

ARTICLE

# 수원시 교통 혼잡 해결 목적의 혼잡통행료 징수 지역 선정 연구

김성은 · 이아연 · 이종윤

아주대학교 교통시스템공학과

## A Study on the Selection of Congestion Toll Collection Areas for the Purpose of Solving Traffic Congestion in Suwon City

KIM Sungeun · Lee Ayeon · Lee Jongyoun

Department of Transportation Systems Engineering, Ajou University, Gyeonggi 443-749, Korea

\*Corresponding author: [sunny020111@ajou.ac.kr](mailto:sunny020111@ajou.ac.kr), [aylee0202@ajou.ac.kr](mailto:aylee0202@ajou.ac.kr), [redmotion729@ajou.ac.kr](mailto:redmotion729@ajou.ac.kr)

### Abstract

Suwon City in Gyeonggi Province has been identified as the city with the highest population in Gyeonggi Province, due to the development of the Gwanggyo New Town and urban redevelopment projects. However, it continues to face persistent issues of traffic congestion. Therefore, this study aims to select areas in Suwon City for congestion charges as a means to curb traffic demand. Firstly, it was observed that traffic congestion primarily occurs throughout the entire Suwon City area. To address this, the congestion charging scheme was derived using the Cordon Method. Secondly, the DBSCAN clustering algorithm was used to identify areas with low vehicle speeds, forming clusters based on the given speed indicators. It was found that the clustered points in Paldal-gu, one of the administrative districts in Suwon City, were the most numerous, indicating that Paldal-gu has the highest traffic congestion density. By implementing congestion charges in Paldal-gu, it is expected to achieve traffic demand reduction and improve travel speeds.

KEYWORD: clustering, congestion toll, Cordon Method, DBSCAN, transportation demand management

J. Korean Soc. Transp.

Vol.34, No.1, pp.1-14, February 2016

<http://dx.doi.org/10.7470/jkst.2016.34.1.001>

pISSN : 1229-1366

eISSN : 2234-4217

Received: 21 May 2015

Revised: 18 August 2015

Accepted: 27 November 2015

Copyright ©

Korean Society of Transportation

This is an Open-Access article distributed under  
the terms of the Creative Commons Attribution  
Non-Commercial License

(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>)

which permits unrestricted non-commercial use,  
distribution, and reproduction in any medium,  
provided the original work is properly cited.

## 초록

경기도 수원시는 광고 신도시 개발 및 도시 재개발 사업이 진행됨에 따라 경기도 내 최대 인구를 보유한 도시로, 교통 혼잡이 해소되지 않고 지속적으로 발생하는 문제점을 파악하였다. 따라서 본 연구는 교통수요억제를 위해 수원시에 혼잡통행료 징수 지역을 선정함에 목적을 지닌다. 첫째, 수원시 구역 전체가 교통혼잡이 발생하는 경우가 주로 발생한다. 이를 위해 혼잡통행료 징수 방식을 Cordon Method를 이용하여 도출하였다. 둘째, 차량 통행속도가 낮은 지역이 밀집되어 있는 지역을 식별하는 데 적합한 DBSCAN을 통해 주어진 속도 지표를 기반으로 클러스터를 형성하였다. 수원시 지역구 중 팔달구의 군집된 클러스터 포인트가 가장 많은 지역을 알 수 있었고, 이는 교통혼잡밀도가 가장 높은 곳이 팔달구임을 도출할 수 있었다. 팔달구 지역에 혼잡통행료를 징수할 경우, 교통수요억제 및 통행속도 향상을 기대할 수 있다.

주요어: 교통수요관리, 혼잡통행료, Cordon Method, DBSCAN, 클러스터링

## Introduction

경기도 내 최대 도시인 수원시는 2017년에 인구 120만대를 돌파하였으며(KOSIS, 2017), 광고 신도시 개발 완료 및 도시 재개발 사업이 진행됨에 따라 경기도 내 최대 인구를 보유한 도시이다. 지속적인 인구 증가를 포함하여, 광고 신도시 및 기타 교통 수요를 유발하는 SPOT이 수원시 내에 증가함에 따라 교통 혼잡이 해소되지 않고 지속적으로 발생하는 문제점이 있다.

해당 연구를 진행하기 위하여 수원시의 5개 생활권 중, 도심 지역인 화성 생활권(팔달구 전체 및 장안구 영화동, 권선구 권선1동, 세류3동, 영통구 매탄1동)의 교통 인프라 및 특성에 대해 살펴보았다. 해당 지역은 구도심 지역을 포함하고 있어 도로의 인프라가 다른 지역보다 불편하며, 수원역, 인계동, 행궁동 지역을 포함하고 있어 교통량을 유발하는 지역을 넓게 포함하고 있는 특성을 확인할 수 있었다. 따라서 일정 구간이 아닌, 면적 단위의 교통혼잡구역을 지정해야 한다는 필요성을 인지하였다. 이에 본 연구는 서울 남산 1·3호 터널에 시행 중인 혼잡 통행료(Congestion Toll)를 수원시에 적용함을 목적으로 두고 있다. 화성 생활권을 비롯하여 수원시 전체 지역을 적용하는 연구를 진행하여 교통혼잡구역을 설정할 수 있다면, 혼잡통행료를 부과하여 교통량을 낮출 수 있을 것으로 기대된다. 이를 통해 에너지 낭비 및 대기 오염 심화를 감소시켜 교통이 유발하는 환경 문제를 감소시키는 효과를 기대할 수 있다.

본 연구는 혼잡 발생 지역을 정의하기 위해 각 노드별 속도의 표준편차가 높은 지역을 사용하였다. 이를 위해 GIS 데이터로부터 위도와 경도를 추출하여 해당 지역의 위치를 파악하였다. 혼잡 발생 포인트로 사용할 데이터는 상위 50%의 속도 표준편차 결과값이 높은 데이터로 선정되었다. 이를 바탕으로 Cordon Method를 적용하기 위해 혼잡을 발생하는 포인트 데이터를 DBSCAN 알고리즘을 사용하여 클러스터링하였다. DBSCAN 클러스터링은 클러스터 내의 데이터 포인트를 서로 밀집된 영역에 위치하게 하여, 유사한 패턴이나 특성을 가진 데이터들을 그룹으로 묶을 수 있다. 클러스터링 과정은 MinPts 값을 5, 반경 값을 0.005로 설정하여 수행되었다. 또한, 읍면동 용도별 건물정보 데이터를 활용하여 상업 및 업무 시설의 밀집도와 교통 혼잡 간의 연관성을 분석하고자 한다. 연구 결과를 토대로 수원시에서 혼잡통행료 징수 구역을 선정하는 것이 이 연구의 목표이다.

## Literature Review

혼잡 통행료 징수는 서울특별시 내 남산 1·3호 터널에서 운영되고 있으며, 부산광역시에 징수하기 위

한 범위 도출 연구가 진행되고 있었다. 또한 국내를 비롯하여 해외에서도 혼잡통행료 징수에 대한 많은 연구가 진행되고 있었다. 본 연구는 국내에서 시행된 사례 및 연구에 대한 논문을 검토 및 해외 사례에 대한 분석 또한 검토하여 징수 구역 도출에 관한 연구를 중심으로 선행 연구 고찰을 수행한다.

### 1. 서울시 혼잡통행료제도 효과평가와 발전 방향에 관한 연구

최근 남산 1·3호 터널에 대한 통행료 면제에 대한 실험이 3월부터 단계적으로 시행되고 있다. 통행료 면제 전 하루 통행량 75,619대에서 양방향 면제 후 85,464대로 13% 증가하였으며, 우회도로 통행량은 면제 전 하루 통행량 61,908대에서 양방향 면제 후 57,584대로 줄어들었다. 삼일대로~1호터널~한남대로와 소공로~3호터널~녹사평대로 구간의 평균 속도는 27.8km/h였으나, 강남 방향 면제 시 26.6km/h, 양방향 면제 시 25km/h로 떨어진 것으로 나타났다. 이는 각각 4.3%, 10%가 하락한 수치를 보이며 터널의 직접 영향권에 드는 도로들의 평균 속도가 느려지고 있음을 확인하였다. 해당 수치를 확인한 서울시는 혼잡통행료에 유지 여부를 판단하고 연내에 제도 시행 유지 여부를 확정한다고 밝혔다(Etoday, 2023). 따라서 Ahn(2012)은 서울시에서 시행한 남산 1,3호 터널에 대한 통행혼잡료 징수 효과에 대한 선행 연구에 대해 살펴보았다. 해당 연구는 요금 수준의 개선, 체계의 개선, 양 방향 징수에 대한 고찰과 면제 차량 등에 대해 연구했다. 해당 연구는 남산 터널의 통행료 징수가 실시되지 않았을 경우의 통행량을 추정하여 연구 당시 현재의 통행량과 비교하였으며, 속도의 변화 및 시간 비용 증감, 통행료인 금전적 비용의 합을 통해 이용자 편익에 대해서 연구하였다. 따라서 Ahn(2012)의 연구를 통해 통행량 감소 효과를 증가시키기 위한 요금 수준을 다시 책정해야 하며, 요금체계 또한 가변 요금제의 도입을 검토해볼 필요가 있음을 강조하였다. 또한 현재 양 방향 징수 시스템은 서울시가 다핵 도시인 점을 고려해 타당하다고 판단되며, 면제 차량 또한 현행 유지가 타당하다는 판단을 내렸다.

### 2. 혼잡 통행료 해외 사례 검토

한국이 아닌 해외 사례에 대한 선행 연구를 살펴보았다. 먼저 Lee(2003)의 연구 자료를 토대로 영국 런던시의 사례에 대해 살펴보면, 개인 교통의 수요를 낮추기 위한 방안으로 차량 10부제, 카풀제, 혼잡통행료 징수가 있다. 런던시는 이 중 가장 직접적 관리 방안인 혼잡통행료 징수를 시행했다. 런던시는 도로의 효율적 이용 증대, 통행료 수입의 증대, 대중교통의 이용 활성화, 경제 상승 효과, 환경오염 감소 및 에너지 절약을 목적으로 해당 제도를 시행했다. 해당 제도를 실시함에 따라 진입, 진출하는 승용차 교통량은 각 33%, 35%가 감소하였고 버스 교통량은 23%, 21% 증가, 총 교통량은 14%, 18% 감소했다. 다음은 Jiang(2018)이 연구한 중국 베이징의 사례이다. 중국의 경제가 지난 30년간 급속도로 성장함에 따라 자동차 보유 대수가 최대 용량으로 추정되는 670만대에 가까운 562만대(2018년)에 근접하고 있다. 따라서 베이징은 교통 수요를 억제하기 위해 혼잡통행료 징수를 고려하고자 본 연구를 실시했다. 베이징은 통행 속도와 밀도의 관계, 통행의 시간 비용(VTTS), 최적 통행량의 판별에 대해 연구했다. 두 해외 사례를 통해 전 세계에서 혼잡통행료를 도입하고 있음을 알 수 있다. 중국 베이징의 사례를 통해 통행 속도와 밀도 데이터를 어떻게 사용하는지 참고할 수 있고, 영국 런던의 사례를 통해 실제 제도의 도입이 효과가 분명하다는 점을 알 수 있었다. 이는 한국에서도 서울시를 비롯한 다양한 지역에 혼잡통행료를 징수하여 교통 수요관리를 해야 하는 당위성을 제시한다.

