

다목적실용위성 2호기의 태양전지 어레이 설계

(The Solar Array Design for KOMPSAT-2)

장성수* · 이주훈 · 김성훈 · 장진백 · 박성우 · 박희성

(Sung-Soo Jang · Ju-Hun Rhee · Sung-Hoon Kim · Jin-Baek Jang · Sung-Woo Park · Hee-Sung Park)

요 약

본 논문은 다목적실용위성 2호기의 개발에 사용한 태양전지 어레이의 설계결과를 요약하였다. 최적의 태양전지 어레이의 개발을 위하여 고효율의 갈륨-아세나이드 태양전지를 사용하였다. 태양전지를 장착하기 위한 패널은 알루미늄 허니컴이 적용되는 샌드위치 구조에 섬유강화 복합재료를 면재로 사용하였다. 다목적실용위성 2호기의 임무말기 태양전지 어레이는 최소 1,073 watts 이상의 전력을 위성부하와 탑재체에 충분히 공급할 수 있도록 개발하고 있다.

1. 서 론

일반적으로 위성의 1차 전력원은 탑재체와 본체에 전력을 공급하기 위하여 태양전지 어레이를 사용한다. 다목적실용위성 1호기는 14.6%의 실리콘 태양전지를 사용하여 태양전지 어레이를 설계하였다. 실리콘 태양전지는 갈륨-아세나이드 계열의 태양전지 보다 전력생성 효율이 낮기 때문에 동일한 전력생성을 위하여 태양전지 어레이를 설계할 경우, 비교적 큰 태양전지 어레이의 면적을 필요로 한다.

다목적실용위성 2호기는 고해상도의 이미지 획득과 안정적인 임무수행을 위하여 비교적 큰 태양전지 어레이의 전력을 필요로 한다. 따라서 다목적실용위성 2호기는 21%의 고효율의 전력변환 특성을 갖는 갈륨-아세나이드 계열의 태양전지를 선정하여 태양전지 어레이를 개발하고 있다.

위성에 사용하는 태양전지 어레이의 설계는 기존의 위성 프로그램에서 적용하여 운용한 검증된 설계기술을 사용한다. 그리고 위성용 태양전지 어레이의 제작업체마다 고유의 설계기술을 설계에 반영하므로 위성용 태양전지 어레이의 설계 및 제작에 차이가 있을 수 있음을 밝혀둔다.

본 논문은 다목적실용위성 2호기의 태양전지 어레이의 최종 설계결과를 중심으로 기술하였다. 그리고 2호기의 태양전지 어레이의 설계과정에 있어서 1호기에서 수행한 태양전지 어레이의 설계자료와 운용자료를 고려하였다.

2. 본 론

2.1. 태양전지 어레이의 설계 요구사항

태양전지 어레이의 설계는 위성이 운용할 궤도특성에 따라 고유의 설계요소를 가진다. 위성의 전력시스템 설계와 운용, 그리고 전장품의 전력용량을 결정하기 위하여, 낮기간 동안 발생하는 태양전지 어레이의 출력특성을 고려하여야 한다. 다목적실용위성 2호기가 동작할 궤도 환경은 다음과 같다.

다목적실용위성 2호기의 궤도 특성 :

- ① 임무기간 : 3년
- ② 고도 : 685km, 태양동기 궤도
- ③ 궤도 : 10:50AM Crossing Time
- ④ 궤도주기 : 98분
(낮기간 : 64분, 식기간 : 34분)

위성수명 말기, 다목적실용위성 2호의 성공적인 임무를 수행하기 위하여 위성은 955 watts의 전력을 필요로 한다. 따라서 태양전지 어레이의 전기적 출력은 최악의 우주환경에서 최소 955 watts를 생성하도록 설계해야 한다.

위성에 사용할 태양전지의 크기와 위성의 요구 전력을 고려하여 태양전지 어레이의 패널크기를 설계한다. 그리고 패널의 크기와 사용할 태양전지의 총 수량, 그리고 전기적 배선 등의 무게에 따른 위성의 자세제어의 영향을 분석하여 최종 패널의 크기를 설정한다.

위성의 버스전압을 평균 28 volts로 고려하여 태양전지 스트링의 개수와 각 태양전지 스트링을 구성하는 태양전지의 개수를 결정하였다. 다음 표 1은 태양전지 어레이의 설계를 위한 전력시스템 사양을 요약하였다.

