



# 주제 신청서(BB's)

## 선정 주제: AI기반 슬링벨트 폐기 판별 시스템

슬링벨트(섬유벨트)는 산업 현장에서 물품을 운반하거나 들어올리는데에 널리 사용되는 중요한 장비입니다. 그러나 슬링벨트(섬유벨트)의 폐기 결정은 주관적인 기준이 적용되어 있어서 안전 및 효율성 측면에서 일관성이 부족합니다. 이에 대한 객관적이고 효율적인 판별 시스템의 개발이 필요합니다.

본 발명은 슬링벨트의 폐기 결정을 위한 객관적인 판별 시스템을 제공하는 것을 목표로 합니다. AI 및 머신러닝 기술을 활용하여 슬링벨트의 상태를 평가하고, 폐기 여부를 판별할 수 있는 시스템을 개발하고자 합니다. 슬링벨트 폐기에 대한 신뢰성과 주관적 판단으로 인해 발생하는 문제를 해결하는 것이 목표입니다.

### 1. 주제 선정 과정

#### 1.1) 문제인식

팀원 중 일부의 부모님께서 실제로 산업 현장에서 종사하여, 산업 현장에서 사건, 사고가 빈번하게 발생한다는 현실을 간접적으로 체감하고 있습니다. 이를 계기로 산업 현장에서 발생하는 사고에 대한 관심이 높아져 관련 자료를 조사하게 되었고, 그 결과 슬링벨트를 사용한 다양한 사고 사례를 접하게 되었습니다.

‘건설 현장 재사용 벨트 슬링의 파단 강도 및 파괴 형상 분석’ 연구에 따르면 2008년부터 2018년까지 줄걸이의 파단에 의해 매년 평균 8명의 사망재해가 발생했음을 확인할 수 있었습니다. 슬링벨트 파단으로 인한 사고가 개선되었는지 확인하기 위해 최근 5년간(2019 ~ 2023)의 중대재해를 분석해본 결과 여전히 슬링벨트 파단으로 인한 사망재해가 여전히 발생되고 있음을 확인할 수 있었습니다.

##### 1) 23년 5월 27일 경기 안산

경기도 안산시 공사현장 이동식크레인 슬링벨트 끊어짐으로 맞음 사고(2023.5.27)

경기도 안산시 공사현장 이동식크레인 슬링벨트 끊어짐으로 맞음 사고(2023.5.27) 2023년 5월 27일 오전 7시 30분경 경기도 안산시 수영장 공사현장에서 작업자가 이동식크레인에 도르래를 연결하여 천막을 당기던 중 슬링벨트가 끊어지며 도르래에 맞음 사고로 사망하였다. \* 사

<https://ulsansafety.tistory.com/5190>



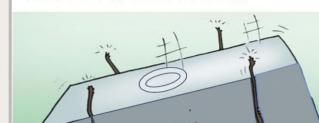
##### 2) 23년 10월 28일 전남 목포시

물탱크를 천장크레인으로 하역 중 슬링벨트가 끊어지며 깔림

물탱크를 천장크레인으로 하역 중 슬링벨트가 끊어지며 깔림 1. 일시: 2023년 10월 28일(토) 13:35경 2. 장소: 전남 목포시 소재 건설회사 공장동 3. 내용: 재해자가 화물차량에 실려 있던 물탱크를 천장크레인으로 하역하던 중 슬링벨트가 끊어지며 깔려 사망 \* 예방대책 와이어로프

<https://hseworld.co.kr/753>

건설회사 888에서 제1차 사고 예방대책 2차  
있던 물탱크를 천장크레인으로 하역하던 중  
슬링벨트가 끊어지며 깔려 사망



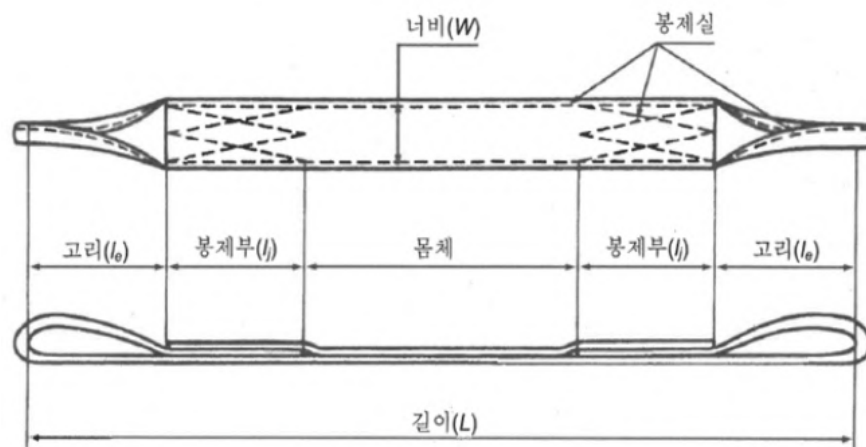
이에 대한 대응으로, 슬링벨트의 노후화 및 손상을 명확하게 판별할 수 있다면 슬링벨트 재사용 시 발생하는 사고를 줄일 수 있을 것으로 판단했습니다. 이를 위해 'AI 기반 슬링벨트 폐기 판별 시스템'을 고안하게 되었습니다. 이 시스템은 인공지능 기술을 활용하여 슬링벨트의 상태를 정확하게 판단하고, 손상된 부분을 식별하여 사고의 발생을 예방하는 목적으로 개발할 예정입니다.

이 기술을 통해 더 안전한 작업 환경을 조성할 수 있을 것이라 기대합니다.

## 슬링벨트란?

무거운 짐을 크레인을 사용해서 취급 운반할 때 사용하는 인양 로프 또는 인양 용구를 말한다. 더구나 일반적으로 선박에서 거더를 지지하는 체인 또는 로프도 슬링이라 한다.

("슬링", 네이버 산업안전 대사전, <https://url.kr/f1mz6x>)



