《論　壇》

Journal of the Human Engineering Society of Korea
Vol. 1 No. 1 June 1982

原子力 発電所와 人間工学에 관한 概念的 分析
(Human Engineering in Nuclear Power Plants)

張 舜 興 (한국과학기술원교수, 工博)

1. 머 릿 말

현재 우리나라는 증가하는 전력 수요를 충당하기 위하여 原子力 発電所 건설에 박차를 가하고 있으며, 이미 加圧硬水路를 8기, 가압重水路를 1기 도입하였고 앞으로도 더욱 더 많은 원자력 발전소가 건설될 예정이다. 원자력 발전소는 상당한 양의 核 물질을 포함하고 있으며, 事故時 상당량의 放射線을 累出할 가능성이 있으므로 원자력 발전소의 安全性 확보는 원자력 발전에 있어서 무엇보다도 우선되어야 하는 중요한 과제이다.

더우기 원자력 발전소는 인류가 만든 가장 규모가 크고 복잡한 공장이기 때문에 원자력 발전소를 안전하게 운전하고 管理하는데 많은 연구과제가 뒤따르고 있다. 원자력 발전소의 事故는 여러가지 원인으로 인한 Hardware적인 고장과 運転者에 의한 人間実手로 야기되어 진다고 가정할 수 있다. 이에 본문에서는 원자력발전소의 안전에 관한 人間実手의 영향과 인간 실수률극소화하기 위한 原子力 発電所의 人間工学的 設計에 관하여 살펴 보고자 한다.

2. 原子力 発電所의 安全에 있어서 人間実手의 영향

미국의 商業用 원자력 발전소의 안전에 관한 중요한 報告書인 WASH-1400[3]이나 P. Samanta의 논문[4]은 인간의 信頼度가 원자력 발전소의 안전에 있어서 가장 중요한 要素의 하나라는 것을 보여주고 있다. 이에 대한 예로 원자력 발전소 사고중 가장 극심한 사고인 炉心溶解 사고를 들 수 있다. 이 사고는 冷却水의 喪実事故, 비상노심 냉각 설비의 고장, 인간실수 등의 結合으로 생길 수 있다.

이 사고의 가능성을 確率的 언어로 요약하면 그림 1에서 볼 수 있는 바와 같이 노심 용해의 가능성은 인간 실수률의 증가에 따라 심각한 증가를 보여준다. 물론 인간 실수률을 아무리 줄여도 Hardward적인 고장률을 줄이지 않고는 노심용해 가능성의 한계 확률을 줄일 수 없다. 방사선 누출에 의한 위험도도 인간 실수률의 증가로 심각하게 증가된다는 결론을 내릴 수 있다.

3. 原子力 発電所에 있어서 人間工学的 결점

인간의 신뢰도를 감소 시키는 실수 요인에 관해서 많은 이론이 있겠지만 대략 종합해 볼때, 個人要因서, 業務要因서, 環境要因서, 등으로 나눌 수 있다. 개인 실수 요인은 학습 정도나, 훈련 경험 부족 및 무의식 또는 과도한 긴장으로 생기는 요인이라 말 할 수 있으며 업무 요인으로는 운전자에 의해서 遂行되는 업무의 복잡성, 과중, 모호함으로부터 온다고 할 수 있고 환경 요인으로써는 과도한 소음, 피로등 물리적 환경과 장비 환경에서 오는 요인을 말한다.

그러나 이러한 요인들은 相互作用으로 일어나며 특히 사고나 비상시에는 이러한 요인이 복잡해지기 때문에 인간 실수 문제는 더욱 더 심한 결과를 가져올 수 있는 것이다.

이러한 인간 실수의 요인들을 줄이기 위해서는 인간·기계 system의 효율적인 改善이 필요하다. 즉 인간의 훈련과 기계를 인간에 맞도록 수정하는 방법이 있다.

인간의 훈련은 운전자 개인에 대한 업무 요구에 맞는 능력을 기르는 것을 의미한다. 그러나 더욱 더 중요한 것은 인간 신뢰도를 극대화하기 위해서는 개인의 능력에 맞도록 설계(기계)가 구성 되어야 한다. 즉 인간의 능력과 그 한

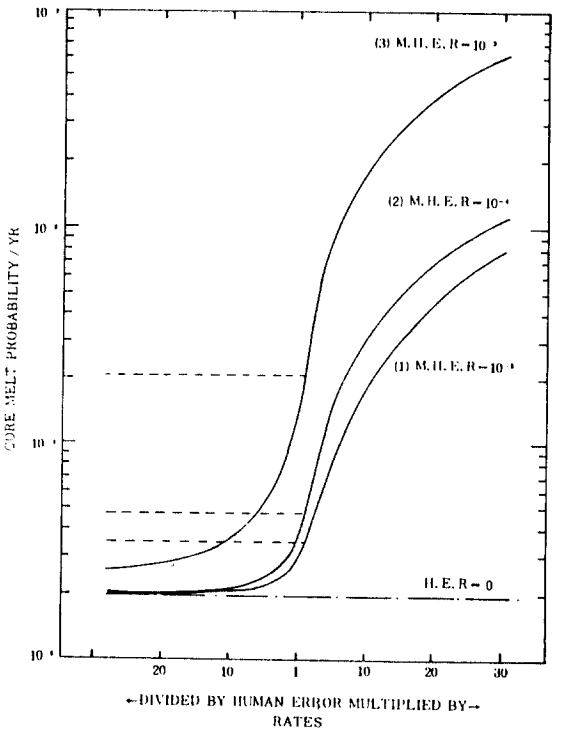

그림 1. 인간실수비(Human Error Rates) 변화에 따른 로심 용해확률 증가

계를 고려하여 장비, 작업, 환경 등의 인간 공학적인 설계가 필요하다.

