

대한기계학회 주최

제12회 전국학생설계경진대회(2022년)

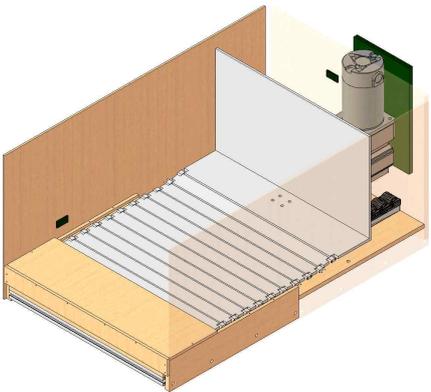
설계 최종 보고서

참가부	대학부 (O)				
참가분야	공모주제 () / 자유주제 (O)				
참가팀명	마우스				
설계제목	폴딩구조를 활용한 전동 화물 이송 장치의 개발				
지도교수/교사	(소속) 공주대학교 기계자동차공학부 (성명) 김범주				
대표자 (신청인)	성명	소속	연락처 (휴대폰)	E-mail	주소
	양재성	공주대학교 기계자동차공학부	010-5830-1325	dhkfidh@naver.com	경기도 평택시 진위면 하북 4길 68

참가팀원 인적사항

NO	성명	소속 / 학년	E-MAIL
1	양재성	공주대학교 기계자동차공학부 / 4학년	
2	김태연	공주대학교 기계자동차공학부 / 4학년	
3			
4			
5			
6			

설계 요약문

참가분야	공모주제 () / 자유주제 (O)
참가팀명	마우스
설계제목	폴딩구조를 활용한 전동 화물 이송 장치의 개발
대표자명	양재성
요약문	<p>현재 시중에서 택배 근무자의 업무를 보조하는 장치가 활발히 개발 중이나 상용화된 제품은 없다. 이는 단순히 벽을 미는 푸시형의 물품 파손 우려와 컨베이어 벨트 형식의 큰 부피, 필요 동력의 문제 때문이다. 따라서 기존의 제품들의 단점을 보완할 수 있고, 효율적으로 배송 업무를 수행하기 위해, 본 설계에서는 폴딩구조를 이용한 택배 수화물 자동 이송 장치를 개발하였다.</p> <p>아래 그림은 개발된 폴딩구조를 이용한 택배 이송 장치를 나타낸다. 사용자가 장치와 연동된 스마트폰을 이용하여 원하는 만큼 장치를 전, 후방향으로 판을 이동시키며, 모터-리드스크류-폴드판으로 순으로 힘이 전달되어 적재함 내부에서 외부 방향으로 판을 밀어낸다. 밀린 폴드판은 접히며 별도의 공간에 수납되는 메커니즘으로 작동한다.</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: flex-start;"> <div style="text-align: center;"> <p>화물 이송장치 3D 모델</p>  </div> <div style="text-align: center;"> <p>화물 이송장치 시제품</p>  </div> </div>
설계프로젝트의 입상 이력	해당사항 없음

폴딩 구조를 활용한 전동 화물 이송 장치의 개발

양재성 · 김태연 · 김범주[†]
공주대학교 기계자동차공학부

Development of Powered Cargo Conveying System utilizing Folding Structure

Jaeseong Yang, Taeyoun Kim and Bumjoo Kim[†]

Department of Mechanical and Automotive Engineering, Kongju National University

(Received January 1, 2013 ; Revised January 2, 2013 ; Accepted January 3, 2013)

Key Words: Folding Structure (폴딩 구조), Powered Cargo Conveying System (전동 화물 이송 장치)

초록: 택배 물동량 증가에 따라 배송 효율의 중요성이 높아지고 있지만, 그에 따라 택배 근로자의 업무 부담도 높아지고 있다. 본 연구에서는 배송 업무의 효율을 높이고 택배 근로자의 업무 부담을 줄이기 위해 리드 스크루와 폴딩 구조를 결합하여 화물을 자동으로 적재함 밖으로 이송하는 수화물 자동 이송 장치를 설계하고자 한다. 본 연구에서 설계한 장치는 기존 장치보다 부피를 줄여 공간 효율을 높이며, 별도의 외부전원 없이 간단한 부품으로 설계하여 유지보수가 용이하도록 한다. 또한 차량이 운행 중일 때 장치가 자동으로 작동하도록 해 시간효율을 높였다.

Abstract: The importance of delivery efficiency is increasing due to the increase in delivery volume, but the work burden of courier workers is also increasing. This study aims to design an automatic cargo transfer device that automatically transfers cargo out of the freight car by combining lead screw and folding structure to increase the efficiency of delivery work and reduce the burden on courier workers. This device improves space efficiency and time efficiency by reducing volume compared to existing devices and automatically operating when the vehicle is in operation. It is also designed with simple parts without a separate external power source to facilitate maintenance.

1. 서 론

1.1 문제 정의

물류의 거래 방법은 대면 거래형태에서 인터넷 거래, 온라인 쇼핑몰, 배달 대행사업 등 온라인 채널을 통한 비대면 거래로 그 형태가 변하는 추세를 보이며, 이러한 산업은 앞으로도 지속해서 성장할 것으로 예상된다.⁽¹⁾ 이에 따라 택배 물류량도 점차 증가하고 있으며, 특히 코로나19로 인해 2020년 한 해 동안 평균 10% 내외였던 택배 물류량 증감률이 약 20%로 급증하는 모습을 보였다.⁽²⁾ 또한 택배 근로자 한 명이 하루에 배송해야 하는 택배도 2012년 48,925건에서 2020년 67,067건으로 약 37% 상승했다.⁽³⁾

택배 근로자의 업무는 크게 분류 작업과 배송 작업으로 나뉜다. 분류 작업은 택배 배송 전, 택배를 무게와 배송지에 따라 분류하는 작업이며, 배송 작업은 분류된 화물을 배송지로 전달하는 작업이다. 현재 분류 작업은 로봇을 이용한 자동 분류기를 도입해 기존 인력을 대체하는 방안이 적용되어 늘어나는 물류량을 안정적, 효율적으로 처리하고 있다.^(4,5) 하지만 배송 작업은 택배 근로자가 직접 수행하며, 택배

[†] Corresponding Author, bumjoo@kongju.ac.kr

물량에 비해 부족한 택배 근로자의 인원수로 인해 업무를 효율적으로 처리하지 못하고 있다.⁽³⁾ 해당 문제를 해결하기 위해 택배 근로자의 배송 작업을 효율적으로 수행하기 위한 화물 이송 보조 장치의 개발이 필요하다.⁽⁶⁾

따라서 본 설계에서는 배송 효율의 문제를 해결하기 위해 적재함 내부에서 외부 방향으로 밀어주는 수화물 자동 이송 장치를 만들어 택배 근로자가 차량 적재함 내부에서 일하는 시간을 줄여 배송 효율을 증가시켜 보다 안정적인 시스템을 만드는 것에 기여하고자 한다.

2. 설계핵심내용

2.1 선행 연구 조사 및 분석

Table. 1은 본 설계에서 설계하고자 하는 장치와 목적이 비슷한 특허품에 대해 정리한 표이다. 선행 연구를 통해 고안된 ‘택배 차량용 컨베이어 장치’와 ‘택배 차량용 소화물 인-아웃 장치’는 적재함 내부에 컨베이어 벨트를 배치하여 적재함의 길이 방향을 따라 전후방으로 물품을 이동시키는 장치이다.⁽⁷⁻⁸⁾ 해당 기술은 높은 사양의 동력을 요구해 전원 공급이 어려우며 적재함 내부의 공간을 많이 차지한다. 이는 차량의 적재하는 화물의 양에 직접적인 영향을 주며, 장치의 보급에 악영향을 준다.

2.2 설계 문제 정의

선행 연구에서 고안된 장치의 단점을 보완하며 설계 목적을 달성하기 위해 장치의 설계 요구 조건을 아래와 같이 3가지로 정의했다. 또한 Table. 2와 같이 정의된 설계 요구 조건에 대한 구체적인 구현 방법을 정리했다.

- ① 동력부 설계: 기상 상태와 같은 외부 요인에 의한 파손을 막기 위해 차량 내부나 가림막과 함께 외부에 설치한다. 설치에 필요한 공간을 최소화해 공간 활용도를 높이고, 동력 전달 방식을 간소화하여 동력효율을 높이고 부피와 무게를 줄인다.
- ② 적재부 설계: 차량에 적재된 화물의 무게를 버틸 수 있는 가벼운 재질을 사용한다. 장치 일부가 장치 작동 시에도 적재함 외부로 돌출되지 않도록 한다.
- ③ 자동화: 업무효율 증대를 위해 설계품을 자동화한다. 유사시 수동으로 조작할 수 있는 기능을 제공한다.

Table. 1 Analysis of similar patents

	택배 차량용 소화물 인-아웃 장치 ⁽⁷⁾	택배 차량용 컨베이어 장치 ⁽⁸⁾
사진		
장점	구조가 간단하다. 적은 동력원이 필요하다.	구조가 간단하다. 물품이 파손될 확률이 적다.
단점	물품이 파손될 확률이 크다. 장치의 부피가 크다. 높은 강도의 재료가 필요하다.	높은 동력원이 필요하다. 장치의 부피가 크다. 높은 강도의 재료가 필요하다.

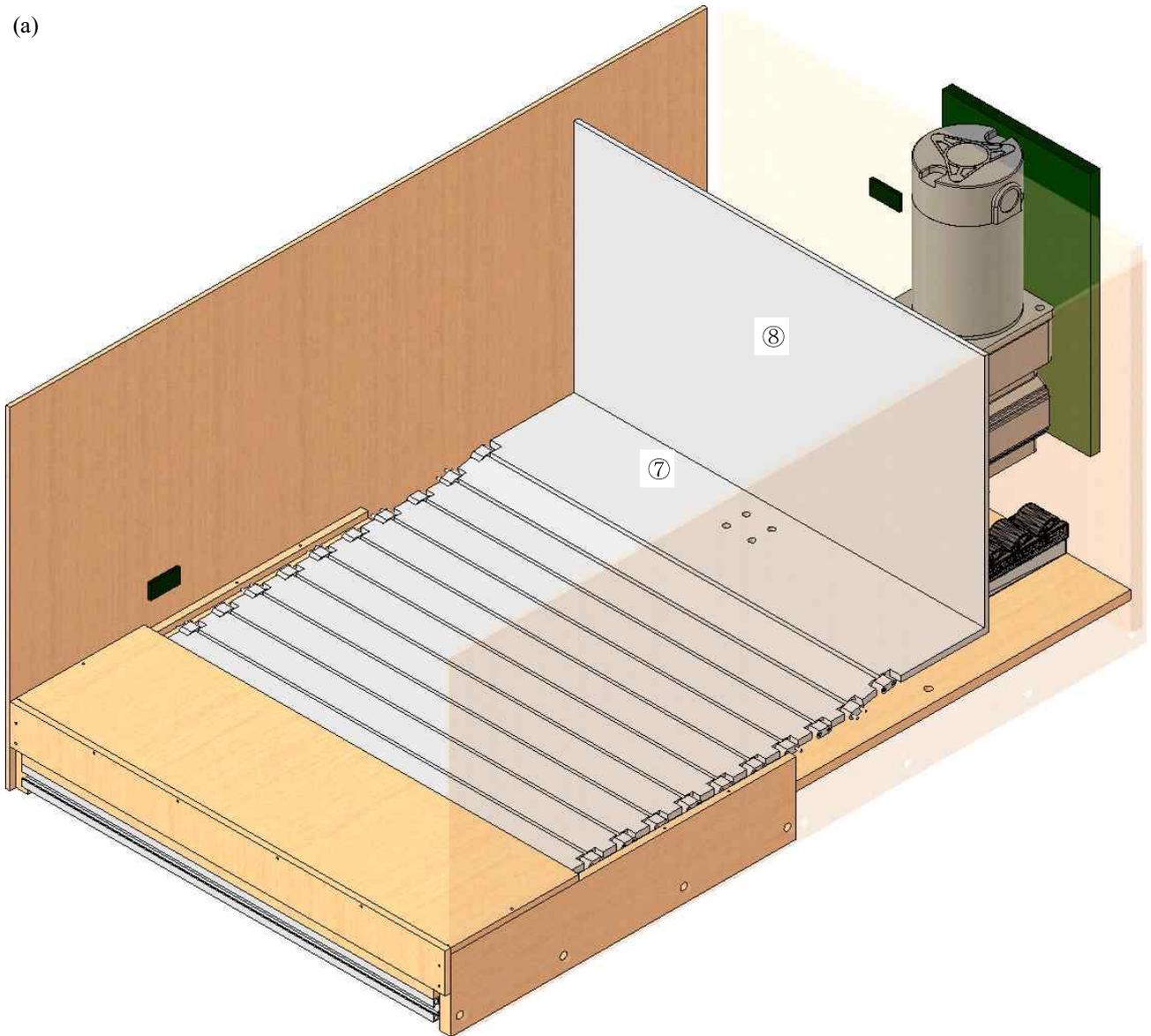
Table. 2 Design Requirements

설계 요구조건	구현 방법
동력부 설계	리드 스크루를 이용한 동력전달
폴드판 설계	판과 힌지를 이용한 결합방식
자동화 알고리즘 구현	센서와 마이크로 컨트롤러를 이용한 자동화 및 수동제어

2.4 개념 설계

2.4.1 설계 장치의 구성요소

(a)



