대한산업공학회/한국경영과학회 2002 춘계공동학술대회
한국과학기술원(KAIST) 2002년 5월 3일~4일

Exit Burr 판별 알고리즘의 개발
- 임의형상 및 다중경로의 해석 -

김영진, 이장범, 김지환(경희대학교)
Young-Jin Kim, Jang-Beom Lee, Ji-Hwan Jim(KyungHee University)
경기도 용인시 기흥읍 서천리 1번지 경희대학교 공과대학 산업공학과

Abstract

금형가공에서 사용되는 밀링머신의 가공시 공구와 피삭재의 접합면에서는 절삭가공의 잔유물인 버(Burr)가 생성되고, 이러한 버는 작업효율과 정밀도를 감소시키며 후처리과정(Deburring)을 야기시키는 원인이 된다. 그러므로 정밀도와 작업효율을 극대화하기 위해서는 이러한 버의 생성원리를 파악함과 동시에 Exit 버 판별을 하여 최적의 가공조건을 맞추어 주어야 하는데, 이에 밀링가공을 통해 생성되는 버의 형태와 Exit각 등을 파악, 알고리즘으로 개발하여 좀 더 효율적인 가공조건을 제시하고자 한다.

본 논문에서는 이제까지 개발된 실제 가공에서 사용되는 임의형상의 데이터를 통해 점, 선, 원 및 원호(Arc)에 이르는 형상을 인식하는 Exit 버 판별 시스템을 소개하고자 한다. 아울러 실제 가공과 더욱 유사한 환경을 만들기 위해 단일 경로에서부터 다중경로에 이르는 복합적인 환경 구현은 물론 점과 선으로 이루어진 도형과 원(구멍) 형태의 피삭재 환경을 통합, 두 가지 다른 형태의 환경이 복합적으로 존재할 경우의 Data를 인식하고 아울러 다양한 방향성을 가진 선으로 이루어진 형상에 이르기까지의 다양한 피삭재 Data를 구현하고, 입력된 절삭조건을 해석하여 임의형상을 가진 다양한 피삭재에서의 단일 및 다중 가공 경로 상에서 발생될 버를 해석하고 최소화 및 최적 절삭가공공정을 찾아 작업 효율성을 극대화하는 목적의 해석 알고리즘을 Windows 프로그램으로 구현하고자 한다.

1. 서론

페이스밀링 가공 중 피삭재의 두 면이 만나는 모서리 부에서 공구의 이탈시 피삭재의 밀림 현상이 발생하여 소성 변형을 일으킨 모서리부의 돌출 현상이 생기게 되며, 이를 가리켜 버(Burr)라 한다. 이러한 버는 가공정밀도의 저하와 후처리공정(deburring)을 유발하고 생산공정의 병목화로 인한 작업효율성의 저하, 생산비의 비효율적인 낭비를 가져오게 되는데, 이렇게 절삭작업 과정에서 발생하는 버는 공구와 피삭재가 만나는 상태에 따라 그 형상이 결정되어짐을 알 수 있다.[1] 따라서 CAD 데이터를 통한 피삭재 관련 정보 및 CAM 데이터를 통한 공구 관련 정보의 연동을 통하여 기하학적인 자료를 프로그램으로 유입, 이를 통한 버 생성 구역의 예측 및 최소화하는 효율적인 알고리즘을 산출하고자 한다. 그동안 실행되었던 연구를 기반으로 실제공정에서와 유사한 환경을 구현하기 위하여 점, 선, 원(구멍), 호(Arc) 등의 임의형상에 대한 해석과 단일 절삭 가공경로에서부터 실제 절삭공정에서 사용되는 다중 절삭가공경로에 이르기까지의 해석이 가능한 버 예측 최소화 알고리즘을 개발하였다.

