

4축 이적재 로봇의 주요 부품 선정을 위한 동적 해석

박일환*, 전용재*, 고아라*, 설상석*, 홍대선*^{#,}

*창원대학교 기계공학부

Dynamic Analysis to Select Main Parts of Four-Axis Palletizing Robots

Il-Hwan Park*, Yong-Jae Jeon*, A-Ra Go*, Sang-Seok Seol*, Dae-Sun Hong*^{#,}

*School of Mechanical Engineering, Changwon national UNIV.

(Received 26 August 2020; received in revised form 09 September 2020; accepted 10 September 2020)

ABSTRACT

The demand for industrial robots is proliferating with production automation. Industrial robots are used in various fields, such as logistics, welding, and assembly. Generally, six degrees of freedom are required to move freely in space. However, the palletizing robot used for material management and logistics systems typically has four degrees of freedom. In designing such robots, their main parts, such as motors and reducers, need to be adequately selected while satisfying payload requirements and speed. Hence, this study proposes a practical method for selecting the major parts based on dynamic analysis using ADAMS. First, the acceleration torques for the robot motion were found from the analysis, and then the friction torques were evaluated. This study introduces a constant-speed torque constant instead of friction coefficient. The RMS torque and maximum power of each motor were found considering the above torques. After that, this study recommends the major specifications of all motors and reducers. The proposed method was applied to a palletizing robot to verify the suitability of the pre-selected main parts. The verification result shows that the proposed method can be successfully applied to the early design stage of industrial robots.

Key Words : Palletizing Robot(이적재 로봇), Dynamic Analysis(동적 해석), Selection of Motors(모터 선정), Constant-speed torque constant(정속토크상수), ADAMS(아담스)

1. 서 론

2017년 산업용 로봇의 세계 판매량은 2016년에 비해 31%가 증가하였는데^[1], 이렇게 급격하게 성장하고 있는 산업용 로봇은 다양한 분야에 적용되고 있다. 일반적으로 로봇이 공간상에서 자유롭게 동작하기 위해서는 6개의 자유도를 가져야 하지만

산업용 로봇은 그 적용 분야에 따라 필수적인 자유도로만 구성될 수 있다^[2]. 본 연구의 대상인 4축 이적재 로봇은 산업용 로봇으로 물류 자동화 분야에서 중요하게 적용되고 있으며^[3-4], 픽 앤 플레이스(Pick and Place)의 동작을 구현한다. 픽 앤 플레이스 동작은 3개의 평행사변형 링크 기구를 사용하여 기구적인 제약을 가함으로써 가능하다^[5]. 이적재 로봇의 픽 앤 플레이스 동작은 정해진 이동 경로를 따라 특정 속도와 가속도에서 반복적인 동작을 수행한다. 이 때 이동에 필요한 구동 토크를

Corresponding Author : dshong@changwon.ac.kr

Tel: 055-213-3627, Fax: 055-263-5221

Copyright © The Korean Society of Manufacturing Process Engineers. This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-Noncommercial 3.0 License (CC BY-NC 3.0 <http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

가지는 서보모터가 적절하게 선정되어야 한다^[6]. 따라서 구동 토크에 대한 계산이 필요하고 이를 계산하기 위해서는 주어진 기구학 조건에 따라 힘과 토크를 계산할 수 있는 역동역학 해석이 필요하다. 이와 같은 역동역학 해석을 하기 위해서는 운동 방정식을 유도하여 계산하는 방법^[7]과 다물체 동역학 해석이 가능한 소프트웨어를 사용하는 방법^[8]이 있다. 동역학 해석 소프트웨어 중 아담스는 기하학적 모델을 통해 요소 간의 동작이 제한하고 기계적인 시스템의 운동 방정식을 자동으로 정하여 빠르게 해석한다^[9]. 아담스를 이용한 연구로는 다관절 용접 로봇의 기구적 해석과^[10], Delta 고속 병렬로봇의 간략화된 동역학식의 비교를 위해 사용하였다^[11]. 그리고 이적재 로봇에 대한 동역학 해석은 Xiaogang 등^[5]과 RUI 등^[12]이 수행하였으며 각 축에 대한 구동 토크를 해석하였다.

