

공역폴이에 의한 자동분산감소체계개발과 검증

김일심, 최명신

경애하는 최고령도자 김정은동지께서는 다음과 같이 말씀하시였다.

《현시대는 과학기술의 시대이며 과학기술의 발전수준은 나라의 종합적국력과 지위를 규정하는 징표로 됩니다.》(《조선로동당 제7차대회에서 한 중앙위원회사업총화보고》 단행본 38페이지)

MCNP계산프로그램을 리용하는 경우 3차원공간의 중성자와 γ 선의 수송문제는 잘 해석할수 있으나 통계적불확정성이 존재하고 계산시간이 길어지는 결함이 있다.[1] 이로부터 MCNP에 의한 립자수송모의의 효율성과 수렴안정성을 높이기 위해 에네르기중단, 에네르기분할, 무게제한, 지수함수변환과 같은 분산감소방법들이 리용된다. 공역폴이에 기초한 분산감소방법이 매우 효율적이지만 공역폴이를 리용한 자동분산감소체계에 대한 자료는 발표된것이 없다.

논문에서는 공역폴이가 가능하도록 불련속자리표계산프로그램 SCALE4.4의 SAS1원천모듈을 변경시켜 공역폴이를 구한 다음 그에 기초하여 무게창화일을 생성하여 MCNP입력화일에 넣어 분산감소를 진행하는 자동분산감소체계를 개발하고 계산의 정확성을 검증하였다.

1. 자동분산감소체계

립자수송에서 몽페－까를로모의의 목적은 지정된 위치에서의 검출기응답을 계산하는 것이다. 연산자들의 공역성과 진공경계조건을 리용하면 다음과 같은 형태의 적분을 구하는 것과 동가이다.

$$R = \int_p dp \sigma_d(p) \psi(p) \quad (1)$$

공역폴이의 물리적의미는 주어진 위치에서 계산된 립자들의 검출기응답에 대한 기여량이라는것이다. 즉 공역폴이는 어떤 대상에 대한 립자의 가치이므로 검출기응답은 공역폴이에 의하여 다음과 같이 표시된다.

$$R = \int_p dp S(p) \psi^*(p) \quad (2)$$

공역함수 ψ^* 을 구하자면 다음과 같은 형태의 공역수송방정식을 풀어야 한다.

$$H^* \psi^* = S^* \quad (3)$$

웃식에서 S 는 원천, S^* 은 공역원천이다. 한편 공역연산자 H^* 은 다음의 식으로 주어진다.[1]

$$H^* = -\hat{\mathbf{Q}} \cdot \nabla + \sigma_t(\hat{\mathbf{r}}, E) - \int_0^\infty dE' \int_{4\pi} d\Omega' \sigma_s(\hat{\mathbf{r}}, E \rightarrow E', \hat{\mathbf{Q}} \rightarrow \hat{\mathbf{Q}}') \quad (4)$$

또한 편의원천 $\hat{S}(p)$ 를 다음과 같이 정의하면 분산이 최소로 된다.[2]

$$\hat{S}(p) = \frac{s(p)\psi^*(p)}{R} \quad (5)$$

또한 MCNP에서 무게창을 리용하기 위하여서는 무게창의 아래한계를 계산해야 하는데 공액풀이를 리용하면 다음의 식으로 계산된다.

$$W(p) = \frac{R}{\psi^*(p)} \quad (6)$$

이로부터 1차원불연속차폐계산모델 SAS1을 공액풀이를 구하도록 원천프로그램을 수정한 SAS1_1모듈과 FORTRAN90언어로 작성한 MCNPVR와 VRWWINP모듈로 공액풀이에 의한 자동분산감소체계를 개발하였다.

MCNP계산은 원래의 MCNP입력화일이 아니라 변경된 MCNP입력화일과 무게창화일 WWINP를 가지고 진행하게 된다.

