

화성시 버스 정류장 효율성 기반 버스 네트워크 최적화

13. Dec. 2019

길영재, 조수경, 이주희, 박재민



Contents

1. Introduction
2. Proposed Approach
3. Experimental Results
4. Conclusion



화성시의 급속한 성장에 따라 나타난 동탄 교통문제

화성 내 신도시
개발로 인한
인구 유입 증가

동탄을
중심으로
나타난 신도시
교통문제

시민 체감형 버스교통
개선 방안

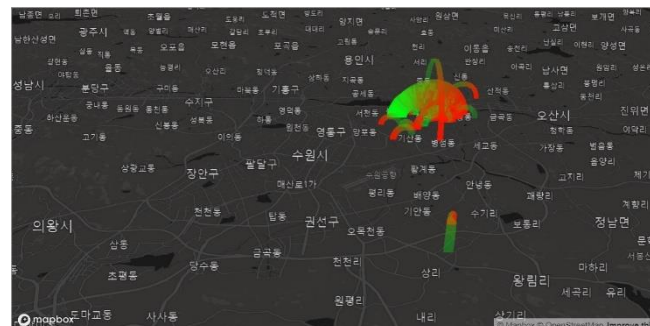


그림 1. 화성시 내 **출근시간** Top 30 버스 이용량:
대부분 동탄 신도시에 집중되어 있음

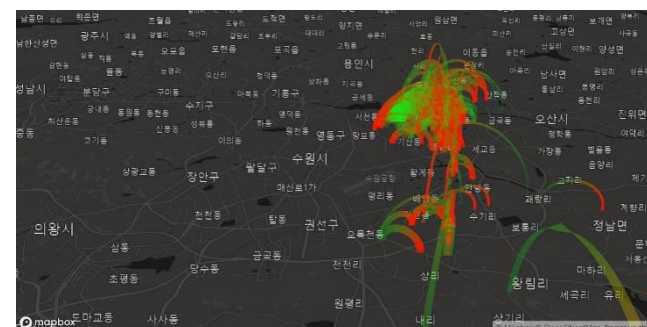


그림 2. 화성시 내 **출근시간** Top 300 버스 이용량:
대부분 동탄 신도시에 집중되어 있음

동탄을 중심으로 화성 내 신도시에 교통문제가 심각하게 나타나고 있음

- 신도시 건설과 함께 급속한 인구 유입 추세

버스교통 개선은 버스 이용량이 많은 화성 내 신도시 시민들의 체감 교통문제를 완화할 수 있음

- EDA를 통해 확인한 화성시내 버스 이용량을 보면, 교통문제가 심각한 동탄 주민들의 버스 이용량이 높은 것을 확인할 수 있음 (그림 1 & 2)

