

# 자원회수시설 최적 입지 및 소각방식 결정 : 퍼지함수를 이용한 마포구 대체 후보지 평가

김윤지 · 김보민 · 김유정 · 하윤희

하나고등학교

## Optimizing Incinerator Location and Incineration Method : Fuzzy Evaluation of Alternative Sites for Mapo-gu

Yoon-Ji Kim · Bomin Kim · You-Jung Kim · Yun-Hee Ha

Hana Academy Seoul

**Abstract:** The conflict over a new incinerator in Mapo-gu highlights the need for alternative locations. This study aims to find the optimal site using fuzzy functions, with results visualized through graphs. By comparing incineration methods, the study offers a balanced and sustainable model fulfilling both public and government needs.

**Key words:** Fuzzy theory, Fluidized bed pyrolysis, Stoker incinerator, Rotary Kiln, Grate incinerator

### 1. 서론

2023년 8월 서울특별시는 마포구 상암동에 신규 자원회수시설, 즉 쓰레기 소각장을 건설할 계획을 발표했다. 이는 환경적 측면에서 계획의 적정성 및 타당성을 평가하는 전략환경영향평가에서 마포구 상암동이 최고점을 받았기 때문이다. 그러나 자원회수시설은 흔히 혐오시설이라 불리는 시설로, 공공의 이익에는 부합하지만 자신이 속한 지역에는 이롭지 아니한 일을 반대하는 행동인 님비 (Not In My Backyard : NIMBY) 현상이 발생하는 대표적인 예시 중 하나이다. 마포구 주민도 마찬가지로 소각 과정에서 발생하는 유해 물질 등으로 인한 대기 오염이나 악취, 부동산 문제 등 소각장이 주는 여러 부정적 이미지로 인해 신규 소각장 설치에 강경히 반대하고 있다. 이에 마포구민이 입지 선정 절차 문제를 근거로 불복소송을 제기하였으나, 1년이 넘는 장기간동안 서울시와 지역주민들의 갈등은 끊이지 않고 있다.

자원회수시설은 공공의 이익을 위해 필수적인 시설인 만큼 환경적 영향을 최소화하고 효율적인 방식으로 설계되어야 한다. 이를 위해 대기 배출 기준, 소각 가스 등의 환경적 요인이 규제의 기준이 되어 소각 과정에서 발생하는 오염 물질을 최소화하고 친환경적으로 관리될 수 있도록 한다.

이미 입지에 대한 규제와 더불어 자원회수시설 입지 선정과 관련된 이론에 대해 많이 연구된 바가 있다. 이희연, 임은선(1999)의 연구에 따르면, 입지분석에 많이 활용되는 부울논리와 단순중첩(AHPOI), 그리고 퍼지함수를 사용하여 후보지를 비교할 수 있다. 그러나 부울논리와 단순중첩은 기회요인들간의 상대적인 중요도가 고려되지 못하였고, 기회요인들이 중첩되는 과정에서 공간자료가 갖는 연속적인 특성이 반영되지 않은 채 많은 정보들이 손실되어 매우 좁은 일부 지역만이 적합한 지역으로 산출되는 단점이 존재했다<sup>1</sup>. 그러나 퍼지함수를 사용하면 적합성 수준에 관하여 양호한 정도의 차이를 나타내는 연속적인 정보를 제공할 수 있으며 이는 가중치에 따라 적합한 후보지가 달라지는 유연성을 가지고 있어 단점을 보완할 수 있다.

따라서 본 연구에서는 마포구민과 서울시 사이 갈등 해결의 필요성을 느껴 근처 서대문구, 은평구의 후보지를 각각 1개씩 선정하여 비교해보고자 한다. 퍼지함수 개념을 통해 대체 후보지들을 각각 평가하여 자원회수시설 설치 공간을 최적화할 계획이다. 후보지와 더불어 자원회수시설의 소각방식 또한 최적화하여 효율적이면서도 불만을 최소화할 수 있는 자원회수시설을 설계해보고자 한다. 이렇게 객관적이고 신뢰성 있는 입지 선정 방식은 사회적 갈등을 해결하고, 향후 유사 공공시설의 입지를 선정할 때의 지표로 활용될 수 있다. 또한 소각 방식의 최적화를 통해 환경적 우려를 최소화할 수 있어 지역 사회의 측면에서 큰 의미가 있다.

## 2. 이론적 배경

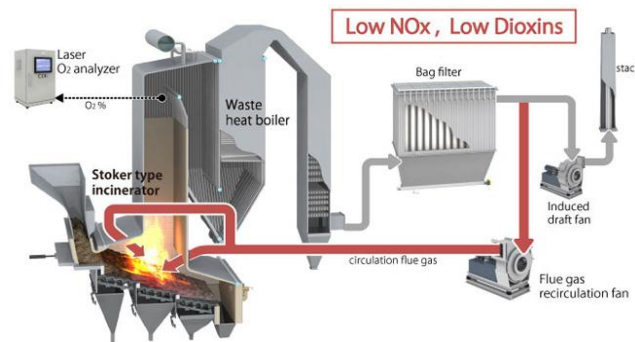
자원회수시설은 폐기물을 고온으로 연소하는 과정에서 생산되는 폐열을 이용하여 전기를 생산하고 온도가 낮아진 고압증기가 자원회수시설 주변의 지역난방으로 공급함으로써 대체에너지로 활용하여 깨끗하고 쾌적한 생활환경을 조성하는 시설이다. 현재 서울시에는 4개의 자원회수시설이 가동하고 있는데 여기서 각 자원회수시설마다 폐기물을 연소하는 과정, 처리하는 과정 등에서 고유의 특징이 존재한다. 각 소각장의 방식 별 차이점을 비교하여 각각의 장점을 더욱 강조하고 단점을 상쇄하는 가장 효율적인 소각 방식을 도입할 수 있을 것이라 기대한다.

### 2.1. 국내 소각장 소각방식 종류

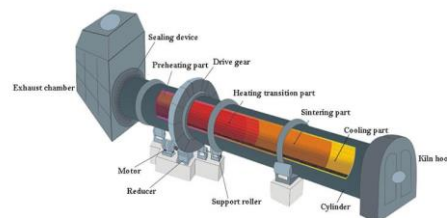
---

<sup>1</sup> 이희연, 임은선. (1999). 쓰레기 소각장 입지선정에 있어서 퍼지집합과 AHPOI론의 활용. 한국GIS학회지, 7(2), 223-236.

국내 소각장이 소각을 통해 생기는 열을 활용하여 열에너지로 변화하는 과정에서 사용하는 소각방식과 회전식 장비는 대표적으로 스토커 방식, 로터리 킬른, 유동상식 열분해, 화격자식 소각로가 있다.



