

메탈 노트북 Dual 밴드 WiFi MIMO용 고효율 슬롯안테나 설계 및 구현

Design and Implementation of High Efficiency Slot Antenna for the Metal Notebook Dual Band WiFi MIMO System

유 영 혁* · 이 문 희* · 손 태 호†
(Younghyeouk Yoo · Moonhee Lee · Taeho Son)

Abstract - MIMO(Multiple Input Multiple Output) slot antenna that operates on the dual WiFi band(2.401~2.495GHz, 5.18~5.825GHz), in this paper, was studied. The basic theory for the slot design is based on the coupling between adjacent slot, and slots are fed by the each microstrip lines. Two slot antennas for the MIMO operation are located on the left and the right side of top of the metal notebook, and grounds between a notebook and two microstrip feeding lines are connected. Measurement of return loss showed under -6dB on entire design band, and isolation was below than -30dB. Radiation efficiency, average gain and peak gain for the left and the right slot were measured in the anechoic chamber, and showed good performances as 57.25%, -2.42dBi, 5.64dBi and 55.35%, -2.61dBi, 6.42dBi for the 2.4GHz band and 55.89%, -2.58dBi, 7.3dBi and 53.79%, -2.8dBi, 7.54dBi for the 5GHz band.

Key Words : Slot antenna, Metal notebook, Dual WiFi, MIMO, High efficiency

1. 서 론

1990년대 노트북 무선 네트워킹 기능이 도입되면서 노트북과 같은 휴대용 이동통신 장치에 대한 다양한 연구가 시작되었다 [1]-[3]. 그 이후 무선통신은 노트북에서 필수 기능이 되었다. 최초의 무선통신 지원 노트북에는 2.4GHz에서 동작하는 WiFi 네트워크 어댑터와 플라스틱 디스플레이 베젤에 내장된 안테나가 포함되어 있었다. 그 후, 무선 근거리 통신망 WLAN(Wireless Local Area Network) 대역과 관련된 다중 대역 안테나가 제안되어 데이터 통신 속도를 높였다. 무선 근거리 통신망을 위해 노트북에 모노폴(monopole) 안테나와 역 F(inverted-F) 안테나, 패치(patch) 안테나와 슬롯(slot) 안테나가 사용되었다. 내부 WLAN 안테나 외에도, WWAN(Wireless Wide Area Network) 안테나를 노트북에 통합하여 지속적인 인터넷 연결에 대한 소비자의 요구를 충족시키기 위해, 커플링 급전(coupled-fed) 안테나, 루프(loop) 안테나, 모노폴 슬롯안테나 등이 적용되었다[4]-[7]. 이러한 안테나들은 FR4 기판과 같은 인쇄회로 기판(PCB)으로 만들어지며 디스플레이의 상단 베젤이나 하단 베젤에 위치하였다. 그러나 안테나는 메탈로 에워싼 구조에서는 방사를 막음으로써 방사 효율의 저하는 물론 방사저항 형성에도 문제를 일으키게 된다. 이를 극복하기 위해 메탈 커버를 부분적으로 개방하여 안테나를

배치하는 방법이 제시되었고, 더불어 메탈 커버에 슬롯안테나를 적용하는 연구가 발표되었다[8]-[11].

본 논문에서는 노트북의 메탈 커버에 적용 가능한 WiFi 전 대역에서 동작하는 고효율 특성의 슬롯안테나를 제안한다. 슬롯안테나는 노트북 상단 베젤의 좌측에 0.5mm 간격으로 평행하게 연결된 두 개의 슬롯을 설계하고, 우측에도 대칭으로 설계한다. 좌측의 슬롯안테나에 마이크로스트립 선로가 두 개의 라인으로 나뉘어 급전되며, 우측의 슬롯안테나도 동일하게 급전된다. 안테나는 WiFi 주파수 대역의 모든 채널을 포함하는 2.4GHz 대역(2.401~2.495GHz)과 5GHz 대역(5.18~5.825GHz)에서 동작하도록 설계한다. 제안된 안테나의 효율을 보다 객관적으로 판단하기 위하여 ㈜스카이크로스 코리아사의 메탈 노트북 슬롯안테나 기술 보고서[12]를 참조하여, 방사효율과 방사특성을 비교하였다. 설계를 위하여 Ansoft사 HFSS 시뮬레이션 툴을 사용한다. 측정을 위한 안테나의 제작은 실제 노트북 커버에 동판을 부착하여 제작한다. 제작된 슬롯안테나는 Agilent사의 네트워크 분석기로 측정 및 MTG사 무반사실에서 방사효율 및 방사 패턴을 측정하고 그 결과를 고찰한다.

