

제 16회 한국대학생 산업공학 프로젝트 경진대회

서울특별시 종로구 길거리 쓰레기통 최적 입지 선정

SysAnal.

김지훈 윤기연

이상기 최승희

INDEX



1. 연구배경
2. 연구계획
3. 연구방법
 - set-covering
 - p-RD
 - K-Means Clustering
4. 결과분석
 - 입지 재 선정 타당성
 - 관리구역 재 분류 효율성
5. 결론
6. 사용한 데이터
7. 참고문헌

01 연구배경

1.1 서울특별시 길거리 쓰레기/쓰레기통 문제

[서울특별시 가로 쓰레기통 관련 민원 및 문제 제기 자료][1]

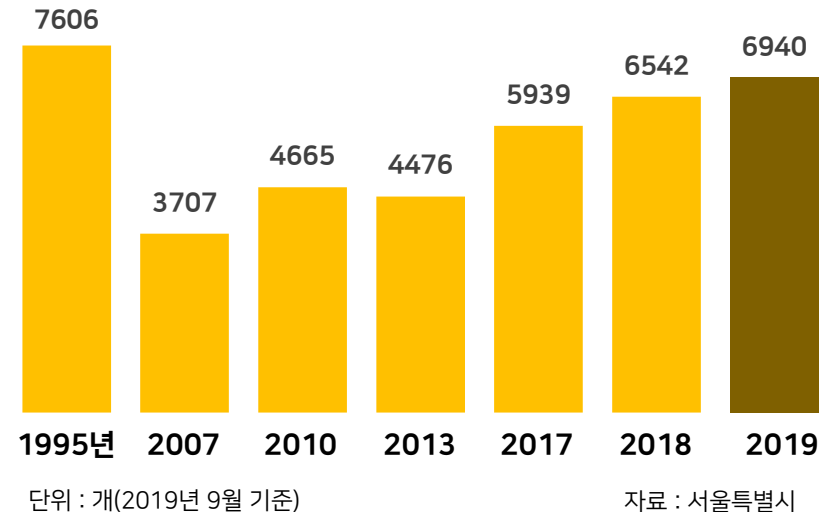
출처	해당 자치구	문제 내용 요약
서울특별시 응답소	종로구	버스정류장 및 종로구 곳곳의 쓰레기통 개수가 부족하여 추가 설치 요구
	송파구	주민의 편의를 위해 버스정류장, 전철역 등 주요 거점에 쓰레기통 설치 요구
	서울시 전체	관광지 등 사람이 많은 지역에 쓰레기통이 부족하여 추가 설치를 요구
동아일보 기사	서울시 전체	쓰레기통을 추가적으로 설치 또는 제거해도 시민들의 불만이 끊이지 않음

- 서울특별시 민원 창구에 길거리 쓰레기통
증설 요구사항이 끊이지 않음
- 서울특별시 측은 설치 개수에 변화를 주어도
시민들의 불만이 계속됨을 언급

**쓰레기통 문제에 대해 시민과 정부 양측 모두
만족되는 해결책 마련이 필요**

1.2 서울특별시 길거리 쓰레기통 관련 현황

서울특별시 길거리 쓰레기통 설치 현황



- 지난 해(19.9) 기준 길거리 쓰레기통 6,940개가
서울특별시에 설치되어 있음
- 올해(2020년) 637대를 추가 설치하여
총 7,595대의 길거리 쓰레기통이 설치될 계획임[2]

01 연구배경

1.3 종로구 길거리 쓰레기통 문제점

종로구, 너무 비효율적인 쓰레기통 개수

- 서울특별시 자치구 중 하나인 종로구의 유효인구는 서울 자치구 25개 중 23위로 하위권에 있지만, 길거리 쓰레기통의 개수는 5위에 위치할 정도로 비효율적으로 많이 설치되어 있음
- 유효인구에 비해 많이 설치되어 있음에도 불구하고 종로구 시민들은 여전히 쓰레기통이 부족하다는 불만이 꾸준히 보임

