

**「데이터 활용 아이디어&시각화 경진대회」
아이디어 제안 보고서**

제 목

탄소저감을 위한 도시형 옥상 태양광 입지선정

소속	이름	휴대전화	팀명
개인	심예진	010-3396-9237	옥상햇빛
개인	조장희	010-9984-6759	

탄소저감을 위한 도시형 옥상 태양광 입지선정

1. 배경 및 필요성

지구온난화의 가속화로 인해 2015년 파리협정에서 2050년까지 탄소중립을 달성하여야 한다는 경로를 제시함에 따라 정부의 탄소중립정책이 시행되었다. 이 일환으로 태양광 발전소, 풍력 발전소 등 친환경 에너지 생산 사업이 증가하고 있다. 특히 본 분석에서 주로 살펴볼 태양광의 경우, 2017년 산업통상자원부에서 발표한 재생에너지 3020 이행계획¹⁾에 따르면 태양광 발전을 통하여 2030년 기준 36.5GW 발전을 목표로 하고 있다. 태양광 발전소의 경우 에너지 생산을 위해 넓은 면적을 필요로 하지만, 한국의 경우 높은 비율의 산악지형, 상대적으로 좁은 국토 등으로 인해 국내에서 태양광 발전소 설치 부지는 한정되어 있다. 이에 부지 확보를 위해 산을 깎는 등 임야 지역을 개발하여 패널을 설치하는 일이 빈번히 발생했다²⁾. 이에 따라 여름철 장마 피해가 예년에 비해 심해지거나 산사태가 발생하는 등의 안전문제가 발생하고 있다. 또한, 태양광 패널 설치를 위해 임야 지역을 개발하기 때문에 환경을 지키기 위해 진행되는 사업이 오히려 환경을 파괴하는 모순된 상황이 발생하고 있다. 따라서 본 보고서는 이런 문제를 해결하는 동시에 신재생 에너지 생산의 증가를 통한 탄소중립을 실현할 방안으로 건물 옥상 태양광 설치를 제안한다. 이미 지어진 건물의 옥상 위에 태양광을 설치하자는 아이디어이기 때문에 태양광 설치를 위해 환경을 파괴하지 않아도 되고, 태양광 발전을 늘려 탄소중립을 실현을 앞당기는데 일조할 수 있기에, 현 상황에서 필요한 아이디어라고 생각했다.

2. 아이디어 및 시각화 시나리오 요약

본 보고서는 분석의 대상을 경기도로 한정한다. 아래에 나열한 데이터를 활용해 만든 파생변수 에코수요지수와 그린에너지 공급지수를 근거로, 경기도 내에서 태양광 발전소가 우선적으로 필요한 지자체 후보지를 클러스터링을 통해 선별하였다. 12개의 후보지가 선정되었고, 12개 후보지 중에서 태양광이라는 특수성을 고려하여 기온, 강수량 등의 기상조건 변수를 기반으로 AHP 의사결정 방식을 통해 최종적으로 한 지자체만을 결정한다. 이후 지리정보, 건물 면적, 에너지 생산량 등을 고려하여 세부적인 위치를 선정하는 식으로 분석이 진행된다.

3. 세부내용(수행과정)

1) 활용데이터

활용한 데이터는 2006년부터 2020년까지 각각 다양한 시기의 정보를 포함하고 있었다. 하지만 데이터안심구역에서 사용한 데이터는 최신 기한이 2019년이었기 때문에, 그 후의 데이터가 있더라도 모든 데이터의 기한은 2019년으로 통일하였다.

① 데이터안심구역

- 산업분류별전력사용량

: 산업의 종류별로 전력사용량을 명시한 데이터로, 분석 초기 산업별 전력사용량을 살펴보기

1) 산업통상자원부 (2017). 재생에너지 3020 이행계획

2) “태양광 사업, 3년간 월드컵경기장 6000개 면적 산림 훼손” 조선일보 조선비즈

https://biz.chosun.com/site/data/html_dir/2019/04/04/2019040401461.html

위해 사용하였다.

- 계약종별전력사용량

: 계약종별은 전기사용계약단위가 영위하는 주된 경제활동에 따라 전기요금의 적용을 달리하는 분류방법으로, 산업용, 교육용, 주택용 등으로 전력사용량을 명시한 데이터이다. 해당 데이터에서 2019년 데이터만을 필터링하여 클러스터링을 위한 전력사용량 변수 생성에 활용하였다.

- 가구평균전력사용량

: 분석 초기 가구당 평균 전력사용량을 살펴보기 위해 사용하였고, 후에는 1MW가 몇 가구가 사용할 수 있는 양인지 계산하는데 사용하였다.

② 경기도데이터드림

- 공장등록 현황

: 옥상 태양광의 최종 입지선정을 위해 화성시 공장의 좌표 및 면적 정보를 추출해 활용하였다. 이 데이터로 공장 위치 시각화 및 전력생산량을 계산하였다.

- 태양광 발전소 설치 현황

: 그린에너지 공급지수 계산을 위해 지자체별 태양광 발전소 개수 데이터가 필요했다. 따라서 해당 데이터를 사용하여 경기도 지자체별 태양광 발전소 개수를 구했다.

③ 기상청 기상자료개방포털

- 경기도 평균 기온, 강수량, 풍속

: AHP 분석의 평가 기준으로 평균기온, 강수량, 풍속을 사용하였다. 기간은 전력사용량과 맞추기 위해 2019년으로 한정하였고, 세 데이터 모두 1년 기준으로 평균을 내어 사용하였다.

