

LCD 제조공정에서 물리적 세정법의 미립자 제거효율 비교 연구

박창범¹, 이승준¹, 장인성^{2*}
¹호서대학교 대학원 반도체·디스플레이공학과
²호서대학교 환경공학과

Comparison of particle removal efficiency between the physical cleaning methods in the fabrication of liquid crystal displays

Chang-Beom Park¹, Seungjun Yi¹ and In-Soung Chang^{2*}

¹Department of Semiconductor and Display engineering, Hoseo University

²Department of Environment engineering, Hoseo University

요 약 LCD (Liquid Crystal Display) 제조기술이 발전함에 따라 유리기판은 점차 대형화되는 추세이고 제조공정도 세밀화되어 감에 따라 LCD 제조과정에서 세정공정의 중요성이 부각되고 있다. 본 연구에서는 물리적 세정방법 중 브러쉬 (brush), 버블제트 (bubble jet) 및 이류체 (aqua/air) 세정법을 이용하여 미립자 (particles) 제거효율을 비교 평가하였다. 7세대 LCD 유리기판 (1875 mm × 2200 mm)을 대상으로 초순수 (deionized water)의 유량 및 압력 변화와 브러쉬의 모(毛)와 유리기판과의 접촉깊이 (contact depth) 등의 운전조건 변화를 통하여 미립자의 제거효율을 비교하였고 각 세정법에 의한 유의차 분석을 통해 향후 세정장비 개발에 유용한 자료로 활용하고자 하였다. 브러쉬 세정의 경우 브러쉬 접촉깊이에 변화를 주었을 때 임계점부터는 세정효율에 유의차가 크지 않음을 알 수 있었다. 버블제트 세정은 압력변화에 따른 세정력 유의차가 거의 없음을 관찰할 수 있었으며, 이류체 세정은 압력변화시 임계점까지는 세정력 유의차가 존재하나 임계점 이후부터는 유의차가 발생하지 않았다. 상기 3가지 세정방법 중 브러쉬 세정이 주어진 조건에서는 세정효과가 가장 큰 것으로 나타났다.

Abstract As the fabrication technology of LCDs (Liquid Crystal Displays) advances, the size of mother glass substrates is getting larger, and the fabrication process is becoming finer. Accordingly, the importance of cleaning processes grows in the fabrication process of LCDs. In this study, we have compared and evaluated the particle removal efficiency for three different methods of physical cleaning, which are brush, bubble jet, and aqua/air cleaning. Using the seventh generation glass substrate, the particle removal efficiency has been investigated by changing operation conditions such as a flow rate of deionized water, pressure, contact depth between a brush bristle and a glass substrate, and so forth. In the case of brush cleaning, the cleaning efficiency barely changes after a critical point when the contact depth is varied. While the cleaning efficiency of bubble jet cleaning is almost independent of pressure, that of aqua/air cleaning is affected by pressure up to a critical point, but is not changed after it. We note the brush cleaning is the most effective among the three cleaning methods under our experimental conditions.

Key Words : Aqua Air Jet, Bubble Jet, Cleaning, LCD, Roll Brush

1. 서론

LCD (Liquid Crystal Display)에 대한 수요가 최근 들

어서 급진적으로 증가하고 있으며 대규모 시장을 형성하고 있다. 디스플레이 산업은 "21세기 미래기술", "반도체에 이은 제 2의 산업의 쌀"로 불리며 우리나라의 핵심

*교신저자: 장인성 (cis@hoseo.edu)

접수일 09년 09월 01일

수정일 (1차 10년 01월 20일, 2차 10년 03월 8일)