<그림 2> 양 끝 고리형 벨트 슬링 사례

## 벨트 슬링(Belt Sling) 점검 및 폐기 기준 및 문제점

벨트 슬링의 점검 및 폐기기준

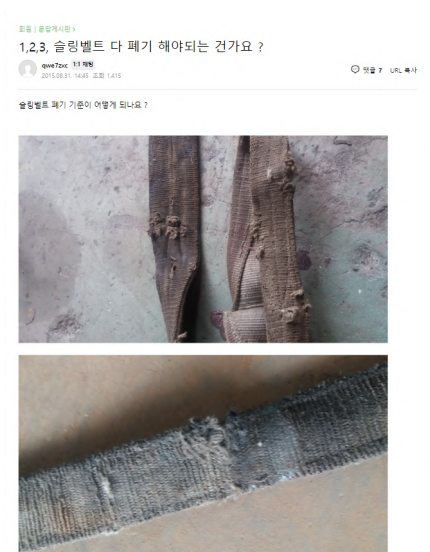
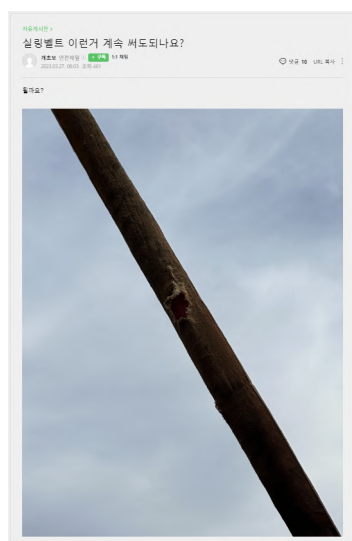
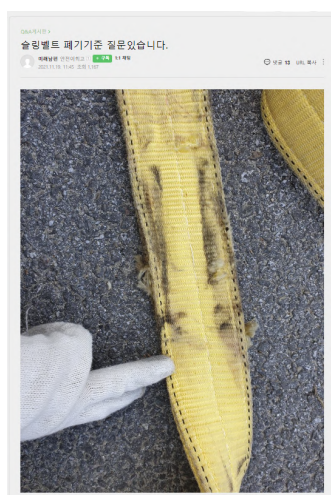
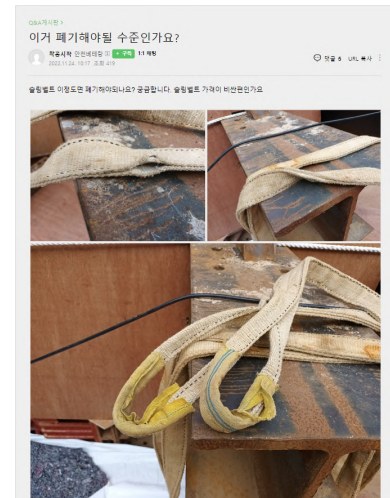
점검 항목	점검의 종류		점검 방법	폐기기준
	일상	정기		
손상의 상태 (마모, 흠 및 봉제실의 절단)				
1) 고 리	○	○	육안	(a) 결을 알아볼 수 없을 정도로 보풀이 일고 경사의 손상이 인지되는 것. (b) 두드러진 잘린 흠, 스친 흠, 굽힌 흠 등이 인지된 것. (c) 봉제실이 절단되어 고리의 모양이 유지되지 않는 것.
2) 봉제부	○	○	육안	(a) 두드러진 잘린 흠, 스친 흠, 굽힌 흠 등이 인지된 것. (b) 봉제실이 절단되어 벨트의 박리가 조금이라도 인지되는 것. (c) 봉제실이 절단되어 벨트의 나비 이상인 길이에 걸쳐서 박리되어 있는 것.
3) 몸 체	○	○	육안	- 사용한게 표시가 있는 것은 마모, 흠에 의하여 고리, 봉제부 또는 몸체의 어느 곳인가의 부분에 있어서 표시가 현저하게 노출 또는 소실된 것.
그 밖의 결 모양 이상	○	○	육안	- 열이나약품 등에 의한 현저한 변색, 착색, 용융, 용해 등이 인지되는 것.

폐기 기준은 주로 주관적인 육안 판단을 기반으로 하고 있습니다. "두드러진", "인지되는 것"에 대한 판단은 사람마다 다를 수 있으며, 일관된 판단을 보장하기 어렵습니다.

## 1.2) 문제 사례 분석

아래 자료는 산업안전기사, 위험물산업기사, 그리고 건설현장 안전관리 정보를 공유하는 현직자 커뮤니티에서 수집한 것입니다.

## 육안 판단의 어려움 및 갈등을 겪는 사례







## 5. 슬링벨트의 상태 점검 시, 육안 판단에 어려움을 겪는 지?

- 1 어려움을 겪는다.  
20표, 62.5%
- 2 어려움을 겪지 않는다.  
12표, 37.5%

네이버 커뮤니티인 '대한민국 건설현장 안전관리 비법 공유(대건법)'에 자문을 구한 결과, 슬링벨트의 상태 점검 시 62.5%의 참여자가 어려움을 겪는다고 응답하였습니다.

## 슬링벨트 파단사고 위험성 평가

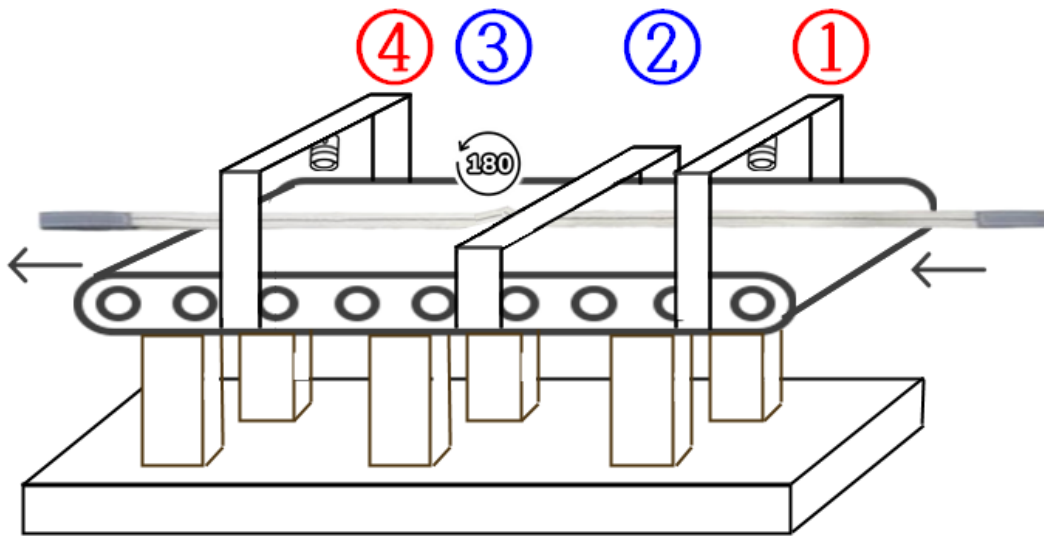
### ▶ 위험성평가

공종명	위험요소	위험성					위험요소 저감대책	저감대책 적용후 위험등급
		위험 구분	요인 분류	발생 빈도	심각 성	위험 등급		
자재 반입 및 보관	자재를 장비로 적재 중 이동통로 미확보에 의한 근로자 이동 중 충돌 위험	충돌	공정	2	3	6	장비로 자재 운반 중 근로자가 안전을 위해 접근 방지시설 및 신호수 배치	2
	신호수 미 배치에 의한 사고 위험	충돌	공정	2	3	6	장비 작업 전 신호수 배치하고 사고 방지를 위한 교육 시행	2
	이동식 크레인으로 자재 양중 시 아웃리거 마설치 등으로 장비 전도 위험	전도	공정	2	3	6	크레인 아웃트리거 설치 및 접지압(내지력) 확인 후 작업 시행	2
	손상된 와이어로프(슬링벨트) 또는 강도가 적합하지 않은 로프의 파단으로 자재 낙하 위험	낙하	특성	2	3	6	인양 작업 전 와이어로프(슬링벨트)의 공칭지름 감소 및 손상 여부 등을 점검하여 이상 시 교체 후 작업 시행	2
	크레인 양중 작업 시 파이프 등 자재 낙하 위험	낙하	공정	2	3	6	양중 작업 전 인양로프, 사슬 등 줄걸이 사전 점검 철저	2
	자재 양중 시 인양함 및 적재 불량 등으로 낙하 위험	낙하	공정	2	3	6	4지점 인양함, 지정 양중로프 사용 및 자재 적재량 준수 후 작업	2
	크레인 훅 해지 장치 마설치로 줄 걸이가 훅에서 이탈되어 자재 낙하 위험	낙하	특성	2	2	4	크레인 훅 해지 장치설치 및 작동상태 확인 후 시행	1
	건설기계 운전 미흡으로 근로자와 충돌 위험	충돌	인적	2	2	4	운전자 자격확인 및 건설기계 작업허가서 확인	2
	지게차에 과적하여 운행 중 자재 낙하 위험	낙하	공정	2	2	4	지게차에 자재 적재 시 허용범위 내 자재만 적재하고, 구름 방지조치 후 운반 시행	1
	자재를 무리하게 높게 적재하여 자재 전도 위험	전도	인적	2	2	4	자재 적재는 3단 이상 금지하고 전도방지 받침목 사용	1
	자재 적재 시 구름 방지조치 미흡으로 자재 전도 위험	전도	인적	2	2	4	자재 전도 구름 방지조치 후 적재 시행	1

한국토지주택공사(LH)에서 제시한 위험성 평가에 따르면, 슬링벨트 파단사고의 위험 등급과 심각성이 다른 위험 요소들보다 높은 것을 알 수 있습니다. 이는 슬링벨트의 손상이 자칫 큰 사고로 이어질 수 있음을 시사합니다. 저감 대책으로 인양 작업 전 슬링벨트의 손상 여부 등을 점검한 후 작업을 적용한 결과 위험 등급이 6에서 2로 낮아졌습니다. 이를 통해 슬링벨트의 사전 점검이 사고 예방에 효과적임을 확인할 수 있습니다.

