

# 5축 레이저 가공을 위한 OMM 기반 오차 보정 가공 알고리즘 개발 Development of OMM-based precision machining algorithm for 5-axis laser milling machine

\*위경훈<sup>1</sup>, 김형중<sup>1</sup>, #안성훈<sup>2</sup>, 전차수<sup>3</sup>, 국선호<sup>4</sup>

\* K. H. Wie<sup>1</sup>, H. J. Kim<sup>1</sup>, #S. H. Ahn(ahnsh@snu.ac.kr)<sup>2</sup>, C. S. Jun<sup>3</sup>, S. H. Kuk<sup>4</sup>

<sup>1</sup> 서울대학교 기계항공공학부 대학원, <sup>2</sup> 서울대학교 기계항공공학부, 정밀기계설계공동연구소,

<sup>3</sup> 경상대학교 산업시스템공학부, 공학연구원, <sup>4</sup> (주)쿠키온

Key words : Laser beam machining, OMM(On-Machine-Measurement), Error compensation machining

## 1. 서론

최근 정보통신, 가전, 자동차, 생명 산업의 급격한 발달과 제품의 경량화, 소형화를 위한 미세부품의 수요가 증가함에 따라 미세가공 기술(micro fabrication technology)에 대한 중요성이 부각되고 있다. 레이저 가공은 비접촉 가공 방식이고 에너지 밀도가 높은 레이저 빔을 사용하기 때문에, 재료의 경도나 강성에 상관없이 다양한 재료의 가공이 가능하며 빔의 크기(spot size)를 줄여 미세하고 정밀한 형상을 얻을 수 있다.<sup>1</sup> 따라서 레이저 가공을 이용하여 3차원 형상을 가공하는 것은 기존의 기계식 가공에서 얻기 힘든 형상을 제작하는 데에 매우 유용하다. 하지만 3차원 레이저 가공은 질량을 레이어에 따라 제거하는 공정이기 레이어 간의 가공이 연속적이지 못하다. 이러한 특징은 계단형상의 문제점을 발생시킬 수 있으며, 최종 형상에 영향을 미치게 된다.<sup>2</sup> 이에 따라 레이저 가공의 가공 정밀도를 향상시키려는 노력이 급격하게 증가하고 있으며, 이를 위해 가공 중인 모델의 위치오차를 측정하고 해석하여 보정할 수 있는 알고리즘이 필요하다.

본 논문에서는 5축 레이저 밀링 장비를 이용한 정밀 가공을 위해 1차 가공이 끝난 제품에 대해 연속점 측정 방식의 OMM(On-Machine-Measurement) 시스템을 이용하여 형상 데이터를 측정 후, 오차 부분에 대한 후가공을 수행하는 알고리즘에 대해 기술하였다. 그리고 제안된 알고리즘의 성능을 평가하기 위해, 가공 테스트를 수행하고 그 결과를 정리하였다.

## 2. OMM 기반 오차 보정 알고리즘

중분 제거 방식을 사용하는 3차원 레이저 가공에서는 한 레이어에서 가공 에러가 발생할 경우 이에 대한 에러는 계속 누적되어 최종 형상에 큰 영향을 미치게 된다.<sup>3</sup> 이러한 가공 오차의 보정을 위해서 1차 가공 후 가공 오차 부분에 대한 후가공을 수행할 경우 보다 정밀한 최종 형상을 얻을 수 있다.

이러한 정밀 가공을 위한 공정계획은 1차 가공 형상에 대한 재구성 알고리즘과 재구성한 형상과 최종 형상간의 에러계산 및 후가공 알고리즘으로 이루어진다. 1차 가공한 제품에 대해 OMM 시스템에서 측정한 3차원 점군(point cloud)을 이용하여 3차원 가상 모델을 생성하였으며, 이후 가상 모델과 최종 형상과의 비교를 통해 미삭제량(undercut)을 계산하는 알고리즘을 구현하였다. 마지막으로 미삭제량에 대한 추가 가공을 수행하는 시스템을 구현하였다.

### 2.1 형상 재구성 알고리즘

OMM에서 측정한 3차원 점군 데이터를 기반으로 표면을 재구성하는 절차는 다음과 같다.

1. 평면상에 적절한 크기의 기본 삼각망(triangular patch basis)을 구성한다.
2. 하나의 삼각형을 선택한 후, 선택한 삼각형 위에 위치하는 OMM 측정점들을 찾는다. (Fig. 1 (a))

3. 해당 점들의 평균 높이를 계산한다.
4. 계산한 높이까지 삼각형을 이동하여 3차원 공간 상에 위치시킨다. (Fig. 1 (b))
5. 모든 삼각형들에 대해서 2-4번 과정을 반복한다.
6. 구성된 OMM 기반 삼각망을 빈 공간이 없도록 연결시킨다. (Fig. 2)
7. 모델의 옆면 삼각형의 높이 데이터를 이용하여 옆면을 생성한다.

