

자유곡선을 포함한 다중형상에서의 Exit Burr 판별 프로그램 개발

이장범, 김영진 (경희대학교)

Jang-Beom Lee, Young-Jin Kim (KyungHee University)

경기도 용인시 기흥읍 서천리 1번지 경희대학교 테크노공학대학 산업공학전공

Abstract

Milling 가공시 공구와 피삭재의 접합면에서는 절삭가공의 잔유물인 Burr가 생성되고, 이러한 Burr는 작업효율과 정밀도를 감소시키며 후처리과정(Deburring)을 야기시키는 원인이 된다. 그러므로 정밀도와 작업효율을 극대화하기 위해서는 이러한 Burr의 생성원리를 파악함과 동시에 Exit Burr의 여부에 대한 판별을 하여 최적의 가공조건을 맞추어 주어야 하는데, 이러한 경우에 지금까지는 점, 선 및 원으로 피삭재의 형상을 재현하여 공구의 경로와의 Exit 각을 통해 결과를 예측하는 연구를 해왔었다.

본 논문에서 추구하고자 하는 핵심은 이러한 피삭재의 형상을 재현하기 위해 지금까지 사용해왔던 요소를 보다 다양화시키는 방안을 제시하여 프로그램의 적용 범위를 넓히려는 것이다. 예컨대 이제까지 실제 가공에서 사용되고 있는 임의형상에 대한 표현 방식 중에서 대다수 CAD 프로그램에서 곡선 및 곡면을 표현하는 경우, B-Spline Curve의 알고리즘은 피삭재의 불규칙적인 곡면을 가장 근사하게 표현하는 최적의 해결책으로 쓰여지고 있다. 그러므로 이러한 알고리즘을 통해 프로그램의 적용예를 넓히는 것은 보다 다양한 형상의 피삭재에서 단일 혹은 복합경로의 공구가 지나갈 경우에 생길 수 있는 Burr를 얼마나 효율적으로 판별할 수 있는지를 소개하고자 한다.

1. 서론

절삭가공 중 피삭재의 두 면이 만나는 모서리 부분에서 공구가 이탈하는 경우, 피삭재의 밀림 현상이 발생하면서 소성 변형을 일으켜 돌출현상이 생기게 되는데, 이를 가리켜 Burr라 한다. 이러한 Burr는 가공정밀도의 저하와 후처리공정(deburring)을 유발하고 생산공정의 병목화로 인한 작업효율성의 저하, 생산비의 비효율적인 낭비를 가져오게 되는데, 이렇게 절삭작업 과정에서 발생하는 Burr는 공구와 피삭재가 만나는 상태에 따라 그 형상이 결정되어짐을 알 수 있다. 따라서 CAD 데이터를 통한 피삭재 관련 정보 및 CAM 데이터를 통한 공구

관련 정보의 연동으로 기하학적인 자료를 프로그램으로 불러들이고, 이를 통해 Burr 생성구역의 예측 및 최소화하는 효율적인 알고리즘을 산출하고자 한다. 아울러 그동안 실행되었던 연구를 기반으로 실제 공정에서와 유사한 환경을 구현하기 위하여 점, 선, 원(구멍), 호(Arc) 등의 임의형상에 곡면으로의 방향을 제시해줄 자유곡선(B-Spline)에 대한 해석을 포함시킴으로써, 보다 다양한 환경에서의 적용을 가능케 하는 방안을 모색하고자 한다.

2. 피삭재 형상의 CAD 데이터 인식

본 연구에서 피삭재의 형상을 인식하는 방법은 CAD 데이터의 기본 형식으로 널리 쓰이고 있는 DXF 파일 포맷을 통해 이루어진다. DXF 파일을 텍스트 형식으로 보았을 때, 일반적으로 특징을 잡는다면 이는 4개의 섹션으로 구분되어 있으며, 각 섹션은 또 다시 여러 그룹으로 나뉘게 된다. 또한 우리가 CAD 프로그램에서 볼 수 있는 여러 다양한 복합 형상의 하나 하나는 각각이 다른 개체로 정의되어 Entity라는 섹션 안에서 독립적인 객체로써 보여지게 된다. 4개의 섹션은 Table 1.에서 보여지는 바와 같이 Header, Tables, Blocks, Entities Section으로 구성되어 있다.

