

論文

J. of The Korean Society for Aeronautical and Space Sciences 43(2), 149-155(2015)

DOI:http://dx.doi.org/10.5139/JKSAS.2015.43.2.149

ISSN 1225-1348(print), 2287-6871(online)

정전 구동형 MEMS 기반 가변 방사율 라디에이터의 광학 물성치 최적화 설계

하현우*, 강수진*, 한성현*, 김태규*, 오현웅**

Optimization of Thermo-optical Property for Electrostatic Actuating MEMS-based Variable Emissivity Radiator

Heon-Woo Ha*, Soo-Jin Kang*, Sung-Hyeon Han*, Tae-Gyu Kim* and Hyun-Ung Oh**

Department of Aerospace Engineering, Chosun University* , **

ABSTRACT

MEMS-based louver and shutter type conventional variable emissivity radiators change their emissivity properties in accordance with a temperature condition to achieve efficient thermal control performance. However, there are some drawbacks such as a structural safety of the mechanical moving parts under sever launch environment and constant power consumption to maintain the intended emissivity. In this study, to overcome above drawbacks, we proposed a MEMS-based variable emissivity radiator, which can change the emissivity property according to the polarity change of electrodes by using electric charge of the bead. The effectiveness of the optimized radiator design has been demonstrated through the comparison of efficiency with the fixed emissivity radiator.

초 록

기존의 MEMS 기반 루버 및 셔터 개폐형 가변 방사율 라디에이터는 온도 조건에 따라 방사율이 가변되어 효율적인 열 제어가 가능하나 발사 환경에서의 기계적 구동부의 취약점과 변경된 방사율 유지를 위해 지속적인 전력 소모가 요구되는 단점을 갖는다. 본 연구에서 제안한 MEMS 기반 가변 방사율 라디에이터는 대전되는 비드를 사용하여 전극의 극성 변화에 따라 방사율 가변이 가능하기 때문에 상기의 문제점을 극복할 수 있다. 본 연구에서는 MEMS 기반 가변 방사율 라디에이터의 광학 물성치 최적화 설계를 수행하였으며, 고정 방사율 라디에이터와의 비교를 통해 MEMS 기반 가변 방사율 라디에이터의 유효성을 입증하였다.

Key Words : Micro Electro Mechanical System(미세 전자 기계 시스템), Variable Emissivity(가변 방사율), Thermal Analysis(열 해석), Optical Property(광학 물성치)

† Received : November 4, 2014 Revised : January 21, 2015 Accepted : January 23, 2015

** Corresponding author, E-mail : ohu129@chosun.ac.kr

I. 서론

위성을 구성하는 여러 가지 서브시스템 중 열 제어 서브시스템은 위성이 운용되는 동안 성공적으로 임무를 수행할 수 있도록 저온 영역에서는 히터에 의해 열을 인가하고 고온 영역에서는 라디에이터에 의해 열을 방출하여 위성의 작동 허용온도 범위를 유지하는 역할을 한다[1]. 열 제어를 위한 방법으로는 MLI(Multi Layer Insulation), OSR(Optical Solar Reflector), SSM(Second Surface Mirror), 표면코팅 등 소재 자체 특성을 이용하는 수동적 열 제어 방식과 히터, 루버 방식 라디에이터 등 열 제어 장치를 통해 열 제어를 실시하는 능동적 방식이 있다. 그 중 OSR, SSM과 같은 라디에이터는 열 광학 물성 특성을 이용해 발열원의 열을 방출하는 역할을 수행하지만 고정된 방사율로 인해 탑재 장비의 비운용 시에 지속적인 방열에 의한 열 손실로 히터와의 조합에 의한 열 제어가 요구된다.

가변 방사율 라디에이터는 온도 조건에 따라 방사율이 변하는 라디에이터로서 이를 적용할 경우 기존의 고정 방사율 라디에이터들과 달리 저온 조건에서 추가적인 히터 열 제어에 의한 전력 소모 최소화가 가능하며, 고온 조건에서는 고정 방사율 라디에이터와 같이 방열 기능을 수행하여 효율적인 열 제어가 가능하다. 가변 방사율 라디에이터는 LSMO($La_{1-x}Sr_xMnO_3$) 및 VMNO($V_{1-x}M_xN_yO^n$) 등 소재 자체 특성으로 방사율이 가변하는 수동형과 루버 및 셔터 방식 등 모터의 구동으로 개폐를 통해 방사율을 가변하는 능동형 방식으로 개발 중이다. K. Shimazaki 등[2,3]은 페로브스카이트형 결정 구조를 가지는 망간 산화물로 구성된 온도 변화에 따라 소재의 방사율이 가변하는 LSMO를 가변 방사율 라디에이터로 개발하였고, LSMO의 높은 흡수율을 해결하기 위해 다층박막구조를 가지는 연구도 수행되었다. 한선우 등[4]은 LSMO의 합성 온도를 낮추는 Sol-gel법을 기반으로 하는 공정법을 제안하였다.

