한국정밀공학회지 제 20 권 제 12 호 (2003 년 12 월)
Journal of the Korean Society of Precision Engineering, Vol. 20, No.12, December 2003

밀링가공시 버 형성 예측을 위한 전문가 시스템 개발 (II)

- 복잡한 형상의 피삭재와 다중경로에 의한 밀링가공 시

고성림#, 김영진*, 장재은**, 이장범*, 김지환*

Development of Expert System for Burr Formation Prediction in Face Milling (II)

– In Milling Multi Featured workpiece with Multi

Sung-Lim Ko #, Young-Jin Kim *, Jae-Eun Chang**, Jang-Beom Lee*, Ji-Hwan Kim *

ABSTRACT

A burr has been defined as undesirable projection of material formed as a 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 this study, the primary interest is about exit burr. The burr formation mechanism in each type of burr is classified. Data bases are developed to predict burr formation result. In the milling operation, we develop an algorithm to analyze the burr formation mechanism by the geometrical analysis on the multi featured workpiece with multi cutting path. The algorithm includes three steps, i.e., the feature identification, the cutting condition identification, and the analysis on exit burr formation. We can predict which portion of workpiece would have the exit burr in advance so that we can manage to find a way to minimize the exit burr formation in an actual cutting. Also, this algorithm can be implemented in a commercial CAM package so that we can simulate the NC code to review the burr formation in advance.

Key Words : : Milling burr(밀링버), Exit angle(이탈각), Expert System(전문가 시스템), Multi-tool Path(다중경로), Multi Feature(복잡형상)

1. 서론

절삭가공 중의 버는 두면이 만나는 모서리부에서 공구의 피삭재 이탈시에 절삭저항으로 밀림 현상이 발달하여 소성변형에 의해 모서리에서 발생한다. 이러한 버는 부품의 정밀도와 품질에 영향을 미치며, 이를 제거하기 위해서는 별도의 디버링(deburring) 공정이 필요하게 되고 이는 자동화의 어려움으로 인해서 생산성이 매우 뒤떨어지기

접수일: 2003 년 2 월 11 일; 게재승인일: 2003 년 8 월 14 일
교신저자: 건국대학교 기계설계학과
E-mail slko@konkuk.ac.kr Tel. (02) 450-3465
* 경희대학교 산업공학과
** 건국대학교 기계설계학과

때문에 새로운 병목 현상으로 등장하기에 이르렀다. Gillespie 는 정밀 부품의 가공에 있어서 디버링 공정이 전체 부품 단가의 약 30% 까지 차지하는 경우도 있다고 지적하였다[1].

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 자동화뿐 아니라 관리 체계의 정립을 위하여 전문가 시스템의 도입 역시 시급히 요구되고 있는 실정이다[2].

절삭 중에 발생하는 버는 매우 불규칙하고 복잡하기 때문에 해석적인 방법에 의해 간단히 예측하기가 매우 어렵다. 특히 밀링 가공에서의 거동은 3 차원 모델로 완전한 이론 모델을 수립하는 것이 매우 어렵기 때문에 일차적으로 실험에 의한 데이터베이스의 확립에 의한 관찰이 선행되어야 한다. 그리고 이에 따른 버 발생기구에 대한 간단한 모델이 제시되고, 그것을 바탕으로 한 전문가 시스템의 구축으로 실제 버 형성 시 형상과 크기를 예측하고자 한다[3,4,5].

본 연구에서는 버 형성 원리의 이해를 위한 실험 결과로부터 페이스 밀링에서의 출구 버 형성을 분류하였으며 버 형성 원리 또한 고려하였다[4]. 얻어진 버를 측정하여 페이스 밀링에서 버 형성 예측을 위한 전문가 시스템에 적용하기 위한 데이터베이스를 구성하였다[6]. CAD 데이터를 통한 피삭재 관련 정보 및 CAM 데이터를 통한 공구 관련 정보의 연동을 통하여 기하학적인 자료를 프로그램으로 유입하여, 이를 통한 버 생성구역의 예측 및 공구이탈각의 계산에 의한 버형성 예측을 위한 효율적인 알고리즘을 산출하고자 한다[2]. 그리고 임의형상에 대한 해석과 선과 원호의 복합형상에 대한 인식, 단일 절삭 가공경로에서부터 실제 절삭공정에서 사용되는 다중 절삭가공경로에 이르기까지의 해석이 가능한 버 예측 알고리즘을 개발하여 버형성 예측을 위한 전문가 시스템을 개발하였다[7]. 버형성 예측이 가능한 전문가시스템의 개발은 주어진 가공조건과 피삭재형상에 대하여 버형성의 최소화를 위한 공구경로의 형성을 위한 자동화시스템의 구성에 기본이 될 것이다[8].

