

1 자유도 엔드 이펙터를 갖는 여유 자유도 로봇을 사용한 브레이크 모듈 조립

Brake Module Assembly Using a Redundant Robot Having an 1 DOF End Effector

정재웅*, 성영휘**, 주백석***, 권순재*

Jae Ung Jeong, Young-Whee Sung, Baek-suk Chu, and Soon-Jae Kwon

요약

이 논문에서는 자동차의 제동장치에 사용되는 브레이크 모듈 조립 작업을 로봇을 사용하여 자동화한 사례를 소개한다. 브레이크 모듈은 하나의 토크 멤버에 두 개의 브레이크 패드와 두 개의 패드 라이너를 장착하여 조립을 완성한다. 이 조립 작업은 로봇의 방향을 자주 바꾸어 주어야하기 때문에 일반적인 산업용 로봇 핸드를 사용하면 조립 시간이 오래 걸린다. 이 논문에서는 두 가지 방법을 제안한다. 첫 번째 방법은 다섯 개의 그리퍼를 갖는 로봇 엔드 이펙터를 설계, 제작하여 기존의 산업용 6축 머니플레이터에 장착하여 조립 작업을 수행하는 방법이다. 이 방법에서는 두 개의 브레이크 패드와 두 개의 패드 라이너를 한꺼번에 파지하여 조립 작업을 수행하며 따라서 하나의 그리퍼 만을 가지고 있는 기존의 엔드 이펙터에 비해 조립 시간을 줄일 수 있었다. 두 번째 방법에서는 첫 번째 방법을 더욱 개선하여 엔드 이펙터가 하나의 부가적인 자유도를 가지도록 설계, 제작하여 기존의 산업용 6축 머니플레이터에 장착하였다. 이 방법에서는 전체 로봇 머니플레이터가 7 자유도를 갖는 여유자유도 머니플레이터가 되어 로봇의 동작을 최소화하면서 조립에 필요한 다양한 로봇 방향을 구현할 수 있었다.

ABSTRACT

In this paper, we deal with robotic automation for assembling car brake modules. A car brake module is comprises of a torque member, two brake pads, and two pad liners. In the assembly process, brake pads and pad liners are needed to be inserted in a torque member. If we use a typical robotic hand for the assembly, task time takes too long. So, we propose two methods. The first method is to use an end effector that has five grippers capable of gripping five assembly parts. In the first method we attached the implemented end effector to a conventional 6 degrees of freedom industrial manipulator and performed the bake module assembly task.. Experimental results show that the task time is remarkably reduced. The brake module assembly task needs the robot to change its orientation frequently, so, in the second method, we added one degree of freedom to the end effector that is used in the first method. By attaching it to a conventional 6 degrees of freedom industrial manipulator, we composed a 7 degrees of freedom redundant manipulator. A redundant manipulator has the advantage of flexible manipulation so the robot can change its orientation easily and can perform assembly task very fast. Experimental results show that the second method dramatically reduce whole task time for brake module assembly.

Keywords : End Effector Design, Car Brake Module, Assembly Automation, Redundant Manipulator

I. 서론

현재 생산 현장에서 로봇을 사용한 자동화는 생산 제품의 핸들링, 팔레타이징, 용접, 도장 등 다양한 공정에서 이루어

지고 있다[1]. 이러한 공정에 사용되는 로봇 머니플레이터로는 비교적 간단한 작업에 사용되는 직교형 및 수평다관절형 머니플레이터와 3차원 공간상에서 임의의 위치와 방향의 작업 점에 접근할 수 있는 수직다관절형 머니플레이터가 주로 사용되고 있다[2].

근래의 산업용 로봇 시스템 분야 연구로는 직교형 머니플레이터에 기반하여 TV 제조 공정에서의 접합 작업을 다룬 연구[3], 자동차 제조 공정 등에서 사용할 수 있는 두 개의 6

* (주) CMK, ** 금오공과대학교(교신저자)

*** 금오공과대학교, * 부경대학교

이 연구는 금오공과대학교학술연구비에 의하여 지원된 논문임

투고 일자 : 2014. 6. 25 수정완료일자 : 2014. 7. 31

게재확정일자 : 2014. 8. 2

축 수직다관절 머니플레이터를 갖는 산업용 양팔 로봇[4] 등이 있다.

특히 여유자유도 머니플레이터를 활용한 연구들도 다수 있는데, 여유자유도 머니플레이터란 주어진 작업을 수행하기 위해 필요한 자유도보다 더 많은 자유도를 가지고 있는 로봇으로서 말단장치의 움직임을 생성하는데 다양한 자세를 취할 수 있으므로 동작의 유연성이 좋아지고 로봇 시스템을 불안정하게 하는 특이점(Singularity)을 더욱 용이하게 회피할 수 있어 어려운 작업을 매우 효율적으로 수행할 수 있는 장점을 가진다[5]. 자동화 공정에 여유자유도 머니플레이터를 적용한 연구로는 산업용 여유자유도 로봇의 역기구학 해석 및 최적 동작 계획에 관한 연구[6], 자동차 제조 공정 중 실링 작업에 여유자유도 로봇을 사용한 연구[7] 등이 있다.

