

스마트컨테이너용 이동통신 안테나의 최적 위치 선정에 관한 연구

이은규*, 박상원*, 최형림**

A Study on the Optimal Location of Mobile Communication Antennas for Smart Containers

EunKyu Lee*, SangWon Park*, HyungRim Choi**

요약 최근 화물 운송용 컨테이너에 이동통신 장치를 장착하여 물류의 가시성 확보하기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다. 본 논문에서는 스마트컨테이너의 안정적인 이동통신을 위해 스마트컨테이너에 장착하는 이동통신 안테나 설계와 안테나 위치 선정에 대해 기술하였다. 본 논문에서 설계한 이동통신 안테나는 듀얼 밴드를 갖는 선형 편파 안테나이다. 동작 주파수는 698MHz ~ 960MHz, 1710MHz ~ 2690MHz이고, VSWR는 ≤ 3.1 , 이득은 ≤ 3.5 dBi이다. 제작된 이동통신 안테나를 컨테이너에 부착하여 이동통신 무선 품질 지수인 RSRP와 RSRQ를 측정하여 최적의 이동통신 안테나 위치를 선정하였다.

Abstract Research has been actively conducted recently to secure the visibility of logistics by equipping cargo transportation containers with mobile communication devices. This paper describes the design and location selection for a mobile communication antenna to be mounted on a smart container to enable stable mobile communication. The mobile communication antenna proposed in this paper is a dual-band linear polarization antenna. Its operating frequency ranges are 698MHz - 960MHz and 1710MHz - 2690MHz, the VSWR is ≤ 3.1 , and the gain is ≤ 3.5 dBi. Once fabricated, the mobile communication antenna was installed on the container, and RSRP and RSRQ, the mobile communication radio quality indices, were measured to select the optimal location for the antenna.

Key Words : smart container, container, antenna

1. 서론

최근 컨테이너 사물인터넷(IoT) 기술을 접목하여 실시간 위치 및 화물 상태 관제가 가능한 차세대 컨테이너에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다[1].

차세대 컨테이너라고 불리는 스마트컨테이너는 위치, 온도, 습도, 충격, 전력 소모 등 컨테이너의 다양한 상태 정보를 실시간으로 전송할 수 있는 컨테이너를 의미한다[2]. 특히 스마트컨테이너는 컨테이너 내부에 이동통신 모듈을 내장하고 육상 이동통신

기지국이나 선박의 선박 송수신 연결시스템(BTS: Base station Transceiver Subsystem)에 접속하여 화물 데이터(위치, 온도, 습도, 충격 등)를 사용자에게 전달하는 것이 핵심 기술이라고 볼 수 있다[3]. 이에 따라 스마트컨테이너 통신 기술은 고성능 센서, 컴퓨터 비전, GPS, GSM, LTE를 기반으로 형성되어 가고 있다[4]. 스마트컨테이너 화물 운송 전 과정의 가시성 향상을 위해서 이동통신 안테나 설계와 이동통신 안테나의 최적 위치에 관한 연구가 중요하게 떠오르고 있다. 기존 연구에는 상용 안테나를 사용하

This research was supported by Korea Institute of Marine Science & Technology Promotion (KIMST) funded by the Ministry of Oceans and Fisheries, Korea.(20210154)

* Dong-A University Smart Logistics R&D Center

** Corresponding Author : Dong-A University Smart Logistics R&D Center(hrchoi@dau.ac.kr)

Received August 19, 2024

Revised September 30, 2024

Accepted October 08, 2024

여 RSRP(Reference Signal Received Power), RSRQ(Reference Signal Received Quality), SNIR(Signal to Interference plus Noise Ratio) 값을 측정하여 수신되는 신호와 서비스 품질의 감쇄 여부만 비교하였다[5]. 하지만 상용 안테나를 이용하다 보니 철타재로 제작된 컨테이너 재질로 인해 신호 간섭이 발생하고 안테나의 성능을 최대로 높이지 못한 부분이 있었다.

