

기술 특 집

4세대 급 기판을 이용한 OLED 생산용 Alignment System 개발

한석운, 박재용, 이남훈, 최정옥(두산 메카텍)

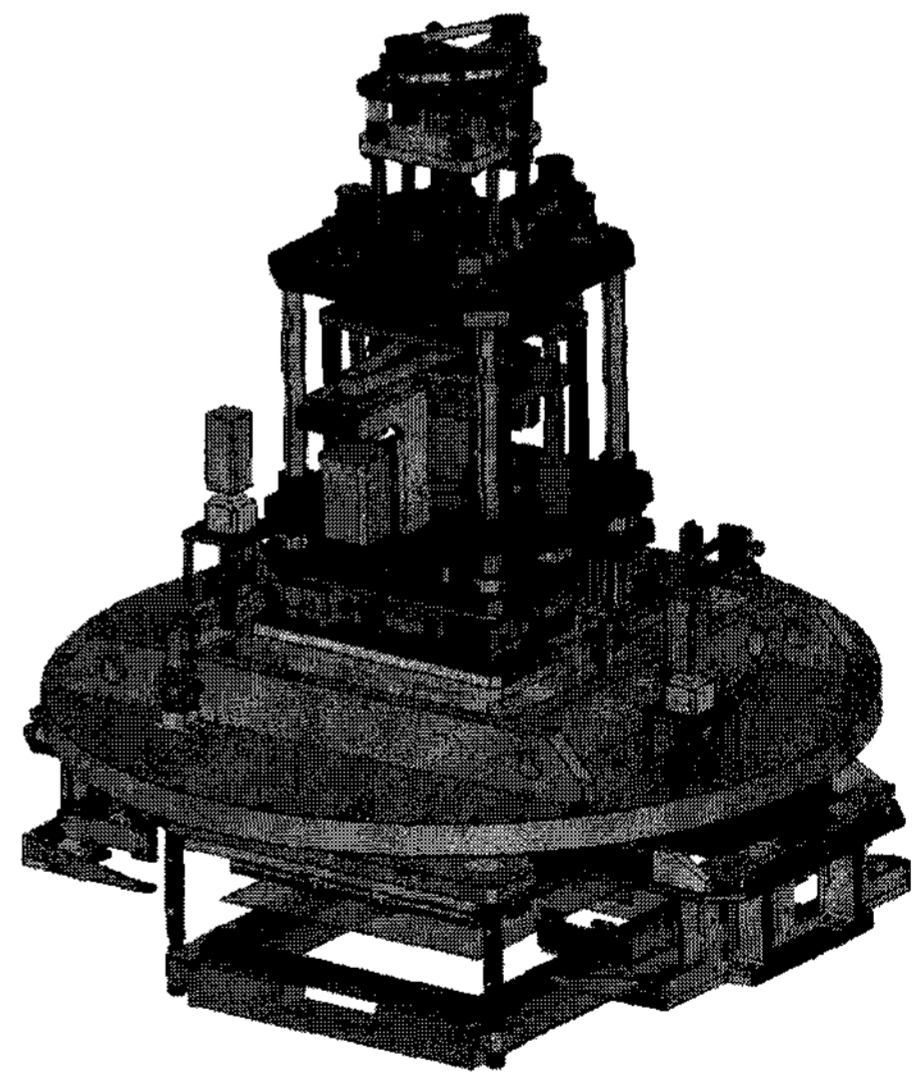
I. 서 론

최근의 OLED 디스플레이 업체들은 앞 다투어서 언론매체 및 전시회 등을 통해서 대형화된 LCD 및 PDP TV 시장을 본격적으로 추격에 나서겠다고 발표하고 있다. 일본의 Sony가 AMOLED TV를 양산하여 올 12월부터 11인치 제품으로 시판 예정에 있으며, 삼성SDI에서도 중소형 제품에 이어 2009년에 14, 15, 21인치 및 2010년까지는 대형 사이즈로 40, 42인치를 개발할 계획이라고 로드맵을 밝힌 바 있다.^[1] 또한, 대만의 CMEL는 25인치를 이미 개발하였으며 2009년 하반기부터는 AMOLED TV가 양산이 가능하다는 기술력을 과시하고 있다.^[2] 이와 아울러 세이코 애플스 측에서도 전면발광(top emission)용 8인치 패널을 개발해 카네비 게이션을 포함해 소매점에서 이용되고 있는 소형 LCD를 대체하는 목표로 올 연말부터 생산을 계획하고 있으며 향후 21인치까지 확대할 방침을 발표한 바 있다.^[3] 이처럼 대부분의 OLED 디스플레이 업체에서는 휴대폰 및 소형 어플리케이션으로부터 모니터, TV와 같이 대형화, 고화질, 고해상도의 제품 개발에 집중하고 있다. 저분자 유기물을 이용한 상향 증착기술이 생산기술의 주종을 이루고 있는 현 시점에서 중대형 OLED 디스플레이 개발과 생산을 위해 대형 기판을 이용한 증착 장치 기술 개발이 가속화되고 있다. 특히 고정세 Mask와 기판간의 정렬기술 및 정렬장치는 대형 OLED 제품 생산에 핵심 생산기술 중 하나로 중요한 역할을 하고 있다.

본 호에서는 4세대 (730×920mm²)급 이상의 기판을 사용하여 OLED 제품 생산을 위한 핵심 생산기술 장치로서 기판과 Mask간의 정렬장치(alignment system)를 3가지 핵심 요소 기술(substrate loader부, CCD 카메라, magnet unit)로 분류하고 이들 핵심 요소 기술들의 개발 내용 및 개발된 대면적용 Alignment System 개발의 결과를 기술하고자 한다.

II. 대면적용 Alignment System 개발

본 시스템은 대면적 기판(730×920mm²)을 이용한 OLED 패널을 제작하기 위한 정렬장치로서, 각 구성장치의 성능은 Stage의 반복 정밀도와 위치 정밀도를 각각 $\pm 1\mu\text{m}$ 이하, Vision Accuracy $\pm 1\mu\text{m}$ 이하, TACT Time 30 sec. 이내로 하여 최종 정렬도가 $\pm 3\mu\text{m}$ 이하의 성능을 발휘하도록 개발목표를 확정하고 아래 [그림 1]과 같이 설계를 진행하였다.



