

## 論文

## 위성 PCB 열해석을 위한 고 전력소산 소자의 모델링 연구

이미현\*, 김동운\*, 장영근\*\*

A Study of High-Power Dissipation Parts Modeling  
for Spacecraft PCB Thermal Analysis

Mi-Hyeon Lee\*, Dong-Woon Kim\* and Young-Keun Chang\*\*

## ABSTRACT

This paper addresses the optimized thermal modeling methodology for spacecraft board level thermal analysis. A direct thermal modeling of external and internal structure of active parts which have high power dissipation is newly proposed, based on conventional plate modeling for Printed Circuit Board(PCB). The parts thermal modeling results were compared with other generic methodologies and verified by thermal vacuum test. This parts thermal modeling was directly applied to thermal analysis of CS(Communication Subsystem) board of HAUSAT-2 small satellite. As a result, it was confirmed that the parts thermal modeling can complement other conventional modeling methodologies. A parts thermal modeling is very effective for thermal control design, since the existing thermal problems can be solved at the parts level in advance.

## 초 록

본 논문에서는 위성의 전장보드 열해석을 위한 최적의 열모델링 방법을 제안하였다. 플레이트 모델링 방법을 통한 보드 모델링에 고전력 소산 소자의 외부 및 내부 구조를 직접 모델링하는 방법을 새롭게 제안하였다. 이러한 모델링 방법을 다른 모델링과 비교 분석하여 효율성을 검토하였고 열진공 시험을 통해 검증하였다. 제시한 소자 모델링 방법으로 HAUSAT-2의 발열이 큰 통신보드의 열해석을 수행한 결과, 노드 네트워크 모델링 방법과 플레이트 모델링 방법의 단점을 모두 보완할 수 있었다. 또한, 소자 모델링 방법은 열적인 문제에 따른 소자 수준의 해결방안을 모색 후, 그에 따른 열해석을 수행하여 효과를 예측할 수 있으므로 열제어계 설계에도 효율적이다.

**Key Words** : HAUSAT-2, Thermal Analysis(열해석), Parts Thermal Modeling(소자 열모델링), Node Network Modeling(노드 네트워크 모델링), Plate Modeling(플레이트 모델링)

## 1. 서 론

위성 전자부품들은 고효율과 고성능이 요구되면서 회로의 밀도 증가와 열 소산의 증가가 야기되고 있다. 특히 인공위성은 고진공, 미세중력, 극저온, 고온의 극한 환경에서 운용되기 때문에 위성체 내의 모든 전자부품은 복사와 전도에 의

† 2006년 3월 2일 접수 ~ 2006년 5월 17일 심사완료

\* 정회원, 한국항공대학교 대학원

\*\* 정회원, 한국항공대학교 항공우주 및 기계공학부  
연락처, E-mail : ykchang@hau.ac.kr  
경기도 고양시 덕양구 화전동 200-1

해서만 적정온도가 유지될 수 있도록 설계되어야 한다. 이처럼 위성의 전장보드는 설계 시 열적인 영향에 대한 고려가 매우 중요하며 전장품에 영향을 주는 여러 가지 인자들을 고려하여 최적의 회로를 설계하는 것이 중요하다. 특히 이들 인자들 중 온도는 전자부품의 효율적인 측면에서 큰 영향을 미치며 지나친 온도상승은 위성의 수명감소를 유발하고 최악의 경우에는 위성의 실패를 야기할 수도 있다[1]. 따라서 열제어가 설계상 중요하게 작용되며 특히 온도와 같은 환경 인자에 민감한 능동소자들의 열해석은 반드시 수행되어야 한다. 또한 열해석 시에 대류가 없는 우주환경을 고려한 해석이 이루어져야 한다. 기존의 연구결과에 따르면 위성 보드 수준 열해석은 노드 네트워킹 방법이나 플레이트 모델링 방법을 사용하여 수행하였다[1-3]. 또한 여기서, 위성체 전장보드의 열해석 시에 발열이 미미한 수동소자는 고려하지 않으며 어느 정도의 발열을 가지고 작동하는 능동소자의 발열을 위주로 하여 열해석을 수행한다. 그리고 능동소자 중에서도 발열이 어느 이하이거나 열 접촉이 잘되어 있는 부품들은 독립 노드로 취하지 않고, 열 발생이 크거나 열 접촉이 잘 안되어 있는 부품들은 독립 노드로서 고려하여 열해석을 수행하는 것이 기본이다. 본 논문에서는 현재 한국항공대학교 우주시스템연구실에서 개발 중인 25kg급 나노위성인 HAUSAT-2 위성의 전장보드 열해석을 위해 다양한 모델링 방법의 특성을 파악하고 보다 효율적인 열해석을 위한 모델링 방법을 연구하였다. 그리고 기존의 노드 네트워킹 모델링(Node Network Modeling) 방식과 플레이트 모델링(Plate Modeling) 방식의 특성을 파악하고 비교 분석하였다. 그에 따른 결과로 보다 열제어에 설계에 유용한 소자 모델링 방법을 제안 하였고 부품 수준의 열진공 시험을 통해 검증 하였다.

