

공공시설물 입지선정에 있어서 다기준평가기법의 활용에 관한 연구*

- 쓰레기 소각장을 사례로 하여 -

이 회 연**

The Site Selection for Public Facilities in Using the Multi-Criteria Evaluation Method in Geographic Information System*

- A Case Study of the Waste Incinerator -

Hee-Yeon Lee**

요약 : 본 연구의 목적은 공공시설물이지만 기피시설물이기 때문에 상당한 갈등을 일으키고 있는 쓰레기 소각장 입지를 선정하는데 있어서 GIS를 기반으로 하는 다기준평가기법을 활용하여 보다 객관적이고 과학적이면서도 유연적인 후보입지를 추출하려는 것이다. 본 연구에서는 다양한 입지요인들을 표준화한 후 각 요인들이 갖는 상대적 중요도를 반영하는 가중치를 산출하고 의사결정 규칙을 적용하여 적합도 수준에 따른 후보입지들을 추출하였다. 또한 민감도 분석을 통하여 각 평가기준들에 대해 상이한 가중치를 부여하고 의사결정 규칙방법을 달리 적용하였을 경우 후보입지들의 적합도 순위에 어떠한 영향을 미치는가를 파악하였다. 이러한 방법을 통해 분석된 결과는 의사결정자들이 입지를 결정하는데 필요한 정보로 활용될 수 있으며, 따라서 GIS를 기반으로 하는 다기준평가기법은 공간적 의사결정지원시스템으로서의 GIS기능을 증대시킨다고 볼 수 있다.

주요어 : 다기준평가기법, 공간적 의사결정지원시스템, 의사결정 규칙, 가중치, 민감도 분석

Abstract : The public facility such as the waste incinerator is considered the typical example of NYMB syndrome as a locally unwanted facilities. The purpose of this study is to apply the GIS based multi-criteria evaluation method for site selection of the waste incinerator. The multi-criteria evaluation method is able to generate a set of alternatives that are evaluated on the basis of conflicting criteria. In order to select the candidate sites of the waste incinerator, four procedures are performed: standardization of each criterion factor, estimation of weights, application for decision rules, and sensitivity analysis. Sensitivity analysis can shows the effects of changes in weights for the criteria on rank changes of suitability among candidate sites.

The result of this study shows that GIS based multi-criteria evaluation method is able to extract a more flexible and objective solution for selecting suitability sites. Also this method would be a core part of spatial decision support system by supplying decision makers with the important and flexible informations for the site selection.

Key Words : multi-criteria evaluation method, spatial decision support systems, decision rule weight, sensitivity analysis

1. 서론

1) 연구목적

지난 30여년 동안 우리나라의 경우 급속한 경제 성장을 통해 전반적으로 생활수준이 향상되면서

삶의 질에 대한 의식수준이 매우 높아지게 되었다. 이에 따라 쓰레기 매립장이나 소각장 또는 원자력 발전시설과 같이 주민기피시설인 공공시설물의 입지에 대한 관심이 매우 높아지고 있다. 그러나 지금까지 공공시설물의 입지를 선정하는 경우 정책적 판단에 따라 먼저 입지를 선정 후 타

* 이 논문은 1999년 건국대학교 학술연구비 지원에 의한 논문임.

** 건국대학교 지리학과 교수(Professor, Department of Geography, KonKuk University)

당성 분석과정을 통해 미리 선정한 입지를 합리화시키는 방향으로 진행되어 온 경향이 있었으며, 이에 따라 혐오시설물이나 기피시설물의 경우 주민들의 불만을 고조시키거나 때로는 주민들과의 심한 마찰을 야기시켜 왔다.

기피시설물의 입지를 선정하는 경우 대다수 주민들이 납득할 수 있도록 입지준거를 합리적으로 도출하여야 하며, 입지선정 절차과정도 투명성있게 객관화되어야 한다. 또한 기피시설물이 입지하였을 때 예상되는 악영향에 대해 주민들이 매우 민감하므로 입지결정에 앞서서 충분히 의견을 수렴하여야 한다. 이러한 점을 고려해 볼 때 공공시설물의 입지를 선정할 때 기존의 고전적 입지이론이나 수학적 입지모형 및 계량적인 분석방법들의 적용은 상당한 한계성을 갖게 된다. 일반적으로 소매업이나 물류창고와 같은 사적 시설물은 기대되는 이윤을 극대화시킨다는 최적화 모델링을 바탕으로 하여 입지선정이 이루어진다. 그러나 공공시설물의 입지를 선정하는 경우 매우 복잡하고 상충적인 상황에서 최선의 대안을 선택해야 하는 경우가 많다. 특히 유희시설물의 경우 관심 그룹이 다양하고 대안적 후보입지들에 대한 평가시에도 불확실성이 내재되어 있기 때문에, 의사결정을 내리는데 필요한 보다 객관적이고 효율적인 정보를 제공해줄 수 있는 방법론을 더욱 더 필요로 하게 된다. 근본적으로 기피시설물의 입지선정은 공간상에서 다양한 입지기준을 만족시키는 지점을 찾는 것과 동시에 그 시설물의 입지와 관련된 기관 및 단체들의 상충되는 목적들을 고려하면서 대안(후보입지)들 가운데 가장 바람직한 대안을 도출시킬 수 있는 방법론이 도입되어야만 한다.

1970년대에 들어오면서 다양한 준거기준들을 분석하고 이들을 종합적으로 고려할 수 있는 다기준평가방법이 공공시설물의 입지를 선정하는데 도입되었다. 다기준평가방법(multi-criteria evaluation method)은 1970년대 고전 환경경제학 분야에서 활용되어온 것으로, 갈등적이며 상충적인 평가기준들로 이루어진 여러 대안들을 평가하여 보다 더 바람직한 대안을 찾아내는 접근방법이라고 할 수 있다(Hobbs, et al., 1992). 그러나 전통적인 다기준평가방법은 비공간적인 차원에서

적용되어 왔으며, 평가기준이 되는 변수들은 공간상에서 동질성을 지니고 있는 것으로 전제하고 있다. 따라서 입지 선정에 영향을 주는 평가기준들 자체가 공간상에 불균등하게 분포되어 있으며, 공간적 변이를 나타내는 경우 이 방법론의 적용도 상당한 한계성을 갖게 된다.

한편 최근에 들어와 급속도로 성장하면서 다양한 분야에서 활용되고 있는 GIS는 1990년대에 들어오면서 인간의 생활영역을 둘러싼 복잡한 자연 및 인문환경에서 나타나는 공간문제들을 해결하는데 필요한 정보를 제공해 줄 수 있는 분석도구로서의 기능이 크게 확대되고 있다. 이에 따라 공간적 의사결정지원시스템(SDSS: spatial decision support systems)으로서의 GIS기능을 확대시키려는 연구가 활발히 이루어지게 되었다. 즉, 공간적 의사결정지원시스템으로서 GIS의 기능을 증대시키기 위한 접근방법으로 다기준평가방법을 GIS 환경과 통합한 공간적 다기준의사결정 분석방법에 관한 연구가 수행되고 있다(Carver, 1991; Church, et al., 1992; Heywood et al., 1995; Jankowski, 1995; Janssen & Rietveld, 1990; Keller, 1996; Keller & Strapp, 1996; Malczewski, 1996; Pereira & Duckstein, 1993; Tkach & Simonovic, 1998). 특히 Carver(1991)는 GIS와 다기준평가방법을 통합하여 영국의 방사성 폐기물의 처리장 입지시설을 선정하였으며, Pereira와 Duckstein(1993)는 토지의 적합성을 평가하는데 다기준평가방법을 적용하였다.

GIS를 기반으로 하는 다기준평가방법은 상충적인 평가기준들을 바탕으로 하여, 하나 또는 그 이상의 대안을 추출해야 하는 문제들을 보다 효율적으로 해결해 줄 수 있는 접근방법이라고 평가되고 있다. 이 방법은 평가기준들의 지리적 분포와 공간적 변이를 고려하여 입지를 선정하는데 필요한 정보를 추출할 수 있을 뿐만 아니라, 평가기준들에 대한 의사결정자들의 가치 판단이나 선호도를 반영하여 시설물 입지에 대한 평가를 내릴 수 있다.

본 연구는 공공시설물이지만 기피시설물로 인식되고 있는 쓰레기 소각장의 입지선정에 있어서 다기준평가방법을 활용하려는 것이다. 본 연구의 목적은 GIS를 기반으로 하는 다기준평가방법을

활용하여 보다 객관적이고 과학적이며 유연적인 쓰레기 소각장의 후보입지를 추출하려는 것이다. 특히, 쓰레기 소각장 입지에 영향을 주는 다양한 평가기준들에 대한 상대적인 중요도를 부여하는 방법들과 이러한 요인들을 조합하는 방법들을 GIS 환경하에서 적용함으로써 쓰레기 소각장 입지를 선정하는데 필요한 보다 객관적이고 유연적인 정보를 도출할 수 있는 접근방법을 모색해 보고자 하는 것이다.

2) 연구범위 및 방법

우리나라의 경우 쓰레기 종량제 실시 이후 쓰레기 발생량은 다소 줄어들었지만 아직도 쓰레기 처리 문제는 심각하게 부각되고 있다. 특히 쓰레기 매립지의 부족과 환경오염문제가 심각해지자 점차 쓰레기 처리방식이 소각비율을 높이는 시책으로 옮겨가고 있다. 본 연구에서는 쓰레기 소각장의 입지선정을 위한 사례지역으로는 서울시를 대상으로 하였다. 서울시의 일일 쓰레기 배출량은 1999년 하루 평균 10,765톤으로 이중 소각비율은 불과 6%에 미치지 못하고 있다. 그러나 앞으로 소각비율을 높이려는 계획하에 각 자치구별로 소각장 설립계획을 갖고 있다. 이에 따라 서울시의 경우 쓰레기 소각장의 입지선정을 위해 현재 많은 연구들이 수행되고 있어 본 연구에서 추출된 후보입지의 타당성을 비교, 검증하기 좋으며, 또 실제적으로 후보입지를 답사하기 편리하여 서울시를 사례지역으로 선정하였다.

