

# 대한기계학회 주최

## 제71회 전국학생설계경진대회(2021년)

# 설계 최종 보고서

참가부	대학부 ( o )				
참가분야	공모주제 ( ) / 자유주제 ( o )				
참가팀명	Hedwig				
설계제목	택배 기사의 업무 과중 해소를 위한 상하차 및 배송 보조 장비				
지도교수/교사	(소속)홍익대학교 (성명)임현준				
대표자 (신청인)	성명	소속	연락처 (휴대폰)	E-mail	주소
	차진훈	홍익대학교 기계시스템디자인공학과			

## 참가팀원 인적사항

NO	성명	소속 / 학년	E-MAIL
1	차진훈	홍익대학교 기계시스템디자인공학과/4학년	
2	정희철	홍익대학교 기계시스템디자인공학과/4학년	
3	곽유빈	홍익대학교 기계시스템디자인공학과/4학년	
4	윤하정	홍익대학교 기계시스템디자인공학과/4학년	
5			
6			

# 설계 요약문

<b>참가분야</b>	<b>공모주제 ( ) / 자유주제 ( o )</b>
<b>참가팀명</b>	Hedwig
<b>설계제목</b>	택배 기사의 업무 과중 해소를 위한 상하차 및 배송 보조 장비
<b>대표자명</b>	차진훈
<b>요약문</b>	<p>온라인 쇼핑의 증가세와 택배 물동량의 급증, 그에 반하는 택배 단가의 감소로 인한 택배 기사의 업무 과중이 극심해지고 있다. VOC 조사 결과, 배송 과정에서 탑차에 오르내리는 것과 탑차 내부를 수회 정리해야 하는 것이 가장 고된 일이었다. 이에 따라 배송 업무의 효율을 높이면서 업무 과중을 줄일 수 있는 상하차 및 배송 보조 장비를 설계했다.</p> <div style="text-align: center;">  </div> <p>좌우가 나누어진 I-Beam 형태의 구동부에 배달물을 적재하도록 하여 배송지를 구분하며 정리할 수 있게 했다. 또한 판재와 체결된 볼스크류를 구동부 손잡이로 돌리면 배달물이 적재함 문 앞으로 이송되어 적재함에 오르지 않고 배달물을 꺼낼 수 있다. 구동부 손잡이는 사용하지 않을 시 분리하도록 하여 적재함 공간 활용을 최대화했다.</p> <p>지지부는 토글 구조를 이용한 다리로 되어 있어 배달물을 적재한 후 탑차에 실을 때 손잡이를 당겨 접을 수 있다. 지지부의 앞쪽에는 의도하지 않게 다리가 접히는 사고를 방지하기 위한 안전 장치가 존재하여 탑차에 적재하는 상황에서만 다리가 접히도록 했다.</p> <p>배달물을 이송하는 데 필요한 구동 토크를 계산하여 볼스크류를 선정했고, 인간공학적 분석을 통하여 구동부 손잡이의 치수를 결정했다. 다리 프레임의 파이프 두께, 볼스크류와 배달물을 지탱하도록 하기 위해 구동부의 공간을 채운 허니콤 구조, 판재와 볼스크류를 체결하는 브라켓을 설계하기 위해 구조 해석 결과를 적용했다. 또한 장비의 무게 중심을 검증하여 안정성을 확보했다.</p>

# 택배 기사의 업무 과중 해소를 위한 상하차 및 배송 보조 장치

차진훈 · 곽유빈 · 윤하정 · 정희철 · 임현준<sup>†</sup>  
홍익대학교 기계시스템디자인공학과

## a loading and unloading aid to improve the overlabored work of delivery men

Jin-Hoon Cha, Yoo-Bin Kwak, Ha-Jeong Yoon, Hee-Chul Jeong, Hyun-June Yim<sup>†</sup>

\* Department of Mechanical and System Design Engineering, Hongik University,

(Received June 25, 2021 ; Revised June 25, 2021 ; Accepted June 25, 2021)

**Key Words:** Delivery industry(택배 산업), Stress analysis(응력 해석), Finite element method(유한 요소법), Toggle(토글), Ball screw(볼스크류), NIOSH(미국 국립 직업안전위생연구소), Link(링크), Ergonomics(인간공학)

**초록:** 지속적인 택배 물동량 증가에도 불구하고 택배 단가는 낮아지고 있다. 이에 따라 택배기사들의 근무 강도가 높아졌다. 택배기사의 애로사항을 VOC(Voice Of Customers) 수집을 통해 직접 듣고 택배 시스템을 개선하기 위한 구조물을 설계했다. 구조물에 배달물을 적재한 후 탑차에 일괄적으로 실을 수 있다. 배송지에서는 볼스크류에 체결된 금속 판재로 배달물을 탑차 문 앞까지 밀어주어서 탑차에 올라가지 않고 배송이 가능하다. NIOSH equation을 이용해 인간공학적 관점에서 구조물의 작동이 근무자에게 과도한 작업 부하를 일으키지 않는다는 것을 확인했다. 유한요소법을 이용하여 응력 해석을 진행하고 구조물의 안전계수를 확인했다

**Abstract:** We designed a structure to improve the courier system by listening to Voice Of Customers. It can be loaded into the truck cargo room after loading the courier boxes into the structure. Because metal plates fastened to ball screws push the box to the front of the truck door so couriers don't need to get in the cargo room. Using NIOSH Equation, we confirmed that the operation of the structure does not cause heavy workload for workers. Stress analysis was carried out using the Finite Element Method and the structure was proved to be safe.

## 1. 서 론

한국통합물류협회에서 실시한 조사에 따르면 우리나라의 택배 이용횟수는 2000년 이후로 꾸준히 증가해 왔다. 택배 시장 매출액과 더불어 택배 물동량이 꾸준히 증가하는 반면에 택배 단가는 계속해서 낮아져 왔다. 택배기사는 개인사업자로서 건수에 따라 수수료를 받기 때문에 택배 단가의 하락은 택배기사의 소득, 근무시간에 직접적인 영향을 미친다. 배송단가의 하락에도 불구하고 기존 소득을 유지하기 위해 이전보다 많은 물량을 처리해야 하기 때문에 업무시간이 늘어나고 있다. 또한 처리해야 하는 물량의 증가에도 신속한 업무처리를 요구하기에 교통사고 등의 재해 위험이 높고, 장시간 근로 및 신체적으로 무리한 작업이나 반복적인 수작업으로 인한 건강상의 장애를 야기하는 등 근무환경이 열악하다.<sup>(1)</sup> “배송 물량의 증가에 비해 낮아진 수수료로 인해 택배기사는 장시간 근로에 유인될 수 밖에 없으며 결국 2020년에 택배 노동자 15명이 사망하는 부정적인 결과를 초래하였다.”(백희정, 전용일 - 산업보전, 2021)<sup>(2)</sup>

<sup>†</sup> Corresponding Author, hjyim@hongik.ac.kr

© 2021 The Korean Society of Mechanical Engineers

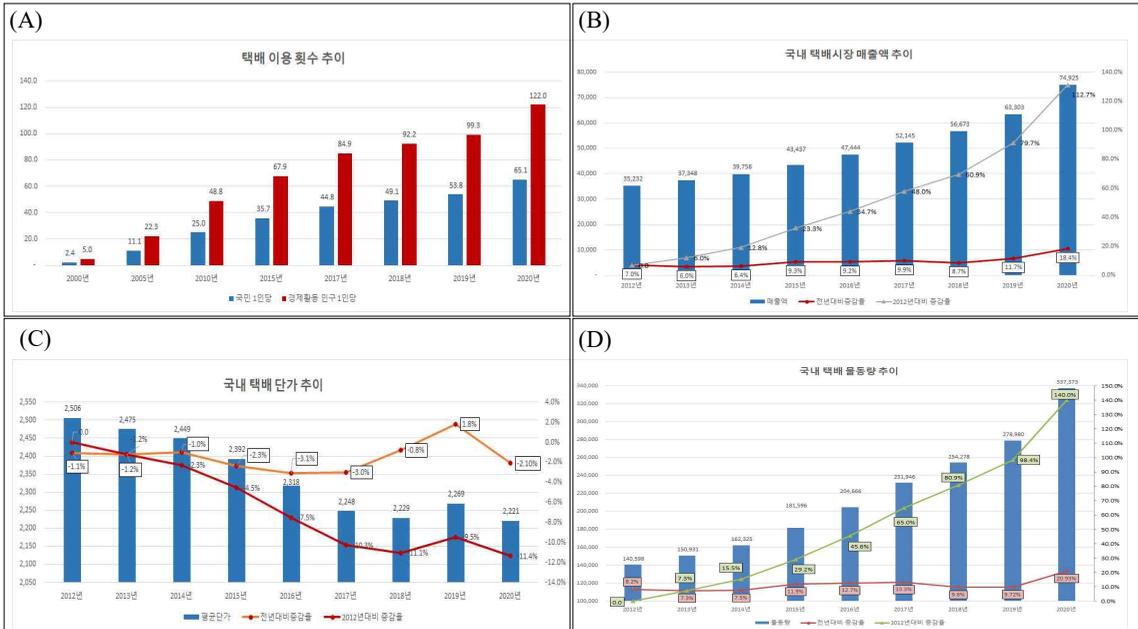


Fig. 1 (A) Trends in the number of times of courier use, (B) Sales trends in domestic courier market, (C) Trends in courier unit price, (D) Trends in domestic courier traffic.<sup>(3)</sup>

많은 육체 노동을 필요로 하는 업무 특성상 택배기사들은 많은 애로사항이 있다. 일부 업체에서 택배 탐차 시스템 개선을 하고 있으나, 효과가 미비할 뿐만 아니라 근본적인 문제를 해결하지 못하고 있다. 따라서 본 설계에서는 전반적인 택배 시스템 개선을 위한 구조물 개발을 목표로 한다.

## 2. 문제 정의

### 2.1. 설계 문제 정의 및 요구 조건

#### 2.1.1 설계 문제 정의

정확한 문제 정의를 위해 현직 택배 기사들의 애로사항을 직접 듣고자 네이버의 ‘택배 기사 소통카페’에 설문지를 배포했다. 그 결과 배송 업무 중 가장 힘든 일은 상하차 시에 배달물 적재를 위해 탐차에 수직 회 오르내리는 것, 배송 중 탐차 내부를 여러 번 정리해야 하는 것이다.

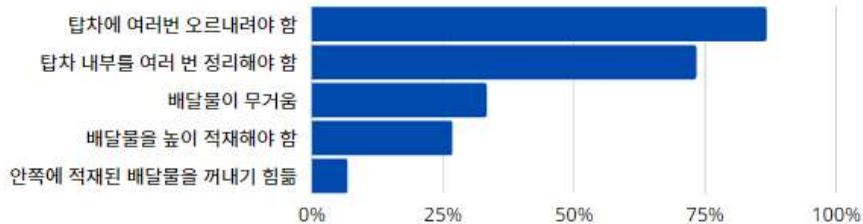


Fig. 2 Summary of Voice of Customers

이처럼 VOC 수집을 통해 ‘배달물 상하차 동선의 간소화’와 ‘배송 업무의 단순화를 통한 효율 증대’를 중심으로 문제를 정의하고 개선하고자 했다.

### 2.1.2 설계 요구 조건

본 설계의 궁극적인 목표는 상하차 및 배송의 전반적인 과정을 개선할 수 있는 보조 장비를 통해 택배 기사의 업무 강도를 완화하고자 함이다. VOC를 기반으로 해당 장비가 필수적으로 충족시켜야 하는 조건을 다음과 같이 정했다.

#### (가) 업무 효율을 증대시킬 것

기존의 탑차에는 적재를 쉽게 하거나, 하차를 빠르게 할 수 있는 보조 장비가 장착되어 있지 않다. 본 설계를 통하여 보조 장비를 개발하여 택배 기사의 업무 효율을 증대하는 설계를 하고자 한다.

#### (나) 보조 장치가 추가되어도 충분한 적재량을 유지할 것

상하차를 돕는 보조 장비를 장착한 후에도 탑차 내부의 공간을 일정한 확보하여 배달물을 충분히 적재할 수 있는 설계를 하고자 한다.

