

로봇 이용 자동차 휠의 림 디버링

박종오 *전종업 조의정
한국과학기술연구원

Robotic Rim Deburring Technique in Car Wheel

Jong-Oh Park Jong-Up Jeon Ui-Chung Cho
Robotics and Fluid Power Control Lab,
Korea Institute of Science and Technology

ABSTRACT

The problems occurred when developing a automatic wheel deburring system are to make effective flexibility in model change and the irregularity of the position/shape of the burr, to select optimal robotic manufacturing process and to develop optimal end effector. The locations where burr exists are on flange, rim and spoke. Here will be discussed the optimal solution for the removal of rim burr by using robot. The research can be summarized as the automatic robot path generation by recognizing rim contour and automatic deburring process technique. Various rim contour data is generated automatically when the sensor which is fixed to robot is moving with the parallel motion to the wheel center axis and this generated data is transfered to the data storage system and converted to the robot path data. The robotic tool system which is suitable to the rim deburring process is developed by integrating tool, compliance function and sensor. And factory automation system controlled by robot controller and PC is developed. This system shows good productivity and flexibility.

1. 서론

1.1 디버링 현황

제품의 구조 및 용접, 소성 및 절삭시 발생하는 버(burr)를 제거하는 공정상의 방법으로는 기계식 디버링, TEM(Thermal deburring Method), ECM(Electro-Chemical Method) 등이 있다. 로봇에 의한 디버링(deburring)은 로봇의 유연성을 이용함으로써 공작물의 모델 변화 및 제품형상의 불균일성에 효율적인 대처, 버 형상인식에 의한 가공경로 제어, 버의 크기 변화에 따른 가공력의 제어등이 가능함으로써 최근들어 활발히 그 연구가 진행되고 있다. Kenichi Horiuchi등은 디버링 공구의 회전속도를 이용하여 가공경로 제어를 하였으며, T.M.Stepien 등은 공구에 F/T 센서를 장착함으로써 절삭력 제어를 시도하였고 독일의 Stuttgart대학의 Stolz등은 자동차 휠(Wheel)에 대한 디버링 시스템을 개발하였다. 현재 세계적으로 기계식 디버링 방법 또는 ECM을 사용하여 자동화한 사례들이 있으나 문제는 가공품질의 허용기준이며 특히 구미에서의 검사기준은 일본, 한국보다 엄격하여 자동화에로의 전환이 보다 어려운 실정이다.

1.2 자동차 휠 디버링 자동화의 필요성

현재 자동차 휠 디버링 작업은 버의 재질이나 작업의 정밀도에 따라 그라인더(grinder), 줄, 회전공구, 브러쉬(brush), 나이프(knife)등을 이용하여 수작업으로 수행되어지고 있는데 이는 제품품질의 균일화에 난점이 있으며 작업의 위험성, 작업비용의 증가등의 문제점이 있다. 실제 자동차 휠의 경우 생산라인 4개를 기준으로 할 때 주물 및 기계가공시 발생하는 버로 인해 5-6인의 추가인력이 1일 근무의 40-80%를 디버링 작업에 소비하고 있는 실정이다. 이러한 기존의 수작업을 로봇를 이용한 자동화 시스템으로 대체함으로써 제품품질의 균일화, 제품형상 변화에의 효율적인 대처, 인건비 절감등에 의한 생산성의 향상을 도모할 수 있다. 본 연구에서는 자동차 휠에 발생하는 플랜지 버(flange burr), 스포크 플레쉬(spoke flesh), 스포크 버(spoke burr)의 알고리즘을 제시하고, 림 버(rim burr)의 제거를 위한 림 형상인식 및 림 버의 위치인식, 그리고 이러한 위치인식 데이터를 이용한 로봇 가공경로 자동생성에 관한 연구를 수행하였으며 콤플라이언스(compliance)기능 및 센서가 집적된 회전 디버링 공구를 개발하였고 컴퓨터에 의한 전 시스템 제어로 시스템의 효율화를 도모하였다.

