

## Face Milling 에서 Exit Burr 의 최소화 를 고려한 최적 가공 계획 알고리즘의 개발

김지환\*(경희대학교 대학원 산업공학과), 김영진(경희대학교 산업공학과), 고성림(건국대학교 기계설계학과), 김용현, 박대흠(건국대학교 대학원 기계설계학과)

### Development of optimal process planning algorithm considered Exit Burr minimization on Face Milling

J. H. Kim(Industrial Eng. Dept. KHU), Y. J. Kim(Industrial Eng. Dept., KHU), S.L. Ko(Mechanical Design and Production Eng. KKU), Y. H. Kim, D. H. Pak(Mechanical Design and Production Eng. KKU)

#### ABSTRACT

As a result of milling operation, we expect to have burr at the outward edge of workpiece. Also, it causes undesirable problems such as deburring cost, low quality of machined surface, and bottleneck in manufacturing process. Though it is impossible to totally remove burr in machining, it is necessary to plan a machining process that minimizes the occurrence of burr. In this paper, a scheme is proposed which identifies the tool path of the milling operation with minimum burr.

In the previous research, a Burr Expert System was developed where the feature identification, the cutting condition identification, and the analysis on exit burr formation are the key steps in the program. The Burr Expert System predicts which portion of workpiece would have the exit burr in advance so that we can calculate the burr length of each milling operation. Here, the critical angle determines whether the burr analyzed is an exit burr or not. So the burr minimization scheme becomes to minimize the burr with critical angle. By iterating all the possible tool paths in certain milling operation, we can identify the tool path with minimum burr.

**Key Words :** Face Milling, Exit Burr, Burr Expert System, Multi-tool path, Multi-Feature, Exit Burr minimization

#### 1. 서론

Burr 는 절삭가공 시 공작물의 모서리부분에 발생하는 것으로, 절삭공구가 공작물의 끝부분을 빠져나가면서 공작물이 소성 변형되며 밀려나와 발생하는 풀출현상을 말한다. 이러한 Burr 는 공구와 피삭재 사이의 각, 공구의 회전속도, 이송속도, 피삭재의 종류 등에 의해 형상이 결정되어진다. 그러므로, CAD 및 CAM 데이터와 연관시켜 효율적인 알고리즘을 통하여 검토하는 것은 실제 작업에서 큰 도움을 줄 수 있다.

이 전까지의 연구에서는 피삭재의 형상정보를 CAD 데이터를 통하여 인식하고, 복합적인 형상에 대한 Burr 형성 메커니즘 연구를 수행하였다.

그리고, 이러한 알고리즘을 바탕으로 Burr Expert System 을 개발하였다. 이 Windows 응용프로그램

은 단순한 Burr 의 해석뿐만 아니라 Burr 의 발생구역을 화면에 도시하고 Burr 의 형태를 표현해준다. 그리고, 기존 실험 데이터의 DataBase 를 프로그램 결과와 연동하여 Exit Angle 별로 Burr 의 형상정보를 시각적으로 확인할 수 있도록 하였다.

본 논문에서는 지금까지 개발된 Burr Expert System 의 알고리즘을 응용하여, Face Milling 가공 공정에 있어서 Burr 를 최소화 할 수 있는 최적 가공 경로를 제시할 수 있도록 필요한 요소를 정의하고, 공구가공 경로를 결정할 수 있는 알고리즘을 제시하고자 한다.

#### 2. Burr Expert System

Burr Expert System 은 밀링 가공에서 Burr 가 발생하는 원리를 기하학적으로 해석하여 Burr 의 발생

구역과 형상 등을 Computer 화면에 도시해주고, 이때의 Burr 형상을 기 실험결과 DataBase 와 연동하여 결과 예측을 가능하게 해주는 Windows 응용프로그램 형태의 전문가 시스템이다.

Burr Expert System 은 NC 코드가 저장되어있는 CAM 데이터를 읽어 들이고, DXF 파일로부터 Line, Circle, Arc 그리고 Spline 의 정보를 읽어 들여 형상의 기하학적 정보를 추출한다.[1]

이렇게 추출한 정보로 복합형상을 인식하고 공구의 이동 경로를 인식하여 기하학적인 해석을 통해 Burr 의 생성 영역을 판단하게 된다.

