

순환경제 활성화를 위한

서울시 스마트 수거함 입지 선정



서울특별시 빅데이터 캠퍼스
SEOUL METROPOLITAN GOVERNMENT BIG DATA CAMPUS

목차

순환경경제 활성화를 위한
서울시 스마트 수거함 입지 선정

소중한
순환자원이
들어있어요

서론

- 주제 선정 배경
- 목적 및 필요성
- 분석 순서도

본론

- 데이터 수집 및 전처리
- 행정동 PET병 배출량 도출
- 행정동 클러스터링
- 행정동 PCA 입지 지수 선정
- 행정동 내 스마트 수거함 입지 선정

결론

- 기대효과 및 한계점
- 부록

주제 선정 배경

■ 순환 경제 활성화 필요성

순환경제 활성화를 통한 신성장 전략

- 순환경제의 원료로 쓰이는 폐자원은 폐기물관리법에 의해 처분과 재사용·재활용에 무게를 두고 관리됨
- 매일 1만 톤 이상 나오는 폐플라스틱의 재활용률은 50%
- 정부, 산업계 : 폐플라스틱의 환경위협을 극복하고 새로운 성장동력으로 만들기 위해 '탈(脫) 플라스틱과 순환경제 조성' 노력



서울특별시 민선8기 공약실천계획서 7-5. 플라스틱 재활용률 제고

- 투명 PET병 무인 회수기 확충
 - 자치구별 수요조사 및 설치 확대
 - 자치구 투명 PET병 무인 회수기 구입, 설치비 지원
- 서울지역 재활용 기업 육성 지원
 - 자원순환 분야 신기술 개발을 위한 기술 비용 지원

■ 폐플라스틱 수급 불안정

돈 주고 사오는 '폐플라스틱' 수급 불안에 석화/시멘트업계 '난감'

- 폐 플라스틱은 순환 결제 및 탄소중립 실현의 핵심 역할
- 폐 플라스틱 중 압축페트(PET)의 사용비중이 가장 높음
- 품질 좋은 폐플라스틱을 안정적으로 구하는 게 쉽지 않은 상황에 업체 간 수급 경쟁으로 가격마저 오르는 추세

순환경제의 핵심,
"폐플라스틱"
수거 시스템 개선 필요



주제 선정 배경

스마트 수거함 현황

TBS

“투명 폐트병 분리수거
의무화 시작... 유인책은 그닥”

- 제도의 안착을 위해 인지도와 참여율이 중요
- 여전히 다른 재활용 쓰레기와 함께 배출되는 투명 PET병
- 별도 배출 의무화에 대한 인지도가 낮으며 번거롭다는 인식이 높음



스마트 수거함
캔 또는 투명 PET병을 기계에 투입하면
포인트로 적립해 현금 및 모바일 쿠폰으로 보상

스마트 수거함 운영 우수 사례

유럽 국가 플라스틱병 회수율



독일

98%



82%

스웨덴, 핀란드, 노르웨이, 덴마크, 아일랜드,
크로아티아, 에스토니아, 리투아니아 등

출처 : 세계자연기금(WWF) 소속 플라스틱 스마트시티(Plastic Smart Cities)

- 플라스틱병 보증금 반환 시스템은 독일, 북유럽 등 EU 내 9개 국가에서 이미 자리 잡음
- 영국은 음료 플라스틱병 반환율을 25년 77%, 29년까지 90%로 끌어올리는 것을 목표로 하고 있음
- 22년 7월 스코틀랜드에서 자체적 DRS 시스템 시행
- 잉글랜드, 웨일스, 북아일랜드도 23년 DRS 시스템 도입을 계획 중

