



반도체용 특수가스 공급장치 내부에서의 가스누출 원인에 따른 유동해석에 관한 연구

김정덕* · 권기선** · 임종국*** · †양원백

*한국교통대학교 안전공학과 박사과정, **SK하이닉(株) 이천Gas설비기술팀,

***한국교통대학교 안전공학과 교수, 송실사이버대학교 안전공학과 교수

(2021년 1월 14일 접수, 2021년 4월 22일 수정, 2021년 4월 23일 채택)

A Study on Flow Analysis according to the Cause of Gas Leakage in the Specialty Gas Supply Device for Semiconductors

Jung-Duck Kim* · Ki-sun Kwon** · Jong-Guk Rhim*** · †Won-Baek Yang

*Dept. of Safety Engineering, Korea National University of Trans. Chungju 27469, Korea

**Icheon GAS Facility Engineering Team, SK Hynix. Icheon 17336, Korea

***Dept. of Safety Engineering, Korea National University of Trans. Chungju 27469, Korea

Dept. of Industrial Safety Engineering, Soongsil Cyber Univ. Seoul 06878, Korea

(Received January 14, 2021; Revised April 22, 2021; Accepted April 23, 2021)

요약

반도체 제조에 사용하는 특수가스를 공급하는 설비는 인화성·독성·부식성을 지닌 유해·위험물질을 주로 취급하는데, 이러한 공급설비로는 주로 가스캐비닛이 사용되고 있다. 가스캐비닛 내 파열판을 통한 누출, 누출 개구부의 확대가 가능한 누출, 누출 개구부가 확대되지 않는 누출의 케이스별로 공급장치 내부 상태 및 외부로의 확산 영향을 누출 원인별로 분석하였다. 이 경우 누출 단면적에 따라 공급장치 외부로 가스가 누출되는 경우가 발생함을 확인하였다. 외부로 누출되는 가스의 농도에 따라 폭발분위기 형성 등 위험성이 존재하는 요인으로 작용하며, 위험에 따라 공급설비의 안전운전절차 등 제반 조치사항을 다시 검토할 필요가 있음을 확인하였다.

Abstract - Facilities that supply specialty gases used in semiconductor manufacturing mainly handles with hazardous and dangerous substances with flammable, toxic, and corrosive properties, and gas cabinets are mainly used as such supply facilities. The effects of the supply facilities were analyzed for each leak through the rupture disk in the gas cabinet and a leak where the leak hole. In this case, gas leaked to the outside depending on the leak area. It is a factor that creates a risk depending on the concentration of the leaked gas. Depending on the risk of leakage, all measures such as safe operation procedures should be reviewed again.

Key words : specialty gas, semiconductor, gas leak, gas cabinet, supply facilities

1. 서론

우리의 일상생활에서 사용하는 스마트폰이나 가정에서 사용하는 TV, 에어컨, 냉장고 등 전자제품에

는 데이터의 기억·처리·전송 등의 역할을 담당하는 반도체가 빠지지 않고 이용되고 있다.

이처럼 우리의 일상생활과 밀접한 관련이 있는 반도체를 제조하기 위해서는 여러 장치들이 유기적으로 연결되어 하나의 반도체 제품을 생산하게 된다. 반도체 제조와 관련한 장치에는 인화성, 부식성, 독성물질 등의 수없이 많은 화학물질을 사용하게 되는데 반

†Corresponding author:wbyang59@hanmail.net

Copyright © 2021 by The Korean Institute of Gas

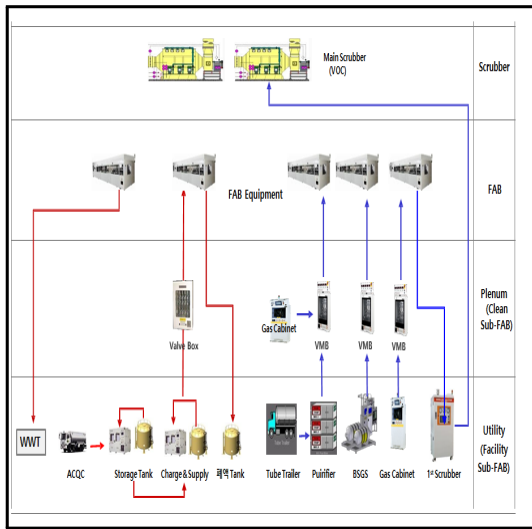


Fig. 1. Chemical supply system for Semiconductor.

도체 제조설비(FAB)에 화학물질을 공급하는 공급설비, 반도체를 생산하는 클린룸 제조설비(FAB)와 반도체 제조공정에서 사용 후 생성된 반응 부산물과 미반응 물질을 처리하는 처리설비로 나눌 수 있으며, Fig.1과 같이 구분하고 있다.[1]

반도체공정에 필요한 화학물질의 성상을 구분하는 경우에는 액체 상태인 케미컬(Chemical)과 기체 상태인 가스(Gas)로 구분할 수 있다. 화학물질의 공급에 있어서도 액체 상태인 케미컬을 공급하는 시스템과 기체 상태인 가스를 공급하는 시스템으로 크게 구분된다.

제조설비(FAB)에 케미컬을 공급하는 방법으로는 중앙의 컨트롤시스템에 의해 자동으로 제조설비에 공급하는 중앙공급시스템, 혼합 케미컬을 일정농도로 공급하는 혼합 케미컬 공급시스템, 탱크로부터 저장조까지의 공급을 위한 ACQC(Automatic Clean Quick Coupler) 공급 시스템, 연마공정(CMP: Chemical Mechanical Polishing)에 사용되는 연마제(Slurry) 공급 시스템 등으로 세분화할 수 있다.