스토커 방식은 주로 대규모 폐기물의 안정적 처리와 연속적인 소각에 사용되며 다양한 종류의 폐기물 처리와 연속적인 대량 처리에 적합하다. 이는 성상이 다른 폐기물을 처리할 수 있는 유연성을 가지고 있어 생활폐기물과 같은 불균질한 고체 폐기물을 효과적으로 소각할 수 있으며 다른 방식들에 비해 사전 처리가 비교적 적다는 이점을 가진다. 스토커 방식은 계단식 그레이트(grate)<sup>2</sup>를 사용해 폐기물을 순차적으로 이동시키면서 단계적으로 연소하기 때문에 그 과정이 안정적이며 연소 효율이 높다. 또한 높은 온도에서 안정적인 연소를 성취할 수 있기에 에너지 회수율이 상대적으로 높으며 소각 후 남은 바닥재와 비산재가 자동으로 배출되기에 더욱 더 효율적이고 안전하다.<sup>3</sup>



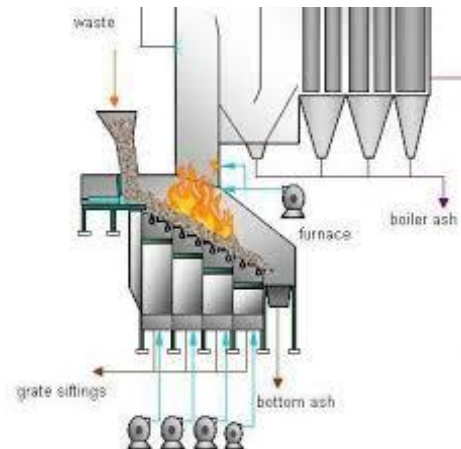
로터리 킬른이란 회전하는 원통형의 수평식 소각 기구로 900℃의 고온으로 가열하여 중금속까지 제거할 수 있다. 2~5°의 경사를 이루고 있어 투입된 폐기물이 이를 통과하며 건조 및 연소하고 잔여 미연소 폐기물은 로터리 킬른 후단에 설치된 스토커 소각로에서 완전히 연소하는 구조로 이루어져있다. 폐기물은 주로 로터리킬른부에서 70% 정도가 연소하며 스토커부에서 나머지 30%가 연소된다. 연소 단계별로 필요한 연소공기는 로터리 킬른부 전면 및 스토커부 하부에서 공급하며 잔여미연가스를 완전히 연소하기 위해 스토커부 상부에 고속의 2차공기를 주입하는 방식으로 이용한다.<sup>4</sup> 이러한 로터리 킬른은 다종의 폐기물처리가 가능하며 유기성폐액 및 난연성폐액 소각이 가능해 액상폐기물의 동시처리도

<sup>2</sup> 그레이트(grate)란 연속적으로 투입되는 폐기물을 이동시킬 수 있는 이송 화격자를 의미하며 이는 기능에 따라 건조 화격자, 연소 화격자, 후연소 화격자로 구성된다.

<sup>3</sup> 정운필, (2013). 스토커 방식 소각장치. 대한민국특허청, 1-13.

<sup>4</sup> 이준태, 문창호, & 최강혁. (2013). 로터리 킬른. 포스코, 1-11.

가능하다는 장점이 있다. 조대폐기물도 전처리 없이 소각이 가능하며 건조슬러지의 함유율이 15%정도까지 처리 가능하고 용융성 폐기물의 함유율이 30%까지 가능해 효율성이 상당히 높다.



화격자식 소각로란 폐기물을 전처리 없이 소각하여 에너지를 생산하고 오염물질을 최소화 하는 기술로 연소 시 발생된 폐열을 이용한다. 각 폐기물의 특성에 따라 다양한 화격자(수냉화격자, 공냉화격자, 진동식 화격자 등)를 적용하여 소각효율을 최적화 하고 에너지 생산을 최대화하여 오염물질 발생을 최소화할 수 있는 첨단 기술을 보유하고 있다. 화격자의 상부에 폐기물을 공급하고, 하부에 공기를 송풍하여 경사형이나 계단식을 구성된 소각로를 따라 생활폐기물을 주로 처리하는 상향연소방식을 이용한다. 그러나 고온 중에서 기계적으로 구동하는데 비해 금속부의 마모 손실이 심한 편이라는 점을 무시할 수 없다.

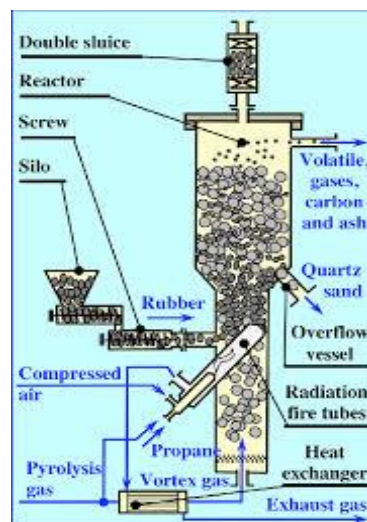


Figure 4-10 Fluidized bed incinerator

유동상식 열분해는 열분해 노내<sup>5</sup> 유동매체에 의해 폐기물이 저산소 상태에서 자체 연소열에 의해 열분해하는 방식이다. 소각로 내에 유동매체를 넣고 고압의 연소공기를 분사하면 유동층이 형성되며 유

<sup>5</sup> 노내: 원자로에서 연료가 되는 핵분열성 물질과 감속재가 들어 있는 부분. 핵분열 연쇄 반응이 이루어지는 곳이다.

동사를 600~800℃의 고온상태를 유지한 상태에서 폐기물을 투입하여 순간적으로 빠르게 건조, 소각 하기에 정상조업 조건에서 유리하며 소각시간이 짧다는 장점을 가진다. 이 때 산소가 거의 없는 상태에서 열분해가 일어나기에 유해물질 배출량이 확연히 적다.<sup>6</sup>소각 후 발생된 탄화물은 열분해 가스 연소 열에 의해 선회류식 고온용융로에서 용융슬래그로 배출 재활용이 가능하여 친환경적이며 안정적이다.<sup>7</sup>잔재는 유동사와 함께 하부로 배출하여 소각잔재만 분리배출하고 유동사는 다시 소각로로 투입하여 유동사의 손실은 최소화 한다.

Table 1. Analysis of Fluidized bed & Stoker incinerator

combustion type	Stoker incinerator	Fluidized bed
Incineration furnace structure	grate driving system	Fluidized driving system
construction costs	normal	1.3 times the stoker
maintenance expenses	inexpensive	expensive
driving operation	simple cold start: 48 hour	simple cold start: 48 hour
garbage closing device	crane, pusher feeder	crane, crushing separator, quantitative feeder
combustion capacity	300~350 kg/m <sup>2</sup> h	450kg/m <sup>2</sup> h
clinker occur	O	X
reduction rate	85~92%	94~96%
excess air cost	1.5~2.5	1.2~1.8

위의 표를 보면 스토커 방식이 가격적인 측면에서는 유동상식 소각로보다 우수한 면을 지니지만, 연소용량, clinker의 발생, 감용률, 과잉공기비의 측면에서는 열세함을 알 수 있다.

## 2.2. 퍼지함수

임승현, 조기성(1999)의 연구에 따르면, 쓰레기 소각장의 입지 선정으로 가장 효율적인 방법은 퍼지 집합 이론을 사용하는 것이다.<sup>8</sup> 퍼지 이론은 1965년 Zadeh 교수에 의해 소개된 이론으로 초기에는 인간의 언어를 컴퓨터로 표현하고 처리하고자 제안된 형태의 인공 지능 이론으로 확률을 바탕으로 추측

<sup>6</sup> 박승호. (1995). 유동층 소각로에 대하여. 대한기계학회, 620-637.

<sup>7</sup> 최진환, 최상민. (1999). 유동상 소각로에서 하수 슬러지 연료 특성. KOSCO SYMPOSIUM 논문집, 81-91.

<sup>8</sup> 임승현, 조기성. (1999). GSIS를 이용한 입지선정에 있어 퍼지공간중첩기법의 적용에 관한 연구. 한국측량학회지, 17(2), 177-187.