④ 국가통계포털(KOSIS)

- 미세먼지(PM10) 월별 도시별 대기오염도

: 기상데이터와 마찬가지로 AHP 분석의 평가 기준으로 미세먼지 데이터를 사용하였다. 위와 동일하게 2019년으로 한정하였고, 1년 평균을 내어 사용하였다.

- 행정구역 현황

: 지자체별 면적정보를 그린에너지 공급지수 산출을 위해 사용하였다. 지자체별 면적 값은 그린에너지 공급지수의 분모로 들어간다.

2) 아이디어 및 시각화 시나리오의 세부내용

① 옥상 태양광 입지 후보지 선정

경기도 내에서 친환경 신재생 에너지가 우선적으로 필요한 지역을 선별하기 위해 본 팀은 에코(eco)수요지수와 그린에너지 공급지수라는 두 가지 지수를 산정했다. 에코수요지수는 해당 지자체가 얼마나 깨끗한 환경이 필요한지를 나타내는 지수로, 지수가 높을수록 지자체의 온실가스 배출이 많거나 지자체가 친환경적이지 못함을 의미한다. 그린에너지 공급지수는 해당

지자체가 신재생 에너지를 얼마나 생산하고 있는지를 나타내는 지표로, 높을수록 태양광이나 풍력 등 신재생 에너지 생산이 많다는 것을 의미한다. 따라서 우선적으로 옥상 태양광이 입지해야할 지자체는 에코수요지수가 높고, 그린에너지 공급지수가 낮은 지역이다. 가장 친환경적인 구조가 필요하지만 그렇지 못한 지역에 우선적으로 옥상 태양광을 설치하는 것이 합리적이기 때문에 이런 지수를 산출하여 후보지를 선정하고자 한다. 따라서 두 지수를 활용하여 클러스터링을 거쳐서 1차로 옥상 태양광 입지 후보지 명단을 만들고자 한다.

첫 번째로, 에코수요지수는 회귀모델을 만들어 산출을 시도했다. 회귀모델의 회귀계수가 유의하다면 해당 회귀계수는 다른 독립변수가 고정되어 있을 때 반응변수와 독립변수의 관계를 잘 설명하는 수치이므로, 에코수요지수를 산출할 때 사용할 예정이다. 분석의 궁극적인 목표는 탄소저감이기 때문에 반응변수는 지자체별 온실가스 배출량이고, 독립변수는 교통량, 공장수, 전력사용량, 임야면적, 요소소득, 폐기물배출량, 인구수로 7개다. 전력사용량은 보다 현실적으로 반영하기 위해 2006년부터 2019년까지 계약종별 전력사용량의 비중을 반영하여 지자체별로 주택, 산업, 교육, 농업 등 전력사용량을 가중평균 내어 계산하였다. 또한, 지자체별 소득을 잘 반영하기 위해 단순 수입이 아닌 임금, 지대, 이자를 모두 포함한 요소 소득을 변수로 고려하였다. 각 변수 별로 단위가 다르기 때문에 정규화하여 단위를 일치시킨 후에 회귀 식을 수립했다. 에코수요지수를 산출하기 위한 식은 다음과 같다.

$$\text{온실가스배출량} = \beta_1 \times \text{교통량} + \beta_2 \times \text{전력사용량} + \beta_3 \times \text{임야면적} + \beta_4 \times \text{공장수} + \beta_5 \times \text{요소소득} + \beta_6 \times \text{폐기물배출량} + \beta_7 \times \text{인구수}$$

R을 활용하여 회귀식을 도출한 결과, 대다수의 변수들의 회귀계수가 유의미하지 못하였다. 또한, 잔차 플롯을 그려보고 더빈-왓슨 검정 등 일반선형회귀모형이 지켜야 할 4가지 가정인 선형성, 등분산성, 독립성, 정규성을 만족하는지를 살펴본 결과, 독립성을 만족하지 못하였다. 회귀계수를 통해 에코수요지수를 산출하려는 것이 목표이기 때문에, 유의미하지 못한 회귀계수를 사용하는 것은 오류일뿐더러 기본 가정들도 만족하지 못했기 때문에, 본 팀은 일반선형회귀모형이 아닌 다른 방법을 통해 에코수요지수를 산출하기로 결정했다.

Coefficients:				
	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	1.495e-16	4.890e-02	0.000	1.0000
교통량	7.429e-02	7.753e-02	0.958	0.3479
공장수	8.754e-02	9.670e-02	0.905	0.3747
전력사용량점수	1.848e-01	1.179e-01	1.568	0.1306
요소소득	-6.279e-02	7.632e-02	-0.823	0.4191
폐기물배출량	1.181e-01	6.543e-02	1.804	0.0843
임야면적	1.351e-02	5.934e-02	0.228	0.8219
인구수	7.917e-01	8.885e-02	8.910	6.44e-09 ***

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1				

선형회귀모델의 t-test결과

	Value	p-value	Decision
Global Stat	12.82637	0.012156	Assumptions NOT satisfied!
Skewness	7.69952	0.005524	Assumptions NOT satisfied!
Kurtosis	1.46344	0.226384	Assumptions acceptable.
Link Function	0.01761	0.894421	Assumptions acceptable.
Heteroscedasticity	3.64580	0.056211	Assumptions acceptable.