2. 페이스 밀링에서의 버형성 및 데이터 베이스 구축

2.1 페이스 밀링에서의 버형성

페이스 밀링에 의해 발생되는 버의 생성 원리를 이해하고 버 형성 예측과 최소화 조건을 찾기 위한 데이터 베이스의 구축을 위한 실험을 하였다. 형성 되는 각 버의 위치는 Fig. 1 과 같으며 본 연구에서는 버의 생성이 가장 활발한 공구의 이탈 지점에서 생기는 버(exit burr)를 이탈각(exit angle)과 절삭조건, 공구 형상의 변화에 따라 버의 생성을 관찰하였다. Fig. 2 에서 페이스 밀링커터의 형상을 볼 수 있으며, Table 1 에서 보여지는 공구의 형상 차이로 인하여 버의 생성 원리에 있어서 공구의 형상 정보가 크게 관계함을 고려할 수 있다. 공구 경사각은 Fig. 2 에 나타난 바와 같이 축방향 경사각(α_a)과 반경방향 경사각(α_r)으로 이루어진다. 공구의 날이 피삭재의 가공 표면으로부터 이탈하는 방향과 가공될 피삭재 모서리와 이루는 각도인 이탈각도(exit angle)를 다양화하여 15° 간격의 각 이탈각에서 발생하는 버의 형성을 관찰하였다.

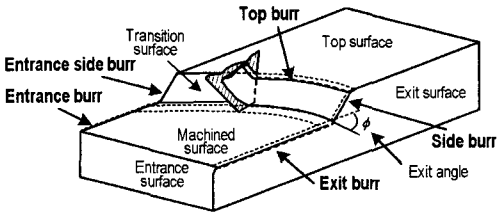


Fig. 1 Location of burrs

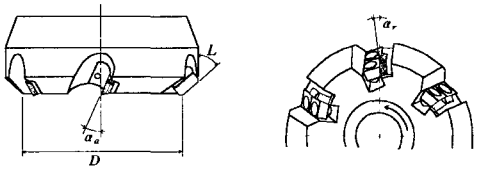


Fig. 2 Definition of tool geometry

Table 1 Specification of tool geometry

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

2.2 페이스 밀링에서의 버형성 분류

페이스 밀링에 의해 발생하는 버의 분류에 있어서 기존 연구에서는 버의 발생 위치, 형태, 형성 원리에 따라 서로 유사하게 분류· 명명하였으며, 버 명칭에 대한 사용을 혼합하여 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 가공에 있어서 절삭조건의 영향 또한 크게 작용한다.

본 논문에서는 Fig. 3 에서와 같이 버의 생성이 활발한 공구의 이탈 지점에서 생기는 버를 이탈각과 절삭조건, 공구 형상의 변화에 따라 그의 생성을 관찰하여 버 형태로는 크게 규칙적인 형태(regular type)와 불규칙적인 형태(non-regular type)로 구분하였으며 규칙적인 형태의 버를 버 형성 원리에 의해 roll-over 버와 leaned 버로 나누어서 type A· B· C· D· E 의 다섯가지 경우로 분류하여 버 형성 예측을 위한 전문가 시스템에서 데이터베이스의 자료로 이용하였다[4].

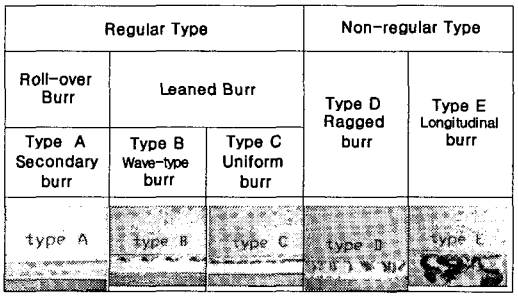


Fig. 3 Classification of exit burr in face milling

2.3 데이터 베이스 구축

실험 결과로부터 얻은 버를 측정하여 버의 높이와 두께를 정량화 함으로서 앞에서 제시된 버의 형태에 따라서 버의 형상을 분류하고 표준화한다. 가공 경로와 다양한 피삭재료 및 형상에 따른 버의 형상을 가시적으로 표현하여 버 형성의 예측과 효율적인 버 제거 방법의 선정을 위한 전문가 시스템의 데이터베이스 구축 및 검증을 위한 자료로서 제공하고자 한다.