제조설비에 공급되는 가스는 제조공정에 사용되기 때문에 공정가스(Process Gas)라고도 한다. 공정가스를 제조설비에 공급하는 방법으로는 외곽 공급실 트레일러(Trailer)로부터 가스로써 공정가스를 공급하는 트레일러 가스공급 설비, ISO 튜브 트레일러(Tube Trailer)로부터 분배장치(VMB, Valve Manifold Box)를 통해 공정가스를 공급하는 ISO 튜브 트레일러 가스공급 설비, 벌크 특수가스를 Y실린더로부터

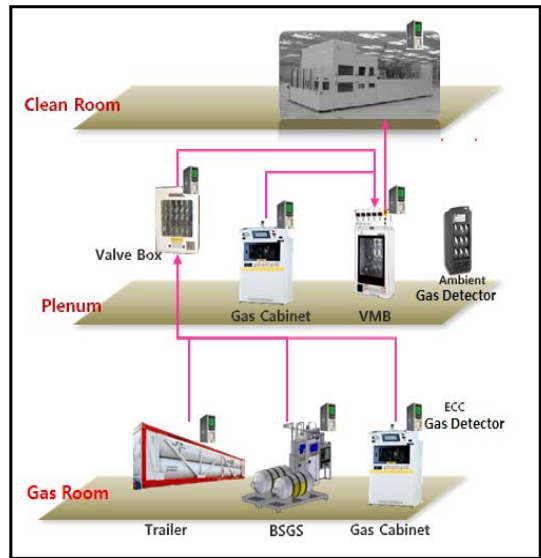


Fig. 2. Specialty gas supply system.

공급받아 분배장치를 통해 공정가스를 공급하는 벌크 특수가스 공급(BSGS, Bulk Specialty Gas Supply) 시스템, 위험성이 높은 특수가스가 충전된 가스실린더와 공급장치인 가스캐비닛(Gas Cabinet)을 이용한 가스캐비닛 공급 시스템, 가스공급설비로부터 공급받은 가스를 일정 압력으로 분배하는 VMB 공급 시스템 등으로 반도체용 특수가스 공급시스템을 Fig. 2와 같이 세분화되어 있다. [2, 3, 4]

II. 연구 배경 및 목적

2.1 연구 배경

특수가스 공급시스템 중 가스실린더를 이용한 가스캐비닛 공급시스템은 특수가스의 안정적 공급 및 제조설비 증설에 최적화된 설비로 다수의 반도체 제조현장에 널리 적용되고 있다. 그러나, 특수가스의 특성 상 인화성·독성·부식성 등 가스의 위험성이 높아 누출되는 경우 이로 인한 피해 영향범위가 넓고 작업자의 건강에 치명적 영향을 끼치게 된다. [1, 2]

이와 같이 반도체용 특수가스를 공급하는 공급장치 중에서 가스실린더를 포함하는 구조의 가스캐비닛 공급시스템은 가스캐비닛 내부에서 가스실린더에 충전되어 있는 고압의 가스를 압력조절기, 밸브 등을 통해 분배장치로 가스를 공급하는 특성이 있어 취급 가스의 위험성이 다른 가스공급장치에 비해 매우 높다. 이러한 반도체용 특수가스 공급장치 내부에서의 가스 누출이 발생하는 경우 가스캐비닛 내부의 가스

유동을 분석하여 이로 인한 피해영향 및 위험성을 파악할 필요가 있다.

2.2 연구 목적

반도체산업에서 주로 사용하는 특수가스는 대부분이 그 취급과정에서 가스가 누출되면 작업자에게 치명적 손상을 가할 수 있는 독성을 지닐 뿐만 아니라 화재·폭발위험이 높은 가스에 해당한다. [2, 3, 4]

반도체공정에 특수가스를 공급하는 가스캐비닛은 고압으로 충전되어 있는 가스실린더를 가스캐비닛에 병렬로 배치하여 사용하는 공급 시스템으로서 가스실린더에 충전된 가스의 충전압력이 중요한 요소로 작용한다. 가스실린더에 충전되는 특수가스 각 물질의 특성별로 반도체 산업현장에서 대표적으로 사용하는 물질의 정보를 Table 1에 나타내었다.

가스실린더에 충전되는 충전압력을 비교하면 수소(Hydrogen)의 충전압력이 14.7 MPa로 높으며, 그 외에 디실란(Disilane), 디플루오르메탄(Difluoromethane), 염소(Chlorine) 등의 가스실린더 충전압력은 1 MPa 미만으로 낮은 압력으로 공급되고 있다. 또한 가스실린더를 이용한 가스캐비닛에 적용되는 주요 특수가스 중 수소는 단일물질로 사용되기도 하지만 캐리어가스의 역할을 통해 디보란(B₂H₆), 게르만(GeH₄), 포스핀(PH₃) 등 미량의 다른 가스와 혼합하여 혼합가스의 형태로 반도체 제조설비에 공급하기도 한다.

이와 같이 가스실린더의 충전압력이 높으면서도 다른 극소량의 특수가스와의 혼합가스로 다량 사용되고 있는 수소가스를 중심으로 수소가스를 취급하는 가스공급장치에 대해 구체적인 연구를 이어가고

자 한다.

III. 반도체용 특수가스 공급장치의 위험성

3.1 특수가스 실린더 취급 절차

전자 및 반도체산업에서 사용하는 특수가스의 일반적 사용 절차는 Fig. 3에서와 같이 가스실린더의 입고, 가스실린더 저장, 가스실린더 교체, 사용된 가스실린더의 폐기 등의 순서로 이루어진다. [1]

특히 액화가스나 고압가스를 저장하는 가스실린더의 경우 실린더의 저장·교체작업 시 특수가스 누출에 의한 위험성이 높다. 이러한 위험성으로 인해 불활성가스를 제외한 다른 가스의 실린더는 각 화학물질을 별도의 분리된 캐비닛에 보관한다. 또한 화학물질이 같은 분류기호를 가지지 않는 경우에는 서로 다른 가스캐비닛에 보관하여야 하며, 자극성이 있는 화학물질은 자극성이 없는 화학물질과 함께 하나의 가스캐비닛에 보관할 수 있다. [5,6, 7]

서로 혼합할 수 없는 물질은 각각의 가스캐비닛에 실린더를 분리·보관하여야 한다. 이러한 특성을 반영하여 반도체 제조공정에서 사용하고 있는 가스실린더는 전용의 가스캐비닛 내에 저장하여 분리·보관하고 있다. [7, 8]

3.2 특수가스 보관에 관한 일반 사항

반도체용 특수가스를 저장·보관하는 가스캐비닛은 물질의 누출 등에 따른 위험성에 대비할 수 있는 안전한 방법으로 운영되어야 한다. 가스캐비닛은 화재로 인한 위험물질의 누출과 확산 등을 예방하기 위해 불연성 재료를 사용하고, 감시카메라를 설치하여야 한다.

