

도시문제 해결을 위한 솔루션

화성시 최적 시내버스 노선제시

참가자 :

박주희, 박진형, 이성민

(이상 3인)

목차

1. 요약	3
2. 과제 배경.....	4
3. 데이터 수집	5
4. 접근 방법.....	6
5. 해결방안 제시.....	13
5-1. 급행버스 도입에 대한 고찰	13
5-2. 정류장의 미정차에 따른 통행절감 기대시간.....	14
5-3. 급행노선의 도입을 위한 버스노선 분석.....	15
5-4. 급행노선의 도입 분석.....	16
6. 향후 과제 및 결론	19
6-1. 분석의 한계점.....	19
6-2. 향후 과제.....	19
7. 첨부자료	20
8. 참고문헌.....	21

1. 요약

화성시는 경기도 서남부에 위치한 면적 693.92km²의 대도시이다. 경기도 내에서 급속하게 인구가 증가하는 지역이며, 2019년 9월 인구 80만명을 돌파했다. ¹특히 동탄과 병점에 대한 신도시 건설로 인해 인구유입이 적극적으로 이루어지고 있으며 이로 인해 유동인구가 폭발적으로 증가하여 출퇴근 시간에 대한 도로, 교통 정체에 대한 문제가 심각한 실정이다.

이에 시민들의 교통수단인 화성시 버스 노선에 대한 개선안을 제시하는 것이 본문의 목적이며, 본 프로젝트 활용에 주어진 빅데이터와 자료에 대한 분석과 다양한 접근 방법을 통해 해결의 실마리를 제공하고자 한다.

개선안을 제시하기 위해 몇 가지 방법으로 접근해보았다. 도로 인프라를 유지한다는 가정 하에서 특정 구간만을 이동하는 출퇴근 버스 도입, 과밀집 구역에 대한 급행 노선 도입 등 버스의 통행 대수가 늘어나는 방법을 논의하였다.

하지만 분석 집중 대상인 동탄과 병점은 유동인구 밀집 지역으로 도로 인프라가 개선되지 않는 한 버스의 대수를 늘린다는 것은 교통체증을 의미하였다. 이는 곧, 버스의 통행시간을 줄인다면 교통체증이 완화되는 것을 말하며, 현재 버스노선의 변경으로 더 적은 정류장을 운행하는 급행 시스템의 도입이 가장 좋은 해결책이 될 것이라 판단했다.

우리는 급행 시스템 도입에 앞서 어느 구간을 분석 대상으로 선정할지 선택하고, 현 버스노선의 변경을 통해 기존 통행시간 대비 절감율을 확인할 예정이다. 모든 분석은 R로 진행하였으며, 분석 대상의 접근 방법으로는 이용객이 많은 버스나 정류장, 그리고 버스의 속도를 데이터로 계산하여 느린 구간을 분석 대상으로 선정하였다. 절감율의 접근 방법으로는 버스의 정류장 미정차에 따른 절감 기대시간을 산정하여 절감율을 계산한다. 분석의 자세한 설명은 4장, 5장에서 설명하였다.

향후 과제로는 분석을 진행하며, 급행노선의 도입 시 발생하는 한계점이나 차후 분석되어야 하는 부분에 대한 내용을 추가하였다.

2. 과제배경²

화성시는 전국 기초단체 중 가장 공장이 많은 지역이며, 동탄, 병점 등 신도시의 입주로 2018년 한해 동안 인구가 가장 많이 증가한 지자체로 이에 따른 교통문제가 심각한 실정이다. 화성시에서는 시민 체감형 맞춤형 교통대책을 마련하기 위해 '교통대책 TF팀'을 구성하여 다양한 대책을 논의하고 하고 있으며, 실효성 있는 정책마련을 통해 고질적인 교통난 해소에 기여할 수 있도록 노력하고 있다. 이번 과제를 통해 화성 시내 인구와 이동형태를 고려하여 관내 시내버스에 대한 노선 신설이나, 기존 노선의 개선에 대한 제안이 필요하다.

목표

- ✓ 화성시 관내 시내버스의 최적 노선을 제안하여야 한다.
- ✓ 공간정보 기반으로 노선을 제안하여야 한다.

평가항목

- ✓ 정책 관련성, 공공 활용성, 데이터 활용성, 데이터 분석 창의성, 실현 가능성

3. 데이터 수집

본 프로젝트에 활용될 데이터는 공모전 주체인 한국토지주택공사(LH)의 공모전 사이트를 통해 일괄 제시되었다. 주어진 데이터의 파일명과 데이터 요약에 대한 설명은 아래와 같다.

[표 3-1]

유형	데이터	데이터설명	공개여부
csv	PJT001_TripChain.csv	2018년 7월 승차일 기준 1~4일의 버스 카드 태깅 정보	Y
csv	PJT001_stations_table.csv	17~18년 기준, 경기도 버스 정류장에 대한 정보	Y
csv	PJT001_sk_emd_od.csv	2018년 7월 1~4일의 행정동별 이동 인구수 정보	Y
geojson	PJT001_tl_scco_emd.geojson	화성시의 읍면동 정보	Y
geojson	PJT001_h_100m_cell_flow.geojson	2018년 특정일 기준, 100m x 100m 그리드에 시간별 유동인구 정보	N
geojson	PJT001_h_100m_cell_pop.geojson	2019년 기준, 100m x 100m 그리드에 거주인구 정보	Y
geojson	PJT001_moc_link_2018.geojson	2018년 기준 화성시 도로 네트워크 링크 정보	Y
csv	PJT001_routestationinfo.csv	버스노선-정류장 매핑 테이블 정보	Y
csv	PJT001_routestationmapping.csv	버스 노선 매핑 정보	Y

해당 데이터들(특히 csv 파일)이 가지고 있는 분석에 필요한 필수적인 데이터들이 여러 파일에 걸쳐 분산되어 있는 점을 감안하여 효율적인 데이터 관리를 위하여 대표적인 파일 하나로 통합하여 활용하고자 하였다. 이에 PJT001_TripChain.csv 파일에 각 발생 트랜잭션에 대하여 PJT001_stations_table.csv 에 있는 위치정보(경도, 위도 정보)와 정류소명 그리고 정류소 번호를 table join하여 활용하였다.

