

# UV 레이저(355nm)를 이용한 금속박막 미세가공 공정의 해석모델

## Analysis Model of Micro-machining Process of a Metal Thin Film Using UV Laser (355nm)

\*이정한<sup>1</sup>, 오재용<sup>2</sup>, 박상후<sup>1</sup>, #신보성<sup>2</sup>

\*J. H. LEE<sup>1</sup>, J. Y. OH<sup>2</sup>, S. H. PARK<sup>2</sup>, #B. S. SHIN(bosung@pusan.ac.kr)<sup>2</sup>

<sup>1</sup>부산대학교 기계공학부, <sup>2</sup>부산대학교 정밀정형 및 금형가공 연구소

Key words : UV laser, Photothermal, Photomechanical

### 1. 서론

레이저 미세가공은 절단이나 천공에서처럼 레이저 빔을 이용하여 기계적 가공효과를 내는 경우와 포토리소그래피(photolithography)에서처럼 광원으로 활용되는 경우, 또 레이저 빔을 에너지 공급원으로 사용하면서 가공물에 열적 / 화학적 현상을 유도하는 경우 (laser-induced process) 등으로 구분될 수 있다. 일반적으로 고출력 레이저에 의한 고체소재 가공 시에는 재료의 용융, 증발, 플라즈마 및 입자 발생 등이 거의 동시에 일어나는데 이와 같이 레이저 - 소재간의 상호작용에 의해 발생하는 현상을 총괄적으로 레이저 어블레이션(ablation)이라고 부른다. 그 동안 금속재료에 대한 어블레이션의 이론적 해석은 열적 메커니즘을 중심으로 이루어져 왔으며 주로 온도해석에 국한되어 있다. 왜냐하면, 나노초 레이저에 의한 가공은 광열적(photothermal) 메커니즘이 지배적이므로 용융금속의 거동 및 온도분포 해석이 복잡하고 가공변수가 많기 때문에 정확한 예측이 어렵기 때문이다.<sup>(1-2)</sup> 본 연구는 광열적 메커니즘과 더불어 기존에 선행되었던 광기계적(photomechanical) 메커니즘에 의한 가공해석을 동시에 수행함으로써 금속재료의 레이저 미세가공에 대한 시뮬레이션과 실험 결과 사이의 오차를 줄이고 가공형상 예측에 도움을 줄 수 있을 것이라고 판단한다.

### 2. 레이저 가공요소와 해석 모델링

본 연구에서 상용 유한요소 해석 도구로써

ANSYS Workbench 가 사용되었으며, Transient Thermal - Transient Structural 해석시스템을 활용하여 광열적, 광기계적 어블레이션에 대한 해석을 동시에 수행하였다. 실험 및 모델링에 사용된 소재는 구리박막이며 355nm DPSS UV 레이저의 주요 성능은 Table 1 과 같다.

Table 1 Specification of 355nm DPSS UV laser

Wave length	355 nm
Average power	~ 3 Watt
Pulse length	25 ns
Repetition rate	30.30303 kHz
Mode (M2)	TEM <sub>00</sub> (<1.25)
Beam diameter	1.5 mm

레이저 조사 시 표면에 발생한 열원은 heat flux 로써 표현 되었으며 구리가공이 시작되는 에너지인 문턱 값(threshold energy) 약 1.0 J/cm<sup>2</sup> 을 기준으로 주었다. 열해석 결과 가공 중심부에서의 온도가 약 3000(K) 이므로 구리의 기화온도를 넘어섰기 때문에 증발에 의한 플라즈마가 발생하고 충격 압력파가 생성 되었다고 판단하였으며 그 크기는 선행 연구된 논문을 인용<sup>(3)</sup>하여 0.0335 Mbar 가 해석에 적용되었다.