하는 방식이었다. 집합은 흔히 원소가 명확히 특정 집합에 포함되어 있다는 전제 하에 계산하고 판단하나 실제 상황에서는 원소가 정확히 한 집합에 소속되어있지 않는 경우들이 존재한다. 즉, 분명한 기준이 존재하지 않는 상황에서 이를 수학적으로 정의하기에는 일부 어려움이 존재한다. 이러한 경우에 쓰이는 이론이 퍼지 이론으로 퍼지(fuzzy)의 정의는 애매하거나 모호함으로 우리가 흔히 사용하는 어휘 ‘약간, 조금’ 등을 다루는 논리를 뜻한다. 참, 거짓을 뜻하는 진리값만을 가지는 논리는 이진논리이고 애매한 상황의 논리를 뜻하는 것이 퍼지 논리인 것이다. 이러한 퍼지 논리 개념을 이용하여 기존의 집합을 확장한 퍼지집합 이론은 각 원소가 집합에 속하는 정도를 0과 1 사이의 실수로 표현하는 경계가 불분명한 집합이다.

퍼지 이론과 기초에 대한 연구에 따르면 퍼지집합을 이해하기 위해서는 소속 함수(membership function)라는 개념을 알아야한다.<sup>9</sup> 이는 각 원소가 해당 집합에 어느 정도로 속해있는지의 정도를 파악할 수 있는 함수이다. 예를 들어 어떤 특정 기온이 제시되었을 때, 그 기온이 차갑다라고 판단할 가능성을 이 소속 함수를 통해서 표현할 수 있다. 기온이 영하 20도일때, 대한민국에 거주하는 국민들은 다수가 춥다고 판단할 것이다. 따라서 소속 함수가 거의 1에 수렴한다. 하지만 기온이 15도일 때, 100명 중에 60명은 춥다라고 판단하고, 40명 정도는 덥다는 판단을 한다고 가정한다면 이때 소속함수는 0.6이라고 할 수 있다. 100명 중 임의의 한 사람에게 15도라는 기온을 물어봤을 때 ‘춥다’라는 대답이 나올 확률이 60%라는 의미로도 해석될 수 있듯이 퍼지집합 이론은 확률을 바탕으로 추측되는 이론이다. 이와 같이 집합 원소의 소속 관계가 명확하지 않을 때 이를 수학적으로 표현하는 방법이 퍼지집합 속 소속 함수이다.

퍼지 소속함수의 함수식은 퍼지함수의 원소  $x$ 의 집합  $A$ 에 대한 소속 정도를 결정하는 지표이다. 선형 소속함수는 퍼지 소속함수 중 하나로 비례 또는 반비례 관계가 나타나는 단순한 관계에서만 사용이 가능하다. 따라서 융통성 있고 유연한 소속함수를 정의하기 위해서는 일반적으로 S형, 또는 종형 소속함수를 사용한다. 위 두 형태는 연속성을 지닌 공간자료에 적합하기에 본 연구에서도 S형과 종형 소속함수에 해당하는 함수식을 통해 결과를 도출할 계획이다.

퍼지 소속함수 중에서도 S형 소속함수는 급격한 기울기의 변화가 있는 자료를 사용하거나 빠르게 변화하는 자료가 쓰일 때 유용하며 그 함수식은 아래와 같다.

$$\mu(x) = \frac{1}{1 + (\frac{x-b}{d})^2}$$

$x$ 는 입력값으로, 분석 대상, 즉 입지의 데이터 값을 의미한다.  $b$ 는 함수의 중심값으로, 가장 높은 소속도, 즉 1을 가지는 값을 의미한다.  $d$ 는 그래프의 폭과 기울기를 결정한다.  $d$ 값이 작을수록 그래프가

<sup>9</sup> 전인홍, 이광로 & 김명원. (1991). 퍼지이론과 기초: 퍼지 집합. Electronics and Telecommunications Trends, 6(1), 1-143.

더 가파르게 변하고, 클수록 완만하게 변한다.<sup>10</sup> 이처럼 퍼지 소속함수를 이용하면 각각의 고려요소마다의 그래프를 변수별로 구현할 수 있다. 그러나, 본 연구에서는 소속도만 결정한 후 입지별로, 요소별로 데이터를 비교하는 방식을 통해 전체 요소에 대한 그래프를 시각화 할 계획이다.

또한, 퍼지집합을 계산할 때 여러가지 요소들 중 어떠한 요소를 더욱 중요하게 생각하는지를 다루는 개념, 가중치가 중요하다. 본 연구에서는 세가지 장소를 후보지로 선정했기에 그 중 가장 효율적인 입지 선정에 위해 여러가지 요소들을 고려해야한다.<sup>11</sup> 자원회수시설의 입지를 선정하기 위해 고려해야하는 요소들은 주변 주택가까지의 거리, 주변 주택가격, 경사 등이 존재하나 요소의 중요에는 차이가 존재한다.<sup>12</sup> 주변 주택가까지의 거리는 소각장 설립 규정으로 인해 필수적으로 고려해야하는 요소이나, 이에 반해 해당 지형의 경사는 5도에 가까울 수록 효율적이지만 꼭 고려해야하는 요소는 아니다. 이러한 차이로 인해 위치를 선정할 때 요소별로 각각 다른 가중치를 부여해주어야 한다. 즉, 해당 지형의 경사보다 주변 주택가까지의 거리가 중요한 상황에서는 주변 주택가까지의 거리를 평가하는 과정에서 더 높은 가중치를 부여하는 원리로 계산하는 것이다.

결론적으로, 해당 요소가 기준에 얼마나 부합하는지를 소속 함수의 개념을 사용해 0부터 1사이의 수치로 계산한 값들을 이용하여 하나의 결과로 만들고 이에 해당 요소에 부여한 가중치를 곱하여 숫자들을 더해주면 각 지역의 점수가 나올 것이다. 이러한 과정을 비퍼지화라고 부르는데 이는 계산된 퍼지 결과를 명확한 값으로 변환한다. 이때 점수가 가장 높은 지역이 자원회수시설의 입지를 선정하는 데에 있어 가장 효율적인 장소라는 결론을 도출해낼 수 있을 것이다. 이에 대한 자세한 내용과 결과값은 추후 연구 결과에서 다루도록 하겠다.

### 3. 연구 방법 및 절차

#### 3.1. 연구 방법

신규 자원회수시설의 입지선정과 소각방식 최적화를 위해 본 연구는 주민 여론, 자원회수시설 입지 조건, 그리고 소각방식의 기술적 특성을 중심으로 종합적인 분석을 진행했다. 먼저, 마포구 자원회수시설 관련 기사 및 보도자료를 면밀히 검토하여 주민들의 반발 여론의 주요 원인을 파악한 후 이를 해결하기 위해 문헌 자료를 분석하며 다양한 소각방식의 원리와 그 기술적인 장단점을 학습하였다. 퍼지 이론을 활용하여 추후 연구를 진행하기 위한 기반을 마련하였다.

<sup>10</sup> 임승현, 황주태, 박영기, 이장춘. (2007). GIS 공간분석에 있어 Fuzzy 함수의 적용에 관한 연구. 대한공간정보학회지, 15(2), 43-49.

<sup>11</sup> 류도암. (2023). 폐기물소각처리시설 입지에 대한 이해관계자의 주관적 인식에 대한 연구 : Q방법론 활용. 현대사회와 행정, 33(2), 71-106.

<sup>12</sup> 전병윤. (2017). 비선호시설 입지가 주변지역의 지가에 미치는 영향요인 분석 : 청주시 광역쓰레기소각장 및 목련공원을 중심으로. 충북대학교, 1-62

퍼지 함수를 적용하기 위해 후보지 평가 시 고려 요소를 선정하고, 선행연구를 참고하여 각 요소에 대한 가중치를 결정하였다. 이를 바탕으로 데이터를 분석하고, Python 프로그래밍 언어를 사용해 퍼지 함수를 구현하였으며 최적 입지를 결정했다. 또한 소각방식의 최적화를 위해 각 방식의 경제적, 효율성의 비교하고, 가장 효율적이고 친환경적인 방법으로 자원을 소각시킬 수 있는 소각방식을 제안하였다.

