한국 CAD/CAM 학회 논문집
제 11권 제 5호 2006년 10월 pp. 375-383

학술논문

Pairwise Intersection 방식을 이용한 윤곽 오프셋 및 공구경로 연결 알고리즘

허진헌*, 김영일**, 전차수***

Contour Parallel Offset and Tool-Path Linking Algorithm for Pocketing Using Pairwise Intersection Approach

Huh, Jin-Hun*, Kim, Yeoung-IL** and Jun, Cha-Soo***

ABSTRACT

Presented in this paper is a new fast and robust algorithm generating NC tool path for 2D pockets with islands. The input shapes are composed of line segments and circular arcs. The algorithm has two steps: creation of successive offset loops and linking the loops to a tool path. A modified pairwise technique is developed in order to speed up and stabilize the offset process, and the linking algorithm is focused on avoiding thin-wall cutting and minimizing tool retractions. The proposed algorithm has been implemented in C++ and some illustrative examples are presented to show the practical strength of the algorithm.

Key words : Pair-wise Intersection, Tool-path linking, 2D Offset, Pocketing, Thin-wall

1. 서 론

CAD/CAM 시스템의 2차원 및 2½차원 밀링가공 분야에서 가장 기본적이면서 중요한 문제 중의 하나는 오프셋이다. 그러나 오프셋은 계산이 복잡한 기하학적인 문제를 내포하고 있어서 이를 위한 다양한 알고리즘이 제시된 바 있다. 기존 윤곽의 오프셋 방법은 크게 네 가지 종류의 알고리즘으로 나눌 수 있다. 첫 번째는 윤곽을 직접 오프셋하여 루프(Loop)를 형성시킨 후 루프의 방향이 반대로 형성된 꼬임(Self-intersection)에 대해서 그 부분을 제거하는 방법이고[4,9,10,13], 두 번째는 Voronoi diagram을 이용한 방법[1,7,12,16-18]이다. 세 번째는 Pairwise intersection을 이용한 방법[3,6,8]이며, 마지막으로 Pixel을 이용한 방법[5]이 있다.

*학생회원, 경상대학교 대학원 산업시스템공학과
**정회원, (주)씨테크시스템, 경상대학교 대학원 산업시스템공학과
***교신저자, 종신회원, 경상대학교 산업시스템공학부 공학연구원
- 논문투고일: 2006. 04. 03
- 심사완료일: 2006. 09. 09

첫 번째 일반적인 오프셋 방법은 구현하기는 쉬우나 오프셋 후 루프의 꼬임에 대한 완벽한 해결 방법이 없다는 단점이 있고, 두 번째 방법인 Voronoi diagram은 Persson[12]가 이 방법을 사용하여 포켓가공을 처음 시도하였으며 Held[7]가 GeoPocket이라는 연구를 통하여 Voronoi diagram에 관한 생성 알고리즘을 좀 더 상세히 다루어 설명하였다. 이 방법을 이용하면 루프의 꼬임을 사전에 방지할 수는 있으나 비교적 구현이 어려우며 수치계산상의 오류가 발생하기 쉬운 단점이 있다. 그리고 Pairwise intersection 방법은 안정적인 결과를 얻을 수 있으나 계산시간이 많아진다는 단점이 있다. 마지막으로, Pixel을 이용한 오프셋 방법은 비교적으로 안정적인 결과를 보장할 수는 있지만 정밀도가 증가함에 따라 많은 량의 메모리를 필요로 하게 되고 처리에 과도한 시간이 소비된다는 단점이 있다.

제시된 방법 중에서 구현하기가 비교적 쉽고 효율적이면서 CAD/CAM 시스템에서 널리 사용되고 있는 방법은 Pairwise intersection을 이용한 방법이다. 본 연구에서는 Pairwise intersection 방법의 핵심부분인 교점계산부분에서 소요되는 시간을 최소화하기 위한

개선된 Pairwise intersection 방법과 이를 이용한 2차원 윤곽 형상의 오프셋 알고리즘을 제안하고자 한다. 또한, 본 연구에서는 Pairwise intersection offset 방법을 사용하여 주어진 2차원 형상을 연속적으로 오프셋한 후 만들어진 루프들을 연결하여 최적의 공구경로로 만든다. 이것은 공구의 진입 및 후퇴구간을 최소화시키므로 드릴링 작업의 횟수를 최소화시키고 공구의 진행방향을 고려하여 절삭방향을 일관성 있게 유지시켜 '얇은 벽 가공'(Thin-wall cutting)이 발생되지 않도록 한다. 따라서 본 연구에서는 2차원 형상의 윤곽을 안정적으로 오프셋하고 이를 효율적으로 연결할 수 있는 공구경로 연결 알고리즘을 제안하고자 한다.

2. 용어의 정의

본 연구의 내용은 크게 두 단계로 나누어질 수 있다. 첫 번째는 주어진 2차원 형상을 오프셋 하여 공구경로의 근간이 되는 다수의 프로파일(Profiles)을 생성하는 단계이고, 두 번째는 생성된 프로파일을 연결시켜 최종적인 포켓팅 공구경로를 생성하는 단계이다.

이 장에서는 본 연구에서 오프셋 알고리즘을 구현하는데 사용되는 용어와 전제조건을 기술한다.

