

2003 추계학술발표회 논문집
한국원자력학회

GUI 개발을 통한 중수로 안전해석코드 연계방안 연구

A Study on the Interlink of CANDU Safety Analysis Codes with Development of GUI System

이정재, 조윤제, 박군철
서울대학교
서울특별시 관악구 신림동 산 56-1

김형태, 민병주
한국원자력연구소
대전광역시 유성구 덕진동 150번지

요 약

본 연구에서는 중수로 안전해석코드의 운영체제를 개선하기 위해 계통 열수력 해석코드인 CATHENA 코드와 격납건물 해석코드인 PRESCON2 코드의 연계를 GUI(Graphic User Interface) 개발을 통해 수행하였다. 두 코드의 연계 및 GUI 개발을 위해 PC환경에서 사용이 가능하도록 코드의 수정이 이루어졌다. 두 코드는 PRESCON2 코드의 입력에 CATHENA 코드의 출력변수 중 필요한 데이터를 전달함으로써 연계될 수 있다. 또한 GUI 시스템 상에서 코드 외부적으로 연계를 함으로서 각 코드의 기존 해석능력을 그대로 유지할 수 있도록 하였다. 현재 GUI 시스템에서 제공하는 기능은 입력파일선택, 파단 위치 및 크기 결정, 출력변수 및 노드 선택, 그리고 코드연계 옵션 등이다. 이러한 연구는 국내 중수로 안전성 평가체제 및 기술 선진화에 기여할 것으로 기대된다.

Abstract

In order to improve the CANDU safety analysis code system, the interlink of containment analysis code, PRESCON2 to the system thermal hydraulics analysis code, CATHENA, has been implemented with development of the GUI system. Before the GUI development, we partly corrected two codes to optimize on the PC

environment. The interlink of two codes could be executed by introducing three interlinking variables, mass flux, mixture enthalpy, and mixture specific volume. To guarantee the robustness of the codes, two codes are extremely linked by using the GUI system. The GUI system provides much of user-friendly functions and will be improved step by step. This study is expected to improve the safety assessment system and technology for CANDU NPPs.

1. 서론

국내의 중수로 안전해석에 사용되었던 코드들에는, 정상상태 및 과도상태의 계통 열수력 해석에 각각 HYDNA-2 및 HYDNA-3, LOCA 해석에 FIREBIRD 코드 등이 있으나, AECL에서 CATHENA 코드를 개발한 이후에 국내에서도 이를 이용하여 계통 열수력 해석을 수행하고 있다. 또한 LBLOCA시 핵연료관 및 칼란드리아관 파손여부를 예측하기 위한 3D CFD 과도해석 모델이 개발되었으며 SPEL의 감속재 유동실험(AECL)결과를 통해 그 타당성이 입증되었다. 또한 트립유효범위 해석을 위한 모델이 개발되었으며, 월성 4호기 시운전시험자료를 이용하여 코드 및 모델이 검증된 바 있다. 최근에는 4급전원상실 사고와 대형냉각재상실사고에 대한 적용방법론도 개발되었다.

그러나 국내 고유의 중수로 안전성 평가체제의 확립을 위해서 가동중 중수로의 안전현안에 대한 검증 평가가 필요하다. 더욱이 1999년 월성 원전에서 발생한 일련의 중수누설 사건으로 인하여 가동중 중수로 안전성 평가체제 및 기술능력 배양의 필요성이 부각되면서 정부의 가동중 중수로에 대한 안전성 향상 대책의 일환으로 중수로의 안전성 향상을 위한 연구개발 필요성이 제기되었다.

이러한 배경아래 각계에서는 중수로의 안전성 향상을 위한 기반연구를 진행해 오고 있다. 이와 함께 가동중 중수로의 안전성을 증가시키기 위하여 안전성 평가체제의 수립과 이를 통한 안전현안의 적기 해결을 위한 평가기술력의 확보에 대한 필요성이 중수형원자로안전협의회(CANSAS) 등을 중심으로 논의되었으며, 원전 주기적 안전성 평가의 일환으로 월성 1호기에 대한 시범적용이 사업기관 중심으로 추진된 바 있다. 또한 RELAP 코드를 이용한 규제 및 검증용 코드를 개발하여 시험 적용중에 있다.