## 2. 기능 및 기대효과

### 2.1) 기능 설명



1. **슬링벨트 앞면 인식** : PI Camera를 통해 슬링벨트의 앞면을 촬영하며 손상 부분이 있는지 판별합니다.
2. **고정부** : 1부분(슬링벨트 앞면 인식 부분)에서 슬링벨트가 카메라에 찍히기 전에 회전 되지 않도록 고정해주는 역할을 합니다.
3. **180° 회전** : 3D 프린터로 제작한 나선 장치를 이용해 고정부를 통과한 슬링벨트를 회전시켜 슬링벨트의 뒷면 도 촬영이 가능하도록 합니다.
4. **슬링벨트 뒷면 인식** : PI Camera를 통해 슬링벨트의 뒷면을 촬영하며 손상 부분이 있는지 판별합니다.

아래의 슬링벨트 폐기 기준에 따라 각각을 카메라로 인식하여 구분합니다. 카메라로 아래의 경우들을 감지하여 전체 면적에 대한 비율을 계산하여 퍼센트로 손상도를 LCD화면을 통해 작업자에게 알려줍니다. 손상도가 20% 이상인 경우 기존 연구 논문('건설 현장 재사용 벨트 슬링의 파단 강도 및 파괴 형상 분석')에 따라 기존 하중의 27%만 견딜 수 있으므로 폐기를 권장함을 알립니다. 손상도가 0%인 경우 초록색 led, 20% 미만인 경우 노랑색 led, 20% 이상인 경우 빨간색 led로 표시하여 알립니다.

#### 1) 고리

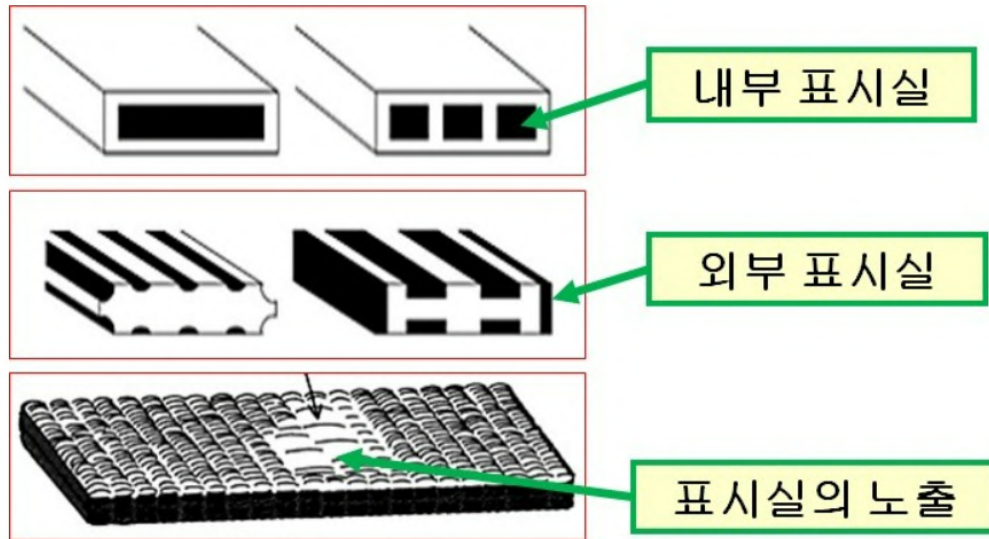
- (a) : 섬유의 결(패턴)의 손상이 감지되거나 경사(직물 주 방향)의 손상이 감지되는 경우
- (b) : 섬유의 잘린 부분, 스친 부분, 굽힌 부분이 감지되는 경우
- (c) : 고리 모양 자체가 손상되어 알맞은 모양이 인식되지 않는 경우

#### 2) 봉제부

- (a) : 섬유의 잘린 부분, 스친 부분, 굽힌 부분이 감지되는 경우
- (b) : 섬유의 박리(벗겨짐)가 감지되는 경우
- (c) : 봉제선의 풀어진 길이가 벨트의 폭보다 길게 감지되는 경우

#### 3) 몸체

- 사용한계 표시(내부 또는 외부의 다른 실)의 노출이나 손상이 감지되는 경우



#### 4) 기타

벨트의 변색, 착색, 용융이 감지된 경우

### 2.2) 기대효과

‘AI기반 슬링벨트 폐기 판별 시스템’은 아래와 같은 긍정적인 영향을 미칠 것으로 예상합니다.

1. **슬링 벨트 손상으로 인한 파단 사고 예방:** 새로운 기술의 도입으로 슬링벨트의 손상을 신속하게 감지하고 조치함으로써 작업 중 파단 사고를 효과적으로 예방할 수 있습니다. 이는 작업 환경에서 안전성을 높이고 작업자의 안전을 보장하는 데 기여할 것입니다.
2. **슬링 벨트 폐기에 대한 모호한 판단을 객관적으로 개선:** 기존에는 슬링벨트의 폐기 여부에 대한 주관적이거나 모호한 판단으로 갈등을 겪는 경우가 있었습니다. 해당 시스템을 통해 슬링벨트의 상태를 객관적으로 판단함으로써, 판단의 모호성을 제거하여 신속하고 안전한 작업에 도움을 줄 수 있습니다.
3. **자동 폐기 기능 추가 및 주문 서비스 제공:** 향후 연구 및 개발 단계에서 다양하게 응용될 수 있는 기술입니다. 예를 들어 자동 폐기 기능을 추가하여 더 이상 사용할 수 없는 슬링벨트를 감지하고 자동으로 폐기할 수 있습니다. 더 나아가, 폐기된 슬링벨트의 개수에 따라 자동으로 새로운 슬링벨트를 주문해주는 서비스를 제공함으로써 기업들에게 효율적인 재고 관리 및 구매 프로세스를 제공할 수 있습니다.

종합적으로, ‘AI기반 슬링벨트 폐기 판별 시스템’은 안전성 향상과 자원 효율성을 동시에 실현할 수 있습니다. 작업 환경의 안전성을 보장하고 기업의 비용을 절감하는 데 기여할 것으로 기대됩니다.

