

# 고립형상을 포함한 2차원 폐곡선 오프셋 알고리즘 Direct Offset Algorithm for Closed 2D Lines with Islands

\*#소범식<sup>1</sup>, 박동환<sup>1</sup>, 조용<sup>1</sup>, 배원락<sup>1</sup>, 고태조<sup>2</sup>

\*B. S. So(so@ghi.re.kr)<sup>1</sup>, D. H. Park<sup>1</sup>, Y. Cho<sup>1</sup>, W. R. Bae<sup>1</sup>, T. J. Ko<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 경북하이브리드부품연구원, <sup>2</sup> 영남대학교 기계공학부

Key words : 2D Offset, Contour Parallel Tool Path, 2.5D Milling

## 1. 서론

밀링가공에서 2.5차원 가공은 제품가공을 위한 가장 일반적인 가공방법으로 대부분 제품들이 기본적으로 2.5차원 황삭가공에 의해 가공이 이루어진다. 2.5차원 가공은 제품 형상을 등간격 높이에 대해 각각 독립적인 2차원 가공을 통해 전체 3차원 형상을 가공하는 것으로 연속적인 가공을 위해 윤곽형상을 순차적으로 오프셋 시킨 공구경로가 주로 사용되며, 효율적인 오프셋 알고리즘이 필수적이다.

윤곽 평행 공구경로를 위한 2차원 형상의 오프셋 방법은 크게 세 가지 종류로 나눌 수 있다. 첫 번째는 형상을 일차적으로 오프셋 하고 교선을 기준으로 루프의 방향이 반대인 부분을 삭제하는 방법이다.[1-3] 이 방법은 모든 무효화 루프 및 고립형상을 고려하여 오프셋하기 위해서  $O(n^2)$ 의 상당한 계산량이 필요하며, 경우에 따라 수치적인 불안정성을 야기할 수 있다.[4] 두 번째 보르노이 다이어그램을 이용하는 방법은 폐곡선의 영역을 분할하는 보르노이 다이어그램을 이용하여 오프셋 곡선을 계산하는 방법이 있으나 이 역시 형상이 복잡한 경우 보르노이 다이어그램을 구성하기 어렵고 계산상의 불안정성이 남아있다.[4] 세 번째는 픽셀을 이용하여 계산적으로 안정성있는 오프셋 결과를 얻는 방법이 있으나 높은 정밀도가 요구되는 경우 매우 많은 메모리와 계산량이 필요한 문제가 있다[5]. 고립형상을 포함한 오프셋 연산의 궁극적인 문제는 오프셋 선들 사이의 모든 교차점을 구하는 것이며, 이는  $O(n^2)$ 의 연산 복잡도를 발생하게 하는 근본적인 원인이 된다. 김현철 등은 고립형상을 포함한 폐다각형형상의 오프셋에 대한 새로운 알고리즘을 제시했으나 궁극적으로 오프셋 선분끼리의 모든 교차점을 찾기 위해 그리드 타입 헤시 테이블을 이용하는 것을 제안하고 있다[6-7].

이와 같이 이차원 폐곡선에 대한 다양한 오프셋 알고리즘이 연구되었음에도 불구하고 계산상의 효율 측면에서는 여전히 한계를 가지고 있다. 특히 최근에는 CAD데이터가 아닌 3D 스캐너 등으로 측정된 삼각망 다면체 모델로부터 직접 가공을 위한 공구경로 생성의 요구가 많아짐에 따라, 폐곡선의 선분 개수가 매우 많은 경우에 대해서도 효과적으로 오프셋 할 수 있는 알고리즘이 매우 요구되고 있다.

따라서 본 연구에서는 선분과 원호로 구성된 폐곡선의 기하학적 특성을 이용하여 오프셋 선분끼리의 교차점을 매우 빠르게 구함으로써 고립형상을 포함한 2차원 폐곡선에 대한 효과적인 오프셋 알고리즘을 제안하고자 한다.

