

# 위성구조모델에 따른 방사선 총 이온화 조사량 예측을 위한 3차원 차폐두께 분석 프로그램의 개발 및 응용

조영준\*, 이창호\*\*, 이춘우\*\*\*, 황도순\*\*\*\*

## Development and Application of 3-Dimensional Shielding Analysis Program to Analyze Total Ionizing Dose Level depending on the Satellite Structure Model

Young-Jun Cho\*, Chang-Ho Lee\*\*, Choon-Woo Lee\*\*\*, Do-Soon Hwang\*\*\*\*

### Abstract

Space radiation environments depend on satellite mission orbit, period, and date, and it can be predicted by simulation. Total Ionizing Dose(TID) can be predicted by Dose-depth Curve which only inform the dose level depending on the shielding thickness. So detail effective shielding analysis considering real structure is necessary to predict part level TID. For this purpose, program is developed to calculate shielding thickness distribution by structure modeling and ray trace from certain point in the structure. Finally TID at certain point in the 3-dimensional structure can be calculated by integration of shielding distribution result and dose-depth curve data. Using this program, TID is analyzed at part level certain point by modeling of equipment box structure in the satellite.

### 초 록

우주방사선환경은 위성의 운용궤도와 임무 기간 및 시기에 따라 달라지고 시뮬레이션을 통해 예측이 가능하다. 총 이온화 조사량(TID)의 경우 dose-depth 곡선으로 차폐두께에 따른 조사량을 알 수 있다. 그러나 이는 차폐두께에 따른 조사량의 정보만 보여줌으로 실제 차폐 구조물의 형상에 따른 부품수준에서의 총 이온화 조사량을 예측하기 위해서는 구조물의 형태를 고려한 유효 방사선 차폐두께의 상세 분석이 필요하다. 이를 위해 다양한 구조형상을 3차원 좌표로 입력하여 모델링이 가능하게 하고 여기에 임의 지점에서 방사되는 ray를 이용하여 구조체의 전 방향에 대한 유효 차폐두께분포를 계산하는 프로그램을 개발하였다. 이 분포결과를 위성의 우주임무환경에서 예측되는 dose-depth 곡선 데이터와 결합하여 최종적으로 위성내부의 임의 지점에서 예측되는 총 이온화 조사량을 계산함으로써 3차원 구조형상을 고려한 상세 분석이 가능하도록 하였다. 이를 이용하여 위성의 전자박스구조를 모델링하여 부품수준의 임의지점에서 예측되는 총 이온화 조사량을 분석하였다.

키워드 : 총 이온화 조사량(TID), 방사선(radiation), 차폐두께(shielding thickness), 구조모델링(structure modeling)

접수일(2007년 12월 14일), 수정일(1차 : 2008년 6월 5일, 2차 : 2008년 6월 17일, 게재확정일 : 2008년 7월 1일)

\* 위성구조팀/yjcho@kari.re.kr

\*\* 위성구조팀/chlee@kari.re.kr

\*\*\* 위성구조팀/lcw@kari.re.kr

\*\*\*\* 위성구조팀/dshwang@kari.re.kr

## 1. 서 론

우주방사선에 의한 총 이온화 조사량은 위성의 임무궤도 및 운용기간과 시기에 따라 달라지며 시뮬레이션을 통해 해당 임무의 방사선누적환경, 즉 dose-depth 곡선을 얻을 수 있다. 이는 차폐두께에 따른 방사선 누적량에 대한 정보로 프로그램 초기 상위수준의 지표로 유용하게 사용된다. 그러나 설계가 진행됨에 따라 전기전자 부품의 선정 및 방사선 영향분석을 위해 차폐를 고려한 세부적인 분석이 필요하다. Spenvis와 같은 상용프로그램이 가지는 구조 모델링의 제약을 피하고 모델링 유닛개수의 자유도를 갖기 위해 프로그램을 개발하였고 이를 이용하여 유효 차폐두께분포 및 총 이온화 조사량을 계산하였다. 또한 계산을 위하여 위성의 임무방사선 누적환경을 나타내는 dose-depth 곡선을 시뮬레이션 하였다. 차폐분석을 위한 구조모델링은 실린더 및 박스의 조합을 통해 가능하고 3차원 치수 및 좌표정보를 입력하여 처리한다. 본 논문에서는 개발된 프로그램을 이용하여 위성체 및 전자박스를 모사한 구조모델링과 구조내부의 각 지점에서 예측되는 총 이온화 조사량의 예측결과를 비교하였다.

