

# 원자력교육원 2호기 시뮬레이터 PRE-MARK 및 노심모델 개발

홍진혁<sup>o</sup>, 이명수, 박신열, 유현주  
한전전력연구원 원자력연구실 원전I&C그룹  
시뮬레이터 개발팀

## Development of the PRE-MARK and the Core Model for Korea Nuclear Power Education Center(KNPEC)-2 Simulator

Hong Jin Hyuk, Lee Myeong Soo, Park Shin Yeol, Yoo Hyun Joo  
Nuclear I  
nstru  
menta  
tion & Control Group  
Nuclear Power Laboratory  
Korea Electric Power Research Institute

### 요약

본 논문은 영광 1호기 원자력발전소를 기준발전소로 하여 개발된 PRE-MARK 소개 및 PRE-MARK을 기반으로 개발된 노심모델의 결과를 제시하고자 하는 것을 주된 목적으로 하고 있다. 노심 모델개발에는 REMARK 모델 프로그램을 기반으로 개발된 PRE-MARK를 이용하였으며, PRE-MARK의 주요 특징으로는 노심모델 입력자료를 노심설계코드 및 Lattice 코드로부터 자동으로 생성하며 GUI 기반으로 변경된 REMARK으로 입력하여 노심모델을 구동함과 동시에 실시간으로 중요 변수의 현재 값들을 그래프로 도시해줌으로 조율 (Tuning) 상수를 용이하게 결정할 수 있도록 하는 것이다. 또한 BOL 및 EOL에서 HFP 평형 Xenon 조건에서의 제어봉 위치에 따른 제어봉가(Rod worth)를 영광 1호기 12주기 NDR (Nuclear Design Report)과 비교하고, 원자로정지 이후 BOL, MOL 및 EOL에서의 시간에 따른 Xenon의 반응도 영향을 비교함으로써 개발된 모델의 건전성을 입증하였다.

## I. 서론

본 논문에서는 전력연구원에서 수행중인 '원자력 교육원 #2 시뮬레이터 성능개선' 과제의 일부로 원자력교육원 2호기의 기준발전소인 영광 1호기 운전원 훈련용 시뮬레이터의 노심모델 개발시 활용한 모델 개발 툴(REMARK)을 소개하고, 개발에 필수적인 노심모델 입력자료를 자동으로 생성 가능하고 노심모델의 결과를ダイナ믹하게 형상화하며, 실제 발전소의 물리적 현상과 동일한 결과를 생성하는 노심모델을 위한 조율 (Tuning) 상수를 용이하게 생성해주는 PRE-MARK을 소개하고 있다.

또한 노심모델의 건전성 성능평가를 위해 BOL 및 EOL에서 HFP 평형 Xenon 조건에서의 제어봉 위치에 따른 제어봉가(Rod worth)를 영광 1호기 12주기 NDR (Nuclear Design Report)과 비교한 내용을 다루고 있다.

## II. 본론

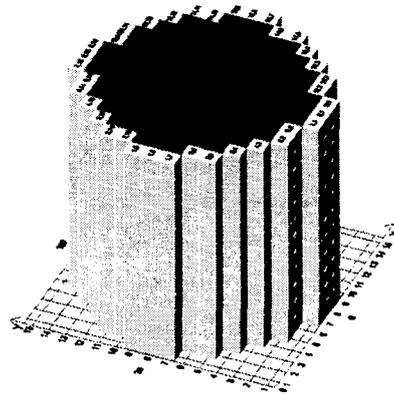
### 1. 노심모델 개요

노심모델개발에는 REMARK(REal Time Multigroup Advanced Kinetics) 툴이 사용되었으며, 이 모델 프로그램은 2군 3차원 노심모델 프로그램으로서 여러 연소도에서의 정상운전 상태와 비정상 운전상태를 모의할 수 있다. REMARK의 특징으로는 다음과 같다.