#### (다) 불필요한 이동 동선을 줄일 것

배송을 위해 기존의 탑차를 이용하면 배달물을 적재하거나 내릴 때 탑차의 적재함에 여러 번 오르내려야 하는데 이를 개선하여 택배 기사의 불필요한 이동 동선을 줄일 수 있는 장비를 설계하고자 한다.

#### (라) 상하차 및 내부 정리가 용이할 것

상하차 시 탑차의 안쪽에 물건을 적재하거나 꺼내려고 하면 바깥쪽의 배달물을 모두 적재함에서 빼낸 후 해야 한다. 또한 터미널에서 택배를 상차할 때 배송지 순으로 정리하기 위해 배달물을 여러 번 정리해야 하는데 이를 개선할 수 있는 설계를 하고자 한다.

#### (마) 내부에 있는 배송 물품을 꺼내기 쉽게 할 것

손이 닿지 않는 곳에 적재된 배달물을 탑차에서 꺼낼 때 발판을 밟고 탑차에 올라가는 등 추가적인 행동이 필요하며, 이는 작업 부하로 이어진다. 이를 해결하기 위해 내부에 있는 배송 물품을 꺼내기 쉽게 하는 장비를 설계하고자 한다.

#### (바) 작동법이 간단할 것

작동법이 복잡한 장비는 신속함이 중요한 택배 배송에서 효율성이 떨어진다. 누가 이용하더라도 간단히 작동할 수 있는 장비를 설계하고자 한다.

#### (사) 탑차와 완벽하게 분리할 수 있을 것

장비를 탑차에서 분리한 후 터미널에서 배달물을 적재해 택배 배송의 상하차와 배송 과정의 분업화를 도모하고, 배송에 걸리는 시간을 단축하는 설계를 하고자 한다.

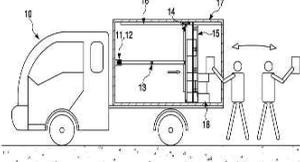
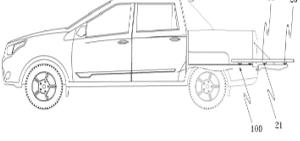
#### (아) 안전하게 사용 가능할 것

장비의 특성상 많은 배달물을 한 번에 싣고 이동해야 하므로 안전 사고를 방지할 수단이 필요하며 이를 고려한 설계를 하고자 한다.

### 2.2. 특허 및 기존 설계 분석

정의한 설계 문제와 관련 있는 특허를 분석했다.

**Table 1** Analysis of patents

이름	소화물 인-아웃 장치 <sup>(4)</sup>	화물용 상하차 장치 <sup>(5)</sup>
사진		
내용	택배 차량에 링크 구동장치를 연결하여 배달물을 쉽게 꺼낼 수 있도록 하는 장치	적재 유닛을 설치해 적재 공간 내로 들어가지 않고서도 상하차할 수 있도록 돕는 장치
한계점	상차 시에는 기존 탑차와 마찬가지로 적재함에 올라가서 배달물을 정리해야 함	장치가 밖으로 인출되기 때문에 공간을 많이 차지해 주차공간이 좁을 시 사용 불가능함

2.3 설계 제약 조건

본 설계는 (1) 트럭 제원, (2) 신체 치수에 대해 다음의 조건을 만족해야 한다.

2.3.1 트럭 제원

**Table 2** Data of Trucks

구분	최대적재량(kg)	차체 제원(mm)			적재실 제원(mm)		
		장	폭	고	장	폭	고
하이내장탑차 슈퍼캡	1,000	5,170	1,765	2,660	2,830	1,670	1,800

택배 업무에 가장 보편적으로 사용되는 탑차에 호환될 수 있도록 현대 포터의 제원을 참고했다. 위의 표에 있는 적재실 제원은 적재실 내부의 치수이며, 장비를 설계할 때 이 규격을 넘지 않도록 했다.

2.3.2 신체 치수

한국인 인체 치수 조사 홈페이지에 기재된 자료 중 택배 기사 비중이 가장 높은 30~49세 남성이 장비의 손잡이를 구동시키는데 적합한 높이를 선정하기 위해 굽힌팔꿈치높이 치수를 기준으로 손잡이의 높이를 선정했다.



**Fig. 3** Data of Arms<sup>(6)</sup>

### 3. 제품 설계

#### 3.1 전체 구조



Fig. 4 3D modeling - Overall structure

배달물의 배송지를 구분하여 쉽게 정리할 수 있도록 좌, 우 구역이 분리된 I-Beam 형태로 제작하고, 탑차와 완벽한 분리를 위해 네 다리와 바퀴를 이용해서 지지와 이동을 가능하게 했다. 다리 구조는 Emergency bed의 stretcher 구조에서 착안하였으며 토글 링크 구조를 통해 다리를 접어 탑차 내부에 적재할 수 있도록 했다.

#### 3.2 구동부

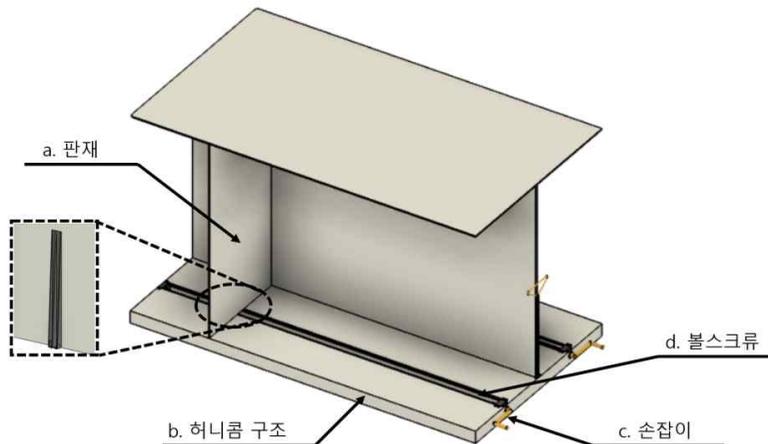


Fig. 5 3D modeling - Operation part

구동부는 택배 물품을 상차할 때, 실제로 택배 물품이 적재되는 부분이고, 배송 시에 손이 닿지 않는 적재함 안쪽에 있는 배달물을 꺼내기 위해 손잡이를 돌려 판재를 이동하여 배달물을 적재함 문 앞까지 밀어주는 역할을 하는 부분이다. I-beam 형태로 제작되어 배달물을 상차 할 때 배송지를 구분하여 쉽게 정리할 수 있다. 구동부의 뒤쪽에는 핀 지지 형태로 삼각형 모양의 손잡이가 장착되어 있다. 장비를 이동할 때 손잡이를 잡고 끌어 이동할 수 있다.

### 3.2.1 구동부 상세

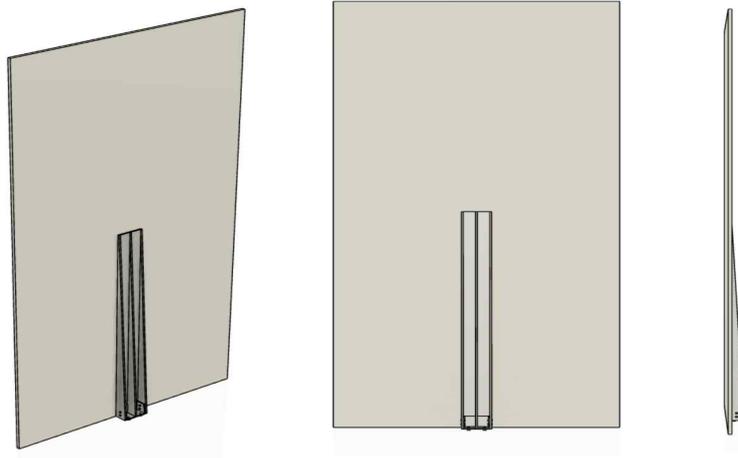


Fig. 6 3D modeling - Board

a. 판재 : 볼스크류의 너트 브라켓에 체결하여 배달물을 이송할 때 이용한다. 볼스크류를 작동함에 따라 장비의 길이 방향으로 이동한다. 판재와 너트 브라켓을 연결하는 브라켓에 삼각형 지지대가 있어 배달물의 하중을 버틸 수 있다.

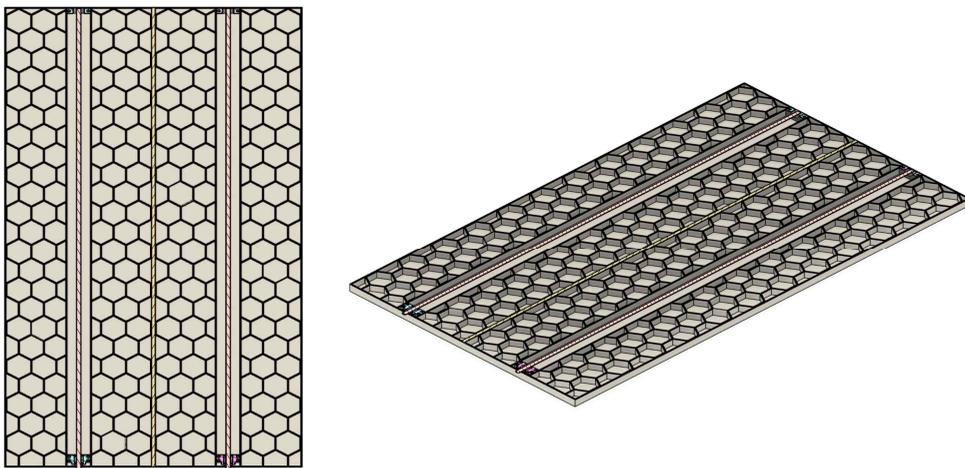


Fig. 7 3D modeling - Honeycomb structure

b. 허니콤 구조 : 볼스크류를 구동부에 장착하기 위해 판과 판 사이에 공간을 주었는데, 이 공간을 지

지대로 채워 배달물의 무게를 지탱할 수 있게 했다. 지지대는 허니콤 구조로 되어 있어 최소한의 재료로 높은 하중을 지지할 수 있으며, 압축 하중을 균형적으로 배분할 수 있다.

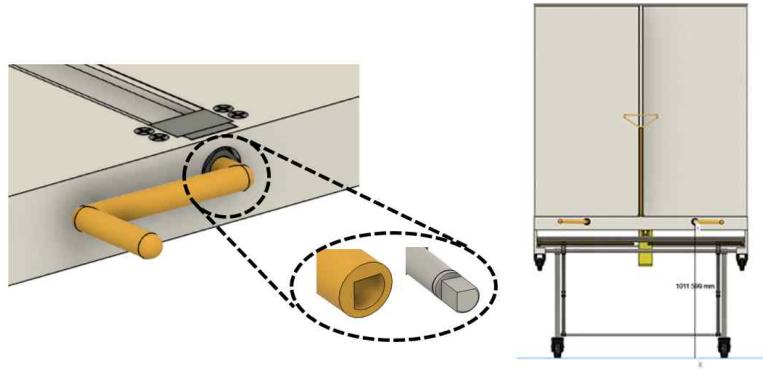


Fig. 8 3D modeling - Handle of the top part

c. 구동부 손잡이 : 볼스크류 축에 체결하여 볼스크류를 회전할 때 쓰인다. 사용하지 않을 때는 분리가 가능하여 적재함 공간 활용을 최대화할 수 있게 했다. 연결 부위에 평면취 가공을 하여 추가적인 조작 없이 손잡이를 탈착 가능하도록 했다. 인간 공학적 관점에서 적당한 힘으로 구동 토크를 가할 수 있도록 설계했고, 2.3.2 신체 치수 통계에 따라 구동부 손잡이 높이를 결정했다.

d. 볼스크류 : 택배 기사가 상차하지 않고도 탑차 내부의 택배 물품을 꺼낼 수 있도록 도와준다. 탑차 외부의 택배 기사가 볼스크류의 손잡이를 돌리면, 회전운동을 볼스크류에 연결된 너트 브라켓의 직선운동으로 바꾸고, 너트 브라켓에 체결된 칸막이가 탑차의 내부에서 문 쪽으로 움직이며 택배 물품을 밀어준다. 그 덕에 택배 기사는 탑차에 오르지 않고도 내부의 택배 물품을 하차할 수 있다.

