

## 밀링가공시 버 형성 예측을 위한 Expert System 개발

고성림(건국대 기계설계학과), 김영진\*(경희대 기계·산업시스템공학부), 고대철(양산대 메카트로닉스과), 한상우(건국대 기계설계학과), 이제열, 안용진(경희대 산업공학과)

### Development of Expert System for Burr Formation Prediction in Face Milling

S. L. Ko(Mech. D. Product. Eng. Dept., KGU), Y. J. Kim(Indus. Eng. Dept., KHU), D. C. Ko(Mechatronics Dept. YSU), S. W. Han(Mech. D. Product. Eng. Dept, KGU), J. Y. Lee, Y. J. Ahn(Indus. Eng. Dept, KHU)

#### ABSTRACT

Burr makes troubles on manufacturing process due to of deburring cost, quality of products and automation. This paper described the results of experimental study on the influence of the cutting parameters on the formation of exit burrs in face milling. Using the results of experimental study, we classified the burr type and developed data bases to predict burr formation result. This program will be used to predict burr type and geometry at a specified location. Simulation results on deformation strain and temperature are also available. Also algorithm which calculate the exit angle is proposed.

**Key Words** : Milling burr (밀링 버), Exit burr (출구 버), Expert system (전문가 시스템), Exit angle (출구각)

#### 1. 서론

일반적으로 버라함은 가공 후에 소성변형의 결과로 원하는 형상의 모서리에 발생하는 물체의 원치 않는 돌출된 부분으로 정의할 수 있다.<sup>(1)</sup> 이러한 버는 피삭재의 가공 후 형상 정밀도의 측면에서 매우 바람직하지 않은 것이기 때문에 반드시 제거되어야 한다. 또한 다양해진 재료의 특성과 향상된 정밀도로 인하여 점차로 제품가공 후 끝마무리기술이 제품의 최종 성능을 좌우함에 따라서 그 중요성을 인정하기에 이르렀다. 버 제거를 포함한 끝마무리 작업의 생산성을 향상하기 위해서 작업의 자동화 역시 새로운 관심이 되고 있다. 특별히 공장자동화에 따른 작업의 자동화뿐 아니라 관리체계의 정립을 위하여 전문가 시스템의 도입 역시 시급히 요구되고 있는 실정이다.<sup>(2)</sup>

절삭 중에 발생하는 버는 매우 불규칙하고 복잡한 절삭 중에 발생하기 때문에 해석적인 방법에 의해서 간단히 예측하기가 매우 어렵다. 실제 밀링 가공에서의 거동은 3차원 모델로 매우 복잡하여 완전한 이론모델을 수립하는 것은 매우 어렵기 때문에 일차적으로 실험에 의한 데이터베이스의 확립에 의

한 관찰이 선행되어야 한다. 이 때문에 우선적으로 버 발생기구의 이해에 의한 간단한 버 발생 모델을 제시하고자 한다. 또한 해석적 방법으로 버 형성 예측이 매우 제한적이기 때문에 이에 대한 보완으로서 다양한 경우에서의 실험을 실시함으로써 실제 버 형성시 형상과 크기를 예측한다. 버의 측정에 의한 허용 크기의 결정과 버 발생의 최소화를 위한 절삭조건을 제시하는데 있다. 본 논문에서는 버 형성원리의 이해를 위한 실험 결과를 이용하여 페이스 밀링에서의 버 형성을 분류하였으며 이러한 자료를 바탕으로 버 형상 예측 프로그램을 개발한다. 실험에 의해서 생성된 단계별 자료를 CAD 및 CAM Data와 연관시켜 효율적인 알고리즘을 만들고자 한다. 여기서 CAD Data는 피삭재에 대한 특징 형상의 정보를 포함하고 있기 때문에 프로그램에서 피삭재에 대한 정보를 얻을 수 있다. 그리고, CAM Data에는 톨에 대한 정보 및 절삭 조건에 대한 정보를 포함하고 있기 때문에 이 두 데이터를 기반으로 톨과 피삭재 사이의 관계를 얻어낼 수 있다. 이를 이용하여 Windows 용 프로그램을 개발한다.