표 1. 태양전지 어레이의 설계 사양

Items	KOMPSAT-2
Power Requirement	955 watts @EOL
Panel Size	30.2inches x 56 inches
Wing Configuration	Total 2 Wings 3 Panels per Wing
No. of Series Cells	23 Cells per String
No. of Parallel Strings	16 Strings per Panel
SA Temperature	max. 85°C
SA Electrical Weight	5.33 Kg per Wing
SA Power Capability	1,073 Watts

2.2. 태양전지의 특성 분석

태양전지 어레이의 설계는 각 제작업체의 경험에 따라 전력예측 방법, 전력감쇠 계수와 우주환경의 조건 등이 업체마다 고유의 설계계수를 가지고 태양전지 어레이의 설계를 진행한다. 다목적실용위성 1호기의 태양전지 어레이는 미국의 인공위성 전문업체인 TRW와 공동으로 실리콘 태양전지를 사용하여 개발하였다. 그리고 2호기 태양전지 어레이를 개발하기 위하여 태양전지 어레이의 전문업체인 EMCORE 사의 갈륨-아세나이드 전지를 사용하여 태양전지 어레이를 개발하였다. 따라서 2호기의 태양전지 어레이의 설계는 1호기와 차이가 있음을 밝혀둔다. 따라서 2호기의 태양전지 어레이의 설계는 EMCORE 사의 설계요소를 사용하고 1호기의 운용결과를 이용하여 태양전지 어레이를 개발하고 있다.

2.2.1 태양전지의 선정

2호기 탑재체의 임무수행 과정에서 위성자세제어에 따른 jittering의 영향을 줄이기 위하여 가능한 태양전지 어레이의 크기와 무게를 감소하는 것이 필요하다. 그러므로 1호기에 사용된 실리콘 태양전지를 사용하여 태양전지 어레이의 설계하는 것은 태양전지 어레이의 면적을 증가시켜 탑재체의 이미지 획득에 문제를 발생시킬 수 있다. 따라

서 태양전지 어레이의 면적을 최소화하기 위하여, 2호기의 태양전지는 실리콘 보다 높은 전력변환 효율특성을 갖는 갈륨-아세나이드 태양전지를 선정하였다. 그리고 EMCORE의 갈륨-아세나이드 태양전지는 이미 많은 우주 비행프로그램에 사용되었으며 성능이 검증되었다.

다목적실용위성 2호기의 요구전력은 1호기에 비하여 크게 증가하였다. 2호기는 21%의 효율특성을 가지는 갈륨-아세나이드를 사용하므로 전체 태양전지 어레이의 면적은 1호기에 비교하여 약간 증가하였다. 참고로 다목적실용위성 1호기의 태양전지 어레이는 636 watts의 전력을 발생할 수 있다.

표 2는 EMCORE 사의 갈륨-아세나이드의 전기적 특성을 나타낸다. 그림 1은 -51.6°C, 27.9°C, 66.9°C의 온도에서 예측한 EMCORE 사의 갈륨-아세나이드 태양전지의 전류-전압특성을 나타낸다. 온도가 증가함에 따라 태양전지의 개방전압이 급격히 감소하며 단락전류는 약간 증가한다.

표 2. EMCORE사의 갈륨-아세나이드 태양전지의 특성

	갈륨-아세나이드 태양전지
Dimensions	1.514 x 2.489 inches
Thickness	0.0055 inches
Efficiency	21% @BOL
Voc	2.455 V @28°C
Vmp	2.125 V @28°C
Isc	0.388 A @28°C
Imp	0.325 A @28°C

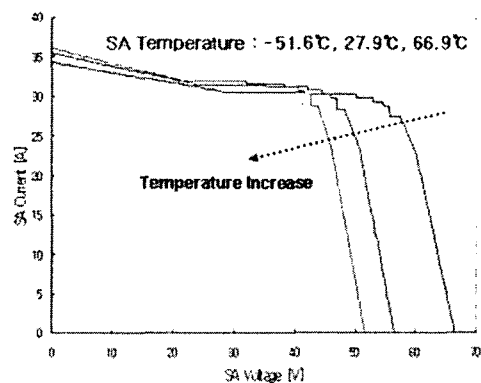


그림 1. 갈륨-아세나이드 태양전지의 전류-전압 특성

2.2.2 갈륨-아세나이드 태양전지의 감쇠 특성

2호기 태양전지 어레이의 분석은 상온 28°C에서 측정된 결과와 운용궤도 환경에 따른 우주복사환경의 감쇠계수, 온도변화, 태양광도 및 미세입자의 영향에 따른 감쇠분을 고려하여야 한다. 그리고 지상시험에서의 시험측정 오차에 따른 영향, 태양전지 어레이의 전기배선에 따른 전압강하, 그리고 thermal cycling에 따른 감쇠를 고려하여 설계를 진행하고 있다.

