

스캐너-스테이지 연동기반 레이저빔 제어기술 개발

On the fly technology development based on laser scanner-stage synchronization

*#이제훈¹, *김경한², *윤광호³, *서정⁴

*#J. H. Lee¹, K.H. Kim², K.H. Yoon³, J. Suh⁴

^{1,2,3,4} 한국기계연구원 광응용 생산기계 연구실

Key words : Laser scanner, stage, on the fly, synchronization

1. 서론

레이저 소스 개발 및 레이저 펄스폭이 초단파 됨에 따라 초정밀 가공이 가능해지고 있다¹. 레이저 가공 공정이 적용 분야가 확대되고 있으며 태양전지 분야, 디스플레이 분야, 전자부품, 자동차 산업에 폭넓게 적용되고 있다². 레이저 가공 공정의 발전 동향은 단납기화(초고속화), 대면적화, 초정밀화, 환경문제를 고려해 건식화 되고 있다. 산업 발전 동향에서 보듯 초정밀화를 요구하며 동시에 대면적화를 요구하는 상반된 기술 경향을 나타내고 있다. 초고속 스캐너 가공 영역이 한정되어 있는 시스템에서는 스캐너 영역이 초과되는 영역에서 스테이지를 이송시키면서 가공하면 된다. 기존의 방식은 Step & Scanning 시스템으로 스테이지가 정지하고 있는 동안에 스캐너 가공이 이루어지고, 스캐너 가공영역을 넘어가는 곳에서는 스테이지가 다시 이송 후 가공하게 된다. 스캐너-스테이지 연동 시스템(Scanner-stage on the fly)은 스테이지의 정지 없이 연속적인 가공하는 것이다. 고속 스캐너와 정밀/대면적 스테이지를 동기화 함으로써 정밀도를 유지하면서 대면적 가공이 가능한 기술로써 연동 시스템 적용시 가공속도가 극대화 되며 가공의 불연속 부위가 없어져서 가공 품질의 향상을 가져 올 수 있다.

2. 시스템 구성

스캐너-스테이지 연동을 통한 레이저 가공의 개념은 스캐너와 스테이지가 협업을 통하여 최적의 레이저 가공을 하는 것으로써, 가공도면을 형상을 단순화 하여 스테이지 경로를 생성하고 가공도면의 미세 부위는 레이저 스캐너가 담당하는 것이다. 먼저, 가공도면이 주어지면 경로생성소프트웨어에 의해서 스테이지의 가공경로가 결정된다. 1축의 리니어 스테이지의 위치 속도 정보를 엔코더 신호를 레이저 스캐너 제어보드에 입력함으로써, 스테이지와 스캐너를 유기적으로 동기화 시킨다. 또한 스캐너 제어보드에서는 가공도면에서 스테이지의 추종오차가 포함된 위치정보를 가감함으로써 스캐너의 이송량을 제어하게 되며 제어블럭선도를 그림 1에 나타내었다.

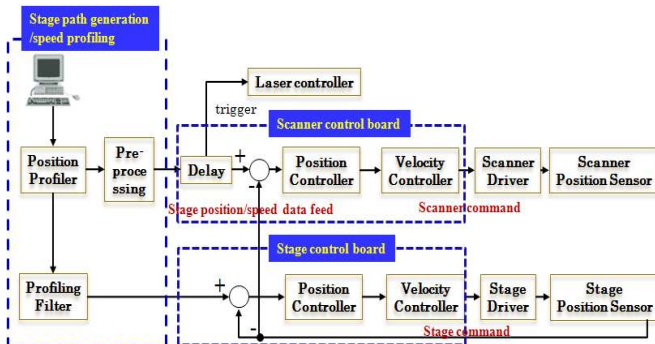


Fig.1 The control block diagram for scanner-stage synchronization

3. 실험 및 고찰

1축 리니어 스테이지와 2축 스캐너 제어보드 및 하드웨어를 조합하여 실시간 연동 시스템을 구성한 후 연동 실험을 수행하였다. 1 KHz의 저반복율의 레이저 펄스를 활용하여 레이저 펄스간의 균일한 가공을 확인하는 것이 실험의 목적이다. 스캐너 가공영역은 50x50 mm²로 하여, Step&scanning 방식과 연동 방식을 비교하였다. Step&Scanning 방식의 경우, 스캐너 가공영역에서 가공을 하는데, 이때 스테이지는 정지하여 가공하며 가공이 끝나면 스테이지의 위치를 50mm 이송한 후 새로운 영역을 스캐너로 가공하였다. 반면 실시간 연동 방식의 가공은 스테이지 정지 없이 가공 방향으로 연속 이송하였다. 가공순서는 0°의 수평선에서 시작하여 각도를 증가 시키면서 순차적으로 90°의 수직선까지 가공하였다.

