

원통 도체 위에 장착된 역 F 안테나의 방사 패턴 분석

Analysis of Radiation Patterns of Inverted-F Antenna(IFA) on Cylindrical Conducting Body

김태현 · 김성완* · 이재득* · 박동철**

Tae-Hyun Kim · Sung-Wan Kim* · Jae-Deuk Lee* · Dong Chul Park**

요 약

본 논문에서는 위성 발사체와 같은 원통 도체에 UHF 대역의 역 F 안테나가 장착되어 있을 때 방사 패턴을 시뮬레이션하고 분석하였다. 우선 파라미터를 변화시켜가면서 장착될 역 F 안테나 자체의 특성을 분석한 다음, 이 역 F 안테나가 원통 도체에 장착된 경우에 대하여 시뮬레이션하고 분석하였다. 특히 역 F 안테나의 개수, 원통의 길이, 그리고 원통의 직경 변화에 대하여 방사 패턴을 시뮬레이션하고 분석하였다. 다음으로 역 F 안테나를 제작하여 반사 손실을 측정하고 원통 도체에 장착하였을 때 방사 패턴을 측정하였다. 측정 결과와 시뮬레이션 결과는 서로 잘 일치함을 확인하였다.

Abstract

In this paper, radiation patterns are simulated and analyzed for inverted-F antenna(IFA) on a cylindrical conducting body like a satellite launcher. First, parametric studies are performed for IFA itself to analyze its characteristics. Then, IFAs on a cylindrical conducting body are simulated and analyzed. Especially, by changing the number of IFAs, the length and the diameter of the cylinder radiation patterns are simulated and analyzed. Finally, IFAs on a cylindrical conducting body are fabricated and their return losses and radiation patterns are measured. Good agreements are observed between the simulated and measured results.

Key words : Inverted-F Antenna, Radiation Patterns, Satellite Launcher

I. 서 론

최근에 위성 발사체 분야에서 텔리메트리 시스템(telemetry system)에 관한 연구가 활발히 수행되어 왔다. 텔리메트리 시스템에 의해 수집된 데이터는 위성 발사체 자체의 비행 성능을 평가하는데는 물론 대기의 온도, 압력, 습도 등을 조사하기 위하여 이용된다. 발사체에 장착된 안테나는 위성 발사체의 비행 성능에 영향을 미치는 중요한 요소이다. 특히 비행 궤적에 따라 지상 관제소를 향하는 안테나의 이

득은 매우 유동적이므로 위성 발사체에 장착된 안테나 시스템에 대한 연구는 안정적인 통신 링크 마진(link margin) 확보를 위해 필수적이다.

역 F 안테나는 $\lambda/4$ 로 공진하여 그 크기가 작고 낮은 프로파일(profile)을 가지고 있어 주로 이동용 휴대 전화기의 내장 안테나로 사용된다^{[1],[2]}. 그리고 역 F 안테나는 공기 역학적으로 우수하고 전(筭) 방향성의 방사 패턴을 가지고 있어 전 비행궤적 동안에 통신이 끊임없이 유지되도록 충분한 링크 마진을 확보해야 하는 미사일 및 위성 발사체에 또한 사용된

충남대학교 전자공학과(Department of Electronic Engineering, Chungnam National University)

*한국항공우주연구원(Korea Aerospace Research Institute)

**충남대학교 전파공학과(Department of Radio Science and Engineering, Chungnam National University)

· 논문 번호 : 20050314-033

· 수정완료일자 : 2005년 4월 27일

다^{[3]~[5]}. 그러나 이러한 미사일 또는 위성 발사체에 적용된 역 F 안테나에 대한 연구는 많이 발표되지 않고 있다. 참고문헌 [4]에서는 역 F 안테나의 두께가 0.5 mm인 얇은 평판 형태를 다루었고, [5]에서는 방사 패턴에 대한 분석을 정성적으로만 다루었다. 본 논문에서는 먼저 충분한 두께를 갖는 역 F 안테나를 분석하고 이 안테나가 원통 도체에 장착된 경우 방사 패턴에 대하여 시뮬레이션을 수행하고 퍼센트 커버리지(percent coverage)를 도입하여 정량적인 분석을 하였다. 또한 실제로 제작하여 반사 손실 및 방사 패턴을 측정하였으며 시뮬레이션 결과와 비교하였다.

II. 역 F 안테나의 특성

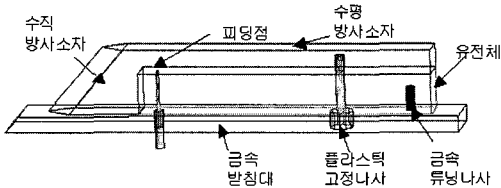


그림 1. 역 F 안테나의 구조
Fig. 1. Structure of inverted-F antenna.

