

[직접분석 보고서]

팀 명		환파주의보
과제명		MCLP를 활용한 도시양봉 공원 선정 및 B라인 구축
미션		<input type="checkbox"/> 건강한 생활환경 <input checked="" type="checkbox"/> 기후위기에 강한 물 환경과 자연 생태계 조성 <input type="checkbox"/> 미세먼지 걱정없는 푸른 하늘 <input type="checkbox"/> 재활용을 통한 순환경제 완성
환경매체		<input type="checkbox"/> 기후/대기 <input type="checkbox"/> 물/토양 <input type="checkbox"/> 자원순환 <input type="checkbox"/> 환경시설 <input type="checkbox"/> 생활환경 <input checked="" type="checkbox"/> 자연생태계
활용 데이터	공공	서울시 주민등록인구 (동별) 통계, 국토정보맵 서울시 총인구 읍면동경계, 방재기상관측(AWS), 서울시 녹지현황 통계, 산림청_산림병해충방제 일반병해충방제관리정보, 국립생태원_식생평가_시도별속성정보(연간), 환경부_환경공간정보_년도별 세분류 토지피복통계 현황(1_10차), 국토정보맵 서울시 건폐율 시군구경계, 서울시 생태현황도(개별비오톱 평가도) 공간정보, 2020 서울시 도시생태현황도, 서울시 주요 공원현황, 행정구역시군구_경계(서울), 국토정보맵 서울시 지상층수 시군구경계, 국립공원공단_국립공원_곤충류, 국립생태원_자연환경조사_곤충_점
	민간	대한민국 최신 행정구역(SHP)
과제 개요(150자)		
서울특별시 도시양봉 거점을 선정하고, 거점을 밀원수로 연결함으로써 단절된 도시 생태계를 잇는 동시에 급감하는 꿀벌 개체수를 보존하고자 한다. 도시와 꿀벌의 공생을 도모하는 B라인 구축은 서울시의 '단절된 녹지축 연결사업' 및 꿀벌 보호 정책에 기여할 것으로 기대된다.		
활용 데이터 및 분석도구		
1. 활용 데이터 -서울시 주민등록인구 (동별) 통계, 서울 열린데이터 광장, csv, 주민등록인구수를 행정동 단위로 제공, 2023년, 페이지 다운로드(무료) -국토정보맵 서울시 총인구 읍면동경계, 국토정보맵, dbf/prj/shp/shx 통합, 서울시 총인구를 읍면동경계 별로 제공, 2024년 1월, 페이지 다운로드(무료) -방재기상관측(AWS), 기상자료개방포털, csv, 온도/강수량/풍속량 등 기후 데이터 제공, 2019.05.25.~2024.05.24., 페이지 다운로드(무료) -서울시 녹지현황 통계, 서울 열린데이터 광장, csv, 서울시 녹지현황을 총괄적으로 제공, 페이지 다운로드(무료) -산림청_산림병해충방제 일반병해충방제관리정보, 공공데이터포털, csv, 일반병해충방제관리정보를 제공, 페이지 다운로드(무료) -국립생태원_식생평가_시도별속성정보(연간), ecobank, dbf/fix/prj/shp/shx 통합, 국립생태원에서 평가한 서울특별시 식생평가 정보 제공, 2024년 1월, 페이지 다운로드(무료) -환경부_환경공간정보_년도별 세분류토지피복통계 현황(1_10차), 공공데이터포털, csv, 환경공간정보서비스에서 제공하는 년도별 세분류 토지피복정보 통계 현황 데이터, 페이지 다운로드(무료) -국토정보맵 서울시 건폐율 시군구경계, 국토정보맵, dbf/prj/shp/shx 통합, 서울시 건폐율을 시군구경계 별로		

제공, 2024년 1월, 페이지 다운로드(무료)

-서울시 생태현황도(개별비오톱 평가도) 공간정보, 서울 열린데이터 광장, cpg/dbf/shp/shx 통합, 서울시 개별 비오톱평가 공간정보 제공, 페이지 다운로드(무료)

-2020 서울시 도시생태현황도, 서울 도시계획 포털, dbf/prj/sbn/sbx/shp/shx 통합, 2020년 서울시 도시생태 현황에 대한 데이터 제공, 페이지 다운로드(무료)

-서울시 주요 공원현황, 서울 열린데이터 광장, csv, 서울시 공원정보 조회 제공, 페이지에서 다운로드(무료)

-대한민국 최신 행정구역(SHP), 지오서비스, dbf/shp/shx 통합, 대한민국의 행정구역에 대한 시도, 시군구, 읍면동, 리에 대한 공간 데이터, 2023년 7월, 페이지 다운로드(무료)

-행정구역시군구_경계(서울), 브이월드, shp, 법정동(시군구) 경계도면 데이터 제공, 페이지 다운로드(무료)

-국토정보맵 서울시 지상층수 시군구경계, 국토정보맵, dbf/prj/shp/shx 통합, 서울시 건물의 지상 층수를 시군구경계 별로 제공, 2024년 1월, 페이지 다운로드(무료)

-국립공원공단_국립공원_곤충류, 공공데이터포털, csv, 국립공원에 서식하고 있는 곤충의 종명과 좌표값(위도, 경도)을 정리한 데이터(멸종위기종 제외), 페이지 다운로드(무료)

-국립생태원_자연환경조사_곤충_점, ecobank, cpg/dbf/prj/shp/shx 통합(dbf/shp/shx 사용), 국립생태원에서 수행한 전국자연환경조사 곤충 분야에서 조사되어 구축된 정보(곤충 위치, 한글명, 학명 포함), 2020-2021년, 페이지 API 요청 다운로드(무료)

2. 분석도구

-파이썬(무료)

분석내용
<p>1. 전처리</p> <p>수집한 데이터들을 개별적으로 전처리한 뒤, 모델링에 사용할 변수가 담긴 데이터셋들은 병합하여 하나의 파일로 형성하였다. 그 중 모델링을 위하여 전처리를 진행한 데이터셋에 대한 전처리 과정은 아래와 같다.</p> <p>(1) 방재기상관측(AWS)</p> <p>기상개황과 대기오염 데이터를 불러와 시점(년월)을 기준으로 행렬 전환을 한 후, 필요 없는 열을 제거하고 컬럼명을 변경하여 병합하였다. 이후 서울시 월별 평균 대기오염도 정보를 불러와 측정월, 측정소명을 기준으로 평균을 내어 groupby하여 앞선 데이터와 병합하였다. - 이하 DF1 (가칭)</p> <p>(2) 서울시 주민등록인구 (동별) 통계</p> <p>필요 없는 행을 제거하고 사이트에서 제공하는 컬럼 정보를 참고하여 컬럼명을 변경하였다. 구를 기준으로 주민등록인구수를 합하였으며, 이후 시점을 기준으로 DF1과 병합하였다. - 이하 DF2 (가칭)</p> <p>(3) 서울시 녹지현황 통계</p> <p>필요없는 컬럼과 행을 제거하였고, 필요에 맞추어 컬럼명을 변경하였으며, 데이터 페이지의 설명에 따라 '-'으로 표시된 데이터는 '0'으로 변경하였다. 이후 DF2과 구를 기준으로 병합하였다. - 이하 DF3 (가칭)</p>

(4) 산림청_산림병해충방제 일반병해충방제관리정보

방제지역명이 결측치인 데이터를 제거하였고, 서울시 데이터만 추출하였다. 필요없는 컬럼을 제거하였고, 컬럼명을 필요에 따라(병합을 위함) 변경하였다. 또한, DF3의 일시 컬럼을 기준으로 구별 해당 기간에 방제 이력이 있으면 1, 없으면 0으로 설정하는 '방제여부' 컬럼을 추가 생성하였다. 이후 구와 시점을 기준으로 병합 DF3와 병합하였다. - 이하 DF4 (가칭)

(5) 환경부_환경공간정보_년도별 세분류토지피복통계 현황(1_10차)

서울특별시에 해당하는 데이터만 추출하여 2019~2022년 데이터만 남기었다(DF4 데이터의 시점과 맞추기 위함). 필요 없는 컬럼을 제거하고, 필요에 따라 컬럼명을 변경하였으며, DF4와 병합을 진행하였다. - 이하 DF5 (가칭)

(6) 국토정보맵 서울시 건폐율 시군구경계

서울특별시로 한정지어 데이터를 수집하였으나, 여전히 서울 외의 데이터가 존재하여 gid(지역코드)를 기준으로 서울시에 해당하는 데이터만 추출하는 작업을 우선 하였다. 이후 gid 값을 구 이름으로 변경하였고, DF5와 구를 기준으로 병합하였다. - 이하 DF6 (가칭)

(7) 2020 서울시 도시생태현황도

필요한 컬럼 및 꿀벌과 관련된 현존식생 코드(B, D)가 있는 행만 추출하여 구와 현존식생을 기준으로 현존식생 면적 합계를 산출하였다. 이후 해당 데이터프레임을 DF6과 합쳐 최종적으로 모델링에 사용할 데이터셋을 만들었다. - 이후 최종DF (가칭)

(8) 서울시 주요 공원현황

거점으로 선정하는 장소의 기준이 최적의 도시공원이므로 서울시 공원 위치 데이터가 필요하였다. 이에 서울시 주요 공원현황 데이터를 활용하였고, 과천시가 포함되어 있어 제외하였으며, 컬럼명 변경 및 결측치 제거 등을 진행하였다.

