

석영유리에서 내부반알렌방사선띠양성자들의 투과특성평가

김 혁

위대한 수령 김일성동지께서는 다음과 같이 교시하시였다.

《새로운 과학분야를 개척하며 최신과학기술의 성과를 인민경제에 널리 받아들이기 위한 연구사업을 전망성있게 하여야 합니다.》(《김일성전집》 제72권 292페이지)

인공위성에서 석영유리는 여러가지 광학기구재료로 널리 리용되며 우주선조임에 의한 광학기구들의 동작안정성문제를 해결하는것은 인공위성의 실용화에서 중요한 문제로 제기된다.[2, 3]

론문에서는 우리 나라 위성들의 운행자리길에 해당하는 저고도에서 내부반알렌방사선띠양성자조임에 의한 석영유리의 우주복사선손상을 평가할 때 우선적으로 제기되는 투과깊이와 차폐특성에 대하여 고찰하였다.

1. 저고도에서 내부반알렌방사선띠양성자흐름스펙트르

반알렌방사선띠립자들은 우주에서 지구쪽으로 입사하던 대전립자들이 지구자기마당의 포획작용에 의하여 지구적도상공에 2개의 주브모양의 띠로 갇혀있는 립자들이다.

지구표면에서 위로 올라가면서 맞다드는 첫 반알렌방사선띠(내부반알렌방사선띠)는 600~10 000km인 고도에 존재하는데 주로 양성자들로서 에네르기가 0.1~400MeV정도의 값을 가지며 높이 올라가면서 감소하는 분포를 가진다.[2] 이 방사선띠는 우주정류소와 저고도위성들에 영향을 미치게 된다.

한편 10 000~60 000km의 고도구간에 존재하면서 중심위치가 20 000~25 000km에 있는 두번째 띠(외부반알렌방사선띠)는 태양활동의 영향을 세계 받으며 지자기마당변화에 따라 립자흐름의 세기와 위치가 모두 크게 변화된다. 외부반알렌방사선띠는 전자가 위주인데 에네르기는 7MeV까지이며 세기는 내부반알렌방사선띠에서보다 더 크다. 주로 통신 위성들이나 TV중계위성들과 같은 정지위성들이 이 방사선띠의 영향을 받는다.

론문에서는 우리 나라의 위성들이 모두 저고도위성들이므로 양성자가 위주인 내부반알렌방사선띠립자들에 대하여 고찰하였다.

내부반알렌방사선띠구역의 립자흐름밀도값은 대체로 안정한데 지자기폭풍에 의하여 일시적으로 교란되며 11y의 태양주기에 따라 변한다. 내부반알렌방사선띠립자들의 기본원천은 태양에서 오는 립자들과 우주복사선들이 지구자기마당의 영향으로 포획되어 생기는 립자들이다.

우주선영향해석프로그램인 《OMERE 3.6》을 리용하여 내부반알렌방사선띠양성자의 적분흐름스펙트르를 평가하였다.(그림 1, 2)

저고도자리길에서 내부반알렌방사선띠양성자의 흐름은 에네르기가 증가함에 따라 감소하며 고도가 높아질수록 급격히 감소한다. 또한 고도가 높아질 때 내부반알렌방사선띠양성자의 흐름은 양성자의 에네르기가 수MeV일 때에는 급격히 증가하여 일정한 포화값에 도달하지만 에네르기가 그 이상일 때에는 에네르기가 증가함에 따라 급격히 증가하다가 다시 감소하며 수MeV이하의 양성자가 대부분을 차지한다는것을 알수 있다.

