

SPNOVA 코드를 이용한 영광4호기 5주기 검증계산

Evaluation of Yonggwang Unit 4 Cycle 5 Using SPNOVA Code

최유선, 차균호, 이은기, 박문규  
한전전력연구원  
대전광역시 유성구 문지동 103-16

요 약

영광4호기 5주기를 대상으로 SPNOVA의 한국표준형원전 적용가능성을 평가하였다. SPNOVA 노심모델은 BEPREPN의 노내계측기 모델과 ANC 노심모델로 구성된다. 개발된 SPNOVA 노심모델은 ANC 수준의 계산 정확도를 갖는 모델이며, SPNOVA 노심모델 검증은 주요 설계인자인 임계 붕소농도, 첨두출력값(Fq) 및 반경방향 출력분포 등을 분석함으로 수행되었다. 설계코드인 ROCS 계산값과 비교한 결과 SPNOVA가 임계붕소농도를 최대 30ppm 낮게 예측하였고, 출력분포 및 첨두출력 측면에서는 SPNOVA가 보수적인 경향을 보임으로 한국표준형원전에 SPNOVA 코드 이용은 타당한 것으로 판단되었다. 또한 SPNOVA와 측정값의 차이를 분석하기 위해 영광4호기 5주기 실측자료를 이용하여 SPNOVA가 예측한 주요 설계인자들의 경향을 분석하였다. SPNOVA 노심연소모델은 향후 새로운 형태의 노내계측기 개발에 이용될 것이다.

Abstract

*Core follow calculation of Yonggwang (YGN) Unit 4 Cycle 5 is performed to evaluate SPNOVA code if it can be applicable or not to Korean Standard Nuclear Power Plant (KSNP). SPNOVA code consists of BEPREPN and ANC code to represent incore detector and neutronics model, respectively. SPNOVA core depletion model is compared and verified with ANC depletion results in terms of critical boron concentration(CBC), peaking factor (Fq) and radial power distribution. In YGN4, SPNOVA predicts 30 ppm lower than that of ROCS predicting CBC. Fq and radial power distribution behavior of SPNOVA calculation have conservatively higher than those of ROCS predicting values. And also SPNOVA predicting results are compared with measurement data from Snapshot and CECOR core calculation. It is reasonable to accept SPNOVA to analyze KSNP. The model of SPNOVA for KSNP will be used to develop the brand-new incore detector of Platinum and Vanadium.*

## 1. 서 론

한국표준형원전은 노내계측기를 이용하여 운전중인 노심의 주요인자들을 감시하고 있다. 한국표준형원전인 영광4호기에서 사용중인 로듐계측기는 발생신호가 크고 연소 특성이 잘 알려져 있어 한국표준형원전을 비롯한 구 ABB-CE형 원전에서 노심감시를 위해 주로 사용되고 있다. 하지만 로듐계측기는 발생전류신호가 큰 만큼 연소가 빨리 진행되어 3~4주기 정도 사용한 후에는 교체를 해야 하고 수십초에 이르는 신호지연을 보상을 해야 하는 단점을 갖고 있다. 이러한 로듐계측기의 단점을 극복하기 위한 새로운 형태의 비연소형 즉발응답 노내계측기 개발이 미국 등을 중심으로 진행되고 있다. 전력연구원은 2000년 4월부터 2001년 3월까지 영광 4호기 5주기 동안 2 다발의 백금계측기 집합체를 시범장전하여 백금계측기 신호를 취득하였고, 백금계측기 신호를 분석한 결과 시범장전된 백금계측기는 백그라운드 신호가 백금계측기 전류신호에 비해 커서 신뢰할 수 있는 정보를 얻을 수 없는 것으로 분석되었다.[1] 따라서 전력연구원은 바나듐계측기와 백금계측기를 혼합한 새로운 형태의 비연소형 즉발응답 노내계측기를 개발하여 현재 웨스팅하우스와 공동으로 국제 특허출원 중에 있다.

새로 개발한 노내계측기의 특성을 분석하기 위해서 노내계측기 모델링 기능이 있는 SPNOVA코드가 선택되었다. 하지만 SPNOVA는 한국표준형 원전 노심계산에 사용된 경험이 없기 때문에 새로 개발한 노내계측기 분석을 하기 전에 SPNOVA가 현 설계코드인 ROCS와 부합된 결과를 주는지와 침투출력값과 같은 주요 설계인자의 특성을 분석하였다. 또한 SPNOVA 예측값과 측정값의 차이를 분석하기 위해 영광4호기 5주기에서 실측한 값인 Snapshot 자료를 이용하여 CECOR 노심추적계산을 수행하였다.