1) Fig. 1에서 표시된 것처럼 윤곽 프로파일(Contour Profiles)은 닫힌 루프(Closed loop)로 구성되어야 한다.

2) 루프(Loop)를 구성하고 있는 최소단위는 선분(Segment)으로 정의하고 선분은 직선(Line Segment)과 원호(Circular Arc)로 구분한다.

3) 루프의 방향은 외부루프(Outer Loop)는 반시계 방향으로 형성하며 내부루프는(Inner Loop or Islands) 시계 방향으로 형성한다.

4) 하나의 루프는 루프 자체가 꼬임(Self-intersection)이 없어야 한다.

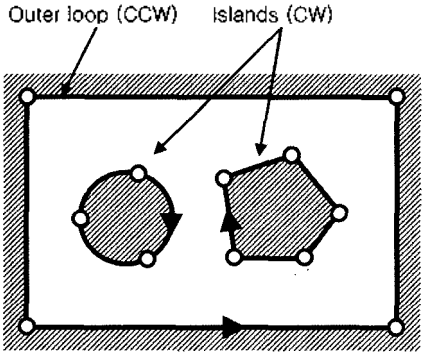


Fig. 1. Structure of a loop.

5) 하나의 외부루프는 여러 개의 내부루프를 포함할 수 있다.

3. 2차원 오프셋 알고리즘

Fig. 2에서 표시되는 바와 같이 제안된 2차원 윤곽의 오프셋 알고리즘은 크게 네 개의 단계로 구분할 수 있다.

1) 선분 오프셋: 입력된 윤곽 루프를 구성하고 있는 개별적인 선분요소를 각각 주어진 값으로 오프셋 시킨다. 이 때 Fig. 3에서 보는 바와 같이 오프셋된 선분 사이에는 국부간섭(Local interference)과 전역간섭(Global interference)이 발생할 수 있다. 이 단계에서는 국부간섭이 발생되는 것을 먼저 고려하여 간섭이 이미 발생되고 있는 선분을 제거시키므로 2단계를 거치면서 많아질 수 있는 오프셋 선분의 수를 사전에 줄일 수 있다.

2) 선분들 간의 교점 검사 및 분할: 오프셋된 모든 선분 간에 교점을 검사하고 교점이 발생한 선분은 분할시킨다. 여기서는 분할된 선분 중 1차적으로 제거될 전역간섭을 선분의 머리와 꼬리부분에 플래그를 설정[2]하여 다음 단계의 처리대상에서 제외시키므로 간섭대상이 되는 많은 오프셋 선분들이 이 과정에서 여과된다.

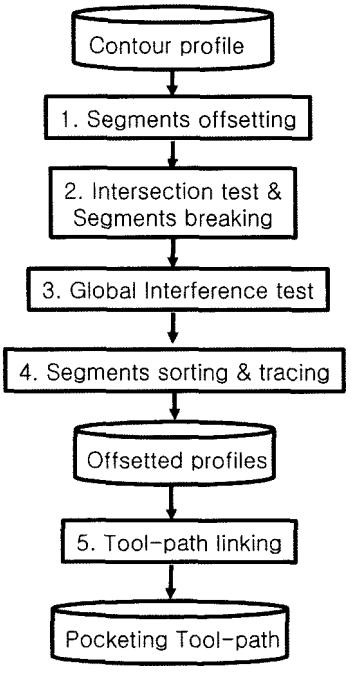


Fig. 2. Procedure of tool path generation.

3) 간섭검사: 이렇게 1차적 전역간섭 부분이 여과되고 남은 오프셋 선분 중에서 재차 전역간섭이 발생될 오프셋 선분을 찾아서 제거시켜 준다.

4) 루프추적: 간섭가능 선분들을 모두 제거시키고 나면 남아있는 오프셋 선분들을 정렬시킨 후 닫힌 루프를 탐색한다.

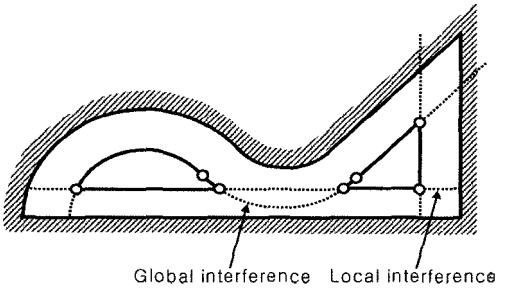


Fig. 3. Two types of interference.

3.1 선분 오프셋

선분의 오프셋은 루프를 구성하고 있는 개개의 선분을 Fig. 4와 같이 원하는 오프셋 거리만큼 오프셋하여 새로운 오프셋 선분을 생성한다. 이 때 이웃하는 두 선분 사이에는 볼록한 (Convex) 부분과 오목한(Concave) 부분의 두 경우로 생각할 수 있는데 볼록한 부분의 오프셋은 오프셋이 이루어진 후에 두 오프셋된 선분 사이에 갭이 발생하므로 그 사이의 갭은 오프셋 거리만큼의 반경을 갖는 원호가 삽입된다. 오목한 부분 오프셋의 경우는 오프셋된 선분 사이에 국부간섭이 발생되므로 두 선분이 만나는 교점을 기준으로 분할된 뒤 간섭부위를 미리 제거시킨다. 이 작업은 오프셋 시 우선적으로 국부간섭을 처리하므로 다음 단계에서 계산될 간섭 검사량을 많이 줄일 수 있다.