## 2. 차폐분석 및 총 이온화 조사량 계산 프로그램 개발

위성에 사용되는 주요 부품의 위치 및 구조물의 형상에 따른 총 이온화 조사량을 예측하기 위하여 3차원 차폐두께 분석 프로그램을 개발하였다. 실린더와 박스구조를 조합하여 구조모델링이 가능하게 하였고, ray trace 방법을 사용하여 방사선 조사량 분석지점에서 외부 공간까지 이어지는 방사패턴이 구조모델을 지나가는 차폐두께를 계산하여 방사선 차폐두께 분포를 구한다. 이 결과와 위성의 임무 우주환경에서 예측되는 dose-depth 곡선의 결과를 이용하여 최종적으로 임의 분석지점에서의 총 이온화 조사량을 계산한

다. 본 프로그램을 이용한 총 이온화 조사량의 예측순서는 다음과 같다.

- 1) 분석을 위한 위성 구조 모델링
- 2) 총 이온화 조사량 분석지점 좌표 입력
- 3) 분석지점에서의 차폐두께 분포 계산
- 4) 위성 임무 환경에서의 dose-depth 곡선 시뮬레이션
- 5) 차폐두께 분석 결과와 dose-depth 곡선 결과를 합성하여 총 이온화 조사량 레벨 계산

프로그래밍 언어는 C++를 사용하였고 다음과 같은 class의 형식으로 이루어 졌다.

- Point class: (x, y, z)로 입력되는 점의 좌표를 처리.
- Cylinder class: 그림1과 같은 실린더 구조와 관련된 입력정보를 처리.

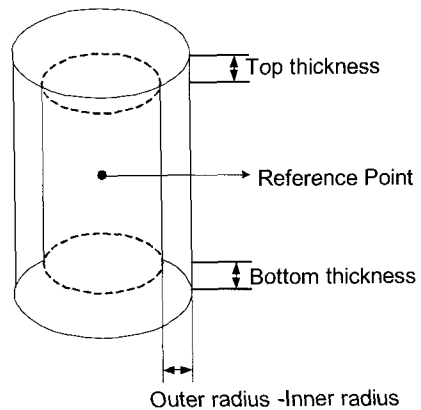


그림 1. Cylinder model 입력구조

- Box class: 그림2와 같은 박스구조의 각 길이 및 두께 정보를 입력받아 좌표값을 생성.

- Intersection\_Cylinder class: 실린더 구조 및 ray를 나타내는 선분(그림3의 P1P2)의 정보를 받아서 선분과 실린더가 만나는 좌표를 이용하여 두께를 계산.

