

## 쓰레기 소각장 입지선정에 있어서 퍼지집합과 AHP이론의 활용

이희연\* · 임은선\*\*

### The Site Selection of Waste Incinerator Using Fuzzy Sets and AHP Theory

Lee Hee-Yeon, Em Eun-Sun

#### 요 약

본 연구는 최근 시설의 확충이 절실히 요구됨에도 불구하고 사회적 기피시설로 인식되어 그 입지를 둘러싸고 많은 사회적 문제를 일으키고 있는 쓰레기 소각장의 후보입지를 선정하는데 있어서 보다 유연성있고 객관적인 방법론을 도입하여 의사결정을 위한 지원시스템으로의 GIS의 기능을 높이려는데 목적을 두었다. 본 연구에서는 종전의 입지분석시에 주로 많이 활용된 부울 논리에 의한 단순 도면중첩기능의 문제점을 제시하고 쓰레기 소각장의 입지를 선정하는데 있어서 퍼지집합(Fuzzy Set)과 계층분석과정(AHP: Analytic Hierarchy Process)이론을 활용하여 후보 입지들에 대한 적합도 수준을 평가하는데 보다 유연성을 기할 수 있는 방법론을 모색하였다. 특히 본 연구는 쓰레기 소각장의 후보입지들을 선정하는데 있어서 어떠한 요인을 기회요인으로 하였는가, 또한 각 요인들에 대한 상대적 중요성, 즉 가중치를 어떻게 설정하였는가에 따라서 다양한 결과들이 추출될 수 있음을 제시하려는데 초점을 두었다.

**ABSTRACT:** Recently, the need of waste incinerator has been recognized. However the waste incinerator is considered the typical example of NYMB syndrome as a locally unwanted facilities. Therefore the site selection of waste incinerator should be determined very carefully with consideration of various location factors and criteria.

The purpose of this study is to provide a new decision-making process model for site selection that provides a rational and a systemic way. The fuzzy set theory and AHP theory, which have merits to overcome uncertainly and complexity of spatial data, are applied to select candidate sites for the waste incinerator. The method is able to produce a more flexible and objective solution for selecting suitability sites in comparison to rigid boolean logic. The result of this study shows that geographic information systems have clear implications for informing the spatial decision making process.

\* 건국대학교 지리학과 교수 (Professor, Department of Geography, Kunkuk University, 93-1, Mojin-Dong, Kwangjin-Gu, Seoul, Korea, 143-701)

\*\* 건국대학교 지리학과 대학원(Graduate Student, Department of Geography, Kunkuk University, 93-1, Mojin-Dong, Kwangjin-Gu, Seoul, Korea, 143-701)

## I. 서 론

급속한 속도로 성장하고 있는 GIS는 공간정보의 수집 및 저장 뿐만 아니라 특정한 목적에 부합하는 분석도구로서의 기능이 점차 확대되면서 여러 분야에서 활용되고 있다. 그러나 인간의 생활영역을 둘러싼 복잡한 자연 및 인문환경에 나타나는 복잡한 공간현상들을 이해하고 설명하는데 있어서 아직까지는 GIS의 공간분석기법은 상당한 제한점을 갖고 있다. 최근에 들어와 다양한 공간분석 기법을 GIS 영역 안에서 통합시키려는 노력이 이루어지고 있으며, GIS를 공간의사결정지원시스템(SDSS: Spatial Decesion Support System)으로의 효용성을 높이려는 연구들이 이루어지고 있다(Carver, 1991; Densham, 1991; Eastman, et al., 1993; Honea et al., 1991; Jankowski, 1995; Janssen et al., 1990)

본 연구는 기피시설물의 하나인 쓰레기 소각장 입지선정에 있어서 GIS 기법을 활용하려는 것이다. 쓰레기 매립장이나 소각장 또는 원자력 발전시설과 같이 주민기피시설물의 경우 입지선정에 있어서 과학적이고 객관적이며 체계적인 절차와 합리적인 의사결정이 필요하다. 그러나 지금까지 이러한 기피시설물의 입지를 선정하는 경우 객관적인 입지선정 기준이 마련되어있지 못한 편이며, 또한 입지를 선정하는 방법론이 확고하게 설정되어있지 못하여 실제로 입지를 선정할 때 많은 어려움을 안고 있다. 특히 데이터 처리모델의 미개발과 입지에 영향을 주는 요인의 정량화에 대한 기준의 모호함, 요인들의 중요도나 적합성 판단시 필연적으로 나타나는 불확실성 등등 여러 가지 문제점들을 안고 있다. 따라서 연구결과 제시되는 대안들도 경직되어 있으며 비과학적인 절차로 수행된 사례들이 많았다.

일반적으로 혐오시설물이나 기피시설물의 입지 선정시에 고려되어야 할 요인들은 다차원적이며, 여러 목적을 동시에 만족하는 입지모형을 요구하는 경우가 많다. 따라서 대부분의 시설물에 대한 입지 모형에서 채택하고 있는 비용 최소화 또는 편익 극

대화라는 목적함수를 적용하는 경우 상당한 문제점을 야기시킬 수 있다. 즉, 혐오시설물이나 기피시설물의 입지를 선정할 때 비용 최소화 또는 편익 극대화라는 목적함수를 바탕으로 하는 경우 지역주민의 반발이 심하거나 서로 다른 집단들간에 마찰을 불러 일으킬 수 있다.

쓰레기 소각장과 같은 혐오 시설물의 입지선정과 관련된 의사결정 문제는 여러 대안들 가운데서 최종적 대안을 선택하는 논리적인 사고체계를 필요로 한다. 즉 다양한 입지요인들이 고려된 여러 대안들 가운데서 제한된 공간을 효율적으로 사용하면 서로 관련 단체들의 의견이 광범위하게 수렴된 대안을 선택하여야 한다. 이를 위해서는 혐오시설물의 입지를 선정할 때 대다수 주민들이 납득할 수 있도록 입지준거의 합리적인 도출과 그에 따른 입지선정과정에 대한 정확한 절차가 투명성있게 객관화되어야 한다.

본 연구는 최근 시설의 확충이 절실히 요구되는데 불구하고 사회적 기피시설로 인식되어 그 입지를 둘러싸고 많은 사회적 문제를 일으키고 있는 쓰레기 소각장의 후보입지를 선정하는데 있어서 보다 유연성있고 객관적인 방법론을 도입하여 의사결정을 위한 지원시스템으로의 GIS의 기능을 높이려는데 목적을 두었다. 본 연구는 소각장의 적지를 선정하려는 것이 아니며, 후보 입지를 선정하는 과정에 있어서 보다 유연성을 제공하려는 연구방법론 구축에 초점을 두었다. 특히 본 연구에서는 쓰레기 소각장의 후보입지를 선정하는데 있어서 종전의 입지 분석시에 주로 많이 활용된 부울 논리에 의한 단순 도면중첩기능의 문제점을 파악하고 퍼지집합(Fuzzy Set)과 계층분석과정(AHP: Analytic Hierarchy Process)이론을 활용하여 후보 입지들의 적합도를 평가하는데 있어서 유연성있는 대안을 제시하려고 시도하였다.