### 2.3) 유사제품과 차별성

유사한 기술로는 ‘직물패턴 알고리즘 적용을 통한 품질검사 장치’ 과 ‘지능형 fabric 결함탐지시스템(Intelligent fabric detection system)“WiseEye” ’가 있습니다. 두 시스템 모두 인공지능 및 Deep Learning을 포함하여 섬유 패턴을 인식하여 품질 검사를 실시합니다. 우리가 개발하려고 하는 시스템과 가장 큰 차별점은 두 유사제품은 모두 상업적인 목적으로의 개발로, 인건비 절약과 품질 개선을 위한 시스템입니다. 그러나 우리의 시스템은 산업 현장에서 충분히 예방할 수 있는 사고를 이를 통해 막음으로서 안정성을 높이는 것을 궁극적 목적으로 합니다. 또한 전체적인 직물에 대한 인식이 아닌 슬링벨트에 특화된 인식 기술 모델로, 폐기 기준에 대한 주관적이고 모호한 판단을 개선 시킨다는 점에서 차별성이 있습니다.



### 3. 주제 구현 방법 및 해당 근거 자료

#### 3.1) Pi Camera 모듈 활용



#### 라즈베리 파이 High Quality Camera 활용

슬링벨트의 손상 상태를 점검하기 위해서는 슬링벨트를 촬영해야 합니다. 라즈베리 파이 카메라 모듈을 컨베이어 벨트의 양쪽에 설치하여, 이동하는 컨베이어 벨트 위의 슬링벨트 상태를 영상으로 촬영할 계획입니다. 이때 사용할 라즈베리 파이 카메라 모듈은 Raspberry Pi High Quality Camera입니다. HQ Camera를 택한 이유는 작은 손상이나 결함을 정확하게 식별해야 하는 경우와 같이, 세밀한 이미지 분석이 필요한 경우에 유용하다고 판단하였기 때문입니다.

#### HQ Camera의 다섯 가지 주요 특징

- **고해상도 센서:** Sony IMX477 12.3 메가 픽셀 고해상도 센서를 사용하여, 고화질의 이미지 및 영상 촬영을 할 수 있습니다. 또한 최대 4056 x 3040 픽셀의 해상도를 가집니다.  
→ 고해상도는 슬링벨트의 손상된 부분을 정교하게 캡처할 수 있게 해줍니다. 이로써 작은 균열, 마모 그리고 결함 등을 분명하게 식별할 수 있습니다.
- **교체 가능한 렌즈:** C-mount 및 CS-mount 렌즈를 지원하며, 사용자가 렌즈를 교체할 수 있기에 다양한 조건에 맞출 수 있습니다. 이를 통해 광각, 망원, 매크로 촬영 등 다양한 사진 촬영 환경을 만들 수 있습니다.  
→ 슬링벨트의 전체적인 상태를 촬영하기 위해 광각 렌즈를 사용할 수도 있고, 세부적인 손상을 확인하기 위해 매크로 렌즈를 사용할 수도 있습니다. HQ Camera는 개발을 진행할 때에 적합한 각도를 찾을 수 있도록, 시각적 요구 사항을 유동적으로 따를 수 있도록 해줍니다.
- **수동 조절 가능한 초점:** 수동 초점 조절 기능을 통해 정밀한 초점 조절이 가능합니다. 이를 통해 더욱 선명한 이미지를 얻을 수 있습니다.  
→ 수동적으로 초점을 조절하는 기능을 통해 특정 영역에 초점을 맞출 수 있고, 슬링벨트의 손상된 부분의 디테일을 명확하게 포착하는 데에 도움을 줍니다.
- **라즈베리 파이와의 호환성:** 라즈베리 파이의 모든 모델과 호환 가능하며, 사용하기 위해서는 카메라 용 Camera Serial Interface(CSI) 포트를 통해 연결해야 합니다.  
→ 개발 시 사용할 라즈베리 파이와 호환이 가능하기에 원하는 기능을 활용할 수 있습니다.

#### 라즈베리 파이 카메라 렌즈 별 촬영 사진 비교



아래의 사진은 라즈베리 파이의 카메라 모듈 별 사진 촬영 결과 결과입니다. 이를 보면 알 수 있듯이 Raspberry Pi High Quality Camera가 이전의 Raspberry Pi V2 카메라 모듈보다 좋은 성능을 보이고 있음을 알 수 있습니다. 배율이 높을 수록 더 좋은 선명도와 확대 기능을 사용할 수 있기에 본 시스템에서 HQ Camera를 활용하여 슬링벨트의 손상도 판별을 정확하게 하고자 합니다.

- Camera V2



- Camera HQ, 6mm 광각 렌즈



- Camera HQ, 16mm



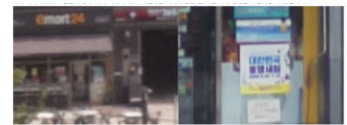
- Camera HQ, 25mm



- Camera HQ, 35mm



- 35mm 렌즈의 경우 V2와 비교할 때, 사진 확대 성능의 차이를 확인할 수 있습니다.

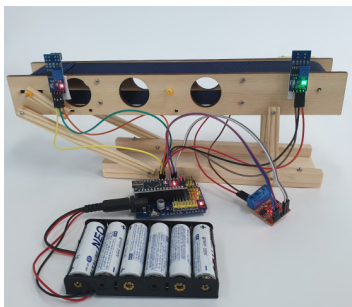


### 3.2) 컨베이어 벨트 구현

#### 컨베이어 벨트 활용

슬링벨트의 손상 상태를 점검할 때에는 컨베이어 벨트를 활용할 계획입니다. 컨베이어 벨트를 통해 슬링벨트의 상태를 점검하는 이유는, 슬링벨트는 다양한 길이와 두께를 지니고 있습니다. 길고 무거운 슬링벨트를 펼쳐서 카메라를 움직여 손상 상태를 관찰하기에는 카메라의 흔들림으로 인한 데이터 손상의 우려가 있습니다. 이에 직접 컨베이어 벨트를 구축하여 카메라를 컨베이어 벨트 위에 고정하고 슬링벨트를 이동시켜 안정적으로 데이터 수집이 가능하도록 하고자 합니다.

#### 참고 이미지 및 코드



```
#include <AccelStepper.h>

#define enablePin 8
#define dirxPin 2
#define stepxPin 5
#define motorInterfaceType 1
#define cmdxBPin 13
#define sensorx 9
```

```

// Create a new instance of the AccelStepper class:
AccelStepper stepperx = AccelStepper(motorInterfaceTy

int statex;

void setup() {
    pinMode(enablePin, OUTPUT);
    pinMode(sensorx, INPUT_PULLUP);
    pinMode(cmdxPin, OUTPUT);

    digitalWrite(enablePin, LOW);
    digitalWrite(cmdxPin, HIGH);
    digitalWrite(sensorx, HIGH);

    stepperx.setMaxSpeed(1000);
    stepperx.setSpeed(900);
}

void loop() {
    statex = digitalRead(sensorx);

    if (statex == HIGH) {
        digitalWrite(cmdxPin, LOW);
        stepperx.stop();
    } else {
        digitalWrite(cmdxPin, HIGH);
        stepperx.setSpeed(900);
        stepperx.runSpeed();
    }
}

```

## 슬링벨트 손상 기준에 따른 판별

슬링벨트 위치에 따른 폐기 기준 총 8가지를 따라 손상 영역과 형태를 분류할 계획입니다. 고리, 봉제부, 몸체, 기타 등의 위치에 대한 이미지 데이터셋을 생성하고, 세부적으로 8개의 클래스로 구분하여 손상 영역 추출 및 판별의 결과로 폐기 여부를 결정합니다.

