

인공위성 열 제어를 위한 MEMS 기반의 가변 방사율 라디에이터의 성능 검증

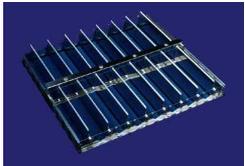
1. 서론

MEMS(Micro Electro Mechanical System) 기반의 센서 및 액추에이터 기술 등은 지상용으로 상용화 단계에 이르렀으며, JAXA, NASA, ESA 등 우주개발 선진국에서는 MEMS 기술을 접목한 우주활용을 위한 시도가 활발하게 진행되고 있다. MEMS 기술을 적용한 위성은 고집적화를 통해 가격절감과 차세대 소형 위성과 다목적 위성에서 요구되는 경량화, 초소형화, 저 전력화, 고기능 직접화 기능을 구현 가능하게 한다. 미국의 벤처기업인 TYVAK에서는 MEMS 기술을 적용한 타 큐브 위성에 비해 절반이상의 공간 활용 극대화 및 가격절감을 구현한 사례가 있다.

인공위성은 온도환경이 극심한 우주환경에서 임무를 수행하기 때문에 인공위성에 탑재된 임무 장비를 허용온도 유지를 위해서 별도로 위성의 열 제어 시스템을 운영한다. 상용화되어 위성체에 적용되어 검증이 완료된 열 제어 장치로는 루버가 있다. 루버는 열 제어 성능은 뛰어나지만 위성체 무게와 부피를 증가시키는 단점이 있다. 따라서 루버에 단점을 보완할 수 있는 MEMS 기반의 가변 방사율 라디에이터를 개발하였다. Table 1은 루버와 가변 방사율 라디에이터의 특징을 비교하였다.

가변 방사율 라디에이터의 제작에 사용되는 MEMS 기술은 반도체 미세공정기술을 적용해 초소형 부품의 대량생산이 가능하여 저가 개발을 가능하며, 국내에서는 성숙된 반도체

Table. 1 Comparison of the variable emissivity radiator with the louver

	연구 결과	특 징
루버		<ul style="list-style-type: none"> • 발사환경에 취약. • 인공위성에 무게 및 부피 증가. • 기계적 방식으로 인한 낮은 신뢰성. • 높은 열 제어 성능 보유. • 수많은 발사체에 탑재되어 우주 검증이 완료됨.
MEMS 라디에이터		<ul style="list-style-type: none"> • 외부 환경에 강인함. • 초경량화 및 초소형화 가능 • 전기적 방식을 사용하여 응답속도가 뛰어나며 높은 작동신뢰성 보유.

기술을 기반으로 지상용 MEMS 관련 해당 연구가 활발히 진행되고 있으며 일부 기술은 상용화 단계에 이르러 있음에도 불구하고 국내에서는 MEMS 기술의 우주적용을 위한 시도가 전무하기 때문에 MEMS 기술을 우주 적용 시 해당분야에서의 기술선도 및 지적재산권 확보가 기대된다. 이에 본 논문은 수치적 방법을 사용하여 가변 방사율 라디에이터의 열 제어 성능 분석에 관한 연구를 수행하였으며, 수치적 계산에 근거하여 EM(Engineering Model) 라

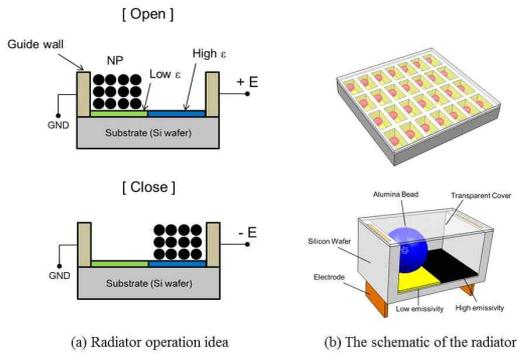


Fig. 1. Variable emissivity radiator

디에이터를 제작하였으며, EM 라디에이터의 주변 온도를 변화시켜 열화상시스템을 통해 열측정 실험 수행하였다. 실험적 방법으로 얻은 열데이터와 수치적 방법으로 얻은 해석결과를 비교분석하여 수치적 모델의 타당성을 검증하였다. 검증된 수치적 모델을 바탕으로, 궤도해석 상용틀에 적용하여 심우주환경에서의 가변 방사율 라디에이터와 고정 방사율 라디에이터의 성능을 비교 분석하였다. 심우주환경에서 궤도가

변하는 위성에 가변 방사율 라디에이터를 적용할 경우 추가적인 히터와 전력 소모 없이 매우 적은 전력소모로 장비의 열 제어가 가능하여 기존의 방사율이 고정된 라디에이터보다 절반의 면적을 사용함에도 불구하고 효율이 뛰어났다.