본 연구는 특정 지역의 여러 후보지들 가운데서 쓰레기 소각장의 적지를 선정하는 미시적인 연구가 아니므로 사례지역은 다소 넓은 서울시의 10개구

(도봉구, 노원구, 강북구, 성북구, 중랑구, 종로구, 중구, 성동구, 광진구)를 대상으로 하였다. 이 지역들은 이미 소각장이 입지하여 가동되고 있거나 소각장 입지를 위해 후보지를 선정하였거나 선정 단계에 있는 구들이 포함되어 있다. 본 연구에 이용된 기본 도면자료는 연구지역의 행정구역도, 지형도, 도로망도, 도시계획도, 수계망도였으며, 이들 수치지도를 벡터자료로 구축하기 위해 PC ARC/INFO, Arcview를 이용하였다. 벡터 자료를 래스터 자료로 변환한 후 퍼지 전환과 AHP 가중치 산출 등을 위해 주로 활용한 프로그램은 Idrisi이다. 본 연구의 흐름도를 보면 (그림 1)과 같다

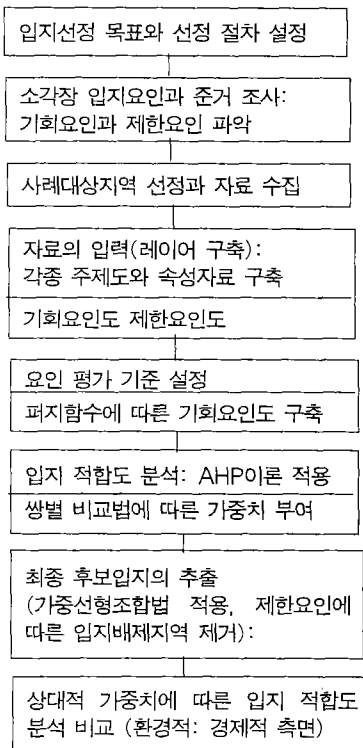


그림 1. 쓰레기 소각장 입지 선정과정과 절차

## II. 쓰레기 소각장 입지에 영향을 주는 요인들

일반적으로 쓰레기 소각시설은 쓰레기 발생원이 있는 인구밀집지역인 도시지역에 입지하는 경향이 있는데 흔히 쓰레기는 더러운 것, 혐오스러운 것이라는 인식을 주기 때문에 소각장 입지는 강한 납비현상을 야기시킨다. 아무리 완벽한 처리방법을 동원한다 하여도 폐기물 처리시설이 들어서게 되면 시각적 혐오감, 악취, 폐기물 수송과정에서의 차량소음 등의 문제가 여전히 남게 된다는 생각 때문에 지역주민 의식 속에 잠재적인 위해감이 자리잡게 된다. 그와 더불어 폐기물 처리시설의 경우 자기가 발생시킨 쓰레기뿐만 아니라 남들이 발생시킨 쓰레기까지 처리하면서 자신들의 생활환경을 저하시키고 해당지역 주택 값의 폭락과 같은 주민의 실질적인 경제적 불이익의 가능성 등으로 인하여 상대적으로 경제적 박탈감까지도 느끼게 된다.

따라서 쓰레기 소각시설에 대한 합리적인 입지가 선정되기 위해서는 쓰레기 소각시설 입지결정에서 고려해야 할 다양한 입지요인들에 대한 명확한 입지준거가 마련되어야 한다. 쓰레기 소각시설은 소각과정에서 인체에 유해한 가스가 발생하며, 그에 대한 집진 장치가 완벽하지 않을 때 인근 주민의 건강을 해칠 수 있는 치명적인 환경오염의 문제를 지니고 있으므로 인간 생활환경의 피해와 자연환경 오염을 최소화하고, 폐기물 처리의 효율을 극대화시킨다는 목표를 충족시킬 수 있도록 입지가 선정되어야 한다. 특히 쓰레기 소각장의 입지선정은 제시된 여러 대안들 가운데 최종적으로 하나를 선택해야 하는 공간의사결정의 단계에 직면하게 되므로, 목적에 부합되는 결정을 위해 다양한 기준들이 고려되어야 한다.

의사결정을 위해 입지 선정시에 평가될 수 있는 요인은 일반적으로 기회요인과 제한요인으로 대별해 볼 수 있다. 입지에 적합함을 평가하게 되는 기회요인(factor)은 특정 대안의 적합성을 상승 또는 감소시키는 기준이라고 볼 수 있다, 반면 법적 제한과 같이 제한요인(constraint)은 대안을 제한하는 요소이다. 의사결정을 위한 대안들을 도출하는

과정은 이 두 가지 요인들을 중심으로 의사결정규칙과 목적 확인을 통해 이루어진다. 입지선정을 위한 대안을 도출하는 분석 과정에서 당연하게 되는 어려움은 기회요인들의 점수를 어떻게 표현할 것인가의 문제와 기회요인들간의 가중치의 적용, 대안에 포함된 위험과 불확실성의 개념을 어떻게 구체화시킬 것인가의 문제들이다.

인간생활과 환경에 미치는 영향력을 최소화하고 소각장 운영의 효율을 극대화할 수 있는 입지가 선정되기 위해서는 지형, 바람의 방향과 같은 자연적 요인과 인구분포와 기존 시설물의 분포에 대한 정량적 분석, 그리고 지역의 여타 행정정책과 도시계획이나 관련 법규 등에 대한 검토, 주민의견을 고려할 수 있는 정성적 분석이 동시에 이루어져야 한다. 특히 소각장의 입지선정과정에 반드시 소각장에 대한 주민들의 의식을 정확히 파악하여 반영하여야 할 것이다. 또한 실제로 쓰레기 소각장의 최종 입지를 선정할 때 중요하게 고려되어야 하는 사항은 설치시설의 종류와 규모이다. 어떤 종류의 소각시스템을 설치할 것이며, 그 규모와 그에 따른 소요면적 등의 기술적 사항에 따라라도 소각장의 최종 입지가 달라질 수 있다. 따라서 본 연구에서는 최종 입지를 선정하기 위한 사전 단계인 후보입지들을 추출하는 방법론에 초점을 두고, 대안들을 추출하는 과정에서의 유연성을 도출시키고자 하였다.

쓰레기 소각장의 입지는 다양한 여러 요인들의 영향을 받게 되고 입지기준을 도출하는 문제는 상당히 복합적이며 간단하지 않는데 비해, 지금까지 이론적으로 검증된 입지기준은 없으며 보통 연구자의 경험과 주관에 의하여 입지기준이 선정되고 있다. 소각장 입지기준에 관한 선행 연구들도 매우 적고, 아직까지 쓰레기 소각처리시설의 입지요인 및 준거에 대해서는 구체적인 연구가 이루어지지 않은 상태이다. 또한 입지요인들 자체도 해당지역의 여건과 시설의 규모에 따라 그 중요도가 다르게 나타날 수 있으며, 의사 결정자의 주관적 평가에

따라서 요인들간의 우선 순위가 바뀔 수도 있다.