4. 접근방법

우선적으로 PJT001_TripChain.csv 파일의 발생한 모든 트랜잭션 대한 최초 승차 지역과 최종 하차 지역에 대한 정보를 분석하면 발생한 트랜잭션 데이터가 수원시에 상당수 쏠려 있음(화성시 데이터 비중 17.35%)을 확인할 수 있었다.

이에 전체 발생 데이터에 대한 분석을 진행하게 될 경우 화성시 버스 노선에 대한 개선책 대신 수원시에 초점이 맞추어져 프로젝트의 결론이 날 가능성을 감안, 트랜잭션 발생 지역을 화성시로 한정하여 접근하기로 하였다.

또한, 주어진 버스 노선이 대략 1950개가 넘는 상황에서 개선이 필요한 노선인지 아닌지에 대한 근거 있는 기준을 제시하기 위하여 아래와 같은 수식으로 그 기준을 제시하였다.

[수식 4-1]

$$\text{하루 동안 운행되는 버스 총 대수} \left(\frac{\text{노선 운행 시간}}{\text{배차 간격}} \right) \times \text{버스 정원}(55 \text{명})$$

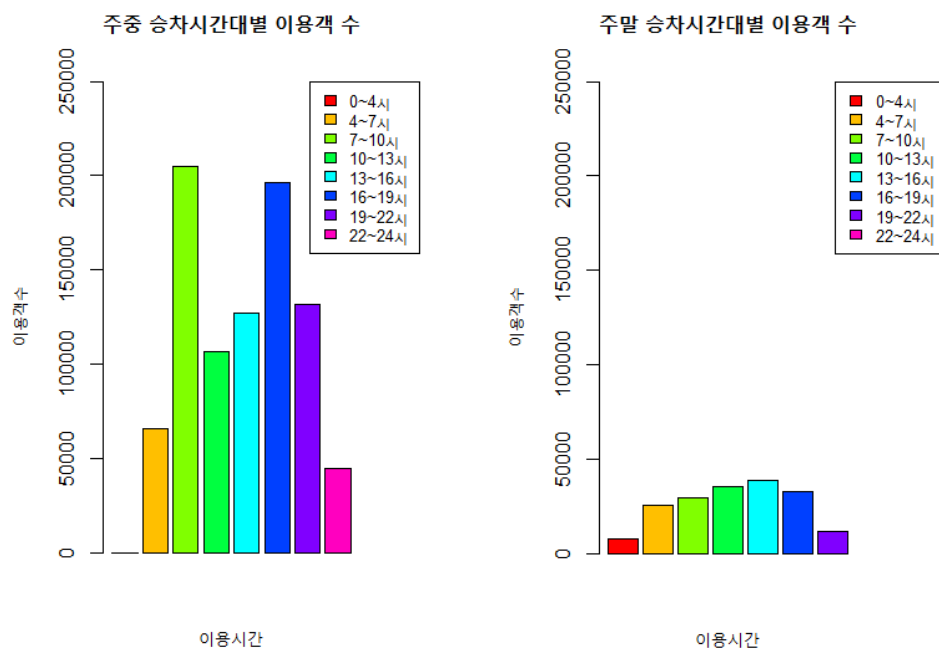
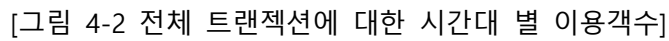
상기의 계산 결과 버스 이용률 관점으로 버스이용의 쾌적도 측면에서 다음과 같은 생각을 해볼 수 있다.

- 1) 교통이 원활하면서 이용률이 낮은 경우
- 2) 교통이 원활하면서 이용률이 높은 경우
- 3) 교통 체증이 발생하면서 이용률이 낮은 경우
- 4) 교통 체증이 발생하면서 이용률이 높은 경우

1)번과 같은 경우 분석 대상에서 과감히 제외하였으며, 2), 3), 4)번의 경우는 모두 교통 개선책에 대해 고민할 필요성이 있는 경우이다. 단, 화성시 버스 노선 전체에 대한 근본적인 해결책을 제시하려면 대대적인 노선 수정과 버스 운행 계획 수정, 시민들의 합의가 필요한 부분이므로 본 프로젝트에서는 4)번 '교통 체증이 발생하면서 이용률이 높은 경우'에 대해서만 접근하기로 하였다.

[수식 4-1]에서 제시한 수식을 기준으로 하루 버스 이용객수가 15,000명 미만인 버스 노선에 대해선 분석 대상에서 제외하기로 하였다.(버스 정원이 버스차량의 모델 별로 조금씩 상이하기 때문에 실제 분석한 데이터는 15,000명에 margin 5%를 주어 14,250명 이상의 범위를 적용함) 또한 아래

[그림 4-1 버스 노선 별 승객 이용객수]



또한, [그림 4-2]에서 볼 수 있듯이, 주중과 주말로 나누었을 때 이용객수 면에서 확연한 차이를 보였으며, 제공 받은 데이터의 발생 트랜잭션이 2018. 07. 01(일)부터 2018. 07. 04(수)에 대한 데이터에 한정되어 있으므로, 우리는 주중 출근 시간에 집중하여 데이터를 분석하기로 하였다.

따라서 하루 버스 이용객수가 15,000명 이상인 버스노선은 아래와 같다.

