



반도체 · FPD 제조설비와 클린룸의 RISK 최소화를 위한 폭발위험장소 설정 모델링에 관한 연구

노현석 · †우인성 · 황명환 · 우정환*

인천대학교 안전공학과 *Texas A&M 대학교 전자공학과
(2017년 11월 13일 접수, 2018년 2월 22일 수정, 2018년 2월 23일 채택)

A Study of Explosion Hazard Proof Modeling for Risk Minimization to Semiconductor & FPD Manufacture Equipment and Clean Room

HyunSeok Noh · †InSung Woo · MyungHwan Hwang · JungHwan Woo*

**Dept. of Safety Engineering, Incheon National University*

***Dept. of Electrical and Computer Engineering, Texas A&M University*

(Received November 13, 2017; Revised February 22, 2018; Accepted February 23, 2018)

요약

본 연구를 통하여 반도체 · FPD 제조설비 및 클린룸에 관련한 설비의 위험성분석과 그에 대한 근원적인 안전대책을 연구하고, 설비 및 환경의 특수성을 고려한 방폭 설계 모델링화를 검토하여 관련 설비의 설계 및 제작에 기술적인 기준과 근거로 활용하고자 하며, 아래와 같은 성과로서 향후 반도체 · FPD 산업의 기술적 기준 수립 및 관련 산업에 기여할 것으로 생각한다.

- 1) 관련 국제 기술규격과 법령, 설비의 특성을 반영한 FAB 장비의 최적화된 폭발위험장소의 모델링 도출
- 2) FAB 장비 및 클린 룸의 특성을 고려한 위험설비의 안전성 확보 (Fool-Proof와 Fail Safe)를 위한 안전시스템 구축방안과 안전기준 및 대책 도출
- 3) 향후 FAB 장비의 방폭 설계에 대한 가장 효율적인 기준 적용을 통한 신규 FAB 장비의 방폭 성능의 유연성 확보하고 수립된 안전기준을 통한 설비와 안전시스템의 신뢰성 검증 절차 운영을 위한 『안전인증제도』의 자율적 향상화

Abstract - In this study, we analyzed risks of the fabrication process equipment and cleanroom for semiconductor/flat panel display (FPD) manufacturing facilities and studied the fundamental safety measures for the risk factors. We examined the explosion proof design models considering the specificity of equipment and environment, and planned to utilize the findings to provide technical standards and grounds for designing and manufacturing related equipment. We believe that this study will contribute to the establishment of technical standards for semiconductor/FPD industry and businesses in many different ways by providing optimized modeling of high-risk explosion site detection, developing safety standards and hazard countermeasures and voluntary activation of safety certification system for operation of fabrication process equipment.

Key words : semiconductor, FPD manufacturing facilities, risk minimization

†Corresponding author: insung@inu.ac.kr

Copyright © 2017 by The Korean Institute of Gas

I. 서론

1.1 연구 배경 및 목적

반도체와 FPD(Flat Panel Display)산업의 클린룸(Clean Room) 내에 설치되는 FAB 장비는 일반 화학설비와 구조적 형태와 기술적 차이를 가지고 있어[1], 일반적인 화학설비와는 달리, 화학물질을 취급하는 부분과 일종의 기계적인 제조 및 조립하는 장치를 포함하여 해당 장비의 내부 전체를 폭발위험장소로 선정하기에는 현재의 기술적인 상황으로 어려움이 많다. 따라서 이에 대한 적용 가능한 국내외의 법규 및 기술코드를 통하여 법규를 만족하며[2,3], 설비에 대하여 가장 기술적이고 효율적인 방폭 설계를 위한 모델링을 구축할 필요성이 있다.

이에 대하여 FAB 장비와 관련설비의 특수성을 고려하여 국내법과 국제기술코드, 관련 업계의 기술자료 및 사고사례 등을 참조하여 폭발위험장소 선정 모델링을 연구하고, 각종 관련 규격 및 기술 Know-how, 사고사례 등을 반영하여 클린룸과 FAB 장비의 Risk 분석과 안전성 확보방안, 화재폭발 방지를 위한 방폭설계에 대하여 클린룸의 환기특성, 공정의 효율성과 설비 자체의 특수성, FAB 장비 및 부대설비의 시공 및 성능의 기술적 안전성[4]을 고려한 최적의 폭발위험장소 선정 방안을 검토하고자 한다.