## 2. 개요 및 용어 정의

엘리먼트(선분/원호)와 노드로 이루어진 2차원 폐곡선의 오프셋 알고리즘은 루프 방향의 정렬, 무효 엘리먼트 처리, 고립형상을 고려한 루프 분할, 형상 오프셋의 네 단계로 나눌 수 있다. 첫 번째 단계는 오프셋의 대상이 되는 엘리먼트들을 정렬하는 단계로서 효과적인 오프셋 연산을 위해 Fig. 1의 (a)와 같이 가공 소재의 외곽 형상 엘리먼트를 반시계방향(CCW)으로 정렬하며, 가공 제품의 형상을 반시계방향으로 정렬한다. 이와 같이 방향을 설정함으로써 오른쪽 오프셋 또는 왼쪽 오프셋에 따라 제거해야할 대상을 합리적으로 결정할 수 있다. Fig. 1의 (b)는 진행방향에 대해 오른쪽 오프셋을 적용하여 포켓 가공에 적합한 공구 경로를 생성한 경우이며, Fig. 1의 (c)는 공구 진행방향에 대해 왼쪽 오프셋을 적용함으로써 제품 형상 가공용 공구 경로를

생성한 경우이다. 두 번째 단계는 무효 엘리먼트를 삭제하거나 변경하는 단계이다. 여기에서 무효 엘리먼트라는 것은 오프셋 과정에서 삭제되거나 변형되는 엘리먼트를 말한다. 세 번째 단계는 오프셋에 의해 발생하는 고립형상을 고려하여 루프를 분할하는 단계이며 Fig.2에 나타내었다.. 처음 하나의 루프로 구성된 폐곡선은 오프셋 거리가 길어짐에 따라 Fig. 2의 (b), (c)와 같이 한 점에서 서로 접하면서 루프가 분할되며, 분할된 루프는 엘리먼트의 정렬 방향이 그대로 유지된다. 마지막으로 루프 분할단계까지 적용된 오프셋 양을 제외한 나머지 분량만큼 각각의 분할된 루프에 대해 오프셋을 수행함으로써 최종적인 오프셋 형상을 얻을 수 있다.

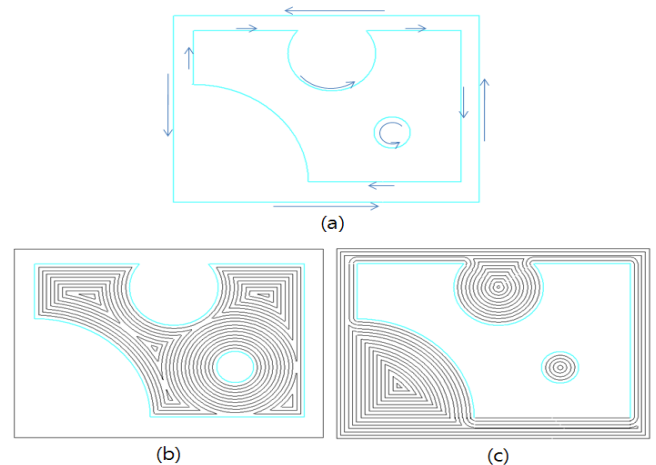


Fig. 1 Alignment of a loop and offset direction

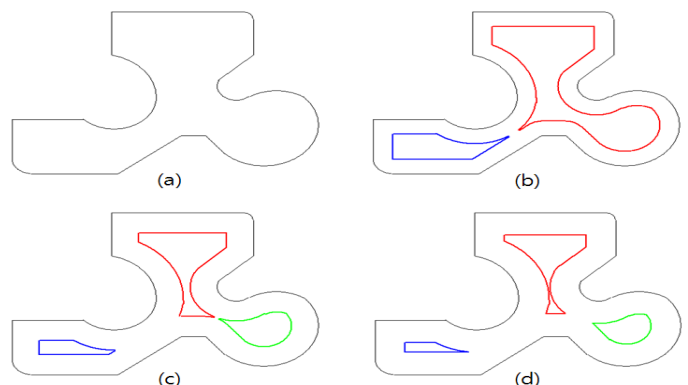


Fig. 2 Division of a loop

## 3. 무효 성분을 고려한 오프셋

오프셋은 Fig. 3과 같이 루프 진행의 오프셋 방향(왼/오른) 기준으로 모퉁형상인 경우와 볼록형상인 경우를 구분하여 계산한다. 모퉁형상의 경우 노드를 기준으로 생성되는 등분각을 이용하여 오프셋 노드를 구하고 오프셋 엘리먼트를 연결한다. 볼록형상의 경우는 엘리먼트의 오프셋과 함께 추가적인 원호를 삽입해야 한다. 엘리먼트의 오프셋은 엘리먼트의 각각 시작점과 끝점에서 오프셋 거리만큼의 길이를 가진 진행 방향벡터를 (진행 방향 오른쪽 오프셋인 경우)-90도 회전함으로써 얻을 수 있다.

