



인공지능 지능형 자원순환 로봇

Technical Report [3부-1권 별책4]

스마트시티
혁신성장동력 프로젝트

[2-4세부과제]
주관연구기관-(재)대구테크노파크

과제명	인공지능 지능형 자원순환 로봇 개발	연구기간	'21.06 ~ '22.12 (1년 6개월)
		예산	총 2.5억원 (정출금 : 0.3억원)

개념도 (서비스 시나리오)



과제 개요

- (배경) 생활폐기물에서 원료재생이 가능한 재활용품을 선택적으로 자동 선별하기 위해 딥러닝 인공지능을 활용한 지능형 자원순환 로봇 개발이 필요함
- (목적) 기존 자원순환의 선별공정을 자동화하여, 더 빠르고 효율적으로 재활용 가능한 객체를 혼합폐기물에서 선별하여, 스마트시티의 폐기물 문제를 해결하고, 매립/소각되는 폐기물을 줄이는 “생활폐기물에서 원료재생이 가능한 재활용품을 선택적으로 자동선별하기 위해 딥러닝 인공지능을 활용한 지능형 자원순환 로봇 개발”

주요 연구내용

- 재활용 산업 현장에서 1,000,000건의 학습 데이터 확보
- CNN 기반, 지도학습식 실시간 폐기물 탐지 인공지능 개발 및 일련화
- 폐기물 추적 기술을 통한 폐기물 위치 결과 데이터 유지 모듈 개발
- 인공지능과 로봇의 분류 상황을 실시간으로 모니터링하는 감시 프로그램 개발로 추천 서비스를 제공하는 스마트맵 시스템

기술적 차별성

- 국내 정책을 반영한 재활용품 선별 기능으로 해외 제품 대비 차별성 확보
- 인식할 수 있는 폐기물의 종류가 12가지나 되며, 색상 구분을 뛰어넘어 이물질 탐지까지도 가능한 인공지능 시스템을 탑재하였음. 또한 비압축 폐기물도 분류하는 것이 가능하며 기존 설비를 그대로 유지하면서 제품을 설치할 수 있는 기술을 보유함으로써 기업 맞춤형 서비스 극대화

기대효과

- 자동화 로봇에만 국한되지 않는 다양한 응용 가능성을 통해 4차 산업 기술이 환경산업에 적용된 우수사례로 남는 과학 및 기술적 측면에서의 효과 달성
- 배출용 비닐봉투의 사용량이 감소하고, 로봇 도입 기업이 소각 및 매립 비용을 연 평균 6천만원 절감하도록 하여 경제적 효과를 발생시킴. 아울러 분리배출 기준이 심화 되는 것을 방지하고 환경오염을 저감시켜 사회적 측면에서의 긍정적 효과 마련

참여기관

[주관]

[공동]

실증경과 및 결과

- ① 실증 이해관계자
 - 대구광역시 스마트시티 오픈리빙랩에 참여하고자 하는 대구광역시 일반 시민
 - 국가 물산업 클러스터 임직원 및 입주기업
- ② 기술 개발 진행 현황
 - 픽킹 작업 모니터링 알고리즘을 통한 폐기물 통계 데이터 수집 정확도 향상 진행
 - AI 작업 모니터링 알고리즘을 통한 폐기물 통계 데이터 수집 정확도 향상 진행
- ③ 실증 테스트 준비
 - 국가 물산업 클러스터 분리수거장 부근에서 실증용 로봇을 설치하여 7월부터 진행할 실증 테스트 준비 중

실증 대상지



단위서비스 및 요소기술

실시간 폐기물 개체 탐지 알고리즘

(Real-time Material Recognition)
- 개체 데이터를 시를 전송하는 기술



객체 이송 신호 알고리즘

(Picking Sequence Trigger)
- 픽킹 작업을 시작하는 기술



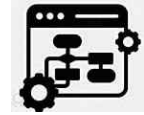
딤러닝 기반 폐기물 개체 종류화 알고리즘

(Material Categorization)
- 개체를 종류별로 식별하는 기술



결과 데이터 유지 알고리즘

(Result Preservation)
- 결과 데이터값을 일정 시간 유지하는 개념의 기술



픽킹 작업 모니터링 알고리즘

(Picking Sequence Monitor)
- 사용자가 작업내용을 감시할 수 있도록 함



실증을 통한 시사점

- 기관, 입주사에게 실증 운영 기간 동안 재활용 폐기물을 깨끗하게 배출할 것을 유도
- 스마트 기술이 폐기물 인식에 필요한 사항들을 직접 시민들이 체험, 배울 수 있어, 분리배출 전 폐기물의 청결함(이물질, 라벨 등)이나 배출 기준을 스스로 생각해보는 기회 제공
- 추후 설문조사를 통해, 미래의 스마트시티에서 분리배출 기준을 시민들로 하여금 정해보도록 하고, 의견을 청취해 스마트 기술이 해당 방향으로 개선 가능한지 검토

타 지자체 확산방안

- 직접 시와 로봇의 동작을 물산업 클러스터 관계자들이 눈으로 볼 수 있도록 하고, 기술의 적용 타당성과 부합성들을 쉽게 문의할 수 있도록 하여, 향후 IT산업이 물산업 분야로 진출할 가능성을 함께 검토
- 공공 클러스터 지역에서의 실증을 통해 전국 어느 지역이든지 폐기물이 배출되는 곳이면 당사의 재활용 로봇 솔루션을 적용할 수 있음을 보여줌. 이를 통해 공공기관 및 지자체에 B2G 형태의 서비스를 제공하여 대구광역시뿐만 아니라 타 지자체로 확산될 수 있도록 함



연구책임자
(주)에이테크
박태형 대표
ceo@aetech.co.kr



집필자 및 담당자
(주)에이테크
성시권 사원
sks@aetech.co.kr

• 목차 •

제1장

개요

- 1. 배경 및 필요성 200
- 2. 서비스의 특징 203
- 3. 기대 효과 204
- 4. KPI 설정 206

제2장

연구 개발 성과

- 1. 시스템 구성 208
- 2. 요소 기술 214

제3장

실증 경과

- 1. 실증 체계 216
- 2. 실증 대상 218
- 3. 실증 경과 219
- 4. 실증 결과 219

제4장

확산 방안

- 1. 운영방안(안) 222
- 2. 확산방안 223

제5장

Lesson Learned

- 1. 문제해결 사례 224
- 2. 기술적 한계 224
- 3. 거버넌스 관련 225

• 🔍 용어 정리 •

용어	정의
CNN모델	합성곱 신경망, 시각적 영상을 분석하는 데 사용되는 다층 인공신경망의 한 종류(Convolutional Neural Network)
그래픽 처리 장치	컴퓨터 시스템에서 그래픽 연산을 빠르게 처리하여 결과값을 모니터에 출력하는 연산 장치(Graphics Processing Unit)
딥러닝	인간의 뇌에서 신경 세포를 사용하는 방식과 유사한 알고리즘을 사용하는 머신러닝(ML)의 하위 분야(Deep Learning)
머신러닝	인공지능의 한 분야로, 컴퓨터가 학습할 수 있도록 하는 알고리즘과 기술을 개발하는 분야
선형 회귀	종속 변수 y 와 한 개 이상의 독립 변수 X 와의 선형 상관 관계를 모델링하는 회귀분석 기법(Linear Regression)
인공 신경망	신경망 또는 뉴럴 네트워크는 신경회로 또는 인공적으로 구성된 신경망(Neural Network)
커널	컴퓨터 운영 체제의 핵심이 되는 기반 프로그램으로, 운영 체제의 다른 부분 및 응용 프로그램 수행에 필요한 여러 가지 서비스를 제공(Kernel)
회귀 분석	둘 이상의 변수 간의 관계를 보여주는 통계 기법(Regression Analysis)

