

대한기계학회 주선

제10회 전국학생설계경진대회(2020년)

설계 최종 보고서

참가부	대학부 (○)				
참가분야	공모주제 () / 자유주제 (○)				
참가팀명	Flexible				
설계제목	자유 회전형 병렬로봇				
지도교수/교사	(소속) 한국폴리텍VII대학 창원캠퍼스 컴퓨터응용기계설계과 (성명) 유대원 (이메일) yoodw14@kopo.ac.kr				
대표자 (신청인)	성명	소속	연락처 (휴대폰)	E-mail	주소
	황세웅	한국폴리텍VII대학(창원) 컴퓨터응용기계설계과			

참가팀원 인적사항

NO	성명	소속 / 학년	E-MAIL
1	황 세 웅	한국폴리텍VII대학 컴퓨터응용기계설계과 / 2학년	hgyt0014@naver.com
2	강 도 현	한국폴리텍VII대학 컴퓨터응용기계설계과 / 2학년	kkk02684@naver.com
3	김 진 성	한국폴리텍VII대학 컴퓨터응용기계설계과 / 2학년	smile4554@naver.com
4	황 티 웅	한국폴리텍VII대학 컴퓨터응용기계설계과 / 2학년	hoangnhung99@naver.com

설계 요약문

참가분야	공모주제 () / 자유주제 (○)
참가팀명	Flexible
설계제목	자유 회전형 병렬로봇
대표자명	황 세 응
요약문	○ 현재 제조용 산업로봇으로 널리 쓰이고 있는 병렬로봇은 Fig. 1과 같이 다양한 산업 현장에서 쓰이고 있다. 정밀, 고속운전이 가능하다는 장점도 있지만, 장비가 무겁고 작업할 수 있는 범위가 좁다는 문제점이 있어 여러 대의 병렬로봇을 연결하여 사용해야 한다는 불편함이 있다. 본 개발품은 기존 헤드부의 프레임 연결방식에 새로운 구동 메커니즘을 적용하여 병렬로봇의 작업 범위를 증가할 수 있다고 판단된다. 3D프린터 로봇 항공우주 로봇 분류 로봇 교육 로봇 수술 로봇 Fig. 1 Usage of parallel robots ○ 상단 프레임에 헤드가 고정된 기존의 방법은 헤드의 이동과 회전이 불가능하다. Fig. 2와 같이 고정된 프레임을 대신하여 반원 형태의 프레임을 추가하고 헤드부와 와이어로 연결하여 헤드부의 좌우 단독구동을 가능케 한다. 또한 프레임에 대한 구속이 사라지기 때문에 Fig. 2와 같이 링 기어 메커니즘을 통해 헤드부의 360° 회전이 가능하다. Fig. 2 3D Modeling view Fig. 3 Prototype geometry

자유 회전형 병렬로봇의 구조적 매커니즘 개발

황세웅* · 김진성* · 강도현* · 황티웅* · 유대원†

*한국폴리텍VII대학 컴퓨터응용기계설계과

Development of structural mechanism of free-rotating parallel robot

Se Ung Hwang*, jin sung Kim*, Do Hyun Kang*, Ti yung Hwang* and Dae Won Yoo†

* Department of Computer Aided Mechanical Design, Changwon Campus of Korea Polytechnic VII Colleges
(Received January 1, 2013 ; Revised January 2, 2013 ; Accepted January 3, 2013)

Key Words: Semicircle frame(반원 프레임), Ring gear(링 기어), planet gear(유성기어), Delta robot(병렬 로봇), working range(작업 범위)

초록: 본 개발품은 병렬로봇의 구조적 메커니즘만을 시각화한 것으로 기존의 헤드부 고정 방식에서 반원 형태의 프레임에 고정 및 좌우 단독구동을 가능케 하고 링 기어 메커니즘을 이용한 로봇 팔 부분의 360° 회전 운동을 주어 좁고 무거운 기존 병렬로봇의 단점을 보완하여 문제점을 해결하는 것을 목표로 한다. 필요한 부품들은 3차원 모델링 프로그램과 3D 프린터로 제작했다. 제품의 구조는 크게 반원 프레임, 링 기어, 헤드부분으로 이루어져 있고, 와이어와 연결된 폴리의 구동을 서보모터와 속도 제어기를 활용하여 이송량을 제어한다. 본 논문은 해외보다 뒤쳐진 국내 로봇 시장의 기술력과 경쟁력을 확보하여 우위를 선점할 수 있는 시발점이 될 것으로 판단된다.

Abstract: This development visualizes only the structural mechanism of the parallel robot, and aims to solve the problem by making fixed and left and right independent driving possible in the semi-circular frame under the existing head restraint method, and by giving 360° rotation motion of the robot arm part using the ring gear mechanism to compensate for the shortcomings of the existing narrow and heavy parallel robot. The parts needed were manufactured from a three-dimensional modeling program and a 3D printer. The structure of the product consists largely of semi-circular frame, ring gear and head part, and the driving of the pulley connected to the wire is controlled by utilizing servomotor and speed controller. This paper is believed to be the starting point for securing technological prowess and competitiveness in the domestic robot market, which lagged behind overseas, to gain an upper hand.

1. 서 론

로봇 기술의 고도화된 발전은 각종 산업 분야에서 비약적인 발전 및 생산량의 증대를 불러왔고, 여러 산업 분야에서 로봇의 사용은 더 이상 선택이 아닌 필수가 되었다. 국제 로봇협회의 월드 로보틱스 2019 리포트 자료⁽¹⁾에 따르면 2018년도 글로벌 산업용 로봇 시장은 연간 165억 달러로 한화 약 19조 원에 달하는 것으로 발표되었다. 또한, 2020년에서 2022년까지 연평균 12% 성장률을 기대했다. 다양한 산업용 로봇 중 병렬로봇은 흔히 사용되는 직렬로봇에 비해 고속, 고정밀의 작업이 가능해 대량생산에 특화된 산업에서 널리 이용되고 있다.⁽²⁾ 개인 직렬체로 이루어진 직렬로봇에 비해 넓은 범위의 작업이 가능하나 여전히 구동기가 상단 고정부에 장착되어 있어 작업 범위에 한계를 가지고 있는 실정이다.

† Corresponding Author, yoodw14@kopo.ac.kr

© 2020 The Korean Society of Mechanical Engineers

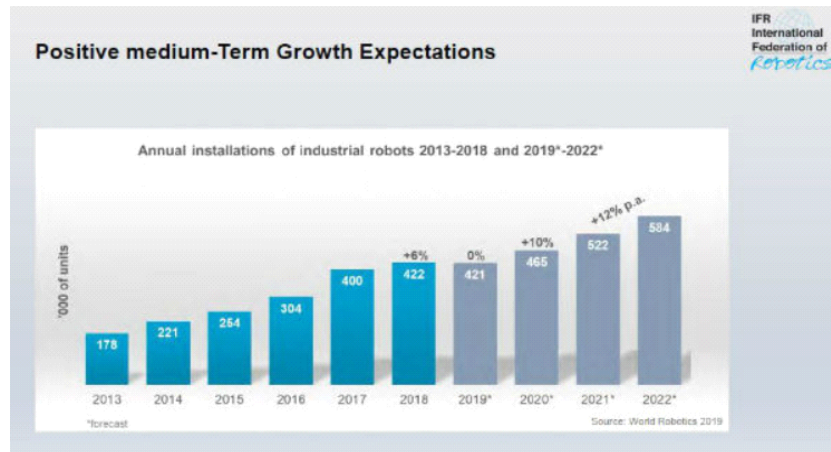


Fig. 1 Industrial robot installation status and forecast by year⁽¹⁾

성장하는 산업용 로봇 시장에서 경쟁력을 확보하기 위해서는 좁은 작업 범위로 인해 여러 대의 병렬 로봇을 연결하여 사용하는 불편함을 해소해야 할 필요성이 있다. 본 개발품은 Fig. 2와 같이 기계적 요소와 구조적 메커니즘의 개발을 통해 기존 병렬로봇의 좁고 한정된 작업 범위의 한계점을 극복하고 단점을 보완하여 국가기술 경쟁력을 확보할 수 있도록 설계 개발하는 것이 목적이다.

