

확률론적 안전성 평가를 위한 정보 관리 시스템 개발

김 승 환*

The Development of a Advanced Information Management System for PSA

Seung-Hwan Kim*

요 약

원자력 발전소의 확률론적 안전성 평가(PSA)를 수행하기 위해서는 여러 가지 분야의 다양한 데이터가 필요하다. 그러므로 PSA 의 수행 및 검토에 있어, 효과적인 자료의 관리가 필수적이라 할 수 있다. 한국 원자력연구소에서는 PSA 관련 모든 정보를 손쉽게 관리하기 위하여, PSA 정보 시스템(AIMS)을 개발하고 있다. AIMS는 PSA 분석에 필요한 모든 관련 문서와 모델을 통합하여, PSA 평가를 손쉽게 수행할 수 있도록 개발한 시스템이다. 본 논문에서는 PSA 정보 시스템의 개발 과정 및 데이터베이스 설계 그리고 입출력 시스템의 설계 및 구현에 관하여 기술하였다.

Abstract

In order to perform a PSA, it requires a large number of data for various fields. Therefore, the effective management of the data is essential to perform and review a PSA and to maintain the quality of a PSA. Korea Atomic Energy Research Institute (KAERI) is developing a PSA information management system (AIMS: Advanced Information Management System for PSA) which enhances the accessibility to PSA information for all PSA related activities. The AIMS is a database system that stores all references and links to the information used for the PSA analysis. The AIMS consists of a database, information browsing modules and a PSA model manager. This paper describes how we implemented such a database centered application in the view of two areas, database design and data (document) service.

▶ Keyword : PSA(확률론적안전성평가), AIMS(PSA 정보시스템), FTPEX, 문서관리(Document Management)

• 제1저자 : 김승환
• 접수일 : 2005.09.29, 심사완료일 : 2005.10.26
* 한국원자력연구소 선임연구원

I. 서론

원자력 발전소의 확률론적 안전성 평가 (Probabilistic Safety Assessment : PSA)를 수행하기 위해서는 다량의 데이터 및 분석 자료가 필수적인데, 이러한 점을 해결하기 위한 PSA 정보 관리 시스템 개발의 필요성이 점차 증가하고 있다. 예를 들어 PSA를 수행하기 위해서는, 위험도 분석 및 평가, 분석 결과에 대한 추적 및 결과에 대한 검증 등의 작업이 필요하고, 이를 위해서는 관련 정보를 저장 및 관리하기 위한 시스템이 필요하다. PSA 정보 시스템은 PSA 수행에 필요한 모든 자료 및 관련 링크들을 데이터베이스에 저장하고 관리하는 시스템이라 할 수 있다.

이러한 필요성에 발맞추어 한국 원자력 연구소에서는 PSA 정보 시스템(Advanced Information Management System for PSA : AIMS)을 개발하고 있다. AIMS 시스템 개발의 목표는 산재되어 있는 PSA 관련 정보들을 통합하고, 전산화하여, PSA를 수행할 때 원하는 자료를 손쉽게 찾을 수 있도록 하는데 있다[1][2][3].

본 논문은 이러한 시스템의 구성에 대한 데이터베이스 구성 및 데이터 서비스 관점에 대한 연구사항을 기술하였다.

II. PSA 정보시스템

2.1 PSA 소개

PSA는 확률론적 안전성 평가 기법을 일컫는 말로, 원자력 발전소의 안전성을 확률과 통계의 기법으로 정량화시켜 확인하는 방법을 말한다. 모집단의 크기가 일정 수준 이상이 되면 고전적인 통계 기법을 활용하여 안전성을 판단하는데 문제가 없겠지만, 원자력 발전소나 우주 왕복선과 같은 사고의 통계가 많지 않은 경우에는 고전적인 통계기법을 사용하기가 곤란하다. 따라서 설비 전체의 통계가 존재하지 않을 경우에는 전체 설비를 작동 실패나 고장 통계가 존재

하는 계통이나 기기의 수준까지 논리적으로 분해하여 확률을 구한 뒤에 다시 역으로 재결합하는 방법을 택하게 된다 [4][5].

