

미세 선가공을 위한 레이저 변수 제어

김영섭 · 최은서 · 신용진

조선대학교 자연과학대학, Laser Imaging Laboratory

Control of Laser Parameter for Precision Line Processing

Y. S. Kim, E. S. Choi and Y. J. Shin

Laser Imaging Laboratory, Chosun University

Abstract

We presented the proper laser processing conditions for the capillary line marking, which could be applied for the fabrication of injection needles. With changing the parameters such as lamp current, duty cycle and beam amplification factor of beam expander, we evaluated the processing performance considering amount of dross, processing efficiency and processed linewidth in the sample. We could carry out the proper line marking at the condition of 70 % lamp current, duty cycle of 7-10% and 6-times amplification of beam diameter. To perform efficient line processing, the utilization of duty cycle of 12% at 80% lamp current was also preferred.

Key words : capillary needle, laser parameter, SUS

1. 서 론

체내로 약물을 전달하는데 사용되는 가장 전통적인 방법은 가는 주사바늘을 사용하는 것이다. 그러나 기존의 주사 바늘은 얇은 스테인레스를 직경 4 mm의 관 형태로 말아서 지지체를 반복 통과시켜 만들기 때문에

표 1에서 보이는 110 μm 의 내부 직경을 가지는 가는 주사바늘을 만드는데 한계가 있어왔다. 이를 해결하기 위해서는 많은 시간 및 비용이 필요할 뿐만 아니라 기계적인 복잡한 공정의 개선 및 개발이 수반되어야 하며 이 정도크기를 가지는 주사바늘은 여전히 시술에 있어 통증을 수반한다^{1,2)}. 그러므

Table 1. The inner and outer diameters of various injection needles

Gauge	Outer diameter(mm)	Inner diameter(mm)
33	0.21	0.11
32	0.24	0.11
31	0.25	0.13
30	0.31	0.16
29	0.34	0.18
28	0.36	0.18
27	0.41	0.21
26s	0.47	0.13
26	0.46	0.26
24	0.57	0.31
22s	0.72	0.15
22	0.72	0.41

로 보다 간단한 가는 구멍을 가지는 주사바늘의 개발에 대한 요구가 증가하고 있다. 이러한 기존 주사바늘 이용 및 생산에 있어서의 문제점을 해결하고자 최근에는 주사바늘이 없는 약물 전달 시스템을 개발하기도 하였으나 그 시술 비용이 기존의 방법보다 약 10배 이상 소요되고 있어 사용자들에게 많은 경제적 부담을 안기고 있다. 이에 본 연구에서는 SUS를 재료로 하여 100 μm 미만의 내부 직경을 갖는 주사 바늘 제작에 필요한 레이저 미세 선 가공에 필요한 여러 가지 레이저 변수들에 따른 가공의 차이점을 확인하고 적절한 선가공을 위한 조건을 찾고자 한다.

2. 실험

본 실험에서는 여러 재료들 중에서 주사바늘 제작에 사용되고 있는 스테인레스 금속인 SUS 304N를 이용하여 레이저 미세 가공을 수행하였다. 이는 오스테나이트계로 18%의 Cr과 8%의 Ni로 구성된 강종으로써 내식성, 내열성, 저온 강도 및 여러 기계적 성질이 양호할 뿐만 아니라 Deep drawing

과 bending 등의 상온 가공이 용이하다. 또한 열처리에 의한 경화가 일어나지 않는 장점을 가지고 있다. 이러한 특징으로 인해서 식품용, 일반화학용, 원자력 설비 및 의학용, 가정용 기구로써 가장 널리 사용되는 금속 중에 하나이다. SUS 304N의 물성은 표 2와 같으며 광학적 특성으로 파장에 따른 반사율은 그림 1과 같이 주어진다. SUS 305와 SUS 430도 같은 스테인레스 금속이긴 하지만 SUS 305의 경우 67%, SUS 430의 경우 81%의 Fe 성분이 함유되어 공기 중에서 쉽게 산화되어버리기 때문에 주사바늘에 적용하는데 적합하지 않으며 그러 인해 본 연구에서는 배제하였다^{3,4)}.