2장에서는 제안안테나에 대한 구조와 설계에 대해서, 3장에서는 슬롯안테나에 대한 제작과 측정결과를 나타내며, 4장에서 결론을 맺는다.

† Corresponding Author : Taeho Son, Dept. of IT Engineering, Soonchunhyang University, Korea.
E-mail: thson@sch.ac.kr

* Dept. of IT Engineering, Soonchunhyang University, Korea.
Received : July 9, 2018; Accepted : August 26, 2018

2. 제안 안테나 구조

그림 1은 HFSS 시뮬레이션 툴을 사용하여 노트북을 설계한

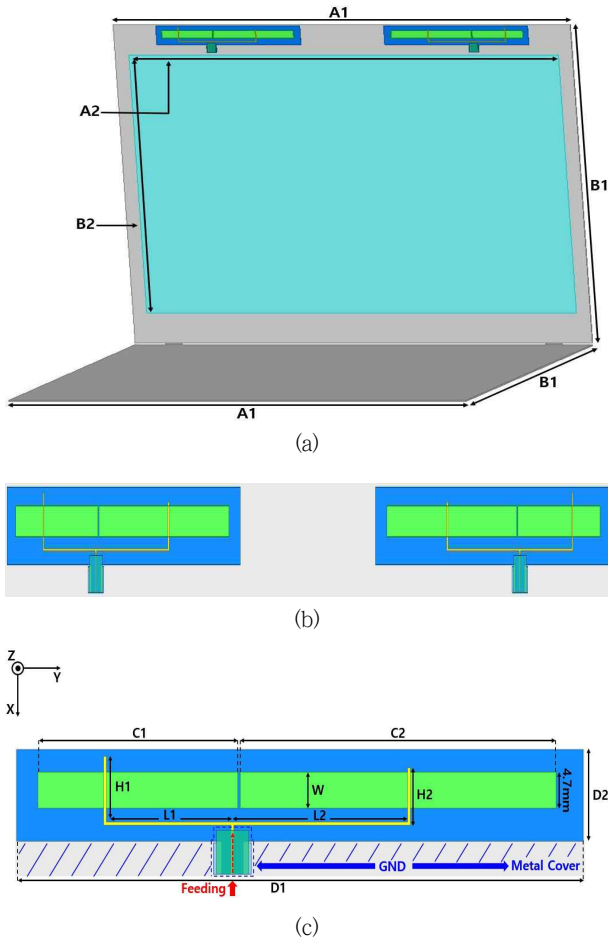
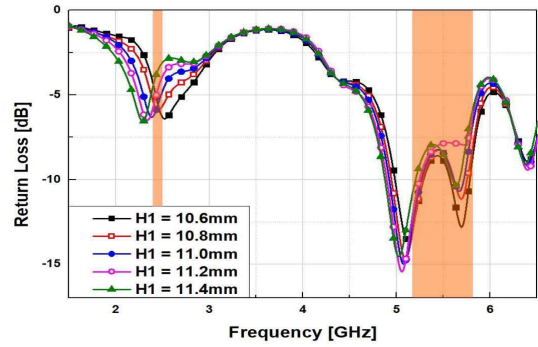


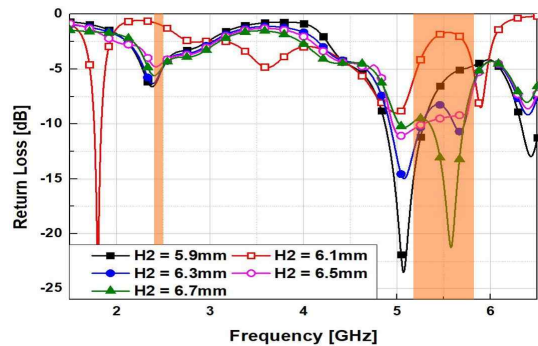
그림 1 메탈 노트북의 구조 (a)노트북 모델 (b)좌, 우측 슬롯안테나 (c)슬롯안테나