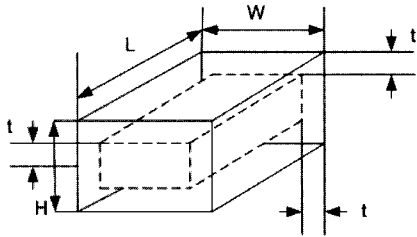


그림 2. Box model 입력구조

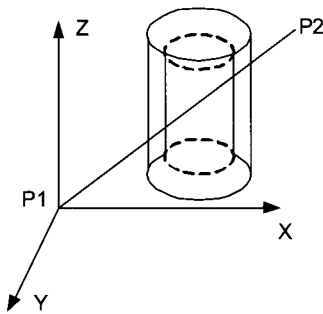


그림 3. Cylinder 교차두께 계산

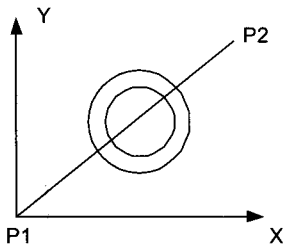


그림 4. 실린더 구조의 XY 평면 사영

그림3과 같은 실린더 구조가 있다고 할 때 그림4와 같이 XY평면에 사영시키면 ray를 나타내는 선분  $\overline{P1P2}$ 와 2개의 원이 만나는 점을 구할 수 있다. 만나는 점은 위치에 따라 0~4개까지 나온다. 그림5와 같은 XY평면에서의 선분과 원이 만나는 점의 경우는 다음과 같이 구할 수 있다.

각 점은  $P1(x_1, y_1)$ ,  $P2(x_2, y_2)$ ,  $P3(x_3, y_3)$ 로 표현할 수 있고, 이때  $P3$ 를 중심으로 하는 원은 다음과 같이 표현된다.

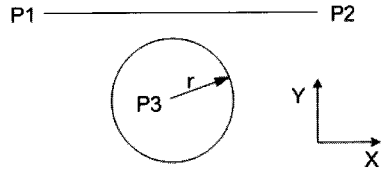


그림 5. 선분과 원의 교차예시

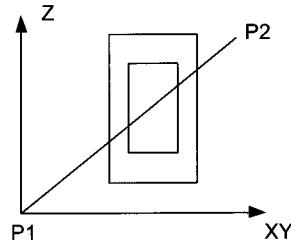


그림 6. Cylinder의 Z축에 대한 단면

$$(x-x_3)^2 + (y-y_3)^2 = r^2 \tag{1}$$

근의 공식에 따라 교차여부를 판단하고 교차점을 계산한다.

$$b^2 - 4ac < 0: \text{No cross}$$

$$= 0: \text{onepoint } (u = -\frac{b}{2a})$$

$$> 0: \text{twopoint } (u = -\frac{b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}) \tag{2}$$

$$\text{where, } a = (x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2$$

$$b = 2(x_2 - x_1)(x_1 - x_3) + (y_2 - y_1)(y_1 - y_3)$$

$$c = x_3^2 + y_3^2 + x_1^2 + y_1^2 - 2(x_3x_1 + y_3y_1) - r^2$$

교차점은  $P1+u(P2-P1)$ 으로 나타난다. 여기서 얻은 x, y값을 가지고 z축의 값을 얻는다. 선분  $\overline{P1P2}$ 를 XY평면에 수직으로 자르게 되면 그림6과 같이 만나는 점에 따라 두 개 또는 그 이하의 직사각형이 생기게 되는데 각각의 직사각형과 선분  $\overline{P1P2}$ 가 만나는 점을 구해준다. 여기에서 x, y, z 값을 모두 알게 되어 ray가 지나는 영역의 두께

를 계산할 수 있다. 차폐 분석 지점이 되는 ray의 임의의 시작점은 평행이동을 통해 원점에 두고 계산을 수행한다.

- **Intersection\_box**: 박스 구조정보 및 점 P1, P2의 정보를 받아 선분과 박스가 만나는 점을 구하여 두께를 계산한다. 그림7과 같이 선분과 면이 만나는 점은 다음과 같은 plane equation을 이용하여 구할 수 있다.

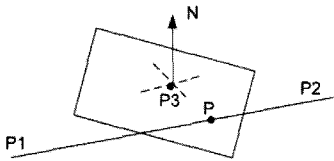


그림 7. 선분과 면의 교차예시

$N$ 은 normal vector이고  $P, P_3$ 는 면 위에 있는 임의의 점일때 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$N \cdot (P - P_3) = 0 \quad (3)$$

$P$ 가  $P_1$ 과  $P_2$ 로 이루어진 선분 위에 있을 때는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$P = P_1 + u(P_2 - P_1) \quad (4)$$

