# 전기적으로 큰 원통 도체 위에 장착된 역 F 안테나의 방사 패턴 분석

# Analysis of Radiation Patterns of Inverted-F Antennas on an Electrically Large Cylindrical Conducting Body

김태현 · 김성완* · 이재득* · 이범선** · 박동철***

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

## 요 약

본 논문에서는 위성 발사체와 같이 전기적으로 큰 원통 도체 위에 전기적으로 작은 역 F 안테나들이 장착된 경우에 대해 방사 패턴을 실험적으로 고찰하였다. 먼저 모멘트 법(MOM: Method Of Moment)과 상용 툴(tool)인 HFSS(High Frequency Structure Simulator)를 이용하여 방사 패턴을 구하고 이의 결과를 실험 결과와 비교 분석하였다. 특히 원통 도체가 전기적으로 큰 경우 안테나 근방의 접지면 일부분만을 고려하여 원통 도체의 크기가 방사 패턴에 미치는 영향을 고찰하였다. 다음 역 F 안테나가 원통 도체에 1개, 2개 장착된 경우에 대해 방사 패턴을 모멘트 법, HFSS를 이용하여 구하고 고찰하였는데 이의 결과와 실험 결과가 서로 잘 일치함을 확인하였다.

## Abstract

In this paper, radiation patterns of electrically small inverted-F antennas(IFAs) on an electrically large cylindrical conducting body like a satellite launcher are experimentally studied. First, radiation patterns are obtained by using method of moment and a commercial software tool, HFSS(High Frequency Structure Simulator) and the results are compared and analyzed with experimental ones. Especially, when the size of a cylindrical conducting body is electrically large, the effects of the size of a cylindrical conducting body on radiation patterns are studied by considering only the partial ground in vicinity of antennas. And then, when one and two inverted-F antennas are on the cylindrical conducting body, radiation patterns are simulated and investigated by using method of moment and HFSS. Good agreements are observed among the results by method of moment, HFSS, and experiments.

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

## Ⅰ. 서 론

최근에 위성 발사체 분야에서 텔리메트리 시스템(telemetry system)에 관한 연구가 활발히 수행되어 왔다. 위성 발사체의 위치, 자세, 온도, 그리고 압력 등의 발사체 자체의 비행 성능을 정확히 평가하기 위해 양질의 데이터가 수집되어야 한다. 이러한 데이터의 질에 영향을 미치는 요소 중에 위성 발사체에 장착된 안테나의 이득이 있다. 특히 비행 궤적에 따라 지상 관제소를 지향하는 안테나의 이득은 유동적이기 때문에 위성 발사체에 장착된 안테나 시스템에 대한 연구는 안정적인 통신 링크 마진(link mar-

충남대학교 전자공학과(Department of Electronic Engineering, Chungnam National University)
*한국항공우주연구원(Korea Aerospace Research Institute)
**경희대학교 전파공학과(Department of Radio Science and Engineering, Kyunghee University)
***충남대학교 전파공학과(Department of Radio Science and Engineering, Chungnam National University)
· 논 문 번 호 : 20050407-044
· 수정완료일자 : 2005년 7월 5일

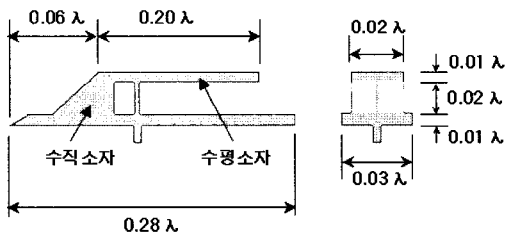
gin) 확보를 위해 필수적이다. 따라서 본 논문에서는 위성 발사체에 장착된 역 F 안테나의 성능, 특히 방사 패턴에 대해 분석하고자 한다.

현재까지는 주로 휴대 전화의 내장형 안테나로 사용되는 평판 형태의 역 F 안테나에 대해 많은 연구가 수행되었고 발표되었다[1]~[5]. 그러나 위성 발사체 또는 미사일에 장착된 역 F 안테나에 대한 연구는 그다지 많이 발표되지 않았다[6]~[8]. 참고문헌 [7]에서는 미사일 구조에 역 F 안테나가 장착된 경우의 방사 패턴을 UHF, S 대역에서 분석하였다. 그리고 참고문헌 [8]에서는 위성 발사체에 역 F 안테나가 장착된 경우의 방사 패턴을 UHF 대역에서만 분석하였는데 이 경우 위성 발사체가 전기적으로 수 $\lambda$ 정도이므로 MOM(Method Of Moment), FEM(Finite Element Method), FDTD(Finite Difference Time Domain)를 이용한 시뮬레이션 툴로 쉽게 해석된다.

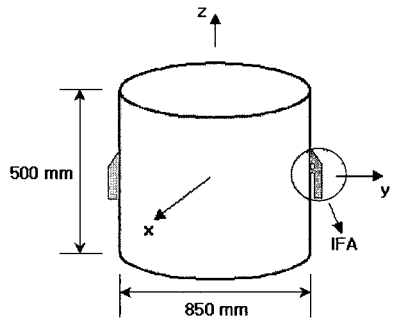
본 논문에서는 원통 도체에 역 F 안테나가 1개, 2개 장착된 경우에 대하여 원통 도체가 전기적으로 작은 UHF 대역뿐만 아니라 전기적으로 큰 S와 C 대역에서도 방사 패턴을 구하고 분석하였다. 본 논문에 주어진 원통 도체의 전기적인 체적은 UHF 대역에서 대략 1 $\lambda^3$ 보다도 작지만 S와 C 대역에서는 각각 수백 $\lambda^3$, 수천 $\lambda^3$으로 매우 크게 된다. 따라서 UHF 대역에서는 원통 도체 전체에 대하여 모멘트 법과 HFSS를 통해 방사 패턴을 구하였고, S와 C 대역에서는 해석시간을 절약하기 위해 접지가 되는 원통 도체 중에 안테나 근방의 일부분만을 고려하여 방사 패턴을 구하였다. 그리고 S와 C 대역에서 역 F 안테나가 2개 장착된 경우의 방사 패턴은 1개 장착된 경우에 구한 방사 패턴을 합성하여 구하였다. 이와 같이 얻어진 모멘트 법과 HFSS 결과들의 타당성을 확인하기 위하여 역 F 안테나를 실제 제작하여 원통 도체에 장착하고 얻은 실험 결과와 비교 분석하였다.

