

폴리우레탄폼 절삭가공시 공구보정에 관한 연구

민세홍[†] · 김희송^{*}

경원전문대학 소방안전관리과 · 단국대학교 기계공학과
(2000. 1. 7. 접수 / 2000. 6. 13. 채택)

A Study on Tool Offset for Cutting of the Polyurethane Foam

Se-Hong Min[†] · Hei-Song Kim^{*}

Department of Fire Protection Engineering, KyungWon College

^{*}Department of Mechanical Engineering, DanKook University

(Received January 7, 2000 / Accepted June 13, 2000)

Abstract : After constructing master model utilizing CAD data originated by sketch, product NC data for polyurethane foam using digitized master model data. And model cutting is performed utilizing specially developed polyurethane foam cutting tool in machining center. In this study, it is discussed to construct concept of tool offset, method of tool offset and feature tolerance, etc., that is impossible for cutting of the polyurethane foam by CNC machine.

1. 서 론

3차원 형상을 가지고 있는 모델(model)을 가공하기 위한 CAD시스템에서 공구형상을 생성할 때에 공구형상과 가공형상과의 간섭이 발생하게 된다. 따라서 이와 같은 간섭을 피하기 위해 공구형상에 따른 가공형상의 오프셋(offset)을 생성할 필요가 있다. 즉, 공구형상과 가공형상의 간섭이 발생하지 않는 오프셋면의 생성을 통하여 고정도, 고능률적인 CAM시스템의 구현이 가능하게 된다.

실제 금형 가공에서는 3차원 제어의 CNC공작기계를 대부분 적용하고 있으며, 다양한 작업조건에 부합되는 오프셋면 생성법이 다각적으로 제안되고 있다.

오프셋면 생성법으로 간단한 알고리즘으로 알려진 역오프셋(reverse offset)¹⁾이 처음으로 적용되었고, 그 후 XY평면에 사각형 격자를 규칙적으로 형성하고 모든 해당격자에서 Z값을 저장하여 형상을 표현하는 Z-map²⁾ 방법이 제안되었으

나, 많은 메모리 용량의 요구와 정확도가 떨어지는 문제점으로 인하여 새로운 방법을 모색하게 되었다. 이에 가공형상의 절삭점에서 법선방향으로의 산출을 특징으로 하는 법선 벡터 알고리즘³⁾이 제안되어 Z-map방법에 비해 고정도한 오프셋면을 구할 수 있었다. 그러나 역시 법선방향을 간단하게 구할 수 없는 곡면인 경우 처리시간을 산출할 수 없는 또 다른 문제점에 봉착하게 되었다.

따라서 확장 Z-map 모델을 이용한 CAM시스템이 개발되어 고속·고정도한 접촉점 추출이 가능한 새로운 오프셋 생성법(K offset법이라고 칭함)이 소개되었다.⁴⁾ 이러한 이론을 배경으로 금형가공에 대해 CAM시스템의 개발⁵⁾, 오프셋을 고려한 복잡한 형상에 대한 절삭력의 모델링의 연구⁶⁾와 오프셋 이론에 근거한 절삭공구의 선택⁷⁾ 등 다양한 분야에 적용되고 있는 추세이다.

그러나 이러한 연구들은 일반 강재를 위주한 오프셋법이므로 폴리우레탄폼과 같은 탄성체가공시의 공구 오프셋을 그대로 정의하는 것은 불가하기 때문에 본 연구에서는 폴리우레탄폼을 절삭 가공할 때 공구오프셋의 생성개념, 생성방법, 가공대상의 형상공차에 대해 기술하며 특히

[†] To whom correspondence should be addressed
shmin@kwc.ac.kr

기존 오프셋법과 비교하여 그 유용성을 제안하고자 한다.

2. 폴리우레탄폼 가공오프셋의 개념

폴리우레탄폼은 탄성을 지닌 물체이므로 일반 금속을 가공할 때와 같은 공구 보정으로 정의된 형상을 정확하게 가공하기란 쉽지 않다. 따라서 Fig. 1과 같은 폴리우레탄폼을 절삭 가공할 때에 역 오프셋개념을 도입하기로 한다. 가공형상의 상태, 특히 가공형상의 공차를 직접적으로 고려하려면 역전공구중심의 이동량 F 를 오차 δ 에 따라 결정해야 한다.

