Check for updates

Journal of Korea Robotics Society (2023) 18(1):029-036
https://doi.org/10.7746/jkros.2023.18.1.029 ISSN: 1975-6291 / eISSN: 2287-3961



# 비정형 택배 상자 디팔레타이징을 위한 작업 면적 조절 그리퍼 설계

# Gripper Design with Adjustable Working Area for Depalletizing Delivery Cardboard box of Various Sizes

심 예 리[1] · 진 상 록†
Yeri Sim[1], Sangrok Jin†

**Abstract:** This paper shows a design of a gripper with an adjustable working area to depalletize a delivery cardboard box of various sizes. The gripper should pick the box with only one flat surface to lift the boxes stacked close to each other. The lift force of the gripper is the vacuum suction force. To handle boxes of various sizes, the gripper adjusts the working area. The gripper operates four vacuum generators independently. The simultaneous rotation on different axes of four gripper-arms with suction cups moves the position of suction force. The six operation modes of the gripper are divided into the size of the working area. The operation mode is determined according to the size of the top side of the box. Experiments are conducted by lifting the box of various sizes. The gripper can pick the box of various sizes without vacuum leaks from unused cups. Also, the experiments verify the improvement of stability of the box by adjusting the working area of the gripper. The gripper can lift the box without deformation of the box by adjusting the working area.

**Keywords:** Delivery Depalletizing Gripper, Vacuum Suction Gripper, Adjustable Working Area

## 1. 서 론

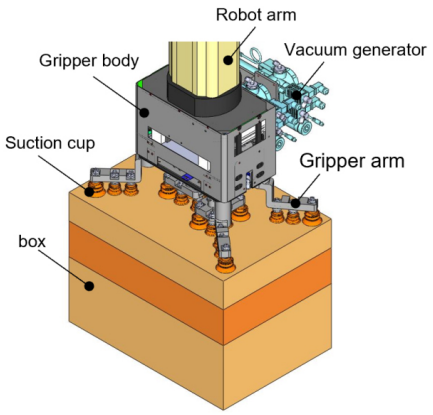
디팔레타이징 현장의 택배 상자들의 크기는 정형화되어있지 않고 다양하다. 본 논문은 6가지 규격의 대한민국 우체국 택배 상자를 하나씩 파지하고, 최대 20 kg의 상자를 최대 7.8 $m/s^2$의 가속도로 이송하여 디팔레타이징하는 그리퍼를 연구한다. 다양한 크기의 물체를 파지하는 그리퍼는 많이 연구되었으며, 일반적인 예시로 관절을 지닌 손가락 형태의 그리퍼가 있다[1]. 손가락의 위치를 조절하여 물체 파지의 효율을 올린 그리퍼의 연구도 진행되었다[2]. 사람의 손을 완전히 모방하여 손바닥과 5개의 손가락을 지닌 그리퍼도 연구되었다[3].

Received : Oct. 5. 2022; Revised : Nov. 1. 2022; Accepted : Nov. 14. 2022
※ This work was supported by Korea Institute for Advancement of Technology (KIAT) grant funded by the Korea Government (MOTIE) (P0008473, HRD Program for Industrial Innovation)
1. Principal Researcher, School of Mechanical Engineering, Pusan National University, Busan, Korea (sws1039@naver.com)
† Associate Professor, Corresponding author: School of Mechanical Engineering, Pusan National University, Busan, Korea (rokjin17@pusan.ac.kr)

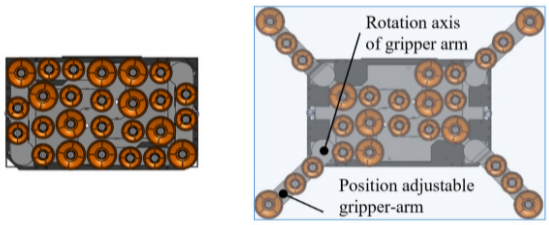
Copyright ⓒ KROS

소프트 그리퍼의 경우, 물체에 맞춰 그리퍼의 형태를 변화하여 다양한 크기의 물체를 파지한다. 소프트 그리퍼의 형태를 변화시키는 방법은 여러 가지가 있으며 예를 들어 와이어[4], 메모리폼[5], 공압[6] 등을 사용한다. 이와 같은 손가락 형태의 관절 그리퍼와 소프트 그리퍼는 2개 이상의 면 또는 곡률이 큰 면에 압력을 가하여 감싸는 형태로 물체를 파지한다. 따라서 물체와 접촉하는 면이 넓고 접촉면의 선택이 자유로워 물체를 안정적으로 파지할 수 있다. 하지만 디팔레타이징 현장의 택배 상자들은 적재함 내에 빼곡히 적재되어 그리퍼가 닿을 수 있는 면은 택배 상자의 윗면이 유일하다. 그리고 택배 상자의 윗면은 곡률이 거의 없어서 관절 그리퍼와 소프트 그리퍼로 파지하는 것에 어려움이 있다.