본 연구에서는 이러한 중수로 안전성 향상을 위한 노력과 발맞추어 중수로 안전현안 평가체제 및 요소기술 개발의 일환으로 중수로 안전해석코드의 운영체제를 개선하기 위한 연구로서, 계통 열수력 해석코드인 CATHENA 코드와 격납건물 해석코드인 PRESCON2 코드의 연계 및 GUI(Graphic User Interface) 개발을 수행하였다. 이러한 과정을 통해 생산될 중수로 안전해석코드 단일운영체제는 향후 국내 중수로 안전성 평가체제 및 기술 선진화에 기여할 수 있을 것이다.

2. 개요

2.1. CATHENA 코드

CATHENA (Canadian Algorithm for Thermalhydraulic Network Analysis) 전산코드는 AECL (Atomic Energy of Canada Limited)에 의해 WNRE (Whiteshell Nuclear Research Establishment)에서 개발된 코드로써, CANDU 원자로에서 가상 LOCA (Loss of Coolant Accident) 시 발생하는 현상해석을 위한 일차원 2유체의 열수력 코드이다.

이 코드는 CANDU형 원자로의 가상 LOCA 의 사건전개를 해석하기 위한 목적으로 개발되었다. 그러나 현재는 실험 설비로부터 소형원자로에 이르기까지 넓은 범위의 열수력 현상을 해석하는데 성공적으로 적용되고 있다. CATHENA 코드는 2상유동을 1차원, 2유체, 비평형으로 모사하는 수력학적 모델이 사용하며 기체와 액체 각각에 대한 질량, 운동량, 에너지 방정식과 유동형태에 따른 상경계 및 각상과 벽면에서의 질량, 운동량, 에너지 전달에 관한 보조방정식으로 구성되어 있다. 또한 기체상의 방정식에는 비응축성 기체도 포함시킬 수 있으며 D_2O , H_2O 기타 비응축성 기체 (N_2 , H_2 기타 등)의 열적 물리적 성질들이 포함되어 있다.

CATHENA 코드는 일반적인 망 구성 (network) 능력을 갖추고 있으며, 가압기, 유로면 적변화, 밸브, 오리피스, 중성자 점운동, 습분 분리기, 축압탱크, 파열 방출/흡입 등을 모사하는 기본적인 열수력계통에 대한 부품모델을 갖추고 있다.

2.2. PRESCON2 코드

PRESCON2 코드는 격납건물 압력거동 분석코드로서 냉각재상실사고 시 격납건물 내부의 압력 및 온도의 과도상태를 모델링할 수 있도록 만들어졌다.

PRESCON2 코드는 사용자에게 implicit 유량/유속 방정식 해법 알고리즘과 내부 격실간의 여러 가지 형태의 유량변화, 내부격실에서 외부 환경으로의 유량변화에 대한 정보를 제공하며, 다중 방벽형태, 트레이서 모델, 단순한 방사성 물질 거동과 비상노심냉각 재순환모델 등을 갖추고 있다. 또한 살수, 국부 공기냉각기, 벽으로의 열전달, 계기공기 유량, 격납건물 누설, 추가적인 열부하, 격납건물 격리, 파열벽 및 파단방출 순간기화에 대한 부모델을 가지고 있다.

격납건물로의 초기 질량 및 에너지 방출은 일차계통에 대한 자세한 열수력학적 분석에 기초하지만 이는 사용자 지정 입력 자료표로 주어질 수 있다. 장기 질량 및 에너지 방출은 이 코드 안에서 단순히 결합된 열수력 서브루틴으로 계산된다.

PRESCON2 코드는 격납건물 내 여러 지역에 대한 압력 및 온도 정보 뿐 아니라 여러 방사성핵종 코드들의 입력 자료로 사용되는 자세한 출력을 제공한다. 또한 트레이서 모델을 사용함으로써 방사능물질을 취급할 수 있는 능력도 보유하고 있다.

2.3. CATHENA 코드 및 PRESCON2 코드 간의 연계변수 검토

코드의 연계 및 GUI 개발을 위한 선행 작업으로 CATHENA 코드와 PRESCON2 코드의 상호 연계 변수들을 검토하였다. 열수력 계산에 대한 CATHENA 코드와 PRESCON2 코드의 상호 관계는 그림 1에서 볼 수 있다. CATHENA 코드에서 계산한 열수력학적 정보가 PRESCON2 코드에 입력 자료로서 사용된다. 즉, PRESCON2 코드의 입력자료로 사용되는 *.PRS 파일은 CATHENA 코드 분석결과인 혼합체의 질량유량, 혼합체의 엔탈피, 그리고 혼합체의 비체적 등을 포함하고 있다. 따라서 중수로 안전해석코드 연계 및 GUI 개발을 위해서는 이들 변수들에 대한 상호 연계성을 정확히 파악해야 한다.