### 3.3 지지부

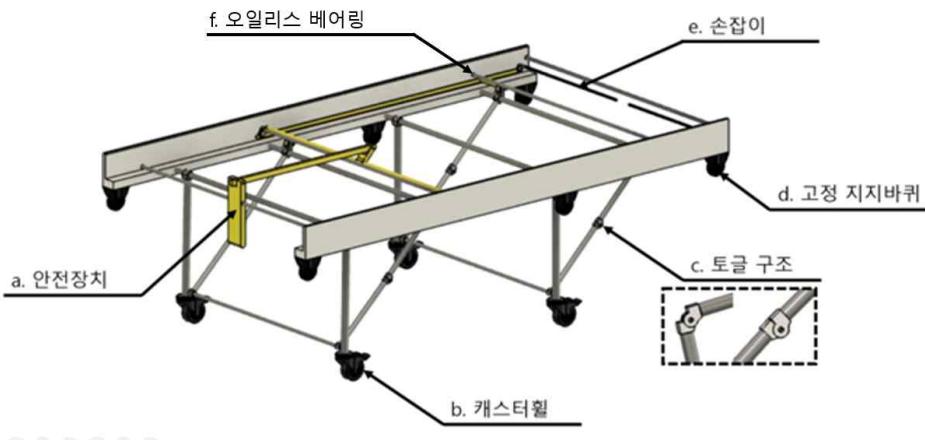


Fig. 9 3D modeling - Support part

지지부는 구동부와 구동부에 적재된 배달물을 지탱하고 탑차에 실을 때 접혀 안정적으로 적재되도록 하는 기능을 수행하기 위한 부분이다. 다리는 무게를 잘 지탱할 수 있는 안정적인 삼각형 구조로 되어 있고, 다리 중앙의 링크가 토글 조인트로 연결되어 있어 장비를 밀어 이동할 때 지지부가 접히는 것을 방지한다. 이 토글 조인트는 장비의 뒤쪽에 있는 손잡이를 당기면 접히도록 설계했다. 손잡이 링크는 축에 연결되어 있고 축에는 축과 함께 회전하는 보드가 있어 다리를 토글 반대 방향으로 밀어서 접힐 수 있게 한다. 장비를 탑차 안에 싣는 과정에 따라 앞쪽 다리를 접은 후 뒤쪽 다리를 접을 수 있도록 좌우 손잡이가 각각 앞쪽과 뒤쪽의 다리를 접을 수 있도록 했다.

지지부의 가장 앞쪽에는 차량에 장비를 적재할 때만 다리가 접히도록 하는 안전 장치가 설치되어 있어 의도하지 않은 때에 다리가 접히는 사고를 방지했다. 탑차에 장비를 실을 때 잠금 장치가 먼저 탑차에 닿아서 밀리면서 축의 회전을 막는 보드가 움직여 잠금이 해제된다.

### 3.3.1 지지부 상세

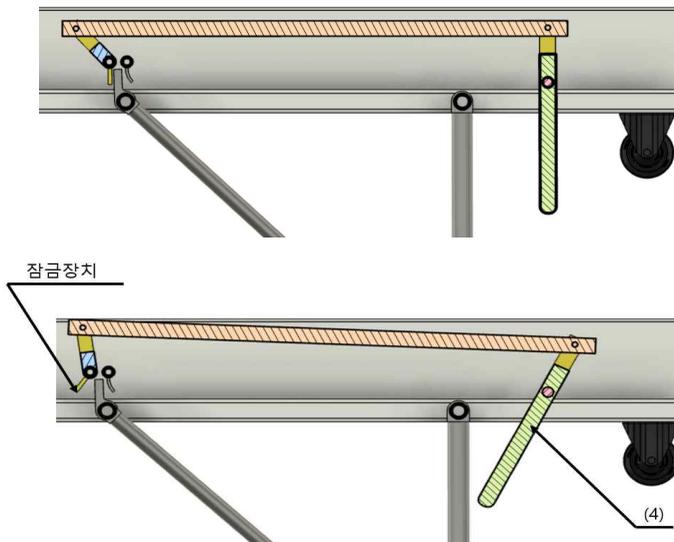
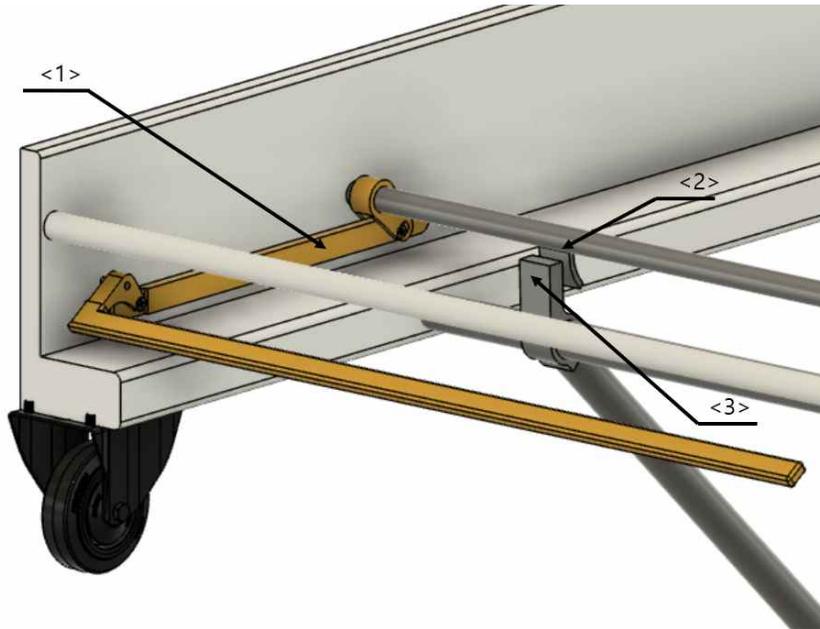


Fig. 10 3D modeling - Safety device

a. 안전 장치 : 장비는 볼스크류의 무게를 포함하여 배달물을 모두 적재했을 때, 무게가 상당할 것으로 예상된다. 손잡이로 다리를 접는 형식에서 실수로 인한 손잡이 작동, 다리 접힘은 안전사고를 유발할 수 있다. 안전사고를 방지하기 위해 탑차 내부로 넣는 상황이 아니면 다리가 접히지 않게 하는 안전장치가 필요하다고 판단하여 안전장치를 고안했다. 탑차 내부로 들어가는 상황이 아닌 경우에는 (2)가 (3)을 쳐도 다리가 접히지 않도록 막는 역할을 한다. 탑차로 실릴 때 가장 앞쪽에 설치된 (4)가 먼저 탑차 바닥에 닿아 밀려야만 잠금이 풀리도록 한다.

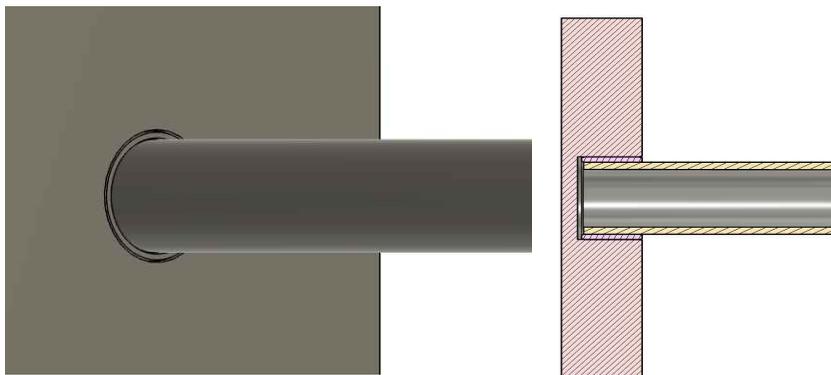
b. 캐스터휠 : 지지부의 바퀴는 캐스터 휠을 이용하여 방향 전환이 용이하게 한다. 전체 크기와 지지하중 등을 고려하여 4인치의 직경을 갖는 고중량용 캐스터휠을 사용한다.

c. 토글 구조 : 다리에 토글 구조 조인트가 설치되어 180도 이상의 회전을 제한하고 한쪽 방향으로만 다리가 접힐 수 있게 제한한다. 손잡이의 칸막이가 회전하면서 다리를 밀어 토글 조건의 반대쪽으로 접히면서 적재함에 실릴 수 있게 한다.



**Fig. 11** 3D modeling - Handle of the support part

e. 손잡이 : 다리의 토글 구조는 양쪽의 손잡이를 당기면 접힌다. 이때 장비의 무게로 인한 안전사고를 방지하기 위해 오른쪽 손잡이가 앞쪽 다리를, 왼쪽 손잡이가 뒤쪽 다리를 접도록 역할을 분리했다. 손잡이를 당기면 (1)의 병진운동에 의해 (2)가 회전하여 다리와 연결된 (3)을 밀어 다리가 접힐 수 있도록 한다. 또한 택배 탑차 내부에 들어가는 장비인 만큼 너비가 1600mm로 원래의 손잡이는 사용하기 부적절하다고 판단하여 사용하기 쉽도록 ‘L’자 형태로 변경했다.

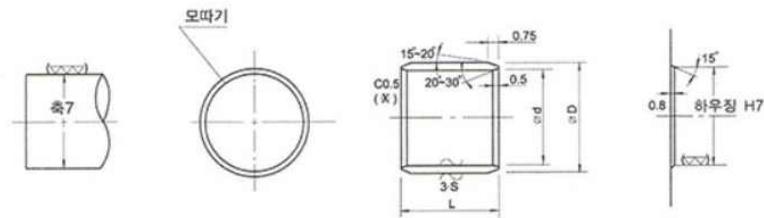


**Fig. 12** 3D modeling - Oilles bearing

f. 오일리스 베어링 : 안전 장치가 작동할 때와 손잡이를 당길 때 지지부에 체결된 축이 회전한다. 이때 마찰을 줄이기 위해 드라이 베어링을 이용하였다. 지지부의 축은 불연속적으로 회전하며 큰 부하가 가해지지 않는다. 또한 경량화와 컴팩트한 설계를 요하고 지속적인 급유를 기대할 수 있는 환경이 아니므로 다양한 베어링 중 이러한 경우에 적절한 드라이 베어링을 채택하였다.

SGO사의 드라이 부시 DU타입 DU2015를 선정하였으며 상세 치수는 다음과 같다.

내경 d( $\phi$ )	20	외경 D( $\phi$ )	23
전체 길이 L(mm)	15	허용 최고 PV 값 (N/mm <sup>2</sup> ·m/s)	3.6
허용 최고 면압 P(N/mm <sup>2</sup> )	250	허용 최고 속도 V(m/s)	2.5
사용 온도 범위(°C)	-200~280	하우징경(H7)	23
축경	20	-	-



**Fig. 13** Detailed measurements of DU BUSH<sup>(7)</sup>

### 3.4 탐차 적재함 입구의 경사로



**Fig. 14** Detailed drawing of a ramp

본 장비의 바퀴는 자유로운 이동을 위해 캐스터휠을 사용했다. 캐스터휠은 축에 대칭이 아니라 바퀴가 한쪽으로 쏠리게 된다. 장비를 탐차에 실을 때 지지부의 다리가 접히며 올라가게 되는데, 이때 캐스터휠의 돌출부가 중력에 의해 아래로 쏠리며 탐차의 모서리와 간섭이 나게 된다. 장비를 탐차에 실을 때 캐스터휠이 탐차와 맞는 위치에 경사로를 설치해 이러한 문제를 해결했다.

### 3.5 작동 메커니즘

#### 3.5.1 지지부 작동 메커니즘

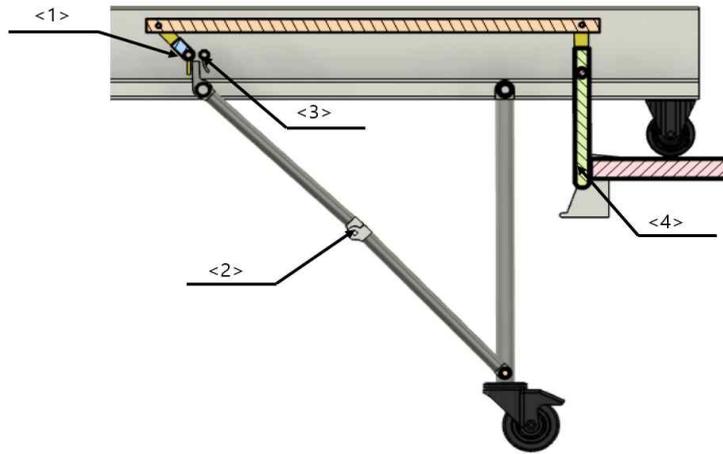


Fig. 15 Detailed drawing of process (a)

(a) 장비가 앞으로 나아가며, 안전장치 <4>가 탐차의 적재함 바닥과 닿는다.

