

병렬기구형 틸팅 테이블의 개발에 관한 연구

이원철*·김태성*·박근우**·이민기**

Study on Development of Parallel-Typed Tilting Table

Won Chul Lee, Tae Sung Kim, Kun Woo Park and Min Ki Lee

Key Words: Parallel-typed tilting Table(병렬기구형 틸팅 테이블), Machining center tool(공작기계), NC code generator(NC 코드 생성기), Parallel mechanism(병렬기구), CAD/CAM System(설계/가공 시스템), Graphic simulator(그래픽 시뮬레이터).

Abstract

In this paper, we develop a six-axes machining center tool(MCT) and CAD/CAM system. The MCT consists of two mechanical parts, i.e., a X-Y-Z Cartesian coordinate typed MCT and a parallel-typed tilting table. Kinematics and singularity are accomplished to design the parallel-typed tilting table, and CAD/CAM system is developed for the six-axes MCT, which requires the commands of position as well as orientation for machining of complex shape. The CAD/CAM system has a tool path generator, a NC code generator and a graphic simulator. This paper designs the parallel-typed tilting table to meet the desired specification and presents the results of tool path, NC code and graphic simulation.

1. 서 론

본 연구는 절삭각이 요구되는 난 형상 가공을 위해 일반 공작기계에 테이블의 자세를 제어할 수 있는 병렬기구형 회전 테이블에 관한 것이다. 툴의 위치와 자세를 생성하는 상용 5축 가공기가 개발되어 있으나 대형이고 고가의 장비로 일반 중소기업에서 보유하기 어렵다⁽¹⁾. 가공업체에서는 지그를 설치해 절삭각을 만들거나 베드에 회전 테이블 또는 경사 테이블을 설치하여 자세제어를 구현한다. 그러나 경사 테이블은 편심 회전축의 조합에 의해 구동됨으로 툴의 접근을 막는 작업 공간이 많고, 대형 가공물을 탑재할 수 없으며, 특이점(불연속 운동점)을 가져 난 형상 가공에 적용하기는 어렵다. 따라서 위치와 자세를 동시에 생성할 수 있는 테이블 자세 제어형 공작기계는 난 형상 가공에 적합한 공작기계가 될 것이다⁽²⁾.
본 연구에서 제안하는 테이블 자세 제어형 공작기계는 일반적인 X-Y-Z 3축 직각좌표 공작기

계와 가공물의 회전과 경사각을 생성할 수 있는 3축 병렬기구형 회전 테이블로 구성된다.

본 논문에서는 3 자유도 병렬기구형 회전 테이블을 가지는 6축 공작기계의 설계 및 제어를 위한 기구학 해석 및 특이점을 분석한다.

또, 제안된 테이블 자세 제어형 공작기계는 일반 공작기계와는 달리 6개의 구동축을 가지고 있어 기존의 CAD/CAM 프로그램은 적용할 수 없다. 테이블 자세 제어형 공작기계에 적용할 수 있는 6축 가공 CAD/CAM 시스템을 개발^(3,4) 한다.

테이블 자세 제어형 공작기계에 적용하기 위한 CAD/CAM 시스템은 AutoCAD를 이용하여 가공 도면을 작성하고 DXF 데이터의 형상 모델링^(5,6)으로부터 NC코드를 생성하여 그래픽 시뮬레이터를 통해 가공 경로를 검증한다.

2. 테이블 자세 제어형 공작기계의 설계 및 해석

2.1 테이블 자세 제어형 공작기계

테이블 자세 제어형 공작기계는 Fig. 1과 같이 X-Y-Z 직각좌표 공작기계와 3 자유도의 병렬기

* 창원대학교 제어계측공학과 대학원

** 창원대학교 메카트로닉스공학부

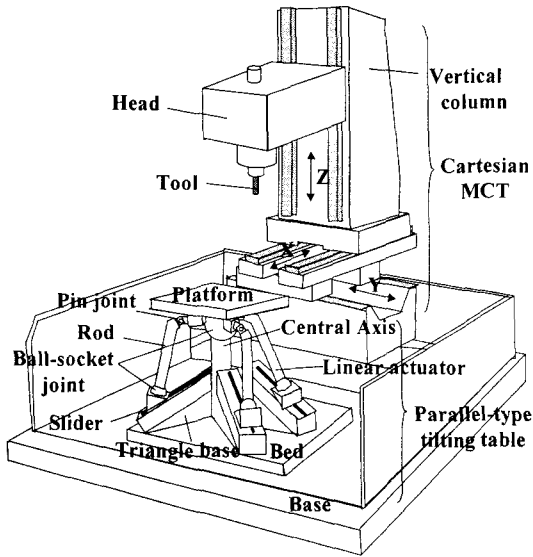


Fig. 1 Table pose control-typed MCT for machining complex shapes

구형 회전 테이블로 구성된다. 본 논문에서는 병렬기구형 회전 테이블의 설계에 관하여 다룬다.

