

폭발성 가스 실린더 교체작업의 인간신뢰성 Human Reliability of Changing Explosive Gas Cylinders

임 현 교

· 충북대학교 공과대학 안전공학과

1. 서론

반도체의 생산공정은 생산제품의 특성상 많은 종류의 위험물과 가스를 이용하는 것이 보통이지만, 자동화가 이루어진 대부분의 작업공정과는 달리, 작업자에 의해 직접 이루어지는 것이 보통이다.

이 때 작업자의 사소한 실수나 과오로 인해 일단 누출 등의 사고가 발생하면, 취급물질 자체의 위험성으로 인해 인명 피해, 화재 및 폭발 등의 2 차 대형재해를 초래할 수 있기 때문에, 반도체 공장의 어느 누구도 그 위험성에 대해 과소평가하지 않는 것이 현실이다.

실제 화학장치산업에서 발생하는 사고 원인에 대하여 미국 보험협회가 조사한 바에 따르면, 작업자의 오조작 및 취급물질의 위험성에 대한 불충분한 인식에 의한 경우가 전체 사고의 1/3 이 넘는 37.2 % 로 보고되어 있다.

또, 가까운 일본에서도 1973 년부터 1975 년까지의 3 년간에만 화학물질 취급공장의 폭발사고가 63 건이 발생하였고, 그 중 인간의 조작 과오에 의한 것이 51 % 를 점하며, 그 대부분은 비정례 (非定例) 작업시나 이상 (異常) 시에 발생했던 것으로 정상작업시에 발생한 것은 단 한 건도 없었다고 보고되었다 [1].

그러므로 작업자의 과오가 얼마나 큰 비중을 차지하는가를 쉽게 알 수 있는데, 이러한 형편은 우리나라도 예외가 아니어서 화학물질을 취급하는 공장에서 발생하는 재해의 약 31 % 가 작업자의 인적과오에 의한 것으로 분석되고 있는 실정이다.

그러므로 이러한 상황에서 반도체 공장의 폭발사고를 예방하기 위해서는 실린더 교체 작업자가 일으킬 수 있는 과오를 예방하지 않으면 안 되는 것이다. 이런 필요성에 따라 본 연구에서는, 반도체 공장에서 가장 위험하다고 판단되는 폭발성 가스실린더의 교체작업을 대상으로 인간신뢰성분석을 행하여, 작업자의 과오확률과 시간압박에 따른 민감도 분석을 행하고, 안전관리 및 교육의 중점사항을 파악하고자 하였다.

2. 가스 실린더 교체작업의 내용

어떠한 사상 연쇄에서 불안전 행동이나 재해를 초래하게 되는 작업요소

를 분석하는 데에는 작업자의 직무분석 (Task Analysis) 으로부터 접근하는 방법이 가장 일반적이므로 [2], 본 연구에서도 SiH_4 이나 PH_3 와 같은 폭발성 물질을 교체하는 작업에 대하여 프로토타입을 설정하고, 이를 24 단계의 직무로 세분하여 직무분석을 수행하였다.

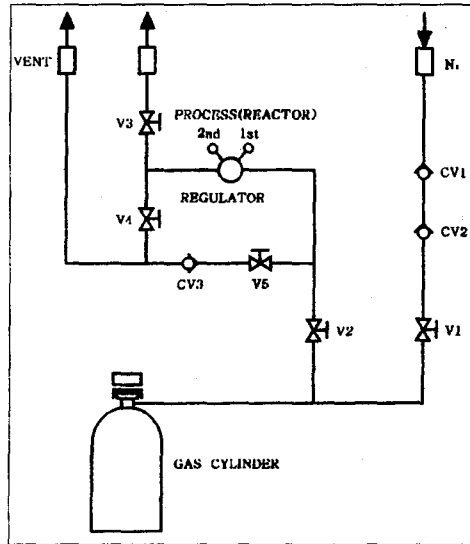


그림 1 간략화된 가스투입구의 구조

3. 인간신뢰성분석

인간신뢰성 분석방법은 De_BDA (Detailed Block Diagram Analysis) 를 이용하였다. 이 기법은 Swain 과 Guttman 이 원자력발전소의 안전문제 연구에 적용하였던 THERP 기법을, 직무분석이나 인간 신뢰성 계산에 적용하기 쉽게끔 行待茂生 등이 묘사적인 기호를 첨가한 것으로서, 화학 플랜트의 밸브교체작업이나 [3, 4], 산업용 로봇의 교시작업의 안전성평가에도 이용된 적이 있다 [5].

