

# 레이저 마킹에서의 열 분포 시뮬레이션

## The simulation of thermal distribution in laser marking

조선대학교 광응용공학과 김영섭

아주대학교 기계공학과 김태훈

조선대학교 물리학과 박소희, 최은서, 신용진

### I. 서론

레이저 조사에 의한 물질 내부에서의 온도 분포에 관한 인지는 물질의 커팅, 드릴링, 마킹 및 용접과 같은 산업적 처리를 적용시키기 위한 중요한 단계이다. 특히 마킹과 표면처리는 레이저 조사 영역의 화학적 및 구조적 변화와 열탄성 변형 또는 연화(軟化)를 유도해 내고, 표면 열처리시 증발을 피하기 위한 목적을 내포하고 있다[1]. 이러한 물리적 상황은 간단한 수학적 모델에 의해 표현될 수 있으며 물질의 온도 분포는 이미 잘 알려진 열 전달 미분 방정식에 의해 풀어질 수 있다. 열원이 기하학적으로 대칭을 이루고 있고 물질의 물성이 변하지 않는다는 조건하에서는 간단한 해석학적 방법을 사용할 수 있으나 이러한 상황들이 더 복잡해 진다면 유한 차분법(FDM; Finite Differences Method)과 유한 요소법(FEM; Finite Elements Method)에 기초한 수치 계산적 방법을 사용하고 있다.[2] 본 연구에서는 FEM 프로그램에 의한 시뮬레이션의 해와 Green Function을 사용한 수치 계산 방법에 의해 열 미분 방정식을 풀이하여 레이저 가공시 발생하는 열 영향층의 관계를 증명하였다.

### II. 실험방법

본 실험에 사용된 열원은 20W급, CW형의 CO<sub>2</sub> 레이저로서 Gaussian의 강도 분포를 이루고 있으며 빔의 spot 반경은 35±5 $\mu$ m이다. 사용된 시료는 ABS 플라스틱으로 표 1과 같은 물성을 가지고 있다.[3]

Table 1. Physical properties of ABS plastic.

Classification	Value
Density [g/cm <sup>3</sup> ]	1.05
Heat Capacity [J/g-K]	2.0
Thermal Conductivity [W/m-K]	0.15
Glass Temperature [K]	400
Processing Temperature [K]	513

시료에 조사된 레이저를 열원으로 취급하여 가해진 온도 영역을 조사 레이저의 Spot size인 70 $\mu$ m의 크기로 시료의 경계면에 위치시켰으며 FEM에 기반한 ALTSOFT사의 COMSOL Multiphysics (Ver. 3.2a) 프로그램을 이용하여 시뮬레이션을 수행하였다. 조사된 열원이 연

속적이기 때문에 열확산에 의한 초기 pit에서부터 다음pit가 형성되기까지 연속적으로 이루어져야 하며 시뮬레이션 또한 연속적인 수행이 동반되어야 하나, 시뮬레이션 프로그램의 특성상 열원의 최고 온도를 고정하여 각 펄스에 대해 독립적으로 열 확산과 pit의 형성을 수행한 후 잠열을 고려하여 이를 보정하였다. 각 펄스에 대한 pit의 생성 온도는 Processing Temperature인 513K를 경계값으로 사용하였으며 HAZ(Heat Affected Zone)는 Glass Temperature인 400K를 경계값으로 지정하였다.

### III. 결과 및 고찰

연속적인 열 공급에도 불구하고 단일 펄스 효과에 의한 독립적인 가공 해석의 결과를 연속적인 가공 해석으로 귀결시키기 위해 보정이 필요하였으며 그 보정은 잠열의 선형적인 계산에 의해 가능하였다. 첫 번째 보정에 대한 잠열의 계산은 두 번째 pit의 경계면 외곽에 존재하는 열 분포곡선과 세 번째 pit의 경계면 외곽에 존재하는 열 분포 곡선의 선형적인 비례 관계에 의해 그림 (c)와 같은 보정된 pit의 경계를 구할 수 있었으며 그림 (d)와 같은 pit의 경계 또한 그림(c)와 같은 보정된 pit에 네 번째 pit를 형성시켜 같은 방법으로 보정하였다. 그림 1을 연속적인 열 흐름에 의해 형성된 pit라 본다면 pit의 폭과 깊이는 그림 2와 같다. 또한 Glass Temperature로 정의한 열 영향층을 관찰할 수 있었는데, 이는 두 번째 pit가 형성된 이후 폭 방향으로는 열의 영향을 거의 받지 않으며 깊이 방향의 열원에서 Glass Temperature 만큼의 열이 표면부로 전달되지 못하므로 열 영향층의 변화는 없었다. 그러나 깊이 방향으로 같은 온도의 열원이 반복적으로 주어지기 때문에 지수함수적으로 증가함을 볼 수 있었다.

