.

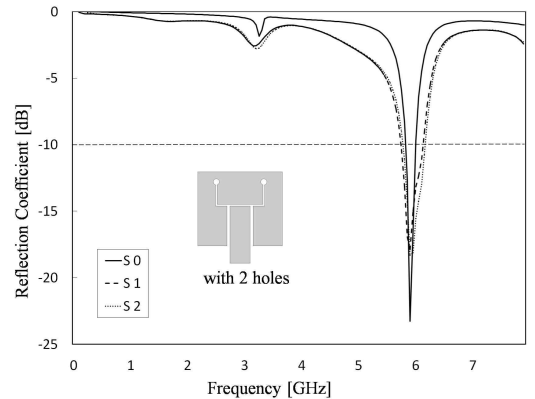
스위치가 on인 상태라 함은 안테나 패치부와 간접 급전부가 연결이 되지 않은 상태(open)를 나타내며, 스위치가 off인 상태는 안테나 패치부와 간접 급전부가 연결이 된 상태(short)로 설정하였다. S_0 상태는 급전부와 안테나 패치 부분이 전기 결합(electric coupling)만으로 급전되도록 설계되어져 있으며, z-축($\theta=0^\circ$)으로 최대 빔 방사 방향을 갖는 특성이 있다. 가상의 스위치 on/off 조합에 의해 직접적으로 급전되는 S_1 과 S_2 상태에서는 빔 방사 방향이 z-축($\theta=0^\circ$)에서 각각 $+30^\circ$, -30° 기울어진 각도에서 최대 빔 방사 방향을 갖는다. 두 개의 스위치 on/off 상

표 1. 스위치 on/off 상태에 따른 안테나 구성
Table 1. Antenna configuration by the switches on/off states.

State	Switch (1)	Switch (2)
S_0	Off	Off
S_1	On	Off
S_2	Off	On



(a) 원형 식각이 없는 경우
(a) Without two holes of U-shaped slot



(b) 원형 식각이 있는 경우
(b) With two holes of U-shaped slot

그림 3. 원형 식각의 유·무에 따른 방사 손실 결과
Fig. 3. Simulated reflection coefficient of the proposed antenna.

태 조합을 표 1에 요약하였다.

슬롯의 두 끝부분이 원형인 U-슬롯은 S_0 와 S_1 , S_2 간의 공진 주파수를 일치하도록 하기 위해 설계되었다. 그림 3(a)는 U-슬롯 끝부분에 위치하고 있는 원형 식각부가 없을 경우의 S_{11} 이다. 최적화된 S_{11} 결과

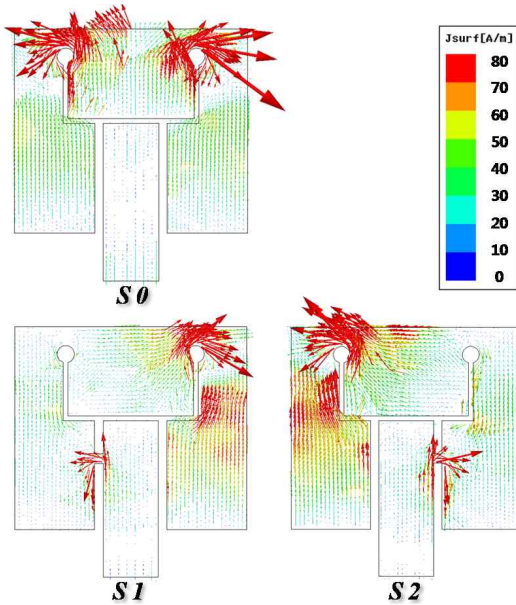


그림 4. 안테나의 표면 전류 분포 시뮬레이션 결과 (S_0, S_1, S_2)

Fig. 4. Simulation result of the surface current distribution on the antenna(S_0, S_1, S_2).