목적 및 필요성

기대 효과

- **플라스틱 재활용률 증가**

투명 PET병 및 다른 폐플라스틱의 효율적인 분리 및 수거를 촉진하여, 폐플라스틱 재활용률 상승에 기여

- **환경보호를 위한 자원 효율성 증가**

효율적인 자원 재활용 및 관리를 통해 유용 자원을 절약하며, 환경 오염을 최소화하고, 탄소배출량을 감소시켜 에너지를 절감

- **재활용 프로세스 품질 향상**

고품질의 폐플라스틱을 안정적으로 확보하며, 폐플라스틱 관리의 효율성을 극대화하는 환경 조성

필요성

- **순환경 정책 기여**

자원을 효율적으로 관리하고 쓰레기 처리의 경제적 부담을 감소시켜 순환경 정책에 공헌

- **스마트 수거함 인식 변화와 참여 유도**

자원의 지속 가능한 활용과 재활용에 대한 인식을 높이고 사회적 참여를 촉진하여 자원 관리와 재활용에 기여

- **폐플라스틱 산업 경쟁 완화**

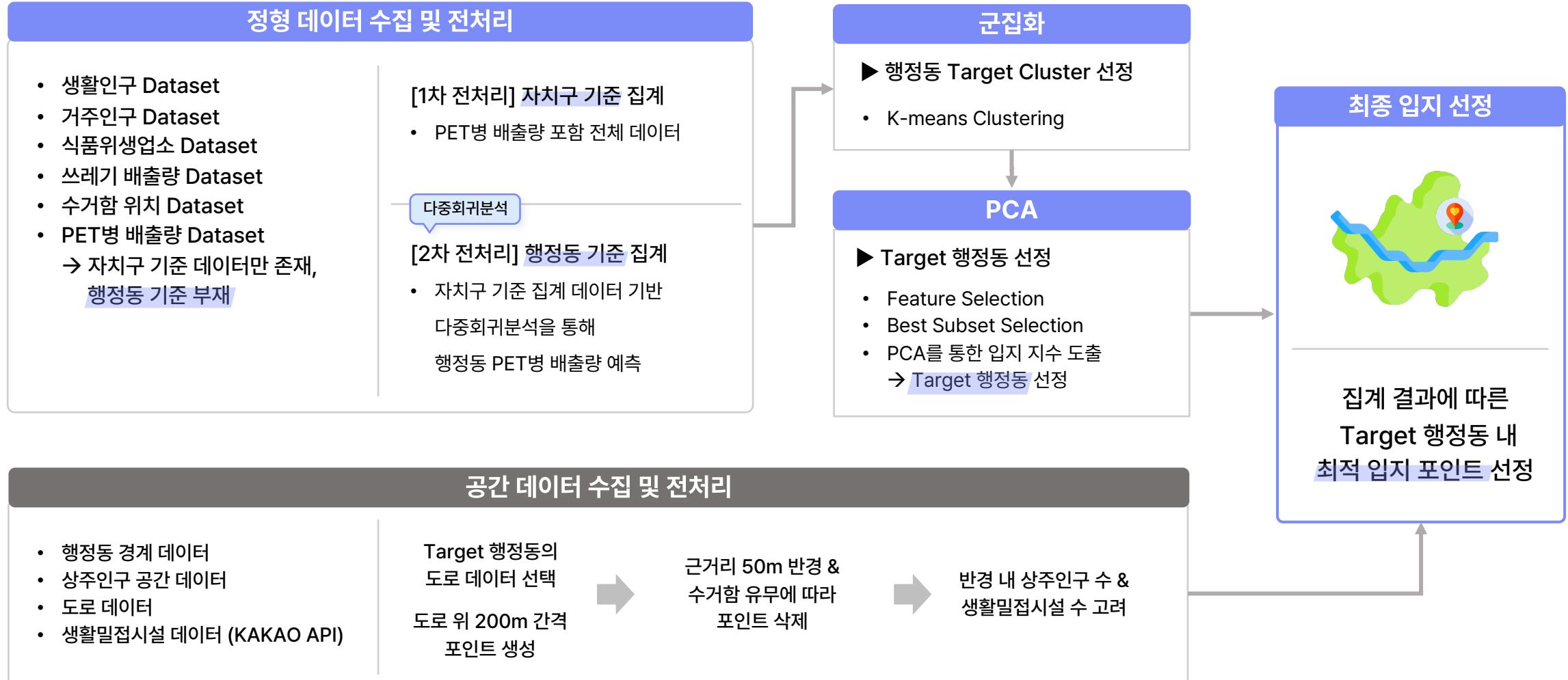
안정적인 폐플라스틱 공급을 통해 산업 간 경쟁과 가격 상승을 완화시켜 국내 기업의 원가 관리 및 제품 가격의 안정성 유지에 기여

스마트 수거함 추가 설치 입지 선정

서울시 내 스마트 수거함
설치 현황 및 수요를 고려하여
스마트 수거함 추가 설치 우선 입지
행정동 및 장소 제시



분석 순서도



데이터 수집 및 전처리

인구

데이터명	출처	전처리 결과
행정동 단위 거주 인구데이터(2021)	빅데이터 캠퍼스	10대 이하부터 ~100세 이상 연령대별 거주인구수
서울시 집계구단위 내외국인 생활인구(2021)	열린데이터 광장, 빅데이터 캠퍼스	10대 이하부터~80세 이상 연령대별 생활인구수
서울시 가구원 수 별 가구수 (동 별) 통계(2021)	열린데이터 광장	1인 가구 ~ 7인 가구 이상 거주인구 수

행정동

데이터명	출처	전처리 결과
전국 행정동 법정동 데이터 (2021)	우정사업본부	서울시 행정동, 행정동 코드

* 2021 행정동_코드 기준 매핑

재활용

데이터명	출처	전처리 결과
기존 스마트 수거함 위치 데이터(2023)	<ul style="list-style-type: none"> 사설 수거함 데이터 직접 수집 (오늘의 분리수거, 슈퍼빈 등) 구청에 직접 문의 	행정동 별 수거함 수
구별 폐트병 배출량 (2021년 전국 폐기물 발생 및 처리현황 중)	자원순환정보시스템	행정동 별 데이터가 부재 → 예측 모델 생성 필요

행정동 별 PET 병 배출량 예측 필요

구별 데이터를 이용한 다중회귀분석 시행

위생업소

데이터명	출처	전처리 결과
서울시 식품위생업소 및 공중위생업소 데이터 (2019)	빅데이터 캠퍼스	식품점객업 6종 (휴게음식점, 일반음식점, 단란주점, 유흥주점, 위탁급식, 제과점) 수

