

# 실시간 자동 초점 제어 시스템에 대한 연구

## A Study on Realtime Auto-Focusing Control System

\*김경호<sup>1</sup>, #김종배<sup>1</sup>, 서운학<sup>2</sup>, 이대철<sup>2</sup>, 남기중<sup>3</sup>

\*K. H. Kim<sup>1</sup>, #J. B. Kim(kimjb@iae.re.kr)<sup>1</sup>, W.H. Seo<sup>2</sup>, D. C. Lee<sup>2</sup>, G. J. Nam<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 고등기술연구원, <sup>2</sup>(주)아텍, <sup>3</sup>(주)젯텍

Key words : Auto-Focusing, Laser Material Processing

### 1. 서론

최근 차세대 반도체, 디스플레이, 바이오 등의 정밀 분야에서 빠른 속도로 고밀도 미세 경량화로 기술 진보가 진행되고 있다. 이에 맞춰 레이저 가공 측정 기술 분야가 대두되고 있다.

레이저 가공 분야는 광을 이용하기 때문에 시료에 비접촉 방법으로 가공이 가능하고 수 마이크로 이내의 크기의 구멍이나 절단 등에 활용 될 수 있어 산업적으로 그 활용도가 점점 커지고 있다. 그러나 레이저 광을 가공하고자 하는 시료의 표면에 렌즈를 이용하여 정확히 초점을 맞추게 하는데 많은 시간이 소요되고 가공중 시료의 높이가 변화함에 따라 초점이 어긋날 수도 있다. 때문에 고가의 자동 초점 장치들이 개발되었지만 사용되는 레이저와 광학계의 특성에 따라 그 정밀도에 오차가 있으며 대부분 사용자가 가공 표면을 확인하면서 초점 위치를 찾는 경우가 대부분이다. 이것은 가공 시간과 가공의 정밀도를 높이기 위해서는 사용자의 광학에 대한 전문성을 필요로 하게 된다.

본 연구에서는 공초점 현미경의 원리를 사용하여 레이저 가공 시 실시간으로 초점을 자동으로 찾아주는 저가의 리얼타임 자동 초점 제어 시스템 제작을 하여 그 성능 특성에 관하여 연구하였다.

### 2. 실시간 자동 초점 제어 시스템 설계

공초점 현미경이란 시료에 맺히는 초점과 APD(Avalanche Photo Diode)에 맺히는 초점을 공유하는 것으로 시료에서 반사된 광원의 세기가 가장 큰 위치를 초점으로 사용하였다.<sup>1</sup> 그리고 이를 측정하기 위하여 DataTranslation사의 DAQ 보드를 사용하여 아날로그 신호를 디지털 신호로 변환하고 변환된 데이터는 실시간으로 PC에 저장되어 모니터링 및 데이터베이스화하여 데이터 분석 처리하고 분석된 데이터를 바탕으로 다시 DAQ보드를 통해 아날로그 스테이지를 컨트롤하여 초점을 찾을 수 있도록 설계하였다. 시료로는 금속조각과 유리조각 등을 사용했으며, 각각의 시료에서 반사되는 광원의 세기를 APD 센서장치에서 광원의 세기에 따라 전압으로 변환하여 출력한다. PD를 사용하지 않고 APD를 사용한 이유는 신호의 비율을 증가시켜 노이즈의 비율을 줄임으로 보다 정밀한 데이터를 얻기 위함이다. 스테이지는 대물렌즈를 상하로 움직이며 자동으로 초점을 찾는데 최대 스캔 범위는 400mm이고 스테이지의 분해능은 1μm이다.

주 서보 모터 위에 보조 서보 모터를 얹은 하이브리드 결합으로 측정 범위에 따른 분해능 저하 현상을 극복하였다. 주 서보 모터로 500μm단위의 영역 스캔을 하여 대략적인 초점을 찾은 다음 보조 서보 모터로 100μm 이내 구간을 1μm 단위 스캔을 하여 정밀한 초점 위치를 검출한다.