2. 휠 버의 생성 및 특징

2.1 휠 제조공정 및 버의 발생위치

자동차 휠 주물시 금형간의 경계선(parting line) 및 금형의 노후화에 따라 플랜지 버, 림 버, 스포크 플레쉬등이 발생되며, NC가공시 가공 에지(edge)면을 따라 스포크 버가 발생한다. 그림1은 휠 제조공정 중의 디버링 작업공정의 위치를 보여주고 있다.

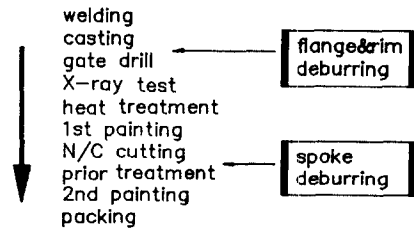


그림1 휠 제조공정
Fig.1 Manufacturing flow of car wheel

2.2 버의 특성 및 디버링 요구조건

표1은 휠 각 부위에 발생하는 버의 크기 및 각각의 특징을 나타내고 있으며 사진1은 휠의 림부에 존재하는 버를 보여주고


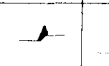


특징	flange burr	rim burr	spoke burr	spoke flesh
최대두께 최대높이	$\omega_{max} = 0.5mm$ $h_{max} = 0.5mm$	$\omega_{max} = 2$ $h_{max} = 10$	$\omega_{max} = 2$ $h_{max} = 4$	$\omega_{max} = 2$
연속성	불연속	불연속	연속	불연속
burr 위치	휠의원주	90°간격 휠옆면	휠 중심에서 방사선형태	spoke와 동일
burr부위 특성				

표1 각 버의 특징
Table Characteristic of burrs

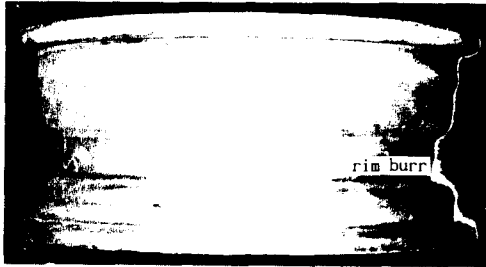


사진1 휠의 형상 및 림 버
Photograph1 Wheel and rim burr

있다. 플랜지 버와 림 버의 경우 버의 크기가 0.5t를 초과하면 후공정인 NC 공정시 절삭공구의 파손연려가 있으며 NC가공을 위한 휠의 척킹(chucking)시 공작물의 동심도에 영향을 미친다. 이러한 플랜지 버와 림 버의 디버링 허용공차는 0.5mm 정도로서 정밀도는 문제되지 않으나 큰 가공력이 요구된다. 스포크 버의 경우는 미소 절삭력이 요구되는 반면 마무리 공정이므로 0.2mm정도의 높은 정도가 요구된다.

3. 휠 디버링 시스템 개발

3.1 디버링 시스템 구성

디버링 공정의 자동화를 위한 시스템 구성도는 그림2와 같고 사진2는 전체 시스템의 외관도를 보여주고 있다. 레이저 센서

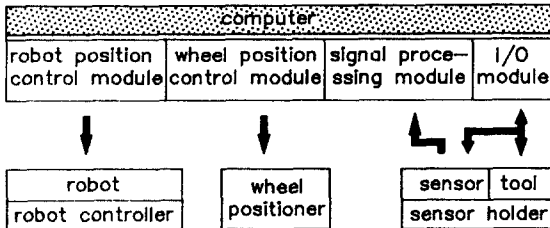


그림2 디버링 시스템의 구성도
Fig.2 Layout of deburring system

로부터 입력된 휠 형상에 관한 아날로그 데이터는 디지털화 및 필터링(filtering)등 데이터 처리루틴을 거친후 로봇의 경로 데이터로 변환되어 로봇에 디버링 경로로써 보내어진다. 또한 DC 서보모터를 이용한 휠 포지셔너(wheel positioner)를 구성하였으며 디버링 공구에 레이저 센서를 집적시킴으로써 공구 교환시간을 단축하였고 콤플라이언스기능을 부여하여 절삭력 제어가 가능하도록 하였다.