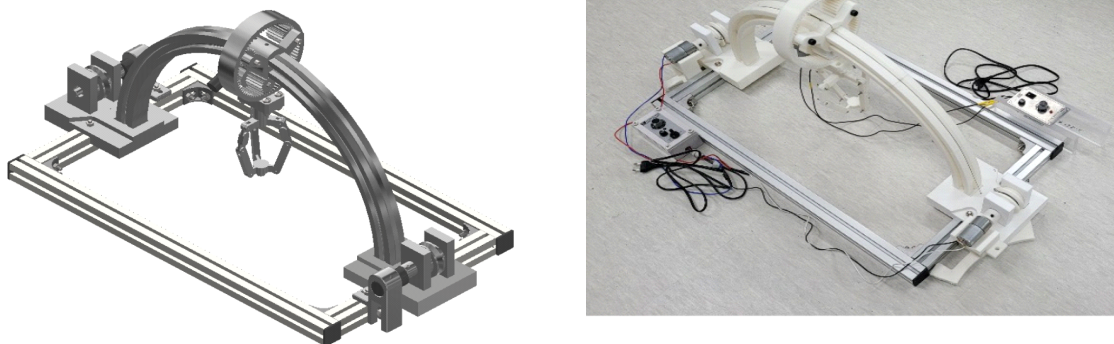


Fig. 2 Modeling and prototyping of developed product

2. 설계핵심내용

2.1 설계 문제 정의

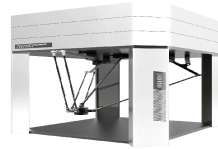
앞서 언급한 바와 같이 기존에 사용되고 있는 병렬로봇의 경우 여러 개의 구동체가 상단부에 결합한 채 움직여 작업 범위에 한계를 가진다. 이로 인해 병렬로봇의 도입 자체가 어려운 실정이다. 이러한 문제를 해결하기 위해 본 발명에서는 기존 병렬로봇에 이동 및 회전 메커니즘을 도입하여 광범위한 작업 범위를 확보하여 부담을 해소한다. 또한 프레임에 대한 구속이 사라지므로 링 기어를 통해 헤드부의 360° 회전을 주어 더욱 복잡한 형상의 제품가공에도 용이하도록 한다. Fig. 3은 기존의 병렬로봇의 형태이다.



ABB



FANUC



AUTOPOWER



NT ROBOT

Fig. 3 Existing of parallel robot⁽³⁾

2.2 특허 조사 및 분석

설계를 시작하기에 앞서 기존의 병렬로봇에 관련된 특허를 조사했다. 국내외 특허 중 본 개발품과 유사한 키워드로 조사해 나온 결과를 Table 1과 Fig. 4에 정리했다.

Table 1 Related Patent Search Results

검 색 식	병렬 로봇 = 3,054건	총 4,072건 검색 (유효특허10건)
	Parallel robot = 233건	
	Delta robot = 50건	
	병렬 링크 로봇 = 735건	

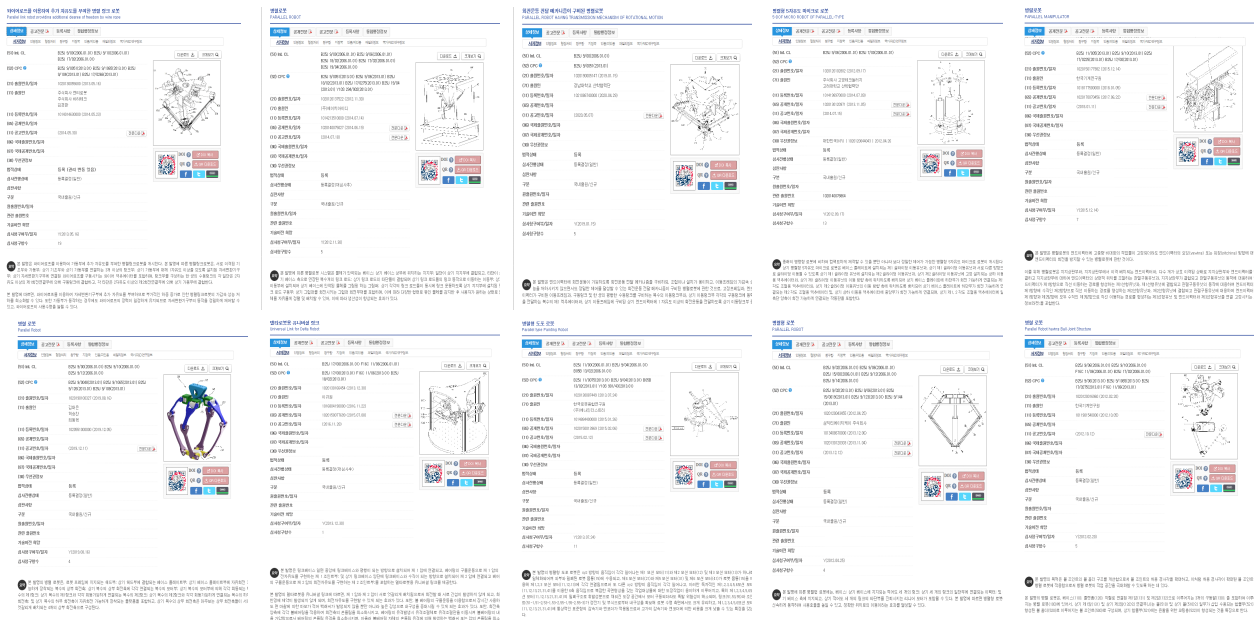


Fig. 4 Domestic and foreign patents⁽⁴⁾

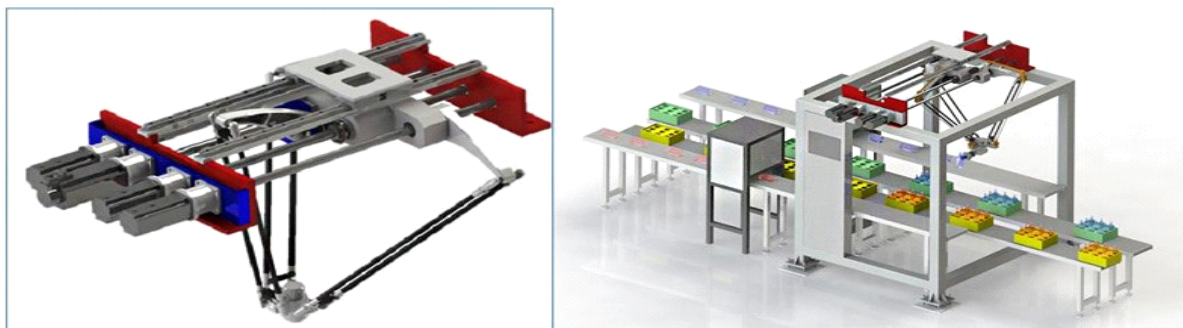


Fig.

5 Parallel Robot Mechanism with Extended Working Range and Examples thereof⁽⁵⁾

유사 특허 중 출원번호 10-2019-0005154⁽⁵⁾의 확장된 작업영역을 갖는 병렬로봇이 있다. 이 제품은 병렬 로봇의 고속, 고가속력, 고강성 등의 장점을 유지하면서 작업영역의 한계를 극복하고자 직선부가 축으로 확장된 작업영역을 갖는 병렬 메커니즘으로 Fig. 5와 같이 모든 회전 구동기는 고정부에 장착되고 볼 나사 직선 구동기로 병렬로봇 베이스를 직선 이동시키고, 나머지 3개의 회전 구동기는 볼스프라인을 통하여 병렬기구 암을 회전하여 병렬로봇 기구부는 3축 직선운동을 얻게 하여 직선 축 길이에 따라 작업 영역을 확장할 수 있다.

