

# 原子力發電에서의 人的要因

美國 TMI原電事故를 계기로 人的要因(Human Factors)에 대한 관심이 높아졌다. 다음은 Nuclear News誌 6月號에 게재된 人的要因의 어제, 오늘 및 내일에 대한 概觀이다.

人的要因(Human Factors)은 학문적으로는 인간과 우리들이 창출한 기술간의 인터페이스(Interface)를 연구하는 분야이다. 인간의 정신적, 육체적 및 심리적인 특성, 능력 및 한계를 우리가 사용하고 있는 기계와 결부시켜 그 상호작용을 연구하는 것이다.

“인적요인”(Human Factors)이라는 말은 미국에서 주로 사용되는 것으로 미국을 제외한 나머지 나라에서는 “인간공학”(Ergonomics)이라고 부르고 있다. 인적요인분석전문가들은 인간공학전문가들과 같은 교육을 받고 같은 연구활동에 종사하고 있는데, 그들의 연구활동에는 다음과 같은 것이 포함된다.

- 의학분야 : 인체의 생물역학, 신체적 선택 조건, 물질의 사용과 남용 효과.
- 환경분야 : 환경요인에 적응할 수 있는 육체적 및 정신적 여유도, 안전성, 보호장비 및 설비, 작업능률을 향상시킬 수 있는 환경의 변화.
- 맨·머신인터페이스(Man-Machine Interface) : 인간의 능력과 그 한계; 설비, 제어 장치, 표시기 설계; 성능의 신뢰성.
- 교육훈련 : 방법, 수단, 장비, 시뮬레이션의 필수조건과 특성, 훈련에 소요되는 자원의 필수 조건.
- 인원의 필수조건 : 직종 분류와 종업원 선발, 인력과 경력의 관리, 직무분석 및 직무수행

을 위한 필수조건, 기능 및 자격시험방법.

· 기구조직상의 요인 : 기구개편의 관리, 조직관리 및 직무분석, 생활사이클 분석.

간단한 인적요인문제란 사용자/운전원들이 기계와 그 부속기기 및 계장설비를 사용할 때에 (또는 사용계획을 세울 때에) 그들의 입력만이 요구되는 문제를 말한다.

한편, 복잡한 문제란 특성, 인체역학, 신체측정학 또는 그외 전문분야를 이수하고 특별한 지식이 요구되는 문제를 말한다.

## 歷史的 背景

약 150년 후에 화학공업의 자동화로 이어진 산업혁명의 기계화는 인적요인의 연구를 촉진시키는 계기가 되었다. 이러한 연구의 최대관심사는 신체측정학, 생리학적 작업환경, 감각기관의 능력 등이었다. 1970년대초 미국에서 인적요인에 관한 지식을 가장 고도로 이용한 분야는 방위 산업과 우주산업이었다.

상업용 원자력발전소에 대해서는 인적요인에 관한 지식이 별로 많이 이용되지 않았다. 그러나 1970년 중반에 Haas씨가 원자력발전분야의 인적요인에 대한 관심과 활동의 3번의 물결이라고 일컬었던 것중의 첫번째 물결이 일기 시작했다. 이러한 활동은 1979년에 급격히 증가해 원자력

발전분야를 인적요인의 연구와 그 적용대상으로 삼게 되었다.

첫번째 물결은 WASH-1400 원자로안전성연구보고서가 나왔을 때 시작되었다. 주요과제는 컨트롤룸의 설계, 신뢰성 및 리스크평가였다. 연구는 조용한 가운데 꾸준히 진행되었다. 컨트롤룸 설계에 관해서는 두곳에서 독립적인 연구가 이루어졌는데 한곳은 전력연구소(EPRI)이고, 또 한곳은 미국원자력규제위원회(NRC)였다.

이 연구는 Swain씨의 너무나 정확했던 예언이 계기가 되었는데, 그 예언이란 컨트롤룸 제어반의 설계와 그외의 Man-Machine Interface가 안전설비를 무용지물로 만들 수 있는 인적과실의 가능성을 높인다는 것이었다. 조사 결과 많은 설계결함이 발견되었으나 여러가지 이유 때문에 별로 변경이 가해지지는 않았다. 인적요인 문제에 대한 관심은 점차 높아졌으나 아직도 보통수준에 머물러 있었다. 그러나 관심의 초점은 컨트롤룸의 설계문제였다.

