한국공작기계학회 2004 춘계학술대회 논문집 pp.269~274

TFT LCD 세정 방법에 대한 프로세스 개선에 관한 연구

홍 민 성*, 김 종 민+, 강 신 재

A Study on the Process Improvement in TFT LCD Cleaning

Hong Min Sung*, Kim Jong Min+, Kang Shin Jae

Abstract

As next generation display, TFT LCD gets into the spotlight, and the bigger glass size is required. Currently, its display size is 1500 mm by 1870 mm at the six generation comparing with 300 mm by 400 mm at the first one and the size is increasing continuously, which cause the difficulties to apply the cleaning operation including the general brush cleaning.

In this study, water-jet cleaning operation has been introduced, which spent the less water them other cleaning methods. Throughout the experiment, is has been found the possible damage of the declined cell and the variation of the tilt bias angle depending upon the increasing time. In addition, the simulation predicts the glass bending of the display.

Keywords : TFT-LCD(Thin Film Transistor Liquid Crystal Display), Water-Jet Cleaning(워터젯 세정)

1. 서론

우리는 정보화 사회라는 또 다른 큰 문명의 전환기를 맞이하고 있다. 이에 따라 세계는 그 변화 속도와 방향을 예측하기가 힘들며, 상상할 수 없는 변화의 속도로 무한 경쟁 체제로 바뀌어가고 있다. 특히 정보 네트워크, 멀티미디어 등의 급속한 발전은 이런 정보화 시대의 초석이 되고 있다. 이런 정보화 시대에 중요한 매체중 하나가 디스플레이이다. TV나 컴퓨터 모니터에 사용되고 있는 일반적인 CRT(Cathode Ray Tube) 디스플레이와 비교해 볼 때, TFT LCD (Thin Film Transistor Liquid Crystal Display)는 박막과 경량을 통한 이동의 편이성, 선명도와 고해상도, 저전압 구동 및 저전력 소모 등의 특징을 가지고 있다. 이러한 이유 때문에 TFT LCD 산업은 각광을 받고 있고, 많은 개발에 힘을 쏟고 있다. 또한 기술의 발전에 따라서 개발 속도와 단가는 점점 떨어지고 있다. TFT LCD는 현재 가전제품, 노트북 컴퓨터, 모니터, TV, PDA, 의료기자재 등의 여러 분야에 응용되고 있다. 이러한 TFT LCD는 여러 제조 공정 작업, 안정적인 이송과정, 그리고 완벽한 세정 공정을 요구하고 있다. 차세대 디스플레이로써 TFT LCD가 각광을 받고, 이에 맞추어 사용자도 점점 더 큰 디스플레이를 요구함으로 인해서 TFT LCD Glass의 크기가 점점 증대되고 있다. 1세대 TFT LCD Glass의 크기가 가로 300mm, 세로 400mm으로 시작하여 현재 6세대 LCD의 경우 가로 1500mm, 세로 1870mm의 디스플레이를 개발하고 있으며, 그 크기는 계속 증가하고 있다. 세대별 Glass 크기의 변천을 Fig. 1에 나타내었다. 이러한 크기는 Brush를 이용한 세정뿐만 아니라 여러 다른 세정의 사용에서도 많은 문제점을 나타내고 있다. 따라서 이러한 기존의 세정의 문제점을 해결할 수 있는 세정 방법

* 홍민성(mshong@ajou.ac.kr), 아주대학교 기계공학부
주소 : 442-749 경기도 수원시 영통구 원천동 산5번지
+ 아주대학교 기계공학과 대학원

이 필요해지고, 여러 가지 세정 방법들이 나오고 있다. 세정액과 공기를 파이프에 공급시킨 후 압력을 가하여 노즐을 통하여 세정하는 버블젯 세정(Bubble-jet Cleaning), 초음파의 캐비테이션 효과 및 입자 가속도 효과를 이용하여 세정하는 초음파 세정(Megasonic/Ultrasonic Cleaning)[1], 고압 에어 펌프를 이용해서 세정액을 작은 노즐로 분사시켜서 세정하는 워터젯 세정(Water-jet Cleaning)방법이 있다.[2] 현재 초음파 세정은 많은 세정 업체에서 사용되고 있고, 그 효율성이 입증이 되어 있으나, 워터젯 세정에 관해서는 현재 효율성을 검증받고 있는 단계이다. 또한 초음파 세정에서의 문제점들을 워터젯 세정을 통해 해결할 수 있어서 그 효율성에 많은 관심이 대두되고 있다.

