

밀링가공시 버형성 예측을 위한 전문가 시스템 개발

고성림*, 김영진**, 고대철***, 한상우*, 이제열**, 안용진**

Development of Expert System for Burr Formation Prediction in Face Milling

Sung-Lim Ko*, Young-Jin Kim**, Dae-Cheol Ko***, Sang-Woo Han*, Je-Yeol Lee**, and Yong-Jin Ahn**

ABSTRACT

Burr makes troubles on manufacturing process due to deburring cost, quality of products and productivity. 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, burr types are classified and data bases are developed to predict burr formation result. From the CAD file for work geometry and the NC data for tool path, the exit angles are calculated at every edges. This program predicts the burr geometry at exit edges using the prediction algorithm and data bases which are developed experimentally. Simulation results on deformation strain and temperature are also available in specific 2-dimensional cutting conditions. Also algorithm which can determine the exit angle is proposed.

Key Words : Classification of burr (버의 분류), Burr formation (버형성), Roll-over burr(롤오버 버), Leaned burr (기울림 버), Expert system (전문가 시스템), Exit angle (출구각)

1. 서론

대부분의 기계가공에서는 절삭가공이 포함되는데 모든 절삭가공에서는 두 면이 만나는 모서리부에서 공구의 모서리부 이탈시에 피삭재의 절삭저항으로 밀림현상이 발달하여 소성변형을 일으킨다. 이러한 모서리부의 돌출현상을 버(burr)라하며 일반적으로 버라함은 가공 후에 소성변형의 결과로 원하는 형상의 모서리에 발생하는 원치 않는 돌출된 부분으로 정의할 수 있다⁽¹⁾. 이러한 버의 존재에 따

른 문제점으로 제품의 조립 불량으로 기밀성이 저하되며 버의 경한 특성으로 마찰에 의한 접촉면 손상 및 이에 따른 버의 탈락에 의한 윤활유 오염으로 다른 부품에 손상을 가하며 또한 작업자의 안전성에 문제를 일으킬 수 있기 때문에 반드시 제거되어야 한다. 그러나 이러한 버 제거 공정인 디버링(deburring) 공정이 다른 주된 가공공정의 자동화 추세에 비하여 생산성에 있어서 매우 뒤떨어지기 때문에 버 제거 작업이 새로운 병목현상으로 등장하기 이르렀다. 이에 따라 최근에 버 제거 작업의 자

* 건국대학교 기계설계학과

** 경희대학교 기계·산업시스템공학부

*** 양산대학 메카트로닉스과

동화에 많은 관심이 모아지고, 또한 라인화를 위한 인공지능방식도 등장하고 있다. 피삭재의 재질과 발생 형태에 따른 각종 형태의 버를 다룰 수 있는 버 제거 방식은 버가 갖는 다양성과 불규칙성으로 인해서 어려운 실정이며, 그 제품과 생산 방식에 맞는 전용의 버 제거 방식이 개발되고 있다. 이와 같은 버 제거를 효율적으로 달성하기 위하여 우선적으로 버의 발생 원리를 이해함으로써 가능하게 된다. 이것은 발생할 버의 크기나 재질을 적절하게 예측함으로써 이를 수행하기 위한 효과적인 방법을 찾는 것이 가능하게 되기 때문이다. 또한 공장자동화에 따른 작업의 자동화뿐 아니라 관리체계의 정립을 위하여 전문가시스템의 도입 역시 시급히 요구되고 있는 실정이다.⁽²⁾

절삭 중에 발생하는 버는 매우 불규칙하고 복잡한 절삭 중에 발생하기 때문에 해석적인 방법에 의해서 간단히 예측하기가 매우 어렵다. 특히 밀링 작업은 평면 또는 성형된 면을 매우 우수하게 다듬고 정밀하게 가공하는 절삭가공으로 선삭과 드릴링 작업과 함께 대부분의 절삭공정 중에 포함이 되어 있다. 밀링가공에서의 거동은 3차원 모델로 매우 복잡하여 완전한 이론 모델을 수립하는 것은 매우 어렵기 때문에 일차적으로 실험에 의한 데이터베이스의 확립에 의한 관찰이 선행되어야 한다. 이 때문에 우선적으로 버 발생기구의 이해에 의한 간단한 버 발생 모델을 제시하며, 해석적 방법으로는 버 형성 예측이 매우 제한적이기 때문에 이에 대한 보완으로서 다양한 경우에서의 실험을 실시함으로써 실제 버 형성시 형상과 크기를 예측하는데 사용

