

삼성전자(주) 기흥사업장

노출평가 부문 자문 보고서

<노출평가팀 연구진>

연구원 : 박동우 교수(한국방송통신대학교)

김치년 교수(연세대학교)

정지연 교수(동인대학교)

최상준 교수(대구가톨릭대학교)

하권철 교수(성원대학교)

2009. 10.

반도체자문단 노출평가팀

목 차

1. 서 론	1
1.1. 필요성	1
1.2. 목적	2
1.3. 자문범위	3
2. 방 법	3
2.1. 문헌고찰	3
2.2. 현장조사	4
2.3. 조사내용	4
3. 조사결과 및 고찰	5
3.1. 화학물질 사용 현황 및 문제점	6
3.2. 작업환경측정 자료 분석 및 문제점	11
3.3. 가스 검지기 설치 현황 및 문제점	24
3.4. PR 분석결과	29
4. 노출평가 개선(안) 및 사례	30
4.1. 개선(안)에 대한 주요 내용	30
4.2. 공정 내 직무 분류 시스템 구축	32
4.3. 직무별 표괄적 노출수준 평가방법	38
4.4. 직무별 특정 유해인자에 대한 노출수준 평가방법	39
4.5. 노출평가 사례	41
4.5. 위험성 평가	50
5. 결 론	51
[참고문헌]	53
[부 록]	59
부록 1. 노출수준 평가 방법 및 직무기록 사례	59
부록 2. PR 벌크 중 벤젠/2-Methoxyethanol에 대한 주요 분석방법 및 분석 근거 를	76

1. 서론

1.1. 필요성

1.1.1. 일반적인 측면

○ 사업주는 공정에서 발생되는 유해인자로 인한 건강상의 악영향이 근로자에게 발생되지 않도록 주기적으로 노출을 평가(Revaluation)하고 관리(control)해야 함. 유해인자에 대한 관리 목표는 이들에 대한 노출을 정확히 평가하여 노출위험을 기능하면 낮게 유지하여 건강상의 장해가 발생되지 않도록 예방하는 것임.

○ 공정에서 발생되는 유해인자에 노출되는 모든 근로자를 대상으로 노출을 평가한 다음, 유해인자가 내포한 위험의 우선순위에 따라 주기적으로 노출을 평가하고 관리하는 것이 원칙임. 그러나 사업장 내에서, 한정된 자원(인원/시간/비용 등)으로 위험 정도가 다른 모든 유해인자를 동일한 무게로 평가하는 것은 매우 어렵고 그칠 필요도 없음. 따라서 사업장의 한정된 자원으로 전략적인 노출평가를 통해 유해인자를 관리하는 것이 바람직함. 중요한 것은 노출을 평가해야 할 유해인자나 근로자가 누락되어 위험이 발생되지 않도록 해야 함.

○ 산업안전보건법에서 규정하는 작업환경측정법은 측정방법이 물리적 있는 유해인자 중심의 정량적인 평가이므로 측정할 수 없는 물질, 혼합물질, 직무 등에 대한 노출평가가 누락되더라도 문제점을 발견할 수 없음.

1.1.2. 반도체 웨이퍼 가공 공정 측면

○ 반도체 산업 근로자는 수 많은 화학물질과 이들의 반응산물, 고대작업, 정비/설치 등 비정기 작업 등에 노출되었고 있음. 이들은 직접 취급하는 화학물질은 물론 다른 공정에서 사용한 화학물질에도 함께 노출되는 특성을 갖고 있음. 이것은 공조시설에 의해 각 공정에서 발생된 화학물질이 혼합되어 모든 공정으로 다시 순환되기 때문임(IaDou 등, 2007).

○ 반도체 산업 근로자들은 복합 화학물질 외에도 방사선(전리 및 비전리 방사선), 인간공학적 이슈, 작업 스타일 등에 저속적으로 노출되고 있으나 이에 대한 대책이나 연구는 거의 없는 형편임(Waterson and IaDou, 2003; Abdolahad et al., 1995). 노출기준이 설정되지 않은 유해인자도 매우 많음.

○ 우리나라 작업환경측정제도로는 반도체 산업에서 발생되는 유해인자에 대한 노출위험을 평가하고 관리하는데 분명한 한계가 있음. 이 제도는 즉정/분석방법이 일려져 있고 노출기준이 설정된 유해인자에 대한 정량적인 노출평가이므로 측정할 수 없거나 노출기준이 설정되지 않은 물질, 복합 유해인자 등에 대한 노출평가는 누락될 수밖에 없음.

○ 반도체 산업인 웨이퍼 제조 가공(이하 Fab이라 함)공정에서 발생되는 다양한 특성의 유해인자들에 대한 노출을 올바르게 평가할 수 있는 전략을 수립하는 것이 필요함.

1.2. 목적

○ 궁극적인 목적은 Fab공정에서 활용하고 있는 노출평가 현황을 분석하고 문제점을 파악한 다음 개선할 수 있는 노출평가 전략을 제안하는 것임. 구체적인 목적은 다음과 같음.

- 사업장에서 활용하고 있는 유해인자 노출평가 방법의 탄당성을 평가하고 문제점을 파악함. 작업환경측정 자료, 화학물질 관리, 가스검지기 관리 등의 일부 자료 분석을 통해 노출평가에 대한 문제점을 정리함.

- Fab공정의 직무를 노출특성에 따라 분류하여 노출평가에 활용할 수 있는 방법과 시스템을 제안.

- Fab공정의 직무별로 유해인자에 대한 전반적인<포괄적> 노출수준과 특정 유해인자에 대한 노출수준을 평가하는 전략을 제안함.

위험이 크다고 판단되는 일부 생산라인/공정/직무구조/유해인자를 대상으로 노출을 평가하는 방법을 사례로 제시함.

1.3. 자문법위

- 유해인자에 대한 노출을 평가하고 노출을 억제하기 위한 프로그램은 초기적인 모니터링(작업환경측정이나 생물학적 모니터링), 화학물질관리, 환기장치설치 및 성능유지방법(작業점검사 등), 설지기설치 및 관리, 보호구 사용 및 관리 등으로 다양함. 본 자문에서는 사업장의 공기 중 노출을 평가하고 관리하는 현황을 파악하기 위하여 “작업환경측정결과”, “화학물질 사용 현황”과 “가스검지기설치 및 관리”에 대한 실태와 문제점만을 분석하였음.

- 본 자문에서 제안한 노출평가전략(안)은 공정별로 유사한 노출특성을 갖는 직무그룹을 유고 이를 기반으로 직무 혹은 유해인자에 대한 노출을 정성적(혹은 준정성적)으로 평가하여 우선적으로 관리해야 할 직무 혹은 유해인자를 결정하는 것이 주요 골자임. 여기서 제시한 노출평가 사례를 추가로 공정별 직무분류, 특성이 높은 유해인자에 대한 모니터링, 노출변수 등을 자세하게 평가하여 보다 정확한 노출평가 전략을 수립하는 것이 필요함.

2. 방법

2.1. 문헌고찰

- Fab공정과 관련한 공정설명 자료, 노출평가의 건강상의 이해와 관련된 보고서, 논문 등을 확보하여 노출평가의 실태를 파악하고 개선안을 마련하는데 활용함. 특히 공정에서 보고된 유해인자의 공기 중 농도 혹은 노출농도는 특정 공정이나 직무의 노출을 평가하는데 활용되었음.

2.3. 조사내용

2.3.1. 일반적인 내용

- 예비투어를 포함하여 3회(7/2, 7/27, 9/16) 방문하여 현장조사를 실시하였음. 또한 조사 내용에 대한 원색한 이해를 둘기 위해서 설 명회(8/14)도 개최하였음.

2.2. 현장조사

- 1단계 : 사업장 평면도/공장(라인)별 설립년도/라인별(혹은 공정별) 근로자수/ 근무 형태 (교대제의 경우 교대근무표 포함)/공정흐름도(공정 별 특징, 취급 물질, 국소배기 설비 현황 등)/라인의 청정도 플레스/환경기기부 터 구체적인 내용을 단계적으로 파악하였음.
- 2단계 : 작업환경측정결과(07년과·'08년)/OHSA5(Occupational Health & Safety Assessment Series) 18001 매뉴얼 사본과 각 부서별 위험성평가 결과/교대근무 근로자에 대한 '08기준/정비 균무유지보수 근로자에 대한 관리 및 노출평가 자료
- 3단계(자문단이 만든 서식 기입) : 공정별 PM업무 시 종용해야 하는 메뉴일(SOP)/공정별 PM일자(최근 1개월간 자료)/설지기 모니터링결과 (최근 6개월)/공정별 인원현황/작업환경(설비/이미지/처리 등) 현황/화학물질 사용현황/일부화학물질 사용 이력/설지기 설치 현황/영사선 취급 장비 현황/일부 위험 작업에 대한 자료<이온주입, 포토, 정비현황 등>
- 23.2. 노출평가 현황 : 화학물질사용 현황/작업환경측정 결과/가스검지기
- 화학물질사용 현황에 대한 자료분석은 다른 라인에 비해 오래된 공정이고, 또한 아직

수동으로 운영되며, 현장의 근로자 일도가 높은 LSJ 사업부 5라인을 대상으로 하였고 주요 평가내용은 화학물질의 사용특성/사용용도 및 사용량 특성/공정별 사용특성/노출관리현황 등임.

○ 작업환경측정결과 분석은 전 공정을 대상으로 최근 2년간(07년~08년) 측정결과를 검토하였고 주요 평가 내용은 작업환경측정에 대한 목표와 전략측정방법 및 대상 공정과 물질 현황/측정 결과 평가 방법/측정 능도의 수준과 분포 특성 등임.

○ 가스감지기관리 현황은 5라인을 대상으로 최근 6개월간의 자료를 분석하였고 주요 조사 내용은 공정에서 사용하고 있는 물질 중 감지해야 할 항목이 적절한지, 센서가 노출을 모니터링 할 수 있는 위치에 설치되어 있는지, 모니터링 결과는 노출액체의 목적으로 활용 하는지, 검지기 관리는 적절하게 이루어지고 있는지 등임.

2.3.3. 포토 광정 PR성분 분석

○ Fab공정 중 포토 광정에서 사용하는 포토리지스터(photo resister: 이하 PR이라 함)의 원액 벌크를 제외하여 일부 화학물질 성분과 험량을 분석하였음. 시료 수는 총 6개(SPSL 402SL 4100A/SEPR 402/SPUV-5604/SMAF-7750/TSAI-2726)임. PR에서 확인한 성분은 빙향 족탄화수소 화합물, 방향족화합물 <벤젠, 톤루엔, 크실린>, ethylene glycol ethers를 중 2종 (2-methoxyethanol, 2-methoxyethyl acetate)을 선별하여 분석하였음. 주요 분석방법과 분석 근거들은 부록에 제시하였다.

2.3.4. 노출평가 개선(안)

○ 현재 노출평가 실태와 문제점은 파악한 후 이를 개선할 수 있는 대책과 사례를 제시하였음. Fat공정에 적용할 수 있는 새로운 노출평가 전략을 문화과 현장 방문 조사를 통해서 수립하고 이 전략에 따라 노출을 평가하는 사례도 제시하였다.

3. 조사결과 및 고찰

3.1. 화학물질 사용 현황 및 문제점

3.1.1. 화학물질의 사용특성

○ [표 1]은 LSJ사업부 5라인에서 사용 중인 모든 화학제품의 종류 수, 그리고 이를 물질에 대한 최초 사용일자 확인 여부, 그리고 사용 중인 물질이 대부분 혼합물질인 관계로 이러한 혼합물질에 대한 성분정보를 궁금하다가 제공하는 물질안전보건자료(MSDS) 이외에 회사 자체적으로 혼합성분의 일부 또는 전부의 성분확인을 한 적이 있는지 여부 등을 조사한 결과를 정리한 것임.

[표 1] 화학물질 종 제품 수, 성상 및 사용형태 등<5라인>

제품수	사용일자	성분확인	사용형태					
			고체	액체	가스	번 리인	드림	
99종	40종(40%)	0종	0종	58종	41종	65종	32종	2종

* 총 제품수를 파악하는데 있어 성분이 동일하더라도 제품명이 다른 경우 다른 물질로 분류함. 사용 일자 확인제품 수 및 성분확인제품 수 확인을 위해서는 동일한 성분이라 할지라도 제조사가 달라 다른 제품일 경우 다른 물질로 분류하여 관리하는 것이 바탕임.

○ 총 99종의 화학제품을 사용하고 있으며, 이중 70종은 단일물질이고, 나머지 29종은 여러 물질이 혼합된 제품으로 나타났음.

○ 화학물질의 채계적 관리를 위해서는 어떤 제품이 언제 최초 구매되었고, 어디에서 사용 되며, 언제 사용이 중단되었는지에 대한 이력관리가 가장 기본이 되어야 함. 사용 중인 화학 물질 제품 중 최초 사용일자가 확인된 제품은 전체 99종의 화학제품 중 40종으로 약 40% 정도가 확인됨.

○ MSDS에 기재된 혼합물질의 성분이 맞는지 확인해본 제품은 없었으며 화학물질 구성성 분에 대한 정보는 MSDS 자료에 의존하고 있음.

○ 사용 중인 화학물질 제품의 성상을 확인한 결과, 액체상태가 58종으로 가장 많고, 다음으로는 기체상태로 41종이었으며, 고체 상태의 화학제품을 사용하고 있지는 않았음. 기체상

의 경우, 사용이 있어 적절히 관리되지 않는다면 공기중으로 쉽게 누출확산이 일어나기 때문에 관리에 특히 신경을 써야 하는 부분이며, 이는 반도체 산업 특히 Fab의 경우 화학물질 관리에 특별히 신경을 써야 하는 이유가 사용되는 화학물질의 성상측면에서도 발견됨.