R의 gvlma 패키지를 통해 선형회귀모델의 정규성, 등분산성, 선형성 검정한 결과

Durbin-Watson test

```
data: model
DW = 1.9447, p-value = 0.45
alternative hypothesis: true autocorrelation is greater than 0
```

더빈-왓슨 검정을 통해 선형회귀모델의 독립성을 검정한 결과

변수들을 살펴본 결과, 변수 간의 상관관계가 높은 경우가 꽤 있음을 확인하였다. 이를 활용하여, 변수들 간의 상관관계에 기반해서 변수들을 서로 유사한 변수끼리 묶어 줌으로써 여러 개의 변수를 더 작은 잠재요인으로 설명하는 방법인 요인 분석(Factor Analysis)을 통해 에코수요지수를 산출하기로 결정했다. 요인분석 결과, 2개의 요인(Factor)으로 변수들을 설명할 수 있다는 결론을 얻었다. 첫 번째 요인은 교통량, 공장수, 전력사용량점수, 인구수이고, 두 번째 요인은 요소소득, 폐기물배출량, 임야면적으로 두 요인 모두 적절하게 묶여있어 요인 분석이 잘 이루어졌음을 확인하였다. 또한, 요인분석의 적절성을 검정하는 KMO test 결과와 Scree Plot의 결과를 참고하여 요인분석이 적절하게 수행되었음을 확인하였다. 따라서 요인분석 결과로 나온 두 요인의 계수를 활용하여 에코수요지수를 계산하기로 결정했다.

Kaiser-Meyer-Olkin factor adequacy

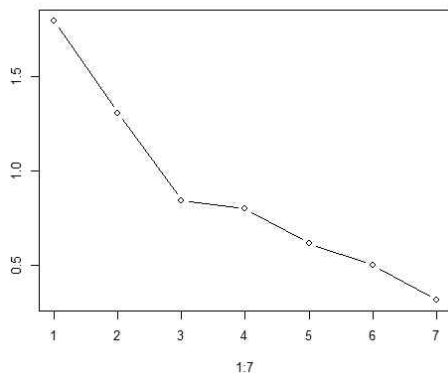
Call: KMO(r = z)

Overall MSA = 0.62

MSA for each item =

교통량	공장수	전력사용량점수	요소소득	폐기물배출량	임야면적	인구수
0.66	0.59	0.61	0.61	0.46	0.91	0.59

Scree Plot



Loadings:

	Factor1	Factor2
교통량	0.740	-0.145
공장수	0.706	0.389
전력사용량점수	0.761	0.645
요소소득	0.120	0.751
폐기물배출량	-0.306	0.484
임야면적	-0.543	
인구수	0.829	-0.118

	Factor1	Factor2
SS loadings	2.716	1.403
Proportion Var	0.388	0.200
Cumulative Var	0.388	0.588

Test of the hypothesis that 2 factors are sufficient.
The chi square statistic is 13.72 on 8 degrees of freedom.
The p-value is 0.0894

KMO test 결과(MSA > 0.6이면 적절) / Scree Plot (Y값 > 1 이면 적절) / 요인분석 계수

요인1로 분류된 변수는 요인1의 적재값(Loadings)를 사용하고, 요인2로 분류된 변수는 요인2의 적재값을 사용한다. 변수에 곱해지는 적재값의 절댓값이 클수록 해당 변수의 요인에 대한 기여도는 크다. 따라서 요인분석 적재값을 사용한 에코수요지수 산출 방식은 다음과 같다. 아래 식을 사용하여 지지체별 에코수요지수를 계산하였다.

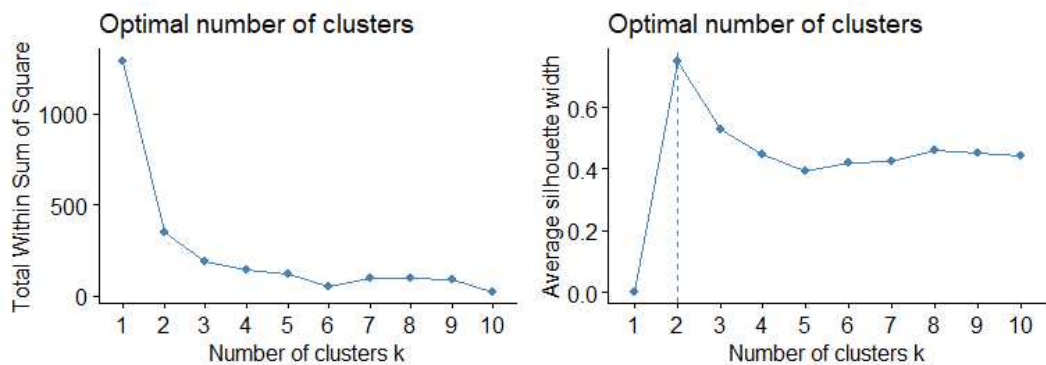
$$\text{에코수요지수} = 0.740 \times \text{교통량} + 0.706 \times \text{공장수} + 0.761 \times \text{전력사용량} + 0.751 \times \text{요소소득} + 0.484 \times \text{폐기물배출량} - 0.039 \times \text{임야면적} + 0.829 \times \text{인구수}$$

교통량, 공장수, 폐기물 배출량 등 양의 계수를 갖는 변수들은 환경오염에 악영향을 미치는 변수들이기 때문에 에코수요지수가 커지고, 임야면적이 넓을수록 환경이 보존되었음을 의미하기 때문에 에코수요지수와 음의 관계를 갖는 것은 합리적이다.

