

원전의 인적오류(Human Error)에 대한 분석기법의 개발

장동일 · 이용희* · 임현교**

충북대학교 대학원 · *한국원자력연구소 · **충북대학교 안전공학과

1. 서론

시스템의 안전에 대한 인적오류(Human Error)의 영향은 심각하지만 구체적인 평가는 매우 어렵다. 주로 사용되는 인간신뢰도분석(HRA : Human Reliability Analysis)은 전체 시스템의 위험도에 대한 정량적 평가를 지원하는 데 집중되고 있고, 세부적인 평가는 개별적인 실험이나 사례에 의존하고 있다. 세부적인 평가나 설계 의사결정 과정을 지원하기가 어렵기 때문에, 종합적인 차원에서 인간공학적인 확인 및 검증의 실무가 원활하지 않았다. 이러한 문제의 원인은 인적오류 평가에 활용된 HRA기법의 낙후성과 인적오류 평가가 MMI 설계과정과 잘 연결되지 않은 것이 주된 원인으로 보인다.

이제까지 활용된 HRA기법으로는 THERP, SLIM/MAUD, HCR/TCR, ASEP 등이 있다. 기존 HRA 기법에 대한 주요 현안을 보면, 먼저 PSFs의 처리가 제한적이어서 각 요인에 대한 평가가 상황과 무관하게 고정적이고, 각 영향 요인들의 변화를 민감하게 고려하기 곤란하다. 그리고, 운전 경험에서 확인되는 수행오류(EOC) 가능성에 대한 평가가 불가능하고, 제어실 설계 등 관련 설계분야에 대한 인간공학적인 평가 결과의 제공이 미흡하며, 평가절차의 민감도가 절대적으로 부족하다. 즉, 직무 및 직무 환경 시나리오의 변화에 대한 평가의 변화가 없다.

따라서 본 연구에서는 HRA와 관련된 기존의 기술현황을 분석하여 기법들이 가지고 있는 문제점을 분석하고, 그러한 문제점들의 해결대안으로서 원자력발전소의 인적오류 평가에 활용가능한 새로운 분석기법을 제시하고자 하였다.

2. 인적오류 분석기법의 기술현황분석

2.1 제 1세대 분석방법론

1960년대에 미국 SNL의 A. Swain이 매우 단순한 HRA 기법인 THERP를 제안하고, HRA Handbook (NUREG/CR-1278)을 기초자료로 제시하였다. 이는 군사 및 산업체의 오류 자료를 기반으로 분석 방법과 자료를 종합한 것으로 최근까지 원자력발전소의 안전성 평가에 활용되고 있다. 하지만, 평가를 위한 자료항목이 부족하고, 시스템의 성격에 많은 변동이 있는 최근에 사용하기에는 한계가 있다. 이 외에도 AIPA, OAT 등이 여러 연구자들에 의하여 연구되었는데, 일반적인 보완보다는 주로 특정한 목적을 위해서 제안된 방법들이다. HRA에 관한 기법을 종합한 Dougherty & Fragola(1988)는 시스템 공학적 접근방법을 설명하였는데, 주로 THERP(Technique for Human Error Rate Prediction)에 초점을 맞추었다.

2.2 제 2세대 분석방법론

1세대 분석기법들 중 몇가지는 이론적 배경하에서 개발되었다 하더라도, 대부분은 실제적 필요성에 의하여 개발되었다. 이러한 문제는 방법들 사이의 연관성 결여와 분류체계의 비논리성을 가져온다. 2세대 HRA 방법에서는 인적오류의 발생확률을 추정하는 것을 주 목적으로 하는 1세대 HRA 방법과는 달리, 발생가능한 인적오류를 찾고, 분류하고, 인적오류의 발생구조를 밝히고, 인적오류의 발생원인을 찾음으로써 최종적으로 인적오류의 저감을 위한 대응방안을 수립할 수 있는 결과를 제공해준다. 2세대 HRA 방법들은 작업수행과정의 어느 단계에서 인적오류가 발생했으며, 발생과정이 어떠한지를 분석하는 일반적인 분석방법과 작업자의 인지과정을 고려한 분석방법으로 나눌 수 있다. PHECA(Potential Human Error Cause Analysis), Human HAZOP(Hazard and Operability) 등의 분석방법이 전자에 해당되고, GEMS(Generic Error Modeling System), Rasmussen의 연쇄적 오류모형 등이 후자의 분석방법에 해당된다.