앞에서 말한 것 처럼 원자력 발전소는 인류가 만든 가장 규모가 크고 복잡한 system이기 때문에 운전자가 운전하고 있는 주 제어실이 경보기, 지시기, 기록기, 기타 각종 스위치, 상황램프 등으로 감당하기 어려운 규모의 크기로 되어 있다. 그러므로 원자력 발전소의 人間工学的 설계는 주제어실의 인간 공학적 설계와 직결된다. 그동안 많은 운전 제어실 설계 전문가및 안전성 관계 전문가들은 현재의 원자력 발전소의 주제어실의 인간 공학적 설계 결핍을 主張하여 왔다.

또한 1979년에 일어났던 현재까지의 원자력 발전소 사고중 가장 위험한 사고였던 TMI사고에서도 주제어실의 인간공학적인 설계 결함으로 사고가 확대되었음이 証明 되었다.

이에 따라 原核規制委員会 는 현재 존재하는 주제어실을 안전성 면에서 재검토하여 결점을 보안하도록 강력히 촉구하였다. 이에 발견된 주제어실의 인간공학적 관점에서 본 중요한 결점은 다음과 같다.

첫째, 현재의 너무 큰 주 제어실은 운전원에게 과도한 시력 요구와 제어기의 조작을 위한 커다란 동작 거리를 필요로 한다. 즉 공간절약을 전혀 고려하지 않았다.

둘째, 주 제어실에 裝置되어 있는 수많은 제어및 指示로서는 발전소 전체의 상태를 살펴야 하며, 가능한 신속 정확한 적절한 결정을 내리고 진단과 예견 능력이 있는 운전자의 資質을요구한다. 能率的인 발전 가동을 위해서는 많은 経験과 고도의 判斷力이 운전자에게 요구되나 이러한 것들은 운전자에게 인간 능력의 한계라는 점에서 상당한 정신적 육체적 부담을 주며, 특히 사고시나 非常時에 커다란 문제점을 가지고 있다.

셋째, 제어실은 대부분 유사한 색과 모양을 가지고 있어서 분간이 불 분명하며 서로 상관되는 요구를 쉽게 구분할 수 없다.

넷째, 한국에 도입되는 주 제어실은 모두 미국, 캐나다, 프랑스 등으로부터 수입품으로 위치 배열에 있어서 서구인 체구에 맞게 되어 있으므로 실제 운전자인 한국인에게는 신체적 어려움을 주고 있다. [1]

4. 人間 工学的 欠乏 보완을 위한 새로운 設計方向

앞에서 서술한 것 같이 원자력 발전소의 주 제어실은 많은 결점을 포함하고 있으며 이에 대한 보완이 절실히 요구되고 있다.

이에, Westinghouse를 비롯한 유명 원자로 제조 회사들은 과거 큰 결함이었던 방대한 크기의 주 제어실을 한 두 사람의 운전자만으로 운전할 수 있도록 연구하여 컴퓨터를 中心으로 한 주 제어실을 제시하게 되었다. 이러한 컴퓨터 중심의 주 제어실의 特徵은 표시 및 지시 방법으로 복잡하게 배치된 지시계나 기록계 대신에 천연색 TV를 사용하여 모든 정보를 운전자에게 전달하여 제어 장치에 명령할 수 있도록 설계하는 것이다. 화면 구성 설계를 위해서 고려해야 할 점은 발전소의 운전을 위한 가장 중요한 정보의 선택, 재래식 제어반에 설치된 계기들에 비해서 보다 신속한 展開方式, 運転員을 위하여 보다 알기쉽게 情報를 줄 수 있는 정보의 Graphic화이다.

제어실의 配例에 있어서도 우선 자주 보아야 하는 정보, 신속한 응답을 필요로 하는 정보는 주 제어실에서 가까운 곳에, 다른 이차적인 機能을 멀어진 거리에 배열해야 할 것이다. 공간적 위치 배열에 꼭 고려해야 할 사항은 한국인의 人体표준을 고려한 설계가 필요하다. 즉 의자 책상의 높이 의자와 제어판과의 거리등 에 관한 最適度를 찾아야 할 것이다.

그러나 컴퓨터 중심의 주 제어실의 問題点은 컴퓨터 자체의 信賴度이다.

컴퓨터 중심의 주 제어실의 전반적인 도입을 위해서 컴퓨터 신뢰도의 충분한 입증을 위한 연구가 필요하다.

5. 맺 음 말

本文을 통해서, 원자력 발전소의 안전성과 인간 실수의 관계, 그 요인들, 그리고 인간 공학적인 주 제어실의 설계와 문제점을 개략적으로 설명하였다. 또한 인간공학적인 결핍을 보안하기 위한 컴퓨터 중심의 주 제어실 설계의 방향과 그 문제점을 제시하였다. 앞으로 원자력 발전소의 안전성 確保와 国産化란 관점에서 인간 공학의 응용은 꼭 이루어 져야 할 것이다.

참 고 문 헌

〔1〕 고병준 외, 원자로 주 제어실의 표준화 개발(Ⅱ), 한국에너지 연구소, 1981

〔2〕 McCormick, N. J, *Reliability and Risk Analysis, Academic* Press, 1981

〔3〕 Nuclear Regulatory Commision, *Reactor Safety Study, An Assessment of Accident Risks in U. S. Commercial Nuclear Power Plants*, NRC Report WARH-1400, October 1975

〔4〕 Samanta P, "Sensitivity of Risk Parameters to Human Error for a PWR", *Human Factors, 1980*