이는 실제가공 공정에서 이용될 수 있도록 피삭재 도면을 프로그램으로 유입하고 CAM 데이터를 통하여 절삭조건을 입력받아 이를 해석하여 프로그램 상에서 절삭경로와 피삭재에 대한 정보를 인식, 보다 체계적으로 절삭작업과 동일한 상황을 구현하였다.

2. 피삭재 형상의 인식

2.1 CAD 데이터에 의한 형상정보

일반적으로 도면에서 제공되는 피삭재의 정보는 CAD 데이터로 제공된다. DXF 파일의 해석을 통해 Polygon 이외에 원이나 호 등을 인식할 수 있다. 따라서 본 프로그램에서는 CAD 데이터의 DXF 파일 포맷으로 제공되는 경우에 대한 형상인식을 수행하고자한다.[3]

2.1.1 원 및 원호에 대한 형상인식

먼저 Entities Section의 code 따라 도형을 인식하여 특징형상을 해석하게 된 경우 프로그램 상으로의 유입을 위해 방향성을 탐색 결정하여야 한다.

Arc는 특징상 중심점을 기준으로 회전하는 점을 연결해놓은 것이므로 x축 양의 방향의 축을 시초선 0° 로 하여 CCW의 방향으로 방향성을 갖게 한다. 즉, 원은 0° 부터 DXF에서 인식된 반지름을 중심으로 CCW의 방향으로 회전시킨 것이다. 원호의 경우, 인식된 code 50(시작각) 0° 를 기준으로 반지름을 CCW의 방향으로 회전, code 51(끝각)까지를 연결한 것으로 방향성을 통일 할 수 있다.

2.2.3 복합형상의 형상인식

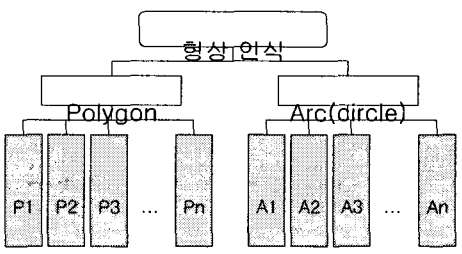


Fig.1 복합형상의 형상인식

Polygon과 Arc가 혼합되어있는 복합형상의 경우에는 하나의 DXF파일 내에 두 가지 개체가 같이 표현되어있다. Polygon의 경우에는 DXF파일 내에서 Line 명령줄이 나타났을 때 인식이 시작되며, Arc의 경우에는 원이나 원호 등을 인식할 수 있으므로 Circle과 Arc 명령줄이 나타났을 때 인식이 시작된다. Polygon, 혹은 Arc의 좌표정보를 모두 입력받게 되면 인식을 종료하고 다음, 좌표정보 인식을 준비한다. (Fig.1)

3. Exit 버 영역의 산출

피삭재의 형상인식후 실제 절삭가공에서 발생될 Exit 버를 판별하기 위하여 절삭에서 발생될 Exit 버 영역을 산출하고자 한다.

3.1 일반적인 Exit 버 생성 원리

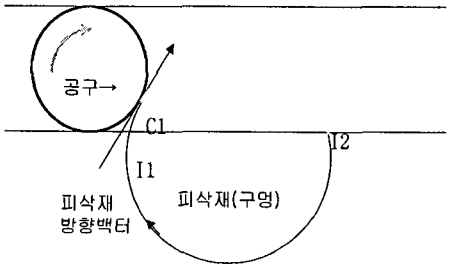
이미 연구했던 바와 같이 일반적으로 Exit 버는 피삭재의 edge부분에서 공구의 절삭영역 내에 생성된다.[1] 이때 Exit 버의 생성 원리를 살펴보면, 공구의 절삭 이동 과정에서 피삭재와 최초로 접하는 점에서부터 피삭재의 방향백터 방향으로 생성되게 된다.