Fig. 1은 실시간 자동 초점 제어 시스템의 구성도이다. 780nm LD(레이저 다이오드)를 광원으로 사용하였고 렌즈를 사용하여 평행빔으로 전환하였다.<sup>2</sup>

수평으로 편광된 레이저 빔은 PBS(Polarization Beam Splitter)를 통과하여 광섬유로 커플링 된다. 광섬유는 편광유지 단일 모드 광섬유(Single Mode Polarization Maintaining Fiber)를 사용하였다. 광섬유를 통과한 레이저 빔은 1/4λ 판에 의해 원편광으로 바뀌고, 스테이지에 연결된 대물렌즈를 통과하여 시료에 조사된다. 시료에서 반사된 레이저 빔은 다시 한번 더 대물렌즈와 1/4λ 판을 통과 하면서 수직편광으로 바뀌고, 광섬유를 통과한 후

PBS에 반사되어 APD로 검출된다.

APD 수광 소자장치는 시료에서 반사된 레이저 빔을 검출하기 위해 사용하고, DT9802는 APD에서 출력되는 아날로그 전압신호를 디지털 전압신호로 변환하기 위해 사용한다. DT9802로 입력되는 아날로그 전압신호는 -10~10V이며 12비트 디지털 전압신호로 변환되는 시간은 약 10μs가 소요되고 모든 데이터는 10 ~ 10V내에서 4096개의 디지털 전압 레벨을 갖는다.

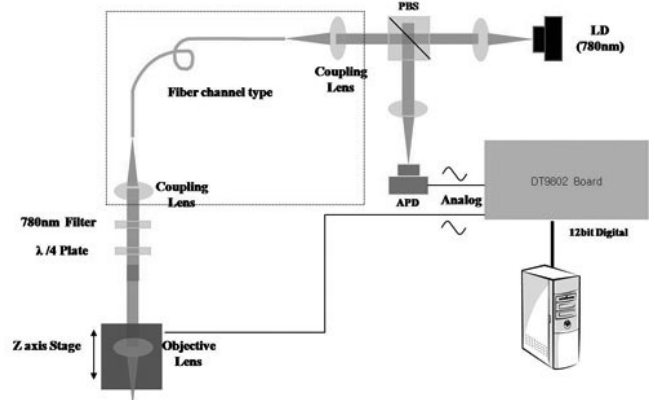


Fig.1 Scheme of realtime auto-focusing system

실시간 자동 초점 제어 시스템은 Visual C++ 기반으로 개발된 RAFC(RealTime Auto-Focusing Control) Ver 1. 의 프로그램으로 제어한다. 기본 프로세스 과정은 PC에서 USB 통신을 통해 DT9802에 들어오는 신호를 동기화한다. 그리고 샘플의 초점을 검색하기 위해 주 서보 모터에 아날로그 동기 신호를 보내어 500μm 구간 단위 스캔을 시작한다. Z축 스캔을 통해 획득한 데이터를 바탕으로 초점 위치를 계산하여 이동한 이후로는 DT9802의 아날로그 신호를 보내어 보조 서보 모터를 구간 이동하며 초점을 계산하여 정밀한 위치를 획득하는 과정을 지속한다.

### 3. 실험 및 결과

최초 측정할 샘플이 정지 상태에서 DT9802의 동기 신호를 보내어 대물렌즈가 부착된 주 서보 모터를 제어하는데 그림 2에서 보듯 Z축으로 500μm 구간 영역을 한 사이클로 스캔한다. 이때 대물렌즈는 1Hz의 주기로 구동되었다. 스캔이 시작되면 시료에서 반사된 아날로그 신호를 APD에서 검출하여 DT9802 보드를 통해 12비트 디지털 신호로 변환이 된다. 변환된 디지털 신호는 실시간으로 메모리에 저장되고 셀렉트 검색 알고리즘을 통해 비교 검색한다. 이때 해상도는 3μm로 설정하였다. 대개 초점은 일정 구간의 영역으로 나타나기 때문에 셀렉트 검색 알고리즘을 확장하여 최상위 값을 중심으로 ±3%의 오차 범위를 초점 영역으로 두고 그 초점 영역의 중앙지점이 초점이 된다. 데이터는 총 334개의 저장소로 두었는데 이는 유효 초점 구간이 통상적으로 두 단위 영역(1000μm)에 걸쳐 형성될 수는 있지만 두 구간을 벗어나지 않기 때문이다.