#### 2. 실험 및 결과

본 논문의 실험은 네 가지 종류의 피삭재에서 툴의 형상이 다른 두 개의 페이스 밀링 툴을 사용하여 여러 가지 절삭조건에서 실험을 수행하였다(Table. 1 참조). 피삭재의 길이 100(mm)인 exit edge에서의 등간격을 갖는 각 15° 씩의 exit angle(15° ~90°, 90° ~165°)에서 버 생성을 관찰하였다.

Table 1 Tool geometry

	Lead angle	Radial Rake angle	Axial Rake angle	Dia-meter	Insert shape
Tool 1	45°	-6°	20°	125(mm)	square
Tool 2	0°	6°	15°	125(mm)	triangle

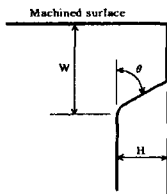


Fig. 1 Definition of burr geometry

밀링 가공시 버 형성의 종류 및 형성원리를 관찰하기 위하여 측정된 버의 형상을 Fig. 1와 같이 버의 높이(H), 넓이(W) 그리고 경사각( $\theta$ )으로 정의하였다. SM20C에서 Tool 1을 이용하여 날당 이송량  $F=0.1\text{mm/tooth}$ 에서의 각 exit angle에 따른 버의 형상이 Fig. 2에서 볼 수 있다. Fig. 2에서, exit angle이 15° 에서 105° 까지는 매우 균일하고 작은 버가 발생하고, 120° 와 135° 에서는 주름진 버가 발생하며 150° 와 165° 에서는 비교적 균일하고 큰 버가 발생하였음을 관찰할 수 있다. 형성된 버의 형상을 구체적으로 관찰하기 위하여 laser를 이용한 비접촉식 측정된 결과가 Fig. 3과 같고, 이 데이터에서 버의 높이와 넓이 그리고 경사각을 측정하였다.

### 3. 버 형성 분류 및 DB 설계

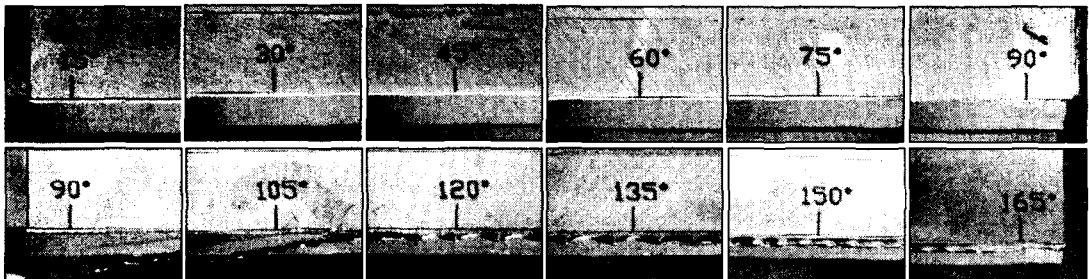


Fig. 2 Burr formation in face milling (SM20C, Tool 1,  $F=0.1\text{mm/tooth}$ ,  $V=150\text{m/min}$ ,  $D.O.C=1.2\text{mm}$ )

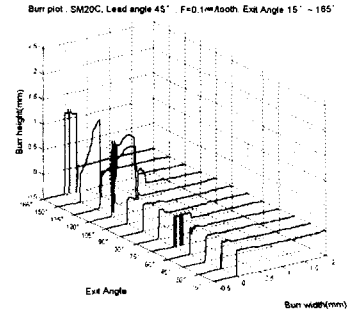


Fig. 3 Burr measurement by laser system (SM20C, Tool 1,  $F=0.1\text{mm/tooth}$ ,  $D.O.C=1.2\text{mm}$ )

Regular type			Non-regular type	
Type A (Secondary burr)	Type B (Wave-type burr)	Type C (Uniform burr)	Type D (Ragged burr)	Type E (Longitudinal burr)
type A	type B	type C	type D	type E