[그림 1] 대면적용 Alignment System 개략도

1. 기판(substrate) Loader부

외부로부터 이송되어 유기물 및 Metal 전극 증착 챔버로 투입된 대면적용 기판이 휘거나 구부러짐 없이 원래의 형상으로 플랫(flat)하게 유지하는 것은 얼라인 기구부 장치의 핵심 기술로 실제로 챔버 내에서 유효증착 면적을 최대화 확보하려할 때, 기판내의 데드스페이스(dead space) 즉, 기

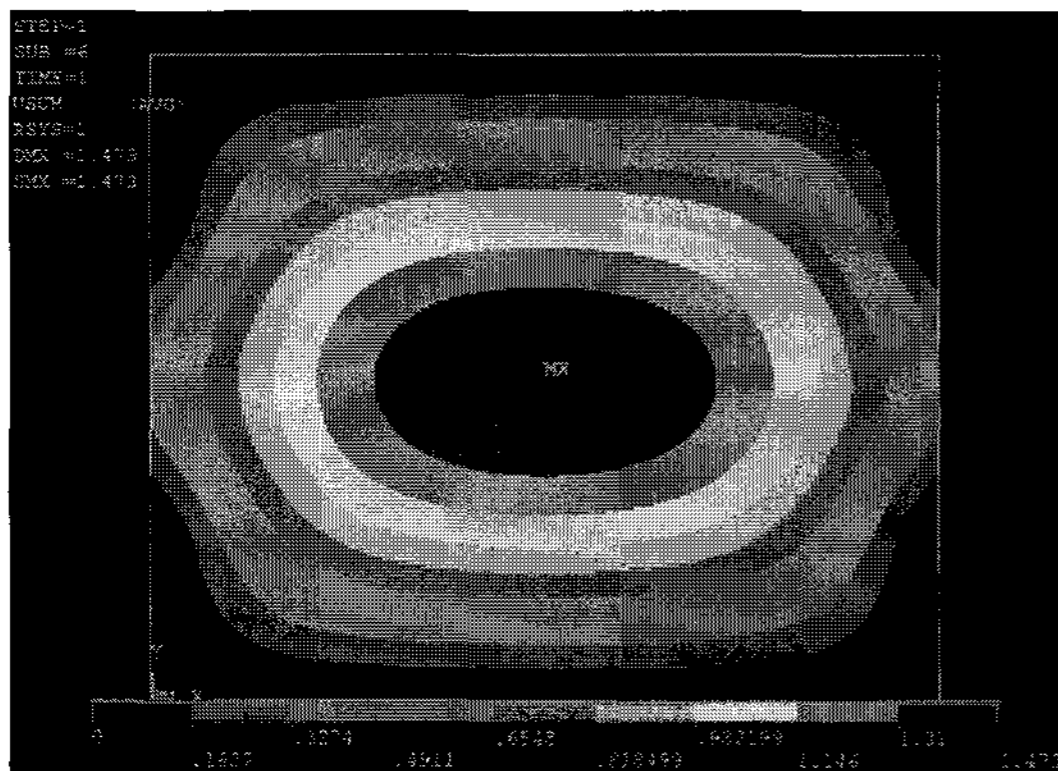
판을 지지하는 부분이 5mm 안팎에 지나지 않아 기판의 최외곽부를 지지하여 기판을 플랫폼하게 유지하기에는 매우 어려우며, 이는 기판 하부에 위치하는 Mask Frame과도 간섭을 유발시켜 결과적으로 정렬과정 후 기판과 Mask간의 합체 과정에서 초기 정렬도에 대한 추가 정렬 오차를 발생하게 된다. 이러한 문제를 해결하기 위해 자사는 기판의 휨 현상을 최소한으로 보정하기 위한 방안으로 기판의 국부적 영역에 힘을 가하는 방법으로 Stretching법^[2]과 Clamping하는 방법을 개발하였다.

Clamping 방법은 기판의 끝단을 상하로 잡아 주어 기판의 휨 현상을 최소화 하고 정렬과정에서 기판의 이동을 막아 줌으로써 기판의 정렬과정을 수행하게 되나, 일정 정도 기판의 휨을 플랫폼한 형태로 보완하는 데는 한계가 있다. 그에 반해 Stretching법은 기판의 양면 끝 전체를 Clamping한 상태에서 양방향으로 텐션(tension)을 가하는 방법으로 기판 원래의 형상대로 플랫폼하게 할 수 있는 반면, 챔버 내 텐션을 가할 수 있는 시스템을 구비하여야 하므로 챔버 용적률의 증가 및 제어 Sequence가 추가되는 한계가 있다. 공정시간의 단축과 정렬오차를 최소화하여 OLED 생산용 장치기술 구현의 최적화를 위해 기판 Loader부에 Clamping만을 사용한 방법에 대한 결과를 중심으로 기술하고자 한다.

