

2003 추계학술발표회 논문집
한국원자력학회

BN-600 원자로를 대상으로 한 수송, 확산이론의 반응도계수 비교, 분석

A Comparative Analysis of Reactivity Coefficients by Transport and Diffusion Theory for BN-600 Reactor

김학성, 이기복, 김상지, 김영일

한국원자력연구소
대전광역시 유성구 덕진동 150

요 약

IAEA CRP Phase1 에서 제시된 BN-600 원자로 노심의 각종 반응도 계수를 K-CORE 전산체계의 수송이론 코드와 확산이론 코드로 각각 계산하여 그 결과를 비교 분석하고, 다른 참가국의 계산결과와 비교 검증하였다. 비교분석 결과에 따르면, K-CORE 전산체계의 수송이론 계산결과가 전체적으로 다른 참가국의 결과보다 조금 큰 값을 보였다. 특히 유효 증배계수와 핵연료 도플러 계수가 다른 참가국의 결과보다 조금 큰 값을 보이는데 이것은 민감도 분석에서 밝혀진 것처럼 주로 JEF-2.2 단면적 자료를 사용하기 때문이다. 기타 다른 반응도 계수들은 참가국들의 계산결과와 비교적 잘 일치하는 모습을 보였다. 구조물 도플러 계수와 소듐 밀도계수의 경우 이들 반응도계수 값의 차이가 참가국간에 매우 큰 편차를 보이고 있다. 따라서 반응도계수의 예측에 대해 좀 더 심도 있는 연구가 필요하다.

Abstract

The Reactivity coefficients for BN-600 reactor proposed as IAEA CRP Phase 1 are calculated by using the K-CORE code system based on transport and diffusion theory, and compared the results with those of the other participants. According to the comparison results, the values of the K-CORE code system by transport theory show higher trends than others. Especially the k -eff and the fuel Doppler coefficient by the K-CORE code system show higher results than other's values. It is known that this

mainly comes from using JEF-2.2 library as described in sensitivity analysis. The other reactivity coefficients agree well with the other participants' values, but the steel Doppler and sodium density coefficient show big discrepancies between the participants. So the study of reactivity coefficients is required further more.

1. 서론

현재 KALIMER 노심설계를 위한 K-CORE 전산체계[1]의 신뢰성 향상을 위해 수송이론에 기초한 노심 반응도 분석연구가 진행 중이다. 본 연구는 기존 확산이론에 의한 반응도계수 계산결과와 수송이론에 의한 계산결과를 비교, 분석하여 노심 반응도 계산의 불확실도를 최소화시키는 수송이론 보정인자 개발의 기초자료를 마련하고 그 연구방향을 제시하는 것이 목적이다.

2. 연구내용 및 방법

국제원자력기구(IAEA) 협력연구과제(CRP)는 액체금속로를 연구하는 각국의 전산코드와 방법론의 검증과 개선을 위해 BN-600 원자로를 표준문제로 제시하였다[2,3]. 본 연구에서는 BN-600 원자로 노심의 각종 반응도 계수를 KAERI에서 개발된 K-CORE 전산체계의 수송이론 코드와 확산이론 코드로 각각 계산하여 그 결과를 비교 분석하였고, 또한 다른 참여국의 계산결과와 상호비교 검증하였다. 계산에 사용된 라이브러리는 JEF-2.2에 기초한 KAFAX-F22[4] 라이브러리이며, 유효 미시단면적 계산을 위해서 TRANSX[5] 코드와 TWODANT[6] 코드를 이용하여 80군, 9군 단면적 라이브러리를 생산하였다. 그리고 수송이론 코드인 TWODANT와 확산이론 코드인 DIF3D[7]를 이용하여 각종 반응도 계수를 계산하였다. 본 연구에서 계산된 반응도 계수는 핵연료 도플러 계수, 구조물 도플러 계수, 소듐 밀도계수, 구조물 밀도계수, 핵연료 밀도계수, 흡수체 밀도계수, 축 방향 팽창계수 그리고 반경방향 팽창계수로 총 8가지이다.

표준문제로 제시된 BN-600 원자로 노심의 R-Z모델은 그림 2-1에 나타나 있으며, K-CORE 전산체계를 이용한 계산절차는 그림 2-2에 나타나 있다.

