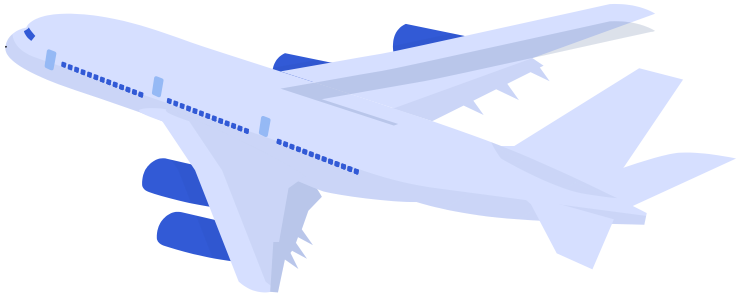
Selecting the optimal location & route for air taxis to relieve urban traffic congestion



Team6
: 18102095 - Jihwan Hwang
: 19102077 - Seokjun Kang
: 19102099 - Junseok Jeon
: 19102127 - Suho Lee

https://github.com/phrabit/ITM_Business-Analytics

Table of contents

To begin with : Reminding Topic

Problems

Increased traffic congestion

- Limitations of existing transportation methods
- Large population in the metropolitan area

Alternative Solution

If both underground and above ground are blocked,

why not try using the sky?

1

Feedback Reflected Clustering

Initial Approach

gu_origin	dong_origin	x	y
강남구	역삼1동	37.500509	127.036990
중구	명동	37.559980	126.985830
영등포구	여의동	37.525880	126.926920
종로구	종로1·2·3·4가동	37.574164	126.989729
서초구	서초3동	37.486200	127.009561
금천구	가산동	37.476686	126.883777
강남구	삼성1동	37.514427	127.058650
서초구	서초1동	37.487819	127.019591
마포구	서교동	37.553781	126.918677
중구	소공동	37.564413	126.974918
강남구	논현1동	37.512941	127.026507
서초구	양재1동	37.470860	127.027005
강서구	가양1동	37.560176	126.835692
구로구	구로3동	37.485738	126.893313
영등포구	영등포동	37.513783	126.906919
송파구	잠실6동	37.516880	127.102022

Income level

Number of company

Population density

Find the highest traffic using Knee point

Clustering above three features

Initial Approach

- Income level
- Number of company
- Population density

→ Ranking by key metrics could replace the need of clustering

Reconsider our approach!!

Enhanced Approach

Determine each variable's Knee Point to identify key values

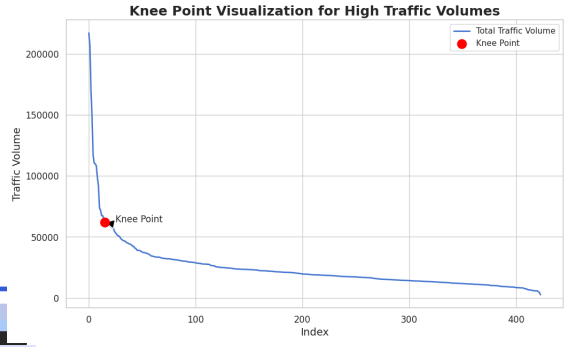
Traffic Volume

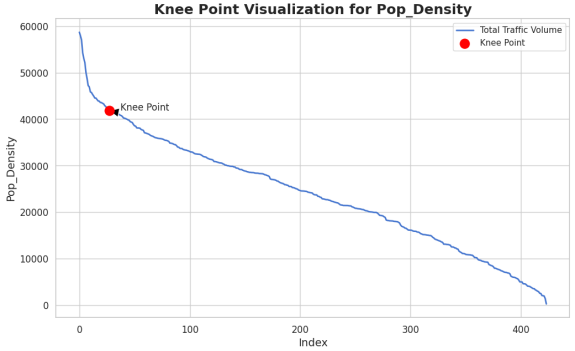
Population Density

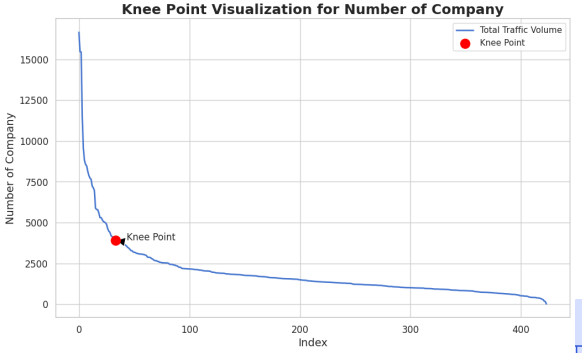
Number of Companies

Cluster analysis will follow based on these key values

Knee points for three features







Traffic volume : 15
Population density : 27
Number of companies: 33

Why do we use knee point?

Knee point: Inflection point which figures out **important change points** among data points.

1) Accurate Change Detection: Identifies key change points in data, leading to more precise decision-making.

2) Objective Analysis: Makes decisions based on actual data trends, not arbitrary choices.

We can find **the optimal number** for each feature!!