Table 1. Major properties of specialty gases

	Hydrogen	Disilane	Difluoro-methane	Chlorine
Molecular	H ₂	Si ₂ H ₆	CH ₂ F ₂	Cl ₂
Gas properties	Flammable	Flammable Toxic	Flammable	Toxic Corrosive
Cylinder Capacity	46.7 L	46.7 L	46.7 L	46.7 L
Initial pressure	14.7 MPa	0.28 MPa	0.9 MPa	0.62 MPa
CAS No.	1333-74-0	1590-87-0	75-10-5	7782-50-5
Explosion limit (%)	4~76	0.4~100	13.3~29.3	-
Exposure	LC ₅₀ 7,500 ppm	TWA 5 ppm	LC ₅₀ 1,890 g/m ³	TWA 0.5 ppm

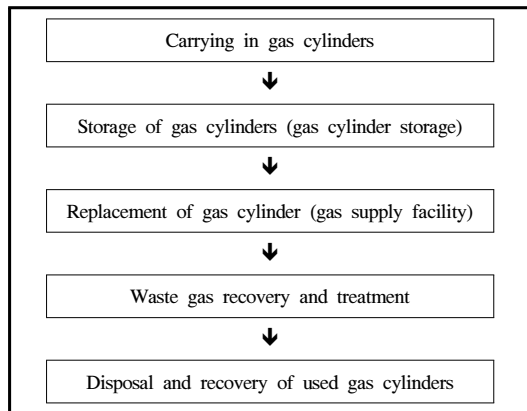


Fig. 3. Procedure for the use of specialty gases.

누출된 가스는 별도의 처리설비로 배출하기 위한 배기설비 및 정전기 방지장치를 갖추어야 하며, 배관 접속 및 기기사용 시 점검할 수 있는 구조로 제작되어야 한다. 가스 상호간의 반응을 고려하여 가스종류별로 구분하여 보관하고, 가스종류별 물성에 맞는 적합한 재료를 선정한다. [8, 9, 10]

가스캐비닛의 배기설비, 경보장치, 긴급차단장치 및 압력센서 등은 비상전원장치에 연동되어야 한다. 인화성, 부식성 및 독성 가스를 저장하고 있는 가스캐비닛에는 감시설비를 설치해야 하고, 감시설비가 작동 시 실린더의 설치장소에서 공정가스의 흐름을 자동으로 차단해야 하고, 비상제어설비에 경보를 발해야 한다.

가스캐비닛은 취급하는 가스의 명칭과 해당가스의 농도에 대한 정보 표지를 부착해야 하고, 가스캐비닛 내부에 있는 모든 가스 배관과 밸브는 해당용도를 표시한 표지를 부착하여야 한다. 가스캐비닛에 저장하는 가스실린더는 2개 이하이어야 하며, 이들 가스실린더 중 하나만이 공정배관에 접속되어야 한다.

자연발화성 가스(실란, 디실란 등)를 저장하는 가스실린더 재질은 스틸 또는 알루미늄이어야 하며 가스실린더에서 화재가 발생 시 인접한 실린더에 화염의 영향을 방지하기 위해 이러한 구역을 나타내도록 실린더 사이에 스틸 재질의 칸막이를 설치하여야 한다. [11, 12]

고압가스를 저장하는 실린더, 배관의 누출원 등에서 가스가 누출되는 경우 누출량은 이상기체의 단열 팽창을 기초하여 추정할 수 있으며 내부압력이 임계 압력보다 높다면 누출가스는 음속가스의 누출률을 적용, 아음속일 경우 아음속가스의 누출률을 적용하며, 공기 중 인화성 물질의 농도가 폭발한계 내에 위치하는 경우 폭발위험장소로 구분하여 관리하여야 한다. [13]

IV. 가스 누출시나리오 선정

4.1 특수가스 및 가스캐비닛 모델 선정

본 연구의 목적은 특수가스 고압용 가스캐비닛 내부에서 가스 누출에 따른 가스캐비닛의 내부 유동을 해석하고 외부로의 누출 여부 및 내부의 가스농도 변화를 확인하는 데 있다. 이에 따라 반도체 제조공정에서 사용하는 주요 특수가스 중 가스의 특성, 사용 용도, 실린더 용량, 초기압력, 폭발범위 등을 검토한 결과 Table 2에서와 같이 물성 특성을 지닌 수소를 연구 모델로 선정하였다.[14]

수소를 공급하는 가스캐비닛은 국내 반도체 제조공정에 설치되어 현재 사용 중인 실물제품(Two Gas

Table 2. Major properties of Hydrogen

Molecular formular	H ₂	(Hydrogen)
Density	0.08189	(kg/m ³)
Specific Heat	0.1672	(J/kg·K)
Thermal Conductivity	0.1672	(W/m·K)
Viscosity	0.000008411	(kg/m·s)
Molecular Weight	2.01594	(kg/kmol)

Table 3. Gas cabinet specifications

Category	Specifications	Remark
Dimension	11000 mm * 550 mm * 1850 mm	0.976 m ³ Volume
Cylinder	46.7 L/EA	Two gas cylinders
Exhaust Dia.	100 mm	0.042 m ² Area

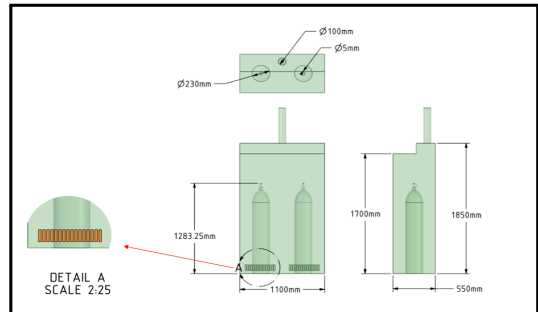


Fig. 4. Gas cabinet structure drawing.

