

쿼터니언을 이용한 선체 외판 전처리 로봇 제어에 관한 연구

정원지*, 김기정⁺, 김성현⁺⁺, 이춘만⁺⁺⁺, 신기수⁺⁺⁺⁺, 이기상⁺⁺⁺⁺

(논문접수일 2005. 11. 10, 심사완료일 2006. 4. 20)

A Study on the Control for an Outer-hull Preprocessing Robot Using a Quaternion

Won-Jee Chung*, Ki-Jung Kim⁺, Sung-Hyun Kim⁺⁺, Choon-Man Lee⁺⁺⁺, Ki-Su Shin⁺⁺⁺⁺, Ki-Sang Lee⁺⁺⁺⁺

Abstract

This paper presents the study in the development of optimal working method for an outer-hull preprocessing robot using a quaternion. The out-hull preprocessing robot consists of feathering and cleaning parts. This robot should be controlled correctly for feathering work because it is to be worked on a curved plate that can result in the errors of orientation. In this paper, we propose a control algorithm between given two orientations of the out-hull preprocessing robot by using a quaternion with spherical linear interpolation. The proposed control algorithm is shown to be effective in terms of motor angles and torques when compared to a conventional Euler angle interpolation, by using both MATLAB[®] and VisualNastran4D[®].

Key Words : Quaternion(쿼터니언), Spherical Linear Interpolation(Spherical 선형 보간), Euler Angle(오일러 각), Feathering(패더링), Out-hull Preprocessing Robot(선체외판 전처리 로봇), Singularity(특이점), Closed Form Solution(폐형식해)

1. 서론

최근 산업 현장에서 자동화를 위한 많은 노력을 기울이고 있다. 과거 노동력 중심의 시장에서 중국 등의 추격으로 인

해 더 이상 노동력 중심의 산업으로 경쟁력을 가질 수 없다. 특히, 조선 산업의 경우 노동 집약적 산업으로 이런 위기를 탈피하기 위해 자동화를 위한 노력을 많이 기울이고 있다. 그러나 조선 산업에서의 자동화의 경우 대상물 자체가 대

* 국립창원대학교 메카트로닉스 공학부 (wjchung@sarim.changwon.ac.kr)

주소: 641-773 경남 창원시 사림동 9번지

+ STX조선(주) 생산기술연구팀

++ 국립 창원대학교 기계설계공학과 대학원

+++ 국립창원대학교 메카트로닉스 공학부

++++ (주)로봇벨리

형이기 때문에 많은 어려움을 겪고 있다. 절단, 용접, 도장의 경우 오래전부터 많은 노력으로 인해 많은 부분 자동화를 실현하였다. 그러나 그 밖의 공정에서는 자동화에 대한 실적이 미비한 상태이다.

본 논문에서는 선체 외판 전처리 작업의 자동화를 위해 로봇을 개발하는데 있어 패더링(feathering) 작업을 효과적으로 구현하는데 있다. 선체 외판 전처리 작업은 선박 건조 과정에서 탑재 공정에서 용접을 하고 난 후 도장을 위한 전처리 작업으로서 용접선 주위의 도장면을 다듬는 과정이다. 도장면을 다듬는 과정이 필요한 것은 탑재 이전 단계에서 도장을 했을 때 도장면 끝 부위가 각이져있기 때문에 바로 도장 작업이 진행 되었을 때에는 끝 부위에서 결함이 발생한다. 이를 방지 하기위해 패더링 작업이 수행되어야 한다. 현재는 작업자가 파워툴을 이용하여 일일이 도장면을 다듬는 작업을 수행하고, 이때 많은 분진으로 환경 오염이 심각하고 고소작업으로 인해 많은 위험요소가 따르게 된다. 이를 해결하기 위해 로봇을 개발하는데 있어 패더링 작업은 작업툴(tool)과 작업 면의 각이 중요하다. 선체 외판의 경우 서로 다른 곡률 반경을 가진 판이 결합되어 있는 상태로 이를 고려한 로봇의 운동이 필요하다. 특히 로봇의 위치에 따른 방위에 대한 보간 방법이 정확해야 하고 로봇의 부드러운 움직임 또한 요구된다. 로봇의 보간 방법은 로봇의 모델에 따라 다르지만 일반적으로 오일러 각도⁽¹⁻³⁾를 이용하여 3×3 행렬 연산을 통해 로봇의 방위를 보간하는 방법을 이용한다. 오일러 각도를 이용하여 로봇의 방위를 보간할 때, 큰 각의 경우 특이점(singularity)에 빠질 위험이 있고, 각 좌표축에 대하여 각각 보간하므로 축 사이의 상호 연관성을 무시하여 간단한 선형 보간(linear interpolation)시 원하지 않는 결과가 나타나기도 한다. 그러나 쿼터니언(quaternion)⁽⁴⁻⁶⁾은 회전을 회전축에 대한 회전각으로 나타내기 때문에 좌표계의 영향을 받지 않고 특이점에 빠질 위험이 없다. 따라서 본 논문은 선체 외판 전처리 로봇의 부드러운 운동을 위해 쿼터니언을 이용하여 로봇을 보간하는 방법에 관한 것이다.

