

## ENDF/B-VII.1 자료를 리용한 MCNP5 프로그램의 중성자자름면자료기지갱신

리은주, 강춘일

위대한 수령 김일성동지께서는 다음과 같이 교시하시였다.

《...원자력부문의 과학자들이 원자력에 대한 연구사업을 더 적극적으로 하도록 하여야 합니다.》(《김일성전집》 제60권 352페이지)

ENDF/B-VII.1자료는 원자로계산을 비롯하여 원자력부문에서 광범히 리용되는 핵자료 서고의 최신판본으로서 423개 핵종들에 대한 중성자반응자름면자료를 비롯한 많은 핵자료들을 포함하고있다.[1]

MCNP는 방어계산, 림계계산을 비롯한 핵물리연구부문에서 리용되는 범용적인 몽떼-카를로립자수송모의프로그램으로서 원자로설계를 비롯하여 응용범위가 급속히 확대되고있다.[2, 3] 그러나 이 프로그램은 모의계산능력이 강력한 반면에 대부분 ENDF/B-VI자료를 리용하였으므로 중성자반응자름면만 놓고보아도 핵종수가 250여개밖에 되지 않으며 정확성도 ENDF/B-VII.1자료에 비하여 높지 못하다.

우리는 ENDF/B-VII.1자료를 리용하여 MCNP5프로그램의 중성자자름면자료기지를 갱신하기 위한 연구사업을 진행하고 온도에 따르는 중성자자름면서고를 구축하였다.

### 1. ENDF/B자료와 MCNP자름면서고의 특징

ENDF/B자료와 MCNP자름면서고는 자기의 고유한 형식을 가지고있다.

국제기구들과 개별적인 나라들에서는 자름면측정자료와 계산자료들을 리용하여 ENDF/B, JENDL, CENDL과 같은 여러가지 핵상수자료기지들을 구축하고 부단히 갱신하고있으며 이러한 자료들은 대부분 ENDF-6형식의 본문화일로 배포되고있다.

ENDF자료의 구조를 그림 1에 보여주었다. ENDF자료는 화일식별자(TPID)로부터 시작하며 MAT번호로 구별되는 물질자료들로 구분된다. 물질에 대한 자료들은 다시 MF번호로 구별되는 화일들로 구분되고 매개 화일은 MT번호로 구별되는 개별적인 반응형태들을 나타내는 부분(section)들로 이루어지며 이 부분들은 80개까지의 기호렬로 이루어진 레코드(record)들로 구별된다.

MCNP프로그램의 자름면서고는 표준적으로 ACE(A Compact ENDF)방식의 본문형식으로 되어있으며 변환프로그램(MAKXSF)을 리용하여 자료의 직접호출이 가능한 2진방식으로 넘길수 있다. 본문방식은 자름면자료의 수값을 직접 볼수 있는 우점이 있지만 계산을 진행할 때 자름면자료를 읽어들이는 시간이 긴 결함이 있다.

MCNP자름면서고는 다음과 같은 9가지 부류로 나눈다.

(1) 련속에너지중성자호상작용자료, (2) 불련속반응중성자호상작용자료, (3) 련속에네

르기빛량자—원자호상작용자료, (4) 련속에네르기빛량자—핵호상작용자료, (5) 중성자선량 자름면적, (6) 중성자  $S(\alpha, \beta)$  자료, (7) 다군중성자, 중성자—빛량자, 대전립자자료, (8) 다 군빛량자자료, (9) 전자호상작용자료.

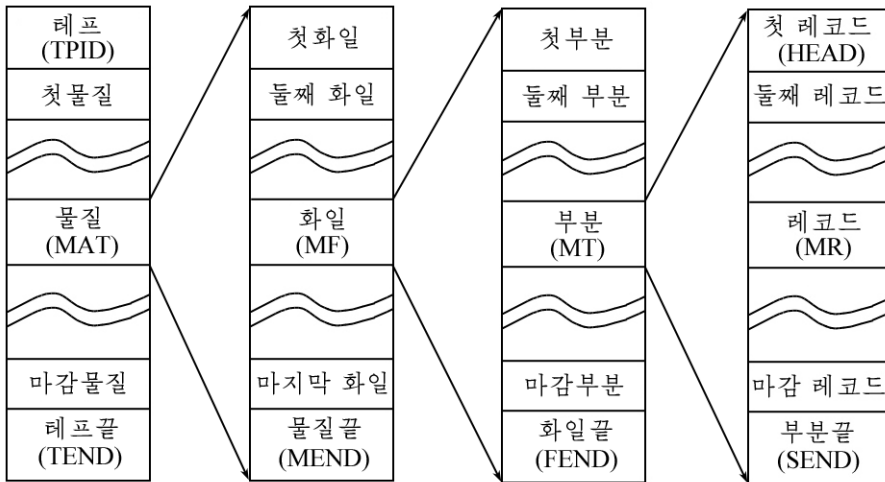


그림 1. ENDF자료의 구조

프로그램에서 리용할수 있는 핵종들에 대한 정보는 XSDIR화일에 포함되는데 매개 행이 1개의 핵종에 대한 자름면자료정보를 표시한다. 여기에 중성자자름면자료를 처리한 온도정보가 MeV단위로 포함되어있다.