3. GUI 개발 및 코드 연계 방안

3.1. 언어 및 개발도구의 선택

C 언어를 기반으로 API (Application Programming Interface)를 사용하여 GUI를 구현하였다. 개발도구로는 최근 C와 C++ 프로그래밍 시에 가장 널리 사용되는 Visual C++을 사용하였다. API란 윈도우즈 프로그래밍을 할 수 있도록 만들어진 1000여개가 넘는 함수의 집합체로서 이를 사용하여 프로그래밍 하는 경우, 기본적으로 GUI 환경인 윈도우즈의 특성 때문에 GUI 개발에 유리하다.

최근에는 윈도우즈 응용프로그램을 제작할 때 MFC (Microsoft Foundation Class)를 사용하는 경향이 있다. MFC는 C++의 장점을 이용하여 클래스를 이용한 프로그래밍을 할 수 있다는 장점이 있지만, 내부 구조를 파악하기 어렵고 이로 인한 세밀한 컨트롤이 어렵다는 단점이 있다. API를 기반으로 프로그래밍 하는 경우, 코딩의 내용이 길어지고 구조가 복잡하지만 세밀한 컨트롤이 가능하고 결과적으로 MFC에서 제공하는 기능을 모두 구현할 수 있기 때문에 이 방법을 선택하였다.

3.2. CATHENA 코드와 GUI 시스템의 연동

개발 초기에 고려했던 방법은 FORTRAN 언어로 짜여진 CATHENA 소스 코드에서 각 변수를 추적하여 그 변수들을 GUI 시스템으로 전달하는 함수를 만든 후, 이를 DLL(Dynamic Link Library)화하여 GUI 시스템으로 전달하는 것이었다. 그러나 CATHENA 소스 코드 내의 800여개의 서브루틴을 일일이 검토하는 것이 쉽지 않기 때문에 CATHENA 코드의 출력파일을 이용하는 차선의 방법을 선택하였다. 이 방법은 GUI 시스템에서 출력하고자 하는 파라미터를 CATHENA 출력파일에서 읽어 들이는 것으로, 직접 파라미터를 전달 받는 방법에 비하여 실행 속도가 저하된다는 단점이 있으나 파일을 읽는 주기는 설정함에 따라 지연시간(time delay)을 최소화시킬 수 있다.

3.3. CATHENA 코드와 PRESCON2 코드의 연계

두 코드를 연계하기 위해서는 내부적으로 연계되는 공통 변수를 찾고 이 변수가 갱신(update) 될 때마다 서로 전달해주는 방법이 가장 이상적이다. 이러한 연계 방법은 피드백(feedback) 효과를 고려할 수 있고 실시간 연동이 가능하다는 장점이 있다. 하지만 이는 앞서 언급한 소스 코드 분석의 어려움이라는 문제와 함께 몇 가지 문제점을 가지고 있다.

우선 CATHENA 코드와 PRESCON2 코드 사이의 피드백 효과를 고려해야 할 필요성에 대한 문제이다. 기존 PRESCON2 코드를 사용한 계산은 이미 완성된 입력 파일을 사용한 것이므로 피드백 효과를 고려할 경우, 기존의 계산결과와의 차이를 유발할 수 있다. 또한 격납건물의 온도와 압력 과도상태가 일차계통 코드에 미치는 영향을 명확히 규명하기 어렵다는 문제도 있다.

그러므로 PRESCON2 코드 계산이 CATHENA 코드 계산 완료 후에 이루어지는 방법을 사용하였다. PRESCON2 코드를 실행하기 위한 옵션을 선택하는 경우 CATHENA 코드 실행 시 PRESCON2 코드의 입력에 필요한 변수들을 미리 지정하여 출력하도록 하였다. CATHENA 코드 계산이 완료되면 출력된 데이터를 읽어 PRESCON2 코드 계산이 수행된다.

3.4. 파단 크기 및 파단 위치 결정

GUI 시스템과 함께 'Typical CANDU input file'을 제공하여 사용할 수 있도록 하였다. OHD, IHD 및 PSH 부분에 파단 정보가 포함된 input deck을 제공하여 사용자가 파단 위치 및 크기를 선택할 수 있도록 구성하였다. 이 기능을 사용하지 않는 경우 사용자가 선택한 입력 파일을 그대로 사용할 수 있게 하였다.