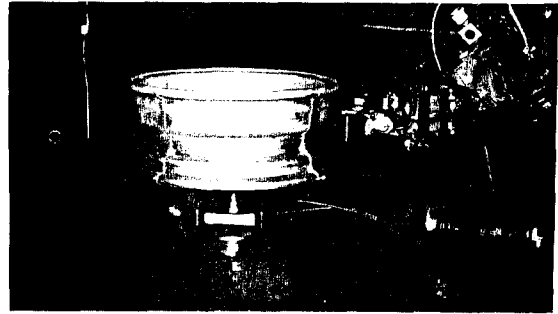


사진2 디버링 시스템의 외관
Photograph2 Photo. of Deburring system

3.2 로봇 시스템

본 연구에서 사용한 로봇은 정밀도 0.12mm, 가만하중 10Kg인 6축 수직 다관절 ABB로봇이다. 본 로봇 시스템은 CTS(communication tool software)를 이용하여 RS-232C를 통해 컴퓨터와의 온 라인(on-line)통신이 가능함으로 이를 이용하여 버 위치인식 및 로봇의 가공경로의 온 라인 제어가 가능하다.

3.3 휠 포지셔너

휠 포지셔너는 공압 실린더 및 풀릿 척 기술을 이용하여 구성함으로써 휠의 빠른 장/단축이 가능하도록 하였다. 또한 DC 서보모터 및 회전 인덱스 테이블을 이용하여 휠 포지셔너를 구성함으로써 버의 위치인식 및 버의 가공시 공구가 장착된 로봇의 복잡한 오리엔테이션(Orientation) 제어를 휠 포지셔너로 분산시켰다.

3.4 디버링 공구 시스템

본 연구에서 개발한 디버링 용 공구는 회전 액츄에이터, 콤플라이언스 구조, 레이저 센서 등으로 구성되어 있으며 사진3, 그림3에 그 외관도가 나타난다. 공구의 회전 액츄에이터로

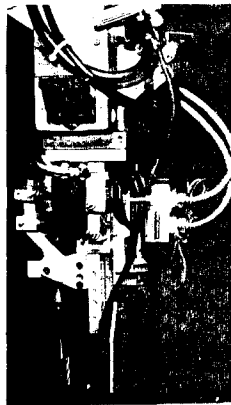


사진3 디버링용 공구
Photograph3 Deburring tool



그림3. 디버링용 공구
Fig.3 Deburring tool

는 BIAX사의 회전 바(rotary bar)를 사용하여 6기압에서 20,000 rpm의 회전이 가능하도록 하였으며 바의 선단은 피봇이 되어있어 공압 액츄에이터에 의한 콤플라이언스 기능을 줄 수 있도록 하였다. 이때 콤플라이언스에 연동하여 그 변위가 변화하는 선형 변위 측정센서(linear potentiometer)를 이용하여 콤플라이언스값을 측정해 냄으로써 버의 크기에 따른 다양한 콤플라이언스를 가하는 것이 가능하도록 하였다. 또한 디버링

공구에 레이저 센서를 장착하여 측정 및 가공을 한개의 디버링 공구로 행함으로써 공구 교환시간을 단축시켰다. 본 연구에서 사용한 레이저 센서는 Keyence사의 모델 LB-70/LB-11로 측정거리 60~140mm(0~8V), 선형성 1.6%의 아날로그 센서이다.

4. 림 디버링 자동화

전술한 디버링 시스템을 이용하여 자동차 휠의 디버링 작업을 수행하였다. 여기서는 플랜지 버 및 스포크 버의 가공시작점 인식 및 플랜지와 스포크의 형상 데이터 형성방법에 대한 알고리즘을 제시하고 본 연구에서 중점을 둔 림 버의 디버링에 대해 소개한다.