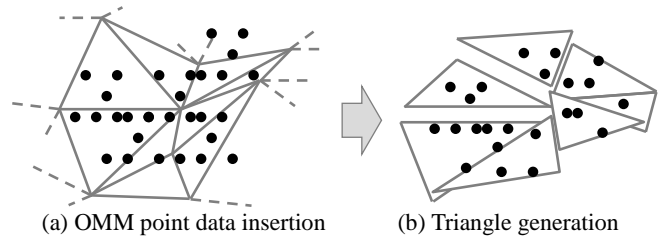


Fig. 1 Triangle generation in 3-axis space based on triangular patch basis

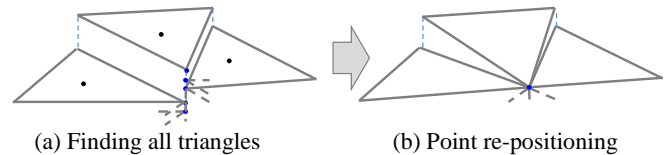


Fig. 2 Connection between triangles around a single point

공간상에 삼각형을 생성한 후, 생성한 삼각형들을 연결시킬 때는 Fig. 2와 같이 점 기반 보정을 이용한다. 원 모델에서 같은 점을 공유하는 점들을 검색하여 해당하는 점들의 평균 높이로 검색된 모든 점을 이동시킨다. 이와 같은 작업을 원 모델의 모든 점들에 대해서 수행하면 최종적으로 근사화된 3차원 형상을 얻을 수 있다.

형상 재구성 절차 중 정밀도에 가장 많은 영향을 미치는 인자는 형상 재구성의 기본 단위가 되는 기본 패치의 크기 및 기준 위치이다. 본 알고리즘에서는 보다 정확한 형상 재구성을 위해 Fig. 3의 (a), (b)와 같이 기본 삼각망을, 시스템의 입력 데이터로 사용하는 Stereolithography(STL) 모

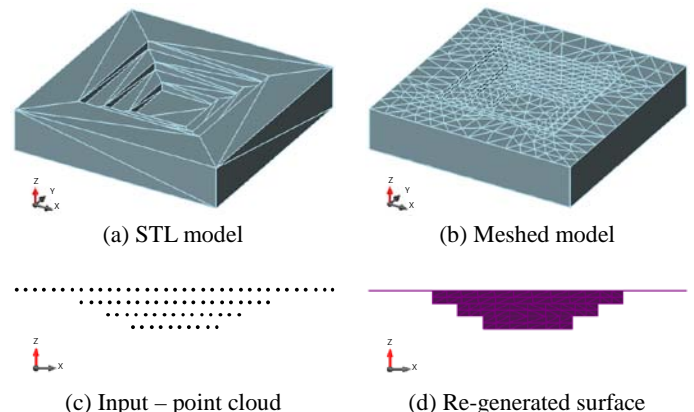


Fig. 3 Surface re-generation sequence

델의 표면을 메쉬(mesh)화 하여 사용하였다. 이 방법은 최종 가공 형상을 고려한 형상 재구성 알고리즘으로서, 형상을 고려하지 않은 일반적인 그물망 알고리즘을 사용하는 방법에 비해 보다 정밀한 표현을 할 수 있다. Fig. 3(d)는 OMM 기기가 측정한 점군 데이터(Fig. 3(c))를 이용하여 재구성한 표면 형상이다.

### 2.2 가공에러 계산 및 후가공 알고리즘

후가공의 가공 경로 생성을 위해서는 가공이 필요한 영역에 대한 정보가 필요하다. 즉, 형상 재구성 알고리즘을 통해 얻은 1 차 가공 후의 형상 정보와 최종 목표 형상간의 차이를 구해야 한다. 가공 에러의 계산은 Fig. 4 과 같이 가공된 형상과 원래의 형상과의 불리언 조작(Boolean operation)으로 이루어진다. 두 형상 모두 같은 기본 삼각망을 기반으로 이루어져 있으므로 높이 차이의 계산과 간단한 보정을 통해 에러의 크기를 구할 수 있다.

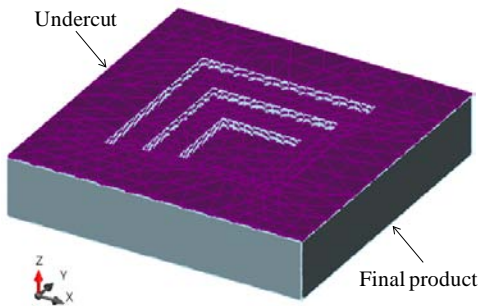


Fig. 4 Error calculation between the regenerated volume and the final product

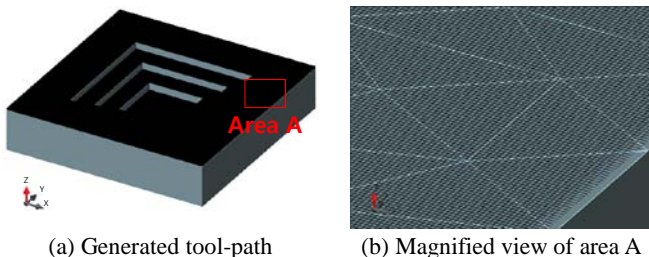


Fig. 5 Tool-path generation for error volume

상기의 방법으로 얻은 에러 형상에 대해서 Fig. 5 와 같이 후가공 경로를 생성하여 최종 가공품을 얻도록 한다.