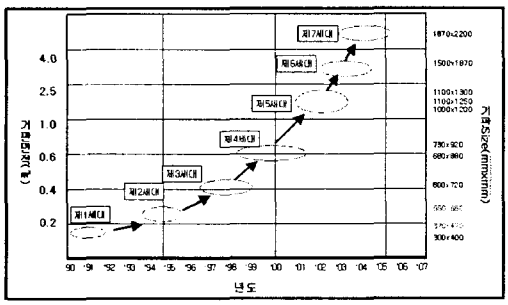

Fig. 1 Progress of TFT LCD Glass Size

2. 연구 내용

본 연구는 기존의 초음파 세정 방법의 문제점을 해결하기 위한 새로운 방법을 모색하고, 선정된 새로운 세정 방법의 효용성을 실험을 통해서 알아보고자 한다.

우선 현재 사용되고 있는 TFT LCD의 세정 기술을 살펴보고, 각 세정방법의 문제점과 특히 초음파 세정 장비가 가지는 문제점이 무엇인가를 알아보고, 이를 해결하기 위해서 어떤 방법으로 접근해야 하는가를 조사한다.

또한, 현재 6세대(1500mmx1850mm) TFT LCD 공정 중 Rubbing 후 워터젯을 사용했을 때 우리가 얻을 수 있는 Tilt Bias Angle 데이터를 이용하여 워터젯의 세정 효과를 분석하고, Glass의 안정된 반송과 빠른 미립자의 제거를 위해 유한 요소 해석 프로그램인 ANSYS를 이용하여 Glass의 처짐량을 예측하여 더욱 효과적인 세정 실험 결과를 검증한다.

3. TFT LCD 세정 기술

TFT LCD 제조 공정에는 많은 세정 공정이 조합되어 있고 각 공정에 대응한 세정 장치가 요구되고 있다.

세정장치에는 초기 세정장치, 성막전 세정 장치, Rubbing 후 세정 장치, 봉입 후 세정 장치 등이 있으며 각각의 목적에 따라 장치의 외관, 세정 공정의 차이가 있다. 세정 방법으로 물리적 방법, 화학적 방법, 광학적 방법이 있으며 이것을 조합하여 오염물 제거를 행한다. 각각의 공정을 거쳐 기판에 부착된 오염의 종류(유기, 무기, 미립자)나 부착강도, 부착강도, 부착상태에 따라 제거 수단을 선정한다. 또한 박막, Polyimide 도포 등의 막부착전에 세정에서 막의 균일성, 막의 부착강도를 높이기 위한 목적으로 Glass의 젖은 상태를 높인다.

세정방식에는 크게 나누어 Batch식과 매엽(枚葉)식이 있다. 현재 LCD 제조공정의 주류는 매엽 세정 방식으로 장치의 Compact화, In-Line화, 고정밀도 측면에서 우수하기 때문에 이 방식을 채택하고 있다. 그러나 고정도를 요구하지 않는 공정에서는 Batch식을 적용하고 있다.

3.1 TFT LCD 공정에서 세정의 역할

세정장치는 위에서 언급한 TFT LCD 제조 공정에 유해한 이물질을 제거하기 위한 것이며 세정 능력에 따라 잔류물을 크게 좌우하는 공정이다. 세정 공정은 전 TFT LCD 공정의 20 ~ 30%를 차지하고 각 공정에 따라 제거되는 이물질의 종류도 미세하게 차이가 있기 때문에 장치의 구성도 다르다. TFT LCD에서 세정 대상물과 그 영향은 Fig. 2와 같다.