4.1. 휠 좌표계 및 휠 파라메타(parameter) 입력

휠 장착면의 중심점을 원점 WOP(0,0,0)로 하는 공작물 좌표계(workpiece coordinate system)(WCS)를 구성하여 각 측정점 및 가공점을 정의하면 그림4와 같다. WCS의 z축은 BCS(Base

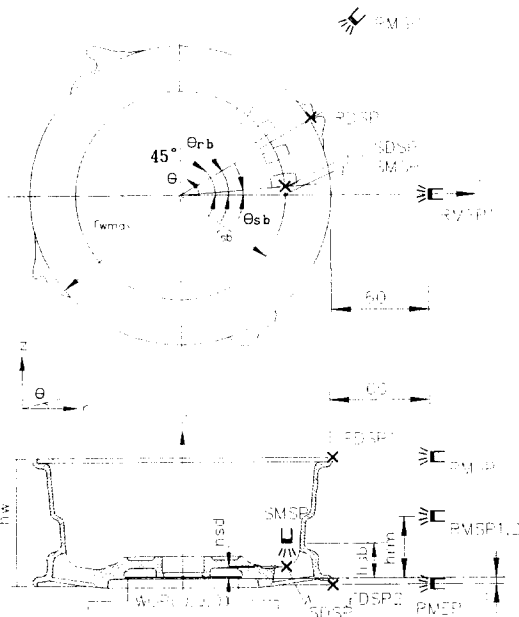


그림4 휠 좌표계 및 가공점과 측정점의 정의
Fig.4 Definition of WCS and deburring/measurement point

Coordinate System)의 z축과, r축은 BCS의 x축과 평행하게 한다. 한편 디버링 가공을 위해 요구되는 휠에 대한 정보와 다음과 같다.

- 플랜지부: 휠 최대반경, 폭, 공구자세
 - 림 부: 림 형상, 림 버의 위치, 공구자세
 - 스포크부: 스포크 형상, 스포크 위치, 공구 자세
- 이러한 정보를 알아내기 위해 요구되는 사용자 입력변수는 다음과 같다.
- 휠 최대반경(r_{wmax}), 휠 폭(h_w), 휠 원점에서 하부의 플랜지 부위까지의 거리(h_u).
 - 스포크 형상정보, 스포크 위치정보, 휠 원점에서 스포크 접점까지의 거리(r_{sb})

4.2. 플랜지 버 가공시작점 인식 및 스포크 오리엔테이션

플랜지 버의 경우 각 모델별로 사용자에게 의해 입력된 최대반

경(r_{wmax}), 폭(h_w)으로부터 산출된 가공 시작점은 $FDSP1(r_{wmax}, 0, h_w - h_u)$ 과 $FDSP2(r_{wmax}, 0, -h_u)$ 이며 가공은 로봇을 각 가공 시작점으로 이동시킨 후 휠 포지셔너를 360° 회전시킴으로써 이루어진다. 휠 내부에 방사선 형태로 배열의 규칙성을 갖고 존재하는 여러개의 스포크의 가공을 위해서는 스포크 형상 및 각 스포크의 위치정보, 오리엔테이션등이 필요하다. 스포크를 r- θ 평면상에 투영(projection)한 형상정보는 사용자에게 의해 입력된다. 이때의 정보는 $r_{\theta}(\theta=0^\circ)$ 이 스포크에 접하도록 휠을 위치시킨 상태에서의 형상정보이다. 스포크 버 가공시작점 인식을 위해서는 센서를 반경 r_{sb} 의 피치원상의 $SMSP(r_{sb}, 0, h_{sb})$ 에 위치시킨 후 휠을 회전하면서 스포크의 에지부위를 측정한다. 이때 그림5와 같이 측정된 데이터에 에지

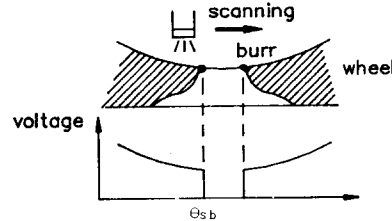


그림5 스포크의 위치인식
Fig.5 Position recognition of spoke

감지 알고리즘(edge detection algorithm)을 적용함으로써 가공시작점 $SDSP(r_{sb}, \theta_{sb}, h_{sd})$, 즉 휠의 중심에서 스포크에 접하는 접선의 접점을 가공시작점으로 인식한다.