· 그림 목차 ·

〈그림 1-1〉 스마트 선별 로봇 운영 프로세스	201
〈그림 1-2〉 지능형 자원순환 로봇으로 개선 가능한 선별 업무	202
〈그림 1-3〉 지능형 자원순환 로봇을 도입한 스마트 재활용 공장	203
〈그림 2-1〉 전체 인공지능 구별/판별 시스템 흐름도	208
〈그림 2-2〉 합성곱 신경망(CNN)의 기본 원리 (Run : Ai 제공)	210
〈그림 2-3〉 검출 영역 정확성과 구별 정확성 향상	211
〈그림 2-4〉 폐기물 종류 구별 및 이물질 탐지 모델에 적용될 아키텍처	211
〈그림 2-5〉 각 폐기물 종류, 확률, 크기 등을 출력하는 CNN기반 폐기물 종류 구별 PoC	211
〈그림 2-6〉 각 사업장마다 다른 환경(청결도, 속도, 폐기물 종류, 객체 겹침 등)	212
〈그림 3-1〉 (설치 전) 설치 예정 위치(클러스터 내 분리수거장 바로 맞은편)	217
〈그림 3-2〉 실증 모델 (전면)	217
〈그림 3-3〉 폐기물 인식 인공지능	217
〈그림 3-4〉 (설치 후) 설치 예정 위치(실제 실증모델 크기 적용)	217
〈그림 3-5〉 실증 모델 (전측면)	217
〈그림 3-6〉 실증 로봇 (전면)	217
〈그림 3-7〉 실증 모델 (측면)	218
〈그림 3-8〉 페트병 분쇄기	218
〈그림 3-9〉 난연 전선관	218

• 표 목차 •

〈표 1-1〉 KPI 성과 지표	206
〈표 2-1〉 실제 CNN기반 개발 대상 모델에 적용할 학습 환경 설정	213
〈표 2-2〉 핵심기술표.....	214
〈표 3-1〉 국가 물산업 클러스터 주요시설 현황	218

1 | 배경 및 필요성

1-1 개요

- 기존 자원순환의 선별공정을 자동화하여, 더 빠르고 효율적으로 재활용 가능 폐기물을 선별하는 시스템을 도입하여 매립/소각되는 폐기물을 줄이고 폐기물 재활용을 확대하는 것이 필요하다.
 - 이를 위해서는 딥러닝 인공지능을 이용하여 생활폐기물에서 재활용이 가능한 폐기물을 선택적으로 분류하는 지능형 자원순환 로봇이 필요하다.
- 스마트 자원순환 로봇은 인공지능(AI)를 이용하여 이미지 촬영부터 로봇팔 제어까지 담당하는 통합 시스템을 탑재한 로봇으로 인식부, 분석부, 전환부, 선별부, 감시부로 구성되며 아래와 같이 각각의 기능을 수행한다.
 - 지능형 자원순환 로봇은 인식부, 분석부, 전환부, 선별부, 감시부로 구성되며 아래와 같이 각각의 기능을 수행한다.
 - 인식부 : 영상 이미지 데이터 수집과 이미지 데이터 개체 탐지
 - 분석부 : 딥러닝 기반의 AI를 통해 개체의 종류 및 오염도 분석
 - 전환부 : 분석 개체의 위치 정보에 따른 명령전송
 - 선별부 : 로봇을 이용한 실제 객체의 분류작업
 - 감시부 : 전체 작업 내용의 데이터화 및 감시

○ 스마트 자원순환 로봇의 폐기물 자동 선별을 위한 운영 프로세스는 아래와 같다.



〈그림 1-1〉 스마트 선별 로봇 운영 프로세스

○ 스마트 선별 로봇 운영 프로세스

- ① 변환부에서 이미지 촬영 및 각각의 개체를 탐지한다.
- ② 판독부에서 각각의 개체의 폐기물 종류를 분석한다.
- ③ 판독부에서 종류가 분석된 폐기물의 오염도를 분석한다.
- ④ 자가 학습을 위한 판독부에서 종류, 오염도 분석이 완료된 데이터를 저장한다.
- ⑤ 전환부에서 개체의 좌표를 도출 및 유지한다.
- ⑥ 전환부에서 선별부에 명령전송 및 위치정보를 전송한다.
- ⑦ 선별부의 로봇이 픽&플레이스(PICK & PLACE) 명령을 수행한다.
- ⑧ 감시부에서 활동 내용을 모니터링하고 폐기물에 대한 통계 DB를 조회한다.