### 3. 혼잡 통행료 징수를 위한 시공간 범위 도출에 관한 연구

혼잡통행료 징수에 대한 당위성을 바탕으로 Kim(2020)의 혼잡통행료 징수를 위한 시공간 범위 도출에 관한 연구를 참조하였다. 해당 연구는 서울특별시 및 6대 광역시 중 1인당 교통혼잡비용이 가장 높은 부산광역시에 대해 혼잡통행료를 징수하기 위해 교통혼잡지구 선정을 목적으로 한다. 해당 연구에서는 OD 통행량, 상업 시설 밀집도, 혼잡 통행속도를 지표로 하여 분석 지표별 표준화 점수를 산출하였고, 이를 공간 클러스터링에 적

용하여 교통이 혼잡한 지역을 조사하였다. 따라서 본 연구에서는 부산광역시의 아침 및 저녁 출퇴근 혼잡 지구를 시각화하여 혼잡 지구를 도출하였다. 해당 연구에서 사용한 지표를 바탕으로 공간 클러스터링 기법을 적용한다면, 통계량 계산 자료를 바탕으로 일정한 범위 내 SPOT 발생 여부를 검정하여 시각화할 수 있음을 발견하였다. 이는 수원시 교통혼잡구역 선정에서도 위와 같은 지표를 포함한 여러 지표를 사용하여 클러스터링을 진행한다면, 충분히 유효한 자료를 얻을 수 있을 것으로 기대된다.

## Data Collection

본 연구의 공간적 범위는 수원시 전체(121.10km<sup>2</sup>)이다. 시간적 범위는 COVID-19로 인한 펜데믹에 의한 사회적 거리두기의 영향에 따라 교통량이 감소하였기 때문에, 펜데믹 이전인 2019년의 자료만 이용하였다.

혼잡상황을 측정하는 방법은 Table 1과 같이 속도 기반, 통행시간 기반, 지체 기반, 서비스 수준 및 교통량 기반으로 구분할 수 있다. 통행시간 기반 지표는 구간의 연장에 따라 통행시간의 차이를 보일 수 있으며, 직관적으로 상대적인 혼잡규모를 판단하기 어렵다. 지체 기반 지표는 실제 도로를 주행하면서 신호 및 기타 요인으로 정지한 시간을 산정해야 하므로, 현실적으로 데이터 수집이 어려운 한계점이 있다. 또한 서비스 수준 및 교통량 기반 지표 산정을 위해서는 전국 도로구간의 교통량 자료가 수집되어야 하지만 교통량 수집의 전국 커버리지는 3% 미만이며, 검지기 오차 등의 이유로 안정성(stability)이 떨어지는 한계점이 존재한다. 이러한 점을 고려하였을 때, 속도기반의 지표로 혼잡수준을 식별하는 것이 가장 적합하며, 범용적인 적용이 가능하다(Lee, 2021). 그러므로 본 연구에서는 수원시 전 지역의 노드별 속도 데이터를 지표로 사용하였다.

Table 1. Congestion indices evaluation matrix

Congestion metric	Simplicity	Ease of data collection	Stability	Repeatability	Magnitude of congestion	City comparison	Continuous value
Speed	Y	Y	Y	Y	Y	N	Y
Travel time	Y	Y	Y	Y	N	N	Y
Delay	N	N	N	Y	N	N	Y
LOS and volume	Y	Y	N	Y	N	N	Y

속도 지표를 취득함에 있어 수원시 내 고속도로 및 도시고속도로를 제외한 모든 도로의 속도 데이터를 취득하였다. 도시고속도로는 주로 도심과 외곽 지역을 연결하는 도로로서, 수원시 내 혼잡 상황을 알아보기 위해 도시고속도로를 제외하였다. 취득한 자료의 도로 종류는 일반국도, 국가지원지방도, 지방도, 시군도, 연결로이다. 해당 속도 데이터는 국가교통DB에서 운영하는 View-T 플랫폼에서 제공하는 데이터를 취득한 것이다.

속도 데이터는 전일 속도 평균 데이터와 1시간별 속도 데이터를 취득하였다. 시간의 범위를 모든 시간대로 선정하여 각 위치에서 표준편차가 큰 순서대로 혼잡이 발생하는 지역으로 판단하고자 하였다. 일반적으로 도로 상황에서 속도의 표준편차가 크다는 것은 차량 간의 속도 차이가 크다는 것을 나타낸다. 이는 차량들이 서로 다른 속도로 움직이거나, 교통 체증이 발생하여 차량들이 속도를 조절하고 있다는 것을 의미한다. 따라서 속도의 표준편차가 크다는 것은 특정 구역이 혼잡하고 교통체증이 발생할 가능성이 높다는 것을 암시한다. 이러한 혼잡한 구역에서는 차량들이 서로 간에 간격을 유지하거나 속도를

줄여야 하기 때문에, 주행 시간이 늘어나거나 교통 상황이 복잡해지는 경향이 있다. 교통 혼잡을 유발하는 차량으로 일반 승용차, 트럭 및 버스를 선정하였다.

**Table 2.** 2019 Hourly Speed Index Data of Suwon(Subset of the Dataset)

ITS LINK ID	road grade	road name	area	extension (km)	lane	all-weekdays (hour)																								
						all day	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
2010014200	시군도	원안로	경기도 수원시 권선구	0.0345	3	30	30	30	31	30	30	30	30	30	30	30	29	30	30	30	30	29	29	29	30	30	30	30	31	31
2010086300	시군도	권선로	경기도 수원시 권선구	0.0335	1	38	39	38	38	40	38	38	37	39	38	37	37	38	37	38	37	37	37	37	38	38	38	38	40	39
2010085000	시군도	권선로	경기도 수원시 권선구	0.031	2	34	36	36	36	36	34	36	33	34	34	34	35	36	36	35	35	35	35	34	34	34	34	34	35	36
2010007100	일반국도	수인로	경기도 수원시 권선구	0.2972	4	67	69	70	69	69	68	68	67	66	66	67	67	68	68	68	68	67	67	67	67	67	68	68	69	69
2030030400	시군도	청명북로	경기도 수원시 영통구	0.0216	1	23	22	22	24	25	24	22	23	23	22	24	25	25	24	22	22	22	23	22	22	21	22	22	22	23
2010012900	시군도	곡반정로	경기도 수원시 권선구	0.0498	1	33	34	35	35	34	32	34	32	31	30	33	34	34	33	33	34	33	33	34	32	32	32	33	33	34
2030014800	시군도	덕문로	경기도 수원시 영통구	0.2005	4	48	50	51	50	51	50	50	49	49	49	48	48	49	49	49	48	48	48	47	46	47	48	48	49	50
2010022500	시군도	덕문로	경기도 수원시 권선구	0.0331	2	25	27	24	27	24	24	26	24	26	26	26	26	26	26	26	26	25	25	23	23	24	25	24	27	23
2020015800	시군도	관광로	경기도 수원시 팔달구	0.0595	1	18	14	17	15	17	17	14	18	20	17	18	17	17	16	17	17	17	18	18	18	17	17	17	16	17
2030031300	시군도	영통로	경기도 수원시 영통구	0.0185	2	33	32	30	32	33	36	33	36	34	33	34	32	32	32	32	33	33	33	33	32	33	32	32	31	31
2030009100	시군도	덕영대로1556번길	경기도 수원시 영통구	0.1906	1	32	34	33	33	34	35	34	34	33	33	33	33	32	33	33	32	32	32	31	29	30	31	31	32	33

Table 2에서 취득한 속도 데이터를 바탕으로 각 노드에 대한 표준편차를 구한 결과는 다음과 같다.

**Table 3. Top 10% of data with Standard Deviation of Speed**

ITS NODE LINK	Load Grade	Road Name	Area	Extension(km)	Lane	STD
2010079100	시군도	동탄원천로	경기도 수원시 권선구	0.9978	2	19.027307
2020005300	일반국도	창릉대로	경기도 수원시 팔달구	0.0059	2	15.934064
2010036000	일반국도	경수대로	경기도 수원시 권선구	1.029	2	15.557686
2010000402	일반국도	경수대로	경기도 수원시 권선구	0.8525	3	14.948231
2010015901	시군도	서부로	경기도 수원시 권선구	0.7158	2	14.458437
2030009200	시군도	덕영대로1556번길	경기도 수원시 영통구	0.1904	1	14.33954
2010075200	시군도	오목천로152번길	경기도 수원시 권선구	0.4295	1	14.154349
2030030300	시군도	청명북로	경기도 수원시 영통구	0.0216	1	13.727287
2010074800	시군도	오목천로108번길	경기도 수원시 권선구	0.2429	1	13.505554
2010087300	시군도	권선로	경기도 수원시 권선구	0.2237	3	13.388592
2010088600	시군도	호매실로104번길	경기도 수원시 권선구	0.2158	2	12.471151
2020012000	일반국도	경수대로	경기도 수원시 팔달구	1.372	2	12.312335
2020000201	시군도	경수대로	경기도 수원시 팔달구	0.2542	2	12.184974
2010000402	일반국도	경수대로	경기도 수원시 권선구	0.1152	3	12.161974
2010080600	시군도	덕영대로1246번길	경기도 수원시 권선구	0.445	2	11.859578
2010078500	시군도	동탄원천로	경기도 수원시 권선구	0.4006	2	11.83216
2010019300	시군도	서부로	경기도 수원시 권선구	0.7158	2	11.384621
2010079900	시군도	덕영대로1190번길	경기도 수원시 권선구	0.9972	2	11.271202
2010080500	시군도	덕영대로1246번길	경기도 수원시 권선구	0.9972	2	11.260266
2010026200	시군도	덕영대로	경기도 수원시 권선구	0.6084	2	11.168957
2010088500	시군도	호매실로104번길	경기도 수원시 권선구	0.1401	2	11.059403
2010026000	시군도	덕영대로	경기도 수원시 권선구	0.0466	1	10.897633
2010012800	시군도	동수원로146번길	경기도 수원시 권선구	0.2804	1	10.838155
2010007200	일반국도	수인로	경기도 수원시 권선구	0.3038	4	10.584215
2010014000	시군도	덕영대로	경기도 수원시 권선구	0.2147	5	10.56303
2000001000	일반국도	경수대로	경기도 수원시 장안구	0.3547	3	10.394152
2030027400	시군도	봉영로	경기도 수원시 영통구	0.5726	5	10.360232
2020000101	시군도	경수대로	경기도 수원시 팔달구	0.2544	2	10.318915
2010079800	시군도	덕영대로1190번길	경기도 수원시 권선구	0.5353	1	10.128455
2010088800	시군도	호매실로104번길	경기도 수원시 권선구	0.2158	2	10.071266
2010014900	시군도	덕영대로	경기도 수원시 권선구	0.509	5	9.9908758