할 수 있다. 본 논문에서는 버형성 원리의 이해를 위한 실험결과를 이용하여 페이스 밀링에서의 버형성을 분류하였으며 이러한 자료를 바탕으로 버형성 예측 프로그램을 개발한다. 실험에 의해서 생성된 단계별 버형성 결과 자료를 피삭재에 대한 특징형상의 정보를 포함하고 있는 CAD 데이터와 공구에 대한 정보 및 절삭 조건에 대한 정보를 포함하고 있는 CAM 데이터와 함께 연관시켜 버형성 결과를 예측하는 윈도우(windows)용 프로그램을 소개한다.

2. 밀링가공시 버형성 원리 및 버의 분류

2.1 밀링가공 실험 및 버형성 관찰

페이스 밀링 작업시 발생하는 버의 발생원리에 대한 이해를 넓히기 위해 여러가지 조건에서의 실험과 관찰을 통하여 버형성의 예측과 이를 이용한 버형성의 최소화를 기할 수 있는 조건을 알아보고 데이터베이스의 구축을 위한 실험을 수행하였다.⁽³⁾ 실험에 사용한 공구는 Table 1과 같이 형상이 다른 두 개의 페이스 밀링 공구를 사용하였으며, 무른 재질에서부터 경한 재질 네 가지 종류의 피삭재를 사용하였다. Table 2와 같이 날당 이송량의 변화를 세분화하여 공구의 날이 피삭재의 가공 표면으로부터 이탈하는 방향과 가공될 피삭재 모서리사이와의 각인 출구각(exit angle)에서의 버형성을 관찰하였다. SM20C에서 Tool 1을 이용하여 날당 이송량 $F=0.1\text{mm/tooth}$ 에서의 각 출구각에 따른 버의 형상을 Fig. 1에서 볼 수 있다. Fig. 1에서 출구각이 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 관찰 할 수 있다. 형성된 버의 형상을 구체적으로 관찰하기 위하여 레이저를 이용한 비접촉식 측정된 결과가 Fig. 2와 같고, 이 데이터에서 버의 높이와 두께 그리고 경사각을 얻은 결과가 Fig. 3에 나타나 있다.

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

Table 2 Cutting conditions

Material	Exit Angle	Tool	Feed(mm/tooth)	Cutting Velocity(m/min)	Depth of Cut(mm)
Al1050	15° 30°	Tool 1	0.05, 0.1, 0.15, 0.2	300	2
Al6061	45° 60°	Tool 1	0.05, 0.1, 0.15, 0.2	300	2
	75° 90°	Tool 2	0.05, 0.1, 0.15, 0.2	300	2
SM20C	105° 120°	Tool 1	0.05, 0.1, 0.15, 0.2	150	1.2
	135° 150°	Tool 2	0.05, 0.1, 0.15, 0.2	150	1.2
SM45C	135° 150°	Tool 1	0.05, 0.1, 0.15, 0.2	150	1.2
	165°	Tool 2	0.05, 0.1, 0.15, 0.2	150	1.2

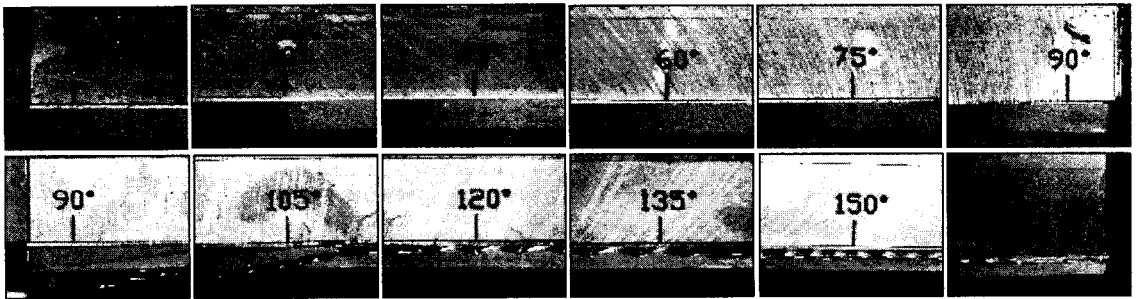


Fig. 1 Burr formation in face milling (SM20C, Tool 1, F=0.1mm/tooth, V=150m/min, D.O.C=1.2mm)