- (1) 노심 중성자속 분포를 계산하기 위한 개선된 Quasi-Static 해결방안 도입
- (2) 6군 지발중성자 고려
- (3) I-135, Xe-135, Pm-149, Sm-149 등 4개의 동위원소에 대한 농도 계산
- (4) 핵연료온도, 냉각재 온도/밀도, 기포분율 (Void Fraction) 등의 열수력학적 조건에 기초한

### 반응도 제한

- (5) 제어봉 궤적에 따른 반응도 계산
  - (6) 보론농도 변이에 따른 반응도 계산
  - (7) 노내(외) 검출기에서의 중성자속 계산
  - (8) 실제 발전소의 노심계산에 사용되는 Lattice 코드 및 설계 코드의 Cross-section 사용
  - (9) Fission Power History에 근거한 U-235, U-238, Pu-239로부터 발생하는 붕괴열 분포를 계산하기 위해 23개의 붕괴열 그룹을 도입.
- 원자력 교육원 #2 시뮬레이터에서 개발된 노심모델은 원자로심의 연료부분을 축방향으로는 12분할하고, 반경방향으로는 177개로 분할하여 전체 2124개의 노드로 분할하여, 3차원적인 중성자속 및 출력 분포를 계산해내고 있다. (그림. 1참조)



[그림. 1] KNPEC2 시뮬레이터 노심모델 Nodalization

### 2. PRE-MARK 개발

현재의 노심모델이 DOS 기반의 텍스트 모드로 되어 있어 노심모델 입력자료 생성과 노심모델 결과 분석시 많은 수동작업이 요구되고 있으며, 또한 현재의 시뮬레이터 환경은 실제 노심의 물리적 현상과 동일한 결과를 생산하기 위하여 많은 조율(Tuning) 과정을 거친다. 따라서

PRE-MARK(PREprocessor of the Multigroup Advanced Reactor Kinetics) 을 개발함으로써 노심 개발자인 REMARK 기반위에 GUI (Graphic User Interface) 환경으로 다이나믹하게 연동하여 노심모델 입력자료를 자동생산하고 노심모델 결과를 실시간으로 형상화할 수 있도록 하였으며, 노심의 실제 물리적 현상과 동일한 결과를 생산하는 노심모델 개발을 위한 Tuning Constant 조울 작업을 용이하게하기 위해 기존의 노심모델을 모듈형태로 라이브러리화하여 GUI환경에서 조울 작업을 할 수 있게 하였다. PREMARK의 자세한 기능은 다음과 같다.

### 가. 주화면

<그림. 2>은 PREMARK의 주화면을 나타내고 있다.

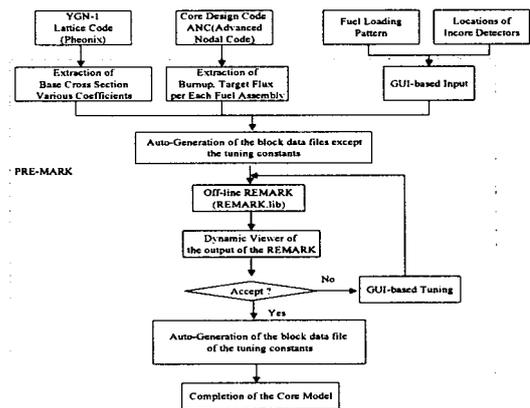


[그림. 2] PRE-MARK 주화면

### 나. 노심모델 입력자료 자동생성

노심 설계 코드 및 Lattice 코드의 결과는 텍스트 모드로 되어 있고, REMARK 노심모델에서 필요로 하는 입력자료가 약 10만개이므로 이를 수동

으로 작업하기는 사실상 거의 불가능하다. 따라서 노심설계코드 및 Lattice 코드의 결과를 가지고 REMARK에서 필요로 하는 입력자료의 값 및 형식을 자동으로 추출하여 생성해주는 기능을 가지고 있다.