병렬기구형 회전 테이블은 가공물을 놓는 플랫폼과 이를 지지하는 3개의 로드, 선형 액추에이터, 운동을 구속하기 위한 3 자유도의 볼-소켓 조인트를 가지는 중앙축으로 구성된다.

플랫폼의 운동을 생성하기 위한 선형 액추에이터는 6 자유도를 가지며 주어진 각도로 삼각베이스에 설치되어 직선운동($\theta_i, i=1,2,3$)을 생성한다. 선형 액추에이터의 슬라이더 위에 설치되어 있는 볼-소켓 조인트를 공간상에 위치시킨다. 볼-소켓 조인트는 3 자유도 ($\theta_2, \theta_3, \theta_4, i=1,2,3$)의 운동으로 로드의 회전 운동을 생성하고 로드의 끝단에 설치되어 있는 핀 조인트는 2 자유도($\theta_5, \theta_6, i=1,2,3$)의 플랫폼의 회전운동을 생성한다.

3개의 선형 액추에이터는 플랫폼 하단에 설치되는데 6 자유도를 가지는 선형 액추에이터만으로는 플랫폼의 운동을 구속할 수 없다. 따라서 플랫폼 중앙에 3 자유도($\theta_1, \theta_2, \theta_3$)의 볼-소켓 조인트를 설치하여 운동을 구속시킨다.

2.2 기구학해석

병렬기구형 회전 테이블의 역방향기구학은 Fig. 2와 같이 테이블의 좌표계 {0}에 대한 {3}의 자세($\theta_1, \theta_2, \theta_3$)가 주어질 때 각 선형 액추에이터의 제어 파라미터($\theta_i, i=1,2,3$)를 구하는 것이다.

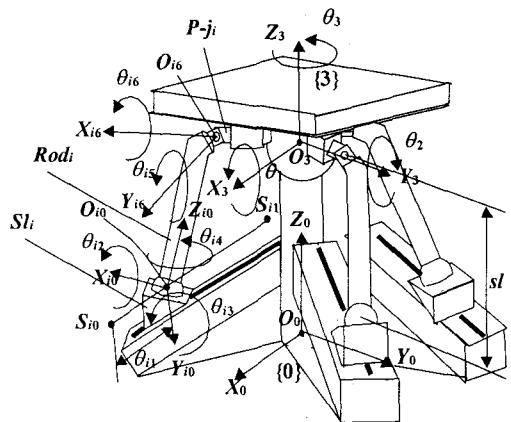


Fig. 2 Parallel-typed tilting table

θ_{i1} 는 플랫폼 하단 핀조인트($P-j_i, i=1,2,3$)의 위치 벡터(${}^0O_0 O_{i6}$)와 슬라이더($Sl_i, i=1,2,3$)의 위치 벡터(${}^0O_0 O_{i1}$)의 관계에 의해서 구할 수 있다. 즉, 플랫폼 하단의 핀조인트 위치 벡터 ${}^0O_0 O_{i6}$ 는

$${}^0O_0 O_{i6} = R_{03}(\theta_1, \theta_2, \theta_3) \cdot {}^0O_3 O_{i6} \quad (1)$$

이다. 여기서 $R_{03}(\cdot)$ 는 회전행렬이다. 이때 로드($Rod_i, i=1,2,3$)의 운동은 ${}^0O_0 O_{i6}$ 을 중심으로 구 운동을 생성하므로

$$(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2 + (z - z_i)^2 = sl^2 \quad (2)$$

을 만족한다. 이때 ${}^0O_0 O_{i6} = \{x, y, z\}$ 이고, sl 은 로드의 길이이다.