화성시 버스 네트워크 효율 최적화를 통한 시민 체감형 버스교통 개선

- ❑ 버스교통 최적화를 위해서는 '(1)버스 정류장 최적화' 이후 '(2)버스 노선 최적화'가 이루어져야 효율적인 분석이 가능함

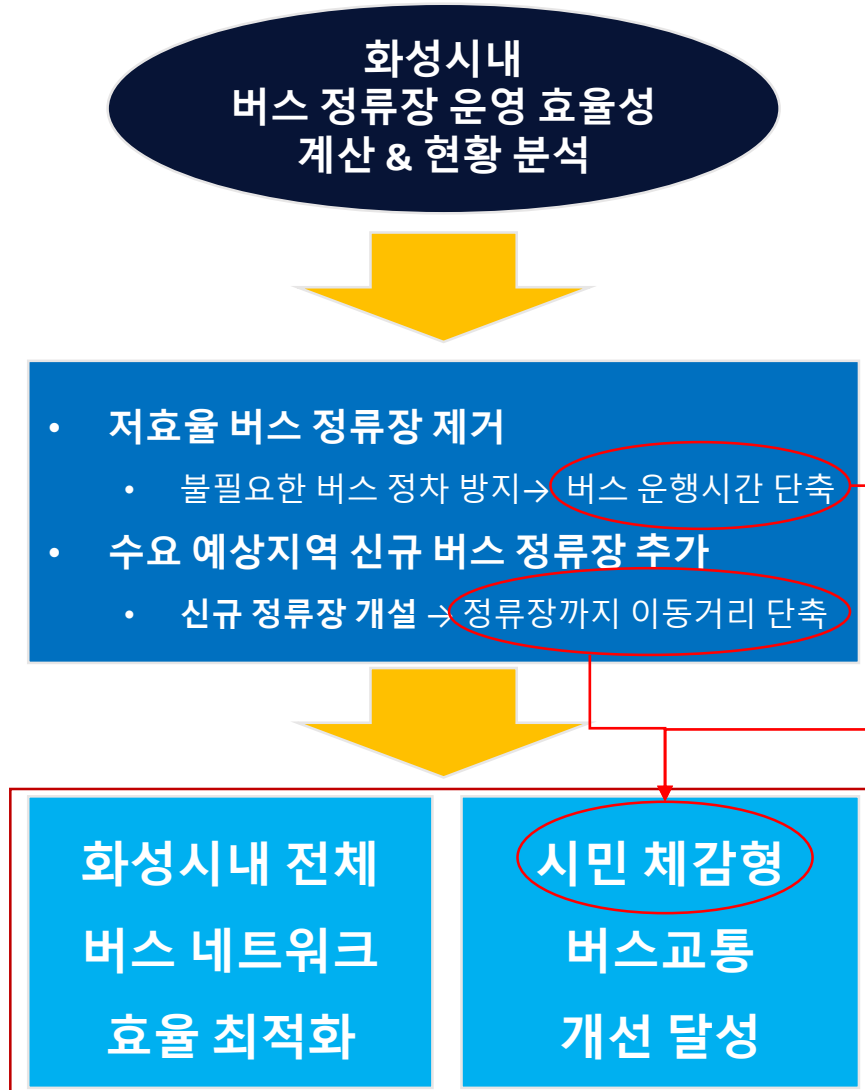
- 기존 버스정류장에 대한 최적화 이후, 그를 기반으로 버스 노선을 최적화해야 최적의 버스교통 개선이 가능함
- 비효율적으로 설치된 버스 정류장을 중심으로 한 버스노선 최적화는 좋은 결과를 보장할 수 없음

- ❑ 본 팀에서는 분석 모델링 목표를 '화성시내 버스 정류장 네트워크 최적화'로 설정하고 분석을 진행하였음

- 화성시내 버스 정류장 별 운영 효율성 계산 & 현황 분석
- 저효율 버스 정류장 제거/ 수요 예상지역 신규 버스 정류장 추가를 통한 화성시내 전체 버스 네트워크 최적화