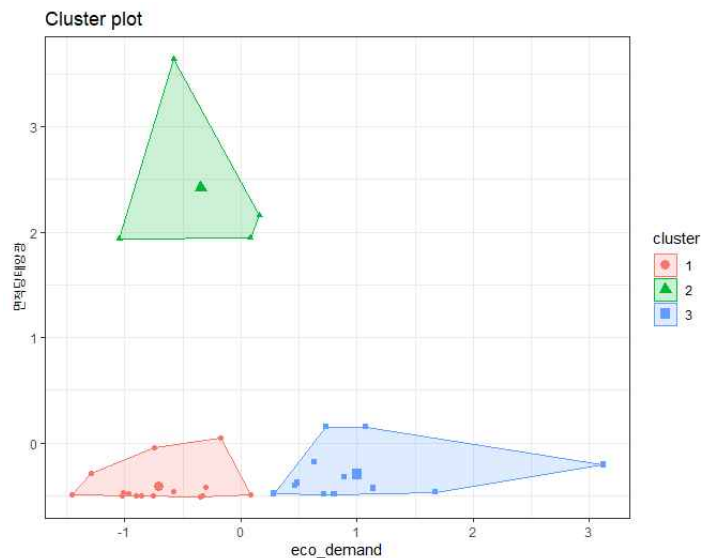
두 번째는 그린에너지 공급지수이다. 그린에너지 공급지수는 신재생 에너지를 얼마나 생산하는지를 살펴보고자 만든 지수로, 원래 계획은 태양광, 풍력, 원자력 발전소 등의 전력생산량으로 계산하고자 했으나 모든 지자체에 발전소가 있는 것도 아니고 지자체별 데이터를 구하는 데에 한계가 있어 상대적으로 데이터를 수집하기 수월했던 지자체별 태양광 발전소 개수를 통해 계산하였다. 지자체별로 면적이 크게 다르기 때문에, 면적당 태양광 발전소 개수를 계산하여 그린에너지 공급지수를 구했다.

$$\text{그린에너지 공급지수} = \frac{\text{지자체 내 태양광 발전소 개수}}{\text{지자체 면적}(m^2)}$$

위 과정을 통해 계산한 지자체별 에코수요지수와 그린에너지 공급지수를 통해 클러스터링을 진행하였다. Elbow Point와 Silhouette 값을 고려해 클러스터 개수는 3개로 설정하였다.



클러스터링 결과는 다음과 같다.



클러스터링 결과는 위의 그림과 같이 집단 간 분산이 크고, 집단 내 분산이 적은 방향으로 적절하게 이루어졌다. 각 클러스터는 명확한 특징을 보이고 있다. 클러스터링의 목표는 친환경이 가장 필요하지만 신재생 에너지 공급이 가장 부족한 지자체를 뽑아내는 것이었다. 따라서 우리의 타겟 클러스터는 에코수요지수가 높고, 그린에너지 공급지수가 낮은 클러스터이고, 위의 결과에서는 클러스터3이 이에 해당한다. 클러스터3에 속한 지자체는 고양시, 김포시, 부천시, 성남시, 수원시, 시흥시, 안산시, 용인시, 이천시, 파주시, 평택시, 화성시로 12개이다.

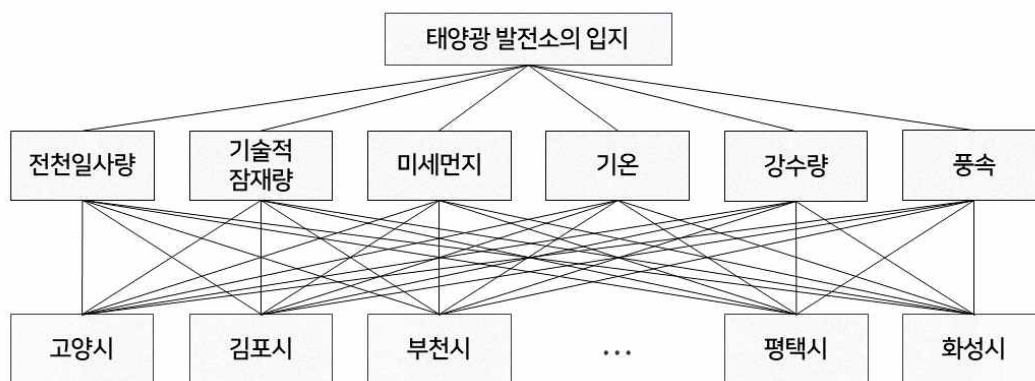
② AHP를 통한 최종 후보지 선정

클러스터링 과정을 통해 12개의 우선 입지 후보지를 선정했다. 12개의 지자체에 옥상 태양광을 설치하면 가장 바람직하겠지만 자원은 한정되어있다는 현실적인 가정하에 최종적으로 하나의 지자체를 선정하고자 한다. 태양광 발전은 다른 전력 발전과는 다르게 입지 선정에 있어서 고려해야 할 사항이 몇 가지 있다. 태양광 발전은 태양의 빛 에너지로 전기를 생산하는 구조이기 때문에 기상조건과 일사량을 고려해야 한다. 또한, 특성상 넓은 면적을 필요로 하기 때문에 패널을 설치할 부지의 가격도 고려해야 한다. 본 분석은 따로 부지를 마련하는 것이 아니라 이미 지어진 건물 위에 태양광 패널을 설치하자는 아이디어를 기반으로 하는 것이기 때문에 부지의 가격은 고려하지 않고, 기상조건과 일사량만을 고려하는 것이 합리적이라고 판단했다. 따라서 본 분석에서는 최종 입지선정에 고려해야 할 사항으로 12개 지자체의 전천일사량, 기술적 잠재량, 평균 미세먼지 농도, 평균기온, 평균강수량, 평균풍속 6개를 선택하였다. 여기서 전천일사량은 태양과 하늘에서 각각 수평면에 도달한 직간접 일사량의 합을 의미하고, 기술적 잠재량이란 현재의 과학적 지식 하에서 지리적 영향요인과 기술적 영향요인을 반영할 때 활용 가능한 태양광 에너지의 양을 의미한다.³⁾ 기술적 잠재량은 기상 요인 외에도 지형 등의 지리적인 요인과 패널 기술 등의 기술적 요인을 함께 고려하기 위해 AHP에 이용할 변수로 선택하였다.