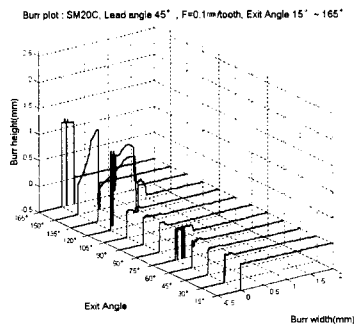


Fig. 2 Burr measurement by laser system (SM20C, Tool 1, F=0.1mm/tooth, D.O.C=1.2mm)

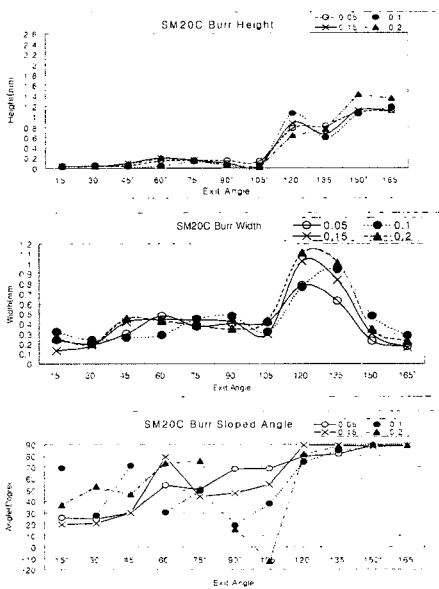


Fig. 3 Data of burr formation in SM20C by tool 1

2.2 버의 분류

페이스 밀링에서 생기는 버 분류에 있어서 기존의 논문들⁽⁴⁻⁷⁾에서는 버의 발생 위치, 형태, 형성원리에 따라 서로 유사하게 분류·명명하였으며, 버 명칭에 대한 사용을 혼란하여 사용하고 있다. 본 연구에서는 버의 생성이 활발한 공구의 이탈지점에서 생기는 모서리(exit edge)에서의 버를 출구각(exit angle)과 절삭조건, 공구의 변화에 따라 그의 생성을 관찰하여 버형성 원리에 의하여 roll-over 버와 leaned 버로 나누었으며⁽⁴⁾, 또한 버형태로는 크게 규칙적인 형태와 불규칙적인 형태로 각각 Type A·B·C·D·E의 다섯 경우로 분류하여 버형성 예측을 위한 전문가 시스템에 데이터베이스의 자료로 이용하였다(Fig. 4). Roll-over 버는 primary와 secondary 버로 나눌 수 있으며⁽⁶⁾, 이것은 부절삭날(minor cutting edge)이 피삭재를 빠져나올 때 끝부분에서의 칩의 일부가 전단변형과 굽힘변형에 의해서 공구진행방향으로 돌출하여 버가 성장·탈락된 것으로서 예각의 출구각과 작은 둔각에서 버생성을 관찰할 수 있으며 Fig. 5(a)에 그 단면 모습을 보여주고 있다. Leaned 버는 공구의 이송방향으로 주절삭

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

Fig. 4 Classification of exit burr in face milling

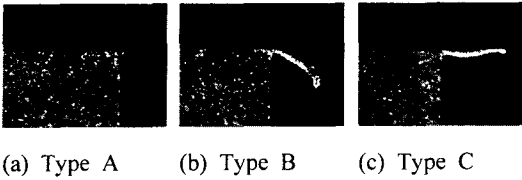
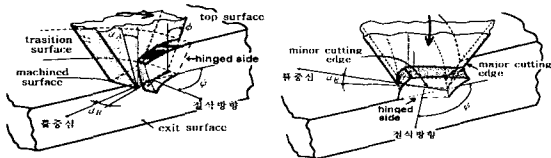


Fig. 5 Section of each burr type

날(major cutting edge)에 의해 버가 성장하는 것으로서 생김새에 따른 분류로 wave-type 버와 uniform 버로 분류될 수 있으며 출구각이 큰 둔각에서 생성됨을 관찰할 수 있으며, Fig. 5(b)와 (c)가 그 단면 모습을 보여주고 있는 것으로서 레이저측정시 Type B의 두께가 크게 나타나지만 실제 단면의 두께와 높이는 Type C와 비슷하며 버제거 효과를 고려하여 함께 leaned 버로 함께 고려할 수 있다. Type D와 E의 불규칙한 버는 Table 1에서 Tool 2와 같이 리드각이 작은 경우에 주절삭날의 영향이 작아지고 부절삭날에 의한 2차원 절삭과 같은 roll-over 버가 주를 이루는 형태이다. 약간의 불규칙한 재료가 부착되어 있으나 버 제거시 쉽게 제거됨을 고려하면, Type A와 동일하게 취급할 수 있다.

