

## 페이스 밀링 가공시 출구버 형성에 관한 연구

한상우\*, 고성림\*

### A Study on Exit Burr Formation in Face Milling

Sang-Woo Han\*, Sung-Lim Ko\*

#### ABSTRACT

A burr has been defined as undesirable projection of material formed as the result of plastic flow from a cutting or shearing operation. It is unavoidable in all kinds of machining operation. As a result, burr makes troubles on manufacturing process due to deburring cost, quality of products and productivity. In face milling operation, burrs are formed along five edges on the workpiece. In this study, the primary interest is about exit burr. The influence of the cutting parameters on the formation of exit burrs in face milling will be described experimentally. Using the results of experimental study, burr types are classified according to appearance and formation mechanism in exit burr. The burr formation mechanism in each type of burr is suggested. Data bases are developed to predict burr formation result.

**Key Words** : Milling burr (밀링 버), Exit edge (모서리), Exit angle (이탈각), Roll-over burr (롤오버 버), Leaned burr (기울림 버), Major cutting edge (주절삭날), Minor cutting edge (부절삭날)

#### 1. 서론

일반적으로 버라함은 절삭가공에서 두면이 만나는 모서리부에서 공구의 모서리부 이탈시에 피삭재의 절삭저항으로 밀림현상이 발달하여 소성변형을 일으켜 모서리에서 발생하는 물체의 원치 않는 돌출된 부분으로 정의할 수 있다<sup>(1)</sup>. 이러한 버의 존재에 의하여 부품의 정밀도와 품질에 영향을 미치며, 부품 손상 그리고 작업자 안전성 등에 문제점이 발생하기 때문에 반드시 제거되어야 한다. 그러나 버 제거 공정인 디버링(deburring) 공정이 다른 주된 가공 공정의 자동화 추세에 비하여 생산성이 매우 뒤떨어지기 때문에 주로 사람의 손에 의거

나 간단한 전용기에 의존하던 버 제거 작업이 새로운 병목 현상으로 등장하기 이르렀다. Gillespie는 정밀 부품의 가공에 있어서 디버링 공정이 전체 부품 단가의 약 30% 까지 차지하는 경우도 있다고 지적하였다<sup>(2)</sup>. 버 제거를 효율적으로 달성하기 위하여 우선적으로 버의 발생 원리를 이해함으로써 가능하게 된다. 이것은 발생할 버의 크기나 형상을 적절하게 예측함으로써 버 제거를 수행하기 위한 효과적인 방법을 찾는 것이 가능하게 되기 때문이다. 버 제거를 포함한 끝마무리 작업의 생산성을 향상하기 위해서 작업의 자동화 역시 새로운 관심이 되고 있으며, 특별히 공장 자동화에 따른 작업의 자동화뿐만 아니라 관리 체계의 정립을 위하여 전

접수 : 2001년 9월 17일

\* 건국대학교 기계설계학과

문가 시스템의 도입 역시 시급히 요구되고 있는 실정이다<sup>(3)</sup>.

특히 밀링 작업은 평면 또는 성형된 면을 매우 우수하게 다듬고 정밀하게 가공하는 절삭 가공으로 선삭과 드릴링 작업과 함께 가장 보편적인 작업으로서 대부분의 절삭 공정 중에 포함이 되어 있기 때문에 많은 경우에 밀링 작업으로 인한 버의 발생은 필연적이다. 절삭 중에 발생하는 버는 매우 불규칙한 형상과 복잡한 발생원리 때문에 해석적인 방법에 의해서 간단히 예측하기가 매우 어렵다. 실제 밀링 가공에서의 거동은 3차원 모델로 매우 복잡하여 완전한 이론 모델을 수립하는 것은 매우 어렵고 해석적 방법으로 버 형성 예측이 매우 제한적이기 때문에 이에 대한 보완으로서 다양한 경우에서의 실험을 실시함으로써 실제 버 형성시 형상과 크기를 예측한다. 본 연구에서는 버 형성 원리의 이해를 위한 실험 결과로부터 페이스 밀링에서의 출구 버 형성을 분류하였으며 버 형성 원리 또한 고려하였다. 얻어진 버를 측정하여 페이스 밀링에서 버 형성 예측을 위한 전문가 시스템에 적용하기 위한 데이터베이스를 구성하였다.

