

가 :

강영식*[†] · 박 범** · 윤용구***

*세명대 보건안전공학과
**아주대 산업정보시스템공학과
***삼성전자(주)

Development of Risk Assessment by Ergonomics for Conscious Reform : Focused on the Semiconductor Industry

Youngsig Kang*[†] · Peom Park** · Yonggu Yoon***

*Department of Occupational Health and Safety Engineering, Semyung University

**Department of Industrial and Information Systems Engineering, Ajou University

***Samsung Electronic Co., Ltd.

The unsafe act and unsafe condition is due to human error that experience 80% of safety accidents. Accordingly, one of the most important issues to reduce industrial accidents as a whole, is how to reduce the accident rate by the human error. Therefore, this paper describes the development of quantitative risk assessment (QRA) model by ergonomics for reform of safety consciousness on the semiconductor industry. Unconsciousness, disregard, ignorance, recklessness, and stress among the human factors are selected for conscious reform. Finally, the QRA model is efficiently expected to contribute towards improving continuous self-safety and health and safety culture campaign in order to prevent industrial accidents.

Keywords : Unsafe Act and Unsafe Condition, Human Error, Human Factor, QRA Model

1. 서 론

최근에 우리나라의 산업재해는 2007년에 90,147명의 재해자 발생하여 산업재해율은 0.72로 산출되었으며, 장기간 재해율이 정체되고 있는 실정이다[4]. 또한, 근로자 10,000명을 기준으로 볼 때 업무상사고 사망만인율은 1.1명으로 미국의 0.39명보다 사망재해가 매우 높게 발생하는 실정에 있다[4]. 이러한 산업재해를 유발하는 안전사

고의 80%는 인적오류(Human Error)에서 비롯된다[3]. 따라서 산업재해를 획기적으로 최소화하기 위해 정부에서는 제3차 산업재해예방계획(2010~2014)에서 근로자의 안전과 건강을 확보하기 위하여 “3대 재래형 재해(추락, 전도, 협착)에 대한 근원적 방지 대책”, “정량적 위험성 평가”, 그리고 장기적인 관점으로 “안전문화의 정착을 위한 지속적인 활동 방안”에 대하여 선택과 집중을 더욱 더 강화하여 구체적이며 체계적인 방안을 수립하려

논문접수일 : 2009년 07월 30일 논문수정일 : 2009년 09월 07일 게재확정일 : 2009년 09월 14일

[†] 교신저자 kys@semyung.ac.kr

※ 본 연구는 2008년도 삼성전자의 지원을 받아 수행된 연구임.

하고 있다.

휴먼팩터(Human Factor) 중에서 의식인자에 대한 기존의 연구를 살펴보면, Kantowitz[8]는 원전에서 인간의 수행도와 오류를 최소화하기 위하여 인간의 특성, 연령, 능력, 인지, 경험적인 심리학을 바탕으로 인자측정기준을 정하였다.

이용희 외 5인[6]은 신형경수로 1400 시스템은 지적인 인간의 수행도에 관한 문제가 수반되기 때문에 인적오류의 방지를 위해 인지심리학, 인지공학적인 관점에서 개발하는 것을 제안하였다.

강영식[1, 2]은 유연생산시스템에서 잠재위험을 최소화하기 위해 기능적 요인과 인지 및 인지심리를 고려한 정성적 요인을 가지고 정규화 한 점수산정 모형을 통하여 체계적인 신뢰성 평가 모형을 개발하였다.

기존의 연구를 분석 해보면, 휴먼팩터 중에서 의식인자를 고려하여 전체적인 관점으로 위험성 평가를 수행한 연구는 아직 보이지 않는 실정이다.

