

원자력 발전소 인간 신뢰도 분석 시스템 개발

김승환^o 강대일 정원대

한국원자력연구소

{kimsh^o, dikang, wdjung}@kaeri.re.kr

The Development of a HRA calculator of nuclear power plants

Seung Hwan Kim^o, Dae Il Kang, Wondea Jung,

Korea Atomic Energy Research Institute

요 약

원자력발전소의 정량적 위험성 평가를 위해서 확률론적 안정성 평가 기법이 이용되고 있는데, 이를 위해서는 여러 가지 분야의 다양한 신뢰도 데이터가 필요하다. 이러한 신뢰도 자료 중에 인간의 지각 행위 및 수행 행위로부터 발생하는 인적 오류 확률은 그 특성상 실질적이 오류 확률을 얻기가 매우 어렵다. 그래서 인적 오류 확률을 구하기 위해서는 인간 신뢰도 분석 분야의 전문가들이 제안한 인간 신뢰도 분석 방법을 이용하여 인적 오류 확률을 추정한다. 한국 원자력 연구소에서는 이를 위해 인간의 지각 및 수행 행위에서 야기되는 인간 오류 사건을 관리하고 인적 오류 확률을 추정하기 위한 인간 신뢰도 분석 시스템을 개발하고 있다. 본 연구에서는 인간 신뢰도 분석 시스템의 개발 과정에 관하여 기술하였다.

1. 서 론

정량적 위험성 평가를 위해서는 초기사건빈도, 기기고장을 및 인적오류확률 등 여러 가지 신뢰도 자료가 필요하다. 초기사건 빈도나 기기고장은 기기의 운전, 고장 및 보수 자료를 분석하여 얻어지나, 인적오류확률은 그 특성상 실제 오류 데이터를 얻기가 매우 어렵다. 따라서 인적오류확률은 전문가들이 제안한 인간 신뢰도 분석(Human Reliability Analysis : HRA) 방법을 이용하여 오류확률을 추정한다. HRA방법은 여러 가지가 있으나 대부분 원자력발전소 위험성 평가를 위해 제안된 것들이다.

HRA란 작업자가 미리 정의된 직무를 수행함에 있어서 성공적으로 작업을 종료하지 못하는(기대하는 결과를 얻지 못하는) 작업 실패(오류) 확률을 정량적으로 분석하는 작업이다[1]. 여러 가지 방법이 있지만 THERP[2]나 ASEP HRA[3]방법이 가장 널리 사용되는 것 중 하나이다. ASEP HRA 방법은 THERP의 단순화된 방법으로서, 분석에 많은 시간과 전문적 경험을 필요로 하는 THERP의 단점을 보완하여 개발된 방법이다. 한국 원자력 연구소에서는 국내 원자력 산업체에서 많이 사용되는 ASEP HRA 방법을 기초로 하여 확률론적 안전성 평가(Probabilistic Safety Assessment : PSA) 품질 향상의 한 부분으로서, PSA 불확실성의 주요 요소로 꼽히고 있는 인간 신뢰도 분석의 절차와 규칙들을 표준화 하는 연구가 수행 중에 있으며, 이를 위해 인간 오류 사건들을 관리하고 인간의 진단 오류 확률 및 수행 오류 확률을 계산하여주기 위한 HRA 계산 지원 도구를 개발하고 있다. 이 논문은 HRA 표준화 방법론 및 분석 지원 도구의 개발에 대하여 기술하였다.

2. HRA 표준화 방법

인간 신뢰도 분석의 절차와 규칙들을 표준화하기 위하여 개

발한 인간 신뢰도 분석 표준화 방법론에서는 인간 오류 확률을 크게 진단 오류 확률부와 수행오류확률부의 2가지 단계로 나누어서 구분하였다. 그리고 인간의 수행 직주는 크게 사고전(일상) 인간 오류 사건과 사고후(비상) 인간 오류 사건으로 구분하였다. 사고전 인간오류사건은 테스트, 보수, 교정등과 같이 일상 운전 상태에서 주기적으로 수행하는 직무로부터 발생하는 인간 오류를 의미한다. 일반적으로 주기적으로 수행하는 직무는 절차서 혹은 사전 계획된 작업으로 구성되기 때문에 진단 오류로 인한 사고 발생의 가능성은 무시할 수 있을 정도로 작다고 말할 수 있다. 그러므로 사고전 인간 오류 사건에 있어서 진단 오류 경우는 고려하지 않았다. 사고후 인간 오류 사건의 경우는 인간의 행위, 진단, 수행 업무 모든 면의 분석이 필요하다. 인간 행위 모델에 의하면 표준화 방법은 사고전 초기사건 HFE (Human Failure Event: 인간오류사건)와 사고후 초기사건 HFE의 두 가지로 구분하였다.