본 연구에서는 이적재 로봇의 모터 및 감속기 선정에 위한 실제적인 방법을 제안하고자 한다. 이러한 목적을 위하여 먼저 ADAMS의 동적해석 시뮬레이션을 통해 가속 토크 및 중력토크를 구한다. 그리고 각 축에 작용하는 마찰의 영향을 반영하기 위해 마찰계수 대신 등속토크상수(Constant-speed torque constant)를 사용하여 마찰토크를 계산한다. 이 방법은 로봇 회전축의 마찰계수 값을 모르거나 정하기 곤란한 경우에 적용할 수 있는 대안이 될 수 있다. 다음으로는 계산된 마찰토크가 반영된 최대토크와 RMS 토크 및 이로부터 계산한 최대 출력 기준으로 모터 및 감속기의 규격을 결정한다. 마지막으로 제안한 본 방법의 유용성을 검증하기 위하여 실제 이적재 로봇의 모터 및 감속기 선정에 이를 적용하고, 그 결과에 의해 개선된 서보모터와 감속기의 규격을 만족하지 못하는 경우에 대응하는 방법에 대하여 논한다.

본 논문에서는 2장에 이적재 로봇의 주요 파라미터에 대해 기술하고, 3장에서는 아담스를 이용하여 동적해석을 수행하고 개선된 서보모터와 감속기 사양을 비교 분석하며, 4장에서는 결론을 맺는다.

2. 이적재 로봇의 주요 파라미터

2.1 이적재 로봇의 정의

본 연구에서 이적재 로봇의 초기 자세는 Fig. 1에 나타난다. 여기서 1축 서보모터는 베이스 프레임과 연결되어 웨이스트 프레임을 Z축 중심으로 회전시키고, 2축 서보모터는 첫 번째 암 프레임을 Y축 중심으로 회전시킨다. 그리고 3축 서보모터는 첫 번째 평행사변형 링크 구조와 연결되어 두 번째 암 프레임을 Y축 중심으로 회전시키고, 4축 서보모터는 그리퍼 프레임에서 그리퍼를 Z축 중심으로 회전시킨다. 또한, 그리퍼 프레임은 두 번째 평행사변형 링크와 세 번째 평행사변형 링크를 통해 항상 지면과 평행한 동작이 되도록 제한되고 이를 통해 픽 앤 플레이스 동작이 가능하다.

2.2 주요 파라미터

본 연구에서의 이적재 로봇은 전체 중량이 186kg이다. 그리고 Table 1에서는 각 축 최대 회전 속도 N_{max} , 감속비 r_g , 감속비가 반영된 최대 각속도 ω_{i-max} 를 보여준다.

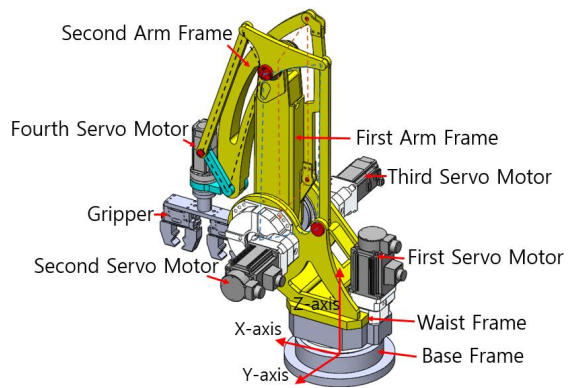


Fig. 1 Initial posture of a four-axis palletizing robot

Table 1 Maximum angular velocity and reduction ratio of the pre-selected motors

Axis no.		1	2	3	4
Maximum angular velocity	N_{max} [rpm]	3000			2000
	ω_{i-max} [rad/s]	2.42	3.14	2.62	10.47
Reduction ratio, r_g		1/130	1/100	1/120	1/20

Table 2 Range of rotation and the rotation angle of each axis

Axis no.	1	2	3	4
Range of rotation [°]	-160 ~ +160	0 ~ +75	-40 ~ +10	+170 ~ -170
Rotation angle [°]	0	+75	-40	0

