

GIS를 활용한 폐기물 매립지의 적지분석 사례연구

이진덕¹ · 연상호² · 김성길³

A Case Study on Suitability Analysis of Solid Waste Landfill Site utilizing GIS

Jin-Duk Lee¹ · Sang-Ho Yeon² · Sung-Gil Kim³

요 약

본 논문은 도시지역의 폐기물 매립지의 적지선정에 GIS기법을 적용한 사례연구를 제시한 것이다. 폐기물 매립지의 적지분석을 위한 여러 가지 평가인자들을 결정하고 데이터의 수집, 입력, 변환을 통하여 데이터베이스가 구축되었다. 또한 위성영상의 처리에 의해 대상지역의 최근 토지피복 분류와 식생활력도(NDVI) 데이터가 평가인자로서 GIS데이터에 통합되었다. 사회경제적 인자와 자연환경적 인자로 구분되는 1차 분류 평가인자들의 가중치를 이원비교법에 의해 결정된 2차분류 평가인자들의 가중치와 조합하여 분석하였다. 사례연구의 결과, 여러 가지 평가기준에 따른 적합성 분석이 가능하였으며, 사회경제적 인자를 중요하게 간주하는 관점에서 2차 분류 평가인자들의 가중치를 중요도에 따라 다르게 부여한 경우에서 가장 높은 적합도가 얻어졌다.

주요어: 폐기물 매립지, 적지선정, 원격탐사, 입지적합도, GIS

ABSTRACT

This research demonstrates the application of GIS to the selection of the waste landfill site through the case study of a urban area. The estimation factors for the suitability analysis of the waste landfill site were determined. The database was built through collection, input, and transformation of data. The recent land cover classification data and NDVI data which were obtained through processing of satellite imagery were incorporated into GIS data as estimation factors. The relative weights of importance among 2nd category estimation factors were determined by the pairwise comparison method. Also relative weights of 1st category estimation factors which are divided into the social-economical factor and the natural environmental factor were combined with those of 2nd category estimation factors. As the results of this case study, the suitability analysis was conducted in accordance with various estimation criteria. The highest suitability index was obtained in the case where we considered the relative weights of 2nd category estimation factors as different in the

2000년 12월 11일 접수 Received on December 11, 2000

¹ 금오공과대학교 토목환경 및 건축공학부 (jdlee@kmut.kumoh.ac.kr)

School of Civil, Environmental and Architectural Engineering, Kumoh National University of Technology

² 세명대학교 토목공학과 (yshsmu@semyung.ac.kr), Department of Civil Engineering, Semung University

³ 아키정보기술(주) (archi@archiit.com), Archi Information Technology Co., Ltd.

viewpoint which regards the social economical factor as important.

KEYWORDS: *Solid Waste Landfill, Site Selection, Remote Sensing, Suitability Index, GIS*

서 론

도시시설에는 주거용지, 산업용지 등의 주민 선호시설이 있는가 하면, 쓰레기 처리장, 원자력 발전소 등의 주민 기피시설도 있다. 이러한 도시시설은 모두 쾌적한 주민 생활환경을 조성하는데 필수적인 것이며, 도시시설의 개발은 지역주민의 일상생활과 경제활동에 직접적인 영향을 미칠 뿐만 아니라 주변지역과 도시전체에 영향을 주기도 한다. 따라서 이러한 도시시설에 대한 입지선정작업은 과학적인 기법을 동원하여 체계적으로 이루어져야 할 것이다.

중래에는 도시시설의 입지선정 과정에서 많은 지역에 대한 선행조사를 생략하는 경우가 많고, 정책적 판단에 의한 예비후보지 선정과 그 후보지에 대한 타당성 조사만을 행하여 선정된 지역에 대해 합리화하는 형식적인 작업이 되어 왔다(이시원, 1993). 특히 폐기물 매립지와 같은 주민 기피시설들에 대한 입지선정은 관련지역 주민의 입지선정 과정에 대한 불신과 시설 입지에 대한 반대로 계획이 유보되거나 중단되는 사례가 발생하게 되고 결과적으로 매립지의 수요를 충분히 반영하지 못하게 됨으로써 도시지역의 쓰레기 대란 등의 사회문제 또한 대두되고 있는 실정이다(Yamashita, 1998). 따라서 주민들의 공감대가 형성될 수 있는 적지분석과정의 과학화 및 합리화가 절실히 요구되며, 다양한 환경정보를 적절히 활용하여 최적의 입지를 선정하기 위해서는 GIS의 도입이 반드시 필요하다고 본다. 폐기물 매립지의 입지선정문제를 해결하기 위해서는 적절한 매립규모를 결정하고 매립에 소요되는 비용을 최소화해야 하며, 또한 인접지역에 대한 오염물질의 확산 방지 및 주민들

의 다양한 요구를 충분히 수렴할 수 있는 방안이 수립되어야 한다(배민기와 장병문, 1998; 김영표 등, 1997).

본 연구에서는 폐기물 매립지의 적지선정시 보다 과학적이고 객관적인 정책 대안을 제시하기 위한 의사결정 지원체계로서 GIS에 대한 폐기물 매립지의 적지분석 시스템을 구축하고 사례연구를 통하여 이의 효용성을 제시하고자 한다. 본 연구를 위하여 폐기물 매립지의 입지선정시 검토해야 할 관련법규 등을 조사하고 국내·외 자료를 참고로 하여 입지선정시 필요한 여러 가지의 평가항목들을 결정하였으며, 항목들간 쌍체비교를 통해 상대적 중요도를 파악하여 입지선정기준을 결정하였다.

경북 ○○시를 사례연구의 대상지로 정하고, 입지선정 기준으로부터 분석에 요구되는 자료를 수집하였다. 1/5,000 수치지도를 기본 자료로 하여 도시계획도, 상수원 보호구역도, 행정구역도, 지질도, 정밀도양도 등을 수치지도화하여 공간데이터베이스를 구축하였으며, 또한 통계자료와 주제도상의 정보를 이용하여 공간데이터베이스와 연계한 속성데이터베이스를 구축하였다. 한편 JERS-1 OPS와 Landsat TM 위성영상에 대한 영상처리를 행하여 토지 이용/피복분류도와 식생활력도를 추출하고, 이 자료를 데이터베이스에 포함시켰다.

입지선정기준에 따라 입지배제영역과 입지평가인자에 관련된 자료를 분류·검색하고 구축된 데이터베이스를 통한 버퍼링(buffering), 중첩(overlay), 병합(merging), 질의/검색(query/search) 등의 공간분석을 행하여 적지분석에 필요한 입지배제조건과 입지평가인자별 주제도 레이어(layer)를 생성하였다.

입지평가인자별 주제도 레이어에 배제조건을 적용한 후 동일한 가중치를 적용하는 방법

과 평가인자간의 상대적 중요도에 따른 가중치를 적용하는 방법으로 평가인자를 적용하였으며, 평가인자의 특성을 사회·경제적 인자와 자연환경적 인자로 구분하여 양자를 동일하게 평가하는 관점, 사회·경제적 인자에 비중을 두는 관점, 자연환경적 인자에 비중을 두는 관점에서 각각 입지적합도를 평가하였다. 각 관점별 매립지 후보지들에 대해 소요 매립지의 규모를 고려하여 가중치 적용방법별·관점별 최적 후보지를 도출하여 입지여건을 비교 분석하였다.

대상지역의 자료획득 및 평가인자 결정

1. 대상지역의 개요 및 자료수집

대상지역의 공간적 범위는 행정구역이 통합된 경상북도 ○○시 전 지역을 대상으로 하였으며 총 면적은 617.19km²이다. 대상지의 인구는 1997년 현재 약 325,000명이며, 기존 폐기물 매립지의 가용연한은 2~4년으로 신규 매립지 건설이 필연적으로 요구되고 있는 실정이다.

