

공기중 분자오염의 등급분류에 관한 국제규격(ISO 14644-8)

배귀남 | 한국과학기술연구원 환경기술연구원
 책임연구원
 E-mail : gnbae@kist.re.kr

1. 머리말

초기에는 클린룸이 반도체 공장, 병원의 수술실, 제약 공장 등 매우 제한적으로 사용되는 고급 공조 설비로 인식되었는데, 산업의 발달과 생활수준의 향상으로 점차 일반 산업 현장에도 클린룸 설비가 널리 사용되고 있는 추세이다. 이에 따라 국제표준 화기구(ISO)에서 1993년부터 기술위원회(ISO/TC 209)를 중심으로 클린룸의 규격을 제정하는 작업을 진행하고 있다(배귀남, 2005). 표 1에 나타낸 바와 같이 1999년부터 일부 내용이 국제규격(ISO)으로 확정되고 있으며, 국내에서는 표 2에 나타낸 바와 같이 이러한 국제규격을 그대로 번역하여 한국산업규격(KS)으로 채택하고 있다.

클린룸은 부유입자의 농도가 제어되고 내부에서 입자의 유입, 발생 및 정체가 최소화되도록 건설되어 사용되며, 기류, 온도, 습도, 압력, 정전기, 소음, 진동 등의 관련 인자들이 필요에 따라 제어되는 공간으로 정의된다. 병원, 의약품 공장, 식품 공장 등에서는 미생물 오염을 제어하기 위하여 클린룸이 사용되고 있다. 최고의 정밀 생산환경이 요구되는 반도체 생산공정에서는 국제규격에서 제시한 최고 청정도 등급(ISO Class 1) 이상으로 클린룸의 공기 질을 관리하고 있다. 반도체 및 클린룸 기술의 발달로 1G DRAM 이상의 고집적 칩을 양산함에 따라

수십 나노미터 크기의 입자오염과 더불어 분자 레벨의 화학오염의 해결이 더욱 중요해지고 있다(박현열, 2006; 이건형, 2007).

이러한 시대적 추세에 따라 ISO/TC 209에서도

표 1. ISO/TC 209에서 제정한 클린룸 관련 국제 규격의 목록

ISO Document	Title	Status
ISO 14644-1	Classification of air cleanliness	ISO
ISO 14644-2	Specifications for testing and monitoring to prove continued compliance with ISO 14644-1	ISO
ISO 14644-3	Test methods	ISO
ISO 14644-4	Design, construction and start-up	ISO
ISO 14644-5	Operations	ISO
ISO 14644-6	Vocabulary	FDIS
ISO 14644-7	Separative enclosures (clean air hoods, gloveboxes, isolators, mini-environments)	ISO
ISO 14644-8	Classification of airborne molecular contamination	ISO
ISO 14698-1	Biocontamination control - Part 1: General principles	ISO
ISO 14698-2	Biocontamination control - Part 2: Evaluation and interpretation of biocontamination data	ISO
ISO 14698-3	Biocontamination control - Part 3: Methodology for measuring the efficiency of processes of cleaning and/or disinfection of inert surfaces bearing biocontaminated wet soiling or biofilms	TR

신규 작업반(WG 8 - Molecular Contamination)을 구성하여 클린룸에서 분자오염의 등급분류에 관한 국제규격(ISO 14644-8)을 제정하였다. 이 글에서는 반도체 제조공정의 오염관리 업무에 종사하는 사람들에게 도움이 되도록 이 규격의 중요한 내용을 소개하고자 한다.

표 2. 클린룸 관련 한국산업규격의 목록

규격 번호	규격 명칭	제정 년도
KS B 6741	클린룸 안에서의 부유 미립자의 농도 측정방법	1995
KS M ISO 14644-1	클린룸 및 관련된 제어 환경 제1부 : 공기청정도 등급 분류	2002
KS M ISO 14644-2	클린룸 및 관련된 제어 환경 제2부 : KS M ISO 14644-1의 지속적인 등급 유지를 위한 시험 및 모니터링 규격	2002
KS M ISO 14644-3	클린룸 및 관련된 제어 환경 제3부 : 시험 방법	2006
KS M ISO 14644-4	클린룸 및 관련된 제어 환경 제4부 : 설계, 공사 및 조업 개시	2002
KS M ISO 14644-5	청정실과 관련 제어 환경 제5부 : 작동	2005
KS M ISO 14644-7	청정실과 관련 제어 환경 제7부 : 분리 장치(클린에어후드, 글로벌박스, 아이슬레이터 미니 환경)	2005
KS M ISO 14698-1	청정실 및 관련 제어 환경 - 생물 오염 제어 - 제1부 : 일반 원리 및 방법	2004
KS M ISO 14698-2	청정실 및 관련 제어 환경 - 생물 오염 제어 - 제2부 : 생물 오염 데이터의 평가 및 해석	2004

