

H-beam 절단용 다관절 로봇의 절단작업영역 설정에 관한 연구

박주용^{*,†} · 이용구^{*}

^{*}한국해양대학교 조선해양시스템공학부

A Study on the Determination of Cutting Work Envelope of Articular Robot for H-beam Cutting

Ju-Yong Park^{*,†} and Yong-gu Lee^{*}

^{*}Div. of Naval Architecture and Ocean Systems Engineering, Korea Maritime Univ., Busan 606-791, Korea

[†]Corresponding author : iypark@hhu.ac.kr

(Received October 8, 2009 ; Revised October 20, 2009 ; Accepted November 2, 2009)

Abstract

This study aims for determination of cutting work envelope of an articular robot for H-beam cutting. The robot has its own work envelope. The cutting of piece with groove requires the specific position of the torch which contracts the work envelope. This study suggested the new method to determine the cutting work envelope for this case. The method simplified the problem by use of the combination of inverse kinematics and forward kinematics. The method was used for cutting the H-beam with groove. The cutting work envelope was determined easily. The result was verified by 3D simulation system which implements the articular robot with 6 axes and the H-beam in the virtual shop.

Key Words : Offshore structure, H-beam cutting, Work envelope, Articular robot, Inverse kinematics, Forward kinematics

1. 서 론

최근 초대형 선박 및 해양구조물의 건조가 늘면서 H-beam의 은 선체 이중구조 규격과 CSR률에 의해서 그 수요가 점점 증가하고 있다. L형강의 절단은 자동 절단시스템이 도입되어 여러 곳에서 적용되고 있으나 H-beam은 크기와 절단형태가 다양하고 복잡하여 전 세계적으로 아직 자동화가 이루어진 예가 없다¹⁾. 본 연구는 이러한 문제점들을 해결할 수 있는 로봇을 이용한 자동절단 시스템의 구축을 목표로 하고 있다.

일반적인 산업용 6축 수직 다관절 로봇의 작동범위는 로봇의 각 축의 회전 범위에 따른 로봇 끝지점이 닿을 수 있는 전 영역을 대상으로 하고 있다²⁾. 임홍재 등은 3링크를 가진 로봇의 2차원 작업영역을 구하는 알고리즘을 구현하였고 다³⁾. 로봇의 작업영역에 관련된 기존

의 연구들은 단순히 로봇이 닿을 수 있는 영역인 로봇의 고유작업영역에 관한 연구이므로 이 결과들을 용접이나 절단 작업에 그대로 응용하기는 어렵다. 그 이유는 용접이나 절단은 특정자세를 취한 상태에서 작업이 이루어지고 그 경우 작업이 가능한 영역은 로봇의 고유작업영역과는 매우 달라지기 때문이다⁴⁾. 본 논문에서는 일반적인 다관절 로봇을 이용한 H-beam 절단 시스템의 구축 시 로봇의 실제 작업영역을 설정하는 방법을 제시하고 이를 로봇 시뮬레이션 시스템을 활용하여 검증하는 방안을 제시하였다.

일반적인 6관절 로봇의 경우 로봇의 마지막 축에 부착된 톨이 최대한 접근할 수 있는 부분을 로봇의 고유작업영역으로 설정한다. 하지만 후판 부재의 절단 작업에서는 절단면에 그루브를 주는 경우가 많으므로 톨치가 그루브 각에 맞는 자세를 취한 상태에서 작업이 이루어져야 한다. 이와 같이 특정한 자세를 항상 유지한

체 작업해야 할 경우에는 로봇의 실제 작업영역은 고유 작업영역보다 상당히 좁아지게 된다. 로봇의 실제 작업 영역은 일반적으로 반복적인 시뮬레이션 작업을 통하여 구한다. 그러나 이 작업은 많은 시간이 소요되기 때문에 로봇 작업의 효율을 떨어뜨린다. 본 연구에서는 6축 수직 다관절 로봇의 순기구학과 역기구학의 개념을 이용하여 절단작업에서 요구하는 특정자세에서의 로봇의 실제 작업영역을 구하는 방법을 제안하였다.