Fig. 4 Classification of exit burr in face milling

#### 3.1 버 형성 분류

본 논문에서는 버의 생성이 활발한 툴이 이탈되는 지점에서 생기는 exit edge에서의 버를 각 exit angle과 절삭조건, 툴의 변화에 따라 그의 생성을 관찰하였으며, 버 분류를 크게 regular type과 non-regular type으로 나누어 고려하였다(Fig. 4). Regular type의 burr은 세 가지의 burr로 나눌 수 있는데 type A·B·C로 분류하였으며 type A는 secondary burr<sup>(3)</sup>로, type B는 wave-type burr<sup>(4)</sup>로, type C는 uniform burr<sup>(4)</sup>로, 그리고 non-regular type에서는 type D·E로 분류하였으며 type D는 ragged burr<sup>(5)</sup>로, type E는 longitudinal burr<sup>(5)</sup>로 기존에 논하였던 burr type으로 일치시킬 수 있다. Regular type의 버는 각 exit angle과 절삭조건에 있어서 버의 발생이 균일하게 생성되는 반면에, non-regular type의 버는 균일하지 않으며 형태 또한 상당히 불규칙적이다.

### 3.2 데이터 베이스 설계

다양한 형상의 페이스 밀링 툴에서 다양한 재질의 피삭재에 대한 버 형성 실험을 통한 버 형성 결과의 데이터베이스화가 선행되어야 한다. 이 실험에 의한 결과로서의 데이터는 버 형상예측에 사용될 데이터베이스로서 적용 가능한 모든 범위에서의 가능한 절삭조건과 피삭재와 툴 형상을 포함하여야 하므로 매우 다양하고 광범위한 절삭실험을 요하게 된다. 이 과정 중에서 밀링 가공시 발생한 버의 형상을 발생기구에 따라서 적절히 분류를 해야하며 이를 이용한 적절한 표준화가 이루어져야 한다. 이를 이용하여 다양한 환경에서 발생한 버에 대한 데이터베이스의 확보가 이루어져야 한다.

페이스 밀링에 의한 버 형성의 결과에서 크게 작용하는 인자들은 피삭재, 절삭조건, 툴 정보, 가공 방법 등이 있으며, 이와 같은 조건들을 이용하여 얻은 결과로부터 원하는 가공 경로와 피삭재 형상에서의 버의 형상을 가시적으로 표현하여 버의 형상을 분류하고 표준화함으로써 버 형성의 예측과 효율적인 버 제거 방법의 선정을 위한 전문가 시스템(expert system)의 데이터 베이스 구축 및 검증을 위한 자료로서 제공하고자 한다. 툴 패스는 상용 CAM 소프트웨어(CAMAX)<sup>(6)</sup>을 이용하여 얻은 NC code를 이용하였으며, 1회 툴 패스에 의해 사용자가 정의한 피삭재 형상 정보를 담은 CAD프로그램<sup>(7)</sup>의 DXF파일을 이용하여 가공된 모서리에서의 버 발생 형상을 제시하였다. 사용자의 선택적 입력에서 일차적으로 선택 가능한 것은 네 가지의 피삭재이며, NC code에는 절삭 조건을 나타내는 이송량과 주축회전수를 포함하며 툴의 직경을 포함하고 있다.

## 4. 프로그램 및 exit burr algorithm 개발

### 4.1 프로그램 개발

#### ① 선택화면

드릴 버와 밀링 버의 두 가지 선택사항 중에서 현재 개발되어진 밀링 버 형상 예측 프로그램을 선택한다.

#### ② Milling Burr 프로그램 실행 화면 (Fig. 5)

Fig. 5은 milling burr의 초기화면을 보여준다. 여기서 사용자는 select material에서 제공되는 Al6061, Al1050, SM20C, SM45C 등 4개의 피삭재 종류 중 하나를 선택할 수 있고, tool geometry 영역에서 툴의 형상(lead angle, axial rake angle, radial rake angle)에 관한 정보를 선정할 수 있다. 또한, 절삭조건을 포함하고 있는 CAM 데이터를 선정하여서 절삭조건에 관한 정보를 입력받을 수 있다. 이렇게 입력받은 정보는 cutting condition 영역에 표시된 diameter, feed rate 및 spindle RPM을 통해 사용자에게 전달될 수