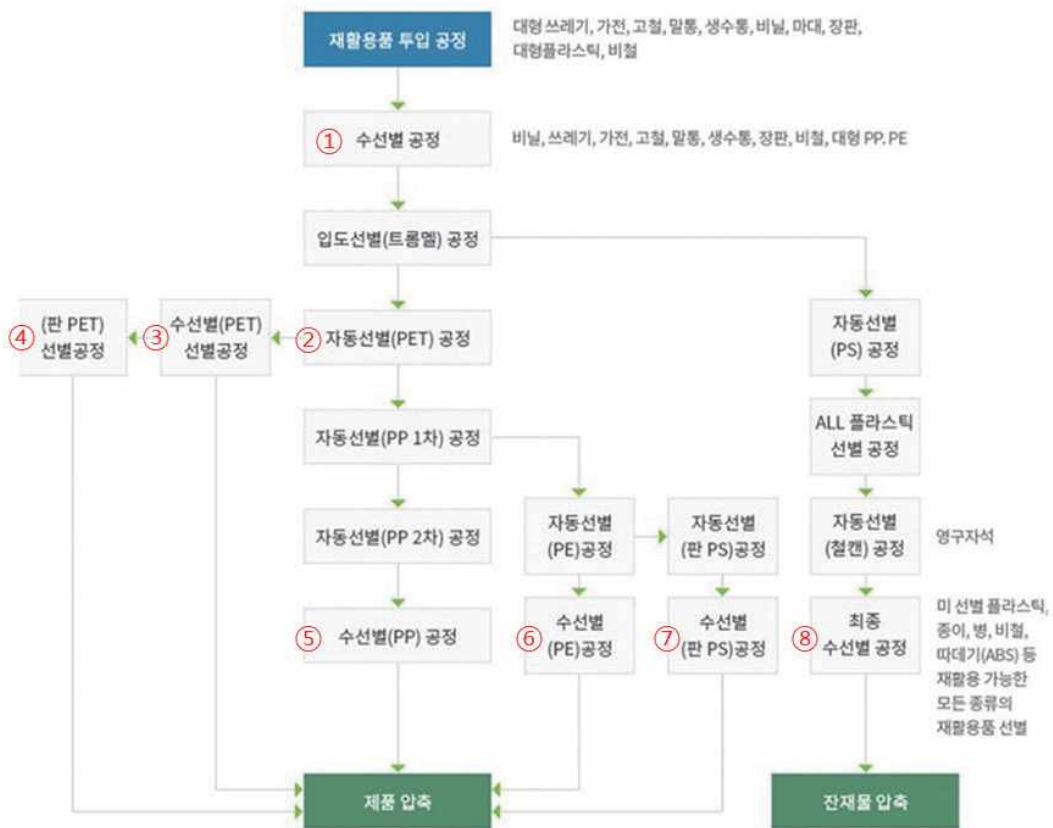
○ 스마트 자원순환 로봇의 기능

- 컨베이어내 고속통과 폐기물의 촬영 및 각각의 개체 탐지가 가능하다.
- AI를 활용하여 탐지한 개체의 종류 구별 및 오염 여부, 오염 수준 분석을 수행한다.
- 분석을 진행하며 축적되는 데이터를 DB화하여 연구개발에 활용된다.
- 실시간으로 변화하는 개체의 위치 데이터를 추적하여 중복집계를 방지한다.
- AI의 명령에 따라 해당하는 폐기물의 선별작업을 수행한다.
- 실시간 작업상황을 조회할 수 있는 모니터링 시스템과 폐기물 선별 통계자료 DB를 확보한다.

○ 개발 대상 기술의 적용 분야

- 국내 자원순환 구조는 부분적 기계선별과 사람들이 직접 손으로 분류하는 수선별, 이 2가지 형태로 나뉜다.

- 전처리가 필요한 큰 규모의 사업장일수록 기계선별이 차지하는 비중이 높지만, 그 정확성이 너무 떨어져 수선별을 통해 수요가 있는 자원만 선택적으로 분류하는 상황이다.
- 이에 따라 수작업 선별 과정없이 운영되는 재활용 선별장이 필요하다.
- 스마트 자원순환 로봇은 현 재활용 사업장의 모든 수선별 공정에서 사람을 대체하는 것이 가능하다.



〈그림 1-2〉 지능형 자원순환 로봇으로 개선 가능한 선별 업무



〈그림 1-3〉 지능형 자원순환 로봇을 도입한 스마트 재활용 공장

2 | 서비스의 특징

○ 스마트 자원순환 로봇은 생활폐기물에서 원료 재생이 가능한 재활용품을 선택적으로 자동 선별하기 위해 딥러닝 인공지능을 활용한 지능형 자원순환 로봇 솔루션이다.

- (폐기물 10종 구별) ① PET ② 알루미늄 캔 ③ 종이팩 ④ 종이 ⑤ 건전지 ⑥ 유리병 ⑦ 비닐 ⑧ 스티로폼 ⑨ 일반 플라스틱 ⑩ 일반 쓰레기 등으로 구분
- (폐기물의 색상을 판별) 유리병, PET병, 비닐, 플라스틱, 종이 등 색상별 분류
- (우선순위 기능) 인식한 객체 중 어느 객체를 집중적으로 선별해낼 것인지 선택 가능
- (재활용 가능 물품과 불가능 물품 구별) 분류 기준을 따로 나누어, 학습하여 플라스틱 재질 선별기는 불가능하던 같은 재질의 재활용 불가 객체를 분류
- (현장 데이터만 학습) 웹 크롤링과 같은 기법으로 구할 수 있던 학습용 데이터가 아닌, 현장 투입까지 고려하고 만든 제품인 만큼 처음부터 현장 데이터를 엄선하여 수집/가공하여 학습

○ 본 과제를 통하여 인공지능 기반의 자원 선별기술과 관련 기술이 개발 적용되었다

- CNN 기반, 지도학습식 실시간 폐기물 탐지 인공지능 개발 및 일련화
- 폐기물 추적 기술을 통한 폐기물 위치 결과데이터 유지 모듈
- 인공지능과 로봇의 분류 상황을 실시간으로 모니터링하는 감시 프로그램

- 개발된 지능형 자원순환 로봇 솔루션을 대구 광역시 국가 물산업 클러스터 분리수거장에 스마트 자원순환 로봇을 설치하여 개발된 시스템의 실증을 추진하였다.
- 실증 과정에서는 개발된 선별 작업 모니터링 알고리즘과 AI 작업 모니터링 알고리즘을 적용하여 폐기물 통계 데이터 수집 정확도를 향상시킬 수 있었다.

3 | 기대 효과

3-1 과학·기술적 측면

- 과학·기술적 효과
 - 연구개발 완료 후 해당 기술 및 데이터 자료 중 보안 필요성이 낮은 부분에 대해서는 GitHub, 오픈 API 등을 통해 공유하며 AI 연구의 기술적 향상에 이바지할 수 있다.
 - 국내에서는 아직 시도하지 않은 재활용 폐기물의 로봇을 통한 자동화 분류를 시도하여 새로운 기술에 대한 필요성을 검증해 볼 좋은 기회이다.
 - 딥러닝을 활용하는 AI를 활용한 분류기술은 AI의 학습 데이터에 따라 폐기물 분야 뿐만 아니라 다른 분야의 분류에도 활용할 수 있다.
 - 재활용 폐기물의 분류가 더욱 쉬워져 기존에는 사업성이 낮아 재활용 기술개발이 이뤄지지 않던 재질에 대한 재활용 기술 필요성이 증가하며, 이를 바탕으로 재활용률의 지속적인 향상이 기대된다.

3-2 산업적·사회적 측면

- 경제적 효과
 - 수도권매립지 기준 생활폐기물은 매립 비용이 70,056원/톤, 사업장생활계 폐기물은 102,167원/톤이며 이는 운반비 등 추가 고려사항을 제외한 금액이다.
 - 국내 폐기물 소각 비용은 지역 편차가 있으나 평균 23만 원/톤 수준이다.
 - 국내외 폐기물 재활용 업체 수 및 배출량, 처리량을 바탕으로 자체적으로 계산하였

을 때 연구개발 제품을 도입하여 매립/소각 물량을 줄인다면 연평균 6천만 원의 비용 절감이 예상된다.

- 가정에서는 종량제봉투 비용 절약 및 리워드를 통한 수익이 발생되고, 주관기관은 연 매출 5억 원이 증가하게 된다. 재활용 원료 구매 업체들은 수입비용 절약이 가능해진다.
- 플라스틱 1톤을 재활용하면 중금속으로 인한 환경피해를 방지하고 약 3,300만 원의 비용을 대체 가능하다.
- 철 캔 1톤을 재활용하면 백열전구(60W)를 약 6년간 사용할 수 있는 전기 절약이 가능하며(전기로 환산 시 약 100만 원), 알루미늄 캔을 1톤 재활용하면 백열전구(60W)를 약 123년간 사용할 수 있는 전기를 절약할 수 있게 된다. (전기로 환산 시 약 2,050만 원)

○ 환경적 효과

- 폐기물을 매립하는 경우 분해되면서 발생하는 가스로, 소각의 경우 소각과정에서 메탄과 이산화탄소를 비롯하여 벤젠, 톨루엔, 크실렌, 사염화탄소, 다이옥신, PAHs, PCBs 등 발암성물질과 휘발성 유기물질이 생성된다. 그리고 이러한 유해 물질이 주변 토양 및 대기 중으로 유출되어 주변 생태계를 파괴한다.
- 매립량 감소를 통하여 폐기물 매각으로 인해 발생하는 침출수를 줄임으로써 하천 및 지하수 오염방지, 악취/먼지/유해 물질 등에 의한 대기오염 방지, 중금속 등 독성 물질에 의한 토양오염 및 지하수 오염 감소가 가능하다.
- 소각량 감소를 통하여 유해 물질 배출량 감소로 대기/토양오염이 감소한다.
- 실질 재활용률 증가가 자원절약으로 이어져 환경파괴 방지 및 에너지 절약 효과가 발생한다.