이러한 PSA 는 원자력 발전소와 같은 대규모 복합적인 공학적 설비의 안전성을 정량적으로 평가하는 매우 효율적인 엔지니어링 기법이며, 따라서 이 방법의 적용범위는 매우 넓다고 할 수 있다.

초기에 원자력발전소에만 적용되던 PSA는 그 효용성이 인정되어 국내에서도 화학 플랜트의 안전성 평가에도 적용되기 시작하였으며, 외국의 경우는 우주항공, 대규모플랜트, 육상교통, 화재, 의료, 소프트웨어의 검증, 물리적 방호 시스템의 설계 및 검증, 환경, 금융 등의 매우 다양한 분야에서 응용되기 시작했다.

특히 원자력분야는 PSA가 안전성과 경제성의 최적화 및 한정된 인적, 경제적 자원의 최적배치라는 관점에서 원전의 규제 및 운전의 주요한 의사 결정 수단으로 그 활용범위가 매우 확대되고 있다.

2.2 PSA 정보 시스템 개발의 필요성 및 활용방안

2.2.1 필요성

최근 국내에서는 위험도 정보 활용 분야가 활성화되면서, PSA 전문가뿐만 아니라, 준전문가도 PSA 모델 수정 및 재평가를 수행하여야 할 필요성이 증대되고 있다. 또한 PSA 모델 및 결과, 관련 정보는 매우 방대하여 PSA 수행 및 검토에 많은 장애가 되고 있다. 이러한 데이터를 관리 및 참고하기 위해서는 PSA 관련 자료를 체계화하고 효율적인 관리해 줄 수 있는 관리체계가 필요하다. 현재 외국이나 국내 모두 이에 대해 PSA 정보를 DB화하려는 노력을 시작 중에 있다[1][2].

그러나 정보의 저장 및 추출 이외에 정보를 직접 사용하여 정량화를 수행하기 위한 공학적인 계산에 직접 사용하기 때문에 기존의 문서관리 시스템과 차별화 된 정보 관리 시스템이 필요하다. 따라서 PSA 정보 관련 문서 및 자료 모든 것을 통합 관리하고 PSA 분석에 필요한 각종 모델 및 데이터를 제공해주는 시스템의 개발이 필요한데 이것이 PSA 정보 시스템이라 할 수 있다.

2.2.2 활용방안

PSA 수행에서는 일차적으로 고장수목 등 방대한 평가모델, PSA 모델 구축을 위한 많은 지원 정보, 다양하고 방대한 PSA 결과물이 생성된다. 따라서 여러 원전에 대해 PSA 수행, 검토, 비교 등을 수월하게 수행할 수 있도록 PSA와 관련된 주요 정보를 DB화하고 검색 기능을 제공하는 것이

필요하다. PSA 정보 시스템은 연구 개발 단계의 완료 시점에서 일차적으로 표준화된 계열에 대해 PSA 및 위험도 정보 활용 등과 관련하여 규제 기관 및 산업체의 전반적인 PSA 검토/수행 능력을 향상시킬 수 있다. 또한 PSA 검증 체계로서도 활용될 수 있어 규제 측면에서는 심사 및 검사 등 제반 규제 활동에서 신속하고 합리적인 의사결정을 지원할 뿐 아니라 산업체의 PSA 결과의 품질을 향상시켜, 위험도 정보 활용 분야의 적용을 수월하게 할 수 있도록 지원한다[2].

PSA 정보 시스템의 주요 활용분야는 다음과 같다.

