

탄소저감을 위한 도시형 옥상 태양광 입지선정

옥상햇빛
심예진 조장희





CONTENTS

01 서론

분석 배경
분석 방향
활용 데이터
전처리

02 입지 후보지 선정

에코(eco) 수요지수
그린에너지 공급지수
클러스터링

03 최종 후보지 선정

AHP 분석
최종 입지선정

04 결론

기대효과 및 가능성
분석도구 및 참고문헌

01 **서론**

- 1-1 분석 배경
- 1-2 분석 방향
- 1-3 활용 데이터
- 1-4 전처리



분석 배경

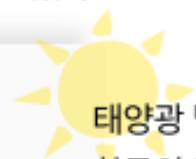
지구온난화의 가속화로 인해 2015년 파리협정에서 2050년까지 탄소중립을 달성하여야 한다는 경로를 제시함에 따라 정부의 탄소중립정책이 시행되었다. 이 일환으로 태양광 발전소, 풍력 발전소 등 친환경 에너지 생산 사업이 증가하고 있다.

재생에너지 3020 이행계획(안)

태양광 발전을 통하여 2030년 기준 36.5GW 발전을 목표로 하고 있다.



산업통상자원부



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 발생했다.

"태양광 사업, 3년간 월드컵경기장 6000개 면적 산림 훼손"

정부가 추진하고 있는 신재생에너지 대표 사업인 태양광이 최근 3년간 서울 상암 월드컵경기장 6000개 면적의 산림을 훼손한 것으로 나타났다. 민간에서 미세먼지 저감을 위해 '미세먼지 방지숲'을 만들고 있는 것과는 대조적이다.

4일 윤상직 자유한국당 의원이 산림청을 통해 전국을 대상으로 전수조사한 자료에 따르면, 최근 3년간 산지 태양광 사업으로 232만7495그루의 나무가 베어진 것으로 확인됐다. 산지 훼손 면적은 4407ha로 집계됐다. 윤 의원 측은 상암 월드컵경기장 6040개 규모와 맞먹는 면적으로 (...)

[출처: Chosun Biz]

태양광 발전소 설치 부지 부족으로 인한
무분별한 임야 지역 파괴



문제 01

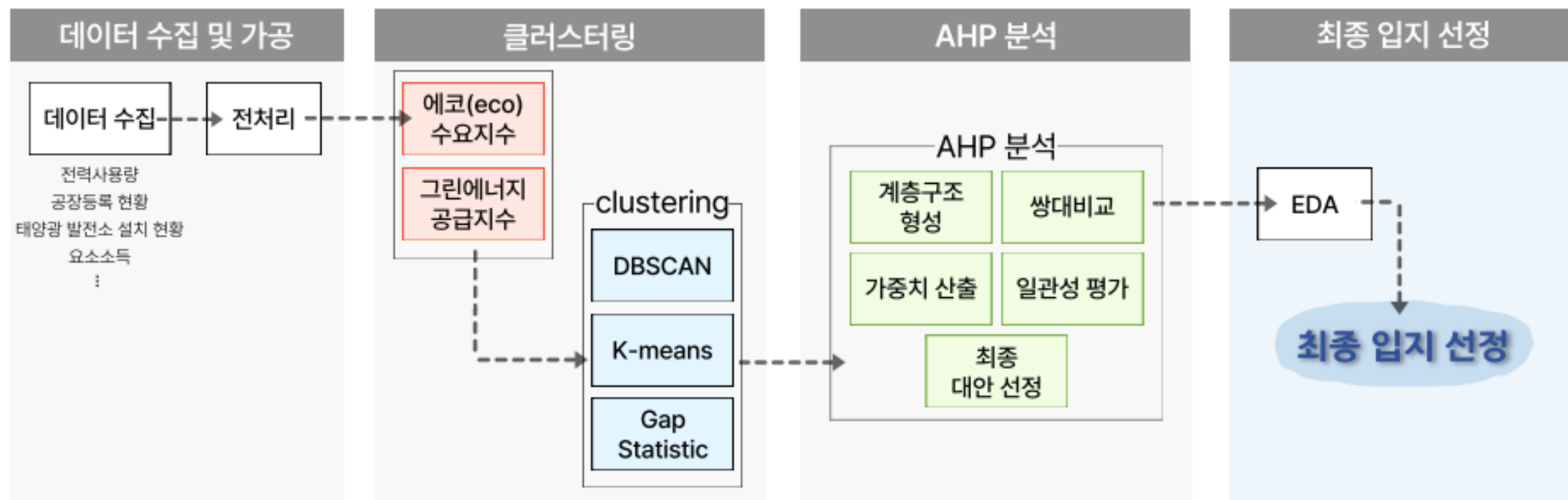
여름철 장마 피해가 예년에 비해 심해지거나
산사태가 발생하는 등의 안전문제가 발생