2. EDA

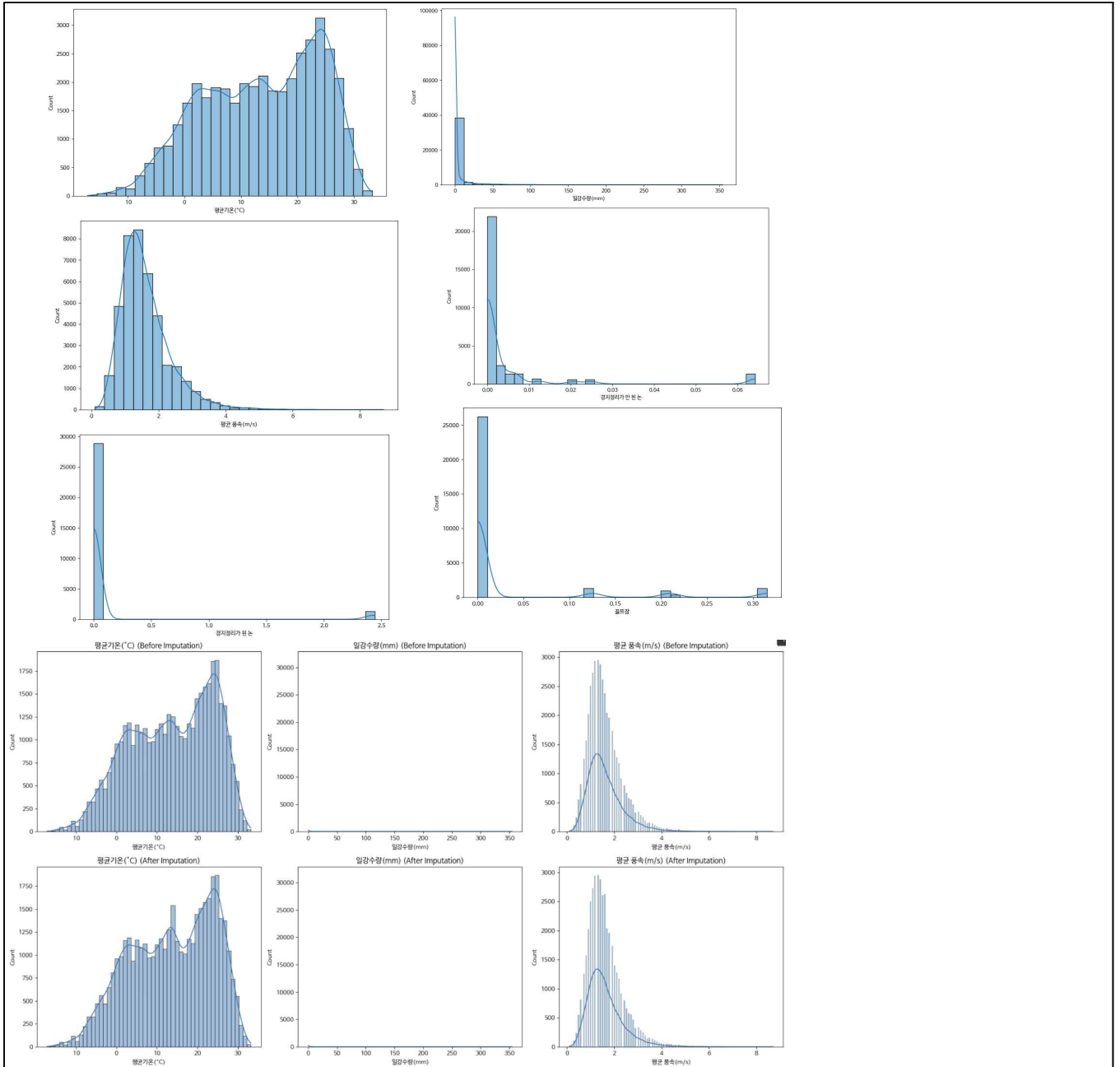
수집한 데이터들을 바탕으로 꿀벌에게 영향을 미칠 수 있는 환경 요인 변수들에 대한 EDA를 진행해보며 데이터의 분포를 확인해보았다.

(1) 결측치 확인 및 결측치 처리가 필요한 변수들의 데이터 분포 확인

병합 데이터셋을 기준으로 결측치를 확인해본 결과 건폐율, 주민등록인구, 방제여부 등에는 결측치가 없었으며, 기후 데이터에는 결측치가 소량 존재하였고, 녹지현황과 관련하여 결측치가 어느 정도 존재하는 것을 알 수 있었다. 이에 결측치 처리가 필요한 컬럼을 '평균기온, 일강수량, 평균 풍속, 골프장, 경지정리가 된 논, 경지정리가 안 된 논'으로 정하였고 해당 컬럼들의 분포를 확인해보았다.

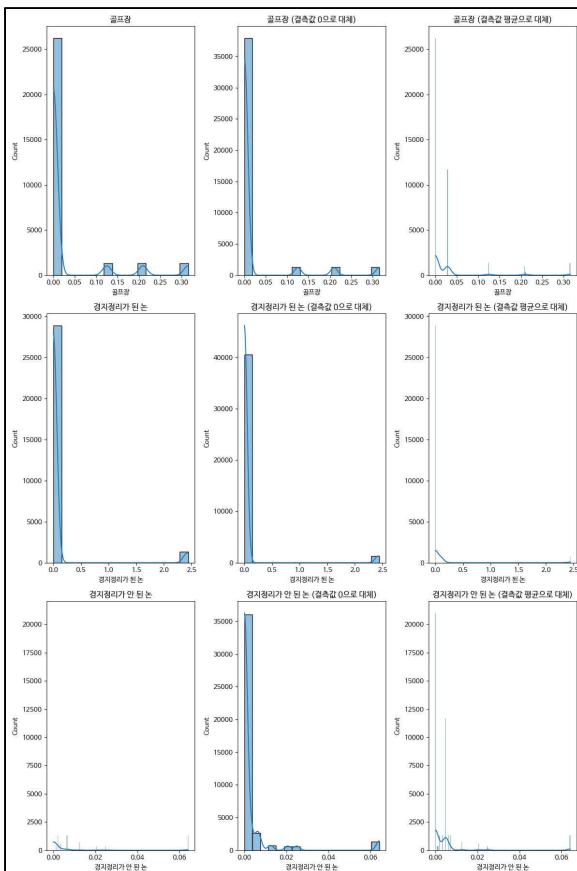
(1)-1. 결측치가 적은 데이터 - 기후

결측치가 적었던 기후("평균기온(°C)", "일강수량(mm)", "평균 풍속(m/s)") 변수의 경우, 결측값을 평균으로 처리했을 때 원본 데이터와 분포가 비슷하게 나타났다.



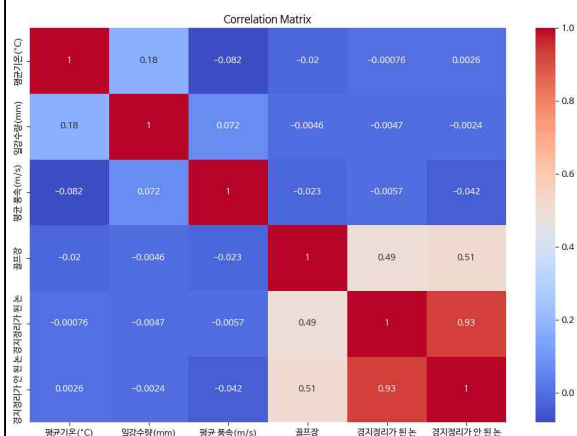
(1)-2. 결측치가 많은 데이터

결측치가 상대적으로 많았던 변수들("골프장", "경지정리가 된 논", "경지정리가 안 된 논")의 경우, 결측값 처리를 0으로 처리한 경우와 평균으로 처리한 경우를 나누어 시각화를 해보았다. 이렇게 분포를 확인해본 결과, 결측값 처리 방법에 따라 데이터의 분포가 크게 달라질 수 있을 것으로 판단되었으며, 결측값을 0으로 처리한 경우가 원본 데이터와의 분포가 유사하다는 것을 확인할 수 있어 이 방법을 채택하였다.



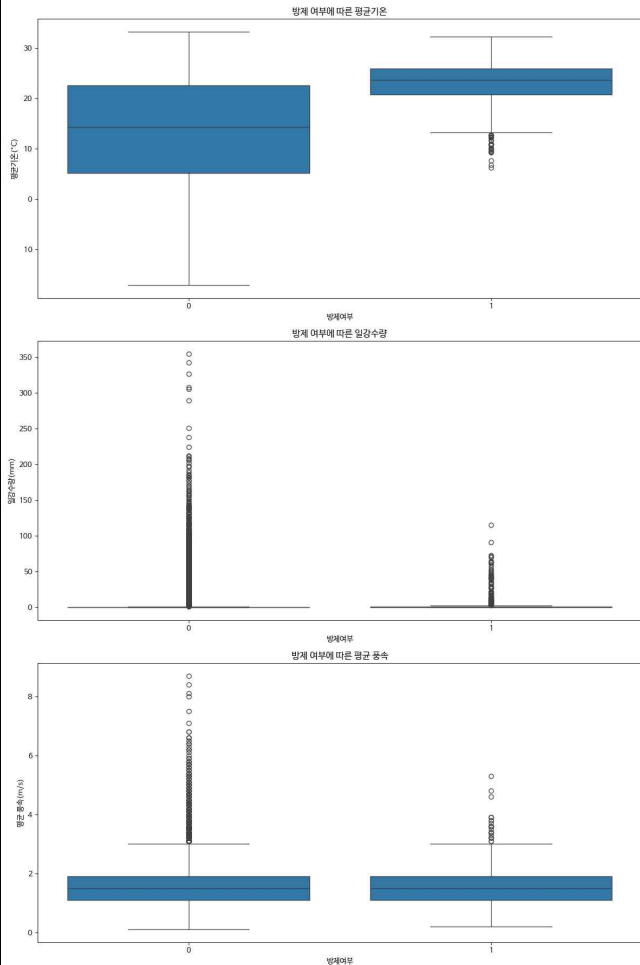
(1)-3. 상관관계 확인

아울러 결측치 처리가 필요했던 변수들 간의 상관관계를 확인해보았다. 경지정리여부와 관련한 변수들이 유의미한 상관계수를 보였으나, 분석에 있어 크게 유의미하다고 보기는 어렵다고 판단하였다.



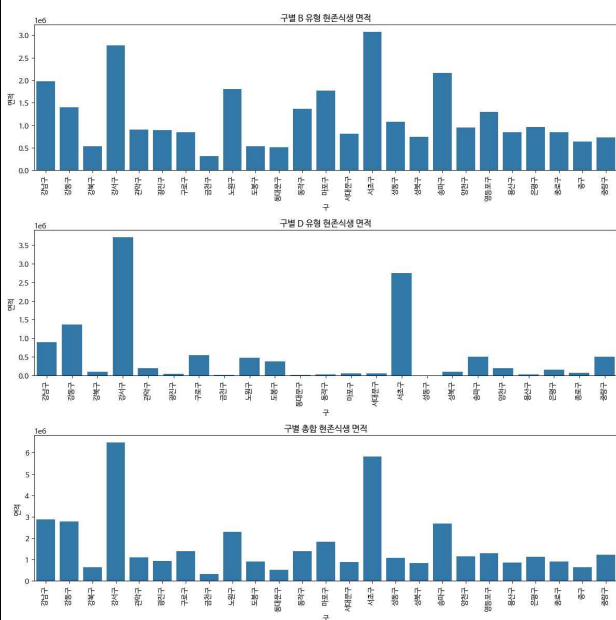
(2) 연관성 확인 - 방제 여부와 기후

콜벌에게 영향을 크게 미친다고 알려져 있는 방제와 기후 요인들 사이의 관계를 살펴보기 위하여 방제 여부 변수와 기후 변수들 간의 관계를 시각화해보았다. 그 결과, 평균기온만이 유의미한 연관성을 보였다. 평균기온이 상대적으로 낮은 경우, 더 많은 방제가 이루어진 것으로 나타났다.