입지선정을 위해 대상지역의 국립지리원 발행 수치지형도(1/5,000), 한국자원연구소 발행 지질도(1/50,000), 행정구역도 및 상수원보호구역도(1/70,000), 도시계획도, 농촌진흥청 발행 정밀토양도(1/25,000)를 이용하였고, JERS-1 OPS 위성영상(공간해상도 18m×18m)을 통하여 토지이용/토지피복분류도를, LANSAT TM(공간해상도 30m×30m)영상으로부터 식생활력도(NDVI)를 추출하였다. 공간분석 후 모든 백터도형자료들은 위성영상 데이터와의 호환과 중첩분석의 용이성을 확보하기 위해 래스터 형태로 변환하였으며, 최적지의 선정 역시 래스터로부터 도출하였다.

본 연구에 사용된 주 하드웨어 및 소프트웨어는 Intergraph TDZ 2000시스템과 MGE를

사용하였으며, 속성 DB의 구축과 도형정보의 연계분석을 위해 관계형 데이터베이스 ORACLE을 사용하였다.

2. 입지배제조건의 설정

입지선정 절차상에서 사용되는 기준으로는 입지배제기준과 입지선정기준이 있으며, 대규모 지하수 오염 및 토양오염을 야기하여 사회에 해악을 초래할 수 있는 지역을 배제하는 과정이 우선 수행된다. 입지배제기준은 계획초기에 입지가능 후보지를 추출하여 입지선정을 위한 검토대상지역을 제한함으로써 시간과 노력을 감소시키는 목적이 있으며, 관련 법규와 정책, 기술·경제적인 여건에 대한 분석을 포함한다.

폐기물 매립지의 입지선정에 대한 배제기준에 관해서는 많은 학자들과 환경관련 기관들에 의해 제시되고 있으며 세부적으로는 다양한 분류항목과 체계에 의해 제안자별로 차이가 있지만 전체적으로는 유사한 특징들을 가지고 있다(남궁완, 1992; 이은미, 1996; Dawson과 Mercer, 1986). 일반적으로 지형여건상 개발이 불가능하거나, 특별한 보존지역, 시설 설치에 많은 비용이 소요되는 지역 등은 모든 시설의 입지에서 공통적으로 적용되는 배제조건으로서 연약지반 지역, 급경사 지역, 동식물 보호구역, 상수원 보호구역, 하천, 저수지, 국립공원 등을 그 예로 들 수 있다. 또한 폐기물 매립지와 같이 생활환경에 피해를 유발하는 주민 기피시설의 경우에는 이러한 일반적인 배제조건과 함께 주거밀집지역 등의 환경 예민지역을 배제조건으로 설정할 필요가 있다.

한편 입지배제조건에 대한 개념을 역으로 정의할 경우 배제지역 이외의 지역은 입지가능지로 정의할 수 있다. 배제조건을 느슨하게 적용할 경우 입지가능지역에 대한 면적이 넓어지고 따라서 입지선정에 필요한 자료의 양이 방대해지는 단점이 있으나 다양한 지역에

대한 분석이 가능하게 된다. 반면, 배제조건을 엄격하게 적용하는 경우에는 입지가능지역이 바로 입지후보지가 되어 분석자료의 양이 줄어들게 되어 보다 많은 입지평가인자를 사용할 수 있다는 장점이 있지만 경우에 따라서는 적합지역의 면적이 최소 필요면적보다 작게 나타나는 단점이 있다. 그러므로 입지배제조건을 적절한 기준에 따라 적용하는 것은 무엇보다 중요하다.

입지배제조건은 표 1에 제시한 바와 같이 지질, 도시계획, 지형, 수문, 토지피복, 교통부문에 대하여 결정하였다. 지질부문에서는 단층지역과 같은 불안정한 지역을 배제하였으며, 도시계획부문에서는 입지상 규제가 많은 지역들을 배제하였다.

TABLE 1. Items and creteria excluded from location

분 류	배제조건	배제기준
지 질	단층지역	600m이내 지역
지 형	표고	600m이상의 고지대
	경사	40%이상의 급경사지
수 문	실폭하천	300m이내 지역
	저수지	300m이내 지역
	상수원 보호구역	600m이내 지역
교 통	고속도로	500m이내 지역
	일반국도	100m이내 지역
	지방도	50m 이내 지역
도시계획	자연녹지, 생산녹지이외의 지역	
토지피복	하천, 강모래, 습지, 도심지	

지형조건에서는 시설 입지의 안전이 문제되는 경사 40%이상의 급경사 지역을 배제하였고, 해발고도 600m이상인 지역은 고지대로 결정하여 배제하였다. 또한 수문조건은 100년 빈도의 홍수범람지역에 대해 배제하고자 했으나 자료의 분석과 취득이 곤란하여 본 연구에서는 일단 보류하고 대신 실폭하천의 300m이내 지역을 배제하였으며, 오염물질의 수계유입을 방지하기 위하여 저수지로부터 300m이내,

상수원 보호구역으로부터 600m이내 지역을 배제하였다. 교통부문에 대해서는 도로상에서의 가시권을 고려하여 고속도로로부터 500m이내, 일반국도로부터 100m이내, 지방도로부터 50m이내 지역을 배제하였으며, 인공위성 영상으로부터 분류한 토지피복현황도상의 하천, 강모래, 습지, 도심지역을 배제하였다.

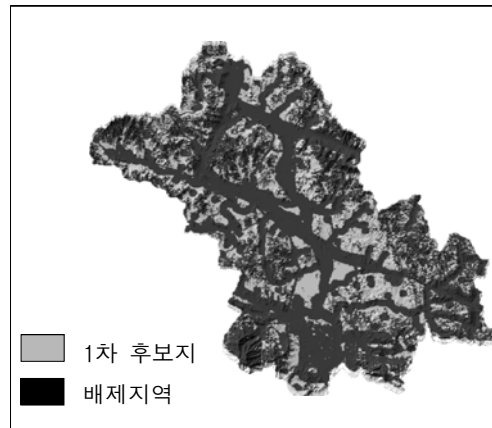


FIGURE 1. The analysis map of exclusion area

3. 입지평가인자 결정

입지선정에 영향을 미치는 인자는 일반적으로 자연환경적 인자, 사회경제적 인자, 법제적 인자의 3가지로 나눌 수 있으며, 도시시설의 종류에 따라 입지선정에 미치는 영향이 다르게 나타난다. 폐기물 매립지에 의한 환경적 영향의 고려는 주로 지하수 오염을 고려한 수리·지질적 인자에 중점을 두고 있으며, 이들 상호간에는 밀접한 관계가 있다. 사회경제적 영향은 지역사회의 사회경제적 환경요소들이 체계적으로 상호연관되어 있기 때문에 지역사회 전반에 걸쳐 영향을 미친다(환경처, 1992; 환경과학연구협의회, 1990). 한편 법제적 인자는 법에 제시된 규제사항이나 내용으로 토지이용 규제사항, 입지선정 관련법에 제시된 입지조건 등으로 입지선정에 직·간접적으로 영향을 미치게 된다.

본 사례지역에 대한 연구에 적용한 입지평가인자 및 등급은 표 2에 나타내었다.

1) 자연환경적 인자

자연환경적 인자는 입지선정시 주변 자연환경의 파괴를 최소화하기 위해 고려되는 인자로서 지형, 지질, 토양, 기상, 수문, 식생, 경관 등으로 구분될 수 있다. 폐기물 매립지로 인해 인근 자연환경에 미치는 영향으로는 침출수로 인한 수계의 오염 및 토양오염, 악취와 먼지, 유해가스 등으로 인한 생활환경의 질이 저하되는 점을 들 수 있다. 이러한 환경오염은 그 주변지역 전체로 확산되는 경우가 빈번하고 그 피해가 인체에 치명적일 수도 있다는 점에서 매우 심각하다 할 수 있다.

따라서 폐기물 매립지의 입지시 환경오염원의 확산을 방지하고 시설입지의 안전을 고려하여 표고, 경사, 지질, 토양, 수계, 식생활력의 부문으로 정하였으며, 그 내용은 표 2와 같다.