## II. 소자 모델링 도입

플레이트 모델링 방법은 보드를 빠르고 간편하게 모델링을 수행할 수 있다. 발열이 큰 소자를 플레이트에 적용하게 됨에 따라 원하는 플레이트에 예상 발열을 적용할 수 있지만, 이 방법은 발열이 크거나 열 접촉이 원활하지 않은 소자 또한 플레이트에 적용되어 실제보다 전도가 좋은 결과를 가져오게 된다는 단점이 있다. 일반적으로 이와 같은 단점 보완을 위해 노드 네트워킹 모델링 방법과 혼합적인 방법을 취한다. 그러나 노드 네트워킹 모델링 방식은 소자 자체를 하나

의 독립 노드로 가정하였을 뿐 소자 자체의 온도 분포를 알 수 없으며, 소자 온도 개선을 위한 대책을 바로 모델링에 적용할 수 없는 단점이 있다. 기존의 위성용 전장 보드의 열해석이나 전장품의 설계 지원에 있어서, 고전력 소산 소자를 PCB상의 하나의 노드로 가정하여 해당 노드에 발열을 집중시키는 방법을 사용하였다[1-3]. 그러나 이러한 방식은 위에서 언급한 노드 네트워킹 모델링의 단점을 극복하지 못한다. 본 논문에서는 고전력 소산 소자의 외부 및 내부 구조의 직접 모델링을 위성용 전장 보드 열해석에 적용하는 것을 새롭게 제안한다. 이러한 방식은 기존의 노드 네트워킹 모델링 방식과 플레이트 모델링 방식의 단점을 모두 보완하고 소자 수준의 열제어에서 중요한 접합 온도(Junction Temperature)를 확인할 수 있다. 본 논문에서는 제안된 소자 레벨의 열모델링 방식을 사용하여 열해석을 수행하고 본 모델링 방법에 대한 효율성을 검토한다.

### 2.1 소자 모델링 제안

소자를 직접 모델링하는 방식을 통하여 HAUSAT-2의 통신보드를 모델링하였다. 보드의 경우는 플레이트 모델링 방식으로 모델링하였고, 발열이 큰 RF2117을 제외한 소자의 발열을 플레이트에 적용하였다. RF2117 소자의 모델링은 소자의 IC 케이스, 내부의 칩과 다이본드 패드 그리고 리드 프레임을 직접 모델링하여 소자 자체에서의 온도 분포 또한 살필 수 있도록 하였다. 이때 칩과 다이본드 패드 사이의 열전달 계수를 식 (1)을 통해 구한다. 그리고 칩과 IC 케이스 사이의 열전달 계수는 식 (2)로부터 구할 수 있다[4].

$$h_d = k_d / L_d \tag{1}$$

여기서,  $k_d$ : 다이본드 패드 접착 열전도율  
 $L_d$ : 다이본드 패드 접착 두께

$$h_c = k_c / L_c \tag{2}$$

여기서,  $k_c$ : 칩의 열전도율  
 $L_c$ : 칩 두께의 50%

식(2)의  $L_c$ 에 칩 두께의 50%를 적용하였는데 이는 실제 3차원 형상을 가진 칩을 2차원의 평면으로 모델링하였기 때문이다. 모델링된 평면은 칩 두께의 중앙에 위치한다. 따라서 IC 케이스와 모델링된 평면사이의 거리는 칩 두께의 절반에 해당하게 되고 이 거리를  $L_c$ 에 적용한 것이다. 칩뿐만 아니라 다이본드 패드, 리드 프레임도 2차원으로 모델링되었기 때문에 이하의 식에서 언

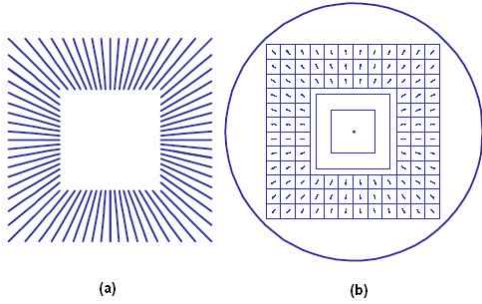


그림 1. 리드 프레임의 형상

급되는 '두께의 50%'라는 말은 위에서 설명한 것과 같은 개념이다.

다이본드 패드와 IC 케이스 사이의 열전달 계수는 식 (3)을 통하여 구하였으며, 리드 프레임과 IC 케이스 사이의 열전달 계수는 식 (4)를 통해 구하였다. 리드 프레임에는 구리선이 그림 1(a)와 같이 방사형으로 뻗어 있기 때문에 비등방성 재질로 설정하였다. 여기서 x 방향은 구리선이 뻗은 방향이고 y 방향은 x 방향과 수직한 방향이다. 따라서 식 (4)의  $k_x$ 의 값은 구리 재질의 열전도율을 사용한다. 식 (3)과 식 (4)의  $M_{dp}$ 와  $M_{lf}$ 는 각 요소간의 기하학적 형상을 고려한 상수이다.