1979년 3월 28일에 일어난 TMI사고로 인적요인문제에 대한 관심이 갑자기 높아져 최대관심사가 되었다. 이 사고의 주요원인이 설계, 건설, 운전, 훈련, 교신, 보수 등의 모든 부분을 뛰어넘어 인적요인에 있었다는 것이 거의 공통된 의견이었다. NRC는 인적요인문제에 대해 특별한 계획을 세웠다. 두번째 물결이 일기 시작한 것이다.

“

*TMI원전사고의 주요원인이 설계, 건설, 운전, 훈련, 교신, 보수 등 모든 부분을 뛰어넘어 인적요소에 있었다는 것이 거의 공통된 의견이다.*

”

이 두번째 물결은 풍부한 자금, 많은 논쟁, 대립과 경쟁, 편의주의, 취합과 목표의 결여 등으로 특징지을 수 있다.

컨트롤룸 설계에 대한 관심은 계속되고 그 범위도 확대되어 운전원의 역할, 정보 피드백의 개

선, 품질보증의 개선, 인적 신뢰성과 과실 메카니즘의 분석, 열응력의 방지, 예방보수, 발전소경보장치, 훈련(직무분석 및 시뮬레이터 포함), 숙련도 평가 등도 포함하게 되었다. 원자력발전 운전협회(INPO)와 같은 기관들이 운전원의 안전과 신뢰성에 역점을 두면서 건설과 운전의 품질을 향상시키기 위해 형성되었다.

세번째 물결은 1986년에 NRC내에서 인적요인문제를 맡고 있던 부서가 해산됨으로서 시작되었다. 인적요인문제에 대한 지배적인 관심이 끝난 것이었다. 그러나 여기에서 “모든 것이 고정되었다”는 것과 “인적요인문제는 아직 충족되지 않은 많은 문제들이 남아 있다”는 두가지의 자가모순적인 감정이 일어난 것 같다. 그러나 물론 전자 보다는 후자가 맞는 말이라는 것은 분명하다. 이것은 많은 사람들이 그렇게 보고 있으며 현재 인적요인에 관한 작업은 낮은 페이스지만 꾸준히 발전을 계속하고 있다.

## 오늘의 人的要因問題

현재 원자력발전회사의 종업원과 관리자들이 접촉하고 있는 인적요인문제전문가들은 대부분 작업환경분석분야에 종사하고 있는 인적요인문제전문엔지니어들이다. 인적요인문제전문엔지니어들은 설계의 적합성, 공구이용 가능성, 절차의 적합성 및 훈련의 적합성 등을 작업환경의 성격과 결부시켜 평가하는 것이다. 즉, 사람들이 그들의 능력을 최대한 발휘할 수 있도록 작업환경이 되어 있는지를 가려내는 것이다.

작업환경이 그 작업에 적합한지를 알아보기 위해서는 어떠한 작업을 어떻게, 누가, 언제, 왜 했는지에 대한 작업분석자료를 참고하지 않으면 안된다. 작업환경분석에는 많은 요인들이 평가대상이 되는데 여기에는 다음과 같은 것이 포함된다.

- 표시기 및 제어기류: 주어진 작업을 수행하는데 필요한 모든 정보에 쉽게 접할 수 있고, 또 이것들이 잘 표시되어 있는지, 또한 이러한 제어장치들이 예상한 대로 동작하고 있는지?

- 작업장소(실제의 작업환경): 작업장소가 편

리하게 꾸며져 있고, 작업에 지장이 없도록 충분한 여유공간이 마련돼 있는지? 작업장소가 불필요한 이동이나 이동거리를 최소화할 수 있도록 설계돼 있는지? 필요한 구역에 난방/환기/공기조절(HVAC)설비가 갖추어져 있는지? 모든 상황에서 일을 수행하는데 지장이 없도록 충분한 조명이 되어 있는지?

● 보호장비: 보호장비가 필요한 장소 근처에 사용하기에 편리하도록 마련돼 있는지? 이러한 장비들을 사용할 수 있도록 종업원들이 잘 훈련되어 있는지? 작업원들이 보호장비를 입은 상태에서 스위치 손잡이, 제어기, 표시기, 조명기구, 난방/환기/공기조절장치를 사용할 수 있는지? 또한 이것을 확인했는지?

● 작업량과 작업분담량: 스트레스를 많이 받는 상황에서 보통사람의 능력한도내에서 정신적 및 육체적인 작업량을 완수할 수 있도록 설비, 절차, 표시기, 제어기들이 설계되고 잘 표시되어 있는지?

