Journal of the Ergonomics Society of Korea
Vol. 30, No. 1 pp.117-125, February 2011 DOI:10.5143/JESK.2011.30.1.117

반도체 회사의 인적 오류 예방 활동 사례 및 검토

이용희[1] · 이용희[1] · 류재승[2]

[1]한국원자력연구원 / [2](주)하이닉스반도체

A Review on the Field Activities for the Human Error Prevention in a Semiconductor Company

Yonghee Lee[1], Yong Hee Lee[1], Jae Seng Ruy[2]

[1]I&C and Human Factors Division, Korea Atomic Energy Research Institute (KAERI), Daejeon, 305-353
[2]CAO ESH Team, Hynix Semiconductor Inc., Icheon, 467-701

ABSTRACT

While human error happens repeatedly in the semiconductor industry in Korea, which has brought a tremendous loss from manpower, welfare etc., there are limitations to human error prevention activities. When a semiconductor company introduces new machines and facilities from Japan or Germany, the companies often do not consider human factors in the design. Also, semiconductor companies are so occupied with promoting increased productivity, their attention to human errors has been pushed aside. Negative aspects of technical exchange associated with safety management are one aspect of the industry's nature. A semiconductor company recently began acknowledging on the back of TQM(Total Quality Management) that human error has a decisive effect on the safety. There are a number of uncontrollable and hard to handle event sets because the nature of these events with a human error may often be threatened or very intensive. It is strongly required that systemic studies should be performed to grasp the whole picture of a current situation for hazard factors. This study aims to examine the human error approach through the case of human error prevention field activities in a semiconductor industry compared with the activities and experience in nuclear power plants.

Keywords: Human error, Error-Shaping Factor, Package, Semiconductor

1. Introduction

현대 산업에서 인적 오류에 의한 사고는 작업자의 개인적인 상해나 손실을 일으키는데 그치지 않고, 예기치 못할 규모로 파급되어 사업장은 물론 사회적인 문제로 발전될 수도 있다. 따라서 인적 오류는 산업체 안전성 확보의 전제조건으로 항상 최우선적으로 요구되고 있다. 최근 여러 산업체에서 개인상해의 방지를 위한 작업장 안전 관리뿐만 아니라 생산시스템의 유지관리 및 생산 손실과 환경적 피해 확산에 대비한 위기관리 등에 이르기까지 다양한 안전성 확보 노력이 이루어지고 있다.

특히 원자력, 철도, 항공 등 대형시스템 산업 분야에서 발생된 고장 및 사고 중 인적 오류 관련 비중이 절대적인 것으로 보고되고 있다. 반면 국내 반도체 산업의 경우에는 특별히 인적 오류에 대해 분석한 사례가 드물다(Y. G. Yoon,

Corresponding Author: Yong Hee Lee. I&C and Human Factors Division, Korea Atomic Energy Research Institute (KAERI), Daejeon, 305-353.
Phone: 042-868-2941, Mobile: 010-5500-7958, E-mail: yhlee@kaeri.re.kr
Copyright@2011 by Ergonomics Society of Korea(pISSN:1229-1684 eISSN:2093-8462). All right reserved.

2006). 이는 반도체 산업의 특성상 회사내의 현안을 밖으로 드러내지 않는 성향이 강하기 때문일 것이다. 하지만 반도체 산업도 대형시스템을 고신뢰도의 요건에 따라 운용해야 하는 특성을 가지고 있기 때문에, 항공이나 원자력 산업과 유사한 경향을 보일 것으로 예상할 수 있다.

본 논문은 국내의 한 반도체 산업체에서 수행된 인적 오류 관련 현장의 예방 활동 사례를 소개하고, 원자력 분야에서의 경험을 토대로 인적 오류의 기술적 특성 측면에서 검토한 것이다. 인적 오류 사건 발생 실적을 검토하고 TFT를 구성하여 작업자와 현장에 대한 실사를 통해 인적 오류 유발 요인을 파악한다. 또한 우선 조치 항목을 선정하여 시범적으로 개선하고, 전사적으로 확대하거나 장기적 조치가 필요한 사항을 결정하는 산업 현장의 인적 오류 예방 활동을 보인다. 원자력 분야에서의 경험을 비교하여 이러한 전형적인 대형시스템 산업 현장의 인적 오류 예방 활동을 대형시스템 산업의 인적 오류 예방 현장 활동에서 드러나는 한계와 기술적 과제에 대하여 논의하였다.

2. A Pre-study on Human Errors in H-company

2.1 Simple statistics on human error data

H사 경우 지난 4년간의 안전 사고를 분석해본 결과 인적 오류에 의한 사고가 95% 이상 높은 비중을 차지하고 있다. 이에 인적 오류에 대한 관심과 활동의 필요성이 대두되고, 인적 오류 사고의 감소를 위하여 인적 오류 유발 요인을 찾아내어 실질적인 개선 활동을 착수하였다. 우선 자체 사고 자료로부터 인적 오류 유발인자 별로 사고 발생 현황을 분석한 결과를 Figure 1에 표시하였다.