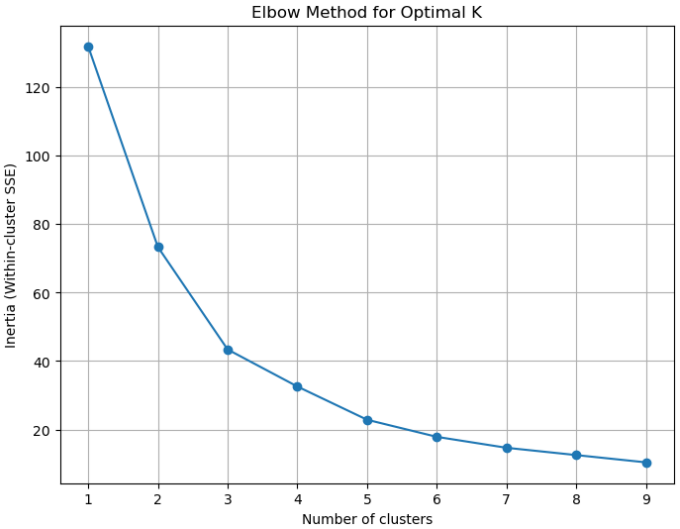
Knee points for three features

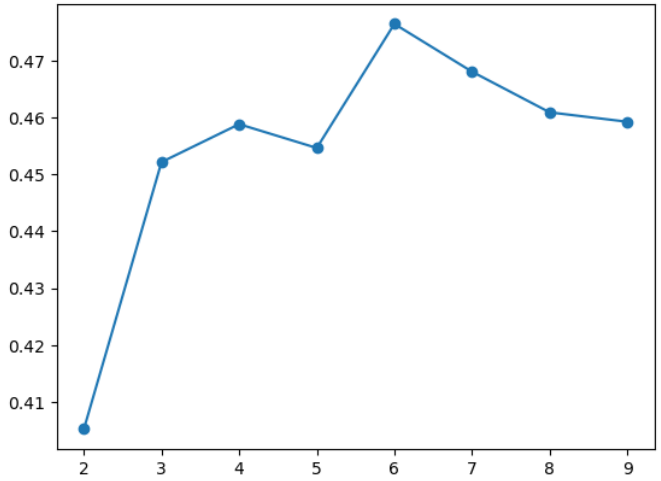
Removed duplicate entries combining 'Gu' and 'Dong':

Reduced from 78 to 66 rows.

	gu	dong
0	강남구	역삼1동
1	중구	명동
2	영등포구	여의동
53	영등포구	문래동
54	동대문구	용신동
55	서초구	서초2동
56	강동구	길동
57	서초구	양재2동
58	용산구	한강로동
59	동대문구	제기동
60	구로구	구로5동
61	동대문구	장안1동
62	강남구	청담동
63	강남구	신사동
64	금천구	독산1동
65	강남구	압구정동

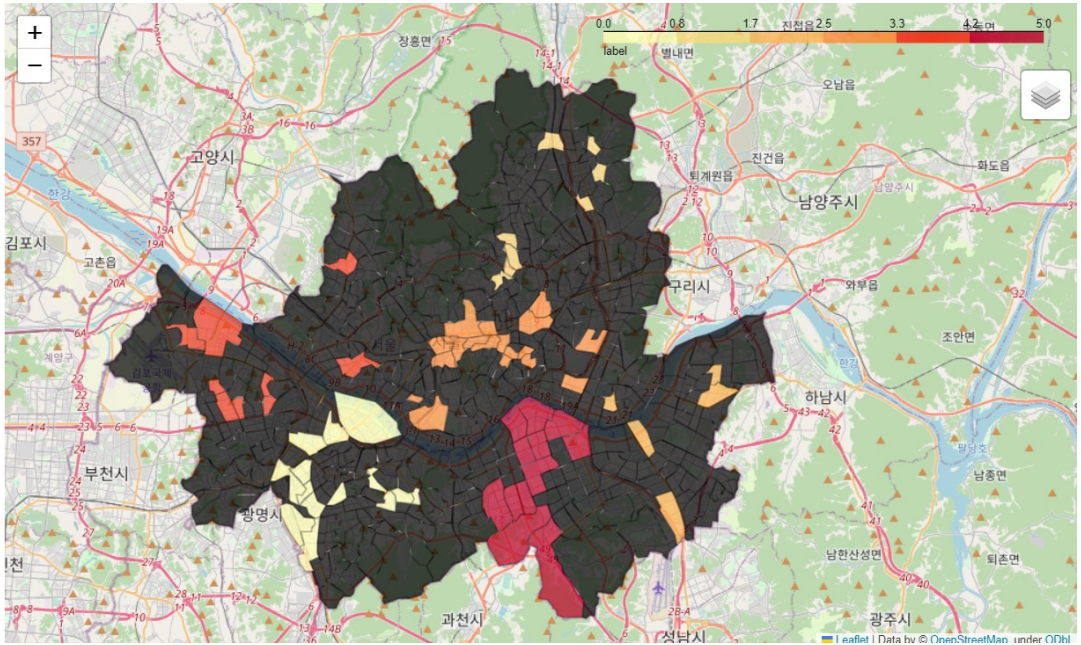
K-means clustering





Using elbow method, we found optimal number of clusters are 6

Clustering Visualization



K-means clustering with latitude and longitude

2

Select One Candidate ‘Dong’ for Each Cluster

Calculate Accessibility

Transportation Analysis Data - OD

Year	2019
Time zone (in each file)	AM Peak times(07~09) PM Peak times(18~20) Full times(0~24)
Area	Metropolitan area
Unit of region	Eup, Myeon, Dong (읍, 면, 동)
Size	1048575 rows x 15 columns