4.3. 림 버 오리엔테이션

림 버는 금형간의 경계선을 따라 휠의 외주상에 90° 간격으로 4군데 존재하는데 이의 가공을 위한 휠의 오리엔테이션을 위해 휠 외주상의 버의 위치(θ_{rb})감지가 필요하다.

i) 측정 시작점 인식

림 버 위치감지는 센서를 $RMSP1(r_{wmax} + 60, 0, h_{rm}, -h_u \leq h_{rm} \leq h_{wmax} - h_u)$ 에 위치시키고 휠을 회전하면서 림 면까지의 거리를 측정한다. 이때 측정된 측정값 $r(\theta)$ 에 단면1차모멘트(1st moment of area)를 이용하여 림 버의 위치를 인식한다. 이와같은 버 위치인식 방법의 경우, 그림6과 같이 초기 측정 시작점

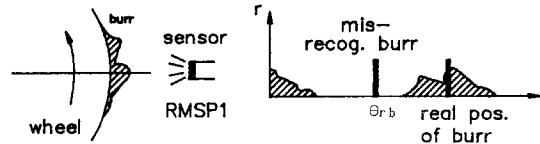


그림6 림 버 위치의 오인식
Fig.6 Mis-recognition of rim burr position

$RMSP1$ 이 버와 같은 θ 상에 존재하는 경우 위치인식에 오차가 발생하기 때문에 측정시작점은 버와 다른 θ 상상에 위치하여야 한다. 따라서 림의 위치 $RMSP1$ 과 이로부터 45° 회전된 $RMSP2(r_{wmax} + 60, 45^\circ, h_{rm})$ 에서 림 면까지의 거리를 측정하여 버가 존재하지 않는 점을 버 오리엔테이션을 위한 측정시작점으로 한다.

ii) 림 버 오리엔테이션 알고리즘

상기의 방법에 의해 얻어진 측정 시작점에 센서를 고정시키고 휠을 90° 회전하면서 림면까지의 거리 $r(\theta)$ 를 측정 후 다음의 단면1차모멘트를 이용하여 림 버의 위치인식을 행한다.

$$\text{림 버의 위치 } \theta_r = \frac{fr(\theta)ede}{fr(\theta)de}$$

4.4. 림 형상 데이터 생성

자동차 휠의 경우 주물시 급형의 노후화의 정도에 따라 휠 형상의 불균일성(오차: 약±1mm)이 발생하게 된다. 따라서 각 모델 별 림 형상을 측정하여 데이터 뱅크(data bank)화 함으로써 모델변화에 유연성(flexibility)을 부여하게 된다. 본 연구에서는 센서의 측정범위가 60~140mm이므로 측정은 측정시작점 $RMSP(r_{wmax}+60, 0, h_w-h_u)$ 에서 $RMEP(r_{wmax}+60, 0, -h_u)$ 까지 z축방향으로 일정간격으로 로봇트에 의해 스캐닝(scanning)하면서 림의 형상을 측정한다.

i) 데이터 흐름

센서로부터의 데이터는 앰프를 통해 PC-Lab 카드의 12비트 A/D 변환기에 의해 디지털 데이터로 변환되어 PC 메모리에 저장된다. 이때의 데이터값들은 데이터 처리 알고리즘에 의해 데이터처리된 후 로봇트 경로 데이터로 변환되어 림 형상 데이터로써 로봇트 콘트롤러에 보내진다. 이에 대한 블록선도(block diagram)는 그림7과 같다.

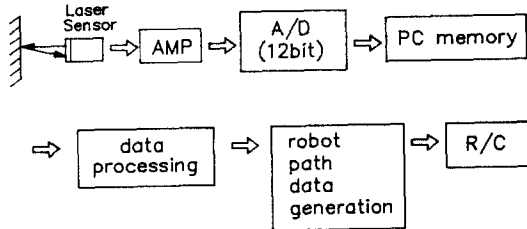


그림7 센서 데이터의 처리 흐름도
Fig.7 Processing flow of sensor data

ii) 데이터 처리 알고리즘

- 필터링(filtering)

측정된 데이터는 노이즈 제거를 위해 이동평균법(moving average method)을 이용한 고주파 제거 필터링(low pass filtering)을 한다.