능동형 방식으로는 D. Farrar 등[5]이 탑재 장비의 온도 조건에 따라 루버가 개폐하는 MEMS(Micro Electro Mechanical Systems) 기반 루버 라디에이터를 개발하여 기존의 대형 위성에 적용되던 루버 방식 라디에이터의 문제점인 부피와 무게를 크게 축소하였다. R. Osiander 등[6]은 루버 방식이 극심한 발사 환경에서의 기계적 구동부가 갖는 취약점을 셔터 방식으로 보완하여 설계를 개선하였다.

본 연구에서는 정전 효과로 대전되는 비드를

이용하여 단 한 번의 전극 극성 변화에 따라 방사율 조절이 가능한 방식의 MEMS 기반 가변 방사율 라디에이터 개념을 제안하였다. 이와 같은 구동방식을 이용할 경우, 기존의 MEMS 기반 루버 및 셔터 방식 라디에이터가 갖는 발사 환경에서의 구조적 취약점을 보완가능하며, 정전효과에 의해 변경된 방사율 유지를 통해 지속적인 전력 소모가 불필요하며 소모 전력 최소화 가능할 것으로 판단된다. 본 연구에서는 제안된 라디에이터의 덮개와 구동부에 해당하는 비드 그리고 가변 방사면 등의 광학 물성치 최적화 설계를 수행하였다. 그리고 최적화된 가변 방사율 라디에이터와 고정 방사율 라디에이터와의 열 제어 성능을 비교하기 위해 케도 열 해석 전용 소프트웨어인 SINDA/FLUINT를 이용한 케도 열 해석을 실시하여 MEMS 기반 가변 방사율 라디에이터의 유효성을 입증하였다.

II. MEMS 가변 방사율 라디에이터

2.1 구동 원리

Figure 1은 본 연구에서 제안한 비드 구동에 따라 방사율이 가변하는 MEMS 기반 가변 방사율 라디에이터의 구동 개념도로서 전기장의 방향에 따라 위치가 결정되어지는 구형 비드가 저 방사율 코팅부로 전기장 형성 시 실리콘 웨이퍼 기판위에 코팅된 저 방사율 코팅부로 이동하여 고 방사율을 구현하고, 이와 반대로 고 방사율 코팅부로 인가될 경우 비드가 고 방사율 코팅부로 이동하여 저 방사율 구현이 가능한 원리로 작동된다. 또한 대전된 비드가 전극에 고정되어 변경된

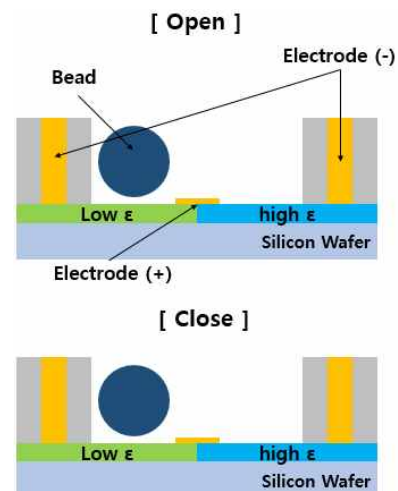


Fig. 1. Operation Principle of Variable Emissivity Radiator

방사율을 유지하기 위한 지속적인 전력 소모가 불필요하며, 비드의 전기적 제어를 통해 기존의 MEMS 기반 가변 방사율 라디에이터들이 갖는 발사 환경에서의 기계적 구동부의 취약점을 극복 가능하다.