Header Section	DXF 파일의 일반적인 정보
Tables Section	LTYPE, LAYER, STYLE, VIEW, UCS, VPORIT, DIMSTYLE 등의 내용
Blocks Section	각 블록을 구성하는 개체에 대한 정의
Entities Section	도면의 그래픽 객체들(선, 원, 호, 스플라인 ... 등)에 대한 좌표, 크기 등의 정보

Table 1. DXF File의 구성

본 연구에서는 피삭재의 형상인식에만 중점을 두기 때문에 오직 Entities Section의 내용만을 참조하기로 한다. 이 섹션에서는 도면을 구성하는 실제 객체가 표시될 좌표, 크기, 색상 등이 정의되어 있다. 각 객체는 새로운 객체 타입을 나타내는 그룹으로 시작된다.

Entities Section의 Code 내용 중 10, 20, 30, 11, 21, 31로 시작되는 부분은 각각 x, y, z의 시작점 및 끝점 등의 정보를 표시한다. Line, Circle, Arc 그리고 Spline은 이 Code에 의해 그려진다고 볼 수

있으며, 이 Code의 정보를 프로그램에서 읽어들이 형상의 기하학적 정보를 인식한다.

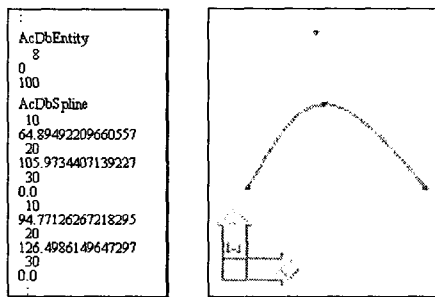
시작 Code	객체 정보
AcDbCircle	Circle, Arc의 기본정보 (중심점, 반지름)
AcDbArc	Arc의 양 끝각 정보
AcDbLine	Line의 양 끝점 정보
AcDbSpline	Spline의 각 조정점 정보

Table 2. Entities Section의 객체 정보

CODE	의미	적용 ENTITY
10 (X좌표)	시작점	Point, Line
	중심좌표	Circle, Arc
	조정점	Spline
11 (X좌표)	끝점	Point, Line
	중심좌표	Circle, Arc
	조정점	Spline
20 (Y좌표)	시작점	Point, Line
	중심좌표	Circle, Arc
	조정점	Spline
21 (Y좌표)	끝점	Point, Line
	중심좌표	Circle, Arc
	조정점	Spline
30 (Z좌표)	시작점	Point, Line
	중심좌표	Circle, Arc
	조정점	Spline
31 (Z좌표)	끝점	Point, Line
	중심좌표	Circle, Arc
	조정점	Spline
40	반지름	Circle, Arc
50	시작각	Arc
51	끝각	Arc

Table 3. Entity Section의 해석

DXF파일의 Entities Section에서는 위의 Table 3.에서처럼 도면을 구성하는 실제 그래픽 객체가 표시될 점의 좌표와 크기, 원과 호의 중심좌표와 각 등이 정의되어 있다. 아울러 자유곡선(B-Spline)에 있어서는 곡선의 시작점, 끝점 및 꼭지점과 조정점 등의 좌표정보가 입력되어 있으며, 이러한 도면의 정보들을 인식함으로써 프로그램에서 실제 형상의 해석을 가능케 한다.



(a) dxf파일 내용 (b) Spline 형상인식
Fig. 1. dxf 파일의 Spline 인식 방법

위에서 말한 바와 같이 Spline은 기본적으로 시작점과 끝점, 그리고 꼭지점으로 구성이 되는데, 여기서 조정점(Control Point)이라는 추가적인 데이터

를 통해 곡선의 세부적인 형상을 실체화하며, 조정점은 곡선의 돌기 내지는 움푹의 정도를 조작할 수 있도록 도와준다.

