

## 잉크액적 토출불량 검출을 위한 고속 잉크젯 모니터링 모듈<sup>§</sup>

신 동 윤<sup>\*†</sup>

\* 한국기계연구원 나노융합생산시스템 연구본부

### High-Speed Inkjet Monitoring Module for Jetting Failure Inspection

Dong-Youn Shin<sup>\*†</sup>

\* Nano-Mechanical Systems Research Division, Korea Institute of Machinery and Materials

(Received May 10, 2010 ; Revised July 20, 2010 ; Accepted July 24, 2010)

**Key Words** : Inkjet(잉크젯), Jetting Failure(액적 토출불량), Inspection(검사)

**초록**: 잉크젯 프린팅이 전자 및 디스플레이 산업의 생산라인에 적용됨에 따라, 생산효율을 극대화하기 위해 잉크액적 토출불량 검사 소요시간의 단축이 요구되고 있다. 기존의 잉크액적 토출불량 검사방법은 주로 고배율 렌즈와 CCD 카메라를 직선운동을 하는 스테이지 상에 설치하여 잉크젯 프린트 헤드의 노즐배열과 평행한 방향으로 순차적으로 이동시키면서 토출되는 잉크액적을 비전검사하는 것이었다. 그러나, 기존 방식은 60 초 혹은 그 이상의 검사시간을 요구하며, 특히 잉크액적 토출불량을 장시간 지속적으로 검사하는 것은 불필요한 기계적 진동을 야기시키는 문제점이 있었다. 본 연구에서는 회전미러 방식의 고속 잉크젯 모니터링 모듈을 설계하여 검사시간을 18 초 내외로 단축하였으며, 검사 소요시간 단축을 위한 모듈의 설계 고려사항들에 대해 논의하도록 한다.

**Abstract**: Since inkjet printing is being employed in production lines of electronics and display industries, the tack time for inspection of jetting failure has become very important because the throughput of the inkjet printing system can be extended to the maximum limit by adopting a shorter jetting inspection time. The most popular method for inspecting jetting failure involves the use of a linear stage, a high magnification lens, and a charge coupled device camera. However, this conventional approach requires approximately 60 s to complete the jetting inspection and might not be suitable for a high-speed reciprocating jetting inspection in endurance tests due to the unwanted mechanical vibration. In this study, a novel concept of an inkjet monitoring module is introduced, which has an overall inspection time of 18 s. For the shorter tack time of jetting inspection, the parameters affecting the tack time are discussed in this paper.

### 1. 서 론

잉크젯 프린팅을 폴리머 계열의 유기발광소자,<sup>(1)</sup> TFT LCD 디스플레이의 배향막 및 컬러필터,<sup>(2,3)</sup> RFID 안테나<sup>(4)</sup> 및 박막 능동전자소자<sup>(5)</sup> 제조공정에 적용을 하기 위한 연구개발이 진행되어 왔으며, 특히 TFT LCD 디스플레이의 배향막 및 컬러필터 잉크젯 공정은 일본과 국내 대기업들이 생산라인에 적용을 진행 중이다.

또한, 2008 년의 유가 급등 이후 신재생에너지에 대한 관심이 증폭되었으며, 그 결과 고효율 결정

질 실리콘 태양전지의 생산에 잉크젯 프린팅을 적용하기 위한 연구개발이 활발히 진행되고 있다. 결정질 실리콘 태양전지는 현재 스크린 프린팅 공정을 이용하여 상부 및 하부 전극패턴을 수행하고 있지만, 향후 180 μm 미만의 박형 결정질 실리콘 태양전지 웨이퍼가 사용될 경우 최소 파단력이 급속히 감소함으로써 스크린 프린팅을 이용한 상부 및 하부 전극패턴의 형성이 힘들어질 것으로 예측된다. 따라서, 비접촉식 잉크젯 프린팅을 이용한 상부 및 하부 전극패턴 형성공정이 현재의 접촉식 프린팅 공정을 대체할 것으로 예상된다.<sup>(6)</sup>

이와 같은 인쇄전자 및 디스플레이 산업용 잉크젯 프린팅 시스템은 실사 출력용 잉크젯 프린팅 시스템보다 높은 신뢰성 및 정밀도가 요구되며, 특히 잉크젯 프린트 헤드에 형성된 다수의 노즐로부터 잉크액적이 정상적으로 토출되는가를 확인하

§ 이 논문은 2010 년도 대한기계학회 생산 및 설계공학부문 춘계학술대회(2010. 4. 22.-23., 제주 라마다프라자) 발표논문임.

† Corresponding Author, dongyoun.shin@gmail.com

© 2010 The Korean Society of Mechanical Engineers

기 위한 검사장비의 중요성이 증대된다.

