

태양 모듈 장비를 위한 Critical Cleaning 의 중요성 The Significance of Critical Cleaning for Solar Module Fabrication

말콤 맥플린, 알코낙스社 생산 및 사업개발 부사장
Malcolm McLaughlin, Vice President, Product & Business Development, Alconox, Inc.

(역자 주 : 본 문건에서는 Critical Cleaning 을 제약과 화학의 일반적인 통용어인 '중요 세척'이라고 한다. 크리티컬 클리닝은 중요하고 정밀한 세척을 의미한다. 따라서 영문 그대로 크리티컬 클리닝으로 이야기해도 무방하다)

서론

ABSTRACT

지속 가능한 에너지를 개발하기 위한 정부 부처의 다양한 지원으로, 보다 빠르게 다양한 요소에 대한 태양 모듈 제작의 승자와 패자가 결정될 것이다. 그중 한가지 요소는 생산과정의 영역에서 발생하는 결함을 줄이는 것이다. substrate 와 superstrate 는 1 와트를 생산하는데 드는 비용을 절감할 수 있는 태양 모듈 생산 공정을 최적화하기 위해 중요한 요소이다. 세척대상의 재질에 따라 그리고 세척공정에 도입한 방법에 따라서 알코낙스의 세척제 브랜드는 다양하게 지원된다. 알코낙스 ALCONOX, 데토젯 DETOJET, 리퀴낙스 LIQUINOX, 시트라낙스 CITRANOX 그리고 시트라젯 CITRAJET 등의 세척제들은 이미 세계적인 태양 모듈 제작사들이 선택하고 적용한 세척제이다. 생산과정에서의 문제점과 결함들을 줄이고 해결하기 위해서, 그리고 새롭게 떠오른 공정에서 알코낙스 세척제는 적용되고 있다.

비용의 경쟁

THE RACE FOR COMPETITIVE COST

태양 에너지의 생산은 2002 년 이래 해마다 2 배씩 성장하고 있다. 현재, 최근의 경제적 정치적 요인들은 태양 에너지의 연구, 개발, 상업적 적용의 분야에 대한 보다 큰 정부차원, 산업이익과 투자의 문제와 민감해지는 양상을 보이고 있다. 그리고, 한편 이 새로운 관심은 산업 분야의 다양한 곳에서 환영을 받고 있는 추세이다. 이러한 기대감은 현재의 성장세를 뛰어넘어 보다 뚜렷한 결과물을 요구할 것이다.

태양 에너지 기술의 성공을 척도하는 첫 번째 기준은 1 와트의 에너지를 생산하는데 드는 비용이 다른 에너지 생산 시술과 비교할 때 가격경쟁력이 있는가?하는 문제이다. 다른 이미 성숙한 에너지 산업의 경우 가격이 시장 장악력의 첫 번째 과제인 반면, 현재의 광전지(photovoltaic; PV) 태양 에너지의 가격의 경쟁성은 기술의 이노베이션(혁신), 재료의 선택, 그리고 조립체의 효율성에 달려 있다.

1 와트의 에너지를 저비용으로 생산하기 위해서는, 주어진 기술에 대한 적절한 조합할 수 있는 선택 간의 조화가 있어야 하며, 정부의 신재생에너지에 대한 세금 지원, 보조금 지원, 장려금 지원

등의 정부정책 사업이 받쳐주어서, 태양 에너지 산업의 상업적인 적용 사업을 성공적으로 이끌어야 한다.

결국, 앞으로 수 십 년 내에 태양 에너지 산업의 혁명이 이루어지는 날이 올 것이다.

생산 공정의 최적화의 중요성

THE IMPORTANCE OF OPTIMIZATION OF THE MANUFACTURING PROCESS

최근에는 이러한 기술들 중 많은 기술들은 뚜렷한 이정표를 긋는 것들이 있다. 보다 발전된 태양 전지용 결정질 실리콘 웨이퍼(crystalline silicon wafer) 기술에서 고효율의 GaAs(갈륨비소)셀의 박막필름에 이르는 것들이 그 예이다.