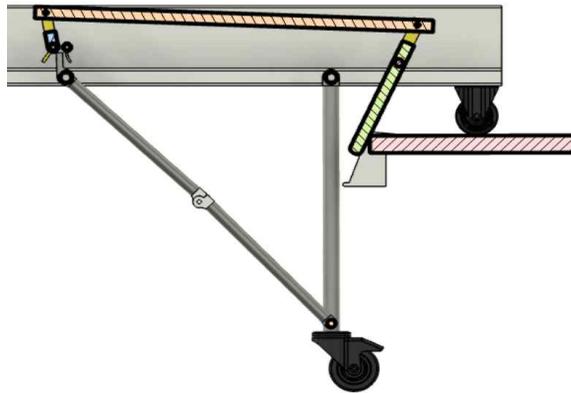


Fig. 16 Detailed Drawing of Process (b)

(b) 장비가 앞으로 계속 나아가며, <4>가 밀려서 회전한다.

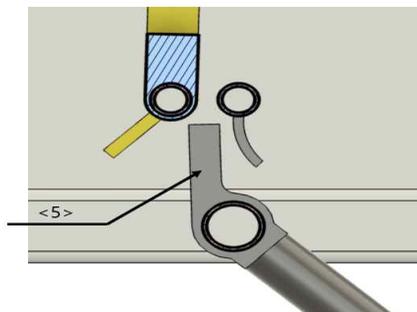


Fig. 17 Detailed drawing of process (c)

(c) <4>의 회전으로 인해 <1>이 회전한다.

(d) 택배 기사가 오른쪽의 손잡이를 당기면, 손잡이에 연결된 링크로 인해 <3>이 회전한다.

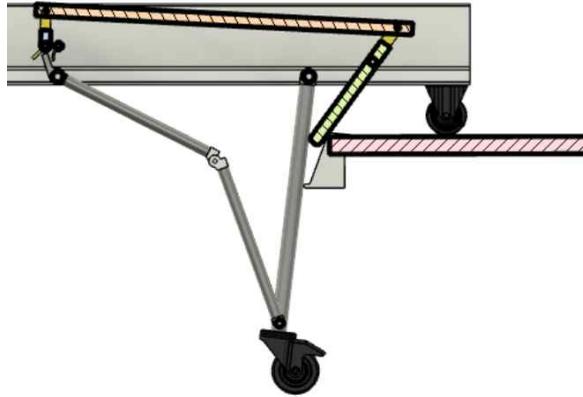


Fig. 18 Detailed drawing of process (c)

(e) <3>의 회전이 <5>를 치게 되며 토글조건<2>이 풀려 다리가 접혀 올라간다.

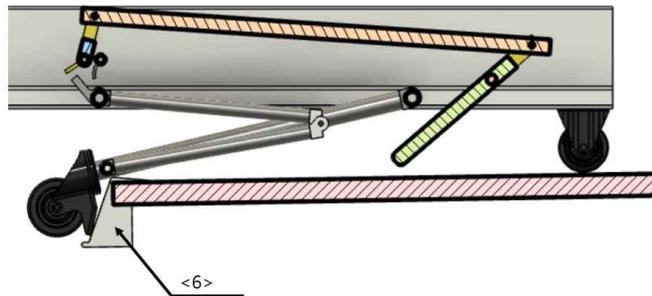


Fig. 19 Detailed drawing of process (f)

(f) 경사로<6>의 설치로 인해 바퀴와 탐차의 간섭없이 밀려들어갈 수 있다.

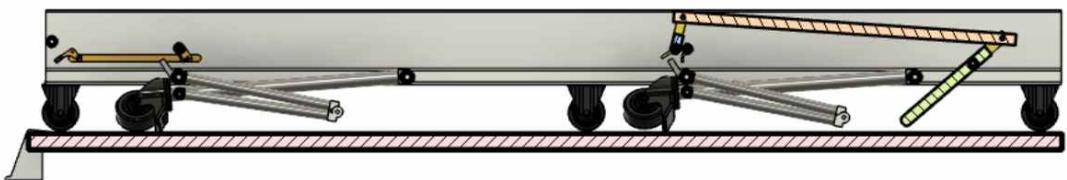


Fig. 20 Detailed Drawing of Process (g)

(g) 동일한 메커니즘으로 뒷쪽 다리도 접혀 들어가면 상차가 완료된다.

### 3.5.2 구동부 작동 메커니즘

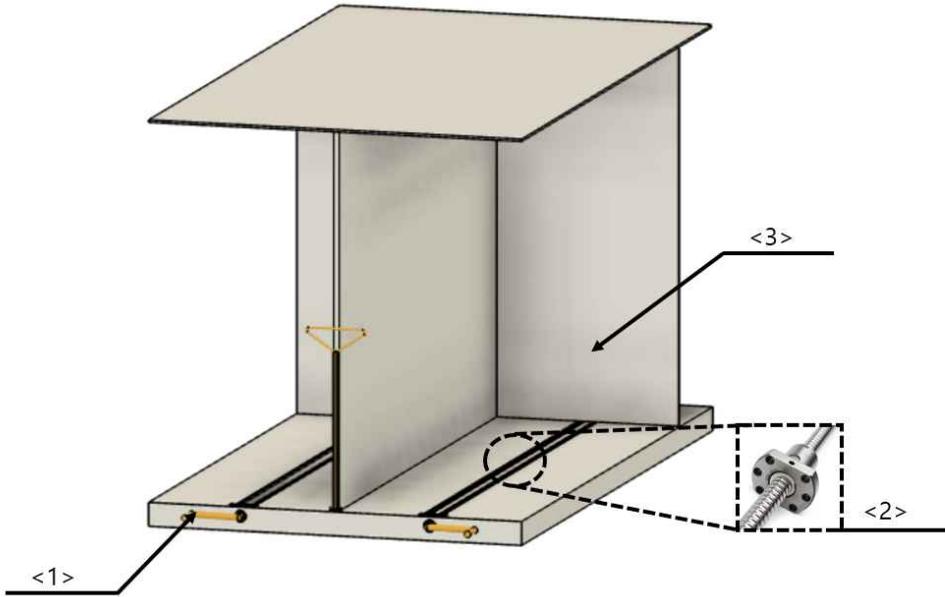


Fig. 21 Overall drawing of process description

- 택배 기사가 볼스크류<2>에 연결된 크랭크 형태의 손잡이<1>를 돌린다.
- 손잡이<1>가 회전하며, 볼스크류<2>가 회전한다.
- 볼스크류<2>가 회전하며, 체결된 너트 브라켓이 전진 또는 후진한다.
- 너트 브라켓이 전진(또는 후진)을 하면 체결된 칸막이<3>가 따라서 전진(또는 후진)한다.
- 칸막이<3>가 전진하며, 택배 물품을 문 쪽으로 밀어준다.

### 3.6 볼스크류 선정 및 요구 구동 토크 계산

#### 3.6.1 볼스크류 선정을 위한 요구 추력 계산

볼스크류를 선정하기 위해 탑차의 최대 적재량을 참고하여, Fig. 22와 같이 최대 적재량을 운반하는 볼스크류의 상황을 개략화했다. 그리고 상황에 대한 두 가지 가정을 했다.

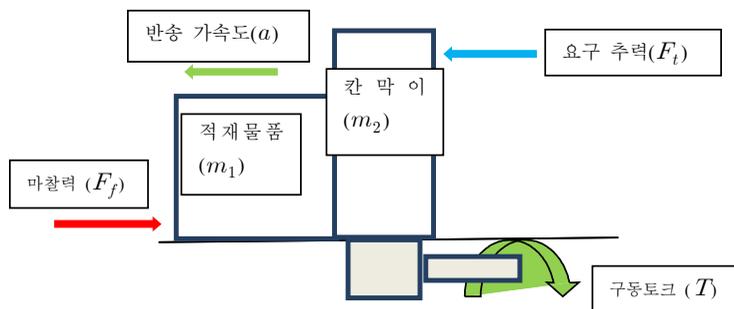


Fig. 22 Schematic diagram of situation

가정 1. 반송속도는 10 m/s로 손잡이가 2~3회전하는 동안 우체국의 3,4호 상자 한 개 만큼 움직인다.  
 가정 2. 최대 적재량 ( $m_1$ )은 300kg으로 가정하고, 정지 마찰 계수는 0.8, 칸막이의 질량 ( $m_2$ )는 10kg으로 가정한다.

Fig. 22와 가정을 참고한 정역학 해석을 통해서  $F = m \cdot a$  에서  $F_t - F_f = (m_1 + m_2) \cdot a$  식을 유도했다. 반송 가속도  $a$ 를 유도하기 위해서 Fig. 23처럼 원하는 반송 속도까지의 도달 시간을 0.5초로 가정하고 해당 반송 속도에 도달하는 1차원 그래프를 바탕으로 반송 가속도를 계산했다. 반송 속도  $V = 167\text{mm/s}$  일 때, 반송 가속도  $a = 334\text{mm/s}^2$  를 구할 수 있다. 구한 반송 가속도, 가정을 바탕으로 유도한 식에 대입해 요구 추력( $F_t$ )를 구하면,  $F_t = 2455\text{N}$ 이다.

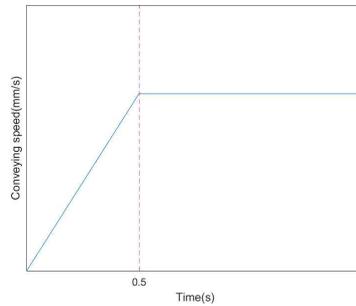


Fig. 23 Graph of acceleration

### 3.6.2 나사의 리드각, 효율, 구동 토크 계산

THK사의 볼스크류 카탈로그의 수식과 나사 spec을 바탕으로 아래 표를 작성했다. 작성하는데 사용한 공식은 리드각을 구하는 공식  $\tan\beta = \frac{Pl}{\pi \cdot d_p}$  와  $T = \frac{F_t \cdot Pl}{2\pi \cdot \eta}$  이다.

볼스크류가 사용되는 환경을 고려하여 볼스크류의 스펙을 구체화했다.

첫째, 리드는 최소한 50mm 이상이 필요하다. 택배 기사의 편의성을 고려하여 손잡이가 회전할 때, 칸막이가 많은 거리를 이동해야 하기 때문이다.

둘째, 구동 토크는 29.4Nm 이하여야 한다. 구동 토크는 택배 기사가 손잡이에 가하는 힘과 손잡이의 길이의 곱인데, 택배 기사의 편의성을 고려했을 때 가하는 힘은 15kgf 이하, 손잡이 길이는 25cm 이하가 되어야 하기 때문이다.

따라서 최대 구동 토크는 29.4Nm 이다. 이러한 정보를 바탕으로 볼스크류를 구체화하면, WTF2550-2, 3 / WTF3060-2, 3 / CNF2550-6 / CNF3060-6 / BLK5050-3.6,7.2 와 같은 볼스크류를 선정할 수 있다.

Table 3 Calculation result of each ball screw [Spec]

리드(Pl) mm	나사명	$d_p$ mm	리드각( $\beta$ )	정효율( $\eta$ )	구동토크(T)
40	WTF2040-2,3	20.75	31.5	96% 이상	16.3
	CNF2040-6				
	BLK4040-3.6,7.2	41.75	17		
50	WTF2550-2,3	26	31.4		20.4
	CNF2550-6				
	BLK5050-3.6,7.2	52.2	17		

60	WTF3060-2,3	31.25	31.4		24.4
	CNF3060-6				
80	WTF4080-2,3	41.75			
100	WTF50100-2,3	52.2			

### 3.6.3 볼 나사에 사용할 너트 선정

최대 적재량이 300kg에 육박하므로, 고하중에 적합한 V-Type으로 선정했다.