본 분석에서 이용할 AHP기법(Analytic Hierarchy Process)은 계층적 의사 결정방법으로, 복잡한 의사결정 문제를 계층적으로 표현하고 그 계층의 항목들 간의 쌍대비교를 통하여 최선의 대안을 도출해내는 의사결정 기법이다.⁴⁾

AHP 기법을 통한 결정 절차는 일반적으로 계층구조형성, 쌍대비교, 가중치 산출, 일관성 평가, 최종 대안 선정의 다섯 단계를 거친다.

첫 번째로 계층구조를 형성한다. 계층구조는 아래의 그림과 같다.



두 번째로는 쌍대비교를 수행한다. 쌍대비교는 상위 계층에 있는 목표를 달성하기 위하여 설정한 평가기준과 대안의 기여도를 설정하는 단계이다. 평가기준 하에 대안들 간의 쌍대비교와 평가기준 간의 쌍대비교를 수행한다. 본 분석에 적용하여 예를 들면 전천일사량과 강수량을 쌍대비교하고, 전천일사량을 기준으로 김포시와 화성시를 비교한다. 쌍대비교를 수행할 때는 도메인 전문지식이 필요하다. 하지만 본 팀은 해당 에너지에 대한 전문가가 아니기 때문에 상관분석을 사용하기로 했다. 구체적으로, 변수 별로 피어슨 상관계수를

3) 한국에너지공단 에너지용어사전

4) T.L. Saaty, How to Make a Decision: The Analytic Hierarchy Process. European Journal of Operational Research, Vol. 48, No. 1, pp.9-26, 1990.

활용하거나 순위의 차이를 이용하여 쌍대비교를 수행하기로 했다.

먼저 변수 간 쌍대비교이다. AHP 분석을 위한 데이터는 지자체 별 6개의 변수로 이루어져 있다. 전천일사량, 미세먼지 등 6개의 변수의 피어슨 상관관계를 계산하여 쌍대비교를 실시하고자 한다. 피어슨 상관관계를 계산하고 변수 간의 독립, 종속관계를 고려하여 점수를 매겼다. 종속변수에게 더 큰 점수를 부과하였고, 상관관계가 클수록 큰 점수를 부과하였다. 점수는 9점척도표⁵⁾를 반영하였다. 예를 들어, 기술적 잠재량과 전천일사량은 0.71의 상관관계를 가진다. 이때 전천일사량 독립변수, 기술적 잠재량이 종속변수의 관계를 갖기 때문에, 기술적 잠재량에게 더 큰 점수를 부여한다. 이런 식으로 모든 변수끼리 쌍대비교를 시행했다. 후에 검정을 통해 이런 방법이 합리적인지를 평가할 예정이다.



6개 변수의 피어슨 상관계수 / 9점척도표

다음은 평가기준 하 대안들의 쌍대비교이다. 대안들(12개 지자체)이 평가기준(6개 변수) 하에서 어떤 관계를 갖는지를 비교하는 과정이다. 이 과정에서는 평가기준 하에서 지자체끼리의 순위를 매긴 후 순위의 차이를 이용해 점수를 매긴다. 순위의 차이가 클수록 지자체가 다른 지자체에 비해 평가기준에 대한 기여도가 큰 것이므로 높은 점수를 부여한다. 예를 들어 전천일사량에서 화성시가 1위, 성남시가 12위(꼴찌)라면 전천일사량은 화성시가 훨씬 높은 것이므로 화성시에 큰 점수를 부여하는 식이다. 쌍대비교행렬은 이런 점수 부여 방식에 따라 각 요소들이 대각성분을 기준으로 역수관계에 있다. 화성시-성남시를 비교할 때 5점이라면, 성남시-화성시를 비교할때는 반대의 경우기 때문에 1/5점이 부여되기 때문이다. 이 과정 역시 후에 검정을 통해 합리적인지 판단할 예정이다.

쌍대비교행렬이 만들어졌다면, 다음 단계에서 가중치를 산출하기 위해 열별 합이 1이 되게끔 표준화 행렬을 만든다. 2단계를 진행하면 아래와 같은 결과가 나온다. 열별 합이 1이되는 것을 확인할 수 있다.