실험을 위하여 각 피삭재의 특성을 대표할 수 있는 다양한 피삭재의 선정과 공구형상으로는 다양한 공구경사각을 소유한 공구에 의한 실험을 실시한다. 페이스 밀링가공시 출구부의 모서리를 따라서 이탈각이 계속적으로 변하여 이탈각에 따른 버형성 결과를 관찰할 수 있는 가공경로를 택하여 실험을 실시하였다. 여러 가지 다양한 절삭조건에서 관찰한 실험 결과에 의한 데이터베이스를 이용하여 임의의 절삭조건에서의 버 형성 예측을 할 수 있게 된다. Table 2 는 A6061 을 Tool 1 로 가공할 때 절삭조건의 변화에 따라서 데이터베이스에 적용될 버 타입을 나타낸 표이다.

Table 2 Example of burr classification and burr geometry in A6061 by Tool 1

Exit angle / feed	15° ~ 127°	127° ~ 142°	142°~180°
F=0.05 ㎜/tooth	Type A	Type A	Type C
F=0.1 ㎜/tooth	Type A	Type B	Type C
F=0.15 ㎜/tooth	Type A	Type B	Type C
F=0.2 ㎜/tooth	Type A	Type B	Type C

3. 출구버의 판별 알고리즘

3.1 피삭재 형상 인식

일반적으로 도면에서 제공되는 피삭재의 정보는 CAD 데이터로 제공된다. DXF 파일의 해석을 통해 다각형 이외에 원이나 호 등을 인식할 수 있다. 따라서 여기서는 CAD 데이터의 DXF 파일

포맷으로 제공되는 경우에 대한 형상인식을 수행하고자 하며 DXF 파일에서 Code 의 정보를 Visual Basic 으로 작성된 프로그램에서 읽어 들인다.

CAD 파일로부터 점에 대한 데이터를 이용하여 다각형 형상을 인식한다. 그리고 인식된 임의 형상에 대하여 출구 버 형성시 접점과 이탈각을 계산하기 위해서는 먼저 형상을 반시계 방향으로 인지하는 작업이 필요하다. 이를 위해 다음과 같은 방법으로 방향을 인식시키는 작업을 수행한다. 먼저 DXF 파일로부터 얻어진 도형에서 임의의 한 점 P 를 잡고 도형의 꼭지점에서 점 P 로 선분을 연결한다[9]. 다음 꼭지점과 점 P 로 선분을 연결하고, 이와 이루는 각을 θ_1 이라고 한다. 다시 다음 꼭지점과 점 P 로 선분을 연결하고, 이전에 연결한 선분과 이루는 각을 θ_2 라고 한다. 이렇게 순차적으로 각 θ 의 누적합을 구한다. 점 P 와의 연결이 시작점에 도달할 경우 작업을 종료한다(Fig 4). 여기서 도형 내부에 점 P 가 있을 경우에는 θ 의 누적합이 360° , 혹은 -360° 가 되며, 도형 외부에 점 P 가 있을 경우에는 θ 의 누적합이 0° 가 된다. 따라서 θ 의 누적합이 0° 가 산출되었을 경우에는 점 P 가 도형 외부에 있다고 판단하고 다시 임의의 점 P 를 선택하여 위의 과정을 반복한다.

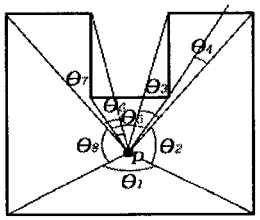


Fig. 4 Identification of polygon (direction of vertices)

점 P 가 도형 내부에 있고 θ 의 누적합이 구해졌을 경우, 그 합이 360° 이면 도형의 방향은 반시계 방향으로 인식된 것이다. 만약 θ 의 누적합이 -360° 일 경우에는 반대방향으로 인식된 것이므로 현재의 반대방향으로 도형의 꼭지점을 연결하여 방향이 반시계 방향이 되도록 한다. 먼저 Entities Section 의 code 를 따라 도형을 인식하여 특징형상을 해석하게 된 경우 프로그램 상으로의 유입을 위해 방향성을 탐색 결정하여야 한다.

원(구멍)은 특징상 중심점을 기준으로 회전하는 점을 연결해놓은 것이므로 x 축 양의 방향의 축을 시작각 0° 로 하여 반시계 방향으로 방향성을 갖게 한다. 즉, 원은 0° 부터 DXF 에서 인식된 반지름을 중심으로 반시계방향으로 회전시킨 것이다. 원호의 경우, 인식된 시작각 0° 를 기준으로 반지름을 반시계 방향으로 회전 끝각 까지를 연결한 것으로 방향성을 통일할 수 있다. 원(구멍)은 중심점(C), 시작점(S), 끝점(E), 각도(A), 그리고 반경(R)로 작성된다.