○ 사회적 효과

- 대구광역시에서 쓰레기종량제 봉투의 70%는 재활용품으로 분리배출 가능한 자원이다. 따라서 자사의 플랫폼은 배출 요령에 대한 안내 및 수거 서비스를 통하여 재활용품의 분리에 대한 시민들의 어려움을 해소할 수 있다.
- 2021년 대구광역시의 생활폐기물 홍보 및 교육 관련 예산은 540,700천 원, 폐기물감량 및 직매립제로화 사업 추진 관련 예산은 2,878,204(25년까지 총사업비

2,878,204,540천 원), 폐기물처리시설 운영 관련 예산은 47,265,154천 원(25년까지 총사업비 53,271,240,000천 원)이다.

- 2021년도에 배정된 예산만 약 507억으로, 배출 요령에 대한 홍보부터 수거, 처리까지 담당하는 자사의 플랫폼을 통하여 예산의 1%만 절약해도 연 5억 원의 세금 지출 절감 효과를 얻을 수 있다.
- 대구광역시 시민의 재활용 배출 방법 만족도는 47% 수준이기에 배출 요령의 간편화 및 배출 편리함을 통해 시민들의 생활 만족도를 향상한다.

4 | KPI 설정

○ 연구개발과제의 최종 목표 (자체 목표 설정)

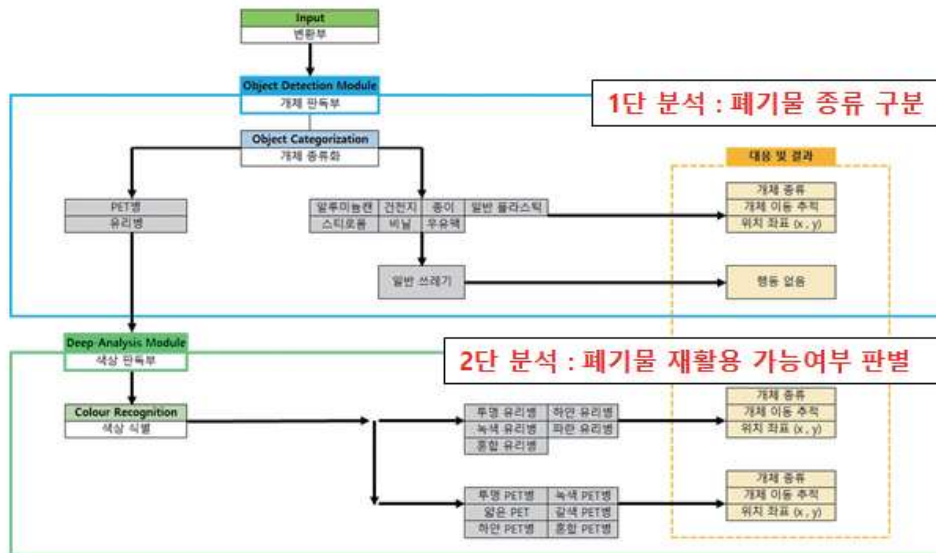
〈표 1-1〉 KPI 성과 지표

주요 성능지표	단위	최종 개발 목표	기술개 발 전 수준	세계최고 수준 또는 수요 처 요구 수준	전체항목 에서 차지하는 비중(%)	평가 방법 (공인시험/인증기관)
개체 탐지 속도	ms (millis econd)	200	500	300	10	폐기물 이미지를 입력하여 이미지를 인식한 시점부터 객체 탐지를 완료한 시점까지의 시간을 로그로 출력하여 확인
개체 종류화 정확도	%	93	60	90	20	컨베이어에 지나가는 폐기물의 데이터와 인공지능이 인식한 폐기물의 데이터를 비교하여 정확도 분석 시험
로봇 폐기물 집기 처리 명령 횟수	PPM (Picks Per Minute)	60	20	40	20	인공지능이 선별 로봇에 명령을 내린 기록의 통계치를 내어 인공지능이 로봇에 분당 몇 번의 명령을 내리는지, 로봇이 실제로 몇 번의 명령을 수행하는지 성능 테스트
폐기물 위치 추적 기능 정확도	%	90	70	90	5	이동하는 폐기물의 위치 데이터를 추적하는 알고리즘의 개발 여부를 인증

폐기물 통계 데이터 수집 정확도	%	95	-	비교 대상 없음	5	로봇의 명령 수행 데이터 및 폐 기물을 인식한 자료를 수집하 여 DB화하는지에 대한 인증
제품의 내구성 /안정성	%	90	-	비교 대상 없음	10	로봇과 인공지능이 작동하는 시간에 따라 지연시간이나 오 류가 생기는지에 대한 관측 첫 부팅 이후 전체 시스템이 돌 아가는 평균 시간이, 100시간 동안 재부팅 없이 운행해도 기 준 시간 대비 90% 이상의 효 율성이 나오는지에 대한 검증

1 | 시스템 구성

1-1 시스템 개념도



〈그림 2-1〉 전체 인공지능 구별/판별 시스템 흐름도

1-2 인공지능 기반 폐기물 선별 기술

● 딥러닝 인공지능 기술 적용

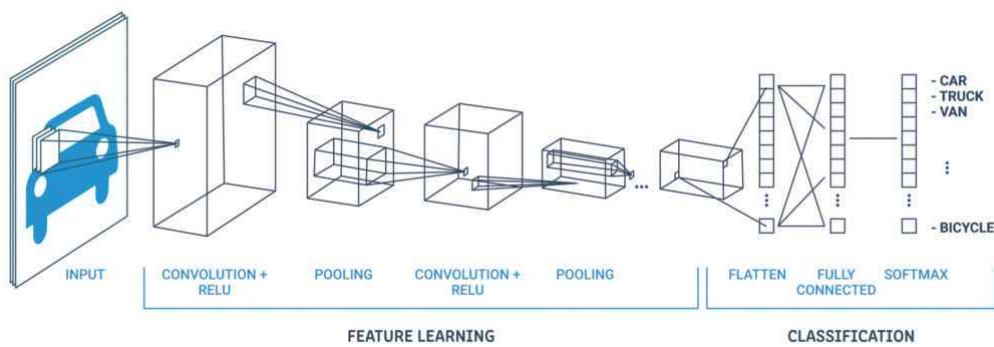
- 영상 기반의 객체 탐지에 관한 연구는 폐기물 객체의 색상, 모양, 움직임 등의 특징을 먼저 패턴으로서 추출하고, 이후 기계학습(머신러닝)을 이용해 탐지하는 방식을 사용하고 있다. 하지만 이런 검출 과정은 전처리, 검색영역 분리, 샘플링 방법, 임계치 설정, 특징 추출 영역, 특징 추출 방법, 분류기 선정, 커널 옵션 등의 복잡한 다단계 알고리즘으로 구성되어 있다.
- 따라서 전문적인 지식이 필수로 요구됨은 물론, 실제 성능이 실험환경, 데이터 특성, 설정한 값에 의해 영향을 받게 되므로 다양한 폐기물 종류와 각 특색을 보유한 재활용 사업장 환경에서 매번 위 항목들을 고려하여 적용하기엔 제약이 크다.
- 최근 고성능의 CPU와 GPU 등 하드웨어의 성능이 비약적으로 발전하여, 다단계의 층(레이어)으로 구성되는 합성곱 신경망을 응용한 딥러닝(Deep Learning) 알고리즘의 연산속도가 개선되어, 실제 생활과 산업에 적용될 수 있을 만큼의 성능을 보여주고 있다.
- 본 과제에서는 현장 상황을 고려하여 하이엔드급 GPU는 아니나, 차후 상용화와 보급 확대를 위해 가장 보편화된 모델 중 하나인 Nvidia사의 RTX1060 Super를 사용하였다.

