알코낙스 한국독점대리점
삼보교역상사
02-2275-1115 www.SAMBOi.co.kr

정확한 절차와 적절한 모니터링을 통한 중요 세척의 극대화

Optimizing Your Critical Cleaning Processes Begins with Using the Right Procedures —And Proper Monitoring of Cleaner Performance to Ensure Desired Results

어떤 세척제이든 적절한 혼합과 세척절차를 따를 때 최고의 결과를 얻을 수 있다. 본 자료는 수성 세척제인 알코낙스社의 각 종류의 세척제의 혼합 방법을 포함하고 있다. 또한 세척제의 작용을 모니터를 할 수 있는 방법도 기술한다.

어떤 산업 또는 공정이든 "깨끗하다 Clean"의 의미는 사후에 발생할 수 있는 문제를 충분히 방지할 수 있다는 뜻이다. 핵심 문제는 "표면이 청결하지 않다면 어떤 결과가 생기는가?"이다. 그리고 보다 자세히 들여다 보면 이 문제는 "어떻게 세척 표준을 유지할 수 있는가?"하는 것이기도 하다. 만약 당신의 제조 공정이 아직 세척 밸리데이션되지 않았다면, 생산 과정에서 사용되는 기기에 대한 청결도를 결정하는 일반적인 테스트 방법론에 관한 이해가 필요하다.

1 알코낙스 세척제 혼합 방법

아래의 표에 세척제의 희석 비율을 제시한다.
이때 사용되는 물의 온도는 :
(1) **따뜻한 물** (120°F 또는 **50℃**) 또는 (2) **뜨거운 물** (140°F 또는 **60℃**) 이다.
특히 예비침지(pre-soak) 절차에서는 상온(常溫)의 물을 사용하는 것도 가능하다. 까다로운 오물의 경우에는, 매우 뜨거운 물 (150°F 또는 **65℃**)를 사용하는 동시에 세척제의 사용량을 두 배로 늘려주는 것을 권장한다.
세척액을 재사용하는 경우에는, 상황에 따라 새로운 용액을 보충해야 한다.

브랜드	형태	희석율	권장사용량 (a)oz/gal, (b)gram/l, (c)ml/l	최저 세척 온도	권장 세척 온도	보호 장갑	보호 안경
ALCONOX®	분말	1 %	(a)1.25 oz/gal (b) 10 g/L	상온	50℃	권장	권장
TERGAZYME®	분말	1 %	(a)1.25 oz/gal (b) 10 g/L	상온	최대 약55℃ (140°F)	권장	권장
LIQUINOIX®	액상	1 %	(a)1.25 oz/gal (c) 10 mL/L	상온	50℃	권장	권장
CITRANOX®	액상	1~2 %	(a) 1~3 oz/gal (c) 10~20 mL/L	상온	60℃	필수	필수

DETERGENT8®	액상	2~5 %	(a) 2~6 oz/gal (c) 20~50 mL/L	상온	60℃	필수	권장
LUMINOX®	액상	2~5 %	(a) 2~6 oz/gal (c) 20~50 mL/L	상온	60℃	필수	권장
ALCOJET	분말	1 %	(a) 1.25 oz/gal (b) 5~10 g/L	50℃	60℃	필수	권장
DETOJET®	액상	1 %	(a) 1 oz/gal (c) 5~10 mL/L	상온	60℃	필수	필수
ALCOTABS®	타블렛	-	1회 1정	상온	상온	해당없음	해당없음
CITRAJET®	액상	1~2 %	(a) 1~3 oz/gal (c) 10~20 mL/L	상온	60℃	필수	필수
SOLUJET	액상	0.5 ~1.5%	(a) 1.25, (c) 5-10	상온	60℃	필수	필수

2 침 지 Soaking

권장 제품	ALCONOX®, LIQUI-NOX®, CITRANOX®, TERG-A-ZYME®, ALCOJET®, DET-O-JET®, LUMINOX®, DETERGENT 8®, CITRAJET®
적용 대상	작은 기기 세척 : 병원 카테터(catheters)와 튜브, 소형 금속 부품 대형 탱크 내부 세척 : 제약 등의 혼합 탱크 포함
장 점	육체 노동과 소모의 최소화
문 제	매우 지저분한 대상 또는 까다로운 오물의 경우에는 추가적인 세척이 필요
지 침	깨끗해질 때까지 세척액에 완전히 잠기도록 담근다. 이 절차는 오물의 종류에 따라 수 시간이 소요될 수 있다. 침지 절차가 완료되면, 헹굼을 실시한다. ('8. 헹굼' 참조)