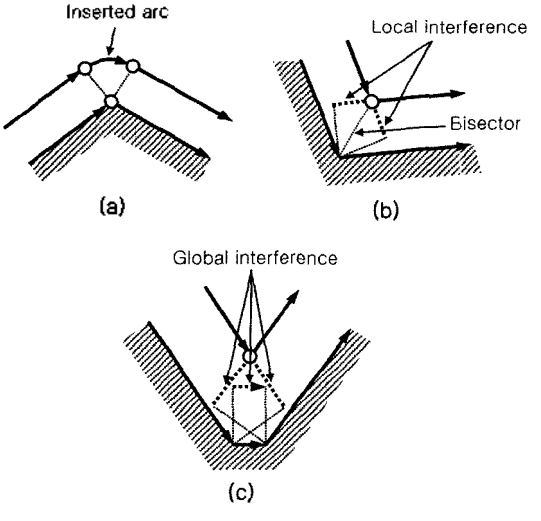


Fig. 4. Two types of offset (a) Convex offset, (b), (c) Concave offset.

3.2 교점테스트 및 분할

3.2.1 교점테스트 알고리즘

Pairwise intersection 알고리즘에서 많은 부분을 차지하고 있는 과정이 교점처리 과정이다. 입력된 루프의 개수에 의해 루프를 구성하고 있는 선분의 수가 많아지고 이를 모두 일반적인 교점계산 알고리즘을 사용한다면 $O(N^2)$ 시간이 걸리게 된다. 본 연구에서는 Hansen[6]이 제안한 교점처리 알고리즘을 개선하여 입력된 원시루프들을 지정된 거리만큼 오프셋하고 나서 오프셋된 선분들 간에 교점계산을 수행한다. 여기서는 오프셋된 선분의 바운딩 영역(Min_X, Max_X)을 구하고 Min_X 값 기준으로 정렬시킨 후 이를 이용해 교점이 발생할 선분을 검출하여 교점검사를 수행하게 된다. Fig. 5에서는 x-span 내에 하나의 원호와 교점검사가 될 다른 선분으로서 한 개의 직선 선분이 탐색되는 것을 나타내고 있다.

3.2.2 오프셋 선분 분할 및 제거

Pairwise intersection 방법은 교점계산이 이루어진 후 교점이 발생한 선분을 찾아서 그 교점을 중심으로 필요한 부분과 필요 없는 부분을 구분해서 필요 없는 부분을 잘라내어 제거시키는 과정을 거쳐야 한다. 이

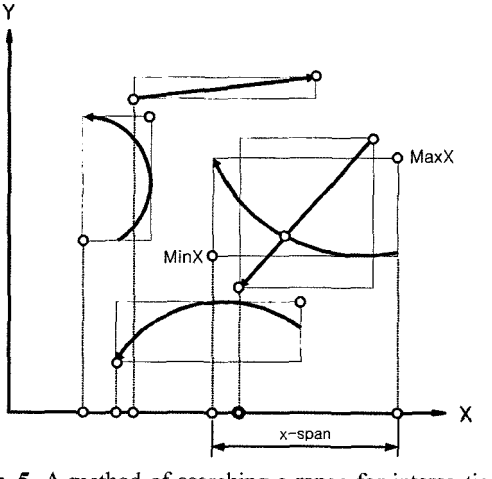


Fig. 5. A method of searching a range for intersection test.

과정에서 한 선분에 Fig. 6에서 보는 것과 같이 여러 개의 교점이 발생한다면 선분에 놓인 교점의 거리나 각도를 가지고 구해진 교점의 순서를 정렬시킨 후에 선분으로 분할시켜 교점이 발생한 개수만큼의 새로운 선분이 순서를 유지해가며 생성되어야 한다. 이 과정이 이루어진 다음에는 Fig. 7과 같이 없어질 부분을 판단하여 불필요한 부분에 플래그를 설정한다. 그리고는 플래그가 설정된 요소들을 리스트에서 제거시키게 된다.

(1) 선분의 고유번호로 교점정렬

교점이 발생한 두 선분을 분리하여 교점배열에 저장한다. 그리고 두 선분이 분할될 때 제거될 부분을 판단하여 플래그를 설정한다. 본 연구에서는 직선 선분은 선분의 시작점에서 교점까지의 거리로 원호는 중심점과 교점이 이루는 각도를 속성에 저장시켜 같은 선분의 고유번호를 비교하여 배열을 오름차순으로 정렬시킨다.

(2) 선분 분할

같은 선분의 고유번호만을 찾아서 시작점에서 교점까지의 거리나 각도에 의해 작은 순으로 정렬시킨다. 정렬된 순서를 가지고 순차적으로 새로운 선분을 생성시킨다. 또한, 교점배열에서 정해진 플래그로 생성된 선분의 앞/뒤 위치를 판단하여 선분 리스트의 머리 또는 꼬리속성에 플래그를 부여한다. 이때 간섭이 발생되는 부분은 -1플래그를 설정한다.