### 3.3) 관련 논문 자료

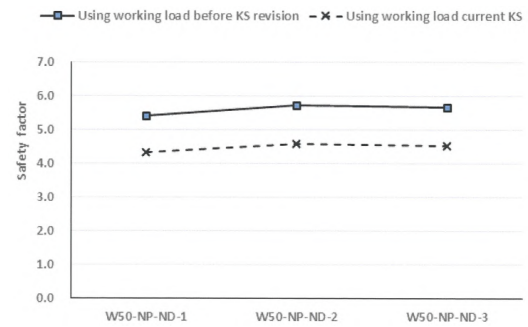
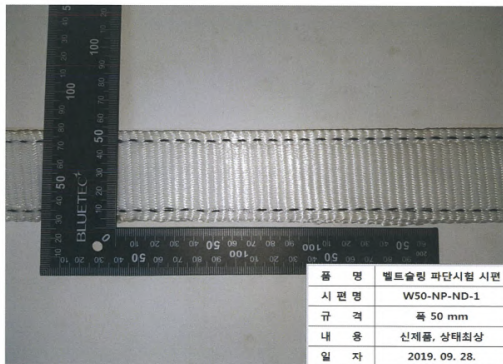
1) 손상된 슬링벨트가 얼마 만큼의 제 기능을 할 수 있을지에 대해 논문을 통해 근거를 제시하고자 합니다. 본 논문을 통해, 재사용된 슬링벨트는 새 제품 슬링벨트의 약 39%정도의 기능 밖에 할 수 없음을 확인하였습니다. 그럼에도 현장에서는 슬링벨트의 제대로된 상태 점검 없이 재사용하고 있습니다. 이러한 문제점을 논문을 통해 다시 각인하고, 해결하고자 합니다.

2) 충북대학교의 '건설 현장 재사용 벨트 슬링의 파단 강도 및 파괴 형상 분석'에 대한 논문은 슬링벨트의 안전한 관리를 위하여 관련 규격 및 법에서 정하는 폐기 기준과 안전 계수 등을 비교 검토합니다. 더불어 실험에 의한 파단 강도 및 파단 형상 분석을 통하여 사용 하중과 파괴 모드에 근거한 현장 관리 방안을 제시하고 있습니다.

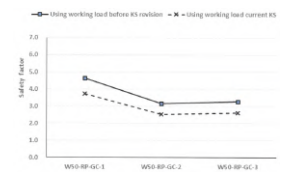
\*본 논문에서는 폭 50mm, 75mm인 슬링벨트를 사용하고 있으나 보고서에는 폭 50mm의 슬링벨트 사진을 사용하여 습니다.

## 논문에서 사용한 슬링벨트 (50mm)

- 신제품, 상태최상



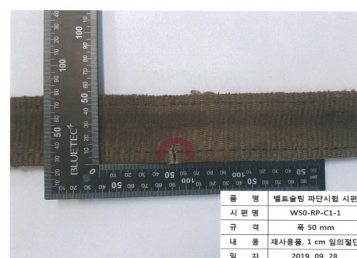
- 재사용품, 상태양호



- 재사용품, 일부훼손발생



- 재사용품, 1cm 임의절단



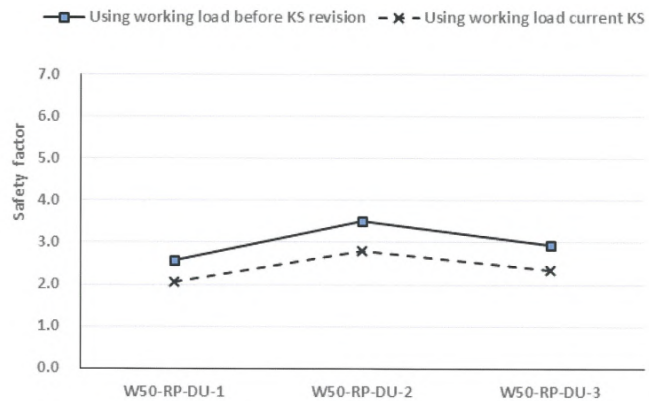
본 연구에서는 서로 다른 형태의 손상을 가진 슬링벨트를 만들어, 하중을 측정하고 슬링벨트의 사용 여부에 대한 판단을 진행하였습니다. 이 중 두 가지의 사례를 참고하고자 합니다.

## 1) 일부 훼손 및 1cm 절단의 경우

- 육안으로 식별이 가능한 흠, 보풀 등 손상이 있는 슬링벨트

폭이 50mm인 경우 측정 사용 하중은 평균 11.5kN으로, 요구 사용 하중인 19.6kN에 비해 약 34%로 측정 되었으며, 폭 75mm인 경우도 평균 11.5kN으로, 요구 사용 하중인 29.4kN의 39%로 파악되었습니다. 이는 새 제품에 비해 33~39% 정도의 사용 하중 밖에 확보되지 않은 것으로 나타났습니다. 또한 실험 과정에서 예기치 못한 곳에서 훼손이 발생함으로써, 재사용 중인 슬링벨트를 사용할 때 사용 가능 여부에 대한 판단을 내리는 데에 어려움이 발생합니다.

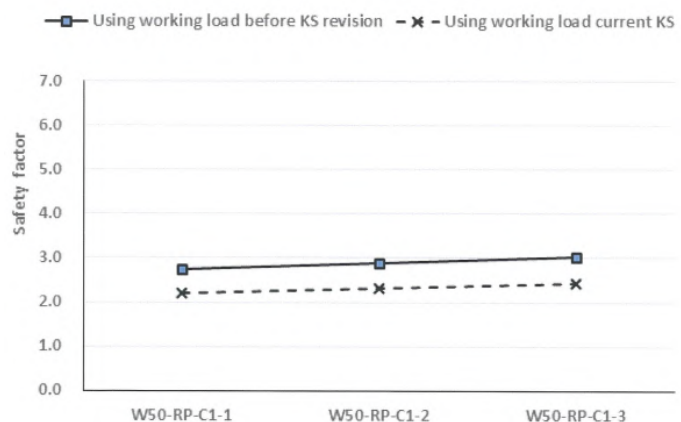
Experimental sample number	Failure modes	Result of experiment
W50-RP-DU-1	Lints & excessive abrasive break	
W50-RP-DU-2	Break of eye part	
W50-RP-DU-3	Break of eye part	



- 육안으로 확인이 가능한 절단면이 1cm 정도 존재하는 경우

사용하지 않은 새 제품의 사용 하중에 비해 약 33~37% 정도 밖에 확보되지 않기 때문에 육안으로 식별이 가능한 흠, 보풀 등 일부 손상이 발생한 제품은 비교적 상태가 양호해도 문제가 되는 것으로 판단되었습니다.

Experimental sample number	Failure modes	Result of experiment
W50-RP-C1-1	1 cm arbitrary cuts	
W50-RP-C1-2	1 cm arbitrary cuts	
W50-RP-C1-3	1 cm arbitrary cuts	



## 2) 슬링벨트의 20% 이상의 손상이 발생한 경우

현장에서 재사용 되고 있는 폭 50mm 및 75mm의 슬링벨트가 폭 방향으로 20% 이상의 손상이 있는 경우 측정 사용 하중이 평균 5.3kN과 8.0kN인 것으로 나타났습니다. 이는 실제 사용하지 않은 새 제품의 요구 사용 하중인 19.6kN과 29.4kN의 약 27% 정도의 사용 하중만 확보되는 것을 알 수 있습니다.

