

2002 추계 학술발표회 논문집
한국원자력학회

NJOY/RMET21 코드를 이용한 열중성자로 공명영역 다군단면적 생산

A Study on the Generation of Resonance Multigroup Cross Sections for Thermal Reactors Using NJOY/RMET21 Codes

길충섭, 김도현, 김정도, 장종화
한국원자력연구소
대전광역시 유성구 덕진동 150

요 약

열중성자로 해석에서 중요시되는 저 에너지 분리공명영역의 다군 단면적을 정밀하게 생산하는 방법을 모색하였다. 균질 및 비균질 원주형 모델의 초 미세군 중성자속 계산코드인 RMET21코드와 핵자료 처리코드 NJOY를 연계 이용하여 다군 단면적을 생산하고, Narrow Resonance 근사법 및 기존의 다군 단면적 생산시 이용되는 NJOY-Computed 중성자속을 이용하여 생산된 단면적과 비교하였다. 또한 생산된 단면적자료의 유용성을 확인하기 위해 열중성자로 벤치마크용 TRX 및 BAPL 노심을 해석하고, HELIOS, WIMS-D5 및 MCNP-4C 코드를 이용한 결과와 비교하였다. NJOY/RMET21로 생산된 자료를 이용하여 TRX 및 BAPL 노심을 해석한 결과 각 노심의 U-235 및 U-238 특정군에서의 유효 단면적은 MCNP-4C의 유효 단면적과는 매우 근사하였으나, 기존의 NJOY-Computed 중성자 이용방법 및 HELIOS 코드를 이용한 것과는 큰 차이를 보였다.

Abstract

A study was performed to precisely generate the resolved resonance multigroup cross sections for thermal reactors. The multigroup cross sections were generated with NJOY nuclear data processing system coupled with the RMET code, which can calculate the neutron flux in homogeneous and heterogeneous cylindrical system. Also, the multigroup constants were produced with NJOY-computed flux and narrow-resonance options and were intercompared. The newly generated cross sections with NJOY/RMET21 were validated through analyses of the thermal benchmarks such as TRX- and BAPL-series. The results of NJOY/RMET21 were compared with those of MCNP-4C, WIMS-D5 and HELIOS. The effective cross sections of U-235 and U-238 including wide resonance peaks at low energies with NJOY/RMET21 in the benchmarks are very close to those of MCNP-4C while those of HELIOS and NJOY-computed flux show large differences.

1. 서 론

공명영역에서의 자기차폐 효과는 해석 노심의 기하학적 구조나 노심 구성물질에 따라 복잡한 함수로 나타난다. 그러나 다양한 노심에 따른 자기차폐효과를 반영하기 어렵기 때문에 대부분의 핵 설계 격자코드에서는 Bondarenko 방법¹⁾을 이용하여 자기차폐효과를 고려하고 있다. Bondarenko 방법은 균 단면적을 얻기 위한 가중함수는 즉 중성자속은 구성물질의 전 단면적에 반비례하는 것으로 가정하고 있으며, 이 Narrow-Resonance 근사 방법은 고속로 설계 해석에는 매우 유용하지만 공명 폭이 넓어지는 낮은 에너지에서는 정확성이 떨어진다. 1 eV 에서 500 eV에 이르는 에너지 영역에서 민감한 반응을 보이는 열중성자 관련 시설에서는 Narrow-Resonance 근사만으로는 한계가 있다. 이를 해결하기 위해 NJOY¹⁾ 시스템의 GROUPR 모듈에서는 공명 핵종과 가벼운 가상 핵종의 균질 노심에서 초 상세군 중성자속을 계산하여 가중함수로 이용할 수 있도록 하고 있다. 지금까지 각종 열중성자로 해석을 위한 악티나이드의 다군 단면적 라이브러리는 이 방법으로 생산하고 있다. 그러나 이 균질 모델에 의한 방법은 보다 정밀한 비균질 모델 계산에 의해 보다 개선될 수 있다.

RMET21²⁾코드는 원주형 비 균질 셀에서 충돌확률법으로 초 상세군 중성자속 계산이 가능하다. 따라서 RMET21로 계산된 핵연료 영역의 초 미세군 중성자속을 NJOY코드의 GROUPR 모듈에서 분리 공명 영역의 가중함수로 하여 다군 단면적을 생산하고 그 실효성을 검토하였다.

