

레이저 패턴 가공용 스캔 도구경로 생성

이창호*, 박상철**

Scan Tool-Path Generation for Laser Pattern Machining

Chang Ho Lee* and Sang Chul Park**

ABSTRACT

This paper proposes an approach to generate tool-path for laser pattern machining. Considering the mechanical structure of a laser pattern machine, it is quite similar to that of a 2D milling machine. Based on the observation, one may try to utilize the tool-path generation methodologies of 2D milling for the laser pattern machining. However, it is not possible to generate tool-path without considering the technological requirements of laser pattern machining which are different from those of 2D milling. In this paper, we identify the technological requirement of laser pattern machining, and propose a proper tool-path generation methodology to satisfy the technological requirements. For the efficient generation of tool-path, this paper proposes a tool-path element computation method, which is based on the concept of a monotone chain.

Key words : Laser pattern machining, Milling, Technological requirement, Tool-path

1. 서 론

최근 제품의 심미성이 중요해짐에 따라서 휴대폰 부품, 금형 그리고 귀금속 등 다양한 소형제품에 대한 미세 패턴 가공 및 문자 조각 등에 대한 요구사항이 급격히 늘어나고 있는 상황이다. 이러한 미세 패턴을 위한 기존 방법은 크게 두 가지로 볼 수 있는데, 물리적 제거 공정인 스크래칭과 화학적 제거 방법인 에칭 공정이 있다. 물리적 제거공정인 스크래칭은 특정 설계 패턴을 만들 수 없는 한계가 있을 뿐 아니라 기존의 절삭가공은 마이크로 패턴 가공에는 기술적, 경제적으로 적합하지 않다. 화학적 방법인 에칭 공정은 자동차 범퍼와 전자제품 케이스에 주로 적용되는 미세 패턴가공 기술이지만 화학약품을 사용하는 유해 산업이다. 또한 공정이 복잡하고 노동집약적 산업으로 자동화가 어렵고 생산성 향상이 매우 어렵다.

이러한 미세패턴 가공에 대한 어려움을 극복하기

위해서 레이저를 이용한 미세패턴 가공이 새로운 대안으로써 적용되고 있다. 일반적인 CNC 레이저 가공기는 레이저 발진 소스 및 렌즈를 이용하여 일정 초점 거리에 제품을 위치시키고 레이저 빔을 주사하여 미세량의 소재를 제거하는 장비이다^[4]. 또한 스캐너를 장착하여 일정 영역내에서 특정 문양 및 도형을 가공하게 되는데 이를 일반 절삭가공과 비교한다면 장착된 렌즈의 허용범위 내에서 2차원 밀링가공을 수행하

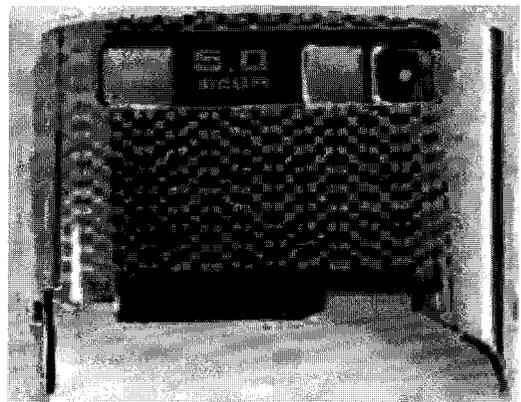


Fig. 1. A pattern on a cell phone.

*학생회원, 아주대학교 산업공학과

**교신저자, 종신회원, 아주대학교 산업정보시스템공학부

- 논문투고일: 2011. 01. 28

- 논문수정일: 2011. 06. 15

- 심사완료일: 2011. 06. 21

는 것과 개념상 유사하다고 볼 수 있다¹⁴⁾. 이러한 레이저를 이용한 미세 패턴가공은 활용 분야로써 휴대폰을 포함한 전자제품의 제조, 금형 가공, 귀금속 가공 등과 같은 분야에 최근 활발히 적용되고 있는 추세이다(Fig. 1).