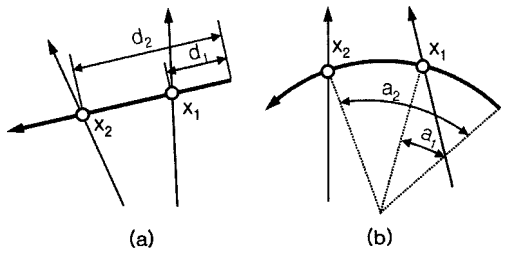


Fig. 6. Intersections order (a) Linear split, (b) Circular split.

(3) 플래그가 설정된 선분 제거

오프셋 선분 리스트의 머리 또는 꼬리의 플래그 속성이 하나라도 -1 값이 설정되어 있다면 간섭대상이므로 선분을 리스트에서 제거시킨다.

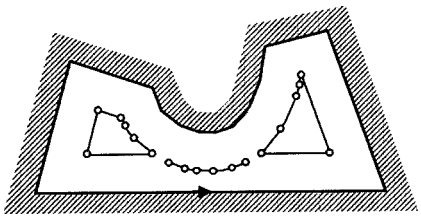
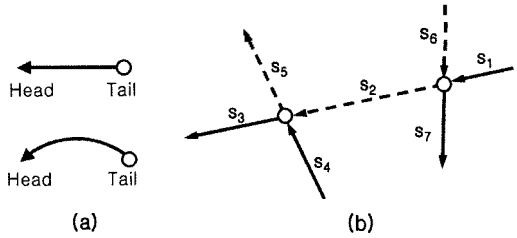


Fig. 7. Offset segment removal using flag.

다음에 표시된 Fig. 8은 각각 교점에 의해 플래그가 설정되고 불필요한 선분이 제거된 모습을 보여주고 있다.



Seg.	Head	Tail	Status
s_1	+1	0	Keep
s_2	-1	-1	Remove
s_3	0	+1	Keep
s_4	+1	0	Keep
s_5	0	-1	Remove
s_6	-1	0	Remove
s_7	0	+1	Keep

Fig. 8. An example of flag specification (a) Segment attributes, (b) Flag specification.

3.3 간섭발생 요소의 제거

1차적으로 각각의 오프셋 선분들 간에 교점을 구하여 그 부분을 분할한 다음 전역간섭이 발생되는 부분에 플래그를 설정하여 불필요한 선분을 걸러내는 작업을 거쳐 간섭이 발생하는 많은 부분을 작업 대상에서 제외시킬 수 있었다. 그러나 이 작업을 수행한 후에도 Fig. 9와 같이 여전히 원시루프에 영향을 주는 선분과 잘못된 루프가 남아 있을 수 있으며, 이는 선분간의 거리가 짧아서 개수가 많아질 때 교점이 발생하지 않아 머리 및 꼬리 플래그가 초기값인 0으로 설정되어 제거되지 않은 채 남아 있는 선분이 이에 해당된다. 따라서 플래그 설정방법에서 걸러지지 않는 선분들을 대상으로 간섭발생요소를 검출해 내어 제거시킬 필요가 있다.

이를 위해서는 남아 있는 오프셋 선분의 중점에서 원시루프와의 최단거리를 계산하여 오프셋 거리가 반경이 되는 원의 내부에 원시루프 선분이 포함되는지를 판단하여 포함된다면 -1 플래그를 설정한다. 마찬가지로 중점에서 오프셋 거리와 같은 반경을 갖는 원의 내부에 원시루프 선분의 양쪽 끝점이 포함되는지 판단하여 포함된다면 오프셋된 선분의 플래그 속성에 -1을 설정한다. 오프셋 선분에 플래그가 설정되었다

번 그 선분을 리스트에서 제거시킨다.

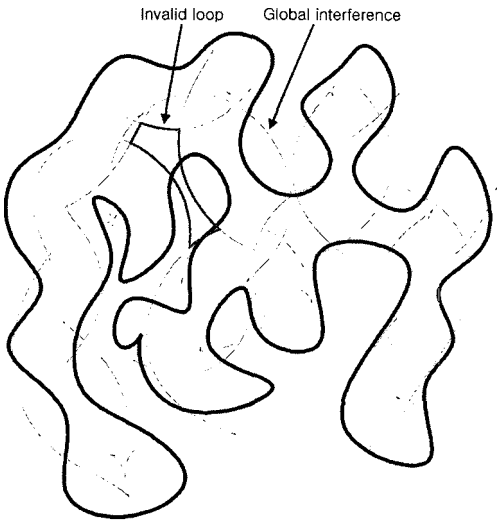


Fig. 9. An example of global interference.

3.4 루프 추적

간섭이 발생할 수 있는 선분을 모두 제거하고 나면 남아 있는 오프셋 선분만을 대상으로 루프를 순차적으로 추적해야만 한다. 앞 절에서 이미 교점이 분할될 때 선분의 순서를 유지해가며 분할된 상태이므로 추적을 할 때도 많은 부분 시간을 절약할 수 있는 장점이 있긴 하지만 하나의 선분의 끝점을 시작점으로 하여 다시 그 끝점과 일치하는 선분을 추적하여 닫힌 루프를 찾는 데는 최악의 경우 $O(N^2)$의 시간이 소요될 수 있다. 그러나 좀 더 효과적으로 오프셋 선분 리스트에 있는 닫힌 루프를 찾아내기 위해 본 연구에서는 Norman[11]이 제안한 알고리즘을 사용하여 선분을 정렬한 후 탐색하여 $O(NlogN)$ 의 수행 속도로 닫힌 루프를 모두 검출하였다. Fig. 10은 루프 추적 과정을 보여 주고 있다.