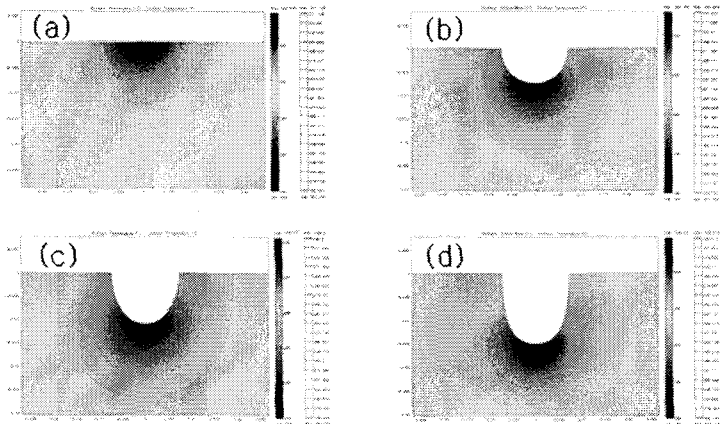


Fig. 1. Pits shape and HAZ of laser marking by simulation.; (a) heat source, (b) Creation of 2nd pit by boundary heat source of 1st pit , (c) Creation of corrected pit by latent heat of 2nd pit and 3rd pit, (d) Creation of re-corrected pit by latent heat of corrected pit and 4th pit.

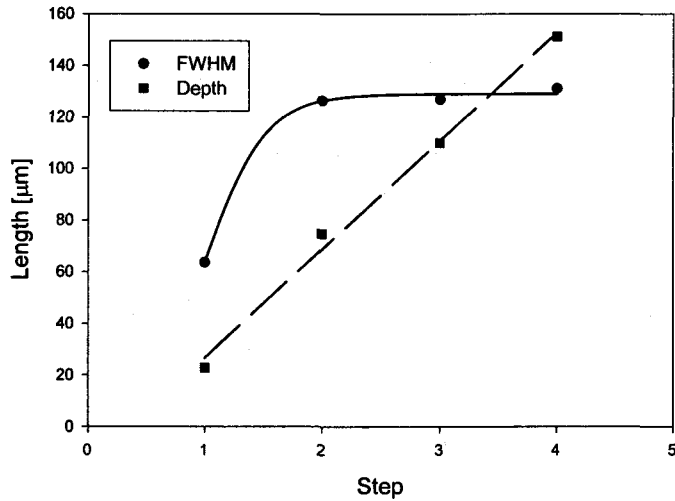


Fig. 2. Variation of FWHM and Depth by latent pits

#### IV. 결론

본 연구는 레이저를 열원으로 사용하여 물질 내에서의 열 분포를 구한 후 processing temperature의 경계를 찾아 pit를 형성시키고 그에 해당하는 열 영향층을 찾기 위한 시뮬레이션으로써 실제 레이저 마킹시 발생하는 melt flow나 vaporization등과 같은 메커니즘을 배제하였다. 본 연구의 결과물로서 레이저 마킹으로 인한 pit 형성의 중간 과정과 열 분포의 형태를 제시함으로써 실제 레이저 마킹에서 발생하는 메커니즘을 예측할 수 있는 기초 자료로 제시하고자 한다.

#### V. 참고문헌

1. J. C. Conde, F. Lusquinos, P. Gonzalea, B. Leon, and Perez-Amor : Temperature distribution in laser marking, *Journal of Laser Applications*, vol. 13, No. 3, p. 105-106, (2001)
2. M. Necati Ozisik : Heat Conduction, A Wiley-Interscience Publication, pp. 214-217, (1993)
3. 김우식, 서관호, 이영무, 이장우, 임승순, 장정식, "고분자공학개론", 서울-자유아카데미, pp.335-337, (1996)