- 통합 PSA 정보 관리
- 자동화된 PSA 정량화 및 민감도 분석 지원
- 안전 규제 심사 및 검사 지원
- 품질보증지원
- 기타 자료와의 연계 : 다른 신뢰도자료와의 연계

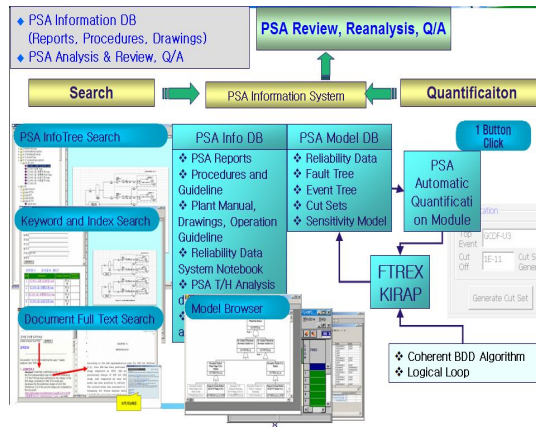


그림 1. AIMS 시스템 구성도
Fig 1. AIMS System Structure

III. PSA 정보 DB 구축

3.1 시스템구성

PSA 정보 시스템은 크게 PSA 정보 데이터베이스, 정보 검색 모듈, PSA 정량화 분석기 모듈로 구성하였다. 즉, PSA 자료와 PSA 모델로 구축된 PSA 정보 DB를 이용하여 DB내 저장된 자료들을 직접 검색할 수 있도록 해주는 검색 기능을 제공하고, 모델 DB내에 저장된 정량화 모델을 이용하여 PSA 위험도(정량화) 분석 및 원자력 발전소의 환경 변화에 따른 발전소의 위험도 변화를 분석하기 위한 PSA 민감도 분석을 수행할 수 있도록 설계하였다[6]. (그림 1)은 AIMS 시스템의 구성도이다.

3.2 PSA정보 DB 구축

3.2.1 데이터 취득 및 분류

PSA의 수행을 위해선 여러 분야의 다양한 데이터가 필요한데, 이러한 자료들을 통합된 데이터베이스의 구조에 저장하고 입력하는 것이 중요하다. PSA 정보 DB에 입력하기 위하여 취득한 자료들은 다음과 같다[6][7].

- 시스템 문서 : 디자인 문서, 도면들, 기타
- 발전소 절차서 : 발전소의 운영에 필요한 각종 운전 절차서, 보수 절차서 등.
- PSA 보고서 : PSA 수행 보고서
- PSA 보조문서 : PSA에 필수적으로 필요한 각종 보조 문서들 (각종 계산 근거 시트등)

수집한 각종 자료들은 자료의 특성상 몇 개의 카테고리로 분류 하였는데, 주로 PSA보고서, FSAR(최종안전분석 보고서), 신뢰도 자료, 발전소 자료 등의 범주로 구분하였다. <표 1>은 AIMS 데이터베이스에 구축되고 저장된 PSA 정보 분류 자료들이다.

표1. PSA 정보 분류표
Table1. The Classification of PSA Information

Category	Contents
PSA Report	Introduction
	Methodology
	Plant description- General Site Description- Plant Layout- NSSS Description- Plant System Description
	Initiating Event - IE List- Identification of IE
	Event Tree (classified by Initiating Event)
	System Analysis (Classified by System)
	Database of PSA quantification, Quantitative analysis of accident sequence, ASQ Results (Included in PSA model database)
PSA Related Report	PSA analysis guideline, Methodology
	Final Safety Analysis Report (Hyperlink to external web service)
Plant Data	Procedures : alarm, instrumentation, system, standard administration, emergency, abnormal, periodic testing, maintenance, comprehensive operation, in-service testing (886 items)
	Drawings - P&ID Drawings (298 sheets) - C&ID Drawings (469 sheets) - C&LD Drawings (1,017 sheets) - EWD Drawings (2,681 sheets)
	Reliability Data
Reliability Data	Analysis Result (PSA reports, Reliability data)
	Raw Data
Etc	PSA Thermo-Hydraulic Analysis data

3.2.2 데이터 입력

PSA 정보 DB에 자료를 저장하고 검색하기 위한 자료 입력부와 자료 검색부로 구현하였다. 자료 입력은 관계형 DB와 파일 시스템의 구조를 혼합한 형태의 데이터 저장소를 이용하여 자료를 입력하였고, 자료의 출력은 자료 검색의 효율성을 위하여 검색방법의 차이에 따라 몇 가지 검색 모듈을 개발하였다.