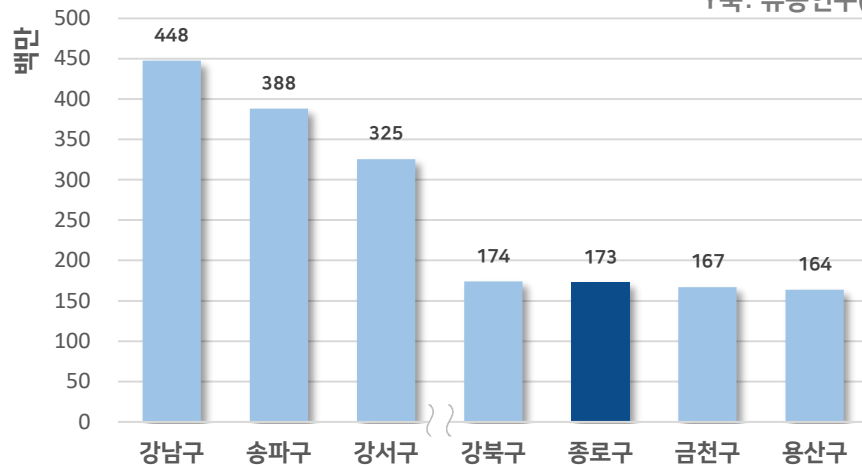
종로구 길거리 쓰레기통 현황

- 종로구의 304개의 길거리 쓰레기통은 184개의 입지에 설치되어 있음
- 종로구 길거리 쓰레기통 관리구역은 총 6구역으로 나뉘어 있음

시민들의 불만을 해결해줄 수 있는
효율적인 입지의 재선정이 필요함

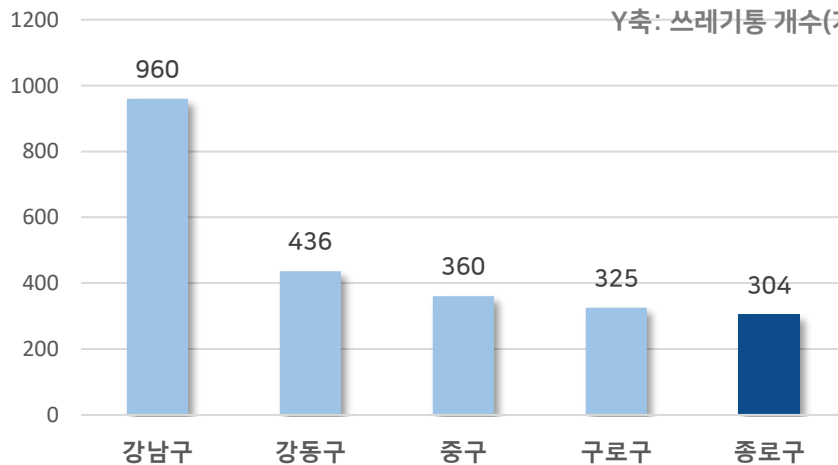
서울특별시 자치구별 유효인구 순위(19.9기준)

Y축: 유효인구(명)



서울특별시 자치구 길거리 쓰레기통 설치 수 (19.9기준)

Y축: 쓰레기통 개수(개)