3.2 Circle의 경우

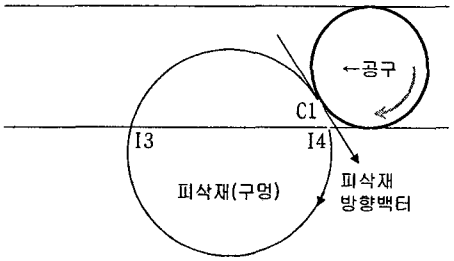
DXF파일의 해석에 의해 인식된 원(구멍)과 호의 경우 다양한 경로에 대하여 절삭 실험을 통하여 공구의 크기와 피삭재의 크기와의 상관관계에 의해 다음 4가지의 경우로 절삭경로를 갖고 절삭경로에 따라 버발생 영역이 공통적인 결과를 갖는 다는 결과를 갖게 되었다.(Fig.2)

우선 공구의 가공 경로의 양 끝단 경로중 공구 이동에 대하여 오른쪽에 있는 경로를 '공구의 오른쪽 가공경로'라고 하고, 왼쪽에 있는 경로를 '공구의 왼쪽 가공경로'라고 한다면, 버 발생영역은 ①의 경우 공구와 피삭재와의 접점 C_1에서 피삭재의 방향 백터를 따라 공구의 오른쪽 가공경로와의 교점 I_2 사이 ②의 경우 공구와 피삭재와의 접점 C_1에서 피삭재의 방향 백터를 따라 공구의 왼쪽 가공경로와의 교점 I_4사이에서 버 발생영역이 형성되며 ③의 경우는 피삭재와의 외접점 C_1에서 방향 백터를 따라 공구의 왼쪽가공 경로와의 교점 I_4사이에서 발생하고 가공 후 피삭재와의 내접점 C_2에서 방향 백터를 따라 공구 의 오른쪽 가공경로와의 교점 I_2사이에서 버가 발생한다. ④의 경우는 피삭재와의 외접점 C_1에서 다음 공구와 피삭재와의 내접점 C_2사이에서 버가 발생됨을 다양한 절삭가공실험을 통해서 결과를 얻게 되었다. (Fig.2)

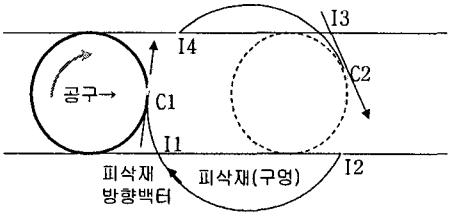
① 공구의 오른쪽 가공경로만 통과할때



② 공구의 왼쪽 가공경로만 통과할때



③ 공구의 양쪽 가공경로가 통과할때



④ 공구가 피삭재를 포함하여 통과할때

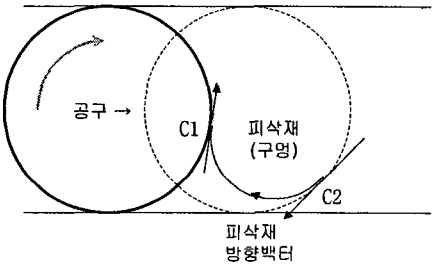


Fig.2 원(구멍)과 호의
Exit Burr 발생영역

3.3 Arc의 경우

3.3.1 Arc의 요소 인식

Arc는 Circle의 일부분으로 해석할 수 있다. 단, 그 일부분을 표현하기 위한 parameter가 필요한데, 위에서 언급했듯이 DXF등의 CAD 데이터 형식에서는 Arc의 각 끝점을 각도로써 표현하고 있다.

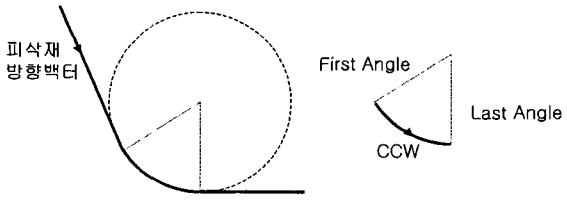


Fig.3 Arc의 요소

따라서, Arc의 버 영역 판별에 있어서도 Circle과 같은 형식의 판단이 필요하다. 버 영역 판별에 있어서 가장 중요한 것이 피삭재의 방향 백터이기 때문에 Arc의 버 영역 판별에 앞서서 방향(CW/CCW)과 각 점의 순서를 인식해 놓을 필요가