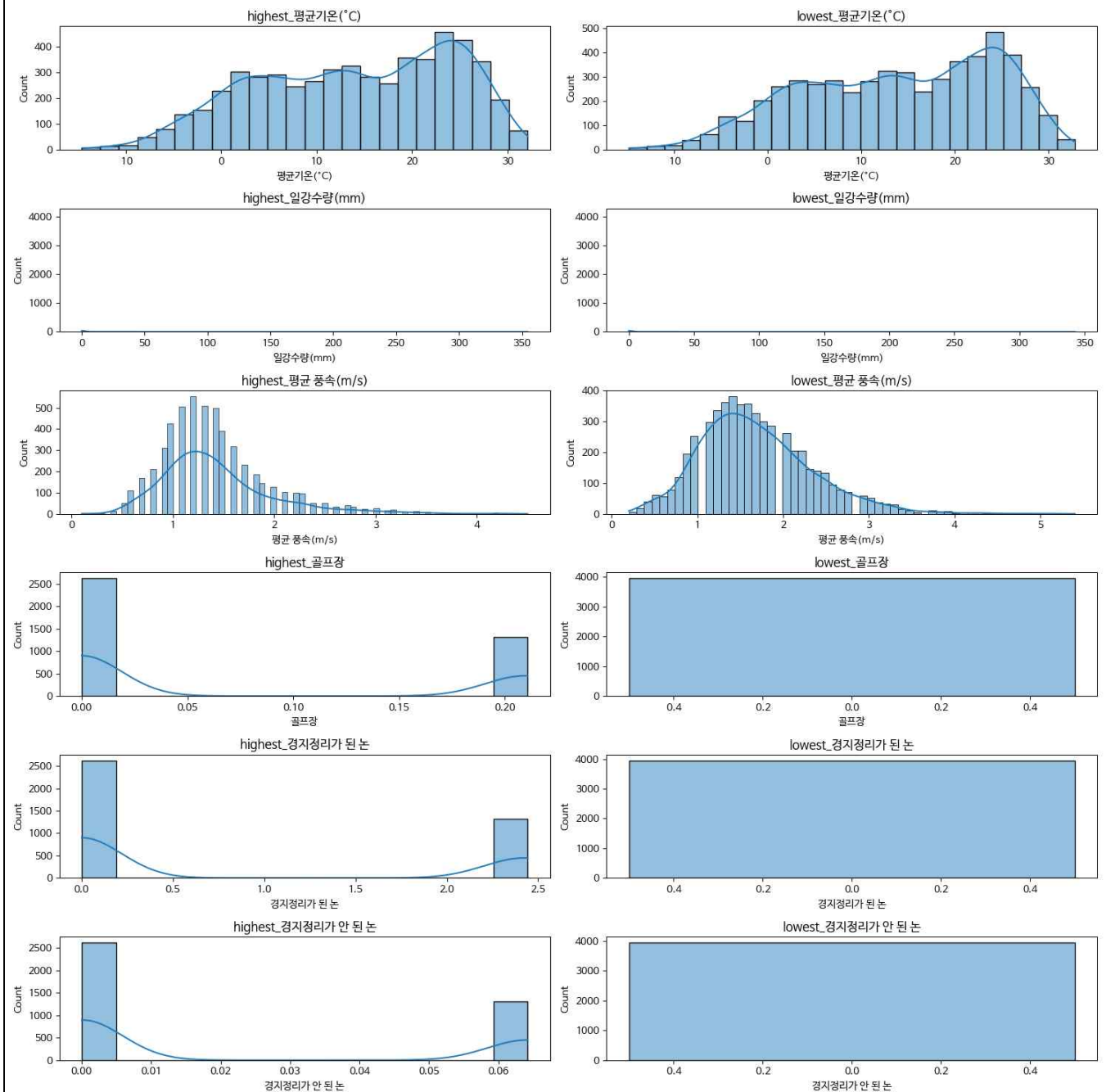
(3) 현존식생

2020 서울시 도시생태현황도 데이터 불러와 식생과 관련된 행만 남긴 뒤, 컬럼명 변경 등 간단한 전처리를 진행하였다. 이후 구 별로 합한 현존식생 면적과 타입에 따라 시각화를 진행해보았다.



(3)-1. 현존식생 면적에 따른 다른 변수들의 분포 확인

현존식생 데이터의 경우, 각 구별로 유형별 면적의 총합이 비슷한 대소 관계를 보였다. 이를 바탕으로, 총 현존식생 면적의 총합을 기준으로 가장 높은 3개 지역과 낮은 3개 지역을 선정하였다. 현존식생 면적이 높은 3곳은 강서구, 서초구, 강남구인 것으로 파악되었고, 반대로 현존식생 면적이 낮은 3곳은 금천구, 동대문구, 강북구인 것으로 파악되었다. 현존식생 면적이 높은 3곳과 낮은 3곳으로 나누어 각각 평균을 내어 시각해본 결과는 아래와 같다.



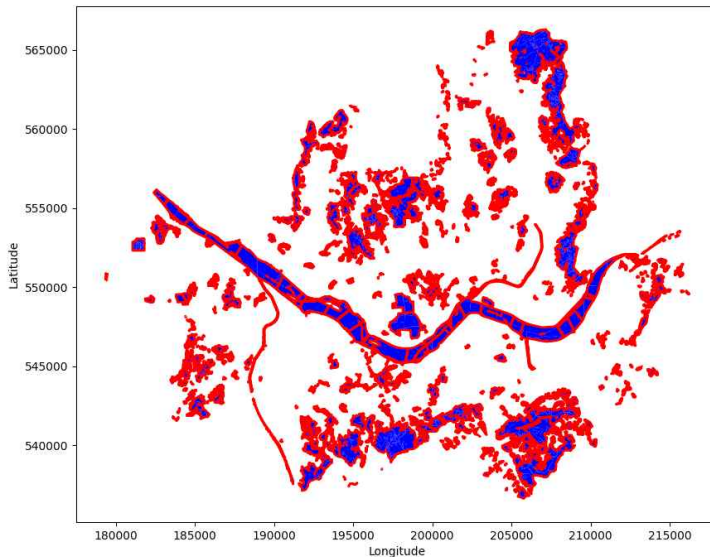
선정된 지역들의 차이를 시각화한 결과, 현존식생 면적은 골프장과 논과 같은 특정 토지 유형에 큰 영향을 받는 것을 알 수 있었다.

(4) 꿀벌 관련 환경 변수 지도 시각화

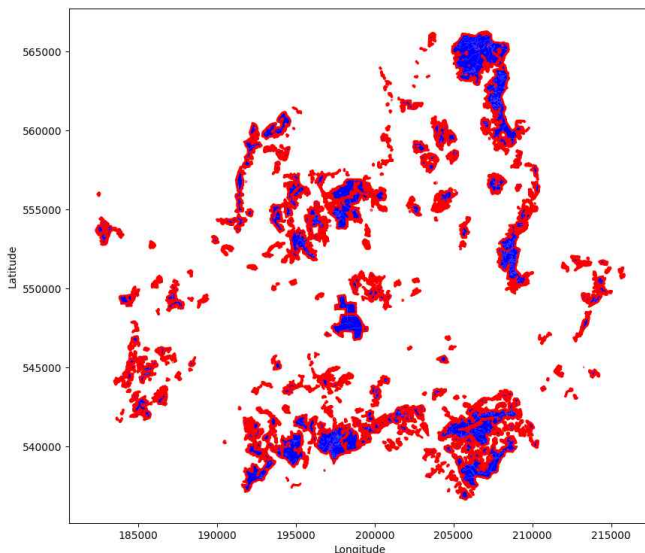
꿀벌에게 영향을 미치는 여러 환경 변수들을 지도에 시각화해보았다. 서울시 지도를 활용한 경우, 사용한 데이터는 대한민국 최신 행정구역(SHP)이다.

(4)-1. 현존식생

국립생태원_식생평가_시도별속성정보(연간) 데이터를 활용하였으며, geometry 데이터를 geopandas로 시각화하였다.



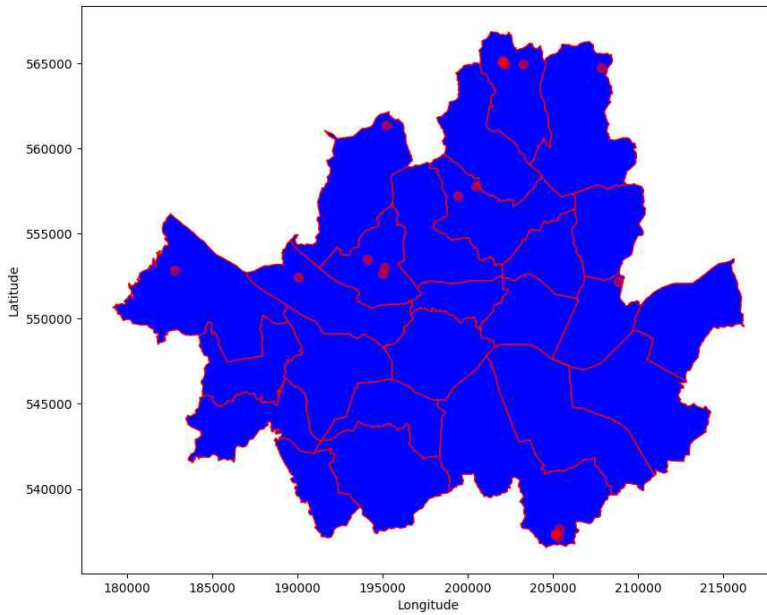
이후 서울시의 현존식생 데이터의 geometry 데이터 중 plntClnNm(식물군락명칭) 중 null값을 제외한 Polygon 데이터를 geopandas로 시각화하였다. 이를 통해 한강과 같은 서울의 하천 데이터를 제외한 식생 데이터가 시각화할 수 있었다.



