

## 가스산업시설에서 인적 오류 평가 방법에 관한 연구

박 명 섭 · 김 성 빈 · 고 재 욱

광운대학교 화학공학과

(2000년 6월 12일 접수, 2000년 6월 19일 채택)

### A Study on Human Error Assessment in Gas Industries

Myung Seop Park · Sung Bin Kim · Jae Wook Ko

*Dept. of Chemical Engineering, Kwangwoon University*

*(Received 12 June 2000 ; Accepted 19 June 2000)*

#### 요 약

본 연구에서는 자료를 통한 국내 가스산업시설의 인적오류에 관한 산업재해를 분석하고 국외에서 발전된 정량화 방법을 이용하여 인적 오류 가능성을 예측할 수 있도록, 먼저 PIF(Performance Influencing Factor)분류구조를 바탕으로 보다 객관적이고 정확한 자료를 얻기 위해 평가 Sheet를 제시하였다.

그리고 평가 Sheet를 이용하여 가스산업시설의 인적 오류변수들을 평가하고, 평가 자료를 가지고 정량화 기법을 이용하여 HEP(Human Error Probability)를 산출하게 된다.

마지막으로, 보다 현장 작업자들이 편하고 쉽게 적용시킬 수 있도록 프로그램화를 시켰다. 본 연구의 결과로써 신뢰성 있는 인적오류 D/B를 구축함으로써 이를 공유할 수 있으며, 그리고 인간의 능력을 현저히 향상시키고 동시에 인적오류감소 전략을 수립하는데 많은 도움이 될 것이다.

**Abstract :** This paper suggests the evaluation sheet to ensure the objective and detailed information based on a classification table of PIF (Performance Influencing Factor). And this paper shows the results of HEP(Human Error Probability), using a quantitative method with the evaluated data as a result of estimating the likelihood of human errors in the gas industry facility together with the evaluation sheet. Finally, these results are programmed to be operated in personal computer so that field workers can apply it in easy and convenient manner.

The results of this study offer two key benefits; sharing reliable information on human errors with the Data Base and establishing a strategy to reduce human errors as well as to improve working proficiency.

**Keyword :** Human Error, PIF(Performance Influencing Factor), HEP(Human Error Probability), TESEO

#### 1. 서 론

인적오류(Human Error)는 공장 설비의 설

계, 제작, 건설, 운전, 폐쇄 등 모든 단계에서 발생할 수 있는데 지금까지 발생한 크고 작은 사건, 사고의 대부분이 직·간접적으로 인적

오류의 영향과 연관되어 있음은 잘 알려져 있는 사실이다.

산업이 급속히 발달함에 따라 가스산업 시설도 대형화로 복잡하고 연속 자동화로 운전됨으로써 대형 잠재위험성이 내재하고 있다. 이 시설은 소수인원에 의해서 운전되므로 인적오류가 발생 시 막대한 물질, 인적인 경제적 손실을 초래하는 결과를 가져올 수 있다. 실례로 국내적으로 '92년도 해양도시가스 폭발 사고, 94년도 아현동 도시가스 폭발 사고, 98년도 부천 LPG충전소 폭발 사고, 국외적으로 '79년도 Three Mile Island, 86년도 Chernobyl의 원자력 누출 사고, '84년도 Bhopal시의 MIC누출 사고등 모두가 인적오류가 주원인이다. 인간은 완벽하지 못하기 때문에 그 상호요인에 따라 언제 어디서나 행동의 변화에 의한 Error를 범할 가능성을 갖고 있다.

따라서, 본 연구에서는 인간의 능력을 현저히 향상시킴과 동시에 인적 오류를 감소시키고, 나아가서 공정 안정성을 향상시키기 위해 공장 수준에서 인적 요소의 정량화기법을 연구하였으며 이를 보다 쉽게 현장에 적용할 수 있도록 제시하였다.

## 2. 가스산업시설에서 인적 성능에 영향을 주는 요소(PIF)

PIF(Performance Influencing Factor)분석은 위험 평가의 인적 신뢰성 측면의 중요한 부분이다. 그것은 2개 부분에서 적용 될 수 있다. 첫째는 공장 또는 인원의 안전성에 커다란 영향을 미칠 수 있는 오류들에 관한 정량적 예측이다. 두 번째는 과업이 실시되는 작업 조건의 평가이다.