또한 삼입되는 원호는 기준 노드를 중심으로 이전 오프셋 엘리먼트의 끝점과 다음 오프셋 엘리먼트의 시작점을 연결하는 원호로 구한다. 무효 엘리먼트는 오목형상에서만 발생하며, 오목/볼록은 노드를 기준으로 엘리먼트의 진행 각도(Flow angle)를 이용하여 판별한다. Fig. 4는 주어진 오프셋 거리에 대해 각각 무효 선분과 원호의 발생과 처리 방법을 보여주고 있다. 무효 엘리먼트의 판별은 Fig. 4의 (a)와 같이 기존 엘리먼트의 진행방향( $v_{element}$ )과 오프셋 노드의 진행방향( $v_{offset}$ )의 방향이 서로 다른 경우(내적이 음의 값을 가짐.) 기존의 엘리먼트를 삭제하고 전.후 엘리먼트의 연장선의 교점을 기준으로 전.후 엘리먼트를 변경하여 오프셋 노드를 구할 수 있다. Fig. 4의 (b)와 같이 Concave 원호의 경우 오프셋 거리가 원호의 반경보다 큰 경우 원호를 선분으로 대체하여 오프셋 처리를 할 수 있다.

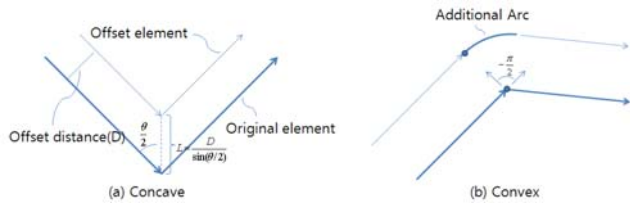


Fig. 3 Offset points according to concave/convex types

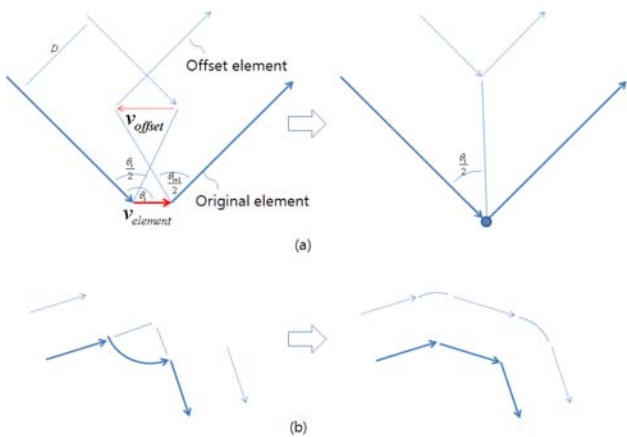


Fig. 4 Remove invalid element for concave loop offset

4. 고립형상을 고려한 오프셋

불규칙한 형상에 대해 오프셋을 늘여가며 구하는 경우 대부분 고립형상이 발생하며, 이러한 고립형상을 처리하기 위해 모든 엘리먼트와의 간섭검사가 필요하며, 이로 인해 대부분의 오프셋 처리 시간을 소요한다. 본 연구에서는 모든 간섭위치를 찾는 대신 루프가 분할되는 최초 간섭위치만을 효과적으로 구하여 계산시간을 현저하게 줄였다. Fig. 5와 같이 오프셋 양이 증가함에 따라 발생하는 최초의 고립형상 간섭은 볼록 형상과 가장 가까운 접점 위치에서 발생한다. 접점위치를 찾기 위해 먼저 폐곡선에서 루프 진행방향에 대해 오목/볼록구간을 나누고 간섭이 발생하는 볼록 형상을 기준으로 구간끼리 최근접점을 찾는다. 이때 구간의 개수는 엘리먼트의 개수와 무관하게 형상에 따라 정해지며, 밀링 가공을 위한 형상은 대부분 10(M)개를 넘지 않으므로 최대  $M^2$ 회의 비교 연산이 필요하다. 구간끼리의 최근접점은 두 구간내의 엘리먼트 각도구간을 비교하여 최근접점의 대상이 되는 두 엘리먼트를 구하고 마지막으로 Table. 1의 조건을 이용하여 최근접점을 구한다. 엘리먼트 개수가 N개라고 할때 구간 마다의 평균 엘리먼트 개수는  $N/M$ 개 이며, 최근접점의 대상이 되는 두 엘리먼트는 최대  $N/M$ 회 비교 연산으로 구할 수 있으므로 루프 분할을 위한 최대 연산횟수는  $M^2 \cdot N/M + \alpha = M \cdot N + \alpha$ 으로 엔티티 개수의 상수배 이다.

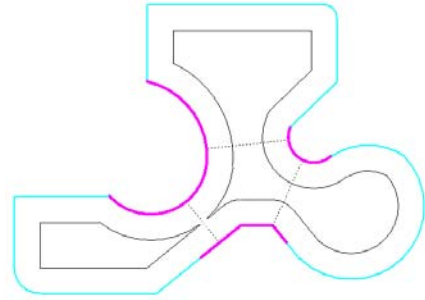


Fig. 5 Search nearest intersection point