## Ⅱ. 역 F 안테나와 해석 구조

그림 1은 역 F 안테나와 역 F 안테나가 원통 도체에 장착된 해석 구조를 보이고 있다. 역 F 안테나는 대략 $\lambda/4$로 공진하므로 그 크기가 매우 작고, 모노폴(monopole)을 꺾어놓은 구조로 매우 낮은 프로파일(profile)을 갖는다. 그리고 역 F 안테나는 수직과 수평의 방사 소자를 갖고 그 방사 패턴이 전 방향성의 특성을 갖는다. 그림 1(b)에 보인 해석 구조는 원통 도체에 역 F 안테나가 +y축과 -y축에 각각 2개가 장착되어 있는 모습이다. 역 F 안테나가 1개 장착되는 경우는 +y축에만 장착되게 된다. 원통 도체의 직경은 850 mm로 UHF, S, 그리고 C 대역에서 각각 1.2 $\lambda$, 6.4 $\lambda$, 그리고 16 $\lambda$가 된다. 또한 원통 도체의 길이는 500 mm로 UHF, S, 그리고 C 대역에서 각각 0.7 $\lambda$, 3.8 $\lambda$, 그리고 9.4 $\lambda$가 된다. 따라서 전체 해석 구조의 체적은 UHF, S, 그리고 C 대역에서 각각 0.8 $\lambda^3$, 122.2 $\lambda^3$, 그리고 1890.0 $\lambda^3$이다. 해석 구조의 체적을 살펴볼 때 UHF 대역은 FEM을 이용하는 상용 툴인 HFSS로 쉽게 해석되나 S 대역과 C 대역은 해석 구조의 대칭성을 이용하더라도 많은 메모리와 해석 시간이 요구된다. 주어진 해석 구조는 실제 위성 발사체보다 작은 직경을 갖고 있는데 이는 원통 도체 전체 구조를 고려한 경우와 원통 도체 중에 안테나 근방의 일부 접지면만을 고려한 경우를 비교하기 위해 HFSS 시뮬레이션이 가능한 크기를 선택하였기 때문이다. 실제 위성 발사체와 같이 원통 도




(a) 역 F 안테나
(a) Inverted-F antenna




(b) 해석 구조
(b) Analysis model

그림 1. 역 F 안테나와 해석 구조
Fig. 1. Inverted-F antenna and analysis model.

체의 직경이 주어진 해석 구조보다 아주 큰 경우엔 상당히 많은 메모리와 해석시간으로도 개인용 컴퓨터로는 HFSS를 이용한 해석이 불가능하다. 예를 들어 원통 도체의 직경이 2.2 m이고 길이가 0.3 m일 때 C 대역에서는 직경과 길이가 각각 41.5 $\lambda$와 5.7 $\lambda$가 된다. 이때에 개인용 컴퓨터의 사양, CPU 2.8 GHz, RAM 2 GB를 갖고 해석 구조의 대칭성을 이용할지라도 메모리 부족 현상을 일으킨다.

안테나 측면에서 위성 발사체와 지상 관제소간의 통신 링크 마진에 영향을 미치는 중요한 요소는 서론에서 언급하였듯이 비행 궤적에 따른 안테나 방사 패턴의 변화이다. 안테나 방사 패턴 변화에 따른 통신 링크 마진의 해석은 크게 3가지 방법으로 할 수 있다. 첫째는 근사적인 방법으로 안테나 이득 패턴의 최대 값과 최소 값을 이용하여 링크 마진의 상한 값과 하한 값을 규정하는 방법이다. 둘째는 3차원 안테나 이득 패턴에 대하여 퍼센트 커버리지(percent coverage)를 설정하여 안테나 이득의 공간적인 평균 값으로 링크 마진을 해석하는 방법이다. 여기서 퍼센트 커버리지는 안테나 방사 패턴의 이득 값이 방사 패턴 전체에 대하여 어느 정도의 퍼센트로 분포되어 있는지 표시한 수치이다. 그리고 셋째는 보다 정확한 예측 방법으로 비행체의 궤적을 고려하여 지상 관제소에서 비행체의 송신 안테나를 바라보는 각도에 따라 변화하는 안테나의 이득 패턴 값을 이용하여 링크 마진을 해석하는 방법이다.

현재 한국항공우주연구원에서 개발 중인 소형 위성 발사체 개발 사업에서 요구되는 규격은 퍼센트 커버리지로 다음과 같이 정의된다. S, C 대역에서 안테나 방사 패턴의 퍼센트 커버리지는 −12 dBi 이상이 95 % 이상, UHF 대역에서는 99 % 이상이어야 한다. 그런데 이러한 안테나의 퍼센트 커버리지에 영향을 미치는 요소는 장착되는 역 F 안테나의 수, 위성 발사체의 구조, 지상 관제소 안테나의 편파, 장착된 안테나의 위상 등이 있다. 본 논문에서는 그림 1과 같은 위성 발사체의 구조에서 주로 안테나의 개수가 1개, 2개인 경우에 대하여 방사 패턴을 고찰하려고 한다. 표 1은 UHF와 S 대역에서 안테나의 수에 따른 퍼센트 커버리지를 HFSS를 통해 구하고 정리하였다. C 대역에서는 시뮬레이션의 한계로 3차원 방사패턴을 구하지 못하였다. 표 1에 보이듯이 안테나의 수가 1개일 경우는 장착된 안테나의 뒤 부분으로 방사가 적고 요구되는 규격을 만족하지 못하며 안테나 수는 2개 이상이어야만 규격을 만족하고 경제적으로 2개를 장착하는 것이 효율적이다.

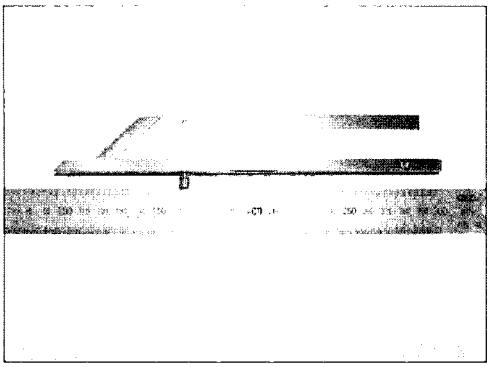
## Ⅲ. 제작된 역 F 안테나

그림 2는 UHF, S, 그리고 C 대역에서 제작된 역 F 안테나의 모습이다. UHF 대역의 역 F 안테나의 저

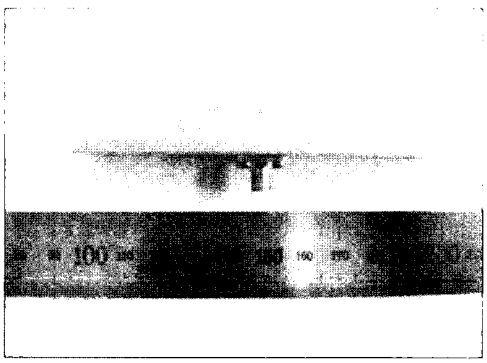
표 1. 안테나 수에 따른 3차원 총 전계 방사 패턴의 퍼센트 커버리지(%)
(원통 도체 길이: 1 m, 원통 도체 직경: 2 m)