Cylinder, Box Size 11000 mm * 550 mm * 1850 mm)을 선정하였다. 가스실린더의 체적은 46.7 L의 Two gas cylinder, 가스캐비닛의 체적은 0.976 m³, 배기덕트의 직경은 100 mm, 배기면적은 0.042 m²로 Table 3에서와 같이 수소가스 공급용 가스캐비닛의 세부사양을 적용하였다.

반도체 제조공정에 특수가스를 공급하는 가스캐비닛은 실제 현장에서 사용되는 가스캐비닛을 기반으로 Fig. 4에서와 같이 외형과 내부 구조도면을 반영하여 모델링 기초자료로 사용하였다. [14, 15]

4.2 가스캐비닛 모델링

수소가스를 취급하는 가스캐비닛 내부에서의 누출

및 확산에 관한 유동해석을 위한 프로그램으로 ANSYS Fluent v.17을 이용하여 가스캐비닛과 가스실린더, 배관 등의 형상 및 해석영역을 모델링하였다. [16, 17, 18]

수소가스를 취급하는 가스캐비닛의 수치해석 방법으로는 Double Precision(소수점 16자리까지), Cell Type으로는 Poly(가스용기표면), Hexa(공간)로 적용, Cell Number는 969,752 EA(약 10^6)를 적용하여 모델링하였으며, 대기압(101.325 kPa) 및 상온(25 °C) 조건, 이상기체 가스 거동을 기본으로 가정하였다.

가스캐비닛 모델링 기초 데이터에서 가스캐비닛 하부에 위치하는 그릴부(급기부)를 Inlet, 상부 배기구를 Outlet으로 적용하였으며, 배기성능은 5 CMM (Cubic meter per minute)을 Fig. 6과 같이 적용하였다. 파열판(지름 5 mm)을 통한 수소 누출, 누출 개구부가 부식 등에 의해 확대될 수 있는 조건을 가정한 밸브 스템 패킹(누출공 2.5 mm²)을 통한 수소 누출, 누출 개구부가 확대되지 않는 조건을 가정한 밸브 스템 패킹(누출공 0.25 mm²)을 통한 수소 누출의 3가지 Case에 대한 누출과 확산의 영향을 검토하였다.

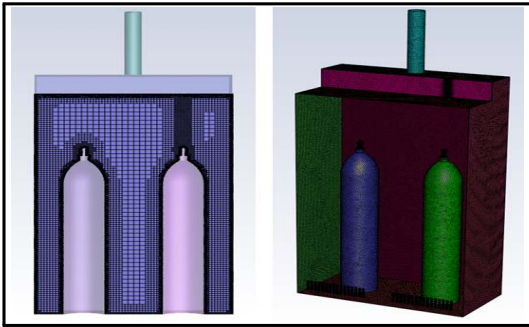


Fig. 5. Gas cabinet 3D modeling.

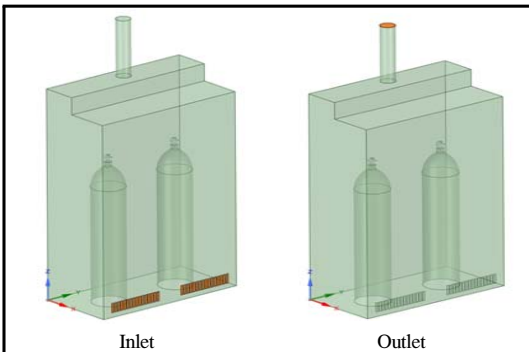


Fig. 6. Gas cabinet air inlet and outlet.

V. 누출 Case별 해석 결과 및 고찰

5.1 파열판(ϕ 5 mm, 19.6 mm²)을 통한 수소 누출

수소가스 공급용 가스캐비닛 내부에 설치된 파열판(ϕ 5 mm, 누출면적 19.6 mm²)을 통한 수소가스 누출의 경우 초기 가스실린더 압력(충전압력)은 14.7 MPa, 초기 질량(충전량)은 0.57 kg이며, 누출압력은 파열판의 설정압력인 16.7 MPa를 적용하고 PHAST Simulation을 통한 초당 누출량은 0.1715 kg/s를 적용하여 누출 및 확산의 영향평가를 실시하였다.

우선 정상상태로 구분되는 초기조건에 대한 해석으로 파열판(Rupture Disk)이 파손되기 전 배기 설비의 운용상태에 대한 분석 및 파열판이 파손된 후의 해석을 Fig. 7과 같이 실시하였다.

Table 4. Leakage parameters through rupture disc

Leak Size	Exhaust Quantity	Initial Pressure	Initial Weight	Leak Pressure	Leak Weight
19.6 mm ²	5 CMM	14.7 MPa	0.57 kg	16.7 MPa	0.17155 kg/s

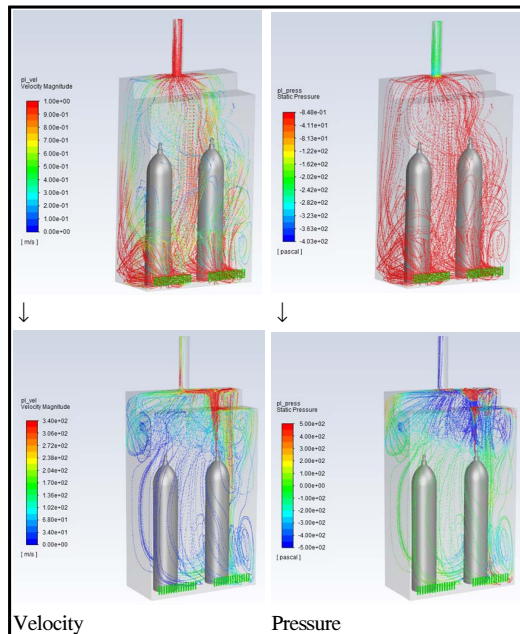


Fig. 7. Analysis of leak conditions. (Normal)