2.3 버형성 원리 및 예측 알고리즘

절삭날이 모서리부를 이탈할 때 버의 생성과 밀



(a) at $\phi:75^\circ$, Tool 1 (b) at $\phi:135^\circ$, Tool 1

Fig. 6 Burr formation process in different exit angles

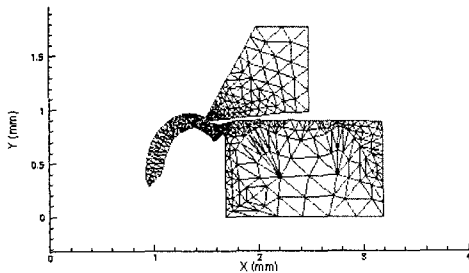


Fig. 7 Simulation result of cutting process

접한 관계가 있는 것이 절삭날의 어떤 날이 버형성에 직접 관여하는 것이다. Fig. 6은 Tool 1의 절삭날 형상을 갖고 출구각이 75° 와 135° 에서의 과정을 입체적으로 보여주고 있다. Fig. 6(a)는 부절삭날이 피삭재를 이탈하면서 모서리(exit edge)에서 생성된 버를 전단에 의해 roll-over 버가 생성되는 과정을 보여주고 있으며, 2차원 버의 경우로서 상용프로그램인 Third Wave AdvantEdge의 시뮬레이션에 의한 버형성 결과와 실험결과를 비교할 수 있다(Fig. 7). Fig. 6(b)는 주절삭날에 의해 생성된 버가 모서리(exit edge)에서 굽힘이 일어나 부절삭날의 이탈에 의하여 큰 버가 성장함을 알 수 있으며 버의 높이는 절삭깊이와 유사함을 데이터그래프인 Fig. 3에서 알 수 있다. 이들 주절삭날과 부절삭날이 모서리를 이탈할 때 크게 영향을 미치는 것이 출구각으로서 실험결과인 Fig. 1에서 알 수 있듯이 각각의 출구각에서의 버가 roll-over 버와 leaned 버로 생성됨을 관찰할 수 있다.

실험 결과로부터 얻은 버의 높이와 두께 그리고 경사각을 이용하여 원하는 가공 경로와 피삭재 형상에서의 버의 형상을 가지적으로 표현하여 버의 형상을 분류하고 표준화함으로써 버형성의 예측과 효율적인 버 제거 방법의 선정을 위한 전문가 시스템의 데이터베이스 구축 및 검증에 위한 자료로서 제공하고자 한다. 여러가지 절삭 조건에서 관찰한 실험 결과에 의하여 임의의 절삭조건에서의 버형성 예측을 할 수 있다. SM20C의 경우에 있어서는 출구각이 105° 와 120° 사이의 경계에서 버의 형태가 바뀌어짐을 알 수 있으며 그 이하의 출구각에서는 roll-over 버가, 그 이상의 출구각에서는 leaned 버가 발생된다. 이를 바탕으로 버형성의 영역 구분을 위한 알고리즘 적용의 기준이 Table 3에 보여지고 있다. Type B와 C를 동일한 형태의 버로 고려한다면 Type A와 B의 경계지점을 기점으로 버의 높이가 균일함을 알 수 있다.

