

다기준-공간의사결정 지원시스템(MC-SDSS)의 구축과 활용

- 폐기물 매립시설 입지분석을 중심으로 -

오규식* · 권오경**

Developing a Multi-Criteria Spatial Decision Support System (MC-SDSS) for Analyzing the Suitability of Waste Landfill Sites

Kyu-shik OH* · Oh-kyoung KWON**

요 약

산업구조가 복잡해지고 생활 수준이 향상됨에 따라 다양한 사회집단의 이익을 고려해야 하는 의사결정 환경으로 변화하고 있다. 특히 폐기물 매립시설의 입지에 대한 의사결정에 있어 발생하는 정부, 주민, 그리고 관련단체간의 갈등은 우리 사회가 당면한 중요한 문제 중 하나이다. 이같은 문제의 해결을 위해 본 연구에서는 다기준-공간의사결정 지원시스템을 구축했다. 사례연구를 통한 시스템의 구축과 활용의 결과, 다음과 같은 유용성을 발견할 수 있었다. 첫째, 입지분석 기준을 체계적이고도 과학적인 의사결정과정에 적용; 처리함으로써 최종 의사결정에 대한 다양한 이익집단의 의견을 효과적으로 수렴할 수 있다. 둘째, 민감도 분석을 통해 공간의사결정에서 발생할 수 있는 기술적인 오차-전체 셀 값 분포의 편향-를 최소화 할 수 있다. 셋째, 다기준-공간의사결정 지원시스템을 활용함으로써 특정 이익집단의 반발에 대한 탄력적인 대응도 가능하다.

주요어 : 다기준 의사결정, 공간의사결정 지원시스템, 폐기물 매립시설

ABSTRACT : As society progresses and becomes more complicated, improvements are demanded in the quality of life according to various interest groups. In relation to environmental concerns,

* 한양대학교 도시공학과 교수 (Professor, Department of Urban Planning, Hanyang University, 17 Haengdang-dong, Seongdong-gu, Seoul 133-791, Republic of Korea)

** 대우정보시스템(주) (Department of GIS, Government & Public Business 1 Team, Daewoo Information Systems Co., 541 Namdaemoon-ro 5-ga, Chung-eu, Seoul 100-714, Republic of Korea)

waste landfill sites in particular have been of concern. Conflicts involving treatment of such sites and decision making policies have been a point of contention between local governments, residents, and concerned organizations. To resolve these conflicts, this study developed the Multi-Criteria Spatial Decision Support System (MC-SDSS). The results of the case study revealed several conclusions; first, the approach used in this study can help to yield a better consensus for deciding upon waste landfill sites; next, by conducting sensitivity analysis, technical errors which can occur during the decision making process can be minimized; and finally, resistance from specific opposition groups can be effectively dealt with by using MC-SDSS.

Keywords : Multi-Criteria Decision Making, Spatial Decision Support System, waste landfill sites

1. 서 론

우리 사회에 다양한 이익집단의 형성과 함께 가치체계가 더욱 복잡해짐에 따라 각 이익집단의 상이한 기준과 많은 양의 공간정보를 고려해야 하는 의사결정 환경으로 변화하고 있다. 이같은 상황에서 특정의 단일 목표 달성의 관점에서 최적 대안을 설정하려는 시도는 현실적 관점에서 타당성과 유효성의 문제점을 내포하고 있다. 특히 폐기물 매립시설의 입지와 같은 의사결정 과정에서 주민과 지방자치단체 간의 갈등이 빈번히 빚어지고 있다. 이에 본 연구에서는 다양한 이익집단의 요구를 효과적으로 수렴할 수 있는 다기준 의사결정 방법과 방대한 공간정보를 체계적이고도 과학적인 방법으로 처리할 수 있는 공간의사결정시스템을 결합한, 다기준-공간 의사결정 지원시스템(Multi-Criteria Spatial Decision Support System: MC-SDSS)을 구축

하고 그 적용 가능성을 실험했다.

사례연구에서는 우선 폐기물 매립시설의 입지선정 과정에서 발생하는 갈등문제를 파악하고, 이를 해결하기 위해 다양한 이익집단간의 합의 도출을 위한 평가방법을 마련한다. 그리고, GIS를 이용하여 다양한 공간정보들을 기반으로 MC-SDSS를 구축한다. 마지막으로 다기준 의사결정 모형 중 절충법(Compromise Programming: CP)에 의해 MC-SDSS를 실행시킨다.