- 사용 형태를 보면 병(bottle) 형태로 사용되는 제품이 65종으로 가장 많았고, 라인(Line)을 이용한 중앙공급방식이 32종, 그리고 드럼(drum) 형태로 사용되는 제품이 2종으로 확인됨.

- 각각의 방식에 있어 화학물질이 작업장내로 누출될 가능성 가장 높은 경우를 살펴보면 라인 공급방식은 배관 연결 부위가 누설되는 경우이며, 병이나 캔 등을 이용한 내부공급방식은 용기의 개폐, 소분 등의 과정과 이를 제품의 일부를 공장내부에 보관하는 과정에서 적절히 관리되지 않는 경우임. 따라서 이에 대한 적절한 관리 역시 사업장에서 관심을 기울여야 하는 부분으로 판단됨.

3.1.2. 주요 사용용도 및 사용량 현황

- 표 3은 사용 중인 전체 99 종의 화학물질 제품이 어느 공정에서 사용되는지를 파악하는 결과임.

- 표 3은 사용 중인 전체 99 종의 화학물질 제품이 어느 공정에서 사용되는지를 파악하는 결과임.

[표 3] 공정별 제품 사용현황

총	공정별 화학물질 제품 사용현황							
	DIFF	ETCH	CVD	CLEAN	IMP	Metal	CMP	PHOTO
99종	13종	21종	10종	10종	7종	5종	5종	28종

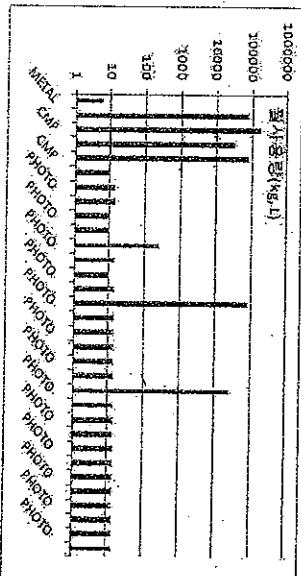
○ Fab 공정에서 가장 많은 화학물질 제품을 사용하는 공정은 PHOTO 공정으로 전체 사용 화학물질 제품의 28.3%인 28종이었으며, ETCHE 공정 21종(21.2%), DIFF 공정 13종(13.1%) 순이었으며, 나머지 공정은 10종 이하를 사용하고 있는 것으로 나타났음. CMP공정의 경우 사용되는 화학물질의 종류는 적었으나 사용량이 많은 것으로 것으로 나타났으며, 가장 많은 종류의 화학물질을 사용하는 PHOTO 공정의 경우 대부분이 월 사용량이 10kg(또는 lt) 전후이지만 10,000kg(lt) 이상 사용하는 화학물질도 2종류나 되는 것으로 나타났음[그림 1].

- Fab 공정의 경우, 화학물질을 전혀 사용하지 않는 공정은 없는 것으로 조사되었음.

- 사용 종인 화학물질 제품을 사용용도별로 구분한 결과, Process에 가장 많은 53종이 사용되고 있었고, 다음으로 P/R 20종, Cleaning 8종, Etching 4종, 그리고 기타 용도 14종으로 조사됨.

- 전체 99종의 화학물질 제품 중 57종(57.5%)이 월 사용량에 있어서 100kg(또는 lt) 미만을 사용하는 것으로 조사되었음.

○ 사용량에 있어서 다량을 사용하지는 않지만 매우 다양한 종류의 화학물질을 사용하고 있는 것으로 나타났으며, 월 10,000kg(또는 lt) 이상으로 다량사용하고 있는 화학물질 제품은 전체의 13.1%인 13종으로 조사됨.



[그림 1] 공정별 화학물질 사용량 분포(실 사용량이 1kg 미만인 MIFC, IMP은 그라프에 나타나지 않음)

○ [표 5]는 비록 법적 측정대상 물질은 아니라 험지라도, 현재 단일물질 또는 혼합물질 형태로 사용되는 화학물질 중 작업환경측정방법이 존재하고, 노출기준이 설정되어 있는 물질을로서(독성이 강한 물질도 있음), 근로자 건강보호를 위해 측정할 필요성이 있는 물질로 판단되나 관련 측정기록이 확인되지 않는 물질 리스트를 정리한 것임.

[표 5] 법적 측정대상물질 이외의 작업환경측정가능 물질 리스트

물질명	제제및사용형태	사용공정	활 사용량	노출기준
Bl ₃	단일물질 Bottle	IMP	0.75kg	C1 ppm(ACGIH)
Catechol	혼합물질 Line	CLEAN	3,540L	5 ppm(ACGIH)
NH ₄ OH	혼합물질 Line	CLEAN	3,200L	LDH100 ppm(NIOSH)
PGME*	혼합물질 Bottle	PHOTO	3.7L	100 ppm(ACGIH)
SiH ₄	단일물질 Bottle	PHOTO	340kg	5 ppm(ACGIH)

* 1-Methoxy-2-propanol 또는 Propylene glycol monomethyl ether

[표 4] 노출관리 화학물질 현황<5라인>

총 단일 화학물질 종류	성분 미확인물질 종류 및 함량			노출관리 물질수		
	1% 미만	1% 이상	측정	측정 및 검진	증명	
83종	5종	5종	6종	18종	24종	

[표 5] 노출관리 화학물질 현황<5라인>

○ 99종의 화학제품의 구성성분을 확인한 결과 총 83종의 단일 화학물질이 확인되었으며, 83종의 단일물질 중 성분이 미확인된 물질은 10종으로, 그 물질이 1%이상인 것이 5종, 그 리고 1% 미만인 것 역시 5종으로 조사되었음. 성분이 미확인되는 물질은 모두 염업비밀로 되어 있는 물질이었음.

○ [표 4]는 조사대상인 5라인에서 현재 사용중인 총 99종의 화학제품의 성분을 모두 확인하여 단일 화학물질의 종류 개수로 나타났으으며, 이를 단일물질에 대해 사업장에서 측정이나 검진 또는 사업장 자체적으로 어떤 다른 형태로 노출관리가 이루어지고 있는지에 대한 현황을 조사한 결과임.

3.1.4. 노출관리 현황

○ [표 4]는 조사대상인 5라인에서 현재 사용중인 총 99종의 화학제품의 성분을 모두 확인하여 단일 화학물질의 종류 개수로 나타났으으며, 이를 단일물질에 대해 사업장에서 측정이나 검진 또는 사업장 자체적으로 어떤 다른 형태로 노출관리가 이루어지고 있는지에 대한 현황을 조사한 결과임.

3.1.5. 종합의견

○ 사업장에서 사용 중인 화학물질에 대한 제재적인 관리의 기초가 되는 부분은 화학물질에 대한 이력관리이며, 이력관리에 필요한 핵심적인 정보는 화학물질이 언제 최초에 들어왔고, 어느 곳에 어떤 용도로 어느 정도 쓰이며, 이것이 현재에도 사용 중인지를 구분하기 추적 관리하는 것임.

○ 또한, 현재 사용 중인 99종의 화학제품 종류 중 29종은 여러 성분이 함유된 혼합제품이며, 혼합제품의 경우 그 구성성분을 명확히 파악해야만 이를 물질에 대한 관리방안이 수립될 수 있으나, 현재 이를 성분에 대한 정보는 제품구급엽지가 제공하는 MSDS 정보에만 거의 전적으로 의존하고 있는 상태임으로 인한 주요 문제점은 “4항 PR�述결과”에 설명되어 있음.

○ 83종의 단일 화학물질 종(미확인 물질 10종 포함) 전체의 28.9%인 24종만이 작업환경 측정을 통해 측정되고 있었으며, 나머지 약 71%의 화학물질에 대한 측정은 없었음.

○ 현재 사용 중인 화학물질의 개별 종류 수는 총 83종인데 반해 작업환경측정이 이루어

- 현재 측정이 이루어지는 물질은 법적측정대상 물질을 중심으로 이루어지고 있으며, 83 종의 단일화학물질 중 측정방법이 존재하는 물질은 약 35%인 29종이었으며, 나머지 65%는 측정방법이 존재하지 않는 물질로 파악됨.

지고 있는 물질은 24종으로 전체의 28.9%에 불과함.

- 측정되지 않고 있는 물질 중 일부는 노출정도에 따라 건강장애를 유발할 수 있는 물질이 있으며, 이를 물질에 대한 측정이 이루어 지지 않는 이유는 법적인 측정대상이 아닙니다. 노출기준이 없거나, 이를 측정평가 할 수 있는 방법이 없거나 현재 사용물질의 약 65%는 측정방법이 존재하지 않음), 아니면 사용증인 물질의 유해성에 대한 정보가 부족하기 때문일 것으로 추정됨.

○ 반도체 산업의 FAB공정 특성상 새로운 화학물질의 사용 가능성이 높고 매우 다양한 종류의 화학물질을 사용함. 이번 조사결과에서도 나타났듯이 작업환경측정을 통해 관리되고 있는 물질은 전체 사용 증인 화학물질에 비해 매우 세부적인 특징이 있음. 여기서 중요한 점은 현재 측정을 통해 관리되지 못한 물질들이 절대로 안전한 물질이 아니라는 점임.

○ 비록 현행 작업환경측정제도가 작업장의 노출정보에 대한 매우 구체적인 정량수준을 제시해 줄 수 있지만 반도체 사업장의 경우 위에서 언급한 것처럼 사용되는 화학물질에 비해 구체적인 정량노출정보를 제시해 줄 수 있는 물질이 매우 한정적이기 때문에 새로운 개념의 노출정보를 파악하는 접근법이 필요하며, 그 대안으로 위험성평가기법이 반드시 적용되어져야 할 것으로 판단됨.

3.2. 작업환경측정 자료 분석 및 문제점

3.2.1. 목표와 전략

○ 사업장에서 제시한 작업환경측정 전략은 [표 6]과 같음.

3.2.2. 측정 방법 및 대상 공정과 물질 현황

작 측정내용을 중심으로 선정하고 주기적인 측정을 실시하는 것이었음. 사업장의 자체적인 특별한 전략은 현행 노출기준의 20% 수준을 사내 기준으로 정하고 있음.

3.2.3. 측정결과 평가 방법

○ 사업장은 1월 6시간 이상 측정하여 8시간 TWA 농도로 평가하였으며, 측정시간은 교대근무 시간과는 상관없이 08시~17시 사이로 통일되어 있었음. 정비작업에 대한 측정 방법도 모두 1일 6시간 이상 측정하여 8시간 TWA 농도로 평가하고 있음.

○ 측정이 실시된 물질 중 Ceiling 기준을 갖고 있는 HF, HCl, HBr, Ethylene glycol, KOH

○ 철창 오파레이터와 엔지니어 등은 삼성전자 직원이고, 정비의 정비(세정) 작업은 외주를 주어 협력업체에서 실시하고 있음. 작업환경측정도 철창의 오파레이터와 엔지니어에 대해서는 삼성전자 환경인증그룹에서 실시하는 반면에 정비 작업에 대해서는 협력업체에서 실시하고 있었음.

○ 천장 오파레이터와 엔지니어에 대한 2007년 작업환경측정결과를 활용하여 주요 공정별 측정물질 건수 현황을 분석한 결과는 [표 7]과 같음. 총 59가지 물질에 대해 2,427건이 대해 있으며, 측정 건수가 많은 물질은 IPA (446건), NH₃ (243건), H₂O₂ (213건), H₂SO₄ (184건) 순으로 나타났음.

○ 공정별로 비교한 결과, 측정 건수가 많은 공정은 DIFF (520건), ETCH (450건), Wet CLEAN (433건), PHOTO (188건) 순으로 나타남. IPA와 H₂SO₄는 전체 공정에서 모두 측정된 물질이었으며 서로 차취 방법별로 비교한 결과 [표 8]과 같이 지역시로는 전체 시료수의 28%로 나타났음.

○ 정비작업에 대한 협력업체의 2007년도 측정결과를 분석한 결과 [표 9]와 같이 총 15가지 물질에 대해 2355건이 측정되었으며, 측정건수가 많은 물질은 IPA (46건), 불산 (32건), 아세톤 (20건) 순으로 나타났음.

○ 기본 목표와 전략은 현행 산업안전보건법의 작업환경측정 제도(법 42조)에 근거하여 법적 측정내용을 중심으로 선정하고 주기적인 측정을 실시하는 것이었음. 사업장의 자체적인 특별한 전략은 현행 노출기준의 20% 수준을 사내 기준으로 정하고 있음.

NaOH, 가성소다, 요오드 등의 물질도 모두 8시간 TWA 농도로 측정하고 기준과 비교하고 있었음.

3.2.4. 측정 농도의 수준과 분포 특성

○ 현장 오피메이터와 인자나이에 대한 전체 측정 농도의 분포를 노출기준 대비 노출농도 비(노출지수 = 노출농도/노출기준)로 환산하여 비교한 결과 가장 높기 나타난 물질은 IMP공정에서 측정한 H₂O₂였으며, 노출기준의 29 % 수준이었음. 즉 모든 측정결과는 노출 기준의 29 % 수준 미만 이라고 할 수 있음.

○ 각 공정별 측정 물질의 노출지수 최대값의 농도를 [표 10]에 제시하였음.

○ 정비 작업에 대한 측정농도의 분포도 동일한 범법으로 비교한 결과 가장 높은 농도는 CVD공정에서 측정한 황산이었으며, 노출기준의 56 % 수준이었음.

3.2.5. 종합의견

○ 산업안전보건법에 기초한 작업환경측정 제도의 규정에 근거하여 일정한 범위 주기에 법적 측정대상 물질을 대상으로 위탁 측정 후 노출기준과 비교하는 전형적인 compliance based monitoring을 실시해 오고 있음.

○ 자체적인 사내 기준으로 노출기준의 20 %를 설정해 놓고 있을 뿐 특별한 사내 측정전략이나 방법이 있지 않았음. 회사에서 제공한 측정전략의 내용에는 전략에 있어서 가장 중요한 '측정의 목표'가 누락되어 있었음.