2. ISO 14644-8의 구성 및 범위

표 1에 나타낸 바와 같이 ISO 14644-8은 현재 8개로 구성된 ISO 14644(Cleanrooms and Associated Controlled Environments)의 하나이다. 이 규격은 크게 서문(forward), 개요(introduction), 본문, 4개의 부속서(annex) 및 참고문헌(bibliography)으로 구성되어 있다. 본문은 적용범위(scope), 인용규격(normative references), 용어의 정의(terms and definitions), 등급분류(classification), 적합성의 예시(demonstration of

compliance)로 구성되어 있다. 부속서는 고려할 변수(parameters for consideration), 대표적인 오염물질(typical contaminants), 대표적인 측정방법(typical methods of measurement), 격리기기에 대한 특별 요구사항의 고려(consideration of specific requirements for separative devices)로 구성되어 있다.

이 규격에서는 공기중 분자의 존재를 공기중 분자오염(airborne molecular contamination, AMC)으로 표현하고 있다. 분자오염은 3단계로 구분할 수 있다. 첫 번째 단계는 외부 오염원, 공정의 누설 또는 건축자재나 사람으로부터의 아웃가스에 기인된 발생이다. 두 번째 단계는 공기중에서 AMC로서 이동이다. 세 번째 단계는 반응성 표면에 흡착되는 것인데, 이것은 표면분자오염(surface molecular contamination, SMC)으로 정량화 될 수 있다. 이 규격에서는 클린룸 및 관련된 제어환경에서 AMC 농도의 한계를 명시하는데 사용할 수 있도록 ISO 등급을 분류한다. 특정화학물질(개별, 그룹 또는 범주)의 공기중 농도로 AMC 등급을 분류하고, 시험방법, 분석 및 시간가중치를 포함하는 절차를 제시한다. 클린룸의 조업상태에서 이 규격은 AMC 농도가 $10^0 \sim 10^{-12} \text{ g/m}^3$ 범위만 고려하고 있다.

3. ISO-AMC 등급의 분류

이 규격에서는 오염물질의 부류(category)를 산(acid), 염기(base), 균독성(biotoxic), 응축성(condensable), 부식성(corrosive), 정공(dopant), 유기물(organic), 산화물(oxidant)로 구분하고 있다. 공기중 분자오염의 등급은 ISO-AMC로 명명하고, 오염물질의 부류, 개별물질(individual substances) 또는 물질군(group of substances)에 대하여 허용된 최대 총 공기중 분자 농도를 규정한다.

ISO-AMC 등급은 ISO-AMC Class N(X)로 표현된다. 예를 들면, 공기중 암모니아의 농도가 10^{-6} g/m^3 이면, ISO-AMC Class-6 (NH₃)로 명명한다. 공기중 유기물의 농도가 10^{-4} g/m^3 이면, ISO-AMC Class-4 (or)로 명명한다. 공기중 응축물의 농도가 $5 \times 10^{-8} \text{ g/m}^3$ 이면, ISO-AMC Class-7.3(cd)로 명명한다. 표 3과 그림