자동분산감소기술에 의한 방사선선량률계산흐름도는 그림 1과 같다.

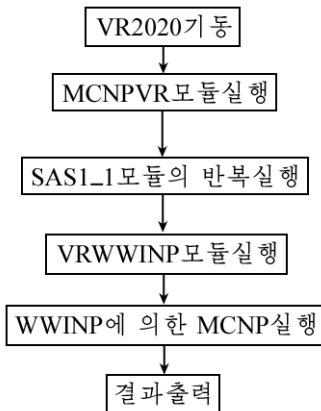


그림 1. 방사선선량률계산흐름도

한 입력화일들을 작성하는것이다. 또한 VRWWINP모듈의 실행에 리용될 그물정보와 원천스펙트르정보를 립시화일에 저장하는 기능을 수행한다. 이 모듈은 다음으로 MCNP의 무게창입력화일 WWINP에 첫 2개의 블록을 써넣는 기능도 수행한다.

SAS1_1모듈 SAS1_1은 수정된 SAS1모듈로서 평판형 1차원불연속자리표계에서 계산을 하는 기능을 수행한다.(그림 2) 이 모듈은 반경방향, 정점웃방향, 바닥아래방향에서 3번 호출되어 실행되며 매번 공간 및 에네르기, 각도의존공액풀이들이 매번 2진화일로 출력된다.

VRWWINP모듈 VRWWINP모듈은 3개의 1차원불연속자리표공액풀이들로 공간 및 에네르기의존분산감소파라미터들을 계산하고 합성하여 MCNP입력화일에 원천편의파라미터들을 추가하고 무게창화일 WWINP를 작성한다.

MCNPVR모듈 MCNPVR모듈의 주요한 기능은 매개형태의 립자들에 대하여 정점웃방향, 반경방향, 바닥방향의 평판기하에서 1차원공액불연속자리표계산들을 위

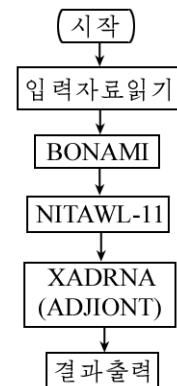


그림 2. 1차원공액풀이계산흐름도

2. 자동분산감소체계의 검증

개발한 자동분산감소체계를 검증하기 위하여 폐연료수송용기의 결면에서의 선량을 계산하였다. 내부용기인 탄소강(길이 5m, 반경 2.2m)은 γ 선차폐를, 외부의 폴리에틸렌은 중성자차폐기능을 수행한다. 반경방향과 바닥에서 탄소강의 두께는 30cm, 뚜껑에서는 32cm이며 폴리에틸렌의 두께는 모든 방향에서 9cm이다. 용기의 바깥에는 5mm두께의 불

수강피막이 썩어져있다. 용기에는 방사성원천으로 되는 폐연료들이 들어있다. 축방향에서 매개 연료집합체에는 4개의 각이한 공간영역들 즉 바닥맞출판, 방사능을 띤 연료, 연료공극, 옷맞출판이 있다.

방사능을 띤 영역에서 물질조성은 반경방향결면과 상부, 하부표면들로 국한된 원기둥 공간내부에서 균질화한다. 총 γ 선세기는 $8.72 \cdot 10^{16}$ 개/s이며 γ 선세기몹은 하부맞출판영역에서 $3.95 \cdot 10^{-3}$, 방사능을 띤 연료영역에서 $9.91 \cdot 10^{-1}$, 공극영역에서 $2.54 \cdot 10^{-3}$, 상부맞출판영역에서 $2.54 \cdot 10^{-3}$ 이다. 용기의 반경방향결면과 그것으로부터 2m 떨어진 원기둥면들을 50개의 등간격을 가지는 축방향토막들로 나누었다. 그 매개의 길이는 10cm이다.