(b)

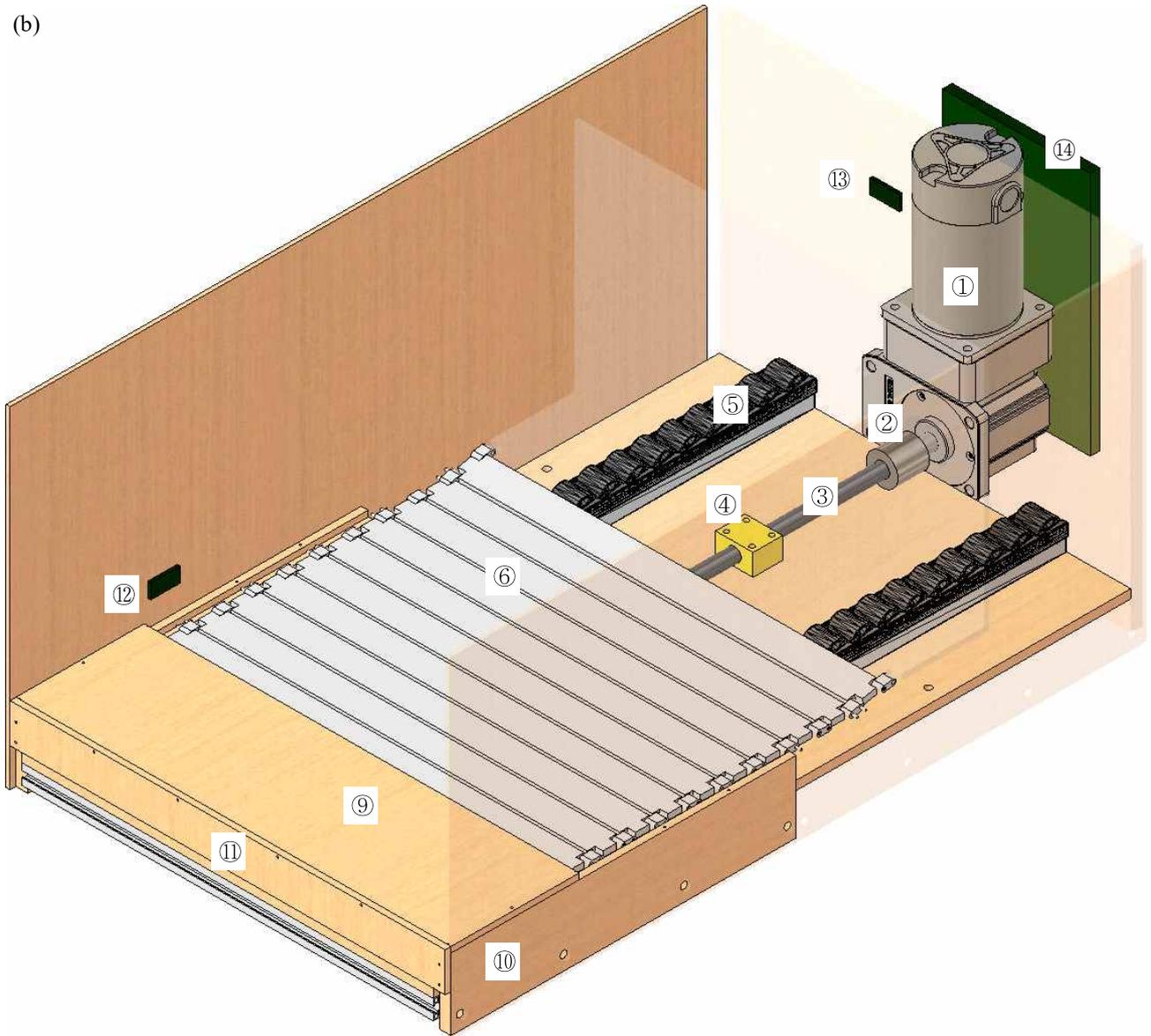


Fig. 1 (a), (b) Schematic diagram of the device

Table. 3 Name of Parts

분류	번호	명칭	분류	번호	명칭
구동부	①	모터	압축부	⑨	작업대
	②	커플링		⑩	폴드판 받침
	③	리드 스크루		⑪	가림판
	④	사각 너트 탭	제어부	⑫	화물 감지 센서
⑤	바퀴 받침	⑬		거리 감지 센서	
⑥	폴딩 구조 판재	⑭		마이크로 컨트롤러	
⑦	너트 체결부				
수납부	⑧	등받이			

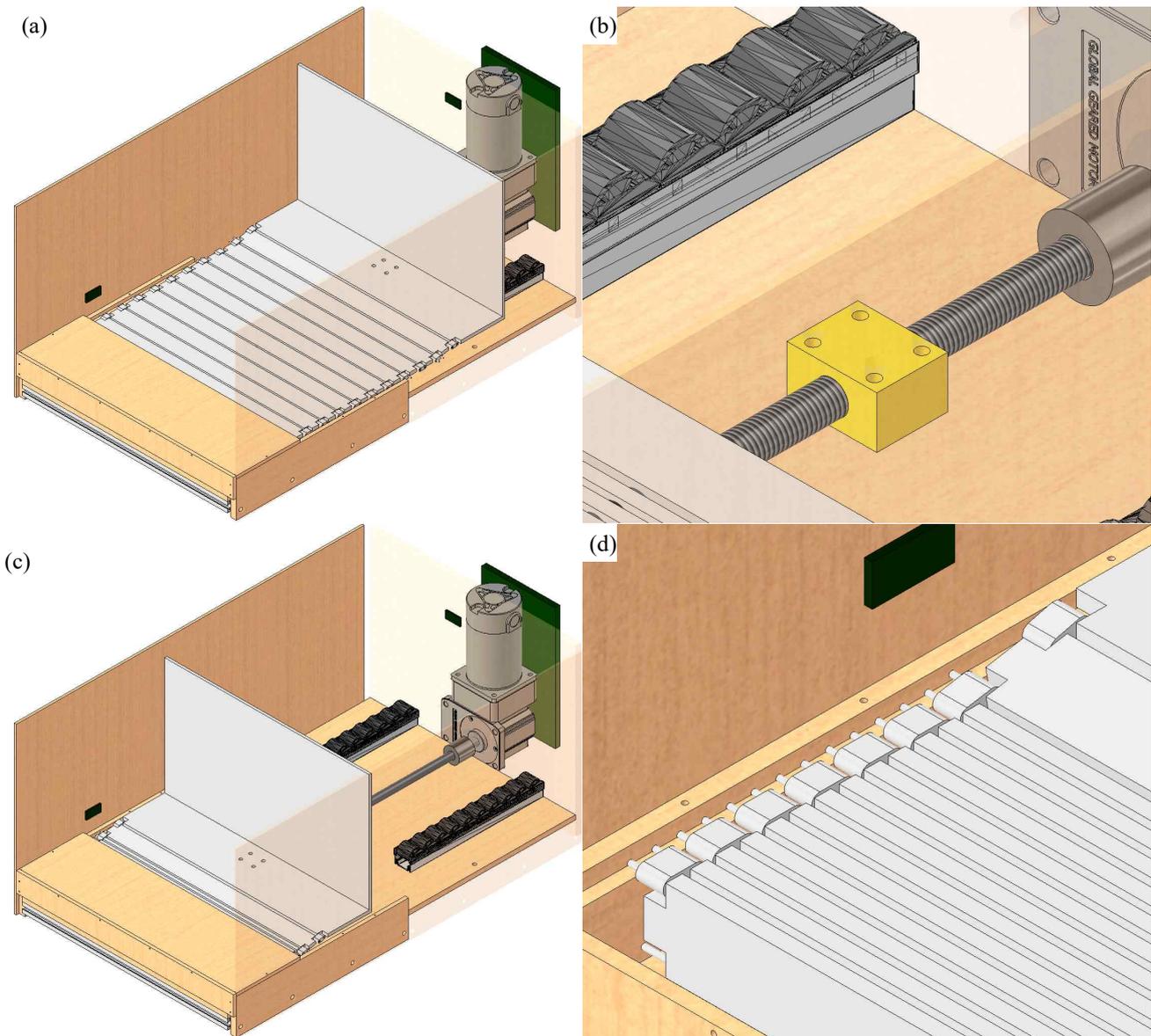


Fig. 2 (a), (b), (c), (d) Detail view of device

Fig. 1 (a), (b)는 설계 요구조건을 반영한 장치의 개념 설계도이다. 장치는 크게 장치의 작동을 담당하는 구동부, 화물을 지지하는 수납부, 장치가 작동함에 따라 부품이 저장되는 압축부, 장치의 작동을 제어하는 제어부로 나뉜다.

Fig. 2의 (a)는 장치 작동 전 모습이다. 장치가 작동하기 전엔 폴딩 구조 판재가 모두 펼쳐져 있으며 그 위에 화물을 실을 수 있다.

Fig. 2의 (b)는 장치의 하부 모습이다. 펼쳐진 폴딩 구조 판재는 하부의 바퀴 받침에 의해 받쳐지도록 하며, 폴딩 구조 판재에 결합한 사각 너트 탭을 통해 리드 스크루와 연결한다.

Fig. 2의 (c)는 장치 작동되어 폴딩 구조 판재가 접힌 모습이다. 모터가 회전하면 리드 스크루에 체결된 너트가 이동하며, 폴딩 구조 판재도 함께 이동한다. 이 과정에서 폴딩 구조 판재가 접히며 화물이 함께 이동하게 된다.

Fig. 2의 (d)는 압축부에 폴딩 구조 판재가 접혀있는 모습이다. 구조의 설명을 위해 화물을 실을 수 있는 작업대를 제거하였다. 폴딩 구조가 리드 스크루를 따라 이동하여 접히기 시작하면 폴딩 구조 양단의 돌기가 폴드판 받침의 홈을 따라 걸치게 되며 지그재그로 접혀 상단의 판재 안으로 들어가 보관된다.

2.4.2 장치 구동방식

제어부의 두 센서가 각각 화물의 유무와 장치의 위치를 감지하면 마이크로 컨트롤러가 구동부의 모터를 제어한다. 모터의 회전축에는 커플링을 통해 리드 스크루가 결합되어 있으며, 리드 스크루에 결합된 사각 너트 탭과 너트 탭이 결합된 너트 체결부와 폴딩 구조 판재에 동력을 전달해 장치가 적재함 앞, 뒤로 작동할 수 있도록 한다. 장치가 적재함 앞으로 이동하면 바퀴 받침으로부터 폴딩 구조 판재가 떨어지며 폴딩 구조 판재의 양단 돌기로 폴드판 받침에 매달린다.

2.4.3 수납부 설계

2.4.3.1 폴딩구조 개념

장치의 부피를 최소화하기 위해 ‘폴딩 도어’(Folding Door)의 구조를 활용한 ‘폴딩 구조 판재’(이하 폴드판)로 장치의 상단을 구성한다. 폴드판은 Fig. 3과 같이 얇은 판재가 경첩과 같은 구조로 연결되어있어 지그재그로 접히거나 펴지는 구조를 가진다.

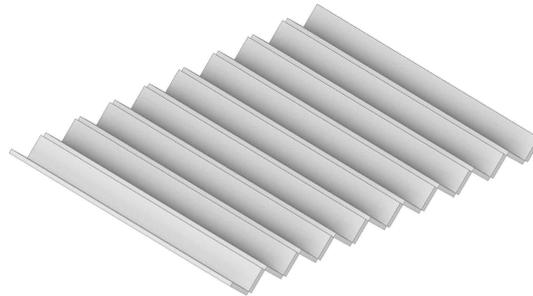


Fig. 3 A conceptual diagram of Folding structure

장치의 상단을 폴드판으로 덮어 화물을 적재할 수 있게 한다. 폴드판과 화물이 적재함의 입구 쪽으로 이동하면 사용자가 화물을 하차하며, 폴드판은 차례로 접혀 별도의 수납공간에 보관된다.

1) 재료의 강성⁹⁾

어떠한 무게의 화물을 실어 이동시키기 위해선 모터의 사양, 리드 스크루와 너트 뿐 아니라 목표 하중을 견딜 수 있도록 적절한 판재의 선정이 요구된다. 판재에 하중이 가해질 경우 단면의 한쪽에는 인장 응력이, 반대쪽에는 압축응력이 생기며, 굽어지게 되는데, 이를 굽힘 응력이라 한다. 따라서 발생하는 굽힘 응력을 계산하여 재료와 인장 강도와 비교 후 재료 선정의 적합성을 판별한다.

