

단순화된 볼륨 요소 개념을 고려한 인쇄회로기판 동특성에 관한 연구

A study on the dynamic characteristic of printed circuit board considering the concept of simplified representative volume elements.

서현석* · 김성훈** · 황도순** · 김대영** · 이상곤** · 이주훈** · 채장수* · 김태경* · 김춘삼*
H.S.Seo* · S.H.Kim** · D.S.Hwang** · D.Y.Kim** · S.K.Lee** · J.H.Lee** · J.S.Chae* · T.K.Kim* · C.S.Kim*

Key Words : Printed Circuit Board, Solar Array Regulator, Classical Lamination Theory, KOMPSAT-2

ABSTRACT

Printed Circuit Boards for satellite are composed of multi-layered copper plate and glass epoxy. Each copper layer have the complicated and different pattern to operate correctly for its mission. Especially, copper layer give effect on the PCB stiffness seriously. But It can make more complicate to predict the exact stiffness of PCB. In KOMPSAT-2 program, too many type of PCB are used for each electronic unit, and they have different type of pattern of copper layer. Solar array regulator has two type of PCB and it will be considered for this study.

In this study, we calculate the PCB board stiffness of KOMPSAT-2 SAR unit considering the concept of simplified representative volume element. It will be correlated with the test results under KOMPSAT-2 vibration environmental condition to increase the reliability of this study.

1. 서 론

다목적 실용위성 1호 사업을 통해 개발된 태양전지 전력 조절기(Solar Array Regulator)는 기존의 지상에서 사용되는 일반적인 전자 유닛과는 달리 발사시 발사체에서 유발되는 극심한 진동환경을 견딜 수 있도록 설계되어야 한다. 이와 같은 전자유닛은 각 발사체 환경조건에 따른 인쇄회로기판의 처짐으로 인하여 사용된 소자의 파손을 유발하기도 한다. 따라서 발사체로부터 전달되는 진동하중에 대한 보드 레벨 안정성⁽¹⁾ 검토는 전자유닛 설계에 필수적인 요소이다.

인쇄회로기판은 전기적 임무를 위하여 보통 2 ~10층의 구리 적층판이 적용된다. 그러나 적층의 기능상 매우 복잡한 구조 및 형상을 가지고 있으므로 이에 대한 물리적 특성을 예측하는 것은 매우 까다롭다. 다목적 실용위성용 전자유닛에서 적용되는 인쇄회로기판의 구리 적층판은 통상적으로 두 가지의 서로 다른 구리 적층판을 사용한다.

본 논문에서는 구리 적층판의 특성을 나타낼 수 있는 모델의 단순화를 수행하고, 복합재료역학⁽²⁾에서 사용되는 고전적 적층이론을 이용하여 대표강성 값을 추출하였다. 이렇게 얻어진 값을 이용하여 인쇄회로기판의 고유진동수를 구하고자 하였고, 실제 진동환경시험을 통한 해석 모델의 보정을 수행하였다.

이상에서의 검토는 다목적 실용위성 사업을 통하여 제작/설계된 개발 모델 유닛에 대한 검토를 수행하고자 하였으며, 이를 토대로 다목적 실용위성 2호 실제 모델에 대한 검토를 수행하였다.

2. 인쇄회로기판 구조해석

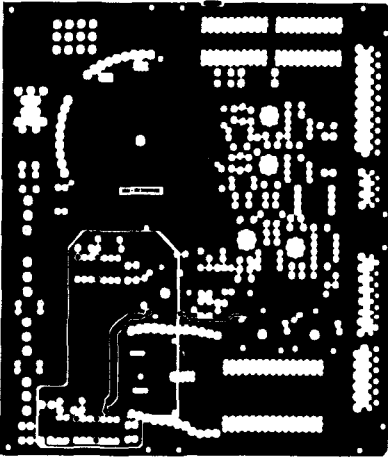
2.1 인쇄회로기판 구조특성

본 논문에서 시험 및 해석 보정을 위하여 적용된 다목적 실용위성 2호 대비 개발된 전력조절기는 개발모델과 실제 2호 제작모델인 PM(Proto-type Model)이다. 전력조절기에서 사용되는 인쇄회로기판은 크게 123 보드와 124 보드로 구분되어진다. 각 모델에 있어서 보드의 적층수는 개발모델이 8

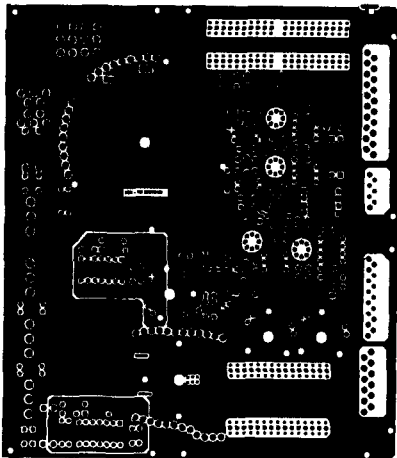
* 한국항공우주산업주식회사
E-mail : sgorilla@xmail.kari.re.kr
Tel : (042) 860-2985, Fax : (042) 860-2977