2. H-beam 절단용 6축 다관절 로봇

2.1 로봇의 고유작업영역

형강이나 H-beam과 같은 각종 부재류의 자동절단 작업장은 자재 적치장, 이송 컨베이어, 절단작업이 이루어지는 로봇 작업 셀 및 마무리 작업장으로 이루어져 있다¹⁾. 작업 셀의 크기는 로봇의 작업영역과 부재크기 등에 의해 결정된다. 절단작업은 컴퓨터에 로봇과 작업 대상물을 모델링하여 입력하고 offline 프로그램으로 절단 시뮬레이션을 실시하여 얻어진 최적작업방법으로 이루어진다⁵⁾. 본 연구에서는 절단 로봇으로 상용화되어 널리 사용되는 Fig. 1과 같은 6축 다관절 로봇을 대상으로 하였다. 본 연구에서 사용한 Fig. 1의 로봇의 6축을 살펴보면 1축은 xy평면상에서 회전하고, 2,3,5축은 yz평면상에서, 4축과 6축은 zx평면상에서 회전하는 축이다. 로봇의 각 축은 관절과 링크로 이루어져 있으며 i번째 관절은 i-1번째 링크와 i번째 링크를 연결하는 점이 된다. Fig. 1에서 로봇의 베이스에 있는 관절1은 가상링크인 링크0와 l_1 으로 표시된 링크1을 연결하는 점이 된다. 이 로봇이 홈포지션을 취하면 yz평면상에서 관절 1과 관절 2가 이루는 각 α 는 47.0° 이며 관절 2와 관절 3이 이루는 각은 0° , 관절 3과 관절 5가 이루는 각은 79.5° , 관절 5와 로봇 끝에 부착된 토치의 끝과 이루는 각은 53.3° 가 된다. 관절 4와 관절

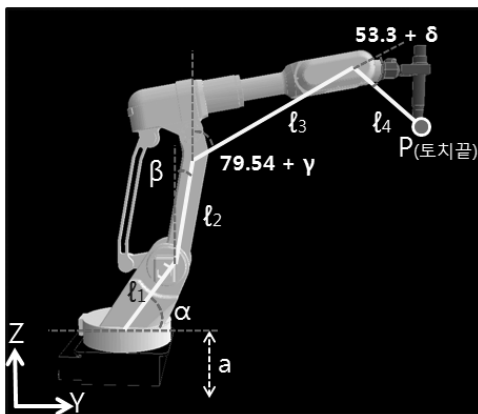


Fig. 1 6 axes of robot

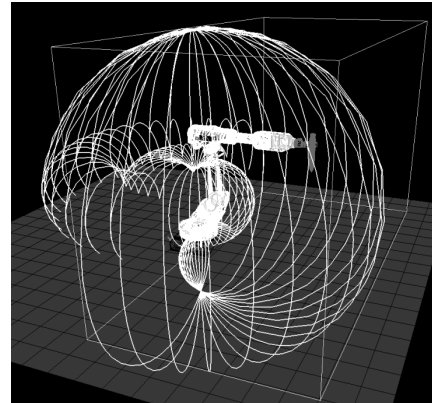


Fig. 2 The inherent work envelope of a robot

6은 zx평면상에서 회전하는 축이므로 yz평면에서는 움직임이 없는 축이다. 홈포지션에서 각 관절들이 이루는 각과 링크의 길이는 사용 로봇의 모델과 토치의 형상 및 크기에 의해 상수로 정해지는 값이다. 이 때 yz평면상에서 2축, 3축 및 5축 관절이 β, γ, δ 만큼 회전했을 때 로봇의 6축 끝 지점 P(y,z)은 식(1),(2)로 표현된다⁶⁾. 식(1)과 (2)에서 P의 최대값의 궤적을 구하면 Fig. 2에서 그려진 하나의 원이 된다. 1축이 xy평면상에서 임의각도로 회전하면 그 회전각에 대한 P의 궤적은 또 하나의 원으로 나타나며 1축의 모든 회전각에 대한 궤적을 나타내면 Fig. 2와 같은 구형태를 취하게 되는데 이것을 로봇의 고유작업영역이라 한다.