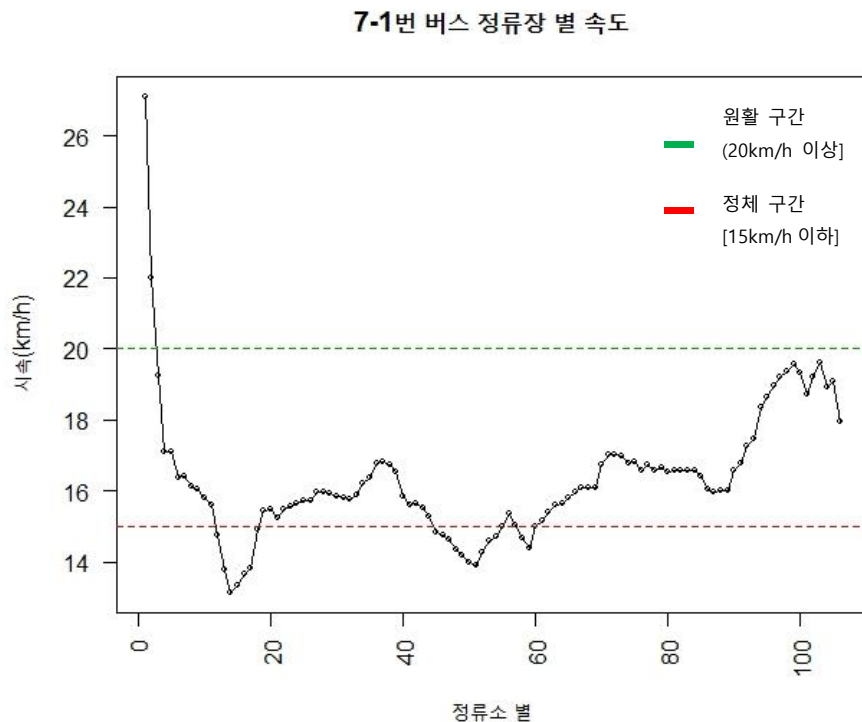
[표 4-1 이용률 상위 21개 버스 노선]

No.	버스노선 ID1	노선번호	총이용객수 (명)	비고
1	41002046	720-2	59732	
2	41031040	62-1	47351	
3	41002045	720-1	41753	
4	41031020	92-1	36850	
5	41027009	301	36793	
6	41031024	13-1	33767	화성시 외 지역
7	41002044	700-2	30093	
8	41027004	900	-28673	화성시 외 지역
9	41036102	3	26284	화성시 외 지역
10	41036108	98	24272	
11	41031108	7-1	22511	
12	41067012	8	21949	
13	41036110	2-1	21830	화성시 외 지역
14	41036111	13-5	21579	
15	41020001	300	20098	
16	41074077	202	19562	
17	41031046	5	19413	화성시 외 지역
18	41036113	99	16737	
19	41008170	30-1	16610	
20	41031004	20	15551	
21	41002090	720-3	14251	

위와 같이 노선 21개로 축소시킬 수 있었는데, 그 중 5개의 노선은 대부분이 화성시 외 지역에서 운행되는 노선임을 확인하여 분석 대상에서 제외하였다. 이에 상기 16개의 노선을 대상으로 정체 구간에 대해 알아보기 위해 PJT001_TripChain.csv 파일에서 환승 이용이 없는 승객을 대상으로 승객의 최초 탑승시간, 최종 하차시간 그리고 이동거리 데이터를 기반으로 아래와 같이 출근 시간(오전 7시 ~ 오전 10시) 버스의 정류소 구간 별 평균속도를 구하였다. 정확도를 높이기 위하여, 평균 속도는 최초 출발정거장 ~ 최종 하차정거장을 순서대로 나열하여 해당 정류소를 지나가는 트랜잭션의 속도 데이터들의 평균을 구하였다. (노선 별 정류장의 평균속도를 계산한 파일은

첨부파일 4-버스노선data 를 참조)

[그림 4-3 7-1번 출근시간 버스의 정류장 별 구간 속도 (sample)]