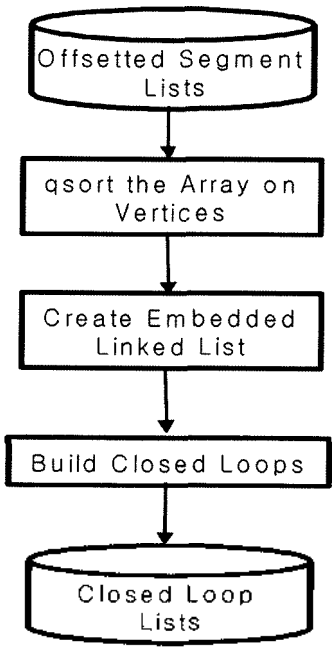


Fig. 10. The steps of tracing a loop.

4. 포켓팅 공구경로 연결

이 장에서는 Fig. 11에서 표시된 것처럼 윤곽 오프셋 알고리즘을 이용하여 주어진 다수 개의 윤곽 프로파일을 연결하여 윤곽내부영역을 가공할 수 있는 공구경로 연결 알고리즘을 제시한다. 공구경로의 연결 과정에서는 오프셋된 루프의 가장 깊은 수준에서부터 시작해서 밖으로 가공해 나오는 방법을 택하여 가능한 공구의 후퇴 횟수를 줄이고 절삭방향을 일정하게 유지시키며 연결시켜 나간다.

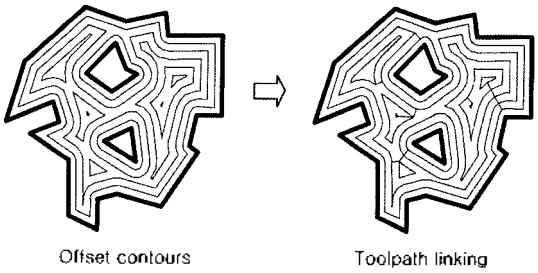


Fig. 11. An example of tool path linking.

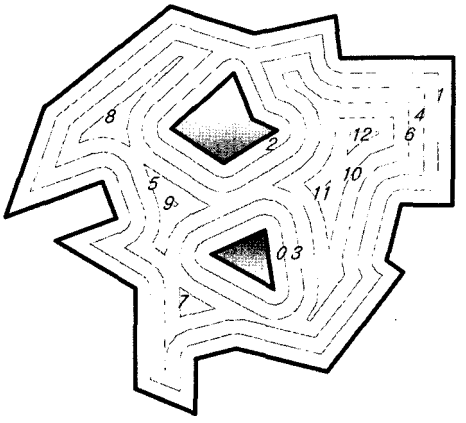
4.1 루프의 오프셋

(1) 1차 오프셋

윤곽 오프셋을 통해 원시루프를 처음 오프셋한 수준(Level) 0의 루프(Fig. 12의 루프번호 0, 1, 2)를 얻는다. 이 오프셋 루프는 최상위 수준의 부모루프이며 루프를 식별하기 위한 id가 부여된다.

(2) 연속 오프셋

1차 오프셋된 루프들을 가지고 다시 오프셋하여 2차 오프셋된 루프를 얻는다. 2차 오프셋부터는 1차 오프셋된 루프들과의 계층관계를 파악하여 자신이 몇 번째 최상위 부모루프의 자손인지를 결정한다. 계속해서 이전에 생성된 루프들을 가지고 루프가 생성되지 않을 때까지 반복한다.



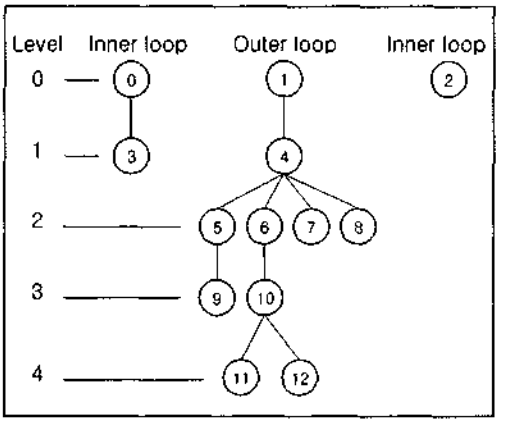


Fig. 12. The structure of loops.

4.2 루프의 연결

(1) 루프의 연결 조건

Fig. 13은 시작점에서부터 끝점까지 루프를 연결하는 과정으로 가장 깊은 곳에 있는 루프에서 밖으로 나오면서 연결해 나간다. 이 때 가지루프는 진행방향에서 가까운 순서로 선택되며 그 가지루프 내의 또 다른 루프는 깊이 우선에 의해서 제일 내부로 진입한 뒤 진입 이전의 상태로 연결되어 나와야 한다. 또한 내부루프는 외부루프와의 최근 점을 택하되 내부루프를 둘러싼 부분의 마지막 부분에서 연결한다. 이 두 조건을 만족한다면 '얇은 벽' 현상을 방지할 수 있다. '얇은 벽' 현상은 남은 가공량이 공구에 비해 상대적으로 적어, 이론적으로는 가공에 무리가 없으나, 현실적으로 공구의 떨림이나 심할 경우 공구 날의 파손이 발생한 현상을 말한다.