즉, 오차 δ 를 어느 범위내에 한정을 두고 이동량 F 를 설정하여 그 오프셋면을 따라 가공한 형상의 오차가 CAD에서 주어진 공차 범위내에 있어야 하며, 또한 폴리우레탄폼을 절삭 가공할 때의 오프셋 에러 δ 는 금속가공과 달리 폴리우레탄폼 특성상 탄성변형이 고려되어야 한다. 그러므로 기존의 오프셋 개념과는 다른 해법이 필요하다. Fig. 2에서는 본 연구에서 사용한 폴리우

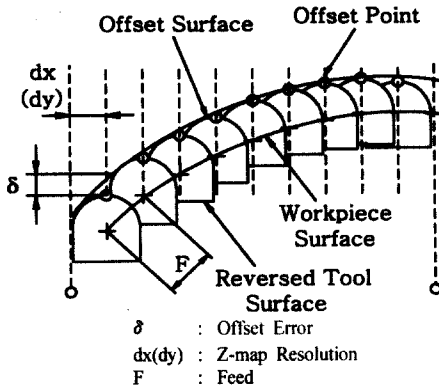


Fig. 1. Concept in the inverse offset operation

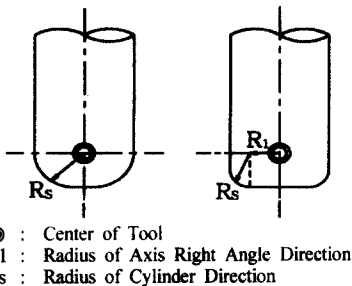


Fig. 2. Tool model

레탄폼 공구형상을 (a)에 나타내었으며, 일반적으로 금속가공에 많이 적용하는 공구형상을 (b)에 나타내었다.

3. 오프셋면의 생성

3.1. 폴리우레탄폼 가공의 오프셋 개념

3차원 CNC공작기계로 가공물을 가공할 때 나타나는 공구형상과 가공형상의 관계를 Fig. 3에 나타내었다. 공구형상과 가공형상의 접촉점을 P_0 로 정의하면, 각각의 형상 높이 Z_s , Z_T 의 합이 최대가 된다. 이 경우 공구중심 O_T 가 접촉점 P_0 에 대한 오프셋면상의 점이 되며 그 높이는 식 (1)과 같이 나타내어진다.

$$Z_0 = \text{Max}(Z_s + Z_T) \quad (1)$$

여기서 Z_T 는 폴리우레탄폼의 탄성변형을 고려한 높이이다.

이것이 폴리우레탄폼 가공의 오프셋 생성법의 기본적인 개념이며, 이상의 기본개념에서 알 수 있듯이 이 오프셋법은 공구와 가공형상과의 접촉점을 산출하여 오프셋면을 구하는 것이다. 특히 접촉점을 구할 경우 형상의 법선벡터를 고려해서 계산하지 않고 각각의 형상 높이의 합 및 그 비교 등과 같은 비교적 간단한 계산에 의한 것이 특징이다.

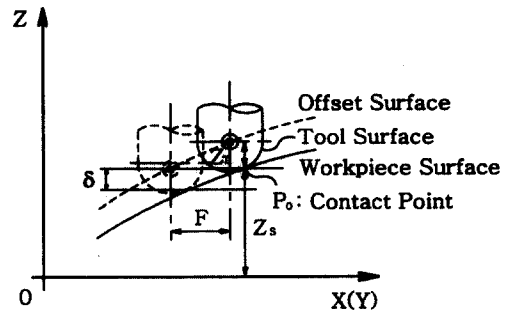


Fig. 3. Concept of the new offset method

3.2. 오프셋면의 정도

제한된 공간내에서 역방향 공구형상이 이동하여 각각의 형상높이의 합에 의해 오프셋면을 생성할 경우 그 이동간격이 오프셋면의 정도에 영향을 미치게 된다. Fig. 4에 나타내어진 바와 같

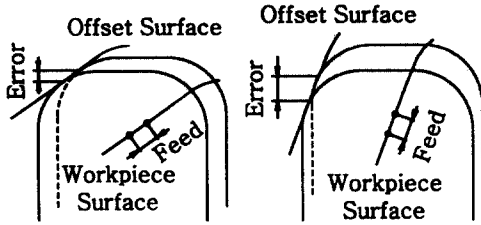


Fig. 4. Difference of the accuracy in the offset surface by inclination of workpiece surface

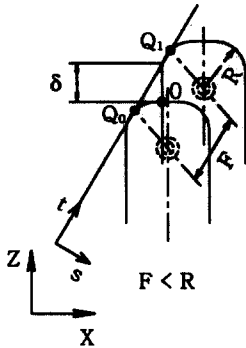


Fig. 5. Error in the inverse offset operation

이 이송량이 일정한 경우에 요구형상의 수평면에 대한 기울기가 변화에 따라 오차범위가 달라지므로 일정한 정도의 오프셋면 생성이 곤란하게 된다. 그러므로 필요 정도를 보장하는 오프셋면 생성을 고려해야 한다.

