

선박 무선통신을 위한 Wimax/LTE 5G 용 이중대역 마이크로스트립 안테나 설계

Dual Band Microstrip Antenna for Design Wimax/LTE 5G for Ship Radio Communication

이 창 영

목포해양대학교 실습선

Chang Young Lee

Training Ship, Mokpo National Maritime University, Jeollanam-do, 58628, Korea

[요 약]

본 논문에서는 연안 선박에서 사용 가능한 무선매체 중 Wimax/LTE 5G 시스템에 적용 가능한 마이크로스트립 패치 안테나를 설계하였다. 제안된 안테나의 기판은 FR-4 ($\epsilon_r=4.3$)이고 크기는 $22\text{ mm} \times 30\text{ mm}$ 이며 마이크로스트립 패치 안테나를 이용하여 단순한 구조로 구성함으로써 Wimax/LTE 5G의 대역인 2.4 GHz와 3.5 GHz의 대역에서 사용할 수 있는 특성을 갖도록 설계하였다. 시뮬레이션은 CST Microwave Studio 2014을 사용하였으며 시뮬레이션 결과 이득은 2.4 GHz일 때 2.41 dB, 3.5 GHz일 때 3.96 dB이다. S-Parameter 또한 원하는 주파수 대역에서 -10 dB (VSWR 2:1) 이하의 결과를 볼 수 있었고, 적은 변수와 소형화된 안테나를 설계하여 안테나를 휴대폰이나 전자기기에서 사용할 수 있도록 하였다.

[Abstract]

In this paper, we designed a microstrip patch antenna that can be applied to the Wimax/LTE 5G system among wireless media usable in coastal ships. The substrate of the proposed antenna is FR-4 ($\epsilon_r=4.3$), the size is $22\text{ mm} \times 30\text{ mm}$, and it can be used in the 2.4 GHz and 3.5 GHz bands of Wimax/LTE 5G by constructing a simple structure using a microstrip patch antenna. CST Microwave Studio 2014 was used for simulation, and the gain of the simulation result is 2.41dB at 2.4 GHz and 3.96 dB at 3.5 GHz. S-Parameter also showed a result of less than -10 dB (VSWR 2:1) in the desired frequency band, and designed a small variable and a miniaturized antenna so that the antenna can be used in mobile phones or electronic devices.

Key word : Worldwide interoperability for microwave access, Long term evolution 5G, High speed maritime data networks, Patch antenna, Dual band.

<https://doi.org/10.12673/jant.2020.24.6.601>



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Received 23 November 2020; Revised 26 November 2020
Accepted (Publication) 26 December 2020 (30 December 2020)

*Corresponding Author; Chang-Young Lee

Tel: +82-61-240-7451

E-mail: radarmaster@mmu.ac.kr

I. 서론

최근 정보통신 기술의 발달은 방송, 교통, 통신, 특히 개인 휴대 통신 분야에서 주파수 이용이 증가함에 따라 많은 변화를 주고 있다. 이러한 변화는 다양한 통신환경에 적응하기 위해 다중 주파수 대역에서 동작할 수 있어야 하며, 휴대폰, 태블릿 PC 등의 보급이 보편화됨에 따라 장소와 상관없이 통신이 가능한 이동통신 단말기용 안테나의 필요성과 함께 소형화와 다중 주파수 대역을 지원하는 다기능 광대역 서브시스템 사용이 증대되고 있다. 이에 따라 국내에서도 휴대용으로 어디에서나 사용할 수 있고, 우수한 재현성 및 저가형 제품이 요구되고 있으며, 많은 RF소자에 대한 연구들이 진행되고 있다[1].

또한 해상에서 통신의 원활한 이용을 위해 해상 중계기 설치, 고 이득 지향성 안테나 설치를 통해 전에 통신이 불가능한 사각지대까지 커버리지 확대 등 여러 방안을 연구 중이며, 최근 해상 교통량 증가에 따라 선박사고 증가 추세로 인한 선박의 불안정성을 해결하기 위해 e-Navigation 및 해상관련 LTE 등 통신의 중요성을 강조하고 있다[2].