본 논문에서는 자동차의 제동 장치에 사용되는 브레이크 모듈 조립작업을 로봇을 사용하여 자동화하는 문제를 다루고자 한다. 브레이크 모듈 조립 작업은 세 가지 종류의 조립부분품을 조립하는 것이 필요한 작업으로 조립 시간이 중요한 성능 지수 중의 하나인 작업이다.

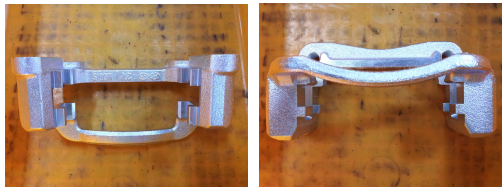
브레이크 모듈 조립 작업을 수행하기 위하여 6 자유도 머니플레이터에 자유도가 없는 엔드 이펙터를 부착하여 사용하는 방법과 6 자유도 머니플레이터에 1 자유도를 갖는 엔드 이펙터를 부착하여 여유자유도 머니플레이터로 구성하여 작업을 수행하는 두 가지 방법을 제안하고 실험을 통하여 효용성을 검증한다.

II. 브레이크 모듈 조립 작업

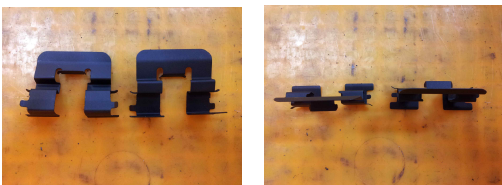
먼저, 이 장에서는 로봇을 사용한 자동화를 적용할 브레이크 모듈 조립 작업에 대해 간략히 살펴본다.

2.1 브레이크 모듈

브레이크 모듈은 자동차의 제동 장치에 사용되는 것으로서 그림 1에 나타낸 바와 같은 토크 멤버와 패드 라이너 그리고 브레이크 패드 세 가지 부품으로 구성된다.



(a) 토크 멤버



(b) 패드 라이너



(c) 브레이크 패드

그림 1. 브레이크 모듈의 부분품

Fig. 1. Parts for a brake module

브레이크 모듈은 토크 멤버의 좌, 우측 내면에 각각 하나의 브레이크 패드 라이너를 장착시키고 토크 멤버의 전, 후측 내면에 각각 하나의 브레이크 패드를 장착시켜 조립이 완성된다. 그림 2는 조립이 완성된 브레이크 모듈의 형태이다.

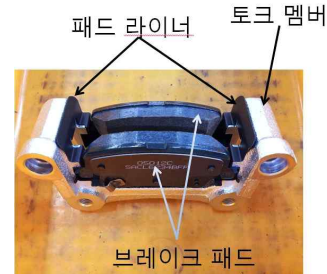


그림 2. 조립이 완성된 브레이크 모듈

Fig. 2. An assembled brake module

2.2 브레이크 모듈 조립 작업을 위한 작업장 설계

로봇을 사용하여 브레이크 모듈 조립 작업을 자동화하기 위해서는 전술한 바와 같이 로봇이 두 개의 패드 라이너를 파지하여 토크 멤버의 특정 위치에 장착시킨 후, 두 개의 브레이크 패드를 파지하여 토크 멤버의 다른 특정 위치에 장착시키는 것이 필요하다.

즉, 하나의 브레이크 모듈을 조립하기 위해서는 하나의 토크 멤버와 두 개의 패드 라이너, 두 개의 브레이크 패드가 필요하다. 한편 토크 멤버는 그 형상의 특성 상 수평면에 놓여지면 그림 3과 같이 수직 방향에 대해 28° 기울어지게 된다. 또한 그림 1에서 볼 수 있는 바와 같이 로봇의 핸드가 파지하기 쉬운 구조로 되어 있다. 이에 반해 패드 라이너와 브레이크 패드는 임의의 위치와 방향을 가진 채로 바닥면에 주어진다면 로봇의 핸드로 파지하기가 쉽지 않다.