또한 슬라이더의 두 끝점이 S_{i0} 와 S_{i1} 라고 할 때 슬라이더가 이루는 공간상의 직선의 방정식⁽⁷⁾은

$$\frac{x - S_{i1x}}{a} = \frac{y - S_{i1y}}{b} = \frac{z - S_{i1z}}{c}, \quad (\text{if } a \neq b \neq c \neq 0) \quad (3-1)$$

이다. 여기서 $a = S_{i0x} - S_{i1x}$, $b = S_{i0y} - S_{i1y}$, $c = S_{i0z} - S_{i1z}$ 이다. 만약 a, b, c 중 어느 하나가 0이면

$$\frac{x - S_{i1x}}{a} = \frac{y - S_{i1y}}{b}, \quad z = z_2, \quad (\text{if } a \neq b, c = 0) \quad (3-2)$$

로 나타난다.

따라서 각각의 로드가 생성하는 구와 슬라이더가 생성하는 직선을 동시에 만족하는 슬라이더 위의 점 S_{ii} 은 식(2)와 식(3)의 2차 연립방정식에 의해서 구해진다. 구해진 각 2개의 점 중 각 슬라이더가 존재하는 X-Y 평면의 사분면의 점을 선택하여

$$\theta_{ii} = \|\overrightarrow{S_{0i}O_{0i}}\| \quad (i=1,2,3) \quad (4)$$

를 구함으로써 기구학 해석이 완료된다.

2.3 힘/모멘트 해석

직렬 기구와 병렬기구의 쌍대성(dualities)⁽⁸⁾에 의해서 플랫폼에 작용하는 힘/모멘트는 역 자코비안에 의해서 액추에이터의 힘/토크로 변환된다. 그러나 이 변환은 중력과 관성 부하를 포함하지 않고 피동 조인트에 작용하는 힘/모멘트를 계산할 수가 없다. 이러한 피동 조인트를 포함하고 있는 병렬기구의 힘/모멘트 분석은 Lee와 Park^(9,10)에 의해서 연구되었고 본 논문에서는 그 결과를 병렬기구형 회전 테이블의 힘/모멘트 해석에 적용하였다. 유도된 힘/모멘트는

$$\Gamma = J^{-1}(\theta)C \quad (5)$$

로 외부의 힘 C가 주어질 때, 각 선형 액추에이터에 부과되는 힘을 구할 수 있다. 이때 자코비안 $J(\cdot)$ 는 테이블의 자세, $\theta(\theta_1, \theta_2, \theta_3)$ 에 대한 함수로 나타난다. 유도된 힘/모멘트 해석으로 외부의 힘을 지지할 수 없는 특이점을 해석한다.

3. CAD/CAM 시스템 연구

테이블 자세 제어형 공작기계의 구동을 위한 제어 시스템은 Fig. 3과 같이 6개의 Axis Driver, 6축 동시제어 DMC(DSP Motion Controller), Control Panel 및 PC 등으로 구성되어 있다. 시스템의 개발 사양은 Table. I에 표시하였다. 테이블 자세 제어형 공작기계의 제어 시스템에는 CAD/CAM 프로그램이 탑재된다. CAD/CAM 시스템은 CAD에서 작성한 가공도면에서 NC 코드를 생성한다.

CAD/CAM 시스템은 6단계로 구성되어 있으며 단계별 내용은 다음과 같다.

1단계 : 범용 CAD 프로그램인 AutoCAD를 사용하여 가공도면을 작성한다.

2단계 : 생성된 가공 형상 모델을 DXF 파일로

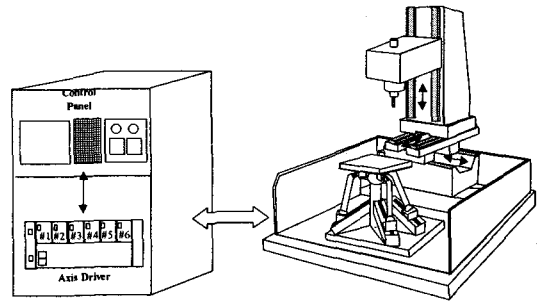


Fig. 3 Control scheme

Table I. Specification of Developer Control & CAD/CAM system

| | |
|-----------------------|---------------------------------|
| CPU | PENTIUM II 450MHz |
| RAM | 128M |
| VGA | NUIDIA Vanta |
| OS | WINDOWS ME |
| Graphic | 16bit (High color), 1024×768 |
| DSP Motion Controller | MEI/PCS DSP 6 Axis |
| Motor Driver | SGDM-15ADA |
| Motor | SGMGH-13A2A41 |
| Develop Tool | Visual C++ 6.0 |
| Graphic Library | OpenGL |

저장한다. 이것은 가공경로의 기초가 된다.

3단계 : 작업하고자 하는 DXF 파일을 읽어들이어 작업장에서 엔티티를 선택하여 가공 명령을 준다.

