

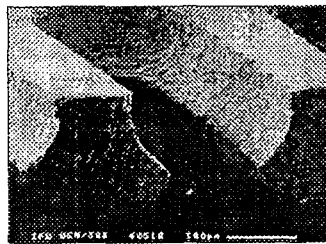
Nd:YAG 레이저를 이용한 스텐실 제조공정의 절단폭 예측

Estimation of kerf width on manufacturing stencil by Nd:YAG Laser

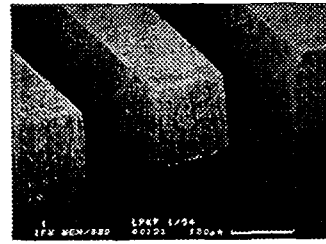
한국기계연구원 레이저기술연구그룹 이제훈, 김정오, 한유희
경북대학교 기계공학부 이영문
경북대학교 대학원 기계공학과 신동식

I. 서론

최근 환경문제가 심각히 대두됨에 따라 환경 저해공정을 환경 친화적인 청정공정으로의 대체가 심각히 요구되고 있는 실정이다. 이에 부응하여 레이저가공이 대한 관심이 높아지고 있으며 집중적인 연구가 진행되고 있다. 기존의 스텐실(stencil) 제작은 폴리머 감광법을 사용하여 패턴을 형성한 후, 에칭공정을 통하여 스텐실 재질을 부식시키는 방법을 사용하고 있다. 이러한 가공법은 폐수 발생에 따른 규제 강화로 인하여 공장부지 선정에도 어려움이 있을 뿐만 아니라 폐수처리 설비 및 비용이 급격히 증가하기 때문에 제품의 가격경쟁력이 저하되고 있다. Fig.1은 에칭가공과 레이저 절단가공에 의해 제작된 스텐실을 비교한 것으로 레이저 절단가공에 의한 가공면이 훨씬 균일함을 알수 있다.



(a)



(b)

Fig. 1 Stencil produced by etching(a), laser cutting(b)

레이저빔을 이용한 스텐실 가공기는 유럽(대표적으로 독일 LPKF사)에서 개발하여 전 세계적으로 보급하고 있는 실정이다. 국내에도 이 가공기가 다수 수입되어 사용되고 있으나 고가의 장비가격으로 인하여 설비 확충에 어려움이 있으며 또한 레이저 전문인력의 부족으로 장비에 대한 신속한 사후관리가 이루어지지 못하여 생산계획에 차질이 발생하는 사례가 빈번히 일어나고 있다. 이에 따라 스텐실가공시스템을 국내에서도 1998년 7월부터 개발하기 시작하였으며 현재 시스템의 완성 및 성능실험을 마친 상태이며 공정 최적화를 위한 실험데이터의 구축과 이의 활용방안에 대한 연구가 진행중이다. 본실험은 각종변수에 따른 절단폭 예측에 관한 연구로서 이는 CAD/CAM에 의한 제품 설계시 중요한 변수이기도 하다.

II. 실험 방법

실험재료로는 스텐실제작용 스텐레스강판(0.2t)을 사용하였으며 실험에서 사용한 레이저가공기는 Nd:YAG레이저(H사 Model 510PW)로서 발전기는 최대 500W의 연속출력과 TEM₀₀ mode 인 출력분포를 가지며 초점거리 40mm의 절단헤드광학계를 사용하였다.

