

## GEO위성에서 우주방사선의 차폐설계방법

조영성, 박재연, 김광혁

경애하는 최고령도자 김정은동지께서는 다음과 같이 말씀하시였다.

《우리는 가까운 앞날에 전반적인 과학기술분야에서 세계를 디디고 올라설수 있다는 배심을 가지고 첨단돌파의 기적들을 련이어 창조하여야 합니다.》(《조선로동당 제7차대회에서 한 중앙위원회사업총화보고》 단행본 40페이지)

우주방사선환경에서 전자유소들이 정상적으로 동작하게 하려면 인공위성의 방사선차폐설계를 잘하여야 한다. 그러자면 해당 위성이 놓이는 궤도의 우주방사선환경에 대하여 잘 알아야 하며 알맞는 차폐설계를 진행하여야 한다.

론문에서는 지구정지궤도(Geostationary Orbit, GEO)의 방사선환경에서 동작하는 인공지구위성의 차폐설계방법을 고찰하였다.

### 1. 지구정지궤도에서 우주방사선환경

위성의 차폐를 설계하려면 먼저 그 궤도에서 우주방사선환경이 어떠한가부터 알아야 한다. 왜냐하면 방사선립자의 종류에 따라 차폐설계가 서로 다르게 진행되기때문이다.

지구정지궤도는 지구의 반알렌방사선띠의 바깥띠에 놓이는데 이 층은 전자가 매우 우세한 층이다.[2]

먼저 지구정지궤도에서 보다 정확한 방사선환경을 얻기 위하여 우주방사선환경모의 프로그램 OMERE를 리용하여 1년간의 임무수행기간에 위성이 받는 우주방사선환경을 모의하였다.(그림 1)

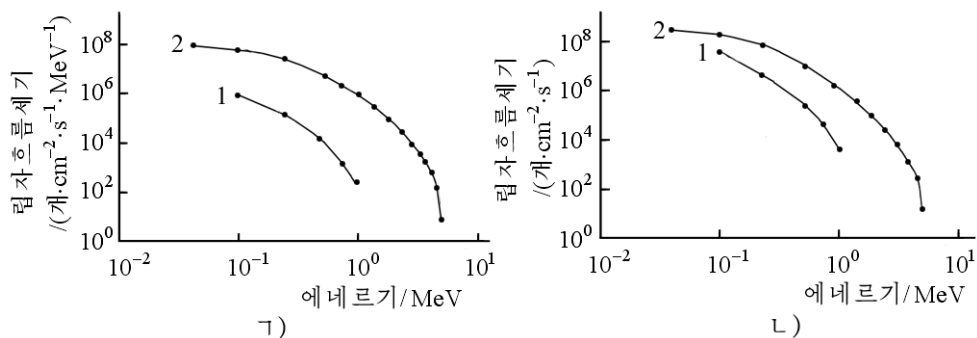


그림 1. 지구정지궤도에서 평균립자뭉름분포곡선

가) 미분값, 나) 적분값, 1-양성자, 2-중성자

그림 1에서 보는바와 같이 양성자의 에너지는 0.1~1MeV에 몇개정도의 분포만 있고 단위시간당 단위면적에 떨어지는 립자수는  $10^6$  개정도이지만 전자의 에너지대역은 0.04~5MeV의 넓은 범위에 있으며 단위시간당 단위면적에 떨어지는 립자수는  $10^8$  개정도로서 전자가 대단히 우세하였다. 이로부터 이 궤도에서는 전자차폐가 중요한 문제로 나선다는것을 알수 있다.

## 2. 위성의 차폐설계

차폐설계에는 자체차폐설계와 추가적인 차폐설계 두가지가 있다.[1, 2]

일반적으로 인공위성구조물은 그자체가 차폐역할을 할수 있다. 만일 방사선에 대한 자체차폐효과를 얻을수 없다면 즉 위성안의 물체들이 방사선을 충분히 방어할수 없다면 추가적인 차폐제를 배치해야 한다. 추가적인 차폐는 본질상 차폐대상과 외부환경사이에 적당한 물질을 적당한 두께로 씌우는것이다.