공간

데이터명	출처	전처리 결과
서울시 상주인구 공간데이터(2020)	빅데이터 캠퍼스	반경 내 상주인구 수
행정동 행정경계 전자지도(2023)	국가공간정보 포털	Target 행정동의 도로 데이터 선택
서울시 10m단위 도로구간 공간데이터(2016)	빅데이터 캠퍼스	도로 위 200m 간격 포인트 생성
생활밀접시설 위치 데이터	카카오 API	반경 내 생활밀접시설 수

○ 행정동 산정 시 이슈 → 2021년도 기준으로 행정동명 및 코드 정정

- 강일동 → 강일동 / 상일2동 분리
- 오류2동 → 오류2동 / 항동 분리
- 상일동 → 상일1동(명칭변경)
- 영등포1동, 신길2동 → 영등포본동 통합
- 영등포2동, 영등포3동 → 영등포동 통합

번1동 : 11305590 > 11305595
 번2동 : 11305600 > 11305603
 번3동: 11305606 > 11305608
 수유 1동: 11305610 > 11305615
 수유 2동: 11305620 > 11305625

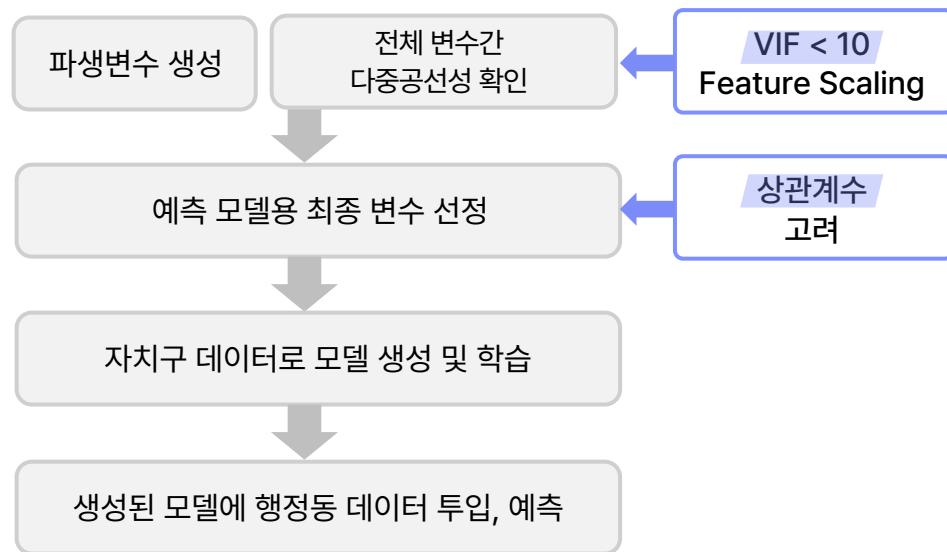
행정동 PET 배출량 도출

다중회귀분석

▶ 다중회귀분석이란?

- 다중회귀는 둘 이상의 독립 변수와 종속변수 간 관계를 설명하고 예측
- 선형 또는 비선형 관계를 모델링하여, 각 독립 변수의 회귀 계수를 추정하여 해당 변수가 종속 변수에 어떤 영향을 미치는지 파악

▶ 분석 절차



파생 변수 생성

- 상관계수와 히트맵 확인
- 높은 상관관계를 가진 변수를 중심으로 파생변수 생성

생성 변수	결합 변수
연령대_2030_거주인구수_합 & 평균	연령대_20_거주인구수, 연령대_30_거주인구수
연령대_2030_생활인구수_합 & 평균	연령대_20_생활인구수, 연령대_30_생활인구수
1인가구_비율	1인가구, 1~7인 이상가구
주요경제활동인구_거주인구수 & 평균	연령대_20_거주인구수, 연령대_30_거주인구수, 연령대_40_거주인구수, 연령대_50_거주인구수
주요경제활동인구_생활인구수 & 평균	연령대_20_생활인구수, 연령대_30_생활인구수, 연령대_40_생활인구수, 연령대_50_생활인구수
식품점객업	일반음식점, 휴게음식점, 제과점영업, 유흥주점영업, 단란주점, 집단급식소
음식점	일반음식점, 휴게음식점
주점	일반음식점, 유흥주점영업, 단란주점

행정동 PET 배출량 도출

| 변수 선택 및 모델 학습

1. 변수 간 다중공선성 확인 및 모델용 변수 선택

- 회귀 계수들의 불안정성을 낮춰, 변수 중요도를 정확히 평가하기 위함
- Pearson 상관계수와 VIF 를 확인하여 모델용 변수 선정

모델용 최종 변수	VIF
주요 경제활동 생활인구 수	9.527785
1인 가구	9.527785

2. 다중회귀 모델 생성 및 학습

- 최소 제곱법(OLS) 기반 회귀 모델 구축 → 종속변수 : PET 총량
- 모델 평가 지표 : RMSE, MAE

다중회귀 결과	R-squared	0.575	AIC	335.6
	Adj. R-squared	0.531	BIC	338.8
	F-statistic	12.88	Prob (F-statistic)	0.000292
모델 평가	RMSE	177.11	MAE	149.78

3. 모델 결과 확인

변수	회귀계수	t-통계량	p-value
Const (절편)	113.94...	0.364	0.720
주요 경제활동 생활인구 수	0.000004	2.144	0.045
1인 가구	0.013575	2.631	0.016

4. 행정동 PET병 배출량 예측

- 절편 값을 제외, 주요 경제활동 생활인구수와 1인가구 기반 선정

PET병 배출량(톤 / 연)

$$= (\text{주요 경제활동 생활인구 수}) \times 0.000004 + (1\text{인 가구}) \times 0.013575$$

자치구	행정동	PET병 예측량
강남구	역삼1동	410.10
금천구	가산동	275.99
관악구	청룡동	263.75
...