2. 선체 외판 전처리 로봇 모델

2.1 선체 외판 전처리 로봇

Fig. 1은 선체 외판 전처리 로봇을 나타내고 있다. 선체 외판 전처리 로봇의 경우 자력을 이용하여 선체 외판에 부착되어 4개의 이동 바퀴에 의해 이동한다. Fig. 1의 선체 외판 전처리 로봇 중앙의 컵 안에는 세 개의 크리닝 브러시가 장착되어, 이를 이용하여 용접선 부위를 청소한다. 그리고 패

더링 작업의 경우 외판 곡률을 고려하여 로봇의 자세에 제약을 받지 않는 소형 6축 로봇이 이를 수행한다.

2.2 선체 외판 전처리 로봇의 기구학 해석

Fig. 2는 선체 외판 전처리 로봇의 패더링 작업을 담당하는 소형 6축 로봇의 좌표계를 나타내고 있다.

소형 6축 로봇의 좌표계를 바탕으로 Denevit-Hartenberg⁽²⁾ Parameter는 Table 1과 같다.

여기서, θ_i 는 링크 i 의 관절각

d_i 는 링크 i 의 오프셋 길이

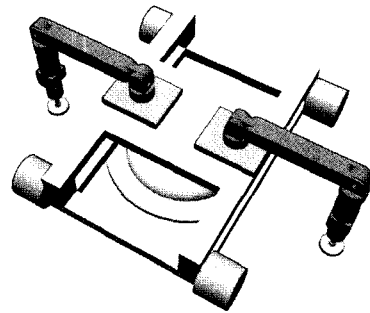


Fig. 1 Outer-hull Preprocessing Robot

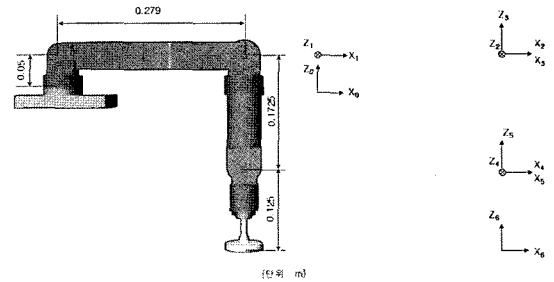


Fig. 2 Coordinate System

Table 1 Denevit-Hartenberg Parameter

Joint i	θ_i	d_i	a_i	α_i
1	θ_1	0.05	0	$-\pi/2$
2	θ_2	0	0.279	0
3	θ_3	0	0	$\pi/2$
4	θ_4	-0.1725	0	$-\pi/2$
5	θ_5	0	0	$\pi/2$
6	θ_6	0.125	0	0

a_i 는 링크 i 의 링크 길이
 α_i 는 링크 i 의 뒤틀림 각도

2.2.1 소형 6축 로봇의 순기구학 해석

Denevit-Hartenberg Parameter를 바탕으로 $\{i-1\}$ 에 대한 $\{i\}$ 의 관계를 나타내는 동차 변환 행렬을 구하면 식 (1)과 같다.

$${}_{i-1}T_i = \begin{bmatrix} \cos\theta_i - \cos\alpha_i \sin\theta_i & \sin\alpha_i \sin\theta_i & a_i \cos\theta_i \\ \sin\theta_i & \cos\alpha_i \cos\theta_i & -\sin\alpha_i \cos\theta_i & a_i \sin\theta_i \\ 0 & \sin\alpha_i & \cos\alpha_i & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

