

## 선박 보강부재 모서리 자동가공 시스템 개발

### Development of Automated Edge Milling System for Ship Stiffener Plate

신태영\*

Taek-Young Shin\*

#### 〈Abstract〉

According to the PSPC (Performance Standard for Protective coatings) rule, the edge preparation must keep 2R or 3-pass grinding. The stiffener plate edge grinding of the ship inside is manually progressed by worker and worked with just one pass grinding. In addition, the poor working condition cause grinding workers to avoid working in them, and the quality is determined by the skill-level of a worker. This research developed optimal tool for edge milling. In order to milling various collar plates edge, this research developed vision system that can recognize the edge points and it developed a program that operator can adjust the amount of cutting and speed, and add various features so that milling quality would be improved. So, this research focused on overcoming the difficulties in working condition and development of automated milling machine for ship stiffener plate.

*Keywords : PSPC, Stiffener Plate, Edge Milling, Vision System*

---

\* 연암공과대학교 기계공학과, 교수  
E-mail: tyshin@yc.ac.kr

\* Dept. of mechanical Engineering, Yonam Institute of Technology

## 1. 서론

국제 해사기구 IMO의 PSC 규정 발효 이전에는 선박에 들어가는 모든 부재는 작업자가 그라인더를 이용해서 수동으로 1-Pass Grinding을 실시하였다. 본 논문에서는 선박의 강도 증가와 수명 향상을 위해 Collar Plate, Bracket, Stiffener의 모서리를 자동으로 가공하는 장비를 개발하여 작업 환경을 개선시키고 작업 시수를 절감하고 생산성 향상을 목표로 연구를 진행하고자 한다. 부재들의 종류가 많고 부재의 두께가 달라 모서리 가공은 전량 작업장에 의한 수작업으로 진행되고 있으며 자동 장비 개발에 대한 접근이 어려운 실정이다. 이는 작업 환경이 열악하고 작업강도가 높으며 작업자의 근골격계 질환 발생이 높은 이유로 작업자의 작업 기피 현상이 많이 발생하고 있다. 또한 수작업에 의한 작업으로 모서리 가공 면에 대한 품질이 유지되지 않는 문제도 지속적으로 발생하고 있다. 자동 Grinding 장비에 대한 개념적 접근은 부재를 수동으로 Loading하고 Grinding을 위한 부재의 형상을 자동으로 인식하고 작업자가 설정한 Grinding 두께만큼 자동으로 Grinding 하는 것이다. 부재를 Grinding 하기 위한 틀 형상 설계와 틀 테스트를 통해 Grinding에 적합한 최적의 틀을 개발하였다. 또한 다양한 부재의 모서리를 Grinding 하기 위해 모서리 좌표를 정확하게 인식할 수 있는 비전 시스템을 적용하였으며 비전 시스템에서 추출된 좌표를 기준으로 모서리를 Grinding 하기 위한 다축 NC Base의 Grinding 장비 개발을 진행하였다. Grinding 품질 향상을 위해 작업자가 절삭량 조절, 속도 조절 등이 가능하고 다양한 형상을 추가하여 Grinding 할 수 있는 프로그램을 개발하였다[1][2].

## 2. 좌표계 캘리브레이션

### 2.1 원점 설정

기구부의 구성은 아래 Fig. 1과 같이 X, Y, Y', Z, Z', Spindle로 구성되어 있다. 기구부의 원점은 X 축과 Y, Y' 축이 기구부 Stage에 달린 Limit Sensor와 Home Sensor를 이용하여 Home 이동을 하면 모션 좌표계는 (0, 0) 셋팅 된다. X,Y (0, 0) 위치가 기구부 원점이 된다.