행정동 클러스터링

K-means Clustering

목표 : 서울시 전체 행정동 중 우선적으로 스마트 수거함 확대가 필요한 행정동 1차 추출을 위한

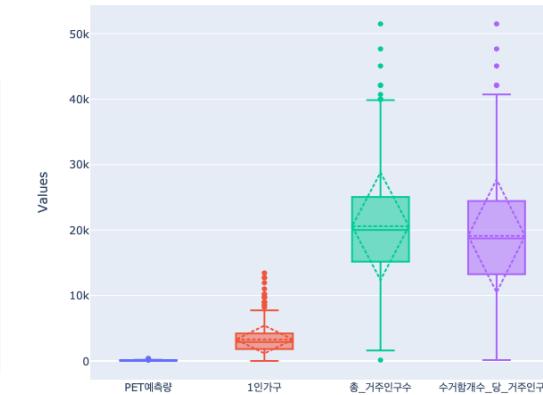
Feature 선정

다음과 같은 가정에 따라 수거함 선정에 중요한 요인으로 작용할 것 같은 변수를 선정

- PET병 배출량이 많을수록 수거함은 더 많이 필요하다.
- 1인가구는 PET병의 소단위 구매가 많아, 단위당 PET병 배출량이 많다.
- 재활용 및 분리배출은 전체 인구 중 생활인구 보다 거주인구 비율이 더 높다.

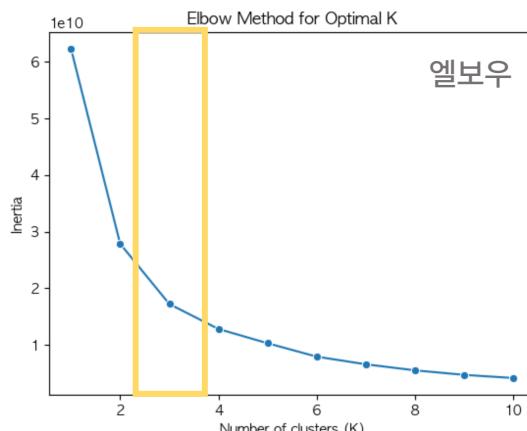
클러스터링 Feature

- PET병 예측량
- 1인 가구수
- 총 거주 인구수
- 수거함 1개 당 거주인구수

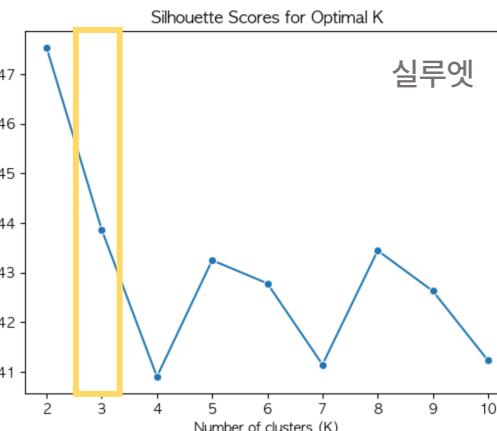


K 값 설정

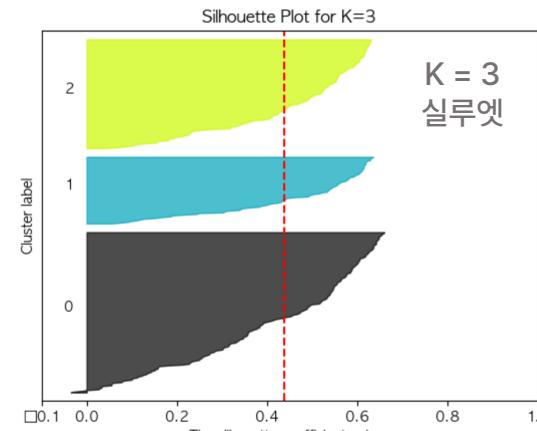
Elbow Method, Silhouette Scores Method → 적합한 군집 개수 설정