2. 핵자료 처리

2-1. MATXS190 라이브러리

이번 검토 계산을 위해 ENDF/B-VI.8을 이용하여 MATXS-format의 190군 라이브러리가 생산되었다. 군 구조는 HELIOS³⁾ 코드의 190군 구조와 동일하고, 가중함수는 기본적으로 WIMS Library Update Project(WLUP)⁴⁾에서 이용되었던 중성자속이 이용되었으며, U-235와 U-238에 대해서는 NJOY/Computed-flux를 이용하여 처리하였다.

2-2. NJOY/RMET21 이용 처리

TRX와 BAPL⁵⁾ 노심계산을 위해 U-235와 U-238 핵종의 다군 단면적을 TRX와 BAPL 각각의 노심에서 RMET21 코드로 계산된 초 미세군 중성자속으로 가중하여 생산하였다. 에너지 0.62506~9118.8 eV 사이에서 0.0001 lethargy 간격으로 약 100,000 에너지 점에서의 중성자속이 그 이외의 에너지구간에서는 WLUP의 중성자속이 이용되었다.

3. 수송 계산

ONEDANT⁶⁾를 이용하여 기존의 방법으로 생산된 라이브러리 및 NJOY/RMET21로 생산된 라이브러리로 TRX와 BAPL 노심을 해석하였다. MATXS-format의 라이브러리는 TRANSX코드를 이용하여 ANISN-format의 자료로 변환하였으며, P₃S₁₂ 및 1.0e-6 수렴조건이 적용되었다. 또한 비교를 위해 MCNP-4C, HELIOS 및 WIMS-D5⁷⁾코드 계산도 병행하였다.

4. 190군 단면적 비교

다음의 3가지 가중함수로 처리된 U-235와 U-238의 공명영역 단면적을 그림 1에 비교하였다.

- (1) Narrow-Resonance 근사
- (2) NJOY computed-flux
- (3) RMET21 fine-flux

U-238 포획단면적은 6.674 eV, 20.871 eV, 36.682 eV 그리고 66.032eV 등에 광폭 공명 peak가 있다. ENDF/B-VI.8의 U-235 분열 및 포획 단면적의 분리 공명에너지는 2.25 keV 까지 인데 경우(1)과

(2)는 108군 [32.888~37.267 eV] 에서를 제외하면 큰 차이를 보이지 않고 있으나, 경우 (3)은 U-235 자체 공명 peak에서 뿐만아니라 U-238 공명 peak 근처에서도 차이를 보이고 있다. U-238의 포획 단면적도 저 에너지 광폭 공명에서 다른 경우와 차이를 보이고 있다.

5. 공명 peak 자료 검증

RMET21을 이용한 상세 중성자속에 의한 영향이 기대되는 낮은 에너지의 광폭 공명 peak에서의 유효 단면적을 MCNP-4C 및 HELIOS로 계산하여 NJOY/RMET21/ONEDANT 및 NJOY(computed-flux)/ONEDANT로 계산된 결과와 비교하여 표 1에 정리하였다. U-238의 광폭 공명 peak가 포함된 에너지군에서 NJOY/RMET21/ONEDANT 계산의 U-235와 U-238의 유효 단면적은 MCNP-4C의 그것과 거의 차이가 없음을 알 수 있다. HELIOS 및 NJOY(computed-flux)/ONEDANT 계산에서 U-238 포획 단면적은 큰 차이를 보이지 않고 있으나, U-235의 분열 및 포획 단면적에서는 큰 차이를 보이고 있다.

6. 계산 결과 및 결론

TRX 및 BAPL 노심 해석 결과를 표 2에 정리하였다. 실제 유효 단면적에서는 U-238의 광폭 공명 peak가 있는 에너지군에서 U-235 분열 및 포획 단면적이 큰 차이를 보이고 있음을 표 1에서 확인할 수 있지만 노심의 대부분이 U-238로 구성되어 있고 몇몇 에너지 군에서 만의 차이이기 때문에 U-235 단면적의 k-inf.에 대한 민감도는 상대적으로 미미했다. NJOY/RMET21/ONEDANT 계산 결과는 MCNP-4C결과에 근접함을 확인할 수 있었으며, HELIOS 결과 또한 큰 차이를 보이지 않았으나, WIMS-D5결과는 다소 차이를 보였다.