**2. 실험 조건**

페이스 밀링에 의해 형성되는 각 버의 위치는 Fig. 1과 같다<sup>(4)</sup>. 본 연구에서는 버의 생성이 가장 활발한 공구의 이탈 지점에서 생기는 버(exit burr)를 이탈각(exit angle)과 절삭 조건, 공구 형상의 변화에 따라 버의 생성을 관찰하였다. Fig. 2에서 페

Table 1 Tool geometry

	Lead angle (L)	Radial Rake angle ( $\alpha_r$ )	Axial Rake angle ( $\alpha_a$ )	Diameter (D)	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
		Tool 2	0.05, 0.1, 0.15, 0.2		
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
		Tool 1	0.05, 0.1, 0.15, 0.2	150	1.2
SM20C	105°120°	Tool 2	0.05, 0.1, 0.15, 0.2	150	1.2
	135°150°	Tool 1	0.05, 0.1, 0.15, 0.2	150	1.2
SM45C	165°	Tool 1	0.05, 0.1, 0.15, 0.2	150	1.2
		Tool 2	0.05, 0.1, 0.15, 0.2		

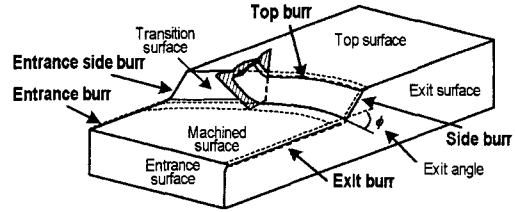


Fig. 1 Location of burrs

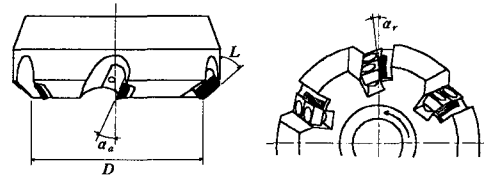
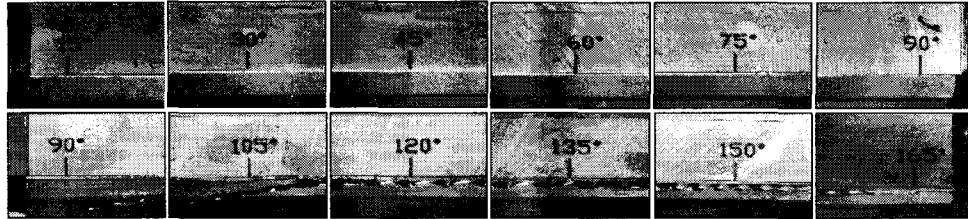


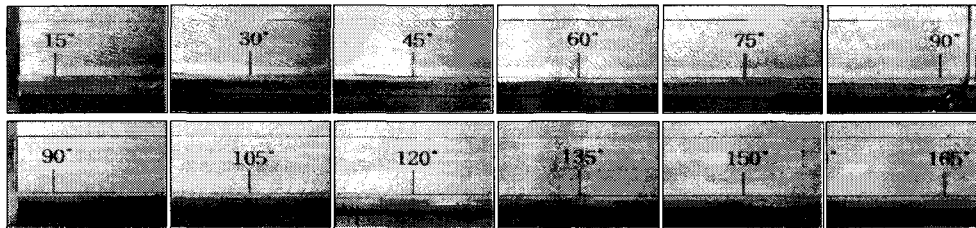
Fig. 2 Definition of tool geometry

이스 밀링의 형상을 볼 수 있으며, Table 1에서 보여지는 것처럼 리드각(lead angle : L)과 경사각(rake angle :  $\alpha_r$ ,  $\alpha_a$ )으로 구별되는 공구의 형상 차이로 인하여 버의 생성 원리에 있어서 공구의 형상 정보가 크게 관계함을 고려할 수 있다. 공구 경사각은 Fig. 2에 나타난 바와 같이 축방향 경사각( $\alpha_a$ )과 반경방향 경사각( $\alpha_r$ )으로 이루어진다. 또한 실험에 사용한 피삭재는 무른 재질에서부터 경한 재질까지 인 네 가지 종류의 피삭재에서 실험을 하였으며, 날당 이송량의 변화를 0.05mm/tooth에서부터 0.2mm/tooth까지 네 단계로 세분화하여 실험을 하였다. 공구의 날이 피삭재의 가공 표면으로부터 이탈하는 방향과 가공될 피삭재 모서리와의 관계를 나타내는 Fig. 1에 나타나있는 이탈각도(exit angle)를 다양화하여 15°간격의 각 이탈각에서 발생하는 버의 형성을 관찰하였다(Table 2).