Table 1. Percent coverage of 3-dimensional $E_{total}$ radiation pattern according to the number of antennas(%).
(length of cylinder: 1 m, diameter of cylinder: 2 m)

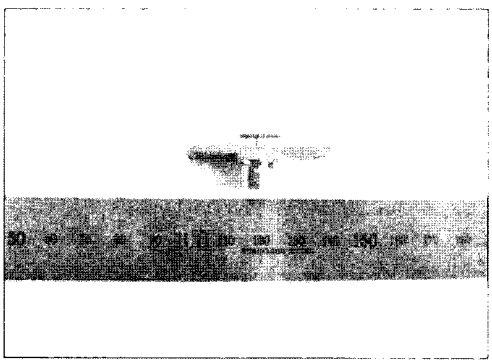
| | 안테나 수 | −20 dBi 이상 | −15 dBi 이상 | −12 dBi 이상 | −10 dBi 이상 | −5 dBi 이상 | 0 dBi 이상 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| UHF 대역 | 1 개 | 99.98 | 98.82 | 96.63 | 92.42 | 71.15 | 44.27 |
| | 2 개 | 99.86 | 99.63 | 99.55 | 98.61 | 92.91 | 48.10 |
| | 3 개 | 99.99 | 99.96 | 99.92 | 99.71 | 96.23 | 48.28 |
| | 4 개 | 99.99 | 99.95 | 99.83 | 99.57 | 96.34 | 65.52 |
| | 6 개 | 99.94 | 99.64 | 99.01 | 97.99 | 92.15 | 49.29 |
| S 대역 | 1 개 | 99.28 | 96.37 | 94.71 | 93.21 | 78.52 | 37.91 |
| | 2 개 | 99.53 | 98.65 | 97.26 | 95.54 | 86.55 | 43.59 |
| | 3 개 | 99.99 | 99.94 | 99.83 | 98.95 | 91.89 | 39.21 |
| | 4 개 | 99.99 | 99.92 | 99.64 | 98.74 | 92.54 | 42.84 |
| | 6 개 | 99.95 | 99.65 | 98.54 | 96.94 | 85.63 | 41.58 |



(a) UHF 대역
(a) UHF band



(b) S 대역
(b) S band

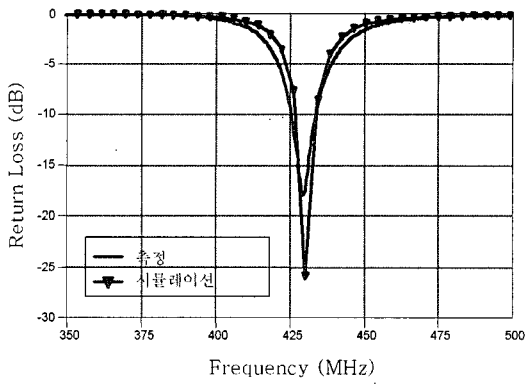


(c) C 대역
(c) C band

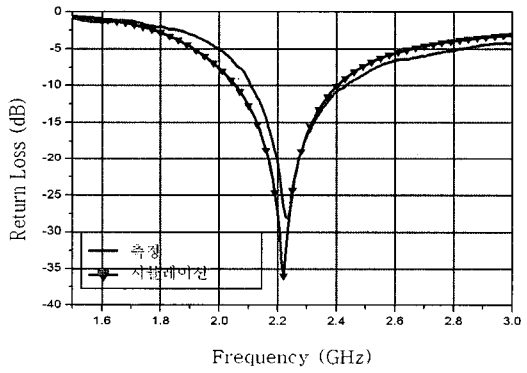
그림 2. 역 F 안테나
Fig. 2. Inverted-F antenna.

질은 황동이며 유전체로는 유전율 2.2인 테플론(teflon)이 사용되었다. S와 C 대역에서는 UHF 대역의 역 F 안테나와 마찬가지로 재질은 황동이나 유전체는 사용되지 않았다.

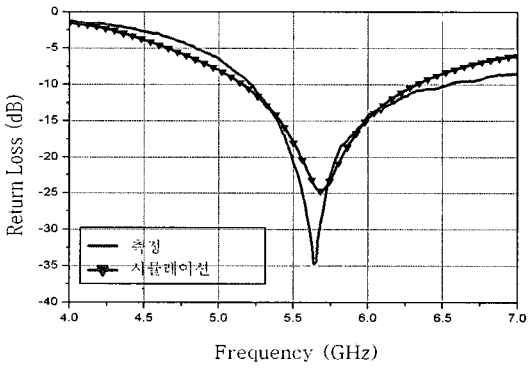
그림 3은 그림 2에 보인 역 F 안테나들에 대한 반사 손실의 시뮬레이션 값과 측정 값이다. UHF 대역




(a) UHF 대역
(a) UHF band




(b) S 대역
(b) S band




(c) C 대역
(c) C band

그림 3. 역 F 안테나 반사손실의 시뮬레이션 값과 측정 값
Fig. 3. Simulated and measured return losses of inverted-F antenna.

역 F 안테나의 경우 중심주파수는 430 MHz, 대역폭은 8 MHz로 측정되었다. S와 C 대역에서는 각각 중심 주파수는 2.2 GHz, 5.6 GHz로 그리고 대역폭은 315 MHz, 1305 MHz로 측정되었다. 시뮬레이션 결과와 측정 결과는 서로 잘 일치함을 확인할 수 있었다.

## Ⅳ. 방사 패턴 고찰

본 장에서는 Ⅲ장에서 보인 역 F 안테나를 원통 도체에 장착하였을 경우의 방사 패턴을 RWG(Rao Wilton Glisson) 모멘트 법과 HFSS로 얻고 이의 결과를