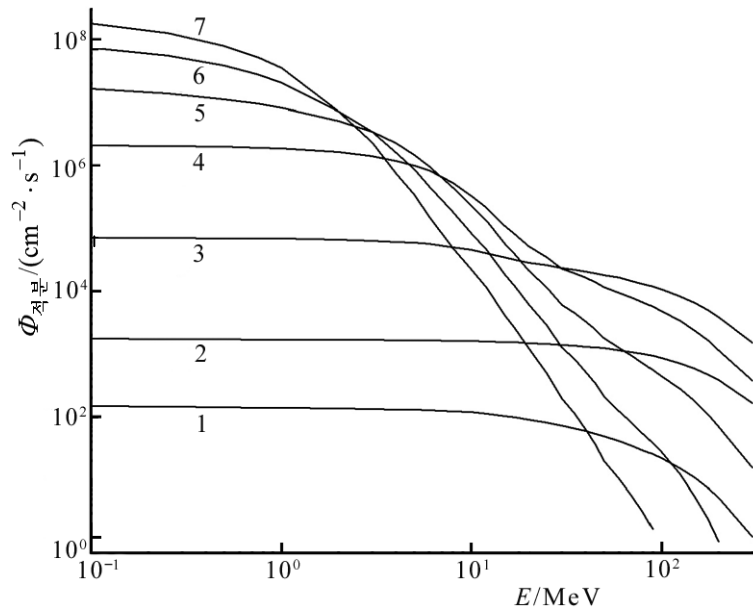


그림 1. 에너지에 따르는 내부반알렌방사선띠양성자의 적분흐름스펙트르
1-7은 고도가 각각 800, 1000, 2000, 4000, 6000, 8000, 10000km인 경우

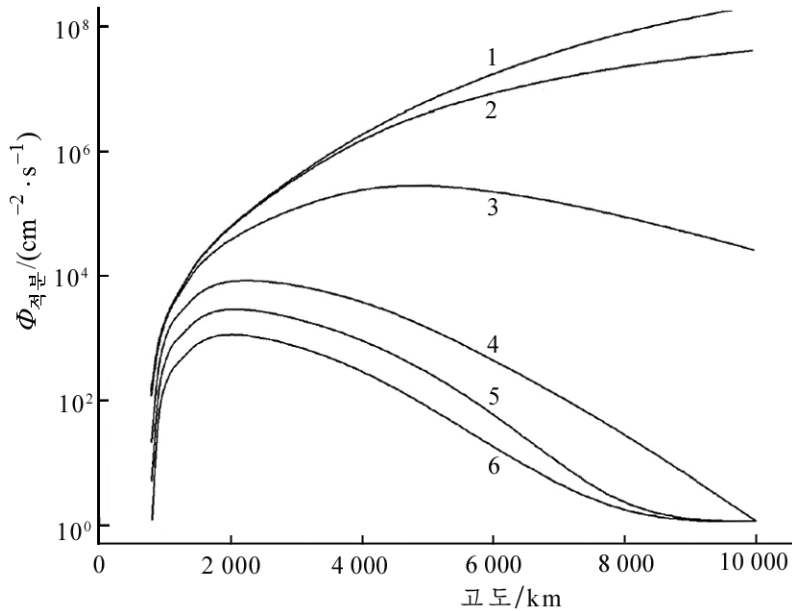


그림 2. 고도에 따르는 내부반알렌방사선띠양성자의 적분흐름스펙트르
1-6은 에너지가 각각 0.1, 1, 10, 100, 200, 300MeV인 경우

2. 석영유리에서 우주양성자의 투과특성평가

1) Geant4에 의한 양성자의 투과깊이평가

석영유리속에서 양성자의 투과과정을 정확히 모의하는것은 광학기구들에서 양성자의 차폐가능성을 결정하는데서 중요하게 제기된다.

론문에서는 《Geant4.9.3》에 의하여 석영유리속에서 양성자의 투과깊이를 평가하였으며 알고리즘은 그림 3과 같다. 그림 3에서 E_p 는 양성자의 에너지, E_d 는 매질원자의 변위에너지이다.

석영유리속에서 양성자들의 투과특성을 Geant4모형에서 평가하였다. 평가의 정확성을 위하여 Trim85의 모의값과 비교하였다.(표)

