

# 연마 공구의 압력 보정에 의한 곡면 금형의 형상 정밀도 향상

임동재\*(부산대 정밀기계공학과 대학원) 정해도(부산대 기계공학부)

안중환(부산대 기계공학부) 안대균(한국공작기계)

## Improvement of Form Accuracy in Curved Dies and Molds Using Compensation of Finishing Tool

D. J. Lim(Precision Mech. Eng. Dept., PNU), H. D. Jeong(Mech. Eng. School, PNU)

J. H. Ahn(Mech. Eng. School, PNU), G. Ahn(KMT co., LTD.)

### ABSTRACT

The finishing process for die is an important process because it has influence on final quality of products. And it is difficult to automatize finishing process so that the process has depended on expert's skill until now. However, recently a study on development of die automatic finishing machine has been progressed, and actually this machine is applied to fabrication of die. But die automatic finishing machine has the problems such as low supply rate and high machine price. In this paper 3-axis machine was applied to the die finishing. And to improve form accuracy of die finishing path was regenerated. The finishing path considered tilting of finishing tool. and variation of machining force with contacting point between finishing and workpiece.

**Key Words** : finishing process(연마공정), die automatic finishing machine(금형 자동 연마기), 3-axis machine(3축 가공기), tool path generation(공구경로생성), machining force compensation(가공력 보정)

### 1. 서론

금형은 제품 생산을 위한 필수적인 도구로 사용되기 때문에 금형의 최종 연마 공정은 제품의 최종 품질에 영향을 주는 매우 중요한 공정이고, 고능력, 고정밀 가공 기술을 필요로 한다. 그러나 금형 제조 공정의 약 30~40%를 차지하는 금형의 다듬질 공정은 아직 체계화되어 있지 않고, 숙련공의 경험이나 기술에 의존하여 대부분이 수 작업으로 이루어지고 있는 실정이다<sup>(1)</sup>. 따라서 수작업으로 발생하는 문제점과 가공시간 단축을 위하여 최근 국내/외적으로 5축 금형 자동 연마기 개발에 관한 연구가 진행되고 있다. 하지만 금형 자동 연마기의 현장 보급율이 낮고, 또 장비 가격이 고가이기 때문에 아직 현장에 그리 많이 적용되고 있지는 못하다. 그러나 머시닝센터와 같은 3축 가공기는 금형 제조 업체라면 일반적으로 보급되어 있는 가공기라고 할 수 있다. 따라서 3축 머시닝센터를 사용하여 절삭공구를 단지 연마 공구로 교체하여 금형의 연마 작업을 할 수 있다면 매우 효율적일 것이다<sup>(2)</sup>. 먼저 고가의 새로운 장비를 구입하지 않아도 되며, 금형을 절삭 공정에서 연마

공정으로 이동시키지 않아도 되기 때문에 금형의 가공 시간이 단축되고, 금형의 이동에 따른 가공 오차를 줄일 수 있는 장점이 있다. 그러나 5축의 금형 자동 연마기는 공작물에 가공력을 전달하는 회전축이 항상 가공면에 대해 수직 방향인 반면에 3축 머시닝센터는 회전축이 공작물과의 접촉상태와 상관없이 항상 수직으로 작용한다. 따라서 5축 자동연마기는 일정한 가공력을 공작물에 가할 수 있지만, 일반적인 연마 경로를 사용하여 3축 가공기로 곡면 금형의 연마 시, 연마 공구의 위치에 따라 가공력이 다르기 때문에 5축 자동 연마기에 비해 형상 정밀도가 떨어지는 단점이 있다.<sup>(3)</sup> 본 연구에서는 3축 가공기에 의한 연마 시, 연마 공구의 접촉 상태에 따라 변하는 가공력이 가공면 전체에 균일하게 작용하도록 3축 연마에 적합한 공구 경로를 생성하여 금형의 형상 정밀도를 향상시켰다.

### 2. 연마 경로 생성

#### 2.1 연마 Attachment

금형 연마용 연마 공구 유닛에는 여러 가지가

개발되어 있고,<sup>(4),(5)</sup> 본 연구에서는 3축 머시닝센터에 장착이 용이한 Fig. 1과 같은 구조의 attachment를 사용하였다<sup>(2)</sup>. 연마 공구는 유니버설 조인트에 의해 항상 연마면의 법선방향으로 유지하게 되며 금형의 높이 방향에 대응하기 위해 볼 스프라인축을 사용하고 연마면 가압력을 일정하게 유지하게 위해 적당한 강성을 가지는 스프링을 사용하여 연마면에 대해 일정 압력을 유지토록 하였다.