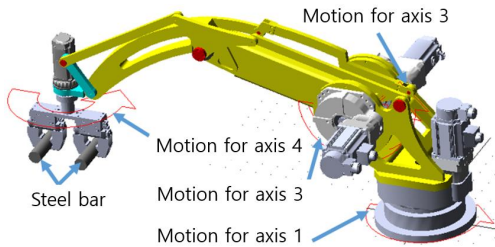


Fig. 2 Posture and Constraints of 3D model for dynamic analysis

3. 동적 해석 및 분석

3.1 동적 해석 입력 조건

본 연구에서는 다물체 동역학 해석 소프트웨어인 아담스를 이용하여 이적재 로봇의 동적해석을 시뮬레이션 한다. 동적해석을 위해 실제 로봇 크기의 3D 모델을 형상 정보와 재질 정보를 입력하고 각 모델에 운동 조건을 설정한다. Table 2는 이적재 로봇의 회전 범위와 초기 자세에서 회전된 각도를 나타내며, Fig. 2는 로봇의 회전된 자세를 나타낸다. 그리고 이 회전된 각도에서 동적해석을 시작하고, 그리고피에는 두 개의 10kg 강제 봉이 있는 것을 고려하여 가반하중을 20kg으로 한다.

본 연구에서 이용한 듀티사이클(Duty Cycle)을 Fig. 3에 나타낸다. 이 듀티사이클은 각 축의 왕복 운동을 기본으로 하고, 시작 위치에서 일정 각도만큼 회전한 위치를 50% 듀티사이클로, 다음으로 시작 위치로 복귀하는 전체 시간 T_{cyc} 동안을 100% 듀티사이클로 정의한다. 본 연구에서는 1, 4축의 경우 Z축 중심으로 수평 회전하고 중력의 영향이 없으므로 50% 듀티 사이클로 해석하고, 2, 3축의 경우 Y축 중심으로 회전하므로 중력을 고려하여 100% 듀티사이클로 해석한다.

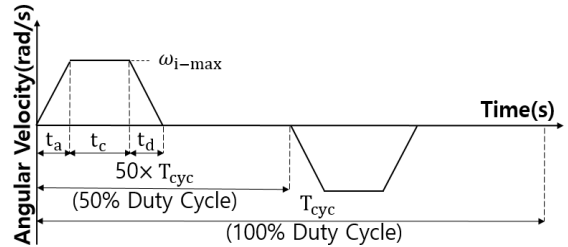


Fig. 3 Angular velocity curve for 100% duty cycle

각 축의 가속 시간 t_a 과 감속 시간 t_d 는 0.2초로 동일하고, 등속 시간 t_c 는 요구되는 회전각도 R_d 에 따라 다음 식으로 구한다.

$$t_c = \frac{|R_d| \times \pi}{\omega_{i-max} \times 180} - \frac{t_a + t_d}{2} \quad (1)$$

위 식으로 구한 각 축의 등속 시간을 Table 3에 나타낸다. 여기서 회전 각도는 1, 4축의 경우 적정 각도만큼 회전시키고, 2축, 3축은 회전 각도에 따라 중력의 영향을 반영하기 위해 최대 회전 범위까지 회전시킨다. Table 4는 각 축에 대해 최대 각속도에 이르는 구간 별 경과 시간을 보여준다. 이 시간 데이터는 아담스의 계단 함수로 입력되고, 이를 기준으로 동적 해석이 수행된다^[9].

Table 3 Constant-velocity time for the desired rotation angle of each axis

Axis no.	1	2	3	4
Desired rotation angle R_d [°]	+100	-75	+50	+170
Constant-velocity time t_c [s]	0.522	0.217	0.133	0.083

Table 4 Time and maximum angular velocity used as input data for dynamic analysis

Parameters		Steps			
Time[s]		0	$\sim t_a$	$\sim t_c$	$\sim t_d$
Axis no.	1	0	0.2	0.722	0.922
	2	0	0.2	0.417	0.617
	3	0	0.2	0.333	0.533
	4	0	0.2	0.283	0.483