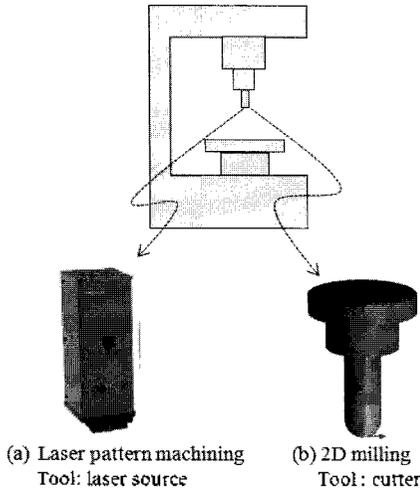


Fig. 2. Laser Pattern Machining & 2D milling.

하지만 활발한 활용 추세와는 달리 아직도 이러한 레이저 가공을 위한 공구경로 생성에 관한 연구는 부족한 실정이다. 개념상으로는 레이저 패턴 가공이 기존 2차원 밀링가공과 유사한 점이 있지만(Fig. 2) 레이저 가공 본연의 기술적 요구사항들이 충분히 반영되지 않아서 적용에 어려움이 있는 실정이다. 본 연구에서는 기존 2차원 밀링가공에서의 공구경로 방식과 이슈들을 살펴보고, 이를 레이저 패턴가공의 기술적 요구방식에 비추어 어떻게 수정 적용할 것인지를 살펴보고자 한다.

본문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 레이저패턴가공의 기술적 요구사항을 살펴보고 이를 만족시키기 위해서 어떻게 접근할 것인지를 설명한다. 3장에서는 제안된 접근방법에서 핵심적인 공구경로 계산알고리즘을 설명하고, 결론 및 요약은 4장에서 설명한다.

2. 접근 방법

본 논문에서는 레이저 패턴가공의 공구경로 생성을 위해서 기존 2차원 밀링가공에서의 공구경로 생성 방법들을 먼저 살펴보기로 한다. 밀링가공에서의 공구경로 생성은 일반적으로 다음과 같이 3단계로 나누어 볼 수 있다.

■ 2차원 밀링가공 공구경로 생성단계

- ① 가공 영역 계산(Machining Area)
- ② 단위 공구경로 계산(Tool-Path Element)
- ③ 단위 공구경로 링킹(Tool-Path Element Linking)

레이저 패턴가공에서도 2차원 밀링가공과 동일한 위의 3단계의 공구경로 생성단계를 거치게 된다고 볼 수 있다. 하지만 본 논문에서는 주로 좁은 의미의 공구경로 생성인 2단계에 집중하고 한다. 즉, 가공영역은 이미 주어선다고 가정하며, 공구경로 링킹도 본 연구에서는 제외하도록 한다.

2차원 밀링가공에서 단위 공구경로 생성 기법은 크게 아래와 같이 3가지 부류로 나누어 볼 수 있다(Fig. 3).

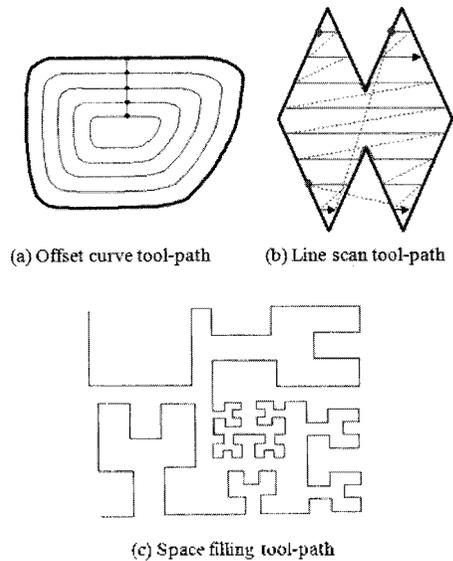


Fig. 3. Three types of tool-paths.