## 2. 본 론

### 가. 영광4호기 5주기 노심

영광4호기 5주기는 <표 1>에서와 같이 17종류의 연료집합체로 구성되어 있으며, 각 연료집합체는 2가지 농축도의 연료봉으로 구성되어 있다. 6% 가돌리듬 독봉이 8개 또는 12개씩 집합체내에 위치하고 있다. 핵설계보고서의 주기길이는 14,770 MWD/MTU이며 실제 운전된 연소도는 12,914 MWD/MTU으로 측정되었다. <그림 1>에서 보는 바와 같이 노내계측기 집합체 다발은 45 다발이 장전되었고, 1번과 41번 노내계측기는 백금계측기가 시범장전되어 운전되었다.[1, 2] ANC 노심추적계산은 영광4호기 5주기 노심의 실제 운전조건이 반영되어 수행되었다. ANC가 생산한 DB는 노심운전 정보를 포함하고 있으며 향후 SPNOVA의 입력으로 사용된다.

### 나. SPNOVA 노심 모델

SPNOVA는 가압경수로에 대해 정상상태 및 동적상태 계산이 가능하며 1.5군 중성자 확산 방정식을 다차원에 대해 노달확장법(NEM)으로 노심계산을 수행하는 코드이다.[3] SPNOVA는 로듐계측기와 바나듐계측기를 취급할 수 있는 기능도 갖고 있다. SPNOVA의 노내계측기 모델링을 위해

서는 ANC DB와 BEPREPN이 제공하는 일련의 바이너리 파일들이 필요하다. BEPREPN은 노내계측기관련 정보를 SPNOVA에 제공하는 기능을 한다.[4] 노내계측기를 모델링하기 위해서는 로듐의 초기 수밀도, 이론적 총 전하량, 노내계측기 연소 이력 및 노심내 위치 등의 정보가 필요하다. SPNOVA는 로듐계측기 반응단면적과 Thimble Flux 교정상수 계산을 근사식에 의해 한다. 근사식은 연료연소도, 로듐 수밀도, 독봉 농축도 및 연료 농축도 등의 함수로 표현되고 있다.

SPNOVA 노심모델 유효성은 <표 2>의 Check List에 따라 ANC 노심 계산 결과와 비교를 통해 판단된다.[3] 주요 설계인자인 임계붕소농도와 침투 출력값을 <표 3>과 같이 비교하였다. 임계붕소농도는 약 1ppm, 침투출력은 0.4% 과대평가하는 수준에서 잘 일치함을 볼 수 있다. 따라서 SPNOVA 영광4호기 노심 모델이 ANC 수준의 정확성을 갖고 있음을 확인하였다.

## 다. SPNOVA와 ROCS 계산 결과 비교

ROCS는 현재 한국표준형원전 노심설계에 사용되는 핵심코드이다. Off-line 노심감시 역할을 하는 CECOR코드의 Library는 이 ROCS를 기반으로 생산된다. 따라서 SPNOVA가 예측하는 임계붕소농도, 침투출력값, 출력분포 등은 ROCS 계산값과 비교해볼 때 타당한 범위내의 값을 보이게 된다. 연소도 0 MWD/MTU에서 SPNOVA는 No Xe 노심을, ROCS는 Eq. Xe 노심상태를 모사하기 때문에 서로 비교함은 의미가 없으므로 <표 4>와 <표 5>에서 해당 값은 생략하였다.

- 임계붕소농도 : <표 4>에서 보는 바와 같이 영광 4호기 5주기 주기길이는 SPNOVA 계산이나 ROCS 계산에서 동일한 길이임을 알 수 있다. 연소도에 따fms 임계붕소농도는 SPNOVA가 최대 30ppm 정도 낮게 예측하고 있으나 이는 노심출력분포에 심한 영향을 주는 차이는 아니다.
- 침투출력값 : <표 5>는 SPNOVA와 ROCS의 연소도에 따른 침투출력값(Fq)을 보여주고 있다. <표 5>에서와 같이 연소도 9,000 MWD/MTU까지는 SPNOVA가 ROCS보다 침투출력값을 낮게 예측하고 있고, 그 후에는 높게 예측하는 경향을 나타내고 있다. 그러나 전체적으로 최대 3%이내의 적은 차이를 보이고 있다.
- 반경방향 출력분포 : <그림 2>는 주기초(0 MWD/MTU)와 주기말(14,770 MWD/MTU)에서의 ROCS와 SPNOVA가 계산한 노심출력분포를 비교한 것이다. 주기초에 최대 4%, 주기말에서 최대 3%의 출력분포 차이를 보이고 있다. 노심의 중앙부에서 ROCS가 SPNOVA에 비해 상대적으로 작은 값을 보이고 있다. 즉, SPNOVA가 노심중앙의 출력을 ROCS보다 높게 예측하는 것이다. 이는 SPNOVA와 ROCS가 수행하는 연소계산 방식 차이에 따른 노심연소도 차이에서 기인하는 것이다.