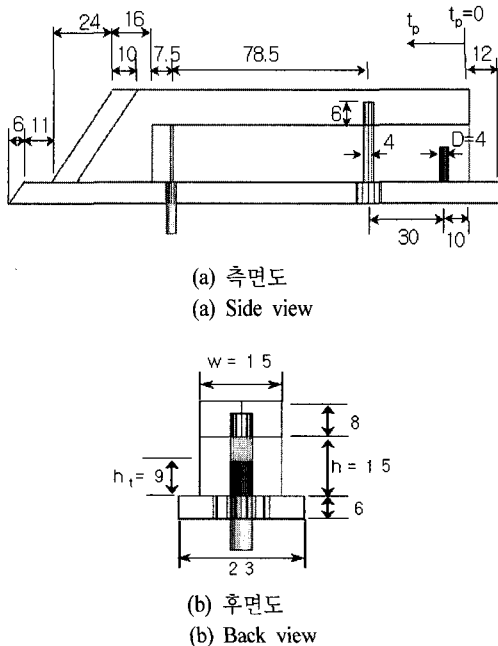


그림 2. 설계된 역 F 안테나와 가변 파라미터(mm)
Fig. 2. Designed inverted-F antenna and variable parameters(mm).

표 1. 가변 파라미터 설명

Table 1. Explanation of variable parameters.

파라미터	설 명
w	방사 소자의 폭
h	수평 방사 소자와 금속 받침대 사이의 높이
h_i	튜닝 나사의 높이
t_p	튜닝 나사의 위치
n	튜닝 나사의 개수
D	튜닝 나사의 직경

그림 1과 같이 역 F 안테나는 금속 수직, 수평 방사 소자와 이를 받치고 있는 금속 받침대, 이들 사이에 삽입된 유전체, 유전체를 고정하기 위한 플라스틱 나사, 그리고 주파수를 조정하기 위한 금속 튜닝 (tuning) 나사로 구성되어 있다. 안테나의 금속 수평 소자와 수직 소자의 길이의 합은 대략 공진 주파수의 $\lambda/4$ 이다. 삽입된 유전체는 안테나를 공기 역학적으로 우수하게 하며 전기적 길이를 증가시켜 안테나를 소형으로 만들 수 있게 하는 반면 대역폭을 감소시키는 단점이 있다.

그림 2는 UHF 대역에서 설계된 역 F 안테나와 가변할 파라미터들을 보이고 있으며 표 1에 가변 파라미터들에 대한 설명이 있다.

그림 2의 설계 값으로 다른 파라미터들은 고정하고 표 1에 주어진 파라미터를 하나씩 가변하면서

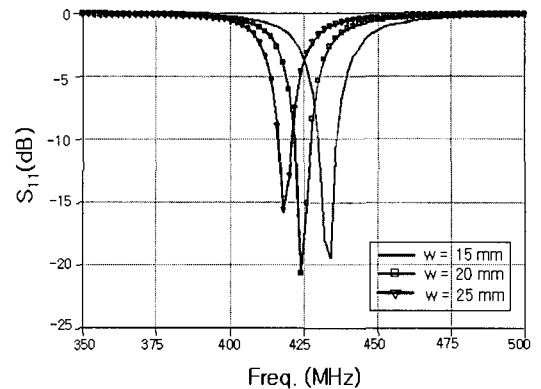


그림 3. w 변화에 따른 반사 손실 특성($h=15$ mm, $h_i=9$ mm, $t_p=10$ mm, $n=1$ 개, $D=4$ mm)
Fig. 3. Return loss characteristic with w as parameter ($h=15$ mm, $h_i=9$ mm, $t_p=10$ mm, $n=1$, $D=4$ mm).

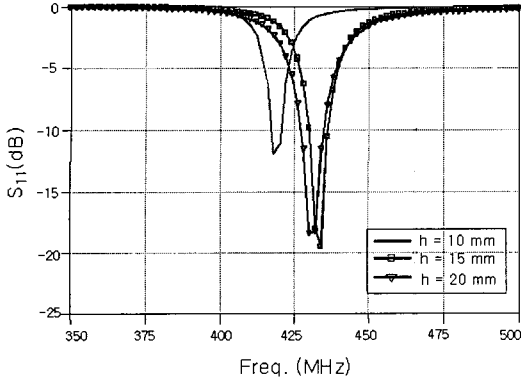


그림 4. h 변화에 따른 반사 손실 특성($w=15$ mm, $h_t=9$ mm, $t_p=10$ mm, $n=1$ 개, $D=4$ mm)

Fig. 4. Return loss characteristic with h as parameter ($w=15$ mm, $h_t=9$ mm, $t_p=10$ mm, $n=1$, $D=4$ mm).