4. CANDU 사고 해석 GUI 시스템

CATHANA 코드 및 PRESCON2 코드의 연계 시스템 구축을 위하여 다음과 같이 GUI 시스템을 개발하였다.

4.1. GUI 시스템의 구성

프로그램을 시작하면 초기화면(그림 2)이 실행되고 버튼 클릭 후 대화 상자가 출력된다. 대화 상자에는 'Input', 'Accident', 'Output', 그리고 'Interlink' 등 4개의 탭 메뉴가 있다.

4.2. Input 메뉴

파일 찾기 대화 상자를 이용하여 사용자가 입력 파일을 지정할 수 있다. 상단의 'Use Default Input File'이라는 체크박스를 활성화 시키면 개발된 연계코드 시스템에서 기본적으로 제공되는 'Typical CANDU input file'을 사용할 수 있다. 현재 우측의 사진이 있는 공간은 새로운 옵션을 추가할 수 있는 공간으로 이용할 것이다. Input 메뉴의 구성을 그림 3에 나타내었다.

4.3. Accident 메뉴

Input 메뉴에서 'Use Default Input File'이라는 체크박스를 활성화 시킨 경우에 사용한다. 파단 위치 및 크기, ECC 옵션 등의 선택 기능이 있다. 파단 위치 옵션은 현재 IHD와 OHD가 사용가능하고 파단 크기는 35%와 100%에 대한 모사가 가능하다. 파단 위치는 입력 파일을 수정하여 추가 할 수 있고, 파단 크기의 경우에는 현재 자유롭게 추가 가능하지만 우선 대표적인 경우만 지정하였다. 그림 4는 Accident 메뉴를 나타낸다.

4.4. Output 메뉴

그림 5의 상단에는 Y축 scale을 지정할 수 있는 기능이 있는데 이에 따라 그래프의 척도 (scale)가 달라진다. 하단부에는 출력할 파라미터와 노드를 입력할 수 있는 콤보 박스 (combo box)가 있는데, 파라미터의 경우에는 풀다운 (pull-down) 메뉴에 의해 선택 가능하도록 구성하였고, 노드의 경우에는 그 수가 많고 파라미터에 따라 입력 방식이 다르기 때문에 텍스트 (text) 입력도 가능하도록 제작하였다. 파라미터와 노드를 선택한 후 'Add' 버튼을 클릭 할 때마다 그 정보는 별도의 입력 파일에 저장되어 실행될 입력 파일에 인클루드 (including) 된다.

4.5. Interlink 메뉴

간단하게 PRESCON2 코드와 연계 여부를 선택하는 체크박스로 구성되어 있다. 이 체크박스를 활성화 시키면 CATHENA 코드 실행 후에 PRESCON2 코드가 자동 실행된다. Interlink 메뉴는 그림 6과 같다.

4.7 코드의 실행

상기의 각 메뉴에서의 선택이 완료된 후 최종적으로 '확인' 버튼을 선택하면, CATHENA 코드가 실행되며 계산이 시작된다. 그림 7과 같이, 계산이 수행될 때의 과도 상태를 실시간으로 보여줌으로써, 사용자 편의성을 제공하였다. 'Output' 메뉴에서 선택한 파라미터들에 대한 모든 실시간 그래프가 제공된다.

5. 결 론

본 연구에서는 중수로 안전해석코드의 운영체제 개선을 위해 CATHENA 코드와 PRESCON2 코드의 연계를 GUI 개발을 통하여 수행하였다. 두 코드의 연계는 PRESCON2 코드의 입력에 CATHENA 코드의 출력변수 중 필요한 데이터를 도입함으로써 이루어지며 이들 변수는 혼합체의 질량유량, 혼합체의 엔탈피, 그리고 혼합체의 비체적 등이다. 기존 코드의 해석능력을 유지하기 위해 코드의 연계는 GUI 시스템 상에서 코드 외부적으로 이루어지게 하였다. GUI 시스템은 윈도우즈 환경으로 개발되어 사용자가 편리하게 입력파일선택, 파단 위치 및 크기 결정, 출력변수 및 노드 선택, 그리고 코드연계 옵션선택 등을 수행할 수 있도록 개발 되었으며, 앞으로 단계적인 기능의 개선이 이루어질 것이다. 본 연구 결과 개발된 GUI 시스템은 앞으로도 계속적으로 수정 및 보완되어 국내 중수로 안전 해석 체계 및 기술 선진화에 크게 기여할 것이다.