3.2 아담스를 이용한 동적 해석

동적해석을 위한 아담스의 입력으로서는 Table 4의 시간데이터와 Table 1의 시간별 각속도를 이용하고, 이에 대한 각속도와 각가속도를 Fig. 4에 나타낸다. 일반적으로 각속도가 Fig. 3의 사다리꼴로 입력될 경우 각가속도는 직사각형 형태가 되지만, 본 연구에서는 각속도를 아담스의 계단함수로 입력했기 때문에 부드러운 곡선 형태로 나타나게 된다. 여기서 Fig. 4의 (a)와 (d)는 1축과 4축에 대해 50% 듀티 사이클로, Fig. 4의 (b)와 (c)는 2축과 3축에 대해 100% 듀티 사이클로 시뮬레이션한 결과를 보인다.

아담스를 이용한 동적해석의 첫 번째 단계로서 Fig. 4 같이 주어진 각속도와 각가속도 패턴을 기준으로 모터에 요구되는 토크들을 구한다. 먼저 가속토크 T_a [Nm]는 다음 식과 같이 구한다.

$$T_a = \frac{J\alpha}{\eta} \quad (2)$$

여기서 J [kg·m²]는 각 축의 부하와 감속기, 모터 축의 관성모멘트를 모두 고려한 모터 축 상당 관성모멘트이고, α [rad/s²]는 가속구간의 최대 각가속도, 그리고 η 는 감속기의 동력전달 효율이다.

다음으로 등속구간에서 발생하는 등속토크 T_c 를 구해야 하는데, 이는 로봇 암이 수평운동 하는 경우에 해당 축의 마찰토크에 해당한다. 그러나 실제로 로봇의 설계 초기 단계에서는 이 값을 정하는 것이 어려운 경우가 많으므로 본 연구에서는 마찰토크 대신 등속토크 개념을 도입하고 이를 다음 식과 같이 정한다.

$$T_c = \beta \times T_a \quad (3)$$

여기서 β 는 등속토크상수이고, 이는 식(2)의 가속토크와 등속토크의 비율을 의미하는데, 이 개념은 로봇 제조사에서 실제로 자주 사용하는 방법으로서 초기 설계단계에서는 0.3 ~ 0.5의 값을 갖도록 정한다. 이 값은 구조가 크고 복잡할수록 큰 값을 부여하는데, 본 연구에서는 본 이적재 로봇