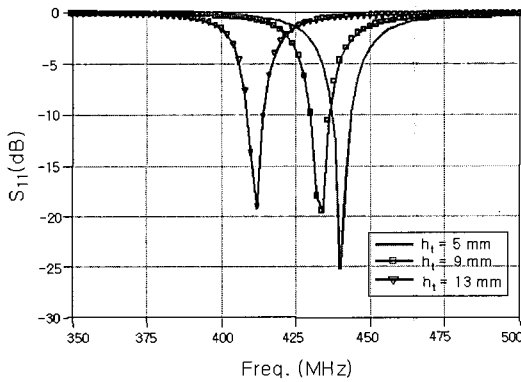


그림 5. h_t 변화에 따른 반사 손실 특성($w=15$ mm, $h=15$ mm, $t_p=10$ mm, $n=1$ 개, $D=4$ mm)

Fig. 5. Return loss characteristic with h_t as parameter ($w=15$ mm, $h=15$ mm, $t_p=10$ mm, $n=1$, $D=4$ mm).

HFSS(High Frequency Signal Simulator)를 이용하여 반사 손실 특성 변화를 고찰한 결과를 그림 3~8에 보이고 있다. 이때에 사용된 접지면은 $1\lambda \times 1\lambda$ 크기의 평판형 접지면이다.

보통 w , h 의 증가는 마이크로스트립 안테나에서와 같이 표면 전류의 평균경로를 증가시켜서, 결국 안테나의 전기적인 길이를 증가시킨다. 따라서 공진 주파수는 내려가고 대역 폭은 증가하는 특성을 보인다. 그런데 그림 4에서 h 를 10 mm에서 15 mm, 20 mm로 변화시켰을 때 공진주파수가 올라간 이유는 튜닝 나사의 높이, h_t 를 9 mm로 고정하였기 때문이

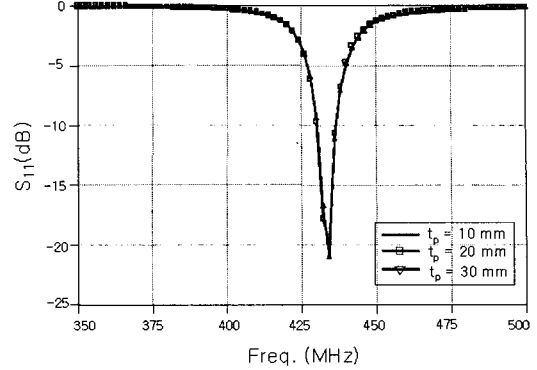


그림 6. t_p 변화에 따른 반사 손실 특성($w=15$ mm, $h=15$ mm, $h_t=9$ mm, $n=1$ 개, $D=4$ mm)

Fig. 6. Return loss characteristic with t_p as parameter ($w=15$ mm, $h=15$ mm, $h_t=9$ mm, $n=1$, $D=4$ mm).

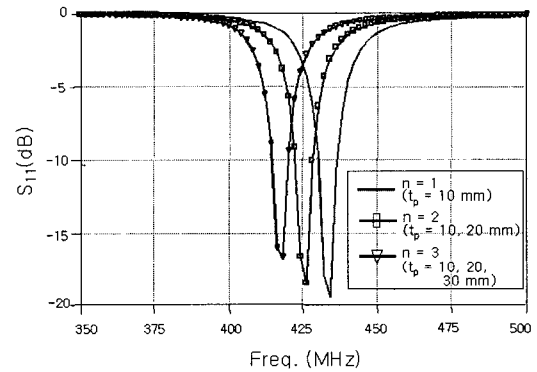


그림 7. n 변화에 따른 반사 손실 특성($w=15$ mm, $h=15$ mm, $h_t=9$ mm, $D=4$ mm)

Fig. 7. Return loss characteristic with n as parameter ($w=15$ mm, $h=15$ mm, $h_t=9$ mm, $D=4$ mm).

다. h 가 10 mm일 경우가 15, 20 mm일 경우보다 튜닝 나사와 수평 방사소자 사이의 간격이 작아져 커패시티브 커플링(capacitive coupling) 양이 증가하게 된다. 튜닝 나사와 관련된 파라미터 중 튜닝 나사의 위치는 반사 손실의 특성에 거의 영향을 미치지 않고, 다른 파라미터들은 역 F 안테나의 수평 방사 소자와 튜닝 나사 사이에 커패시티브 커플링 양이 증가(감소)하면 공진주파수가 낮아(높아)진다^[6]. 특히, 튜닝 나사의 높이를 조정하는 것이 튜닝 나사의 직경, 개수를 조정하는 것보다 더 효율적임을 알 수 있다. 파라미터 변화에 따른 역 F 안테나의 공진주파수 및 대역 폭의 변화에 대한 특성을 표 2에 정리하였다.