먼저 인간의 진단오류확률(Human Error Probability : HEP for diagnosis)은 다음과 같이 정의 할 수 있다.

$$\begin{aligned} \text{HEP(D)} &= \text{Basic HEP(D)} * M \text{ (weighting factor)} \\ \text{where, Basic HEP(D)} &= f \text{ (diagnosis available time)} \\ M &= f \text{ (MMI, education/training, procedure)} \end{aligned}$$

또한 수행오류확률(HEP for execution)은 다음과 같이 정의 할 수 있다.

$$\begin{aligned} \text{HEP(Ei)} &= [\text{Basic HEP(Ei)} * \text{HEP(R)}] \\ \text{where, Basic HEP(Ei)} &= f \text{ (task type(i), stress level(i))} \\ \text{HEP(R)} &= f \text{ (recovery potential (i) by supervisor or} \\ &\quad \text{worker himself)} \end{aligned}$$

표준화된 HRA방법은 HRA수행에 있어서 필요한 모든 종류의 규칙 및 의사 결정 정보 들을 명시적으로 포함하고 있다.

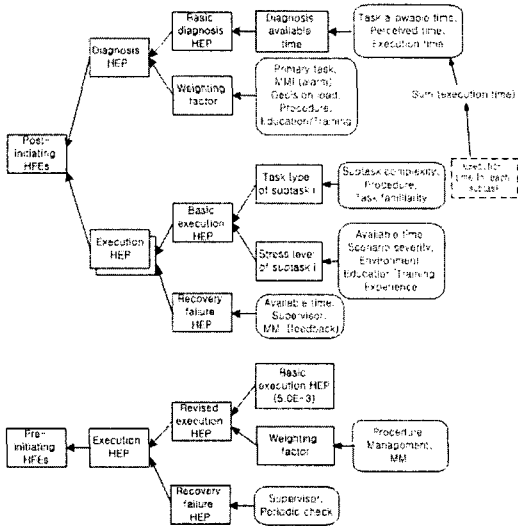


그림 1 표준 HRA 방법론 구성도

3. HRA 분석 지원 도구의 설계 및 구현

본 연구에서 개발된 표준 HRA 방법을 이용하여 HRA 분석을 수행하기 위한 HRA 분석 지원 도구를 개발하였다. 현재 표준 HRA 방법을 이용하여 HRA 분석을 수행하기 위해서는 그림2와 같은 자료 입력 양식을 이용하여 자료를 입력하고, 이를 기초로 HRA 분석을 수행한다. 그림에서 보듯이 같이 HRA 기본사건에 대하여 분석에 필요한 기본 정보 및 진단 관련 정보 그리고 수행 관련 정보들을 입력하고 이를 기초로 인간 오류 확률 (HEP)을 계산한다.

표 1. HRA 입력 양식																	
기본 정보	<table border="1"> <tr> <td>이름</td> <td>이름</td> <td>직업</td> <td>직업</td> </tr> <tr> <td>성별</td> <td>성별</td> <td>직무</td> <td>직무</td> </tr> <tr> <td>직무</td> <td>직무</td> <td>직무</td> <td>직무</td> </tr> <tr> <td>직무</td> <td>직무</td> <td>직무</td> <td>직무</td> </tr> </table>	이름	이름	직업	직업	성별	성별	직무	직무	직무	직무	직무	직무	직무	직무	직무	직무
이름	이름	직업	직업														
성별	성별	직무	직무														
직무	직무	직무	직무														
직무	직무	직무	직무														
진단 정보	<table border="1"> <tr> <td>진단 정보</td> <td>진단 정보</td> <td>진단 정보</td> <td>진단 정보</td> </tr> <tr> <td>진단 정보</td> <td>진단 정보</td> <td>진단 정보</td> <td>진단 정보</td> </tr> <tr> <td>진단 정보</td> <td>진단 정보</td> <td>진단 정보</td> <td>진단 정보</td> </tr> <tr> <td>진단 정보</td> <td>진단 정보</td> <td>진단 정보</td> <td>진단 정보</td> </tr> </table>	진단 정보	진단 정보	진단 정보	진단 정보	진단 정보	진단 정보	진단 정보	진단 정보	진단 정보	진단 정보	진단 정보	진단 정보	진단 정보	진단 정보	진단 정보	진단 정보
진단 정보	진단 정보	진단 정보	진단 정보														
진단 정보	진단 정보	진단 정보	진단 정보														
진단 정보	진단 정보	진단 정보	진단 정보														
진단 정보	진단 정보	진단 정보	진단 정보														
수행 정보	<table border="1"> <tr> <td>수행 정보</td> <td>수행 정보</td> <td>수행 정보</td> <td>수행 정보</td> </tr> <tr> <td>수행 정보</td> <td>수행 정보</td> <td>수행 정보</td> <td>수행 정보</td> </tr> <tr> <td>수행 정보</td> <td>수행 정보</td> <td>수행 정보</td> <td>수행 정보</td> </tr> <tr> <td>수행 정보</td> <td>수행 정보</td> <td>수행 정보</td> <td>수행 정보</td> </tr> </table>	수행 정보	수행 정보	수행 정보	수행 정보	수행 정보	수행 정보	수행 정보	수행 정보	수행 정보	수행 정보	수행 정보	수행 정보	수행 정보	수행 정보	수행 정보	수행 정보
수행 정보	수행 정보	수행 정보	수행 정보														
수행 정보	수행 정보	수행 정보	수행 정보														
수행 정보	수행 정보	수행 정보	수행 정보														
수행 정보	수행 정보	수행 정보	수행 정보														

