

원전 시뮬레이터 노심모델 입력자료 생산 프로그램 개발

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

Development of the Blockdata Generation 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

영광 원자력발전소 1호기가 16주기로 운전됨에 따라 훈련용 시뮬레이터의 입력자료 또한 16주기가 반영되어야 한다. 시뮬레이터의 여러 모델 중 노심모델(REMARK)에 필요한 입력자료는 Westinghouse의 핵설계 코드체계인 APA 시스템의 Output에서 얻을 수 있으나 그 양이 방대하기 때문에 수작업을 통한 입력자료 생산은 큰 어려움을 갖는다. 따라서 이러한 작업을 수행할 프로그램 개발이 필수적이며 개발된 프로그램을 매 교체주기마다 적용하여 노심모델에 대한 원활한 입력상수 생산을 가능하게 할 수 있다.

I. 서론

1. 배경

원전 시뮬레이터의 노심모델은 원자로에서 발생하는 1차원 열원을 정확히 모사하고, 정상상태 및 과도상태의 반응도 변화에 따른

중성자속의 거동을 실제 원자로와 유사하게 모사 할 수 있어야 한다. 현재 영광 1호기 시뮬레이터의 노심모델로 REMARK(Real Time Multigroup Advanced Reactor Kinetics)이 사용되고 있으며 REMARK에 사용되는 Input Data는 Westinghouse의 핵설계 Code체계 APA(ALPHA/PHEONIX/ANC) 시스템의 추적 계산 및 Branch 계산의 Output Data를 주로 사용한다.

2. 목적

REMARK Input Data는 ANSI/ANS-3.5 성능기준을 만족해야 하며 주로 ANC의 Output Data에서 필요한 Data를 추출하거나 계산하여 사용한다. 그러나 ANC 노심 추적 계산 및 Branch 계산의 Output 양이 방대하고 그 구조 또한 복잡하여 수작업을 통한 REMARK Input 작성은 많은 시간과 노력을 필요로 할 뿐만 아니라 수작업 과정에서의 오류 발생도 배제할 수 없게 된다. 따라서 ANC Output으로부터 REMARK Input을 작성할 수 있는 프로그램의 개발은 Input Data의 정확성을 높이는 결과는 물론 매 주기마다 반복되는 작업에서 필요로 하는 많은 시간과 노력을 줄일 수 있는 결과를 가져온다.

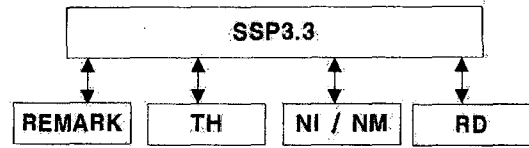
II. 본론

1. REMARK

1.1 개요

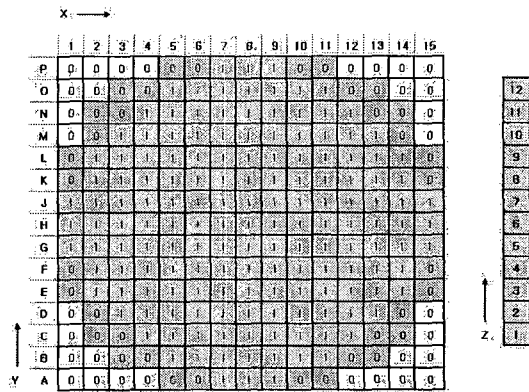
GSE Power System사의 원전 시뮬레이터 SSP(SimSuite Power) 3.3은 [그림 1]과 같이 여러 모델로 구성되어 있으며 REMARK은 실시간 원자로 모델에 해당한다.^[1]

REMARK은 정상/비정상 운전조건에서 열중성자와 속중성자의 정확한 모사를 위해 2-Neutron Energy Group을 사용하며 원자로의 중성자속 및 출력 분포의 세부적 모사를 위해 [그림 2]와 같이 3차원 Mesh Cell 구조로 원자로를 구성하고 있다.^[2]



※ TH : Thermal Hydraulic
 NI : Neutron Instrumentation
 NM : Neutron Monitoring
 RD : Control Rod Drive

[그림 1] SSP 3.3의 모델 구성



[그림 2] Core Mesh-cell 구성

1.2 Block Data의 구조

REMARK은 원자로 모사를 위해 SSP 3.3의 Block Data File 중 11개의 File(bdcrxs.boc, bdcrxs.eoc, bdcrxs.moc, flux1_cr.boc, flux1_cr.eoc, flux1_cr.moc, flux2_cr.boc, flux2_cr.eoc, flux2_cr.moc, d.bdcrcnf, d.bdcrxscon)을 사용한다.