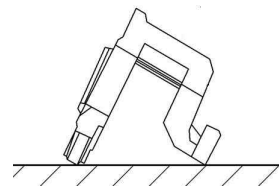


그림 3. 수평면 상에 놓여진 토크 멤버의 형상

Fig. 3. Shape of a torque member on a flat surface

이와 같은 부분품의 특성을 고려하면 패드 라이너와 브레이크 패드는 카트리지에 정렬되어 공급하는 것이 효율적이며 토크 멤버는 컨베이어 벨트 등의 이송 장치를 통하여 자동 공급하는 것이 효율적이다. 따라서 로봇을 사용한 자동화를 위해 작업장을 그림 4와 같이 설계하였다.

설계된 작업장의 구성은 다음과 같다. 그림 4에서 중앙 하단에 위치한 로봇의 앞쪽에 조립 작업을 위한 작업대를 설치하였다. 작업대의 우측 상단 점선부분은 컨베이어 벨트와 같은 이송 장치를 통해서 토크 멤버가 공급되어 놓이는 부분이다.

토크 멤버에 패드 라이너와 브레이크 패드를 조립하기 위해서는 토크 멤버가 고정되어 움직이지 않아야 하므로 작업대의 중앙에 토크 멤버를 고정해서 작업할 수 있는 지그(Jig)를 설치하였다. 작업대의 중앙 상단과 중앙 하단에는 패드 라이너가 정렬되어 공급되는 카트리지가, 좌측 상단에는 브레이크 패드가 정렬되어 공급되는 카트리지가 놓여진다. 그림 4에서 점선으로 표시된 부분의 내부는 로봇의 작업 영역을 나타낸다.

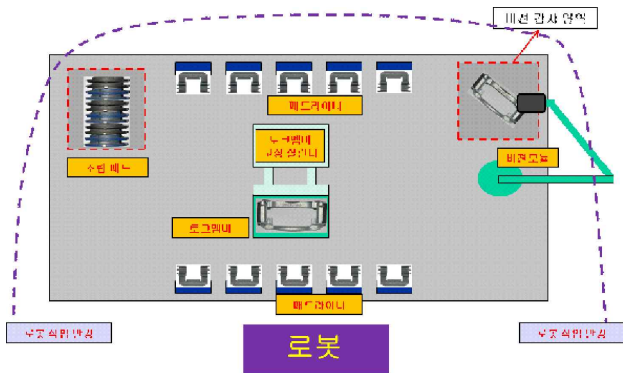


그림 4. 브레이크 모듈 조립 자동화를 위해 설계된 작업장
Fig. 4. Work cell for brake module assembly automation

III. 브레이크 모듈 조립 작업을 위한 여유자유도 로봇 자동화 시스템

이 장에서는 로봇을 사용한 브레이크 모듈 조립 작업에 대해 기술한다. 첫 번째로 사용한 방법은 조립 부분품들을 한번에 모두 파지하여 조립할 수 있는 특수한 형태의 엔드 이펙터(End effector)를 6 자유도의 산업용 로봇에 부착하여 조립하는 방법이고, 두 번째 방법은 첫 번째 방법에서 제작한 엔드 이펙터를 개선하여 엔드 이펙터 자체가 1 자유도를 갖도록 제작하여 6 자유도의 산업용 로봇에 부착하여 전체 7 자유도를 갖는 여유자유도 로봇으로 구성하여 조립하는 방법이다.

3.1 무 자유도 엔드 이펙터를 사용한 브레이크 모듈 조립 작업

3.1.1 조립 작업을 위한 무 자유도 엔드 이펙터

브레이크 모듈 조립 작업을 수행할 때, 두 개의 패드 라이너와 두 개의 브레이크 패드를 토크 멤버에 조립하는 것이 필요한데 이를 일반적인 구조의 로봇 핸들을 사용하여 하나씩 조립한다면 작업 시간이 오래 걸리게 되어 생산성이 매우 떨어진다. 따라서 두 개의 패드 라이너와 두 개의 브레이크 패드를 동시에 파지할 수 있으며 토크 멤버도 동시에 파지할 수 있도록 로봇 엔드 이펙터(End effector)를 설계, 제작하여 사용하였다. 제작된 엔드 이펙터는 총 다섯 개의 그리퍼(Gripper)를 가지며 외형은 그림 5와 같다.

한편, 3차원 공간에서 임의의 위치에 임의의 방향으로 접근할 수 있기 위해서는 로봇 머니플레이터가 최소한 6 자유도를 가져야 한다. 또한 브레이크 모듈 조립 작업은 조립에 사용할 부분품을 파지하고 부착하는데 있어서 다양한 방향에서 접근하는 것이 필요하다. 따라서 브레이크 모듈 조립 작업 자동화를 위한 첫 번째 방법에서는 기존의 산업용 6 자유도 머니플레이터에 그림 5의 엔드 이펙터를 장착하여 작업을 수행하였다.