3.2 가공 데이터의 인식

형상정보에 대한 인식과 같이 가공정보도 표준화된 방식으로 CAM 프로그램에서 제공 되어진다. 공구반경, 공구경로, 절삭속도 및 이송속도에 대한 정보 등이 NC 코드로부터 제공된다. 공구반경과 공구경로정보는 앞에서 인식된 피삭재 형상정보와 함께 공구와 모서리가 만나는 지점과 공구진입 및 이탈각을 계산하는데 사용된다. 주어진 모서리에서 계산된 이탈각과 절삭조건인 절삭속도 및 이송속도로부터 출구버의 종류 및 형상이 결정된다.

3.3 출구 버 영역의 산출

피삭재의 형상 인식 후 실제 절삭가공에서 발생될 출구 버를 판별하기 위하여 절삭에서 발생될 출구 버 영역을 산출하고자 한다. 이미 연구했던 바와 같이 일반적으로 출구버는 피삭재의 모서리 부분에서 공구의 절삭영역 내에 생성된다. 이 때 출구버의 생성 원리를 살펴보면, 공구의 절삭 이동 과정에서 피삭재와 최초로 접하는 점에서부터 피삭재의 방향벡터 방향으로 생성되게 된다.

DXF 파일의 해석에 의해 인식된 원(구멍)과 호의 경우 다양한 경로에 대하여 공구의 크기와 피삭재의 크기와의 상관관계에 의해 Fig. 5 에 보인 바와 같이 다음 4 가지의 절삭경로에 따라 버 발생 영역이 발생한다 (Fig. 5).

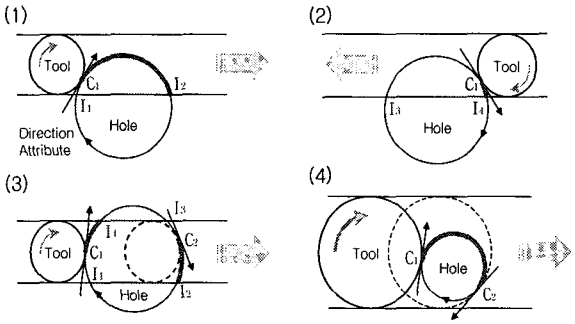


Fig. 5 Exit burr area of a hole(arc)

3.4 원호의 경우

원호는 원(구멍)의 일부분으로 해석할 수 있다. 단, 그 일부분을 표현하기 위한 변수가 필요한데, 위에서 언급했듯이 DXF 등의 CAD 데이터 형식에서는 원호의 각 끝점을 각도로써 표현하고 있다. 따라서, 원호의 버 영역 판별에 있어서도 원(구멍)과 같은 형식의 판단이 필요하다. 직선벡터의 경우와 마찬가지로 시작점의 각과 끝점의 각을 분명히 해야 하고 먼저 원호를 포함하는 가상의 원을 설정하고 원의 버 영역을 판단하는 알고리즘을 수행하여 원의 버 영역 판단과정 중에 공구의 이동경로에 따른 절삭영역의 끝점들을 구한다. 만약 원호가 이 절삭 영역에 포함 되어있다면, 가상 원의 버 발생영역과 원호의 영역이 중복되는 지점에서 버가 생성된다.

3.5 이탈각의 계산

이탈각은 공구와 피삭재가 만나는 부분의 사이각으로 정의할 수 있다. Fig. 6 에서 공구의 회전방향 벡터와 피삭재 모서리의 방향 벡터에 의해서 표시된 ϕ 를 이 부분에 있어서 이탈각으로 정의할 수 있다.

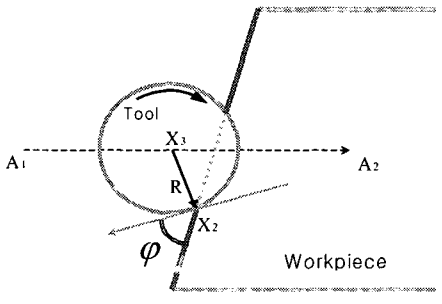


Fig. 6 Representation of exit angle in polygon

Fig. 7 에서 처럼 공구가 피삭재를 가공하는 과정에서의 이탈각은 공구의 원점에서의 회전방향벡터와 피삭재의 방향 벡터 사이의 각(ϕ)으로서 표현이 된다. Fig. 6 과 7 에서 공구는 A_1 에서 A_2 로 이동하며 X_2 는 사용자가 선택하는 임의의 점이 된다. 선택된 점을 기준으로 공구의 중심좌표를 산출하여 공구의 가공방향의 수직 벡터와 피삭재 회전방향과의 수직인 벡터를 산출하게 된다. 이때 피삭재의 모서리 벡터를 $\underset{\sim}{u}$, 공구의 회전방향을 $\underset{\sim}{v}$ 라 하면, 출구각은 다음과 같다.

$$\varphi = \cos^{-1} \frac{\underset{\sim}{u} \cdot \underset{\sim}{v}}{\left\| \underset{\sim}{u} \right\| \left\| \underset{\sim}{v} \right\|}$$