Fig. 1 Structure of the metal notebook. (a)notebook model (b)left and right slot antennas (c)slot antenna

그림의 전체 모습과 세부적인 모습을 나타냈다. 그림 1(a)는 제한 안테나의 전체 모습이다. 노트북은 실제로 많이 사용되는 13inch 크기의 노트북이며, 가로(333mm) × 세로(242mm) × 두께(1mm)이다. 노트북 상단 베젤의 x축 방향으로 21mm 공간이 슬롯안테나를 구현하기 위한 공간이다. 그림 1(a)와 그림 1(c)의 A1부터 W까지 표 1에 파라미터의 수치를 나타내었다. 그림 1(b)는 슬롯안테나가 노트북의 상단 베젤에 좌, 우 대칭으로 설계된 그림이다. 슬롯안테나 간의 간격은 제품의 규격 사양인 167mm로 설계하였다. 급전은 각각의 두 개 슬롯에 마이크로스트립 선로로 급전하였다. 마이크로스트립 기판의 크기는 가로(6mm) × 세로(7mm)이며, 비유전율은 3이다. 그림 1(c)는 슬롯안테나의 구조를 나타낸 모습이다. 노트북의 접지와 마이크로스트립 기판의 접지가 연결된다. 마이크로스트립 선로는 두 개의 라인으로 나뉘어 각각의 슬롯에 급전되어 슬롯의 공진과 두 슬롯의 커플링으로 추가적인 공진이 발생한다. 슬롯은 주파수 2.4GHz에서 1 파장 공진 모드, 주파수 5GHz에서는 1.5 파장 공진모드를 형성해 공진주파수를 유도하며 두 개의 슬롯들의 커플링 효과로 이중공진을 유도할 수



(a)



(b)

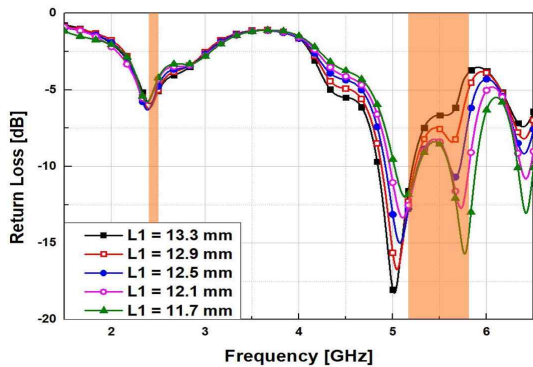
그림 2 H1, H2의 길이 변화에 따른 반사손실 변화 (a)H1 (b)H2
Fig. 2 Return loss variance as a function of the length H1 and H2. (a)H1 (b)H2

있다. 커플링을 위한 간격은 슬롯 간에 0.5mm, 마이크로스트립 급전선로와 슬롯 간에 간격은 0.2mm로 하였다.

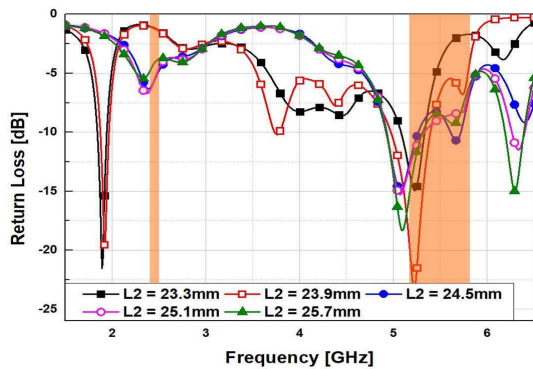
슬롯안테나의 변수에 따른 특성 변화를 설명하기 위해 그림 1(c)에 변수 H1, H2, W, L1, L2를 표기하였다. 변수의 길이, 위치, 폭의 변화에 따른 반사손실의 특성을 나타내었다.