참고문헌

- [1] CATHENA Mod-3.5/Rev 0 Theoretical Manual, RC-982-3/COG-93-140 (Vol. 3), 1995
- [2] CATHENA Input Reference, RC-982-4/COG-93-140 (Vol. 4), 1995
- [3] CATHENA GENHTP Input Reference, RC-982-5/COG-93-140 (Vol. 5), 1995
- [4] M.S. Quraishi et al., "PRESCON2 VER-600 Program Description", TTR-219, Volume 1, 1990 September
- [5] M.S. Quraishi et al., "PRESCON2 VER-600 Programmer's Manual", TTR-219, Volume 2, 1990 September
- [6] 이석호 등, CANDU형 원자로 열수력 사고해석 코드체계평가, KINS/GR-111, 과학기술처, 1996. 7
- [7] 이석호 등, CANDU형 원자로 열수력 사고해석 규제기술개발, KINS/GR-057, 과학기술처, 1993. 8
- [8] 정법동 등, 중수로 열수력 안전해석 최적 검증 코드 개발, KINS/HR-436, 한국원자력안전기술원, 2002. 4

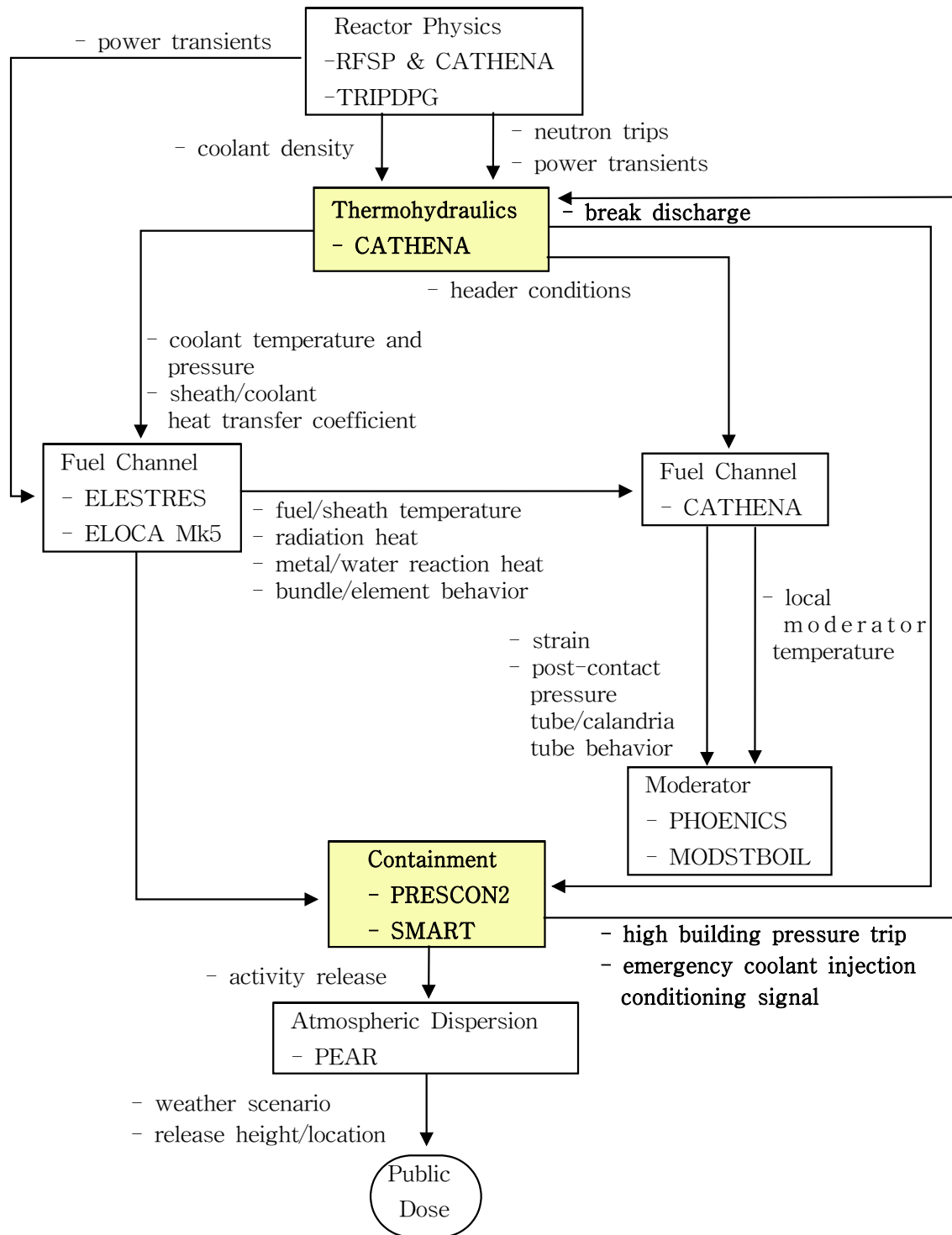


그림 1. 대형 냉각재 상실사고 분석을 위한 코드 체계



그림 2. GUI 시스템 초기화면

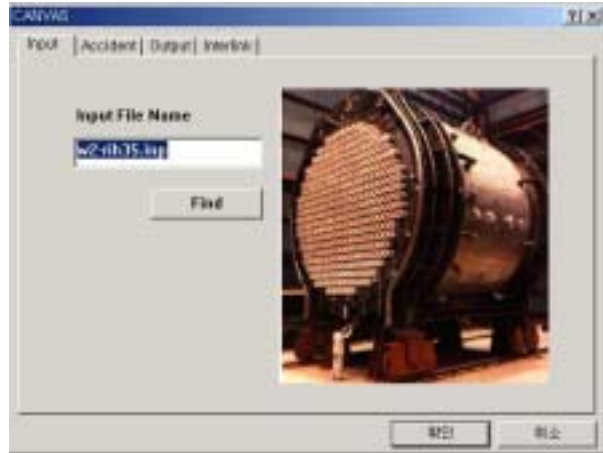


그림 3. Input 메뉴 화면

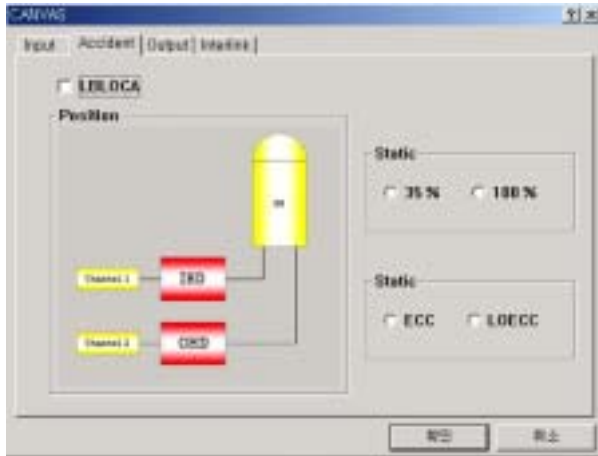


그림 4. Accident 메뉴 화면

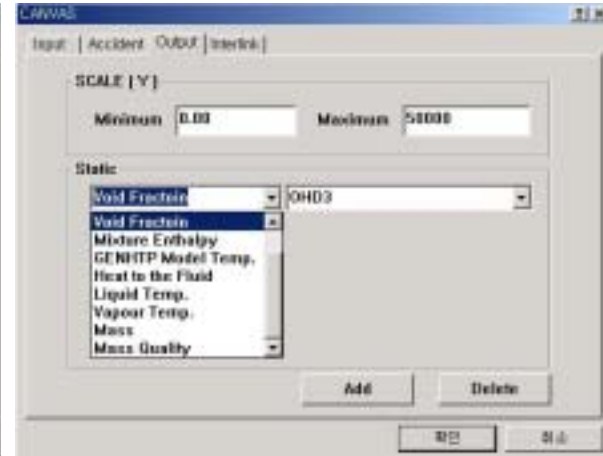


그림 5. Output 메뉴 화면



그림 6. Interlink 메뉴 화면

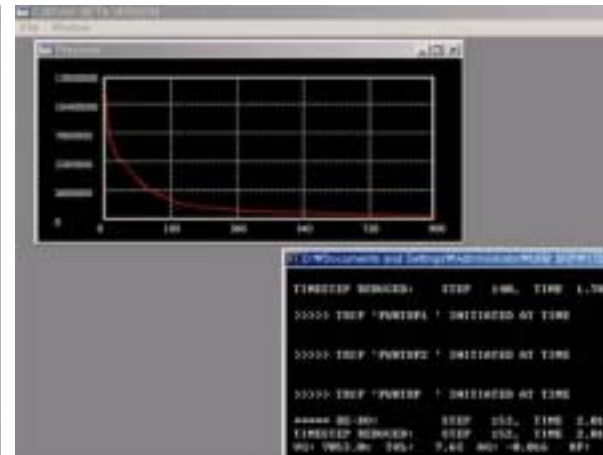


그림 7. 코드실행 시 Graph 출력 화면