이러한 조건들은 특정 오류가 발생할 수 있는 가능성을 판단할 때 중대한 영향을 미치며, 따라서 정량화 과정의 일환으로 체계적으로 평가되어야 한다.

또한 PIF 개념은 설계 과정에서 유용하다. 공장 활용도를 최대화하고 오류 잠재력을 최소화하기 위한 설계 지침들은 통제실에서 가장 효율적인 정보 제시 또는 사용 가능하고 명확한 작업 지침의 특성을 결정하는 요소들과 같은 PIF의 포괄적 설명을 토대로 할 수 있다.

Table 1. A hierarchy of performance influencing factor [1]

| PIF의 분류 구조  |   |
|---|---|
| 작업환경  | 과업특성  |
| 화학 공정 환경<br>인적개입 빈도<br>공정 사건의 복잡성<br>인지된 위험<br>시간 의존성<br>사건 발생의 갑작스러움 | 장비 설계<br>위치/접근<br>라벨링<br>인명 보호 장비   |
| 물리적 작업 환경<br>소음<br>조명<br>열 조건<br>대기 조건                                | 제어 패널 설계<br>정보의 내용 및 관련성<br>디스플레이 및 제어의 명시<br>사용자 기대 호응성<br>정보 그룹화<br>중요 정보 및 정보의 개관              |
| 작업 유형<br>작업 시간 및 휴식 시간<br>근무 교대 및 야간 작업                               | 직무 지원 및 절차서<br>지시의 명료성<br>설명 수준<br>출입 조건의 명시<br>점검 및 경보의 수준<br>오류 진단 지원 수준<br>작업 경험과의 호응성<br>정신빈도 |
|   | 교육 훈련<br>안전 및 생산 요건간의 모순<br>신규 장비 사용시의 교육 훈련<br>낮은 상황의 처리<br>긴급절차서 사용시의 교육 훈련<br>자동시스템 작업시의 교육 훈련 |

Table 2. A hierarchy of performance influencing factor [2]

| PIF의 분류 구조   |  |
|--|--|
| 작업자 특성   | 조직 및 사회적 요소  |
| 경험<br>숙련도<br>긴장도 높은 공정 사건의 경험  | 팀워크 및 의사 소통<br>작업 부하의 배분<br>책임의 명확화<br>의사 소통<br>권한 및 리더쉽<br>그룹 제회 및 오리엔테이션 |
| 성격 요소<br>동기 부여<br>위험 부담<br>위험 항상성 이론<br>제어의 장소<br>감정적 제어<br>"A"유형 대 "B" 유형 | 관리 정책<br>관리 공약<br>"규정집"문화의 위험<br>기술적 안전방법에 대한 과신<br>조직 학습                  |
| 신체적 조건 및 나이  |  |

## 3. TESEO기법 : Tecnica Empirica Stimula Errori Operatori (Empirical Technique to Estimate Operator Errors)

TESEO기법은 다양한 문헌 분석을 근본으로 하여 발전되어왔으며 문헌 조사를 기본으로 하여 어떤 업무를 수행하는 제어실 작업자의 실패 가능성 평가에 사용하기 위해 우선적

으로 기본 모델이 제시되었다. 이 모델은 다음과 같은 다섯 가지 factor의 곱셈 함수로서 작업자 오류 가능성을 설명을 다음과 같이 설명한다.

- 작업 특성(K<sub>1</sub>; 실행 활동 형태)
- 이 활동을 실행하기 위한 가능한 시간 (K<sub>2</sub>; 또한 일시적 스트레스 factor)
- 작업자의 특성 (K<sub>3</sub>)
- 작업자의 감성적 상태 (K<sub>4</sub>; 활동도 요구 factor; activity's anxiety factor)
- 환경 · 인간공학 특성, 작업 환경 (K<sub>5</sub>; 활동도 인간공학 factor; activity's ergonomic factor)

주어진 업무에 대해 인적 오류 가능성 (Human Error Probability; HEP)은 다음과 같이 계산된다.

$$Human\ Error\ Probability(HEP) =$$

$$K_1 \times K_2 \times K_3 \times K_4 \times K_5$$

이 factor들의 값은 다음 표와 그래프로부터 얻어낼 수 있다.