**3. 실험 결과 및 고찰**



(a) SM20C, Tool 1,  $F=0.1\text{mm/tooth}$ ,  $V=150\text{m/min}$ ,  $D.O.C=1.2\text{mm}$



(b) SM20C, Tool 2,  $F=0.1\text{mm/tooth}$ ,  $V=150\text{m/min}$ ,  $D.O.C=1.2\text{mm}$

Fig. 3 Burr formation in face milling

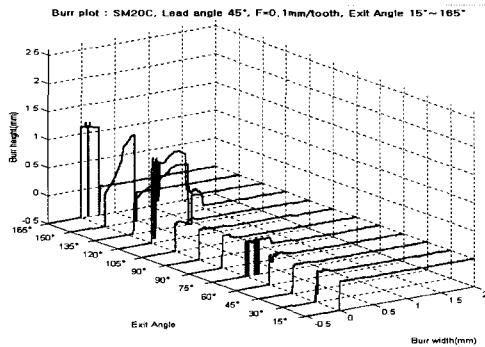


Fig. 4 Burr measurement by laser system (SM20C, Tool 1,  $F=0.1\text{mm/tooth}$ ,  $D.O.C=1.2\text{mm}$ )

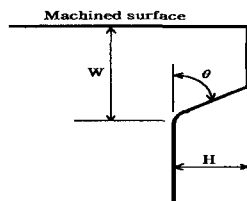


Fig. 5 Definition of burr geometry

### 3.1 실험 결과

SM20C에서 Tool 1을 이용하여 이송량  $0.1\text{mm/tooth}$ 에서의 각 이탈각에 따른 버의 형상을 Fig. 3(a)에서 볼 수 있다. 이탈각이  $15^\circ$ 에서  $105^\circ$ 까지는

균일하고 작은 버가 발생하고,  $120^\circ$ 와  $150^\circ$ 에서는 주름진 형태의 버가 발생하며  $165^\circ$ 에서는 균일하고 큰 버가 발생하였다. Fig. 3(b)에서는 Tool 2를 이용했을 때의 버 형성 결과를 나타낸다. 비교적 균일하고 작은 버가 발생함을 알 수 있다. 형성된 버의 형상을 구체적으로 관찰하기 위하여 레이저를 이용한 비접촉식 측정 결과가 Fig. 4에 나타나 있다<sup>(5)</sup>. Fig. 3과 4의 관찰 결과로부터 버의 형상을 Fig. 5에서와 같이 버의 높이 ( $H$ ), 두께 ( $W$ ) 그리고 경사각 ( $\theta$ )으로 정의한다. 레이저를 이용한 비접촉식 측정 데이터로부터 얻은 결과가 Fig. 6과 7에 나타나 있다. Fig. 6과 7의 버의 높이와 두께의 관찰로부터 다양한 형태의 버가 형성됨을 알 수 있다. 이것은 버 형성의 최소화를 위하여 매우 중요한 관찰이다. Tool 1과 Tool 2의 기하학적인 차이는 리드각과 반경방향 경사각에 있으며 Fig. 3에서와 같이  $120^\circ$ 이상의 큰 이탈각에서 버 형성 결과가 차이남을 알 수 있다.

### 3.2 실험 고찰

Exit edge에서의 각 이탈각에 대한 전형적인 데이터를 나타내는 Fig. 6의 SM20C의 결과 데이터를 보면 모든 경우의 이송량에 있어서 이탈각이  $105^\circ$ 에서  $120^\circ$ 로 옮겨갈 때 버 높이가 갑자기 높아짐을 알 수 있다.  $120^\circ$ 와  $150^\circ$ 사이의 버는 감소와 증가의 경향이 있으며, 이탈각이  $150^\circ$ 이상부터는 일정한