위와 같이 SPNOVA는 ROCS와 비교해서 볼 때 임계붕소농도는 일정한 추세로 낮게 예측하고 있으며, 침투출력값(Fq)은 주기초에는 높은 값을 보이다가 대략 연소도 9,000MWD/MTU이후 부터는 낮게 예측하고 있다. 그러나 반경방향 출력분포의 경우는 SPNOVA가 ROCS에 비해 노심 내부를 높게 예측하는 경향을 보이고 있다.

SPNOVA가 계산한 주요 설계값들이 ROCS 계산값과 허용 범위내에서 타당한 값을 보이고 있으므로, 향후 SPNOVA 모델은 노내계측기 분석을 위한 영광 4호기 5주기 SPNOVA 노심모델로 사용될 것이다.

## 라. SPNOVA와 CECOR 계산 결과 비교

전술한 바와 같이 SPNOVA는 한국표준형원전인 영광4호기 5주기를 분석할 수 있는 계산정확도를 갖고 있고, 주요 설계인자를 타당한 범위 내에서 예측할 수 있는 것으로 판단되었다. 즉 설계코드와 유사한 수준으로 노심의 주요 설계인자를 예측하는 것이다. SPNOVA 예측값과 실제 측정값과의 차이를 분석하고자 CECOR 노심추적계산을 수행하였다.

<표 6>은 CECOR 계산에 사용된 14개의 Snapshot을 정리한 것이다. CECOR 노심추적계산에 적용된 주기말 연소도는 실제 측정한 12,914 MWD/MTU가 사용되었다. SPNOVA 계산은 제어봉의 삽입(%) 정도를 고려하였고, Snapshot과 동일한 노심 조건에서 연소계산을 수행하였다.

<그림 3>에서 보는 바와 같이 SPNOVA 예측값은 실측 임계붕소농도보다 낮게 예측함을 알 수 있다. 이는 ROCS 예측값보다 낮게 예측했던 경향이 그대로 나타난 것이다. <그림 4>는 Axial Offset를 그린 것으로 SPNOVA가 일정한 추세를 보이고 있다. 실측값보다 더 큰 음(More negative) 방향의 경향을 보이고 있다. 이는 SPNOVA가 예측하는 노심축방향 출력분포는 측정값보다 하부로 더 치우치는 경향을 보이는 것이다. <그림 5>는 SPNOVA가 예측한 침투출력값(Fq)과 Snapshot으로부터 CECOR가 생산한 측정값을 보여 주고 있다. SPNOVA 예측값이 실측값보다 큰 값을 보이고 있으며, 이는 보수적으로 침투출력을 예측하는 경향이 있음을 나타낸다.

## 3. 결론

새로운 형태의 노내계측기 개발을 위해 사용될 SPNOVA 코드의 적용 타당성 분석을 위해 SPNOVA 노심연소모델을 개발하고, 설계코드인 ROCS와 주요 설계인자에 대해 비교분석하였다. 분석결과 SPNOVA는 설계코드 ROCS와 비교해 볼 때, 설계코드 수준의 예측정확도를 갖는 것으로 판단되었다. SPNOVA가 계산한 주요설계값인 임계붕소농도, 침투출력값 및 출력분포 예측값과 측정값과 비교한 결과에서도 SPNOVA는 타당한 범위내에서 예측하고 있다. 다음은 영광4호기 5주기 경우에 대하여 SPNOVA가 설계코드인 ROCS에 비해 주요 설계인자 예측시 나타나는 특성이 다.

- 실제 노심보다 최대 30ppm 가량 낮은 임계붕소농도를 예측한다. 하지만 실제 주기길이는 타당하게 예측하고 있다.
- SPNOVA가 예측하는 침투출력값(Fq)은 실제보다 높게 보이는 추세를 보이고 있다. 따라서 SPNOVA로 노내계측기 침투출력값을 평가할 때는 이러한 경향이 고려되어야 할 것이다. 향후 실험자료들을 축적하여 통계적 처리를 통한 Bias 개념을 적용하면 더욱 정밀한 예측이 가능하리라 본다.