다양한 크기와 형태의 물체를 파지하는 흡입력 그리퍼의 연구를 진행한 사례가 있다. 흡입력을 이용하여 물체에 닿은 그리퍼의 형태를 변화시켜 다양한 물체를 파지한다[7]. 기존의 손가락 형태의 그리퍼에 흡입구를 낸 그리퍼도 연구되었다[8]. 이전 연구의 그리퍼는 물체에 흡착하여 그리퍼의 형태를 변화시키거나 파지력을 보충하기 위해 흡입력을 사용하고, 면의




[Fig. 1] Gripper which picks a box with the largest working area




(a) (b)

[Fig. 2] The principle of adjusting working area: Simultaneous rotation of the four gripper-arms: (a) The gripper of the smallest working area. (b) The gripper of the largest working area

개수나 곡률에 제약 없이 물체를 파지할 수 있다. 그러나 택배 상자를 파지할 만큼 크게 제작하기 어렵다는 단점이 있다.

본 논문의 그리퍼는 진공 발생기를 사용하여 압력 차이로 인한 흡입력으로 상자를 파지한다. 따라서 곡률이 거의 없는 택배 상자의 윗면만으로 상자를 파지할 수 있다. 그리퍼는 각각 6개, 7개의 진공 컵과 연결된 진공 발생기 4개를 독립적으로 구동한다. 또한, [Fig. 1]와 같이 진공 컵이 달린 그리퍼 암 4개를 각기 다른 회전 축을 중심으로 회전하여 흡입력의 작용 위치를 조정한다. 따라서 그리퍼는 상자의 크기에 따라 작업 면적을 조절하여 상자를 이송할 때 상자의 변형을 방지하고 안정성을 향상할 수 있다.

본 논문의 그리퍼는 상자의 크기에 따라 6가지 구동 모드로 작동한다. 구동 모드에 따라 진공 발생기 4개의 구동 여부와 그리퍼 암의 회전 각도를 달리한다.

그리퍼의 성능 실험이 진행되었다. 상자 크기에 따라 작업 면적을 조절하여 다양한 규격의 상자를 파지하였다. 위치 조정 그리퍼 암에 의한 작업 면적 조절에 따른 안정성 향상은 5호 상자의 파지를 비교하여 검증하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제 2장에서는 작업 면적 조절 그리퍼의 설계를 다루었다. 제 3장에서는 그리퍼의 구동 알고리즘을 설명한다. 제 4장에서는 그리퍼의 성능 실험을 다루었다. 그리고 제 5장은 본 논문의 결론이다.

## 2. 작업 면적 조절 그리퍼 설계

### 2.1 작업 면적 조절 그리퍼 개념 설계

택배 디팔레타이징 현장에서 택배 상자들은 적재함 내에 빼곡하게 적재되어있다. 그리퍼는 하나의 평평한 면으로 상자를 파지하기 위해 진공에 의한 흡입력을 사용한다.

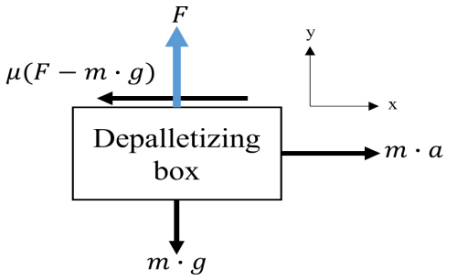
택배 디팔레타이징 현장의 상자들의 크기는 정형화되지 않고 다양하다. 그리퍼는 대한민국 우체국 택배 상자의 6가지 규격을 모두 안정적으로 다루는 것을 목표로 한다. 고정된 작업 면적을 가지는 흡입력 그리퍼는 물체의 크기에 따라 사용하지 않는 진공 컵에 의한 진공 누설의 위험이 있다. 크기가 큰 상자의 경우, 이송할 때 상자 내의 물체가 움직이며 무게 중심이 이동하거나 관성에 의해 더 불안정해질 수 있다. 또한, 좁은 작업 면적의 그리퍼로 파지하면 상자의 무게에 의한 중력과 흡입력의 반대되는 작용 방향으로 인해 상자가 변형되는 문제가 있다. 따라서 그리퍼는 택배 상자의 크기에 따라 작업 면적을 조절하는 기구학적 해결책을 제시한다.

그리퍼는 사용하지 않는 진공 컵으로 인한 진공 누설을 방지하기 위해 진공 컵과 연결된 진공 발생기 4개를 택배 상자의 크기에 따라 독립적으로 구동하여 작업 면적을 조절한다. 그리고 큰 상자를 디팔레타이징 할 때의 불안정성과 상자의 변형을 방지하기 위해 진공 컵이 달린 그리퍼 암의 위치를 조정하여 작업 면적을 조절한다. [Fig. 2]와 같이 그리퍼 암 4개의 위치 조정은 각기 다른 회전축을 중심으로 한 동시 회전으로 이루어진다. [Fig. 2]의 (a)는 가장 작은 작업 면적을 가질 때의 그리퍼이고, (b)는 그리퍼의 가장 큰 작업 면적이다. 그리퍼 암 동시 회전의 동작 원리는 상자의 크기에 따라 작업 면적을 유동적으로 조절하기 때문에 적재함의 벽면과의 충돌을 방지할 수 있고 그리퍼의 전체적인 크기를 줄일 수 있다.