■ 2차원 밀링가공 단위 공구경로 생성기법

- ① 오프셋 커브 공구경로(Offset Curve Tool-Path): 주어진 가공영역의 경계를 이차원 커브로 해석하고, 이를 주어진 경로간격을 고려하여, 오프셋을 반복하여 가공영역을 채운다. 이때 얻어진 오프셋 커브들을 공구경로로 사용하게 된다.
- ② 직선 스캔 공구경로(Line Scan Tool-Path): 특정 공구경로의 방향이 주어지면 주어진 방향과 평행한 직선들로 가공영역을 채운다. 그리고 가공영역 내부에 속하는 직선 세그먼트들을 공구경로로 사용하게 된다.
- ③ 영역 채움 공구경로(Space Filling Tool-Path):

Space Filling 커브를 이용하여 주어진 가공영역을 채우는 방식이다. 수학적으로 잘 정의되고 가공영역의 복잡성에 영향을 덜 받는 장점이 있지만, 지나치게 잦은 방향 전환으로 인해 실제 현업에서는 거의 활용되지 못하는 실정이다.

비록 레이저 패턴가공이 2차원 밀링과 유사한 점이 있지만, 효율적인 레이저 패턴가공을 위해서는 기술적 요구사항을 잘 고려할 필요가 있다. 아래와 같이 레이저 패턴가공에서 가장 중요한 기술적 요구사항은 가공 면의 품질이라 할 수 있다.

레이저 패턴 가공 후 가공 면의 품질이 좋아야 하는데, 이를 위해서는 가공 경로를 레이저가 지나가는 속도를 최대한 일정하게 하는 것이 필요하다. 만약 속도가 일정하지 않으면 레이저가 각 점에서 머무는 시간이 달라지기 때문에 가공 깊이에 있어서 미세한 차이가 생기고 이는 곧 가공 면의 품질을 나쁘게 하는 요인이 되기 때문이다.

일반적으로 가공기계의 속도 조절은 가공기계 자체의 컨트롤러가 담당하므로 특정 공구경로가 주어지면 그에 따라 자체 컨트롤러가 가속 혹은 감속을 조절하게 된다. 레이저 패턴가공의 경우에는 가공면의 품질을 좋게 하기 위해서는 최대한 가속, 감속이 없어야 한다는 것을 알 수 있다. 즉, 일정한 속도로 진행할 수 있는 공구경로가 가공면의 품질을 좋게 한다는 것이다.

이러한 레이저 패턴가공의 기술적 요구사항을 고려하면 위에서 제안된 3가지 공구경로 형태 중에서는 직선 스캔 공구경로가 가장 적합함을 알 수 있다. 왜냐하면 주어진 공구경로의 곡률(Curvature)가 작을수록 가공기계의 컨트롤러는 일정한 속도를 유지하기 때문이다. 비록 오프셋 커브 공구경로가 2차원 밀링에서 여러 가지 기술적 이유로 활발히 사용되고는 있지만 오프셋의 결과로 곡률이 일정하지 않은 부분들이 많이 생길 수 밖에 없다. 그렇게 되면 가공기계가 가속과 감속을 많이 하게 되고 결과적으로 가공 면의 품질이 떨어지게 되므로 레이저 패턴가공에는 적합하지 못하다고 할 수 있다.

본 논문에서는 레이저 패턴가공의 기술적 요구사항을 고려할 때 직선 스캔 공구경로가 적합하며, 이를 적용하기 위해서는 효율적인 단위 공구경로 계산 알고리즘이 필요하다. 레이저 패턴가공의 경우는 레이저의 반경이 2차원 밀링 공구보다 훨씬 미세하므로 단위 공구경로의 개수 역시 매우 많아진다. 따라서 주어진 가공영역에 대한 효율적인 단위 공구경로 계산 알

고리즘은 매우 중요하다고 할 수 있다. 이는 3장에서 설명한다.