사고의 유발인자로 '개인 부주의'가 월등히 많은 빈도를 차지하고 있으며, 안전수칙 미준수, 반복작업, 보호구 미착용, 장비결함, 과로 등의 순으로 발생하고 있다. 연도별 추세는 보호구 미착용과 같은 경우는 많은 개선을 가져왔으나 다른 유의한 변화를 볼 수 없다. 하지만 인적 오류 사고를 개인 부주의로 분석한 것은 전형적인 초기 상황으로, 작업자의 내부적 한계점으로 당연시되는 주의한계를 원인으로 지적한 셈이다. 실제로는 부주의가 원인(cause)이 아니라 오류의 형태(type)인 경우가 많으므로 이러한 구분으로 인적 오류에 효과적으로 대응을 하기 어렵다. 원자력 분야에서도 이런 단순분석 및 통계가 제시된 바 있었으나, 보다 상세한 원인분석의 필요성을 인식하고 K-HPES(Korea-Human Performance Enhancement System)과 같은 자체적인 분석체계를 개발한 바 있다(Y.H. Lee, et al., 2007).

효과적인 인적 오류 대응을 위해서는 보다 실효성이 있는 분석이 필요하며, 고유한 인적 오류 유발요소의 조사를 통하여 대책을 수립해야 한다. 반도체 제조업체인 H사는 인적 오류 대응을 위해 우선 Package, TEST, MODULE 등 주요 공정 중 Package 공정을 대상으로 주요 인적 오류 유발요소를 파악하고, 현장의 개선조치를 시범 적용한 후, 이를 기반으로 전체 인적 오류 방지 종합계획을 수립하고자 하였다.

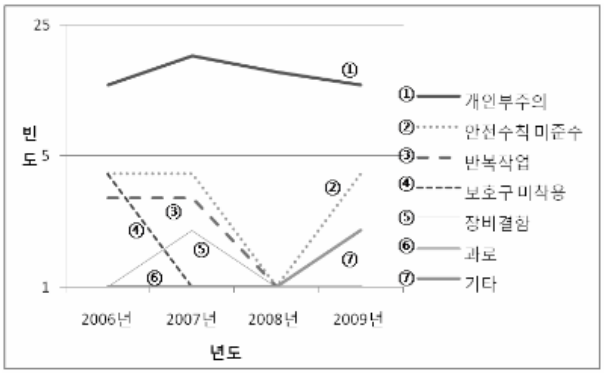

Figure 1. A trend of human errors by the causes reported

2.2 A Survey on the human error precursors

인적 오류 분석을 논의한 많은 참고문헌들이 행위를 결정하는 인자(BSF, Behavior Shaping Factors)나 수행도 영향인자(PSF 또는 PIF, Performance Shaping/Influencing Factors) 또는 오류영향인자(ESF: Error Shaping Factors) 등으로 인적 오류 유발인자 및 그 분류체계를 제시하고 있다. 인적 오류 분석을 원인 분석으로 간주되며, 유발인자의 분류체계에 따라 그 분석의 내용이 결정된다고 볼 수 있다. 반도체 산업에서는 아직 인적 오류 분류체계가 없는 실정이다.

Table 1은 KOSHA에서 제시한 인적 오류 유발인자의 일반적 분류체계를 보여준다(KOSHA, 2007). 국내 산업체에서는 이를 기준으로 절차의 신뢰성, 훈련의 효율성, 오류 발생시 복구 조치, 안전관리체제, 작업조 편성, 작업에 대한 압박감, 작업절차 준수 여부, 기업문화 및 동기 부여 등 인적 오류의 관리수준을 파악한다. KOSHA에서는 이러한 실수유발인자들을 PIF(Performance Influencing Factor)로 통칭하는데 반도체 산업에서도 공통적으로 적용할 수 있다.

Table 1에 나열된 항목들은 공통적인 관리 항목일 뿐 보다 많은 조건이나 복잡한 상황이 인적 오류를 유발할 수 있음은 분명하다. 그러므로 산업체의 특성을 반영하지 못한 일반적인 분류체계를 기반으로는 인적 오류 대응을 위한 당장의 대책으로 고신뢰도를 달성하기에 불확실하다. 효과적

인 대응을 위해 산업의 고유 특성에 따른 세부 항목들이 도출되어야 하며 효과의 확인이 필요하다. Table 2는 인적 오류 사례와 원인을 논의한 다양한 문헌에서 도출된 대표적인 원인요소 분류체계이다(INPO, 2002). 원자력 분야에서도 이를 기반으로 자체적으로 꾸준히 조사 분석하고 있다.

Table 1. Human error factors from KOSHA

PIFs	세부 오류 유발인자
관리적 실수인자	1. 안전우선 정도 2. 근로자 참여도 3. 의사전달 효율성 4. 사고 조사 효율성 5. 절차개발 체제의 효율성 6. 훈련의 효율성 7. 작업설계 효율성
일반운영 실수인자	1. 공정관리 2. 작업배치 및 작업계획 3. 안전관리체제 4. 비상조치계획 5. 훈련 6. 작업형태 7. 작업에 대한 압박감 8. 개인적 특성 반영 정도 9. 업무지원 및 절차
특별운영 실수인자	1. 컴퓨터 제어체계 2. 제어반 설계 3. 현장 상황 4. 절차 유지관리