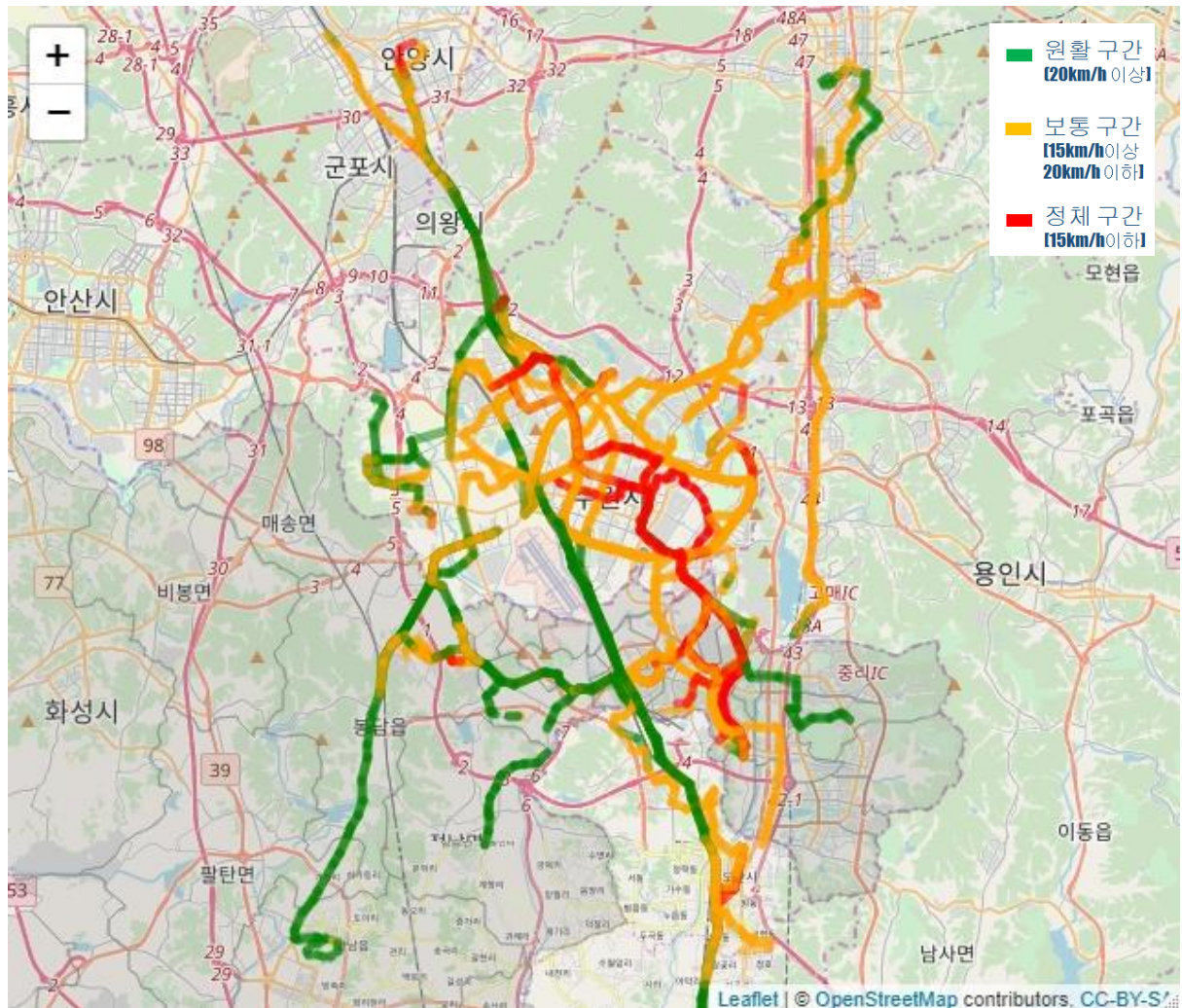


위의 [그림 4-3]은 이용률 상위 16 노선의 순위에 들어가는 7-1번 버스의 출근시간 구간 별 평균 속도를 나타낸 그래프이다. x축은 정류소번호(R프로그래밍의 기능적인 문제로 인해 정류소번호 대신 0부터 총 정류소 개수에 이르는 숫자까지 나열되어 있다.) 그리고 y축은 해당 버스의 평균속도 값을 나타내었으며, 경기도 교통정보 사이트³를 통해 교통의 정체와 원활에 대한 기준 속도가 각각 15km/h 미만 및 20km/h 이상의 속도임을 확인할 수 있었다. 이에 위의 그래프의 점선으로 표시되어 있는 기준속도에 따라 빨간색 점선 아래에 위치하는 속도 구간은 정체, 빨간색과 초록색 점선 구간 사이에 위치하는 속도 구간은 양호, 그리고 초록색 점선 위에 위치하는 속도 구간에 대해선 원활한 속도를 보이고 있음을 이해할 수 있다.

(예시로 든 7-1번 버스 외의 나머지 15개의 노선에 대한 속도 그래프는 첨부파일 4-버스노선data를 참조)

따라서, 우리는 이용률 상위 16 노선들에 대하여, 빨간색 점선 아래에 위치하는 속도 구간에 위치한 정류소들이 어디에 분포되어 있는지 파악하기 위해 R 프로그래밍을 통해 API 지도 위에 표시하였다.

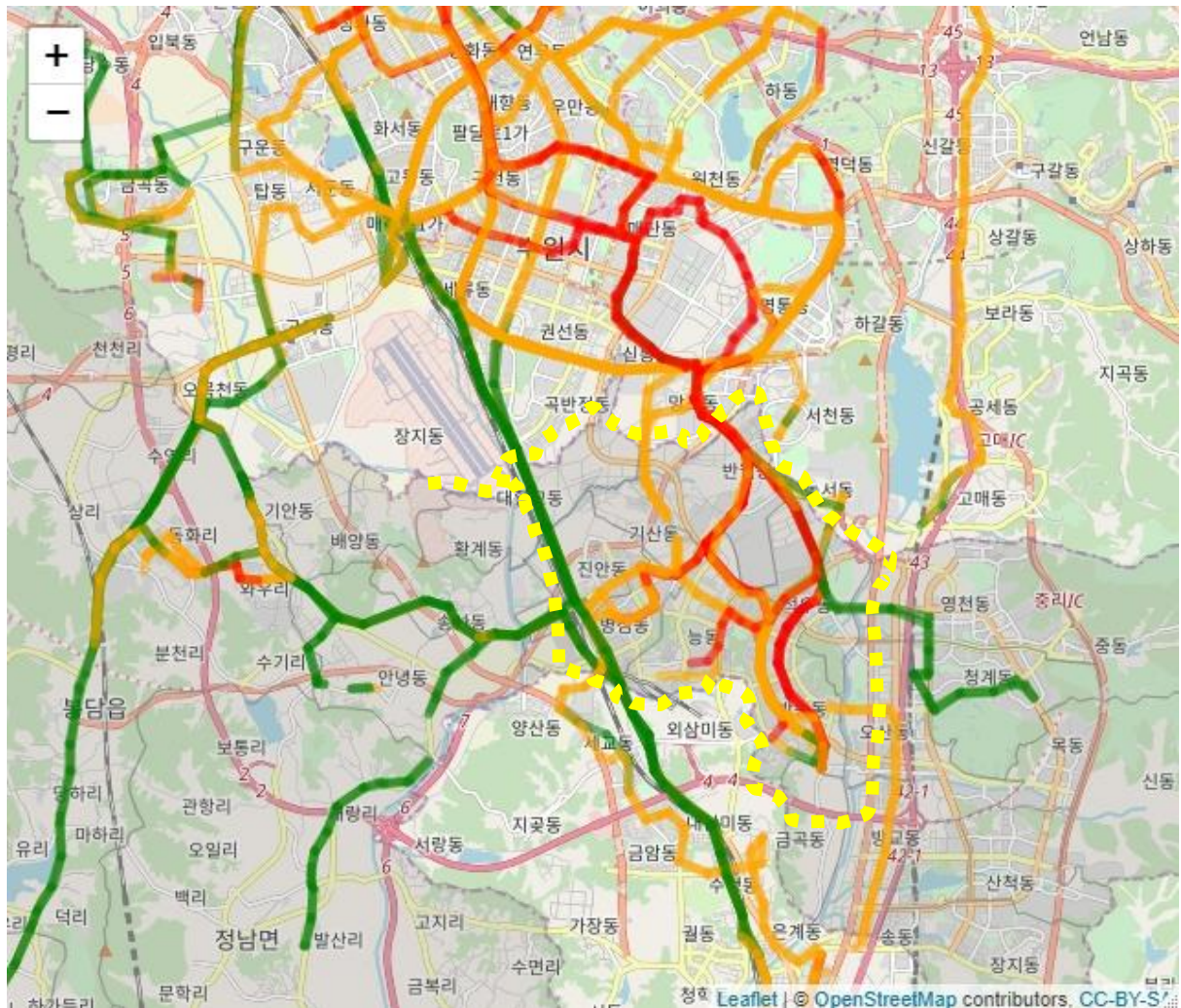
[그림 4-4 이용률 상위 16 노선의 출근시간 정체구간 시각화-1]