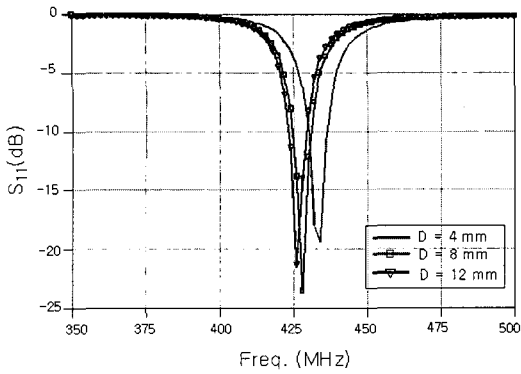


그림 8. D 변화에 따른 반사 손실 특성($w=15$ mm, $h=15$ mm, $h_t=9$ mm, $t_p=10$ mm, $n=1$ 개)

Fig. 8. Return loss characteristic with D as parameter ($w=15$ mm, $h=15$ mm, $h_t=9$ mm, $t_p=10$ mm, $n=1$).

표 2. 파라미터 변화에 따른 공진주파수 및 대역폭 특성 변화

Table 2. Characteristic change of resonant frequency and bandwidth according to variation of parameters.

파라미터	조 정	공진주파수	대역폭
w	증 가	감 소	증 가
h	증 가	감 소	증 가
h_t	증 가	감 소	.
t_p	증 가	.	.
n	증 가	감 소	.
D	증 가	감 소	.

Ⅲ. 원통 도체에 장착된 역 F 안테나의 방사 패턴

공진주파수, 대역폭, 이득 등의 안테나 특성들은 정사각형의 접지면 한 변의 길이가 1λ 이상이면 거의 변화가 없다¹⁷⁾. 또한 접지가 원통인 경우에도 원통의 길이와 직경이 1λ 이상인 경우에 거의 변화가 없음을 시뮬레이션으로 확인하였다. 그러나 방사 패턴은 접지면의 크기와 모양에 따라 변화가 심하므로 본 논문에서는 주로 방사 패턴에 대하여 시뮬레이션을 수행하고 분석하고자 한다.

그림 9는 HFSS의 시뮬레이션 구조를 보이고 있는데 위성 발사체를 근사화 한 원통 도체에 6개의 안테나가 장착되어 있는 모습이다. n 개의 안테나가 장착

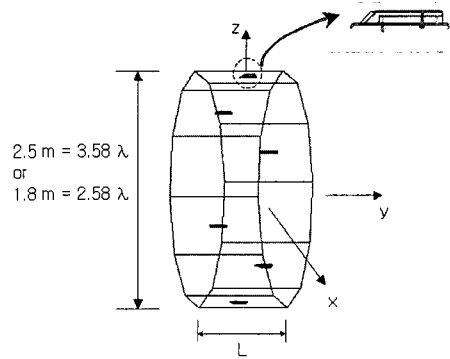


그림 9. HFSS 시뮬레이션 구조

Fig. 9. Structure for HFSS simulation.

되는 경우는 $360/n$ 도 간격으로 $+z$ 축에서부터 $+x$ 축 방향으로 장착한다. 장착된 역 F 안테나의 치수가 그림 2에 주어져 있다.

그림 10은 안테나 수(n)가 1~6개 장착되어 있고 동일 크기와 위상으로 여기되는 경우의 3차원 총전계 방사 패턴이다. 이 방사 패턴을 평가하기 위하여 방사 패턴의 퍼센트 커버리지를 도입하였는데 이는 방사 패턴에 대한 이득의 분포를 수치로 나타낸 것이다. 다시 말해서 이득 x dBi 이상인 방사 패턴의 분포가 전체 분포에 대하여 얼마만큼의 퍼센트를 차지하고 있는가를 나타내는 수치이다. 3차원 방사 패턴의 모양과 퍼센트 커버리지를 함께 고려하여 안테나의 방사 패턴이 안정된 링크를 확보하는데 적절한지를 평가해야 한다. 표 3은 그림 10에 주어진 3차원 방사 패턴의 퍼센트 커버리지를 보이고 있다. 안정된 링크를 확보하기 위하여 위성 발사체 시스템에서 요구하는 퍼센트 커버리지는 -12 dBi 이상이 99% 이상 되어야 한다. 안테나를 1개 사용할 경우에 -12 dBi 이상이 96.63%로 99%에는 2.37% 정도 못 미치고 있다. 또한 방사 패턴 값의 분포가 균일하지 못하고 안테나가 장착된 $+z$ 축 방향으로 방사가 많이 되고 $-z$ 축 방향으로로는 방사가 적다. 따라서 안테나의 개수는 2~6개를 사용할 수 있으나 경제적인 측면에서 2개를 사용하는 것이 효율적이며 현재 국, 내외 시스템에서 2개를 사용하고 있다.