** 한국항공우주연구원

층의 구조를 가지고 있고, 2호용 PM의 경우 10층의 적층 구조를 가지고 있다. 중앙부근에 사용된 6층 및 8층의 경우는 $1\text{oz}/\text{ft}^2 : 34\mu\text{m thick}$ 의 구조를 가지고 있으며, 최 외곽의 각 2개의 층은 $2\text{oz}/\text{ft}^2 : 68\mu\text{m thick}$ 의 구조를 갖는다. 구리 적층판의 층간은 glass-epoxy를 이용하여 압접되었고, 인쇄회로기판⁽³⁾의 최종의 두께는 8층의 경우 $0.068\text{in}(1.7272\text{mm})$ 이고, 10층의 경우 $0.09\text{in}(2.286\text{mm})$ 이다. Fig. 1에서 2는 다목적 실용위성 2호기에 사용된 SAR(전력 조절기)의 124 인쇄회로기판의 구리적층판의 패턴을 나타낸다. 124 인쇄회로기판의 경우 중앙의 구리적층판은 패턴의 밀도가 매우 낮은 형상을 가지고 있으므로 가장 패턴의 밀도가 높은 1층과 10층의 패턴을 나타내고 있다.



(Fig. 1 Cu pattern for 2nd layer of SAR 124)

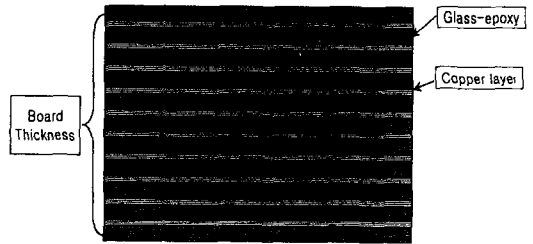


(Fig. 2 Cu pattern for 10th layer of SAR 124)

2.2 복합재료 적층이론을 이용한 인쇄회로기판 구조 모델링

앞 절에서 보여진 그림을 통하여 각 층의 패턴을 정확하게 구조해석 모델에 적용하는 것은 현실적으로 매우 까다로운 과정이 필요하게 된다. 따라서 본 연구에서는 보다 효율적으로 구리 적층의 패턴을 해석 모델에 적용하는 방법을 제안하고자 하였다.

복합재료에 대한 미시역학에서 제안된 단순화된 볼륨 요소로 가정하여 구리 적층판을 모사하고자 하였다. 복합소재 미소역학에서 라미나(Lamina)에 대하여 글래스-에폭시와 섬유층의 단순화된 모델로서 일반적인 섬유 패킹 어레이(Fiber packing array) 개념과는 다른 단순화된 볼륨 요소개념을 이용한 임의의 두께를 갖는 개념을 전체 보드에 적용하였고, 이를 이용하여 전체 보드의 적층에 대한 형상을 모사하고자 하였다.



(Fig. 3 Schematic of PCB layer)

강성에 영향을 미치는 각 층의 패턴은 일반 CAD 파일로 작성된 것이므로, 패턴에 대한 임의의 볼륨을 고려하여 기판 크기 대비 면적비를 구하고자 하였다. 이를 토대로 각 층의 구리 적층판의 평균두께를 계산하고, 위의 그림과 같은 두께가 존재하는 단순화된 볼륨요소를 고려하여 모델링을 수행한다. 이와 같이 가정된 인쇄회로기판은 다시 복합소재 고전적 적층이론을 이용하여 대표강성을 구하고 이를 이용하여 인쇄회로기판의 모드 해석을 수행하고자 하였다. 여기서 고전적 적층이론은 각 층간 분리응력은 무시하고 사용된 각 재질이 등방재질로 가정되므로 O'Brien theory를 이용하여 다음과 같은 식(1)을 이용하여 대표강성을 구할 수 있다.

$$E_{td} = \frac{\sum_{i=1}^n E_{\epsilon} t_i}{t} \quad (1)$$

E_{td} : Equivalent stiffness of PCB

E_{ϵ} : Nominal stiffness of each layer

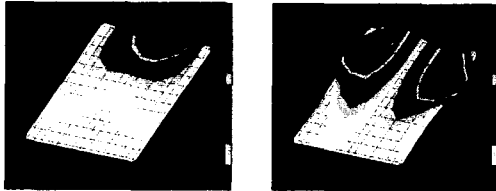
t_i : Thickness of each layer

t : Total thickness of PCB

아래의 Fig. 4와 5는 다목적 실용위성 전력조절기에 사용되는 보드 모드 해석결과를 나타낸다. 위에서 제안된 방법을 토대로 해석모델을 작성하였다.