그림 5. 제작된 엔드 이펙터의 외형

Fig. 5. Appearance of the manufactured end effector

3.1.2 브레이크 모듈 조립 작업

그림 4와 같이 구성된 작업장에서 그림 5에 나타난 엔드 이펙터를 장착한 6 자유도 머니플레이터를 사용한 조립 작업은 다음과 같이 이루어진다.

그림 4에서 작업대의 우측 상단 부분에 점선으로 표시된 사각형으로 컨베이어 벨트와 같은 이송 장치를 통해 토크 멤버가 그림 3과 같이 놓인 상태로 공급된다.

로봇은 두 개의 패드 라이너 그리퍼를 사용하여 작업대의 중앙 아래쪽에 위치한 패드 라이너 카트리지로부터 두 개의 카트리지를 파지하고, 그림 4의 좌측 상단에 위치한 브레이크 패드 카트리지의 상부로 이동하여 두 개의 브레이크 패드 그리퍼를 이용하여 두 개의 브레이크 패드를 파지한다.

이 후 로봇은 토크 멤버를 파지할 수 있는 방향으로 접근하여 토크 멤버 그리퍼를 사용하여 파지한 후 이동하여, 작업대 중앙에 있는 지그(Jig)에 토크 멤버를 안착시키면 지그에 설치되어 있는 토크 멤버 고정 실린더가 작동되어 토크 멤버를 움직이지 않도록 고정시킨다.

로봇은 위치와 방향을 바꾸면서 패드 라이너와 브레이크

패드를 고정된 토크 멤버에 조립한 후, 조립된 완성품을 토크 멤버 그리퍼로 파지하여 이동한 후 배출한다. 이와 같은 브레이크 모듈 조립 작업 순서를 요약하면 그림 6과 같다.



그림 6. 브레이크 모듈 조립 순서

Fig. 6. Sequence for the assembly of a brake module

3.1.3 무 자유도 엔드 이펙터를 사용한 조립 작업 실험 결과

첫 번째 방법에서는 기존에 생산 현장에서 많이 사용되는 산업용 6축 수직다관절 머니플레이터에 제작된 엔드 이펙터를 부착하여 브레이크 모듈 조립 작업을 수행하였다. 사용된 6 자유도 머니플레이터는 YASKAWA사에서 제조한 ES165 모델로서 이 모델의 외형은 그림 7과 같다. 실험을 위하여 그림 4에 표시된 바와 유사한 작업장을 그림 8과 같이 제작하였다.



그림 7. ES165 로봇 머니플레이터의 외형

Fig. 7. Robot manipulator ES165

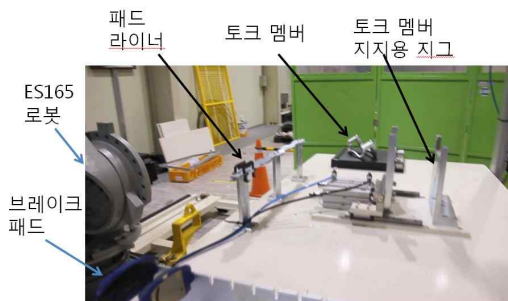


그림 8. 제작된 작업장

Fig. 8. Workcell layout

그림 8에서 로봇은 우선, 네 개의 그리퍼를 사용하여 패드 라이너와 브레이크 패드를 파지한 후 토크 멤버가 투입되면 그림 6에 나타내어진 작업 순서대로 작업한다.

첫 번째 방법을 사용한 조립 작업의 과정을 그림 9에 나타내었다. 그림 9의 (a) 부분은 토크 멤버가 투입된 후에 로봇이 토크 멤버를 파지하는 동작을 나타낸 것으로 총 작업 시간은 10초가 걸렸다.

그림 9의 (b) 부분은 로봇이 토크 멤버를 파지한 후에 토크 멤버를 작업대 중앙의 토크 멤버 지지용 지그로 이동하여 토크 멤버를 지그에 장착시킨 후, 두 개의 패드 라이너와 두 개의 브레이크 패드를 토크 멤버에 조립하는 과정으로 총 작업 시간은 12초가 걸렸다.

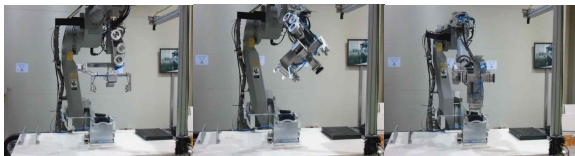
그림 9의 (c) 부분은 로봇이 조립을 완료한 후에 토크 멤버를 다시 파지하여 배출하는 과정으로 총 작업 시간은 7초가 걸렸다.