- ❑ "시민 체감형" 버스교통 개선을 위해 저효율 버스 정류장 제거 & 신규 버스 정류장 신설 방안을 분석 결과로 제시하였음

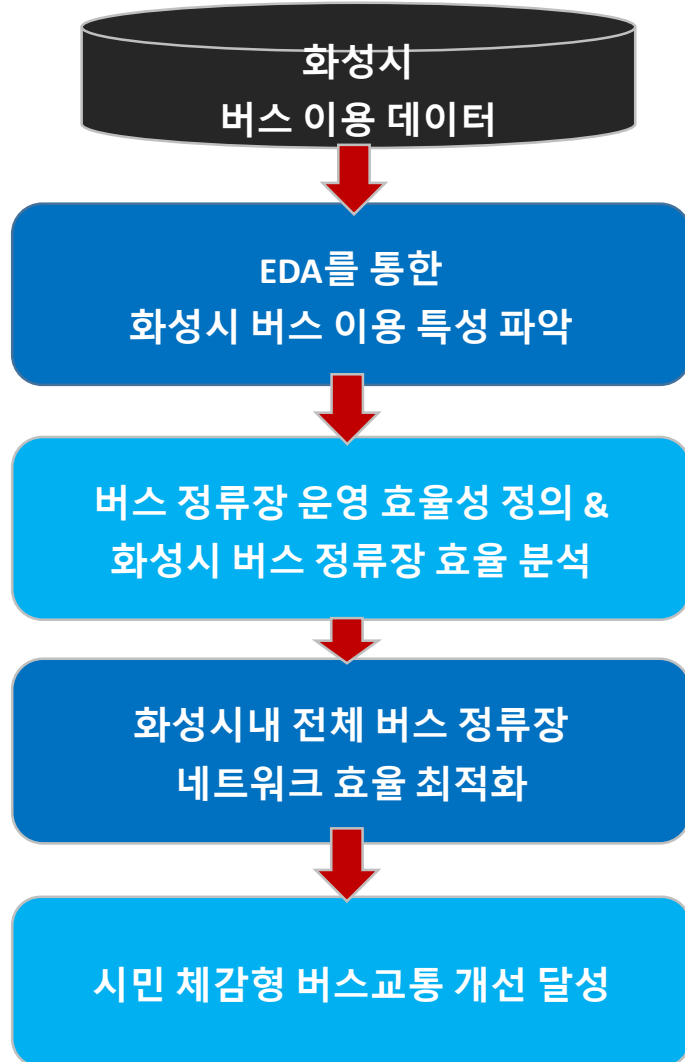
- ❑ 본 분석에서는 분석 속도 등의 제약으로 '출근시간 화성시 전체 데이터'를 활용하여 분석을 진행하였음



2. Proposed Approach

최신 버스 네트워크 효율 최적화 방법론* 활용하여 시민 체감형 버스교통 개선

*Source: Dong, P., Li, D., Xing, J., Duan, H., & Wu, Y. (2019). A Method of Bus Network Optimization Based on Complex Network and Beidou Vehicle Location. Future Internet, 11(4), 97.



☑ 활용데이터:

- 출근시간(07:00 ~ 09:00) 화성시 전체 버스 데이터

☑ OD 분석을 통한 화성시 버스 이용 특성 파악

- 이용량 기준 상위 30 노선 파악 - 시민 체감 민감도가 높은 지역 파악

☑ *(Dong et al., 2019)에서 제시된 버스 네트워크 효율성을 활용하였음

- '버스 정류장 별 버스 탑승객 수', '버스 탑승객의 Travel time'을 활용하여 버스 정류장 효율 분석 수행 및 현황 파악

☑ (Dong et al., 2019)에서 제시된 버스 네트워크 최적화를 위한 휴리스틱 방법론을 활용하여, 화성시 버스 네트워크 효율을 최적화 하였음

- (저효율 버스 정류장 제거 + 수요 예상지역 버스 정류장 신설) 을 통해 화성시 전체 버스 네트워크 효율 최적화

☑ 저효율 버스 정류장 제거를 통한

- '저효율 버스 정류장 제거 + 수요 예상지역 버스 정류장 신설'을 통해 화성시 전체 버스 네트워크 효율 최적화
- 버스 이용 효율 최적화를 통한 시민들의 체감 버스교통 효율 개선

2. Proposed Approach

분석 방법론의 기술적 설명

- ✓ 본 분석에서는 버스 정류장 간의 관계를 확인하기 위해 Adjacency matrix로 버스 네트워크를 나타내었음
- ✓ 본 분석의 핵심은 적절한 버스 정류장 운영 효율성 정의 및 계산이며, 버스 정류장의 운영 효율성 W_{ij} 는 다음과 같음

$$W_{ij} = \frac{x_{ij}}{t_{ij}(1 + \lambda(\frac{x_{ij}}{x_{max}})^{\omega})}$$

- x_{ij} 는 i 정류장에서 j 정류장으로 간 탑승객 수이고, t_{ij} 는 버스 탑승객의 travel time, λ, ω 는 모델 교정 매개변수임