	고양시	김포시	부천시	성남시	수원시	시흥시	안산시	용인시	이천시	파주시	평택시	화성시	Sum
고양시	0.01886792	0.01314801	0.013574661	0.01639344	0.01104972	0.014265335	0.02472722	0.02247191	0.02057260	0.01454898	0.011406844	0.02666921	0.2076959
김포시	0.11320755	0.07888805	0.081447964	0.11475410	0.09944751	0.085592011	0.06593924	0.11235955	0.07200411	0.10184287	0.057034221	0.08000762	1.0625248
부천시	0.03773585	0.02629602	0.027149321	0.04918033	0.03314917	0.021398003	0.02825968	0.02247191	0.02400137	0.02036857	0.019011407	0.03428898	0.3433106
성남시	0.01886792	0.01126972	0.009049774	0.01639344	0.01104972	0.008559201	0.02197975	0.01123596	0.01800103	0.01454898	0.009505703	0.02666921	0.1771304
수원시	0.05660377	0.02629602	0.027149321	0.04918033	0.03314917	0.042796006	0.03296962	0.04494382	0.02880165	0.03394762	0.028517110	0.03428898	0.4386434
시흥시	0.05660377	0.03944403	0.054298643	0.08196721	0.03314917	0.042796006	0.03956355	0.06741573	0.04800274	0.03394762	0.057034221	0.04000381	0.5942265
안산시	0.15094340	0.23666416	0.190045249	0.14754098	0.19889503	0.213980029	0.19781773	0.15730337	0.14400823	0.20368574	0.171102662	0.24002286	2.2520094
용인시	0.01886792	0.01577761	0.027149321	0.03278689	0.01657459	0.014265335	0.02825968	0.02247191	0.02057260	0.01697381	0.019011407	0.03000286	0.2627139
이천시	0.13207547	0.15777611	0.162895928	0.13114754	0.16574586	0.128388017	0.19781773	0.15730337	0.14400823	0.10184287	0.171102662	0.12001143	1.7701152
파주시	0.13207547	0.07888805	0.135746606	0.11475410	0.09944751	0.128388017	0.09890886	0.13483146	0.14400823	0.10184287	0.114068441	0.08000762	1.3629672
평택시	0.09433962	0.07888805	0.081447964	0.09836066	0.06629834	0.042796006	0.06593924	0.06741573	0.04800274	0.05092144	0.057034221	0.04800457	0.7994486
화성시	0.16981132	0.23666416	0.190045249	0.14754098	0.23204420	0.256776034	0.19781773	0.17977528	0.28801646	0.30552861	0.285171103	0.24002286	2.7292140
Sum	1.00000000	1.00000000	1.00000000	1.00000000	1.00000000	1.00000000	1.00000000	1.00000000	1.00000000	1.00000000	1.00000000	1.00000000	12.00000000

전천일사량 변수의 표준화 행렬

5) T.L. Saaty, "Decision making with the analytic hierarchy process", International journal of services sciences, Vol. 1, No. 1, pp.83-98, 2008.

세 번째는 가중치 산출이다. 위 과정에서 쌍대비교를 통해 만들어진 표준화 행렬의 행별 평균 벡터가 가중치 벡터가 된다. 이때 가중치 벡터 요소의 합은 1이 된다.

네 번째는 일관성 평가이다. 위 두 번째 과정에서 쌍대비교를 한 것이 합리적인지 검정을 통해 판단하는 과정이다. 이때 일관성 비율(CR)을 계산한다. CR은 CI와 RI의 비율로, CI는 쌍대비교행렬과 가중치 벡터의 행렬곱을 가중치 벡터의 평균으로 나눈 값인 λ_{\max} 와 변수의 개수로 계산을 하고, RI는 AHP를 개발한 Satty가 무작위 샘플링 실험을 통하여 제시한 수치들로 변수의 개수에 따라 아래 RI 매트릭스에서 결정한다.

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}$$

n	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
RI	0.00	0.52	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49	1.51	1.48	1.56	1.57	1.59

만약 $CR < 0.1$ 이면 위의 모든 과정이 적절하다는 것을 의미한다. CR 검정 결과 6개 변수 모두 0.1보다 작음을 확인했다. 이는 앞서 피어슨 상관계수와 순위의 차이에 기반한 쌍대비교가 합당했음을 의미한다.

```
$전천일사량
[1] 0.02652467

$잠재량
[1] 0.02652467

$미세먼지
[1] 0.03021093
```

```
$평균기온
[1] 0.03256699

$강수량
[1] 0.02652467

$평균풍속
[1] 0.02481841
```

6개 변수의 CR값. 모두 0.1보다 작다.

마지막 단계는 최종 대안 선정이다. 최종 대안은 가중치 산출을 통해 얻은 평가기준들의 상대적 중요도와 각 평가기준 하에서 대안들의 선호도를 곱한 값들 중 가장 높은 수치를 나타내는 대안이 선택된다. 즉, 각 변수별로 구한 가중치 벡터를 행렬로 만들고, 변수간 쌍대비교에서 구한 가중치 벡터를 이 행렬과 곱해서 나온 값들 중 가장 큰 수치를 나타내는 대안이 선정된다. 최종 결정을 위한 벡터는 아래와 같고, 이 중 가장 큰 값을 가지는 화성시를 최종 대안으로 선정한다.

