

원전 시뮬레이터 노심모델 Tuning 지원 프로그램 개발

서인용, 홍진혁, 이명수, 고병만*
한전전력연구원 원자력발전연구소 원자로공학그룹
*) (주) 유저스

Development of the Tuning-Support Program for Neutronics Model in the NPP Simulator

In-Yong Seo, Hong Jin-Hyuk, Lee Myeong-Soo, Koh Byung-Marn*
Nuclear System Engineering Group, Nuclear Power Laboratory, KEPRI
*) USERS

Abstract

원전 시뮬레이터의 노심모델(REMARK)은 원자로에서 발생하는 1차원 열원을 정확히 모사하고, 정상상태 및 과도상태의 반응도 변화에 따른 중성자속의 거동을 실제 원자로와 유사하게 모사할 수 있어야 한다. 모사의 정확성을 높이기 위해 Tuning 작업이 필수적이거나 그 작업 단계가 매우 복잡하여 많은 시간과 노력이 필요하기 때문에 이를 간소화하면서 정확성을 높일 수 있는 Tuning 지원 프로그램을 개발하였다. 개발된 프로그램의 사용결과 신속하고 정확한 Tuning이 가능하였다.

I. 서론

1. 배경

원전 시뮬레이터는 원자력발전소 운전원을 대상으로 실제 원전에서 훈련하기 어려운 사고는 물론 정상/비정상 및 비상 운전에 대한 훈련을 실습하는 실비이며, 또한 운전원 자격 시험의 도구로 활용되기 때문에 높은 정확성

이 요구된다. 특히, 노심모델은 원자로에서 발생하는 1차원 열원을 정확히 모사하고, 정상상태 및 과도상태의 반응도 변화에 따른 중성자속의 거동을 실제 원자로와 유사하게 모사할 수 있어야 한다.

2. 목적

REMARK은 자체 계산 결과와 실제 원자로 노심특성을 일치시키기 위해 Tuning 작업이

필수적이다. REMARK에 Tuning Factor를 적용하기 위해서는 노물리 지식과 경험이 바탕되어야 하며 그 작업 또한 매우 복잡한 단계를 거치기 때문에 많은 시간과 노력이 요구된다. 따라서 본 연구의 목적은 REMARK의 Tuning 절차를 간소화하고 결과의 정확성을 높일 수 있는 지원 프로그램을 개발하는 것이다.

II. 본론

1. REMARK

1.1 개요

REMARK은 GSE Power System사의 원전 시뮬레이터 SSP(SimSuite Power) 3.3의 노심모델로서 실시간으로 원자료를 모사할 수 있다.^[1]

해당 호기 및 주기의 REMARK Input Data는 ANSI/ANS-3.5 성능기준을 만족해야 하며 Westinghouse의 핵설계 Code체계 APA(ALPHA/PHEONIX/ANC)시스템의 추적 계산 및 Branch 계산의 결과에서 얻을 수 있다.

1.2 Input Data 적용

REMARK은 새로운 주기의 Input Data가 적용될 때 마다 IC(Initial Condition) Setup을 해야 한다. IC는 Full Power Steady-State 조건이 유지 되어야 하기 때문에 유효증배값인 k_{eff} 값([그림 1]에서 crskeff 항목)이 허용 오차를 $\pm 1E-5$ 를 넘지 않도록, 출력([그림 1]의 crsqn 항목)이 100%에 가깝도록 Setting

되어야 하고, Setting 된 상태를 계속 유지하며 오랜 시간 수행되어야 안정성이 확보된다.^[2]

Name	index	Value	Name	index	Value
01 crstage		1.21	crstfuelav		1.2177759e+003
02 cr:initial		FALSE	cralfavg		0.0000000e+000
03 cr:temp1		TIME	cradnkaug		7.0007415e-001
04 cr:time		FALSE	crstnodav		5.0003553e-002
05 cr:tempc		FALSE	crskeffavg		3.1020330e+015
06 cr:tempm		FALSE	crskinfavg		1.0130045e-000
07 cr:temph		FALSE	crsbeta		6.2364930e-002
08 cr:tempg		FALSE	crsborenavg		1.5010000e+000
09 cr:temp		FALSE	ppfactx		1.0000000e+000
10 cr:temp		FALSE	ppfacth		-9.7240094e-010
11 cr:tempm		FALSE	crsmpidiff1		-9.2543541e-014
12 cr:temp		8.5405300e+00532	crsmpidiff2		-9.2543541e-014
13 cr:temp		1.0000000e+00033	crsanp1		3.2002493e+014
14 cr:temp		1.0002633e+00034	cr:temp	< 1 >	FALSE
15 cr:temp		1.0798997e+00035	crsprob1	< 1 >	7.7310000e-001
16 cr:temp		2.0035059e+01436	crsperiod		9.9970000e+007
17 cr:temp		3.1774474e+01337	crsrho		0.0000000
18 cr:temp		1.1700000e+00438	crsrbppen		0
19 cr:temp		3.0491538e+00339	crsfluxadj		9.9989999e-001
20 cr:temp		9.2447384e+00240	crsqnprompt		2.6077540e+009