3. 버형성 예측을 위한 프로그램 개발

3.1 데이터베이스(Data Base) 구조

본 프로그램에서 사용된 모델은 관계형 모델이며, 이것은 데이터베이스가 최소한의 의미를 가지는 테이블, 더 정확히 말하면 릴레이션(Relation)들로 구성되며 그 테이블들에 있는 필드들로 연결됐

Table 3 Burr type region in SM20C by tool 1

Tool 1	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°	120°	135°	150°	165°
F=0.05mm/tooth	Type A							Type B	Type C		
F=0.1mm/tooth	Type A							Type B	Type C		
F=0.15mm/tooth	Type A							Type B	Type C		
F=0.2mm/tooth	Type A							Type B	Type C		

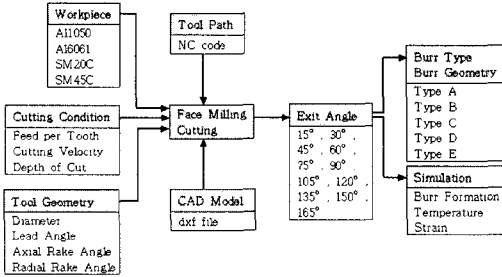


Fig. 8 ERD model of burr program

다고 보는 것이다. 본 프로그램에서는 관계형 데이터베이스(RDB)의 기본 키(Primary Key)로 피삭재의 형상번호를 사용하였다. 이런 서식화된 작업 특성 때문에 데이터의 입력, 갱신, 삭제가 손쉬우며 검색, 요약이 효율적으로 이루어진다. Fig 8은 관계형 모델을 토대로 본 프로그램에서 데이터와 데이터와의 관계를 각각 개체와 관계로 구분하여 표현하는 ERD(Entity Relation Diagram) 모델로 나타낸 것이다.⁽⁸⁾

3.2 모서리부 인식

모서리부 인식(edge identification)은 공구형상과 공구경로 및 피삭재의 형상에 의해서 정해진다. 이를 위하여 공구형상 및 공구경로는 NC 코드로부터 입력되고 피삭재 형상은 CAD 데이터로부터 입력된다. 버형성 예측을 위한 프로그램에 사용될 피삭재는 CAD 데이터인 DXF 파일 포맷으로 제공되고 이를 기초로 형상인식을 수행한다. DXF 파일은 HEADER, TABLES, BLOCKS, ENTITIES Section 등 4개의 섹션으로 구성되어 있으며, 피삭재의 형상에 대한 정보가 기록되어 있는 엔티티 섹션(Entities Section)의 내용을 이용하여 피삭재 외형을 구현한다. 피삭재에 대하여 절삭작업을 수행할 공구에 대한 정보는 상용 CAM 소프트웨어인 CAMAX에서 생성된 NC 코드를 해석하여 절삭 작업의 가공조건이 되는 공구 이동 경로, 이송속도, 회전속도, 공구의 지름 등에 대한 정보를 추출한다.

3.3 출구각(exit angle) 계산 알고리즘

(1) 출구(exit) 영역의 판별

Fig. 9는 O_1 을 중심으로 하면서 A_1 부터 A_2 까지 이동하는 공구가 피삭재 모서리 $\overline{P_1P_2}$ 위를 지나가는 과정을 표시한 것이며, 공구와 피삭재 모서리가 접하는 점을 T 로 했다. $\overline{Q_1Q_2}$ 는 공구가 피삭재 모서리 위를 지나가는 절삭 영역을 표현한다. 좌표축의 실제 중심좌표 O 에서 공구의 중심 O_1 에 이르는 벡터를 $\overline{OO_1}$ 이라고 보고, 공구와 피삭재의 접점인 T 와 중심 좌표 O 가 이루는 벡터를 \overline{OT} 라고 정의하면 이로부터 다음의 두 관계식을 얻을 수 있고 접점의 위치와 출구 영역의 판별을 할 수 있다.

$$\overline{OT_1} \cdot \overline{Q_1Q_2} = 0 \quad (1)$$

$$\|\overline{O_1T}\|^2 = R^2 \quad (2)$$

(2) 출구각(exit angle) 계산

출구각은 공구와 피삭재가 만나는 부분의 사이각으로 정의할 수 있다. Fig. 10과 같은 경우 공구의 회전 방향 벡터와 피삭재의 방향 벡터에 의해서 표시된 ϕ 를 이 부분에 있어서 출구각으로 정의할 수 있다. 출구각 ϕ 는 X_3 의 좌표를 구하고 다음의