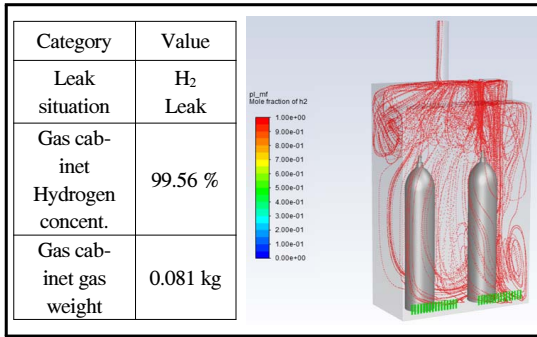


Fig. 8. Analysis of leak conditions. (Rupture)

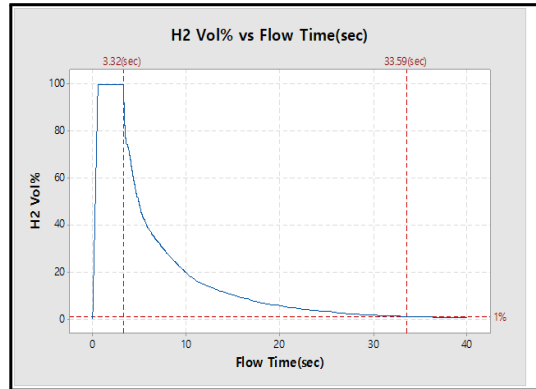


Fig. 10. H₂ gas concentration changes over time.

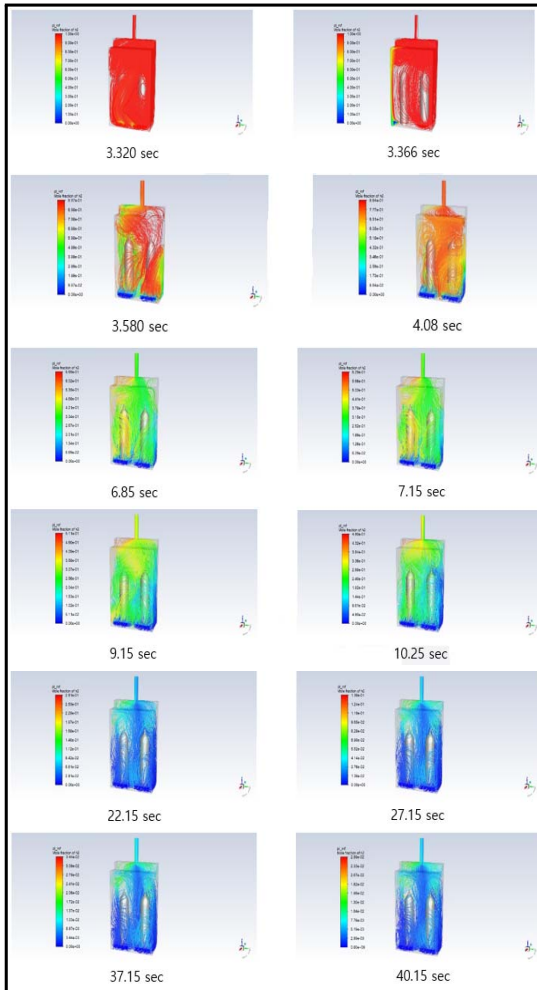


Fig. 9. Changes in concentration of H₂ gas.

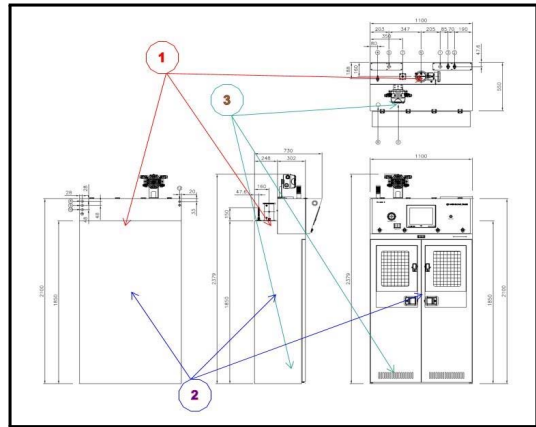


Fig. 11. Gas concentration analysis location.

과열판(Rupture Disk)이 파손된 직후 가스캐비닛 내부 수소가스의 농도분포를 분석한 결과 가스캐비닛 상부의 수소 농도는 99.56 %, 가스캐비닛 내부 가스질량은 0.081 kg을 나타내었으며, 그 분포도는 Fig. 8과 같다.

가스캐비닛 내부에서 과열판(Rupture Disk)이 파손된 후 일정시간의 경과에 따라 Fig. 9와 같이 가스캐비닛 내부의 수소가스 농도는 점차 감소되는 천이구간이 형성되었다.

누출 및 확산에 대한 영향평가 결과 가스캐비닛 내부에서 정상상태 중 과열판이 파손되어 수소가스의 누출이 발생하는 시점을 시작으로 하여 3.32초(sec) 동안 수소가스 실린더 내부의 수소는 전량 누출이 이루어졌다.

이어서 수소가스 농도가 LEL(Lower Explosion Limit)의 25 %인 수소가스 1%(Vol.) 농도까지 희석되

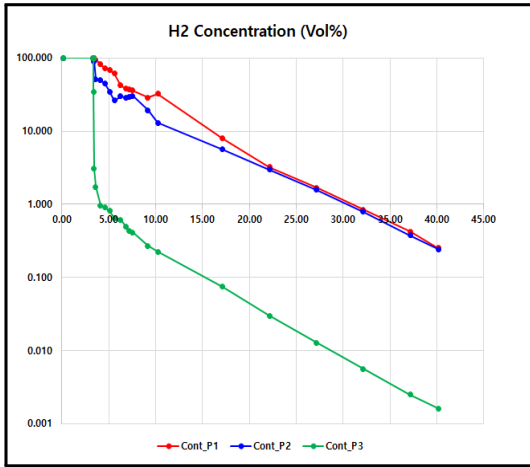


Fig. 12. Location concentration changes over time.