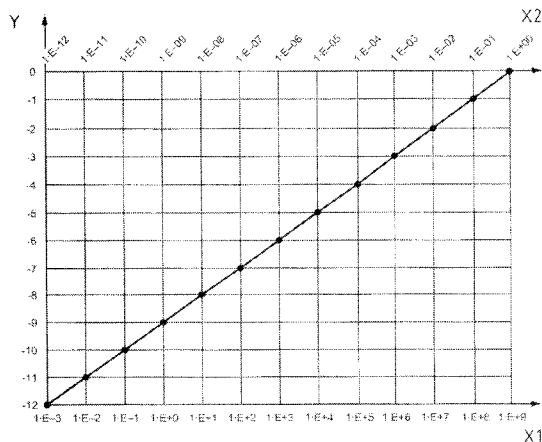
표 3. ISO-AMC 등급

ISO-AMC Class	Concentration	Concentration	Concentration
	g/m ³	µg/m ³	ng/m ³
0	10 ⁰	10 ⁹ (1 000 000)	10 ⁹ (1 000 000 000)
-1	10 ⁻¹	10 ⁸ (100 000)	10 ⁸ (100 000 000)
-2	10 ⁻²	10 ⁷ (10 000)	10 ⁷ (10 000 000)
-3	10 ⁻³	10 ⁶ (1 000)	10 ⁶ (1 000 000)
-4	10 ⁻⁴	10 ⁵ (100)	10 ⁵ (100 000)
-5	10 ⁻⁵	10 ⁴ (10)	10 ⁴ (10 000)
-6	10 ⁻⁶	10 ³ (1)	10 ³ (1 000)
-7	10 ⁻⁷	10 ² (0,1)	10 ² (100)
-8	10 ⁻⁸	10 ¹ (0,01)	10 ¹ (10)
-9	10 ⁻⁹	10 ⁰ (0,001)	10 ⁰ (1)
-10	10 ⁻¹⁰	10 ⁻¹ (0,000 1)	10 ⁻¹ (0,1)
-11	10 ⁻¹¹	10 ⁻² (0,000 01)	10 ⁻² (0,01)
-12	10 ⁻¹²	10 ⁻³ (0,000 001)	10 ⁻³ (0,001)

1은 ISO-AMC 등급분류를 오염물질의 농도 함수로 보다 상세하게 나타낸 것이다.

구매자에 의해 명시된 등급(ISO-AMC 등급)의 적합성이 구매자와 공급자가 합의한 시험절차에 의해 입증되어야 한다. 시험방법의 예를 부록 C에 나

타냈다. 시험결과를 정리한 시험보고서에는 다음 사항이 포함되어야 한다. 1) 시험자의 성명, 시험기관의 명칭 및 주소, 날짜, 시간 및 샘플링 기간; 2) ISO 14644의 번호 및 발행년도; 3) 시험을 실시한 클린룸 또는 관련된 제어환경의 물리적 위치와 모든 샘플링 위치에 대한 좌표; 4) 사용상태, ISO-AMC 등급, 시험방법, 적용장소, 개별물질, 물질군 또는 물질 부류, 지연기간 및 인정된 입자 청정도 등급; 5) 사용된 상세시험절차, 시험기기명, 현재 기기교정서; 6) 모든 샘플링 지점에 대한 공기중 분자 농도 자료를 포함하는 시험결과.



Key
 X1 concentration (ng/m³)
 X2 concentration (g/m³)
 Y ISO-AMC class

그림 1. 농도 함수로 나타낸 ISO-AMC 등급

4. 부속서에 제시된 추가적인 정보

부속서 A에는 클린룸 또는 제어된 환경에서 AMC에 영향을 미치거나 기여할 수 있는 변수에 대한 고려사항을 제시하고 있다. 설비의 조업시 특별한 고려와 함께 초기 설계단계에서 이러한 변수를 고려하는 것이 중요하다. 변수를 도출하기 위하여 다음과 같은 개념을 적용한다. 1) 많은 산업에서 분자오염은 중요한 인자가 아니므로, 먼저 제품이나

공정이 분자오염의 영향을 받는지 검토, 2) 제품이나 공정에 영향을 미치는 오염물질의 부류와 어떤 특별한 물질이나 물질군에 대한 별도의 고려가 필요한지를 결정, 3) 제품이나 공정에 허용되는 오염물질의 부류 또는 물질, 물질군의 최대 농도를 결정하고, ISO-AMC 등급을 지정, 4) 다양한 원인(외기, 설비자재, 교차오염, 운영관리, 작업자, 클린룸 의복 및 부속품, 공정소재 및 기구)에 의해 생길 수 있는 분자오염의 발생원과 오염 수준을 결정, 5) 제품이나 공정에 요구되는 ISO-AMC 등급을 달성하기 위하여 분자오염을 회피하거나 감소시킬 수 있는 설계조건을 설정

제품이나 공정이 신선한 공기로서 청정실에 공급되는 외기(outdoor air)에 노출되는 경우 제품이나 공정에 영향을 미치는 화합물 또는 물질의 농도에 대한 외기질(outdoor air quality)과 계절적 변화를 파악하여야 한다. 평가하기에 충분한 기간 동안 농도 분석을 수행하여야 한다. 어떤 경우 주된 바람이나 오염원의 근접으로 인해 청정실에 공급되는 신선외기 도입구를 선택적으로 위치시켜 분자오염 농도를 최소화시킬 수 있다.