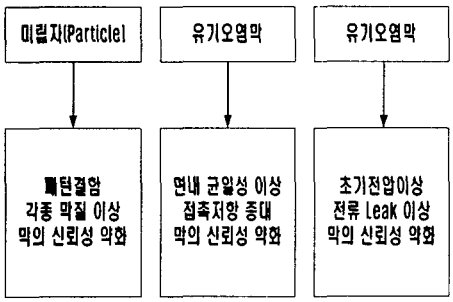

Fig. 2 Particle Type and Effection

이 중에서 특히 중요도가 높은 것은 미립자의 제거이다. TFT LCD의 제조 공정은 반도체의 제조공정과 같으며 Photo Lithography의 방법을 적용하고 있지만, 형성된 Pattern은 통상 수 ㎛이상이기 때문에 제거 대상이 되는 입자의 크기는 ㎛크기가 주류가 되고 있다.

4. TFT LCD 세정의 종류

TFT LCD 공정 중에서 오염원은 세제를 이용한 화학적인 세척 혹은 오존, 플라즈마 등의 방법에 의해

기도 세척이 가능하지만, 표면이나 Pattern에 견고하게 부착되어 있는 무기질의 미립자는 화학적인 방법만으로는 제거가 어렵다. 따라서 별도의 물리적인 세척요소를 사용해야 한다. 일반적으로 세척공정에서 사용할 수 있는 세척 방법에는 Brush, 스프레이, 초음파법등이 있으며, Brush는 일반적인 세척에 넓게 사용되는 방식이다.

4.1 브러쉬 세정(Brush Cleaning)

강한 고착물 혹은 큰입자 제거용으로 Disk Brush 와 Roll Type Brush 가 있다. Roll Brush는 평판 세척용으로 많이 사용되는데 길게 제작하는 것이 쉽고 구동이 단순하다는 특징이 있다. Roll Brush는 미립자 제거면에서 Disk Brush에 떨어지지 않으므로 많이 사용한다. 하지만 강한 미립자 제거에 유리한 반면 피세척물의 표면에 미세한 손상 및 Scratch 등을 일으킬 수 있기 때문에 주로 Pattern이 형성되기 전의 Glass 세척에 사용된다.

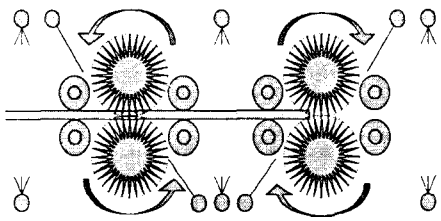

Fig. 3 Brush Cleaning

4.2 버블젯 세정(Bubble-Jet Cleaning)

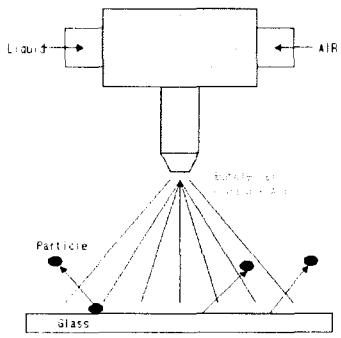

Fig. 4 Bubble-Jet Cleaning

Bubble Jet은 Pump에 의한 압력을 가진 액체와 기체를 노즐 내에서 혼합함으로써 물방울을 발생시키고 그 물방울을 고속의 기체 흐름에 의해 가속시켜 분사하여 Glass상의 유체의 타력으로 이물질을 제거한다. 일반적으로 Bubble Jet 세정은 약1~5kg/cm² 정도의 압력을 가진 Shower를 기판에 가해 이물질을 제거하며 Rubbing 후 세정 등 Brush가 사용되지 않는 형태의 부드러운 막에도 그 효과가 있다.