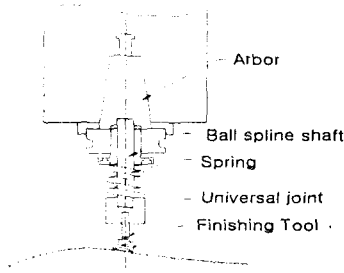


Fig. 1 Construction of attachment

## 2.2 공구 형상을 고려한 연마 경로

연마 경로를 공작물과 연마 공구의 접촉점을 기준으로 하여 공작물의 윤곽과 일치하게 생성하면 5축 연마기의 경우는 회전축이 접촉면에 대해 항상 수직이므로 문제가 없다. 하지만 머시닝센터에서 Fig. 1의 attachment를 사용하여 곡면 윤곽과 일치하게 연마 경로를 생성하면 Fig. 2와 같은 문제점이 발생한다. 회전축은 항상 수직을 유지하므로 연마 공구는 유니버설 조인트를 중심으로 회전하여 공작물과 접하게 되고, 이 회전에 의해 축의 위치와 곡물에 따라 가압 깊이가 달라져 가공력이 달라지기 때문에 곡면 전체에 대해 균일한 가공량을 얻기 어렵다.

따라서 곡면 전체에서 균일한 가공량을 얻기 위해 연마 공구의 회전 반경을 고려한 새로운 연마 경로의 생성이 필요하다. 연마 공구는 유니버설 조인트를 중심으로 회전하므로 공구와 공작물의 접촉점도 연마 공구의 회전에 따라 변하게 되는데, 이 변화를 고려하여 연마 경로를 생성하여야 한다. 연마 공구의 접촉점의 변화가 Fig. 3과 같이 볼엔드밀과 유사하므로 연마 공구를 볼 엔드 밀로 간주하여 공구 경로를 생성할 수 있다. 본 논문에서는 연마 경로를  $\Phi 20$  볼 엔드밀의 절삭 경로와 일치하게 생성하였다.

## 2.3 가압력 보정

5축에서는 회전축과 가공력의 방향이 항상 일치하기 때문에 가공면 전체에서 균일한 가공력을 전달할 수 있다. 하지만 3축에서는 연마 공구의 회전 반

경을 고려하여 연마 경로를 수정하여도 회전축과 가

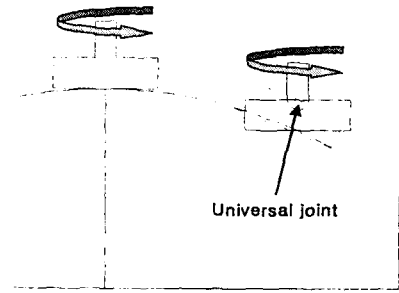


Fig. 2 Problem of normal toolpath

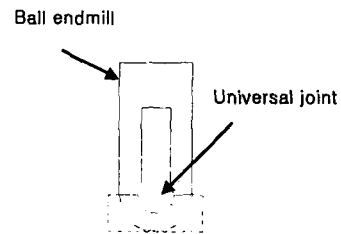


Fig. 3 Relation between finishing tool and ball endmill

공력의 방향이 공구위치와 곡면 형상에 따라 달라지기 때문에 가공력에 차이가 발생한다<sup>(3)</sup>. Fig. 4는 공구 위치에 따른 가공력의 변화를 구하기 위한 개략도를 나타내며 수식을 유도하기 위해 다음과 같은 가정을 하였다.

- 가압력 P는 일정하다.
- 가공력은 곡률 중심으로 작용한다

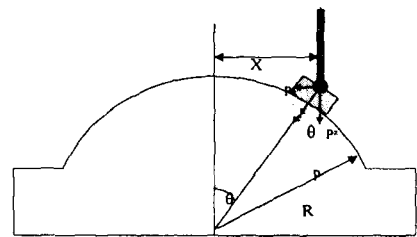


Fig. 4 Schematic of Finishing mechanism

$$F = \frac{P_{com}}{\cos \theta} = \frac{K(\Delta Z_1 - \Delta Z_2)}{\cos \theta} = P = K\Delta Z_1 \quad (1)$$

$$\Delta Z_2 = \Delta Z_1(1 - \cos \theta) \quad (2)$$

P : 설정 가압력 K : 스프링 상수

$\Delta Z_1$  : 설정 스프링 변위

$P_{com}$  : 일정한 가공력을 유지하기 위한 보정 가압력

$\Delta Z_2$  : 보정 스프링 변위

일정한 가압력(P)이 작용할 경우 가공력이 중심에서 멀어질수록 증가한다. 따라서 공구 위치에 따라 가압력(Pcom)을 변화시킴으로써 일정한 가공력을 유지할 수 있다. 가압력을 변화시키기 위한 스프링 변위의 보정량은 식(2)에 의해 구할 수 있다. 가압력은 보정 스프링 변위 만큼 NC data를 수정하여 변화시킬 수 있다.