4단계 : 가공 명령에 따라 NC 코드가 생성된다.

5단계 : 그래픽 시뮬레이터에서 가상의 회전 테이블 위에 가공경로를 그려준다.

6단계 : 회전 테이블 위에 그려진 가공경로를 따라 가상의 공구가 모의가공작업을 한다.

4. 연구 결과

4.1 특이점을 고려한 병렬기구형 회전 테이블 설계

공작기계를 설계하는데 있어 작업자의 작업 효율을 증대시키기 위해서 공작기계의 크기를 고려해야 한다. 특히 직교좌표형 공작기계부의 헤드부의 길이와 테이블의 높이는 중요한 요소이다. 헤드부의 길이가 길어지면 기구의 강성이 낮아지므로 일반적인 공작기계의 헤드부 길이로 제한하고 공작기계의 테이블 높이와 비슷하게 병렬기구형 회전 테이블을 설계하여야 한다. 또한 특이점

을 고려하여 테이블의 회전 각도가 (45°)가 생성될 수 있도록 설계한다. 제시된 테이블의 회전운동이 가능한 설계를 위하여 테이블을 $-60^\circ < \theta_3 < 60^\circ$ 로 회전시킬 때 하단 볼-소켓 조인트의 운동을 분석하였다. 분석결과는 Fig. 5와 같이 운동을 만족하는 회전각, θ_2 와 θ_3 은 90° 내의이지만 회전 방향이 한쪽으로 치우치는 경향이 보이므로 슬라이더의 설치각도를 줌으로써 45° 의 회전각이 가능한 볼-소켓 조인트를 선정한다. 축 방향의 회전각 θ_{34} 는 $\pm 60^\circ$ 로 볼-소켓 조인트는 360° 회전 가능하다.

또한 삼각 베이스의 각도에 따라서 테이블이 회전할 때 특이점에 도달하게 된다. Fig. 6은 삼각 베이스의 각도에 따른 특이점에 도달되는 테이블의 회전각을 나타낸 것으로 40° 의 경우에 제시된 테이블의 회전운동을 만족할 수 있다. Fig. 6에서 보는 바와 같이 40° 의 경우 55° 에서 특이점이 발생하고 40° 이하의 경우에는 특이점에 가까워져 45° 의 테이블 회전각도를 만족시키지 못한다. 40° 이상의 경우에는 슬라이더의 스트로크가 길어지고 Rod의 길이가 길어지게 되므로 테이블의 높이가 높아지는 문제점을 가지게 된다.

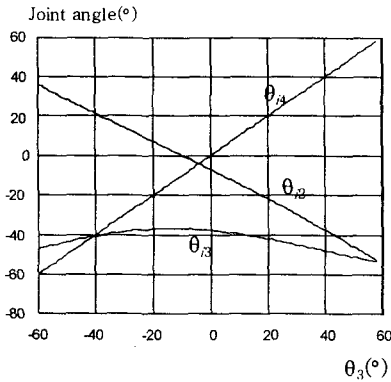


Fig. 5 Motion of each joint

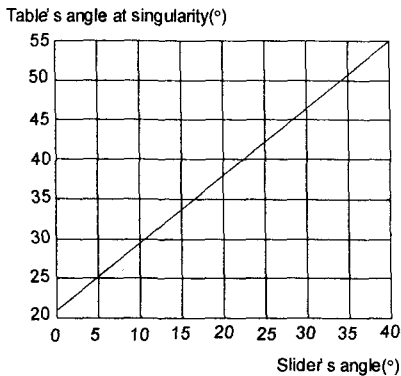


Fig. 6 Table's angle at singularity vs. Slider's angle

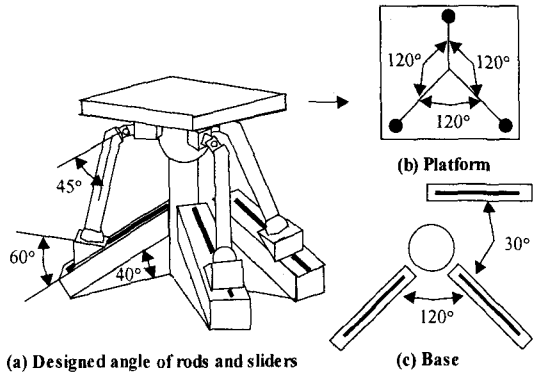


Fig. 7 Design of Base, Platform and Rods

분석 결과를 이용하여 Fig. 7과 같이 삼각베이스의 각도는 특이점을 회피할 수 있도록 40° 로 결정하고 플랫폼의 핀조인트는 120° 등간격으로 슬라이더는 120° 와 30° 로 각각 설치한다. 로드와 끝단은 핀조인트의 몸체와 간섭을 피하기 위하여 45° 의 각도를 주어 설계한다.