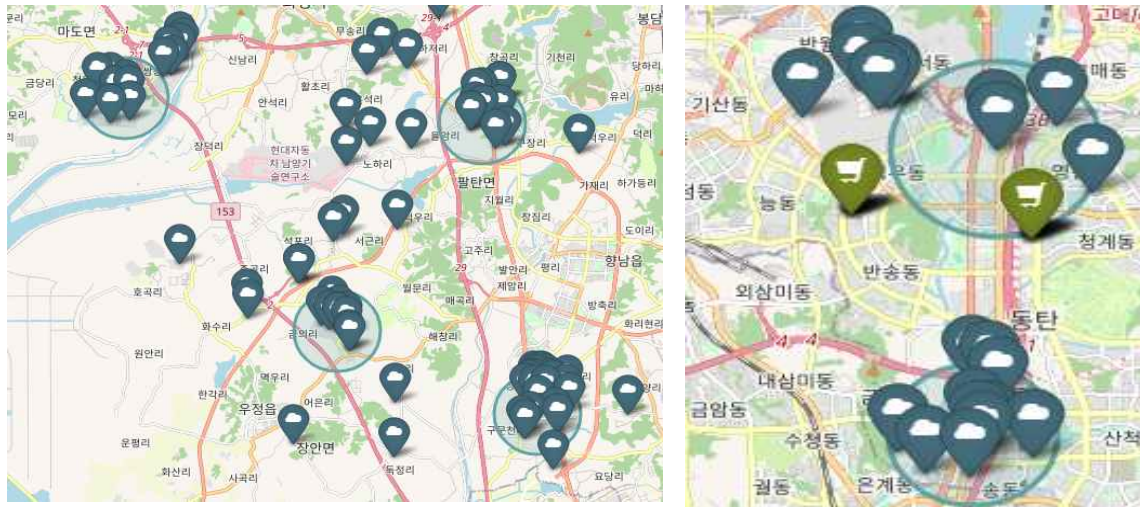
고양시	김포시	부천시	성남시	수원시	시흥시	안산시
1.109274	1.189874	1.005767	2.663196	2.898487	1.892154	2.179628
용인시	이천시	파주시	평택시	화성시		
2.290212	2.716044	1.876391	2.704192	3.061618		

③ EDA를 통한 최종 입지선정

앞선 과정들을 통해 화성시에 옥상 태양광을 설치하는 것으로 결론을 내렸다. 하지만 이는 막연한 결론으로 구체적이지 못하다. 따라서 본 분석에서는 조금 더 구체적이고 현실적인 결론 도출을 위해 실제 화성시의 지리 정보를 탐색적으로 분석하여 최종적으로 입지를 선정하고자 한다. 앞서 말했듯 태양광 발전은 큰 면적을 필요로 한다. 본 분석은 건물의 옥상에 태양광 패널을 설치하는 것을 주 목적으로 삼고 있다. 따라서, 큰 면적을 갖는 건물들을 파악하고자 했다. 화성시의 지리 정보를 살펴본 결과, 공장이 많다는 사실을 알게 되었다. 공장은 에너지 소모가 많아 전력 수요도 많고 일반적으로 그 면적이 큰 곳이기도 하기에 태양광 패널 설치에 적합한 장소이다. 따라서 화성시의 공장을 중심으로 최종 입지를 선정하고자 한다. 태양광

발전은 1MW 규모의 시설을 만들 때 9,917㎡~13,200㎡ (약 3,000~4,000평)의 부지가 필요하다.⁶⁾ 가구평균전력사용량 데이터를 사용해서 확인해봤을 때, 1MW의 전기는 약 461가구가 한 달 동안 사용하는 양이다. 1MW를 생산하는 것을 기준으로 공장의 규모가 10,000㎡ 이상인 공장을 중심으로 살펴보고자 했다.

Python을 이용하여 공장등록 현황 데이터를 살펴본 뒤, 최종적으로 선택된 화성시가 아닌 다른 지역들은 모두 제외하였다. 또한, 화성시 좌표를 나타내는 위도와 경도 변수에 결측치가 존재하여 시각화가 어려운 행들은 삭제해주었다. 그다음 folium 라이브러리를 이용하여 화성시에 해당하는 모든 공장 중 규모가 10,000㎡ 이상인 공장을 필터링한 후 지도에 나타내었다. 그 결과, 다음 그림과 같이 면적이 10,000㎡ 이상인 대규모 공장이 모여있는 곳이 많음을 확인했다. 대규모 공장이 몰려있던 곳은 대략 6곳으로, 일부 지역은 대형 아울렛과도 인접해있어 함께 고려해보았다. 각 군집 별로 공장면적을 기준으로 전력생산량을 계산하여 최종적으로 2곳의 입지를 선정하였다.



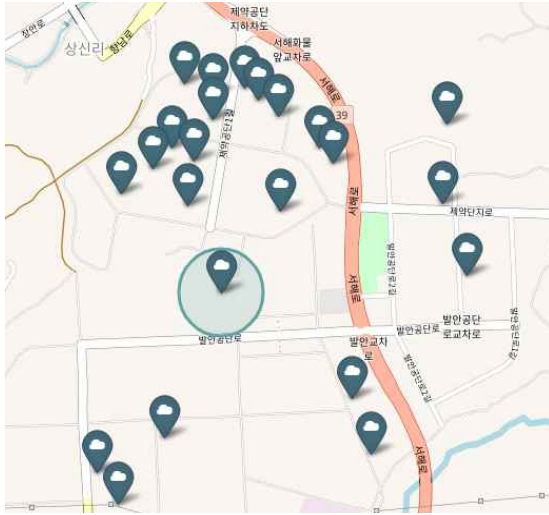
④ 최종 입지 설명

최종 입지는 2곳으로 첫 번째는 향남읍 제약공단 및 발안공단 내, 두 번째는 삼성전자 화성캠퍼스, 기흥캠퍼스 내이다. 하나씩 살펴보도록 하자.