**Table 4.** Top 20% of data with Standard Deviation of Speed

ITS NODE LINK	Load Grade	Road Name	Area	Extension(km)	Lane	STD
2000009500	시군도	서부로	경기도 수원시 장안구	0.858	2	9.8292624
2010076100	시군도	산업로	경기도 수원시 권선구	0.1315	3	9.2862048
2020011900	일반국도	경수대로	경기도 수원시 팔달구	1.372	2	9.2758612
2030028300	시군도	동탄원천로	경기도 수원시 영통구	0.2152	1	9.269822
2010015000	시군도	덕영대로	경기도 수원시 권선구	0.509	5	9.1698637
2010075300	시군도	오목천로152번길	경기도 수원시 권선구	0.4295	1	9.1611353
2030012600	시군도	덕영대로	경기도 수원시 영통구	0.3797	5	9.1217542
2010079800	시군도	덕영대로1190번길	경기도 수원시 권선구	0.2514	2	9.1043726
2010004803	일반국도	덕영대로	경기도 수원시 팔달구	0.1985	3	9.0256523
2010080400	시군도	덕영대로1190번길	경기도 수원시 권선구	0.5353	2	8.9799777
2010088200	시군도	서수원로	경기도 수원시 권선구	0.0941	3	8.9331741
2010019400	시군도	서부로	경기도 수원시 권선구	0.44	3	8.9215245
2020002300	일반국도	경조로	경기도 수원시 팔달구	0.2406	2	8.9062675
2010075400	시군도	서부로	경기도 수원시 권선구	0.4227	3	8.8809009
2010080300	시군도	동수원로145번길	경기도 수원시 권선구	0.5043	3	8.7863531
2010074900	시군도	오목천로108번길	경기도 수원시 권선구	0.2429	1	8.75863
2000000100	일반국도	창릉대로	경기도 수원시 팔달구	0.051	3	8.7269697
2010088400	시군도	호매실로104번길	경기도 수원시 권선구	0.1401	2	8.7135756
2030027300	시군도	봉영로	경기도 수원시 영통구	0.5726	5	8.5510233
2000000700	일반국도	경수대로	경기도 수원시 장안구	0.3873	3	8.5103231
2010086700	시군도	호매실로	경기도 수원시 권선구	0.6412	2	8.4745265
2010089300	시군도	호매실로	경기도 수원시 권선구	0.1369	2	8.1854505
2010023800	시군도	권선로	경기도 수원시 영통구	0.3745	3	8.1191133
2010013200	시군도	동수원로	경기도 수원시 권선구	0.4199	3	8.0910815
2030013500	시군도	덕영대로	경기도 수원시 영통구	0.7307	2	8.0422882
2010014400	시군도	덕영대로	경기도 수원시 권선구	0.2343	5	8.0399005
2010089200	시군도	호매실로104번길	경기도 수원시 권선구	0.1524	1	7.9975996
2030029200	시군도	효원로	경기도 수원시 영통구	0.0241	3	7.9009873
2000000800	일반국도	경수대로	경기도 수원시 장안구	0.3873	3	7.8754302
2010075500	시군도	서부로	경기도 수원시 권선구	0.4227	3	7.8591603
2010019000	시군도	덕영대로	경기도 수원시 권선구	0.0331	2	7.8438766

Table 5. Top 30% of data with Standard Deviation of Speed

ITS NODE LINK	Load Grade	Road Name	Area	Extension(km)	Lane	STD
2010004802	일반국도	덕영대로	경기도 수원시 권선구	0.044	3	7.8316282
201000403	일반국도	경수대로	경기도 수원시 권선구	0.317	3	7.8277455
2010080400	시군도	덕영대로1190번길	경기도 수원시 권선구	0.2514	2	7.8019485
2010004802	일반국도	덕영대로	경기도 수원시 권선구	0.0172	1	7.6926978
2030028500	시군도	동탄원천로	경기도 수원시 영통구	0.5215	2	7.6885369
2020000500	일반국도	덕영대로	경기도 수원시 팔달구	0.1072	4	7.6077855
2020000500	일반국도	덕영대로	경기도 수원시 팔달구	0.0441	4	7.5624335
2010020100	시군도	덕영대로	경기도 수원시 권선구	0.1465	3	7.4807486
2020016000	시군도	관광로	경기도 수원시 팔달구	0.8155	2	7.4350521
2010089400	시군도	호매실로	경기도 수원시 권선구	0.1369	2	7.3565209
2010023700	시군도	권선로	경기도 수원시 영통구	0.3745	3	7.3380106
2020005300	일반국도	창릉대로	경기도 수원시 팔달구	0.0717	2	7.2226311
2010084000	시군도	권선로	경기도 수원시 권선구	0.0996	2	7.1554175
2030031400	시군도	영통로	경기도 수원시 영통구	0.0658	2	7.1325732
2010089100	시군도	호매실로104번길	경기도 수원시 권선구	0.147	2	7.0669937
2010076000	시군도	산업로	경기도 수원시 권선구	0.1315	3	7.0545305
2010084900	시군도	호매실로	경기도 수원시 권선구	0.2163	2	6.9413543
2010085700	시군도	권선로	경기도 수원시 권선구	0.5002	2	6.9404323
2020007100	시군도	인계로	경기도 수원시 팔달구	0.1441	2	6.9344358
2010080100	시군도	경수대로158번길	경기도 수원시 권선구	0.3238	2	6.9127129
2010014000	시군도	덕영대로	경기도 수원시 권선구	0.0247	5	6.8511021
2010080400	시군도	덕영대로	경기도 수원시 권선구	0.0504	1	6.5816715
2000015900	시군도	송정로	경기도 수원시 장안구	0.4656	1	6.5242931
2010087700	시군도	서수원로	경기도 수원시 권선구	0.2865	3	6.489869
2010080200	시군도	곡선로	경기도 수원시 권선구	0.318	3	6.4542699
2010085500	시군도	권선로	경기도 수원시 권선구	0.5002	2	6.4207165
2020003600	일반국도	정조로	경기도 수원시 팔달구	0.1768	3	6.1959987
2010015300	시군도	권선로	경기도 수원시 영통구	0.2965	4	6.1623372
2030012500	시군도	덕영대로	경기도 수원시 영통구	0.3797	5	6.140228
2010090200	시군도	서수원로	경기도 수원시 권선구	0.1512	3	6.133971
2000009600	시군도	서부로	경기도 수원시 장안구	0.858	2	6.0986556



**Table 6.** Top 40% of data with Standard Deviation of Speed

ITS NODE LINK	Load Grade	Road Name	Area	Extension(km)	Lane	STD
2010079800	시군도	덕영대로1190번길	경기도 수원시 권선구	0.0428	1	6.0815787
2020001802	일반국도	경수대로	경기도 수원시 팔달구	0.3896	2	6.0749979
2020015900	시군도	관광로	경기도 수원시 팔달구	0.8155	2	6.0098586
2010087400	시군도	관선로	경기도 수원시 권선구	0.2237	3	5.9665736
2030028100	시군도	매영로	경기도 수원시 영통구	0.9259	2	5.8874782
2010012300	시군도	세지로	경기도 수원시 권선구	0.1393	3	5.8372596
2020000501	일반국도	덕영대로	경기도 수원시 팔달구	0.2493	4	5.8218897
2010079500	시군도	경수대로158번길	경기도 수원시 권선구	0.3238	2	5.7965507
2010009100	시군도	경조로	경기도 수원시 권선구	0.7534	2	5.7167823
2030013300	시군도	덕영대로	경기도 수원시 영통구	0.3327	3	5.7131427
2030030300	시군도	청명북로	경기도 수원시 영통구	0.2869	2	5.6887257
2030013000	시군도	덕영대로	경기도 수원시 영통구	0.0932	5	5.6774642
2010086800	시군도	호매실로	경기도 수원시 권선구	0.6412	2	5.6718251
2030030400	시군도	청명북로	경기도 수원시 영통구	0.2869	2	5.6517608
2020005400	일반국도	경수대로	경기도 수원시 팔달구	0.1861	2	5.4990908
2010078800	시군도	동탄원천로	경기도 수원시 권선구	0.0301	1	5.4807299
2030027900	시군도	영통로	경기도 수원시 영통구	0.5051	2	5.438235
2020003800	일반국도	경수대로	경기도 수원시 팔달구	0.3357	2	5.3342666
2010017600	시군도	덕영대로	경기도 수원시 권선구	0.411	2	5.3072027
2020000301	일반국도	덕영대로	경기도 수원시 팔달구	0.1589	1	5.295432
2010088000	시군도	서수원로	경기도 수원시 권선구	0.2865	3	5.2724188
2000009100	시군도	광교산로	경기도 수원시 장안구	0.4436	2	5.2666498
2010089700	시군도	관선로	경기도 수원시 권선구	0.133	3	5.2605703
2020002001	일반국도	수인로	경기도 수원시 권선구	0.0545	3	5.2346538
2020000201	시군도	경수대로	경기도 수원시 팔달구	0.0306	1	5.2039985
2030000601	지방도	영통로	경기도 수원시 영통구	0.2369	3	5.202461
2010026500	시군도	세권로	경기도 수원시 권선구	0.1719	2	5.1975379
2030028900	시군도	영통로	경기도 수원시 영통구	0.0769	2	5.1613952
2010010700	시군도	곡선로	경기도 수원시 권선구	0.3167	1	5.1545708
2010089500	시군도	서수원로	경기도 수원시 권선구	0.6095	3	5.0949387
2010079600	시군도	동수원로145번길	경기도 수원시 권선구	0.5043	3	5.0447597

Table 7. Top 50% of data with Standard Deviation of Speed

ITS NODE LINK	Load Grade	Road Name	Area	Extension(km)	Lane	STD
2010086400	시군도	호매실로	경기도 수원시 권선구	0.2252	2	5.0431736
2010089600	시군도	서수원로	경기도 수원시 권선구	0.6095	3	5.0269673
2010078800	시군도	동탄원천로	경기도 수원시 권선구	0.3994	2	5.0237834
2010080700	시군도	덕영대로1246번길	경기도 수원시 권선구	0.445	2	5.0017597
2030029400	시군도	동탄원천로	경기도 수원시 영통구	0.2027	2	4.9321801
2020002500	일반국도	중부대로	경기도 수원시 팔달구	0.0398	2	4.8770483
2020005300	일반국도	창릉대로	경기도 수원시 팔달구	0.1855	1	4.8668676
2000009200	시군도	광교산로	경기도 수원시 장안구	0.4436	1	4.824272
2030028600	시군도	동탄원천로	경기도 수원시 영통구	0.5215	2	4.7923272
2010089000	시군도	호매실로104번길	경기도 수원시 권선구	0.1524	2	4.7588234
2020000201	시군도	경수대로	경기도 수원시 팔달구	0.0821	2	4.7490631
2030000501	지방도	영통로	경기도 수원시 영통구	0.2369	3	4.725082
2010022500	시군도	장다리로	경기도 수원시 권선구	0.7021	2	4.7216946
2030028200	시군도	매영로	경기도 수원시 영통구	0.9259	2	4.6842716
2010013900	시군도	덕영대로	경기도 수원시 권선구	0.2147	5	4.6808546
2010021600	시군도	동탄원천로	경기도 수원시 권선구	0.1323	3	4.6413791
2010022600	시군도	장다리로	경기도 수원시 권선구	0.7021	2	4.6389654
2010015902	시군도	서부로	경기도 수원시 권선구	0.1679	3	4.6258405
2010015400	시군도	권선로	경기도 수원시 영통구	0.2965	4	4.5607017
2000021400	시군도	덕영대로	경기도 수원시 장안구	0.06	3	4.5477027
2020000401	일반국도	매산로	경기도 수원시 팔달구	0.0476	2	4.54207
2010000602	일반국도	효행로	경기도 수원시 권선구	0.2611	4	4.538546
2030000101	지방도	영통로	경기도 수원시 영통구	0.0485	3	4.5343136
2030029400	시군도	동탄원천로	경기도 수원시 영통구	0.0237	1	4.5212388
2020002001	일반국도	수인로	경기도 수원시 권선구	0.1822	3	4.4924826
2030011900	시군도	덕영대로	경기도 수원시 영통구	0.3162	5	4.4498989
2010011200	시군도	동수원로	경기도 수원시 권선구	0.4826	3	4.4318845
2020007200	시군도	인계로	경기도 수원시 팔달구	0.1441	3	4.4210406
2030028400	시군도	동탄원천로	경기도 수원시 영통구	0.0628	2	4.4152463
2020016100	시군도	장다리로	경기도 수원시 팔달구	0.4153	3	4.3974538
2010002500	일반국도	경수대로	경기도 수원시 권선구	0.2983	3	4.3642181