낮은 에너지의 광폭 공명에서 NJOY/RMET21 방법에 의한 다군 단면적 자료의 유효성을 연속 에너지 점단면적을 이용하는 MCNP-4C 결과와의 상호 비교를 통해 확인하였다. 기존의 단면적 생산 방식과 HELIOS 라이브러리를 이용할 경우 광폭 공명 peak를 포함하는 에너지 군의 단면적 자료는 MCNP-4C의 그것과 큰 차이를 보일 수 있다.

참 고 문 헌

1. R. E. MacFarlane, D.W. Muir, "The NJOY Nuclear Data Processing System, Version 91," LA-12740-M (Oct. 1994).
2. F. Leszczynski, NRSC: Neutron Resonance Spectrum Calculation system, CNEA, (1999).
3. Casal, J.J., Stamm'ler, R.J.J., Villarino, E.A. and Ferri, A.A., HELIOS: Geometric capabilities of a new fuel-assembly program, International Topical Meeting of Advances in Mathematics, Computations, and Reactor Physics, Pittsburgh, Pennsylvania, Vol. 2, April 28-May 2 (1991).
4. S. Ganesan (Compiler), "Update of the WIMS-D4 Nuclear Data Library, Status Report of the IAEA WIMS Library Update Project," Report INDC(NDS)-290, (Dec. 1993).
5. ENDF-202, Cross Section Evaluation Working Group Benchmark Specifications, BNL-19302 (1974) (Revised 11-1981).
4. R.D. O'Dell, F.W. Brinkley, Jr. and D.R. Marr, "User's Manual for ONEDANT: A Code Package for Two-Dimensional Diffusion Accelerated, Neutron-Particle Transport," Los Alamos National Laboratory report LA-9184-M (February 1982).
7. J. R. Askew, F. J. Fayers and P.B. Kemshell, "A General Description of the Code WIMS," J. British Nucl. Energy Soc., Vol. 5, No. 4, p.564, (October 1966).

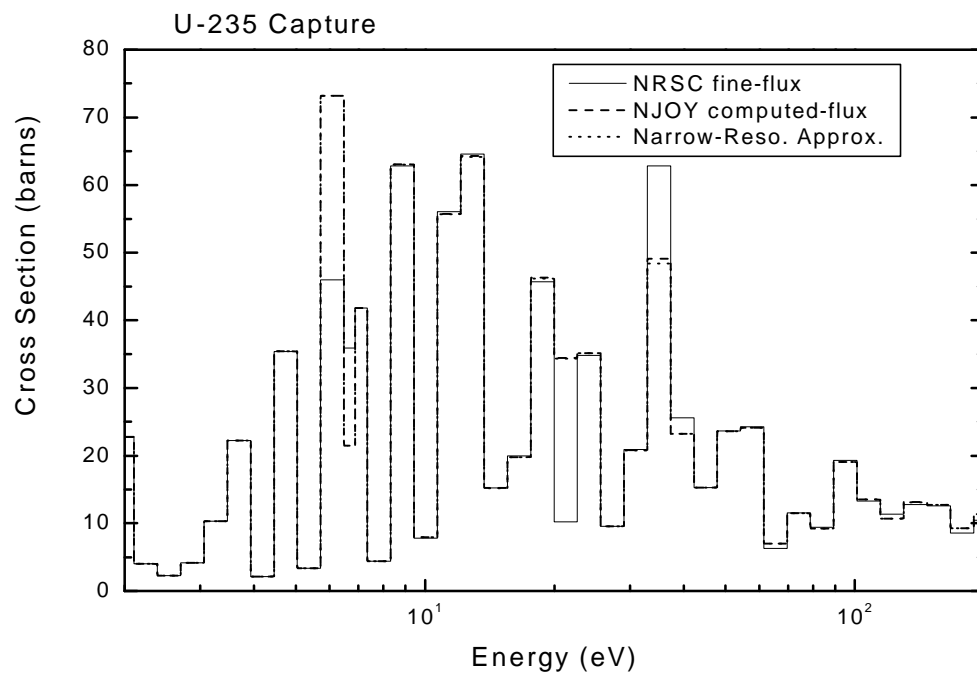
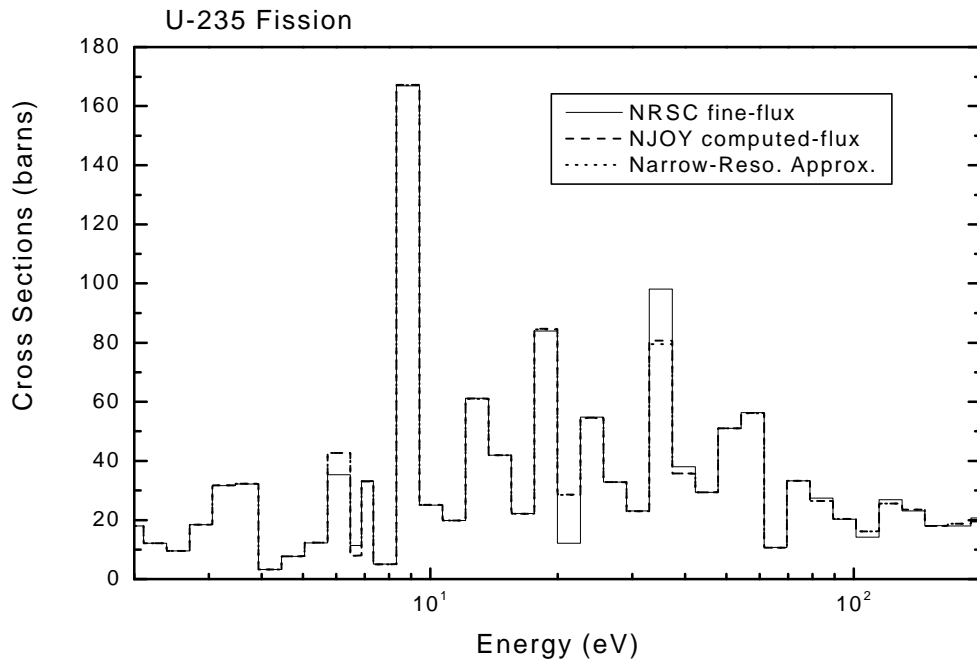