면과 선분이 교차할 경우는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} N \cdot (P_1 + u(P_2 - P_1)) &= N \cdot P_3 \\ u &= \frac{N \cdot (P_3 - P_1)}{N \cdot (P_2 - P_1)} \end{aligned} \quad (5)$$

만약  $N \cdot (P_2 - P_1) = 0$  이면 선분은 면과 평행하고  $N \cdot (P_2 - P_1) \neq 0$  일때 한 개의 해를 갖는다.

$$P = P_1 + \frac{N \cdot (P_3 - P_1)}{N \cdot (P_2 - P_1)} (P_2 - P_1) \quad (6)$$

박스 구조 입력은 안쪽과 바깥쪽 박스의 길이

및 좌표정보를 입력하여 각 면의 두께를 나타낸다. 내부적으로 총 12개의 면에 대해 각각 ray가 만나지를 판단하고 만날 경우 교점을 구하여 ray가 지나는 길이, 즉 박스 구조물에 의한 해당 두께를 계산한다.

최종적으로 임의 분석지점에서 방사되는 각 ray가 실린더 및 박스 구조물들을 통과하는 차폐 두께를 독립적으로 계산한 후 더하여 두께 분포를 구하게 된다. 이를 이용하여 dose-depth 곡선으로부터 얻은 각 차폐두께별 방사선 누적량을 대입시켜 해당 위치에서의 총 이온화 조사량을 계산한다.

### 3. 전자박스 수준의 TID 레벨 분석

위의 프로그램을 이용한 위성구조체 내부의 누적 조사량 예측은 dose-depth 데이터 분석과 구조체의 차폐두께 분석의 2단계로 이루어진다.

#### 3.1 임무궤도 방사선 환경 시뮬레이션

최종적인 총 이온화 조사량 분석을 위하여 먼저 위성의 임무궤도 방사선 환경에서의 누적 조사량 분포, 즉 dose-depth 곡선의 데이터가 필요하다. Dose-depth 곡선을 얻기 위해 상용프로그램인 SpaceRad 5.0을 이용하여 시뮬레이션이 수행되었고 시뮬레이션을 위한 조건은 다음과 같다.

- Mission orbit:
  - 550Km polar orbit, 5 years of lifetime, 98° Inclination
- Simulation model:
  - Trapped proton: AP8MIN model
  - Trapped electron: AE8MAX model
  - Solar proton: JPL91 model

시뮬레이션 결과인 dose-depth 곡선은 그림8과 같고 이 데이터를 3차원 차폐두께 분석 결과

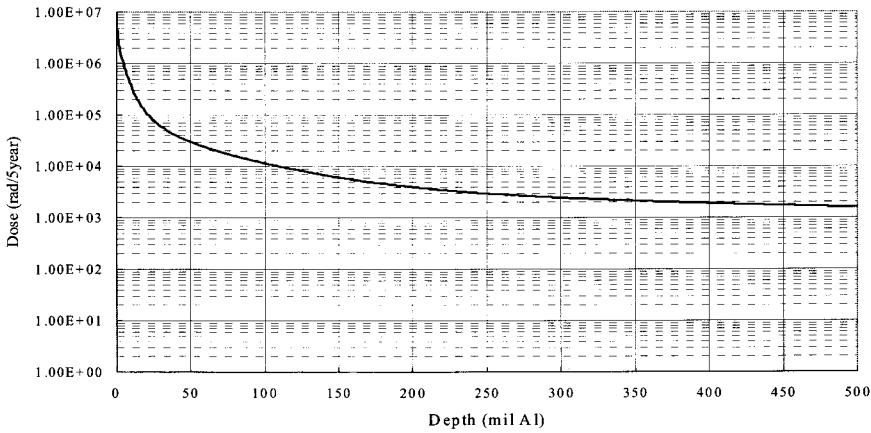


그림 8. Dose-Depth Curve

에 적용하게 된다. 세부 누적 조사량 데이터는 표1과 같다.

