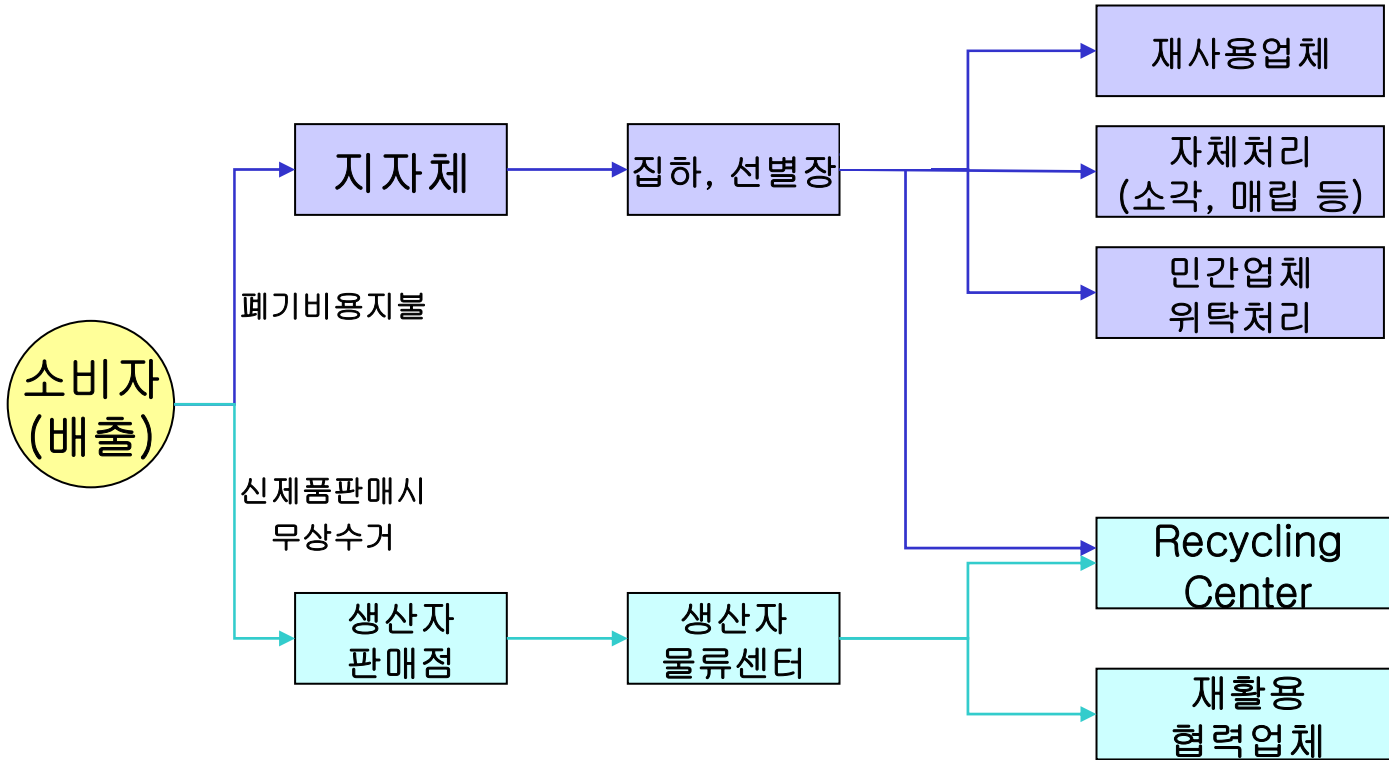


폐전자제품의 회수운송망 최적화

아주대학교

류재환, 임석철, 홍민선, 김현수, 구봉준, 김보생

국내 폐전자 제품 회수경로



문제정의

■ EPR(Extended Producer Responsibility)