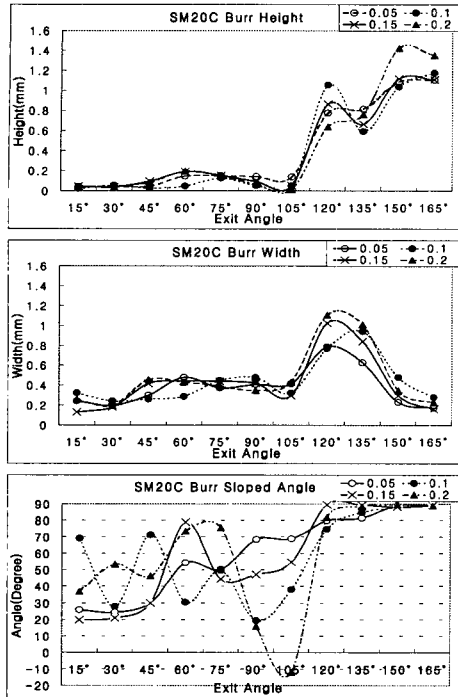


Fig. 6 Data of burr formation in SM20C by Tool 1

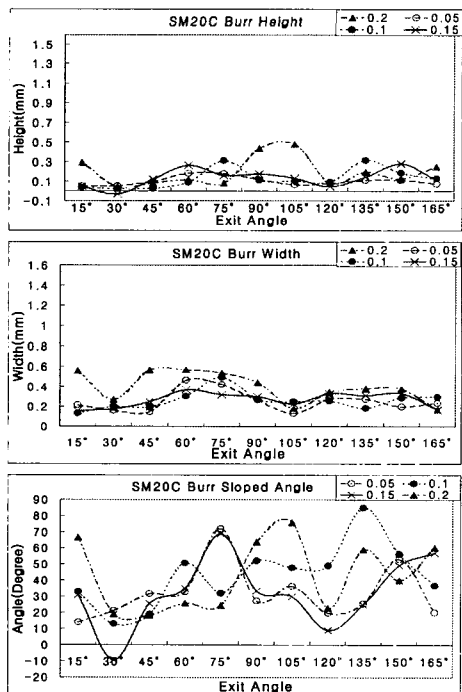


Fig. 7 Data of burr formation in SM20C by Tool 2

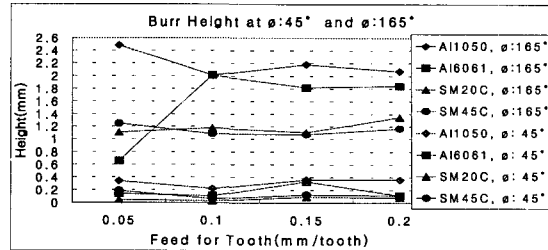


Fig. 8 Burr height at ø:45° and ø:165° in milling with Tool 1

버 높이를 보이고 있다. 이탈각이 120°와 150°사이에서 버의 높이가 감소와 증가의 경향이 보이는 것은 Fig. 3의 실험 결과의 사진에서 보이는 것 처럼 생성된 버가 주름진 형태의 버로서 측정된 지점의 이탈각에서 획득된 버 높이가 주름진 버의 중간을 측정하였기 때문이며 최대 높이는 이탈각이 150°이상에서 생성된 버의 높이와 유사함을 알 수 있다. 또한 이탈각 105°이상에서 발생된 버의 높이가 절삭 조건의 절삭 깊이인 1.2mm에 상응함을 알 수 있다. 버 두께에 있어서는 이탈각이 105°이하의 범위에서는 0.4mm 전후의 어느 정도 일정한 버 두께를 갖으며, 105°이상부터는 크게 증가하였다가 165°에 가까워질수록 급하게 작아지는 경향을 볼 수 있다. 버의 경사각에 있어서는 120°이상의 경우에 90°에 가까운 급한 경사각을 갖는 경향을 제외하고는 120°이하의 이탈각에 있어서는 일정한 경향이 없이 넓은 범위의 경사각을 갖는 것을 알 수 있다. Tool 2에 의한 SM20C에 있어서는 결과 데이터를 나타내는 Fig. 7에서는 전체적으로 작은 버 높이와 두께를 갖음을 알 수 있다. 이로부터 Tool 2의 경우에는 이탈각의 변화, 이송속도의 변화에도 비교적 작고 균일한 버가 형성됨을 알 수 있다.

이탈각이 큰 조건에서의 버의 높이는 절삭 조건의 절삭 깊이와 유사함을 Fig. 8에서 알 수 있다. 이탈각 165°에서 각 이송량에 따른 SM20C와 SM45C의 버 높이는 1.2mm, A11050, A16061의 버 높이는 2mm 정도이며, 이탈각이 45°에서의 버 높이는 0.4mm 이하이고 A1계열이 SM계열보다 약간 큼을 보이고 있다.