있다. 즉, 직선백터의 경우와 마찬가지로 시작점의 각과 끝점의 각을 분명히 해야하고, CW 및 CCW를 반드시 명시해야만 한다. (Fig.3)

여기서 주의해야 할 것은 인식하고자 하는 Arc가 CW 라고 해서 각 점에 해당하는 각을 CW의 방향으로 계산하여 표현한다면, 실제 CAD 데이터의 형식과 혼란이 있을수도 있으므로 각의 표현만은 CCW의 방향을 따르도록 해야한다.

3.3.2 Arc의 버 영역 산출

Arc의 경우 버가 생기는 원리는 Circle과 동일하다. 따라서, Arc의 버 영역을 판단하기 위해서는 Circle의 버 영역 판단방식을 따라야 한다.

Arc의 양 끝점을 방향백터 순으로 A1, A2라 할 때, Arc의 버 영역을 산출하기 위해서는 먼저 Arc를 포함하는 가상의 Circle을 설정하고 Circle의 버 영역을 판단하는 알고리즘을 수행한다. 그렇다면, Circle의 버 영역 판단과정 중에 공구의 이동경로에 따른 절삭영역의 끝점 I1, I2 들을 구할 수 있게된다. 만약 Arc가 이 절삭 영역에 포함 되어있다면, 가상 Circle의 버 발생영역과 Arc의 영역이 중복되는 지점인 A1과 I2 사이에서 버가 생성된다. (Fig.4)

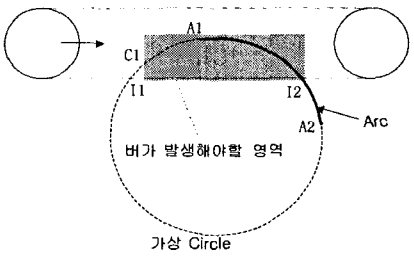


Fig.4 가상 Circle을 이용한 Arc의 버 영역 판단

따라서, Arc의 버 영역은 가상 Circle의 버 발생영역과 Arc의 영역이 중복되는 부분으로 산출 할 수 있다. 이때, 버 발생 구간은 최대 3개의 영역으로 나눠질 수도 있다. 이들은 추후 버 영역을 화면에 도시할 때, 각각 또 다른 Arc로써 취급하여야 한다.

4. Exit 각의 계산

4.1 점으로 해석된 경우

Exit각은 공구와 피삭재가 만나는 부분의 사이각으로 정의할 수 있다. 다음의 경우 공구의 회전방향 벡터와 피삭재의 방향 벡터에 의해서 표시된 φ를 이 부분에 있어서 Exit 각으로 정의할 수 있다. (Fig.5)

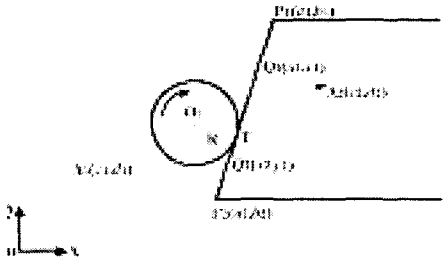


Fig.5 점, 선의 Exit Burr 발생영역

공구의 이동경로인 $A_1(c_1, d_1)$, $A_2(c_2, d_2)$와 공구와 피삭재의 접점인 $X_2(x_2, y_2)$는 주어져 있다고 볼 수 있다. 접점인 X_2는 사용자가 선택하는 점을 인식하여 그 좌표에서의 Exit 각을 계산하게된다.