그림 2 HRA 입출력 양식 (분석예)

본 연구에서는 위와 같은 HRA 표준 방법에 따른 인간 신뢰도 분석을 하기 위해, 입력 변수별 항목 및 입력값, 입력 규칙, 결정 규칙 등을 검토 하였으며, 각 항목간 연관성을 파악하였다. 이를 기초로 DB 구조 설계하여 진단오류 및 수행오류 테이블 생성하였고 이를 구현하기 위한 전산 프로그램을 개발하였다.

3.1 SW 설계 요건 정의

HRA 표준 방법을 지원하는 전산 프로그램 개발하기 위한 소프트웨어 설계 요건은 다음과 같다.

- HEP 계산 자동화 : HRA의 수행에 각종 정보(진단정보, 수행정보)들을 DB화하고 세부 직무별 입력 값에 따라 오류(진단, 수행)확률을 자동 계산하여 평가
- 정보 DB화 : 분석에 사용된 모든 정보 DB화하고 분석 시 필요한 항목별로 제공
- 분석 표준화 : 분석 과정과 입력 선택의 전산 지원을 통해 분석의 표준화
- 문서화 및 QA : 분석 입력과 기술근거 및 분석 결과를 문서화하고 보고서 형태에 맞게 결과 출력
- 전출력/정지저출력 사고전/사고후 분석 기능 제공

3.2 데이터베이스 구조 설계

그림2의 HRA 입출력 자료를 토대로 분석한 결과 HRA 분석 지원 도구의 데이터베이스에 진단오류 및 수행오류의 큰 두개의 틀을 기준으로 각각의 하부테이블을 구성하였다. 구성된 데이터베이스 테이블은 기본인간오류사건(HFE) 테이블, 진단인간오류(HE) 테이블, 수행인간오류(HE) 테이블, 그리고 수행인간오류 테이블의 하부 테이블인 단위 작업 테이블이다. 먼저 기본 HFE 테이블은 인간오류사건의 기본적인 정보들을 저장하고 있으며, 진단인간오류 테이블은 진단과 관련된 정보를 저장하고, 수행인간오류 테이블은 수행 업무와 관련된 정보 및 수행 업무를 세분화한 세부 단위 작업에 대한 정보들을 저장하고 있다. 각 테이블들에 저장되어야 하는 필수 항목 들은 다음과 같이 정리 하였다.

[기본인간오류사건]

- 사건정보(사건명,설명,종류등)
- 시나리오(사건시나리오,사건진행순서등)
- 직무정보(직무번호,직무절차서등)
- 보고사항(분석자,분석일,검토자,검토일,참고사항등)

[진단인간오류]

- 진단여유시간
- 경보(시간,인시간등)
- 보정값(MMI,결정부담감,교육/훈련수준,절차서수준등)

[수행인간오류]

- 기본정보(교육/훈련수준,절차서수준등)
- 단위작업(작업명,작업자,작업도구,작업장소등)
- 단위작업상세(복잡도,절차서수준,작업전속도등)

-스트레스수준(허용시간,시나리오중요도,작업환경, 위험성, 교육훈련수준등)

그림3은 인간 신뢰도 지원 시스템의 데이터베이스 구성 관계도이다. 그림에서 보는 바와 같이 사건번호(EventID)를 기본키로 사용하여 입력 자료 간의 유일성을 확보했으며, 다른 테이블 간에 관계설정의 조인키로 사용하였다.