그림 2는 그림 1(c)의 H 길이 변화에 따른 반사손실의 변화를 나타낸 그래프이다. 그림 2(a)는 좌측 급전선로의 높이 H1을 나타내는 그림으로 길이가 증가함에 따라 2.4GHz 대역의 공진주파수는 낮은 주파수 쪽으로 이동하는 것에 반하여, 5GHz 대역은 반사손실 특성이 거의 유사함을 보이고 있다. 2.4GHz 대역에서 H의 길이가 10.6mm일 때 공진주파수가 가장 높은 주파수를 보이며 2.4 GHz 대역을 벗어나는 것을 볼 수 있다. H가 11mm일 때 가장 양호한 반사손실 특성을 보이고 있다. 그림 2(b)는 우측 급전선로의 높이 H2를 나타낸 그림으로 급전선로의 끝이 슬롯에 매우 가까워 0.2mm씩의 변화에도 5GHz 대역의 반사손실이 크게 변화하는 것을 확인할 수 있다. 전체적으로 길이가 증가함에 따라 반사손실이 높아지고 있다. 따라서 슬롯에 급전되는 선로의 끝이 슬롯을 기준으로 높거나 낮을 때 공진주파수에 큰 영향을 미치고 있음을 보여주고 있다.

그림 3은 그림 1(c)의 L1, L2 길이 변화에 따른 반사손실 변화를 나타낸 그림이다. 그림 3(a)에서 보듯이 좌측 급전선로가 줄어들수록 5GHz 대역의 공진주파수가 우측으로 이동되는 것을 확



(a)



(b)

그림 3 L1, L2의 길이 변화에 따른 반사손실 변화 (a)L1 (b)L2
 Fig. 3 Return loss variance as a function of the length L1 and L2. (a)L1 (b)L2

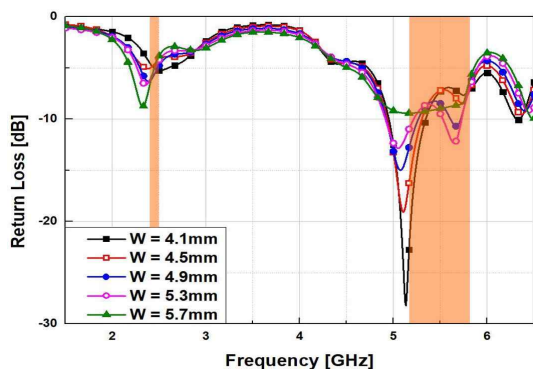
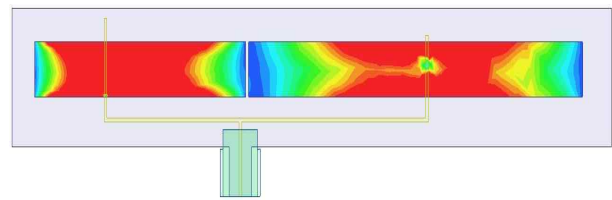


그림 4 W 간격 변화에 따른 반사손실 변화
 Fig. 4 Return loss variance as a function of the width W.

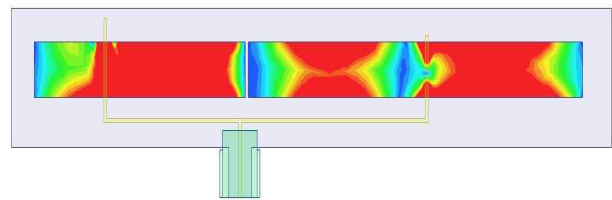
인할 수 있다. L1= 12.5mm일 때 가장 양호한 반사손실 특성을 가진다. 그림 3(b)는 우측으로 갈라진 급전선로의 길이 L2에 따른 반사손실 변화를 나타낸 그림이다. L2 선로의 길이가 줄어들수록 공진이 낮은 주파수 쪽으로 이동하고 있으며, 5GHz 대역에서 L2 선로의 길이가 길어질수록 반사손실이 적어지는 것을 알 수 있다. 따라서 급전선로가 길이가 변화할 때 슬롯에서 형성되

는 공진주파수에 큰 영향을 주고 있다.

그림 4는 그림 1(c)의 변수 W의 변화에 따른 반사손실 변화를 나타낸 그림이다. W가 +x축 방향으로 증가함에 따라 5GHz 대역의 반사손실이 높아지며 대역폭이 좁아진다. 그리고 2.4GHz 대역의 공진주파수가 슬롯의 폭이 증가할수록 낮은 주파수 쪽으로 이동하는 것을 볼 수 있다. W가 4.1mm일 때 가장 높은 반사손실 특성을 보이며, WiFi 2.4GHz 대역에서 공진주파수가 높아지는 것을 알 수 있다. 그리고 5GHz 대역은 반사손실이 적어지는 것을 확인할 수 있다. 반대로 슬롯의 폭이 5.7mm일 때 2.4GHz 대역에서 공진주파수가 낮아지며, 5GHz 대역에서는 반사손실이 커지고 있다. W가 4.9mm일 때 가장 양호한 반사손실과 대역 특성을 보이고 있다.