취득한 Data Set을 검토하였을 때, 위치를 나타내는 지표로 ITS LINK ID를 제공하였다. 이는 국가에서 사용하는 전자교통지도인 표준노드링크임을 확인하였다. 따라서 해당 표준노드링크에서 실제 위치(위도 및 경도)를 추출하기 위하여 QGIS를 이용하였다. QGIS에 해당 데이터를 Import하여 노드의 위치를 확인한 후, XY FIELD 데이터 값을 추가하여 엑셀 파일로 Export하였다. 이 자료는 전국 단위이므로 추출한 자료에서 수원시에 해당하는 자료를 선별하였다.

**Table 8. XY Field Data**

ITS NODE LINK	Road Name	Area	Extension(km)	STD	Longitude	Latitude
2010079100	동탄원천로	경기도 수원시 권선구	0.9978	19.027307	127.025008	37.2894246
2020005300	창룡대로	경기도 수원시 팔달구	0.0059	15.934064	127.026539	37.2912957
2010036000	경수대로	경기도 수원시 권선구	1.029	15.557686	127.009285	37.3014985
2010000402	경수대로	경기도 수원시 권선구	0.8525	14.948231	127.004432	37.3045257
2010015901	서부로	경기도 수원시 권선구	0.7158	14.458437	127.00208	37.3059632
2030009200	덕영대로1556번길	경기도 수원시 영통구	0.1904	14.33954	127.002077	37.2922215
2010075200	오목천로152번길	경기도 수원시 권선구	0.4295	14.154349	126.993392	37.2949823
2030030300	청명북로	경기도 수원시 영통구	0.0216	13.727287	127.022579	37.2950955
2010074800	오목천로108번길	경기도 수원시 권선구	0.2429	13.505554	126.983757	37.295967
2010087300	권선로	경기도 수원시 권선구	0.2237	13.388592	126.994489	37.2961167
2010088600	호매실로104번길	경기도 수원시 권선구	0.2158	12.471151	126.981505	37.2971245
2020012000	경수대로	경기도 수원시 팔달구	1.372	12.312335	126.983086	37.2971489
2020000201	경수대로	경기도 수원시 팔달구	0.2542	12.184974	126.995476	37.2972603
2010000402	경수대로	경기도 수원시 권선구	0.1152	12.161974	126.998109	37.2973007
2010080600	덕영대로1246번길	경기도 수원시 권선구	0.445	11.859578	126.998109	37.2973007
2010078500	동탄원천로	경기도 수원시 권선구	0.4006	11.83216	126.988955	37.2974028
2010019300	서부로	경기도 수원시 권선구	0.7158	11.384621	126.988955	37.2974028
2010079900	덕영대로1190번길	경기도 수원시 권선구	0.9972	11.271202	126.988955	37.2974028
2010080500	덕영대로1246번길	경기도 수원시 권선구	0.9972	11.260266	126.969007	37.2984471
2010026200	덕영대로	경기도 수원시 권선구	0.6084	11.168957	127.006925	37.2987581
2010088500	호매실로104번길	경기도 수원시 권선구	0.1401	11.059403	126.969374	37.3036223
2010026000	덕영대로	경기도 수원시 권선구	0.0466	10.897633	127.000544	37.3039182
2010012800	동수원로146번길	경기도 수원시 권선구	0.2804	10.838155	127.011799	37.3040353
2010007200	수인로	경기도 수원시 권선구	0.3038	10.584215	126.992551	37.3045207
2010014000	덕영대로	경기도 수원시 권선구	0.2147	10.56303	126.995579	37.3105985
2000001000	경수대로	경기도 수원시 장안구	0.3547	10.394152	126.981363	37.3108716
2030027400	봉영로	경기도 수원시 영통구	0.5726	10.360232	126.998085	37.3110929
2020000101	경수대로	경기도 수원시 팔달구	0.2544	10.318915	126.986902	37.3113925
2010079800	덕영대로1190번길	경기도 수원시 권선구	0.5353	10.128455	126.980478	37.2945597
2010088800	호매실로104번길	경기도 수원시 권선구	0.2158	10.071266	126.964828	37.2988857
2010014900	덕영대로	경기도 수원시 권선구	0.509	9.9908758	127.02931	37.297353

본 연구에서 함께 사용할 다른 지표는 상업·업무 지구의 밀집도이다. 속도 데이터를 바탕으로 클러스터링을 진행한 후, 해석에 함께 이용될 예정이다. 이를 위하여 국가공간정보포털의 OPEN API로부터 용도별 건물정보 데이터(2023년 기준)를 취득하였다. 해당 자료에서 수원시에 위치한 상업·업무용 시설의 밀집도를 확인하기 위하여 QGIS에 데이터를 Import하였다. QGIS에 Import한 용도별 건물정보 데이터에 XY FIELD 데이터 값을 추가하여 각 건물에 위도 및 경도 자료를 추가하였으며, 이 값을 모두 엑셀 파일로 Export하였다. Export된 자료를 검토하는 과정에서 수원시 소재의 상업·업무용 시설만 선별하였으며, 주거용을 비롯한 타 용도 시설은 제외되었다. 이 과정을 통해 수원시 소재의 상업·업무용 시설에 대한 위도 및 경도 자료를 취득하였다.

**Table 9.** Number of Commercial and Business Buildings by District

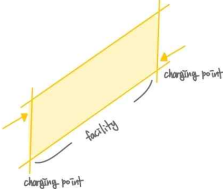
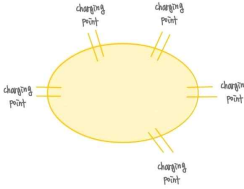
Area	Count
경기도 수원시 권선구	3186
경기도 수원시 영통구	1372
경기도 수원시 장안구	2209
경기도 수원시 팔달구	3382
<b>Total Sum</b>	<b>10149</b>

취득한 데이터를 바탕으로 상업·업무용 시설 밀집 지역에서 혼잡이 더 발생할 것을 기대하였다. Table 9에서 팔달구가 3382개, 권선구가 3186개, 장안구가 2209개, 영통구가 1372개로 팔달구나 권선구에 상업용 건물이 많은 것으로 보아 해당 지역에 교통량이 많아 혼잡이 많을 것을 기대하였다.

위 과정을 통해 취득한 속도 자료를 통해 각 노드의 위도 및 경도 위치를 파악하였다. 해당 노드의 표준편차 및 위·경도 정보를 활용하여 비슷한 특징을 가진 포인트들을 Cordon으로 묶어 혼잡통행료를 부과하기 위해 DBSCAN 클러스터링을 이용할 예정이다. 또한, 용도별 건물정보 데이터 자료를 통해 수원시 소재의 상업·업무용 시설의 위도 및 경도 정보를 취득하였다. 이 데이터를 이용하여 상업·업무용 시설이 밀집한 지역이 교통혼잡을 유발하는지, 또는 다른 이유로 인해 혼잡이 발생하는지 파악하고, 혼잡 통행료를 부과할 지역을 선정할 계획이다.

## Methods

Table 10. Corridor Method and Cordon Control Method

corridor method	cordon control method
	
<p><b>Pros</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Charging points can be freely selected.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- By blocking bypass traffic, it has a great effect on reducing traffic congestion in the implementation area.</li> <li>- The awareness is high because the charging area is spatially clear.</li> </ul>
<p><b>Cons</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Reduced effect due to bypass when enforced on only some corridor.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- If the area is not large, the traffic improvement effect is local.</li> <li>- Excessive economic burden of passage in the absence of bypass road.</li> </ul>

혼잡통행료를 징수하는 방식에는 대표적으로 Corridor(선) Method와 Cordon(면) Method가 있다. Corridor(선) 방식은 선 개념의 교통축을 대상으로 혼잡통행료를 징수하는 Method다. 징수지점을 자유롭게 선정할 수 있지만, 일부 축에서만 시행될 때 우회 통행으로 인해 효과가 감소하는 단점이 있다. 이에 본 연구에서는 Cordon(면) Method를 이용하여 혼잡통행료를 징수하는 과정을 진행하였다. 수원시 도로 특성상 혼잡 구간이 발생하는 경우가 주로 발생한다. 따라서 서울시 강남구와 같이 구역 전체가 혼잡한 형태가 아니기 때문에 Cordon(면) Method가 옳지 않다고 판단할 수 있다. 그러나 수원시의 5개 생활권 중, 도심 지역인 화성 생활권(팔달구 전체 및 장안구 영화동, 권선구 권선1동, 세류3동, 영통구 매탄1동)은 구역 전체가 교통혼잡이 발생하는 경우로 확인된다. 화성생활권 지역은 구도심 지역을 포함하고 있어 도로의 인프라 수준이 타 생활권에 비하여 떨어지며, 수원역, 인계동, 행궁동 등 교통량을 유발하는 지역을 다수 포함하고 있다. 본 연구에서는 일정 구간이 아닌, 면적 단위의 교통혼잡구역을 지정해야 한다는 필요성을 인지하여 Cordon(면) 방식을 선택했다.

본 연구를 진행하기 위하여 클러스터링 기법을 적용하였다. 조사한 바에 의하면 클러스터링 방법에도 여러 방법이 있음을 확인하였다. 대표적으로 K-Means 알고리즘과 DBSCAN 알고리즘이 있다. K-Means 알고리즘은 중심과 데이터의 거리 기반에 따른 클러스터링 알고리즘이다. 이 알고리즘은 사전에 클러스터의 크기를 알고 있어야 한다는 제약을 가지고 있다. 그러므로 이를 개선할 수 있는 밀도 기반 알고리즘인 DBSCAN을 이용하여 클러스터링을 하고자 한다. DBSCAN은 Density-Based Spatial Clustering of Applications with Noise의 약자로, 특정 데이터를 중심으로 밀도가 높은 곳에 포함된 데이터에는 클러스터를 할당하고, 밀도가 낮으면 그 데이터를 노이즈로 취급하는 알고리즘이다. 이는 데이터의 밀도에 따라 자동으로 클러스터를 형성하기 때문에, 다양한 크기의 클러스터를 감지할 수 있다. 또한 밀도가 낮은 데이터를 이상치로 처리할 수 있어 데이터 전처리 과정에서 미처 제거하지 못한 노이즈를 제거할 수 있다. 그러나 많은 연산을 수행하기에 K-Means 알고리즘에 비해 그 속도가 느리고, 유클리드 제곱거리를 사용한다는 단점이 있다. 그러나 2차원이나 3차원 등 차원수가 낮은 데이터세트에는 문제가 되지 않으므로, DBSCAN으로 진행하였다.