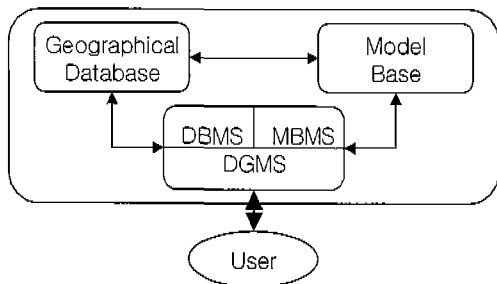
그간 공간적 문제의 해결을 위해 다기준 의사결정 방법을 적용한 다양한 연구가 미국과 유럽을 중심으로 이뤄졌다. 하지만 국내에서는 이같은 방법의 적용 가능성에 관한 연구가 아직 미흡하다. 본 연구에서 개발, 제시하는 MC-SDSS는 공간의사결정 과정의 투명성을 유지함으로써 효과적인 계획 수행을 지원할 수 있다는 점에서 의미가 있다고 할 것이다.

2. 이론 고찰

2.1 공간의사결정 지원시스템

복잡한 도시 공간에 전개되는 문제는 흔히 복수적이며, 상충하는 목적을 포함하게 된다. 그리고 그같은 문제에 대한 해결은 자연히 상충하는 목적들을 절충하고 조화하는 과정을 포함하게 된다. 이를 위해 공간의사결정 지원시스템(Spatial Decision Support System: SDSS)은 분석가나 의사결정자가 다양한 분석모형을 선택적으로 조합하여 문제 해결을 위한 대안 시나리오 속에 이같은 과정을 순환적으로 반복함으로써 보다 바람직한 결론에 이를 수 있다(오와 정, 1998).

SDSS의 구조는 <그림 1>과 같이 데이터베이스 관리시스템(Database Management System: DBMS)과 지리데이터베이스(Geographical Database), 모델기반 관리시스템(Model-based Management System: MBMS)과 모델 기반(Model Base), 그리고 다이얼로그 생성 및 관리시스템(Dialogue Generation and Management System: DGMS) 등으로 구성된다.



[그림 1] 공간의사결정 지원시스템의 구조

이들은 SDSS의 주요한 구성요소로서 컴퓨터 내부에 포함되어 의사결정자와 컴퓨터간에 상호작용적인 역할을 수행하게 된다.

2.2 다기준 의사결정

다기준 의사결정(Multi-Criteria Decision Making: MCDM)은 상충되는 복수의 기준이 존재하는 상황에서의 의사결정을 말한다. 모든 의사결정자들은 상반된 기준과 불완전한 정보, 그리고 제한된 자원 하에서 최적의 의사결정을 내려야 한다. 이러한 상이한 환경적 요소와 사회·경제적 상충문제를 고려하여 대안을 선택함에 있어서 복잡한 상쇄효과를 분석해주는 방법론과 합리적인 체계를 통해 대안을 추출하는 방법론 사이의 합의점을 찾아 통합하는 접근방법이다(Seo and Sakawa, 1988). MCDM은 요소간의 상쇄효과를 허용하는지의 여부에 따라 무보정 모형(Noncompensatory Model)과 보정 모형(Compensatory Model)으로 분류할 수 있다(김성희 등, 1997). 무보정모형의 경우 요소간의 상대적 중요도에 대한 보정이 실시되지 않기 때문에 다양한 이익집단의 의사를 객관화하기에 부적합하다. 한편, 공간자료를 바탕으로 요소별 상대적 중요도를 적용하는 다양한 보정모형이 연구되어 왔다. 이 중 계층화분석과정(Alytic Hierarchy Process : AHP), 단순가중치모형(Simple Additive Weighting Method: SAW), 절충법(Compromise Programming: CP), 목표계획법(Goal Programming: GP), TOPSIS 등의 모형이 가장 널리 사용되고 있다.

MCDM 함수를 공간의사결정에 도입하기 위해서는 공간자료에 대한 적용이 용이하고 공간정보를 가진 데이터를 효율적으로 분석할 수 있어야 한다. 따라서 본 연구에서는 CP를 선택했다. 비교적 간단한 개념적 구조를 가진 CP는 공간적 의사결정 문제에 적용이 용이하다.