레이저 미세 선 가공에 사용된 레이저는 20 W급 Q-switched Nd:YAG 레이저(Fotona,

Table 2. Physical property of SUS 304N

Element	value
Carbon	0.080@max
Manganese	2.000@max
Phosphorus	0.045@max
Sulfur	0.030@max
Silicon	0.750@max
Chromium	18.000~20.000
Nickel	8.000~12.000
Nitrogen	0.100@max
Iron	Balance

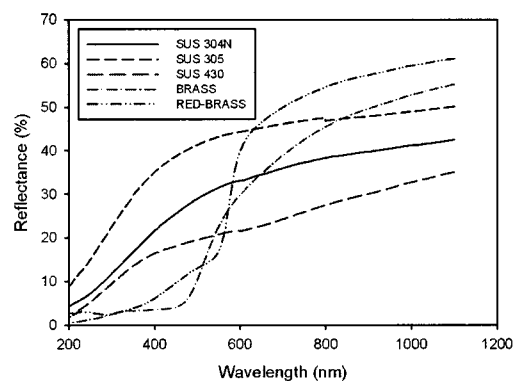


Fig. 1 Spectral reflectance of several metals

Solvenia)로 1064 nm에서 TEM₀₀ 모드로 발진하였다. 그림 2와 같이 공진기에서 발진된 3 mm의 레이저 빔을 가변형 빔 확대기(Beam expander)를 사용하여 2배에서 6배까지 빔의 직경을 확대하여 NA값을 조절하는데 이용하였다. SUS 304N의 표면에 선가공을 하는데 있어서 왜곡을 최소화하기 위하여 1축이동용 스캔모터(CTI- USA)와 f-θ(CASCADE-USA)렌즈를 사용하여 25 mm의 라인을 형성하였다. 이 때 입사조건에서의 변수는 빔의 NA값으로 1.5×10^{-2} 부터 4.5×10^{-2} 까지 0.75×10^{-2} 씩 증가시켜가면서 각각의 경우에 따른 선가공의 특성을 비교하고자 하였다. 조사된 레이저는 50:50 빔분할기(BS; Beam splitter)를 통해 광세기를 측정하였으며 시료에서 반사된 빔을 photodetector(PD)를 이용해 측정하여 조사되는 레이저의 펄스 주기와 비교하였다.

레이저 출력에 있어서 조절 가능한 파라미터로는 Step size, Mark Delay time, Lamp

current, Frequency 및 Duty cycle등이 있다. 본 연구에서는 레이저 세기에 대한 가공 특성에 초점을 두고 이들 중에서 Step size와 Mark delay time 및 Frequency는 고정된 값을 이용하였으며 레이저 출력 파워에 직접적인 영향을 미치는 Lamp current와 Duty cycle만을 변수로 채택하여 사용하였다. 각각 변수의 입력 범위는 표 3과 같으며 Frequency 및 Duty cycle의 변화에 따른 레이저 조사 주기 및 조사 시간은 그림 3과 같다.

3. 결과 및 고찰

Q-switched Nd:YAG 레이저를 이용한 SUS 304N의 레이저 미세 라인 마킹의 결과는 그림 4와 같다. 결과를 통해서 Lamp current 변화에 따른 조사 에너지의 변화와 그에 따른 선폭의 변화를 알 수 있다. Lamp

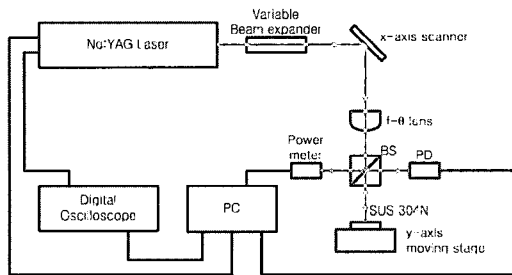


Fig. 2 Schematic diagram of laser line marking system

Table 3. Range of laser control parameters

Parameter	Range
Beam expander	2-6
Step size (μm)	50
Mark delay (μs)	700
Frequency (kHz)	10
Lamp current (%)	70-94
Duty cycle (%)	5-12