버스 노선 별 정류장의 속도 데이터와 정류장의 위도, 경도의 위치 데이터를 활용하여 [그림 4-4]과 같이 표현하였다. 또한 우리는 정체 발생 구역 중 분석 대상 지역 선정에 위해 PJT001_tl_scco_emd.geojson 데이터를 활용하여 화성시의 경계선 위치를 같이 표시하였다. [그림 4-4]의 plot을 통해 해당 노선의 운행 구역 대부분이 수원시 중심지에 분포되어 있음을 확인할 수 있었으며, 이에 따라 개선 대상을 좀 더 추려서 선정할 수 있게 되었다.

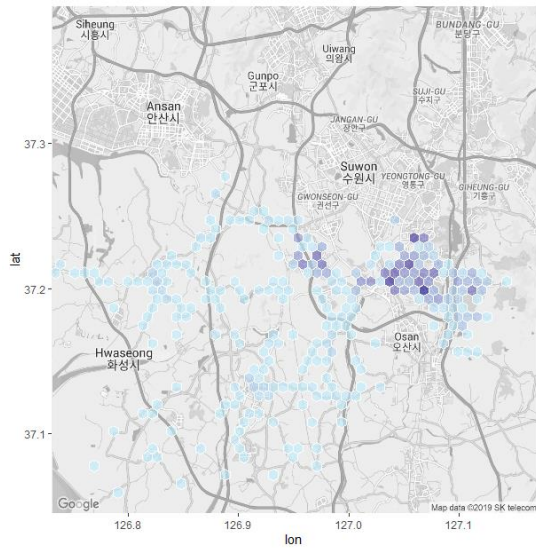
아래는 [그림 4-4]의 plot 중 화성시에 좀 더 초점을 맞추어 확대한 그림이다.

[그림 4-5 이용률 상위 16 노선의 출근시간 정체구간 시각화-2]

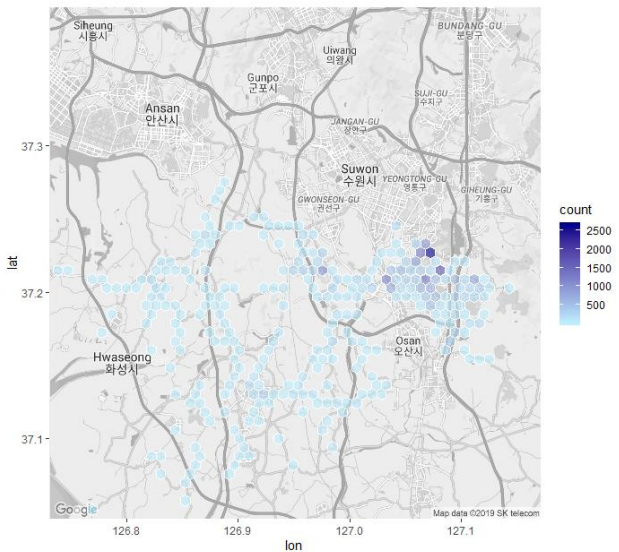


위의 [그림 4-5]를 통해 가장 개선이 시급한 구간을 확인하여 노란색 점선으로 표시하였다. 빨간색으로 표시된 구간의 노선은 92-1, 13-5, 99, 720-3 번 버스이며 대부분 화성시에서 수원시로 향하는 방향의 도로에서 정체가 발생하였음을 확인하였다. 우리는 대상 구간 선정의 정당성을 확보하기 위하여 출근시간 화성시에서 승차하는 승객의 승차와 하차지역의 빈도수를 R 프로그래밍을 통해 hexmap으로 표현해 보았다.

[그림 4-6 화성시 출발 승객의 승차-하차 구역 map]



(출근시간 승객 승차 구역)



(출근시간 승객 하차 구역)

[그림 4-6]의 이용 빈도에 따라 색깔로 구분한 시각화 자료에 따라 출근시간 가장 버스 탑승사건이 많은 지역은 '화성시 반송동 중심부' 였고, 출근시간 가장 버스 하차사건이 많은 지역은 '화성시 반월동 북부지역' 으로 나타났다. 아울러 해당 시각화 자료는 [그림 4-5]의 운행 버스의 정체 구간을 관통하는 노선과도 일치함을 알 수 있었다.

이에 따라 출근시간 교통혼잡을 개선시켜야 하는 대상을 '화성시 반송동-화성시 반월동'을 지나 는 버스 노선으로 확정하기로 하였고, 분석의 범위를 좁혀 세부적으로 확인하기 위해 승객들의 승차와 하차가 많은 정류장을 선정하였다. [그림 4-6]에서 하차가 한 곳(IT 단지, 정류장 번호 37954)로 몰려 있기 때문에, 하차가 많은 지점을 중점으로 하여 승차가 이루어지는 정류장을 확인하였다. 37954번 정류장으로 향하는 대다수의 사람들은 동탄반석로를 통해 이동하였다. 이에 따라, 동탄반석로를 지나 는 92-1번과 13-5번 중 승차가 많이 발생하는 정류장을 확인하였고, 37661번 정류장에서 많이 승차를 하였다.