### 3.2. 연구 절차

본 연구는 다음과 같은 절차로 수행되었다. 먼저 마포구, 서대문구, 은평구에서 자원회수시설의 후보지를 각각 1개씩 설정한다. 후보지 설정의 기준은 다음과 같다.

#### 1) 자원회수시설을 건설할 수 있을 만한 면적인가?

현재 마포구 자원회수시설은 약 5만 8천 제곱미터로, 후보지의 면적이 이보다 작을 경우 처리 용량이 충분하지 않아 처리에 어려움을 겪을 수 있다. 따라서, 후보지는 적어도 5만 제곱미터가 넘는 곳으로 설정하였다.

#### 2) 주변에 중요한 시설이 존재하는가?

주변에 지하철역이나 공공기관과 같은 건물들이 늘어서 있는 지역에 자원회수시설을 건설할 경우, 이 건물들을 철거하는 데 어려움이 있기 때문에 후보지로 적합하지 않다. 따라서 후보지를 정할 때 이러한 문제를 고려하지 않아도 되는 공원을 중심으로 후보지를 설정하였다.

이 두 가지의 기준을 고려하여 후보지를 선정하였다. 마포구에서는 기존 자원회수시설의 위치에 새로운 자원회수시설이 신설되는 것이기 때문에, 기존 건설지인 상암동을 첫 번째 후보지로 설정하였다. 추가적으로 선정된 후보지는 다음과 같다 : 향림 근린공원(은평구 불광동), 안산 도시자연공원(서대문구 연희동). 이 두 후보지의 면적은 각각 14만 $m^2$ , 208만 $m^2$ 로 자원회수시설을 건설하기에 충분하며, 숲이나 생태공원같은 자연 옆에 자원회수시설이 위치할 경우 배출된 폐기물 오염물질과 자연환경 사이에 완충효과가 발생하여 오염되는 정도 또한 감소한다는 장점이 있다. 더불어 만약 이 두 후보지에 자원회수시설을 건설하게 되면 기존 입지는 다양한 용도로 활용할 수 있다는 장점이 있다.

이렇게 정해진 3개의 후보지를 바탕으로 입지로서의 적합성을 판단하기 위한 지표 10가지를 선정하고, 가중치를 부여하였다. 고려할 요소는 선행연구를 참고하여 10가지를 선정하였고, 본 연구의 목적인 ‘주민들의 반발을 해결할 수 있는 효율적인 소각장 설계’라는 취지에 맞게, 주민들이 가장 우선적으로 고려하는 요소 순서대로 10부터 1까지의 가중치를 부여하였다. 이후 각 후보지별로 고려요소에 대한 데이터 값을 분석하였는데, 이는 다음과 같다.



Table 2. Analysis of each candidate site & Weight value

Factors	Weight value	Existing construction site (Sangam, Mapo-gu)	Hyanglim neighborhood park (Bulgwang, Eunpyeong-gu)	Ansan(Mt.) Park (Yeonhui, Seodaemun-gu)
Distance to nearby residential areas	10	780.7m Sangam World Cup Park Apartment complex 3	257.9m Eunpyeong New Town Hillstate	750.3m Seongwon Sainteville
Wind speed :m/s	9	1.6	1.1	1.3
Housing prices	8	25.7평, 15th floor 1.1 billion	30.8평, 15th floor 1.1 billion	25.7평, 17th floor 990 million
Population density people/ $km^2$	7	3621	19545	12193
Distance to nearby rivers	6	Han river 863.1m	Bulgwang cheon 3.6km	Hongje cheon 1.3km
Land rental price : $₩/m^2$ (Standard : January, 2024)	5	464500	36500	223000
Distance to Waste Water Treatment	4	3.4km	8.2km	8.8km
Distance to nearby wildlife sanctuary	3	Han-River Nanji Park 750.6m	Jingwansa Valley 2.4km	Inwang Mountain 2km
Slope:%	2	9.293	27.149	49.257
Capacity of developable	1	159	81	48

underground water (단 $m^3/\text{year}$ )				
--	--	--	--	--

Table 2.에서 ‘폐수 처리 시설까지의 거리’와 같은 요소는 난지물재생시설에서 폐수된다고 임의 설정하였다. 서울에서 발생한 폐수는 대부분 이곳에서 처리되기 때문에 이곳을 기준으로 각 입지까지의 거리를 측정하였다. 또한 ‘개발 가능한 지하수의 용량’은 입지의 현재 개발량과 추가개발가능량을 합한 값을 측정하였다.

가중치를 부여하는 과정에서 ‘주변 주택까지의 거리’, ‘풍속’, ‘주택가격’과 같은 고려요소와 같은 경우 주민들이 신규 자원회수시설 건설을 반대하는 대표적인 요인인 주택 가격 하락 및 악취 발생과 관련된 요소들이다. 따라서 이 세 요소에 비교적 큰 가중치를 부여하고, 다른 요소들도 환경 보존의 측면과 주민 반대의 측면에서 우선순위를 임의로 설정하고 데이터 값 분석을 진행했다.

이후 앞서 조사한 데이터를 기반으로, 퍼지소속함수를 이용해 최종 입지를 선정하기 위한 코드를 작성한다. 코드는 Python 프로그래밍 언어를 이용하며, 가중치를 고려해 최종 점수를 도출한다. 이렇게 후보지 선정을 마무리한 후 자원회수시설의 소각에 사용되는 일반적인 방식을 비교분석하여 효율적인 소각방식 또한 결정한다.

## 4. 연구 결과

데이터들을 이용해 가장 효율적인 입지를 선정하기 위한 코드를 작성하는 과정이 필요하다. 위에서 가중치 정의를 언급했듯 코드를 작성하기 전에 가중치들에 대해 짧게 언급하도록 하자. 1부터 10까지 10개의 요소들을 고려하였다. 가중치가 10 즉, 가장 중요한 요소로는 주변 주택까지의 거리를 설정하였고 이후 순서대로 악취에 영향을 미치는 풍속, 해당 지역의 주택가격, 인구 밀도, 하천까지의 거리, 땅값, 폐수 처리 거리, 멸종 위기종 보고 구역까지의 거리, 경사, 개발 가능한 지하수의 용량으로 설정하였다.