그림 11은 그림 9에서 원통의 길이, L 을 변화시켰을 때의 3차원 총전계 방사 패턴이며 표 4는 이에 대한 퍼센트 커버리지이다. 그림과 표에서 알 수 있듯이 원통의 길이가 2, 4, 6 m일 때 방사 패턴은 모양과

표 3. 안테나 수에 따른 3차원 총전계 방사 패턴의 퍼센트 커버리지(%)

Table 3. Percent coverage of 3-dimensional E_{total} radiation pattern according to the number of antennas(%).

안테나 수	-20 dBi 이상	-15 dBi 이상	-12 dBi 이상	-10 dBi 이상	-5 dBi 이상	0 dBi 이상
1개	99.98	98.82	96.63	92.42	71.15	44.27
2개	99.86	99.63	99.55	98.61	92.91	48.10
3개	99.99	99.96	99.92	99.71	96.23	48.28
4개	99.99	99.95	99.83	99.57	96.34	65.52
6개	99.94	99.64	99.01	97.99	92.15	49.29

표 4. 원통 길이 변화에 따른 3차원 총전계 방사 패턴의 퍼센트 커버리지(%)

Table 4. Percent coverage of 3-dimensional E_{total} radiation pattern according to the length of cylinder(%).

원통길이	-20 dBi 이상	-15 dBi 이상	-12 dBi 이상	-10 dBi 이상	-5 dBi 이상	0 dBi 이상
0.5 m	99.83	99.63	99.36	98.86	90.54	57.06
1 m	99.86	99.63	99.55	98.61	92.91	48.10
2 m	99.85	99.73	99.46	99.22	94.93	61.47
4 m	99.84	99.70	99.45	99.18	95.19	65.87
6 m	99.90	99.59	99.49	99.15	95.50	63.15

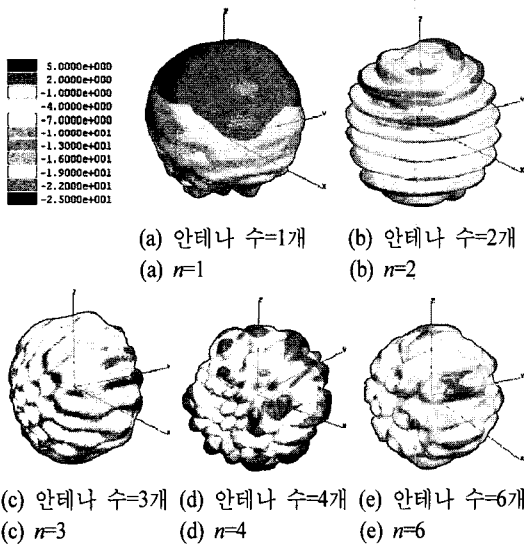


그림 10. 안테나 개수에 따른 3차원 총전계 방사 패턴(단위: dBi, 원통직경: 2.5 m, 원통길이: 1 m)

Fig. 10. 3-dimensional E_{total} radiation patterns according to the number of antennas(unit: dBi, diameter of cylinder: 2.5 m, length of cylinder: 1 m).

분포에 있어서 거의 동일하다. 그런데 원통의 길이가 0.5, 1 m 인 경우는 2 m 이상인 것에 비해 퍼센트

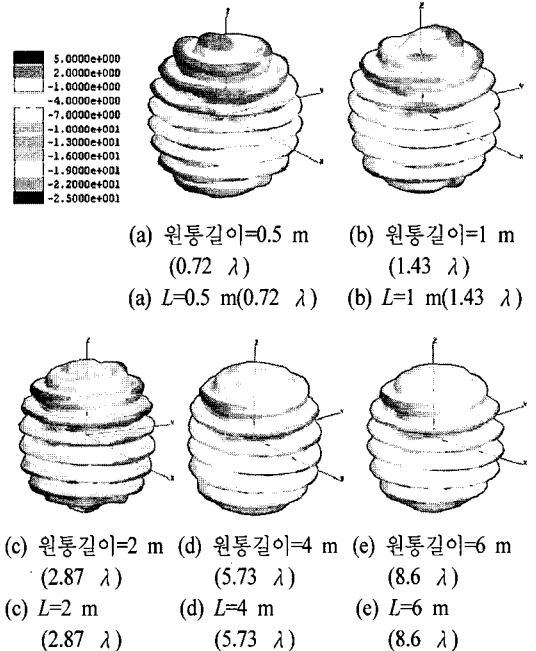


그림 11. 원통의 길이 변화에 따른 3차원 총전계 방사 패턴(단위: dBi, 원통직경: 2.5 m, 안테나 수: 2개)

Fig. 11. 3-dimensional E_{total} radiation patterns according to the length of cylinder(unit: dBi, diameter of cylinder: 2.5 m, number of antennas: 2).