$$y = l_2 \cos(\beta) + l_3 \cos(79.5 + \beta + \gamma) + l_4 \cos(79.5 + 53.3 + \beta + \gamma + \delta) + l_1 \cos(\alpha) \tag{1}$$

$$z = l_2 \sin(\beta) + l_3 \sin(79.5 + \beta + \gamma) + l_4 \sin(79.5 + 53.3 + \beta + \gamma + \delta) + l_1 \sin(\alpha) + a \tag{2}$$

Fig. 2에서 구 내부에 작은 링 형태의 영역이 존재하는데 이것은 접근이 불가능한 영역으로 각 축이 회전할 수 있는 각이 한계가 있기 때문에 생기게 된다. Fig. 2의 고유작업영역은 로봇의 6축의 조합으로 로봇 끝지점이 최대한 닿을 수 있는 영역이지만 만약 로봇의 끝지점이 용접이나 절단작업에서와 같이 어떤 특정자세를 유지해야 한다면 로봇 끝지점이 닿을 수 있는 영역은 훨씬 좁아진다. 따라서 작업 대상물이 Fig. 2의 로봇의 고유작업영역 내에 있다고 해서 반드시 해당 작업을 수행 할 수 있는 것은 아니다.

2.2 H-beam과 로봇의 절단작업영역

본 연구에서 작업 대상으로 선정한 H-beam은 초대

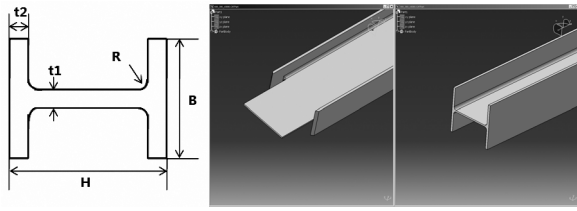


Fig. 3 H-beam used for offshore structure and examples of its cut shape

형 선박 및 해양구조물에 사용되는 부재로 크기와 형태가 매우 다양하여 형강으로 생산되기도 하고 조선소에서 용접으로 제작하기도 한다. H-beam은 가운데 웹에 2개의 플렌지가 부착된 형태이며 조선소에서 사용되는 H-beam은 웹 및 플렌지의 두께, 길이, 웹과 플렌지의 연결부위 반경(Fig. 3의 t_1 , t_2 , H , B , R)이 다양하여 수십 종류에 이른다.

H-beam 절단의 경우 통상 용접을 위한 그루브 가공이 필요하므로 로봇은 그루브 각도에 따라 특정 자세를 취한 상태에서 절단작업을 하게 된다. 로봇의 절단작업 영역은 로봇이 절단자세를 취한 상태에서 설정되는 작업영역을 의미한다. 작업영역의 관점에서 H-beam은 H-beam의 폭(B)와 높이(H) 및 절단작업이 이루어지는 길이(L)로 이루어지는 직육면체로 간주할 수 있다. 즉, H-beam의 형상에 의해 정해지는 이 직육면체가 로봇의 절단작업영역에 포함되는가의 여부에 의해 절단의 가능 여부가 판정된다.

3. 로봇의 절단작업영역 설정

3.1 역기구학을 통한 절단작업영역 설정의 문제점

절단과 같은 특정 작업형태에 대한 로봇의 작업영역은 이론적으로 역기구학(inverse kinematics)을 통해 구할 수 있다. 그러나 역기구학을 통해 해를 찾는 것은 첫째로 많은 비선형 방정식의 해를 풀어야 하기 때문에 매우 복잡하다. 통상으로는 Fig. 4와 같이 기하학적인

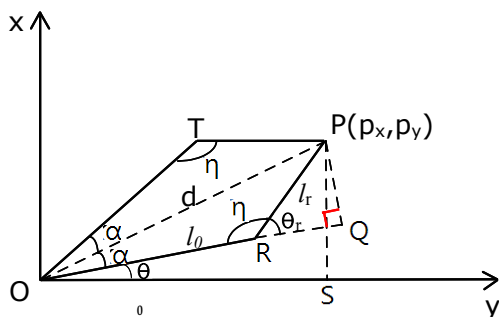


Fig. 4 Example of geometrical solution

방법을 사용하거나 수치해석을 이용하여 해를 구한다. Fig. 4는 기하학적인 방법으로 해를 구하는 경우의 예로서 l_o 과 l_r 의 2개의 링크로 이루어진 로봇이 점P에 도달하기 위한 관절 O와 R의 회전각 θ_o, θ_r 을 구하는 예를 보여주고 있다.