- 소비자가 사용하던 제품이 용도를 다하여 폐기물로 배출될 때 생산자에게 일정량을 회수하여 재활용하도록 책임을 부여하는 제도

■ 제품의 수명주기(life cycle) 단축으로 회수 물량의 증가

■ 물량확보 중심의 회수활동

- 신제품 판매 이외의 활동에 과도한 비용 노출

■ 5대 폐전자제품의 회수활동을 목적으로 함

- 냉장고, 세탁기, 에어컨, TV, 모니터

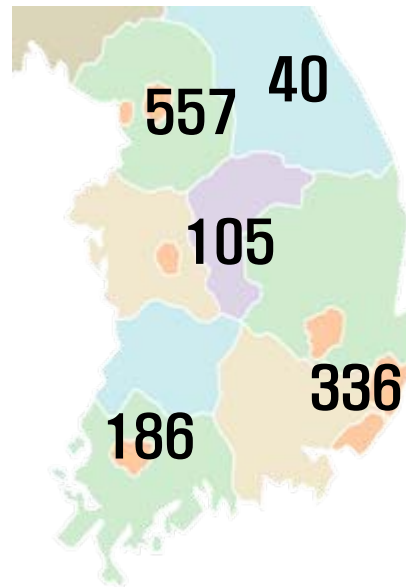
권역별 회수량 및 처리량의 불균형

- 2005년 현재 물량(냉장고, 세탁기, TV)
- 상당부분이 타 지역으로 운송되어 처리됨
 - 운송비용 증가

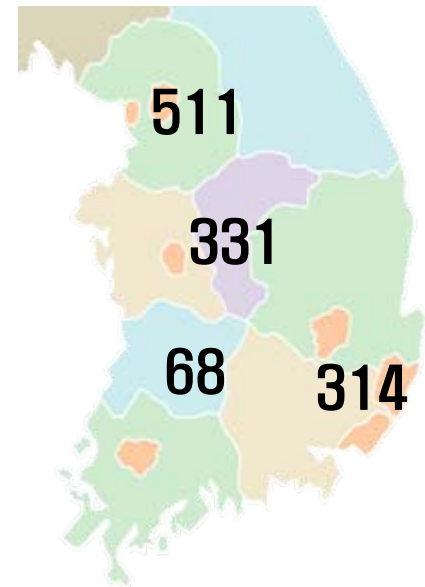
[단위: 천대]

구분	회수량	처리량	차이
수도권	597	511	-86
중부권	105	331	+226
영남권	336	314	-22
호남권	186	68	-118

회수량



처리량



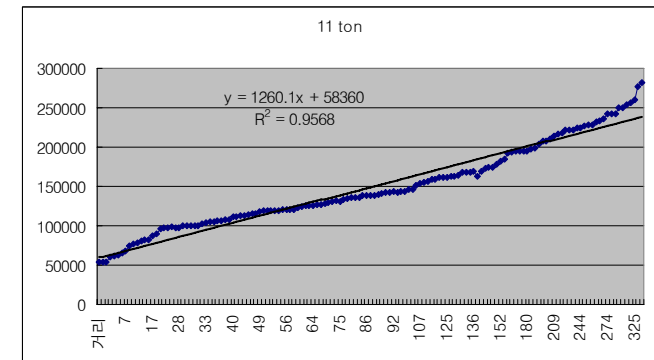
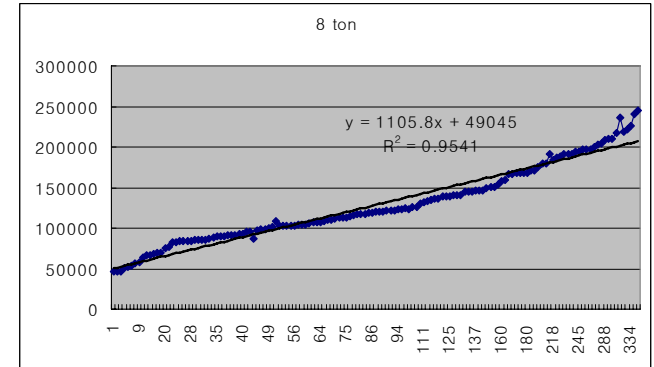
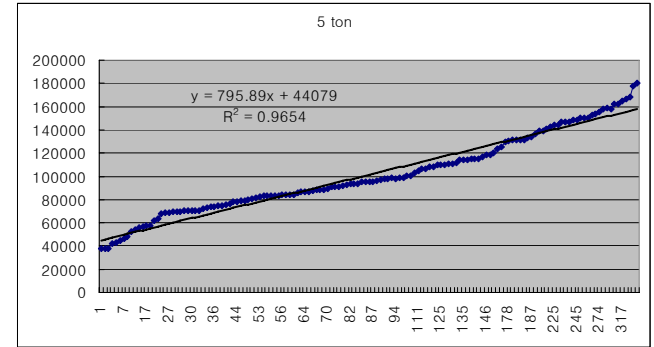
차량별 운송비 추정

