2004 춘계학술발표회 논문집
한국원자력학회

액체 금속로 연소 계산용 가상핵분열 생성물 생산

Generation of the Pseudo Fission Products for Burnup Calculations of Liquid Metal Fast Reactor

길충섭, 김정도, 김도헌, 장종화
한국원자력연구소, 대전시 유성구 덕진동 150
민의섭
경희대학교

요 약

액체 금속로 연소 계산을 위한 가상 핵분열 생성물을 생산하였다. ENDF/B-VI 단면적 자료와 핵분열 생성물 수율 자료를 이용하여 U-235, U-238, Pu-239, Pu-240, Pu-241, Pu242 핵종의 가상 핵분열 생성물의 단면적 자료를 생산하여 액체 금속로 해석에 이용되고 있는 KAFAX-F22, -E66 등과 연계하여 이용할 수 있도록 하였다. 이를 위해 172 핵분열 생성물의 80 군, MATXS-format 라이브러리를 생산하고, 연소 사슬을 작성하였다.

Abstract

The pseudo fission products for burnup calculations of liquid metal fast reactor were generated. The cross section data and fission product yield data of ENDF/B-VI were used for the pseudo fission product data of U-235, U-238, Pu-239, Pu-240, Pu-241 and Pu-242. The pseudo fission product data can be used with the KAFAX-F22 or –E66, which are the MATXS-format libraries for analyses of liquid metal fast reactor at KAERI. The 80-groups, MATXS-format libraries of the 172 fission products were generated and burnup chains for generation of the pseudo fission products were prepared.

1. 서 론

액체 금속로 노심 해석에 이용되고 있는 KAFAX-F22, KAFAX-E66[1] 라이브러리에는 연소 계산을 위한 핵분열 생성물 자료가 포함되어 있지 않다. 통상적으로 액체금속로 연소 계산에서는 핵분열 생성물을 한 두 개의 가상 핵종으로 처리하여 이용하고 있다. 핵분열 생성물은 생성 수율과 단면적, 반감기 등을 고려하여 172 개 핵종을 선정하였고, 이들 핵종의 산란 단면적 및 포획 단면적을 생성 수율로 가중하여 한 개의 가상 핵분열 생성물을 생산하였다. 본 논문에서는 악티나이드 핵종별 가상 핵자료 생산 방법을 소개하여 이용자들의 올바른 사용을 돕고자 한다.

2. 핵분열 생성물 선정

ENDF/B-VI 핵분열 생성물 수율 자료에는 핵분열 핵종마다 1300 개 내외의 핵분열 생성물 핵종자료가 수록되어 있다. 이중에서 고속로 연소 계산시 기여하는 핵종은 200 여개 핵종이다. 일본원자력연구소가 생산하고 일본 고속로 해석에 이용되는 JFS-3-J2 에서는 연소계산 코드 DCHAIN 을 사용하여 360 일 연소시 핵분열 생성물의 99.95%가 되도록 155 개 핵종을 선정하여 가상 핵분열 생성물을 생산한 바 있다[2,3]. 또한 OECD/NEA 의 Working Party on Evaluation Co-ordination(WPEC)의 SG17 에서 고속로용 가상 핵분열 생성물을 위한 핵종수도 162 개로 하고 있다[4]. 이러한 자료들을 참고하여 ENDF/B-VI 에서 165 개 핵종, JENDL-3.2 에서 7 개 핵종을 추가하여 총 172 개 핵종을 선정하였다.

3. 핵자료 처리

핵분열 생성물 172 핵종을 KAFAX-F22, -E66 와 연계하여 사용하기 위하여 80 군의 MATXS-format 으로 처리하였다. NJOY 코드의 RECONR-BROADR-GROUPR-MATXSR 모듈이 이용되었으며, 400K 와 850K 의 무한희석 단면적 자료를 생산하였다.