● 구체화된 폐기물 구별 기술과 재활용 가능 여부 판별 기술

- 폐기물 종류 구별과 재활용 가능 여부 판별은 각각 하나의 CNN모델로 구성돼 있다.
- 민간과 지자체 재활용 사업장은 고사양 컴퓨터와 하드웨어가 접목되기 어려운 비 IT기업임을 감안하였다.
- 스마트 자원순환 로봇 기술은 단순히 인공지능을 통한 판단에서 끝나는 것이 아니라, 판단의 결괏값에 포함된 위치로 로봇팔을 움직여 성공적으로 분류 수행까지 적용 범위를 확대하였다.
- 인공지능과 로봇의 연동(Synchronization)에는 인공지능이 탐지한 객체의 위치와 로봇이 인식하는 객체의 위치값이 동기화될 필요가 있다.

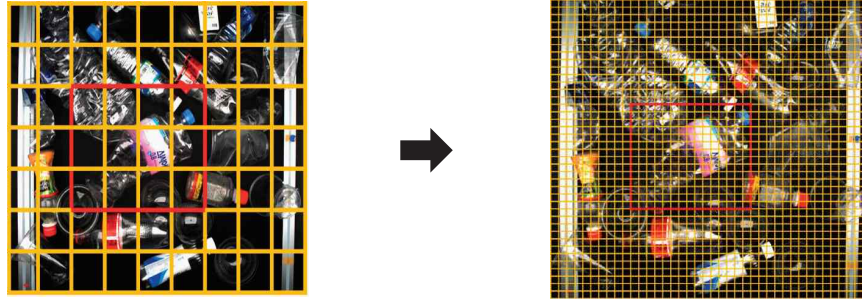
로봇의 추적 신호(Tracing-Latch Signal)가 발신된 위치에 실시간으로 이동 중인 해당 객체가 정확하게 위치해야 하므로, 초당 처리 가능한 이미지의 수(FPS: Frame Per Second)와 평균 정확성(Average Precision)을 높일 필요성이 있었다. 이를 위해 시각적 영상정보를 처리할 수 있는 합성곱 신경망(Convolutional Neural Network)을 채택했다.

- CNN 기반의 이미지 검출은 합성곱 레이어(Convolutional layer), 풀링(Pooling) 레이어, 완전 연결(Fully connected) 레이어를 사용하는 구조가 기본적인데, 구별이나 검출 성능 향상을 위해 먼저 명시된 레이어들을 통과하는 과정을 추가로 더 설정하기도 한다.



〈그림 2-2〉 합성곱 신경망(CNN)의 기본 원리 (Run : Ai 제공)

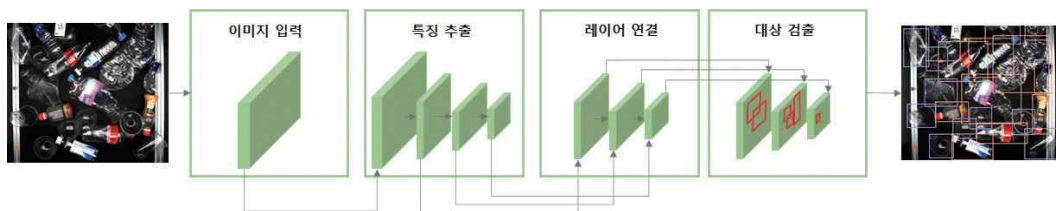
- 입력 이미지는 먼저 크기가 변형(Resize)되고, $S \times S$ 격자(Grid)로 이미지가 분할된다. 다음으로 각 셀(Cell)에 연산식이 더해져, 결괏값들이 계산되고, 위에 명시된 레이어들을 순서대로 통과하며 탐지 대상 객체를 셀별로 검색하게 된다. 이때 검색 결과는 A개의 탐지 영역을 나타낸 네모 상자(Bounding Box)와 각 상자에 탐지 대상 객체를 포함하는 확률(Probability score)로 산출된다. 산출된 확률 중, 임계치(Threshold)보다 낮은 확률을 가진 상자들은 삭제하고 임계치보다 높은 확률을 가진 상자들에서 가장 높은 확률을 가진 상자를 화면에 표시하고 확률 또한 출력한다.



〈그림 2-3〉 검출 영역 정확성과 구별 정확성 향상

○ 폐기물 종류 구별 및 이물질 탐지 모델

- 설계할 모델은 크게 ① 이미지 입력, ② 특징 추출, ③ 레이어 연결, ④ 대상 검출의 4단계로 구성되며, 적용될 합성곱 레이어는 50개 이상이다. 그리고 일단(One-stage) 방식을 채택한 만큼, 예측은 합축예측(Dense Prediction)으로 진행된다.



〈그림 2-4〉 폐기물 종류 구별 및 이물질 탐지 모델에 적용될 아키텍처

- 기 개발된 폐기물 종류 구별에 대한 PoC(Proof of Concept)모델에 CNN 모델 기반의 영상처리 기법을 적용하여 폐기물의 종류와 크기를 구별할 수 있다.



〈그림 2-5〉 각 폐기물 종류, 확률, 크기 등을 출력하는 CNN기반 폐기물 종류 구별 PoC

- 컨베이어벨트의 상태, 입고되는 폐기물의 종류, 폐기물의 중첩성과 혼합성 등을 다각적으로 고려하여, 탐지될 객체 하나의 이미지만 분석하는 것보다, 탐지될 객체의 주변 상황까지 포함된 전체 이미지를 분석하는 방식부터 아래의 방법들을 차례대로 설계에 반영한다.
 - 객체 분류 정확성이 높은 선형회귀(Linear Regression) 방식을 채택하였다.
 - 미학습 객체에도 높은 예측률과 안전성을 보여주는 데이터 증감(Augmentation)을 적용했다.
 - 탐지 영역 검출, 데이터 학습, 객체 탐지 과정들이 별도로 동작하면 속도와 성능이 저하되는 부분이 관찰된 만큼, 3단계를 하나의 시스템으로 통합하는 일단계(One-stage) 분석 방식을 채택했다.
 - CNN의 레이어를 더 심층으로 만들거나 레이어가 넓어질수록, 파라미터가 많아질수록 발생하는 과적합(Over-fitting)이나 기울기 손실(Gradient Vanishing)이 있지만, 이를 줄이기 위해 작은 합성곱 레이어 여러 개를 한 개의 모듈로 구성하여 병렬 연산 수행 및 도출 결과를 하나로 합치는 연속 형태(Concatenation)로 설계하였다.