(a) 토크 멤버 파지 동작



(b) 토크 멤버 고정 및 조립 동작



(c) 조립 완성품 배출 동작

그림 9. 무자유도 엔드 이펙터를 사용한 조립 작업 실험

Fig. 9. Experiment using end effector with no extra dof

3.2 1 자유도 엔드 이펙터를 사용한 브레이크 모듈 조립 작업

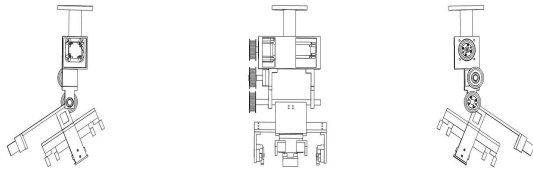
3.2.1 조립 작업을 위한 1 자유도 엔드 이펙터

일반적인 구조의 로봇 핸드를 장착한 로봇으로 조립 작업을 하면 조립 부분품을 하나씩 파지하여 이동하고 조립하여야 하는 반면 3.1절에서 사용한 첫 번째 방법은 조립에 사용되는 두 개의 패드 라이너와 두 개의 브레이크 패드, 한 개의 토크 멤버를 모두 한꺼번에 파지한 후 조립 작업을 수행함으로써 작업 시간이 짧으며 보다 더 효율적인 작업을 수행할 수 있었다.

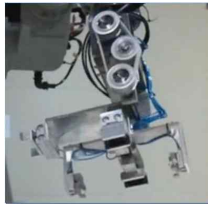
한편, 조립 작업 시에 패드 라이너는 수평면과 평행한 방향으로 조립하므로 조립이 쉬운 반면 브레이크 패드는 토크 멤버의 전, 후 내면에 대각 방향으로 삽입한 후에 수직 방향으로 세우면서 조립을 해야 한다.

즉, 조립 작업 시에 로봇이 자주 위치와 방향 전환을 수행하여야 하므로 첫 번째 방법에서도 로봇의 움직임이 많은 단

점이 존재하였다. 이 단점을 해결하기 위하여 두 번째 방법에서는 엔드 이펙터 자체가 1 자유도를 갖도록 하여 기존 6 자유도의 산업용 머니플레이터와 함께 전체 7 자유도를 갖는 여유자유도 머니플레이터로 구성하여 조립 작업을 수행하였다.



(a) 설계 도면



(b) 외형

그림 10.1 자유도를 갖는 엔드 이펙터의 설계 도면 및 외형
Fig. 10. Design drawing and appearance of the end effector with 1 dof

여유자유도 머니플레이터는 작업에 필요한 자유도 보다 더 많은 자유도를 갖는 머니플레이터로서 엔드 이펙터가 도달해야 할 위치와 방향을 갖는 해가 무한히 많이 존재하므로 이러한 무한 해 중에서 사용자가 원하는 해를 선정할 수 있는 장점이 있다.

1 자유도를 갖는 엔드 이펙터는 3.1절에서 설계한 엔드 이펙터와 그리퍼들의 구조는 같으면서 모터와 풀리를 사용하여 한 개의 회전 자유도를 갖도록 설계되었다. 부가된 자유도는 $-100^{\circ} \sim +20^{\circ}$ 의 구동 범위를 갖는다. 그림 10은 엔드 이펙터의 구조를 나타내는 도면이고 그림 11은 일반적인 산업용 로봇에 장착되어 7 자유도 머니플레이터로 구성된 모양이다.

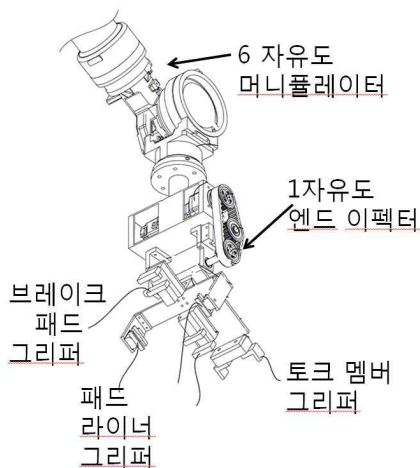


그림 11. 7 자유도 머니플레이터
Fig. 11.. A 7 dof manipulator

3.2.2 여유자유도 머니플레이터

그림 7에 나타난 여유자유도 머니플레이터의 전체 관절 구성과 좌표계 설정은 그림 12와 같다.

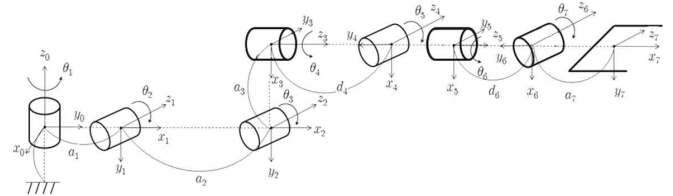


그림 12. 7 자유도 머니플레이터의 관절 구성과 좌표계 설정
Fig. 12. Joint configuration and attached coordinates for the 7 dof manipulator

그림 12에서 좌표계는 DH(Denavit-Hartenberg)의 규약을 따라 설정하였으며 로봇의 DH 파라미터 값들은 표 1과 같다.