중성자자름면자료들은 대체로  $293.6K(2.53 \cdot 10^{-8} \text{ MeV})$ 온도에서 처리되었다.

온도에 따르는 자름면변화(도플러확장)는 표적물질에서 핵의 열운동(병진, 회전, 진동)으로 인한 자름면의 변화로 생긴다. 일반적으로 균질계에서 중성자흡수핵종들을 포함하는 물질의 온도증가는 공명의 도플러확장으로 나타나 공명흡수를 증가시킨다. 더우기 공명구역 아래에서 자름면변화는 온도증가에 따라  $1/v$  경향성을 나타낸다.

MCNP프로그램에서 온도에 따르는 자름면변화는 TMP카드를 리용하여 고려한다. TMP카드는 저에너지중성자수송의 자유기체열취급으로 도플러확장을 취급하는데 이 효과는 중성자에너지가 무거운 핵온도의 4배보다 작거나 가벼운 핵온도의 400배보다 작을 때 중요한 역할을 한다. 물질의 열온도는 MeV단위를 리용하는데 절대온도  $T$ 와 다음과 같은 관계에 있다.

$$kT(\text{MeV}) = 8.617 \cdot 10^{-11} T$$

MCNP입력화일에 TMP카드가 없으면 MCNP는 300K에서 탄성산란자름면과 전자자름면을 수정하여 자료서고를 보정한다. 모의하려는 대상의 온도가 변하는 경우에는 탄성산란자름면뿐만아니라 비탄성산란, 흡수자름면을 비롯한 모든 자름면들의 도플러확장을 고려해야 정확한 계산결과를 얻을수 있다.

## 2. ENDF/B-VII.1자료를 리용한 MCNP5자름면서고의 작성

ENDF화일을 각이한 용도에 맞게 처리하는 자름면처리프로그램들에는 NJOY, PREPRO, GRUCON과 같은것들이 있다.[4] MCNP5프로그램의 자름면서고작성에는 NJOY-99프로

그람이 리용되었으나 ACE형식의 자름면서고작성에는 GRUCON프로그램도 리용할수 있다.

GRUCON프로그램은 자름면자료변환알고리즘들에 기초한 프로그램모듈(입력모듈, 출력모듈, 처리모듈, 보조모듈)들로 구성되어있는데 자름면을 얻자면 이 모듈들을 조종하는 명령들로 본문형식의 입력화일을 작성하여야 한다.

입력화일은 초기화명령, 조종명령, 국부파라미터, 조종파라미터의 순서로 이루어진다. 작성한 입력화일의 대표적인 명령구조는 다음과 같다.

```
init,1,0,10000k ! 초기화명령
in,1,endf      ! 조종파라미터를 입력
in,14,ace      ! ACE형식의 자름면처리
1,20,data      ! ENDF자료읽기명령
32,,23,ENDFB/VII.1
23,14          ! ACE화일생성
end            ! 끝명령
!   국부파라미터들
*de:1.e-5,20.e6, ! 에너지구간
*tem:300.,      ! 온도
*eps:0.001      ! 허용오차
! 조종파라미터들
*endf:ntape=20,nmat=0,nmf=6,nmt=0,mf=1,2,3,4,5,6 ! ENDF화일처리
*ace:nace=50,nxsd=51,ntyp=1,*nt,lr=0,nbin=16,iwt=1,*de,*tem ! ACE형식처리
```

중성자에너지에 따르는  $^{197}\text{Au}$ 의 전자름면변화를 그림 2에 보여주었다. 이 자료를 PREPRO자름면처리프로그램으로 생성한 온도의존자름면서고 POINT-2015의 293.6K자료와 비교하였다.