게재확정일 10년 03월 18일

산업분야로 떠올랐다. 이제 디스플레이는 정보기술, 생명 기술, 문화기술 등 모든 분야의 '창 (window)' 역할을 한다고 해도 과언이 아니다[1]. 특히, LCD가 TV 시장에 진입하면서 대화면, 고해상도, 동영상 개선, 색재현율 개선, 소비전력 감소 등 여러 가지 기술적인 요구에 대한 개발이 활발히 진행되고 있다[2]. TFT (Thin Film Transistor)-LCD는 대다수 정보기기의 정보표시를 나타내는 필수 장치이며 산업 발전 속도에 따라 그 응용 범위는 퍼스널 컴퓨터, 노트북, 핸드폰, TV, 게임기, 산업 기기 등 그 분야 및 활용도가 빠르게 확산되고 있다. 향후 디스플레이 시장은 응용분야가 더욱 다양해지며 정보 디스플레이 시장의 다변화에 의해 전자신문 혹은 전자책 등이 적합한 전자종이 (e-paper), 휴대용에 적합한 플렉시블 (flexible) 디스플레이, 3차원 디스플레이 기술 등이 최근 주목받고 있다[3]. 따라서 이러한 시장 다변화에 대한 요구에 부응하는 LCD에 대한 수요가 꾸준히 증가하고 있으며 대형화 수요로 인해 LCD의 패널크기도 증대되고 있는 실정이다.

2세대 LCD의 유리패널 크기는 370 mm × 470 mm부터 시작하여 8세대에 이르러서는 2200 mm × 2500 mm로 증대되었으며, 11세대 LCD 유리 기판의 크기는 3000 mm × 3320 mm로 예정되어 있다. 이처럼 기판은 점차 대형화되고 있으며 이에 따른 제조공정의 요구조건이 보다 세밀화 되고 있다. 액정 패널의 제조공정은 유리 기판 위에 마이크론 단위 (μm) 의 미세가공 처리가 반복되므로 기판에 미립자 및 유기물 등으로 오염되면 미세가공 처리에 악영향을 미치게 되고 안정된 생산라인을 구축하기 불가능해진다. 따라서 세정기술이 각 제조 공정마다 반드시

수행되어야 한다. 세정은 전체공정의 약 30 %를 차지하며 생산수율을 좌우하는 중요한 공정이다. 또한 패널이 대형화되고 박형화 됨에 따라 액정패널 표면의 더욱 높은 청정도가 요구된다[4,5].

세정공정에서는 세정단계 및 소요시간을 단축시켜 높은 생산성과 비용절감 효과를 이루기 위한 노력이 활발히 진행되고 있다. 이를테면 기존 수평 세정방식에서 경사 방식으로 전환하여 세정력 향상을 도모하고 있으며, 관리비용 절감을 위한 최적의 세정공정 조건을 확립하기 위한 노력이 수행되고 있다[4]. 이렇듯 LCD 제조공정 중 세정공정의 중요성이 날로 부각되고 있다.

따라서 본 연구에서는 LCD 제조공정 중 세정공정에 사용되고 있는 물리적 세정방법의 효율을 비교 평가하여 최적의 세정공정 조건을 확립하고자 하였다. 즉, 브러쉬 (brush), 버블제트 (bubble jet) 및 이류체 (aqua/air) 세정법을 이용하여 미립자 (fine particles) 제거효율을 비교 평가하는 것이 본 연구의 목적이다.

2. 세정원리

표 1에 세정도구에 따른 활용 목적을 요약하였다[4-7]. 표에서 보는 바와 같이 세정은 습식세정과 건식세정으로 대별할 수 있다. 그리고 습식세정은 물리적 세정과 화학적 세정으로 또 다시 분류할 수 있다. 물리적 세정 방법 중에서 본 연구에 사용한 3가지 세정방법의 원리는 표 2에 별도로 설명하였다. 먼저 브러쉬 세정은 디스크 (Disc) 와 롤 (Roll) 브러쉬를 이용하는 방법이 있다. 디스크 브