이 때 이웃하는 좌표계들 사이의 동차변환행렬들은 다음 식과 같다. 여기에서 $c_i \equiv \cos\theta_i, s_i \equiv \sin\theta_i, c_{ij} \equiv \cos(\theta_i + \theta_j), s_{ij} \equiv \sin(\theta_i + \theta_j)$ 이다.

$$\begin{aligned}
 {}^1_0A_1 &= \begin{bmatrix} c_1 & 0 & -s_1 a_1 c_1 \\ s_1 & 0 & c_1 a_1 s_1 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad {}^3_2A_3 = \begin{bmatrix} c_4 & 0 & -s_4 d_4 \\ s_4 & 0 & c_4 d_4 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \\
 {}^4_3A_4 &= \begin{bmatrix} c_5 & 0 & s_5 & 0 \\ s_5 & 0 & -c_5 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad {}^5_4A_5 = \begin{bmatrix} c_6 & 0 & -s_6 & 0 \\ s_6 & 0 & c_6 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & d_6 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \\
 {}^6_5A_6 &= \begin{bmatrix} c_7 & -s_7 & 0 & a_7 c_7 \\ s_7 & c_7 & 0 & a_7 s_7 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}
 \end{aligned} \tag{1}$$

표 1. DH 파라미터
Table 1. DH parameters

링크	θ_i	α_i	a_i	d_i
1	θ_1	-90°	a_1	0
2	θ_2	0°	a_2	0
3	θ_3	90°	a_3	0
4	θ_4	-90°	0	d_4
5	θ_5	90°	0	0
6	θ_6	-90°	0	d_6
7	θ_7	0	a_7	0

이 때 첫 3개 관절들로 이루어지는 동차변환행렬은 다음 식과 같다.

$${}^0A_1{}^1A_2{}^2A_3 = \begin{bmatrix} c_1c_{23} & -s_1 & c_1s_{23} & a_2c_1c_2 + a_3c_1c_{23} - d_2s_1 \\ s_1c_{23} & c_1 & s_1s_{23} & a_2s_1c_2 + a_3s_1c_{23} + d_2c_1 \\ -s_{23} & 0 & c_{23} & -a_2s_2 - a_3s_{23} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

또한 마지막 4개 관절들로 이루어지는 동차변환행렬은 다음과 같다.

$$T_2 = {}^3A_4{}^4A_5{}^5A_6{}^6A_7 = \begin{bmatrix} t_{11} & t_{12} & t_{13} & t_{14} \\ t_{21} & t_{22} & t_{23} & t_{24} \\ t_{31} & t_{32} & t_{33} & t_{34} \\ t_{41} & t_{42} & t_{43} & t_{44} \end{bmatrix} \quad (3)$$

여기에서,

$$\begin{aligned} t_{11} &= c_4c_5c_6c_7 - s_4s_6c_7 - c_4s_5s_7, \\ t_{12} &= -c_4c_5c_6s_7 + s_4s_6s_7 - c_4s_5c_7, \quad t_{13} = -c_4c_5s_6 - s_4c_6, \\ t_{14} &= a_7c_4c_5c_6c_7 - a_7s_4s_6c_7 - a_7c_4s_5s_7 + d_6c_4s_5 \\ t_{21} &= s_4c_5c_6c_7 + c_4s_6c_7 - s_4s_5s_7, \\ t_{22} &= -s_4c_5c_6s_7 - c_4s_6s_7 - s_4s_5c_7, \quad t_{23} = -s_4c_5s_6 + c_4c_6 \\ t_{24} &= a_7s_4c_5c_6c_7 + a_7c_4s_6c_7 - a_7s_4s_5s_7 + d_6s_4s_5 \\ t_{31} &= -s_5c_6c_7 - c_5s_7, \quad t_{32} = s_5c_6s_7 - c_5c_7, \quad t_{33} = s_5s_6, \\ t_{34} &= -a_7s_5c_6c_7 - a_7c_5s_7 + d_6c_5 + d_4, \quad t_{41} = 0, \\ t_{42} &= 0, \quad t_{43} = 0, \quad t_{44} = 1 \end{aligned}$$

따라서 전체 기구학식은 다음과 같이 두 행렬의 곱으로 주어진다.

$${}^0T_7 = {}^0A_1{}^1A_2{}^2A_3{}^3A_4{}^4A_5{}^5A_6{}^6A_7 = T_1T_2 \quad (4)$$

이 7 자유도 머니플레이터는 임의로 로봇에게 주어진 손끝의 위치와 방향에 대해 무한개의 역기구학 해를 가지므로 사용자의 선호에 따라 해를 선택할 수 있는 장점이 있다. 무한 해 중에서 특정한 해를 선정하기 위해서는 특정한 성능지수를 최적화하여 이론적으로 해를 구하는 것이 필요하나 본 논문에서는 숙련된 작업자가 로봇의 자세 변환이 가능한 적은 자세를 교시(teaching)에 의해 구하는 방식을 택하였다.