식 (1)을 이용하여 6개의 관절의 동차 변환 행렬을 구하면 식 (2)-(7)과 같다. 이 때, $\cos\theta_i = c_i$, $\sin\theta_i = s_i$, $\cos\alpha_i = c_\alpha$, $\sin\alpha_i = s_\alpha$ 라 가정한다.

$${}^0_1T = \begin{bmatrix} c_1 & 0 & -s_1 & 0 \\ s_1 & 0 & c_1 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0.05 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

$${}^1_2T = \begin{bmatrix} c_2 - s_2 & 0 & 0.279c_2 \\ s_2 & c_2 & 0.279s_2 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

$${}^2_3T = \begin{bmatrix} c_3 & 0 & s_3 & 0 \\ s_3 & 0 & -c_3 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

$${}^3_4T = \begin{bmatrix} c_4 & 0 & -s_4 & 0 \\ s_4 & 0 & c_4 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & -0.1725 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (5)$$

$${}^4_5T = \begin{bmatrix} c_5 & 0 & s_5 & 0 \\ s_5 & 0 & -c_5 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & d_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (6)$$

$${}^5_6T = \begin{bmatrix} c_6 - s_6 & 0 & 0 \\ s_6 & c_6 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0.125 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (7)$$

식 (2)-(7)을 바탕으로 0_6T 를 구하면 식 (8)과 같다.

$${}^0_6T = {}^0_1T {}^1_2T {}^2_3T {}^3_4T {}^4_5T {}^5_6T \quad (8)$$

식 (8)을 이용하여 각 관절의 모터 회전각이 주어졌을 때, 로봇 끝단(end-effector)의 위치 및 방위를 알 수 있다.

2.2.2 소형 6축 로봇의 역기구학 해석

소형 6축 로봇의 경우 폐형식(closed form solution)⁽²⁾의 해를 갖기 때문에 해석적인 방법을 통해 역기구학의 해를 구할 수 있다. 1축에서 3축까지는 기하학적(geometric approach)⁽²⁾인 방법을 이용하여 역기구학의 해를 구할 수 있고, 4축에서 6축까지는 대수적인 방법(analytical approach)⁽²⁻⁷⁾을 통해 해를 얻을 수 있다. 우선, $\theta_1 \sim \theta_6$ 를 구하기 위해 로봇의 위치와 방위가 식 (9)와 같이 주어져야 한다.

$${}^0_6T = \begin{bmatrix} n_x & s_x & a_x & p_x \\ n_y & s_y & a_y & p_y \\ n_z & s_z & a_z & p_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (9)$$

$\theta_1 \sim \theta_3$ 를 구하기 위해서는 로봇의 손목의 위치를 계산해야 한다. 로봇의 손목의 위치(p_{wx}, p_{wy}, p_{wz})는 식 (10)과 같이 구할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} p_{wx} \\ p_{wy} \\ p_{wz} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} p_x \\ p_y \\ p_z \end{bmatrix} + d_6 \begin{bmatrix} a_x \\ a_y \\ a_z \end{bmatrix} \quad (10)$$

로봇의 손목 위치를 통해 $\theta_1 \sim \theta_3$ 를 구하면 다음과 같다.

$$\theta_1 = \text{atan2}(p_{wy}, p_{wx}) \quad (-180^\circ \leq \theta_1 \leq 180^\circ) \quad (11)$$

$$\theta_2 = \frac{\pi}{2} - (w + e) \quad (12-1)$$

여기서,

$$w = \text{atan2}(\sqrt{p_{wx}^2 + p_{wy}^2}, p_{wz} - 0.05) \quad (12-2)$$

$$e = \cos^{-1} \frac{\sqrt{0.279^2 + (p_{wx}^2 + p_{wy}^2 + p_{wz}^2) - 0.1725^2}}{2 \times 0.279 \times (p_{wx}^2 + p_{wy}^2 + p_{wz}^2)^{0.5}} \quad (12-3)$$

$$\theta_3 = (\sin\theta_3, \cos\theta_3) \quad (13-1)$$

여기서,

$$\sin\theta_3 = \frac{0.279^2 + 0.1725^2 - (p_{wx}^2 + p_{wy}^2 + p_{wz}^2)}{2 \times 0.279 \times 0.1725} \quad (13-2)$$

$$\cos\theta_3 = \sqrt{1 - \sin^2\theta_3} \quad (13-3)$$

$\theta_1 \sim \theta_3$ 를 바탕으로 3_6T 를 구하면 식 (14)와 같다.