(4)-2. 서울 꿀벌 출현 좌표 시각화

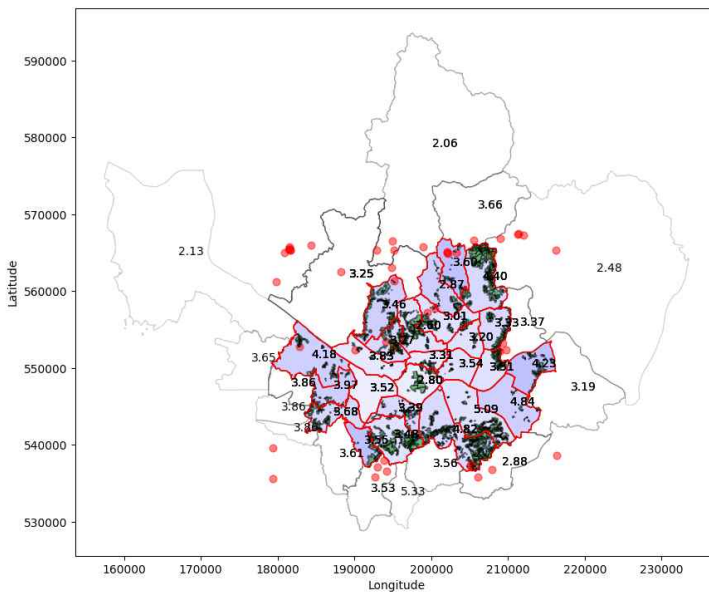
국립공원공단_국립공원_곤충류, 국립생태원_자연환경조사_곤충_점 데이터를 활용하여 서울에서 나타날 꿀벌 출현 좌표 POINT를 시각화하였다. 이 중 중복되는 좌표를 drop_duplicates로 제거하였으며, sjoin을 사용하여

서울 지도 내부의 좌표를 서울시 지도 위에 시각화하였다.



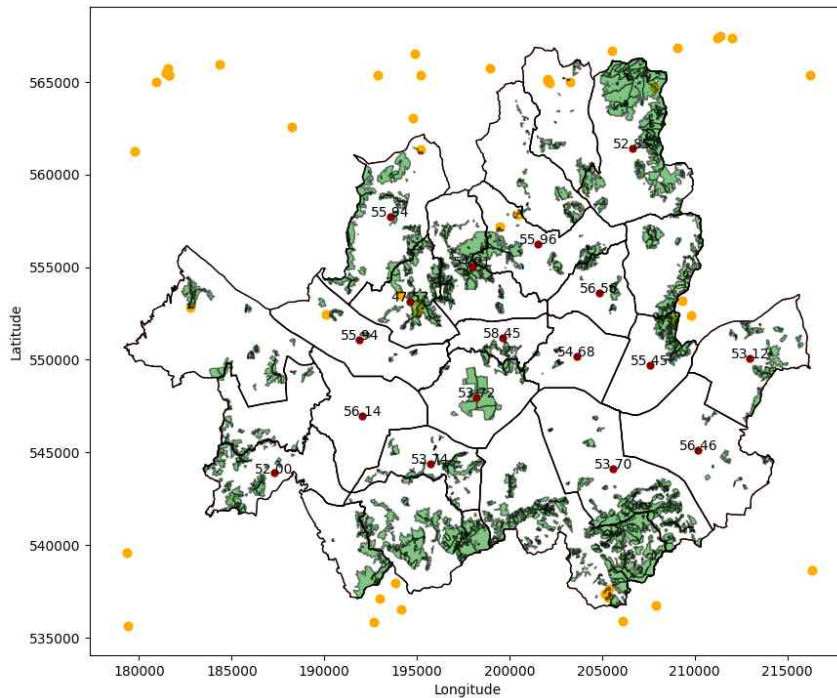
(4)-3. 건물 층수 시각화

국토정보맵 서울시 지상층수 시군구경계 데이터를 활용하여 서울시의 건물 층수를 시각화하였다.



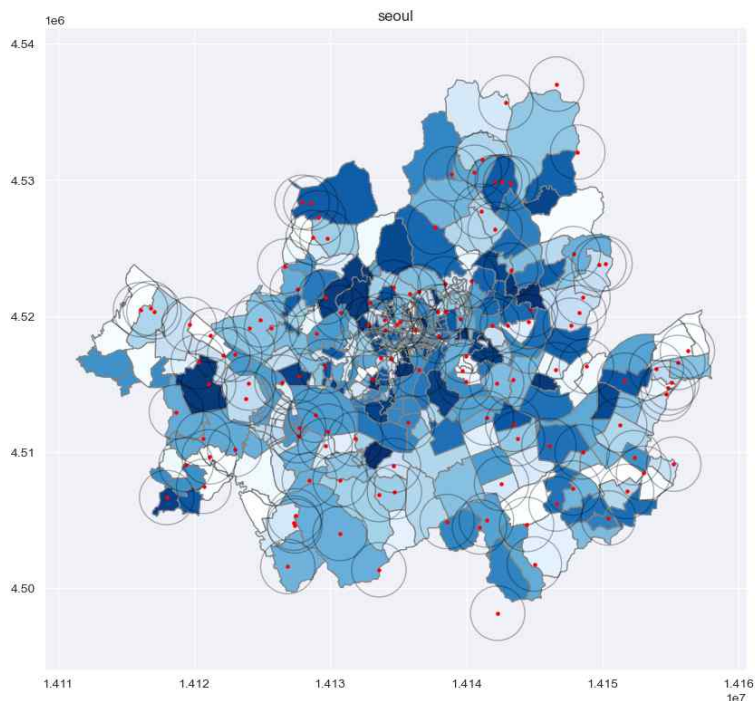
(4)-4. 건폐율 시각화

국토정보맵 서울시 건폐율 시군구경계 데이터를 활용하여 서울시의 건폐율 데이터를 빨간 점으로 시각화하였다. 각 구의 centroid 좌표를 찾아 구별 건폐율 평균값을 구한 뒤 이를 지도위에 표시했다.



3. 모델링

서울시 공원 위치 데이터(서울시 주요 공원현황)와 읍면동 공간 데이터(대한민국 최신 행정구역(SHP))를 기반으로 서울시 지도 위에 공원들을 표시하였다. 이후 논문(김윤호, 도시생태계 수분(受粉) 서비스 증진을 위한 양봉꿀벌과 호박벌의 출현 예측 (2021), 공주대학교 일반대학원, 이하 언급되는 논문은 모두 해당 논문을 지칭하는 것임을 밝힌다.)을 기준으로 파악한 양봉꿀벌의 최대 비행거리인 2km를 기준으로 채집이 가능한 커버 범위를 계산하고 공원별 커버 범위를 지도에 표시하였다.



(1) MCLP 방식

가. 개요

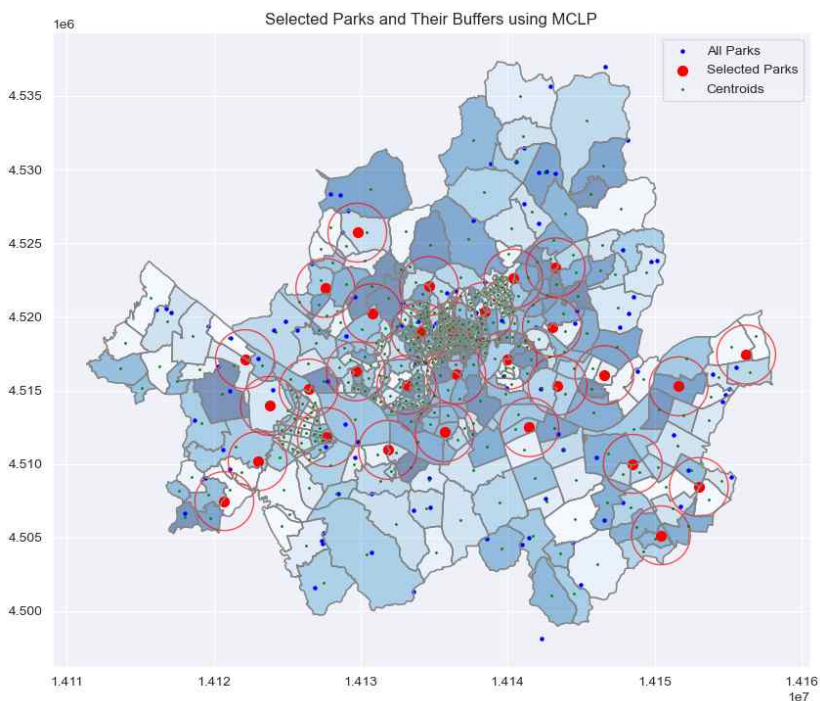
MCLP 방식은 가능한 많은 수요 지점을 커버하기 위하여 제한된 수의 지점을 선정하는 최적 입지 선정 방법이다. 우리 팀은 서울시 내 자치구의 중심점과 공원데이터셋의 공원 위치 데이터를 기반으로 양봉을 하기 좋은 최적의 공원위치를 선정하기 위하여 MCLP 방식을 사용하였다. 수요지점은 각 구의 중심으로 선정하였으며, 시설에는 공원이 해당된다. 또한 앞서 언급하였듯, 논문을 참고하여 양봉꿀벌이 채집을 다녀올 수 있는 최대 거리인 2000m를 기준으로 범위를 설정하였다.

나. 방식

공원 선정 방식은 다음과 같다. 우선 공원을 선정한 후, 선택한 공원의 수만큼 모델링이 반복된다. 단, 가장 많은 중심점을 커버할 수 있는 시설(공원)을 선택한다. 이미 선택된 공원의 버퍼와 겹치는 공원은 제외하고, 공원의 점수를 고려하여 중심점을 커버하는 효과를 계산한다. 현재 선택된 공원과 새로운 공원이 커버하는 중심점의 점수 합계를 계산하고 가장 높은 점수를 얻은 공원을 선택하여 최종 거점 공원을 선정한다.

다. MCLP 방식만 적용

MCLP 방식만 적용하였을 때의 결과는 아래와 같다. 붉은색 점으로 표시된 공원들이 거점으로 선정된 공원이다.



(2) MCLP 방식에 공원별 가중치 적용

이러 꿀벌과 관련한 여러 환경 변수에 가중치를 부여하여 보다 꿀벌 서식지로 적합한 공원을 선정해보고자 하였다.