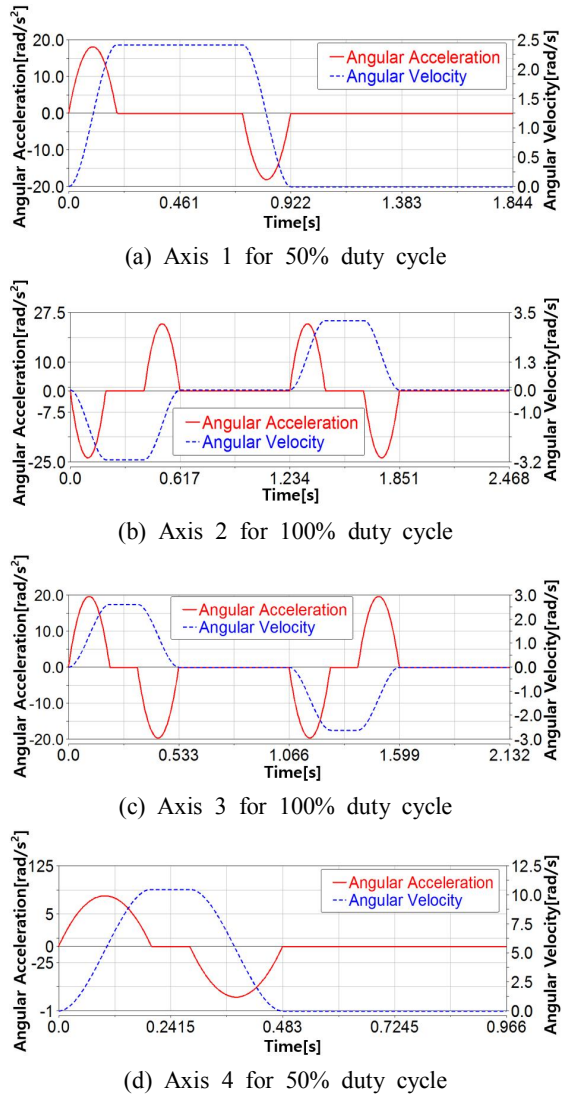


Fig. 4 Angular velocity and angular acceleration for each axis used in ADAMS

의 구조가 비교적 복잡하다고 판단하고 이를 0.5로 적용한다. 한편, 이 T_f 의 방향은 로봇의 운동 방향과 반대가 되도록 한다. 만일 로봇 암이 수직으로 회전을 하는 운동하는 경우에는 중력에 의해 각 모터에 걸리는 모멘트 T_g 를 고려하여야 한다. 따라서 모터에 걸리는 총 토크 T_m 은 식(4)와 같이 나타낼 수 있다.

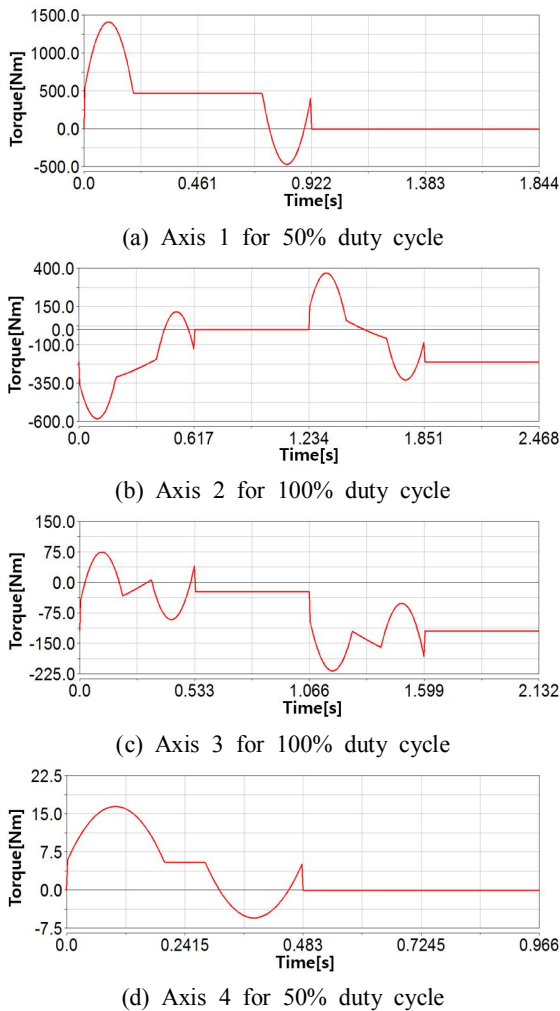


Fig. 5 Torque pattern for each axis obtained from the simulations

$$T_m = T_a + T_c + T_g \quad (4)$$

위의 식을 이용하여 각 축 모터에 걸리는 토크 패턴을 구할 수 있고, 그 결과들을 Fig. 5에 나타낸다. Fig. 5(a)와 (d)는 각각 1축과 4축의 토크 해석 결과이며, 이 그림을 보면 시작 위치 및 정지 위치에서 등속토크가 반영되어 급격한 토크의 변화가 발생됨을 보인다. 그리고 등속 운동 시에는 등속토크가 반영된 것을 볼 수 있다. 또한 Fig. 5(b)와 (c)는 각각 2축과 3축의 토크 해석 결과로

Table 5 Peak torque and RMS torque for each axis obtained from the dynamic analysis

Axis no.	1	2	3	4
Peak torque T_{peak} [Nm]	1409.7	582.1	217.7	16.4
RMS torque T_{rms} [Nm]	460.1	223.3	98.1	6.4

서 이들을 보면 등속토크와 함께 중력토크도 반영되어 있음을 알 수 있다.

이상과 같이 동적해석을 통하여 얻은 각 축의 토크곡선 결과는 직접적으로 모터 선정 과정에 이용되는데, 이를 위하여 모터에 걸리는 최대토크인 기동토크(Peak torque)와 평균토크 개념인 RMS 토크를 구해야 한다. 먼저 기동토크 T_{peak} 는 위에서 얻은 식(4)로부터 다음과 같이 구할 수 있다.

$$T_{peak} = \max|T_m| = \max|T_a + T_c + T_g| \quad (5)$$

이 식은 Fig 5의 각 축의 토크 곡선에서 가장 큰 절대 토크 값을 의미하고, 이 기동토크는 모터 선정 시 모터의 최대토크를 결정하는데 이용된다.