현재 시중에서 주로 사용되고 있는 병렬로봇은 그 형태와 용도에 따라 나뉘지만 주로 제조업의 조립 용이나 고속 Pick & Place 작업에 적합한 최선의 로봇 형태의 하나로 여겨지고 있다. 일부 작업에 국한되었던 병렬로봇의 장점은 살리고 작업 범위를 넓혀 단점은 보완하면서 차별성을 살리기 위해 기존 병렬로봇에서 볼 수 없었던 반원 프레임을 이용한 이동방식과 링 기어 메커니즘을 활용한 병렬 로봇의 360° 회전을 추가했다. 이로 인해 효율성을 개선하고 산업 현장에서의 공간을 고려하여 크기 및 구조를 설계했다.

2.3 설계에 활용한 메커니즘

작업 범위를 확대하기 위해 유성기어와 링 기어를 활용했다. 보통 유성기어는 중심에서 회전하는 선 기어의 주변에서 회전해 가장 바깥에 있는 링 기어를 회전시키는 메커니즘이다. 본 개발품에는 선 기어를 도입하지 않고 헤드에 3개의 유성기어를 장착했다. 하단의 유성기어에는 모터를 장착해 회전시키고 최종적으로는 링 기어와 함께 병렬 로봇을 회전시키는 구조이다. Fig. 6은 복합 유성기어, Fig. 7은 유성기어를 통해 병렬 로봇을 회전시키는 과정이다.

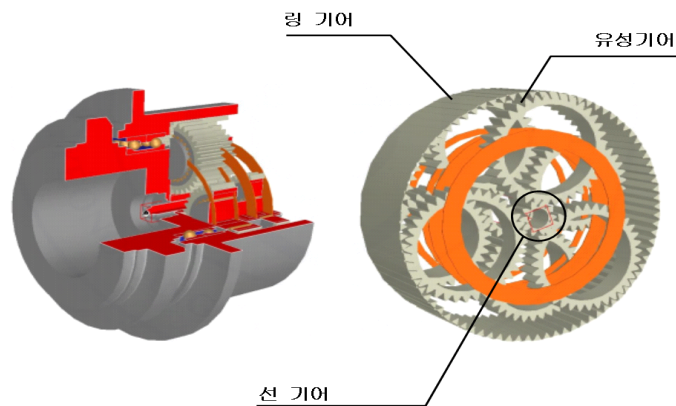


Fig. 6 Romax designer modeling of the double planetary gear system⁽⁶⁾

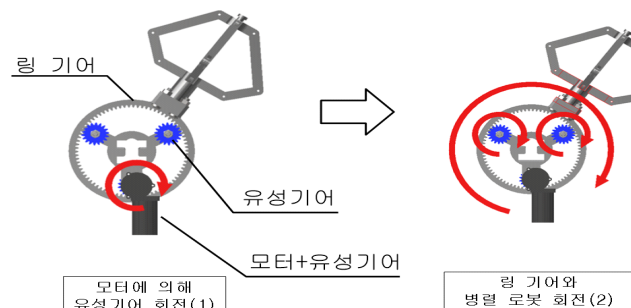


Fig. 7 Parallel robot rotation process

2.4 각 구성품의 설계 방법

2.4.1 제품의 전체적인 설계구조

‘자유 회전형 병렬로봇’은 Fig. 8과 같이 와이어와 링 기어 및 유성기어를 이용해 기존에 병렬로봇에 이동과 회전이 가능하게 한 제품이다. 여기서 핵심은 2가지의 모터로 다른 움직임을 구현하는 것이다. 첫 번째는 병렬로봇이 반원을 그리며 이동하게 하는 하단부이고, 두 번째는 병렬로봇을 360° 회전시키는 상단부이다. 설계의 진행 방향은 Fig. 9와 같다.

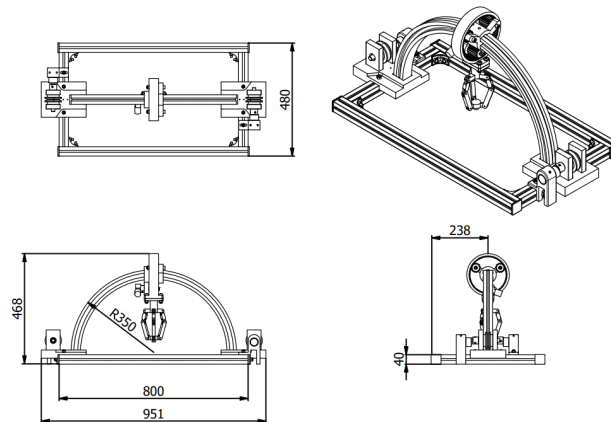
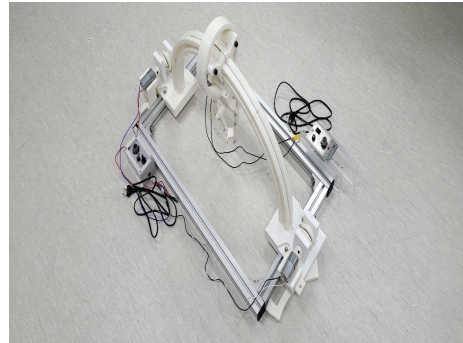
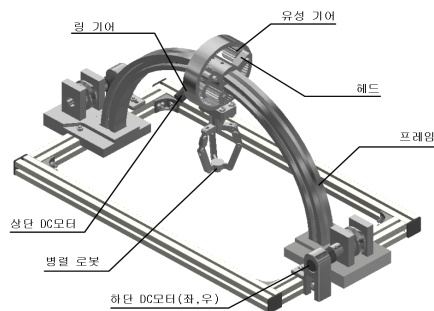


Fig. 8 Structure of machine

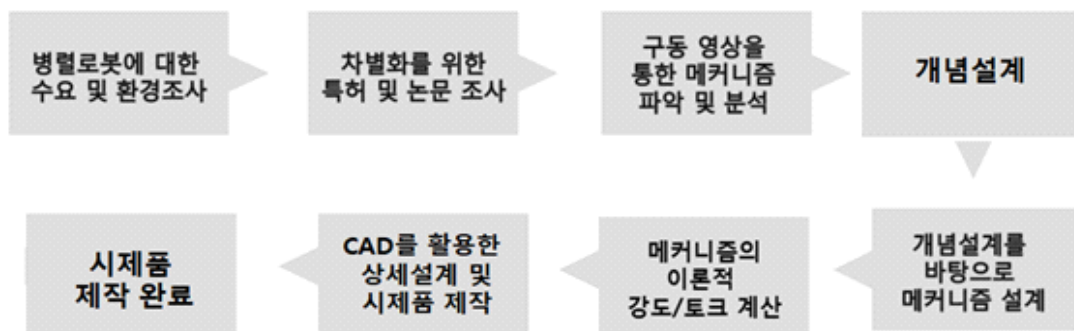


Fig. 9 Design progress direction

2.4.2 제품의 하단부 구조

Fig. 10은 하단부에서의 주요 구성요소를 보여주고 있다. 프로파일은 직사각형의 형태로 결합해 최하단에서 모든 부품을 지지하는 역할을 한다. 와이어를 감고 풀어 병렬로봇이 프레임을 따라 이동을 할 수 있게 하는 풀리와 양쪽의 풀리를 회전시키는 모터이다. 프레임 및 부품들을 지지해줄 베이스 플레이

트와 회전하는 헤드를 끌어오는 와이어 또한 중요한 역할을 담당하고 있다. 모터는 같은 종류의 DC 모터를 2개 사용했고 회전할 때 같은 힘, 같은 방향으로 회전하게끔 하고 속도 제어가 가능하게 하는 속도 조절기를 함께 연결했다. 또 축과 모터를 견고히 결합해 모터의 회전력을 폴리에 전달할 수 있도록 멈춤 나사로 체결했다. 와이어는 장력을 유지할 수 있도록 베이스 플레이트에 가공된 구멍을 통과하여 감긴다. 폴리의 윗부분에는 와이어가 미끄러지지 않도록 축 방향의 구멍을 뚫어 그 구멍을 이용해 와이어를 폴리에 고정시켰다.