표 3은 2호기의 태양전지 어레이의 설계에 고려한 설계감쇠 요소의 값을 나타내었다. 태양전지 스트링 연결 및 패널의 전기 배선을 위하여 대략 26AWG와 20AWG의 배선을 고려하고 있다. 따라서 전기 배선에 따른 스트링과 패널의 전압강하는 대략 -0.028 volts와 -0.128 volts를 고려하여 설계에 적용하였다.

표 3. 갈륨-아세나이드의 설계요소

Design Factors	Values
Assembly Voltage	0.99
Assembly Current	0.99
Coverglass	0.995
Test Error	0.99
UV & Micrometeorites	0.98
Micrometeorites	1
Voc Temperature Coefficient	-0.1100
Isc Temperature Coefficient	0.0237
Vmp Temperature Coefficient	-0.1083
Imp Temperature Coefficient	0.0075
Voc Radiation Effects	0.981
Isc Radiation Effects	0.992
Vmp Radiation Effects	0.977
Imp Radiation Effects	0.989
Sun Intensity	0.970
Cycling Fatigue	0.985
Offpoint Angle	0.980

2.3 태양전지 어레이의 설계

태양전지 어레이의 한 스트링을 구성하는 셀 개수를 고려하기 위하여 위성버스의 평균전압, 스트링 및 배선 전압강하, 그리고 다이오드 전압강하를 고려하였다. 따라서 태양전지 어레이의 각 스트링은 최소 36 volts의 전압을 발생하도록 태양전지를 구성해야 한다. 따라서 23개의 갈륨-아세나이드

태양전지를 직렬로 연결하여 태양전지 스트링을 구성하였다. 그림 2는 태양전지 스트링의 최소 전압을 분석하기 위한 전압강하 모델이다.

위성의 수명말기에서 성공적인 임무수행을 위하여 태양전지 어레이는 최소 955 watts의 전력을 공급할 수 있어야 한다. 따라서 태양전지 어레이의 설계는 표 3에서 언급한 설계 감쇠요소와 악조건(Worst Conditions)의 위성 운용환경을 고려하여 전체 태양전지 스트링을 분석하였다. 그리고 주어진 태양전지 패널을 이용하여 분석한 전체 스트링의 장착에 관한 문제를 검토하였다.

2호기의 전력분석에 고려된 태양전지 어레이의 악조건 환경은 WS(Winter Solstice)에서의 최고 온도와 SS(Summer Solstice)에서의 태양광도를 사용하였다. 그리고 태양전지 어레이의 신뢰도를 고려하기 위하여 1개 스트링의 고장을 적용하였다.

태양전지 어레이의 기계적 및 전기적 설계는 매우 밀접한 관계를 가지고 있다. 비행용(Flight Model) 태양전지를 장착하기 위해서는 설계의 진행 상태에 따라서 각 담당 엔지니어의 검토와 협의가 지속적으로 필요하다.

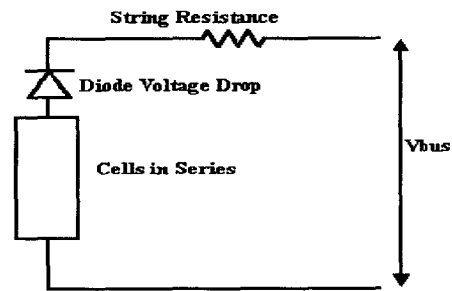


그림 2. 태양전지 어레이의 전압강하 모델

그림 3은 태양전지 어레이의 온도특성을 나타낸다. 위성의 태양전지 어레이 온도는 대략 -60°C의 매우 낮은 온도로 식(Eclipse)구간을 탈출하고, 낮 시간 동안 최대 85°C까지 상승한다. 태양전지 어레이의 온도가 증가함에 따라 태양전지의 개방전압은 급격히 감소하고 단락전류는 약간 증가한다.

그림 4는 위성의 3년의 임무기간 동안 태양전지 어레이의 출력특성을 나타낸다. 그림 3과 같이 태양전지 어레이의 온도특성으로, 위성이 식에서 탈출 직후, 태양전지 어레이의 출력은 최대가 된다. 그리고 태양전지 어레이의 온도가 증가함에 따라 태양전지 어레이의 출력은 점점 감소한다. 임무말기에서 위성의 낮기간 동안 태양전지의 최소 발생

전력은 대략 570 watts가 된다.