임계붕소농도와 출력분포 예측 결과에서 볼 때 SPNOVA는 설계코드인 ROCS와 비교하여 타당한 결과를 보이고 있다. 따라서 바나듐과 백금계측기로 구성된 노내계측기 분석을 위한 SPNOVA 모델 개발연구가 진행중에 있다.

#### 4. 참고문헌

- [1] Y. S. Choi and K. H. Cha, "Evaluation of the Platinum Detector Signals for YGN4 Cycle 5," KNS Spring Meeting, May 2003.
- [2] 영광4호기 5주기 핵설계보고서
- [3] SPNOVA User's Manual, Revision 5.
- [4] BEPREPN, User's Manual, Revision 8.

#### <표 1> As-built Enrichment for YGN 4 Cycle 5

ENRI.	# OF ASSYS	LOADING [MTU]
B1 : 2.3572/1.2976	1	0.43107
E0 : 4.1145/3.5894	8	3.44613
E1 : 4.1040/3.5878	4	1.72524
E2 : 3.5979/3.1178	-	-
F0 : 4.1088/3.6161	12	5.18694
F1 : 4.1016/3.6154	16	6.88111
F2 : 4.1013/3.6149	24	10.32059
G0 : 4.0746/3.6004	16	6.89165
G1 : 4.0691/3.5889	8	3.44240
G2 : 4.0777/3.5755	32	13.73917
H0 : 4.4971/4.0118	16	6.87066
H1 : 4.5052/4.0081	8	3.42362
H2 : 4.5015/4.0116	32	13.70250
Total	177	76.06108

**<표 2> SPNOVA Sample Acceptance Check List**

Quantity	Criteria
Assembly Average Power	+/- 1.0% relative to ANC if $P_{avg} > 1.0$ +/- 0.01 relative to ANC if $P_{avg} < 1.0$
Assembly Peak to Average Power	+2.5%/-0.5 relative to ANC if $P_{avg} > 1.0$
Critical Boron versus burnup	+/- 4ppm, +/-2.29E-2 (g/kg boron)
A/O fraction versus burnup	+/- 1.0 %
BA fraction versus burnup	+/- 0.015 difference
Total rod worth	+/- 2.0% per bank +/- 1.0% total (more than one bank)

**<표 3> ANC와 SPNOVA의 임계붕소농도, Fq값 비교**

	CBC(ppm)			Fq		
	ANC	SPNOVA	ANC-SP	ANC	SPNOVA	(ANC-SP)/ANC
0	1503	1503	0	1.827	1.831	0.2%
50	1173	1173	0	1.714	1.720	0.4%
500	1096	1095	-1	1.718	1.723	0.3%
1000	1044	1043	-1	1.695	1.702	0.4%
2000	968	967	-1	1.678	1.684	0.4%
3000	893	892	-1	1.665	1.672	0.4%
4000	818	818	0	1.669	1.672	0.2%
5000	748	747	-1	1.678	1.679	0.1%
6000	682	681	-1	1.693	1.707	0.8%
7000	620	620	0	1.710	1.712	0.1%
8000	561	560	-1	1.719	1.738	1.1%
9000	496	496	0	1.709	1.710	0.1%
10000	420	420	0	1.676	1.684	0.5%
11000	336	336	0	1.637	1.645	0.5%
12000	247	247	0	1.614	1.629	0.9%
13000	158	158	0	1.600	1.613	0.8%
14000	69	69	0	1.590	1.602	0.8%
14770	2	1	-1	1.584	1.605	1.3%
Avg. Error			-0.4			0.49%