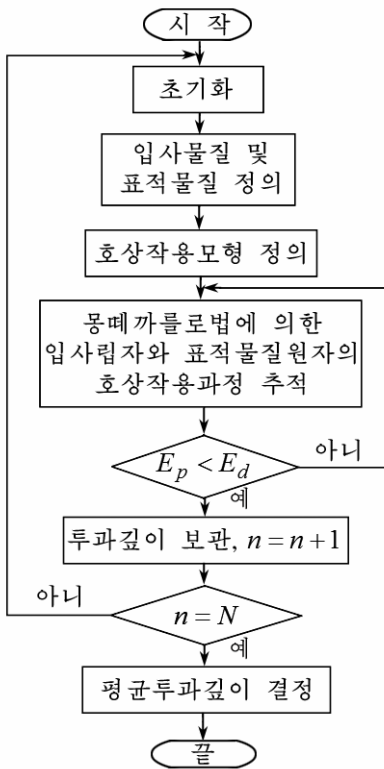


그림 3. 투과깊이평가알고리즘

표. 석영유리에서 에너지에 따르는 투과깊이

에너지 /MeV	투과깊이/mm	
	Geant4	Trim85
0.01	$2.50 \cdot 10^{-4}$	$1.55 \cdot 10^{-4}$
0.05	$5.56 \cdot 10^{-4}$	$5.28 \cdot 10^{-4}$
0.1	$8.79 \cdot 10^{-4}$	$8.76 \cdot 10^{-4}$
0.2	0.001 60	0.001 61
0.5	0.004 72	0.004 67
1	0.012 8	0.012 5
5	0.174 6	0.170 8
10	0.579 0	0.567 5
50	10.11	9.97
100	34.89	34.46
150	71.08	70.29
200	116.20	115.42
300	229.66	227.98

임의의 물질속에서 에너지가 수~200MeV에 있는 양성자의 에너지에 따르는 주행거리경험식[1]은 다음

과 같다.

$$R(\text{mm}) = 2.1 \cdot 10^{-2} \cdot \frac{E_i^{1.8}}{\rho}$$

여기서 E_i (MeV)는 입사입자의 에너지이며 $\rho(\text{g/cm}^3)$ 는 표적물질의 밀도이다.

이 경험식과 석영유리에 대한 모의결과를 비교하면 그림 4와 같다. 그림 4에서 보는 바와 같이 석영유리에서 에너지에 따르는 투과깊이의 모의평가결과는 수~200MeV에서 경험식결과와 비교적 잘 일치한다.

우의 모의결과로부터 많은 물을 차지하는 수MeV이하의 양성자들은 광학기구들에서 수mm정도의 석영유리로 완전히 차폐할수 있다는것을 알수 있다.

2) 입사양성자에 대한 차폐특성평가

양성자가 석영유리속을 투과할 때 생겨나는 2차입자들의 흐름스펙트르를 평가하는것은 광학기구들의 안정성을 담보하는데서 매우 중요한 의의를 가진다.

론문에서는 석영유리에서 입사양성자흐름에 대한 차폐특성을 《MULASSIS 1.0》을 리용하여 평가하였다. 여기서 유리는 두께가 3mm인 석영으로 설정하였으며 석영유리표면에서 입사양성자흐름은 등방각분포를 가지는 고도 500km, 궤도경사각 97.4°에 해당하는 위

성자리길에서의 양성자흐름스펙트르이다.

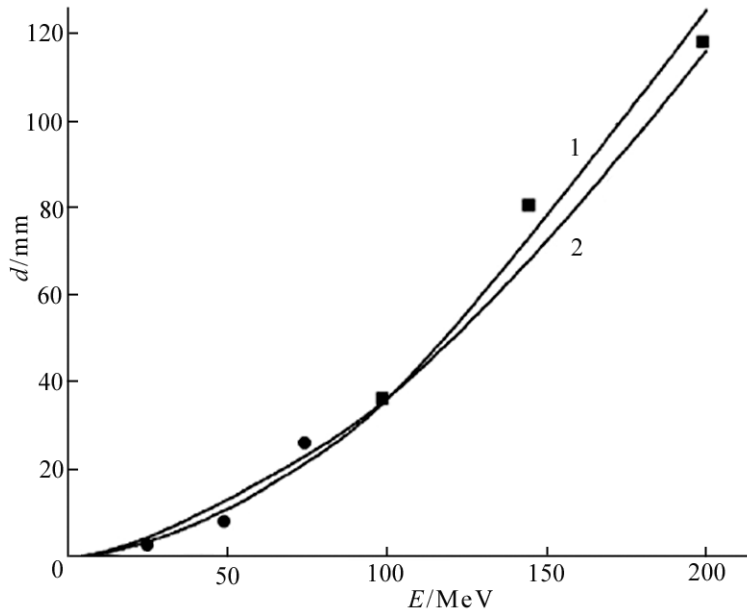


그림 4. 석영유리에서 에너지에 따른 양성자의 투과깊이
1-경험식값, 2-모의값, ●, ■-실험값[3]

모의평가에서는 《hadron-em-ln》물리모형[2]을 리용하여 석영매질속을 투과한 양성자흐름스펙트르와 투과과정에 양성자에 의하여 일어난 핵반응들로부터 형성된 2차립자들의 흐름스펙트르들을 모두 평가하였다.