2. 수치적 모델 설계 및 실험 방법

본 연구에서 제작한 가변 방사율 라디에이터의 형상과 작동원리는 낮은 방사율과 낮은 열 전도성을 지니는 비드를 전기적 대전을 통해 방사율이 상이하게 다른 두 방열판 사이에서 움직여 방사율을 제어한다. 라디에이터의 형상과 재료에 따른 성능을 분석하고자 본 연구에서는 라디에이터의 수학적 모델을 제안하였다. 또한 전도와 복사가 동시에 일어나는 복합 열전달 해석을 수행하기 위해 상용코드인 ANSYS Fluent를 사용하였다.

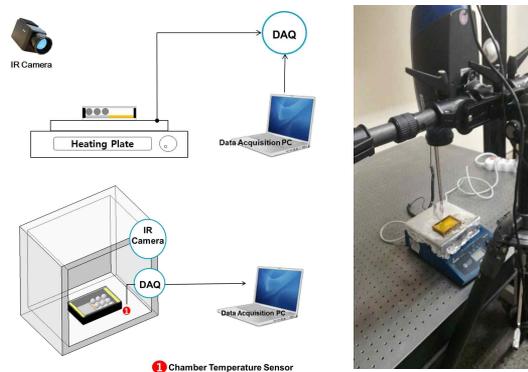


Fig. 2. Experiment setup for thermal test

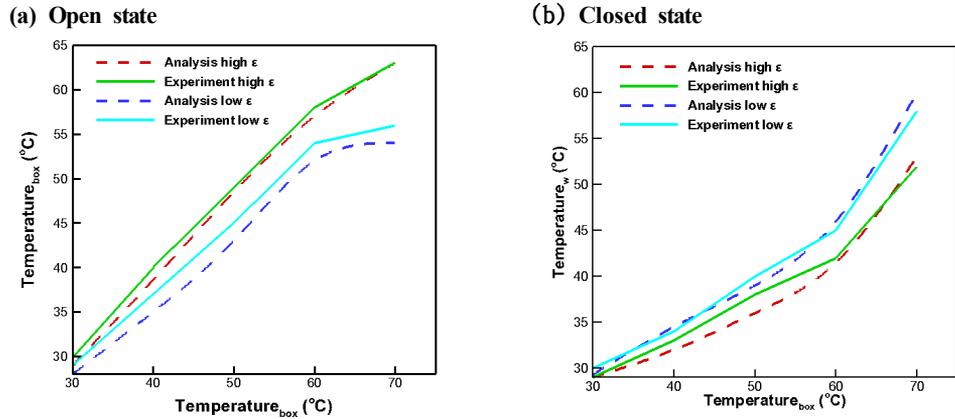
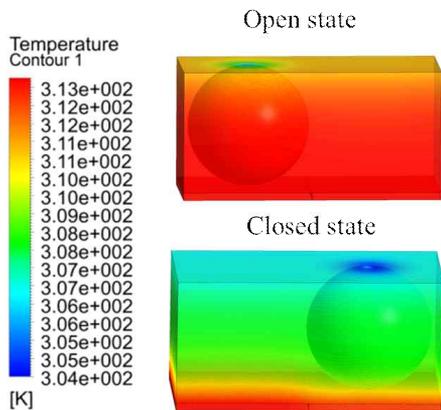


Fig. 3. Comparison of analysis result with the experiment result of radiation plate

해석 결과의 타당성을 검증하기 위해 해석 모델과 동일한 EM 가변 방사율 라디에이터를 제작하였다. 제작 과정은 우선 실리콘 패드에 방사율이 높은 캡톤과 방사율이 낮은 알루미늄을 코팅을 하고 전기적 대전을 하기 위해 전극이 설치된 구조물과 접촉 후 비드를 배치하고 커버를 덮는 구조로 구성되어 있다. Figure 2은 EM의 열 제어 성능 측정을 위한 시험 장치를 나타내고 있다. 박스온도의 발열을 모사하기 위해 고온구간은 Heating Plate 위에 EM 라디에이터를 배치하여 30°C ~ 70°C 온도 범위에서 상부 비드의 유무에 따른 캡톤과 알루미늄이 위치한 방열판의 외곽 면에 온도를 측정하였다. 저온 구간에서는 EM 라디에이터 모델을 저온 챔버 안에 배치 후 IR 카메라를 이용하여 두 재질에 대한 온도 변화를 시간에 따라 측정 하였다.