아웃가스로 인해 청정실의 건축자재가 분자오염의 발생원이 될 수 있다. 자재의 가스 방출량은 클린룸 또는 제어된 환경의 온도, 상대습도 및 압력에 따라 다를 수 있고, 이러한 영향이 청정실의 설계에 특별히 명시되어야 한다. 많은 경우 건축자재의 가스 방출량은 시간이 경과함에 따라 지수함수적으로 감소하면서 수렴한다. AMC가 중요한 청정실의 건축에 사용되는 모든 자재는 복합화학 특성이 평가되어야 하고, 용도에 따라 선정되어야 한다. 이러한 분석은 표로 작성될 수 있다.

청정실에서 서비스 구역 및 미소압력변화전달 시스템과 공정 사이의 이동에 의해 분자오염이 생길 수 있다. 초기 설계개념의 일부로 교차오염의 정도가 평가되어야 한다. 어떤 경우 서비스 구역 또는 공정 구역을 포함하거나 보호하기 위한 격리, 폐쇄 또는 차단 기술에 의해 교차오염이 최소화될 수 있다.

ISO 14644-5에 규정된 훈련계획에 의해 청정실

의 운전 및 관리에 의한 분자오염 발생원이 예방되거나 최소화될 수 있다. 이러한 예로, 작업공정 동안 안면마스크 또는 환기/여과 헬멧의 착용, 의복 및 포장재의 화학적 정량분석, 세정액 및 기타 세정재의 화학적 정량분석, 제품 포장재의 화학적 정량분석, 이동장비나 임시 자재의 사용에 의해 분자오염의 최소화를 위한 운영훈련, 유지관리 또는 기계의 수리 또는 서비스 기간 동안 임시 격리벽의 사용, 분자오염을 최소화시키기 위한 운영 프로토콜의 부여 등이 있다.

작업자에 기인된 분자오염의 발생원은 다음과 같은 것을 관리할 수 있는 규칙에 의해 예방되거나 최소화될 수 있다. 1) 화장품, 향수 및 머리손질 제품, 2) 흡연, 3) 투약, 4) 음식의 섭취, 5) 입출입 절차, 6) 세탁 및 멸균 자재의 개별 사용

기타 오염원으로 소비재, 장비 및 화학약품이 있다.

특정 AMC 부류의 농도를 제어하거나 감소시키기 위하여 다음과 같은 공정을 적용할 수 있다. 1) 적절한 소재(활성탄, 처리 활성탄, 이온교환레진, 제올라이트 등)에 흡착, 2) 광전자 이온화 및 정전기 이온 제거, 3) 촉매 광산화

부속서 B에는 대표적인 오염물질이 예시되어 있다. 제품이나 공정에서 관심을 가질 수 있는 오염 화학물질과 부류의 예를 표 4에 제시하고 있다. 사용자는 각 적용분야에서 관심이 있는 유사 화학약품 또는 물질을 범주화시키는 것이 좋다.

부속서 C에는 화합물과 화합물의 예상 농도를 고려하여 분자오염의 다양한 측정 및 분석방법이 제시되어 있다. 측정방법은 크게 직접 분석방법과 시료채취와 분석이 다른 장소에서 이루어지는 방법으로 구분될 수 있다. 직접 분석기기는 상대적인 순간 측정값을 제공한다. 필요에 따라 시료채취기기는 시료채취기간 동안 누적된 값을 제공한다. 시료채취기기는 다시 수동채취와 펌프를 사용하는 능동채취로 구분된다. 수동확산샘플러(DIFF)는 선택적으로 하나 이상의 가스성분을 채취하는 특별히 준비된 표면을 사용한다. 이 방법으로 저농도 AMC를 평가할 경우 오랜 샘플링 기간이 필요하