그림 1. TRX-1 노심에서 3가지 가중함수로 생산된 다군 단면적을 이용한 유효 단면적의 비교

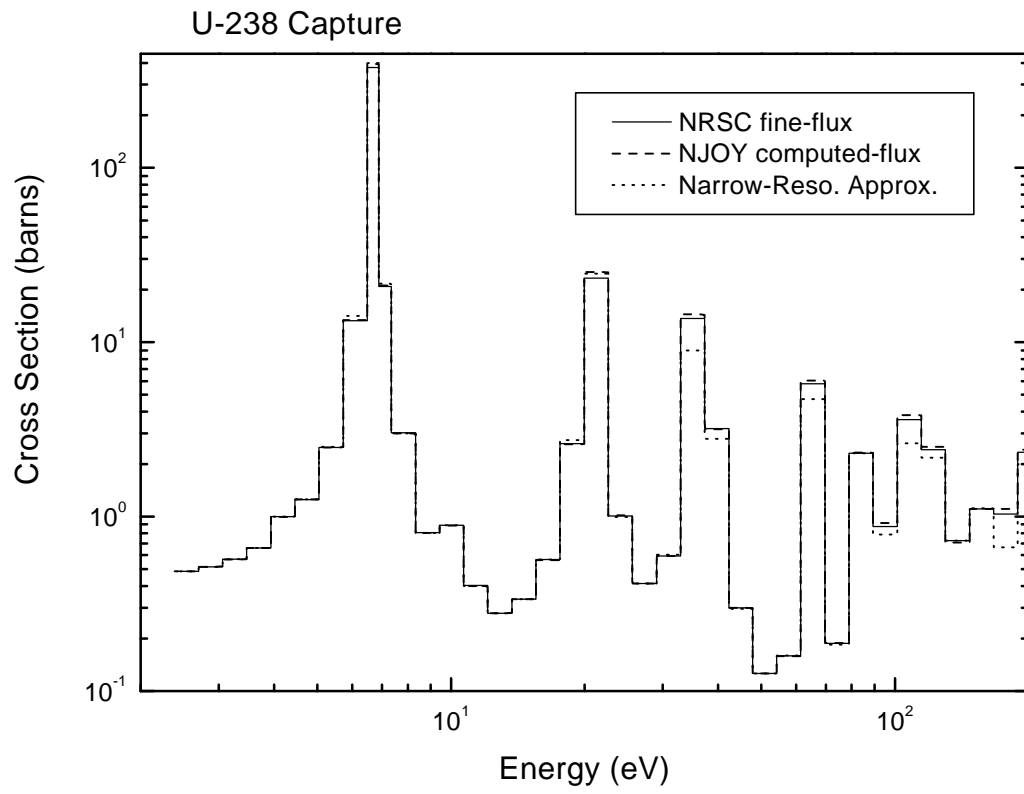


그림 1 (계속)