LTE는 long term evolution의 머리글자를 딴 것으로 3G 이동 통신을 장기적으로 진화시킨 기술이라는 뜻에서 붙여진 명칭이다. LTE는 속도 및 저지연성, 대용량으로 요약된다[3]. 최근 동향으로는 LTE 트래픽의 급격한 증가로 인해 이동통신 주파수 부족 현상이 가속화되고 있는 가운데 2019년부터 상용화가 시작된 차세대 이동통신 5G (5 generation)는 전 세계적으로 주목받고 있는 신기술 이동통신 시스템이다. 이 기술은 4G에 비해 최대 20배 빠른 속도와 저지연성을 때문에 IoT (internet of things), 자율주행 자동차, 선박 등 많은 분야에서 활용 가능하여 많은 각광을 받고 있으며, 4G와 비교 시 사용주파수가 고주파 대역으로 이동한 것이 가장 큰 변화이다. 대표적으로 사용되는 5G 주파수는 Sub-6 GHz (3.5 GHz)와 밀리미터파대역 (mm wave)로 구분되는데 3.5 GHz 대역은 5G용 잔여 주파수 중 가장 우수한 품질을 갖추고 있다.

또한 무선통신의 급속한 발전은 장소와 시간에 제한 없이 다양한 데이터 서비스를 초소형 통신장비를 이용하여 사용자가 무선으로 기간통신망에 자유롭게 접속할 수 있는 장점 때문에 무선 랜과 함께 육상에서 장거리 무선 이동통신이 가능한 광대역 접속기술 중 하나인 WiMAX (worldwide interoperability for microwave access)를 사용한 멀티미디어 서비스에 대한 사용자의 요구가 급격하게 증가되고 있다[4]. WiMAX는 IEEE 802.16계열의 무선 초고속 접속 기술로 약 50 km 정도의 범위 내에서 최고 약 70 Mbps의 속도로 데이터 전송이 가능한 이용 범위와 전송 속도 측면에서 Wi-Fi를 능가하고 있다. 이는 WiMAX가 유선 초고속서비스인 케이블 모뎀 서비스 및 DSL 뿐만 아니라 무선 초고속 서비스인 Wi-Fi도 대체가 가능함을 의미한다[5]. 이에 따라 소형화, 경량화가 가능한 마이크로스트립 패치 (microstrip patch) 안테나를 사용하고자 한다. 마이크로스트립 패치 안테나는 두께가 얇고, 소형, 경량으로 원하

는 형태로 제작이 가능하며, 저렴한 가격으로 대량생산이 가능한 특성을 가지고 있다. 마이크로스트립 안테나의 소형화 기법으로는 패치 면에 슬릿을 삽입하여 등가적으로 전기적인 길이를 증가하거나, 접지도체의 형상을 변형하거나, 유전율이 큰 유전체 기판을 사용하거나, loading을 이용하여 안테나의 실효 길이를 짧게 하는 방법, 단락 핀 혹은 단락 면을 삽입하는 방법, 완전 도체 접지 면을 이용하여 전기영상을 만들어 소형화하는 방법으로 구현할 수 있다[6].

이에 본 논문에서는 기존 다른 형태 안테나가 갖는 대역폭의 문제점을 개선하기 위해 기판 위에 슬롯을 이용한 마이크로스트립 패치 안테나를 제안하였다. 또한 기존의 패치 안테나에 비해 소형, 경량화를 통해 육상에서 사용하는 안테나와 다르게 훨씬 열악한 환경인 해상에 사용 가능한 해상 통신용 WiMAX /LTE 5G 이중 대역 (dual band)에서 동작하도록 마이크로스트립 안테나를 설계하였다.

II. 선박 무선통신 환경

2-1 선박 무선매체의 특성

선박에서 사용 중인 무선매체는 VHF, INMARSAT가 주로 사용되고 있으며, VHF는 20 마일 이내의 A1 해역에서 사용 가능하고 그 이상 범위에서는 INMARSAT이란 해사위성통신을 사용해야 하지만 요금이 상대적으로 비싸다.