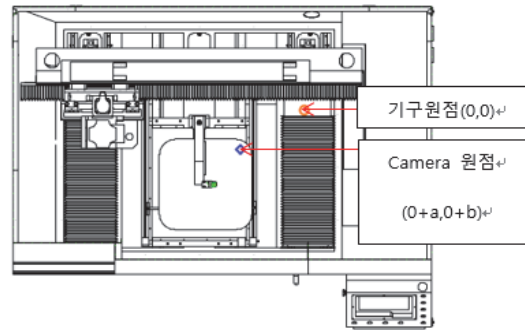


Fig. 1 Drawing of edge milling for define zero position

Fig. 2는 비전 Camera에서 촬영한 이미지이다. 가공 부재를 로딩한 다음 하단의 Back Light에서 조명을 켜서 비전 Camera로 촬영하였다. 오른쪽

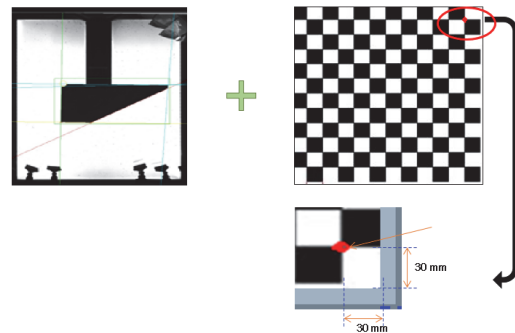


Fig. 2 Vision calibration chart and camera image

상단이 기구부 원점이다. 기구부 원점은 (0+a, 0+b) 위치이며 좌표계 캘리브레이션 과정을 통해 정확한 원점을 찾을 수 있다. 기구부 원점과 비전 Camera의 원점을 셋팅하는 과정을 좌표계 캘리브레이션 과정이라고 한다. 좌표계 캘리브레이션을 위해 특별하게 제작된 투명 글라스와 시트지를 이용하여 좌표계 캘리브레이션 작업을 진행하였다.

### 2.2 좌표계 변환

기구부를 구동하기 위한 모션 컨트롤러는 Delta tau 사에서 개발한 Turbo PMAC을 사용하였다. X축을 1번, Y, Y' 축은 동기 제어로 설정하여 2번 축을 Master로 정의하였다. Deltatau Motion Controller 좌표계 정의에 의해서 아래와 같이 좌표계를 설정하였다.

- #1 → 10,000 X (Motor Encoder Count / 1mm)
- #2 → 10,000 Y (Motor Encoder Count / 1mm)
- [7],[8]

기구부 원점에서 비전 원점까지 X축으로 3mm, Y축으로 2mm 이동을 가정하면 아래 그림과 같이 좌표계를 정의할 수 있다.

- #1 → 10,000X + 3,000
- #2 → 10,000Y + 2,000

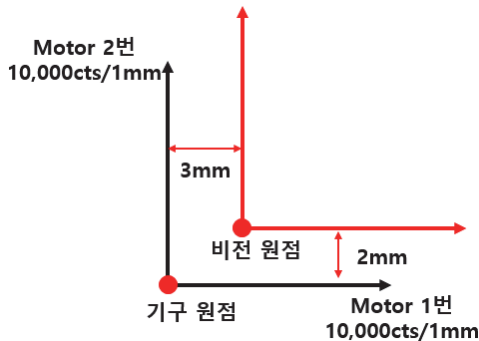


Fig. 3 Coordination system for X,Y linear move condition

다음은 기구부 원점에서 비전 카메라 원점까지 Rotation 값을 측정하기 과정이다. Rotation 값을 측정하기 위해서는 기구부의 홈 위치에서 X2, Y2 위치까지 수동으로 JOG 모션을 구동하여 피드백 되는 엔코더 값을 거리 값으로 변환하여 X2, Y2 값을 산출한다. Rotation 각도를 산출하기 위해서는 기구부 거리 값과 비전 거리 값을 비교하여 삼각 함수를 이용하여 회전된 각도를 구할 수 있다.

한 축에 대한 순수 회전 표현은 아래와 같이 구현하였다[3].

- 1) 좌표계가 기준 좌표계의 원점에 있고 그것에 평행하다고 가정한다.
- 2) 기준 좌표계( $\bar{x}, \bar{y}, \bar{z}$ )의 원점에 위치한 좌표계 ( $\bar{n}, \bar{o}, \bar{a}$ )는 기준 좌표계 x축에 대하여 좌표계가 X축에 대하여 이동할 때는 Px 값이 변하지 않지만 Py, Pz는  $\theta$ 만큼 회전한다는 것을 가정한다.
- 3) 점 P가 회전한 좌표계 ( $\bar{n}, \bar{o}, \bar{a}$ )에 부착되어 있음을 가정한다.