AutoCAD에서는 NURBS(비균일 유리 B-스플라인)라는 특정 형식의 Spline이 사용된다. NURBS는 조정점들 사이에 부드러운 곡선을 만드는데 유용하며, 이러한 곡선을 이용하여 거의 모든 형태의 곡선 및 곡면을 표현할 수 있다. AutoCAD로 작성된 DXF 파일을 살펴보면 Fig 1. (a)와 같은 수치를 얻을 수 있는데, 64.894... 105.973... 등의 숫자는 곡선의 시작점을 의미하며, 같은 방식으로 꼭지점 및 조정점의 정보 역시 DXF 파일에서 얻을 수 있다.

3. 복합형상의 인식

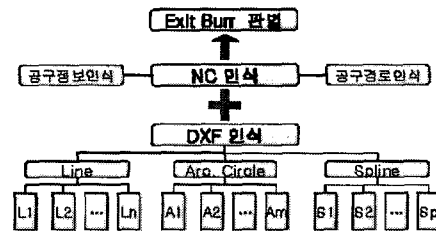


Fig 2. 복합형상 인식을 통한 Burr 판별

실제 절삭가공에 사용되는 피삭재의 형상은 Line과 Circle 및 Arc, 그리고 이들만으로 표현하기 어려운 Spline의 조합으로 재현할 수 있으며 Fig 2.는 이러한 피삭재 형상 인식에 대한 구조를 보여주고 있다. Fig 2.에서와 같이 여러 가지 형상이 혼합되어있는 복합형상의 경우에는 하나의 DXF파일 내에 두 가지 이상의 개체가 같이 표현되어있다.

우선 DXF파일의 인식 과정에서 Line과 Arc, Circle 및 Spline이 혼합되어있는 형상일 경우, 각각의 형상을 분리하여 인식하는 작업이 먼저 수행된다. 가공에 필요한 공구정보인 가공 시작지점과 가공 종료지점 등은 NC파일에서 인식되며, 이렇게 인식된 공구정보는 피삭재의 구성을 이루고 있는 형상에 따라 Exit 영역을 판별하는데 공통적으로 쓰인다.

그리고 각각의 형상은 Exit 영역 판별 알고리즘이 다르므로 분리되어 인식한 각각의 개체에 대해 Exit 영역을 판별한다. 이렇게 판별된 영역은 도시과정에서 합쳐진 후 공구정보와 함께 도시되고, Exit Angle 알고리즘을 거쳐 산출된 Exit Angle에 따라 Database를 호출하여 결과화면을 출력한다.

4. DXF 데이터를 이용한 Spline 형상의 구현

Spline 중에서도 NURBS(B-Spline)은 대다수의 CAD 프로그램에서 표준으로 자리잡은 자유곡선이 다. 이는 매개변수에 따라 곡선의 굽곡 정도를 결정하는 방식으로 다양한 형태의 곡선을 표현하는데 있어서, 지금까지 선보인 그 어떤 곡선 방식보다 탁월한 표현력을 자랑한다. 그렇다면 일반적인 Spline의 형태는 어떠한지 알아보자. Fig 3.에서 보여지는 곡선은 대부분의 CAD 프로그램에서 만들어지는 Spline 즉, NURBS의 형태이다. 이와 같이 두 개의 꼭지점이 있는 곡선의 경우, 사용자는 P1, P2, P3, P4, 네 개의 점을 입력해주어야만 한다. 그리고 이렇게 네 개의 점을 입력할 경우 알고리즘

내에서 추가로 P5, P6, P7, P8, 네 개의 조정점이 생성된다. 곡선은 필히 P1~P4까지의 점을 지나가게 되고 P5~P8는 곡선의 굽곡 정도를 조정하는 점으로써의 역할을 수행하게 된다.