<표 4> SPNOVA와 ROCS 임계붕소농도 비교

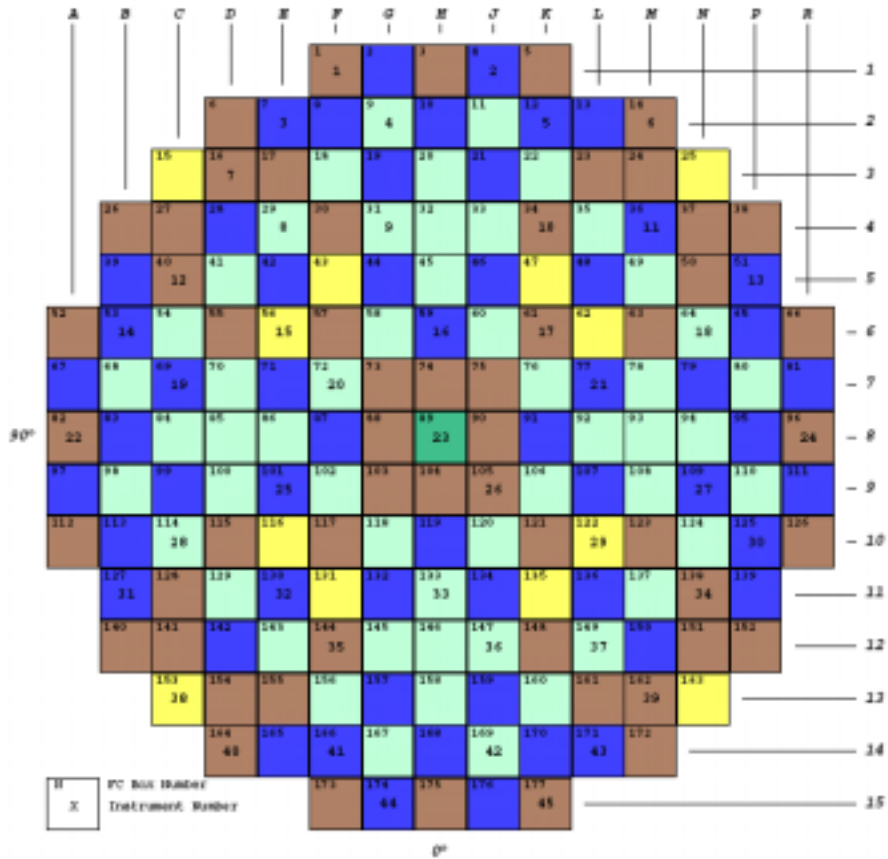
Burnup	SPNOVA	ROCS	ROCS- SPNOVA
50	1173	1135	-38
500	1095	1086	-9
1000	1043	1047	4
2000	967	981	14
3000	892	911	19
4000	818	841	23
5000	747	774	27
6000	681	710	29
7000	620	651	31
8000	560	592	32
9000	496	522	26
10000	420	444	24
11000	336	354	18
12000	247	263	16
13000	158	171	13
14000	69	80	11
14770	1	10	9

<표 5> SPNOVA와 ROCS 첨두 출력(Fq)값 비교

Burnup	SPNOVA	ROCS	(ROCS-SPNOVA) /ROCS
50	1.720	1.7299	1%
500	1.723	1.7093	-1%
1000	1.702	1.7024	0%
2000	1.684	1.6771	0%
3000	1.672	1.6530	-1%
4000	1.672	1.6334	-2%
5000	1.679	1.6362	-3%
6000	1.707	1.6497	-3%
7000	1.712	1.6685	-3%
8000	1.738	1.6832	-3%
9000	1.710	1.6834	-2%
10000	1.684	1.6921	0%
11000	1.645	1.6881	3%
12000	1.629	1.6732	3%
13000	1.613	1.6626	3%
14000	1.602	1.6516	3%
14770	1.605	1.6412	2%