$${}^3_6T = {}^3_4T^{-1} {}^4_5T {}^5_6T = \begin{bmatrix} n_x & s_x & a_x & p_x \\ n_y & s_y & a_y & p_y \\ n_z & s_z & a_z & p_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (14)$$

$\theta_5 \sim \theta_6$ 을 구하는 식은 다음과 같다.

$$\theta_6 = \text{atan2}(s_{z'}, -n_{z'}) \quad (-180^\circ \leq \theta_6 \leq 180^\circ) \quad (15)$$

$$\theta_5 = \text{atan2}\left(\frac{s_{z'}}{\sin\theta_6}, a_{z'}\right) \quad (-180^\circ \leq \theta_5 \leq 180^\circ) \quad (16)$$

θ_4 를 구하기 위해서 필요한 4_3T 는 식 (17)과 같다.

$${}^3_4T = {}^0_3T^{-1} {}^0_6T {}^4_6T^{-1} = \begin{bmatrix} n_{x''} s_{x''} a_{x''} p_{x''} \\ n_{y''} s_{y''} a_{y''} p_{y''} \\ n_{z''} s_{z''} a_{z''} p_{z''} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (17)$$

식 (17)을 이용하여 θ_4 를 구하면 다음과 같다.

$$\theta_4 = \text{atan2}(n_{y''}, n_{x''}) \quad (-180^\circ \leq \theta_4 \leq 180^\circ) \quad (18)$$

식 (9)의 0_6T 는 로봇의 위치와 방위로 구성되어 있으며, 위치의 경우 로봇의 속도와 선체 외관의 CAD 데이터를 이용하면 쉽게 얻을 수 있다. 그렇지만 로봇의 방위는 처음과 끝의 데이터를 바탕으로 보간에 의해 구해진다. 이때, 쿼터니언을 이용하면 정확하고 손쉽게 로봇의 방위를 보간할 수 있다.

3. Quaternion

일반적으로 로봇에 있어서 자세를 나타내는 방법에는 오일러 각이 일반적으로 사용되고 있다. 오일러 각은 두 좌표계 사이의 회전을 나타내는데 사용되며 기하학적으로 정의가 명확하며 시각화 시키는 데에도 편리하다. 그렇지만 큰 각도의 경우에서는 특이점이 발생할 염려가 있고, 각 좌표축에 대하여 각각 보간하므로 축 사이의 상호 연관성을 무시하여 간단한 선형 보간시 원하지 않는 결과가 나타나기도 한다. 그러나 쿼터니언은 3차원 공간을 표현하기 위하여 1843년 Hamilton⁽⁴⁾ 의하여 착안된 허수부의 요소가 3개인 확장된 복소수이다. 하나의 회전축을 이용하기 때문에 오일러 각에서 나타나는 특이점 현상을 방지하고, 임의의 축에 대한 회전을 용이하게 표현하기 위해 근래에 많이 사용되고 있다. 그리고 좌표계의 영향을 받지 않기 때문에 회전 순서를 고려할 필요가 없다. 그렇기 때문에 로봇의 연속적인 자세의 변화를 기술하는 보간 방법에 매우 용이하다.

3.1 쿼터니언의 정의 및 성질

쿼터니언은 4개의 파라미터를 가지는데 그 중에 3개는 회

전축의 방향을 정의하며, 나머지 하나는 정의된 회전축에 대한 회전각을 나타내게 된다.

Hamilton의 쿼터니언은 식 (19)와 같은 hypercomplex 형태로 정의 된다.

$$q = w + (xi + yj + zk) \quad (19)$$

여기서, x, y, z, w 는 실수이고, i, j, k 는 다음의 성질을 만족한다.

$$\begin{aligned} i^2 = j^2 = k^2 &= -1, \\ ij = k, jk = i, ki = j, ijk &= -1 \end{aligned}$$

식 (19)에서 정의된 q 에 대한 켈레 쿼터니언(conjugate quaternion)은 식 (20)과 같이 정의 된다.

$$q^* = w - (xi + yj + zk) \quad (20)$$

그리고 쿼터니언 q 의 norm $N(q)$ 는 식 (21)과 같이 정의 된다.

$$N(q) = qq^* = w^2 + x^2 + y^2 + z^2 \quad (21)$$

쿼터니언을 방위와 회전각으로 표시하면 식 (22)와 같다.