### 2.4 연마 경로 생성

3축 연마용 공구 경로는 연마공구의 형상을 고려하여 생성한 연마 경로의 Z축 NC data에 가공력 보정을 위한 스프링 변위  $\Delta Z2$  값을 더함으로써 새로운 NC data를 생성한다. 새로 생성된 연마 경로에 의해 금형의 형상 정밀도를 향상시킬 수 있다.

## 3. 곡면 금형 연마 실험

### 3.1 실험 조건 및 방법

수직형 머시닝 센터(ACE V30, Dae-Woo co.)에 Fig. 1의 attachment를 부착하여 실험을 수행하였으며, 연마 공구로는 3M 사의 연마 패드를 사용하였고 실험 조건은 Table 1과 같다.

Table 1 Experimental condition

|                 |                              |
|-----------------|------------------------------|
| Machining force | 20N                          |
| Revolution      | 800rpm                       |
| Feed rate       | 100mm/min                    |
| Finishing tool  | #100, 400, 800, 1000 pad(3M) |
| Finishing times | 20-pass                      |

실험에는 Fig. 5와 같은 형상의 곡물 반경이 120mm인 곡면 시편을 사용하였고 재질은 STD11 이다. 연마는 원주 방향으로 수행하였다.

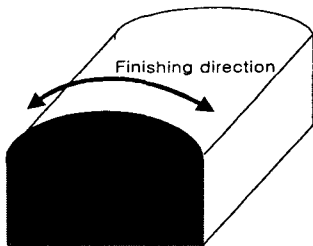


Fig. 5 Workpiece shape

### 3.2 가공력 측정 결과

연마 경로에 따른 가공력의 변화를 확인하기 위해 공구 동력계( Type 9443, KISLER)를 사용하여 측정하였다. Fig. 6은 연마 공구의 회전 반경을 고려하지 않고 5축 자동 연마기와 같은 방식으로 생성한 연마 경로를 사용하였을 경우의 가공력 변화를 나타

낸다. 중심에서 멀어질수록 연마 공구의 회전에 의한 가압 깊이의 증가로 인하여 가공력이 증가함을 확인할 수 있다. Fig. 7은 연마 공구의 회전 반경을 고려하여 생성한 연마 경로를 사용한 경우의 가공력 변화를 나타낸다. 가공력이 Fig. 6에 비하여 상당히 균일해짐을 확인할 수 있다.

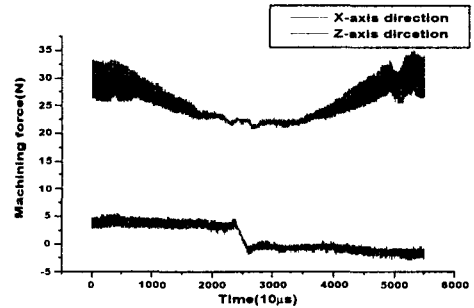


Fig. 6 Machining force using general toolpath

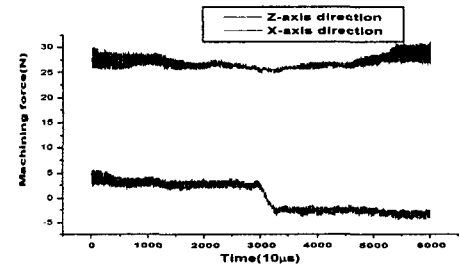


Fig. 7 Machining force using new toolpath

### 3.3 형상 측정 결과

연마 경로의 변화가 금형의 형상 정밀도에 미치는 영향을 확인하기 위해 연마된 시편의 형상을 측정하였다. Fig. 8은 연마 공구의 회전 반경을 고려하여 생성한 연마 경로에 의해 연마된 시편의 형상을 나타낸다. 회전 반경을 고려하지 않고 연마한 경우는 중심에서 멀어질수록 가공력이 증가하여 제거량이 증가함을 확인할 수 있지만 회전 반경을 고려한 연마 경로를 사용한 경우는 절삭면의 형상을 유사하게 추종하면서 연마가 이루어져 형상 정밀도가 향상됨을 알 수 있다. Fig. 9는 가공력을 보정하여 생성된 연마 경로를 이용하여 연마한 시편의 형상을 나타낸다. 시편의 중심 부분에서는 가공력을 보정하지 않은 경우와 보정한 경우의 가공량이 비슷하지만 연마 기구상 발생하는 가공력의 차이에 의해 가공력을 보정하지 않은 경우는 미소하지만 점점 증가함을 확인할 수 있고, 가공력을 보정한 경우는 일정한 가공량을 유지하여 형상 정밀도가 향상됨을 확인할 수 있다.