	code_origin	code_dest	gu_origin	dong_origin	gu_dest	dong_dest	car	taxi	bus	subway	total
0	1.111054e+09	1.111054e+09	종로구	삼청동	종로구	삼청동	0.687	0.052	0.960	0.056	1.755
1	1.111054e+09	1.111060e+09	종로구	삼청동	종로구	가회동	0.135	0.065	4.007	0.066	4.273
2	1.111054e+09	1.111052e+09	종로구	삼청동	종로구	청운효자동	0.844	0.862	0.920	0.110	2.736
3	1.111054e+09	1.111055e+09	종로구	삼청동	종로구	부암동	10.162	0.249	2.177	0.177	12.765
4	1.111054e+09	1.111056e+09	종로구	삼청동	종로구	평창동	0.498	0.055	0.143	0.012	0.708

Calculate Accessibility

$$A_i = \sum_j \left(\frac{O_j}{d_{ij}^a} \right)$$

A_i: i 지역의 접근성

O_j: j 지역의 공급량(j 지역에서 발생한 도착통행량)

d_{ij}: 지역 간의 거리

a: 지역 간의 거리에 영향을 미치는 상수

Using Hansen, Calculate Accessibility of each dong for cluster, respectively

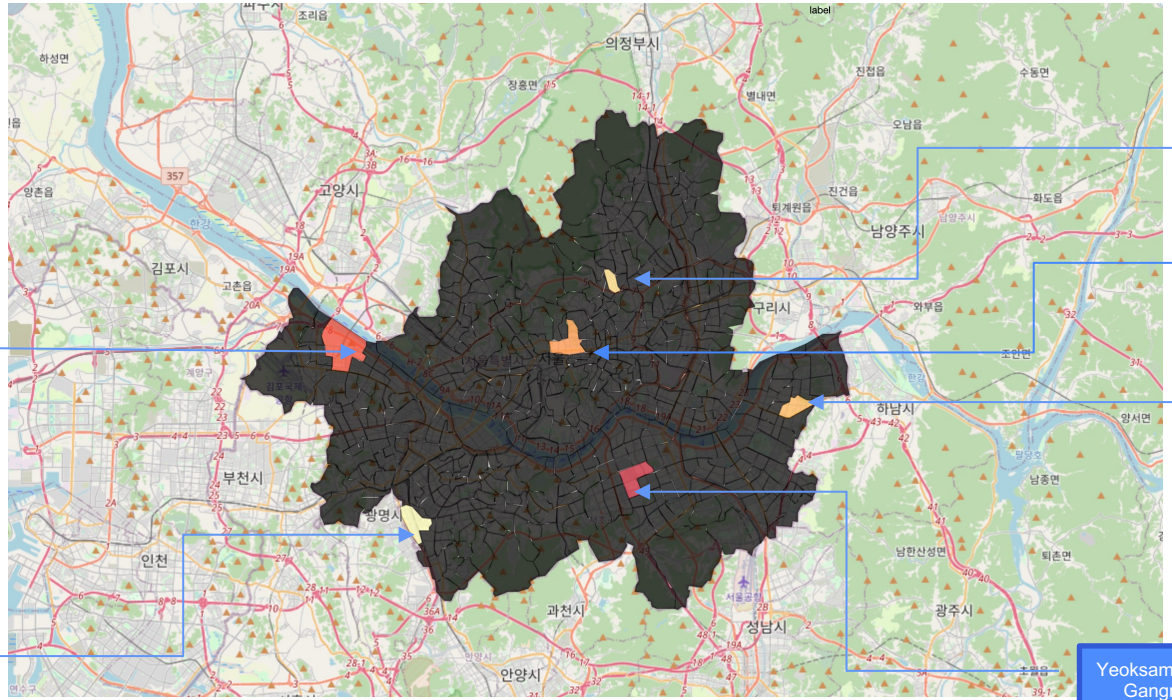
Select specific “Dong” for each cluster

	cluster	address	value
0	0	서울특별시 영등포구 여의동	4768.770654
1	0	서울특별시 금천구 가산동	6865.653009
2	0	서울특별시 구로구 구로3동	4912.814237
3	0	서울특별시 영등포구 영등포동	3845.095492
4	0	서울특별시 구로구 구로4동	2340.383687
...	...	...	...
61	5	서울특별시 서초구 서초2동	11957.236139
62	5	서울특별시 서초구 양재2동	3275.716749
63	5	서울특별시 강남구 청담동	4854.193103
64	5	서울특별시 강남구 신사동	6757.965504
65	5	서울특별시 강남구 압구정동	3906.764527