문제 02

태양광 패널 설치를 위해 임야 지역을 개발하기 때문에
환경을 파괴하는 모순된 상황 발생

건물 옥상 태양광 설치

분석 방향



활용 데이터

데이터안심구역에서 사용한 데이터는 최신 기한이 2019년이었기에, 그 후의 데이터가 있더라도 모든 데이터의 기한은 2019년으로 통일하였다.

데이터 안심구역	경기도 데이터드림	국가통계포털(KOSIS)
<p>▶ 산업분류별전력사용량</p> <p>산업의 종류별로 전력사용량을 명시한 데이터로, 분석 초기 산업별 전력사용량을 살펴보기 위해 사용</p>	<p>▶ 공장등록 현황</p> <p>옥상 태양광의 최종 입지선정을 위해 화성시 공장의 좌표 및 면적 정보를 추출해 활용하였고, 공장 위치 시각화 및 전력생산량을 계산</p>	<p>▶ 미세먼지(PM10) 월별 도시별 대기오염도</p> <p>기상데이터와 마찬가지로 AHP 분석의 평가 기준으로 미세먼지 데이터를 사용</p>
<p>▶ 계약종별전력사용량</p> <p>계약종별은 전기사용계약단위가 영위하는 주된 경제활동에 따라 전기요금의 적용을 달리하는 분류방법 (산업용, 교육용, 주택용 등)으로 전력사용량을 명시한 데이터로, 클러스터링을 위한 전력사용량 변수 생성에 활용</p>	<p>▶ 태양광 발전소 설치 현황</p> <p>그린에너지 공급지수 계산을 위해 지자체별 태양광 발전소 개수 변수 생성</p>	<p>▶ 행정구역 현황</p> <p>지자체별 면적정보를 그린에너지 공급지수 산출을 위해 사용하였고, 지자체별 면적 값은 그린에너지 공급지수의 분모로 들어감</p>
<p>▶ 가구평균전력사용량</p> <p>분석 초기 가구당 평균 전력사용량을 살펴보기 위해 사용하였고, 후에는 1MW가 몇 가구가 사용할 수 있는 양인지 계산하는데 사용</p>	<p>기상청 기상자료개방포털</p>	
	<p>▶ 경기도 기온, 강수량, 풍속</p> <p>AHP 분석의 평가 기준으로 기온, 강수량, 풍속을 사용</p>	<p>▶ GRDP 경제활동별 지역총부가가치 및 요소소득</p> <p>기상데이터와 마찬가지로 AHP 분석의 평가 기준으로 요소소득 데이터를 사용</p>

활용 데이터

데이터안심구역에서 사용한 데이터는 최신 기한이 2019년이었기에, 그 후의 데이터가 있더라도 모든 데이터의 기한은 2019년으로 통일하였다.