본 연구에서는 인쇄전자와 디스플레이용 잉크 및 잉크젯 프린트 헤드 개발용 테스트 장비, 그리고 잉크젯 프린팅 연구용 및 산업용 장비 등의 다양한 방면에 필수적으로 요구되는 잉크액적 토출 검사모듈의 고속화와 관련된 기술적 사항들에 대해 논의하도록 한다.

## 2. 실험

기존의 잉크액적 토출 검사모듈은 Fig. 1 에 보인 바와 같이 기본적으로 직선형 스테이지 상에

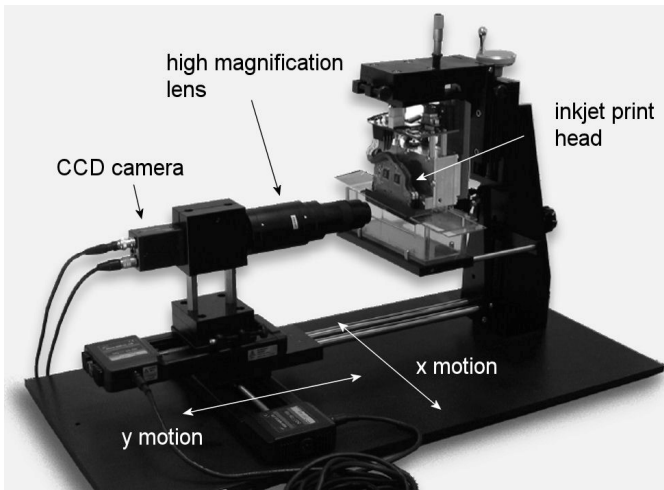


Fig. 1 Conventional drop watcher developed by iTi (USA)

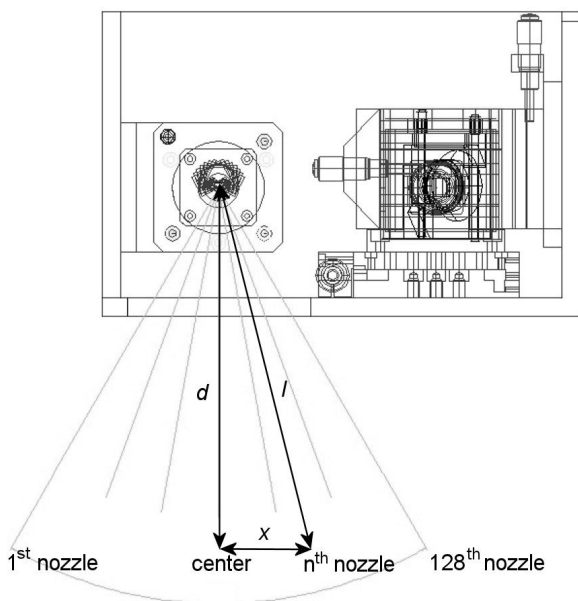


Fig. 2 Illustration of high speed nozzle scanning with a rotating mirror

고배율의 렌즈를 체결한 CCD 카메라를 마운팅하며, 스테이지를 잉크젯 프린트 헤드의 노즐이 배열된 방향과 평행하게 이동하면서 잉크액적의 토출여부를 비전검사하는 시스템이다.

이와 같은 잉크젯 모니터링 모듈을 이용하여 잉크액적의 토출여부뿐만 아니라 잉크액적의 젯팅 속도, 젯팅 직진성, 그리고 잉크액적의 부피를 비전처리를 통해 획득할 수 있다. 잉크액적이 CCD 카메라의 좌우가 아닌 시선방향으로 젯팅되는 경우에는 한 대의 CCD 카메라만으로는 검출할 수 없기 때문에, 2 대의 CCD 카메라를 직각방향으로 배치한 후 두 카메라의 시선교차점에 잉크젯 프린트 헤드를 설치하여 좀더 정밀하게 잉크액적의 직진성을 검사하는 경우도 있으나, 비용 및 공간상의 제약 때문에 대부분의 잉크젯 모니터링 모듈은 하나의 CCD 카메라를 이용하여 잉크액적에 대한 검사를 수행한다.

240 frames/sec 의 고속 CCD 카메라를 구비한 잉크젯 모니터링 모듈을 고속 스테이지 상에 탑재하고, 20 kHz 이상으로 젯팅을 수행하고 있는 잉크젯 프린트 헤드의 잉크액적들을 검사하는 경우, 하나의 잉크젯 프린트 헤드 당 0.6 초, 24 개의 잉크젯 프린트 헤드들을 15 초 이하에 검사를 완료할 수 있다고 보고 되기도 하였다.<sup>(7)</sup>

그러나, S class (Fujifilm Dimatix, USA) 잉크젯 프린트 헤드의 128 노즐을 리니어 스테이지를 이용한 잉크젯 모니터링 모듈로 검사할 경우 일반적으로 60 초 내외의 검사시간이 소요되며, 특히 고속으로 잉크젯 프린트 헤드의 노즐들을 반복 검사하는 경우 리니어 스테이지의 채용은 불필요한 기계적 진동을 야기시키는 문제점이 있었다.