## Model Estimation and Result Analysis

### 1. Model Estimation

클러스터링을 수행하기 전, 각 데이터 포인트 간의 거리를 계산하여 알아보았다. 이는 데이터 간의 거리를 기준으로 유사성을 판단하기 위함이다. 만약 데이터 포인트들이 멀리 떨어져 있다면 서로 다른 특성을 가지고 있을 가능성이 높고, 가깝게 붙어있다면 유사한 특성을 가지고 있기 때문이다. 이를 위해 유클리드 거리(Euclidean distance)를 사용했다. 유클리드 거리는 두 점 사이의 직선 거리를 의미하며, 주어진 좌표의 유클리드 거리를 계산하여 Table 11과 같이 거리 행렬을 생성하였다.

Table 11. Distance between points(Subset of the Dataset)

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	0.01729	0.020692	0.020473	0.024673	0.024673	0.022222	0.022744	0.024408	0.068154	0.067768
0.01729	0	0.005121	0.00533	0.008666	0.008666	0.005156	0.005786	0.00719	0.053256	0.05187
0.020692	0.005121	0	0.000558	0.004001	0.004001	0.003104	0.006806	0.006764	0.048459	0.047399
0.020473	0.00533	0.000558	0	0.004203	0.004203	0.003662	0.007347	0.007322	0.048486	0.047515
0.024673	0.008666	0.004001	0.004203	0	0	0.004155	0.007736	0.006599	0.044609	0.043423
0.024673	0.008666	0.004001	0.004203	0	0	0.004155	0.007736	0.006599	0.044609	0.043423
0.022222	0.005156	0.003104	0.003662	0.004155	0.004155	0	0.003946	0.00366	0.048311	0.046761
0.022744	0.005786	0.006806	0.007347	0.007736	0.007736	0.003946	0	0.002014	0.050377	0.048284
0.024408	0.00719	0.006764	0.007322	0.006599	0.006599	0.00366	0.002014	0	0.048398	0.046271
0.068154	0.053256	0.048459	0.048486	0.044609	0.044609	0.048311	0.050377	0.048398	0	0.007707
0.067768	0.05187	0.047399	0.047515	0.043423	0.043423	0.046761	0.048284	0.046271	0.007707	0
0.067768	0.05187	0.047399	0.047515	0.043423	0.043423	0.046761	0.048284	0.046271	0.007707	0
0.06797	0.052108	0.047622	0.047734	0.043649	0.043649	0.047004	0.048549	0.046537	0.007383	0.000385
0.06797	0.052108	0.047622	0.047734	0.043649	0.043649	0.047004	0.048549	0.046537	0.007383	0.000385
0.056159	0.039542	0.035483	0.035686	0.03149	0.03149	0.034387	0.035432	0.033425	0.018589	0.013659
0.071395	0.055004	0.050796	0.050965	0.046796	0.046796	0.049851	0.050981	0.048973	0.013013	0.005938

이렇게 각 거리를 계산한 결과, 데이터 간 상관관계나 유의미한 패턴을 충분히 도출하기 어려웠다. 이에 따라 밀도 기반 클러스터링 알고리즘인 DBSCAN을 선택하였다. DBSCAN은 데이터 포인트의 밀도를 고려하여 클러스터를 형성하기 때문에, 단순히 거리 정보만으로는 파악하기 어려운 비선형적인 패턴이나 밀집 지역을 더욱 정확하게 식별할 수 있을 것을 기대했다.

이 연구에서 사용한 DBSCAN 알고리즘의 입력 파라미터로 'MinPts (최소 이웃 데이터 포인트 수)'와 'Epsilon (반경)'을 사용하였다. 그러나 여러 참고문헌에서 이론적으로 증명된 DBSCAN의 입력 파라미터 MinPts와 Eps를 구할 수 없었다. 다만, MinPts와 Eps를 결정하는데 도움을 받을 수 있는 주관적인 Heuristic method 가 있었다. 이러한 방법은 실험과 경험을 통해 도출된 결과로, 특정 데이터셋이나 문제에 적합한 값을 찾기 위해 반복적으로 시도하고 조정하는 과정을 포함하였다.

#### (1) MinPts 결정하는 Heuristic 방법

$$MinPts = \ln(n) \quad (1)$$

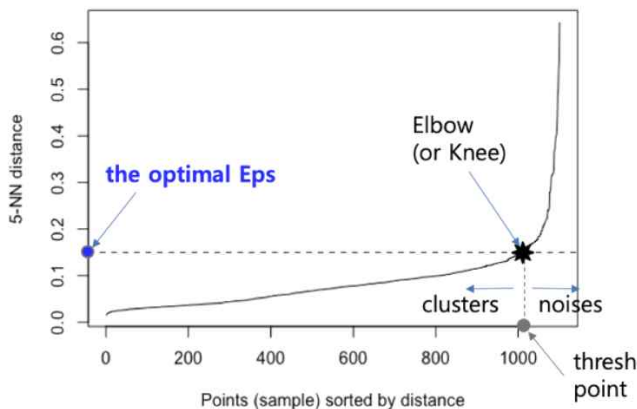
n : the total number of point

MinPts는 코어 포인트를 결정하는데 필요한 최소 이웃 데이터 포인트의 수다. 코어 포인트는 주변에 최소 이웃 데이터 포인트 수 이상의 데이터를 가지고 있는 데이터 포인트로, 이를 기준으로 클러스터를 형성한다. 이 연구에서는 수원시 도심부 속도 표준편차 상위 50%의 노드를 포인트로 두었으며, 그 데이터의 포인트 개수가 총 157개이다. 이에 식 (1)을 참고하여,  $\ln(157) = 5.056 \approx 5$ 이므로, 최소 이웃 포인트 수를 5로 설정하였다.

## (2) Eps를 결정하는 Heuristic 방법

: Elbow(Knee) Method using sorted K-dist plot

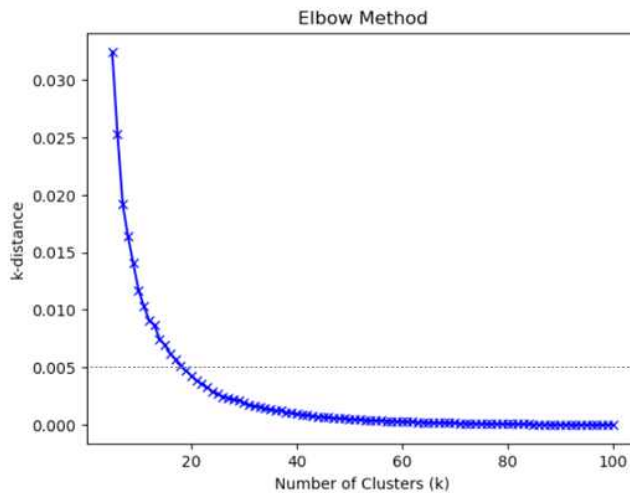
Graph 1. Elbow Method



Eps는 클러스터의 반경을 나타내는 값으로, 주변 데이터 포인트를 탐색할 거리를 결정한다. Eps 값을 결정하기 위한 방법 중 하나는 Elbow Method 또는 Knee Method라고 불리는 방법을 사용하는 것이다. 이 방법은 클러스터링 알고리즘을 여러 번 실행하고 클러스터 개수(K)에 따른 각 데이터 포인트의 K-distance를 계산한다. K-distance는 주어진 데이터 포인트와 그 데이터 포인트로부터 K번째로 가까운 이웃과의 거리를 의미한다. 이러한 K-distance 값을 정렬하여 그래프로 나타내면, 일반적으로 그래프에서 꺾이는 지점인 Elbow 또는 Knee 지점이 나타난다. 이 지점은 클러스터의 내부 밀도 변화를 나타내며, 적절한 Eps 값을 결정하는데 도움을 준다. 일반적으로 Elbow 또는 Knee 지점을 선택하여 Eps 값을 설정하게 된다.



Graph 2. Result Graph Applying the Elbow Method



다음의 Elbow 방법을 참고하여 파란 선의 기울기가 가파르게 증가하는 지점인 0.005을 반경으로 하였다.

상위 50%의 속도 데이터를 바탕으로 MinPts를 5로, Eps의 값을 0.005로 두어 DBSCAN을 진행하였다. 모형 구축을 위해 속도 데이터의 경우, 각 노드에 대한 속도의 표준편차가 높은 상위 50%의 포인트를 혼잡지역으로 선정하기로 하였다. 상업·업무 시설 밀집 지역 데이터의 경우, 상업용 건물로 분류된 자료만 추출하였다. 취득한 자료의 위도, 경도 자료를 바탕으로 DBSCAN 알고리즘을 이용하여 모형을 구축하였다. DBSCAN 알고리즘을 이용하여 계산된 밀도 값을 입력받아 해당 밀도에 대한 색상을 결정하였다. 밀도가 0.8보다 크면 'Red'를 반환하고, 0.5보다 크면 'Orange'를 반환하며, 그 외의 경우에는 'Green'을 반환하게 하였다. 밀집도에 따른 색상 선택은 사회적으로 인식되는 색상 관례에 따라 설계하였다. 빨간색은 상대적으로 높은 밀집도를 나타내었으며, 녹색은 상대적으로 낮은 밀집도를 나타내었다. 이는 사용자들이 쉽게 클러스터링 결과를 해석하고 패턴을 인식하는 데 도움을 줄 수 있으며, 데이터 분석의 결과를 보다 효과적으로 전달하는 데 도움이 되고자 하였다.



## 2. Result Analysis

본 연구는 각 노드별 속도의 표준편차가 높은 상위 50%의 포인트를 DBSCAN 클러스터링 기법을 이용하여 군집화한 자료를 시각화하여 결과를 도출하였다. 속도에 대한 표준편차가 높을수록 각 노드에서 속도의 변화가 심하며, 이는 혼잡이 발생하기 때문이라고 판단하였다.

결과 자료에서 나타내는 숫자는 해당 지점을 중심으로 속도 표준편차 상위 50% 이내의 포인트가 얼마나 군집하였는지 나타낸 수치이다. 수치가 높을수록 속도에 대한 표준편차가 높은 상위 50%의 노드가 많다는 뜻으로 풀이된다. 이는 혼잡이 발생하는 포인트가 많이 군집하였다는 뜻으로 해석할 수 있으며, 곧 혼잡이 발생하는 구역으로 간주할 수 있다.