4.3 초음파 세정(Ultra/Megasonic Cleaning)

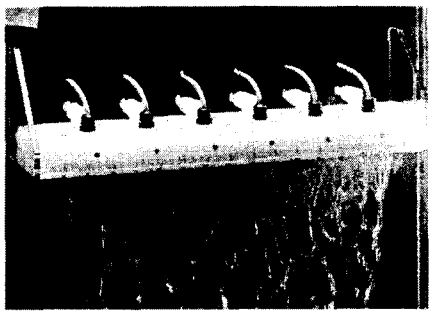

Fig. 5 Megasonic Cleaning

초음파 세정은 캐비테이션(cavitation)효과를 이용한다. 초음파가 액중에 전달될 때 액중에는 (+)압력과 (-)압력이 주기적으로 반복하게 되는데 (-)주기에서 미세한 기포가 발생된다. 이 기포는 적정한 크기에서 커진 다음 (+)주기 때 급격히 붕괴하며 이 때 큰 충격력이 얻어진다. 이 충격력은 작은 폭탄에 비유할 수 있을 정도로 강력하며 큰 파괴력을 가진다. 초음파의 주파수가 100KHz이상으로 높아지면 캐비테이션에 의한 효과보다는 물입자의 입자 가속도에 의한 세척효과가 커지게 된다.

즉, 캐비테이션 기포가 파열하여 오염 물질 사이에 틈을 만들고, 그 틈으로 기포들이 침투하여 파열함으로써 완전하게 오염물질이 분리하게 되고, 입자가속도 효과를 세정에 이용하는데 이러한 방법으로 세정하는 것이 초음파 세정법이다.

4.4 워터젯 세정(Water-Jet Cleaning)

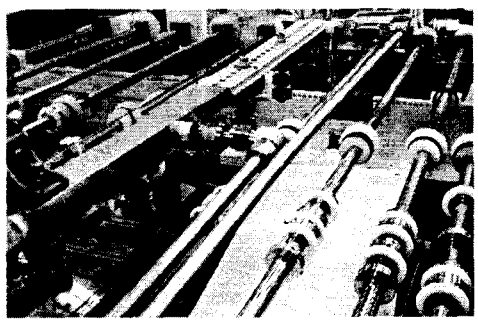

Fig. 6 Water-Jet Cleaning

워터젯 세정은 고압 에어 펌프를 이용하여 세정을 하는 장치이다. 우선 고압 에어 펌프에 압축공기와 세정수를 공급한다. 고압 에어 펌프는 압축공기만으로 작동을 하며, 이 때 세정수는 고압으로 만들어 지고 고압으로 만들어진 세정액은 작은 노즐을 통하여 약 5 ~ 30MPa정도의 압력을 가진 고압의 세정액을 분사하여 Glass상의 유체의 타력으로 이물질을 제거한다.

워터젯 세정은 Shower식 세척 방식으로 노즐의 세척액 분사각도 및 분사의 균일성을 확보하기 위하여 노즐의 분사각과 분사형태 노즐의 간격 등을 설정하는 것이 중요하다.

5. 초음파세정과 워터젯 세정비교

5.1 초음파 세정의 장 • 단점

초음파 세정의 경우 선 개발로 현재 많은 업체에서 사용되고 있다. 초음파 세정은 작은 미립자를 제거하는데 유용하여 사용하고 있지만, 많은 세정액을 사용해야만하고, 전력소모가 많다는 단점을 가지고 있으며 장비의 가격에 비해서 효율이 떨어지는 것으로 나타나고 있다. 또한 알루미늄 재질은 표면에 형성되어 있는 산화알루미늄 피막이 Cavitation에 의하여 박리되는 현상이 생기기 때문에 사용하기 어렵다. 또한 세정 Tank 내 세척액을 주입하지 않고 빈 Tank에 초음파를 진동시키면 진동자 전부에 치명적인 영향을 주기 때문에 세정액 없이 사용하는 것을 절대 금해야 한다. 장점으로는 Glass에는 초음파 공극에 의한 손상 없이 분자가속화 세정으로 입자 크기가 작은 미립자 제거에 효과가 있다.

5.2 워터젯 세정의 장 • 단점

워터젯 세정은 노즐을 통하여 세정액이 분사되기 때문에 노즐에서 나오는 유량이 세정 시 필요한 유량이 되는데, 6세대 Glass의 경우 18개의 노즐이 필요하다. 노즐 1개에서 분사되는 유량은 약 1ℓ/min 정도이다. 따라서 워터젯 세정은 현재까지 사용된 세정 장비 중에서 가장 소량의 세정액을 사용하고 있다. Table 1은 대표적인 세정 장치의 세정액 사용량이다.