유기 광전지(organic PV) 처럼 다수의 떠오르는 기술들과, 역변성 다중 접합 전지(inverted metamorphic multijunction cells) 와 같이 고효율의 기술들은 꾸준히 개발의 속도가 가속화되고 있으며, 가까운 시일 안에 보다 대중적인 활용을 할 기술을 개발하게 될 것이다.

승자와 패자들은 많은 표준들을 기초로 할 것이다. 그러나 최고의 품질을 달성할 수 있는 생산 공정의 최적화는 기초 재료와 기술선택과 관계없이 가장 핵심적인 요소가 될 것이다. 그리고 태양 에너지 모듈은 정밀한 생산공정 - 스퍼터링 증착(sputtering deposition), 스프레이(spray), 또는 스펀(spin)과 같은 - 을 이용하기 때문에, 조립물의 오류(에러)는 비용에 심각한 영향을 준다.

생산 공정 내에서의 중요세척의 중요성

THE IMPORTANCE OF CRITICAL CLEANING TO THE MANUFACTURING PROCESS

최근 미국립재생에너지연구소(National Renewable Energy Laboratory; NREL)는, 패널 생산량 뿐만 아니라 생산 처리량에도 악영향을 줄수 있는 잠재적이고 신뢰있는 실수(실패)의 문제들을 정리했다. 이 문제의 범위는 박리현상(부착결함; delamination)에서 태양광 정션박스(junction box)의 고장의 문제들, 태양전지 버스바(busbar) 접착 문제, shunt hot spots(셴트 열점)의 문제, 스크리빙 공정의 에러(scribing errors) 등 많은 것들이 해당된다.

생산 공정의 최적화와 품질 공정의 최대화는 패널 당 망 비용을 보다 낮추고 조립체의 결함을 제거함으로써 즉각적인 효율의 얻을수 있다. 그러나 조립 기술 고려하지 않더라도, 정밀한 스크라이빙(precise scribing) 또는 증착 방법(deposition processing)과 같은 고도의 기술을 사용하기 위해서는 재료 표면이 완벽하게 오류가 없는 상태로 생산 준비되어 있을 때 앞서 언급한 최적화가 가능하다. 조립의 불량을 피하기 위해서는, 기질(substrates)은 반드시 각 잔류물을 남기는 주요 공정 후 뿐만 아니라 생산을 시작하기 전 단계에 이르기까지 전(全)공정에서 완전한 세척이 이루어져야 한다. 효율과 성능의 절충이 필요하다. 이러한 이유들 때문에, substrates 와 superstrates 의 중요세척은 태양 모듈 조립을 최적화하기 위한 접근법에서 절대적인 역할을 담당하게 된다.

태양 모듈의 중요 세척

SOLAR MODULE CRITICAL CLEANING

태양 모듈의 중요세척과 연관된 엄격한 품질 변수들 때문에, 초기의 많은 제조사들은 자신들이 투자를 보호할수 있는 증명된 제품을 찾는 데 주력했다. 알코낙스 ALCONOX 분말 세척제는 연구실, 클린룸, 반도체, 진공 공정 그리고 GMP 생산 고객사 등의 다양한 분야에서 사용되는 일관된 품질의 높은 명성을 지닌 세척제이다.

유럽, 아시아, 북미 등지에서, 알코낙스 분말 세척제는 수십년동안 초음파 세척조 배치(batch)를 이용한 단결정 실리콘 태양전지(monocrystalline silicon solar cells)의 세척에 사용되어 왔다. 알코낙스 분말 세척제는 많은 제조사들이 추천하고 선택한 제품으로, 광전지 실리콘 전지를 초음파 탱크 세척 공정에서는 특화된 몇 가지의 공정이 개발되었다.

