

광섬유 전송 레이저 몰드 클리닝

Optical fiber delivered laser cleaning of molds

[주]아이엠티 레이저그룹 이종명

I. 서론

최근 레이저 클리닝 기술은 어떠한 오염물질도 배출시키지 않는 청정 생산 기술로 각광을 받고 있다. 문화재 복원 분야, 의학적 응용 분야, 산업적 세정 분야, 각종 서비스 분야 등에서 기존의 화학적 혹은 기계적 방법의 클리닝 기술과 비교하여 우수한 세정 성능을 보여주고 있는 많은 연구 결과 및 실험 결과들이 속속 발표되고 있다[1]. 특히 산업 분야에서 자동차 타이어 몰드의 클리닝, 항공기 및 자동차 페인트 제거, 각종 정밀 금형 부품의 클리닝, 반도체 웨이퍼 클리닝, 칩 패키징 공정에서의 몰드 프레쉬의 제거, 방사능 오염 물질 제거 등 많은 응용 사례들이 발표되고 있다[1]. 레이저 클리닝의 성공적인 현장 적용을 위해서는 레이저 빔의 효과적인 전송이 매우 중요하다. 대부분의 레이저 빔 전송에 있어 사용되는 방법은 미러 혹은 프리즘을 이용하거나, 광섬유를 이용하는 방법이 있다. 이중 광섬유를 이용한 레이저 빔의 전송은 가능한 파장 영역이 한정돼 있지만, 광섬유가 가진 공간적 유연성이라는 우수한 장점으로 인해 많은 분야에서 미러 방식의 빔 전송을 대체하고 있다.

본 논문에서는 레이저 클리닝을 수행함에 있어 광섬유를 사용하는 경우 나타나는 특징 및 기술적으로 해결해야 하는 문제를 살펴보고, 실제 광섬유 전송을 이용한 몰드 클리닝 사례를 통해 그 유용성을 살펴 보겠다.

II. 최적 레이저 클리닝

레이저 클리닝 효과를 좌우하는 많은 파라미터 중에 단위면적당 입사 에너지량인 레이저 플루언스(fluence: J/cm²)는 매우 중요하다. 어떤 작업물을 클리닝하기 위해 조사하는 레이저빔의 플루언스를 서서히 증가시킨다고 하자. 플루언스가 증가함에 따라 어떤 임계값 이상에서 표면 오염 물질의 제거가 시작되는데 이를 클리닝 임계값(cleaning threshold)이라고 한다. 계속하여 레이저 플루언스를 증가시키면 모재의 손상이 발생하는데, 이때의 플루언스를 모재 손상 임계값(substrate damage threshold)이라고 한다. 따라서 최적의 레이저 클리닝을 위해서는 조사되는 레이저 플루언스가 클리닝 임계값 이상 모재 손상 임계값 이하가 되어야 함을 알수 있는데, 이를

그림으로 표현하면 Fig. 1과 같다.

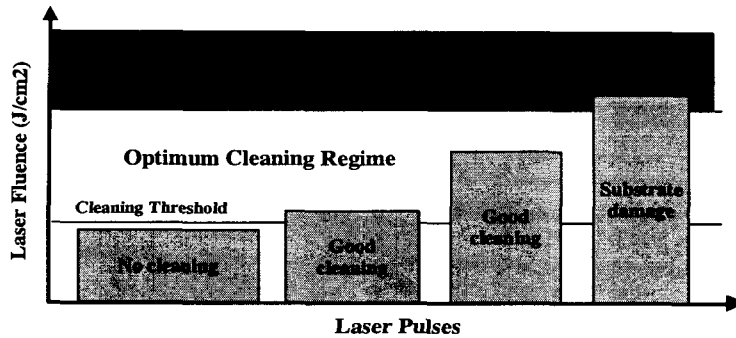


Fig. 1. Optimum cleaning regime with laser fluence

일반적으로 재료 가공을 위해 널리 사용하는 가우시안 빔형태의 레이저 빔을 사용해 클리닝을 수행할 경우 Fig. 2에서 보는 바와 같이 빔의 분포가 조사 면적에 고르게 분포하지 않아 균일한 표면 클리닝을 수행하는데 문제가 발생한다. 또한 빔 중앙 부분의 높은 피크(peak) 에너지로 인해 모재 손상 가능성이 높아져 세심한 주의가 요망된다. 그러나 광섬유를 통한 레이저 빔의 경우 빔 형태가 거의 완벽한 돛햇(top-hat) 형태로 발현되기 때문에 균일한 표면 클리닝이 가능하고, 모재 손상 가능성 또한 매우 줄일 수 있다는 장점이 있다.