우선 $\triangle OPR$ 에서 코사인 법칙에 의해 식(3)이 성립하며 이항하면 식(4)로 나타낼 수 있다.

$$l_r^2 = l_o^2 + d^2 - 2l_o d \cos \alpha \tag{3}$$

$$\cos \alpha = \frac{l_o^2 + d^2 - l_r^2}{2l_o d} \tag{4}$$

다음으로 $\triangle OPS$ 에서 식(5)가 성립한다.

$$\tan(\alpha + \theta_o) = \frac{P_y}{P_x} \tag{5}$$

θ_o 에 대해 풀면 식(6)으로 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} \theta_o &= \tan^{-1}\left(\frac{P_y}{P_x}\right) - \alpha \\ &= \tan^{-1}\left(\frac{P_y}{P_x}\right) - \cos^{-1}\left(\frac{l_o^2 + d^2 - l_r^2}{2l_o d}\right) \end{aligned} \tag{6}$$

또한 $\triangle OPR$ 에서 식(7)이 성립되며 이는 식(8)로 나타낼 수 있다.

$$d^2 = l_o^2 + l_r^2 - 2l_o l_r \cos(\eta) \tag{7}$$

$$\theta_r = 180 - \eta = 180 - \cos^{-1}\left(\frac{l_o^2 + l_r^2 - d^2}{2l_o l_r}\right) \tag{8}$$

식(6)과 식(8)을 이용하면 점 P에 도달하기 위한 2개의 관절의 회전각 θ_o, θ_r 를 구할 수 있다.

이 때 Fig. 4에서 쇄선으로 나타낸 직선 OP에 대해 대칭인 $\triangle OTP$ 의 움직임으로도 점 P에 도달할 수 있으므로 이 예의 경우는 2개의 해가 존재한다. 6개의 관절을 갖는 6축 로봇의 경우는 해를 구하는 과정이 더욱 복잡하고 해의 수도 훨씬 많아진다. 또한 많은 해 중 어떤 해가 최적인가 하는 문제도 추가되어 더욱 복잡해진다. 경우에 따라서는 각 관절의 회전각의 제한으로 인해 해가 없는 경우도 존재할 수 있다. 어떤 점에 도달할 수 있는 해가 존재하지 않는다는 것은 그 점이 로봇의 작업영역에서 벗어나 있는 점임을 의미한다.

둘째로는 절단 작업의 경우 단순히 로봇이 작업대상물의 임의점에 도달해야 함은 물론 그 점에서 로봇의 끝지점이 절단을 위한 특정한 작업자세를 취할 수 있어

야 한다는 점이다. 다시 말하면 작업대상물을 절단하기 위해서는 로봇이 특정 자세를 취한 상태에서 도달할 수 있는 영역인 절단작업영역 내에 작업대상물의 모든 점이 존재해야 하며 이는 로봇의 끝지점이 특정 자세를 유지한 상태에서 역기구학에 의한 해가 존재해야 함을 의미한다. 한 점에 대한 해를 찾는 과정도 6축 로봇인 경우 복잡한 과정을 거치게 되는데 특정 자세를 유지한 상태에서 작업대상물의 모든 점에서 역기구학에 대한 해가 존재함을 조사하는 것은 엄청난 시간과 노력이 필요하게 되어 이 방법은 사실상 적용이 불가하다고 볼 수 있다.

따라서 본 연구에서는 이와 같은 문제를 해결하기 위해 역기구학과 순기구학을 병용하여 보다 쉽게 해를 찾을 수 있는 방법을 고안하였다.