산정하여 가장 근접한 대안을 선정하는 방법이다. CP에 있어서 거리행렬은 일반적으로 다음과 같이 표현된다.

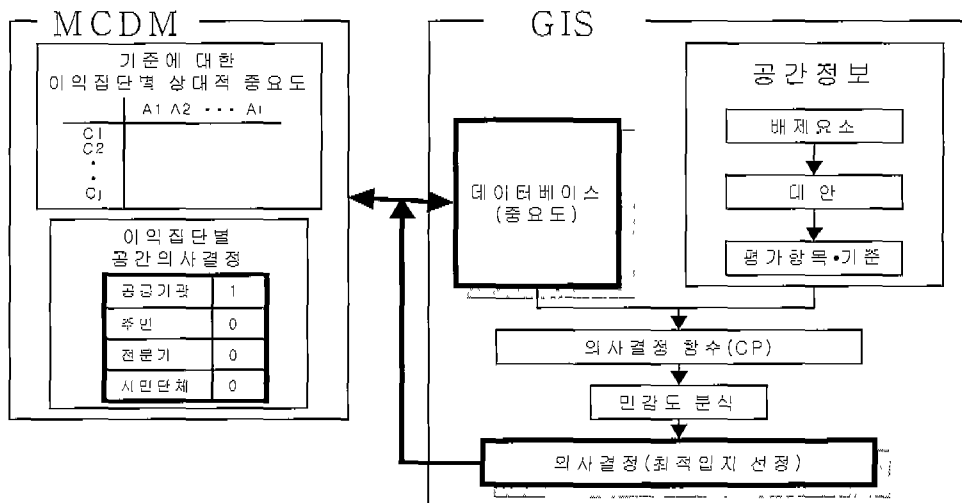
$$d_p = \left[\sum_{i=1}^I \beta_i^p (x_i^* - x_i^k)^p \right]^{1/p}$$

여기서 β_i 는 중요도를, p 는 멱지수를 나타낸다. 구하고자 하는 절충해란 k 번째 대안의 i 번째 속성 값인 x_i^k 와 i 번째 속성의 이상해인 x_i^* 와의 거리가 최소화 되는 해를 뜻하며, p 가 커질수록 편차가 커지게 된다. 본 연구에서는 각 대안의 이상해를 1로 설정하고, 평가요소들의 점수를 0과 1사이의 연속적인 값으로 부여했다. 본 연구에서 대안은 폐기물 매립시설 입지 가능지역을, 속성 값은 평가항목별 평가기준에 의한 값을 나타낸다. CP에 의한 다기준 의사결정 함수모형에 있어

3. 다기준-공간의사결정 지원시스템 구축

본 시스템은 크게 MCDM에 의한 중요도의 설정과 GIS에 의한 공간의사결정과 정으로 구성되며, 이들은 데이터베이스 공유에 의해 상호 연계되도록 설계되었다 <그림 2.>

CP는 이론적으로 하나의 이상해가 존재한다는 가정 하에 이상해와의 거리를



[그림 2] 폐기물 매립시설 입지분석을 위한 다기준-공간의사결정 지원시스템 모형

역지수 $p=1$ 일 경우 SAW와, $p=2$ 일 경우 TOPSIS와, $p>2$ 일 경우 GP와 유사한 결과를 유도하게 되며, 민감도 분석에 의해 가장 적합한 모형을 찾아 낼 수 있다. 시스템은 Visual Basic 6.0의 DBGrid와 ArcView 3.1의 Avenue를 사용하여 구축했다.

4. 입지분석

본 연구의 사례 대상지는 남양주시 일대로 하였다. 본 연구에서는 이익집단을 공공기관(관련 공무원), 지역주민, 전문가(도시공학, 토목공학, 환경공학 등의 분야), 시민단체(환경단체) 등으로 구분하고 설문조사를 통해 각 이익집단별 중요도를 파악했다. 설문은 동일한 평가항목에 대해 질문 순서를 달리하는 2가지 유형의 설문지를 준비하여 실시했다. 관련문헌 및 법규, 정책적 요구사항, 기술적 사항, 지역적 요구사항 등을 고려하여 폐기물 매립시설 입지에 대한 배제요소와 평가항목, 평가기준 등을 설정했다.