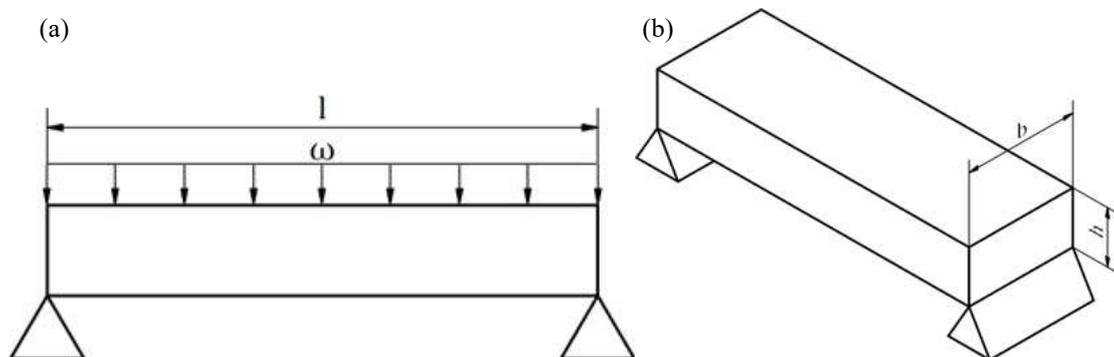


Fig. 4 Dimensions and distributed force of plate parts substituted by simple bridge

본 설계를 통해 고안된 폴딩 구조는 Fig. 4와 같이 단순보로 치환할 수 있다. 폴드판에 가해지는 하중이 균일 분포하중이라고 가정하면 해당 하중에 의해 판재에 굽힘응력이 발생한다. 굽힘응력은 다음과 같다.

$$\sigma = \frac{Z}{M} \text{-----(12)}$$

이때 Z 는 폴딩 구조의 단면계수, M 은 굽힘모멘트이다. 폴딩 구조의 단면계수는 다음과 같다.

$$Z = \frac{bh^2}{6} \text{-----(13)}$$

이때 b 는 폴딩 구조의 폭, h 는 폴딩 구조의 높이이다. 굽힘모멘트는 다음과 같다.

$$M = \frac{\omega l^2}{8} \text{-----(14)}$$

이때 ω 는 폴딩 구조에 가해지는 분포하중, l 은 폴딩 구조의 너비이다. 굽힘응력의 크기는 폴딩 구조의 치수의 영향을 받으므로 폴딩 구조의 치수를 설계한 후 굽힘 응력을 계산해 폴딩 구조의 재료를 선정해야 한다.

2.4.4 구동부 설계

적재함에 설치하는 택배 차량 전용 수화물 이송장치는 모터의 사양과 리드 스크루에 따라서 운행 속도와 장치의 부피가 결정된다. 리드 스크루는 수화물이 누르는 무게와 모터로부터 얻는 동력을 통해 역으로 계산할 수 있고 그식은 다음과 같다.

2.4.4.1 모터의 사양⁽¹⁰⁾

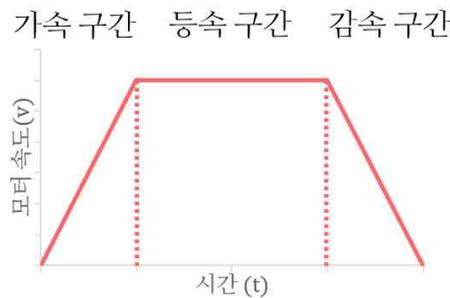


Fig. 5 RPM of the motor over time

리드 스크루는 모터의 토크를 이용해 체결된 너트를 이동시켜야 한다. 본 연구에서 모터의 토크는 너트를 이동시키는 데 필요한 힘이며, 이는 곧 화물을 이송시키는 데 필요한 힘이다. 화물을 원활하게 이송하기 위해 필요한 토크를 계산하여 알맞은 모터의 사양을 결정한다. 필요 토크는 다음 식과 같다.

$$T_m = T_1 + T_2 \text{-----(1)}$$

모터의 필요 토크(T_m)는 자중 토크(T_1)와 가속토크(T_2)의 합으로 나타낸다. 모터는 Fig. 5와 같이 가속 구간에서 등가속도 회전운동을 하여 등속 구간에 도달하는데, 가속 구간은 자중 토크와 가속토크 모두 고려된다. 따라서 모터의 사양 결정 시엔 요구되는 토크가 큰, 가속 구간의 토크를 고려해야 한다.

1) 자중 토크

모터의 회전운동이 리드 스크루에 체결된 너트의 직선 운동으로 변환되므로, 이 관계를 이용해 너트의 직선 운동 시 발생하는 힘을 통해 모터의 입력 토크를 구할 수 있다. 자중 토크를 구하기 위한 식은 다음과 같다.

$$T_1 = \frac{Fl}{2\pi\eta} \text{-----(2)}$$

이때 T_1 은 등속 토크(Nm), F 는 너트 이동 시 발생하는 추력(N), l 은 리드 스크루의 리드(m), η 는 토크와 추력 사이의 변환효율이다.

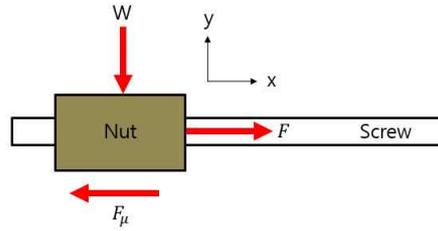


Fig. 6 FBD of nut and screw

Fig. 6은 너트가 스크루를 따라 이동할 때를 나타낸 자유물체도(FBD, Free Body Diagram)이다. 너트가 힘 F 에 의해 직선운동할 때, 이동 방향의 반대로 마찰력(F_μ)이 작용하고, 너트에는 화물로 인한 하중(W)이 작용한다. 스크루의 회전속도가 변하지 않는다고 가정하면 너트의 이동 속도도 변하지 않는다. 따라서 알짜 힘이 0인 상태이며 추력과 마찰력의 값이 같다. 따라서 마찰력을 계산하여 추력의 값을 얻으며, 마찰력은 다음 식과 같다.

$$F_\mu = \mu N \text{ -----(3)}$$

이때 μ 는 스크루와 너트 사이의 동 마찰계수이고, N 은 너트에 작용하는 하중에 대한 수직반력이다. 너트를 등속운동 중이라고 가정하기에 정 마찰계수가 아닌 동 마찰계수를 고려한다. 너트에 작용하는 하중 W 와 수직반력의 크기가 같고, W 는 대상으로 하는 트럭의 최대 적재 하중과 중력 가속도의 곱으로 나타낼 수 있다.

또한 회전운동을 직선운동으로 전환 시 스크루의 기계적 효율이 고려된다. 식(3)의 마찰계수, 스크루의 리드각(θ)을 통해 다음 식으로 계산한다.

$$\eta = \frac{1 - \mu \tan(\theta)}{1 + \mu / \tan(\theta)} \text{ -----(4)}$$

리드각과 식(2)의 리드는 스크루의 고삿값으로, 스크루의 규격표를 이용해 값을 적용한다.

2) 가속 토크

뉴턴 제2법칙(가속도의 법칙) $F = ma$ 식은 회전운동에 대해 다음과 같이 나타낸다.

$$T_2 = I\alpha \text{ -----(5)}$$

여기서 T_2 는 가속 토크(Nm), I 는 관성모멘트($kgf \cdot m^2$), α 는 각가속도(rad/s^2)이다.

각가속도는 원운동에서 시간 변화에 따른 각속도에 변화율이므로, 각가속도는 각속도와 가속구간의 시간 $t(s)$ 로 다음과 같이 나타낸다.

$$\alpha = \frac{w}{t} \text{ -----(6)}$$

각속도를 구하기 위해 모터의 rpm을 속도의 단위인 rad/s 로 변환하는 식은 다음과 같다.

$$w = \frac{2\pi N}{60} \text{ -----(7)}$$

관성모멘트는 회전운동에 대해 각속도를 유지하려는 관성이다. 하중에 의한 관성모멘트와 회전하는 물체들에 대한 회전 관성모멘트의 합으로 나타낸다.⁽¹¹⁾

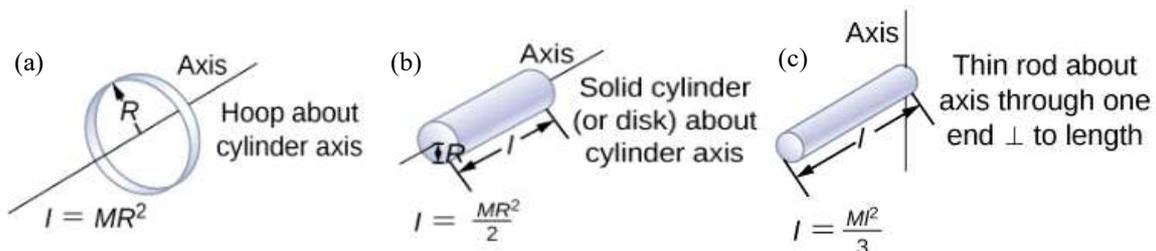


Fig. 7 Moment of inertia of (a) Hoop, (b) Cylinder or disk and (c) Rod⁽¹²⁾

화물의 하중에 의한 관성모멘트는 회전축에 대해 떨어져 있으므로 Fig. 7의 Hoop 형 관성모멘트 식을 적용하며, 질량 M 은 화물의 질량과 같다. 리드는 스크루가 한 바퀴 회전했을 때 축 방향 이동 거리이며, 리드와 회전반경 R 이 같다고 가정하여 원의 둘레를 구하는 공식을 이용해 회전반경 R 은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$R = \frac{l}{2\pi} \text{-----}(8)$$

리드 스크루의 회전축과 같은 회전축을 갖는 원통형 부품들에 대한 회전 관성모멘트는 Fig. 7의 (b)를, 회전축과 수직인 모터 자체의 관성모멘트는 Fig. 7의 (c)를 이용한다.

(1)번 식을 통해 모터의 필요 토크를 구하면 안전율이 적용되어야 한다. 택배 차량의 과적을 고려하여 2의 안전율을 적용한다.

2.4.4.2 스크루와 너트의 선정⁽¹³⁾

너트가 리드 스크루를 따라 이동하는 시스템에서 너트는 하중을 받으며 이동하기 때문에 작용하는 하중에 대해 치면에 마모가 일어나지 않는 너트를 선정해야 한다. 너트 재질은 접촉 면압과 미끄럼 속도의 곱인 한계 pV 치를 이용하여 선정한다. 마찰 거동에서 압력과 속도가 점차 증가하면 일정 시점에서 소재가 견디지 못하고 용융되며, 한계 pV 치는 구동이 가능한 조건의 최대치를 나타낸다. 또, 리드 스크루와 너트의 리드에 따라 장치 이동속도가 결정되기 때문에 두 가지 조건을 고려하여 선정한다.

1) pV 치

접촉 면압은 다음의 식으로 계산된다.

$$p = \frac{P_F}{F_0} \text{-----}(9)$$

이때 p 는 축 방향 하중에 의한 치면의 접촉 면압(N/mm^2), F_0 는 동적 허용 추력(N), P_F 는 축 방향 하중(N)이다. 동적허용추력은 너트 치면에 작용하는 접촉 면압이 $9.8N/mm^2$ 될 때의 추력이며, 리드 스크루 강도의 기준이다.

치면에서 발생하는 속도인 미끄럼 속도(m/min)는 다음의 식으로 계산된다.

$$V = \frac{\pi d_1 N}{\cos(\theta)} \times 10^{-3} \text{-----}(10)$$

이때 d_1 은 나사축 유효 직경(mm), N 은 나사축 분당 회전수(min^{-1}), θ 는 나사축 리드각($^\circ$)이다.

청동 재질은 2.5 이하의 pV 치, 플라스틱은 3.6 이하의 pV 치일 경우 마모 현상이 발생하지 않고, 각각 1.2, 1.8 이하의 Pv 치를 권장한다. 또한 pV 치는 윤활 조건에 따라 달라질 수 있다.

2) 너트 이동 속도

리드 스크루는 일반적으로 사다리꼴나사(TM) 스크루를 이용한다. 너트의 이동 속도(m/s)는 다음의 식으로 계산된다.

$$v = \frac{l \times N}{60} \text{-----}(11)$$

이때 l 은 스크루의 리드(m), N 은 모터의 회전수(rpm)이다. 스크루의 리드와 모터의 rpm 에 따라 너트의 이동 속도가 달라진다. 너트 이동 속도는 시스템의 이동 속도로, 장치 설계 시 중요한 요인이다. 고하중 운전 시, 너트에 마모가 발생하지 않도록 식(9)의 동적 허용 추력의 값이 변하면 너트의 크기와 리드도 변하며, 이에 따라 장치의 이동 속도가 달라지므로 적절한 스크루와 너트 선정이 요구된다.

2.4.5 자동화 설계

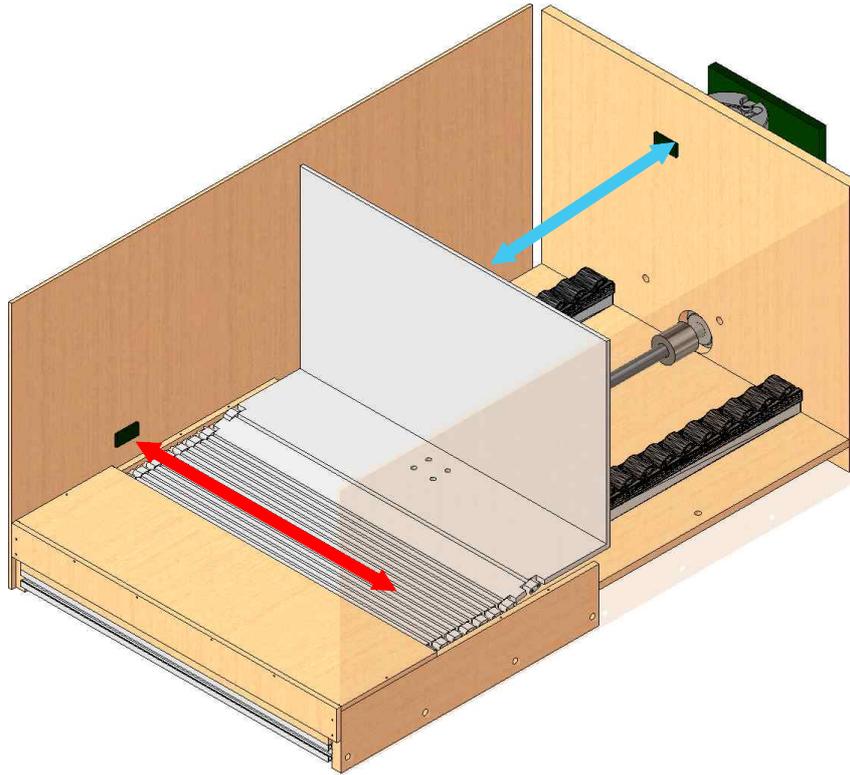


Fig. 8 Location and sensing range of sensors (Red and blue arrow)

Fig. 8은 센서의 위치와 센서의 인식 거리를 나타낸다. 본 장치는 택배 근로자가 차량을 운행 중일 때 작동하도록 하며, 사물과의 거리를 감지하는 두 개의 센서를 이용하여 적재함 입구에 화물이 있을 때 장치를 멈추도록 하고, 택배 근로자가 화물을 하차하여 공간이 비었을 때 장치를 구동시키도록 한다. 화물 감지 센서는 화물의 유무를 감지하며, 거리 감지 센서는 등반이와의 거리를 감지하여 장치가 최대, 최소 가동범위로 이동했을 경우 장치가 멈추도록 한다.