[그림 1] 영광 1호가 16주기 IC (BOL, 240시간 수행)

1.3 REMARK Tuning

IC Setup이 완료되고 그 안정성이 확보되면 REMARK의 계산 결과를 핵설계보고서(NDR, Nuclear Design Report)과 비교 및 일치시키는 Tuning 작업이 필요하다. Tuning의 필요성은 서론부에서 언급된 바와 같다.

REMARK의 수행은 [그림 1]과 같이 실시간 계산되는 Terminal Mode에 입력을 주고 계산결과를 받아오는 단순한 구조이다. 그러나 계산에 필요한 Geometry의 변경이나 Rod Position 변경 등 Tuning 작업에 필요한 대부분의 경우 변수의 양이 방대하기 때문에 Batch 형태의 파일을 제작해 입력해야 하는 번거로움이 있다. 또한 Tuning Factor를 찾기 위해서는 이런 번거로운 작업이 반복되어야 하기 때문에 많은 시간과 노력이 요구된다.

2. REMARK Tuning 지원 프로그램

2.1 CSSPEX Module

본 연구에서는 REMARK의 Memory 영역을 직접 Access하는 Module을 제작하여 1.3절에서 언급된 번거로운 작업을 일소하였다. SSP 3.3에서 제공되는 라이브러리를 이용하여 Visual 개발 틀에서 사용가능한 OCX (OLE Custom Control)를 작성하여 REMARK Tuning 지원 프로그램에 사용하였다. CSSPEX Module의 두 가지 기능은 주 프로그램으로부터 변수명을 받아 REMARK의 Memory 영역에서 변수값을 읽어오는 것과 변수명과 변수값을 받아 REMARK의 Memory의 해당 변수 영역에 변수값을 쓰는 기능이다.

2.2 Tuning 지원 프로그램

프로그램은 크게 Power Distribution, Rod Worth, Boron Worth, NIS Signal, Kinetic Parameter, Core Trend 항목을 갖으며 각 항목별 내용은 다음과 같다.

- ① Power Distribution : Full Core 형태로 Thermal Flux 출력한다.
- ② Rod Worth : Slider를 사용하여 Control Rod Position 및 Factor를 조절한다.
- ③ Boron Worth : Boron Worth, Xe/Sm Worth, MTC (Moderator Temperature Coefficient)/FTC(Fuel Temperature

Coefficient) 등의 Factor를 조절한다.

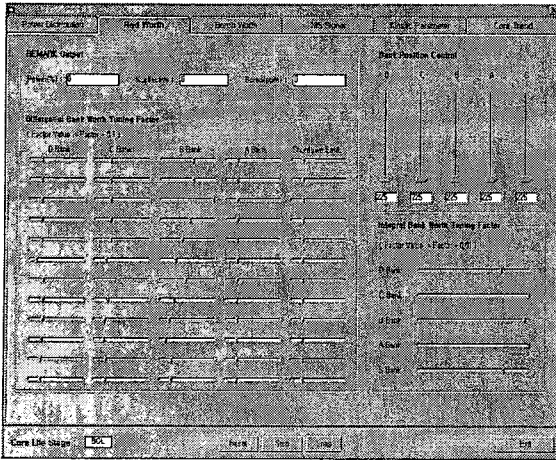
- ④ NIS Signal : Source, Intermediate, Power Range의 Factor를 조절한다.
- ⑤ Kinetic Parameter : Kinetic Parameter의 항목을 조절한다.
- ⑥ Core Trend : 실시간으로 저장된 Data의 Trend를 표시한다.

3. REMARK Tuning^[3, 4]

3.1 Control Rod Worth

[그림 2]는 Control Rod Worth의 Tuning을 지원하는 항목이다. REMARK Output 항목에는 Power, k_{eff} , Boron 농도 등이 실시간으로 표시된다. Bank 별 Rod의 위치를 조절할 수 있으며, 해당 Factor도 조절할 수 있다. 하부에는 해당 주기가 표시되며 Reset/Step/Snap 등의 버튼을 통해 Tuning 결과를 조절할 수 있다.

[표 1]에서 [표 3]까지는 각 주기(BOL, MOL, EOL)별, Bank별로 제어봉가(Control Rod Worth)의 값을 비교한 결과이다. Tuning된 Bank Worth 값이 NDR의 값과 매우 유사한 결과를 보여주고 있다.