3 수동 세척 Manual Cleaning

권장 제품	ALCONOX®, LIQUI-NOX®, CITRANOX®, TERG-A-ZYME®, ALCOJET®, DET-O-JET®, LUMINOX®, DETERGENT 8®, CITRAJET®
적용 대상	작은 기기 : 의료용 검진 도구, 실험기기, 서킷보드(Circuit Borad) 대형 기기 : 공정 장비
장 점	다양한 세척에 적용할 수 있음 | 저렴하고 높은 효과
문 제	시간과 노력이 과도하게 투여될 수도 있음. 사전침지·초음파세척·기계세척이 요구되는 손이 닿지 않는 부분이 있는 대상의 경우 비효율적임
지 침	세척제 혼합 방법에 따라 세척액을 만든다. 또는 세척 대상의 표면이 긁히는 것을 방지하기 위해서는 희석하지 않은 세척제를 따뜻한 물에 적신 천 또는 스폰지에 묻힌 것을 사용한다. **세척방법:** 세척 대상을 세척액 속에 잠기도록 하거나 적신 천 또는 스폰지를 사용한다. 천, 스폰지, 면 스왑, 브러쉬 또는 패드 등을 사용하여 세척한다. 이 도구들은 표면의 오물이 다시 표면에 재부착을 방지하는 역할을 한다. 그 다음 헹굼을 실시한다. ('8. 헹굼' 참조) 안전지침에 따라 보호장갑, 보호안경 등의 보호장구를 착용한다.

4 초음파 세척 Ultrasonic Cleaning

권장 제품	ALCONOX®, LIQUI-NOX®, CITRANOX®, TERG-A-ZYME®, ALCOJET®, DET-O-JET®, LUMINOX®, DETERGENT 8®, CITRAJET®
적용 대상	대형 배치(batch)의 제품을 세척하거나 빠르고 편리한 세척을 요구하는 경우
장 점	빠르다. 효과적이다. 높은 세척제 침투력
문 제	고비용. 제품에 초음파 교반으로 인한 영향을 준다.
지 침	별도의 용기에서 세척액을 만든다. 세척액 내의 기포를 제거하고 세척액을 권장온도로 올리기 위해, 세척액을 넣고 기계를 수 분간 미리 작동한다. 세척할 작은 기구를 렉 또는 바구니에 넣는다. 이 때, 불규칙한 모양의 세척대상물들을 긴 축을 줄을 맞춰서 대개 기계의 바닥에 있는 초음파 진동자와 마주보도록 배치한다. 세척대상물을 2~10분 또는 경우에 따라 그 이상의 시간동안 담근다. 그 다음 헹굼을 실시한다. ('8. 헹굼' 참조)

5 정치세척 CIP(Clean-in-Place)

권장 제품	ALCONOX®, LIQUI-NOX®, CITRANOX®, TERG-A-ZYME®, ALCOJET®, DET-O-JET®, LUMINOX®, DETERGENT 8®, CITRAJET®
적용 대상	파이프, 탱크, 여과 장비 등
장 점	장비를 해체하지 않고 세척할 수 있다
문 제	장비 내에서 잘 순환되는지의 여부가 관건
지 침	별도의 용기에서 세척액을 만든다. 세척액을 적어도 30분간 천천히 순환시킨다. 특히 상온의 물로 세척하는 경우, 대형 장비(수천 갤론)는 수 시간이 걸릴 수 있다. 펌프를 이용하여 전체 시스템 용량에 해당하는 세척액을 배수한다. 순환과 배수를 최소 2회 이상 반복하여 헹굼을 실시한다. 일부 여과 장비의 경우 그 이상의 헹굼이 필요한 경우도 있다.