Fig. 9는 각 재질에 있어서는 버 높이와 두께를 나타내는 그래프이다. A1계열과 SM계열의 실험조건에서 절삭깊이에 대한 차이가 있지만, 이탈각이 135°이상에서 SM45C, SM20C, A16061, A11050

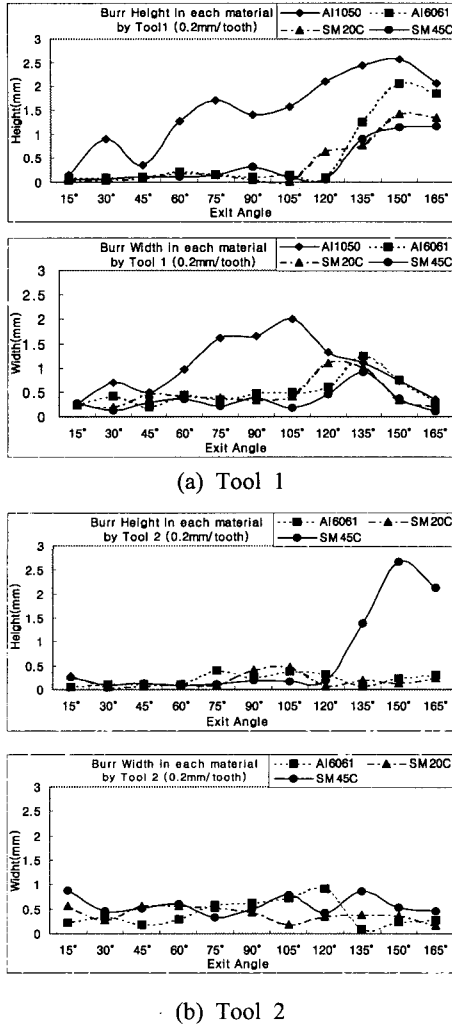


Fig. 9 Burr height and width in each material by Tool 1, Tool 2

의 순서로 버의 높이가 크을 알 수 있다. Tool 2에 있어서 SM45C는 120°~150°에서 transition 구간이 나타나며 다른 버 형성원리에 의하여 uniform 버가 발생함을 알 수 있다.

이상의 버형성 결과에 대한 고찰을 요약하면 다음과 같다.

1) Tool 1의 경우 이탈각이 105°이하에서 작고 균일한 버가 관찰되지만, Tool 2의 경우 이탈각과 이송속도에 관계없이 작고 균일한 버를 형성한다. 이때 공구형상은 리드각과 반경방향 경사각의 변화로 구분된다.

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. 10 Classification of exit burr in face milling

2) 페이스 밀링시 이송속도 변화가 버형성에 미치는 영향은 매우 작다.

3) 피삭재의 변화에 따른 버형성은 대부분의 이탈각에서 0.4mm이하의 버형성 높이차를 나타내고, 이탈각의 크기와 공구형상이 가장 큰 버형성 요인으로 여겨진다.

4) 이탈각이 큰 경우에는 절삭깊이에 해당되는 절입각을 사용한다.

#### 4. 페이스 밀링에서의 버 형성 분류

##### 4.1 버 형성 분류

기존 연구에서의 버 분류를 살펴보면, Gillespie 등<sup>(6)</sup>은 버 형성 원리에 기초하여 네 가지의 버로 나누었고, Nakayama 등<sup>(7)</sup>은 버 형성에 관계하는 절삭날과 버가 발생하는 발생 방법 및 방향성으로 분류하였다. 페이스 밀링에서의 버 분류에 있어서 Kishimoto 등<sup>(8)</sup>은 roll-over 버를 제거하기 쉽고 큰 형태를 갖는 primary 버와 작은 높이의 secondary 버로 나누었으며, Olvera 등<sup>(9)</sup>은 버가 발생하는 위치에 따라 나누었으며, Hashimura 등<sup>(4)</sup>은 기존의 논문에서 분류한 유사한 버들의 분류를 포함하여 버의 발생 위치와 형태 그리고 형성 원리에 따라서 관련시켜 분류하였다.

페이스 밀링에 의해 발생하는 버의 분류에 있어서 기존 연구에서는 버의 발생 위치, 형태, 형성 원리에 따라 서로 유사하게 분류·명명하였으며, 버 명칭에 대한 사용을 혼잡하여 사용하고 있다. 이는 페이스 밀링에서 생성되는 버가 매우 복잡하기 때문에 생성되는 버의 해석적 관점에서 달라질 수 있기 때문이다. 즉, 피삭재 재질의 성질 뿐만 아니라 가공되는 피삭재의 형상 정보로 인하여 버의 종류가 다양하며, 공구의 기하학적인 형상 정보와 가공

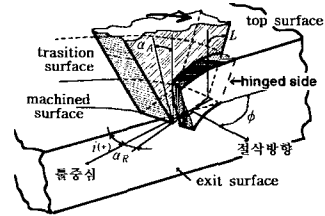
에 있어서 절삭 조건의 영향 또한 크게 작용한다.