[그림 2] Rod Worth Tuning 항목

[표 4] BOL, HFP ($\% \Delta \rho$)

BANK	NDR	REMARK	Difference
A	0.39	0.39	0
B	1.72	1.71	0.01
C	1.15	1.15	0
D	0.40	0.40	0
SA	4.63	4.61	0.02

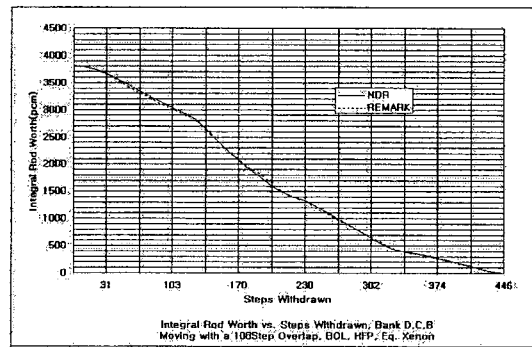
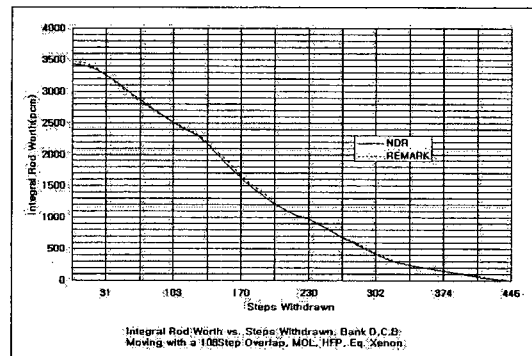
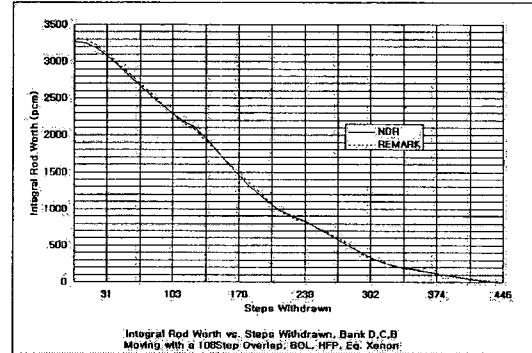
[표 5] MOL, HFP ($\% \Delta \rho$)

BANK	NDR	REMARK	Difference
A	0.46	0.46	0
B	1.71	1.71	0
C	1.24	1.23	0.01
D	0.48	0.48	0
SA	4.72	4.74	0.02

[표 6] EOL, HFP ($\% \Delta \rho$)

BANK	NDR	REMARK	Difference
A	0.67	0.67	0
B	1.81	1.80	0.01
C	1.39	1.39	0
D	0.60	0.60	0
SA	5.24	5.26	0.02

Step별 Integral Rod Worth를 비교한 결과이다. B, C, D Bank를 합쳐서 총 446 Step으로 인출되며 12 Step 혹은 8 Step(하나의 Bank가 모두 인출되는 시점) 단위로 Tuning이 진행되었다. 오차 범위는 $\pm 50\text{pcm}$ 을 적용하였다.

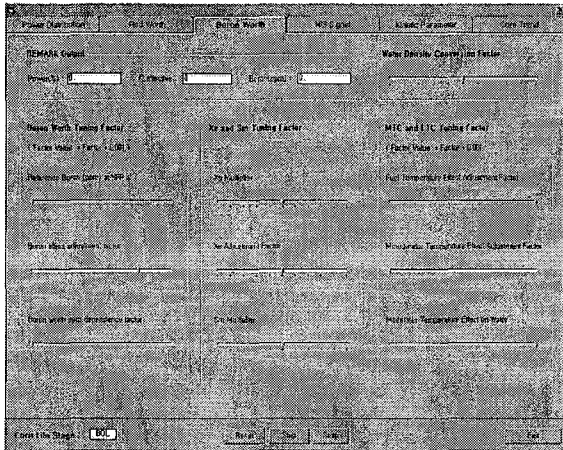


[그림 3] Integral Rod Worth Tuning 결과

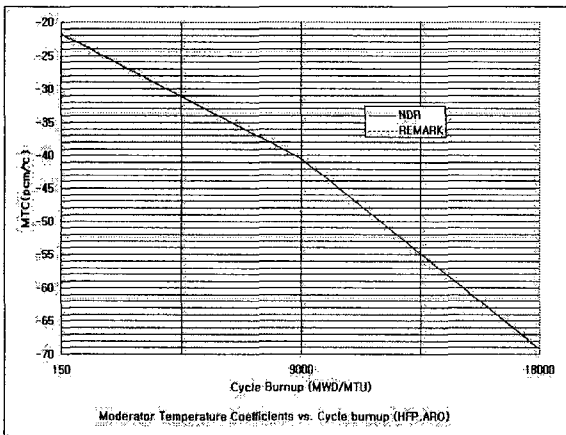
[그림 3]은 각 주기별로 B, C, D Bank의

3.2 Moderator Temperature Coefficient (MTC)

각 주기 (Core Cycle)에서의 MTC Tuning을 위해 [그림 4]의 MTC Tuning Factor 항목을 사용하였으며 그 결과는 [그림 5]와 같다.



