

패널오차에 의한 전개형 솔리드 안테나 성능 영향

Effects on Performance of Deployable Solid Antenna for Panel Misalignment

이지용 · 이교일 · 윤성식 · 이택경 · 이재욱

Ji-Yong Lee · Kyo-Il Lee · Seong-Sik Yoon · Taek-Kyung Lee · Jae-Wook Lee

요 약

전개형 솔리드 안테나에서 패널 전개 시 발생할 수 있는 구조적인 오차가 안테나 성능에 미치는 영향을 분석하였다. 위성에서 활용되는 전개형 안테나는 지상에서 접힌 상태로 발사되어 우주 공간에서 펼쳐지며, 전개 시 발생할 수 있는 오차의 형태를 분류하여 각각의 경우에 성능에 미치는 영향을 분석하였다. 패널 하나에만 전개 오차가 있을 때는 불완전 전개 패널에 해당하는 쪽에서 안테나 성능의 열화가 발생하였다. 패널 전개 오차가 코사인 함수의 형태로 분포한다고 가정하여 오차의 크기와 오차 형태에 따른 영향을 계산하고 분석하였다. 안테나 패널 오차가 균일한 경우에는 오차크기에 비례하여 이득이 감소하고, 패턴은 대칭이다. 코사인 1 또는 3주기의 패널 오차에 대해서는 주엽의 기울어짐이 나타나며, 코사인 2 또는 4주기의 패널 오차에 대해서는 패턴은 대칭이며, 이득이 감소한다.

Abstract

In the deployable solid surface antennas, the effects on the performances of antenna due to the structural errors that occur during the deployment are analyzed. The deployable solid surface antennas employed in a satellite are launched in folded configuration and those are deployed in the space environment, and the effects on the antenna performance are calculated depending on the type of surface errors. When the deviation error occurs in one panel, the degradation of performance appears in the side where the incomplete deployment of panel occurs. By assuming that the panel error distribution is in cosine function, the effect of errors are calculated and analyzed with regard to the types and the magnitude of the error. If the antenna panel error is uniform, the gain is reduced and pattern is symmetric. For the panel error of cosine 1 or 3 cycle, the main lobe tilts while the pattern is symmetric and the gain reduces for 2 or 4 cycle error.

Key words: Deployable Antenna, Panel Misalignment, Reflector Antenna, Solid Surface Antenna

I. 서 론

우주 공간에서 지상 관측 또는 통신용으로 사용되는 안테나는 높은 이득과 유연한 빔 형성이 요구된다. 반사판 안테나는 지향성이 좋으며, 높은 이득을 가지고 있어

위성에 많이 사용된다^[1]. 반면, 위성체는 제한된 추진력과 탑재 공간을 가진 발사체에 탑재되어 우주 공간으로 이동하여야 하므로, 위성용 안테나에서 수납 직경의 축소와 경량화가 요구되며, 이에 관련된 연구가 활발하게 진행되고 있다^{[2],[3]}. 전개형 반사판 안테나는 접힌 상태로 발사체

「이 논문은 국방광역감시 특화연구센터 프로그램의 일환으로 방위사업청과 국방과학연구소의 지원으로 수행되었음.」

한국항공대학교 항공전자정보공학부(School of Electronics and Information Engineering, Korea Aerospace University)

· Manuscript received April 12, 2016 ; Revised July 22, 2016 ; Accepted August 6, 2017. (ID No. 20160412-038)

· Corresponding Author: Taek-Kyung Lee (e-mail: tklee@kau.ac.kr)

에 탑재되어 우주 공간으로 이동한 뒤 목적지에서 반사판을 전개함으로써 원하는 형상을 구현하는 안테나이다. 전개 구조라는 특성에 의해 소형화된 상태에서 탑재하는 것이 가능하다^[4]. 우주에서 사용하기 위한 전개형 안테나로는 전개형 솔리드 안테나, 메쉬 안테나, 인플레이블 안테나 등이 있다. 메쉬 안테나는 금속 성분의 메쉬 구조로 반사면을 이루고 중대형 안테나를 구현하기 위하여 주로 사용한다^[5]. 인플레이블 안테나는 지지대를 이루는 금속의 형상기억 특성을 이용하여 전개하는 것으로 패키징 효율성이 높고, 무게가 가벼운 특성을 가지고 있다^[6]. 전개형 솔리드 안테나는 전개 후 표면 정확도가 높아 고정밀 안테나의 구현이 가능하다^[4].