3. 연구결과

K-CORE 전산체계의 수송이론 코드와 확산이론 코드를 사용하여 BN-600 원자로의 각종 반응도 계수를 계산하였다. 전체적인 계산 결과를 살펴보면 수송이론 코드로 계산된 반응도계수 값이 다른 참여국의 계산결과에 비해 전체적으로 조금씩 크게 계산되는 결과를 보였다. 따라서 수송이론 계산결과와 확산이론 계산결과와의 차이가 참여국들에 비해 다소 크게 나타나는 경향을 보였다. 표 3-1에 나타나있는 유효중배계수와 표 3-2에 나타나있는 핵연료 도플러 계수는 다른 참여국들에 비해 다소 크게 계산되는 모습을 보였는데 이는 민감도 분석[8]에서 밝혀진 것처럼 주로 JEF-2.2 단면적 자료를 사용하기 때문이라 판단된다. 표 3-3

에 나타나있는 구조물 도플러 계수는 다른 참여국의 계산결과와 잘 일치하는 모습을 보였다. 표 3-4에 나타나있는 소듐 밀도계수와 표 3-5에 나타나있는 구조물 밀도계수의 경우 참여국간의 계산결과의 편차가 무척 크게 나타남으로 좀더 심도 있는 연구가 필요하다고 판단된다. 표 3-6에 나타나있는 핵연료 밀도계수와 표 3-7에 나타나있는 흡수체 밀도계수는 다른 참여국의 계산결과와 비교적 잘 맞는 모습을 보였고, 표 3-8에 나타나있는 축 방향 팽창계수와 표 3-9에 나타나있는 반경방향 팽창계수의 경우도 다른 참여국의 계산결과와 비교적 잘 일치함을 보였다.

4. 결론

국제원자력기구(IAEA) 협력연구과제(CRP)에 참가한 각국의 전산코드 검증과 개선을 위해 표준문제로 제시된 BN-600 원자로 노심의 각종 반응도 계수를 K-CORE 전산체계를 이용하여 계산하고, 참가국의 계산결과와 상호 비교, 검증하였다. 또한 수송이론 계산결과와 확산이론 계산결과를 비교, 분석하여 추후 수송이론 보정 노심 반응도 분석체계 개발을 위한 연구방향을 도출하였다. 전체적인 연구결과를 살펴보면 K-CORE 전산체계의 수송이론 계산결과가 다른 참가국들에 비해 전체적으로 다소 크게 나타나는 경향을 보였고, 몇몇 반응도계수의 경우 참가국들간의 계산결과의 편차가 비교적 크게 나타나는 경향을 보여 좀더 심도 있는 연구가 필요하다고 판단된다. 본 연구에서는 수송이론보정인자 개발의 필요성을 확인할 수 있었고, BN-600 원자로 노심을 대상으로 한 계산결과를 수송이론 보정인자 개발 연구의 기본 자료로 제시하였다.

감사의 글

본 논문은 과학기술부에서 시행하는 원자력중장기사업의 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

1. 김영진 외, “액체금속로 설계기술개발”, KAERI/RR-2027/99, 한국원자력연구소, 1999.
2. 김영인, “BN-600 Hybrid Core Benchmark Analysis(Phase 1, 2 and 3),” IAEA, 2003.
3. 이기복 외, “Analysis of the IAEA Coordinated Research Project(CRP) Benchmark Problem Phase IV for Liquid Metal Fast Reactors,” KAERI/TR-2528/2003, KAERI, 2003.
4. J. D. Kim, et al., “KAFAX-F22 : Development and Benchmark of Multi-group Library for Fast Reactor Using JEF-22,” KAERI/TR-842/97, 한국원자력연구소, 1997.
5. R. E. MacFarlane, “TRANSX 2 : A Code for Interfacing MATXS Cross-section Libraries to Nuclear Transport Codes,” LA-12312-MS, Los Alamos National Laboratory, Dec., 1993.
6. R. E. Alcouffe, et al., “User’s Guide for TWODANT: A Code Package for Two-Dimensional Diffusion-Accelerated Neutral Particle Transport,” LA-10049-M, Los Alamos National Laboratory, 1990.
7. K. L. Derstine, “DIF3D : A Code to Solve One-, Two-, and Three-Dimensional Finite-Difference Diffusion Theory Problems,” ANL-82-64, Argonne National Laboratory, April, 1984.
8. Makoto Ishikawa, “Sensitivity Analysis of JEF and JENDL(Action 3.6),” The document of Oarai Engineering Center, JNC, May, 2002.