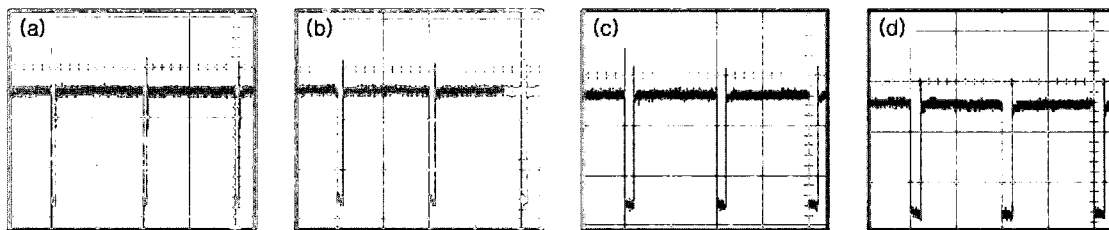


Fig. 3 Repetition periods and duration time at the repetition rate of laser operation; Time scale 50 μs, Voltage scale 2.0V, Frequency-Duty cycle-irradiation time : (a) 10kHz-5%-5 μs, (b) 10kHz-7%-7 μs, (c) 10kHz-10%-10 μs, (d) 10kHz-12%-12 μs.

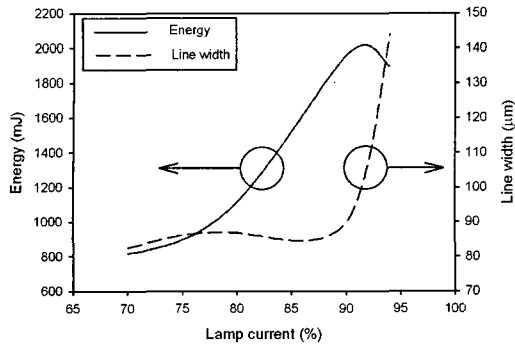


Fig. 4 The behaviour of radiation energy and processed linewidth at a given lamp current

current가 최고값의 90%에 이르기까지는 출력 에너지가 지수함수로 증가함을 볼 수 있으나 90% 이상이 되면 출력 에너지가 감소함을 볼 수 있다. 이에 따른 라인 폭은 최고치의 75%인 Lamp current 값을 가질 때 까지는 천천히 증가하다가 90%에 이르러 거의 일정해지며 그 이상에서 급격히 증가함을 볼 수 있다. 또한 조사 출력 에너지와 가공 선평폭의 관계는 다음과 같다. 출력 에너지가 1800 mJ에 이르기까지는 가공 선평폭이 지수함수적으로 증가하나 그 이상에서는 급격히 감소함을 볼 수 있다.

그림 5는 가변형 빔 확대기를 거쳐 확대된 빔을 결상 시킨 후 시료에 조사해 미세 선을 가공한 것이다. Lamp current는 70%와 80%의 값을 사용하였고 Duty cycle은 7, 10 및 12%로 변화시켰다. 그림 5(a)는 70%의 Lamp current 값과, 그림 5(b)는 80%의 Lamp current 값과 3~6배의 빔 확대기 사용시 Duty cycle과 라인 폭의 관계를 보여주고 있다.