전개형 솔리드 안테나는 주로 높은 동작 주파수에서 비교적 작은 직경으로 사용되고 있으며, 복합 재료를 사용하여 경량화를 구현할 수 있다^[7]. 고정된 중앙판과 여러 개의 전개 패널로 안테나를 구성하고 있으며, 전개 장치를 이용하여 기계적으로 중앙판으로부터 패널을 전개한다^{[7][8]}. 탄성장치 또는 모터를 이용하여 안테나를 전개할 수 있으며, 모터를 이용할 경우 안정적인 전개가 가능하나, 안테나의 전체 무게가 증가한다.

반사판 안테나에서 발생할 수 있는 오차요소로는 안테나의 기울어짐과 표면오차가 있다. 전개형 솔리드 안테나의 경우, 제작 과정 또는 열에 의해 발생하는 안테나 표면 오차 등이 있으며 여기에 추가하여 우주공간에서 불완전 전개에 의한 오차가 발생할 가능성이 있다^[9].

본 연구에서는 전개형 솔리드 안테나에서 전개 시 기계장치의 오동작 등에 의해 발생하는 오차의 형태를 분류하고, 불완전 전개의 형태에 따라 안테나의 성능에 미치는 영향을 분석하였다.

II. 패널 오차에 의한 영향

전개형 솔리드 안테나는 고정된 중앙판에 부착된 30개의 전개 패널이 우주 공간에서 전개장치에 의해 펼쳐지며, 정상적으로 작동할 경우, 중앙판과 전개 패널을 포함하여 전체적으로 포물면 형태를 이룬다. 급전부는 포물면의 초점에 위치하며, 반사판으로부터 반사된 신호가 초점거리의 개구면에서 동위상면을 형성한다.

그림 1은 패널의 전개 오작동에 의해 나타나는 오차의

형상을 보여주고 있다. 전개 후 나타나는 패널오차는 다양한 방법으로 정의할 수 있지만, 여기서는 안테나의 가장자리인 패널의 끝부분에서 정상적인 포물면에 비하여 나타나는 z축 방향의 편차로 정의하였다. 패널의 전개가 불완전하게 이루어진 경우, 그림 1과 같이 패널의 끝부분이 정상적인 형태에 비하여 위쪽에 있으므로 패널 오차는 양의 값이 된다.

먼저 30개의 패널 중 한 개의 패널만 불완전 전개가 이루어진 경우에 대하여 분석하였다. 그림 2는 한 개의 패널 불완전 전개에 대한 형상을 보여주고 있다. 전개된 안테나의 직경은 3 m로 가정하였고, 중앙판의 직경은 0.8 m, 초점거리는 1.1 m로 하여 계산하였다.

불완전 전개 패널은 첫 번째 패널로 가정하여 패널 끝의 z축 방향 오차의 변화에 대한 안테나 성능의 영향을 계산하였으며, 물리광학적 근사에 의한 방법으로 해석하

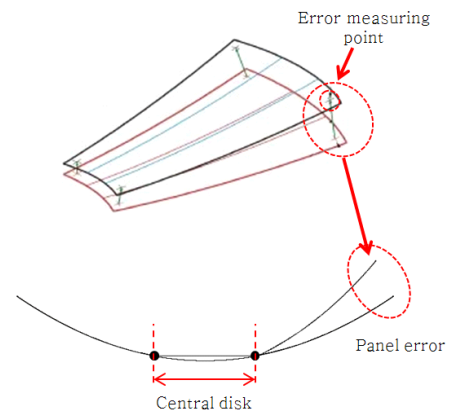


그림 1. 패널 오차의 정의
Fig. 1. Definition of panel error.