그러므로 본 연구는 자주안전보건운동 전개를 활성화시키기 위한 일환으로 반도체 제조업을 중심으로 휴먼팩터 중에서 의식의 부재에서 비롯되는 잠재위험(Hazard)을 획기적으로 제거하기 위해 우리 실정에 맞는 정량적 위험성 평가 기법을 개발하여 적용하는 것이다. 우리 실정에 맞게 개발된 정량적 위험성평가 기법은 모든 근로자가 전사적으로 횡전개를 통하여 의식의 부재에서 비롯되는 잠재위험을 지속적으로 매우 쉽게 제거 할 수 있다. 또한, 의식을 개선하기 위한 휴먼팩터 들은 반도체 제조업인 일본의 세이코 엡슨회사에서 추출한 인자들로부터 개발되었다[7].

2. 휴먼팩터에 의한 정량적 위험성 평가 모형

사업장에서 의식개선을 통한 자주안전보건운동 전개와 안전분임조를 중심으로 안전문화를 정착시키기 위한 방안으로는 모든 근로자 및 관리자에게 동기부여를 제공 할 수 있는 구체적인 정량적 위험성평가 기법을 개발하여 전사적으로 실행되어야만 한다. 외국은 유치원에서부터 정규교과서에 안전보건에 대한 교육을 수행하고 있는데 반하여 우리나라의 안전보건 교육은 매우 부족 실정이다.

그러므로 의식개선을 위해 장기적인 계획을 세워 지속가능한 활동을 수립하고 실행해야만 한다. 따라서 선진안전보건국에 비하여 안전보건에 대한 의식이 매우 미흡한 상황에서 우선적으로 해결해야 할 추진과제 및 절차는 다음과 같다.

1단계는 휴먼팩터 중에서 횡전개를 통한 무의식 개혁

이 우선적으로 해결되어야만 한다. 이 단계에서는 정량적 위험성 평가를 통하여 안전보건의식의 생활화가 목표이다. 무의식이란 사업장에서 잠재위험에 대해 의식이 없이 불안정한 행동(Uunsafe Act)과 불안정한 상태(Unsafe Condition)나 자세를 취하는 것을 의미한다.

2단계는 무시를 개선하기 위한 활동이다. 이 단계에서는 생산을 방해하지 않는 범위 내에서 안전보건에 대한 규칙 및 절차를 생활화 하는 것이다.

무시란 안전보호구, 안전절차서, 시건장치, 안전수칙 등의 준수사항을 지키지 않는 것을 의미한다.

3단계는 무지를 개선하기 위한 활동으로 안전보건의 교육을 생활화하는 것이다. 무지란 안전보건에 대한 지식이 부족한 상태에서 임의로 불안정한 행동을 유발하는 것을 말한다.

4단계는 무모를 개선하기 위한 활동으로 안전보건의 지식이 있는 상태인데도 불구하고 불안정한 자세나 불안정한 행동을 취하는 것으로 안전보건에 대한 체질개선을 도모하기 위함이다. 예를 들면, 무거운 설비나 부품을 무리한 자세로 들거나 중대 잠재위험이 내재되어 있는 설비에 들어가는 것을 의미한다.

마지막으로 산업재해예방을 위한 전략의 1순위인 스트레스의 수준을 개선하는 활동이다. 이 단계에서는 작

<표 1> 의식 저하 상황과 예

번호	의식	상황	예
1	무자각	◦ 자신이 하고 있는 일의 의미나 의무, 책임 등을 모르고 있다.	◦ 불안정한 행동을 보아도 보지 않은 척 한다. ◦ 공구류 등이 정리정돈이 되어 있지 않다.
2	무관심	◦ 일에 관심을 갖고 주의를 기울이거나 주체적으로 임하는 마음이 없다.	◦ 안전연락회의 내용을 제대로 듣지 않는다. ◦ 바닥의 울퉁불퉁한 곳에 부딪혔다.
3	무사고	◦ 깊은 생각이나 사고가 없는 상태로 작업한다.	◦ 기계를 멈추지 않고 조정한다.
4	무시	◦ 현재 있는 것의 존재를 인정하지 않는다.	◦ 보호구를 착용하지 않는다.
5	무모	◦ 불안정한 자세로 작업을 한다.	◦ 무거운 것을 혼자서 옮긴다.
6	무지	◦ 그 방면에 지식이 없다.	◦ 매뉴얼을 읽지 않는다.
7	무의식	◦ 확실한 의식이 없이 무언가를 수행한다.	◦ 기계, 장치 등에 손을 댈다.
8	무단	◦ 혼자 해서는 안 되는 행동을 한다.	◦ 상사의 지시를 따르지 않는다.
9	무신경	◦ 감정의 기복을 그대로 작업에 투영해 버린다.	◦ 마음대로 팀워크를 깬다.