본 연구에서는 쓰레기 소각장의 후보입지를 크게 네 단계의 절차를 통하여 추출하려고 한다. 첫 단계에서는 지금까지 쓰레기 소각장의 입지를 선정하는데 나타난 문제점을 분석한 후, 쓰레기 소각장 입지에 영향을 주는 평가기준들을 선정한다. 먼저 법적, 물리적, 기능상의 규제에 대한 종합적인 검토를 통해 소각장 입지를 제한시키는 제한요인과 소각장 입지선정을 위해 고려되어야 하는 필요한 기준요인들을 선정한 후, 각기 다른 척도로 측정된 요인들을 표준화한다. 두번째 단계에서는 표준화된 각 요인들에 대한 상대적인 중요도를 평가하는 방법들에 대해 고찰하고 평가기준들에 대한 중요도를 달리하는 경우 산출되는 평가

기준들의 가중치를 비교한다. 세번째 단계에서는 가중치가 부여된 평가기준들을 조합하는 의사결정 규칙(decision rules)들을 고찰한 후 다양한 규칙들을 각각 적용한 결과를 비교한다. 그리고 최종 단계에서는 쓰레기 소각장 입지에 적합한 후보지들을 순위화한 후 민감도 분석을 통하여 평가기준의 상대적 중요도와 의사결정 규칙들에 따라서 어떻게 후보입지의 순위가 달라지는가를 분석하려고 한다. 이와 같은 단계를 거쳐 나온 최종결과물을 토대로 하여 공공시설물 입지선정에 있어서 다기준평가기법의 활용성에 대한 시사점을 제시하려고 한다.

본 연구를 수행하는데 가장 큰 제약점은 아직까지 소각장에 대한 객관적인 입지선정기준과 구체적인 평가기준이 설정되어 있지 못하다는 점과 평가기준에 대한 상대적 중요도에 대한 정보가 없다는 점이다. 쓰레기 소각장과 같이 주민기피시설의 입지를 결정해야 하는 경우 관련 단체들간에 서로 다른 가치와 선호도를 갖고 있으며, 시설물 입지로 인해 '손익'을 받는 사람들이 다르게 나타나게 된다. 뿐만 아니라 특정 토지이용의 보존과 개발이라는 피할 수 없는 상충 문제도 야기된다. 또한 주민기피시설물 입지와 같은 의사결정시에 부분적으로 유사하고, 부분적으로 상이한 관점을 갖는 사람들이 참여하게 되는데, 이들 집단들은 대안들과 평가기준에 있어서는 동의할 수 있지만, 평가기준의 상대적 중요성에 대해서는 동의하지 않을 수도 있다.

기본적으로 평가기준에 대한 상대적 중요도는 전문가 집단의 설문을 통한 결과와 관련단체들의 선호도를 반영하여 결정되어야 할 것이다. 일반적으로 사업을 진행하는 행정당국의 입장이라면 정책적 측면과 경제적 측면과 관련된 평가기준에 더 높은 가중치를 부여하게 될 것이지만, 지역주민들의 입장에서는 시설물이 입지하는 경우 감소하게 되는 환경적 측면과 지원, 보상 등과 관련된 사회적, 기술적 측면의 평가기준에 상대적으로 더 높은 가중치를 둘 수 있다.

평가기준들에 대한 상대적 중요도에 대한 연구를 개인적으로 수행하기는 현실적으로 매우 어렵다. 이에 따라 본 연구에서는 평가기준들에 대한 상대적 중요도를 추출하려는 대신에 평가기준의

중요도를 달리하는 경우 추출되는 후보입지들의 적합도 순위가 얼마나 달라지는가를 비교, 분석하는데 초점을 두었다. 특히 본 연구에서는 평가기준들에 대한 상대적 중요도는 의사결정자들이 어떠한 관점과 가치관을 가지고 있는가에 따라서 달라지게 된다는 점을 고려하여, 가중치의 순위를 달리하는 경우 추출되는 후보입지들의 순위가 어느 정도 민감하게 영향을 받게 되는가를 분석하였다.

쓰레기 소각장과 같은 공공시설물의 입지선정을 위해서는 각종 다양한 자료가 요구되는데, 특히 자연환경, 인구, 사회, 경제 및 법제와 관련된 방대한 자료들이 요구된다. 본 연구에서는 자연환경요인 중에서 반드시 고려되어야 하는 요인들 가운데 수치지도 구축이 용이하고 자료 수집이 가능한 지형도, 지질도, 수계망도를 이용하였고, 또한 서울시의 행정구역도와 도로망도, 도시계획도를 이용하였다.

GIS를 기반으로 하는 다기준평가기법을 활용하기 위해서는 모든 수치지도들이 래스터 포맷자료로 구축되어야만 한다. 벡터포맷으로 된 자료를 래스터 자료로 변환하는 경우 위치의 정확도 문제가 야기된다. 본 연구에서는 사례연구 지역인 서울시 전역을 30m x 30m 격자로 나누어 분석하였다. 일반적으로 쓰레기 소각장을 설치하는데 필요한 최소 부지가 30,000m² 이상이므로 33격자 이상이 후보입지로 추출되어야 한다는 점을 감안해 볼 때 벡터자료를 30m격자 크기의 래스터 자료로 변환시킬 경우 위치의 정확도 측면에서 야기되는 오차는 허용될 수 있는 것이다. 본 연구를 위해서 필요한 도면은 AutoCAD와 스캐너를 이용하여 구축하였으며, 벡터도면을 구축한 후 래스터 자료로 변환하여 분석시에 활용된 GIS 응용소프트웨어는 Idrisi와 Arcview이다.

2. 입지선정을 위한 평가기준 설정과 평가기준의 표준화

1) 평가기준의 설정

일반적으로 쓰레기 소각시설은 쓰레기 발생원

이 있는 인구밀집지역인 도시지역에 입지하는 시설이므로, 소각장의 입지는 강한 남비현상을 일으킨다. 아무리 완벽한 처리방법을 동원한다 하여도 폐기물 처리시설이 들어서게 되면 시각적 혐오감, 악취, 폐기물 수송과정에서의 차량소음 등의 문제가 발생된다는 생각때문에 지역주민들의 의식 속에는 잠재적인 위해감이 자리잡게 된다.

따라서 쓰레기 소각시설은 인간 생활환경의 피해와 자연환경 오염을 최소화하고, 폐기물 처리의 효율성을 극대화시킨다는 목표를 충족시킬 수 있도록 입지가 선정되어야 한다. 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 행정정책과 도시계획이나 관련 법규 등에 대한 검토, 주민의견을 고려할 수 있는 정성적 분석이 동시에 이루어져야 한다. 특히 소각장의 입지선정과정에는 반드시 소각장에 대한 주민들의 의식을 정확히 파악하여 반영하여야 할 것이다.

쓰레기 소각장 입지가 합리적으로 선정되기 위해서는 소각장 입지에 영향을 주는 다양한 요인들에 대한 명확한 입지준거가 마련되어야 한다. 왜냐하면 최종 대안을 선택하는 의사결정시에 가장 토대가 되는 것은 입지요인들에 대한 평가기준이기 때문이다. 그러나 아직까지 우리나라의 경우 쓰레기 소각장의 입지요인 및 평가기준에 대해서는 구체적인 연구가 이루어지지 않은 상태이며, 검증된 입지기준이 없기 때문에 보통 연구자의 경험과 주관에 의하여 입지기준이 채택되고 있는 실정이다.

본 연구에서는 폐기물 처리시설 입지와 관련된 조사보고서 및 문헌들을 참고로 하여(성동구, 1992; 정명희, 1994; 정재춘, 1989; Jensen and Christensen, 1986; MacLachlan, et al., 1991; Petts and Eduljee, 1994), 소각장의 입지에 영향을 주는 요인들을 도출하였다(표 1). 또한 소각장의 입지선정을 위한 의사결정과정에서 영향을 주는 평가기준들은 기준요인(criteria factor)과 제한요인(constraint factor)으로 구분하였다. 입지에 적합함을 평가하게 되는 기준요인은 특정 대안의 적

합성을 상승 또는 감소시키는 기준이라고 볼 수 있는 반면에 법적 제한과 같이 제한요인은 대안을 제한하는 요소라고 볼 수 있다.

먼저 환경자원 보존을 최대화하기 위해 제한요인으로서 토지이용 현황을 고려하였다. 즉, 상수도 보호지역으로 지정된 지역과 생태환경보전지역(공원, 유원지)은 배제하였고, 제도적으로 소각장 건설이 허용되지 않는 토지이용상 주거지역과 상업지역을 배제하였다. 또한 소각장 시설물 건축의 위험성을 최소화하기 위하여 제한요인으로 지질 측면을 고려하였다. 즉 석회암류와 같은 연약지반 지역과 단층선이 지나가는 인접한 지역도 제한지역으로 입지가능지역에서 배제하였다.

한편, 입지가능요인으로 고려한 기준요인들은 소각장 시설로 인한 주변환경에 미치는 영향력을 최소화하기 위해 주거지역으로부터의 거리를 고려하였고, 또한 기후적 측면에서는 소각장이 주풍향의 반대쪽에 입지하여야 영향을 적게 받게 되므로 지형도에서 주향을 고려하였으며, 수자원에 대한 영향을 최소화할 수 있도록 수계망으로부터의 거리를 반영하였다. 또한 소각장 건설에 따른 비용 및 쓰레기 수거, 운반비용 등 경제적 비용을 최소화하기 위해 고도가 너무 높거나 경사가 너무 급할 경우 소각장 건설이 용이하지 않고 비용도 많이 들게 되므로 경사도를 고려하였고, 주거지역으로부터 쓰레기를 수거하여 소각장까지 수송해야하므로 수송비를 고려하여 도로 접근성 요인을 포함시켰다. 그러나 본 연구에서 다기준평가

기법을 적용하는데 지질 정보는 활용하지 않았는데, 이는 실제로 소각장 건설을 위해 고려되는 지반 견고성에 대한 자료는 후보입지가 선정되고 난 후 직접적인 시추조사에 의해 이루어져야 하므로 본 연구에서는 제외시켰다.