○ 일반적으로 노출평가의 전략은 초기에는 모든 공정의 모든 균로자에 대해 모든 작업과 첨부 물질을 대상으로 포괄적 노출 수준을 평가하는 것이며(comprehensive exposure assessment), 이 초기 평가를 기초로 유사노출그룹(SDG)을 분류하고, 가장 우선적으로 관리해야 할 그룹과 해당 그룹의 주요 유해인자를 선정한 후 적절한 평가 방법과 주기, 평가 기준 등을 선정하게 됨. 이 모든 과정을 문서로 정리하여 실시하며 사후 평가를 통해 보완해

나가는 일련의 연속적인 산업보건 프로그램의 성격을 갖게 됨.

○ 이런 측면에서 볼 때, 현재 작업환경측정을 통한 노출평가에는 우선적으로 전체 공정의 전무를 중심으로 한 SEG의 개념을 반영하고 있지 못하다고 판단됨. 측정결과 보고서에 제시된 공정과 단위작업 장소 등(물론 산업법의 정해진 보고서 양식이 있기 때문에 이를 통한 SEG 구분을 나타내기에는 근본적 한계가 있음)을 분석해 보면 유사환경에 대한 명칭이 통일되지 못하여 공정을 중심으로 한 SEG를 구분하기도 힘든 점이 있었음. 이는 2,000건이 넘는 측정결과를 SEG 중심으로 구분하여 관리하거나 측정하고자 하는 초기 전략이 부재했기 때문으로 판단됨.

○ 물론 이는 측정 농도 수준이 노출기준에 비해 매우 낮게 분포하기 때문에 SEG를 구분하여 관리할 필요성을 느끼지 못할수도 있다고 판단됨. 그러나 이러한 판단을 하기 위해서는 표준적 노출평가가 충실히 수행된 이후에 가능한 것임.

○ 현재의 측정결과를 분석한 결과 현재의 작업환경 측정방법에 있어서의 개선해야 할 사항을 다음과 같이 정리할 수 있음.

- 측정대상 물질의 제한성 : 현재 산안법의 측정대상 물질 189종만을 측정대상으로 고려한다면 매우 다양한 화학물질이 취급되는 반도체 사업장의 특성을 고려할 때 표준적인 노출평가를 수행하고 있지 못한 근본적 한계를 갖고 있음.

- 측정 방법의 제한성 : 현재 측정 방법은 각 화학물질이 갖고 있는 특성과 노출기준, 그리고 발생 배분 등을 고려하지 않고 모두 6시간 이상 측정 후 8시간 TWA로 평가하고 있는 문제점이 있음. 이는 특히 세정 작업과 같은 정비 작업을 대상으로도 단위 작업 중심의 단시간 노출 평가가 수행되지 못하고 모두 일괄적으로 8시간 TWA로 평가되고 있어 실제 노출 현황을 파악하는데 한계가 있음.

- 측정 시간의 제한성 : 현재 Fab라인은 24시간 가동되며 작업자는 2교대 혹은 3교대의 형태로 근무하고 있음. 그러나 현재까지의 측정은 교대근무에 관계없이 모두 09시~13

서의 시간대에 실시되고 있음. 이는 교대근무의 근무 특성이 모든 교대조에서 정확히 동일하다고 가정될 때 측정의 편의성을 위해 실시될 수 있는 방법임. 따라서 초기 포괄적 평가에는 각 교대근무의 작업 종류와 내용, 강도 등을 비교 분석한 후 평가시기 를 선정해야 함.

- 평가 시기의 제한성 : 현재 측정 방식은 지정 측정기관에 위탁하여 실시하고, 있기 때문에 상/하반기 일정한 측정시기를 규정하고 해당 기간 동안 각 공정, 단위작업장소 별 1회 측정하는 방법을 활용하고 있음. 그러나 이는 365일 중 모든 날의 노출 패턴이 동일하다고 가정할 때 비단한 방법임. 반도체 사업장은 Fab라인 내의 다양한 장비를 현장 내에서 개방하고 점검 및 정비 작업이 규칙적 혹은 불규칙적으로 실시되므로 이러한 정비 작업 시 장비 내 오염물질이 공정 내로 발생할 가능성이 있어 작업자의 노출에 큰 영향을 줄 수 있음. 이러한 특성을 고려할 때 평가시기를 단 1, 2회 등 규칙적으로 정하여 실시하는 방법은 적합하지 않다고 할 수 있음. 우선 각 공정별 주요 정보 작업의 종류와 빈도, 방법 등을 검토하고 가장 노출이 우려되는 작업을 중심으로 단위 작업시간 동안 평가는 task-based sampling을 자체적으로 계획을 세워 진행할 필요가 있다고 판단됨.

직무(task)분류하지 않은 - 공정별로 노출특성이 비슷한 직무그룹이 있었지만 이를 체계적으로 분류하여 유사노출그룹으로 설정하거나 노출평가에 활용하지 않고 있음을

○ 이상의 분석 결과 현행 작업환경측정제도가 갖고 있는 한계점(법적 측정 미대상 물질에 대한 평가 필요성, 노출기준 미지정 물질에 대한 평가 필요성, 주기적인 1회성 측정이 아닌 직무 중심의 수시 평가 필요성 등)을 개선하기 위해서는 공정별 직무별 위험에 근거한 노출평가방법이 도입되어야 할 것으로 판단됨. 구체적인 노출평가(인)은 4항에 설명되어 있음.

[표 6] 작업환경측정 전략

항 목	내 용
1. 평가 대상	<ul style="list-style-type: none"> - Fab 내부 : 주요 8대 공정 측정 (IMP, CVD, EICH, CMP, METAL, PHOTO, WET, DIFF) - Fab 외부 : 용액槽, 폐수처리장, 연구동, 분석실
2. 유해 인자 선정근거, 방법	<ul style="list-style-type: none"> - 유해 인자 선정근거, 방법 <ul style="list-style-type: none"> - 1차 예비조사자 예 : 사업부 환경안전그룹으로부터 취급 화학물질 사용현황을 조사함 - 사용하는 화학물질이 산업안전보건법상 작업환경측정 대상별로 지정된 후 법적 측정대상물질 표인트 산정함
3. 유해 인자 평가방법	<ul style="list-style-type: none"> - 평가방법은 노출기준 미만, 초과로 판단함(노동부 기준) <ul style="list-style-type: none"> ※ 사내기준은 노출기준의 20% 입 - 측정 및 분석 방법은 NIOSH Manual 또는 KOSHA Manual에 준하는 측정 분석 실시함(외부 측정기관: 한국안전환경연구원).
4. 측정주기 선정기준	<ul style="list-style-type: none"> - 산업안전보건법 시행령 93조의 4 규정에 의해 1회/1년 이상 작업환경 측정을 실시하고 있음. - 작업환경관리 강화 차원에서 2회/년 실시하고 있음 - (2008년도 1회 실시) - 향후 2회/년 작업환경측정 실시 예정임(소음 측정주기 변동).

[표 7] 공정별 측정물질 현황 (2007)

물질/공정	Analysis	CLEAN	CMP	CVD	DIFF	ETCH	IMP	LCD	Mainte-nance	METAL	Miscell-anous	PHOTO	RD	Waste treatment	총합계
의							2								2
2butoxyethanol	1											1			2
가성소다					2										2
분진								2						3	5
스토디드슬벤트				2											2
요오드									1						2
초산	11	24	1		1	8					5		2	1	4
혼합유기용제	3	5		2	1	4		4	1			12		2	50
Acetone	1	4		2		1		3	1			8	1	2	34
Acetonitrile	4														23
Acrylic acid	1														4
Ag	2								3	1					1
Al	3										5				9
AsH ₃			1		16		43				1	2			8
Cl ₂		1			4	78	1	1		4	4	2	1		63
CN-		1													96
CO						39					3	1			1
CO ₂	1	3	1	2	5	3	1				6	1			43
Cr													2		23
Cu	2	3						3	1		3				2
Diethanolamine	1														12
Dimethanolamine		5													1
Ethanol	1							2				1			6
Ethanolamine	1	3	1												4
Ethyl acetate												1			5
Ethylene Glycol	2	2		20		9				2					1
Ge					6		1				1				35
H ₂ O ₂	4	72	5	4	48	38	18		1		9	13	1		8
H ₂ SO ₄	11	59	3	1	34	39	1	3	1	1	7	11	2	11	213
H ₃ PO ₄	7	20	3	1	19	9				2	4	1		1	184
HBr		5	1		4	51					1				67
HCFC141b											3		1		62
HCl	13	31	3		67	23				2	9	1		6	155
Hexane											1				1

[표 7] 공정별 측정물질 현수 현황 (2007) <계속>

물질/공정	Analysis	CLEAN	CMP	CVD	DIFF	ETCH	IMP	LCD	Mainte-nance	METAL	Miscell-anous	PHOTO	RD	Waste treatment	총합계
HF	18	63	20	7	36	28	1		1	1	9	5		1	190
HNO ₃	16	25	3	1	21	16	1				2	3	1		92
IN							1								1
IPA	34	75	16	27	53	62	19	19	2	10	21	96	6	6	446
KOH	2	1	3							1					7
MEA	1	3									2				6
MEK												1			1
Methanol	4			2				1			1				8
MIBK			1		3							1			5
NaOH				3							1			3	7
NH ₃	4	22	7	39	99	27	2	1		12	16	10	2	2	243
NO					19						4				23
O ₃	2	2		2	12	4		3		1	3	5	3		37
Pb	6							7	2		13		11		39
pentane												2			2
PGME				1		3						-1			5
PGMEA		4										2			6
PH ₃			1	7	59		41				3	2			113
Sb					4										4
Sn	6								7	2			11		41
SO ₂						3									3
Te					4										4
THF	2				2			1							4
Tl						1									1
Toluene	1											2			3
Zr	2				1	1									4
총합계	167	433	69	121	520	450	132	59	14	43	150	188	41	40	2427

[표 8] 시로 채취 방법에 따른 물질별 측정건수 비교 (2007)

Agent	Area	Personal	Total	Agent	Area	Personal	Total
인	2	2	2	HFC141b	1	3	4
2butoxyethanol		2	2	HCl	39	116	155
가성소다	1	4	5	Hexane		1	1
불진		2	2	HF	63	127	190
스토다드솔벤트		2	2	HNO ₃	16	76	92
요오드	2	2	4	IN	1		1
조산		6	44	IPA	87	359	446
폴리우기용제	3	31	34	KOH	6	1	7
Acetone	6	17	23	MEA	1	5	6
Acetonitrile	1	3	4	MEK		1	1
Acrylic acid		1	1	Methanol	2	6	8
Ag	3	6	9	MBK		5	5
Al	3	5	8	NaOH	7		7
AsH ₃	24	39	63	NH ₃	94	149	243
Cl ₂	39	57	96	NO	10	13	23
CN-		1	1	O ₃	10	27	37
CO	17	26	43	Pb	12	27	39
CO ₂	11	12	23	pentane	2	2	
Cr		2	2	PGME		5	5
CU	5	7	12	PGMEA		6	6
DEA		1	1	PH ₃	39	74	113
DMA		6	6	Sb	3	1	4
Ethanol		4	4	Sn	13	28	41
Ethanolamine	4	1	5	SO ₂	2	1	3
Ethyl acetate		1	1	T _e	3	1	4
Ethylene glycol	5	30	35	THF		4	4
Ge	5	3	8	Ti		1	1
H ₂ O ₂	63	150	213	Toluene		3	3
H ₂ SO ₄	45	139	184	Zr		4	4
H ₃ PO ₄	10	57	67	총합계	687	1740	2427
HBr	23	39	62				

[표 9] 공정별 정비(세정 작업) 업체 측정물질 건수 현황 (2007)

물질 / 공정	CLEAN	CMP	CVD	Diffusion	ETCH	IMP	METAL	Miscellaneous	PHOTO	총합계
과산화수소(H ₂ O ₂)	1		3			6	4			14
불산(HF)			11	10			9	2		32
브롬화수소(HBr)						2				2
수산화칼륨(KOH)		2	1				2			5
아르신(AsH ₃)						3				3
염산(HCl)			6	4			4	2		16
질산(HNO ₃)			5	8			2	2		17
포스핀(PH ₃)						3				3
혼합유기용제		2	4	2	7	5	3		6	29
황산(H ₂ SO ₄)	1		5	4			3			13
Acetone		2				5	3	2	8	20
Ethanol			6	6			1			1
Ethyl Acetate			4	2	4	1			1	12
IPA		4	8	2	10	8			8	46
Methyl Ethyl Ketone		1	2			2	2		1	8
NH ₃			1				2	10		13
Trichloroethylene			1							1
총합계	2	11	51	32	28	36	45	6	24	235

