論文 J. of The Korean Society for Aeronautical and Space Sciences 45(8), 678-685(2017)
DOI:https://doi.org/10.5139/JKSAS.2017.45.8.678
ISSN 1225-1348(print), 2287-6871(online)

자료처리/저장장치 방열판의 View Factor 분석

황인영*, 신소민**

Analysis on the View Factor of Data Storage and Handling Units's Radiators

Inyoung Hwang* and Somin Shin**
Agency for Defense Development*,**

ABSTRACT

The radiator of the data storage and handling units onboard the earth observation satellite is a groove-type radiator covered with a shield because of the periodic high heat dissipation and design characteristics of arrangement and mountability of the unit. The effect of the groove-type radiator and that of the shield versus plane radiator were verified through the thermal vacuum test. Through the test result, the temperatures of the radiator and the heat exchange due to the view factor were analyzed by using the analytical method. Conclusively the thermal performance of the shield dissipation plate was verified.

초 록

지구관측위성에 탑재되는 자료처리/저장장치 방열판은 장비의 주기적인 고발열, 배치, 장착성 등 설계 특성으로 인해 쉴드가 장착된 홈 형태를 갖는다. 홈 형태 방열판의 영향성과 쉴드 방열판의 열성능을 확인하기 위해, 평판 방열판을 기준으로 홈 형태의 방열판과 쉴드 방열판을 비교하여 열진공 시험을 실시하였다. 시험결과를 바탕으로 view factor에 의한 열교환과 방열판의 온도를 이론해석적으로 분석하여 열 설계 성능비교의 타당성을 입증하였다.

Key Words : Thermal Design(열 설계), Thermal Test(열환경시험), Radiation(방열), View Factor(각 관계)

Ⅰ. 서 론

지구관측위성에 탑재되는 자료처리/저장장치(Data Storage Handling Unit)는 영상데이터를 수신하여 저장, 암호화, 전송프레임화 등의 기능을 수행하고 데이터 링크 송신장치로 전송하는 장치이다. 이 장치는 주기적으로 임무를 수행하고, 자료처리가 고속으로 이루어지므로 높은 발열이 발생한다. 그러나 자료처리/저장장치는 배치 뿐 아니라 위성체 레벨의 무게중심을 고려하여 열적으로 열악한 환경인 태양전지판 측면 패널에 배치되어야 한다[1]. 또한 자료처리/저장장치의 방열판은 데이터 링크 안테나와 간섭으로 인하여 면적이 제한되고, 장치의 장착성을 고려

† Received : March 3, 2017 Revised : June 22, 2017 Accepted : July 6, 2017
* Corresponding author, E-mail : ynyong@add.re.kr

하여 평면이 아닌 홈 형태로 설계되어야 한다. 그 결과 장치의 온도가 요구조건을 만족시키지 못하는 문제가 발생하였다.

문제를 해결하기 위해 본 연구에서는 쉴드(shield) 방열판을 설계하였다. 쉴드는 고온의 태양전지판을 향하는 방열판의 시야를 감소시켜 열적 간섭을 차단하고, 추가 방열 면적을 확보하여 저온의 심우주로 향하는 시야를 증대시키는 목적을 갖는다. 설계된 열제어 성능을 검증하기 위해 개발 모델(Development Model)이 설계/제작되었다. 두 차례의 열진공 시험을 수행하였다. test 1에서는 평판과 홈 형태의 방열판을 비교하고, test 2에서는 평판과 쉴드 방열판을 비교하였다.

시험결과를 분석하기 위해 표면 사이의 복사열 교환을 고려하였다. 복사 열교환은 물성치와 온도뿐만 아니라, 표면의 기하학적 형상과 방향들에 크게 의존한다[1]. 물성치는 재질에 따라 정해지고, 표면의 기하학적 형상과 물체의 배치는 view factor를 통해서 고려할 수 있다. 자료처리/저장장치의 열제어부는 태양전지판과 심우주에 대한 방열판의 시야를 조절하는 방향으로 설계가 이루어졌다. 따라서 본 논문에서는 view factor를 중심으로 분석을 진행하였다.

view factor는 한 면에서 방사되어 다른 면으로 입사되는 에너지의 비율로, 복사 열 전달에 결정적인 역할을 한다[2]. 일반적으로 이중적분으로 정의된 view factor는 수치해석적 방법을 통해 계산할 수 있다. 복잡한 형상의 경우 view factor의 계산 정확도를 높이기 위해 다양한 연구가 수행되었다[3],[4],[5]. 그러나 시험을 구성하는 방열판과 챔버, 태양전지판 및 쉴드는 각각 한 축을 공유하는 수직인 두 사각형의 관계[6], 한 축을 공유하지 않고 기울어진 두 사각형[7]과 같은 단순한 형상과 배치로 이루어져 있기 때문에 해석적 방법을 통해 형상 간 view factor를 구할 수 있다. 여기에 한 형상이 다른 형상을 바라보는 view factor에 가림(shadow)이 존재하는 경우, 실제 시야가 확보되는 면적에 대한 view factor를 유효 view factor로 정의하였다. 결과적으로 방열판의 view factor와 온도의 관계를 해석적으로 제시하여 방열판의 성능을 검증하고자 하였다.