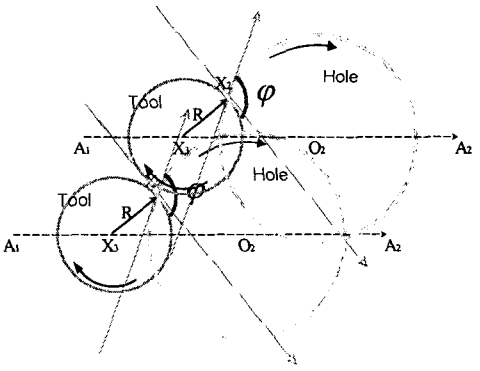


Fig. 7 Analysis of exit angle for an arc

3.6 다중경로의 해석

NC 파일에 기록되어있는 공구의 절삭경로는 1 회성 절삭경로 뿐만 아니라 Fig. 8 에서 나타난 바와 같이 2 회 이상의 절삭을 수행하는 다중 절삭경로가 포함될 수도 있다. 각각의 절삭경로에 대하여, 발생한 버 영역을 데이터베이스에 저장하고, 추후 해당 절삭경로에 대한 버 영역 정보를 검색할 수 있게 한다. 그리고 다중 경로 절삭시 절삭영역 중 중복 영역에 대해서는 첫번째 가공경로에 의해서 형성되는 버형상을 DB 에 저장하고 추가적인 가공에 의한 버형성은 무시한다. Fig. 8

에서 첫번째 가공경로와 두번째 가공경로에 의한 출구버 형성 영역이 표시되어 있다. 중복되는 영역에 있어서는 첫번째 경로에 의한 버형성 영역으로 나타나 있음을 알 수 있다.

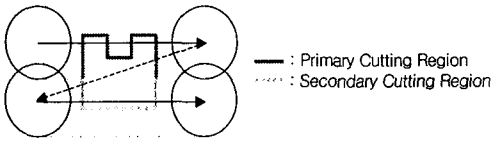


Fig. 8 Schematic illustration of exit burr formation area in multiple tool path cutting

3.7 복합형상의 피삭재에 대한 버형성 예측 위한 알고리즘

Fig. 9 로부터 버형성 예측을 위한 전문가 시스템의 알고리즘을 알 수 있다. 입력된 CAD 파일로부터 피삭재의 형상을 인식하고 입력된 NC 파일로부터 공구경로를 인식한 후 공구반경과 같은 공구형상정보를 이용하여 출구부 영역의 판별 및 각 모서리에서의 공구이탈각을 계산한다. 계산된 이탈각과 공구경사각과 같은 공구형상정보와 절삭조건을 이용하여 버형성 예측 알고리즘과 DB 로부터 얻은 정보를 이용하여 버형상 예측정보를 얻는다.

실제 절삭가공에 사용되는 피삭재의 형상은 직선형 모서리(다각형)와 구멍, 원호(Arc) 등이 복합적으로 구성되어있는 경우이다. 이에 따라 임의 형상 및 원, 원호가 합쳐진 복합형상에 대한 알고리즘을 구현하였다. 다각형과 원호는 출구부 영역 판별 알고리즘이 다르므로 분리되어 인식한 각각의 개체에 대해 출구부 영역을 판별한다. 이렇게 판별된 영역은 도시과정에서 합쳐진 후 공구정보와 함께 도시되고, 출구각 계산 알고리즘을 거쳐 출구각을 계산한다.