2) 평가기준의 표준화

입지 선정에 영향을 주는 각 평가기준은 GIS 데이터베이스 구축시에 속성값을 가진 각 레이어(layer)로 구축되는데, 이 레이어를 흔히 평가기준도(criterion map)라고 부른다. 다기준평가기법을 수행하기 위해서는 각 평가기준도를 같은 단위의 측정치로 변환시켜야 한다. 왜냐하면 평가기준도를 서로 연산하고 결합하고자 하는 경우 측정단위가 같아야 되기 때문이다.

일반적으로 다양한 측정단위로 측정된 평가기준이 되는 변수들을 표준화시키는 방법은 크게 네가지로 분류하여 볼 수 있다. 첫째, 표준화 점수로 전환시키는 방법(선형적 변형), 둘째, 각 변수의 특성을 고려한 효용함수를 적용하여 특정한 값이나 효용지수로 전환시키는 방법(가치/효용도 함수), 셋째, 확률이론과 확률론을 수정하여 발전시킨 베이시안 방법론을 적용하는 방법, 그리고 넷째, 퍼지함수를 적용하는 방법이 있다. 그러나 아직까지 어느 방법이 평가기준 변수들을 표준화시키는 최적적인 방법인지에 대해서는 결정되어 지지 못한 편이며, 변수의 특성과 문제에 따라서

표 1. 쓰레기 소각장 입지 선정을 위해 고려된 평가기준

목 적	평가기준	속성(결정변수)	의사결정을 위한 속성 평가
환경자원 보존의 최대화 소각장 시설 위협의 최소화	제한요인	토지이용 현황	상수도원과 생태환경 보존을 위해 상수도 보호지역과 공원, 유원지역 배제 주거지역과 상업지역은 제도적으로 제한
		지질	연약지반 지역과 단층선 인접지역은 건설입지에 위험성이 있으므로 배제
주변환경에 미치는 영향의 최소화	기준요인	도시계획/토지 이용 현황	주거지역으로부터 거리가 멀수록 유리
		기후(바람)	주풍향의 반대쪽이 유리
		수계	수계망으로부터 거리가 멀수록 유리
경제적 비용의 최소화	기준요인	경사	경사가 낮을수록 건설비와 안정성에 유리
		고도	고도가 낮을수록 시설비와 안정성에 유리
		도로망	도로로부터의 접근성이 양호할수록 쓰레기 수거 운반비용이 저렴

적절한 방법을 적용하고 있다. 본 연구에서는 평가기준이 되는 변수들을 표준화하는데 가능한한 정보의 손실을 적게 하고 부정확성을 수용할 수 있는 퍼지함수를 적용하였다.

평가기준의 임계치 경계가 명확하지 않은 경우 퍼지함수를 적용하면 애매모호한 분류기준이 소속도 함수로 변환되므로 불확실성 또는 부정확성을 수용할 수 있다는 장점이 있다(Banai, 1993; Buckley, 1984; Eastman and Jiang, 1996; Kollias and Achilleas, 1991). 각 평가기준에 소속도 함수를 적용하여 표준화시키는 경우, 공간정보의 정도 차이를 반영할 수 있는 함수에 근거하여 속성정보는 '0'과 '1'사이의 값으로 변환된다. 그러나 퍼지함수를 적용하는 경우 소속도 함수의 유형을 결정하고 각 함수의 임계치 경계를 설정하는 것이 매우 중요하다. 즉, 퍼지함수를 이용하여 자료를 0-1까지의 연속된 척도로 표준화시키는 경우, 기준요인의 특성을 가장 적합하게 표현할 수 있는 퍼지함수의 형태와 함수의 변곡점을 명확하게 정하는 것이 중요하다.

본 연구에서는 기존의 연구물들을 고려하고 실제로 소각장을 건설한 지역에서 고려되었던 준거들을 참조하여 각 기준요인별 함수와 변곡점을 설정하였지만, 다분히 주관적인 면이 개입되었다고 볼 수 있다. 따라서 각 기준요인들에 대한 함수와 임계치를 정확하게 결정하기 위해서는 앞으로 설문조사를 통하여 전문가들의 견해를 고려하여야만 할 것이다. 본 연구에서는 퍼지함수를 적용하여 연속적인 척도로 평가기준도를 표준화하기 위해 Idrisi에 내장되어 있는 퍼지함수 기능을 이용하였다. 각 평가기준들에 대해 퍼지함수의 임계치 적용은 그림 1과 같으며, 퍼지함수를 적용하여 표준화시킨 평가기준도들은 그림 2와 같다.

3. 평가기준간의 가중치 부여

다양한 평가기준들을 바탕으로 하여 입지를 선정하는 경우 각 평가기준들간에 상대적인 중요도를 평가하는 것은 매우 중요하다. 소각장의 입지 선정에 영향을 주는 평가기준들간에 중요도 수준은 다를 수 있으며, 또한 의사결정자들에 따라서

	평가기준	유형/임계치	퍼지함수
주변 환경에의 영향	주거지역으로부터의 거리	S-shaped (Monotonically increasing) a:100m b:1000m	
	바람에 대한 영향	J-shaped (Symmetric) a:45° b: 90° c:180° d:225°	
	수계망으로부터의 거리	S-shaped (Monotonically increasing) a:200m b:1000m	
시설건설 및 수송비	경사도	S-shaped (Monotonically decreasing) c:5% d:25%	
	도로로부터의 거리	S-shaped (Monotonically decreasing) c:100m d:800m	

그림 1. 평가기준요인들을 표준화시키기 위한 퍼지함수 적용

보다 더 중요하다고 인식하는 기준들도 차이가 날 수 있다. 따라서 평가기준들간에 상대적인 중요성을 반영시키는 가중치(weight)의 적용이 필수적이다.

일반적으로 평가기준들간에 상대적인 가중치를 부여하는 방법에는 순위화, 비율화, 쌍별비교, 상충분석 등의 방법이 있다. 순위화 방법은 가중치를 산정하는 가장 간단한 방법이지만 순위화될 기준의 수에 의해 제한을 받으며, 평가기준의 수가 많을 경우 적용하는데 문제가 따른다. 비율화 방법은 가장 중요하다고 고려되는 요인에 임의적으로 가중치를 할당한 다음 비율적으로 그 다음 순위의 평가기준에 적은 가중치들을 할당하는 것이다. 이 방법은 각 평가기준에 가중치를 적합하게 할당하는 방법이 어렵고 이론적 배경이 부족하다는 면에서 비판을 받는다. 한편 상충분석 방법은 의사결정자가 두 대안들 사이의 상충(trade-off)을 직접적으로 평가하는 방법으로, 의사결정자가 최저치에서 최고치에 이르기까지 한 속성값의 변화를 다른 속성값과 비교하면서 가중치를 정하는 것이다. 상충분석 방법의 절차는 객관적으로 정량화된 평가기준의 경우에 사용될 수 있으나, 평가기준이 주관적이고 정성적인 경우에는 적용