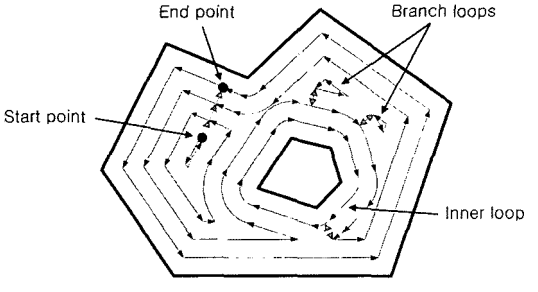


Fig. 13. An example of linking.

(2) 트리의 줄기 생성

루프의 그룹번호가 동일한 것만을 대상으로 Fig. 14와 같이 최하위 수준의 루프를 취하여 자신의 상위 루프의 가까운 점을 찾아서 끼워 넣는다. 이 과정을 최상위 부모루프에 연결될 때까지 반복한다.

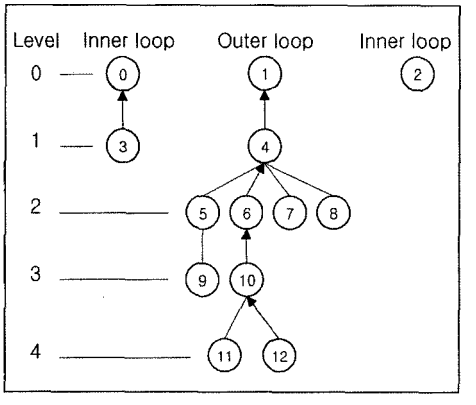


Fig. 14. An example of making trunk.

(3) 첫 번째 가지 연결

Fig. 15에서 보는 것처럼 외부루프(Outer loops) 중에 뼈대에서 첫 번째로 뻗어나가는 가지루프만을 대상으로 최상위 부모루프(루프번호 1)에 제일 가까운 선분을 찾아 루프의 시작점으로 설정하고 루프의 순서를 재정렬시킨다. 루프가 재 정렬되면 가지루프의

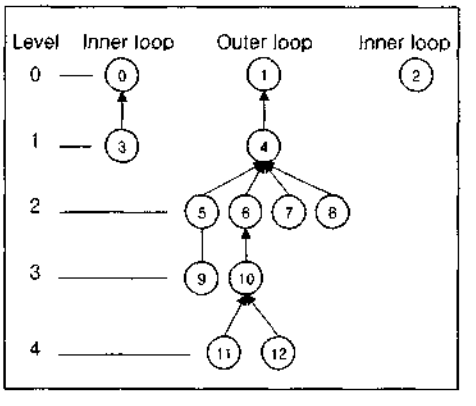


Fig. 15. An example of linking first branches.

시작점에서 부모루프와 제일 가까운 점을 찾아서 연결시킨다.

(4) 나머지 가지 병합

외부루프 중에서 같은 그룹번호 동일한 수준(Level)의 루프를 선택하여 선택된 루프 중 같은 수준의 루프가 한 개만 존재할 경우 부모루프의 시작점에서 현재의 루프와 제일 가까운 점을 찾아서 루프를 재정렬 시킨 뒤 연결시킨다. 만약 같은 수준의 루프가 여러 개 존재한다면 그 중에서 부모루프의 시작점과 제일 가까운 루프만이 부모루프와 직접적으로 연결될 수 있으며 나머지는 부모루프에서 순서가 제일 빠른 선분 순서에 의해 시작점을 재정렬시킨 후 부모루프에 연결시킨다.

(5) 내부루프들의 병합

최상위 수준의 외부루프에 현재의 내부루프가 포함되는지를 판별하여 현재의 내부루프를 해당되는 외부루프에 연결한다.

(6) 연결 보류 루프의 재병합

외부루프에 속한 자식루프들 중 연결이 보류된 루프만을 대상으로 자신의 최상위 부모루프와 최근점을 구하여 간섭이 생기지 않는 범위에서 연결을 시도한다. 만약 간섭이 발생한다면 그 루프는 공구의 후퇴가 이루어진 후 따로 진입하여 가공되어야 할 루프로 속성이 설정된다. Fig. 16은 연결이 보류된 루프들 중 더 이상 연결이 불가능하여 별도의 공구진입이 이루어져야 할 루프를 나타내고 있다. 또한, Fig. 17은 이제까지 제시한 알고리즘을 바탕으로 최종적인 연결이 끝난 후의 모습을 보여 주고 있다.

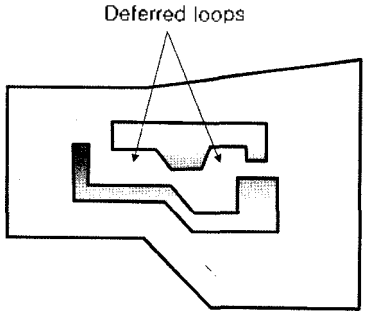


Fig. 16. Isolated loops.