업장(조명, 습도, 진동, 복잡한 설비 등), 직무(업무, 상사와의 갈등, 작업조건의 변화 등), 생활(동료와의 관계, 가족의 건강 변화, 인간관계 등) 스트레스를 장기적인 관점에서 해결 방안을 모색하는 것이다[9]. 이 단계에서 스트레스란 작업장, 직무, 생활스트레스로 인하여 잠재위험이 발생하는 것을 말한다. 휴먼팩터 중에서 의식을 저하시키는 상황과 예는 <표 1>과 같다.

2.1 의식인자의 정량적 평점 평가

정성적으로 발생하는 인자에 대해 정량적으로 객관성과 타당성을 제공하는 기법 중에서 매우 효율적으로 평가하는 기법은 평점척도법이다. 직무 위급도 분석(Task Criticality Rating Analysis Method)[11], 고장유형(형태)영향분석(Failure Mode and Effect Analysis) 기법[10] 등은 각각의 평가요소에 대한 평점을 정규화하고 그 다음에 종합적인 평가등급을 정규화 하기 때문에 일반적인 객관성과 타당성에 대한 검증을 제공하고 종합적인 평가등급을 바탕으로 구체적인 해결방안을 제시하는 기준을 마련 해 준다. 반도체 업종에서 경험적 결과 및 재해사례를 바탕으로 의식의 불안정한 행동과 불안정한 상태를 유발하는 인적오류는 4가지로 판명되었다.

그러므로 평가요소는 4가지로 잠재위험의 강도, 위험유해요인이 발생 할 수 있는 빈도, 업무상 사고나 업무상 질병을 유발 할 수 있는 가능성, 설비의 위험성으로 구분하여 정성적 인자들을 정량화한다.

본 연구에서의 평점 평가법은 평가요소의 평점을 정규화하고 그 다음에 종합적인 평점을 정규 근사화하여 객관성을 가지면서 구체적으로 해결방안을 제시하는 기준을 마련하고자 한다.

2.1.1 잠재위험의 강도

잠재위험의 강도는 잠재위험에 의해 재해에 영향을

<표 2> 잠재위험의 강도

위험강도	평점	내 용
치명적 재해	10	사망, 영구 전노동 불능, 실명 등 치명 재해(1~3등급)
중대 재해	8	장기적 입원이 요구되는 중대재해(4~8등급)
휴업 재해	6	치료를 받기 위해 입원을 필요로 하는 재해(9~14등급)
통원 재해	4	14등급 미만으로 입원이나 통원 치료 하면서 업무가 가능한 재해
응급조치 재해	1	진료소 치료 후 업무가 가능한 경상
무상해	0	상처가 없는 무시 할 수 있는 위험

미치는 정도를 평점화한다. 잠재위험 강도의 평점은 <표 2>와 같다.

2.1.2 유해요인이 발생 할 수 있는 빈도

유해요인은 발생할 수 있는 잠재위험의 퍼센트를 평점화한다. 유해요인에 의한 평점은 경험적인 자료를 바탕으로 정규화하였으며, 점수는 <표 3>과 같다.