와는 달리 S_0 상태에서 6.75 GHz에서 공진 특성을 가지며, 스위치 하나만 on되어 있는 상태인 S_1 과 S_2 에서는 6.1 GHz와 6.75 GHz 두 공진 특성을 가짐을 알 수 있다. 원형 식각부의 지름이 1.8 mm로 최적화 되었을 경우, 그림 3(b)와 같이 공진 주파수가 6 GHz에서 동일하게 공진하게 되며, 반사 손실도 -10 dB를 만족하는 특성을 나타낸다. 그림 4은 제안된 안테나의 공진 주파수에서 스위치 조합에 따른 안테나 상의 표면 전류 분포를 나타낸 그림이다. S_0 에서는 두 U-슬롯 끝의 원형 주위에 전류 분포가 집중되어 있으며, 안테나의 급전점으로부터 대칭적인 전류 분포를 가지며, 이로 인해 최대 빔 방사 방향은 수직 방향($\phi=0^\circ, \theta=0^\circ$)이다. S_1 과 S_2 에서는 스위치가 어느 한쪽 방향만 on이 되어 안테나 급전부로부터 안테나의 구성이 비대칭 구조이며, S_1 에서는 급전점으로부터 오른쪽(+y축 방향)으로 전류 분포가 집중되어 최대 빔 방사 방향 또한, 오른쪽(+y축 방향)으로 기울어(tilt)진다. 마찬가지로, Switch (2)만 on인 상태인 S_2 에서는 급전점으로부터 왼쪽(-y축 방향)으로 전류 분포가 집중되어 최대 빔 방사 방향 또한, 왼쪽(-y

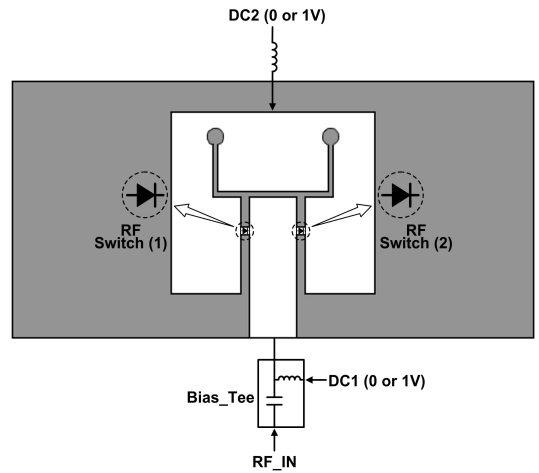


그림 5. RF 스위치를 적용한 DC 바이어스 회로
Fig. 5. DC bias circuit using RF switches.

축 방향)으로 기울어(tilt)진다. 전류 분포 시뮬레이션 결과, 스위치 조합으로 인한 비대칭적 전류 분포로 인해 빔 조향이 일어남을 알 수 있다. 실제 스위치를 이용한 안테나 설계 시에는 bias 회로 등에 의한 안테나 성능 저하를 고려하여 안테나를 설계 및 제작해야 한다. 현재 가상의 스위치로 제작된 안테나는 향후 실제 두 개의 RF 스위치(다이오드 또는 MEMS 스위치)를 적용한 재구성 안테나로 구현될 것이며, 바이어스 회로는 그림 5에서 볼 수 있다. Bias-Tee(DC1)를 사용하여 RF 입력 방향으로는 DC가 흐르지 않도록 하며, 급전점에 0 V 또는 1 V를 인가할 수 있도록 구성할 수 있다. 또한, 추가적인 바이어스 회로(DC2)를 안테나 패치부에 사용하여 0 V 또는 1 V를 급전할 수 있도록 설계한다. 스위치 on/off 동작에 따른 세 가지 경우 중, S_0 은 DC1, DC2가 모두 0 V의 전압이 인가되고, S_1 은 DC1은 0 V, DC2는 1 V의 전압이 인가되며, S_2 은 DC1은 1 V, DC2는 0 V의 전압이 인가되도록 설계할 수 있다. 표 2는 위에 기술한 DC 바이어스의 입력 전압 인가에 따라

표 2. 직류전압 인가에 따른 안테나 구성
Table 2. Antenna configuration by DC voltage.

	S_0	S_1	S_2
DC1	0	1	0
DC2	0	0	1

RF 스위치의 on/off 동작에 관한 내용을 정리한 표이다.