3.2 로봇의 순기구학 구현

순기구학(forward kinematics)은 로봇의 각 축의 회전각이 주어졌을 때, 로봇 끝지점의 위치와 방향을 결정하는 문제이다. 통상 산업용 로봇의 경우는 좌표 변환 알고리즘의 하나인 동차변환(homogeneous transformations)을 이용하여 순기구학을 구성한다. 동차변환이란 한 기준좌표를 중심으로 다른 좌표를 나타내는 변환행렬이다³⁾. 즉, 동차변환은 어떤 좌표계가 기준좌표계에 대해 회전과 이동을 했을 때 기준좌표계에 대한 그 좌표계의 상대적인 위치를 나타내는 변환이다. 동차변환은 좌표변환이 일어난 순서대로 왼쪽에서 오른쪽으로 행렬의 곱으로 나타낸다. 식(9)는 i 좌표계가 기준좌표계의 x 축에 대해 ω_i 만큼 회전(R_{x,ω_i}), a_i 만큼 이동(T_{x,a_i})하고 y 축에 대해 d_i 만큼 이동(T_{y,d_i}), ψ_i 만큼 회전(R_{y,ψ_i}) 했을 때의 동차변환행렬 H_i 를 나타내며 이를 정리하면 식(10)으로 표현된다.

$$H_i = R_{x,\omega_i} T_{x,a_i} T_{y,d_i} R_{y,\psi_i} \tag{9}$$

단,

$$R_{x,\omega_i} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \omega_i & -\sin \omega_i & 0 \\ 0 & \sin \omega_i & \cos \omega_i & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$T_{x,a_i} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & a_i \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$T_{y,d_i} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$R_{y,\psi_i} = \begin{bmatrix} \cos \psi_i & -\sin \psi_i & 0 & 0 \\ \sin \psi_i & \cos \psi_i & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$H_i = \begin{bmatrix} \cos \psi_i & -\sin \psi_i & 0 & a_i \\ \cos \omega_i \sin \psi_i & \cos \omega_i \cos \psi_i & -\sin \omega_i & -d_i \sin \omega_i \\ \sin \omega_i \sin \psi_i & \sin \omega_i \cos \psi_i & \cos \omega_i & d_i \cos \omega_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \tag{10}$$

식(10)의 동차변환행렬 H_i 를 이용하면 $\omega_i, a_i, d_i, \psi_i$ 값의 대입으로 변환된 좌표의 위치를 알 수 있다. 좌표 축의 회전과 이동은 x, y, z 3축에 대해 일어나므로 6개의 변수가 생기지만 식(10)에서는 4개의 변수가 생긴다. 또한 모든 관절축을 로컬좌표계의 z 축으로 설정하고 로컬좌표계 i 와 $i+1$ 에 대해 다음과 같은 Denavit-Hertenberg(이하 D-H)규약에 따라 좌표계를 변환하면 변수의 수는 더 줄일 수 있다⁶⁾.

(DH1) x_{i+1} 축은 z_i 과 수직이다.

(DH2) x_{i+1} 축은 z_i 과 만난다.

Fig. 5는 D-H규약에 따른 좌표계의 설정을 보여주며 이와 같은 과정은 다관절 로봇의 좌표변환 시 널리 사용되는 방법이다.

Fig. 5의 D-H규약에 의한 로봇축의 설정을 Fig. 1의 절단로봇에 적용하면 6축 로봇의 각 축의 좌표계는 Fig. 6과 같이 설정할 수 있다. Fig. 6의 하단에 굵게 표시된 좌표계는 글로벌 좌표계를 의미한다. 여기에서 a_i, d_i 는 $i+1$ 축과 i 축이 글로벌 좌표계에 대해 z 축과 y 축 상에서 서로 떨어진 거리를 나타낸다. 이 값들은 로봇의 타입과 형상에 따라 일정한 값으로 주어지며 본 논문에서 사용한 Fig. 6의 로봇의 경우에는 Table 1과 같다. 여기에서 $d_2=0$ 인 이유는 3축이 글로벌 좌표계에