<표 3> 유해요인의 발생 빈도

빈 도	평점	내 용
자주	5	작업 시에 50% 이상
보통	4	작업 시에 30% 이상 50% 미만
가끔	3	작업 시에 20% 이상 30% 미만
거의 발생하지 않는	2	작업 시에 10% 이상 20% 미만
극히 발생 할 것 같지 않은	1	작업 시에 10% 미만

2.1.3 재해 및 질병 가능성

잠재위험에 대한 재해 및 질병 가능성은 사고나 위험을 파악 할 수 있느냐와 교육과 훈련에 의해 방지 할 수 있느냐로 구분하여 평가하며, 2가지 가능성에 대해서 평가점이 높은 쪽을 선택한다.

재해 및 질병 가능성에 대한 평점은 <표 4>와 같다.

<표 4> 재해 및 질병 가능성

가능성	평점	위험감지 가능성	위험회피 가능성
확실	5	재해가 발생하기 까지 위험을 파악 할 수 없음	반복적 교육 및 훈련을 받았어도 위험을 회피 할 수 없음
가능성이 높음	4	세심한 주의를 하지 않으면 위험을 파악 할 수 없음	반복적인 교육을 받지 않으면 위험을 회피 할 수 없음
가능성이 보통	3	충분한 주의를 하지 않으면 위험을 파악 할 수 없음	반복적인 훈련을 받지 않으면 위험을 회피 할 수 없음
가능성이 있음	2	주의만 하면 위험을 파악 할 수 있음	회피순서를 알고 있다면 위험을 피할 수 있음
거의 없음	1	매우 쉽게 위험을 파악 할 수 있음	매우 쉽게 위험을 회피 할 수 있음

2.1.4 설비의 위험성

설비에 기인한 사고는 중대재해(Fatal Accident)를 유발 할 잠재위험이 내재되어있기 때문에 발생빈도에 따라 확률값에 대한 평점을 부여하여 설비의 안전성을 도모

한다. 본 연구에서는 Chapanis가 제안한 평점척도법을 적용한다[1, 5].

<표 5> 설비의 위험성

빈도	평점	확률 및 내용
자주	6	$> 10^{-2}$ /day, 때때로 일어남
보통	5	$> 10^{-3}$ /day, 한 항목의 수명 중 수회 일어남
가끔	4	$> 10^{-4}$ /day, 한 항목의 수명 중 드물게 일어남
거의 발생하지 않는	3	$> 10^{-5}$ /day, 그리 일어날 것 같지 않은
극히 발생할 것 같지 않은	2	$> 10^{-6}$ /day, 발생확률이 0에 가까움
전혀 발생하지 않는	1	$> 10^{-8}$ /day, 물리적으로 발생 불가능

2.1.5 종합평가 및 대책

잠재위험을 제거하기 위해 종합평점의 판정기준에 의한 체계적인 관리대책은 <표 6>과 같다.

<표 6> 의식개선을 위한 판정기준과 대책

등급	종합평점	판정기준	대책
5	23~26	치명적 문제	즉시 개선
4	19~22	중대 문제	대책 시급
3	14~18	위기 다량 존재	개선
2	8~13	경상 다소 존재	관리적 대책
1	3~7	무시	대책을 세우지 않음 (5점 이상 교육 대책)

3. 사례연구

본 장에서는 사례연구 대상으로 업종은 수도권에 위치한 반도체 업체를 중심으로 하였으며, 종업원 수는 약 4,000명이며, 사업장에 근무하고 있는 근로자 및 관리자를 연구대상으로 하였다. 이 업체는 안전의식 개선을 위해 전사적으로 자주안전보건 운동과 안전문화 정착을 위해 잠재위험을 제거하는 활동을 체계적으로 수행하고 있는 업체이다.

그러므로 본 연구에서는 안전의식 개혁운동을 지속적으로 전개하기 위해 반도체 업체를 대상으로 우리 실정에 맞게 개발한 위험성 평가 모형을 적용하였다. 사례분석 결과 휴먼팩터 중에서 무의식이나 무시에 의한 산업

재해가 주류를 이루고 있다.