본 논문의 2.1장에서 자료처리/저장장치의 방열판 열설계 개념을 설명하고, 2.2장에서는 열진공 시험을 통한 방열판 성능을 비교한다. 2.3장에서 실험결과를 바탕으로 view factor와 온도의 관계를 분석하여 실험적, 해석적으로 방열판 성능비교가 타당함을 입증한다.

II. 본 론

2.1 자료처리/저장장치 열설계 개념

2.1.1 온도 요구조건

지구관측위성은 dusk-dawn 태양 동기 궤도에서 임무를 수행하기 때문에 한 궤도에서 낮과 밤이 존재한다. 대기 모드에서 68.4W로 발열하게 되지만, 저장과 동시에 자료처리를 실시할 경우 136.2W로 발열한다. 장치는 최대 20분 동안 운용하도록 설계되어 있기 때문에, 열설계는 변하는 발열량에도 방열판과 히터를 이용하여 장치의 허용온도를 유지시켜야한다. 궤도환경 예측 및 해석의 불확실성(uncertainty)에 따른 11℃ 마진에 포함된 온도 요구조건은 Table 1과 같다.

2.1.2 쉴드 방열판 설계

일반적으로 방열판은 전자장치의 방열을 위해 적외선 영역에서 높은 방사율을 갖는 OSR(Optical Solar Reflector)을 이용하여 표면을 처리한다. 태양전지판의 온도는 동지에서 약 98℃까지 상승하고, 태양전지판과 자료처리/저장장치 방열판은 약 50° 기울어져 있다. 이와 같은 입사각에 의해 태양전지판의 열이 방열판 방향으로 영향을 미치게 된다. Fig. 1과 같이 태양전지판으로부터 입사하는 열을 차단하기 위한 쉴드(shield)를 설계하였다.

쉴드의 후면은 태양전지판의 복사열 입사를 차단하도록 MLI(Multi-Layer Insulation)를 적용하였고, 전면에는 방열판과 동일한 OSR을 적용하여 방열면적 확장을 유도하였다. Table 2는 쉴드 방열판에 적용된 MLI와 OSR의 광학 물성치를 나타낸다. 궤도 열해석 결과를 Fig. 2에 나타

Table 1. Temperature requirement of DSHU

Unit	Min [℃]	Max [℃]
DSHU	-20.0	50.0

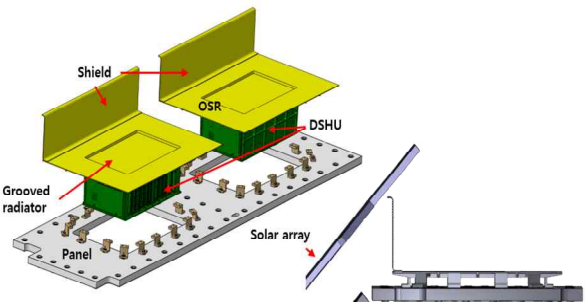


Fig. 1. DSHU radiators with shield

Table 2. Optical properties of radiator

	α_{sun}	ε_{IR}	position
OSR	0.06/0.15	0.84	radiator, shield
MLI	0.30	0.05	shield

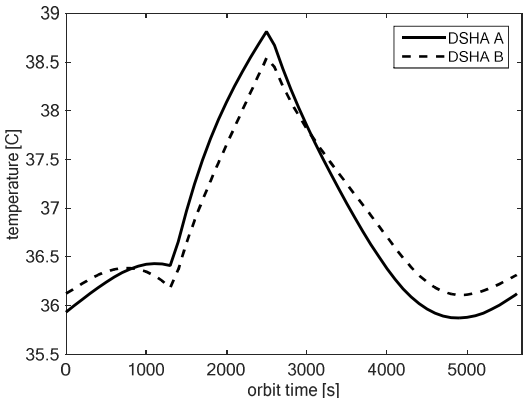


Fig. 2. Thermal analysis result

내었다. 장치의 최대 온도가 39℃를 넘지 않으므로 쉴드를 장착한 열 설계가 자료처리/저장장치의 온도 요구조건을 만족시킴을 확인할 수 있다. 열해석은 SINDA/FLUINT[8]를 통해 이루어졌다.

