

피동형 원자로 INTEGRAL ANALYSIS SYSTEM 구축

정법동, 황영동, 김성오, 최철진, 장분희

한국원자력연구소

요 약

계통분석 코드인 RELAP5/MOD3 와 격납용기 분석 코드인 CONTEMPT4/MOD5 의 통합코드를 구성하였다. 두 코드는 process 제어의 개념을 이용하여 가능한 한 코드의 수정을 최소화하고 각 코드의 특성을 유지시키면서 explicit coupling 되게 하였다. 통합코드를 간단한 피동형 계통 분석에 적용시켜 계통과 격납용기의 계산을 동시에 수행함으로써 얻을 수 있는 격납용기-계통 간의 열수력 현상을 파악 할 수 있게 하여줌으로써 피동형 원전의 열수력 분석도구로서 사용할 수 있음을 검증하였다.

1. 서 론

피동형 원자로에서는 주요한 안전계통인 ESF 가 피동형으로 설계되어 펌프 등의 동적 기기를 최소화하고 중력, 기체압력 등의 자연 법칙에 의한 정적 수단에 의하여 안전 기능을 수행하도록 하고 있다[1]. 이에 따라 경수로 안전해석에서 사용되는 기존의 안전분석체계도 상당한 수정이 필요하게 되었으며 피동형 기기와 중력 구동의 열수력 해석을 수행할 코드체계도 필요하게 되었다.

특히 대형냉각재 상실사고인 경우 감압이 끝난 후 재 관수 기간 동안의 핵연료 첨두온도가 격납용기의 압력에 따라 상당히 변하며 안전주입이 IRWST로부터 중력에 의하여 이루어 지기 때문에 계통과 격납용기의 열수력학적 특성이 기존의 경수로 보다 더 긴밀하게 연계되어 있어 계통-격납용기 분석을 동시에 수행할 코드체계가 필요하다.

이와 같은 코드의 통합은 계통-노심분석의 통합을 위해 RELAP5-COBRA-TF 의 통합코드를 구성한 바[2] 있으며 미국 Idaho 국립연구소에서도 계통-중대사고격납용기 분석을 위해 RELAP-CONTAIN 코드를 PVM (Parallel Virtual Machine) Software 를 이용하여 통합한 바가 있다[3].

본 연구는 신형로 계통분석에 사용할 수 있는 RELAP5/MOD3[4]와 일반적으로 격납용기 분석에 많이 활용되고 있는 CONTEMPT4/MOD5[5]의 통합을 위한 연구로 각 코드의 수치해법을 고려하여 매 시간간격에 상계조건으로 자료를 상호 교환할 수 있게 각 코드의 관련부 프로그램을 수정하였고, 각 코드의 계산을 직렬히 제어하는 Supervisory Program 을 작성

하였다.

2. RELAP5/MOD3 와 CONTEMPT4/MOD5 의 통합

계통분석 코드인 RELAP5/MOD3 코드는 물-증기 혼합물에 이상유체 방정식을 사용하고 있으며 증기상에 비 응축성가스를 물 상에 비휘발성 물질을 모델링 하고 있다. 수치해법으로는 유한차분법으로 staggered mesh 와 doner cell 개념을 사용한 semi-implicit 을 채택하고 있다. 격납용기 분석 코드인 CONTEMPT4/MOD5 는 다 격실/ 다 유로 해석코드로 각 격실은 증기영역과 물 영역으로 나누어 모델하고 있으며, 증기영역은 물-증기-비응축성 가스의 혼합물로 물 영역은 순수한 물로 채워져 있다고 가정한다. 각 격실 사이의 유로는 노즐모델이나 Orifice 모델로 계산한다. 수치해법은 수치적으로 불안전을 유발하는 특수 유로의 경우만 implicit 해법을 사용하고 나머지는 explicit 해법을 사용하고 있다. 계통분석코드와 격납용기분석코드의 통합방법으로 두 코드의 해법이 서로가 상이하어 implicit 방법이 불가능하므로 explicit 방법을 채택하였다.