물질 / 공정	Analysis	CLEAN	CMP	CVD	DIFF	ETCH	IMP	LCD	Mainten	METAL	Miscel	PHOTO	R&D	waste	증합계
인							0.0000								0.0000
2butoxyethanol	0.0064											0.0031			0.0064
가성소다					0.0063										0.0066
분진								0.0161							0.0161
스토디드슬벤트				0.0000											0.0000
요오드															0.0000
초산	0.0056	0.0767	0.0000		0.0000	0.0187						0.0000	0.0000		0.0000
혼합유기용제	0.0022	0.0000			0.0000	0.0000	0.0000		0.0104	0.0000		0.0006			0.0767
Acetone	0.0001	0.0017			0.0008		0.0000		0.0012	0.0000		0.0142	0.0011	0.0000	0.0104
Acetonitrile															0.0142
Acrylic acid	0.0000														0.0000
Ag	0.0071								0.0120	0.0057		0.0071			0.0120
Al	0.0000											0.0830			
AsH ₃			0.0000			0.0060		0.0326				0.0000	0.0000		0.0320
Cl ₂		0.0000				0.0103	0.0224	0.0001	0.0006		0.0038	0.0003	0.0001	0.0000	0.0224
CN-		0.0000													0.0000
CO							0.0000					0.0000	0.0000		0.0000
CO ₂	0.0800	0.1400	0.1522	0.1360	0.1620	0.1134	0.2235					0.1581	0.1569		0.2235
Cr															0.0012
Cu	0.0043	0.0140							0.0090	0.0000		0.0014			0.0140
DEA	0.0000														0.0000
DMA		0.0000													0.0000
Ethanol	0.0000							0.0013							0.0000
Ethanolamine	0.0000	0.0000	0.0000									0.0000			0.0013
Ethyl acetate															0.0000
Ethylene Glycol	0.0000	0.0000		0.0005		0.0005				0.0000					0.0005
Ge					0.0000		0.0000					0.0000			0.0000
H ₂ O ₂	0.0320	0.1131	0.0282	0.0932	0.2846	0.2825	0.2919		0.0450		0.0603	0.0596	0.1004		0.2919
H ₂ SO ₄	0.0270	0.0596	0.0317	0.0358	0.1380	0.0554	0.0151	0.0317	0.0091	0.0023	0.0287	0.0514	0.0000	0.0564	0.1380
H ₃ PO ₄	0.0903	0.0055	0.0051	0.0643	0.0484	0.1318				0.0044	0.0635	0.0025		0.0000	0.1318
HBr	0.0000	0.0000			0.0000	0.0357					0.0000				0.0357

* 노출지수 : 측정농도/노출기준

[표 10] 공정별 최대 노출지수 분포 (2007) <계속>

물질 / 공정	Analysis	CLEAN	CMP	CVD	DIFF	ETCH	IMP	LCD	Mainten	METAL	Miscel	PHOTO	R&D	waste	증합계
HCFC141b											0.0000		0.0000		0.0000
HCl	0.0061	0.0038	0.0033		0.0041	0.0031				0.0005	0.0043	0.0010		0.0018	0.0061
Hexane												0.0000			0.0000
HF	0.0031	0.0152	0.0007	0.0000	0.0012	0.0013	0.0000		0.0000	0.0008	0.0004	0.0000		0.0000	0.0152
HNO ₃	0.0008	0.0094	0.0031	0.0007	0.0035	0.0033	0.0037			0.0031	0.0003	0.0004		0.0003	0.0094
IN							0.0000								0.0000
IPA	0.0187	0.0184	0.0102	0.0247	0.0150	0.0070	0.0077	0.0101	0.0004	0.0903	0.0050	0.0169	0.0034	0.0048	0.0903
KOH	0.0022	0.0000	0.0056							0.0009					0.0066
MEA	0.0000	0.0000									0.0000				0.0000
MEK												0.0000			0.0000
Methanol	0.0025			0.0019				0.0013			0.0000				0.0025
MBK					0.0000		0.0000					0.0000			0.0000
NaOH						0.0109						0.0112			0.0078
NH ₃	0.0095	0.0031	0.0021	0.0020	0.0048	0.0023	0.0028	0.0000		0.0277	0.0013	0.0017	0.0000	0.0013	0.0277
NO						0.0000					0.0000				0.0000
O ₃	0.0090	0.0020		0.0030	0.0050	0.0057		0.0030		0.0010	0.0014	0.0040	0.0010		0.0090
Pb	0.0300							0.0200	0.0240		0.1920		0.1580		0.1920
pentane												0.0000			0.0000
PGME					0.0000		0.0000					0.0000			0.0000
PGMEA		0.0000										0.0000			0.0000
PH ₃			0.0257	0.0147	0.0283		0.0157				0.0055	0.0080			0.0283
Sb					0.0000										0.0000
Sn	0.0268							0.0215	0.0237		0.0238		0.0086		0.0268
SO ₂						0.0000									0.0000
Te						0.0000									0.0000
THF	0.0021				0.0000										0.0021
Ti							0.0000								0.0000
Toluene	0.0004											0.0000			0.0004
Zr	0.0000					0.0000	0.0000								0.0000
총합계	0.0903	0.1400	0.1522	0.1360	0.2846	0.2825	0.2919	0.0317	0.0450	0.0903	0.1920	0.1569	0.1580	0.0564	0.2919

* 노출지수 : 측정농도/노출기준

물질 / 공정	CLEAN	CMP	CVD	Diffusion	ETCH	IMP	METAL	Miscellaneous	PHOTO	총합계
과산화수소(H_2O_2)	0.0076		0.0075			0.0083	0.0015			0.0083
불산(HF)			0.0002	0.0002			0.0053	0.0000		0.0053
브롬화수소(HBr)						0.0000				0.0000
수산화칼륨(KOH)		0.0036	0.0000				0.0004			0.0036
아르신(AsH ₃)						0.0006				0.0006
염산(HCl)			0.0163	0.0002			0.0028	0.0009		0.0163
질산(HNO ₃)			0.0194	0.0035			0.0000	0.0000		0.0194
포스핀(PH ₃)						0.0060				0.0060
혼합유기용제		0.0006	0.0091	0.0006	0.0107	0.0250	0.0006		0.0094	0.0250
황산(H ₂ SO ₄)	0.0000		0.5567	0.0596			0.0839			0.5567
Acetone		0.0000			0.0000	0.0007	0.0000		0.0097	0.0097
Ethanol						0.0007				0.0007
Ethyl Acetate			0.0085	0.0000	0.0100	0.0082			0.0089	0.0100
IPA		0.0296	0.0013	0.0007	0.0040	0.0243	0.0031		0.0207	0.0296
Methyl Ethyl Ketone		0.0004	0.0185		0.0014	0.0013			0.0015	0.0185
NH ₃			0.0000			0.0000	0.0000			0.0000
Trichloroethylene			0.0045							0.0045
총합계	0.0076	0.0296	0.5567	0.0596	0.0107	0.0250	0.0839	0.0009	0.0207	0.5567

* 노출지수 : 측정농도/노출기준

3.3 가스 검지기 설치 현황 및 문제점

3.3.1 설치 현황

O System LSI 사업부 5라인 현장의 CVD, DIFF, ETC, FT, IMP, PHOTO 등 6개 공정에서 독성 또는 인화성 가스 물질을 대상으로 AsH₃ 등 총 17종이 검지되고 있었으며(표 12), 센서(sensor)는 라인 장비 3233개, 장비 외부(작업장)에는 28개가 설치되어 있음. 센서는 대부분 이 장비의 배기 닥트에 설치되어 있었음(H₂, LNG, O₂ 등을 장비 외부에 설치됨).

O 검지되는 물질에 대한 경보발령 수준은 물질의 특성에 따라 독성을 절의 경우는 "사망에 이르거나 건강에 치명적인 수준"(Immediately Dangerous to Life or Health, IDLH)*을, 인화성이 있는 물질의 경우는 "인화하한치(Lower Explosive Limit, LEI)"를, 출발성이 있는 물질은 "폭발하한치(Lower Explosive Limit, LEI)"를 적용하여 비교적 암적 기준 대비 1/10 정도)하게 기준을 정하고 있음.

O 센서에서 물질을 검지하는 원리는 Chem-cassette, 번도체식, 전진위전해식 등 세 가지 방법을 사용하고 있으며, 검지되는 농도는 Fab의 내부와 외부에서 확인이 가능하였으며, 센서에 대한 검자교정은 시기에 맞게 Chem-cassette를 교체하거나 표준가스를 투입하여 수치를 고정하고 있었음.

[표 12] 금정 및 경자물질별 검지기 설치 현황

설치 물질명	공정	IDLHs VALUE (ppm)	설정농도 (ppm)	설정농도		센서설치위치	농도확인	설지 교체 교정 주기	방법
				내부	외부				
NF ₃	CVD	1,000	100	8	0	0	1)	1)	1)
NH ₃	CVD/DIFFETCH	300	25	37	0	0	1)	1)	1)
SiF ₄	CVD	-	3	10	0	0	1)	1)	1)
SiH ₄	CVD/DIFFETCH	-	5	33	0	0	1)	1)	1)
WF ₆	CVD	-	3	3	0	0	1)	1)	1)
H ₂	DIFF/ETCH	-	500	25	0	0	2)	2)	2)
HCl	DIFF	50	5	49	0	0	3)	3)	1), 2)
PH ₃	DIFF/IMP	50	0.3	8	0	0	1)	1)	1)
SiH-Cl ₂	DIFF	-	5	26	0	0	1)	1)	1)
BCl ₃	ETCH	-	5	8	0	0	1)	1)	1)
Cl ₂	ETCH	10	0.5	27	0	0	1)	1)	1)
HBr	ETCH	30	3	21	0	0	1)	1)	1)
UNG	ET	-	208ALP	1	0	0	2)	2)	2)
O ₂	ET	-	18%vol	2	0	0	2)	2)	2)
Ash ₁	IMP	3	0.05	20	0	0	1)	1)	1)
BF ₃	IMP	25	3	15	0	0	1)	1)	1)
F ₂	PHOTO	25	1	9	0	0	1)	1)	1)

경자원리 1) Chem-cassette 2) 반도체식 3) 경전유전해식

교정주기 1) 4~12회/year 2) 1회/year

교정방법 1) Chem-cassette 2) 표준가스 투입 후 수치교정

* ILC(D)(Immediately Dangerous to Life or Health Concentrations, NIOSH)
IDLH(Lower Explosive Limit), C - Ceiling (천장값, 노출기준)

3.3.2. 문제점

- 센서의 설치 위치는 럭트 직경의 6배에서 10배 사이에 설치(CCPS, 2009)하여 하나 일부 센서의 경우는 럭트가 시작되는 지점에 설치되어 검지하려는 물질이 잘 혼합되지 않고 모니터링 될 수 있는 문제점이 있음.

○ 2009년 2 ~ 7월까지 6개월간 발령된 가스 검지기 경보는 46건이었으며[표 13], 공정 별로는 ETCH(23건)에서, 물질별로는 BC₃(13건)가 경보 발령 횟수가 가장 많았으며, 가스가 누출되는 시간도 6~5,729초로 나타났으며 검지된 농도가 노출기준을 초과하여 누출되는 경우 우도 있었음(특히 HCl의 경우는 GV 천장값 2ppm보다 약 7.3배까지 누출되는 경우도 있음).

○ 46건의 경보 발생에 대한 원인을 파악한 결과 PM 시 SOP를 준수하면서 작업한 경우, 전류가스의 영향으로 경보가 발생한 횟수 25건(54%), 오동작 11건(24%), PM작업(SOP 미준수) 3건, 정상적으로 공정이 가동되고 있는 상황에서 누출 3건, 원인미파악 4건 등으로 나 탄남표 13). PM작업 중에 화학물질이 누출되어 근로자가 노출되었음을 의미하며, 특히 SOP를 준수했음에도 불구하고 경보가 발생했다는 것은 Purging Time이 불충분하거나 설비에 이상이 있었음을 의미함.

○ 일부 가스 누출의 경우 IDLH 농도의 32%(2009년 7월 20일 M80)에 해당하는 고농도가 95분이상(5,729초) 누출되어 매우 위험한 상황이었음에도 불구하고 현장 근로자의 대처 등 의 적절한 조치가 없었음.

○ PM작무를 수행하는 근로자가 작업 시 컴퓨터에 설비조작, 작업 내용, 작업량, 공정평 가, 시간 등을 입력하고 있었으며, 근로자의 유해인자 노출수준 관리와 관련된 사항은 없었음.

3.3.3. 종합의견

○ 정상적인 조건하에서는 근로자가 화학물질에 거의 노출되지 않으나 설비 안에서 기계/물질 교체, 세척 등의 직무(PM작무)를 수행할 때 가스가 누출되어 경보가 발령되고 있으므로 PM 직무를 수행하는 근로자에 대한 체계적이고 지속적인 노출평가 및 노출을 억제하기 위한 방안을 마련하여야 함.

○ SOP에 따라 PM작업을 수행했을 때에도 경보가 발령되고 있으므로 충분하게 험기

(Purging Time 조절 등)를 시킨 후 PM작업을 실시하는 등 SOP나 설비 운영 사항에 대한 내용을 검토하여 보다 안전한 상황에서 작업이 이루어질 수 있도록 개선이 필요한 또한 작업 시 관리감독 하여야 할 항목에 안전보호구 착용, 표준작업준수 이부, 감독 여부 등 노출 위험을 위한 안전보건에 관한 사항을 추가하여 관리하여야 함.

O 정보 발령 시 Fab 내 근로자들이 취해야 할 적절한 행동 요령에 대한 숙지와 함께 교육 혼란이 필요함.