■ 방법

- 생산자 운임 활용
- 1차 회귀식 추정

■ 8톤 차량운임을 기본으로 활용

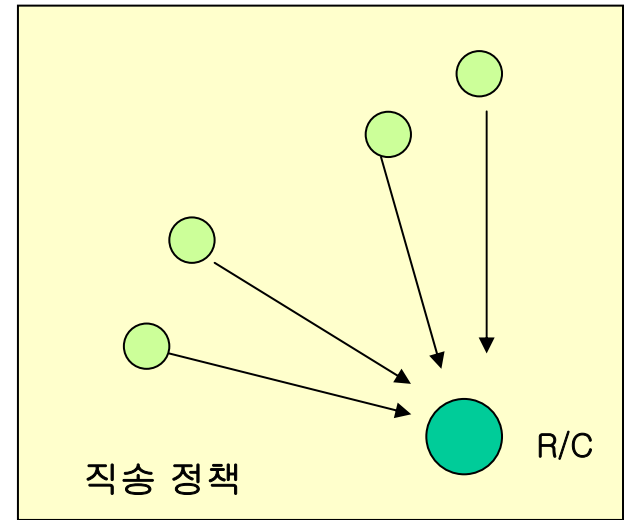
- 지자체 및 운임의 변동 고려
- 차량 1대운임 = $1,475 \times \text{거리} + 49,045$



순회집하와 직송정책의 비교

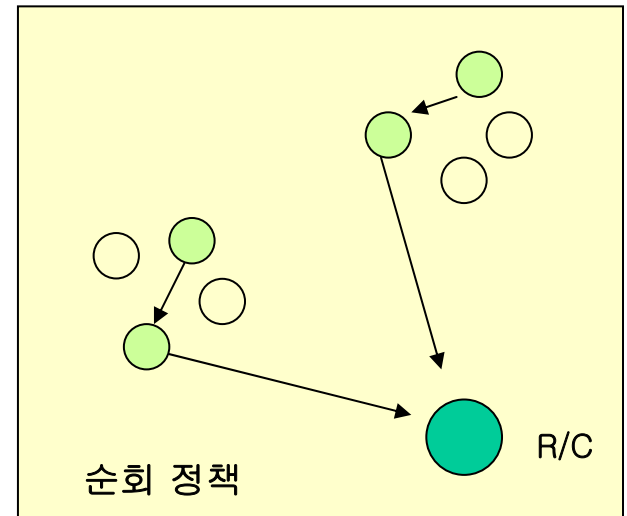
■ 직송 정책

- 발생지역 별로 차량 1대분 될 때 수송
- 장점
 - 1차분으로 인한 수송비 감축이 가능
 - 별도의 상차비용 없음 (예, 지게차)
- 단점
 - 발생량이 적은 지역의 경우 폐가전의 적치기간 과다로 인한 사고(분실, 파손 등) 요인 존재