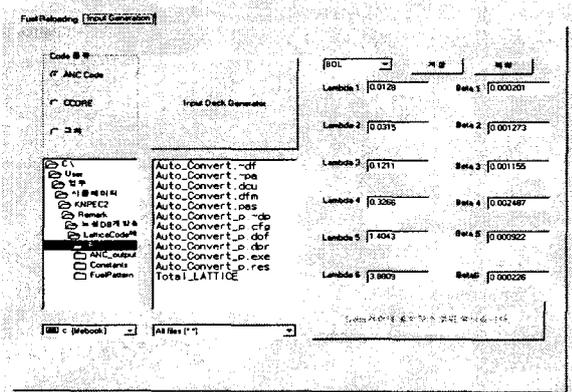


[그림. 3] PRE-MARK의 기능도

<그림 3>는 PRE-MARK의 전체적인 기능도를 나타내고 있다. 노심모델 입력데이터를 생성하기 위하여 먼저 REMARK에 필요한 입력변수를 분석한 후 영광 1호기 노심설계 코드인 ANC (Advanced Nodal Code) 코드에서 핵연료별 Burnup 및 Target Flux를 자동 추출하였고, Lattice 코드인 Phoenix로부터 Base Cross Section 및 각종 Cross Section 보정상수를 자동 추출한다. 또한 기준발전소의 Fuel Loading Pattern을 노심모델로 용이하게 입력시키기 위하여 GUI (Graphic User Interface) 기반의 입력을 할 수 있도록 하였으며, 노내(외) 중성자속 검출기의 탑재 위치도 GUI 기반으로 입력할 수 있게 하였다.

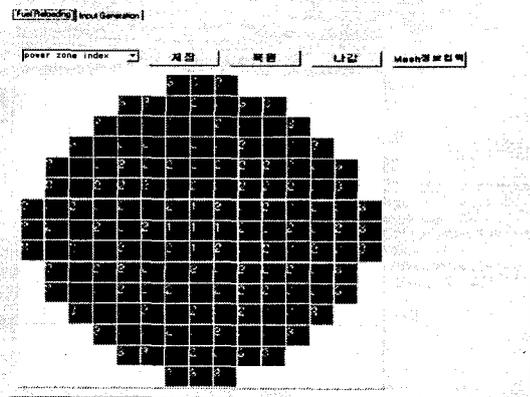
<그림 4>는 노심 설계코드 및 Lattice 코드 결과가 있는 디렉토리를 순항하여 해당화일을 지정하고 'Input Deck Generator'버튼을 누름으로 그 파일에서 필요한 Group Constants(즉, Base

Cross Sections 및 Cross Section 보정상수)를 추출하게 된다. 또한 BOL, MOL, EOL마다의 지발중성자의 분율( $\beta$ ) 및 붕괴상수 ( $\lambda$ )를 에디트 박스에 직접 입력함으로 노심모델에서 요구하는 형식으로 변형을 시켜줄 수 있도록 하였다.



[그림. 4] PRE-MARK 노심모델 입력자료  
자동생성틀-1

<그림. 5>는 Power Zone Index, 각 노드당 제어봉의 개수, 제어봉 Index, 노내 중성자 검출기 (SRM, IRM, PRM) 위치 등을 그룹박스를 통해 결정함으로 GUI를 통해 사용자가 용이하게 입력하여 노심모델의 형식으로 자동으로 변화시켜주는 도구이다.