자료 : 열린 서울 데이터 광장

02 연구계획

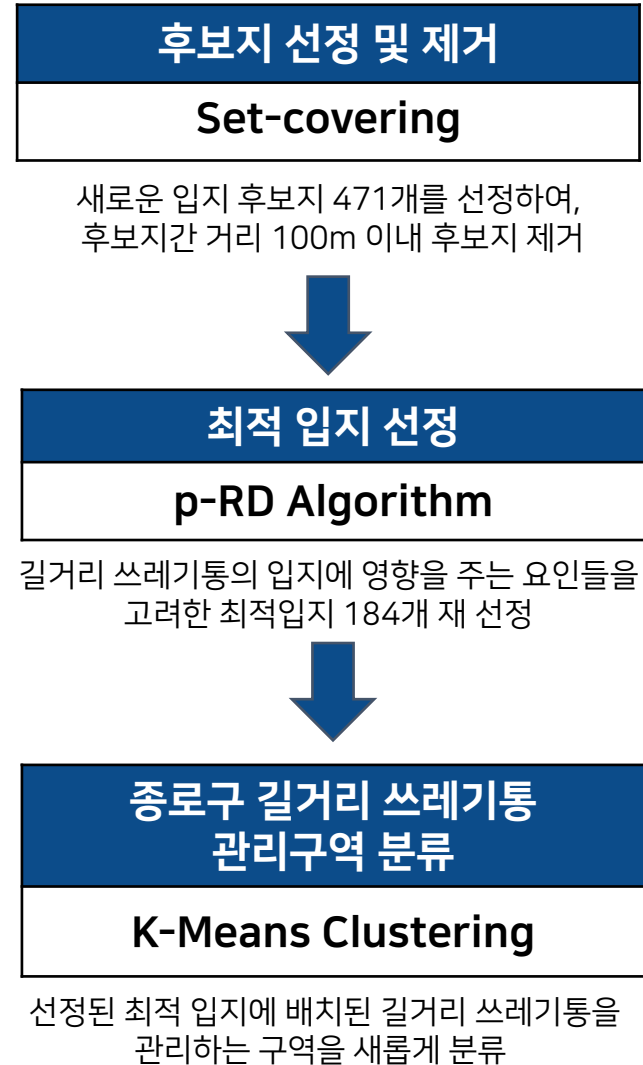
2.1 연구 목적

1. 서울특별시 종로구의 184개의 입지를 재 선정
2. 선정된 최적입지 184개를 기준으로
길거리 쓰레기통 관리구역 재 분류

2.2 연구 기대효과

- 1) **불만 감소:** 유동인구와 상권매출을 고려한 입지를 재 선정함으로써, 종로구 시민들의 불만을 감소시킴
- 2) **효율적인 쓰레기 수거:** 새로운 관리구역을 분류함으로써, 환경미화원의 수를 재배치할 수 있으며, 효율적인 쓰레기 수거가 가능하여 쌓인 쓰레기를 빠르게 처리할 수 있음

2.3 연구 흐름



03 연구방법 - 1. Set-Covering



3.1.1 새로운 후보지 선정

- 후보지 유형 : 종로구 내 모든 버스정류장, 지하철역 입구, 공원
- 후보지 개수 : 총 471개의 후보지

3.1.2 Set Covering Model 적용 목적

새로운 후보지 471개의 데이터 중
100m 이내에 있는 후보지 삭제

- 471개의 데이터 중 거리가 매우 가까운 후보지들이 많음을 확인함
- 따라서, 100m 이내에 있는 후보지를 cover할 수 있다는 조건을 적용하여 후보지를 새롭게 선정하고자 함
※ 100m로 선택한 이유: 길거리 쓰레기통이 가장 많은 강남구의 경우, 100m 간격으로 배치함으로써 시민들의 불만이 적음
- 각 후보지의 좌표 데이터를 활용하여 거리를 측정함

3.1.3 Set Covering Location Model^[3]

$$\text{Minimize } \sum_{i=1}^{471} X_i \quad i = 1, 2, \dots, 471$$

$$\text{Subject to } \sum_{i=1}^{470} \sum_{j=1}^{470} X_i d_{i(j+1)}$$

$X_i = 1$: 후보지(i)에 쓰레기통이 설치되는 경우
 0 : 후보지(i)에 쓰레기통이 설치 안되는 경우

$d_{i(j+1)} = 1$: 후보지(i)와 후보지(j+1) 사이의 거리가 100m 이하인 경우
 0 : 후보지(i)와 후보지(j+1) 사이의 거리가 100m 이상인 경우

