

환경친화적인 도로노선 계획을 위한 GIS 기반 환경성 평가기법 연구 - 도로노선대 선정방법 개발 -

강호근 · 박태권* · 김흥래* · 김상태* · 이상은†

아주대학교 환경건설교통공학부 · *(주)평화엔지니어링 기술연구원

(2008년 11월 14일 접수, 2009년 3월 27일 채택)

Study on the GIS Based Environmental Assessment Techniques for Environmental Friendly Road Route Plan

Ho-Geun Kang · Tae-Kwen Park* · Heung-Lae Kim* · Sang-Tae Kim* · Sang-Eun Lee†

Environmental and Civil and Transportation Engineering, Ajou University ·

**Pyunghwa Engineering technique research institute*

ABSTRACT : This study intends to develop a GIS-based environmental assessment technique for environmental friendly road route plan using a spatial analysis function. After embodying an impact range based on the analysis of factors which cause the environmental damage by the road construction, a literature survey on a diverse grading cases and legal regulations was conducted. As a quantitative model for the spatial analysis, AHP was selected. As the environmental assessment, 8 items such as topography & geology, animals & plants, soil ecology, water quality, air quality, noise, land use, and landscape were selected. and then finally classified into three-grades using a pairwise comparison of the alate collected by a questionnaire surveying, weighting values were applied to there 8 items. The highest weight value, the grade 1 among eight was 0.191 for animals & plants. As the result of verifying the above method for the case region, the most environment-friendly road route could be generated.

Key Words : *Environmental Friendly Road, Environmental Assessment, GIS, AHP*

요약 : 환경친화적인 도로노선대 선정을 위하여 공간분석기능을 활용한 GIS 기반 환경성평가 기법을 개발하고 실제 사례노선을 통하여 검증해 보고자 하였다. 도로건설 사업으로 인해 환경훼손을 가져오는 요인에 관한 분석을 바탕으로 영향범주를 구체화 시킨 후, 이에 관한 다양한 등급화 사례 및 법적 규제에 관한 문헌조사를 수행하였다. 공간 분석을 위한 정량화 모델로는 AHP를 선택하였다. 환경성 평가항목으로는 지형지질, 동식물, 토양생태, 수질, 대기질, 소음진동, 토지이용, 위락경관의 8개 항목을 선정하고 그에 따른 세부지표를 구성하여 이를 3등급 체계로 구분하였다. 가중치 산정을 위해 쌍대비교에 의한 설문수행 결과 동식물 1등급의 가중치가 0.191로 가장 높게 산출되었다. 위 방법을 사례지역에 대하여 검증한 결과 가장 환경친화적인 도로노선대를 생성할 수 있었다.

주제어 : 환경친화적인 도로, 환경성평가, GIS, AHP

1. 서론

정보통신기술의 발달과 함께 지리정보체계(Geographic Information System, GIS)분야도 기술적으로 그리고 학문적으로 빠르게 급성장하고 있다. 최근 GIS는 현실세계의 다양한 공간현상을 탐구할 수 있는 분석기능이 대폭 강화되었고, 복잡한 공간의사결정에 필요한 정보를 추출할 수 있는 기술도 한층 보강되고 있다. 이처럼 발전을 거듭해 온 GIS기술은 다양하고 복잡한 공간문제의 해결을 지원할 수 있는 자료 관리와 공간분석능력의 향상을 가져왔다. 그리고 이러한 추세는 GIS가 공간의사결정도구로서의 새로운

역할을 갖게 하는 배경이 되었다.¹⁾

최근에 사회적 이슈로 자주 대두되는 각종 국토정책현안에 효과적으로 대처하기 위해서도 과학적이고 합리적인 국토공간분석방법론이 절실하다. 과거에는 경제성장을 앞당기기 위하여 환경에 대해 충분히 고려하지 못한 채 국토개발에만 전념해 왔다. 이는 불가피하게 환경의 질 악화와 함께 국토 난개발, 지역불균형, 자연환경파괴 등 국토환경에 적지 않은 부담을 남기고 있다.¹⁾

도로건설사업도 예외는 아니어서 경제성과 소통의 원할함이 중시되어 환경에 대한 관심이 크지 않았던 과거와는 달리 쾌적성 등 삶의 질의 중요성이 크게 부각되어 도로 건설 및 운영에 있어서도 환경보존에 대한 시민의 욕구가 증대되고 있는 것이 사실이다. 대형국책사업인 서울외곽순환도로 사패산 터널구간 문제도 환경훼손에 대한 이해당