이러한 요소들을 고려하여 가장 효율적인 입지를 선정하기 위해 작성한 코드는 아래와 같다 :

Python 언어를 이용한 후보지 적합성 평가 결과 도출
<pre>import numpy as np import skfuzzy as fuzz from skfuzzy import control as ctrl</pre> <p><b># 1. 입력 데이터 및 변수 정의</b></p> <pre>locations = {</pre>

```

"상암동 기존 건설지": {"주변 주택가 거리": 780.7, "풍속": 1.6, "주택가격": 11, "인구 밀도": 3621, "하천
거리": 863.1, "땅값": 464500,
    "폐수 처리 거리": 3.4, "멸종위기종 거리": 750.6, "경사": 9.293, "개발 가능한 지하수의 용량" :
159},
"향림근린공원": {"주변 주택가 거리": 257.9, "풍속": 1.1, "주택가격": 11, "인구 밀도": 19545, "하천 거리
": 3600, "땅값": 36500,
    "폐수 처리 거리": 8.2, "멸종위기종 거리": 2400, "경사": 27.149, "개발 가능한 지하수의 용량
": 81},
"안산도시자연공원": {"주변 주택가 거리": 750.3, "풍속": 1.3, "주택가격": 9.9, "인구 밀도": 12193, "하천
거리": 1300, "땅값": 223000,
    "폐수 처리 거리": 8.8, "멸종위기종 거리": 2000, "경사": 49.257, "개발 가능한 지하수의 용량
": 47},
}

```

### # 가중치 정의: 각 특성의 중요도를 나타내는 지표

```

weights = {
    "주변 주택가 거리": 10,
    "풍속": 9,
    "주택가격": 8,
    "인구 밀도": 7,
    "하천 거리": 6,
    "땅값": 5,
    "폐수 처리 거리": 4,
    "멸종위기종 거리": 3,
    "경사": 2,
    "개발 가능한 지하수의 용량": 1
}

```

### # 2. 퍼지 제어 변수 정의

```

주택가_거리 = ctrl.Antecedent(np.arange(0, 1000, 1), '주변 주택가 거리')
풍속 = ctrl.Antecedent(np.arange(0, 2, 0.01), '풍속')
주택가격 = ctrl.Antecedent(np.arange(0, 15, 0.1), '주택가격')
인구밀도 = ctrl.Antecedent(np.arange(0, 20000, 1), '인구 밀도')
하천_거리 = ctrl.Antecedent(np.arange(0, 4000, 1), '하천 거리')
땅값 = ctrl.Antecedent(np.arange(0, 500001, 1), '땅값')
폐수처리_거리 = ctrl.Antecedent(np.arange(0, 10, 0.1), '폐수 처리 거리')
멸종위기종_거리 = ctrl.Antecedent(np.arange(0, 8000, 1), '멸종위기종 거리')
경사 = ctrl.Antecedent(np.arange(0, 50, 0.1), '경사')
개발_가능한_지하수의_용량 = ctrl.Antecedent(np.arange(0, 200, 1), '개발 가능한 지하수의 용량')

```

```

적합성 = ctrl.Consequent(np.arange(0, 100, 1), '적합성')

```

### # 3. 퍼지 소속 함수 정의 : 각 변수에 대해 자동으로 소속 함수를 생성

```

주택가_거리.automf(3, names=['가까움', '중간', '멀'])
풍속.automf(3, names=['빠름', '중간', '느림'])
주택가격.automf(3, names=['저렴', '보통', '비쌈'])
인구밀도.automf(3, names=['낮음', '중간', '높음'])
하천_거리.automf(3, names=['가까움', '중간', '멀'])
땅값.automf(3, names=['저렴', '보통', '비쌈'])
폐수처리_거리.automf(3, names=['가까움', '중간', '멀'])
멸종위기종_거리.automf(3, names=['가까움', '중간', '멀'])
경사.automf(3, names=['낮음', '중간', '높음'])
개발_가능한_지하수의_용량.automf(3, names=['많음', '중간', '적음'])

```

#### # 적합성 점수의 소속 함수 정의

```
적합성['낮음'] = fuzz.trimf(적합성.universe, [0, 0, 50])
적합성['중간'] = fuzz.trimf(적합성.universe, [0, 50, 100])
적합성['높음'] = fuzz.trimf(적합성.universe, [50, 100, 100])
```

#### # 4. 퍼지 규칙 정의 : 각 특성에 대한 규칙을 정의하여 적합성을 평가

```
rule1 = ctrl.Rule(주택가_거리['멀'] & 풍속['빠름'] & 주택가격['저렴'] & 인구밀도['낮음'] & 하천_거리['가  
까움'] & 땅값['저렴'] &  
    폐수처리_거리['가까움'] & 멸종위기종_거리['멀'] & 경사['낮음'] & 개발_가능한_지하수의_용  
량['많음'], 적합성['높음'])
rule2 = ctrl.Rule(주택가_거리['가까움'] | 풍속['느림'] | 주택가격['비쌈'] | 인구밀도['높음'] | 하천_거리['  
멀'] | 땅값['비쌈'] |  
    폐수처리_거리['멀'] | 멸종위기종_거리['가까움'] | 경사['높음'] | 개발_가능한_지하수의_용량  
['적음'], 적합성['낮음'])
rule3 = ctrl.Rule(주택가_거리['중간'] & 풍속['중간'] & 주택가격['보통'] & 인구밀도['중간'] & 하천_거리['  
중간'] & 땅값['보통'] &  
    폐수처리_거리['중간'] & 멸종위기종_거리['중간'] & 경사['중간'] & 개발_가능한_지하수의_용  
량['중간'], 적합성['중간'])
```

#### # 제어 시스템 생성

```
적합성_ctrl = ctrl.ControlSystem([rule1, rule2, rule3])
적합성_계산 = ctrl.ControlSystemSimulation(적합성_ctrl)
```

#### # 각 지역의 적합성 점수를 계산하는 함수

```
def 지역_평가(특성):
    for key in 특성:
        print(f"{key}: {특성[key]}")
        적합성_계산.input[key] = 특성[key]

    try:
        # 퍼지 추론 수행
        적합성_계산.compute()
        퍼지_점수 = 적합성_계산.output['적합성']

        # 가중치를 적용한 점수 계산
        최대값 = max(특성.values()) # 특성 값의 최대값을 구함
        정규화_특성 = {k: v / 최대값 * 100 for k, v in 특성.items()} # 특성을 정규화하여 비율로 변환

        # 가중치 적용 점수 계산
        가중_점수 = sum(weights[key] * 정규화_특성[key] for key in weights) / sum(weights.values())

        # 최종 점수는 퍼지 점수와 가중치 점수를 평균하여 계산
        최종_점수 = (퍼지_점수 + 가중_점수) / 2

        print(f"퍼지 논리 점수: {퍼지_점수:.2f}")
        print(f"가중치 적용 점수: {가중_점수:.2f}")
        print(f"최종 점수: {최종_점수:.2f}")
```

```

return 최종_점수

except Exception as e:
    print(f"계산 중 오류 발생: {e}")
    return None

# 각 지역에 대한 적합성 점수를 계산하고 출력
for 지역 in locations:
    print(f"\n{지역} 평가 중")
    적합성_점수 = 지역_평가(locations[지역])
    if 적합성_점수 is not None:
        print(f"{지역}: 최종 적합성 점수 = {적합성_점수:.2f}")
    else:
        print(f"{지역}: 적합성 점수 계산 실패")

```

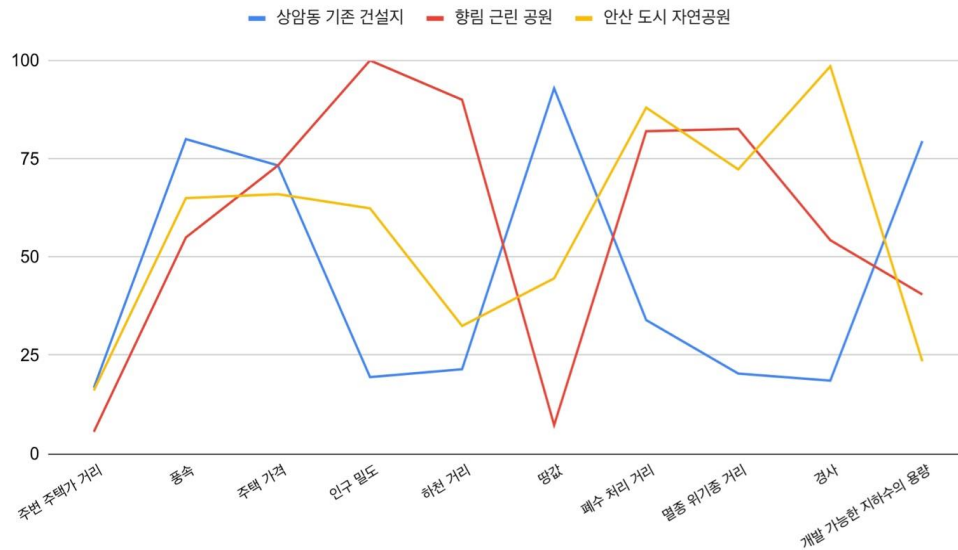
Table 3. Results of compatibility using fuzzy function