### 3.6.4 볼 나사의 강성 검증

THK사의 카탈로그에 있는 강성 검증 공식을 참조하여 선정한 볼스크류의 강성을 검증했다. 모든 나사가 안전계수 5 이상으로 강성의 측면에서 안전했다.

$$K_s = \frac{P}{\delta_s} \quad (\text{kgf/mm})$$

P : 축방향하중 (kgf)

고정 - 고정

$$\delta_{sf} = \frac{PL}{4AE} \quad (\text{mm})$$

고정 - 자유

$$\delta_{ss} = \frac{PL_0}{4AE} \quad (\text{mm})$$

$\delta_{ss} = 4 \delta_{sf}$

$\delta_{sf}$  : 고정 - 고정설치부의 방향변위량

$\delta_{ss}$  : 고정 - 고정설치부외의 방향변위량

A : 볼스크류축 이수 저직경담면적 (mm<sup>2</sup>)

E : 종탄성계수 (mm)

L : 설치간거리 (mm)

L<sub>0</sub> : 부하작용점간거리 (mm)

$$K_n = \frac{P}{\delta_n} \quad (\text{kgf/mm})$$

(a) 삼공너트

$$\delta_{ns} = \frac{K}{\sin\beta} \left( \frac{Q^2}{d} \right)^{1/3} \times \frac{1}{c} \quad (\text{mm})$$

$$Q = \frac{P}{n \cdot \sin\beta} \quad (\text{kgf})$$

$$n = \frac{D_0 \alpha m}{d} \quad (\text{each})$$

Q : 각복의 하중 (kgf)

n : 볼수

k : 상수

dimensions  $k \approx 5.7 \times 10^{-4}$

$\beta$  : 볼과 홈의 접촉각 (45°)

P : 축방향 하중 (kgf)

d : 볼직경 (mm)

c : 정밀도 계수

m : 유효볼수

D<sub>0</sub> : 볼직경 (mm)

$$D_0 = \frac{e}{\tan\alpha \cdot \pi}$$

e : 리드 (mm)

$\alpha$  : 리드 각도

$$\frac{1}{K} = \frac{1}{K_s} + \frac{1}{K_n}$$

Fig. 24 Equation to calculate stiffness of ball screw<sup>(8)</sup>

Table 4 Calculation result of each ball screw [Stiffness]

리드 (Pl)	나사명	변위 (s)	$K_s$	변위 ( $\delta$ )	$K_n$	$K_{tot}$	$K_{act}$	비교
50mm	WTF2550-2	0.023	106739 N/mm	0.047	52234	35071	200000	Ok
	WTF2550-3			0.040	61375	38968	260000	Ok
	CNF2550-6			0.025	98200	51145	460000	Ok
	BLK5050-3.6	0.0058 3	421097 N/mm	0.030	81833	68517	510000	Ok
	BLK5050-7.2			0.019	129210	98871	100000 0	Ok
60mm	WTF3060-2	0.016	153437 N/mm	0.044	55795	40916	240000	Ok
	WTF3060-3			0.038	64605	45462	310000	Ok
	CNF3060-6			0.024	102291	61374	600000	Ok

### 3.6.5 나사 수명 계산

THK사의 수명 검증 공식을 활용해서 각 나사의 수명을 계산했다. 나사마다 동정격하중과 정정격하중은 아래 표와 같다.

**Table 5** Calculation result of each ball screw [Rated load]

나사	Ca (kN)	C0a (kN)
WTF2550-2	8.5	21.2
WTF2550-3	10.4	26.9
CNF2550-6	18.9	53.9
BLK5050-3.6	42.1	140.4
BLK5050-7.2	76.3	280.7
WTF3060-2	11.8	30.6
WTF3060-3	14.5	38.9
CNF3060-6	26.2	77.7

공식에 사용하는 값은 아래의 공식으로 구했다. 최대 하중은 요구 추력과 같은 값이므로  $P_a = P_{max} = F_t = 2455N$ 이다. 또한 이 하중이 지속적으로 가해지므로  $P_{min} = 0$ 이다. 이에 따른 평균 하중  $P_m = P_c = \frac{2P_{max} + P_{min}}{3} = 1636N$ 이다. 하중 계수  $f_w = 1.5$ 이며, 회전 속도는  $N_m = 120, 150, 180 rpm$ 으로 세 번 계산할 것이다. 마지막으로 희망 작동 수명  $Lho = 15000 hours$ 이다. 우선  $C_a$ 와  $C0_a$ 를 먼저 구했다. 사용한 공식은  $C_a = (\frac{60 * Lho * N_m}{10^6}) * P_m * f_w$  와  $C0_a = (\frac{60 * Lho * N_m}{10^6}) * P_{max} * f_w$  이다. 이 값을 표의 값과 비교하여 나사의 수명을 검증하였다.  $C_a$ 를 비교한 값이다.

$N_m = 120$ 일 때,  $C_a = 11.7 kN$  이므로 WTF2550-2,3 / CNF3060-6 가 가능하다.

$N_m = 150$ 일 때,  $C_a = 12.6 kN$  이므로 CNF2550-6 / BLK5050-3.6, 7.2 / WTF3060-3 / CNF3060-6가 가능하다.

$N_m = 180$ 일 때,  $C_a = 13.4 kN$  이므로 CNF2550-6 / BLK5050-3.6, 7.2 / WTF3060-3 / CNF3060-6가 가능하다.

$C0_a$ 를 비교한 값이다.

$N_m = 120$ 일 때,  $C_a = 17.5 kN$  이므로 CNF3060-6 가 가능하다.

$N_m = 150$ 일 때,  $C_a = 18.9 kN$  이므로 BLK5050-3.6, 7.2 / CNF3060-6가 가능하다.

$N_m = 180$ 일 때,  $C_a = 20.1 kN$  이므로 BLK5050-3.6, 7.2 / CNF3060-6가 가능하다.

이 결과를 바탕으로 최종 선정한 볼스크류는 CNF3060-6 / BLK5050-3.6 / BLK5050-7.2이다. 최종 선정

한 볼스크류들의 안전계수 ( $F_s$ 와  $FO_s$ )를 비교했다.

**Table 6** Calculation result of each ball screw [Safety number]

나사명	$N_m$ (rpm)	$C_a$ (Need) (kN)	$C_a$ (Actual) (kN)	$F_s$	$CO_a$ (Need) (kN)	$CO_a$ (Actual) (kN)	$FO_s$	가능 여부
CNF3060-6	120	11.7	18.9	1.62	17.5	53.9	3.08	O
	150	12.6	26.2	2.08	18.9	77.7	4.11	O
	180	13.4	26.2	1.96	20.1	77.7	3.87	O
BLK5050-3.6	150	12.6	42.1	3.34	18.9	140.4	7.43	X
	180	13.4	42.1	3.14	20.1	140.4	6.99	X
BLK5050-7.2	150	12.6	76.3	6.06	18.9	280.7	14.9	X
	180	13.4	76.3	5.70	20.1	28.1	14.0	X

안전계수는 1.5~4.0 사이가 가장 경제적이다. 택배 기사의 편의성을 위해서 손잡이는 작은 힘으로 적게 돌리는 것이 편하기 때문에 회전 속도는 작고, 리드는 긴 경우가 가장 좋다. 이런 이유로 CNF3060-6을 사용하고, 회전 속도는 150rpm으로 선정할 것이다. 이 경우, 167mm/s이고 구동 토크 T=24.4Nm이다.

나사축 외경 d	리드 Ph	호칭형번	볼중심경 dp	곡경 dc	부하 회수 열×권	기본정격하중		강성 K N/μm	넛 치수													표준 길이 mm	표준 축길이 mm	나사축 관성 모멘트/mm <sup>4</sup>	넛 질량 kg	축 질량 kg/m
						Ca kN	Ca kN		외경 D	볼관지경 D <sub>i</sub>	전장 L	H	B	PCD	d	T <sub>w</sub>	급유구									
																	N	A	M							
18	8	BTK 1808-3.6	19.3	14.4	1×3.65	13.1	31	210	50	80	61	12	49	65	6.6	60	5	M6	-	0.1	500, 1000	8.09×10 <sup>-3</sup>	0.98	1.71		
20	5	BTK 2005-2.6	20.5	17.2	1×2.65	6	16.5	150	40	60	40	10	30	50	4.5	46	5	M6	-	0.1	500, 1000, 1500	1.23×10 <sup>-3</sup>	0.35	2.15		
	10	BTK 2010-2.6	21.25	16.4	1×2.65	10.6	25.1	160	52	82	61	12	49	67	6.6	64	5	M6	-	0.1		1.23×10 <sup>-3</sup>	1.08	2.16		
	20	BLK 2020-3.6	20.75	17.5	2×1.8	7.7	22.3	210	39	62	45	10	27.5	50	5.5	46	5	M6	3.5	0.1		1.23×10 <sup>-3</sup>	0.35	2.18		
		BLK 2020-7.2	20.75	17.5	4×1.8	13.9	44.6	410	39	62	45	10	27.5	50	5.5	46	5	M6	3.5	0.1		1.23×10 <sup>-3</sup>	0.35	2.18		
	40	WTF 2040-2	20.75	17.5	4×0.65	5.4	13.6	160	37	57	41.5	10	25.5	47	5.5	38	5.5	M6	3.5	0.1		1.23×10 <sup>-3</sup>	0.25	2.12		
		WTF 2040-3	20.75	17.5	2×1.65	6.6	17.2	200	37	57	81.5	10	65.5	47	5.5	38	5.5	M6	3.5	0.1		1.23×10 <sup>-3</sup>	0.5	2.12		
25	5	BTK 2505-2.6	25.5	22.2	1×2.65	6.7	20.8	180	43	67	40	10	30	55	5.5	50	5	M6	-	0.1	1000, 1500, 2000	3.01×10 <sup>-3</sup>	0.37	3.45		
	10	BTK 2510-5.3	26.8	20.2	2×2.65	31.2	83.7	400	60	96	98	15	83	78	9	72	5	M6	-	0.1		3.01×10 <sup>-3</sup>	2.06	3.26		
	25	BLK 2525-3.6	26	22	2×1.8	12.1	35	270	47	74	55	12	35	60	6.6	56	6	M6	3.5	0.1		3.01×10 <sup>-3</sup>	0.64	3.41		
		BLK 2525-7.2	26	22	4×1.8	21.9	69.9	520	47	74	55	12	35	60	6.6	56	6	M6	3.5	0.1		3.01×10 <sup>-3</sup>	0.64	3.41		
	50	WTF 2550-2	26	21.9	4×0.65	8.5	21.2	200	45	69	52	12	31.5	57	6.6	46	7	M6	3.5	0.1		3.01×10 <sup>-3</sup>	0.45	3.34		
		WTF 2550-3	26	21.9	2×1.65	10.4	26.9	260	45	69	102	12	81.5	57	6.6	46	7	M6	3.5	0.1		3.01×10 <sup>-3</sup>	0.85	3.34		
28	6	CNF 2550-6	26	21.9	4×1.65	18.9	53.9	460	45	69	102	12	81.5	57	6.6	-	7	M6	3.5	0.1	3.01×10 <sup>-3</sup>	0.85	3.34			
	6	BTK 2806-2.6	28.5	25.2	1×2.65	7	23.4	200	50	80	47	12	35	65	6.6	60	6	M6	-	0.1	500, 1000, 2000, 2500	4.74×10 <sup>-3</sup>	0.66	4.44		
		BTK 2806-5.3	28.5	25.2	2×2.65	12.8	46.8	390	50	80	65	12	53	65	6.6	60	6	M6	-	0.1		4.74×10 <sup>-3</sup>	0.84	4.44		
	30	60	WTF 3060-2	31.25	26.4	4×0.65	11.8	30.6	240	55	89	62.5	15	37.5	71	9	56	9	M6	3.8	0.14	6.24×10 <sup>-3</sup>	0.8	4.84		
		60	WTF 3060-3	31.25	26.4	2×1.65	14.5	38.9	310	55	89	122.5	15	97.5	71	9	56	9	M6	3.8	0.14	6.24×10 <sup>-3</sup>	1.7	4.84		
			CNF 3060-6	31.25	26.4	4×1.65	26.2	77.7	600	55	89	122	15	97	71	9	-	9	M6	3.8	0.14	6.24×10 <sup>-3</sup>	1.7	4.84		

**Fig. 25** Spec of each Ball Screw<sup>(8)</sup>

### 3.6.6 볼스크류의 허용 좌굴 하중 검증

아래 그래프를 참고했을 때, 직경 30mm의 볼나사의 허용 좌굴 하중은 고정-지지에서  $4.5 \times 10^2 \text{kgf} = 4410 \text{N}$  이다. 이 때, 최대 가해지는 하중은 요구 추력과 같으므로 2455N이고, 안전계수 1.79로 충분히 안전하다.