<표 6> 영광4호기 5주기 Snapshot

NO	DATE	TIME	POWER (%)	BURNUP (MWD/MTU)	BORON (PPM)	ASI	TIN(F)	EFF.FL.RATE (%)	EFPH	SNAPSHOT FILE NAME	% INSERTION FROM TOP OF CORE							
											BANK7	BANK5	BANK4	BANK3	BANK2	BANK1	BANKA	BANKE
1	4/19/00	10:06:11	99.7	537.2	1089	-0.015	564.3	108.5	3.50E+02	Z28604BC	0	0	0	0	0	0	0	0
2	5/4/00	13:46:43	99.7	1094.2	1044	-0.009	564.1	108.1	7.12E+02	Z286F675	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
3	5/25/00	10:00:48	99.6	1858.4	998	-0.002	564.1	108.4	1.21E+03	Z28844B1	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
4	6/4/00	21:57:03	99.7	2244.2	968	0.004	564.2	107.6	1.46E+03	Z288EA4A	1	1	1	1	1	1.1	1	1
5	6/19/00	10:01:03	99.6	2776.9	931	0.005	564.3	107.9	1.81E+03	Z288D4B2	1	1	1	1	1	1.1	1	1
6	7/4/00	10:09:00	99.7	3328.1	915	0.013	564.3	107.4	2.17E+03	Z28ac4c1	0.5	2	1.4	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
7	7/19/00	13:39:54	99.7	3884.7	875	0.023	564.0	107.7	2.53E+03	Z28BB667	0.9	2.2	1.7	1.7	1.6	1.6	1.8	1.8
8	8/3/00	10:00:47	99.7	4430.2	833	0.019	564.1	107.4	2.88E+03	Z28CA4B1	0.9	2.2	1.7	1.7	1.6	1.6	1.8	1.8
9	8/18/00	13:30:08	99.6	4986.5	799	0.021	564.2	107.8	3.25E+03	Z28D9654	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
10	9/18/00	10:00:45	99.8	6119.5	724	0.018	564.3	108	3.98E+03	Z28F84B1	1.2	1	1	1	1	1.1	1	1
11	11/17/00	10:00:41	99.6	8323.5	597	0.028	564.2	107.7	5.42E+03	Z29344B1	0	0	0	0	0	0	0	0
12	12/17/00	10:00:27	99.6	9424.8	519	0.020	564.3	107.9	6.14E+03	Z29524B0	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
13	2/20/01	10:00:43	99.9	11812	315	0.025	564.4	107.5	7.69E+03	Z29534b1	3.1	4	2.9	3	3	3	3.1	3
14	3/22/01	10:00:51	99.7	12914.4	198	0.024	564.2	107.4	8.41E+03	Z29b14b1	6	2	2	2	2	2	2	2



<그림 1> Locations of Incore Detectors



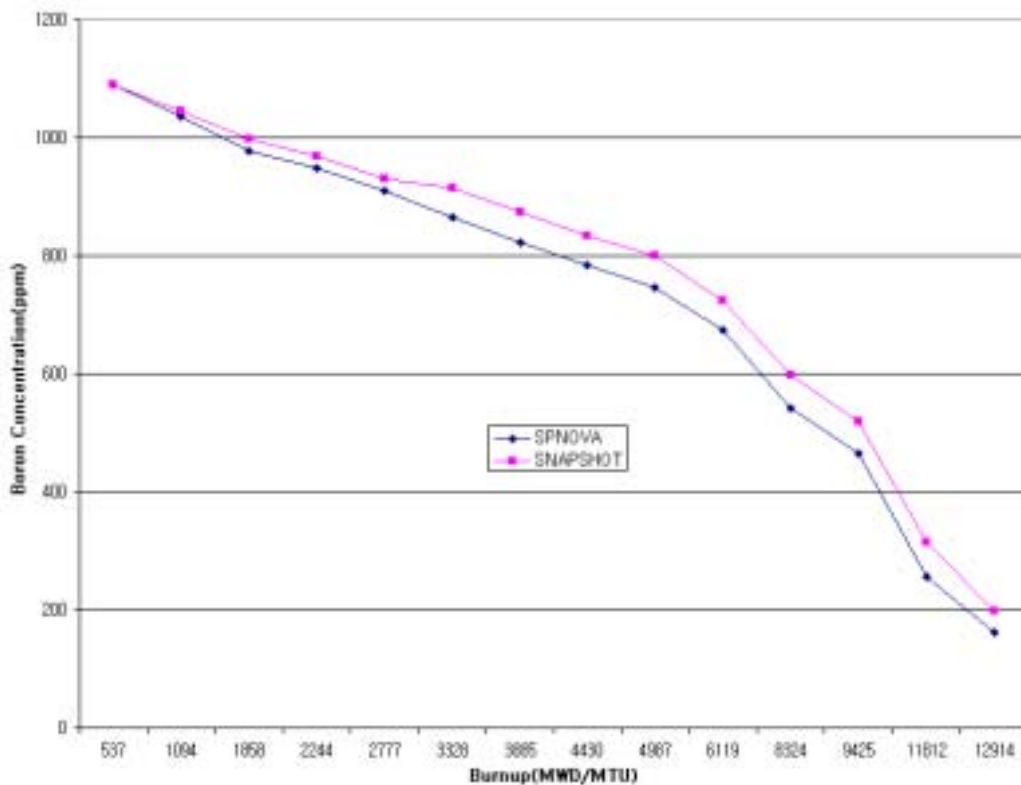
주기초 (50 MWD/MTU)