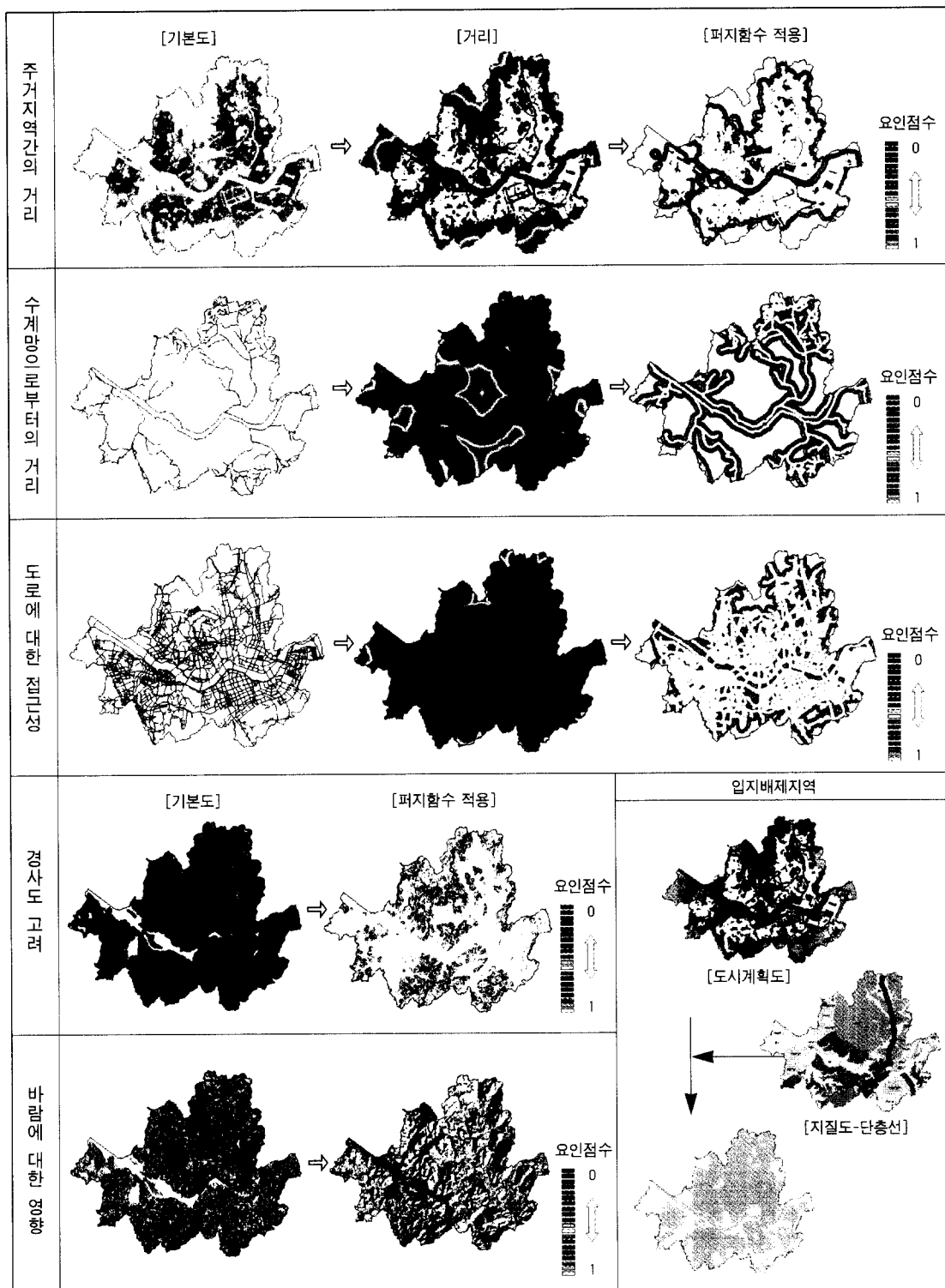


그림 2. 퍼지함수를 적용하여 구축된 평가기준들에 대한 주제도

하기 어렵다는 단점을 가지고 있다. 쌍별비교 방법은 가중치를 부여하는데 가장 빈번하게 사용되는 방법이다. 경험적 연구에 따르면 효율성 측면에서는 쌍별비교 방법과 상층분석 방법이 크게 다르지 않지만, 시간적인 측면에서는 쌍별비교 방법이 더 효과적이라는 것이다(Lai and Hopkins, 1995).

본 연구에서는 가중치를 부여하는 방법으로 쌍별비교법을 사용하였다. 이 방법은 Satty(1980)의 분석적 계층과정(AHP: analytic hierarchy process)에 의해서 고안된 것으로, 두개의 평가기준에 대한 상대적인 선호도를 1-9까지의 척도로 나타낸다. 이 척도를 기준으로 쌍별비교를 하여 상대적 중요도를 행렬로 나타내어 비율행렬(ratio matrix)을 구축한다. 그리고 이 행렬을 토대로 하여 상대적인 가중치를 산출하는 방법이다. 이 때 가중치는 비율행렬의 최대고유치와 관련된 고유벡터를 표준화하여 산출된다. 쌍별비교 방법의 장점은 가중치가 산출되고 나면 비교행렬의 일관성을 검증하는 일관성 지수(CR: consistency ratio)를 계산하여 쌍별비교가 어느 정도 일관성있게 비교되었는가를 검증할 수 있다는 점이다.

그러나 이 방법도 평가기준의 상대적인 중요성을 적용할 때, 각 기준들의 측정단위를 고려하지 않는다는 점에서 비판을 받는다. 또한 모호성으로 인해 평가기준들에 대한 해석이 달라질 수 있고, 의사결정자들에 의해서 오류가 발생할 가능성이 있다는 단점이 있다. 뿐만 아니라 한번에 두 가지 평가기준만을 고려할 수 있기 때문에 평가기준이 n개인 경우 $n(n-1)/2$ 만큼 비교해야 하므로 많은 시간이 소요된다는 단점도 있다.

본 연구에서는 평가기준들간의 상대적 가중치를 부여하는데 있어서 기존의 연구물들을 참고로 하였지만, 어디까지나 연구자의 주관적 평가에 의해 이루어졌다(실제로 평가기준에 대한 상대적 중요도를 산출하기 위해서는 폭넓은 설문조사를 실시하여야 할 것이다). 서로 다른 관점에서 평가기준에 대한 상대적 중요도를 다르게 평가하는 경우 추출되는 결과는 상당히 달라질 수 있다. 만일 주거환경에 대한 영향을 강조하는 입장에서 평가하는 경우, 주거지역에 영향을 주는 기준요인을 가장 중요하게 간주할 것이다. 반면에 경제적 비용의 측면을 강조하는 입장에서 평가하는 경우, 기존의 도로에서 멀리 떨어질수록 소각장을 가동한 후 쓰레기 수거시에 드는 수송비와 소각장 건설시에 소요되는 건설비용이 추가되므로 도로로부터의 접근성 요인을 가장 중요하게 평가할 수도 있다. 한편 지형적 요인으로 건설비용에 영향을 주는 경사도는 건설비용이나 환경적 측면의 관점에서 보면 어느 정도 중요하다는 평가를 내릴 수도 있다. 일반적으로 소각시설이 기술적으로 발달함에 따라 소각장에서 배출되는 대기오염 및 부유물질은 소각시설의 발달로 최소화되고 있는 실정이며, 시설의 굴뚝높이에 관련된 문제이기 때문에, 기후(풍향) 기준요인에 대한 가중치나 수계망으로부터의 거리에 대한 가중치는 상대적으로 낮게 부여될 수 있다.

본 연구에서는 먼저 평가기준들간의 중요도를 달리하여 세 그룹으로 나누었다. 즉 환경적 측면을 강조한 경우(그룹 가), 경제적 측면을 강조한 경우(그룹 나), 그리고 절충적인 측면으로 주거지역으로부터의 거리와 도로로부터의 거리 요인을

표 2. 평가기준들의 중요도를 달리한 경우 산출된 가중치의 비교

평가기준	그룹 가		그룹 나		그룹 다	
	중요도 순위	가중치	중요도 순위	가중치	중요도 순위	가중치
주거지와의 거리	1	0.3850	3	0.0823	1	0.4011
바람에 대한 영향	2	0.2887	4	0.0797	4	0.0737
수계망으로부터의 거리	3	0.2056	5	0.0380	5	0.0356
경사도	5	0.0542	2	0.3154	3	0.1452
도로로부터의 거리	4	0.0664	1	0.4845	2	0.3444
일관성 지수*	0.04		0.04		0.03	

*AHP 기법을 이용하여 가중치를 산출한 경우 쌍별비교의 일관성 수준을 판별해 주는 지수로 0.05 미만일 경우 매우 일관적이라고 볼 수 있음.

보다 중요시 여긴 경우(그룹 다)로 나누어 AHP 기법을 이용하여 각 그룹별로 평가기준들에 대한 가중치를 산출하였다. 일례로 환경적 측면을 강조한 경우 주거지역으로부터의 거리를 가장 중요시 여기고, 그 다음으로 주풍향에 대한 요인, 수계망으로부터 거리, 도로로부터의 접근성, 경사도 요인 순으로 상대적 중요성을 부여한 후에 쌍별비교 방법을 통하여 각 평가기준에 대한 가중치를 산출하였다. 그 결과 표 2에서 볼 수 있는 바와 같이 평가기준들의 중요도 순위에 따라서 산출된 가중치들은 매우 상이하게 나타나고 있다.

4. 의사결정 규칙에 따른 후보입지의 선정

1) 다기준평가기법에서 활용되는 의사결정 규칙들

다기준평가기법을 적용하는데 있어서 가장 중요한 것은 어떠한 의사결정규칙을 이용하여 대안들의 순위를 결정하는가 하는 점이다. 여기서 의사결정규칙(decision rule)이란 평가기준에 대한 가중치가 부여된 이후 이를 근거로 하여 대안의 순위를 결정하는 일련의 규칙들을 말한다. 다기준평가기법에서 폭 넓게 이용되는 의사결정규칙들을 살펴보면 다음과 같다.

(1) 가중선형조합법(WLC: weighted linear combination method)

이 방법은 흔히 단순가중치 첨가법(SAW: simple additive weighting methods) 또는 점수화방법(scoring method)이라고도 한다. 이 방법은 의사결정규칙 방법 중 가장 간단하여 자주 사용되는 방법으로 가중평균의 개념에 근거한 방법이다. 의사결정자는 각 평가기준의 상대적인 중요성에 따라 가중치를 할당한다. 그리고 각 평가기준에 가중치를 곱하고 모든 속성들을 합계하여 전체 점수를 산출하는 방법이다. 이를 식으로 표현하면 아래와 같다.

$$A_i = \sum_{j=1}^n w_j \cdot x_{ij}$$

여기서 x_{ij} 는 j 번째 속성에 대한 i 번째 대안의

점수이며, w_j 는 표준화된 가중치로 그 합계는 1이 된다. 이와 같이 각 대안들에 대한 점수(A_i)가 산출된 후 점수에 따라 대안들을 순위화하여 가장 높은 순위의 대안을 최선의 대안으로 선정하는 것이다. 이 방법은 각 평가기준에 대한 가중치가 0-1, 또는 0-100 사이의 값으로 직접 할당되기 때문에 측정단위가 무시된다는 점과 이론적 기반이 약하다는 점에서 비판을 받고 있지만, 이용하기 쉽다는 장점때문에 실제로는 가장 폭넓게 활용되고 있다.

(2) 다속성 효용 모델 접근방법(multiattribute utility model approach)

다속성 효용모델 방법도 가중선형조합법과 매우 유사하면서 많이 이용되는 의사결정 규칙의 하나이다. 선형 함수를 이용하여 모든 평가기준들에 대한 점수들을 표준화하는 가중조합 방법과는 대조적으로, 효용모델에서는 각 평가기준 특성을 반영하는 차별화된 함수에 의해서 평가기준들이 표준화된다. 효용모델 분석에서 중요한 점은 효용함수의 선정이며, 효용함수에 기초한 효용점수가 속성의 수준과 속성 변화에 따른 선호도를 반영하게 된다. 이 방법을 적용하기 위해서는 각 평가기준에 대한 점수와 선호도에 대한 정량적인 정보가 필요하며, 이를 토대로 하여 각 평가기준에 대한 효용함수를 지정하여야 한다. 효용함수를 이용하여 대안들간의 순위와 상대적인 차이를 파악하게 된다. 이 방법을 식으로 표현하면 아래와 같다.

$$U_i = \sum_{j=1}^n w_j \cdot u_{ij}$$

여기서 U_i 는 i 번째 대안에 대한 전체 효용수준이다. u_{ij} 는 효용함수에 의해 측정된 j 번째 평가기준에 대한 i 번째 대안의 점수이며, w_j 는 표준화된 가중치로 그 합계는 1이 된다. U_i 가 높은 값을 갖는 대안일수록 최선의 대안으로 선정하게 된다. 이 방법은 효용함수를 도출하는데 있어 의사결정자의 선호도를 수학적으로 정확하게 나타내는 것이 매우 어렵다는 점과 또한 효용함수를 도출하는데 상당한 시간이 걸린다는 문제점을 가지고 있다.