따라서, 우리의 분석 구간은 37661번 정류장부터 37954번 정류장으로 선정하였다. 해결책에 대한 방법론적인 얘기는 다음장에 기술하였다.

5. 해결방안 제시

5-1 급행버스 도입에 대한 고찰

기존 도로 인프라를 개선하지 않는 한, 버스의 대수가 늘어나는 것은 교통체증을 의미한다. 우리는 버스의 대수가 늘어나는 방식으로 특정 구간만을 이동하는 출퇴근 버스 도입, 과밀집 구역에 대한 급행 노선 도입 등을 논의하였지만, 이에 따른 교통체증의 증감을 고려해야 했다.

만약 교통체증이 높은 구간에 차량의 대수가 증가하는 방법론을 제시한다면 이에 따른 교통체증의 해결책을 함께 제시해야 한다. 다른 버스의 배차 시간을 늘리는 등의 방법으로 교통체증을 감소시킬 수 있지만, 제공받은 데이터를 기준으로 버스의 대수를 늘림으로써 발생하는 기대효과를 측정하기 어려웠다. 따라서, 도시 인프라와 현재 운행중인 버스대수를 유지한 뒤 노선에 급행 시스템(급행버스 노선)을 도입하여 미정차 정류장을 추가 후, 미정차로 인한 절감 시간을 분석하여 최적의 노선을 선정하는 것을 분석 방향으로 잡았다.

현재 노선에서 급행버스 노선으로 변경하기 위해 [그림 4-5]에 정체되는 구간과 [그림 4-6]의 승하차가 많은 구역을 확인하여 특정 지역을 분석하였다. 정체 구간에 포함되는 정류장 중 승하차가 많은 정류장을 추출한 결과로, 승차 정류장(반석초등학교, 이하 37661번)과 하차 정류장(IT단지, 이하37954번)에서 가장 많이 이루어졌다.

한편, 37661번과 37954번 정류장에 해당하는 구간은 도로폭이 좁고 운행하는 차량의 대수가 많기 때문에, 버스를 증대하기 보다는 현 도로 상황에 적절한 방법으로 버스의 통행시간(특정 구간을 이동하는 시간)을 최소화하는 것을 목적으로 하였다. 급행버스 노선의 도입은 도로 상황이 반영되어야 한다고 판단하여 분석 대상인 37661번과 37954번 정류장 기준으로 선정하였다. 해당 구간 내 각 정류장의 승하차 승객들이 많은 것을 파악하였고, 도로폭은 대부분 2차선으로 교통체증이 심한 지역으로 확인됐다.

분석 구간(37661번과 37954번 정류장 구간)의 급행노선 선정을 위한 가정으로는 첫째, 각 정류장의 승객이 많기 때문에 연속된 미정차 정류장(2개 이상의 미정차 정류장)을 선정하지 않는다. 둘째, 미정차 정류장에서는 1대 이상의 버스가 지나가게 하기 위해 적어도 2대의 노선이 지나가게 한다. 또한, 버스노선 간 공유하는 정류장 중 미정차 정류장이 1개라면, 급행노선으로 고려하지 않는다. 만약 1개의 미정차 정류장만 존재한다면 절감 시간이 적을 뿐 아니라 승객에게 혼란만 제공할 것이라 판단하였다.

즉, 상기 가정을 종합하여 분석 대상인 구간에서는 2개 이상의 미정차 정류장을 선정하기 위해서는 연속된 2개의 공유하는 정류장이 필요하며, 2대 이상의 버스가 지나야 한다.

5-2 정류장의 미정차에 따른 통행절감 기대시간

우선, 급행버스 노선 분석에 앞서 각 정류장의 통행절감 기대시간을 구하기 위한 공식을 설명한다.

미정차에 따른 통행절감 기대시간을 계산하기 위해 세 가지 기대시간의 합으로 정하였다. 기대 시간에는 버스 정차 시 발생하는 버스의 가감속 시간, 정류장에서 승하차 시 발생하는 시간, 신호 대기로 인하여 발생하는 시간이 있다. 계산방법은 '교통카드 자료를 이용한 급행버스 노선 및 운영 계획 최적화 방안'⁴ 논문을 참조하였으며, 현 보고서에서는 간략한 설명만 진행한다.

통행절감 기대시간의 수식은 다음과 같다.

[수식 5-1 특정 정류장 미정차에 따른 통행절감 기대시간]

$$\begin{aligned} & \text{버스의 가감속 시간}(a) + \text{정류장에서 승하차 시 발생하는 시간}(b) \\ & + \left(\frac{\sum_{w=1}^{(1-\frac{g}{C}) \cdot C} w}{C} - \frac{\sum_{w=1}^{((1-\frac{g}{C}) \cdot C) - a - b} w}{C} \right) \end{aligned}$$

1. 버스의 가감속 시간은 논문에 기재된 *Robinson(2013)*의 연구결과를 참조하여 11.6초로 설정하였다.
2. 정류장에서 승하차 시에 발생하는 시간은 승차 시 승객 한 명당 2초, 하차 시 승객 한 명당 2.3초 중 더 큰 값을 이용하여 적용하였다. 특정 정류장의 기대시간을 계산하기 위해, 데이터 특성 상 7시, 8시로 나누어 분 단위 승하차 인원수를 체크하였다. 7시, 8시에 발생하는 승하차 테이블을 바탕으로 승객 한 명당 기대시간을 적용하여 계산하였다.
3. 신호대기로 인하여 발생하는 시간은 앞서 설정한 정차시간(가감속 시간, 승하차 시 발생하는 시간)의 절감으로 계산한다. [수식 5-1] 중 정차시간을 제외한 수식을 이용한다. C는 교차로의 평균 주기 길이, g는 주방향 녹색 직진 신호시간, g/C는 주방향 녹색 직진 신호 시간의 비율을 나타낸다. 분석을 위해 논문에 기재된 *수원시(2009)*에서 조사된 17개 교차로의 평균값을 이용하였다. 평균 주기는 162초이며, g/C비는 0.42로 계산하였다.