데이터 안심구역	경기도 데이터드림	국가통계포털(KOSIS)
<p>▶ 산업분류별전력사용량</p> <p>산업의 종류별로 전력사용량을 명시한 데이터로, 분석 초기 산업별 전력사용량을 살펴보기 위해 사용</p>	<p>▶ 공장등록 현황 / 태양광 발전소 설치 현황</p> <p>도로명주소 및 위도,경도 좌표 변수에 NA 존재</p> <p>↓</p> <p>구글 지도를 이용해 채워넣음</p> <p>도로명주소 변수</p> <p>↓</p> <p>경기도 시군을 제외한 나머지 주소 제거</p>	<p>▶ 미세먼지(PM10) 월별 도시별 대기오염도</p> <p>경기도 시군별 미세먼지의 1년 평균</p>
<p>▶ 계약종별전력사용량</p> <p>2019년 & 경기도 데이터만 필터링</p> <p>↓</p> <p>시군별 가중평균 전력사용량 계산</p> <p>↓</p> <p>파생변수 생성</p>	<p>기상청 기상자료개방포털</p>	<p>▶ 행정구역 현황</p> <p>지자체별 면적정보를 그린에너지 공급지수 산출을 위해 사용하였고, 지자체별 면적 값은 그린에너지 공급지수의 분모로 들어감</p>
<p>▶ 가구평균전력사용량</p> <p>분석 초기 가구당 평균 전력사용량을 살펴보기 위해 사용하였고, 후에는 1MW가 몇 가구가 사용할 수 있는 양인지 계산하는데 사용</p>	<p>▶ 경기도 기온, 강수량, 풍속</p> <p>경기도 시군별 기온, 강수량, 풍속의 1년 평균</p>	<p>▶ GRDP 경제활동별 지역총부가가치 및 요소소득</p> <p>경기도 시군별 요소소득의 1년 평균</p>

02 입지 후보지 선정

- 2-1 에코(eco) 수요지수
- 2-2 그린에너지 공급지수
- 2-3 클러스터링



에코(eco) 수요지수

해당 지자체가 얼마나 깨끗한 환경이 필요한지를 나타내는 지수
지수가 높을수록 지자체의 온실가스 배출이 많거나 지자체가 친환경적이지 못함을 의미

1. 일반선형회귀모델

유익한 회귀계수는 다른 독립변수가 고정되어 있을 때 반응변수와 독립변수의 관계를 잘 설명하는 수치이므로, 아래 회귀식의 회귀계수(β)를 사용하여 에코수요지수 산출

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

분석의 궁극적인 목표는 **탄소저감**
반응변수는 지자체별 온실가스 배출량으로 설정

	Estimate	Pr(> t)
Intercept	1.495e-16	1.0000
교통량	7.429e-02	0.3479
공장수	8.754e-02	0.3747
전력사용량점수	1.848e-01	0.1306
요소소득	-6.279e-02	0.4191
폐기물배출량	1.181e-01	0.0843
임야면적	1.351e-02	0.8219
인구수	7.917e-01	6.44e-09 ***

t-test 결과

R을 활용하여 회귀식을 도출한 결과

대다수의 변수들의 회귀계수가 **유의미하지 못함**

OLS 기본 가정

오차의 정규성

오차의 독립성

선형성

Y값에 대한 등분산성

더빈-왓슨 검정 결과

DW = 1.9447 | p-value = 0.45

독립성 만족 X

∴ 일반선형회귀모델을 통한

에코(eco) 수요지수 **산출 불가**

2. 요인 분석(Factor Analysis)

변수들 간의 상관관계에 기반해서 변수들을 서로 유사한 변수끼리 묶어 줌으로써 여러 개의 변수를 더 작은 잠재요인으로 설명하는 방법

KMO Test

Kaiser-Meyer-Olkin factor adequacy

Call: psych::KMO(r = z)

Overall MSA = 0.62

MSA for each item =

교통량	공장수	전력사용량점수	요소소득
0.66	0.59	0.61	0.61
폐기물 배출량	임야면적	인구수	
0.46	0.91	0.59	

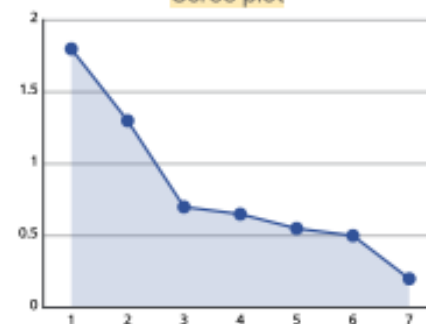
MSA = 0.62이므로 요인 분석 가능

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	-0.039
인구수	0.829	-0.118

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

Scree plot



고윳값이 1보다 크면서
해석이 가능한 수준인 2개 요인 추출

$$\text{에코 수요지수} = 0.74 \times \text{교통량} + 0.706 \times \text{공장수} + 0.761 \times \text{전력사용량} + 0.829 \times \text{인구수} + 0.751 \times \text{요소소득} + 0.484 \times \text{폐기물배출량} - 0.039 \times \text{임야면적}$$