Table 3. Type of activity factor

| 활동 형태 (Type of Activity) | K <sub>1</sub> |
|--------------------------|----------------|
| 간단함, 기계적이고 틀에 박힌 일       | 0.001          |
| 주의의 필요, 기계적이고 틀에 박힌 일    | 0.01           |
| 틀에 박히지 않은 일              | 0.1            |

Table 4. Temporary stress factor for routine activity

| 유효 시간 ( Time available (sec) ) | K <sub>2</sub> |
|--------------------------------|----------------|
| 2                              | 10             |
| 10                             | 1              |
| 20                             | 0.5            |

Table 5. Temporary stress factor for non-routine activities

| 유효 시간 ( Time available (sec) ) | K <sub>2</sub> |
|--------------------------------|----------------|
| 3                              | 10             |
| 30                             | 1              |
| 45                             | 0.3            |
| 60                             | 0.1            |

Table 6. Operator characteristics factor

| 작업자의 자결(특성)       | K <sub>3</sub> |
|-------------------|----------------|
| 섬세함, 전문가, 훈련도가 높음 | 0.5            |
| 평균적 지식과 훈련        | 1              |
| 거의 없는 지식, 어설픈 훈련  | 3              |

Table 7. Activity's anxiety factor

| Anxiety의 상태 (State of Anxiety) | K <sub>4</sub> |
|--------------------------------|----------------|
| 중대한 긴급 상태                      | 3              |
| 잠재적 긴급 상태                      | 2              |
| 정상 상태                          | 1              |

Table 8. Activity's ergonomic factor

| 환경적 인간공학 요소                         | K <sub>5</sub> |
|-------------------------------------|----------------|
| 상당한 미기후(microclimate), 훌륭한 공장 인터페이스 | 0.7            |
| 좋은 미기후, 좋은 공장 인터페이스                 | 1              |
| 분리된 미기후, 분리된 공장 인터페이스               | 3              |
| 분리된 미기후, 빈약한 공장 인터페이스               | 7              |
| 최악의 미기후, 빈약한 공장 인터페이스               | 10             |

K<sub>2</sub>, K<sub>3</sub>, K<sub>4</sub>, K<sub>5</sub> 변수의 값을 곡선으로 나타낼 수 있으며 예로써 아래같이 나타난다.

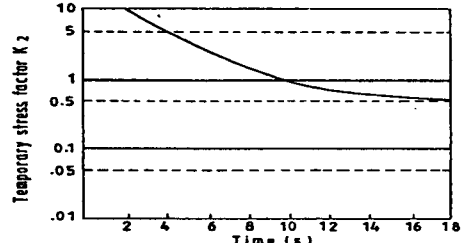


Fig. 1. Temporary stress factor K<sub>2</sub> for routine time activity

#### 4. 인적오류 평가 프로그램 구축

공정 산업에서 수행되고 있는 인적 오류 분석 방법론은 여러 가지가 있는데, 본 연구에서는 전문가 아니면서 현장 작업자(Operator)들이 쉽게 사용할 수 있는 방법을 가지고 평가 프로그램을 구축했다.

PIF분석과 정량화 방법을 이용한 기법 사용을 위해 다음과 같이 간단한 Logic을 제시하였다.

첫 단계에서는 분석 할 업무(작업)를 선정하고 나서 이에 필요한 모든 정보를 수집한 후 시스템 설명에서는 간략하게 공정 설명 및 인적오류 Factor들을 분석하고 나서 이것을 바

탕으로 PIF 분석한 후 평가 시트를 이용하여 공정을 평가하게 되며 이 분석·평가 내용을 가지고 Human Error Probability를 산출하게 된다. 이런 데이터를 수집 및 축적이 되면 많은 정보를 이용하여 인적 오류 감소 전략 수립할 수 있을 것이다.