처음 DXF 파일에서 도형의 형상정보를 인식하게 되면 Line, Arc, Circle, Spline 각각 별도로 인식되게 된다. 그러나, 이 각각의 정보만으로는 형상이 어떤지 파악이 불가능하다. 따라서, 몇 개의 형상을 Group 별로 구분 하고, 이들 Group 의 포함 관계에 따라 일괄적인 방향성 설정을 하게 된다.[2]

실제 Face Milling 에서는 NC 파일에 기록되어있는 공구의 절삭경로가 단 방향 절삭경로뿐만 아니라 2 회 이상의 절삭을 수행하는 다중 절삭경로가 포함될 수도 있다. 따라서, 복합형상에서 Multi-Path 를 적용하기위해 단일형상에 대한 Exit Burr 판별을 여러 번 수행 한다. 즉, 첫 번째 경로에 대한 Exit Burr 판별 알고리즘을 수행하고, 이에 변경된 개체정보로 다음 경로에 대한 Exit Burr 판별 알고리즘을 수행하는 방식으로 이후 Multi-Path 의 모든 경로에 대해 계속 판별 알고리즘을 수행하면 된다.

### 3. Exit Burr 최소화를 위한 알고리즘

#### 3.1 Exit Burr 최소화의 목적

Burr 는 가공의 정밀도를 감소시킬 뿐만 아니라 후처리 과정(Deburring)을 야기 시킴으로 인해서 작업효율의 감소 및 생산비의 비효율적 낭비를 가져오게 된다. 따라서, 본 연구에서는 Burr Expert System 의 알고리즘에 이어서 공구의 가공경로의 수정을 통하여 Burr 가 가장 적게 발생할 수 있는 경로를 제시하고자 한다.

D. Dornfeld 는 Milling 가공 시 Burr 를 최소화할 수 있는 공구가공 경로에 대한 연구에서, 결과적으로 공구가 피삭재의 외곽형상을 따라 시계방향(CW)으로 가공하면 Exit Burr 가 거의 발생하지 않는다는 이론을 제시했다.[5]

그러나, 실제 Face Milling 가공에서는 복잡한 가공 경로보다 단순한 C 형 또는 Z 형 다중 가공형태를 주로 사용한다. 가공물에 비하여 공구의 크기가 비교적 클 뿐만 아니라 가공물의 정교한 형상을 고려하여 가공하기엔 비용과 시간이 너무 많이 소요될 수도 있기 때문에, 가공경로의 좌표 수정을

통한 최소화 알고리즘을 수립 해보고자 한다.

#### 3.2 Exit Burr 최소화 측정기준

Burr 최소화 알고리즘을 수립하기 위해서는, 우선 Burr 의 무엇을 최소화해야 할 것인지를 가능할 최소화의 측정 기준이 있어야 하겠다. Table 1 과 같이 Burr 의 정도를 표현할 수 있는 특징적인 요소들로는 Burr 의 총 길이, Burr 의 크기, Burr 의 모양 (Type) 등이 있다.



요 소	내 용	
길 이 (mm)	생성된 Burr 의 총 길이	
크기	Width (mm)	
	Height (mm)	
	Degree (°)	
모 양 (Type A, Type B, Type C)		

Table 1 Element and property of Burr

가장 중요한 요소로는, Burr 를 제거(Deburring)하는데 소요되는 비용 또는 시간 등을 들 수 있다. Burr 최소화의 궁극적인 목적은 후처리(Deburring) 비용의 최소화이므로 가장 중요한 요소가 될 수 있다. 그러나, 후처리 비용은 사용자의 경험에 의존도가 높으므로 정량화 또는 수치화 하기가 어렵고, Burr 의 위치와 형상에 따라 비용이 달라질 수 있다.

때문에 본 연구에서는 Burr 의 길이를 최소화의 기준으로 정하고, 후처리 비용이 상대적으로 클 부분에 대해서 고려해보기로 한다.

#### 3.3 Exit Angle 과 최소화의 관계

Burr 의 크기, 모양 그리고 후처리 등의 특징들은 서로 연관성을 갖고 있다. 가장 큰 연관성은 이들이 Exit Angle 에 따라 달라지는 특징이다.[2] Exit Angle 이 크면 클수록 Burr 의 크기가 커지고, 모양이 일그러지며, 후처리 비용이 많이 소요된다.

또한, 그 정도가 공구와 피삭재의 가공조건에 따라 달라지게 되는데, Fig. 1 과 같이 재료와 Tool 의 가공 상태에 따라 Burr 의 크기가 달라지고, 특히 일반적으로 Burr 의 크기는 Exit Angle 에 따라 변화하게 되는데, 특정 부분부터 Burr 의 크기와 모양이 급격히 커지게 된다.[3]

	Lead angle (L)	Radial Rake angle (r)	Axial Rake angle (a)	Diameter (D)	Insert shape
Tool 1	45°	-6	20	125(mm)	square
Tool 2	0	6	15	125(mm)	triangle

Table 2 Tool geometry for experiment [3]