4.2 원(구멍)과 호의 경우

Fig.7에서처럼 공구가 피삭재를 가공하는 과정에서의 Exit 각은 공구의 원점에서의 회전방향벡터와 수직 벡터와 피삭재의 수직인 방향 벡터 사이의 각(φ)으로서 표현이 된다. (Fig.6)

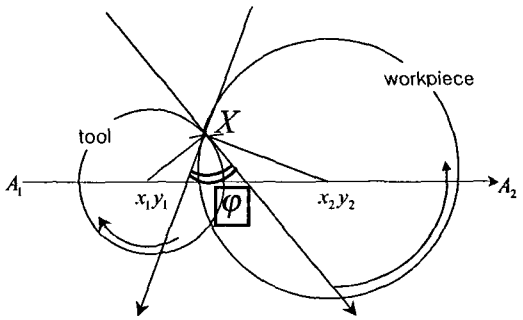


Fig.6 원(구멍)과 호의 Exit 각 해석

그림에서 공구는 A_1에서 A_2로 이동하며 X는 사용자가 선택하는 임의의 점이 된다. 선택된 점을 기준으로 공구의 중심좌표를 산출하여 공구의 가공방향의 수직 백터와 피삭재 회전방향과의 수직인 벡터를 산출하게 된다. 이때 피삭재의 edge를 $\underset{\sim}{u}$, 공구를 $\underset{\sim}{v}$ 라 하면,

Exit 각 $\varphi = \cos^{-1}\dfrac{\underset{\sim}{u}\cdot\underset{\sim}{v}}{\|\underset{\sim}{u}\|\,\|\underset{\sim}{v}\|}$ 가 된다.

5. 다중경로의 해석

NC파일에 기록되어있는 공구의 절삭경로는 단방향 절삭경로뿐만 아니라 2회 이상의 절삭을 수행하는 다중 절삭경로가 포함될 수도 있다. (Fig.7)

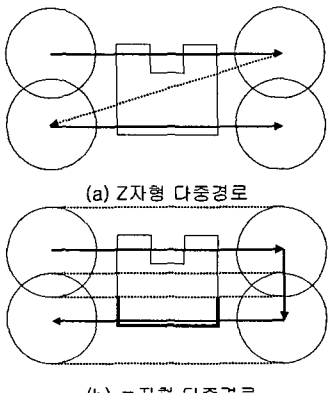


Fig.7 다중 절삭경로의 모형

Fig.7(a)에서 실선은 절삭경로를, 눈금선은 절삭은 수행하지 않고 공구가 이동하는 경로를 나타낸다. 이 두 가지 경로는 NC 파일을 해독하여 Z축 방향의 위치값이 0인지 양수인지의 여부로 결정된다. Z축 방향의 위치값이 0일 경우에는 피삭재에

접촉한 상태로 절삭을 수행하는 경로가 될 것이고 0이 아닌 양수값을 가질 경우에는 피삭재 위에서 접촉하지 않은 채 이동만 하는 경우가 될 것이다.

Fig.7(b)의 예에서 볼 때, 2차 절삭 중 1차 절삭과 중복되는 부분은 무시하고 굵은 선으로 표시되는 부분만 2차 절삭으로 인정한다.

각각의 절삭경로에 대하여, 발생한 버 영역을 DATABASE에 저장 하고, 추후 해당 절삭경로에 대한 버 영역 정보를 검색할 수 있게 한다.

그리고, 다중 절삭 시 피삭재가 절삭되고 남은 결과를 각각 수정해주어 만약 추후 중복절삭이 수행될때 이 전의 절삭영역에 포함된다 하더라도 Exit 영역을 판단할 때 이 부분을 무시하고 중복되지 않는 부분만 고려하도록 한다. (Fig.8)