두께가 3mm인 석영유리의 입사양성자흐름에 대한 차폐특성은 그림 5와 같다.

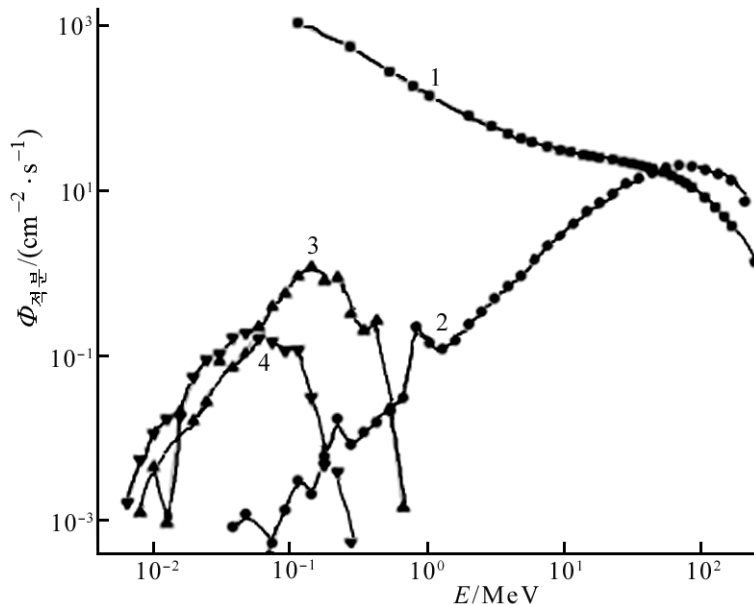


그림 5. 두께가 3mm인 석영유리의 입사양성자흐름에 대한 차폐특성
1-입사양성자, 2-투과양성자, 3-전자, 4- γ 선

우의 결과로부터 입사양성자의 에너기가 작을수록 투과후 그 흐름스펙트르는 크게 감소하며 투과과정에 나타나는 양성자의 에너지감소몹은 입사에너지가 클수록 작아진다는것을 알수 있다. 결과 두께가 3mm인 석영유리를 투과한 후 양성자흐름스펙트르에서 에너지가 큰 부분의 흐름값은 약간 감소하였으며 스펙트르의 봉우리는 입사양성자에너지의 최대값 300MeV보다 작은 값(약 80MeV)에서 나타난다.

또한 약 6~630keV의 에너지를 가지는 전자흐름스펙트르와 3~251keV의 에너지(최대봉우리위치 126keV)를 가지는 γ 선스펙트르(최대봉우리위치 39.8keV)도 나타난다.

이로부터 우주양성자조임환경에서 광학유리들은 입사양성자의 흐름스펙트르에 대하여는 일정한 차폐특성을 나타내지만 한편으로는 전자, γ 선, 투과양성자와 같은 2차립자들의 흐름스펙트르를 만들어낸다는것을 알수 있다.

맺 는 말

1) 핵립자모의수송프로그램을 리용하여 내부반알렌방사선띠양성자들의 투과깊이를 평가하고 그 정확성을 확증하였다.

2) 입사양성자에 대한 석영유리의 차폐특성을 밝히고 2차립자들의 흐름스펙트르를 결정하였다.

참 고 문 헌

- [1] P. G. Rancoita et al.; Principles of Radiation Interaction in Matter and Detection, Springer, 191~232, 2008.
- [2] O. Amutkan et al.; Space Radiation Environment and Radiation Hardness Assurance Tests of Electronic Components to be used in Space Missions, Springer, 4~69, 2010.
- [3] S. J. Drozowski et al.; Stopping Powers and Ranges for Protons and Alpha Particles, 49, 467~489, 1993.

주체108(2019)년 9월 5일 원고접수

Estimation of the Penetration Characteristics of Inner Van Allen Radiation Belt Protons in the Quartz Glass

Kim Hyok

In this paper, we have estimated the accuracy of the penetration depth of the inner Van Allen radiation belt protons by using the nuclear particle's simulation transport code and have determined the shielding characteristics of the quartz glass for the incident proton and the flux spectrum of the secondary particles such as electron, gamma ray and transmission proton.

Keywords: radiation damage, Van Allen radiation belt