따라서, 컨테이너 특성에 맞는 안테나 설계와 이동통신 성능을 최대로 높일 수 있는 부착 위치에 관해 연구 수행하였다. 스마트컨테이너에 맞는 안테나 설계와 최적의 안테나 위치를 찾기 위해 본 논문은 다음과 같이 구성하였다. 2장에서 안테나 설계와 측정 결과에 관해 기술하고 2.2에서는 컨테이너에서 안테나의 성능을 최적화할 수 있는 설치 위치를 찾는 실험을 설명하였다. 2.3은 안테나 최적 위치 선정을 위해 컨테이너에 안테나를 부착하여 RSRP와 RSRQ 측정값들을 표와 그래프로 정리하였다. 3장에서는 표준편차가 낮은 위치를 찾아 안테나의 최적 위치로 선정하여 결론을 맺었다.

2. 본론

2.1 안테나 설계 및 제작

물류 운송 수단으로 사용되는 컨테이너 재질은 철타재로 만들어졌다. 본 논문에서는 철타재 컨테이너 재질로 인한 불안한 이동통신을 극복하기 위해서 60mm×100mm 크기의 두 개의 금속판을 단락판으로 연결하고, 그 틈새에 급전한 구조가 컨테이너 환경에 유리한 것으로 판단되어 안테나를 설계하였다[6]. 설계한 안테나 구조는 그림 1과 같다. 설계한 안테나 치수는 VSWR 1.5:1, 축비 3dB 이하의 PCB 보드 위에 제작할 수 있게 정사각형 형태의 66mm × 66mm 크기로 선정하였다.

제작된 안테나의 동작 주파수는 698MHz ~ 960MHz, 1710MHz ~ 2690MHz이고, DCS 대역에서는 3.1 : 1 이하에서 충분하기 때문에 VSWR는 ≤3.1, 이득은 ≤3.5dBi로 하였다[4].

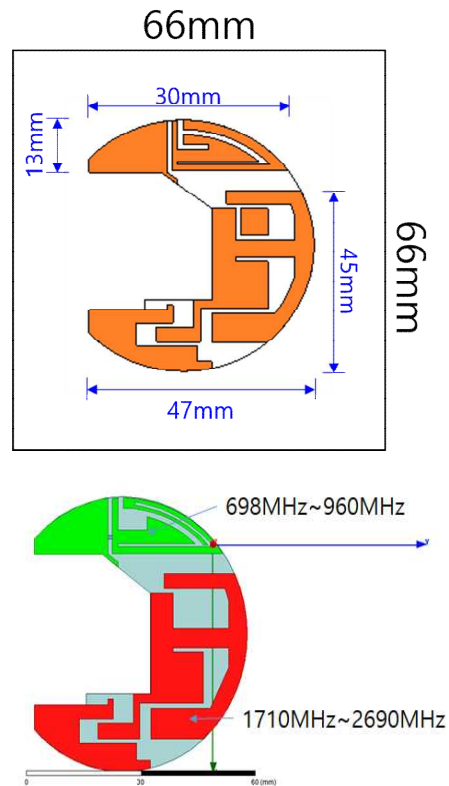


그림 1. 안테나 형상 및 치수

Fig. 1. Antenna Geometry & Dimensions

본 논문에서는 컨테이너 주변에 있는 이동통신 기지국의 송출 주파수가 Rx 1850MHz~1910MHz (Fc 1880MHz), Tx 1930MHz~1990MHz (Fc 1950MHz)되어 있어 본 논문에서는 1.88GHz 중심으로 안테나 특성을 기술하겠다. 그림 2은 s1p 파일 형식으로 측정된 반사계수이다. 시뮬레이션과 측정된 값이 거의 일치되는 것을 확인할 수 있다. 1.88GHz의 반사계수는 -7.656dB로 측정되었다.

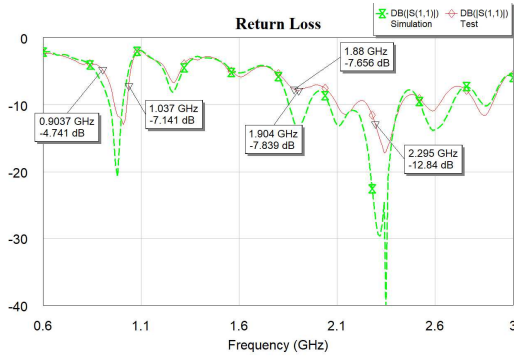


그림 2. 반사손실
Fig. 2. Return Loss

그림 3는 안테나 후면에 철재가 있을 때 1.88GHz에서 안테나의 방사 패턴을 보여주고 있다. 지향성 패턴을 가지고 있고, 수직 max gain은 2-3[dBi], 수평 이득은 -5[dBi]정도로 나왔다. z축 방향 빔 패턴이 형성되고 -z축 빔 패턴 형성이 안 되는 것으로 확인할 수 있다.

