

포켓가공을 위한 오프셋 공구경로 연결 알고리즘

박상철*, 정연찬**

Contour Parallel Tool-Path Linking Algorithm For Pocketing

Park, S. C.* and Chung, Y. C.**

ABSTRACT

Presented in this paper is a CPO tool-path linking procedure optimizing technological objectives, such as dealing with islands (positive and negative) and minimizing tool retractions, drilling holes and slotting. Main features of the proposed algorithm are as follows; 1) a data structure, called a 'TPE-net', is devised to provide information on the parent/child relationships among the tool-path-elements, 2) the number of tool retractions is minimized by a 'tool-path-element linking algorithm' finding a tour through the TPE-net, and 3) the number of drilling holes is minimized by making use of the concept of the 'free space'.

Key words : Pocket, Tool-path linking, Offset, Optimization

1. 서 론

월드클래스의 황삭가공 단계에서 포켓팅은 필수적이라 할 만큼 중요한 가공이다^[3,6]. 효율적인 포켓팅을 위해서 여러가지 공구경로의 형태가 연구되었으며, 일반적으로 널리 쓰이고 있는 두 가지 공구경로 형태는 오프셋 공구경로와 지그재그 공구경로라 할 수 있다^[7]. 본 연구에서는 오프셋 공구경로를 이용한 포켓팅을 다루고 있다. 오프셋 공구경로에 대한 연구는 활발히 수행되어 왔지만 대부분의 연구는 실상 이차원커브 오프셋 오퍼레이션에^[4,6-8,10] 집중되어 왔다. 왜냐하면 과삭이 없는 공구경로 생성을 위해서는 수학적으로 타당한 오프셋 결과를 보장하는 것이 필수적이며 이차원 오프셋 오퍼레이션 자체가 매우 다양한 응용분야에서 관심의 대상이었기 때문이었다.

그러나 실제 포켓팅이라는 가공의 입장에서 볼 때는 단순히 이차원 오프셋이라는 기하적인 문제가 해결되었다고 해서 효율적인 가공경로 생성이 보장되는 것은 아니다. 즉 기하적인 문제와 함께 공구경로 연결과 같은 기술적인 문제 역시 해결되어야 효율적

인 포켓팅이 가능하다고 할 수 있다^[1,5,7,9]. 바로 이점이 동기를 제공하여 본 연구에서는 효율적인 포켓팅을 위한 오프셋 공구경로의 연결알고리즘을 제안하고자 한다.

오프셋 공구경로에 대한 기존연구는 그리 많지 않다. 우선 Guyder^[1]가 포켓팅 공구경로의 최적화를 위한 몇가지 지침을 제시하였고 Held^[5]는 Voronoi diagram에 기반한 공구경로 연결을 간단히 언급하였다. Guyder의 공구경로 최적화를 지침을 살펴보면 다음과 같다; 1) 과삭이 없어야 한다, 2) 하나의 공구경로가 가공되기 전에 양쪽에 이웃된 공구경로가 모두 가공되는 것은 피해야 한다, 3) 한번 가공한 경로를 다시 가공하는 것은 피해야 한다, 4) 오프셋 공구경로에서 가장 안쪽부터 가공을 시작하는 것이 좋다, 5) 형상면과 인접한 공구경로는 특별히 주의를 기울여서 가공해야 한다, 6) 공구 후퇴를 최소화한다, 7) 아직 가공되지 않은 부분을 공구가 가로지르는 것은 피해야 한다, 8) 이미 가공된 경로를 공구가 가로지르는 것은 허용할 수 있다. 이러한 지침은 상황에 따라서는 서로 상충되는 부분도 있기 때문에 더 중요한 목표를 달성하기 위해서는 일부 지침은 희생하는 것이 필요할 수도 있다. 본 연구에서는 Guyder의 지침을 합리적으로 수용할 수 있는 공구경로 연결알고리즘을 제안하고자 한다.