3.1.4 Set Covering Model 결과

471개 후보지 중 346개의 후보지가 선정됨

- 오로지 거리를 기준으로 선정된 후보지 346개를
p-RD Algorithm을 통해 다른 중요 요인을 고려하여 최적입지를 선정하고자 함

03 연구방법 - 2. p-RD(p-Reverse Delete) Algorithm



3.2.1 p-RD 적용 목적

길거리 쓰레기통의 입지에 영향을 주는 요인들을 고려한 184개의 입지 재선정

- p-RD Algorithm을 적용해 최솟값을 가지는 후보지를 삭제하는 방법
- 제거되는 후보지들을 역순으로 배치하여 우선 도입 지역을 선정하고자 함

3.2.2 p-RD 에 사용된 변수 정의

- 1) **후보지 간의 거리** : Set-covering에서 선정된 346개의 후보지들 간의 거리 데이터
- 2) **유동인구** : 후보지로부터 100m 내에 추정 유동인구
- 3) **상권 매출** : 후보지로부터 100m 내에 길거리 쓰레기 양에 직접적으로 영향을 끼치는 두 업종 (편의점, 카페)의 상권 추정 매출
- 4) **환경미화원 수** : 종로구 길거리 쓰레기 관리구역별 환경미화원 인원 수

- d_{ij} : 후보지 (i)과 후보지 (j) 사이의 거리(m)
- h_j : 후보지(j)의 추정 유동인구 수(명)
- w_j : 후보지(j)의 상권 추정 매출 데이터(카페, 편의점) (원)
- a_j : 후보지(j) 종로구 길거리 쓰레기 관리구역별 환경미화원 수(명)
- 모든 변수들의 범위를 일정하게 맞추기 위해 표준화 ($\frac{x-min}{max-min}$)함
 - 표준화 결과 모든 값이 0~1 사이 값으로 변환되는데, c_{ij} 값 도출 시 '0'에 해당되는 값이 데이터를 무효화 시키므로 모든 데이터에 1을 더해 범위를 1~2 사이 값으로 변환
- c_{ij} : 후보지(i)과 후보지(j) 사이의 가치 값
- $$= d_{ij} \times h_j \times w_j \times a_j + 1$$
- 최종 가치 변수(c_{ij})를 바탕으로 346x346 행렬 값을 할당 후 분석 진행

03 연구방법 - 2. p-RD(p-Reverse Delete) Algorithm

3.2.3 p-RD Algorithm 적용^[4]

- 초기 행렬(346x346)을 준비하고, 각 (행, 열) 쌍에 가치 변수 $c_{(ij)}$ 를 대입
- Python으로 프로그래밍하여 p-RD 알고리즘을 구현

```

110 print("gg",b)
111 result_b.append(b)
112 result_row.append(index[b])
113 result_col.append(index[b])
114 break
115 print("result_row(최소값의 수) = ",result_row)
116
117 result_tempo = result_tempo[1:]
118 print("result_tempo(제거된 단계 번호) = ",result_tempo)
119 result_tempo_total.append(result_tempo)
120 print("result_tempo_total(누적한 단계 번호) = ",result_tempo_total)
121 result_tempo = []
122 print("남은 행의 개수 = ",data_frame.shape[0])
123 print(result_row)
124 print(result_col)
125 print(result_row[step])
126 print(result_col[step])
127 print("Step",step,"결과 : (",result_row[step],",",result_col[step],")",result[step])
128
129 for step in range(0,200)

```

Run: prd_2.py

[225 rows x 346 columns]

	1	2	3	...	468	469	470
1	1.824565	NaN	2.917334	...	2.351416	1.222334	1.473779
2	1.820969	2.994582	NaN	...	2.344018	1.220849	1.472938
3	NaN	3.836994	2.940863	...	2.372927	1.234564	1.457659
4	1.823088	3.066918	2.979189	...	2.392903	1.241794	1.448598
5	1.823683	3.068829	2.982924	...	2.399174	1.238821	1.440850
...
468	2.394138	4.813548	3.905067	...	3.126372	1.583396	1.149063
469	2.393399	4.800058	3.903076	...	3.133854	1.563101	1.145644
470	2.543183	4.258760	4.146089	...	3.321518	1.672251	1.040241