또한, 칩과 리드 프레임 사이의 열전달 계수는 식 (5)를 통해 얻었다[5]. 식 (5)의  $k_y$  값은 IC 케이스의 열전도율을 사용한다.

$$h_{dp} = M_{dp} \frac{k_{dp}}{L_{dp}} \tag{3}$$

여기서,  $k_{dp}$  : 다이본드 패드의 열전도율  
 $L_{dp}$  : 다이본드 패드 두께의 50%

$$M_{dp} = 2 - \left( 1 - \frac{[\text{Area of the chip}]^2}{[\text{Area of the die bond pad}]^2} \right)$$

$$h_{lf} = M_{lf} \frac{k_x}{L_{lf}} \tag{4}$$

여기서,  $k_x$  : 리드 프레임 x 방향 열전도율  
 $L_{lf}$  : 리드 프레임 두께의 50%  
 $M_{lf} = 2$

$$h_{cl} = \frac{k_y A_{il}}{L_{cl} P_{il}} \tag{5}$$

여기서  $k_y$  : 리드 프레임의 y 방향 열전도율  
 $A_{il}$  : [리드 프레임의 두께] × [리드 프레임의 내부 둘레]

$L_{cl}$  : 리드 프레임과 칩 간의 거리

$P_{il}$  : 리드 프레임의 내부 둘레

그리고 리드 프레임과 보드 사이의 열전달 계수는 식 (6)을 적용하여 얻었고, 마지막으로 IC 케이스와 보드 사이의 열전도 물질을 적용한 경우는 식 (7)을 통해 열전달 계수를 얻었다[4-5]. 이러한 열전달 계수를 소자의 열적특성에 적용하여 열해석을 수행하였다.

$$h_{bb} = \frac{k_y A_c}{L_t P_{ol}} \tag{6}$$

여기서  $k_y$  : 리드 프레임의 y 방향 열전도율

$A_c$  : 리드 프레임의 단면적

$L_t$  : 리드 프레임의 길이

$P_{ol}$  : 리드 프레임의 외부 둘레

$$h_b = k_b / L_b \tag{7}$$

여기서  $k_b$  : 열전도 물질의 열전도율

$L_b$  : IC 케이스 바닥과 PCB간의 거리

이와 같은 방법으로 RF2117을 모델링 하였고, 모델링한 RF2117을 플레이트 모델링 방식으로

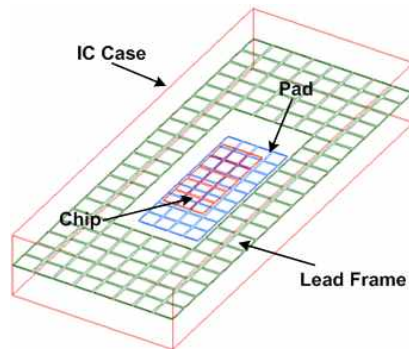


그림 2. RF2117 소자 모델링

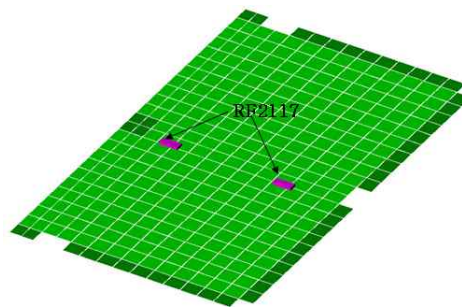


그림 3. 통신보드에의 소자 모델링 적용

모델링한 보드에 적용하여 모델링을 완료 하였다. 모델링한 RF2117의 모습은 그림 2와 같고 플레이트 모델링에 적용한 모습은 그림 3과 같다. 이러한 모델링은 플레이트 형성이 간편하고 소자 모델링에도 유리한 I-DEAS를 이용하여 수행하였다. 그리고 각각의 식 (1)~(7)에 적용된 열전도율은 표 1과 같다.

표 1. 통신보드 열해석에 적용한 물성치

재질	열전도율 (W/mK)
Chip	148
Pad	300
Lead Frame	$k_x = 300$ $k_y = 0.63$
IC Case	0.63
PC Board	14.45

2.2 소자 모델링 방법을 통한 열해석

통신보드는 HAUSAT-2의 전장보드 중 발열이 가장 큰 보드이며 발열이 큰 RF2117 소자를 포함하고 있어 열해석이 필수적이다. 통신보드 열해석 시에 적용한 능동소자와 발열 사항은 표 2와 같다.

표 2. 통신보드 소자 및 발열 사항

소자	발열 (mW)
RF2117	2800
MC13176	190
PE4230	5
MC3362	35
HT9170D	35
FM25160	5
AT90S2313	15
FX614	5
DS1232	10
MAX232	50

HAUSAT-2 위성의 대부분의 서브시스템의 보드는 BEU(Bus Electronic Unit)에 장착된다. 따라서 BEU의 열해석 결과에서 가장 높은 온도인 16.2℃를 기저판(baseplate)의 온도로 적용하여 열해석을 수행하였다. BEU에 대한 해석 결과는 그림 4에서 확인할 수 있다. HAUSAT-2 보드-레벨 열해석은 전도만을 고려한 열해석을 수행함으로써 가장 극한의 경우를 예상하였다.