상기의 단점들을 보완하기 위하여 Fig. 2 에 보인 바와 같은 회전미러를 이용한 스캐닝 방식의 잉크젯 모니터링 모듈이 고안되었다. CCD 카메라 (XC-HR90, Sony, Japan)로부터의 광학경로는 고정미러를 통해 회전미러로 전달되며, 회전미러의 회전을 통해 광학경로는 잉크젯 프린트 헤드의 노즐들을 순차적으로 스캔을 하게 된다.

회전미러의 중심축과 잉크젯 프린트 헤드까지의 최단거리를  $d$ , 잉크젯 프린트 헤드의 중앙으로부터 특정 노즐까지의 거리를  $x$  라고 정의할 때, 회전미러로부터 특정 노즐까지 거리  $l$  은  $(d^2+x^2)^{1/2}$  로 정의되며, 이 거리는 미러가 회전함에 따라 가변하게 된다.

따라서, 모터구동의 가변초점 렌즈(motorized zoom lens, Navitar, USA)를 사용함으로써 정확한 화

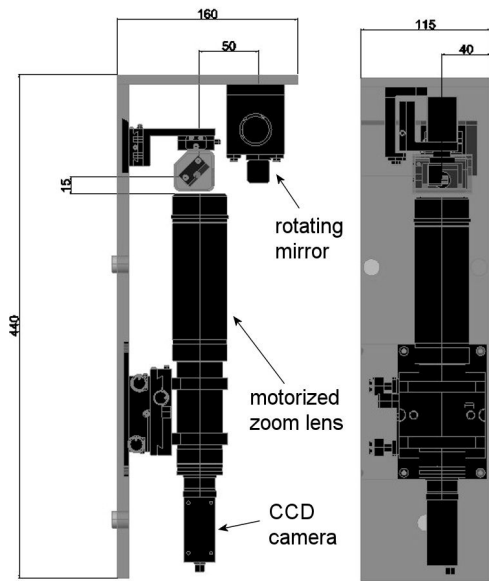


Fig. 3 High speed inkjet monitoring module with a rotating mirror, jointly developed by KIMM and Samick THK (South Korea)

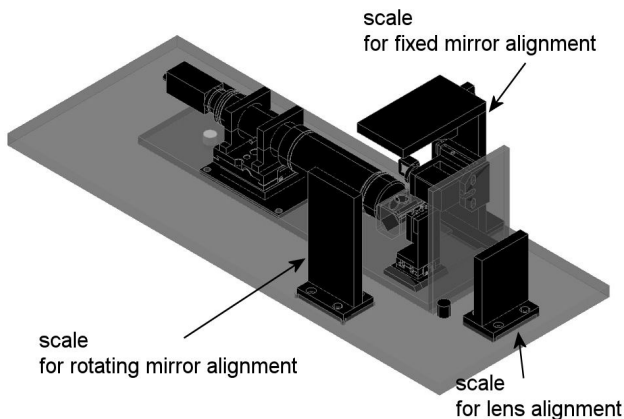


Fig. 4 Assembly jig for the alignment of CCD camera, lens, fixed and rotating mirrors, jointly developed by KIMM and Future Science (South Korea)

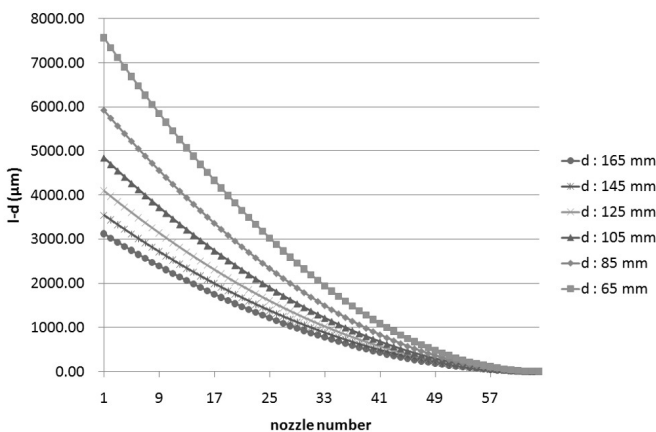


Fig. 5 Variation of the focus adjustment distance along with the nozzle position

상이 멩히도록 초점거리 교정이 필요하며, Fig. 3 은 가변초점 렌즈와 회전미러를 구비한 고속 잉크젯 모니터링 모듈의 설계 예를 도시하였다.

가공 및 조립 공차때문에 CCD 카메라와 가변초점 렌즈, 고정미러와 회전미러들의 광축들이 어긋나게 되므로, 가변초점 렌즈, 고정 및 회전미러들을 소형 정렬스테이지 상에 마운트하여 고속 잉크젯 모니터링 모듈의 베이스에 고정시킨 후 정렬을 할 수 있도록 설계하였다.