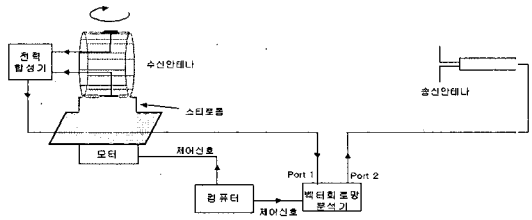
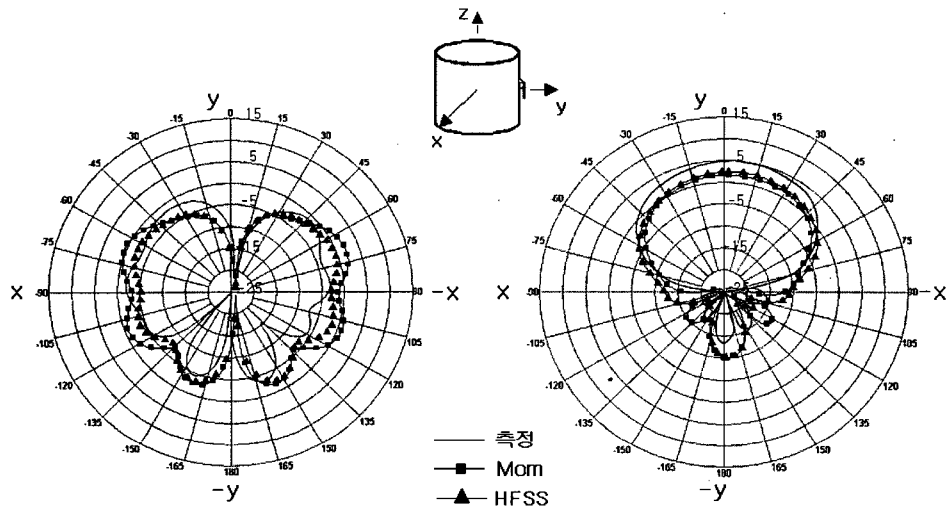
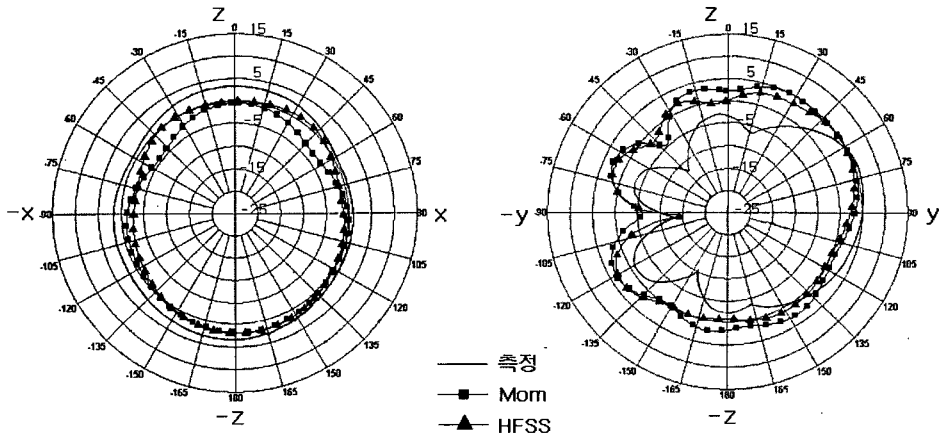



그림 4. 방사 패턴 측정 셋업
Fig. 4. Measurement set-up for radiation patterns.




(a) xy-평면 $E_\phi$ 방사 패턴
(a) $E_\phi$ radiation pattern in xy-plane

(b) xy-평면 $E_\theta$ 방사 패턴
(b) $E_\theta$ radiation pattern in xy-plane

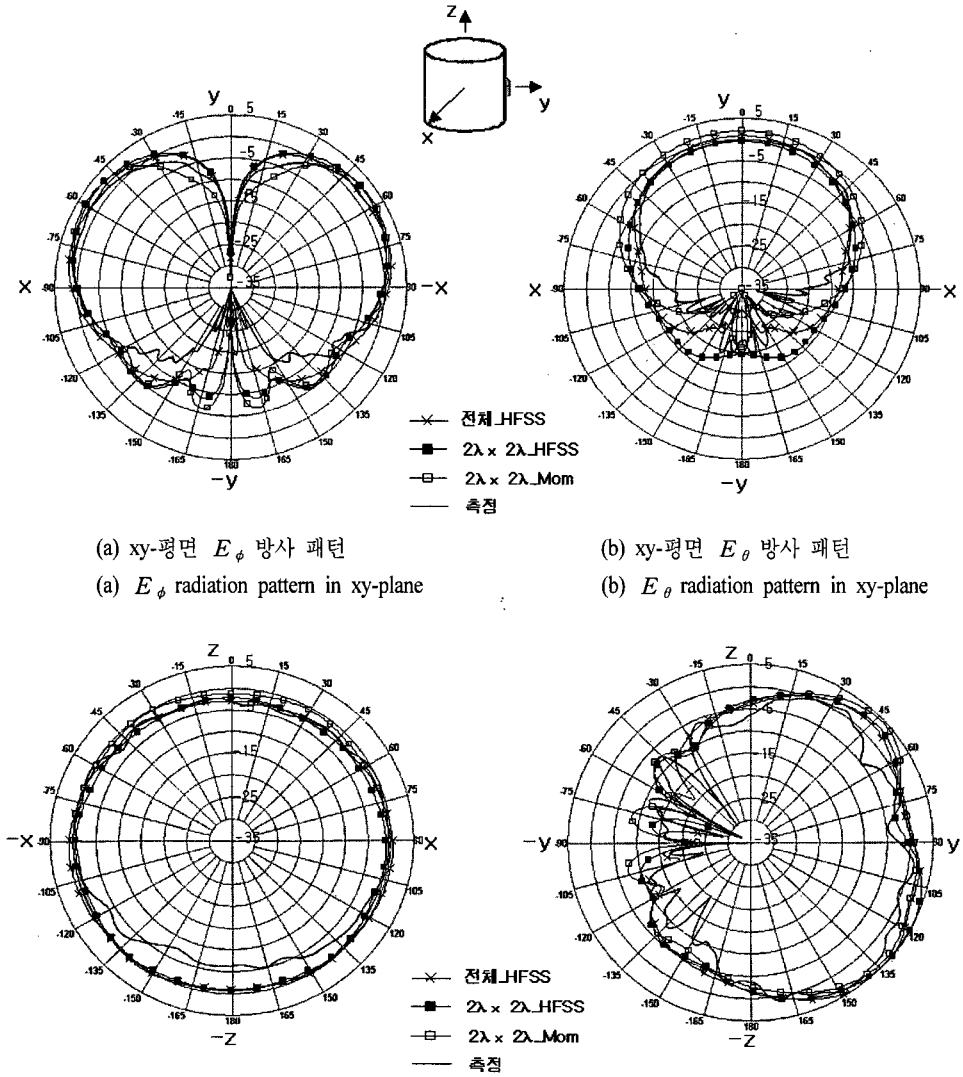



(c) xz-평면 $E_\phi$ 방사패턴
(c) $E_\phi$ radiation pattern in xz-plane

(d) yz-평면 $E_\theta$ 방사 패턴
(d) $E_\theta$ radiation pattern in yz-plane

그림 5. 역 F 안테나가 1개 장착된 경우의 UHF 대역 방사 패턴(dBi)
Fig. 5. Radiation pattern at UHF band for cylindrical conducting body with one IFA(dBi).