(2)-1. 사용 변수

앞서 전처리한 최종DF를 EDA해본 결과를 기준으로 사용한 변수는 다음과 같다.

-조경 수종 식재지, 경작지, 골프장, 논, 밭, 공업지역, 공공시설지역, 건폐율, 온도, 습도, 풍속, 인구수, 방제여

부

(2)-2. 가중치 산정

1) 도메인 지식 활용

논문 등의 선행연구 자료를 기반으로 양봉꿀벌의 출현가능성 지표를 중요도로 활용하였으며, 참고 논문에서 제시된 수치들을 가중치로 선정하는 방식이다. 도메인 지식을 기반으로 선정한 가중치는 아래와 같다.

- 가. 조경 수종 식재지: 16.31%
- 나. 경작지: 11.59%
- 다. 골프장: 3.15%
- 라. 논: 2.95%
- 마. 기타초지: 2.85%
- 사. 밭: 2.69%
- 아. 공업지역: 2.53%
- 자. 공공시설지역: 2.33%
- 차. 건폐율: 55.6%

2) 엔트로피 방법

참고한 논문에서 얻을 수 없는 변수에 대한 가중치는 엔트로피 방법을 사용하였다. 도메인 지식이 없는 상태에서 적용할 수 있는 가장 적절한 수리적 방법이라고 판단하였기 때문이다. 해당하는 변수는 인구수, 방제 여부, 온도, 습도, 풍속이 있다.

가. 수식

- a. 정규화: 데이터프레임의 각 열을 0~1 사이로 변환한다. (Min Max Scale)

$$x_{\text{normalized}} = \frac{x - \min(x)}{\max(x) - \min(x)}$$

- b. 엔트로피 공식

$$H(x) = - \sum_{i=1}^n (x_i \cdot \log(x_i + \epsilon))$$

- c. 가중치 공식

$$H_{\text{total}} = \sum_{j=1}^m H(x_j)$$

$$w_j = \frac{1 - \frac{H(x_j)}{H_{\text{total}}}}{m-1}$$

나. 엔트로피 방식 가중치 결과

- a. 주민등록인구수: 0.187129
- b. 방제여부: 0.236535
- c. 평균기온: 0.203863
- d. 일강수량: 0.178364
- e. 평균 풍속: 0.194108

3) 가중치 조정

도메인 지식 기준으로 가중치를 선정한 변수들의 가중치 총합이 100(%)이므로 엔트로피 방법을 사용하여

- 현재 가중치의 총합을 계산(도메인 지식을 바탕으로 한 변수들)
- 새로운 가중치의 총합을 계산(엔트로피 방법을 사용한 변수들)
- 전체 가중치의 총합 계산
- 현재 가중치를 전체 가중치의 비율로 조정
- 조정된 현재 가중치와 새로운 가중치를 합쳐서 100%로 조정

조정된 가중치 결과의 일부는 아래와 같다.

구	123 건폐율	123 주민등록인구수	123 평균기온(°C)	123 일강수량(mm)	123 평균 풍속(m/s)	123 방재여부	123 조경수목 식재지	123 경작지	123 토지피복
강남구	0.126562	0.207755	0.822096	0.346208	0.844351	0.258439	0.602466	0.241935	0.692475
강동구	0.193750	0.372388	0.641140	0.369939	0.721601	1.000000	0.395704	0.366867	0.439366
강북구	0.646875	0.694861	0.642253	0.161275	0.615433	1.000000	0.082170	0.025788	0.149524
강서구	0.160937	0.172650	0.641427	0.688223	0.625928	0.768623	0.889240	1.000000	1.000000
관악구	0.756250	0.306952	0.109800	0.226513	0.397730	1.000000	0.216403	0.053822	0.201544
광진구	0.582812	0.584677	0.746721	0.470180	0.697245	1.000000	0.211853	0.011946	0.205093
구로구	0.665625	0.462626	0.717484	0.463424	0.334964	1.000000	0.192445	0.145870	0.327551
금천구	0.226562	0.793061	0.875863	0.392415	0.475511	0.987500	0.000000	0.005709	0.157176
노원구	0.301563	0.297407	0.183682	0.408701	0.905136	1.000000	0.539973	0.130152	0.572852
도봉구	0.276562	0.663593	0.383680	0.000000	0.920487	1.000000	0.080418	0.101621	0.170633

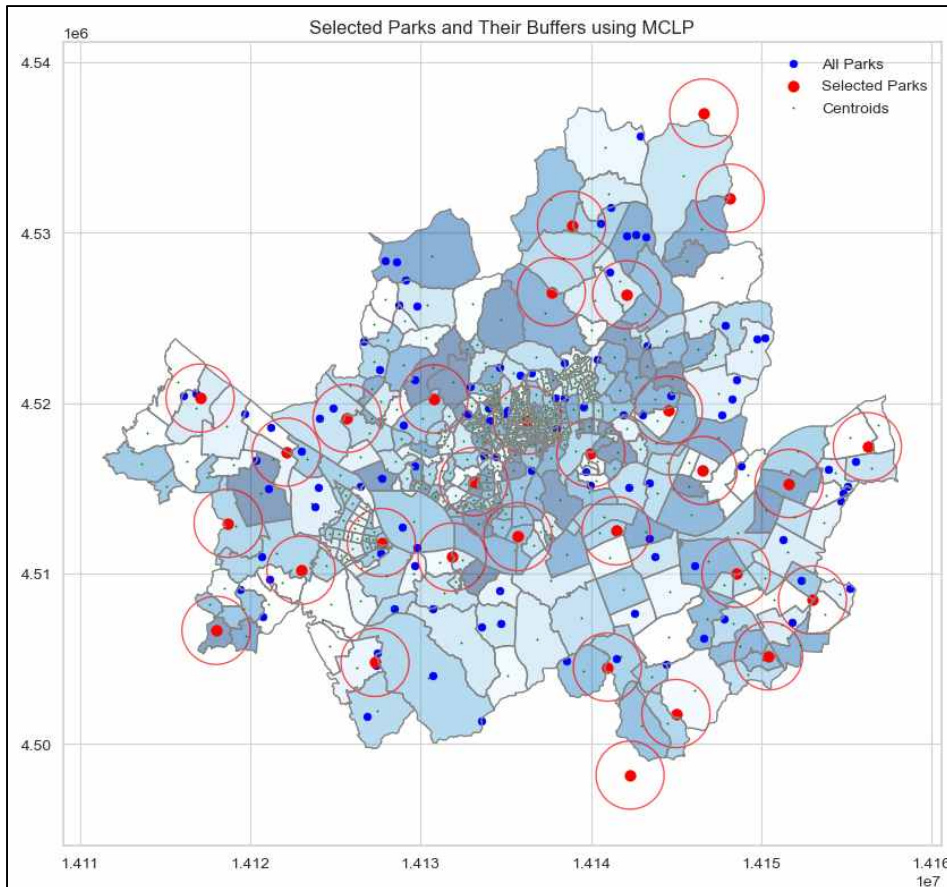
(2)-3. Score 계산

모든 값들을 Min Max Scale을 통하여 크기를 조정하였다. 지역별 score는 조정된 가중치 결과들의 합이다. Score 계산 결과의 일부는 아래와 같다.

구	123 score
강남구	4.142289
강동구	4.500755
강북구	4.018179
강서구	5.947029
관악구	3.269015
광진구	4.510527
구로구	4.309988
금천구	3.913797
노원구	4.339465
도봉구	3.596996

(2)-4. 가중치를 이용한 MCLP 모델링 – 거점 도시양봉 공원 선정

가중치를 적용하여 MCLP 모델링을 한 결과는 다음과 같다. 이전에 가중치 없이 적용한 결과와 차이가 있음을 확인할 수 있다.

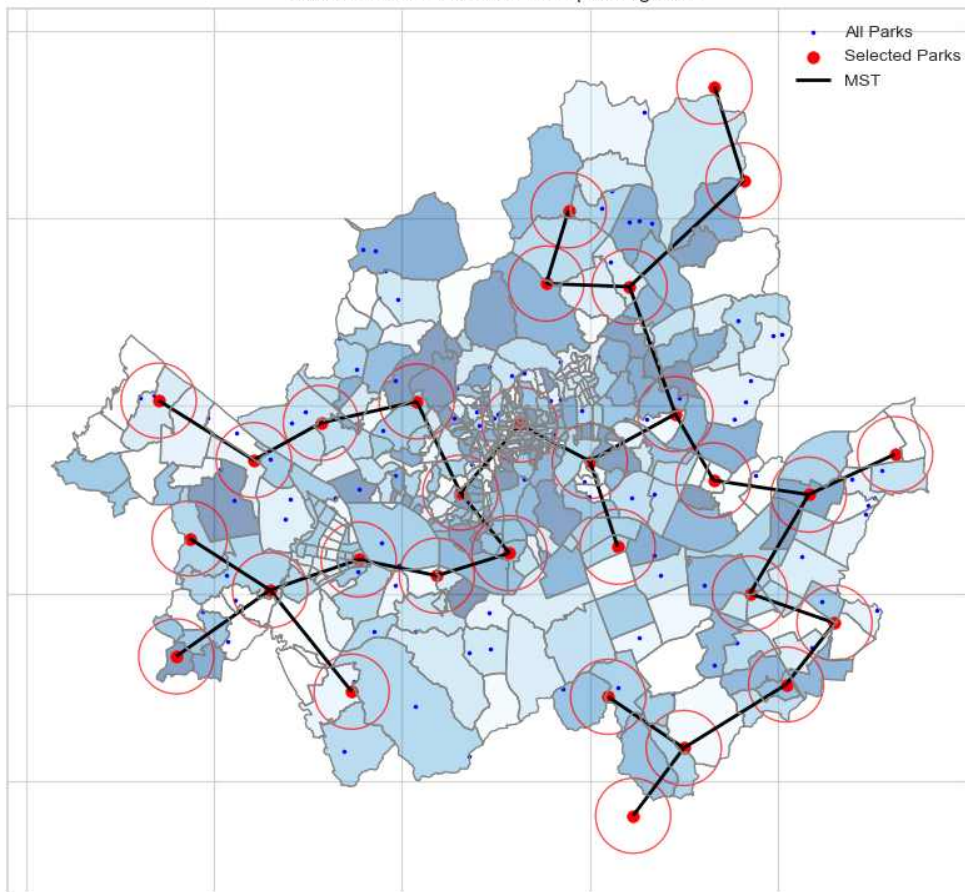


해당되는 공원들은 '탑골근린공원, 중마루근린공원, 매화근린공원, 평고개근린공원, 문화예술공원, 인능산도시자연공원, 청계산도시자연공원, 효창근린공원, 송파나루근린공원(석촌호수), 장지근린공원, 응봉공원, 문화비축기지, 용산가족공원, 어린이대공원, 천호근린공원, 동명근린공원, 갈산근린공원, 서서울호수공원, 푸른수목원, 답십리근린공원, 불암산도시자연공원, 수락산도시자연공원, 안산도시자연공원, 율현공원, 도산근린공원, 북서울꿈의숲, 솔밭근린공원, 북한산국립공원, 감로천생태공원(관악산), 사육신공원'이다.