● 시설물의 요구조건: 시설물의 요구조건이 인간의 능력한도내에서 할 수 있는 것인지? 사람에게서 밀고 잡아당기고 들어올리는 등의 작업에서 힘의 한계가 있는 것이다. 표준적인 반응시간이 각개의 많은 시설물에게는 중요한 것이다. 시각과 청각의 한계도 고려되어야 한다. 또한 사람들의 인식능력에도 한계가 있는 것이다.

인간공학(Human Factors Engineering, HFE)적 분석은 어떠한 시스템이나 작업환경이 앞서 말한 기준을 어느 정도 맞출 수 있는지를 평가하는 것이다. 이 분석의 목적은 다음과 같다.

● 설계검토: 이러한 검토는 설계가 끝난 다음에 이루어지는 것이지만, 설계가 아직도 제도판에서 진행되고 있을 때 하는 것이 가장 효과적이다. 설계는 앞서 말한 모든 기준에 따라 그 적합성이 검토되어야 한다.

● 설계확인: 설비모형, 현장답사, 대화 등을 통해 설계의 적합성이 확인되어야 한다.

● 인간공학과의 모순점(HED): 설계가 인간공학적인 면에서 적합하지 않을 때에는 이것을 문서화해 그 모순되는 점들을 재검토해야 한다.

● 인적신뢰성분석(HRA): HRA는 인원선발, 훈련, 작업환경 등의 효과를 그 신뢰성과 결부시켜 평가함으로써 이러한 요인들의 영향을 받는 안전성을 평가하는 방법과 기술이다.

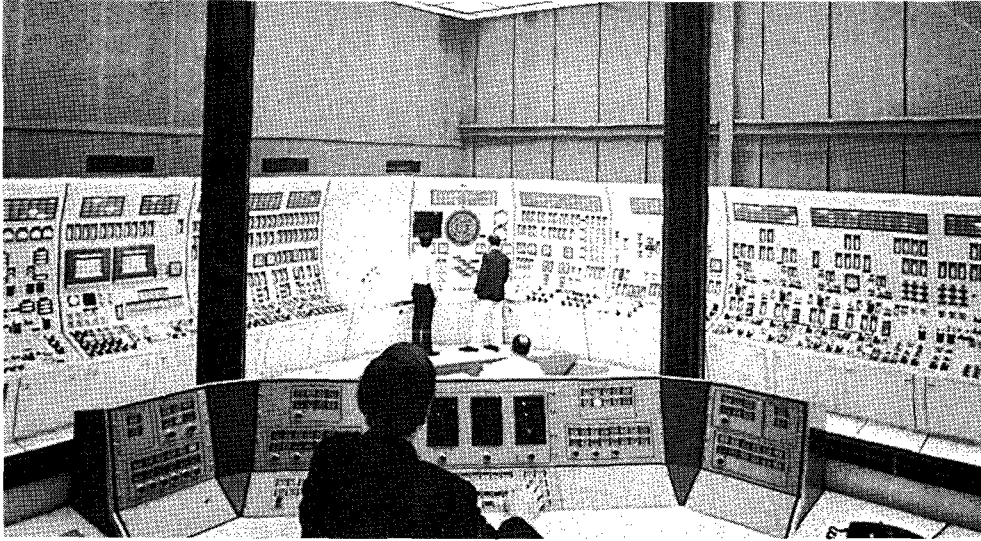
HRA는 사람에 따라 다르게 사용된다. 설계자에게는 HRA는 어떠한 HED가 설계방법의 큰 변화를 필요로 하는 것인지, 어떠한 HED가 작은 변화를 필요로 하는 것인지, 또한 어떠한 HED가 편의대로 처리할 수 있는지를 판단하는데 도움을 주는 것이다.

운전원들에게는 HRA는 특별한 훈련과 실습 또는 특별한 주의를 필요로 하는 중요한 절차와 작업이다. 규제자들에게는 HRA는 전체적인 시스템 안전분석에 도움을 준다. HRA는 작업현장에서의 “불안전한 행동양식”을 가려내서 그 가능성을 판단하는 체계적인 방법이다.