실험 결과와 비교하였다[9]~[11]. 이때에 역 F 안테나를 1개, 2개 장착하였을 경우에 대해 UHF, S, 그리고 C 대역에서 각각 방사 패턴을 고찰하였다. UHF 대역에서는 그림 1에 주어진 해석 구조의 체적이 0.8 $\lambda^3$으로 작기 때문에 해석 구조 전체에 대하여, S와 C 대역에서는 해석 구조의 체적이 수백 $\lambda^3$, 수천 $\lambda^3$이 되어 구조의 대칭성을 이용하여 방사 패턴을 구하였다. 또한 S와 C 대역에서는 해석 시간을 줄이기 위해 안테나 근방의 원통 도체 일부분만을 고려하여 방사 패턴을 구하였다. 이들 결과의 타당성을 확인하기 위하여 실험 결과와 비교 분석하였다. 원통 도체가 전기적으로 큰 S와 C 대역에서 2개의 안테나가 장착된 경우의 방사 패턴은 1개가 장착된 경우의 방사 패턴을 합성하여 구해진다. 이는 원통 도체에 1개의 안테나가 장착된 경우에 대하여 얻은 방사 패턴 값을 두 지점에서 각각 소스로 놓고 크기와 위상을




(a) xy-평면 $E_\phi$ 방사 패턴
(a) $E_\phi$ radiation pattern in xy-plane

(b) xy-평면 $E_\theta$ 방사 패턴
(b) $E_\theta$ radiation pattern in xy-plane

(c) xz-평면 $E_\phi$ 방사 패턴
(c) $E_\phi$ radiation pattern in xz-plane

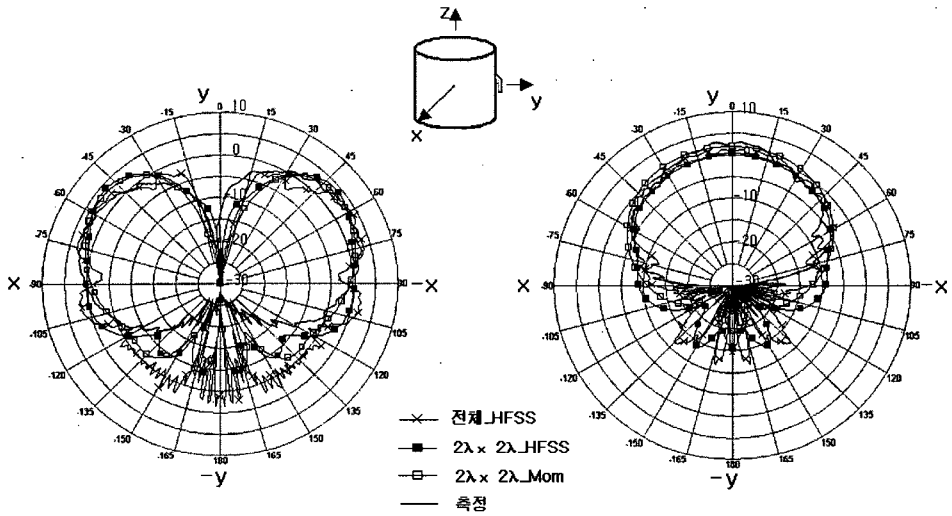
(d) yz-평면 $E_\theta$ 방사 패턴
(d) $E_\theta$ radiation pattern in yz-plane

그림 6. 역 F 안테나가 1개 장착된 경우의 S 대역 방사 패턴(dBi)
Fig. 6. Radiation pattern at S band for cylindrical conducting body with one IFA(dBi).

고려하여 벡터적으로 합성하는 것이다. 이러한 패턴 합성은 본 논문에 주어진 해석 구조보다 직경이 더 큰 위성 발사체의 경우에도 적용될 수 있다.

방사 패턴의 측정 셋업은 그림 4와 같다. 벡터 회로망 분석기의 port 2에서 나온 고주파 신호는 송신 안테나로 입력되고, 송신 안테나로부터 나온 고주파 신호는 원통에 장착된 역 F 안테나로 수신된다. 수신 안테나로 받은 고주파 신호는 전력합성기를 통해 합쳐져 벡터 회로망 분석기의 port 1로 들어가게 된다. 이때 컴퓨터는 벡터 회로망 분석기를 제어하여 측정 주파수를 선택하게 하며 또한 모터의 회전을 제어해 준다.

그림 5는 역 F 안테나 1개가 장착된 경우의 UHF 대역에서 측정, 모멘트 법, 그리고 HFSS에 의한 방사 패턴이다. 널(null)의 깊이에서 차이를 보이지만 전반적으로 세 개의 결과는 서로 잘 일치하고 있다. xy-평면의 $E_\phi$ 방사 패턴은 +y축에서 그 값이 거의 0으로 매우 작다. 이는 수신 안테나(원통 도체에 장착