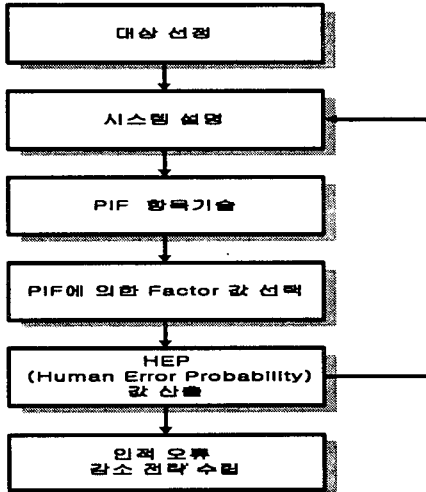


Fig. 2. Human error probability calculation procedure

#### 4.1. PIF(Performance Influencing Factor) 분석·평가 시트

PIF 분류 구조를 기본으로 하여 인적오류가 능성(HEP)을 산출하기 위한 분석·평가 시트를 제시하였다. 작업자의 관점으로 분석·평가 시트를 이용하여 공정 환경 및 작업자 특성, 감성 상태, 인간공학적 환경, 사회적·조직적 환경을 평가한다.

PIF 분류 구조를 분석 정리하여 크게 4단계로 분류하고 이를 다시 12단계로 구분 한 후 각각에 대해 질문 사항이 제시되며 이에 따른 평가와 설명 그리고 조치 사항을 적을 수 있게 만들었다.

이 평가 시트를 이용하여 그 공정에 대한 인적 오류를 유발할 수 있는 변수들을 알 수 있다. 다음 그림은 PIF의 내용을 가지고 분석·평가 시트를 만들었고 여기에서 평가기준은 최상의 상태를 A, 최악의 상태를 E로 두어서 그 공정에 맞게 평가를 할 수 있도록 했으며, 본 PIF 분석·평가 시트는 TESEO 기법

의 단점을 보완 할 수 있으며, 프로그램을 활용하기 위한 자료로써 사용할 수 있도록 만들었다.

Table 9는 PIF 분석·평가시트를 예로서 작업환경 부분만을 제시하였다.

Table 9. PIF Analysis sheet [1]

| 작업 환경                                    |   |     |     |       |
|--|---|-----|-----|-------|
| 평가 기준 ( A : Best C : Average E : Worst ) |   |     |     |       |
| 항목                                       | 세 부 질 의   | 평 가 | 설 명 | 조치 수단 |
| 과학적<br>공정<br>환경                          | <ul style="list-style-type: none"> <li>인적개입 빈도 : 과거에 작업이 실시되거나 Process Event가 처리된 정도? (부정기적으로 실행되는 작업의 경우처럼 공정상의 숙련 기술은 적절한 수준을 유지하기 힘들고 성능이 떨어진다.)</li> </ul>            |     |     |       |
|  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Process Event 사건의 복잡성 : 공정 사건의 참신성 정도와는 별개로 공정의 복잡성, 포함된 공정 변수의 상호 관련성은? (예, 작동/중단 작업은 낮설지는 않지만 고도의 복잡성을 내포하고 있는 작업이다.)</li> </ul> |     |     |       |
|  | <ul style="list-style-type: none"> <li>인지된 위험 : 시스템의 비효율적 제어와 감도로 인해 야기되는 위험 인지도? (위험한 것으로 판명된 환경은 작업자의 스트레스를 증가시켜 작업 성능에 영향을 준다)</li> </ul>                              |     |     |       |
|  | <ul style="list-style-type: none"> <li>시간 의존성 : Process Event에 대처할 수 있는 시간에 의한 스트레스 정도?</li> <li>사건 발생의 갑작스러움 : Process Event 경우가 작업자들이 감지할 수 있을 정도로 진행되는가?</li> </ul>    |     |     |       |

Table 10. PIF Analysis sheet [2]

| 작업 환경                                    |  |     |     |       |
|--|--|-----|-----|-------|
| 평가 기준 ( A : Best C : Average E : Worst ) |  |     |     |       |
| 항목                                       | 세 부 질 의  | 평 가 | 설 명 | 조치 수단 |
| 물리적<br>작업<br>환경                          | <ul style="list-style-type: none"> <li>소음 : 소음의 강도와 빈도, 그리고 소음에 노출시간 정도는?</li> </ul>   |     |     |       |
|  | <ul style="list-style-type: none"> <li>조명 : 작업장의 조명은 적당한가?</li> <li>열 조건 : 작업장 주변 온도가 적절한가?</li> <li>대기 조건 : 작업장의 먼지, 가스, 냄새 등의 정도는?</li> </ul>      |     |     |       |
|  | <ul style="list-style-type: none"> <li>작업 시간 및 휴식 시간 : 작업 시간과 휴식 시간의 정도는?</li> <li>근무 교대 및 야간 작업 : 서카디안(일상생활) 리듬의 붕괴와 작업자의 가정생활에 미치는 정도는?</li> </ul> |     |     |       |