### 3. 구현 및 결과

제안된 알고리즘을 평가하기 위해 C# 기반의 형상 재구성 및 경로생성 프로그램을 구현하였다. 입력 STL 모델과 해당 모델의 1 차 가공이 완료된 결과물의 OMM 데이터를 기반으로 형상을 재구성할 수 있는 모듈과 두 형상간의 차이를 계산하여 오차 부분에 대한 추가 가공 경로 생성을 할 수 있는 모듈을 구현하였다.

Fig. 6 는 1 차 가공후의 제품의 직벽 부분의 단면으로, 아크릴 재료에 CO<sub>2</sub> 레이저를 이용하여 10 μm 의 가공 깊이 (Depth of cut)를 적용한 추가공을 통해 샘플 모델을 가공한 결과이다. 원래의 가공 목표인 2 mm 보다 얇은 약 1.5 mm 의 깊이만이 가공된 것을 관찰할 수 있다. 이와 같은 현상은 레이저 파워, 가공경로 오버랩의 양, 슬라이싱 깊이 등의 레이저 가공 변수의 잘못된 설정, 또는 갑작스런 가공 중단 등에 의해 일어날 수 있다.

제안한 알고리즘의 검증을 위해 아크릴에 1 차 가공이 완료된 모델을 OMM 기기를 이용하여 측정 후 오차 부분에 대한 후가공을 실시하였다. (Fig. 7) 최종 가공 깊이가 원래 설계한 모델과 비슷한 약 2 mm 가 되는 것을 확인할 수 있다.

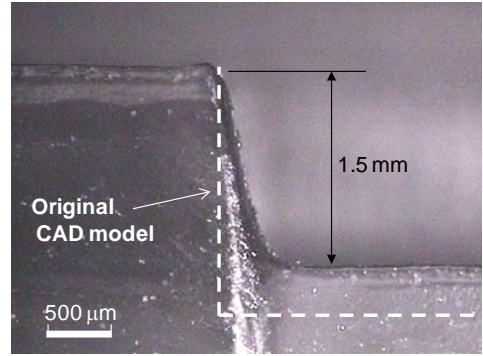


Fig. 6 Result of laser milling before post-machining

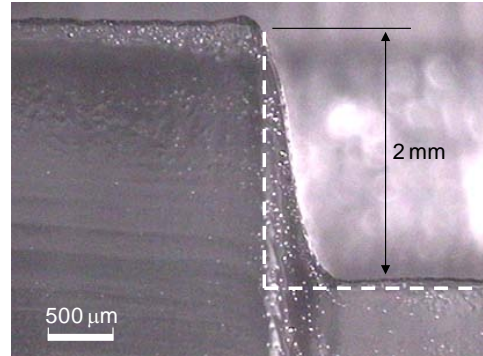


Fig. 7 Result of laser milling after post-machining

### 4. 결론

본 논문에서는 3 차원 레이저 가공의 가공 정밀도 향상을 위한 OMM 기반의 오차 보정 가공 알고리즘을 구현하고, 이를 평가하였다. OMM 측정 데이터를 이용하여 1 차 가공 후의 형상을 재구성 하는 알고리즘을 구현하였으며, 보다 정확한 구현을 위해 사용자가 입력한 STL 모델을 이용하여 기본 삼각망을 구성하여 형상 재구성의 기본 단위로 사용하였다. 추가 가공이 필요한 오차 형상을 얻기 위해 1 차 가공 후의 형상과 최종 목표 형상과의 차이를 계산하는 모듈을 구성하였다. 계산을 통해 얻은 추가 가공량에 대한 2 차 공정계획 및 후가공을 통해 보다 최종 가공품의 품질을 향상시켰다.

제안된 알고리즘의 평가를 위해, 레이저를 이용하여 아크릴 재료에 가로 세로 30 mm, 깊이 6 mm 의 샘플 모델을 가공하였으며, 비교적 우수한 품질의 가공 결과를 얻을 수 있었다.

### 후기

본 연구는 서울시 산학연 협력사업(과제번호: TR080578), 서울대학교 2 단계 BK21 사업, ERC(Micro Thermal System Research Center)의 지원으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

### 참고문헌

1. Dubey, A. K. and Yadava, V., "Laser beam machining - A review," *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, **48**, 609-628, 2008.
2. 김형중, 위경훈, 안성훈, 전차수, 이상훈, 이정근, 조현욱, 박정환, "5 축 가공의 응용 - 레이저 가공, 사출금형 가공," *한국정밀공학회지, 한국정밀공학회*, **26(10)**, 25-31, 10 월, 2009.
3. Ilie, D., Mullan, C., Favre, S., O'Connor, G. M., Glynn, T. J., "Cumulative damage effects in different machining strategies for 2.5D laser micro structuring of polyimide," *Processing of SPIE*, **5827**, 527-536, 2005.