† Corresponding author
E-mail: leese@ajou.ac.kr
Tel: 031-219-2401

Fax: 031-215-5145

사자들의 거부감에서 발생된 것으로 분석되고 있다. 이러한 환경의 시대에 쾌적한 도로 공간을 창출하기 위해서는 도로 건설 사업은 지역의 환경용량을 감안하여 자연환경이나 생태계가 파괴되지 않는 범위 내에서 시행되어야 하며 이를 위해 기본계획과 설계단계에서 환경을 충분히 고려하여야 한다. 즉 노선선정단계에서부터 자연환경에 심각한 영향을 미치는 지역을 사전에 판단하여 설계시 자연 및 생활환경에 미치는 영향을 최소화 할 수 있어야 한다.

따라서 본 연구에서는 환경친화적인 도로노선 선정을 위하여 GIS를 기반으로 하여 공간분석기능을 활용한 환경성평가 기법을 개발하고 실제 사례노선을 통하여 검증해보고자 하였다.

2. 연구방법

2.1. 공간분석

GIS는 컴퓨터를 이용하여 공간데이터를 수집(collecting), 처리(managing), 분석(analyzing), 모델링(modeling), 표현(presenting)하는 일련의 기법을 통칭하는 개념으로 현실세계에서 매우 광범위한 목적으로 이용될 수 있다. 또한 GIS의 비약적인 발전은 보다 강력하고 쉽게 이용할 수 있는 다양한 도구를 제공하게 되었으며, 이로 인해 GIS는 실세계에서 발생하는 각종 문제의 해결을 가능하게 하는 의사결정지원시스템 및 문제해결도구로서 기능하게 되었다.

공간분석은 GIS 의사결정지원시스템의 핵심 기능으로 공간데이터로부터 부가가치가 높은 유용한 정보를 추출하여 실세계의 여러 가지 현상에 대한 해답을 제시해 준다. GIS의 초기 단계에는 실제 의사결정에 도움을 줄 수 있는 이러한 기능이 상대적으로 빈약했으나 GIS의 사용이 점차 보편화되고 의사결정지원시스템으로서 GIS에 대한 관심이 급격히 증가함에 따라 GIS 공간분석 기능의 중요성이 대두되기 시작했다. 따라서 현재의 많은 연구들이 이러한 기능을 이용하여 실세계에 일어나는 다양한 문제를 해결하고 합리적이고 효율적인 의사결정을 지원하는 유용한 정보를 생성·가공하는 방향으로 초점을 모으고 있다.

본 연구에서는 친환경적 도로노선 선정이라는 실세계의 문제를 격자(Raster)데이터 기반의 공간분석기법을 적용하여 해결을 시도해보고자 하였으며, 이를 위해서는 중첩분석(Overlay Analysis), 재분류(Reclassification) 및 버퍼링(Buffering), 비용경로(Cost Path)분석 등의 공간분석 도구가 이용되어 진다.²⁾

2.1.1. 중첩분석

GIS에서 사용되는 지도는 대부분이 주제별로 분류되어 있는 주제도(Thematic Map)이다. 주제도에 나타나 있는 주제는 하나의 조건을 갖고 있으며 이러한 조건을 여러 개 중첩시킴으로써 주어진 조건을 만족하는 대상을 찾아낼 수 있다.

즉, 중첩분석은 서로 다른 레이어에 구축된 공간데이터

(주제도)를 다양한 연산에 의해 원하는 목적의 새로운 공간데이터로 추출해내는 기법이다. 공간분석에서 주로 사용하는 중첩분석은 ‘학교를 짓기에 가장 적합한 지역은 어디인가’, ‘가장 합리적인 노선은 무엇인가’와 같은 특정한 목적에 각각의 셀 정보가 얼마나 부합되는가를 알아내기 위한 것이다.

이러한 중첩분석을 위한 연산방식으로는 공간상의 대응 관계를 살펴보기 위한 논리연산(AND, OR, XOR, NOT 등)과 공간데이터 간의 수학적 연산(MAX, MIN, +, -, *, / 등)을 수행하여 분석적인 수치정보를 추출해낼 수 있는 산술연산이 대표적이다. 본 연구에서는 환경성에 관한 수치정보를 얻기 위하여 격자데이터를 기초로 한 산술연산을 수행하게 하였다.