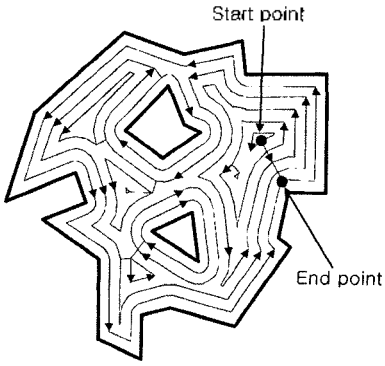


Fig. 17. Completed links.

5. 적용사례

아래의 Fig. 18은 상용시스템에서 2차원 오프셋을 연속적으로 했을 때 오프셋이 원활히 되지 않는 결과를 나타내었고 Fig. 19는 본 연구의 오프셋 알고리즘 적용으로 오프셋이 완성된 결과를 보여 준다. Fig. 20은 공구경로 연결 순서가 완전하지 못해 가공도중 '얇은 벽' 현상 발생되는 모의가공 모습을 보여주며 Fig. 21의 왼쪽 그림은 상용 CAM 시스템에서 산출된 연결의 일부분이지만 첫 번째 가지루프로 진입하는 구간이 올바르지 않아 '얇은 벽' 현상이 발생되는 연결이며 오른쪽의 그림은 본 연구에서 생성된 '얇은 벽' 현상이 발생되지 않는 연결을 왼쪽과 비교한 그림이다. Fig. 22는 본 연구에서 생성된 '얇은 벽' 현상이 발생하지 않는 완전한 공구경로로 가공된 결과를 보여준다.

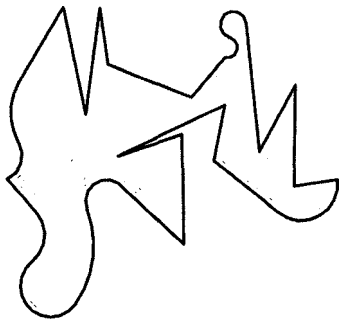


Fig. 18. The result of offset by a commercial system.

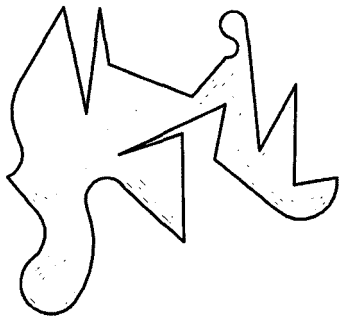


Fig. 19. The result of offset by our system.

Fig. 20. An example of a thin-wall.

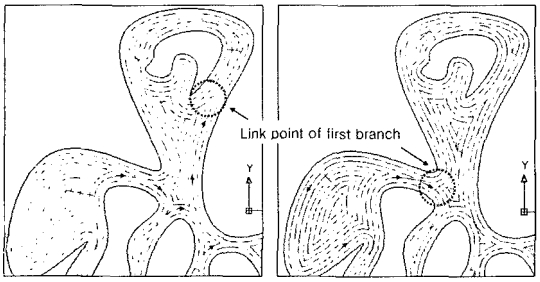


Fig. 21. Tool paths with thin-wall and without thin-wall.

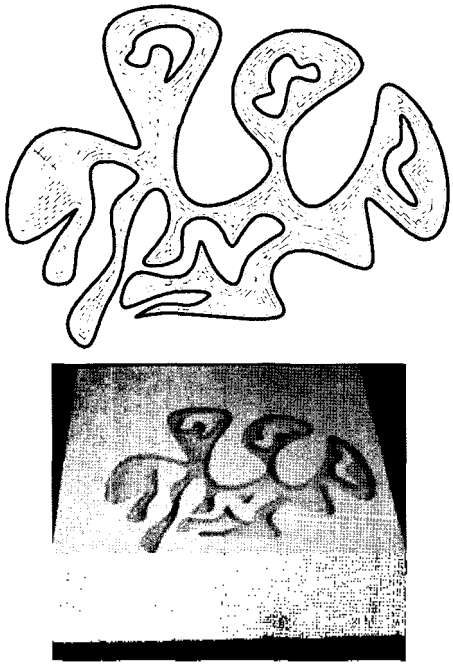


Fig. 22. An example of toolpath without thin-wall.

6. 결 론

본 연구에서는 2차원 윤곽 프로파일을 빠르고 안정적으로 오프셋하여 간섭이 제거된 오프셋 프로파일을 효과적으로 생성할 수 있는 알고리즘을 제안하였다. 오프셋 과정에서는 Pairwise intersection 방법을 이용하여 오프셋된 세그먼트간의 교점계산 시간을 기존의 $O(N^2)$에서 $O(N \ln N)$ 시간으로 구할 수 있도록 개선하고 안정적인 계산이 가능하도록 하였으며, 경로연결 과정에서는 공구진입 및 후퇴를 최소화 하고 가공도중 가공성을 떨어뜨리는 '얇은 벽' 현상이 발생되지 않도록 하였다. 본 연구를 통해 생성된 결과는 기존의 상업용 시스템에서 산출된 결과와 비교하였을 때 보다 우수한 결과를 얻을 수 있었다.