표 1. 여러 코드를 이용한 벤치마크 노심 해석시 공명 peak 에서의 유효 단면적 비교

TRX-1					
	Group [Energy(eV)]	MCNP	RMET21	NJOY	HELIOS
U-235 fission	108 [32.888 - 37.267]	98.029	98.168	80.726	90.071
	112 [19.947 - 22.603]	12.204	12.162	28.634	35.652
	122 [6.476 - 6.868]	11.141	11.468	7.925	15.144
	123 [5.715 - 6.476]	34.812	35.372	42.677	45.659
U-235 capture	108 [32.888 - 37.267]	63.234	62.845	49.126	54.990
	112 [19.947 - 22.603]	10.199	10.197	34.444	42.772
	122 [6.476 - 6.868]	34.567	35.928	21.468	34.751
	123 [5.715 - 6.476]	44.427	45.985	73.167	81.799
U-238 capture	108 [32.888 - 37.267]	13.354	13.647	14.409	12.639
	112 [19.947 - 22.603]	22.917	23.348	25.205	22.292
	122 [6.476 - 6.868]	383.179	376.131	394.545	418.674
	123 [5.715 - 6.476]	13.064	13.265	13.422	13.219

TRX-2					
	Group [Energy(eV)]	MCNP	RMET21	NJOY	HELIOS
U-235 fission	108 [32.888 - 37.267]	98.147	98.624	80.948	90.763
	112 [19.947 - 22.603]	12.228	12.350	28.669	35.922
	122 [6.476 - 6.868]	11.462	11.487	7.925	15.782
	123 [5.715 - 6.476]	35.328	35.741	42.744	45.808
U-235 capture	108 [32.888 - 37.267]	63.438	62.978	49.263	55.420
	112 [19.947 - 22.603]	10.288	10.406	34.495	43.135
	122 [6.476 - 6.868]	35.879	36.043	21.468	36.212
	123 [5.715 - 6.476]	46.184	47.137	73.425	82.303
U-238 capture	108 [32.888 - 37.267]	13.883	13.964	14.806	13.043
	112 [19.947 - 22.603]	23.509	23.982	25.868	22.752
	122 [6.476 - 6.868]	372.793	376.746	396.544	421.619
	123 [5.715 - 6.476]	13.282	13.443	13.584	13.402

BAPL-1					
	Group [Energy(eV)]	MCNP	RMET21	NJOY	HELIOS
U-235 fission	108 [32.888 - 37.267]	96.824	97.963	84.660	87.568
	112 [19.947 - 22.603]	13.818	13.833	29.607	33.413
	122 [6.476 - 6.868]	11.269	11.233	7.925	15.127
	123 [5.715 - 6.476]	38.201	38.528	43.285	44.450
U-235 capture	108 [32.888 - 37.267]	61.377	61.375	51.527	53.543
	112 [19.947 - 22.603]	12.442	12.531	35.866	40.283
	122 [6.476 - 6.868]	35.217	34.949	21.484	34.740
	123 [5.715 - 6.476]	55.699	56.814	75.524	80.901
U-238 capture	108 [32.888 - 37.267]	18.107	18.702	18.935	17.262
	112 [19.947 - 22.603]	30.053	30.907	32.501	29.323
	122 [6.476 - 6.868]	391.063	400.254	420.195	415.477
	123 [5.715 - 6.476]	14.830	14.983	14.855	14.862