*정회원, 큐빅기술연구소
**종신회원, 큐빅기술연구소
- 논문투고일: 2001. 3. 5
- 심사완료일: 2001. 5. 7

2. 용어 정의

Fig. 1에서 보여주듯이 오프셋 공구경로 생성은 크게 세 단계로 나누어질 수 있다; 1) 이차원 오프셋을 통한 공구경로원소(Tool-Path Element) 생성, 2) Sub-Path들을 구하기 위한 Tool-Path-Element들의 연결, 3) Sub-Path들을 연결함으로써 최종 공구경로 생성. 이미 언급되었듯이 본 연구에서는 첫번째 단계인 이차원 오프셋은 다루지 않으며 두번째, 세번째, 공구경로 연결에 관련된 부분을 다룬다.

이제 몇 가지 용어들을 정의한다. 우선 “오프셋 번호”라는 용어를 정의한다. 각각의 Tool-Path-Element들은 오프셋 번호를 가지고 있으며, 그 의미는 주어진 외곽 영역 커브를 몇 번 오프셋해서 해당하는 Tool-Path-Element를 얻었는지를 나타낸다. 그리고 Tool-Path-Element들 사이에 “부모/자식관계”를 정의할 수 있는데 의미는 다음과 같다. 공구경로 간격(오프셋 간격)이 δ 이고 연속된 오프셋번호 $i, i+1$ 을 가지는 두개의 Tool-Path-Element E_i, E_{i+1} 이 있다고 할 때 두 Tool-Path-Element의 최단 거리가 δ 와 같다면 $E_i(E_{i+1})$ 는

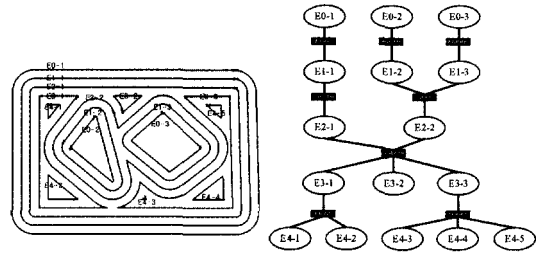


Fig. 2. TPE-net.

$E_{i+1}(E_i)$ 의 부모(자식)이 된다. 예를 들면 Fig. 1(a)에서 $E0-1$ 은 $E1-1$ 의 부모가 되고 $E1-1$ 은 $E0-1$ 의 자식이 된다.

본 연구에서는 오프셋공구경로 연결을 위하여 Tool-Path-Element들 간의 부모/자식 관계를 체계적으로 표현할 수 있는 데이터구조(Tool-Path Elements net(TPE-Net))를 개발하였다. Fig. 2는 이러한 TPE-net의 예를 보여주고 있다. Fig. 2에서 검은 사각형들이 Tool-Path-Element들간의 부모/자식관계를 나타낸다.

3. 공구경로연결 알고리즘

제안된 공구경로연결 알고리즘은 크게 세 개의 모듈

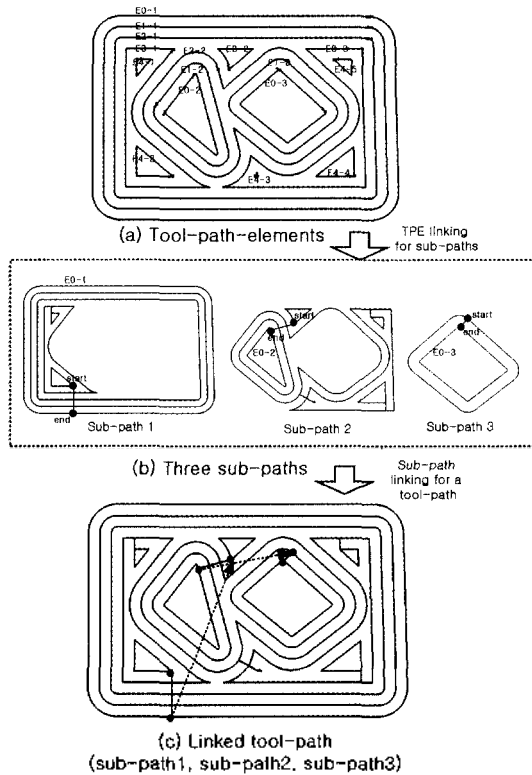


Fig. 1. CPO tool-path generation.