- 346개의 후보지이므로 p-RD가 한번 반복할 때마다 최소값을 갖는 하나의 후보지가 차례대로 삭제됨
- 삭제되는 후보지에 의해서 단계가 진행될수록 행의 개수는 하나씩 감소
- 행이 삭제되면서 삭제 행과 연관된 후보지들에 의해 가치 값의 합이 갱신되기 위해 2개의 후보지들이 하나로 그룹을 형성하며, 더 이상 그룹을 형성할 수 없는 경우 Step을 멈추게 됨

3.2.4 p-RD Algorithm 분석 결과

- 1차 작업 시, 138step까지 진행 후 완료됨
- 이후 2차 작업에 24번을 진행하여 설치 후보지 수를 현재 종로구 가로 쓰레기통 설치 수인 184개까지 표현

[1차 p-RD Algorithm 결과]

Step	제거 후보지	설치 후보지수
0	-	346
1	101	345
2	362	344
3	127	343
⋮	⋮	⋮
135	204	211
136	201	210
137	203	209

[2차 p-RD Algorithm 결과]

Step	제거 후보지	설치 후보지 수
0	-	208
1	357	207
2	412	206
3	141	205
⋮	⋮	⋮
22	249	186
23	76	185
24	207	184



03 연구방법 - 3. K-Means Clustering



3.3.1 k-Means Clustering 적용 목적

p-RD를 통해 새로 선정된 최적 입지 184개에 대한
길거리 쓰레기통 관리 구역 재 분류

- 기존 쓰레기통의 입지가 재 선정 되었기 때문에 길거리 쓰레기통 관리 구역도 다시 수정이 필요
- 또한 기존 구역들도 분류한 명확한 기준을 찾을 수 없어 거리 상 가까운 후보지들을 같은 구역으로 분류하기 위해 k-Means Clustering을 사용

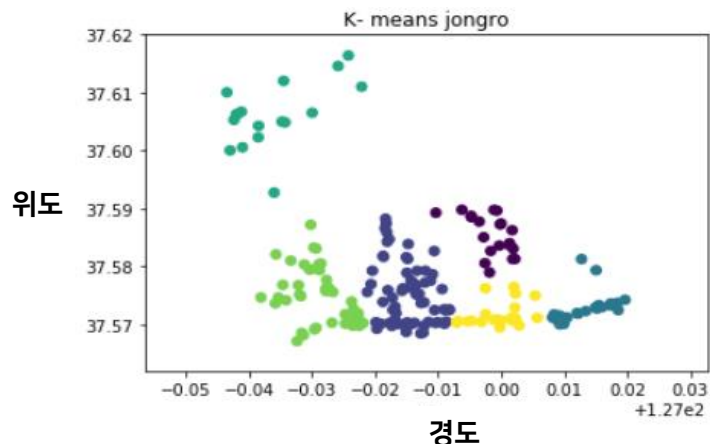
3.3.2 K-Means Clustering^[5]

- n 개의 데이터를 주어진 때, $k(\leq n)$ 개의 군집으로 분할하는 방법
- 군집의 중심점과 군집내 데이터 간의 거리의 제곱합이 최소화되도록 반복하여 군집 갱신
- 군집의 중심점이 변하지 않는다면 반복을 중지
- x_i : i 번째 데이터 $i = 1, 2, \dots, n$
- S_j : j 번째 군집 $j = 1, 2, \dots, k$
- μ_j : j 번째 군집의 중심점

$$\text{Minimize} \sum_{i=1}^k \sum_{x_j \in S_i} |x_j - \mu_i|^2$$

3.3.3 K- Means Clustering 분석 결과

- *hyperparameter* 인 최적 군집 k 개수를 탐색하기 위한 방법으로 *Elbow Method* 를 사용
- 결과적으로 *cost function J* 가 거의 변하지 않는 구간인 $3 \leq k \leq 10$ 이 도출됨
- 기존 종로구 길거리 쓰레기통 관리 구역은 6개였으므로 $k = 6$ 으로 선정
- python으로 프로그래밍하여 분석하였고, sklearn에서 제공하는 KMeans 라이브러리를 사용