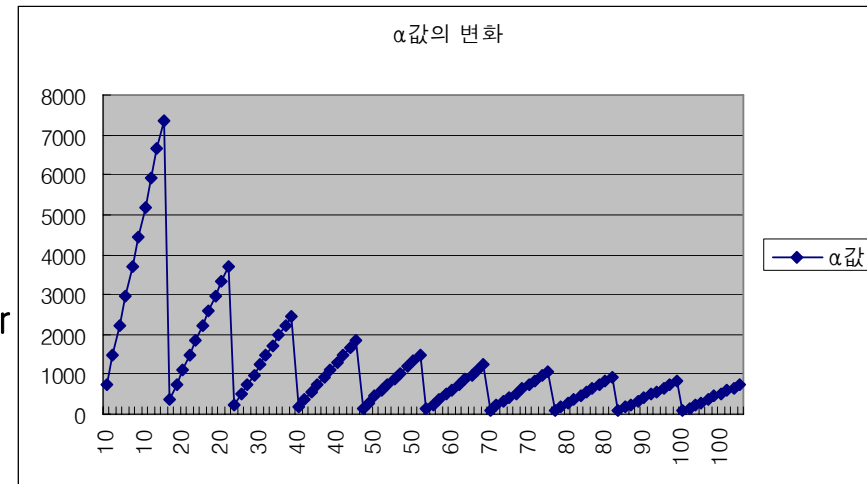
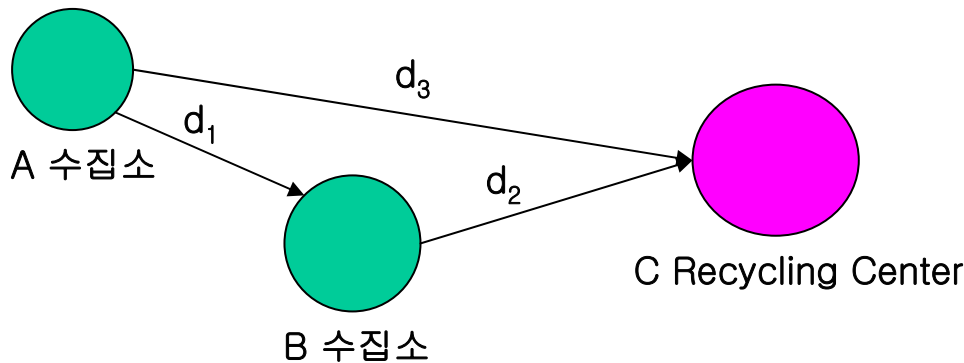


■ 순회정책

- 다수의 발생지역을 묶어 1차분이 될 때 수송
- 장점
 - 폐가전 적치기간 감소로 인한 재고유지 비용 및 사고 요인이 적음.
- 단점
 - 추가 수송비 및 상차비용 추가 발생됨



- 운송비(직송) = $1475(d_2 + d_3) + 49045 \times 2$
- 운송비(순회) = $\alpha \times d_1 + 1475 \times d_2 + 49045$
 - α 는 기존에 없는 운송구간에 대한 운송요금 임
- 같은 물량에 대한 운송비의 비교
 - $1260.1(d_2 + d_3) + 2 \times 58360 > 2(\alpha \times d_1 + 1260.1 \times d_2 + 58360)$
 - $(1475d_3 - 1475d_2) / 2d_1 > \alpha$ 의 경우 채택
 - d_1 이 10km이고 d_3 와 d_2 의 거리차가 100km일 경우 변동비가 7000원이 넘음



선형계획 모델링

(1) 목적함수

▶ 운송비의 최소화

(2) 목표처리용량 조정

(3) 각 수집거점의 각 폐전자 제품은 한 곳의 처리지로 할당

$$Z = \min \sum_k \sum_j \sum_i x_{ijk} q_{ik} (\lambda d_{ij} + \rho) \quad \text{---(1)}$$

i = 수집소 (지자체, 생산자 물류센터)
 j = 처리지 (Recycling Center, 협력업체)

k = 품목

λ = 변동비

ρ = 고정비

subject to

$$c_{jk} \geq \sum_i x_{ijk} q_{ik} \quad \text{for all } j, k \quad \text{---(2)}$$

x_{ijk} = 수집소 i 에서 처리지 j 로 품목 k 할당시 1 아니면 0

c_{jk} = 처리지 j 의 품목 k 의 처리능력(capacity)

d_{ij} = 수집소 i 와 처리지 j 간의 거리

$$\sum_j x_{ijk} = 1 \quad \text{for all } i, k \quad \text{---(3)}$$

q_{ik} = 수집소 i 에서 발생하는 품목 k 의 연간 회수량

최적화 프로그램

■ 입력 기능

- 처리지 정보 (위치, 처리 품목, Capacity) 입력 기능
- 발생지 정보 (위치, 발생품목, 품목별 발생량, 부피) 입력 기능
- 수집소와 R/C 간의 최적 할당 연산 수행
- 연산 결과의 그래픽 표현 제공
- 입력 정보 수정 및 삭제 기능

■ 최적 할당 알고리즘

- 목적함수 : 운송비의 최소화(Min-Sum)
- 처리지의 품목 및 처리능력 제약조건을 고려함.
- 각 발생지역별 필요 차량 수 및 운송비용 계산
- 각 처리지의 Load Balancing을 고려한 물량 할당 가능

■ 출력

- GUI(Graphic User Interface) 제공
- Excel 파일 형태인 CSV 파일로 결과 출력 → 추후 엑셀로 통계량 생성 가능 함.