새로운 박막필름의 개발과 함께, concentrator 와 유기 태양전지(organic photovoltaics) 등이 개발되었다. 그리고 그 개발현장에는 알코낙스 제품들이 다양한 재료의 substrates 와 superstrates 들이 필요로 하는 요구들을 지원하고 있다.

한 예로, 대형 투명전도막 유리(transparent conductive oxide coated glass;TCO)의 superstrates 의 세척에는 데토젯 DETOJET 세척제를 사용하며, 이를 대형 수평 컨베이어 세척기를 이용해 생산 공정과 생산 전前 공정에 사용된다. 세척제와 분산제의 조합을 통해 입자들을 고도로 통제하여 잔여물질이 없는 표면을 준비할 수 있게 해 준다. 분산제는 입자들을 표면에서 들어올려 세척액으로 끌어당기고, 표면에 남아있는 소수성의 입자들이 발생시키는 정전기인력(electrostatic attractions)을 극복시키도록 한다. 이런 과정을 통해 보다 물에 잘 분산되도록 유도하게 된다. 세척제는 분산제의 입자제거능력을 방해하는 소수성 오일 필름(막)을 제거한다.

그동안 알코낙스는 방해(간섭)잔류물을 남기지 않고 어려운 표면을 완벽하게 세척하고 헹구어내는 능력과 효율적인 표면 세척 기능에 대한 많은 경험을 쌓아오고 증명했다. 그 결과 알코낙스는 박막 필름 태양 모듈 조립 분야에서 전세계 최대의 기업에서 사용하고 있다. 알코낙스 세척제를 사용한 공정은 단접 광전지 모듈과 다접 광전지 모듈 모두에서 IEC(국제전기표준회의) 표준 61646 과 61730 에 근거하여 인증되었다.

적용과 재료변수에 따른 정밀 세척 방법론

CRITICAL CLEANING METHODOLOGIES DEPEND ON APPLICATION AND MATERIAL PARAMETERS

박막필름 태양모듈 생산에는 광전지 부품 생산의 효율을 높이기 위해서 그야말로 청결한 기질을 필요하다. 박막 필름 태양 전지는 실리콘(Si) 또는 카드뮴/텔루르(Cadmium/Telluride; CdTe)

레이어를 투명금속산화유리 기질(transparent metal oxide coated glass superstrates)

위에 증기증착(기상증착; vapor deposition)하는 방법으로 생산된다.

또는 구리·인듐·갈륨·셀레나이드(Copper Indium Gallium Selenide; CIGS)을 박막 금속 필름 위에 증기증착하는 방법으로 생산된다.

어떤 경우든, 증착하기 이전의 단계에서, 유리 또는 금속은 반드시 세척되어야 하며, 이 세척과정을 통해서 필름 증착을 방해하고 전기적으로 독립된 태양전지 형성을 방해하는 여러 입자와 오일을 완전히 제거해야 한다.

표면을 세척하는데 실패한 경우에는, 유리 슈퍼스트레이트(glass superstrates)를 독립 셀로 형성시키기 위한 레이저 스크라이브(laser scribe) 처리를 하는 조립 공정에서 품질에 영향을 준다. 유리 자체 또는 산화코팅 위에 잔류하는 미립자들은 스크라이브 장벽(scribe barrier)의 형성을 방해하고, 그 결과 단락회로(회로 합선/단선, 쇼트서킷; short circuits)를 일으키고 최종전지의 비효율성을 발생시킨다.

또한 서브스트레이트(기판, 기질; Substrates)는 레이저 스크라이빙(laser scribing) 후에는 반드시 세척해야 한다. 데토젯 DETOJET 세척제는 유리와 코팅 유리 기판 모두에 레이저 에칭 전후 공정에 널리 사용되는 세척제이다. 시트라젯 CITRAJET 세척제는 금속 기판(기질)의 세척에 더 많이 선호되는 세척제이다.