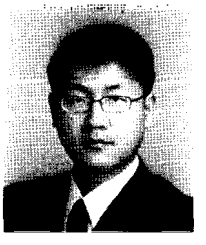
참고문헌

1. 김덕수, "Polygon Offsetting for Pocket Machining of CAM Software", '94대한산업공학회논문집, 1994.
2. 김동수, "다면체 모델 가공을 위한 곡선기반 방법", 박사학위논문, 경상대학교, 2002.
3. 박상칠, 정연찬, "포켓가공을 위한 오프셋 공구경로 연결 알고리즘", 한국CAD/CAM학회 논문집, 제6권, 제3호, pp. 169-173, 2001.
4. 정재훈, "복합곡면의 설계 및 가공경로 생성에 관한 연구", 석사학위논문, 포항공대, 1994.
5. Choi, B. K. and Kim, B. H., "Die-Cavity Pocketing via Cutting Simulation", *Computer Aided Design*, Vol. 29, No. 12, pp. 837-846, 1997.
6. Hansen, A. and Arbab, F., "An Algorithm for Generating NC Tool Paths for Arbitrarily Shaped Pockets with Islands", *ACM Transactions on Graphics*, Vol. 11, No. 2, pp. 152-182, 1992.
7. Held, M., "On the Computational Geometry of Pocket Machining", Springer-Verlag, 1991.
8. Tawfik, T. and Ahmed, E., "A Sweep-line Algorithm and Its Application to Spiral Pocketing", *International Journal of CAD/CAM*, Vol. 2, No. 3, pp. 32-40, 2002.
9. Tiller, W. and Hanson, E. G., "Offsets of Two-dimensional Profiles", *IEEE Computer Graphics and Applications*, CGA(4), No. 9, pp. 36-46, September 1984.
10. Yang, S. N. and Huang, M. L., "A New Offsetting Algorithm Based on Tracing Technique", '93 ACM Solid Modeling Symposium, Montreal, Canada, pp. 201-210, 1993.
11. Norman L. Jones, Michael J. Kennard, Alan K. Zundel, "Fast Algorithm for Generating Sorted Contour Strings", *Computers & Geosciences*, Vol. 26, No. 7, pp. 831-837, August 2000.
12. Persson, H., "NC Machining of Arbitrarily Shaped Pockets", *Computer Aided Design*, Vol. 10, No. 3, pp. 169-174, May 1997.
13. 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, October 1999.
14. Park, S. C. and Chung, Y. C., "Offset Tool-path

Linking for Pocket Machining", *Computer Aided Design*, Vol. 34, No. 4, pp. 299-308, April 2002.
15. Park, S. C., Chung, Y. C. and Choi, B. K., "Contour-parallel Offset Machining without Tool-retractions", *Computer Aided Design*, Vol. 35, No. 9, pp. 841-849, August 2003.
16. Held, M., Lukacs, G. and Andor, L., "Pocket Machining based on Contour-parallel Tool Paths Generated by Means of Proximity Maps", *Computer Aided Design*, Vol. 26, No. 3, pp. 189-203, March 1994.
17. Martin Held, "Voronoi Diagrams and Offset Curves of Curvilinear Polygons", *Computer Aided Design*, Vol. 30, No. 4, pp. 287-300, April 1998.
18. Kim, D.-S., "Polygon Offsetting Using a Voronoi Diagram and Two Stacks", *Computer Aided Design*, Vol. 30, No. 14, pp. 1069-1076, December 1998.
19. Takashi Maekawa and Nicholas M. Patrikalakis, "Computation of Singularities and Intersections of Offsets of Planar Curves", *Computer Aided Geometric Design*, Vol. 10, No. 5, pp. 407-429, October 1993.
20. 박상철, 신하용, 최병규, "점열곡선의 꼬임을 효율적으로 찾는 알고리즘", 한국 CAD/CAM학회논문집, 제4권, 제3호, pp. 190-199, 1999
21. Bentley, J. L. and Ottmann, T. A., "Algorithms for Reporting and Counting Geometric Intersections", *IEEE Transactions on Computers*, **28**, pp. 643-647, 1979.
22. Preparata, F. P. and Shamos, M. I., "Computational Geometry-An Introduction", Springer Verlag, New York, 1985.
23. Joseph O'Rourke, "Computational Geometry in C", Cambridge University Press, 1995.
24. M. de Berg, M. van Kreveld, M. Overmars and O. Schwarzkopf, "Computational Geometry Algorithms and Applications", Springer Verlag, March 1997.

허 진 헌

2003년 동명정보대학교 멀티미디어공학과 학사
2005년 경상대학교 산업시스템공학과 석사
관심분야: Geometric modeling, NC machining, DNC



김 영 일

1991년 경상대학교 산업시스템공학과 학사
1996년 경상대학교 산업시스템공학과 석사
1996년~1999년 LG전자 생산기술센터 금형팀
1999년~2001년 나라엠앤디(주) M/D설계팀
2001년~2006년 (주)효원시스템 CAD/PLM팀
2002년~현재 경상대학교 산업시스템공학과 박사과정
2006년~현재 (주)씨테크시스템 부설연구소
관심분야: 3D Product Development Process, PLM

전 차 수

1983년 부산대학교 기계공학과 학사
1985년 한국과학기술원 산업공학과 석사
1989년 한국과학기술원 산업공학과 박사
1989년~현재 경상대학교 산업시스템공학부 교수
1993년~1994년 Purdue University 객원연구원
2001년 North Carolina State University 객원연구원
관심분야: Geometric modeling, NC machining, CADCAM, e-manufacturing