<표 1> 폐기물 매립시설 입지 배제요소

수문	상습침수구역, 상수원 보호구역, 하천과 호수
생태	생태계 보전지역, 자연환경 보전지역, 조수보호 및 급류구역, 습지대
토지 이용	자연공원, 문화재 보호구역, 개발제한구역, 도로, 주민 밀집지역, 묘지 밀집지역, 주거·상업·녹지지역(자연녹지지역 제외), 군사시설 보호구역
지형	경사, 표고

각 배제요소에 해당하는 지역에 1점을 부여하고 나머지 지역에 0점을 부여하여 중첩<그림 3>을 실시하면 <그림 4>와 같이 우선적으로 입지가능지역을 찾을 수 있다.

입지가능지역 중 '2016 남양주 도시기본계획'을 참고하여 30년간 매립이 가능한 최소부지면적(391,974m²)을 충족하는 18개 지역을 대안으로 선정했다<그림 5>.

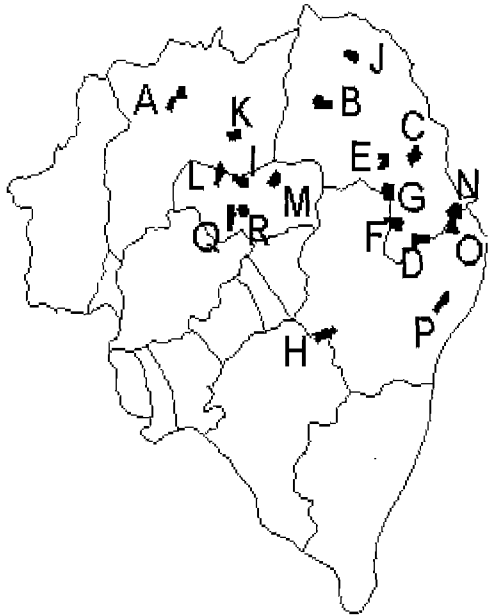
대안의 평가를 위해 사회적, 경제적, 환경적 측면에서 평가항목 및 평가기준을 설정했다<표 2>.

<표 2> 폐기물 매립시설 입지 평가기준

구분	평가항목	평가기준
사회적	도시 중심지 및 주거지로부터의 거리	주민밀집지역과 도시계획시설기준에 명시된 매립시설 입지가능 지역과의 이격된 거리
	역사·문화재 및 공공시설로부터의 거리	문화재 보호구역내의 문화시설, 도시공간시설과 공공문화·복지시설과의 이격된 거리
경제적	부지매입 비용	개별 공시지가를 이용하여 산정
	도로건설 및 운송비용	기존 도로의 이격거리 200m로부터 이격된 거리
환경적	하천 및 저수지로부터의 거리	주변 하천으로부터 이격거리 300m와 상수원보호구역으로부터의 이격된 거리
	경관훼손 방지	우수한 경관의 가시여부와 대상지의 식생 분포(식생등급)에 따른 값 부여

[그림 3] 배제요소를 적용한 분석





[그림 5] 입지대안

<그림 6>은 여섯 가지 평가항목에 대해 퍼지집합(Fuzzy Set)의 선형 귀속도함수를

적용한 결과를 보여준다. 진하게 나타난 부분이 적합한 지역이고 연하게 나타난 부분이 상대적으로 부적합한 지역이다.

다음으로 쌍체비교(Pairwise Comparison) 방법을 이용하여 각 이익집단이 지니는 평가항목별 중요도를 산출했다. 중요도의 산정은 본 연구에서 제작한 프로그램을 이용했다. 이익집단별로 40부씩 설문을 실시했고, 이 중 일관성비율(CR)이 0.1보다 작은 응답에 대해 평가항목별 중요도를 산출했다. 그에 대한 예로서, <그림 7>은 공공기관의 의사만을 반영한 중요도 산출과정을 보여준다.