GIS를 기반으로 중첩분석에는 다양한 종류의 공간자료가 필요하며, 이는 공간자료의 성격에 따라 불규칙적인 다양한 형태를 나타낸다. 이러한 실제세계를 표현한 불규칙한 공간자료를 벡터(Vector)데이터라 하며, 벡터데이터를 중첩하기 위해서는 우선 공간자료의 도형단위를 격자(Raster; Grid; Cell)로 전환하는 것이 필요하다. 이때, 부분적으로 정보의 손실이 발생하지만 모든 정보는 세분화된 공간단위로 구분되어 다루어질 수 있게 된다.

구분된 격자는 주제도 별로 각각의 속성을 표현하는 단위로서, 중첩과정을 통해 각 레이어의 같은 위치 격자와 격자간의 연산(cell-by-cell operation)이 이루어지게 된다. 중첩분석의 연산 과정에서 각 레이어별로 가중치를 부여하게 되며, 최종 도면의 격자에는 중첩되어진 레이어들의 격자마다 배당된 속성 값들을 바탕으로 연산을 수행한 새로운 값이 주어지게 된다. 이와 같이 격자형태로 표현된 공간 데이터를 대상으로 수학적 처리를 수행하는 것을 지도대수(Map Algebra)라고 한다.

본 연구에서 사용한 지도대수분석은 다음 식과 같이 표현될 수 있다.

$$\text{최종 환경성 평가도} = w_1L_1 + w_2L_2 + \dots + w_nL_n$$

L_1, L_2, \dots, L_n : 레이어별 격자의 속성

w_1, w_2, \dots, w_n : 각 레이어에 부여된 가중치

본 연구에서 중첩분석에 사용할 가중치는 AHP를 통해 산출되며, 위와 같은 연산을 수행하여 환경성 평가가 수치화 된 지도를 얻게 된다.

2.1.2. 재분류 및 버퍼링

재분류와 버퍼링은 모두 단일 레이어의 속성 값을 바탕으로 보정·변환하여 원하는 주제도를 구축하기 위한 작업의 일종이다.

재분류는 어떤 셀의 속성정보 값을 다른 값으로 변환하는 방법이다. 앞서 언급한 바와 같이 실수범위의 수치를 갖는 정보는 래스터기반의 분석을 위해서 반드시 정수로

변환되어야 한다. 예를 들면, 연속된 값을 갖는 경사도 레이어를 보전의 가치에 따라 20° 이상, 15~20°, 15° 이하의 세 가지 속성으로 분류하여 각각 5, 3, 1과 같은 정수로의 변환을 생각할 수 있다. 뿐만 아니라 상이한 단위의 수치를 가지는 레이어의 중첩과정에서도 재분류가 필수적으로 요구된다. 물론 이 과정에서 변환되는 수치의 설정 근거가 명확해야 할 것이다. 뿐만 아니라 단순히 새로운 정보를 나타내는 값으로 변환하기 위해서도 재분류는 이용된다. 즉, 5, 3, 1과 같은 정수 값을 등급으로 나타내 보이기 위해 1, 2, 3으로 재분류할 수 있는 것이다.

버퍼링은 선택된 피쳐(feature)에 대해 특정 거리만큼 영향권을 설정하는 것이다. 이 때 선택되는 피쳐는 점, 선, 폴리곤(면)의 모든 형태의 벡터데이터가 가능하며, 결과는 모두 폴리곤(면)의 형태로 나타나게 된다. 예를 들어, 특정한 오염원이나 보전구역이 있다고 할 때 그것이 영향을 미치는 거리만큼 버퍼를 생성하여 관리 또는 보전의 대상으로 공간 데이터를 구축할 수 있다.