4. 가상 핵분열 생성물 단면적 생산

생산된 172 개 핵분열 생산물 라이브러리로부터 생성 수율을 가중하여 가상 핵분열 생성물 단면적 자료를 생산해야 한다. 이를 위해 ENDF/B-VI 핵분열 생성물 수율 자료를 이용하였는데, 수율 자료는 입사 중성자의 함수로 수록되어 있다. 따라서 입사 중성자의 에너지에 따른 수율을 결정하고 단면적을 수율에 따라 가중하여 가상 핵분열 생성물의 단면적을 생산하게 된다. 또한 연소 사슬의 구성에 따라 독립 수율 또는 누적 수율을 이용하게 된다. 그림 1 은 가상 핵분열 생성물 생산을 위한 수율 값을 결정하기 위한 172 개 핵분열 생성물의 연소

사슬이다. 연소 사슬에 따라서 독립 또는 누적 수율이 결정되며, 핵분열 생성물 수율 합이 2 가 되어야 한다. 선정된 172 개 핵종의 수율을 그림 1 의 연소 사슬을 이용하여 독립 수율과 누적 수율 값을 취하고 적절히 조정하여 합이 2 에 가깝도록 하였다. 표 1 에는 수율 조정내용을 수록하였다. 표 1 에서 Kr-85 의 수율은 Rb-85 의 누적 수율과 독립 수율의 차이를 의미한다.

5. 토의 및 요약

그림 2 에 생산된 U-235 의 가상 핵분열 생성물 단면적을 나타냈다. 온도는 800 K, 노심 평균 중성자 에너지는 0.5 MeV 일때 산란 및 포획 단면적이다. 약 1 keV 이하에서는 공명현상이 나타난다. 핵분열 생성물은 노심 연소 계산에서 흡수체 역할이 중요하다. 그림 3 에는 생산된 6 핵종별 가상 핵분열 생성물의 포획단면적을 비교하였다. 1 keV 이하에서는 핵종별로 차이를 보이고 있다. 1 keV 이상에서는 U-235 의 가상 핵분열 생성물의 단면적 만이 다른 핵종보다 약간 낮게 나타났다. 가상 핵분열 생성물 단면적 자료는 핵분열 생성물 수율 자료의 불확도 뿐만 아니라 연소 사슬 구성 등에서 오는 근사 때문에 정밀한 값은 아니다. 그러나 핵분열 생성물의 흡수 반응이 주로 열 중성자 영역에서 이루어지므로, 고속 노심 연소 계산에서 크게 영향을 미치지는 않는다. 그림 3 에서 알 수 있듯이 핵분열 핵종에 따라 큰 차이를 보이지 않기 때문에 그 외의 악티나이드에 대해서는 같은 가상 핵분열 생성물을 활용해도 크게 문제가 되지 않을 것으로 생각된다.

172 개 핵분열 생성물 라이브러리를 작성하고, 이를 이용한 가상 핵분열 생성물 자료를 생산하였다. 입사 중성자의 에너지, 핵분열 핵종, 온도에 따른 가상 핵분열 생성물을 쉽게 생산할 수 있는 체제를 구축하였다. 이용자들의 목적에 적합하도록 연소 사슬을 조정하여 자료를 생산할 수 도 있다. 관심 있는 연구자들의 목적에 맞게 자료가 생산되고 이용될 수 있기를 기대한다.

본 연구는 과학기술부의 원자력연구개발 중 “원자력 연구개발용 핵자료 구축.평가” 과제의 일환으로 수행되었음.

