

IGES 를 이용한 브러쉬 디버링의 자동화

윤희중*, 최종순*, 박동삼**

The Automation of Brush Deburring Using IGES

Hee Jung Yoon*, Jong Soon Choi*, and Dong Sam Park**

ABSTRACT

Burr is an unavoidable and undesirable by-product of most metal cutting or shearing operations. This burr must be removed to improve the fit of machined parts and safety of workers, to improve the effectiveness of finishing operations. Despite the full or partial automation of FMC or FMS, deburring operations to obtain workpiece with fine surface quality are difficult to be automated since the occurrence and condition of burr are not constant.

This study focused on developing a software for deburring automation, which includes automatic recognition of parts, generation of deburring tool path and NC code, by analyzing the IGES format file which contains information of part geometry. The successful performance of developed software was demonstrated by computer simulation and deburring experiment using miniature end brush. And, this research can provide a basis for further advanced studies for automated deburring applications.

Key Words : deburring(디버링), IGES format(IGES 포맷), tool path(공구경로), NC code(NC 코드), brush(브러쉬)

1. 서론

대부분의 절삭가공과 소성가공시 부품의 모서리부에 발생하는 버(burr)는 제품의 기능과 성능에 악영향을 미칠 뿐만 아니라 가공의 자동화와 고정밀화에 큰 장애요인이 되고 있다. 따라서, 버의 발생을 최소화 하기 위한 가공조건을 구하는 것보다 더불어 디버링(deburring) 작업을 효과적으로 할 수 있는 방법에 대한 규명이 절대적으로 필요하다. 그러나, 버 발생을 최소화하는 가공조건은 그 한계가 있으므로 후자에 대한 보다 많은 연구가 요구된다고 볼 수 있다.

디버링 작업은 매우 복잡할 뿐만 아니라 비용

또한 큰 비중을 차지하는데 기계가공 부품의 경우 디버링 비용이 총가공비의 최대 50%까지를 차지하기도 한다.^[1] 지금까지 알려진 디버링 방법은 수없이 많으나 Gillespie 는 디버링 기법을 가공원리와 관련시켜 체계적으로 분류하였으며^[2] 구체적인 사례들을 제시하고 있다.^[3]

한편, FMS 나 CIMS 등의 자동화된 생산시스템에서는 디버링 공정의 자동화가 필수적으로 요청되고 있으나 아직도 많은 부분에서 디버링의 자동화는 큰 진척을 이루지 못하고 있는 실정이다. 최근, 디버링 작업을 자동화하고자 하는 연구들^[4-7]이 발표되고 있는데, 특히 로봇을 이용한 방법은 그 대안이 될 수 있으나 로봇이라는 주변기기를 사용

* 인천대학교 대학원 기계공학과

** 인천대학교 기계공학과

하므로 그에 수반된 제어 및 프로그래밍 작업이 추가되는 등의 단점이 있다.

본 연구에서는 CNC 머시닝 센터에서, 공작물의 최종 가공 후 공구 매거진에 미리 장착 시킨 디버링 공구를 사용하여 바로 디버링 작업까지 완료 시키고자 하는 개념을 도입하여 디버링 작업을 자동화 하는 기법을 제안하였다. 즉, CAD 작업 후 생성되는 IGES 파일에 포함되어 있는 형상정보의 해석을 통하여 제품의 형상을 재 인식하고 디버링이 요구되는 모서리 부와 디버링 공구 및 가공조건을 지정함으로써 디버링 공구의 가공경로 NC 코드를 자동적으로 생성하는 소프트웨어를 개발하였다. 개발된 소프트웨어의 검증을 위하여 간단한 제품형상에 대한 컴퓨터 시뮬레이션과 브러쉬 (brush)를 이용한 자동 디버링 실험을 수행하여 본 기법의 유용성을 검증하였다.