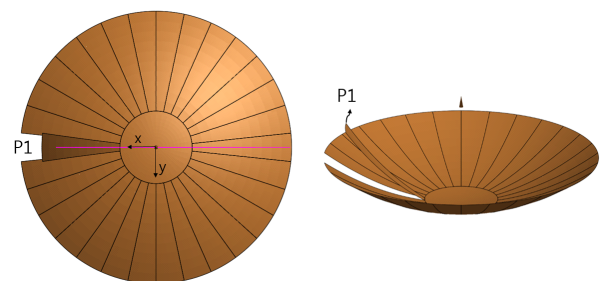


그림 2. 패널 오차 발생한 전개형 솔리드 안테나
Fig. 2. Deployable solid antenna with panel error.

는 상용프로그램(GRASP)을 활용하였다. 급전 패턴은 가우시안 형태로 가정하였으며, 편파는 x 방향 선형 편파로 설정하였다. 이러한 조건에서 1번 패널 오차에 따른 안테나 방사패턴의 영향을 그림 3에서 보여주고 있다.

그림 3에서 xz평면의 안테나 방사패턴에서 1번 패널 오차의 크기에 따른 변화를 확인할 수 있다. 1번 패널의 불완전 전개 크기에 따라 같은 쪽 방향의 안테나 패턴에 변화가 발생하며, 부엽레벨이 증가하고, 주엽의 빔폭이 미세하게 커진다. 그림 4는 yz평면에서의 안테나 패턴으로 xz평면에서의 패턴과 비교하였을 때 부엽의 평균값이 크게 증가하였으며, 패턴은 대칭을 이루고 있다.

표 1에서는 1번 패널 오차에 대한 시뮬레이션 결과로

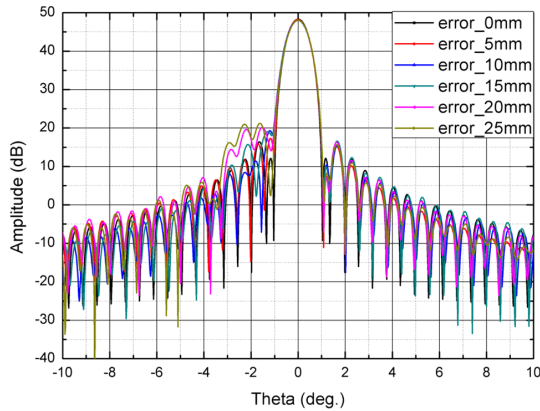


그림 3. 패널 오차에 따른 안테나 방사패턴(xz평면)
Fig. 3. Radiation pattern depending on panel error(xz plane).

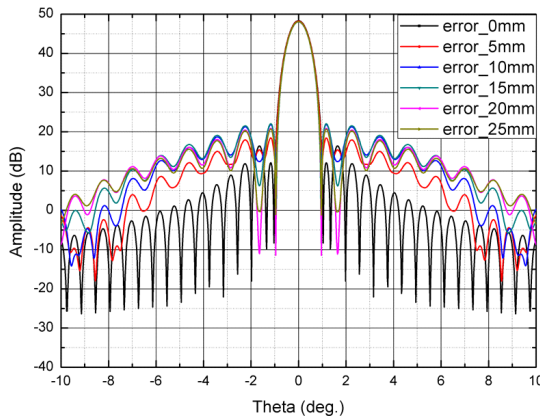


그림 4. 패널 오차에 따른 안테나 방사패턴(yz평면)
Fig. 4. Radiation pattern depending on panel error(yz plane).

표 1. 패널 오차에 따른 이득, 부엽레벨, 3 dB 빔폭

Table 1. Gain, SLL, 3 dB beamwidth depending on panel error.

Characteristics Error(mm)	Gain (dBi)	SLL (dB)	3 dB beamwidth (deg.)
0	48.31	31.90	0.72
5	48.21	30.86	0.74
10	48.05	28.74	0.76
15	48.01	28.93	0.76
20	48.07	27.88	0.76
25	48.08	26.86	0.76

얻은 방사패턴으로부터 안테나의 전기적 성능에 미치는 영향에 대한 분석 결과를 정리하였다. 이득은 오차가 증가함에 따라서 전반적으로 성능이 저하되나, 변화량은 미소하며, 오차가 15 mm 이상부터는 이득이 약간 증가하지만 변화가 거의 없다. 부엽레벨은 오차가 커질수록 상당한 영향을 받게 되며, 오차가 증가할수록 성능이 저하된다.