6. 참고 문헌

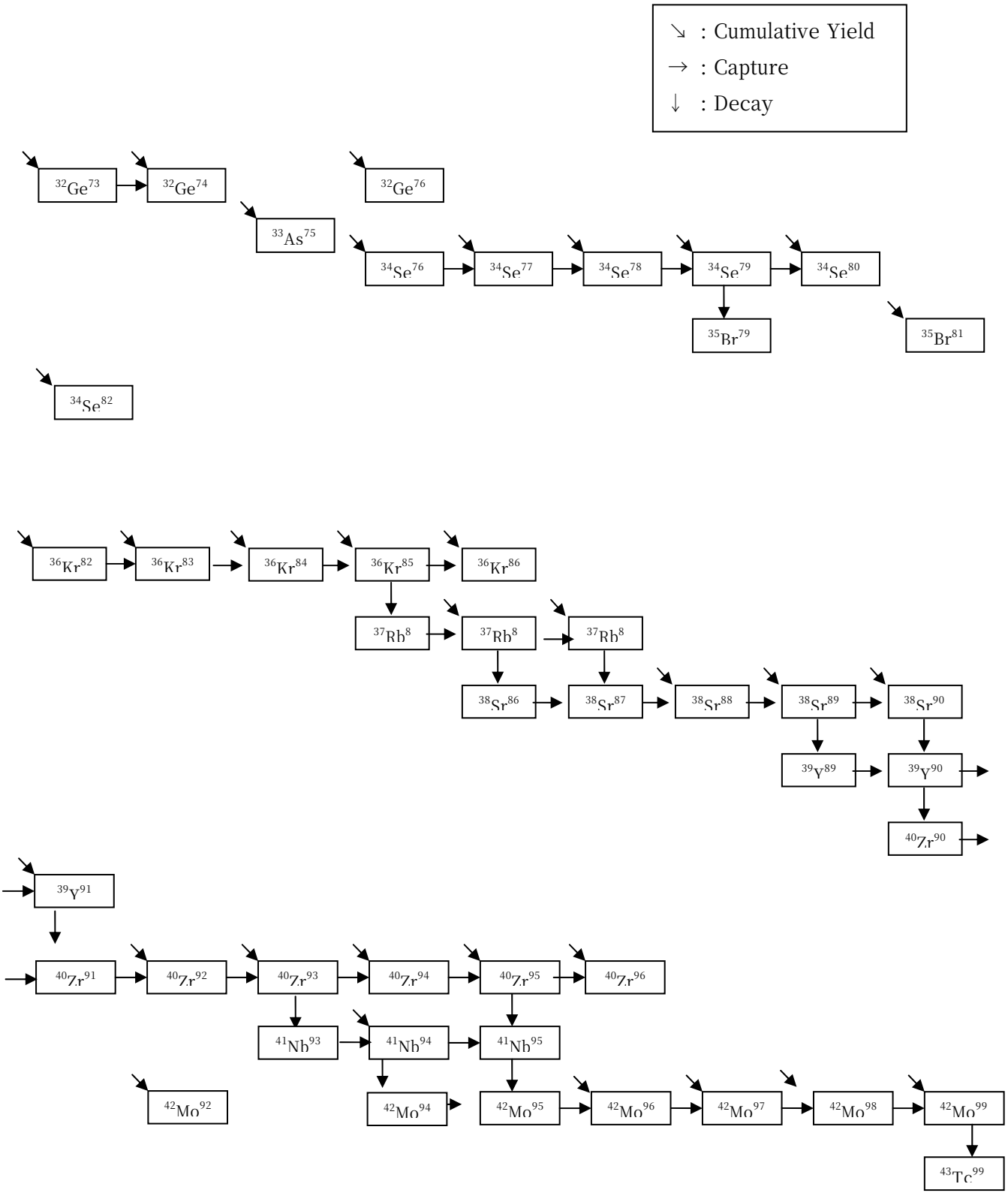
[1] KAERI/TR-842/97 (1997)
[2] JAERI-M 89-141 (1989)
[3] JAERI-M 8727 (1980)
[4] NEA/WPEC-17, ECN-R-98-014 (1998)