Fig. 5는 공구이동량 F 와 오차 δ 와의 상관관계를 표시한 것이며 여기서 $Q_0, Q_1, O, P, t, S, F, R$ 은 각각 공구이동전 점, 공구이동후 점, 공구형상간섭점, 계산오차최대점, 공구진행벡터, t 에 대한 수직벡터, 역방향 공구이동량, 공구반경을 의미하며, 또 $P_i, O_i, Q_{1i}, t_i, S_i$ 는 각 벡터의 i 축 방향성분을 나타낸다.

이론적 계산에 의한 최대오차 δ 는 다음 식과 같이 정의되며,

$$\delta = P_z - O_z \quad (2)$$

여기서,

$$P_z = \frac{O_x - Q_{0x}}{Q_{1x} - Q_{0x}} \cdot F \cdot t_z + Q_{0z} \quad (3)$$

또 Q_0 를 원점으로 하면 식 (3)은 다음과 같이

변형된다.

$$P_z = \frac{t_z}{t_x} \cdot O_x \quad (4)$$

O_x, O_z 는 Fig. 5에서와 같은 형상에서 다음 식 (5)와 (6)으로 정의된다.

$$O_x = \frac{F}{2} t_x + \frac{F^2}{8 \cdot R} \cdot S_x \quad (5)$$

$$O_z = \frac{F}{2} t_z + \frac{F^2}{8 \cdot R} \cdot S_z \quad (6)$$

식 (2), (4), (5), (6)으로부터 δ 는 다음 식으로 표시된다.

$$\delta = \left(\frac{t_z}{t_x} \cdot S_x - S_z \right) \cdot \frac{F^2}{8 \cdot R} \quad (7)$$

따라서 공구이동량 F 는 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$F = \sqrt{\frac{\delta \cdot 8 \cdot R}{\left(\frac{t_z}{t_x} \right) \cdot S_x - S_z}} \quad (8)$$

결과적으로 역방향공구 이동량 F 는 식 (8)과 최대오차 δ 를 이용하여 계산할 수 있다.

그러므로 가공정도와 최대오차가 일치하는 F 를 결정하면 요구되는 정도내의 오프셋면을 생성할 수 있다.

3.3. 접촉점의 산출

초기에는 공구중심의 XY좌표를 결정하고 공구중심의 높이를 임의로 한다. 다음에 특정 범위 내에 있는 XY평면에서의 각 격자점을 따라 가공면상의 점 $P_S(X, Y, Z_S)$, 공구형상면에서의 점 $P_T(X, Y, Z_T)$ 를 산출하고 공구중심의 높이 Z_0 는 식(1)로부터 얻을 수 있다.

Z_0 가 최대가 되는 점을 추출하고 접촉 대표점을 정의한다.

Fig. 6에 공구중심의 X, Y 좌표값이 형상영역 E_0 내에 있는 경우 먼저 공구형상과 접촉 또는 간섭이 가능한 모든 형상영역을 추출한 후, Fig. 7과 같이 작은 피치 간격에서 1차 보간으로 접촉 대표점 P_i 를 포함한 8점 $Q_{i1} - Q_{i8}$ 을 추출하고, 새로운 접촉대표점 P_{i+1} 및 공구중심 높이

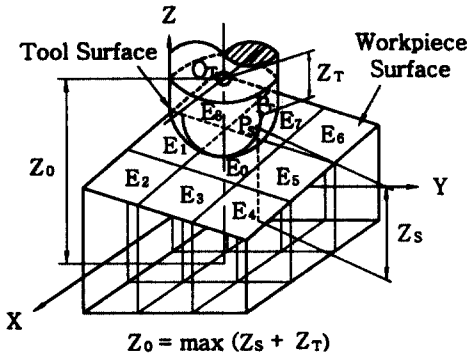


Fig. 6. Extract scanned area

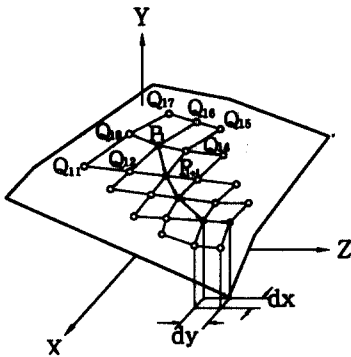


Fig. 7. Rescanning point of contact

Z_{0i+1} 를 산출한다. 이 처리를 전후 2회의 공구중심 높이 차가 충분히 작아지도록 반복하여 수행하면 정도가 높은 접촉점과 공구중심 높이가 산출될 수 있다.

4. 실험 및 결과

Fig. 8에서는 가공대상의 형상모델을 나타내었다. 일반적인 금속가공시의 공구 오프셋한 공구경로를 Fig. 9에 나타내었으며, 본 연구에서 폴리우레탄폼을 절삭가공할 때 공구보정에 의한 공구오프셋 공구경로를 Fig. 10과 같이 나타내었다.