[그림 4] Boron, Xe, MTC 등의 Tuning 항목



[그림 5] Moderator Temperature Tuning 결과

3.2 Xenon Worth

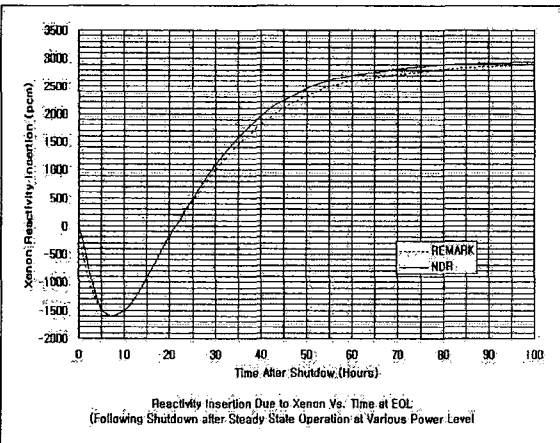
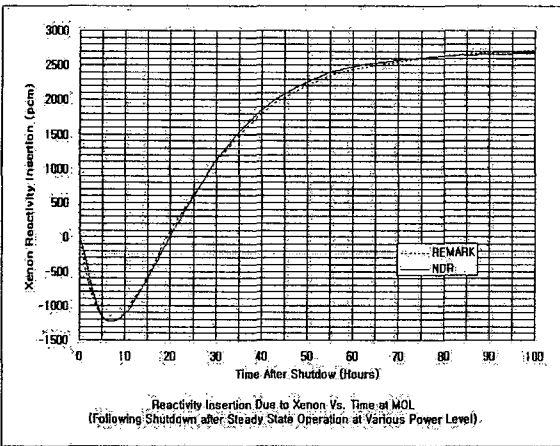
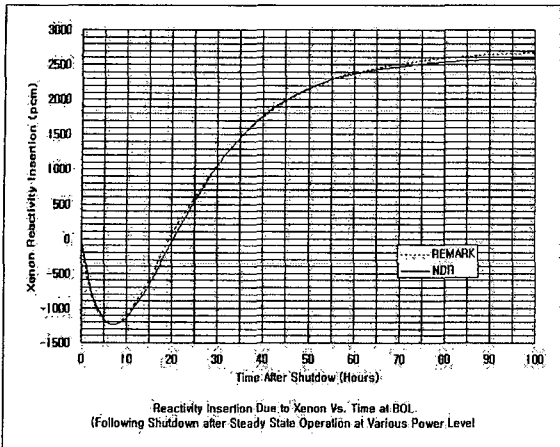
원자로 Trip 후 Xenon Worth를 Tuning하기 위해 [그림 2]의 Bank Position Control 항목으로 모든 Bank를 삽입시킨 후 [그림 4]의 Xe Tuning Factor를 조절 하였다. Tuning

결과는 [그림 6]과 같고 최대 오차는 MOL에서 50시간 이후에서 약 150pcm 정도를 갖는다.

III. 결론

원전 시뮬레이터 노심모델(REMARK)의 Tuning을 지원하는 프로그램의 개발은 Tuning에 필요한 복잡한 단계를 간소화하여 많은 시간과 노력을 절감할 수 있는 효과를 가져왔을 뿐만 아니라 복잡한 단계에서 발생할 수 있는 오류의 확률을 낮춰 정확성을 높일 수 있다.

또한 Local System에서 REMARK의 Memory 영역을 직접 Access할 수 있는 Module의 개발은 수동 작업을 지원하는 단계를 넘어 자동 Tuning 시스템 개발도 가능하다.



[그림 6] Xenon Worth Tuning 결과

IV. 참고문서

- [1] "SimSuite Power Version 3.3", GSE Systems, Inc.
- [2] "REMARK User Guide", GSE Systems, Inc.
- [3] "REMARK Modeling Techniques Handbook", GSE Systems, Inc.
- [4] "The Nuclear Design and Core Physics Characteristics of the Yonggwang Nuclear Power Plant Unit 1 cycle 16", KNFC, 2004. 11