1.2 연구대상 설비 및 공정물질

이번 연구에는 반도체 및 FPD 제조공정의 대표적인 진공, WET 공정을 대상으로 가장 많이 사용되면서 유해 · 위험성이 큰 인화성 가스와 액체를 대상으로 연구를 진행하고자 한다. 인화성가스에 대해서는 진공 장비를 대상으로 자연발화성인 실란(SiH₄)를 제외하고 수소(H₂) 가스에 대하여 평가를 수행하고, 인화성 액체는 WET 공정 장비를 대상으로 인화점이 대체적으로 높은 PGMEA를 제외하고 가장 많이 사용되는 IPA(Isopropyl alcohol)를 대상으로 연구를 진행하고 한다.

1.3 연구 및 평가방법

주로 사용하는 다량의 인화성 가스 및 액체의 저장 및 공급방법, 공급 계통의 구성, 공급 장치의 안전장치, 저장공급 시설에서 FAB 장비로의 인화성 액체 및 가스의 공급방법과 공급설비, FAB 장비에서 공정 과정중(Processing) 및 공정 후(Drain, Ventilation, Circulation)의 Gas와Chemical의 배기특성 및 설비에 대해서도 연구자료 수집을 통해 위험성을 조사하였다[5].

이와 같은 여러 가지의 사항을 고려하여 인화성 가스 및 인화성 액체의 폭발위험범위를 설정하기 위하여,

국내법에서 규정하는 KSC IEC 60079 -10-1 및 KOSHA Guide와 국외규격인 EI-15, NFPA 497, API 505를 조사 · 검토하여 연구에 반영하였다.

진공공정, WET 공정 설비의 인화성가스 및 인화성 액체 공급설비에 대한 폭발위험범위를 상기 규격과 Code를 통하여 설정하고 상호 규격 및 Code간의 차이 및 FAB 장비의 특성을 고려한 환경적, 설비적 조건을 검토하였다.

2. 이론적 배경

반도체 · FPD 제조공정의 위험성을 이해하고, 제품 생산 환경의 특수성을 파악하기 위하여 반도체 · FPD 제조공정, 클린룸 구성, 반도체 · FPD 산업의 화재 · 누출 · 폭발 사고, 폭발위험장소의 선정에 대하여 연구하였다.

2.1 반도체 및 FPD 제조공정[2]

2.1.1 FPD 제조공정(LCD 제조공정)

TFT의 전기적 신호에 따라 LC는 배열이 변화되고 Back light 빛의 배열이 변화된 LC를 거쳐서 Color filter를 통해 우리 눈에 보이게 된다. Color filter는 빛의 삼원색인 Red, Green, Blue로 구성되며 아주 조밀하게 붙어있어 사람 눈으로 보기에는 RGB가 합쳐져서 어떤 색이 나오는 것처럼 보이게 된다. 공정들은 크게 ① TFT array panel 제조공정, ② Color filter 제조공정, ③ Cell 제조공정, ④ Module 제조공정의 네 단계로 진행된다.

2.1.2 반도체 제조공정

반도체 제조공정은 실리콘(Si)으로부터 웨이퍼 제조, 회로 설계 및 마스크 제작, 웨이퍼 가공, 칩 조립의 제조공정을 통하여 반도체 제품이 생산된다.

2.2 클린룸(Clean Room)의 이해

반도체 · FPD 제조공정은 청정도 유지를 위하여 클린룸에서 모든 제조공정이 이루어지며, 이해를 돕기 위하여 클린룸의 종류, 특징, 순환방식 등에 대하여 조사 연구하였다.

2.2.1 클린룸의 정의

공기 중의 부유 미립자가 규정된 청정도 이하로 관리되고 그 공간에 공급되는 재료에 대해서도 요구되는 청정도가 유지되며 온도 · 습도 등 환경에 대해서도 관리할 수 있도록 만들어진 구역이나 공간을 말하며, 먼지나 기타의 미립자(Particle)를 마이크로 필터로 제거하여 청정도를 유지하는 것이 클린룸이며 제

약회사, 전기전자제품, 반도체, FPD, 정밀 기계공장 등에서 활용된다. 클린룸을 구성하기 위한 기본 요구 사항은 발생한 미립자를 제거, 미립자 발생 방지, 미립자의 누출 방지, 미립자의 침입 방지, 필요한 온도·습도 및 실내 압력유지, 청정한 공기 송풍이다.