	Existing construction site (Sangam, Mapo-gu)	Hyanglim neighborhood park (Bulgwang, Eunpyeong-gu)	Ansan(Mt.) Park (Yeonhui, Seodaemun-gu)
Fuzzy Logic Score	29.18	21.44	19.48
Weighted Score	9.25	17.48	9.96
Final compatibility Score	19.22	19.46	14.72

코드의 출력 결과를 표로 정리하면 위와 같다. 즉, 쓰레기 소각장의 입지로 가장 효율적인 곳은 은평구에 위치한 향림 근린 공원이다. 기존의 건설지였던 마포구에 위치한 소각장도 3개 중 2위로 적합하지 않은 장소는 아니지만 향림근린공원에 쓰레기 소각장을 설치하는 것이 더욱 효율적임을 알 수 있다.

출력값으로는 퍼지 논리 점수, 가중치 적용 점수, 최종 점수가 있다. 퍼지 논리 점수는 퍼지 제어 시스템을 통해 계산된 점수로 정의된 퍼지 규칙과 소속 함수를 기반으로 각 입력 변수의 값을 평가하여 도출하는 것이다. 0에서 100 사이의 값을 가지도록 설정했으며 높을수록 더 적합하다. 다음 가중치 적용 점수는 각 특성에 미리 정의된 가중치를 적용하여 계산된 점수로 각 특성 값을 정규화한 후 가중치를 곱하여 합산한다. 이는 특성의 상대적 중요도를 반영한다. 마지막으로 최종 점수란 퍼지 논리와 가중치 적용 점수의 평균 값으로 한가지 개념만을 사용하지 않고 여러 요소들을 균형있게 반영할 수 있다. 퍼지 논리 점수와 가중치 적용 점수를 산출함으로써 두가지 평가 방식을 모두 고려한 종합적 평가가 가능하다.

### 쓰레기 소각장의 효율적 입지 선정



위에서 언급한 개념을 일부 활용하여 각 항목별 점수를 계산하는 방식은 평가의 객관성과 비교 가능성을 높이는 중요한 접근법이다. 이 접근법에서 핵심적인 요소들의 점수의 범위를 설정하고 기준점을 설정한다. 이에 대한 점수 구간을 나누고 이를 토대로 각 값에 대한 점수를 할당하는 방식으로 계산한다. 이러한 방식을 활용하여 점수를 산출하면, 원래 단위나 크기가 매우 다른 항목들도 쉽게 비교할 수 있게 되며 객관성이 향상된다. 이를 시각적으로 표현한 그래프는 아래와 같다.

항림 근린 공원이 가장 효율적인 입지라고 언급했기 때문에 해당 그래프들 속 점수들을 모두 더해봐 아도 항림 근린 공원이 가장 높다는 결과를 도출해낼 수 있다.

즉, 쓰레기 소각장의 입지 선정을 위해 고려해야하는 대상들을 모두 고려하여 가중치를 설정하고 이를 토대로 퍼지집합의 이론을 반영하였을 때 상암동 기존 건설 위치, 항림근린공원, 안산 도시 자연공원 세가지 입지 중 가장 효율적인 곳은 항림근린공원이라는 것을 알 수 있다.

본 연구에서는 보다 효율적이고 친환경적인 소각을 위해 현존하는 소각방식들의 장점을 고려하여 이를 융합한 새로운 구조를 도입하고자 하였다. 로터리 킬른에 스토키 방식을 이어 사용하는 다수의 소각장과 달리 로터리 킬른에 유동상식 열분해를 이어서 소각로를 설치할 것이다. 이 때 기존의 스토키 방식에서 사용하는 계단식 그레이트를 로터리 킬른에서 유동상식 열분해로 이어지는 부분에 도입하고 준연소식은 보조연료의 사용량이 천연소식보다 많고 착화와 운전조작상에 어려움이 있다고 판단 되기에 연속식 화격자를 이용할 것이다.

로터리 킬른과 유동상식을 합하는 이유는 고온 고속 연소로 완전 연소를 성취하고, 동시에 유해물질을 최소로 만들기 위해서이다. 로터리 킬른은 고온을 유지하며 유해물질 발생을 억제하는데 유리하며

유동상식 열분해는 균일한 온도를 유지하며 열분해 효율을 높이는데 효과적이기 때문이다.<sup>13</sup> 따라서 연소 배출가스의 발생량이 비교적 많은 로터리 킬른의 단점을 보완하여 최적의 효율을 내기 적합하다. 로터리 킬른으로 고온에서 70% 정도의 폐기물을 소각한 후 그 뒷부분에 연소 속도가 빨라 온도 유지에 효과적이며 과잉공기량 적어 배출가스량이 적은 유동상식 소각로를 이어 완전히 연소한 후 친환경적으로 소각을 마무리 할 수 있다. 또한 스토키 소각로는 적용 분야가 생활폐기물, 산업폐기물에 한정되는데 반해 로터리 킬른과 유동상 소각로는 생활과 산업은 물론 난연성폐액 혼합폐기물, 슬러지 혼합폐기물을 모두 폐기할 수 있다는 장점이 있다.<sup>14</sup> 이에 반해 스토키 소각로는 고수분 폐기물을 소각하는데에 한계가 있으며 플라스틱의 혼입한계는 약 25% 정도로 제한되며 과잉공기량이 많아 배출가스량이 많고 가스처리에 필요한 유지, 관리비용이 높아 효율성이 낮다.

앞서 스토키 소각로는 고수분 폐기물, 즉 음식물이나 슬러지를 소각하기에는 한계가 있다고 서술하였다. 그러나 하수 종말 처리장에서 발생하는 슬러지 양은 매년 늘고 있다. 이에 따라 대부분의 슬러지는 소각을 통해 처리되고 있다. 하수 슬러지는 화석 연료에 비해 높은 질소를 함유하고 있기에 소각 시 아산화질소 발생이 불가피하다. 한국에너지기술연구원에 따르면 이러한 이산화질소보다 지구 온난화 지수가 310배 높은 아산화질소를 제거 하는 방법으로 유동상 소각로를 꼽았다. 유동상 소각로를 사용하면 아산화질소 처리 효율성을 높임과 동시에 소각을 진행하며 발생한 열을 회수해 에너지를 절감할 수 있다.

계단식 구조에서는 폐기물이 각 단계마다 일정하게 이동하면서 점진적으로 연소가 되기 때문에 연소 공정이 균일하게 진행되며 각 계단을 지나면서 발생하는 열을 보다 고르게 회수할 수 있어 열에너지 회수가 효율적으로 이루어질 수 있다. 로터리 킬른과 유동상식 열분해를 이용하는데 스토키 방식에서 주로 사용하는 계단식 구조를 사용하는 이유가 이 때문이다. 연소화격자인 로터리 킬른과 후연소화격자인 유동상식 사이에 계단을 설치한다. 이 때 계단의 높이는 현재 스토키 방식을 사용하는 소각장 중 용량 규모 당 일일 평균 소각량이 가장 높은 대구 성서 소각장과 같이 1.2m로 설치할 것이다.<sup>15</sup> 화격자의 각도는 고온을 유지한 채로 최대한 빠르게 이동하기 위해 다른 소각장들 보다는 상대적으로

---

<sup>13</sup> 이준태, 문창호, & 최강혁. (2013). 로터리 킬른. 포스코, 1-11.