[표 13] 최근 6개월간 5도안의 검지기 경보 발생 현황(물질명별)						
			첨보 ppm)	노출기준(ppm)	발생원인	농도(ppm)
물질명	공정	발령 횟수				
ASH ₃	IMP	1	TWA 0.005	PM차입(SOP 준수)	0.005	0.007 495
				PM차입(SOP 준수)	0.5	0.6 31
				PM차입(SOP 준수)	0.5	0.5 27
				PM차입(SOP 준수)	0.5	0.8 96
				PM차입(SOP 준수)	0.5	0.5 32
				PM차입(SOP 준수)	0.5	0.6 74
				PM차입(SOP 준수)	5.8	6.2 91
				PM차입(SOP 준수)	0.5	0.8 43
				PM차입(SOP 준수)	6.2	10.2 81
				PM차입(SOP 준수)	0.5	0.5 24
				PM차입(SOP 준수)	0.5	0.6 35
				PM차입(SOP 준수)	0.5	0.5 36
				PM차입(SOP 미준수)	0.5	0.5 36
				PM차입(SOP 미준수)	0.5	0.7 39
				PM차입(SOP 미준수)	1.14	1.14 395
				실제 누출	1.28	1.28 2448
				실제 누출	0.06	0.06 11
Cl ₂	ETCH	3	TWA 0.5 STEL 1	일인 미피약	0.06	0.06 6
F ₂	PHOTO	1	TWA 1 STEL 2	일인 미피약	0.06	0.06 21
				PM차입(SOP 준수)	918	918 21
H ₂	DIFF	5	-	검지기 오동작	719	22
				검지기 오동작	233	233 24
				검지기 오동작	153	153 25
				검지기 오동작	1000	1000 19
				PM차입(SOP 준수)	0.3	0.3 35
				PM차입(SOP 준수)	0.3	0.5 163
				PM차입(SOP 준수)	0.3	1.7 681
				PM차입(SOP 준수)	0.3	0.3 83
				PM차입(SOP 준수)	0.3	0.3 62
				PM차입(SOP 준수)	9.7	9.7 199
				실제 누출	6.4	9.5 5729
				PM차입(SOP 준수)	14.6	14.6 21
				일인 미피약	2.59	2.59 22
				일인 미피약	10.4	10.4 683
				검지기 오동작	12.9	12.9 22
				검지기 오동작	3.29	3.29 22
				검지기 오동작	2.79	2.79 19
				검지기 오동작	2.55	2.55 26
				검지기 오동작	15	15 19
HCl	DIFF	8	C 2	검지기 오동작	0.065	0.065 799
				검지기 오동작	0.8	0.8 441
				PM차입(SOP 준수)	0.5	0.9 80
				PM차입(SOP 준수)	0.5	0.8 347
				PM차입(SOP 준수)	3.3	3.3 416
				PM차입(SOP 준수)	3.1	3.1 415
				PM차입(SOP 준수)	2.9	2.9 411
				PM차입(SOP 준수)	2.7	2.7 412

3.4 PR분석 결과

본 자료에서는 표로 공정에서 사용하고 있는 40~50여종의 PR별크(액체용액) 중 6개를
임의로 선정해서 일부 화학물질 번호를 투엔 2-methoxyethanol 등의 화유량을 가스크로
마토그레피 분석기로 확인하였다. 이 중 벤젠과 Toluene 대학 주요 분석방법 및 분석
온도(Rawdata)<크로마토그램>은 부록에 첨부하였다.

① 물식점과 분식대상 물질의 화유량은 현행 MSDS, 작성대상(일반화학물질은 1%이상 발
임성물질은 0.1%이상 화유량)에 해당되지 않음을 확인함(아래 표 14 참조). 분석방
법은 시료와 벤젠, 화유량, 봉위는 0.000008%~0.000089%를 두번은 0.000012%~
0.0151% 2-methoxyethanol NDI를 검출하는 0.00339% 봉위로 국화 미량인구포로 공정
설비에 알제원 국소매기장치가 설치되어 있음. 따라서 정상적으로 운영되는 작업 동안에 절
반, 공기-증 솔루션-검출기가 미만일 가능성이 높음.

② 또한 본 시료에서의 검출만으로 작업자가 이로 인한 건강 위험성을 기진다고 단정할 수
는 없음. 그러나 (G)R은 2-ethoxyethyl acetate, 2-methoxyethanol 등
국내외 등록화학물질에 등록되어 있어 알제원 국소매기장치가 설치되어 있음. 따라서 정상적으로 운영되는 작업 동안에 절반, 공기-증 솔루션-검출기가 미만일 가능성이 높음.

③ 화학물질리에서 모든 물질을 완벽하게 차단하는 것은 매우 어려운 일이지만 노출되는 화학물질은 벤젠, 2-ethoxyethyl acetate, 2-methoxyethanol 등은 작업 환경에 미적용이 가능하며, 이를 위해서 공급자인 제조자는 노출을 예방하는 노출회피
방법 등에 대한 MSDS를 추가적으로 검토하여 정보의 적정성을 검토하여야 함.

[표 14] PR별크에서 분석한 주요 화학물질의 함유량

PR별크에서	PR 별크 시료
분석한 물질	
SPS-402	SL 4100A SEPR 402 SPUV-3604 SMDT-750 JSAI-2726
발생: % (PPM)	0.000991 0.000218 0.000234 0.000785 0.000015 0.000008
봉위: % (PPM)	(8.91) (2.18) (2.34) (7.85) (0.15) (0.08)
분석: % (PPM)	0.015184 0.000448 0.000053 0.000012 0.000019
봉위: % (PPM)	(151.84) (4.1) (4.48) (0.53) (0.12) (0.19)
2-methoxyethanol	0.002185 0.001079 0.006392 0.000590 검출되지 않음
(21.85)	(10.79) (63.92) (5.90) 않음

④ 본 자료는 분석 화학물질에 대한 질서한 관리를 위해 40~50여종의 PR별크(액체용액)를 분석
하여 각각의 화학물질 대표화시 맘을 머물고 분석 결과는 사업장에서 화학물을 관리방법을 수립하기
위해 화학물질 대표화시 맘을 머물고 신규 화학물질이 원인으로 판단되는 근거로 사용할 수 없음.

⑤ 본 자료는 분석 화학물질에 대한 질서한 관리를 위해 40~50여종의 PR별크(액체용액)를 분석
하여 각각의 화학물질 대표화시 맘을 머물고 신규 화학물질이 원인으로 판단되는 근거로 사용할 수 없음.

근기들은 첨부하였음(부록 3 참조). 분석방법 및 결과에 대한 신뢰성을 자문단이 검토하지 않음.

4. 노출평가 개선(안) 및 사례

4.1 개선(안)에 대한 주요 내용

O Fab 공정은 매우 다양하여 서로 다른 특성을 가진 많은 유해인자들을 함께 배출
시킬 균로자들은 축성, 노출수준, 충정 및 분석방법 유무 등의 특성이 다른 많은 유해인자
에 복합적으로 노출될 수 밖에 없음. 노출기준이 제정되어 있고 충정 및 분석이 가능한 유
해인자에 대한 노출만을 회밀적으로 평가하는 노동부의 작업환경측정방법은 다양한 유해인
자가 발생되는 Fab공정에서 노출을 평가하는 데는 한계가 있음.

O 유해인자에 대한 축정(모니터링) 자료가 노출평가에서 꼭 필요한 것은 아님. 청정작업
모니터링을 하지 않도록 많은 작업노출을 평가할 수 있음(Mulhaugen and Damiano, 1998).
노출기준이 없는 화학물질이 많이 있다고 하더라도 노출기준의 설정에 이용된 정보는 불완
전하므로 단순히 설정된 노출기준과 축정결과에 의존하여 노출을 평가하는 것으로는 균로
자 전장을 보호할 수 없음. 노출되는 유해인자의 특성(노출특성, 건강장애정보, 축정 가능성
등)에 따라 아래와 같이 적정한 노출변수와 이에 따른 평가방법을 활용해야 함.

○ 첫째 균로자의 직무를 노출변수로 활용하는 방법임. 모든 공정은 일정 수의 균로자를
이 동일한(또는 유사한) 일(tasks)직무를 수행함. 외국에서는 "표준직업분류(standard of
occupation classification, SOC)"에 균로자와 균로자의 직무를 노출변수로 많이 활용하고 있
음. 직무는 노출의 유사성을 가지기 때문에 그 자체로 현재 또는 과거노출을 나타내는 핵심
적인 변수이며 여러 유해인자에 대한 노출위험을 나타낼 수 있음. 따라서 직무는 여러 유해
인자에 한꺼번에 노출되는 웨이퍼·가공공정 노출변수로 중요하게 활용될 수 있는 장점이
있음. 최근에 대한 노출 여부(yes/no), 노출의 정도(고/중/저 등), 충정적으로 구분하여 복합
노출을 평가할 수 있음. 공정별로 유사한 직무를 분류하고 그 결과를 체계적으로 기록하고
보존하는 것을 균로자 노출평가에서 기본사항임.

○ 물체, 직무를 수행하는 과정에서 노출되는 여러 유해인자 중 위험이 큰 유해인자를 선정하여 정량적 혹은 정성적으로 노출을 평가해야 함. 평가하고자 하는 유해인자의 노출기준이 설정되었는지 그리고 정량적인 측정이 가능한지에 따라 아래와 같은 다양한 노출평가를 할 수 있음(표 15 참조).

- 노출기준이 설정됨/공기 중 혹은 생물학적 변수에서 측정 및 분석방법이 개발된 유해인자 : 모니터링 결과를 노출기준과 비교해서 노출을 정량적 혹은 정성적 평가.

- 노출기준이 설정되지 않음/측정 및 분석방법이 개발된 유해인자 : 정성적 혹은 준정성적으로 노출평가

- 노출기준이 설정되지 않음/측정 및 분석방법이 개발되지 않은 유해인자 : 정성적인 노출평가

(표 15) 노출변수별 노출평가 방법과 예

		정량적인 측정 및 분석방법		노출평가 방법	
		직무	유해인자	설정기준(TLV)	예
(직무내)	설정되지 유해인자	NA	NA	정성평가	yes/no, 상/중/하, 높음/낮음
(직무내)	설정되지 유해인자	설정	개발	준정량	<0.1xTLV, 0.1~0.5 x TLV,
(직무내)	설정되지 유해인자	설정되지 유해인자	개발	정성평가	yes/no, 상/중/하, 높음/낮음 등
TLV threshold limit value <노출기준>	TLV threshold limit value <노출기준>				

NA: 해당없음

○ Fab공장에서 공정별로 유사한 직무를 분류한 후 각 직무에 대한 전반적인 유해인자 노출수준을 평가하거나 특정 유해인자에 대한 노출을 평가할 수 있음(그림 2 참조). 공정 내에서 이루어지는 유사한 직무를 적정하게 묶고 기록하는 것은 반드시 갖추어야 함. 직무를 기반으로 각 직무에 대한 전반적인 노출수준 평가와 함께 필요할 경우 유해성이 높은 특정 유해인자에 대한 노출을 평가할 수 있음.

- Fab공장에서 공정별로 유사한 직무를 분류한 후 각 직무에 대한 전반적인 유해인자 노출수준을 평가하거나 특정 유해인자에 대한 노출을 평가할 수 있음(그림 2 참조). 공정 내에서 이루어지는 유사한 직무를 적정하게 묶고 기록하는 것은 반드시 갖추어야 함. 직무를 기반으로 각 직무에 대한 전반적인 노출수준 평가와 함께 필요할 경우 유해성이 높은 특정 유해인자에 대한 노출을 평가할 수 있음.
- Fab 공장은 다양한 공정들을 이루어져있고, 이들은 수많은 화학물질을 사용하고 있으 며, 근로자들은 서로 인접해 있어서 다양한 틈틈을 기진 많은 유해인자들에 복합적으로 노출된다. 직무변수는 직무를 수행하는 과정에서 발생되는 여러 유해인자에 대한 노출위험을 그 대로 나타낼 수 있고 복합유해인자에 대한 노출을 평가하는 효과적인 변수임

● 실증적증거(증거): 충족되었거나 충족되었거나 일부(부분): 일의 양상의 일부 분류

- 노출평가: 노출정도 × 노출빈도 × 노출시간 × 노출인원 × 노출방법
- 평균하는 유해인자의 특성 노출 평균 평가
- 직무별유해인자를 기반 평가

● 1단계: 직업별로 평가
● 2단계: 1단계 - 공학적 대체
● 3단계: 2단계 - 공정 유형 충만 등

4.2. 공정 내 직무 분류 시스템 구축

4.2.1. 실태 및 필요성

- 공정 별로 근로자의 직무가 분류되지 않았고 이를 노출평가에 활용한 적도 없었음 <3.2형 참조>. 모든 근로자를 대상으로 모든 유해인자의 노출을 효과적으로 평가하기 위한 출발점은 직무의 유사성에 따라 근로자를 분류하는 것임. 같은 일을 하는 근로자 그룹들이 노출되는 유해인자의 종류와 특성 등을 비슷하게 때문일. 특성 직무에 대한 노출 확인만으로도 유해인자, 유해작업 등에 대한 전반적인 노출수준을 평가할 수 있음.

○ 직무분류는 근로자의 건강장애를 예방하기 위한 노출평가의 출발이며, 다음과 같이 다양한 육체으로 활용될 수 있기 때문에 반드시 갖추어야 함.

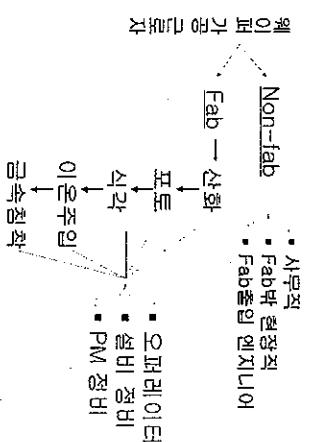
- 첫째, 직무는 복합노출을 평가할 수 있는 장점이 있음. 여러 유해인자에 대한 노출이 복합적으로 일어나는 Fab 공정과 같은 환경에서 직무는 복합노출의 위험을 평가할 수 있는 유일한 노출변수임. 정성적으로 직무에 대한 노출여부(yes/no), 노출의 정도(고/중/저 등)로 구분하여 노출을 평가할 수 있음.

- 둘째, 공기 중 혹은 생물학적 모니터링을 이용해서 특정 유해인자에 대한 노출평가를 실시할 때, 직무는 모집단의 표본을 뽑는데 활용됨. 즉, 직무그룹별로 일정한 수(최소 6개 이상)¹⁾의 표본 근로자에 대한 노출을 평가해서 모집단 직무그룹의 노출로 간주할 수 있기 때문(Mulhasen and Damiano, 1998).

- 셋째, 직무가 그 변화는 과거노출을 주정하는 중요한 변수가 됨. 역학조사에서 발생한 질병에 대한 직무의 연관성, 직무간 위험의 차이 등을 규명할 때 유용하게 활용 될 수 있기 때문임.