엘보우



실루엣



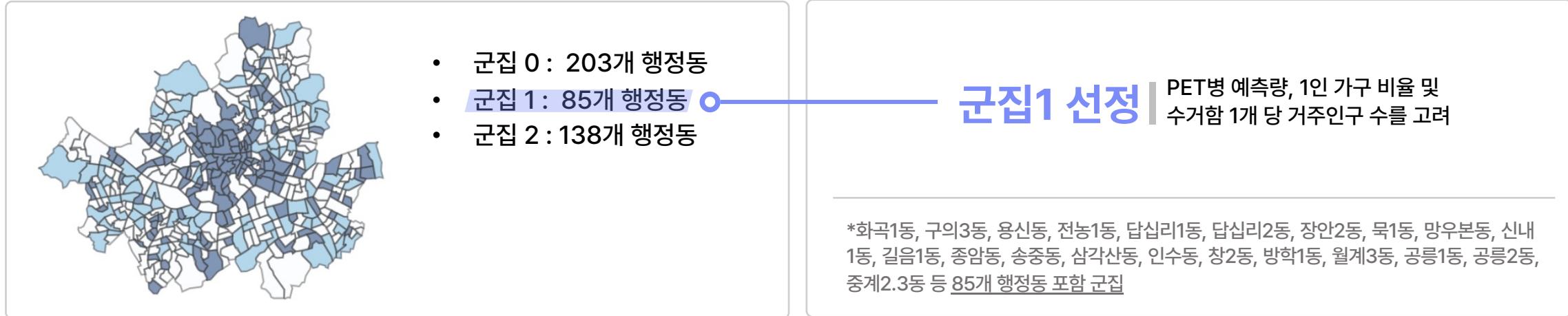
K = 3
실루엣

최적 클러스터링을 위한
Silhouette Score
(K=3) 0.438

행정동 클러스터링

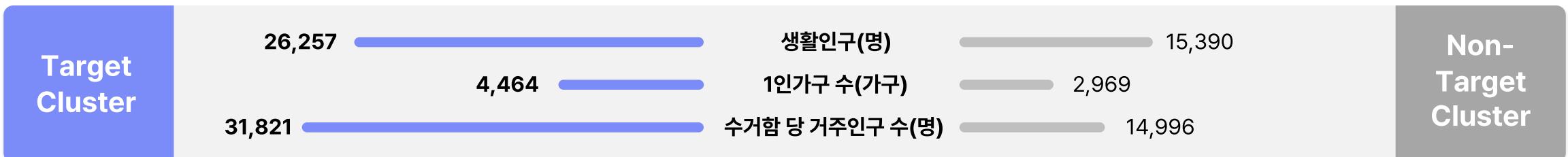
K-means Clustering

클러스터링 결과



데이터 포인트 간 거리를 기반으로 각 군집의 평균(mean)을 활용하여 K개의 군집 형성

선정된 클러스터(군집1) 특징



▶ 인구 지표 중 생활인구에서 가장 큰 차이를 보임, 1인 가구 비율이 높지 않지만, 1인 가구 수가 높음

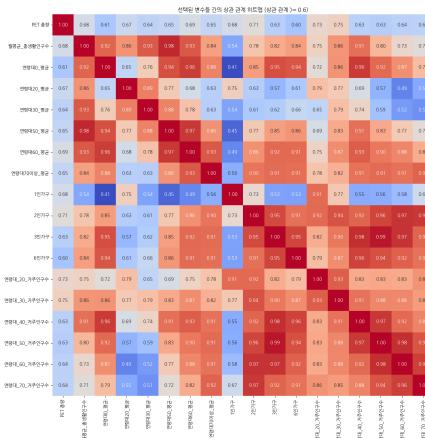
행정동 PCA 입지 지수 선정

1. 다중공선성 제거

- 높은 상관관계를 가지는 독립변수를 제거
- VIF가 10 이하인 독립변수 채택

1인가구 비율	식품점객업	주점	...	연령대2030 총 거주인구수	주요 경제활동 생활인구수	수거함 개수 당 거주인구수
4.933838	3.117784	1.939024	...	6.401678	2.297418	4.119225

*상관계수 확인



2. Feature Selection

- Best Subset Selection : 가능한 모든 변수 조합을 생성하여 모델 성능 평가
- 초기 변수가 5개 이하로 많지 않았으므로, AIC를 변수 선택 시 유의하게 봄
- 선택된 변수 결과 : [1인가구_비율, 연령대_2030_거주인구수_합, 주요경제활동인구_생활인구수]

Best Subset Selection 결과	R-squared	0.979	AIC	554.4
	Adj. R-squared	0.979	BIC	564.2
	F-statistic	1276	Prob (F-statistic)	4.62e-68

결과 변수

- ▶ 1인가구_비율
- ▶ 연령대_2030_거주인구수_합
- ▶ 주요경제활동인구_생활인구수

핵심 변수 추가

수거함개수_당_거주인구수

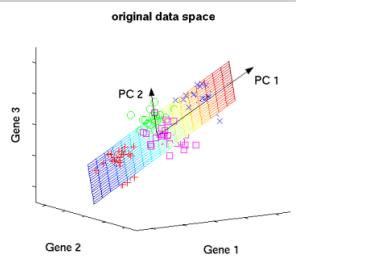
(*수거함 결핍률과 입지 선정 시 필수 요소이므로 최종 변수에 추가)

행정동 PCA 입지 지수 선정

3. PCA로 입지 지수 개발

주성분 분석(PCA)

- 고차원의 데이터를 저차원으로 변환하여 주요 패턴과 상관 관계를 추출하는 차원 축소 기법
- 데이터의 분산을 가장 잘 보존하는 선형 변환을 찾음
- 첫 번째 주성분이 데이터의 분산을 최대한 보존하여, 가장 중요한 변동성을 설명함