66 rows × 3 columns

	cluster	address	value
0	0	서울특별시 금천구 가산동	6865.653009
1	1	서울특별시 성북구 길음1동	727.104480
2	2	서울특별시 강동구 길동	801.178872
3	3	서울특별시 종로구 종로1·2·3·4가동	18037.706777
4	4	서울특별시 강서구 가양1동	3763.576231
5	5	서울특별시 강남구 역삼1동	15851.825243

Visualization Selected specific “Dong”



3

Evaluate Transportation Access for Each Candidate ‘Dong’

Dataset for Evaluation - Subway & Bus

Seoul Bus Station Data

	역명	승차총승객수	하차총승객수
0	(구)단대동주민센터	84656	78652
1	(구)태풍약국	258891	37742
2	11단지	70584	13197
3	123전자타운.2001아울렛	253880	287488
4	12번지건영아파트	129440	145195
...	...	...	...
8246	힐스테이트송파.송파한라비발디	6210	126410
8247	힐스테이트입구	18292	26147
8248	힐탑	1815	6160
8249	힐튼호텔	116642	267261
8250	힐튼호텔.현대아파트	92999	67747

8251 rows × 3 columns

Seoul Subway Station Data

	역명	승차총승객수	하차총승객수	총승객수	address
0	가락시장	6520692.0	6838458.0	13359150.0	서울특별시 송파구 송파대로 257
1	가산디지털단지	20342388.0	21261918.0	41604306.0	서울특별시 금천구 벚꽃로 309
2	가양	7630162.0	7368226.0	14998388.0	서울특별시 강서구 양천로 485
3	가좌	1994546.0	1834580.0	3829126.0	서울특별시 서대문구 수색로 27
4	강남	36432679.0	37197520.0	73630199.0	서울특별시 강남구 강남대로 396
...	...	...	...	...	...
282	화랑대	4761392.0	3642128.0	8403520.0	서울특별시 노원구 화랑로 510
283	회기	10821267.0	10488582.0	21309849.0	서울특별시 동대문구 회기로 196
284	회현	11125865.0	11789883.0	22915748.0	서울특별시 중구 퇴계로 54
285	효창공원앞	3701915.0	3575201.0	7277116.0	서울특별시 용산구 백범로 287
286	흑석	3693368.0	3769721.0	7463089.0	서울특별시 동작구 현충로 90

287 rows × 5 columns

Seoul Public Transportation Location Integration

Seoul Bus Station Data

Seoul Subway Station Data

Kakao API

	역명	승차총승객수	Y	X	subway	시도	시군구	읍면동
0	가락시장	6520692.0	37.492914	127.118216	1	서울특별시	송파구	가락1동
1	가산디지털단지	20342388.0	37.482412	126.882240	1	서울특별시	금천구	가산동
2	가양	7630162.0	37.561758	126.853997	1	서울특별시	강서구	가양2동
3	가좌	1994546.0	37.568883	126.915167	1	서울특별시	서대문구	남가좌1동
4	강남	36432679.0	37.497056	127.028181	1	서울특별시	강남구	역삼1동
...	...	...	...	...	...	...	...	...
8070	화계사입구.종점(가상)	16232.0	37.632964	127.013643	0	서울특별시	강북구	수유1동
8071	화곡역.에이스정형외과앞	121739.0	37.540963	126.837891	0	서울특별시	강서구	화곡3동
8072	화곡역.화곡시장	396720.0	37.540698	126.847272	0	서울특별시	강서구	화곡본동
8073	화곡푸르지오.강서양천교육지원청	82890.0	37.541216	126.830577	0	서울특별시	양천구	신월5동
8089	효창공원삼거리	10245.0	37.545048	126.960314	0	서울특별시	용산구	효창동

7172 rows × 8 columns

Calculating Nearby Stops – 300m

LOS	환승시간	가중평균환산거리
A	1분 이내	60m 이내
B	1분~2분	60m~120m
C	2분~3분	120m~180m
D	3분~4분	180m~240m
E	4분~5분	240m~300m
F	5분 이상	300m 이상

Why "300" Meters?

Based on data from the "complex transfer center,"
it is recommended that transfer distances do not exceed 300 meters.