● 확률론적 안전분석(PSA): 높은 위험도 예방기술은 철저한 예방적 설계로 이루어지지만, 이러한 예방조치가 결코 완벽할 수는 없다. 이러한 예방조치에도 언제나 허점이 있기 마련이다. 이러한 허점 또는 “잠재적인 과실”은 설비보수의 실수, 설계결함, 관리기구상의 결함 등에서 오는 것이다. 사람의 실수나 설비고장은 사고의 유발요인인 예방조치상의 허점들이 그대로 넘어가도록 이어지는 경우에는 사고를 가져올 수 있는 것이다. PSA는 이러한 허점을 찾아내 사고유발의 가능성을 예측하는 것이다. HRA는 전체적인 PSA의 일부분이다.

● 리스크 관리: HRA는 리스크관리를 잘 하기 위한 수단중의 하나다. 여러가지 조건과 장소에서 여러가지 일을 할 때 저지르게 되는 인적과실의 발생확률을 예측함으로써 “고쳐야할 시설물”의 우선순위 리스트를 작성할 수 있을 것이다. HED나 사고가 나기 쉬운 상태를 나타내는 리스크(확률 곱하기 사고)는 제안된 보수작업이 비용효과적인 것인지를 판단하는데 도움을 줄 수 있을 것이다.

● 위험도분석: 인간공학적인 방식으로 표현되는 HFE분석은 사람들에 대한 위험분석을 말하며, 리스크관리의 우선순위를 결정하는 방법이다.



“

인적요인분석전문가들에게 요구되는 전문 지식, 기술, 능력 등은 너무나 광범해 어느 한사람이 이 모든 것을 갖춘다는 것은 불가능하기 때문에 인적요인분석은 일반적으로 팀워크로 이루어진다.

”

인적요인분석전문가들에게 요구되는 전문 지식, 기술, 능력 등은 너무나 광범해 어느 한사람이 이 모든 것을 갖춘다는 것은 불가능하기 때문에 인적요인분석은 어떤 형식이 됐든 보통 팀워크로 이루어진다. 이러한 팀은 시스템엔지니어나 분석대상시스템을 잘 알고 있는 사람이 이끌게 된다.

인간공학, 훈련, 디스플레이 설계, 인적신뢰성 분석 등의 기술을 가진 사람들이 이 팀 리더를 지원하게 되는 경우도 있다. 인적요인연구팀을 구성하는데 고려해야 할 점과 이에 필요한 기술과 지식의 종류는 다음과 같다.

- 시스템에 관한 지식: 군계통에서는 해당 시스템을 가장 잘 알고 있는 사람이 이 시스템의 설계, 건설 및 시험에 참여했던 인간공학엔지니어인 경우가 많다. 원자력발전소에서는 해당 시

스템과 그 운전(설계가 아닌)에 대해 가장 잘 알고 있는 사람이 엔지니어, 운전주임 또는 보수주임인 경우가 많다.

- 문서해독력: 좁은 범위의 것에 한정해서 분석한다기 보다는 광범위하게 분석하기 위해서는 이와 관련된 전문용어에 대해 해박한 지식과 이해력이 있어야만 일을 보다 신속하고 쉽게 수행할 수 있게 되고 문서처리도 할 수 있다.

- 상식: 인적요인문제전문가들은 문제를 열심히 분석해서 해결책을 발견하고 이것을 제시했을 때 「이것은 상식적인 것이 아니냐」는 말을 듣고 실망하는 경우가 있다. 많은 인적요인문제는 사실 상식을 적용하지 않는 설계자나 엔지니어에 의해 일어나고 있다. 이외에도 우리의 직관적이고 상식적인 해결방법과 맞지 않는 것이 있다.

- 인간공학적인 관찰: 학술적인 일부 논문들이 잘못 오도하는 경우가 있다. 인적요인문제전문가중에는 계장제어 또는 전기엔지니어로 시작한 사람이 많다. 그들은 인적요인문제를 의뢰받아 이것을 연구했다. 문제를 해결하고 나서 그들 자신이 인적요인문제에 흥미를 느끼고 있다는 것을 발견하고 이에 대한 연구를 계속해 마침내 행동과학학위를 받게 되는 것이다 (많은 사람들이 그렇다는 것은 아니다).

가장 중요한 것은 경험과 인간공학적인 관찰이다. 인간공학적인 관찰은 자기에게 (모든 주위 사람들에게) 이러한 질문을 계속해서 하고 있는 사람들에게서 찾아 볼 수 있다. 즉, 보통 사람이 이것을 사용할 수 있을까? 또는 누군가가 이것을 어떻게 망쳐놓을 수 있을까? 또는 만일 내가 이것을 망쳐놓으려고 한다면 내가 어떻게 하면 되는 것일까? 인간공학적인 관찰이 다른 것과 다른 점은 바로 이러한 접근방법인 것이다.