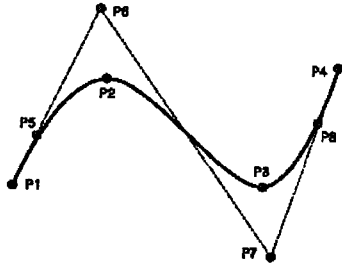


Fig 3. NURBS의 일반적인 형상

다음으로는 본 연구에서 개발한 프로그램에서의 Spline 형상을 구현하는 과정을 살펴보겠다. 우선 AutoCAD에서 만들어진 DXF 파일에서 추출한 곡선의 시작점, 끝점 및 꼭지점과 조정점 등의 좌표를 추출한다. 그리고 B-Spline 알고리즘을 통해 AutoCAD를 이용하여 구현한 피삭재를 프로그램 내에서 실물과 근사하게 구현한다. 여기서 중요한 점은 AutoCAD의 B-Spline을 구현하는 과정에서 실제 곡선의 합수를 그대로 적용하지 않는다는 것이다. 대신 "Cox de Boor"라고 알려진 알고리즘을 통해 곡선을 근사하게 만들어주는 방법을 선택하였다. 이는 프로그램으로의 구현의 과정에서 보다 쉽게 알고리즘을 적용 및 변형시킬 수 있다는 장점과 함께, 프로세서가 계산하는 과정을 줄여줌으로써 프로그램의 실행 속도를 높여주는 데에 크나큰 요인으로 작용하고 있다. 이러한 Spline의 형상의 구현은 향후 본 연구에서 다루게 될 3차원 곡면에서의 Exit Burr 편별 알고리즘 개발에 있어 가장 중요한 부분을 차지하게 될 것이다.

5. Spline 형상에 대한 Exit Burr의 기하학적 해석

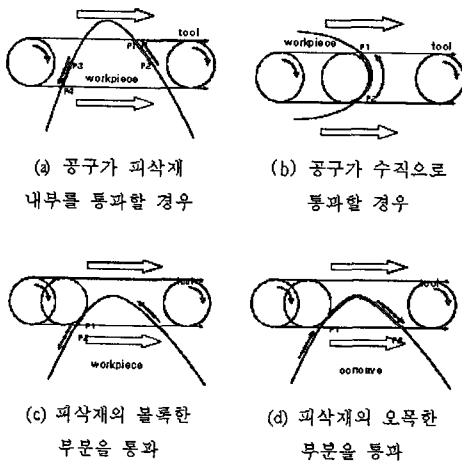


Fig 4. Spline 형상에 따른 Exit Burr의 생성

Spline에서 생성되는 Burr의 영역은 기본적으로 Arc에서 보여지는 부분과 유사한 점이 많다. 피삭재의 방향성, 그리고 공구의 진행 경로 및 통과범위의 상관관계에 의해 아래 그림과 같은 몇 가지 경우로 Burr 형성을 예측할 수 있다.

Fig 4.에서 (a), (b)는 공구가 피삭재의 측면에서 경로를 생성하며 지나가는가 아니면 수직 방향으로 지나가는가에 따른 Burr 생성의 영역을 보여주고 있다. 그리고 아래에 위치한 (c), (d)는 Spline 형상의 피삭재가 Convex(볼록한 형상)인지 아니면 Concave(오목한 형상)인지에 따라 다르게 생성되는 Burr 영역을 예측하여 보여주고 있다.

6. Exit Angle의 계산

6.1 Exit Angle에 대한 분석

Burr의 모양은 공구가 피삭재의 모서리부분에서 어떻게 깎아 나오는가에 의하여 결정된다. 즉, 공구가 객체를 절삭하는 방향에 따라서 Burr의 모양이 달라진다고 할 수 있겠다. 우리는 이것을 Exit Angle 이라 부르는데, 이를 기하학적인 해석을 통하여 임의의 부분에서 Exit Burr가 어떤 모양으로 생성되는가를 추측할 수 있게 된다. 따라서, Exit Burr는 공구의 Exit region 부분에서 발생하고, Exit Angle 또한 Exit region에서 의미가 있다고 할 수 있다.

Exit Angle의 정의는 Exit Burr가 생성된 임의의 점에서 공구가 절삭하는 방향과 피삭재의 방향벡터와의 사이각으로 정의할 수 있다. 여기서, 공구는 회전절삭하기 때문에 임의의 점에서 공구의 절삭 방향은 그 점에서 공구의 접선벡터를 의미한다.

피삭재의 형상이 어떻게 생겼느냐에 따라 Exit Angle의 기하학적 계산의 방법이 달라지게 된다. 따라서, 본 연구에서도 Line, Arc 또는 Circle, Spline에 따라서 Exit Angle의 계산을 각기 달리 수행하게 된다.