2.2 구동성 검증 실험

본 연구에서 제안한 MEMS 기반 가변 방사율 라디에이터 설계 개념의 타당성 검증을 위해 Fig. 2(a)와 같은 비드 구동성 검증용 시험 칩을 제작하였다. 칩은 하나의 비드를 가지는 셀들이 배열되는 형태로 제작되었으며 실제 제작된 MEMS 기반 라디에이터와 같이 평판에 다수의 셀들이 배열된 형태 및 각 셀 내부의 비드가 동시에 움직이는 환경을 모사하였다. 양쪽 끝단에 전압을 인가하기 위한 전극을 부착하여 비드가 대전될 수 있는 환경을 구축하였다. 그리고 시험 칩 안에 1 mm 크기의 감마 알루미늄 비드를 각각 삽입한 뒤 비드의 수납 및 기밀성 유지를 위한 투명한 커버를 배치하여 전자기력에 의한 비드의 작동 검증 실험을 진행하였다[7]. 실험 결과, Fig. 2(b)와 같이 두 전극에 +극과 -극이 인가되고 +극 부근에서 +극으로 대전된 비드가 정전기력에 의해 동시에 일정한 방향으로 반대편

- 극으로 이동하여 고정되었으며, 반대편 전극에 전압 인가 시 비드는 일제히 반대편으로 이동함에 따라 방사율 가변을 위한 구동 개념으로의 적용이 가능함을 확인하였다.

III. 열 설계

3.1 열 해석 모델

본 연구에서는 상기의 비드 구동 실험을 통해 작동이 검증된 가변 방사율 라디에이터의 광학 물성치 최적화 설계를 수행하기 위해 상용 소프트웨어인 Thermal Desktop[8]을 사용하여 Fig. 3과 같은 수학적 열 해석 모델을 구축하였다. 고온 조건에서는 비드가 저 방사율 코팅부($\epsilon=0.2$)로 이동하여 고 방사율인 상태이며, 저온 조건에서는 비드가 고 방사율 코팅부($\epsilon=0.81$)로 이동하여 저 방사율 상태가 유지되도록 하는 라디에이터의 특성을 모델링에 반영하였다. 라디에이터의 열 제어 효과를 검증하기 위해 전장품은 허니컴 패널하부에 배치하였으며, 전장품의 열 제어를 목적으로 패널상부에는 가변 방사율 라디에이터를 배치하였다. 라디에이터와 허니컴 패널의 열전도도는 $1500W/m^2K$, 허니컴 패널과 전장품의 열전도도는 $1000W/m^2K$ 로 적용하였으며 라디에이터면을 제외한 패널과 전장품에는 열적 단열을 위해 MLI를 적용하였다.

가변 방사율 라디에이터의 크기는 셀단위의 라디에이터가 확장된 $30\text{ cm} \times 30\text{ cm}$ 로 가정하였으며, 전장품의 발열 조건으로는 15 W 를 적용하였다. 가변 방사율 라디에이터 소재로는 MEMS 공정에 일반적으로 사용되는 실리콘 웨이퍼를 적용하였으며, 허니컴 패널하부에 인접한 라디에이터 하부면에는 고·저 방사율 코팅을 각각 절반씩 적용하였다. 방사율 가변을 위한 구동부에 해당하는 비드의 경우 각각의 모델링을 수행하지 않고 비드 구동에 따른 방열면적 변화에 의한 열 제어 효과를 검토하기 위해 특정 광학 물성치를 갖는 평판으로 모델링을 수행하였다. 따라서 고·저 방사율 코팅부 위에는 비드 구동에 따른 방사율 가변을 모델링에 반영하기 위해 두께 1 mm의 비드를 모사한 평판을 배치하였다. 비드의 수납 및 기밀성 확보를 목적으로 비드의 상부에는 공정 가능성이 있는 0.25 mm 두께의 덮개를 배치하였고 덮개와 라디에이터간의 실리콘 구조체를 고려하여 실리콘 웨이퍼의 열전도율인 $0.1489W/m^2K$ 를 적용하였다.

