

'96 춘계학술발표회 논문집
한국원자력학회

KAERI 에서의 PSA Workstation 개발

한상훈, 김태운, 박창규
응용연구그룹, 한국원자력연구소

요 약

PSA 모델링 및 데이터 관리를 효과적으로 수행하고 PSA 정량화를 자동화할 수 있도록 PSA workstation 을 개발하고 있다. Windows 용 고장수목 및 사건수목 편집기, 데이터 관리 모듈 개발등의 PSA 모델링 및 관리 모듈이 개발되었고, 또한 최소단절집합 생성 방법 개선, 규칙기반 회복조치 분석 및 고장수목 순환논리 분석 방법 개발등을 통한 PSA 정량화 방법의 개선이 이루어졌다. PSA workstation 은 PSA 응용 소프트웨어 개발의 기초로도 사용될 수 있다.

1. 서론

1단계 PSA 는 원전의 안전성을 평가하는 한 방법으로서 최근 널리 사용되는 방법이다. PSA 는 원전의 기기, 계통, 운전등을 종합적으로 모델함으로써 설계 안전성을 평가할 수 있을 뿐만 아니라 운전이나 규제 측면에서도 안전성을 평가할 수 있는 방법이다.

원전의 PSA 수행은 원전 설계 및 운전, 고장 유형등의 수많은 정보를 종합적이고 체계적으로 다루어야 하여 많은 인력과 시간을 필요로 하는 매우 방대한 작업으로서 이를 지원하는 전산체제의 개발이 필수적이다.

한국원자력연구소에서는 1987년부터 PSA 수행용 전산체제인 KIRAP (KAERI Integrated Reliability Analysis Code Package) [1] 을 DOS 환경에서 개발하여 왔으며, 국내에서 설계중인 원전의 안전성 평가 및 설계 개선안 도출등에 사용하고 있다.

최근에는 단순히 설계중인 원전의 안전성 평가만이 아니라, 운전 안전성 확보나 운전 이용률 향상등에 PSA 를 이용하려는 연구가 많이 수행되고 있다. 미국에서는 정비규정 (Maintenance Rule) 이라는 것을 발표하여 원전의 시험 및 보수가 안전성을 위배하지 않도록 수행되는 지를 PSA 결과를

이용하여 평가할 예정으로 있으며, 일부 사업자는 PSA 를 이용하여 규제 완화의 근거로 이용하려 하고 있다 [2].

이와 같은 PSA 활용분야는 PSA 모델 및 신뢰도 자료의 지속적인 관리 및 PSA 정량화의 반복수행을 필요로 하고 있다. 한국원자력연구소에서는 이와 같은 필요를 만족하기 위하여 기존의 KIRAP 을 보완한 PSA workstation 을 개발하고 있다. 많은 수작업이 필요한 PSA 모델링을 위해 전산코드들을 Windows 용으로 변환하였고, PSA 정량화를 자동화할 수 있도록 방법론 및 전산코드를 개발·보완하였으며, 또한 신뢰도 자료를 데이터베이스화하여 모델 구성 및 정량화와 연결하는 모듈 개발을 수행중에 있다.

PSA workstation 의 개발은 많은 시간과 노력이 필요한 PSA 의 정량화 및 민감도 계산을 원활히 할 수 있도록 하며, 또한 PSA 응용 소프트웨어 개발의 기초로도 활용할 것이다. 다음 그림은 PSA Workstation 의 개념도이다.