인천광역시 S사업장



인천광역시 H사업장

〈그림 2-6〉 각 사업장마다 다른 환경(청결도, 속도, 폐기물 종류, 객체 검침 등)

- 딥러닝 학습 데이터 규모
 - 기 확보한 10만 건의 데이터에 추가로 10만 건을 수집, 가공, 학습할 예정이다.
- 학습률을 높이기 위한 적용될 패턴과 규칙
 - 별도의 전처리 단계 없이 학습 방법에 변화를 주거나 학습 기간, 학습 반복량, 학습 데이터양 등을 증가하여 정확도를 높이는 방법을 Bag of freebies라고 한다. 이 방법 중 데이터 증감(Augmentation)을 사용해서 학습 데이터의 가변성을 증가시키어, 차

후 다양한 이미지에 대해서도 인공지능이 익숙해져 미학습 객체나 낯선 환경에서도 좀 더 안정적인 예측을 할 수 있게 할 계획이다.

- 내부적으로 **iteration**에 입력되는 이미지 수량이나 경사하강법 적용률 및 학습 횟수 등을 조절해 가며 최적의 조합을 찾아낼 예정이다.

〈표 2-1〉 실제 CNN기반 개발 대상 모델에 적용할 학습 환경 설정

Hyper Parameter	현재 설정값	설명
batch	64	1iteration에 처리할 이미지의 개수를 지정
subdivisions	16	1batch를 분할하여 GPU로 처리할 이미지의 개수를 지정
angle	45	augmentation 관련 옵션. 이미지를 회전하는 각도를 지정
saturation	1.5	augmentation 관련 옵션. 이미지에 추가할 채도의 수치를 지정
exposure	6	augmentation 관련 옵션. 이미지에 추가할 노출값(밝기)의 수치를 지정
hue	.1	augmentation 관련 옵션. 이미지의 색상을 변경하고자 할 때의 수치를 지정
learning_rate	0.00025	경사하강법 알고리즘을 이용하여 학습을 진행할 때 학습률 수치를 지정
max_batches	50000	학습 횟수를 지정하는 parameter이다. 일반적으로 max_batches = 4000*(클래스 개수)로 지정하지만, 추가로 학습 하기 위해 max_batches 값을 더 높게 지정할 수 있다.
steps	40000, 50000	max_batches의 80%, 90%로 지정

○ 인공지능에 적용할 자원순환 선별 기준

- 창업 초기 시스템 기획 당시부터 함께 협력해 온 국내 재활용 사업장 5곳과의 협의를 통해 자원순환 선별 기준이 정해졌으며, 해당 기준은 인공지능 선별 기술에 적용되어 기술특허로 등록되었다.
- 해당 기준은 정부 정책, 특히 재활용 분류 기준을 반영할 뿐 아니라, 각 재활용 사업장의 분류 기준까지 설정할 수 있을 만큼 세분화되어 있어 수요기업들의 만족도가 높다.
- 오염도로 표기했었던 부분을 현재 공식적으로 이물질로 정의하고 있으며, 이물질의

유무를 판독해야 하는 대상 폐기물은 페트병과 유리병이 유일하다. 특히 뚜껑과 라벨지의 유무 또한 페트병과 유리병에서만 문제가 되기 때문에, 이 같은 사실을 반영한 기술 개발이 진행되어야 한다.

2 | 요소 기술

2-1 재활용 인공지능 로봇 핵심 기술

〈표 2-2〉 핵심기술표

No	구분	핵심 기술명	기술 내용
1	인식부	실시간 폐기물 개체 탐지 알고리즘 (Real-time Material Recognition)	<ul style="list-style-type: none"> 실제 개체가 카메라로 촬영되어 이미지 데이터로 변환되어 입력되면, 혼합된 폐기물 이미지에서 각각의 개체로 인식하여 선택적으로 개체 데이터를 시로 전송하는 기술이다. 실제 폐기물의 이미지를 시가 인식할 수 있는 데이터로 변환하는 것이 목적이다.
		딥러닝 기반 폐기물 개체 종류화 알고리즘 (Material Categorization)	<ul style="list-style-type: none"> 변환부에서 전송하는 개체 데이터를 바탕으로 개체의 재질이나, 색상, 특징 등을 분석하여 종류별로 식별하는 기술이다. 재활용의 가장 기본은 종류별로 분류하는 것이다.
		자동 개체 DB화 알고리즘 (Automatic Object Databaseization)	<ul style="list-style-type: none"> 실제 작업에서 축적되는 데이터를 클라우드에 저장하여, 지정된 시간에 학습을 추가로 진행하여 추후 작업에 선 개선된 성능을 발휘하는 기술이다. 지속적인 데이터 축적을 바탕으로 시의 성능 개선이 가능하다.
2	분석부	카테고리 우선 순위화 알고리즘 (Category Prioritization)	<ul style="list-style-type: none"> 판독부에서 도출된 카테고리 결괏값에 기반하여, 사용자가 필요할 때, 간단한 조작을 통해 종류별로 우선순위를 다르게 하여 먼저 선별할 폐기물 종류를 설정한다.
3	전환부	결과 데이터 유지 알고리즘 (Result Preservation)	<ul style="list-style-type: none"> 사각형 경계 처리된 각 개체의 결과 데이터가 재검사로 인하여 중복되지 않도록 안정화하는 기술로서, 결과 데이터값을 일정 시간 유지하는 개념이다. 컨베이어에 있는 개체는 계속하여 이동하기 때문에 좌푯값이 계속하여 변화하며, 좌푯값이 변화하였을 때 새로운 개체라고 인식하지 않도록 한다.
4	인식부	카테고리 우선 순위화 알고리즘 (Category Prioritization)	<ul style="list-style-type: none"> 판독부에서 도출된 카테고리 결괏값에 기반하여, 사용자가 필요할 때, 간단한 조작을 통해 종류별로 우선순위를 다르게 하여 먼저 선별할 폐기물 종류를 설정한다.
5	전환부	결과 데이터 유지 알고리즘 (Result Preservation)	<ul style="list-style-type: none"> 사각형 경계 처리된 각 개체의 결과 데이터가 재검사로 인하여 중복되지 않도록 안정화하는 기술로서, 결과 데이터값을 일정 시간 유지하는 개념이다. 컨베이어에 있는 개체는 계속하여 이동하기 때문에 좌푯값이 계속하여 변화하며, 좌푯값이 변화하였을 때 새로운 개체라고 인식하지 않도록 한다.

6	<p>객체 이송 신호 알고리즘 (Picking Sequence Trigger)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 컨베이어벨트의 속도와 변환부에서 화면에 잡힌 객체가 위치했던 시점을 시스템이 동기화하는 기술로서, 해당 시점을 신호화하여 픽킹 작업을 시작하는 기술이다.
8	<p>픽킹 작업 모니터링 알고리즘 (Picking Sequence Monitor)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 객체를 집는 픽킹 작업 현황을 실시간으로 모니터링하는 기술이다. • 사용자가 작업내용을 감시하며 설정을 변경하거나 작업 수준을 파악할 수 있도록 한다.
감시부		
9	<p>AI 작업 모니터링 알고리즘 (Overall AI Process Monitor)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 실시간으로 개체 종류별 분석량부터 오염도까지 모니터링한다. • 사용자가 폐기물의 통계 데이터를 활용할 수 있도록 한다.

