

## WC/Ni/흑연/에폭시계재료의 전자, $\gamma$ 선차폐특성

한금혁, 박호남

우주비행체는 복잡한 우주환경의 영향을 받는다. 실제로 우주비행체가 자기 궤도에 진입하는 과정에 양성자, 전자의 흐름속을 경과하게 되며 자기 궤도에 진입한 다음에도  $\gamma$  선을 비롯한 여러가지 방사선의 영향을 받게 된다.

선행연구[1]에 의하면 방사선차폐재료로 산화연을 주성분으로 하고 산화알루미늄, 산화철, 붕사를 배합하여 방사선기능보호층을 만들었는데  $^{241}\text{Am}(60\text{keV}, \gamma \text{선})$ 급의 방사선( $\alpha, \beta, \gamma$ , 중성자)을 85%까지 막았다.

한편 수열법으로 제조한  $\text{PbWO}_4$ 나노결정은 바탕재료에 대한 분산성이 좋으며 유기 고분자재료와 복합하면 방사선차폐성능을 가진 기능성칠감을 제조할수 있다. 연구에 의하면  $\gamma$  선차폐칠감의 종합적성능은 원래의 칠감보다 매우 높는데  $\gamma$  선차폐률이 32%이다.[2]

선행연구[4]에서는  $\text{PbO-B}_2\text{O}_3$ 과  $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-PbO-B}_2\text{O}_3$ 계의  $\gamma$ 선차폐재료에 대하여 고찰하였는데 콘크리트에서보다 특성이 더 좋았으며 선행연구[5]에서는 폴리에틸렌섬유혼합물, 탄소섬유혼합물, 알루미늄 등 여러가지 혼합물들을 리용하여 양성자와 전자 등 방사선들에 대한 차폐특성을 모의와 실험으로 평가하였다. 여기서는 전자인 경우 6.4mm이하의 두께에 대하여 2%미만의 투과를 허용하였다.

선행연구자료를 분석해보면 대다수의 경우 지상에 있는 원자로나 기타 방사선원천으로부터의 차폐를 목적으로 하였기때문에 질량감소에 대하여서는 취급하지 않았다.

이 논문에서는 밀도가  $2\text{g/cm}^3$ 이하인 WC/Ni/흑연/에폭시계재료의 전자,  $\gamma$ 선차폐특성을 고찰하였다.

### 1. WC/Ni/흑연/에폭시계재료의 전자선차폐특성

전자선과 물질과의 호상작용은 물질을 이루고있는 원자안의 전자가 만드는 전기마당속에서의 전자의 운동이므로 산란자름면적이 크며 또한 전자의 질량이 중성자나 양성자에 비하여 매우 작아 차폐하기가 쉽다.

그러나 전자의 에너지가 클 때에는 사정이 다르다. 이 경우에는 입사하는 전자의 에너지가 크므로 표적원자안의 전자를 떼어내는 턱에너지를 훨씬 룡가하여 입사전자의 에너지가 완전히 소모될 때까지 여러번의 충돌을 거치게 된다.

실제적으로 Ge에 대하여 입사전자의 에너지에 따르는 전도도변화과정에 대한 실험에서는 0.6MeV정도의 턱에너지까지는 전도도변화가 거의 없다가 이 턱에너지를 지나서부터는 저항이 커진다.[3]

이러한 사실은 큰 에너지의 입사전자에 대하여 표적재료의 물리적인 구조변화가 동반된다는것을 말해준다.

한편 우주비행체가 자기 궤도에 진입하려면 양성자와 전자의 흐름밀도가 큰 반 알렌 띠를 경과해야 하므로 전자흐름에 대한 차폐특성도 반드시 고찰해야 한다.

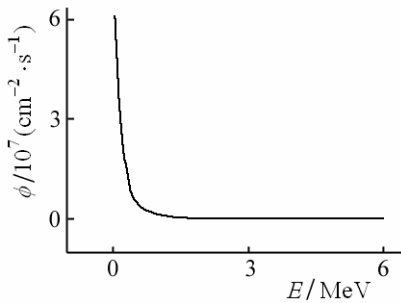


그림 1. 반 알렌띠에서의 에너지에 따르는 전자분포스펙트럼

정지위성궤도에 가까운 원지점고도 35 870km, 근지점고도 180km인 경우 전자의 에너지는 0.04MeV로부터 6MeV범위의 에너지구간에 분포되어있다.

우리는 모의도구 OMERE를 리용하여 원지점고도 35 870km, 근지점고도 180km에서 반 알렌띠에서의 전자 분포모의를 진행하였다. 모의결과에 대한 반 알렌띠에서의 에너지에 따르는 전자분포스펙트르는 그림 1과 같다.

그림 1에서 보는바와 같이 전자분포 역시 지수함수적으로 분포되었다. 즉

$$y = 9.676\ 81 \cdot 10^7 \times \exp\left(\frac{-x}{0.151\ 02}\right) + 318\ 564\ 992$$

로 근사화된다. 여기서  $y$ 는 전자의 적분흐름을 반영한 세로축이며  $x$ 는 에너지를 반영한 가로축이다.