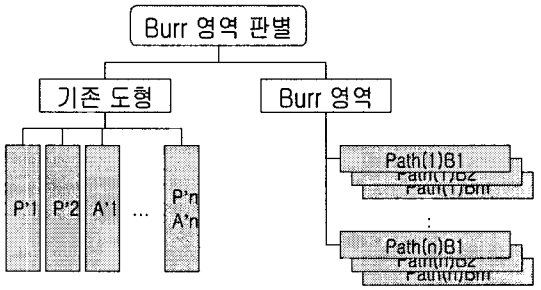


Fig.8 다중 경로에 의한 Burr영역 판별

6. 복합형상의 피삭재에 대한 알고리즘

실제 절삭가공에 사용되는 피삭재의 형상은 직선형 Edge(Polygon)와 구멍, 원호(Arc) 등이 복합적으로 구성되어있는 경우가 다수를 차지하고 있으며, 이에 따라 지금까지 연구해온 임의 형상 및 원, 원호가 합쳐진 복합형상에 대한 알고리즘을 구현하였다. 다음의 그림은 복합형상의 피삭재에 대한 Exit Burr 판별 알고리즘이다. (Fig.9)

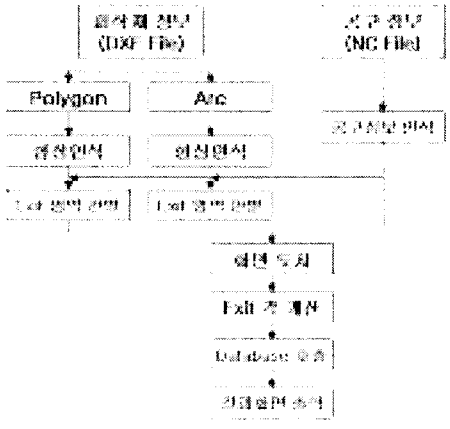


Fig.9 다중 절삭경로의 모형

DXF파일의 인식과정에서 Polygon과 Arc가 혼합되어있는 형상일 경우, Polygon과 Arc를 분리하여 인식하는 작업이 먼저 수행된다. 가공에 필요한 공구정보인 가공 시작지점과 가공 종료지점 등은 NC 파일에서 인식되며, 이렇게 인식된 공구정보는 피삭재의 직선과 원으로 이루어진 Exit 영역을 판별하는데 공통적으로 쓰인다.

Polygon과 Arc는 Exit 영역 판별 알고리즘이 다르므로 분리되어 인식한 각각의 개체에 대해 Exit 영역을 판별한다. 이렇게 판별된 영역은 도시과정에서 합쳐진 후 공구정보와 함께 도시되고, Exit 각 알고리즘을 거쳐 산출된 Exit 각에 따라 Database를 호출하여 결과화면을 출력한다.

7. 적용

위에서 산출된 이론적인 알고리즘을 기초로 하여 실제가공 시 Exit 버를 판별하는 프로그램을 Windows 환경에서 개발하였다.[5]

7.1 밀링 버 프로그램 실행화면(Fig. 10)

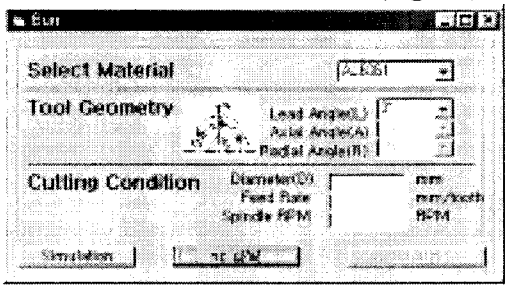


Fig.10 Milling Burr
Program Execution Screen

(Fig.10)은 밀링 버 프로그램의 초기화면을 보여준다. 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.

7.2 버 형상 윈도우

아래에 나열된 화면들은 인식된 데이터를 기반으로 윈도우 화면에서 절삭 가공모습을 도시한 것이며 이를 통해 사용자는 각 형상에 따른 Burr의 생성 영역을 알 수 있다. 또한 사용자가 표현된 임의의 Exit 영역을 선택하게 되면 그 부분에 대한 상세 정보를 결과 화면에서 얻을 수 있다.