ROCS			1 G0			2 H0			3 G2														
SPNOVA			0.607			0.894			0.690														
% ERROR			-1%			-2%			-4%														
4 G2			5 H0			6 H1			7 F2			8 H2											
0.487			1.046			1.189			0.961			1.163											
0.485			1.037			1.187			0.975			1.185											
0%			1%			0%			-1%			-2%											
9 E1			10 G0			11 G1			12 F2			13 H2			14 F2								
0.408			0.996			1.118			0.909			1.233			0.896								
0.407			0.959			1.087			0.908			1.247			0.925								
0%			4%			3%			0%			-1%			-3%								
15 G2			16 G0			17 H2			18 F0			19 G2			20 F1			21 F0					
0.486			0.994			1.298			1.083			1.079			1.060			0.964					
0.486			0.959			1.267			1.063			1.066			1.068			0.989					
0%			4%			2%			2%			1%			-1%			-3%					
22 H0			23 G1			24 F0			25 H2			26 E			27 H2			28 F2					
1.045			1.117			1.083			1.288			0.940			1.261			1.005					
1.038			1.089			1.064			1.279			0.942			1.274			1.015					
1%			3%			2%			1%			0%			-1%			-1%					
29 G0			30 H1			31 F2			32 G2			33 E			34 G2			35 F1			36 H2		
0.607			1.189			0.911			1.083			0.942			1.067			0.948			1.302		
0.613			1.19			0.914			1.069			0.943			1.065			0.962			1.315		
-1%			0%			0%			1%			0%			0%			-1%			-1%		
37 H0			38 F2			39 H2			40 F1			41 H2			42 F1			43 G2			44 G2		
0.893			0.961			1.238			1.067			1.266			0.948			1.138			1.155		
0.914			0.976			1.251			1.074			1.277			0.962			1.130			1.147		
-2%			-2%			-1%			-1%			-1%			-2%			1%			1%		
45 G2			46 H2			47 F2			48 F0			49 F2			50 H2			51 G2			52 B1		
0.690			1.164			0.902			1.003			1.008			1.303			1.158			0.840		
0.715			1.185			0.925			0.989			1.015			1.315			1.147			0.833		
-4%			-2%			-3%			1%			-1%			-1%			1%			1%		

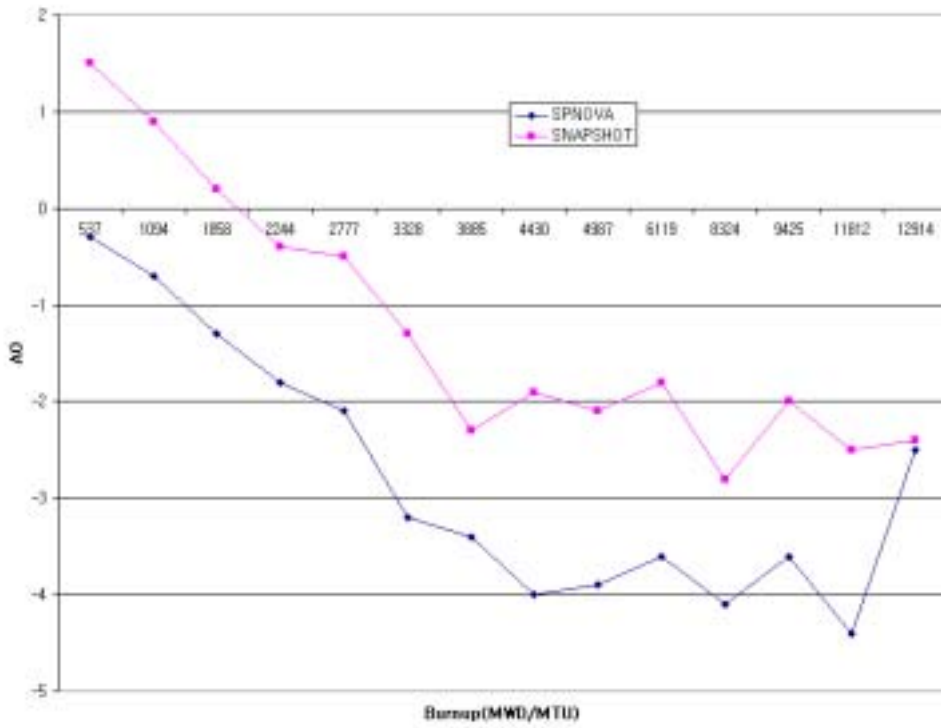
주기말 (14,770 MWD/MTU)