(1) 표고 및 경사

등고선도를 이용하여 생성된 DEM으로부터

지도대수(map algebra)의 격자망 분석 기법을 이용하여 경사도 레이어를 생성하였다. 그림 2는 격자(grid) 형태로 작성된 DEM을 셀 값에 따른 의사색상(pseudo color)을 이용하여 나타낸 것이며, 격자의 값이 지표면의 높이를 표현하고 있다. 이 격자망의 DEM으로부터 그림 3과 같이 표고분석도를 작성하였다.

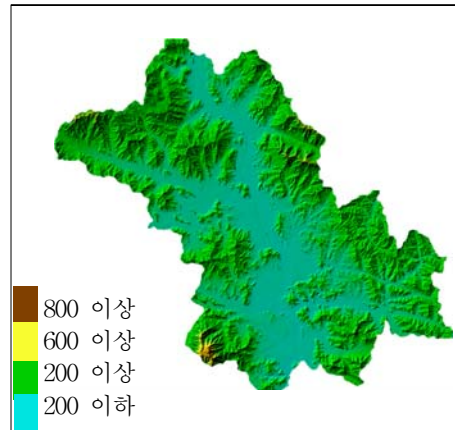


FIGURE 2. Relief map of the object area

TABLE 2. Determination of the estimation criteria for location selection

분 류	평 가 인 자	등 급			
		1	2	3	
사회경제적 인자	인구밀도	500인/km ² 이하	1,000인/km ² 이하	1,000인/km ² 이상	
	도로	일반국도	500m이내	1,000m이내	1,500m이내
		광로,대로	200m이내	500m이내	1,000m이내
		지방도,중로	삼림, 초지	농경지	나대지
	운반비용	500이하	2,000이하	2,000이상	
지가분포	10만원이하/평	20만원이하/평	20만원이상/평		
자연환경적 인자	표 고	200m이하	200~400m	400m이상	
	경 사	10%이하	10~25%	25%이상	
	식생활력	낮은 지역	보통 지역	높은 지역	
	지질	단층지역	2,000m이상	1,000m이상	1,000m이하
		토양	침식율	일반 지역	침식 있는 지역
	토심깊이		토심 깊음	일반 지역	토심 낮음
	수계	하천·저수지	500m이내	1,000m이내	1,500m이내

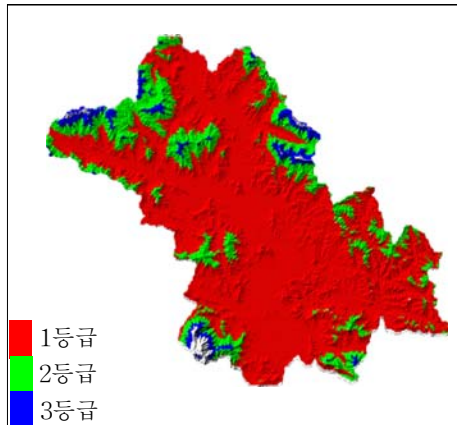


FIGURE 3. Elevation map of the object area

표고와 경사는 시설의 시공의 용이성과 안전성을 기준으로 표고가 낮고 평탄한 지역에 대해 높은 등급을 부여하였다. 200m 이하의 지역을 1등급, 200~400m의 범위를 2등급, 400m 이상의 지역을 3등급으로 결정하였다. 그림 4는 경사 분포도와 DEM을 3차원 중첩한 것이며, 경사 10% 이하의 지역을 1등급, 10~25%의 지역을 2등급, 25% 이상의 지역을 3등급 지역으로 결정하였다.

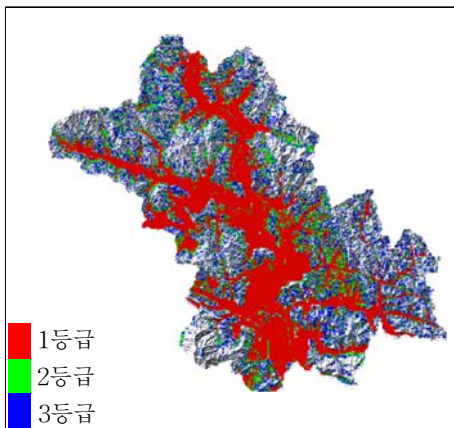


FIGURE 4. Slope map of the object area

(2) 지질

폐기물 처리시설의 경우 지반의 안정성을 기하기 위한 지반침하 여부, 침출수의 유출에 의한 지하수 오염방지를 위해 지질요소는 중요한 비중을 갖는다. 본 연구에서 지질은 단층 지역과의 이격거리에 따라 입지 적합 등급을 결정하였다. 단층지역으로부터 2km 이상 떨어진 지역을 1등급, 1~2km의 지역은 2등급, 1km 이내의 지역은 3등급으로 선정하였으며 이에 대한 분석도는 그림 5와 같다.

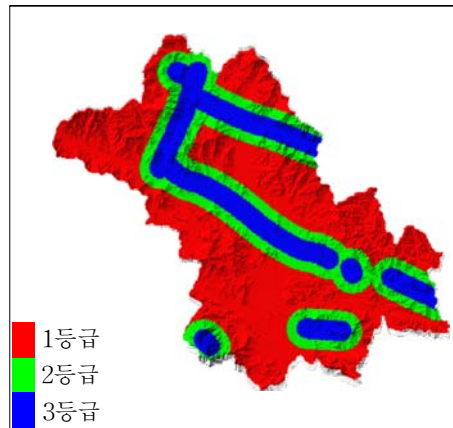


FIGURE 5. Geological dislocation analysis map

(3) 토양

토양은 흙의 침식 가능성과 토심에 따라 등급을 분류하였다. 침식률의 경우 토양의 세부 분류항목에 따른 일반지역을 1등급, 침식이 있는 지역을 2등급, 침식이 심한 지역을 3등급으로 분류하였으며, 토심에 따른 분류는 토심이 깊은 강서동, 장천동, 중동동, 화동동 등의 21개 토양동을 1등급 지역으로 하였으며, 토심이 보통인 고천, 금곡, 함창 등의 15개 토양동을 2등급, 토심이 낮은 금천동, 이산동, 황룡동 등의 6개 토양동을 3등급으로 분류하였다.

한편 분류된 자료에 대해 침식률과 토심의 항목을 중첩하여 통합하였다. 통합을 위해 각 항목의 동일 등급에서 수식연산 방식의 산술중

침을 행하여 통합항목에 대한 등급 레이어를 생성하였으며, 통합항목의 각 평가등급을 다시 산술중첩하여 입지평가 레이어를 작성하였다.

토양에 관한 주제도는 농촌진흥청에서 발행한 1/25,000 정밀토양도를 수치지도화하였으며, 세부 속성데이터베이스를 구축하였다. 그림 6은 일반적인 토양 개황에 따른 대분류 토양분포도를 나타낸 것이다.

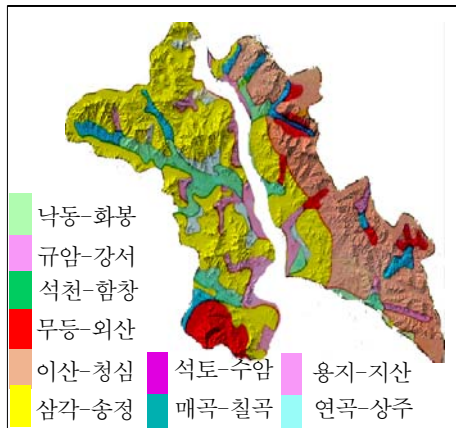


FIGURE 6. General soil sectional map of the object area

(4) 식생활력 분석도

매립지의 입지선정시 자연생태계의 보존을 고려하기 위해 LANDSAT TM 영상으로부터 (1)식을 적용하여 표준식생지수(NDVI)를 도출하고 식생활력도를 작성하였다(Jensen, 1996).

$$NDVI_{TM} = \frac{TM_4 - TM_3}{TM_4 + TM_3} \quad (1)$$

여기서 TM_4 : Landsat TM 영상의 밴드 3

TM_3 : Landsat TM 영상의 밴드 4

분석에 이용된 영상자료는 밴드 3과 밴드 4 영상으로서 이들 영상의 공간 해상력은 30m×30m이다. 밴드 3은 0.63~0.69 μ m의 적색 가시광선 영역, 밴드 4는 0.76~0.90 μ m의 근적외선 영역의 파장대이다. 기하보정 후 밴드간 연산을

통해 수역권을 따로 분리하여 제거한 영상을 분석에 사용하였으며, NDVI 값이 0 이하인 지역을 제외한 0.1 이하의 지역에 대해 1등급, 0.1~0.4의 지역을 2등급, 0.4 이상의 지역을 3등급으로 분류하였다(그림 7). NDVI는 식생밀도에 비례하며 식생지역은 전형적으로 0.1~0.6의 범위에서 나타난다. 여기서 0.1 이하는 시가지 지역, 나지, 수역 등이 이에 해당하고 0.1~0.4는 농경지, 초지 등 중간 밀도의 식생지역, 0.6 이상은 고밀도 식생지역인 산림지역에 해당된다.