1 | 실증 체계

1-1 목적

- 스마트시티 혁신성장동력 프로젝트 - 시민참여형 도시문제 해결을 위한 데이터 기반 스마트시티 유즈케이스 개발의 일환으로 대구광역시 내, 유동인구와 시민들의 참여가 용이한 지역에서 오픈리빙랩 방식의 실증을 계획 중이다.

1-2 방법

- 기존 재활용 사업장의 건축 형태가 미리 당사의 기술개발품을 검증할 수 있는 구조로 지어지지 않아, 운송로를 확보하기 위해 기존 건축물의 벽면과 천장을 임시로 뜯어내야 하는 실질적인 한계가 있다. 그리고 또한 리빙랩의 취지에 부합하는 시민참여가 어려울 것으로 예상되어 기존 재활용 사업장에서 물산업 클러스터로 실증 장소를 변경하였다.

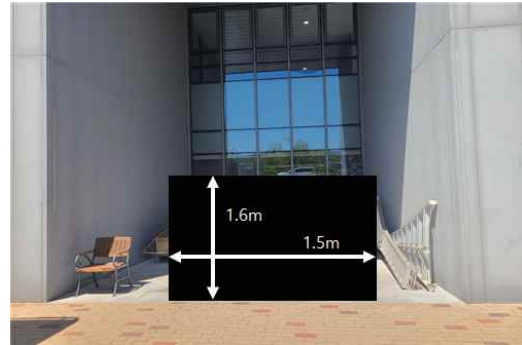
1-3 운영방안

- 현재 국가 물산업 클러스터에서는 미화팀이 입주기업과 운영기관이 배출하는 재활용 폐기물을 분리수거장으로 가져와, 품목에 따른 추가 분류를 수행한다.
- ㈜에이트테크는 대구광역시 내 오픈리빙랩으로 실증. 클러스터의 분리수거장에 실제 에이트론의 1/2 크기의 실증 모델을 제작해 설치할 계획이다. 해당 모델은 약 1개월간 해당 위치에서 입주기업과 운영기관이 배출하는 재활용품의 분류를 지원하거나 일반인들이 직접 투입하는 방식으로 스마트 선별을 체험하게 한다.

- (실증 계획) 클러스터에서 배출되는 재활용 폐기물은 먼저 로봇에 투입되어 1차 분류를 통해 알루미늄캔, 잔재물, 혼합PET병, 총 3가지로 분류되고 2차 분류를 통해 혼합(유색)PET와 투명(무색)PET로 분류될 예정이다. 이 중, 투명PET는 분쇄작업까지 수행해 폐기물 부피를 감량할 예정이다.



<그림 3-1> (설치 전) 설치 예정 위치(클러스터 내 분리수거장 바로 맞은편)



<그림 3-2> (설치 후) 설치 예정 위치(실제 실증모델 크기 적용)

○ 실증 수행 모델

- 실증 모델 크기(Mm): L1500 x W1000 x H1600



<그림 3-3> 실증 모델 (전면)



<그림 3-4> 실증 모델 (전측면)



<그림 3-5> 폐기물 인식 인공지능



<그림 3-6> 실증 로봇 (전면)



〈그림 3-7〉 실증 모델 (측면)



〈그림 3-8〉 페트병 분쇄기



〈그림 3-9〉 난연 전선관

2 | 실증 대상

- 대구광역시 달성군 구지면 국가산단대로 40길 20에 위치한 국가물산업클러스터는 2019년도에 완공된 물기업 기술개발 및 해외시장 진출을 위한 전 주기 지원 인프라 구축을 목적으로 설립되었고, 환경부 산하 한국환경공단과 대구광역시 등이 운영하는 물산업 관련 기업들이 입주하는 산업 클러스터 형태를 갖추었다.
- 주요 시설 현황 - 총 부지면적 145,209㎡ (약 44,000평)

〈표 3-1〉 국가 물산업 클러스터 주요시설 현황

구분	규모	주요시설
실증 화시 설	실증플랜트· 수요자 설계구역	지상1층 연면적 24,951㎡ 실증플랜트(5천㎡/일) 정수: 2,000㎡/일, 하수: 1,000㎡/일 폐수: 2,000㎡/일, 재이용: 1,000㎡/일 수요자설계구역(5천㎡/일) 정수: 3,000㎡/일, 하수: 1,000㎡/일 폐수: 1,000㎡/일, 재이용: 2,000㎡/일
	종합관망 시험시설	지상1층 연면적 963㎡ 고가수조, 회수조, 공동구, 종합순환관망
	물융합연구동	물융합연구동 내 연면적 11,956㎡ 임대용 연구 및 실험실, 운영기관 사무실, 기타 관리시설
진흥 시설	글로벌 비즈니스 센터	지상6층 연면적 14,718㎡ 홍보전시관, 운영기관 사무실, 임대사무실, 정보화센터, 편의시설
	워터캠퍼스	지상4층·연면적 5,620㎡ 도서관, 식당, 강의실, 프로젝트랩

3 | 실증 경과

3-1 이해관계자

- 대구광역시 스마트시티 오픈리빙랩에 참여하고자 하는 대구광역시 일반 시민
- 국가 물산업 클러스터 임직원
 - 국가물산업클러스터사업단 단장 및 물산업전략처, 물산업계획부, 물산업지원부, 물기업홍보부, 물산업실증화처, 실증화지원부, 실험분석부, 재료시험부, 물산업진흥처, 물융합연구부, 글로벌비즈부, 워터캠퍼스부
- 국가 물산업 클러스터 입주기업
 - KWCC, 태창종합기술사사무소, 눅버디, 동문이엔티, 디더블유이, 인테크워터, 청수, 한양하이텍, 인우코퍼레이션, 그린개발 등 131개 사

3-2 추진 일정

- 실증 세부 일정
 - 7월 1주 차에는 로봇을 설치한 뒤 데이터를 수집 및 분석해 학습시킨 후 현장에 적용하였다. 7월 2주 차부터 7월 4주 차까지는 실증을 수행하였으며, 실증이 끝난 7월 4주 차에는 로봇 철거 및 시설 원상 복구 이후 철수하였다.

4 | 실증 결과

4-1 PoC를 통해 도출된 성과

- 대구광역시 실증 관련 만족도 설문조사
 - 설문조사 샘플이 많지 않아 관련 환경 미화원 몇 분께 설문 조사
 - 실증 장소가 적절하였으며, 로봇 설치 과정 중 불편한 점은 없었다고 응답하였다. 실증 진행 중 큰 소음이 발생하지는 않았고 로봇에 고장도 없었다고 하였다.
 - 실증 수행 과정이 적절하였으며, 실증 수행 결과에 다소 만족한다는 의견이었다.

에이트테크(주) 실증 관련 만족도 설문조사 (예시)

1) 실증 장소는 적절하였습니까?

① 매우 그렇다 ② 조금 그렇다 ③ 보통 ④ 조금 아니다 ⑤ 매우 아니다

2) 로봇 설치 과정 중 불편한 점이 있었습니까?

① 매우 그렇다 ② 조금 그렇다 ③ 보통 ④ 조금 아니다 ⑤ 매우 아니다

3) 실증 진행 중 큰 소음이 발생하는 등 불편한 점이 있었습니까?

① 매우 그렇다 ② 조금 그렇다 ③ 보통 ④ 조금 아니다 ⑤ 매우 아니다

4) 실증 과정에서 로봇에 특별한 고장 등 이상이 발생하였습니까?