기존 연구들에서 일반적으로 쓰레기 소각장 입지선정을 위해 고려되고 있는 입지기준들을 보면 토지이용현황, 도시계획현황, 지형(고도, 경사), 기후(풍향), 지질, 토양, 인구 밀도, 도로와의 접근성, 수계망 등이 포함되고 있지만, 각각의 요인들에 대한 명확한 입지기준은 설정되어 있지 못하다. 본 연구에서는 기존의 연구들을 종합하고 (성동구, 1992; 정명희, 1994; MLMIS: Minnesota I, and Management Information System에서 제시된 기준), 폐기물 처리시설 입지와 관련된 조사보고서 및 문헌들을 참고로 하여 소각장의 입지에 영향을 주는 요인들을 도출하였다. 입지요인은 크게 입지 기회요인과 입지 제한요인으로 구분하였다. 소각장 건설로 인한 주민들의 반대와 환경적인 영향을 최소화할 수 있도록 수문환경 측면에서 상수도 보호 지역과 생태환경보전지역, 토지이용상 주거지역과 상업지역 등은 소각장이 입지할 수 없는 지역으로 간주하여 제한요인으로 규정하였다.

한편, 입지가능요인으로 고려한 기회요인들은 자연 및 생활환경에 영향을 주는 환경적 요인과 소각장 시설과 건설에 따른 비용 및 쓰레기 수거 거리와 관련된 수송비에 관한 경제적 요인들로 분류하였다. 그러나 본 연구에서는 환경적, 경제적 요인들 가운데 자료 수집의 가용성을 고려하여 다섯가지 요인을 선정하였다. 우선 환경적 요인으로는 쓰레기 소각장의 건설로 야기되는 주거환경 측면을 볼 때 주거지역과의 이격거리가 멀수록 소각장의 입지에 대한 주민들의 반대가 감소될 것이므로 주거지역으로부터의 거리를 고려하였고, 또한 풍향 측면에서는 바람의 반대쪽에 소각장이 입지할 수 있도록 지형도에서 주향을 고려하였으며, 수자원에 대한 영향을 최소화 할 수 있도록 수계망으로부터의 거리를 반영하였다. 한편 경제적인 요인으로는 소각장의 건설과 운영과 관련하여 고도가 너무 높거나 경사가 너무 급할 경우 소각장 건설이 용이하지 않으므로 경사도를 고려하였고, 주거지역으로부터

표 1. 쓰레기 소각장 입지 선정을 위해 고려된 기회요인과 제한요인

요인	영향		요인 (회일명)
입지 기회요인	주변환경에의 영향	주거지	■ 주거지역으로부터의 거리(townfac)
		기후	■ 주향(주풍향의 반대쪽이 양호)(windfac)
		수자원	■ 수계망으로부터의 거리(waterfac)
경제적 측면	시설건설비용	■ 경사도(slope)	
	수집운반효율 및 건설비용	■ 도로로부터의 거리 (roadfac)	
입지 제한요인			■ 상수도보호지역, 생태환경보전지역 ■ 주거지역, 상업지역,

쓰레기를 수거하여 소각장까지 수송해야하므로, 수송비를 고려한 도로 접근성 요인을 포함시켰다. 그 이외에도 소각장 건설에 필요한 정보인 지질적인 측면과 지반 견고성에 대한 자료들은 실제로 대안적인 후보 입지가 선정되는 경우 직접적인 시추조사에 의해 이루어져야 하므로 본 연구에서는 제외시켰다. 본 연구에서 소각장 입지선정을 위해 고려된 요인들을 보면 <표 1>과 같다.

### III. 입지 기회요인에 대한 퍼지함수의 적용

GIS의 공간분석기능 가운데 입지선정시에 가장 대표적으로 많이 쓰이는 기법이 부울 논리에 따른 단순도면 중첩기능이다. 각 주제도를 중첩시켜서 부울 논리(boolean logic)에 따른 특정 기준을 만족하는 지점을 찾아내는 것이다. 각 주제도에 대해 원하는 조건을 설정하여 자료를 검색하는 연산자로 부울 논리를 활용하여 검색하는 경우 입지기준에 대한 만족 여부는 참과 거짓('1' 또는 '0')의 이원적인 결과를 산출하게 된다. 이 방법은 분석방법이 단순하고 간편하다는 장점이 있으며, 실제로 상업이나 서비스 시설과 같은 사적 시설물의 입지를 선정하는데 많이 활용되고 있다. 그러나 공간정보 자체가 연속성을 지니고 있다는 특성에 비추어 볼 때 입지기준에 대한 임계치 설정이 이원론적 결과를

가꾸오기 때문에 정보의 손실이 나타나며, 복잡한 공간정보를 나타내는 두 개 이상의 레이어들을 결합하는 경우 많은 문제점을 지니고 있는 것으로 지적되고 있다( 김대중, 1995; 오규식, 1995; 이성호, 남광우; 1999; Hall et al., 1992).

특히 부울 논리는 입지기준의 결정이 애매모호하고 불확실한 경우 상당한 문제점을 일으킬 수 있다. 입지기준에서 조금이라도 벗어난 지점은 포함되지 못하므로 정보의 손실이 발생하게 된다. 예를 들어 쓰레기 소각장 입지선정을 위한 기회요인으로 경사도를 고려할 때 경사도가 20° 이하인 지역을 임계치로 삼는 경우 21°, 22° 등과 같이 임계치를 조금 넘어선 지역은 불만족한 지역으로 제외되므로 입지기준에 대한 근접도의 차이를 반영할 수 없게 된다. 이와 같이 부울 논리에 의한 공간분석은 위치가 갖는 속성값을 단순하게 양분화함으로 정보의 손실을 증가시킨다. 이러한 입지기준에 대한 임계치의 설정뿐만 아니라 공간정보의 결합시에 공간정보의 손실이 많이 발생한다는 점이 지적되면서 의사결정과정에 있어서 보다 지식 기반적(knowledge-driven) 정보가 제공되어야 할 필요성이 강조되고 있다.

GIS의 공간분석에서 부울 논리의 단점을 보완하고자 하는 많은 노력들이 있었는데 그 중 하나가 Zadeh(1965)의 퍼지집합이론(fuzzy set theory)을 활용하는 방법이다. 복잡한 공간문제를 해결하는데 있어서 대안 모색과 최종안의 의사결정을 위해서는

가능한 정보의 손실을 적게 하고 불확실성을 수용할 수 있어야 한다. 퍼지집합이론은 모호성 즉 퍼지 정도에 기인한 불확실성의 문제를 포함할 수 있도록 한 이론으로, 분류간에 경계가 명확하지 않은 애매모호한 분류를 표현할 때 소속도 함수로 정의함으로써 불확실성 또는 부정확성을 다룰 수 있는 논리이다. 따라서 퍼지이론은 입지선정과 같은 복잡한 공간문제를 해결함에 있어 대안을 모색하는 과정이나 최종적으로 의사결정을 할 때 발생하는 공간정보들의 불명확성, 모호성을 모델링하는 방법론으로 이용될 수 있다(Benai, 1993; Buckley, 1984; Davidson et al., 1994; Eastman & Jiang, 1996; Kollias & Achilleas, 1991).