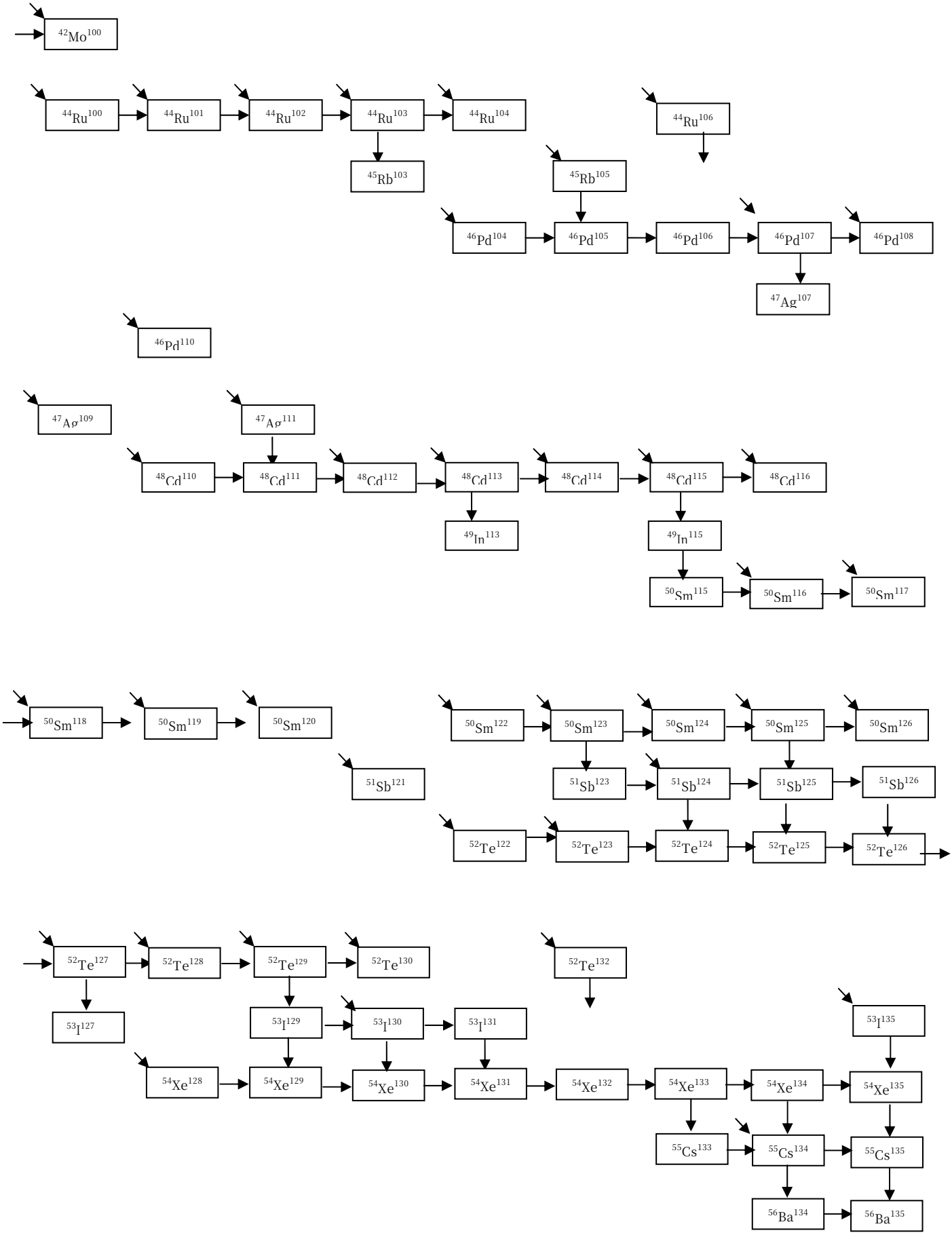
표 1. 핵분열 생성물 수율 값 조정

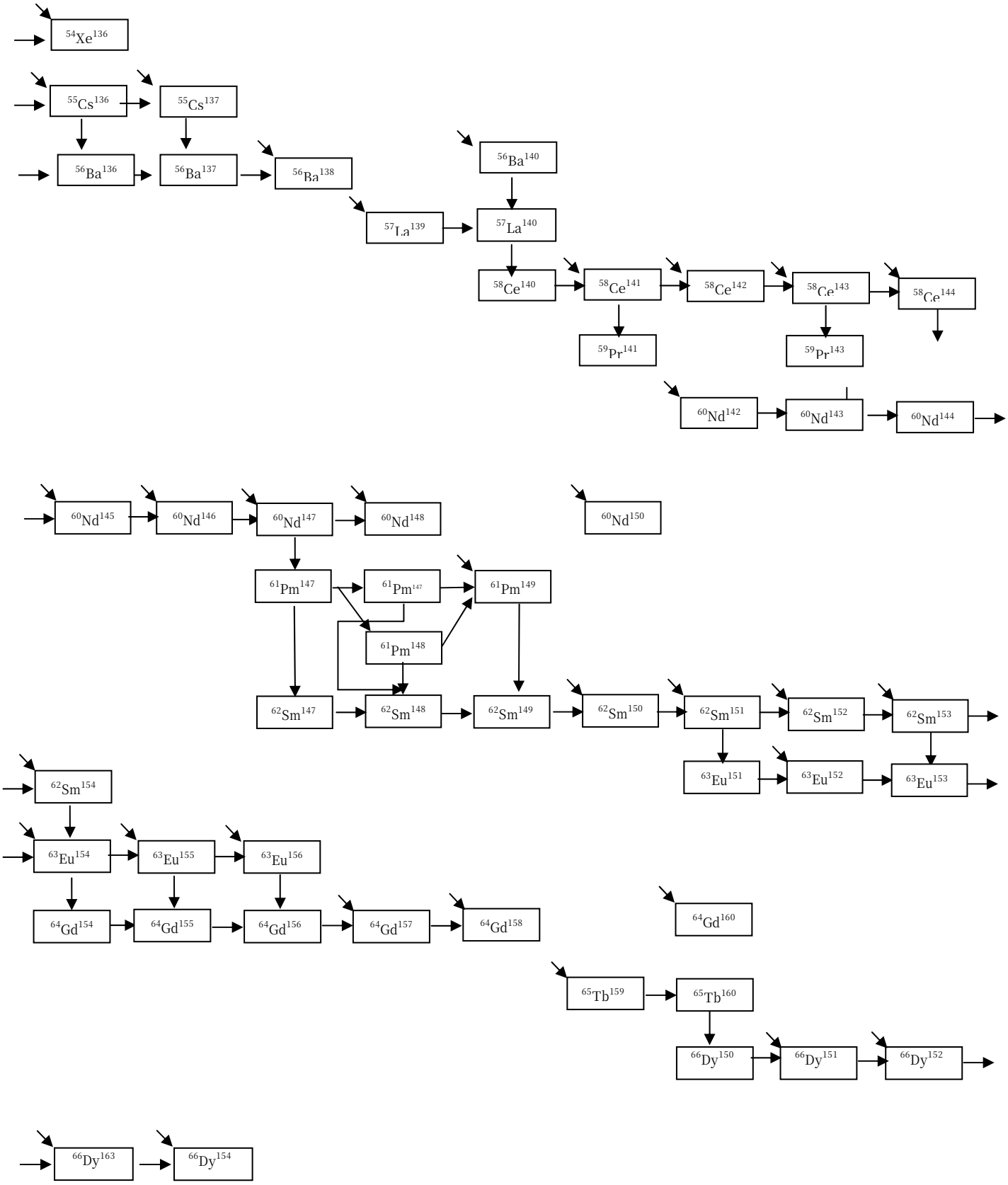
핵 종	수 율
Kr85	(Rb85C – Rb85I)*
Pd106	(Pd106C – Ru106C)
Cd113	(In113C – In113I)
Cd115m	(In115C – In115I)
Sn123	(Sb123C – Sb123I)
Sn125	(Sb125C – Sb125I)
Sb124	(Te124C – Te124I)
Sb126	(Te126C – Te126I)
Te127m	(I127C – I127I)
Te129m	(I129C – I129I)
Xe132	(Xe132C – Te132C)
Nd144	(Nd144C – Ce144C)
Dy-160	(Dy160C – Tb160I)