### 우리는 앞으로 어떻게 해야 할 것인가?

인적요인분석이 우리에게 주는 교훈은 기술이 모든 문제를 해결해 주는 것이 아니라는 것이다. 가장 단순하게 생각한 접근방법으로 모든 것을 자동화한다 해도 인간공학의 필요성이 없어지는 것은 아니다.

우리가 디지털 감시거나 VCR 또는 전문적인 시스템을 보아서도 알 수 있듯이 새로운 기술이 문제를 해결해 준다고 보다는 더 많은 문제를 만들어내는 경우가 있다. 이러한 문제중의 일부는 아주 새로운 것이어서 지금 현재로는 이에 대한 회답이 전혀 없거나 거의 없는 것들이다.

현재 진행되고 있는 연구들은 다음과 같은 것들이 있다. 즉, 가장 효과적으로 컴퓨터 스크린을 사용하려면 이것을 어떻게 설계해야 할 것인가? 전문가가 아닌 사람이 사용할 수 있게 하려면 전문적인 시스템을 어떻게 설계해야 할 것인가? 새로운 디스플레이 시스템이 안전에 영향을 주는 것은 아닌가 등.

이러한 질문들은 실제 있을 수 있는 것으로 이 질문들은 우리가 이전의 모든 질문들에 대해 아직 회답을 하지 않고 있는 상태에서 새로운 기술이 도입된 결과라고 볼 수 있다.

Haas씨의 저서 “제3의 문결”에 의해 소개된 상업용 원자력발전분야에서의 인적요인의 변화는 모든 면에서 긍정적이었다. 인간공학은 한 전문분야로서 성숙했다. 이것은 문제해결에 장기적이고 거시적인 전망을 필요로 한다. 이것은 종합적인 접근방식의 가치를 인정하고 있으며 그 목표와 기대는 보다 더 현실적인 것이다.

하드웨어와 소프트웨어에 대한 관심은 계속될 것이며, 정보시스템과 로봇공학도 흥미로운 분야다. 관리체제의 연구가 인적요인분석에는 불가결한 요소라고 볼 수 있기 때문에 기구조직의 문제도 상당히 흥미있는 문제다. 팀워크와 팀 구성 문제도 연구대상이 될 수 있는 과제다. 사람들에게 의해 저질러지는 여러가지 형태의 불안정한 행동에 대해서도 이를 구분하고 있다. 예를 들면, 직접적인 과실과 잠재적인 과실로 구분하는 것 같은 것이다.

개개인의 차이도 실제적인 관찰의 대상이 되고 있다. 최근까지만 해도 개인간의 차이에 대해서는 제한된 범위내에서 관심을 보여왔으나 실제로 개인 내부의 차이에 대해서는 전혀 주의를 기울이지 않았었다(즉, 물질 사용, 피로, 스트레스, 정신병리학적 요인 등에 의한 어떠한 개인의 행동양식의 변화).

개인내부의 차이에 관한 문제는 직무에 대한 적응력과 교대근무계획을 짜는데 있어 많은 관심의 대상이 되었다. 인간은 Man-Machine Interface면에서는 별로 타고난 재능이 없는 것 같다. 사람들은 변하기 쉬운 특성을 지니고 있는 것으로 보이는데 이러한 변화는 의식적 또는 무의식적으로 일어나고 있는 것이다.

인적요인분석을 필요로 하는 데가 어디인지에 대해서는 미국연구협회의학내의 원자력규제연구를 위한 인적요인연구위원회의 보고서에 가장 잘 요약돼 있다. 이 위원회는 발의, 계획, 관리, 시행, 인간공학 응용 등에 관한 연구를 위한 기구를 마련할 것을 권장했다. 권장한 연구과제로는 사람과 시스템간의 인터페이스 설계, 인원편성, 인간의 능력, 관리기구, 환경규제 등이 있다. 이러한 권고사항이 어떻게 제정될 것인지는 앞으로 두고 보아야 할 일이다.

원자력발전분야에 참여하고 있는 인적요인전문가들은 인적요인분석기능이 앞으로의 원자력 발전에 필수적인 것으로 보고 있다. 그들은 개별적인 연구와 미국원자력학회내의 인적요인연구부에서와 같은 공동연구노력을 통해 원자력발전분야의 인적요인문제는 해결될 것으로 보고 있다.