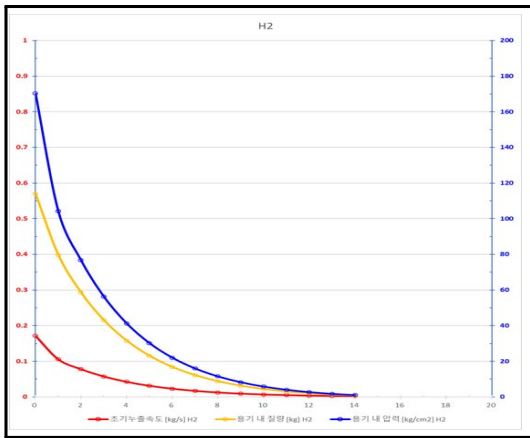


Fig. 13. Relation between pressure, mass & leak rate.

는데 소요된 시간은 수소가스 실린더에서 수소가스가 완전히 소진된 이후 약 30.27 초가 소요되었으며, 이는 파열판의 누출 이후로부터 총 33.59 초가 소요된 것으로 나타났다. 이후 가스캐비닛 내부의 배기 설비에 의해 배기가 지속됨에 따라 가스캐비닛 내부의 수소가스 농도는 40 초 이후부터 0%에 가까워지는 전이 상태를 지속하게 된다.

가스캐비닛 내부 체적에 따라 어느 위치에서의 가스농도가 어떤 값을 갖는지를 알아보기 위해 가스캐비닛 내부의 가스농도를 측정하는 위치를 서로 다르게 설정하여 시간변화에 따른 수소가스 농도 데이터를 분석하였다.

측정 위치는 P-① Outlet(배기부) 중앙(하부로부터

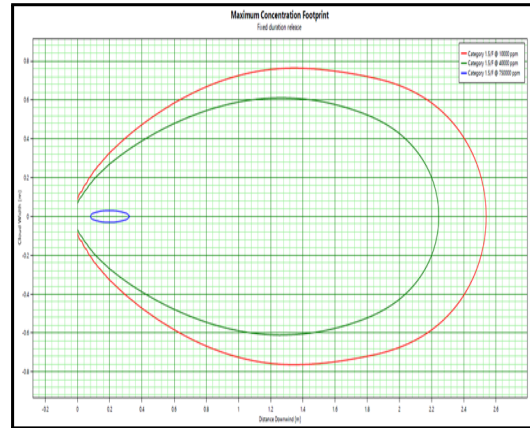


Fig. 14. Effect of leakage outside the gas cabinet.

10 cm 지점, P-② 가스캐비닛 중앙부, P-③ Inlet(급기부) 왼쪽 중앙(가스캐비닛 내부로부터 10 cm 지점) 등 3개의 위치를 지정하여 분석하였다.

수소가스의 시간에 따른 농도 변화 분석 결과 P-③의 농도가 누출 전 시간동안 가장 낮은 가스농도를 유지하였으며, P-①의 농도는 누출 전 시간동안 가장 높은 가스농도를 유지하였다. P-③로 공기가 유입되어 P-①를 지나 배기되는 상태가 지속되었다.

파열판을 통한 수소가스 누출의 경우 가스실린더 전방 누출에 따라 가스캐비닛 외부로 누출되는 수소가스 누출량이 발생되게 된다. 이때 수소가스는 가스캐비닛 하부에 설치된 Inlet(전면 급기구)을 통해 외부로 누출되는데 누출량에 산정에 따른 수소가스의 외부 영향은 $z=0$ 일 때 LEL의 25%를 기준으로 2.54 m, LEL을 기준으로 2.24 m의 영향범위를 형성함을 알 수 있다.

5.2 누출공 2.5 mm²를 통한 수소 누출

수소가스 공급용 가스캐비닛 내부에 설치된 밸브류에 대해 누출 개구부가 부식 등에 의해 확대될 수 있는 조건을 가정한 밸브 스템 패킹(누출공 2.5 mm²)을 통한 수소 누출을 가정한 경우 초기 가스실린더 압력(충전압력)은 14.7 MPa, 초기 질량(충전양)은 0.57 kg이며, 누출압력은 파열판의 설정압력인 14.7 MPa를 적용하고 PHAST Simulation을 통한 초당 누출량은 0.00221 kg/s 및 연속누출을 적용하여 누출 및 확산의 영향평가를 실시하였다.

파열판을 통한 수소누출과 비교하였을 때 누출공 면적에서 큰 차이가 발생되어 단시간 누출이 아닌 연속누출 상태를 조건으로 하여 해석하였다.

수소가스 누출원에서 누출가스의 최대 Mole Frac-

Table 5. Leakage parameters through 2.5 mm²

Leak Size	Exhaust Quantity	Initial Pressure	Initial Weight	Leak Pressure	Leak Weight
2.5 mm ²	5 CMM	14.7 MPa	0.57 kg	14.7 MPa	0.00221 kg/s

Table 6. Concentration inside the cabinet to 2.5 mm²

Category	Volume (m ³)	Volume (%)
Gas cabinet	0.9763	-
H ₂ Mole Vol.	0.2144	21.96
Air Mole Vol.	0.7619	78.04

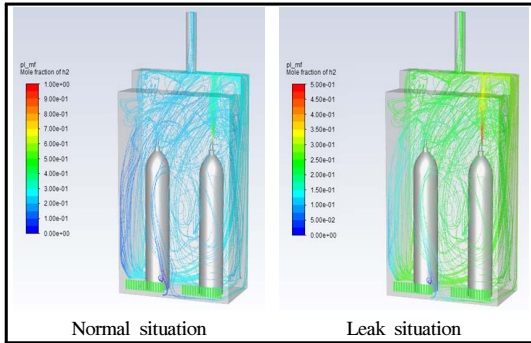


Fig. 15. Mole fraction inside the cabinet.(2.5 mm²)

tion은 1.0(100 %)이며, 전체 평균 Mole Fraction은 0.2196(21.96 %) 수준을 유지하였다. 이 경우 주어진 조건에서 가스캐비닛 내부의 누출가스 농도는 21.96 %로 연속누출 상태를 가정하였을 때 수소가스의 폭발한계(4~76 %) 내에 위치하는 것으로 나타났다.