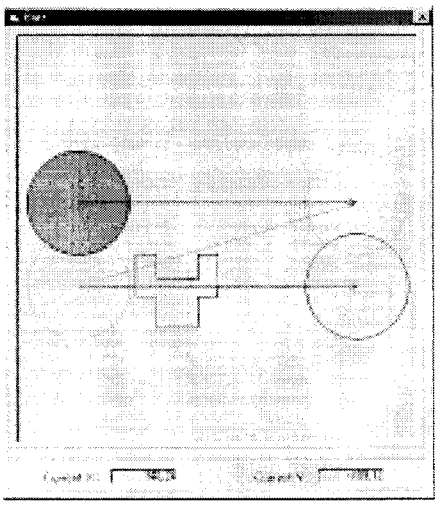


Fig.11 Polygon으로 구성된 피삭재

화면은 Polygon으로만 구성되어있는 피삭재에서의 다중경로에 의한 절삭을 보여준다. 여기서 공구는 첫 번째 경로로 진행을 마친 후에 돌아와서 두 번째 경로로 이동하게 되며, 이러한 진행방향에 따라 계속해서 추가되어 버가 생성됨을 알 수 있다. (Fig.11)

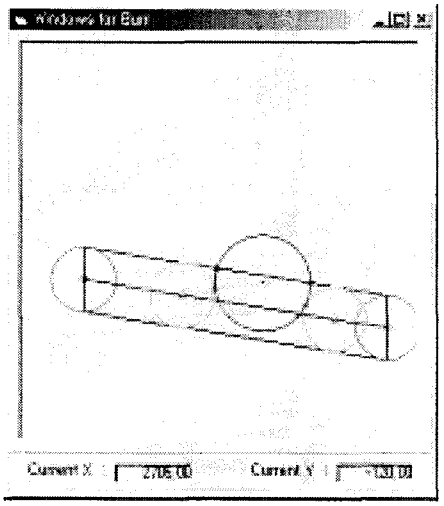


Fig.12 원형 구멍이 있는 피삭재

두 번째 화면은 원형 구멍이 있는 피삭재에 대한 절삭결과와 버의 생성 영역을 보여준다. 화면에서 보는 바와 같이 공구가 원형 구멍에 접하면서 Exit 버를 생성함을 알 수 있다. (Fig.12)

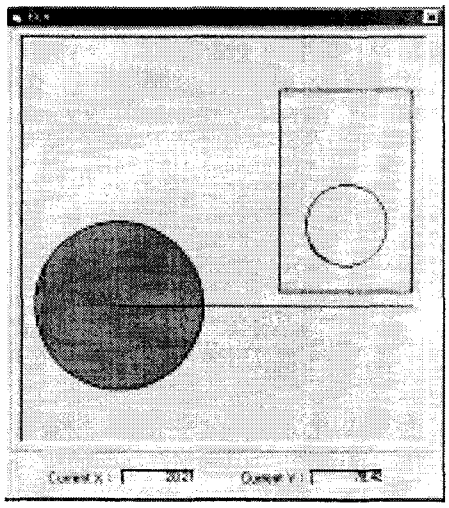


Fig.13 Polygon과 Arc의 피삭재

세 번째 화면은 Polygon과 Arc가 혼합되어있는 복합형상에 대한 버 형상 윈도우이다. 위의 두 화면에서 보여지는 직선과 원에 대한 버를 하나의 화면에 도시하고 있다고 생각하면 이해하기가 쉽다.

이러한 복합형상에서도 역시 공구가 Arc와 Polygon의 Exit 영역에서 표시 부분과 같은 버를 생성하고 있다는 것을 알 수 있으며, 이를 통해 좀 더 많은 형상이 포함되어 있는 피삭재에까지 Exit 버 영역 판별 알고리즘을 완벽하게 적용할 수 있는 가능성을 보여주고 있다. (Fig.13)