$$\begin{aligned}
 P_x &= P_n \\
 P_y &= l_1 + l_2 = P_o \cos \theta + P_a \sin \theta \\
 P_z &= l_3 + l_4 = P_o \sin \theta + P_a \cos \theta
 \end{aligned} \tag{1}$$

$$\begin{bmatrix} P_x \\ P_y \\ P_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & C\theta & -S\theta \\ 0 & S\theta & C\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_n \\ P_o \\ P_a \end{bmatrix}$$

기준 좌표계에서 좌표를 얻기 위해서는 회전된 좌표계에서의 점 P의 좌표를 반드시 회전행렬 뒤에 곱해야 한다. 이 회전행렬은 기준 좌표계의 X축에 대한 순수 회전이며 아래와 같이 표현될 수 있다.

$$P_{xyz} = Rot(X, \theta) \times P_{noa} \tag{2}$$

식 (1)에서 회전행렬의 첫번째 열은 X축과 연관된 위치를 표현한 1, 0, 0 값을 갖는다. 따라서

회전행렬은 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$\begin{aligned} \text{Rot}(x, \theta) &= \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & C\theta & -S\theta \\ 0 & S\theta & C\theta \end{bmatrix} \\ \text{Rot}(y, \theta) &= \begin{bmatrix} C\theta & 0 & S\theta \\ 0 & 1 & 0 \\ -S\theta & 0 & C\theta \end{bmatrix} \\ \text{Rot}(z, \theta) &= \begin{bmatrix} C\theta & -S\theta & 0 \\ S\theta & C\theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (3)$$

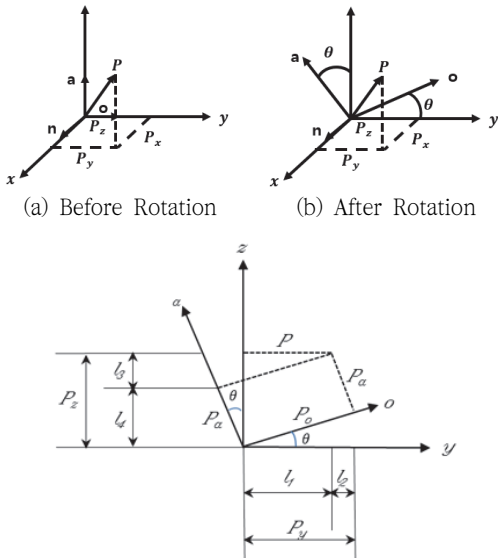


Fig. 4 Define coordination system for rotation

비전 카메라의 원점과 기구부의 원점을 캘리브레이션 완료한 다음 모션 프로그램에 좌표계를 정의하여 장비 구동을 위한 기본 셋팅을 완료한다.

### 3. 카메라 비전 시스템

#### 3.1 구성 및 운영 방법

Collar Plate, Stiffener, Bracket과 같은 부재의

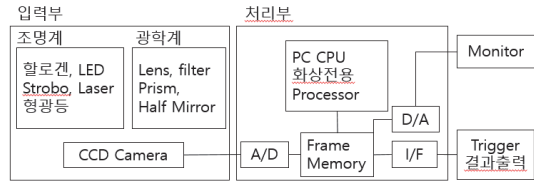


Fig. 5 Vision process diagram

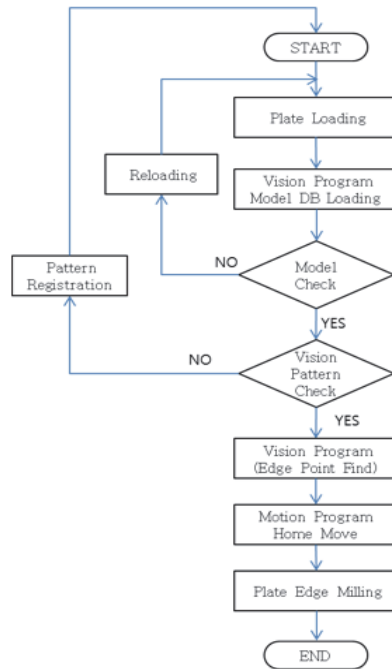


Fig. 6 Vision system flow chart

모서리를 자동으로 가공하기 위해서는 기구부의 가공 포인트와 이동 경로를 정의하여 다축 NC 가공 시스템의 끝단에 달린 툴의 위치제어가 핵심이다. 상기 부재들의 형상을 인식하기 위한 비전 시스템의 구성은 비전보드, 5M Pixel Camera, 16mm 렌즈, Backlight 조명, 비전 보드로 구성되어 있으며 데이터를 처리하고 모션 컨트롤러와의 Interface를 담당하는 산업용 PC를 이용하여 영상을 촬영하고 원하는 데이터를 획득할 수 있다.