① 매우 그렇다 ② 조금 그렇다 ③ 보통 ④ 조금 아니다 ⑤ 매우 아니다

5) 실증 수행 과정은 적절히 이루어졌습니까?

① 매우 그렇다 ② 조금 그렇다 ③ 보통 ④ 조금 아니다 ⑤ 매우 아니다

6) 실증 수행 과정이 적절하지 않다면 그 이유는 무엇입니까? (5번 질문에서 4,5번 체크한 분만 응답)

()

7) 실증 수행 결과에 만족하십니까?

① 매우 그렇다 ② 조금 그렇다 ③ 보통 ④ 조금 아니다 ⑤ 매우 아니다

8) 실증 수행 결과에 만족하지 않는다면 그 이유는 무엇입니까? (7번 질문에서 4,5번 체크한 분만 응답)

()

9) 재활용 폐기물의 선별이 이전에 비해 효율적으로 개선되었다고 생각하십니까?

① 매우 그렇다 ② 조금 그렇다 ③ 보통 ④ 조금 아니다 ⑤ 매우 아니다

10) 사람이 선별하는 방식보다 로봇이 선별하는 방식을 더 선호하게 되었습니까?

① 매우 그렇다 ② 조금 그렇다 ③ 보통 ④ 조금 아니다 ⑤ 매우 아니다

- 재활용 폐기물 선별이 이전에 비해 더 효율적으로 개선되었다고 생각하였지만, 아무래도 열악한 폐기물 사업장이 아닌 야외에서 선별을 하는 분들이다 보니 특별히 사람의 선별 방식보다 로봇 선별 방식을 선호한다는 응답은 없었던 것으로 보인다.

1 | 운영방안

- 효율적인 분리수거
 - 당사의 상주 인원과 로봇이 미화팀의 선별 업무를 지원하면서 업무 부담을 감소시킨다.
 - 일반 근로자 기준, 폐기물 분류 속도는 분당 30~40개에 그치지만, 로봇은 분당 80~95개 이상 가능하며, 선별에 소요되는 시간을 단축시킨다.

- 분리배출 기준 준수 독려
 - 기관, 입주사에 실증 운영 기간 동안 재활용 폐기물을 깨끗하게 배출할 것을 유도한다.
 - 스마트 기술이 폐기물 인식에 필요한 사항들을 직접 시민들이 체험, 배울 수 있어, 분리배출 전 폐기물의 청결함(이물질, 라벨 등)이나 배출 기준을 스스로 생각해보는 기회를 제공한다.
 - 추후 설문조사를 통해, 미래의 스마트시티에서 분리배출 기준을 시민들로 하여금 정해정보도록 하고, 의견을 청취해 스마트 기술이 해당 방향으로 개선 가능한지 검토한다.

- IT기술의 물산업 진출 방향 검토
 - AI와 로봇의 동작을 실증하고, 기술의 적용 타당성과 부합성들을 검토할 수 있도록 하여, 향후 IT산업이 물산업으로 융합하여 적용할 가능성을 함께 제시한다.

2 | 확산방안

2-1 스마트시티를 준비하는 대구광역시

- 대구광역시는 '스마트 대구'라는 표어를 바탕으로 스마트시티에서 벗어나 친환경 스마트 그린시티를 목표로 한다. 이러한 대구광역시의 계획은 자사가 “도시문제 해결을 위한 시빅해커톤”에서 최우수상을 수상할 만큼 시민들의 관심이 높았던 대구광역시를 시작으로 기술사업화를 하기에 적합하다.
- 새로운 자원순환 센터 건설 등 폐기물 처리 시설 구축계획에 맞춰 개발 결과물을 개선한다면 충분한 사업성 확보가 가능할 것으로 예상된다.

2-2 국내 생활폐기물 업체 대상 공급 추진

- 한국환경공단의 집계에 따르면 생활폐기물 관련 수집·운반 업체는 수도권(서울/경기/인천)에 1,914개소, 중간/재활용 처리업체는 454개소가 있다.
 - 한국환경공단의 통계를 바탕으로 재활용폐기물 분류가 저조한 지역들의 폐기물을 수집하는 업체들을 일차적으로 예비 수요처로 선정하고 보급을 추진할 예정이다. 수도권 광역시에 위치한 기업들의 협의 요청이 있었다.
 - 대구광역시의 OO자원재활용센터는 실증테스트를 함께 진행함에 따라 운영을 위한 추가 협의를 진행하고 있으며, 대구광역시에서 신규 설치 예정인 자원순환 센터에 도입될 수 있도록 협의를 시행할 예정이다.

1 | 문제해결 사례

- 벨로우즈 실리콘 재질보다 고무 재질이 피킹에 도움되는 것으로 확인
 - 피킹이 더욱 잘 되는 재질로 교체함으로써 물산업 클러스터의 폐기물 처리 속도 향상
- 미처 생각해보지 못했던 로봇을 사용한 폐기물 재활용 방식
 - 기존의 방식에 익숙해져 있는 환경 미화팀 및 방재팀 직원들에게 새로운 폐기물 선별 방식을 환기시킴으로써 더 나은 폐기물 선별 방식에 대한 고찰 및 가능성 환기
- 공공기관에서 시작되는 새로운 스마트시티의 가능성
 - 도시 공간을 조성하는 공공기관의 역할 중 하나로 새로운 방식의 스마트 시티 구성이 있는데, 이러한 사업의 일환으로 폐기물 자동 선별 시스템을 포함한 새로운 스마트시티의 가능성 발견

2 | 기술적 한계

- 컨베이어에 객체 흔들림 및 로봇 속도 한계가 있으므로 산업현장 만큼의 성능을 확보하기 어렵다.
 - 실제 산업현장에 적용되는 모델의 경우에 1분에 96개 이상을 처리하는 능력을 보유하고 있으나, 실증에 투입된 로봇 모델의 경우 실험 규모에 따라 소형화되어 1분에 70개를 처리하고 있다.
 - 현재 실증용 소형 로봇 모델의 성능을 높이는 연구가 진행되고 있으며, 컨베이어 객체 흔들림의 경우에도 대응할 수 있는 더욱 안정성이 있는 소재를 사용하여 실증용 로봇의 전반적 성능이 향상될 예정이다.

3 | 거버넌스 관련 사항

- 생활폐기물에서 재활용 폐기물을 분류하는 작업은 비위생적이고 반복적으로 수행하는 위험한 작업으로 사람이 장기간 수행하기 어려운 작업이다.
- 이러한 기피업종의 문제를 해결하기 위한 스마트 자원순환 로봇의 도입으로 노동자는 양질의 일자리로 옮겨가고, 사업장은 생산성 향상을 기대할 수 있다.
- 노동자의 일자리 품질 향상으로 산업안전사고가 줄어들고 국민 만족도가 높아질 것으로 기대된다.

참고문헌

- 서울·대구 등 7곳, 학교 수는 폐기 '0', 경향신문, 김태훈, 2022.9.21.(URL: <https://m.khan.co.kr/national/education/article/202209212105015#c2b>)
- 홍석준의원, 25일 디지털 데이터 산업 거점도시 정책간담회 연다. 한국경제, 2022. 3 .25.(<https://www.hankyung.com/economy/article/202203259734h>)



스마트시티
혁신성장동력
프로젝트



SMART CITY