표 4. 제품이나 공정에서 관심을 가질 수 있는 오염 화학물질과 부류의 대표적 예

CAS No.	Substance	Rational formula	Contaminant category ^a										
			ac	ba	or	bt	cd			cr	dp	ox	
							H	M	L				
7664-41-7	Ammonia	NH ₃		x		x				x	x		
141-43-5	2-Aminoethylalcohol	CH ₃ NH ₂ CH ₂ OH		x	x					x			
35320-23-1	2-Aminopropanol	CH ₃ NH ₂ C ₂ H ₄ OH		x	x					x			
128-37-0	BHT: di(<i>t</i> -butyl)hydroxytoluene	H ₃ CC ₆ H ₃ (<i>t</i> -C ₄ H ₉) ₂ OH			x	x		x					
85-68-7	Butylbenzyl phthalate	H ₉ C ₄ OCOC ₆ H ₄ COOCH ₂ C ₆ H ₅			x		x						
7637-07-2	Boron trifluoride	BF ₃	x					x				x	
1303-86-2	Boron oxide	B ₂ O ₃				x							x
108-91-8	Cyclohexylamine	C ₆ H ₁₁ NH ₂		x	x			x					
—	Cyclicpolydimethylsiloxanes	(-Si(CH ₃) ₂ O-) _n			x		x						
106-46-7	<i>p</i> -Dichlorobenzene	C ₆ H ₄ Cl ₂			x	x		x					
100-37-8	Diethylaminoethanol	(C ₂ H ₅) ₂ NC ₂ H ₅ OH		x	x					x			
117-84-0	Dioctyl phthalate	C ₆ H ₄ (C=OOC ₈ H ₁₇) ₂			x		x						
84-66-2	Diethyl phthalate	C ₆ H ₄ (C=OOC ₂ H ₅) ₂			x		x						
84-74-2	Dibutyl phthalate	C ₆ H ₄ (C=OOC ₄ H ₉) ₂			x		x						
117-81-7	Di(2-ethylhexyl) phthalate	C ₆ H ₄ (C=OOC ₂ H ₅ CHC ₂ H ₅ C ₄ H ₉) ₂			x		x						
84-61-7	Dicyclohexyl phthalate	C ₆ H ₄ (C=OOC ₆ H ₁₁) ₂			x		x						
103-23-1	Di(2-ethylhexyl) adipate	C ₄ H ₈ (C=OOC ₂ H ₅ CHC ₂ H ₅ C ₄ H ₉) ₂			x		x						
84-76-4	Dinonyl phthalate	C ₆ H ₄ (C=OOC ₉ H ₁₉) ₂			x		x						
84-77-5	Didecyl phthalate	C ₆ H ₄ (C=OOC ₁₀ H ₂₁) ₂			x		x						
541-02-6	Decamethylcyclopentasiloxane	(-Si(CH ₃) ₂ O-) ₅			x		x						
540-97-6	Dodecamethylcyclohexasiloxane	(-Si(CH ₃) ₂ O-) ₆			x		x						
141-43-5	Ethanolamine	H ₂ NCH ₂ CH ₂ OH		x	x					x			
104-76-7	2-Ethylhexanol	CH ₃ (CH ₂) ₃ C ₂ H ₅ CHCH ₂ OH			x			x					
50-00-0	Formaldehyde	HCHO			x	x				x			
142-82-5	Heptane	C ₇ H ₁₆			x					x			
66-25-1	Hexanal	HC ₆ H ₁₂ O			x	x				x			
7647-01-0	Hydrochloric acid	HCl	x			x				x	x		
766-39-3	Hydrofluoric acid	HF	x			x				x	x		
10035-10-6	Hydrobromic acid	HBr				x				x	x		
7783-06-4	Hydrogen sulfide	H ₂ S	x			x				x	x		
999-97-3	Hexamethyldisilazane	(CH ₃) ₃ SiNHSi(CH ₃) ₃			x			x					
541-05-9	Hexamethylcyclotrisiloxane	(-Si(CH ₃) ₂ O-) ₃			x			x					
67-63-0	Isopropyl alcohol	(CH ₃) ₂ CHOH			x	x				x			

표 4. (계속)