그림 13은 두 번째 방법에서 사용된 여유자유도 로봇 시스템의 제어기 구성을 나타내고 있다. 엔드 이펙터에 부가된 관절 구동용 모터는 범용 서보 모터를 사용하여 제작하였으며 시스템 제어기인 PLC가 제어한다. 기존의 6축 머니플레이터는 전용의 제어기를 사용하여 제어하며 CC-link 통신으로 데이터를 교환하면서 로봇과 엔드 이펙터의 관절을 제어한다.

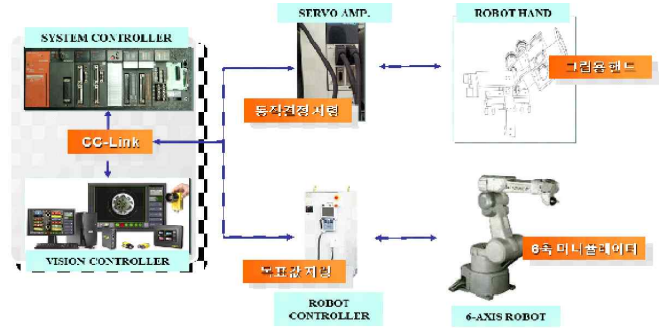


그림 13. 여유자유도 로봇 시스템 제어기 구성
Fig. 13. Control system for the redundant robot system

3.2.3 여유자유도 머니플레이터를 사용한 조립 작업 실험 결과

두 번째 방법인 1 자유도를 갖는 엔드 이펙터를 사용하여 여유자유도 머니플레이터로 구성된 경우에도 브레이크 모듈 조립 작업 순서는 첫 번째 방법의 경우와 동일하다.

두 번째 방법을 사용한 조립 작업의 과정을 그림 14에 나타내었다. 그림 14의 (a), (b), (c) 부분의 작업은 그림 9에 나타난 첫 번째 방법에서의 작업과 같다. 즉 그림 14의 (a) 부분은 토크 멤버를 파지하는 동작으로 총 작업 시간은 5초가 걸렸다. 그림 14의 (b) 부분은 토크 멤버를 파지, 이동하여 지그에 장착시킨 후, 조립하는 과정으로 총 작업 시간은 5초가 걸렸다. 그림 14의 (c) 부분은 토크 멤버를 다시 파지, 배출하는 과정으로 총 작업 시간은 3초가 걸렸다.

6축의 산업용 머니플레이터에 무자유도 엔드 이펙터를 부착한 첫 번째 방법과 1 자유도의 엔드 이펙터를 부착한 두 번째 방법을 사용하여 브레이크 모듈 조립 작업을 수행한 결과를 표 2에서 비교하였다. 두 방법 모두 일반적인 구조의 로봇 핸드를 사용하는 방법에 비해서 좋은 성능을 보였다.

두 방법 사이에서는 토크 멤버 파지, 토크 멤버 고정 및 부품 조립, 완성품 배출 모두에서 1 자유도 엔드 이펙터를 사용하여 여유자유도 머니플레이터로 구성된 두 번째 방법의 성능이 좋았다. 이러한 결과는 로봇이 브레이크 모듈 조립 작업을 수행하기 위해 취해야 할 동작 중에서 특히 방향의 전환이 빈번히 일어나는데 여유자유도 머니플레이터는 일반 머니플레이터보다 유연하면서도 다양한 자세를 가질 수 있고 따라서 동작 사이의 자세 변환이 최소화되어 공정 사이클 타임을 상당히 줄일 수 있으며, 로봇의 자세 변환이 최소화됨에 따라 로봇의 구동 동작 속도 또한 빨라졌기 때문이다.