2. IGES 파일의 구성

2.1 IGES 포맷의 구조^[8,9]

IGES 파일의 포맷은 ASCII 포맷과 binary 포맷 두 가지로 크게 분류되며 ASCII 포맷은 고정길이 포맷(fixed line length format)과 압축 포맷 (compressed format)으로 나누어진다. Binary 포맷은 ASCII 포맷을 이진 비트열로 표현한 것으로 데이터는 사용자의 전송 프로토콜 선택에 의해 비트열 데이터의 형태로 전송될 수 있다. 압축 포맷은 IGES 파일의 크기가 문제될 때 이를 축소하기 위하여 개발되었으며, 이 포맷은 directory entry 섹션과 parameter data 섹션이 결합되어 단일 섹션을 이루고 있는 것이 특징이다. 고정길이 포맷은 80 컬럼으로 이루어진 줄 단위로 데이터를 기록하는데 파일의 크기가 크다는 단점이 있지만 가장 많이 쓰이고 있는 포맷이다.

고정길이 포맷은 Fig. 1에서 보는 바와 같이 다섯 개의 섹션으로 구성되어 있는데, 1 컬럼부터 72 컬럼까지는 섹션별로 각종 정보가 기록되어있고 73 컬럼에서는 각 섹션을 구분해주는 문자 (S,G,D,P,T)가 위치하며 74 컬럼부터 80 컬럼까지는 섹션의 순차 번호가 나타난다.

① Start 섹션

Start 섹션은 사용자가 읽을 수 있는 주석을 기록하는 부분이다. 파일명, 작성자 등 필요한 내용

을 임의로 기록할 수 있으며 최소한 하나의 레코드가 존재 한다.

```

..40HC:\Program Files\AutoCAD R14\Drawing.dwg.24HC:\WORK\인반 문서\Wsample.1
e.51H\AutoCAD-14.01 (Microsoft Windows Version 4.0 (x86)),65H\Autodesk IGE
S Translator R14.01 (Dec 9 1997) from Autodesk, Inc.,32,38,6,99,15,40HCG
:\Program Files\AutoCAD R14\Drawing.dwg.1.000.1.2HIN.32767.32.76700.13H9G
81030.010s18.6.00000916714781D-7.600.000916714781D...10.0.13H981030.010G
530:
G
106 1 0 1 0 0 0 000000000 1
106 0 8 2 63 0D 2
406 3 0 0 0 0 0 000000000 3
100 0 8 2 0 0D 6
100 6 0 1 0 0 0 000000000 7
100 0 8 2 0 0D 8
106.1.5.0.0D0.50.0D0.50.0D0.600.0D0.50.0D0.600.0D0.400.0D0.
1P 1
50.0D0.400.0D0.50.0D0.50.0D0:
1P 2
406.2.0.1H0:
3P 3
100.0.0D0.268.57142857142900.264.285714285714D0.200.0D0.280.0D0.
5P 4
330.0D0.230.0D0:
5P 5
100.0.0D0.240.769230769231D0.116.923076923077D0.440.0D0.150.0D0.
7P 6
300.0D0.310.0D0:
7P 7
S 1G 6D 8P 7
T 1
    
```

Fig. 1 Example of IGES file of fixed line length format

② Global 섹션

Global 섹션은 전처리기(pre-processor)와 후처리기(post-processor)에 필요한 시스템환경에 대한 정보를 기록하는 부분으로 파라미터는 자유형식으로 기재된다. 이 섹션은 파일명, 파일 작성일시, 작성자, 실수형의 지수 자리수 및 유효 자리수, 최대선 폭, IGES 버전 등 총 24 개의 파라미터로 구성된다.

③ Directory entry 섹션

파일에 기록되어있는 모든 엔티티(entity)들에 대한 색인을 제공하고 이들 엔티티에 대한 속성정보를 나타낸다. 8 컬럼으로 된 20 개의 필드에는 엔티티 번호, PD 섹션에 대한 포인터, 선의 종류와 폭, 그리고 색상 등이 기록되며, 10 개의 필드가 한 줄을 구성하므로 두 개의 줄이 하나의 디렉토리를 구성한다.