<sup>14</sup> 배성일. (2011). 스토키 방식과 열분해 융용방식의 운영자료 비교분석에 관한 연구. 광운대학교 환경대학원, 환경공학전공, 1-75.

<sup>15</sup> 이철태, 안문수, 배성렬, & 김형진. (1995). 국내 쓰레기 소각장의 실태조사 연구(2). 단국대학교 화학공학과, 한양대학교 화학공학과, 1-12.

grate가 짧은 편이기에 일반적으로 이용하는 2~5° 중에서 5°로 설정하도록 하겠다.

본 연구를 통해 제시할 소각 시설의 메커니즘은 크게 반입, 소각, 연소가스 처리, 소각재 처리와 재활용의 순서로 작동된다. 폐기물 계량기를 통해 쓰레기 무게를 측정해 반입장을 통해 쓰레기를 폐기물 병커로 모은다. 이는 폐기물 크레인을 통해 폐기물 파쇄기, 분산기를 거쳐 다시 병커로 돌아가고, 이는 투입 호퍼를 통해 소각로에 진입한다. 소각로에서는 930℃ 이상의 고온으로 쓰레기를 태운다. 앞서 우리는 소각 방식 중에서 로터리킬른과 유동상 소각로를 사용할 것이라고 언급했었다. 먼저 로터리 킬른에서는 연소된 소각재를 1시간동안 900℃의 고온으로 가열해 소결시켜 중금속 일부를 제거한다. 이렇게 형성된 바닥재는 벽돌, 보도 블록 등으로 재활용 할 수 있다. 이 과정에서 연소용 공기와 2차 공기가 압입송풍기를 통해 주입되고 압입송풍기로 주입된 연소용 공기는 증기식 공기예열기를 통해 소각로 밑부분의 파이프를 통해 주입된다. 또한 2차 공기는 증기식 공기예열기를 거치지 않고 바로 소각로에 주입된다. 유동상식 소각로에서는 2차 공기가 필요하지 않기 때문에 이는 로터리 킬른 한정으로 작동된다. 로터리 킬른으로 70%의 폐기물을 소각한 후 로터리 킬른으로 연소되지 않은 30%의 폐기물은 유동상식을 통해 연소된다. 연소된 모든 폐기물은 후연소실을 거친다. 후연소실은 소각로에서 불완전한 연소로 발생한 일산화탄소에 산소를 더 공급하여 완전연소시켜 이산화 탄소로 만드는 곳이다. 850℃ 이상의 고온을 이용해 다이옥신을 분해하는 과정을 거친다. 후연소실은 폐열보일러와 연결되어있다. 이곳에서는 다른 공정에서 생기는 배기가스의 남은 열을 이용하여 고온, 고압의 증기를 생산한다.

소각재 처리와 재활용은 연소가스 처리를 거친 후 나타난다. 폐기물을 연소시킬 때 매우 미세한 가루 형태로 공중에 떠다니는 재를 우리는 비산재라고 한다. 모든 과정에서 발생한 비산재는 한곳으로 모여

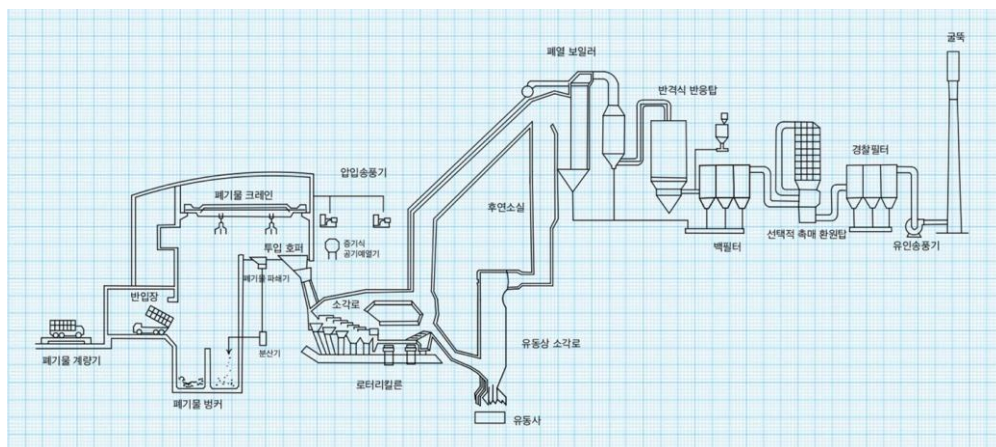


figure 6 design plan for an

지정 폐기물로 매립된다. 처리된 연소가스는 반건식 반응탑으로 이동돼 소석회를 분사해 산성가스를 제거하고 응축, 흡착을 통해 중금속을 1차로 제거한다. 이후 백필터에서 분진을 99% 이상 제거하며 산성가스와 중금속을 2차로 제거한다. 또한 후연소실에서 분해되지 않았던 다이옥신을 추가로 제거한다.



선택적 촉매 환원탑에서 질소산화물과 다이옥신을 제거하고 경찰필터로 다이옥신, 중금속, 오염 물질 등을 최종적으로 제거하여 유인송풍기를 통해 굴뚝으로 최종 배출시킨다.

## 5. 결론 및 논의

본 연구는 소각지의 입지 선정에 있어 고려해야 하는 요소들을 선정한 후 퍼지 집합을 이용해 연구구의 목적성에 부합하도록 서대문구와 마포구, 은평구라는 한정된 범주의 지역 내에서 최적의 입지를 선정하였다. 주거지역 밀집도가 작고 상업 건물이 적은 위치를 선정하려고 하였으며 세 지역에서 각각 안산 도시자연공원, 향림근린공원, 상암동 자원회수시설 기존 위치를 선정했다. 마포구를 기존의 입지와 함께 설정한 이유는 정부가 선정한 새 입지가 기존 위치와 동일했으며, 연구 목적이 기존 입지의 적절성을 확인하는 것이기 때문이다. 마포구에서 가장 주거지가 적으며 유효 공간이 넓은 상암동의 기존 건설지는 퍼지집합을 이용한 결과 최종 적합성 점수로 19.22를 얻었으며 향림 근린공원은 19.46, 안산도시자연공원은 14.72로 결과적으로 은평구의 향림근린공원이 가장 효율적인 입지로 선정되었다.

이러한 결과가 나온 이유로 야생동물 보호 구역과의 거리가 영향을 미쳤을 것이라 판단하였다. 마포구 자원회수시설에서 난지한강공원까지는 직선거리가 750m인 반면 향림근린공원부터 진관계곡까지의 직선거리는 2.4km, 안산 도시 자연 공원부터 인왕산까지의 직선거리는 2.0km이다. 이렇듯 야생동물 보호 구역까지의 거리가 마포구에 비해 2배 이상 차이 나기 때문에 결과값에 적지 않은 영향을 미쳤을 것이라 생각한다.

본 연구의 한계점은 아래와 같다:

거리는 실제 측정된 거리가 아닌 지도 사이트에서 임의로 시작점과 끝점을 설정해 측정한 거리이기 때문에 오차가 존재할 수 있다.