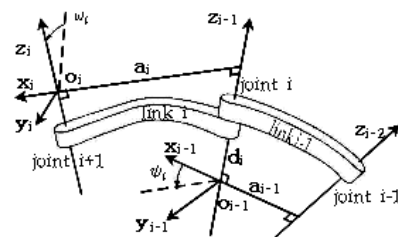


Fig. 5 Transformation of axes using D-H rule

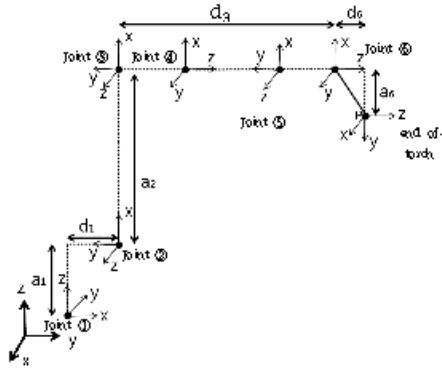


Fig. 6 Setup of 6 axes of the cutting robot by D-H rule

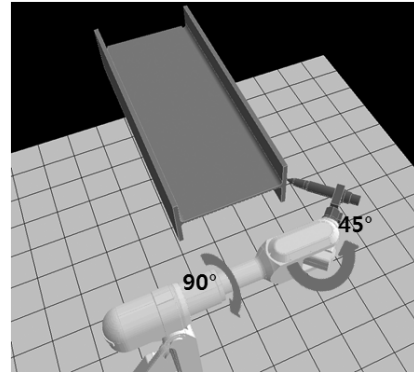


Fig. 7 Torch orientation for cutting of H-beam

Table 1 Homogeneous transformations of 6 axes

link	θ_i^*	ω_i	a_i	d_i
1	$\theta_1 + 90$	90	195	384
2	θ_2	0	597	0
3	θ_3	90	0	766
4	θ_4	-90	0	0
5	θ_5	90	0	0
6	$\theta_6 + 90$	0	-271	293

대해 2축과 z축에 대하여 일직선상에 놓여 있기 때문이다. 또한 d_3, d_4, d_5 는 4, 5, 6축이 z축에 대해 떨어진 거리이지만 축의 중심이 일직선이므로 5축이 3축에 대해 떨어진 거리를 d_3 로 나타내고 $d_4 = d_5 = 0$ 으로 두어도 무방하다. a_3, a_4, a_5 는 3, 4, 5, 6축이 글로벌 좌표계의 y축에 대해 일직선상에 놓여 있으므로 $a_3 = a_4 = a_5 = 0$ 이 되며 a_6 은 6축의 중심과 토치 끝지점과의 거리이다. ω_i 는 $i+1$ 축의 x축을 중심으로 i 축이 x축에 대해 이루는 각을 의미하며 이 값도 로봇타입에 의해 상수로 결정된다. θ_i 는 로봇이 동작할 때의 각 축에서 로컬 좌표계의 z축을 중심으로 회전한 각으로써 변수값이 되며 θ_i^* 는 i 축이 글로벌 좌표계의 x축에 대해 회전한 각을 의미한다. 로봇이 임의의 동작을 하면 각 축은 로컬 좌표계의 z축을 중심으로 회전각 θ_i 가 주어지며 Table 1을 이용하면 i 축에 대해 식(6)에 나타난 동차변환행렬 H_i 를 구할 수 있다. 즉, 6개의 4×4 행렬 H_i 의 곱을 구하면 로봇 끝지점의 위치가 구해진다.

3.3 H-beam의 절단작업영역 설정

H-beam 절단작업을 위해서는 로봇에 부착된 토치가 Fig. 7과 같은 특정자세를 취해야 한다. H-beam의 플

랜지나 웨이 어떤 그루브 각을 갖는가에 따라서 또한 로봇과 H-beam의 상대적인 위치에 따라 자세는 달라지며 Fig. 7에서는 그루브 각이 45°일 경우의 자세이다. 이 경우 로봇의 4,5,6축의 회전각은 3.2절에 소개한 순기구학을 통해서 간단히 구할 수 있다. 이를테면 절단부재의 그루브 각이 45°이고 로봇의 홈포지션과 H-beam이 Fig. 7과같이 xy평면에서 직각을 이루는 위치에 있게 되면 절단로봇의 4축, 5축 및 6축의 회전각 $\theta_4, \theta_5, \theta_6$ 은 각각 90°, 45°, 0°를 취하면 된다. 이 경우 토치의 끝지점이 주어지면 Table 1에 각 축의 상대적인 위치에 의해 4축 중심의 위치도 정해진다.