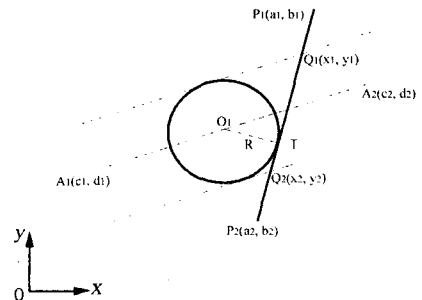


Fig. 9 Exit region between tool and workpiece edge

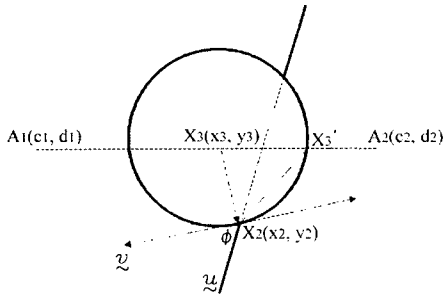


Fig. 10 Exit angle of tool and workpiece edge

식을 이용하여 구한다.⁽⁹⁾

$$\phi = \cos^{-1} \frac{\begin{matrix} \tilde{u} & \cdot & \tilde{v} \\ \parallel & & \parallel \\ \tilde{u} & & \tilde{v} \end{matrix}}{\begin{matrix} \parallel & & \parallel \\ \tilde{u} & & \tilde{v} \end{matrix}} \quad (3)$$

3.4 프로그램의 진행과정

(1) 초기화면 (Fig. 11)

사용자는 Select Material에서 제공되는 AL1050, AL6061, SM20C, SM45C 등 4개의 피삭재 종류 중 하나를 선택할 수 있고, Tool Geometry 영역에서 공구의 형상(Lead angle, Axial rake angle, Radial rake angle)에 관한 정보를 선정할 수 있다. 또한, 절삭조건을 포함하고 있는 CAM 데이터를 선정하여 절삭조건에 관한 정보를 입력받을 수 있다. 이렇게 입력받은 정보는 Cutting Condition 영역에 표시된 Diameter, Feed Rate 및 Spindle RPM 을 통해 사용자에게 전달될 수 있다. 그리고, CAD 데이터를 선택하여서 피삭재에 대한 정보를 얻을 수 있다.

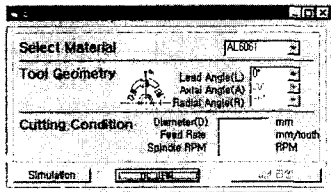


Fig. 11 Milling burr program (window 1)

(2) 버 형상 윈도우 (Fig. 12)

이전 단계에서 얻어진 CAD와 CAM 데이터를 이용하여 공구 및 피삭재의 위치를 표시하고 공구의 이동 경로에 따라 발생하는 버를 표시한다. 보여진 그림 중 왼쪽의 원 부분은 공구의 형상을, 오

른쪽은 피삭재의 형상을 나타낸다. 그리고 공구의 이동 경로를 그 사이에 표시해주어서 사용자가 전체적인 상황을 쉽게 파악할 수 있게 했다. 화면에 보여지는 공구와 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.

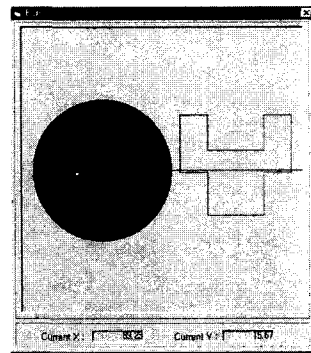


Fig. 12 Milling burr program (window 2)

(3) 결과 화면 (Fig. 13)

이 부분에서는 이전 단계부터 사용자가 선택해 온 공구의 형상과 절삭조건을 Tool Geometry와 Cutting Condition 영역에 표시하여 이전 선택을 검증할 수 있는 기회를 제공한다. Tool Geometry와 Cutting Condition의 관계에 의해서 구해진 출구각은 버의 형상을 예측하는데 중요한 자료로 이용되며, Workpiece 부분에서는 사용자가 선택한 피삭재

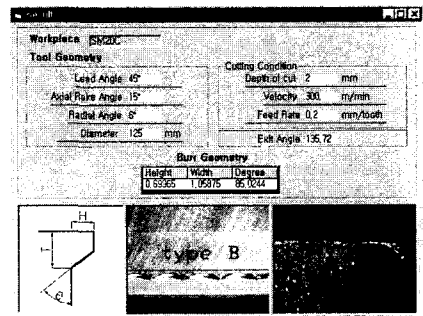


Fig. 13 Milling burr program (window 3)