$$q = [w, x, y, z] = [\cos\Omega, v\sin\Omega] \quad (22)$$

식 (22)는 임의의 축 v 에 대하여 2Ω 만큼 회전 되어있는 것을 의미한다. 임의의 축 v 는 식 (23)과 같이 표현할 수 있다.

$$v = [v_x, v_y, v_z]^T \quad (\sqrt{v_x^2 + v_y^2 + v_z^2} = 1) \quad (23)$$

식 (23)을 식 (22)에 대입하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} q &= [w, x, y, z] = [\cos\Omega, v\sin\Omega] \\ &= [\cos\Omega, v_x\sin\Omega, v_y\sin\Omega, v_z\sin\Omega] \end{aligned} \quad (24)$$

3.2 쿼터니언의 회전

일반적으로 v 축을 중심으로 2Ω 만큼 회전 시키는 동차 변환 행렬은 식 (25)와 같다.

$$R_v(2\Omega) = \begin{bmatrix} n_x s_x a_x \\ n_y s_y a_y \\ n_z s_z a_z \end{bmatrix} \quad (25-1)$$

이때, 행렬의 각 항은 다음과 같다.

$$n_x = v_x^2 \text{vers}(2\Omega) + \cos(2\Omega) \quad (25-2)$$

$$s_x = v_x v_y \text{vers}(2\Omega) - v_x \sin(2\Omega) \quad (25-3)$$

$$a_x = v_x v_z \text{vers}(2\Omega) + v_y \sin(2\Omega) \quad (25-4)$$

$$n_y = v_x v_y \text{vers}(2\Omega) - v_y \sin(2\Omega) \quad (25-5)$$

$$s_y = v_y^2 \text{vers}(2\Omega) + \cos(2\Omega) \quad (25-6)$$

$$a_y = v_y v_z \text{vers}(2\Omega) + n_x \sin(2\Omega) \quad (25-7)$$

$$n_z = n_x n_z \text{vers}(2\Omega) - n_y \sin(2\Omega) \quad (25-8)$$

$$s_z = n_y n_z \text{vers}(2\Omega) - n_x \sin(2\Omega) \quad (25-9)$$

$$a_z = n_z^2 \text{vers}(2\Omega) + \cos(2\Omega) \quad (25-10)$$

여기서, $\text{vers}(2\Omega) = 1 - \cos(2\Omega)$

식 (25)와 식 (24)를 통해 쿼터니언을 이용한 방위 행렬은 식 (26)과 같다.

$$\begin{bmatrix} n_x & s_x & a_x \\ n_y & s_y & a_y \\ n_z & s_z & a_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1-2y^2-2z^2 & 2xy-2wz & 2xz+2wy \\ 2xy+2wz & 1-2x^2-2z^2 & 2yz-2wx \\ 2xz-2wy & 2yz+2wx & 1-2x^2-2y^2 \end{bmatrix} \\ = q(w, (x, y, z)) \quad (26)$$

여기서, $w = \frac{\sqrt{n_x + o_y + a_z + 1}}{2}$,

$$x = \frac{s_z - a_y}{4w}, y = \frac{a_x - n_z}{4w}, z = \frac{n_y - s_x}{4w}$$

3.3 로봇의 방위 보간

로봇의 방위 보간을 위해 Shoemake⁽⁶⁾ 제안한 Spherical Linear Interpolation 방법을 이용하면 다음과 같다. 우선, 로봇의 처음의 자세를 나타내는 q_1 과 나중의 자세를 나타내는 q_2 는 식 (27), (28)로 정의 할 수 있다.

$$q_1 = w + (x_1 i + y_1 j + z_1 k) \quad (27)$$

$$q_2 = w + (x_2 i + y_2 j + z_2 k) \quad (28)$$

이때, 처음 시작해서 어느 위치에 도달했을 때의, 로봇의 방위에 대한 쿼터니언은 식 (29)와 같다.

$$q = c_1(t) q_1 + c_2(t) q_2, 0 \leq t \leq 1 \quad (29)$$

식 (29)에서 $c_1(t)$ 와 $c_2(t)$ 는 식 (30), (31)과 같다. 여기서 t 는 1보다 작은 수로서 전체 이동거리에 대한 현재 이동거리의 비율에 해당한다.