요인 1

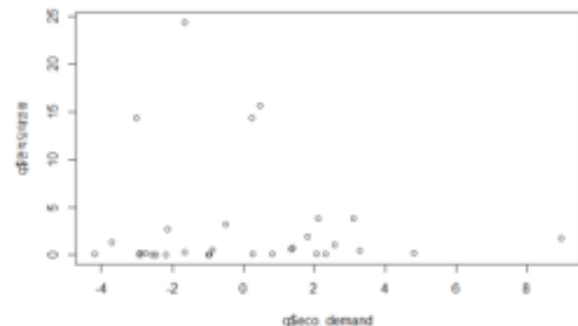
요인 2

그린에너지 공급지수

신재생 에너지를 얼마나 생산하는지를 살펴보고자 만든 지수
지자체별 태양광 발전소 개수와 면적을 통해 계산

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

DBSCAN 밀도 기반 군집분석



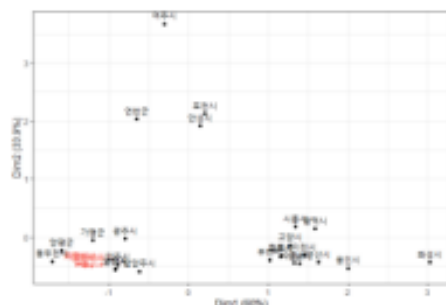
기본 데이터의 밀도를 고려하기 위해

DBSCAN 사용

충분히 가까운 두 개의 핵심 점이 동일한 클러스터에 배치

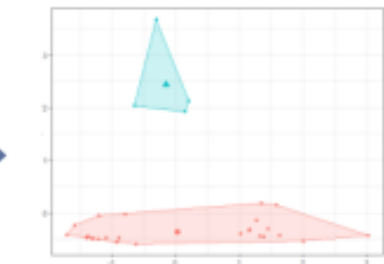
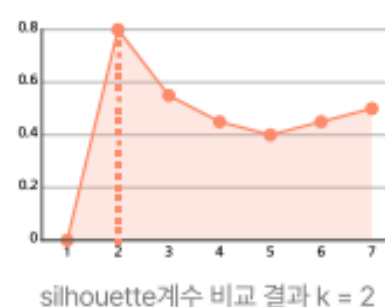
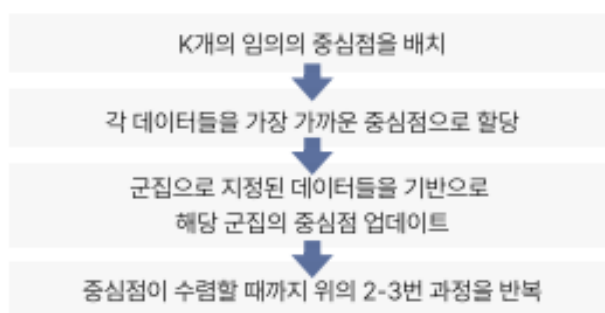
핵심 점에 충분히 가까운 모든 경계 점은
핵심 점과 동일한 클러스터에 배치

Noise points는 버림



타겟 클러스터 존재 X

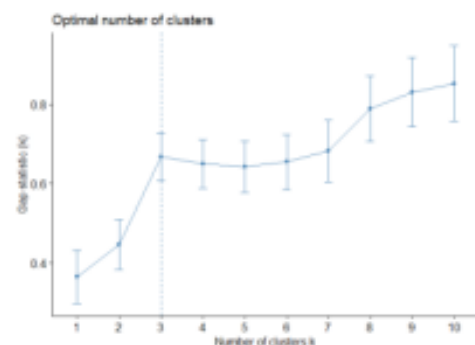
K-means 각 데이터로부터 그 데이터가 속한 클러스터의 중심까지의 평균을 최소화하는 방법