Fig. 4 는 광축 정렬을 위한 조립 지그의 설계 예이다. CCD 카메라와 가변초점 렌즈 결합체는 고정미러를 설치하기 이전에 줌을 변경시켜가면서 렌즈 정렬용 스케일을 통해 1 차적으로 광축 정렬을 수행한다. 이후 고정미러를 설치하고 고정미러가 화상을 90°로 반사시켜주는가를 고정미러용 스케일을 이용하여 확인한다. 마지막으로, 회전미러를 설치한 후, 회전미러를 회전시켜가면서 회전미러 정렬용 스케일을 관측함으로써, 전체 부품들의 광축들이 올바르게 정렬되었는지를 최종 확인하도록 한다.

개발된 고속 잉크젯 모니터링 모듈의 성능을 테스트하기 위해, 128 개의 노즐이 508 μm 간격으로 배열된 SE-128 (Fujifilm Dimatix, USA) 잉크젯 프린트 헤드로부터 토출되는 잉크액적들을 검사하였으며, 그 결과 및 기술적 사항들을 제 3 장에서 토의 하도록 한다.

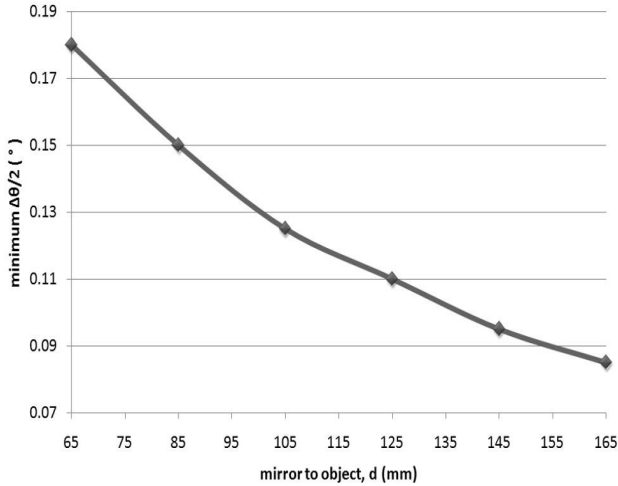
### 3. 결과 및 토의

#### 3.1 렌즈 초점거리 선정

Fig. 2 에 보인 바와 같이, 회전미러의 중심축과 피검사체인 잉크액적들이 배열되어 있는 평면과의 거리( $l$ )은 관찰해야 할 잉크젯 노즐의 위치를 변경함에 따라 가변하며, Fig. 5 에 보인 바와 같이 그 가변 정도는 회전미러의 중심축과 잉크젯 프린트 헤드까지의 최단거리( $d$ )가 가까울수록 증대된다.

회전미러의 중심축과 잉크젯 프린트 헤드의 최단거리( $d$ )는 가까울수록 초점렌즈가 이동해야 할 최대 이격거리( $\Delta(l-d)$ )가 증가하며, 이격거리가 증가할수록 초점렌즈의 이동 소요시간이 증대되어 총 검사시간 또한 증대하게 되므로, 가능한 경우 최단거리( $d$ )를 길게 설계하는 것이 바람직하다.

또한, 회전미러의 중심축과 잉크젯 프린트 헤드의 최단거리( $d$ )가 멀수록 위성 잉크액적 등에 의해 미러의 표면이 오염되는 사태를 예방할 수 있다는 장점이 있다.



**Fig. 6** Minimum angle difference to rotate a mirror to observe two adjacent nozzles

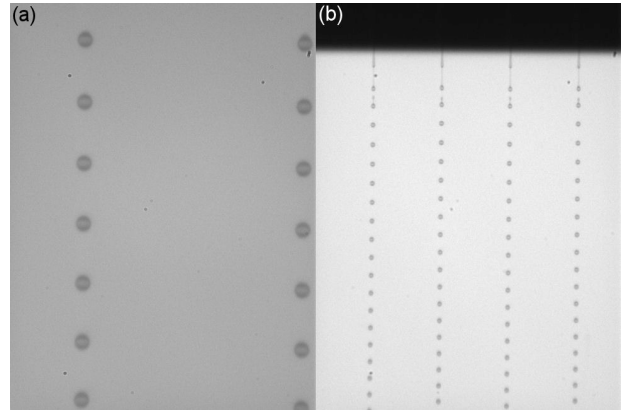
반면, Fig. 3 에 보인 바와 같이 초점렌즈의 이동 거리, 고정미러와 회전미러의 설치거리 및 회전미러의 중심축과 잉크젯 프린트 헤드까지의 최단거리( $d$ )의 총합인 렌즈의 작동거리(working distance)가 길수록 광학해상도는 일반적으로 반비례하여 감소하는 문제점이 있다.