다음으로 RMS 토크 T_{rms} 도 식(4)로부터 구할 수 있는데, 이는 다음 식과 같이 표현된다.

$$T_{rms} = \left(\frac{1}{T_{cyc}} \int_0^{T_{cyc}} T_m^2 dt \right)^{\frac{1}{2}} \quad (6)$$

여기서 얻은 RMS 토크는 모터 선정 시 모터의 정격토크를 결정하는데 이용된다. 위의 식 (5)와 (6)을 이용하여 각 축의 기동토크 및 RMS 토크를 구하였고, 이 결과를 Table 5에 나타낸다.

3.3 동적 해석 결과에 대한 분석 및 비교

이상과 같이 동적 해석 결과로 구한 최대토크와 RMS 토크 결과를 이용하여 실제 이적재 로봇의 초기설계시 가선택된 서보모터와 감속기 선정이 적절함을 평가한다.

(1) 서보모터 규격 분석

제안한 동적해석의 결과로서 식(5)와 같이 모터 축에 최대 토크로 기동토크(Peak torque)를 구하고, 식(6)과 같이 한 사이클에서의 평균 토크 개념인 RMS 토크를 구했는데, 이 토크들을 고려하여 모터 선정 시 다음 조건을 만족하여야 한다.

조건 1 : 모터의 최대토크 T_{max} 는 동적해석을 통해 계산된 기동토크 T_{peak} 보다 커야 한다. 즉,

$$T_{max} \geq T_{peak} \quad (7)$$

만일 이 조건을 만족하지 않으면 모터 기동 시 과부하로 모터의 과열 및 소손이 발생할 수 있다.

다음으로 모터의 정격토크 T_{rated} 는 동적해석을 통해 계산된 RMS 토크 T_{rms} 와 비교하여 다음 조건을 만족하여야 한다.

조건 2 : 모터의 정격토크 T_{rated} 는 동적 해석을 통해 계산된 RMS 토크 T_{rms} 보다 커야 한다. 즉,

$$T_{rated} \geq T_{rms} \quad (8)$$

만일 이 조건을 만족하지 않으면 로봇 운동 시에 해당 축의 모터에 과열이 발생하게 된다.

다음으로 각 축의 모터에 걸리는 최대출력 P_{load} [W]는 동적해석으로 구한 기동토크 T_{peak} 와 최대 회전 각속도 ω_{i-max} 를 이용하여 다음 식과 같이 구할 수 있다.

$$P_{load} = T_{peak} \times \omega_{i-max} \quad (9)$$

이와 같이 구한 최대출력은 모터의 정격출력과 비교하고, 이는 다음 조건을 만족하여야 한다.

조건 3 : 모터의 정격출력 P_{rated} 는 동적해석을 통해 계산된 최대출력 P_{load} 의 0.5~1배 사이에 있어야 한다. 즉,

$$P_{rated} = (0.5 \sim 1)P_{load} \quad (10)$$

만일 이 수치가 0.5이하가 되면 모터에 과열이 발생할 수 있고, 반대로 1이상이면 모터 용량을 너무 크게 선정한 것으로 판단할 수 있다.

(2) 감속기 규격 분석

감속기의 경우 감속기 규격상의 허용토크 T_{ga} 와 정격토크 T_{gr} 에 대해서는 감속기의 감속비 r_g 를 반영하여 다음 두 조건을 만족하여야 한다.

조건 4 : 감속기 허용토크 T_{ga} 는 아래 식을 만족하여야 한다.

$$T_{ga} \geq \frac{T_{peak}}{r_g} \quad (11)$$

여기서 T_{peak} 는 식(5)와 같이 동적해석을 통해 계산된 모터의 기동토크이고 r_g 는 감속비이다.