또한 DB에 저장된 각 문서별로 추가 정보(키워드)를 저장하기 위한 파일 속성 데이터를 개발하였고, 저장된 속성

데이터를 읽어서 DB에 저장한 후 키워드(속성) 검색 모듈에서 사용하였다.

DB에 저장된 각종 정보의 논리적 구조를 트리형태로 구성하기 위한 로직을 개발하여 PSA 정보 목차를 이용한 정보 검색에 사용하였다.

3.2.3 문서 속성 편집기

PSA 정보 DB는 정보를 저장하기 위해서 관계형 DB와 파일시스템 구조를 함께 이용하고 있기 때문에, 각 문서와 관련된 추가적인 정보들을 함께 보관하는 것은 수월하지가 않다. 이를 해결하기 위하여 다음의 두 가지 방법을 이용할 수가 있는데, 첫째는 운영체제의 기능을 이용하여 자료 파일 자체에 추가 정보를 내포시키는 것이고, 둘째는 추가 정보를 저장하기 위하여 DB내의 별도의 문서 속성 테이블에 저장하는 것이다. 각 방법별 특징을 살펴보면, 전자의 경우는 추가 정보를 저장하는 차원에서 용이하며, 후자의 경우는 저장된 추가 정보를 검색하는 차원에서 용이하다. 따라서 본 연구에서는 위의 두 가지 방법을 모두 사용하기로 결정하였다. 추가 정보의 입력은 자체 개발한 문서 속성 편집기를 이용하여 입력하였으며, 각 파일에 입력된 추가정보로부터 문서 속성 테이블로 자동으로 변환하여 저장되도록 하기 위한 프로그램을 개발하여 변환하였다[8] [9].

(그림 2)는 추가 정보를 문서 내부에 저장하기 위하여 개발한 문서 속성 편집기의 수행 화면 예이다. 문서 속성 편집기는 일괄 입력 방식의 시트 형식 편집기와 단일 폼 형식의 입력 인터페이스 두 가지로 개발하였다.

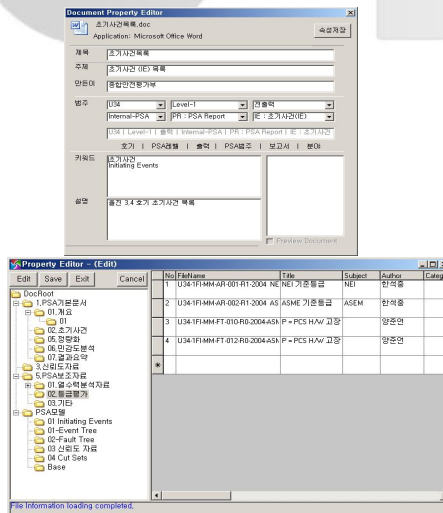


그림2. 문서 속성 편집기
Fig 2. Document Property Editor

문서 속성 편집기를 이용하여 저장한 추가정보들의 데이터 구조는 다음과 같다.