6 기계 세척기 Machine Washers

권장 제품	ALCOJET®, DET-O-JET®, LUMINOX®, DETERGENT 8®, CITRAJET®
적용 대상	멸균세척기, 세척장비, 콘베이어 세척기, 또는 압력 스프레이 세척기 등을 사용하는 대량 세척에 적용
장 점	빠르다. 효과적이다. 대량 세척.
문 제	고비용. 기계세척기의 세척 환경에 따라 세척대상이 파손될 수도 있다.
지 침	세척대상물이 스프레이 노즐을 향하도록 렉에 정리한다. 목이 좁은 제품 등의 닦기 어려운 제품은 렉의 중앙에 입구가 아래로 향하도록 놓는다. 이 경우, 스프레이 노즐이 제품의 입구 속으로 직접 분사될 수 있도록 특별한 렉을 설계해야 한다. 세척대상물 간에 접촉을 최소화하도록 배치한다. 작은 제품은 별도의 바구니에 분류하여 담아서 스프레이의 압력에 의해 이탈하는 것을 방지한다. 세척기 제조사의 매뉴얼에 따라 반드시 거품이 적은 세척제만 사용한다. 제조사의 별도의 지침이 없다면, 1% 희석 세척제를 사용하거나 1갤론당 1온즈의 세척제를 물에 희석하여 사용한다. 대부분으 세척제는 최소 3회의 헹굼과정을 반복한다. ('8. 헹굼' 참조) 반드시 세척기 제조사의 지시를 참조한다.

7 자동 사이펀 피펫 세척 Automatic Syphon Pipette Washing

권장 제품	ALCOTAB®
적용 대상	실험실의 피펫 세척
장 점	피펫 세척에 효과적인 뱃지(batch)
문 제	최선의 세척결과를 위해서는 피펫을 사전 침지 절차를 실시해야 한다.
지 침	피펫을 사용 후, 즉시 사전 침지 세척액에 완전히 담근다. **세척이 준비된 후:** ALCOTAB®을 세척의 바닥으로 떨어뜨려 넣는다. 피펫을 세척기 내의 홀더에 놓는다. 차가운 물 또는 따뜻한 물을 틀어서 세척이 내에 채운다. 이 때, 물은 피펫이 완전히 잠길 수 있는 높이로 채운다. 매 사이클마다 바닥을 통해 배수한다. ALCOTAB®이 완전히 녹을 때까지 물을 흘려보낸다. 완전히 녹은 후에도 계속 물이 흐르도록 하여 헹굼 절차를 실시한다. (세척과 헹굼 절차는 한 시간 정도가 소요된다.)

8 헹 굼 Rinsing

헹굼은 절대 게을리해서는 안 된다. 상온·따뜻한 물 또는 뜨거운 물을 사용한다.
각각의 표면에 적어도 10초 이상 직접 흐르는 물이 닿도록 가는 것이 이상적이다. 이것이 어려운 경우, 3개 이상의 '교반침지 헹굼탱크 (agitated soak rinse tank)'를 사용하거나 2개 이상의 '역류계단식 헹굼탱크 (counter-flow cascade rinse tank)'를 사용한다.

넓은 표면의 경우, 세척→건조→흡수와이프(absorbent wipe) 작업 후, 헹굼액에 적신 깨끗한 천 또는 스폰지 등으로 여러 번 닦아낸다.

- 기계 세척의 경우에는, 세척 후 최소 3회 이상의 헹굼 절차를 시행해야 한다. 수돗물은 많은 헹굼 과정에 적당하다.
- 의료·수술기구의 경우, 마지막 헹굼은 증류수 또는 탈이온수를 사용한다.
- 실험실의 경우, 탈이온수 또는 증류수를 이용하여 배양조직과 분석장비를 헹군다.
- 미세유기물 분석 장비의 헹굼에는 증류수 또는 유기물이 없는 물을 사용한다.
- 미세 금속 또는 무기물 분석 장비의 최종 헹굼은 탈이온수를 사용한다.
- 제약장비의 헹굼은 GMP 기준에 따라 다음의 헹굼액들을 사용한다
  : potable water(상수) [1], 증류수, 탈이온수 [2], 멸균수, Pyrogen-Free Water(Water for Injection) [3] 등의 여러 가지 물을 사용한다.
- 전자 서킷 보드와 비전도성 전자 기기의 경우에는 탈이온수를 사용하여 헹군다.
- 민감한 광학 제품 또는 정밀 제조 부품의 경우에는 최종 헹굼에 탈이온수 또는 증류수를 사용한다.
- 식품 공정 장비에는 상수를 일반적으로 사용한다.