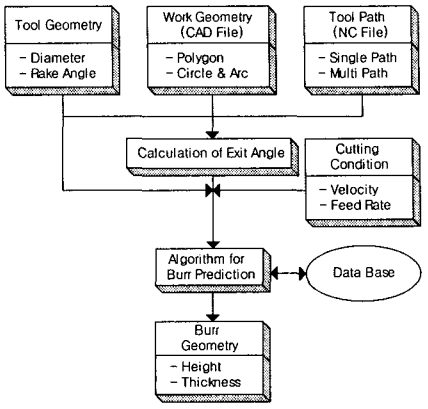


Fig. 9 Procedure for burr geometry prediction

4. 밀링 버 전문가 시스템

4.1 프로그램 실행화면

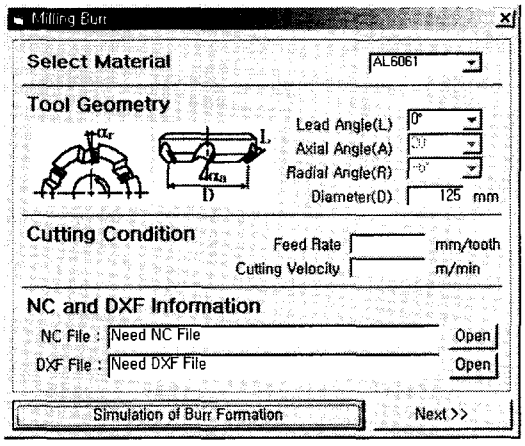


Fig. 10 A window of milling burr expert system

Fig. 10 에서 사용자는 공구의 관계된 자료를 임의로 선택할 수 있으며, 피삭재 종류, 공구의 형상(리드각, 축방향경사각, 반경방향경사각)에 관한 정보를 선정할 수 있다. 또한, 절삭조건으로서 절삭속도와 이송속도를 입력한다. 'NC file'로부터는 공구경로를 포함하는 NC 파일명을 입력하고, 'DXF file'로 부터는 피삭재의 2 차원 CAD 파일

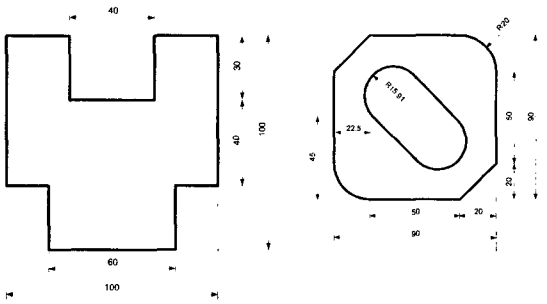
명을 입력한다 그 결과 Fig. 12 및 Fig. 14 와 같은 피삭재 형상과 공구경로를 나타내는 창이 형성된다[10].

4.2 실험 조건

데이터 베이스의 구축과 그에 따른 출구버의 산출 알고리즘에 따라 제작된 전문가 시스템의 실제 절삭에서의 적용성을 보기 위해 Table 3 의 절삭조건으로 Fig. 11 의 임의 형상에 대해서 절삭실험을 수행하였다.

Table 3 Cutting conditions for burr formation

Tool	Tool 1
WorkPiece	A6061
Feed(mm/rev)	0.1
Cutting Velocity(m/min)	300
Lead angle (L)	45°
Depth of Cut (mm)	2
Radial Rake angle (α_r)	-6°
Axial Rake angle (α_a)	20°
Diameter (D)	125(mm)
Insert shape	square



(a) Polygon Type (b) Polygon & Arc Type

Fig. 11 Geometry of workpiece drawn by DXF file format from Autocad

4.3 다중 절삭 경로에서의 적용

Fig. 11(a)의 다각형에서 다중 절삭경로를 적용하여 버형성 예측을 위한 시뮤레이션을 수행하였다. 여기서는 다중경로에 의한 절삭 시 첫번째와 두번째 경로에서 같은 지점에서 다른 출구각과 진입각을 가짐으로써 버의 형상에 미치는 영향을 관찰하기 위하여 3 지점을 선택하여 시뮤레이션을 수행하였다. Fig. 12 에서 윗쪽 경로에서 좌에서 우로 가는 경로가 첫번째이고 다음은 아랫쪽 경로에서는 우에서 좌로 가는 경로가 두번째 경로에 해당된다.

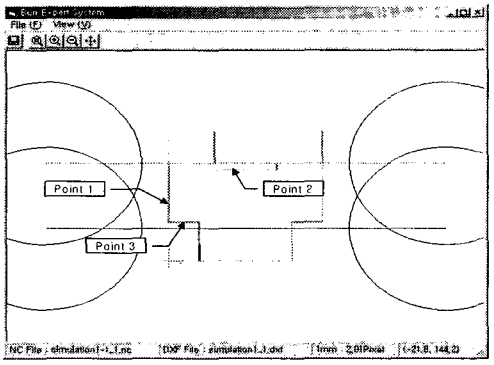


Fig. 12 Generation of multi cutting path for face milling the workpiece with the shape of polygon.

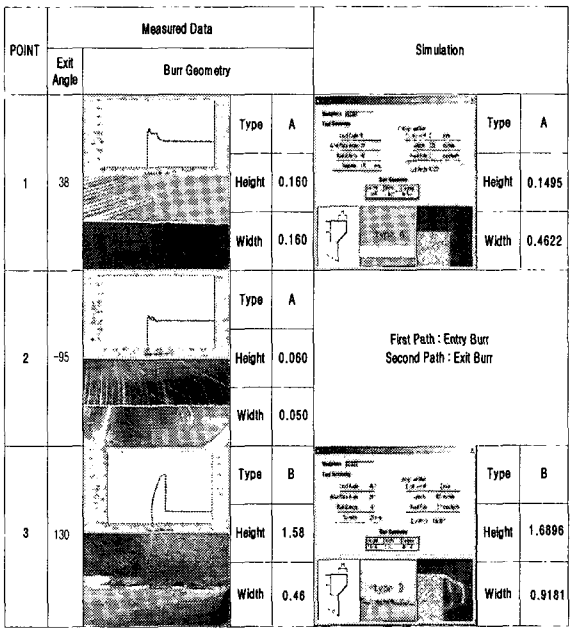


Fig. 13 Comparison of measured burr geometry with simulation result in multi cutting path for the workpiece with polygon shap