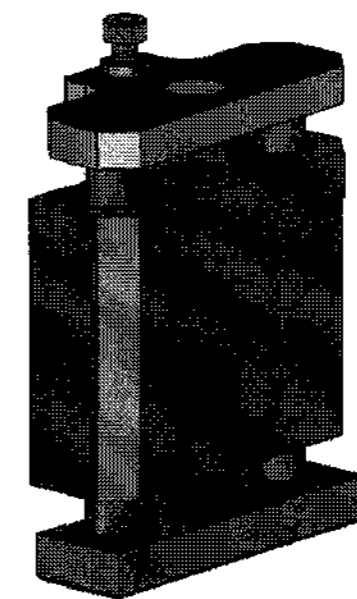
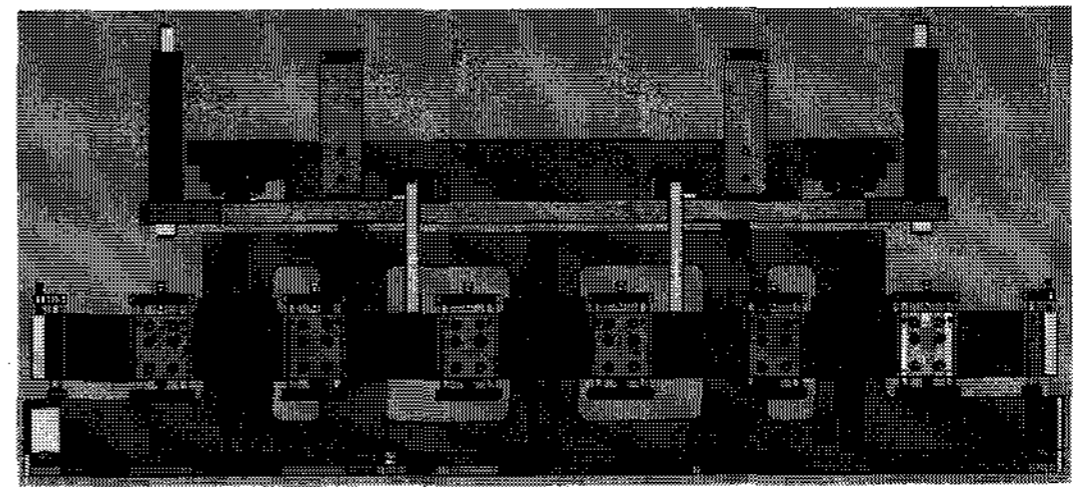
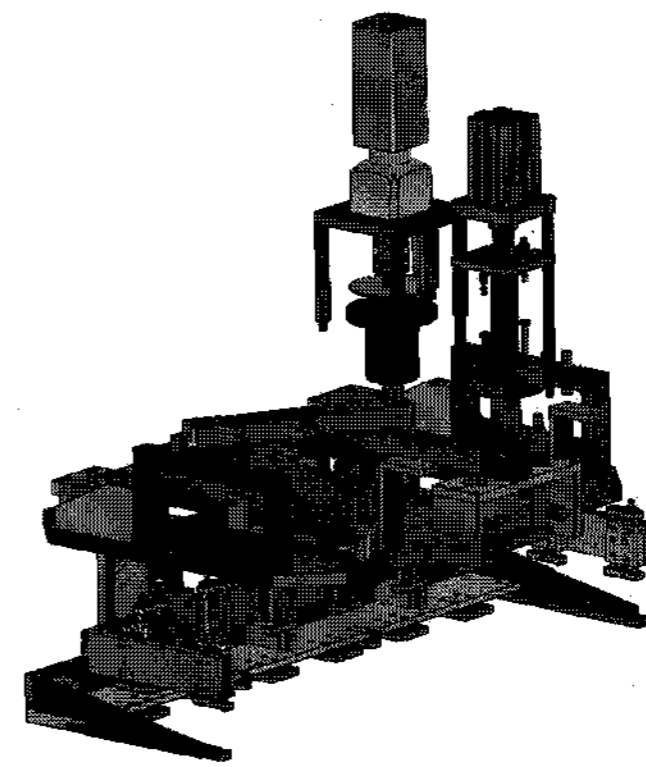
본 Alignment System 개발에 있어 적용된 기판의 Loader부는 시뮬레이션[그림 2]를 통해 Stretching의 동작없이 기판의 휨 현상을 최소화하기 위해서는 기판의 장변(920mm 방향) 및 단변(730mm 방향) 각각 6point, 4point로 기판을 지지하고 기판의 상부를 다시 Press를 가할 때, 최소한의 기판 휨을 유지하는 것을 알 수 있었다.

[그림 2]와 같이 최소한의 기판의 휨 현상을 보이는 조건을 아래의 [그림 3]과 같이 설계를 진행하여 기판 Loader부를 구성하였다.

실제로 제작된 기판 Loader부는 Clamping 방식으로, 기판의 장변과 단변에 지지하는 각 포인트를 미세 면적[5mm(폭)×60mm(길이)]으로 제작하였으며, 실제 제작된 기판 Loader부에 장착된 기판의 휨 현상은 구속된 기판의 끝단에 비해 약 1.5mm 처짐을 알 수 있었으며, 이는 [그림 2]의 시뮬레이션(1.473mm) 결과와도 잘 일치한다.



[그림 2] 기판 처짐 시뮬레이션 결과

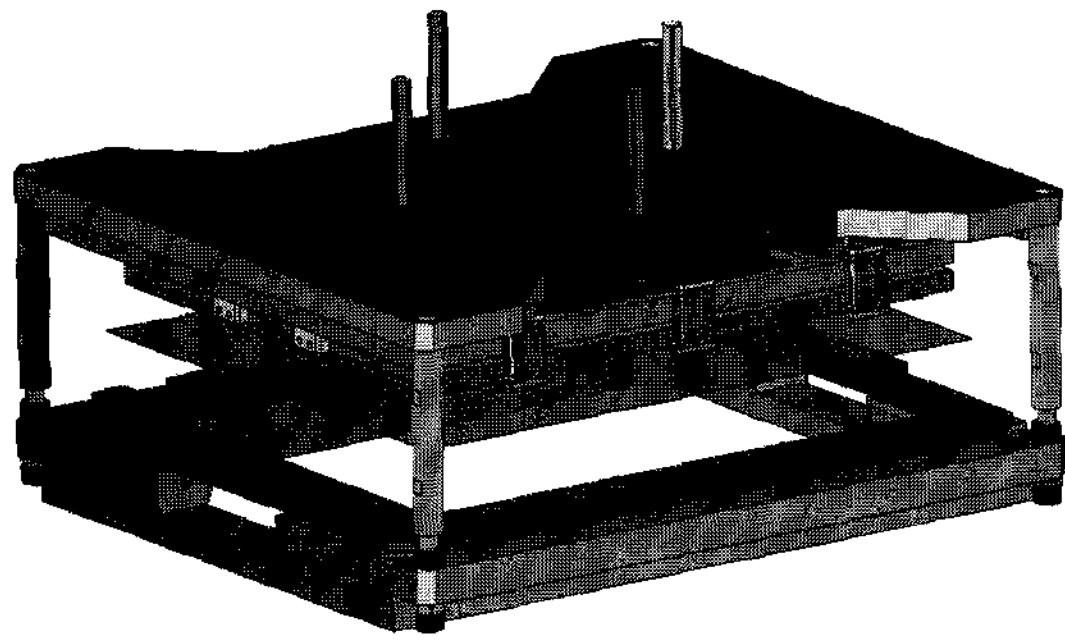


[그림 3] Substrate Loader Unit(상), 장변(920mm 방향, 중) 및 Clamp(하)

2. Magnet Unit

유기물을 증착함에 있어 Mask에 의한 증착물질의 Shadow 현상 및 Mask를 통과한 유기물이 패턴된 기판에 정확히 증착될 수 있도록 Mask와 기판의 이격된 틈을 최대한 줄이기 위한 방안으로 일반적으로 기판 상부에 영구자석을 포함하는 기구부를 구성한다. Shadow 현상을 최소화하기 위해 Mask는 자력에 영향을 받도록 자성 성분을 포함하며 열팽창률이 최소인 인바(Invar)의 재질을 주로 사용한다. 한편, 정전 흡착장치를 이용하는 방법^[3-6]을 사용하기도 하나 이 시스템으로 구축하게 되면 챔버 내외부가 복잡해지며 열이 발생되어 Mask가 팽창되는 등 고정세 Mask에 심각한 Damage를 줄 수 있다. 이러한 이유들로 현재에는 주로 영구자석을 이용하여 기판과 Mask를 밀착시켜 Shadow 현상을 최소화하도록 시스템을 적용하고 있다. 현재 적용하고 있는 영구자석으로는 네오디움(neodymium)과 고무자석(염소화폴리에틸렌, chlorinated poly ethylene) 등이 사용되고 있다.