- File Name: 파일명
- Path: 문서의 경로
- Extension: 문서 타입
- Title: 문서 제목
- Subject: 주제
- Author: 문서 작성자
- Keyword: 문서 검색에 사용될 키워드
- Category: 다음 세부항목으로 구성된다.
 - Unit - 발전소
 - Level - PSA 수행단계(1/2/3단계)
 - Power - 발전소 출력 (%)
 - Scope - 내/외부-PSA
 - Report Type - 보고서 종류
 - Area - 문서의 종류

3.2.4 PSA 정보수목

PSA 정보수목은 PSA 전반에 걸친 자료들을 목차와 같은 계층적 트리 구조로 구성한 것이다. 이를 위하여 DB에 저장된 PSA 정보들을 논리적으로 구성한 후 PSA 정보 수목으로 자동 변환하여 주는 모듈을 개발하였다.

(그림 3)은 PSA 정보의 논리적 구조와 이것을 바탕으로 구현한 PSA 정보수목의 화면 예이다.

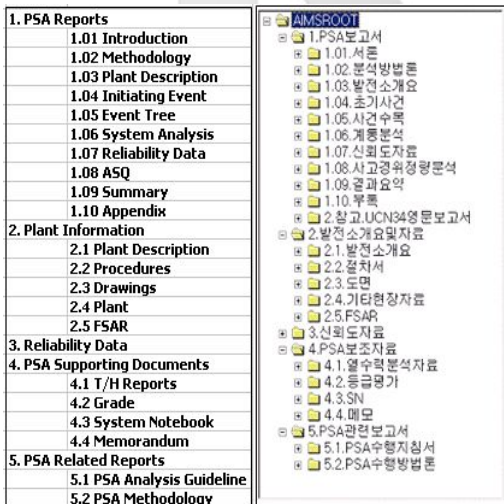


그림3. PSA 정보수목
Fig3. PSA InfoTree

IV. PSA 정보 검색기 개발

PSA DB에 저장된 각종 PSA 정보 및 자료들을 검색하기 위한 점보검색모듈과 PSA 정량화를 수행하기 위한 PSA 정량화 분석기로 구현하였다.

4.1 정보 검색 모듈 개발

AIMS는 울진 원자력 발전소 3,4호기의 PSA 수행 정보를 기준으로 개발하였는데, 문서 관리 및 문서 검색 등의 기능을 제공하는 PSA 분석 지원 도구로서 개발하였다. AIMS의 자료 검색 모듈은 PSA 관련 정보 및 관련 문서들을 손쉽게 찾을 수 있도록 개발한 정보 검색 도구이며 검색 방법에 따라서 다음과 같이 4개의 하부 검색 모듈로 개발하였다.

- 목차 검색 모듈 : PSA 정보 수목으로부터 원하는 정보들을 검색
- 키워드 검색 모듈 : 각 문서별 추가 정보(속성) DB로부터 정보를 검색
- 전체문서 검색 모듈 : 전체 문서로부터 정보를 검색하는 모듈
- PSA 모델 검색기 : 정형화된 PSA 모델 정보 (고장수목, 사건수목, 정량화 계산 결과 등을 간단하게 검색하기 위한 모듈

4.1.1 목차 검색 모듈

AIMS는 데이터베이스에 저장된 PSA 정보 자료들로부터 정보 구조를 추출하여 PSA 정보수목으로 구성하도록 구현되어 있다. PSA 정보수목은 PSA 정보들을 트리 구조로 구성된 논리수목이다. 이렇게 논리적으로 목차화된 PSA 정보 수목을 통하여 해당 문서를 선택하여 자료를 검색할 수 있도록 구현하였다. 사용자가 정보수목의 트리를 확장/축소시키면 각 트리 항목에 연결된 문서를 참조할 수 있다. (그림 4)는 정보수목의 화면 예이다. 그림에서 보는 바와 같이 사용자가 정보수목의 참조하고자 하는 문서의 링크를 누르면 각 링크에 연결된 문서의 확장자를 참조하여 해당 문서의 내용이 우측 프레임에 열린다.