④ Parameter data 섹션

DE 섹션에 기록된 엔티티들에 대하여 엔티티 번호, 3 차원 좌표값, 엔티티의 속성을 참조하는 포인터 등이 기록되며, 여러 엔티티들이 상호 논리적으로 결합되어 있는 경우에는 연관관계 또는 비형상 수치정보를 나타내는 엔티티를 참조하는 포인터가 기록되기도 한다.

⑤ Terminate 섹션

이 섹션은 한 줄로 구성되며 8 컬럼으로 된 10개의 필드로 나누어진다. 위 4개의 섹션에 대한 섹션 구분문자와 줄 수가 기록된다.

2.2 주요 형상 엔티티^[10]

IGES 포맷에서 지원되는 형상 엔티티의 종류는 아주 다양하나, 브러쉬 디버링 자동화를 위한 디버링 공구경로를 결정하는데 필요한 주요 형상 엔티티들은 다음과 같은 것이 있다.

1) Circular arc(#100)

원호를 표시하기 위한 엔티티로 3차원 공간 좌표계에서 원호가 임의의 위치에 놓이기 위해서는 좌표변환이 필요하게 되므로 변환행렬 엔티티(#124)를 자주 참조하게 된다. PD 섹션의 구성데이터는 다음과 같다.

- ① ZT: xy 평면으로부터 z 축상의 변위
- ②, ③ X1, Y1: 원호 중심의 x,y 좌표
- ④, ⑤ X2, Y2: 원호 시점의 x,y 좌표
- ⑥, ⑦ X3, Y3: 원호 종점의 x,y 좌표

2) Composite curve 엔티티(#102)

복합곡선은 점, 선, 원호, 스플라인 등으로 구성된 연속곡선을 말한다. 복합곡선을 구성하는 각 엔티티들은 복합곡선 엔티티에 종속되므로 DE 섹션의 9번째 필드에 종속을 나타내는 플래그로 지정된다. PD 섹션의 구성 데이터는 다음과 같다.

- ① N : 엔티티의 개수
- ② DE1 : 첫 번째 구성 엔티티의 DE 섹션에 대한 포인터
- ③ DEN : 마지막 구성 엔티티의 DE 섹션에 대한 포인터

3) Line 엔티티(#110)

직선은 양끝점으로 정의되며, 각 점들은 3차원 공간 상에서 결정된다. PD 섹션의 구성 데이터는 다음과 같다.

- ①, ②, ③ X1, Y1, Z1: 시작점의 좌표
- ④, ⑤, ⑥ X2, Y2, Z2: 종점의 좌표

4) Transformation matrix 엔티티(#124)

좌표변환이 필요한 경우에 변환행렬을 이용하기 위한 엔티티로서 참조하는 엔티티에 대한 회전 이동과 평행이동이 정의된다. PD 섹션의 구성 데이터는 다음과 같다.

- ①, ②, ③, ④ R11, R12, R13, T1: 첫번째 행
- ⑤, ⑥, ⑦, ⑧ R21, R22, R23, T2: 두번째 행
- ⑨, ⑩, ⑪, ⑫ R31, R32, R33, T3: 세번째 행

3. 디버링 경로의 자동생성

3.1 개발 소프트웨어의 구조

CAD 시스템의 출력파일인 IGES 파일로부터 형상의 자동인식과 컴퓨터 화면에로의 재출력, 디버링 부위의 지정 및 디버링 조건 지정, 지정 조건을 이용한 디버링 공구의 공구경로 및 CNC 공작기계용 NC code 생성, NC code에 의한 공구경로 검증 및 시뮬레이션을 수행하는 프로그램을 개발하였으며 C언어와 Visual BASIC을 사용하였다.