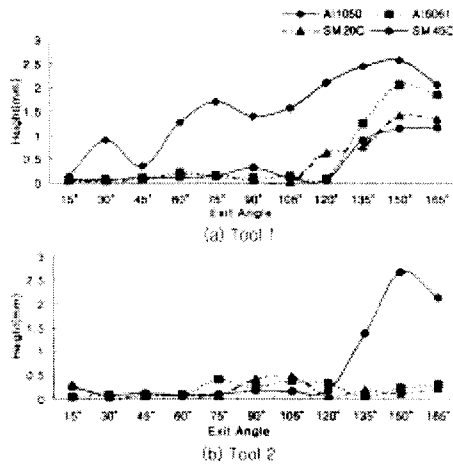


Fig. 1 Variation of burr height according to the change of exit angle [3]

본 연구에서는 Exit Angle 을 최소화하는 측정 기준으로 사용하기 위하여 Critical Angle 개념을 도입하고자 한다. Critical Angle 이란, 특정 가공상황에 대하여 Burr 의 크기가 무시하지 못할 수준으로 커지기 시작하는 시점의 Exit Angle 로서, 실제로 Exit Angle 이 Critical Angle 보다 작은 부분에서는 미미한 Burr 가 발생하고 큰 부분에서는 큰 Burr 가 발생한다고 볼 수 있다.

그렇다면, Critical Angle 보다 큰 Exit Angle 을 갖는 Burr 들의 총 길이를 생각해 볼 때 이를 Critical Burr length 라 한다면, Total Burr length 보다 Critical Burr length 를 최소화하는 것이 더 후처리 비용을 줄일 수 있을 것이다.

따라서, 본 알고리즘의 목적인 후처리 비용의 최소화는 Critical Burr length 의 최소화로 연결된다.

### 3.4 Exit Burr 최소화를 위한 Tool path 의 조정

본 연구에서는 ㄷ형 또는 Z형 다중 가공형태를 유지하는 상황 하에서 Burr 를 최소화 할 수 있는 공구 이동경로를 찾아보고자 한다.

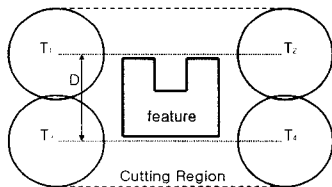


Fig. 2 Element of tool path for burr minimization

공구 이동경로의 좌표를 설정함에 있어서 가공의 실현성을 감안하여 볼 때, 가공 영역의 설계가 중요하다. 즉, Fig. 2 처럼 공구의 cutting region 내에

공작물이 놓일 수 있게 T1, T2, T3, T4 의 좌표 설정과 간격(D) 조정을 해야 한다.

위의 조건 내에서 다양한 Tool-path 를 생성하여 보고, 이들의 Critical Burr length 가 최소가 되는 Tool-path 를 찾아보고자 한다.

### 3.5 Tool path 의 조정 실험

본 연구에서는 Burr 를 최소화 하기 위해 Tool path 를 조정하는 실험을 해보았다.

Burr Expert System 을 이용하여 Tool path 를 조정하면서 Total Burr length 와 Critical burr length 의 변화를 관찰하였다.

Table 3 과 같은 가공 조건 하에서 다음 세가지 방법으로 Tool path 의 조정을 실험해 보았다.

1. 두 path 의 간격은 고정시키고, path 의 y 축을 변화시킴
2. 첫번째 path 는 고정시키고, 두 path 의 간격을 변화시킴
3. 두 path 의 간격을 고정시키고, 피삭재를 중심으로 path 의 진입 각도를 변화시킴

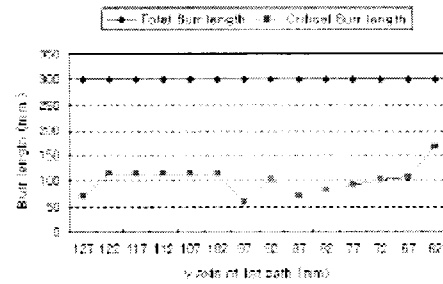


Fig. 3(a) y axis change

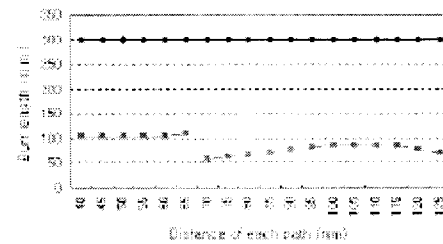


Fig. 3(b) Distance change

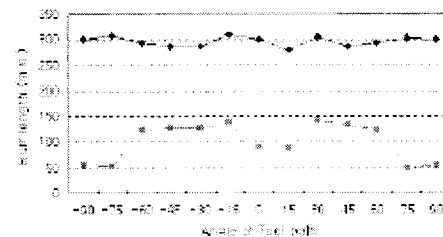


Fig. 3(c) Angle change

Fig. 3 The change of burr length according to the change of elements of tool path

Lead angle (L)	Radial Rake Angle (r)	Axial Rake Angle (a)	Diameter (D)	Insert shape
45 °	-6	20	125(mm)	square
Tool path	Path Style	Feature	Material	Critical angle
NC	'Z'	DXF	Sm45C	120 °

Table 3 Condition of Tool path change test

Fig. 3(a)의 그림은 두 Path의 간격을 고정시키고 Tool path의 y 값을 감소하면서 실험한 결과 이고, Fig. 3(b)의 그림은 첫번째 Path를 특정 위치에 고정시키고 두번째 Path와의 간격을 벌려가면서 실험한 결과 이고, Fig. 3(c)의 그림은 피삭재에 대하여 Tool path의 진입 각도를 변화시키면서 실험한 결과이다.

