

HAUSAT-2 우주방사능 환경과 영향 분석

정지완[†], 장영근
한국항공대학교 항공우주 및 기계공학부

HAUSAT-2 SPACE RADIATION ENVIRONMENT AND EFFECTS ANALYSIS

Ji-wan Jung[†] and Young-Keun Chang
Space System Research Lab, Hankuk Aviation University, Goyang 412-791, Korea
E-mail: jazzmango@mail.hangkong.ac.kr

(Received April 13, 2005; Accepted April 20, 2005)

요 약

우주시스템 연구실에서 개발 중인 HAUSAT-2의 우주방사능 환경은 포획된 양자와 전자, 태양양성자이다. 본 논문에서는 우주방사능 환경에 대해 임무기간동안의 총 피폭량을 계산하였고, 총 피폭량에 대해 HAUSAT-2에서 사용하는 부품들의 부품의 우주방사능 허용레벨 분류과정을 통해 사용가능성을 검증하였다. 또한 단일사건 발생확률을 계산하여 단일사건 발생에 대비하는 시스템을 설계에 반영하였다.

ABSTRACT

This paper describes the analysis of radiation environment and effects. TID(Total Ionizing Dose) and SEE(Single Event Effects) analysis are implemented. The HAUSAT-2 is a 25kg class nanosatellite which is operated at sun-synchronous orbit at an altitude 650km. Trapped proton and Electron, Solar Proton, Galactic Cosmic Ray models are considered to HAUSAT-2 radiation environment model. Total Dose-depth curve provides TID degree and components are verified by DMBP method and Sectoring analysis. SEE are analyzed with Radiation Test Report. Existing Radiation Test Reports are use to SEE analysis of HAUSAT-2.

Keywords: HAUSAT-2, radiation analysis, total ionizing dose, single event upset

1. 서 론

본 논문에서는 HAUSAT-2가 운용될 궤도의 우주방사능 환경 중 가장 크게 영향을 미칠 것으로 예상되는 총 피폭 효과와 단일사건 효과에 대해 해석을 수행하였으며, 총 피폭 효과 분석결과를 바탕으로 HAUSAT-2에 사용된 전자부품들의 방사능 내성을 확인하였으며, 임무를 수행하는데 있어 문제가 없음을 확인하였다. 단일사건 효과에 대해서는 SEU(Single Event Upset)와 SEL(Single Event Latchup)에 대해 해석을 수행하였으며, SEL의 경우 HAUSAT-2의 임무기간 동안 발생하지 않

[†]corresponding author

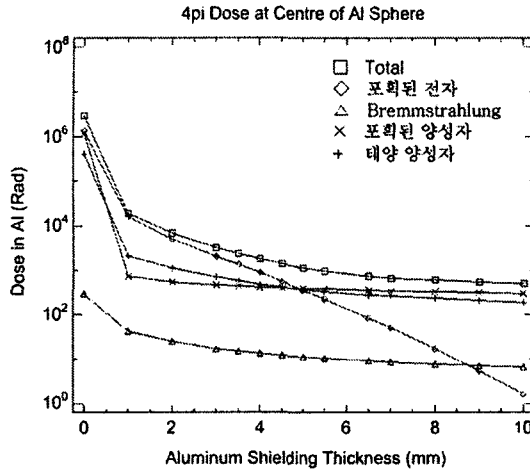


그림 1. 구조물 내 의한 총 피폭효과.

고 SEU에 대해서는 임무기간 동안 최대 15번 정도 발생할 것으로 예측되었으므로, SEU를 제어해줄 필요가 요구되었다. 따라서 HAUSAT-2는 EDAC 코드를 이용하여 메모리를 보호하는 설계를 고려하였다.