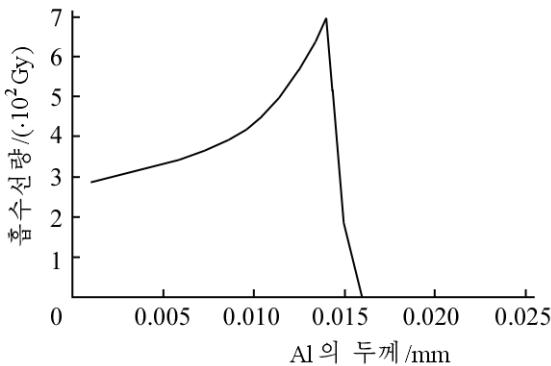


그림 2. 1MeV 양성자의 흡수선량곡선

지구정지궤도에서 양성자의 최대에너지는 1MeV이다. 양성자가 고밀도물질과 충돌할 때 그것들은 이 물질과 호상작용하여 2차립자를 발생시키므로 이를 위하여 더 많은 차폐층이 요구된다. 따라서 양성자차폐에는 Al과 같은 저밀도립자가 보다 효과적이다.

Geant4프로그램을 리용하여 모의한 결과 1MeV정도의 Al속에서 양성자의 주행거리는  $16\mu\text{m}$  정도였다.(그림 2) 이 값은 Al속에서 1.13MeV 양성자의 주행거리가 약  $17.6\mu\text{m}$  정도인 선행연구[3]결과와 비교해볼 때 아주 잘

일치하였다. 그러므로 이 궤도에서 양성자는 위성외부구조물에서 차폐되므로 여기서는 전자차폐만 진행하면 된다.

물질의 차폐성능을 평가하는 기본지표는 선형에너지감소  $dE/dx$ 가 어떤가를 알아보면 된다.

$$S = \frac{dE}{dx} \quad (1)$$

대전립자의 경우  $S$  값은 다음과 같이 계산된다.

$$-\frac{dE}{dx} = \frac{4nZ^4e^4}{m_0v^2}NB \quad (2)$$

여기서

$$B = Z \left[ \ln \left( \frac{2m_0v^2}{I} \right) - \ln \left( 1 - \frac{v^2}{c^2} \right) - \frac{v^2}{c^2} \right] \quad (3)$$

이며  $e$ 와  $v$ 는 입사립자의 전하와 속도이다. 식 (3)을 통하여 전하수가 큰 물질일수록 전자차폐가 더 잘된다는것을 알수 있다.

다음으로 대표적인 중금속들인 Ta, Pb, W에서 차폐모의를 진행하였다.

5MeV 단색전자의 차폐두께에 따르는 흡수선량곡선은 그림 3과 같다.

그림 3에서 보는바와 같이 전자차폐에서 W, Ta, Pb의 순서 즉 원자번호가 작아지는 차례로 차폐효과가 좋았다. 그러나 W는 굳고 녹음점이 높은 반면에 공기속에서 쉽게 산화되므로 전자차폐제로 Ta를 리용하였다.

다층차폐모의프로그램 MULASSIS를 리용하여 Ta속에서 5MeV 단색전자스펙트르의 차폐특성을 고찰하였다.

물질에서 전자의 에너지손실은 이온화에 의한 에너지손실과 제동복사에 의한 에너지손실이 있다. 즉 전자에서는  $-dE/dx$ 가

$$-\frac{dE}{dx} = \left(-\frac{dE}{dx}\right)_{\text{이온화}} + \left(-\frac{dE}{dx}\right)_{\text{제동}} \quad (4)$$

으로 표시된다.