먼저, CAD 데이터를 IGES 파일로 변환시킬 때 IGES 변환기는 줄 단위로 데이터를 기록하기 때문에 IGES 포맷으로 변환된 도면형상을 인식하기 위하여 줄단위의 데이터 분석을 수행하였으며 Terminate 섹션에는 각 섹션의 줄 수가 기록되므로 이들 줄 수를 파악하여 엔티티의 누락여부를 확인할 수 있도록 프로그래밍하였다. 이때 형상 데이터는 PD 섹션에 엔티티번호와 좌표값 또는 수식의 파라미터로 기록되기 때문에 PD 섹션에서 엔티티번호 100, 102, 110 및 124를 판별한 후 적절한 계산과정을 거쳐 데이터를 재구성하였다. 또한, 엔티티 번호에 따른 분기제어구조 함수들을 구현하며 이 함수들에서 읽어들이는 형상들은 C언어의 그래픽 함수들을 이용하여 컴퓨터 모니터 상에 형상을 재 출력하게 하였으며 이로부터 정확한 형상인식 여부를 판정할 수 있게 하였다.

이와 같이 컴퓨터 화면상에 재 도시된 형상에 대하여 디버링이 필요한 모서리 부분을 마우스의 클릭으로 지정해 줌으로써 필요계산을 거쳐 디버링 공구의 가공경로 즉 NC 코드를 자동적으로 생성하게 되는데 이때 NC code는 FANUC 시리즈 공작기계를 기준으로 작성하였다.

한편, 본 연구에서는 2차원적으로만 행하여지는 디버링 공정으로 국한하였는데 이러한 방법은 브러쉬 디버링 등으로 분류되는 2차원 디버링 뿐만 아니라 waterjet 가공, 레이저 가공 및 NC wire cutting 등에도 응용이 가능하다.

이와 같은 기법을 이용하여 개발된 프로그램의 수행과정을 다음에서 설명한다.

3.2 IGES 파일로부터 도면 형상 재 인식

시뮬레이션에 사용된 공작물 형상은 Fig. 8이며 Fig. 2는 개발 프로그램의 수행에 의하여 이미 CAD 작업으로 생성되어 있는 IGES 파일을 해

석하여 2 차원적 도면형상을 자동적으로 컴퓨터 화면상에 나타낸 것이다. Fig. 8 의 도면과 재인식된 형상은 일치하고 있으며 이는 기본적으로 line 엔티티와 circular arc 엔티티로 구성되어 있다.

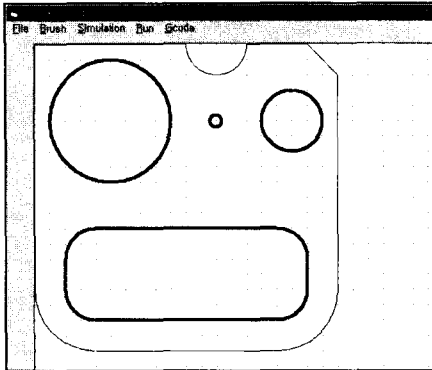


Fig. 2 Recognition of drawing from IGES file

3.3 디버링 요구 부위의 선정

기계 가공시 가공의 방법에 따라 특정 모서리부에 버가 발생하게 되는데 Fig. 2 의 도형 재인식 상태에서 버가 발생할 수 있는 엔티티(모서리)를 마우스로 클릭함으로써 디버링이 요구되는 엔티티가 자동적으로 선정 되며 Fig. 2 에서 진한 선으로 표시된 부분이 디버링이 필요한 부위로 선정된 것을 나타낸다.

3.4 디버링 공구경로의 생성

Line 엔티티로 정의된 모서리에 대한 디버링 경로는 Fig. 2 의 상태에서 디버링 요구부의 엔티티가 선정됨과 동시에 Fig. 3 에서와 같이 시작점과 끝점이 IGES 파일의 해석결과로부터 자동적으로 결정되어 화면상에 출력되며 필요한 경우 시작점과 끝점을 변환시킬 수 있다. 이 변환은 공구경로의 방향전환을 의미한다.