3. 해석결과 검증

Figure 3-4는 실험을 통해 측정된 라디에이터 열 데이터와 해석결과를 보여주고 있다. Open 상태의 경우 열 확산속도가 증가하는 이유는 많은 양의 복사열이 외곽 면으로 직접적으로 전달되어 열확산속도가 증가하기 때문이다. 반면에 Closed 상태의 경우 비드가 고방사율 방열판에 있기 때문에 고 방사율 방열판에서의 열전달은 복사-전도-복사로 순서로



복합적으로 열이 전달되며 비드에 낮은 열전달 특성 때문에 외곽 면에 온도는 약 3 °C 정도 낮게 측정되었다. 저 방사율 방열판은 약 2 °C 정도 온도가 상승하였으며 외곽 면은 열복사에 의해서만 열전달이 이루어지기 때문에 온도가 상승한 것으로 판단된다. 해석과 실험으로 획득한 Open 상태와 Closed 상태에서 온도 변화가 같은 경향성을 띄기 때문에 해석 및 시험 결과가 일치하는 것으로 판단 할 수 있다.

Fig. 4. Temperature contour

4. 궤도 열 해석결과

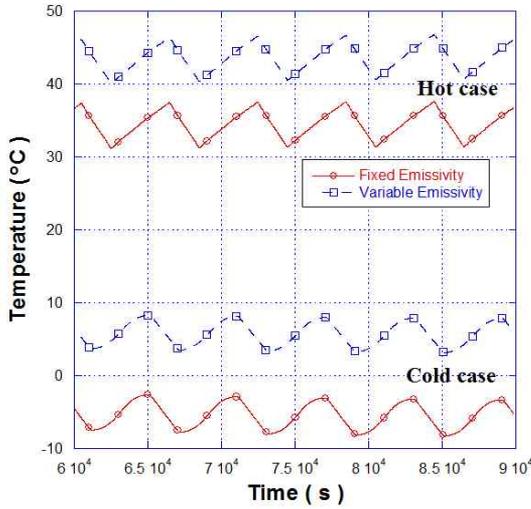


Fig. 5. Temperature profiles of fixed and variable emissivity radiator

의 사용 없이 장비의 허용 온도 유지가 가능하다.

우주 환경에서의 가변 방사율 성능을 확인하기 위해 앞서 해석한 CFD 모델결과를 바탕으로 심 우주환경에서의 열제어 성능을 확인하였다. 해석을 수행하기 위해서 상용 툴인 SINDA를 활용하여 고정 방사율 라디에이터와 가변 방사율 라디에이터의 궤도 열 해석을 실시하였다. Figure 5의 열해석 결과 고정 방사율 라디에이터는 저온 조건에서도 높은 방열 성능으로 장비의 온도를 저하시켜 히터를 구동 시키는데 10 W 이상의 전력을 요구하지만 가변 방사율 라디에이터는 고온에서는 고정 방사율 라디에이터와 같이 방열을 수행하고 저온에서는 낮은 방사율로 가변하여 히터

5. 결론

MEMS 가변 방사율 라디에이터는 전기적 방전을 이용하는 열 제어 장치이다. 국내에서는 MEMS 기술의 우주적용을 위한 시도가 전무하기 때문에 MEMS 기술을 적용하고자 본 연구를 수행하였다. 수학적 모델을 바탕으로 CFD 해석을 수행하였으며, 해석 모델의 타당성을 검증하기 위해 가변 방사율 라디에이터의 EM을 제작하였다. 검증된 CFD 모델을 우주 환경에서 해석한 결과 기존의 열 제어 장치보다 효율적으로 열 제어가 가능한 것을 확인하였다.

- (1) EM 가변 방사율 라디에이터는 온도구간(-25 ~ 70 °C)에서 방사율을 제어하여 열방사 및 차단이 가능함을 확인하였다.
- (2) 기존에 연구된 라디에이터는 가변 할 수 있는 방사율은 0.74 이며, 본 연구에서의 가변 방사율 라디에이터는 방사율을 0.84 까지 가변 할 수 있다.
- (3) 가변 방사율 라디에이터는 고정 방사율 라디에이터의 비해 50 % 면적만을 사용하여 심우주환경에서 히터를 사용하지 않고 허용온도유지가 가능함을 확인하였다.

본 연구에서 제작한 가변 방사율 라디에이터는 MEMS를 적용한 우주용 열 제어 시스템으로서 국내에서 MEMS를 적용한 열 제어 장치 개발에 기초적 연구가 될 것이며, 차후에 충분한 우주검증시험 및 열 제어시험이 완료된다면 위성용 열 제어 시스템으로써 소형 위성 부품으로 활용을 기대할 수 있다.