### 2.2 설계 변수 도출

본 논문의 그리퍼는 최대 20 kg의 택배 상자를 7.8 $\mathrm{m/s^2}$의 가속도로 이송할 때 상자를 떨어뜨리지 않고 안전하게 디팔레타이징하는 것을 목표로 한다. 식 (1)은 이송 중 택배 상자의 동역학 식이다. [Fig. 3]은 상자를 이송할 때의 모델링을 그림으로 나타낸 것이다.

$$\begin{aligned} m\ddot{y} &= F - mg \\ m\ddot{x} &= ma - \mu(F - mg) \end{aligned} \tag{1}$$




[Fig. 3] Modeling of a delivery box in transport process

- $m$ : 택배 상자의 무게(kg)
- $y$ : 상자의 그리퍼 기준 중력 방향 이동 거리(m)
- $x$ : 상자의 그리퍼 기준 선속도 방향 이동 거리(m)
- $F$ : 그리퍼의 흡입력(N)
- $a$ : 상자의 가속도(7.8 $\mathrm{m/s^2}$)
- $\mu$ : 상자의 마찰 계수
- $g$ : 중력 가속도(9.81 $\mathrm{m/s^2}$)

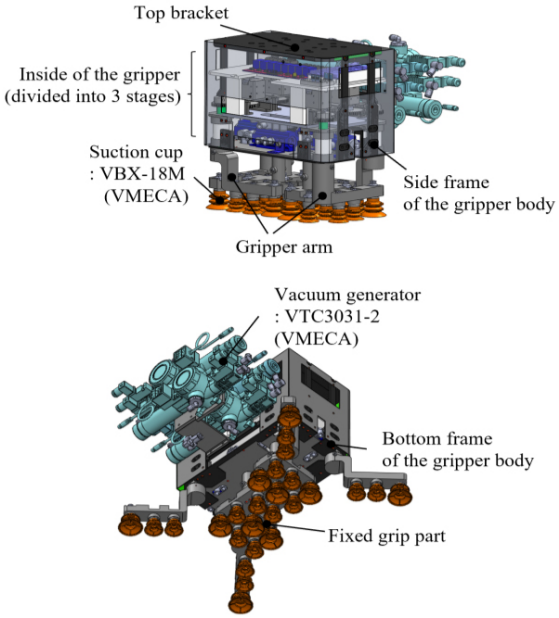
식 (2)는 식 (1)의 $y$와 $x$의 목적함수이다.

$$Y(s) = \frac{F - m g}{m s^2}$$
$$X(s) = \frac{m a - \mu(F - m g)}{m s^2} \quad (2)$$

도출하고자 하는 설계변수는 $F$이다. $y$와 $x$는 그리퍼를 기준으로 택배 상자의 이동 거리이다. 택배 상자의 이동 거리가 0이 아닌 값을 가진다면 택배 상자가 그리퍼에서 이탈한 것을 의미한다. 상자의 이탈 없이 안정적으로 상자를 옮길 수 있는 그리퍼의 흡입력을 도출하고자 $y = 0, x = 0$의 조건을 만족하는 $F$를 계산하였다. 일반적인 골판지 상자의 마찰 계수인 0.5로 $\mu$를 설정한다. 결과적으로 중력과 관성에 의한 택배 상자의 이탈을 방지하는 그리퍼의 최소 흡입력은 485 N이다.

## 2.3 작업 면적 조절 그리퍼 상세 설계

[Fig. 4]는 상세 설계된 그리퍼의 외관이다. [Table 1]은 그리퍼의 사양표이다. 그리퍼의 하단에는 3개의 진공 컵이 부착된 위치 조정 그리퍼 암 4개와 7개의 진공 컵이 부착된 고정 그립 파트 2개가 있다. 위치 조정 그리퍼 암의 동시 회전으로 그리퍼의 작업 면적을 조절하고, 고정 그립 파트는 전체적인 흡입력을 높인다. 그리퍼 암 사이의 단차는 그리버 암의 길이를 늘여 작업 면적을 최대화하도록 한다. 그리퍼는 골판지 상자용 진공 컵인 VMECA 사의 VBX 진공 컵 35 mm 16개, VBX 진공 컵 45 mm 10개를 사용한다.




[Fig. 4] The appearance of the gripper

[Table 1] Specification table of the gripper

| | | |
|---|---|---|
| Size (mm) | min | 290×340×305 |
| | max | 460×430×305 |
| Weight (kg) | 14 | |
| Max lift force (N) | Without leak | 2618.74 |
| | Cardboard box | 1423.23 |
| Air consumption | 152 Nl/min, 4 bar for one vacuum generator | |
| Power | 82.88 W, 24 V | |

2.2장에서 도출한 그리퍼의 최소 흡입력인 485 N을 만족하고 디팔레타이징 과정 중 수직 방향의 관성과 택배 화물의 무게를 고려하여 VMECA 사의 VTC3031-2 진공 발생기 4개를 사용한다. 최대 -92 Kpa의 진공도를 내는 VTC3031-2 진공 발생기는 택배 상자의 통기성으로 인해 최대 -50 Kpa의 진공도를 내는 것을 가정한다. 진공도에 따라 진공 컵의 흡입력이 선형으로 변할 때, 택배 상자를 파지할 시에 그리퍼의 흡입력은 1423.23 N이다. 485 N의 흡입력과 비교하여 안전계수는 2.93이다. 진공 발생기 4개를 그리퍼의 한 면에 모두 배치하여 그리퍼의 크기를 줄이고 적재함의 벽면과의 충돌을 방지한다.