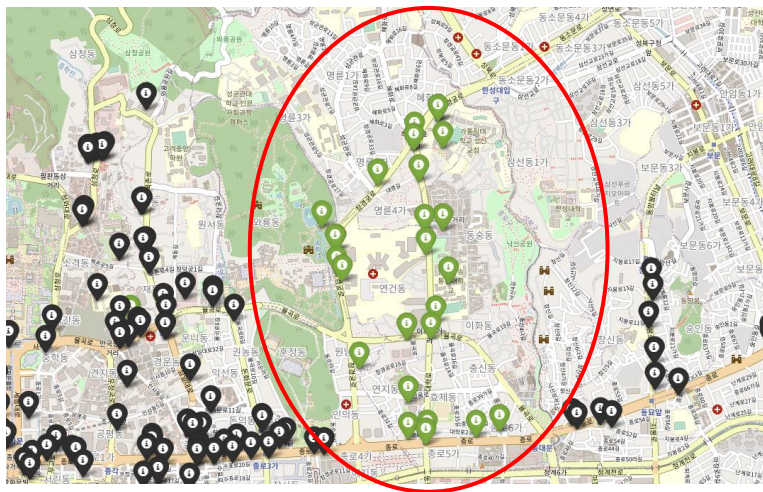


- 결과적으로 위와 같이 6개의 길거리 쓰레기통 관리구역이 선정됨

04 결과분석- 입지 재 선정 타당성

4.1 서울특별시 종로구 길거리 쓰레기통의 새로운 입지선정 타당성 분석

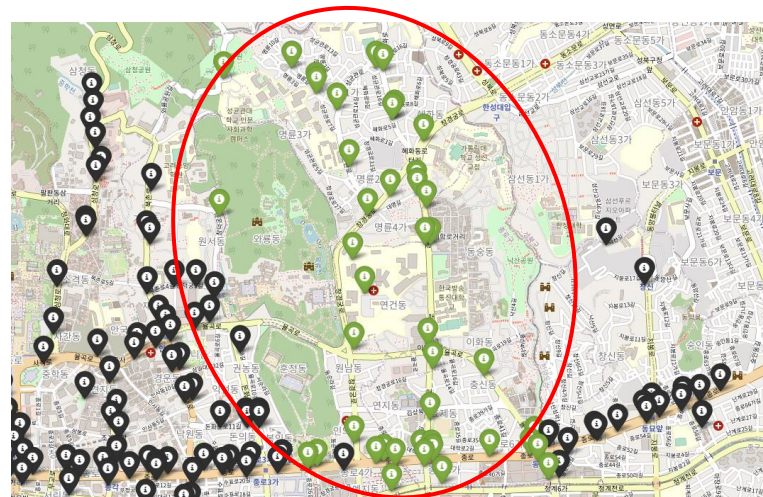
- 기존 쓰레기통 입지와 본 연구로 도출된 새로운 입지의 100m내에 추정 유동인구와 상권 추정 매출 비교
- 유동인구와 상권 매출은 쓰레기양과 밀접한 관계를 가진 요인임
- 본 연구로 도출된 새로운 입지가 기존보다 추정 유동인구 수 및 상권 추정 매출이 더 고려되었음 확인할 수 있음



[예: 기존 길거리 쓰레기통 4구역 입지]

전체 추정 유동인구 수(명) : 8,854,682

전체 상권 추정 매출(원) : 10,629,650,498



[예: 새로운 길거리 쓰레기통 4구역 입지]