통합 버전은 한개의 제어 프로그램인 Supervisory Process CONLAP 과 두개의 Child Process 인 RELAP 과 CONTEMPT 로 구성되어 있다. 각 process 는 병렬로 처리되며 두 코드를 연결하는 계산 자료는 매 시간 간격으로 각 process 에 상호교환 된다. 그림 1 은 통합 버전에서 각 Process 의 계산 방식을 도식화 한 것이다. 이 과정에서 계통분석코드인 RELAP5 에서 격납용기 측의 경계조건을 pseudo time dependent volume 으로 모사하여 이 volume 에 필요한 압력, 각 상에서의 에너지, 건도 등은 CONTEMPT process 에서 계산하여 매 시간 간격마다 새로운 자료를 CONLAP 을 통하여 받음으로써 재 갱신한다. 반면에 RELAP5 process 에 의하여 계산되는 질량/에너지 방출량은 CONTEMPT4 process 의 입력으로 매 시간마다 CONLAP 을 통하여 전달된다. 자료 교환의 시간 간격으로는 CONTEMP4 의 시간 간격으로 택하여 RELAP5 가 자료 교환의 시간까지 수번의 계산을 하게 하였다. 그 이유는 일반적으로 RELAP5 의 시간 간격이 CONTEMPT4 에 비교하여 상당히 작기 때문이다.

두 코드의 통합을 위하여 각 코드의 부 프로그램을 약간 수정을 하였으며 두 코드간의 상호 자료 교환과 통제를 위하여 Supervisory Program CONLAP 을 작성하였는데 CONLAP 은 두 process 간의 자료 교환을 위하여 Operating System 에 약간의 memory space 를 확보하는 것과 격납용기와 상호 작용을 하는 원자로계통의 볼륨의 확인 그리고 계산절차에 의하여 두 process 의 수행과 정지 등의 통제가 필요하다. RELAP5 의 수정된 부분의 역할은 다음과 같다. 주 프로그램에서는 다른 process 와의 자료교환을 위한 common memory space 를 확보조oking하고, "TRANSET" 는 격납용기와 상호 작용을 하는 junction 의 index 를 찾아내고 질량/에너지 방출량을 조기화한다. "TRAN"에서는 CONTEMPT4 process 의 요구에 따라 계산을 진행하거나 정지하는 역할을 하면서 질량/에너지 방출량을 다른 process 인 CONTEMPT4 로 자료 전달을 한다. "TSTATE"에서는 격납용기를 모의하고 있는 pseudo volume 의 물성치를 CONTEMPT4 process 의 결과에 의거하여 갱신하여 준다. 수정된 CONTEMPT4/MOD5 에서

의 주 프로그램에서는 RELAP 과 마찬가지로 common memory 를 조정하고 부 프로그램 “GO”에서는 CONLAP 에서 주어진 계산절차에 따라 계산을 수행하고 다른 RELAP5 process 에 계산된 압력, 엔탈피 그리고 건도 등의 자료를 전달한다. “TRNSXN”에서는 냉각재 파 단면에서 방출되는 질량/에너지를 정하고 “HTBIN”에서는 RELAP5 process 에서 정하여 지는 reflow 시작시점이 EOB 시간을 결정하기 위하여 전달되어 온다.