III. 안테나 제작 및 측정

그림 6는 시뮬레이션 결과를 기초로 두께 1.5 mm, 가로 60 mm, 세로 30 mm인 직물형 인쇄 회로 기판 ($\epsilon_r=1.71$) 상에 실제작한 안테나 사진이다. 안테나의 가상 스위치 조합에 따라 3종류의 안테나(S_0, S_1, S_2)로 제작되었다. 그림 7에서는 제안된 안테나의 반사 손실 측정 결과를 나타낸 그래프이다. S_0, S_1, S_2 세 경우에서 모두 동일한 동작 주파수인 6.0 GHz에서 -10 dB 이하의 양호한 반사 손실 특성을 가지며, 대역폭은 약 280 MHz(VSWR<2)이다. 그림 8은 공진 주파수 6.0 GHz에서의 방사 패턴 시뮬레이션 및 측

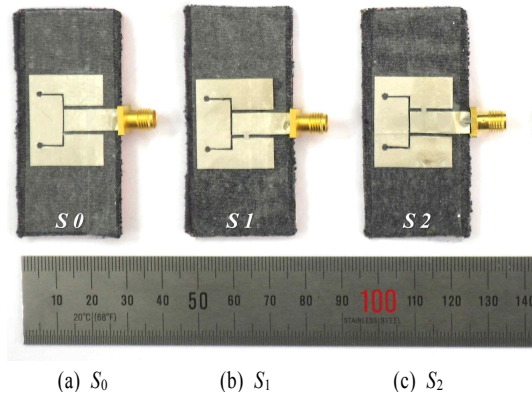


그림 6. 제작된 안테나의 사진
Fig. 6. Photograph of the proposed antenna.

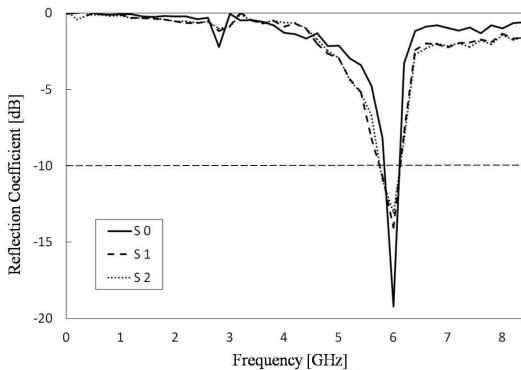
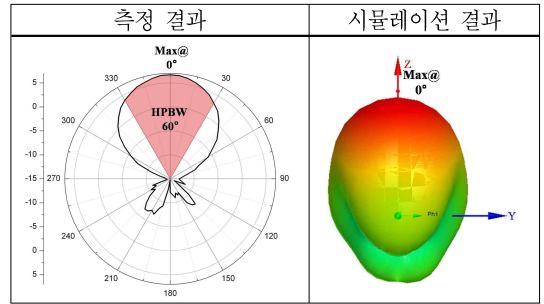
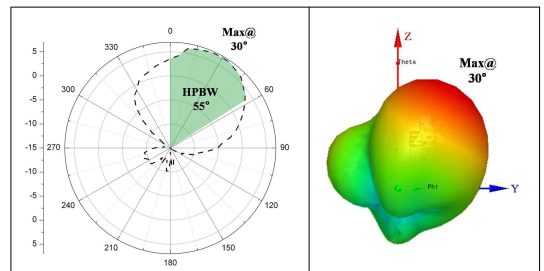


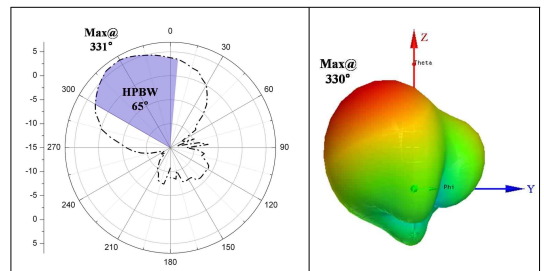
그림 7. 측정된 반사 손실(S_0, S_1, S_2)
Fig. 7. Measured reflection coefficient(S_0, S_1, S_2).