CP에 의한 함수모형 중 가장 적합한 모형을 찾기 위해 먹지수(p)를 각각 1, 2, 4로 했을 때 대상지 전체 셀 값 분포의 치우침을 측정했다. p가 1일 경우, 전체적인 셀 값 분포가 적합지로 치우친다. 한편 p가 4일 경우, 셀 값 분포가 부적합지로 치우친다. 민감도분석 결과, p=2일 때 치우침이 가장 작게 발생했다. 따라서 본



[그림 6] 평가항목별 입지분석

이익집단별 가중치		항목별중요도	DBF파일생성
이익집단별 가중치의 입력			
항목	중요도		
정부	1		
지역주민	0		
전문가	0		
시민단체	0		
모든단체	0		
			계속>>

이익집단별 가중치		항목별중요도					DDF파일생성
항목	공공기관	지역주민	전문가	시민단체	모든단체	WEIGHT	
도시중심지 및 주거지로부터의 거리	2067	23798	22141	19952	21858	2067	계산
역사문화재 및 관광지로부터의 거리	14616	22187	14823	22267	18032	14616	
부지매입 비용	2067	19237	1107	999	11917	2067	CR값 숨기기
도로건설 및 운송비용	13021	11093	88616	89495	1012	13021	중표
하천 및 저수지로부터의 거리	16405	19756	22741	23361	2024	16405	
결관 훼손 방지	14616	13977	21105	1733	18052	14616	
이익집단별 가중치	1	0	0	0	0	1	

CR값확인	
이익단체	CR값
공공기관	0.2572
지역주민	0.1341
전문가	0.2521
시민단체	0.1205
모든단체	0.2118

[그림 7] 공공기관의 의사만을 반영한 중요도 산출

연구에서는 최적 대안의 선정에 있어 $p=2$ 를 적용했다<그림 8>.

이익집단별 중요도를 입지대안에 반영하여 적지분석을 실시했다<그림 9>. 각 이익집단의 의사만을 반영할 경우 입지대안의 순위가 다르게 나타난다. 공공기관 또는 전문가 집단의 의사만을 고려했을 경우 대안 M이, 지역주민 또는 시민단체의 의사만을 고려했을 경우 대안 K가 최

5. 분석결과

5.1 이익집단별 최적대안 선정

민감도분석	
P = 1	P = 2
최소값 0.213707	최소값 0.119136
최대값 0.810816	최대값 0.393997
평균 0.607447	평균 0.311871
표준편차 0.0814863	표준편차 0.0321751
편향 (bias) 0.517313	편향 (bias) 0.634649
민감도분석에 의한 최종 역지수 값 P = 2 확인	

[그림 8] 민감도 분석에 의한 역지수 결정

적지로 평가되었다.

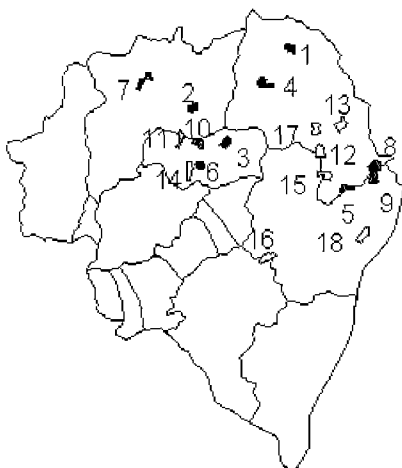
다음으로 전체 이익집단의 선호를 동시에 고려했을 경우 대안 J가 최적지로 분석됐다<그림 10>. 이는 대안 J가 각 이익집단에 의한 평가에서 고르게 두 번째의 상위 순위를 차지하기 때문에 전체 이익집단의 선호를 동시에 고려했을 때 최적지로 선정될 수 있었다.

5.2 시나리오에 의한 최적대안 선정

의사결정으로 인한 집단별 불이익 정도를 고려하여 각 이익집단의 의사 반영률을 조정함으로써 최종 적지를 선정했다. 본 연구에서는 모든 이익집단이 참여한 가운데 각 이익집단의 의견을 조정하는 것으로 전제했는데, 예를 들어 주민의 의