Calculating Nearby Stops – 300m

	name	subway	시도	시군구	읍면동	coord	sub_count	sub_list	bus_count	bus_list
0	가락시장	1	서울특별시	송파구	가락1동	(127.1182155, 37.4929144)	1	[(127.1182155, 37.4929144)]	3	[(127.11674246738, 37.49461173018), (127.11966...
1	가산디지털단지	1	서울특별시	금천구	가산동	(126.8822401, 37.4824123)	1	[(126.8822401, 37.4824123)]	9	[(126.8798394629, 37.4835628112), (126.8830169...
2	가양	1	서울특별시	강서구	가양2동	(126.8539972, 37.5617576)	1	[(126.8539972, 37.5617576)]	12	[(126.8556895138, 37.561862827), (126.85265583...
3	가좌	1	서울특별시	서대문구	남가좌1동	(126.9151667, 37.5688828)	1	[(126.9151667, 37.5688828)]	10	[(126.915396626, 37.5679408681), (126.91524591...
4	강남	1	서울특별시	강남구	역삼1동	(127.0281806, 37.4970559)	1	[(127.0281806, 37.4970559)]	11	[(127.0271383954, 37.4992255638), (127.0279165...
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
7167	화계사입구.증점(가상)	0	서울특별시	강북구	수유1동	(127.013643, 37.632964)	0	[]	11	[(127.01521870295, 37.6340030703), (127.015168...
7168	화곡역.에이스정형외과앞	0	서울특별시	강서구	화곡3동	(126.837891, 37.5409635)	1	[(126.840796, 37.5412334)]	6	[(126.8392102392, 37.5388323152), (126.8389063...
7169	화곡역.화곡시장	0	서울특별시	강서구	화곡본동	(126.8472722, 37.5406979)	0	[]	3	[(126.849050016, 37.5422277875), (126.84797973...
7170	화곡푸르지오.강서양천교육지원청	0	서울특별시	양천구	신월5동	(126.830577, 37.541216)	0	[]	6	[(126.8320719152, 37.5402574817), (126.8288724...
7171	효창공원삼거리	0	서울특별시	용산구	효창동	(126.9603142, 37.5450482)	0	[]	8	[(126.9577200371, 37.5435884693), (126.9574877...

7172 rows × 10 columns

Priority of stations by candidate ‘dong’

	시도	시군구	읍면동	cluster
0	서울특별시	금천구	가산동	0
1	서울특별시	성북구	길음1동	1
2	서울특별시	강동구	길동	2
3	서울특별시	종로구	종로1.2.3.4가동	3
4	서울특별시	강서구	가양1동	4
5	서울특별시	강남구	역삼1동	5

Candidate ‘dong’

	name	subway	시도	시군구	읍면동	coord	sub_count	sub_list	bus_count	bus_list
0	가락시장	1	서울특별시	송파구	가락1동	(127.1182155, 37.4929144)	1	[(127.1182155, 37.4929144)]	3	[(127.11674246738, 37.49461173018), (127.11966...
1	가산디지털단지	1	서울특별시	금천구	가산동	(126.8822401, 37.4824123)	1	[(126.8822401, 37.4824123)]	9	[(126.8798394629, 37.4835628112), (126.8830169...
2	가양	1	서울특별시	강서구	가양2동	(126.8539972, 37.5617576)	1	[(126.8539972, 37.5617576)]	12	[(126.8556895138, 37.561862827), (126.85265583...
3	가좌	1	서울특별시	서대문구	남가좌1동	(126.9151667, 37.5688828)	1	[(126.9151667, 37.5688828)]	10	[(126.915396626, 37.5679408681), (126.91524591...
4	강남	1	서울특별시	강남구	역삼1동	(127.0281806, 37.4970559)	1	[(127.0281806, 37.4970559)]	11	[(127.0271383954, 37.4992255638), (127.0279165...
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
7167	화계사입구.중점(가상)	0	서울특별시	강북구	수유1동	(127.013643, 37.632964)	0	[]	11	[(127.01521870295, 37.6340030703), (127.015168...
7168	화곡역.에이스정형외과앞	0	서울특별시	강서구	화곡3동	(126.837891, 37.5409635)	1	[(126.840796, 37.5412334)]	6	[(126.8392102392, 37.5388323152), (126.8389063...
7169	화곡역.화곡시장	0	서울특별시	강서구	화곡본동	(126.8472722, 37.5406979)	0	[]	3	[(126.849050016, 37.5422277875), (126.84797973...
7170	화곡푸르지오.강서양천교육지원청	0	서울특별시	양천구	신월5동	(126.830577, 37.541216)	0	[]	6	[(126.8320719152, 37.5402574817), (126.8288724...
7171	효창공원삼거리	0	서울특별시	용산구	효창동	(126.9603142, 37.5450482)	0	[]	8	[(126.9577200371, 37.5435864693), (126.9574877...

7172 rows × 10 columns

300m station data

- Integration of 300m Transferable Ticket Stop Data with Six Candidate 'Dongs' in Seoul
- Six Final Candidates have Abundant Stops in a 300m Radius

Priority of stations by candidate ‘dong’

Criteria for selecting candidate sites

1) Give Priority on Subway Stations Within 300m Radius by location of each bus stop and subway station

2) When subway station counts are equal, priority is based on nearby bus stop numbers within 300m.

```
# Sort in descending order to give priority to candidate sites in order of number of subway stations -> bus stops
final_station = final_station.sort_values(['cluster','sub_count','bus_count'],ascending=False)
```