2.2 열진공 시험

2.2.1 시험 준비 및 절차

자료처리/저장장치 방열판의 열성능을 비교하기 위해 열진공 시험을 수행하였다. 성능 검증을 위해 설계/제작 된 개발 모델은 태양전지판 모사장치와 두 종류의 방열판, 쉴드로 구성되며, Fig. 3과 4와 같이 배치된다.

Figure 3은 test 1의 시험 배치로, 평판과 홈형태의 방열판을 비교하는 시험이다. Fig. 4는 test 2의 시험 배치로, 쉴드의 영향을 확인하는 시험이다. 평판 방열판에 쉴드를 장착하여 test 1의 평판 방열판과 비교할 수 있도록 구성하였다. 개발 모델은 실제 모델의 1/3 비율로 제작되었다. 모델의 크기는 Table 3과 같다.

각 모델은 Al-6061 재질로 만들어졌다. 장치 발열을 모사하기 위해 방열판 후면에 히터가 부착된다. 각 모델의 방열면에는 OSR을 모사하기 위해 Kapton tape을 부착하였고, 쉴드의 후면에는 MLI를 적용하였다.

Table 3. Development model size

	radiation area	height
plane radiator	250x167 mm²	8 mm
grooved radiator	134x84 mm²	4 mm
shield	250x50 mm²	8 mm
solar array	700x180 mm²	8 mm

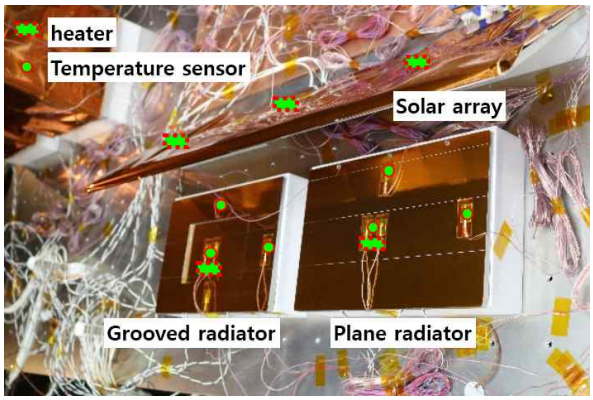


Fig. 3. Thermal vacuum test 1 setting

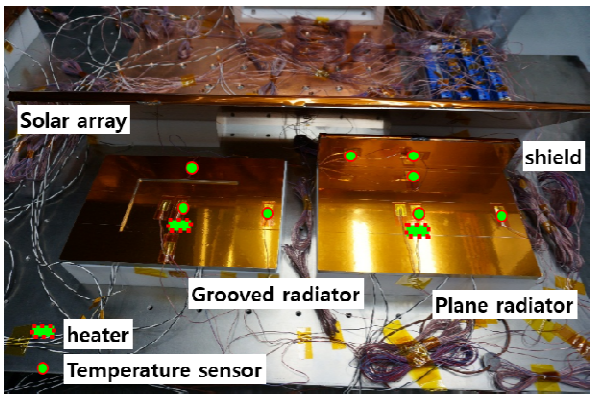
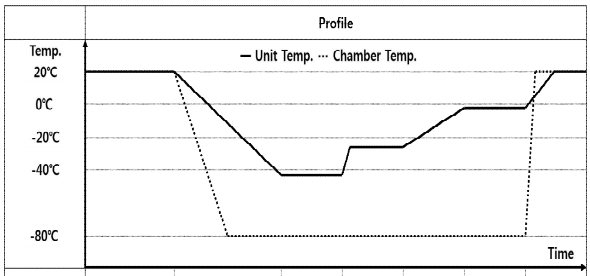


Fig. 4. Thermal vacuum test 2 setting



Phase	A	B	C	D	E	F	G
Test item	Test start / pressure down	Transient / shroud temperature down	Balance 1	Balance 2	Transient	Balance 3	Test End
DSHA Heater	Off	Off	3.3638W/ 3.2330W	5.7998W/ 5.5795W	5.6494W/ 5.4284W	5.6494W/ 5.4284W	Off
SA simulated Heater	Off	Off	Off	Off	46.08℃	46.08℃	Off

Fig. 5. Thermal vacuum test profile

두 차례 시험은 동일한 프로파일로 수행된다. 진공도는 7.6 x 10^{-5} torr 이하를 유지하며, 챔버 슈라우드는 -80℃ 를 유지한다. Fig. 5는 시험에 적용된 프로파일로서, 각 방열판과 태양전지판 후면에 부착된 히터를 사용하여 프로파일에 따라

온도를 제어한다. DSHA 히터 전력은 test 1에서 두 방열판이 목표 온도를 달성하도록 각각 인가한 전력 값이다.