비전 기본 구성도는 다음과 같다. CCD Camera와

조명계, 광학계를 이용한 입력부와 A/D Converter와 화상 전용 CPU를 탑재한 Processor, D/A 컨버터를 탑재한 처리부로 구성되어 있다.

Vision System 처리 순서는 Fig. 6과 같다.

작업자가 작업 대상(부재)을 Loading 하는 단계로부터 시작한다. Vision Camera는 가로\_세로 길이를 측정한다(X, Y Size 판독). 가로\_세로 길이를 판독한 다음 데이터베이스 검색 후 해당 모델을 선택한다. 해당 모델을 로딩한 다음 부재의 모델별 모서리 포인트 찾기 파라미터를 로딩한다. 선택된 패턴이 로딩되면 가공좌표를 분석하고 추출하는 과정을 거쳐서 작업정보를 Motion Controller로 전달하게 된다.

### 3.2 비전 시스템을 이용한 좌표추출 방법

Vision System의 핵심 기법은 아래 Fig. 7과 같다.

먼저 Vision Pattern을 이용하여 도면 파일을 로딩 후 해당 모델을 등록하고 Vision Edge 기법을 이용하여 가공면 모서리 포인트를 찾아낼 수 있다. 가공 포인트를 찾기 위해서는 직선과 직선이 만나는 교차점 포인트와 직선과 곡선이 만나는 교차점 포인트를 찾아 각각의 X, Y 좌표를 분석

하여 부재의 가공면에 가장 근접한 가공 포인트를 찾아내는 것이 가공 품질을 향상시킬 수 있는 방법이다. Collar Plate, Bracket과 같은 부재의 모서리를 가공하기 위해서는 정확한 가공 포인트를 찾아내어 모션 컨트롤러로 전송하여야 한다. 머신 비전의 Line Tool과 Circle Tool, 교차점 찾기를 통한 좌표를 구하는 방법을 사용하였다.

Fig. 8는 실물 이미지, 가공영역 이미지, 비전 이미지를 보여준다. 가공영역 이미지는 가공 대상 영역과 용접구간으로 나눌 수 있다. 1~2번은 직선구간, 2~3번은 곡선구간, 3~4번은 직선구간, 4~5번은 곡선구간, 5~6번은 직선구간이다. 나머지 구간은 용접구간으로 가공구간에서 제외된다.

Fig. 9와 같이 Line Tool, Circle Tool을 이용하여 교차점 찾기는 가공하고자 하는 직선과 직선에 비전의 Line Tool을 설정한 다음 50개의 X, Y 좌표로부터 Linear 한 라인 정보를 가져와 최적 라인을 형성하여 라인과 라인이 교차하는 점에서 가공좌표를 추출한다.

Fig. 10과 같이 직선과 곡선이 만나는 포인트도 동일하게 교차점에서 가공좌표를 추출한다(Line Tool과 Circle Tool의 교차점).