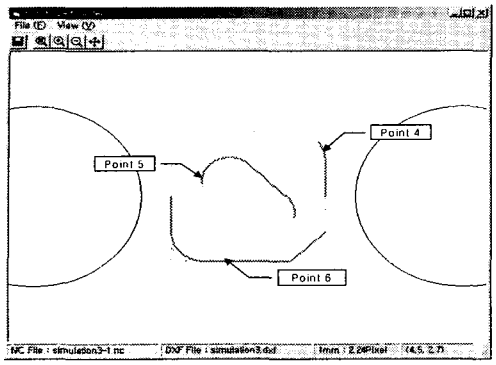


Fig. 14 Generation of single cutting path for face milling the workpiece with the shape of Multi Feature

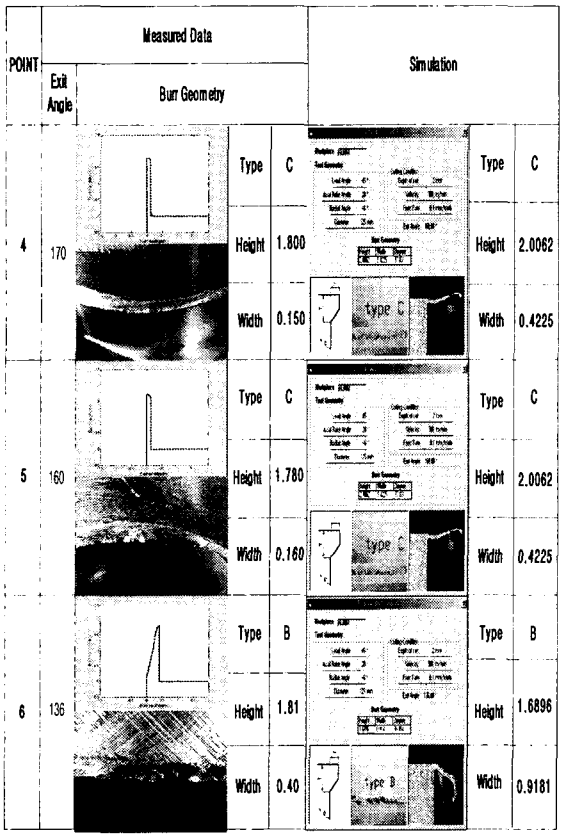


Fig. 15 Comparison of measured burr geometry with simulation result in single cutting path for the workpiece with Multi Feature

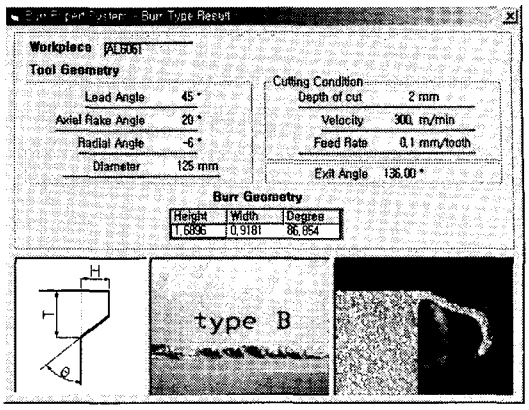


Fig. 16 One example of output of burr expert system

Fig. 13 으로부터 point 1 은 첫번째 경로에서 38°의 출구각에 의한 출구버가 그리고 두번째 경로에서는 진입각에 의한 입구버가 예상되지만, 첫번째 경로에 의한 type A 버가 예측되었다. 이에 동일한 type 과 유사한 크기의 버가 실제 형성 되었음을 측정결과로부터 알 수 있다. point 2 의 첫번째 경로에서는 95°의 진입각을 갖는 입구버가 두번째 경로에서는 출구버가 예상되며, 이에 첫번째 경로에서의 입구버가 발생하므로 버 발생이 무시됨으로 인하여 DB 가 제공되지 않았다. 실제 발생한 입구버는 매우 미소함을 알 수 있다. Point 3 에서는 첫번째 경로에서 130°의 출구각에 의한 type B 의 출구버가 형성되고 두번째 경로에서는 입구버가 형성되므로 출구버에 의한 버형성 결과가 제시되었음을 알 수 있다. 이에 대한 버형성 예측 결과가 Fig. 16.에 자세히 나타나 있다. 주어진 절삭조건에 대하여 출구각이 136°로 예측되었으며 이 때에 예측되는 버의 형상은 높이가 1.69mm 그리고 폭이 0.92mm 이다. 이에 비하여 측정된 버의 높이는 1.58mm 그리고 폭은 0.46mm 를 나타내고 있다. 버의 폭은 Fig. 13 에서는 버의 눕는 현상으로 인하여 크게 예측되었다.