일례로, 쓰레기 소각장 건설에 적합한 지형의 경사도를 분석하는 경우 퍼지집합이론을 도입하는 경우 임계치가 20%미만의 지역이라는 정량적인(quantitative) 정의를 피하고, '경사가 완만하다', '보통이다', '경사가 급하다'와 같이 보다 정성적인(qualitative) 정보를 제공할 수 있다. 이와 같은 유형으로 정보를 표현하기 위하여 퍼지집합의 소속도 함수(membership function)가 이용되고 있다. 이는 '예 또는 아니오'의 크리스프 집합(crisp set) 형태가 갖는 결정론적인 개념을 확장시켜 '더 또는 조금'과 같이 언어적인 표현 또는 정도의 차이가 있는 모호함(uncertainty)을 다룰 수 있도록 한 개념이다. 퍼지이론에서 소속도 함수는 가능성(possibility)이라고도 생각할 수 있다. 공간정보의

정도차이를 반영할 수 있는 함수에 근거하여 나타내고자 하는 정보를 '0'과 '1'사이의 값으로 대체시킨다. 소속도 함수의 유형은 S형, J형, 선형 등이 있으며, 함수의 모양을 결정하는 변곡점의 위치에 따라 다양한 특성들을 표현할 수 있다.

그러나 퍼지집합이론에서도 소속도를 결정하는데 사용할 적합한 함수를 선택해야 한다는 과제를 안고 있다. 집합내의 원소의 상대적 소속도나 소속 함수 값을 결정하는데 있어서 유연성을 가지고 함수를 선택하도록 해야 한다. 다양한 함수들은 각각의 특성을 반영할 수 있어야 될 뿐 아니라 매개변수의 적절한 선정과 경계의 설정이 매우 중요하다. 한편 입지선정 과정에서 기회요인별 지도들을 결합하는 과정에서 모든 소속도 값을 조합하기 위해 다양한 연산자들이 사용될 수 있고 조합규칙을 다양하게 적용함으로써 새로운 퍼지집합을 만들 수 있다(Zimmermann, 1991). 지도의 조합에 이용되는 연산자로는 fuzzy AND, fuzzy OR, fuzzy algebraic product, fuzzy algebraic sum, fuzzy gamma 등이 있다.

본 연구에서 쓰레기 소각장 입지에 영향을 주는 기회요인지도를 구축하기 위해 다음과 같은 절차를 통하여(그림 2 참조). 먼저 소각장의 입지에 영향을 주는 기회요인들에 대한 수치지도를 구축하였다. 그리드 분석과 퍼지함수의 적용을 위해서 데이터를 모두 래스터 데이터 포맷으로 변환하였다. 본 연구는 소각장 적지를 추출하는 연구가 아니기 때

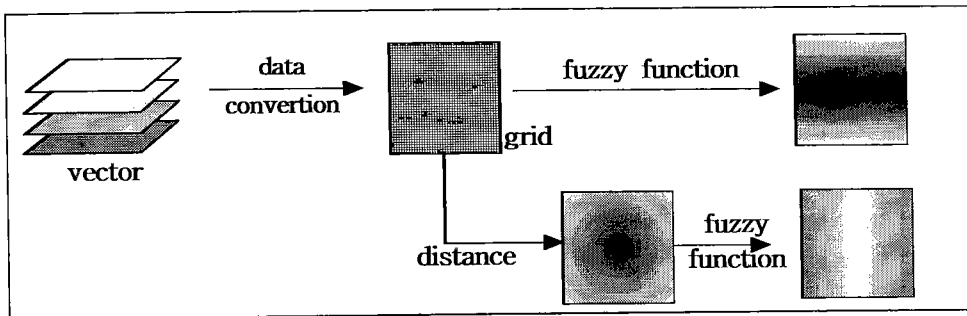


그림 2. 퍼지함수를 이용한 기회요인지도 구축과정

문에 해상도에 따른 문제점은 다루지 않았다. 그러나 그리드 데이터를 구축하는데 있어서 그리드 해상도 수준이 연구결과에 영향을 미칠 수 있으므로, 실용적인 면에서 소각장의 적지를 선정하는 경우 기회요인들의 특성에 따라 그리드 해상도를 달리 하거나, 또는 해상도에 따른 민감도 검사를 수행하는 것이 바람직하다

본 연구에서는 퍼지함수를 적용한 연속적인 척도로 기회요인 지도를 구축할 때, 환경에 대한 영향이나 접근성 요인들은 기준지점으로부터 유클리디안 거리를 구한 후, IDRISI에 내장되어 있는 퍼지함수 기능을 이용하여 기회요인지도를 구축하였

다.

퍼지함수를 이용하여 자료를 0-1까지의 연속된 척도로 표준화시키는 경우, 기회요인 특성에 가장 적합한 함수의 형태를 결정하고 또한 함수의 변곡점을 결정하는 것이 중요하다. 지금까지 소각장의 입지와 관련된 기존의 연구나 문헌에서 뚜렷하게 제시된 입지기준이 없다. 본 연구에서는 기존의 연구물들을 고려하고 실제로 소각장을 건설한 지역에서 고려되었던 준거들을 참조하여 기회요인별 함수와 변곡점을 설정하였지만, 다분히 주관적인 면이 개입되었다고 볼 수 있다. 따라서 각 기회요인들에 대한 함수와 임계치를 정확하게 결정하기 위해서는

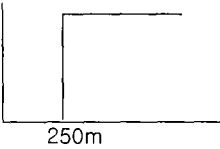
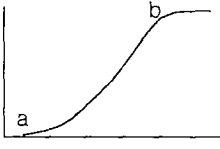
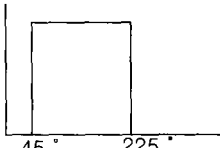
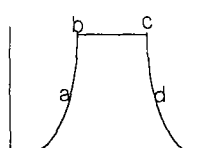
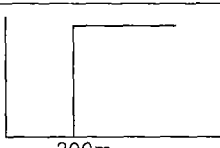
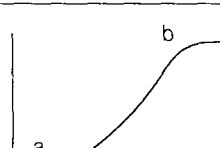
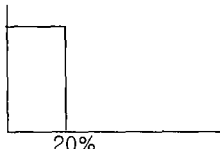
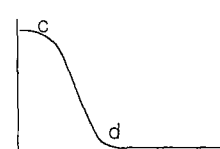
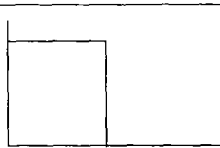
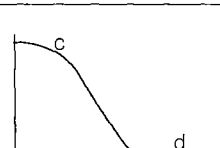
	Criteria	Boolean	Type/Parameter	Fuzzy Function
주변 환경에의 영향	townfac		S-shaped (Monotonically increasing) a:100m b:1000m	
	windfac		J-shaped (Symmetric) a:45° b: 90° c:180° d:225°	
	waterfac		S-shaped (Monotonically increasing) a:200m b:1000m	
시설 건설 및 수송비	slope		S-shaped (Monotonically decreasing) c:5% d:25%	
	roadfac		S-shaped (Monotonically decreasing) c:100m d:800m	

그림 3. 부울논리 기준과 퍼지함수를 활용한 기회요인도 구축

앞으로 설문조사를 통하여 전문가들의 견해를 고려하여야만 할 것이다.