---

[1] Potable Water 상수 : City Water 라고도 하며, 인간이 음용수로 사용할 수 있는 물(수돗물)
[2] Deionized Water 탈이온수 ; D/I Water : 상수를 이온교환수지로 정제하고 자외선 처리한 물
[3] Pyrogen-Free Water : D/I Water를 증류수 제조장치로 증류한 물로, 무균공정의 반응수, 무균검체 채취용 Vial 및 무균제품포장용기의 최종 헹굼액으로 사용된다.

9 건 조 Drying

건조 절차는 잔류물과 부식에 영향을 줄 수 있다.
헹굼액에서 발생하는 불순물은 증발하는 동안 표면에 재점착될 수 있다.
이러한 현상을 최소화하기 위해서는, 기질(substrate)로부터 헹굼액을 물리적으로 제거하는 건조 기술이 필요하다.
건조 기술에는 absorbent wiping(흡수 와이핑), 에어나이프(Air Knife 또는 Forced Air), 이소플린알코올의 최종헹굼과 건조에 사용되는 Azeotropic solvent drying(공비용제건조), 또는 잔류물을 증발시키는 진공 건조 등이 있다.
물 그리고 특히 고순도 헹굼액은 가열과 공기건조 과정 중에 금속 기질의 부식을 일으킬 수도 있다. 물리적 제거를 통한 건조 방법의 사용 또는 추가적인 부식 방지제 사용은 부식을 최소화할 수 있다.

10 세척조 수명 모니터링, 연장 및 통제

새로 만든 신선한 세척액을 사용하여 잠재적인 교차오염을 예방하는 것이 최고 수준의 중요 세척을 하기 위한 방법이다.
산업분야의 중요세척에서 최고 수준의 세척 방법을 적용한다면 세척조의 수명을 연장할 수도 있다.
일반적으로, pH가 1단위로 중성을 향해 움직인다면 이는 세척제의 노후를 의미한다.
세척조의 수명은 입자·점착된 슬러지에 대한 물리적인 여과 및 오일 스키밍(skimming)을 통해서 연장이 가능하다.
세척조의 세척수명이 다하면 최초에 공급한 세척제의 1/2 정도를 추가하면 세척조의 수명을 연장시킬 수 있다.
매일 자주 사용한다는 전재에서는, 이러한 세척조 수명 연장 기술을 사용해도 세척액은 1주일 이상 수명이 연장되는 경우는 드물다.
Refractometer(굴절계)을 이용한 전도율(Conductivity), pH 그리고 % solids 의 측정은 세척조의 세척액 농도 조절하는 데 이용될 수 있다.
유리알칼리 적정(Free alkalinity titration)은 유리알칼리도를 대폭 감소시키는 알라리성 세척제를 사용하는 세척조의 수명 연장에 이용된다. 이는 유제오물의 경우가 해당된다.
새로운 세척액의 유리알카리도를 측정하기 위해 신선한 세척액을 적정(Titrate)한다.
유리알칼리도의 하락 퍼센트를 측정하기 위해서는 사용한 세척액을 적정한다.

새로운 세척액의 유리알칼리도로 되돌리기 위해서는 세척조에 세척제를 추가한다. 예를 들어, 최초의 세척제를 100 mL 의 세척제 농도로 만들었고, 나중에 25%의 유리알칼리도가 하락하는

것이 관찰된다면, 25 mL의 세척제를 추가로 공급해 주면 된다.

유리알칼리의 소모가 세척제의 사용과 직선성이 있는지를 확인하기 위해서는 위에서 언급한 재충전 방법 여러 번 실시하여 새로운 유리알칼리도의 적정이 성공적인지 확인해야 한다.

세척조의 수명을 연장하는 이상의 방법은 영구적인 것은 아니다. 때로는 슬러지가 생기기도 하며, 이러한 변화에 따라 정기적으로 새로운 세척액을 만들어야 한다.

11 오염 방지 Corrosion Inhibition

세척 중의 오염은 세척을 가속화하는 것과 동일한 요인에 의해 가속화된다. 즉 열·강한 화학성분·시간·교반 등이 해당된다.