열 해석에서는 덮개의 유·무에 따른 라디에이

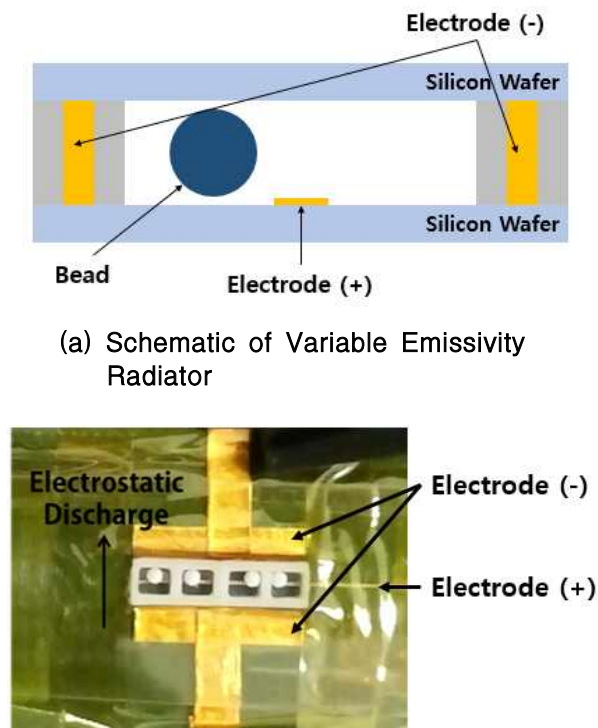
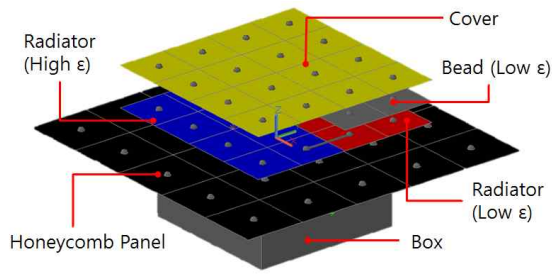
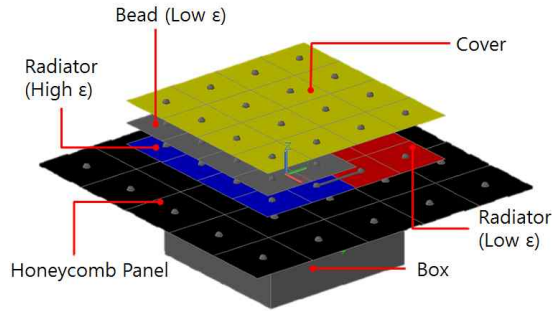


Fig. 2. Operation Test of Beads under Electrostatic Condition



(a) High Emissivity State



(b) Low Emissivity State

Fig. 3. TMM of Variable Emissivity Radiator

터의 열 제어 특성을 비롯해 상이한 광학 물성치 적용에 따른 온도분석을 실시하였다. 또한 하층부 주 방열면으로부터의 덮개 위치에 따른 열 제어 성능분석을 실시하였다. 가변 방사를 구현을 위해 본 연구에서 적용된 구동용 비드의 소재 변화에 따른 열 제어 성능분석을 통해 가변 방사율 라디에이터의 광학 물성치 최적화 설계를 수행하였다. 이와 같이 최적화된 가변 방사율 라디에이터의 유효성 검토를 위해 Fig. 3의 동일한 열 해석 모델에 OSR 물성치($\alpha/\epsilon=0.81/0.12$)가 적용된 고정 방사율 라디에이터를 적용하여 가변 방사율 라디에이터와의 열 제어 성능비교를 수행하였다.

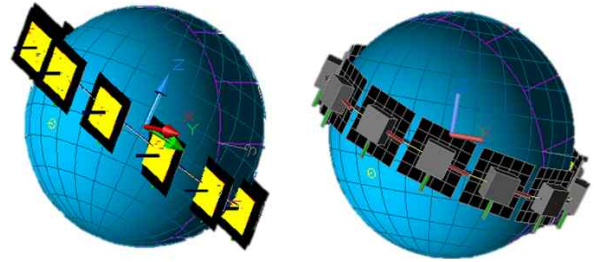
IV. 열 해석

4.1 열 해석 조건

위성은 극심한 온도차를 보이는 우주에서 생존하기 위해 최악의 조건에서도 모든 탑재장비가 허용 온도 범위내로 유지될 수 있도록 최악의 조건을 고려하여 궤도 열 해석을 실시해야한다. 공전궤도 중 태양 복사와 지구 적외선 등 열적 입사량이 가장 높은 동지 조건에서 Fig. 3의 열 모델의 전장품이 최대를 받열하고 임무 수행을 위해 지구를 지향하며 전장품이 태양 복사를 받는 경우를 고온 조건, 위성으로의 열적 입사량이 가

Table 1. Orbit Parameters for Thermal Design

Parameter	Orbit Condition	
	Cold Case	Hot Case
Orbit Type	Sun-Synchronous	
Orbit Inclination	20°	
Attitude (km)	750	
Solar Flux (W/m ²)	1287	1420
Albedo	0.3	0.35
IR Flux (W/m ²)	227	245



(a) Cold case

(b) Hot case

Fig. 4. On-orbit Profile of TMM

장 적은 하지 조건에서 전장품이 운용되지 않으며 심우주 환경을 지향하는 경우를 저온 조건으로 정의하였다.