(3) MST 방식을 이용한 B라인(꿀벌도로) 구축

MST방식은 그래프 내의 모든 점을 포함하되, 간선들의 가중치 합들이 최소로 되도록 선을 이어주는 알고리즘이다. 우리는 이 방식을 채택하여 꿀벌이 거점에서 이동할 때 이동할 수 있는, 다른 거점과 연결될 수 있는 최적의 루트를 구하고자 하였다. 해당 거리에 밀원수 등을 심는다면 꿀벌이 더 쉽게 이동하고 서식할 수 있을 것이며, 본봉 등으로 꿀벌이 이동을 하게 되더라도 거점들 사이를 연결하여 서식지를 잡게 될 것이므로 거점들 간 연결이 가능해진다고 볼 수 있다. 그렇게 거점이 연결되면, 도시 전체가 B라인을 따라 생태계가 연결되게 되고, 꿀벌의 수분 등을 토대로 야생화 군락지 등이 형성되어 보다 다양한 동식물의 보금터가 도시 생태계에 마련될 수 있을 것이다.

Selected Parks and Minimum Spanning Tree



창의성

도시양봉과 관련된 기존의 연구나 실제 적용 사례는 국내에도 많이 존재한다. 그러나 기존의 도시 양봉은 단순히 도시 지역에 양봉을 진행할 수 있는 방안 연구나 도시의 일부 지역에 양봉을 진행해보는 데에 그쳤다. 우리 환파주의보 팀의 '도시 생태계 활성화를 위한 도시양봉 거점공원 선정 및 야생화를 활용한 B라인 구축' 주제는 '도시 생태계를 연결'시킨다는 점에서 차이가 있다.

또한, 우리 팀의 모델의 특징은 신속성, 유연성, 방향성 제공에 있다. 우리는 모델 구축과정에서 MCLP 알고리즘에 꿀벌의 생태에 영향을 주는 변수들을 가중치로 적용하였다는데, 이를 통하여 사업 선정시 공원 위치 선정을 빠르게 진행하고, 공사를 착수 진행할 수 있으며 환경적인 변화가 생길 시 모델을 통하여 유연하게 대처할 수 있도록 하였다. 또한, 선정 후 관련 전문가가 검토를 진행하도록 하여 시간적 비용적 이점을 제공하였다. 그리고 사후연구를 통해 새로운 변수 데이터를 추가하게 될 시, 이 모델에 적용하기 위한 관련 데이터를 입력하여 소스코드만 실행시키면 자동으로 변수변환, 가중치 적용, 위치 선정까지 한 번에 이루어지므로, 매우 신속하고 유연하게 상황 변화에 대처할 수 있는 모델이라고 볼 수 있다.

더불어 보고서에서는 MST로 B라인을 구축하는 거시적인 방법을 제시하였는데, 이는 가로수, 야생화 조경사업에 구별, 동별 실정이 다 다르기 때문으로, 해당 내용을 조정하여 실무자에게 거시적인 방향성을 제공하기 위함이다.

적합성

1. 데이터의 융합 및 활용성

이번 연구에서는 서울시의 도시 양봉 거점을 선정하고 생태계를 연결하기 위해 다양한 공공데이터와 환경 정보를 사용했다. 이 과정에서 각 데이터는 꿀벌 서식지의 잠재성을 평가하고 최적의 공원 위치를 선정하는 데 중요한 역할을 했다.

(1) 방재기상관측(AWS) 데이터

- 년/월을 기준으로 행렬 전환 후, 필요 없는 열을 제거하고 컬럼명을 변경
- 서울시 월별 평균 대기오염 정보를 측정월, 측정소명을 기준으로 평균을 내어 병합
- 꿀벌은 일정한 기후 조건에서 최적의 생존율을 보인다. 기후 데이터는 꿀벌이 생존하기에 적합한 환경을 가진 지역을 파악하는 데 중요한 역할을 함

(2) 서울시 주민등록인구 통계

- 필요 없는 행을 제거한 뒤 컬럼명을 변경
- 구를 기준으로 주민등록인구수를 합산한 후, 시점을 기준으로 병합
- 인구 밀도는 도시 양봉의 수요를 평가하는 데 중요한 요소임

(3) 서울시 녹지현황 통계

- '-'으로 표시된 데이터를 0으로 변경
- 공원과 녹지 공간의 분포를 파악하고, 꿀벌 서식지로 얼마나 적합한지를 평가하는 데 사용

(4) 산림청_산림병해충방제 일반병해충방제관리정보

- 방제 이력이 있으면 1, 없으면 0으로 설정하는 '방제여부' 컬럼을 추가
- 꿀벌에게 영향을 줄 수 있는 방제 지역을 파악함으로써, 꿀벌의 생존에 유리한 지역을 선정

(5) 환경부_환경공간정보_년도별 세분류토지피복통계(1_10차)

- 서울특별시에 해당하는 데이터만 추출하여 2019-2022년 데이터만 추출
- 토지 피복이 꿀벌 서식에 미치는 영향을 분석하여 적합 토지 유형을 갖춘 지역을 선정

(6) 국토정보맵 서울시 건폐율 시군구경계

- gid를 기준으로 서울시에 해당하는 데이터를 추출
- gid 값을 구 이름으로 변경한 뒤 병합
- 건폐율이 낮은 지역은 녹지 공간과 공원이 더 잘 보존되어 있어 생태계를 연결하는 데 활용

(7) 2020 서울시 도시생태현황도

- 현존식생 코드 B, D가 있는 행을 추출
- 구와 현존식생을 기준으로 면적 합계를 산출한 뒤 병합
- 특정 지역의 생태적 중요성을 파악하여 꿀벌 서식지로의 적합성을 파악

(8) 서울시 주요 공원현황

- 컬럼명 변경 및 결측치 제거 등 전처리 진행

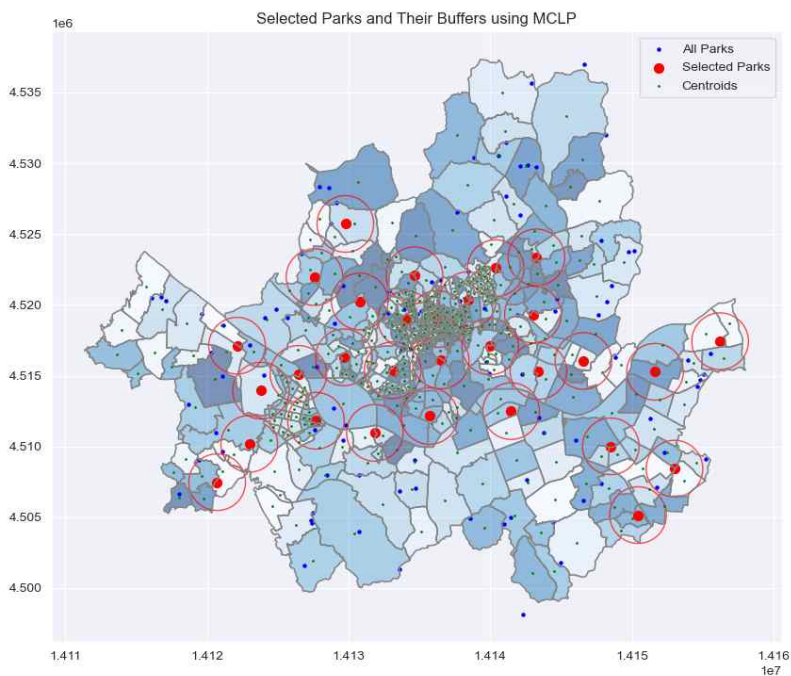
2. 분석 과정 및 사용 모델

(1) MCLP 방식 사용

MCLP 방식은 제한된 수의 지점을 선정하여 가능한 많은 수요 지점을 커버하는 최적의 입지선정 방법이다. 이번 연구에서는 서울시 내 자치구의 중심점과 공원 데이터셋을 기반으로, 양봉에 적합한 최적의 공원 위치를 선정하기 위해 MCLP 방식을 사용했다. 수요 지점은 각 구의 중심으로, 시설은 공원으로 선정했으며 양봉꿀벌의 최대 이동거리인 2000m를 기준으로 범위를 설정했다.

- 공원 선정 방식

- 1) 우선 공원을 선정하고, 선택한 공원의 수만큼 모델링을 반복한다.
- 2) 가장 많은 중심점을 커버할 수 있는 공원을 선택한다.
- 3) 이미 선택된 공원의 버퍼와 겹치는 공원을 제외한다.
- 4) 공원의 점수를 고려하여 중심점을 커버하는 효과를 계산한다.
- 5) 현재 선택된 공원과 새로운 공원이 커버하는 중심점의 점수 합계를 계산하여 가장 높은 점수를 얻은 공원을 최종 거점 공원으로 선정한다.



(2) 가중치를 활용한 MCLP 모델링

보다 꿀벌 서식지로 적합한 공원을 선정하기 위해 여러 환경 변수에 가중치를 부여했다.