구체적인 분석내용으로는, 세분화된 직무들을 대상으로 Swain 과 Guttman [6] 의 의존성 모형 (Dependence Model) 에 입각하여 현장 근로자들과의 직접면담을 통하여 각 작업요소들간의 상호 연관관계를 파악하고, 여기에 기본적인 인간의 과오확률을 대입하여 교체작업의 실패확률의 상한과 하한의 범위를 추정하였다. 자료는 원칙적으로 세분된 직무 (task) 와 가장 유사한 직무의 값을 원용하였으나, NUREG/CR-1278 이 원래 원자력발전소의 운전자들을 대상으로 하는 것이어서 본 연구의 의도와 차이가 있으므로, Irwin et al (1964) 과 Williams (1989) 의 자료도 부분적으로 차용하였다.

그림 2 의 경우, i 번째 직무에서의 생략과오와 수행과오를 각각 O_i 와

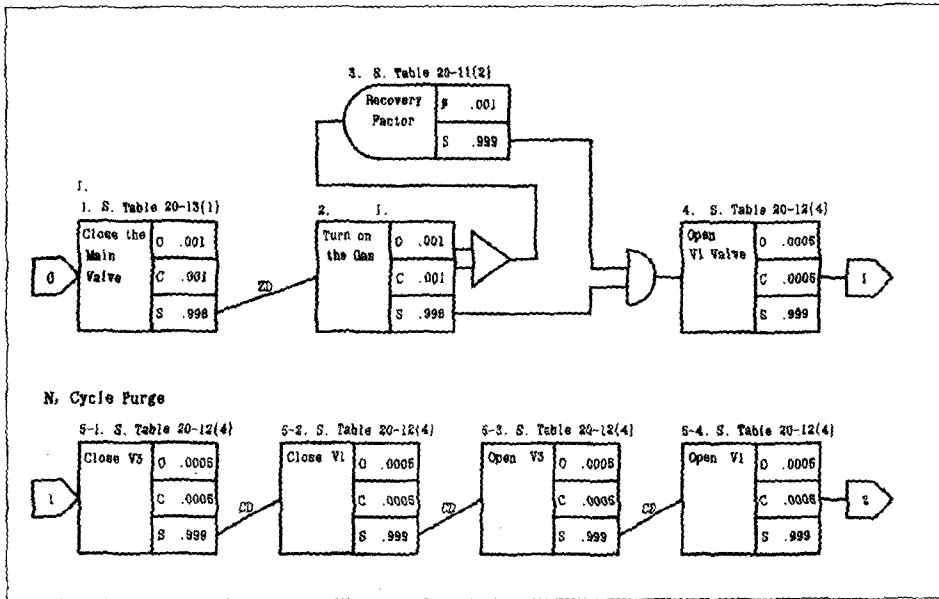


그림 2 실린더 교체작업의 인간신뢰성분석 (일부)

C_i 라고 한다면 작업을 성공적으로 수행할 확률은 다음 식과 같이 표현될 수 있다.

$$R_1(t) = [1 - (O_1 + C_1)] \{ [1 - (O_2 + C_2)] + (O_2 + C_2)(1 - F_3) \} [1 - (O_4 + C_4)]$$

$$R_2(t) = 1 - (O_5 + C_5)^{20}$$

이와 같은 방법을 이용하여 작업수행상의 인간신뢰도를 평가하였으며, 민감도 분석을 하였다. 다만 분석하고자 하는 일련의 작업의 성공적 수행을 정의하는 데에는 다소 견해의 차이가 있을 수 있으므로, 애당초 의도하였던 가스누출사고의 가능성을 중심으로 분석하였다.