이에 선박에서 사용하는 무선매체의 특성을 통하여 해상통신의 환경을 보자면, Inmarsat FB (International Maritime Satellite Fleet Broadband)는 1~2 GHz 대역의 L 주파수 대역 또는 4~8 GHz대역의 C 주파수 대역을 사용하는 최대 전송률 432 kbps로 음성 및 데이터 동시 전송이 가능한 선박에서 가장 대표적인 통신수단이다.

wLAN은 2.4 GHz대역을 이용한 최대 전송범위는 약 30-200 m의 AP에서 클라이언트까지 RF나 적외선을 이용한 채널을 활용하는 Wi-Fi 기술이다[7]. 그 전송범위가 짧아 선박 통신에 활용하기에는 적합하지 않으나 항구 정박 시 혹은 선내 망으로 활용이 가능하다.

WiBro (wireless broadband)는 TDD/OFDMA를 무선 다중접속 기술로 채택하고 있는 무선 광대역 인터넷 기술이다[8]. WiBro의 기술은 초고속 인터넷 접속을 이동 중일 때 최대 전송 범위는 14.2 km로 이동성 제공에 그 특징이 있어 휴대 인터넷 단말기에서 서비스를 이용할 수 있는 스마트폰, 노트북, PDA 등 다양한 분야에서 사용이 가능하고 선박에서도 연안은 충분히 이용이 가능하다.

WiMAX는 2.3~2.4 GHz의 대역을 사용하는 802.16 계열의 무선 MAN 기술로 DSL 및 케이블 모뎀이 무선으로 last mile의 확장된 개념으로 무선 광역 접근 전달을 가능하게 한다[9]. 넓은 전송범위로 선박 간 통신활용이 가능하고 WiMAX MMR 기술을 채택할 경우 전송범위를 더욱 확장할 수 있다.

표 1. 항해 선박들의 응용을 위한 전송 요구 특성

Table 1. Characteristics of transmission requirements for the application of navigational vessels.

Applications	Transmission request characteristics
Safety and distress preparedness	Minimum hop, low latency, high transmission
Video and audio	Minimum hop, low latency, high transmission, Low usage fee
File and Email	Minimum hop, low loss rate, low usage fee
Simple message	Minimum hop, low latency, high transmission, Low usage fee

따라서 해상의 선박 간 통신을 가능하게 해주는 무선매체의 전송범위, 전송률, 주파수 대역, 지연시간, 이용료 등을 기준으로 WiMAX/LTE 5G을 위한 이중 대역 마이크로스트립 안테나 설계를 하였다.

2-2 선박을 위한 응용 서비스 종류

해상에서 이용될 대표적인 응용 서비스들은 기상 및 해상 날씨 예보, 재난구조 서비스, 항해데이터 실시간 갱신, 이메일 및 파일 전송, 해적 등 위협으로부터 보호를 위한 영상감시와 같은 응용이 될 것이다[10].

응용에 따라 전송 요구 특성이 조금씩 다른데 예를 들어 실시간 음성전화 서비스의 경우 높은 전송률 및 낮은 지연시간이 중요하지만 무엇보다 적은 이용료가 중요하다. 또한 해상에서 안전, 조난 및 영상 등 선박에서 대표적인 응용을 활용처에 따라 전송 요구 특성이 조금씩 다를 수 있다.

표 1은 선박이 해상에서 이용할 수 있는 응용을 활용처에 따라 대표적으로 4가지로 분류하고 전송 요구 사항을 각 경우에 따라 정리한 것이다.

III. 해상통신용 안테나 설계이론

3-1 패치 안테나 방사소자 및 폭과 거리

높이가 낮고 작은 사이즈, 제작이 비교적 쉬운 장점을 가진 마이크로스트립 패치 안테나는 패치의 크기를 변경하거나 슬롯을 적용하여 주파수, 패턴, 편파 등의 공진 특성을 조절 가능하다. 협대역이라는 단점 때문에 많은 분야에서 광대역을 요구하기 때문에 대역을 향상시키기 위한 다양한 방법들이 연구되고 있다.