2.2.2 클린룸의 등급과 환기

클린룸은 반도체, FPD 등 첨단산업에서 제품의 생산수율, 공정의 정밀화, 미소화, 고품질화 및 높은 신뢰성이 요구되고 있는 ICR(Industrial clean room)이 있으며, 클린룸 내 환기설비의 환기 횟수에 따라서 청정도 Class 100에서 Class 100,000까지 구분하고 있으며, 여기서의 환기 횟수는 폭발위험범위를 계산하는데 고려하여야 할 중요한 Factor로 작용할 수 있다.

2.3 폭발과 방폭 이론

전기방폭의 기본 개념과 누출원 및 환기특성, 폭발 위험장소에서의 전기/계장기계·기구(이하 "전기설비"라 함) 선정과 관련된 이론에 대하여 기술한다. 폭발위험장소 설정에 관련된 이론[2], 즉 폭발방지의 기본개념과 원리, 폭발위험분위기 생성의 방지 메커니즘과 위험성 그리고 전기설비의 방폭화 방법과 폭발 위험장소의 누출량의 산정과 위험범위에 영향을 미치는 환기특성 및 환기량 평가 산정하는 방법, 위험분류와 폭발위험장소를 구분하는 방법에 대하여 조사 연구한다."폭발위험장소(Hazardous area)"는 "전기설비를 선정·설치·사용함에 있어 특별한 주의요구하는 폭발성 가스위험분위기가 조성되거나 조성될 우려가 있는 장소"를 말하며, 이러한 장소는 위험분위기의 발생 가능성, 즉 폭발성 가스분위기의 생성빈도와 지속시간에 따라 0종 장소, 1종 장소, 2종 장소 등으로 나누고 그 위험범위를 설정하는 것이다.

2.4 사고사례의 통계와 분석[1]

2.4.1 반도체/FAB 공장의 사고통계

FM Global사가 발표한 1995년부터 2000년까지 반도체 공장의 사고는 빈도에 있어서 화재 23%, 케미컬 누출 18%, 서비스중단 9%, 전기사고 14%, 도난 5%, 폭발 4%의 순이며, 손해액 측면에서는 케미컬 누출 37%, 화재 20%, 서비스 중단 19%, 전기사고 7%의 순서를 나타내고 있다.

(1) 대부분의 사고들이 가연성가스와 액체 누출에 의하여 발생하였으며, 인화성가스에 의한 화재사고, 독성가스 누출 사고가 많이 발생하였으며, 자연발화의 특수성을 가진 사고가 많이 발생하였다.

(2) 반도체·FPD 산업의 초기단계에서 대부분의

큰 사고가 발생하였으며, 가연성가스와 액체에 의한 화재·폭발·사고를 예방하기 위하여 Gas/Chemical 공급시스템, FAB 장비, 배출설비에 대한 설계 및 시공에 대한 안전뿐만 아니라 운전하는 영역에서의 작업에 대한 기준이 필요할 것이다.

(3) 가연성가스 및 액체의 누출에 따른 화재폭발 사고를 예방을 위한 여러가지 안전대책이 수립되고 적용되고 있다. 하지만 FAB 장비에 대한 특수성과 클린룸의 환경조건으로 인하여 일반적인 방폭대책이나 위험 예방 조치가 쉽게 적용하기가 어려운 것이 사실이다.

(4) 반도체·FPD 산업의 현재 통계자료에서는 가연성 액체 및 가스가 폭발위험분위기를 조성하여 외부 점화원에 의해 직접적인 폭발사고가 발생한 사례는 정확하게 찾을 수 없으며, 더 정확한 구체적인 사례들이 있는지에 대해서는 추가적인 연구조사가 필요할 것이다.

3. 공정의 위험성 분석과 폭발위험장소의 설정

3.1 반도체·FPD 산업의 폭발위험방지

수소, 실란, IPA, Thinner 등의 인화성·독성 액체와 가스를 고온·고압에서 운전 하므로 공급배관의 접속부, 피팅부, 배관 굴곡부 등은 오랜 시간이 경과되었고, 장비/장치/물체 등의 충돌 등으로 인하여 누출의 위험성이 높은 곳이며, 누출시 화재·폭발과 독성가스 누출에 의한 중대 산업사고를 발생할 위험성이 존재한다.