1.2.1 bdcrxs, flux1_cr, flux2_cr (. boc, . moc, . eoc)

Data는 Fortran77의 Format으로 [그림3]과 같이 변수명과 Data로 구성되어 있다. 하나

의 변수에는 2700(5×540)개의 Data가 있으며 이는 노심의 Mesh-cell(15×15×12)의 Node 값이다. 즉, 파일의 3줄(5×3개의 Data)은 Mesh-cell의 (X, 1, 1)의 값(여기서 X는 1~15)이고, 45번째 줄까지(5×45개)의 Data가 Z=1에서의 Mesh-cell(15×15)의 각 Node별 값이다. 이후 45개의 Line 단위로 Z=Z+1의 Mesh-cell의 각 Node별 값이 된다.

```

cccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccc
cc      cr$krad1.                                     cc
cc      cr$krad1.                                     cc
cccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccc
      data cr$krad1.
      0.0000E+00,0.0000E+00,0.0000E+00,0.0000E+00,0.0000E+00,
      0.0000E+00,0.14337E+01,0.14321E+01,0.14337E+01,0.0000E+00,
      0.0000E+00,0.0000E+00,0.0000E+00,0.0000E+00,0.0000E+00,
      0.0000E+00,0.0000E+00,0.0000E+00,0.0000E+00,0.14336E+01,
      0.14307E+01,0.14161E+01,0.14252E+01,0.14161E+01,0.14307E+01,
      0.14336E+01,0.0000E+00,0.0000E+00,0.0000E+00,0.0000E+00,
      0.0000E+00,0.0000E+00,0.0000E+00,0.14327E+01,0.14162E+01,
      0.14162E+01,0.14232E+01,0.14163E+01,0.14232E+01,0.14162E+01,
      0.14162E+01,0.14327E+01,0.0000E+00,0.0000E+00,0.0000E+00,
      0.0000E+00,0.0000E+00,0.14228E+01,0.14162E+01,0.14163E+01,
      0.14263E+01,0.14163E+01,0.14263E+01,0.14163E+01,0.14263E+01,
      이하 생략
    
```

[그림 3] Block Data File 예

1.2.2 d.bdcrxscon

Fortran77의 Format으로 변수명과 Data로 구성되어 있으며, 6 Group Delayed Neutron Data같이 노심기하학적 위치에 따라 변하는 값이 아닌, 노심주기에 따라 변하는 변수들을 취합한 BlockData들이다.

1.2.3 d.bdcrcnf

Fortran77의 Format으로 변수명과 Data로 구성되어 있으며, Power Zone Index, Control Rod Index 등 노심단면적별 색인번호 및 Fission Power History에 근거한 U-235, U-238, Pu-239로부터 발생하는 붕괴열 분포를 위한 23개의 붕괴열 그룹 및 각종 튜닝변수들을 위한 Blockdata이다.

2. 프로그램 개요

2.1 기능별 분류

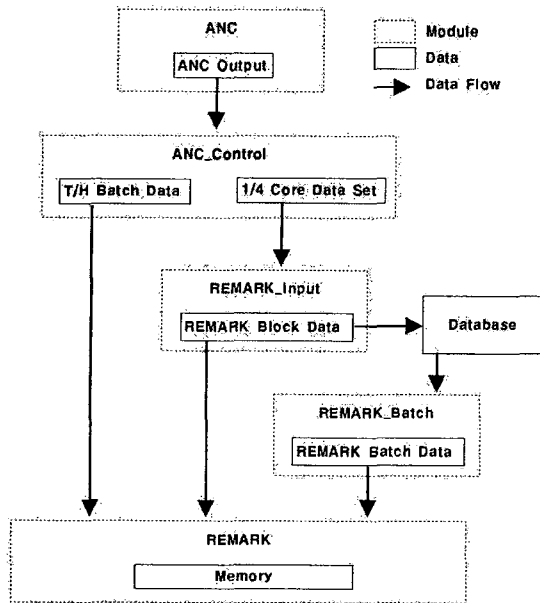
프로그램은 [표 1]과 같이 3개의 Module로 구성되어 있으며 독립적으로 실행이 가능하다. 기능에 따른 프로그램의 Module화는 차후 발생할 수 있는 ANC와 시뮬레이션 환경인 SSP3.3의 성능개선에 능동적인 대처가 가능하다.