전체 추정 유동인구 수(명) : 640,000,075

전체 상권 추정 매출(원) : 114,285,264,668

전체 추정 유동인구 수 **72.2배**증가,
전체 상권 매출 추정액 **8.75배**증가



본 연구로 재 선정한 입지는
기존보다 많은 쓰레기를 커버할 수 있음

04 결과 분석 - 구역 재 분류 효율성

4.2 길거리 쓰레기통 관리구역 재 분류 효율성 분석

- 기존 길거리 쓰레기통 관리구역과 새로운 관리구역 내 쓰레기통 입지들 간 최소경로의 거리를 구하여 합을 비교
- 최소경로의 거리를 비교하기 위해 조합최적화 문제의 대표적 예시인 외판원 문제를 활용함
- 본 연구에서 분류한 길거리 쓰레기통 관리구역이 기존보다 최소경로의 거리가 축소됨을 확인
- 외판원 문제[3] : 시작 노드로부터 모든 노드를 지나간 후 다시 시작 노드로 돌아올 때의 최소경로를 구하는 방법
- 적용한 수리모형은 다음과 같음

$$\text{Minimize } \sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^N c_{ij} x_{ij}$$

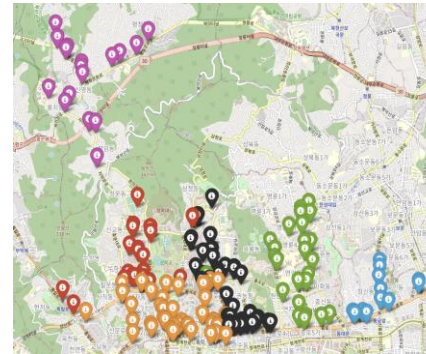
$$\begin{aligned} \text{Subject to } & x_{i0} + x_{i1} + \dots + x_{iN} = 1, \quad i = 0, \dots, N \\ & x_{0j} + x_{1j} + \dots + x_{Nj} = 1, \quad j = 0, \dots, N \\ & u_i - u_j + N x_{ij} \leq N - 1 \text{ (부투어 제거)} \\ & x_{ij} \in 0, 1, \quad i, j = 1, \dots, N \quad i \neq j, i = 0, \dots, N, j = 0, \dots, N \\ & u_j \geq 0, \quad j = 0, \dots, N \end{aligned}$$

c_{ij} = 입지(i)와 입지(j) 사이의 거리

$x_{ij} = 1$: 입지(i)에서 입지(j)로 경로가 존재할 경우
 $= 0$: 입지(i)에서 입지(j)로 경로가 존재하지 않는 경우

u_i = i 번째 지나간 후보지

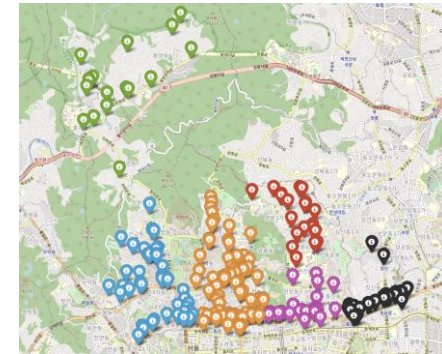
$N = 184$ (입지의 수)



[기존 길거리 쓰레기통 관리구역]

각 구역별

최소 경로의 거리의 합(m)
: 285,664.1



[새로운 길거리 쓰레기통 관리구역]

각 구역별

최소 경로의 거리의 합(m) :
78,521.39

기존 관리구역에 비해

총 약 200km

경로의 거리가 축소됨



본 연구로 분류한

관리구역이 더 빠른

쓰레기 처리가 가능함

05 결론

5.1 연구내용정리

- 1) Set-Covering로 문제풀이를 접근하였으나 거리만 고려한다는 한계점인식
- 2) 종로구의 환경정책과 인구통계학적 변수를 추가하고 p-RD 알고리즘을 Python으로 구현하여 최적입지 재 선정
- 3) K-means 군집분석 기법을 사용하여 기존 관리구역을 새롭게 재배치
- 4) 쓰레기통 배치의 효율성을 설치지역 100m내의 추정 유동인구와 상권 추정 매출을 통해 입지의 적합성 확인
- 5) 외판원 문제를 이용하여 기존 관리구역과 군집분석으로 얻은 구역의 쓰레기통 최소경로 거리를 비교하여
관리구역 효율성 확인