Table 2 에서 주어진 바와 같이 DB 상의 일정 출구각 범위 안에서 같은 type 의 버형성을 보여줌으로서 버형상 분류가 성공적으로 이루어짐을 알 수 있다. 비교적 버의 높이는 큰 오차없이 예측되고 있으나 버의 두께는 큰 오차를 나타내고 있다. 이것은 밀링버의 경우 버의 굽힘과 말림현상으로 인하여 레이져에 의한 측정시 실제보다 큰

버의 두께를 나타내기 때문이다.

4.4 복합 형상의 피삭재에서의 적용

Fig. 14 에서는 Fig. 11(b)에 주어진 복합형상의 피삭재를 정면밀링하기 위한 단일 가공 경로가 우에서 좌로 나타나 있고 버형성 관찰을 위한 2 개의 지점이 아크(arc) 부분에 표시되어 있다. 앞에서와 동일가공조건에서 point 4 와 5 에서의 버형성 결과가 Fig. 15 에 시뮤레이션 결과와 함께 나타나있다. 앞에서와 같이 높은 이탈각에서 발생하는 uniform type 인 type C 버가 예측되었으며, 볼록 모서리인 point 4 와 오목 모서리인 point 5 에서 비교적 정확한 버의 높이가 예측되었다. 원호로 구성된 모서리 부분에서는 이탈각의 변화가 매우 커서 버형성 type 이 변하고 있음을 point 4 의 모서리부에서 관찰할 수 있다. point 6 에서는 이탈각이 136°인 경우에 type B 의 버가 발생함으로서 예측결과와 잘 일치함을 알 수 있다.

5. 결론

(1) 밀링가공시 발생하는 버의 형상을 분류하고 버 형성의 예측과 효율적인 버 제거 방법의 선정을 위한 자료로서 제공할 수 있는 데이터베이스를 구축하였다.

(2) 밀링가공시 다각형과 원과 원호를 포함하는 복합적인 형상의 피삭재에서 출구버가 발생되는 구역을 구하는 과정을 유도하여 출구버 생성시 접점 및 이탈각을 계산하는 알고리즘을 구하였다.

(3) 밀링가공시 실제 발생하는 다중가공에 의한 버형성 결과를 예측하는 알고리즘을 개발하였다.

(4) 언급된 알고리즘과 DB 를 이용하여 버형성 예측을 위한 프로그램을 개발하였다. 타당성을 검증하기 위하여 버형성 실험을 수행한 결과, 프로그램에 의한 예측결과와 잘 일치함을 알 수 있었다.

후기

이 연구는 한국과학재단의 목적기초 연구지원 사업(1999-2-304-002)으로 이루어졌습니다.

참고문헌

1. Gillespie, L. K., "Deburring Precision Miniature Parts," Prec. Engg, Vol.1, No.4, pp.189-198, 1979.
2. .Ko, S. L, Kim, Y. J., Ko, D. C., Han, S. W., Lee, J. Y. and Ahn, Y. J.," Development of Expert System for Burr Formation Prediction in Face Milling," Journal of Korean Society of Precision Engineering, Vol.18, No.2, pp199-205, 2002.2
3. Hashimura, M., Hassamontr, J. and Dornfeld, D. A., "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.
4. Han, S. W. and Ko, S. L.,"A Study on Exit Burr Formation in Face Milling," Korean Society of Precision Engineering, Vol.18, No.8, pp55-62, 2002.2
5. Kishimoto, W., Miyake, T., Yamamoto, A., Yamanaka, K. and Takano, K., "Study of Burr Formation in Face Milling," Bulletin Japan Society of Precision Engineering, Vol. 15, No. 1, pp. 51-52, 1981.
6. 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.
7. Lee, J. Y., Ahn, Y. J. and Kim, Y. J., Geometrical Analysis on the Formation Mechanism of Milling Burr on Arbitrary Feature, Transactions of Korean CAD/CAM Society , 2001
8. Dornfeld, D., "Burr Minimization in Face Milling : A Geometric Approach," ASME, Vol. 119, May 1997
9. AutoCAD Release 14 Reference Manual, Autodesk, Inc., 1996
10. Vera B. Anand, "Computer Graphics & Geometric Modeling for Engineers," WILEY, 1993.