▶ 주성분 구성 변수의 Loading 값 → 입지 지수식의 가중치로 사용

	제 1 주성분	제 2 주성분	제 3 주성분	제4 주성분
1인가구_비율	0.46	-0.71	-0.13	0.52
연령대_2030_거주인구수_합	0.60	-0.05	-0.38	-0.70
주요경제활동인구_생활인구수	0.50	0.14	-0.85	-0.04
수거함개수_당_거주인구수	0.42	0.69	-0.34	0.49
누적 분산 비율	0.5156	0.85	0.98	1.0

4. 입지 지수 적용

(1) Min-Max Scaling

서로 다른 단위와 범위의 Feature를 비교하기 위해 최솟값 0, 최댓값 1로 변환

(2) PCA의 Loading 값으로 입지 지수식 도출

▶ 첫 번째 주성분의 Loading 을 입지 지수 계수로 사용

SCORE

$$= 1인가구_비율 \times 0.46$$

$$+ 연령대_2030_거주인구수_합 \times 0.60$$

$$+ 주요경제활동인구_생활인구수 \times 0.50$$

$$+ 수거함개수_당_거주인구수 \times 0.42$$

자치구	행정동	SCORE
강서구	화곡1동	1.51
관악구	청룡동	1.32
영등포구	영등포동	1.20
은평구	진관동	1.19
동작구	상도1동	1.16

스마트 수거함 우선 설치 행정동
강서구 화곡1동

행정동 내 스마트 수거함 입지 선정

1. 입지 후보지 포인트 선정



200m 도로 위 200m 간격으로
후보지 포인트 생성

도로에 설치하는 특성을 고려하여
도로 데이터 기반으로
최초 입지 후보지 선정

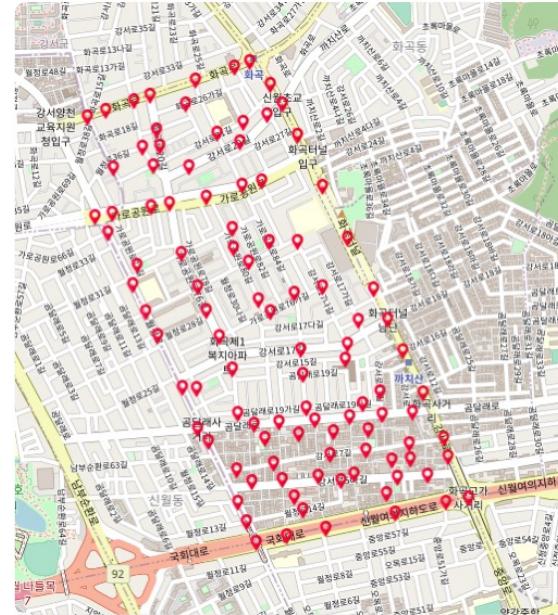
2. 도로 폭 5 이상 후보지 선택



5m 현재 스마트 수거함이 설치된
가장 좁은 도로 폭

수거함 이용 편의를 위해
최소 도로 폭 5m 이상의
후보지 선택

3. 근접 후보지 제거

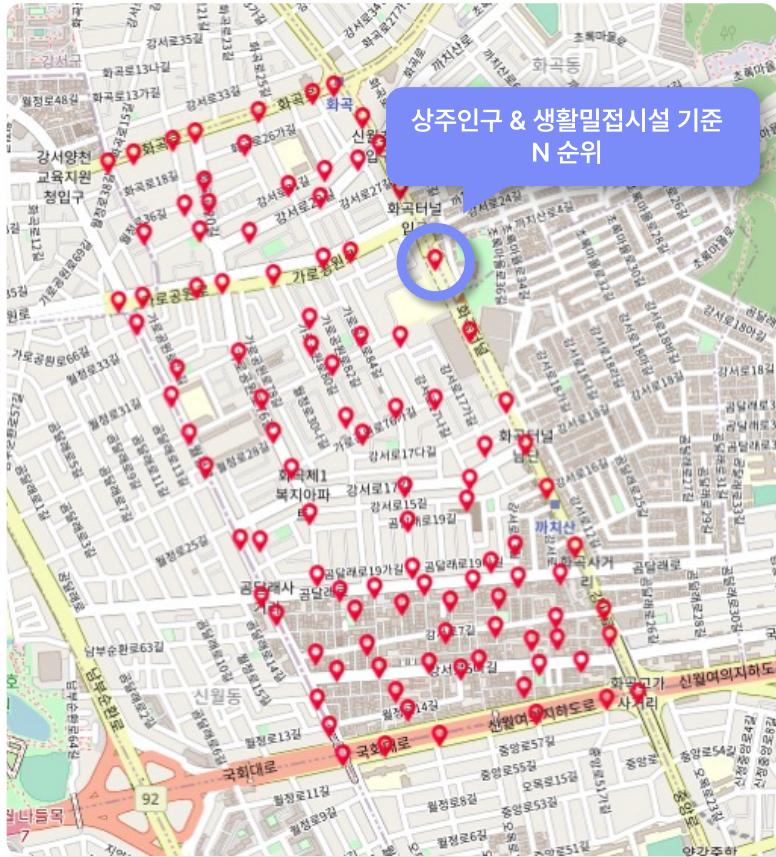


50m 포인트 근접성 판단 기준

50m 반경 내 인접한 후보지가
많은 곳을 우선하여 후보지 삭제

행정동 내 스마트 수거함 입지 선정

4. 입지 포인트 순위 선정



입지 포인트 순위 선정 시 고려 요소

(1) 상주인구 300m

- 주거인구가 많은 지역에 스마트 수거함을 우선 설치하여 활용성을 높임
- 반경 기준은 서울연구원, 2014 도보권 개념을 참고함

(2) 생활밀접시설 200m

- 편의시설이 많은 지역에 스마트 수거함을 설치하여 근거리 방문 시 이용 편의성을 높임
- 반경 기준은 전연령대의 사람들이 주거지로부터 쉽게 접근 가능한 거리를 고려