조건 5 : 감속기 정격토크 T_{gr} 은 아래의 식을 만족하여야 한다.

$$T_{gr} \geq \frac{T_{rms}}{r_g} \quad (12)$$

여기서 T_{rms} 는 식(6)과 같이 동적해석을 통해 계산된 모터의 RMS 토크이다.

(3) 해석 결과 비교 분석

Table 6부터 Table 9에 1축에서 4축까지 가 선정된 서보모터와 감속기의 규격과 동적해석 결과에 대하여 비교 정리한다. 여기서 이 주요부품들의 동적해석 결과는 Table 1에 나타난 감속비와 감속기 효율 $\eta=0.9$ 를 기준으로 구하였다.

Table 6은 1축에 대한 가선정된 부품들의 규격과 동적해석 결과를 보인다. 여기서 가선정된 서보모터의 규격이 조건 1~3을 모두 만족하는지를 분석한다. 분석 결과 모터 출력이 조건 3을 만족하지 못함을 알 수 있다. 예로 모터의 정격출력은 1.9kW에서 3.8kW 사이의 제품이 선정 되어야 하지만 가선정된 모터는 1kW로 모터 용량을 좀 더 큰 것으로 변경해야 한다. 반면 감속기의 경우 조

Table 6 Comparisons between the specifications and analysis results for axis 1

Parts	Specification		Analysis result	
Motor	Max. torque T_{max} [Nm]	14.3	Peak torque T_{peak} [Nm]	12.1
	Rated torque T_{rated} [Nm]	4.77	RMS torque T_{rms} [Nm]	3.9
	Rated power P_{rated} [kW]	1	Max. power P_{load} [kW]	3.8
Reduction gear	Allowable torque T_{ga} [Nm]	1,630	Peak torque T_{peak}/r_g [Nm]	1,573
	Rated torque T_{gr} [Nm]	1,165	RMS torque T_{rms}/r_g [Nm]	507

Table 7 Comparisons between the specifications and analysis results for axis 2

Parts	Specification		Analysis result	
Motor	Max. torque T_{max} [Nm]	14.3	Peak torque T_{peak} [Nm]	6.5
	Rated torque T_{rated} [Nm]	4.77	RMS torque T_{rms} [Nm]	2.5
	Rated power P_{rated} [kW]	1	Max. power P_{load} [kW]	2.0
Reduction gear	Allowable torque T_{ga} [Nm]	625	Peak torque T_{peak}/r_g [Nm]	650
	Rated torque T_{gr} [Nm]	445	RMS torque T_{rms}/r_g [Nm]	250

Table 8 Comparisons between the specifications and analysis results for axis 3

Parts	Specification		Analysis result	
Motor	Max. torque T_{max} [Nm]	7.1	Peak torque T_{peak} [Nm]	2.0
	Rated torque T_{rated} [Nm]	2.4	RMS torque T_{rms} [Nm]	0.9
	Rated power P_{rated} [kW]	0.75	Max. power P_{load} [kW]	0.6
Reduction gear	Allowable torque T_{ga} [Nm]	625	Peak torque T_{peak}/r_g [Nm]	240
	Rated torque T_{gr} [Nm]	445	RMS torque T_{rms}/r_g [Nm]	108

Table 9 Comparisons between the specifications and analysis results for axis 4

Parts	Specification		Analysis result	
Motor	Max. torque T_{max} [Nm]	3.8	Peak torque T_{peak} [Nm]	0.9
	Rated torque T_{rated} [Nm]	1.3	RMS torque T_{rms} [Nm]	0.4
	Rated power P_{rated} [kW]	0.4	Max. power P_{load} [kW]	0.2
Reduction gear	Allowable torque T_{ga} [Nm]	91	Peak torque T_{peak}/r_g [Nm]	18
	Rated torque T_{gr} [Nm]	21	RMS torque T_{rms}/r_g [Nm]	8

건 4와 5를 만족하므로 그대로 사용이 가능하다.

다음으로 2축에 대한 비교 결과인 Table 7를 보면 가선편된 서보모터는 세 가지 조건을 만족하고, 감속기의 경우 조건 4의 허용토크 조건을 조금 만족하지 못하므로 허용토크가 더 큰 것으로 변경을 고려하여야 한다.