2. HAUSAT-2의 우주방사능 환경과 방사선 피폭

HAUSAT-2의 650km 태양동기궤도는 지구 자기장내에 위치하며, 주요 우주방사능 환경으로는 포획된 양자와 포획된 전자, 태양양자와 외계 우주방사선을 들 수 있다. HAUSAT-2의 임무기간인 2008년부터 2010년까지는 태양활동이 왕성해지는 시점이므로, 모델링 시 최대 태양활동을 고려하였다. 그 결과 포획된 전자와 양자는 SAA(South Atlantic Anomaly)에 태양양성자는 극지방에 집중되어 있음을 알 수 있었다.

HAUSAT-2는 알루미늄 2mm의 외피 두께와 전장박스 두께 2mm의 차폐 효과를 받는다. 낮은 에너지를 갖는 입자는 알루미늄을 통과하지 못하므로, HAUSAT-2는 구조물에 의해 효율적으로 총 피복효과로부터 보호받을 수 있다. 그림 1은 4mm 알루미늄 차폐 고려 시 피폭효과 결과를 나타내고 있다. 그림 1에서 HAUSAT-2의 총 피폭효과는 4mm 차폐두께에 대해 임무기간인 2년 동안 포획된 양자와 전자의 효과, 위성의 구조물과 전자의 상호작용에 의한 효과(Bremsstrahlung), 태양양자의 효과를 합하여 1.560krad이다(백명진과 김학정 2001a).

3. HAUSAT-2의 부품 방사선 내성 검증

3-1. DMBP(Design Margin Breakpoint Method) 방법

HAUSAT-2에 사용하는 전자부품들은 성공적인 임무수행을 위해 임무기간동안 총 피복효과에 대해 내성을 가져야 한다. 따라서 부품선택 시 적절한 RDM(Radiation Design Margin)을 갖도록 설계해야 한다. 많이 사용되는 RDM 기준으로는 DMBP 방법과 PCC(Part Categorization) 방법이 있다. 일반적으로 저궤도 위성의 경우에는 DMBP 방법이 이용되며, 군사위성이나 정지궤도위성의 경