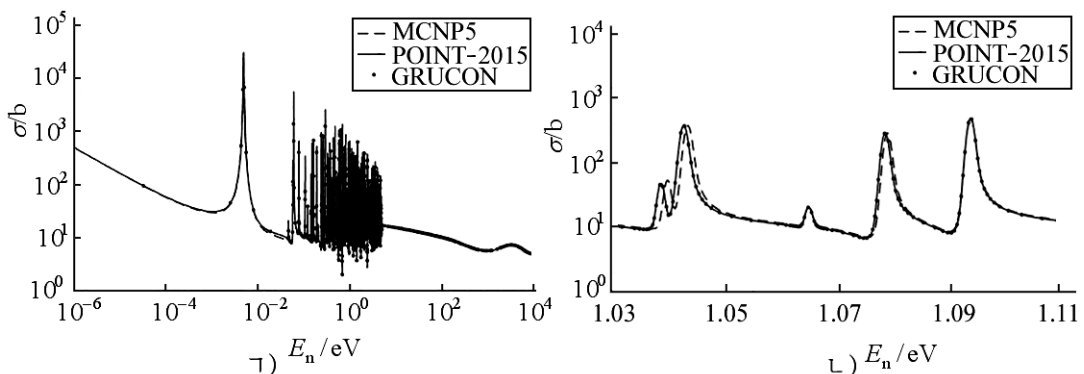


그림 2. 중성자에너지에 따르는  $^{197}\text{Au}$ 의 전자름면변화  
 ㄱ) 전에너지구간, ㄴ) 공명봉우리구간

그림 2에서 MCNP5, POINT-2015, GRUCON자료점의 수는 각각 39 417, 62 620, 62 287개이다. 그림 2에서 보는바와 같이 ENDF/B-VI자료를 리용한 MCNP5프로그램의 자료는 ENDF/B-VII.1을 리용한 POINT-2015, GRUCON결과와 약간의 차이를 가지고있다.

GRUCON프로그램의 TEM명령을 리용하여 도플러확장을 고려한 온도에 따르는  $^{197}\text{Au}$

의 중성자전자름면변화는 그림 3과 같다.

그림 3에서 보는바와 같이 GRUCON으로 계산한 온도에 따르는  $^{197}\text{Au}$ 의 중성자전자름면변화는 POINT-2015자료와 일치한다.

입력화일에서 TEM파라미터를 자동적으로 변경하여 각이한 온도에서 MCNP5프로그램의 자름면자료를 생성하는 프로그램을 개발하고 ENDF/B-VII.1자료의 400여종의 핵종에 대한 온도의존중성자자름면서고를 구축하였다.

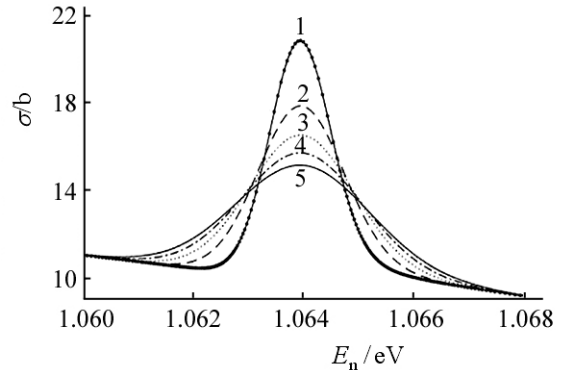


그림 3. 온도에 따르는  $^{197}\text{Au}$ 의 중성자전자름면변화  
1-5는 온도가 각각 293.6, 600, 900, 1200, 1500K인 경우

## 맺 는 말

1) GRUCON프로그램을 리용하여 MCNP5프로그램의 자름면자료기지를 갱신하고 IAEA의 자름면자료기지 POINT-2015자료와 비교하여 정확성을 검증하였다.

2) ENDF/B-VII.1자료기지의 400여종의 핵종에 대한 온도의존중성자자름면서고를 구축하였다.

## 참 고 문 헌

- [1] M. B. Chadwick et al.; Nuclear Data Sheets, 112, 2887, 2011.
- [2] F. P. Espel et al.; Annals of Nuclear Energy, 51, 18, 2013.
- [3] Sho Takano et al.; Progress in Nuclear Science and Technology, 2, 267, 2011.
- [4] R. E. Farlane et al.; Nuclear Data Sheets, 111, 2739, 2010.

주체106(2017)년 6월 5일 원고접수

## Updating of MCNP5 Neutron Cross Section Libraries using ENDF/B-VII.1 Data File

*Ri Un Ju, Kang Chun Il*

In this paper, we updated the neutron cross section libraries of MCNP5 code by evaluated nuclear data file using the GRUCON program and verified their correctness by comparing with the POINT-2015 cross section data of IAEA.

And we made the neutron cross section libraries for about 400 nuclides of ENDF/B-VII.1 in the different temperatures.

Key words: MCNP5, ENDF, neutron cross section