【표 1】 세정의 종류 및 활용 목적

구분	세정 분류	세정 도구	활용 목적
습식 세정	물리적 세정	브러쉬 (Brush)	- 견고한 부착 미립자 제거
		초음파 (Ultrasonic)	- 케비테이션 효과 또는 물입자의 입자 가속도에 의한 미립자 제거
		버블제트 (Bubble Jet)	- 케비테이션 효과와 수압파를 이용하여 미립자 제거
		이류체 (Aqua/Air)	- 초순수/공기의 이류체를 적용하여 미립자 제거
	화학적 세정	유기용제 (Organic solvent)	- 유기물 제거
		중성세제	- 오염 상태 따라 용매 선정
화학 약액		- 미립자나 유기물 오염 제거	
건식 세정		자외선 (UV)	- 각종 오염물 및 미립자 제거
		O ₂ 플라즈마	- 에칭, 세정, 표면 친수화
		레이저	- 유기물을 자외선으로 제거 - 포토레지스터 에칭 (ashing) - 잔류 유기물 제거 - 부분적 세정

러쉬는 기관과의 접촉시간을 충분히 확보할 수 있어서 높은 세정효과를 얻을 수 있으나, 브러쉬와 기관과의 닿는 접촉점의 위치 조정이 어렵고 비교적 긴 교환시간이 소요되어 평판 디스플레이 제조에 적용하기에는 부적합하다. 반면에 롤브러쉬는 기관에 맞는 대형 롤 제작이 용이하여 평판디스플레이 세정에 유리하다. 하지만 디스크 브러쉬에 비해서 기관 접촉시간이 짧아서 회전수 및 접촉깊이가 세정력의 변수가 되고 있다. 또한, 기관 사이즈가 대형화되면서 브러쉬와 기관과의 마찰력도 커져 기존의 압입량으로는 반송할 수 없는 문제가 발생하여서 브러쉬 모(毛)의 지름이 기존 0.07 mm보다 가는 지름 0.05mm가 이용되고 있다.

두 번째 버블제트 세정은 액체와 기체를 혼합하여 수류(水流)가 미세화되고 특수노즐로 분사시켜 이물질들을 제거한다. 세 번째 방법인 이류체 세정은 고압수에 기체를 혼합하여 특수 노즐로 피세정물에 직접 분사하여 세정효과를 향상시키는데 특징은 두개의 공기 공급단과 초순수 공급단이 있으며 충격압력이 버블제트의 약 2배이다. 이 세정법은 높은 에너지 수류분사로 미세 미립자 (1 ~ 3 μm 미만) 제거에 효과적이라고 할 수 있다.

3. 실험방법

3.1 세정설비 구성

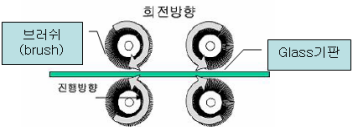
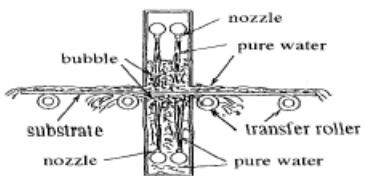

본 연구에서는 롤브러쉬, 버블제트와 이류체 세정 등

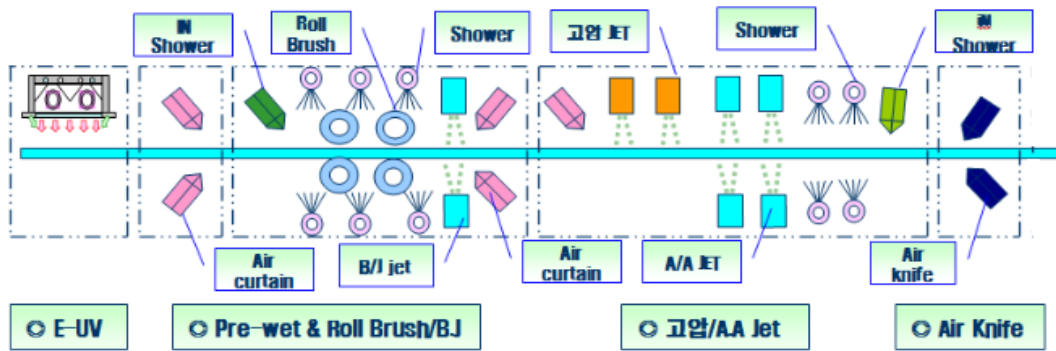
3가지 세정법을 이용하여 기관세정을 수행하였다. 미립자의 크기 기준치는 1 μm 이상이며 7세대 기관 (1875 mm × 2200 mm)를 사용하였다. 그림 1은 소스/드레인 (source/drain) 공정 전 세정의 7세대 설비 구성도를 나타내고 있다. 공정구성을 살펴보면 유기물 미립자를 제거하는 엑시머 자외선 (excimer UV, 그림에서는 E-UV), 초순수가 엑시머 자외선으로 넘어가지 않게 하는 에어 커튼 (air curtain), 브러쉬를 이용한 세정법인 롤브러쉬 세정 (그림에서는 roll brush)이 있고 초순수와 공기의 혼합을 이용한 버블제트 세정 (그림에서는 BJ), 마지막 세정법인 이류체 세정 (그림에서는 고압 A/A Jet)을 거친 다음 건조단계로 넘어가서 유리기관이 나오게 된다. 엑시머 자외선을 거칠 때의 처리속도는 5.5 m/min이고 롤브러쉬 및 이류체의 건조 처리속도는 4 m/min 이다.

