



시뮬레이션을 통한 강남구 따릉이 대여소 운영 최적화

시뮬레이션 팀 프로젝트 3조: 강세정 국호연 김경진 문지성 박진호 유동준

2022/12/12

Executive summary

본 프로젝트에서는 점차 심화되는 따릉이 사업의 적자 문제를 해결하기 위해 대여소 철거를 통해 접근하고자 했다. 현실적으로 서울시 전체의 따릉이 대여소를 구현하기 어려우므로, 서울시 자치구 중 대여소 숫자 대비 사용이력이 가장 적은 강남구의 대여소 5곳(사용이력 기준 백분위 20, 40, 60, 80, 100)을 선정했고, 이를 통해 철거할 시 공익성을 최대한 유지하면서도 수익성을 극대화할 수 있는 대여소를 찾고자 했다.

프로젝트를 진행하기 위해 공공데이터포털에서 21.06~22.06 기간 동안의 따릉이 이용내역, 정보, 고장신고내역 등의 데이터를 수집하였고 모델의 variable, schedule, downtime 등을 설정했다.

시뮬레이션 모델은 현실 데이터를 기반으로 5곳의 대여소를 모두 구현한 Base model과 각각의 대여소를 하나씩 철거한 5개의 모델을 만들었다. 각 대여소에서 다른 대여소로 이동하는 모든 경우의 수를 route와 station을 통해 설정했다. 각 대여소에 도착할 확률과 route time은 사용이력 데이터를 기반으로 설정했고, 각각 decide와 assign 모듈을 통해 할당했다. 데이터의 현실성을 유지하면서 모델을 축소해 결과를 빠르게 도출할 수 있도록 6개월(4416시간)로 runtime을 설정하고 총 10회의 replication을 진행했다.

대여소 철거 모델의 경우 대여소 철거 시 고객들의 행동패턴을 decide 모듈을 통해 구현했고, 다른 대여소로 가는데 걸리는 시간을 거리와 보행속도를 통해 계산했다.

이를 통해 만들어낸 base model과 대여소 철거 모델들을 비교하기 위한 3가지 지표를 설정했는데 각각의 지표는 대여소 철거 시 reject된 고객 숫자, 각 대여소 철거 시 profit function, 각 대여소 철거 시 탄소 배출 감소량이다.

우선 reject된 고객 수의 비교에서는 기존 base 모델 평균 415.4에서 HHS대여소 철거 시 1630까지 증가하는 등, 모든 대여소에서 유의미하게 증가한 것을 확인할 수 있었다. 대여소 철거가 불가피하다고 가정할 경우, reject를 최소화하는 대여소 철거는 SH대여소 철거이다.

Cost 비교에서는 이용권 수입, 탄소 배출 감소량을 통한 이득, 유지비, 임금, 불편비용 등을 근거로 수익과 비용을 산정했고 이를 바탕으로 계산했을 때 SH 대여소 철거의 경우에 손익 개선의 결과를 얻었다. 해당 대여소는 이용률이 가장 낮은 대여소이기에, 합리적인 결과임을 확인할 수 있다.

탄소 절감효과의 경우 모든 철거 모델에서 base model에 비해 탄소배출량이 증가했고, 철거 모델 중에서는 SH 대여소 철거 시 배출량 증가량이 가장 적었다.

또한, 제작한 모델을 토대로 대여소 별 따릉이 비치 대수의 최적화 결과 유사한 결론을 얻었다.

위의 결과를 통해 대여소 철거를 통해 수익 개선이 가능하다는 결과와 대여소의 사용빈도와 해당 대여소 철거 시 절약 비용이 비례한다는 결론을 도출해낼 수 있었고, 이는 강남구의 일부 대여소뿐만이 아닌 서울시 전체에 적용해 수익개선을 실현할 수 있음을 시사한다.

I . Introduction

Background

따릉이는 자전거 이용을 통한 서울시민들의 건강 증진과 교통수단 분담을 통한 탄소절감을 목적으로 2015년부터 정식 시행된 서울시의 공공사업이다. 많은 대여소 설치와 어플과 QR코드를 통한 이용으로 접근성을 지속적으로 향상시켰으며, 저렴한 가격으로 인해 2021년도 기준 96.9%의 만족도를 달성하고 2017년 대비 6배가량 증가한 연간 3200만 건 이상의 이용건수를 기록해 서울시민들의 많은 사랑을 받고 있는 사업이기도 하다.

하지만 이용건수가 증가함에 따라 적자폭도 커져 2016년 25억원이었던 연간 적자가 2021년에는 103억¹⁾에 달하는 등 연간 적자액이 기하급수적으로 증가하고 있다. 이에 서울시에서는 매년 이용건수가 증가함에도 불구하고 2022년 신규 자전거 추가구매 예산을 편성하지 않고 기존 자전거의 보수 및 교체 비용만 편성한 상황이다. 그리고 예산 부족으로 관리인력 충원되지 않아 제대로 관리되지 않는 자전거들이나 대여소가 늘어났고, 이는 브레이크, 타이어 등의 관리 소홀로 인해 시민 안전의 문제로도 이어질 수 있는 사안이다. 추가적으로 2021년 기준 2600곳을 넘어선 대여소는 포화상태에 달했고 이러한 상황에서 무리하게 설치한 대여소의 안전 문제 등으로 인해 일부 아파트 단지 등에서 철거 민원이 심화되는 것이 이슈가 되는 등 대여소 감축의 필요성이 제기되고 있다.

즉, 따릉이 사업의 적자 문제와 대여소 포화 문제는 방치할 경우 시민 안전에 위협이 될 수 있으며 장기적으로는 시민들에게 큰 호응을 받았던 따릉이 사업의 존폐문제로도 이어질 수 있기에 조속히 해결되어야 할 문제다.

Problem definition

본 프로젝트의 목적은 포화상태에 달한 따릉이 대여소 숫자를 줄이고, 동시에 수익성을 개선해 적자를 최대한 줄일 수 있을지 확인하는 것이다. 따라서 이 프로젝트에서는 하나의 대여소 철거가 전체 시스템에 어떠한 영향을 끼치고 이를 통해 얼마만큼의 비용절감을 이루어낼 수 있는지에 대해 확인해보기 위해 시뮬레이션을 진행했다.

또한, 최근 1년간 11배 급증한 민원과 안전 문제 등으로 95건의 대여소가 철거되었는데, 시뮬레이션을 통해 해당 대여소 단위 철거가 이루어졌을 때의 수익 변화뿐 아니라 파급 효과(따릉이를 누리지 못한 시민의 수, 탄소 배출 증가량 등)를 미리 파악하고, 그 대비책을 설정할 수 있도록 했다.

Statement of scope and objectives

서울시 공공데이터를 활용해 조사해본 결과, 서울시 자치구 중 따릉이 대여소 숫자 대비 이용 건수가 가장 적은 강남구의 따릉이 대여소 최적화를 진행하는 것이 프로젝트 목적에 부합한다고 생각했고, 현실적으로 159곳의 강남구 따릉이 대여소를 모두 고려하여 시뮬레이션 하는 것이 어렵다고 판단해 이용횟수를 기준으로 강남구 따릉이 대여소를 5개 집단으로 나누고 집단 별로 2개의 대여소를 선정해 총 10곳의 대여소 데이터를 기반으로 프로젝트를 진행했다.

이를 통해 달성하고자 하는 목적은 각 대여소 철거가 강남구 전체 시스템에 어떠한 영향을 미치는지 확인하는 것이다. 각 대여소 철거 시 Profit function(서울시 수익)의 비교, rejected 된 고객 숫자 비교, CO2 emission의 변화량 비교를 통해 때 공익성을 유지하면서 수익성을 개선할 수 있는 해결책을 모색했다.