에 대한 정보를 보여준다. 그리고 이전 그래픽 단계에서 선택한 버형상에 대한 정보를 Exit angle 및 Workpiece 영역에 의해서 버의 높이와 폭, 각도를 가지고 있는 도표로 표시하고 실제 버형상에서의 각각의 위치 및 실제 버형상을 그림을 이용하여 제공한다.⁽¹⁰⁾

3.5 버형성 시뮬레이션

초기화면(Fig. 11)에서 Simulation 버튼을 선택하면 Fig. 14와 같은 윈도우를 통해 결과화면을 볼 수 있다. 이 윈도우는 한정된 피삭재질에 대하여 2차원 절삭시에 발생하는 roll-over 버에 대하여 피삭재와 절삭속도, 공구 경사각(rake angle)과 절삭 깊이에 따라 버의 발생과정을 보여주며, 절삭 작업 과정에서 발생하는 피삭재의 온도와 변형을 분포를 Fig. 14와 같이 확인할 수 있다. 이 결과는 상용화된 버형성 시뮬레이션 프로그램을 이용하여 얻은 결과를 자료화한 것이다. 또한 버 발생 시뮬레이션의 초기화는 피삭재와 Cutting Speed, Rake Angle, Depth를 선정하고 Initialize 버튼을 클릭해서 얻을 수 있고, 절삭작업 과정에서 발생하는 Temperature 윈도우를 통하여 선택된 버의 가공 후의 온도에 대한 정보를 표현할 수 있으며, 절삭작업 과정에서 발생하는 피삭재의 Strain 윈도우로서, Initialize에 의해 선택된 피삭재와 절삭조건을 갖고 만들어진 버의 작업 후의 변형율에 대한 정보를 표현한다.

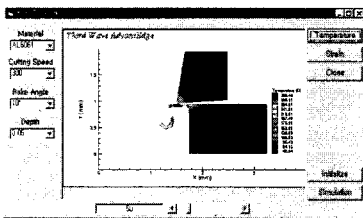


Fig. 14 Milling burr program
(window 4)

4. 결론

(1) 페이스 밀링에 의해 피삭재의 모서리(exit edge)에서 생성되는 버를 형성원리에 의하여 roll-over 버와 leaned 버로 분류하였고, 버형태에 따라서 다섯 종류로 분류하였다.

(2) 피삭재, 공구형상, 절삭조건에 대한 변화

에 따른 버형성 결과를 측정 후 자료화하여 데이터베이스로 구축하였으며, 버형성 원리에 의한 분류를 이용하여 버형성 예측 알고리즘을 개발하였다.

(3) 피삭재 CAD 자료와 공구형상 및 공구경로 자료를 이용하여 모서리 인식과 출구각(exit angle) 계산을 수행하였다. 데이터베이스 자료와 출구각 그리고 버형성 예측 알고리즘을 이용한 버형성 예측을 위한 전문가 시스템을 개발하였다.

후기

본 연구는 한국학술진흥재단의 과학기술기초중점연구(기계공학연구, 1998-018-E00136)의 지원과 제로서 수행되었음.

참고문헌

1. The World Wide Burr Technology Committee, 1995.
2. 고성림, "Burr Technology의 이해와 그 추세," 대한기계학회 추계학술대회, pp. 206-209, 1991.
3. 한상우, 고성림, "페이스 밀링 가공시 버 형성에 관한 연구," 한국정밀공학회 추계학술대회, pp. 1169-1172, 1999.
4. L. K. Gillespie and P. T. Blotter, "The Formation and Properties of Machining Burr," ASME Journal of Engineering for Industry, Vol. 98, No. 1, pp. 66-74, 1976.
5. K. Nakayama and M. Arai, "Burr Formation in Metal Cutting," Annals of the CIRP, Vol. 36, No. 1, pp. 33-36, 1987.
6. 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.
7. 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 Jour. of Manufacturing Science and Engineering, Vol. 121, pp. 13-19, 1999.
8. 서길수, "데이터베이스 관리," 박영사, 1995.
9. Vera B. Anand, "Computer Graphics & Geometric Modeling for Engineers," WILEY, 1993.
10. 이형배, "이형배의 비주얼 베이식 6," 사이버 출판사, 1998.