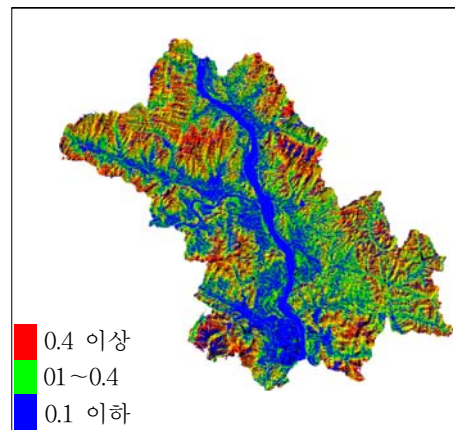


FIGURE 7. NDVI map obtained from LANDSAT TM images of the object area

(5) 수계 접근성

표 1의 수문 배제지역 이외의 지역에 한하여 하천에서 너무 가까우면 수질오염이 우려되고 너무 멀면 자체 용수공급이나 정화처리한 침출수 등을 방류하는 비용이 많이 소요되므로 하천과 저수지로부터 500m 이내의 지역을 1등급, 1,000m 이내의 지역을 2등급, 1,500m 이내의 지역을 3등급으로 설정하였다. 하천은 수치지형도로부터 소규모 실개천이나 농업용수로를 제외한 실폭하천을 추출하여 구성하였으며, 저수지의 경우 직경 100m 이하의 소규모 저수지는 제외하여 구성하였다. 그림 8은 수계에 대한 평가등급을 도시한 것이다.

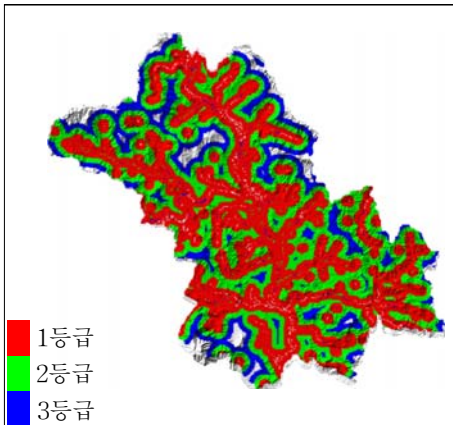


FIGURE 8. The analysis map of accessibility to waters

2) 사회경제적 인자

사회·경제적 인자는 매립지 입지에 따른 주변지역에서의 민감 정도에 따라, 그리고 매립지의 접근도로를 신설하기 위한 용이성에 따라 인구밀도, 토지피복 및 토지이용현황, 도로에 대한 주제도를 작성하고 발생 폐기물의 운반비용을 고려하여 평가인자를 결정하였다. 매립지 부지매입 비용에 큰 영향을 미치는 지가분포는 분석을 보류하였으며, 대신 도로와의 접근성이 공시지가 선정에 영향을 미치는 주요한 인자로 사료되어 도로의 접근성 분석자료에 대한 가중치를 하향 조정하여 적용하였다.

(1) 토지피복 및 토지이용 현황

토지피복/토지이용 현황은 전술한 매립지의 입지배제 항목으로서, 수역권과 도심지역을 배제지역으로 적용하였으며, 입지 평가인자로서 삼림지와 농경지를 1등급, 초지를 2등급, 나대지를 3등급으로 분류하여 적용하였다. 나대지에 대해서는 1등급으로 분류하는 것이 일반적인 사항이지만 3등급으로 분류한 이유는 대상 지역에서 나대지로 분류된 지역의 대부분이 체육용지, 학교운동장 및 이미 택지개발이 진행되고 있는 지역인 때문이다.

토지피복/토지이용 분류도를 작성하기 위해 사용된 자료는 JERS-1 OPS 위성영상(1997. 9)의 3개 밴드이며, 공간해상력은 18m×18m이다. 위성영상의 기하보정은 영상 대지도(image to map)의 방법을 사용하였으며, 이 때의 RMSE는 x 방향으로 0.46, y 방향으로 0.52 pixel을 나타내었다(이진덕 등, 1998).

분석의 정확도를 높이기 위해 위성영상의 수역권을 밴드 3과 밴드 1을 이용한 밴드간 연산을 통해 분리 후 제거하였으며, 감독분류 방법에 의하여 시가화 지역, 삼림, 초지, 농경지, 나대지, 수역의 6개 항목으로 구분하여 토지이용/피복 분류도를 작성하였다(그림 9).

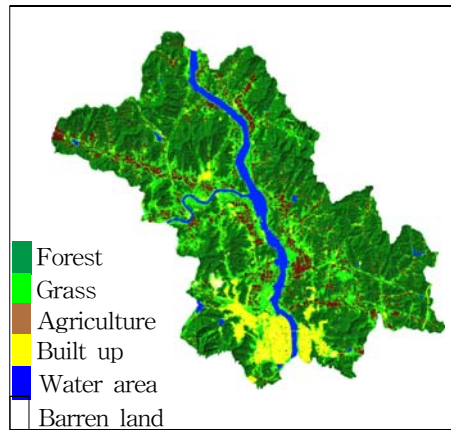


FIGURE 9. Land use and cover map obtained from JERS-1 ops images of the object area

(2) 인구 밀도

인구밀도 레이어는 대상지역의 행정구역도를 시·읍·면 단위로 하여 기본도로 입력하였으며, 1997년 12월 31일 현재의 ○○시 통계연보(1998)상의 자료를 바탕으로 인구와 행정구역 면적을 속성정보로 입력하였다. 입력된 속성정보로부터 데이터베이스의 산술연산을 통해 인구밀도를 등록하였으며, 인구밀도에 따른 입지평가는 500명/km² 이하의 지역을 1등급, 500~1,000명/km²의 지역을 2등급, 1,000

명/km² 이상의 지역을 3등급으로 설정하였다. 그림 10과 같이 S읍, M면, O면, D면, H면, S면, J면 지역이 1등급이며, K읍 지역이 2등급, 도농 통합 이전의 ○○시 지역이 3등급으로 나타났다.

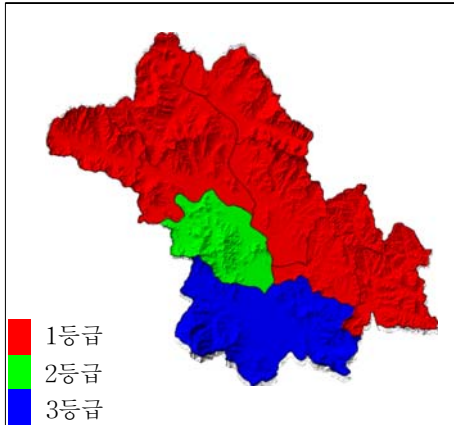


FIGURE 10. Relative population density map of the object area

(3) 도로의 접근성

도로의 접근성은 매립지 선정시 접근로의 신설에 관해 매우 중요한 경제적 인자의 하나로 사용된다. 도로 접근성에 관한 자료는 수치지도상의 일반국도와 도시계획상의 광로와 대로에 대하여 500m 이내의 지역을 1등급, 500m~1,000m의 지역을 2등급, 1,000m~1,500m의 지역을 3등급으로 분류하였으며, 수치지도상의 지방도와 도시계획상의 중로에 대하여 200m 이내의 지역을 1등급, 200m~500m의 지역을 2등급, 500m~1,000m의 지역을 3등급으로 분류하여 분석에 적용하였다.

