

□ 추진배경 및 필요성

◦ 수거 경로가 효율적인지 판단할 근거가 없음

- 수거 차량 주행거리는 유류비 · 인건비 · 배출가스와 직결되나, 현 경로의 효율을 판단할 정량 근거가 없음

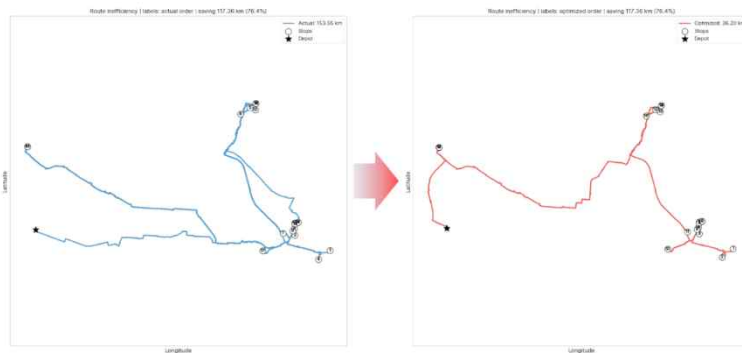
◦ 선행 연구: 경로 최적화 연구는 많으나, 처리시설과의 관계도 함께 보아야 함

[표 1] 선행 연구 및 선행 분석

핵심어	제목	저자(연도)	주요 내용
근사 방법 경로 최적화	Waste collection routing problem: A mini-review of recent heuristic approaches and applications	Liang 외(2022)	근사 방법으로 수거 주행거리를 줄이는 연구 동향 정리
처리시설 운반	Waste collection vehicle routing problem with time windows	Kim 외(2006)	적재 후 처리시설까지의 운반을 경로의 필수 구성요소로 다룸
수거 구역 · 시설 입지	Municipal solid waste collection and management problems: A literature review	Belien 외(2014)	수거 경로 · 수거 구역 · 시설 입지를 연결된 문제로 정리
적환장 · GIS 경로 분석	Evaluation of key indicators of waste collection using GIS techniques as a planning and control tool for route optimization	Hemidat 외(2017)	적환장 이전 · 신설을 포함한 시나리오로 3~23% 비용 절감 보고(요르단 3개 도시)
안산시 순서 최적화	「클린안산25」(2026 안산시 공공데이터 · AI 활용 아이디어 공모전 제출작, 미입상)	배병준 외(2026)	안산시 수거 기록으로 965개 경로를 재구성하고 수거 순서를 최적화함

◦ 선행 분석: 수거 순서만 바뀌도 경로 절반이 18.4% 이상 절감

- 「클린안산25」에서 965개 경로의 순서 최적화로 절감률 중간값 18.4%, 최대 153.6km → 36.2km를 확인함(그림 1)



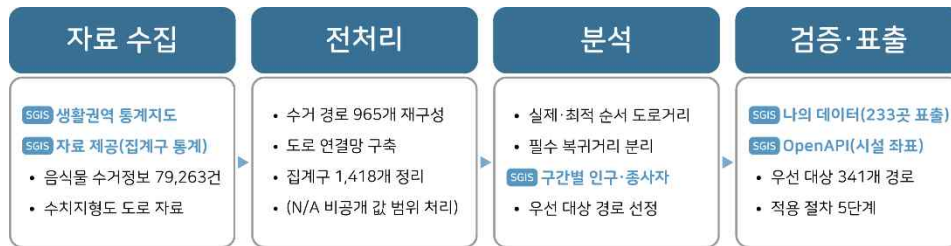
[그림 1] 선행 분석의 대표 사례 — 기존 수거 순서 153.6km(좌), 재배열 후 36.2km(우)

○ 필요성: 시설 주변에 누가 살고 일하는지는 보지 않음

- (SGIS의 역할) 생활권역 통계지도로 시설 주변 권역을 보고, 집계구 통계를 시설까지 도로거리 4km 단위로 묶어 인구·종사자 분포를 확인함(수거량은 수거 기록에서 합산)

□ 추진과정

○ 처리 과정



[그림 2] 자료 처리 과정 (파란 테두리 : SGIS 활용 단계)