1번 패널 오차가 25 mm일 때 부엽레벨은 정상적인 안테나에 비해 약 5.04 dB 정도 증가하여 성능 열화가 발생한다. 3 dB 빔폭은 오차가 10 mm 이상이 되면 변화가 없는 것으로 분석되었다.

III. 코사인 패널 오차에 의한 영향

안테나 전개 시 패널의 끝부분이 상호 연결되어 작동하는 경우, 여러 개의 패널에서 동시에 오차가 발생하게 된다. 전개 후 발생할 수 있는 오차의 형태로 전체 패널이 일정한 크기로 불완전 전개가 이루어지는 경우와 한쪽으로 기울어진 형태로 불완전 전개되는 경우를 가정할 수 있다. 이러한 상황을 고려하여 패널 오차의 형태를 방위각에 따라 코사인 형태로 변화한다고 가정하여 전체 패널 오차에 따른 안테나 성능을 분석하였다.

우선 첫 번째 경우로 전체 패널이 일정하게 불완전 전개가 되었을 때는 0차의 코사인 함수로 가정할 수 있다. 두 번째 경우로 기울어진 형태의 전개오차는 1차 또는 고차의 코사인 함수로 가정하여 해석할 수 있다. 그림 5는 코사인 함수의 주기에 따라 나타나는 불완전 전개의 형상을 보여주고 있다.

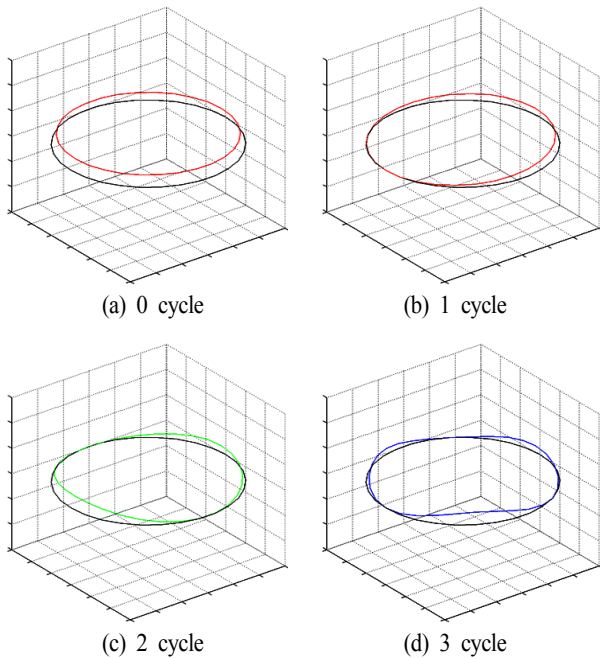


그림 5. 패널의 코사인 형태 오차
Fig. 5. Panel error of cosine form.

0주기는 전체 패널의 불완전 전개 오차를 나타내고, 1 주기는 패널이 한쪽 방향으로 기울어진 경우, 2주기는 패널 오차가 대칭적으로 발생한 경우, 3주기는 세 방향에서 패널 오차가 발생한 경우이다. 코사인 0주기부터 3주기까지의 패널 오차가 발생한 안테나를 가정하고, 각 주기에 대해 코사인 오차의 최대치를 2 mm에서 10 mm까지 변화시켜 방사패턴을 계산하고, 성능에 미치는 영향을 분석하였다.

그림 6은 코사인 0주기는 전체적으로 불완전 전개를 나타내므로 대칭인 패턴으로 나타나며, 오차가 커질수록 이득이 감소하고, 빔폭이 증가한다. 2주기 형태의 오차도 xy평면에서 대칭인 형태이므로 오차가 발생된 방사패턴이 좌우대칭을 이루고 있다. 반면 1주기, 3주기 코사인 형태의 오차는 안테나의 방사패턴이 비대칭 형태를 이루고 있다.