2.5 설계제약조건 수립

Table. 4는 장치 사양 및 치수 선정 시 고려해야 할 설계 제약조건이다.

Table. 4 Design Constraints

설계 제약조건	
구동부	<ul style="list-style-type: none"> • 모터의 요구동력이 장치가 장착된 차량의 배터리로 동작할 수 있도록 한다. • 적절한 속력으로 구동하여 화물이 쏠려 추락하는 일이 없도록 하며, 근로자가 다음 배송지에 도착하기 전 구동을 완료하도록 한다. • 모터의 무게와 부피를 줄여 설치 장소에 구애받지 않도록 한다.
수납부	<ul style="list-style-type: none"> • 적재된 화물의 무게에도 파손이나 큰 변형이 일어나지 않아야 한다. • 경량화, 원가절감, 장치의 부피 감소를 위해 폴드판의 두께는 얇아야 한다. • 접힌 폴드판이 차지하는 공간을 최소화해 장치의 가동범위를 넓힌다. • 최대한 간단한 구조를 통해 폴딩 구조를 구현한다.
자동화	<ul style="list-style-type: none"> • 차량의 시동이 감지되었을 때 장치가 가동하도록 한다. • 시동 후 별도의 동작 없이 장치가 가동, 정지하도록 한다. • 유사시 근로자가 직접 장치를 가동할 수 있도록 스마트폰 어플리케이션을 제공한다.

2.6 상세설계

2.6.1 기본 제원 설정

Table. 5는 본 장치의 적용 차량인 ‘포터 2’ 1톤 탑차의 제원이다. 장착 위치를 고려해 적재함 내측 치수에 맞춰 장치를 설계한다.

2.6.2 역학 계산

Fig. 9는 장치의 설계와 제작을 위해 작성한 역학계산 목록이다.

2.6.2.1 화물의 이송 속도 선정

택배기사 적정 근로 시간에 대한 연구에 따르면 택배기사가 옮겨야 하는 연평균 1일 배송량은 297개이다. 배송량을 일 평균 근로 시간으로 나누어 연평균 1회 배송 시 소요 시간을 구한다. 계산 결과 2.48분에 한 건씩 택배를 배송해야 한다. 국내 전용 우체국 택배 상자 중 가장 큰 5호 상자의 길이인 48cm를 무리 없이 이송하기 위하여 장치의 속도를 1cm/s로 정하였다.

Table. 5 Vehicle specifications⁽¹⁴⁾

분류	최대 적재량(kg)	차체제원 (mm)			적재함 내측 치수 (mm)		
		길이	너비	높이	길이	너비	높이
하이 내장 탑차 초장축 슈퍼캡	1,000	5,170	1,745	2,640	2,830	1,670	1,800

역학계산 List Up	
A.	화물 이송속도 선정
B.	스크루와 너트 선정
마모가 일어나지 않는 재질의 스크루와 너트 선정	
C.	모터 사양 선정
장치 구동에 필요한 모터의 토크와 RPM계산	
D.	폴딩 구조 판재 선정
굽힘 강도 계산 및 해석을 통해 폴딩 구조 판재의 재질, 두께 선정	

Fig. 9 List of mechanical calculation

Table. 6 Working hours per day⁽¹⁵⁾

구분	일평균 근로시간(시간)
	평균
배송 작업	6.0
집화 작업	3.0
계	9

Table. 7 Number of deliveries per day⁽¹⁵⁾

구분	1월	2월	3월	4월	5월	6월
물동량	291	286	317	294	324	337
구분	7월	8월	9월	10월	11월	12월
물동량	303	296	357	369	344	336
계	3854		일 평균		297	

2.6.2.2 스크루와 너트 선정

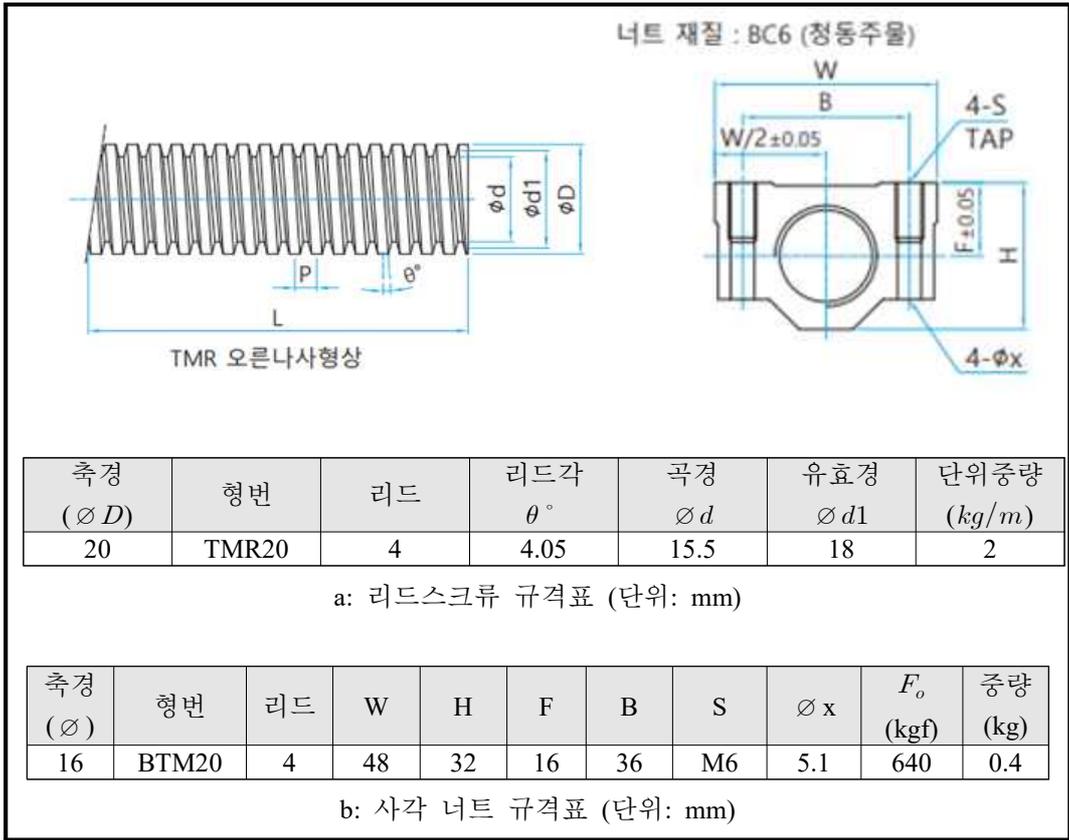


Fig. 10 Selected Lead screw and Nut⁽¹⁶⁾

본 연구의 장치의 공간효율을 고려해 직경이 크지 않은 리드 스크루와 너트를 선정했다. 선정한 리드 스크루는 사다리꼴 오른나사로, S20C 재질의 스크루이다. 너트는 폴드 구조 판재에 부착할 수 있도록 윗면이 평면인 청동 주물 재질의 사각 너트를 채택했다. 리드 스크루와 너트 사이의 마찰은 모터 사양 선정에 가장 중요한 요인이며, 마찰을 줄이기 위해 마찰계수가 약 0.2인 재질을 선정하였다. 해당 너트와 리드 스크루에 대해 1.2 이하의 pV치가 권장된다. 이론적 배경의 식 (9), (10), (11)을 통해 계산한 결과 다운 스케일 적용한 장치의 pV치는 2.834로, 치면 마모에 대해 위험한 값이 나왔다. 따라서 리드 스크루의 개수를 3개로 늘려 Pv치를 0.945로 한다.

2.6.2.3 모터 사양 선정

Table. 8 Motor Specifications

모터 사양						감속기 결합시			수량
Output (W)	Voltage (V)	Weight (kg)	Rated			Gear Ratio	Rated		
			rpm	Torque (N·m)	Current (A)		rpm	Torque (N·m)	
90	12	4.71	3000	0.3	12	1:20	150	4.26	3

리드 스크루의 사양과 장치의 목표 가동 무게를 고려해 이론적 배경의 식 (1) ~ (9)를 통해 모터의 사양을 선정했다. 선정한 리드 스크루의 제원을 고려하여 나사 효율, 입력 토크를 계산했으며, 리드 스크루의 리드는 4mm로, 이송 속도 1cm/s를 위해서 최대 분당회전수 150rpm의 모터를 고려하였다.

모터가 정지 상태에서부터 최대 분당회전수까지 가속하는데 걸리는 시간을 0.1초로 가정해 선정한 모터의 관성 모멘트를 계산하였고, 가속 토크는 1.092Nm, 자중 토크는 7.202Nm으로 계산되었으며, 모터의

총 필요 토크는 안전율을 고려하지 않을 시 8.294Nm이다. 리드 스크루의 수량을 고려해 각 모터가 3.493Nm의 토크를 내도록 Table. 8과 같은 모터를 선정하였으며, 조립 용이성을 위해 모터 몸체와 회전 축이 직각인 모터를 선정하였다.

2.6.2.4 폴딩 구조 판재 설계

1) 폴딩 구조 판재 재질과 크기 선정

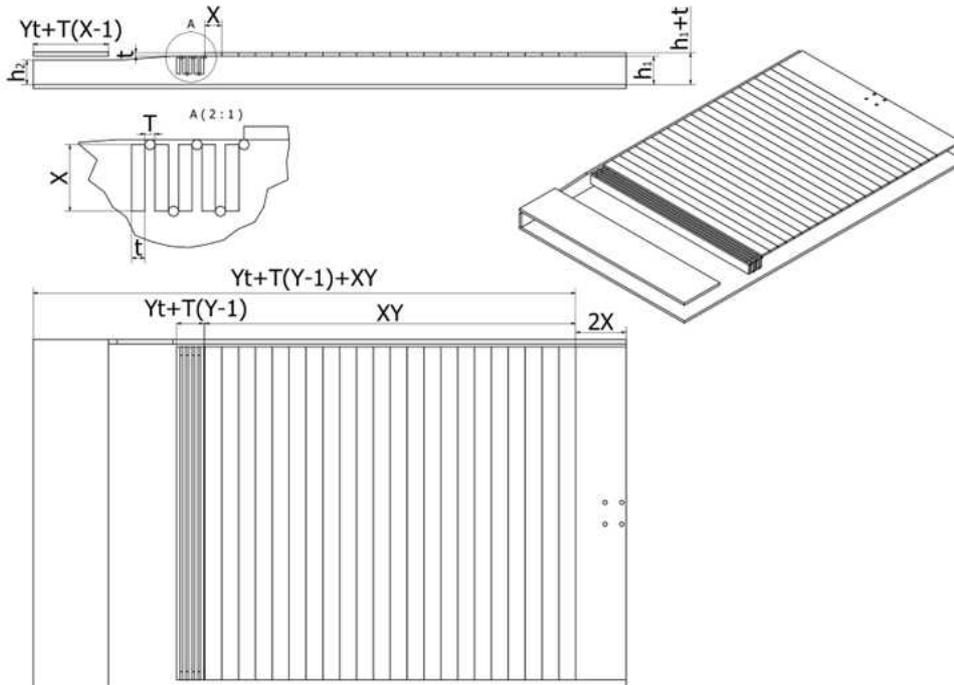


Fig. 11 Dimension setting of storage part and compressing part

Table. 9 Defined variables

폴딩 구조 1칸 길이	X ($X < \text{바퀴 높이}$)	펴진 폴드판 총 길이	XY
너트 체결부	$2X$	접힌 폴드판 총 길이	$Yt+T(Y-1)$
폴딩 구조 칸 개수	Y	수납부 판재 받침	h_1 (바퀴 높이)
판재 두께	t	압축부 판재 받침	h_2 ($h_2 \leq \text{바퀴 높이}$)
접힌 결합부 빈 공간	T	장치 높이	$h=h_1+t$ ($h > \text{너트 높이}$)
결합부 개수	$Y-1$	압축률	$1-[Yt+T(Y-1) / XY]$ (Z)

Fig. 11과 같이 폴드판을 설계하기 위해 판재 하나의 치수를 바탕으로 Table. 9와 같이 치수에 대한 미지수를 설정하고 관계식을 세웠다. 이 중 가장 핵심은 폴딩 구조 판재의 길이 X 와 개수 Y 이다. 적재함 내부의 치수는 정해져 있으므로 그에 따라 폴딩 구조 판재의 길이와 두께, 압축부를 가리는 작업대의 너비 조정이 필요하다. 또한 장치의 부피를 최대한 줄이기 위해 판재의 높이 t 의 축소가 요구된다. 폴딩 구조 판재의 치수는 폴딩 구조 판재의 굽힘 응력과 관련되어있기 때문에 역학계산이나 구조 해석을 통한 유기적인 설계가 요구된다.