클러스터간 불균형 및 타겟 클러스터 X

Gap Statistic 클러스터 내 변동 내 총계의 로그로 계산된 null 참조 데이터의 기대치와 데이터 세트에 대한 클러스터 내 변동 내 총계의 기대치 $Gap_n(k) = E_n^* \log(W_k) - \log(W_k)$

Gap Statistic을 이용하여 최적의 K를 찾은 후, K-means에 다시 적용



Gap Statistic값 비교 결과 k = 3



클러스터간 균형 및 타겟 클러스터 O

에코 수요지수가 높고
그린에너지 공급지수가 낮은 클러스터



주로 경기 서부 지역 (총 12개)

03

최종 후보지 선정

- 3-1 AHP 분석
- 3-2 최종 입지선정



AHP 분석

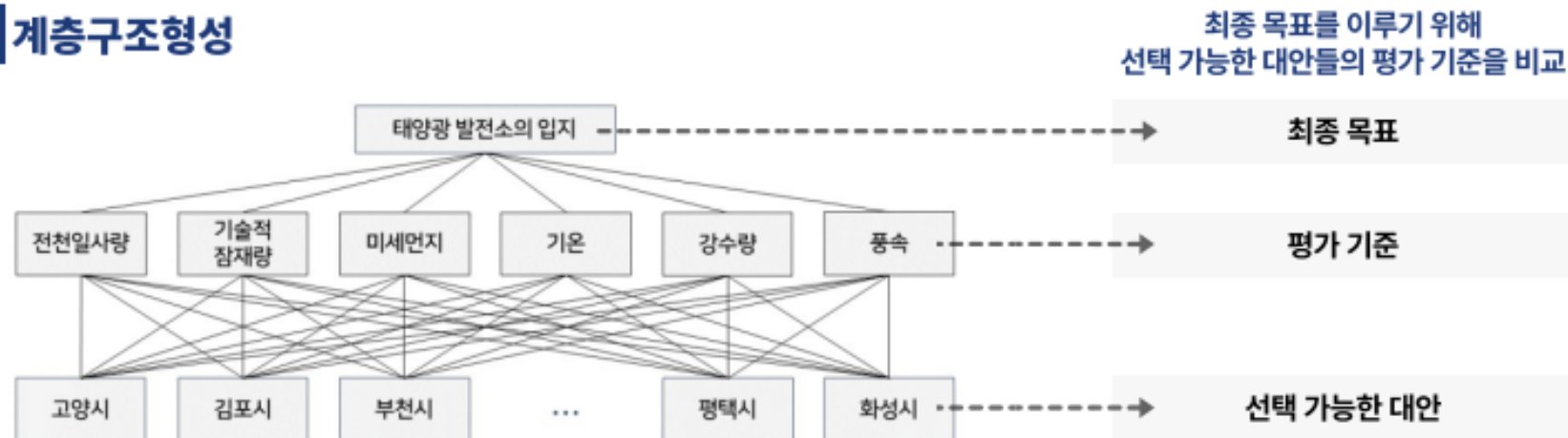
계층적 의사 결정방법으로, 복잡한 의사결정 문제를 계층적으로 표현하고 그 계층의 항목들 간의 쌍대비교를 통하여 최선의 대안을 도출해내는 의사결정 기법



분석 과정



계층구조형성



1) 전천일사량 : 태양과 하늘에서 각각 수평면에 도달한 직간접 일사량의 합을 의미

2) 기술적 잠재량 : 현재의 과학적 지식 하에서 지리적 영향요인과 기술적 영향요인을 반영할 때 활용 가능한 태양광 에너지의 양을 의미

AHP 분석

계층적 의사 결정방법으로, 복잡한 의사결정 문제를 계층적으로 표현하고 그 계층의 항목들 간의
상대비교를 통하여 최선의 대안을 도출해내는 의사결정 기법