II. Methods and analysis

Input data

공공데이터포털에서 활용할 수 있는 서울특별시_따릉이 운영 정보를 통해 실제 활용정도를 반영하고자 하였다. 서울특별시 자치구 중 대여소 수 대비 사용이력 비율ⁱⁱⁱ이 가장 낮은 강남구(159개, 1090869회)가 공익성을 유지하면서 동시에 수익성을 개선하고자 하는 프로젝트 목적에 부합한다고 판단하여 선정했다. 이용 데이터가 월별 사용이력 횟수가 크게 차이나는 시계열 자료임을 고려하여, '21.06~'22.06 기간 동안의 대여이력, 대여소, 대여소 별 이용정보를 수집하였고 이용횟수를 기준으로 5개의 집단으로 분류하여 집단 별로 사용이력 횟수가 가장 많은 1개의 대여소를 선정해 전체 집단을 대표할 수 있도록 했다. 해당 대여소는 다음과 같다.

- (1) 현대고등학교(HHS)
- (2) 현대아파트(Hapt)
- (3) 삼성 베이직하우스(SH)
- (4) 봉은사역 7번 출구(B7)
- (5) 압구정 나들목(Apg)



Figure 1: 선정한 강남구 따릉이 대여소 위치

모든 데이터의 전처리 및 가공은 Python과 Excel을 활용했다.

```

In [92]: for k, j in enumerate(target):
          ttmp = target_log[target_log['대여 대여소번호']==j]
          print()
          print('#'*30)
          print(k, '변환')
          print('#'*30)
          for i in target:
              print(i, '*30')
              result_table = ttmp[ttmp['반납대여소번호']==i]['이용시간']
              print(result_table)
              print(j, "대여소", i, "로", len(result_table))

#####
0 번째
#####
943640      38
943652      54
943653      68
943654      64
943666      63
...
1189655     35
1189660     29
1189667     46
1189669     105
1189670      31
Name: 이용시간, Length: 5993, dtype: int64
2301 에서 2301 로 5993
#####

In [50]: for k, j in enumerate(target):
          ttmp = target_log[target_log['대여 대여소번호']==j]
          for i in target:
              result_table = pd.DataFrame(ttmp[ttmp['반납대여소번호']==i]['이용시간'])
              name = str(j)+' to '+str(i)+".csv"
              result_table.to_csv(name, index=False, header=False)

```

Figure 2: 서울시 따릉이 운영정보 전처리 과정

프로젝트 모델을 만들기 위해 고려한 variable은 다음과 같다

- **Station bike number:** 실시간 각 대여소에 비치된 따릉이 수. 사용자가 따릉이를 이용하고 반납함에 따라 실시간으로 변화하는 resource의 capacity를 반영하기 위하여 schedule에 해당 variable을 기입했다.
- **Relocation workers:** 따릉이 재배치 인력 수.
- **Ticket earn:** 서울시의 따릉이 이용권 수입.
- **CO₂ save:** 따릉이를 이용함으로써 서울시가 부담해야하는 탄소배출비용 감소량.
- **CO₂ save amount:** 따릉이를 이용함으로써 줄어든 탄소 배출량.
- **Additional walk cost:** 정거소를 철거함으로써 사용자가 추가로 걸어야 하는 불편에 대한 비용.
- **Additional walk hours:** 정거소를 철거함으로써 사용자가 추가로 걸어야 하는 시간.

Variable - Basic Process									
	Name	Comment	Rows	Columns	Data Type	Clear Option	File Name	Initial Values	Report Statistics
1	HHS_bike Number				Real	System		1 rows	<input type="checkbox"/>
2	Hapt_bike Number				Real	System		1 rows	<input type="checkbox"/>
3	SH_bike number				Real	System		1 rows	<input type="checkbox"/>
4	B7_bike number				Real	System		1 rows	<input type="checkbox"/>
5	Apg_bike number				Real	System		1 rows	<input type="checkbox"/>
6	Relocation workers				Real	System		1 rows	<input type="checkbox"/>
7	ticket earn				Real	System		1 rows	<input type="checkbox"/>
8	co2 save				Real	System		1 rows	<input type="checkbox"/>
9	co2 amount				Real	System		1 rows	<input type="checkbox"/>
10	additional walk cost				Real	System		1 rows	<input type="checkbox"/>
11	additoinal walk hours				Real	System		1 rows	<input type="checkbox"/>

Figure 3: Variable

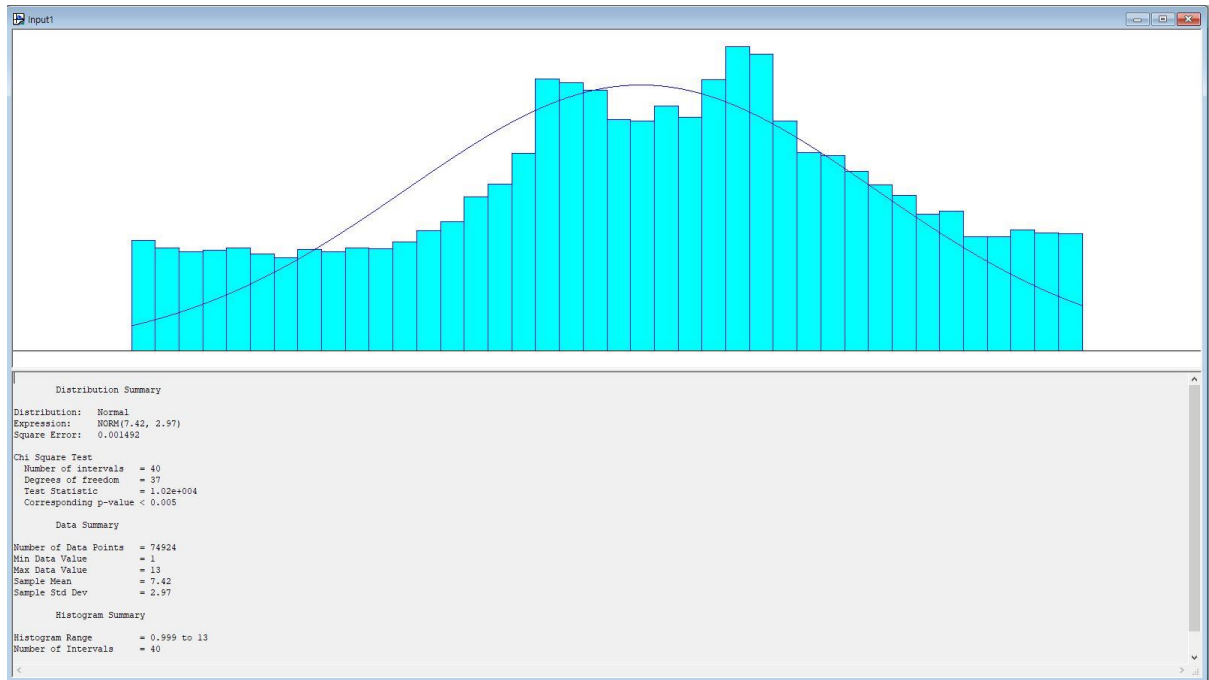
또한 프로젝트 진행을 위해 작성한 schedule은 다음과 같다

- **Schedule_(station):** 데이터 현실성, 한 해동안의 경향성을 반영하면서 동시에 축소모델로 운영하기 위해 실제 따릉이 운영데이터를 6개월로 축소(1,3,5,7,9,11월 데이터 활용)하여 작성한 schedule. 강남구 전역에서 각 대여소로 들어오는 Create 모듈의 Time between arrivals는 해당 schedule을 따른다.
- **Schedule_(station)_(bike number):** 실시간으로 변하는 각 대여소에 비치된 따릉이 수를 반영하기 위하여 resource capacity를 기입했다.