4.2.2 직무 분류 시스템 구축(안)

○ 현장영문/영문/문헌고찰 등을 통해서 Fab(웨이퍼를 제조하는) 사업장 근로자들을 유사한 직무그룹으로 분류하였음(그림 3 참조). 직무그룹 내부에서는 노출특성이 유사하고 다른 직무그룹(직무그룹 간)과는 서로 다른, Hammond 등(1995)은 웨이퍼제조 공정에서 이루 어지는 직무들을 일의 내용과 유해인자 노출특성에 따라 분류한 바 있음.



[그림 3] Fab공정별 직무분류 사례.

* 직무분류 이름은 각 공정마다 다를 수 있으나 직무 내용은 유사함.

PM = preventive maintenance의 약자로 예방정비를 뜻함.

○ 본 자문에서 1단계의 직무분류(Fab과 NF)와 공정 별로 2단계 직무분류를 했음. 추가로 유사한 공정과 직무를 다시 묶어 직무를 더 단순하게 묶을 수도 있음. Hallock 등(1995)은

역학조사를 위해 포토와 엣ching을 묶어 “마스크(mask)” 그리고 용해(furnace)와 이온주입/금속침착 등의 공정을 묶어 “이온주입(dope film)”으로 묶어 직무를 단순하게 분류하기도 하였음. 공정과 직무의 분류는 사업장마다 공정의 배치, 평가자의 주관적인 판단 그리고 연구하는 목적 등에 따라 다르게 분류할 수 있음.

○ Fab/Non-fab 분류

- 웨이퍼 가공사업장에서 직무를 구분하는 1단계는 Fab안과 Fab밖에서 일하는 직무(이하 NF)로 이월화하는 것임. Fab에서 최소한 1주일에 5시간 혹은 10시간 이상을 근무하는 근로자를 Fab직무(이하 Fab이라 함), 그 외는 Non-fab(이하 NF이라 함)으로 구분 하였음.

- 이 직무분류는 Fab 공정 근로자가 NF환경과 다른 특이한 환경에서 노출되는 전반적 인 유해인자 노출과 스트레스를 평가하는데는 의미가 있음. Fab 공정 근로자들은 NF근로자가 노출되지 않은 비이온화 방사선과 극자주파, 낮은 농도의 여러 화학물질

특성이 서로 다른 복합 유체인자, 방진복 착용(bunny suit), 제한된 공간 환경 등에 특 이적으로 노출되기 때문에 근로자 직무를 Fab과 NF으로 이원화하여 분류하는 것은 비교적 쉽고 간단하기 때문에 역할조사에서 많이 활용되었음

- 그러나 이와 같은 이원화 분류는 Fab에서 이루어지는 다양한 공정과 직무에 따른 노 출위험을 막아내지 못함. 건강상의 영향을 직접적으로 조례한 혹은 의심되는 유해인 자나 직무의 노출특성을 알기 위해서는 Fab 혹은 NF근로자에 대한 특징적인 노출프 로파일을 주기로 분류해야 함. 즉, Fab/NF내에서 이루어지는 공정 또는 직무들을 노 출특성에 따라 아래와 같이 추가로 분류해야 함.

○ NF내에서 세부 직무 분류

- 직무의 대부분이 Fab밖에서 이루어지는 것으로 아래와 같이 사무직, Fab밖 현장직 그 리고 가끔 Fab에 들어가는 지원직무로 분류하였음.

■ 사무직무

- Fab에서 생산될 제품분류/검사/기록/포장/재배 그리고 Fab으로 화학물질 공급, 공무 등의 직무

- Fab에서 1일 4시간 이하로 정기적으로 Fab공정 설비를 예방 정비하는 직무/관리자 그룹

○ Fab에서 세부 직무 분류

- 직무의 전부 혹은 대부분이 Fab 공정에서 이루어짐. 공정별로 아래와 같이 3개의 유사 직무그룹으로 분류하였음. 접착회로를 웨이퍼에 가공하는 Fab공정을 수백 단계를 거치지만, 문헌에 따라 5개의 공정(신화, Photolithography(이하 포토라 함), 엣칭 (etching) / Junction formation; diffusion or ion implantation(이하 이온주입이라 함), 금속침착(metalization))으로 분류하였음(Moskite 등, 1995; Harrison, 1994; Cox and Rossi, 1984; Ward and Jones, 1987). 이 단위공정의 번복적인 순열을 통해 실리콘 웨이퍼 기판 위에 여러 층의 접착회로를 올림.

- 궁금마다 아래와 같이 3개의 유사한 직무로 이루어지는 것을 확인했음.

· 공정을 운전하는 오퍼레이터 직무

· 설비/공정기기 등을 예방정비(이하 PM)하는 직무

· 서비스/기계/물질 등을 교체, 수리, 세척하는 직무

* 어느 한 공정에 소속되어 있지 않고 Fab 전체 공정의 바닥 등을 청소하는 직무 그룹과 연구소 관련 직무그룹이 있음. 이 직무는 그룹에 표시하지 않음

○ 이어서 분류된 직무별로 노출과 관련된 사항을 기록하고 관리해야 함. 공정별로 직무를 기술한 내용을 <사례2> [그림 4-1과 부록 표 1~5]에 제시하였음.

○ 직무는 가장 기본적인 노출반수일 뿐만 아니라, 건강상의 조치와 직무관련성을 규명할 수 있는 유용한 정보이기 때문에 사업장에서 모든 근로자에 대해 담당하는 공정과 직무를 위에서 설명한 방법을 참조하여 분류하고 기록하고 보존하여야 함. 직무기록은 일자 혹은 이와 유사한 관리시스템과 자동으로 연계하는 것이 가장 좋으며 고용기간 동안 근로자가 딥loyd(데이터베이스)에 공정과 직무를 기록하고 이에 대한 변화가 확인될 수 있는 시스템이어야 함.

[그림 4] 직무기록 사례(포토공정의 오피레이터).

• 직무이름 : 오피레이터	• 장량적인 노출평가 필요 : yes
• 공정 : 포토	• 고가노출자로 기록 존재 : yes
• 인접공정 : 신화/식각	• 평가자 : 풀길풀
• 위치 : 5라인/포토(도면 상의 위치 기록)	• 날짜 :
• 운영시기<현재의 공정과 직무가 운영된 시기> : 생략	
• 직무설명 : 주요 직무는 웨이퍼로딩과 언로딩, 공정이 끝난 웨이퍼 검사 그리고 공정을 점검(증감, 공정시간을 살피며 따라 다르나 평균 20분~시간이내 일)하는 취급하는 평균 웨이퍼 카세트의 로딩/언로딩 개수는 대략 240개(25개 웨이퍼/카세트), 검사하는데 걸리는 시간은 보통 3분이고 하루 평균 검사하는 웨이퍼 카세트 1인 220개임. 직접적으로 회학물질이나 유해인자가 발생되는 설비를 취급하지 않음.	
• 근무 형태 : 4개조 3교대(교대주기 2주)	
• 충청운영센터 : 수동로동과 언로딩 웨이퍼 직경 8인치)	
• 근무장소 : Fab(100%), 점심 1시간 Fab외부	
• 노출가능 유해인자 및 정성적인 노출수준	
• PR = 낮음	• 통일한 공정이나 직무를 수행하더라도 유해인자에 대한 전반적인 노출수준은 일하는 위치, 개인위생 등에 따라 다름기 때문에 직무만으로는 유해인자에 대한 강도, 수준의 차이 를 평가할 수 없음. 직무별 노출수준을 노출강도와 노출빈도를 조합하여 정성적으로 노출수 준의 크기를 추가로 평가하는 것이 필요함.
• IPA = 낮음	
• HMDS = 낮음	
• 비이온화 방사선 = 매우 낮음 등	
• 직접 취급하는 화학물질 : 없음	
• 노출장로 : 풀입식 소화기, 파벌식	
• 보호구 : 속용 10	
• 인원 : 2명/조(여) 총 13명(여)	
• 직무의 상대적 노출위험 등급 : 낮음	
• 노출빈도 : Fab/포토(100%)	
• 노출을 억제하기 위한 공학적인 대책 : 국소배기장치(x)	
• 추가 공학적인 대책 : 필요 없음	
• 다른 공정이나 직무로 이동 : 거의 없음(직무가 대부분 고정)	
• 근로자 소속 자체	

4.3. 직무별 폴릴직 노출수준 평가 방법

O 통일한 공정이나 직무를 수행하더라도 유해인자에 대한 전반적인 노출수준은 일하는 위치, 개인위생 등에 따라 다름기 때문에 직무만으로는 유해인자에 대한 강도, 수준의 차이를 평가할 수 없음. 직무별 노출수준을 노출강도와 노출빈도를 조합하여 정성적으로 노출수준의 크기를 추가로 평가하는 것이 필요함.

4.3.1 노출강도(exposure intensity)

O 오피레이터의 주요 직무는 공정에 웨이퍼 카세트를 로딩하고 공정이 끝난 웨이퍼를 검사하거나 공정 조건을 조정하는 일도 수행함. 유해인자 발생설비/장치/기계 등은 일폐되어 있고 오피레이터와 격리되어 있으며 공정 내에서 이루어지는 정비/기계 등의 수리/세척/정비에는 관여하지 않기 때문에 정상운전에서는 높은 노출이 일어나지 않는 것으로 판단하였음. 또한 이를을 대상으로 축정한 일부 유해인자의 노출수준도 대부분 노출기준 이하였음(Hallcock 등, 1993). 따라서 공정 오피레이터 직무에 대한 전반적인 유해인자 노출은 "낮음(2)"으로 평가하였음.

O PM엔지니어의 주요 직무는 설비나 공정에 문제가 발생했을 때 원인을 찾아 해결하여 공정이 정상 가동되도록 조치하는 것임. 기본적으로 정비와 기계의 교체와 세척, 그리고 화학물질 교체 작업은 하지 않지만 일부 공정(포토와 이온주입 등)에서는 이러한 직무를 담당하기도 함. 따라서 이를 직무에 대한 전반적인 노출강도는 "낮음(2)" 혹은 "중간(3)"으로 평가할 수 있음.

○ 설비엔지니어는 챔버(혹은 반응기)안 혹은 별도의 세정실에서 기계/장비/세척/화학물질 용기 교체 등 화학물질이나 유해인자가 발생되는 직무를 직접 담당해, 문현에서도 단시간에 높은 수준에 노출될 위험이 있는 직무들로 알려져 있음(Paustenbach, 1988; Ungers and Jones, 1985; Ungers and Jones, 1986; Swan 등, 1999; Hwang 등, 2002). Hallock 등(1995)은 웨이퍼 가공공정에서 직무별 노출강도를 구분할 때 공정의 설비와 장비를 점검하는 근로자는 유해인자와 노출을 “높음(4)”으로 평가하였음.

4.3.2. 노출빈도(exposure frequency)

노출빈도는 해당 공정의 직무를 수행한(직무에 노출된) 시간으로 Hallock 등(1995)이 제안한 기준을 따랐음. “자주”(often)(3)는 하루 근무시간 중 50%이상(4시간 이상/일), “중간”(moderate)(2)은 25-50%(1-4시간/일) 그리고 “작끔”(rare)(1)이 25%이하(1시간 이하/일)임. Fab 공정 근로자의 직무는 7시간 이상 노출되므로 노출빈도는 “자주”로 평가됨. 노출빈도와 분류기준은 평가자에 따라 다르게 적용할 수 있음.

4.3.3. 노출수준

○ 직무의 유해인자에 대한 전반적인 노출수준은 위에서 평가한 정성적인 노출강도와 노출빈도를 조합한 것임. 공정별 직무별로 유해인자에 대한 전반적인 노출수준에 따라 상대적인 노출위험의 크기를 결정할 수 있음.

4.4. 직무별 특정 유해인자에 대한 노출수준 평가 방법

○ 특정 직무그룹이 노출되는 유해인자를 모두 평가할 필요가 없고 특별히 유해성이 큰 유해인자(암, 생식독성 등)를 대상으로 일정 주기별로 노출수준이나 위험을 평가할 필요가 있음. 여기에서는 Fab 공정 중 포토와 아온주입 공정의 직무를 사례로 들어 노출수준을 평가하는 방법을 설명하였다.

* 여기서 사례로 제시한 노출강도의 평가법은 <높음/낮음/중간> 등을 입외대로 정한 것임

4.4.1. 노출강도

○ 평가하고자 하는 특정 유해인자를 모니터링하거나 혹은 관찰해서 얻은 결과를 바탕으로 노출강도를 준 정량적(1, 2, 3, 4)/정성적(예, 아니오 혹은 높음, 낮음 등)으로 범주화해야 함. 노출강도를 구분하기 위한 범주는 노출기준과 축정 및 분석방법의 유무 등에 따라 다음 과 같이 결정될 수 있음(표 15) 참조).

○ 유해인자 중 측정 및 분석방법이 있고 노출기준이 설정된 유해인자는 모니터링한 결과에 따라 노출강도를 범주화할 수 있음. 예를 들어 모니터링한 결과가 노출기준을 초과한 경우, “높은 노출(4)”, 노출기준의 50 %와 100 %사이에 있는 경우 “중간 노출(3), 10 %-50 % 미만을 “낮은 노출(2)”. 그리고 10 %이하는 “매우 낮은 노출(1)로 범주화할 수 있음. 보다 완벽한 방법으로 유사한 직무그룹별로 대표 표본을 선정보통 6명 이상)에서 이를 대상으로 노출강도를 축정한 후 모니터링 자료의 분포와 난이도 근거하여 이리와 같이 95 % 신뢰구간을 계산하고 이를 노출기준과 비교하여 노출을 평가하는(Hawkins 등, 1991; Multhausen and Damiano, 1998) 방법도 있음.

$$\text{정규분포} : M \pm t_{\alpha/2} \times (SD/\sqrt{n})^{0.5}$$

$$\text{기하평균분포} \ln(M) \pm t_{\alpha/2} \times (\ln(GSD/\sqrt{n}))^{0.5}$$

여기서, M = 평균, SD = 표준편차, GSD = 기하 표준편차, n = 측정 수,

$$t_{\alpha/2} = 95 \% \text{ 신뢰수준과 축정 수에 따라 } t\text{-분포표에서 구하는 신뢰계수입니다.}$$

○ 95% 신뢰구간의 하한 값이 노출기준을 초과하면 “높음(4)”으로 범주화하고, 신뢰구간이 노출기준을 포함하면 노출기준을 초과할 가능성이 있기 때문에 “중간(3)”으로 범주화할 수 있음. 만약 상한치가 노출기준을 넘지 않으면 노출강도를 “낮음(2)”으로 평가할 수도 있음.