상대비교

상대비교는 설정한 평가기준과 대안의 기여도를 설정하는 단계
평가기준 하에 대안들 간의 상대비교와 평가기준 간의 상대비교 수행



상대비교를 수행할 때는 도메인 전문지식이 필요하지만,
본 팀은 해당 에너지에 대한 전문가가 아니기 때문에 대안으로 **상관분석과 순위 비교** 사용

☆ 평가기준 간 상대비교

6개의 평가기준 존재 (전천일사랑, 미세먼지 등)

피어슨 상관계수와 변수간의 독립·종속 여부를 고려하여 상대비교 시행

종속변수에게 더 큰 점수를 부과 | 상관관계가 클수록 큰 점수를 부과

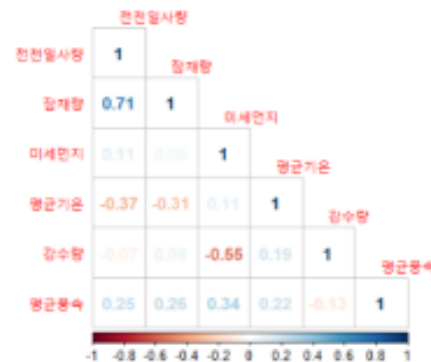
전천일사랑(독립) = 1/7점

ex) 상관관계 = 0.71

기술적 잠재량(종속) = 7점

Scale(weight)	Meaning
1	Equal
2	Between Equal and Moderate
3	Moderate
4	Between Moderate and Strong
5	Strong
6	Between Strong and Very Strong
7	Very Strong
8	Between Very Strong and Extreme
9	Extreme

9점척도표



☆ 대안들의 상대비교

대안들(12개 지자체)이 평가기준 하에서 어떤 관계를 갖는지를 비교하는 과정

평가기준 하에서 순위를 매긴 후 순위의 차이를 이용해 점수 할당

순위의 차이가 클수록 상대적 중요성이 큰 것이므로 높은 점수를 부여

각 평가기준별 상대비교행렬 생성

대안	전천일사랑																	대안
	More important								Equal	Less important								
김포시(5등)	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	성남시(12등)
김포시(5등)	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	화성시(1등)
성남시(12등)	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	화성시(1등)

전천일사랑	김포시	성남시	화성시
김포시	1	7	1/3
성남시	1/7	1	1/9
화성시	3	9	1

상대비교행렬 생성

AHP 분석

계층적 의사 결정방법으로, 복잡한 의사결정 문제를 계층적으로 표현하고 그 계층의 항목들 간의 쌍대비교를 통하여 최선의 대안을 도출해내는 의사결정 기법

가중치 산출

각 평가기준별 쌍대비교행렬을 열의 합이 1이 되게끔 표준화

전천일사량	고양시	김포시	부천시	...	화성시
고양시	0.01886792	0.01314801	0.013574661	...	0.026666921
김포시	0.11320755	0.07888805	0.081447964	...	0.08000762
부천시	0.03773585	0.02629602	0.027149321	...	0.03428898
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
화성시	0.16981132	0.23666416	0.190045249	...	0.24002286
Sum	1	1	1	...	1



표준화 행렬의 행별 평균으로 가중치 산출

대안	고양시	김포시	부천시	...	화성시	Sum
전천일사량 가중치	0.01730399	0.08854373	0.02860922	...	0.22743450	1
기술적 잠재량 가중치	0.04951888	0.06662072	0.01476087	...	0.22743450	1
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
미세먼지 가중치	0.04951888	0.06662072	0.01476087	...	0.05190655	1

일관성 평가

쌍대비교를 한 것이 합리적인지 검정을 통해 판단하는 과정

일관성 비율(CR) 계산

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

쌍대비교행렬	가중치 벡터	가중치 벡터	평균
1 7 1/3	0.08854373	0.08854373	12.32271
1/7 1 1/9	0.01476087	0.01476087	
3 9 1	0.22743450	0.22743450	

n	2	3	4	...	12
RI	0.00	0.52	0.90	...	1.48

AHP를 개발한 Satty가 무작위 샘플링 실험을 통하여 제시한 수치들로
변수의 개수에 따라 아래 RI 매트릭스에서 결정

결과

대안간 쌍대비교 검정

	CR
전천일사량	0.01982238
잠재량	0.01982238
미세먼지	0.02150311
평균기온	0.02249346
강수량	0.0192238
평균풍속	0.0166216