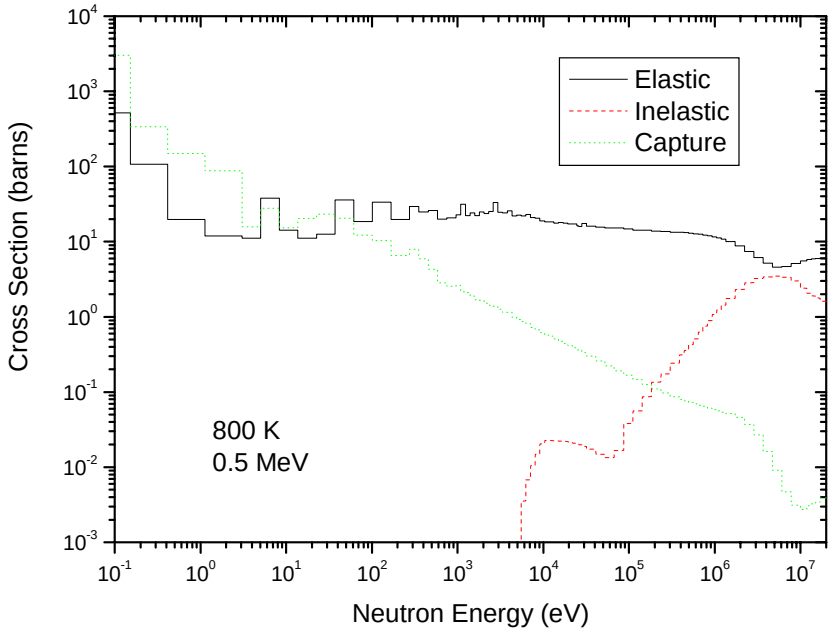
* Rb85 의 누적 수율과 독립 수율의 차

그림 1. 가상 핵분열 생성물 생산을 위한 연소 사슬

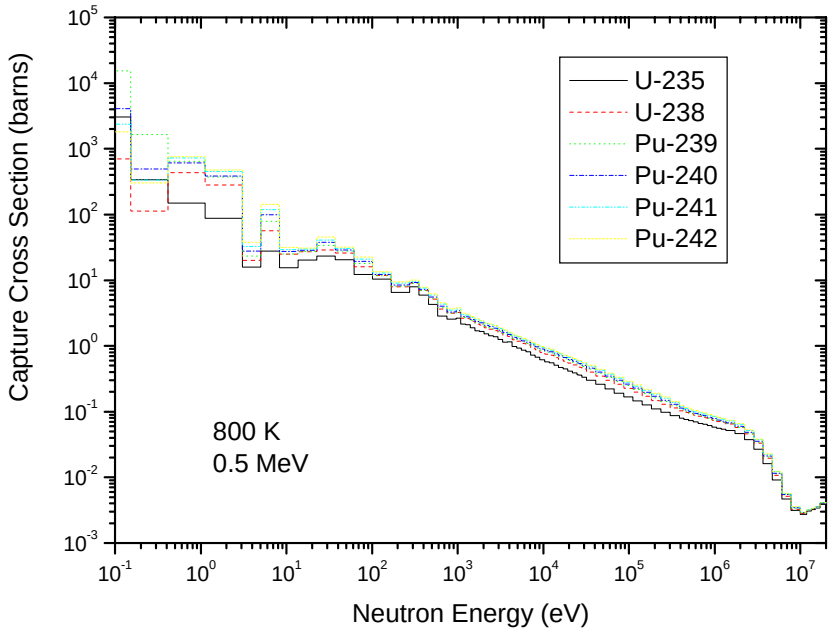



$^{42}Mo^{100}$
$^{44}Ru^{100}$
$^{44}Ru^{101}$
$^{44}Ru^{102}$
$^{44}Ru^{103}$
$^{44}Ru^{104}$
$^{44}Ru^{106}$
$^{45}Rb^{103}$
$^{45}Rb^{105}$
$^{46}Pd^{104}$
$^{46}Pd^{105}$
$^{46}Pd^{106}$
$^{46}Pd^{107}$
$^{46}Pd^{108}$
$^{47}Ag^{107}$
$^{46}Pd^{110}$
$^{47}Ag^{109}$
$^{47}Ag^{111}$
$^{48}Cd^{110}$
$^{48}Cd^{111}$
$^{48}Cd^{112}$
$^{48}Cd^{113}$
$^{48}Cd^{114}$
$^{48}Cd^{115}$
$^{48}Cd^{116}$
$^{49}In^{113}$
$^{49}In^{115}$
$^{50}Sm^{115}$
$^{50}Sm^{116}$
$^{50}Sm^{117}$
$^{50}Sm^{118}$
$^{50}Sm^{119}$
$^{50}Sm^{120}$
$^{51}Sb^{121}$
$^{50}Sm^{122}$
$^{50}Sm^{123}$
$^{50}Sm^{124}$
$^{50}Sm^{125}$
$^{50}Sm^{126}$
$^{51}Sb^{123}$
$^{51}Sb^{124}$
$^{51}Sb^{125}$
$^{51}Sb^{126}$
$^{52}Te^{122}$
$^{52}Te^{123}$
$^{52}Te^{124}$
$^{52}Te^{125}$
$^{52}Te^{126}$
$^{52}Te^{127}$
$^{52}Te^{128}$
$^{52}Te^{129}$
$^{52}Te^{130}$
$^{52}Te^{132}$
$^{53}I^{127}$
$^{53}I^{129}$
$^{53}I^{130}$
$^{53}I^{131}$
$^{53}I^{135}$
$^{54}Xe^{128}$
$^{54}Xe^{129}$
$^{54}Xe^{130}$