Table 1에 밀도 40 kg/m^3 과 33 kg/m^3 인 폴리우레탄폼의 절삭력에 의한 공구보정값 및 3차원측정기에서 측정한 가공오차를 나타내었으며, 본 연구의 새로운 공구보정값을 밀도 40 kg/m^3 인 폴리우레탄폼에 적용하여 절삭한 예를 Fig. 11에 나타내었다. 이 결과 기존의 수작업에 의한 가공허용오차 $\pm 3 \sim 4 \text{ mm}$ 보다 개선된 $\pm 2 \text{ mm}$ 이내이므로, 본 방법의 실용성을 확인할 수 있었다.

Table 1. Tool offset and cutting error by cutting force of poly urethane foam

Density	40 kg/m^3	33 kg/m^3
Hardness	$25 \text{ kg/(314/cm}^2)$	$22 \text{ kg/(314/cm}^2)$
Tool offset	4.17 mm	3.50 mm
Cutting error	$\pm 1.65 \text{ mm}$	$\pm 1.83 \text{ mm}$

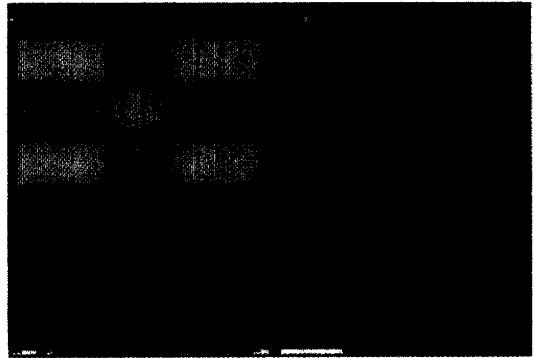


Fig. 8. CAD shape



Fig. 9. Tool path for roughing cutting



Fig. 10. Tool offset for tool path



Fig. 11. Sample of manufacturing

5. 결론

폴리우레탄폼 절삭가공이 공구보정에 관한 연구를 통하여 다음과 같은 결과를 얻었을 수 있었다.

(1) 폴리우레탄폼을 절삭가공할 때 공구 오프셋의 에러는 금속가공과 달리 폴리우레탄폼 특성상 탄성변형을 고려해 새로운 오프셋 개념 설정이 필요하다.

(2) 폴리우레탄폼의 가공정도를 요구되는 정도내에서 오프셋면을 생성하려면 가공정도와 최대오차가 일치하는 공구이동량 F의 결정이 필수적이다.

(3) 정도가 높은 접촉점과 공구중심 높이를 산출하기 위해서는 작은 피치간격에서 보간법을 사용하여 새로운 접촉 및 공구중심 높이를 반복하여 구할 수 있다.

(4) 폴리우레탄폼을 절삭가공할 때 새로운 공구보정법을 적용한 결과 허용오차 $\pm 2\text{mm}$ 내에 가공오차가 발생하므로 실용성을 입증할 수 있었다.

참고문헌

- 1) 近藤 司, 岸浪建史, 桑藤勝政, “逆オフセット法を基にした形状加工処理”, 精密工學會誌, Vol. 54, No. 5, pp. 971~976, 1988.
- 2) 竹内芳美, 坂本正史, 織田童司, “パーソナルCAD/CAMシステムP-CAPSの開発”, 精密工學會春季大會學術講演會講演論文集, pp. 805~806, 1988.
- 3) 岸浪建史, 近藤 司, 金井 理, “逆オフセット法を用いた形状加工処理システム第1報”, 精密工學會春季大會學術講演會講演論文集, pp. 217~218, 1986.
- 4) 赤 明暉他, “擴張Z-mapモデルによるCAMシステムの開発”, 精密工學會秋期大會學術講演會講演論文集, Vol. 60, No. 2, pp. 753~754, 1994.
- 5) 是澤宏之, 鈴木 裕, 森崎 修, “高能率金型荒加工システムの開発”, 日本精密工學會誌, Vol. 63, No. 5, pp. 711~715, 1997.
- 6) Gu, F., Kapoor, S.G., Devor, R. E., Branyopadhyay, P., “An Enhanced Cutting Force Model for Face Milling with Variable Cutter Feed Motion and Complex Workpiece Geometry”, Journal of Manufacturing Science & Engineering, Transactions of the ASME, Vol. 119, No. 4P.A., pp. 467~475, 1997.
- 7) Glaeser, G., Wallner, J., Pottmann, H., “Collision-Free 3-Axis Milling and Selection of Cutting Tools”, Computer-Aided Design, Vol. 31, No. 3, pp. 225~232, 1999.