결과적으로 테이블 자세 제어형 공작기계는 테이블이 회전각($\theta_1, \theta_2, \theta_3$)이 각각 $\pm 45^\circ$ 가 생성될 수 있도록 설계되었다.

4.2 CAD/CAM을 이용한 가공 경로의 자동생성

DXF 파일의 도면 정보를 분석하여 가공물의 가공 형상을 선택 지정함으로 가공 경로인 NC 코드를 생성하는 프로그램을 개발하여 가공 경로 생성 및 시뮬레이션을 실험하였다.

4.2.1 공구 경로의 생성

CAD 도면의 정보와 가공명령 입력으로 NC 코드의 생성 작업이 편리하도록 하였다.

① Line and Polyline Entity 선택

Fig. 8은 Line and Polyline Entity의 시작점과 끝점의 데이터를 출력하여 보여준다. G00을 선택할 경우 가공 시작점을 결정하는 명령이므로 Line의 시작점을 NC 코드 편집창으로 출력한다.

G01을 선택 할 경우 절삭이송 명령이므로 Line의 끝점을 출력해준다. Reverse 버튼을 누를 경우에는 시작점과 끝점의 데이터값을 바꾸어 출력한다.

② Circle and Arc Entity 선택

Fig. 9는 Circle and Arc Entity의 시작점과 끝점, 시작 각도와 끝점 각도, 중점, 반경의 데이터를 출력해준다. G02를 선택할 경우 시계방향으로 원 호보간을 명령하고 Circle의 끝점을 NC 코드 편집 창으로 출력해준다. G03을 선택할 경우 반시

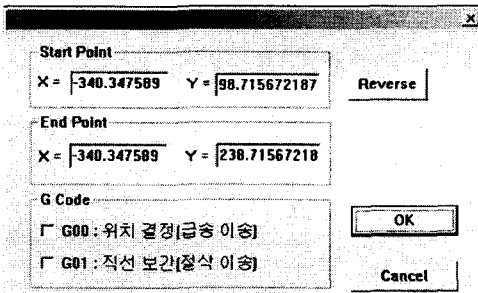


Fig. 8 Line and Polyline entity setting

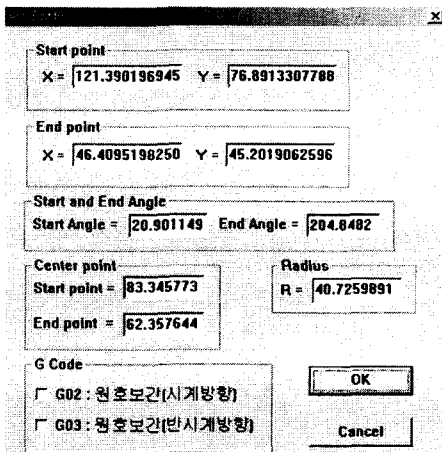


Fig. 9 Circle and Arc entity setting

계 방향으로 원호보간을 해준다.

4.2.2 NC 코드 생성

가공 경로를 지정하기 전에 공구의 사용에 따른 조건들을 추가 설정하여야 한다. CAD 데이터를 읽어 들여 엔티티를 선택한 후 필요한 가공명령을 주면 Fig. 10과 같이 NC 코드가 생성된다. 다른 기능이 추가로 필요한 경우를 대비해 수정, 편집이 되도록 하였다. 위의 과정들을 통해 NC 코드가 생성되면 Fig. 11과 같이 가상의 공구가 모의가공을 시행하여 결과를 검증한다.