중요도의 순서로 대략 언급하자면, 금속 오염의 문제를 줄이는 방법은 열의 사용을 줄리고, 낮은 pH의 세척제를 사용하며, 세척시간을 줄이고, 교반을 줄이는 것이다. 일반적으로 중성 pH의 세척제를 사용함으로써 금속 오염을 제한할 수 있다.

ALCOJET®과 같은 높은 pH의 세척제는 알루미늄과 같은 부드러운 금속을 성공적으로 세척하도록 하기 위해 특별한 부식 방지제가 첨가되어 있다.

일반적으로 플라스틱의 오염을 방지하기 위한 방법을 다시 중요도의 순서로 이야기하면, 용매나 계면활성제 성분이 낮은 비교적 조금은 약한 세척제를 사용하거나 낮은 농도의 세척제를 사용하는 것이 좋다. 그리고 세척온도를 낮추고, 접촉시간을 줄이며, 마지막으로 교반을 줄이는 것이 중요하다.

수성세척에서의 금속 오염은 헹굼과 건조 과정에서 일어날 수 있다. 세척된 표면에 영향을 주지 않는 잔류물 방지제와 같은 오염방지제가 헹굼액에 첨가될 수도 있다. 세척된 표면을 뜨거운 헹굼액을 이용하여 뜨겁게 유지하고, 빠른 가열과 진공 건조를 이용하는 것은 건조를 빠르게 하고 금속의 오염을 최소화할 수 있다.

물리적으로 헹굼액을 제거하는 강제공기건조와 에어나이프는 건조 과정에서 발생하는 오염을 최소화할 수 있다. 니트로젠과 같이 뜨거운 무산소가스를 이용한 건조는 건조 중의 오염을 제어할 수 있는 방법이다.

부드러운 철의 경우, 뜨거운 물로 헹구고 뜨거운 공기로 건조하는 과정에서 녹(flash rusting)이 발생할 수 있다. 물의 온도를 낮추거나 건조온도를 낮추면 부드러운 철이 오염되는 것을 방지 할 수 있다는 것이 가능하다. 예를 들어, 부드러운 철 제품을 60℃(150°F)의 물과 실온 공기 건조를 한 경우에 녹이 발생했다면, 49℃(120°F)의 물로 바꾼 경우에는 녹을 방지한 사례가 있다.

12 청정도 측정 절차 Cleaning Measurement Procedures

어떤 산업 또는 공정이든 "깨끗하다 Clean"의 의미는 사후에 발생할 수 있는 문제를 충분히 방지할 수 있다는 뜻이다. 핵심 문제는 "표면이 청결하지 않다면 어떤 결과가 생기는가?"이다. 이 질문에 답하기 위해서는, 청정도를 측정하고 제품의 품질을 보증할 수 있는 최고의 테스트 방법을 선정해야 한다.

- **Water-break 테스트** (0.01 mg/cm^2 수준의 검사)

  흐르는 물이 표면을 가로지르도록 하여 박판을 형성케 한다. 물에 생기는 분산 현상은 소수성 잔류물의 존재를 의미한다(ASTM Method F 22-65; *The Hydrophobic Surface Film by the Water Break Test* 참조, www.astm.org). Water-break test는 상당히 엉성한 시험으로서 공정용 오일의 필름이나 선명한 지문을 검출하는데 알맞은 방법이다. 이 방법은 소수성이 아닌 잔류물은 검출하기 어렵다. 이 시험은 흔히 부품 세척에 사용하며, 정밀 세척 응용에는 적당하지 않다.

- **Atomizer 테스트** (0.01 mg/cm^2 수준의 검사)

  Water-break test의 한 변형으로 부드럽게 분사되는 미스트(mist)를 사용한다. 물에 대한 반발이 일어나는 곳은 소수성 오물이 있는 것을 의미한다. Atomizer test는 소수성 오물에 대해 Water-break test보다 약간 더 민감한데, Water-break test에서는 흐르는 물의 운동에너지가 소수성 잔류물의 반발력보다 크다는 문제가 있다. 반면, Atomizer test에서는 작은 물방울이 소수성 오물에 의해 밀려나는 것을 확인할 수 있다.