Table 1는 위성이 저궤도 환경에서 운용되는 조건을 가정한 궤도 열적 조건[9]을 나타내며, Fig. 4는 저온 조건에서 라디에이터가 태양을 지향하는 상태와 고온 조건에서 라디에이터가 지구를 지향하는 열 모델의 궤도 프로파일을 나타낸다. 가변 방사율 라디에이터의 광학 물성치 설계 최적화 및 고정 방사율 라디에이터와의 열 제어 성능 비교를 위해 상기의 궤도 열 환경 조건을 바탕으로 열 해석을 수행하였다.

광학 물성치 최적화는 Table 2과 같은 절차로 열 해석을 진행하였다. 먼저 비드의 수납과 기밀성 확보를 목적으로 적용된 덮개의 재질과 광학 물성치를 변경하는 열 해석을 수행하였다. 덮개의 재질은 Johns Hopkins 대학에서 MEMS Shutter 라디에이터의 덮개로 낮은 흡수율과 높

Table 2. Analysis Parameters for Optimization Design

Optimization Design Sequence		
1	Radiator Cover Material	
	LaRC TM CP1	Silicon
2	Radiator Cover Optical Property	
	Cover Top (α/ϵ)	Cover Bottom (α/ϵ)
3	Bead Material & Optical Property	

은 UV 저항성을 가진 LaRC™CP1[10]과 일반적인 MEMS 가공 재질인 실리콘 웨이퍼를 적용하여 비교하였다. 덮개 재질의 선정 후 덮개의 광학 물성치를 최적화하는 열 해석 수행 및 비드의 재질 및 광학 물성치의 최적화를 수행하는 열 해석을 수행하였다. 최종적으로 해석을 통해 최적화된 광학 물성치를 가변 방사율 라디에이터에 적용하여 고정 방사율 라디에이터와의 열 제어 성능 비교를 수행하였다.

4.2 열 해석 결과

4.2.1 라디에이터 덮개 재질 및 위치 선정

라디에이터 덮개 재질 및 위치 선정을 위해 1mm 크기의 알루미늄 비드를 적용하였으며 덮개 상·하부의 광학 물성치는 0.81/0.12(α/ϵ)로 가정하였다. Table 3의 덮개 유·무에 따른 비교 열 해석 결과이며 저온 조건에서의 열해석 결과 온도 프로파일의 최저 온도는 T_{min} , 고온 조건의 최대 온도는 T_{max} 로 정의하였다. 해석 결과, 덮개 미적용 시 전장품은 8 ~ 44.5°C의 온도 분포를 보이나 Johns Hopkins 대학에서 MEMS Shutter 라디에이터의 덮개로 적용된 LaRC™CP1 [10] 소재를 적용할 경우, 소재의 광학적 물성특성으로 모든 해석 조건에서 덮개 미적용 시보다 5 °C 이상 상승하였다. 또한, 본 재질은 MEMS 공정 중 진공하에서의 작업 시 기밀성 유지에 어려움이 수반된다. 하지만 MEMS 공정에서 일반적으로 적용되는 실리콘의 경우, 덮개로 적용하였음에도 불구하고 덮개 미적용 시와 유사한 온도 분포를 보여 비드의 수납 및 기밀성 확보를 목적으로 하는 덮개로서의 조건을 충족하였다.