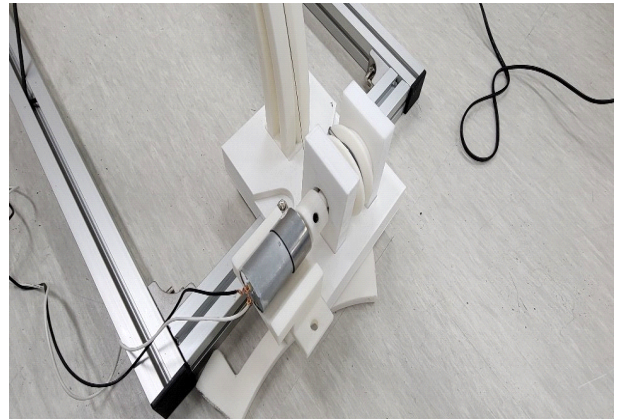
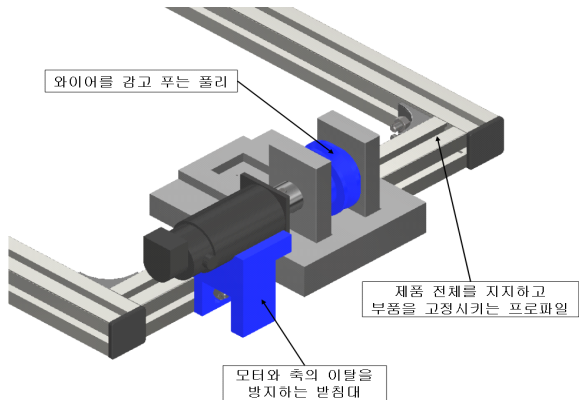


Fig. 10 Operation principle of the lower part

2.4.3 제품의 상단부 구조

Fig. 11에서 보여주는 상단부의 주요 구성요소는 병렬로봇이 반원을 그리며 이동하게 하는 프레임, 프레임을 따라 이동하며 기어의 위치결정을 돕는 헤드, 병렬로봇에 회전을 주어 다양한 작업을 할 수 있게 하는 링 기어 및 유성기어, 마지막으로 기어를 통해 로봇이 여러 각도로 회전하게 하는 모터가 있다. 와이어와 직접적인 연관이 있는 프레임과 헤드에는 와이어가 원활하게 이동할 수 있게끔 홈을 만들었다. 헤드에는 유성기어와 링 기어가 작동 중 위치를 이탈하는 상황을 방지하기 위해 120° 간격으로 지지대를 배치했다. 또 내부에 정밀가공된 강 재질의 구를 추가해 면 접촉을 점 접촉으로 바꾸어 마찰을 최소화했다. 프레임이 반원의 형태를 가지고 있기 때문에 반대쪽에 있는 로봇을 당겨올 경우, 강한 힘이 필요하므로 감속기가 장착된 모터를 장착하여 회전수를 낮추고 출력을 높였다. 3개의 유성기어 중 가장 하단에 배치된 유성기어에는 모터를 연결해 회전시키고, 상단에 배치된 2개의 유성기어는 링 기어와 병렬로봇의 하중을 지지함과 동시에 원활한 회전을 돕는다.

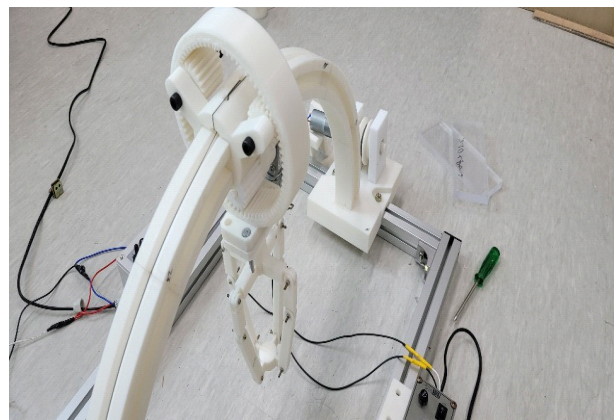
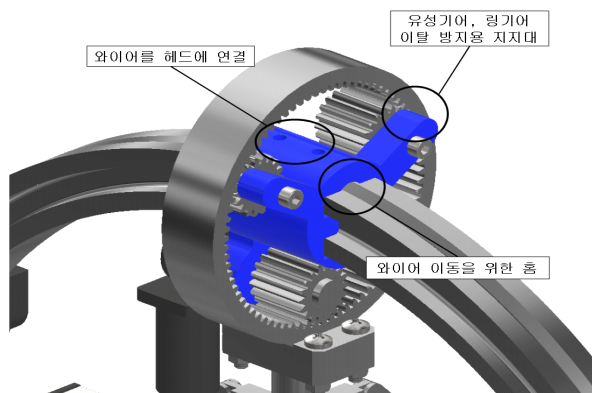


Fig. 11 Operation principle of upper part

2.4.4 모터의 필요 출력 계산

1) 하단부 모터 선정 과정

식에서 W 는 헤드부 부품의 하중, P 는 모터에 의해 이동하는 부품의 하중, r 은 폴리의 반지름, μ 는 마찰계수, T_1 는 토크, ω_1 는 각속도, H_1 은 모터가 갖춰야 할 최소한의 출력이다. 먼저 반원 이동을 맡은 기어드 모터의 출력 도출 과정이다. 실제 3D 프린터로 출력해낸 부품의 재질과 가장 유사한 ABS재질로 병렬로봇과 기어 등 와이어로 끌어야 하는 하중을 계산했을 때 $5kg_f(50N)$ 의 값이 나왔다. 마찰계수(μ)는 Table 2를 참고하여 플라스틱과 강이 마찰할 때의 값인 0.35로 가정하고 모터에 의해 이동하는 부품의 하중을 계산했다.

Table 2 Metallic Friction Coefficient Table⁽⁷⁾

Material 1	Material 2	Friction Coefficient	
		Dry	Greasy
Aluminum	Aluminum	1.4	0.3
Diamond	Diamond	0.1	0.05 ~ 0.1
Glass	Glass	0.4	0.09 ~ 0.12
Iron	Iron	1	0.15 ~ 0.2
Polystyrene	Polystyrene	0.5	0.5
Polystyrene	Steel	0.3 ~ 0.35	0.3 ~ 0.35
Wood	Wood	0.25 ~ 0.5	

$$P = \mu \times W \dots\dots\dots (1)$$

$$P = 0.35 \times 5kg_f = 1.75kg_f(17.5N)$$

식(1)을 통해 계산한 값과 와이어를 감는 폴리의 반지름을 고려한 필요 토크는 식(2)와 같다.

$$T = P \times r \dots\dots\dots (2)$$

$$T_1 = 17.5N \times 0.035m = 0.6125N \cdot m$$

모터의 회전수는 헤드부의 프레임 왕복시간을 예상하여 12초에 1번 왕복할 수 있도록 40rpm으로 선정했다. 회전수는 출력을 도출할 수 있도록 각속도의 단위로 환산했다.

$$\omega = N \times \frac{rev}{min} \times \frac{2\pi rad}{rev} \times \frac{min}{60sec} \dots\dots\dots (3)$$

$$\omega_1 = 40rpm = 40 \times \frac{rev}{min} \times \frac{2\pi rad}{rev} \times \frac{min}{60sec} = 4.18rad/sec$$

식(2)와 식(3)을 이용해 모터의 필요 출력을 계산했다.

$$H = T \times \omega \dots\dots\dots (4)$$

$$H_1 = 0.6125N \cdot m \times 4.18rad/sec = 2.56 W$$

요구하는 출력과 회전수 등의 값이 계산값보다 높은 모터를 선정했고 사양은 Fig. 12, Table 3과 같다.