Table 2. Human error factors from INPO

업무 요구사항	개인능력
① 시간 압박(서두름)	① 낯선 업무/최소 수행
② 업무량 과다(과다한 기억)	② 지식 부족
③ 동시, 다중 조치	③ 이전에 사용되지 않은 새로운 기법
④ 반복 조치/단조로움	④ 부정확한 의사소통 습관
⑤ 돌이킬 수 없는 조치	⑤ 숙련도/경험 부족
⑥ 판단 요구사항	⑥ 불분명한 문제해결 솜씨
⑦ 불명확한 목표, 역할이나 책임	⑦ 불안전한 작업태도
⑧ 기준의 결핍이나 불명확	⑧ 질병이나 피로; 종합건강 이상
작업환경	인간본성
① 산만함/방해요소	① 스트레스
② 변화/일상으로부터의 일탈	② 습관 패턴
③ 혼란스런 표시 또는 제어장치	③ 가정(추측)
④ 작업주변/계측기 고장	④ 자기만족/자만
⑤ 시스템 설비의 숨겨진 반응	⑤ 심적 경향(의도)
⑥ 설비의 예상치 못한 상태	⑥ 위험의 부정확한 인식
⑦ 대체 지시수단 결핍	⑦ 정신적 지름길이나 편향성
⑧ 개성 대립	⑧ 단기 기억력의 한계

H사는 자체적으로 인적 오류인자를 파악하기 위해 유사업체의 분류체계 항목을 출발점으로 삼아 시범 적용 대상 공정에 적용하였다. 반도체 분야에 적용한 A대학과 S사가 공동으로 연구한 결과를 토대로 인적 오류 유발인자 도출을 위한 시발점으로 삼아, 인적 오류 조사 대상 요인들을 파악하였다(Kim K.H. et al., 2009). Table 3과 같이 인적 요인, 직무 요인, 조직 요인 및 환경 요인으로 크게 4가지 요인으로 분류하였다. 실질요인 파악을 위한 별도의 수요조사 과정을 거쳐 세부 요인들을 선정하였다.

Table 3. Classifications of human error factors

구분		
1차 요인	2차 요인	3차 요인
인적 요인	신체적	피부, 임신, 질병, 운동능력, 노화
	심리적	소속감, 권태, 선입견, 불만족, 성급함
직무 요인	직무특성	방진복착용, 화학물질, 휴식시간, 고온작업
	직무정보	외국어 절차서, 의사소통부재, 모호한 신호
조직 요인	공식 조직	팀 구성, 교육내용부실, 능력평가, 인원배치
	비공식 조직	사내 갈등, 조직 소외감, 사회적 압박, 과부하
환경 요인	설비 환경	원료의 교체, 센서 오류, 안전장치 미비
	작업장 환경	불결, 압력, 불충분한 작업공간, 소음

H사는 TFT를 구성하여 초기 선택된 요인 항목을 기준으로 현장실사 OJT, 공정위험 분석, 설문 및 작업자 면담을 통하여 주요 항목을 선정하였다. 인적 오류 예방 시범작업을 실시하기에 앞서 H사 안전담당 팀과 현장 제조 팀의 현장 전문가들로 TFT 조직을 구성하였다. H사는 환경/안전/보건(ESH) 경영시스템을 구축하여 운영하고 있으며, 이를 위한 관리조직을 구성하여 사업장 별 환경안전 총괄부서를 두고 각 시스템의 적절성 평가 및 개선을 도모하기 위한 다양한 활동을 전개하고 있다. TFT는 Figure 2와 같이 구성하고 있다;

1) 환경안전 팀 공정안전담당자, ESH 지원 1개조

2) PKG 제조 팀 현장전문가 직·반장 4명, 교육담당자 2명.

Figure 2. The TFT organization

대부분의 고신뢰도 산업에서 ESH 경영 활동의 적정성을 보장하기 위해 전사 환경, 안전, 보건 경영위원회를 두고, 정기적 경영검토회의 및 ESH 운영위원회와 기술분과회의체를 운영한다. H사의 경우에도 인적 오류 예방 활동의 TFT는 환경안전 활동의 일환이지만, TFT와 실무자인 PKG 제조 1팀이 주 별 회합하여 예방 활동의 진행경과와 해결방법을 검토하고 있다. 시급한 문제해결을 위해 TFT를 구성하였지만 현장 실무자의 경험에 의존하여 인적 오류에 대응하는 것은 전문성이 부족하여 효과적인 활동을 달성하기 어렵다. 보다 체계적인 활동을 위하여 점진적으로 소요 분야별 전문성을 갖춘 조직을 구성해야 한다.

TFT 구성원 중 리더와 서기가 전체 공정에 대해 16일 동안 인수인계시간 및 식사시간을 포함하여 해당 공정의 작업자 1명과 전체작업을 공동으로 수행하는 OJT 과정을 거쳤다. TFT는 작업 현장 및 실무를 제3자 입장에서 관측하여 인적 오류를 일으킬 수 있는 요인들을 도출하고 다음과 같이 분류하였다;

- 인적 요인: 직무스트레스, 부적절한 인원배치, 피로누적, 실수에 대한 불안감, 직무능력 편차 등
- 직무 요인: 소모품 교체작업, 유해물질 노출, 고온작업, 정밀작업, 중량물 운반작업, 반복형부담작업 등
- 조직 요인: 생산량에 대한 과부하/압박감, 교육부족, 인수인계 방법, 심한 문책이 뒤따르는 조직문화, 식사/휴식시간 부족, 휴먼에러 D/B 미구축 등
- 환경 요인: 작업공간 협소, 운반도구 부적합, 외국어 표시/manual, 작업환경(소음), 작업대, 작업장 바닥, 장비의 표시/조작장치 등.