(a) S_0



(b) S_1



(c) S_2

그림 8. 시뮬레이션 및 측정된 방사 패턴의 비교
Fig. 8. Comparison of simulated and measured radiation patterns.

정 결과이다. 시뮬레이션과 측정 결과의 비교를 용이하도록 하기 위해, 3D 방사 패턴인 시뮬레이션 결과와 2D 방사 패턴($\phi=90^\circ$ cut: yz-plane)을 함께 나타내었다.

S_0 에서 최대 빔 방향은 $\phi=0^\circ, \theta=0^\circ$ 이며, 6.62 dBi의 최대 이득을 가지며, 60°의 반전력 빔 폭을 갖는다. S_1 에서 최대 빔 방향은 $\phi=90^\circ, \theta=30^\circ$ 이며, 6.69 dBi의 최대 이득을 가지며, 55°의 반전력 빔 폭을 갖는다. S_2 에서 최대 빔 방향은 $\phi=270^\circ, \theta=331^\circ$ 이며, 6.11 dBi의 최대 이득을 가지며, 65°의 반전력 빔 폭을 갖는다. 그림 9은 그림 8에서의 3개의 방사 패턴

USN, 무선 Bio 기술 분야에서 소형의 높은 스펙트럼 효율을 갖는 안테나로서 활용될 수 있다.

참 고 문 헌

[1] N. H. M. Rais, P. J. Soh, F. Malek, S. Ahmad, N. B. M. Hashim, and P. S. Hall, "A review of wearable antenna", *Loughborough Antennas & Propagation Conference*, pp. 16-17, Nov. 2009.

[2] A. Alexiou, M. Haardt, "Smart antenna technologies wireless for future wireless systems: Trends and challenges", *IEEE Communications Magazine*, vol. 42, pp. 90-97, 2004.

[3] S. Sankaralingam, B. Gupta, "A circular disk microstrip WLAN antenna for wearable applications", *India Conference(INDICON)*, pp. 1-4, Dec. 2009.

[4] P. Salonen, L. Sydanheimo, M. Keskilammi, and M. Kivikoski, "A small planar inverted-F antenna for wearable applications", *the Wearable Computers*, 1999.

[5] P. Salonen, J. Rantanen, "A dual band and wide-band antenna on flexible substrate for smart clothing", *27th Annual Conference of the IEEE*, vol. 1, 2001.

[6] J. C. G. Matthew, B. Pirollo, A. Tyler, and G. Pettitt, "Body wearable antennas for UHF/VHF", *Antennas and Propagation Conference*, 2008.

[7] J. G. Santas, A. Alomainy, and H. Yang, "Textile antennas for on-body communications: Techniques and properties", *The Antennas and Propagation, 2007. EuCAP*, 2007.

[8] P. Salonen, K. Jaehoon, and Y. Rahmat-Samii, "Dual-band E-shaped patch wearable textile antenna", *IEEE the Antennas and Propagation Society International Symposium*, 2005.

[9] M. Klemm, G. Troester, "Textile UWB antennas for wireless body area networks", *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 54, no. 11, Nov. 2006.

[10] 김연호, 정유정, "도전사를 이용한 UHF RFID 다이폴 태그 안테나 설계", 한국전자과학회

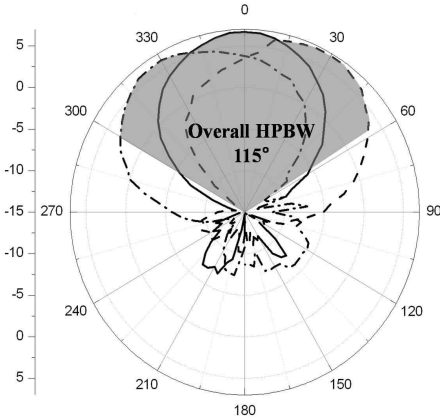


그림 9. 전체 빔 조향 범위(yz-plane)
Fig. 9. Overall HPBW(yz-plane).

표 3. 제안된 안테나의 성능 요약(빔 방사 방향, 최대 이득, 반전력 빔 폭)
Table 3. Summary of the antenna performance(Max. beam direction, peak gain, HPBW).