3. 단위 공구경로 계산

단위 공구경로의 생성을 위해서는 우선 가공 영역을 정의하는 커브와 공구경로 간격 그리고 공구경로의 각도가 입력으로 필요하게 된다. 본 논문에서는 가공영역을 정의하는 커브는 여러 개의 점 열(polygonal chain)로 구성되었다고 가정한다. 실제 자유곡선의 형태로 주어진다 하더라도 여러 점들의 집합으로 근사하여 표현하는 것은 항상 가능한 일이므로 가공영역을 점 열로 가정하더라도 문제의 일반성을 해치지 않는다. Fig. 4에서 단위 공구경로 계산 문제의 입력과 출력을 개념상으로 보여주고 있다.

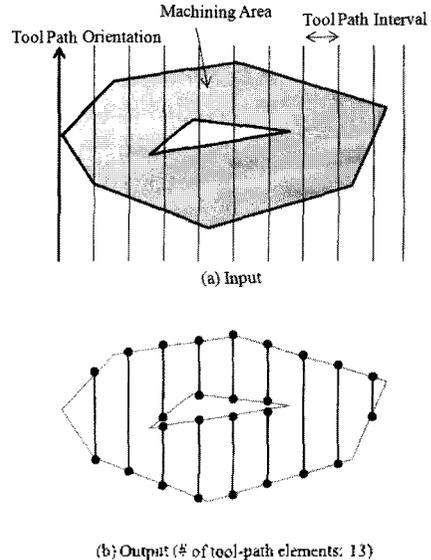


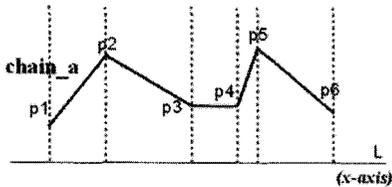
Fig. 4. Tool-path element computation.

단위 공구경로 계산 문제에서 주어진 가공영역을 정의하는 점 열이 n 개의 점으로 구성된다고 할 때, 하나의 단위 공구경로를 계산하기 위해서는 점 열을 구성하는 n 개 세그먼트와의 교차여부를 계산해야 한다. 그러므로 하나의 단위 공구경로 계산을 위해서 필요한 시간 복잡도는 $O(n)$ 이 된다. 이렇게 단순한 방법으로 e 개의 단위 공구경로를 계산한다고 하면 시간 복잡도는 $O(n*e)$ 가 되게 된다. 이때 점 열을 구성하는 점의 개수 n 과 단위 공구경로의 개수 e 가 작은 숫자라면 큰 문제가 되지 않지만, 레이저 패턴가공에서는 통상 n 과 e 가 매우 큰 숫자일 수 있다. 그러한 경우

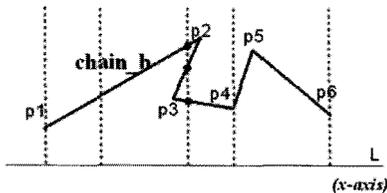
에는 이러한 간단한 접근 방식의 비효율성이 상대적으로 커지므로, 과도한 계산 시간이 소모될 수 있다.

이러한 비효율성을 피하기 위해서는 단위 공구경로 계산을 더 효율적으로 수행할 수 있는 방법을 고안하는 것이 필요하다. 우선 monotone chain의 개념을 정의하는 것이 필요한데, 이는 Preparata and Shamos로부터 빌려온 것이다^[23].

■ 정의 1. Monotone chain: 직선 L 에 수직인 직선들을 L^* 라고 할 때, 어떤 chain C 가 L^* 들과 한번 이상 만나지 않을 때, chain C 는 직선 L 에 대한 monotone chain이라고 한다. 이때 직선 L 을 monotone direction이라 하고 L^* 를 스윙라인이라 한다. 이 후로는 특별한 언급이 없는 한, X축을 monotone direction으로 보도록 한다.



(a) Monotone chain with respect to line L .



(b) Not a monotone chain with respect to line L .

Fig. 5. A general chain and a monotone chain.