위의 도출된 항목들이 H사의 인적 오류 예방 활동의 우선 대상 항목을 선정하기 위한 설문(오류 유발인자)의 내용으로 선정되었다.

3. A Case of Human Error Hazard Management in Semiconductor Industry

본 장에서는 H사의 인적 오류 예방 활동 사례를 다룬다. H사는 인적 오류 예방 활동 TFT를 조직하여 작업자를 대상으로 인적 오류 유발 요인에 대한 설문 및 면담 조사를 시행하였고 분석 결과를 바탕으로 우선 조치 사항을 선정하여 현장 중심의 개선 조치를 통한 대책 수립을 시도하였다.

인적 오류 유발 요인을 파악하는 방법으로 과거 경험의 통계자료를 바탕으로 문제점을 분류하는 것이 일반적이다. 하지만 반도체 산업에서는 공식적으로 보고된 사고에 대해서만 자료를 관리하고 있고, 사고의 세부 요인에 대한 정보가 부족하다. 또 아차 사고에 대한 정보는 공식적으로 관리되고 있지 않은 실정이다. 이번 인적 오류 예방 활동을 계기로 관련 데이터베이스 자료관리의 중요성을 인식하여 체계적인 자료관리와 사례 전파에도 노력을 기울일 것이다.

3.1 Factors analysis

3.1.1 공정 검토

Package, TEST, MODULE 공정으로 이루어진 여러 반도체 공정들 중 인적 오류 예방 활동의 시범작업 대상으로 선정된 PKG(포장, Package)공정은 Device(Chip)의 System Application을 위한 중간 매개체(Inter-Link) 구축역할을 한다. 사용 환경에서 장치를 열/수분/충격으로부터 보호하여 신뢰성을 확보함과 동시에 System/Board 제작 등 End User로 하여금 원활한 실장(SMT)이 가능토록 Outer 단

Figure 3. Overview of PKG process

자를 확보하는 핵심 공정이다. Figure 3은 PKG 공정의 개략을 나타낸 것이다.

인적 오류 유발 요인을 도출하여 대응방안을 마련하기 위해서는 인적 요인, 기계적 요인, 관리적 요인 등으로 접근하여 공정 별로 모든 오류의 가능 경로를 찾아야 한다. 해당 공정의 기능적 안전뿐만 아니라 관련 기기의 운용 과정에 개입될 수 있는 여러 가지 조치의 영향에 대한 검증이 필요하다. 행위자인 작업자의 실수와 위반뿐만 아니라 이러한 실수와 위반에 영향을 미치는 모든 영향요소들로 사건 구조를 재구성하여야 한다. 단순한 원인제거가 아니라 도출된 사건 구조에 따라 절차 보완, 경고/주의 신설, 설비보완 등 최적의 대응방안을 도출할 수 있기 때문이다(Y. H. Lee, et al., 2008). H사는 공정상의 인적 오류 위험을 상세 분석할 자체 경험 및 기술이 부족한 실정이므로, OJT 및 설문 면담 조사로 인적 오류 영향 요소를 분석하였다.

3.1.2 설문 조사

인적 오류 유발 요인 중에서 Table 4와 같이 4종의 1차 요인 별로 5가지씩 총 20항목과, 별도의 3개 항목으로 구성된 설문을 제조 공정 1개조를 포함한 작업자 총 151명을 대상으로 실시하였다. 설문 및 면담에서는 작업에 관련된 인적 오류 인자에 대해 가능한 빠짐없이 전체적인 의견이 반영되어 상대적 비중을 파악하도록 노력하였다.

Table 4. The questionnaire associated with human error factors

1차 요인	세부 항목
인적 요인(5)	1. 신체능력 2. 피로누적 2. 피로누적 3. 작업절차 준수 4. 스트레스 5. 업무환경불만
직무 요인(5)	1. 다중 장비 2. 위험노출 3. 시력저하 4. 반복형부담작업 5. 유해물질
조직 요인(5)	1. 인수인계오류 2. 아차사례 공유 3. 실수회피 4. 교육여부 5. 생산량에 대한 압박
환경 요인(5)	1. 외국어 표기 2. 배치부적절 3. 위험 노출 4. 장비 조작 난이 5. 안전통로상 위험 노출

3.1.3 작업자 면담

인적 오류를 유발하는 요인을 보다 상세하게 수집하기 위하여 작업자 면담을 실시하였다. 현장전문가(PKG 라인의 직 · 반장)가 현장 작업자들을 대상으로 개별 면담을 실시하고, TFT에서 다시 자료를 취합하였다. 설문조사와 달리 인적 오류를 유발할 수 있는 요인들이 어떤 것들이 있는지 자유로운 의견을 수집하고 추가로 확인하는 과정을 거쳤다.