■ 활용분야 및 주요내용

- 생활권역 통계지도: 자원화시설 기준 주행시간 5·10·15·20분 권역과 권역 통계 → 시설 주변 권역 구조 진단
- 자료제공: 안산시 집계구(인구 500명 내외의 최소 통계구역) 경계(2025년 2분기)와 집계구 통계(2024년 인구·주택·사업체, 27건) → 도로거리 구간별 인구·종사자 산출
- 대화형 통계지도 > 나의 데이터: 수거지점 233곳 업로드·표출 → 분석 결과를 SGIS 지도 위에서 확인
- 개발지원센터(OpenAPI): 지오코딩(주소→좌표) → 자원화시설 좌표 확인

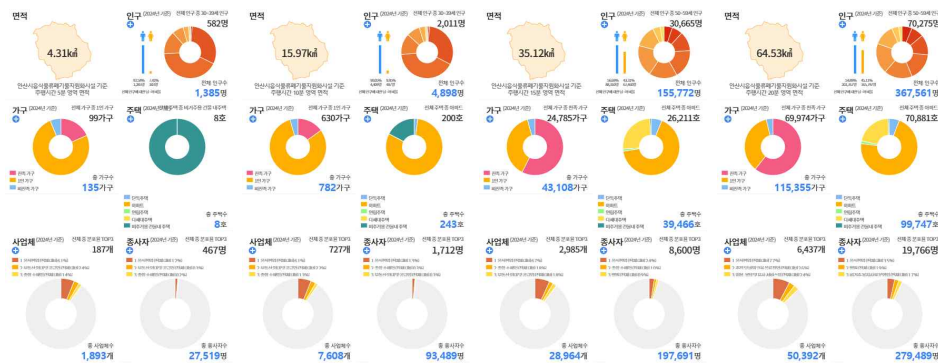
○ 분석 방법

- 1. (경로) 같은 날 같은 차량의 수거 기록을 1개 경로로 묶어 965개 경로를 만들고, 첫 수거지점부터 시설까지 도로 최단거리로 계산함(차고지 구간 제외, 최적 순서는 최근접 이웃법^{주1)}·2-opt^{주2)} 근사값) [선행 분석]
- 2. (주행시간 권역) 시설 기준 주행 5·10·15·20분 권역별 인구·종사자 확인 [SGIS → 표 2]
- 3. (거리 구간) 집계구 중심→시설 도로거리 구간별로 인구·종사자와 수거량 합산(비공개 값은 1~2) [SGIS·수거 기록 → 표 3]
- 4. (우선 대상) 필수 복귀거리^{주3)}를 빼고 보았을 때 순서 조정 효과가 크고(조정 절감 비율^{주4)} 상위 절반), 복귀 부담이 작은(복귀 비중^{주5)} 하위 절반) 경로 선정 [본 분석 → 표 4]
- 5. (지도 표출) 수거지점 233곳을 SGIS 나의 데이터에 표출 [SGIS → 그림 4]

- 주1) 최근접 이웃법 : 현재 위치에서 가장 가까운 지점으로 차례로 이동해 순서를 정하는 방법
주2) 2-opt : 정해진 순서에서 두 구간을 바꿔 보고, 거리가 줄면 바꾼 순서로 고치기를 반복하는 방법
주3) 필수 복귀거리 : 경로의 수거지점 중 시설과 가장 가까운 곳에서 시설까지의 도로거리로, 순서를 바꿔도 줄지 않음
주4) 조정 절감 비율 : 절감 거리 ÷ (전체 거리 - 필수 복귀거리)
주5) 복귀 비중 : 필수 복귀거리 ÷ 전체 거리

□ 추진내용

○ ① SGIS 권역·집계구 통계로 본 시설 주변 인구·종사자 구조 진단



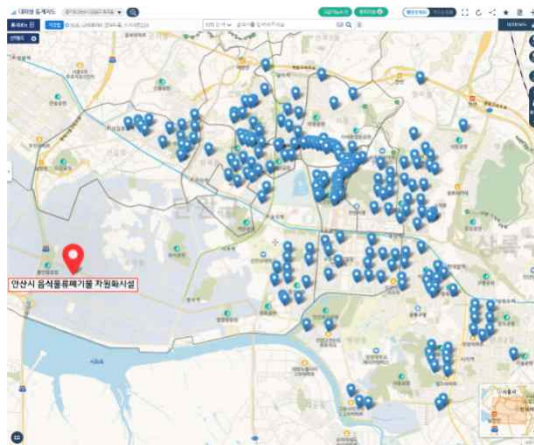
[그림 3] 권역별 통계 화면 (왼쪽부터 5·10·15·20분)