안테나를 설계하기 위해서는 먼저 패치의 폭과 길이를 알아야한다. 공진 주파수 f_r 에서 동작하도록 유전율이 ϵ_r 이고 두께가 h 인 기판위에 마이크로스트립 패치 안테나를 설계하는 경우 실제 폭 W 는 다음과 같다.

$$W = \frac{c}{2f_r} \left(\frac{\epsilon_r + 1}{2} \right)^{-1/2} \tag{1}$$

여기서 C 는 광속도 f_r 은 안테나의 공진 주파수이다. 공진패치의 길이와 폭이 유한하기 때문에 공진 패치 가장자리에서의 계와 폭에 대하여 프린징이 발생하게 된다. 총 프린징 효과는 공진패치의 크기와 기판높이의 함수로써 안테나의 공진주파수에 영향을 주기 때문에 고려해야 한다. 마이크로스트립선로에서 대부분의 전기력선은 기판에 존재하고 그 일부는 공기에 존재한다[11],[12]. 즉 파의 일부는 기판에, 다른 일부는 공기로 진행하기 때문에 선로에서 프린징과 전파를 계산하기 위하여 실효 유전율을 도입한다.

실효유전율 ϵ_{re} 은 $W/h > h > 1$ 인 경우,

$$\epsilon_{er} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} - \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left(1 + \frac{12h}{W} \right)^{-1/2} \tag{2}$$

으로 나타낼 수 있다. 프린징 효과 때문에 마이크로스트립 안테나의 공진패치는 물리적인 크기보다 전기적으로 더 큰 것처럼 보인다.

기본 E-평면(x-y)에서, 길이에 대한 공진패치 크기는 각 종단에서 Δl 만큼 확장되었다. Δl 은 Hammer-stad 실험식으로 프린징 필드에 의한 확장효과이며 식(3)과 같다.

$$\Delta l = 0.412 \frac{(\epsilon_{re} + 0.3)(W/h + 0.264)}{(\epsilon_{re} - 0.258)(W/h + 0.8)} \tag{3}$$

실효 유전율 ϵ_{re} 와 선로확장 Δl 에 의해 방사체 길이 L 은

$$L = \frac{c}{2f_r \sqrt{\epsilon_{re}}} - 2\Delta l \tag{4}$$

이 된다. 사각형 공진패치의 경우 길이 L 은 일반적으로 $\lambda_0/3 < L < \lambda_0/2$ 이다.

3-2 공진 주파수의 결정

마이크로스트립 패치 안테나의 공진주파수 f_r 은 식 (4)에 의해 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$f_r = \frac{c}{2(L + 2\Delta l) \sqrt{\epsilon_{re}}} \tag{5}$$

공진주파수는 안테나 소자의 전기적인 길이($L + \Delta l$), 실효유전율과 기판의 두께에 관계가 있지만 주로 길이에 의해 결정된다 [13].

IV. 해상통신용 패치 안테나 설계

그림 1은 여러 통신매체 가운데 연안 해역의 선박에서 사용 가능한 통신매체 중 WiMAX/LTE 5G용 이중 대역 안테나의 구조를 보여주고 있다. 기판의 크기를 줄여 안테나의 크기를 최소화하였으며 적은 변수로 설계가 간단한 패치 안테나이다. 이 안테나는 유전율($\epsilon_r=4.3$) 및 유전 정접($\tan\delta=0.025$)의 정수인 FR-4(loosy) substrate이며 크기는 $22\text{ mm} \times 30\text{ mm}$ 이다. Ground의 크기는 $10\text{ mm} \times 1\text{ mm}$ 로 설계하였으며 표 2는 제안된 안테나의 파라미터를 나타내며 표 3은 제안된 안테나의 두께를 나타낸다.