(3) 이상적 지점 접근방법(ideal point approach)

이 방법은 먼저 각 대안들이 가지고 있는 각 평가기준의 점수중에서 최대값을 취하여 각 평가기준들의 최대값으로 조합된 가장 이상적인 지점을 가설적으로 설정한다. 그리고 각 대안들이 설정된 이상적 지점으로부터 어느 정도 거리가 떨어져 있느냐에 따라서 대안들을 순위화하는 방법이다. 즉 이상적 지점과 가장 근접해 있는 대안을 최선의 대안으로 선택하는 것이다. 이 방법은 일반적으로 거리를 산출하는 공식을 활용하며 이상적 지점 의사결정 규칙은 다음과 같다.

$$S_{i+} = [\sum_j w_{jp}(v_{ij} - v_{+j})^p]^{1/p}$$

여기서 S_{i+} 는 i 번째 대안이 이상적 지점으로부터의 거리를 말하며, w_j 는 j 번째 평가기준에 대한 가중치이며, v_{ij} 는 i 번째 대안의 표준화된 평가기준치이다. v_{+j} 는 j 번째 평가기준에 대한 이상적 기준치이며, p 는 지수 함수로 1에서 무한대까지 주어지는데, 이상적 지점과 각 대안들간의 거리를 측정하는데 다양한 방법이 적용될 수 있다.

한편 부정적 지점(S_{i-})도 마찬가지로 방법에 의해 설정되는데, 이는 각 대안들을 통해 가장 나쁜 각 평가기준들로 조합된 지점이다. 따라서 부정적 지점으로부터 가장 최대로 멀리 떨어져 있는 대안일수록 최선의 대안이 된다. 이와 같이 이상적 지점과 부정적 지점과의 거리가 산출되고 나면 이상적 지점(C_{i+})으로 부터의 상대적 인접성은 다음과 같은 식에 의해 산출되며, 1에 가까운 가장 높은 C_{i+} 값을 가진 대안이 최선의 대안으로 선택된다.

$$C_{i+} = S_{i-}/S_{i+} + S_{i-}$$

(4) 일치모델 접근방법(concordance model approach)

이 방법은 두 대안들간에 쌍대 우위관계를 분석하여 대안들의 서열 순위를 정하는 것이다. 이 방법을 적용하는 경우 두 대안을 비교하여 A대안이 B대안보다 더 양호하다는 정보는 제공하지만, 얼마나 더 좋은가에 대한 정보는 제공해주지 못한다. 쌍대 순위 우위도를 분석하는데 활용되는 ELECTRE(elimination et choice translation reality) 프로그램을 통해 쌍대비교를 필요로 하는 평가기준 점수와 이와 관련된 가중치가 두 대안들 사이

에 쌍대 순위 우위도와 일치되는가 또는 불일치되는가의 수준을 판정하는 지표를 산출할 수 있다.

각 대안의 쌍대 우위(outranking) 관계는 일치도 지수와 불일치도 지수를 바탕으로 평가된다. 일치도 지수는 대안 i 가 대안 i' 보다 더 좋은 정도를 나타낸다. 이 지수는 일치도 그룹 $C_{ii'}$ 에 포함된 평가기준들의 가중치를 합계하여 산출된다. 일치도 지수(C_i)를 산출하는 공식은 다음과 같다.

$$C_i = \sum_i C_{ij}'$$

여기서 $C_{ij}' = (\sum_j w_{ji}' / \sum_j w_j)$ 이며, $\sum_j w_{ji}'$ 는 대안 i 가 비교대안인 i' 보다 양호하게 나타난 판단 기준들에 대한 가중치의 합계이며, w_j 는 전체 가중치의 합계이다. 불일치도 지수도 일치도 지수 산출방법과 같은 논리에 따라 산출된다. 의사결정자는 일치도 매트릭스와 불일치도 매트릭스를 조합하여 만든 최소요구치를 기준으로하여 각 대안들간의 순위 우위관계를 평가하게 된다.

이 방법은 의사결정자로부터 최소한의 정보만을 요구하면서, 객관적, 주관적 평가기준들을 모두 고려할 수 있다는 장점이 있지만, 대안들에 대한 완전한 순위를 제공하지 않으며, 대안들간의 차이에 대한 정보도 제공하지 못한다는 단점을 지니고 있다. 또한 이 방법은 쌍대비교를 원칙으로 하고 있기 때문에 방대한 공간자료를 지닌 평가기준들을 바탕으로 하여 대안을 선택하는 경우 상당한 제한점을 갖게 된다. 이 방법은 아직까지는 GIS 환경하에서 직접적으로 실행하기 어렵다는 가장 큰 제약점을 갖고 있다.

(5) 순위화된 가중평균 방법(OWA: ordered weighted average method)

이 방법은 가중치가 부여된 평가기준들을 총합화하는 규칙으로 가중선형조합법과 유사하다. 두 방법 모두 가중평균(weighted average)를 이용하는 것이지만, 두 방법간의 차이점은 퍼지 데이터와 퍼지함수에 따른 가중치를 바탕으로 한다는 점이다. 퍼지함수에 따른 의사결정 규칙을 적용하는 경우 선형적으로 순위화되지 않기 때문에 퍼지함수를 순위화하기 위한 방법이 필요하다.

OWA는 평가기준들의 가중치와 순위 가중치가 사용되는 가중 합계(weighted sum)라고 볼 수 있

다. 순위 가중치는 평가기준 사이에 존재하는 상충수준을 직접적으로 조절할 수 있다. 전체 상충수준의 정도는 평가기준/상충적 가중치에 따라 결정된다. 따라서 퍼지총합 연산에서 총합규칙은 재순위화된 기준점수를 바탕으로 하게 되며, 가중계수(weighting coefficients)가 주어진 대안에 대한 평가기준 값의 순위에 할당된다. 즉 높은 값을 갖는 평가기준에 가장 높은 순위 가중치가 부여되는 것이다. 순위가중치 $w=(w_1, w_2, \dots, w_n)$ 에서 w_1 이 가장 높은 평가기준 값에, w_2 는 그 다음 순위의 평가기준 값에, 그리고 w_n 은 가장 낮은 평가기준 값에 할당된다.

OWA는 퍼지 최소화(MIN)와 퍼지 최대화(MAX) 사이에서 연산이 가능하다. MIN 연산은 순위가중치 $w^*=[1, 0, \dots, 0]$ 이 적용되며, 퍼지교차(AND) 연산에 의해 산출된 값 중 최대값을 취한다. MAX 연산에서 순위가중치 $w^*=[0, \dots, 0, 1]$ 이 적용되며, 퍼지합산(OR) 연산에 의해 산출된 값 중 가장 작은 값을 취한다. 그리고 평균 연산에서의 순위가중치는 $w=[1/n, 1/n, \dots, 1/n]$ 로, n 개의 평가기준에 $1/n$ 의 가중치가 할당된다. 따라서 OWA의 연산에서는 MIN과 MAX 사이에 다양한 순위가중치가 적용 가능하므로, 순위가중치를 모든 위치에 전체적으로 분포시킴으로 전체적

인 상충수준을 조절할 수 있다.

OWA는 평가기준에 대한 모호한 선호도와 가중치가 적용된 평가기준들의 상충정도를 조절하는데 이용될 수 있다(Yager, 1988; Eastman and Jiang, 1996). 다양한 평가기준들을 총합화하는 기법의 하나인 OWA는 크리스프의 다기준평가기법과 퍼지집합논리를 연계시킨 것으로, 평가기준사이에 존재하는 상충정도를 조절하면서 의사결정에 존재하는 모호성 내지 위험도를 조정할 수 있다는 장점을 갖고 있다. 지금까지 살펴 본 의사결정 규칙들의 특성을 요약해 보면 표 3과 같다.

2) 적합도 수준에 따른 후보입지의 추출

어떠한 의사결정 규칙을 적용했는가에 따라 추출되는 대안들도 달라지며, 그에 따라 최선의 대안으로 선택되는 입지도 차이가 날 수 있다. 따라서 다양한 의사결정 규칙들 가운데 어떠한 규칙을 적용하였는가는 입지결정에 지대한 영향을 미치기 때문에 가장 적합한 의사결정 규칙 방법을 선택하는 것은 매우 중요하다. 일반적으로 의사결정 규칙 방법을 선택하는데 고려되어야 할 요인으로는 의사결정문제의 특성, 고려되어진 평가기준과 제한 요인, 대안들과 의사결정자의 선호도에

표 3. 다기준평가기법에서 활용되는 의사결정 규칙들의 특성

다기준평가기법 의사결정 규칙들	가중선형조합법	다속성효용모델 접근법	이상적 지점 접근법	일치모델 접근법	순위화된 가중 평균 방법
투입요소	평가기준들에 대한 점수, 가중치	효용함수, 가중치	평가기준들에 대한 점수, 가중치	평가기준들에 대한 점수, 가중치	평가기준의 퍼지화된 점수, 가중치, 순위가중치
산출결과	서열적 순위	기수적 순위	기수적 순위	부분적 또는 서열적 순위	서열적, 또는 기수적 순위
의사결정 유형	개인적 의사결정, 결정론적	개인적, 그룹적 의사결정, 확률론적	개인적, 그룹적 의사결정, 결정론적, 확률론적, 퍼지	개인적, 그룹적 의사결정, 결정론적, 확률론적, 퍼지	개인적, 그룹적 의사결정, 퍼지이론
의사결정자와의 상호작용	적절함	매우 높음	적절함	적절함	적절함
다기준평가분석을 위한 프로그램	스프레드시트	LOGICAL, DECISIONS, HIPRE3+	AIM, 스프레드시트	ELECTRE III, IV	스프레드시트
GIS환경하에서 활용가능한 소프트웨어	IDRISI, SPANS	GIS환경하에서 활용가능한 소프트웨어	IDRISI, GeoChoice	GIS와 MCDM의 통합가능, GeoChoice	IDRISI windows 2.0

관한 정보와 불확실성 수준, 문제를 해결하는데 용이하게 활용될 수 있는 소프트웨어의 유무 및 해결 방안을 유도하는데 걸리는 시간 등이 손꼽히고 있다(Hobbs, 1986; Teclé, 1992; Mollaghasemi and Pet-Edwards, 1997).