$$c_1(t) = \frac{\sin((1-t)\theta)}{\sin\theta} \quad (30)$$

$$c_2(t) = \frac{\sin(t\theta)}{\sin\theta} \quad (31)$$

식 (30)과 식 (31)을 식 (29)에 대입하여 Spherical Linear Interpolation 결과를 식 (32)와 같이 구할 수 있다.

$$\text{Sterp}(t; q_1, q_2) = \frac{q_1 \sin((1-t)\theta) + q_2 \sin(t\theta)}{\sin\theta} \quad (32)$$

식 (32)에서 θ 는 두 쿼터니언이 이루는 각으로 쿼터니언의 내적을 통해 식 (33)과 같이 구할 수 있다.

$$\theta = \cos^{-1}(q_1 \cdot q_2) \quad (33)$$

4. 시뮬레이션

쿼터니언을 이용하여 선체 외관 전처리 로봇의 방위 보간의 실효성을 검증하기 위해 Fig. 3과 같이 작업 환경을 만들 수 있다. 임의의 곡률 반경을 주어 작업을 수행했을 때 쿼터니언과 오일러 각과의 비교 결과를 다음과 같이 나타내었다.

우선 로봇의 초기 위치 및 방위와 로봇의 나중의 위치와 방위가 주어지게 되면, MATLAB[®]을 통해 시간에 따른 로봇 끝단의 위치를 계산할 수 있다. 계산 결과는 Fig. 4와 같다. 이때, 곡률 반경은 $R=800$ 이다.

그리고 Spherical Linear Interpolation을 이용한 로봇의 방위를 연산할 수 있다. 그리고 이렇게 구해진 로봇의 위치 및 방위를 앞서 설명한 역기구학 해석을 통해 Fig. 5와 같이 각 관절의 모터 각도 값으로 구할 수 있다. Fig. 5는 똑같은 과정을 오일러 각을 이용한 결과와 비교한 것이다.

Fig. 5에서와 같이 오일러 각을 이용한 보간 방법에 비해 쿼터니언을 이용한 경우 모터 각의 변화가 큰 것을 알 수

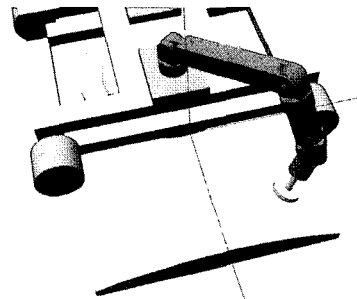


Fig. 3 Simulation Condition

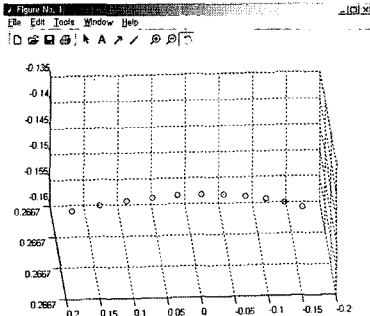


Fig. 4 Robot Position

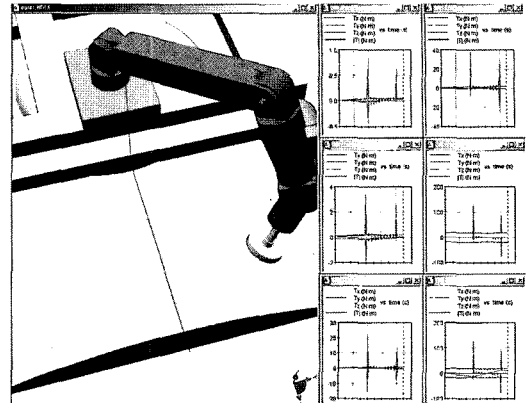


Fig. 6 Motor Torque using VisualNastran4D®

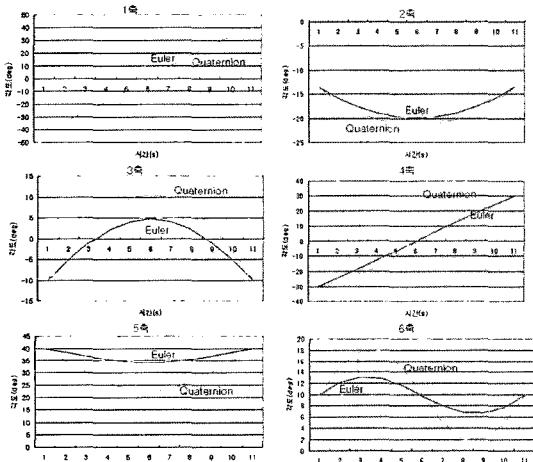


Fig. 5 Motor Angle

Table 2 Motor Torque Data

(단위 : Nm)