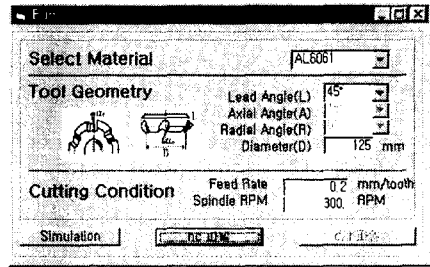


Fig. 5 Window of milling burr program

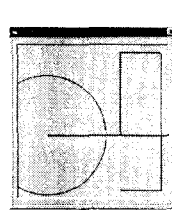


Fig. 6 Window of tool and workpiece

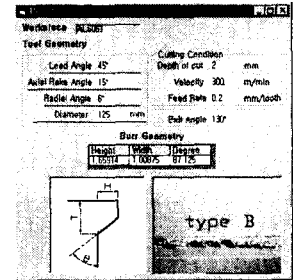


Fig. 7 Window of burr result

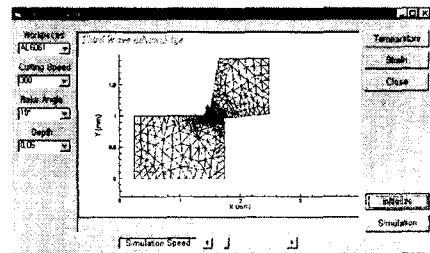


Fig. 8 Window of burr simulation

있다. 그리고, CAD 데이터를 선택하여서 피삭재에 대한 정보를 얻을 수 있다.

#### ③ 버 형상 윈도우 (Fig. 6)

이전 단계에서 얻어진 CAD와 CAM 데이터를 이용하여 툴 및 피삭재의 위치를 표시하고 툴의 이동 경로에 따라 발생하는 버를 표시한다. 그림에서 왼쪽의 원 부분은 툴의 형상을 나타내고 오른쪽의 박스는 피삭재의 형상을 나타낸다. 그리고, 툴의 이동 경로를 그 사이에 표시해주어서 사용자가 전체적인 상황을 쉽게 파악할 수 있게 했다. 화면에 보여지는 툴과 피삭재 사이의 관계에 의해서 버의 위치를 계산할 수 있다. 이렇게 계산되어진 부분은 붉은색으로 표시되어서 사용자가 쉽게 알아볼 수 있다. 피삭재에 표시된 버를 사용자가 선택하게 되면 그 부분에 대한 상세 정보를 결과 화면에서 얻을 수 있다.

#### ④ 결과 화면 (Fig. 7)

이 부분에서는 이전 단계부터 사용자가 선택해온 툴의 형상과 절삭조건을 tool geometry와 cutting condition에 표시하여서 이전 선택을 검증할 수 있는 기회를 제공한다. Tool geometry와 cutting condition의 관계에 의해서 구해진 exit angle은 버의 형상을 예측하는데 중요한 자료로 이용된다. 또한, workpiece 부분에서는 사용자가 선택한 피삭재에 대한 정보를 보여준다. 그리고, 이전 그래픽 단계에서 선택한 버 형상에 대한 정보를 exit angle 및 workpiece에 의해서 버의 높이와 폭, 각도를 가지고 있는 도표로 표시하고 실제 버 형상에서의 각각의 위치 및 실제 버 형상을 그림을 이용하여 제공해 준다.

#### ⑤ 시뮬레이션 실행화면 (Fig. 8)

상용화된 유한요소 해석모듈을 활용하여 예측된 버 형상을 가시적으로 표현하고 데이터 베이스 구축을 위해 상용코드인 Third Wave AdvantEdge를 활용하여 Al6061-T6에 대해 시뮬레이션을 수행하였으며, 밀링 가공시 버 형성의 예측과 효율적인 버 제거방법의 선정을 위한 expert system의 데이터 베이스 구축 및 검증을 위해 앞서의 시뮬레이션 결과를 제공하였다. Milling burr 화면에서 simulation 버튼을 선택하면 Fig. 8과 같은 윈도우를 볼 수 있다. 이 윈도우는 피삭재와 절삭속도, rake angle과 절삭 깊이에 따라 버 발생과정을 보여준다. 그리고, 절삭 작업 과정에서 발생하는 피삭재의 temperature와 strain에 대해서도 simulation을 수행한다.