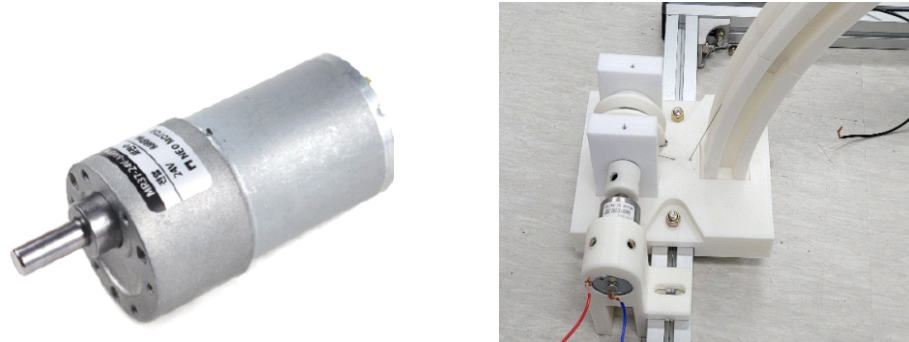


Fig. 12 MR37-24V-199RPM

Table 3 Specifications of motor (MR37-24V-199RPM)⁽⁸⁾

Parameter	Units	MR37-24V-199RPM
Rated Voltage	V	24
No-load Speed	rpm	88
No-load Current	mA	80
Rated Speed	rpm	66
Rated Current	mA	300
Rated Torque	N • m	1.3

2) 상단부 모터 선정 과정

식에서 P 는 모터에 의해 회전하는 부품의 하중, T_2 는 토크, ω_2 는 각속도, H_2 은 모터가 갖춰야 할 최소한의 출력이다. 상단부에 사용되는 모터는 역시 같은 재질인 ABS재질로 계산했다. 이동부 모터처럼 헤드부 전체가 아닌 링 기어와 병렬 로봇의 중량만 계산하면 되지만 무게의 큰 차이가 나지 않아 하중은 동일하게 가정하여 계산했다. 계산식은 식(1)과 동일하다.

$$P = 0.35 \times 5kg_f = 1.75kg_f (17.5N)$$

식(1)을 통해 계산한 값과 병렬 로봇을 회전시키는 유성기어의 반지름을 고려한 필요 토크는 식(2)와 같다.

$$T_2 = 17.5N \times 0.018m = 0.45N \cdot m$$

모터의 회전수는 링 기어가 1회전하는 시간을 계산하여 유성기어가 3초에 1회전 할 수 있도록 20rpm으로 선정했다. 식(3)을 통해 모터의 회전수를 각속도의 단위로 환산했다.

$$\omega_2 = 20rpm \Rightarrow 20 \times \frac{rev}{min} \times \frac{2\pi rad}{rev} \times \frac{min}{60sec} = 2.09rad/sec$$

식(4)를 통해 모터의 필요 출력을 알 수 있다.

$$H_2 = 0.45N \cdot m \times 2.094rad/sec = 0.94W$$

요구하는 출력과 회전수 등의 값이 계산값보다 높은 모터를 선정했고 사양은 Fig. 13과 Table 4와 같다.

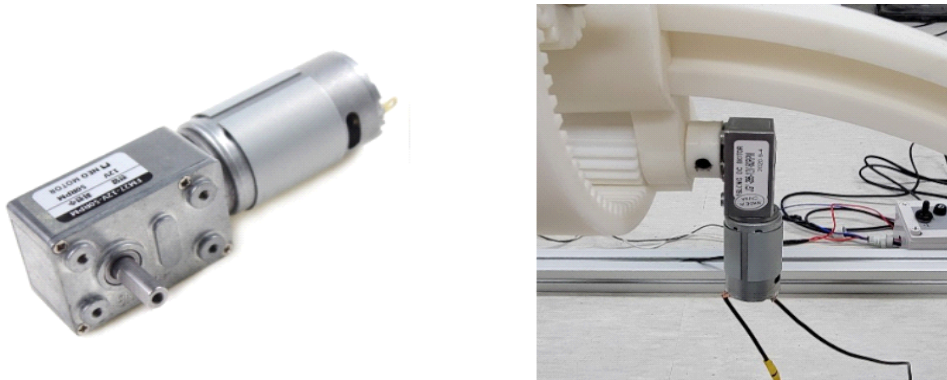


Fig. 13 FM27-12V-38RPM

Table 4 Specifications of motor (FM27-12V-38RPM)⁽⁸⁾

Parameter	Units	FM27-12V-38RPM
Rated Voltage	V	12
No-load Speed	rpm	50
No-load Current	mA	180
Rated Speed	rpm	38
Rated Current	mA	1000
Rated Torque	N • m	0.9

2.4.5 기어의 치수 선정 과정

1) 굽힘 강도(Bending strength)⁽⁹⁾ 계산

굽힘 강도란 기어가 하중을 받을 때, 이뿌리 부분에서 발생하는 응력을 계산한 값이다. 즉 기어의 이뿌리가 균열이나 힘이 없이 견딜 수 있는 최대강도이다. 속도와 충격에 의한 영향을 고려하여 병렬로봇의 무게를 지지하는 기어의 굽힘 강도를 계산하고, 이를 버틸 수 있는 치수로 설계했다.

$$P_1 = f_w \times f_v \times \sigma_b \times b \times m \times y \dots\dots\dots (5)$$

P_1 은 굽힘 강도, f_w 는 하중계수, f_v 는 속도계수, σ_b 는 허용 굽힘 응력, b 는 기어의 폭, m 은 기어의 모듈, y 는 치형 계수, W 는 기어에 가해지는 하중이다. 폭(b)이나 모듈(m)의 값은 기어의 치수를 최종적으로 정한 뒤의 값이다. 굽힘 강도를 구하는 계산식은 식(5)와 같다.

Table 5는 하중이 어떤 형태로 작용하는지에 따라 얼마나의 계수 값을 가지는지 분류해놓은 표다. 작동 시 기어에 특별한 충격은 가해지지 않지만, 로봇의 움직임과 이동에 따라 하중의 방향이 다양하게 변화하므로 어떤 충격에도 견딜 수 있도록 설계했다.

Table 5 Weight coefficient of Buckingham⁽⁹⁾

Action of weight	Weight coefficient figure(f_w)
A condition in which the weight is relatively static	0.80
If the weight fluctuates	0.74
If accompanied by an impact	0.67

Table 6은 기계요소의 조도와 재질 및 속도에 따른 계수 값을 정리해놓은 표다. 부품 대부분을 3D 프린터로 출력해 사용했기 때문에 기어의 재질도 ABS재질로 설정했다. 이에 따라 Table 6의 ‘비철금속 재

료'의 경우를 선정해 계산하여 속도 계수를 구했다.

$$v = 0.036(m) \times \frac{20(rev)}{\min} \times \frac{2\pi(rad)}{1(rev)} \times \frac{1\min}{60s} = 0.075m/s$$

$$f_v = \frac{0.75}{1 + 0.004m/s} + 0.25 = 0.94 \approx 1$$

Table 6 Velocity coefficient of Bath⁽⁹⁾

(단위 : m/s)

Peripheral velocity(v)	Velocity coefficient (f_v)	Remark
$v = 0.5 \sim 1.0[m/s]$ (Low-speed use)	$\frac{3.05}{30.5 + v}$	Rough surface
$v = 10 \sim 20[m/s]$ (Medium-speed use)	$\frac{6.1}{6.1 + v}$	Machine trimming
$v = 20 \sim 50[m/s]$ (High-speed use)	$\frac{3.56}{3.56 + \sqrt{v}}$	Precision trimming
$v < 20[m/s]$ (For nonferrous metals)	$\frac{0.75}{1 + v} + 0.25$	

허용 굽힘 응력은 기계 요소 설계에 관한 문헌⁽⁷⁾을 참고해 ABS재질과 가장 유사한 페놀 수지 재질의 값을 선정했다. 어떤 상황에도 버틸 수 있는 치수로 선정하기 위해 가장 약한 강도인 29MPa를 선정하여 계산했다.

Table 7은 기어의 잇수에 따른 치형 계수 값을 모아둔 표다. 치형 계수는 압력각 20°를 기준으로 했다. 유성기어의 잇수(Z)가 18개이므로 치형 계수는 0.349이다.