그림 7에서 오차가 발생함에 따라 패턴이 일그러짐과 동시에 주엽의 위치가 이동하고 있는데, 이는 안테나가 한쪽에서만 덜 전개되었기 때문에 마치 반사판이 기울어진 것처럼 결과가 나타난다. 1주기와 3주기의 오차에서는

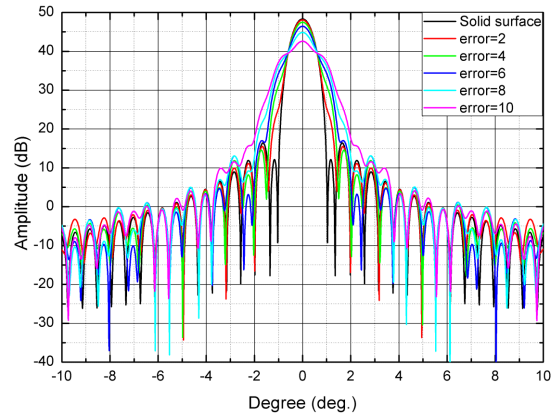


그림 6. 코사인 0주기 오차에 대한 안테나 방사패턴
Fig. 6. Radiation pattern for cosine 0 cycle error.

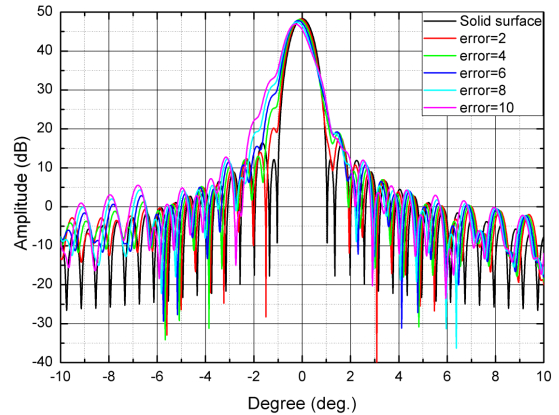


그림 7. 코사인 1주기 오차에 대한 안테나 방사패턴
Fig. 7. Radiation pattern of antenna for cosine 1 cycle error.

비대칭 패턴으로 나타나며, 주엽의 방향이 안테나 축으로부터 기울어져서 나타난다. 안테나 방사패턴의 계산을 통해 최대 오차에 따른 성능의 변화를 정리하였다.

표 2에서 이득은 오차가 커질수록 저하된다. 주기별로 비교하면 1주기 오차에 대해 오차의 증가에 따라 이득의 감소가 가장 적으며, 0주기일 때 패널 오차의 증가에 따라 이득의 감소가 가장 크다.

표 3에서 3 dB 빔폭은 1주기일 때 오차의 증가에 따른 성능 열화가 가장 적으며, 2주기일 때 오차의 증가에 대해 빔폭이 가장 크게 변화하여 0.74°부터 1.4°까지 변화한다. 표 4에서 부엽레벨은 이득, 3 dB 빔폭과 달리 0주기, 1주기 및 2주기 오차에서 규칙성이 없으나, 3주기일 때는

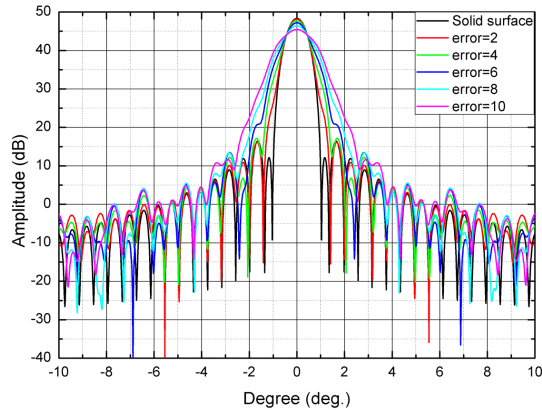


그림 8. 코사인 2주기 오차에 대한 안테나 방사패턴
Fig. 8. Radiation pattern of antenna for cosine 2 cycle error.