- **유용성(油溶性) 형광 Oil-soluble fluorescence**

  부품을 형광성의 유용성 침투 염료에 담갔다가 말린 다음 형광등 밑에서 부품을 관찰한다. 만일 염료가 부품에 침투했거나 부착되었다면, 오일이 존재한다는 것을 의미한다. 이 방법은 ASTM F601-98 "*Standard Practice for Fluorescent Penetrant Inspection of Metallic Surgical Implants*"에 요약 되어 있다. 물론, 시험 후 염료를 제거하기 위한 세척 절차를 설정해 놓아야 한다. 유용성 형광 테스트는 오일 잔류물에 대한 결과를 시각적으로 드라마틱하게 보여준다. 문제는 이 테스트는 세척 공정이 오일 오물을 얼마나 잘 제거했는가를 보여줄 뿐, 미세 입자나 무기 오물을 보여주지는 않는다는 점이다.

- **비휘발성 잔류물 검사 Non-volatile residue** (0.01 mg/cm^2 수준의 검사)

  이 검사는 더러운 표면에서 오물을 용매로 추출하는 것부터 시작된다. 추출한 용매는 무게를 알고 있는 절취 시편상에서 증발시킨다. 용매가 절취 시편에서 증발해 버리면, 모든 오물이 절취 시편 위에 남아 있게 될 것이다. 이 절취 시편의 무게를 다시 측정해서 무게가 증가했다면 그것은 비휘발성 잔류물에 의한 것이다. 여러 가지 용매를 이런 용도로 쓸 수 있다. 검출하려는 오물을 녹일 수 있는 용매를 찾는 것이 중요하다. (이소프로필알코올, 염화메틸렌, 아세톤 및 기타 용매들이 이 목적으로 쓰여 왔다)

- **추출 Extraction** (0.01~0.001 mg/cm^2 수준의 검사)

이 방법은 세척제 잔류물을 검출하는데 특히 유용한 방법이다. 용매에 푹 적신 glass filter paper 또는 고순도 스왑을 사용하여 표면을 닦는다. 그 다음 필터 또는 스왑에서 잔류물을 추출하거나 녹여낸다. 이 추출물에 대하여 미량성분분석을 실시한다. 기지(旣知)의 구획을 닦아낸 경우라면 정량 분석도 가능하다.

추출법은 광범위한 오물과 잔류물에 대하여 감도 높은 방법일 수 있다. 그러나 오물을 추출하기 위해서는 반드시 그 오물에 맞는 용매를 사용해야 한다는 것이 중요하다. 세척제 잔류물에 대한 미량분석을 실시할 경우, 물을 용매로 사용할 것을 추천한다. (추출 시험의 감도는 미량분석의 방법에 달려 있다.)

미량분석에는 자외가시부흡광도법, 총유기탄소분석, 고성능액체크로마토그래프법(HPLC), 유기잔류물에 대한 원자흡광광도법(AA), 그리고 액체크로마토그래프법(LC) 등이 널리 이용되고 있다. (이 방법들은 이 장(章)의 "1 ㎠당 1 미크론 미만 검출"에서 다시 설명한다)

- **오일 증발 Oil evaporation** (0.01~0.001 mg/cm^2 수준의 검사)

필름(film)을 형성하는 잔류물을 작업할 때에는, 몇 방울의 유기 용매를 표면에 떨어뜨렸다가 이를 피펫으로 옮겨서 관찰용 유리조각 위에 떨어뜨려 놓는다. 만약 필름을 형성하는 잔류물이 있다면 용매가 증발하고 나면 유기 침전물에 의하여 동그란 방울 자국이 남게 될 것이다.

- **중량 분석 Gravimetric** (0.01~0.001 mg/cm^2 수준의 검사)

무게를 알고 있는 작은 부품은 세척 후 무게를 측정한다. 초과하는 무게는 오물의 양을 나타내는 것이다. 만일 부품이 원래 무게 그대로라면, 그 부품이 청결하다고 간주할 수 있다. 중량 분석은 시험실 세척법 선별 도구로서도 매우 유용하다. 오물을 묻히기 전의 시편의 무게를 달고 인위적으로 오물을 묻힌 다음 무게를 단 다음 세척한 다음 다시 무게를 달면 제거될 수 있는 오물의 퍼센트를 계산해 낼 수 있다.