2.3 제 3세대 분석방법론

이제까지 제안된 1,2 세대 HRA 기법들의 주요 한계점을 요약하면 다음과 같다.

- 세부 직무 분할의 배경이 행동 단위(behavioral unit)를 기준으로 하고 있다.
- PSFs의 처리가 제한적이므로, 각 요인에 대한 평가가 상황과 무관하게 고정적이고, 각 영향 요인의 변화를 민감하게 고려하기 곤란하다.
- 평가방법과 평가자에 따른 평가결과의 편차가 심하여 주관적인 요소가 많다.
- 오류 확률의 기초자료가 1960년대 군수산업의 보수관리 분야의 자료를 기반으로, 1980년대에 전문가 평가로 외삽(extrapolation)한 것으로 낙후되어 있다.

최근에는 CREAM(Cognitive Reliability and Error Analysis Method), ATHEANA 등과 같이 여러 가지 차세대 HRA 기법들이 제안되었거나 개발중에 있다. 그러나 아직까지 실무를 통해 인적오류 평가 기법으로서의 효용성이 확인된 사례는 드물다. 여전히 남아 있는 공통적인 문제점이라고 한다면, 운전 경험에서 예상외로 빈번하게 확인되는 수행오류(Error of Commission ; EOC)에 대한 고려가 절대적으로 부족하다는 것이다. ATHEANA 등에서는 EOC에 대한 문제를 집중적으로 다루고는 있지만, 사례를 통해서 발견되는 극히 제한된 상황에서 발생가능한 오류만을 다루고 있기 때문에 좀 더 일반적인 상황으로의 확대가 필요하다.

3. 새로운 인적오류 분석 기법의 제안

기존의 인적오류 가능성 평가가 드러내는 한계점과 현안을 해결하기 위하여 새로운 인적오류 분석 기법을 제시하였다. 종합적인 오류 가능성 분석에는 개인적인 원인에 의한 오류, 기기 오류 및 파급 오류, 계통 및 기기 파급 오류, 조작 행위 오류(Slip), 의사결정(인지) 오류, 의사소통 및 조직 오류, 문화 및 배경적 원인의 오류 등이 포함되어야 하나, 본 연구에서는 제어실 기기 오류 및 파급 오류에 대하여 집중적으로 분석체계를 제시하였다.

제어실 기기 관련 오류 가능성 평가란 제어실에 도입된 기기의 오류 및 기기의 특성

과 한계에 의하여 과급된 인적 오류의 가능성을 파악하는 과정을 의미하는 것으로 다 기능이 복합적으로 집약된 MMI기기의 특성과 기기 환경요소 특성이 운전원의 인지 및 신체특성 요소와 불일치할 경우, 특정한 운전원의 오류를 유발시킨다는 개념이다.

기기의 안전성 평가에서는 아무런 결함이 없는 기기라고 하더라도, 기기자체의 특성이나 한계에 의해 예상치 못했던 행위를 운전원들이 하는 경우가 있다. 즉, 운전원 자신들도 의도한 것은 아니지만, 잘못된 조작이나 행위가 관측되는 경우가 자주 발생한다. 이러한 예가 시스템의 한계를 넘지 않는 범위에서 발생하고, 운전원들이 실행과 오류(try and error)를 반복하면서 대처능력을 증가시키는 경우에는 문제가 없지만, 이러한 모든 행위의 결과가 시스템의 한계범위 내에서만 발생하지는 않는다는데 문제가 있다. 즉, 이러한 행위들 중 일부는 예상된 것과는 전혀 다른 결과를 초래할 수도 있다. 그림 1은 이와 같은 인적오류의 전개 개념을 나타낸 것이다.