20.0	Axial reflector												
24.7	UB	UB	UB	UB	UB	UB	UB	UB	UB	UB			
5.5	SHR		SHR				SHR						
52.2	LEZ-1		LEZ-2	Follower + rod tail	LEZ-3		MEZ	MOX	HEZ	SSA	SSA		Radial reflector
52.2	Follower + rod tail	LEZ-1	Follower + rod tail	LEZ-2	Follower	LEZ-3	Follower + rod tail	MEZ	MOX	HEZ			
5.5													
29.7	LB		LB		LB		LB	LB	LB				
20.0	Axial reflector												
(cm)	5.2	36.8	1.8	5.8	1.6	18.9	2.25	10.38	13.5	9.48	9.48	25.43	50.0

그림 2-1. BN-600 원자로 노심의 R-Z 구성

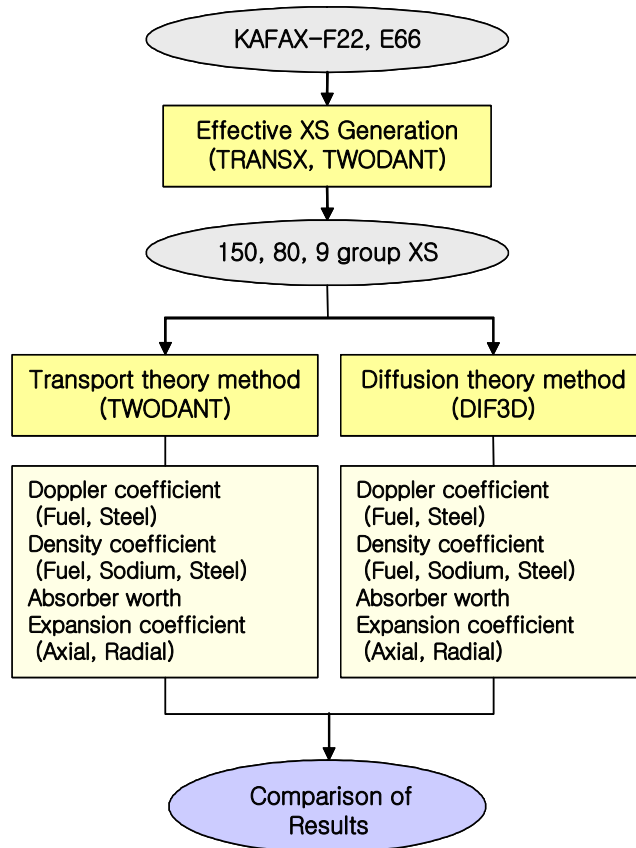


그림 2-2. K-CORE 전산체계를 이용한 계산과정

표 3-1. 유효증배계수

Participant	Transport		Diffusion		Rel. Diff. (%)
	value	Rel. Dev. (%)	value	Rel. Dev. (%)	
ANL	1.00788	-0.61	0.99684	-0.80	1.11
CEA/SA	1.02298	0.88	1.01676	1.18	0.61
CIAE	1.01497	0.09	0.99808	-0.67	1.69
IGCAR			1.00360	-0.13	
IPPE	1.00576	-0.82	1.00140	-0.34	0.44
JNC	1.00948	-0.45	1.00423	-0.06	0.52
OKBM			0.99796	-0.69	
KAERI (80g)	1.02346	0.92	1.01045	0.56	1.29
(9g)			1.01445	0.95	0.89
Mean	1.01409		1.00486		0.92
SD +/-	0.00770		0.00696		

* 1) Relative Deviation from the mean = (Value - Mean) / Mean x 100 (%)

* 2) Relative Difference = (Transport - Diffusion) / Diffusion x 100 (%)

표 3-2. 핵연료 도플러 계수

Participant	Transport		Diffusion		Rel. Diff. (%)
	value	Rel. Dev. (%)	value	Rel. Dev. (%)	
ANL			-0.00652	1.82	
CEA/SA	-0.00671	-1.68	-0.00679	6.04	-1.18
CIAE			-0.00499	-22.07	
IGCAR			-0.00462	-27.85	
IPPE	-0.00628	-7.99	-0.00622	-2.86	0.96
JNC	-0.00621	-9.01	-0.00635	-0.83	-2.20
OKBM			-0.00659	2.92	
KAERI (80g)	-0.00810	18.68	-0.00767	19.78	5.61
(9g)			-0.00788	23.06	2.79
Mean	-0.00683		-0.00640		6.59
SD +/-	0.00088		0.00107		

표 3-3. 구조물 도플러 계수

Participant	Transport		Diffusion		Rel. Diff. (%)
	value	Rel. Dev. (%)	value	Rel. Dev. (%)	
ANL			-0.00110	0.57	
CEA/SA	-0.00146	14.29	-0.00134	22.51	8.96
CIAE			-0.00049	-55.20	
IGCAR					
IPPE	-0.00124	-2.94	-0.00122	11.54	1.64
JNC	-0.00113	-11.55	-0.00116	6.06	-2.59
OKBM			-0.00097	-11.31	
KAERI (80g)	-0.00128	0.20	-0.00122	11.54	4.92
(9g)			-0.00125	14.29	2.40
Mean	-0.00128		-0.00109		16.80
SD +/-	0.00014		0.00027		