용기옷면과 바닥면들사이에 위치한 이 토막들에 1~50의 번호를 달아주었는데 제일 위의것이 1번, 제일 아래의것이 50번이다. 용기의 옷면, 바닥면, 결면으로부터 2m 떨어진 우아래면들은 반경 10cm 간격으로 100cm까지 원기둥들로 분할하였다. 이 토막들에 1~11로 번호를 달고 제일 바깥토막은 1번, 제일 안쪽 토막은 11번으로 한다.

우의 계산조건들을 MCNP계산에 똑같이 적용하였다. 축방향중간면과 옷면사이 반경방향면들을 25개의 똑같은 토막들로 나누며 매개 축방향토막을 24개의 각도 토막들로 나눈다. 한편 축방향면은 12개의 반경방향토막들로 나눈다.

MCNP의 원천에너지권의와 무게창들의 파라미터들은 제안된 방법들을 리용하여 VR2020체계에 의하여 자동적으로 계산된다.

공액폴리에 의한 자동분산감소체계와 MCNP에 의한 계산결과를 표에 주었다.

표. 공액폴리에 의한 자동분산감소체계와 MCNP에 의한 계산결과				
No.	공액폴리에 의한 자동분산감소체계		MCNP에 의한 계산	
	선량률 $/(Sv \cdot h^{-1})$	상대오차	우량도	우량도
1	$0.0421 \cdot 10^{-4}$	0.21	$6.31 \cdot 10^{-1}$	$6.97 \cdot 10^{-2}$
2	$0.0452 \cdot 10^{-4}$	0.11	$2.34 \cdot 10^0$	$1.05 \cdot 10^{-1}$
3	$0.0333 \cdot 10^{-3}$	0.06	$7.90 \cdot 10^0$	$6.42 \cdot 10^{-1}$
4	$0.0124 \cdot 10^{-2}$	0.04	$1.89 \cdot 10^1$	$1.90 \cdot 10^0$
5	$0.0243 \cdot 10^{-2}$	0.03	$2.48 \cdot 10^1$	$1.60 \cdot 10^0$
6	$0.0323 \cdot 10^{-2}$	0.03	$2.78 \cdot 10^1$	$1.81 \cdot 10^0$
7	$0.0341 \cdot 10^{-2}$	0.03	$2.91 \cdot 10^1$	$2.83 \cdot 10^0$
8	$0.0376 \cdot 10^{-2}$	0.03	$2.25 \cdot 10^1$	$2.81 \cdot 10^0$
9	$0.0391 \cdot 10^{-2}$	0.04	$1.70 \cdot 10^1$	$1.90 \cdot 10^0$
10	$0.0408 \cdot 10^{-2}$	0.05	$1.02 \cdot 10^1$	$1.03 \cdot 10^0$
11	$0.0365 \cdot 10^{-2}$	0.09	$3.45 \cdot 10^0$	$4.93 \cdot 10^{-1}$

이로부터 립자무게들은 기하면을 지나면서 상당히 변하며 립자기록면부근에서 수렴한다는것을 알수 있다. 또한 립자무게가 수렴하므로 무게창들이 기록면에서 득점량의 분산이 최소로 된다.

맺 는 글

1차원불편속자리표계산방법으로 얻은 공액폴이를 리용하여 3차원적인 대상의 MCNP 분산감소파라미터계산프로그램을 개발하고 정확성을 검증하였다.

참 고 문 헌

- [1] J. F. Briesmeister; Los Alamos National Laboratory, 3, 6, 13079, 2000.
- [2] A. H. Haghighat; Oak Ridg National Laboratory, 62, 7, 37831, 2003.

주체107(2018)년 6월 5일 원고접수

Development and Verification of Automated Variance Reduction System Using Adjoint Solution

Kim Il Sim, Choe Myong Sin

We have developed a sequence and program of calculating MCNP variance reduction parameter of 3-D objects, using adjoint function obtained from 1-D discrete coordinate calculating method, and verified it's correctness.

Key words: adjoint function, automated variance