Table 7 Tooth form factor⁽⁹⁾

Number of teeth(Z)	Small gear of planetary gear(y)
12	0.327
13	0.327
14	0.330
15	0.330
16	0.333
17	0.342
18	0.349
19	0.358
20	0.364

앞서 정리한 계수 값을 종합하여 식(5)에 대입하면 다음과 같은 굽힘 강도의 값이 도출된다.

$$P_1 = 0.67 \times 1 \times 29MPa \times 40mm \times 2mm \times 0.111 = 172.54N$$

2) 면압 강도(Contact stress)⁽⁹⁾ 계산

면압 강도는 두 개의 기어가 접촉할 때 기어의 표면이 설계된 수명시간 내에 견딜 수 있는 하중을 결정하기 위한 값이다. 따라서 면압 강도는 기어의 경도와 조도, 재질의 종류와 열처리 방법, 기어 사용 시간 등과 깊은 관련이 있다. P_2 는 면압 강도, f_v 는 속도 계수, k 는 접촉면 응력 계수, b 는 기어의 폭, m 은 모듈, Z_1 은 큰 기어의 잇수, Z_2 는 작은 기어의 잇수이다. 기어의 폭과 모듈, 잇수의 값은 기어의 치

수를 최종적으로 정한 뒤의 값이다.

$$P_2 = f_v \times k \times b \times m \times \frac{2 \times Z_1 \times Z_2}{Z_1 + Z_2} \dots\dots\dots (6)$$

Table 8은 각각 다른 정도의 강도를 가진 재료의 기어가 맞물려 회전할 때 발생하는 응력 값이다. 접촉면 응력 계수(k)는 플라스틱 재료의 값이 없어서 Table 8에 나온 가장 약한 강과 강의 접촉 시 값인 0.265로 선정했다.

Table 8 Contact surface stress coefficient⁽⁹⁾

Hardness of gear material(H_B)		Contact surface stress coefficient (k)
Small gear	Big gear	
강(150)	강(150)	0.265
강(200)	강(150)	0.382
강(250)	강(150)	0.519
강(200)	강(200)	0.519
강(250)	강(200)	0.941
강(300)	강(200)	0.843

기어의 재질이 ABS재질이므로 속도 계수는 Table 6의 ‘비철금속 재료’의 경우를 선정해 계산했다.

$$v = 0.036(m) \times \frac{20(rev)}{min} \times \frac{2\pi(rad)}{1(rev)} \times \frac{1min}{60s} = 0.075m/s$$

$$f_v = \frac{0.75}{1 + 0.004m/s} + 0.25 = 0.94 \approx 1$$

앞서 정리한 계수 값을 종합하여 식(6)에 대입하면 다음과 같은 면압 강도의 값이 도출된다.

$$P_2 = 1 \times 0.265MPa \times 40mm \times 2mm \times \frac{2 \times 78 \times 18}{78 + 18} = 620N$$

3) 회전력과 각 강도 비교

기어의 토크는 상단 모터의 최대 토크인 $0.9N \cdot m$ 이다. 토크는 힘과 거리의 곱이므로 기어의 반지름만큼의 값을 나누면 온전한 힘의 단위가 산출된다. T 는 회전력, F 는 기어에 가해지는 하중, r 은 유성기어의 반지름이다.

$$T = F \times r \Rightarrow F = \frac{T}{r} \Rightarrow \frac{0.9N \cdot m}{0.036m} = 25N$$

$$\text{회전력} < \text{굽힘 강도} \Rightarrow 25N < 172.54N$$

$$\text{회전력} < \text{면압 강도} \Rightarrow 25N < 620N$$

굽힘 강도와 면압 강도가 회전력 이상의 강도를 가지므로 기어의 충분한 강도를 확보했다.

2.4.6 CAE프로그램을 활용한 구조해석

이론값을 바탕으로 CAE 프로그램을 사용하여 구조해석을 진행한 결과 하중이 $33.614N$ 일 때 Fig. 14에서 볼

수 있듯이 최대응력이 2.752 MPa이다. Fig. 15는 응력분포도를 나타냈고 최대변형량은 0.00254mm으로 나타났다. ABS재질의 밀도가 0.357g/cm³일 때 인장강도⁽¹⁰⁾는 17.87MPa이므로 기어의 이에 작용하는 최대응력이 재료의 인장강도보다 낮게 나타나 안전한 것으로 판단된다. 하중이 작용하는 방향은 Fig. 16과 같으며 구조해석 결과값에 영향을 주는 Mash의 크기는 Table 8에 정리했다.

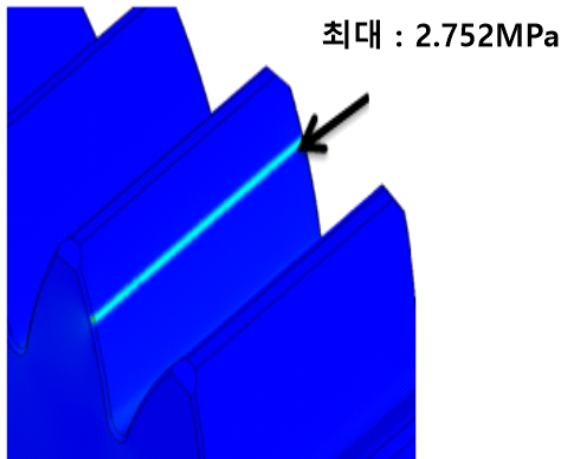


Fig. 14 Planet gear Max. von mises stress

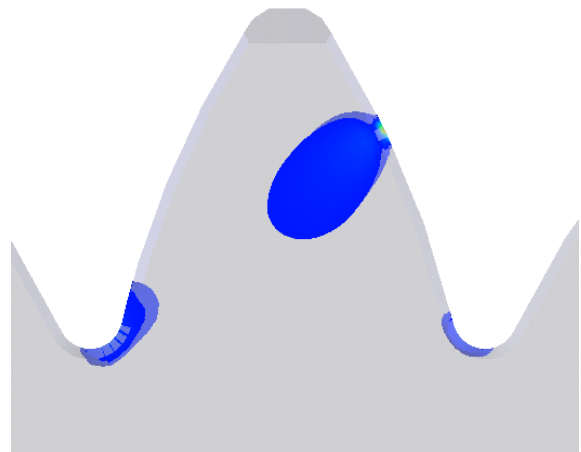


Fig. 15 Planet gear Stress Contour

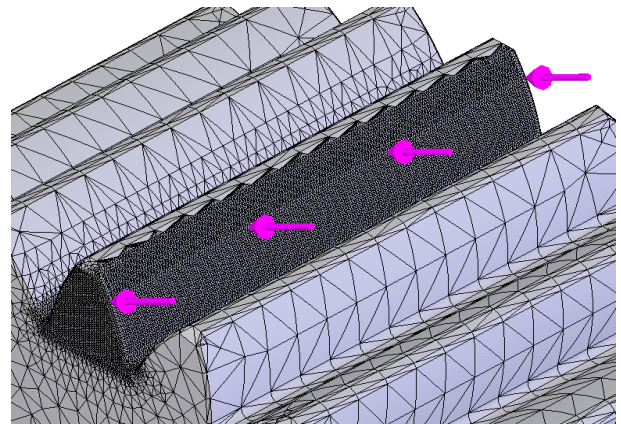
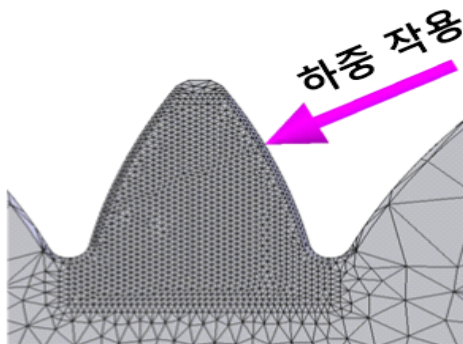


Fig. 16 Planet gear mesh size and direction of force

Table 8 Planet gear mesh size

Mesh size	0.01mm
Control mesh size	0.0025mm
Nodes	540,295
Elements	382,227

2.5 제약조건 및 해결방안

2.5.1 제약조건

1) 모터의 동시 제어

기존에는 하단부의 있는 2개의 모터에 각각 속도 조절기를 연결해 2개의 제어기를 각각 조작할 계획이었다. 때문에 같은 방향으로 회전하지만 동시에 같은 힘으로 회전시키기는 어렵다는 제약조건이 발

생했다.

2) 부품 대부분을 3D 프린터로 출력했기 때문에 부품의 정밀도가 떨어진다. 때문에 모터와 회전력을 전달하는 축을 제대로 결합하기 힘들다는 문제가 생겼다.

2.5.2 해결방안

‘제약조건 1)’을 해결하기 위해 Fig. 17과 같이 속도 조절기에 병렬로 전선을 추가해 하나의 속도 조절기로 2개의 코터를 제어할 수 있게 했다. 이로 인해 모터를 동시에 같은 힘, 같은 방향으로 회전시키는 구동이 가능해졌다.