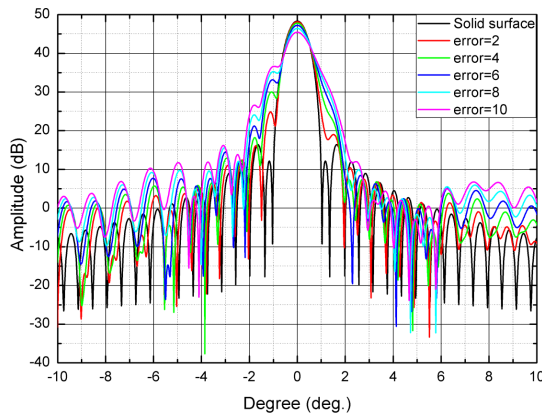


그림 9. 코사인 3주기 오차에 대한 안테나 방사패턴
Fig. 9. Radiation pattern of antenna for cosine 3 cycle error.

표 2. 코사인 오차에 따른 안테나의 이득 변화(dBi)
Table 2. Antenna gain changes for cosine errors(dBi).

Max. error (mm)	2	4	6	8	10
Cycle					
0 cycle	48.08	47.48	46.43	44.85	42.58
1 cycle	48.22	48.07	47.80	47.42	46.92
2 cycle	48.16	47.80	47.22	46.42	45.45
3 cycle	48.16	47.80	47.22	46.42	45.45

오차의 증가에 따라 부엽레벨이 급격히 증가한다.

지금까지 패널이 덜 펼쳐짐으로써 발생하는 오차에 의한 안테나 성능에 미치는 영향을 분석하였다. 반사판 전

표 3. 코사인 오차에 따른 3 dB 빔폭 변화(deg)
Table 3. 3 dB beamwidth changes for cosine errors(deg.)

Max. error (mm)	2	4	6	8	10
Cycle					
0 cycle	0.74	0.76	0.78	0.84	1.18
1 cycle	0.73	0.74	0.74	0.75	0.76
2 cycle	0.74	0.78	0.86	1.02	1.4
3 cycle	0.73	0.75	0.78	0.81	0.87

표 4. 코사인 오차에 따른 안테나의 부엽레벨 변화(dB)
Table 4. SLL changes for cosine errors(dB).

Max. error (mm)	2	4	6	8	10
Cycle					
0 cycle	32.58	32.93	33.38	31.75	31.00
1 cycle	28.04	29.04	28.56	35.11	34.16
2 cycle	32.01	30.62	33.74	33.02	33.81
3 cycle	23.31	17.79	14.06	11.17	8.82

체가 덜 펼쳐진 경우인 0주기 오차에서는 주엽의 이득 및 빔폭에 미치는 영향이 상대적으로 크다. 반사판의 일부분에 오차가 발생하는 1주기에서는 주엽의 방향이 기울어지는 현상이 나타나고, 2주기와 3주기에서는 주엽에 미치는 영향보다는 부엽레벨 등에 더 큰 영향을 나타내는 것으로 분석되었다.

IV. 결 론

전개형 솔리드 안테나에서 반사판을 형성하는 패널이 전개 시 발생하는 오차에 의한 안테나 성능의 변화를 분석하였다. 오차의 형태로서 하나의 패널에만 오차가 나타나는 경우와 주기별 코사인 형태의 오차가 나타나는 경우를 가정하여 안테나 성능의 변화를 분석하였다.

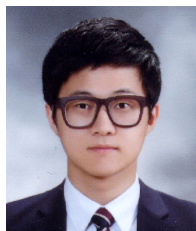
방사패턴의 계산을 통한 분석 결과, 하나의 패널에만 오차가 발생하는 경우, 부엽레벨이 패널 오차에 민감하게 반응하고, 코사인 형태의 패널 오차는 이득, 3 dB 빔폭, 부엽레벨 등의 특성에 영향을 미친다. 위성에서 사용하고 자 하는 전개형 솔리드 안테나에서 패널 오차의 발생에 의한 영향을 분석함으로써, 기계적으로 허용되는 패널 오

차의 범위를 설정하기 위한 기준을 제공할 수 있다.