인화성물질을 취급하는 진공장비, Wet etch 등의 FAB 장비에 대하여 방폭성능을 고려하여야 하는데 이는 산업 초기에 설계되어 설치 운영된 설비들로 현재의 방폭기준을 적용하여 설비적인 변경을 하는 것은 현실적으로 불가능한 일이다. 기술적으로 가능하더라도 FAB 장비를 신규 설치하는 것이 경제성이나 효율성, 시간적인 면에서 쉬울 것이다.

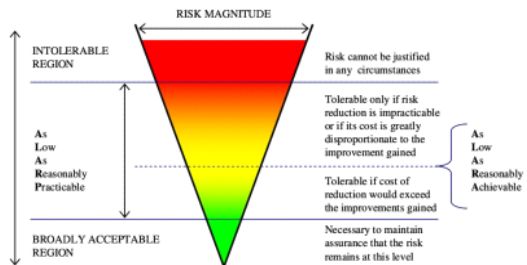


Fig. 1. Concept of ALARP

이에 대하여 위험성평가를 통하여 폭발위험장소를 설정할 수 있을 것이다. 위험성평가에서는 폭발방지의 기본원칙인 "폭발위험분위기의 생성확률 × 전기설비의 점화 확률 = 0"에서 Risk를 제거하거나 최소화할 개선방안을 찾아야 하며, 그 개선방법에 대해서도 기술적인 부분과 경제적인 부분에 대하여 상호 실현 가능한 부분을 최대화 할 수 있도록 Fig. 1.의 "ALARP" 개념을 적용하여야 한다.

3.2 폭발위험장소의 누출원 평가

클린룸 내에 설치된 가스공급설비와 사용 장비, 케미컬공급설비와 사용 장비에서 인화성 가스/액체가 누출되어 폭발위험분위기를 조성할 수 있다.

3.2.1 폭발위험장소 설정 결과의 비교 분석 [2]

(1) 누출원 평가(KSC IEC 60079-10-1)

① 인화성 액체(CCSS)

인화성 액체를 공급하는 설비는 CCSS(Central Chemical Supply System, 중앙약품공급장치)와 생산 공정 중에서 다른 물질(DI 등)과 혼합하여 공정에서

Table 1. Evaluation results on the leakage source of CCSS

구분	CCSS-IPA
누출원	배관, 플렌지, 밸브Packing
누출압력	593,874Pa
폭발하한(LEL)	0.0499kg/m ³ (2%)
누출등급	2차
누출공	0.25m ³
대상체적	543 m ³
환기횟수	0.00252회/s
Quality Factor	3
환기등급	중환기(Vo=543 m ³ > Vz=365 m ³ > 0.1 m ³)
환기유효성	양호
폭발위험장소 (등급/반경)	2종 / 4.44m

새롭게 필요로 하는 농도의 Chemical을 만드는 장치 CDS(Chemical Dilution System, 약품농도조정장치)가 있으며, 이번 연구의 누출원 평가에서는 CCSS 공급장치에 대하여 평가를 실시하였다.

② 인화성가스(Gas 공급실)

인화성 가스(진공장비)를 공급하는 설비는 가스공급실의 Gas를 안정적으로 공급해주는 BSGS(Bulk specialty gas system), Gas cabinet과 BSGS로부터 공급받은 가스를 필요로 하는 각 장비로 가스를 분기시켜주는 VMB(Valve manifold box)가 있으며, 누출원 평가에서는 수소 Gas Cabinet과 VMB 수소 배관누출에 대하여 평가를 실시하였다.

Table 2. Evaluation results on the H₂ leakage from the gas cabinet and VMB's gas lines

구분	Supply Unit-H ₂ Gas
누출원	배관, 플렌지, 밸브Packing
누출압력	836,824Pa
환기등급	중환기(Vo=3.6m ³ > Vz=2.19m ³ > 0.1m ³)
환기유효성	양호
폭발위험장소 (등급/반경)	2종 / 0.81m

Table 3. Evaluation results on the H₂ leakage from VMB inside the cleanroom

구분	C/R VMB-H ₂ Gas
누출원	배관, 플렌지, 밸브Packing
누출압력	787,791Pa
환기등급	고환기(Vo=172,145m ³ > Vz=35.18m ³ < Vo의 0.1% 173m ³)
환기유효성	양호
폭발위험장소 (등급/반경)	비위험

③ 인화성가스(클린룸-VMB)

클린룸의 VMB H2 배관 누출에 대한 평가결과는 다음과 같다.