마킹 포인트간의 중첩이 없고 드로스(dross)가 적은 안정적인 최소 가공선평폭을 가진 마킹을 하기 위해서 그림 5에서 보이는 변수들을 이용해 SUS 304N에 마킹된 형태를 그림 6과 그림 7에 보였다. 그림 6

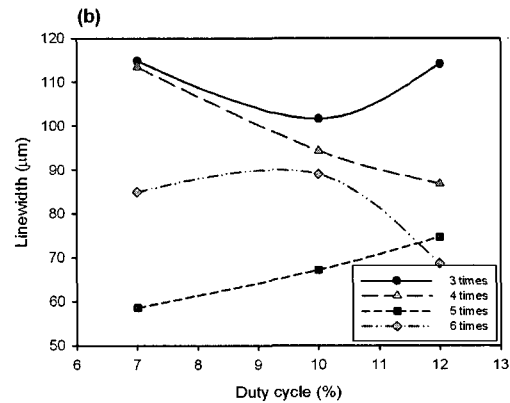
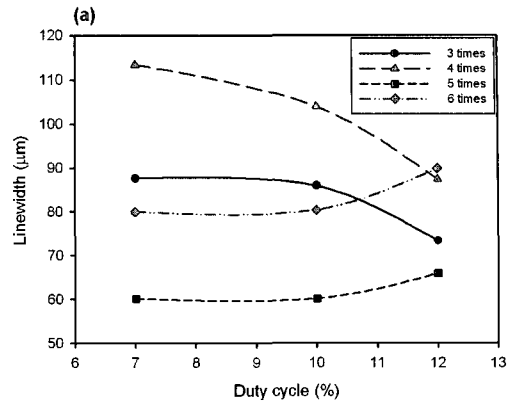


Fig. 5 The variation in linewidth with duty cycle when beam expander was used; (a) 70% Lamp current, (b) 80% Lamp current

은 Lamp current를 70%일때의 경우로써 그림 6(a)는 시료에 정확한 선을 형성하지 못하고 열에 의한 열영향층만을 생성된 것이 보인다. 이 때의 빔 확대기 배율은 2배이고 조사 에너지 출력은 약 600 mJ이었다. 그림 6(b), (c), (d)에서는 선을 형성하고 있지만 (b)의 경우 마킹 포인트 간의 중첩으로 유체의 흐름에 있어 많은 와류를 발생시켜 일정한 유체 흐름을 예측할 수 없다. 또한 그림 6(b)와 (c)는 마킹된 라인 주변에 많은 양의 드로스를 만들어내 인접된 라인을 형성하는 문제점을 안고 있다. 그림 6(e)의 경우 마킹 간의 중첩이나 드로스가 적은