열해석을 수행한 결과 보드와 RF2117의 온도 분포를 함께 확인할 경우 RF2117의 온도가 보드

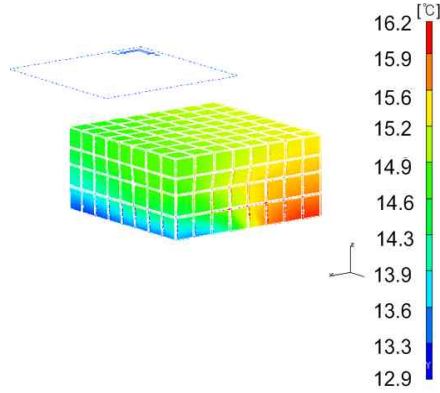


그림 4. BEU 회로 열해석 결과

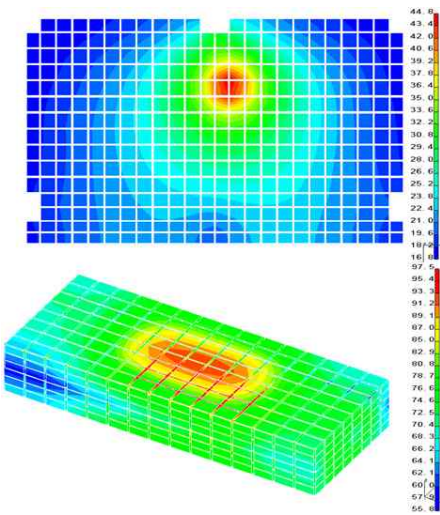


그림 5. 소자 모델링을 통한 통신보드 열해석

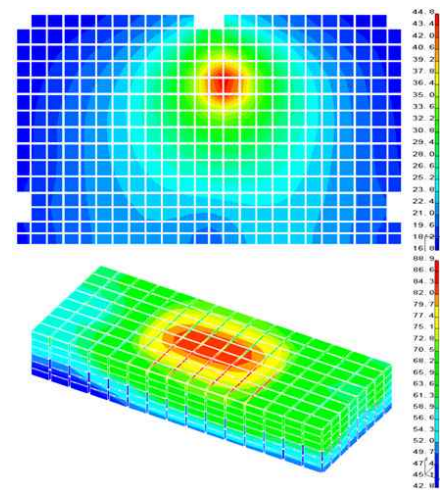


그림 6. 열전도 물질을 적용한 통신보드 열해석

온도에 비해 상당히 높게 나타나므로 보드의 온도분포를 정확하게 알아 볼 수 없었다. 따라서 그림 5와 같이 보드와 RF2117의 온도를 분리하여 확인하였다. 보드만의 온도를 확인 할 경우 약 17°C~ 44.8°C의 안정적인 온도분포가 나타난다. 그러나 RF2117의 경우 최고 97.5°C까지 나타났다. 이와 같은 결과는 작동온도 범위의 최고온도가 100°C인 RF2117의 작동에 위험이 따를 수 있는 결과이다.

실제로 통신보드의 기능시험 시 고온으로 인한 RF2117의 고장을 겪었고 이로 인한 대책이 필요하였다. 따라서 그에 따른 대책으로 RF2117과 보드 사이에 열전도 물질(conductive material)을 붙여 열을 전도시키는 방안을 세웠다. 이에 따라 RF2117과 통신 보드 사이에 열전도 물질의 열전도율을 적용하여 열해석을 다시 수행하였다. 그에 따른 결과로 그림 6과 같이 RF2117의 최고온도가 약 88°C인 결과를 얻어 10°C 이상의 온도 여유를 확보할 수 있었다. 또한 그림 5와는 달리 열전도 물질이 장착되는 RF2117의 바닥 면을 통해 보드로 열이 전도되는 온도분포를 확인할 수 있다.

이러한 결과를 통해 실제로 HAUSAT-2의 통신보드의 RF2117에 열전도 물질을 장착하도록 조치하였다. 이와 같이 소자 모델링 방법의 경우는 발생한 문제에 대한 대처 방안을 바로 해석에 적용해 볼 수 있다. 소자에 열적인 문제가 있을 경우 소자를 전도가 잘되는 위치로 변경하는 방법이나 RF2117과 마찬가지로 열전도 물질을 사용하는 방안을 세울 수 있고 바로 모델링에 적용하여 열해석을 수행할 수 있다.

### III. 소자 모델링 방법의 효율성 분석

소자 모델링 방법의 효율성을 검토하기 위하여 기존의 보드 모델링 방식인 노드 네트워크 모델링 방식과 플레이트 모델링 방식을 통하여 HAUSAT-2의 통신보드 열해석을 수행함으로써 결과를 비교하였다.

