

반도체 산업에 적용 가능한 HAZOP 기법 연구

A HAZOP(HAZard and OPerability) Study for Practical Method in Semiconductor Industry

김형석·한수진*·이영순**

동부전자(주)· *HYDIS(주)·**서울산업대학교 안전공학과

1. 배 경

위험성 평가의 목적은 현재의 위험 상태를 평가하고 이들 위험이 허용가능한가를 평가하여 시스템의 개선과 위험을 감소시키는 데 있다. 기업에서 모든 위험을 Zero화 시킨다는 것은 현실적으로 어렵기 때문에 사업장에서 발생할 수 있는 모든 이탈 상태를 파악하고, 안전경영의 우선순위를 정하여 운영해야 한다. 이에 필요한 것이 위험성 평가이며 위험성 평가의 필수적인 요소는 정량화를 통하여 허용가능성 여부를 판단하는 것에 있다.

반도체 산업에서 위험성 평가를 실시해야 하는 주된 이유는 OHSAS 18000 인증과 공정안전관리(PSM)를 추진할 때이다. 이 두 프로젝트를 수행할 때 많이 사용되는 기법이 HAZOP 기법이다. 이 기법은 잠재적인 위험성을 찾아내는 데 훌륭한 기법으로 평가되고 있으나 정량화가 힘들다. 특히 OHSAS 18000 시스템 구축할 때에는 위험성 평가를 기반으로 목표 수립과 안전관리프로그램 수립, 성과 측정이 어렵다.

본 논문에서는 Checklist, HEA(Human Error Analysis), HAZOP 3가지 기법이 어떻게 적용·활용될 수 있는지에 대하여 설명한다. 이들 3기법 중 HAZOP 기법의 개선을 중심으로 기술한다. 개선된 기법을 통하여 설비의 안전성 향상 및 위험성 감소 효과의 예를 제시하도록 한다.

2. 반도체 산업에서의 위험성 평가 기법 개선

반도체 산업에서 위험성 평가를 선정함에 있어 <표 1>과 같이 위험성 평가 기법의 개선이 필요하다.

<표 1> 위험성 평가 기법의 개선

	항 목	조 건	개 선
조건1	정량화	정량화가 가능해야 한다.	<ul style="list-style-type: none"> · 모든 위험요소(이탈)에 대한 정량화 · 모든 항목(사고의 빈도, 가능성, 결과, 위험(Risk) 등급, 조치사항 등)의 표준화
조건2	단순성	쉬워야 한다	<ul style="list-style-type: none"> · Checklist 적극 활용 · 모든 항목의 표준화

조건3	위험 발굴성	잠재적인 위험을 구체적으로 발굴할 수 있어야 한다.	· HAZOP 기법 사용
조건4	인간오류 분석 가능성	사고 원인의 상당히 많은 비중을 갖고 있는 인간오류를 분석할 수 있어야 한다.	· 작업자 실수 분석 기법 사용 · 다른 기법의 보조기법으로 사용
조건5	범용성	어느 단위공정이든 범용적으로 사용 가능해야 한다.	· HAZOP 기법 사용(HAZOP 기법은 여러 공정단계에서 사용 가능함)
조건6	일관성	어느 기법을 적용하든 risk를 산출하는 데 일관성을 가져야 한다.	· 통일된 위험성 평가 서식 사용 · 모든 항목의 표준화

위와 같은 조건을 만족하기 위해 반도체 제조 산업에서는 Checklist, HEA, HAZOP 기법을 사용할 수 있다. 이들 3기법들이 적용될 수 있는 공정(작업)은 아래와 같다.

1) HAZOP

실험, 보수, 하역, 기타 이와 유사한 작업을 제외하고 장비 및 유틸리티 설비, 반도체 제조공정에 적용한다.

2) HEA

실험, 보수, 하역작업 등 작업에 의한 근로자 오류의 종류와 결과를 평가하는 데 적용한다. 또한 HAZOP으로 평가된 이탈의 원인이 작업자 실수에 의한 것일 경우 이를 체계적으로 분석하는데 보조기법으로 적용한다.

3) Checklist

일상 위험성평가를 실시할 경우 혹은 HAZOP, HEA 기법으로 적용하기 힘든 공정, 작업, 단순 공정에 사용된다. 또한 위의 두 기법의 보조기법으로 적용한다.

3. 개선된 HAZOP 기법 적용 절차

4절의 평가서식은 HAZOP, HEA, Checklist 등 세 가지 기법을 모두 사용할 수 있는 양식이다. 위의 세 가지 기법을 사용한 개선된 HAZOP기법 적용 절차는 다음과 같다.