3.1.4 설문 및 면담 결과

OJT, 현장 실사, 종사자 대상의 설문 조사 및 면담 결과 인적 오류 발생 요인의 주요 항목은 다음과 같다;

- 인적 요인: 편의에 의한 작업절차 미준수, 직무스트레스, 피로누적
- 직무 요인: 운전장비 대수 과다, 반복형부담작업, 정밀작업으로 시력저하, 유해물질 노출/정보미비
- 조직 요인: 인수인계 오류, 생산량에 대한 압박감
- 환경 요인: 장비의 표시/조작장치, 장비나 부속시설물의 배치 부적절, 장비나 부속시설물의 위험, 통로 부적합.

설문 및 면담 결과 중 OJT에서 도출된 항목과 중복되는 내용을 제외한 인적 오류 요인 항목은 다음과 같다;

- 인적 요인: 담당장비 증가 및 작업 동선
- 교대식사시간 담당장비대수 과다, 작업 중 확인 사항 증가(기계 업그레이드 등), 식사시간 부족, 중복역할 담당자 업무 중
- 직무 요인: Wafer ID 식별, Scope 확인 시 시력저하 발생, 과도한 제품 Split, 장비의 잦은 고장 발생, 반복되는 경보
- 조직 요인: 쉴 틈 없이 작업해야 하는 환경, 교대 별 생산량 경쟁 치열, 시간대별 자재투입이 일정치 않아 한꺼번에 대량작업 진행
- 환경 요인: 측정장비의 부족, 무거운 자재, PDA의 잦은 고장, 보호구 사이즈 불량.

3.2 Selection of near-term countermeasures

인적 오류 발생 요인으로 OJT 후 TFT에서 도출된 결과와 설문 및 면담 조사 결과 도출된 항목들이 상당부분 중복되므로, 상대적으로 중요한 요인을 파악할 수 있다. 각 요인별 공통적인 인적 오류 발생 요인은 다음과 같다;

- 인적 요인
  – 생산량 증가 및 담당장비 증가에 따른 피로누적

– 복잡하고 잦은 작업절차 등에 따른 작업절차 미준수
– 과다한 개인업무 및 생산량 경쟁 등 직무스트레스
• 직무 요인
– 담당장비의 잦은 경보 및 오류 발생
– 고온, 냄새, 정밀작업 등 작업환경 불량
– 작업특성(반복형 부담작업)에 따른 근골격계 통증 호소
• 조직 요인
– 인수인계방법 부적합
– 교대조의 지나친 경쟁/생산량 달성에 대한 압박감
– 결과 중시/타인과의 비교
• 환경 요인
– 장비의 조작/표시장치 불량
– 작업장의 바닥/자재 이동수단 불량/작업공간의 협소

OJT, 설문 및 면담 조사 결과를 기반으로 반복적인 TFT 논의를 통하여 추진과제 33가지 항목을 선정하였다. 단순 불만 사항 등 인적 오류와 연관성이 떨어지는 내용들을 배제하는 등 항목별로 재확인하여 우선순위를 결정하였다. 우선순위를 결정하기 위하여 각 요인 별 시급성과 해결 난이도에 대한 현장전문가 평가를 실시하였다.

Table 5는 인적 요인과 관련된 세부 항목의 시급성과 난이도로 평가한 결과 도출된 우선순위를 보여준다. Table 6, Table 7, Table 8은 각각 직무 요인, 조직 요인, 환경 요인의 조치 사항 별 우선순위를 나타내고 있다. 각 요인 별로 총점이 높은 조치 사항부터 순차적으로 개선작업을 추진한다. 우선적으로 추진하고 있는 조치 사항의 개선작업을 어느 정도 진행하여 개선방향을 잡고 나서, 다른 조치 사항을 추가로 진행하는 실행 계획을 수립하였다.

모든 인적 오류 유발 요인들을 동시에 제거하기에는 진행상의 어려움은 물론 인력 부족 등의 한계가 있다. 또한 문제

Table 5. Action items with personal factors

우선순위	조치 사항	평가		
		시급성	난이도	전체
1	작업절차 준수	4.52	2.83	7.35
2	피로누적 (수면부족, 음주, 과도한 개인 활동)	2.67	4.17	6.84
3	인력부족(신체상태, 장비속도, 다량의 제품변화에 대한 고려)	4.58	2.25	6.83
4	직무스트레스	3.59	3.08	6.67
5	직무능력 편차 고려 (업무수행능력, 신체능력)	2.92	2.92	5.84
6	부적절한 인원배치 (신규입사/부서이동 등)	2.59	2.67	5.26
7	사생활로 인한 심리적 불안정	1.83	2.83	4.66

Table 6. Action items with task factors

우선순위	조치 사항	평가		
		시급성	난이도	전체
1	고온작업	4.75	3.25	8.00
2	장비의 잦은 경보 및 오류	4.75	2.50	7.25
3	측정장비 부족	4.67	2.42	7.09
4	중량물 운반작업	2.59	3.59	6.18
5	정밀작업	3.75	2.42	6.17
6	반복형 부담작업	3.00	3.00	6.00
7	유해물질 사용(노출/정보제공 미비)	3.00	2.83	5.83
8	과도한 Spit 진행	2.83	2.83	5.66