선정된 실리콘을 기반으로 라디에이터의 주 방열면으로부터의 덮개 위치에 따른 분석 결과, Fig. 5와 같이 덮개 위치에 따른 온도 변화는 미약함으로부터 덮개의 위치는 방열 성능에 영향을 끼치지 않는 것을 확인하였다. 상기의 결과로부

Table 3. Thermal Analysis Results w.r.t Material Variation of Radiator Cover

Material Type	Material Property	T_{min}	T_{max}
w/o Cover		8	44.5
LaRC™CP1	$k = 0.12W/mK$ $\rho = 1434kg/m^3$ $C_p = 1094J/kgK$	12	49
Silicon	$k = 148.9W/mK$ $\rho = 2330kg/m^3$ $C_p = 0.198J/kgK$	6.7	44

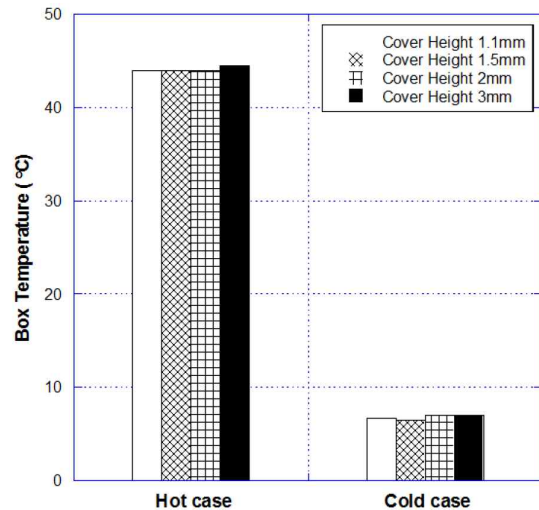


Fig. 5. Thermal Analysis Results Summary by Cover Location

터 라디에이터의 덮개는 MEMS 공정과 비드의 크기를 고려하여 실리콘 재질을 기반으로 주 방열면으로부터 1.1mm 높이에 위치하도록 설계하였다.

4.2.2 라디에이터 덮개의 광학 물성치 선정

덮개의 광학 물성치 선정을 위해 1mm 크기의 알루미늄 비드와 실리콘 재질의 덮개를 열 해석 모델에 적용하여 해석을 수행하였고 Table 4는 라디에이터 덮개의 열 광학 물성치 최적화를 위한 해석 조건을 나타낸다. 먼저 Case 1과 같은 광학 물성치가 적용된 경우 높은 방사율에도 불구하고 높은 흡수율로 인하여 전장품 온도가 최대 70 °C까지 상승하였다. Case 2는 Case 1보다 덮개 상·하부가 저 흡수율인 경우로 덮개 상부의 흡수율이 낮아짐에 따라 열적 입사량이 감소하여 전장품의 온도 또한 45 °C로 낮아지는 것을 확인하였다. 광학 물성치에 따른 결과 비교를 위해 Case 2의 결과를 기준으로 비교 열 해석을 수행하였다. Case 3와 Case 4는 덮개 하부의 물성치

Table 4. Thermal Analysis Results Summary with Various by Thermo-optical Property on Radiator Cover

Case	Optical Property		T_{min}	T_{max}
	Top (α/ϵ)	Bottom (α/ϵ)		
1	1.0/1.0	1.0/1.0	14	70
2	0.15/0.91	0.15/0.91	7	45
3	0.15/0.91	0.91/0.15	8.5	52
4	0.15/0.91	0.97/0.91	6.7	44
5	0.97/0.91	0.97/0.91	10	65

α : Absorptivity ϵ : Emissivity

Table 5. Optical Property of Bead

Bead Material	Optical Property (α/ϵ)
Alumina	0.1/0.3
Glass	0.1/0.9
Gold	0.48/0.82
Silicon	0.7/0.3

를 변경한 조건으로 Case 3는 덮개 하부가 고 흡수율·저 방사율로 전장품의 온도가 Case 2보다 고온 조건에서 6 °C 정도 증가하였고 Case 4의 경우 Case 2보다 흡수율이 높은 조건이지만 Case 2의 결과와 유사한 온도 분포를 나타내어 덮개 하부의 광학 물성치는 흡수율보다 방사율이 중요한 인자로 작용하는 것을 알 수 있다. Case 5는 Case 4의 조건에서 덮개 상부의 흡수율이 증가한 조건으로 해석 결과, 우주로 노출된 덮개 상부가 높은 흡수율로 인하여 열적 입사량이 증가함에 따라 전장품의 온도가 Case 2보다 21 °C 상승하였다. 따라서 덮개 상부에는 흡수율이 낮고 방사율은 높은 광학 물성치를 적용해야 한다. 기 수행된 해석 결과로부터 도출된 최적화 조건으로 덮개 상부에서는 낮은 흡수율을 가지면 높은 방열 성능을 가지며 하부에서는 높은 흡수율·방사율을 가지는 Case 4의 조건을 선정하였다.