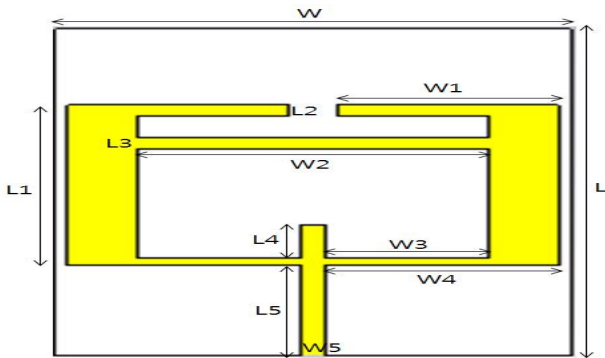


그림 1. 설계된 마이크로스트립 안테나의 Layout
 Fig. 1. Layout of the designed microstrip antenna.

표 2. 제안된 안테나의 각 파라미터
 Table 2. Each parameter on the proposed antenna.

Symbol	Value(mm)
L	30
W	22
L_1	14.6
L_2	1
L_3	1
L_4	3
L_5	8.4
W_1	9
W_2	15
W_3	7
W_4	10.4
W_5	1

표 3. 제안된 안테나의 각 두께
 Table 3. Each thickness of the proposed antenna.

Name	Value(mm)
p(patch)	0.034
t(ground)	0.034
h(substrate)	0.8

V. 설계 안테나의 시뮬레이션 결과

그림 2는 제안된 안테나의 입력 대비 반사손실로서 최고치인 3.46 GHz에서 -18 dB와 5.8 GHz대역에서 -30 dB를 나타내는 것을 볼 수 있으며 원하는 주파수 대역인 3.5 GHz에서도 -16 dB를 보이고 있다.

또한 원하는 주파수 두 대역에서만 -10 dB 이하로 떨어지는 것을 확인할 수 있는데 이는 WiMAX/LTE 5G 이중 대역으로 사용할 수 있다는 것을 의미한다. 그림 5는 안테나 표면에서의 전류 흐름을 나타내고 있으며 그림에서 보는 것과 같이 슬롯은 안테나 표면의 흐르는 전류를 분산시켜 주파수 공진에 도움을 주는 것으로 보여진다. 그림 6~7은 CST Microwave Studio를 통해 얻어진 3차원 (3D) 방사 패턴을 보여주고 있다. 입력 대비 반사손실에서 보여준 것처럼 공진 주파수 3.5 GHz에 대한 방사패턴은 5.8 GHz에 비해 무지향성 특성은 약하지만 전방향성을 보여주고 있으며 안테나의 소형화에 비하면 좋은 방사패턴을 보여주고 있다.

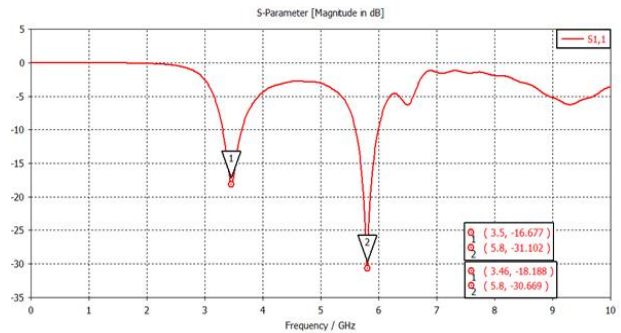


그림 2. 주파수 대 반사 손실
 Fig. 2. Frequency versus return loss.

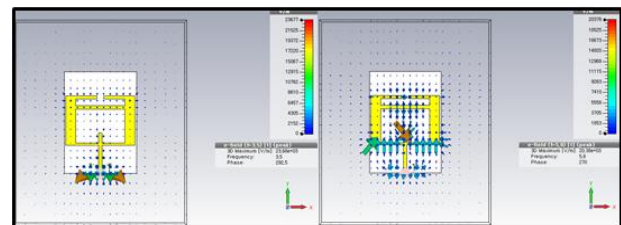


그림 3. 3.5 GHz와 5.8 GHz에서의 E-Field 결과
 Fig. 3. E-Field results at 3.5 GHz, 5.8 GHz.