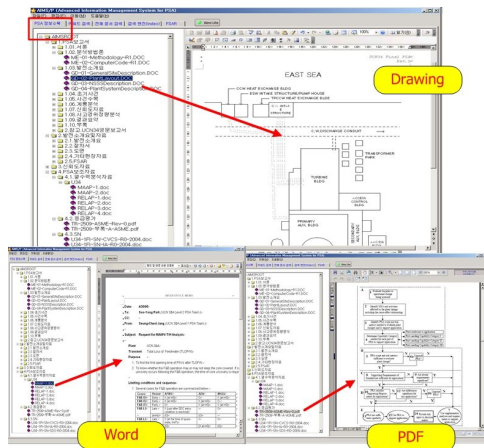


그림4. PSA 목차 검색 모듈
Fig4. PSA InfoTree Browser

4.1.2 키워드 검색 모듈

PSA 업무에 자주 사용되는 단어들과 그 유의어를 키워드 DB에 저장하고 그 키워드를 이용하여 원하는 문서를 검색하도록 구현한 모듈이다. 각 문서들의 중요 키워드를 PSA 분석 전문가가 그룹에 의하여 도출한 후 그 키워드를 문서 속성 편집기를 통하여 입력받아 그 내용들을 DB화하고 그 입력된 DB로부터 데이터를 검색할 수 있도록 개발하였는데, 확장된 정보들로는 문서명, 주제, 저자, 범주, 키워드 및 각 문서의 주요사항들이다.

(그림 5)는 키워드 검색 모듈의 화면 예이다.

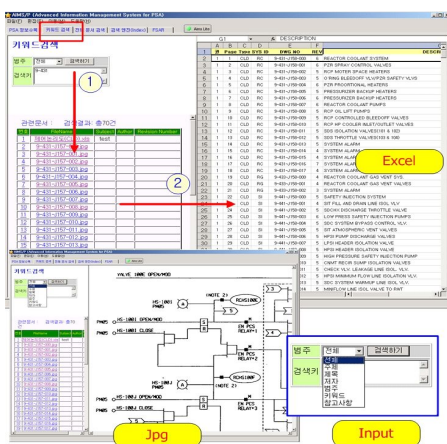


그림5. 키워드 검색 모듈
Fig5. Keyword Search Module

4.1.3 전체 문서 검색 모듈

일반적으로 정보 수목을 통한 목차 검색 및 키워드 검색을 통하여 찾고자 하는 문서들의 대부분을 검색할 수 있다. 그러나 정보 수목 및 문서 속성 테이블은 각 문서에 대한 최소한의 필수적인 정보만을 키워드 형식으로 저장하고 있기 때문에, 모든 문서를 검색하기에는 부족함이 있다. 따라서 문서 내에 저장된 모든 문자열을 기준으로 검색할 수 있는 검색 모듈을 설계 개발하였다. 이를 위해 문서 검색 엔진을 PSA 정보 DB에 탑재하여 각 문서에 저장된 내용을 직접 검색하도록 구현하였다[10]. 사용자가 특정 문자열을 포함한 문서를 찾기 위해 문서 검색 엔진에 원하는 문자열을 입력하면, AIMS는 사전에 구성된 문자열 색인 DB로부터, 문서 내에 해당되는 문자열을 포함한 문서 목록 검색 결과를 반환하고, 해당 목록으로 부터 원하는 문서를 참조할 수 있다. (그림 6)은 전체 문서 검색 모듈의 수행 예이다.