분석된 자료가 토양분석과 같이 소항목으로 나뉘어 있으므로 각각의 소항목간 동일 등급을 산술중첩한 다음, 통합항목에 대한 산술중첩으로 그림 11과 같이 입지평가 레이어를 작성하였다.

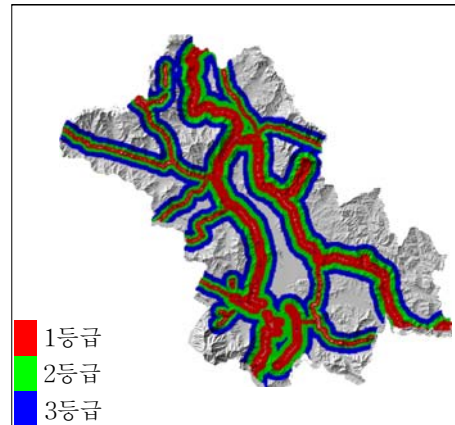


FIGURE 11. The analysis map of accessibility to roads

(4) 운반 비용

매립지 선정 이후의 관리비용 측면에서 폐기물 매립지의 위치는 주요 폐기물 발생지역에 근접할 수록 폐기물 운반에 소요되는 비용이 감소된다. 그러나 2차원 평면상의 위치만으로는 운반비용을 산출하기에는 무리가 있으며 시간적인 요소가 반드시 고려되어야 한다.

운반비용의 산출을 위해 먼저 행정구역별 도심 위치를 도출하였으며 행정구역의 인구밀도를 가중치로 부여한 대상지역 전체의 폐기물 발생에 대한 무게중심을 산출하였다. 행정구역에 대한 도심을 구하는 방법은 행정구역내 각 셀의 x, y 좌표에 대한 평균을 구하여 산출하였으며, 산출된 도심과 인구밀도를 이용한 데이터베이스 연산을 통하여 산출된 대상지역의 무게중심을 가상적인 폐기물 발생원점으로 선정하였다. 가상 폐기물 발생원점을 산출하기 위하여 행정구역별 무게중심에 대한 위상 데이터베이스와 행정구역도에 연계된 인구자료 데이터베이스간의 연산과정을 통하여 구미시 전체 폐기물의 발생원점은 $x=292,528m$, $y=142,818m$ 로 분석되었다.

선정된 폐기물 발생원점으로부터 시간적 요소가 고려된 운반거리를 산출하기 위해 비용면 분석도를 작성하였다. 비용면 분석도는

수치지도상의 일반국도, 지방도, 광로, 대로, 중로의 경우 셀당 이동시간을 5로 정하였으며, 소로에 대해서는 셀당 10의 이동시간을 부여하였다. 한편 이동이 불가능한 수역과 표고 400m 이상의 지역에는 셀당 200의 이동시간을 부여하였으며, 그 이외의 지역에 대해서는 셀당 50의 이동시간을 부여하여 폐기물 운반에 대한 시간적 요소를 반영하였다. 그림 12의 운반비용 분석도는 가상의 폐기물 발생원점과 비용면 분석도를 이용한 최적경로 분석을 통해 생성되었다.

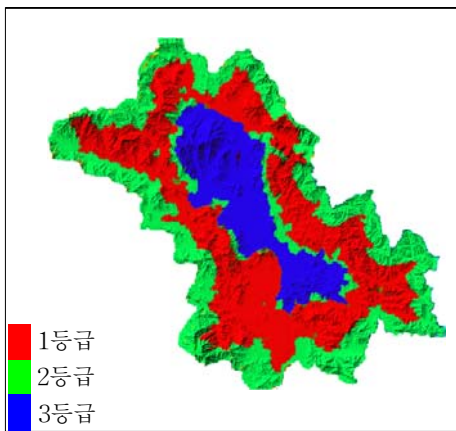


FIGURE 12. The analysis map of carriage expense

입지평가인자별 가중치 산정

평가인자내의 등급별 가중치는 가장 일반적인 점수부여 방법을 적용하였다. 각 등급에 대하여 1등급에 3점, 2등급에 2점, 3등급에 1점을 부여하였다.

1. 2차 항목 평가인자간 가중치 부여

본 연구에서 평가인자들 상호간의 가중치는 다음의 두 가지 방법에 따라 부여하였다.

1) 동일한 가중치의 부여

동일한 가중치의 부여는 평가인자간 상대

적 중요도를 결정하기 어려운 경우 사용되는 방법이며 종래의 입지 선정시 사용되어온 방법이다. 상대적 중요도에 따른 가중치 부여방법과의 비교를 위하여 모든 평가인자의 가중치를 일률적으로 5의 값을 갖도록 하였다.

2) 상대적 중요도에 따른 평가인자의 가중치 부여

본 연구에서는 평가인자간의 상대적 중요도를 산정하기 위해 기존 연구에서 제시한 폐기물 매립지의 입지선정인자들의 통계자료를 통하여 상호 순위를 비교하는 이원비교법 (pairwise comparison)을 적용하였다(배민기와 장병문, 1998). 이에 따른 입지선정의 평가인자간 순위를 결정한 과정은 다음과 같다.

기존 연구에서 제시한 통계조사 자료와 평가인자의 상대적 중요도를 바탕으로 평가인자들간의 순위를 결정하였다. 각각의 자료에 대해 결정된 순위에 따라 가중치를 부여하였으며, 자료별 가중치를 통합하여 전체에 대한 평균 가중치를 산출하였다. 산출된 가중치는 래스터의 산술적인 중첩분석을 위하여 표 3과 같이 정수화된 평가인자간 상대적 가중치로 변환하였으며, 동일한 가중치 부여방법과의 형평성을 고려하여 평가인자들의 가중치 평균값이 5가 되도록 하였다.

TABLE 3. The ranking, relative importance and weight in addition to the estimation factor

평가인자 분류		평가순위	상대적	가중치
1차 항목	2차 항목	분류별 / 전체	중요도	
사회 경제적 인자	토지이용	1 / 3	0.136	7
	인구밀도	2 / 7	0.092	5
	도로	3 / 8	0.082	4
	운반비용	4 / 10	0.058	3
	수 계	1 / 1	0.126	6
	표 고	2 / 2	0.111	6
자연 환경적 인자	경사	3 / 4	0.110	6
	토양	4 / 5	0.109	5
	지질	5 / 6	0.107	5
	식생	6 / 9	0.065	3

2. 1차 항목 평가인자의 상대적 중요도 산정

앞에서의 2차 항목 평가인자들간의 상대적 중요도를 산정한 것과 마찬가지로 자연환경적 인자와 사회·경제적 인자로 분류된 1차 항목에 대해서도 상대적 중요도를 결정하였으며, 이를 2차 항목의 상대적 중요도와 조합하여 그 결과를 표 4에 나타내었다.