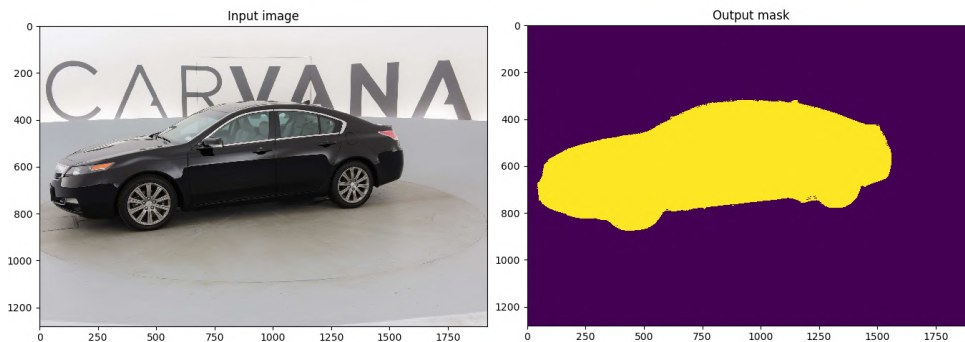
\*본 논문에 참고 사진이 없어 첨부하지 못하였습니다.



## 논문 기반의 시스템 기능

논문을 통해 알 수 있듯이, 슬링벨트의 일부가 훼손 될 경우 새 제품보다 하중이 줄어듭니다. 손상 부분이 1cm로, 슬링 벨트의 크기에 비해 매우 작은 영역이라 생각되지만, 하중은 약 33~37% 차이가 납니다. 손상된 슬링벨트를 동일한 하중에 지속해서 사용하게 되면 슬링벨트의 끊어짐 등의 문제로 사고가 발생할 수 있습니다.

### 3.4) 인공지능 딥러닝 모델 활용



본 시스템에 활용할 딥러닝 모델은 시맨틱 세그멘테이션의 **U-Net**입니다. U-Net을 선택한 이유는 다음 두가지 이유를 통해 슬링벨트의 균열, 마모 등을 파악하는 데에 가장 적합할 것으로 판단되었기 때문입니다.

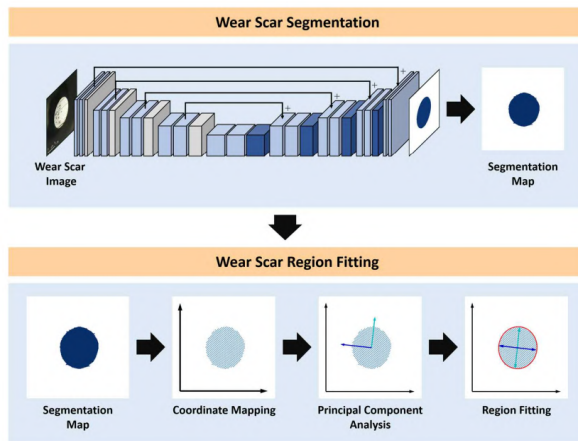
## U-Net의 특징

- **정밀한 세그멘테이션:** 입력 이미지에서 그 안의 특징을 명확하게 캡처하는 데에 효과적입니다. 그렇기에 의료 영상 분야에서 세포와 같은 작은 구조물을 정확하게 분리하는 데에 좋은 성능을 보입니다.
  - 슬링벨트의 손상 여부를 판단하기 위해서는 특징을 정밀하게 추출할 수 있는 모델이 필요하다고 생각하였습니다.
  - U-Net은 정밀한 세그멘테이션이 가능하며, 작은 구조물의 분리에 효과적이기에 슬링벨트의 작은 손상 영역 추출 및 판별 정확도가 높을 것이라 예상하였습니다.
  - U-Net은 이미지의 정보와 컨텍스트의 정보를 모두 캡처할 수 있는 구조이기에 정밀한 객체의 경계 구분이 가능하여 보다 정확도 높은 결과가 나올 것이라 예측하였습니다.
- **적은 양의 데이터셋으로 학습:** 소량의 훈련 데이터셋으로 정확도를 높일 수 있습니다. 의료 영상과 같이 대량의 레이블링 된 데이터를 확보하기 어려운 분야에서 U-Net을 활용할 수 있습니다.
  - 손상된 슬링벨트 관련 데이터 조사 결과, 손상 여부에 따른 슬링벨트 데이터가 없었습니다. 직접 데이터셋을 구축해야 하는 상황에서 대량의 훈련 데이터셋을 필요로 하는 딥러닝 모델보다는 소량의 데이터셋으로 높은 정확도를 얻을 수 있는 U-Net이 적합하다고 판단하였습니다.
  - U-Net은 상대적으로 간단한 구조를 가지고 있으며, 적은 양의 데이터로도 학습이 가능하기에 빠른 추론 속도를 보여줍니다. 또한, 의료 분야에서 적합하게 사용되고 있기에 실시간 성능이 우수하다는 것을 의미합니다. 이는 시간 단축에 유리할 것이라 생각하였습니다.

## U-Net을 활용한 마모 흔의 측정 논문

한국트라이볼로지 학회의 2023년도 논문집을 살펴보면, '딥러닝 기반 마모 흔의 측정 방법'에 대한 논문이 기재되어 있습니다.

- 해당 논문에서는 마모 영역에 대해 빠르고 정확하게 측정하기 위해 딥러닝 기반의 마모 영역 측정 방법을 제안합니다. 본 연구에서 활용하는 딥러닝 모델은 U-Net이며, 세그멘테이션 맵에 마모 영역에 대한 픽셀의 값은 1로, 나머지 픽셀의 값은 0으로 설정하여 이진 이미지를 생성합니다.
- 세그멘테이션 과정에서는 딥러닝 모델을 통해 입력 이미지의 마모 영역에 해당하는 부분을 구분해 내는 작업을 수행합니다. 이후 영역 조정 과정에서는 마모 영역의 지름 및 면적 측정을 위해 세그멘테이션 결과를 기하학적으로 분석 가능한 형태로 조정하는 작업을 수행합니다.



- 본 연구에서의 데이터 수집은 실험을 진행하여, 결과를 이미지로 촬영하였습니다. 총 276장의 이미지를 사용하였으며, 이 중 210장의 이미지는 모델 학습에, 66장의 이미지는 테스트에 사용하였습니다.
- 실험 결과, 딥러닝 기반을 통해 측정된 마모 영역과 실제 마모 영역을 통해 계산된 평균 IoU 값은 0.893으로, 두 마모 영역이 매우 유사하게 나타났습니다. 기존 연구자들이 손으로 직접 측정한 결과와 비교하였을 때에는 상대적으로 높은 정확도를 보였습니다.

논문에서 확인할 수 있듯이, 마모 흔을 측정하는 데에 U-Net을 활용하여 좋은 결과를 얻을 수 있습니다. 또한, 276장의 적은 데이터셋으로도 기존 연구보다 높은 정확도 향상을 도출하였습니다. 이러한 기존 연구를 바탕으로 본 시스템 개발에서도 U-Net을 사용하여 실험을 진행할 계획입니다.

## U-Net 구현 방법

U-Net 공식 github를 통해 진행할 계획입니다.

<https://github.com/milesial/Pytorch-UNet>

### 1. 데이터셋 생성

#### 이미지 데이터

- 손상된 슬링벨트의 이미지 데이터를 생성하기 위해 파이썬의 크롤링 기법, 현장 조사를 통한 수거 그리고 커뮤니티를 통해 이미지를 수집합니다. 현장 조사를 통해 수거된 슬링벨트를 촬영하여 동일한 간격만큼 잘라서 이미지 수집

을 할 계획입니다.

