

## 규제검증용 안전해석코드 MARS 설계요건 개발현황

이 보욱\*, 윤 철\*, 정법동\*, 박주환\*, 조용진\*\*  
한국 원자력 연구원\*, 한국원자력안전기술원\*\*

### Development Status of the Design Requirements of a Regulatory Safety Analysis Code, MARS

Bo W. Rhee\*, C. Yoon\*, B. D. Chung\*, J.H. Park\*, Y. J. Cho\*\*  
Korea Atomic Energy Research Institute,\* Korea Institute of Nuclear Safety\*\*

#### 1. 서 론

MARS 코드는 국내건설 원자력발전소의 인허가 규제용으로 사용하기위해 개발되고 있는 안전해석코드이다. 국내에서는 MARS코드 이전에 이미 국내 중수로형 원전의 안전성분석을 위해 RELAP5/MOD3에 중수로해석에 필요한 제반 열수력 모사기능을 추가 또는 수정하여, 2002년에 RELAP5/MOD3/CANDU[1]를 개발한 바 있으며, 이 이후로도 미비한 제반 CANDU-6의 설계, 안전특성을 보완, 수정하여 현재의 RELAP5/MOD3/CANDU[2]에 이르렀다. 본 연구의 목적은 기존에 RELAP5/MOD3/CANDU에 이미 반영된 CANDU-6 관련 모델들을 새로이 개발되는 규제검증용 MARS코드에 이식하는 것이다. 현 단계는 RELAP5/MOD3/CANDU에 이미 설치된 모델들을 성공적으로 MARS코드에 이식시키기 위하여, 각 모델 항목들의 기술적 내용을 검토하여 코드설계 요건화 하는 단계이며, 이러한 요건을 만족하도록 코딩하여 MARS코드에 이식하는 작업을 앞두고 있다. 본 논문에서는 현재까지 진행되어 온 중수로관련 코드 설계요건개발의 현황을 정리하고 향후 수행될 개발의 방향을 제시한다.

#### 2. MARS 개발현황

현재 우리나라는 국내 최초의 중수로인 월성 1호기가 1983년 준공이래 24년간 운전 중에 있으며, 1994년부터 월성 2/3/4호기의 건설에 따라 현재 4기의 중수로가 가동 중에 있으며 현재 월성성 1호기는 연장운전을 위한 설비개선(Refurbishment) 프로젝트를 수행 중이다. 하지만 4기의 중수로 보유국임에도 불구하고 중수로 안전성 규제체제 및 제반 기술기반이 취약한 실정에 있어 중수로 안전성 확보를 위해서 안전성 평가 검증평가기술에 대한 자체 기술력의 확보 및 이를 실행할 도구로 국산 안전해석코드가 필요하다. 따라서 이를위해 중수로 계통 열수력 평가용 코드인 RELAP/MOD3/CANDU[1]가 이미 개발되었으며, 지난 수년간 이의 해석모델을 CANDU-6 발전소 모형에 유사하게 모사할 수 있도록 개선한 RELAP/MOD3/CANDU[2]가 개발되어왔다. 이 코드가 예전 RELAP/MOD3/CANDU[1]에 비해 모사능력이 향상된 영역은 증기발생기 급수공급제어 모델, 월성 2호기 일차냉각펌프 모델, 입출구헤더에 임의각도로 연결된 Branch에 대한 헤더 Offtake 모델, 압력관 및 칼라드리아관의 반경 및 환방향 열전도모델 압력관 변형모델, 핵연료채널의 복사열전달 모델, 수평채널의 유동맵 모델 등이다. 이에 더하여 RELAP/MOD3/CANDU와 연계하여 해석할 수 있는 모델로 3차원 노심 동특성 모델, 격납건물 ESF 및 격납용기 열수력 거동 평가모델, 3차원 감속재온도해석모델 등이 추가 되었다. 본 연구는 RELAP/MOD3/CANDU에 반영된 이러한 기존의 중수로관련 모델들을 MARS코드에 이식하는 작업에 관한 것으로, 현재 기존의

RELAP/MOD3/CANDU에 반영되어 있는 모델 등에 대한 확인과 이의 이식에 관련된 기술적인 작업을 수행 중이다. 본 논문에서는 이 작업과 관련된 현황을 기술하고, 이와 관련된 문제점들을 검토한 결과를 정리한다. 이를 통하여 향후 수행할 작업의 방향과 범위를 제시한다.