TABLE 4. The weights of 2nd category in addition to viewpoints estimation factors

평가인자		제 1 관점		제 2 관점		제 3 관점	
		제1안	제2안	제1안	제2안	제1안	제2안
사회 경제적 인자	토지 이용	5	7	6	9	4	5
	인구 밀도	5	5	6	6	4	4
	도로	5	4	6	5	4	3
	운반 비용	5	3	6	4	4	2
	수계	5	6	4	5	6	7
자연 환경적 인자	표고	5	6	4	5	6	6
	경사	5	6	4	5	6	6
	토양	5	5	4	5	6	6
	지질	5	5	4	5	6	6
	식생	5	3	4	3	6	4

- (주) 제 1 관점 : 1차 항목 평가인자에 대해 동일한 가중치를 부여하는 관점
 제 2 관점 : 1차 평가항목 중 사회경제적 인자에 비중을 두는 관점
 제 3 관점 : 1차 평가항목 중 자연환경적 인자에 비중을 두는 관점
 제 1 안 : 2차 항목 평가인자에 대해 동일한 가중치를 부여
 제 2 안 : 2차 항목 평가인자에 대해 상대적 중요도를 고려하여 가중치를 부여

1) 동일한 가중치로 적용하는 관점

이 관점은 사회경제적 인자와 자연환경적 인자의 중요도를 동일하게 보는 관점으로 1차 항목 평가인자에 대해 각각 1의 가중치를 부여함으로써 앞서 산출된 2차 항목의 평가인자를 변

화시키지 않고 표 3과 동일하게 적용하였다. 이 관점은 두 가지의 1차 항목 평가인자에 대하여 어느 한쪽으로 치우치지 않는 중립적인 관점이며 환경보전적 측면과 경제적, 기술적 측면을 모두 수용할 수 있다고 사료된다.

2) 사회경제적 인자에 비중을 두는 관점

사회경제적 인자에 비중을 두는 관점은 폐기물 매립지 입지상 경제적 여건을 고려하고 인구밀도가 낮은 지역에 비중을 두는 관점으로서 민원의 감소 효과와 매립지 관리 및 운영 비용이 적게 드는 장점을 가진다.

본 연구에서는 1차 항목의 사회·경제적 인자에 대해 1.25의 가중치를 부여하였으며, 자연환경적 인자에 대해 0.85의 가중치를 부여하였다. 그리고 2차 항목 평가인자간의 상대적 중요도와 연산하여 새로운 상대적 중요도를 산출하였으며, 그 상대적 중요도에 따라 다시 소 항목간 평가인자별 가중치를 산정하였다.

3) 자연환경적 인자에 비중을 두는 관점

자연환경적 인자에 비중을 두는 관점은 폐기물 매립지의 입지시의 기술적인 요건과 환경보전 및 오염물질의 확산을 억제하는 것을 중요시하는 관점이다. 이 관점에서는 1차 항목의 사회경제적 인자에 대한 가중치를 0.76으로 부여하였으며, 자연환경적 인자에 대해 1.15를 부여함으로써 소 항목 평가인자의 상대적 중요도와 연산하여 새로운 상대적 중요도를 산출하고 이에 따라 새로운 소 항목 평가인자들의 가중치를 산정하였다.

비교 고찰 및 후보지 선정

본 연구에서는 표 1의 입지배제조건과 표 2의 입지평가인자들로부터 표 4의 평가인자별 가중치를 적용하여 사례지역에 대한 폐기물 매립지의 적지분석을 행하였으며, 사용한 적지분석 모형은 (2)식과 같다.

$$\text{입지적합도} = \sum_{i=1}^n w_i [(r_{1i} + r_{2i} + \dots + r_{mi})/m] \quad (2)$$

- 여기서 n : 2차 항목 평가인자의 수
- m : 2차 항목 평가인자내의 소 분류 영역 수
- r_i : 2차 항목 평가등급에 따른 등급 점수
- w_i : 2차 항목 평가인자간의 가중치

(2)식에 의해 각 관점별, 각 안별로 산출된 입지적합도를 표 5에 나타내었다. 입지적합도가 105 이상인 지역을 폐기물 매립지의 입지에 적합한 1등급 지역으로 판단하였으며, 이에 따라 케이스별로 입지후보지를 분석·고찰하였다.

TABLE 5. Suitability indexes in addition to analysis criteria

(unit : cell = 900m²)

입지 적합도	제 1 관점		제 2 관점		제 3 관점	
	제1안	제2안	제1안	제2안	제1안	제2안
10	0	0	0	0	0	0
20	3	0	3	13	0	0
30	72	45	110	305	56	58
40	572	286	627	722	265	357
50	2153	763	2635	1835	1107	1256
60	8619	2727	11130	5404	3753	6329
70	29718	9455	35882	20388	14106	16146
80	64423	27229	80684	53406	37279	43426
90	77662	63683	76444	84153	70234	72470
100	56075	80906	42111	67836	75188	61603
110	18749	56555	10857	23471	46383	44537
120	2994	17550	557	3507	12092	13273
130	0	1841	0	0	577	1585
140	0	0	0	0	0	0

1. 제 1 관점에 의한 분석

1) 제 1 안

1차 항목의 사회경제적 인자와 자연환경적

인자의 비중을 동일하게 평가하는 제 1 관점에 따른 분석에서 2차 항목간 가중치를 동일하게 평가한 제 1안은 입지적합도 105 이상인 지역이 전체 연구 대상지역에 대해 2.84%로 나타났다. 이것은 30m×30m의 격자 셀의 수가 21,743개이고 면적으로는 19.5687km²에 해당된다. 여기서 격자 셀의 8개 방향 중 한 방향이라도 연결되어 있으면 동일한 영역으로 분류하는 eight-connected 방법에 따라 격자 통합작업을 한 결과, 셀의 수가 500(450,000m²) 이상인 지역을 적합 후보지로 선정하였다. 그림 13의 (a)와 같이 4개소의 후보지가 도출되었다.

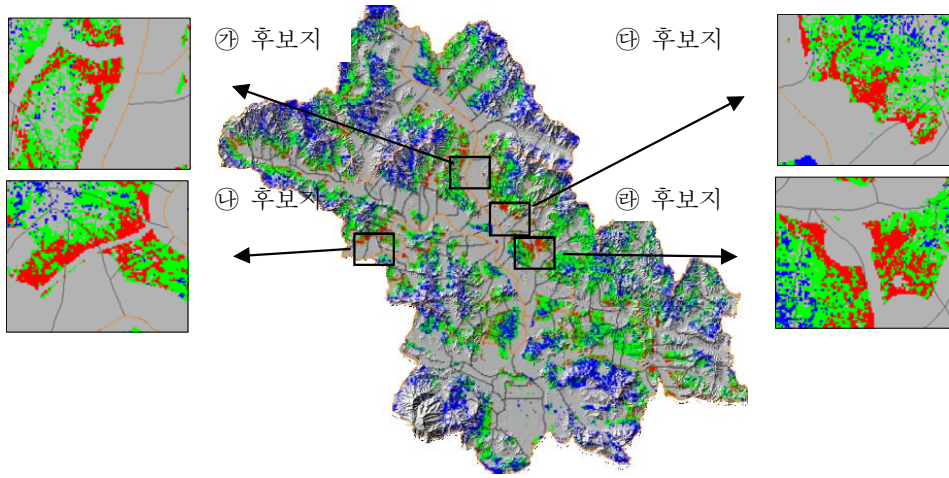
2) 제 2 안

이 안은 자연환경적 평가인자에 비중을 둔 관점에 기초를 두고 각 2차 항목 평가인자별 상대적 중요도를 바탕으로 한 가중치를 적용한 것이다. 이 안에 따라 분석을 행한 결과 입지적합도 105 이상인 지역의 분포율은 전체 면적에 비하여 5.54%에 이르며, 최적 입지의 셀 수는 49,349개 해당하는 44.414km²이다. 제 2안은 1안에 비하여 입지적합도가 높게 분포되어 있으며 그에 따라 eighted-connected 방법에 의해 격자통합은 한 결과 셀의 수가 700이상인 지역을 최적후보지로 선정하였다. 그림 13의 (b)와 같이 5개 지역이 후보지로 도출되었다.