‘제약조건 2)’을 해결하기 위해 축의 모터와 결합하는 부분을 Fig. 18과 같이,무두 볼트로 체결했다. 모터의 회전력을 전달하였고, 3방향에서 체결해 견고히 하였다.

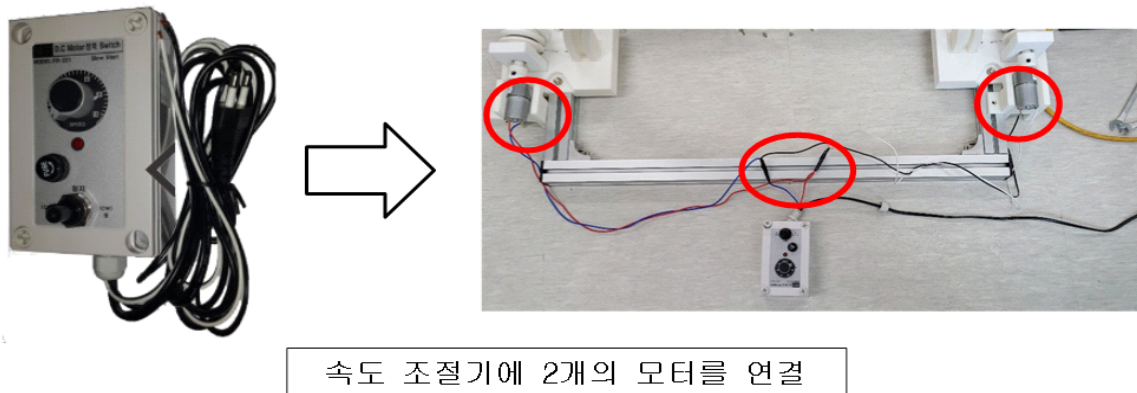


Fig. 17 Motor simultaneous control solution

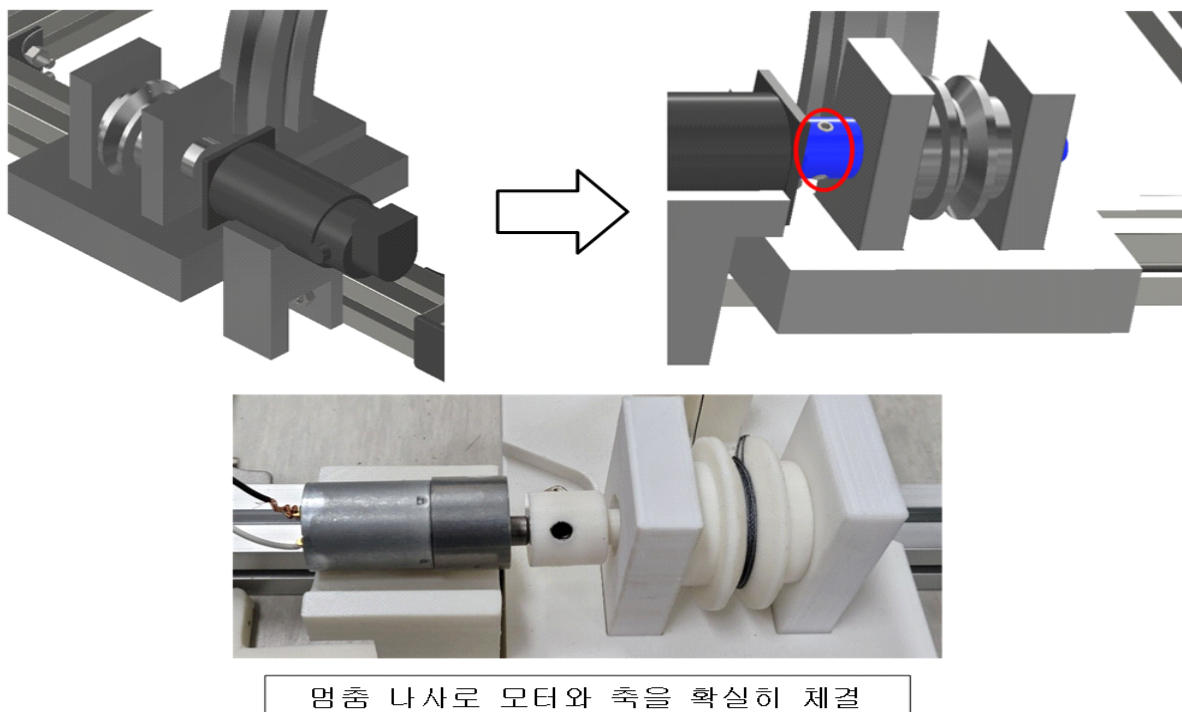
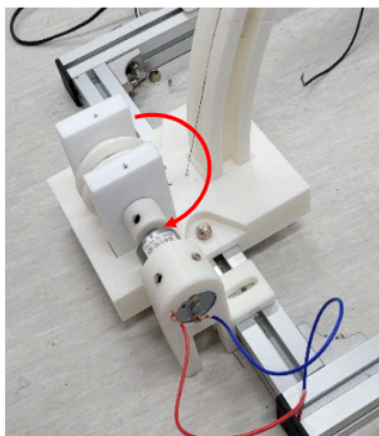


Fig. 18 Tightening with set screws

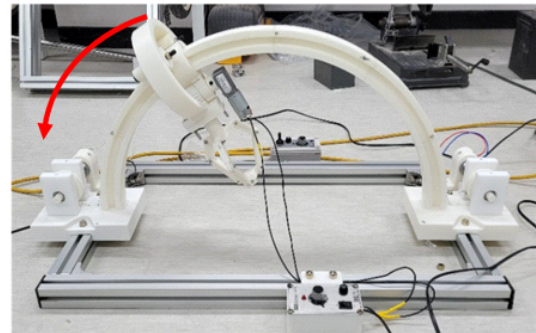
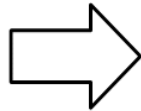
3. 결과 및 토의

3.1 최종 시제품 및 작동 원리

자유 회전형 병렬로봇의 헤드의 움직임에 따라 로봇의 팔을 움직이게 하는 원리로 구동 방식은 좌우 이송 구동과 360° 회전 운동 두 가지로 분류된다. 좌우 이송 구동은 Fig. 19와 같이 양 끝 플레이트로 지지한 풀리와 헤드부를 와이어로 연결하고 모터를 통한 풀리의 회전(1)으로 와이어를 당겨 이송 구동(2)을 하게 된다. 이때 와이어는 프레임 고정부에 뚫린 구멍을 통하여 좌우로 들어가지 않고 중심을 유지할 수 있다.



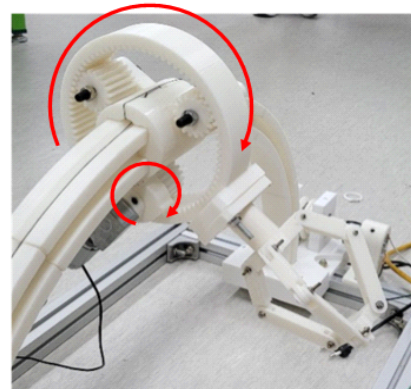
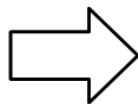
모터 회전에 따른 풀리 회전(1)



와이어의 감김에 따른 헤드의 이동(2)

Fig. 19 Working principle of left and right movement

회전 이송 구동은 링 기어 메커니즘을 사용하여 Fig. 20과 같이 헤드부와 3개의 유성기어, 링 기어를 결합한 뒤 모터와 연결된 1개의 유성기어 회전만으로도 링 기어와 전체 로봇의 회전 구동을 하게 한다.



모터 회전에 따른 링 기어 회전

Fig. 20 Operation principle of 360 degree rotation movement

3.2 최종 설계 결과물의 장단점

‘자유 회전형 병렬로봇’은 기존의 획일화된 작업만 가능했던 병렬로봇의 한계와 여러 경제적, 공간적 손해의 단점을 보완하고 로봇 시장에서의 국가 경쟁력을 갖추어 다양한 산업 현장에서의 활용성을 갖는다.