표 1. Dose-Depth Curve Data 예시

Shield	Trapped Electron(year)	Trapped Proton(year)	Solar Proton(year)	Total Dose(5year)
100	1.15E+03	4.02E+02	7.59E+02	1.16E+04
101	1.13E+03	3.98E+02	7.52E+02	1.14E+04
102	1.11E+03	3.98E+02	7.45E+02	1.12E+04
103	1.08E+03	3.94E+02	7.37E+02	1.11E+04
104	1.06E+03	3.94E+02	7.30E+02	1.09E+04
105	1.04E+03	3.91E+02	7.23E+02	1.07E+04
106	1.01E+03	3.91E+02	7.19E+02	1.06E+04
107	9.89E+02	3.87E+02	7.12E+02	1.04E+04
108	9.67E+02	3.87E+02	7.04E+02	1.03E+04
109	9.45E+02	3.83E+02	6.97E+02	1.01E+04
110	9.23E+02	3.83E+02	6.90E+02	9.98E+03
111	9.02E+02	3.80E+02	6.83E+02	9.82E+03
112	8.80E+02	3.80E+02	6.79E+02	9.69E+03
113	8.58E+02	3.80E+02	6.72E+02	9.54E+03
114	8.36E+02	3.76E+02	6.64E+02	9.38E+03
115	8.21E+02	3.76E+02	6.61E+02	9.29E+03
116	8.07E+02	3.72E+02	6.53E+02	9.16E+03
117	7.92E+02	3.72E+02	6.50E+02	9.07E+03
118	7.74E+02	3.72E+02	6.42E+02	8.94E+03
119	7.59E+02	3.69E+02	6.35E+02	8.81E+03
120	7.48E+02	3.69E+02	6.31E+02	8.74E+03
121	7.34E+02	3.65E+02	6.24E+02	8.61E+03
122	7.19E+02	3.65E+02	6.21E+02	8.52E+03

### 3.2 3차원 구조 모델링

실린더와 박스모델을 이용하여 위성 및 내부 전자박스의 구조를 모델링한다. 이를 위해 표2

및 3과 같은 구조정보를 텍스트 파일로 입력한다. 분석이 수행된 전자박스의 구조는 그림8과 같다. module 1, module 2, module 3의 3단으로 이루어져 있고, 각 모듈에 top cover와 bottom cover가 존재한다. 위성체 차폐모델은 실린더로 가정하였다.

#### 3.2.1 위성구조체 모델링

위성 구조체에 의한 차폐는 단순 구모델이 아닌 그림1과 같이 실린더를 고려하였고 입력정보는 표2와 같다. 위성체 모델의 반경 및 높이, 그리고 윗면, 아랫면, 측면에 대한 두께와 중심좌표를 입력값으로 한다.

표 2. Satellite Structure Input Parameter

Parameter	Value
Radius	1730mm
Height	1720mm
Radial Wall Thickness	1.27mm (50mils)
Top Cover Thickness	1.27mm (50mils)
Bottom Cover Thickness	1.27mm (50mils)
Center Position	(0, 0, 0)

#### 3.2.2 전자박스 모델링

총 이온화 조사량 예측을 위한 전자박스의 차

폐구조 모델은 그림9와 같이 각 module 1, module 2, module 3 사이에 63mils 두께의 aluminium slice cover가 삽입된 구조이다. Top 및 bottom cover는 각각 90mils와 125mils의 두께가 적용되었고 측면두께는 80mils가 적용되었다. 해당 구조의 상세 모델링 정보는 표3과 같다.