- **표면 에너지 Surface-energy** (0.01~0.001 mg/cm^2 수준의 검사)

모든 단단하고 평평한 재료는 특징적인 표면 에너지를 가지고 있다. 결과적으로, 양을 알고 있는 순수액체(일반적으로 탈이온수)를 표면에 떨어뜨리면 예상할 수 있는 크기의 방울을 형성한다. 방울의 크기를 측정하면 표면의 청정도를 측정할 수 있다. 일반적으로 소수성 오물은 작은 방울을 형성한다. 반면, 친수성 오물은 보다 큰 방울을 형성한다. 표면 에너지 시험은 Atomizer test 또는 Water-break test보다 훨씬 더 민감하며, 소수성 및 친수성 오물 모두를 검출하는 이점이 있다. 표면 에너지 시험의 문제점은 방울이 직접 접촉하고 있는 표면에 대해만 시험한다는 것이다. 큰 표면을 대표하는 작은 표면에 대해서 측정하는 것이라면 우수하고 감도 높은 방법이 될 수 있다. 만일 부품이 금이 갔거나 균열이 벌어졌거나 구멍이 많다면 측정하기 위해 접근할 수 있는 표면에는 이런 금, 균열이나 막힌 구멍에 숨겨진 오물은 측정이 안 될 수도 있다

• 접촉각 측정 Contact-angle

표면 에너지 시험을 변형시킨 접촉각 측정은 표면 에너지와 표면에 있는 액체의 계면장력 사이의 관계를 측정하는 것인데, 여기서는 액체의 방울이 표면 위에 안정될 때 표면과 액체방울의 가장자리 사이에 특유의 접촉각이 발생하게 된다. 다양하게 오염된 표면의 특성이 각기 다른 접촉각으로 반영되기 때문에 이 방법을 청정도를 결정하는데 사용할 수 있는 것이다. 특히 PCB에 전선을 접착시키거나 또는 석영유리를 얇은 필름에 응용하는 것과 같은 가공 공정에서는 비파괴적인 청정도 시험이 필요하므로 접촉각 측정이 적합하다. 진공펌프나 확산펌프가 작동하면서 그 자체에서 발생하게 되는 오일의 증기, 각종 공정에서 사용하는 화학물질; 그리고 사람의 땀까지를 포함해서 모든 오염물질은 접촉각의 변화로 검출할 수 있는 오물들이다.

표면의 특성을 결정하기 위한 접촉각 측정 방법으로 받아들여지고 있는 것으로는 '반전된 거품(the Inverted Bubble)', '빌헬미 판(Wilhelmy Plate)', 그리고 '세실 드롭(Sessile Drop) 기술' 등이 있다. 이 중 세실 드롭이 가장 널리 실행되는 품질 관리 기법인데, 그 이유는 상대적으로 빠르며 시간과 비용에 대한 투자가 가장 적기 때문이다.

세실 드롭 기술에서는 측정할 시편을 시편 홀더(holder)에 올린다. 직경이 3~4 mm인 액체방울을 기질의 표면에 조심스럽게 올려놓는다. 접촉각을 결정하기 위해 삼상(三相)이 만나는 지점(three-phase interface point)에 접선을 그린다. 따로 꼭지점을 관통하여 삼상의 접점으로 선을 그린다. 이 때 형성되는 각은 접촉각의 1/2과 동등한 것으로 나타나는데 다른 작업자가 해도 재현성 있게 나온다.

실제 산업현장에서의 사례를 둘러보면 표면 위의 불순물 존재를 결정하기 위한 접촉각 측정 기술의 이용을 설명하는데 도움이 된다.

유기물질로 오염된 LCD(Liquid Crystal Display)판의 표면은 금속 및 보호 층을 포함해서 다양한 필름을 잘 받아들이지 않아 생산 수율이 떨어지는 결과로 나타난다. 이러한 오물에는 공정에서 사용하는 자재의 증기, 화학물질 및 인간의 땀도 포함된다. 접촉각 측정법을 이용하면 두께 10 angstroms보다 큰 정도의 단층(monolayer) 몇 겹으로 된 아주 얇은 유기 오염물질을 평가할 수 있다. 습윤작용은 고체의 접계면 양쪽의 마지막 층 또는 두 개의 원자에서만 일어난다는 것은 일반적으로 인정하고 있다. 물의 접촉각은 LCD표면에 흡착시킨 구리의 표면 청정도와 상관관계가 있다

물의 접촉각은 오염 수준을 결정해야 하는 상황, 청정도와 부착력을 예측해야 하는 상황, 세척 작업을 모니터해야 하는 상황 등 여러 가지 상황에 사용할 수 있다. 습기가 실리콘 웨이퍼에 주는 영향을 확인한다든가, 석영 패널 유리 금속 접착을 확인한다든가 할 경우, 관련된 기본 이론과 적절한 측정기술에 대한 이해가 필요하다.