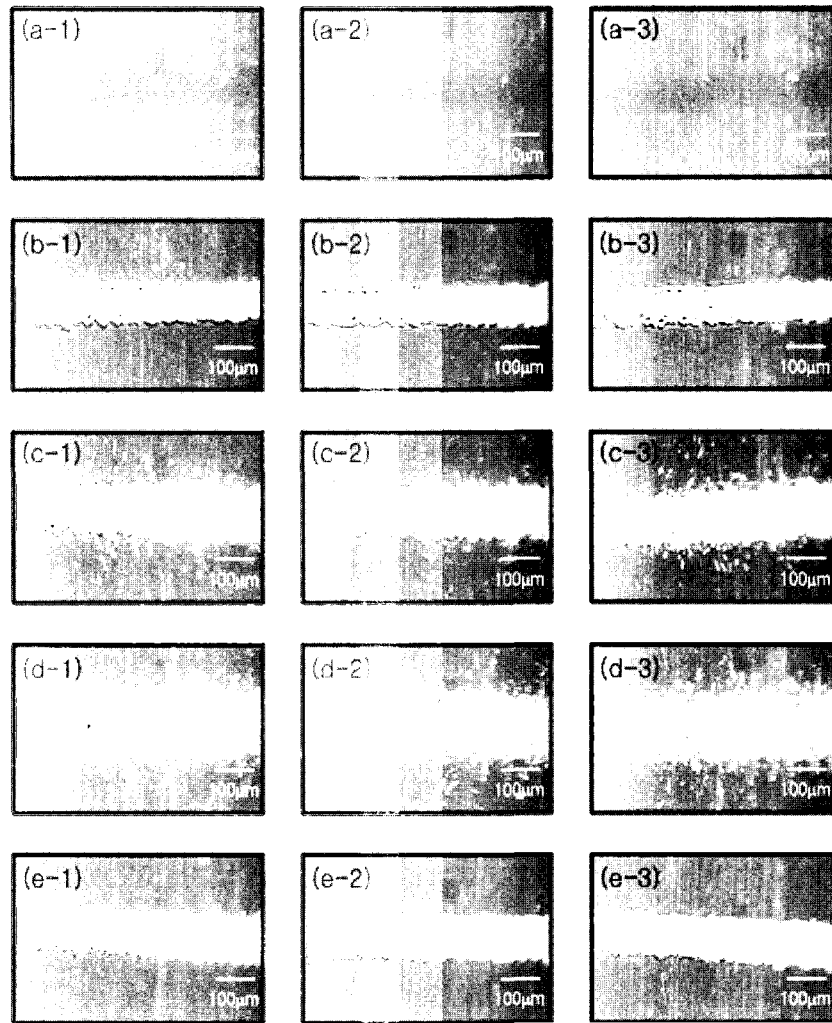


Fig. 6 The marking performance observation at 70% lamp current with changing amplification factor of beam expander; variable beam expander-Duty cycle-line width : (a-1)~(a-3) 2 times-threshold, (b-1) 3 times-7%-87.65 μm , (b-2) 3 times-10%-85.90 μm , (b-3) 3times-12%-73.30 μm , (c-1) 4 times-7%-94.50 μm , (c-2) 4 times-10%-103.95 μm , (c-3) 4 times-12%-87.43 μm , (d-1) 5 times-7%-60.12 μm , (d-2) 5 times-10%-60.12 μm , (d-3) 5 times-12%-65.85 μm , (e-1) 6 times-7%-79.94 μm , (e-2) 6 times-10%- 80.38 μm , and (e-3) 6 times-12%-89.85 μm

선 형태의 마킹을 보이고 있다. 그림 6(b), (c), (d)의 레이저 조사 출력은 약 800 mJ 이었으며 그림 6(e)의 레이저 조사 출력은 425 mJ 이었다. 빔 확대기 배율은 그림 6(b), (c), (d), (e)가 각각 3, 4, 5, 6배였다. 그림 7은 Lamp current 80%의 효율로 그림 6(a)와 같이 2배의 빔 확대기를 이용한

라인마킹으로 열영향층만 생성됨이 그림 7(a)에서 보여주고 있다. 이 때의 조사 에너지 출력은 890 mJ이다. 그림 7(b)는 그림 6(b)와는 다르게 포인트 간의 중첩을 보이지 않고 라인을 형성하고 있다. 이는 그림 6(e)와 비슷하지만 조사 출력이나 라인 폭을 볼 때 더 좋은 효율의 라인을 형성하고