- ✓ 최적화 이전의 전체 버스 정류장 운영 효율성 $Eff_0(G)$ 은 다음과 같이 정의됨

$$Eff_0(G) = \frac{1}{n(n-1)} \sum_{i \neq j \in G} W_{ij}$$

- ✓ 버스 정류장 운영 효율성 하위 약 32%에 대해 효율성 최적화 수행

1. 저효율 버스 정류장 제거 시
전체 정류장 효율 변화율

2. 수요 예상지역 버스 정류장 신설 시
전체 정류장 효율 변화율

$$\Delta Delete_i = \frac{Eff(G + E_{ij} - E_{ik} - E_{kj}) - Eff_0(G)}{Eff_0(G)} \quad \Delta Add_i = \frac{Eff(G - E_{ij} + E_{ik} + E_{kj}) - Eff_0(G)}{Eff_0(G)}$$

2. Proposed Approach

분석 방법론의 기술적 설명

✓ 본 모델의 분석 절차는 다음과 같음:

1. 버스 정류장들로 구성된 Adjacency matrix 구축
2. 제공된 데이터 전처리를 통한 Missing value 제거
3. 전처리 데이터를 바탕으로, 정류장의 x_{ij} , t_{ij} 값을 구하여, 화성시 전체 각 정류장에 대해 운영 효율성, W_{ij} , 계산

$$W_{ij} = \frac{x_{ij}}{t_{ij}(1 + \lambda(\frac{x_{ij}}{x_{max}})^{\omega})}$$

4. 화성시 전체 버스 정류장 운영 효율성, $Eff_0(G)$, 계산

$$Eff_0(G) = \frac{1}{n(n-1)} \sum_{i \neq j \in G} W_{ij}$$

5. 효율성 기준 하위 30%에 대해, 버스 정류장 제거/추가를 통한 효율 최적화

$$\Delta Delete_i = \frac{Eff(G + E_{ij} - E_{ik} - E_{kj}) - Eff_0(G)}{Eff_0(G)}, \Delta Add_i = \frac{Eff(G - E_{ij} + E_{ik} + E_{kj}) - Eff_0(G)}{Eff_0(G)}$$

6. 최적화된 화성시 전체 버스 정류장 운영 효율 확인

	233000001	233000002	233000003	233000004	233000005	233000006	233000007	233000008	233000009	233000010	...	233003154	233003155
233000001	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	...	0.0	0.0
233000002	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	...	0.0	0.0
233000003	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	...	0.0	0.0
233000004	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	...	0.0	0.0
233000005	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	...	0.0	0.0
...
233003147	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	...	0.0	0.0
233003148	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	...	0.0	0.0
233003149	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	...	0.0	0.0
233003152	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	...	0.0	0.0
233003153	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	...	0.0	0.0

그림 3. Adjacency matrix 초기값 형태:
버스 정류장 간의 관계가 나타남

버스 정류장 운영 효율 최적화 결과

✓ 활용된 데이터:

- 화성시 전체 버스 정류장/노선 오전 7시~9시 데이터 활용

✓ 계산된 Adjacency matrix form 형태

✓ 화성시 전체 각 정류장에 대해 운영 효율성, w_{ij} , 분석 결과

- 화성시 전체적인 운영 효율성 plotting:
- 버스 정류장 운영 효율성 기준 하위 약 32% 지역:

✓ 버스 정류장 운영 효율성 해석:

- 운영 효율 w_{ij} 가 낮은 지역은 두 가지 경우 중 하나에 해당될 수 있음
 - 해당 버스 정류장 이용율이 낮은 경우
 - 버스 운행 간 교통체증이 심한 경우