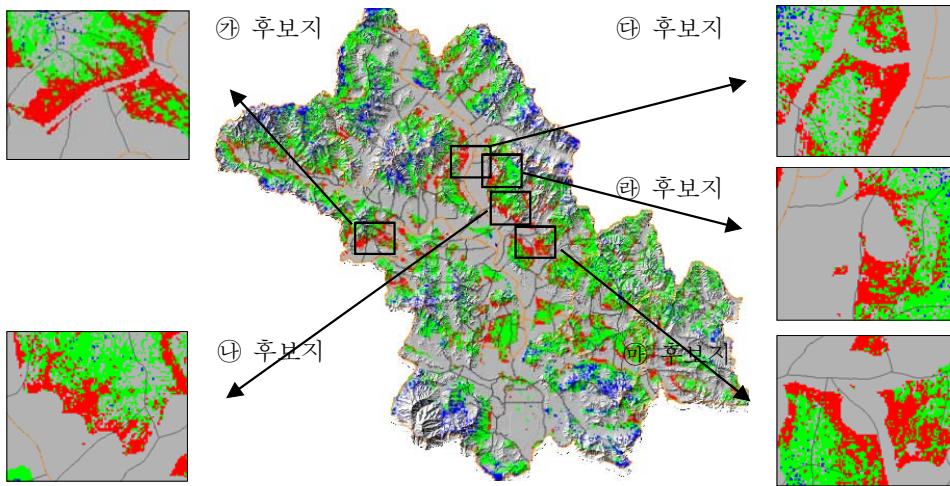
2. 제 2 관점에 의한 분석

1) 제 1 안

이 안은 1차 항목 중 사회경제적 평가인자에 비중을 둔 관점에서 2차 항목의 평가인자에 대한 가중치가 하나의 1차 항목 내에서는 동일하게 적용되도록 하였다. 분석 결과 입지적합도 105 이상의 분포면적이 전체의 0.64%이며, 셀의 수가 11,414개(10.2726km²)에 해당함으로써 비교적 적은 입지분포를 나타내고 있다. 최적 후보지는 cell value가 200 이상인 지



(a) Applying same weights to second estimation factors



(b) Applying different weights to second estimation factors



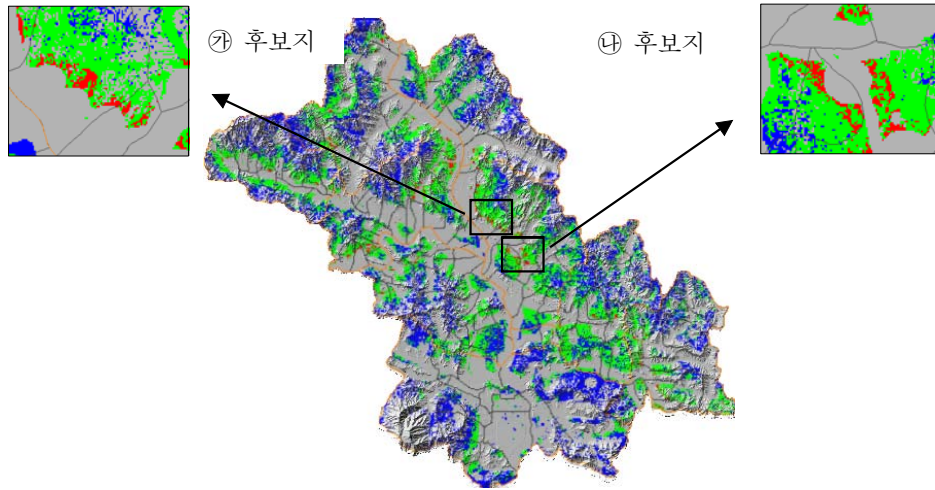
FIGURE 13. The results of suitability analyzed giving equal importance to social economic factors and natural environmental factors

역으로 선정하였으며, 그림 14의 (a)와 같이 ㉑ 후보지와 ㉓ 후보지가 도출되었다.

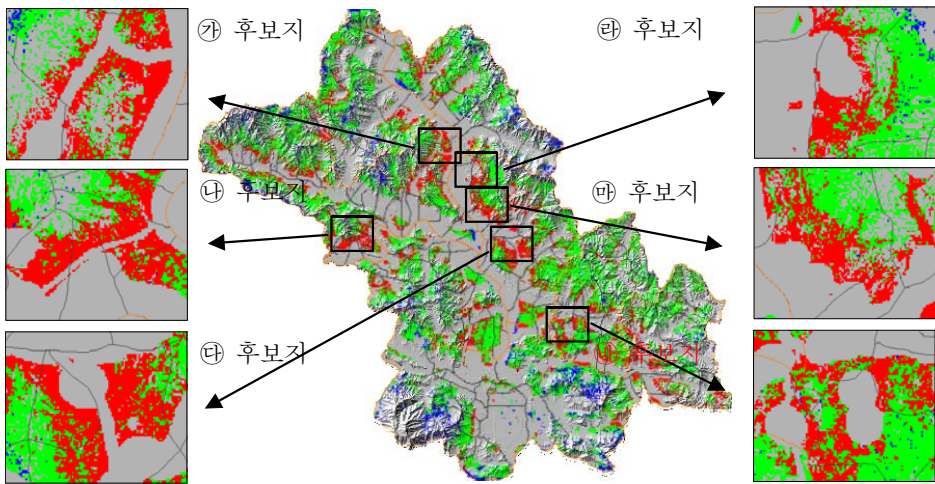
2) 제 2 안
이 안은 2차 항목의 상대적 중요도를 고려한 가중치와 1차 항목 평가인자의 가중치를

조합하여' 분석한 것이며, 분석 결과 입지적합도 105 이상인 1 등급지의 면적이 62,839 셀로서 56,5551km²이다. 이 면적은 연구 대상지역

의 전체면적에 대해 8.2%에 달하는 면적으로 모든 제안 중 가장 높은 입지적합도 분포를 보이고 있다. 셀의 수가 1,000이상인 지역에



(a) Applying same weights to second estimation factors

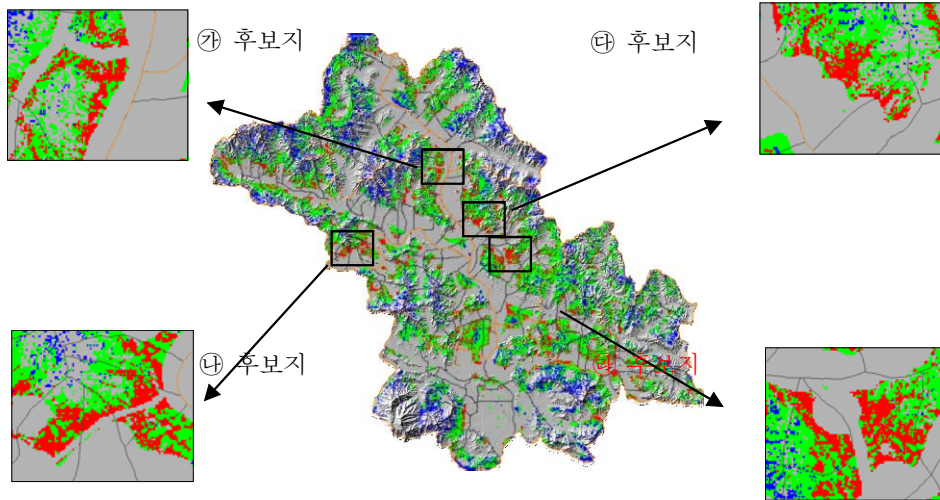


(b) Applying different weights to second estimation factors

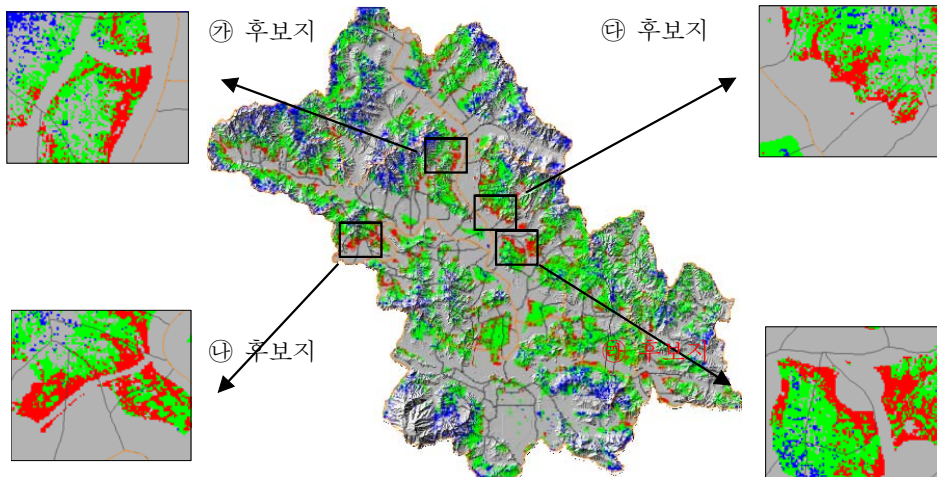


FIGURE 14. The results of suitability analyzed giving relative importance to social economic factors

대해 후보지를 선정할 결과, 그림 14의 (b)와 같이 ㉠, ㉡, ㉢, ㉣, ㉤, ㉥의 6개 지역을 후보지로 도출되었다.