#### 3.1 노드 네트워크 모델링

노드 네트워크 모델링 방법은 열해석할 대상을 일정한 노드로 분할 한 뒤 노드와 노드를 열저항으로 연결시킨 열 모델링 방법이다. 열저항은 전기저항과 유사한 특성을 지니고 있다. 따라서 열모델을 전자회로와 유사하게 열저항으로 연결된 회로처럼 구성하여 열해석을 수행할 수 있다. 1차원 전도는 그림 7과 같이 나타낼 수 있

며 온도는 열전도율과 단면적이 일정할 때 길이 L만의 함수가 된다. 이때 열은 그림 7의 T1인 곳에서 T2인 곳으로 즉, 단면적에 수직한 방향으로 전도를 통하여 전달된다. 또한, 열 확산과 전기충전 사이에는 유사성이 존재하여 전기저항이 전기전도에 관계가 있듯이 열저항은 열전도에 관계가 있다. 저항을 전도율에 대한 구동 포텐셜(driving potential)의 비율로서 정의 한다면, 전도 열저항(thermal resistance for conduction)은 식 (8)을 통해 정의할 수 있다[4].

$$R = \frac{L}{kA} \quad (8)$$

여기서 A는 그림 7에서와 같이 열전달 방향에 수직한 단면적이며, k는 열전도율(thermal conductivity), L은 두 지점간의 거리를 나타낸다.

위성체의 전장보드는 대부분 인쇄회로기판으로 구성되며 인쇄회로기판은 여러 층을 이루고 있다. 각 층에서의 단위 면적당 열저항 값을 구한 뒤 그 값을 식 (9)와 같이 병렬로 연결하여 전체 보드 두께에 대한 단위 면적당 열저항 값을 구한다. 또한 그림 8과 같이 노드 사이를 연결하는 x와 y 방향에 대한 열 저항을 단위 면적당 열저항에 형상계수인 길이/폭을 곱한 식 (10)을 통해 구할 수 있다.

이때 이론적인 단위 면적당 저항값을 구하기 위해서는 정확한 회로의 형상을 알아야 하나, 실

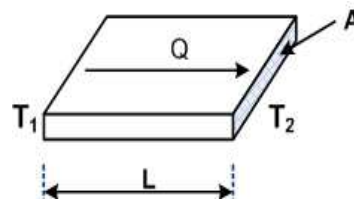


그림 7. 1차원 열전도

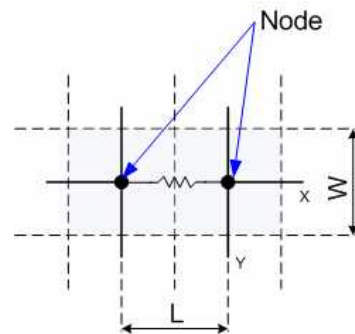


그림 8. 노드간의 연결

질적으로는 단위 면적당의 근사저항(approximate resistance)을 사용한다[6]. 이러한 노드 네트워크 모델링 방식의 온도계산을 위하여 상용 프로그램인 TAS(Thermal Analysis System)을 사용하였다. TAS는 기본적으로 노드와 노드를 열저항으로 연결하는 모델링을 할 수 있도록 구성되어 있어 노드 네트워크 방식의 모델링에 유용하게 쓰인다.

$$R_{SQ} = \left[ \frac{1}{\frac{1}{R_{SQ_1}} + \frac{1}{R_{SQ_2}} + \frac{1}{R_{SQ_3}} + \dots + \frac{1}{R_{SQ_m}}} \right] \quad (9)$$

$$R = \left( \frac{L}{W} \right) R_{SQ} \quad (10)$$

여기서,  $R_{SQ}$  = 인쇄회로기판 단위면적당 열저항, °C/W

m = 인쇄회로기판 구리층 수

L = 노드 사이의 거리, m

W = 노드 사이의 폭, m

노드 네트워크 모델링 수행 시 식 (9)를 통해 통신보드의 단위 면적당 열저항을 구한 뒤 식 (10)에 적용하여 각 노드 간의 열저항을 구하였다. 식 (10)의 L과 W는 그림 8을 참고하여 결정한다. 발열이 가장 큰 RF 2117은 하나의 독립 노드로 구성하여 모델링을 그림 9와 같이 완성하였다[5].

이러한 모델링을 통하여 열해석을 수행한 결과를 그림 10에 나타내었다. 그림 10에서 볼 수 있듯이 하나의 독립된 노드로 취한 RF2117에서 가장 높은 온도인 57.33°C가 나타났다. 보드 전체적으로는 16°C ~ 57.33°C의 온도분포가 나타났고 기저판과 접촉되는 부분과 능동소자가 존재하지 않는 부분은 온도상승이 거의 없는 것을 확인할 수 있었다.