Table 1 Usage of Cleaning Water (6th Generation)

세정 장치	세정액 사용량 (ℓ/min)
Brush 세정	70
Bubble-Jet 세정	75
Aqua Knife 세정	60
Magasonic 세정	150
Water-Jet 세정	18

또한 펌프의 구동은 초음파의 구동과는 달리 전력이 아니라 압축공기를 사용하기 때문에 초음파 세정에 비하여 매우 적은 전력을 사용하며, 초음파 세정장비에 비하여 가격이 저렴하기 때문에 효율이 높다고 할 수 있다.

5.3 실험 결과 검증 및 시뮬레이션 결과

Rubbing 후 세정의 경우 Tilt Bias Angle(TBA)의 영향과 기판의 Scratch 때문에 Brush는 전혀 사용할 수가 없기 때문에 Rubbing 후 세정에는 비접촉 세정장치인 초음파 세정이나 Bubble-Jet 세정방법을 사용하고 있다. 하지만 Glass가 점점 대형화되어 가면서 세정액 사용량이 이전과는 확연한 차이를 나타내고 있어 이를 대체할 수 있는 새로운 세정 장치를 요구하고 있다.

워터젯 세정의 경우 초음파 세정에 비해 많은 장점을 가지고 있다. 특히 TFT LCD 세정 공정에 사용되는 세정액의 양이 매우 많기 때문에 소량의 세정액을 사용하는 것은 매우 큰 장점이라고 할 수 있다. 그러나 초음파 세정과 워터젯 사이의 세정 능력에 대해서는 비교 분석된 데이터가 없기 때문에 그 우의를 확인하기는 힘들다. 따라서 본 연구에서는 다음에 제시하는 실험 데이터를 통하여 워터젯 세정의 실효성을 보이고자 한다.

또한, TFT LCD 제작에서 대부분의 경우 매엽식에 의하여 거의 모든 공정이 이루어진다. 따라서 안정된 반송은 전 공정에 걸쳐 매우 중요한 요소 중 하나이다. 워터젯 세정의 경우 세정액이 고압으로 되어 노즐을 통해 분사되어 세정할 때 Glass의 처짐은 상당히 크다. 따라서 시뮬레이션을 통해 Glass의 처짐량을 미리 예측하여 워터젯의 설치장소를 최적화함으로써 처짐량을 최소화하여 안정된 반송을 실현 할 수 있다.

5.3.1 실험 결과

실험을 통해서 Table 2와 같은 결과를 얻었다. 실험결과에서 세정액 사용량은 초음파 세정은 약 150ℓ/min , 워터젯 세정은 약 1ℓ/min가 사용되었으며, 전력소모량은 초음파 세정은 약 2200W, 워터젯 세정은 약 300W의 전력만을 사용하였다.

Table 2 Experimental Result

	초음파 세정	워터젯 세정
세정액 사용량(ℓ/min)	150	18
전력 소모량(W)	2200	300
배향막 손상 유.무	양호	양호
Glass Tilt Bias Angle	양호	양호
Particle 제거량(1 ㎛ 이상)	93%이상	91%이상

5.3.2 1차 실험

본 연구에서는 워터젯을 이용하여 Rubbing작업을 한 기판을 세정하였다. 실험에 사용된 TFT LCD기판의 크기는 가로 370mm 세로 470mm 이며, Pump의 압력은 각각 8, 10, 15, 18MPa이다. 노즐에서 Glass까지의 수직거리는 80, 100mm 이고 각각의 실험조건에 대하여 2회 실험을 하였다.

1차 실험의 주된 목적은 고압의 세정액이 노즐을 통해서 분사될 때 배향막의 손상 유무에 대하여 실험을 하였다. 1차 실험에서 Glass 반송 속도는 3000mm/min 이었다. 이 때 실험결과에서 각 셀에서의 문제점을 발견하지 못했다.