폴딩 구조 판재의 재질은 저렴하지만 강성이 충분한 아크릴로 한다. 목표 하중이 작용하였을 때 아크릴 판재가 굽힘응력을 견딜 수 있어야 한다. 그러나 굽힘 응력을 실제 Scale에서 이론적 배경의 식 (12), (13), (14)를 통해 직접 계산하는 것은 많은 시간이 소요되고 여러 가지 조건을 반영하기 어렵다. 따라서 1/16 Scale의 모델과 컴퓨터 응용 해석(CAE, Computer aided Engineering)을 통해 폴딩 구조 판재의 굽힘 응력과 그에 따른 안정성을 해석한다.

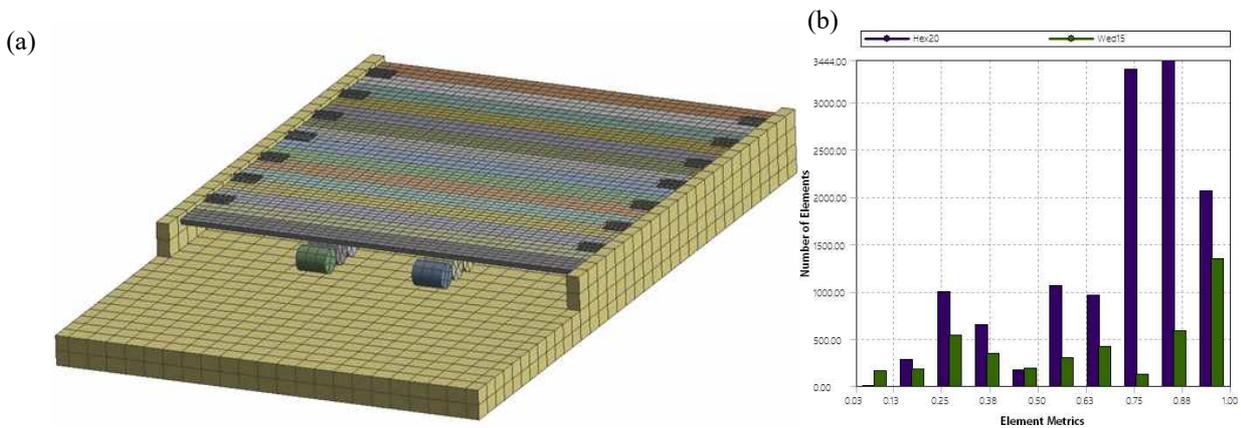


Fig. 12 (a) Generated mesh and (b) Mesh quality

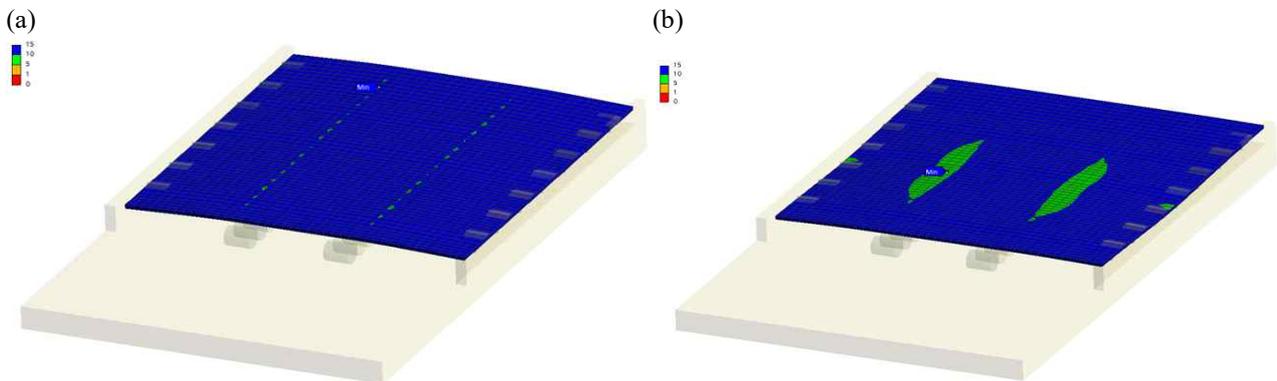


Fig. 13 Results of interpretation: Uniformly distributed load at (a) all plates (b) only one plate

Fig. 12 (a), (b), Fig. 13 (a), (b)는 상용 역학 시뮬레이션 Tool인 ANSYS를 활용한 구조해석 결과이다. Fig. 12 (a) 와 같이 폴딩 구조 판재와 판재를 연결하는 경첩, 바퀴 레일, 장치 바닥을 실제 장치의 치수를 반영해 모델링했다. 폴딩 판재와 경첩은 Acrylic(PMMA), 바퀴는 POM, 바닥은 Wood로 물성을 설정했다. Fig. 12 (b)는 생성한 Mesh의 Mesh Quality를 나타내는 그래프이다. 가로축은 Mesh Quality, 세로축은 Mesh의 개수이며, Mesh Quality가 1에 가까운 Mesh가 많을수록 좋은 Mesh라 할 수 있다. 폴딩 구조 판재는 417*30*6mm로 모델링 하였고 총 15개의 판재로 이루어져 있다. 장치 바닥 하단을 Fixed Support로 고정 한 후 두 가지 조건에 대한 해석을 진행하였다. 첫 번째 조건은 목표 하중인 1000kg의 1/16배인 62.5kg이 폴딩 구조 판재에 고르게 분포하는 조건이고, 두 번째 조건은 폴딩 구조 판재를 구성하는 임의의 폴드 판 하나에 62.5kg의 하중이 모두 가해지는 조건이다. 해석결과 Fig. 13 (a)와 같이 첫 번째 조건에서 최소 Safety Factor(안전률)이 8.19, Fig. 13 (b)와 같이 두 번째 조건에서 최소 안전율 4.28로 파손 위험 없이 사용할 수 있음을 확인하였다.

2) 폴딩 판재의 결합방식

폴딩 판재간 연결 방식은 접힌 폴딩 판재의 간격 T에 영향을 미친다. T가 감소할수록 접힌 폴딩 판재가 차지하는 부피가 감소해 장치의 가동 거리가 증가한다.

2.1) 경첩을 이용한 결합방식

Fig. 14 (a)와 같이 경첩을 이용해 장치를 결합하면 T는 접힌 경첩의 두께이다. 시제품 제작을 위해 시중에서 구할 수 있는 가장 작은 경첩을 구매해 Fig. 14 (b)와 같이 가조립 한 결과 T는 6.3mm, Z는 0.63으로 경첩이 폴딩 판재의 두께보다 두꺼워 실사용이 어렵다고 판단했다.

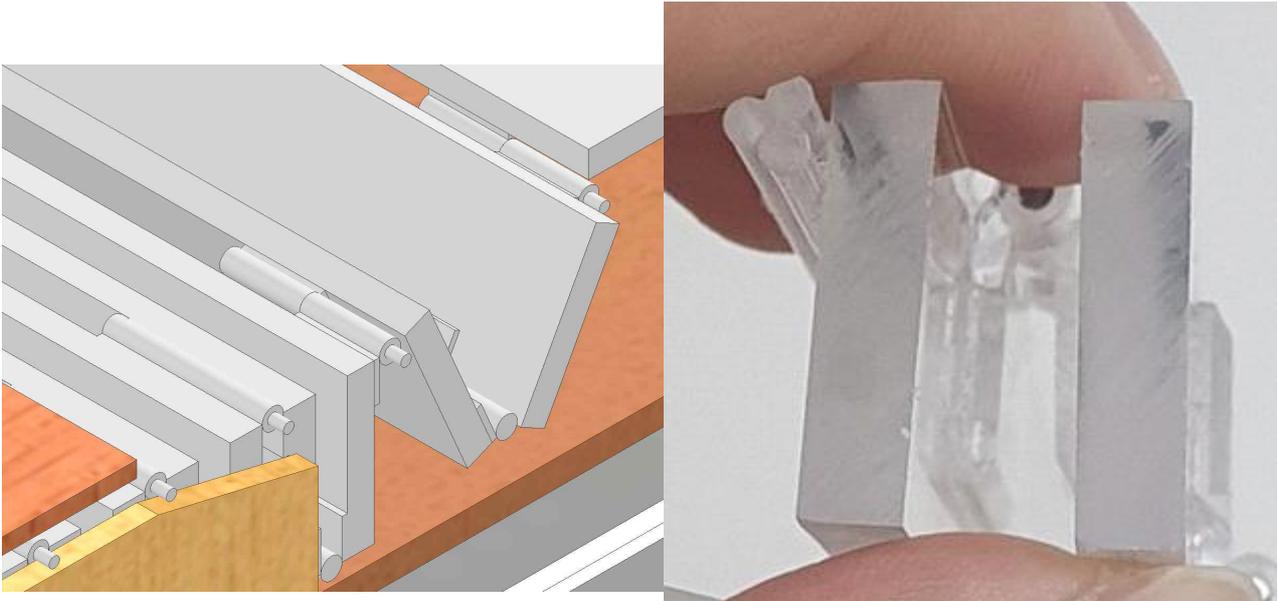


Fig. 14 (a) 3D CAD image and (b) actually-made folding structure

2.2) 힌지형 결합방식

Table. 9에 나타난 T가 너무 커지는 것을 막기 위해 힌지형 결합방식을 고안했다. 힌지형 결합방식이란 폴딩 판재 사이를 ‘폴더블 스마트폰’의 힌지 형태로 결합하는 방식이다. 가공 오차를 고려하지 않았을 때 T가 0이 될 수 있어 가장 이상적인 결합방식이다.

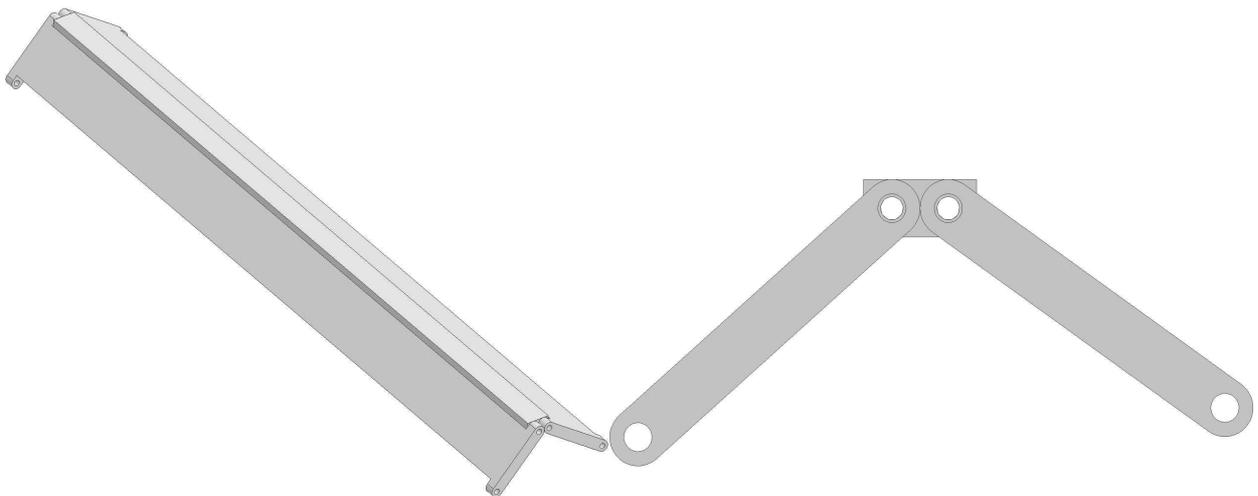


Fig. 15 A conceptual diagram of hinged Folding plates

Fig. 16은 힌지형 결합방식으로 결합된 일정한 두께 t 를 가진 직육면체 폴딩 판재 A, B, C의 단면을 나타낸 그림이다. 판재 C를 중심으로 양쪽에 위치한 판재 A와 B가 각각 회전중심 O_a , O_b 를 기준으로 회전한다. 이때, 판재 A와 B사이의 거리 T의 최솟값 T-min은 판재 A와 B가 이루는 각이 90° 이고 각각 C와 이루는 각이 45° 일 때 발생하며, T-min이 0이 되기 위해선 꼭짓점 a와 b가 일치 해야한다. O_a , O_b 는 각 판재의 세 모서리에 접하는 지름이 t 인 원의 중심이라 하고, O_a , O_b , a, b가 일직선상에 놓여있다고 하면 O_a 와 O_b 사이의 거리는 $t\sqrt{2}$ 이고 T-max는 $t\sqrt{2}-t$ 이다.