Table 7. Action items with social factors

우선순위	조치 사항	평가		
		시급성	난이도	전체
1	인적 오류 DB 구축	3.83	3.50	7.33
2	인수인계 방법	3.00	3.83	6.83
3	교육(안전, 장비운영 교육)	3.50	2.75	6.25
4	조직문화	3.17	2.33	5.50
5	생산량 달성에 대한 압박감	4.00	1.50	5.50
6	휴식 및 식사시간 부족	1.92	3.50	5.42

Table 8. Action items with environmental factors

우선순위	조치 사항	평가		
		시급성	난이도	전체
1	장비 표시장치 및 조작 장치	4.00	3.58	7.58
2	PDA 잦은 고장	4.08	2.67	7.17
3	작업장 바닥	4.00	3.08	7.08
4	안전보호장구 부적합	2.33	3.58	5.92
5	작업환경(소음, 온도, 습도, 진동, 분진)	3.0	2.67	5.67
6	작업 도구 위험성 (티져, 커터칼)	2.50	3.17	5.67
7	작업공간 협소	3.33	2.25	5.58
8	Hand Cart	2.17	3.33	5.50
9	작업대	2.17	3.25	5.42
10	부자재부적합(Cassette, Ring Frame, M/Z, Container)	1.92	3.08	5.42
11	원부자재 교체 작업(Tape, Epoxy 등)	2.17	2.83	5.00
12	외국어 (Manual, 조작 장치, 경고 표지 등)	2.42	2.42	4.83

점의 해결을 위해 해당 요인의 제거만이 최선의 해결방안은 아니므로, 현재 상황에서 더 효과적인 대응조치를 비교하여

우선 추진과제로 결정하였다.

인적 오류 유발 요인의 대응방안은 사업장 여건에 따라 비용-효과 등 실무적용의 효과가 높다고 판정된 방식을 점진적으로 보정하여 적용할 수 있다. 실행 비용 및 전체 공정의 안전 기여도 등을 고려한 등급화를 통하여 실행 효과를 상대적으로 평가할 수 있다. 전사 확대 전에 실행방안에 이러한 독자적인 전략을 수립하는 것도 고려하여야 한다.

3.3 Action plan for the selected countermeasures

현장 중심의 조사분석 결과로 도출된 33가지 조치 사항 중 7.0점 이상의 상위 항목에 우선순위를 두어 우선 8가지 조치 사항과 관련하여 현장개선을 추진하였다. 시급성, 비용 등을 고려하여 우선 조치의 실천 항목을 선정하였고 일부 항목은 즉각적인 개선을 달성하였다. 각 조치 사항에 대한 개선작업을 완료하고 그 결과가 판별되는 대로 순차적으로 기준서를 작성하였다. Table 9는 개선작업이 완료되었거나 지속되고 있는 조치 사항들을 비교한 것이다.

Table 9. The Progress of the action items

개선 상황	조치 사항
개선 완료	1. 장비 표시장치, 조작장치 2. 작업장 바닥 3. 고온작업 안전보호구 4. 잦은 PDA 고장
개선 진행	5. 인수인계오류 6. 작업대 및 수동 카트 7. 작업절차 준수 8. 인적 오류 DB 구축
추가 개선 대상	중량물 운반작업 반복형 부담작업 직무스트레스 정밀작업(Scope, Wafer ID식별 등) 방법

장비 표시장치, 조작장치, 작업장 바닥, 고온작업 안전보호구, 잦은 PDA 고장 등은 단기간에 개선이 완료된 조치 사항으로, Figure 4는 조작장치 개선의 예를 보여주고 있다. 개선이 진행중인 조치 사항은 인수인계방법, 작업대, 수동 카트, 작업절차 준수 등으로 개선이 지속되어야 할 항목이다. 중량물 운반작업, 반복형 부담작업, 직무스트레스, 정밀작업 방법 개선 등 추가 개선 대상 조치 사항은 산업안전분야의 공통적인 현안들로 별도의 조치계획을 수립할 것이다.

Figure 4. The improvement for operating units

4. A Comparison of Human Error Hazard Management in NPPs

반도체 산업에서 인적 오류에 대비한 현장의 단기적인 개선 조치의 효과를 지속하고 전사적으로 고신뢰도를 유지하기 위해서는 보다 체계적인 접근이 필요하다. 특히 장비 표시장치나 조작장치의 경우 설비의 설계단계로부터 정보제공, 오류 감지 특성을 고려한 인간공학 적용이 필요하다. 스트레스 및 근골격계 질환 조치 사항은 체계적인 관리기준, 평가방법 및 관리 절차가 필요하며, 다른 인적 요소 관리에도 자체적인 인간공학 지침 및 관리체계가 필요하다.

원자력 분야에서는 인적 오류 위험에 대하여 사고 발생 후의 별도의 인적 오류 상세 분석은 물론 설비의 설계 및 건설 단계로부터 철저한 인간공학 적용을 통해 대비하고 있다. 모든 설계는 인간공학적 절차, 설계요건 및 지침 등을 통합 관리하여 FSAR(Final Safety Analysis Review)을 통해 안전성을 검증한다. 별도의 사후 대응에서는 K-HPES 인적 오류 조사분석체계를 통한 추이분석뿐만 아니라 개별 사건에서 모든 위험요소를 도출하고 사전 대비할 수 있는 실무방안을 이끌어 내는데 초점을 맞춘다. 분석 결과에 따라 사례 전파, 절차서 개선, 현장 직무위험성 개선, 연계교육, 현장 인적 오류 예방 기법 적용, HMI(Human Machine Interface) 개선 등 가능한 모든 조치를 병행하고 있다.