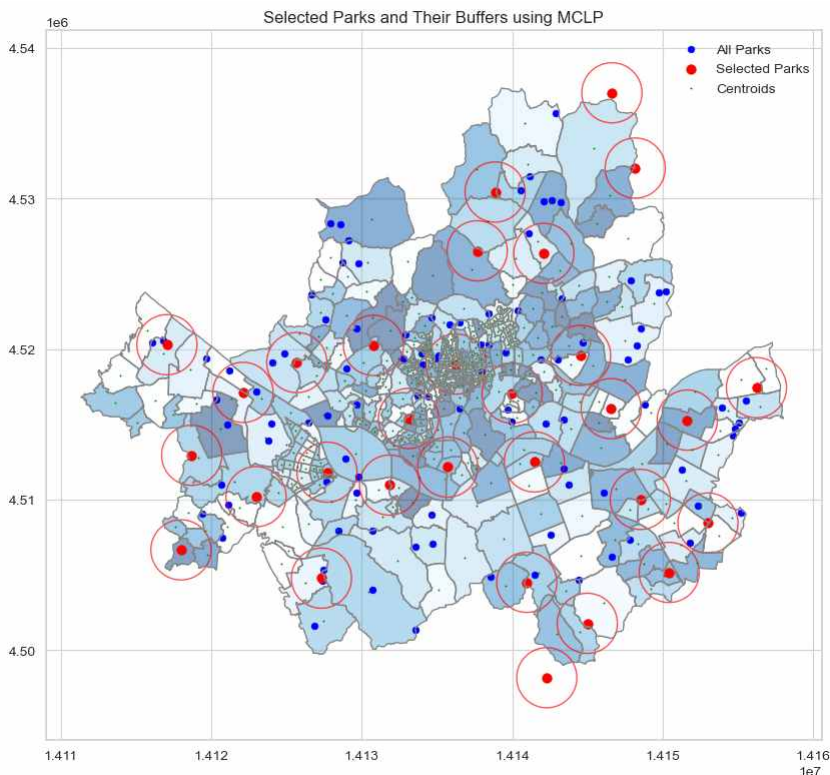
(2)-1. 가중치 선정:

- 도메인 지식 활용: 기존 연구 자료를 바탕으로 가중치 선정.

- 엔트로피 방법: 도메인 지식이 없는 변수에 대해 엔트로피 방법으로 가중치 산정.
- 가중치 조정: 도메인 지식과 엔트로피 방법을 통해 각각의 가중치를 조정하여 최종 가중치를 결정.

(2)-2. Score 계산:

모든 값들을 Min Max Scale을 통해 조정하고, 지역별 score를 산출하여 최적의 공원 위치를 선정.



(3) MST 방식을 활용한 B라인 구축

MST(최소 신장 트리) 방식은 그래프 내 모든 점을 포함하되, 간선들의 가중치 합이 최소가 되도록 선을 이어주는 알고리즘이다. 이를 통해 꿀벌이 거점에서 다른 거점으로 이동할 수 있는 최적의 루트를 찾고자 했다.

- 최적 루트 선정: 꿀벌이 이동할 수 있는 거점 간의 최적 루트를 MST 방식으로 계산한다.
- 밀원수 식재: 선정된 루트에 밀원수를 심어 꿀벌이 더 쉽게 이동하고 서식할 수 있도록 한다.
- 거점 연결: 본봉 등으로 꿀벌이 이동하더라도 거점들 사이를 연결하여 서식지를 잡게 한다.

거점들이 B라인을 따라 연결되면, 도시 전체의 생태계가 연결되어 꿀벌의 수분 활동을 통해 야생화 군락지 등이 형성된다. 이는 다양한 동식물의 보금터를 마련하여 도시 생태계의 활성화에 기여할 수 있다.

활용성

1. 활용 가능한 업무수행

우리의 분석모델은 도시 생태 복원 사업, 도시양봉 정책 수립 및 시행, 공원 정비 사업 등에 활용될 수 있다. 여기서 우리가 수행한 분석모델이 가지는 이점은 '가중치를 적용한' MCLP 분석 모델이라는 점이다. 각 요인에 가중치가 적절히 적용되었기 때문에 실제로 '도시양봉을 시행했을 때 발생할 수 있는 환경 변화로 인한 문제 등에 빠르게 대응할 수 있다'는 장점이 있다. 단순히 MCLP 방법을 사용했다면 꿀벌 서식지에 중요한 요인에 대한 고려 정도가 상대적으로 낮아지기 때문에, 가중치 없이 거점과 B라인(꿀벌 생태 통로; 꿀벌이 이동하는 경로)을 선정할 경우, 꿀벌이 장기간 서식할 수 있는 환경이 갖춰지지 못할 것이다. 꿀벌 서식에 보다 중요한 요인의 변화에 민감하게 반응하지 못하기 때문이다. 그러나 우리가 구축한 모델은 꿀벌 서식지에 영향을 미치는 환경 요인들을 가중치를 부여하여 그 중요도를 구분하였으며, 나아가 인구수를 활용하여 인구밀집도가 높은 도시에 보다 적합하도록 설계를 하였기 때문에 도시 양봉의 이점 및 성공을 극대화할 수 있다.

더불어 해당 모델은 변수를 추가하게 되면 자연스럽게 반영이 되는 방식이기 때문에 기후변화, 도시 미세먼지 등 새로운 환경 변화에 따라 도시양봉 정책이나 업무를 변경해야 할 때 빠르게 적용시킬 수 있다. 이러한 장점은 추후 도시양봉과 관련된 연구가 진행될 때도 활용이 가능하며, 이를 통해 더 나은 도시양봉 정책을 만들어나갈 수 있을 것이다.

2. 구체적인 업무 활용 계획

(1) 활용 대상: 아래 사업들과 관련된 도시 양봉

- 도시 생태 복원 사업
- 공원 정비 사업
- 시민 참여로 진행하는 도시 생태계 복원 사업

(2) 소요 예산

공원 한 곳에 꿀벌 20군이 있다고 하였을 때, 꿀벌 분양 카페 가격 및 양봉 마트 가격 기준으로 예산을 선정해보면 다음과 같다.

- 꿀벌 20군 비용: 5매벌 10군 기준 약 35만원 * 2
- 꿀벌 20군 벌통(세트 기준) : 약 5만원 * 20
- 기초양봉자재 + 부자재: 50만원
- 벌 먹이 20포(백설탕 활용) : 연간 약 2.5만원 * 20
- 20군에 대한 약품 : 연간 약 20만원

이어 꿀벌 생태 통로 형성에 들어가는 비용을 생각해보면, 가로수 및 현존 식생을 활용하되 추가적으로 향토야생화 꽃길 조성 사업을 진행한다고 가정하여 다음과 같이 계산할 수 있다.

- 향토야생화 꽃길 조성 사업: 3km에 2억 1천 400만원
- 여기에 시민들이 적극적으로 밀원수 구축에 참여하는 등 꿀벌 생태 통로를 만드는데 자발적으로 참여할 경우 비용 감소 효과가 발생할 수 있다.

위 계산을 기준으로 공원 한 곳 당 최소의 총 비용을 계산해보면 '290만원 + 꿀벌 생태 통로 조성비용'이라고 할 수 있다. 우리의 분석모델에서는 30개의 공원 거점을 선정하였으므로 위 비용에 30을 곱하면 약 '8천 7백만원 + 꿀벌이 다닐 수 있는 밀원 생태 통로 조성 및 관리 비용'이 최소

예산으로 필요할 것으로 보인다. 여기에 추가로 시민 참여나 도시양봉 및 B라인 인식 제고를 위한 광고비용 등이 필요할 수 있어 보인다.

(3) 사업 시행 절차

겨울에는 비교적 벌들의 움직임이 둔화되므로 이 시기에 공원 내 도시양봉의 기본 인프라를 형성한다. 이후 벌들이 본격적으로 채집을 하고 수분을 진행하는 봄~가을 시기에 도시 양봉을 진행한다. 양봉 전문인력이 필요할 것이며, 해당 직원들이 거점 양봉장을 관리한다. 또한, 꿀벌 전염병 등을 사전에 막기 위하여 수시로 양봉 점검이 필요할 것이다. 생태통로는 가로수 및 현존 식생을 우선적으로 활용하되, 시민 참여 봉사활동 등을 통하여 구축되는 B라인을 따라 밀원식물 심기 활동 등을 시행하여 인식 제고와 밀원수 조성 효과를 동시에 노리는 활동이 필요할 것이다. 시민 참여 유도를 위하여 서울시장 명의의 봉사장 제공, 도시양봉에서 채밀한 서울시 꿀 가격 할인과 같은 봉사 인센티브를 지급하면 시민의 참여를 유도할 수 있을 것이다. 또한 현재 시행하고 있는 도시양봉 교육, 전문인력 양성 프로그램을 활성화시켜 도시와 꿀벌의 공존에 대한 시민들의 긍정적 인식을 향상시키고 도시양봉에 대한 친숙성을 높이며, 전문 양봉인력의 증가를 꾀하는 방안이 필요할 것이다.

정책 활용

1. 서울시 녹지축 연결 사업 및 자연환경보전조례

서울시에서는 서울의 단절된 녹지축을 연결하는 사업을 시행 중이다. 급속한 도시 발전 과정에서 공원녹지가 단절되고 생물의 서식 공간이 훼손되었기 때문이다. 이로 인하여 도시 내 야생 생물의 생존 환경이 열악해졌으며, 도시의 녹지가 단절되고 파편화 되어 있다. 이에 서울시에서는 단절된 녹지 공원녹지 132개소를 대상으로 연결효과가 큰 지역부터 단계적으로 녹지 연결을 시도하고 있다. 이를 통하여 훼손된 생물 서식지를 복원하고, 도시 내 생물다양성을 증진시켜 이용 시민에게 편의를 제공하고자 하고 있다. 이러한 서울시의 도시 생태 복원 움직임에 있어 우리가 수행한 과제는 '거점을 이어 B라인을 도시 전역을 잇도록 구축한다'는 점에서 직접적인 기여를 할 것으로 보인다. 이를 통해 단절된 도시 공원녹지를 보다 빠르고 효과적으로 연결짓고 장기적으로는 도시 전체의 생태계를 활성화시킬 수 있기 때문이다.

관련한 서울시의 법령으로는 '서울시 자연환경보전조례'가 있다. 해당 조례는 1991년 12월 제정된 자연환경보전법과 관련하여 서울특별시가 시의 지역적 특성을 고려하여 1993년 3월 20일 제정한 조례이다. 자연환경보전조례에는 '자연환경은 공익에 적합하게 보전되어야 하며, 지속가능하게 이용되어야 한다'는 내용과 함께 '자연환경보전을 위한 실천계획을 10년마다 수립하는 등 지역적 여건에 적합한 자연환경보전대책 수립.시행의 책무를 지고, 시민은 자연환경보전 시책에 적극 협력하여야 한다'는 내용이 규정되어 있다. 세부 내용으로 생태·경관보전지역과 관련한 내용, 야생생물의 보호와 관련한 내용, 자연환경정보의 관리 및 활용을 위하여 10년마다 자연환경조사를 실시해야 한다는 내용, 자연자산의 관리를 위하여 생태계가 파괴·교란된 지역의 자연생태계를 복원하는 등 생태도시 조성에 노력해야 한다는 내용, 시민이 참여할 수 있도록 활동 활성화를 해야 한다는 내용 등이 있다.