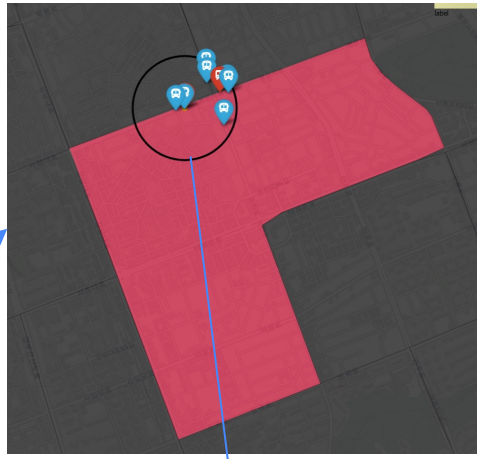
-> **First filtering** by number of **subway stations** by "Dong“ and consider **Bus station** if the number of subway stations is same

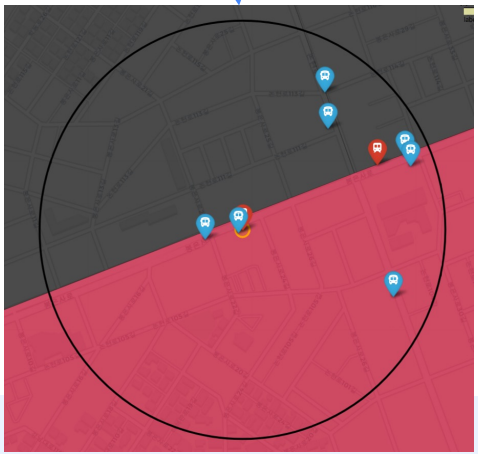
Result data

	name	subway	시도	시군구	읍면동	coord	sub_count	sub_list	bus_count	bus_list	cluster	X	Y
0	신논현	1	서울특별시	강남구	역삼1동	(127.0320047, 37.5066617)	2	[(127.0320047, 37.5066617), (127.0342544, 37.5...	7	[(127.0313749396, 37.5065447032), (127.0319302...	5	127.032005	37.506662
1	마곡엠밸리7단지	0	서울특별시	강서구	가양1동	(126.8239051435, 37.5670587428)	1	[(126.8263231, 37.5668379)]	7	[(126.8226090022, 37.56881995365), (126.826812...	4	126.823905	37.567059
2	청계5가.광장시장	0	서울특별시	종로구	종로1.2.3.4가동	(126.9998214525, 37.5693781242)	1	[(127.0019512, 37.571031)]	13	[(126.9978384311, 37.5695021129), (127.0022525...	3	126.999821	37.569378
3	길동	1	서울특별시	강동구	길동	(127.1405618, 37.5408397)	3	[(127.1405618, 37.5408397), (127.1405618, 37.5...	3	[(127.1399158618, 37.5410616209), (127.1419664...	2	127.140562	37.540840
4	길음뉴타운	0	서울특별시	성북구	길음1동	(127.0239311972, 37.603400228400005)	1	[(127.023776, 37.6027723)]	11	[(127.0239311972, 37.603400228400005), (127.02...	1	127.023931	37.603400
5	가산디지털단지역1호선	0	서울특별시	금천구	가산동	(126.8811766446, 37.4813580466)	1	[(126.8822401, 37.4824123)]	13	[(126.88208722, 37.4795062665), (126.879839462...	0	126.881177	37.481358

Data Visualization

Link- https://gunsanharibo.github.io/





4

Finding the optimal route among stations

How to Find routes between two stations

Process

(1) Set the constraints
- No-fly zones, noise disturbance, and flight altitude(300m~600m[1)]).

(2) Cost all paths according to each constraint.
- H3 (Hexagonal hierarchical geospatial indexing system)

(3) Find the path where cost between the two stations is minimized.
- Dijkstra Algorithm

1) 국토교통부, 한국형 도심항공교통(K-UAM) 기술로드맵 (2021)

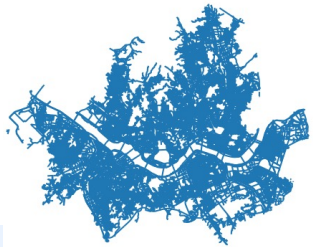
1. Set Constraints

(1) No-Fly Zone ← P-73

- P-73 is 2 nautical miles (2해리, 3.704 meters) within in Yongsan

(2) Noise disturbance and Flight altitude ← Road and River

- Unable to obtain directly related data
- Most areas with major roads or rivers are non-residential and no mountains



2. Cost Paths

H3: Hexagonal hierarchical geospatial indexing system

(1) Cover the entire Seoul area with hexagons.

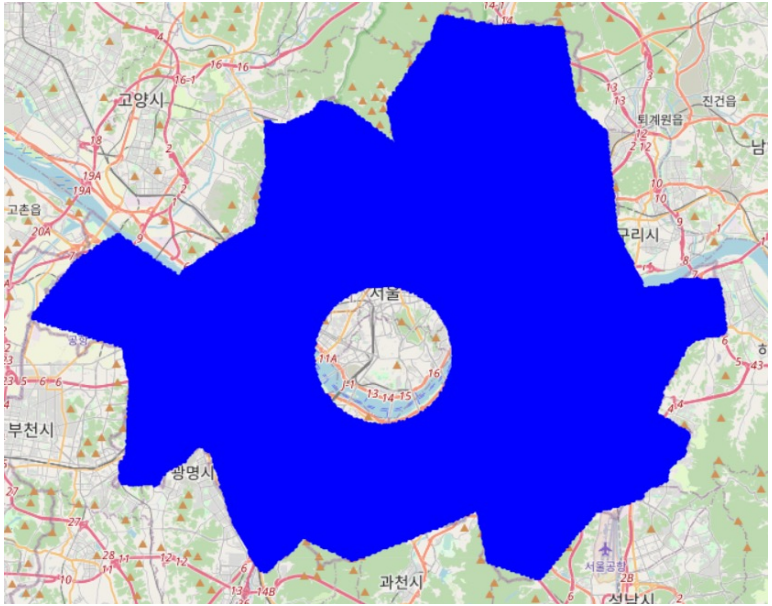
(2) Remove hexagons in P-73.