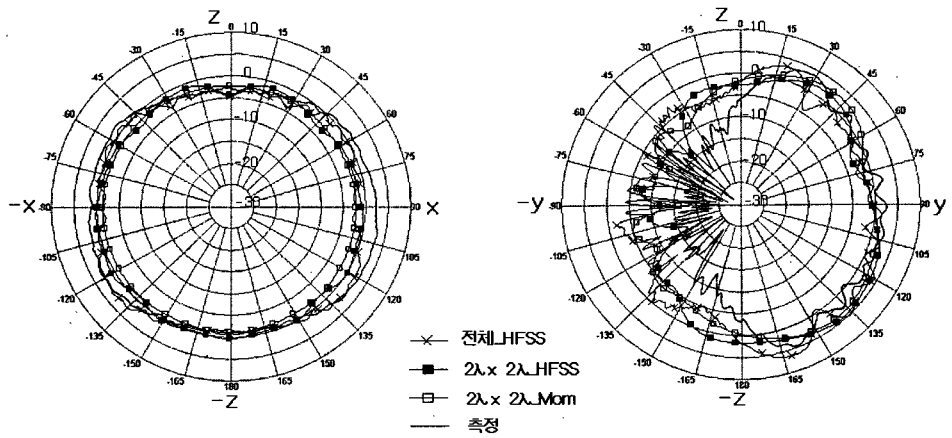



(a) xy-평면 $E_\phi$ 방사 패턴

(a) $E_\phi$ radiation pattern in xy-plane

(b) xy-평면 $E_\theta$ 방사 패턴

(b) $E_\theta$ radiation pattern in xy-plane




(c) xz-평면 $E_\phi$ 방사 패턴

(c) $E_\phi$ radiation pattern in xz-plane

(d) yz-평면 $E_\theta$ 방사 패턴

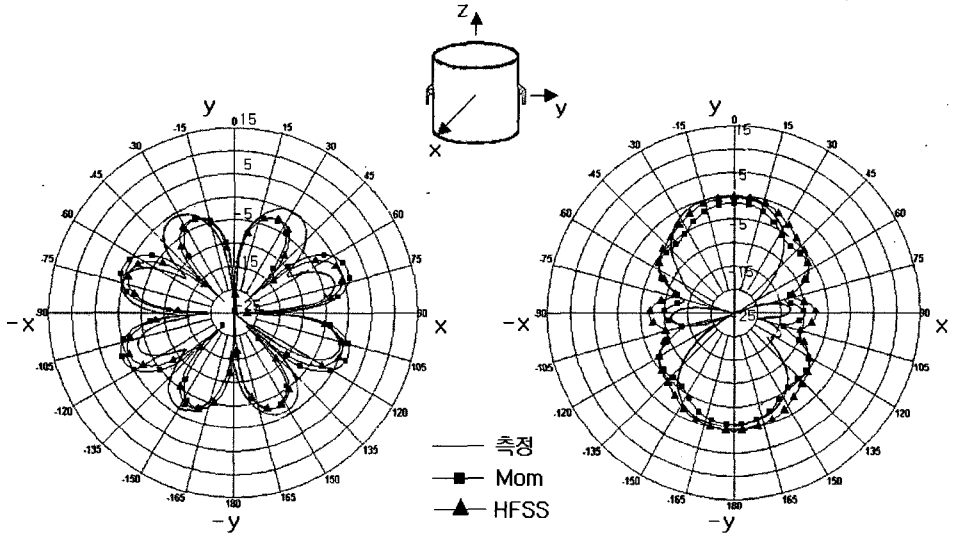
(d) $E_\theta$ radiation pattern in yz-plane

그림 7. 역 F 안테나가 1개 장착된 경우의 C 대역 방사 패턴(dBi)

Fig. 7. Radiation pattern at C band for cylindrical conducting body with one IFA(dBi).

된 역 F 안테나)와 송신 안테나(다이폴 안테나) 사이의 편파가 서로 직교하기 때문이다. 반대로 xy-평면의 $E_\theta$ 방사 패턴은 +y축에서 가장 큰 값을 갖는다. 이는 역 F 안테나의 수평 소자와 송신 안테나 사이의 편파가 일치하기 때문이다. xz-평면 $E_\phi$ 방사 패턴은 역 F 안테나의 수직 소자에 의하여 전 방향성 특성을 가지며 yz-평면 $E_\theta$ 방사 패턴은 역 F 안테나의 수직, 수평 소자에 의하여 $\theta$=60° 근방에서 최대 값을 갖는다.

그림 6과 7은 각각 역 F 안테나 1개가 장착된 경우의 S와 C 대역에서 측정, 모멘트 법, 그리고 HFSS에 의한 방사 패턴이다. 접지면의 크기에 대한 방사 패턴의 영향을 살펴보기 위하여 각각 전체 모델, 역 F 안테나 중심으로 사각 형태의 $2\lambda \times 2\lambda$ 크기의 일부 접지면을 고려한 모델에 대하여 방사 패턴을 구하

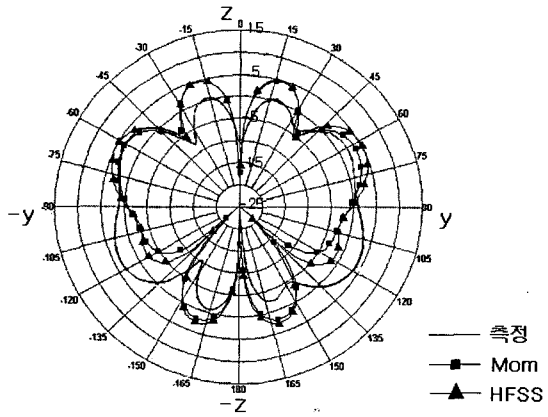



(a) xy-평면 $E_\phi$ 방사 패턴

(a) $E_\phi$ radiation pattern in xy-plane

(b) xy-평면 $E_\theta$ 방사 패턴

(b) $E_\theta$ radiation pattern in xy-plane




(c) yz-평면 $E_\theta$ 방사 패턴

(c) $E_\theta$ radiation pattern in yz-plane

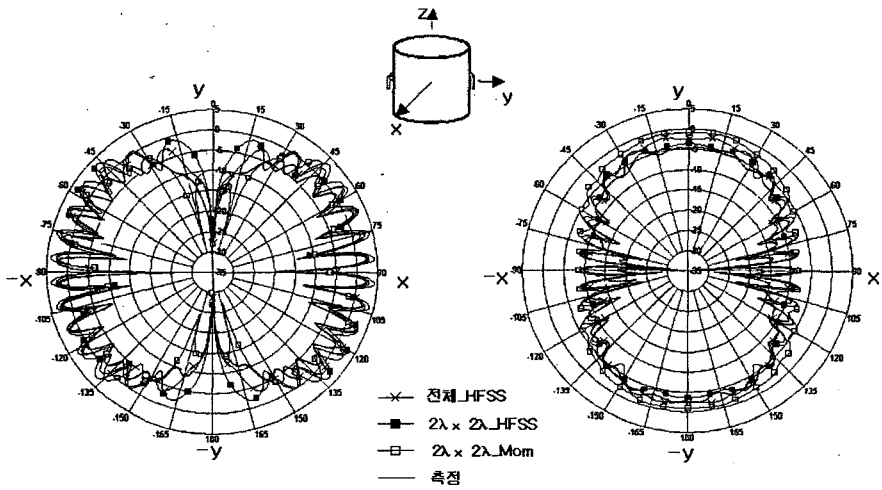
그림 8. 역 F 안테나가 2개 장착된 경우의 UHF 대역 방사 패턴(dBi)

Fig. 8. Radiation pattern at UHF band for cylindrical conducting body with two IFAs(dBi).

였다. 결과에서 알 수 있듯이 접지면의 크기가 $2\lambda \times 2\lambda$로 작아지더라도 전반적인 방사 패턴에는 큰 변화가 없으며 단지 접지면의 크기가 작아지면 접지면 뒷부분에서 패턴 값의 차이가 발생됨을 확인할 수 있다. HFSS 결과와 모멘트 법 결과가 비교되었는데 약간의 크기 차이를 제외하고는 널의 위치들이 서로 잘 일치한다.