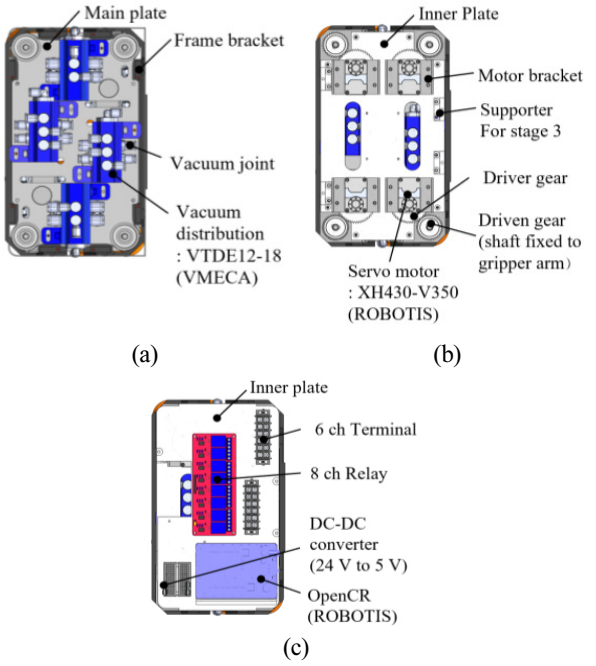
그리퍼의 상단은 나사 여유 구멍이 있는 상단 브라켓이 있어 NACHI 사의 MC50 로봇팔과 SRA166 로봇팔에 부착하여 사용할 수 있다. 그리퍼 바디의 뼈대를 이루는 프레임들이 그리퍼 바디의 하단과 옆면에 있다.

그리퍼의 내부는 3단으로 나뉘어 부품들이 기능에 따라 배치되었다. [Fig. 5]는 그리퍼의 내부이다. 가장 아랫단인 1단에는 그리퍼의 흡입력과 관련된 부품들인 VMECA 사의 VTDE12-18

진공 분배변 4개, 진공 조인트 26개, 진공 호스가 있다. 그리고 그리퍼 바디의 프레임들을 고정하는 프레임 브라켓 8개가 있다.

그리퍼 내부의 두 번째 단인 2단에는 그리퍼 암의 각기 다른 회전축을 중심으로 한 동시 회전과 관련된 부품들이 있다. 그리퍼 암의 위치 조정은 그리퍼 암에 고정된 축, 축에 고정된 종동 스퍼 기어 4개, ROBOTIS 사의 XH430-V350 모터 4개와 원동 스퍼 기어 4로 구현되었다. 사용된 기어는 압력각 20 °, 모듈 1.0, 잇수 48의 기어이다.

그리퍼 내부의 가장 윗단인 3단에는 그리퍼의 제어 관련 부품들이 배치되었다. 시리얼 통신으로 그리퍼를 제어하기 위한 ROBOTIS 사의 OpenCR 1개, 진공 발생기의 솔레노이드 제어를 위한 8 ch 릴레이 1개 등이 있다.




[Fig. 5] Inside of the gripper. (a) Stage 1: parts for suction force. (b) Stage 2: parts for simultaneous rotation of the gripper-arms. (c) Stage 3: parts for control of the gripper

그리퍼 바디의 프레임과 상단 브라켓은 SUS304의 재질이다. 또한, 내부 플레이트 등과 같이 하중을 직접적으로 받지 않는 부품들은 MC Nylon이다. 그 외의 제작품들은 A6061로 설계되었다. 무게는 약 14 kg로 MC50 로봇팔과 SRA166 로봇팔의 가반하중 조건에 부합한다.