2.1.3. 최소 비용경로(Least Cost Path) 탐색

GIS의 비용경로분석은 최소 비용경로를 탐색하는 기능을 제공한다. 이 분석의 원리는 비용경로분석의 전 단계인 비용거리함수(Cost Distance)와 방향코드함수(Back Link) 레이어를 구축하는 것에서 출발한다. 비용거리함수 계산 기능은 각 셀의 비용 데이터를 근거로 유클리드의 거리(Euclidean Distance)연산을 수행하여 모든 셀에 대해 시점 셀로 되돌아가는데 필요한 최소누적비용을 산출한다. 이 때, 비용을 나타내는 레이어는 시간, 돈 뿐만 아니라 목적에 따라 다양할 수 있으며 본 연구에서와 같이 환경성에 대한 비용일 수도 있다. 또한 이러한 비용 레이어는 다양한 레이어들의 가중중첩(Weighted Overlay)을 통해 생성될 수 있다. 하지만 비용거리함수 레이어는 비용에 관한 정보만 제공해줄 뿐 최적경로를 찾는 방향에 대한 정보를 제공하지 못한다. 방향코드함수 레이어는 방향에 대한 수치코드를 사용하여 다음 셀로의 최적 경로 방향을 각각의 셀에 나타내어 준다. 이렇게 구축된 비용거리함수 레이어와 방향코드함수 레이어를 바탕으로 시, 종점을 입력하고 비용경로분석을 수행하여 최소비용경로를 얻을 수 있게 된다.

2.2. AHP (Analytical Hierarchy Process)

공간 의사결정을 포함한 대부분의 의사결정문제는 두 가지 이상의 인자들의 결합으로 이루어진다. 이는 대부분의 의사결정이 하나의 목표와 관련하여 다수의 평가기준(Criteria)을 고려하여 이루어짐을 의미한다. AHP는 이와 같은 다기준 의사결정문제(Multicriteria Decision making)를 해결하기 위한 기법의 하나로써 1970년대 초에 Saaty에 의해 개발되었다. 이후에도 이에 관한 많은 연구가 진행되어 왔으며, 최근에 와서는 기법 자체의 실용적 특성으로 인해 복잡하고 까다로운 문제해결에 적합한 기법으로 인정되어 매우 다양한 분야에서 사용되고 있다.³⁾

AHP는 의사결정자의 오랜 경험이나 직관 등을 평가의 바탕으로 하고 있기 때문에 수치로 표현할 수 있는 정량적(Quantitative) 평가기준은 물론 흔히 의사결정문제에서 다루기 곤란하면서도 반드시 고려하지 않으면 안 될 정성적(Qualitative) 평가기준들도 비교적 쉽게 처리할 수 있다.³⁾ 따라서 환경성과 같이 정량화가 어려우며 정량적 평가기준 뿐만 아니라 정성적 평가기준에도 의존해야하는 의사결정문제에 적합한 의사결정기법이 될 수 있다.⁴⁾ 이 연구 결과⁴⁾에서도, AHP를 가장 객관적인 가중치 산정방법으로 평가하고 있다.

3. 환경친화적인 도로 노선대 선정 방법론의 개발

3.1. 환경친화적인 도로 노선대 선정 방법

본 연구에서는 환경친화적 도로 노선대 선정을 위하여 도로건설 사업으로 인해 환경훼손을 가져오는 요인에 관한 분석을 바탕으로 영향범주를 구체화 시킨 후, 이에 관한 다양한 등급화 사례 및 법적 규제에 관한 문헌조사를 수행하였다. 공간 분석을 위한 정량화 모델로는 AHP를 선택하였다. AHP는 다기준의사결정법 중에서 가장 널리 쓰이는 방법으로 전 과정을 다수의 계층으로 설계한 후, 계층별 기준 및 대안들의 중요도를 서로 비교하는 쌍대비교를 통해 의사를 체계적이고 쉽게 분석할 수 있다.³⁾

따라서 본 연구에서는 도로건설 사업의 특성과 연구의 목적에 근거하여 다양한 영향요인을 규명하고, 요인들 간의 연결고리와 영향관계를 파악하는 작업을 바탕으로 평가항목 및 지표를 선정·개발하였고, 이를 체계적으로 구조화 시켰다. 이는 향후 가중치 부여(weighting) 등의 과정을 걸쳐 환경성 평가 모델로서 도로노선대 선정에 활용 될

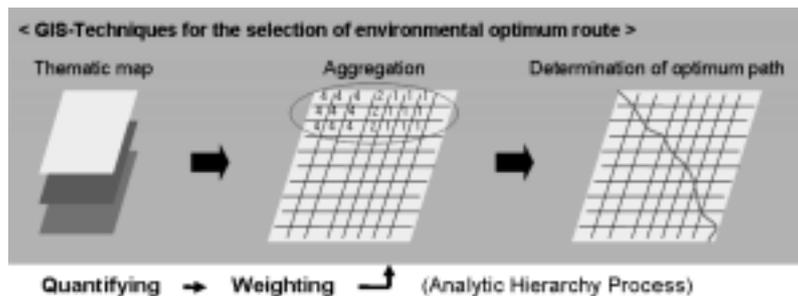


Fig. 1. Process of research execution.