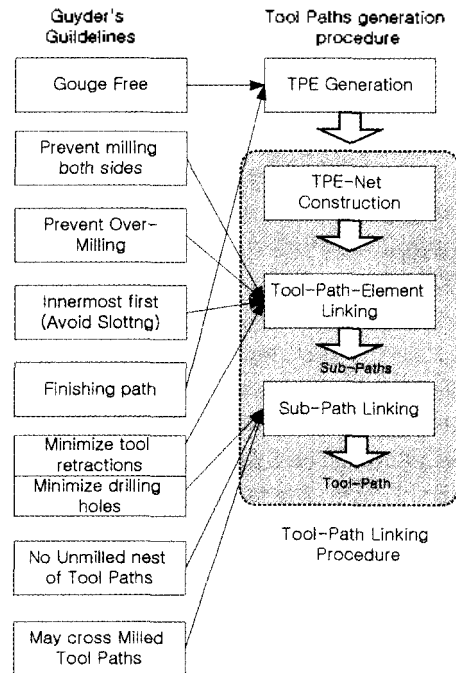


Fig. 3. Tool-path linking procedure & Guyder's guidelines.

로 나누어 진다; 1) TPE-net 생성, 2) Sub-Path들을 구하기 위한 Tool-Path-Element들의 연결, 3) Sub-Path들을 연결함으로써 최종 공구경로 생성. 이상의 세 모듈들은 Fig. 3에서 보여주듯이 각 모듈에 대응하는 Guyder의 최적화 지침을 수렴하기 위해 디자인 되었다.

3.1 TPE-net 생성

앞서 정의된 Tool-Path-Element사이의 부모/자식관계의 정의에 의하면 TPE-net의 생성은 매우 직관적으로 수행될 수 있다. 그러나 만약 이차원커브 오프셋 오퍼레이션을 고려한다면 더 효율적으로 TPE-net을 생성할 수 있다. 대부분 이차원커브 오프셋 알고리즘¹⁷⁾에서 오프셋 커브들간의 대응점 정보를 유지할 수 있는 여지가 있으며, 만약 두개의 Tool-Path-Element가 대응되는 한쌍의 점을 가지고 있다면 부모/자식관계가 있는 것을 의미하기 때문이다. Fig. 4에서는 오프셋 커브들간의 대응점 관계의 예를 보여준다.

일단 TPE-net을 만들고 난 후에는 공구경로연결과정이 순전히 TPE-net에서 수행될 수 있다. 이제 공구연결문제는 TPE-net의 모든 노드들을 방문하는 문제와 비슷해진 것이다.

3.2 Sub-Path들을 위한 Tool-Path-Element 연결

본 연구에서는 Sub-Path를 공구후퇴 없이 가공할 수 있는 Tool-Path-Element의 집합으로 정의한다. Fig. 5에서 보여주듯이 Sub-Path A는 여섯개의 Tool-Path-Element<E3-1, E2-1, E2-2, E2-3, E1-1, E0-1>로 이루어지며 각각의 Tool-Path-Element들은 대응점들 사이를 직선으로 연결함으로써 한번에 가공될 수 있다. Fig. 3에서처럼 이 모듈에 해당하는 Guyder의 지침은 네가지가 있으며 그 중에서 가장 중요하면서도 직관적으로 해결되지 않는 부분이 공구후퇴를 최소화 하는 부분이다. 명확한 사실하나는 Guyder의 2번 지침을 (하나의 공구경로가 가공되기 전에 양쪽에 이웃된 공

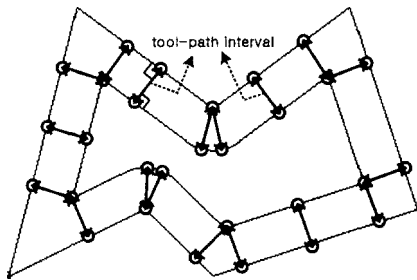


Fig. 4. Corresponding points.