3.1 위험요소

- 1) HAZOP : 이탈(deviation) 생성 규칙에 따라 발견된 이탈 명기
- 2) HEA : 작업단계별 실수의 유형에 따른 이탈 명기
- 3) Checklist : 부적절 항목 중 위험요소 명기

3.2 F(Frequency : 빈도)

이탈(위험요소)이 발생할 수 있는 빈도로서 <표 2>를 이용하여 "빈도수준" 값을 구한다. 각 이탈에 대해서 각기 다른 원인이 나타날 수 있는데 이탈원인 칼럼에는 이들

원인을 적고 빈도란에는 각각의 원인별로 빈도(F)값을 찾아 적는다. 이탈의 원인은 사업장의 실정에 맞도록 추가하여 사용하여도 된다.

<표 2> 빈도수준

빈도수준 (F)	이탈 원인	빈도(λ) (number/year)	Number of times in the plant's life
Very Frequent (VF)	<ul style="list-style-type: none"> ◇ 인간오류 ◇ 정상 운전 상태에서의 점화원 발생 -스위치 차단 등... 	$\lambda \geq 1$	Numerous times
Frequent (F)	<ul style="list-style-type: none"> ◇ 인간오류 ◇ 동적 시스템의 고장 -regulation system, analyzer, control system, automatic controller, pump, agitation, mechanical fittings 등.... ◇ 이동(교체) 가능한 부분(부품)으로부터 공정 누출 -hoses, bellows, lip-seals, mechanical fittings 등.... ◇ 부식으로 인한 틈(구멍) -내부에 부식을 일으킬 수 있는 환경 -보온재 안 혹은 외부에 습기가 많아서 부식 발생 등.... ◇ Rupture disk의 조기 개방(Set pressure 이하에서) ◇ 인간오류 혹은 동적인 시스템 고장으로 점화원 발생 	$10^{-1} \leq \lambda < 1$	Several times
Possible (P)	<ul style="list-style-type: none"> ◇ 정적인 시스템 고장 -static seal, electric wire 등.... ◇ 부식이 발생하지 않는 환경에서 파열 -배관 DN\leq25mm ◇ 안전밸브의 원치 않는 개방 ◇ 2가지 원인 혹은 정적인 시스템 고장으로 인한 점화원 발생 -공기 혹은 파우더 배출 출구의 차오름에 의해 냉각을 잃음 -2개의 전기선 쇼트 등.... ◇ 변개 -100m\times100m 작업장소 ◇ 누전 	$10^{-3} \leq \lambda < 10^{-1}$	Once
Improbable (I)	<ul style="list-style-type: none"> ◇ 파열 - 배관 25 DN\leq40mm ◇ 분석 후 점화원을 확인할 수 없음. 	$10^{-3} \leq \lambda < 10^{-3}$	Not very likely

3.3 P(Probability : 사고발생가능성)

<표 3> 사고발생가능성

Frequency level(F) of causes	Number of independent, necessary and sufficient causes				2 causes	1 very frequent(VF) 1 frequent(F)	level = 1
	1	2	3	4			
VF	1	1	2	3	2 causes	1 very frequent(VF) 1 possible(P)	level = 2
F	1	2	3	4	2 causes	1 frequent(F) 1 improbable(I)	level = 3
P	2	3	4	4	3 causes	2 frequent(F) 1 possible(P)	level = 3
I	3	4	4	4	3 causes	1 frequent(F) 2 possible(P)	level = 4

<표 3>은 이탈 혹은 위험요소를 일으키는 원인이 하나 이상일 때 접근하는 방법으로서, 각각의 원인에 대한 빈도(F)값을 확률론적인 방법으로 구한 것이다(단, 이탈의 원인이 서로 독립적이어야 한다). 만약 이탈 혹은 위험요소를 일으키는 원인이 2가지 이상이고, 원인들이 서로 "OR"로 묶여 있다면 그들 중 가장 심각한 것 1하나만을 선택

한다.

3.4 C(Consequence : 사고결과의 크기)

최종사고결과의 크기는 <표 4>와 같이 직접 생산손실액, 환경, 생산중단기간, 인근 주민 및 근로자 피해와 파급효과를 감안하여 4개의 수준으로 나누어 평가한다.