3.2 각 세정법의 운영방법

표 3은 세정공정의 기본적인 운전조건을 제시하고 있다. 세정방법은 표에서 보는 바와 같이 롤브러쉬, 버블제트, 이류체 세정으로 구성되어 있다. 롤브러쉬의 접촉깊이는 브러쉬 상(上)과 유리기관이 닿는 부분이 1.5 mm이고 브러쉬 하(下)와 유리기관이 닿는 접촉깊이는 0.5 mm로 하였다. 이 때 브러쉬의 회전수는 400 rpm으로 하였다. 또한 버블제트는 유니트가 상하 두 개로 구성되어 있으며 초순수의 압력은 상(上)이 0.3 MPa이고 하(下) 압력이 0 MPa으로 설정하였다. 공기압력은 상(上)이 0.3 MPa이고 하(下) 압력은 0 MPa로 조건을 설정하였다. 이류체

[표 2] 세정방법에 따른 원리 및 구성도

세정방법	구성도	세정원리
롤브러쉬		<p>견고하게 부착된 미립자 및 오염물질을 브러쉬 모를 밀착, 회전시켜 마찰력을 이용하여 미립자를 제거한다.</p>
버블제트		<p>노즐로부터 분사되는 초순수 안에 포함된 거품이 기관의 표면에서 파괴할 때 발생하는 캐비테이션 효과와 수압파로 미립자를 제거한다.</p>
이류체		<p>액체에 기체를 혼합하는 것에 의해 유류가 미세화 되고 유속이 증가한다. 이때 기체에서 액체로 이동되는 에너지가 부가되어 액체 에너지 단독보다 높은 에너지의 수류(水流)가 생성된다. 이것을 특수 노즐로 분사시켜 미세한 미립자 제거한다.</p>



[그림 1] 세정설비 설치 구성도

[표 3] 기본 세정방법 및 운영조건

세정방법	공정변수		단위	기본세정 적용범위	비고
롤브러쉬	접촉깊이 (상/하)		mm	1.5/0.5	초순수
	브러쉬 회전속도		rpm	400	
버블제트	유동압력	초순수 (상/하)	MPa	0.3/0	
		공기 (상/하)	MPa	0.3/0	
이류체	유동압력	초순수 (1/2열)	MPa	0.4/0.4	
		공기 (1/2열)	MPa	0.4/0.4	

세정의 경우에는 각각 초순수 및 공기 압력을 상(上)하(下) 0.4/0.4 MPa로 설정하였다.

3.2.1 롤브러쉬 세정공정

기본 세정방법에 다음과 같은 변화를 주면서 세정을 수행하면서 미립자 제거효율을 비교평가 하였다.