[표 1] Module별 기능

Module	기능 설명
ANC_Control	· REMARK 입력에 필요한 Data를 추출하거나 계산하여 1/4 Core Data Set 생산 · T/H Data를 REMARK Batch File 생산
REMARK_Input	· REMARK Block Data 생산
REMARK_Batch	· REMARK Batch File 생산

2.2 Data 흐름

[그림 4]는 각 Module의 관계와 Data의 흐름을 보여주고 있다. ANC Output Data를 처리하여 REMARK Input Data를 생산하기 위해 단계별로 사용되는 Module과 그에 필요한 Input Data와 실행 결과인 Output Data를 파악할 수 있다.



[그림 4] Data Flow

3. ANC Control Module^[3]

3.1 기능

ANC Output에서 REMARK용 Block Data와 REMARK의 단독실행(Standalone Execution)을 위해 필요한 일부의 Thermal Hydraulic Data를 Batch File 형태로 생산한다.

특이사항은 ANC의 추적계산 및 Branch 계산 결과에 따라 Module의 Sub Routine 형태가 결정될 수 있다. 즉, ANC Input-Deck의 작성에 따라 ANC Control Module의 Source Code의 수정이 불가피하다는 것이며 자세한 사항은 참고문헌 중 「시뮬레이터용 핵자료 생산 절차 및 전산코드」를 참고하라.

3.2 I/O

Source Code는 Unix 및 Windows 환경에서 Compile이 가능한 Fortran77로 작성되었으며 Terminal Mode인 Win32 형태의 실행파일로 작성되었다. 실행을 위한 Input으로 ANC 계산결과 파일과 ANC Control Module이 주기별로 계산에 필요한 ANC Output List 정보를 담은 파일이 필요하다. 계산 결과로 각 주기별 REMARK에 필요한 변수들의 1/4 Core 형태의 Data Set 파일들과 열수력 관련 Data 파일이 생성된다. 열수력 관련 변수들은 Liquid Temperature, Liquid Density, Vapor Density, Void Fraction, Boron Concentration, Fuel Pellet Average Temperature이다.^[4]

4. REMARK Input Module

4.1 기능

ANC Control Module의 실행 결과인 1/4 Core 형태의 Output에서 1.2절의 REMARK용 Block Data 파일을 생성하는 동시에 Block Data의 값을 Database(mdb File)에 저장한다. 여러 Block Data 중 Core의 Geometry와 Tuning에 관련된 변수들의 정보를 담은 「d.bdcrcnf」파일의 Data는 ANC의 결과에서 얻을 수 없기 때문에 미리 DB에 저장되어 있어야 Block Data의 생성이 가능하다.

또한 ANC에서 계산할 수 없는 Prompt Neutron Lifetime, Delayed neutrons의 decay constant(λ)와 fraction factor(β) 등의 Kinetic Parameter 변수들은 PHIRE Code의 계산 결과에서 추출하여 Block Data 파일을 작성한다.

4.2 주요 Routine

- Input File search - ANC Output, PHIRE Output 선택
- Input File check - 선택된 파일 확인
- Database 연결 및 종료
- Database Table 삭제, 생성, 읽기, 쓰기
- Block Data 중 bdcrxs관련 파일에 필요한 Data Parsing
- Block Data 중 flux관련 파일에 필요한 Data Parsing
- Block Data중 bdcrxscon 파일에 필요한 Data Parsing
- 처리된 Data를 Block Data로 쓰기
- Data 처리과정의 시각화
- 취소 및 종료

5. REMARK Batch Module

5.1 기능

새로운 주기의 REMARK Input Data를 생산한 후 이를 적용하기 위해서는 SSP 3.3의 SimExec Module의 「dftglob -ods」 명령을 사용하여 Block Data의 상수값들을 REMARK의 Global Memory 영역에 Load 시켜야 한다. 그러나 SimExec Module을 사용하지 않고 REMARK의 Batch 형태를 통해 직접 Load도 가능하다.