또한, 결과에서 알 수 있듯이 소자를 보드상의 한 점으로 가정하여 열해석을 수행하는 것과 소

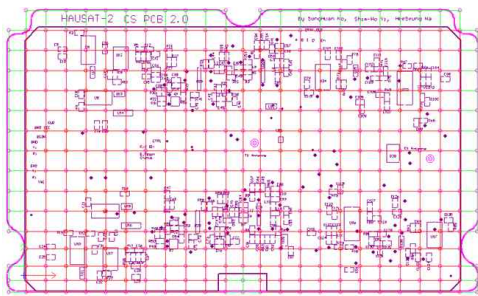


그림 9. 노드 네트워크 모델링

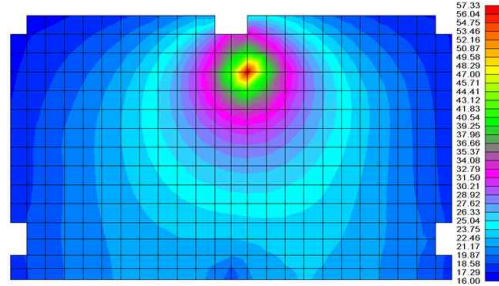


그림 10. 노드 네트워크 모델링 열해석 결과

자 모델링을 사용한 해석 결과가 매우 다르게 나온다. 따라서 발열이 크거나 온도에 민감한 소자는 소자를 직접 모델링하는 방법을 통해 보다 실제 보드의 온도에 근접한 온도 분포를 얻을 수 있다.

### 3.2 플레이트 모델링

3차원 요소의 모든 특성을 하나의 노드(node)로 집중시켜 나타내는 노드 네트워크 모델링 방법과 달리 플레이트 모델링 방법은 3차원으로 존재하는 물체를 2차원의 평면에 집중시켜 모델링하는 방법이다. 즉, 3차원으로 나타나는 특성을 2차원으로 표현하여 적용해야 한다. 플레이트 모델링 방법은 하나의 플레이트를 네 개의 노드로 구성하고 그 플레이트에 열전도율과 두께만을 적용하여 모델링을 수행할 수 있다. 그러나 앞에서 언급한 바와 같이 인쇄회로기판은 하나의 물질로 구성되어 있지 않고 구리와 FR-4의 다층 구조로 구성된다. 따라서 등가 열전도율을 구하기 위하여 식 (9)와 같이 단위 면적당 열저항을 구한 뒤 역으로 열전도율을 구한다. 그에 따른 식은 식 (11)과 같이 나타낼 수 있고 이를 통해 얻은 값을 인쇄회로기판의 특성으로 입력하여 열해석을 수행하였다.

$$k = \frac{l}{R_{SQ}A} \quad (11)$$

여기서 l은 단위길이를 나타내고 A는 단위길이에 수직인 방향의 단면적을 나타낸다. 플레이트 모델링 방법의 경우 면을 형성하여 면에 발열을 적용하는 방식이기 때문에 기본적인 모델링이 면으로 구성되는 I-DEAS를 사용하여 간편하게 모델링을 수행할 수 있다. 모델링이 완성된 모습은 그림 11을 통해 확인할 수 있다. 플레이트 모델링 특성상 구성된 면에 발열이 적용됨으로 노드 네트워크 모델링방식에서 발열을 적용한 노드를 중심으로 플레이트를 구성하여 모델링하였다.

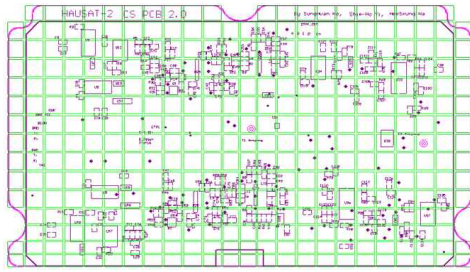


그림 11. 플레이트 모델링

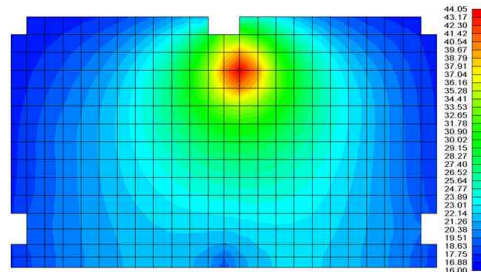


그림 13. TAS를 이용한 플레이트 모델링

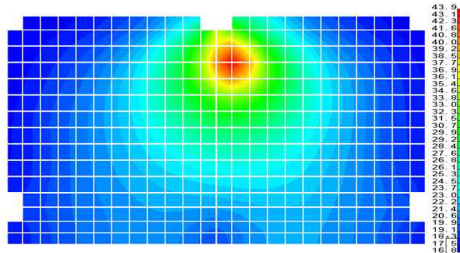


그림 12. 플레이트 모델링 열해석 결과

이러한 플레이트 모델링 방식을 적용한 열해석 결과를 그림 12에 보여주고 있다. 결과에서 RF2117 소자가 위치하는 플레이트의 온도가 최고 43.9°C로 나타나는 것을 확인할 수 있다. 이는 발열이 큰 RF 2117을 독립 노드로 취하지 않고 PCB의 플레이트 요소에 포함시킴으로써 결과적으로는 독립 노드로 취할 때보다 약 13°C 낮은 온도, 소자 모델링 보다는 약 44°C 낮은 온도로 나타났다. 이와 같이 RF2117 소자를 모델링하여 그 열적 특성을 적용하게 되면 보드의 특성에 RF2117의 발열만을 적용하는 기존 방법의 열해석 결과와는 다른 결과를 가져오게 된다.