전형적으로 대형 컨베이어 스프레이 세척 시스템과 롤러브러쉬 세척기에서 두 가지 표면 모두 추가적인 후공정들을 실시하기 전에 헹굼공정과 건조공정을 실행해야 한다.

스테인레스 스틸과 구리 기판을 세척하기 위해 초음파 세척 배치(batch)를 채용한 시스템의 경우에는, 시트라낙스 CITRANOX 세척제가 가장 적절한 선택이다. 수십 년 사용된 최초의 알코낙스 분말 세척제는 지금도 여전히 단결정 실리콘 태양 전지(monocrystalline silicon cells)를 초음파로 세척하는 공정에 적절한 세척제로 평가 받고 있다. 그리고 유리와 금속 기판(기질)을 초음파로 세척하는 단위공정에서는 리퀴낙스 LIQUINOX 세척제가 최적의 선택이다. 솔루젯 SOLUJET 세척제 또한 다양한 세척 시스템에서 오일(oil)성의 잔류물을 제거하는데 적절한 세척제이다.

최적화된 정밀세척 생산공정은 제조와 성능에 긍정적인 영향을 준다

THE OPTIMAL CRITICAL CLEANING PRODUCT CAN POSITIVELY IMPACT BOTH PRODUCTION AND PERFORMANCE

태양 모듈 조립 시장이 전세계 다양한 지역까지 점점 확대됨에 따라, 품질표준을 유지하기 위해 신뢰할 수 있는 제품과 공급처가 필요하게 되었다.

알코낙스 세척제 제품군들은 태양광 전지 조립 시장에서 세계적으로 인정받는 제품이 되었다. 알코낙스가 태양 전지 분야에 성공적으로 사용되는 수 십 년간 쌓아온 명성, 생산표준의 지속성, 고순도성, 불순물에 대한 지식, 전세계를 대상으로 한 포괄적인 기술지원 등이다.

기존의 기술이 보다 성숙해지고, 새로운 기술이 안정되고, 그리고 미래의 기술들이 새롭게 개발됨에 따라, '정밀세척'은 광전지 패널의 효율성과 품질에 있어서 중요한 역할을 앞으로도 계속할 것이다.

중요세척의 중요성을 측정하는 한 척도로, 최근에 연구되고 발표된 *워커 Walker, et al¹* 의 논문을 참고할 수 있다. 태양전지 조립공정에서 다양한 중요세척 세척제를 테스트하고 비교한 연구이다.

*Walker B, et al., EFFECTS OF PRE-PECVD GLASS CLEANING ON MODULE PERFORMANCE, 22nd European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition – Milan, VISUAL PRESENTATIONS 3BV.4 Amorphous and Microcrystalline Silicon CIS, CdTe and Other (II-VI) Ternary Thin Film Cells, pp 2226-2228

제조사들은 태양 에너지 기술의 혁신을 통해 내일의 에너지 요구에 직면하는 도전을 하고 있다. 어떤 해법이 가장 적은 비용으로 1 와트 전기에너지를 생산할 수 있을지 그리고 어떤 해법이 이를 전개하고 대중화하는데 쉬울지, 아직 그 누구도 이 경쟁의 승자를 알 수는 없다. 다만 태양 모듈 전지 생산 공정에 대한 까다로운 세척 공정을 실천함으로써 진정한 세척 기술을 얻게 될 것이라는 것에는 의심의 여지가 없다.

어떻게 광전지 생산을 위한 세척 공정을 개발할 것인가?

HOW TO DEVELOP A CLEANING PROCESS FOR PV MANUFACTURING

새로운 태양 전지 생산 공정의 개발에 있어서 중요한 요소는 '크리티컬 클리닝; 중요세척' 절차의 개발과 최적화이다. 알코낙스사와 같은 경험이 풍부한 세척제 공급자를 접촉한다면 공정에 따라 새로운 실험과 변화의 시도에 익숙한 전문가의 안내를 받을 수 있다.