- 다양한 손상 영역 및 형태를 지닌 슬링벨트의 이미지를 수집하고, 고해상도 이미지를 통해 손상 여부가 명확하게 보이도록 데이터를 생성합니다.

## 손상 영역 레이블링

- 이미지 수집 후, 슬링벨트의 손상 영역을 추출하고 레이블링하여 클래스를 구분합니다.

## 데이터 전처리

- 서로 다른 크기의 이미지를 리사이징 하여 동일하게 설정합니다.
- 컬러 이미지를 그레이스케일로 변환하여 데이터셋의 복잡성을 줄입니다.
- U-Net 모델에 적합하도록 데이터 전처리를 진행합니다. 이미지의 픽셀 값을 0~1 범위로 정규화하고, 데이터 증강을 활용하여 모델의 일반화 능력을 향상 시킵니다.

## 2. 학습 및 검증 진행

### 손실 함수

손실 함수로는 Dice 손실과 크로스 엔트로피 손실을 결합한 조합 손실 함수를 사용할 계획입니다.

- **Dice 손실**은 클래스 간 불균형이 있는 경우에 적합하며, 예측된 객체의 영역과 실제 영역 간의 오버랩을 측정하는 지표인 Dice 계수의 역수를 사용합니다. 이 계수는 두 영역 간의 유사도를 0~1의 값으로 나타냅니다.
- **크로스 엔트로피 손실**은 각 픽셀 별로 클래스 분류를 진행하며, 예측된 클래스의 확률과 실제 클래스의 레이블 간의 차이를 측정합니다.

### 최적화 방법

최적화 방법으로는 Adam 방법을 사용할 계획입니다.

- **Adam(Adaptive Moment Estimation)** 최적화 방법은 초기 학습률을 자동으로 조절하면서 각 매개변수에 대해 다른 학습률을 적용할 수 있습니다. 이는 다양한 데이터셋에 적합합니다. 특히 본 시스템과 같이 정확한 손상 영역 판별과 같은 작업에서 최적화가 잘 이루어질 것으로 예상합니다.

## 3. 테스트 진행

### 모델 성능 평가

학습된 모델에 테스트 데이터셋을 사용하여 모델의 성능을 평가합니다.

- 성능 평가 지표: 정확도, 정밀도, 재현율, F1 점수, IoU(Intersection over Union) 등을 활용하여 성능 평가를 측정합니다.
- 이후 성능 향상에 중점을 두어 수정을 진행합니다.
- 실제 컨베이어 벨트 위에 슬링벨트를 두어, 라즈베리 파이 카메라 모듈로 촬영한 데이터의 손상 영역 추출과 판별이 잘 이루어지는지 확인합니다. 이때 학습 데이터를 생성할 때와 동일하게 영상을 촬영하여 일정한 간격만큼 잘라서 이미지를 통해 테스트를 진행할 계획입니다.

### 3.5) 구현할 기술에 대한 사전 조사 자료

#### 컨베이어 벨트의 작동 원리 및 구성 요소

- 모터가 구동 시스템을 통해 롤러를 회전 시키면, 이에 따라 벨트가 움직이고 벨트 위에 올려진 물체는 벨트가 이동하는 방향으로 이동하게 됩니다. 이를 통해 시작점에서 목적지까지 물체를 이동 시키는 것입니다.
- **벨트(Belt):** 물체를 싣고 이동하는 데에 중요한 역할을 합니다. 주로 PVC, 고무, 실리콘 등의 재료로 제작됩니다.
- **롤러(Rollers):** 벨트가 원활하게 움직일 수 있도록 지지하는 원통형입니다. 벨트는 롤러 위를 움직이면서 물건을 운반합니다.
- **구동 시스템:** 컨베이어 벨트를 움직이게 하는 시스템입니다. 모터와 기어박스 등을 포함하며, 벨트의 속도와 방향을 제어합니다.
- **제어 시스템:** 컨베이어 벨트의 속도, 방향, 작동 시간 등을 제어하기 위한 시스템입니다. 아두이노와 같은 마이크로 컨트롤러를 이용하여 복잡한 작업을 자동으로 처리합니다.
- **지지 구조:** 컨베이어 벨트를 안정적으로 지지하기 위한 프레임입니다.

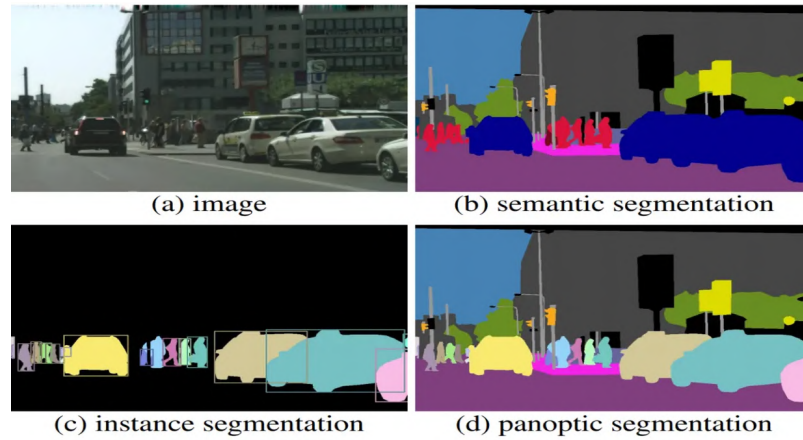
#### 컨베이어 벨트 구축 준비 및 과정

\*개발 시에는 아두이노 우노를 사용할 계획입니다.

- **준비:** 아두이노 나노, 아두이노 나노 쉴드, 암-암 점퍼선, 암-수 점퍼선, 양면 테이프, 아두이노 나노 USB 케이블, 모터 드라이버, 배터리 홀더, 적외선 센서, DC 모터, 컨베이어 벨트, 나사, 나무판자 등
- **설계:** 컨베이어 벨트의 크기(슬링벨트 크기 및 무게 고려), 모터의 위치, 적외선 센서의 배치 등을 계획합니다.
- **지지대 구축:** 나무판자를 통해 지지대를 만듭니다. 슬링벨트의 무게를 고려하여 구조를 설계하고, 양면 테이프와 나사를 사용하여 벨트를 롤러에 고정 시킵니다.
- **보드 연결:** 아두이노 나노를 아두이노 쉴드에 장착합니다. DC 모터를 모터 드라이버에 연결하고, 모터 드라이버를 아두이노 나노와 연결합니다. 이후 적외선 센서를 아두이노 나노에 연결하고 센서의 VCC, GND, OUT 핀을 각 아두이노의 5V, GND, 그리고 디지털 입력 핀에 연결합니다.
- **전원 공급:** 배터리 홀더를 사용하여 모터 드라이버에 전원을 공급합니다. 아두이노 나노는 USB 케이블을 통해 전원을 받아옵니다.
- **프로그래밍:** 아두이노 IDE를 사용하여 아두이노 나노를 프로그래밍합니다. 주 기능인 모터의 회전 방향 및 속도를 제어하도록 하고, 적외선 센서가 물체를 감지할 경우 컨베이어 벨트의 동작을 제어할 수 있도록 합니다.