(a) 토크 멤버 파지 동작



(b) 토크 멤버 고정 및 조립 동작



(c) 조립 완성품 배출 동작

그림 14. 1 자유도 엔드 이펙터를 사용한 조립 작업 실험
Fig. 14. Experiment using end effector with 1 extra dof

표 2. 제안한 두 방법의 실험 결과 비교

Table 2. Comparison for the experimental results for the proposed two methods

평가 항목	동작 구분	토크 멤버	고정	제품	계
		파지	조립	배출	
사이클 타임 (s)	무자유도 엔드 이펙터	10	12	7	29
	1 자유도 엔드 이펙터	5	5	3	13
최고 동작 속도 (mm/s)	무자유도 엔드 이펙터	900	1200	1200	1200
	1 자유도 엔드 이펙터	1500	1500	1500	1500

IV. 결론

본 논문에서는 자동차에 사용되는 브레이크 모듈의 조립 자동화 문제를 다루었다. 브레이크 모듈은 하나의 토크 멤버에 두 개의 브레이크 라이너와 두 개의 브레이크 패드를 조립하여야 하므로 이를 일반적인 구조의 로봇 핸드를 사용하여 조립부분품을 하나씩 조립한다면 작업 시간이 오래 걸린다. 조립 작업에서 가장 중요한 요소 중의 하나는 조립 시간으로, 조립 시간을 단축시키기 위해서 본 논문에서는 두 가지 방법을 제안하였다.

첫 번째 방법은 조립 부분품들을 파지할 수 있도록 다섯

개의 그리퍼를 갖는 엔드 이펙터를 제작하여 이를 6축 수직 다관절 머니플레이터에 부착하여 조립 작업을 수행하는 방법이다. 실제 조립 실험을 통하여 조립 작업 시간이 단축될 수 있음을 보였다.

두 번째 방법에서는 주어진 조립 작업에서 머니플레이터의 방향 전환이 빈번하다는 점에 착안하여 첫 번째 방법에서 제안한 엔드 이펙터에 자유도를 하나 더 추가한 엔드 이펙터를 설계 제작하였다. 이 1 자유도를 갖는 엔드 이펙터를 6축 수직다관절 머니플레이터에 부착함으로써 전체적으로 7 자유도의 여유자유도 머니플레이터를 구성하여 조립 작업을 수행하였다. 두 번째 방법에서는 유연하고 다양한 해를 갖는 여유자유도 머니플레이터의 특성으로 인하여 조립 작업 시간을 획기적으로 줄일 수 있음을 실험을 통하여 검증하였다.

참고 문헌

- [1] 유범상, 김경철, 이후관, 양창완, “산업용 로봇과 생산자 동화 기술,” 한국로봇공학회 학회지 제 6권, 제 2호, pp. 16-32, 2009.
- [2] Craig. John J, Introduction to Robotics, Prentice Hall, 2007.
- [3] 김동현, 박상신, 성영휘, “이형 제품간 접합 공정 로봇 시스템,” 로봇학회논문지 제 6권, 제 2호, pp. 141-146, 10, 2011.
- [4] 박찬훈, 박경택, “산업용 양팔로봇의 설계 및 제어,” 한국정밀공학회지, 제 25권, 제 11호, pp.58-65, 2008.
- [5] Yoshikawa. T., “Manipulability and redundancy control of robotic mechanisms,” Pro. of IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, pp.1004-1009, 1985.
- [6] 이종화, 김자영, 이지홍, 김동혁, 임현규, 류시현, “여유 자유도를 갖는 산업용 로봇의 역기구학 해석 및 최적 동작 계획,” 로봇학회논문지, 제 7권, 제 1호, pp.35-44, 2012.
- [7] 성영휘, 주백석, “여유자유도 실링 로봇에서의 최적 경로 계획,” 전기학회논문지, 제 61권, 제 12호, pp.1911-1919, 2012.



정재웅 (Jae Ung Jeong)

2005년 부경대학교 메카트로닉스공학과
(공학사)

2007년 부경대학교 대학원 지능기계공학과
(공학석사)

2010년 ~ 현재 씨엠케이 기업부설연구소 선임연구원

※주관심분야 : 로봇공학, 메카트로닉스



성영휘 (Young Whee Sung)

正會員

1988년 8월 고려대 전자공학과(공학사)

1991년 2월 KAIST 전기및전자공학과
(공학석사)

1996년 2월 KAIST 전기및전자공학과
(공학박사)

1998년 3월 ~ 현재 금오공과대학교 전자공학부 교수

※주관심분야 : 지능형 로봇, DSP 응용



주백석 (Baeksuk Chu)

1999년 2월 고려대 기계공학과(공학사)

2001년 8월 고려대 기계공학과
(공학석사)

2006년 2월 고려대 기계공학과
(공학박사)

2006년 10월 ~ 2007년 9월 UC Davis 박사후연구원

2007년 10월 ~ 2011년 2월 고려대학교 기계공학과
연구교수

2011년 3월 ~ 현재 금오공과대학교 지능기계공학과 교수

※주관심분야 : 로봇공학, 지능제어, 메카트로닉스



권순재 (Soon-Jae Kwon)

1982년 부산대학교 대학원 전기공학과
졸업(공학석사)

1996년 부산대학교 대학원 전기공학과
졸업(공학박사)

1982년 ~ 현재 부경대학교 기계자동차공학부 교수