본 발명품의 메커니즘은 크게 두 가지의 장점이 있다.

첫째, 기존 병렬로봇은 단순 대량생산 공정에서의 활용에 국한되었지만 작업범위를 확장함에 따라 드론 기술, 스마트 의료 로봇 등 현재 사용되고 있는 4차 산업 분야에서 더욱 폭넓은 사용이 가능하다.

둘째, 작업범위가 3차원 공간까지 가공, 측정이 가능해짐에 따라 여러 대를 연결하던 기존 공정의 번거로움을 해소할 수 있다.

단점으로는 두 가지 사항을 꼽았다.

첫째, 최종 설계 결과물에서는 병렬로봇의 상세한 제어 및 필요강성의 계산이 누락 되어있다. 고 정밀한 작업을 필요로 하는 상황에서는 전문기관과의 협력으로 문제를 해결 해나가야할 것이다.

둘째, 본 발명품은 부품 대부분을 3D 프린터로 제작했다. 재질이 플라스틱이라 파손을 우려하여 안전도를 높게 설계했다. 플라스틱보다 강도가 우월한 강으로 제작한다면 좀 더 작고 튼튼한 제품을 제작할 수 있을 것이다.

3.2.3 활용방안 및 기대효과

자유 회전형 병렬 로봇의 도입은 인구 고령화 때문인 노동인구의 부족현상에 적극 대응할 수 있고, 단순히 자동화 공장에 국한될 것이 아니라 드론 기술, 스마트 의료 로봇 등 다양한 4차 산업 분야에서의 발전을 이끌어낼 수 있을 것으로 판단된다. 이에 따른 기대효과를 크게 세 가지로 정리했다.

1) 경제적 효과

자유 회전형 병렬 로봇의 도입은 기존 생산라인의 여러 병렬로봇을 한 대로 대체할 수 있어 인건비, 장비, 유지비 등을 절감함으로써 경제적 효과를 기대할 수 있다.

2) 기술적 효과

작업 범위가 확장됨에 따라 기존의 로봇에 비해 여러 부분의 가공, 측정, 조립 등이 가능하게 될 것이고 국내외로 상용화되어 있지 않은 상태에서 링 기어를 이용한 360° 회전과 프레임을 따라 반원으로 헤드를 이동하는 기술개발이 이루어진다면 기술적 우위를 선점할 수 있는 시발점이 될 것이다.

3) 산업적 효과

Fig. 21과 Fig. 22의 그래프를 보면 세계 산업용 로봇 시장은 계속 성장하고 있는 반면 우리나라의 로봇 수출 현황은 성장했다고 2015년 이후 점점 줄어들고 있는 추세를 볼 수 있다. 이는 국내 생산된 로봇의 수요가 내수에 많이 의지하고 있음을 보여준다. 이런 상황에서 국내외 병렬 로봇에 대한 특허권 확보 및 개발은 산업로봇 시장에서의 경쟁력을 올릴 수 있을 뿐만 아니라 4차 산업과 관련한 국내외 고용창출에도 큰 효과가 있을 것이라 판단된다.

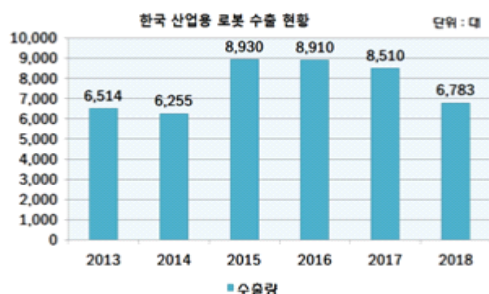


Fig. 21 2013-2018 Korea Industrial Robot Export Volume and Growth Rate⁽¹¹⁾

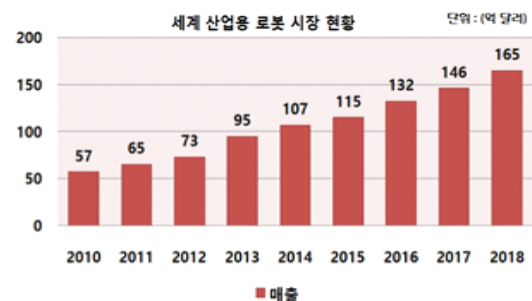


Fig. 22 2010-2018 Current status of the global industrial robot market Growth Rate⁽¹¹⁾

4. 결 론

시중에서 사용되고 있는 병렬로봇은 고속 정밀한 작업이 가능하여 다양한 산업 현장에서 활용할 수 있지만, 작업 범위가 좁아 여러 대의 로봇을 연결하여 사용한다는 불편함이 있고 이에 따라 여러 경제적, 공간적 손실이 따랐다. 본 논문은 이런 문제점을 해결하기 위해 로봇의 작업 범위를 확장할 수 있는 메커니즘 도입의 필요성이 있어 이 제품을 개발하였다. 제품을 개발하며 다음과 같은 결론을 내렸다.

1) 세계의 로봇 시장의 경우 해마다 성장하고 있지만 한국 로봇 시장의 경우 기술적 경쟁력이 떨어져 해외의 로봇을 수입하여 사용하고 있기 때문에 수출현황은 계속해서 줄어들고 있다. 이러한 상황에서 기존의 병렬로봇에서 링기어를 이용한 360° 회전과 반원 프레임을 따라 이동하는 메커니즘을 사용하여 작업범위를 광범위하게 확대하여 여러 대의 로봇들을 사용해야 하는 작업들을 하나의 로봇으로 해결할 수 있게 했다.

2) 개발된 자유회전형 병렬로봇의 경우 확장된 작업 범위를 활용함으로써 3D프린터, 항공우주, 분류, 교육, 의료, 수술 분야의 발전에도 이바지 할 수 있을 것이라 판단된다.

3) 향후 발전된 제품을 생산하기 위해서는 로봇이 활용될 실제 현장에서의 규모와 크기에 맞추고 좀 더 정밀한 제어를 위해 관련 전문업체와의 긴밀한 협력이 필요할 것으로 판단된다.

후 기

“제10회 전국학생설계경진대회”를 준비하면서 직접 제품의 모든 부품들을 하나하나 구입도 하고 제작 및 가공을 해보면서 수업으로만 배웠던 설계를 할 때 고려해야하는 점들을 직접 적용해볼 수 있는 좋은 기회였습니다. 이런 대회를 개최해주신 대한기계학회에 감사의 마음을 드리며 제품을 제작하는데에 하나하나 세심히 도움을 주신 유대원 지도교수님께 감사의 말씀을 전합니다. 코로나 19라는 변수에 의한 어려움이 커 아쉬운 부분들도 있었지만 이렇게 최종결과물을 낼 수 있었음에 보람을 느꼈습니다. 마지막으로 아이디어를 바탕으로 향후 로봇 산업에 대한 발전된 아이디어 및 개발품들 창출에 도움이 되기를 바랍니다.

참고문헌

- (1) IFR, 2019, “세계 로봇 프레젠테이션”
- (2) 박수진, 김한성, 2020, “병렬로봇시장 신흥 트렌드”
- (3) 김태욱, 2015, “4자유도 고속 병렬 로봇의 설계 및 제어연구.”,
- (4) 특허정보넷 키프리스, 2020, (<http://www.kipris.or.kr/khome/main.jsp>)
- (5) Merric, 2020, M-interview 직선축을 가진 보급형 병렬로봇 시스템,
- (6) 한성길, 2014, “복합유성기어의 강도설계 해석.”, pp.25~29
- (7) 성창현. 2008, “자동차 부품용 엔지니어링 플라스틱의 마모 특성에 관한 연구.”
- (8) 전자부품 쇼핑몰 메카솔루션 (<http://mechasolution.com/shop/main/index.php>)
- (9) 정해관, 최부희, 이성근, 2011, “Mechanical Element Design Korea Pollytechs” pp.158~193
- (10) 김태완, 조용주. 2007. “볼 베어링의 응력 기반 접촉피로수명 예측.”, pp.44-55
- (11) XIAO CHUAN, 2020, “중국 산업용 로봇산업의 해외진출 방안에 관한 연구”, pp.12~20