#### 4. 결론

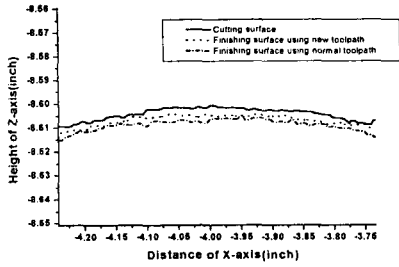
3축 가공기는 5축 자동 연마기에 비하여 많이 보급되어 있고, 절삭 공구를 연마 공구로 교체만 하면 금형의 이동 없이 절삭 위치에서 바로 연마를 수행할 수 있어 제조 시간 단축과 제조 경비를 줄일 수 있는 장점이 있어서 본 연구에서는 3축 가공기를 금형 연마에 적용하였다. 하지만 5축 자동 연마기와 같은 방식으로 공구 경로를 생성하면 공구 위치에 따라 가공력이 변하기 때문에 가공량이 달라지고, 형상 정밀도가 떨어진다. 따라서 본 연구에서는 연마 공구의 회전 반경을 고려하여 연마공구를 하나의 볼 엔드밀로 취급함으로써 3축 연마에 적합한 연마 경로를 생성하였다. 그리고 곡면 전체에서 가공력을 일정하게 유지하기 위해 가압력을 공구 위치에 따라 변화를 줄 수 있도록 연마 경로를 보정하였다. 연마 공구의 회전 반경과 가압력 보정을 고려하여 생성된 연마 경로를 금형 연마에 적용한 결과 곡면 전체에서 균일한 가공력을 얻을 수 있었고 형상 정밀도를 향상시킬 수 있었다.

#### 후기

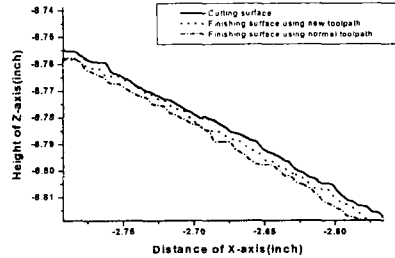
본 연구는 부산대학교 정밀정형 및 금형가공연구소의 지원에 의하여 수행되었으며 이에 감사드립니다.

#### 참고문헌

- 이태문, 정해도, 황찬해, 조규갑, "금형의 자동 연마작업 지원 전문가시스템의 개발," 한국정밀공학회지, 제16권, 제7호, pp. 73-84, 1999.
- 이두찬, 정해도, 안중환, Takashi Miyoshi, "자동 금형연마의 최적조건선정 전문가시스템 개발," 한국정밀공학회지, 제14권, 제10호, pp. 58-67, 1997.
- 이민철, "곡면금형의 머시닝센터 장착형 연마로봇 개발," 월간기계기술, 12월호, pp. 53-66, 1997.
- 坂本正史, 水垣善夫 他2名, "CAD/CAMモデルに基づく高品位金型みがきロボットシステムの開発", 型技術, Vol. 5, No. 8, pp. 102-103, 1990
- 鈴木 清, 鍾博 任 他3名, "ユニバーサルジョイント工具による自由曲面の磁気研磨", 砥粒加工學會學術講演會講演文集, pp. 315-318, 1995

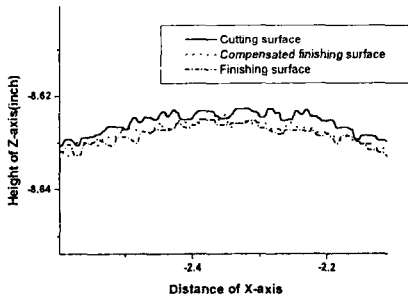


(a) Center area

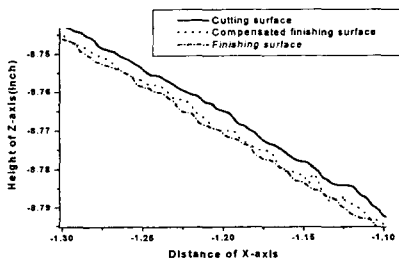


(b) Edge area

Fig. 8 Form after finishing by regenerated toolpath



(a) Center area



(b) Edge area

Fig. 9 Form after finishing by machining force compensation