<표 7>은 실제 재해사례를 대상으로 위험성 평가를 적용한 사례이다. <표 7>에서 보면, 위험요인을 가지고 불안정한 행동이나 불안정한 상태를 유발하는 근본원인을 해당 의식인자에 표시한 후에 4가지 평가요소에 해당하는 점수를 실제 재해등급일수나, 빈도를 반영하여 각각의 평가요소에 대한 점수를 결정한다. 그 다음에 합산한 총 평점을 기준으로 판정등급을 결정한다. 본 연구에서 개발한 의식인자를 제거하기 위한 위험성 평가는 실제 현장에서 안전보건 근로자 및 관리자 등이 매우 쉽게 현장에서 적용하고 있다. 또한, 재해가 일어 날수 있는 잠재위험 포인트에서 의식인자에 대한 산업재해를 사전에 예방할 수 있는 매우 중요한 위험성 평가 방법이다.

사례 5번과 7번은 재해 빈도값을 반영하여 평점을 부여한 것으로 특히, 7번은 보전관리자가 설비나 시스템을 보전 시에 안전지침이나 매뉴얼을 반드시 숙지한 후 보전작업을 수행해야만 하는데도 불구하고 무지의 결여로 인한 재해빈도 값을 반영 한 것으로 안전교육의 미비와 안전의식 부재에서 비롯된 재해이다.

사례 5번은 한국형 생활변화단위(LCU : Life Change Unit) 모형 개발[9]에서 볼 수 있듯이 절친한 친구의 죽음은 중대재해를 유발하게 되므로 잠재위험의 강도는 재해등급을 반영한 점수이며, 재해 및 질병가능성의 평가에서는 위험검지 가능성에서 매우 높은 점수를 받게 된다.

<표 7>을 분석 해보면, 무의식이나 무시에 의한 산업재해가 주류를 이루고 있기 때문에 본 연구에서 제안한 1단계인 무의식 개혁운동과 2단계인 무시를 제거하는 활동을 지속적으로 전개해야만 한다. 따라서 본 연구의

연구대상인 반도체 업체에서는 우선적으로 1단계인 불안정한 상태를 유발하는 근원적 재해인자인 무의식을 제거하기 위해 안전보건의식의 생활화를 목표로 자주안전보건운동을 지속적으로 전개하여 매달 이에 대한 평가 및 개선을 실시하고 있다.

그러므로 1단계에서 4단계까지 장기적인 관점에서 지속 가능한 방향으로 의식인자를 제거해야 만이 무재해 (Zero Accident) 사업장으로 근로자 및 관리자의 생명과 건강을 확보하게 되는 것이다.

4. 논의 및 결론

본 연구는 휴먼팩터 중에서 5가지 의식인자인 무의식, 무시, 무모, 무지, 스트레스를 고려하여 반도체 산업을 중심으로 우리 실정에 적합한 위험성 평가 모형을 개발

<표 7> 정량적 위험성평가표

실시년월일	소 속	작성자

공정명 :														
번호	사고 형태	잠재위험 분석		평가요소 (설비관련 없으면 0)				평가		의식평가 항목 (해당 의식인자에 ○ 표시)				
		위험요인	부상 및 질환	강도	빈도	가능성	위험성	총 평점	판정 등급	무의식	무시	무지	무모	스트레스
1	충돌	코너 반대편에서 오는 사람과 부딪혀 부상	타박	4	1	1	0	6	1	○				
2	협착	설비보전 시에 기계부위에 무심코 손을 얻어 손가락 끼임	골절	4	1	1	3	9	2	○				
3	무리한 자세	도와주는 사람이 없어 30kg의 중량을 혼자서 옮김	염좌	1	1	1	0	3	1				○	
4	전도	비/눈오는 날 양손을 바지에 넣고 가다가 바닥에 떨어진 물에 미끄러짐	골절	6	1	1	0	8	2	○				
5	협착	절친한 친구(죽마고우)의 사망 소식을 듣고도 곧 바로 작업 수행 시 기계부위 손가락 협착 사고	골절	4	1	4	1	10	2					○
6	충돌	좁은 장소에 안전모를 착용하지 않고 들어갔다 머리에 충돌	타박	1	1	1	0	3	1		○			
7	협착	조정장치 매뉴얼을 읽지 않고 작업하다 회전 부위에 협착	골절	6	2	1	1	10	2			○		

하였다. 따라서 본 연구에서 기대되는 효과 및 결론은 다음과 같다.