(a)



(b)

그림 5 슬롯안테나의 전계 강도 (a)공진주파수 2.45GHz의 전계 강도 (b)공진주파수 5.5GHz의 전계 강도

Fig. 5 E-field intensity of the antenna. (a)E-field intensity of resonance frequency 2.45GHz (b)E-field intensity of resonance frequency 5.5GHz

그림 5는 설계 주파수 대역인 2.4GHz 대역의 공진주파수 2.45GHz와 5GHz 대역의 공진주파수 5.5GHz에서 전계강도를 나타낸 것으로, 급전선로에서 슬롯으로 커플링 급전이 되는 모습이 나타나있다. 그림 5에서 슬롯 내 열은색은 낮은 전계강도를 나타내고, 검은색은 높은 전계강도를 나타낸다. 그림 5(a)에서 전계는 1 파장 공진 형태를 나타내고 있으며, 그림 5(b)에서는 1.5 파장 공진 형태를 보이고 있다. 따라서 전계특성으로부터 이중대역에서 공진되고 있음이 설명되고 있다.

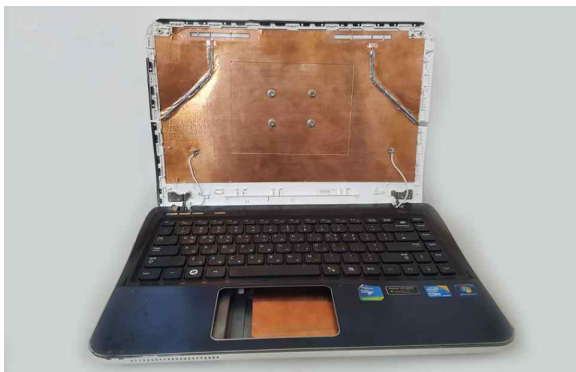
3. 제작 및 측정

2장에서 나타난 시뮬레이션을 기초로 하여 설계를 완성한 안테나 치수는 다음 표 1과 같다.

표 1 노트북과 제안 안테나의 치수

Table 1 Dimensions of notebook and proposed antenna.

표기	내용	수치(mm)
A1	노트북의 수평 길이	333
A2	디스플레이의 수평 길이	313
B1	노트북의 수직 길이	242
B2	디스플레이의 수직 길이	196
C1	좌 슬롯의 수평 길이	22
C2	우 슬롯의 수평 길이	43.5
D1	기판의 수평 길이	85
D2	기판의 수직 길이	13.7
H1	좌 급전선로의 수직 길이	7.7
H2	우 급전선로의 수직 길이	6.3
L1	좌 급전선로의 수평 길이	12.5
L2	우 급전선로의 수평 길이	24.5
W	슬롯의 폭	4.7



(a)



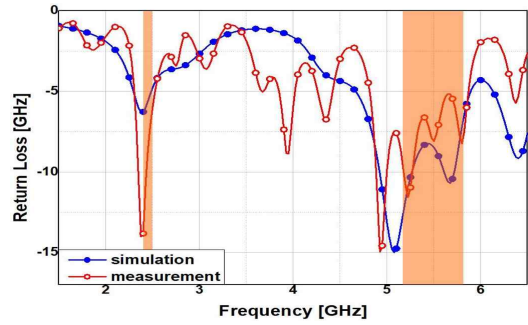
(b)

그림 6 슬롯안테나 구현 사진 (a)노트북 모델 (b)슬롯안테나

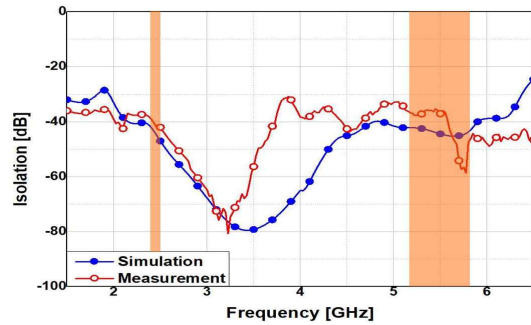
Fig. 6 Implemented slot antenna. (a)notebook model (b)slot antenna