본 연구에서는 주거지역에 대한 영향을 고려할 때 주거지로부터 100m 이내 지역은 주민반대를 고려하여 가능성 값을 '0'으로, 주거지로부터 1km 이상은 영향권에서 벗어난 것으로 간주하여 '1'로 지정하였다. 또한 소각장입지에 대해 민감한 부분이 유해물질의 확산에 대한 것으로 바람에 대한 영향을 고려하였다. 서울의 경우 기상청의 30년 통계자료에 의하면 주풍향이 북서풍이며, 겨울이 여름보다 바람의 영향이 강하게 작용한다. 따라서 주풍향에 대한 반대사면의 입지가 양호한 것으로 판단하여 주향자료를 바탕으로 하여 SE(90-180°)를 가장 양호한 지역으로 지정하였다. 수계에 대한 영향은 수질보호를 위해 200m 미만은 '0', 수계망으로부터 1km 이상은 영향권 밖으로 간주하여 '1'로 정하였다. 또한 지형적인 요소는 소각장의 건설과 관련된 토목공사와 밀접한 관련을 맺는데, 일반적으로 토목분야에서 공사비와 관련하여 너무 표고가 높은 지역이나 경사가 급한 지역, 지반의 견고성등 제시하는 기준을 고려하여 변곡점을 지정하였다. 도로에 대한 접근성은 쓰레기의 수집운반시의 수송거리 면에서는 짧을수록 양호하며, 기존 도로로부터 멀리 떨어진 지역은 소각장 건설시 도로를 신설하여야하는 등의 여건을 감안하여 변곡점을 지정하였다. 기회요인별 퍼지함수의 유형과 그 변곡점 설정은 그림 3과 같다(본 연구에서 설정한 각 요인들에 대한 퍼지함수 유형과 변곡점은 향후 전문가 집단의 종합적 견해들을 참조하여 변형될 수 있다). 이와 같은 퍼지함수를 적용하여 구축된 각각의 기회요인과 제한요인에 대한 주제도를 보면 그림 4와 같다

#### IV. 쓰레기 소각장 입지 적합성 분석

적합성 점수에 의해 후보 입지를 평가하는 경우 가장 적절한 퍼지함수를 적용하여 각각의 입지 기회요인들에 대한 표준화 점수를 산출하는 것도 중요하지만, 더욱 입지선정에 영향을 주는 것은 기회요인들간에 상대적인 중요도 즉 가중치를 어떻게 부여하는 가이다. 기회요인들에 대한 가중치 부여는 의사결정자의 주관성이 개입될 소지가 있으며, 기회요인에 대한 가중치를 어떻게 주느냐에 따라서 최종 후보지 결정이 달라질 수 있다. 일반적으로 입지선정의 준거와 임계치 설정이 지역여건이나 시설 규모에 따라 달라질 수 있는 소지도 있지만, 더 가변적인 것은 입지에 영향을 주는 기회요인의 중요도를 어떻게 보고 또 어떠한 관점에 더 초점을 두는가 하는 점이다.

소각장의 입지를 선정하는 경우 행정당국의 입장에서 경제적 측면의 기회요인에 더 높은 가중치를 부여할 수도 있다. 즉, 지가, 도시계획지역, 그리고 쓰레기 발생지로부터 소각장까지의 거리 등과 같은 기회요인들에 상대적으로 더 높은 가중치를 부여할 것이다. 사실상 쓰레기 소각장의 입지와 관련하여 현실적으로 중요하게 작용하고 있는 것은 경제적 측면이라고 볼 수도 있다. 쓰레기 소각처리에 따른 비용은 소각시설의 부지매입비, 소각시설 건설비 등의 고정비용과 쓰레기의 수집운반비, 소각시설 운영비, 소각잔재물 매립비 등의 가변비용으로 구분된다. 폐기물 소각 시설을 건설할 경우 그 지역의 부지는 다른 용도로 사용할 수 없기 때문에 그에 따른 기회비용(흔히 부지임차료로 환산)이 고려되며, 혐오시설로 인식되고 있는 소각시설 주변 주민에 대한 지원사업비도 비용항목에 포함된다. 반면에 폐기물 소각처리에 따른 편익의 주된 항목으로는 소각할 때 발생하는 여열을 회수하고 생산한 에너지를 판매함으로써 얻는 수익이 있으며, 그 외에 정량화하기 어려운 부차적인 편익으로는 여열 활용에 따른 에너지 절감효과와 주민지원시설의 활용에 따른 편익, 매립량 감소에 따른 매립지에 사용되는 토지의 기회비용, 교통량의 감소에 따



른 편익 등을 들 수 있다

그러나 쓰레기 소각장 입지문제에서 가장 문제가 되는 것은 지역 주민들과의 갈등을 최소화하는 것이다. 이를 위해서는 환경적, 사회적, 기술적 측면의 기회요인들에 대해 더 높은 가중치가 부여되어야 할 것이다. 즉, 지역 주민들의 참여와 지원, 보상 등과 관련된 요인이라든가 소각장의 안정성이나 공해오염 배출을 최소화하기 위한 기술적 측면을 포함한 환경적인 면에 영향을 주는 기회요인들에 대해 높은 가중치가 주어져야 한다. 이런 경우 비용-편익 분석(cost-benefit analysis)에서 고려되는 비용 항목과 편익분석 항목 및 그 비중도 달라질 수 있다. 소각시설이 완벽한 기술로 인해 오염물질의 배출이 제한된다 하더라도 소각장의 건설은 이를 반대하는 지역주민과의 갈등 문제와 결부된다.

지금까지 입지를 선정할 때 주로 검토되었던 사항은 토지구입비, 운반거리, 토지취득 용이도 등 주로 경제적인 측면에 초점이 맞추어져 왔다. 그러나 최근에 들어오면서 정책적, 경제적 측면에서 타당성이 있더라도 환경적, 사회적, 기술적인 측면에서의 타당성이 없는 경우 입지선정 계획이 무산되는 경우가 많이 나타나고 있다. 다른 공공시설의 입지 결정과는 달리 쓰레기 소각장은 공공재이면서도 남비현상이 강하게 나타나는 혐오시설이므로 경제적인 측면에서 보았을 때 비용이 최소화되고 편익이 극대화된다고 해도 인접한 지역주민들의 반대가 심한 경우 실질적으로 입지하기 어렵게 된다.