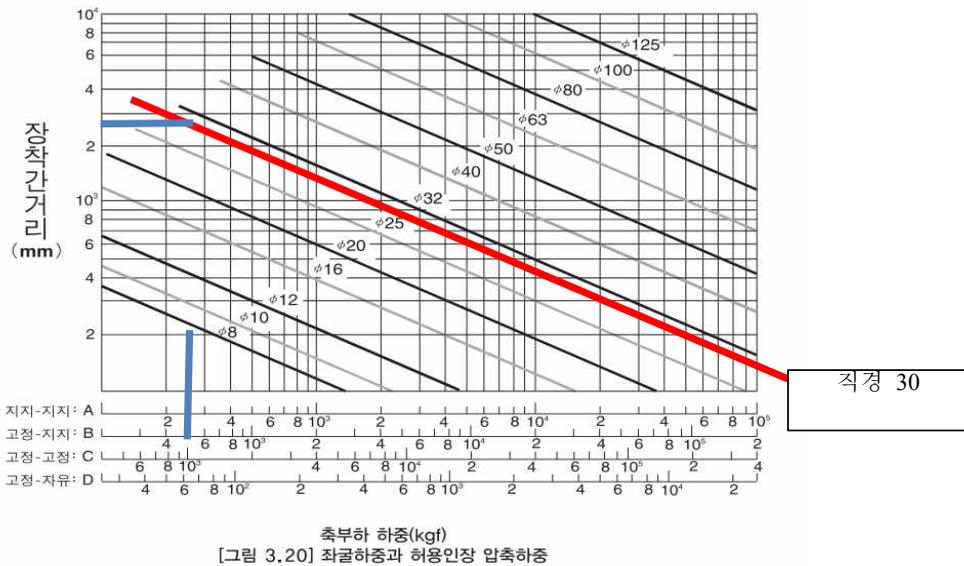


Fig. 26 Graph about shaft load<sup>(9)</sup>

### 3.7 인간공학적 작업 부하 계산

#### 3.7.1 인간공학적 고찰의 목적

위에서 확정한 반송 속도 167mm/s와 필요한 구동 토크는 24.4Nm이다. 즉, 사람이 손잡이를 돌려서 24.4Nm의 힘을 만들어내야 한다. 적절한 손잡이 길이와 힘을 고려하면, 10kgf \* 24.9cm 손잡이 또는 12kgf \* 20.7cm 손잡이 두가지 상황을 생각해 볼 수 있다. 두가지 상황 중 적절한 손잡이 길이를 결정하기 위해서 인간공학적 고찰이 필요하다. 사용할 인간공학 방정식은 NIOSH Equation으로 작업으로 인한 요통 발생 여부를 파악할 수 있다.

#### 3.7.2 NIOSH Equation의 개념

##### - NLE (NIOSH Lifting Equation)<sup>(10)</sup>

미국산업안전보건원(NIOSH)에서 개발한 들기 지수로 먼저 권장무게한계(RWL)를 구하고, 실제 들려고 하는 중량물의 무게를 RWL로 나누어 1보다 낮도록 관리한다. RWL의 각 계수들은 0~1사이의 값들로 각 계수가 모두 1일 때, 들기에 최적의 조건이 된다.

##### - RWL (Recommended Weight Limit)

$RWL = 23kg * HM * VM * DM * AM * FM * CM$ 의 식으로 구한다. 6가지 계수들이 작으면 들기에 불편하므로 들 수 있는 권장 무게 한계가 줄어든다. 즉, 계수들이 클수록 들기 편함을 나타낸다. 또한 RWL이 클수록 좋다.

##### - LI (Lifting Index)

$LI = \frac{\text{중량물의 무게}}{RWL}$ 의 식으로 구한다. 취급하는 물건의 중량이 RWL의 몇 배인가를 나타내는 지표이다. LI가 작을수록 좋으며, 1보다 크면 요통의 발생 위험이 높다는 것을 의미한다.

### 3.7.3 NIOSH Equation을 사용하기 위한 전제

NIOSH Lifting Guideline은 본래 물건을 들어올리는 상황에 대한 계산식이다. 하지만 실제 물리적 행동은 힘을 주어 회전시키는 방식이다. 이런 점에서 NIOSH Lifting Guide를 다른 방향으로 응용했다. 우선 시점과 종점을 회전에 있어서 바닥면으로부터 최저점과 최고점으로 설정한다. 또한 NIOSH Lifting equation에서 힘의 방향을 따로 정의하지 않으니, 회전의 최저점에서는 최고점을 향해 10kg(또는 12kg)의 무게를 든다고 가정하고, 최고점에서는 최저점을 향해 10kg(또는 12kg)의 무게를 아래로 민다고 가정하고 방정식을 적용했다.

### 3.7.4 NIOSH Equation에 사용되는 변수 계산식

각 변수의 계산식은 아래와 같다.

**Table 7** NIOSH Coefficients

계수	계수 방법	계수 구하는 법
HM	수평 계수(Horizontal Multiplier)	23/H
VM	수직 계수(Vertical Multiplier)	1-(0.003V -75)
DM	거리 계수(Distance Multiplier)	0.82 + (4.5/D)
AM	비대칭 계수(Asymmetric Multiplier)	1 - (0.0032A)
FM	빈도 계수(Frequency Multiplier)	Table. 8 참고
CM	커플링 계수(Coupling Multiplier)	Table. 9 참고

**Table 8** Frequency Multiplier(FM)

빈도수 (회/분)	작업시간					
	1h 이하		2h 이하		8h 이하	
	V<75	V>75	V<75	V>75	V<75	V>75
1	0.94	0.94	0.88	0.88	0.75	0.75
2	0.91	0.91	0.84	0.84	0.65	0.65
3	0.88	0.88	0.79	0.79	0.55	0.55

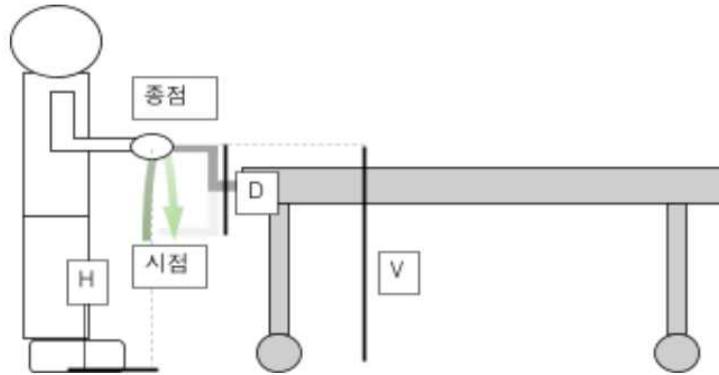
결합계수(CM)은 잡기 편한 손잡이의 유무를 반영하며, 커플링상태 Good, Fair, Bad는 각각 들기 편함, 손목의 각도를 90°정도 유지 가능, 불편함을 뜻한다.

**Table 9** Coupling Multiplier(CM)

커플링 상태	수직거리	
	V<75	V>75
Good	1	1
Fair	0.95	1
Bad	0.9	0.9

### 3.7.5 상황 별 계산

택배 기사가 볼 나사의 손잡이를 돌리는 상황을 아래의 그림으로 개략화 하였다.



**Fig. 27** Schematic of operating ball screw

상황 1) 필요 하중(드는 무게)=10kgf(=10kg), D=48.8 cm, V=60.6 cm(or 109.4), H=30cm

먼저 시점 상황의 LI를 계산했다.

HM = 0.833, VM = 0.96, DM = 0.91, AM = 1, FM = 0.9, CM = 1의 값을 구했다. 따라서 RWL = 15.1, LI = 0.66이다.

다음으로 중점 상황의 LI를 계산했다.

HM = 0.833, VM = 0.8968, DM = 0.91, AM = 1, FM = 0.9, CM = 1의 값을 구했다. 따라서 RWL = 14.07, LI = 0.71이다.

상황 2) 필요 하중(드는 무게)=12kgf(=12kg), D=41.5 cm, V=64.3 cm(or 105.7), H=28

먼저 시점 상황의 LI를 계산했다.

HM = 0.89, VM = 0.97, DM = 0.93, AM = 1, FM = 0.9, CM = 1의 값을 구했다. 따라서 RWL = 16.6, LI = 0.72이다.

다음으로 중점 상황의 LI를 계산했다.

HM = 0.89, VM = 0.9, DM = 0.93, AM = 1, FM = 0.9, CM = 1의 값을 구했다. 따라서 RWL = 15.4, LI = 0.78이다.

### 3.7.6 인간공학 고찰의 결론

10kgf의 하중이나 12kgf의 하중 모두 인체에 무리가 없다는 것을 판단할 수 있었고, 12kgf의 하중을 가하는 것이 힘은 조금 더 들지 몰라도, 손잡이의 길이가 짧아지는 등의 이유로 인체가 더 편한 자세로 일을 수행할 수 있기 때문에 LI 값이 낮게 나왔다. 따라서 12kgf의 힘을 가하는 손잡이의 길이로 구동부의 크랭크를 제작하는 것이 더 낫다.

### 3.8 응력분석

하중과 응력의 크기가 비교적 쉽게 결정되고, 신뢰성 있는 재료를 사용했으며 설계에 있어 경량화를 중요하게 고려하므로 Joseph Vidosic이 제안한 권장 값에 따라 안전계수 2 이상의 값을 설계 기준으로 정했다.

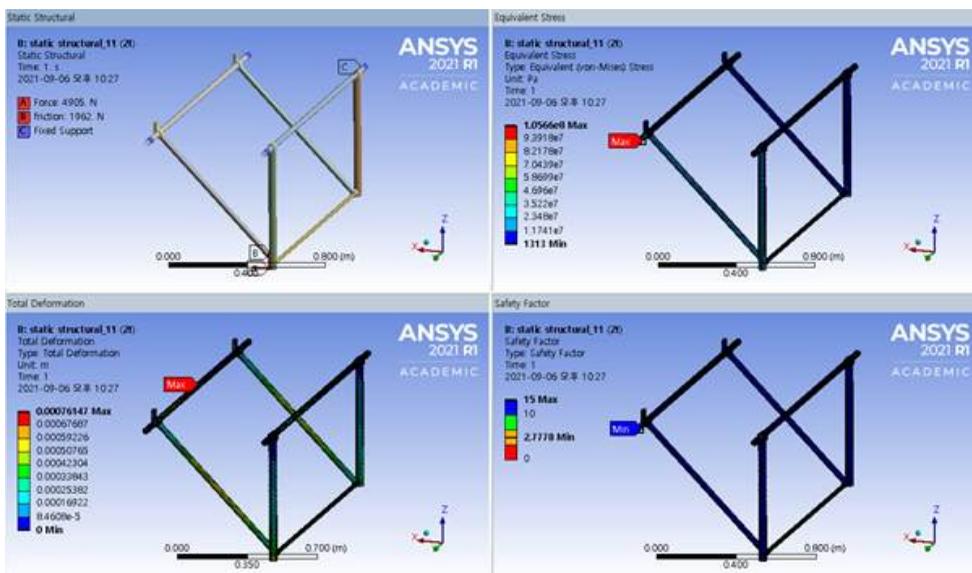
**Table 10** Criteria of safety factor

안전계수	설명
1.25 ~ 1.5	관리가 가능한 조건에서 매우 신뢰성 있는 재료를 사용하고, 작용하는 하중 및 응력의 크기를 정확히 아는 경우. 무게의 경량화를 특히 중요하게 고려해야 하는 응용 분야에서 사용
1.5 ~ 2	비교적 일정한 조건에서 잘 알려져 있는 재료를 사용하고, 하중과 응력의 크기가 쉽게 결정될 수 있는 경우.
2 ~ 2.5	평범한 조건에서 보통의 재료를 사용하고, 하중과 응력의 크기를 알아낼 수 있는 경우.
2.5 ~3	보통의 환경, 하중, 응력 조건에서 별로 사용되지 않은 재료 또는 취성인 재료를 사용하는 경우.
3 ~ 4	보통의 환경, 하중, 응력 조건에서 사용해 본 적이 없는 재료를 사용하는 경우.
3 ~ 4	잘 알려진 재료이지만 불확실한 환경과 응력 조건에서 사용할 때.