### 3. 시뮬레이션 결과 및 분석

광열적, 광기계적 메커니즘에 의한 어블레이션에 대해 동시 해석해본 결과, Fig. 1 과 같이 열원 및 압력이 가해지는 시간 (20 -

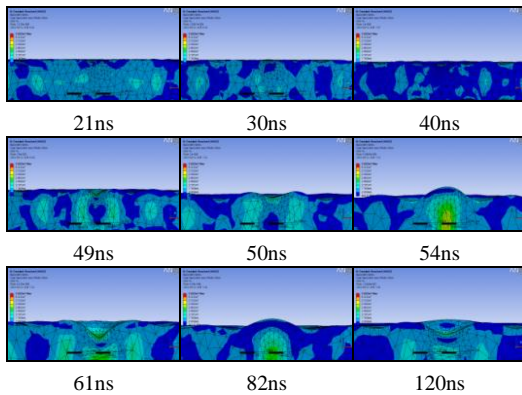


Fig 1. A equivalent(von-Mises) stress distribution

45ns) 이후 입열에 의한 팽창과 충격 압력파에 의한 진동이 관찰되었다. Fig. 2 에서와 같이 총 21 $\mu$ sec 의 해석시간동안 최초 싱글 펄스에 의한 가공에너지 발생 이후 다음 펄스가 있기까지의 시간(약 33 $\mu$ sec) 동안 열원 및 충격 압력파가 사라지는 것을 확인할 수 있었다. 본 해석시스템에서 기화온도를 넘어선 증발이나 파단강도를 넘어선 재료의 파단이 표현되지 않았기 때문에 표면에 가공 홀의 흔적을 남기지 않고 회복이 되어버린 것으로 판단된다. Fig. 3 에는 시간의 흐름에 따른 변형률 속도 (strain rate)의 변화량을 나타내었으며, 10<sup>6</sup> (1/sec) 이상의 높은 변형률 속도에서의 해석이 수행되었음을 알 수 있다.

#### 4. 결론

본 연구를 통하여 355nm UV 레이저를 이용한 금속박막 미세가공의 해석모델에 대한 광열적, 광기계적 메커니즘을 동시에 포함하는 유한요소 해석을 수행하였다. 제안한 해석 모델에서 가공된 표면의 형상이 변화하는 과정을 관찰할 수 있었으며 소재의 기화점 (boiling point) 온도 이상 가열되는 에너지 조건에서의 가공형상 또한 예측해 볼 수 있었다. 다만, 노드 (node)의 삭제가 고려되지 않은 점이나 플라즈마 발생에 의한 소재와 레이저간의 에너지 전달 및 에너지 분포 등 복잡한 현상에 대한 해석조건이 추가된다면 향후 보다 정확한 레이저 가공 현상을 규명할 수 있을 것으로 생각된다.

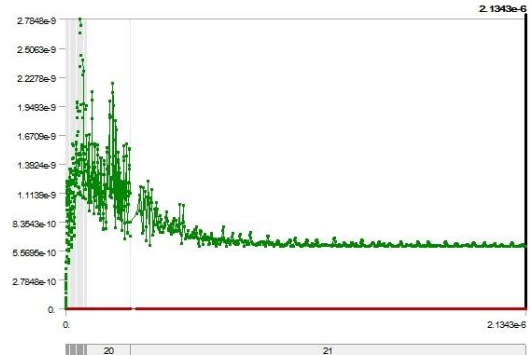


Fig. 2 Time(ns) – Total deformation graph

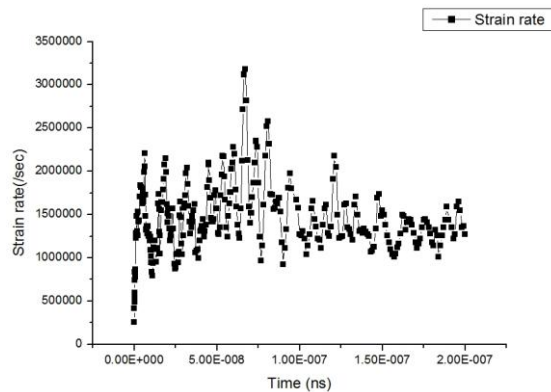


Fig. 3 Time(ns) – Strain rate graph

#### 후기

본 연구는 지식경제 기술혁신사업인 “차세대 초정밀 / 초고속 레이저 복합 / 유연 가공기술 개발” 과제의 지원으로 이루어졌음.

#### 참고문헌

1. 오재용, 신보성, “355nm UV 레이저 가공에 의한 폴리이미드의 광화학적 및 광열적 어블레이션에 관한 연구”, 한국정밀공학회지, 24-4, 147-152, 2007
2. 정성호, “레이저 미세가공의 원리 및 현상”, 전기학회지, 50-5, 22-27, 2001
3. Tongxiang Hu, Zhenqiang Yao, Jun Hu, “3-D FEM simulation of laser shock processing”, Surface & Coatings Technology, 201, 1426-1435, 2006