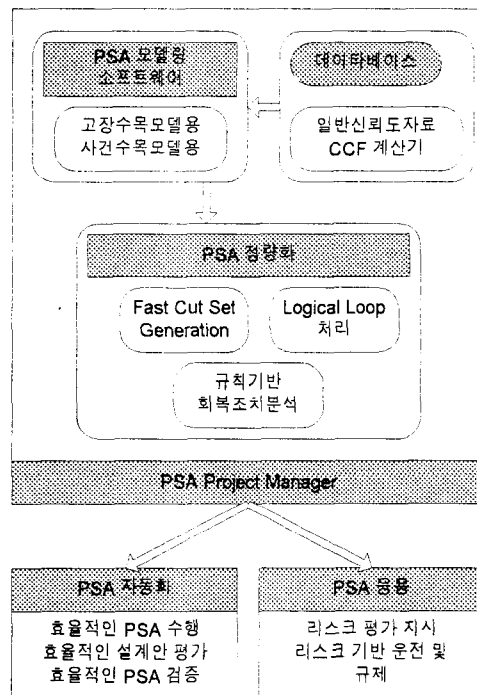


그림 1. PSA Workstation 개념도

2. PSA Workstation 개발

2.1 PSA 모델링 소프트웨어 개발

PSA 모델링은 많은 수작업이 필요한 분야로서, 모델을 구성하고 수정하는 소프트웨어의 개발이 필수적이다. 본 연구에서 추구하는 목표는 단순한 모델구성용이 아니라 고장수목, 사건수목, 데이터베이스가 상호연결되어 일관성있는 정보를 구축할 수 있는 소프트웨어의 개발이다. 점차 Windows 환경에서 데이터베이스와의 연결이 편리해짐으로서 이러한 소프트웨어의 개발이 용이해지고 있다. PSA 모델의 핵심인 고장수목 및 사건수목을 마우스 및 메뉴바를 이용하여 편집할 수 있는 소프트웨어가 개발되었다. 사건수목 편집기는 PSA 1단계 및 2단계, 즉 발전소 계통 사건수목 및 격납건물 사건수목을 모두 구성할 수 있도록 개발되었다 [3]. 다음은 고장수목 편집기 및 사건수목 편집기의 작업화면의 예이다.

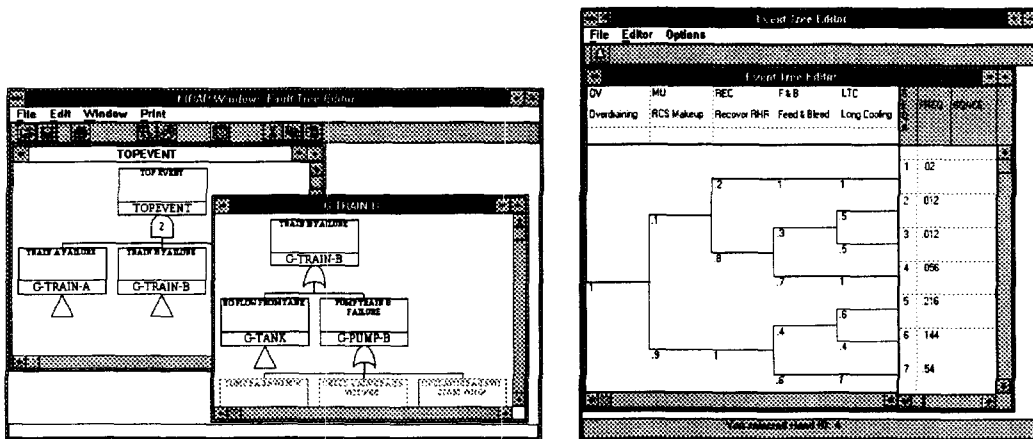


그림 2. 고장수목편집기 및 사건수목 편집기

2.2 데이터 관리 모듈 개발

데이터 베이스는 크게 일반 신뢰도자료와 사건 신뢰도자료로 구분된다. 일반 신뢰도자료는 일반 기기에 대한 신뢰도 자료이며, 사건 신뢰도자료는 고장수목에서 모델되는 기본사건에 대한 신뢰도자료이다. KIRAP에서는 일반 신뢰도자료를 이용하여 사건신뢰도 자료를 개정할 수 있다. 또한 공동원인고장 변수를 데이터베이스에 저장하고 이를 이용하여 각 고장수목에 모델되는 공동원인고장에 대해 Beta 또는 MGL 방법을 이용하여 확률값을 계산하는 기능도 가지고 있다.