3.8.1 지지부

다리 프레임의 재료로 Carbon steel, 1020, annealed를 사용했고 이 재료의 인장 강도는 293.5MPa이다. 장비 사용 시 장비의 자중과 택배의 무게로 인한 수직 방향의 압축 하중이 발생할 것이고, 장비를 이동시키고 작동함에 따라 마찰력이 발생할 수 있으므로 이에 따른 구속조건을 적용하여 ANSYS static structural 구조 해석을 진행했다.

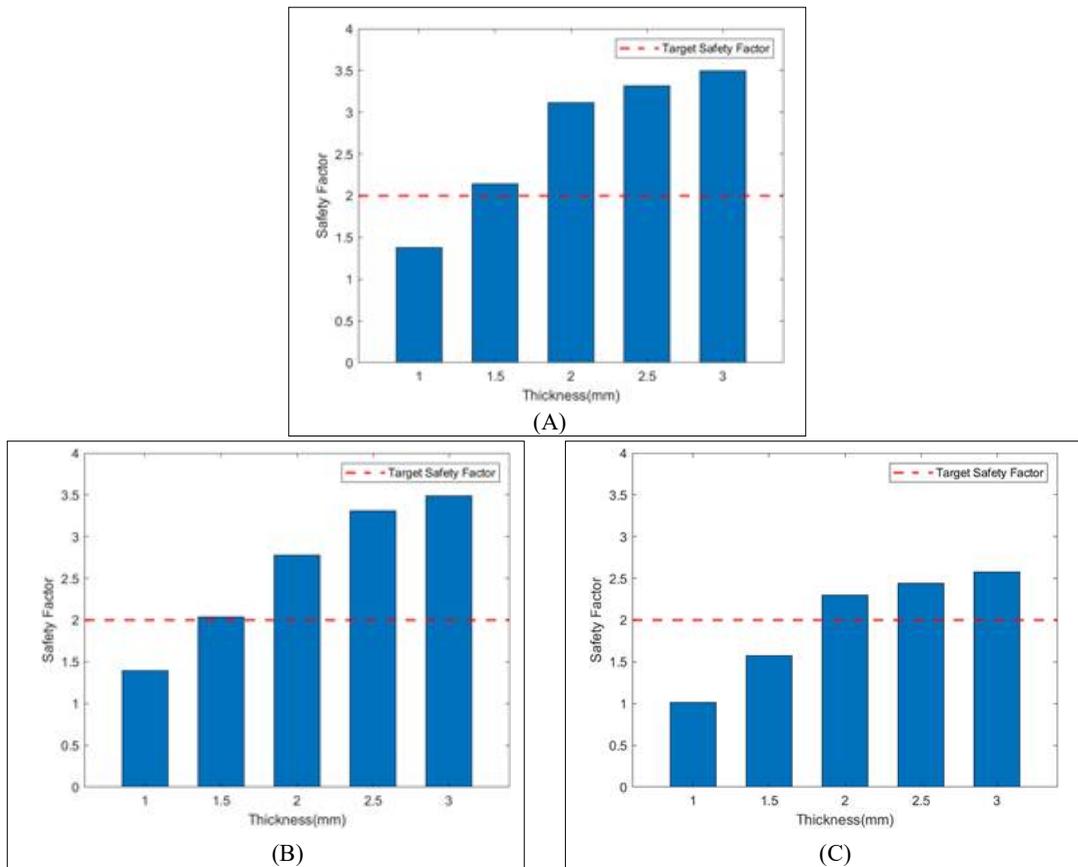
다리 프레임의 두께는 1t부터 3t까지 0.5t 단위로 증가시키면서 같은 구속 조건을 이용하여 본 미세스 응력과 총 변형률 및 안전계수의 변화를 확인했다. 이때 장비를 탑재에 실을 때의 상황을 가정하여 택배의 하중을 합산한 무게인 4905N의 힘을 가했고, 미끄럼이 발생하는 상황을 가정하여 나일론의 운동 마찰 계수  $\mu = 0.4$ 를 적용하여 1962N의 마찰력을 전진, 후진 시의 방향으로 가했다. 이때 다리 프레임에서 발생하는 안전계수를 그래프 X에 작성했다.



**Fig. 28** Stress analysis load on legs

**Table 11** Case of legs Stress analysis

마찰력/파이프의 두께	1t	1.5t	2t	2.5t	3t
마찰력 없음	1.3826	2.1439	3.1133	3.3196	3.4949
전진 시 마찰력 방향	1.3962	2.0364	2.7778	3.3088	3.4844
후진 시 마찰력 방향	1.0118	1.5756	2.2969	2.4389	2.5739



**Fig. 29** Safety factor when load and friction are applied to legs. (A)No friction (B) forward, (C) backward

안전계수를 구한 결과 모든 경우에서 안전계수가 2 이상이 되려면 최소 2mm의 두께가 필요하다. 따라서 다리 프레임의 두께를 2mm로 선정했다.

### 3.8.2. 허니콤

구동부에 볼스크류를 장착하면서 생긴 빈 공간에 허니콤 형태의 지지대를 채웠고, 이 지지대가 배달 물의 무게를 지지할 수 있는지 ANSYS static structural tool을 이용하여 해석을 진행했다. 해석에 필요한 모델이 상하좌우 모두 대칭이므로 노드 수를 줄이고, 빠르게 계산하기 위해 1/4 모델을 이용했다.

지지부와 구동부의 결합부를 fixed joint로 설정하여 지지부에 의해 지탱되는 부분을 가정하였고, 1/4 모델을 생성하면서 발생한 단면에 회전 displacement를 제한해 전체 모델로 해석했을 때와 같은 결과를 얻을 수 있게 했다.

최대 배달물의 질량을 1000kg으로 설정하였으므로 1/4 모델에 2452N의 힘을 가하여 수직 방향의 하중을 견딜 수 있는지를 해석했다.

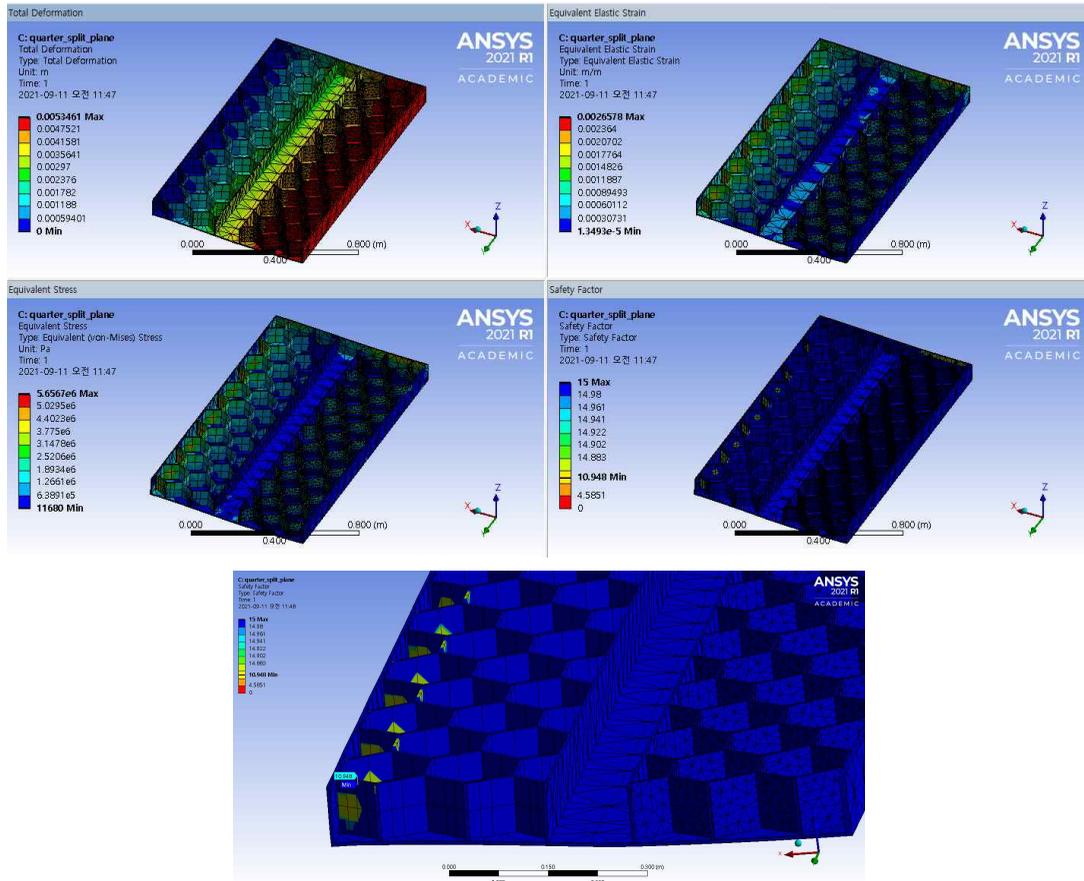


Fig. 30 Stress analysis load on honeycomb structure

지지부와 결합되는 부분의 지지대에서 최소 안전계수가 발생함을 확인하였으며, 값은 10.948로 배달물을 지탱하기에 충분한 설계임을 확인했다.

### 3.8.3 판재

장비에 적재된 배달물을 이송하기 위해 볼스크류의 너트 브라켓에 판재를 체결하여 배달물을 밀도록 했다. 볼스크류 손잡이를 돌려 배달물을 밀 때 판재에 힘이 가해지는 상황을 고려하여 판재에 최대 추력 2455N을 가하고, 볼스크류의 너트 브라켓에 고정되는 부분을 fixed support로 지정하여 해석을 진행했다.

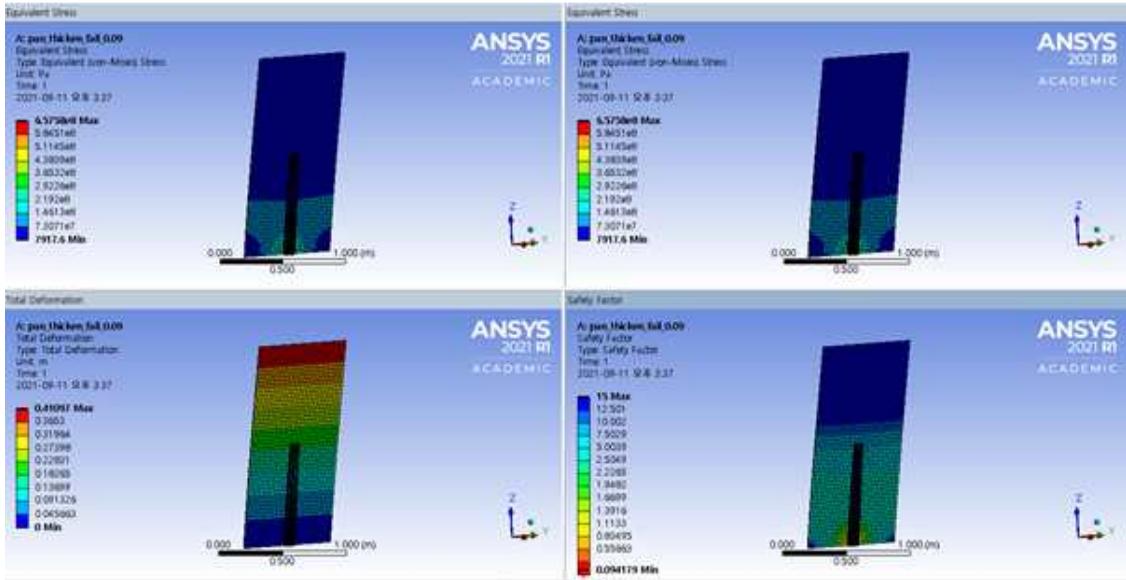


Fig. 31 Stress analysis load on board

다양한 설계에 대해 해석을 진행한 결과 3번 설계가 취약점의 안전계수 기준을 통과함을 확인했다.