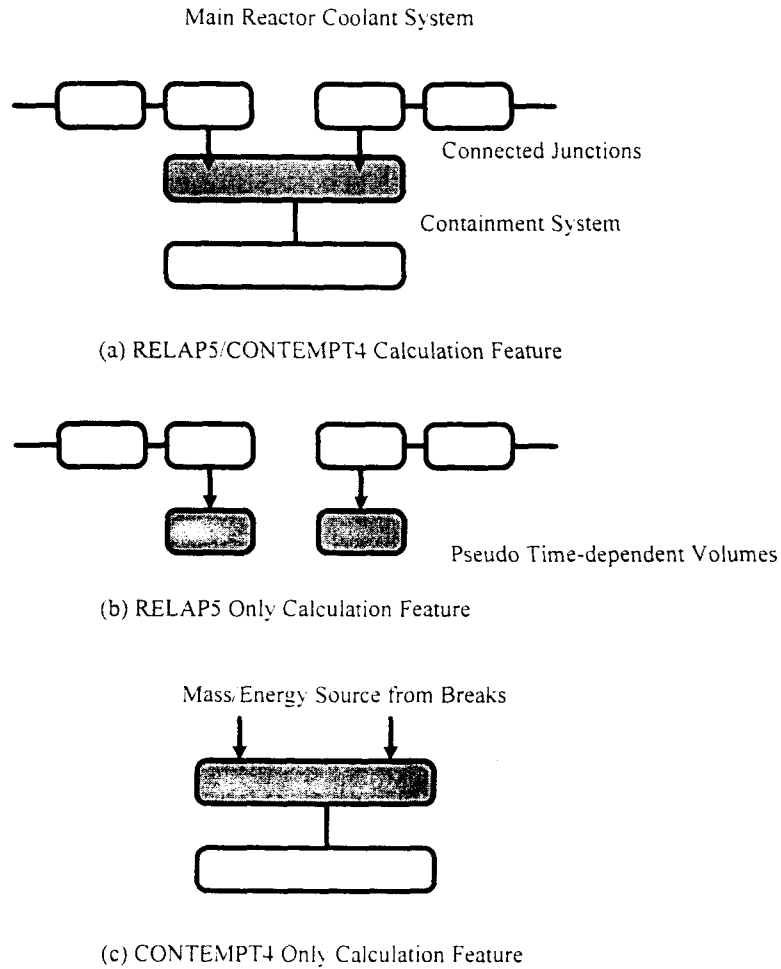


그림 1. 통합 코드 및 각 Child Process 의 계산서리 절차

3. 통합코드의 검증

통합 코드의 검증과 유용성의 확인을 위하여 그림 2 와 같이 IRWST 가 있는 간단한 원자로 계통에서의 LOCA 에 적용을 하였다.

그림 3에서 보는 바와 같이 간단한 피동형 원자로 계통에서 LOCA가 발생할 경우 질량/에너지의 방출로 계통압력은 감소하고 격납용기의 압력은 증가하게 되며 IRWST는 격납용기내에 개방된 계통이므로 격납용기 압력과 동일하게 증가한다. 계통의 압력이 충분히 감압이 된 30 초에 IRWST와 계통간의 밸브를 개방하면 IRWST의 수두로 인한 중력구동 흐름이 발생하고 (그림 4) 이로 인하여 계통 내의 수위가 증가하여 IRWST의 수위와 같은 수준으로 유지를 한다(그림 5).

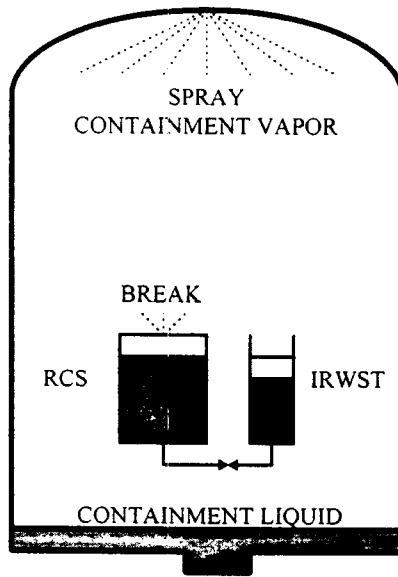


그림 2. 코드 검증을 위한 간단한 피동형 계통 개념

예제 계산에서 보듯이 통합 코드 체계는 격납용기의 압력 거동과 원자로 계통의 거동을 동시에 적절히 예측할 수 있을 뿐 아니라 피동형 안전주입도 개념적으로 예측가능하다는 것을 알 수 있다.

4. 결 론

계통분석 코드인 RELAP5/MOD3와 격납용기 분석 코드인 CONTEMPT4/MOD5의 통합코드를 구성하였다. 두 코드는 process 제어의 개념을 이용하여 가능한 한 코드의 수정을 최소화하고 각 코드의 특성을 유지시키면서 explicit coupling 되게 하였다. 통합코드를 간단한 피동형 계통 분석에 적용시켜 계통과 격납용기의 계산을 동시에 수행함으로써 얻을 수 있는 격납용기-계통 간의 열수력 현상을 파악 할 수 있게 하여줌으로써 피동형 원전의 열,수력 분석도구로서 사용할 수 있음을 검증하였다. 향후 피동형 격납용기 열제거를 모의하기 위

하여는 현재의 CONTEMPT4/MOD5 를 수정.보완하여 계통분석코드와 통합시키는 작업을 진행할 예정이다.