Schedule - Basic Process						
	Name	Type	Time Units	Scale Factor	File Name	Durations
1	Schedule HyunHS	Arrival	Days	1.0		6 rows
2	Schedule HyunApt	Arrival	Days	1.0		6 rows
3	Schedule SbasicHouse	Arrival	Days	1.0		6 rows
4	Schedule BongeunStation	Arrival	Days	1.0		6 rows
5	Schedule Apgujeong	Arrival	Days	1.0		6 rows
6	Schedule HHS_bike Number	Capacity	Quarterhours	1.0		1 rows
7	Schedule Hapt_bike Number	Capacity	Quarterhours	1.0		1 rows
8	Schedule SH_bike number	Capacity	Quarterhours	1.0		1 rows
9	Schedule B7_bike number	Capacity	Quarterhours	1.0		1 rows
10	Schedule Apg_bike number	Capacity	Quarterhours	1.0		1 rows

Figure 4: Schedule

추가적으로 따릉이 고장신고와 이에 따른 정비시간을 고려하기 위하여 failure에 관한 데이터를 추가했다. 따릉이 고장신고 내역(00:00~24:00 시간데이터)을 10진수로 변환하여 input analyzer를 통해 데이터(NORM(7.42, 2.97))를 입력하였다. 그리고 실제 고장신고가 접수된 이후, 이를 확인하고 조치하는 시간을 고려하여 Down time을 6시간으로 설정했다.



Failure - Advanced Process							
	Name	Type	Up Time	Up Time Units	Down Time	Down Time Units	Uptime in this State only
1 ▶	Failure	Time	NORM(7.42 , 2.97)	Hours	6	Hours	<input type="text"/>

Figure 5: Failure input analyzer 및 입력값

Model construction

전체적인 모델은 다음과 같다.

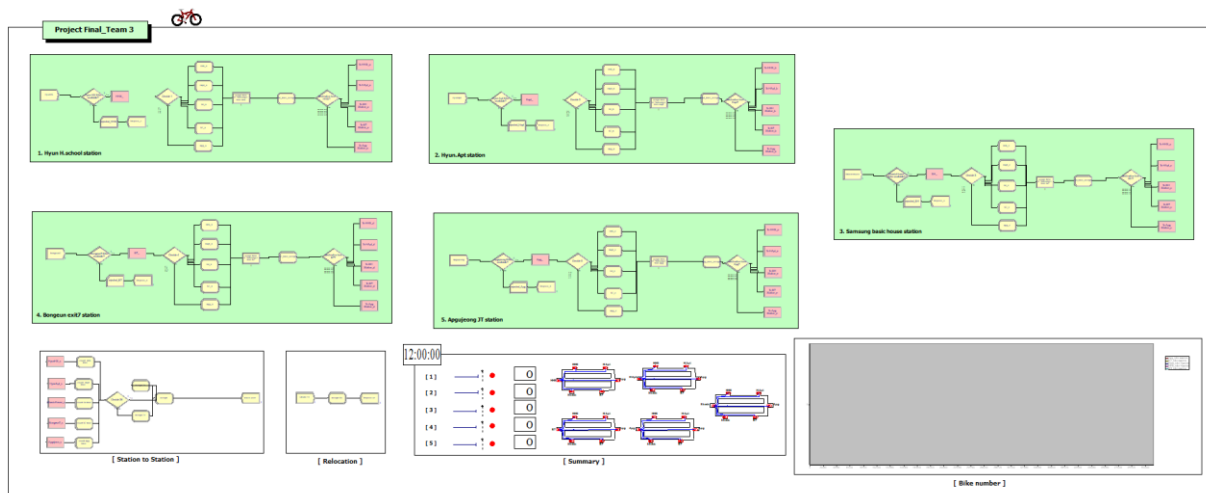
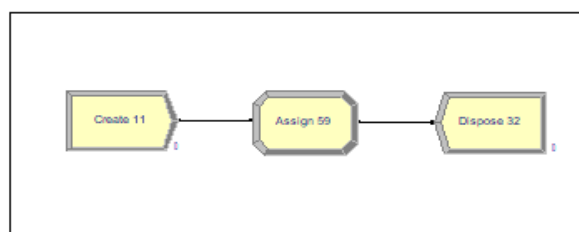


Figure 6: Base model

1. Assumption

Relocation: Relocation workers 값에 따라, 90명^{iv} 기준 하루마다 자전거의 재배치가 이루어진다. 초기 자전거 대수는 52대이고 이는 삼성동 베이직 하우스(SH)에 12대, 나머지 정류소에 각각 10대씩 배치되어 있다.

Reject: 정거장에 자전거가 존재하지 않을 시, 사람들은 기다리지 않고 process 상에서 reject된다. 정거장이 철거되었을 경우에는 해당 정거장을 이용하려 했던 고객의 50%는 reject되고 나머지 50%의 고객들은 가장 가까운 정거장으로 이동한다.



[Relocation]

Figure 7: Relocation 모델링

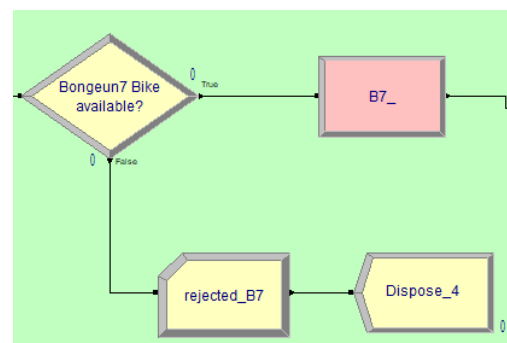


Figure 8: Rejected person

2. Base model

Station list

현대고등학교 건너편 – HyunHS(HHS)

현대아파트 정문 앞 – HyunApt(Hapt)

삼성동 베이직 하우스 앞 – SbasicHouse(SH)

봉은사역 7번출구 – Bongeun7(B7)

압구정나들목 – Apgujeong(Apg)

Route

각 station끼리의 연결을 통해 25가지 경우의 수를 route와 station으로 지정했다. Route time은 다음과 같이 25가지 경우의 route 각각에 대해 1년치 이용 시간에 대한 데이터를 input analyzer를 활용해 empirical 분포를 구하여 적용했다. 이 route time은 미리 assign 모듈을 통해 attribute에 할당된다.