본 연구에서는 기회요인들간의 상대적인 중요도에 대한 가중치를 산출하기 위해 Saaty(1980)의 AHP이론을 적용하였다. AHP이론은 불분명한 선택 문제에 있어서 문제를 계층적으로 분석하여 평가할 수 있고, 정성적인 특성들을 정량적인 판단 기준에 따라 평가하고, 다수 관계자들의 의견들을 반영함으로써 보다 객관적이고 일관적인 평가를 할 수 있다. 특히 공간의사결정에 AHP이론을 도입함으로써 공간문제가 갖는 비구조적인 성격을 어느 정도 구조화할 수 있다. 이 이론은 계층구조의 개

념과 퍼지집합 개념에서 출발한 것으로, 요인들간의 쌍별비교(pairwise comparison)의 논리를 통해 상대적인 중요도를 측정하는 것으로, 이 이론의 핵심은 각 단계의 요소들 사이의 중요도를 결정하는 과정과 척도라고 할 수 있다. 중요도는 동일한 단계의 두 개의 요소들을 상호비교하는 이원비교를 통해서 얻을 수 있다. 사물이나 현상에 대한 인간의 평가적인 사고를 9개의 계급으로 나누어 유연성 있는 가중치를 산출하고, 일관성(consistency)검증을 통해 주관적으로 결정한 중요도에 대한 논리적 일관성을 확인 한 후 가중치를 적용할 수 있다. 만일 일관성 비율(CR)이 0.1보다 크게 나오면 다시 재평가해야 한다(Saaty, 1977). 그러나 AHP기법은 상대적 중요도를 산출하는 면에서는 유용하지만 순위역행의 문제, 정수척도의 정확성 문제 및 어의비교의 수치변환상의 문제점등을 지니고 있다(이인성, 1998; Dyer, 1990; Vegas, 1990)

AHP이론을 적용하는데 있어서 우선적으로 문제가 되는 것은 기회요인들의 상대적 중요도를 결정하는 것이다. 이는 의사결정과정에서 매우 중요한 부분으로 계획가, 전문가, 관련된 갈등 집단 등의 의견을 수렴하여 기회요인들간의 상대적 중요도를 추출하여야 한다. 때때로 관련 집단들간에 의견이 상치될 경우 기회요인들간의 중요도 산출은 상당한 어려움을 겪게 된다. 본 연구에서 설정한 기회요인들간의 상대적 중요도는 기존의 연구물들을 참고로 하였지만, 어디까지나 연구자의 주관적 평가에 의한 것이므로, 실제로 적지 선정을 위한 프로젝트를 수행하는 경우 상대적 중요도를 산출하기 위한 폭 넓은 설문조사를 실시하여야 할 것이다. 본 연구에서는 기회요인들간의 상대적인 중요도를 산출하는데 있어서 주변환경적인 영향을 강조하는 측면과 경제적 비용을 중요시하는 측면으로 분류하여 각기 다른 가중치를 부여하여 산출하였다. 이는 각기 다른 집단들 사이에서 기회요인들에 대한 상대적 중요도를 다르게 평가하는 경우 그 결과가 어떻게 영향을 받는가를 살펴볼 수 있기 때문이다.

주변환경에 대한 영향을 강조하는 입장에서 평가하는 경우, 주거지역에 영향을 주는 기회요인을 가장 중요시하였고, 그 다음은 수자원에 대한 영향을 주는 기회요인을 중요시하였다. 실제적으로 소각장에서 배출되는 대기오염 및 부유물질은 소각시설의 발달로 최소화되고 있는 실정이며, 시설의 굴뚝높이에 관련된 문제이기 때문에, 기후(풍향) 기회요인에 대해서는 가중치를 적게 주었다. 한편 경제적 비용의 측면을 강조하는 입장에서 평가하는 경우 도로로부터의 접근성에 관한 기회요인을 가장 중요시하였다. 기존의 도로에서 멀리 떨어질수록 소각장을 가동한 후 쓰레기 수거시에 드는 수송비와 소각장 건설시에도 도로로부터 거리가 멀리 떨어졌을 때 소요되는 건설비용이 추가되므로 도로로부터의 접근성 요인을 가장 중요한 경제적 요인으로 간주하였다. 그 다음으로 지형적 요인으로 건설비용에 영향을 주는 경사도를 중요하게 적용하였다. 이와 같이 주변환경적 측면을 중요시 할 경우와 경제적 측면을 중요시 할 경우 각 기회요인들에 대한 상대적인 중요도를 달리하여 Idrisi에 내장되어 있는 AHP기법을 활용하여 산출된 기회요인들에 대한 가중치를 보면 <표 2>와 같다.

이와 같이 환경적 측면과 경제적 측면을 중요시

하였을 경우에 따른 각 기회요인별 상대적 가중치를 산출한 후 쓰레기 소각장 입지를 위한 적합도 수준을 나타내는 지도를 구축하기 위해서는 기회요인 지도들을 중첩시켜 결합하여야 한다. 흔히 많이 사용되고 있는 부울교차법(Boolean intersection)은 한 요인에 대한 적합성이 다른 요인의 부적합성으로 보완될 수 없기 때문에 요인들간에 서로 상충이 일어나지 않는 경우에 사용된다. 이 방법에 의해 요인들이 조합되는 과정에서 Boolean식 AND연산을 적용하여 모든 요인들이 만족되는 지점을 찾아가기 때문에 적합성에 대한 위험도가 매우 낮은 결과가 산출되지만 주변의 많은 정보를 손실하게 된다. 본 연구에서는 가중선형조합법(WLC; weighted linear combination)을 이용하여 적합도를 구축하였다. 이 방법은 기회요인들간에 상대적인 가중치들을 적용하여 조합하는 방법으로, 요인들과 평균 위험도(average risk)간에 완전한 상충(full trade off)이 반영되기 때문에 적합성에 대해 중간수준의 위험도를 내포하는 정보를 제공한다고 볼 수 있다 (Voogd, 1983).

가중선형조합법에 따라 적합도를 구축하는 식은 다음과 같다

표 2. AHP기법을 이용하여 산출한 기회요인별 가중치

요 인	가중치	
	환경적 영향 측면을 중요시할 경우	경제적 비용 측면을 중요시할 경우
주거지역으로부터의 거리(townfac)	0.3850	0.0823
주향(주풍향 반대쪽이 양호)(windfac)	0.2056	0.0380
수계망으로부터의 거리(waterfac)	0.2887	0.0797
경사도(slope)	0.0542	0.3154
도로로부터의 거리 (roadfac)	0.0664	0.4845
C.R.(consistency ratio)	0.04	

$$S = \sum W_i X_i$$

여기서 S: 적합도

$W_i$ : 기회요인 i에 대한 가중치

$X_i$ : 퍼지함수에 의해 산출된 기회요인 i의 점수

이와 같이 가중선형조합법에 따른 적합성 수준을 나타내는 지도는 가중치가 보다 높게 부여된 요인들이 합리적이고 이상적인 해결로부터 먼 거리에 존재할수록 그들 요인으로 이루어진 지역의 적합도는 낮아지게 된다. 본 연구에서는 분석의 마지막 단계로 소각장이 입지할 수 없는 제한요인(constraint)을 적용하여 최종적으로 쓰레기 소각장 입지에 적합한 후보입지를 추출하였다. 즉 최종적으로 구축한 적합도(sutability map)는 제한요인을 곱하여서 산출되었다.

$$S = \sum W_i X_i * \prod C_j$$

여기서  $C_j$ : 제한요인 j의 점수(0 또는 1)