그림 6은 설계를 바탕으로 제작한 제안된 안테나의 모습이다. 그림 6(a)는 기존의 노트북에 동 테이프를 붙인 동판을 커버에 붙여 메탈 커버를 구현한 것이다. 상단 좌측에 안테나 1이 있고, 그 하단에 동축선으로 급전한다. 우측에도 좌측과 같은 안테나가 대칭으로 있으며, 역시 동축선으로 급전된다. 그림 6(b)는 노트북 상단 베젤의 좌, 우측에 제작된 제안안테나의 상세 모습이다. 노트북과 제안된 안테나의 크기는 표 1과 같다.

그림 7은 제안안테나에 대한 반사계수와 격리도에 대한 시뮬레이션과 측정된 결과를 비교한 그림이다. 측정은 네트워크 분석



(a)



(b)

그림 7 제안 안테나의 반사계수와 격리도 (a) 반사계수 (b) 격리도

Fig. 7 Return loss and isolation of the antenna. (a)return loss (b)isolation

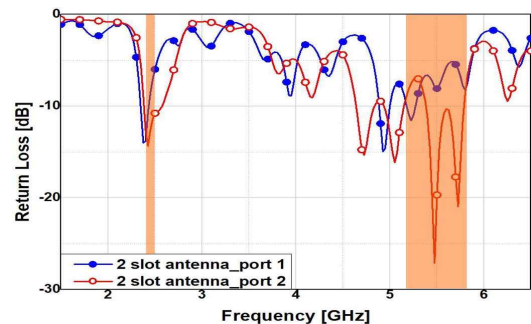


그림 8 좌측과 우측 슬롯안테나에 대한 반사손실 비교

Fig. 8 Return loss comparison of a left and a right slot antenna.

기를 이용하였으며, 반사손실의 경우 시뮬레이션 결과와 제작상의 결과가 전체적으로 일치하고 있다.

반사계수 측정은 2.4~2.5 GHz 대역에서 시뮬레이션 결과 -6.26~-4.84dB, 제작 결과 -13.90~-6.15dB, 5.18~5.83GHz 대역에서 시뮬레이션 결과 -12.33~-6.41dB, 제작 결과 -9.75~-7.43dB의 결과를 확인했다. 제작 결과는 -6dB 이하를 만족했으며, 격리도의 시뮬레이션 결과는 -30dB 이하, 제작 결과는 -30dB 이하이다.

그림 8은 네트워크 분석기로 측정된 안테나의 각 포트에서의 반사손실이다. 두 안테나의 특성이 대체적으로 유사하게 측정되

었으나 완벽히 같지 않은 것은 제작과정의 오차에 기인한 것으로 생각한다. 그러나 측정된 반사손실은 업체에서 요구하는 -6dB 이하를 만족하고 있다.

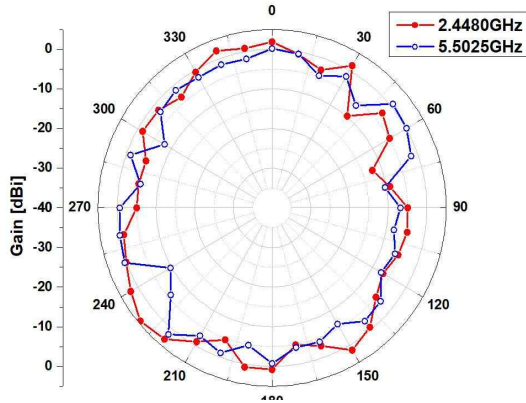


그림 9 측정된 안테나의 H면 방사패턴
Fig. 9 Measured H-plane radiation pattern of the antenna.

그림 9는 무반사실에서 측정한 슬롯안테나에 대한 H면 방사패턴(x-y 평면)을 나타낸 그림이다. 노트북 안테나의 요구사항에서의 특성인 전방향 특성을 WiFi 이중주파수 대역에서 잘 만족하고 있다.