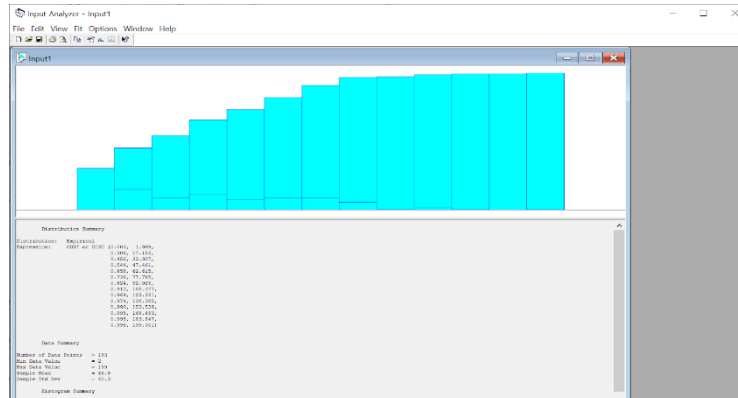


Figure 9: B7에서 자전거를 이용하는 사람 데이터 input analyzer

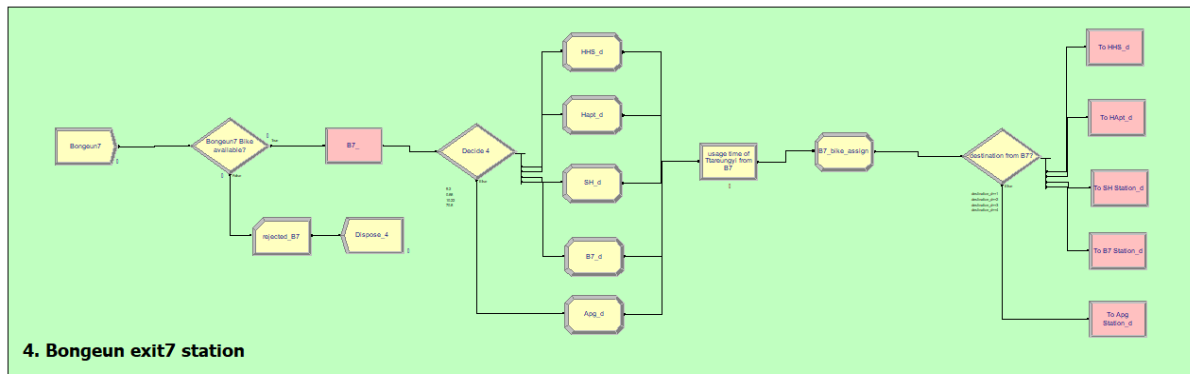
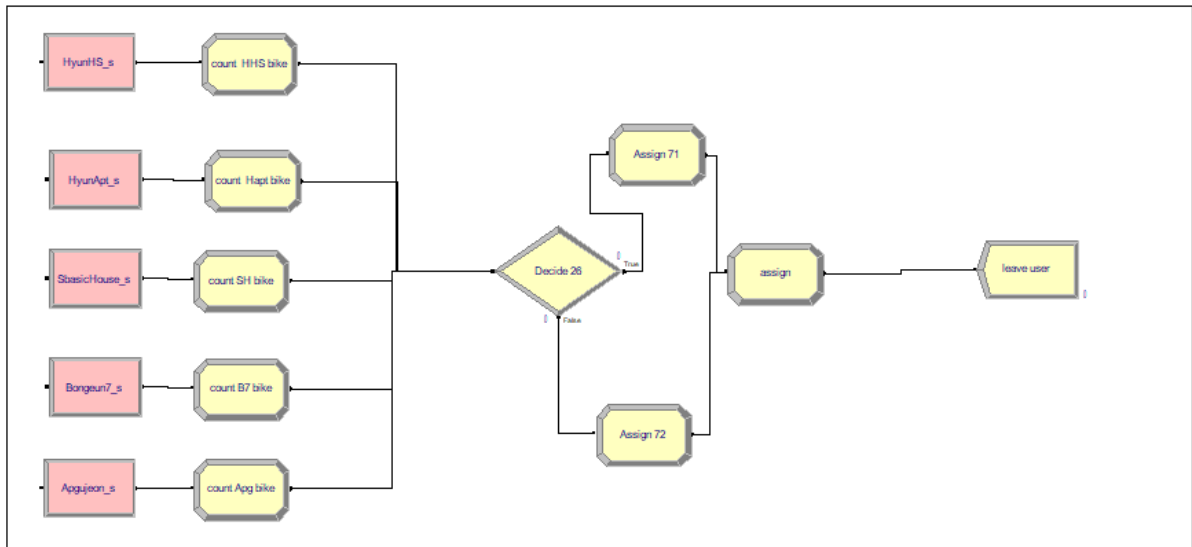


Figure 10: B7에서 출발하는 따릉이 모델

각각의 따릉이 도착 대여소는 연간 사용이력 데이터를 통해 계산한 확률로 결정된다. 대여소 철거 모델에서는 철거 대상 대여소를 제거한 후 사용이력 데이터를 재가공하여 확률을 재계산해 사용했다.

도착 대여소 확률					
도착 / 출발	1	2	3	4	5
1	93	0.91	2.55	9.2	13.95
2	0.17	94.05	0.64	0.88	0.39
3	0.06	0.61	40.98	10.22	0.21
4	0.28	1.37	49.47	70.8	0.77
5	6.49	3.05	6.37	8.91	84.68

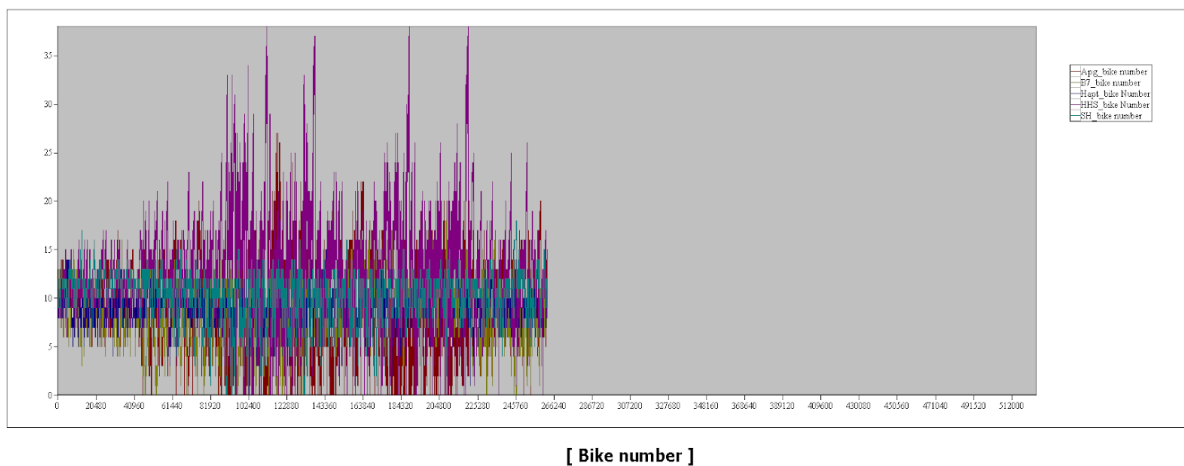
Figure 11: 각 대여소 도착 확률



[Station to Station]

Figure 12: 따릉이가 도착하는 5가지 경우의 수

따릉이가 각 대여소를 출발할 때 station_bike number variable을 1 감소시키고, 이용을 완료한 후 도착 대여소 station에서 station_bike number variable을 1 증가시킴으로써 대여소 별 실시간 따릉이 보유 대수를 확인했다. 이를 바탕으로 bike 수를 실시간으로 보여주는 그래프는 다음과 같다.



Run setup

앞서 설정한 것처럼 runtime을 4416 hours(6개월)로 설정하여 현실을 반영했고, 총 10회 replication을 진행하였다.

매일 재배치 인력에 의해 따릉이가 각 정거장으로 재배치되는 상황이므로, system의 안정화까지 소요되는 warm up period를 설정해주지 않는 것이 상황을 알맞게 표현할 수 있었다. 특정 시점에서 종료되는 system이 아니기에 terminating condition 역시 설정하지 않았다.

Run Setup

Run Speed	Run Control	Reports	Project Parameters
Replication Parameters		Array Sizes	Arena Visual Designer

Number of Replications:

Start Date and Time:

Warm-up Period:

Replication Length:

Hours Per Day:

Base Time Units:

Terminating Condition:

Initialize Between Replications

☒ Statistics ☒ System

Time Units:

Time Units:

Time Units:

확인 취소 적용(A) 도움말

Animation

전체적인 모델의 animation은 다음과 같이 적용되었다.