BAPL-2					
	Group [Energy(eV)]	MCNP	RMET21	NJOY	HELIOS
U-235 fission	108 [32.888 - 37.267]	97.272	98.072	84.661	87.926
	112 [19.947 - 22.603]	13.935	14.040	29.608	33.582
	122 [6.476 - 6.868]	11.033	11.243	7.925	15.497
	123 [5.715 - 6.476]	38.941	38.763	43.317	44.521
U-235 capture	108 [32.888 - 37.267]	61.308	61.390	51.527	53.769
	112 [19.947 - 22.603]	12.658	12.739	35.866	40.501
	122 [6.476 - 6.868]	34.060	35.016	21.484	35.589
	123 [5.715 - 6.476]	57.987	57.646	75.649	81.140
U-238 capture	108 [32.888 - 37.267]	18.687	19.059	19.355	17.723
	112 [19.947 - 22.603]	30.758	31.596	33.184	30.030
	122 [6.476 - 6.868]	404.542	401.354	422.761	417.308
	123 [5.715 - 6.476]	15.076	15.114	14.976	15.005

BAPL-3					
	Group [Energy(eV)]	MCNP	RMET21	NJOY	HELIOS
U-235 fission	108 [32.888 - 37.267]	100.694	99.179	84.662	88.362
	112 [19.947 - 22.603]	14.142	14.224	29.608	33.787
	122 [6.476 - 6.868]	11.365	11.252	7.925	15.909
	123 [5.715 - 6.476]	38.505	39.013	43.352	44.602
U-235 capture	108 [32.888 - 37.267]	63.064	61.404	51.528	54.049
	112 [19.947 - 22.603]	12.894	12.968	35.867	40.767
	122 [6.476 - 6.868]	35.721	35.089	21.484	36.534
	123 [5.715 - 6.476]	57.115	58.542	75.788	81.438
U-238 capture	108 [32.888 - 37.267]	18.954	19.456	19.810	18.216
	112 [19.947 - 22.603]	31.839	32.359	33.926	30.772
	122 [6.476 - 6.868]	401.649	402.569	425.542	418.882
	123 [5.715 - 6.476]	15.124	15.255	15.109	15.153

표 2. 다양한 코드를 이용한 벤치마크 계산 결과 비교

Lattice	Quantity	MCNP	RMET21*	NJOY**	HELIOS	WIMS-D5
TRX-1	k-inf.	1.18119 (±0.00050)	1.17861	1.17734	1.18108	1.17569
	ρ^{28}	1.3000	1.3334	1.3376	1.3057	1.3247
	δ^{25}	0.0955	0.0961	0.0960	0.0971	0.0947
	δ^{28}	0.0913	0.0930	0.0928	0.0893	0.0923
	C^*	0.7853	0.7981	0.7995	0.7818	0.7955
TRX-2	k-inf.	1.16672 (±0.00045)	1.16615	1.16530	1.17061	1.16195
	ρ^{28}	0.8189	0.8321	0.8346	0.8209	0.8329
	δ^{25}	0.0589	0.0590	0.0589	0.0594	0.0583
	δ^{28}	0.0662	0.0669	0.0667	0.0630	0.0664
	C^*	0.6370	0.6431	0.6440	0.6341	0.6433
BAPL-1	k-inf.	1.14482 (±0.00051)	1.14106	1.14088	1.14309	1.13919
	ρ^{28}	1.3582	1.4000	1.3984	1.3694	1.3832
	δ^{25}	0.0808	0.0812	0.0812	0.0818	0.0802
	δ^{28}	0.0717	0.0733	0.0730	0.0704	0.0724
	C^*	0.7983	0.8139	0.8133	0.7977	0.8084
BAPL-2	k-inf.	1.14785 (±0.00049)	1.14637	1.14628	1.14727	1.14374
	ρ^{28}	1.1349	1.1608	1.1591	1.1392	1.1503
	δ^{25}	0.0659	0.0662	0.0661	0.0666	0.0654
	δ^{28}	0.0617	0.0631	0.0629	0.0604	0.0623
	C^*	0.7300	0.7403	0.7397	0.7279	0.7368
BAPL-3	k-inf.	1.13383 (±0.00047)	1.13358	1.13360	1.13416	1.13023
	ρ^{28}	0.8926	0.9106	0.9087	0.8964	0.9061
	δ^{25}	0.0509	0.0509	0.0509	0.0513	0.0504
	δ^{28}	0.0513	0.0521	0.0519	0.0495	0.0515
	C^*	0.6536	0.6614	0.6608	0.6522	0.6597

* ONEDANT using NJOY/RMET21 processed data

** ONEDANT using NJOY/computed-flux processed data