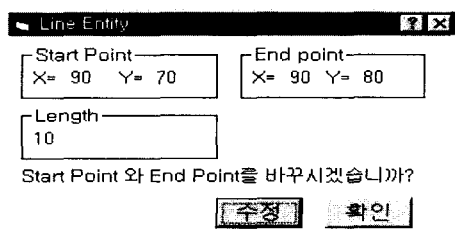


Fig. 3 Line entity setting

본 연구에서는 디버링 공구 경로는 공구 중심이 항상 지정된 엔티티 선과 일치하는 경우로 한정되어 있으며 이는 일반적 방법은 아니나 디버링 공구를 브러쉬로 사용할 경우 유효한 방법이 된다.

Circular arc 엔티티로 정의된 모서리의 디버링 경로는 Fig. 4 와 같이 원호 중심점과 반지름이 IGES 파일의 해석결과로부터 자동적으로 결정되어 표시되며 이로부터 필요한 원호보간을 행하게 된다. 원호보간의 방법은 G02, G03 을 자유로이 설정할 수 있으며 가공 시작 부위를 0.5π 간격으로 분할하여 원호부의 4 점에서 가공이 시작 가능하도록 하였다.

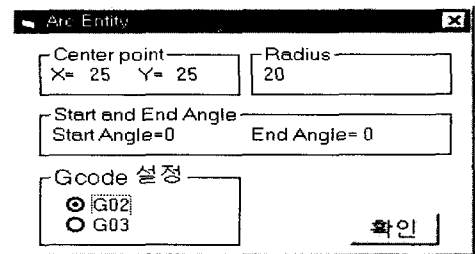


Fig. 4 Circular arc entity setting

3.5 디버링 공구 및 가공조건 설정

개발 프로그램의 Main Menu 에서 Deburring Tool 을 지정하면 사용 가능한 공구의 종류와 형상(반지름, 공구길이)이 도시되며 사용하고자 하는 공구를 클릭하면 Fig. 5 와 같이 설정된 공구모양이 도시된다. 또한, 디버링시 공구의 회전수 및 이송속도를 입력하면 가공조건이 설정된다.

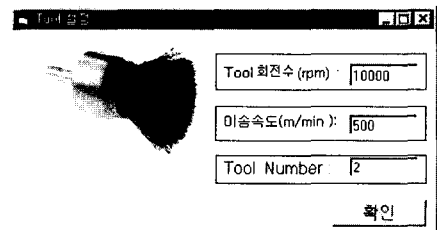


Fig. 5 Setting of Deburring tool and cutting condition

3.6 NC Code 의 생성

위의 전 과정을 통하여 디버링이 필요한 모서리의 엔티티와 공구 및 디버링 조건이 설정되면 디버링을 위한 공구경로의 NC code 가 자동적으로 생성되며 Fig. 6 은 생성된 NC code 의 일부분을 나

타낸 것이다. 또한, M 기능 등 다른 기능이 추가로 요구되는 경우 NC code 를 수정 편집할 수 있도록 하였다.

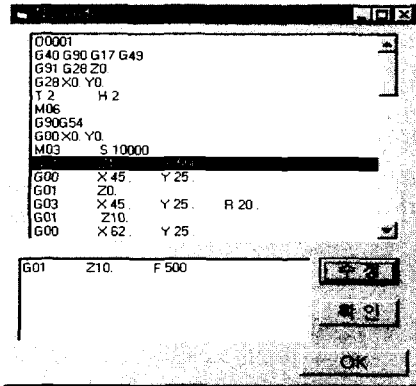


Fig. 6 An example of generated NC code

3.7 디버링 경로의 컴퓨터 시뮬레이션

Main Menu 에서 Simulation 을 선택하면 Fig. 7 에서 보는 바와 같이 디버링 공구의 이동경로가 자동적으로 표시된다. 여기서 붉은선은 디버링 가공을 수행하는 경로를 나타내며 가는실선은 공구의 급속 이송을 나타낸다.