4.2.3 비드 재질의 선정

비드 재질의 선정을 위해 선정된 실리콘 재질의 덮개 및 광학 물성치(Top=0.15/0.91(α/ϵ), Bottom =0.97/0.91(α/ϵ))와 1mm 크기의 비드를 열 해석 모델에 적용하여 해석을 수행하였고 비드의 재질에 따른 라디에이터의 열적 특성분석을 위해 Table 5의 비드의 재료 및 광학 물성치를 적용하여 열 해석을 수행하였다. Fig. 6의 해석 결과로부터 비드의 재질의 상이함에도 불구하고 전장품의 온도는 5 ~ 44 °C의 유사한 온도 분포로 비드의 재질은 라디에이터의 열 제어 성능을 결정함에 있어 영향성이 미약함을 알 수 있다. 따라서, MEMS 가변 방사율 라디에이터의 비드 선정은 비드의 대전 특성이 좋은 알루미늄 비드와 금 비드를 선정하였으나 제작 단가가 높은 금 비드 대신 경제성이 좋은 알루미늄 비드를 선정하였다.

4.2.4 라디에이터 비교 열 해석

상기의 해석으로부터 도출된 가변 방사율 라디에이터의 소재 및 광학 물성치는 실리콘 재질의 덮개이며 상부의 광학 물성치(α/ϵ)는 0.15/0.91, 하부는 0.97/0.91, 비드는 알루미늄 비드로 이를 적용하여 방사율이 고정된 라디에이터

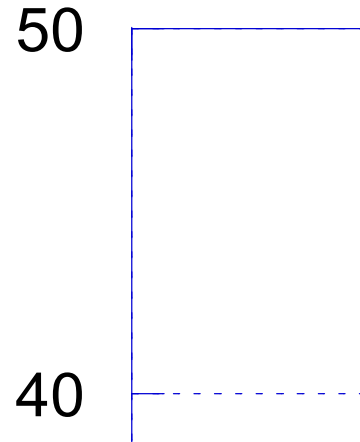


Fig. 6. Box Temperatures Obtained from Variable Emissivity Radiator with Various Beads

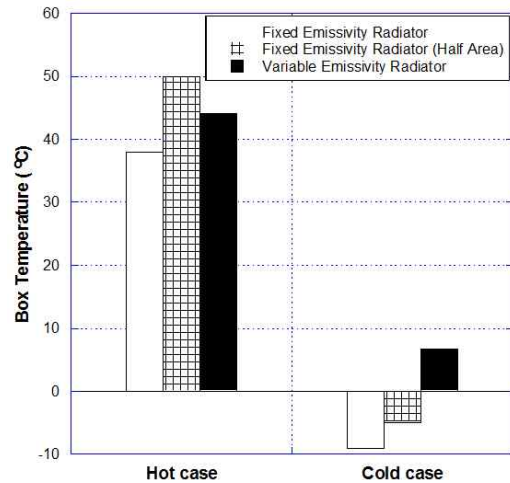


Fig. 7. Performance Comparison between Variable Emissivity Radiator and Conventional Radiator

와의 성능 비교를 수행하였다.

Figure 7은 가변 방사율 라디에이터와 고정 방사율 라디에이터의 비교 열 해석 결과로서 고온과 저온 조건에서의 전장품의 온도를 나타낸다. 고온 조건의 경우, 고정 방사율 라디에이터는 38 °C이지만 절반의 방사율 면적을 가진 고정 방사율 라디에이터의 경우 방열 면적의 감소와 이에 따른 허니컴 패널의 흡수율의 증가로 인해 50 °C 까지 상승하였다. 하지만 가변 방사율 라디에이터는 절반의 고 방사율 코팅 면적으로 44 °C까지 하강하여 충분히 방열을 수행하는 것으로 판단된다. 저온 조건의 경우, 고정 방사율 라디에이터는 저온 조건에서도 고정된 높은 방사율로 인해 전장품의 지속적인 방열을 수행하여 -9 °C와 -5 °C

까지 하강하였다. 하지만 가변 방사율 라디에이터는 최저 6.7 °C의 온도로 낮은 방사율의 비드가 고 방사율 코팅부로 이동하여 저 방사율 상태로 유지되어 추가적인 히터를 요구하지 않지만 고정 방사율 라디에이터는 동일한 열 제어를 위해 10 W이상의 히터 전력 소모가 필요함으로부터 가변 방사율 라디에이터의 효율적인 열 제어 유효성을 입증하였다.