CAS No.	Substance	Rational formula	Contaminant category ^a										
			ac	ba	or	bt	cd			cr	dp	ox	
							H	M	L				
141-43-5	Monoethanolamine	$H_2NC_2H_5OH$		x	x					x			
10102-43-9	Nitrogen monoxide	NO	x			x				x	x		
10102-44-0	Nitrogen dioxide	NO ₂	x			x				x	x		
872-50-4	<i>n</i> -Methylpyrrolidone	-CHNCH ₃ CHCH ₂ CO-		x	x				x				
644-31-5	Ozone	O ₃				x					x		x
556-67-2	Octamethylcyclotetrasiloxane	(-Si(CH ₃) ₂ O-) ₄			x			x					
7803-51-2	Phosphine	PH ₃				x				x			x
7446-09-5	Sulfur dioxide	SO ₂				x				x			
121-44-8	Triethylamine	(C ₂ H ₅) ₃ N		x	x					x			
45-40-0	Triethyl phosphate	(C ₂ H ₅ O) ₃ P=O			x		x						x
6145-73-9	Tris(2-chloro-1-propyl) phosphate	(CH ₃ ClCHCH ₂ O) ₃ P=O			x			x			x		
13674-73-9	Tris(1-chloro-2-propyl) phosphate	((CH ₃) ₂ CHCH ₂ ClO) ₃ P=O			x			x			x		
78-30-8	Tricresyl phosphate	(CH ₃ C ₆ H ₄ O) ₃ P=O			x		x						x
126-73-8	Tri(<i>n</i> -butyl) phosphate	(C ₄ H ₉ O) ₃ P=O			x		x						x
306-52-5	Trichloroethyl phosphate	(ClC ₂ H ₄ O) ₃ P=O			x		x						x
75-59-2	Tetramethylammonium hydroxide	(CH ₃) ₄ N ⁺ OH ⁻		x	x		x						
95-47-6	Xylene	(CH ₃) ₂ C ₆ H ₄			x	x		x					
	Total phthalates	R ₁ OCOC ₆ H ₄ COOR ₂			x		x						
	Total phosphates	(RO) ₃ P=O			x		x						x
	Total cyclosiloxanes	(-Si(CH ₃) ₂ O-) _n			x		x						
	Total hydrocarbon derivatives	C _m H _n O _p X _y (where X is any other element)			x		x	x	x				
	Total non-methane hydrocarbon derivatives	C _m H _n O _p X _y , minus CH ₄ (where X is any other element)			x		x	x	x				
	Total unsaturated hydrocarbon derivatives	C _m H _n O _p X _y (where X is any other element, with n ≤ 2m and C = O)			x		x	x	x				

^a ac : acid; ba : base; bt : biotoxic; cd : condensable; cr : corrosive; dp : dopant; or : organic; ox : oxidant.

H : Highly condensable, boiling point > 200 °C;

M : Moderately condensable, 200 °C ≥ T_b ≥ 100 °C;

L : weakly condensable, 100 °C > T_b (T_b is the boiling point.)

표 5. 예상 AMC 농도에 따른 측정방법의 선택행렬

ISO-AMC Class N 10 ⁿ g/m ³	Contaminant category						
	Acid	Base	Organics	Biotoxics	Condensables	Corrosives	Dopants
0	IMP, IC, UVS, DIFF, ECS	IMP, IC, UVS, DIFF, ECS	DIFF, SOR, SB, GC-FID, GC-MS, IR	IMP, IC, UVS, SB, DIFF, SOR,	SOR, GC-FID, GC-MS, IR	IMP, IC, UVS, DIFF, SOR, GC-FID, GC-MS, IR, ECS	SOR, GC-FID, GC-MS, IR, ICP-MS, GF-AAS, UVS
-1				GC-FID, GC-MS, IR, CPR, ECS			
-2				IMP, IC, UVS, CLS, IR, CPR, DIFF			
-3				IMP, IC, UVS, CLS, IR, CPR, DIFF			
-4	IMP, IC, UVS, IR, CLS, CPR, DIFF	IMP, IC, UVS, IR, CLS, CPR, DIFF	SOR, GC-FID, GC-MS, IMS	IMP, IC, UVS, IR, CLS, CPR, DIFF, SOR, GC-MS, ICP-MS	SOR, GC-FID, GC-MS, MGD	IMP, IC, UVS, IR, CLS, CPR, DIFF, SOR, GC-FID, GC-MS	IMP, IC, SOR, GC-MS
-5				IMP, IC, SOR, GC-MS, ICP-MS			
-6				IMP, IC, CZE, IMS, SOR, GC-MS, ICP-MS			
-7	IMP, IC	IMP, IC, IMS	SOR, GC-MS	IMP, IC, SOR, GC-MS, ICP-MS	SOR, GC-MS	IMP, IC, SOR, GC-MS	IMP, IC, SOR, GC-MS
-8				IMP, IC, CZE, IMS, SOR, GC-MS, ICP-MS			
-9	IMP, IC, CZE, IMS	IMP, IC, CZE	IMP, IC, CZE	IMP, IC, CZE, IMS, SOR, GC-MS, ICP-MS	SOR, GC-MS	IMP, IC, CZE, IMS, SOR, GC-MS	IMP, IC, SOR, GC-MS
-10				IMP, CZE, SOR, GC-MS, ICP-MS			
-11				IMP, CZE, SOR, GC-MS, ICP-MS			
-2				IMP, CZE, SOR, GC-MS, ICP-MS			