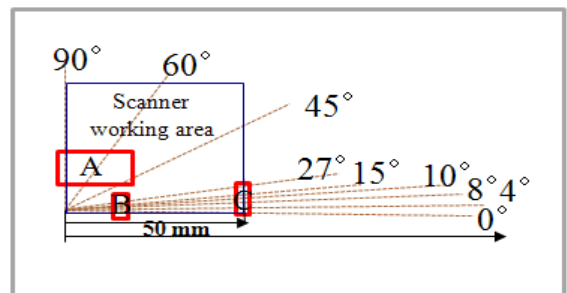


Fig. 2 Experimental scenario for comparison between step&scanning method and on the fly method

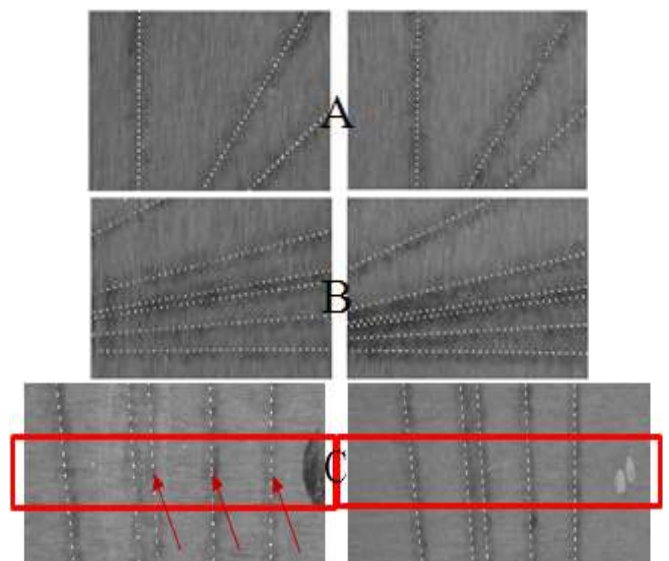


Fig. 3 The photo of laser marking pattern between step&scanning method(Left) and on the fly method (Right)

그림 3에서 보여주듯이, 스캐너 작업 영역 안에서는 두 방법 모두 균일하게 점사이의 간격을 유지 되는 것을 알 수

있다. 점 사이 평균 간격은 303~304 μm 로써, 가공속도 300 mm/s 이고 펄스반복을 1Khz 일때의 펄스 사이의 간격과도 잘 일치함을 알 수 있다. 반면 스캐너 작업영역이 벗어나는 구간 (50 mm 영역)에서는 Step&Scanning 방식의 경우 점사이의 불균일한 가공이 발견되었다. 스테이지가 정지한 후 출발할 때 가속구간에서 일정하게 속도를 유지할 수 없기 때문에 가공점사이의 간격이 불균일 하게 됨을 예측할 수 있다. 반면 연동 방식의 경우 스테이지의 연속적인 이송으로 인한 연속 가공 방식임으로 모든 점이 균일하게 가공됨을 알 수 있으며 연동 방식의 큰 장점 중 하나이다.

또한 1축 연동 시스템에서 다양한 도형을 가공한 후 형상 정밀도 및 위치정밀도를 측정하였는데, 형상정밀도의 경우 60 μm 이내 위치정밀도 23 μm 정도로 측정되었다. 보다 나은 정밀도를 위해서 스테이지 2축 연동시스템을 제작하고 있으며 스테이지와 스캐너 가공경로를 분기하기 위한 경로생성 알고리즘 및 소프트웨어가 개발되었다. 스테이지 경로 생성의 경우 최소한의 가감속으로 부드러운 경로 생성을 목표로 하였으며 가공도면의 급격한 방향변화를 smoothing 하는 기법을 사용하였다. 그림 4는 다수의 부재를 routing 하기 위한 예를 보여주는 것으로써, 부재간의 순서는 내부 부재에서 외부 부재로 가공 되어지며, 부재간 이동 시간을 최소화하는 알고리즘을 적용하였다. 가감속 시간을 60ms에서 100ms로 증가시켰을 때의 스테이지 경로생성 변화를 나타내었다. 스테이지 경로는 smooth 하게 변하고 그에 따른 스테이지 가공경로도 짧아지게 된다. 하지만 그림4 하단 그림에서처럼 스캐너 영역이 전체 도면을 다 포함할 수 없을 경우가 발생하며 이때는 에러 영역을 표시하게 된다. 이러한 에러 영역은 다시 최적화 알고리즘 적용 및 수동 스테이지 경로 생성에 의해서 보정된다.