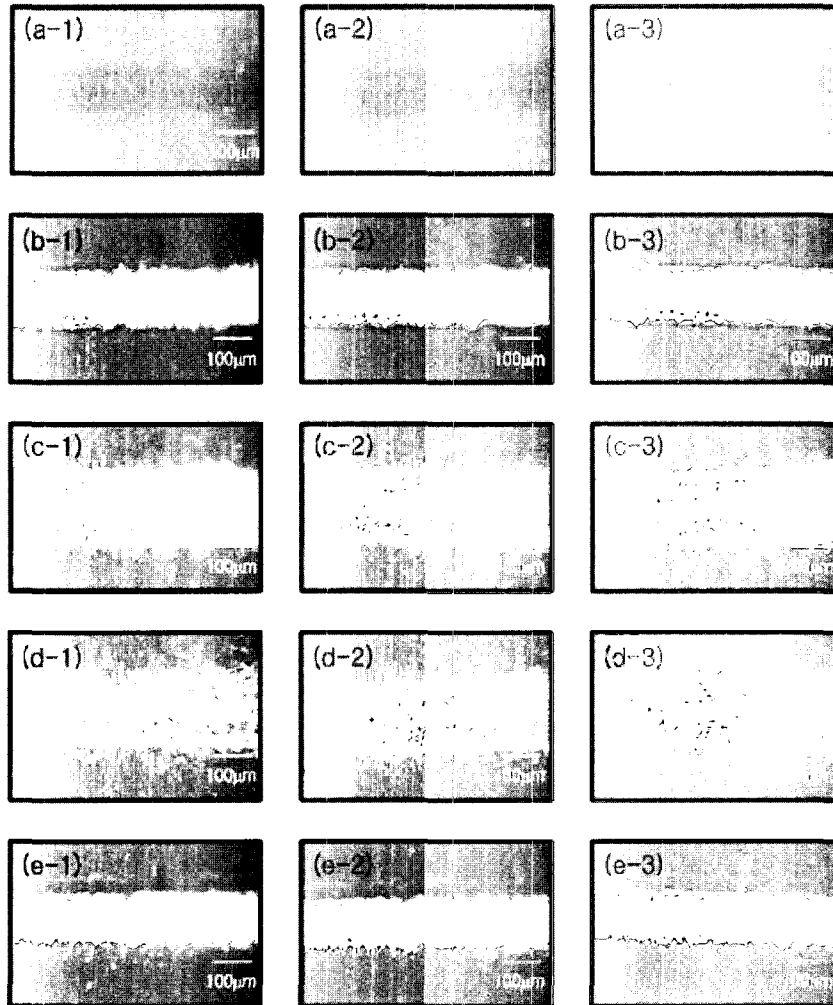


Fig. 7 The marking performance observation at 80% lamp current with changing amplification factor of beam expander; variable beam expander-Duty cycle-line width : (a-1)~(a-3) 2 times-threshold, (b-1) 3 times-7%-114.74 μm , (b-2) 3 times-10%-101.53 μm , (b-3) 3times-12%-114.08 μm , (c-1) 4 times-7%-113.42 μm , (c-2) 4 times-10%-94.26 μm , (c-3) 4 times-12%-86.78 μm , (d-1) 5 times-7%-58.58 μm , (d-2) 5 times-10%-67.17 μm , (d-3) 5 times-12%-74.66 μm , (e-1) 6 times-7%-85.01 μm , (e-2) 6 times-10%- 88.97 μm , and (e-3) 6 times-12%-68.71 μm

있다. 그림 7(b), (c), (d)의 레이저 조사 출력은 약 1,100 mJ 이고 그림 7(e)는 520 mJ 레이저 조사 출력에서 행해진 마킹이다. 또한 그림 7(b), (c), (d), (e)는 각각 3, 4, 5, 6 배의 빔확대기 배율을 이용한 결과이다. 그림 7(c)와 (d)는 그림 6(c), (d)와 같이 선 주변으로 많은 양의 드로스를 보이고 있어 앞에서 지적되었던 문제점을 안고 있다.

4. 결 론

레이저 마킹 시스템의 변수 중 레이저 조사 출력에 영향을 미치는 변수들만을 고려하여 유체의 흐름을 원활히 할 수 있는 모세관을 가공하였다. Lamp current 70%와 80%에서 모두 2배의 빔확대기 배율을 이용하였을 때 Duty cycle에 관계없이 threshold

를 나타내었으며, Lamp current 70%에서는 6배의 빔확대기를 사용해 Duty cycle 7-10% 범위에서 가장 양호한 선을 가공할 수 있었다. Lamp current 80%에서는 3배 및 6배의 빔확대기를 사용하였을 때 가장 양호한 라인 가공이 이루어졌으나 효율적인 면에서 볼 때 6배의 빔확대기를 사용하고 duty cycle 12%인 경우가 가장 양호한 선 가공이 가능하였다.

참 고 문 헌

1. 추원식 외, Journal of the Korean Society for Precision Engineering, 23(12), Dec. 2006.
2. NICE, 생분해성 고분자 마이크로 바늘, 23(3), 2005.
3. Mool C. Gupta, J. Material. Research, 3(6), Nov. 1988.
4. Xianfan Xu, Kevin H. Song, Materials Science and Engineering A292, 2000.