또한 직무요건(JQC) 분석을 통하여 종사자의 인적 관리

에 필요한 요소들을 도출하는데, 이들은 건강진단, 정신건강, 약물관리, 직무스트레스 관리, 행동관찰, 종사자지원, 행정조치, 업무적합성 정책위반 검토, 감사 및 교정, 피로관리, 기록관리 등과 연계된다. 종사자 훈련을 위해서는 교육훈련에 대한 체계적 접근법(SAT: systematic approach to training)을 적용하여, 직무의 요건 및 난이도를 명시적으로 분석한다. 직무의 세부 요건 및 사전/사후 자격의 검증 과정을 거치며, 필요 시에는 현장과 동일한 시뮬레이션 교육도 동반된다. 인적 오류 예방 현장기법으로는 자기진단(self-check), 동료점검(peer check), 사전점검(first check), 동시확인(concurrent verification), 의사소통 재확인(3way communication), 작업 전 회의(pre-job briefing) 등 15종의 기법을 필요에 따라 활용하고 있다.

반도체 공장과 같은 고신뢰도 대형 시스템은 현대 과학기술이 집약되어 있기 때문에, 외견상 간단한 인적 오류라고 해도 그것을 효과적으로 방지하기 위해서는 다양한 기술 분야의 참여와 체계적인 접근이 필요하다. 관리자 또는 현장 실무자가 각각 그 원인을 독립적으로 판단하면 실제 문제점에 대응하지 못할 수 있다. 인적 오류의 분석 결과는 작업자의 조치뿐만 아니라 반드시 주어진 상황 및 대상시스템의 거동에 대한 정보와 결합되도록 종속성과 구조성을 반영해야 한다(Y. H. Lee, et al., 2009). 손실과 그 원인으로 인적 오류를 설명하고 원인을 제거하여 대응하려는 단순한 기술로는 실제적인 인적 오류 대응 효과를 거두기 어렵다.

특히 분야별 특수성을 고려해야 할 전형적인 예가 인적 오류에 대한 기술이다. 산업체에서 인적 오류와 관련된 많은 보고서가 작업자의 행위나 그와 관련된 공통적인 영향요소를 기반으로 기술되어 있어서, 그러한 정보 및 분석 과정이 현장의 고유한 위험성을 반영하지 못하고 오히려 희석시키는 방법으로 행해지고 있는 부분도 있기 때문에, 인적 오류 경험의 현장 활용을 촉진하고 안전성을 향상시키기에 부적절한 측면이 있다(Y. H. Lee, et al., 2008).

복잡한 체계에서 인적 오류는 작업자 행위 자체의 결함이 아니라, 작업자의 행위와 관련하여 주어진 체계와 상황의 특수한 요소가 결합하여 결정된다. 작업자의 행위 및 내부과정에 대한 심층적인 분석은 관련된 작업자를 이해하거나 학술적인 목적에는 도움이 될 수 있으나, 인적 오류의 실체를 파악하고 적절한 대응방안을 수립하는 데는 충분하지 못하다. 특히 대형 산업에서는 체계손실을 작업자의 자발적인 동기에만 의존할 수 없는 비상해(non-injury) 위험 체계의 특성을 보이기 때문에(Y.H. Lee, 2006), 작업자에 대한 조치에 집중할 경우 책임성 부담에 따른 왜곡이나 회피형(avoidance) 오류가 증가할 가능성이 크다. 안전문화와 같은 간접적인 방식으로는 고신뢰도 달성에 한계가 있다.

인적 오류에 대한 효과적인 접근은 각 산업 분야별, 사업장 별로 특화된 방식으로 이루어져야 한다. 특히 분석대상은 인적 오류 자체 보다는 그 유발 요소라야 하며, 조사되는 유발요소의 세부 항목은 일반적인 위험요소가 아니라 해당 산업과 직접 관련하여 반드시 관리가 되고 있거나 관리가 가능(controllable)하여야 한다. H사가 과거 인적 오류의 기초정보로 '개인 부주의'를 분석한 것은 원인이 아니라 단순히 형태(type)를 기준으로 분류한 것이다. 행위자의 동기나 심리적 과정 등 내부특성에 따른 분류나 행위의 결과가 보이는 형태(type)를 기준으로 인적 오류를 분류할 경우, 인지심리학 등 연구 목적을 달성하는 데 유익할 수 있지만, 현장에서 실제 인적 오류를 대응하는 데는 정보가 미흡하다. 따라서 원자력 분야처럼 체계적 분류 및 분석방안이 개발되어야 할 것이다(Y. H. Lee, et al., 2008).