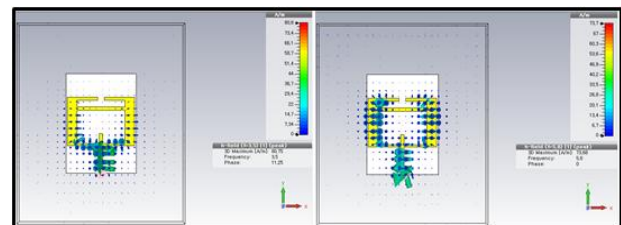


그림 4. 3.5 GHz와 5.8 GHz에서의 H-Field 결과
 Fig. 4. H-Field results at 3.5 GHz, 5.8 GHz.

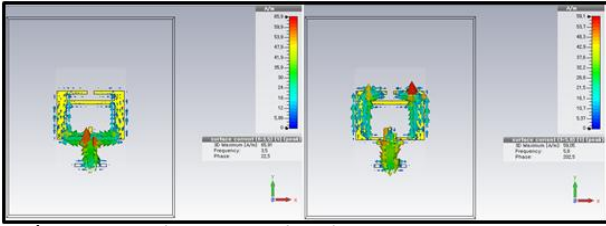


그림 5. 3.5 GHz와 5.8 GHz에서의 전류 흐름
Fig. 5. current flow at 3.5 GHz, 5.8 GHz.

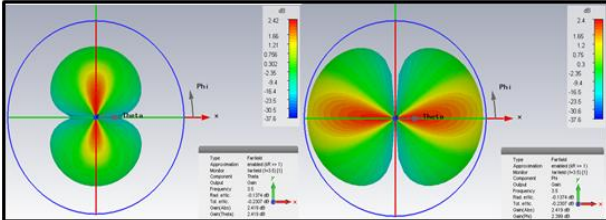


그림 6. 3.5 GHz에서의 방사 패턴
Fig. 6. Radiation pattern at 3.5 GHz.

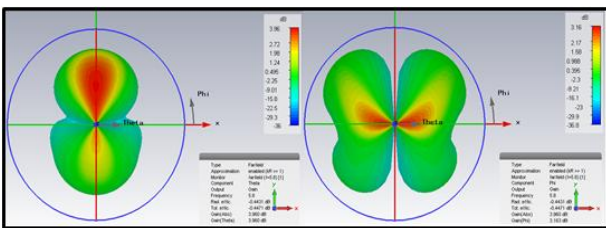


그림 7. 5.8 GHz에서의 방사 패턴
Fig. 7. Radiation pattern at 5.8 GHz.

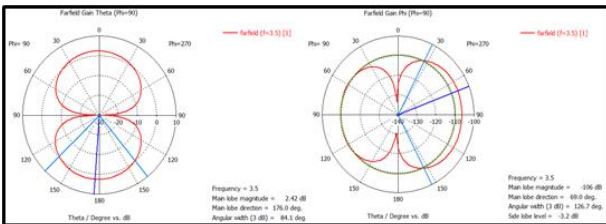


그림 8. 3.5 GHz일 때 방사 패턴 Polar 결과
Fig. 8. Results of radiation pattern polar at 3.5 GHz.

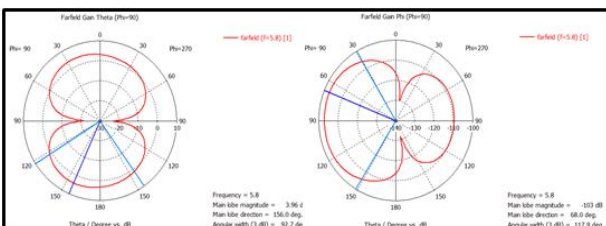


그림 9. 5.8 GHz일 때 방사 패턴 Polar 결과
Fig. 9. Results of radiation pattern polar at 5.8 GHz.