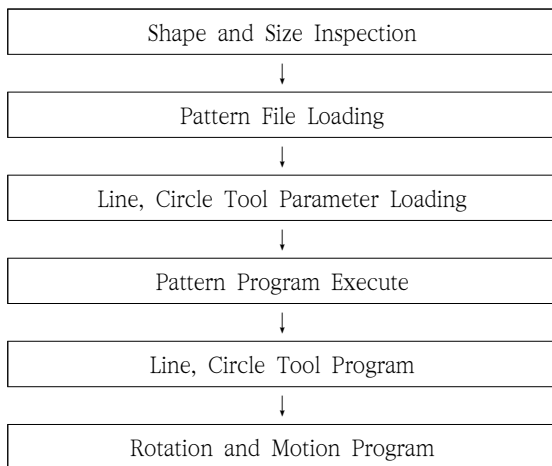


Fig. 7 Define of collar plate edge point

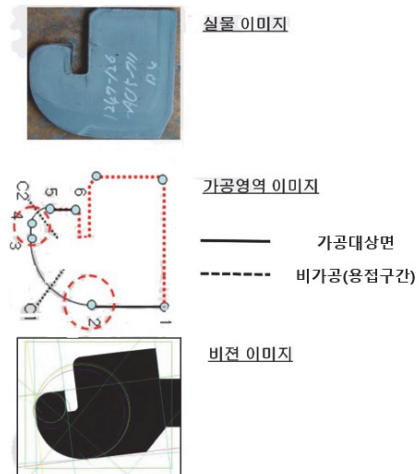


Fig. 8 Collar plate grinding path



### 4.2 사용자 운영 프로그램

작업자가 사용하는 메인 운영 프로그램의 화면은 Fig. 12와 같다. 프로그램 조작 버튼은 PC Monitor 조작화면과 모니터 외곽에 있는 Push Button, Selection Button으로 나누어져 있다. PC Monitor는 가공조건을 설정할 수 있고 형상 변경을 클릭하여 가공 부재를 선택할 수 있다. 상단의 메뉴 화면에는 조그 버튼이 있어 모터를 개별 제어할 수 있다. 모니터 외부에 있는 버튼은 수동/자동 선택버튼, 운전시작, 일시정지, 알람리셋, Feedrate 선택, 원점복귀 기능이 있다. 각각의 기능은 I/O 신호를 입력받아 모션 컨트롤러의 PLC 프로그램으로 연결되어 있어 연동 및 개별제어가 가능하다.

Fig. 13은 형상을 선택한 다음 가공 포인트를 추출

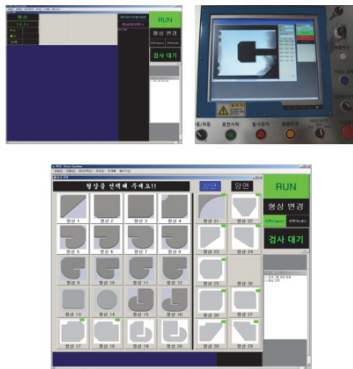


Fig. 12 User main program

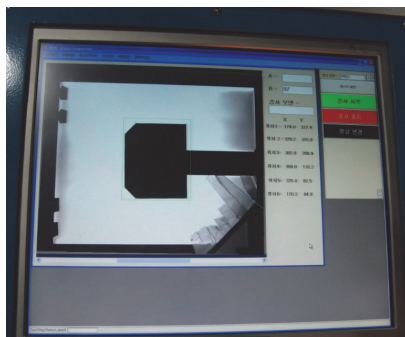


Fig. 13 Image of milling point after vision inspection

한 모습이다. 가공 포인트는 X1, Y1부터 X6, Y6까지 비전의 원점을 기준으로 측정된 좌표이다. 비전 측정 후 데이터는 자동으로 모션 컨트롤러로 전송이 된다.

Fig. 14는 Edge Milling System의 상태 확인창이다. 모션 컨트롤러의 PLC 프로그램과 지정된 변수들을 활용하여 모터, 센서 및 비전의 상태 등을 실시간으로 확인하여 이상이 있을 때 화면에 표시하여 작업자가 시스템의 상태를 확인할 수 있다.

Edge Milling 장비의 확장성을 보여주는 기능으로써 신규 모델 등록기능이 있다. 1차적으로 형상으로 모델을 분류하고 동일한 형상은 가로\_세로 크기로 모델 이름이 등록된다. 등록된 모델은 비전의 좌표추출을 위한 직선 툴과 원형 툴을 불러내는 데 사용된다.