$\prod$ : product

이상과 같은 과정을 거쳐서 최종적으로 구축된 쓰레기 소각장 후보입지에 대한 적합도 수준을 나타내는 지도를 보면 그림 5-a, 5-b, 5-c와 같다. 이 원론적 부울논리와 단순중첩에 의해 구축한 지도(그림 5-a)는 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 매우 경직된 결과를 보여주고 있다. 뿐만 아니라 후보 입지의 적합성의 양호 수준에 대한 아무런 정보를 제공하지 못하고 있다. 이에 비해 퍼지함수를 적용하여 기회요인들에 대한 표준화된 점수를 바탕으로 하여 가중선형조합법에 의해서 산출된 지도는 보다 더 넓은 지역의 후보지가 추출되었으며 적합성 수준에 관하여 양호한 정도의 차이를 나타내는 연속적인 정보를

제공하고 있다. 특히 환경적인 측면을 중요시하여 가중치가 부여된 경우와 경제적인 측면을 강조하여 가중치가 부여된 정도에 따라 지역의 적합도 수준이 다르게 나타나는 유연적인 결과를 보여주고 있다. 즉 환경적 측면을 강조한 경우 추출된 지도(그림 5-c)는 주거지역과 수계망으로부터 비교적 멀리 떨어진 지역들이 보다 양호한 지역으로 추출된 반면에, 경제적 측면을 강조한 경우 추출된 지도(그림 5-b)는 도로로부터 상대적으로 가깝고 경사가 비교적 낮은 지역들이 보다 양호한 지역으로 추출되었음을 알 수 있다.

본 연구에서는 환경적인 측면을 강조하여 기회요인들간의 가중치를 부여하여 추출된 지도에 입지 제한요인을 적용하여 쓰레기 소각장이 입지해서는 안되는 지역들을 배제시켜 최종 쓰레기 소각장 후보 입지구를 구축하였다. 그리고 이렇게 추출된 최종후보입지구에 실제 사례지역에서 소각장이 입지해 있거나 소각장 설치를 위해 이미 입지가 선정된 지점들을 중첩시켰다. 그 결과 그림 5-d에서 볼 수 있는 바와 같이 성동구의 소각장 후보입지(성동구의 경우 소각장 후보지로 선정된 지점이 하수종말처리장이 있는 지점으로 하천에 바로 인접해 있는 예외적인 사례임)를 제외한 다른 지역들의 소각장들은 추출된 적합도 수준을 만족시키는 후보입지에 위치하고 있다. 본 연구에서 퍼지함수 결정 및 요인들간의 가중치 설정이 주관적이었음에도 불구하고 추출된 후보입지내에 실제 소각장과 소각장 후보지가 입지하고 있는 것으로 나타난 점을 감안해 볼 때, 앞으로 보다 객관적이고 신뢰성있는 입지기준들이 제시된다면 본 연구의 방법론은 보다 더 실용성이 커질 것이다.

일반적으로 쓰레기 소각장의 입지를 결정하는 과정을 보면 우선적으로 후보입지로 선정된 대안들 가운데서 최종적인 입지를 선정하기 위해 세부적인 입지평가 항목을 조사한다, 우선 대상 부지의 기준지가와 소각장의 입지로 인해 생태계의 파괴가 있는가를 평가하고 지형과 수자원 현황, 후보지의

도로 및 교통 현황과 기반시설 등 입지적 여건을 평가한다. 또한 주거지역에의 영향, 장래 주거지 조성계획과의 관계와 도시계획 및 장래 증설계획과의 관계, 쓰레기의 수집과 운반의 효율성 등을 평가하고 있다. 이러한 항목들의 평가를 통해 입지타당성이 가장 양호한 지역이 선정되었다 하더라도 최종적으로 환경영향평가를 통하여 최종 입지가 결정된다.

따라서 GIS의 기법을 통하여 우선적으로 후보입지에 대한 여러 대안들을 추출할 수 있다면 앞으로 각 지역마다 폐기물 처리를 위하여 확충하여야만 하는 소각시설의 입지선정에 상당히 도움을 줄 수 있고 복잡한 소각장 입지선정 절차를 효율적으로 수행할 수 있을 것이다. 뿐만 아니라, 지역주민, 자치단체, 전문가 등의 소각장 입지를 결정하게 되는 주체들에게 여러 대안적인 후보지를 제공해줌으로써 보다 객관적이고 유연적인 의사결정을 내릴 수 있게 함으로써, 현재 소각장 입지선정을 둘러싼 문제들이나 주민들과의 갈등을 해소하는데 도움을 줄 수 있을 것이다.

## V. 결 론

본 연구는 GIS를 공간의사결정지원시스템으로의 활용가능성을 제시하려는데 초점을 둔 연구로, 혐오시설이기 때문에 빈번히 주민반대에 부딪치고 있는 소각장의 입지를 선정하는데 있어서 보다 객관적이고 과학적이며 유연성 있는 과정과 절차를 통해 입지를 선정하는 방법론을 모색하는데 초점을 두었다. GIS를 이용한 공간분석과정은 의사결정자들에게 보다 정확한 정보와 다양한 해법을 제공하기 위해 다양한 자료로부터 얻어진 공간데이터를 통합하는 것이라 할 수 있다. 지금까지 GIS를 이용한 입지요인의 분석에서 많이 사용되어 온 부울논리의 적용은 입지기준의 임계치가 애매모호하거나 불확실한 경우 상당한 한계점을 안고 있다. 본 연구에서는 이러한 단점을 보완하고자 퍼지논리를

활용하는 접근방법과 AHP이론을 이용하여 유연적이고 풍부한 정보를 제공해줄 수 있는 방법론을 적용하여 대안적인 후보입지들을 도출하고자 시도하였다. 사례지역으로는 서울시의 10개 구지역을 대상으로 하였다. 부울교차를 통해 산출된 결과와 퍼지함수와 AHP 가중치를 적용한 가중선형조합법에 의해 얻어진 결과들을 비교하여 보았을 때, 퍼지함수와 상대적 가중치를 적용한 방법론이 보다 유연적인 후보입지들간의 적합도를 비교할 수 있는 결과를 도출함으로써 의사결정에 도움이 되는 풍부한 정보를 제공함을 알 수 있었다.

퍼지함수와 AHP 이론을 활용함으로써 첫째는 연속적인 공간정보를 이원화함으로써 야기되었던 정보의 손실을 보완할 수 있게 되었고, 둘째, 다양한 입지요인들이 갖는 상대적 중요도를 반영함으로써 의사결정과 관련된 여러 단계들간에 상충되는 목적들을 조절할 수 있는 대안을 얻을 수 있다. 셋째, 다양한 입지기준들을 통합하는 과정에서 내재해 있는 불확실성 문제를 다룰 수 있게 됨으로 불확실성으로 인한 위험도를 최소화하는 대안의 도출이 가능하다. 따라서 부울의 단순논리에 의해 과도하게 축소된 대안의 제시에 비하여 보다 정교하고 과학적인 분석과정으로 유연적이고 풍부한 정보를 도출시키는 결과를 얻을 수 있다.