Joint	오일러	쿼터니언
Joint 1	18.007	17.493
Joint 2	17.926	17.458
Joint 3	1.385	1.271
Joint 4	0.650	0.602
Joint 5	0.220	0.189
Joint 6	0.048	0.039

있다. 쿼터니언을 이용한 방위 보간의 경우 선체 외판의 곡률 반경이 고려되었지만, 오일러 각을 이용한 보간 방법은 곡률 반경을 고려하지 않고 처음 시작 방위와 나중의 방위를 직선적으로 보간 한 것을 알 수 있다. 그렇기 때문에 선체 외판 전처리 작업의 경우 판이 여러 가지 곡률 반경을 가지고 있기 때문에, 쿼터니언을 이용한 보간 방법이 더 유용한 것을 알 수 있다. 그리고 이 때, 각 모터에 걸리는 토크 (torque)를 VisualNastran4D®를 이용하여 측정된 것은 Fig. 6과 같고, 오일러 각과 비교한 것은 Table 2와 같다.

Table 2는 쿼터니언을 이용할 경우 오일러 각을 이용한 것에 비해 모든 관절의 모터 토크가 감소하는 것을 알 수 있다. 쿼터니언을 이용할 경우 로봇의 부드러운 움직임을 구현할 수 있다.

4. 결론

본 논문에서는 선체 외판 전처리 작업의 자동화를 위해 로봇을 개발하는데 있어 패더링 작업을 효과적으로 구현하기 위해 쿼터니언을 이용하여 로봇을 제어하였다. 쿼터니언을 이용한 제어를 위해 선체 외판 전처리 작업 로봇의 기구학적 해석을 수행하였다. 그리고 쿼터니언의 정의 및 특징을 기술하였고, Spherical Linear Interpolation 방법을 통해 로봇의 방위를 보간 하였다. 제한한 제어 방법의 효과성을 입증하기 위하여 MATLAB®을 이용하여 제어에 이용되는 조향각을 연산하였고, VisualNastran4D®를 통해 시뮬레이션을 수행하였다. 특히, 제시한 제어 방법의 실효성은 오일러 각 방법과 비교 했을 때, 선체 외판과 같은 곡률을 가진 곳에 적용이 유리하다. 그리고 시뮬레이션을 통해 각 관절의 모터 토크를 측정된 결과 모든 관절에서 감소하는 것을 알 수 있다. 제시한 제어 방법은 선체 외판 뿐 아니라 곡률을 가진 여러 대상물의 적용이 가능하다.

후 기

본 논문은 2004년도 창원대학교 연구비에 의해 연구되었습니다. 본 연구는 창원대학교 공작기계기술연구소 연구센터 지원으로 수행되었습니다. 본 과제는 산업자원부의 출연금등으로 수행한 지역전략산업 석·박사 연구인력양성사업의 연구결과입니다.

참 고 문 헌

- (1) Lee, C. S. G., Gonzalez, R. C. and Fu, K. S., 1986, *Tutorial on Robotics*, IEEE computer Society.
- (2) Fu, K. S. and Gonzalez, R. C., 1987, *Robotics: Control, Sensing, Vision, and Intelligence*, McGRAW-HILL, New York.
- (3) Chung, Y. O., Ryu, J. C. and Park, C. K., 1991, "A new method for Solving the Inverse Kinematics for 6 D.O.F. Manipulator," *Korean Automatic Control Conference*, Vol. 1, No. 2, pp. 557~562,
- (4) Hamilton, W., 1969, *Elements of Quaternions Vol 1*, Chelesa, USA.
- (5) David, E., 1999, *Quaternion Algebra and Calculus*, Magic Software, Inc.
- (6) Shoemake, K., 1985, "Animating Rotation with Quaternion Curves," *Computer Graphics*, Vol. 19, No. 3, pp. 245~254.
- (7) Lee, Y. J., Lee, S. T. and Park, H. J., 1998, "An Analysis Inversekinematics for Real Time Operation of Industrial Robot," *Transactions of the Korean Society of Machine Tool Engineers*, Vol. 7, No. 1, pp. 104~111.