- 먼저 기본 세정조건에서 롤브러쉬 세정방법에 변화를 주어 수행하였다. 즉, 롤브러쉬의 모와 유리기판이 닿는 접촉깊이 변화에 따른 세정효과를 관찰하였다. 롤브러쉬의 모와 유리기판과의 접촉깊이 변화를 상(上) 0.5 mm부터 2.0 mm까지 주면서 미립자 제거효율을 비교평가 하였다. 브러쉬 하(下)의 접촉깊이 0.5 mm조건은 변화시키지 않았다. 그 이유는 유리기판의 후면부는 막질형성이 안되어 있어서 세정력이 저하되어도 공정상 큰 문제가 없기 때문이다.
- 두 번째는 버블제트 세정과 이류체 세정의 압력을 기본세정 조건은 그대로 둔 상태에서 롤브러쉬 공정을 생략(skip)했을 때의 미립자 제거효율을 비교평가 하였다.

3.2.2 버블제트 세정공정

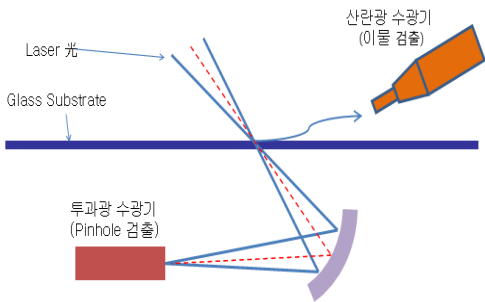
표 3과 같은 기본조건 상태에서 버블제트 세정법의 초순수와 공기의 압력조건을 변화하면서 세정을 수행하였다. 즉, 기본조건 세정, 버블제트 생략, 버블제트의 압력을 0.1/0.1 MPa, 0.2/0.2 MPa, 0.3/0.3 MPa으로 바꾸어 가면서 실험하였다.

3.2.3 이류체 세정 공정

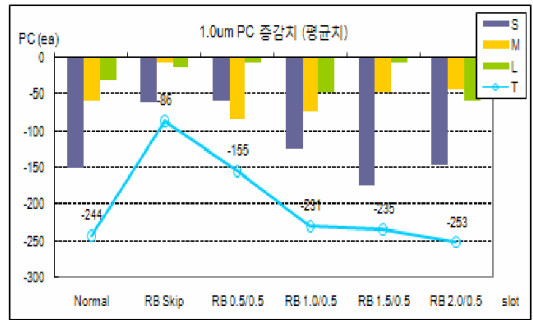
표 3과 같은 기본조건 상태에서 이류체 세정을 초순수와 공기의 압력조건을 변화하면서 세정을 수행하였다. 즉, 기본조건 세정, 이류체 생략, 이류체의 압력을 0.1/0.1 Mpa, 0.2/0.2 Mpa, 0.3/0.3 Mpa, 0.4/0.4 Mpa로 변화시켜 가며 세정효율을 비교평가 하였다.

3.3 미립자 계수

미립자 계수(counting)는 그림 2와 같이 유리기판 표면에 레이저 빔(laser beam)을 조사하여 유리기판 표면에서의 산란광 및 투과광을 수광하여 표면상의 이물 및 핀홀(pinhole)을 검출하고 또한 이물의 산란광 강도로부터 이물 입경을 판별한다. 본 연구에서는 일본 히타치사의 GI-7300 모델을 사용하여 미립자 계수를 수행하였다.



[그림 2] 사용된 미립자 계수기의 원리 및 구성도



[그림 3] 롤브러쉬 접촉깊이별 미립자 증감 분석

4. 결과 및 고찰

4.1 롤브러쉬 공정변수에 의한 미립자 제거율 비교

롤브러쉬의 기관과의 접촉깊이 변화에 따른 미립자 제거 정도를 그림 3에 표시하였다. 그림 3에서 S는 1 μm ~ 3 μm 크기의 미립자, M은 3 μm ~ 5 μm 크기의 미립자, L은 5 μm 이상 크기의 미립자를 의미한다. 그리고 T는 S, M, L의 총합계를 나타내며, 통상적으로 1 μm 미립자 자료라 함은 S, M, L 미립자수를 측정할 것을 호칭한다.