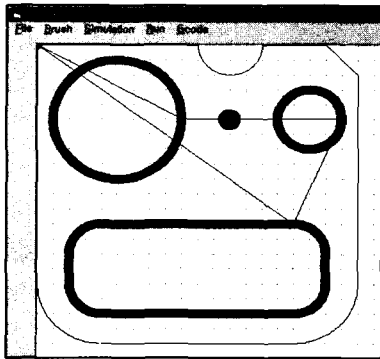


Fig. 7 Simulation of the deburring tool path

이러한 과정으로 디버링 경로를 검증하게 되며 검증된 NC code 는 CNC 머시닝센터로 전송되어 디버링을 수행하게 된다.

4. 검증실험 및 결과고찰

4.1 실험장치

사용된 공작기계는 최대 12,000 rpm 까지 가능

한 수직형 머시닝센터(화천기공(주), SIRIUS-2)이며, 디버링 공구는 소형 엔드 브러쉬를 사용하였다. 브러쉬의 형상 및 재원은 Table 1 에 나타내었다. 브러쉬는 드릴척에 고정하여 머시닝센터의 공구매거진에 미리 장착하였다.

Table 1 Specification of brush

Brush	Diameter (mm)	Length (mm)	Wire diameter (mm)	Material
B1	18	14	0.2	Stainless steel
B2	6	7	0.1	

4.2 실험방법

4.2.1 시편

시편의 재질은 알루미늄합금 6061 을 사용하였으며 시편의 최종 형상을 Fig. 8 에 나타내었다. 시편을 만드는 방법은 원소재를 정면밀링(face milling)한 후 Fig. 8 에 나타난 형상(모서리 E1, E2, E3)을 엔드밀 공구를 사용하여 포켓 가공을 하였다. 단, E4 의 구멍은 드릴직경 $\Phi 5$ 를 사용하여 가공하였다. 이와 같은 가공을 거쳐 각 가공부위 모서리에 버를 생성시켰다.

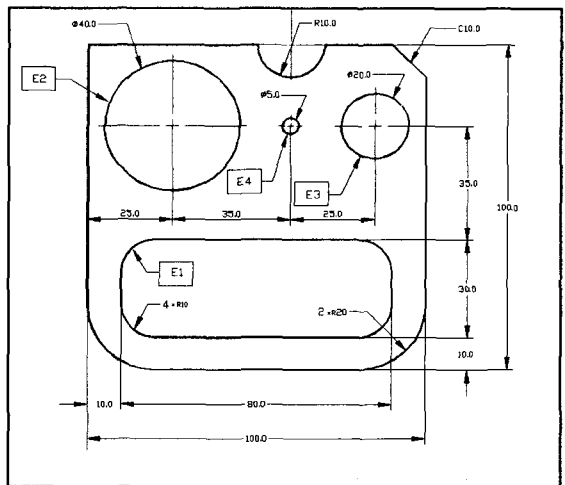


Fig. 8 Workpiece for brush deburring

4.2.2 디버링 가공 조건

디버링을 위한 브러쉬의 회전속도와 이송속도는 각 부위에 따라서 다음 Table 2 와 같은 조건으로 설정 하였으며 브러쉬 끝부위가 절삭하는 깊이는 1mm 로 고정하였다.

Table 2 Cutting Conditions for brush deburring

Edge	Brush	Spindle speed(rpm)	Feedrate (mm/min)	Depth (mm)	Coolant
E1	B2	8000	300	1	Dry cutting
E2	B1	10000	300	1	
E3	B1	10000	300	1	
E4	B1	10000	300	1	

4.3 실험결과 및 고찰

초기가공 후 각 모서리 E1, E2, E3, E4 에 발생된 버의 형상을 Fig. 9 에 나타내었다. 이와 같이 생성된 버에 대하여 본 연구에서 개발된 자동 디버링 기법에 의하여 생성된 NC code 로 머시닝센터에서 디버링을 수행하였다. 이때 디버링 작업은 버 발생을 위한 시편가공이 끝남과 동시에 미리 IGES 파일로부터 생성된 NC code 에 따라 공구의 자동교환 등 가공에서부터 디버링까지가 자동적으로 수행가능하게 하였다.