T-max가 0이 되기 위해선 판재 A와 B가 평행할 때 꼭짓점 a와 b가 일치해야 한다. 하지만 이때 O_a 와 O_b 사이의 거리는 t 로 T-min에서의 O_a 와 O_b 사이의 거리인 $t\sqrt{2}$ 보다 작으므로 모순이 생긴다. 하지만

꼭짓점 a와 b를 호 Ra와 Rb위의 한 점으로 가정하고 Ra와 Rb가 서로 접하면 Oa와 Ob 사이의 거리는 항상 t로 일정하다. 따라서 T는 항상 0이다.

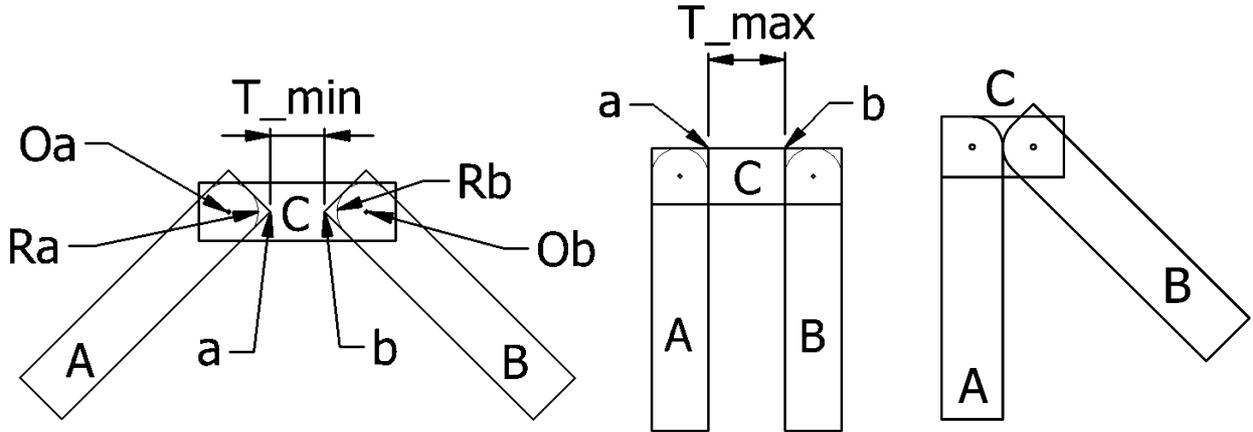


Fig. 16 Defined variables

이를 만족하기 위해 Fig. 17과 같은 한쪽 모서리가 둥근 폴딩 판재를 설계했다. 폴딩 판재가 접히는 방향을 제어하기 위해 접히는 방향의 반대방향 모서리는 가공을 하지 않도록 했다. 또한 판재의 회전중심에 핀을 박아 판재 C와 판재 A, B가 결합되도록 했다.

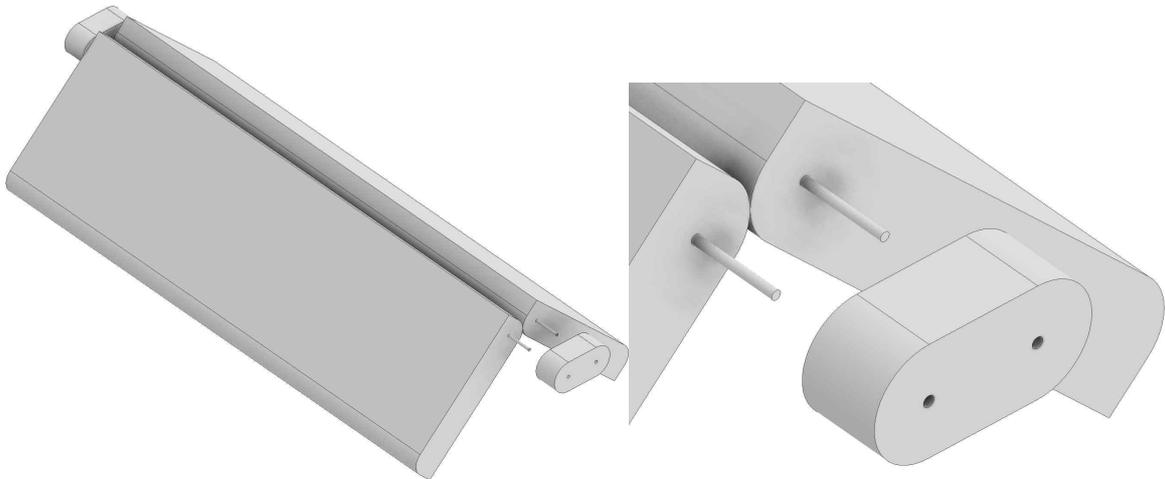


Fig. 17 Schematic diagram of Folding Structure

해당 설계를 통해 동일한 치수를 가진 폴딩판의 압축률을 63.42%에서 81.42%로 개선할 수 있었다.

2.6.3 자동화 알고리즘 구현

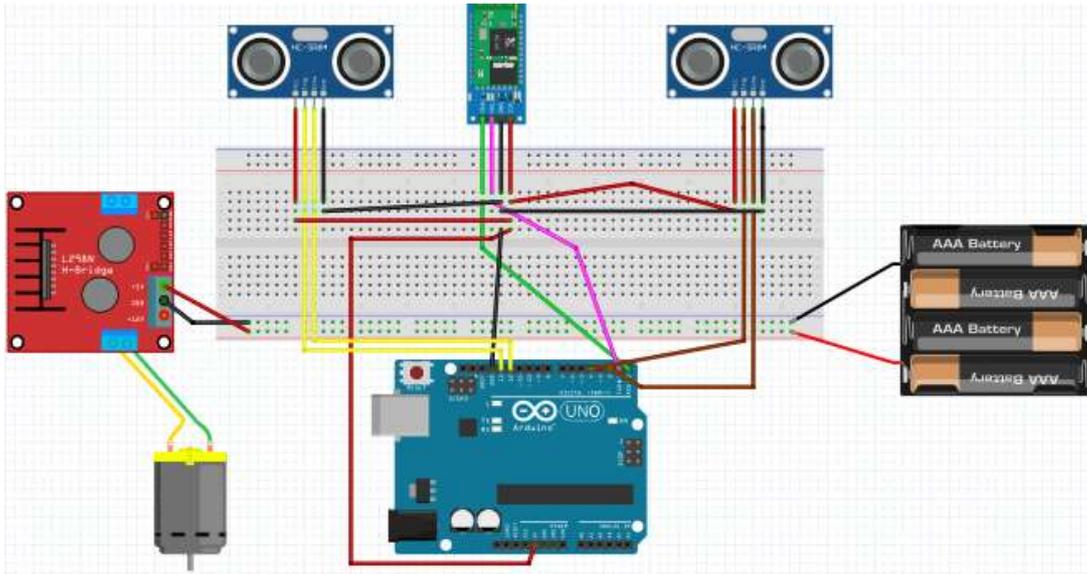


Fig. 18 A schematic diagram of a circuit

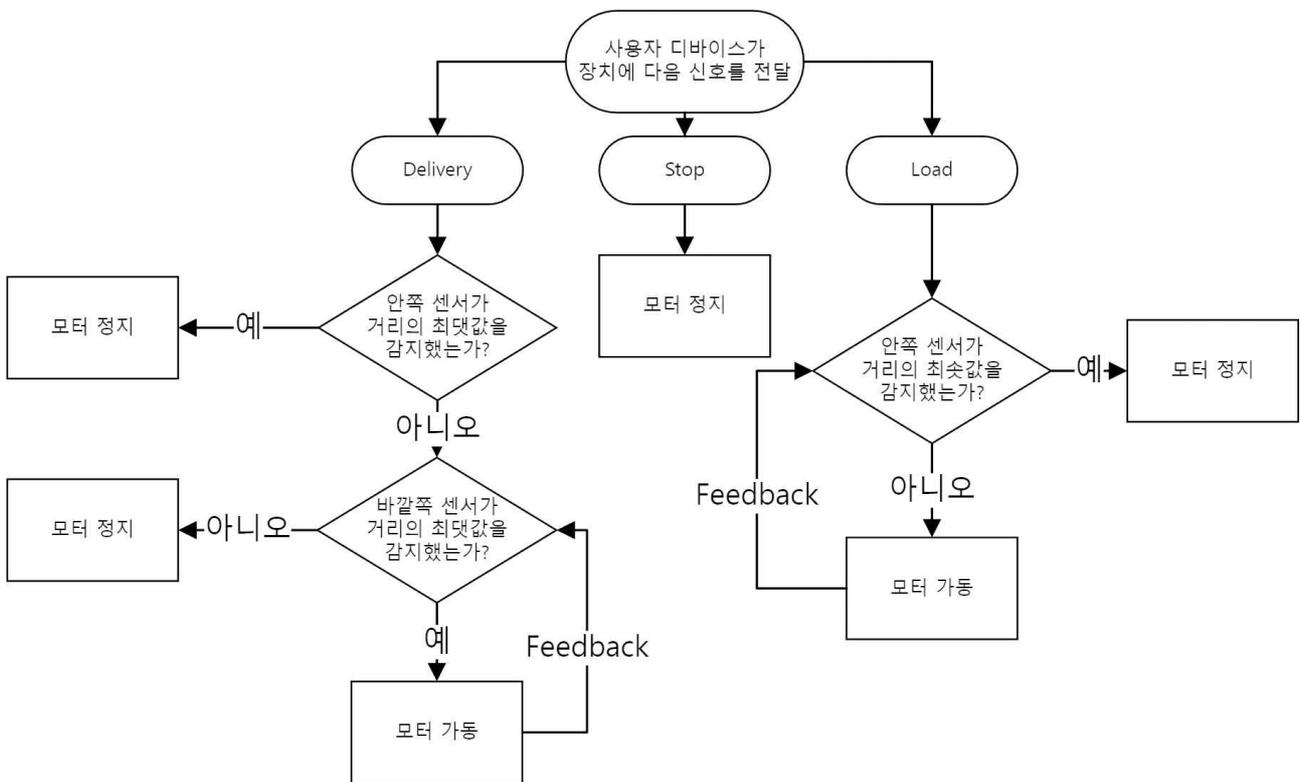


Fig. 19 Logic diagram for automation

자동화를 구현하기 위해 앞의 Fig. 18에 묘사된 센서로 HC-SR04 초음파 센서를 채택하였다. 초음파 센서는 센서에서 발생시킨 초음파가 물체에 반사돼 돌아오는 시간을 통해 거리를 측정하는 센서이다.⁽¹⁷⁾ 이는 간단한 프로그래밍을 통해 거리를 측정할 수 있다는 장점이 있다.

Fig. 18은 간단한 아두이노 회로도를 작성할 수 있는 오픈 소스 프로그램인 Fritzing을 통해 구상한 장치 회로도이다. 2개의 초음파 센서, 1개의 블루투스 모듈과 DC모터가 있으며 모터와 센서를 구동하기

위한 제어장치로 구성하였다. 회로도에 실제 채택한 모터와 배터리를 적용하면 실제 장치 구성이 된다.

Fig. 19는 자동화 논리회로도를 나타낸다. 디바이스를 통해 3가지 신호를 받으면 장치가 정해진 기능을 수행한다. 제작 편의성을 고려해 해당 디바이스는 사용자의 스마트폰 애플리케이션을 활용하며, 장치와 블루투스 연결을 통해 3가지 신호를 전달한다. 장치에 수신된 신호에 따라 모터를 정회전, 역회전, 정지해 장치를 구동한다. 애플리케이션은 블록을 활용해 안드로이드 운영체제용 소프트웨어를 쉽게 만들 수 있는 프로그램인 앱 인벤터를 통해 Fig. 20과 같이 제작한다.

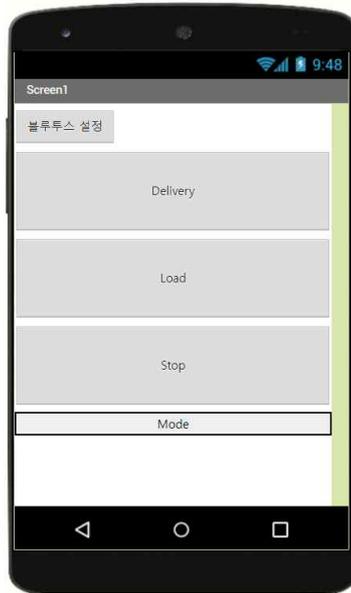


Fig. 20 Application UI

2.6.4 시제품 설계

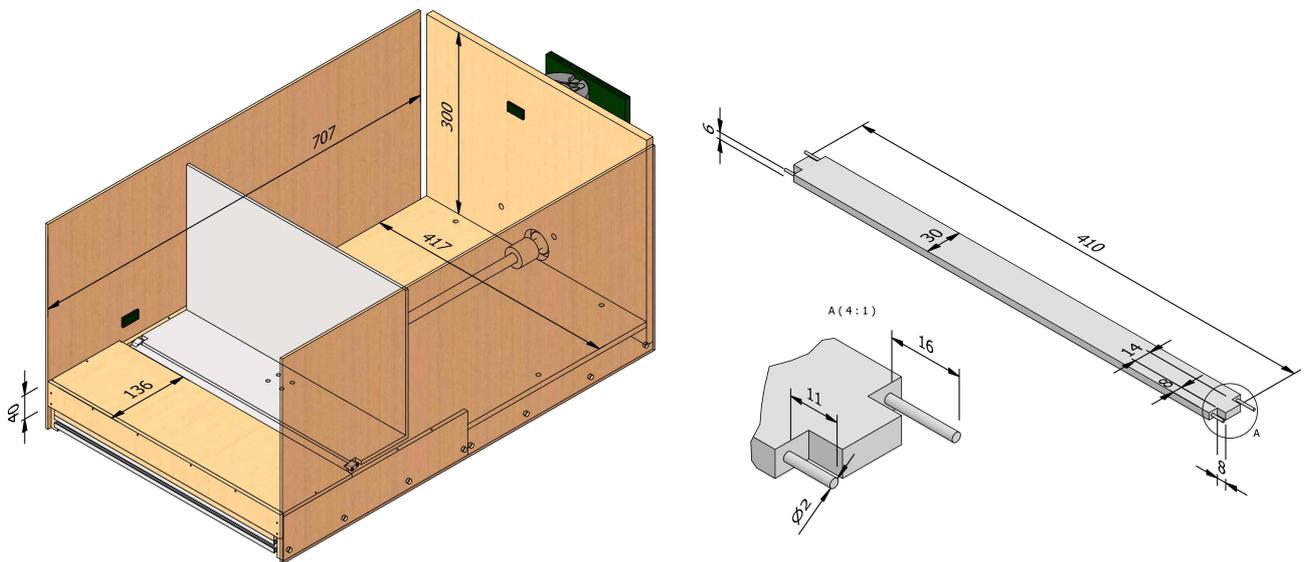


Fig. 21 Dimension of a prototype

장치가 설계 의도에 부합하는지 알아보기 위해 1/16 Scale의 시제품을 제작한다. 시제품의 주요 치수를 Fig. 21에 나타냈다. 리드 스크루의 개수와 모터의 사양도 축소하여 시제품의 신뢰도를 높인다. 시제품에 사용된 모터의 사양은 다음과 같다.