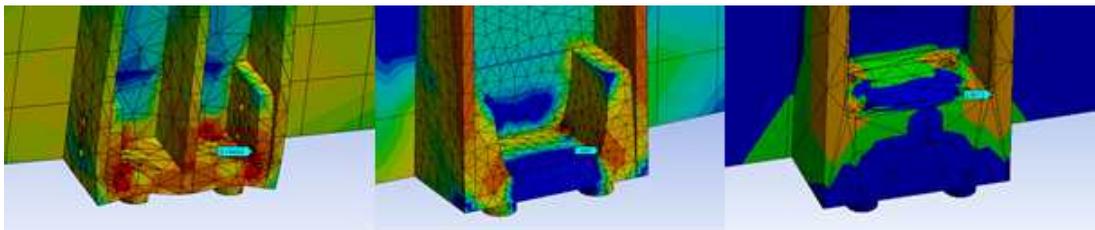


Fig. 32 Stress analysis on bracket

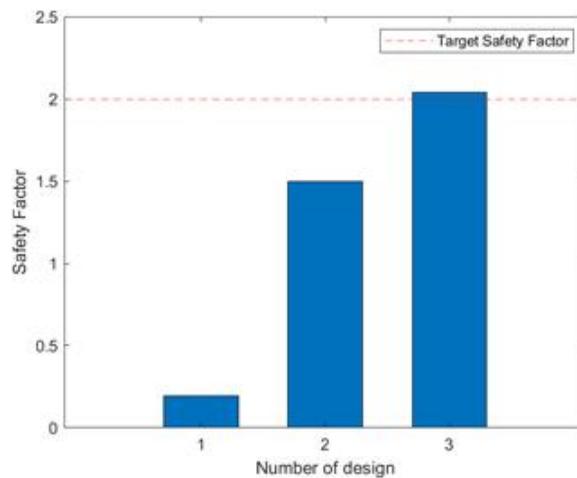


Fig. 33 Graph of safety factor of bracket

### 3.9 무게중심

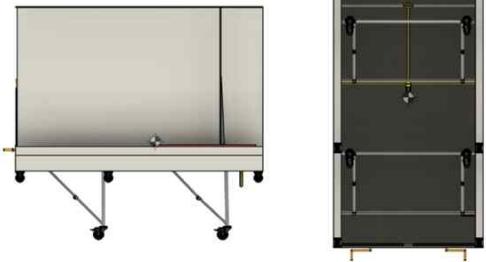
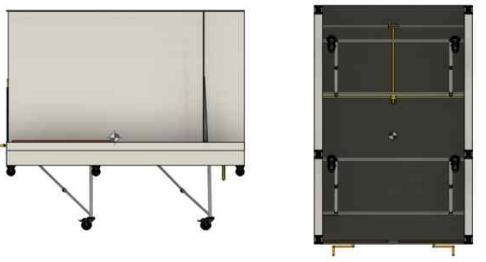
장비가 서있을 때, 안정성 판단을 위해 무게중심을 분석했다. 구동부의 볼스크류와, 너트 브라켓과 판재의 연결부는 steel, 그 외는 polycarbonate로 설정한다. 지지부는 손잡이만 polycarbonate로 설정하고 그 외의 부품들은 전부 steel로 설정하고 Case를 다음과 같이 나누었다.

- Case1. 물건이 없을 때
- Case2. 좌, 우 중 한 곳만 무게가 집중될 때
- Case3. 앞쪽에 무게가 집중될 때
- Case4. 뒤쪽에 무게가 집중 될 때
- Case5. 골고루 무게가 분포할 때

한 곳에 무게가 치우치는 상황은 해당 위치에 400kg 가량의 택배가 실린다고 가정, 각각의 케이스의 무게중심을 확인했다.

**Table 12** Center of Mass

case	무게중심
1	
2	

3	
4	
5	

그 결과 전체적인 장비의 무게중심은 아래쪽으로 안정적이며, 모든 케이스 내에서 무게중심이 안정적인 범위내에서 변화하므로 한쪽에만 짐이 실려도 서 있는 것이 위험하지 않다고 판단했다.

## 4. 결과 및 토의

### 4.1 최종 설계물 사진 및 사용 모습

#### 4.1.1 프로토타입



**Fig. 34** Final prototype

#### 4.1.2 제품 작동

**Table 13** Task and operation of the device

	
(1) 보조 장비가 탑재에 닿는다.	(2) 안전 장치가 닿기 시작한다.



(3) 탁차에 밀리며 안전장치가 회전한다.



(4) 왼쪽 손잡이를 들어 올린다.



(5) 앞다리가 접히며 올라간다.



(6) 앞다리가 올라가며 경사로를 타고 들어간다.



(7) 오른쪽 손잡이도 들어 올린다.



(8) 뒷다리도 접히며 올라간다.



(9) 뒷다리가 올라가며 경사로를 타고 들어간다.



(10) 모든 다리가 탁차에 들어간다.



(11) 탁차에 들어간 모습이다.



(12) 손잡이를 회전한다.



(13) 볼나사에 체결된 완제가 물품을 밀어준다.



(14) 탁차에 들어가지 않고 물품을 꺼낼 수 있다.



(15) 보조 장비의 손잡이는 분리 가능하다.

#### 4.1.3 시나리오

- (a) 상차 작업 : I-Beam 형태로 이루어져 있어 배송지를 구분하여 적재하기 용이하다. 또한 장비와 탑차가 완벽하게 분리될 수 있기 때문에 분업이 가능하다.
- (b) 이동 : 배달물을 다 실은 후 탑차로 이동한다. 장비 상단에 얇은 판이 있어 우천시에도 배달물이 비에 젖지 않고 이동 가능하다. 캐스터 바퀴를 이용하여 방향전환이 쉽다.
- (c) 안전장치가 풀림 : 탑차 바닥에 안전장치가 닿으면서 잠금이 풀리게 된다. 따라서 다리가 접힐 수 있는 상태가 된다.
- (d) 장비를 탑차로 싣는다 : 양쪽의 손잡이를 이용하여 다리를 접어 탑차 내부로 싣는다.
- (e) 배달 시작 : 탈부착식 손잡이를 이용해 볼스크류를 작동시킨다. 볼스크류 작동을 통해 내부에 있는 배달물을 택배 기사쪽으로 이동시킨다.
- (f) 배달 완료 : 터미널에 돌아간 택배 기사는 비어진 장비를 이미 배달물들이 실어져 있는 장비로 교체하고 다시 배달을 시작한다.

#### 4.2 최종 설계물 장단점

택배 산업의 빠른 성장에도 택배기사들의 근무환경에 대한 개선이 미비하여 각종 논란과 파업이 반복되어지는 만큼 근무환경은 필수적으로 개선되어야 할 것이다. 본 장치는 탑차로 오르내리는 동선을 최소화하여 택배기사의 피로도를 개선할 뿐만 아니라, 상차 및 분류 작업과 배송작업의 분리를 통해 업무시간을 단축시키고 휴게시간을 보장할 수 있도록 도와 근무환경을 개선시킨다.

#### 4.3 기대효과

택배기사들은 보통 지정된 터미널 또는 대리점에 출근해서 배달할 물건의 분류작업을 한 후 본인의 차량에 배달물을 싣는 상차 작업을 한다, 이 작업은 보통 3~4시간 정도를 소요하며, 상차가 끝나면 배송을 시작한다.

구조물이 탑차에서 완벽하게 분리되기 때문에 배송기사가 분류작업, 상차, 배송 업무를 전부 도맡아 하지 않아도 된다는 장점이 있다. 이는 결과적으로 배송기사의 근무시간을 단축시켜 피로도를 감소시킬 것이다.

택배기사들은 하루 평균 수십 회 탑차 내부를 오르내리는 일을 반복한다, 이러한 동작은 육체에 무리를 주며 요통, 근골격계 질환을 발생시킨다. 구조물을 이용하면 탑차 내부로 직접 들어갈 필요가 없기 때문에 택배기사들이 업무에 의한 산재에 노출되는 것을 줄일 수 있다.

### 5. 결 론

본 구조물 설계와 실험을 통해 다음과 같은 결론을 낼 수 있었다.

- (1) 설계의 목표는 택배 시스템을 개선해 택배기사의 과도한 업무 부담 감소와 택배 배송 효율을 극대화하는 것이다. 택배 탑차와 분리가 가능하고 개별적으로 이동이 가능한 구조물에 배달물을 실을 수 있

게 함으로써 분류 및 상차 업무와 배송 업무를 분리할 수 있다. I-Beam형태의 구조물은 네 면이 개방되어 한 방향으로 탑차를 오르내리며 상차를 해야 하는 택배 탑차보다 편리하게 배달물을 실을 수 있다. 따라서 업무 환경 개선으로 노동자의 신체 부담이 감소할 뿐만 아니라 업무 효율을 향상시킬 수 있다.

(2) 택배 배송을 진행할수록 택배기사는 다음 배송지의 물건을 하차하기 위해 탑차 내부 깊숙이 진입해야 한다. 약 80cm 정도의 탑차 높이를 반복적으로 오르내리며 무거운 물건을 이동시키는 택배기사는 신체에 부담이 쌓이기 마련이다. 볼스크류에 손잡이를 연결해서 회전하는 것만으로 탑차 안쪽에 있는 물건을 바깥쪽으로 이동시키는 이 구조물은 불필요한 동선을 최소화해 택배기사들의 신체적 부담을 줄일 수 있다.

(3) 국내 택배차의 대부분은 현대의 ‘포터’와 기아의 ‘봉고’를 사용하고 있다. 구조물 설계 시 ‘포터’와 ‘봉고’의 차량 세부 스펙을 고려했기 때문에 두 택배차에 모두 호환이 가능하며 범용성이 뛰어나다.

## 후 기

본 설계를 진행하면서 택배 기사분들께 VOC를 수집하고, 그것을 토대로 아이디어를 제시해 최종 결과물을 제작한 것까지의 총체적인 과정은 쉽게 경험하지 못할 뜻깊은 경험이었습니다. 코로나 19로 인해 힘든 상황에서 프로젝트 진행에 많은 조언을 해주신 임현준 지도교수님께 진심으로 감사드립니다.

## 참고문헌

- (1) 김수근, 2019, “특수형태근로종사자의 안전보건실태”, Vol. 374, 월간산업보건, pp. 13~26.
- (2) 백희정, 전용일, 2021, “택배기사의 업무활동시간과 건강장해”, Vol. 394, 산업보건, pp. 30~35.
- (3) “택배 물동량 추이”, “택배 매출액 추이”, “택배 단가 추이”, “택배 이용횟수 추이”, 국가물류통합정보센터
- (4) 김영배, 택배차량용 소화물 인-아웃 장치, 1020210063352, 2021.05.17., 2021.08.11.
- (5) 박관철, 화물용 상하차 장치, 1020190073721, 2019.06.20., 2020.04.14.
- (6) “굽힌팔꿈치높이-30~34세 남자”, “굽힌팔꿈치높이-35~39세 남자”, “굽힌팔꿈치높이-40~49세 남자”, 한국인 인체치수조사
- (7) "드라이 부시 DU타입", 미스미, 2021년 9월 29일 수정, 2021년 9월 29일 접속, <https://kr.misumi-ec.com/vona2/detail/221300067247/?HissuCode=DU2015&PNSearch=DU2015&KWSearch=DU2015&searchFlow=results2type>
- (8) ㈜TPC메카트로닉스, “이송나사계의 축방향 강성 K”, 3.5.1, Ball Screw 기술자료, pp.51.
- (9) THK 제조사, “전조 볼나사”, 15, Ball Screw, pp.266~278.
- (10) Rober R. Fox, Ming-Lun Lu, Enrico Occhipinti, Matthias Jaeger, 2019, “Understanding outcome metrics of the revised NIOSH lifting equation”, Applied Ergonomics, Vol. 81, 102897.