4.1.4 PSA 모델 검색기

PSA 정보 DB에 저장된 PSA 모델을 검색하기 위하여 트리형태의 검색창을 제공하도록 개발한 모듈이다. PSA 모델 DB에는 PSA 분석에 필수적으로 필요한 모델정보로서 고장수목, 사건수목, 이벤트정보, 최소 단절군 등을 저장하고 있으며 PSA 모델 DB에 저장된 각종 정보의 효율적인 검색을 위한 모듈들은 다음과 같다. (그림 7)

- FT Browser : PSA DB에 저장된 고장 수목(Fault Tree)의 구조를 보여주는 모듈
- ET Browser : 사건 수목(Event Tree)의 구조 및 각 이벤트의 상속정보를 보여주는 모듈
- Cutset Browser : 정량화 수행 결과인 최소 단절군 집합을 보여주는 모듈
- Data Browser : Event 데이터를 검색 출력하여 주는 모듈

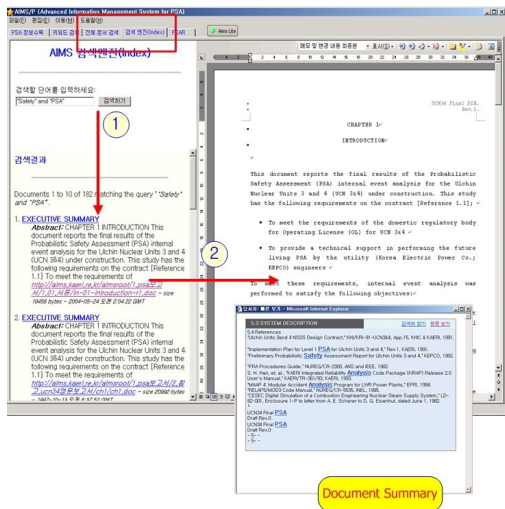


그림6 전체 문서 검색 모듈
Fig6. Text Search Module

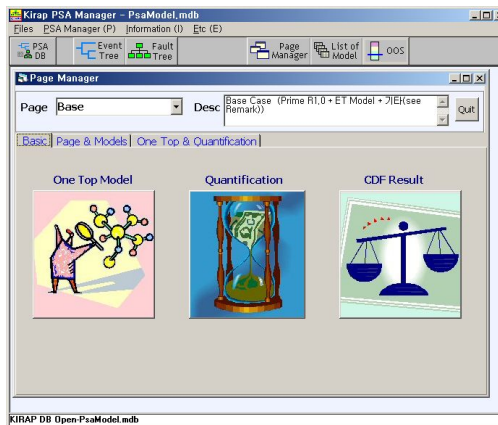


그림8. PSA 정량화 분석기
Fig8. PSA Model Manager

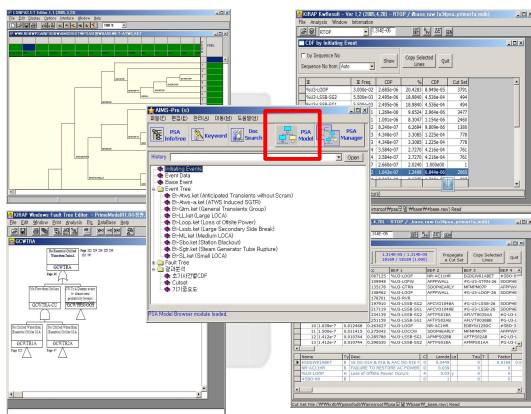


그림7. PSA 모델 검색기
Fig7. PSA Model Browser

4.2 PSA 정량화 분석기

AIMS의 중요 기능 중에 하나인 PSA 정량화 분석기는 PSA 모델로부터 고장수목 및 사건수목을 기초로 하여 고장수목을 해독하고 최소 단절군을 계산할 수 있는 전체 과정을 관리해주는 통합 관리 도구로서, 한국 원자력 연구소에서 개발되어 AIMS에 포함되어 있는 세계 최고속 PSA 정량화 엔진인 FTREX가 PSA 모델 관리기에 포함되어 있다[11][12][13]. AIMS는 PSA 모델 관리기를 통하여 PSA 모델을 자동으로 정량화 할 수 있으며, 각종 계산 조건 및 기기 배열 변경 등의 변화에 따라서 실시간으로 계산하여 분수 있는 민감도 분석 기능을 제공하고 있다.