즉,

$$r_{fi} = \left(\sum_{j=i-5}^{j=i+5} (1-j+i)W|r_{mi}| \right) / 11$$

여기서 r_{fi} : 필터 데이터
 r_{mi} : 측정 데이터
 W : 가중치

- 기울기 보상(slope compensation)

측정면으로부터의 반사광량에 비례하는 전압을 출력하는 레이저 센서의 원리로 인해 측정면이 어떤 기울기를 갖는 경우(그림8) 빛의 난반사로 인해 반사광량이 적게 수광됨으로 인해 실제보다 더 멀게 인식된다. 이런 면의 기울기에 의한 오차량은 다음의 기울기 보상방법에 의해 보상한다. 즉, 측정점 전후의 측정값에 의해 결정되는 직선의 기울기에 비례하는 양을 보상한다. 이때의 보상량 Δr_{ci} 는

$$\Delta r_{ci} \propto \tan^{-1} \left(\frac{r_{mi+1} - r_{mi-1}}{z_{mi+1} - z_{mi-1}} \right) \quad \text{이다.}$$

이러한 기울기 보상방법에 의해 본 연구에서는 측정오차를 최대 50%정도 보상할 수 있었다.

iii) 로봇트 가공경로 자동생성

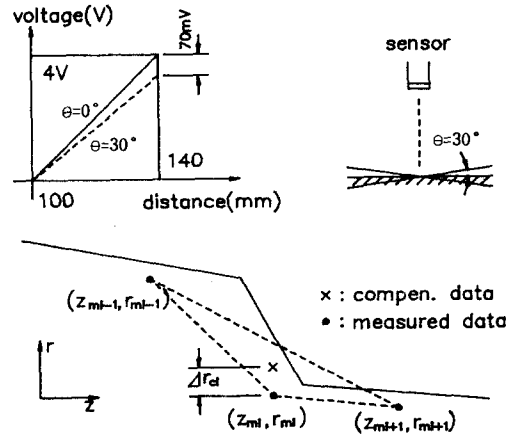


그림8 기울기 보상법
Fig.8 Slope compensation

데이터 처리 루틴을 거친 각 측정값들은 변환상수(scale factor)를 곱해서 실제의 거리 데이터로 변환된다. 이 변환된 거리 데이터 Δr 의 BCS(Base Coordinate System)에서의 위치좌표값으로의 변환 알고리즘은 다음과 같다. 그림9에서 보는 바

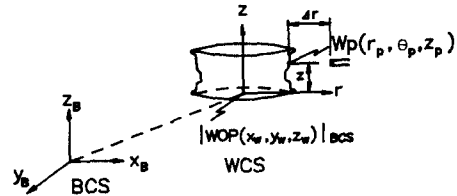


그림9 측정거리로부터 가공경로 생성
Fig.9 Deburring path generation by using measured data

와 같이 WCS(Workpiece Coordinate System)에서의 측정점 $Wp(r_p, \theta_p, z_p)$ 의 좌표값을 원통좌표에서 직각좌표로 변환하여 이를 변환행렬(transformation matrix)로 나타내면

$${}^{wcs} T = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & r_{wmax}+60-\Delta r \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad \text{이다.}$$

또 BCS에서 WCS로의 변환행렬은

$${}^{wcs} T = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & x_w \\ 0 & 1 & 0 & y_w \\ 0 & 0 & 1 & z_w \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad \text{이다.}$$

따라서 각 측정점의 BCS에서의 좌표값은

$${}^B T = {}^{wcs} T \cdot {}^{wcs} T \quad \text{에 의해}$$

$$x_{bi} = r_{wmax}+60-\Delta r+x_w$$

$$y_{bi} = y_w$$

$$z_{bi} = z+z_w \quad \text{이고}$$

이 자동생성된 가공경로데이터는 로봇트 콘트롤러의 위치배열(position array)에 CTS를 통해 자동으로 로딩(loading)되고 로봇트는 이 배열을 참조하여 가공경로를 인식하게 된다.