현행 운송비용 도출(2005년)

■ 활용 데이터

- 2005년 입고물량
- 냉장고, 세탁기, 에어컨, TV, 모니터

■ 가정사항

- 거리 산출 방법은 직각거리 사용
- 8톤 차량 운임을 활용

■ 분석 결과

- 전체 물류비중 가전 3사의 비율은 89% 수준임.

최적할당 프로그램 결과

■ 활용 데이터

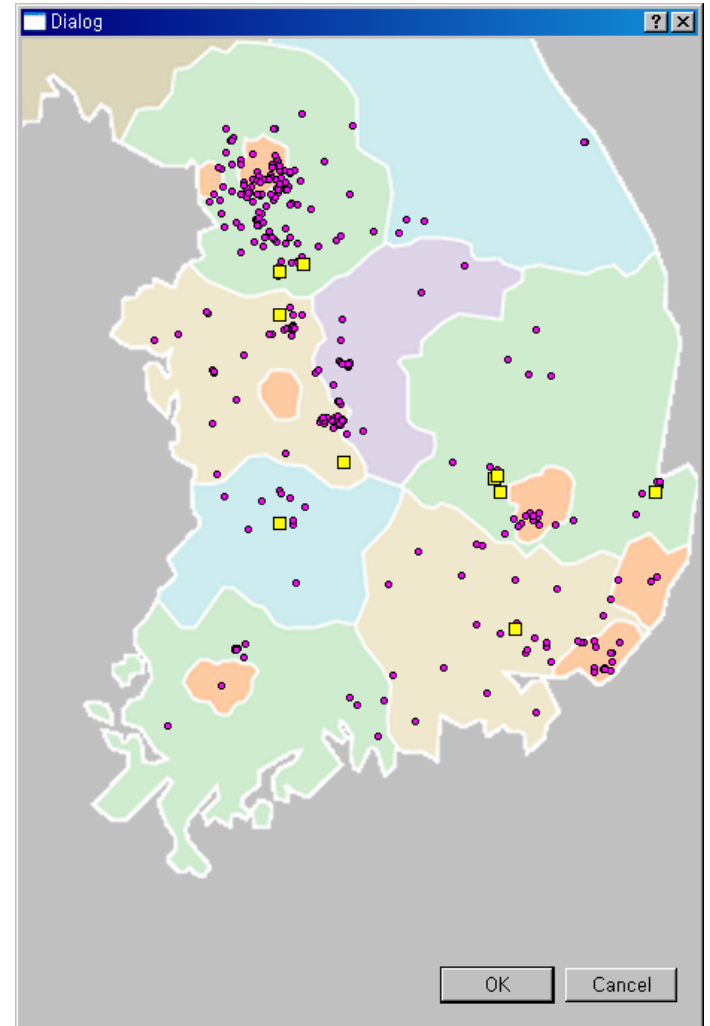
- 2005년 입고물량
- 냉장고, 세탁기, 에어컨, TV, 모니터

■ 가정사항

- 거리 산출 방법은 직각거리 사용
- 8톤 차량 운임을 활용

■ 실험 방법

- 최적 할당 프로그램 활용하여 산출
- 근거리 기준으로 물류비 최소화만을 목적으로 할당함



실험 결과 분석

- 현재 총 물류비용 대비 22% 수준 절감됨

- 일부 R/C의 가동율이 지나치게 낮아지는 결과 초래
 - 각 R/C의 가동율 평준화가 필요할 것으로 보임
 - 가동율 평준화를 이룰 경우 운송비용은 다소 증가할 것으로 예상

- 일부 지역의 경우 물류비용 부담이 큼
 - 수집물량에 비해 처리지와 거리 멀어 상대적으로 많은 물류비용 부담
 - 신규 R/C 또는 기존 R/C의 위치 조정이 필요할 것으로 보임

결론 및 향후 연구과제

- 향후 처리 물량이 계속 증가할 것으로 예상 됨
 - 생산자와 기존 계약 지자체의 자연 증가 물량
 - 계약 지자체의 증가
- 최적 할당으로 얻을 수 있는 운송비용절감 폭이 더욱 커질 것으로 예상됨

- 향후 연구과제
 - 각 처리지의 가동율 평준화를 고려한 재할당
 - 향후 증가 물량 대비한 신규 R/C의 위치 도출