5. 참고문헌

- [1] Westinghouse, "Simplified Passive ALWR Plant Program", AP600 Standard Safety Analysis Report". Prepared for U.S. DOE , DE-AC03-90SF18495, 1992
- [2] S.Y.Lee, et. al., "COBRA/RELAP5 : A Merged Version of the COBRA-TF and RELAP5/MOD3 codes", Nuclear Technology Vol. 99, p 177 , 1992
- [3] R.P Martin, "RELAP5/CONTAIN Coupling", Idaho National Engineering Laboratory, 1993 RELAP5 Users Seminar, Boston, Massachusetts, 1993
- [4] K.E. Carlson et. al. "RELAP5/MOD3 Code Manual", Volume I - IV , NUREG/CR-5535, EGG-2596, EG&G Idaho, Inc. ,1990
- [5] C.C. Lin et. al. , "CONTEMPT4/MOD5: An Improvement to CONTEMPT4/MOD4 multicompartment system analysis program for ice containment analysis", NUREG/CR-4001, BNL-NUREG-51894, 1984

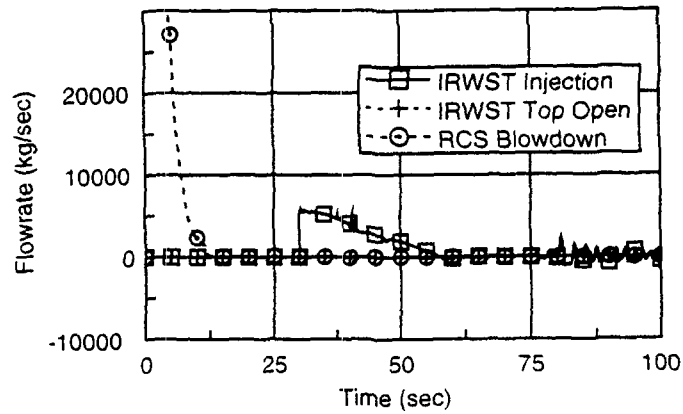


Fig.3 System and Containment Pressure after Break

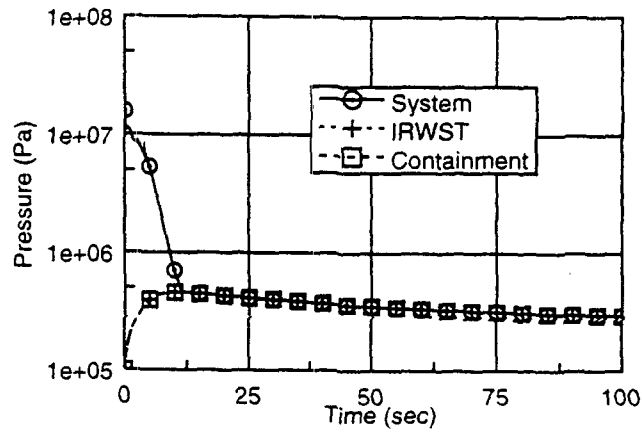


Fig.4. Blowdown Discharge and IRWST Injection

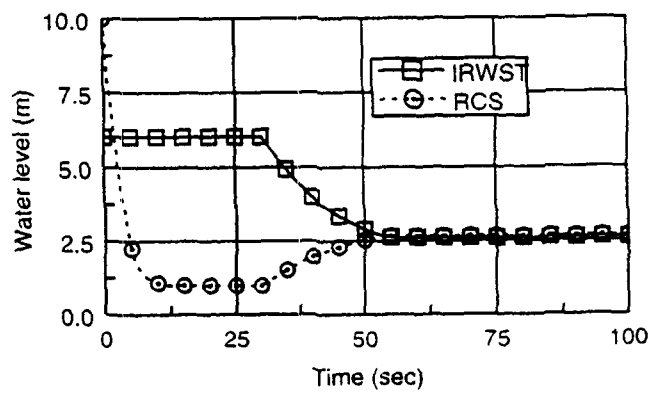


Fig. 5 Water Level of RCS and IRWST