표 5. 원통 직경 변화에 따른 3차원 총전계 방사 패턴의 퍼센트 커버리지(%)

Table 5. Percent coverage of 3-dimensional E_{total} radiation pattern according to the diameter of cylinder(%).

원통직경	-20 dBi 이상	-15 dBi 이상	-12 dBi 이상	-10 dBi 이상	-5 dBi 이상	0 dBi 이상
2.5 m	99.86	99.63	99.55	98.61	92.91	48.10
1.8 m	99.78	99.47	99.26	98.91	93.13	55.04

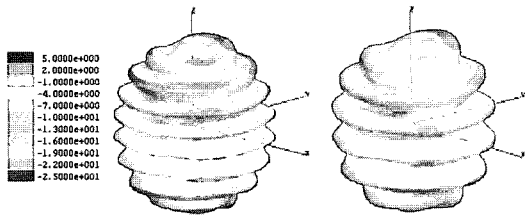


그림 12. 원통의 직경 변화에 따른 3차원 총전계 방사 패턴(단위: dBi, 원통길이: 1 m, 안테나 수: 2개)

Fig. 12. 3-dimensional E_{total} radiation pattern according to the diameter of cylinder(unit: dBi, length of cylinder: 1 m, number of antennas: 2).

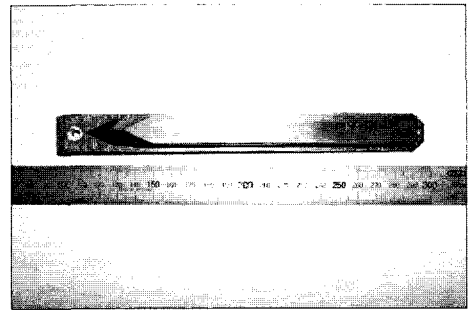
커버리지 -5 dBi 이상의 값들에서 2~4 % 정도 적은 방사 패턴 분포를 보이고 있다.

그림 12와 표 5는 원통의 직경 변화에 따른 3차원 총전계 방사 패턴과 이의 퍼센트 커버리지이다. 직경이 커지면 장착된 안테나들 사이에 거리가 멀어져 이들 사이에 위상 변화가 더 생기게 된다. 따라서 그림 12에 보이듯이 방사 패턴의 모양에서 알 수 있듯이 널(null)이 더 발생하게 된다. 방사 패턴의 분포는 표 5를 살펴보면 -5 dBi 이상까지 거의 균일함을 알 수 있다.

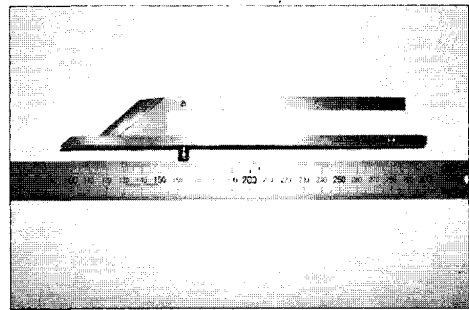
IV. 제작 및 측정

그림 2의 설계치로 제작된 역 F 안테나가 그림 13에 보이고 있다. 황동으로 제작하였고 유전체는 유전율 2.2의 테플론(Teflon)을 사용하였다. 그림 14는 제작된 역 F 안테나의 반사 손실 측정치와 시뮬레이션 결과치를 보이고 있다. 중심 공진주파수는 430 MHz, 대역폭은 8 MHz이다. 측정과 시뮬레이션 결과가 서로 잘 일치함을 알 수 있다.

원통 도체의 $+z$, $-z$ 축에 2개 안테나를 장착하여 3 평면(YZ, XZ, XY 평면)에 대하여 E_{θ} 와 E_{ϕ} 방사 패턴을 각각 측정하고 시뮬레이션한 결과들을 그림



(a) 정면도
(a) Top view



(b) 측면도
(b) Side view

그림 13. 제작된 UHF 역 F 안테나

Fig. 13. Fabricated UHF inverted-F antenna.