주 서보 모터를 이용하여 대물렌즈를 초점위치로 접근한 이후에는 주 서보 모터는 정지되고 초점 유효구간을 계산한다. 그림 2.에서 광량에 따른 가우시안 곡선이 형성된 것을 볼 수 있다.

가우시안 곡선의 최상위 점이 초점이 되며 초점을 기준으로 가우시안 곡선에서  $\pm 50\mu\text{m}$  지점이 초점 유효 구간이 된다. 초점 유효 구간은 진동이나 샘플의 이동 등의 사유로 인하여 초점 위치의 변화가 생길 때 요구되는 필요 구간을 말한다.

보조 서보 모터는  $1\mu\text{m}$ 의 분해능을 가지며 초점이 설정된 이후부터 활성화된다. 초점의 광량 데이터가  $\pm 0.5\%$ ( $3\mu\text{m}$ )를 벗어나면 초점의 위치가 변화된 것으로 간주하고 PC에서 분석된 초점 유효 구간 위치값을 DT9802에 보낸다. DT9802에서는 전달 받은 데이터 신호를 아날로그 신호로 변환하여 보조 서보 모터로 출력되고 전·후 유효 구간을 각각 1회씩  $100\mu\text{s}$ 의 시간으로 스캔하게 된다. 획득한 데이터를 바탕으로 초점을 찾아감으로 자동 초점 제어의 실시간 시스템화 가능성을 확인할 수 있었다.

2. 김선흠, 배한성, 홍윤석, 문성욱, 김경호, 김종배, 남기중, “레이저 가공을 위한 자동 초점 제어 시스템에 대한 연구”, 정밀공학회, 2006

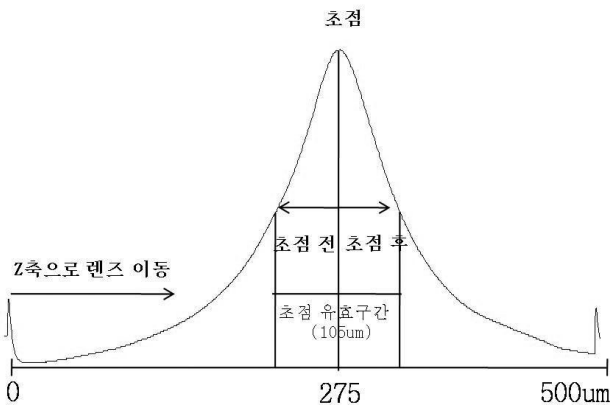


Fig. 2 Reflection signal of realtime auto-focusing system

또한 샘플의 움직임에 따른 초점 유효 구간 스캔 주기로 인한 평균  $300\mu\text{s}$  이내의 보정 지연이 발생함으로 레이저 가공 및 측정분석시 샘플의 초점 유효 구간과 이동 속도에 따른 밀립현상이 생겨나는 것이 관찰됨을 볼 수 있다.

#### 4. 결론

본 연구는 공초점 현미경의 원리를 이용한 자동 초점 제어장치에 하이브리드 스테이지를 설계 구성하여 시스템을 보다 고속 정밀화 하는데 중점을 두고 분석하였다. 하이브리드 타입의 제어 기술은 자칫 시스템이 더 느려지는 요인이 될 수도 있으나 효율적인 제어 알고리즘으로 무거워질 수 있는 프로세스를 잘 분산화하여 빠르고 정밀한 실시간 자동 초점 제어 시스템으로서의 가능성을 열어주었다. 보정 지연과 유효구간 거리등의 한계로 인한 문제점이 있지만 향후 실험을 통한 프로세스 최적화와 알고리즘 개선을 통하여 균일한 초점 접근성을 유지함으로써 생산성과 정밀도를 동시에 향상 시킴으로 저렴한 실시간 자동 초점 제어 시스템의 산업현장의 도입으로 인하여 가공, 측정, 평형 유지, 분석 등의 다양한 분야에서 활용되어 레이저 응용 시스템 도입의 확산에 이바지 할 것을 기대한다.

#### 후기

이 논문은 산업자원부의 경남지역중점산업기술개발사업에 의하여 지원되었으며 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

#### 참고문헌

1. 김종배, 배한성, 김경호, 문성욱, 남기중, 권남익, “공초점현미경과 원자현미경을 이용한 가공된 시료표면의 형상측정”, 정밀공학회지, 제23권, 제4호, 2006