	Max. beam direction(°)		Peak gain (dBi)	HPBW (°)
	Phi(ϕ)	Theta(θ)		
S_0	0	0	6.62	60
S_1	90	30	6.69	55
S_2	270	331	6.11	65

측정 결과를 하나의 원형 플롯(polar plot)에 표현한 것이며, 전체 반전력 빔 폭(HPBW)에 의한 빔 커버리지는 약 115°이다. 표 3는 제안한 안테나의 최대 방사 방향과 최대 이득, 반전력 빔 폭의 성능을 요약한 것이다.

IV. 결 론

본 논문에서는 두 개의 가상 스위치를 이용하여 하나의 마이크로스트립 패치 안테나에서 서로 다른 세 방향으로 빔을 조향할 수 있는 안테나를 제안하였다. 안테나는 3가지 상태(S_0 , S_1 , S_2)에서 모두 동일한 주파수(6.0 GHz)에서 동작하며, 양각(elevation angle)의 yz-평면 상에서 전체 115°의 빔 커버리지($\theta = 55 \sim 300^\circ$)를 갖는 빔 조향 성능을 구현하였다. 제안된 안테나는 설계가 용이한 하나의 평판형 안테나로 빔 조향이 가능하며, 또한, 이러한 빔 조향 안테나를 직물(fabric)상에 구현하여, 향후 U-healthcare, 의복형

문지, 19(1), pp. 1-6, 2008년 1월.

[11] Woosung Lee, Hyungrak Kim, and Young Joong Yoon, "Reconfigurable slot antenna with wide bandwidth", *IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium*, pp. 3063-3066, 2006.

[12] M. Yassir, Y. Kimura, and H. Haneishi, "Beam - adjustable planar arrays composed of microstrip antennas", *Microwave Conference, APMC*, pp. 343-346, 2006.

[13] A. Mehta, D. Mirshekar-Syahkal, and H. Nakano "A switched beam star patch antenna", *IEEE International Symposium*, pp. 1-4, 2008.

[14] Woong Kang, Man Geun Kim, Jong-Hyun Lee, Kijun Bahng, and Kangwook Kim, "A beam reconfigurable antenna using MEMS switches", *IEEE International Symposium*, pp. 1-4, 2009.

[15] Hisamatsu Nakano, Jun Eto, Yosuke Okabe, and

Lunji Yamauchi, "Tilted- and axial-beam formation by a single-arm rectangular spiral antenna with compact dielectric substrate and conducting plane", *IEEE Trans Antennas Propag*, vol. 50, no. 1, Jan. 2002.

[16] C. Jung, Mingc-jeer Lee, G. P. Li, and F. De Flaviis, "Reconfigurable scan-beam single-arm spiral antenna integrated with RF-MEMS switches", *IEEE-Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 54, pp. 455-463, Feb. 2006.

[17] Sang-Hyuk Wi, Yong-Shik Lee, and Jong-Gwan Yook, "Wideband microstrip patch antenna with U-shaped parasitic elements", *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 55, pp. 1196-1199, 2007.

[18] C. A. Balanis, *Antenna Theory Analysis and Design*, 2nd Ed. New York: John Wiley & Sons, pp. 771-772, 2001.

하 상 준



2010년 3월: 서울과학기술대학교 매체공학과 (공학사)
 2010년~현재: 서울과학기술대학교 방송통신 융합프로그램 석사과정
 [주 관심분야] 안테나, RF, 방송통신 융합

정 창 원



2001년 12월: University of Southern California 전자공학과 (공학석사)
 2005년 6월: University of California, Irvine 전자공학과 (공학박사)
 1997년 1월~2000년 6월: LG 정보통신연구원
 2005년 7월~2005년 10월: University of California, Irvine, Post Doctor
 2005년 11월~2008년 4월: 삼성종합기술원 전문연구원
 2008년 5월~현재: 서울과학기술대학교 NID 융합기술 대학원 조교수
 [주 관심분야] 안테나, RF, EMI/EMC, RF-MEMS, 센서