2.2.2 시험 결과

Figure 6은 시험 전체 온도결과 그래프이다. Table 4는 test 1의 열평형 구간에서 온도가 안정되었을 때, 방열판에 인가된 히터전력과 방열판의 온도이다. 두 시간동안 온도 변화가 1℃ 보다 작을 때 온도 안정화를 선언하였고, 온도와 인가전력은 안정화 구간의 마지막 온도와 인가 전력으로 나타내었다.

각 phase에서 평판 방열판의 온도가 홈 형태의 방열판의 온도보다 약 2.8~3.5℃ 낮았고, 평판 방열판에 인가된 히터가 홈 형태의 방열판에 인가된 전력보다 2.6~3% 가량 높았다. 따라서 홈 형태의 방열판은 평판 방열판에 비해 방열 효과가 적음을 확인할 수 있다.

Phase D와 F에서 방열판에 인가된 히터 전력은 유사하나, phase F는 태양전지판에 부착된 히터에 추가로 전력이 인가되었다. 태양전지판의 안정화 온도는 43.62℃이고, phase D에 비해 각 방열판의 온도가 약 21.9~22.9℃ 증가하였다. Phase D와 F를 비교하여 태양전지판과 방열판의 사이의 열 교환이 존재함을 확인하였다.

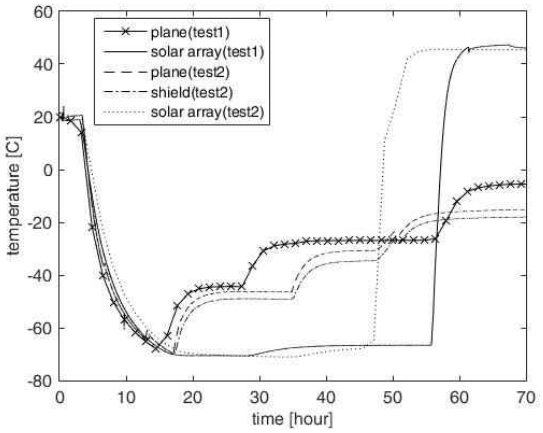


Fig. 6. comparison of temp. history

Table 4. Test 1 cold & hot case

Phase	Plane		Groove	
	Power [W]	Temp. [℃]	Power [W]	Temp. [℃]
C	3.3638	-44.37	3.2330	-41.61
D	5.7998	-26.84	5.5795	-23.38
F	5.6494	-4.99	5.4284	-0.53

Table 5. Setting 2 cold & hot case

Phase	Plane with shield		Groove	
	Power [W]	Temp. [℃]	Power [W]	Temp. [℃]
C	3.6340	-46.42	3.2312	-41.61
D	5.7170	-30.73	5.6911	-22.56
F	5.5641	-15.14	5.2478	-1.67

Table 5는 test 2에서 온도가 안정되었을 때 획득한 결과다. phase C, D에서는 쉴드 방열판의 온도가 쉴드가 없는 홈 형태의 방열판의 온도에 비해 약 4.8~8.2℃ 낮았다. 또 Phase F에서는 두 방열판의 온도가 약 13.5℃의 큰 차이를 보였다. 쉴드 방열판과 Test 1의 평판 방열판 온도를 비교할 경우, phase C, D에서는 약 2.1~3.9℃ 낮아졌으며 phase F에서는 약 10.2℃ 낮아졌다. 즉, 쉴드에 의한 차폐 및 추가 방열이 태양전지판의 온도가 증가할수록 효과적임을 확인하였다.

시험 결과와 시험 형상 모델을 바탕으로 수행한 해석 결과의 차이는 평균 9.00℃, 표준편차 3.80℃로 계산된다. 동일한 챔버 안에서 자료처리/저장장치 외 다른 장비의 열진공 시험을 함께 수행하였고, 치구에서 열 손실이 크게 발생한 것이 차이의 원인으로 판단된다. 추후 보정된 열모델을 통해 최종적인 자료처리/저장장치 방열판의 열설계 검증이 이루어질 예정이다.