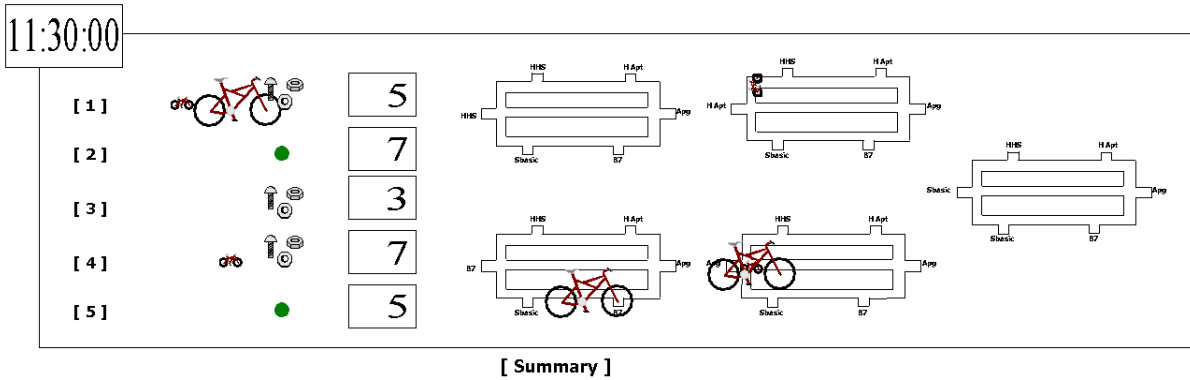


Figure 15: Animation

- (1) Clock: 모델 작동시간을 직관적으로 보여주는 시계
- (2) Resource picture: inactive/active/idle/failure 그림을 다르게 부여하여 각 대여소에서 운영하는 자전거 상황을 실시간으로 시각화
- (3) Variable: 각 대여소에서 운영된 자전거의 수 총합
- (4) Station & Route: 1~5번 따름이 대여소 간의 이동을 시각화

3. 대여소 철거 모델

Decide

정거장이 철거된 이후 기존의 철거된 정거장을 이용하려던 고객의 50%는 가장 가까운 정류소로 걸어서 이동하고 나머지 50%는 자전거 이용을 포기한다. 예를 들어 현대아파트 대여소에서 가장 가까운 대여소는 압구정나들목으로, 걸어서 약 30분 정도가 소요된다. 이 소요시간은 대여소의 위도, 경도 데이터를 활용하여 Haversine 공식^v에 따라 거리를 계산한 후, 평균 보행속도(4km/h)로 나누어 도출해냈다. 나머지 4개의 정거장이 철거되었을 경우도 동일한 방법으로 계산했다.

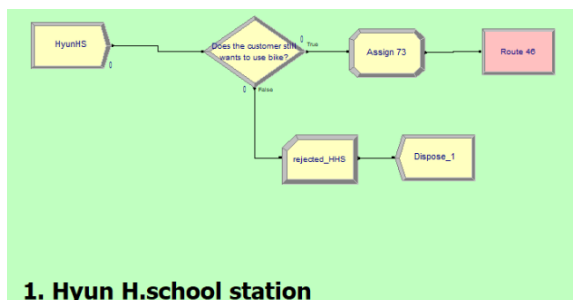


Figure 16: 대여소 철거 모델(HHS)

<Figure 16>은 대여소 철거 시 고객의 이동 패턴을 나타낸 시뮬레이션 모델로 decide 모듈을 통해 자전거 이용을 포기하거나 가까운 정류소로 고객들을 보내는 것을 확인할 수 있다.

Decide

Name: Does the customer still wants to use bike? Type: 2-way by Chance

Percent True (0-100): 30 %

Figure 17: Decide module

Name: Route 46

Route Time: 0.475 Units: Hours

Destination Type: Station Station Name: Depart_Apg

OK Cancel Help

Figure 18: 대여소 철거 시 가까운 대여소 이동시간

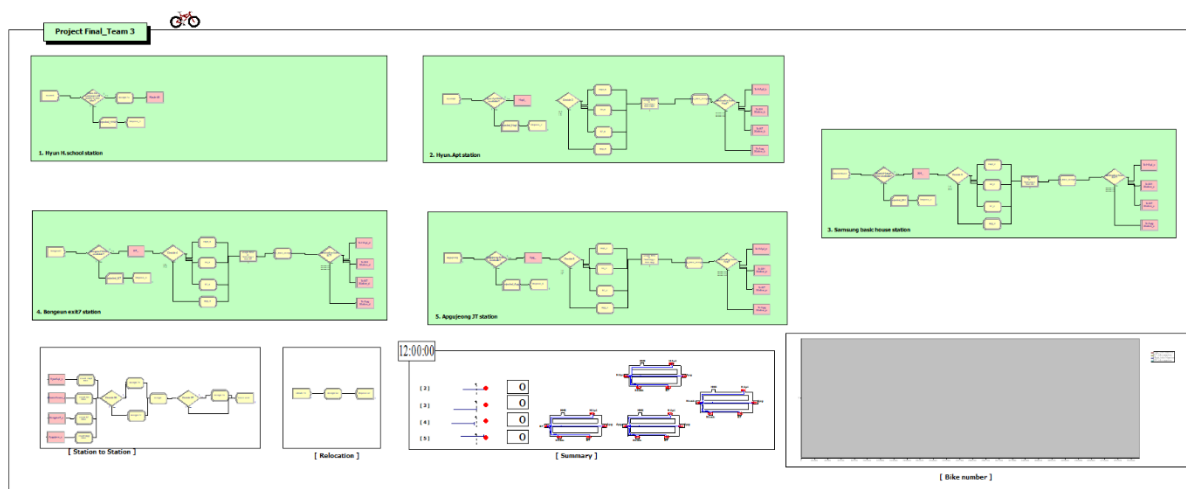


Figure 19: 대여소 철거(HHS) 시 전체 모델

포기하거나 가까운 정류소로 고객들을 보내는 것을 확인할 수 있다.

III. Results and Discuss

대여소 철거의 효과를 명확히 비교하기 위해 3가지 지표, 도착시점에 대여소에 따름이가 없어 이용에 불편을 겪었던 시민의 수, 서울시의 수익, CO₂ 절감 효과를 사용했다.

1. 각 대여소 철거 시 rejected된 사람의 변화

서울시에서 따름이 사업을 운영하는 주 목적은 시민복지이다. 따라서 대여소를 철거함에 따라 따름이를 이용하지 못하게 된 시민들이 겪는 불편이 어느 정도일지를 확인해보았다.

RejectedHHS	RejectedHapt	RejectedSH	RejectedB7	RejectedApg
900	2	11	101	1063
6922	3	11	46	1168
878	1547	175	35	1086
877	2	1053	367	1061
1005	1	27	2478	1023
1618	2	9	47	6151

Figure 20: 각 대여소 별 rejected 수

기존 base model에서는 평균 415.4^{vi}였던 대여소 별 rejected 숫자가 HHS 대여소 철거 시 6922 까지 증가하는 것을 확인할 수 있었고, 다른 대여소에서도 유의미하게 증가하는 것을 확인할 수 있었다. 대여소를 철거함에 따라 시민들의 불편이 증가하고 서비스에 대한 만족도가 떨어지게 되는데 rejected를 기반으로 봤을 때 이를 최소화할 수 있는 것은 SH 대여소의 철거이다.

2. 각 대여소 철거 시 Profit function(서울시 수익)의 변화

서울시에서 따름이 대여소 운영을 통해 얻을 수 있는 수익에 대한 수식은 다음과 같다.

$$\text{Total Profit} = \text{Ticket Earned} + \text{Co2 save cost} - \text{Bike maintenance cost} - \text{Relocation Worker Salary} - \text{Additional Walking cost}$$

OBJECTIVE FUNCTION: Maximize Total Profit

CONSTRAINTS: 대여소 철거 시 해당 대여소 이용하려던 고객 50% reject, 대여소에 남는 자전거가 없을 시 고객 reject, initial resource value, 매일 자전거 relocation.

이 중 이익을 담당하는 것은 이용권 판매 매출과 탄소 배출권에 대한 추정가격의 합이다. 비용의 경우 따름이의 유지비, 재배치에 필요한 인건비, 그리고 따름이를 이용하지 못하는 상황에 따

큰 소비자들의 불편비용이 있다.