(a) Applying same weights to second estimation factors



(b) Applying different weights to second estimation factors



FIGURE 15. The results of suitability analyzed giving relative importance to natural environmental factors

3. 제 3 관점에 의한 분석

1) 제 1 안

이 안은 1차 항목 중 자연환경적 인자에 비중을 두는 관점으로부터 각 2차 항목 간의 가중치를 동일하게 적용하였으며, 분석결과 입지 적합도가 105 이상인 지역이 평가 대상지역 전체에 대한 분포비율을 보면 4.72%에 달한다. 1등급지의 면적은 36,121 셀로서 32.5089km²이다. 입지가능 후보지는 셀의 수가 400 이상인 지역으로서 그림 15의 (a)에 나타낸 바와 같이 ㉠, ㉡, ㉢, ㉣의 4개 후보지로 도출되었다.

2) 제 2 안

이 안은 자연환경적 평가인자에 비중을 둔 관점에 기초를 두고 각 2차 항목 평가인자별 상대적 중요도를 바탕으로 한 가중치를 적용한 것이다. 이 안에 따라 분석을 행한 결과 입지 적합도 105 이상인 지역의 분포율은 전체 면적에 비하여 4.41%에 이르며, 최적 입지의 셀 수가 33,803이다. 이것을 면적으로 환산하면 30.4227km²이다. 이 기준에 의한 입지가능 후보지는 그림 15의 (b)에 나타낸 바와 같이 4개 지역으로 도출되었다.

이상의 3가지 관점에서 6개 안에 따른 후보지 분석 결과를 고찰할 때, 제 1관점에서는 제 1안에 의해 도출된 4개 후보지가 제 2안에 의해 도출된 5개 후보지에 포함되어 있으며, 제 2관점에서는 제 1안에서 분석된 2개 후보지가 제 2안의 6개 후보지에 포함되어 나타났고, 제 3관점에서는 제 1안과 2안에서 공히 4개 후보지가 동일한 지역으로 일치되어 나타났다. 총 3개 관점 6가지 안에 의해 도출된 총 6개 후보지 가운데 4개 후보지가 제 2관점의 제 1안을 제외한 나머지 5가지 안에 공히 동일한 지역으로 중복되어 나타났으며, 그 중 H면 내 2개 후보지는 전체 6가지 안에 의한 분석결과에 모두 포함되어 있다.

이 두 후보지를 GIS기법이 아닌 종래의 입지후보지 분석 기준에 의하여 도출된 기존의

조사결과(○○시, 1997)와 비교할 때 한 후보지(S면 S리)는 도시계획시설 확충 등 지역개발 효과를 염두에 둔 주변지역 주민들의 폐기물 매립시설 유치신청으로 민원 야기성 면에서 우수한 후보지인 것으로 평가되었으며, 다른 한 후보지(H면 W리)는 이 기존의 조사결과에서 제시한 최적 후보지와 일치하였음을 확인할 수 있었다.

결 론

GIS와 원격탐사 기법을 활용하여 주요 도시시설 중의 하나인 폐기물 매립지의 적지분석을 시도한 사례연구의 결과, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 입지선정을 위해 평가인자들을 대항목과 소항목으로 분류하여 선정함으로써 평가인자의 효용성을 증대시킬 수 있었으며, 쌍 비교를 통하여 소항목 평가인자들 간의 상대적 중요도를 고려한 가중치를 산정하고 대항목 평가인자를 여러 관점에 따라 적용함으로써 다각도의 분석이 가능하였다.
2. 원격탐사기법을 이용한 최신의 토지이용/토지피복분류 자료를 적지분석에 활용함으로써 분석자료의 정확도와 신뢰성을 증대시킬 수 있었으며, NDVI 분석을 통하여 얻은 식생자료를 사용하여 자연환경의 보존 측면을 고려할 수 있었다.
3. 분석결과 H면 A리, S면 S리, S읍 S리, S읍 B리 후보지가 모든 관점 및 가중치 적용방법별 제안에서 양호한 입지여건을 지니고 있는 것으로 도출되었으며, S읍 S리와 S읍 B리 일대는 매립 가용면적에서 유리한 입지여건을 갖추고 있음을 확인할 수 있었다.

본 사례연구 과정을 통하여 도시지역의 폐기물 매립지 적지분석 모델을 제시할 수 있었으며, 더욱 현실적인 분석 모델을 위해서는 지적자료, 지가자료, 지하수위, 생태 및 기타 관

런시설 등의 분석을 통한 자료의 보강이 요구된다. **KAGIS**

참고문헌

- 시 입지선정 범시민 추진위원회. 1997. ○○시 생활쓰레기 처리시설 입지타당성 조사보고서.
- 김영표, 최용복, 박성미. 1997. 입지선정을 위한 GIS 활용방안 연구. 국토개발연구원.
- 김윤중 외 5인. 1990. 쓰레기 매립장 부지선정을 위한 GIS 활용연구. 대한원격탐사학회지 6(2): 135-151.
- 남궁완. 1992. 폐기물 매립지 입지선정 기준.
- 배민기, 장병문. 1998. 지리정보체계를 이용한 일반폐기물 매립후보지의 입지선정에 관한 연구. 한국지리정보학회지 1(2): 14-25.
- 이시원. 1993. 진주시 광역 쓰레기매립장 입지선정과정의 분석. 학술진흥재단 지방대육성 과제 보고서.
- 이은미. 1996. 일반 폐기물 매립지 입지 인자 특성에 관한 연구. 서울대학교.
- 이진덕, 연상호, 유재엽, 김성길. 1998. LANDSAT TM과 JERS-1 OPS 영상을 이용한 도시지역의 토지이용변화 검출. 한국지리정보학회지 2(1): 73-83.
- 환경처. 1992. 전국폐기물 매립지 입지타당 조사 보고서.
- 환경과학연구협의회. 1990. 폐기물 매립지 입지선정 기준.
- Dabar, P. M. and D. Wagner. 1993. Applying GIS to hazardous waste site selection: A case study of south Carolina. GIS/LIS Annual Conference & Exposition Proceedings. Vol.1. pp.147-156.
- Davies, R. E. and J. K. Lein. 1991. Applying an expert system methodology for solid waste landfill site selection. URISA Proceedings. pp.40-53.
- Dawson, G. W. and B. W. Mercer 1986. Hazardous Waste Management. John Wiley & Sons.
- Guthe, W. G. and G. H. Klein. 1993. Application of GIS technology within New Jersey's hazardous waste site-remediation programs. URISA Proceedings. pp.103-112.
- Jensen, J. R. 1996. Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective(2nd ed.). Prentice Hall.
- Vincent, R. K. 1994. Remote Sensing for Solid Waste Landfills and Hazardous Waste Sites. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing 60(8): 979-982.
- Yamashita, J. 1998. Search for waste processing sites: A case in Nagasaki, Japan, Proceedings of International Conference on Modeling Geographical and Environmental Systems with Geographical Information Systems. Vol. 1. pp.102-108. **KAGIS**