### 3.3 열해석 결과의 비교분석

노드 네트워크 모델링 방식과 플레이트 모델링 방식의 열해석 결과에서 나타난 온도차의 원인으로 TAS와 I-DEAS의 프로그램의 차이로 인한 오차를 고려해 보았다. 이를 위해 TAS를 사용하여 플레이트 모델링 방식으로 해석을 수행하여 위의 두 프로그램의 오차를 확인하였다. 그 결과 그림 13과 같이 I-DEAS를 사용한 열해석 결과와 유사한 44.5°C가 최고온도로 나타남을 확인함으로써 프로그램차이로 인한 오차는 크지 않다는 것을 알 수 있다.

또한 온도 분포에서도 확인되었듯이 RF2117 소자의 위치 이외의 발열이 적은 소자들이 위치한 곳의 온도 차는 거의 없는 것을 확인하였다. 이러한 결과로 RF2117과 같은 발열이 큰 소자가

없다면 노드 네트워크 모델링 방식과 플레이트 모델링 방식의 결과 차이가 거의 없을 것임을 예상할 수 있다.

노드 네트워크 모델링 방식은 계산 속도가 빠른 방법이긴 하지만 많은 수작업을 필요로 하는 모델링 방법이기 때문에 모델링을 하는데 있어 많은 시간이 요구되고 모든 데이터를 일일이 입력해야 한다는 문제점이 있다. 이는 시간적으로도 많은 손해를 볼뿐만 아니라, 입력 시 실수가 존재할 수 있다는 단점이 있다. 플레이트 모델링 방법은 플레이트를 구성하고 그 플레이트에 열전도율과 두께만을 적용하여 모델링을 수행할 수 있어 노드간의 열저항을 계산하는 번거로움을 덜 수 있다는 장점이 있다. 그러나 발열이 큰 소자의 정확한 온도예측이 어려우며 오류수정이 어려운 단점이 있다. 따라서 보드 모델링 시 보다 빠르고 간편한 모델링 방법인 플레이트 모델링 방법에 소자 모델링 방법을 적용함으로써 기존 모델링 방식의 장점을 살리고 단점을 보완할 수 있도록 하였다. 또한 기존 모델링 방식과의 결과 비교를 통해 소자 모델링 방법의 효율성을 검증하였다.

## IV. 열진공시험을 통한 모델링 검증

제안한 소자 모델링 방법의 검증을 위해 HAUSAT-2 BEU의 열진공시험을 수행하였다. 열진공 시험 시 통신보드의 RF2117의 온도를 측정하기 위해 그림 14와 같이 RF2117과 가장 가까운 면인 RF2117의 보드 뒷면에 온도센서를 장착함으로써 모델링의 검증에 활용할 수 있도록 하였다.

장착한 온도센서를 통해 3주기의 열진공시험 중 온도 정보를 획득하였다. 그리고 획득한 온도 정보와의 비교 분석을 위해 열진공 시험의 환경을 모사하여 열해석을 수행하였다.

열해석 수행 결과 그림 15와 같이 시험결과와 거의 유사한 온도 분포를 나타내는 것을 확인할



그림 14. 통신보드의 온도센서 장착

위치가 보드-레벨 열해석 결과와 다르다. 그러나 주 시스템과 잉여 시스템의 RF2117은 완전히 동일하게 모델링 되었고 보드상의 위치도 그림 3에서 볼 수 있듯이 대칭적이기 때문에 잉여 시스템의 사용이 소자 모델링의 검증에 영향을 주지는 않는다.

이와 같은 시험 결과를 통해 모델링의 검증을 수행하였고 만족할 만한 결과를 얻었다.

### V. 결 론

위의 연구 결과와 같이 모델링 방법에 따라 열해석 결과가 크게 달라질 수 있음을 확인하였다. 따라서 각각의 보드 특성에 맞게 모델링 방법을 선정하는 것 또한 중요하며, 모델링 방법에 따라 구현이 용이한 프로그램을 선택하여 사용하는 것이 효율적이다. 발열이 적은 일반적인 보드에는 간편하고 빠르게 플레이트 모델링 방법을 사용하여 해석을 수행할 수 있으며, 플레이트 모델링을 더욱 빠르고 간편하게 구성해 줄 수 있는 I-DEAS와 같이 기본 요소가 플레이트인 프로그램을 사용하는 것이 효율적이다. 발열이 큰 소자를 포함한 경우 반드시 독립적으로 발열을 적용할 수 있는 노드 네트워크 모델링 방식이나 소자를 직접 모델링 하는 방식을 적용해야 한다. 그러나 노드 네트워크 모델링 방식을 사용할 경우 본 논문에서 제시한 소자 모델링 방법과 달리 소자의 재질 특성이 적용되지 않아 정확한 온도를 알 수 없으며, 소자 자체의 온도 분포를 확인할 수 없을 뿐 아니라 열적 문제의 대책에 대한 열해석을 수행할 경우 어떠한 대책을 세우더라도 또다시 열저항을 계산해야 하는 번거로움을 겪게 된다. 따라서 발열이 큰 소자를 포함한 경우와 열적인 문제를 고려하고 있는 경우 본 논문에서 제시한 소자 모델링을 도입한 방법을 통해 보다 효과적으로 열해석을 수행할 수 있다.