ROCS			1 G0			2 H0			3 G2														
SPNOVA			0.643			0.914			0.746														
% ERROR			3%			1%			0%														
4 G2			5 H0			6 H1			7 F2			8 H2											
0.498			0.963			1.199			1.000			1.310											
0.499			0.954			1.171			0.995			1.281											
0%			1%			2%			0%			2%											
9 E1			10 G0			11 G1			12 F2			13 H2			14 F2								
0.443			0.946			1.024			0.909			1.337			0.967								
0.440			0.927			1.022			0.919			1.321			0.982								
1%			2%			0%			-1%			1%			-2%								
15 G2			16 G0			17 H2			18 F0			19 G2			20 F1			21 F0					
0.497			0.945			1.295			1.028			1.036			1.055			0.984					
0.499			0.927			1.271			1.035			1.047			1.072			1.016					
0%			2%			2%			-1%			-1%			-2%			-3%					
22 H0			23 G1			24 F0			25 H2			26 E			27 H2			28 F2					
0.962			1.023			1.027			1.319			0.942			1.322			1.017					
0.954			1.022			1.035			1.313			0.965			1.320			1.03					
1%			0%			-1%			0%			-2%			0%			-1%					
29 G0			30 H1			31 F2			32 G2			33 E			34 G2			35 F1			36 H2		
0.642			1.198			0.909			1.037			0.942			1.030			0.938			1.328		
0.623			1.171			0.922			1.047			0.965			1.050			0.960			1.325		
3%			2%			-1%			-1%			-2%			-2%			-2%			0%		
37 H0			38 F2			39 H2			40 F1			41 H2			42 F1			43 G2			44 G2		
0.913			0.999			1.338			1.058			1.324			0.937			1.042			1.043		
0.901			0.995			1.322			1.074			1.321			0.960			1.056			1.060		
1%			0%			1%			-2%			0%			-2%			-1%			-2%		
45 G2			46 H2			47 F2			48 F0			49 F2			50 H2			51 G2			52 B1		
0.746			1.310			0.970			1.016			1.019			1.329			1.046			0.817		
0.746			1.281			0.982			1.016			1.030			1.325			1.060			0.846		
0%			2%			-1%			0%			-1%			0%			-1%			-4%		

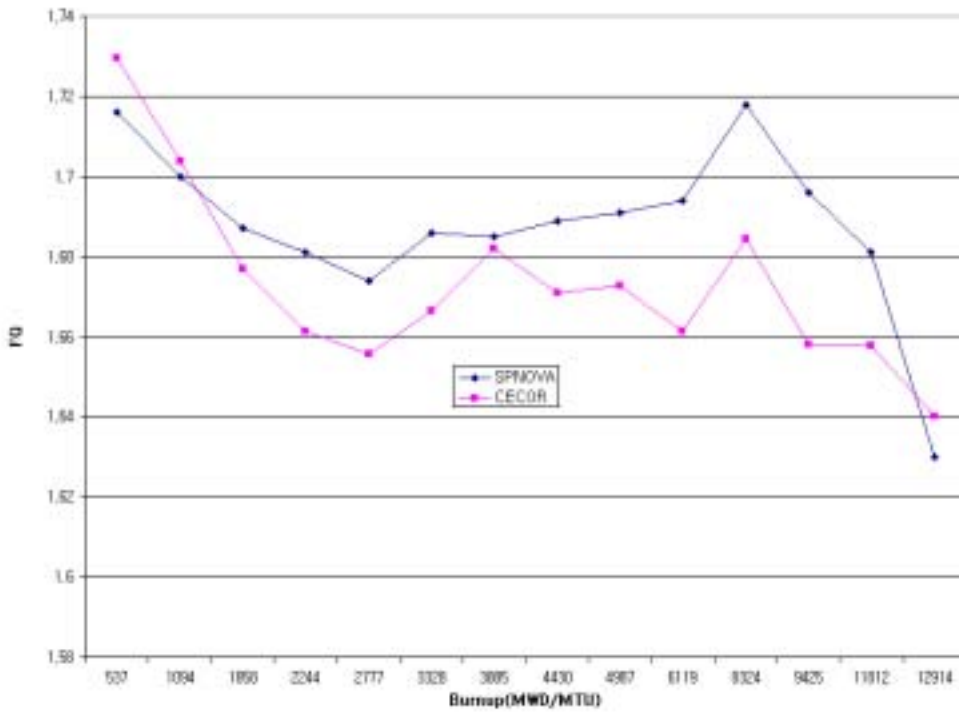
<그림 2> SPNOVA와 ROCS 출력분포 비교 (주기초, 주기말)



<그림 3> SPNOVA 예측 임계농소농도와 실측값 비교



<그림 4> Axial Offset 비교



<그림 5> 첨두출력값(Fq) 비교