표 2 안테나의 방사효율 및 평균이득과 최대이득

Table 2 Efficiency, average gain and peak gain of the antenna

freq. [GHz]	슬롯안테나					
	포트 1			포트 2		
	eff. [%]	avg. [dBi]	peak [dBi]	eff. [%]	avg. [dBi]	peak [dBi]
2.401	56.03	-2.52	5.10	55.13	-2.59	5.40
2.420	56.34	-2.49	5.24	59.75	-2.24	5.84
2.440	62.38	-2.05	5.64	66.05	-1.80	6.42
2.460	59.61	-2.25	5.44	59.57	-2.25	6.02
2.480	56.30	-2.49	5.06	49.90	-3.02	4.91
2.495	52.83	-2.77	4.81	41.67	-3.80	4.02
5.180	48.88	-3.10	4.00	72.63	-1.39	7.16
5.250	44.93	-3.47	3.69	72.56	-1.39	7.36
5.300	45.39	-3.43	3.45	69.30	-1.59	7.54
5.350	56.03	-2.52	4.57	60.72	-2.17	7.05
5.400	55.47	-2.56	5.39	52.77	-2.78	6.37
5.450	68.66	-1.63	6.53	54.44	-2.64	6.50
5.500	74.16	-1.30	6.89	48.54	-3.14	5.90
5.550	68.22	-1.66	6.72	52.27	-2.82	6.63
5.600	60.16	-2.21	6.90	58.78	-2.31	7.41
5.650	54.12	-2.67	6.65	48.88	-3.11	6.71
5.700	52.57	-2.79	6.41	51.08	-2.92	7.25
5.750	48.26	-3.16	6.41	41.72	-3.80	6.42
5.800	54.87	-2.61	7.30	35.71	-4.47	5.34
5.825	50.70	-2.95	6.94	33.71	-4.72	5.07

표 2는 측정된 안테나의 방사효율 및 평균이득과 최대이득 값이다. 두 개 슬롯안테나는 각각 2.4GHz 대역에서 평균효율 57.25%, 55.35% 및 평균이득 -2.42dBi, -2.61dBi과 최대이득 5.64dBi, 6.42dBi가 측정되었고, 5GHz 대역에서 평균효율 55.89%, 53.79% 및 평균이득 -2.58dBi, -2.8dBi과 최대이득 7.3dBi, 7.54dBi가 측정됨으로써 양호한 효율 및 이득 특성을 보이고 있다.

4. 결 론

본 논문에서는 메탈 노트북에 적용 가능한 이중대역 WiFi (2.401~2.495GHz, 5.18~5.825GHz)용 슬롯안테나를 설계하고 이를 구현하였다. 슬롯안테나는 노트북 상단 좌, 우측에 위치하여 MIMO 시스템에 적용되도록 하였다. 각 슬롯안테나는 2개의 슬롯이 0.5mm 간격으로 이격됨으로써 커플링 유도에 의한 이중대역 공진특성을 갖도록 하였다. 기존 노트북에 메탈을 입혀 구현한 안테나는 원하는 대역에서 -6dB(VSWR 3:1) 이하의 특성과 -30dB 이하의 격리도를 얻었다. 무반사실에서 측정된 평균효율 및 평균이득과 최대이득은 2.4GHz에서 57.25%, -2.42dBi, 5.64 dBi 및 5GHz대역에서 55.89%, -2.58dBi, 7.3dBi로써 우수한 방사특성을 보였다. 본 연구는 메탈 노트북의 성능향상에 기여할 것으로 생각되나, 2개 포트의 효율 및 이득특성이 다소 다르게 나타내는 것은 향후 개선해야 할 사항이다.

감사의 글

이 논문은 2015년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업(2015023260) 및 순천향대학교 지원을 받아 수행된 연구로서, 관계부처에 감사드립니다.

References

- [1] G. Hess, M. Marsan, "Operational Characteristics of Transportable In-building Propagation", 1994 IEEE GLOBECOM. Communications: The Global Bridge, Vol. 1, pp. 37-47, Aug. 2002.
- [2] D. Liu, B.-P. Gaucher, E.-B. Flint, T.-W. Studwell, H. Usui, T.-J. Beukema, "Developing integrated antenna subsystems for laptop computer", IBM Journal of Research and Development, Vol. 47, pp. 355-367, mar. 2003.
- [3] D. Liu, E. Flint, B. Gaucher, "Integrated laptop antennas - design and evaluation", IEEE Antenna and Propagation Society International Symposium (APSIS), Vol. 4, pp. 56-59 Aug. 2002.
- [4] Y. Li, Z. Zhang, Z. Li, J. Zheng, Z. Feng, "High-permittivity substrate multiresonant antenna inside

metallic cover of laptop computer”, *IEEE Antennas Wireless Propagation Letters*, Vol. 10, pp. 1092-1095, Sept. 2011.