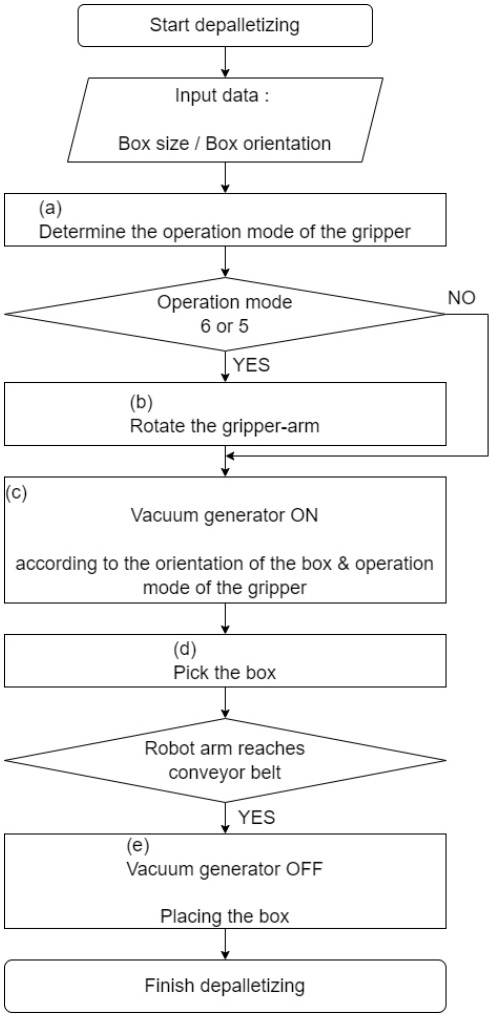
## 3. 그리퍼 구동 알고리즘

본 논문의 그리퍼는 적재함 내의 택배 상자의 위치와 윗면의 크기를 인식했다는 전제로 제어가 이루어진다. 그리퍼의 6가지 구동 모드는 구동 진공 발생기의 개수와 그리퍼 암의 동시 회전 각도에 따라 조절되는 작업 면적으로 구분된다. 그리퍼의 구동 모드는 입력받은 상자 윗면의 크기에 따라 결정된다. [Table 2]은 구동 모드에 따른 그리퍼의 작업 면적, 구동 진공 발생기의 개수, 그리퍼 암 동시 회전의 각도, 구동 모드에 따라 파지하는 우체국 택배 상자의 규격을 정리한 표이다. [Fig. 6]은 그리퍼 구동 알고리즘의 순서도이다. [Fig. 6]의 (a)에서 택배 상자의 크기에 따라 그리퍼의 구동 모드를 결정한다. [Fig. 6]의 (b)는 그리퍼 구동 모드에 따른 그리퍼 암의 동시 회전 각도를 결정한다. 그리퍼의 구동 모드에 맞춰 그리퍼 암의 위치가 조절된 후에 그리퍼가 부착된 로봇팔이 이동하여 택배 상자의 파지를 준비한다. (c)는 그리퍼의 구동 모드와 상자의 위치에 따라 진공 발생기 4개의 독립적인 구동으로 작업 면적을 조절하는 것을 나타낸다. [Fig. 7]은 [Fig. 6] (c)에서 결정되는 구동 진공 발생기 번호에 따라 흡입력을 내는 진공 컵을 나타낸다. 상자의 위치에 따라 구동 진공 발생기의 번호를 달리하는 이유는 적재함과의 충돌을 방지하기 위함이다. 예를 들어 적재함의 벽면이 상자의 오른쪽에 있다면, 4번 진공 발생기를 작동하고 그리퍼의 작업 면적 또한 오른쪽에 위치한다. 이를 통해 그리퍼가 상자를 파지할 때 작업 면적이 그리퍼 바디에 막히지 않고 노출되어 오른쪽에 있는 벽면과 그리퍼 바디의 충돌을 막을 수 있다. (d) 단계에서 진공 발생기가 최대 진공도에 도달했을 때 상자를 파지하고, 이송하여 컨베이어 벨

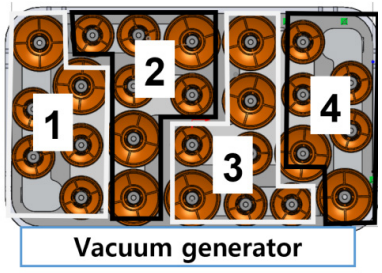
[Table 2] Operation mode of the gripper with adjustable working area

| Gripper operation mode | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Working area (mm) | 80×170 | 170×170 | 243×170 | 290×170 | 360×240 | 460×340 |
| Number of operating vacuum generators | 1 | 2 | 3 | 4 | | |
| Rotation angle of the gripper-arms (degree) | 0 | | 45 | 135 | | |
| Picked delivery box of Korea post office | smallest side of no. 1 smallest side of no. 2 | biggest side of no. 1 smallest side of no. 3 | biggest side of no. 2 | biggest side of no. 3 smallest side of no. 4 | biggest side of no. 4 smallest side of no. 5 | biggest side of no. 5 biggest side of no 6 |

트에 도달하면 (e) 단계에서 상자를 떨어뜨려 디팔레타이징을 완료한다.




[Fig. 6] Flowchart of the gripper operation: (a) Determine the operation mode of the gripper. (b) Rotate the gripper-arm according to the opteration mode. (c) Determine the number of operating vacuum generator. (d) Check if the vacuum is ready. (e) place the box




[Fig. 7] Vacuum cups that produces suction force according to number of the vacuum generators