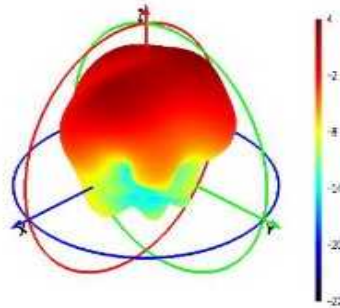


그림 3. 안테나의 방사 패턴
Fig. 3. Antenna Radiation Patterns

스마트컨테이너는 주변 이동통신망을 이용하여 실시간 데이터를 안정적으로 전달해야 한다. 본 절에서는 이동통신 안테나가 안정적인 이동통신을 위한 부착 위치와 선정 방법에 대해 설명해 놓았다.

앞서 설계한 안테나를 제작하면 그림 4과 같이 2개의 입력 포트를 갖는 안테나가 된다. 제작된 안테나를 컨테이너에 부착하여 최적의 안테나 위치 선정에 대해 연구 수행하였다.



그림 4. 제작된 안테나
Fig. 4. Fabricated Antenna

2.2 안테나 최적 위치에 대한 측정 방법

실험할 컨테이너 주변에는 1.88GHz로 신호를 송출하는 이동통신 기지국에 컨테이너 앞에 있어 그림 5과 같이 컨테이너 이동통신 장치(DUT)의 부착 가능 위치를 고려하여 1번~4번 위치로 구분하였다.



그림 5. 컨테이너의 안테나 부착 위치
Fig. 5. Antenna Attachment Locations on the Container

위치별 설치 이유에 대해서는 표 1에 설명 해 놓았다.

표 1. 위치별 안테나 설치 이유
Table 1. Reasons for antenna installation by location

구분	이유
1p	상단 위치는 통신 수신에 높을 것으로 기대
2p	왼쪽 측면 위치는 컨테이너가 적재 시 통신 수신에 유리
3p	굴곡 안에 안테나 설치 시 외부 영향에 안전
4p	오른쪽 측면 위치는 컨테이너가 적재 시 통신 수신에 유리

*p: point

그림 6은 이동통신 기지국 위치와 안테나가 장착된 컨테이너 문과의 100m 떨어진 모습을 찍은 사진이다.



그림 6. 이동통신 기지국간 거리
Fig. 6. Distance between mobile communication base stations

제작된 안테나의 이동통신 성능을 측정하기 위해서 이동통신 장치인 DUT를 제작하였다. DUT에 통신 USIM 카드를 넣고 그림 7과 같이 붉은색으로 표시된 DUT 출력 단자에 안테나를 연결하였다.

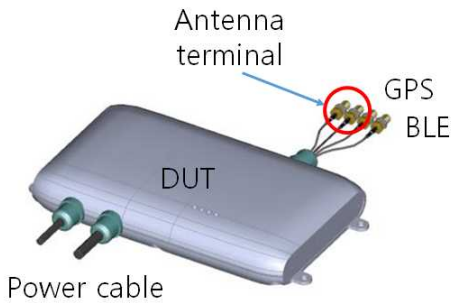


그림 7. 이동통신 장치(DUT)의 안테나 단자
Fig. 7. Antenna terminal of mobile communication device(DUT)

DUT는 그림 8과 같이 저전력 MCU 기반으로 하여 온습도 감지 및 제어, GNSS, 충격감지 상태 센서들이 내장되어 있으며 상태 정보를 전송하기 위해 WCDMA와 WiFi, BLE, Zigbee 같은 통신모듈들이 내장되어 있다.



그림 8. 이동통신 장치(DUT)의 블록다이어그램
Fig. 8. Block diagram of mobile communication

그림 9은 컨테이너 문(Door)에 장착하여 사진을 찍은 안테나 사진이다.