구경로가 모두 가공되는 것은 피해야 한다) 고려할 때 Sub-Paths의 개수가 처음에 주어진 외곽을 정의하는 커브개수보다 작을 수는 없다는 것이다. 즉 Sub-Paths의 최소개수는 외곽커브의 개수와 같다는 것을 의미하며, 본 연구에서는 그러한 알고리즘을 제시한다.

■ Sub-Paths를 위한 Tool-Path-Element연결

// 입력: TPE-net, n개의 외곽 커브

// 출력: n개의 Sub-Paths

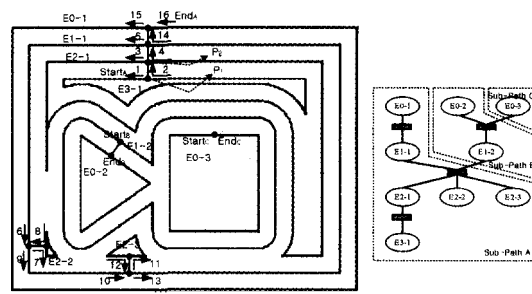
- 1) TPE_c = 아직 연결되지 않은 Tool-Path-Element들 중에서 오프셋번호가 가장 높은 것 ;
- 2) 만약 TPE_c 가 NULL이면 멈춤;
- 3) $TPE_p = TPE_c$ 의 부모 Tool-Path-Element중에서 연결되지 않은 것을 하나 선택;
- 4) TPE_p 가 NULL이 아니면 TPE_c 와 TPE_p 사이의 대응점을 하나 찾아서 연결한다;
- 5) TPE_c 를 연결된 것으로 표시하고, 처음으로 되돌아간다.

3.3 Sub-Paths 연결로 Tool-Path 생성

이제 남은 것은 공구후퇴를 이용하여 Sub-Path들을 연결하여 하나의 Tool-Path로 만드는 일이다. 이 모듈에 해당하는 Guyder의 지침은 세가지가 있지만 가장 중요한 것은 공구후퇴로 발생하는 드릴링 회수를 줄이는 것이다. 물론 최초 접근을 위한 드릴링 오퍼레이션은 피할 수 없지만 나머지는 이미 가공된 부분(Free Space)들을 잘 이용하면 피할 수 있다. 본 연구에서 Free Space는 현재 가공 높이보다 낮은 영역을 의미한다. 즉 이미 가공된 부분과 Negative Island를 합친 의미를 가진다. 이러한 Free Space의 개념을 이용하여 드릴링 회수를 줄이는 알고리즘을 제안한다.

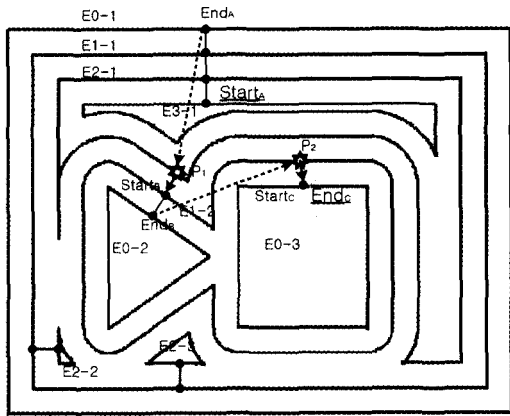
■ Tool-Path를 생성을 위한 Sub-Paths 연결 알고리즘

// 입력: n개의 Sub-Paths



Sub-Path A: Start >> E3-1, E2-1, E2-2, E2-3, E1-1, E0-1 >> End
 Sub-Path B: Start >> E1-2, E0-2 >> End
 Sub-Path C: Start >> E0-3 >> End

Fig. 5. An example of sub-paths.