주어진 가공영역의 경계를 표현하는 polygonal chain을 monotone chain으로 분할하는 것은 쉽게 수행될 수 있다. 왜냐하면 X축을 monotone direction을 보면 polygonal chain을 구성하는 점들 중에서 X 좌표 값이 이웃 점들에 비해 local minimum이거나 local maximum인 것들만 찾아서 monotone chain의 경계로 삼으면 된다(Fig. 6). 이때 주어진 polygonal chain을 구성하는 점이 n 이라면, 계산의 시간 복잡도는 $O(n)$ 이 된다. 예를 들어 Fig. 6에서 보여지는 가공 영역은 두 개의 polygon으로 구성되어 있으며 이를 monotone chain의 정의에 따라 분할하면 네 개의 monotone chain을 얻게 된다.

일단 주어진 polygonal chain을 X축에 대한

monotone chain으로 분할한 후, 임의의 X 좌표 값에 대해서 각 monotone chain들의 대응하는 하나의 Y 값을 구할 수 있다. 이런 식으로 임의의 X 값에 대응하는 각 monotone chain들의 Y 값을 기준으로 sorting하는 것이 가능하다(Fig. 7). 이때 monotone chain들의 개수가 m 이라 하자. Y 값 기준으로 sorting을 할 때 계산 효율 측면에서 최적으로 잘 알려진 quicksort algorithm^[9]을 활용하면 필요한 시간 복잡도는 $O(m \log(m))$ 이 된다. 예를 들어 Fig. 7에 보이는 첫 번째 sorted monotone chains(SMC)는 두 개의 monotone chain들만이 Y 값 순서로 정렬되어 있으며 두 번째 SMC는 네 개의 monotone chain들이 Y 값으로 정렬되어 있다.

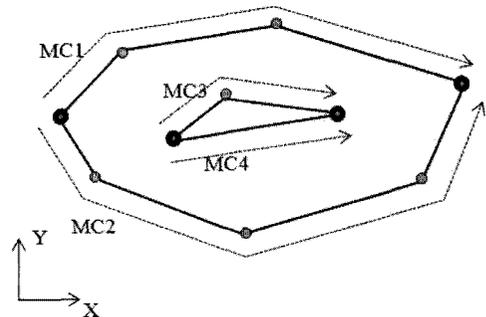


Fig. 6. Decomposition into monotone chains.

SMC={MC1, MC2} SMC={MC1, MC3, MC4, MC2}

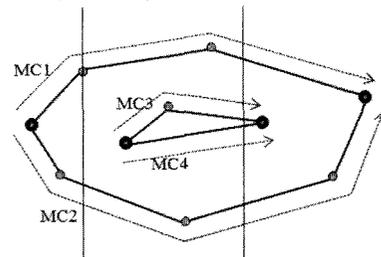


Fig. 7. Sorted monotone chains (SMC).

본 논문에서는 공구경로의 각도가 Y축과 동일하다고 가정한다. 실제 상황에서도 필요하다면 언젠가는 회전 변환을 통해 공구경로 각도를 Y축과 일치시킬 수 있으므로, 이 가정은 문제의 일반성에 영향을 미치지 않는다. 공구경로의 각도가 Y축과 평행하다는 것은 각 공구경로는 하나의 X 좌표 값을 가진다. 이것은 임의의 공구경로가 가지는 X 좌표 값에 대해서 항상 기기에 해당하는 SMC를 구할 수 있음을 의미한다. SMC를 순서대로 이용하면 대단히 간단하게 해당 X

좌표에서 얻을 수 있는 모든 단위 공구경로를 계산해 낼 수 있다.

이러한 과정을 스윙펄 개념으로 주어진 polygonal chain의 시작 부분부터 끝까지 진행하면서 계산할 수 있다. 이때 SMC를 update하는 것은 새로운 monotone chain이 들어오거나 나가거나 두 가지의 경우 밖에 없으며 이는 항상 polygonal chain을 구성하는 점의 X 좌표를 지날 때만 일어날 가능성이 있다. 이를 정리하면 최종적으로 단위 공구경로를 계산하기 위해 필요한 시간 복잡도는 $O(n+em\log(m))$ 가 된다. 이는 처음에 소개된 단순한 접근방식의 시간 복잡도인 $O(n^*e)$ 보다 훨씬 효율적이라 볼 수 있다.