V. 결론 및 향후과제

PSA의 효율적인 수행 및 검토 그리고 결과의 질을 유지하기 위해서는 효율적인 데이터 관리 도구가 필요하다. PSA 정보 시스템 AIMS는 PSA 수행에 필요한 모든 관련 문서와 모델을 통합하여, PSA 평가를 쉽게 수행할 수 있는 기반을 제공하고, 국내 위험도 정보 활용 및 PSA의 기반을 확대시키고, 결과의 신뢰성을 증진시키는 PSA 분야의 새로운 기술이다. 한국 원자력 연구소에서는 PSA 정보시스템(AIMS)을 개발하였는데, 올진 3,4호기에 대해 PSA 모델 및 정보를 DB화하였고, 정보 및 모델을 검색하는 S/W 체계를 개발하였으며, DB화된 모델로부터 PSA 정량화 및 민감도 분석을 수행할 수 있는 S/W 체계를 개발하였다. AIMS의 주요기술은 분산된 관련 정보들의 통합 및 관련 정보간의 연결 그리고 저장된 자료의 참조 기술의 개발이라 할 수 있다. 이러한 정보 검색을 위하여 AIMS는 PSA 정보수목, PSA 키워드검색기, PSA 문서검색엔진, PSA 모델 검색기 그리고 효과적인 PSA 통합 수행을 위한 PSA 정량화 분석기 등을 개발하였다. PSA 정보 시스템 AIMS는 PSA 분석의 기술과 편의성을 크게 높여 규제기관과 산업체의 위험도 정보 활용 분야에 유익하게 활용 중에 있으며, 현재는 PSA 수행 중에 생성 및 유지 보관 되는 문서들에 대한 생성/검토 등의 일련 작업을 관리하는 품질보증절차를 관리하기 위한 모듈을 설계 구현 중에 있다.

[13] Woo Sik Jung, et al, "Advanced Features of the Fault Tree Solver FTREX", '05 Korea Nuclear Society, 2005

참고문헌

[1] Seung-Hwan Kim et al, "A Study for the development of PSA Automatic Sequence Quantification System", '03 Korea Nuclear Society, 2003

[2] Sang-Hoon Han et al, "Development of PSA Workstation KIRAP", KAERI/ TR-847/97, 1997

[3] Hiromitsu Kumamoto, Ernest J. Henley, "Probabilistic Risk Assessment and Management for Engineers and Scientists", IEEE Press, 1996

[4] PRA Procedures Guide, NUREG/CR-2300, American Nuclear Society and IEEE, 1982

[5] 박창규, 하재주, 확률론적 안전성 평가, 브레인코리아, 2003

[6] Seung-Hwan Kim et al, "A study for the development of PSA Integrated Database", '02 Korea Nuclear Society, 2002

[7] 안병태, 김현아, "UNISQL/X를 이용한 XML 문서 저장 시스템 설계 및 구현", 한국 컴퓨터 정보학회 논문지, 제6권, 제1호, 2001

[8] 윤보현, 서창호, "개념 속성 기반 정보 검색", 한국 컴퓨터 정보학회 논문지, 제10권, 제3호, 2005

[9] Microsoft Document Support File Property, <http://www.microsoft.com/technet/community/columns/scripts/sg0305.mspx>

[10] Microsoft MSDN Indexing Service Web, http://msdn.microsoft.com/library/default.asp?url=/library/en-us/indexsrv/html/ixintro_0311.asp

[11] Woo Sik Jung, et al, "A Fast BDD Algorithm for the Reliability Analysis of Large Coherent Systems", Reliability Engineering and System Safety, Vol. 83, No. 3, 2004

[12] Woo Sik Jung, et al, "An Overview of The Fault Tree Solver FTREX", ICONE13, 2005



저자 소개



김승환

1990 중앙대학교 컴퓨터공학 석사

1990~ 한국원자력연구소

선임연구원

<관심분야> 데이터베이스, XML,

씨멘틱 웹