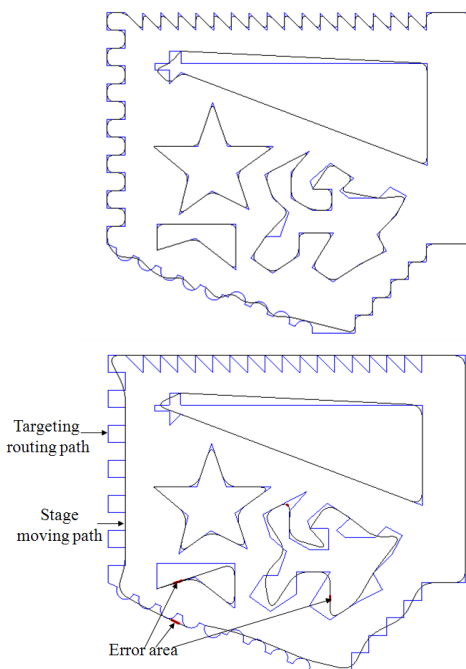


Fig. 4 The stage path generation example (Top) Acceleration time = 60 ms, (Bottom)100 ms

그림 5에서는 스테이지 가감속 시간을 변화 시켰을 때 스테이지 경로의 변화를 나타낸 그림으로써, 가감속 시간을

증가시켰을 때, 스테이지 총 이송거리는 반비례하여 감소함을 알 수 있다. 스테이지 이송거리가 급격히 감소하는 영역에서는 도면의 최외각 부재에서 스테이지가 리플형식에서 직선 경로로 변하면서 경로 단축 효과가 크게 나타났다. 이러한 스테이지 경로의 단축은 저속의 스테이지 이송을 최소화 하고 고속의 스캐너 가공을 극대화함으로써 상호 보완적인 역할을 하여 고속 레이저 가공을 목적으로 한다.

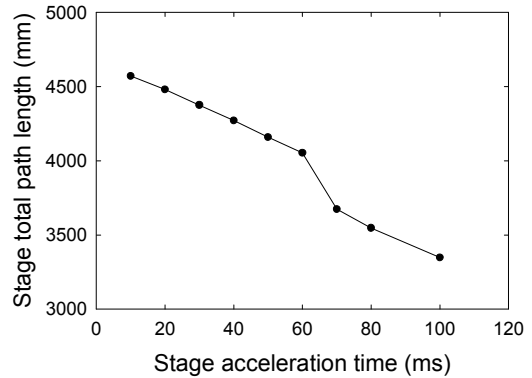


Fig. 5 The relationship between acceleration time and stage total path length

4. 결론

대면적 초고속 가공을 위한 레이저 스캐너-스테이지 연동 시스템을 구성하였다. 1축 스테이지의 위치/속도 정보를 엔코더 신호를 통하여 스캐너 제어보드에 연결하여 유기적으로 동기화 하였다. 연동 방식은 Step&Scanning 방식에 비해 스캐너 작업영역 이내 및 작업영역의 연결 부위에서도 균일하게 가공됨을 실험을 통하여 확인하였다. 스테이지 1축 연동 시스템의 오차는 형상정밀도 60 μm 이내 위치정밀도 23 μm 정도로 측정 되었으며 이 오차를 줄이기 위한 스테이지 2축 시스템을 개발하게 되었다. 이에 앞서 스테이지와 스캐너 경로를 분기하는 연동 경로 생성 알고리즘을 개발하였다. 스테이지 가감속 시간을 증가 시켜서 smooth 한 스테이지 경로를 생성 하였으며 이때 스테이지 총 이송경로 역시 감소하였다. 스테이지 경로 생성이 오류가 발생 했을 때 다시 최적화 하는 알고리즘을 적용하여 스테이지 경로를 재생성하였다. 개발된 경로생성 알고리즘을 바탕으로 2축 스테이지 기반 연동 시스템을 제작할 계획이다.

후기

본 연구는 지식경제부 산업원천 과제의 지원을 받아 수행하였습니다.

참고문헌

1. S. Nikumb, Q. Chen, C. Li, H. Reshef, H. Y. Zheng, H. Qiu and D. Low, "Precision glass machining, drilling and profile cutting by short pulse lasers", *Thin Solid Films*, Vol. 477, pp.216-221.,2007
2. . Kim, S. Park, H. Oh, and Y. Shin, Analysis of the laser patterning inside light guide panel, *Optics & Laser Technology* 39, pp.1437-1442, 2007