[표 2] 자원화시설 기준 주행시간 권역별 현황 (2024년)

권역	면적	인구	가구	주택	사업체	종사자
5분	4.31km ²	1,385명	135가구	8호	1,893개	27,519명
10분	15.97km ²	4,898명	782가구	243호	7,608개	93,489명
15분	35.12km ²	155,772명	43,108가구	39,466호	28,964개	197,691명
20분	64.53km ²	367,561명	115,355가구	99,747호	50,392개	279,489명

자료 : SGIS 생활권역 통계지도 (주행시간 권역은 행정경계와 무관하게 생성되어 인접 시 일부 포함)

- 10분 권역 주민 4,898명·종사자 93,489명, 15분 권역부터 인구 155,772명으로 급증하며, 시설 주변은 산업단지임



[그림 4] SGIS 나 의 데이터로 표출한 수거지점 233곳과 자원화시설(빨간 핀, 좌표 오류 3곳 제외)

[표 3] 시설까지 도로거리 구간별 현황 (집계구 1,418개 기준)

도로거리	집계구	인구	종사자	제조업 비율	음식점 비율	수거지점	수거량 비중
0~4km	15개	6,882명	107,027명	81.7%	1.5%	0곳	0.0%
4~6km	257개	123,642명	41,677명	27.4%	6.8%	50곳	30.0%
6~8km	336개	162,819명	56,664명	1.2%	11.1%	71곳	33.3%
8~10km	360개	179,821명	63,447명	2.5%	10.7%	70곳	18.7%
10~12km	373개	182,481명	36,147명	2.2%	11.1%	25곳	14.1%
12km~	77개	36,522명	16,545명	26.0%	6.0%	20곳	3.9%

자료 : SGIS 자료제공 집계구 통계(2024년) 가공. 업종 비율은 종사자 기준 하한값. 대부분 23개 집계구 제외. 수거지점은 경로 분석에 쓴 236곳 기준

- 수거량의 63.3%가 4~8km에서 발생하며, 차량은 매 회차 수거지점이 없는 4km를 지나 시설로 들어감
- 0~4km 종사자 107,027명 중 81.7%가 제조업으로, 음식물 배출원으로 보기 어려움
- ② 순서를 바꿔도 줄지 않는 필수 복귀거리가 전체의 35.2%
 - 965개 경로의 도로거리 합 17,744km 중 6,254km(35.2%)는 필수 복귀거리로, 순서를 바꿔도 줄지 않음
 - 이를 빼고 보면 절감 가능 거리의 74.7%가 341개 경로(35%)에 몰려 있음