Ticket earned의 경우 따름이 이용 시간을 나타내는 entity의 attribute인 route time을 기준으로 기본 요금이 1000원, 60분을 초과하면 2000원으로 설정해 계산했다.^{vii}

CO₂ save cost의 경우 자전거로 이동한 거리에 탄소배출 관련 파라미터를 곱한 것으로 구할 수 있다. 따름이 이용 감소에 따른 탄소 배출 증가량(kg)은 이동거리(km)*0.232 (같은 거리를 자동차로 이동했을 때 절감되는 탄소의 양)이다. 이 때, NDC 감축 목표를 이루기 위해서 배출 탄소 1t당 4만원^{viii}으로 책정된다는 점을 고려해 1kg당 40원을 곱했다.

Bike maintenance Cost는 서울시가 대여소들을 관리하는데 들어가는 비용을 계산한 것이다. 자전거 한 대당 유지비가 83만원^{ix}으로 정해지므로 각 경우마다 대여소별 자전거의 수를 합한 값을 곱해주면 구할 수 있다.

Relocation Workers Salary에서 하루 단위로 각 대여소의 자전거들이 재배치되어야 하는데 이 업무를 담당하는 사람들이 서울시 전역에 90명임을 파악했고, 이 인원이 받는 평균 월급을 해당 지역에 맞게 축소해서 적용했다.

마지막으로 Additional Walking cost에서는 철거로 인해 시민들이 절반의 확률로 따름이를 포기하고 동일한 목적지까지 걸어가거나 가장 가까운 대여소에 가서 이용한다고 가정했고 이를 바탕으로 걷기로 결정한 사람들에 한해 추가로 걷는 거리에 대한 불편비용을 계산했다. 따름이 이용을 통해 사람들은 60분 당 1000원을 지급할 의사가 있다는 점으로부터 사용자의 따름이 이용 시간을 통해 추가로 걷는 시간에 대한 불편비용을 계산했다. 자전거의 속도보다 보행 속도가 4배 느린 점을 고려해 4를 곱했다.

이를 Process Analyzer 기반으로 각 모델별로 계산해본 결과는 다음과 같다.

Scenario Properties				Responses										
S	Name	Program File	Rep s	total profit	ticket earned	co2 save money	운영비	additional walking cost	co2 save amount	RejectedHHS	RejectedApg	RejectedB7	RejectedHapt	RejectedSH
1	Scenario 2	1 : 00.base.p	10	-17468919	21053914	2121726	21320000	0	53043	900	1063	101	2	11
2	Scenario 3	1 : 01. no hhs.p	10	-30997211	16968768	1666526	17220000	93118	41663	6922	1168	46	3	11
3	Scenario 7	1 : 05. no apgujeong.p	10	-29522880	18122047	1852021	17220000	86664	46301	1618	6151	47	2	9
4	Scenario 6	1 : 04. no B7.p	10	-21004332	19528755	2007991	17220000	18769	50200	1005	1023	2478	1	27
5	Scenario 4	1 : 02. no hapt.p	10	-18534813	20057358	2000292	17220000	39904	50007	878	1086	35	1547	175
6	Scenario 5	1 : 03. no SH.p	10	-16731037	20222315	2072274	16400000	8151	51807	877	1061	367	2	1053

Figure 21: 대여소 철거 시 예상 profit

기본적인 Total profit은 예상대로 천만원대의 적자임을 확인할 수 있다. Base model에서 1.74천만원이던 적자는 SH 대여소를 철거한 모델을 제외하고서는 오히려 적자가 심화된 모습을 보여준다. SH 대여소를 철거한 모델에서는 수익 구조가 개선되었다. 대여소의 사용빈도와 해당 대여소 철거 시 절약 비용이 반비례하는 점을 확인할 수 있으며, 이는 Ticket earned의 차이로 확인할 수 있다. Base model을 제외한 다른 모델들에서 철거로 인한 수익 감소, 탄소 배출 비용 증가, Additional Walking cost로 대변되는 사용자 불편 정도 증가가 운영비 절감으로 상쇄하는 것을 확인할 수 있다.

3. 각 대여소 철거 시 CO₂ Emission의 변화

마지막으로 확인할 지표는 탄소 배출 감소량이다. 탄소 배출 감소량은 자전거 대신 자동차를 이용했을 때 배출하는 탄소량을 측정한 것으로 따릉이를 이용할 시 그만큼 감소할 것으로 판단한다. 이는 자전거의 이동거리*자전거 속도*0.232(kg)으로 환산되며 자전거 속도는 평균 자전거 속도로 가정했다. 따라서 각 route 모듈로 부터 도착 station 모듈에 도달하는 route time만큼을 각 entity 별로 확인하면 각 경우마다의 탄소배출 절감량을 확인할 수 있다. Replication의 횟수를 10회로 하고 이를 Output Analyzer로 분석하면 Base model과 비교했을 때 각 model의 output에서 통계적 유의성이 나타나는 것을 확인할 수 있다.

대여소 철거에 따른 탄소 배출량의 증가를 미리 파악할 수 있으므로, 서울시는 탄소 배출량 감축 목표를 이행하기 위해 미리 대비책을 세울 수 있다.