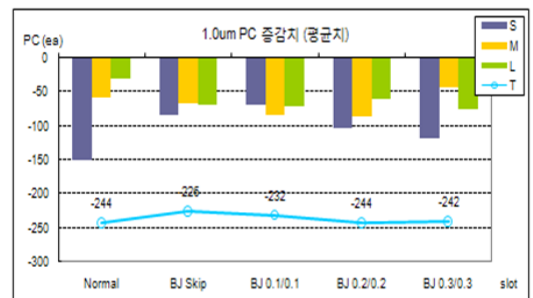
기본세정 (Normal) 조건에서 미립자 제거는 평균 -244 개로 약 72%의 미립자 제거 효율을 보인다. 반면 롤브러쉬를 생략하였을 경우 (RB Skip)에는 -86개로 나타나 약 46 % 정도의 미립자만 감소한 것으로 나타났다. 브러쉬 상(上) 접촉깊이를 0.5 ~ 2.0 mm 범위내 변화하면서 실험한 결과는 접촉깊이, 2.0/0.5 mm일 때 미립자가 가장 많이 제거되었지만 접촉 깊이가 1.0/0.5 mm 이후부터는 임계점에 도달하여 세정력의 유의차가 크게 발생하지 않은 것을 알 수 있다. 접촉 깊이를 2.0/0.5 mm 이상으로 변화시켰을 경우에는 유리기관 반송흐름이 틀어져 반송 알람과 함께 문제가 발생되어 더 이상 실험이 불가능했다.

롤브러쉬 세정은 견고하게 부착된 미립자 및 오염물질을 브러쉬 모를 밀착, 회전시켜 마찰력을 이용하여 미립자를 제거하는 것으로, 접촉깊이가 증가하면 접촉면이 증가하고 따라서 마찰력이 증가하여 미립자 제거효율이 증가하는 것으로 판단된다. S, M, L 미립자 각각의 제거 효율은 브러쉬 접촉깊이와 상관관계를 보이지 않았으며, 미립자 초기치에 영향을 받는 것으로 판단된다.

4.2 버블제트 공정변수에 의한 미립자 제거율 비교

그림 4에서는 버블제트의 세정압력별 미립자 제거 효율을 제시하였다. 그림 3과 마찬가지로 기본세정 조건에서 미립자 제거는 -244 개이고 버블제트를 생략한 경우의 미립자제거는 -226개로 거의 동일한 세정효율을 나타냈다. 또한 순수와 공기 압력을 0.1 MPa ~ 0.3 MPa로 변화시켰을 경우의 유의차는 거의 발생하지 않았다.

버블제트 세정은 고압의 타력으로 인하여 미세한 미립자를 제거하는 것으로 알려져 있는데, 롤브러쉬 세정과 이류체 세정 대비 세정력이 미미하여 본 연구에서처럼 세정 시스템을 구성해서 세정을 할 경우에는 버블제트 압력에 의한 세정력 변화에 큰 유의차가 없는 것으로 판단된다. 따라서 롤브러쉬와 이류체 세정을 포함하는 세정 시스템에서는 버블제트 세정은 필요 없을 것으로 판단되며, 롤브러쉬 세정을 할 수 없는 배향막 코팅 이후 공정의 세정에 적합하다고 볼 수 있다.



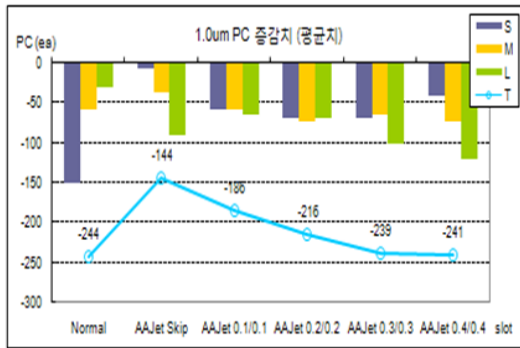
[그림 4] 버블제트 압력별 미립자 증감 분석

4.3 이류체 공정변수에 의한 미립자 제거율 비교

그림 5에서는 이류체 세정의 압력별 미립자 제거 효율을 제시하였다. 기본세정 조건에서 미립자 제거는 -244

개이지만 이류체 세정을 생략한 경우의 미립자 제거는 -144개로 약 40% 정도의 세정효율 감소효과가 나타났다. 또한 압력을 0.1 MPa ~ 0.4 MPa로 변화시켰을 경우 압력이 증가할수록 세정력도 증가하는 경향을 보임을 알 수 있다. 그러나 이류체 압력이 0.3 MPa/0.3 MPa 이상이 되면서부터는 임계점에 도달하여 미립자 감소에 유의차가 거의 발생하지 않았다.