References

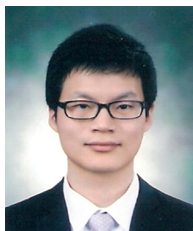
- [1] C. A. Balanis, *Antenna Theory Analysis and Design*, Wiley, 2005.
- [2] R. Taylor, D. Turse, P. Keller, and L. Adams, "Large aperture, solid surface deployable reflector", *Earth Science Technology Forum*, 2010.
- [3] V. S. Zolesi, P. L. Ganga, L. Scolamiero, A. Micheletti, P. Podio-Guidugli, G. Tibert, A. Donati, and M. Ghiozzi, "On an innovative deployment concept for large space structures", *42nd International Conference on Environmental Systems*, Jul. 2012.
- [4] R. Barrett, R. Taylor, P. Keller, D. Codell, and L. Adams, "Deployable reflectors for small satellites", *21st Annual AIAA/USU Conference on Small Satellites*, 2007.
- [5] A. W. Love, "Some highlights in reflector antenna development", *Radio Science*, vol. 11, no. 8-9, pp. 671-684, Aug.-Sep. 1976.
- [6] R. E. Freeland, G. D. Bilyeu, G. R. Veal, and M. M. Mikulas, "Inflatable deployable space structures technology summary", *49th International Astronautical Congress*, Sep.-Oct. 1998.
- [7] 이택경, "위성 SAR 센서용 전개형 경량화 안테나 설계", *한국전자과학회논문지*, 25(11), pp. 1104-1112, 2014년 11월.
- [8] S. D. Guest, S. Pellegrino, "A new concept for solid surface deployable antennas", *Acta Astronautica*, vol. 38, no. 2, pp. 103-113, Jan. 1996.
- [9] M. C. Bailey, C. R. Cockrell, and L. D. Staton, "Electronic compensation for reflector surface distortion to improve radiation pattern characteristics of antennas", *NASA Technical Memorandum*, Feb. 1989.

이 지 용



2014년 2월: 한국항공대학교 전자 및 항공
전자공학 (공학사)
2016년 2월: 한국항공대학교 항공전자정
보공학과 (공학석사)
[주 관심분야] 안테나, 레이더, 마이크로파

이 교 일



2010년 8월: 한국항공대학교 전자 및 항공
전자공학 (공학사)
2014년 2월: 한국항공대학교 항공전자공
학과 (공학석사)
2014년 9월~2016년 3월: (주)인스페이스
위성활용부 대리
2016년 5월~현재: 카이스트 무선전력전

송연구센터 연구원

[주 관심분야] 전자공학, 항공전자공학, 안테나, 무선전력전송

윤 성 식



2010년 8월: 한국항공대학교 항공전자공학과 (공학사)
 2013년 2월: 한국항공대학교 항공전자공학과 (공학석사)
 2013년 3월~현재: 한국항공대학교 항공전자공학과 박사과정
 [주 관심분야] 위성 통신/레이다 안테나, 위성 SAR 시스템, 초고주파 수동 소자 해석 및 설계

이 재 욱



1992년 2월: 한양대학교 전자공학과 (공학사)
 1994년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학석사)
 1998년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학박사)
 1998년 3월~2004년 2월: 한국전자통신연구원 디지털방송연구단 전파기반연구그룹
 2004년 3월~현재: 한국항공대학교 항공전자정보공학부 교수
 [주 관심분야] 마이크로파 및 밀리미터파 능, 수동 소자 해석 및 설계, EMI/EMC 대책 기술, 고출력 증폭기 및 고출력 안테나 설계, 위성 통신 안테나, 전자장 수치 해석

이 택 경



1983년 2월: 고려대학교 전자공학과 (공학사)
 1985년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학석사)
 1990년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학박사)
 1990년 5월~1991년 4월: University of Texas at Austin, Post-Doctoral Fellow
 1991년 9월~1992년 2월: 한국과학기술원 정보전자연구소 연구원
 2001년 7월~2002년 7월: University of Illinois, Urbana-Champaign 방문교수
 2014년: 한국전자과학회 회장
 1992년 3월~현재: 한국항공대학교 항공전자정보공학부 교수
 [주 관심분야] 마이크로파, 안테나, 전자파 해석, 레이더