(2) EI-15에 의한 폭발위험장소의 설정

EI-15(Area classification code for installations handling flammable fluids)의 폭발위험장소 선정③의 위험기반절차법(RBA)이며 작업자의 노출시간, 누출원의 수, 누출값과 점화확률을 고려하고 누출빈도 Level을 정의하여 누출공과 위험범위를 선정하도록 하고 있다. FAB 장비의 수소가스 사용장비에 대하여 EI-15의 위험성평가를 기반으로 폭발위험장소 선정을 진행하였다.

3.3 FAB 장비의 폭발위험장소 설정에 대한 검토

3.3.1 가연성 가스 사용 설비: CVD, PVD, ALD 등의 진공장비

(1) 진공장비를 위한 대부분의 가스공급은 Gas cabinet을 통해 이루어진다. 각각의 가스는 종류별 Gas cabinet에서 공급되고, 클린룸에 설치된 VMB를 통해 각각의 진공장비들은 해당MFC(Mass flow controller) 장치를 통해 일정한 질량(극소량)의 가스를 반응 Chamber내로 주입하여 증착공정을 진행한다. MFC는 온도 등에 따라 순간적으로 변화될 수 있는 부피유량을 제어하지 않고 외부조건에 영향을 받지 않는 질량으로 제어하는 설비이다. 문제는 세계적으로 FAB 장비를 위해 필요한 MFC가 방폭형으로 생산되지 않고 있으며 방폭형에 대한 수요도 공급도 없으며 방폭형 MFC는 존재하지 않는다. 이럴 경우, Gas cabinet 및 VMB가 폭발위험장소로 선정한다 하더라도 인화성가스가 누출되어 폭발성 분위기가 조성되면 다른 전기기계 기구가 방폭형으로 설치한다고 하더라도 MFC에 의해 점화될 수 있기 때문에 해당 폭발위험장소에 점화원이 존재한다면 나머지 전기기계 기구를 방폭형으로 하는 것이 확률적으로 의미가 없을 수도 있다. 또한 진공장비를 구동하는 수많은 제어장치, 동력장치도 마찬가지이다.

(2) FAB의 진공장비의 대부분은 진공에서 대기압(760 Torr G)의 운전 조건을 가진다. 이는 2차 누출원이 있다 하더라도, 1차적으로는 외부의 공기가 Chamber 내부로 유입되고 대기압에 도달하면 통상적인 확산만 있을 뿐이며, 2차 누출원의 미세한 면적을 통해서 이른바 대기상의 확산도 즉, 폭발위험장소의 계산 자체가 누출량이 거의 "0"에 무한히 가까우므로 의미가 없다고 볼 수도 있다.

3.3.2 인화성 액체 사용설비: PHOTO, STRIP, 세정

(Cleaning)장비

한국산업표준 KSC IEC 60079-10-1 폭발위험 장소의 구분에서는 일시적인 누출량은 일정 수준이지만 누출될 수 있는 총량, 즉 취급량 자체가 많고 적음을 고려하지 않고 있다.

그러나 EI-15 Area Classification code for installations handling flammable fluids를 통해 이를 기술적으로 제시하고 있다.[3] EI-15의 "1.2.1 Small scale operations"에서는 누출원으로 해당되는, 폭발위험장소 선정시 고려대상이 되는 최소량을 제시하고 있다.

FAB의 WET 장비에서는 25L를 초과하여 저장 또는 사용하는 설비는 그리 많지 않으며, 그 농도 역시 DI(De-Ionized) Water 등으로 희석되어 실제 공급 당시의 농도보다 낮아져서 Table 5와 같이 운전되는 경우도 많다.

인화성 액체의 증기가 비교적 적은 양으로 취급·사용되는 공정에서 밀폐 구조나 플랜지부 개스킷 등의 불량으로 인한 액체 누출을 방지하는 조치를 취하고 액체 누출 시에 폭발하한값 25% 이하에서 검출(감지기)하여 적절한 조치를 취하는 경우에는 비위험장소로 구분할 수 있다.