Table. 10 Adjusted motor Specifications

모터 사양						감속기 결합시			수량
Output (W)	Voltage (V)	Weight (kg)	Rated			Gear Ratio	Rated		
			rpm	Torque (N·m)	Current (A)		rpm	Torque (N·m)	
40	12	4.26	3000	0.13	6.1	1:20	150	1.89	1

3. 결과 및 토의

3.1 시제품 형상

Fig. 22는 설계를 통해 제작한 시제품이다. Fig. 23은 폴딩 판재를 연결하는 힌지의 모습이다. 제작 오차로 인해 T와 Z가 설계 수치보다 커졌다.



Fig. 22 Image of a prototype



Fig. 23 Image of hinge

3.2 작동 방식

- 1) 차량의 시동을 건다.
- 2) 각 초음파센서가 화물의 유무와 장치의 위치를 감지한다.
- 3) 감지 결과를 토대로 장치가 어떤 모드로 동작할지 판단하여 스스로 작동한다. 하지만 장치 고장과 같

이 수동조작을 요하는 경우 근로자가 작동 모드를 설정할 수 있다.

4) 작동 모드는 다음과 같다.

4-1) Delivery 모드

a) 감지된 화물이 없고 장치의 위치가 최대가 아닐 때 장치를 적재함 바깥방향으로 가동한다.

4-2) Load 모드

a) 장치의 위치가 최소가 아닐 때까지 장치를 적재함 안쪽방향으로 가동한다.

4-3) Stop 모드

a) 장치가 즉시 정지한다.

5) 화물이 감지되거나 장치의 위치가 최대, 최소일 때 자동으로 정지한다.

3.3 시제품 성능평가

설계 제약조건을 달성했는지 파악하기 위해 성능평가를 진행했다. 평가는 성능실험과 기능실험으로 나누어 평가했다.

3.3.1 기능실험

기능실험에서는 장치가 설계 의도에 부합한 동작을 수행하는지 실험한다. 실험 방법은 다음과 같다.

① 장치의 전원을 처음 연결할 시 장치가 가동하지 않는지 관찰한다. 이때 장치는 폴드 구조 판재가 모두 퍼진 상태여야 한다.

② 애플리케이션을 통해 장치와 사용자의 스마트폰을 블루투스로 연결한다.

③ 장치에 임의의 화물을 불규칙적으로 배열한다.

④ 애플리케이션의 ‘Delivery’ 버튼을 눌러 장치가 화물을 앞으로 이송하는지 관찰한다.

⑤ 화물이 바깥쪽 센서 앞에 도달하면 장치가 이송을 중지하는지 관찰한다.

⑥ 바깥쪽 센서 앞의 화물을 제거하면 장치가 다시 이송을 시작하는지 관찰한다.

⑦ 모든 화물을 제거할 때까지 ⑤, ⑥을 반복한다.

⑧ 모든 화물이 제거되고 장치가 최대 이송 거리에 도달했을 때 가동을 중지하는지 관찰한다.

⑨ 애플리케이션의 ‘Load’ 버튼을 눌러 장치가 화물칸 안쪽으로 구동하는지 관찰한다.

⑩ 장치가 이송 시작 지점에 도달했을 때 구동을 중지하는지 관찰한다.

⑪ 장치가 구동 중일 때 애플리케이션의 ‘Stop’ 버튼을 눌러 장치가 그 즉시 정지하는지 관찰한다.

⑫ ⑪에서 장치의 정지가 확인되면 애플리케이션의 ‘Delivery’나 ‘Load’ 버튼을 눌러 장치가 이전에 수행 중이던 작업을 이어서 수행하도록 한다.

실험 결과 Delivery, Load, Stop Mode 모두 원활하게 작동하는 것을 확인했다. 하지만 초음파 센서의 측정 오차로 인해 장치가 오작동하는 경우가 발생했다. 따라서 초음파 센서가 아닌 다른 정확도가 높은 센서를 장착해야 하며, 센서의 장착 위치를 변경해 최대 이송 거리와 이송 시작 지점을 변경하여 장치의 구동 범위를 설정해야 한다.

3.3.2 성능실험

성능실험에서는 장치의 동력원인 모터가 목표 하중을 가진 화물을 운반할 수 있는지 실험한다. 실험 방법은 다음과 같다.

① 장치에 화물을 실지 않은 무부하 상태일 때 장치의 이송 속도를 측정한다.

② 장치에 무게추를 올려 무게별 장치의 이송 속도를 측정한다.

③ 장치의 속도가 무부하 상태의 10% 이하로 감소하거나 더이상 무게추를 올릴 수 없으면 실험을 종료한다.

Table. 11 Performance experiment results

하중(kg)	이송 속도(mm/s)
0	10
15	10
30	10
40	10
62.5	10
100	10
200	9.5

실험 결과 장치의 최대 적재 하중으로 설계한 62.5kg의 하중을 무리 없이 버텼으며, 리드 스크루와 너트 사이의 마모 또한 발생하지 않았다. 무부하 시 장치의 실제 이송 속도는 이론적 배경의 식 (11)을 통해 계산한 값과 동일한 10mm/s였으며 최대 적재 하중인 62.5kg을 무부하 시 이송 속도와 동일한 속도로 이송하였다.

200kg의 무게추를 사용했을 때 장치의 이송 속도가 감소했지만, 그 수치가 미미해 측정 오차로 추정된다. 실험에 사용한 모터 사양을 이론적 배경의 식 (1) ~ (9)에 대입한 결과 최대 600kg의 하중을 이송할 수 있다고 분석했지만, 무게추를 구하지 못해 검증하지 못했다.

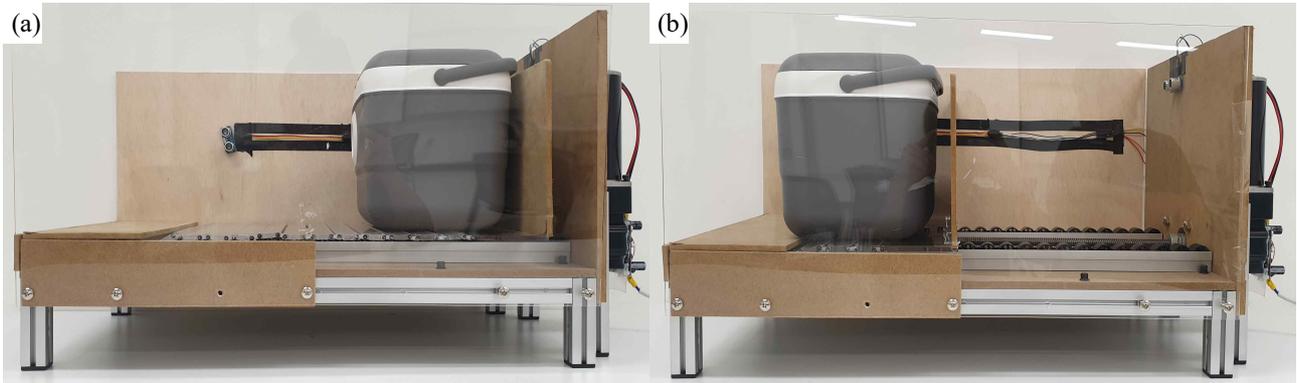


Fig. 24 (a) Before, (b) After device activated



Fig. 25 Dead weight

3.4 설계 결과물의 장단점

1. 장치의 핵심부품인 폴딩 구조 판재는 단순한 형상의 판재를 대량으로 결합하는 방식이기 때문에 단순 치수변경, 부품 파손 시 유지보수에 유리하며, 레이저 커팅과 같이 가공단가가 비쌌던 시제품 제작 시 보다 더 저렴한 주물제작과 같은 가공방식을 통해 단가를 낮출 수 있다.
2. 모터를 제외한 장치의 최대높이는 40mm이므로 적재함 공간효율 또한 높다. 작업대의 너비를 성인 평균 팔길이인 48cm 이내로 설계해 적재함에 올라가지 않아도 화물을 꺼낼 수 있도록 했다.

3.5 기대효과

낮은 단가, 유지보수 용이성, 높은 공간효율을 통해 자동 수화물 이송장치에 대한 접근성을 낮춰 장치 도입률을 높이고, 장치와 택배 근로자 사이의 효율적인 업무분배를 통해 택배 근로자의 업무강도를 줄이고 업무효율을 높인다. 궁극적으로 택배 시장의 성장세에 미치지 못하는 근로자의 업무환경 개선에 도움을 준다.

4. 결 론

본 설계에서는 택배 근로자의 업무효율을 개선하고 업무강도를 줄이기 위해 택배 운송차량 내부에 설치되는 화물 운송 보조 장치를 설계했다. 선행 특허를 분석해 부피의 최소화, 자동 운행, 간편한 유지보수를 설계 제약조건으로 설정했다. 본 설계를 통해 제작한 폴딩 구조를 통해 설계 제약조건을 만족시킬 수 있었으며, 기능과 내구성의 문제가 없음을 확인했다. 상세 내용은 다음과 같다.

1) 모터와 초음파센서를 통해 화물을 적재함 출구까지 자동으로 이송하도록 했으며, 이 과정은 택배 근로자가 차량을 운전중일 때 이루어져 근로 시간을 절약할 수 있다.

2) 마찰로 인한 화물의 파손을 방지하기 위해 적재함 바닥을 이루는 장치 상단부를 움직이도록 했으며, 장치가 적재함 밖으로 돌출되지 않도록 폴딩 구조를 이용해 적재함 출구에 적재되도록 했다.

3) 적재된 폴딩 판재의 부피를 최소화하기 위해 경첩을 이용한 결합방식에서 ‘폴더블 스마트폰’과 같은 힌지 구조를 적용했으며, 설계변경을 통해 압축률을 63.42%에서 81.42%로 18%p 개선했다.

4) 1/16 스케일의 시제품을 통해 장치의 메커니즘에 문제가 없음을 확인하였고, 최대 200kg의 화물을 10mm/s의 속력으로 운반할 수 있음을 확인했다.

본 장치의 완성도를 높여 실제 택배 차량에 적용한다면 택배 근로자의 업무 환경을 개선하고 배송 효율을 높일 수 있을 것으로 기대된다. 또한, 택배 업무뿐만 아니라 다양한 화물 이송 분야에서 활용될 것으로 예상된다.

후 기

이번 "제12회 전국학생설계경진대회"에 참여할 기회를 주셔서 감사합니다. 프로젝트를 진행하며 기계공학도가 하는 일이 어떤 일인지 다시 한번 느끼게 되었습니다. 문제 해결을 위해 현상을 관측하고 그로부터 문제를 찾아 나가는 과정에서 예산 집행, 시행착오, 제작을 고려한 설계, 팀워크 등 공주대학교가 주는 배움이 무엇인지 생각할 수 있었으며, 즐거웠습니다. 조언과 격려로 아낌없이 도움을 주신 공주대학교 기계자동차공학부 김범주 지도교수님께 감사의 말씀을 전합니다. 또한 제작에 많은 도움을 주신 분들께도 감사드립니다. 끝으로 본팀의 아이디어가 택배기사님들의 배송 효율 증대와 건강한 생업을 보조하는 데 작은 도움이 되기를 바랍니다.