Table 1 Comparison of measured roughness data

	Convex arc - convex arc $(v_0 \times P) \cdot (P \times v_1) > 0$ AND $(U_0 \times P) \cdot (P \times U_1) > 0$
	Convex arc - line segment $(v_0 \times P) \cdot (P \times v_1) > 0$ AND $(a_0 \cdot b_0) > 0$ AND $(a_1 \cdot b_1) > 0$
	Convex arc - concave arc $d > 0$ AND $(v_0 \times P) \cdot (P \times v_1) > 0$ AND $(U_0 \times P) \cdot (P \times U_1) > 0$

5. 결론

본 논문은 2.5차원 밀링 공구경로 생성에 적용할 수 있는 이차원 폐곡선에 대한 오프셋 알고리즘을 제안하였으며, 본 논문의 결과는 계산 복잡도를 현저히 줄일 수 있다는 점에서 기존의 연구와 차별되는 진보된 결과를 제시하였다.

후기

본 연구는 2007년도 지역혁신산업기반구축(공통기술)사업(과제번호 : 70002370)의 지원으로 수행되었음.

참고문헌

- Hansen, A. and Arbab, F., "An Algorithm for Generating NC Tool Path for Arbitrary Shaped Pockets with Islands," ACM Transaction on Graphics, 11(2), 152-182, 1992.
- 박상철, 정연찬, "포켓가공을 위한 오프셋 공구경로 연결 알고리즘," 한국CAD/CAM학회 논문집, 6(3), 169-173, 2001.
- 허진현, 김영일, 전차수, "Pairwise Intersection방식을 이용한 윤고가오프셋 및 공구경로 연결 알고리즘," 한국CAD/CAM학회 논문집, 11(5), 375-383, 2006.
- Held, M., Lukacs, G. and Andor, L., "Pocket Machining Based on Contour-Parallel Tool Paths Generated by Means of Proximity Maps," Computer-Aided Design, 26(3), 189-203, 1994.
- Choi, B. K. and Kim, B. H., "Die-Cavity Pocketing via Cutting Simulation," Computer Aided Design, 29(12), 837-846, 1997.
- Lee, D. Y., Kim, S. J., Lee, S. G. and Yang, M. Y., "Incomplete Mesh Based Tool Path Generation," Proceeding of the SMPE Spring Conference 2003, 844-847, 2003.
- 김현철, 이성근, 양민양, "섬을 가진 2차원 직선 폐곡선에 대한 새로운 오프셋 알고리즘," 대한기계학회논문집,30(2), 141-148, 2006.