** 시설 종류 : 대형마트, 편의점, 어린이집, 학교, 학원, 주차장, 주유소, 지하철역, 은행, 문화시설, 중개업소, 공공기관, 관광명소, 숙박, 음식점, 카페, 병원, 약국, 코인세탁방, 헬스클럽

상주인구와 생활밀접시설을 고려한 순위 산출

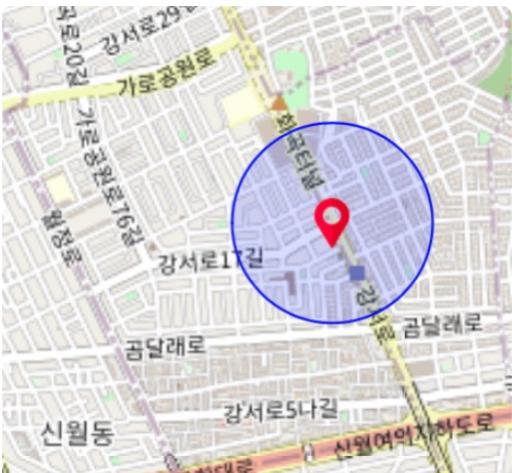
도로명	입지후보지	집객시설_총_개수	상주인구_수	도로_폭	도로_길이	가점수
강서로17길	POINT (126.845671 37.533482)	58	14354	11	780	23
곰달래로19나길	POINT (126.844676 37.530839)	50	15012	5	264	26
곰달래로	POINT (126.845433 37.530496)	62	12166	6	2850	36
강서로13길	POINT (126.845366 37.531206)	66	11874	6	279	36
강서로15길	POINT (126.843961 37.532232)	36	14063	5	45	48
...
월정로	POINT (126.834568 37.536208)	12	3894	15	3000	185
국회대로	POINT (126.845972 37.527379)	8	4395	5	10200	185
월정로	POINT (126.840476 37.526473)	12	2861	15	3000	191
강서로	POINT (126.848879 37.527881)	7	731	30	5526	201
국회대로	POINT (126.847952 37.527725)	4	1916	6	10200	204

- 생활밀접시설 개수 총합의 순위 (내림차순)
- 상주인구수가 많을 수록 높은 순위 (내림차순)
- 후보지 포인트 별 순위 합을 산출하여 [입지 선정 지표로 활용](#)

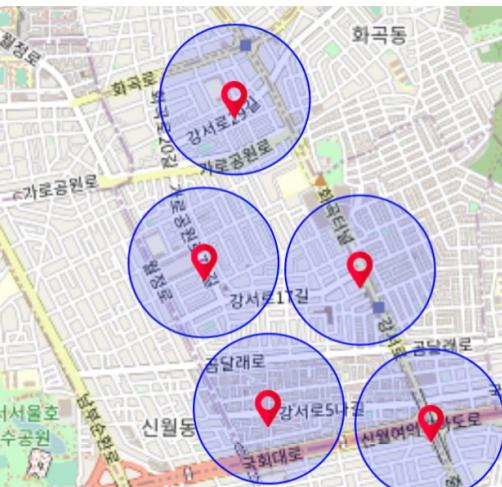
행정동 내 스마트 수거함 입지 선정

5. 최종 입지 선정

- Step 01. 우선순위 상위 점 기준 **300m 내 좌표 중복 제거**
- Step 02. 우선순위 상위 수거함 순서로 스마트 수거함 설치
→ 300m 반경 내 교집합 최소화를 위해 **반경 600m 필터링**



수거함 개수 1개



수거함 개수 5개

강서구 화곡1동 스마트 수거함 우선 설치 후보지 5곳 선정

- 강서로 17길
- 가로공원로76길
- 강서로31길
- 곰달래로 18길
- 강서로

Order	입지후보지	도로명	집객시설_총_개수	상주인구_수
1	POINT (126.845671 37.533482)	강서로17길	58	14354
2	POINT (126.838498 37.533759)	가로공원로76길	47	10437
3	POINT (126.839934 37.539683)	강서로31길	53	7551
4	POINT (126.841488 37.528445)	곰달래로18길	24	11331
5	POINT (126.848879 37.527881)	강서로	7	731

기대효과 및 한계점

이해관계자 별 기대효과

01 서울특별시

- ✓ 폐기물부담금 등 폐기물 처리 비용 절감
- ✓ 「폐기물 발생지 처리 원칙」 적용에 선제 대응
- ✓ 정부의 「전 주기 탈 플라스틱 대책 정책」 이행과 자원순환사회 실현에 기여