Tool-Path: Sub-Path A >> Sub-Path B >> Sub-Path C
 Sub-Path A: Starta >> E3-1, E2-1, E2-2, E2-3, E1-1, E0-1 >> Enda
 Sub-Path B: Starta >> E1-2, E0-2 >> Enda
 Sub-Path C: Starta >> E0-3 >> Endc

P1, P2: Tool Plunging Points

Fig. 6. Tool-path by linking sub-paths.

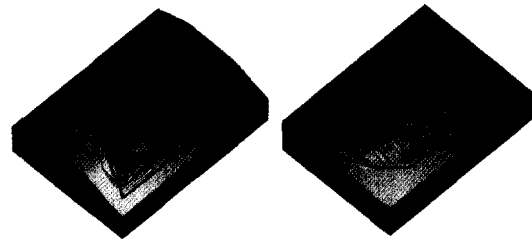


Fig. 7. Extracted boundaries for machining.

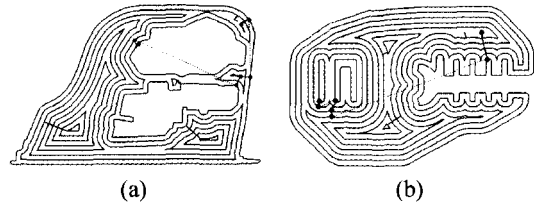


Fig. 8. Generated tool-paths.

// 출력: 한 개의 Tool-Path

- 1] 만약 Negative Island를 포함하는 Sub-Path가 있다면 해당 Sub-Path의 점들을 반대로 줄 세운다. (초기 Free Space에서 드릴링 없이 접근하도록 한다.);
- 2] S_m = 연결되지 않은 Sub-Path중에서 임의로 한 개를 선택한다.(만약 Negative Island를 포함하는 Sub-Path가 있으면 가장 먼저 선택한다.);
- 3] S_m 을 연결된 것으로 표시하고 Tool-Path에 붙인다.;
- 4] S_n = 연결되지 않은 Sub-Path중에서 S_m 의 끝점에서 가장 가까운 시작점을 가지는 것을 선택한다.;
- 5] 만약 S_n 이 NULL이면 멈춘다.;
- 6] P_i = Free Space에서 S_n 의 시작점에 가장 가까운 점을 찾는다.;
- 7] 다음의 공구 움직임을 Tool-Path에 추가한다; 공구를 안전높이로 든다, P_i 까지 움직여서 공구를 아래로 내린다, S_n 의 시작점까지 슬랏팅으로 가공하여 움직인다.;
- 8] S_n 을 S_m 에 할당하고 3]으로 되돌아간다.

4. 구현 결과

제안된 알고리즘은 구현되었으며 다양한 예제들에 대하여 실험되었다. Fig. 7은 자동차의 문짝과 연료탱크 모델의 CL면에서 외곽커브를 추출하는 것을 보여준다. Fig. 8은 공구경로 20 mm(Fig. 8(a))와 18 mm(Fig. 8(b))로 했을 때 얻어지는 Tool-Path를 보여주고

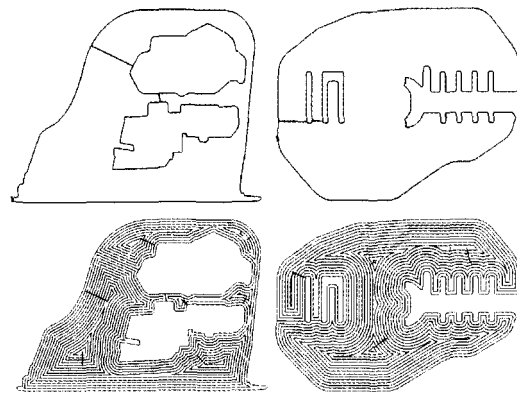


Fig. 9. Tool-retraction removal by bridging.

있다. Fig. 8에서 보여지는 Tool-Path들은 공구 후퇴를 포함하고 있지만 만약 우리가 외곽커브들을 브릿징함으로써 하나로 통합한다면 쉽게 공구후퇴가 없는 Tool-Path를 얻을 수 있다.