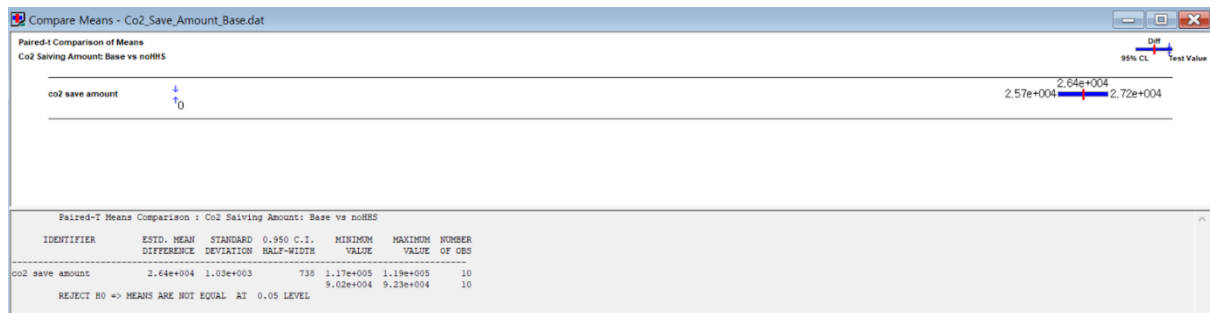


Figure 22: HHS 대여소 철거했을 때 탄소 배출 절감량

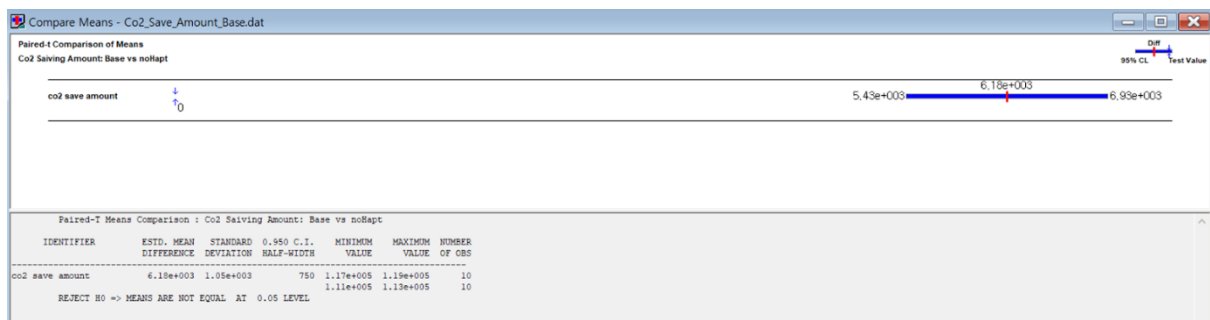


Figure 23: Hapt 대여소 철거했을 때 탄소 배출 절감량

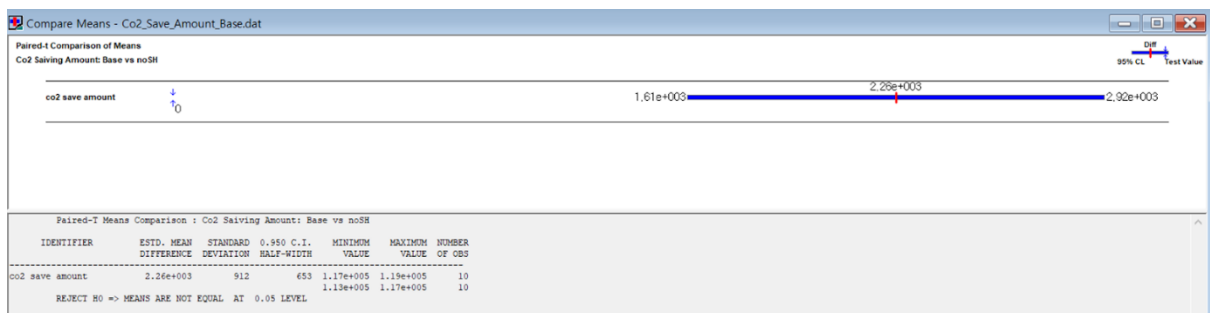


Figure 24: SH 대여소 철거했을 때 탄소 배출 절감량

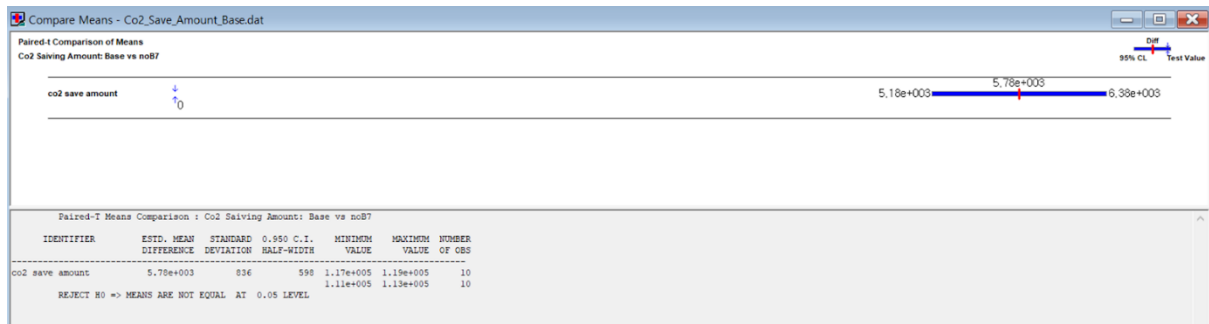


Figure 25: B7 대여소 철거했을 때 탄소 배출 절감량

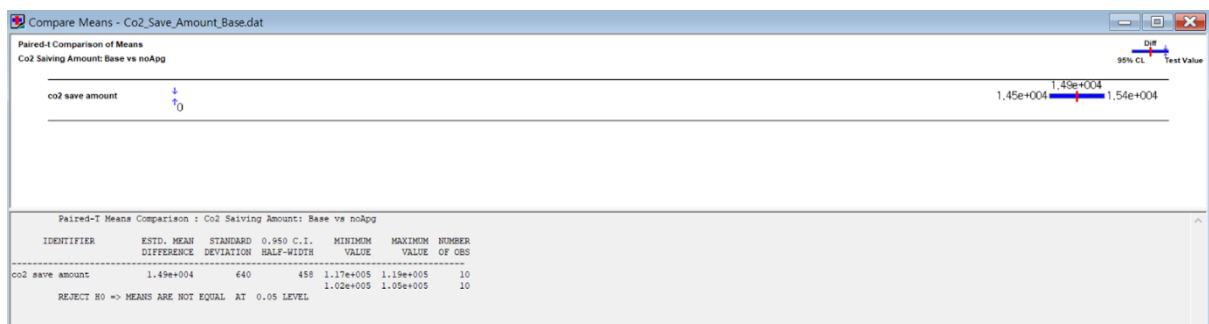


Figure 26: Apg 대여소 철거했을 때 탄소 배출 절감량

4. OptQuest를 통한 각 대여소 따름이 비치 대수 최적화

본 프로젝트는 대여소 단위 철거에 따른 영향을 분석했다. 하지만, 제작한 모델을 조금 수정하여 각 대여소 따름이 비치 대수의 최적화 역시 진행할 수 있다.

공간 등의 문제로 각 대여소의 최대 비치 대수를 늘리는 것은 제한될 수 있기에, 각 대여소에서 감축할 따름이의 수를 (station)_remove라는 variable로 설정한 후, 이를 기존의 비치 대수의 초기 값에서 감산해주었다. 또한, 수립한 profit function은 감축량을 고려하여 적절히 변환해주었다.

이 모델은 첨부한 파일 중, "00.base – additional" 파일에 해당한다. OptQuest를 활용하여, 대여소 따름이 비치 대수의 최적해를 구했다. 설정한 variable 값의 상한과 하한을 입력하고, profit function을 objectives에, 그리고 최소한의 따름이 사업 운영을 위한 constraints를 설정했다.