3.3.3 폭발분위기의 양(Volume) 조건

(1) 일반적으로 폭발위험분위기의 생성 여부는 폭발에 영향을 미치는 물질의 양에 비례하며, 경험상 그 양이 10ℓ 이상일 경우에는 위험 분위기가 조성될 수 있다. 인화성액체를 취급·사용하는 경우, 해당 액체가 분당 40~400ℓ 정도로 누출되어 폭발이 일어났을 때의 사망확률을 Fig. 1.과 같이 수용 가능한 위험(ALARP)으로 보고 있다. 따라서 여기에 안전율을 고려하면 분당 12~20ℓ 이상의 누출을 "누출원"으로 판단할 수 있다. 누출원의 대부분은 패킹 글랜드로 이때 누출되는 양은 통상 분당 0.95ℓ 넘지 않으며, 옥외에서 분당 1.0ℓ 정도의 인화성물질이 누출된다 하더라도 가연성 가스검지기(LEL의 25% 이하 설정)가 이를 검출하기 어려운 점을 고려한다.[6]

Table 4. Low limit of explosion hazardous area (EI-15)

구분	기체 (1기압 환산)	액화가스	인화성액체
Indoor	50 Liter	5 Liter	25 Liter
Outdoor	1,000 Liter	100 Liter	200 Liter

Table 5. Operating conditions for wet process equipment in the FAB

구분	H ₂ Gas	비고
누출원	Flange, Valve	
노출시간	0.219	
누출원 개수	30	
노출값 계산	6.6	$6.6 = 0.219 \times 30$
점화확률	0.01	Weak(Typical sources of ignition within a Zone 2 Area)
Level 결정	I	노출의 크기 : 6.6, 점화원 존재 확률 : 0.01을 반영 2종장소 및 경계 Area
누출공 크기	Flange: 0.6mm Valve: 0.1mm	Releasefrequency level- I
Fluid category	G(ii)	EI 15에서 Fluid categories는 A, B, C, G(i), G(ii)로 구분 수소는 G(ii)에 정의됨
운전압력	9bar	
폭발위험장소 (등급/반경)	2종 / R <1m	최대10bar까지 누출공2mm까지의 위험반경은 최대 1m로 2종장소로 선정

4. 위험특성 분석 및 폭발위험장소 모델링 결과 고찰

4.1 폭발위험장소의 효과적인 설정

FAB 장비는 클린룸의 환경특성과 장비 자체의 특수성을 고려하여 다음의 여러 조건을 반영하여 폭발 위험장소를 선정하면 설비에 대한 안전성 확보뿐만 아니라 폭발위험범위의 최소화, 최적화를 통하여 방폭기기의 적용 최소화를 가져올 수가 있을 것이다.

4.1.1 클린룸의 환기특성(환기와 희석)

클린룸은 전체 환기를 지속 실시하고 장비단에서의 기류가 규칙적으로 형성된다. 따라서 위험물질이 미량으로 누출 되더라도 환기가 되고 희석이 되어 위험 분위기를 만들 수 있는 환경조건에 도달하기가 거의 불가능하다.

4.1.2 개별 FAB 장비의 국소적인 배기 특성(강제 배기)

개별 장비의 공정조건을 맞추고 이물(Particle) 제거, 세정 · 건조 및 코팅 과정에서 발생되는 VOC의 배출 등을 위하여 클린룸 전체 환기 외에 각 장비에서는 ME(Mini environment)를 구성하여 국소배기를 가동하고 있어 강제환기가 상시 이루어지고 있다.

4.1.3 FAB 장비의 특수성

(1) 진공을 사용하는 진공장비는 인화성 가스가 누출될 수 있는 확률을 거의 "0"에 가깝게 운전조건을 유지하고 있으며, 사용하는 인화성가스의 양 자체도 수 g 단위이다. 인화성 가스나 액체가 증발되면 즉시 배기를 통하여 VOC나 RTO를 통하여 처리되고 있다.