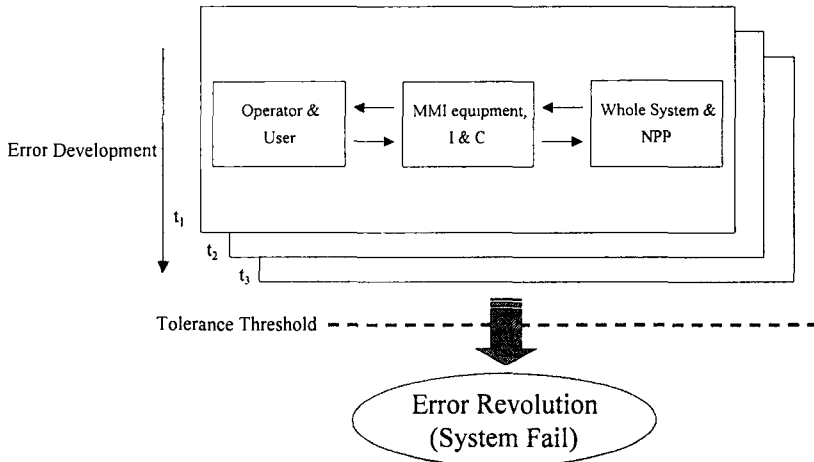


Fig. 1 The Concept of Human Error Revolution

제안된 분석절차의 기본적인 구조는 FMEA를 접목한 것이다. 즉, 특정 절차단계에서 수행해야 하는 직무를 기술하고, 그러한 직무를 수행하기 위하여 조작하여야 하는 기기에서 발생가능한 기기의 특성이나, 한계를 기술하였다. 그리고 그러한 특성과 한계 때문에 운전원이나 사용자가 기기에 대해서 조작 및 사용을 통해 취할 수 있는 모든 행동을 기술하였다. 결국, 이러한 결과는 기기의 특성에 기인하여 발생 가능한 인적오류들을 차례로 열거하는 Human FMEA의 일종이라고 할 수 있다.

도출된 오류 가능성에 대한 정량화는 정성적인 분석 결과를 전체 안전성 판단에 결합하여 다른 분야에서 쉽게 이해하고 활용할 수 있도록 하는 과정으로 반드시 수행되어야 한다. 제안된 기법은 기기설계에 의해 유도된 새로운 오류 가능성을 분석한 것이므로 적절한 기본 자료가 존재하지 않는다. 따라서, 현재로는 오류 가능성에 대하여 전문가 집단의 합의에 의한 평가만이 가능하다. 정량화는 4가지의 정량화 기준에 따라 0.5, 0.1, 0.01, 0.001 등 명목치(nominal value)를 부여하는 방식으로 평가한다. 이는 전

체 HRA 및 PSA 과정은 물론 HSI 설계자들의 판단과 결합하여 중요하지 않은 오류 가능성이 screening되는 과정을 반복적으로 거치도록 제안된 것이다.

4. 결 론

제안된 인적오류 평가 기법은 EOC 등 보다 실질적인 오류 가능성의 범위를 포함하도록 하여, HRA에서 필요한 오류확률은 물론 설계 과정에 활용 가능한 정보를 도출할 수 있다. 또한, 어떤 직무에 대한 일회적인 평가로 끝나는 것이 아니라, 다시 분석의 초기 단계로 순환하여 누적 또는 파급된 오류 가능성을 분석할 수 있다. 따라서, 누적 및 파급 오류에 대한 효과적인 분석이 가능하도록 동적인 분석체계가 보완되어야 한다. 또한, 본 연구에서 제안된 방법은 제조물 책임 분야의 제품 오사용 평가 등 제품 안전성(Product Safety) 평가에도 적용 가능할 것으로 판단된다.

참고문헌

- [1] CEC, Human Factors Reliability Benchmark Exercise, EUR 12356 EN, 1988.
- [2] Hollnagel, E., CREAM : Cognitive Reliability and Error Analysis Method, 1997.
- [3] Kirwan, B., Human Reliability and Safety Analysis Handbook, 1992.
- [4] Swain, A.D., Accident Sequence Evaluation Program Human Reliability Analysis Procedure, NUREG/CR-4772, A.N.L., 1987.
- [5] U. S. NRC, Technical Basis and Implementation Guidelines for ATHEANA, NUREG-1624, 1998.
- [6] Yong H. Lee, Facilitating HRA through the Input from HSI Design, The 2nd OECD/NEA Workshop on Building the New HRA, 2002.
- [7] 이용희 외, 첨단 제어실 기기 도입을 위한 인적오류 가능성 검토, KINS 첨단 계측 제어 Workshop, 2000, 한국원자력안전기술원, 2000.