1차 실험 결과 노즐을 통해 분사되는 세정액이 고압임에도 불구하고 배향막에는 아무런 손상이 없었다. 그러나, 위의 실험을 통해서 원형 모양의 작은 흑점을 확인 할 수 있는데 이것은 워터젯의 영향이 아니라 다른 공정에서 Water Mark가 발생한 것임을 판별하였다.

5.3.3 2차 실험

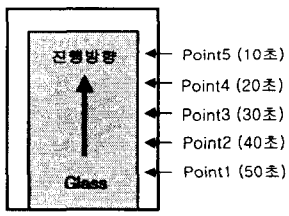

Fig. 7 Experimental Condition

2차 실험은 고압 세정 시 Tilt Bias Angle 변화에 대한 실험이다. 1차 실험 때와 마찬가지로 Rubbing작업을 한 Glass에 대하여 실험하였다. 2차 실험에 사용된 TFT LCD 기판의 크기는 가로 370mm 세로 470mm 크기의 Glass이며 실험은 총 3회에 걸쳐 진행되었다.

Fig. 8은 다음과 같은 조건 아래에서 수행한 결과이다.

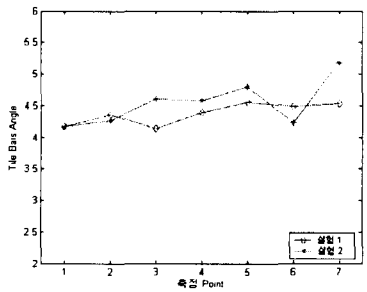

Fig. 9 Experiment Result #1 of Tilt angle

실험 1은 분사높이 100mm, 반송속도 1000mm/min, 압력 16MPa 에서 진행되었고, 실험 2는 분사높이 100mm, 반송속도 4000mm/min, 압력 18MPa일 때 결과이다. Fig. 9 는 고압의 세정수를 집중 분사했을 때 분사시간에 따른 Tilt Bias Angle의 영향을 보기 위함이다.

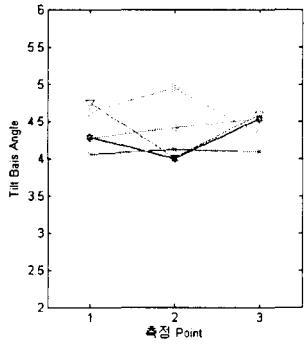

Fig. 9 Experiment Result #2 of Tilt angle

5.3.4 시뮬레이션 결과

거의 모든 작업이 매엽식에 의하여 이루어지는 TFT LCD공정에서 안정된 반송 시스템을 구축하는 것은 매우 중요한 요소 중 하나이다. 따라서 워터젯 세정 시 안정된 반송은 물론 워터젯의 설치 장소를 결정하기 위해 컴퓨터 시뮬레이션을 이용하여 처짐량을 미리 예측하였다. 시뮬레이션은 ANSYS를 사용하였다. 시뮬레이션을 수행한 Glass는 가로 1500mm, 세로 1850mm이고 두께가 0.7mm 인 6세대 TFT LCD Glass이다. 컴퓨터 시뮬레이션에 필요한 Glass의 물성치는 Table 3 에 나타내었다.

Table 3 Glass Material Property

Young's Modulus (kg/mm^2)	7.38×10^3
Poisson's Ratio	0.29
Density (g/cm^3)	2.54

노즐에서 분사된 세정액이 Glass 위에 부딪칠 때 Glass 처짐량을 보고자 한다. Fig. 10에서 Shaft Pitch를 100mm로 하였고, 구속조건은 A 부분은 전체 구속을 하였고, B 부분은 8 Point를 일정간격으로 나누어 구속을 하였다.