그리고 3축과 4축에 대한 비교 결과인 Table 8 과 9은 가선편된 서보모터의 정격용량이 각각 25%, 100% 더 크게 선정되었음을 보인다. 그리고 이의 조건을 비교하면 가선편 서보모터와 감속기 규격이 해석 결과에 비해 2배 이상의 수치를 보이므로 이 두 축의 서보모터와 감속기는 좀 더 낮은 규격의 제품으로 변경이 가능하다고 판단된다.

4. 결론

본 연구에서는 아담스를 이용한 동적해석을 통해 이적재 로봇의 모터 및 감속기 선정을 위한 실제적인 방법을 제안하였다. 먼저, 이적재 로봇의 가속토크와 중력토크를 구하고, 다음으로 마찰 영향을 반영하기 위해 마찰계수 대신 등속토크상수 도입하여 마찰토크를 구하였다. 이 토크들로 모터에 걸리는 최대토크와 RMS 토크를 구하였고, 이를 이용하여 모터와 감속기의 규격을 결정하였다.

제안한 방법의 유용성 검증을 위해 실제 이적재 로봇을 대상으로 동적해석을 수행하였고, 여기서 얻은 해석 결과를 초기 로봇 설계 시에 가선편된

모터 및 감속기들의 규격과 비교 분석하였다. 그리고 이 주요 부품들이 해석을 통해 구한 선정 조건을 만족하지 못하는 경우 이에 대한 대응 방법을 논의하였다. 이러한 시뮬레이션 결과로부터 제안한 본 방법이 이적재 로봇의 초기 설계단계에서 모터와 감속기의 선정 시에 성공적으로 적용될 수 있음을 보인다.

후 기

이 논문은 2019-2020년도 창원대학교 자율연구과제 연구비 지원으로 수행된 연구 결과임.

REFERENCES

1. Litzenger, G., Tsuda, J., & Wyatt, S., "Executive Summary Word Robotics 2018 Industrial Robots," International Federation of Robotics, Vol. 2018, pp. 13-22, 2018.
2. Brogardh, T., "PKM Research - important issues, as seen from a product development perspective at ABB robotics," in Workshop on Fundamental Issues and Future Research Directions, pp. 68-82, 2002.
3. Fengyan, N., Gang W. & Chao Y., "Modeling and control of the MDJ robot palletizer," Proceedings of the International Conference on Automation and Logistics, pp. 2406-2411, 2008.
4. Rethmann, J., & Wanke, E., "Stack up algorithms for palletizing at delivery industry," European Journal of Operational Research, Vol. 128, pp. 74-97, 2001.
5. Rena, Xiaogang, Ru Yu, and Cheng Guo., "Dynamic Simulation Analysis of Palletizing Manipulator Based on ADAMS," International Core Journal of Engineering, Vol. 4, No. 5, pp. 142-145, 2018.
6. Craig, John J., "Introduction to Robotics-Mechanics and Control," Pearson Education Inc., pp. 38-48, 2005.
7. Silver, William M., "On the equivalence of Lagrangian and Newton-Euler dynamics for manipulators," The International Journal of Robotics Research, Vol. 1, pp. 118-128, 1982.
8. Alexandru, C., "Virtual Modelling and Prototyping of Mechanisms based on Performance Software MBS Type," Annals of the Oradea University - Fascicle of Management and Technological Engineering, Vol. 5, pp. 601-610, 2006.
9. Chalmers, Getting started using Adams/View, MSC Software Publisher, pp. 6-76, 2005.
10. Wen, G., Xu, L., He, F., & Zhang, X., "Kinematics Simulation to Manipulator of Welding Robot Based on ADAMS," International Workshop on Intelligent Systems and Applications, pp. 1-4, 2009.
11. Kim, H. S., "Dynamics Modeling and control of a Delta High-speed Parallel Robot," Journal of the Korea Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 13, pp. 90-97, 2014.
12. Zhiyuan, R. U. I., Baocheng, Z. H. O. U., & Jun, L. I. U., "Dynamic simulation of palletizing robots based on ADAMS," The 2nd International Conference on Electronic & Mechanical Engineering and Information Technology, Vol. 24, pp. 1446-1449, 2012.