한편, 앞서 제시한 분석 구간인 37661번 정류장과 37954번 정류장의 평균소요 시간을 계산하였다. 기존 PJT001_TripChain.csv 데이터를 이용하여 평균 시간의 계산이 가능하지만 현재 외의 구간을 분석 시 데이터가 없는 경우가 있을 것이라 판단되어, [그림 4-3]의 속도를 기준으로 평균소요 시간을 계산하였다. 계산결과 약 1002.8초의 시간이 걸리는 것을 확인하였다. 급행노선 도입 시 1002.8초에서 통행시간 절감만큼의 시간이 감소될 것이라 기대한다.

5-3 급행노선의 도입을 위한 버스노선 분석

급행노선의 도입 가능 여부를 판단 하에 앞서 분석을 진행하였다. 우선, 버스 노선의 순서를 확인하기 위하여 버스노선정보의 데이터를 수집하였다. 그 후 37661 정류장(92-1번, 13-5번) 또는 37954 정류장(92-1번, 13-5번, 99번, 720-3번)을 지나는 버스를 확인하여 하기와 같이 데이터를 얻었다.

[표 5-1 분석구간 내에 통행하는 노선]

버스번호	92-1 번	13-5 번	99 번	720-3 번
노선번호	41031020	41036111	41036113	41002090

위 [표 5-1]와 같이 지정된 두 정류장을 지나는 버스는 버스번호 92-1, 13-5, 99, 720-3번 인 것을 확인했다. 데이터를 기준으로 13-5번 버스와 92-1, 99, 720-3번 버스의 공유하는 정류장이 있는지 하기와 같이 확인하였다. [표 5-2]은 15번 이후 데이터는 보고서에 추가하지 않았다.

[표 5-2 13-5번 버스를 기준으로 공유하는 정류장]

	92-1 번	99 번	720-3 번
1	36670	36405	4090
2	36676	36408	36512
3	37661	36683	36396
4	37662	36414	36405
5	37852	37760	36408
6	36995	.	36683
7	37694	.	36414
8	37695	.	.
9	37711	37712	.

	92-1 번	99 번	720-3 번
10	37712	37864	.
11	37864	37954	37864
12	37954	55253	37954
13	55253	36406	55253
14	36406	36399	36406
15	36399	36393	36399

우리는 [그림 4-5]의 분석 구간 중 승차가 가장 많은 37661번 정류장을 포함해야 하며, 해당 정류장은 [표 5-2]의 3번 행 중 92-1번 버스가 37661번 정류장을 지난다는 것을 확인하였다. 녹색으로 표시된 부분은 13-5번과 연속되게 공유하는 정류장 중 분석 구간(37661번 정류장부터 37954번 정류장까지)만 나타낸 것이다. 92-1번은 12개의 공유되는 정류장, 99번은 3개의 공유되는 정류장, 720-3번은 2개의 공유되는 정류장을 가진다.

5-4 급행노선의 도입 분석

앞서 [표 5-1]와 [표 5-2]의 분석을 이용하여 버스의 노선과 공유하는 정류장의 정보를 확인했으며, 이를 토대로 실제 이동이 어떻게 이루어지는지 확인하였다. 92-1번 버스와 13-5번 버스는 분석 구간(37661번 정류장에서 37954번 정류장까지)에 대해서 모든 정류장을 공유하는 것을 확인하였다. 하지만 720-3번 버스는 37864 정류장부터, 99번 버스는 37712번 정류장부터 분석 구간으로 유입되는 것을 확인하였다.

37954번 정류장까지 공유되는 정류장의 개수는 720-3번 버스는 2개, 99번 버스는 3개로, 앞서 제시한 급행노선 가정을 기준으로 720-3번(미정차 정류장을 2개 이상 설정 못함)은 급행노선에서 제외하였다. 또한, 승객의 편의를 위해 지정된 분석 구간 정류장의 평균 이용량(약 70.6명)을 계산하여, 평균 이용량보다 많은 정류장에서 미정차 하지 않게 설정하였다.

[표 5-3 분석 구간 정류장 및 미정차 제한 정류장(36670, 36676, 37712, 37954) 제외 후 정류장]

정류장번호	36670	36676	37661	37662	37852	36995	37694	37695	37711	37712	37864	37954
-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

↓

정류장번호	37661	37662	37852	36995	37694	37695	37711	37864
-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

기존 분석 구간인 12개의 정차구역에서 승객의 편의를 고려하여 [표 5-3]와 같이 4개의 정류장 (36670, 36676, 37712, 37954)는 무조건 정차한다. 4개 정류장을 무조건 정차하면서, 99번 버스는 공유되는 3개의 정류장 중 2개의 고정 정차가 생기며 미정차가 가능한 정류장이 1개로 줄어들어 분석 대상에서 제외하였다. 즉, 92-1번과 13-5번 버스의 분석 구간 중 4개의 정류장을 제외한 8개의 정류장에 대해 분석한다.

우선, 급행노선 도입에 5-2에서 제시한 각 정류장의 통행절감 기대시간은 하기와 같으며, 초 단위로 계산하였다.

[표 5-4 선정된 정류장에 통행절감 기대시간 대입]

단위 : 초

정류장번호	92-1 번	13-5 번
37661	34.50388	33.00028
37662	34.54019	36.725
37852	32.7114	36.79091
36995	31.54003	37.575
37694	37.14328	34.41975
37695	32.49986	29.89198
37711	30.15734	34.57948
37864	44.53704	51.01975

급행노선의 설계는 두번째 가정인 3개 이상의 연속된 미정차 구간을 갖지 않는 것을 토대로 하였다. 따라서, 위 두 버스는 모든 정류장을 공유하므로 92-1번 버스가 정차하는 구간은 13-5번 버스가 미정차 하도록 설정하였다. 만약 같은 구간을 이동하는 버스 노선이 4개가 있다면 3개의 노선까지는 분석이 가능하지만, 4개의 노선은 구간을 작게 나누어 분석을 진행해야 한다.