5. Discussion

본 연구에서는 인적 오류 관련 사고를 예방하는 기법과 불안전한 행위 유발 요인들을 조사하고 반도체 산업에서의 인적 오류 예방 활동 사례를 원자력 발전소에서의 경험으로 비교 검토하였다. 본 사례는 반도체 산업 현장에서 인적 오류 위험성을 분석하고, 가능한 실행방안을 도출한 것이다. 핵심 요인의 항목 도출에서부터 조치 항목 선정에 이르기까지 경험적 의견이 반영되고, 실무자의 합의에 따라 조치 항목을 등급화 및 선정함으로써, 현실성 및 효과가 높은 우선 조치 사항으로 도출 시행할 수 있었으며, 실질적인 인적 오류 개선 효과를 기대할 수 있었다. 최근 인적 오류에 대한 연구가 비교적 활발히 이루어지고 있으나 반도체 산업은 그동안 고신뢰도의 안전한 사업장으로 간주되어 오히려 인적 오류 관련 연구 및 예방 활동이 부진한 실정이었다. 본 사례의 인적 오류 예방 활동을 기반으로 전사적으로 인적 오류 감소 조치를 확립함으로써 안전 사고 및 산재비용 감소 효과는 물론 공정 사고를 예방하여 반도체 산업의 생산성 향상 및 고신뢰도 공정을 달성할 수 있을 것이다.

하지만 이러한 현장 중심의 인적 오류 예방 활동은 몇 가지 한계가 있다. 우선 작업자의 경험과 사례에 의존하여 의사결정이 이루어지기 때문에, 본질적으로 사후 조치라는 한계에 머물게 된다. 또한 개별적인 조치가 전체적으로는 오히려 인적 오류 방지나 생산성에 도움을 주지 못하는 경우도 발생할 수 있다. 보다 근본적으로는 인적 오류를 실수(slip) 중심의 작업자 문제에 집중함으로써, 작업자들이 인적 오류 예방 활동의 주체가 되기 보다는 오히려 예방 조치의 대상으로 전락하는 상황으로 오도될 수 있기 때문이다.

본 연구에서는 도출된 인적 오류 예방 활동은 산업 현장의

당면한 문제를 중심으로 한 개선 활동이므로, 직접적으로 그 효과를 확보할 수 있었다. 하지만 이러한 현장 활동의 실제 효과를 거두려면 실무적인 제어가능성을 확보한 H사만의 고유한 인적 오류 유발요소의 항목을 확정하는 현장연구가 시급하다. 보다 지속적으로 인적 오류를 감소하기 위해서는 인적 오류의 구조성, 종속성, 대표성 등 기본적인 속성을 반영한 포괄적인 인적 오류 분류 및 분석체계 개발이 필요하다. 특히 원인 분석의 결과로 도출된 원인요소를 곧장 대응조치로 직결하여 제거하려는 단순한 분석 논리를 뛰어넘어, 공학적으로 효과적인 대응방안 선정을 위한 신중한 의사결정 절차를 개발해야 할 것이다(Y. H. Lee, 2009). 또한 전사 확대 적용하기 전에 인적 오류의 중요성과 조치의 필요성을 현장 작업자, 관리자, 경영층에 공유시킴으로, 반도체 산업 및 자사의 고유한 특성을 반영한 체계적인 인적 오류 관리체계를 정립해야 할 것이다.

References

INPO, Human Performance Fundamentals Course Reference, 2002.

Kim, K. H., et al., Research for Safety Accident Prevention based on Potential Human Error in Semiconductor Industry, *Proceedings of the KORMS/KIIE Spring Conference*, 2009.

KOHSA, Guideline for Human Error Analysis, *KOSHA Code P-11-2007*, 2007.

Lee, Y. H. and Lee, Y., A Systematic Approach to the Countermeasures for Human Errors in Nuclear Power Plants, *Transactions of the Korean Nuclear Society Spring Meeting Jeju*, 2009.

Lee, Y. H. and Jang, T. I., A Review on the Evolution of Human Errors in Industrial Setups, *Proceedings of the ESK Spring Conference*, 2008.

Lee, Y. H., et al., *Human Error Cases in Nuclear Power Plants*; 2002~2007(in Korean), KAERI, 2007.

Lee, Y. H., A Discussion for a More Effective Approach to the Human Error Studies in Industries. *Proc. ESK 2006 Spring Conf*., 2006

Yoon, Y. G. and Park, B., A Method and Analysis of Human Error Management of a Semiconductor Industry, *Journal of the Korea Safety Management & Science*, v.8, no.1, pp17-26, 2006.

Author listings

Yonghee Lee: yonghee@kaeri.re.kr

Highest degree: PhD, Department of Industrial System Engineering, Dong-A University
Position title: Researcher, Division of I&C and Human Factors, Korea Atomic Energy Research Institute(KAERI)
Areas of interest: Organization & Management, Human Error, Job Stress

Yong Hee Lee: yhlee@kaeri.re.kr

Highest degree: MS, Department of Industrial Engineering, Seoul National University
Position title: Section Head, I&C and Human Factors Division, Korea Atomic Energy Research Institute(KAERI)
Areas of interest: Human Error, HMI, Cognitive System Engineering

Jae-Seng Ruy: jaeseng.Ruy@hynix.ac.kr

Highest degree: BA, Department of Business Administration, Yonsei University
Position title: Manager, CAO ESH Team, Hynix Semiconductor Inc
Areas of interest: Industrial Safety, Human Error

Date Received : 2011-01-31

Date Revised : 2011-02-09

Date Accepted : 2011-02-09