(Fig. 4 SAR 124 board for KOMPSAT-1 DM)

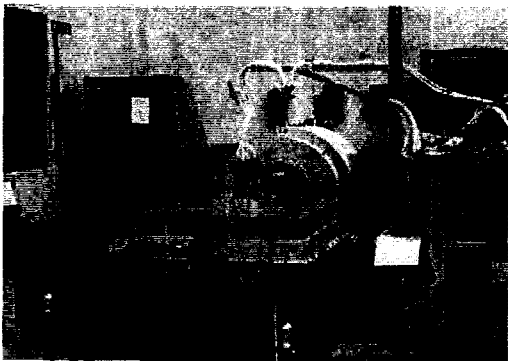


(Fig. 5 SAR 124 board for KOMPSAT-2 PM)

3. 랜덤 진동시험 결과 분석

3.1 랜덤진동 시험

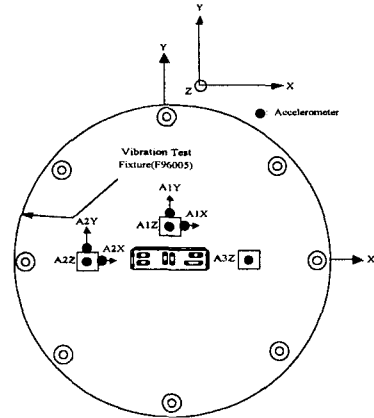
랜덤진동 시험은 발사환경조건⁽⁴⁾에 의거하여 선정되었다. 또한 다목적 실용위성 1호 및 2호 모델에 동일한 입력레벨을 사용한다. 입력 최대값은 준 비행 입력레벨인 $0.16g^2/Hz$ 이고, $14.1grms$ 의 값을 사용한다. Fig. 6은 전력조정기가 시험장비에 장착된 모습을 나타낸다.



(Fig. 6 Test setup for SAR unit)

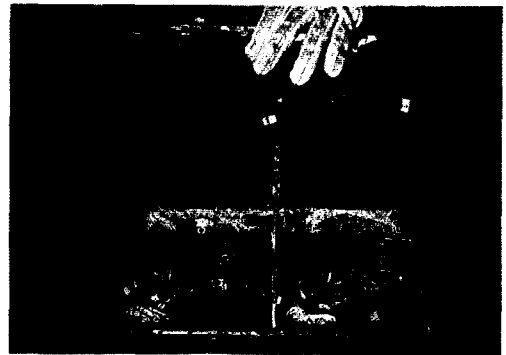
전력조정기 뿐만 아니라 위성체에 사용되는 모든 전기/전자 유닛의 랜덤진동시험은 기능시험 장비가 장착된 상태에서 수행된다. 랜덤진동 시험 전후를 기점으로 하여 기능상 이상이 없음을 확인하기 위하여 이와 같은 시험 형상을 갖는다. 시험 전후로 하여 수행되는 기능시험을 통하여 유닛의 안정성을 평가하는 방법을 채택하고 있다. Fig. 7은 전력조

절기의 시험 하에서의 좌표계 및 시험 지그에 장착되는 가속도계의 위치를 나타낸다.



(Fig. 7 Coordinate system for random test setup)

전력조정기에서는 두 가지 형태의 인쇄회로기판이 사용되는데, 본 논문에서는 124 SAR Arm control board에 대하여서만 검토하고자 하였다. 따라서 유한요소법을 이용한 구조해석 결과도 124 기판에 대하여서만 제시하였다. 시험수행 시 기판의 응답특성을 분석하기 위하여 기판에 가속도계를 장착하였다. 그러나, 기판의 메인 모드가 나오는 기판의 모서리 부분에는 많은 소자가 사용되었고, 뒷면에는 납땜을 이용한 장착이 되어있으므로 가속도계의 장착이 불가능하였다. 이로 인해 가속도계는 보드의 3차 모드가 일어나는 부분에 장착되게 되었다. Fig. 8은 가속도계의 장착위치를 나타낸다.