네오디움 자석은 바(bar) 형태나 원형 등의 일정한 형태를 가지고 있으며 이를 배열하는 데 각별한 노력이 필요하



[그림 4] Magnet Unit 개략도

다. 그 이유는 Mask의 패턴이 Grille Type일 경우는 영구 자석의 자기력선 방향을 잘 고려해야만 밀착시 Mask의 패턴이 서로 꼬이거나 뒤틀림 현상을 제거할 수 있다. 이에 반해, 흔히 볼 수 있는 Sheet Type의 고무 자석은 기판 및 Mask의 크기 및 패턴의 방향에 큰 제약 없이 자석배열이 용이한 장점이 있다. 그러나 Sheet Type의 고무자석은 네 오디움 자석에 비해 자력이 약하므로 자석에서 Mask까지의 거리를 적정하게 유지하는 것이 시스템 구성에 각별히 요구된다.

본 시스템에서는 위 [그림 4]와 같이 얇은(3mm) SUS 플레이트 위에 5mm 두께의 Sheet Type 고무자석을 배열하여 정렬과정이 완료되었을 때 Mask까지의 총 거리를 가변함으로써 기판의 하부와 Mask 상부 사이에서 형성되는 자속을 최적화하였다.

3. CCD 카메라 Unit

정교한 얼라인을 위해 기판 및 Mask 얼라인 Mark의 선명한 이미지(image)를 얻는 것 또한 이 시스템의 핵심 구성요소이다. 이에, 카메라의 렌즈로부터 얼라인 Mark까지의 거리인 Working Distance, FOV(field of view), DOF(depth of focus, 심도), 카메라 렌즈 그리고 동축 조명 및 외부 조명 등 시스템 사양에 적합한 카메라의 선정이 중요한 포인트이다.

본 시스템에 적용된 카메라의 세부사항으로 챔버 내의 기구부와와의 간섭을 회피하기위해서 476mm의 Working Distance 및 2.6mm의 심도를 갖는 CV-A1 모델을 선정했으며, 이는 1392pixel(h)×1040pixel(v)의 해상도(resolution)로 FOV 3.3×2.5mm²를 보이게 된다. 이를 계산하게 되면, FOV 내의 한 Pixel은 2.3μm×2.4μm에 해당된다. 이를 다시 Soft Program상으로 1/10에 해당하는 0.23μm×0.24μm의 Sub-Pixel로 세분화하여 정렬과정을 수행할 수 있어 본 개발을 위한 Vision 성능으로 충분하다고 판단되어진다. 한편 보다 선명한 영상을 얻기 위해 동축 조명이외의 조명 감도 조절 기능을 갖춘 LED 외부 조명으로 보완했으며, 외부의 진동으로 인해 같은 영상간의 오차를 최대한 줄이기 위해 CCD 카메라를 고정대(bracket)로 지지하였다.

III. Alignment System 특성 평가

본 대면적용 Alignment System의 특성을 평가하기 위해 Stage, Vision 및 Align으로 구분하여 각각에 대한 Accuracy를 측정하였다.

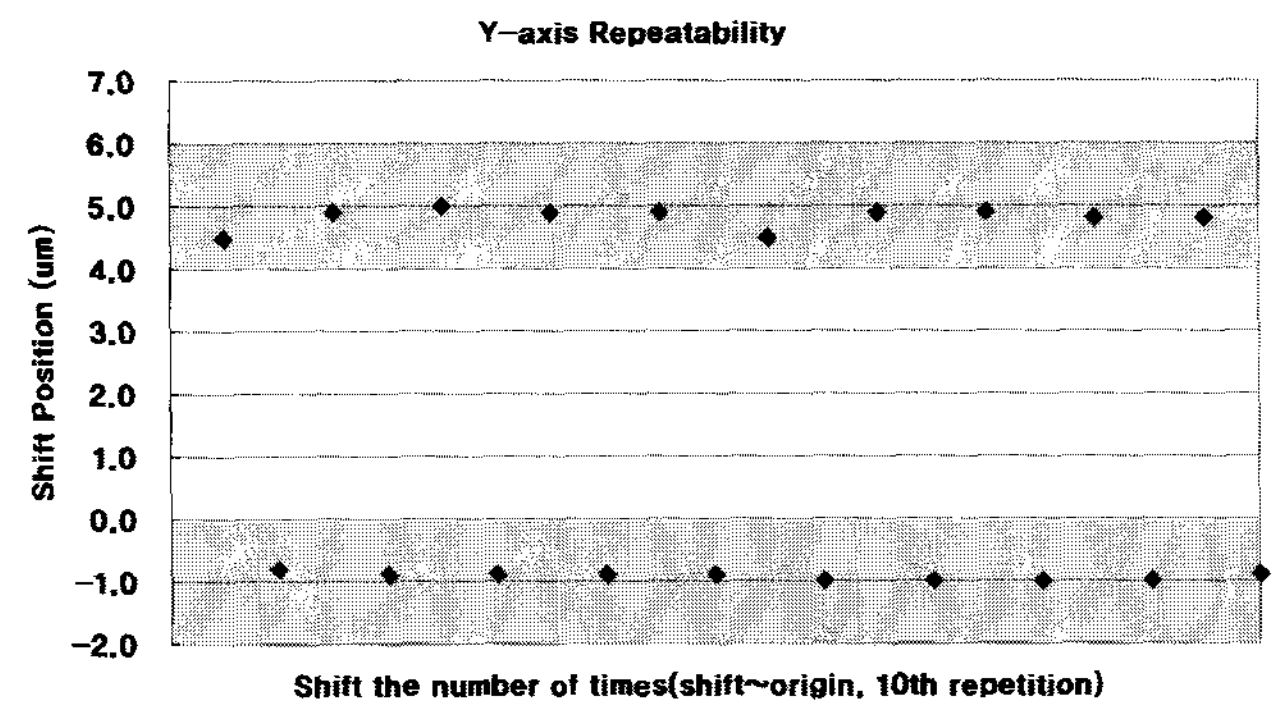
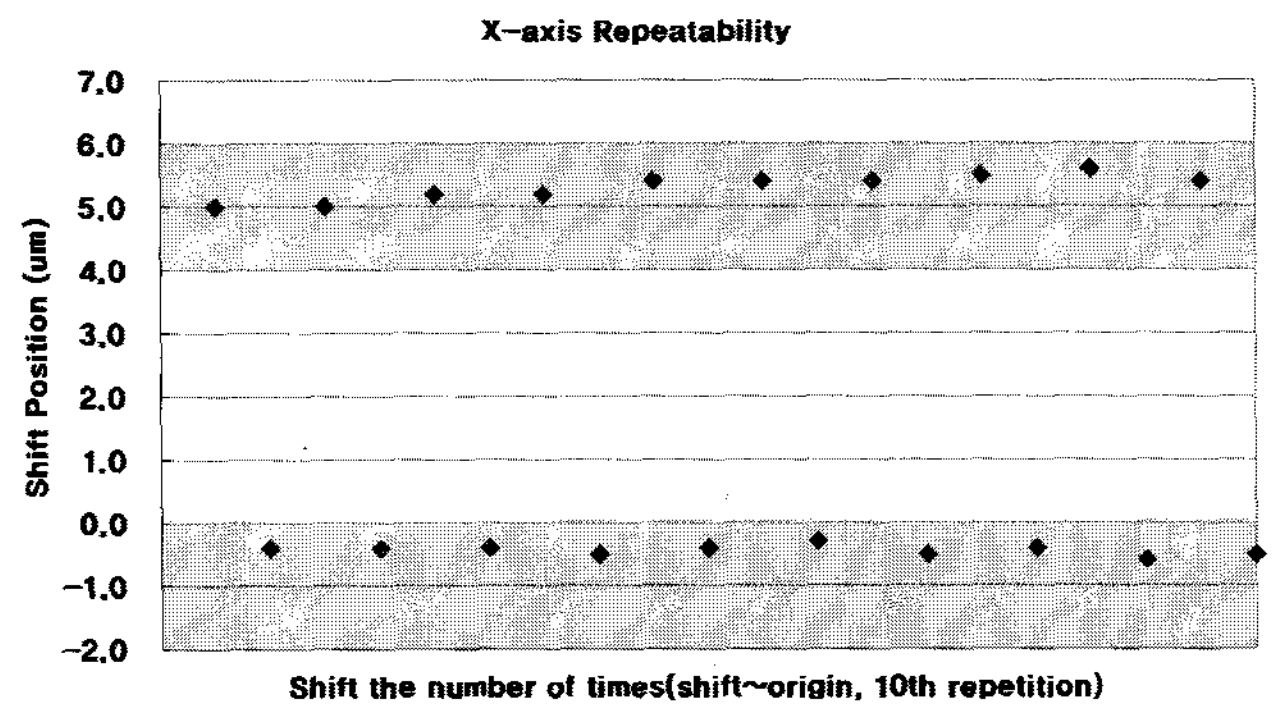
1. Stage 특성