첫째, 의식인자에 대한 산업재해를 근원적으로 제거하기 위해 반도체 업종을 대상으로 우리 실정에 맞게 구체적인 추진 단계를 제안하였다. 반도체 업종은 안전관리면에서도 안전보건선진국과 어깨를 나란히 하면서 선두경쟁을 하고 있다.

그러나 사례연구에서도 나타나듯이 무의식, 무시에 대한 산업재해가 주류를 이루고 있기 때문에 우선적으로 이 두 가지 인자를 제거하기 위해 지속적으로 안전분임조에 의한 개선과 활동을 전개해야만 한다.

둘째, 본 연구는 불안정한 행동과 특히 불안정한 상태에서 잠재위험을 유발하는 근원적 의식인자를 매우 쉽고, 간단하게 평가하여 제거 할 수 있는 인간공학적 위험성 평가 모형을 개발하였다.

마지막으로, 안전의식 개혁은 단기간에 달성 될 수 있는 방안이 아니기 때문에 의식 개혁을 통한 정량적 위험성 평가를 활성화하기 위해서는 전사적 자주안전대회에 의한 포상제도 및 개선 제안제도를 지속적으로 추진해야만 한다. 그래야만이 의식인자에 의해 불안정한 행동 및 불안정한 상태를 유발하는 산업재해를 획기적으로 감소시킬 수 있으며, 안전보건의식이 뿌리 깊게 정착

되게 된다. 또한, 근로자 및 관리자는 안전문화 정착에 의해 삶의 가치를 향상시킬 수 있을 뿐만 아니라 기업의 인지도를 극대화 할 수 있게 된다.

추후에 연구과제로는 각각의 의식평가항목과 재해등급과의 상관관계 분석이 요구된다.

참고문헌

- [1] 강영식 외 4인; 시스템안전공학(개정·증보판), 태성, 10-41, 2007.
- [2] 강영식; “유연생산시스템을 위한 신뢰성 평가”, 대한설비관리학회지, 8(2) : 131-148, 2007.
- [3] 강영식 외 6인; 인간공학, 형설, 28 : 2008.
- [4] 노동부 산업안전보건국, 산업재해통계, 2008.
- [5] 미국 국방성, MIL-STD-882E, U.S.A., 1-30, 2005.
- [6] 이용희 외 5인; “차세대 원자로 설계를 위한 인간신뢰도(HRA)) 분석 기법 고찰”, 한국원자력연구소, 1-119, 2000.
- [7] 중앙노동재해방지협회, 직장 위험성평가 사례집, 32-43, 2008.
- [8] Kantowitz, B. H.; “Selecting Measures for Human Factors Research,” *The Human Factors Society*, 34(4) : 387-398,

- 1992.
- [9] Kang, Y. S., Hahm, H. H., Yang, S. H., and Kim, T. G.; “Application of the Life Change Unit Model for the Prevention of Accident Proneness among Small to Medium Sized Industries in Korea,” *Industrial Health*, 46(5) : 470-476, 2008.
- [10] Legg, J. M.; “Computerized Approach for Matrix-form FMEA,” *IEEE Transaction Reliability*, R-27 : 254-257, 1978.
- [11] Pickrel, E., and McDonald, T.; “Quantification of Human Performance in Large, Complex Systems,” *Human Factors*, 6(6) : 647-662, 1964.