그러나 퍼지논리와 AHP 이론을 활용할 경우 가장 대두되는 문제점은 기회요인자료에 대한 표준화과정에서 적절한 함수 및 파라미터의 적용과 상대적 가중치의 적용이다. 이 과정은 연구자나 의사결정자들의 전문적인 지식과 주관적인 견해가 개입되는 부분이다. GIS가 방대한 양의 자료를 신속하게 처리하는데 탁월한 장점을 지니고 있지만, 공간상에서 대립되는 여러 행위에 대한 의사결정을 지원하는 시스템으로서의 기능을 원활하게 수행하기 위해서는 무엇보다도 이를 지원할 수 있는 다양한 분야에서의 연구가 먼저 이루어져야 하며, 인적 자원의 과학적 사고의 함양과 공간을 활용하는데 있어서 보다 합리적이고 조화로운 시각을 가져야만

할 것이다.

본 연구는 쓰레기 소각장의 적지 선정보다는 쓰레기 소각장의 입지를 선정하는 과정에서 어떠한 요인을 기회요인으로 하였는가, 또한 어떤 기준하에서 각 요인들에 대한 임계치를 결정하는가, 그리고 요인들간의 상대적 중요성, 즉 가중치를 어떻게 설정하는가에 따라서 다양한 결과가 추출될 수 있음을 보여주는데 초점을 두었다. 따라서 앞으로 다른 기회요인들을 더 추가되는 경우 또한 각 요인들에 대한 퍼지함수가 다르게 설정되는 경우 및 요인들간의 가중치가 달리 주어지는 경우 소각장 후보 입지를 위한 적합도는 상당히 달라질 수 있다. 그러므로 본 연구에서 추출된 소각장의 후보입지는 최종적이라기 보다는 소각장의 입지를 선정하기 위한 기초적인 정보로 대안적인 후보입지들에 대한 적합도 수준을 제시한 것이었다. 특히 지역주민들과 환경문제를 고려하여 가중치가 달리 주어지는 경우 의사결정자에게 다양한 대안들이 제시될 수 있음을 강조하였다. 따라서 소각장과 같이 시설입지에 있어서 민감한 경우 계획의 수립 초기에서 부터 주민들의 의사를 반영할 수 있는 절차를 통해서 입지요인들간에 상대적 가중치를 조정하고 서로 다른 집단간의 의견 격차를 조정한다면 최종적으로 소각장 시설을 위한 입지를 결정하는 과정에 있어서 보다 폭넓은 합의를 이끌어 낼 수 있을 것이다.

## 참 고 문 헌

- 김대중, 1995, 퍼지집합을 이용한 적지분석 의사결정에 관한 연구, 서울대학교 환경대학원 석사학위논문.
- 성동구, 1996, 자원회수시설 입지타당성 조사보고서.
- 오규식, 1995, "토지적합성 분석에 있어서 상충지역 해소를 위한 지리정보시스템(GIS)의 활용", 국토계획, 31(2), 95-110.
- 이성호, 남광우, 1999, GIS 환경에서의 공간의사결정에 관한 연구, 국토계획, 34(1), 217-231.
- 이인성, 1998, "수치변환척도 및 단순화 방식 적용에 따른 계층분석과정(AHP)의 일관도 및 정확도의 분석", 국토계획, 33(3), 347-362.
- 정명희, 1994, 소각장 주변 주민들의 의식구조에 관한 연구-상계동 자원 회수시설을 중심으로, 한양대학교 환경대학원 석사학위논문.
- Banai, R., 1993, "Fuzziness in Geographical Information Systems: Contributions from the Analytic Hierarchy Process", *International Journal of Geographical Information Systems*, 7(4), 315-329.
- Buckley, J.J., 1984, "The Multiple Judge, Multiple Criteria Ranking problem: A Fuzzy Set Approach", *Fuzzy Set and Systems*, 13, 25-37.
- Carver, S.J., 1991, "Integrating Multi-criteria Evaluation with Geographical Information Systems", *International Journal of Geographical Information Systems*, 5(3), 321-339.
- Davidson, D. A., Thepcharopoulos, S. P. and Bloksma, R. J., 1994, "A Land Evaluation Project in Greece using GIS and based on Boolean and Fuzzy Set Methodologies", *International Journal of Geographical Information Systems*, 8(4), 369-384.
- Densham, P.J., 1991, "Spatial Decision Support Systems", in Maguire, D.J., Goodchild, M.F. and Rhind, D.W.(eds.), *Geographical Information Systems: Principles and Applications*, Longman: London, 403-412.
- Dyer, J.S., 1990, "Remarks on the Analytic hierarchy process", *Management Science*, 36, 249-58.
- Eastman, J.R., Jin, W., Kyem, P.A.K. and Toledano, J., 1993, *GIS and Decision Making, Explorations in Geographic Information System technology*, 4, UNITAR, Geneva.
- Eastman, J.R. and Jiang, H., 1996, Fuzzy Mea-

- tures in Multi-Criteria Evaluation, *Proceedings, Second International Symposium on Spatial Accuracy Assessment in Natural Resources and Environmental Studies*, May 21-23, Fort Collins, Colorado, 527-534.
- Hall, G.B., Wang, F. and Subaryono, 1992, "Comparision of Boolean and Fuzzy Classification Methods in Land Suitability Analysis by Using Geographical Information Systems, *Ervironment and Planning A*, 24, 497-516.
- Honea, R.B., Hake, K.A. and Durfee, R.C, 1991, "Incorporating GISs into Decision Support Systems:Where Have We Come From and Where Do We need to Go?", in Heit, M and Shortreid, A.(eds.), *GIS Applications in Natural Resources*, GIS World, Inc., Fort Collins, Colorado.
- Jankowski, P., 1995, "Integrating Geographical Information Systems and Multiple Criteria Decision-making Methods", *International Journal of Geographical Information Systems*, 9(3), 251-273.
- Janssen, R. and Rietveld, p., 1990, "Multicriteria Analysis and Geographical Information Systems: An Application to Agricultural Land Use in the Netherlands, in Scholten, H.J. and Stillwell, J.C.H.(eds.), *Geographical Information Systems for Urban and Regional Development Planning*, Kluwer : Dordrecht, 129-139.
- Kollias, V.J. and Achilleas, V., 1991, "Fuzzy reasoning in the Development of Geographic Information Systems", *International Journal of Geographical Information Systems*, 5(2), 209-223.
- Malczewski, J., 1996, "A GIS-based Approache to Multiple Criteria Group Decision-making", *International Journal of Geographical Information Systems*, 10(8), 955-971.
- Saaty, T.L., 1977, "A Scaling Method for Priorities in Hierarchical Structure", *Journal of the Mathematical Psychology*, 15, 234-281.
- Saaty, T.L., 1980, *The Analytic Hierarchy Process*, McGraw Hill, New York.
- Vegas, L.G., 1990, "An Overview of the Analytic Hierarchy Process and its Applications", *European Journal of Operational Research*, 48, 2-8.
- Voogd, H., 1983, *Multicriteria Evaluation for Urban and Regional Planning*, Pion : London.
- Zadeh, L.A., 1965, "Fuzzy Sets", *Information and Control*, 8, 338-353.
- Zimmermann, H.J., 1991, *Fuzzy Set Theory and Its Applications*, Klumer Academic Pub. : Norwell.