$^{54}Xe^{131}$
$^{54}Xe^{132}$
$^{54}Xe^{133}$
$^{54}Xe^{134}$
$^{54}Xe^{135}$
$^{55}Cs^{133}$
$^{55}Cs^{134}$
$^{55}Cs^{135}$
$^{56}Ba^{134}$
$^{56}Ba^{135}$


$^{54}Xe^{136}$
$^{55}Cs^{136}$
$^{55}Cs^{137}$
$^{56}Ba^{136}$
$^{56}Ba^{137}$
$^{56}Ba^{138}$
$^{56}Ba^{140}$
$^{57}La^{139}$
$^{57}La^{140}$
$^{58}Ce^{140}$
$^{58}Ce^{141}$
$^{58}Ce^{142}$
$^{58}Ce^{143}$
$^{58}Ce^{144}$
$^{59}Pr^{141}$
$^{59}Pr^{143}$
$^{60}Nd^{142}$
$^{60}Nd^{143}$
$^{60}Nd^{144}$
$^{60}Nd^{145}$
$^{60}Nd^{146}$
$^{60}Nd^{147}$
$^{60}Nd^{148}$
$^{60}Nd^{150}$
$^{61}Pm^{147}$
$^{61}Pm^{147}$
$^{61}Pm^{149}$
$^{61}Pm^{148}$
$^{62}Sm^{147}$
$^{62}Sm^{148}$
$^{62}Sm^{149}$
$^{62}Sm^{150}$
$^{62}Sm^{151}$
$^{62}Sm^{152}$
$^{62}Sm^{153}$
$^{63}Eu^{151}$
$^{63}Eu^{152}$
$^{63}Eu^{153}$
$^{62}Sm^{154}$
$^{63}Eu^{154}$
$^{63}Eu^{155}$
$^{63}Eu^{156}$
$^{64}Gd^{154}$
$^{64}Gd^{155}$
$^{64}Gd^{156}$
$^{64}Gd^{157}$
$^{64}Gd^{158}$
$^{64}Gd^{160}$
$^{65}Tb^{159}$
$^{65}Tb^{160}$
$^{66}Dy^{150}$
$^{66}Dy^{151}$
$^{66}Dy^{152}$
$^{66}Dy^{163}$
$^{66}Dy^{154}$



그 림 2. U-235의 가상 핵분열 생성물 단면적



그 림 3. 핵분열 핵종의 가상 핵분열 생성물 흡수 단면적 비교