### 3. MARS코드에 추가될 모델의 현황

#### 3.1 월성 2호기 일차냉각펌프 모델

본 개선항목은 월성 2호기에 사용된 일차냉각펌프의 무차원펌프특성곡선을 MARS코드에 이식하는 일로서, 펌프모델의 수정없이 펌프헤드, 압력강하, 회전자 회전속도, 토크 등의 입력과 펌프곡선입력 만 수정함으로써 가능한 작업이다.

#### 3.2 입출구헤더의 임의각도로 연결된 Branch에 대한 Offtake모델

본 개선항목은 CANDU형 중수로 일차냉각계통(또는 열수송계통)내의 주요기기 중 가장 핵심적인 기기 중의 하나인 입출구 헤더와 이에 연결된 피더branch들 간의 유량분포 특성해석에 대한 모델이다. 현재까지 이에 대한 만족할 만한 열수력모델이 계속 개발되고 있는 상황에서 국내에서 수행된 관련해당실험에 근거한 최신모델을 개발, 검증하여, RELAP5/MOD3/CANDU[2]에 심겨졌으며, 본 항목은 이 모델을 MARS코드에 다시 이식하는 작업과 이 모델의 수치적인 검증작업이다.

#### 3.3 압력관 및 칼라드리아관의 반경 및 환방향 열전도모델

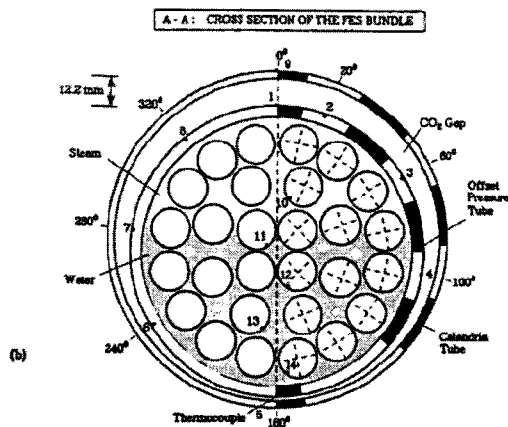


Figure 1: Test Apparatus (a) and the Test Cross Section (b), Showing also CATHENA Sectorization of the Half Channel

CANDU형 중수로의 경우 노심이 감속채탱크 안에 수평으로 누워있는 380개의 핵연료채널 압력관 안에 핵연료가 12개 씩 장전되어 있고, 정상운전시에는 냉각수가 그 압력관 안을 흘러 생성되는 열을 냉각시킨다. 하지만 설계기준사고중 가장 심각한 사고인 대형냉각재 상실 사고시에는 채널내의 냉각재가 파단부위를 통해 격납용기로 방출되어 그림1에 보여진 대로 채널내의 핵연료 일부가 증기에 노출될 수 있으며, 이에 따라 핵연료 및 압력관이 가열되면, 사고 종류에 따라 압력관이 비대칭적으로 가열되어 팽창할 수 있으며, 경우에 따라 고온의 압력관의 일부가 차가운 감속채온도로 유지되고 있는 칼라드리아관에 접촉되어, 국부적으로 갑작스럽게 큰 열유속이 발생할 수 있다. 이 경우 우려되는 안전현안은 접촉된 부위의 칼라드리아관 외벽의 임계열속 발생 여부이며 이러한 안전현안과 관련된 열수력 현상을 MARS코드가 적절히 모사할 수 있도록 기존의 반경방향 열전도모델을 확장하여 반경방향 및 환방향의 열전도방정식으로 변환하[3], 이의 수치적인 검증을 수행하는 작업이다.

### 3.4 압력관 변형모델

상기한 바와 같은 대형냉각재 상실사고 시 파단부위 하단에 위치한 일부 핵연료채널의 부분적인 기포화에 따라 핵연료 및 압력관의 비대칭적인 과도한 과열이 가능할 수 있고, 입구측 헤더의 파단사고의 경우 이에따라 압력관들이 팽창하여 칼란드리아관에 접근하게된다. 이러한 현상을 모사할 수 있도록 기존 RELAP/MOD3에는 없던 압력관 팽창모델이 개발되어 RELAP5/MOD3/CANDU[2]에 심겨졌으며, 이 모델을 MARS코드에 다시 이식하는 작업과 이 모델의 수치적인 검증작업이다.