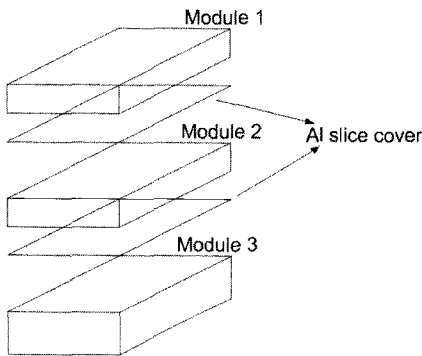


그림 9. 전자박스 구조모델

표 3. 전자박스의 Structure Input Parameter

Parameter	Value
X Length	186mm
Y Length	120mm
Z Length	146mm
X Wall Thickness	2.032mm(80mils)
Y Wall Thickness	2.032mm(80mils)
+Z Wall Thickness	2.286mm(90mils)
-Z Wall Thickness	3.175mm(125mils)
RX Bottom Cover Thickness	1.6mm(63mils)
Tx Top Cover Thickness	1.6mm(63mils)
Center Position	(0,0,0)

### 3.3 전자박스 내부의 TID Level 예측

3.2절에서 모델링한 위성체와 전자박스의 구조에서 총 이온화 조사량을 분석하고자 하는 지점을 좌표로 입력하여 그림8과 같은 차폐두께 분포 테이블을 얻었다. 총 이온화 조사량 예측 지점은 각 module 1, module 2, module 3의 중앙지점과 벽면지점 및 코너지점을 선정하여 분석을 수행하였다.

그림10은 module 2의 중앙지점에서의 차폐두께 분석 결과이다. x, y, z값은 그림11에서와 같이 분석 모델 외곽에 구를 만들고 이 구를 z축으로 일정한 길이로 나누어 생기는 원위의 점이 된다. 각각의 점은 위성 구조 모델의 분석지점으로 전 방향에서 입사되는 ray의 시작점을 나타낸다. z축의 등분길이 및 좌표(x, y)의 갯수설정을 통해 입사되는 ray의 수를 결정하고 모사하였다. 이후의 값은 실린더와 박스모델별 각 ray가 통과하는 구조물의 두께를 계산한 결과이다. 마지막의 total thickness 값은 각 ray가 통과하는 모든 구조물의 두께를 계산하여 더한 값으로 유효 차폐두께가 된다.

그림10의 shielding analysis에서 얻은 차폐두께 계산 결과를 이용하여 두께별 분포확률을 구하고 여기에 표1의 차폐 두께별 dose-depth 데이터를 적용하여 최종적으로 그림12와 같이 총 이온화 조사량을 계산하였다. 그림12는 module 2의 중앙지점에서의 최종 출력 결과를 나타낸다.

위와 같이 분석한 각 지점에서의 총 이온화 조사량을 정리하면 표4와 같다.

표 4. 분석위치에 따른 TID 레벨 예측 결과

EQ Analysis Point	Minimum Shielding Thickness	Maximum Shielding Thickness	Total Dose Level
Top center	3.302mm	17.2276mm	3759.43rad
Top right side	3.302mm	23.9973mm	3851.86rad
Top right corner	3.302mm	24.0379mm	3869.28rad
Middle center	3.302mm	44.8832mm	3274.61rad
Middle right side	3.302mm	59.531mm	3298.56rad
Middle right corner	3.302mm	58.55mm	3286.05rad
Bottom center	3.302mm	17.2276mm	3431.02rad
Bottom right side	3.302mm	23.9973mm	3538.88rad
Bottom right corner	3.302mm	24.0379mm	3564.18rad