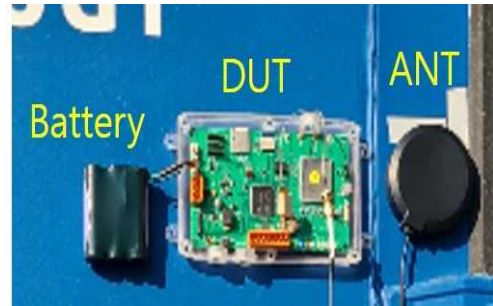


그림 9. 컨테이너에 부착한 DUT와 안테나 사진
Fig. 9. DUTs and antennas attached to containers

본 논문에서는 안테나 위치 선정에 필요한 기준값으로 이동통신 무선 품질 지수인 RSRP와 RSRQ를 활용하였다. RSRP는 식(1)과 같이 기준 신호에서 노이즈 전력 제거한 신호전력 값으로 나타낸다. 그리고 RSRQ는 식(2)과 같이 수신 품질에 대한 이동통신 감도의 척도가 되는 값이다[7].

$$RSRP = P_{RS} - P_{noise} \quad (1)$$

$$RSRQ = \frac{N \times RSRP}{RSSI} \quad (2)$$

DUT를 동작시켜 안테나로부터 수신되는 상태 데이터값과 및 신호 품질을 표.2과 같이 총 6회 실험하여 상태 데이터와 신호 품질인 RSRP와 RSRQ 측정값들을 수집하였다.

표 2. 스마트컨테이너 상태 데이터 및 신호 품질 측정값
Table. 2. Smart Container Status Data and Signal Quality Measures

	Status Data					Signal Quality		
	Temp	Humid	Accel x	Accel y	Accel z	Mobile	RSRP	RSRQ
1회	16.84	23.99	1.53	1.53	1003.72	LTE	-75	-12
2회	16.88	23.97	1.53	2.01	1002.99	LTE	-76	-12
3회	16.86	23.94	2.75	1.04	1002.99	LTE	-75	-12
4회	16.83	23.90	-0.18	2.99	1003.23	LTE	-76	-12
5회	16.84	23.69	0.79	1.28	1005.19	LTE	-76	-11
6회	16.84	23.96	1.28	2.01	1002.99	LTE	-76	-12

2.3 안테나 최적 위치 선정

수집하는 데이터의 측정 횟수는 위치별로 총 10회 반복 수행하였다. 표 3는 위치별로 측정된 RSRP에 대한 측정 표이다. 1번 위치의 RSRP 평균값은 -89dBm 이고 표준편차는 1.77이다. 2번과 4번 위치는 각각 -89dBm과 -90dBm으로 무선 품질이 낮게 측정되었다. 3번 위치는 RSRP의 평균값이 -82dBm이고 표준 편차가 1.06으로 나와 다른 위치보다 적게 나왔다.

표 3. 위치별 RSRP 측정 결과
Table 3. RSRP Measurements by Location Point

	1p	2p	3p	4p
1회	-89 dBm	-92 dBm	-82 dBm	-93 dBm
2회	-90 dBm	-87 dBm	-81 dBm	-89 dBm
3회	-89 dBm	-89 dBm	-83 dBm	-88 dBm
4회	-91 dBm	-87 dBm	-84 dBm	-87 dBm
5회	-89 dBm	-91 dBm	-82 dBm	-90 dBm
6회	-89 dBm	-85 dBm	-83 dBm	-88 dBm
7회	-93 dBm	-91 dBm	-81 dBm	-93 dBm
8회	-87 dBm	-86 dBm	-83 dBm	-88 dBm
9회	-89 dBm	-89 dBm	-81 dBm	-90 dBm
10회	-87 dBm	-88 dBm	-83 dBm	-89 dBm
평균	-89 dBm	-89dBm	-82dBm	-90dBm
표준편차	1.77	2.32	1.06	2.07

표 4는 RSRP와 동일한 측정 방법으로 RSRQ를 측정 한 표이다. 1번 위치의 RSRQ 평균값은 -15dBm이고 표준편차는 1.08이다. 2번과 4번 위치는 각각 -14dBm과 -15dBm으로 무선 품질이 낮게 측정되었다. 3번 위치는 다른 위치보다 -12dBm로 높게 나왔다. 3번 위치가 다른 위치보다 표준편차가 0.53으로

적게 나왔다.