NOTE Methods corresponding to these abbreviations are listed in C.3 and C.4.

다. 능동 샘플링 기기는 복잡한 장치를 포함할 수 있고, 흡입효율과 취급상 주의가 필요하다. 대표적 채취방법으로는 흡착관(SOR), 코팅된 필터, 임핀저(IMP), 채취백(SB) 등이 있다.

대표적 샘플링 방법으로는 수동확산샘플러(DIFF), 필터채취기(FC), 적합한 용매로 채워진 직렬 임핀저 셋(IMP), 클린룸 공기를 직접 채취하기 위한 샘플 백 및 캐니스터/용기(SB), 흡착관(SOR), 시료채취기로 사용되는 목격 웨이퍼 또는 판(WW), 액적주사추출(DSE), 확산관(DT) 등이 있다.

오프라인 분석방법으로는 원자흡수분광기(atomic absorption spectroscopy, AA-S), 원자흡수분광기(atomic absorption spectroscopy-graphite furnace, AA-GF), 원

자방출분광기(atomic emission spectroscopy, AES), 화학발광(chemiluminescence, CL), 모세관 영역 전기영동(capillary zone electrophoresis, CZE), 기체 크로마토그래피-불꽃 이온화기(gas chromatography - flame ionization detector, GC-FID), 기체 크로마토그래피-질량분석기(gas chromatography - mass spectroscopy, GC-MS), 이온 크로마토그래피(ion chromatography, IC), 유도복합 플라즈마 - 질량분석기(inductively coupled plasma - mass spectroscopy, ICP-MS), 적외선 분광기(infra-red spectroscopy, IR), 질량분석기(mass spectroscopy, MS), 자외선 분광기(ultra-violet spectroscopy, UVS), 푸리에 변환 적외선 분광기(Fourier Transform infra-red spectroscopy, FTIR), 전

반사 X선 형광분광기(total reflection X-ray fluorescence spectroscopy, TXRF), 증기상 분해-전반사 X선 형광기(vapour phase decomposition - total reflection X-ray fluorescence, VPD-TXRF), 비행시간-이차이온 질량분석기(TOF-SIMS), 대기압 이온화-질량분석기(atmospheric pressure ionization - mass spectroscopy, API-MS) 등이 있다.

온라인 모니터로는 화학적으로 침착된 용지 방식의 분석기에 열량 감지(colorimetric detection on chemically impregnated paper reel type analyser, CPR), 이온 이동도 분광기(ion mobility spectroscopy, IMS), 피에조 전기 공진기를 사용하는 질량 이득 감지기(mass ion detector (of condensed organic build-up) using different types of piezo-electric resonators, MGD), 이동형 가스 크로마토그래피(portable gas chromatography equipment, P-GC), 전기화학전지 방식의 센서(sensors of electrochemical cell type, ECS), 이온 크로마토그래피 모니터링 시스템(ion chromatography monitoring system, ICS), 화학발광 모니터링 시스템(chemiluminescence monitoring system, CLS), 불소 이온 모니터(fluoride ion monitor, FIM), 표면공력파(surface acoustic wave, SAW) 등이 있다. 사용자는 이들 기기의 측정하한값과 잔류량에 주의하여야 한다. 회복률은 75%~125% 범위이어야 한다. 표 5는 측정방법의 선택행렬을 나타낸 것이다.