디버링 실험 후 디버링전과 동일 모서리부에서 관찰된 모서리의 형상을 Fig. 10 에 나타내었다. 여기서, 버형상은 공구현미경을 이용하여 50 배로 확대 촬영한 것이다.

Fig. 9 와 Fig. 10 에서 동일 모서리 부에서의 디버링 전과 후의 형상을 관찰하면 디버링 후 모서리에 나타났던 버들이 완전히 제거되었으나, 표면의 형상은 브러쉬로 인한 굽힘자국이 많이 발생되고 있음을 알 수 있다. 그런데, 본 연구는 디버링의 자동화에 초점을 맞추었으므로 시편재질에 대한 최적의 브러쉬 선정과 디버링 절삭조건 등은 큰 고려사항이 아니었다.

이상의 실험결과로 부터 CAD 작업 후 생성된 IGES 파일을 이용하여 본 연구에서 개발된 기법을 도입한다면 기계가공에서부터 디버링까지의 공정이 동시에 자동적으로 가능할 수 있음을 보여주었다. 이러한 결과는 최근 급속히 진행되고 있는 생산시스템의 FMS 화나 CIM 화에 있어 가장 큰 어려움이었던 디버링 공정의 자동화에 크게 기여할 수 있을 것이라 판단된다.

또한, 기존의 브러쉬 디버링이 특정 부위에서의 버 발생여부와 상관없이 모든 표면에 대하여 브러싱을 하는데 반하여 본 연구에서 개발된 기법은 버가 발생된 부위만을 선택적으로 디버링할 수 있으므로 디버링 시간의 단축에도 크게 기여할 것

으로 판단된다.

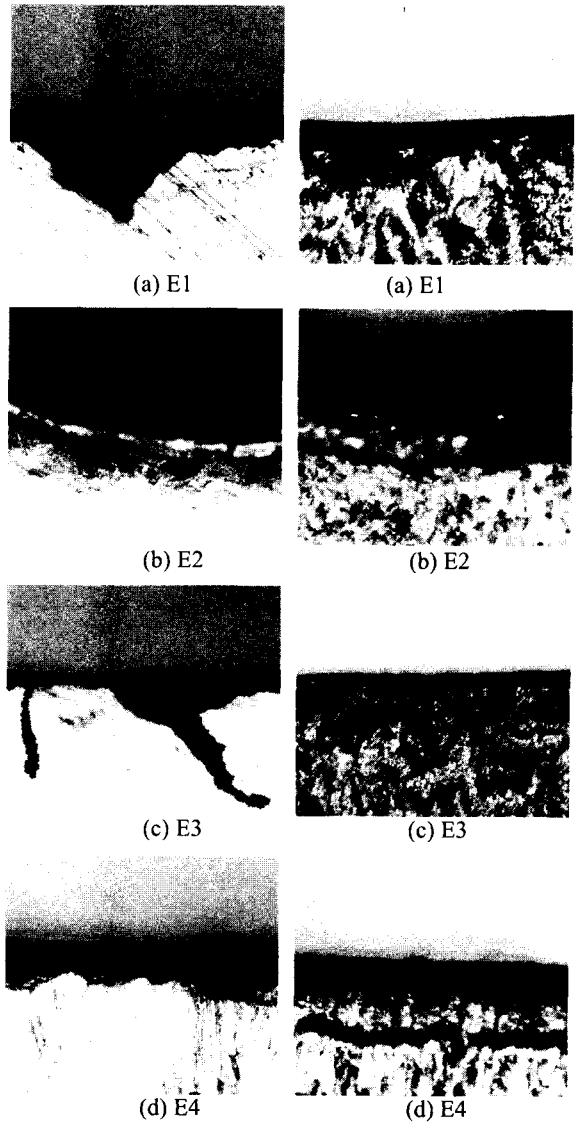


Fig. 9 Edges with burrs

Fig. 10 Deburred edges

한편, 본 연구에서는 제한된 범위에서 디버링 자동화를 시도하였는데 우선 브러쉬를 사용한 것으로 사용공구가 제한된 점, 공구경로 중심이 항상 모서리부를 따라간다는 점, 3 차원형상은 고려되지 않은 점 등을 들 수 있는데, 보다 범용성 있는 기법개발을 위하여 앞으로 추가 연구가 계속될 것이다.