표 4. 위치별 RSRQ 측정 결과
Table 4. RSRQ Measurements by Location Point

	1p	2p	3p	4p
1회	-13dBm	-14dBm	-11dBm	-15dBm
2회	-15 dBm	-15 dBm	-11 dBm	-14 dBm
3회	-13 dBm	-13 dBm	-12 dBm	-14 dBm
4회	-16 dBm	-15 dBm	-12 dBm	-16 dBm
5회	-15 dBm	-15 dBm	-11 dBm	-14 dBm
6회	-16 dBm	-14 dBm	-12 dBm	-15 dBm
7회	-14 dBm	-13 dBm	-12 dBm	-14 dBm
8회	-14 dBm	-14 dBm	-11 dBm	-15 dBm
9회	-15 dBm	-13 dBm	-12 dBm	-15 dBm
10회	-14 dBm	-15 dBm	-11 dBm	-15 dBm
평균	-15 dBm	-14 dBm	-12 dBm	-15 dBm
표준편차	1.08	0.88	0.53	0.67

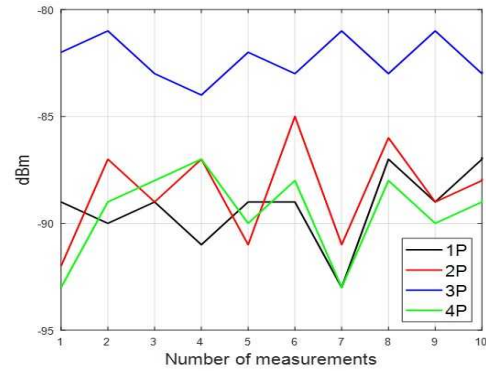


그림 10. RSRP 측정 그래프
Fig. 10. RSRP Measurement Graphs

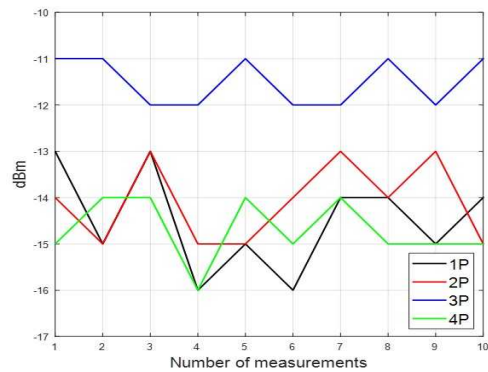


그림 11. RSRQ 측정 그래프
Fig. 11. RSRQ Measurement Graphs

그림 10과 그림 11은 측정된 RSRP와 RSRQ 그래프이다. 두 그래프에서 3번 위치가 성능의 변동 폭에 대한 표준편차가 적고 신호 품질이 높다. 3번 위치가 안정적으로 신호가 들어오는 이유는 컨테이너 표면 굴곡의 영향으로 보인다.

3. 결론

본 논문에서는 스마트컨테이너에 부착되는 이동통신 안테나 설계와 안테나 위치 선정에 대한 방법들을 기술하였다. 기존 연구에서 이동통신 안테나 특성(반사계수, 대역폭, 이득 등)이 우수하더라도 이동통신 장치에 통합한 후 이동통신망에서 이동통신 품질이 만족스럽지 못한 경우들이 많았다. 따라서 본 논문에서는 철제 컨테이너 재질로 인한 불안한 이동통신을 극복하기 위해 급전부가 2개로 구성된 안테나로 설계하였다. 제작된 안테나의 동작 주파수는 698MHz~960MHz, 1710MHz ~ 2690MHz이고, VSWR는 ≤ 3.1 , 이득은 $\leq 3.5\text{dBi}$ 이다. 제작된 안테나를 이용하여 컨테이너에 부착하여 이동통신 무선 품질 지수인 RSRP와 RSRQ를 측정하였다. 최종 표준편차만 정리한 표 5에 따라 3번 위치가 RSRP와 RSRQ의 표준편차가 다른 1, 2, 4번 위치보다 가장 낮게 나와 통신 수신에 가장 안정적인 위치로 선정하였다. 또한 통신수신 이 안정된 위치로 선정된 3번 위치가 표준편차가 적고 신호 품질이 높은 이유가 컨테이너 표면이 굴곡되어 있어 굴곡이 없는 다른 위치보다 컨테이너 표면 굴곡 구조로 인해 신호가 안정적으로 수신되는 것으로 판단한다. 향후 추가 되는 연구에서는 안테나의 전자기적 해석을 보완하는 연구 내용이 남아있다.