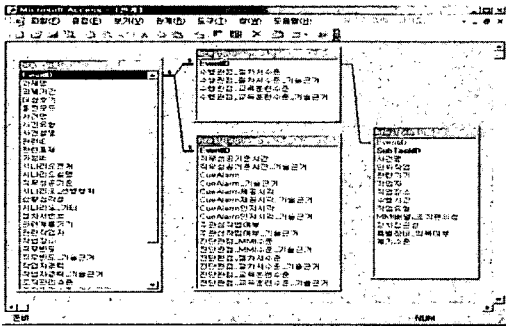


그림 3 데이터베이스 테이블 구성 관계도

3.2 HRA 분석 지원 전산 프로그램 개발

HRA 분석 지원 전산 프로그램은 다음과 같이 구성하였다. 즉 사건 정보를 총괄 관리하기 위한 HRA 이벤트 관리자 및 각 이벤트에 대하여 기본 사건 정보, 진단 오류 정보, 수행 오류 정보를 별도의 모듈로 구성하여 자료를 입력하도록 구성하였고, 입력된 자료로부터 평가된 오류 확률을 계산하도록 구현하였다.

3.2.1 이벤트 관리자

이벤트 관리자는 이벤트 생성/수정/삭제/복사 기능을 갖고 있으며 간단한 정보를 직접 수정할 수 있도록 구현하였다. 이벤트 관리자를 통하여 사용자가 분석하고자 하는 이벤트를 선택한 후, 이벤트 에디터에서 기본사건에 대한 상세 자료들을 수정할 수 있다.

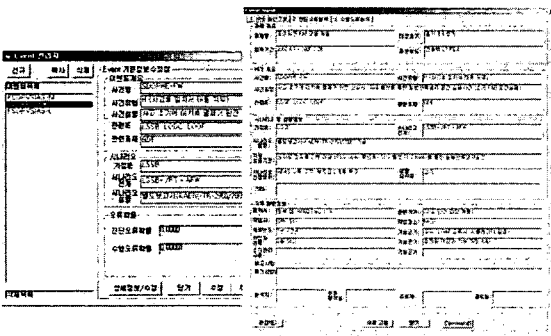


그림 4 이벤트 관리자 및 기본 정보 입력

3.2.2 인간 신뢰도 분석 모듈

인간 신뢰도 분석 모듈은 인간 오류사건의 기본 정보관리 및 진단오류입력 및 진단오류계산을 위한 진단오류 분석모듈 그리고 수행오류입력 및 수행오류계산을 위한 수행오류분석모듈로 구현하였다.

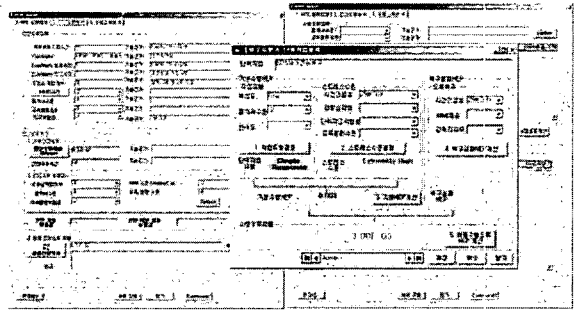


그림 5 인적 오류 분석 화면에 (진단오류+수행오류)

4. 결론

본 논문은 인간 신뢰도 분석을 위하여 한국 원자력 연구소에서 개발한 HRA 표준화 방법과 HRA 분석 지원 도구의 구현에 대하여 기술하였다. HRA 표준화 방법은 업무 수행 절차의 표준화 및 HRA 분석에 있어서 불확실성을 최소화하기 위한 의사결정 규칙 등의 표준화에 초점을 맞추어 개발한 것이다. 이렇게 개발한 표준화 방법은 한국 표준 원전의 확률론적 안전성 평가에 직접 사용하였다. 분석 지원 도구인 HRA 지원 계산기는 현재 구현되어 기능 검증 중에 있다. 개발이 완료되면, 한국 표준 원전 PSA 모델의 인간 신뢰도 분석을 수행하는 분석자들에게 수월한 평가도구로 사용될 것이다.

참고문헌

[1] A. D. Swain, "Accident Sequence Evaluation Program Human Reliability Analysis Procedure", NUREG/CR-4772, S.N.L, 1987
 [2] A. D. Swain and H. E. Guttman, "Handbook of Human Reliability Analysis with Emphasis on Nuclear Power Plant Applications", NUREG/CR-1278, S.N.L, 1983
 [3] 정원대, 강대일, 원자력발전소 인간 신뢰도 표준 방법론 개발, KAERI/TR-2961/2005, KAERI, 2005
 [4] 정원대, 강대일, Developing a standard method for human reliability analysis of nuclear power plants, '05 한국원자력학회 춘계학술발표회, 2005
 [5] 김승환, 인간 신뢰도 분석 시스템 구축에 관한 연구, '05 한국정보과학회 추계학술발표회, 2005