V. 결 론

본 연구에서는 정전 효과로 대전되는 비드를 사용하여 전극의 극성 변화에 따라 방사율이 가변하는 MEMS 기반 가변 방사율 라디에이터의 광학 물성치 최적화 설계를 수행하고 기존의 고정 방사율 라디에이터와 궤도 열 해석 결과를 비교하였다. 최적화 결과, 실리콘 재질의 덮개 상부는 저 흡수율·고 방사율, 하부는 고 흡수율·고 방사율을 갖는 광학 물성치와 비드는 대전 특성이 좋은 알루미늄 비드를 선정하였다. 이를 적용한 가변 방사율 라디에이터는 고온 조건에서는 기존의 고정 방사율 라디에이터와 같이 방열을 수행하고 저온 조건에서는 낮은 방사율을 유지하여 기존의 고정 방사율 라디에이터에 비해 10 °C 이상 온도를 확보할 수 있어 추가적인 히터 열 제어를 위해 지속적인 전력 소모를 요구하지 않아 효율적인 열 제어가 가능함을 입증하였다.

향후 EM 모델을 제작하기 위해 MEMS 공정 도안을 작성하였고 EM 모델의 방사율 가변 효과를 확인하기 위해 IR 카메라를 사용하여 방사율 변화에 따른 온도 변화를 확인하는 실험을 수행할 예정이다.

후 기

본 연구는 한국연구재단의 우주핵심기술개발사업의 지원으로 수행되었습니다(NRF-2013M1A3A3A0241817).

References

1) S. M. Shin, H. U. Oh, "Thermal Design and Analysis for Space Imaging Sensor on LEO", *Journal of the Korean Society for Aeronautical & Space Sciences*, 2011, Vol. 39, No.

5, pp. 474-480

2) K. Shimazaki, S. Tachikawa, A. Ohnishi, Y. Nagasaka, "Temperature Dependence of Total Hemispherical Emittance in Perovskite-type Manganese Oxides, $La_{1-x}Sr_xMnO_3$ ", *High Temperature-High Pressures*, 2001, Vol. 33, pp. 525-531

3) K. Shimazaki, A. Ohnishi, Y. Nagasaka, "Development of Spectral Selective Multilayer Film for a Variable Emittance Device and Its Radiation Properties Measurements", *International Journal of Thermophysics*, 2003, Vol. 24, pp. 757-769

4) S. W. Han, B. S. Choi, T. H. Song, S. J. Kim, B. J. Lee, "Experimental Investigation on Variable Emittance Material Based on $(La, Sr)MnO_3$ ", *Journal of The Korean Society of Mechanical Engineers*, Vol. 37, No. 6, 2013, pp. 583-590

5) D. Farra, W. Schneider, R. Osiander, J.L. Champion, M.A.G. Darrin, D. Douglas, T.D. Swanson, "Controlling Variable Emittance (MEMS) Coating for Space Applications", *Inter Society Conference on Thermal Phenomena*, 2002, Vol. 8, pp. 1020-1024

6) R. Osiander, S.L. Firebaugh, J.L. Champion, D. Farra, M.A.G. Darrin, "Microelectromechanical Device for Satellite Thermal Control", *IEEE Sensors Journal*, 2004, Vol. 4, No. 4, pp. 525-530

7) C. U. Lee, H. W. Ha, H. U. Oh, T. K. Kim, "Experimental Validation of MEMS-based Variable Emissivity Radiator for Space Applications", *Journal of The Korean MEMS Conference*, 2014

8) D. Panczak, G. Ring, J. Welch, D. Johnson, P. Bell, "Sinda/Fluint Thermal Desktop User's Manual", *C&R Technology*, 2008

9) V. V. Vlassov, F. L. Sousa, A. P. C. Cuco, A. J. S. Neto, "New Concept of Space Radiator with Variable Emittance", *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, Vol. 32, No. 4, 2010, pp. 400~408

10) M. Darrin, R. Osiander, J. Lehtonen, D. Farrar, "Novel Micro ElectroMechanical System (MEMS) Packaging for the Skin of the Satellite", *2004 IEEE Aerospace Conference*, 2004