Exit Burr의 모양은 공구의 회전속도, 이송속도 등의 정보와, 피삭재의 재료 그리고 Exit Angle에 따라서 달라지게 된다. 이전에 여러 가지 조건에서 Exit Angle에 따라 Burr의 모양이 어떻게 달라지는지 실험을 통하여 Database를 구축해 놓았다. 따라서, 프로그램을 통하여 계산된 Exit Angle 값으로 Database를 검색하여 이전의 실험에서 어떤 결과를 보여주었는지를 제공하게 된다.

6.2 Spline의 Exit Angle 계산

Spline에서의 Exit Angle은 아래 Fig 5.에서 보는 바와 같이 ϕ 로 표현될 수 있다. 아울러 공구는 A_1 에서 A_2 로 이동하며 절점인 X_1 은 사용자가 선택하는 임의의 점이 된다.

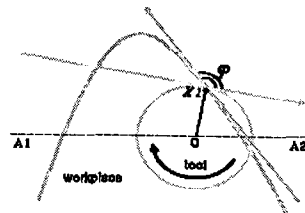


Fig 5. Spline의 Exit Angle 계산

선택된 점 X_i 을 기준으로 공구의 중심좌표를 산출하여 공구 가공방향의 수직벡터, 즉, 공구회전의 접선 벡터 - 그리고 Spline 상의 임의의 점 (X_i)에서의 접선의 방정식에 의한 벡터를 산출하여, 이 두 벡터를 통해 앞의 식에 의해 Exit Angle(ϕ)을 산출하는 것이다. 임의의 X_i 점에서의 접선 벡터는 Spline의 미분식으로부터 구해진다.

7. 개발된 알고리즘의 적용

7.1 Spline을 적용한 프로그램의 실행

우선 프로그램을 실행시키면 Fig 7.와 같은 창이 뜨게 된다. 이는 DXF 와 NC 데이터를 입력받아서 공구와 피삭재의 정보를 추출해내는 과정을 수행하는 부분이다.

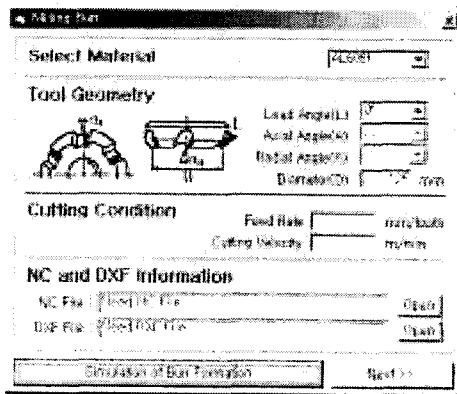


Fig 7. DXF와 NC를 받아들이는 부분

사용자는 공구의 관계된 자료를 임의로 선택할 수 있으며, 피삭재 종류, 공구의 형상(Lead Angle, Axial Angle, Radial Angle)에 관한 정보를 선정할 수 있다. 또한, 절삭조건을 포함하고 있는 CAM 데이터를 선정하여 절삭조건에 관한 정보 및 CAD 데이터를 입력받을 수 있다.

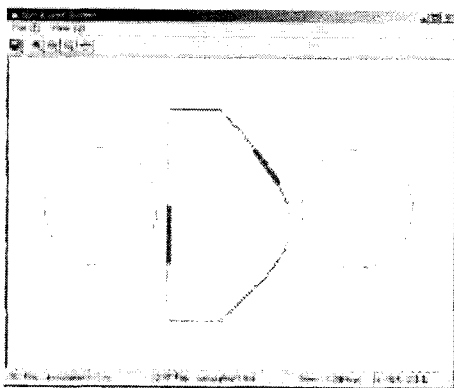


Fig 8. Spline 형상에서의 Exit Burr를 판별

DXF와 NC 데이터를 입력받게 되면 이를 토대로 프로그램 상에서 절삭가공의 모습을 재현한 Fig 8.과 같은 화면을 볼 수 있는데, 여기에 사용되어진 피삭재 형상은 Line과 Spline이 혼재된 형태이다. 그림에서 보이는 바와 같이 두꺼운 선으로 표시된

부분이 바로 원 모양의 공구가 D자 모양의 피삭재 위를 지나갈 경우 생성되는 Exit Burr의 영역이다. 또한 사용자가 표현된 임의의 Exit 영역을 선택하게 되면 그 부분에 대한 상세 정보를 결과 화면에서 얻을 수 있다.