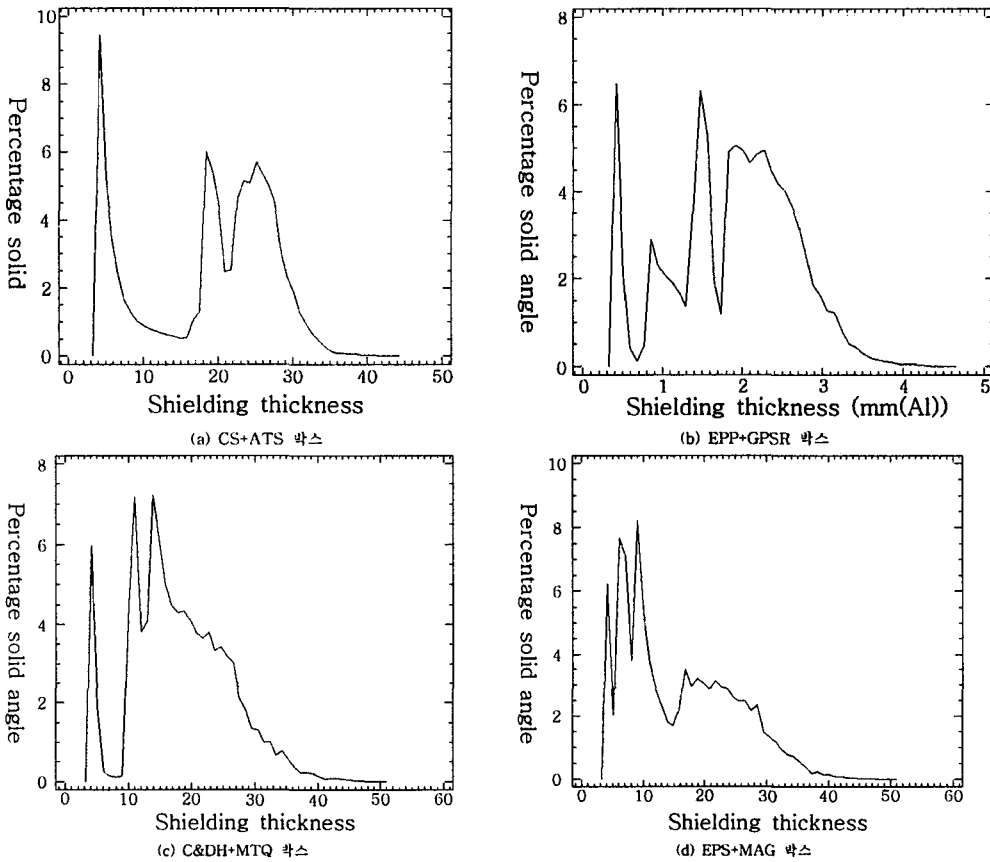


그림 2. HAUSAT-2 내부 전장박스들의 차폐두께에 대한 입체각.

우 PCC 방법을 이용한다. 따라서 HAUSAT-2의 부품 방사선 내성 검증의 기준으로는 DMBP 방법을 이용하였다(NASA 1994).

3-2. HAUSAT-2의 우주방사선에 민감한부품들

우주방사선에 민감한 부품들은 주로 ADC & DAC, FPGA, Linear Devices, Logic Devices, SRAM & DRAM, Transistor와 같은 부품들이다. 위의 종류에 대해 HAUSAT-2에서 사용하는 부품에 대해 우주방사능 허용레벨 분류를 수행한 결과 CS+ATS 보드의 DSP, C&DH+MTQ 보드의 ADC, EPS+MAG 보드의 MOSFET이 Hardness Critical한 부품으로 분류되었다. Rmf는 사용부품이 고장까지 최대 견딜 수 있는 피폭량을 말하며, RDM은 식 (1)에 의해 구할 수 있다(NASA 1994).

$$RDM = Rmf/TID_{int} \tag{1}$$

여기서 TID_{int} 는 구조체내의 총 피폭량을 말하며 HAUSAT-2의 경우 1.56krad이다.

강화가 필요한 부품들의 경우 PCC법을 이용하여 부품에 특성에 맞는 RDM값을 정하는 방법과 부품의 위성 내 위치에 따라 받는 피폭량을 정확하게 구하는 방법이 있다. HAUSAT-2의 경우 기하

표 1. 각각의 BEU 모듈내에 누적된 총 피폭량.

	BEU(CS+ATS)	BEU(EPP+GPSR)	BEU(C&DH+MTQ)	BEU(EPS+MAG)
총 피폭량	0.5333krad	0.4589krad	0.4607krad	0.5409krad

표 2. 재수행한 HAUSAT-2 부품에 대한 RDM 검증.

부 품	Rmf	RDM	적용사항
DSP[BEU(CS+ATS)]	10krad	18.75	적용가능
ADC[BEU(C&DH+MTQ)]	10 ~ 20krad	21.70 ~ 43.41	적용가능
MOSFETs[BEU(EPS+MAG)]	10krad	18.49	적용가능

표 3. SEU와 SEL 발생확률.

SEU		SEL	
탑재컴퓨터	메모리	탑재컴퓨터	메모리
device ⁻¹ mission ⁻¹	device ⁻¹ mission ⁻¹	device ⁻¹ mission ⁻¹	device ⁻¹ mission ⁻¹
10.27	15.33	0.0635	0.0053

학적 형상에 의한 피폭량을 고려하는 방법을 이용하였다(백명진과 김학정 2001a).

3-3. HAUSAT-2의 기하학적 형상에 의한 총 피폭량 해석

HAUSAT-2의 기하학적 형상에 의한 총 피폭량을 구하기 위해 모듈을 배치하고 모듈내부에 우주 방사선 탐지기가 위치하는 것으로 생각하였으며, 각각의 전장박스내의 차폐두께의 입체각 분포도를 구하였다. 그 결과는 그림 2와 같다.

각각의 전장박스에 대한 피폭량은 차폐두께의 입체각에 대한 피폭량을 구해 누적시킨 결과이다. 각각의 전장박스에 대한 누적된 총 피폭량은 표 1과 같다.