분석결과에 따르면, 반도체 공장에서 취급되는 폭발성 가스 실린더의 교체작업은 작업자 1인에 의한 단독작업이기 때문에, 작업감독자에 의한 확인작업이 없으므로, 단독작업을 수행하는 경우 1회 시행에 성공할 확률이 낮아 해당작업이 인간과오에 대하여 상당히 취약하다는 점을 확인할 수 있었다.

또한 작업이 다단계로 구성되어 있어, 직무의 연속적 수행에 따른 EF (error factor)의 값이 상당히 증가하기 때문에, 작업자의 숙련정도에 따라 작업수행의 성공여부가 크게 좌우된다는 것을 고려한다면, 작업의 위험성에 비추어 작업자의 교육 및 훈련의 중요성을 새삼 인식할 수 있었다.

특히 N₂ cycle purge 와 같이 반복적으로 수행하여야 한다고 규정되어 있는 작업요령에 비추어 볼 때, 단독작업이라는 상황에서 이러한 반복적

직무수행이 과연 제대로 실행되고 있는가 의문을 갖지 않을 수 없었다.

4. 토론 및 추후연구과제

인간신뢰성 연구가 당면하고 있는 가장 큰 문제의 하나는 현실적인 자료은행 (data bank) 의 부족이다. 본 연구의 경우에도 예외가 아니어서, 유사한 직무의 자료를 찾는 데 많은 시간을 허비하지 않을 수 없었고, 부득이 여러 자료를 부분적으로 차용하여 추정에 이용하였다.

물론 이러한 방법에는 많은 문제점이 있을 수 있으나, 수행도형성요인 (Performance Shaping Factors) 들의 영향을 고려하는 경우 작업자의 과오율이 크게는 20 여 배까지 증가하기도 한다는 점을 고려한다면, 본 연구와 같은 시도만으로도 해당작업의 위험성을 정량적으로 부각시키기에 충분하다고 판단된다.

왜냐하면 이러한 작업분석을 통해 불안전 행동요소를 집중적으로 교육하고 훈련하여 과오가능성을 감소시킴으로써 작업자 안전의식을 고양(高揚)시키고, 위험예지능력을 개발함으로써 작업의 안전성을 향상시킬 수 있을 것이기 때문이다. Swain 과 Guttman 은 이런 점에서 EF 라는 개념을 이용하여 작업실패확률의 상한과 하한을 제시하려고 노력하였다.

한편, 작업요소가 갖는 불안전 행동요인이나 과오요인들 각각이 작업전체에 어느 정도 영향을 미치는가 하는 민감도 분석은 추후 계속 연구되어야 할 과제이다.

더욱이 이러한 분석을 추구하는 경우, 결정론적 (deterministic) 확률값이 아니라 수행도형성요인 (PSF) 들에 따라 얼마든지 가변적일 수 있다는 점을 인식하여, 확률분포에 근거한 분석뿐만 아니라 Fuzzy 이론과 같은 새로운 방향에서의 시도가 시급하다고 할 것이다.

5. 참고문헌

- [1] 林喜男, 人間信頼性工學, 海文堂, 1984.
- [2] 塩見弘, 人間信頼性工學入門, 日科技連, 1996.
- [3] 行待武生, 飛岡利明, “人間-機械系の定量的信頼性解析の一技法”, 人間工學, 1983, Vol.19, No.4, pp.197-204.
- [4] 行待武生, 飛岡利明, “人間-機械系の定量的信頼性解析のため一技法”, 人間工學, 1982, Vol.18, No.2, pp.83-95.
- [5] Nagamachi,M., Human Factors of Industrial Robots and Robot Safety Management in Japan, *Applied Ergonomics*, 1986, Vol.17, No.1, pp.9-18.
- [6] Swain,A.D., and Guttman,H.E., Handbook of Human Reliability Analysis with Emphasis on Nuclear Power Plant Applications, NUREG/CR-1278, US. Nuclear Regulatory Commission, 1983.