7.2 결과화면

아래 보여지는 Fig 9.은 본 프로그램의 최종적인 결과화면이다. 인식된 DXF 및 NC의 데이터와 선택된 조건을 기반으로 산출된 Exit Angle 및 Burr의 크기를 나타내어주며, 화면 하단에서는 그동안의 실험을 통해 얻어진 DB를 기반으로 실제 그 조건 하에서 나타나는 Exit Burr의 형상을 제공해 주고 있다. 이렇듯 사용자는 프로그램에서 제공하는 조건을 통해 각각의 절삭가공 조건에 따라서 Exit Burr가 어느 부위에 얼마만큼 생기는데에 대한 예측을 보다 쉽게 할 수 있는 것이다.

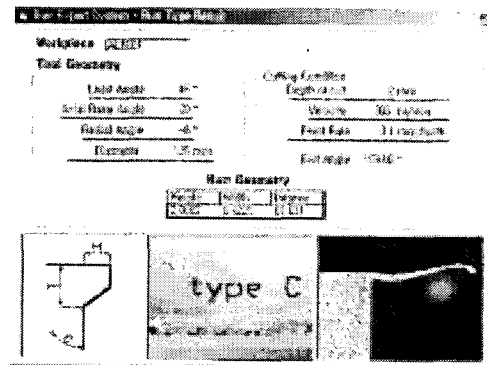


Fig 9. 결과화면(Exit Angle 및 Burr Type 도출)

8. 결론 및 향후과제

본 연구에서는 점, 선, 원, 호(Arc) 뿐만 아니라 추후 3차원 곡면으로의 교두보 역할을 해주게 될 자유곡선(B-Spline) 형상을 포함한 임의의 형상에 대한 분석을 하였다. 그리고 이러한 분석을 토대로, CAD 프로그램에서 자주 사용되어지는 파일을 사용하여 프로그램에서 받아들이고 그 형상을 구현하도록 하는 방안을 연구하였다. 이러한 연구는 공구정보와의 연산을 통해 Milling 가공시에 Exit Burr가 발생되는 구역을 유도할 수 있으며, Exit Angle을 구해내는 과정에서 우리는 어떠한 종류의 Exit Burr가 발생하고 있는지를 알 수 있게 되었다. 이러한 과정은 궁극적으로 Milling 가공시 생성되는 Exit Burr를 최소화하여 작업효율 증대 및 생산비의 효율적 사용을 목적으로 한다.

향후에는 Spline을 포함한 모든 복합형상이 구현된 상황에서의 다중 경로에 대한 해석이 필요할 것이다. 이는 단일 경로에서 고려하지 못했던 부분 즉, 공구의 두 번째 경로가 이미 가공된 영역에 부분적으로 포함되는 경우에 대한 Exit Burr의 생성 여부 등의 이론들을 구체화할 것이다.

그리고 이를 통해 보다 현실적이고 체계적인 절삭 가공 공정을 예측하여 어떠한 작업 조건에서도 Exit Burr를 최소화 할 수 있는 최적화 시스템을 구현하는 것이 주요 관심사가 되어야 할 것이다.

한국경영과학회/대한산업공학회 2003 춘계공동학술대회
2003년 5월 16일-17일 한동대학교(포항)

9. 참고문헌

1. 김영진, 이재열, 안용진, "임의의 특징형상에 대한 버 발생 메카니즘의 기하학적 해석" 한국 CAD/CAM학회 논문집
2. D. Dornfeld, "Burr Minimization in Face Milling : A Geometric Approach", ASME, Vol. 119, May 1997.
3. AutoCAD 2002 Reference Manual, Autodesk Inc., 2001.
4. Vera B. Anand, "Computer Graphics & Geometric Modeling for Engineers", WILEY, 1993.
6. 이진우, "CAD/CAM/CAE 시스템", 피어슨 에듀케이션 코리아, 2000.
5. 이형배, "이형배의 비주얼 페이지 6", 사이버출판사, 1998.