#### 이미지 세그멘테이션(Image Segmentation)





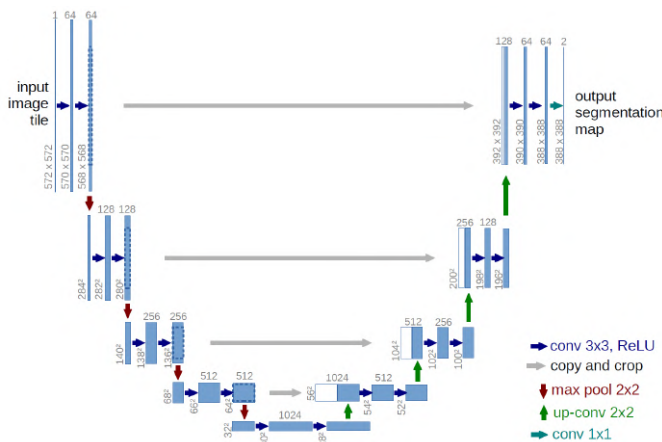
이미지 세그멘테이션(Image Segmentation)은 컴퓨터 비전 분야 중 하나로, 이미지를 구성하는 픽셀들을 여러 세그먼트로 나누는 과정입니다. 이미지에서 객체가 있는 위치, 객체의 모양, 어떤 픽셀이 어떤 객체에 속하는지 등을 알고 싶을 때, 이미지를 분할하여 이미지의 각 픽셀에 레이블을 부여합니다. 이미지 세그멘테이션의 목적은 이미지를 이해하고 분석하는 데 있으며, 특정 객체의 경계를 정확히 파악하거나, 이미지 내의 관심 있는 영역을 식별하는 데 사용됩니다. 이는 1) 시맨틱 세그멘테이션, 2) 인스턴스 세그멘테이션, 3) 파노픽 세그멘테이션으로 구분할 수 있습니다.

## 시맨틱 세그멘테이션(Semantic Segmentation)



시맨틱 세그멘테이션은 이미지를 구성하는 각 픽셀을 특정 클래스로 분류하는 과정입니다. 즉, 이미지 내의 객체들이 속한 클래스에 따라 분류하며, 동일한 클래스에 속하는 모든 객체를 같은 레이블로 취급합니다. 위의 사진에서 볼 수 있듯이 같은 클래스의 인스턴스는 구별하지 않고, 사람 클래스에는 모든 사람 객체들이 사람으로 구분되고, 자전거 클래스에는 모든 자전거 객체들이 자전거로 구분됩니다.

### <U-Net 구조>



U-Net은 오토인코더(autoencoder)와 같은 인코더-디코더(encoder-decoder) 기반 모델입니다.

- 기본적인 인코딩과 디코딩
  - 인코딩: 입력 이미지의 특징을 찾을 수 있도록 채널의 수를 늘리면서 차원을 축소합니다.  
→ 문제점: 인코딩 단계에서 차원을 축소하면서 이미지의 객체에 대한 상세 정보를 잃게 됩니다.
  - 디코딩: 저차원으로 인코딩된 정보만 이용하여 채널의 수를 줄이고 차원을 늘려서 고차원의 이미지를 복원합니다.  
→ 문제점: 저차원의 정보만을 이용하기 때문에 객체의 위치 정보에 대한 손실을 회복하게 못합니다.
- U-Net의 인코딩과 디코딩

기본적인 인코딩 및 디코딩 단계의 정보 손실 문제를 해결하기 위해 U-Net의 아이디어는 다음과 같습니다. 저차원 뿐만 아니라 고차원 정보도 활용하여 이미지의 특징을 추출하고 이와 동시에 정확한 위치를 파악하도록 하는 것입니다. 인코딩 단계의 각 레이어에서 얻은 특징을 디코딩 단계의 각 레이어에 합치는 방법을 사용합니다.

## 4. 팀원 간 업무 내용

팀원	업무
김지윤(팀장)	- 컨베이어 벨트 모델링 - 라즈베리 파이 셋팅 - PI Camera 셋팅 - 모델학습 1
박수진	- 컨베이어 벨트 모델링 - 라즈베리 파이 셋팅 - PI Camera 셋팅 - 모델학습 1
정지원	- 컨베이어 벨트 제작 - 3D 모델링 및 프린팅 - 아두이노 스케치 - 모델학습 2
이다운	- 컨베이어 벨트 제작 - 3D 모델링 및 프린팅 - 아두이노 스케치 - 모델학습 2
공동작업	- 컨베이어 벨트 구조 설계 - 데이터 수집 및 전처리 - 모델 학습 - 테스트 및 오류 수정 - 최적화

## 5. 작품 제작 추진 계획 및 일정표

분류	업무내용	3월				4월				5월			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
하드웨어	컨베이어 벨트 구조 설계(4)												
	프레임 모델링 및 커팅(2)												
	컨베이어 벨트 제작(2)												
	테스트 및 오류 수정(2)												
소프트웨어	아두이노 스케치(2)												
	라즈베리 파이 셋팅(2)												
	PI Camera 셋팅(2)												
	테스트 및 오류 수정(2)												
	최적화(4)												
인공지능	데이터 수집 & 전처리(4)												
	모델 학습1(2)												
	모델 학습2(2)												
	테스트 및 오류 수정(2)												

## 6. 지원 경비 사용 계획

모델명	단가	수량	총액	링크
라즈베리파이4 (8GB) 스타터 키트 + 가이드북	148,000	0	0	라즈베리파이4를 보유하고 있기에 구매하지 않겠습니다.
라즈베리파이 HQ 카메라모듈 C/CS mount (Raspberry Pi High Quality Camera)	72,000	2	144,000	<a href="https://www.devicemart.co.kr/goods/view?no=12543579">https://www.devicemart.co.kr/goods/view?no=12543579</a>
Arducam 8-50mm C-Mount Zoom Lens for IMX477 Raspberry Pi HQ Camera, with C-CS Adapter [LN057]	66,900(해외)	2	133,800	<a href="https://www.devicemart.co.kr/goods/view?no=14870328">https://www.devicemart.co.kr/goods/view?no=14870328</a>
아두이노 우노 R3 호환보드 [SZH-EK002]	9,900	1	9,900	<a href="https://www.devicemart.co.kr/goods/view?no=1245596">https://www.devicemart.co.kr/goods/view?no=1245596</a>
Crowtail- I2C 모터드라이버 [CT009280D]	15,000	1	15,000	<a href="https://www.devicemart.co.kr/goods/view?no=1383085">https://www.devicemart.co.kr/goods/view?no=1383085</a>
TCRT5000 적외선 트래킹 센서 모듈 [SZH-SSBH-003]	700	2	1,400	<a href="https://www.devicemart.co.kr/goods/view?no=1327421">https://www.devicemart.co.kr/goods/view?no=1327421</a>
PCB서포트용 나사(M3X10)	30	50	1,500	<a href="https://www.devicemart.co.kr/goods/view?no=12677">https://www.devicemart.co.kr/goods/view?no=12677</a>

모델명	단가	수량	총액	링크
슬링벨트-50MM-4M	10,120	1	10,120	<a href="https://www.devicemart.co.kr/goods/view?no=1144021">https://www.devicemart.co.kr/goods/view?no=1144021</a>
파인우드판재(두께10mm x 너비100mm x 길이900mm)	12,100	1	12,100	<a href="https://www.devicemart.co.kr/goods/view?no=14613">https://www.devicemart.co.kr/goods/view?no=14613</a>
라즈베리파이 40Pin GPIO 확장 보드 T-Cobbler [SMP0053]	6,000	1	6,000	<a href="https://www.devicemart.co.kr/goods/view?no=1327563">https://www.devicemart.co.kr/goods/view?no=1327563</a>
I2C LCD1602 디스플레이 모듈 [CN0295]	8,500	1	8,500	<a href="https://www.devicemart.co.kr/goods/view?no=1383815">https://www.devicemart.co.kr/goods/view?no=1383815</a>
			342,320	