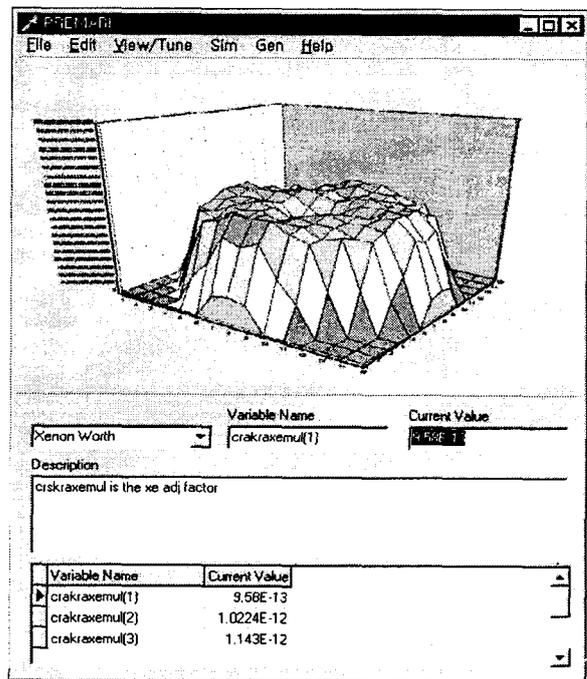


[그림. 5] PRE-MARK 노심모델 입력자료

자동생성틀-2

다. GUI 기반의 노심모델 조율

위의 틀들을 이용하여 생성된 노심모델 입력자료는 GUI를 기반으로 조율상수를 결정하기 위한 <그림. 6>의 도구로 자동입력되게 된다. 이 도구를 이용하여 실제 노심과 동일한 결과를 생성하는 조율 (Tuning) 변수를 GUI 기반으로 결정할 수 있게 한다. 또한 실시간으로 돌고있는 노심모델에서 중요 변수에 대한 현재 값들을 실시간으로 2차원 혹은 3차원으로 운전원에게 제공함으로써 노심 현상에 대한 용이한 이해를 도모하고자 하였다. 형상화된 3차원 그래프는 평형이동, 축소/확대, 회전 등의 여러 옵션을 설정해둠으로 사용자가 사용하기에 용이하게 개발하였다.

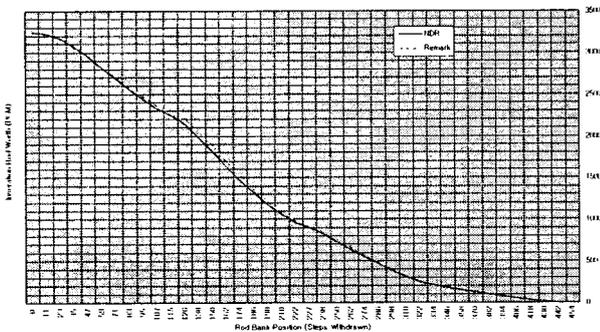


[그림. 6] PRE-MARK 다이내믹 Viewer/Tuner

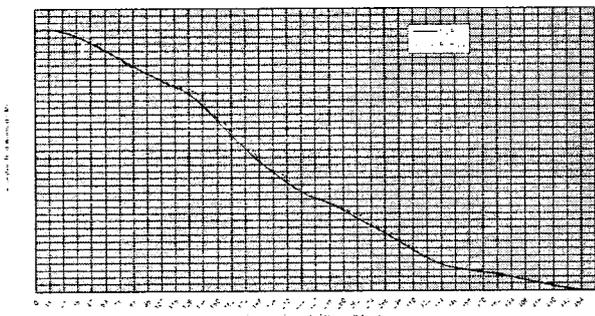
### 3. 노심모델 특성시험

#### 가. 제어봉 위치에 따른 제어봉가 비교

개발된 노심모델의 건전성 평가를 위하여 BOL 및 EOL에서 HFP 평형 Xenon 조건에서의 제어봉 위치에 따른 제어봉가(Rod worth)를 영광 1호기 12주기 NDR (Nuclear Design Report)과 비교하였다. <그림.7> 및 <그림.8>은 제어뱅크 D, C 및 Banks를 112 step으로 중첩한 경우의 종합봉가(Rod Worth)를 비교한 그림이다.



[그림. 7] Comparison of Integral Rod Worth vs. Steps Withdrawn, Banks D,C, B Moving with 112 Steps Overlap, BOL, HFP, Eq. Xenon in REMARK and NDR

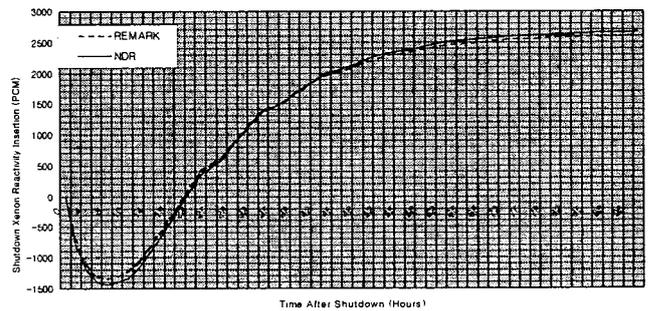


[그림.8] Comparison of Integral Rod Worth vs. Steps Withdrawn, Banks D,C,B Moving with 112 Steps Overlap, EOL, HFP, Eq. Xenon in REMARK and NDR