This is RayPoint2 Value											
X	Y	Z	Cylinder	1TH	Box	1TH	2TH	Total Thickness			
0	0	3000	Cylinder :	1.27	Box :	2.286	1.6	T5.156			
423.202	0	2970	Cylinder :	1.28283	Box :	2.30909	1.61616	T5.20000			
422.367	26.5731	2970	Cylinder :	1.28283	Box :	2.30909	1.61616	T5.20000			
419.865	53.0413	2970	Cylinder :	1.28283	Box :	2.30909	1.61616	T5.20000			
415.706	79.3002	2970	Cylinder :	1.28283	Box :	2.30909	1.61616	T5.20000			
409.906	105.246	2970	Cylinder :	1.28283	Box :	2.30909	1.61616	T5.20000			
402.489	130.777	2970	Cylinder :	1.28283	Box :	2.30909	1.61616	T5.20000			
393.483	155.791	2970	Cylinder :	1.28283	Box :	2.30909	1.61616	T5.20000			
382.925	180.191	2970	Cylinder :	1.28283	Box :	2.30909	1.61616	T5.20000			
370.855	203.879	2970	Cylinder :	1.28283	Box :	2.30909	1.61616	T5.20000			
357.321	226.763	2970	Cylinder :	1.28283	Box :	2.30909	1.61616	T5.20000			
342.378	248.752	2970	Cylinder :	1.28283	Box :	2.30909	1.61616	T5.20000			
326.083	269.759	2970	Cylinder :	1.28283	Box :	2.30909	1.61616	T5.20000			
308.501	289.702	2970	Cylinder :	1.28283	Box :	2.30909	1.61616	T5.20000			
289.702	308.501	2970	Cylinder :	1.28283	Box :	2.30909	1.61616	T5.20000			
269.759	326.083	2970	Cylinder :	1.28283	Box :	2.30909	1.61616	T5.20000			
248.752	342.378	2970	Cylinder :	1.28283	Box :	2.30909	1.61616	T5.20000			
226.763	357.321	2970	Cylinder :	1.28283	Box :	2.30909	1.61616	T5.20000			
203.879	370.855	2970	Cylinder :	1.28283	Box :	2.30909	1.61616	T5.20000			
180.191	382.925	2970	Cylinder :	1.28283	Box :	2.30909	1.61616	T5.20000			
155.791	393.483	2970	Cylinder :	1.28283	Box :	2.30909	1.61616	T5.20000			
130.777	402.489	2970	Cylinder :	1.28283	Box :	2.30909	1.61616	T5.20000			
105.246	409.906	2970	Cylinder :	1.28283	Box :	2.30909	1.61616	T5.20000			
79.3002	415.706	2970	Cylinder :	1.28283	Box :	2.30909	1.61616	T5.20000			
53.0413	419.865	2970	Cylinder :	1.28283	Box :	2.30909	1.61616	T5.20000			
26.5731	422.367	2970	Cylinder :	1.28283	Box :	2.30909	1.61616	T5.20000			

그림 10. Shielding Analysis 결과 파일

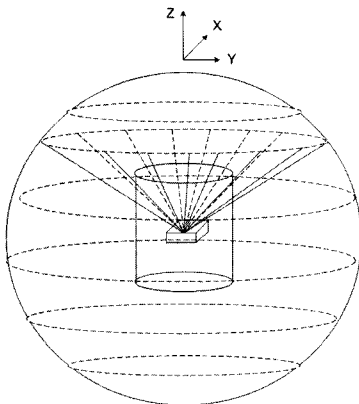


그림 11. Shielding 계산을 위한 ray 분포 예시

Total thickness : 156011  
 Minimum thickness : 3.302  
 Maximum thickness : 44.8832

Shield (mils)	Totaldose	Frequency	Prob.	Folded Dose
0	9.75e+006	0	0	0
1	3.53e+006	0	0	0
2	2.27e+006	0	0	0
:	:	:	:	:
148	6240	60	0.00301477	10.8122
149	6180	100	0.00502462	31.0522
150	6100	56	0.00281379	17.1641
151	6050	54	0.0027133	16.4155
152	5990	28	0.00140609	8.42727
153	5930	36	0.00180886	10.7265
154	5860	68	0.00341674	20.0221
155	5800	48	0.00200985	11.6571
156	5760	36	0.00180886	10.4419
157	5700	24	0.00120591	6.87069
158	5640	24	0.00120591	6.80133
:	:	:	:	:
1710	1500	0	0	0
1711	1500	4	0.000200985	0.317556
1712	1500	0	0	0
1713	1500	4	0.000200985	0.317556
1714	1500	0	0	0
:	:	:	:	:
Total dose Sum : 3274.61				