전자분포곡선을 적분하는 방법으로 전체 전자의 흐름을 평가한 결과  $13\ 839\ 370\ 712/(\text{cm}^2 \cdot \text{s})$ 이다. 이러한 전자분포를 리용하여 제기한 방사선차폐복합재료에 대하여 차폐특성을 모의하였다.

차폐재료의 조성은 WC-0.002 42mm, Ni-0.250 4mm, 흑연-0.155 2mm, 에폭시수지(비스페놀A형수지)-4.575 2mm이다.

차폐층을 투과한 전체 투과흐름량은  $1\ 004\ 308/(\text{cm}^2 \cdot \text{s})$ 이다.

결과 우리가 제안한 재료에서 전자의 차폐률은 99.993%였다.

한편 원지점고도 500km, 근지점고도 494.6km에서의 전자분포에 대하여 우의 재료로 차폐특성을 모의한데 의하면 차폐률이 99.999 3% 였다.

이와 같이 전자의 흐름밀도가 큰 정지위성궤도에 가까운 자리길에서의 차폐특성은 떨어진진다. 이것은 전자의 흐름밀도가 클수록 차폐하기가 힘들다는것을 말해준다.

그러나 두 경우에 다같이 차폐률이 99.99%이상으로서 전자요소보호에 효과가 있다고 볼수 있다.

## 2. WC/Ni/흑연/에폭시계재료의 $\gamma$ 선차폐특성

그림 1과 같은 분포를  $\gamma$ 선원천으로 가정하고 우에서 선택한 방사선차폐복합재료에 대한  $\gamma$ 선차폐특성을 모의하였다. 모의결과 복합재료에서  $\gamma$ 선의 에너지에 따르는 투과스펙트르는 그림 2와 같다.

차폐률을 계산한데 의하면 99.7%이다. 여기서 보여주는바와 같이 동일한 분포를 가진 방사선원천에 대하여  $\gamma$ 선차폐가 전자차폐보다 더 어렵다는것을 보여준다.

실제적으로 정지궤도위성인 경우 위성은 반 알렌띠를 벗어나서 궤도자리길을 따라서 돌기때문에  $\gamma$ 선의 분포는 우리가 가정한  $\gamma$ 선복사원천의 적분속도보다 훨씬 작다고 볼수 있다.

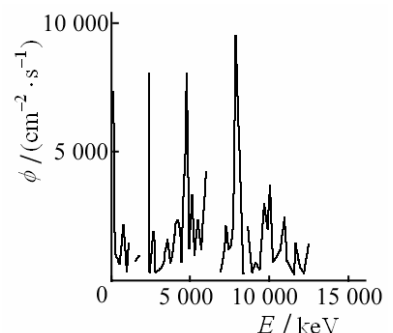


그림 2.  $\gamma$ 선의 에너지에 따르는 투과스펙트럼

우리는 모의뿐 아니라 실제적으로 강한  $\gamma$ 선 복사환경에서 차폐통안에 연산증폭소자 TL082를 넣고 실험을 진행하였다.

실험에서는  $\gamma$ 선 복사원천의 적분속이  $10^{15}\text{cm}^{-2}$  되게 조여주었다.  $\gamma$ 선의 조임전과 조임 후 연산증폭소자 TL082특성에서는 아무런 변화도 관측되지 않았다.

이것은 우리가 개발한 방사선 차폐재료로서 우주비행체안에 내장되어있는 CPU를 비롯한 전자요소들을 전자선과  $\gamma$ 선 복사로부터 보호할수 있다는것을 말해준다.

## 맺 는 말

모의와 실험결과들은 WC/Ni/흑연/에폭시계재료를 우주환경의 전자,  $\gamma$ 선 복사로부터 우주비행체안의 전자요소들을 보호할수 있는 차폐재료로 리용할수 있다는것을 확증하였다.

## 참 고 문 헌

- [1] 김일성 종합대학학보(자연과학), 58, 6, 19, 주체101(2012).
- [2] 김일성 종합대학학보(자연과학), 50, 11, 83, 주체93(2004).
- [3] 고병춘; 재료의 방사선조임효과, 외국문도서출판사, 36~50, 주체105(2016).
- [4] N. Singh et al.; Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, B 225, 305, 2004.
- [5] A. Emmanuel; Design and Development of a Multifunctional Composite Radiation Shield for Space Applications, Department of Mechanical Engineering University of Manitoba, 117~120, 2017.

주체108(2019)년 9월 5일 원고접수

## Electron and $\gamma$ -Rays Shielding Properties of the WC/Ni/Graphite/Epoxy Resin Compounds

*Han Kum Hyok, Pak Ho Nam*

We have shown that the WC/Ni/Graphite/Epoxy resin compounds have a high shielding capability for electrons and  $\gamma$ -rays.

Keywords: electron,  $\gamma$ -ray, shielding