또한, 두 인접 노즐들을 관찰하기 위한 각도들을 각각  $\theta_1$  및  $\theta_2$  라고 할 때, 회전미러를 회전시켜야 하는 각도는  $\Delta(\theta_1 - \theta_2)/2$  이며, Fig. 6 에 보인 바와 같이, 회전미러의 중심축과 잉크젯 프린트 헤드까지의 최단거리( $d$ )가 멀수록 감소하게 된다. 이러한 회전각도의 미소화는 회전미러를 구동하는 모터에 높은 분해능을 요구하며, 비용상승 요인이 되는 문제점이 있으므로, 최적 최단거리( $d$ )를 설정하기 위한 설계 최적화 작업이 요구된다.

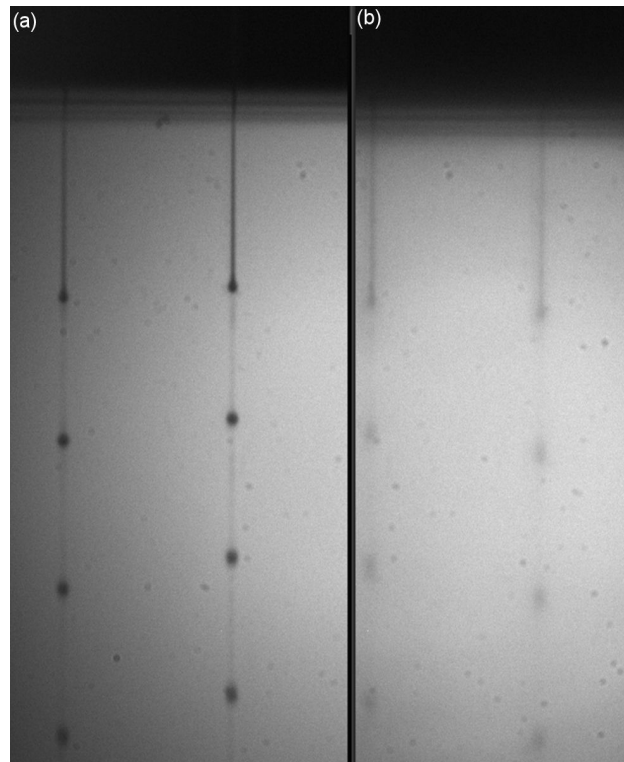
3.2 초점심도 및 동작 시퀀스

CCD 카메라와 렌즈의 조합으로 시야(field of view) 및 초점심도(depth of field)가 결정된다. Fig. 7 에 보인 바와 같이, 일반적으로 배율이 높을수록 FOV (field of view) 및 DOF (depth of field)가 감소할 뿐만 아니라 화상이 어두워진다. 따라서, 정밀한 이미지를 획득하기 위해 높은 배율을 사용하게 될 경우, 더 밝은 화상을 얻기 위해 LED 의 광량을 증가시키거나 LED 펄스 폭을 증가시켜야 하는데 전자의 경우에는 고휘도 LED 의 사용으로 인한 LED 자체 비용상승 및 LED 드라이버의 내압증대로 인한 비용상승이 야기되며, 고출력으로 인한 방열문제가 발생한다.

반면, 후자의 경우에는 LED 펄스 폭의 증가에 따라 Fig. 8 에 보인 바와 같이 모션 블러(motion



**Fig. 7** Monitoring results with different magnification, (a) high magnification and (b) low magnification



**Fig. 8** Influence of the LED pulse duration on the acquired image sharpness, (a) short LED pulse duration and (b) long LED pulse duration

blur) 현상이 발생하여, 획득된 이미지의 품질이 저하되는 문제점이 있다.

일반적으로 배율이 낮음에 따라 광학 해상도는 감소하지만, 화면상에서 동시에 관찰할 수 있는 노즐의 개수가 증가하기 때문에 전체 검사시간이 단축되는 장점이 있다.

배율의 결정은 동작 시퀀스에 따른 검사 소요시간에도 영향을 미치는데, 전형적인 동작 시퀀스에 따른 검사 소요시간을 Table 1 에 예시하였다.