## 4.2 Exit angle을 구하기 위한 algorithm개발

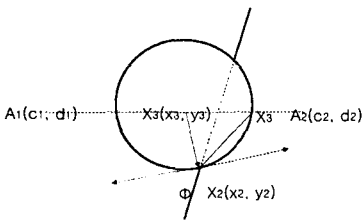


Fig. 9 Exit angle of tool and workpiece edge

Exit angle은 툴과 피삭재가 만나는 부분의 사이각으로 정의할 수 있다. Fig. 9과 같은 경우 툴의 회전 방향 벡터와 피삭재의 방향 벡터에 의해서 표시된  $\theta$ 를 이 부분에 있어서 Exit Angle로 정의한다.

Fig. 9에서 툴의 이동경로인  $A_1, A_2$ 와 툴과 피삭재의 접점인  $X_2$ 는 주어져 있다고 볼 수 있다. 여기서 툴의 이동경로는 CAM Data의 정보를 수집하는 과정에서 정의될 수 있고, 접점인  $X_2$ 는 사용자가 마우스로 선택하는 점을 인식하여서 가능하다고 본

다. 실제적으로 exit angle을 계산하기 위해서는 툴이  $X_2$ 점에 왔을 때의 툴의 중심점을 구한 후 exit angle  $\theta$ 를 구하는 알고리즘을 개발하였다.<sup>(6)</sup>

## 6. 결론

이상과 같이 여러 가지 절삭조건과 툴에 있어서 페이스 밀링에 의하여 각 exit angle에서 발생하는 버를 관찰하였으며, 실험을 통하여 얻은 데이터 베이스를 이용하여 페이스 밀링의 버 전문가 시스템(face milling burr expert system)을 구성하였으며 알고리즘을 개발하였다.

(1) Al1050, Al6061, SM20C, SM45C의 피삭재에서 exit angle이  $15^\circ$ 에서부터  $165^\circ$ 까지 각  $15^\circ$ 간격으로 exit edge에서 발생하는 버를 분류하였으며,

(2) 실험 결과 발생된 버의 형성 분류를 이용하여 버 형성의 예측과 효율적인 버 제거 방법의 선정에 자료로서 제공할 수 있는 데이터 베이스를 갖춘 프로그램을 제작하였다.

(3) 프로그램상에서 사용자가 선택한 exit edge의 한 점에서 버의 데이터를 보여주기 위하여 기하학적 관계를 고려한 exit angle 알고리즘을 제시하였다.

향후에는 발생 가능한 버의 크기를 줄이거나 또는 발생시의 제거 대책을 제공할 수 있는 부분이 추가되고 다양한 종류의 툴과 공작물에 대한 결과가 데이터 베이스에 확충하여야 될 필요성이 있다.

## 참고문헌

- [1] The World Wide Burr Technology Committee, 1995
- [2] 고성립, "Burr Technology의 이해와 그 추세," 대한기계학회 추계학술대회, pp. 206-209, 1991. 11.
- [3] W. Kishimoto, T. Miyake, A. Yamamoto, K. Yamanaka and K. Takano, "Study of Burr Formation in Face Milling," Bull. Japan Soc. of Prec. Eng. Vol. 15, No. 1, pp. 51-52, 1981.
- [4] G. Trommer and T. Yoshida, "Analysis of Burr Formation in Face Milling," LMA Research Report, Univ. California at Berkeley, pp. 22-23, 1997.
- [5] M. Hashimura, J. Hassamontr and D. A. Dornfeld, "Effect of In-Plane Exit Angle and Rake Angles on Burr Height and Thickness in Face Milling Operation," ASME Journal of Manufacturing Science and Engineering, Vol. 121, pp. 13-19, 1999.
- [6] SDRC/CAMAX Camand V12.0 Reference Manual.
- [7] AutoCAD Release 14 eference Manual, Autodesk.
- [8] 김영진, 이제열, 안용진, "CAD 데이터를 이용한 Exit Burr 판별 프로그램의 개발," 대한산업공학회 추계학술대회, 2000. 4.