이류체 세정은 기체를 혼합하는 것에 의해 유류가 미세화 되고 유속이 증가한다. 이때 기체에서 액체로 이동되는 에너지가 부가되어 액체 에너지 단독보다 높은 에너지의 수류(水流)가 생성된다. 이것을 특수 노즐로 분사시켜 미세한 미립자 제거하는 것으로, 압력이 증가하면 유속이 증가하고 따라서 더 높은 에너지의 수류가 형성되어 미립자 제거효율이 증가하는 것으로 판단된다.



[그림 5] 이류체 압력(공기/초순수)별 미립자 증감분석

4.4 최적조건과 기본조건과의 미립자 제거율 비교

표 4와 같이 앞의 실험결과를 토대로 미립자 제거율이 높으면서 초순수 유량을 최소화할 수 있는 최적조건으로 실험을 실시하였다. 최적조건인 경우 미립자 제거는 -270 개로 기본조건인 -244 개 대비 약 11% 정도의 세정효율 증가효과를 나타내었다.

[표 4] 미립자 제거 최적조건

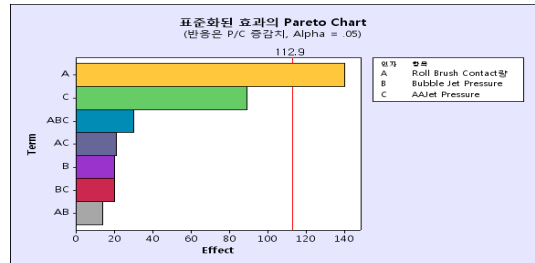
세정방법	최적조건	비고
롤브러쉬	접촉깊이 (상/하) = 1.0/0.5 mm	임계 점
	브러쉬 회전속도 = 400 rpm	
버블제트	초순수 (상/하) = 0.2/0 MPa	임계 점
	공기 (상/하) = 0.2/0 MPa	
이류체	초순수 (1/2열) = 0.3/0.3 MPa	임계 점
	공기 (1/2열) = 0.3/0.3 MPa	

4.5 3가지 세정방법의 주요 효과 분석

3가지 세정방법의 주요 효과를 평가하기 위하여 표 5와 같이 3인자 2수준으로 통계 처리하여 그림 6과 같이 주효과 파레토 차트(Pareto chart)를 얻었다. 그림 6에서 보여주는 것과 같이 3가지 세정방법 중 롤브러쉬 접촉 깊이가 세정력에 가장 큰 영향을 미치고 다음은 이류체 압력이며 버블 제트는 세정력에 영향이 미미함을 알 수 있다.

[표 5] 주요 효과 분석조건

3인자	2수준
롤브러쉬 접촉깊이	(상/하) 0/0 mm, 2.0/0.5 mm
버블제트 압력	(상/하) 0/0 MPa, 0.3/0 MPa
이류체 압력	(1/2열) 0/0 MPa, 0.4/0.4 MPa



[그림 6] 주요 효과 파레토 차트

5. 결론

- 1) 브러쉬 (Brush) 세정은 브러쉬의 모와 유리기관과의 닿는 접촉깊이(상/하)를 크게 할수록 세정력이 뛰어난 것을 알 수 있었다.
- 2) 브러쉬 접촉깊이는 상/하가 2.0/0.5 mm일 때 세정력이 가장 뛰어났으며 브러쉬 모의 소모성을 고려하여 효율적인 공정조건은 접촉깊이가 1.5/0.5 mm 일때 부품 안정성과 세정력을 동시에 만족한다고 볼 수 있다.
- 3) 버블제트 세정법은 압력조건을 변화시켜도 세정력의 유의차가 거의 발생하지 않았다.
- 4) 이류체 세정법은 공기/초순수 압력이 증가할수록 높은 세정력을 나타내며 미세미립자 제거에 유리한 세정 방법이라고 할 수 있다.
- 5) 3가지 세정방법 중 롤브러쉬 접촉 깊이가 세정력에 가장 큰 영향을 미치고 다음은 이류체 압력이며 버블 제트는 세정력에 영향이 가장 미미함을 알 수 있다.