Step Motor로 구동하는 UVW Type의 Stage로 X, Y축 간의 매우 정교한 반복 정밀도(repeatability)와 위치 정밀도(position accuracy)를 요구한다. 이는 ±3μm 이내의 정렬도를 구현할 때, 프로세스 TACT 및 기판과 Mask 간의 Off-set(x, y축 이동) 적용 시 본 시스템의 성능을 판단할 수 있는 기준이 된다.

본 Stage 시스템에서 X, Y축 각각에 대해 원점(0μm)에서 5μm까지 10회 반복을 통한 측정 결과를 아래의 표 및 그래프에 나타내었다.

아래 [그림 5]에서 보듯이 Stage의 X축을 원점(0μm)

0 ~ 5um	1회		2회		3회		4회		5회		6회		7회		8회		9회		10회		
	이동	원점	이동	원점	이동	원점	이동	원점	이동	원점	이동	원점	이동	원점	이동	원점	이동	원점	이동	원점	
X-axis	X1	5	0	5	0	5	0	5	0	5	0	5	0	5	0	5	0	5	0	5	0
	X2	5	0	5	0	5	0	5	0	5	0	5	0	5	0	5	0	5	0	5	0
측정값(um)	X	5.0	-0.4	5.0	-0.4	5.2	-0.4	5.2	-0.5	5.4	-0.4	5.4	-0.3	5.4	-0.5	5.5	-0.4	5.6	-0.5	5.4	-0.5
Y-axis	Y	5	0	5	0	5	0	5	0	5	0	5	0	5	0	5	0	5	0	5	0
	측정값(um)	Y	4.5	-0.8	4.5	-0.9	5.0	-0.9	4.9	-0.9	4.9	-0.9	4.5	-1.0	4.9	-1.0	4.9	-1.0	4.8	-1.0	4.8



[그림 5] X-axis & Y-axis Stage Repeatability

에서 +방향으로 5 μ m 이동시킨 후, 다시 원점(0 μ m)으로 복귀하는 동작패턴을 10회 반복한 결과에 있어 모든 포인트가 열린 색 공간 내에 위치하므로 $\pm 1\mu$ m 이하의 반복 정밀도를 보임을 알 수 있었다. 마찬가지로, Y축에 대해서도 위와 같은 방식으로 반복 정밀도의 특성을 평가한 결과 X축과 같은 결과를 나타내었다.

본 Stage의 또 하나의 특성 평가 항목으로 현 위치에서 일정 구간 이동시킬 때 최소한의 오차 범위 내에서 얼마만큼 정확히 움직이는지 성능을 판단하는 위치 정밀도(position accuracy)라 할 수 있다. X, Y축에 대해서 [0 μ m \rightarrow 5 μ m \rightarrow 10 μ m \rightarrow 20 μ m \rightarrow 30 μ m \rightarrow 50 μ m(+방향에서 다시 -방향인 원점으로) \rightarrow 30 μ m \rightarrow 20 μ m \rightarrow 10 μ m \rightarrow 5 μ m \rightarrow 0 μ m]의 순으로 일정 구간씩 이동시켜 stage의 위치 정밀도 특성을 아래 [표 1]에 나타내었다. 이 또한 기준이 되는 구간에서 X, Y축 모두 $\pm 1\mu$ m 이내의 오차를 나타냄을 알 수 있었으며, 결과적으로 본 개발에 사용된 stage는 대면적 얼라인 시스템으로서 신뢰할 수 있는 기능을 보임을 알 수 있다.