위 방법을 기준으로 급행노선을 가정한 뒤 각 버스의 총 통행절감 기대시간은 하기와 같다.

[표 5-5 급행노선 도입 후 통행절감 기대시간]

단위 : 초

정류장번호	92-1 번		13-5 번	
37661	34.50388	-	33.00028	-
37662	-	34.54019	-	36.725

정류장번호	92-1 번		13-5 번	
37852	32.7114	-	36.79091	-
36995	-	31.54003	-	37.575
37694	37.14328	-	34.41975	-
37695	-	32.49986	-	29.89198
37711	30.15734	-	34.57948	-
37864	-	44.53704	-	51.01975
합계	134.5159	143.1171	138.7904	155.2117

[표 5-5]의 노란색 부분은 앞선 급행노선 설계 방법으로, 92-1번 버스가 37661번 정류장을 미정차 한 뒤 다음 정류장에서 정차하며, 그 다음 정류장에서는 미정차 한다. 13-5번 버스는 37661번 정류장에서 정차한 뒤, 다음 정류장에서 미정차하며 그 다음 정류장에서는 정차한다. 즉, 각 노선은 한 버스가 정류장에 미정차하면 다른 버스는 정차하게 설정하였고 설계 1번 방법이라고 지정하였다. 하늘색 부분은 설계 2 방법으로 앞선 설계 1 방법과 유사하다.

두 가지 설계 방법 중 효율이 좋은 방법을 채택하기 위해 노란색 부분의 합(289.7초)와 하늘색 부분의 합(281.9초)으로, 통행절감 기대시간이 높은 설계 1번 방법으로 사용한다. 즉, 통행절감 기대시간의 총 합은 92-1번 버스는 134.5초, 13-5번 버스는 155.2초가 된다.

앞서 계산한 분석 구간의 평균소요 시간은 1002.8초로 통행절감 기대시간을 적용하면, 92-1번 버스는 868.3초, 13-5번 버스는 847.6초로 각각 분석 구간에서 약 13.5%와 15.5%의 절감을 나타낸다.

6. 향후 과제 및 결론

6-1 분석의 한계점

1. 급행노선 도입 시 원하는 도착지까지 가는 버스가 현재 이용중인 정류장에서 미정차 정류장으로 바뀌는 경우, 1정류장 이전 또는 이후의 정류장까지 걸어가야 한다. 만약 거주지가 미정차 정류장 근처가 아니라면 걸어가야 하는 시간이 약간 더 소요되지만, 미정차 정류장 근처라면 걸어가야 하는 시간이 늘어나 불편함을 느낄 수 있다. 승객이 걸어가야 하는 시간은 증가하게 되지만 급행 도입으로 인한 버스 통행시간의 감소가 예상되어 전체 이동시간 상 큰 변화는 없을 것이라 기대된다.
2. 분석 대상으로 선정한 37661번 정류장부터 37954번 정류장 사이 구간에 동일한 루트를 공유하는 버스 노선의 숫자가 적은 것도 해결안의 한계점으로 작용했다. 현재 해당 노선을 운행하는 버스가 좀 더 많았더라면, 데이터의 정확도도 높아지고 급행 적용 구간도 늘어나게 되어 좀 더 극명하게 그 차이를 보일 수 있었을 것으로 기대한다. 더 나아가 비단 37661번 정류장부터 37954번 정류장 사이 구간뿐만 아니라 정체가 예상되는 구역에 본문에 제시한 것과 같은 방법으로 급행 노선을 추진한다면 교통 정체를 해소하는데 일정부분 기여를 할 수 있을 것이라 기대한다.

6-2 향후 과제

앞선 분석을 진행 후 92-1번 버스와 13-5번 버스가 각각 13.5%, 15.5%의 절감율을 나타냈다. 이는 수치적으로는 큰 폭이 아니지만, 중점사항으로 두어야 하는 교통체증 변화에는 효과적일 것이라 판단하였다. 하지만 현재 제공받은 데이터만으로 교통체증의 복합적인 요인들을 분석하기엔 한계점과 어려움이 있어 향후 정체 원인 분석에 필요한 데이터를 활용하여 파악할 필요가 있다.

7. 첨부자료

No	파일명	설명
1	trip_station_latlong_submit.csv	제공 받은 PJT001_TripChain.csv 파일과 PJT001_stations_table.csv 의 정류소 정보, 위도, 경도 정보 등을 발생 트랜잭션 데이터에 맞게 합치고 데이터 분석 시 필요한 일련의 수정이 된 파일 (첨부된 R 스크립트 활용 시 해당 파일 read 필요)
2	PJT001_tl_scco_emd.geojson	화성시의 읍면동 정보, 수정 사항 없음. (첨부된 R 스크립트 활용 시 해당 파일 read 필요)
3	koksky2_최적버스노선과제_KernelSource. ipynb	프로젝트 R 스크립트
4	Bus_station_number	이용량이 많은 버스 노선의 정류장 정보
5	버스노선 data	
	13-5	13-5 번 버스의 정류소번호, 평균속도, 위도, 경도, 속도컬러, 승객수 데이터
	20	상동
	202	상동
	300	상동
	301	상동
	30-1	상동
	62-1	상동
	700-2	상동
	7-1	상동
	720-1	상동
	720-2	상동
	720-3	상동
	8	상동
	92-1	상동
	98	상동
	99	상동

8. 참고문헌

¹ <https://namu.wiki/w/%ED%99%94%EC%84%B1%EC%8B%9C> 나무위키-화성시 참조

² https://compas.lh.or.kr/task_detail.do COMPAS 사이트 참조

³ <http://gits.gg.go.kr/web/trafficInfo/webMapInfo.do> 경기도 교통정보센터 참조

⁴ <http://www.ndsl.kr/ndsl/search/detail/article/articleSearchResultDetail.do?cn=DIKO0014010134> 급
행노선 관련 논문 참조