표 5. 위치별 표준 편차

Table 5. Standard deviation by location Point

	1P	2P	3P	4P
RSRP	1.77	2.32	1.06	2.07
RSRQ	1.08	0.88	0.83	0.67

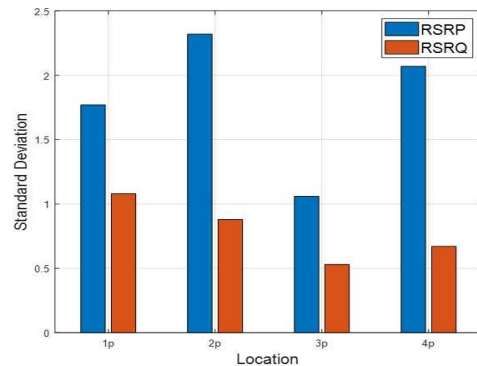


그림 12. 위치별 표준편차 비교

Fig. 12. Comparison of standard deviations by location Point

REFERENCES

- [1] Y. Xiao, X. Du, J. Zhang, F. Hu, and S. Guizani, "Internet protocol television (IPTV): the killer application for the next-generation internet," *IEEE Communications Magazine*, vol. 45, no. 11, pp. 126-134, 2007. View at Publisher · View at Google Scholar · View at Scopus
- [2] J. M. Boyce, "The US digital television broadcasting transition," *IEEE Signal Processing Magazine*, vol. 26, no. 3, pp. 110-112, 2009. View at Publisher · View at Google Scholar
- [3] K. Sundaresan, V. Anantharaman, H. Hsieh and R. Sivakumar, "ATP: A Reliable Transport Protocol for Ad-Hoc Networks" *Proc. MOBIHOC*, 2003.
- [4] L. Yang, W. Seah and Q. Yin, "Improving Fairness among TCP Flows Crossing Wireless Ad Hoc and Wired Networks" *Proc. MOBIHOC*, 2003.
- [5] Z. Fu, B. Greenstein, X. Meng and S. Lu, "Design and Implementation of a TCP-Friendly Transport Protocol for Ad Hoc Wireless Networks" *Proc. IEEE Int'l Conf. Network Protocols*, 2002.
- [6] S. Floyd, "A Reliable Multicast Framework for Lightweight Sessions and Application Level

Framing", Proc. ACM SIGCOMM '95, 1995
[7] A. P. Markopoulou and F. A. Tobagi, "Hierarchical Reliable Multicast: Performance Analysis and Placement of Proxies", Networked Group Commun. 2000, pp. 27-36, 2000

저자약력

이 은 규 (BunKyu Lee)

[정회원]



- 2001년 2월: 건국대학교 전자정보통신공학과(공학석사)
- 2019년 8월: 동아대학교 전자공학과(박사수료)
- 현재: 동아대학교 스마트물류연구센터 선임연구원

〈관심분야〉 안테나 설계, IoT, 컨테이너 보안장치

박 상 원 (SangWon Park)

[정회원]



- 2023년 8월: 동아대학교 전기공학과(공학석사)
- 2023년 6월~현재: 동아대학교 스마트물류연구센터 연구원

〈관심분야〉 전력시스템, 해운물류, 콜드체인

최 형 림 (HyungRim Choi)

[정회원]



- 1993년 8월: KAIST 경영과학과 (경영학박사)
- 1987년 3월~2022년 8월: 동아대학교 경영정보학과 교수
- 2022년 9월~현재: 동아대학교 스마트물류연구센터 연구교수

〈관심분야〉 해운항만물류, 항만물류시스템, IoT