HAUSAT-2의 BEU 모듈들은 우주환경에 직접 노출되지 않으며, 각각 겹쳐있는 BEU 모듈에 의한 차폐효과를 받으므로, 실제적으로는 1.560Krad보다 적은 양이 피폭될 것으로 예상된다. BEU 모듈에 실제 누적되는 총 피폭량으로 DMBP 방법을 다시 수행한 결과 모든 부품이 10 이상의 RDM을 가짐으로 HAUSAT-2의 임무수행에 있어서 총 피폭현상에 의한 문제는 없을 것으로 생각할 수 있다. 재 수행한 RDM 검증 결과는 표 2와 같다(NASA 1994).

4. HAUSAT-2의 단일사건 효과 해석

단일사건 효과를 일으키는 요인으로는 중이온과 양자와 구조체의 간섭현상이 있다. 단일사건 효과는 저장되어 있는 데이터의 비트값을 바꿔 오류를 유발하거나 과전류를 흘려 저장되어 있는 데이터를 지워버릴 수 있으므로, 단일사건 효과 해석은 데이터 저장 기능을 수행하는 탑재 컴퓨터 MCP860T2B와 메모리 K6X8008T2B에 대해 수행하였다. 해석은 방사능 시험보고서의 데이터(방사능 포화 단면적과 LETth의 값)와 방사능 민감 부품의 포화단면적에 임계전하 값이 가해질 확률을 구해 수행하였다. SEU와 SEL의 발생확률을 구한 결과는 표 3과 같다(Rollins 1990).

탑재컴퓨터와 메모리의 비트수는 32,000 비트수로 정하였으며, 해석결과 SEU는 여러 번 발생하지만 SEL은 발생하지 않을 것으로 생각된다. 따라서 HAUSAT-2는 SEU를 억제하기 위해 FPGA에 EDAC 코드를 삽입하여 메모리와 탑재컴퓨터를 보호하도록 설계를 했으며, SEL 보호회로는 고려하지 않았다(백명진과 김학정 2001b, Rollins 1990).

5. 결론

본 논문에서는 HAUSAT-2의 우주방사능 환경 모델을 생성하고, 총 피폭현상과 단일사건 효과에 대하여 분석하였다. 우주방사능 환경은 포획된 양자, 포획된 전자, 태양양자, 외계 우주방사선을 고려하여 분석하였다. 우주방사능 환경 데이터를 바탕으로 HAUSAT-2의 총 피폭현상을 분석한 결과 HAUSAT-2의 구조체 두께인 4mm에 대해 임무기간 동안 1.560krad가 누적됨을 확인하였다. HAUSAT-2의 방사능에 민감한 부품들에 대해 DMBP 기준을 적용한 결과 몇몇의 부품이 RDM을 만족하지 못했지만, HAUSAT-2의 기하학적 형상을 고려하여 각각의 모듈에 실제 피폭되는 양을 고려했을 때 모든 부품이 RDM을 만족시키고 HAUSAT-2는 총 피폭효과의 영향으로부터 안전함을 확인하였다. 단일사건 효과에 대해서는 탑재컴퓨터와 메모리에 대해 임무기간동안 최대 15번의 SEU가 발생할 수 있으며, SEL은 발생하지 않을 것으로 예측되었다. 따라서 HAUSAT-2는 SEU를 억제하기 위해 EDAC 코드를 설계에 반영하게 되었다.

감사의 글: 본 연구개발은 과학기술부의 국가지정연구실(National Research Lab.) 사업지원에 의해 수행된 결과의 일부이며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

- 백명진, 김학정 2001a, 한국우주과학회지, 18, 153
 백명진, 김학정 2001b, 한국우주과학회지, 18, 163
 NASA 1994, Ionizing Dose and Neutron Hardness Assurance Guidelines for Microcircuits and Semiconductor (Arlington: the Department of Defense), pp.1-106
 Rollins, J. G. 1990, IEEE Trans. Nucl. sci. 37, 1961