그림 12. 최종 TID 레벨 분석 결과 파일

### 3.4 결과 고찰

3.3절의 구조모델링에 대한 차폐두께 분포의 계산결과를 검증하기 위해 그림11에서와 같이 구위의 임의의 지점에서 입사되는 방사선이 통과하는 차폐두께를 각 구조 모델별로 계산하여 그림 10의 출력결과와 비교하였고 결과가 일치함을 확인하였다. 예로 (0, 0, z)지점에서의 방사선 차폐 두께는 위성체 두께 1.27mm와 전자박스의 윗면 및 중간커버 두께인 2.286mm와 1.6mm를 더한 5.156mm임을 알 수 있다. 그림12의 최종결과 파

일은 구형 분할법과 같이 그림10에서 계산된 차폐두께데이터를 이용한 분포확률에 dose-depth 데이터를 적용하여 계산한 결과이다. 이는 상용 프로그램인 Spenvis에서 적용하는 방법과 같고 두 프로그램의 해석결과를 비교하기 위하여 Spenvis에서 구현 가능한 단순 박스 모델의 결과를 비교해 보았다. 단순 박스 모델은 그림9와 같은 모델에서 각 모듈사이에 삽입된 aluminium slice cover를 제거한 모델로 여기에서 예측된 총 이온화 조사량의 결과는 개발된 프로그램의 경우

3.98krad, Spenvis의 경우 4.2krad가 예측되었다. 두 프로그램의 해석 결과가 조금 차이를 보이는데 이는 Spenvis에서 시뮬레이션된 dose-depth 데이터가 일부 차폐두께 구간에서 차이가 나기 때문인 것으로 해석되며 추후 dose-depth 데이터의 적용형식을 다양화할 수 있도록 프로그램을 수정하여 프로그램 해석결과를 통해 확인할 예정이다.

표4의 결과는 구조모델의 위치에 따라 총 이온화 조사량이 달라짐을 보여주고 있고 이는 그림10과 같은 차폐두께 분석 결과를 통해 분석 위치에 따라 유효 차폐두께가 차이가 남을 확인할 수 있다.

본 프로그램은 Sector analysis를 지원하는 상용프로그램이 가지는 모델링 수의 제한조건을 없애고 차폐두께 계산결과를 확인하여 검증할 수 있도록 하였다. 이를 통해 실제 복잡한 구조의 시스템에 대한 해석을 목표로 하고 있고 단순 모델에서의 해석결과를 통해 가능성을 확인하였다.

## 4. 결 론

위성에 적용되는 전기전자 부품은 우주 방사선에 의한 성능저하가 야기되므로 방사선 특성에 대한 통제가 이루어져야 하고 필요시 적절한 보호대책이 필요하다. 이를 위해서는 먼저 부품이 장착되는 위치에 따른 총 이온화 조사량을 예측하고 이에 따른 영향분석이 이루어져야 한다. 본 논문에서는 구조에 따른 3차원 차폐두께의 분석과 이를 이용한 총 이온화 조사량을 예측하고 기존 상용프로그램의 구조 모델링수의 제약을 극복하기 위해 개발된 프로그램을 소개하고 있다. 또한 이를 이용하여 실제 위성의 간단한 전자장비 구조에서의 총 이온화 조사량을 분석한 예제를 보여준다. 개발된 프로그램은 추후 박스모델링 방법의 개선 및 다양한 구조 모델에서의 해석을 통해 검증을 계속할 예정이다.

## 참 고 문 헌

1. E. Daly, P. Nieminen, A. Mohammadzad, R. Harboe-Sorensen, and R. de Marino, Standard for Space Radiation Environments and Effects, ECSS.
2. Janet Barth, Radiation Environments, Military and Aerospace Application of Programmable Devices and Technologies Conference, NASA/GSFC, 1998.
3. ECSS, Space Product Assurance-EEE components, ECSS-Q-60B, ESA-ESTEC, 2007.
4. ESA, The Space Environment Information System, Belgian Institute for Space Aeronomy.