2.3 PSA 정량화 방법 개선

PSA 에서 사고경위 정량화는 PSA 모델 변경 또는 민감도 분석의 필요성으로 인해 많은 반복 계산이 필요하다. 지금까지는 방법론 미비로 인해 많은 부분들이 수작업으로 수행되어 민감도 분석등이 어려웠다. KIRAP 은 다음과 같은 방법을 개선.개발하여 모든 계산 절차를 전산화함으로써, 사고경위 정량화를 쉽고 빠르게 수행할 수 있도록 하였다.

- 순환논리를 가진 고장수목 분석법
- 규칙기반 회복조치분석법
- 최소단절집합 계산 방법 개선

2.3.1 최소단절집합계산방법 개선

KIRAP 에서는 Shannon Decomposition 을 이용한 고장수목 단순화, 고장수목의 크기를 줄이는 고장수목 모듈화, 이원 최소화 기법을 이용한 단절집합 비교 [4] 등을 이용하여 빠른 시간내에 최소단절집합을 계산할 수 있도록 개선되었다.

Shannon Decomposition 을 이용하더라도 모든 경우에 고장수목이 단순화되는 것이 아니다. KIRAP 에서는 Shannon Decomposition 을 이용하여 고장수목이 단순화되는 일반적인 규칙을 찾아내어 이를 적용하였다. Shannon Decomposition 의 일반식을 다음과 같다.

$$T = r * T(r = \Omega) + /r * T(r = \Phi)$$

여기서 /x 는 x 의 보사건을 나타낸다.

이중 $T(r = \Omega)$ 나 $T(r = \Phi)$ 가 Ω 또는 Φ 가 되는 경우에 항상 고장수목이 단순화가 되며, 이를 이용한 고장수목 단순화 기법이 KIRAP 에 적용되었다. 다음 그림은 단순화 기법의 예이다.

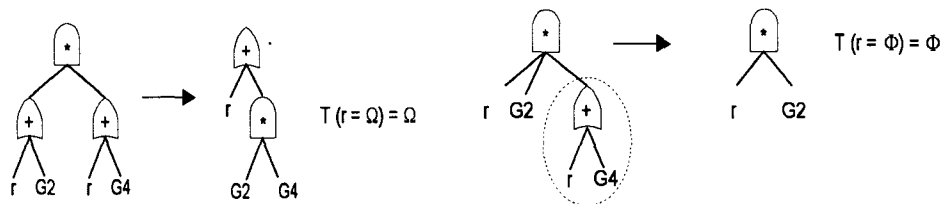


그림 3. Shannon Decomposition 을 이용한 고장수목 단순화 기법 (1/2)

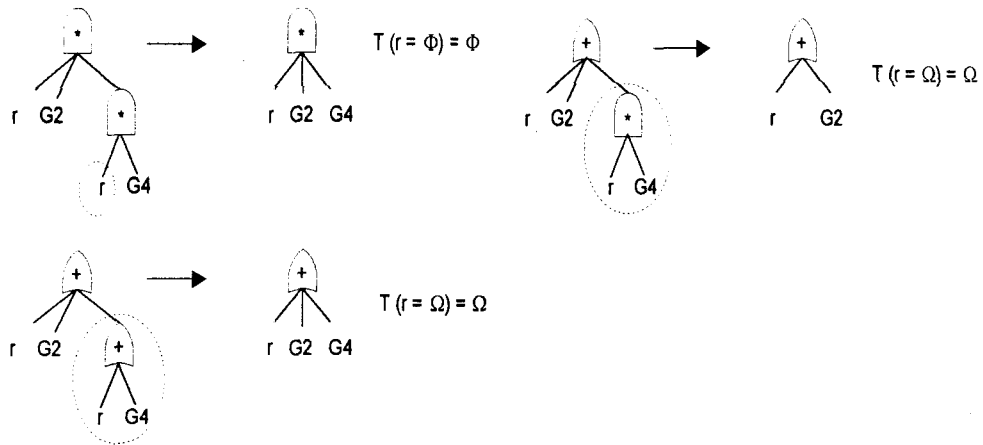


그림 3. Shannon Decomposition 을 이용한 고장수목 단순화 기법 (2/2)