5. 결 론

본 논문에서는 레이저 미세 패턴 가공을 위한 공구 경로 생성 방법론을 제안하였다. 레이저 패턴 가공은 개념상으로는 기존 기계가공의 2차원 밀링 가공과 유사한 점이 있다. 2차원 밀링 가공의 경우는 공구경로 생성에 대한 많은 연구가 진행되어 왔으므로 다양한 공구경로 패턴 및 그 생성 방법에 대한 방법들이 이미 잘 알려져 있는 상황이다. 하지만 이러한 2차원 밀링 가공을 위한 공구경로 생성방식을 있는 그대로 레이저 패턴 가공에 적용하기에는 어려움이 있다. 그래서 이러한 어려움을 극복하기 위해 레이저 패턴가공의 가장 중요한 기술적 요구사항을 도출 하였으며 이를 만족시키기 위한 공구경로 생성 방식을 제안하였다.

레이저 패턴가공은 일반적으로 소비자가 직접 보고 반질 수 있으므로 심미성이 중요하다. 이는 곧 가공면의 품질이 균일해야 한다는 것을 의미한다. 레이저 가공의 특성상 균일한 가공 품질을 위해서는 레이저 가공 경로 자체의 곡률이 최소화 되어야 한다. 이를 위해서 직선 스캔 공구경로를 도입하였으며, 효율적인 단위 공구 경로 생성을 위한 알고리즘을 제안하였

다. 제안된 알고리즘은 monotone chain의 개념을 이용하여 계산의 회수를 최소한으로 줄임으로써 효율성을 꾀하였다.

감사의 글

본 연구는 부분적으로 교육과학기술부와 학술진흥재단의 지원으로 수행되었습니다(2010-0021040).

참고문헌

1. Choi, B. K. and Jerard, R. B., *Sculptured Surface Machining*, Kluwer, 1998.
2. Preparata, F. P. and Shamos, M. I., *Computational Geometry-An Introduction*, Springer Verlag, 1985.
3. Bentley, J. L. and Ottmann, T. A., "Algorithms for Reporting and Counting Geometric Intersections," *IEEE Transactions on Computers*, Vol. 28, pp. 643-647, 1979.
4. 박형준, 안동규, "2차원 자유형상의 레이저 절단을 위한 CNC 공구경로 생성," 한국CAD/CAM학회 논문집, 제12권, 제3호, pp. 153-162, 2007.
5. 김휘준, 김형중, 최원용, 김동수, 안성훈, 전차수, "3차원 레이저 가공기를 위한 전용 CAM 시스템 개발," 2007 한국 CAD/CAM 학회 학술발표회 논문집, 휘닉스파크, 한국, pp. 271-275, 2007.
6. Dumont, T., Lippert, T., Wokaun, A. and Leyvraz, P., "Laser Writing of 2D Data Metrices in Glass," *Thin Solid Films*, Vol. 453, pp. 42-45, 2004.
7. Ng, T. W. and Yeo, S. C., "Aesthetic Laser Marking Assessment," *Optics & Laser Technology*, Vol. 32, pp. 187-191, 2000.
8. Diaci, J., Bracun, D., Gorkic, A. and Mozina, J., "Rapid and Flexible Laser Marking and Engraving of Tilted and Curved Surfaces," *Optics and Laser in Engineering*, Vol. 49, pp. 195-199, 2011.
9. Sedgewick, R., "Implementing Quicksort Programs," *Communications of the ACM*, Vol. 21, No. 10, pp. 847-857, 1978.



박 상 철

1994년 KAIST 산업공학과 학사
 1996년 KAIST 산업공학과 석사
 2000년 KAIST 산업공학과 박사
 2001년~2004년 미국 DaimlerChrysler ITM Research Engineer
 2004년~현재 아주대학교 산업정보시스템공학부 교수

관심분야: CAD/CAM, Virtual Manufacturing System, Discrete Event System Modeling & Simulation



이 창 호

2009년 아주대학교 산업정보시스템공학부 학사
 2009년~현재 아주대학교 산업공학과 석사과정
 관심분야: Digital Manufacturing, PLM, Simulation, CAD/CAM