2.3 방열판의 view factor 비교

2.3.1 평판과 홈 형태의 방열판

열진공 시험 결과를 통해 자료처리/저장장치의 쉴드 방열판 설계가 효과적임을 확인하였다. 추가적으로 시험 결과를 view factor와 관련하여 분석해 보았다. Test 1에서 재질과 방열면적이 동일함에도 불구하고 홈 형태의 방열판의 온도가 높은 이유를 챔버 슈라우드와의 view factor를 통해 분석하였다.

view factor는 한 면에서 방열되어 다른 면으로 직접 입사되는 에너지의 비율을 나타낸다. 열진공챔버(j)와 챔버 내 위치한 물체(i)는 'small object in a large cavity'의 관계[1]에 있고, 챔버와 물체 사이의 복사 열전달 관계는 식 (1)과 같이 표현된다. σ는 볼츠만-슈테판 상수이며, 그 값은 5.6704e-8 $J/s/m^2/K^4$ 이다.

$$Q = \frac{\sigma(T_i^4 - T_j^4)}{\frac{1-\epsilon_i}{A_i\epsilon_i} + \frac{1}{A_i F_{ij}} - \frac{1-\epsilon_j}{A_j\epsilon_j}} \quad (1)$$

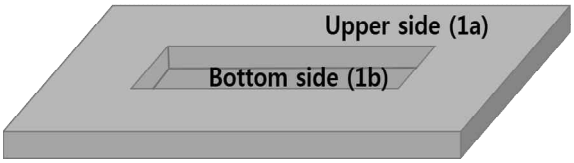


Fig. 7. upper face of grooved radiator

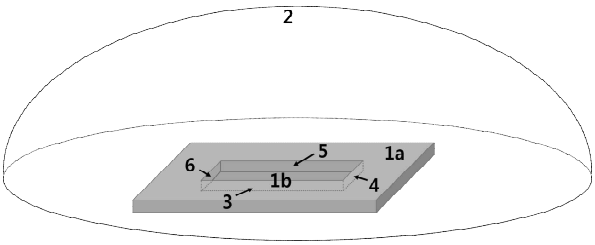


Fig. 8. grooved radiator and chamber

시험의 phase C, D에서는 태양전지판이 존재하나, 챔버와 유사한 온도를 갖기 때문에 역시 편의를 위해 무시하였다.

Figure 7은 홈 형태의 방열판 전면부이다. 상단 평면(1a)과 홈 바닥면(1b)이 챔버(2)에 대한 view factor를 계산한다. 홈의 네 측면(3, 4, 5, 6)은 방사율이 낮은 alodyne으로 표면이 처리되었으며, 작은 면적이기 때문에 복사 계산에서 고려하지 않는다.

평판의 상단 평면은 면적 전체가 챔버를 향하기 때문에, 챔버에 대한 view factor F_{1a2}는 1이다. 홈 바닥면은 Fig. 8.과 같이 수직면으로 둘러싸여 있다. 한 면에서 바라볼 수 있는 모든 면에 대한 view factor의 합은 1이므로, 홈 바닥면이 챔버와 네 개의 측면과 갖는 view factor의 식(2)와 같이 합은 1이어야 한다.

$$\sum_{i=1}^{n} F_{1bi} = 1 \tag{2}$$

따라서 홈 바닥면이 갖는 전체 view factor에서 측면에 대한 홈 바닥면의 view factor를 제외하면 홈 바닥면이 챔버를 향하는 view factor를 구할 수 있다. 하나의 측면에 대한 홈 바닥면의 view factor는 참고문헌 [6]의 'two perpendicular rectangles with a common edge' 계산식을 참고하였다.

$$F_{1b2} = 1 - (F_{1b3} + F_{1b4} + F_{1b5} + F_{1b6}) \tag{3}$$

F_{1b3}와 F_{1b4}는 각각 0.0225와 0.0139이며, 식 (3)에 따라 view factor F_{1b2}는 0.9272로 계산이 된다. 동일한 면적을 바라보는 두 면적의 view factor는 중첩 법칙에 따라 계산되며, 식(4)와 같다. 상단 평면과 홈 바닥면이 챔버를 바라보는 통합 view factor를 구할 수 있다.

$$F_{1a+1b,2} = (A_{1a}F_{1a2} + A_{1b}F_{1b2})/(A_{1a} + A_{1b}) \tag{4}$$

홈 형태의 방열판의 방사면이 챔버를 향하는 통합 view factor는 F_{12}는 0.9804이다. 홈 형태의 방열판은 평판보다 저온의 챔버를 바라보는 view factor가 0.0196 작다. 감소한 view factor로 인하여 동일한 열량이 가해질 때, 평판 방열판에 비해 온도가 증가한다. Fig. 9는 평판 방열판의 온도를 기준으로 평판과 홈 형태의 방열판의 온도 차이를 나타낸다. 식(1)로부터 평판 방열판의 온도에 따른 홈 평태 방열판의 온도(T_1)를 구할 수 있다. 평판의 온도가 높아질수록 홈 형태 방열판과 온도차이가 증가하지만, 그 차이가 0.5~1.2℃ 이내임을 확인할 수 있다.