평가기준간 쌍대비교 검정

CR	0.01982238
----	------------

모든 CR < 0.1 이므로 일관성 존재
쌍대비교 합리적

최종 대안 선정

가중치 산출을 통해 얻은 평가기준들의 상대적 중요도와 각 평가기준 하에서 대안들의 선호도를 곱한 값들 중 가장 높은 수치를 나타내는 대안 선택

평가기준	전천일사량	기술적 잠재량	...	미세먼지	최종 중요도
가중치	0.148475	0.1423037	...	0.1431809	
고양시	0.01730399	0.04951888	...	0.04951888	0.04019263
김포시	0.08854373	0.06662072	...	0.06662072	0.04151764
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
화성시	0.22743450	0.22743450	...	0.05190655	0.1226114

0.01730399	0.04951888	0.04951888	×	0.148475	최댓값 → 화성시
0.08854373	0.06662072	0.06662072	×	0.1423037	
0.22743450	0.22743450	0.05190655	×	0.1431809	

최종 입지선정



화성시 공장

화성시 지리정보 EDA

화성시의 지리 정보 → 공장이 많음



태양광 발전은 큰 **면적** 필요



공장은 에너지 소모가 많아 전력 수요도 많고
일반적으로 그 **면적**이 큰 곳이기때
태양광 패널 설치에 적합한 장소



화성시의 공장을 중심으로 최종 입지 선정



대규모공장이 몰려있는 6곳

필터링

태양광 발전은 1MW 규모의 시설을 만들 때
9,917㎡~13,200㎡ (약 3,000~4,000평)의
부지 필요

가구평균전력사용량 데이터 확인 결과,
1MW의 전기는 약 461가구가 한 달 동안 사용하는 양



공장의 규모가 10,000㎡ 이상인 공장 필터링

대규모 공장이 몰려있던 곳은 대략 6곳

대형 아울렛과도 인접해있어 함께 고려



최종 입지 1

제약공단 및 발안공단

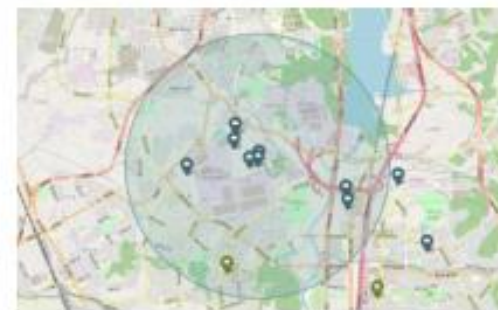
**총 362,861㎡
54.9MW의 전력 생산**

2개의 공단이 붙어 있어 전력공급을 위한
송·배전 시스템을 효율적으로 설치할 수 있음

최종 입지 2

삼성전자 화성캠퍼스
기흥캠퍼스 일대

**총 568,802㎡
86.1MW의 전력 생산**



주변에 아파트 단지가 많이 모여있어
전력공급을 위한 송·배전 시스템의 개발이 용이함

반도체 공정이 전기를 많이 요구하는 작업이기때 자급자족의 개념으로
직접 필요한 전기를 생산하는 시스템을 구축하는 방향으로
옥상 태양광 설치를 하는 것도 좋을 것으로 예상