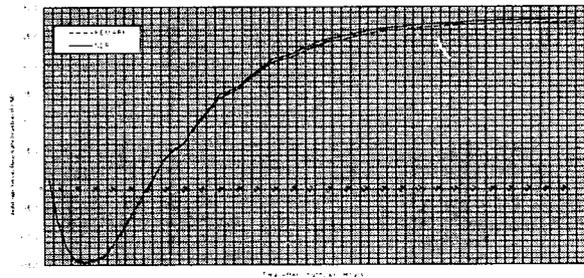
and NDR

#### 나. 정지이후 Xenon 반응도 영향 비교

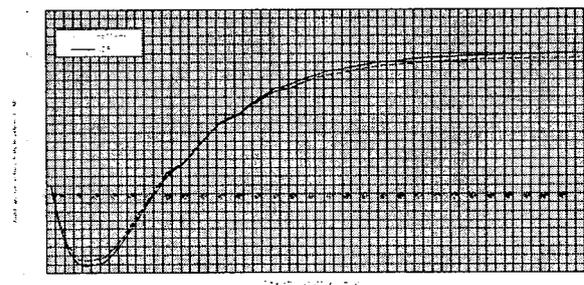
또한 원자로정지 이후 BOL, MOL 및 EOL에서의 시간에 따른 Xenon의 반응도 영향을 비교하였다.



[그림.9] Comparison of Reactivity Due to Xenon versus Time at BOL (150 MWD/MTU) Following Shutdown after Steady State Operation in REMARK and NDR



[그림.10] Comparison of Reactivity Due to Xenon versus Time at MOL (8000MWD/MTU) Following Shutdown after Steady State Operation in REMARK and NDR



[그림.11] Comparison of Reactivity Due to Xenon versus Time at EOL (16020MWD/MTU) Following Shutdown after Steady State Operation in REMARK and NDR

위의 <그림. 7>에서 <그림. 11>에서 알 수 있듯이 개발된 모델은 영광 1호기 12주기 NDR (Nuclear Design Report)의 결과와 일치됨을 보여준다.

### III. 결론

PRE-MARK을 개발함으로써 노심모델 입력자료를 자동으로 생성하고, GUI 기반으로 노심의 중요 변수에 대한 2차원 혹은 3차원적인 그래프를 실시간으로 제공함으로써 노심모델의 건전성 및 조율 변수의 용이한 결정을 할 수 있게 하였다. 또한 개발된 노심모델의 결과를 3차원으로 실시간 형상화하는 노심모델 실시간 형상화 툴을 개발함으로써 노심현상에 대한 이해를 용이하도록 하였으며, 개발된 노심모델의 건전성 평가를 위하여 NDR과 비교함으로써 개발된 모델이 영광 1호기 12주기 NDR의 결과와 일치함을 보여주고 있다. 향후 PRE-MARK을 이용함으로써 기준발전소의 노심재장전시 시뮬레이터 노심모델 개정은 아주 용이할 것으로 기대된다.

### IV. 참고문서

- [1] REMARK, GSE Modeling Technical manual
- [2] The Nuclear Design and Core Physics Characteristics of the Yonggwang Nuclear Power Plant Unit 1 Cycle 12, KNF-Y1C12-99019, KEPCO Nuclear Fuel Co., LTD., July 1999.
- [3] Myeong-Soo Lee etc, The new research activities of KEPRI for KNPEC-2 Simulator upgrade project, ASTC-Advanced Simulation Technologies Conference- 2001 SCS 2001.
- [4] ANSI/ANS-3.5 1993, Nuclear Power Plant

Simulations for Use in Operator Training .

- [5] Yong-Kwan Lee etc, KEPCOs 3-Pack Simulator Develop Plan, Proceedings of the 1995 Simulation Multi-conference (Phoenix, AR, Apr.9-13, 1995), SCS, pp. 53-57.
- [6] Myeong-Soo Lee etc, Verification and Validation of the Yonggwang 3&4 Full Scope Simulator 12th European Simulation Multi-conference (June.16-19, 1998), SCS, pp. 246-251.
- [7] Yong-Kwan Lee etc, Performance of the NSSS Model for Design Base Plant Transients of the Yonggwang 3&4 and Kori No. 2 Simulators, 2000 Western Multi-conference (Jan.23-27, 2000), SCS.