Figure 1. Result of DBSCAN Clustering of Suwon

Figure 1은 DBSCAN 클러스터링을 통한 수원시의 혼잡 발생 포인트의 군집화 결과이다. 위의 숫자가 나타내는 것은 각 노드의 속도에 대한 표준편차가 높은 상위 50%의 포인트가 얼마나 군집해있는지에 대한 수치다. 따라서 포인트의 군집 정도가 높을수록 해당 구역이 혼잡이 발생한다고 판단된다. 분석 자료에 따르면 팔달구 매산사거리를 중심으로 20개의 포인트, 팔달구 동수원사거리를 중심으로 17개의 포인트, 팔달구와 권선구의 경계 지점인 농수산시장사거리를 중심으로 28개의 포인트, 영통구 동수원IC를 중심으로 20개의 포인트가 군집되었다. 영통구 동수원IC 부근을 제외할 경우 모두 팔달구에서 혼잡이 주로 발생하였다.

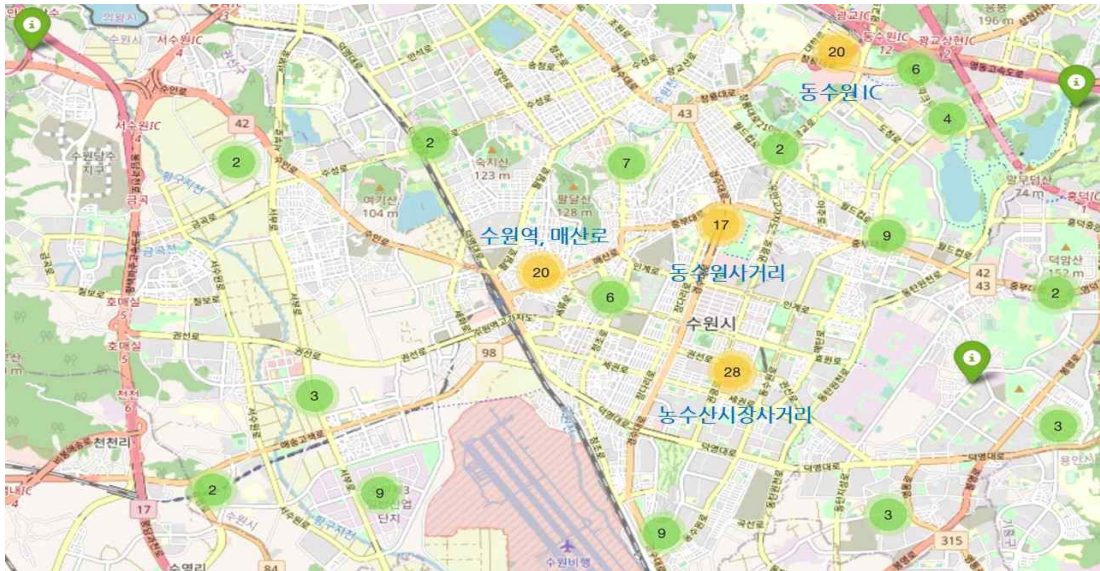


Figure 2. Result of DBSCAN Clustering of Paldal-gu, Suwon

Figure 2는 수원시 DBSCAN 클러스터링 결과 중, 팔달구에 대한 결과를 확대하여 나타낸 것이다. 팔달구 대부분의 지역에 속도 표준편차 상위 50% 이내의 포인트가 많이 분포되어있음을 확인할 수 있다. 수원역에서 교동사거리 사이 매산로에서 혼잡 포인트가 가장 많이 발생하며, 동수원사거리 주변과 도청오거리~인계동 사이에서도 혼잡 포인트가 이어지는 현상을 발견할 수 있었다. 팔달구 데이터를 분석한 결과, 팔달구 내 특정 지역이 아닌 전체에 표준편차 상위 50% 이내의 포인트가 고르게 분포함을 확인할 수 있었다.

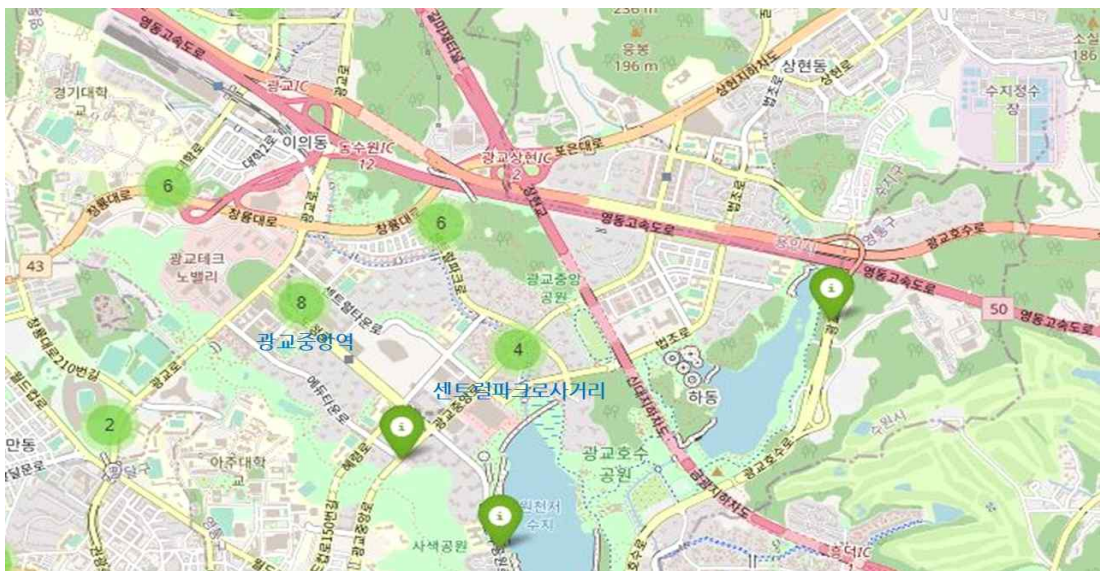


Figure 3. Result of DBSCAN Clustering of Gwangyo New Town, Yeongtong-Gu, Suwon

Figure 3는 수원시 영통구에 위치한 광교 신도시 일대의 DBSCAN 클러스터링 자료이다. 영통구 북부에 위치한 광교신도시와 영통구 남부는 아주대학교 및 광교호수공원으로 인해 다소 구역이 구분되어 있는 것으로 판단되어, 광교와 영통구 남부(매탄동, 영통동, 망포동 등)를 분리하여 분석하였다. 광교 신도시에 대한



DBSCAN 클러스터링 자료를 분석한 결과, 동수원 IC와 연결되는 창룡대로 주변을 분리할 경우, 혼잡이 발생하는 포인트는 광고중앙역과 센트럴파크로사거리에서 군집되었다. 그 외 지역에서는 일부 포인트가 광고 외곽 지역에서 군집되었다.

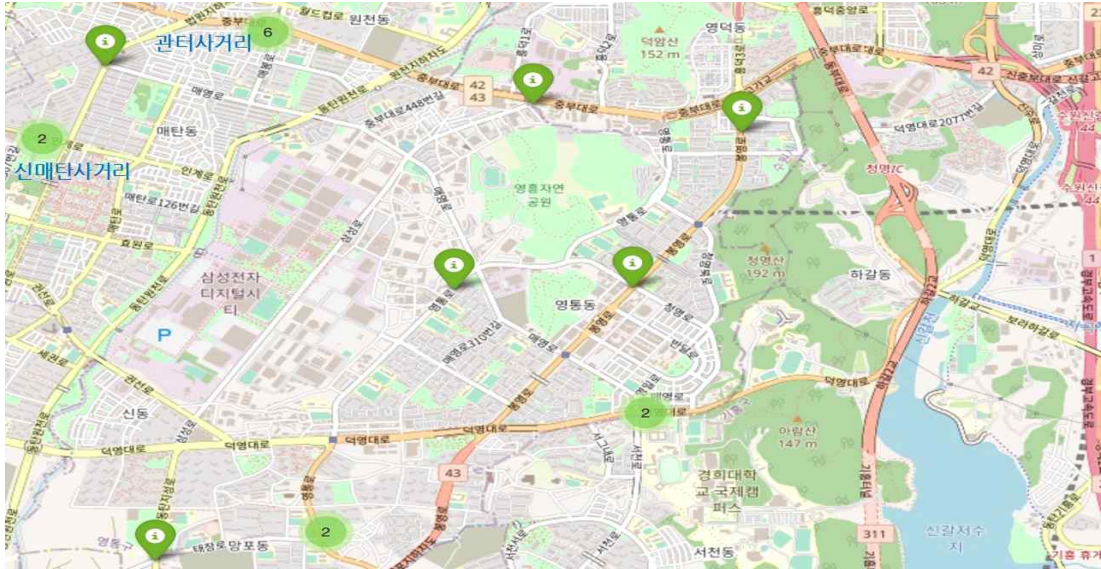


Figure 4. Result of DBSCAN Clustering of South Yeongtong-Gu, Suwon

Figure 4는 광고 신도시를 제외한 영통구 남부(매탄동, 영통동, 망포동 등) 지역에 대한 DBSCAN 클러스터링 결과이다. 광고 신도시 자료 분석에서 언급하였듯이, 영통구 지형 특성 상 구역이 구분되어 있어 분석을 분리하여 진행하였다. 영통구 남부에서 군집이 발생한 구역은 관터사거리와 신매탄사거리로 파악되었다. 이는 영통구 내에서 팔달구와 광고 신도시와 인접한 구역에서만 혼잡 포인트가 군집하였음을 확인할 수 있었다. 영통구 중심인 영통동에서는 군집 경향을 거의 확인할 수 없었으며, 경희대 주변과 망포동 남부에서 일부 포인트가 군집됨을 확인할 수 있었다.

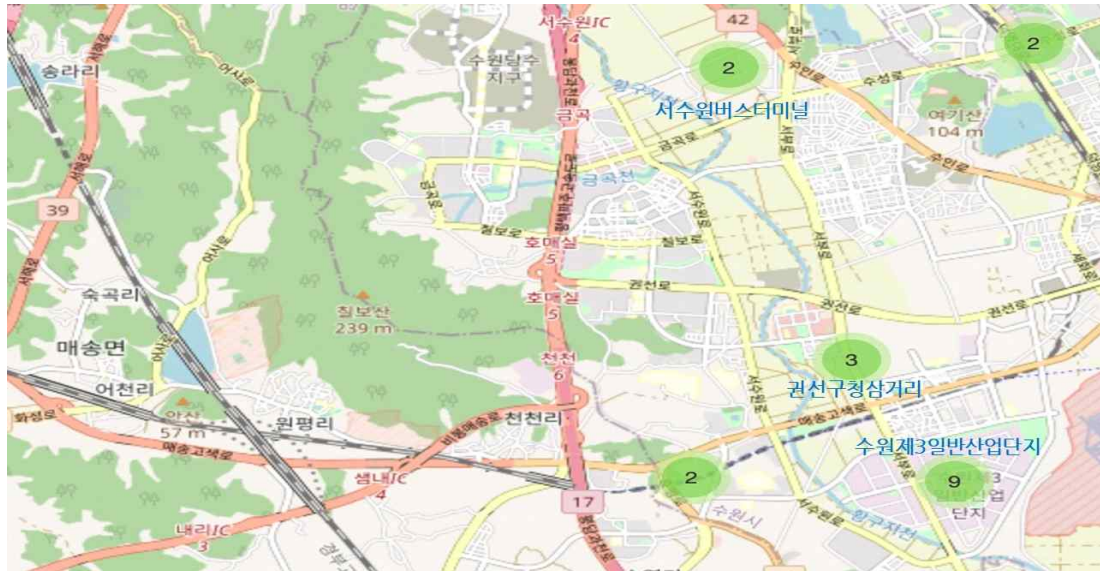


Figure 5. Result of DBSCAN Clustering of West Suwon

수원시는 경부선이 도심 서부를 가로지르는 형태를 지니고 있다. 따라서 권선구가 경부선에 의해 분단되어 있는 지리적 형태를 지니고 있다. 경부선 서쪽의 권선구 지역을 서수원이라 칭한다. 따라서 서수원 지역과 경부선 동부의 권선구 지역(권선동, 세류동, 곡선동 등)을 분리하여 분석하였다.