본 논문에서는 버의 생성이 활발한 공구의 이탈 지점에서 생기는 exit edge에서의 버를 각 이탈각과 절삭 조건, 공구 형상의 변화에 따라 그의 생성을 관찰하여 버 형성 원리에 의해 roll-over 버와 leaned 버로 나누었으며, 또한 버 형태로는 크게 규칙적인 형태(regular type)와 불규칙적인 형태(non-regular type)로 Type A·B·C·D·E의 다섯 경우로 분류하여 버 형성 예측을 위한 전문가 시스템에서 데이터베이스의 자료로 이용하였다. 실험 결과에 의해 생성된 버의 분류를 기준에 논하였던 버와 비교하면, Type A는 roll-over 버의 secondary 버로, leaned 버는 Type B인 wave-type 버와 Type C인 uniform 버로 분류하여 일치시킬 수 있다. 그리고 불규칙한 버인 Type D는 ragged 버로, Type E는 longitudinal 버로 일치시킬 수 있다(Fig. 10).

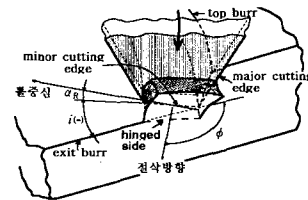
#### 4.2 버 형성 원리

Fig. 11은 Tool 1의 절삭날 형상을 갖고 exit edge를 이탈할 때에 이탈각이 75°, 135°, 165°에서의 과정을 입체적인 상태로 보여주고 있다.

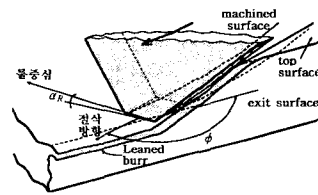
Type A를 나타내는 Fig. 11(a)의 roll-over 버는 2차원 절삭(orthogonal cutting) 과정<sup>(10)</sup>에서 형성되는 버의 원리와 같다. 이탈각이 작은 각에서는 부절삭날(minor cutting edge)이 먼저 피삭재의 exit edge를 이탈하면서 exit surface에서 굽힘이 일어난 버를 공구 진행 방향으로 부절삭날의 전단에 의한 크기가 작은 버를 생성한다. 따라서 예각의 이탈각에서는 부절삭날의 전단에 의한 버 높이가 작고 버 두께가 작은 roll-over 버가 생성된다. Fig. 3(a)에서 이탈각이 15°로부터 105°인 경우에 매우 작은 버가 발생함을 발견할 수 있다. 그 크기는 Fig. 6의 레이저에 의한 버 측정결과로부터 관찰할 수 있다. Fig. 11(b)에서 보는 바와 같이 주절삭날(major cutting edge)이 먼저 transition surface를 이탈하여 피삭재의 절삭 깊이에 해당하는 깊이로 피삭재를 전단하며, 칩의 굽힘이 발생하는 hinged side가 exit edge에서 발생하고 먼저 이탈하는 주절삭날 쪽의 hinged side에서 칩 절삭의 굽힘에 의한 소성 변형이 심하게 일어나며 공구 중심 쪽의 hinged side에서 상대적으로 심하지 않게 일어난다. 또한 주절삭날이 이탈되면서 transition surface에 남은 피삭재와 버 사이에서 인장에 의한 파단이 발생하지 않으면 심한 인장 응력이 작용하며 이 과정 중에 top surface에 가까이