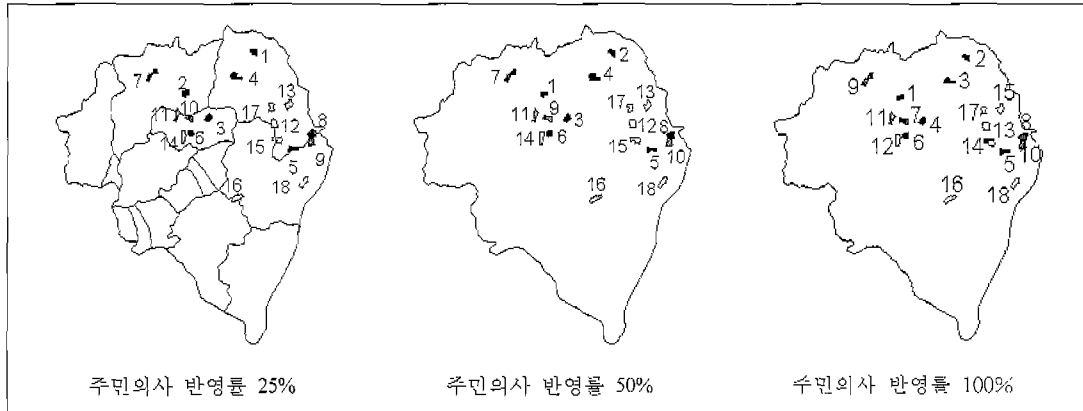
[그림 9] 이익집단별 중요도를 반영한 폐기물 매립시설 적지분석



[그림 10] 전체 이익집단의 선호를 고려한 적지분석

사 반영률을 높이 적용할 경우, 주민의 피해가 적게 발생하는 방향으로 최적지가 결정되고, 따라서 주민의 반발이 감소하게 되어 궁극적으로 매립시설의 입지가 가능하게 되는 것으로 시나리오를 작성했다.

<그림 11>과 같이 주민의 의사 반영률을 다르게 부여하였을 때 분석결과가 변화하게 된다. 최종 의사결정에서 대안 J를 선정하게 된다면 피해를 받는 주민의 수는 증가하게 되고, 이로 인해 매립시설이 입지하게 될 지역의 주민반발이 증가할 것으로 예상된다. 하지만 대안 K를 최적지로 선정한다면 환경적·경제적 측면에서 적합한 지역일 뿐만 아니라 주민의 반발을 최소화 할 수 있을 것으로 분석된다.



[그림 11] 주민의사 반영률별 적지분석

6. 분석결과의 검토

6.1 의사 반영률에 의한 중요도 산정

<표 3>은 모든 이익집단의 의사를 동시에 반영했을 경우와 특정 이익집단의 의사를 반영했을 경우의 중요도를 나타낸다.

시민단체의 의사만을 고려했을 경우를 제외하고 공통적으로 ‘도시 중심지 및 주

거지로부터의 거리유지’의 항목이 가장 높은 중요도를 나타낸다. 정부의 의사만을 고려했을 경우 ‘부지매입비용’이 상대적으로 매우 높게 나타나고 그에 반해 ‘역사문화재 및 공공시설로부터의 거리유지’ 중요도가 매우 낮게 나타나고 있기 때문에 대안의 순위에 있어서 가장 큰 영향을 끼친다. 지역주민의 의사만을 고려했을 경우에는 ‘도시 중심지 및 주거지로부터의 거리유지’의 중요도가 다른 이익

<표 3> 이익집단별 의사 반영률에 의한 중요도 산정

평가요소	중요도				
	정부	지역 주민	전문가	시민 단체	모든 집단
도시 중심지 및 주거지로부터의 거리유지	0.2067	0.2374	0.2214	0.1945	0.2166
역사문화재 및 공공시설로부터의 거리유지	0.1462	0.2219	0.1492	0.2227	0.1803
부지매입 비용	0.2067	0.0924	0.1107	0.0909	0.1192
도로건설 및 운송비용	0.1302	0.1109	0.0862	0.0850	0.1012
하천 및 저수지로부터의 거리유지	0.1641	0.1977	0.2214	0.2337	0.2024
경관훼손 방지	0.1462	0.1398	0.2111	0.1733	0.1803
합계	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000

집단에 비해서도 가장 높게 나타나고 있다. 즉 주민반발을 최소화하기 위해서는 주거지로부터 최대한 이격된 곳에 입지결정이 내려져야함을 알 수 있다.

6.2 최적대안의 비교 검토

각 이익집단별 대안의 순위는 <표 4>와 같이 서로 다른 순위체계를 나타내고 있다. 우선 이익집단간 최고 순위값을 살펴보면, 정부의 의사만을 반영했을 경우(0.2319)와 시민단체의 의사만을 반영했을 경우(0.3046)에 큰 차이가 나타나고 있다. 이는 각 이익집단이 평가한 점수가 상당히 다르기 때문이다.