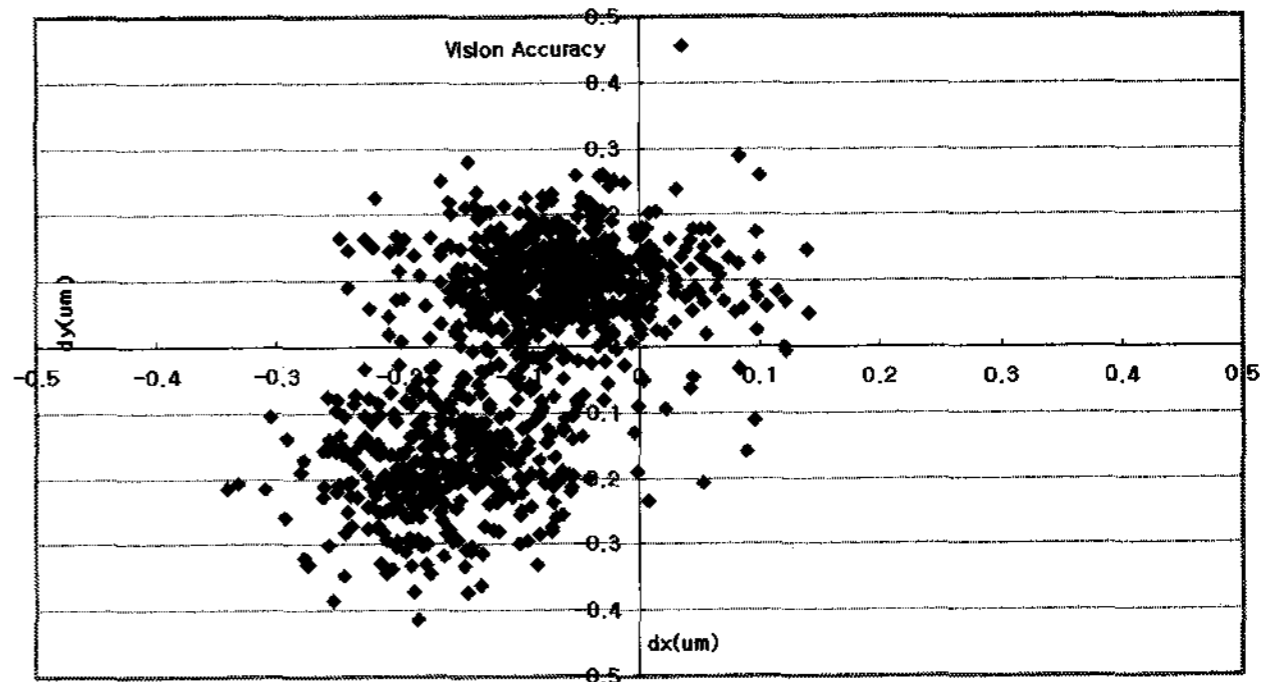
[표 1] X-axis & Y-axis Stage Position Accuracy (단위 μ m)

X-axis	0	5	10	20	30	50
(+방향)	0.0	4.3	9.3	19.4	29.3	49.3
(-방향)	0.1	4.6	9.9	19.9	29.1	
(+방향)	0.0	4.5	9.6	19.6	29.5	49.4
(-방향)	-0.1	4.5	9.7	19.5	28.8	
(+방향)	0.0	4.3	9.6	19.7	29.6	49.6
(-방향)	-0.1	4.9	10.0	20.0	29.2	
(+방향)	0.0	4.5	9.6	19.6	29.6	49.5
(-방향)	-0.1	4.9	9.9	19.9	29.1	
(+방향)	0.0	4.4	9.6	19.6	29.6	49.5
(-방향)	-0.1	4.8	9.7	19.9	29.0	

Y-axis	0	5	10	20	30	50
(+방향)	0.0	5.0	9.9	19.8	29.9	49.8
(-방향)	0.2	4.9	10.4	20.5	29.4	
(+방향)	0.0	5.0	9.9	20.2	30.2	50.2
(-방향)	0.3	4.9	10.5	20.6	29.2	
(+방향)	0.0	5.1	10.2	20.2	30.3	50.5
(-방향)	0.3	5.0	10.5	20.7	29.3	
(+방향)	0.0	4.9	10.0	20.4	30.4	50.5
(-방향)	0.3	5.0	10.5	20.7	29.5	
(+방향)	0.0	4.9	9.9	20.1	30.4	50.3
(-방향)	0.1	4.9	10.4	20.7	29.7	

2. Vision Accuracy 특성

고해상도의 OLED 패널을 제작하기 위해서 Pixel간의 Pitch가 줄어들어 정교한 얼라인이 이루어지지 않으면 타색 침범 등의 Misalignment가 발생하게 됨으로 고해상도의 패널 제작이 어려워진다. 기판과 Mask의 정렬과정에 있어 각 정렬 Mark의 선명한 이미지를 추출하는 것과 동일한 위치에서 수백 회 이상 반복적으로 추출된 정렬 마크의 이미지 또한 오차가 거의 없어야 할 것이다. 이에 본 호에서는 기판과 Mask의 정렬이 완료된 상태 즉, 증착과정 전의 위