부속서 D에는 ISO 14644-7에 제시되어 있는 격리기에 대하여 AMC의 요구사항을 구분할 때 고려되어야 할 기기의 특성 및 특별한 내부 설계 시방에 대하여 설명되어 있다. 즉, 격리기기 자체로부터 오염 가능성에 대하여 고려하여야 한다. 공간이 매우 협소하여 AMC를 직접 측정할 수 없는 경우 표면분자오염(SMC)을 측정하는 것이 오염의 정도를 파악하는 유일한 방법이다. 일반적으로 단위 면적당 농도로 표현되는 SMC와 공기의 단위 체적당 농도로 표현되는 AMC의 상관성은 알려져 있지 않다.

채택된 차단기술(barrier technology)의 설계로 인해 AMC의 샘플링 및 분석방법의 선택이 제한될 수 있다. 구매자와 공급자가 협의하여 최적시험방법을 수립하고, 시험목적에 요구되는 피팅 또는 고정을

위한 도구의 설계에 대한 제안도 필요하다. 도구의 제작에 사용되는 소재는 이 규격의 부속서 A를 고려하여 선정한다. 많은 도구들이 플렉시블 장갑, 백 또는 조작기구와 관련하여 플렉시블 스크린 또는 차단벽을 사용한다. 이들 소재와 분자오염의 잠재적 발생원에 대하여 고려하여야 한다. 기기에 사용되는 모든 재생 재료 또는 연결부재와 이들의 분자오염의 잠재적 발생원에 대하여 고려하여야 한다. 특별히 중요한 제품의 경우 제품의 SMC 측정 및 분석작업을 통해 기기의 성능을 입증할 필요가 있다. SMC로 입증할 경우 제품이 기기에 체류하는 시간이 주된 영향 인자일 수 있으므로, 이 점을 고려하여야 한다.

5. 맺음말

1980년대 반도체 산업의 투자와 더불어 클린룸 설비가 국내에서 본격적으로 사용되기 시작하였다. 클린룸을 청정한 상태로 유지하기 위해서는 순환되는 공기, 작업자, 공정용 소재 및 공정장비로 인한 오염문제를 적절하게 관리하여야 한다.

이와 함께 주로 입자를 대상으로 크기의 감소에 따른 오염제어 기술에 많은 노력을 기울여 왔는데, 이제 분자 레벨의 화학물질로 인한 오염문제에 대처하는 시대에 살고 있다.

ISO에서 클린룸내 분자오염의 등급분류에 대한 규격을 제정하였다는 것은 분자오염이 이제 보편적인 문제로 자리잡고 있다는 것을 의미한다. 현장에서는 자체적인 규정을 만들어 분자오염을 관리하고 있는데, ISO 규격을 참고하여 국제적 규범에 부합되는 방향으로 분자오염을 체계적으로 관리하여야 할 시기에 이른 것으로 판단된다.

이 규격이 반도체 공장에서 오염관리 업무를 수행하는 사람들에게 분자오염 관리의 길잡이가 되길 기대한다.

- 참고 문헌 -

1. 박현열, 2006, "반도체 제조공정에서 오염분석 기

1. 술과 응용,” 공기청정기술, 19권, 4호, pp.18-35.
2. 배귀남, 2005, “클린룸의 성능평가,” 공기청정기술, 18권, 4호, pp.42-80.
3. 이진형, 2007, “반도체 클린룸 오염분석 및 제어 방법,” 2007년도 한국실내환경학회 클린룸분과 위원회 워크샵, pp.135-155.
4. ISO 14644-7, Cleanrooms and associated controlled environments- Part 7: Separative devices (clean air hoods, gloveboxes, isolators and mini-environments).
5. ISO 14644-8, Cleanrooms and associated controlled environments- Part 8: Classification of airborne molecular contamination,

투고 환영

계간 「공기청정기술」지는 클린룸, IAQ업계의 발전을 위하여 보다 많은 클린룸, IAQ 관련 기술자 여러분의 투고를 기다리고 있습니다.

각종 기술자료를 보내주시면 엄선하여 본 협회 기술지에 게재하여 드리겠습니다. 또한 본 기술지는 95년도부터는 “업계동정”란을 신설하여 업계의 단신을 수시로 접수, 게재코저하오니 우리 모두의 업계를 가꾼다는 마음으로 사소한 소식이라도 송부하여 주시기 바랍니다.