(a) at  $\theta : 75^\circ$ , Tool 1



(b) at  $\theta : 135^\circ$ , Tool 1



(c) at  $\theta : 165^\circ$ , Tool 1

Fig. 11 Burr formation process

있는 부분은 가장 큰 인장 응력과 변형이 작용한다. 이로 인하여 버의 끝단의 길이가 커져서 발생되는 wave-type 버가 형성된다. Fig. 3(a)와 Fig. 4로부터 이탈각이 120°~150°인 경우에 wave type 버가 발생함을 확인할 수 있다. 이 경우의 버의 측정값은 wave 형상으로 인하여 측정위치에 따라서 버의 두께가 변화함을 알 수 있다. 이탈각이 더 커지면 Fig. 11(c)와 같이 주로 절삭날의 이송방향 분력에 의한 굽힘 변형으로 인하여 버 높이가 크고 일정한 Type C의 uniform 버가 생성된다. 이 버는 주절삭날의 리드각이 클수록 생성이 촉진되며 이송에 따른 점진적 변형에 의해 형성되는 leaned 버이다. Type B와 C의 버 형성 원리는 주절삭날에 의해 공구의 이송방향으로 버가 생성되는 leaned 버이며 이때의 버 높이는 절삭 조건의 절삭 깊이와 비슷함

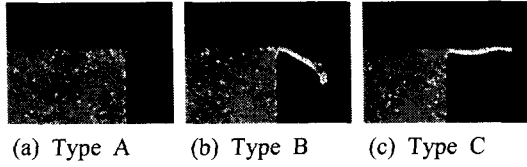


Fig. 12 Section of each burr type

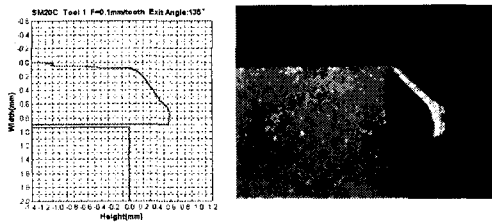


Fig. 13 Comparison of laser measuring with burr section

을 Fig. 8의 데이터에서 볼 수 있다. 이 경우 소성변형 영역이 점진적으로 넓은 영역에서 이루어지기 때문에 큰 버가 발생함을 알 수 있다.

Type D-E의 버는 공구의 리드각이 0°인 Tool 2의 실험에 있어서 발생하였고, 이는 주절삭날이 transition surface에서의 이탈이 급하기 때문에 이탈시 인장에 의한 변형이 점진적으로 허용되지 않고 순간적으로 국부적인 부분에서의 인장이 발생하여 파단이 쉽게 발생함으로써 작은 버가 형성됨을 Fig. 3(b)와 Fig. 7로부터 관찰할 수가 있다. 이것은 드릴에서도 선단각이 큰 드릴의 경우에 소성변형량이 국부적인 부분에 국한됨으로서 작은 버가 발생하는 사실과 유사한 결과이다<sup>(11)</sup>. 특히 부절삭날에서 주절삭날로 이탈 순서가 변하는 inclination angle( $i$ )이 양에서 음으로 전이된 뒤에 큰 이탈각에서 버 생성

이 매우 불규칙하게 생성된다.

Fig. 12는 규칙적인 버의 단면 형상을 보여주는 것이며, Fig. 13은 Type B의 버에서 레이저 측정과 실제 단면을 비교한 것이다. 버의 높이는 신뢰성이 있으나, 버의 두께에 있어서는 레이저 측정의 특성상 획득한 데이터가 실제 단면의 두께와 차이남을 알 수 있으며 Fig. 12과 형성 원리에서 알 수 있듯이 Type C의 두께와 비슷하다.

앞에서의 실험 결과 및 해석을 통하여 페이스 밀링시 버형성 최소화를 위하여, 밀링커터의 리드각 감소와 반경방향의 음의 경사각이 유효하다. 또한 공구 이탈각이 90°이하인 경우에는 항상 Type A 버가 발생한다. 공구 이탈각은 피삭재의 형상과 공구 경로에 의해서 결정된다.

### 5. Milling Burr Expert System을 위한 데이터베이스 구축

실험 결과로부터 얻은 버의 높이와 두께 그리고 경사각을 이용하여 원하는 가공 경로와 피삭재 형상에서의 버의 형상을 가지적으로 표현하여 버의 형상을 분류하고 표준화함으로써 버 형성의 예측과 효율적인 버 제거 방법의 선정을 위한 전문가 시스템의 데이터베이스 구축 및 검증에 위한 자료로서 제공하고자 한다. 여러 가지 절삭 조건에서 관찰한 실험 결과에 의하여 임의의 절삭 조건에서의 버 형성 예측을 할 수 있다. Fig. 14은 버 형성 예측을 위한 흐름도를 보여주고 있다. Table 3은 SM20C의 경우에서의 데이터베이스에 적용될 버 타입별 영역과 버 높이, 폭, 각을 나타낸 표이다.