본 연구에서는 의사결정 규칙들 가운데서 GIS 소프트웨어를 통해 직접적으로 사용가능한 방법인 가중선형조합법과 순위화된 가중평균법을 통하여 쓰레기 소각장의 후보입지들을 추출하였다. 평가기준들간의 가중치를 달리 부여한 세 그룹(가, 나, 다)에 각각 가중선형조합법(WLC)과 순위화된 가중평균방법(OWA)을 적용하되 위험 수준을 차별적으로 고려할 수 있는 TRADE-OFF, AND, OR 방법을 적용하여 최종적으로 추출되는 후보입지의 분포와 적합도 수준을 비교하였다. 또한 서로 다른 가중치 부여와 의사결정 규칙의 유형에 따라서 추출되는 후보입지들이 어느 정도 차이가 있는가를 비교, 분석하였다.

그림 3에서 볼 수 있는 바와 같이 평가기준들간의 상대적 중요도를 달리하고 이들 평가기준들을 조합하는 의사결정 규칙을 달리한 경우 최종적으로 추출되는 쓰레기 소각장 후보입지의 분포는 다소 차이가 나고 있다. 단순히 가중선형조합법을 적용한 경우에 비해 순위화된 가중평균방법을 적용한 경우 추출되는 후보입지와 적합도 수준은 어느 정도 차이가 있음을 알 수 있다. 특히 순위화된 가중평균방법 가운데 위험도(risk) 수준을 높게, 또는 낮게 조정할 경우 추출되는 후보입지와 그 적합도 수준은 상당한 차이를 보여주고 있다.

본 연구에서는 '그룹 다'의 가중치를 적용하고 가중선형조합법을 적용하였을 경우에 추출된 후보입지와 실제로 서울시에서 소각장이 가동중이거나, 소각장의 위치를 이미 선정하였거나, 예비 후보지로 타당성 조사를 하고 있는 위치와 중첩시켜 보았다. 그림 3에서 볼 수 있는 바와 같이 상당 수의 소각장의 입지는 추출된 후보입지에 속하고 있으며, 비교적 적합도 수준이 높은 지구에 입지하고 있음을 엿볼 수 있다. 그러나 이미 소각장이 가동중인 상계 소각장과 목동 소각장은 추출된 후보입지내에 입지하고 있지 않았다. 이들 소각장들은 대단위 아파트 단지 인근에 입지하고 있으면서 소각시에 배출되는 폐열을 이용하여 값

싸게 지역난방을 공급하고 있다. 본 연구에서는 폐열을 이용하는 경제적 요인을 평가기준으로 고려하지 못하였기 때문에 이들 소각장은 후보입지에서 벗어난 지점에 입지하고 있다고 풀이할 수 있다.

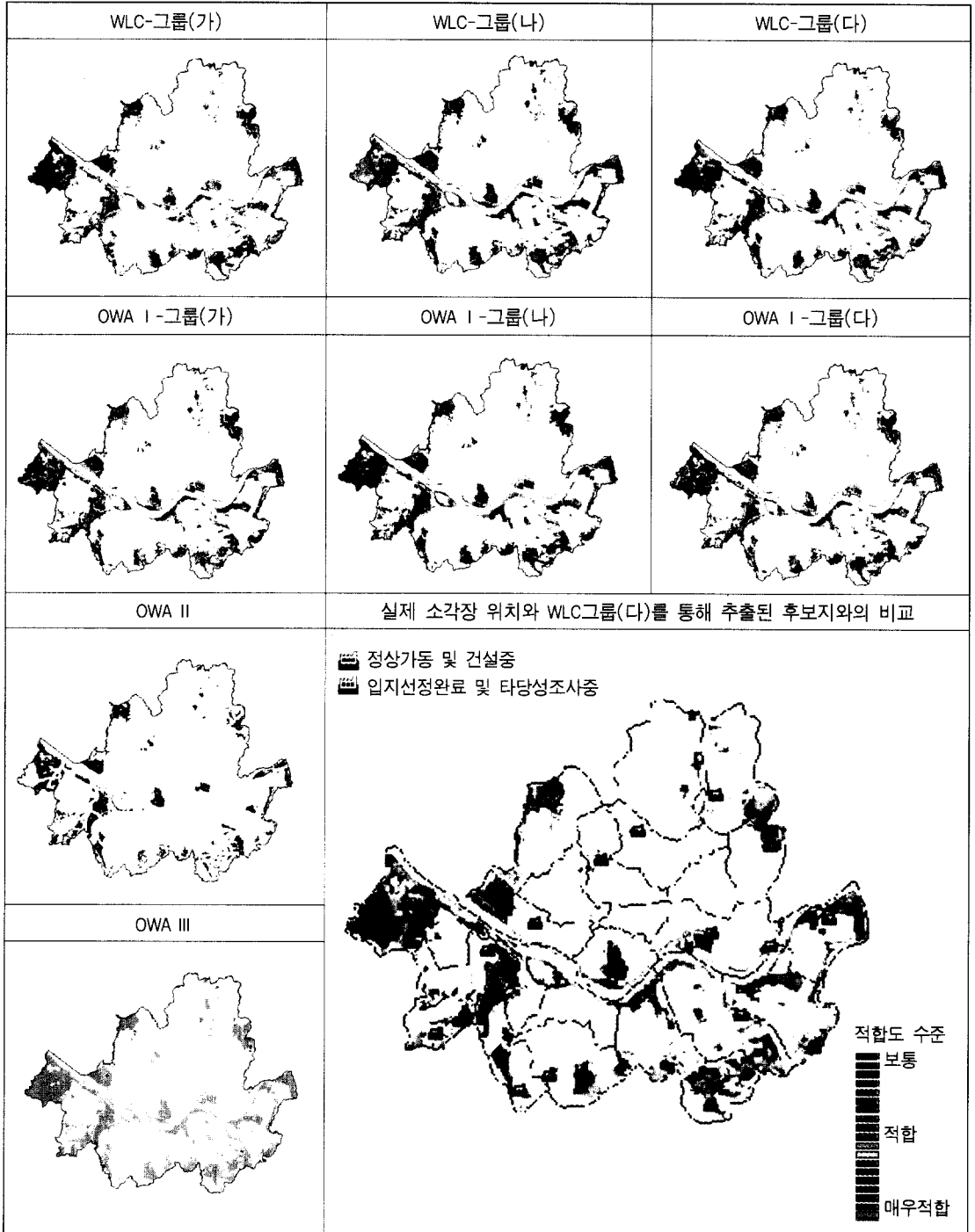
5. 민감도 분석

다기준평가기법을 적용하여 최선의 대안을 선정하는데 있어서 마지막 단계에서 고려되어야 할 점은 의사결정과정에서 내재되어 있는 불확실성에 대한 문제이다. 불확실성은 평가기준도(criterion map)와 관련된 수치오차(불확실성)에서 유래되는 경우와 순위화된 대안에 대한 의사결정자의 선호도(가중치)의 불명확성에서 유래되는 경우로 나누어 볼 수 있다.

GIS 데이터베이스 구축과 관련되어 야기되는 불확실성 오차는 평가기준의 속성값을 측정하는 과정에서 나타나는 오차와, 실제 세계의 대상물들을 수치지도상의 대상물로 전환하는 과정에서 발생하는 위치 오차이다. 일반적으로 데이터베이스에 투입되는 요인과 관련된 오차(불확실성)가 최종적으로 추출된 결과에 미치는 영향력을 파악하기 위해 오차확산 분석을 실시하게 된다.

그러나 이러한 오차확산 분석보다도 더 문제가 되는 것은 의사결정자가 선호도를 결정할 때 발생하는 불확실성과 관련된 오차이다. 이 오차는 다기준평가기법에서 의사결정자의 선호도가 대안 선택에 매우 중요한 역할을 한다는 점을 고려해 볼 때 매우 심각하다. 의사결정자는 부정확한 정보와 지식의 한계로 인해 평가기준들의 상대적인 중요성을 정확하게 판단할 수 없으며, 또한 선호도를 결정하는 단계에서도 비밀관성이 개입될 수 있다. 이와 같은 유형의 불확실성에서 야기되는 오차 문제를 해결하는데 일반적으로 민감도 분석(sensitivity analysis)을 실시한다.