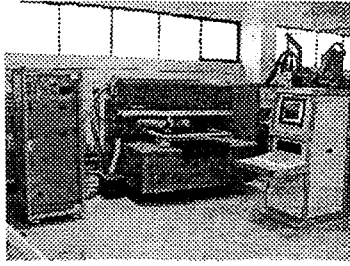


Fig. 2 Stencil manufacturing system

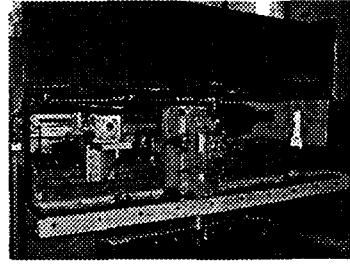


Fig. 3 Beam delivery equipment

본 실험에서 최적의 절단폭을 측정하기 위해선 먼저 드로스(dross)를 제거하여야 한다. 이에 따라 노즐갭(nozzle gap) 0.1~1.0mm, 가스압 2.5~15bar 의 조합된 실험을 통해 최소의 드로스(dross)를 생성하는 조건을 구하였다. 또한 절단폭을 측정하기 위해 출력(power) 12~80W, 이송속도(cutting speed) 0.25~4m/min, 펄스폭(pulse width) 0.06~0.15ms, 펄스반복수(frequency) 400~950Hz, 노즐직경(nozzle diameter) 0.7~1.2mm의 다양한 변수를 조합하여 절단폭(kerf width)을 측정하였으며 크롬산화물 생성을 막기 위해 질소(N₂)를 절단가스로 사용하였다. 그리고 실험을 통해 측정된 데이터는 신경회로망 학습이론에 의거하여 절단폭의 패턴을 분석하였으며 임의의 입력조건에 대한 결과를 예측해 보았다. 여기서 전압, 펄스반복수, 펄스폭, 절단속도를 학습을 위한 입력값으로 설정하였으며 절단폭을 목표값으로 설정하였다. 신경회로망 학습에 사용된 학습법은 백프로퍼게이션(back propagation) 학습법이고 한 개의 은닉층을 가지며 학습률은 0.05, 학습은 20만번의 반복을 통해 실시하였다.

III. 실험결과 및 고찰

Fig. 5는 노즐과 모재와의 간격에서 따른 드로스량을 분석한 결과이다.

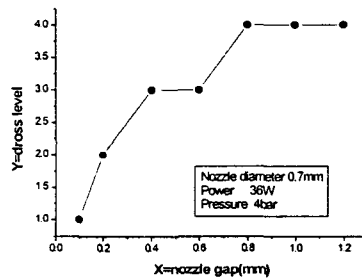


Fig. 5 Effect of nozzle gap on drosslevel

실험에서 노즐간격(nozzle gap)이 작아질수록 드로스레벨(dross level)이 현저하게 떨어지는 것을 알 수 있다. 여기서 드로스레벨이란 드로스의 양을 5등분하여 정성적으로 표시한 것으로 1이 가장 적은 값이 된다.

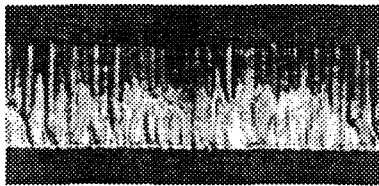


Fig. 6 view of cut edge with nozzle gap 0.1mm (0.2t)

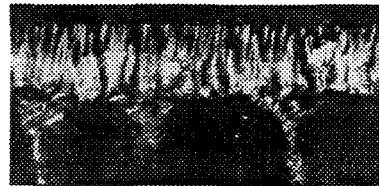


Fig. 7 view of cut edge with nozzle gap 1.1mm (0.2t)

Fig. 6에서 볼 수 있듯이 노즐간격이 0.1mm일때 드로스가 거의 발견되지 않았다. 즉 노즐간격은 드로스의 생성에 영향을 크게 미치며 드로스는 가스압에 영향을 많이 받는다는 것을 나타내고 있다. 여기서 드로스의 제거를 더욱더 원할히 하기 위해 가스압을 올려 보았으며 가스압이 높을수록 드로스의 제거는 원할히 이루어짐을 알 수 있었다. 그러나 렌즈의 강도, 가스주입장치의 한계강도등을 고려한다면 10bar정도가 적당한 압력조건임을 알 수 있었다. Fig. 8은 이송속도를 일정하게 유지하면서, 출력을 변화시켰을 때의 출력값에 대한 절단폭의 변화를 나타낸 것이다.