다. 이렇게 입력되는 GIS 데이터를 10 m×10 m의 격자로 전환하여 부여된 가중치에 따라 주제도를 중첩시켜 분석을 수행하게 된다. 이 과정을 통해 본 연구에서 설정된 평가항목 및 평가지표는 단위 격자당 환경성 정보로 수치화되며, 최적의 환경친화적인 도로 노선대를 선정하는 기준으로 활용된다.

3.1. 평가항목 및 지표의 선정 및 구조화

본 연구에서는 기존의 법·제도 및 연구 문헌 등을 토대로 도로건설과 관련된 환경영향을 고려하여, 자연환경과 생활환경으로 나누어 평가항목을 선정하였다. 자연환경은 동·식물, 지형·지질, 토양생태의 세 가지 항목으로, 생활환경은 대기질, 수질, 소음·진동, 토지이용, 위락·경관의 다섯 가지 항목으로 각각 구체화 시켰으며, 이는 향후 AHP를 적용하여 가중치를 부여하는 평가단위가 된다.

평가지표는 우선 각 항목별로 관련된 법적 규제를 검토하여 법제적 기준으로 삼았으며, 관련 GIS 자료 및 문헌 조사를 바탕으로 본 연구의 목적에 부합되는 환경적 기준을 선정·개발하였다.

AHP에 관한 연구결과에 따르면, 비교대상이 (7±2)개를 초과하는 경우 평가자의 심리적 요인에 의해 비교의 일관성을 유지하기 어렵다.³⁾ 따라서 모든 지표를 비교하여 가중치를 부여하는 것은 평가의 신뢰도를 떨어뜨릴 위험이 있고, 다소 소모적이라는 판단 하에 본 연구에서는 개별 평가지표들을 3등급 체계로 분류하고 이렇게 분류된 등급을 평가지표의 가중치 부여 기준으로 삼았다. 각 등급의 분류기준을 Table 1에서 정리하였다.

Table 1. Criterion of indicator grade

Grade	Standard of grade
I	i) Absolute conservation area ii) Area that vary greatly damage is estimated iii) Area that effectively reduction plan does not exist
II	i) Relative conservation area (affect grade 1 area) ii) Area that greatly damage is estimated iii) Area that effectively reduction plan exist but difficulty recovery
III	i) Little relative conservation area (affect grade 2 area) ii) Area that little damage is estimated iii) Area that effectively reduction plan exist

선정된 평가항목 및 지표에 대하여 AHP에 의해 Fig. 2와 같이 구조화 시켰다. 구조화된 모식도를 살펴보면 ‘환경친화적 도로노선대 선정’을 목표로 설정하고 그것에 대한 주기준으로 ‘생활환경’과 ‘자연환경’ 선정하였다. 주기준에 대하여 8개의 평가항목을 세부기준으로 구조화하였으며 최하위기준으로 항목별로 분류된 3등급의 지표를 설정하였다.

3.2. 평가기준의 쌍대비교를 통한 가중치의 도출

앞 절에서 선정된 평가항목 및 지표에 대한 평가항목의 가중치를 선정하기 위해서는 먼저 평가기준의 쌍대비교가 수행되어야 한다. 본 연구에서는 국내 환경 및 도로 전문가 50인에 대하여 8개 항목 및 각 지표에 대한 쌍대비교를 수행토록 하였으며, 회수된 설문에 대하여 개개인별로 일관성비율 (Consistency Ratio)을 계산하였고, 신뢰성이 부족하다고 판단되는 즉, 일관성 비율이 0.1 이상인 응답자는 가중치 산출 표본에서 제외시켜 최종 38인에 대한 응답을 종합하여 가중치를 도출하였다.