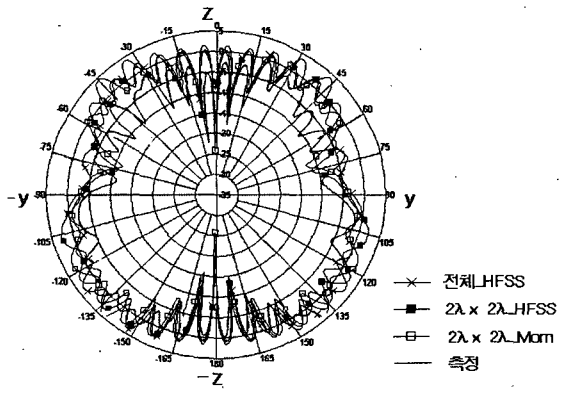
그림 8은 원통 도체에 역 F 안테나가 2개 장착되어 같은 크기, 동 위상으로 여기되는 경우의 UHF 대역에서 측정, 모멘트 법, 그리고 HFSS에 의한 방사 패턴이다. 전체적인 패턴의 모양과 널의 위치가 서로 잘 일치하고 있다.

그림 9는 역 F 안테나가 2개 장착되어 같은 크기, 동 위상으로 여기되는 경우에 S 대역에서 측정, 모멘트 법, 그리고 HFSS에 의한 방사 패턴이다. 역 F 안테나 1개가 장착된 경우와 마찬가지로 원통 도체 전체와 역 F 안테나 근방의 $2\lambda \times 2\lambda$ 크기의 접지면만을 고려한 경우에 대하여 방사 패턴을 구했다. 이때 접지면의 일부분만을 고려한 경우는 그림 6과 같이 안테나 1개가 장착된 경우에 얻은 방사 패턴을 위상을 고려하여 합성하여 얻어진다. 결과에서 알 수 있듯이 원통 도체 전체를 고려한 경우와 접지면 일




(a) xy-평면 $E_\phi$ 방사 패턴
(a) $E_\phi$ radiation pattern in xy-plane

(b) xy-평면 $E_\theta$ 방사 패턴
(b) $E_\theta$ radiation pattern in xy-plane



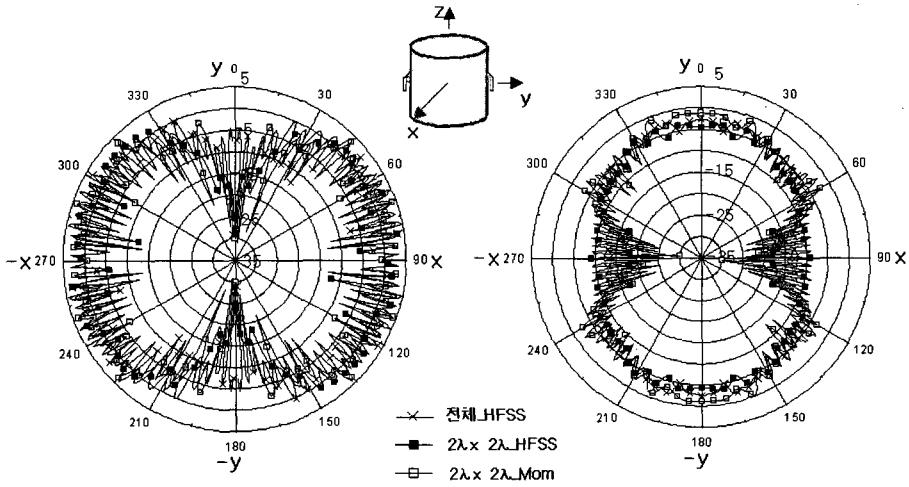

(c) yz-평면 $E_\theta$ 방사 패턴
(c) $E_\theta$ radiation pattern in yz-plane

그림 9. 역 F 안테나가 2개 장착된 경우의 S 대역 방사패턴(dBi)
Fig. 9. Radiation pattern at S band for cylindrical conducting body with two IFAs(dBi).

부분만을 고려한 경우는 전체적인 패턴의 모양과 널의 위치가 잘 일치하며 패턴의 크기에 있어서 근소한 차이를 보이고 있다. 모멘트 법과 HFSS를 이용한 xy-평면 $E_\phi$ 방사패턴은 y축 근방에서 약간의 차이가 있으나 전반적인 널의 위치와 크기가 일치한다. 또한 모멘트 법과 HFFS의 결과와 실험 결과를 비교해 보면 방사 패턴의 크기에서 약간의 차이를 보이고 있으나 패턴의 모양은 서로 잘 일치함을 보이고 있다. 여기서 방사 패턴 크기의 차이는 측정 환경에서 발생된 것으로 추론된다.

그림 10은 역 F 안테나 2개가 장착되어 같은 크기, 동 위상으로 여기되는 경우의 C 대역에서 모멘트 법과 HFSS에 의한 방사 패턴이다. 원통 도체 전체를 고려한 경우와 안테나 근방에 $2\lambda \times 2\lambda$ 크기의 일부 접지면만을 고려한 경우를 비교하였는데 전체적인 방사 패턴의 모양은 서로 잘 일치하고 있다. 아쉽게도 C 대역에서 안테나 2개가 장착되었을 경우의 방사 패턴 측정은 전력분배기의 부재로 이루어지지 못하였다.

위에 보인 안테나의 측정 방사 패턴들은 안테나가

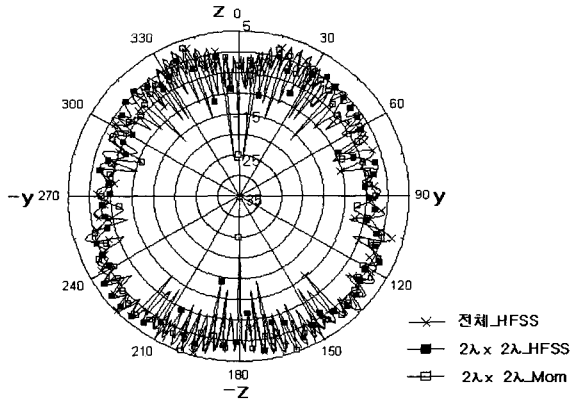



(a) xy-평면 $E_\phi$ 방사 패턴

(a) $E_\phi$ radiation pattern in xy-plane

(b) xy-평면 $E_\theta$ 방사 패턴

(b) $E_\theta$ radiation pattern in xy-plane




(c) yz-평면 $E_\theta$ 방사 패턴

(c) $E_\theta$ radiation pattern in yz-plane

그림 10. 역 F 안테나가 2개 장착된 경우의 C 대역 시뮬레이션 방사 패턴(dBi)

Fig. 10. Simulated radiation pattern at C band for cylindrical conducting body with two IFAs(dBi).