Gas를 공급하는 공급장치 및 배관들의 경우 금속 가스켓 양면 접속 피팅이라는 VCR(Vacuum coupling radiation) 피팅방식으로 Fig. 2와 같이 시공되고 있다. VCR 피팅 부품은 고순도 제품의 밀폐유지, 진공에서 양압까지의 누출이 없는 고신뢰성 제품이여야 하므로 제품에 대한 설계기준과 시험검사 기준이 제시되고 있으며 여러 시험방법으로 기밀성, 신뢰성에 대한 품질보증을 하고 있다.

따라서 이와 같이 특수한 사례의 경우는 VCR 피팅에 의한 연결 부위는 통상적으로 정의되는 2차 누출원(플렌지 접합부)과는 기술적으로 차이가 있다는 인식이 필요하다.

(2) Gas/Chemical 공급실, FAB 장비의 전 구간에 걸쳐 가스감지기 또는 누액감지기가 설치되어 상시 누출에 대한 감시를 하고 있으며, 누출시 인터록(Interlock)이 설정되어 있어 긴급차단밸브(ESOV) 차

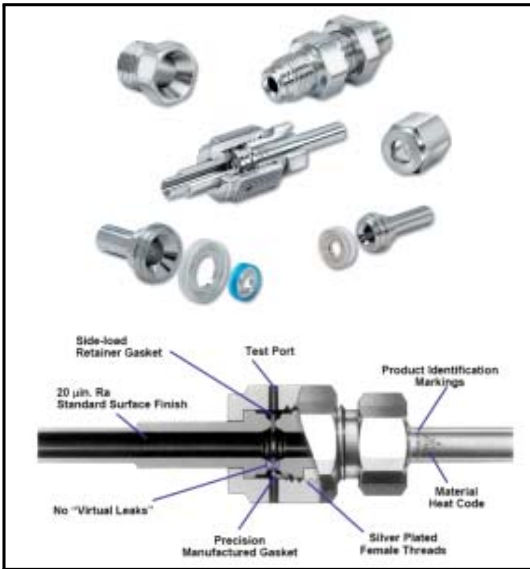


Fig. 2. Picture of VCR Fitting

Table 2. Measures of eliminate explosion risk

구분	주요대책
공정 조건	1. 위험물질의 대체 또는 사용 양의 감소 (폭발위험분위기 조성의 물질 소량기준 설정) 2. 위험물질의 농도 제한(저농도화-폭발하한계 25%미만) 3. 공정 조건의 불활성화(Inerting)
장비 설계·구조	1. 위험물질이 누출되지 않는 폐쇄적 구조/이중화 구조 2. 단위장비별 국소배기(배기 시스템의 모니터링 기능을 갖추고 설정 배기압 이탈시 경보 -Interlock system)
누출 회피·감소	1. 위험물질이 누출되지 않는 구조적 설계 및 시공 2. 장치 및 배관 연결부 최소화 3. 배관 및 이음매(개스킷, 접합부, 패킹) 연결 소재의 내마모성과 견고성, 기밀성 유지 4. 소재의 접합성(내마모성, 내부식성)
감시 기능	1. 가스감지기, 누액감지기의 Interlock system 2. 국소 또는 강제배기 가동 및 유량(정압) 유지 모니터링과 Interlock

단이나 설비 운전정지 상태 등으로 설비를 안전한 상태로 변경하게 된다. 인화성액체의 배관은 Tubing을 통하여 이중배관으로 구성되어있다.

4.1.4 폭발위험을 줄이기 위한 대책의 적용
 위험물질 누출에 의한 폭발위험장소의 범위를 축소하거나 제거하기위한 다음과 같은 대책이 필요하다.

5. 결 론

5.1 반도체 · FPD 제조공정 폭발위험장소 설정 모델링 방안

폭발위험장소의 설정을 위한 IEC, EI, NFPA, API 등 여러 가지 방법이 있다. 이는 해당 산업의 특수성과 제조공정의 환경조건, 설비적인 특수성을 고려하여 경험이 풍부한 전문가를 통하여 충분히 합당한 공학적 판단을 내릴 수 있다. 또한 위험물질의 양적 조건을 수용하여 상대적으로 적은 양에 대해서는 그 위험성 자체가 작은 수준으로 평가하여 다른 안전조치를 통하여 충분히 폭발위험장소에 대한 제외 검토도 가능할 것이다.

5.1.1 클린룸의 환기특성(환기와 희석)

클린룸은 전체 환기를 지속 실시하고 장비단에서의 기류가 규칙적으로 형성되면 위험물질이 미량으로 누출 되더라도 환기가 되고 희석이 되어 위험분위기를 방지하는 환경조건이 될 것이다.