이러한 분석 결과를 통해 HAUSAT-2 보드-레벨 열해석 시 발열이 적은 보드는 기본적으로 플레이트 모델링 방법을 사용하여 간편하고 빠르게 열해석을 수행하였다. 그리고 발열이 크거나 열접촉이 원활하지 않은 소자 또는 발열사항을 조사해봐야 할 필요가 있는 소자를 포함한 경우는 소자 모델링 방법을 택하였다. 본 논문에서 제시한 보드에 소자를 직접 모델링하는 방법은 소자를 모델링하는 시간의 소비가 많은 편이고 소자 구성에 대한 이해가 필요하다. 그렇지만 소자의 내부 구조까지 모델링하여 발열을 적용함으로써 계산상에서 오는 시간 소비와 계산상 실수로 인

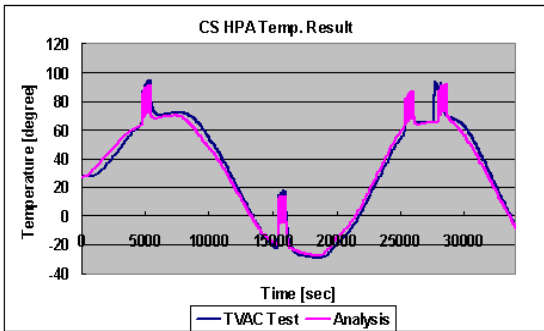


그림 15. 열진공 시험과 열해석 결과 비교

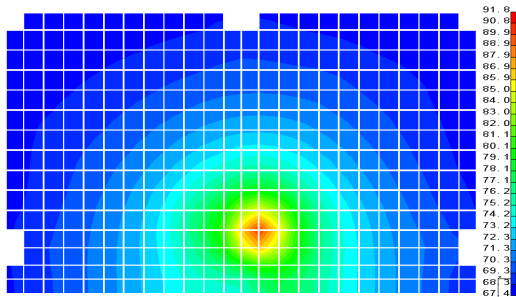


그림 16. 열진공 시험 후 해석 결과 최고 온도

수 있었다. 또한 가장 높은 온도가 나타나는 순간의 온도를 비교했을 때, 시험결과는 그림 15의 최고 지점인 95.1℃로 나타나며 열해석 결과인 그림 16에서 역시 91.8℃로 나타남으로써 모델링의 신뢰성을 검증할 수 있었다.

다만, 열진공 시험에는 통신보드의 잉여시스템을 사용하였기 때문에 잉여시스템의 RF2117에 발열을 적용하였다. 위의 보드 수준의 열해석에는 주 시스템의 RF2117에 발열을 적용하였기 때문에 그림 16에서 볼 수 있듯이 고온이 발생하는



한 오차가 없으며, 소자 자체의 온도 분포를 살필 수 있는 장점이 있다. 뿐만 아니라 해석 결과의 분석에 따라 문제가 있을 경우 해결 방안을 모델링에 직접 바로 적용할 수 있어 문제 해결의 효과를 확인할 수 있으므로 더욱 효과적인 열제어 설계 수행할 수 있다. 또한, 열진공시험을 통해 이 모델링 방법을 성공적으로 검증하였다.

## 후 기

본 연구는 과학기술부 국가지정연구소(NRL) 사업의 지원에 의하여 이루어졌으며 이에 감사드립니다.

## 참고문헌

1) Chang Y.K., Kang M.Y., Pack J.H., Choi Y.J., "A Study on Thermal Modeling and Heat Load Mitigation for Satellite Electronic

Components", 15th Annual AIAA/USU Conference on Small Satellites, USU, USA, August 14, 2001.

2) 강민영, 박진한, 장영근, 오화석, "인공위성 전장품 열 모델링 방법론에 관한 연구", 한국항공우주학회지, 제29권 제7호, 2001, pp. 127-136.

3) 서현석, 신창환, 김태경, 최석원, "열해석 및 Part Stress Analysis를 이용한 위성용 전장품 설계에 관한 연구", 한국항공우주학회지, 제 29권 제 6호, 2001, pp. 105-111.

4) Frank P. Incropera, David P. DeWitt, Fundamentals of Heat and Mass Transfer, 5th Ed. John Wiley and sons, 1996.

5) I-DEAS 9 version TMG Help Library, Structural Dynamics Research Corporation, 2000

6) "KOMPSAT SAR Thermal Analysis", GULTON Data System, March 1996.

7) TAS (Thermal Analysis System) User's Manual, Harvard Thermal Inc. April 2000.