○ 측정 및 분석방법이 있고 노출기준이 아직 설정되지 않은 유해인자는 정량적인 모니터링을 할 수 없기 때문에 노출기능성이나 평가지의 관찰에 의해서 노출강도를 정성적으로 범주화할 수밖에 없음. 예를 들면 취급하는 화학물질의 증기압에 근거한 평가 중 분산 가능성이나 작업내용 등을 조사해서 공기 중 혹은 피부 노출강도를 정성적으로 평가할 수도 있음. 구체적인 방법은 Brooke (1998)와 Maidment (1998)의 연구결과를 참조하면 됨.

4.4.2. 노출빈도

- * 4.3.2 "항과 동일함."

4.4.3. 노출수준 결정

- 특정 직무그룹에서 특정 유해인자에 대한 노출수준도 노출경도와 노출빈도의 조합에 대해서 결정될(주가로 여기에 유해인자 방출인자(emission factor=공학적인 대책 정도의 정성적인 수준에 따라 구하는 인자) (Moskies 등, 1995), 흡수인자(보호구 착용 등에 따른 인자), 물화학성 계수 등을 고려하여 평가할 수도 있음. 이에 대한 방법은 Wockle 등(1995), 유럽반도체 협의회에서 제안한 위험설명가이드(Semiconductor safety association, SSA, 2004), Mulhausen과 Damiano (1998) 연구에 설명되어 있음<부록 참조>. 여기에서는 노출 수준에 영향을 미치는 가장 중요한 노출경도와 노출빈도만을 고려하였음.

4.5. 노출평가 사례

- 위에서 설명한 노출평가 방법대로 특정 라인<5라인>과 공정<포토, 이온주입>을 대상으로 공정별로 직무를 분류한 다음, 직무별 유해인자에 대한 전반적으로 표찰적인 노출수준을 평가하고 직무별 물질 유해인자에 대한 노출수준을 평가하였다.

○ 이온주입

- 공정 근로자는 총 503명으로 다른 공정에 비해 많았고 수동으로 웨이퍼를 취급함 (loading과 unloading). 포토는 보통 가장 높은 근로자 밀도를 나타내고 가장 바쁜 공정으로 알려져 있음(Hammond 등, 1995).
- 생식독성을 조래하는 원인공정으로 의심되고 있음(Beaumont 등, 1995; Schenker 등, 1995; Swan 등, 1995; Correa 등, 1996). 이 공정에서 사용하는 PEG, glycol ethers류, HMDS(hexamethyldisiloxane), 다른 유기용제 등은 생식독성을 일으킬 수 있는 원인으로 의심되고 있음.

4.5.1. 대상라인과 공정

- 생산부서는 2개 사업부서(도시사업부/메모리사업부)이며, 도시사업부는 7개 라인, 메모리 사업부는 8개 라인으로 구성되어 있음. 각 라인은 모두 웨이퍼를 제조하는 공정이며 공정운영 방법은 서로 비슷함. 도시사업부의 8인치 웨이퍼를 가공하는 5라인의 포토와, 이온주입 공정을 노출평가 대상으로 선정하였다. 다음 공정에 비해 오래되었고, 수동 공정으로 유해인자 노출위험이 크며 근로자 밀도가 높았기 때문임<아래 참조>. Hines 등(1995)도 웨이퍼 가공 공정에서 근로자 노출평가를 할 때 유해인자의 특성(생식독성 등), 노출 가능성, 노출되는 근로자 수 등을 근거로 삼았음.

- 생식독성을 조래하는 원인공정으로 의심한 역학연구들이 보고되었음(Beaumont 등, 1995; Schenker 등, 1995; Swan 등, 1995).

- 공정에서 나온 웨이퍼 또는 기구에서 공정 후에도 일정 기간 동안 성분한 양의 DPP가 스나 반응산물인 비소화합물을 둘이 방출된다고 보고되었음(Hawkinson and Korpela, 1998; Sheedy and Jones, 1993).

4.5.2. 직무분류 및 직무별 표찰적 노출수준 평가

- 5라인의 포토와 이온주입 공정에서 이루어지는 여러 직무를 노출특성이 유사한 그룹으로 분류하고 이를 직무내용을 자세하게 파악하여 각 직무의 유해인자에 대한 표찰적 노출수준을 평가하였음.

- 다른 공정에 비해 다양한 유기용제(PAR/developer/신너 등)를 많이 사용하고 이에 대비 노출 가능성이 높은 공정임(Hammond 등, 1995). 세척용 유기용제인 IPA, acetone 등 도 많이 사용한 것으로 알려져 있음.

O 직무에 대한 포괄적인 노출수준은 조사자가 문헌, 작업내용, 조사결과 등을 근거로 정성적으로 평가함. 직무 군에 대한 전반적인 노출수준을 정성적으로 평가하는 방법은 유해인자의 노출이 폭넓적으로 일어나는 웨이퍼 가공 공정에서 유용하게 활용될 수 있음.

O 토토

표토 공정에서 유사한 직무를 찾는 근로자그룹은 오피레이터, 설비 PM 및 PR교체 인지니어, 설비엔지니어였음.

- 오피레이터(operator) : 오피레이터 직무는 크게 3가지임. 웨이퍼 카세트의 토팅과 안로딩, 검사 그리고 공정과 관련된 공정조건 변수(이온주입 조건/온도/시간/밸런스 등) 조정임("그림 4) 참조). 공정시간은 공정조건별로 차이가 있으나 평균 20분-1시간(시작·풀이내림·하루로 텁으로 디밍하는 카세트 풍군 수는 1인당 대략 240개(25개 웨이퍼/카세트) 정도임. 직접 화학물을 취급하거나 유해인자가 발생되는 기계 기구를 취급하지 않으므로 전반적인 유해인자 노출수준은 "낮음(2)"으로 평가하였음.

- 설비 PM 및 PR교체 : 주된 직무는 장비/기계 등을 청소하고 PR을 교체하는 것임. 설비 PM은 웨이퍼 이동 기계(carousel), 기계 유니트 등을 하루 1대 쿠르로 직접 증류수로 세척 함. 또 정기적으로 Spinner bowl 등의 기계 부품 등을 해제하여 표장하고 세정설로 물과 화학물질(아세트 등)으로 세척함. 이 직무에 걸리는 시간은 평균 40-50분 정도이며 하루 평균 8회 정도 수행함. 빈 PR을 세기으로 교체하는데 이동에 3분, 교체는 1분 정도 걸리고 하루 10회 정도 수행함. 다른 유기용제인 Developer(신나/HMDS 등은 외부 (중앙)에 자동으로 공급되어 직접 취급하지 않지만 기계 정비나 세척 과정에서 노출될 수 있음. PR을 교체하고 유기용제가 발생되거나 물이 있는 장비, 기계 등을 직접 고쳐. 수리. 세척하기 때문에 유해인자에 대한 종합적인 노출을 "높음(4)"으로 평가하였음(직무에 대한 자세한 설명은 부록 참조).

- 설비 : 공정 오피레이터(엔지니어)로부터 설비의 품질문제 또는 이상이 발생했을 때 원인을 찾고 해결하여 공정이 정상가동 되도록 조치하는 직무를 담당함. 주요 직무는 자

외선램프를 교체하고, 장비나 기계 등의 이상 요인을 PM엔지니어로 하여금 수리하게 함. 자외선램프는 75일 주기로 교체하는데 평균 30분(생각 20분, 교체 10분) 걸림. 이 작업은 공정을 멈춘 상태에서 진행됨. 화학물질이 발생되는 장비를 직접 다루지 않지만 점검하고, 자외선램프를 교체하기 때문에 유해인자에 대한 인지에 "낮음(2)" 혹은 "중간(3)"으로 주정하였음(직무에 대한 자세한 설명은 부록 참조).

O 이온주입 공정

이온주입 공정도 표토와 마찬가지로 유사한 직무는 3개 그룹(공정 오피레이터/PM 엔지니어/설비 및 기계 수리 엔지니어)으로 확인하였음.

- 오피레이터 : 직무는 토팅과 언로딩 그리고 공정과 관련된 공정조건 변수(이온주입 조건/이온주입량/길이/OP카스) 조정임. 균무시간의 60-70%는 토팅과 언로딩 그리고 나머지는 공정 조건 조정을 담당함. 공정시간은 공정조건 별로 차이가 있으나 대부분은 10-15분(시작-끝). 하루로 텁으로 텁으로 디밍하는 평균 카세트 수는 1인당 대략 91개임. 공정 후, 예도 일정 기간 동안 상당한 양의 OP카스나 반응산물인 비소화합물 카이 방출된다고 보고되어(Hawkinson and K-Tsala, 1998), 이에 대한 노출정도를 추가로 평가해서 노출 수평기준치에 평가할 필요가 있음. 유해물질이 출수평기준치를 초과하는 경우나 기계 필요로 취급하지 않을 때 유해인자에 대한 수평기준치를 기계별로 취급하는 경우에 유해인자에 대한 자세한 설명은 부록 참조).

- PM엔지니어 : 주요 직무는 OP기술실린더 교체, 고장 난 장비와 부품 수리 그리고 PM업무를 감독하는 것임. 가스실린더 교체는 공정을 멈춘 후 클립 다음 등 위험요소를 제거하고 설비 안으로 들어가서 실시함. 교체 후 설비 밖에서 가스 누설이 있는지 점검하고 이상이 없을 경우 공정을 다시 가동시킴. 가스실린더를 교체하는 데는 보통 5시간 정도 걸림. 교체 주기 횟수는 대략 1회/주 정도이고, 고장 수리는 1회/일 정도. 또한 고장난 장비/부품(핸들러, 로봇, 범증 등)을 수리할 때는 필요에 따라 장비 안으로 들어가기도 하지만 사고와 정상적인 공정운영을 위한 예방자원에서 공정 장비, 기계 등을 점검하는 직무가 대부분임. 장비 또는 기계를 직접 수리하거나 세척하지 않기 때문에 유해인자에 대한 노출은 높지 않은 것으로 평가하여 노출수준을 "낮음(2)" 혹은 "중간(3)"으로 평가하였음(직무에 대한 설명은 부록 참조).

- 서비스 : 이온주입 설비에 대한 정기적 혹은 비정기적인 정비와 관련된 직무를 담당함.

- 정기적으로 이온소스/전자빔 라인 등을 교체하고 세척함. 방법은 교체할 정비를 제거하고 포장하여 세정실로 운반하여 대상에 따라 드라이클리닝, 비드(beat; 금강사)를 라스트에 의한 고속 분사, 그리고 슬식<>신화수소>방법으로 세정함. PM은 공정을 멈추고 40분 정도 공정 온도를 떨어뜨리고 10여분 정도 배기 시간 후 교체하고자 하는 정비를 제거하고 진공정소기로 벌도로 이루어진 정비내부를 청소함. 전체 걸린 시간은 대략 4시간이고 세정실에서 세척시간은 별도로 이루어짐. 비정기 PM은 하루 3회, 정기는 하루 0.7회 정도 실시함. 하루 9명이 2인 1조로 실시하고 총 36대를 관리함. 세척 작업은 보통 후도 안에서 이루어지만 상당한 양의 먼지가 발생하고 톤라스트 시스템을 이용한 고압/blow-off 기구 사용 등을 허드 내에서도 먼지가 쉽게 제거되지 않은 원인이 될(Hawkinson and Korpela, 1998; Scarpace 등, 1989). 직접 조사와 문헌에서 보고된 결과를 근거로 설비엔지니어 직무에 대한 노출수준을 "높음(4)"으로 평가하였음(직무에 대한 자세한 설명은 부록 참조).

4.5.3. 직무별 특성 유해인자에 대한 노출평가

직무별로 노출되는 유해인자 중 독성이 크고 노출빈도가 높을 것은 노출수준을 따로 평가해야 함. 본 조사에서는 정량적으로 유해인자의 농도를 측정하지 않았기 때문에 구거 작업환경정지자로와 은현에서 보고된 결과를 활용해서 표토와 이온주입 공정의 직무그룹을 대상으로 특정 유해인자에 대한 노출수준을 평가하였음.

○ 평가 대상 유해인자 선정
표토 : 이 공정에서 균로자에게 건강상의 위험을 줄 수 있는 유해인자는 각종 유기용제와 자외선임 유기용제의 종류는 표로 형태(음성/양성)에 따라 다르지만 주로 PR, HDMs(hexamethyldisilizane), developer, 신나 등이 있음. Woskies 등(1995)은 표토공정에서 직무별로 노출 풍가한 유기용제는 PR의 주요성분인 Ethylene glycol ethers(2-ethoxyethanol, 2-ethoxy ethyl acetate, 2-methoxyethanol acetate 등), PGMEA(propylene glycol monoethyl ether acetate), 코실렌 등 3 종류였음. 본 조사에서는 표토 공정의 3개 직무에서 유기용제에 대한 노출수준을 포괄적으로 평가하였음.

- 이온주입 : 이온주입공정에서 균로자에게 높은 건강상의 위험을 주는 유해인자는 DP

가스와 엑스레이임. Dopants로 사용된 화학물질은 보론화합물, 비소화합물(아로신, ASH₃), 인화합물(포스핀 PH₃)임. 또한 아르신의 부산물을로서 비소화합물이 발생됨 이를 온 모두 암을 일으키는 원인인자임. 본 조사에서는 이온주입 공정에서 분류한 3개 직무의 Dopants와 비소화합물에 대한 노출을 평가하였음.