## 4. 그리퍼 성능 실험

### 4.1 다양한 크기의 택배 상자 파지 실험

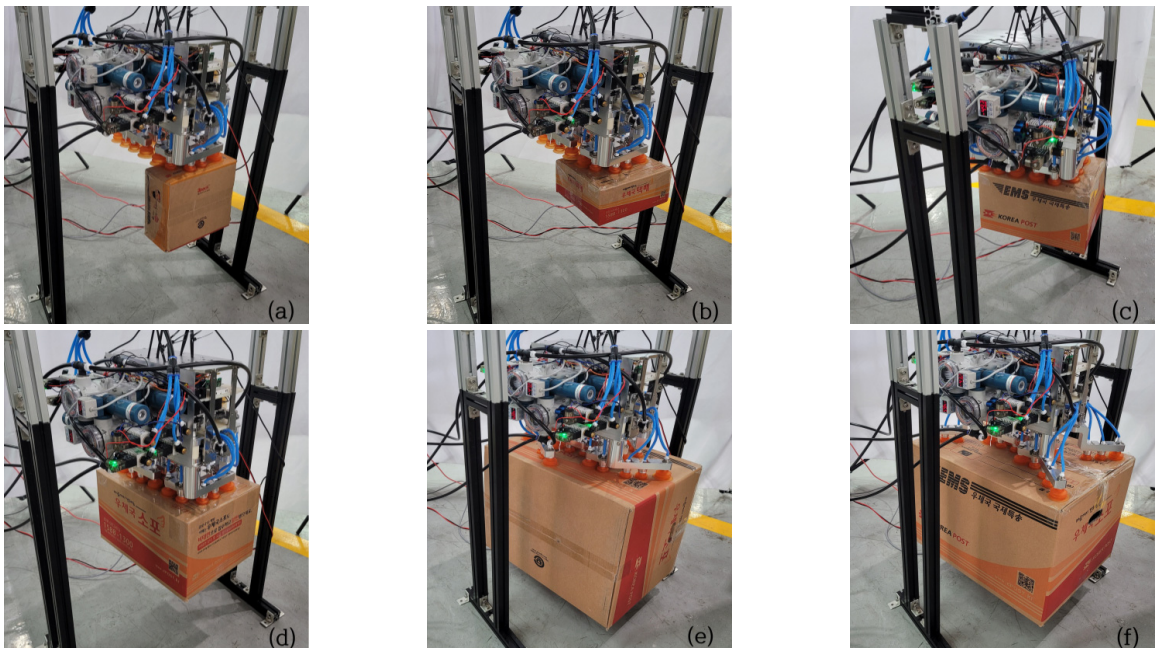
본 논문의 그리퍼는 진공 발생기 4개의 독립적인 구동과 그리퍼 암 4개의 동시 회전으로 작업 면적을 조절한다. [Fig. 8]은 그리퍼의 구동 모드에 따라 다양한 규격의 상자들을 파지한 사진들이다. [Fig. 8]의 그리퍼는 적재함의 벽면이 상자를 기준으로 오른쪽에 있다고 가정하여 구동 진공 발생기의 번호를 설정한다. [Fig. 8]의 (a)는 그리퍼 구동 모드 1번으로, 우체국 택배 상자 규격 중 1호 상자를 옆면으로 파지한 것이다. 구동 모드 1번의 경우, 진공 발생기 1개를 작동한다. [Fig. 8]의 (b)는 진공 발생기 2개를 작동하는 구동 모드 2번이고, 1호 상자의 윗면으로 파지한 것이다. [Fig. 8]의 (c)는 진공 발생기 3개의 그리퍼 구동 모드 3번으로 2호 상자의 윗면으로 파지한 것이다. [Fig. 8]의 (d)는 그리퍼 구동 모드 4번이고, 진공 발생기 4개를 작동하여 3호 상자의 윗면으로 파지한 것이다. [Fig. 8]의 (e)는 그리퍼 구동 모드 5번이고, 5호 상자의 옆면으로 파지한 것이다. 구동 모드 5번의 경우, 진공 발생기 4개를 모두 작동하고 그리퍼 암 4개가 45° 로 동시 회전하여 작업 면적을 조절한다. [Fig. 8]의 (f)는 5호 상자를 그리퍼 구동 모드 6번으로 파지한 것이다. 구동 모드 6번은 그리퍼 암의 135° 동시 회전으로 가장 큰 작업 면적을 가진다.

### 4.2 상자 파지 안정성 실험

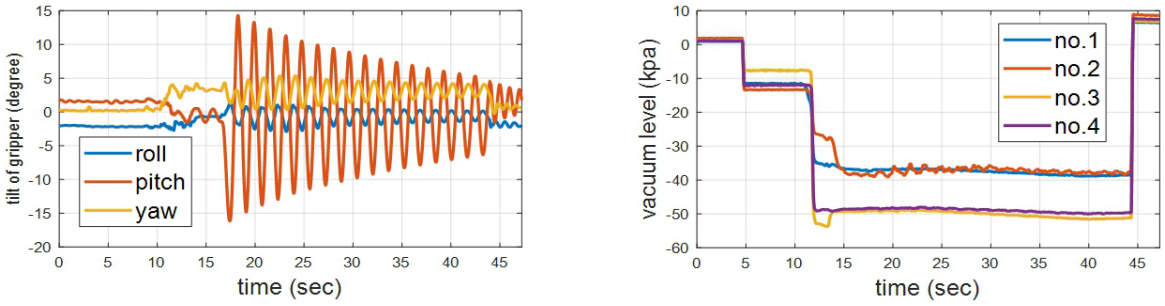
그리퍼 구동 모드 4번과 6번으로 5호 상자 윗면을 파지하고 그리퍼를 흔들어 상자의 안정적인 파지와 변형을 확인하는 실험을 진행하였다. [Fig. 9]는 15 kg의 5호 상자를 구동 모드 6번으로 파지하고 그리퍼를 흔들었을 때의 기울기 그래프와 진공 발생기의 진공도 그래프이다. [Fig. 9]의 (a)와 같이 그리퍼를 흔들었을 때도 [Fig. 9]의 (b)와 같이 진공 발생기는 진공도를 유지하며 15 kg의 상자를 안정적으로 파지한 것을 볼 수 있다. [Fig. 10]은 15 kg의 5호 상자를 파지한 사진들이다.