**Table 1** Measured time taken for each motion sequence of the prototype of a high speed inkjet monitoring module

sequence	description	time (ms)	accumulated time (ms)
motor motion	focus lens	28	281
	rotating mirror		
1 <sup>st</sup> image acquisition	acquisition	84	365
	processing		
set LED delay time		15	380
1 <sup>st</sup> measurement		16	396
2 <sup>nd</sup> image acquisition	acquisition	94	490
	processing		
motor motion to the next position	rotating mirror	31	521
	focus lens		
LED control		31	552
2 <sup>nd</sup> measurement		16	568
straightness calculation		~ 0	568

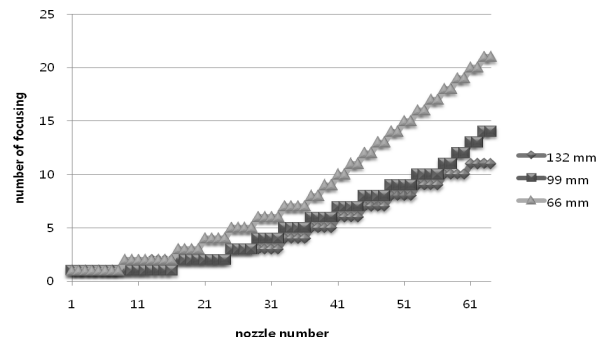
총 0.568 초의 동작시간 중 이미지의 획득과 데이터 처리, 그리고 측정과 같은 소프트웨어적인 동작에 소요되는 시간은 대략 0.210 초 정도였으며, 렌즈의 초점거리 조정과 미러 회전 등 기계적인 동작에 소요되는 시간이 0.358 초로써, 전체 동작시간의 63%를 차지함을 알 수 있다. 만약 고배율을 사용함으로써 매 노즐마다 초점을 맞추어야 한다면 Dimatix 사의 S class 헤드의 128 개 노즐을 검사하는데 72.7 초 이상의 시간이 소요될 것임을 예측할 수 있다. 따라서, 필요 이상의 고배율을 사용하는 것보다는 동시관찰 노즐 개수를 늘임으로써 검사시간을 단축할 수 있도록 적절한 저배율을 사용하는 것이 유리하다.

저배율일수록 일반적으로 초점심도가 깊다. 그러나, 회전미러의 회전으로 인해 잉크액적과의 거리는 초점심도 이상으로 가변하므로 초점거리를 보정해 주어야 한다. 그러나, 가변거리가 초점심도(DOF) 이내일 경우 Table 1 에 보인 바와 같이 회전미러의 매 회전마다 초점을 보정해주기 위해 렌즈를 구동할 필요성은 없다.

Table 2 에 정리한 바와 같이 작동거리 165 mm 인 렌즈를 기준으로, 1/3" CCD 카메라, 0.5 배 렌즈 및 2 배 어댑터 부착 시, 최대 렌즈 배율에서 FOV의 수평거리는 860  $\mu\text{m}$  이며, 이때의 초점심도(DOF)는 400  $\mu\text{m}$  이다. 실질적으로 2 노즐 이상을 동시 관측할 경우, DOF는 400  $\mu\text{m}$  이상이나, 설계 시에는 400  $\mu\text{m}$  를 기준으로 하였으며, 이 경우 회전미러의 이동에 따른 렌즈의 초점거리 보정 횟수는 Fig. 9 에 보인 바와 같이 회전미러와 잉크액적간의 설계 최단거리( $d$ )가 증가함에 따라 감소함을

**Table 2** Lens specifications

WD (mm)	magnification		FOV (mm)		DOF (mm)	
	lowest	highest	$\times 0.58$	$\times 7.00$	$\times 0.58$	$\times 7.00$
165	$\times 0.58$	$\times 7.00$	10.34	0.86	11.93	0.4



**Fig. 9** The number of focus adjustments while the rotating mirror scans droplets, depending on the distance from the rotating mirror to the center nozzle,  $d$

알 수 있다. 잉크젯 프린트 헤드의 중심을 기준으로 노즐들의 배열은 좌우대칭이므로 Fig. 9 에서는 노즐 절반에 대해서만 도시하였으며, 중심측 노즐을 1 번으로 지정하였다. 총 초점거리 보정 횟수는 Fig. 9 에 도시된 초점거리 보정 횟수가  $n$  일 경우,  $2n-1$  이 된다.

128 노즐을 4 노즐씩 관측할 경우, 회전미러의 회전마다 초점거리를 보정할 경우 32 회 이상의 초점거리 보정이 필요하지만, 회전미러 이동 후 렌즈의 초점거리 변화가 초점심도(DOF) 이내일 경우 초점거리를 보정하지 않는 알고리즘을 사용할 경우, 설계 최단거리( $d$ )가 66 mm 일 때 41 회, 99 mm 일 때 27 회, 그리고 132 mm 일 때 21 회의 초점거리 보정이 필요하다. Fig. 3 에 보인 바와 같이, 회전미러 이외에 고정미러 등 부가적인 장치 때문에 회전미러와 잉크액적간의 최단거리( $d$ )는 대략 100 mm 정도로 설계되었으며, 배율에 따른 FOV 및 DOF, 그리고 초점거리 보정횟수를 고려하였을 때, 최적 동시관찰 노즐의 개수는 대략 4 개 혹은 8 개 정도가 되도록 배율을 설정하여 검사 소요시간을 단축하도록 하였다.