누출공 2.5 mm²에서의 수소가스 누출 속도는 누출원에서 약 2,650 m/s의 속도로 누출되며, 누출방향과 누출량의 영향으로 가스캐비닛 전체를 휘감는 모양으로 전파되면서 배기구를 통해 대부분의 누출된 가스가 배기되는 경향을 보인다.

누출공 2.5 mm²에서의 수소가스 누출의 경우 누출가스의 98.54 %는 배기 설비에 의해 외부로 배출되지만 약 1.46 %는 가스캐비닛 하부에 설치된 Inlet(전면 급기구)을 통해 외부로 누출되는 것으로 평가되었다.

5.3 누출공 0.25 mm²를 통한 수소 누출

수소가스 공급용 가스캐비닛 내부에 설치된 밸브

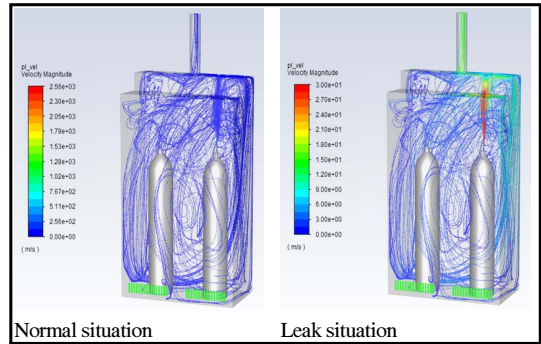


Fig. 16. Leak rate to 2.5 mm² case.

Table 7. The leak outside the cabinet(2.5 mm²)

Category	Mass per sec. (kg/s)	Volume (%)
Inlet leak total	0.00221	-
Inlet total	0.000322	1.46
Outlet total	0.00218	98.54

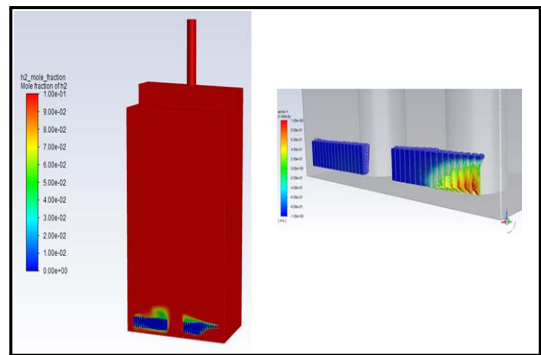


Fig. 17. The leak outside to 2.5 mm² case.

류에 대해 누출 개구부가 확대되지 않는 조건을 가정한 밸브 스템 패키징(누출공 0.25 mm²)을 통한 수소 누출을 가정한 경우 초기 가스실린더 압력(충전압력)은 14.7 MPa, 초기 질량(충전양)은 0.57 kg이며, 누출압력은 파열판의 설정압력인 14.7 MPa를 적용하고 PHAST Simulation을 통한 초당 누출량은 0.0002217 kg/s 및 연속누출을 적용하여 누출 및 확산의 영향평가를 실시하였다.

누출공 0.25 mm²의 경우에도 파열판을 통한 수소누출과의 누출공 면적 및 누출량에서 큰 차이가 발생되

Table 8. Leakage parameters through 0.25 mm²

Leak Size	Exhaust Quantity	Initial Pressure	Initial Weight	Leak Pressure	Leak Weight
0.25 mm ²	5 CMM	14.7 MPa	0.57 kg	14.7 MPa	0.0002217 kg/s

Table 9. Concentration inside the cabinet to 0.25 mm²

Category	Volume (m ³)	Volume (%)
Gas cabinet	0.9763	-
H2 Mole Vol.	0.0253	2.591
Air Mole Vol.	0.951	97.409

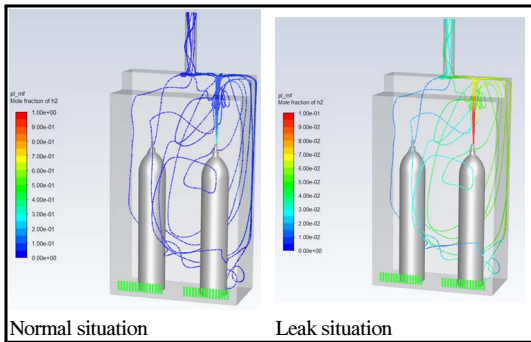


Fig. 18. Mole fraction inside the cabinet.(0.25 mm².)

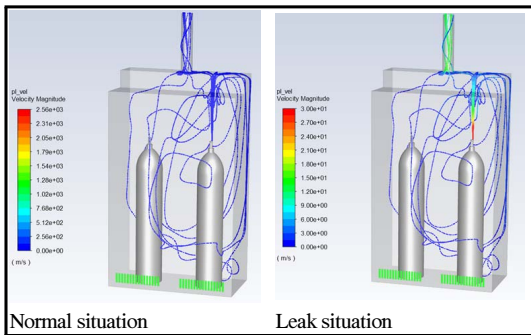


Fig. 19. Leak rate to 0.25 mm² case.

어 단시간 누출이 아닌 연속누출 상태를 조건으로 해석하였다.

수소가스 누출원에서 누출가스의 최대 Mole Fraction은 1.0(100 %)이며, 전체 평균 Mole Fraction은 0.02591(2.591 %) 수준을 유지하였다. 이 경우 주어진 조건에서 가스캐비닛 내부의 누출가스 농도는 2.591 %로 연속누출 상태임에도 수소가스의 LEL인 4% 이하의 농도를 유지하는 것으로 나타났다.

누출공 0.25 mm²에서의 수소가스 누출 속도는 누출원에서 약 2,650 m/s의 속도로 누출되며, 누출방향의 영향으로 배기구를 통해 대부분의 누출된 가스가 배기되는 경향을 보인다.

VI. 결론

반도체용 특수가스 공급장치 내부의 가스누출 원인에 따른 유동해석에 대한 본 연구에서 실제 제조공정에서 사용하는 수소 가스캐비닛 실물 제품(Two Gas Cylinder, Box Size 11000 mm * 550 mm * 1850 mm, Volume 0.976 m³)을 선정하였고, 46.7 L 가스실린더 2EA, 배기시스템(배기구 \varnothing 100 mm, 배기량 5 CMM)을 적용한 상태에서 3개의 누출 Case별 내부 유동에 대한 해석은 다음의 결과를 나타낸다.