절단작업영역은 로봇의 고유작업영역의 부분집합이므로 로봇의 고유작업영역에서부터 Fig. 7과 같은 고정된 자세를 취할 수 있는 영역을 구하면 된다. 하지만 로봇의 고유작업영역의 임의 지점의 좌표를 구하는 것도 많은 계산이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 로봇의 고유작업영역의 좌표를 대상으로 하지 않고 고유작업영역에 외접하는 직육면체를 대상으로 하여 보다 간편한 방법으로 절단작업영역을 구하였다. 이 때 고유작업영역의 외접 직육면체는 로봇중심에 대칭이므로 외접 직육면체의 반에 대해서만 절단작업영역을 구한 뒤 대칭으로 확장하면 된다. 절단작업영역은 로봇의 손목부분의 3축이 Fig. 7과 같은 고정된 자세를 유지하면서 x,y,z

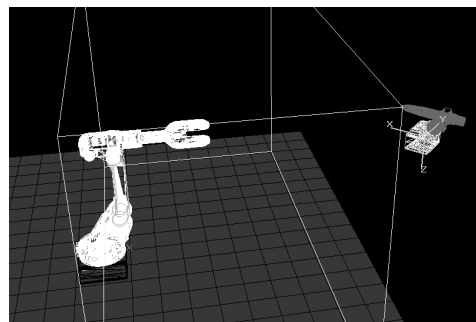


Fig. 8 The parallelepiped circumscribed by the inherent work envelope of a robot

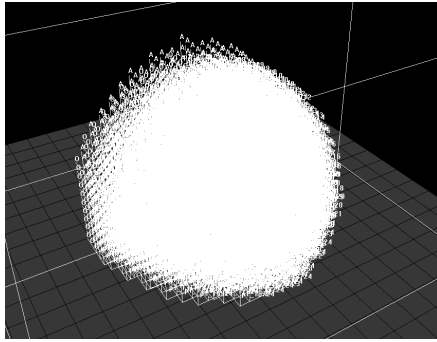
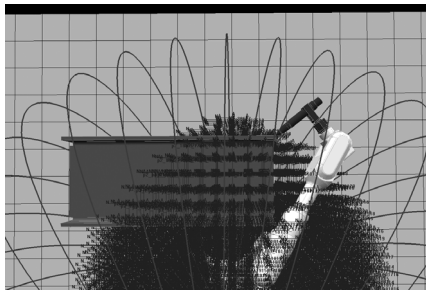


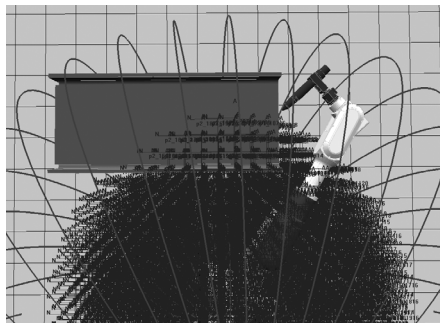
Fig. 9 The cutting work envelope

각각의 방향으로 100mm 간격으로 순차적으로 이동시킬 때 순기구학에 의해 결정되는 4축의 중심좌표에 접근할 수 있는 1,2,3축의 역기구학의 해가 존재하는 토크 끝지점의 집합에 해당된다. 이 방법은 로봇의 고유작업영역을 벗어난 지점에 대해서도 역기구학의 존재 여부를 조사하는 과정을 수행해야 하는 단점이 있는 반면 고유작업영역에 속해있는 지점의 좌표를 구하는 복잡한 과정을 생략할 수 있으므로 오히려 계산시간은 더 줄일 수 있다.

Fig. 9는 이와 같은 과정을 통해서 구한 절단작업영역을 보여주고 있다. 이 영역은 절단대상물의 절단부위가 이 영역 내에 있어야만 절단작업이 가능함을 의미하



(a) Example of the cutting part of H-beam to be in the cutting work envelope



(b) Example of the cutting part of H-beam to be out of the cutting work envelope

Fig. 10 Verification of the cutting work envelope

며 Fig. 2의 로봇의 고유작업영역과는 큰 차이가 있음을 알 수 있다.