5. 측정 및 가공실험

5.1 림 형상의 측정실험

림 형상의 측정은 측정 시작점 RMSP로 로봇트 이동후 z축방향으로 간격 0.5mm씩 이동하면서 측정하였다. 그림10은 측정된

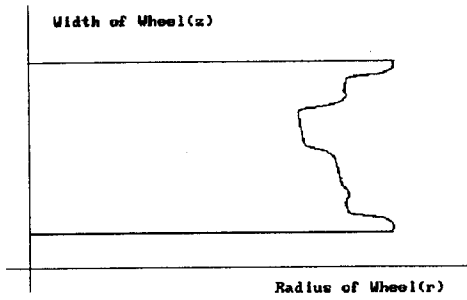


그림10 측정된 림의 형상
Fig.10 Measured rim contour

림의 형상 및 데이터 처리후의 형상을 보여주고 있다. 주물면이 비교적 미끄럽기 때문에 두 데이터간에 큰 차이가 없음을 볼 수 있다. 실험결과 실제형상과 측정된 형상의 오차는 최대 1mm로 이는 공구의 콤파라이언스기능에 의해 충분히 흡수할 수 있는 정도이다.

5.2 림 버 위치인식 실험

로봇을 RMSP1에 위치시킨 후 휠 포지셔너를 회전시키면서 측정된 데이터는 그림11과 같다. 이때 버가있는 부위의 근처에

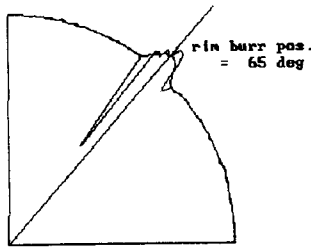


그림11 림 버의 위치인식
Fig.11 Position recognition of rim burr

서 휠 중심방향으로 휠이 푹 파여있는 것처럼 나타나는데 이는 버로 인한 레이저빔의 산란에 기인한다. 이러한 현상은 일종의 노이즈(noise)이므로 이를 제거시킨 후 단면1차모멘트를 이용하여 림 버의 위치인식을 행하였다.

5.3 가공실험

각 버는 플랜지 버, 림 버, 스포크 버의 순서로 가공하며 이에 대한 가공 시퀀스는 그림12와 같다. 본연구에서는 PFERO사

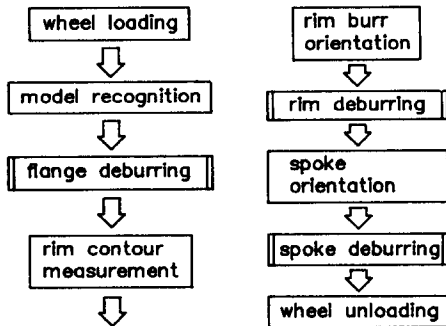


그림12 휠 버의 가공공정
Fig.12 Deburring process of wheel burr

의 알루미늄용 회전 디버링 공구를 사용하여 가공실험을 수행하였다.

6. 결 론

본 연구에서는 자동차 휠의 버를 제거하기 위해 로봇을 이용한 디버링 시스템을 개발하였다. 이 시스템은 휠의 모델변경에 유연성있게 대처할 수 있도록 림의 형상을 측정하여 데이터베이스화하였으며 버의 위치를 온 라인으로 자동인식함으로써 수동에 의한 휠 버의 포지셔닝(Positioning)의 필요성을 제거하였다. 측정된 림의 형상데이터는 데이터 처리루틴에 의해 데이터처리한 후 로봇의 가공경로 데이터로 자동으로 변환시킨 다음 CTS를 이용하여 로봇에 가공경로를 지령하도록 하였다. 이때 측정오차로 인한 로봇의 가공경로 오차는 공구에 콤파라이언스 기능을 부여함으로써 이 콤파라이언스의 범위내에 흡수되도록 하였다.

참 고 문 헌

- [1] Kenichi Horicuchi, etc., "Deburring system by detecting the rotational speed(R.P.M.) of gripper", JAPAN,USA Symposium on Flexible Automation, pp.293-296.
- [2] T.M.Stepien, etc., "Control of tool/workpiece contact force with application to robotic deburring", IEEE, pp.670-679, 1985.
- [3] H.Kazerooni, etc., "An approach of automated deburring by robot manipulators", Transactions of the ASME, Vol.108, pp.354-359, Dec.1986.
- [4] "ASEA Robotic-Computer Link", ASEA, Oct.1987.