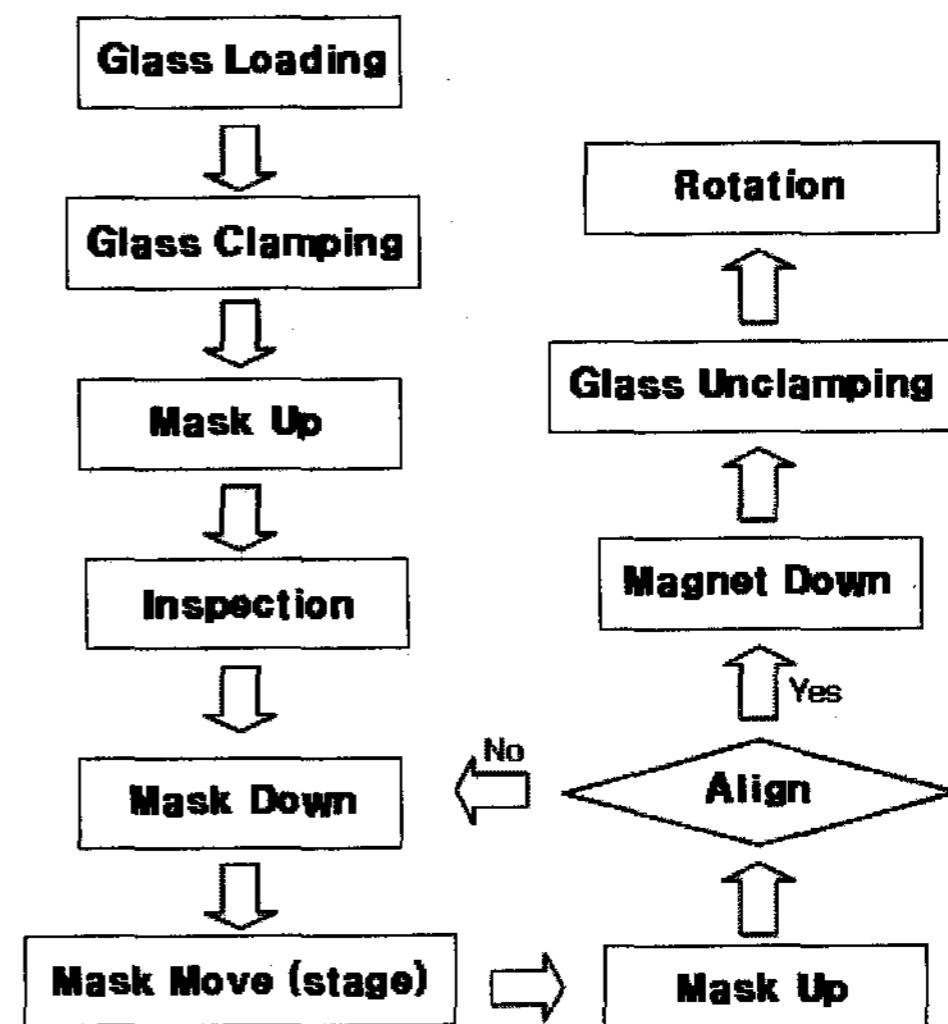
[그림 6] 증착 전 위치에서의 Vision Accuracy 1,000회 측정 결과

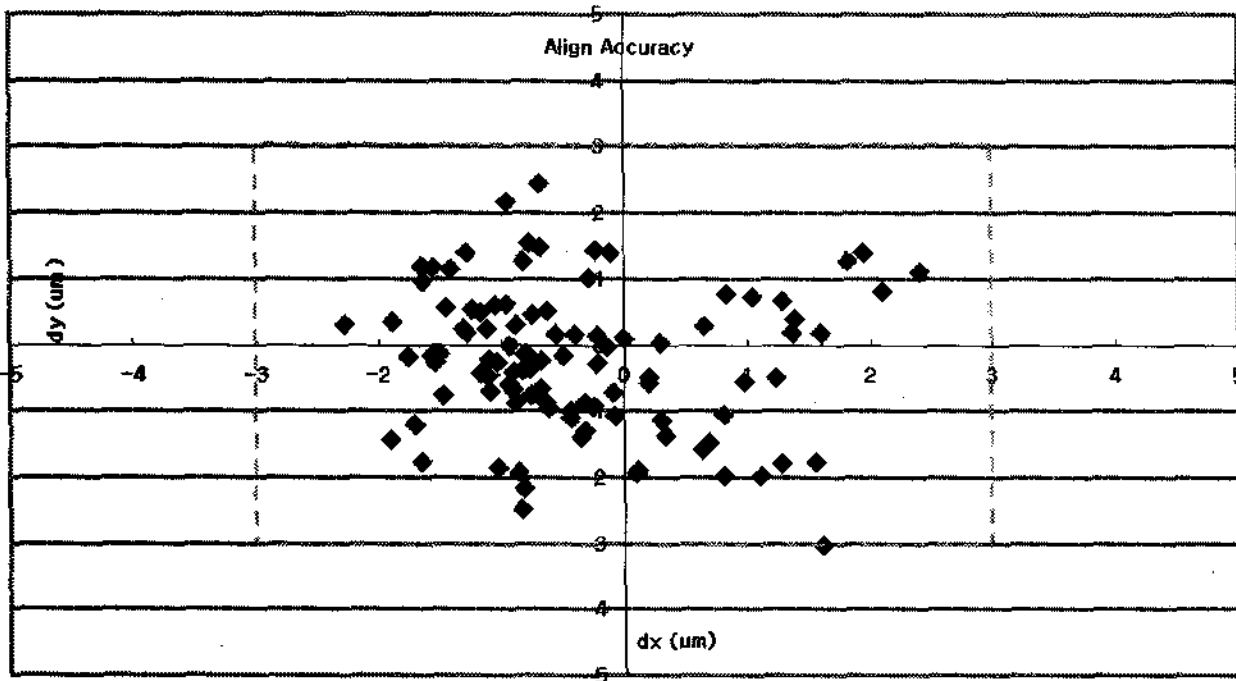
치에서 기판 및 Mask 정렬 Mark를 1,000회 측정한 결과를 아래의 [그림 6]에 나타내었다. 이는 Vision을 통해 측정된 정렬 값(dx, dy)에 대해서 매회 측정된 정렬 값의 차이를 표현한 것으로 전 횟수에 걸쳐 $\pm 0.5\mu$ m 이내의 오차 범위에 있음을 볼 수 있다. 이는 매회 측정 결과가 정렬 Mark를 Vision에서 동일한 이미지로 추출하고 있음을 판단 할 수 있으며, Vision 및 정렬 Mark에 영향을 줄 수 있는 외부 진동의 영향 즉, 크라이오 펌프(cryo pump) 등의 외부 진동 요인들이 이미지 추출에 영향을 미치는 정도가 무시할 수 있을 만큼 적다고 판단 할 수 있다.