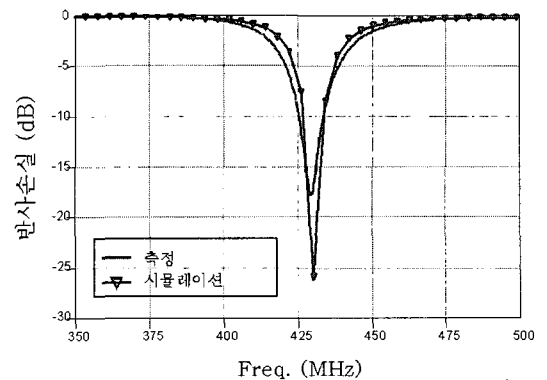


그림 14. 반사 손실의 시뮬레이션 값과 측정 값

Fig. 14. Measured and simulated results of return loss.

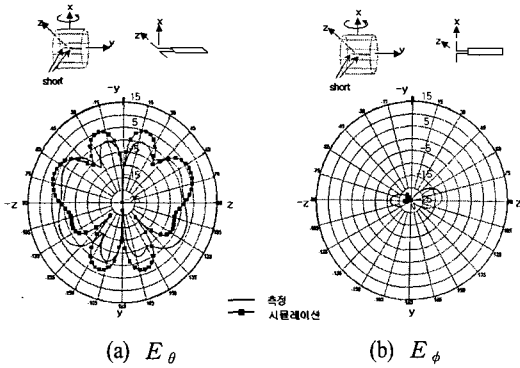


그림 15. YZ-평면 방사 패턴(dBi)
Fig. 15. Radiation pattern in YZ-plane(dBi).

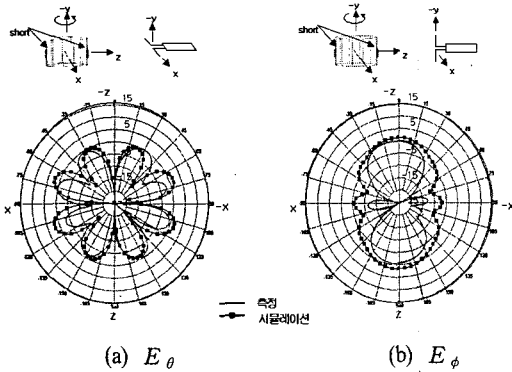


그림 16. XZ-평면 방사 패턴(dBi)
Fig. 16. Radiation pattern in XZ-plane(dBi).

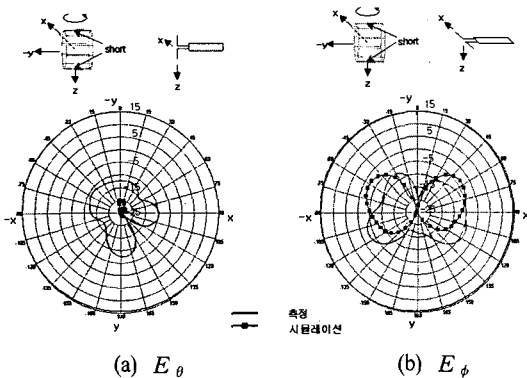


그림 17. XY-평면 방사 패턴(dBi)
Fig. 17. Radiation pattern in XY-plane(dBi).

15~17에 보이고 있다. 이때 사용된 원통 도체의 직경은 0.85 m, 길이는 0.5 m이다. 측정과 시뮬레이션 결과들이 서로 잘 일치함을 알 수 있다. 그림 15(a)와 17(b)를 보면 방사 패턴의 값에서는 측정치와 시뮬

레이션 결과가 다소 차이를 보이거나 전반적인 모양에서 일치를 보이고 있다. 그림 15(b)와 17(a)에서는 수신 안테나(원통 도체에 장착된 역 F 안테나)와 송신 안테나(다이폴 안테나)의 편파가 서로 달라 패턴이 작은 값을 갖고 있다. 그림 16(a)와 (b)는 측정치와 시뮬레이션 결과 사이에 널(null)의 깊이 차이를 보이거나 전체적인 모양이나 널의 위치들이 잘 일치하고 있다.

V. 결 론

본 논문에서는 위성 발사체와 같은 원통 도체에 역 F 안테나가 장착되어 있을 때 방사 패턴을 시뮬레이션하고 분석하였다. 특히, 원통 도체에 장착되는 역 F 안테나의 개수, 원통 도체의 길이와 직경 변화에 따라 3차원 방사 패턴을 시뮬레이션하고 그 방사 패턴의 퍼센트 커버리지를 구해 분석하였다. 원통 도체에 역 F 안테나가 2개 이상 장착되면 규격(-12 dBi 이상의 패턴 값이 99 % 이상)을 만족하였고 원통 도체의 길이가 2 m 이상일 경우에 방사 패턴과 퍼센트 커버리지는 변화가 거의 없었다. 원통 도체의 직경은 그 값이 증가할 경우에 안테나들 사이에 위상 차이가 커지게 되고 결과적으로 널의 개수가 증가함을 알 수 있었다.