- [5] G. Jerzy, R.-S. Yahya, A.-M. Antonio, P. Custodio, “Quasi-Omnidirectional back-to-back E-Shaped Patch Antenna for Dual-Band 2.4/5.2GHz Laptop Integrated Wireless Interface”, *IEEE 2006 First European Conference on Antennas and Propagation*, pp. 1-5, Aug. 2008.
- [6] S.-C. Chen, J.-Y. Sze, H.-J. Jian, W.-S. Cai, “Loop Antenna for the LTE/WWAN Metal-casing Laptop Computer”, *IEEE International Conference on Computational Electromagnetics (ICCEM)*, pp. 150-152, Apr. 2017.
- [7] K.-L. Wong, L.-C. Lee, “Multiband printed monopole slot antenna for WWAN operation in the laptop computer”, *IEEE Trans on Antennas Propagation*, Vol. 57, pp. 324-330, Mar. 2009.
- [8] C.-T. Lee, S.-W. Su, S.-C. Chen, and C.-S. Fu, “Low-Cost, Direct-Fed Slot Antenna Built in Metal Cover of Notebook Computer for 2.4/5.2/5.8-GHz WLAN Operation”, *IEEE Antennas and Propagation Society (APS)*, Vol. 65, pp. 2677-2682, May 2017.
- [9] S.-C. Chen, C.-S. Fu, “Switchable Long-Term Evolution/Wireless Wide Area Network/Wireless Local Area Network Multiple-Input and Multiple-Output Antenna System for Laptop Computers”, *IEEE Access*, Vol. 5, pp. 9857-9865, May 2017.
- [10] S.-C. Chen, P.-W. Wu, C.-G. Hsu, and J.-Y. Sze, “Integrated MIMO Slot Antenna on Laptop Computer for Eight-Band LTE/WWAN Operation”, *IEEE Antennas and Propagation Society (APS)*, Vol. 66, pp. 105-114, Dec. 2017.
- [11] F.-R. Hsiao, and L.-J. Huang, “Dual-Band Slot Antenna Suitable for Ultrabook Application with Metal Housing”, *IEEE International Symposium on Antenna and Propagation (ISAP)*, pp. 317-318, Jan. 2015.
- [12] K.-H. Lee, “WiFi MIMO Antenna for Metal Body Note PC”, *SkyCross Korea Co., Ltd Technical Report*, Jan. 2016.

저 자 소 개



유 영 혁 (Younghyeouk Yoo)

2017년 2월: 순천향대학교 정보통신공학과 (공학사). 2017년 3월~현재: 순천향대학교 정보통신공학과 석사과정.

[주 관심 분야] 안테나 및 전자파 이론, Slot 안테나



이 문 희 (Moonhee Lee)

2015년 2월: 순천향대학교 정보통신공학과 (공학사). 2017년 2월: 순천향대학교 정보통신공학과(공학석사). 2017년 2월~현재: 순천향대학교 정보통신공학과(박사과정)

[주 관심분야] 마이크로파공학, 안테나



손 태 호 (Taeho Son)

1979년 2월: 한양대학교 전자 통신공학과 (공학사). 1986년 2월: 한양대학교 전자 통신공학과(공학석사). 1990년 2월: 한양대학교 전자 통신공학과(공학박사). 1978년~1987년: 금성정밀(주) 중앙연구소 선임연구원. 1980년~1981년: 영국 Ferranti 연구원. 1992년~1994년: 천문우주연구원 객원연구원. 1999년~2000년: 한국 ITS학회 회장. 2002년~현재: (주)에스비텔레콤, (주)하이트렉스, (주)스카이크로스 기술고문. 1990년~현재: 순천향대학교 정보통신공학과 교수. [주 관심분야] 위성통신, 휴대폰 안테나설계, 자동차용 전장품 개발