#### 4.2. 인적 오류 평가 프로그램의 화면

인적 오류 평가 프로그램은 가스산업시설

(Gas Industries)의 인적 오류 가능성(Human Error Probability)을 구하고 PIF 평가쉬트를 통하여 각각의 factor값을 선택한다. Fig. 3. 은 개발된 프로그램의 초기 화면이다.

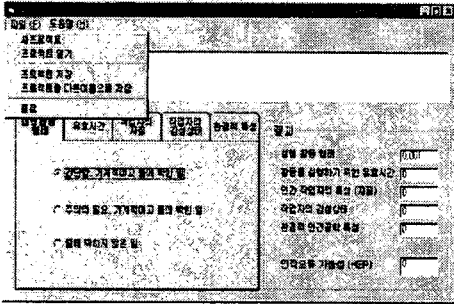


Fig. 3. Initial picture of human error assessment

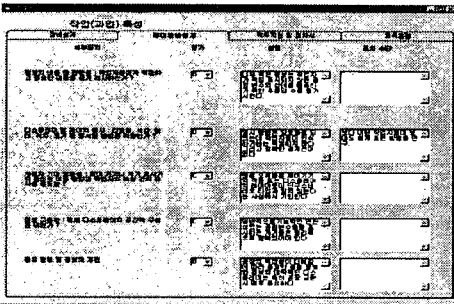


Fig. 4. A picture of worker characteristics analysis

본 프로그램을 실행시키면 Fig. 4와 같이 먼저 Text란이 나오는데 이곳은 시스템 설명을 간단·명료하게 적을 수 있고 왼쪽에 다섯 가지 변수에 대해 각각의 해당사항을 선택할 수 있게 선택란이 나오고, 변수의 선택이 모두 끝나면 자동적으로 각각의 변수 값이 선정이 되고 마지막 결과로 HEP(Human Error Probability)가 산출이 된다. 그리고 보다 정확한 결과를 얻어내기 위해 User가 직접 변수 값을 선택 할 수도 있다.

PIF 분석·평가 시트를 통해 얻은 정보를 이용하여 작업 특성, 작업자 특성, 그리고 작업환경에 따른 각각의 세부 항목에 대해 평가한 것을 가지고 프로그램을 실행 시켰다.

아래의 화면들은 PIF분석·평가 시트를 프

로그래밍화 시켰고 용이하게 사용할 수 있도록 인터페이스를 만들었다.

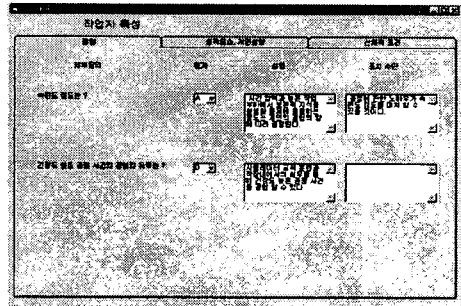


Fig. 5. A picture of worker characteristic analysis

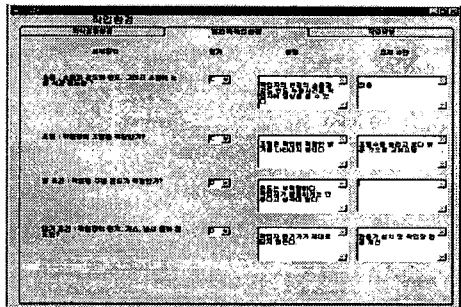


Fig. 6. A picture of work environment analysis

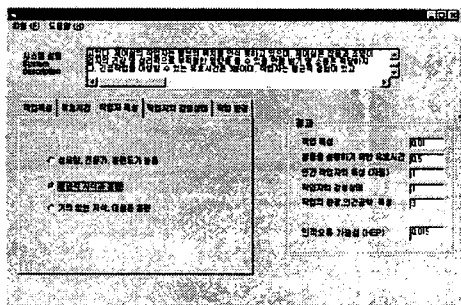


Fig 7. A picture of case study application

Fig. 7에서처럼 PIF(Performance Influencing Factor) 모두 분석·적용 한 다음의 결과를 이용하여 인적 오류 가능성을 산출할 수 있다. TESEO 기법의 중요 장점 중의 하나는 민