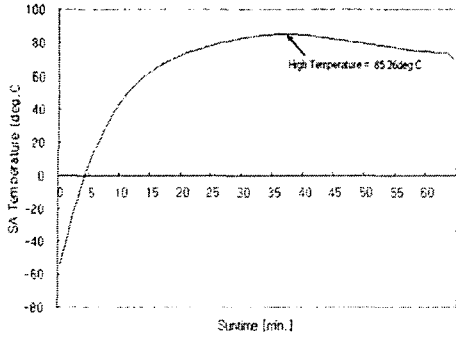


그림 3. 태양전지 어레이의 온도특성

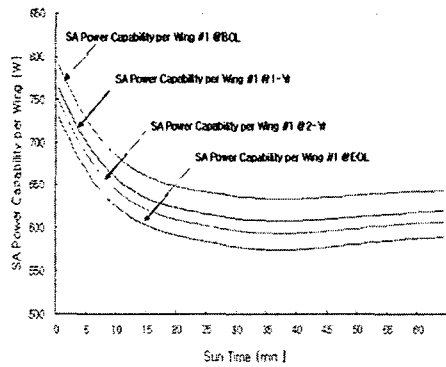


그림 4. 태양전지 어레이의 출력 특성

다목적실용위성 2호기의 태양전지 어레이는 2개의 wing으로 구성되며, -Y wing의 형상은 그림 5, 6과 같다. 태양전지 패널은 에폭시를 기지로 하는 섬유강화 복합재료를 면재로 하며, 심재는 알루미늄 허니컴이 적용되는 샌드위치 구조를 갖는다. 그림 5는 태양전지가 부착된 정면을 나타낸다. 각 패널에 장착된 태양전지는 표 1의 사양으로 제작되었다. 그림 6은 태양전지의 뒷면을 나타내며, 다이오드 패널과 태양전지의 배선으로 구성되어 있다.

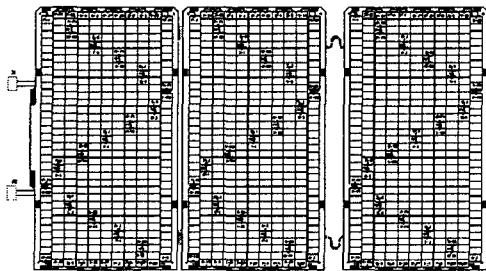


그림 5. 태양전지 어레이의 -Y Wing Frontside

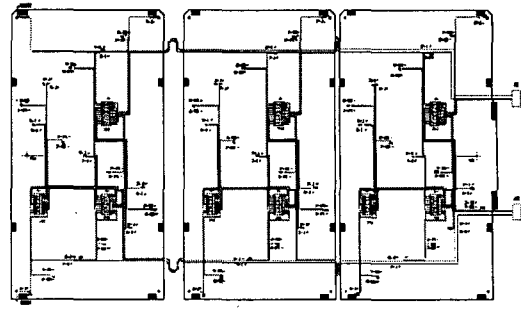


그림 6. 태양전지 어레이의 -Y Wing Backside

3. 결론

다목적실용위성 2호기의 태양전지 어레이는 높은 효율의 전력변환을 갖는 EMCORE 사의 갈륨-아세나이드를 사용하여 개발하였다. 위성 태양전지 어레이의 설계는 각 태양전지 제작사가 가지고 있는 위성 프로그램의 개발경험에 따라 개발방법의 차이가 있다. 다목적실용위성 2호기의 태양전지 어레이 설계는 EMCORE 사에서 측정한 태양전지의 설계요소와 다목적실용위성 1호기의 운용자료를 바탕으로 태양전지 어레이를 개발하였다.

3년의 임무말기에서, 태양전지 어레이는 최소 1,073 watts의 전력을 발생할 수 있도록 설계되었다. 다목적실용위성 2호기의 임무수행을 위하여 필요한 최소 전력은 860 watts이며, 설계된 태양전지 어레이의 1,073 watts의 전력을 고려하면 대략 25%의 충분한 전력마진을 가지고 있다. 따라서 다목적실용위성 2호기의 성공적인 임무수행을 위하여 태양전지 어레이는 위성본체와 탑재체에 충분한 전력을 공급할 수 있다.