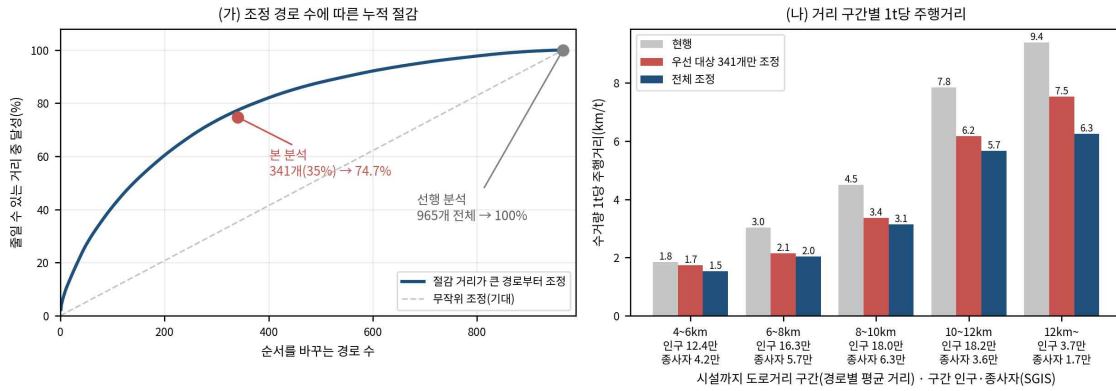
□ 추진성과

- 기대효과: 경로 35%만 조정해도 절감 효과의 75% 확보

[표 4] 선행 분석과 본 분석의 비교

구분	선행 분석 (「클린안산25」)	본 분석
총 도로거리(1t당)	12,710km(2.42km/t)	전체 12,710km(2.42km/t) 341개만 13,982km(2.67km/t)
조정 대상 → 절감	965개 전체 → 5,034km	341개(35%) → 3,762km(효과 74.7%), 연간 약 1만km(추정)
경로 1개당 절감	5.2km	11.0km(2.1배)
순서와 무관한 거리	구분 안 함	필수 복귀거리 35.2% 분리
시설 주변 구조	중점 좌표 하나	주행시간 권역·구간별 인구·종사자 확인(SGIS)
효과가 큰 구간	다루지 않음	6~8km 경로에 우선 대상의 56%(SGIS)
배출원 해석	다루지 않음	시설 4km 이내 종사자의 81.7%가 제조업(SGIS)
운영비·환경	산출하지 않음	연비 확보 시 환산: 절감 거리 ÷ 연비 × 경유 단가, × 2.60kgCO ₂ /L

자료 : 선행 17,744km(3.38km/t) 기준, 분석 기간(2024.12.14~2025.4.29, 137일) 기준, 연간 값은 단순 비례 추정. 1t당 주행거리 = 도로거리 ÷ 수거량. (SGIS) 표시 외는 수거 기록 분석. 배출계수는 한국에너지공단 국가 고유 배출계수(20.090tC/TJ, 순발열량 35.3MJ/L)로



[그림 5] 조정 경로 수에 따른 누적 절감(가)과 시설까지 도로거리 구간별 1t당 주행거리(나) — (나)의 구간은 경로별 수거무게 가중 평균 거리 기준, 인구·종사자는 SGIS 집계구 통계

◦ 확산 가능성: 타 지자체 적용 가능 조건 및 과정 5단계

[표 5] 적용 절차

단계	할 일	필요한 자료	SGIS 메뉴	산출물
①	처리시설 주변 권역 확인	처리시설 주소	생활권역 통계지도	주행시간 권역 · 통계
②	거리 구간별 주민 · 사업체 파악	집계구 경계 · 통계	자료제공	구간별 인구 · 종사자
③	경로 재구성 · 필수 복귀거리 분리	차량별 수거 기록, 도로 자료	-	경로별 필수 복귀거리
④	우선 조정 대상 선정	③의 결과	-	대상 경로 목록
⑤	결과 공유	수거지점 좌표	나의 데이터	SGIS 지도

◦ 한계 및 향후 과제

- (경로 자료) 재구성한 경로라 실제 운행과 다를 수 있음 → GPS 기록 확보 시 검증 가능
- (비용 · 환경) 연비 자료가 없어 거리까지만 산출함 → 연비 확보 시 운영비 · 탄소 환산 가능
- (사업장 배출원) 사업장 음식물 폐기물 처리 경로를 확인하지 못함 → 처리 자료 확보 시 편입 검토
- (선정 기준) 우선 대상 기준은 절감 거리 순 선정의 97% 수준 → 현장 적용 시 기준 보완 가능

※ 참고문헌 : Beliën 외(2014), Transportation Science 48(1), 78-102 / Hemidat 외(2017), Waste and Biomass Valorization 8, 1533-1554 / Kim 외(2006), Computers & Operations Research 33(12), 3624-3642 / Liang 외(2022), Waste Management & Research 40(5), 519-537

※ 별첨 : ① 분석 코드 8종 ② SGIS 활용 증명(자료제공 신청 내역, 생활권역 통계지도, 나의 데이터 화면) ③ 산출 데이터(경로별 지표표 965개 경로, 거리 구간별 집계구 통계, 수거지점 233곳 좌표·KML) ④ 「클린안산25」 아이디어 기획서