구조적으로 대칭일 경우에 같은 값을 가져야 한다. 그러나 본 논문에서 안테나 측정 시에 정렬이 정확히 되지 않아 안테나의 대칭성이 정확히 유지되지 못하였고 측정된 방사 패턴은 약간의 비대칭적인 값을 가지고 있다.

지금까지 안테나의 방사 패턴을 모멘트 법, HFSS로 구하고 측정과 비교하였다. 이러한 역 F 안테나의 이득은 참고문헌 [12]에서 대략 0~3 dBi라고 언급하였다. 본 논문에서도 측정, 모멘트 법, 그리고 HFSS로 구한 방사 패턴을 살펴보면 UHF, S, 그리고 C 대역에서 이득은 각각 5.2 dBi, 4.5 dBi, 그리고 5 dBi이다.

## V. 결 론

본 논문에서는 위성 발사체와 같이 전기적으로 큰 원통 도체 위에 전기적으로 작은 역 F 안테나가 장착되어 있는 경우에 방사 패턴을 모멘트 법과 HFSS로 구하고 실험과 비교하였다. 특히, 역 F 안테나의 개수가 1개와 2개일 때 UHF, S, 그리고 C 대역에서 방사 패턴을 구하고 실험 결과와 비교 분석하였는데 모멘트 법, HFSS, 그리고 실험의 세 결과들은 서로 잘 일치하였다. 본 논문에 주어진 원통 도체의 체적은 UHF 대역에서 전기적으로 0.8 $\lambda^3$보다 작으나 S와 C 대역에서는 수백 $\lambda^3$, 수천 $\lambda^3$으로 크다. 따라서 UHF 대역에서는 원통 도체 전체에 대하여 방사 패턴을 구하였고 S와 C 대역에서는 원통 도체 전체에 대해서 뿐만 아니라 해석 시간을 줄이기 위하여 역 F 안테나 근방 사각형태의 $2\lambda \times 2\lambda$ 크기를 갖는 일부분의 접지면만을 고려하여 방사 패턴을 구하였다. 일부분의 접지면만을 고려하였지만 이의 방사 패턴은 원통 도체 전체를 고려한 경우와 전체적인 모양이 일치하였다. 단지 접지면의 크기가 작아지면 주로 접지면 뒷부분에서 방사 패턴 값의 차이가 많게 됨을 알 수 있었다. 따라서 전기적으로 큰 원통 도체 위에 전기적으로 작은 역 F 안테나가 장착되어 있는 경우에 안테나 근방의 수$\lambda \times$수$\lambda$ 크기의 부분적인 접지만을 고려하여 방사 패턴을 구하는 것은 계산시간과 컴퓨터 메모리를 줄일 수 있기 때문에 매우 효율적이다. 또한 역 F 안테나가 2개 장착된 경우의 방사 패턴은 1개 장착된 경우에 구해진 방사 패턴을 합성하여 구할 수 있다. 이러한 방법은 본 논문에서 주어진 원통 도체보다 직경이 매우 커서 해석을 위해 많은 시간과 컴퓨터 메모리를 요구하는 경우에 효율적으로 적용될 수 있다.

## 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] L. Zhan, Y. Rahmat-Samii, "Whip-PIFA combination in wireless handset application: a hybrid circuit model and full wave analysis", *IEEE Antennas Propagation Society Symposium*, vol. 3, pp. 2747-2750, Jun. 2004.

[4] O. A. Saraereh, M. Jayawardene, P. Mcevoy, and J. C. Vardaxoglou, "L and S shape PIFA antenna for triple-band(DCS/PCS/UMTS) mobile handset", *IEEE Antennas Propagation Society Symposium*, vol. 3, pp. 3107-3110, Jun. 2004.

[5] 이영훈, "방사부의 H형 Slit을 이용한 이동통신 단말기용 이중대역 PIFA 안테나 특성", 한국전자파학회논문지, 16(1), pp. 84-91, 2005년 1월.

[6] R. King, C. W. Harrison, and D. H. Denton, "Transmission-line missile antenna", *IRE Trans. Antennas Propagat.*, no. 8, pp. 88-90, 1960.

[7] 김태현, 신석현, 박동철, "로켓구조에 장착된 역 F 안테나의 방사패턴 분석", 제7차 통신/전자/C4ISR 학술대회, pp. 278-283, 2003년.

[8] 김태현, 안경표, 김성완, 박동철, "위성 발사체에 사용되는 UHF PIFA의 방사패턴 연구", 추계 마이크로파 및 전파학술대회, pp. 431-434, 2004년.

[9] S. M. Rao, D. R. Wilton, and A. W. Glisson, "Electromagnetic scattering by surfaces of arbitrary shape", *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 30, no. 3, pp. 409-418, May 1982.

[10] S. N. Makarov, "MoM antenna simulations with matlab: RWG basis functions", *IEEE Trans.*

*Antennas Propagation Magazine*, vol. 43, no. 5, pp. 100-107, Oct. 2001.

[11] S. N. Makarov, *Antenna and EM Modeling with MATLAB*, John Wiley & Sons, Inc., 2002.

[12] F. Carden, R. Jedlicka, and R. Henry, *Telemetry Systems Engineering*, Artech House, ch. 12, 2002.

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] 텔리메트리 안테나, WLAN 안테나, 모멘트법을 이용한 수치해석

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

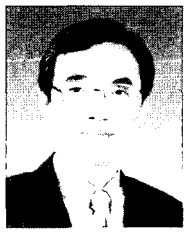
이 재 득

1984년 2월: 경북대학교 전자공학과 (공학사)
1986년 2월: 경북대학교 전자공학과 (공학석사)
1986년 8월~1987년 2월: 특수전문요원 석사장교
1987년 11월~현재: 한국항공우주연구원 우주발사체사업단 전자그룹장, 책임연구원
1997년 12월~2002년 12월: 액체과학로켓(KSR-Ⅲ)용 전자탑재시스템 개발 연구책임자
2000년 3월~현재: 경북대학교 전자공학과 박사과정 수료
2002년 8월~현재: 소형위성발사체(KSLV-Ⅰ)용 전자탑재시스템 개발 연구책임자
[주 관심분야] 발사체 전자탑재시스템, 원격측정시스템, 추적시스템, 비행종단시스템, 탑재용 영상시스템, 탑재용 전원시스템 설계 및 개발

이 범 선

1982년 2월: 서울대학교 전기공학과 (공학사)
1991년 8월: 미국 네브래스카 주립대 전자공학과 (공학석사)
1995년 5월: 미국 네브래스카 주립대 전자공학과 (공학박사)
1995년 5월~1995년 8월: 미국 네브래스카 주립대 (Post Doctor)
1995년 9월~현재: 경희대학교 전자정보학부 교수
[주 관심분야] 안테나 및 전파전파, 초고주파 수동소자

박 동 철



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