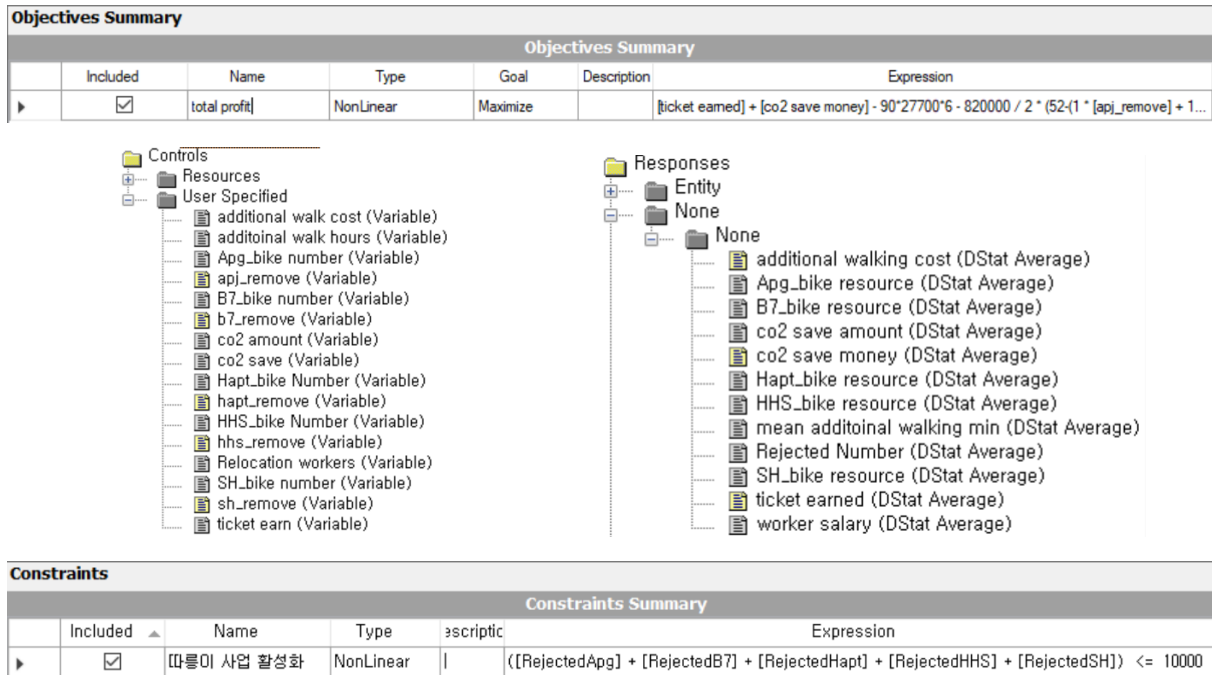


Figure 27: OptQuest의 objective, control, response, constraints

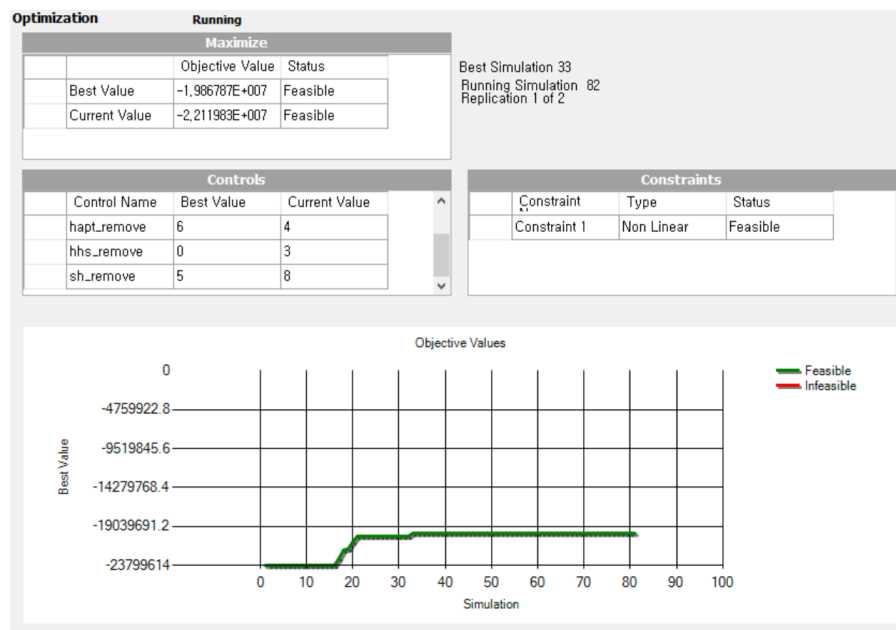


Figure 28: OptQuest를 통한 비치 대수 최적화 과정

최적해는 삼성베이직하우스(SH)에서 5대, 현대아파트(Hapt)에서 6대 감축으로 나왔다. 이 두 대여소는 사용이력 횟수가 가장 적은 두 대여소로, 대여소 단위 철거에서와 유사한 시사점을 나타낸다.

IV. Conclusions, recommendations

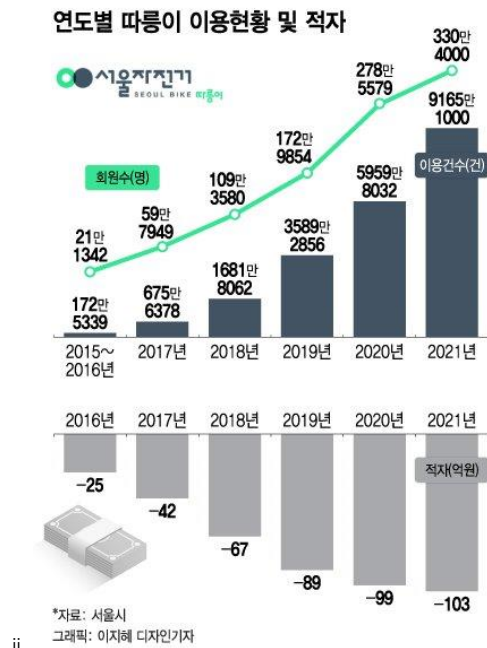
위 결과를 통해 현재 상황보다 대여소를 철거하는 것이 통계적으로 유의미한 결과를 얻는다는 증거를 확보할 수 있었다. 하지만 현대고등학교 대여소 같은 경우 인근 대여소인 압구정나들목 대여소에 기존 이용자가 유입된 개선효과가 미미하게 나타났는데, 이에 반해 삼성동 베이직하우스 대여소에서는 개선효과가 가장 극적으로 나타났고, 이를 철거하는 것이 가장 합리적이라는 결과를 도출할 수 있었다. 단순히 수익성과 운영 비용뿐만 아니라 따릉이 정거장을 철거함으로써 감수해야 되는 사용자들의 불편정도, 탄소 배출까지도 세세하게 고려하였기에 앞서 내린 결론은 충분히 타당하다고 판단된다. 또한, 특정 대여소의 사용빈도와 해당 대여소가 철거되었을 때 절약되는 비용이 반비례하는 유의미한 결과도 도출할 수 있었다.

즉, 위 분석을 통해 대여소를 철거하는 것이 최근 논의가 된 따릉이 사업의 적자, 대여소 포화 문제 해결에 도움이 된다는 수치적인 근거를 확보할 수 있었다. 또한, 철거에 따른 파급효과, 특히 대여소 철거로 인한 탄소 배출 증가량을 미리 파악하여 서울시가 고수하는 ESG노선에 차질이 없도록 할 수 있다.

본 프로젝트는 서울시 전체의 따릉이 이용현황이 아닌 범위를 대폭 축소한 강남구에서 행해졌음에도 불구하고 정거장을 철거함으로써 비용을 유의미하게 절약하며 수익성을 유지한 채 수익성을 높일 수 있는 결과를 보여주었다. 해당 프로젝트가 단순히 강남구가 아닌 서울시 전체로 확대된다면 현재 불필요한(사용이력이 적은) 다수의 정거장이 철거되어야 할 것이고 이를 통해 따릉이 사업의 적자 문제를 사용자들의 큰 불편감 증가 없이 효과적으로 해결할 수 있을 것이다. 또한 민원 등의 이유로 대여소를 철거할 때 파급효과를 사전적으로 진단하여 그 대비책을 수립할 수 있겠다.

Appendix

i <https://www.joongang.co.kr/article/25099146#home>



ii

iii

구로 구	노원 구	광진 구	서초 구	마포 구	강동 구	강남 구	종로 구	은평 구	강서 구	...	영구	도봉 구	영등포 구	송파 구	동대문 구	강북 구	양천 구	동작 구	영광 구	성북 구
13245	16416	20230	8394	16641	12946	6860	12636	10584	21323	...	10221	10667	20202	15658	16650	10422	18984	11179	10670	12254

iv ['따릉이 찾아 삼만리'...주말에도 달린다 \(brunch.co.kr\)](http://brunch.co.kr)

v

.

$$d = r \operatorname{archav}(h) = 2r \arcsin(\sqrt{h})$$

$$\begin{aligned} d &= 2r \arcsin\left(\sqrt{\operatorname{hav}(\varphi_2 - \varphi_1) + \cos(\varphi_1) \cos(\varphi_2) \operatorname{hav}(\lambda_2 - \lambda_1)}\right) \\ &= 2r \arcsin\left(\sqrt{\sin^2\left(\frac{\varphi_2 - \varphi_1}{2}\right) + \cos(\varphi_1) \cos(\varphi_2) \sin^2\left(\frac{\lambda_2 - \lambda_1}{2}\right)}\right) \end{aligned}$$

			95% CI	
Rejected Number	Average	Half Width	LB	UB
Rejected Apg	1063.2	73.59	989.61	1136.79
Rejected B7	101.1	15.32	85.78	116.42
Rejected Hapt	2.3	1.43	0.87	3.73
Rejected HHS	900.4	29.75	870.65	930.15
Rejected SH	10.9	5.35	5.55	16.25

	60분 이용권	120분 이용권
일일권(회원)	1,000원	2,000원
일일권(비회원)	1,000원	2,000원
정기권 (7일)	3,000원	4,000원
정기권 (30일)	5,000원	7,000원
정기권 (180일)	15,000원	20,000원
정기권 (365일)	30,000원	40,000원

vii

viii <https://m.khan.co.kr/environment/environment-general/article/202209042118005>ix [\[설명자료\]같은 공공자전거인데...서울 '따릉이'가 수원 '반디클'보다 年운영비 3배 더 드네 > 내 손안에 서울 > 서울이야기 > 시민소통 > 정보소통광장 \(seoul.go.kr\)](#)