참고문헌

- (1) KyuSik Bae, 2020, "Courier and delivery labor increased due to COVID-19", Monthly Transportation, Vol. 269, pp. 80-81.
- (2) "Delivery volume trend", National Logistics Integrated Information Center. Accessed : June 10, 2022, <https://www.nlic.go.kr/nlic/parcelServiceLogistics.action>
- (3) "Searching for transportation class 2021", National Statistical Office, Accessed: June 11, 2022, https://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=101&tblId=DT_1I100001&vw_cd=MT_ZTITLE&list_id=I11_I10&scrid=&seqNo=&lang_mode=ko&obj_var_id=&itm_id=&conn_path=K2&path=%252Fcommon%252Fmeta_onedepth.jsp.
- (4) SeWoong Jeon. JungHoon Hwang, 2020, "Trends in research on logistics robot technology for the non-face-to-face era", the Journal of the Korean Society of Telecommunications, Vol. 18, No. 2, pp. 18~23.
- (5) Seok Lee. SooMin Han. JongWoon Won, 2020, "Efficiency analysis of the introduction of a cargo disembarkation robot in a delivery logistics terminal", the Korean Society of Logistics, Vol. 28, No. 6, pp. 1~11.
- (6) Jinha Kim. MinYoung Kim, 2021, "The problem of working environment of courier and improvement plan", Seoul Research Institute Policy Report, Vol. 319, pp. 1~24.
- (7) Young Bae Kim, "Small package in-out apparatus for delivery vehicle", 1022909170000, filed May 17, 2021, and issued August 11, 2021.
- (8) Revance Co., Ltd, "A goods transferring apparatus for the freight car", 2003279160000, filed June 28, 2003, and issued September 16, 2003.
- (9) James M. Gere. Barry J. Goodno, 2017, "Mechanics of materials", Vol. 9, pp. 446~448.
- (10) "To select a lead screw motor", MC Tech, last modified (n.d.). Accessed: April 1, 2022, http://mc-t.co.kr/?page_id=36.
- (11) "Lead Screw Inertial Moment Formula", MC Tech, last modified (n.d.), Accessed: April 1, 2022, http://mc-t.co.kr/?page_id=59.
- (12) "moment of inertia", openstax CNX, last modified (n.d.), Accessed: April 5, 2022, <https://cnx.org/contents/8Sxud5NB@1.13:PHHFYWIM@6/Moment-of-Inertia>.
- (13) Kripa K. Varanasi. Samir A. Nayfeh, 2004, "The Dynamics of Lead-Screw Drives: Low-Order Modeling and Experiments", J. Dyn. Sys. Meas, Control, Vol. 126, No. 2, pp. 388-396.
- (14) "Porter II specifications", Hyundai Motor Company, last modified (n.d.), Accessed: August 20, 2021, <https://www.hyundai.com/kr/ko/e/vehicles/porter2-special/spec>.
- (15) Tae won Jang. HyungRyul Kim. JinHa Yoon. ChungWon Kang. YooMin Lee. JiHee Min, 2021, A Study on the Proper Working Hours of Courier, Institute of Occupational Safety and Health, Korea, pp. 42~60.
- (16) "TOYO Japan Slip Screw", dukitec. TM SCREW, last modified (n.d.). Accessed: April 1, 2022, <http://www.dukitec.co.kr/pdf/Duki%20TM%20screw.pdf>.
- (17) HyungChul Lim. SungSoo Lee, 2021, "How to eliminate signal interference between ultrasonic sensors", the Electrical and Electronic Society of Korea, Vol25, No.4, pp. 584 ~ 590.
- (18) "Motor Selection Request", In-Ariental Motor, last modified (n.d.), accessed: June 15, 2022, <https://www.inaom.co.kr/support/motor.do>.

부록

1. 모터 토크 비교 (사양 비교)⁽¹⁸⁾

항목	입력 값
Work 총 무게(Belt 포함)	64kg
구동 Belt 총 길이	707mm
접동면 마찰 계수	0.1
구동 Pulley 직경	40mm
구동 Pulley 두께(폭)	416mm
구동 Pulley 효율 (보통 0.9)	0.9
구동 Pulley 재질	STAINESS
Pulley 수	1개

a: 컨베이어 벨트 모터 토크 계산 입력 값

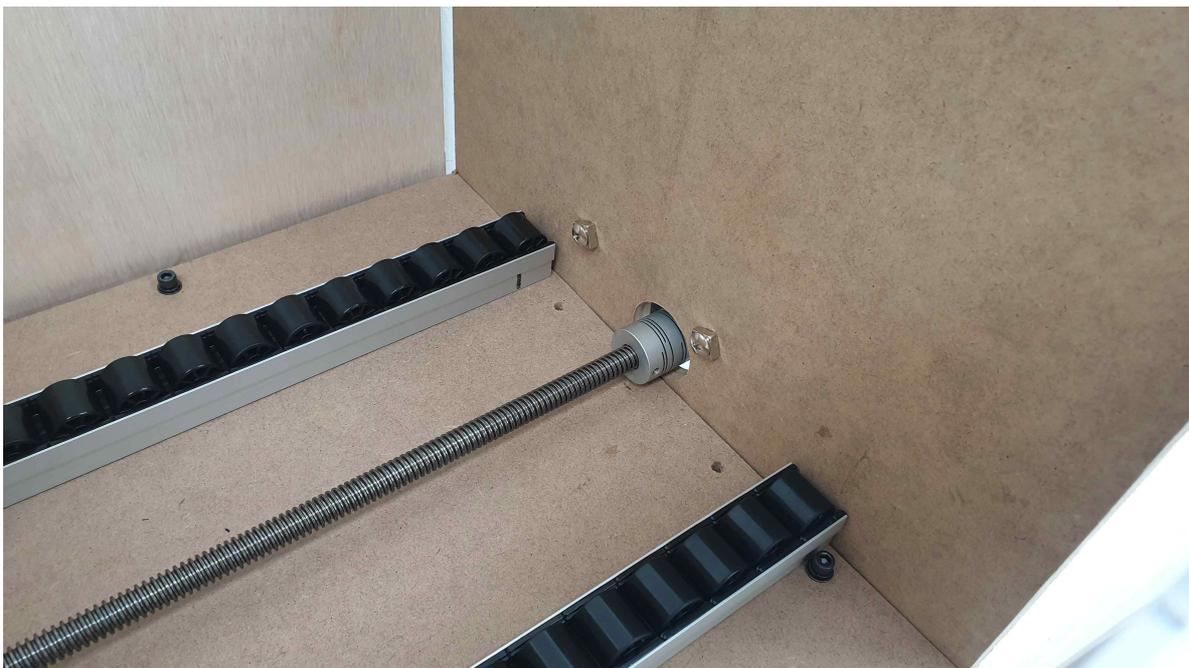
항목	입력 값
Work 총 무게 (Table 포함)	64kg
Guide 마찰 계수 (보통 0.04)	0.04
Screw 직경	12.5mm
Screw 전체 길이	500mm
Screw Pitch	3mm/rev
Screw 효율	0.205

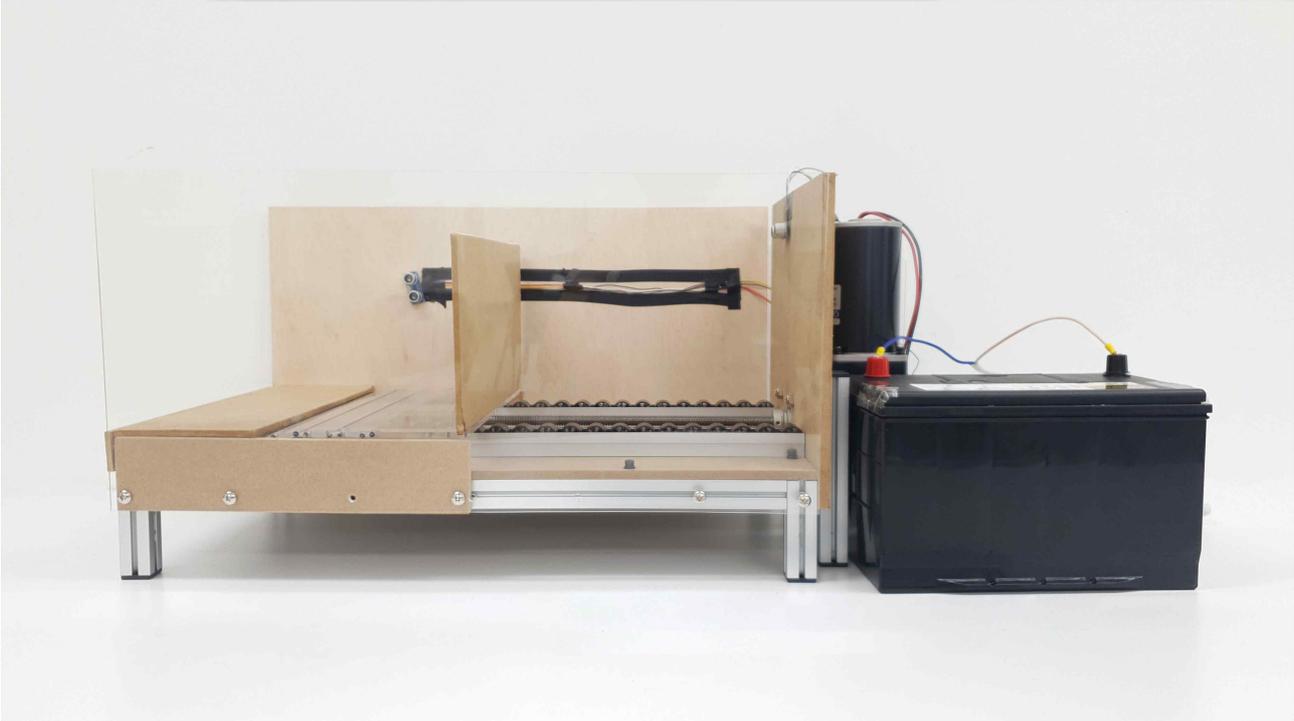
b: 리드 스크루 모터 토크 계산 입력 값

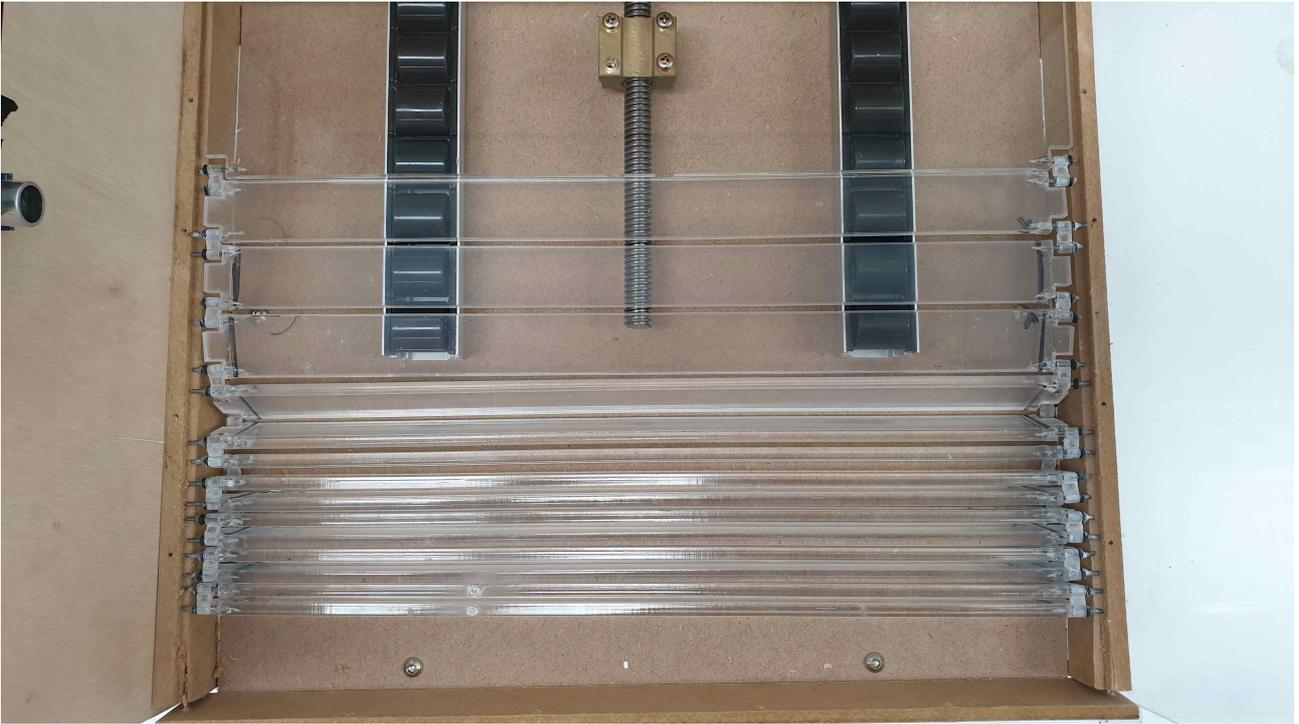
항목	컨베이어 벨트	리드 스크루
부하TORQUE (안전율 2배)	28.4 kgcm	1.218 kgcm
전관성 MOMENT	264.36 kgcm ²	0.146 kgcm ²

c: 토크 비교

2. Prototype photograph And Spec sheet







폴딩 구조 1칸 길이	30mm	펴진 폴드판 총 길이	480mm
너트 체결부	60mm	접힌 폴드판 총 길이	210mm
폴딩 구조 칸 개수	14개	수납부 판재 받침	34mm
판재 두께	6mm	압축부 판재 받침	28mm
접힌 결합부 빈공간	3mm	장치 높이	40mm
접힌 결합부 개수	12개	압축률	0.5625
작업대 길이	197mm	최대 적재 하중	62.5kg
장치 크기(폭*너비*높이)	417*707*40(mm)	이송 속도	10mm/s
장치 무게	5.1kg		