(3) **Lower cost for wide crossing roads and rivers.**

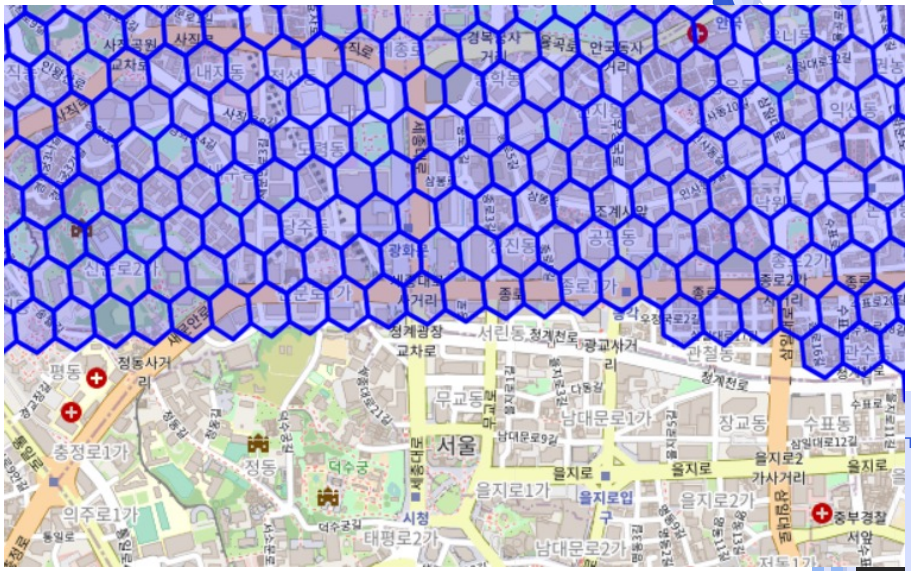
- Road cost is the reciprocal of the width of intersecting roads for each hexagon.
- If there is a river crossing each hexagon, river cost is 0.

(4) Calculate a total cost by combining the two costs. Hexagons with two 'None' values have a score of 1.

2. Cost Paths – H3



Seoul filled by h3 with no-fly zone



Closed view of Gwanghwamun

2. Cost Paths – Cost Table

	road_cost	river_cost	total_cost
8a30e1c0498ffff	0.038462	0.0	0.038462
8a30e0acb0effff	0.050000	NaN	0.050000
8a30e036e8f7fff	0.100000	0.0	0.100000
8a30e1cf0457fff	NaN	NaN	NaN
8a30e1cb6897fff	NaN	NaN	NaN
...	...	...	...
8a30e0ac33b7fff	0.166667	NaN	0.166667
8a30e0accd47fff	0.033333	NaN	0.033333
8a30e1da355ffff	0.200000	NaN	0.200000
8a30e1c1021ffff	NaN	NaN	NaN
8a30e1cf434ffff	0.166667	NaN	0.166667

54880 rows × 3 columns

(3) Find Routes

Use the **Dijkstra algorithm** to find the lowest-cost path between two nodes

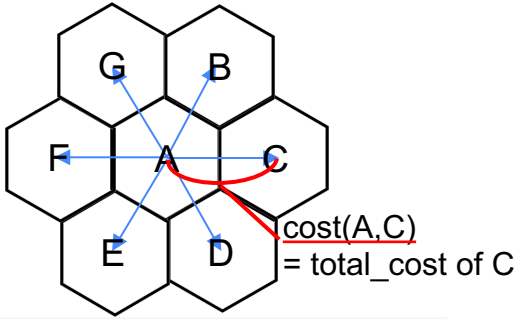
- The number of paths is 6C2 = 15

(1) Targets: 6 Hexagons containing the 6 selected station locations

(2) Nodes: All Hexagons

(3) Edges: Each hexagon's straight path to neighbor hexagons

(4) Costs: total_cost in Hexagons




```
# 각 H3 인덱스에 대해 인접한 육각형을 찾고, 그래프에 에지와 비용 추가
for h3_index in filtered_h3_indexes:
    neighbors = h3.k_ring(h3_index, 1)
    for neighbor in neighbors:
        if neighbor != h3_index and neighbor in filtered_h3_indexes:
            # road_cost를 에지의 가중치로 사용
            cost = costs.at[h3_index, 'total_cost']
            # 가중치가 없는 경우 기본값 설정 (예: 1)
            if pd.isna(cost):
                cost = 1
            G.add_edge(h3_index, neighbor, weight=cost)
```

```
# Creating all combinations of two coordinates
combinations = list(itertools.combinations(h3_coord_mapping.keys(), 2))

optimal_paths = {}

# Finding the optimal path for each combination
for combo in combinations:
    source = h3_coord_mapping[combo[0]][0]
    target = h3_coord_mapping[combo[1]][0]
    path = nx.dijkstra_path(G, source, target)
    optimal_paths[combo] = path
```