5. 결 론

CAD 를 이용한 도면 작성시 출력 파일의 하나인 IGES 파일을 해석하여 버가 발생하는 모서리부에 대한 디버링 작업의 자동화 기법에 관한 연구를 수행하였으며, 간단한 공작물 형상에 대한 컴퓨터 시뮬레이션과 디버링 실험을 통하여 개발된 기법의 성능을 확인하였다. 개발된 기법의 주요 특성과 추후 연구가 필요한 부분을 요약하면 다음과 같다.

- 1) IGES 파일을 해석함으로써 제품의 형상을 자동적으로 인식하여 모니터상에 재현하였다.
- 2) 디버링이 필요한 모서리를 마우스로 클릭함으로써 형상 엔티티에 따라 디버링 경로의 시작점과 끝점, 원호보간의 방법 등을 자동적으로 결정하였다.
- 3) 디버링부의 형상 엔티티 선정, 공구의 선정 및 가공조건 선정으로 디버링 공구경로의 NC code 를 자동생성 하였다.
- 4) 생성된 NC code 의 가공경로 simulation 을 통하여 정확한 디버링 여부를 검증하였다.
- 5) 디버링 실험결과 개발된 기법의 실용성을 확인하였으며, 단일 머시닝 센터에서 부품가공부터 최종 디버링까지의 공정이 자동화 될 수 있음을 알았다.
- 6) 본 연구에서는 2 차원 가공에서 디버링 공구를 브러쉬로 한정하였으나 다양한 종류의 디버링 공구를 사용할 경우 NC code 작성시 공구반경과 공구길이 보정 등에 관하여 계속적인 연구가 필요하다.
- 7) 공작물 형상과 가공방법에 따라 다양하게 나타나는 버 발생부위를 자동적으로 판단할 수 있는 기법에 관한 연구가 필요하다.

참고문헌

1. L.K.Gillespie, "Design to Reduce Deburring," American Machinist, Nov. , pp. 125-129, 1985.
2. L.K.Gillespie, " Towards A Rational Approach to Deburring," SME Technical paper, MR74-996, 1994.
3. L.K.Gillespie, "Deburring Technology for Improved Manufacturing," Dearbon, Michigan, SME, 1981.
4. F.M.Proctor,K.N.Murphy, "Keynote Address:

Advanced Deburring System Technology," Proceedings of PED, Symposium on the Mechanics of Deburring and Surface Finishing Process, ASME, SF, CA, pp. 1-12, 1989.

5. M.A.Elbostawi, G. M. Bone, P.W. Tam, "An Automated Planning, Control, and Inspection System for Robotic Deburring," Annals of the CIRP, Vol. 41/1, pp. 397-401, 1992.
6. M.G.Her,H.Kazerooni, "Automated Robotic Deburring of Parts using Compliance Control," ASME, J. of Dyn. Syst. Meas. Cont., Vol. 108, pp. 60-66, 1991.
7. F.M.Puls,M.M. Barah, "An Adaptive Control Algorithm for Robotic Deburring", Journal of Manufacturing Systems, Vol. 4, No. 2, pp. 169 - 178, 1985.
8. 성재용, "IGES 포맷을 이용한 CAD 설계데이터의 활용연구," 포항공과대학교 석사학위논문, 1994.
9. Autodesk Inc.,AutoCAD Release 12 Advanced Tool, pp. 317-368, 1993.
10. IGES/PDES Organization, The Initial Graphics Exchange Specification(IGES) Version 5.2, International Tech. Group Incorporated, pp. 58 - 112, 1993.