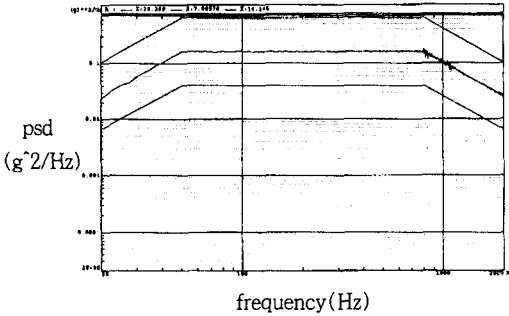


(Fig. 8 Location of accelerometer for SAR 124 board)

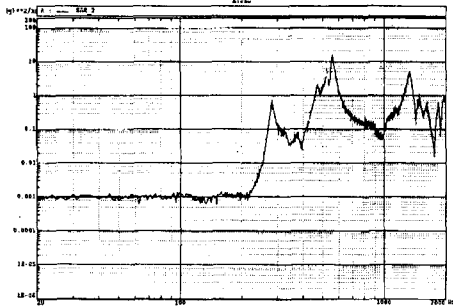
3.2 랜덤진동 시험 결과 분석

시험결과를 얻기 위하여 전력조정기 랜덤진동시험에는 9개 이상의 가속도계가 사용되어진다. 유닛의 하우징에 각 방향에 장착되고 123과 124 기판에 각 1개의 가속도계가 사용

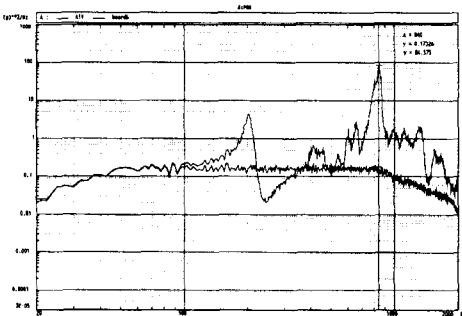
되어진다. 또한 시험을 수행하기 위한 지그에 각 방향에 대하여 가속도계가 장착되어진다. 이상이 최소한 요구되어지는 가속도계의 개수이다. 그러나, 비행/준비행 모델에 대하여서는 기관 레벨 응답특성은 필요하지 않고, 시험 전후 수행되는 기능시험으로 유닛의 안정성을 평가하게 된다. Fig. 9의 (a)는 진동시험의 입력조건을 나타내고, (b)는 다목적 실용 위성 2호 대비 개발모델에서 사용된 8층인 124 회로기판의 응답을 나타내고 마지막으로, (c)는 다목적실용위성 2호에서 사용된 10층인 124 회로기판의 응답을 나타낸다.



(a) Test input level for X, Y & Z direction



(b) Test result of SAR DM 124 board



(c) Test result of SAR PM 124 board

(Fig. 8 Test results of SAR unit)

위의 시험결과를 토대로 해석 결과와 비교분석한 값을 아래의 Table. 1에 나타내었다.

(Table. 1 Comparison between analysis and test)

	ANALYSIS (Hz)	TEST(Hz)	ERROR(%)
SAR DM 124 board, 8 cu layer	520	527	1.3
SAR PM 124 board, 10 cu layer	795	840	5

시험결과를 통하여 개발모델과 PM 모델의 하우징 레벨의 응답특성은 각 270Hz 그리고 210Hz 임을 알 수 있다.

4. 결론

구리 적층판의 복잡성으로 인하여 기판에 대한 해석적 방법의 접근이 어렵다. 따라서 해석결과에 대한 신뢰성을 높일 수 있는 방법이 필요하다. 본 논문에서는 복합재료 미시 역학에서 응용되는 단순화된 볼륨요소 개념을 도입하여 적층판의 구조를 단순화시켰고, 이를 고전적 적층이론을 이용하여 다층기판에 대한 접근방법을 제시하였으며, 이와 같은 기법을 이용하여 기판에 대한 구조해석을 수행하였다.

다목적 실용위성용으로 설계된 개발모델 및 선행 모델을 이용하여 랜덤진동 시험을 수행하였다. 진동시험에서는 기관의 응답특성을 얻기 위하여 기관의 특정 부분에 가속도계를 장착하였다. 이 때의 기관의 응답특성을 이용하여 제안된 해석적 기법에 대한 신뢰성을 검증하였다.

이 방법은 추후 유사 모델 및 복잡한 기판의 구조적 특성을 분석하기 위한 복합소재 이론의 적용 및 개발을 위해 활용될 수 있다.

참고 문헌

- (1) 서현석, 김홍배, 2000, "발사시 야기되는 랜덤진동을 고려한 위성체 전장품 설계 및 검증에 대한 연구", 한국진동소음공학회지, 제 10권, 제 6호, pp971 - 976.
- (2) Robert M. Jones., 1992, Mechanics of Composite Materials, McGraw Hill, Inc., Washinton, D. C.
- (3) Charles A. Harper, 1997, Electronic Packaging & Interconnection Handbook, Second Edition, McGraw Hill, Inc. Maryland.
- (4) Dave S. Steinburg, 1984, Vibration Analysis for Electronic Equipment, Second Edition, John Wiley & Sons, Inc., New York.