✓ 최적화를 통해 삭제되거나 추가된 정류장 산출

✓ 최적화를 통해, 화성시 전체 버스 정류장 운영 효율성 증대 및 버스노선 굴곡도 감소

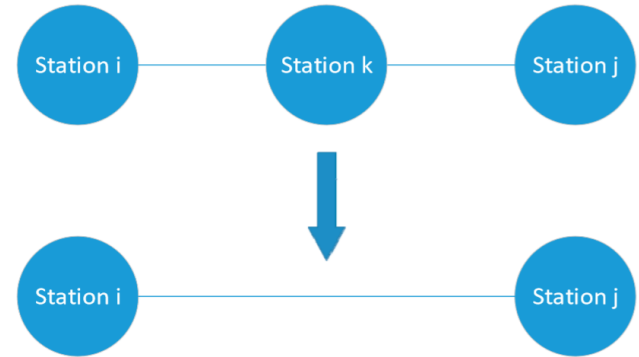
✓ 시민들의 출발지~목적지까지의 버스 탑승 시간 실질적 감소

3. Experimental Results

동탄면에서 화성시 내부로 이동 효율 증가

❑ 동탄면 주민 사람들이 원활히 화성시 내부로 이동할 수 있게 기존 버스 라인을 간략화 해야함.

- 각 버스 라인 별 효율이 가장 작은 버스 정류장 삭제
- 계산된 Efficiency 를 가지고 버스 정류장 삭제
(참조 테이블)



**하위 30% 효율
저효율 버스 정류장 - 최적화 대상**

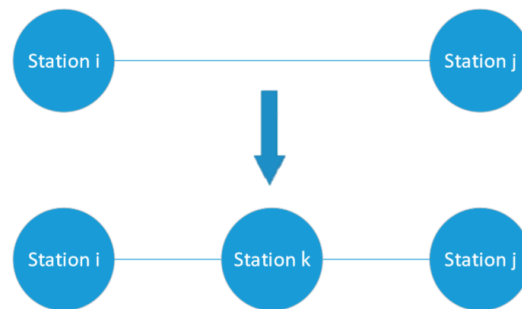
지역	버스 정류장 효율성	지역	버스 정류장 효율성
경기도 화성시 장안면	1.09E-19	경기도 화성시 황계동	0.018013532
경기도 화성시 마도면	2.14E-06	경기도 화성시 영천동	0.020688044
경기도 화성시 우정읍	5.73E-06	경기도 화성시 매송면	0.023521598
경기도 화성시 서신면	5.26E-05	경기도 화성시 능동	0.025293639
경기도 화성시 반정동	0.000333598	경기도 화성시 정남면	0.028114109
경기도 화성시 송산면	0.000456249	경기도 화성시 비봉면	0.030093139
경기도 하남시 신장동	0.001900862	경기도 화성시 봉담읍	0.039787379
경기도 화성시 양감면	0.004895125	경기도 화성시 기산동	0.041430455
경기도 화성시 향남읍	0.007336005	경기도 화성시 기안동	0.046865309
경기도 화성시 동탄면	0.010600125	경기도 화성시 병점동	0.049253206
경기도 화성시 안녕동	0.011869631	경기도 화성시 석우동	0.058594196
경기도 화성시 팔탄면	0.015107801	경기도 화성시 반송동	0.064969463
경기도 화성시 진안동	0.015527413	경기도 화성시 송산동	0.086322226
경기도 화성시 반월동	0.017172868	경기도 화성시 오산동	0.124200223

3. Experimental Results

화성시 내부에서 동탄면 이동 효율 증가

☑ 화성시내에서 동탄면 주민 사람들이 원활히 화성시 중심부로 이동할 수 있게 기존 버스 라인을 간략화 해야함.