04 결론

- 4-1 기대효과 및 가능성
- 4-2 분석도구 및 참고문헌



기대효과 및 가능성

1 탄소저감

지속가능한 발전을 성취함으로써
경제발전과 환경보존이라는 불가피한 양자대립을 조화시킬 수 있음

최종 선정 된 두 입지에 옥상태양광을 설치한다면?
141MW의 전력생산

▼
62.435tCo2의 탄소 감축



3 실현가능성

옥상 태양광은 간단하게 설치 가능
한 번 설치하면 대략 10년의 수명을 갖기 때문에 관리도 수월

최근에는 효율성을 갖는 태양광 패널들이 생산되고 있음



경제적 측면에서 옥상 태양광 발전은 가장 비용이 많이 드는
부지 문제를 해결하여 수익을 극대화한 사업이 될 수 있음



2 정책

재생에너지 3020이행계획

2030년까지 태양광 발전량을 36.5GW 달성 목표

경기도 중대규모 공장들에 설치하는 것을 고려한다면?
94,725,974.3m²



14.3GW 전력 생산
전국으로 그 범위를 확대한다면 성공적으로 목표치에 도달 가능



4 확장가능성

옥상 외에도 다양한 곳에
태양광을 설치하는 방법도 고려해볼 수 있음
공영주차장, 건물 벽면, 횡단보도 그늘막 등



건물 벽면 예시

[출처 : 서울신문]



공영주차장 예시

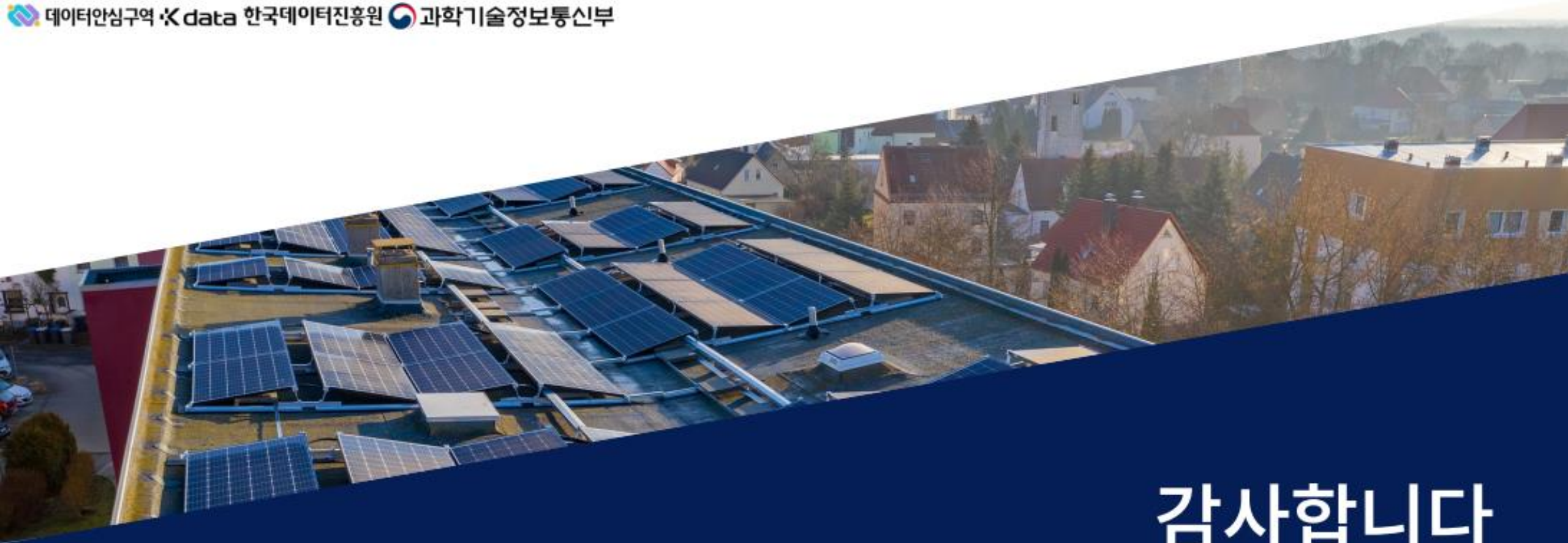
[출처 : 서울경제]

| 분석도구



| 참고문헌

- [1] 산업통상자원부 (2017). 재생에너지 3020 이행계획
- [2] “태양광 사업, 3년간 월드컵경기장 6000개 면적 산림 훼손” 조선일보 조선비즈
- [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.
- [5] T.L. Saaty, “Decision making with the analytic hierarchy process”, International journal of services sciences, Vol. 1, No. 1, pp.83-98, 2008.
- [6] “태양광 발전 팩트체크” 중앙일보 이노베이션랩



감사합니다

옥상햇빛
심예진 조장희