표 3-4. 소듐 밀도계수

Participant	Transport		Diffusion		Rel. Diff. (%)
	value	Rel. Dev. (%)	value	Rel. Dev. (%)	
ANL			0.01749	117.30	
CEA/SA	0.00343	-5.57	0.00519	-35.52	-33.91
CIAE			0.00211	-73.79	
IGCAR			0.00446	-44.59	
IPPE	0.00211	-41.91	0.00898	11.57	-76.50
JNC	0.00403	10.94	0.00765	-4.96	-47.32
OKBM			0.01065	32.32	
KAERI (80g)	0.00496	36.55	0.00815	1.26	-39.14
(9g)			0.00776	-3.59	-36.08
Mean	0.00363		0.00805		-54.87
SD +/-	0.00119		0.00438		

표 3-5. 구조물 밀도계수

Participant	Transport		Diffusion		Rel. Diff. (%)
	value	Rel. Dev. (%)	value	Rel. Dev. (%)	
ANL			-0.0384	225.98	
CEA/SA	-0.0147	17.15	-0.0112	-4.92	31.25
CIAE			-0.0055	-53.31	
IGCAR			-0.0021	-82.17	
IPPE	-0.0088	-29.87	-0.0053	-55.01	66.04
JNC	-0.0149	18.75	-0.0126	6.96	18.25
OKBM			-0.0114	-3.23	
KAERI (80g)	-0.0118	-6.04	-0.0097	-17.66	21.55
(9g)			-0.0098	-16.64	20.06
Mean	-0.0125		-0.0118		6.52
SD +/-	0.0029		0.0106		

표 3-6. 핵연료 밀도계수

Participant	Transport		Diffusion		Rel. Diff. (%)
	value	Rel. Dev. (%)	value	Rel. Dev. (%)	
ANL			0.3343	-3.86	
CEA/SA	0.3382	-2.58	0.3423	-1.56	-1.20
CIAE			0.3492	0.42	
IGCAR			0.3410	-1.94	
IPPE	0.3466	-0.16	0.3505	0.80	-1.11
JNC	0.3491	0.56	0.3491	0.39	0.00
OKBM			0.3628	4.33	
KAERI (80g)	0.3547	2.18	0.3516	1.10	0.90
(9g)			0.3488	0.31	1.70
Mean	0.3472		0.3477		-0.16
SD +/-	0.0069		0.0080		

표 3-7. 흡수체 밀도계수

Participant	Transport		Diffusion		Rel. Diff. (%)
	value	Rel. Dev. (%)	value	Rel. Dev. (%)	
ANL			-0.0266	-6.32	
CEA/SA	-0.0263	-1.74	-0.0273	-3.86	-3.66
CIAE			-0.0391	37.70	
IGCAR			-0.0269	-5.27	
IPPE	-0.0260	-2.86	-0.0274	-3.51	-5.11
JNC	-0.0270	0.88	-0.0265	-6.68	1.89
OKBM			-0.0267	-5.97	
KAERI (80g)	-0.0278	3.72	-0.0278	-2.24	0.00
(9g)			-0.0273	-3.86	1.68
Mean	-0.0268		-0.0284		-5.74
SD +/-	0.0008		0.0040		

표 3-8. 축방향 팽창계수

Participant	Transport		Diffusion		Rel. Diff. (%)
	value	Rel. Dev. (%)	value	Rel. Dev. (%)	
ANL			-0.1327	-3.72	
CEA/SA	-0.1374	1.59	-0.1378	-0.02	-0.29
CIAE	-0.1341	-0.85	-0.1432	3.90	-6.35
IGCAR			-0.1395	1.22	
IPPE	-0.1267	-6.32	-0.1297	-5.89	-2.31
JNC	-0.1361	0.63	-0.1393	1.07	-2.30
OKBM			-0.1415	2.67	
KAERI (80g)	-0.1419	4.94	-0.1389	0.77	2.19
(9g)			-0.1378	0.00	2.97
Mean	-0.1352		-0.1378		-1.87
SD +/-	0.0056		0.0042		

표 3-9. 반경방향 팽창계수

Participant	Transport		Diffusion		Rel. Diff. (%)
	value	Rel. Dev. (%)	value	Rel. Dev. (%)	
ANL			-0.4360	-7.07	
CEA/SA	-0.4573	-2.55	-0.4650	-0.89	-1.66
CIAE	-0.4603	-1.91	-0.4232	-9.80	8.77
IGCAR			-0.4840	3.16	
IPPE	-0.4787	2.01	-0.4868	3.76	-1.66
JNC	-0.4647	-0.97	-0.4812	2.56	-3.43
OKBM			-0.4827	2.88	
KAERI (80g)	-0.4852	3.41	-0.4836	3.08	0.33
(9g)			-0.4801	2.32	1.08
Mean	-0.4692		-0.4692		0.02
SD +/-	0.0121		0.0235		