- 효율이 가장 큰 버스 정류장 추가 (참조 그림)
- 계산된 efficiency 를 가지고 x 버스 정류장 추가 (참조 테이블)

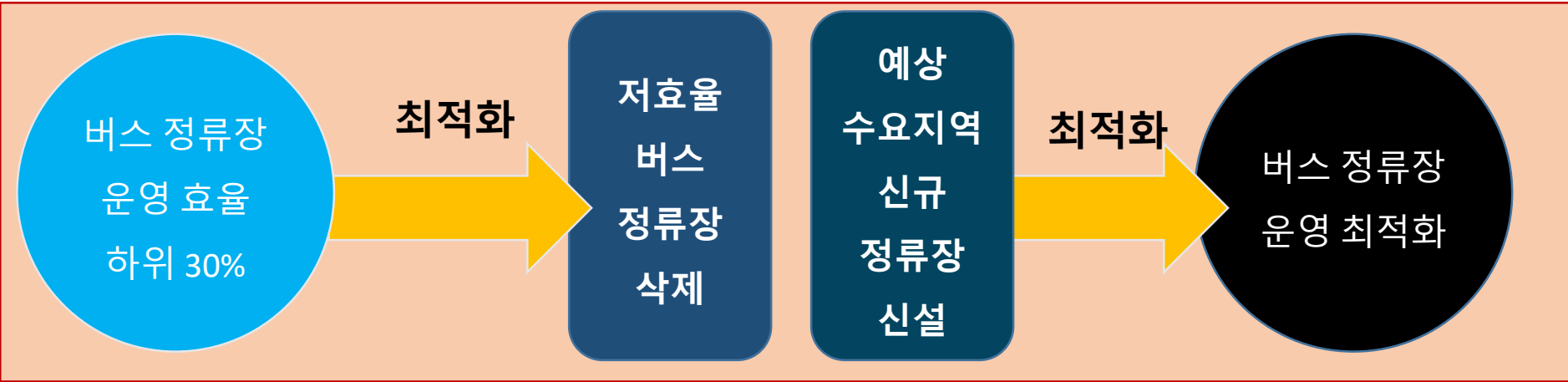


**하위 30% 효율
저효율 버스 정류장 - 최적화 대상**

지역	버스 정류장 효율성	지역	버스 정류장 효율성
경기도 화성시 장안면	1.08655E-19	경기도 화성시 반월동	0.020621341
경기도 화성시 마도면	1.37519E-06	경기도 화성시 석우동	0.021622959
경기도 화성시 우정읍	5.73446E-06	경기도 화성시 황계동	0.022242357
경기도 화성시 서신면	6.48619E-05	경기도 화성시 매송면	0.023279857
경기도 화성시 송산면	0.000456249	경기도 화성시 비봉면	0.025653558
경기도 화성시 반정동	0.001658503	경기도 화성시 정남면	0.027789755
경기도 하남시 신장동	0.003635499	경기도 화성시 능동	0.028535589
경기도 화성시 양감면	0.005489232	경기도 화성시 반송동	0.03339567
경기도 화성시 향남읍	0.007366637	경기도 화성시 기산동	0.040414914
경기도 화성시 동탄면	0.010035951	경기도 화성시 봉담읍	0.042701875
경기도 화성시 안녕동	0.011408473	경기도 화성시 기안동	0.046829357
경기도 화성시 팔탄면	0.012490316	경기도 화성시 송산동	0.057852949
경기도 화성시 진안동	0.014204933	경기도 화성시 병점동	0.109208241
경기도 화성시 영천동	0.019419949	경기도 화성시 오산동	0.139333245

3. Experimental Results

화성시 전체 버스 정류장 운영 효율성 최적화 결과



Efficiency
=0.01815349

Efficiency
=0.018090987

Efficiency
=0.01890104

Efficiency
= 0.01890104

- 삭제된 정류장:
[233002443, 233002443, 233001649, 233001636, 233001649, 233001636]
- 추가된 정류장:
[233000702, 233000100] 사이 4개 신설
[233002419, 233002420] 사이 1개 신설
[233001166, 233001493] 사이 3개 신설
[233003084, 233000979] 사이 2개 신설
[233000115, 233001212] 사이 1개 신설
[233002032, 233002031] 사이 1개 신설