[Fig. 10]의 (a)와 같이, 좁은 작업 면적으로 상자의 중간에 흡입력이 집중될 경우, 중력과 흡입력의 반대되는 작용 방향으로 인해 상자의 윗면이 변형된다. 상자의 변형은 상자의 파손이나 이송 중의 불안정성을 야기할 수 있다. 본 논문의 그리퍼는 상자의 크기에 따라 작업 면적을 조절하여 흡입력의 위치를 조정한다. 따라서 [Fig. 10]의 (b)와 같이, 작업 면적 조절 그리퍼는 크고 무거운 상자를 파지할 때도 상자의 변형 없이 안정적으로 파지할 수 있다.

본 논문의 그리퍼는 최대 20 kg의 화물을 파지하고 7.8 $m/s^2$ 의 가속도로 이송하는 것을 목표로 하나 20 kg의 5호 상자의




[Fig. 8] Experiments of lifting delivery cardboard box of various sizes. (a) no.1 box: 190×90 mm (Gripper operation mode 1). (b) no.1 box: 220×190 mm (Gripper operation mode 2). (c) no.2 box: 270×180 mm (Gripper operation mode 3). (d) no.3 box: 340×250 mm (Gripper operation mode 4). (e) no.5 box: 380×340 mm (Gripper operation mode 5). (f) no.5 box: 480×380 mm (Gripper operation mode 6)




(a) (b)

[Fig. 9] Graphs of experiment of lifting 15 kg no.5 box (gripper operation mode 6). (a) Tilt of the gripper. (b) Vacuum level of the vacuum generators

(a) (b)

[Fig. 10] Box gripping stability experiment with adjusting working area of the gripper. (a) Gripper operation mode 4. (b) Gripper operation mode 6

경우, 구동 모드 4번과 6번 모두 그리퍼를 흔들었을 때 상자가 떨어졌다. 진공 발생기 선정 과정에서 골판지 상자의 통기성으로 인해 최대 -50 Kpa의 진공도를 낸다고 가정한 것과 달리 [Fig. 9]의 (b)에서 진공 누설이 발생하여 진공도가 낮은 것을 볼 수 있다. 진공 컵으로 물체를 파지할 때 진공 컵이 변형될 정도로 완전히 물체에 닿아 흡착해야 한다. 해당 실험에서 로봇 팔 대신 사람이 상자를 들어 진공 컵을 부착할 때 제대로 흡착되지 않아 [Fig. 9]의 (b)에서 보이는 진공 누설이 발생한 것으로 예상된다. 또한, 진공 호스, 진공 조인트, 진공 분배변과 같은 부품들의 연결부에서 진공 누설이 발생했을 가능성도 있다. 이와 같은 진공 누설로 인해 진공 컵의 전체적인 흡입력이 낮아진 것이 20 kg 상자를 안정적으로 파지하지 못한 원인이다.

## 5. 결 론

본 논문은 적재된 택배 상자를 컨베이어 벨트로 이송하는 디팔레타이징 과정을 자동화하기 위한 연구의 일환으로 그리퍼를 연구한다. 본 논문의 그리퍼는 진공 발생기를 이용한 흡입력을 사용한다. 또한, 그리퍼는 상자 윗면의 크기에 따라 작업 면적을 조절한다. 그리퍼가 작업 면적을 조절하는 동작 원리는 2가지이다. 첫째, 진공 발생기 4개를 독립적으로 구동하여 상자의 크기에 따라 사용하지 않는 진공 컵을 통한 진공 누설을 방지한다. 둘째, 진공 컵이 달린 그리퍼 암 4개의 각기 다른 회전축을 중심으로 한 동시 회전으로 흡입력의 작용 위치를 이동한다. 따라서 그리퍼는 다양한 규격의 택배 화물들이 빼곡히 적재된 디팔레타이징 현장에서 택배 상자의 윗면만으로 파지할 수 있다. 그리고 상자의 크기에 따라 작업 면적을 조절하여 상자의 변형 및 무게 중심의 편향으로 인한 불안정을 방지한다.