○ 노출강도

- 표토 : 오페레이터가 노출된 유기용제의 노출농도(아세톤/PGMEA/2-EA/Xylyene/NBA)는 작업환경측정과와 문헌고찰에 근거하면 노출기준 미만이었음(표 16) 및 부록 참조). "PM 및 PR교체 엔지니어" 직무에 대한 노출농도는 1개 연구에서만 보고되었음. Hallock 등(1993)이 보고한 기계를 정비할 때 측정한 노출 농도들(아세톤= 1.80 ± 0.79 ppm, PGMEA= 0.022 ± 0.009 ppm)은 오페레이터보다는 높았지만 노출농도는 아직 보고되지 않았음. 미 만이 대부분이었음. 정비세척 등에 대한 노출농도는 아직 보고되지 않았음.

"PM 및 PR교체 엔지니어" 직무는 다른 2개의 직무에 비해 유기용제를 직접 취급하기도 하고 정비를 세척할 때 유기용제를 사용함. 따라서 이 직무의 유기용제 노출강도는 "증간(3)" 혹은 "높음(4)"으로 평가하였음. "설비엔지니어"의 유기용제 노출농도는 작업환경측정은 물론이고 눈물에서도 보고되지 않았음. 이 직무는 공정 엔지니어로 부터 설비의 충돌문제 또는 경보가 발생했을 때 원인을 찾아 해결하여 공정이 정상가동되도록 조치하므로 직접 화학물질이나 이들이 발생되는 정비를 취급하지 않음. 따라서 유기용제 노출농도는 오페레이터보다는 높지만 "PM 및 PR교체 엔지니어"보다는 낮아 노출강도는 "낮음(2)" 혹은 "증간(3)"으로 평가하였음. 표토공정에서 직무별 유기용제에 대한 정성적인 노출강도는 아래에 정리하였음.

- 오페레이터 : "낮음(2)"
- PM 및 PR교체 엔지니어 : "증간(3)" 혹은 "높음(4)"
- 설비엔지니어 : "증간(3)" 혹은 "증간(3)"

표토 공정의 3개 직무에 대한 유기용제 노출강도 평가는 작업환경측정결과나 문헌에 보고된 결과를 활용하였지만 충분하지 않았음. 즉 노출기준 초과여부 등을 명확히 평가 할 수 없었음. 따라서 사업장에서 표토 공정의 직무별 특성 유기용제에 대한 노출수준을 더 정확히 평가하기 위해서는 유기용제에 대한 추가 모니터링이 필요함.

이온주입 : 오파레이터의 비소 노출농도는 작업환경측정결과에 의하면 모두 노출기준 미만이었음(표 16) 및 부록 참조). 문헌에서 보고된 오파레이터의 비소 노출농도를 증명하면서 노출기준을 넘는 경우($5.3 - 1061 \text{ ug/m}^3$)도 있었고(Chen, 2007), 0.1 - 3.6 ug/m^3 (GM)으로 미만인 경우도 있었음(Ungers and Jones, 1986). 이온주입공정을 마치고 나온 기구(cooling)와 웨이퍼 카세트에서 전류된 상당한 양의 DP기스와 비소가 방출된다는 보고도 있어, 카세트를 취급하는 오파레이터는 전류된 이들에 노출될 수 있는 것으로 추정할 수 있음(Hawkins and Korpela, 1998). 문헌결과에 따라 이온주입의 오파레이터의 DP기스와 비소노출은 "낮음(2)" 혹은 "중간(3)"으로 평가하였음.

설비엔지니어의 DP기스와 비소화합물에 대한 노출농도는 아직까지 보고된 자료가 없음. 이들의 직무(가스설린더 교체, 고장난 장비와 부품 수리 그리고 PM업무 감독) 등을 고려할 때 DP기스 설린더를 직접 취급하고(설린더 교체는 1회/주 정도), 고장 난 장비/부품(핸들러, 로터, 밤증 등)도 수리하여, 필요에 따라 청바 안으로 들어가는 직무 특성을 고려할 때 DP기스와 비소노출은 "중간(3)" 혹은 "높음(4)"으로 평가하였음.

한편 이온주입 시설인 장비/기계 등(Solid house, manipulator/faraday/analyizer shield, 범라인 등)을 교체하고 수리하는 PM엔지니어의 비소와 DP기스 노출은 사업장에서 평가하지 않았음. 문헌에서 보고한 농도는 노출기준을 초과한 경우가 많았음(표 16) 및 부록 참조). 따라서 PM엔지니어의 DP기스와 비소노출은 "높음(4)"으로 평가하였음.

- 오파레이터 "낮음(2)" 혹은 "중간(3)"
- 설비엔지니어 "중간(3)" 혹은 "높음(4)"
- PM엔지니어 "높음(4)"

[표 16] 포토와 이온주입 근로자의 일부 유체인자에 대한 노출강도

공정	유해인자, 단위	노출기준	금정오파레이터/엔지니어, 범위	문헌고찰
포토	Acetone, ppm	0.15-1.80 *	31.6-42.3 **	
	PGMEA, ppm	제정되지 않음	0.004-0.053 *	< 0.042
	IPA, ppm	200		4.44-16.6
	2EEA, ppm		0.001-0.007 *	< 0.043
	Xylene, ppm	LOD - 0.002 *		< 0.09
	NBA, ppm		<LOD *	<0.003
이온	IPA, ppm			
주입	비소, ug/m^3	10 GM=<0.1-3.6 (Ungers and Jones, 1986)	<0.1-560 *** AM=5.3-106.1 (Chen, 2007)	
	알신, ppb	5	0.01-2.200	0.01-0.683 ***
	슬린, ppb			
	보론, ug/m^3			No data
	포스핀, ug/m^3			No data
	Coater operator/Aligner operator/Inspector/maintenance technician에 대한 TWA의 평균농도를 범위로 나타낸 것임(Ballock 등, 1993).			
	** Coater를 유기용제를 사용해서 세척함(지역식로).			
	*** 지금까지 문헌에서 보고된 농도를 범위로 표시한 것임. 참고문헌은 부록에 제시되어 있음.			

참고문헌 : 위 표는 부록에서 제시된 표를 오약한 것임. 참고문헌은 부록에 제시되어 있음.

- 이온주입에서 사용하는 다른 DP기스(보론, 포스핀, 알신 등)에 대한 노출농도는 아직까지 보고된 적이 없지만, 위에서 평가한 알신과 비소의 치성적인 발생 혹은 노출강도 범주는 비슷할 것으로 판단됨. 공정에서 DP 품질별로 사용빈도가 비슷하기 때문에. 따라서 사업장에서 이온주입 공정의 직무별 DP기스와 비소에 대한 노출수준을 주가로 모니터링하여 보다 정확하게 노출강도를 평가해야 함.

O 노출빈도

포토와 이온주입 공정 근로자의 직무가 Fab내부에서 이루어진 시간을 노출빈도로 하였

음. 포토와 이온주입 치무는 70 % 이상 Fab에서 수반되므로 노출빈도는 모두 "높음(3)"으로 평가하였음.

○ 노출수준

노출수준은 위에서 정성적(혹은 준정량적)으로 평가한 노출강도와 노출빈도를 조합하여 아래와 같이 구하였다(표 17 참조). 노출수준을 아래와 같이 3개의 범주로 임의대로 구분하였음.

- 높음 : 8-12

- 중간 : 4-6

- 낮음 : 1-3

[표 17] 노출수준의 결정

노출빈도(2)		노출강도(1)			
		1	2	3	4
1	1	2	3	4	
2	2	4	6	8	
3	3	6	9	12	

- 1) 노출강도
1 = 거의 접촉하지 않음·매우 낮음, 2 = <0.5 × 노출기준<낮음>, 3 = 0.5 ~ 1 × 노출기준<낮간>, 4 = >노출기준<높음>

2) 노출빈도

- 1 = <1시간<낮간>, 2 = 1 ~ 4시간<중간>, 3 = 4시간 이상<높음>

이온 주입 오파레이터와 정비 인지니어에 대한 비소와 DP가스들에 대한 유해인자 노출수준을 아래와 같이 사례로 평가하였음.

○ 위험성평가에 따른 관리수준의 사례를 [표 18]에 소개하였음. 만약 노출수준도 높고 독성이 큼·유해인자에 대한 관리는 기장·임상학적 모니터링을 기능한 차주하여 노출수준을 점검해야 하며, 긴장감시설문 등도 일정 주기로 향후 노출을 가능하면 의제화기·위해성·공학적인·대체교·보호구·작동을 모든 관리수준 등을 사업장의 특성과 여건에 따라 다양하게 결정할 수 있음.

사례 1. 이온 주입 공정 오파레이터의 DP가스, 비소화합물 노출수준

- 노출강도 : "낮음(2)" 혹은 "중간(3)"
- 노출빈도 : "높음(3)"
- 노출수준 : "중간(6)" 또는 "높음(9)"

사례 2. 이온 주입 공정 PM 엔지니어의 DP가스, 비소화합물 노출수준

- 노출강도 : "높음(4)"
- 노출빈도 : "높음(3)"
- 노출수준 : "높음(12)"

4.6. 위험성 평가

[표 18] 위험성평가에 따른 관리 수준에 대한 사례

노출수준	유해성	호흡기노출 모니터링 주기	생물학적 모니터링 주기	건강검진 주기	주기적인 설문	공학적인 대책	개인 보호구
낮음 / 중간 / 높음	유해성 식독성 등	2회/년 주기	1회/년 주기	1회/년 주기	1회/년 설문	격리/자동화/ 국소방기 등	작용
높음 / 중간	· 가역적 · 차극성	1회/년 주기	불필요 불필요 불필요 불필요 불필요 불필요	불필요 불필요 불필요 불필요 불필요 불필요	1회/2년 국소환경 등 작용	작용	

5. 결론

○ 웨이퍼를 제조(FAB)하는 공정을 대상으로 유해인자에 대한 노출평가 현황을 분석하여 문제점이 있는지 파악한 다음 개선할 수 있는 노출평가 전략을 제안하였음. 유해인자에 대한 균로자 노출을 평가하고 노출을 억제하기 위한 프로그램 중 “직업환경측정”, “화학물질 사용현황” 그리고 “가스감지기설치 및 관리”에 대한 노출평가 실태와 문제점을 아래와 같이 분석하였다.

- 화학물질현장 분야 : 환경재생자와 직업환경측정을 범위 대상 물질을 중심으로 지정 즉 정기 관리 위탁하여 8시간 기준 평균 노출량도를 중심으로 실시해 오고 있으나, 평가 결과를 활용, 신사회를 치어 대회 노출 수준은 기준이 비해 매우 높게 나타나고 있음. 따라서 현행 법적 충정규정을 준수하는 것에 초기부터 긍정 면밀 유사한 노출특성을 가진 치부를 물류하고 법적 대상을 확장해 국영화하지 않고 평가가 가능하도록 유해인자를 대상으로 일부 노출 평가 시기를 고려한 단위차별 중심의 단시간 노출평가 전략을 단면적으로 활용할 경우 적극적 노출요인을 사전에 파악하여 관리 할 수 있을 것임.

화학물질사용현황: 자체적으로 사업장에서 사용 중인 화학물을 대상에 대한 성분 및 향기 등을 실시는 경우는 거의 없으며, 화학물질 공급자가 제공한 MSDS에 의존하고 있다. 단, 정부법령에 “독성화학물질”을 설정한 “법무부” 등에 대한 “설정기록”은 법률에 의존하는 경우다. 예전에는 MSDS를 표시하는 경우는 0.1% (1000 ppm) 이상으로 그 성분과 중도를 확인하고 관리가 바람직 함.

· 공정에서 사용하는 Photo register(PR)에 주요 성분을 살펴보면 유통업체 원인물질: ethylene glycol ethers (EGE), 그루 벤젠 등에 대한 주기적인 확인은 필요함.

· 불량률 점수 평균 등 특성이 큰 화학물질은 공급자가 제공하는 MSDS 상을 표시해 두기 조건인 0.1% (1000 ppm) 이상으로 그 성분과 중도를 확인하고 관리가 바람직 함.

- 검지기 설치 및 관리방법: 최근 6개월 동안 5라인에서 벌별된 가스검지기 정보는 46건 있었음. 발생원인을 분석한 결과 설비 안에서 기계, 물질 교체, 세척 등의 치수(PME)에 무) 둘다 발생된 경우가 약 60%임. 따라서 청비(PME) 치수에 대한 노출평가는 물을 노출을 억제하기 위한 범안을 마련할 필요가 있음

○ FAB공정 근로자는 매우 다양한 독성수준과 노출수준, 그리고 측정 및 분석방법 유무 등의 특성이 다른 많은 유해인자에 특별히으로 노출될 수밖에 없음 / 노출기준이 제정되어 있고 측정 및 분석이 가능한 유해인자에 대한 노출만을 핵심적으로 평가하는 직업환경측정 제도로는 다양한 유해인자가 발생되는 웨이퍼 가공 공정에서 노출을 평가하는 데는 한계가 있음을 확인하였음.

○ 본 자문에서 제안한 노출평가전략(안)은 공정별로 유사한 노출특성을 갖는 치우그룹을 묶고 이를 기본으로 치우 혹은 특정 유해인자에 대한 노출을 정성적 혹은 충정량적으로 평가하여 우선으로 관리해야 할 치우 혹은 유해인자를 결정하는 것이 주요 과정임. 본 자문에서 제시한 노출평가 전략과 사례를 참조하여 주기로 공정별 치우분류, 특성이 높은 유해인자에 대한 집중적인 모니터링, 노출 변수 등을 꼼꼼히 평가하여 보다 정확한 노출평가 전략을 수립하는 것이 필요함.