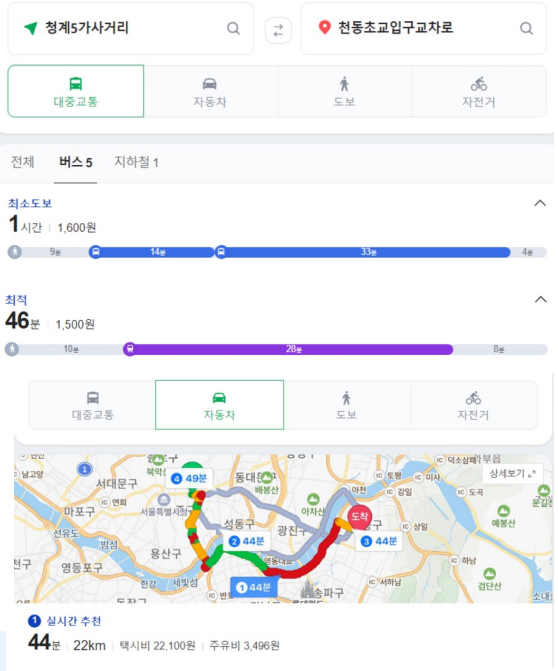
(3) Find Routes - Visualization

1. Overview of air taxi routes
Link- https://ksj27.github.io/

2. Specific route for air taxi
Link- https://gumchinjun.github.io/

Compare with original transportations

Original Transportations



Air taxi

Expected Time
: 19.8min

구분	'25년경	'30년경
속도	150km/h	240km/h
거리	100km	200km
미래 모습 (예)	• 특정 노선에서 이용 • 도심 내 30~50km 이동에 정체 없이 약 20분 소요	• 수도권 및 광역권 이용 • 서울-대전 약 35분 소요*, 광주-부산 약 50분 소요*

* 단순 예시로, 이착륙 소요시간을 제외하고 도시 간 직선거리만으로 산출

* 출처 : 관계부처 합동(2021), 국토부(2022), 국토부 보도자료('21.03.31) 발췌, KETI

Time calculated by speed 150km/h

Conclusion

- **Candidate Stations**

  Identified six optimal locations near key transit points.

- **Route Optimization**

  Efficient air taxi routes determined through hexagonal division of Seoul and Dijkstra algorithm for low-cost pathfinding.

- **Significance**

1) Enhance integration with existing public transport.
2) Reduce road traffic congestion.
3) Contribute to establishing Air-taxi system in Seoul with economic impacts.

Data Sources

1) National Spatial Data Infrastructure Portal - (도로명주소)도로구간
(http://data.nsdi.go.kr/dataset/12902)

2) National Spatial Data Infrastructure Portal - 하천경계
(http://data.nsdi.go.kr/dataset/20180927ds0054)

3) Forest Big Data Exchange Platform – 지하철 역 정보(위치)
(https://www.bigdata-forest.kr/product/PTP002901)

4) Seoul Data Open Market – 서울시 열린 데이터 광장 버스정류소 위치 데이터
(https://docs.google.com/spreadsheets/d/1W3WSF9JaIORYR5JrXjPiM_AYM17QhnCD/edit#gid=1377486445)

5) Seoul Data Open Market – 서울시 버스노선별 정류장별 승하차 인원정보
(https://data.seoul.go.kr/dataList/OA-12912/S/1/datasetView.do#)

6) National transportation database - 수도권 주수단 OD
(https://www.ktdb.go.kr/www/index.do)

References

6) 채정표, & 성현곤 (2019), 도로 네트워크와 통행량 기반의 공간 접근성 지수가 주택가격에 미치는 영향. 대한국토 도시계획 학회지 국토계획, 54(2), 76–83.

7) 국토교통과학기술진흥원 (2021), 한국형 도심항공교통(K-UAM) 기술로드맵 K-UAM Technology Roadmap
https://scienceon.kisti.re.kr/srch/selectPORSrchReport.do?cn=TRKO202100022122#

8) 복합환승센터 설계 및 배치 기준, 시행 2013. 7. 20., 국토교통부고시 제2013-430호, 2013. 7. 20.
https://www.law.go.kr/%ED%96%89%EC%A0%95%EA%B7%9C%EC%B9%99/%EB%B3%B5%ED%95%A9%ED%99%98%EC%8A%B9%EC%84%BC%ED%84%B0%EC%84%A4%EA%B3%84%EB%B0%8F%EB%B0%B0%EC%B9%98%EA%B8%B0%EC%A4%80/(2013-430,20130720)

Thank you