그리퍼의 구동은 상자 윗면의 크기에 따라 구동 진공 발생기의 개수와 그리퍼 암의 동시 회전 각도를 달리하여 6가지 구동 모드로 나뉜다. 구동 모드와 상자의 위치에 따라 각각의 진공 발생기의 작동 여부를 결정하여 작업 면적을 조절한다. 그리퍼의 가장 작은 작업 면적은 진공 발생기 1개를 작동한 구동 모드 1번의 $80 \times 170\,\mathrm{mm}$ 이다. 가장 큰 작업 면적은 진공 발생기 4개를 작동하고 그리퍼 암 4개가 135° 동시 회전한 구동 모드 6번의 $460 \times 340\,\mathrm{mm}$ 이다.

대한민국 우체국 택배 상자의 다양한 규격을 파지하는 실험을 진행하였다. 6가지 구동 모드로 작동하는 그리퍼는 진공 누설 없이 안정적으로 상자를 파지할 수 있다. 또한, 상자 파지 안정성 실험을 위해 15 kg의 5호 상자를 그리퍼 구동 모드 4번과 6번으로 파지했을 때를 비교하였다. 그리퍼 구동 모드 4번의 좁은 작업 면적으로는 흡입력과 상자 무게로 인한 중력으로 상자의 윗면이 변형되었다. 그와 달리 구동 모드 6번의 그리퍼는 흡입력의 위치를 조절하여 상자의 변형 없이 안정적으로 파지한다. 결론적으로 작업 면적을 조절하는 것은 택배 상자의 변형을 방지하여 디팔레타이징 시에 더 안정적으로 상자를 파기할 수 있다.

최소 요구 흡입력은 수평 방향 가속도를 고려하여 도출되었다. 그리퍼의 흡입력은 수직 방향 가속도, 무게 중심의 위치 변화, 상자의 포장 상태 등의 변수들을 고려하여 2.93의 안전계수를 가진다. 그러나 디팔레타이징 과정 중 택배 상자가 수직 방향 가속의 영향이 수평 방향 가속도의 영향보다 커지는 상황도 있을 수 있으므로 설계 변수 도출 과정에서 수직 방향의 가속도를 고려할 필요가 있다.

## References


[1] G. Li, C. Fu, F. Zhang, and S. Wang, “A reconfigurable three-finger robotic gripper,” *2015 IEEE International Conference on Information and Automation*, Lijiang, China, pp. 1556-1561, 2015, DOI: 10.1109/ICInfA.2015.7279534.

[2] G. Gao, J. Chapman, S. Matsunaga, T. Mariyama, B. MacDonald, and M. Liarokapis, “A Dexterous, Reconfigurable, Adaptive Robot Hand Combining Anthropomorphic and Interdigitated Configurations,” *2021 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)*, Prague, Czech Republic, pp. 7209-7215, 2021, DOI: 10.1109/IROS51168.2021.9636538.

[3] H. Park and D. Kim, “An Open-source Anthropomorphic Robot HandSystem: HRI Hand,” *HardwareX*, vol. 7, pp. e00100, Apr., 2020, DOI: 10.1016/j.ohx.2020.e00100.

[4] K. Tadakuma, T. Fujimoto, M. Watanabe, T. Shimizu, E. Takane, M. Konyo, and S. Tadokoro, “Fire-Resistant Deformable Soft Gripper Based on Wire Jamming Mechanism,” *2020 3rd IEEE International Conference on Soft Robotics (RoboSoft)*, New Haven, CT, USA, 2020, DOI: 10.1109/RoboSoft48309.2020.9116036.

[5] G. J. Monkman and P. M. Taylor, “Memory foams for robot grippers,” *Fifth International Conference on Advanced Robotics 'Robots in Unstructured Environments*, Pisa, Italy, 1991, DOI: 10.1109/ICAR.1991.240630.

[6] S. Li, J. J. Stampfli, H. J. Xu, E. Malkin, E. V. Diaz, D. Rus, and R. J. Wood, “A Vacuum-driven Origami “Magic-ball” Soft Gripper,” 2019 International Conference on Robotics and Automation (ICRA), Montreal, QC, Canada, pp. 7401-7408, 2019, DOI: 10.1109/ICRA.2019.8794068.

[7] Z. Zhakypov, F. Heremans, A. Billard, and J. Paik, “An Origami-Inspired Reconfigurable Suction Gripper for Picking Objects With Variable Shape and Size,” *IEEE Robotics and Automation Letters*, vol. 3, no. 4, pp. 2894-2901, Oct., 2018, DOI: 10.1109/LRA.2018.2847403.

[8] P. Bryan, S. Kumar, and F. Sahin, “Design of a Soft Robotic Gripper for Improved Grasping with Suction Cups,” *2019 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics (SMC)*, Bari, Italy, pp. 2405-2410, 2019, DOI: 10.1109/SMC.2019.8914479.

**심 예 리**

2021 한국항공대학교 기계공학과(학사)

2021~2023 부산대학교 기계공학부 석사과정

관심분야: 로봇 설계 및 제어

**진 상 록**

2008 서울대학교 기계항공공학부(학사)

2014 서울대학교 기계항공공학부(박사)

2014~2016 서울대학교 기계항공공학부 연수연구원

2016~2017 University of Texas Health Science Center Senior Research Associate

2017~현재 부산대학교 기계공학부 부교수

관심분야: 로봇 설계 및 제어