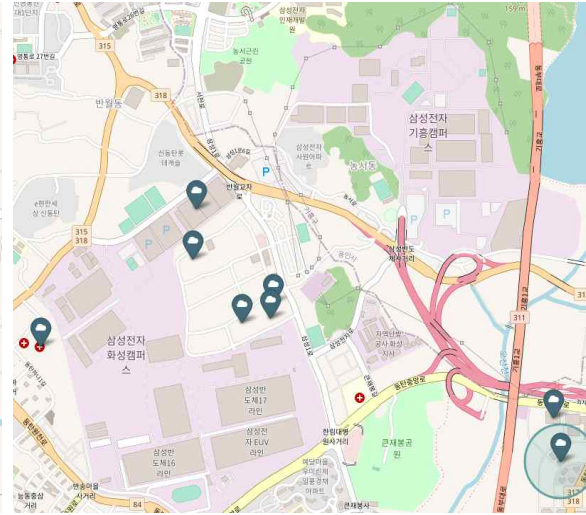
첫 번째는 화성시 향남읍 제약공단 및 발안공단으로, 총 362,861㎡로 54.9MW의 전력을 생산할 수 있다. 이는 6개의 군집 중 2번째 규모이다. 2개의 공단이 붙어 있어 전력공급을 위한 송·배전 시스템을 효율적으로 설치할 수 있다는 장점이 있다. 도심과는 떨어져 있어 직접적인 전력공급은 어렵다는 단점이 있다.

두 번째는 삼성전자 화성캠퍼스, 기흥캠퍼스 일대이다. 대규모의 반도체 공장과 다수의 부속 공장들이 있어서 6개 군집 중 총 면적 568,802㎡로 가장 넓고, 가능한 전력생산량 역시 86.1MW로 가장 많다. 주변에 아파트 단지가 많이 모여있어 전력공급을 위한 송·배전 시스템의 개발이 용이하고 고속도로와 인접해있어 교통이 유리하다는 장점을 가진다. 반도체 공정이 전기를 많이 요구하는 작업이기에 자급자족의 개념으로 직접 필요한 전기를 생산하는 시스템을 구축하는 방향으로 옥상 태양광 설치를 하는 것도 좋을 것으로 예상된다.

6) “태양광 발전 팩트체크” 중앙일보 이노베이션랩



제약공단 및 발안공단



삼성전자 화성캠퍼스, 기흥캠퍼스 일대

4. 기대효과

태양광 발전소 설치에 가장 우려가 되는 부분은 바로 부지 마련이다. 한국은 영토가 큰 편이 아니기에 태양광 발전이 불리하다는 주장이 지배적이다. 하지만 본 분석에서 제안한 옥상형 태양광 설치에 이런 우려들을 해결할 수 있는 열쇠가 된다. 태양광을 위한 부지를 새로 찾는 것이 아니라, 기존에 개발된 땅 위에 태양광을 설치하자는 것이 본 팀의 아이디어의 출발점이었다. 실제로 세계에서 신재생에너지 비중이 가장 높은 독일은 지붕, 선박, 고속도로 주변 자투리 땅 등 다양한 곳에 태양광을 설치한다.

기술적으로도 옥상 태양광은 얼마든지 실현 가능하다. 건물의 옥상 위에 태양광 패널을 설치만하면 되기에 무척 간단하다. 한 번 설치하면 대략 10년의 수명을 갖기 때문에 관리도 수월하다. 최근에는 태양광 패널의 기술이 계속 발전하면서 효율성을 갖는 패널들이 생산되고 있다. 경제적 측면에서 태양광 발전은 충분히 하나의 사업이 될 수 있으며 가장 비용이 많이 드는 부지 문제는 옥상 태양광으로 해결하여 사업의 수익을 극대화할 수도 있다.

정책적인 관점에서도 효과를 기대해볼 수 있다. 2017년 산업통상자원부에서 발표한 재생에너지 3020이행계획에 따르면, 2030년까지 태양광 발전량을 36.5GW까지 달성하는 것을 목표로 삼고 있다. 분석을 진행하면서 경기도 공장데이터를 살펴본 결과, 경기도에 중·대규모의 공장들이 많은 것을 확인할 수 있었다. 본 팀은 최종 입지선정을 위해 면적 10,000㎡ 이상의 공장들만 필터링해서 보았지만, 이보다 작은 중·대규모 공장들에 설치하는 것을 고려한다면, 앞서 말했던 목표를 수월하게 달성할 수 있을 것이다. 또한, 이 아이디어를 확장하여, 공장이 아닌 공영주차장, 횡단보도 그늘막, 종합운동장 등 다양한 곳에 태양광을 설치하는 방법도 고려해볼 수 있다. 또한, 본 팀은 경기도에 한정하여 분석을 진행했지만, 전국으로 그 범위를 확대한다면 보다 성공적으로 목표치에 도달할 수 있다.

사업이나 기술적인 부분도 좋지만 무엇보다도 옥상 태양광이 중요한 이유는 바로 탄소저감이다. 지구온난화가 가속화 되고 있고, 이상기후도 빈번하게 발생하고 있다. 실제로 가을이 짧아지거나 폭염이 심화되는 등 일상생활 속에서 환경 파괴를 체감하는 일이 빈번하다. 지속가능한 발전을 이루지 못한다면 생존할 수 없다. 세계적으로 환경보존이 이슈가 된 만큼, 이 기세를 몰아 탄소 배출을 줄여나가기 위한 노력을 적극적으로 실천해야 한다. 적극적인 행동의 시작이 옥상 태양광 설치가 될 수 있다.