감도 분석을 이용하여 인적 오류 가능성을 보다 낮춰서 안전성을 확보하는 것인데 이 사례 연구에서는 작업 특성, 유효시간, 작업자 특성, 작업자의 감성 상태, 작업 환경의 변수 중에서 적절한 것을 선택하여 변화 시키면서 HEP값을 낮출 수 있다.

본 연구를 하면서 인적 요소에 관한 Data의 부족과 서로의 정보 공유가 어려워서 보다 적절한 결과를 얻어내기 힘들다. 그리고, 이 기법들은 해외에서 적용·발전된 것으로 국내에 적용하기에는 어려움이 있으므로, 국내 실제 공정에 적용과 검토가 필요하다고 판단된다.

## 제 5 장 결 론

## 감 사

가스산업시설 근로자의 오류에 대한 위험관리를 위해서는 작업장의 공정 및 직무 분석 및 적절한 인적 오류 평가 방법을 통하여 인적 오류 가능성을 찾아내어 인적 오류의 가능성을 정확히 인지하고 가스산업에서의 오류 가능성을 평가하고, 이러한 평가 결과를 활용하여 사업장에서의 적절한 안전 수준을 확보하기 위해 사고 사례 분석, 외국에서 개발된 작업자 오류 평가 방법론의 검토, 국내 도입을 위한 평가 방법론의 적용을 통해 현장 작업장에 적용하기 위한 프로그램 개발에 대한 연구를 수행하였다.

본 연구는 과학기술정책연구원의 인위재해 방재기술사업과 포항공과대학교 공정산업의 지능자동화연구센터를 통한 한국과학재단 우수연구센터 지원금에 의한 것입니다.

## 참 고 문 헌

본 연구를 하면서 얻은 결과는 다음과 같다.

1. 우선 국내에서 발생한 사고 사례중 화학 물질을 취급하는 사업장에서의 인적 오류 관련 통계 데이터에 의한 분석을 수행하였다. 이 결과 작업자 오류에 기인한 사고의 비중이 크다는 것을 알 수 있었으며, 현재의 통계 수집 체계하에서는 인적 오류 관련 분석 및 개선을 위한 체계적인 활동을 하기 위해서는 한계가 있음을 발견하였다.
2. 본 연구에 사용된 기법을 사용하기 위해 선정 공정에 대한 PIF 분석·평가 시트를 사용했는데 이것은 인적 오류평가 하는데 객관적인 자료로서 사용 가능했고, 보다 정확한 평가를 위하여 중요한 정보를 제공하였다.
3. 다른 기법과 달리 본 연구에 사용한 것은 우선 간결하면서 전문성이 없는 작업자들이 사용하기에 편하고 이 방법을 프로그램화함으로써 User들이 보다 쉽게 적용을 할 수가 있었다.

1. Denton, D.K., "Safety Management", McGraw - Hill, 1982.
2. Meister, D., "Human Factors - Theory and Practices", John Wiley & Sons, 1971.
3. Sanders, M.S., and McCormick, E.J., "Human Factors in Engineering and Design", 7th ed., McGraw-Hill, 1993.
4. CCPS, "Guidelines for Preventing Human Error in Process Safety", AIChE, NY, 1994.
5. CCPS, "Guidelines for Hazard Evaluation Procedures", AIChE, NY, 1985.
6. 산업안전연구원, "근로자행동특성에 의한 사고발생추정 S.W개발", 한국산업안전공단, 1996.
7. 산업안전보건연구원, "화학공장의 휴먼에러 분석에 관한 연구", 한국산업안전공단, 1999.
8. 산업안전보건연구원, "화학공장의 휴먼 에러 방지대책 지침", 한국산업안전공단, 1999.
9. 서울산업대학교 안전과학연구소, "화재·폭발 위험물질의 위험성 평가 방법에 관한 학술연구 용역 (화학물질을 취급하는 작업자의 오류 가능성을 중심으로)", 한국화학공학회, 1995.