또한 본 논문에서는 시뮬레이션 결과 값들의 정당성을 확인하기 위해 역 F 안테나를 실제 제작하고 반사 손실 및 원통 도체에 장착하였을 때 방사 패턴을 측정하였다. 측정값과 시뮬레이션 값이 잘 일치하고 있음을 확인하였다.

참 고 문 헌

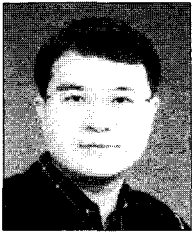
- [1] K. Fujimoto, A. Henderson, K. Hirasawa, and J. R. James, *Small Antennas*, Research Studies Press Ltd., England, 1987.
- [2] K. Hirasawa, M. Haneishi, *Analysis, Design, and Measurement of Small and Low Profile Antennas*, Artech House, ch. 5, 1992.
- [3] R. King, C. W. Harrison, and D. H. Denton, "Transmission-line missile antenna", *IRE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 8, no. 1, pp. 88-90, Jan. 1960.

- [4] 김태현, 신석현, 박동철, "로켓구조에 장착된 역 F 안테나의 방사 패턴 분석", 제7차 통신/전자/C4ISR 학술대회, pp. 278-283, 2003년.
- [5] 김태현, 안경표, 김성완, 박동철, "위성 발사체에 사용되는 UHF PIFA의 방사 패턴 연구", 추계 마이크로파 및 전파학술대회, pp. 431-434, 2004년.
- [6] C. R. Rowell, R. D. Murch, "A capacitively loaded

PIFA for compact mobile telephone handsets", *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 45, no. 5, pp. 837-842, May 1997.

- [7] M. C. Huynh, W. Stutzman, "Ground plane effects on planar inverted-F antenna(PIFA) performance", *IEE Proc. Microwave Antennas Propagat.*, vol. 150, no. 4, pp. 209-213, Aug. 2003.

김 태 현



1994년 2월: 충남대학교 전자공학과 (공학사)
 1996년 2월: 충남대학교 전자공학과 (공학석사)
 1996년 3월~2002년 2월: LG 이노텍(주) 연구소 주임연구원
 2002년 3월~현재: 충남대학교 전자공학과 박사과정

[주 관심분야] 테라메트리 안테나, WLAN 안테나, 모멘트법을 이용한 수치해석

이 재 득



1984년 2월: 경북대학교 전자공학과 (공학사)
 1986년 2월: 경북대학교 전자공학과 (공학석사)
 1986년 8월~1987년 2월: 특수전문요원 석사장교
 1987년 11월~현재: 한국항공우주연구원 우주발사체사업단 전자그룹장, 책임연구원

2000년 3월~현재: 경북대학교 전자공학과 박사 수료
 1997년 12월~2002년 12월: 액체과화로켓(KSR-III)용 전자탐재시스템 개발 연구책임자
 2002년 8월~현재: 소형위성발사체(KSLV-I)용 전자탐재시스템 개발 연구책임자

[주 관심분야] 발사체 전자탐재시스템, 원격측정시스템, 추적시스템, 비행중단시스템, 탐재용 영상시스템, 탐재용 전원시스템 설계 및 개발

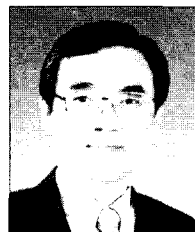
김 성 완



1998년 2월: 충남대학교 전자공학과 (공학사)
 2000년 2월: 충남대학교 전파공학과 (공학석사)
 2000년 3월~2001년 3월: 한국전자통신연구원 연구원
 2001년 4월~현재: 한국항공우주연구원 발사체기술실 전자그룹 선임연구원

[주 관심분야] 안테나, 마이크로파 회로

박 동 철



1974년 2월: 서울대학교 전자공학과 (공학사)
 1976년 2월: 한국과학기술원 전기전자공학과 (공학석사)
 1984년 12월: Univ. of California, Santa Barbara (공학박사)
 1977년~1978: Rhur University, Bochum, Germany, 방문교수

1994년~1998년: IEEE MTT Korea Chapter Chairperson
 1998년~2001년: IEEE EMC Korea Chapter Chairperson
 2000년~2001년: 한국전자파학회 회장
 1976년~현재: 충남대학교 공과대학 전파공학과 교수
 [주 관심분야] 마이크로웨이브/밀리미터웨이브 수동소자, 안테나, EMI/EMC 해석 등