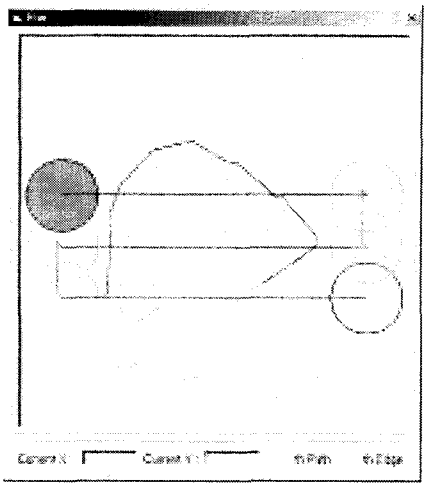


Fig.14 다양한 방향성의 선으로 구성된 피삭재

아울러 네 번째 화면은 여러 방향성을 가진 선으로 이루어진 Polygon 형상에서의 버 생성 영역을 표시하고 있다. 화면에서 보는 바와 같이 가로 세로 직선으로 구성된 단순한 도형이 아닌 사선까지 포함된 복합 형상에서도 완벽하게 버 생성 영역을 표시하여 좀 더 실제 형상에 가까운 피삭재 모형에도 적용할 수 있다는 것을 알 수 있다. (Fig.14)

표시부분을 클릭하면 다음의 결과화면을 볼 수 있다.

7.3 결과 화면(Fig. 15)

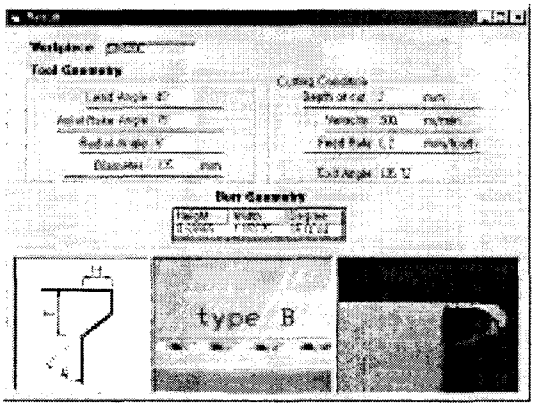


Fig.15 Result Screen

(Fig.15)는 본 프로그램의 최종 결과윈도우이다. 인식된 data와 선택된 조건을 기반으로 산출된 Exit 각 및 버의 크기를 나타내어주며, 화면 하단에서는 실제 버 형상을 DB를 기반으로 제공해 준다.

8. 결론 및 향후과제

본 연구에서는 점, 선, 원(구멍), 호(Arc) 및 다양한 방향성을 지닌 선들로 이루어진 Polygon 등의 임의의 형상을 CAD Data를 통해 해독하였으며 인식된 형상의 방향을 계산하여 표현하였고 피삭재에 대한 인식작업을 마친 후에는 수학적이고 기하학적으로 완벽하게 Milling 가공시 Exit 버가 발생되는 구역을 구하는 과정을 유도하여 Exit 버 생성시 접

점 및 Exit 각을 계산하였으며, 이를 Windows상에서 구현, Exit 버 형성 예측 프로그램을 개발하였다. 이러한 과정은 궁극적으로 Milling 가공시 생성되는 Exit 버를 최소화하여 작업효율 증대 및 생산비의 효율적 사용을 목적으로 한다.

향후 연구 과제로는 현재 인식되는 형상이외에 자유곡선등의 임의 형상 및 지금까지 구현된 다양한 형상이 혼재되어 있는 도면의 경우는 물론 3차원 형상에 대해서도 연구가 요구되며 ㄷ, Z자 모양 이외의 다중패스 경로에 대한 연구를 통하여 보다 현실적이고 체계적인 절삭가공 공정을 예측하여 Exit 버를 최소화 할수 있는 최적화 시스템을 계획중이다.

9. 참고문헌

1. 김영진, 이제열, 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 Release 14 Reference Manual, Autodesk, Inc., 1996
4. Vera B. Anand, "Computer Graphics & Geometric Modeling for Engineers", WILEY, 1993.
5. 이형배, "이형배의 비주얼 베이식 6", 사이버출판사, 1998