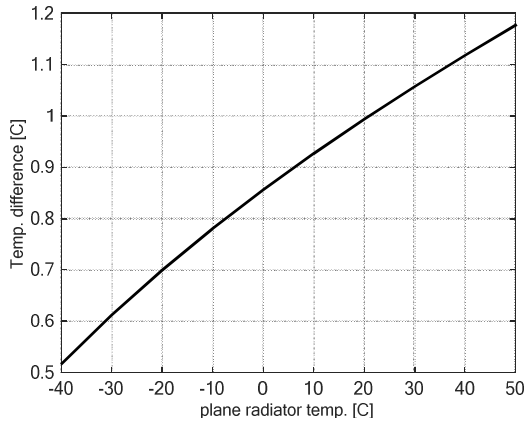


Fig. 9. temperature difference of plane and grooved radiator

2.3.2 평판과 쉴드가 장착된 방열판

Test 1의 평판 방열판은 phase D에서 phase F로 진행과정에서 약 21.9℃ 온도 상승이 있었다. 반면 test 2의 쉴드 방열판은 약 15.6℃ 온도상승을 보였다. 쉴드가 상승된 태양전지판의 영향을 줄이는 역할을 하였다고 판단하고, 이를 view factor 계산을 통해 확인하였다. Fig. 10의 왼쪽 그림은 test 1의 형상으로, 평판 방열판(1)과 챔버(2), 태양전지판(3)의 형상을 보여준다. Fig. 10의 오른쪽 그림은 test 2의 형상으로 평판 방열판(1), 챔버(2), 태양전지판(3), 그리고 평판 방열판에 장착된 쉴드(4)를 나타내고 있다. 태양전지판이 평판 방열판을 향해 기울어진 각도 α가 함께 표현되어 있다.

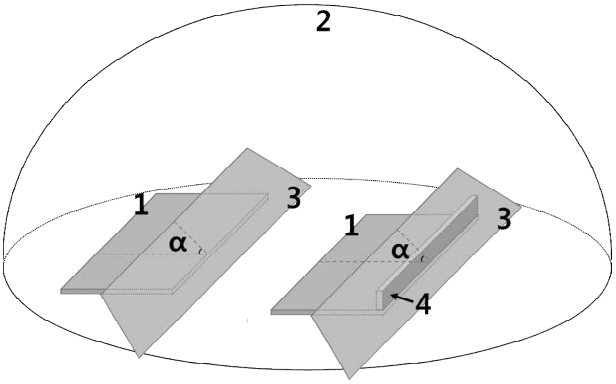


Fig. 10. radiator with shield and chamber (left: Test 1, right: Test 2)

두 개의 유한한 면적의 직사각형이 α의 각만큼 기울어진 관계에 있을 때, 참고문헌 [7]을 통해 view factor를 구할 수 있다. 태양전지판과 평판은 가장자리를 공유하지 않기 때문에 기울어진 두 평판의 관계 중 일반적인 경우에 해당한다. F_{13}^{*}를 방열판이 태양전지판을 향하는 시야에 가림이 없는 경우 view factor로 정의할 때, F_{13}^{*}은 0.2046와 같다.

쉴드가 장착되었을 때, 쉴드는 평판이 태양전지판을 바라보는 방향을 정면으로 가린다. 쉴드의 그림자에 가려진 면을 제외하고 태양전지판에 대한 방열판의 유효 view factor는 쉴드가 없을 때 태양전지판에 대한 view factor에서 쉴드에 대한 방열판의 view factor를 빼서 구할 수 있다 [9]. 방열판이 태양전지판을 바라보는 유효 view factor는 식 (5)와 같이 표현된다.

$$F_{13} = F_{13}^{*} - F_{14} \tag{5}$$

평판에 수직으로 장착되어 가장자리가 공유된 쉴드에 대한 평판의 view factor F_{14}는 참고문헌 [6]에 의해 0.1119로 계산되고, 유효 view factor는 0.0927로 계산된다. 방열판에 인가된 히터 전력과 외부 복사 및 마주하는 형상들과의 관계로 결정되는 방열판의 온도는 식 (6)과 같이 구할 수 있다.

$$Q = \sum_{j=1}^{4} \frac{\sigma(T_1^4 - T_j^4)}{\frac{1-\epsilon_1}{A_1\epsilon_1} + \frac{1}{A_1F_{1j}} - \frac{1-\epsilon_j}{A_j\epsilon_j}} \tag{6}$$