5. 결 론

본 연구에서는 오프셋방식의 포켓가공의 효율적인 공구경로 연결알고리즘을 제안하였다. 기술적인 제약 사항들을 반영하기 위하여 Guyder의 최적화 지침을 이용하여 수립하기위해 노력하였다. 제안된 알고리즘은 다음의 세가지 모듈로 이루어진다.

1. TPE-net 생성
2. Sub-Paths를 위한 Tool-Path-Elements 연결

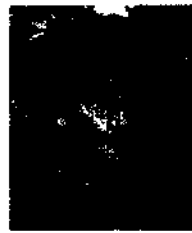
3. Tool-Path 생성을 위한 Sub-Paths연결

TPE-net은 공구경로연결을 위해 필요한 정보들 (Tool-Path-Elements간의 부모/자식관계)을 저장하기 위해 사용되었으며, 이로 인해 공구경로 연결문제는 TPE-net의 모든 노드를 방문하는 경로를 찾는 문제로 바뀌어졌다. 특히 공구후퇴를 최소화하는 알고리즘과 어쩔수 없는 공구후퇴가 있을 때 드릴링 오프레이션의 회수를 최소화하는 방법들이 제안되었다.

참고문헌

1. Guyder, M. K., "Automating the optimization of 2 1/2 axis milling," *Computers in Industry*, Vol. 15, pp. 163-168, 1990.
2. Choi, B. K., Kim, D. H. and Jerard, R. B., "C-space approach to tool-path generation for die and mould machining," *Computer Aided Design*, Vol. 29, No. 9, pp. 657-669, 1997.
3. Choi, B. K. and Jerard, R. B., *Sculptured Surface Machining*, Kluwer, 1998.
4. Choi, B. K. and Park, S. C., "A pair-wise offset algorithm for 2D point-sequence curve," *Computer Aided Design*, Vol. 31, No. 12, pp. 735-745, 1999.
5. Park, S. C. and Choi, B. K., "Uncut-free pocketing tool-paths generation using pair-wise offset algorithm," *Computer-Aided Design*, Vol. 33, No. 10, pp. 739-746, 2001.
6. Choi, B. K. and Kim, B. H., "Die-Cavity pocketing via cutting simulation," *Computer-Aided Design*, Vol. 29, No. 12, pp. 837-846, 1997.
7. Held, M., Lukacs, G. and Andor, L., "Pocket machining based on contour-parallel tool paths generation by

- means of proximity maps," *Computer Aided Design*, Vol. 26, No. 3, pp. 189-203, 1994.
8. Hansen, A. and Arbab, F., "An algorithm for generating NC tool path for arbitrary shaped pockets with islands," *ACM Transactions on Graphics*, Vol. 11, No. 2, pp. 152-182, 1992.
9. Manuel, D., Liang, M. and Kolahan, F., "A dynamic offsetting approach to tool path generation for machining convex pockets," *Computers ind. Engng*, Vol. 31, No. 1/2, pp. 135-138, 1996.
10. 박상철, 최병규, 신하용, "점열곡선의 꼬임을 효율적으로 찾는 알고리즘," 한국 CAD/CAM학회 논문집, 제4권, 제3호, pp. 190-199, 1999.



박 상 철

1994년 KAIST 산업공학과 학사
 1996년 KAIST 산업공학과 석사
 2000년 KAIST 산업공학과 박사
 2000년~현재 큐빅기술연구소 선임연구원
 관심분야: sculptured surface machining, computer graphics, virtual manufacturing system, system modeling & simulation



정 연 찬

1989년 한양대학교 산업공학과 학사
 1991년 KAIST 산업공학과 석사
 1996년 KAIST 산업공학과 박사
 1998년~1999년 다임러크라이슬러 연구원
 1996년~현재 큐빅기술연구소 부소장
 관심분야: geometric modeling, computational geometry, computer graphics