### 3.5 핵연료채널의 복사열전달 모델

CANDU형 중수로의 경우 설계기준사고로 비상노심냉각계통이 작동하지 않는 대형냉각재상실사고가 포함되어 있다. 이 경우 우려되는 안전현안 중 하나는 냉각재의 방출로 인해 부분적 또는 완전히 기포화된 핵연료 채널의 건전성 유지 여부와 핵연료의 손상정도 규명이다 이러한 가상적인 극한 상황에서 발생할 수 있는 열수력, 열-화학적 현상을 적절히 모사할 수 있도록 단순하면서도 보수적인 복사열전달 모델이 개발되어 RELAP5/MOD3/CANDU[2]에 심겨졌으며, 이의 MARS코드에의 이식 작업과 모델의 수치적인 검증작업이다.

### 3.6 수평채널의 유동맵 모델

기존의 RELAP5/MOD3[ ]코드를 수평으로 누인 핵연료채널로 구성된 원자로노심의 사고해석에 활용함에 있어 그 적용타당성이 의문시되고 있는 부분 중의 하나가 기존의 수직이상유동에 대한 유동맵의 적용타당성이었다. 이에대한 해결책으로 수평 채널내의 이상유동에 대한 유동판별법이 개발되어 RELAP5/MOD3/CANDU[2]에 심겨졌으며, 이의 MARS코드에의 이식 작업과 모델의 수치적인 검증작업이다.

### 3.7 기타 연계해석 모델

이러한 여러 가지 모델의 추가 및 보완과는 별도로 RELAP5/MOD3/CANDU코드의 활용면에서 그 신축성을 확장하기위해 주요한 안전해석 업무 중 몇가지 영역과 연계하여 해석할 수 있는 기능들이 추가되어 왔으며, 이를 MARS코드에 이식하여, 수치적으로 검증하는 작업이 본 항목에 해당하는 작업이다. 구체적으로 3차원 노심 동특성 해석, 격납건물 ESF 및 격납용기 열수력 거동 해석, 3차원 감속재온도해석 등을 수행하는 다른 안전해석코드들과 연계하여 해석할 수 있는 연계기능을 추가하는 작업을 수행할 것이다.

## 4. 결과 및 결론

과제 개시 이후로 현재까지 기존 RELAP5/MOD3코드와 RELAP5/MOD3/CANDU[1,2]에 반영된 제반 중수로 관련된 모델들을 조사, 검토하여 현황을 파악하였으며, 현재 이러한 모델들을 MARS 코드에 이식하는 작업에 대한 소프트웨어 설계요건을 작성 중에 있다. 또한 이와 병행하여 일부항목들은 기존의 RELAP5/MOD3/CANDU[1,2]코드에 심겨져 있는 프로그램 소스를 발췌하여 MARS코드에 이식하는 작업을 수행중이다. 현재 개발 중인 소프트웨어 설계요건이 정리되어 문서화되어 설계자에게 전달되고 있다. 한편 본 연구의 중간결과로서 RELAP5/MOD3/CANDU코드와 MARS코드 간의 코드특성 간 차이점으로 인해 이러한 제반 모델이식요망 항목들의 상호간 일관성 및 전체 MARS코드와의 일관성을 유지함이 필요한 것으로 드러났고, 현재 이 문제에 대한 해결방안 연구도 병행하여 진행될 예정이다.

## 5. 참고문헌

- [1] 정범동 외 3인, “중수로 열수력 안전해석 최적 검증 코드개발” 최종보고서, KAERI/CR-129/2002 및 KINS/HR-436, 2002.4. 한국원자력 안전기술원
- [2] 김만웅 외 4인, “중수로 계통열수력 검증평가코드 개발”, 2차년도 연구보고서, KINS/RR-226, 2004.2., 한국원자력 안전기술원
- [3] Kang-Moon Lee, Wan-Woong Kim, Yong-Ho Ryu, “Development of RELAP/CANDU Thermal/Mechanical Model for Fuel Channel Analysis”, Transaction of KNS Spring Meeting, Jeju, Korea, May 10-11, 2007.