경험이 풍부한 파트너는 고객의 특정 시스템에 적합한 세척제를 추천하고, 테스트를 위한 샘플을 제공하며, 최소 시간, 온도, 농도, 행굼 조건과 건조조건 등을 제안해 주어야 한다. 그리고 고객이 원하는 세척 방법, 고객의 서브스트레이트와 슈퍼스트레이트 그리고 잔류물의 종류 등을 포함한 다양한 요소들을 초기의 테스트 단계에 고려해야만 한다.

예를 들어, 전도성 코팅 유리판 표면 위의 먼지, 지문 그리고 잔해들을 수평 컨베이어 세척기를 이용하여 생산 공정을 시작하기 위해 세척하려는 경우라면, 1% **데토젯 DETOJET** 희석 세척액을 45°C 의 온도로 만들어 1.5M/min(분당 1.5m 의 유속)으로, 30 초 이상 세척표면과 접촉하도록 세척을 실시하고, 이후 행굼 장치로 이어질 수 있도록 설계해야 한다.

또 다른 예로, 태양 전지 필름이 증착된 구리 또는 스테인레스 스틸 기판(기질)의 경우 초음파 세척을 실시하며, 이때 2% **시트라낙스 CITRANOX** 희석 세척액을 60°C 의 온도로 탱크 속에서 5 분간 침지한다.

마지막 예로, 오일 잔류물이 심각한 스테인레스 스틸 기판(기질)을 수평 컨베이어 세척기를 이용해 세척하려는 경우에는, 1% **솔루젯 SOLUJET** 희석 세척액을 60°C 의 온도로 분당 1.5 미터의 속도로 분사하며, 이때 행굼 장치에 세척대상이 들어가지 전에 30 초 정도는 세척액과 접촉하도록 설계하여야 한다.

위의 각 예는 각각의 주어진 생산 방법론에 따라 최적의 세척 공정을 결정하고 개발한 대표적인 사례이다. 이러한 최초의 시도를 따름으로써, 새로운 고객의 경우에는 온도를 더 높일지? 세척 라인의 속도를 더 높여야 하는지? 또는 침지하는 시간을 어떻게 정할지? 세척제의 농도를 낮출지? 그리고 최소한의 농도는 얼마로 결정해야 하는지? 등의 새로운 경험치들을 확보할 수 있다.

때로는 행굼 방법과 행굼 시간을 여러 가지로 실험해 보는 것이 세척 조건을 최적화하는 중요한 요소가 되기도 한다. 알코낙스社의 연구진의 경험의 법칙(rule of thumb)에 따르면, 매 10°C 의 세척액 온도를 높일 때 마다, 컨베이어 세척 라인의 속도를 두 배로 올리거나 침지시간을 반으로 줄여도, 온도를 올리기 이전의 세척결과와 유사한 수준의 세척결과를 거둘 수 있다.

최근 美 정부 산하 연구소도, 박막필름 공정에서 유리(TCO 코팅의 이전 이후 공정 모두)을 초음파세척에 5% 알코낙스 ALCONOX 희석 세척액을 12 Mohm-cm 의 60°C 비이온수를 이용하여 실시하고, 세척 후 60°C 비이온수(DI water)를 이용하여 1 차로 행굼작업을 한 뒤, 다시 차가운 비이온수로 행굼하는 방법을 채택하였다.

고객의 공정이 어떤 것이든, 이상적인 방법, 재료 그리고 세척제의 조합이 있다. 이 조합을 통해 태양 전지 조립체의 성능을 향상시키고, 고객의 기술 품질을 높일 수 있다.

경험이 풍부한 파트너만이 고객이 원하는 해법을 효과적으로 찾도록 도울 수 있을 뿐만 아니라, 비용을 낮출 수 있도록 함께 고민한다.

보다 자세한 사항은
알코낙스 한국독점대리점 <삼보교역상사>
02-2275-1115 또는 www.SAMBOi.kr 로 문의해 주길 바랍니다