다른 청정도 확인 기술과 마찬가지로 **접촉각 측정에 관하여 아래와 같은 특별한 팁(tip)을 실행한다면, 측정 결과의 재현성과 유효성이 향상될 것이다.** *Precision Cleaning Magazine* ('97년 10월호 23페이지)에서 인용한 다음의 팁들은 정확한 결과를 얻는데 도움을 줄 것이다.

① 측정하려는 샘플을 취급할 때 장갑을 착용한다. 손톱오일, 화장품 및 기타 오염물질 등 유기물은 접촉각 측정결과를 왜곡시킨다.

② 물방울을 표면에 적용한 후 물방울의 성질에 주목하자. 물방울이 진행을 멈추고 좌우움직임(lateral movement)에 더 이상 변화가 일어나지 않을 때까지 기다린다. 이때의

시간 간격을 측정하고 측정할 때마다 반드시 그 만큼의 시간을 기다려야 한다. 물방울을 위치시키는 것과 측정 사이에 일정한 시간간격을 오일한다.

③ 일관성 있는 측정액을 확보하기 위해 의약용, 초순수 탈이온수를 공급받아 사용한다. 이렇게 하면 측정값의 변수를 줄여 줄 것이다.

④ 쉽게 판독할 수 있는 결과를 얻으려면 오물의 표면 에너지보다 더 큰 표면 장력을 가진 시험용액을 사용한다.

⑤ 기질 위의 정전하(static charge) 효과를 중성화 시킨다. 정전하를 띤 기질은 접촉각 판독을 5도까지 왜곡시킬 수 있다.

⑥ 액체방울을 정확히 조절하여 반복적으로 일정하게 샘플 위에 정착시킨다. 중력효과를 최소화하기 위해 시린지/디스펜서 끝에 형성된 액체방울 쪽으로 샘플을 부드럽게 이동한다.

⑦ 접촉각이 매우 높은 경우, 바늘에 있는 액체방울을 오물 샘플로 옮겨 붙이기가 어렵다. 이때는 테플론이 코팅된 게이지가 큰(내경이 더 작은) 바늘을 사용한다.

⑧ 접촉각이 매우 낮은 경우, 가장 높은 게이지의 바늘을 사용하여 매우 작은 방울이 샘플 위에 형성되도록 조정한다.

- **그외의 방법**

입체현미경을 이용한 육안검사는 이 검사는 대비가 되는 색깔 또는 질감(texture)을 가진 잔류물 검사에 가장 적절하다. 조명이 좋아야 육안 검사를 잘 할 수 있다. 확대경과 표면 전체를 비추는 광학섬유를 이용한 조명은 검출능력을 향상시킨다.

마지막으로 반도체, 디스크 드라이브, 의료기기 응용에는 1 ㎠당 1 미크론 미만의 최고 레벨의 청정도 측정이 적합하다. 이 정도 수준의 정밀 청정도 측정에 사용되는 기술에는 다음과 같은 것이 있다.

① Carbon coulometry
② 화학 분석을 위한 전자 분광법 (Electron spectroscopy for Chemical Analysis: ESCA)
③ 푸리에변환적외선분광법 (Fourier Transform Infrared: FTIR)
④ 기체크로마토그래프법/질량분광광도법
(Gas Chromatography/Mass Spectrophotometry: GC/MS)
⑤ 이온크로마토그래프법 (Ion Chromatography: IC)
⑥ 광전자방출법 (Optically stimulated electronic emissions: OSEE)
⑦ 입자수 계수, 주사전자 현미경 (Scanning electron microscopy: SEM)
⑧ 이차이온질량 분광광도법 (Secondary ion mass spectroscopy: SIMS).

세척과 모니터링 절차에 대해서 궁금하시면...

알코낙스 한국 공식독점대리점 – 삼보교역상사에 연락을 주세요.
전화 : 02-2275-1115 메일 : young@samboi.co.kr
홈페이지 www.SAMBOi.co.kr