화성시
전체
효율성
개선

전반적인
굴곡도
개선

ROUTE_ID	굴곡도	굴곡도 _org	노선 명
0 233000128	1.17736	1.25356	712 [12 0]
1 234001568	2.3935	2.24734	721 [12 0]
2 233000130	2.86325	2.9388	73-1
3 233000131	4.33137	4.88004	6001 [1 0]
4 234001570	3.03795	2.84144	116- 2 [1 0]
5 233000134	1.75639	1.87767	1001
6 233000266	4.33137	4.88004	6003 [1 0]
7 233000144	1.90598	1.93242	202 [12 0]
8 241317010	3.69902	3.84241	H1

본 팀의 분석 결론 및 기여점

정책 관련성: 시민들이 실제 체감가능한 해결책 개발

- 시민들의 실질적으로 체감할 수 있는 교통 체증 개선을 위해 최적화 결과에 버스 탑승 시 운행시간 단축, 버스 정류장까지 이동 거리 단축이 반영될 수 있도록 버스 정류장 운영 효율 최적화를 하였음

실현가능성: 개발된 알고리즘은 정책수립을 위한 실질적 활용 가능

- 본 팀은 버스교통 최적화 분석 단계를 고려하여, 선행되어야 하는 버스 정류장 최적화 알고리즘을 제안하였음
- 추가적인 데이터만 확보된다면, 제안된 모델로 화성시내 버스교통 효율에 대한 현황 평가 및 개선책을 개발할 수 있음

공공 활용성: 데이터 기반의 버스교통 운영 효율 지수는 정책 입안 시 합리적 의사결정 보조자료로 활용 가능

- 버스 정류장 개선을 위해서는 버스 회사들 간, 인근 지자체 간 이해 관계들이 얽혀 있기 때문에, 데이터에 기반한 객관적인 버스교통 운영 효율 지표는 관련한 합리적 의사결정에 도움이 될 것으로 생각됨

데이터 활용성: 주어진 데이터를 결합/재가공하여 분석 목적에 맞게 활용

- 주어진 데이터를 다양하게 결합/재가공하여 분석에 필요한 여러 형태로 변환하여 활용하였음
- 주어진 데이터를 바탕으로 버스 정류장 활용 효율 지표를 제안하였음

데이터 분석 창의성: 버스 정류장 운영 효율 지표의 잠재적인 활용 가능성

- 본 팀은 최신 연구를 참고하여, 화성시의 교통정책 수립에 필요한 '버스 정류장 운영 효율 지표'를 제안하였음
- 제안된 지표는 화성시 교통정책 개발을 위해 다양한 목적으로 다양한 방법으로 활용될 수 있음

4. Conclusion & Future Work

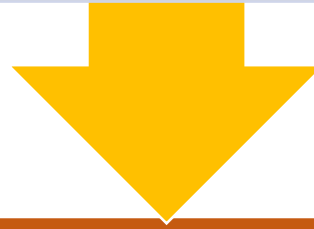
본 모델의 활용 방법 제안 및 추가 분석 방향 제시

충분한 버스교통 데이터를 활용한 버스 교통 분석 수행 필요

제공된 데이터는 3일 간의 교통 정보이기 때문에 매우 제한적인 결론을 낼 수 밖에 없음

버스교통 특성상, 요일/휴일유무/이벤트/날씨 등 여러 변수들이 잠재적으로 버스 교통 패턴에 영향을 미치기 때문임

충분한 데이터를 활용하여 분석을 진행하고 결론을 내려야 할 것으로 생각됨



최적화된 버스 정류장을 바탕으로 '버스 노선 최적화' 분석을 추가적으로 수행해야 포괄적인 버스 교통분석이 가능할 것

버스교통 최적화를 2단계로 나눈다면, '(1) 버스 정류장 최적화, (2) 버스 노선 최적화'로 볼 수 있음

효율적인 버스 정류장 최적화 분석 이후, 그를 기반으로 한 버스 노선 최적화가 수행되어야 함

Thank you