VI. 결 론

본 논문에서는 현재 상용화가 진행되고 있는 밀리미터

파 대역 5G 이동통신 스마트 폰과 WiMAX를 위한 이중 대역 다중 출력 마이크로스트립 패치 안테나를 설계하였다. 제안된 안테나는 간단한 구조와 적은 변수들을 가지고 있고, 입력 대비 반사손실로서 3.5 GHz와 5.8 GHz에서만 -10 dB (VSWR 2:1) 이하로 떨어지며, 이득 또한 3.5 GHz 일 때 2.41 dB, 5.8 GHz일 때 3.96 dB로 WiMAX와 LTE 5G용으로 사용할 수 있다는 결과를 비교 검증하였다.

후후 설계된 안테나의 체원을 이용하여 WiMAX/LTE 5G용으로 안테나를 제작하여 단일 방사 소자를 통해 이중 대역, wide beam coverage, 초소형 및 고효율이라는 장점을 가진 mmWave 5G 스마트폰에 장착할 수 있을 것으로 예상되며, 스마트폰 안테나 기술을 넘어 다음 기술의 사전 연구의 기반이 될 것으로 사료된다.

References

- [1] C. L. Hus, F. C. Hus, and J. T. Kuo, "Microstrip bandpass filters for ultra-wideband(UWB) wireless communications," in *IEEE MTT-S International Microwave Symposium Digest, 2005*, Long Beach: CA, pp. 679-682, June 2005.
- [2] T. H. Kim, H. M. Park, and K. W. Sung, "Measurement of spectrum utilization efficiency considering spectrum sharing," *The Journal of the Korea Contents Association*, Vol. 14, No. 9, pp. 589-597, 2014.
- [3] M. Kim, "Propulsion trend of 4th generation mobile communication systems and view of Wibro," *Hana Financial Group Inc*, Vol. 230, No. 10, pp. 44-53, 2009.
- [4] H. R. Lee, I. K. Kim, J. K. Yuk and H. G. Bang, "Broadband characteristics of wide-width plain slot antenna," *Journal of the Korea Electromagnetic Wave Society*, Vol. 14, No. 3, pp, 260-277, 3. 2003.
- [5] BWCS, Wi-Fi WiMAX and 802.20, Review Pack, pp. 44-46, Apr. 2004.
- [6] K.-L. Wong, *Compact and Broadband Microstrip Antennas*, Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, 2002.
- [7] S. W. Choi, "Performance characteristics of IEEE 802.11 wireless LANs," *Journal of the Korean Telecommunications Association (Information and Communications)*, Vol. 24, No. 6, pp. 50-57, 2007.
- [8] D. H. Hong, "WiBro standardization and services," *Academic Information TTA Journal of Information and Communication Research Institute*, No.14, 2007.
- [9] B. J. Kim, "WiMAX market trends and prospects," *Academic Information and Communication Policy of the Agency for Information and Communication Research*, Vol. 16, No. 14, 2004.
- [10] J. S. Jung and S. Y. Kim, "A Study on the development

strategies of land, ocean and ocean network with the introduction of E-navigation,” *Journal of the Korean Society for Navigation and Port Studies*, Vol. 32, No. 1, pp. 37-45, 2008.

[11] S. B. Cohn, “Slotline field components,” *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, Vol. 20, Issue 2, pp. 172-174, Feb. 1972.

[12] J. P. Kim, and W. S. Park, “Network modeling of an

inclined and OFF_center microstrip-fed slot antenna,” *IEEE Transaction of Antennas and Propagation*, Vol. AP-46, No. 8, pp. 1182-1188, Aug. 1998.

[13] M. G. Oh, “Dual-band antenna design for LTE/Wi-Fi for maritime broadband Communication,” *Journal of Advanced Navigation Technology*, Vol. 22, No. 6, pp. 665-669, Dec. 2018.



이 창 영 (Chang-Young Lee)

2018년 2월 : 목포해양대학교 대학원 해상운송시스템학과 (경영학박사)

2003년 1월 ~ 현재 : 목포해양대학교 실습선 일등항해사

※관심분야 : 해상통신, 선박안전운항, 조직유효성, 직무태도