2. 천안시 등 도시 지자체 차원의 연구

현대 도시화의 진행 속에서 도시 생태계 보전은 중요한 과제로 대두되고 있다. 이에 도시양봉은 도시 생태계 활성화를 위한 한 방법으로 주목받고 있으며, 다양한 도시에서 실험적으로 진행되고 있다. 습지 생태축 보전과 인공습지 조성은 도시 내 생태계 보전에 밀접한 관련이 있다. 보호지역 확대 정책을 통해 내륙습지와 연안습지 보호지역이 확대되어 다양한 생태계 서비스를 제공하고 생태계를 보전하는 역할을 한다. 이는 꿀벌 등 다양한 생물들의 서식환경을 조성하여 생태계 다양성을 지원한다. 또한 인공습지 조성을 통해 탄소흡수원이 확대되고 자연기반해법(NbS)을 활용하는 등 도시 생태계 보전을 위한 정책적 노력이 이루어지고 있다.

천안시를 중심으로 한 연구에서는 종분포모형을 활용하여 도시 내 양봉꿀벌의 서식환경을 분석하고 있다. 이를 통해 꿀벌의 서식지 적합성을 평가하고 도시 생태계에서 꿀벌의 역할을 파악할 수 있다. 서울시와 세종시에서도 도시양봉학교 운영, 공공기관 옥상 양봉장 조성 등의 정책을 통해 꿀벌 생태계 회복과 주민 소통을 도모하고 있다.

이러한 정책과 연구를 바탕으로 거시적인 방법인 MST 기반 B라인 구축 프로젝트가 제시되었다. 이는 가로수 및 야생화 조경사업에 실무자에게 거시적인 방향성을 제공하여 도시 생태계를 보전하고 개선하는 데 중요한 역할을 할 것으로 기대된다. 우리의 분석모델 역시 이와 같은 B라인 구축과 관련된 방법론을 제시하고 있으므로 연구 등에 활용 가능성이 높을 것으로 보인다. 이처럼 도시 생태계 보전을 위한 다양한 정책적 노력이 이루어지고 있으며, 이를 통해 도시 내 생태계 다양성 증진과 지속가능한 도시 발전을 도모할 수 있을 것으로 보인다.

기대효과

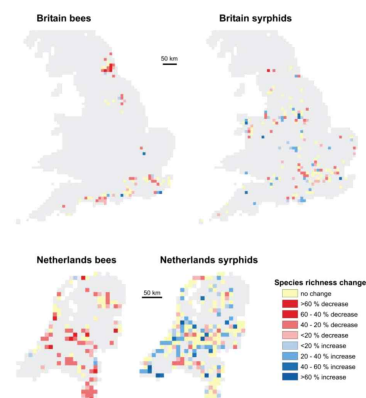
<도시양봉 거점 마련 및 B라인 구축의 사회적 기여도>

(안태홍. 도시양봉 도입을 통한 도시농업공원 활성화 계획. (2015). 서울대학교 환경대학원. 자료 참고)

(1) 도시 생태 활성화

일본 긴자의 꿀벌프로젝트 사례를 보면, 프로젝트 시행 이후 도시 내 수실수 가로수의 결실률이 상승하였다. 또한, J. C. Biesmeijer("Parallel declines in pollinators and insect-pollinated plants in Britain and the Netherlands" By J C Biesmeijer, 2006)에 따르면 수분 매개 곤충의 개체가 줄어들어서 환경에 부정적인 영향 즉, 종 다양성 역시 감소한다는 결론을 확인할 수 있다. 다음은 관련된 수치 자료와 시각화 자료이다.

	Obligatory outcrossing, insect pollinated	Obligatory outcrossing, wind or water pollinated	Predominantly self pollinating	P
Britain	-0.22 ± 0.06* (n = 75)	+0.18 ± 0.14† (n = 30)	-0.003 ± 0.70*† (n = 116)	0.009
Netherlands	+0.10 ± 0.08 (n = 182)	+0.18 ± 0.08 (n = 160)	-0.08 ± 0.11 (n = 143)	0.091
NL bee plants	-0.12 ± 0.13* (n = 42)	+0.18 ± 0.08† (n = 160)	-0.08 ± 0.11*† (n = 143)	0.036



즉, 도시 내 수분매개 곤충인 꿀벌의 개체수를 늘리는 우리의 분석모델이 도심의 자연녹지 및 공

원녹지의 식물 종 다양성 유지와 생식에 기여할 수 있다고 볼 수 있다.

(2) 도시 양봉의 체험학습을 통한 시민의 삶 풍요 증진

현재 서울 도시양봉 관련 사업을 진행 중인 어반비즈서울에서 어린이를 대상으로 도시양봉 체험 수업([안녕, 꿀벌] 어린이꿀벌체험)을 실시하고 있는데, 매년 빠르게 매진되고 있다. 이는 어린이와 가족 인구에게 도시양봉이 인기가 많다는 반증이라고도 볼 수 있다. 우리의 분석모델을 기반으로 도시양봉 거점과 B라인을 구축하여 지자체에서 자체적으로 가족 단위나 시민 대상의 체험학습을 진행한다면 환경과 도시 생태계에 대한 지식을 직접 습득할 수 있는 기회가 될 수 있을 것이다. 특히 학생이나 어린이를 대상으로 진행하는 활동은 미래세대에게 꿀벌과 도시의 지속가능한 환경에 대한 긍정적인 인식을 진행하는데 기여가 될 것이다. 미래세대가 자라나는 과정에서 미리 생명과 자연환경 보전의 소중함을 느끼고, 직접 꿀을 수확해보는 등의 활동을 진행하는 등의 교육장소로서 거점공원과 B라인이 역할을 수행하게 될 것이다. 추가적으로, 일반적으로 양봉, 생태 체험은 대부분 가까워도 서울 근교에서 체험할 수 있어 멀리 이동해야 가능한 경우가 많지만, 도시양봉 체험 학습은 생활하고 있는 도시 내에서 진행되기 때문에 접근성 측면에서 편리해 시민 참여를 증진을 유발할 수 있어 시민들의 다양한 생태 체험 기회 확장에 도움이 될 것으로 기대된다. 이는 도시 생태계의 활성화가 가져오는 시민의 삶 풍요와 관련한 증진 효과라고 볼 수 있다.

(3) 경제적 효과 - 로컬푸드 등

어반 비즈 서울의 경우, 19,900원에 200g의 꿀을 판매하고 있다. 이는 동서벌꿀이 600g에 15,480원에 판매하고 있는 것과 대조적이다(200g당 5160원). 여기에는 도시양봉을 활용한 로컬푸드 프리미엄이 붙은 것이다. 우리 팀이 수행한 분석모델을 활용하여 선정된 공원거점 양봉을 통해 채취한 꿀은 공공의 이익을 위해 어반비즈서울의 케이스보다 더 적은 가격에 책정하더라도 시중에서 판매되는 꿀 대비 더 높은 수익성을 가져올 수 있다. 또한 판매 수익금을 공원정비, 환경보전 사업 확장, 환경 장학금 증정, 환경 캠페인 및 광고 비용 등에 사용하여 공공정책의 경제적 선순환 효과를 불러오는 것도 가능하다.

더불어 Lora A. Morandin(Pollinators provide economic incentive to preserve natural land in agroecosystems, Lora A. Morandin, Mark L. Winston, 2006)에 따르면 꿀벌의 존재로 인해 제공받는 경제적 이익이 5.76km²당 약 66000달러에 달한다고 한다. 이처럼 꿀벌 개체수 유지 및 확대 만으로도 가져올 수 있는 경제적 이익은 상당할 것으로 예상된다.

(4) 사회적 효과 - 일자리 창출

지난 2013년 시행되었던 '장애인 도시 양봉단' 사업을 통해 장애인들에게 일자리 창출 기회가 제공된 적이 있다. 유사하게 공원 양봉장 관리 인원을 지역사회 내에서 교육하고 차출한다면 지역사회 경제적 증진 및 일자리 증대 효과를 기대해볼 수 있다.

(5) 서울시 내 꿀벌 관련 생태계 조성에 있어 우선순위 지역 제공

우리의 분석모델은 서울시 내 도시공원 중 꿀벌 서식과 관련한 최적의 입지가 어디인지를 나타내 준다. 서울시 단절 녹지축 연결사업 사례에서 알 수 있듯이, 생태와 관련된 사업은 장기적이고 지속적으로 바라보아야 하기 때문에 우선적으로 사업을 시행할, 효과성이 큰 입지를 찾는 것이 무엇

보다 중요하다. 우리의 모델은 이러한 점에 있어 최적의 입지를 찾아주는, 정책 계획 및 실행에 있어 적합한 모델이라고 생각된다. 이후 이 모델을 향상시켜 B라인을 실제 도시 내 도로 등과 매칭시켜 B라인 구축을 위한 세부적인 길을 정하고, Maxent 모델과 같은 종분포 모델을 활용하여 거점, B라인 기반 꿀벌의 출현 지점을 예측한다면 보다 효과적으로 도시 생태계를 복구시키고 도시 내 꿀벌 개체수 보존에 기여될 것으로 예상된다. 특히 서울시의 경우, 지난 5/20일 세계 꿀벌의 날을 맞아 나무주사 방식을 포함하여 꿀벌에게 악영향을 미치는 네오니코티노이드 계열 농약 사용을 전면 금지하는 등 꿀벌 생태계 복구를 위한 노력을 기울이고 있다. 또한, 정부에서도 농림축산식품부, 환경부, 기상청 등이 연합하여 2030년까지 예산 484억원을 투입하여 '꿀벌 보호 및 생태계 연구개발' 사업을 벌이고 있는만큼, 지자체 및 범정부 차원에서의 꿀벌에 대한 관심과 투자가 높아지고 있는 상황이다. 이러한 상황에서 꿀벌의 서식지 확보, 또 이를 위한 밀원수 지역 증대, 이를 통한 장기적 도시 생태계 연결 및 활성화 등의 기대효과를 노릴 수 있는 우리의 분석모델은 정책적 차원에서도 활용성이 무척 높다고 볼 수 있다.