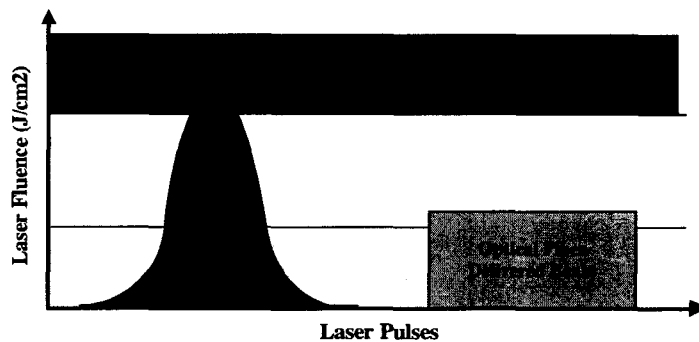
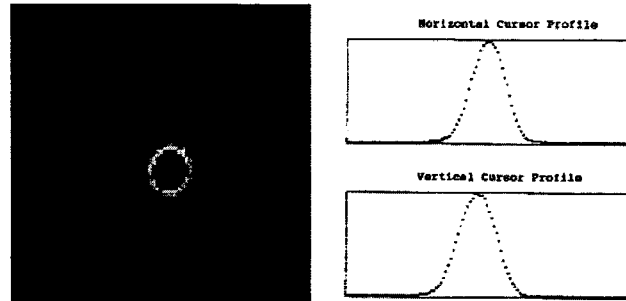
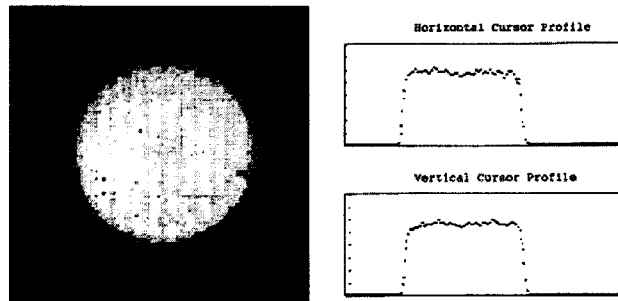


Fig. 2. Cleaning effect with laser beam profile

Fig. 3은 가우시안 빔과 광섬유를 통해 얻은 레이저빔의 형태와 에너지 분포를 보여 주고 있다. 레이저 빔의 광섬유 전송에 있어 피크출력이 큰 레이저 펄스의 전송은 광섬유 자체에 손상을 줄 수 있어 빔의 균질화 처리와 같은 추가적인 기술이 요구된다. 또한 적절한 배열 렌즈의 사용은 빔의 형태를 원형이 아닌 직사각형 형태의 모양으로 변형이 가능해, 보다 효율적인 클리닝을 수행할 수 있다.



(a) Direct laser beam: Gaussian profile



(b) Fiber-delivered beam: Top-hat profile

Fig. 3. Energy distribution of Gaussian beam and fiber-delivered beam

III. 광섬유 전송 모드 클리닝

Fig. 4는 광섬유 전송 레이저 클리닝 방법을 이용해 플라스틱 몰드를 클리닝 한 모습을 보여주고 있다. 이때 사용된 레이저는 Q-switched Nd:YAG 레이저이며, 출력은 40W, 펄스폭은 10nsec이다. 기존의 기계적, 화학적 방법의 클리닝과 비교해 광섬유 전송 방식을 이용한 레이저 클리닝은 주변 오염이 발생하지 않고, 몰드의 해체가 필요 없이 in-situ로 클리닝을 수행할 수 있으며, 매우 복잡한 형상도 쉽게 클리닝을 할 수 있다는 특징을 가지고 있다.

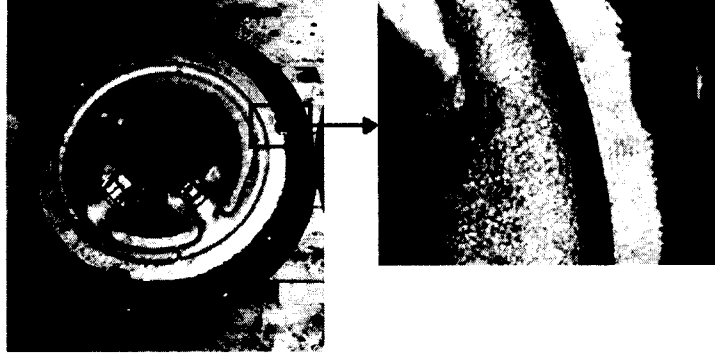


Fig. 4. Fiber delivered laser cleaning of plastic mold

IV. 결론

레이저 클리닝을 수행함에 있어 광섬유를 이용한 전송 방법의 장점 및 특징, 그리고 이를 응용한 실제 사례를 살펴보았다. 클리닝 성능 및 품질 면에서 레이저 클리닝은 기존의 클리닝 방법에 비해 많은 비교 우위를 가지고 있다. 그러나 여전히 고가 장비라는 문제로 인해 광범위한 실제 적용이 미루어지고 있는 것이 현실이다. 지속적인 연구 개발을 통한 레이저 기술의 발전 및 시스템 가격의 하락, 그리고 환경 친화적 기술 개발이라는 시대적 요구에 부응하여, 향후 레이저 클리닝의 장래는 매우 밝다 사료된다.

VI. 참고 문헌

1. 이종명, 레이저와 청정가공, 한림원 (2002)