Figure 5는 권선구 지역 중 지역에 대한 DBSCAN 클러스터링 결과이다. 서수원 지역은 서수원버스터미널 주변에서 혼잡 포인트가 군집되었으며, 권선구청삼거리에서도 일부 포인트가 군집됨을 확인하였다. 특히 서수원 남부 지역에 위치한 수원제3일반산업단지에서 다수의 포인트가 군집되어있음을 확인할 수 있었다. 따라서 분석 결과 서수원 지역에서는 고색동 일대에 포인트가 군집함을 알 수 있었다.

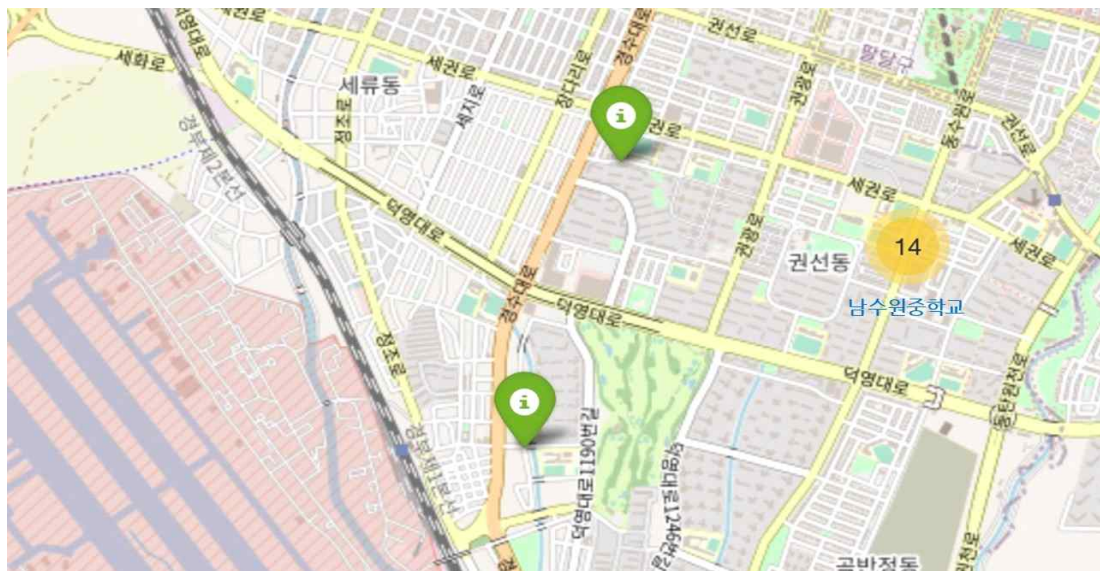


Figure 6. Result of DBSCAN Clustering of Gwonseon-Gu, Suwon

Figure 6는 서수원 지역을 제외한 권선구 지역(권선동, 세류동, 곡선동 등)에 대한 DBSCAN 클러스터링 결과



이다. 권선구는 지역의 대부분이 경부선 서부에 위치해있기 때문에, 경부선 동부에 위치한 권선구 지역은 면적이 작다. 따라서 군집할 포인트 자체가 적다. 이러한 점을 감안하였을 때, 남수원중학교를 중심으로 많은 포인트가 군집되어있음을 확인할 수 있었다.

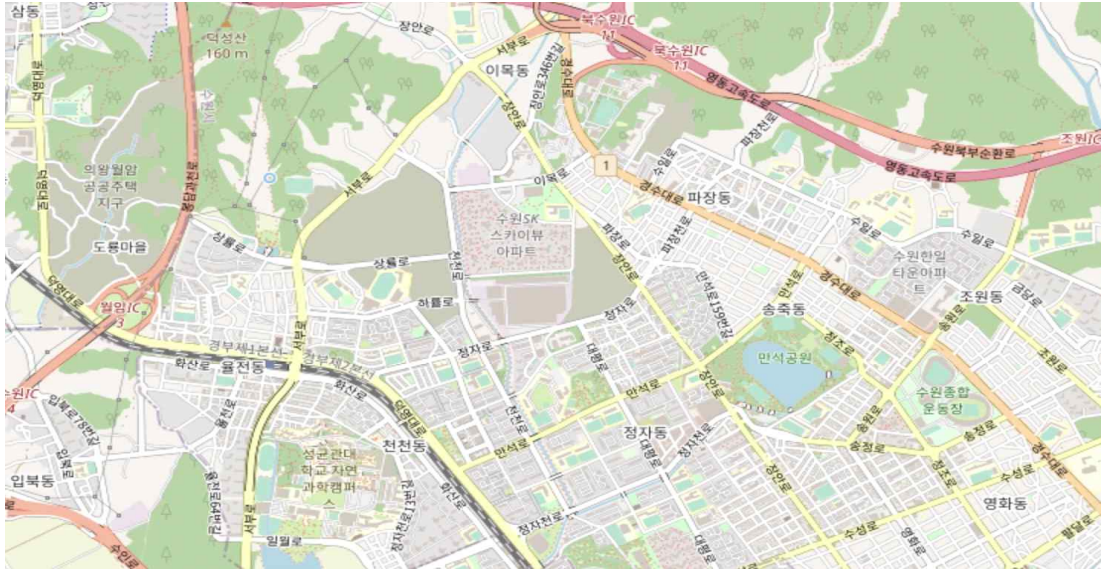


Figure 7. Result of DBSCAN Clustering of Jangan-Gu, Suwon

Figure 7은 장안구에 대한 DBSCAN 클러스터링 결과 데이터이다. 장안구에는 속도 표준편차가 상위 50% 이내에 속해있는 노드가 10개로 확인되었다. 해당 노드는 모두 팔달구와 장안구의 경계 지역에 위치함을 확인하였다. 장안구 중심에는 포인트가 나타나지 않아 DBSCAN 클러스터링을 통해 팔달구에 군집됨을 확인할 수 있었다. 그러므로 장안구 내부에서 군집될 포인트가 없기 때문에 클러스터링 결과에서 군집 경향을 확인할 수 없었다.

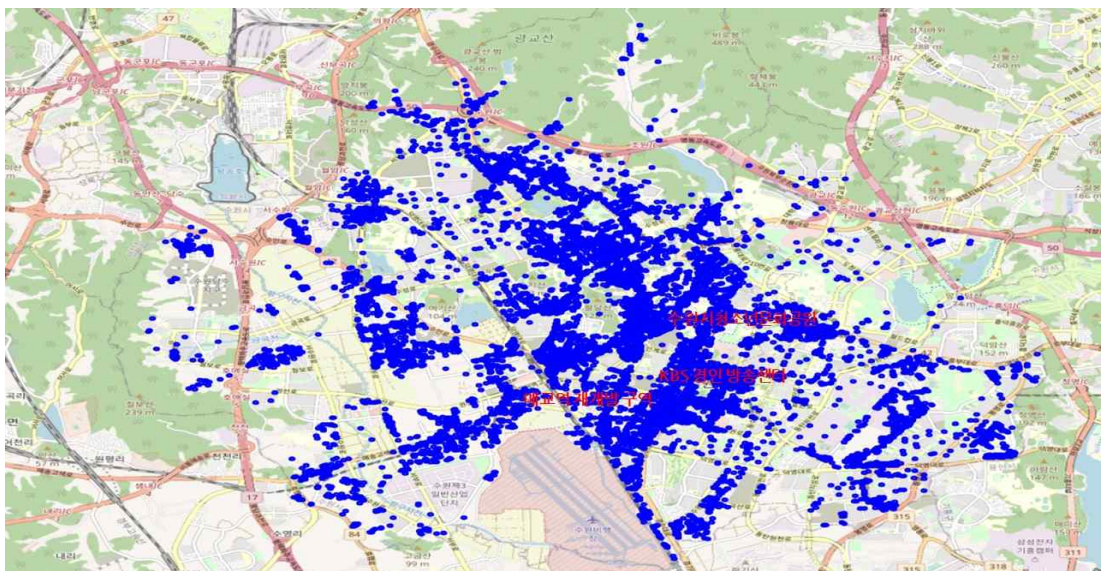


Figure 8. Density of Commercial and Business Buildings in Suwon

Figure 8은 수원시 내 상업용 및 업무용 건물의 위치를 시각화하여 밀집도를 나타낸 데이터이다. 해당 자료는 국가공간정보포털의 OPEN API로부터 취득한 용도별 건물정보 데이터를 이용하여 상업용 및 업무용 건물의 위치를 시각화한 것이다.

먼저 권선구 서수원 지역에는 건물 밀집도가 곳곳에 발생하였다. 해당 지역은 건물이 군집되어있는 탑동-구운동 지역과 매송고색로 일대에 밀집 구역이 형성되었는데, 밀집 구역 간 거리가 다소 있음을 확인할 수 있었다.

영통구 지역은 동탄원천로 동부 지역의 영통동, 망포동 일대의 건물 밀집도가 도심지에 비해 낮음을 나타내었다. 동탄원천로 서부 지역의 매탄동 일대는 변화가인 팔달구 인계동 주변이기 때문에 건물이 밀집되어있음을 확인할 수 있었다. 광고 신도시 지역은 영통구 및 타 지역에 비해 건물의 밀도가 낮아짐을 알 수 있었다.

장안구 지역은 경수대로를 따라 건물이 분포함을 확인할 수 있었다. 또한 팔달구 행궁동과 접경지인 영화동에 건물이 밀집되어 있음을 확인할 수 있었다.

팔달구는 도심지역으로, 대부분의 지역에 상업용 및 업무용 건물이 밀집되어 있음을 확인할 수 있다. 수원역, 행궁동, 인계동 등 변화가에 건물이 밀집되어 있고, 해당 변화가를 가로지르는 매산로, 중부대로, 권광로에 집중적으로 분포함을 알 수 있었다. 팔달구 중심 부분에 건물의 밀집도가 나타나지 않은 지역은 수원시청소년문화공원 및 KBS경인방송센터가 위치하여 발생한 결과다. 또한 매곡역 주변에 대규모 재개발이 이루어지고 있어 밀집도가 나타나지 않음을 확인할 수 있었다.