Ta속에서 5MeV 단색전자의 평균주행거리를 결정하기 위하여 모의를 진행한 결과 약 4.3mm로서 실험값[3] 4.27mm와 아주 잘 맞으며 흡수선량이 4.5mm에서 최대로 되었다. 그러나 전자흐름이 단색이 아니고 여러가지 에너지를 가진 스펙트르라는것과 위성의 차폐제질량과 체적제한조건을 고려하여 Ta의 차폐두께를 10mm로 정하였다.

반도체소자가 받는 흡수선량은 다층차폐모의프로그램 MULASSIS를 리용하여 모의하였다.(표)

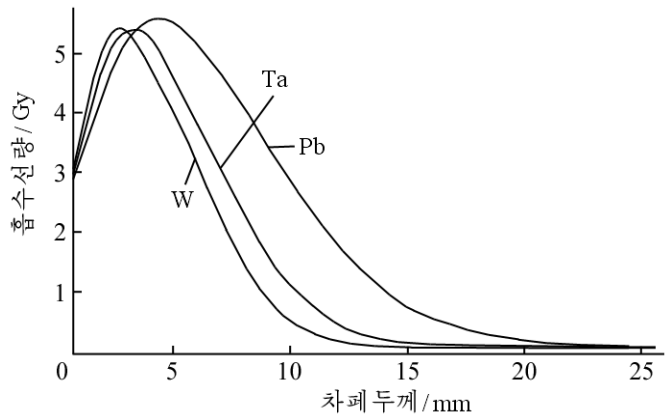


그림 3. 5MeV 단색전자의 차폐 두께에 따르는 흡수선량곡선

표. 차폐전과 차폐후 흡수선량

차폐 두께 /mm	차폐 전 흡수선량 (kGy·y <sup>-1</sup> )	차폐 후 흡수선량 (kGy·y <sup>-1</sup> )	
		평면차폐	구형차폐
10	76.984	7.11	3.43

표에서 보는바와 같이 전자의 차폐물질로 Ta를 리용하였을 때 차폐판을 평면으로 설치하면 흡수선량이 거의 1/10로 줄어들었다. 또한 구형차폐를 한 경우 평면차폐를 하였을 때보다 거의 1/2로 줄어들었다. 차폐후 흡수선량은 반도체소자가 우와 같은 단순한 차폐속에서 우주방사선을 받을 때 받게 되는 값이다. 그러나 위성구조물안에서 흡수선량분포가 위치마다 다르며 또한 내부구조물들에 의한 추가적인 차폐효과가 있으므로 이곳에 반도체소자들을 설치하면 우와 같은 차폐속에서도 얼마든지 집적소자들이 받는 흡수선량을 허용한계까지 낮출수 있다.

## 맺 는 말

1) 방사선차폐모의를 통하여 지구정지궤도에서는 위성구조물에 의한 자체차폐로 양성자를 차폐할수 있다는것을 밝혔다.

2) GEO궤도에서 기본방사선립자는 전자이며 전자차폐물질로는 Ta가 가장 합리적이다.

3) 차폐를 구형으로 10mm두께로 설정하면 반도체소자가 1년동안 받는 흡수선량을 3.43kGy까지 낮출수 있다.

## 참 고 문 헌

- [1] Omid Zeynali; Shielding Protection of Electric Circuit against Radiation Effects of Space High Energy Particles, Pelagia Research Library, 6~8, 2012.
- [2] B. Giovanni; Acta Astronautica, 3, 159, 2002.
- [3] J. L. Wiley; Space Mission Analysis and Design, Microcosm Press, 632~654, 2005.

주체107(2018)년 12월 5일 원고접수

## Research on the Shielding Method of Radiation in Space of GEO Satellite

*Jo Yong Song, Pak Jae Yon and Kim Kwang Hyok*

We found that proton could be shielded in geostationary orbit using self-shielding of satellite structure through radiation shielding simulation, and in this orbit the main radiation particle was an electron and Ta was the most reasonable material for electron shielding one.

Key words: GEO, Geant4, MULASSIS