었다.

- 6) 본 논문에서 도출한 세정변수의 최적화를 통해 효율적인 세정공정 실현이 가능하며 이는 곧 생산성 및 수율향상으로 이어질 수 있다. 아울러 차세대 세정공정 및 장비개발에 토대가 될 자료로 활용될 수 있을 것으로 생각된다.
- 7) TFT LCD는 점점 대형화 되어가고 있으며 설비 또한 대형화되는 추세에 있다. 이처럼 설비의 크기가 커지고 있기 때문에 운송 등 장애 요인으로 인한 세정공정의 효율적인 운용이 한계점에 다다르고 있다. 따라서 설비의 콤팩트화, 슬림화, 효율적 공간 활용으로 인한 비용절감, 처리시간 단축 등의 노력과 더불어 효율적이고 최적화된 세정공정의 확립이 중요한 시점이라고 볼 수 있다.

참고문헌

- [1] 권오경, 최병덕, 이신두, 김재훈, 김용석, 도이미, 문태규, "디스플레이 공학 개론," 청범출판사, pp. 12-29, 2006.
- [2] Willem den Boer, "Active Matrix Liquid Crystal Displays," Elsevier, pp. 139-177, 2005.
- [3] 이신두, "플렉시블 평판 디스플레이," 청범출판사, pp. 1-10, 2008.
- [4] 홍민성, 김종민, 강신재 "TFT LCD 세정 방법에 대한 프로세스 개선에 관한 연구," 한국공작기계학회 2004 춘계학술대회 논문집, pp. 269-274, 2004.
- [5] 김두형, 황경현, "반도체·FPD 세정공정 및 기술동향," 제어자동화시스템공학회지 제10권, 제1호, pp. 67-72, 2004.
- [6] 윤의중, 이강원, 김철호, 이석태, "반도체/디스플레이 소자용 초음파 건식세정 시뮬레이션 연구," 전기전자재료학회논문지, 제17권, 제12호, pp. 1259-1263, 2004.
- [7] Mustafa Kemal Kulekci, "Processes and apparatus developments in industrial waterjet applications," International Journal of Machine Tools and Manufacture, Vol. 42, pp. 1297-1306, 2002.

박 창 범(Chang-Beom Park)

[정회원]



- 2006년 8월 : 호서대학교 디지털 디스플레이학과 (공학사)
- 2009년 8월 : 호서대학교 반도체 디스플레이학과 (공학석사)
- 2009년 9월 ~ 현재 : 세메스(주) 구매그룹 자재과장 재직중

<관심분야>

디스플레이 기술, FPD 세정

이 승 준(Seungjun Yi)

[정회원]



- 1997년 5월 : Univ. of Iowa 물리학과 (이학박사)
- 2000년 10월 : 하이닉스반도체 (선임연구원)
- 2004년 4월 : 씨엘디주식회사 (이사)
- 2007년 2월 : 대우일렉트로닉스 (수석연구원)

- 2007년 3월 ~ : 호서대학교 반도체/디스플레이공학과 교수

<관심분야>

TFT-LCD, OLED, Microplasma device

장 인 성(In-Soung Chang)

[정회원]



- 1990년 2월 : 서울대학교 공업화학 (공학사)
- 1992년 2월 : 서울대학교 공업화학 (공학석사)
- 1996년 2월 : 서울대학교 공업화학 (공학박사)
- 1997년 2월 ~ 현재 : 호서대학교 환경공학과 교수

<관심분야>

수처리, MBR, 청정기술