Table 3 Example of burr classification and burr geometry in SM20C by Tool1

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	

Feed, Type	F=0.05mm/tooth			F=0.1mm/tooth			F=0.15mm/tooth			F=0.2mm/tooth		
	Type A	Type B	Type C	Type A	Type B	Type C	Type A	Type B	Type C	Type A	Type B	Type C
Height (mm)	0.1117	0.7969	1.0980	0.0547	0.8243	1.1085	0.0955	0.7654	1.1145	0.0830	0.6997	1.3861
Width (mm)	0.3692	0.7063	0.2013	0.3375	0.8563	0.3813	0.3325	0.9325	0.2300	0.3589	1.0588	0.2875
Sloped angle(°)	49.582	80.554	89.113	34.687	79.655	88.348	89.403	89.403	88.546	41.315	85.024	89.187

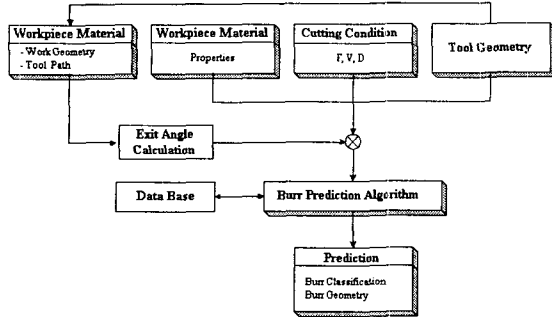


Fig. 14 Procedure for burr geometry prediction

## 6. 결론

(1) 페이스 밀링 작업시 발생하는 exit 버의 발생원리에 대한 이해를 넓히기 위해 네 가지 피삭재에서 공구 형상 정보가 다른 두 개의 공구를 갖고 절삭 조건의 날당 이송량을 다양화 시켜 각 이탈각에서의 실험과 관찰을 수행하였다.

(2) 버의 형성원리에 의하여 부절삭날의 영향에 의한 roll-over 버와 주절삭날에 의한 leaned 버로 분류하였고, 버 형태에 따라서 다섯 종류로 분류하였다. 버의 형성원리에 있어서 피삭재 재질과 절삭 조건 뿐만 아니라 공구의 형상과 공구와 피삭재 사이의 관계인 이탈각의 변화에 의해서 버형성을 최소화할 수 있다.

(3) 버의 형상을 분류하고 버 형성의 예측과 효율적인 버 제거 방법의 선정에 자료로서 제공할 수 있는 데이터베이스를 구축하였다.

## 후 기

본 연구는 한국과학재단의 특정기초연구지원(1999-2-304-002)에 의한 것입니다.

## 참고문헌

1. The World Wide Burr Technology Committee, 1995.
2. L.K. Gillespie, "Deburring Precision Miniature Parts," *Prec. Engg.*, Vol. 1, No. 4, pp. 189-198, 1979.
3. 고성립, 김영진, 고대철, 한상우, 이제열, 안용진, "밀링가공시 버형성 예측을 위한 전문가 시스템

개발," 한국정밀공학회지, 제18권, 제2호, pp. 199-205, 2001.2.

4. 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.
5. Ko, S.L, Jun, G.B and Lee, J.K., "Development Burr Measurement System using Laser," 4th Korea-Japan Joint Technical Conference on Surface Finishing and Burr Technology, pp. 66-76, 1999.
6. 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.
7. K. Nakayama and M. Arai, "Burr Formation in Metal Cutting," *Annals of the CIRP*, Vol. 36, No. 1, pp. 33-36, 1987.
8. W. Kishimoto, T. Miyake, A. Yamamoto, K. Yamanaka and K. Takano, "Study of Burr Formation in Face Milling," *Bulletin Japan Society of Precision Engineering*, Vol. 15, No. 1, pp. 51-52, 1981.
9. O. Olvera and G. Barrow, "An Experimental Study of Burr Formation in Square Shoulder Face Milling," *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, Vol. 36, No. 9, pp. 1005-1020, 1996.
10. M. Hashimura, Y.P. Chang and D.A. Dornfeld, "Analysis of Burr Formation Mechanism in Orthogonal Cutting," *ASME Journal of Manufacturing Science and Engineering*, Vol. 121, pp. 1-7, 1999.
11. 고성립, 전근배, 이징구, "새로운 개념의 드릴에 의한 구멍가공시 버 형성에 관한 연구," 한국정밀공학회지, 제17권, 제3호, 2000.3.