(1) 파열판(지름 5 mm)을 통한 수소 누출에서, 가스실린더의 가스가 전방 누출되는데 3.32 초가 소요되며, 가스캐비닛 내부의 수소가스 농도가 LEL의 25 %까지 도달하는데 33.59 초가 소요되었다. 그리고 가스캐비닛 외부로의 누출이 발생되었으며, 그 피해영향범위는 LEL의 25 %, z=0을 기준으로 2.54 m를 차지하였다.

(2) 누출 개구부가 부식 등에 의해 확대될 수 있는 조건을 가정한 밸브 스템 패키징(누출공 2.5 mm²)을 통한 수소 누출에서, 가스실린더의 가스는 연속 누출이며, 가스캐비닛 내부의 누출가스 농도는 21.96 %로 수소가스의 폭발한계(4~76 %) 내에 위치하였다. 누출가스의 98.54 %는 배기 설비에 의해 외부로 배출되지만 약 1.46 %는 가스캐비닛 하부에 설치된 Inlet(전면 급기구)을 통해 외부로 누출되는 것으로 평가되었다.

(3) 누출 개구부가 확대되지 않는 조건을 가정한 밸브 스템 패키징(누출공 0.25 mm²)을 통한 수소 누출에서, 가스실린더의 가스는 연속 누출이며, 가스캐비닛 내부의 누출가스 농도는 2.591 %로 연속누출 상태임에도 수소가스의 LEL인 4 % 이하의 농도를 유지하였다. 가스캐비닛 외부로의 누출은 없는 것으로 평가되었다.

연구 결과에 따라 파열판(지름 5 mm)을 통한 수소 누출과 누출 개구부가 부식 등에 의해 확대될 수 있는

조건을 가정한 밸브 스템 패킹(누출공 2.5 mm²)을 통한 수소 누출의 경우 가스캐비닛 외부로 누출되는 가스의 피해영향범위를 고려하여 비상 시 조치계획에 작업자의 현장 조치사항에 대한 위험성을 감소하는 절차가 필요하다. 또한 모든 누출 Case에 대해 가스캐비닛 내부에 접근하는 경우 내부의 가스농도가 안전농도 이하로 낮아지는 시간이 반영된 안전운전절차 및 비상조치계획의 검토가 필요하며, 가스캐비닛 제조기준에 따른 재질 선택, 가스누출감지기, 소화설비 설치 등을 준수하여 제작할 필요가 있다.

본 연구에서는 가스실린더 충전압력이 높고 인화성을 지니는 수소가스를 취급하는 가스캐비닛 내부에서의 가스누출 원인에 따른 유동해석을 연구하였으나, 향후에는 독성가스 및 부식성가스 등을 대상으로 가스캐비닛 내부에서의 누출 시 건강에 피해를 미치는 영향범위에 대한 분석 및 위험성이 낮은 안전농도로의 회귀시간을 분석하는 추가 연구를 통해 반도체용 특수가스 공급시스템의 개선방안을 마련하는 것이 필요하다.

REFERENCES

- [1] Kim, J.D., "A study on the Internal Flow Analysis of Gas Cylinder Cabinet for Specialty Gas of Semiconductor", KIGAS Vol. 24, No. 5, pp 74~81, 2020
- [2] Yang, W.B., "A Study on Physical Hazard Assessment of Hazardous Materials used in Semiconductor Diffusion Process", Korea National University of Transportation, pp 20-49, (2017).
- [3] Kim, I.W., "Health Care Guide for Semiconductor Industry Workers", Korea Occupational Safety and Health Agency, (2012)
- [4] Choi, Y.S., "Confirmation of trade secret components and accuracy evaluation of the status of chemical substances in semiconductor business sites and material safety data sheets for photo processing", Seoul National Univ., pp 23~31, (2016)
- [5] Semiconductor manufacturing equipment safety guidelines, Korea Occupational Safety and Health Agency, (2004)
- [6] Lim, S.B., "A study on an efficient work process in semiconductor equipment manufacturing industry", Aju Univ., pp 50~51, (2017)
- [7] Lee, K.W., "Reactivity Considerations with Miscibility of Process Gases in Semiconductor industry", KIGAS Vol. 20, No. 4, pp 15-24, (2016)
- [8] KOSHA Guide P-149-2016, Technical guidelines for storage of gas cylinders in storage cabinets, Korea Occupational Safety and Health Agency, (2016)
- [9] KOSHA Guide P-12-2012, Special gas handling safety technical guidelines in the electronics industry, Korea Occupational Safety and Health Agency, (2012)
- [10] KGS Code AA913, Facility, technology, and inspection standards for manufacturing cylinder cabinets for high pressure gas, Korea Gas Safety Corporation, (2017)
- [11] SEMI S4-0304, Safety Guideline for the separation of chemical cylinders contained in dispensing cabinets, (2004)
- [12] SEMI S4-92, Safety Guideline for the segregation/separation of gas cylinders contained in cabinets, (1992)
- [13] KS IEC 60079-10-1:2015, Explosive atmospheres-Part 10-1:Classification of areas-Explosive gas atmospheres (2017)
- [14] Jang, Y.R., Jung, S.H., Park, K.S., "Consequence Analysis for Accidental Gas Release in Labs", KIGAS Vol. 19, No. 4, pp 29~34, (2015)
- [15] Lee, M.W., Lee, C.K., "Special gas supply facilities and exhaust gas treatment facilities in semiconductor factories", Samwoo Eng., Refrigeration and air conditioning technology, pp 109-117, (1997)
- [16] ANSYS FLUENT Theory Guide 17. ANSYS Inc., (2019)
- [17] Jung, J.K., Yoon, J.K., Lim, J.H., "Numerical Analysis on Shock Waves Influence Generated by Supersonic Jet Flow According to Working Fluids", Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society Vol. 17, No. 7 pp. 510-517, (2016)
- [18] Lee, J.E., "Analysis of the Actual condition on the Safety Management for Treatment and Transport of Special High Pressure Gas", Choong-Ju Univ., pp 8-20, (2009)