동시관찰 노즐의 개수를 4 개로 설정할 경우 FOV는 수평 및 수직방향으로 대략 2 mm, 1.5 mm 로 설정되며, 400  $\mu\text{m}$  의 DOF 내에서 초점거리 이동을 위한 구동을 방지하도록 1 차 튜닝을 시도하였을 경우, 32 번의 모터 회전을 통해 전체 128 개의 노즐로부터 토출되는 잉크액적들을 검사할 수

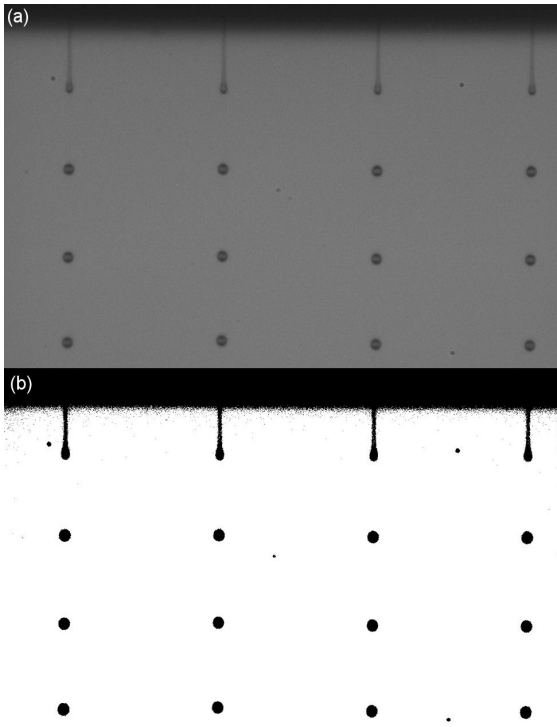


Fig. 10 Conversion of analogue image to digitized image, (a) before digitization and (b) after digitization

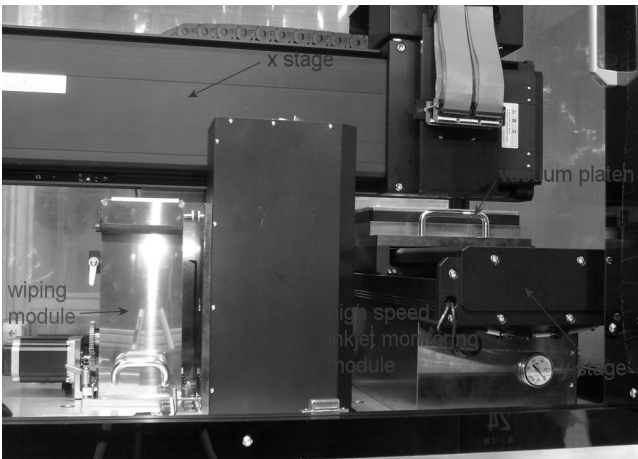


Fig. 11 Industrial inkjet printing system, equipped with the developed high speed inkjet monitoring module

있다. 이 경우, 총 검사시간은 18.18 초이며, 일반적인 리니어 스테이지를 이용한 잉크액적 토출 검사모듈의 60 초 내외의 검사시간보다 대략 42 초 정도를 단축할 수 있었다.

Fig. 10 은 획득한 아날로그 이미지를 이미지 프로세싱을 위해 2 진화한 결과이며, Fig. 11 은 개발된 고속 잉크젯 모니터링 모듈을 장착한 산업용 잉크젯 프린터이다.

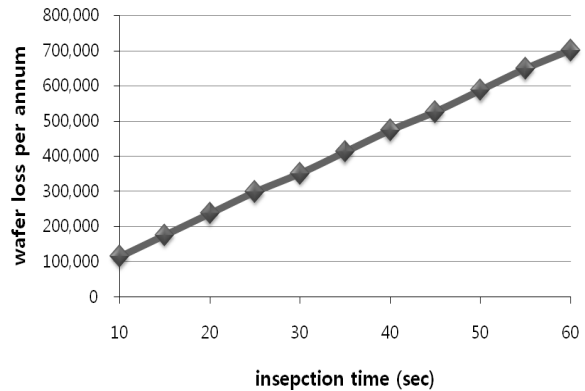


Fig. 12 Wafer production loss per annum along with inspection time to detect jetting failure

### 3.3 잉크액적 토출불량 검사시간과 생산성

시간당 최대 2400 장의 태양전지를 생산할 수 있는 잉크젯 프린팅 시스템에서, 시간당 2 번의 잉크액적 토출 불량유무를 검사해야 한다고 가정했을 때, 고속 잉크젯 모니터링 모듈을 이용하여 불량 잉크액적 토출 검사시간을 단축함에 따라 감축할 수 있는 연간 웨이퍼 검사 손실수량을 Fig. 12 에 도시하였다. 60 초의 검사시간이 연간 700,800 장의 웨이퍼 생산손실을 유발하는데 비해 18.18 초의 고속 모니터링 검사는 210,240 장의 생산손실을 유발하며, 대략 70% 이상 웨이퍼 검사 손실수량을 줄일 수 있음을 알 수 있다.