3. Align Accuracy 및 TACT Time 특성

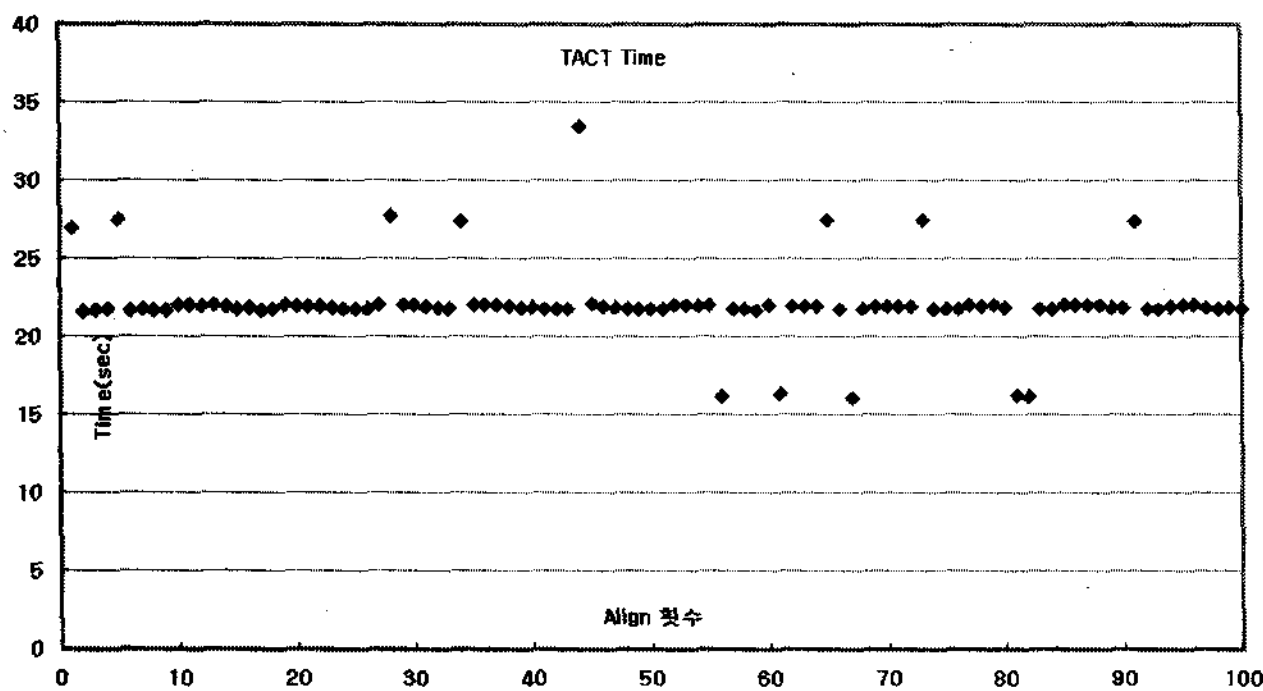
기판 이송에서부터 증착 전 단계(rotation)까지의 정렬과정 Flow Chart를 아래 [표 2]와 같이 도식화할 수 있다. 아래 [표 2]의 순서로 기판과 Mask의 정렬과정이 진행되며, 서로 다른 기판 100매를 투입해 [그림 7]과 같이 $\pm 3\mu$ m 이내의 정렬도를 보임을 알 수 있었다.

[표 2] Align Flow Chart





[그림 7] Align Accuracy 100회 측정 결과



[그림 8] Align TACT Time 100회 측정 결과

이때, 진행된 정렬과정의 TACT을 위 [그림 8]로 나타내었다. 정렬과정에 소요된 시간들은 30sec 이내에서 정렬과정이 완료되었으며, 정렬 시간은 평균 22.08sec임을 알 수 있었다.

IV. 맺음말

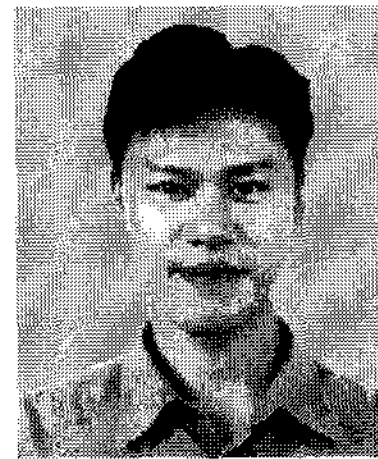
지금까지 대면적 기판(4세대 급)을 이용한 OLED 패널 생산을 위한 Alignment System의 개발 과정과 제작된 정렬 장치의 특성에 대해 살펴보았다. 점차 대면적, 고해상도의 AMOLED TV에 관심이 고조되고 있는 시점에서 OLED 증착과정에서 TFT Backplane 기판과 Metal Mask간의 정렬장치는 대형 기판을 이용하여 중대형 AMOLED 패널 제작에 필요한 핵심 장치기술로 인식하고 있으며, 이에 본 개발이 중대형 AMOLED 생산 장치 기술을 진일보 시킬 것으로 기대된다.

본 호에 게재된 시스템은 자사에서 개발된 저분자 유기물을 사용하는 상향 증착방식의 정렬 장치이며, 차세대 초대형 유리 기판에 대응하기 위해 Vertical Type의 정렬 시스템 개발을 통해 초대형 AMOLED 기판을 이용한 증착장치 개발을 병행하고 있다.

참고문헌

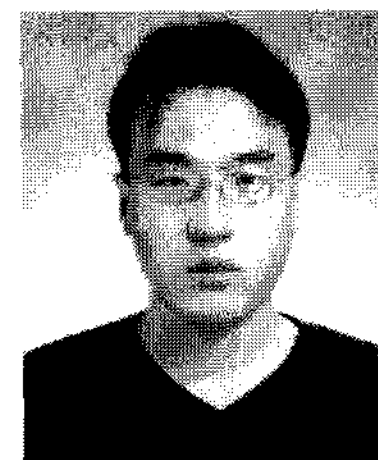
- [1] FPD International 2007
- [2] KR Patent, 공개 10-2005-0094149
- [3] JP Patent, 공개 특2002-0019030
- [4] JP Patent, 공개 특2002-0062045
- [5] JP Patent, 공개 10-2007-0049689
- [6] JP Patent, 공개 10-2007-0072571

저자소개



한석운

1988~1993 : 순천향대학교 물리학과 학사, 1994~1996 : 아주대학교 물리학과 석사, 1996~2006 : 오리온전기 평판연구소, 2006~ 두산메카텍 기술연구소 책임연구원, 현재 : 두산메카텍 신사업 부문 기술연구소 Display 연구개발팀 팀장



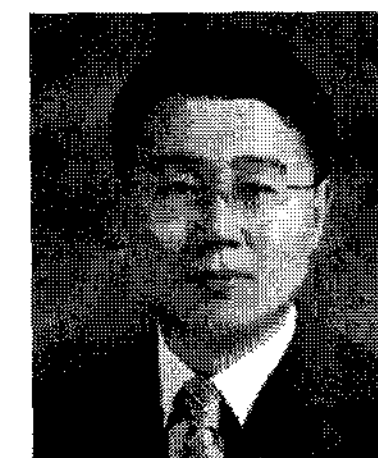
박재웅

2001 경북대학교 물리학과 석사, 현재 : 두산메카텍 기술연구소 선임연구원



이남훈

2006 성균관대학교 기계공학부 석사, 현재 : 두산메카텍 기술연구소 연구원



최정욱

1994 서울대학교 금속공학과 박사, 현재 : 두산메카텍 상무