한편 단일 집단내에서의 평가점수를 살펴볼 때 최고 순위값과 최저 순위값의 차이는 매우 작다. 이는 CP를 이용하기 위해 각 평가점수를 0과 1사이에 부여했고, 민감도 분석에 의해 먹지수를 2로 선정했기 때문이다.

7. 결 론

본 연구에서는 공간적 의사결정을 수행함에 있어 다양한 이익집단의 기준을 반영하기 위해 MCDM 방법을 활용했다. 그리고 분석결과에 대한 탄력적 대응을 위해 MC-SDSS를 구축, 폐기물 매립시설 입지분석에 적용했다. 이같이 MCDM 방법을 공간적 문제의 해결에 이용함으로써 각 이익집단의 의사를 반영한 효과적인 의사결정이 가능하게 된다. 특히 CP를 이용하여 본 연구에서 실시한 민감도 분석에 따라 먹지수 2를 적용함으로써 각 평가점수와 중요도간의 보정이 가능했다. CP에 의한 이상해와 각 평가점수간의 차이를 먹지수에 의해 산정하고 각 중요도 또한 먹지수에 의해 산정된 결과를 바탕으로 분석을 실시함으로써 단순히 평가점수와 중요도만을 고려했을 때에 비해 평가점수와 중요도의 설정에서 발생할 수 있는 오차를 최소화할 수 있었다.

본 연구에서 제시한 시스템의 유용성은

<표 4> 이익집단 의사 반영률별 대안별 평가점수

대안	이익집단									
	정부		지역주민		전문가		시민단체		모든 집단	
	순위	평가점수	순위	평가점수	순위	평가점수	순위	평가점수	순위	평가점수
J	2	0.23270914	2	0.29024553	2	0.28328342	2	0.30673983	1	0.27465264
K	3	0.23396023	1	0.28366574	3	0.29012733	1	0.30461919	2	0.27515399
M	1	0.23194882	4	0.29997429	1	0.27836172	5	0.31781290	3	0.27727955
B	4	0.23928081	3	0.29672216	4	0.29222966	3	0.31440496	4	0.28209976
D	6	0.26042288	5	0.31480643	6	0.30792765	4	0.31699875	5	0.29732584

다음과 같다. 첫째, 입지분석 기준을 체계적이고도 과학적인 의사결정과정에 적용, 처리함으로써 최종 의사결정에 대한 다양한 이익집단의 의견을 효과적으로 수렴할 수 있다. 둘째, 민감도 분석을 통해 공간 의사결정에서 발생할 수 있는 기술적인 오차--전체 셀 값 분포의 편향--를 최소화할 수 있다. 셋째, 다기준-공간의사결정 지원시스템을 활용함으로써 특정 이익집단의 반발에 대한 탄력적인 대응도 가능하다.

참 고 문 헌

- 김성희, 정병호, 김재경. 1997. 의사결정분석 및 응용. 영지문화사.
- 오규식, 정연우. 1998. '도시 주거환경 평가를 위한 GIS-Expert System(GIES)의 개발'. 한양대 산업과학논문집 45:73-85.
- 이창효. 1999. '다기준 의사결정'. 세종출판사.
- Jankowski, P. 1995. 'Integrating Geographical Information system and multiple criteria decision-making methods'. INT. J. GIS 9(3):251-273.
- Jose, M. C., Pereira, and L. Duchstein. 1993. 'A multiple criteria decision-making approach to GIS-based land suitability evaluation'. INT. J. GIS 7(5):407-424.
- Malczewski, J. 1996. 'A GIS-based approach to multiple criteria group decision-making'. INT. J. GIS 10(8):955-971.
- Malczewski, J. 1999. 'GIS and Multicriteria Decision Analysis'. Department of Geography University of Western Ontario.
- Raju, K. S. 1999. 'Multicriteria decision making in river basin planning and development'. European Journal of Operational Research 112:249-257.
- Robert, J. T. and P. S. Slobodan. 1996. 'A New Approach to Multi-criteria Decision Making in Water Resources'. Journal of Geographic Information and Decision Analysis 1(1):25-43.
- Seo, F. and M. Sakawa. 1988. 'Multiple Criteria Decision Analysis In Regional Planning'. Dordrecht Reidel Publishing Company.
- Stephen, J. C. 1991. 'Integrating multi-criteria evaluation with geographical information systems'. INT. J. GIS 5(3):321-339.