민감도 분석이란 투입요소(평가기준에 대한 점수와 가중치 부여)에 존재하는 오차가 최종 결과 산출에 미치는 영향력을 측정하는 것이다. 민감도 분석에서 가장 중요하게 고려하는 요소는 평가기준에 대한 가중치이다. 그 이유는 가중치는 의사



주1: OWA I : trade-off 적용 순위가중치: 0.35, 0.25, 0.20, 0.15, 0.05 적용
 주2: OWA II : AND 적용 순위가중치: 1, 0, 0, 0 적용
 주3: OWA II : OR 적용 순위가중치: 0, 0, 0, 1 적용

그림 3. 평가기준의 가중치와 결정 규칙을 달리한 경우 추출된 쓰레기소각장 후보입지의 적합도 수준 비교

결정자의 주관적 판단에 의한 결과이며, 평가기준들에 대한 가중치 차이는 서로 다른 관점과 인식에 의한 것이므로 의사결정시에 상당한 갈등을 야기시킬 수 있기 때문이다.

민감도 분석의 핵심은 가중치의 작은 변화가 추출된 대안 순위의 변화에 어떠한 영향을 주는가에 대한 민감도를 측정하는 것이다. 즉, 가중치를 달리 부여할 경우 추출된 대안들의 순위에 어떠한 변화를 가져오는가를 조사하는 것이다. 만일 대안들의 순위가 가중치의 작은 변화에 영향을 받지 않는다면 가중치의 오차는 크게 문제되지 않지만, 반면에 대안들의 순위가 하나 이상의 가중치 변화에 민감하게 반응할 경우 가중치 부여에 있어서 보다 세심한 정확성을 기하여야 하며, 이런 경우 반드시 가중치를 부여할 때 합의된 견해를 도출하여야 함을 시사해준다.

민감도를 실제로 분석하는 경우 모든 평가기준들에 대한 민감도를 분석할 필요는 없으며, 가중치가 중요하게 부여된 평가기준들을 선택하여 가중치 값의 변화가 산출결과의 순위에 어떻게 민

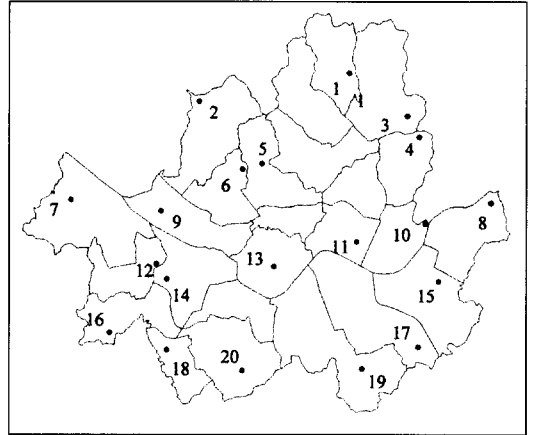


그림 4. 민감도 분석을 위해 추출한 20 곳의 쓰레기 소각장 후보입지

감하게 반응하는가를 조사한다. 특히 불확실성이 높고 주관성이 많이 개입된 평가기준의 경우 반드시 가중치 값이 변화됨에 따라 대안의 순위에 어떠한 변화를 가져오는가를 조사하여야 한다.

본 연구에서는 민감도 분석을 위해 우선 평가

표 4. 평가기준의 가중치와 다기준평가기법을 달리한 경우 대안들의 적합도 순위 변화

대안 (후보지)	가중선형조합법(WLC) 적용				순위화된 가중평균법(OWA) 중 TRADE-OFF 적용				대안들간의 순위변화
	그룹(가)	그룹(나)	그룹(다)	순위변화	그룹(가)	그룹(나)	그룹(다)	순위변화	
1	17	15	17	2	17	16	17	1	2
2	3	5	3	2	4	3	3	1	2
3	5	3	5	2	5	5	5	0	2
4	13	11	10	3	14	11	12	3	4
5	12	12	13	1	10	14	13	4	4
6	19	20	20	1	20	20	20	0	1
7	2	2	2	0	2	2	2	0	0
8	9	6	7	3	9	9	8	1	3
9	6	7	6	1	8	6	6	2	2
10	18	19	19	1	19	19	19	0	1
11	15	14	15	1	13	12	14	2	3
12	20	18	18	2	18	17	18	1	2
3	10	13	12	3	11	10	10	1	3
14	8	9	8	1	6	8	7	2	3
15	16	16	16	0	15	15	16	1	1
16	1	1	1	0	1	1	1	0	0
17	4	4	4	0	3	4	4	1	1
18	7	8	9	2	7	7	9	2	2
19	11	10	11	1	12	13	11	2	3
20	14	17	14	3	16	18	15	3	4

기준들간의 가중치를 부여하는 세 그룹가운데 보다 절충적인 측면에서 가중치를 부여하였던 '그룹 다'를 기초로 하여 가중선형조합법을 적용하여 추출된 후보입지 가운데서 적합도 순위가 높은 후보지들을 선정하였다. 가능하면 각 구별로 골고루 후보지가 분포되도록 하면서 면적이 30,000m² 되는 후보지(대안) 20곳을 추출하였다(그림 4). 이와 같은 방식으로 선정된 20개 대안들을 대상으로, 가중치를 달리하고 또한 의사결정 규칙들을 달리한 경우 대안들의 적합도 순위가 어떻게 달라지는가를 비교함으로써 가중치의 변화가 최선의 대안을 결정하는 순위에 미치는 영향을 분석하였다. 평가기준들간의 가중치를 달리 부여한 세 그룹과 의사결정 규칙중 선형가중조합법과 순위화된 가중평균 방법을 각각 적용한 경우 20개 후보입지들의 적합도 순위의 변화를 보면 표 4와 같다.

민감도 분석 결과에서 볼 수 있는 바와 같이 주거지역으로부터의 거리에 가장 높은 가중치를 부여한 경우(그룹 가)와 도로로부터의 접근성 요인에 가장 높은 가중치를 부여한 경우(그룹 나), 그리고 절충적 입장에서 가중치를 부여한 경우(그룹 다), 전반적으로 대안들간에 적합도 순위의 변화 폭은 작게 나타났다. 적합도 수준이 가장 높은 1, 2순위의 대안들은 전혀 순위상에 변화가 없었다. 그리고 10위 순위내에 속하는 대안들에서는

순위 변화가 '0~2'로 변화의 폭은 매우 작았다. 반면에 적합도 순위가 10위를 넘어가는 대안들 가운데 순위 변화의 폭이 '4'까지 차이를 보이는 지점도 나타났다.

한편 가중선형조합법을 적용한 경우와 순위화된 가중 평균법을 적용한 경우 전체적으로 볼 때 대안들간에 순위 변화의 폭도 별다른 차이를 보이지 않고 있다. 가중선형조합법을 적용한 경우 대안들간에 순위 변동의 최대 폭은 3으로 나타난 것에 비해, 순위화된 가중 평균법을 적용한 경우 대안들간에 순위 변동의 최대 폭은 4로 나타났다. 그러나 가중선형조합법을 적용한 경우 순위변화 폭의 합계가 29로 나타난 반면에 순위화된 가중 평균법을 적용한 경우 순위변화 폭의 합계는 27로 나타났다. 따라서 본 연구의 경우 의사결정 규칙 방법의 차이가 대안들의 순위 결정에 미치는 영향력은 거의 없다고 풀이할 수 있다.

가중치를 달리하는 경우 각 대안들의 적합도 순위가 어떻게 민감하게 반응하는가는 대안들의 전체적인 순위 변화의 폭을 그래프로 나타내면 쉽게 알 수 있다. 그림 5는 20개 대안들의 적합도 수준에서의 순위 변화의 폭을 나타낸 것이다. 대부분의 경우 순위 변화의 폭은 2 이하로 나타나고 있어 가중치의 변화가 후보지의 적합도 순위에 미치는 영향은 매우 적다고 볼 수 있다. 따라서 본 연구의 경우 평가기준들간의 가중치를 달리부

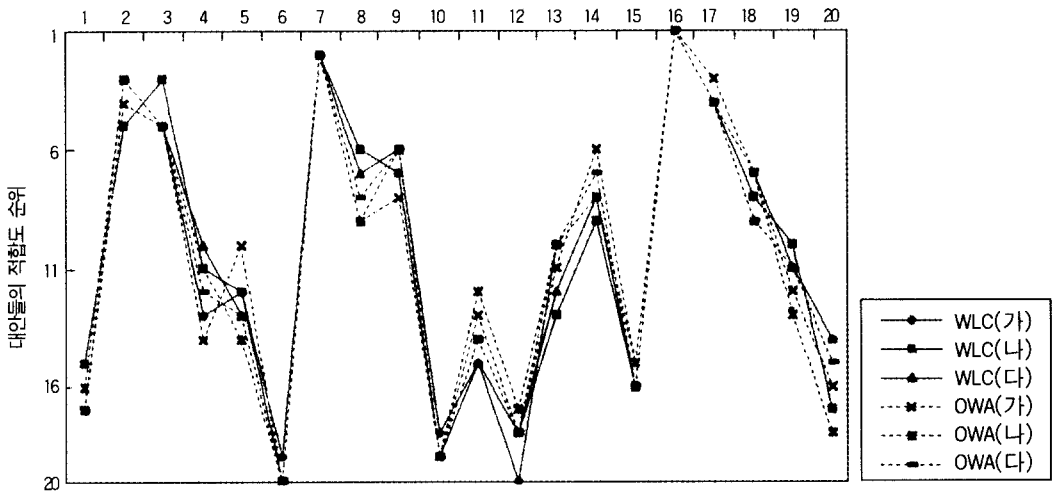


그림 5. 가중치와 다기준평가기법을 달리하였을 경우 대안들간의 순위 변화

여하는 경우 개입될 수 있는 주관적인 측면이나 가중치의 오차 수준은 크게 문제되지 않는다고 풀이할 수 있다. 더 나아가 가중선형방법과 순위화된 가중평균방법을 각각 적용한 결과에서도 대안들간의 순위변화의 폭은 작게 나타나 의사결정 규칙을 달리하는 경우에도 대안들의 순위 변화에 미치는 민감도는 매우 낮다고 볼 수 있다.