또한 향림근린공원과 안산도시자연공원에 자원회수시설을 유치시키기 위해서는 인구밀도에 대한 고려가 필수적이다. 향림근린공원이 위치한 은평구 불광동의 인구수는 26,972명, 면적  $1.38km^2$ , 인구밀도  $19,545명/km^2$ 이며 마포구 자원회수시설이 위치한 상암동의 인구수는 30,414명, 면적  $8.40km^2$ , 인구밀도  $3,621명/km^2$ 으로 인구밀도에서 차이를 보인다.<sup>16</sup> 더불어 향림근린공원 부지 근방에는 마을 주민들의 주거지나 마을 센터, 학교를 비롯한 공공시설 등이 존재하기에 주민들의 반발을 배제하기에 어려움이 있으며 부동산 가격 하락을 초래할 가능성이 있다. 따라서 추가적인 후보지들은 경사를 완만하게 하거나 주택가를 철거해야한다는 고려사항이 존재하나 이에 대응되는 세부적인 비용적 문제를 데이터 값에 대입하지 못하였기에 이와 관련한 추가적인 수정과 연구의 필요성이 존재한다.

---

<sup>16</sup> 열린데이터광장: 서울시 인구밀도(동별)통계

본 연구의 결과를 통해 은평구와 마포구 지역 특징을 살펴볼 수 있다. 마포구는 상대적으로 서울의 도심에 위치해있는 반면 은평구는 서울의 외곽에 위치한 지역이기에 마포구는 상대적으로 인구 밀집도가 높고 상업 및 문화 중심지가 밀집해 있어 유동 인구가 많다. 이에 반해 은평구는 비교적 주거지역 특성을 지니며 북한산국립공원을 포함하고 있기에 자연환경이 풍부하고 녹지가 잘 보존된 지역에 속한다. 마포구는 도시화된 환경 속에서도 자연 친화적인 공간을 조성하기 위해 노력하는 지역이나 은평구에 비해 녹지 비율은 낮다. 따라서 자원회수시설을 설치했을 때 오염물질의 완충 효과 또한 은평구가 마포구에 비해 낮은 정도를 보일 것으로 예상된다. 따라서 상업의 중심지와 자연의 중심지라는 지역적인 성격 차이를 고려한 추가적인 연구의 필요성이 존재한다.

더불어 자원회수시설을 설계할 때 고려해야할 중요 요소 중 다이옥신, 아산화질소와 같은 유해물질의 배출을 비롯한 대기오염의 심화 문제가 존재하며 소각시설이 대기질과 주변지역 주민 건강에 미치는 영향에는 다이옥신 노출과 암 위험성과의 인과성, 대기 및 토양 다이옥신에 의한 건강 위험도 평가 등이 있다.<sup>17</sup> 현재 서울시 자원회수시설 주변지역에 대한 주민건강영향 조사 결과 자원회수시설에서 배출되는 물질들은 대기환경을 준수하고 있고 자원회수시설이 주변지역 환경과 인체에 미치는 영향은 없다고 평가되었으나 여전히 주민들은 유해물질에 대한 두려움을 소각장 도입 반대의 주요 원인으로 꼽고 있다.

본 연구에서는 이를 바탕으로 유해물질에 대한 우려와 자원회수시설의 여러 단점을 보완하기 위하여 소각방식을 변경하였다. 기존 마포구의 자원회수시설은 로터리킬른과 스토키 형식의 소각로를 함께 사용하는 구조였으나 이는 다이옥신의 제거 측면에서 한계점이 존재하기에 비용적인 측면에서는 최적은 아님에도 효율성과 친환경적인 측면에서 의의를 가지는 로터리킬른과 유동상식 소각로를 합치는 방안을 제시하였다. 이를 이용하여 유해물질의 배출을 막고 다양한 성상의 폐기물을 연소시킬 수 있을 것이다. 유동상식 소각로는 하수 슬러지를 에너지화할 수 있는 공정에 적용할 수 있어, 본 연구에 따른 친환경적 소각방식의 재결정은 실제 하수 슬러지 처리시장과 온실가스 저감 시장에 적용할 수 있다.

입지 분석이 마무리 된 후 이루어지면 좋을 일에 대한 추가적인 제언은 아래와 같다.

첫째, 소각장에서 발생하는 폐열의 재활용 방법에 대한 추가적인 연구가 요구된다.

둘째, 입지 지역과 그 외 지역의 쓰레기 봉투 가격에 대한 차별화를 부여하거나 다른 정책적인 방안을 고안하여 지역 주민들에 대한 금전적인 보상이 필요하다.

셋째, 폐기물을 체계적으로 관리하고 감독해야한다.

넷째, 소각이 거듭될수록 소각 시설이 노후화되기에 보완에 대한 재정적인 지원이 필요하다.

---

<sup>17</sup> 최근 5년간 발간된 논문 및 문헌 검토 결과

## 참고문헌

- [1] 류도암. (2023). 폐기물소각처리시설 입지에 대한 이해관계자의 주관적 인식에 대한 연구 : Q방법론 활용. 현대사회와 행정, 33(2), 71-106.
- [2] 박승호. (1995). 유동층 소각로에 대하여. 대한기계학회, 620-637.
- [3] 배성일. (2011). 스토커 방식과 열분해 융용방식의 운영자료 비교분석에 관한 연구. 광운대학교 환경대학원, 환경공학전공, 1-75.
- [4] 이준태, 문창호, & 최강혁. (2013). 로터리 킬른. 포스코, 1-11.
- [5] 이철태, 안문수, & 배성렬. (1995). 국내 쓰레기 소각장의 실태조사 연구(1). 단국대학교 화학공학과, 한양대학교 화학공학과, 1-12.
- [6] 이철태, 안문수, 배성렬, & 김형진. (1995). 국내 쓰레기 소각장의 실태조사 연구(2). 단국대학교 화학공학과, 한양대학교 화학공학과, 1-12.
- [7] 이희연, 임은선. (1999). 쓰레기 소각장 입지선정에 있어서 퍼지집합과 AHPOI론의 활용. 한국GIS학회지, 7(2), 223-236.
- [8] 임승현, 조기성. (1999). GIS를 이용한 입지선정에 있어 퍼지공간중첩기법의 적용에 관한 연구. 한국측량학회지, 17(2), 177-187.
- [9] 전병윤. (2017). 비선회시설 입지가 주변지역의 지가에 미치는 영향요인 분석 : 청주시 광역쓰레기 소각장 및 목련공원을 중심으로. 충북대학교, 1-62.
- [10] 전인홍, 이광로 & 김명원. (1991). 퍼지이론과 기초: 퍼지 집합. Electronics and Telecommunications Trends, 6(1), 1-143.
- [11] 정운필. (2013). 스토커 방식 소각장치. 대한민국특허청, 1-73.

- [12] 최진환, 최상민. (1999). 유동상 소각로에서 하수 슬러지 연료 특성. KOSCO SYMPOSIUM 논문집, 81-91.
- [13] 국토교통부 실거래가 공개시스템. <https://rt.molit.go.kr/> (accessed 2024-11-20)
- [14] 서울 열린데이터 광장. <https://data.seoul.go.kr/> (accessed 2024-11-20)
- [15] 서울특별시 빅데이터 캠퍼스. <https://bigdata.seoul.go.kr/main.do> (accessed 2024-11-20)
- [16] 지하수 분석 시스템. <https://www.gims.go.kr/bdp/portal/index.do> (accessed 2024-11-20)
- [17] s-map. <https://smap.seoul.go.kr/> (accessed 2024-11-20)