4. 결론

테이블 자세 제어형 공작기계의 3 자유도 병렬 기구형 회전 테이블의 설계와 기구학 해석 및 특이점을 분석하였다. 개발중인 테이블 자세 제어형 공작기계는 일반 공작기계와는 달리 6개의 구동축을 가지고 있어 기존의 CAD/CAM 프로그램으로는 난 형상 가공이 어렵다. 따라서 난 형상

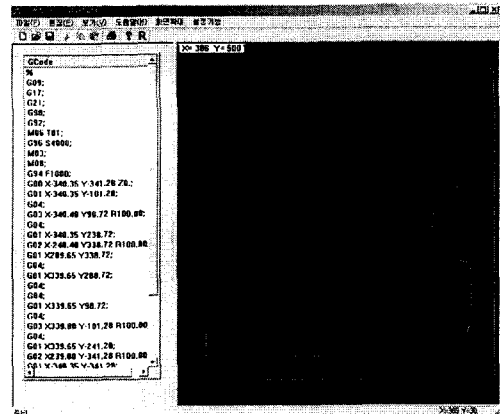


Fig. 10 Generated NC code

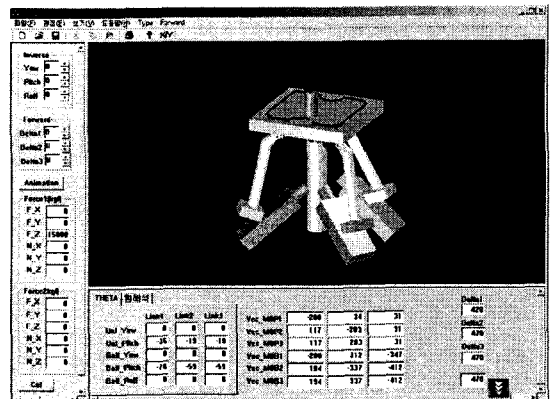


Fig. 11 Simulation of 2D machining work

가공이 가능한 CAD/CAM 프로그램을 개발하기 위해 기초 연구로서 2차원 가공을 위한 CAD/CAM 프로그램을 개발하여 시뮬레이션을 통해 검증하였다. 난 형상 가공을 위한 테이블 자세 제어형 공작기계 개발의 향후 과제로는 1) 회전 테이블의 3자유도 구현과 정밀 제어를 위한 제어 알고리즘 연구, 2) 정밀도를 높일 수 있는 보정 작업 연구, 3) 난 형상 가공을 위한 3차원 CAD/CAM 프로그램 개발과 빠른 가공 프로그램을 위한 RAD(Rapid application development) 툴 개발이 있다.

후기

본 연구는 한국과학재단 지정 창원대학교 공작기계기술연구센터의 지원에 의한 것입니다. 관계자께 감사드립니다.

참고문헌

- (1) 이민기, 최병오, 김태성, 박근우, 2000, “병렬기구형 CNC 공작기계의 개발”, 한국공작기계학회 2000년도 추계학술대회 논문집, pp.535-540.
- (2) 이민기, 김태성, 이원철, 2001, “병렬기구형 로봇 및 공작기계에 관한 연구”, 한국정밀공학회논문집, 제18권 제 7호, pp9-18.
- (3) 전용태, 박세형, 1994, “Impeller 가공용 전용 CAM 시스템 개발”, 대한기계학회 춘추학술대회 논문집, Vol. 1, No. 1, pp.217-220.
- (4) 변문현, 김태규, 1992, “CAD/CAM 시스템에 의한 3차원 NC 가공 Programming 기법 개발 연구”, 충남대학교 산업기술연구소 논문집 제7권 제2호 pp.11~17.
- (5) C.M Hoffmann, K.-J. Kim, 2001, “ Toward valid parametric CAD models”, Journal of Computer Aided Design, Vol. 33, No. 1, pp.81~90.
- (6) S. I. Sangolli, S. Sawar, S. Aralikatti, S. Sarode and P. Manvi, 1998, “Computer-Aided CNC Part Program Generation and Tool Path Simulation for Rotational Parts”, Proceedings of the 14th International Conference on CAD/CAM, Robotics and Factories of the Future, Nov. pp.151-157.
- (7) D. G. Zill, M. R. Cullen, 1992, “Advanced engineering mathematics”, PWS Publishing Com. Boston, pp.356-365,
- (8) Kurtz, R., Hayward, V. , 1992, “Mutilpe-Goal Kinematic Optimization of a Parallel Spherical Mechanism with Actuator Redundancy”, IEEE Trans. Robot. Automat., Vol. 8, pp. 644-651.
- (9) Lee, M. K. and Park, K. W., 1999, “Kinematic and Dynamic Analysis of a Double Parallel Manipulator for Enlarging Workspace and Avoiding Singularities”, IEEE Transaction on Robotics and Automation, Vol.15, No.6, pp. 1024- 1034.
- (10) Lee, M. K. and Park, K. W., 2000, “Workspace and Singularity Analysis of a Double Parallel Manipulator”, IEEE/ASME Transaction on Mechtronics, Vol. 5, No. 4, pp. 367-375.