6. 결론

기피시설이나 혐오시설물의 경우 입지를 선정하는데 있어서 주민들의 반대에 부딪히고 있는 경우를 빈번히 볼 수 있다. 사적 시설물의 입지를 분석하는데 적용되어 온 기존의 방법론들은 공간상에서 갈등을 야기시키며, 관련집단들간에 합의된 의견을 도출하기 어려운 기피시설물의 입지를 선정하는데는 상당한 제한점을 갖는다. 또한 GIS를 활용하여 시설물 입지를 선정할 때 주로 사용되어온 부울 논리(boolean logic)에 따른 중첩기능을 적용할 경우 결정론적으로 후보입지가 추출되기 때문에 상충적인 견해들을 반영하지 못하는 경직성을 띄게 되는 문제점을 안고 있다. 이에 따라 본 연구는 공공기피시설물의 하나인 쓰레기 소각장의 입지를 선정하는데 있어서 GIS를 기반으로 하는 다기준평가기법을 활용함으로써 보다 객관적이고 과학적이면서도 유연적인 후보입지를 추출하려는데 목적을 두었다.

다기준평가기법은 상충적이고 다양한 척도로 측정된 평가기준들을 통하여 추출된 대안들 가운데서 최선의 대안을 선택하는데 필요한 정보를 제공해주며, 의사결정자들의 선호도를 반영하여 대안을 추출할 수 있다는 점 때문에 공공시설물의 입지를 선정하는데 많이 활용되고 있다. 특히 1990년대에 들어와 다기준평가기법을 GIS와 통합시키려는 연구들이 활발하게 이루어지면서, 이 기법은 실제 공간상에서 나타나는 문제들에 대해 수용할만한 해결책 또는 높은 신뢰성을 주는 해결책을 제시해줄 수 있다는 점에서 다방면에서 그 활용성이 높아지고 있다.

본 연구결과 각 평가기준들에 대해 상이하게 가중치를 부여하거나 의사결정 규칙방법을 달리

함에 따라서 추출되는 후보입지들의 적합도 순위가 다르게 나타남을 알 수 있었다. GIS를 기반으로 하는 다기준평가기법을 활용하는 경우 다양한 척도로 측정된 평가요인들을 표준화시키고, 각 평가요인들간에 상대적 중요도를 산출하며, 또한 관련된 여러 집단들간에 상충되는 선호도들을 반영하면서 최선의 대안을 선택하는데 필요한 정보를 제공해줄 수 있음을 확인하였다. 또한 다양한 평가기준들의 상대적 중요도를 부여하는 과정에 내재되어 있는 불확실성으로 인한 위험도를 보다 줄이기 위해서는 민감도 분석이 필요함을 알 수 있었다. 뿐만 아니라 이 방법은 앞으로 다른 평가기준들이 더 추가되거나 각 평가요인들에 대한 가중치가 변화되는 경우, 그리고 의사결정 규칙방법을 달리하는 경우 보다 신속하고 객관적으로 후보입지들과 그들의 적합도 순위를 추출할 수 있는 유연성을 지니고 있다고 볼 수 있다.

이와 같이 GIS를 기반으로 하는 다기준평가기법은 공공시설물 입지선정에 있어서 일차적으로 대안적인 후보입지들에 대한 적합도 수준을 평가하는데는 도움을 줄 수 있는 정보를 제공해줄 수 있는 기법이며, 따라서 공간적 의사결정지원시스템으로서의 GIS기능을 증대시킬 수 있는 접근방법이라고 평가할 수 있다. 쓰레기 소각장과 같이 시설물 입지가 주민들에게 매우 민감한 반응을 일으키게 되는 경우 다기준평가기법을 활용하면서, 계획의 수립시점부터 주민들의 의사를 반영할 수 있는 절차를 마련하여 평가기준들간에 상대적 가중치를 조정하고 서로 다른 집단간의 의견 격차를 조정한다면, 최종적으로 공공시설을 위한 입지를 결정하는 과정에 있어서 보다 폭넓은 합의를 이끌어 낼 수 있을 것이다.

그러나 GIS를 기반으로 하는 다기준평가기법을 공공기피시설물의 입지선정을 위해 활용할 경우 대두되는 문제점들도 신중히 고려되어야 한다. 이 기법을 활용하는데 있어서 직면하게 되는 가장 기본적인 문제는 평가기준들을 표준화하는 과정에서 요구되는 각 평가기준들에 대한 적절한 퍼지함수 적용과 임계치 설정 문제, 그리고 평가기준들에 대한 합의된 가중치의 도출 문제이다. 더 나아가 의사결정 규칙의 다양한 방법들을 GIS환경하에서 적용할 수 있는 GIS소프트웨어의 개발

도 이루어져야 하며, 의사결정 규칙들 중에서 가장 적절한 방법을 선별하는 방법론에 대해서도 앞으로 지속적인 연구가 이루어져야 할 것이다.

오늘날 GIS는 방대한 양의 공간정보를 신속하게 수집, 처리, 저장, 관리하는데 탁월한 장점을 지니고 있어 다방면으로 활용되고 있으며, 분석도구로서의 기능도 점차 확대되고 있다. 하지만 공간상에서 대립되는 여러 문제들을 해결하는데 필요한 정보를 제공해줌으로써 의사결정을 내리는데 도움을 줄 수 있는 공간적 의사결정지원시스템으로서의 GIS기능은 아직 미약한 편이다. GIS가 공간적 의사결정지원시스템으로서의 기능을 원활하게 수행하기 위해서는 무엇보다도 먼저 다양한 분야에서의 전문적, 학술적인 연구가 이루어져야 한다. 또한 의사결정자들이 합리적인 결정을 내리는데 필요한 가장 적절한 정보를 추출해낼 수 있는 다양한 공간분석 기법들이 GIS 환경하에서 수행될 수 있도록 응용 소프트웨어의 개발도 필수적이다. 그러나 무엇보다도 가장 우선적인 과제는 공간상에서 야기되는 많은 현실적인 문제들을 해결하는데 필수적인 요소인 합리적이고 조화로운 지리적 시각을 갖춘 인적 자원의 확충이라고 볼 수 있다.

文 獻

성동구, 1996, 성동구 자원회수시설 입지타당성 조사보고서.
 정명희, 1994, 소각장 주변 주민들의 의식구조에 관한 연구-상계동 자원 회수시설을 중심으로, 한양대학교 환경대학원 석사학위 논문.
 정재춘, 1989, 경기도 권역별 쓰레기 소각시설 설치에 관한 연구, 경기개발연구원.
 Banai, R., 1993, Fuzziness in geographical information systems: contributions from the AHP, *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 geographic information systems, *International Journal of Geographic Information Systems*, 5(3), 321-339.
 Church, R. L., Lobin, S. R. and Lombard, K., 1992, An interface for exploring spatial alternatives for a corridor location problem, *Computers and Geosciences*, 8(10), 1095-1105.
 Eastman, J. R. and Jiang, H., 1996, Fuzzy Measures 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.
 Heywood, I., Oliver, J. and Tomlinson, S., 1995, Building an exploratory multi-criteria modeling environment for spatial decision support, in Fisher, P.(ed.), *Innovations in GIS*, London, Taylor & Francis, 127-136.
 Hobbs, B. F., 1986, What can we learn from experiments in multiobjective decision analysis? *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, 16(3), 3384-3394.
 Hobbs, B. F., Chankong, V., Hamadeh, W. and Stakhiv, E. Z., 1992, Does choice of multicriteria method matter?, An experiment in water resources planning, *Water Resources Research*, 28, 1767-1779.
 Jankowski, P., 1995, Integrating geographic information systems and multiple criteria decision making methods, *International Journal of Geographic 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.), *Geographic Information Systems for Urban and Regional*

- Planning*, Dordrecht, Kluwer Academic, 129-139.
- Jensen, J. R. and Christensen, E. J., 1986, Solid and hazardous waste disposal site selection: using digital geographical information system techniques, *The Science of Total Environment*, 56, 265-276.
- Keller, C. P., 1996, Decision Making Using Multiple Criteria, *NCGIA Core Curriculum*, unit 57, Santa Barbara, CA, NCGIA.
- Keller, C. P. and Strapp, 1996, Multicriteria decision support for land reform using GIS and API, in Geodchild, M. F., Steyaert, L. T. and Parks, B. O.(eds.), *GIS and Environmental Modeling: Progress and Research Issues*, Fort Collins, CO, GIS World, Inc, 367-371.
- Lai, S. K. and Hopkins, L. D., 1995, Can decision makers express multiattribute preferences using AHP and MUT? An experiment, *Environment and Planning B*, 22(1), 21-34.
- MacLachlan, M., Havan-Ormieh, P. A. and Wright, W., 1991, Minimizing the Impacts of a Landfill by Choosing the Best Site, *Proceedings of the Eleventh Annual ESRI User Conference*, 1-11.
- Malczewski, J., 1996, A GIS-based approach to multiple criteria group decision making, *International Journal of Geographic Information Systems*, 10(8), 955-971.
- Mollaghasemi, M. and Pet-Edwards, J., 1997, *Making Multiple-Objective Decisions*, Los Alamitos, CA, IEEE computer Society Press.
- Pereira, J. M. C. and Duckstein, L., 1993, A multiple criteria decision-making approach to GIS-based land suitability evaluation, *International Journal of Geographic Information Systems*, 7, 407-424.
- Petts, J. and Eduljee, G., 1994, *Environmental Assessment for Waste Treatment and Disposal Facilities*, New York, John Wiley & Sons.
- Satty, T. L., 1980, *The Analytic Hierarchy Process*, New York, McGraw-Hill.
- Teclé, A., 1992, Selecting a multicriterion decision making technique for watershed resources management, *Water Resource Bulletin*, 28(1), 129-140.
- Tkach, R. J. and Simonovic, S. P., 1998, A new approach to multi-criteria decision making in water resources, *Journal of Geographic Information and Decision Analysis*, 1(1), 25-43.
- Yager, R. R., 1988, On ordered weighted averaging operations in multi-criteria decision making, *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, 18(1), 183-190.