상업용 및 업무용 밀집도 데이터를 통해, 도심지인 팔달구에 건물이 밀집되어있음을 확인할 수 있었으며, 타 지역구의 경우, 도심지에 가까운 권선구 권선동, 영통구 매탄동, 장안구 영화동 역시 건물의 밀집도가 높음을 확인할 수 있었다.

## Conclusion

본 연구의 목적인 수원시에 혼잡통행료를 징수하는 지역을 선정하기 위해서는 혼잡도가 높은 지역을 선정해야 한다. 혼잡을 나타내는 지표는 속도 기반, 통행 시간, 지체 기반, 서비스 수준 및 교통량 기반 등 다양하다. 그러나 데이터 수집 및 안전성의 한계로 속도 기반의 지표로 혼잡 수준을 식별하는 것이 가장 적합하다고 판단하였다. 그렇게 수원시 내 311개의 속도 지표를 가지고, 각 지점별 시간에 따른 속도들의 표준편차를 구하였다. 이는 표준편차가 큰 지점이 혼잡하고 교통체증이 발생할 가능성이 높다고 판단한 것이다. 표준편차의 크기에 따라 상위 50%의 데이터를 사용하였다. 이는 클러스터링을 하기 위한 적절한 데이터 수를 정한 것이다. Table 12를 보면, 상위 50%에 있는 각 지역구별 데이터의 개수는 권선구가 88개, 영통구가 31개, 장안구가 10개, 팔달구가 27개로 구성되었음을 확인할 수 있다. 그러므로 상위 50% 데이터 개수는 전체 데이터 개수의 권선구가 54%, 영통구가 56%, 장안구가 31%, 팔달구가 43%임을 파악할 수 있다. 이로부터 상위 50% 데이터의 구성에서 큰 차이가 없음을 알 수 있다.

Table 12. Number of distinct speeds

Area	Count	Top 50% of data	Percentage(%)
경기도 수원시 권선구	162	88	54
경기도 수원시 영통구	55	31	56
경기도 수원시 장안구	32	10	31
경기도 수원시 팔달구	62	27	43
Total Sum	311	156	50

위와 같이 구성된 데이터의 위·경도 자료를 표시하여 클러스터링을 진행하였다. 이론적으로 증명된 DBSCAN

의 입력 파라미터 MinPts와 Eps는 구할 수 없어, 주관적인 Heuristic method을 이용해 MinPts를 5로, Eps를 0.005로 두어 DBSCAN을 진행하였다. 그리고 계산된 밀도 값을 입력받아 밀도가 0.8보다 크면 'Red'를 반환하고, 0.5보다 크면 'Orange'를 반환하며, 그 외의 경우에는 'Green'을 반환하게 하였다.

본 연구를 통해 속도에 대한 표준편차가 높게 발생하는 포인트 자체는 다른 지역구에 비해 팔달구가 많다고 볼 수 없으나, 클러스터링 결과로 판단하였을 때 혼잡 포인트의 군집이 잘 나타나있음을 확인할 수 있었다. 상업·업무용 시설 데이터를 분석하였을 때, 팔달구 내부에서는 수원역 및 매산로 일대, 동수원사거리 일대, 농수산시장사거리 일대에서 포인트가 군집됨을 확인할 수 있었다. 또한, 팔달구 내 공원, 방송국 및 재개발 지역을 제외한 전 지역에서 상업·업무용 시설이 분포되어있음을 확인하였다.

팔달구 이외의 모든 지역구에서는 팔달구에 인접한 지역에서 표준편차가 높은 포인트들이 군집됨을 확인할 수 있었다. 장안구에서는 10개의 포인트가 발생하였으나, 팔달구에 인접한 이유로 팔달구 지역으로 군집되어 장안구 내에는 군집되지 않았음을 파악했다. 그러므로 장안구에서는 경수대로 일대 및 영화동 지역에 상업·업무용 시설이 분포되어있으나 이와 관련해서 해석할 수 없었다.

서수원 지역은 권선구청삼거리에서 혼잡 포인트가 군집되었으며, 서수원버스터미널 주변에서도 포인트가 군집됨을 확인하였다. 특히 고색동에 위치한 수원제3일반산업단지에서 다수의 포인트가 군집되어있음을 확인할 수 있었다. 이처럼 권선구는 지역의 대부분이 경부선 서부에 위치해있기 때문에 경부선 동부에 위치한 권선구 지역(권선동, 세류동, 곡선동 등)은 면적이 작다. 따라서 군집할 포인트 자체가 적다. 이러한 점을 감안하였을 때, 남수원중학교를 중심으로 많은 포인트가 군집됨을 확인할 수 있었다. 상업·업무용 시설 데이터를 분석하였을 때, 권선구는 탑동-구운동, 매송고색로 일대에 시설이 분포되어있으며, 팔달구 인계동과 인접한 권선동에도 상업·업무용 시설이 분포됨을 확인할 수 있었다.

영통구에 대해 광고 신도시와 영통구 남부 지역을 분리하여 파악하였을 때, 광고 신도시에서는 광고중앙역과 센트럴파크로사거리에서 혼잡 포인트가 군집되어있음을 확인하였다. 영통구 남부에서는 영통동에서 일부 포인트의 군집을 확인하였으며, 팔달구와 인접한 매탄동 신매탄사거리와 원천동 관터사거리에서 혼잡 포인트가 군집되었음을 확인하였다. 상업·업무용 시설 데이터를 분석하였을 때, 영통동 내부에서 시설이 밀집되어있었으며, 팔달구 인계동과 인접한 매탄동에서 많은 시설의 밀집을 확인할 수 있었다.

팔달구 주변에는 교통 혼잡 지점들이 밀집되어있어 클러스터링 결과에서 더 높은 밀집도를 나타내고 있음을 파악하였다. 이는 팔달구 주변에서 교통체증이 자주 발생한다는 것을 시사하며, 혼잡 통행료를 징수할 지역으로 팔달구를 선정하는 데 유용한 정보로 활용될 수 있다고 파악하였다. 또한 상업·업무용 시설도 팔달구에 많이 위치해있으며, 타 지역구(권선구, 영통구, 장안구)에서도 팔달구와 인접한 지역에서 상업·업무용 시설 밀집도가 높음을 확인할 수 있었다. 분석 결과, 속도 데이터와 상업·업무용 시설 밀집도 모두 팔달구 및 인근 지역에서 교통 혼잡이 발생하고 있음을 나타내었다. 따라서 Cordon Method에 따라 팔달구 전 지역에 혼잡통행료를 부과할 수 있다고 판단되었다.

본 연구는 COVID-19로 인한 팬데믹에 의한 사회적 거리두기의 영향에 따라 교통량이 감소함을 고려하여 2019년의 자료만 이용하였다. 그러나 이는 최근 도로의 상황을 반영하지 않아 한계가 발생하며, 속도의 표준편차만으로 혼잡도를 판단하는 것에도 한계가 있다. 이러한 제약으로 향후 다양한 지표를 고려하여 혼잡도를 낮추기 위한 보완 연구가 필요하다. 또한 Cordon 방식으로 징수하기 위해서는 여러 인프라와 법적, 제도적 조치가 필요하다. 예를 들어, 번호판을 객체로 인식하여 혼잡통행료를 부과하는 방식을 도입하는 것도 고려해볼 수 있다. 수원시의 혼잡통행료를 징수하는 경우, 해당 도로 이용에 요금이 부과되므로 일부 운전자들이 대중교통으로 수단을 전환하거나 첨두 시간대인 오전 7시부터 오후 9시

까지 시간대를 피해 도로 혼잡도가 감소하는 추세를 기대해볼 수 있다. 또한 혼잡통행료를 징수함에 따라 도로상 차량 수를 감소시켜 대기질 개선을 도모할 수 있다. 혼잡통행료를 징수하는 정책은 국가적인 의사 결정인 만큼 시민 참여도를 높이는 것이 중요하다. 이는 통행자의 통행요금에 대한 수요탄력성과 대중 교통 수단으로의 전환율 등을 검증할 수 있는 실증적인 연구를 진행할 필요가 있다. 더 나아가 통행료 금액적인 부분과 징수 대상 차량 등이 법적 및 제도적 틀에서 명확히 규정되어야 한다. 특히, 수원시 팔달구 부근에 Cordon 방식으로 혼잡통행료를 실시함에 따라 해당 지역의 거주민들에 대한 혼잡통행료 면제나 감면 등에 대해 알아볼 필요성도 있다.

이러한 내용을 고려하여, 팔달구 지역과 인근 지역의 교통 혼잡 개선을 위해 혼잡통행료 징수 방안을 검토하고, 향후 추가적인 연구와 법적, 제도적인 대책을 마련하는 것이 필요하다. 이를 통해 도로 혼잡 문제를 해결하고 시민들의 이동 편의성과 교통 효율성을 향상시킬 수 있다.

## REFERENCES

- Ahn G. J., Koh J. H. (2012), The Effectiveness of Road Pricing Policy in Seoul and its Future Development, The Seoul Institute, 1-182.
- Ester, M., Kriegel, H. P., Sander, J., Xu, X. A density-based algorithm for discovering clusters in large spatial databases with noise, kdd. Vol. 96, University of Munich, 226-231.
- Etoday (2023), <https://www.etoday.co.kr/news/view/2245665>, Accessed May. 31. 2023.
- Hwang S. G. (2002), Development and Utilization Strategy of Urban Traffic Congestion Index (Phase 1), Research Series, 2002-03, Korea Transport Institute, 5-30.
- Jiang X., Kim H. Y. (2018), A Study on Congestion Toll Pricing: The Case of Beijing, China, Journal of the Economic Geographical Society of Korea, The Economic Geographical Society of Korea, 107-118.
- Jo H. S., Park I. G., Lee D. M., Park J. S. Improvement of Traffic Congestion Cost Estimation Method, Summary of the 2007 Research Findings, Korea Transport Institute, 3-5.
- Kim. C. B. (2023), Traffic volume of Namsan Tunnel 1 and 3 increased by 13% after the congestion toll exemption, E-TO-DAY, 2023
- Kim. M. J., Kim. A. R., Woo. B. R., Jeong. D. H., Kim. H. K. (2020), Establishment of temporal-spatial range for congestion pricing, The Korea Institute of Intelligent Transport Systems, Dong-A University, 1-7.
- KOSIS (2017), [https://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=101&tblId=DT\\_1B040A3&checkFlag=N](https://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=101&tblId=DT_1B040A3&checkFlag=N), Accessed May. 31, 2023.
- Lee. H. G. (2003), The Lesson of London Congestion Toll, Korea Research Institute for Human Settlements, 91-98.
- Lee S. B., Kim J. M., Cheon S. H. Recurrent Congestion Severity Priority Analysis Methodology Based On Mobility Big-Data, Journal of Korean Society of Transportation 39.2(2021), Korean Society of Transportation, 164-176.
- Lee S. I., Cho D. H., Sohn H. K., Chae M. O. (2010) A GIS-Based Method for Delineating Spatial Clusters : A Modified AMOEBA Technique
- Stackoverflow(2012), <https://stackoverflow.com/questions/12893492/choosing-eps-and-minpts-for-dbscan-r>, Accessed June. 13, 2023.