실험 결과 Tool path를 조정하여도 Total Burr length는 거의 변화를 보이지 않지만, Critical burr length는 Tool path의 상황에 따라 충분히 최소화할 수 있음을 알 수 있다. 따라서, Total Burr length보다 Critical burr length의 개념을 적용하는 것이 더 바람직하다는 것을 다시 한번 확인할 수 있다.

나아가, 앞으로 위의 세가지 고려요소를 적절히 변화시켜 Burr를 최소화 할 수 있는 Tool path를 제시할 최소화 알고리즘을 수립해야 할 목표가 설정된다.

#### 4. 개발 기술의 적용

##### 4.1 Burr Expert System 프로그램

2장에서 소개한 이론적인 알고리즘을 기초로 하여 Milling 가공시 Exit Burr의 발생을 예측하고 기 실험에 의한 정보를 보여주는 Windows 응용프로그램을 개발하였다.

Burr Expert System에서는 Burr가 발생한 부분의 Exit Angle을 계산할 수 있다. Fig. 4는 Exit Angle의 분포를 Color로 표시 표현한 것이다. Color가 Yellow에 가까울수록 Exit Angle의 값이 작고 Burr의 크기가 작을 것이며, Color가 Red에 가까울수록 Exit Angle의 값이 크고 Burr의 크기가 클 것이라고 예상할 수 있다.

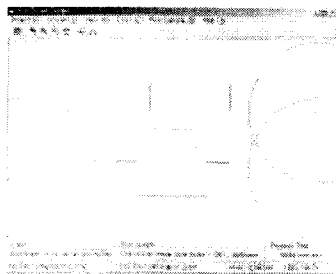


Fig. 4 Specification of critical cutting length according to the critical exit angle

이로써, Critical Angle보다 큰 Exit Angle에 해당하는 Burr의 총 길이를 더하여 Critical Burr Length를 계산할 수 있다.

#### 5. 결론

본 연구에서는 Burr Expert System의 Burr 형성 예측 알고리즘을 개발하였고, 이를 이용하여 Burr를 최소화 할 수 있는 알고리즘을 수립하여 최적의 공구 가공경로를 제시할 수 있는 기반을 구축하였다. 또한, 이를 응용하여 Exit Angle의 분포를 예측할 수 있는 Burr Expert System의 기능을 추가하였다. 그리고, Tool path를 조정하면 Critical angle을 최소화 할 수 있다는 것도 알 수 있었다. 이러한 과정은 궁극적으로 Face Milling 가공시 생성되는 Exit Burr를 최소화하여 작업효율 증대 및 생산비의 효율적 사용을 가능하게 해줄 것이다.

향후 연구 과제로는 Face Milling의 Tool-path에 대하여 다양한 절삭경로를 탐색하여 그 중에서 Exit Burr를 최소화 할 수 있는 최적의 공구 가공경로를 제시할 수 있는 알고리즘을 정립하고, 현재 제안한 Burr 최소화 알고리즘을 수립하여 Burr Expert System의 최적화 시스템을 계획중이다.

#### 후 기

본 연구는 과학기술부의 2001 국가지정연구실 사업(NRL) 지원으로 수행되었음.

#### 참고문헌

1. 김영진, 이제열, 안용진, "임의의 특정형상에 대한 버 발생 메카니즘의 기하학적 해석", 한국 CAD/CAM 학회 논문집, 제 6 권, 제 4 호, pp 222-228, 2001. 12.
2. 김지환, 이장범, 김영진, "임의의 형상 및 다중경로의 해석 Exit Burr 관별 알고리즘 개발", 대한 산업공학회 추계학술대회 논문집, 2002.
3. 한상우, 고성림, "페이스 밀링 가공시 출구버 형성에 관한 연구", 한국정밀공학회지, 제 19 권, 제 8 호, pp.55-62, 2002. 8.
4. D. Dornfeld, "Burr Minimization in Face Milling: A Geometric Approach". ASME, Vol. 119, May 1997.
5. D. Dornfeld, "Geometric Approaches for Reducing Burr Formation in Planar Milling by Avoiding Tool Exits", International Journal of Machine Tools and Manufacture, 2000.
6. 이진우, "CAD / CAM / CAE 시스템", Pearson Education Korea, 2000.