## 4. 결 론

본 연구에서는 인쇄전자와 디스플레이용 잉크 및 잉크젯 프린트 헤드 개발, 연구용 및 산업용 잉크젯 프린팅 시스템 등에 요구되는 고속 잉크젯 모니터링 모듈의 설계와 관련 기술적 사항들에 대해 소개하였다.

기존의 직선 운동방식의 잉크액적 토출 검사모듈의 경우 반복적인 잉크액적 토출 검사는 시스템 전체에 불필요한 기계적 진동을 야기시키는 문제점이 있으며, 특히 장시간의 잉크액적 토출 검사 시에는 스테이지의 운동때문에 안전사고가 발생할 위험성이 있었다.

또한, 1 열 이상의 노즐 배열을 가지는 잉크젯 프린트 헤드가 사용될 경우, 전열에 배치된 노즐들로부터 토출되는 잉크액적들을 검사할 수는 있지만 후열에 배치된 노즐들로부터 토출되는 잉크액적들은 광학계의 DOF 한계 때문에 검출할 수 없으며, 별도의 초점거리 조절용 스테이지가 요구되는 문제점이 있었다.

이러한 문제점들을 해결하기 위하여, 특히 장시

간의 잉크액적 토출 안정성 검사를 위하여 가변초점 렌즈와 회전미러 방식의 고속 잉크젯 모니터링 모듈이 개발되었다.

기존의 직선운동 방식의 잉크젯 모니터링 모듈과는 달리 회전미러 방식의 고속 잉크젯 모니터링 모듈은 회전운동의 객체인 미러의 관성질량이 작기 때문에 고속동작이 가능하다는 장점이 있다. 그러나, 회전운동으로 인해 피검사체인 잉크액적들과의 거리가 가변하는 문제점이 있으며, 본 연구에서는 이러한 초점거리 변화와 관련된 설계변수 및 설계변수들의 최적화 방안이 논의되었다.

본 연구에서 개발된 고속 잉크젯 모니터링 모듈의 동작 시퀀스에 따른 소요시간을 측정하였으며, 기존의 잉크액적 토출 검사모듈보다 70% 이상 검사시간을 단축할 수 있음을 확인하였다.

향후 최적 동작 알고리즘으로 검사시간을 10초대로 단축함으로써, 생산현장에서 검사 소요시간으로 인한 생산성 저하를 최소화할 수 있을 것으로 기대된다.

## 후 기

본 연구는 지식경제부 신재생에너지기술개발사업의 일환(과제번호 2009T100102044)으로 수행되었습니다. 본 연구에 도움을 주신 이노세스와 퓨처사이언스, 그리고 삼익 THK(주)에 깊이 감사드립니다.

## 참고문헌

- (1) Shimoda, T., Morii, K., Seik, S. and Kiguchi, H., 2003, "Inkjet Printing of Light-Emitting Polymer Displays," *MRS Bull.*, pp. 821~827.
- (2) Koo, H. S., Chen, M., Pan, P. C., Chou, L. T., Wu, F. M., Chang, S. J. and Kawai, T., 2006, "Fabrication and Chromatic Characteristics of the Greenish LCD Colour-Filter Layer with Nano-Particle Ink Using Inkjet Printing Technique," *Displays*, Vol. 27, pp. 124~129.
- (3) Koo, H. S., Chen, M. and Pan, P.-C., 2006, "LCD-Based Color Filter Films Fabricated by a Pigment-Based Colorant Photo Resist Inks and Printing Technology," *Thin Solid Films*, Vol. 515, pp. 896~901.
- (4) Mäntysalo, M. and Mansikkamäki, P., 2009, "An Inkjet-Deposited Antenna for 2.4 GHz Applications," *Int. J. Electron. Commun. (AEÜ)*, Vol. 63, pp. 31~35.
- (5) Paul, K. E., Wong, W. S., Ready, S. E. and Street, R. A., 2003, "Additive Jet Printing of Polymer Thin-Film Transistors," *Appl. Phys. Lett.*, Vol. 83, No. 10, pp. 2070~2072.
- (6) Teng, K.F. and Vest, R. W., 1988, "Metallization of Solar Cells with Ink Jet Printing and Silver Metallo-Organic Inks," *IEEE Trans. Compon. Hybrids Manuf. Technol.*, Vol. 11, No. 3, pp. 291~297.
- (7) Albertalli, D., 2005, "Gen 7 FPD Inkjet Equipment – Development Status," *SID Symposium Digest of Technical Papers*, Vol. 36, No. 1, pp. 1200~1203.