Fig. 15은 Edge Milling 장비를 실제 구동시키는 모습이다. 작업자가 수동으로 부재를 전자석 위에

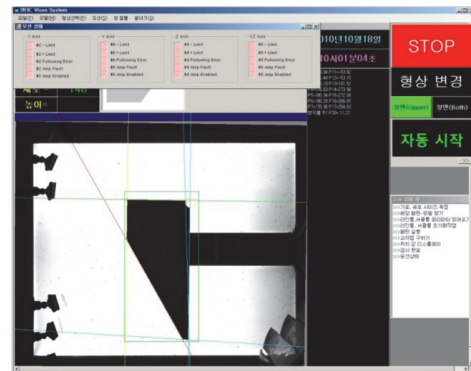


Fig. 14 Image of system status

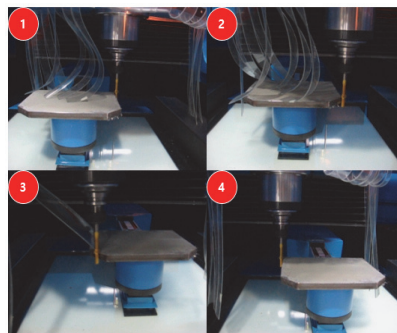


Fig. 15 Image of milling sequence

올려놓으면 전자석이 On 되어 부재가 떨어지지 않게 된다. 형상을 선택하고 자동 시작 버튼을 누르면 비전 카메라에서 가공좌표를 추출하여 모션 컨트롤러로 전송하고 전송된 가공좌표로 Spindle이 구동하면서 부재를 가공하는 순서로 진행된다.

## 5. 결론

선박에 적용되는 PSPC (Performance Standard for Protective Coatings) 규정에 맞도록 부재 모서리를 자동으로 가공하는 시스템 개발을 위하여 기구부 설계, 모션 제어프로그램 개발, 비전 시스템을 이용한 좌표계 추출 방법들을 연구하여 적용하였다. 논문의 목적은 현재 수동 작업으로 부재의 모서리를 그라인딩하는 작업을 자동으로 가공하여 작업속도를 향상시키고 작업 환경을 개선하는 데 그 목적이 있다. 기구부는 부재의 크기 400mm × 500mm를 가공하기 위해서 X, Y, Y', Z, Z', Spindle 축으로 구성하여 제작하였다. 부재 1개를 가공하는데 기존 수작업 대비 약 30초를 단축하여 생산성 향상을 가져올 수 있었다. Motion Program은 기구부를 제어하기 위해 PC Base Type의 Motion Controller를 사용하였으며 Vision Camera와 인터페이스, 서보모터, 고속 Spindle 및 각종 센서를 제어하였다. 기구부 홈 구동과 I/O 제어는 Motion Controller의 PLC 프로그램을 이용하였으며 부재 가공은 비전에서 추출한 좌표를 Motion Program 중의 하나인 G-Code를 사용하여 제어하였다. Motion Controller의 정밀 제어를 통해 가공 오차를 줄일 수 있었으며 부재의 모서리를 3R로 가공하여 품질 향상의 효과를 가져왔다.

향후 과제로 가공정밀도 향상 부분을 생각할 수 있다. Collar Plate, Bracket, Stiffener와 같은 부재들은 보통 가스절단 장비를 사용하여 절단한다. 가스절단 장비의 경우 정반에 쌓인 슬래그와

절단 토치 수직오차로 인해 절단된 면이 수직하게 절단되지 않는 문제가 있었다. 따라서 각종 부재들의 가공 포인트를 찾기 위해 Vision Camera를 사용할 때 부재 상면의 모서리를 찾아서 정확한 가공 포인트를 찾기가 어려운 문제도 발생하였다. 이러한 문제를 보완 하기 위해서 부재의 상태에 따른 가공 포인트 추출 기법을 개발해야 할 것으로 판단된다. 또한 작업자가 핸들링하기 어려운 크기가 큰 부재는 Loading, Unloading 방식을 6축 다관절 로봇 등을 이용하여 Full Auto 방식의 자동화 시스템 개발도 필요할 것으로 판단된다.

## 사 사

이 연구는 연암공과대학교 교비연구비에 의해 수행되었습니다.

## 참고문헌

- [1] Eun-tae Kim, Dong-hoon Lee, Ho-kyung Kim, "Development of 2R or 3-Pass Grinding Machine for Standard Collar Plate," 한국공작기계학회 2008 추계학술대회 논문집, pp.215-221, (2008).
- [2] 김은태, 이동훈, 김호경, "Standard Collar Plate 자동가공장비 개발," 한국정밀공학회 추계학술대회 논문집, pp159-160, (2009).
- [3] 김찬봉, 양민양, "밀링가공의 절삭조건 검증 시스템 개발," 한국정밀공학회 추계학술대회, pp428-433, (1994).
- [4] Deltatau, Turbo PMAC/PMAC2 Software reference Manual.
- [5] Deltatau, Turbo PMAC User Manual.
- [6] Deltatau, PMAC NC for Mill Application Software reference Manual.