5.1.2 개별 FAB 장비의 국소적인 배기 특성(강제배기)

개별 장비의 공정조건을 맞추고 이물(Particle) 제거, 세정 · 건조 및 코팅 과정에서 발생하는 VOC의 배출 등을 위하여 클린룸 전체 환기 외에 각 장비에서는 ME(Mini environment)를 구성하여 국소배기를 가동하고 있어 강제환기가 상시 이루어지고 있다.

5.1.3 FAB 장비의 특수성

(1) 진공을 사용하는 진공장비의 경우 누출가능성이 거의 없으며, 인화성 액체를 사용하는 WET 장비의 경우 위험물질의 누출에 대하여 상시 배기로 장비 외 부로의 누출이 거의 어렵다.

(2) 장치와 배관의 연결이 VCR 피팅, 용접배관, 이중배관 등이 대부분으로 누출 가능성이 극히 적다.

(3) 설비와 배관 등의 구간에는 가스누액감지기가 설치되어 누출시 공급 장치와 FAB 장비의 인터록으로 공급 및 사용이 중지된다.

(4) FAB 장비는 공정조건을 위하여 위험물질의 공급을 MFC로 미량으로 정량공급하며 사용물질의 양이 극히 제한적이다.

5.2 Risk 최소화를 위한 제언

반도체 · FPD 제조장비에 대한 Risk와 폭발위험장

소에 대한 내용을 별개의 사항으로 볼 개념의 것이 아니라 서로 상호의존적이고 보완적인 내용을 보아야 할 것이다. FAB 장비 자체 또는 관련 장치와 배관에서 누출이 발생하지 않는 한 폭발위험분위기가 조성되지 않을 것이며, 반대로 폭발위험분위기를 조성하지 않기 위해서는 FAB 장비를 아주 안전한 구조의 설비로 설계하고 구성하여야 한다.

또한 설비자체의 하드웨어적 안전성을 위한 설계뿐만 아니라 FAB 장비 자체의 안전한 사용과 운전, 유지보수 작업을 위하여 안전설계가 되어야 할 것이며, 이를 위해서는 "설비에 대한 안전기준"이 구체적이고 정확하게 수립되어야 한다.

그리고 "설비에 대한 안전기준"에는 폭발위험장소의 설정과 방폭에 대한 관리부분도 반영되어 FAB장비를 통합적으로 안전성을 확보할 수 있도록 유연성을 가진 대책이 수립되어야 할 것이다. 위험에 대해서는 보수적인 방법과 개념으로만 평가를 할 것이 아니라 가장 합리적이고 개방적인 방법으로 평가가 되어야 할 것이다. 환경적인 특수성을 고려하여 설정 방법에 대하여 가장 최적화된 방법을 선택하여 충분한 공학적 판단이 내려지도록 해야 할 것이다. 설비적 환경이 기술 개발이 이루어지고 있어 특히, 배관의 연결 방법(VCR 피팅, 이중배관 등)에 대한 누출원 검토가 제고되어야 하며, Chemical의 경우 장비의 취급용기(Tank, Bath, Drum, Canister 등)에 대한 양적인 검토가 적극적으로 이루어져야 할 것이다.

감사의 글

이 논문의 일부는 2016년도 인천대학교의 지원으로 연구되었음

REFERENCES

- [1] 한국화재보험협회. "반도체공업 위험관리", 2012, pp.18~21
- [2] 한국산업표준, "KSC IEC 60079-10-1 : 2012 폭발분위기-제10-1부:폭발위험 장소의 구분", 2012
- [3] Energy Institute, "EI-15 Area Classification Code for Installations Handling Flammable Fluids" 2005 3rd edition
- [4] NFPA 497 Recommended Practice for the Classification of Flammable Liquids, Gases or Vapors and of Hazardous (Classified) Locations for Electrical Installations in Chemical Process Areas
- [5] API 505 Classification of locations for electrical installations at petroleum facilities classified as Class 1, Zone 0, zone 1, and zone 2
- [6] 김광일, 반도체 산업에서의 사고사례분석 및 안전 대책 방안, 한국화재소방학회지 10권 1호. 1996, pp49~50.