3.4 절단작업영역의 검증

3.3절에서 기술한 방법으로 구한 로봇의 절단작업영역이 유효한가를 검증하기 위해서는 실제 절단로봇으로 H-beam을 절단해보아야 하겠지만 시뮬레이션을 통해서도 검증이 가능하다⁵⁾. 본 연구에서는 델미아사의 로봇 시뮬레이터인 IGRIP을 이용하여 H-beam과 절단 토크가 장착된 6축 로봇을 모델링하여 시뮬레이션을 실시하였다. IGRIP에서는 로봇이 작업을 할 때 작업물과 충돌하거나 특정축의 회전각이 제한범위를 벗어나는 경우 그 축을 붉은 색으로 표현하여 작업이 불가능을 나타낸다.

Fig. 10에서는 시뮬레이션을 통하여 본 연구를 통해 구한 절단작업영역이 유효함을 보여주고 있다. Fig. 10 (a)는 H-beam의 절단부위가 로봇의 고유작업영역에 속함과 동시에 회색으로 표시된 절단작업영역 내에도 속해있는 경우이며 Fig. 10 (b)는 절단부위가 로봇의 고유작업영역에는 속하지만 절단부위의 일부분이 절단작업영역을 벗어나 있는 경우이다. 시뮬레이션을 실시한 결과 Fig. 10 (a)의 경우 절단부위의 전 영역에서 절단자세를 유지하면서 절단작업이 가능하였다. 하지만 Fig. 10 (b)의 경우는 절단작업영역 내에서는 문제가 없었으나 절단작업영역을 벗어나 있는 부분에서는 항상 로봇의 4축이 붉은 색으로 표현되어 로봇이 접근할 수 없음을 나타내었다. 이는 본 연구에서 결정된 로봇의 절단작업영역이 유효함을 보여주고 있다.

4. 결 론

로봇의 고유작업영역은 로봇이 접근가능한 영역을 의미한다. 하지만 그루브를 가진 절단면으로 절단하는 작업과 같이 토크가 특정자세를 유지해야 하는 작업 시에는 작업대상물이 로봇의 고유작업영역 내에 있어도 접근이 불가능한 경우가 발생한다. 본 연구에서는 특정자세가 요구되는 H-beam의 로봇절단작업 시 절단작업영역을 설정하는 방법을 제시하였다. 이 방법은 로봇의 D-H규약에 따른 좌표변환을 이용한 순기구학과 기하학적인 해석방법을 활용한 역기구학의 조합을 통해 용이하게 절단작업영역을 설정할 수 있는 방법이다. 본 논문에서는 6축 다관절로봇을 이용하여 그루브가 있는 H-beam의 절단작업을 대상으로 제시한 방법을 통해 절

단작업영역을 구하였다. 또한 IGRIP 프로그램으로 절단 과정을 시뮬레이션하여 본 연구에서 구한 절단작업영역이 유효함을 검증하였다.

참 고 문 헌

1. Se Yeob Chang and Sang Jin Lee, "Robot Application in Gas Cutting", Journal of KWS **14-1**, (1996), 7-14 (in Korean)
2. Hye-Kyung Cho, "A Study on the Adjustable Autonomy for the Performance Improvement of Cooperating Robots", Journal of KSS **15-3**, (2006), 61-67 (in Korean)
3. Hong Jae Lim and Jang Moo Lee, "A Study on the Synthesis of Robot Arms based on a Graphical Analysis of Accessible Region", Journal of KSME **8-3**, (1984), 250-256 (in Korean)
4. Seung Hwan Mun, Young Chil Doh, Gi Beom Park, Dae Kyung Kim and Se Hwan Kim, "A CAD/CAM System for Sub-Assembly Welding Robot System at Shipyards", Spring conference of KSS, (2006), 440-443 (in Korean)
5. Nak Yong Ko, Dong Jin Seo, and Yong Sun Mun, "Development and Application of Simulator for a Mobile Robot with LASER Sensor", Fall conference of KSS, (2006), 12-17 (in Korean)
6. Mark W.Spong, M. Vidyasagar, Robot Dynamics and Control, SciTech Media, 1994, 74-85 (in Korean)