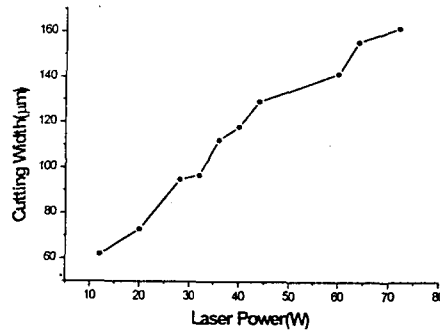


Fig. 8 Effect of power on cutting width

실험결과 출력값 12W에서 가장 작은 절단폭(43.23 μm)을 얻을 수 있었으나 스파터의 양이 많고 저 출력으로 인한 미절단 부위가 생겼다. 이로 인해 안정성을 고려한 최적의 출력값은 20W로서 스파터가 없으면서 절단폭이 74.25 μm로서 비교적 낮은값을 나타낸다. 그리고 위의 실험을 통해 얻어진 데이터를 이용해 절단폭을 예측하기 위해 신경회로망 학습이론을 도입하였다. 결과 Fig. 9는 나타낸 바와 같이 예측값(simulated value)과 실제값(true value)은 비교적 일치하였다. 한편 신경회로망학습에 의해 얻어진 연결강도(weight)에 의해 Fig. 10과 같이 임의의 조건에서도 예측이 용이하였다.

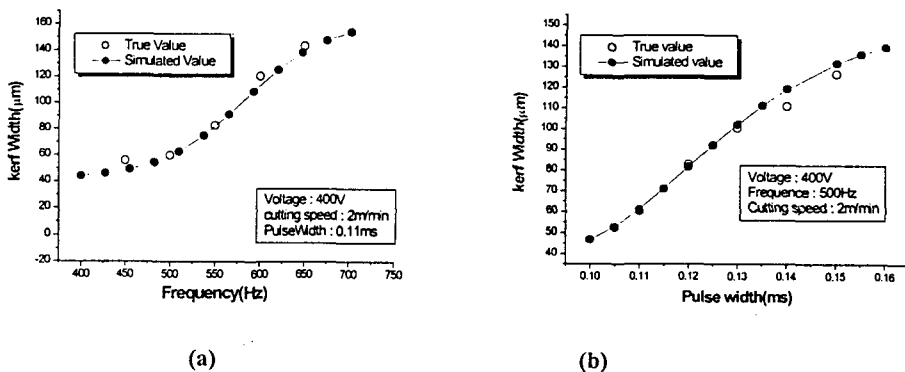


Fig. 9 Comparison of simulated value and true value on variation of frequency(a), pulse width(b)

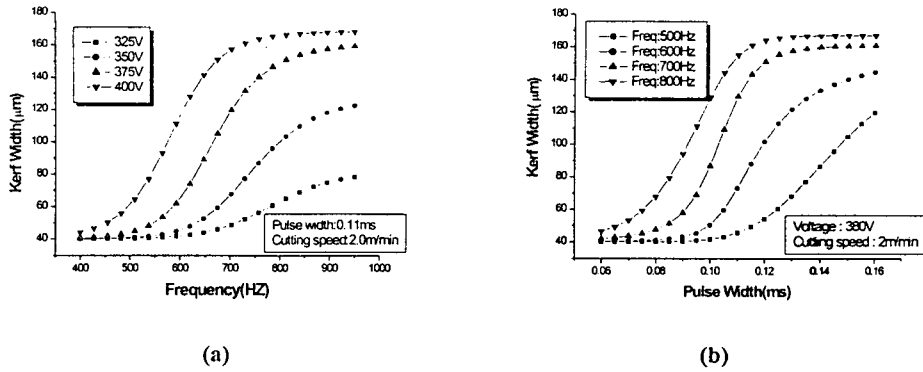


Fig. 10 Estimation of kerf width with frequency(a), pulse width(b) by neural network

IV. 결론

본 실험을 통하여 레이저를 이용한 스텔레스 스텔실 제작에서 드로스는 가스압에 영향을 많이 받으며 노즐과 모재와의 간격이 0.1mm, 가스압 10bar일 경우에 드로스가 가장 적게 나타났다. 전술한 조건하에 절단폭은 출력20W에서 최적의 결과를 얻을 수 있었으며 실험에 사용한 변수와 측정치를 이용한 신경회로망 학습법에 의해 쉽게 예측이 가능하였다. 이로서 절단폭뿐만 아니라 스패터, 표면조도, 드로스도 신경회로망을 이용하여 예측 가능함을 말해주며 나아가 공정 자동화에 응용될 수 있음을 알수 있다.

V 참고문헌

1. Simon Haykin, Neural Networks, Prentice Hall International Editions, pp751~756
2. 이제훈 "레이저를 이용한 건식 인쇄회로기판 제조 공정개발 및 보급", (1차년도)진도보고서, 한국기계연구원
3. 김도훈 "레이저가공학" 경문사 ,p103, p281~294