<표 4> 사고결과의 크기

Level of Gravity	사고결과	직접 생산손실액	환경	생산 중단기간	인근주민 및 근로자 피해	파급효과
C	Catastrophic (치명적)	1억 이상	사업장 밖의 복구불능 오염	1개월이상	사망자가 발생하거나 심각한 건강 영향 있음 (사망/영구완전불능상해)	공장전체
H	High (중대)	2천만원 이상~1억 미만	사업장 밖의 복구가능 오염	1주일이상	부상자가 발생하거나 뚜렷한 건강 영향 있음 (영구부분불능상해)	해당공정
M	Medium (보통)	500만원 이상~2000만원 미만	사업장내 오염	1일이상	경상자가 발생하거나 경미한 건강 영향 있음 (일시완전/부분불능)	해당설비
L	Low (경미)	500만원 미만	단위작업장 오염	1시간이상	부상 등으로 8시간 이하의 노동손실 (구급처리상해)	해당모듈

3.5 H(Hazard : 잠재적인 위험)

잠재적인 위험은 C값과 P값을 <표 5>와 같은 matrix를 이용하여 5개의 수준으로 나누어 평가한다.

<표 5> 잠재적인 위험등급

Consequence \ Probability	L	M	H	C	의 미
	Low	Medium	High	Catastrophic	
1 (Frequent)	4R	2R	1R	1R	- (1R) : 수용 불가능한 위험 - (2R) : 중대한 위험 - (3R) : 경미한 위험 - (4R) : 수용 가능한 위험 - (5R) : 무시 가능한 위험
2 (Possible)	4R	3R	2R	1R	
3 (Improbable)	5R	4R	3R	2R	
4 (Extremely improbable)	5R	5R	4R	3R	

3.6 현재의 안전대책

안전대책은 표준 및 교육·훈련, 관리, 제어시스템, 안전장치, 과압방지설비 등 독립적인(Independent) 안전대책을 모두 기록한다.

3.7 N(Number : 안전대책 수)

안전대책 수는 현재의 안전대책란에 작성한 안전대책별로 <표 6>을 이용하여 구한다. 이는 안전대책을 고려하지 않고 결정한 Hazard(H)값에서 기존의 안전대책이 얼마만큼 안전을 확보하였는지의 차원에서 평가하는 것이다.

<표 6> 안전대책별 위험감소 등급

안전대책의 유형	안 전 대 책	안전대책별 점수 (Number of level)
표준 및 교육·훈련		
	운전자 행동에 대한 안전 절차서	0.5R
	각 알람에 대하여 문서화된 안전 교육훈련	0.5R
	안전 교육훈련 실행과 문서화된 절차서	1R
관리		
	PM Schedule 작성 및 실행(주기적인 점검 실행)	0.5R
	보호구, 안전 난간 등	0.5R
제어 시스템		
	공정 제어 시스템	0.5R
	Monitoring or Communication	0.5R
안전 장치		
	하 나의 안전 인터록 시스템	0.5R to 1R
	두 개 이상의 안전 인터록 시스템	1R to 2R
	폭발 억제 장치	1R
	1 of 2 설계	1.5R
	비상배기 장치	1R
과압 방지 안전 설비		
	Safety valve	1R
	Rupture disk	1R
	Explosion vents	1R

<표 7> 위험등급별 조치등급

위험도 등급 구분	내 용
A1 (1R)	계획 ■ 반드시 개선대책을 수립하여야 하며, 연간 안전보건목표, 목적 수립시 반영
	실행 ■ 사고발생 결과로 인한 피해가 치명적인 것으로 보고 완료 후 즉각적인 조치를 취하여 3개월 이내에 위험 수위를 반드시 낮추어야 하는 정도
A2 (2R)	계획 ■ 운영관리절차를 수립/재검토하여야 하며, 가능한 연간 안전보건목표, 목적 수립 시 고려
	실행 ■ 잠재적인 사고발생 가능성이 있으며, 결과가 인적·물적 피해를 주는 정도로 보고 완료 후 1년 이내에 조치를 취해야 하는 정도 ■ 안전운전 관리상 바람직하지 못한 상태
A3 (3R)	계획 ■ 필요시 운영관리절차를 수립/재검토하여야 함.
	실행 ■ 사고발생 가능성이 적으나 운전 및 환경에 영향을 미치는 수준으로 운전변경이나 부분적인 보완 및 개선이 요구되는 정도 ■ 일부의 통제조건으로 수용 가능한 상태
A4 (4R)	계획 ■ 추가 관리방법 설정은 필요 없고, 현 관리방법에 대한 모니터링 유지
	실행 ■ 현 상태에서 추가적인 조치가 필요치 않은 수용가능한 정도 ■ 안전 및 운전성 향상을 위해 개선이 필요한 정도 ■ 보고완료 후 후속조치 필요시 조치
A5 (5R)	계획 ■ 무시가능한 정도
	실행 ■ 추가적인 Action이 필요 없음