5.2 기대효과

유동인구와 상권매출을 고려한 입지를
재 선정함으로써, 종로구 시민들의 불만을 감소시킴

효율적인 쓰레기통 위치로 인한
무단 투기 쓰레기양 감소

효율적인 길거리 쓰레기통 관리구역 재 분류로 인한
인력의 효율성 증대

향후 쓰레기통 설치 가이드라인 수립에 참고

05 결론

5.3 향후 연구 계획

요인들의 상관관계 고려

추정 유동인구와 상권 추정 매출액이 가로쓰레기통의 실질적인 쓰레기양과 직접적인 상관관계가 있음을 밝혀낼 필요가 있음

환경미화원 인력 배치 고려

효율적인 쓰레기통 관리를 위해 길거리 쓰레기통 관리 구역 내에 환경미화원을 몇 명이나 배치해야 할지 추가 연구를 할 필요가 있음

신규 데이터 반영

연구에 사용한 데이터(19.9기준) 이후 추정 유동인구와 상권 추정 매출이 바뀌었으므로 두 요인의 변화를 고려 할 필요가 있음

쓰레기 수거차량 경로 고려

쓰레기 수거 차량의 쓰레기 수거 경로를 고려한 배치를 제안함으로써 효율성을 증대 시킬 수 있음

06 사용한 데이터

사용 프로그램

- Jupyter (Python 3.7)
- Google map
- Excel solver

데이터 이름	사용 데이터 내용	데이터 제공 사이트	사용 데이터 세부정보
서울특별시 가로쓰레기통 설치정보 (2019.9).xlsx	종로구 가로쓰레기통 설치정보	서울 열린 데이터 광장	6536개의 데이터
20190710기준_서울시정류장정보 (수정).xlsx	종로구 버스정류장 좌표 데이터	서울 열린 데이터 광장	372개의 데이터
-	종로구 지하철 좌표 데이터	(구글 맵을 이용하여 직접 만듦)	79개의 데이터
서울시 주요 공원현황	종로구 공원 주소	서울 열린 데이터 광장	12개의 데이터
FLT_SEOUL_09MONTH.csv	서울 특별시 25개 자치구별 유동인구	SKT 빅데이터 허브	25개의 데이터
SKT월별 유동인구 수.csv	종로구 월별 50m 간격 SKT유동인구	서울특별시 빅데이터 캠퍼스	약 2천만개의 데이터
추정매출액.csv	종로구 블록당 추정매출액(4분기)	서울특별시 빅데이터 캠퍼스	약 6만개의 데이터

07 참고문헌

- [1] 온라인민원 . (n.d.). <https://eungdapso.seoul.go.kr/>.
- [2] 있으면 “없애달라” 없으면 “늘려달라” 거리 쓰레기통 골머리 .
(n.d.).<https://news.join.com/article/23624318>.
- [3] 박구현, 송한식, 원중연. (2009). 경영과학 엑셀활용. n.p.: 교보문고.
- [4] 최명복, 이상운, 김봉경, 정승삼, & 한태용. (2011). p-시설물 위치선정 모델.
한국인터넷방송통신학회 논문지, 11(6), 193-205.
- [5] Kodinariya, T. M., & Makwana, P. R. (2013). Review on determining number of Cluster in
K-Means Clustering. International Journal, 1(6), 90-95.
- [6] 길거리 쓰레기, ‘환경지킴가게’에 버리세요 . (n.d.).
[https://m.blog.naver.com/PostView.nhn?blogId=120seoulcall&logNo=220839914350&proxyReferer=https:
%2F%2Fwww.google.com%2F](https://m.blog.naver.com/PostView.nhn?blogId=120seoulcall&logNo=220839914350&proxyReferer=https:%2F%2Fwww.google.com%2F).
- [7] 깨끗하고 깔끔한 도시 거리 .
(n.d.). lovepik. <https://kr.lovepik.com/image-500785323/clean-and-tidy-city-streets>.