2.3.2 Rule-Based Recovery

PSA 모델이 주어지면 사고경위 정량화는 크게 두단계로 이루어진다. 하나는 각 사고경위에 대한 최소단절집합을 계산하는 것이고 다른 하나는 회복조치분석을 수행하는 것이다. 일반적인 회복조치분석에서는 각 최소단절집합을 검토하여 고장난 기기에 대한 운전원 복구가 가능한가를 판단하고 최소단절집합을 수정하게 된다. 이 작업은 지금까지는 수작업으로 수행되었으며, 많은 시간이 소요되며 또한 오류를 범할 가능성도 높아 사고경위 재 정량화가 필요한 민감도 분석에 큰 장애요인이 되었다. 일단 각 기기고장에 대한 회복조치가 파악되면 이들로부터 일반 규칙을 도출할 수 있다. KIRAP 에서는 이러한 규칙을 데이터베이스화하여 회복조치 분석을 자동화할 수 있다.

2.3.3 고장수목의 순환논리 분석

KIRAP 은 순환논리를 가진 고장수목을 순환논리가 삭제되면서도 원래의 것과 같은 논리를 가진 고장수목으로 변환하여 [5] 이를 분석할 수 있다. 이 방법을 이용하면 순환논리를 해결하기 위해 원래의 고장수목을 검토하고 수정할 필요가 없이 정확한 해를 구할 수 있으므로 많은 시간과 노력을 절약할 수 있다. 다음은 순환논리를 가진 고장수목 변환의 예를 나타낸 것이다.

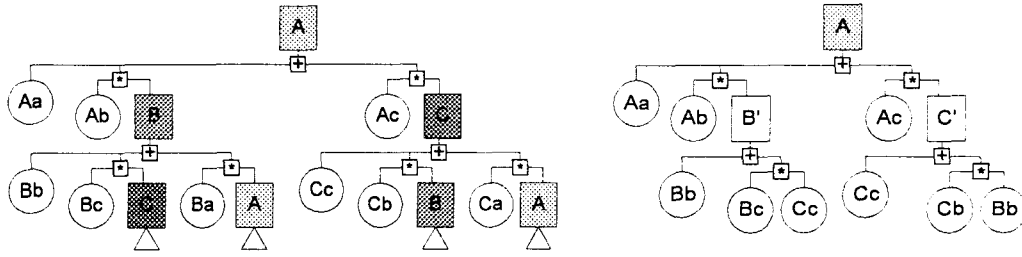


그림 4. 고장수목의 순환논리 변환 방법에

3. 결론

PSA workstation 은 PSA 수행을 쉽고 체계적으로 하기 위하여 개발되었다. PSA workstation은 PSA 모델링, 신뢰도자료들을 유기적으로 연결할 수 있도록 하며, 또한 PSA 정량화에 필요한 모든 업무를 자동화할 수 있는 방법을 제공함으로써, PSA 의 수행은 물론 민감도 분석등에 필요한 많은 시간과 노력을 줄여줄 수 있다. 또한 PSA workstation 의 데이터베이스 및 정량화 엔진은 PSA 응용 소프트웨어 개발의 기초로도 이용될 수 있다. 안전성에 기초한 원전의 일일운전 관리용 리스크 모니터와 같은 living PSA 용 소프트웨어등이 최근 개발되고 있으며 PSA workstation 은 이들의 계산 엔진으로 사용될 수 있다.

참고문헌

1. S.H.Han, T.W.Kim and C.K.Park, KIRAP Release 2.0 User Manual, KAERI/TR-361/93, KAERI, 1993
2. PSA Application Guides, EPRI TR-105396, EPRI, 1995.
3. 원자력 안전성 향상 연구 - 2단계 PSA 기술개발, KAERI/RR-1491/94, KAERI, 1995
4. 원자력 안전성 향상 연구 - 1단계 PSA 전산체제 개선, KAERI/RR-1487/94, KAERI, 1995
5. J.E. Yang, et.al., The Analytic Solution of the Logical Loop between the Support Systems in the Fault Tree Model, Proceedings of PSA 95 held on Seoul, Korea, 1995, Nov. 27 - 30