3.8 Fr(Final Risk : 최종위험)

최종위험은 최종 결정된 위험성을 $Fr = \sum N + H$ 식과 같이 기재한다. 만약 3가지의 안전대책에 대한 N값이 0.5R, 0.5R, 1R 이었다면 $N = 0.5R + 0.5R + 1R = 2R$ 로 위험

(Risk)이 줄어든다.

3.9 Ai(Action Item : 조치 항목)

조치항목은 <표 7>에서와 같이 조치등급인 A1, A2, A3, A4, A5 중 하나를 기재한다. 위험도 결정은 1등급(1R)에서 5등급(5R)까지 구분한다. 위험등급 결정은 <표 5>의 사고의 크기와 사고 발생 가능성을 기초로 하여 평가한다. 또한 위험등급별 관리는 등급순위가 1R~2R등급인 경우 반드시 어떠한 조치를 취하고 등급순위가 3R일 경우 안전·보건부서에서 위험감소를 위한 적절한 조치가 권장한다. 3.5R~4R등급인 경우 해당 부서장의 판단에 따라 조치한다. 5R등급일 경우 무시할 수 있다.

4. 개선된 HAZOP 기법 적용사례

<표8> 개선된 HAZOP기법의 Burn-Wet 1'st Scrubber에의 적용사례

공정명	BURN-WET SCRUBBER		도면번호	E-P&ID001, 002				개정번호	Rev00		
경토구간	Heating Chamber, Drain H ASS'S		주요기기명	N.F.B. Switch, Current Heater Switch, TEMP Controller, Float Sensor				작성일자			
설계의도	패 Gas(Toxic Gas)를 고온상태(700F)에서 가열산화반응으로 Gas의 독성 제거, 부산물의 1차 냉각										
위험요소	원인		F	최종사고결과	P	C	H	현재의 안전대책	N	Fr	Ai
변수	이탈										
2.2. 전기	정전	1. Main 전원공급 차단 2. 내부합선	P	1. Process 중단(생산손실) 2. 미 반응 폐가스 배기(환경문제)	2	H	2F	1. 비상발전설비(전기과트) 2. N.F.B. Switch	1.5R 0.5R	4R	A4
2.3. 유해(냄새)	유해가스 폭로	1. N2 Purge 미실시(30분 이상) 2. 크리닝 작업시 보호구 미 착용 3. Main 장비에서 Process Gas를 계속 Flow 시킬 경우	VF	1. 근로자 유해 물질 폭로(중독)	1	H	1F	1. 연락통보 체계 확립	0.5R	1.5F	A1
4.1. 온도	온도 증가	1. C/W 유입량 및 Nozzle 물 분사량 감소 - Pressure s/w 고장 - Regulator 고장 - Sol v/v(C/W)	F	1. 처리효율 감소, 환경문제를 유발 시킴 2. Exhaust Line 부식 촉진	1	H	1F	1. Exhaust TEMP Controller(>50C) 2. 정기적인 PM 3. Monitoring 4. 2차 Scrubber	0.5R 0.5R 0.5R 1.5R	4R	A4
4.2. 배관 반응	배관부식 증가	1. Water mist + 산/염기 Gas의 배관 부착	F	1. Exhaust Line 부식 촉진	1	H	1F	"없음"	0R	1R	A1

5. 결론

기존의 HAZOP 기법을 반도체 산업에서 적용 가능하도록 개선하였다. 이 기법에서 사고의 빈도, 가능성, 결과, 위험(Risk) 등급, 조치사항 등 위험(Risk)을 선정하고 개선 조치하는데 필요한 모든 항목을 표준화하였다. 개선된 기법은 기존의 평가기법보다 더 과학적으로 리스크를 평가할 수 있고 사업장의 모든 이탈에 대하여 정량화하였다. 따라서 이 기법은 안전경영을 추진할 때 경영의 우선순위를 결정할 수 있도록 하는데 활용될 수 있도록 하였다. 위험의 허용 유무는 회사 실정에 맞도록 결정하면 되나 본 논문에서 제시한 3R과 3.5R을 기준으로 적절한 조치를 취하도록 하였다.