Test 1에서 방열판의 온도는 챔버, 태양전지판에 의해 결정되고 Test 2에서는 챔버와 태양전지판, 쉴드에 의해 결정된다. Test 1, 2에서 챔버의 온도는 -80℃로 유지되었고, 태양전지판의 온도는 평균 43.62℃로 일정하게 유지되었다. 쉴드는 방열판과의 체결 시 체결 토크를 충분히 주어 접촉 저항이 작고, 열전도도가 좋은 A6061로 설계되었기 때문에 방열판과 온도가 유사하게 나타난다. 평판 방열판과 쉴드 사이의 전도는 온도에 비례하여 발생한다. 두 물체의 온도가 유사하기 때문에 전도열은 거의 무시할 수 있다. 쉴드의 챔버 방면 표면은 방사율이 높은 Kapton으로 처리되어 있기 때문에 추가 방열을 유도한다. 따라서 쉴드가 장착될 때 방열판의 온도는 식 (7)과 같이 유도될 수 있다.

$$Q = \sum_{j=1}^{4} \frac{A_1\sigma(T_1^4 - T_j^4)}{\frac{1-\epsilon_1}{A_1\epsilon_1} + \frac{1}{A_1F_{1j}} - \frac{1-\epsilon_j}{A_1\epsilon_j}} + \sum_{k=1}^{4} \frac{A_4\sigma(T_4^4 - T_k^4)}{\frac{1-\epsilon_4}{A_4\epsilon_4} + \frac{1}{A_4F_{4k}} - \frac{1-\epsilon_k}{A_4\epsilon_k}} \tag{7}$$

F_{42}는 쉴드의 방사면이 챔버에 대하여 갖는 view factor이다. 챔버를 향하는 쉴드의 방사면에 가리는 면이 없을 때, 챔버에 대한 view factor F_{42}^{*}는 1이다. 따라서 직각으로 설치된 방열판에 의해 챔버를 향하는 시야를 제외한 유효 view factor F_{42}는 0.6262이다.

Figure 11은 식 (6)과 식 (7)로부터 도출된 태양전지판의 온도에 따른 평판 방열판의 온도를 나타낸다. 쉴드를 장착하지 않은 평판 방열판의 온도(T_1)는 식(6)로부터 구할 수 있고 점선으로 나타냈다. 쉴드를 장착한 방열판의 온도(T_1)는 식(7)로부터 구할 수 있고 실선으로 표시하였다. 쉴드를 장착한 방열판의 온도가 조사된 온도 범위에 걸쳐서 감소함을 확인할 수 있다. 쉴드가 없을 때 보다 고온의 조건에서 약 13 - 14℃정도의 이익을 얻을 수 있다. 기존 설계의 방열판의 온도가 50℃일 때, 쉴드를 장착한 방열판의 온도가 34.04℃로 15.96℃의 마진을 확보할 수 있으므로 장치 열 설계의 요구사항을 만족한다.

Figure 11에서는 쉴드의 방열면적의 물성치에 따른 온도변화를 점선(--)으로 함께 나타내었다. 쉴드가 챔버를 향하는 방열면적을 VDA(Vapor-Deposited Aluminum, ε = 0.04)와 같이 방사율이 낮은 물질로 표면을 처리하는 경우, 쉴드 방열판의 온도(T_1)를 식(7)로부터 도출하였다. 저방사율 쉴드 방열판은 고방사율 쉴드 방열판보다 온도가 높은 것을 확인할 수 있다. 저방사율 쉴드는 열을 거의 방사하지 않기 때문에, 단순하게

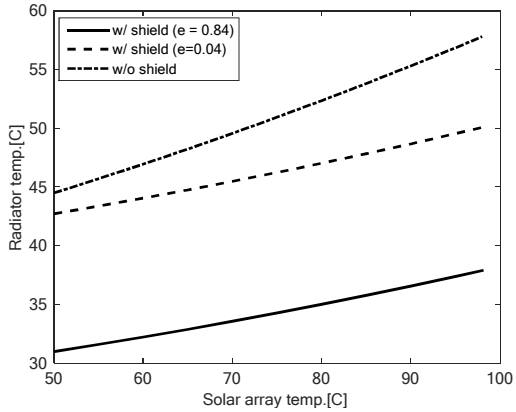


Fig. 11. radiator temperature with shield

태양전지판 복사 에너지만 차단한다고 볼 수 있다. 따라서 저방사율 쉴드 방열판과 평판 방열판의 온도 차이는 쉴드의 존재가 가져온 태양전지판 복사 에너지 차단 효과로 해석할 수 있다. 또한 Fig. 11에서 태양전지판의 온도가 높아질수록 차단 효과가 증가함을 확인할 수 있다. 저방사율 쉴드 방열판과 고방사율 쉴드 방열판의 차이는 저온의 챔버를 바라보는 쉴드의 view factor의 생성에 의한 결과로 해석할 수 있다. 이를 통해 쉴드가 태양전지판의 복사에너지를 차단하는 역할뿐 아니라 확장된 방열판의 역할을 수행함을 확인할 수 있다.