02 재활용 처리 기업

- ✓ 양질의 투명 PET병을 확보하여
수거율과 재활용률의 격차를 줄임
⇒ PET 분리수거율 85% | 재활용률 10%
- ✓ 재활용률 증가에 따라 더 많은 제품 생산이
가능해져 순환경제 활성화에 기여
- ✓ 순환경제 활성화를 통한 산업 신성장 전략
⇒ CE9 중 플라스틱의 화학적 재활용 사업
(열분해유 생산확대, 고급 연료화 전환) 지원



03 시민

- ✓ 투명 PET병 분리수거 인프라 구축
⇒ 평균 26.3%의 소비자가 투명 페트병을 잘못된 방식으로 분리 배출하고 있음
⇒ 투명 PET병 분리배출 방법과 장소에 대한 인식 제고 및 참여 유도
- ✓ 수거함 이용에 따른 포인트 적립 및
사용을 통해 경제적 선순환 기대



기대효과 및 한계점

프로젝트 기대효과



스마트 수거함 최적 입지 선정 모델은 입지 우선 순위를 제공하고, **최소한의 배치로 최대한의 범위를 포괄** 할 수 있는 설치 방법론을 제시



본 분석으로 **서울시장 공약 7-5 “플라스틱 재활용률 제고”** 공약의 자치구별 스마트 수거함 수요조사 실시에 도움을 줌



연간 50대로 **한정된 설치 예산을 효율적으로** 사용할 수 있도록 도움을 줌

한계점

1. 최초 입지 후보지 선정 방법

도로 중심 접근 방법을 선택하여 선정된 좌표 근처를 제외한 행정동 전역을 고려하지 못함

2. 분석 범위 한정

특정 행정동을 대상으로 Target을 좁혀 분석을 실시하여 서울시 전체 행정동의 개별 분석을 수행하지 못함

3. 입지 선정 기준

데이터 확보 한계로 인하여, 생활밀접시설 유형별 주민 선호도 및 활용 빈도 등을 고려하지 못함
→ 향후 데이터 수집이 가능하다면, 보다 세밀한 입지 선정을 기대

부록

데이터

데이터명	기준년도	출처
행정동 단위 거주 인구데이터	2021	빅데이터 캠퍼스
서울시 집계구단위 내외국인 생활인구	2021	열린데이터 광장 빅데이터 캠퍼스
서울시 식품위생업소 및 공중위생업소 데이터	2019	빅데이터 캠퍼스
서울시 가구원수별 가구수 (동 별) 통계	2021	열린데이터 광장
기존 스마트 수거함 위치 데이터	2023	<ul style="list-style-type: none">사설 수거함 데이터 직접 수집 (오늘의 분리수거, 슈퍼빈 등)구청에 직접 문의
구별 페트병 배출량 (2021년 전국 폐기물 발생 및 처리현황 종)	2021	자원순환정보시스템
전국 행정동 법정동 데이터	2021	우정사업본부
서울시 상주인구 공간데이터	2020	빅데이터 캠퍼스
행정동 행정경계 전자지도	2023	국가공간정보 포털
서울시 10m단위 도로구간 공간데이터	2016	빅데이터 캠퍼스
반경 내 생활밀접시설	2023	카카오맵 API

분석 툴



참고 문헌

- 김형규, 손윤선, 박태랑, 곽제신, 강정운 & 김민철. (2022). 다회용 컵 순환을 통한 플라스틱 쓰레기 배출량 감소 방안 분석 : 머신러닝 적용. 한국통신학회 학술대회논문집
- 이지훈. (2023). 합성 박테리아로 폐플라스틱 유용한 화학물질로 바꾼다. 나침반 36.5도, 124, 98-99.
- 최재현, 김우진, 정선도, 구민승, 이재원, 김동우 & 변황우. (2019). 스마트 분리수거함, 대한전기학회 학술대회 논문집
- 김광희, 이승수 & 고상진. (2011). 단절적 시계열분석과 패널분석을 통한 전라북도 쓰레기종량제 정책효과 실증 연구 - 쓰레기배출량과 재활용량, 예산 등을 중심으로 -. 한국자치행정학보, 25(1), 169-189.
- 이주현, 윤종영. (2008). 분리수거함의 사용성 개선을 위한 행동유도 요인에 관한 연구. 디지털디자인학연구, 8(3), 219-228.
- 이상훈, (2019). 국내 플라스틱 리싸이클링 현황. 자원리싸이클링 , 28(6), 3-8.
- 서울특별시 민선8기 공약실천계획서
- 국회 입법조사처. (2020). 1회용 포장재 재활용 활성화를 위한 보증금제도 도입 방안.
- 소비자원. (2020). 투명(무색)페트병 분리배출 소비자문제 조사
- 폐기물 관리법.(2023.11.03)
- 서울연구원.(2014). 서울도시연구 제 15권 제3호 가구통행실태조사 자료를 이용한 통행특성 분석과 생활권 기준 설정 연구 - 서울시를 중심으로 -
- 투명페트병 분리수거 의무화 시작...유인책은 그닥. (2022.01.07). TBS. https://tbs.seoul.kr/news/newsView.do?typ_800=&idx_800=3459442&seq_800=20452054