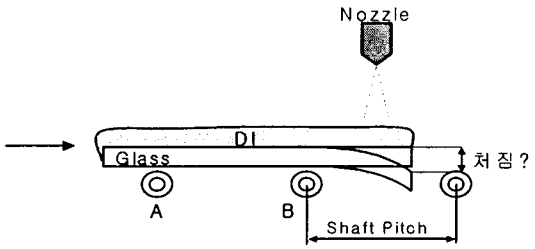

Fig. 10 Concept of Glass Modeling

본 연구에서는 가로 1500mm, 세로는 200mm를 모델링하여 시뮬레이션을 수행하였으며, Fig. 11는 시뮬레이션을 하기 위하여 FEM 모델링을 하고 해석을 수행한 것이다.

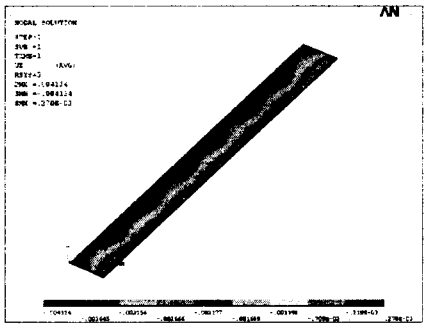

Fig. 11 Result of Glass Bending Analysis under Water-jet Spray

시뮬레이션 결과 워터젯을 사용했을 때 Glass의 처짐량은 4.134 mm가 되었고, Glass 자중에 의한 처짐량은 0.379 mm이었다. 워터젯을 분사하였을 때와 자중에 의한 처짐량을 비교하였을 때 워터젯 분사시 Glass가 순간적으로 휨 현상이 발생한다. 따라서 순간적인 휨 현상에 의해 Glass위의 배향막이 손상을 입을 수 있다. 이와 같이 워터젯을 분사했을 때 Glass의 처짐량을 최소로 하기 위하여 워터젯의 설치 위치는 Shaft 바로 위가 가장 좋은 위치라고 판단된다.

6. 고찰

위의 실험 결과를 살펴보면 우선, 다른 세정 장치에 비하여 현저하게 세정액 사용량이 크게 줄었음을 알 수 있다. 세정 장치에서 세정액을 적게 사용함은 Glass가 대형화 되어 가고 있는 상황과 TFT LCD 공정에서 볼 때 매우 많은 이득을 가지고 있다. 또한 전력 소모량 차이도 10배 가까이 줄어들었으며, Rubbing 작업 후 워터젯 세정을 하였을 때 배향막 이상 유무 실험에서 아무런 손상도 발생하지 않았으며, Tilt Bias Angle을 조사한 결과 각도가 4 ~ 6° 사이에 있었다.

액정 주입을 하여 완제품을 제작하였고, 여러 가지 테스트를 통해 이 제품이 문제가 없음을 알 수 있었고, 미립자가 올바르게 제거되었음을 알 수 있었다.

7. 결론

현재 TFT LCD 는 대형화 되어 가고 있으며, 이로 인해 많은 세정액을 사용하고 있다. 본 연구에서는 세정액을 적게 사용하면서 일반세정은 물론 특정 공정 후 세정에 워터젯을 사용하여 그 효율성을 검증하였다. 따라서 본 연구를 통해 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 초음파 세정과 워터젯 세정의 특징을 비교 분석하였고, Rubbing작업을 한 Glass에 대하여 워터젯 실험을 통해서 배향막에 아무런 이상이 없음을 알 수 있었다.
2. 워터젯의 분사시간 증가에 따른 실험에서 Tlit Bias Angle은 매우 안정적이었으며, 여러 실험을 통하여 기존에 많이 사용되고 있는 초음파 세정에 비해서 워터젯 세정이 우수함을 알 수 있었고 현장에서 적용이 가능함을 밝혔다.
3. 위의 결과를 토대로 하여 실제 TFT LCD 세정의 공정을 개선할 수 있다.

참고문헌

[1] T. H. Kuehn, D. B. Kittelson, Y. Wu and R. Gouk,"Particle removal from semiconductor wafers by megasonic cleaning", Journal of Aerosol Science, Vol. 27, pp. 427-428, 1996

[2] Mustafa Kemal Kulekci, "Processes and apparatus developments in industrial waterjet applications", International Journal of Machine Tools and Manufacture, Vol. 42, pp. 1297-1306, 2002