시험 결과와 이론분석 결과의 차이는 평균 3.59℃, 표준편차 1.56℃로 계산된다. 동일한 챔버 안에서 자료처리/저장장치 외 다른 장비의 열진공 시험을 함께 수행하였고, 이론분석 수행 시 전제한 가정들이 차이의 원인으로 판단된다. 그러나 실험에서 확인된 결과와 더불어 방열판과 태양전지판, 쉴드의 view factor 분석을 통하여 쉴드가 고온의 복사에너지 차단 및 방열면적 확장의 기능을 수행함을 확인하였다.

Ⅲ. 결 론

지구관측위성에 탑재되는 자료처리/저장장치의 고발열 및 배치, 장착성 등 설계 특성에 따라 일반적인 평판 방열판이 아닌 쉴드가 장착된 홈 형태의 방열판 설계가 이루어졌다. 본 논문에서는 홈 형태의 방열판 효율과 쉴드의 영향성을 열진공 시험과 view factor 분석을 통해 검증하였다.

열성능 비교를 위한 열진공 시험은 두 가지 시험 형상으로 실시하였다. test 1에서는 홈 형태의 방열판과 평판 방열판을 비교하였다. test 2에서는 평판 방열판에 쉴드를 장착하여 시험을 수행하였다. test 2와 test 1의 평판 방열판의 온도를 비교하여 쉴드의 영향성을 확인하였다.

시험 결과를 통해 확인된 자료처리/저장장치 방열판을 성능을 view factor를 적용하여 이론분석을 수행하였다. 홈 형태의 방열판은 평판 방열판과 동일한 방열면적을 갖으나, 저온의 챔버 슈라우드를 향하는 view factor가 0.0196 작다. 홈 형태의 방열판은 1~2℃ 정도 높은 온도로 나타나 방열성능의 약간 저하를 보이지만 열제어 시 문제가 되지 않는 수준으로 나타났다.

또한 쉴드 방열판의 경우 태양전지판을 향하는 view factor가 0.1119 감소하고, 챔버 슈라우드를 향하는 쉴드의 view factor는 0.6262가 추가되었다. 그 결과 전체적으로 평판 방열판보다 13-14℃ 온도가 낮게 유지되었다. 쉴드의 존재로 태양전지판을 바라보는 비율이 감소되고, 방열면적의 추가 확보에 따라 방열면적이 차가운 우주를 바라보는 비율이 증가하였다. 최종적으로 자료처리/저장장치의 열적 요구규격이 만족됨을 확인할 수 있었다.

실제 면적의 1/3 크기로 개발모델이 제작/시험이 되었으나, view factor 분석은 실제 면적으로 계산하더라도 동일한 결과가 도출됨으로 타당한 분석방법이라고 판단되었다.

그러나 쉴드 및 홈의 열성능 비교가 아닌 열설계 자체의 검증을 위해서는 실제 형상과 발열량, 주변환경 온도 조건 등의 STM 열진공 시험 및 열모델 보정 작업이 필요하다. 추후 보정된 열모델을 통해 최종적인 자료처리/저장장치 방열판의 열설계 검증이 이루어질 예정이다.

References

1) In Young Hwang, So Min Shin, “Radiator Design with Solar Array Shield“, The Korea Institute of Military Science and Technology conference, 905-906, 2015

2) Arvind N., “An analytic expression for radiation view factor between two arbitrarily oriented planar polygons”, International Journal of Heat and Mass Transfer, Vol.91, 2015, 841-847

3) Park S., Fuller S. E., “Advanced View Factor Analysis method for radiation exchange”, Int J Biometeolrol, Vol. 58, 2014, 161-178

4) Kim D.G., et al. “Study on View Factor

Calculation for Radiative Heat Transfer by Using The Mesh Subdivision Method", J. comput. Fluids Eng., Vol. 19, No. 1, 2014, 1-6

5) Vujicic M. R. et al., "View Factor Calculation Using the Monte Carlo Method and Numerical Sensitivity", Communications in Numerical Method in Engineering, Vol. 22, 2006, 197-203

6) Incropera, F. P. et al., Principles of Heat and Mass Transfer 7th, wiley, india, 2013

7) Krishnaprakas, C. K., "Viewfactor Between Inclined Rectangles", J. Thermophysics, Vol. 11, No. 3, 1997, 480~481

8) C&R Technologies, "User's Manual SINDA/FLUINT Version 5..8", 2015

9) Walton, G. N., "Calculation of Obstructed View Factors by Adaptive Integration", NISTIR, 2002