Batch Format의 File을 작성하기 위해서는 REMARK Input Module에서 작성된 DB가 필요하다. Batch File의 형식은 「Set 변수명, 변수값」의 형태를 가진다.

5.2 주요 Routine

- Input File search - DB 파일검색
- Input File check
- Database 연결 및 종료
- Database 읽기
- Data Parsing
- 1/4 Core Data Set을 Full Core Data Set 형태로 변경
- Data 처리과정의 시각화
- 취소 및 종료

6. Data 검증^[4]

생산된 Data를 검증하기 위해서 REMARK에 직접 적용하였다. Batch 형태로 작성된 Data를 Load 한 후 일련의 절차를 통하여 「crskeff」, 「crsqn」 두 항목의 값을 오차 범위 내에서 1에 가까운 값으로 Setting 한 후 실행하였다. 실행 결과는 [그림 5]와 같이 약 240시간 이후에도 오류가 발생하지 않고 실행되고 있음을 확인할 수 있었다.

Name	Index	Value	Name	Index	Value
01 crststage	21	crststage	1.2177753e+000		
02 crs:initial	22	crs:initial	0.0000000e+000		
03 crs:stapl	23	crs:stapl	7.0007115e+001		
04 crs:stau	24	crs:stau	5.0002633e+000		
05 crs:stax	25	crs:stax	1.1828338e+011		
06 crs:stapn	26	crs:stapn	1.0330548e+000		
07 crs:stapb	27	crs:stapb	6.2369966e+000		
08 crs:stage	28	crs:stage	1.5516000e+000		
09 crs:stn	29	crs:stn	1.0000000e+000		
10 crs:stbn	30	crs:stbn	1.0000000e+000		
11 crs:stapan	31	crs:stapan	-9.2240094e-011		
12 crs:stapn	32	crs:stapn	-4.2542541e-011		
13 crskeff	33	crskeff	3.2002498e+011		
14 crsqn	34	crsqn	< 1		FALSE
15 crs:stap	35	crs:stap	< 1		FALSE
16 crs:stapn	36	crs:stapn	2.0000000e+000		
17 crs:stapn	37	crs:stapn	9.9999999e+000		
18 crs:stapn	38	crs:stapn	0.0000000e+000		
19 crs:stapn	39	crs:stapn	0.0000000e+000		
20 crs:stapn	40	crs:stapn	9.9999999e+000		
21 crs:stapn	41	crs:stapn	2.0000000e+000		

[그림 5] Input 적용 후 REMARK 실행

III. 결론

원전 시뮬레이터의 노심모델(REMARK)의 Input Data는 ANSI/ANS-3.5 성능기준을 만족하는 동시에 그 정확성도 유지 되어야 한다. ANC Code의 Output의 경우 그 양이 방대하므로 수작업을 통한 Input Data의 생산은 많은 시간과 노력이 필요하며 그 과정에서 발생하는 오류를 배제할 수 없다.

본 연구에서는 작업에 필요한 시간과 노력을 절약하는 것을 물론 작업 과정에서 발생할 수 있는 오류를 최소화 할 수 있는 프로그램을 개발하였다. 매 주기마다 시뮬레이터에 적용되는 Data를 계산해야 하고 주기 별로 ANC 계산 조건도 바뀔 수 있기 때문에 프로그램의 유연성을 위해 3개의 Module(ANC Control, REMARK Input, REMARK Batch)로 분리 시켰다. 생산된 Data를 REMARK에 적용한 결과 오류 없이 실행됨을 확인할 수 있었다.

IV. 참고자료

- [1] "SimSuite Power Version 3.3", GSE Systems, Inc.
- [2] "REMARK Modeling Techniques Handbook", GSE Systems, Inc.
- [3] "시뮬레이터용 핵자료 생산 절차 및 전산 코드", 전력 연구원, 2004. 6
- [4] "REMARK User Guide", GSE Systems, Inc.