평가항목 및 지표들의 쌍대비교는 Saaty의 9점 척도를 이용하여 평가하도록 하였으며, 완성된 설문지의 결과를 바탕으로 Expert choice 11.5를 이용하여 가중치를 분석하였다.

계층별 가중치를 계산한 결과는 Table 3과 같다. 주기준에 해당하는 자연환경과 생활환경의 가중치는 각각 0.666, 0.334가 도출되었는데, 이는 도로노선 계획시 고려하여야 할 환경요소로 자연환경이 생활환경보다 중요하게 생각하고 있음을 보여준다.

Table 3에서 분석한 각 계층별 가중치를 종합하여 평가지표의 등급별 최종가중치를 도출하였다. 최종 가중치는 동·식물 1등급의 가중치가 0.195로 나타나 제1순위로 선정되었고, 지형·지질1등급, 토양생태1등급 순으로 가중치가 산정되었다.

Table 2. Response of Questionnaire

Group	Questionnaires	Sampling responder (C.R≤0.1)
Environmental professional advice	25	18
Road design professional advice	25	20
Sum	50	38

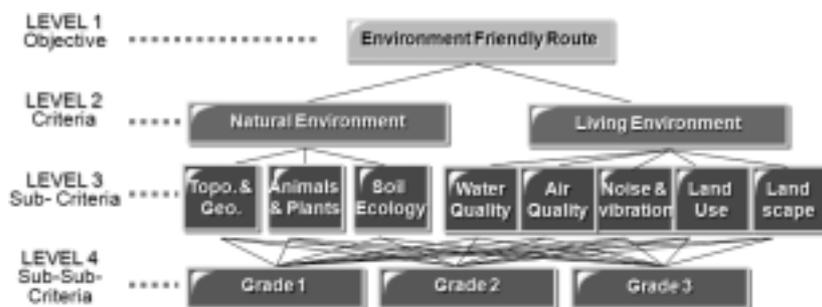


Fig. 2. Structuring System of evaluation item and indicator.

Table 3. Result of weighting factor

Objective (LEVEL 1)	Criteria (LEVEL 2)	Sub-criteria (LEVEL 3)	Sub-sub-criteria (LEVEL 4)		
			I	II	III
Environmental friendly road route	Natural Environment = 0.666	Topo. & Geo. = 0.305	0.707	0.221	0.072
		Animals & Plants = 0.415	0.706	0.215	0.078
		Soil Ecology = 0.280	0.657	0.237	0.106
	Living Environment = 0.334	Water Quality = 0.224	0.689	0.222	0.089
		Air Quality = 0.223	0.640	0.249	0.111
		Noise & Vibration = 0.237	0.692	0.214	0.094
		Land use = 0.142	0.667	0.234	0.099
		Landscape = 0.174	0.697	0.209	0.095

4. 시범지역 적용

4.1. 개요

앞절에서 나타난 결과를 바탕으로 현재 도로건설을 시행하고 있는 지역에 대하여 적용시켜 보았다. 시범지역은 「용천~설악 도로건설공사」 구간에 대한 주변지역을 선정하였는데 용천~설악 도로공사는 국도37호선(거창~과주) 중 경기도 양평군 옥천면 용천리~가평군 설악면 신천리 구간에 이르는 총연장 12.90 km의 2차선 도로를 건설하는 것으로서 계획노선 주변으로는 생태자연도 1등급 지역이 많이 분포하고 있으며, 팔당 상수원 특별대책지역, 수변구역 및 조수보호구역이 지정되어 있는 등 도로건설시 보호해야 할 지역이 산재되어 있어 잘못 도로노선을 선정하게 될 경우 많은 환경적 문제점이 발생될 것으로 예상된다. 환경적으로 민감한 지역을 통과하는 사업인 만큼 노선선정과정에서 환경성에 대한 비중이 크게 차지하였으며 협의까지 시간이 많이 지체된 사업이다.

따라서 본 연구에서 개발한 환경성만을 고려한 노선선정 방법론을 적용하고 타당성을 판단하기에 적절한 사례가 될 것으로 판단된다. 사용된 모든 주제도는 10 m × 10 m의 격자데이터로 변환하였으며, 주제도의 범위는 노선 시종점이 포함되는 주변의 12 km × 12 km 지역으로 적용하였다.

본 연구에 사용된 자료는 환경부, 국토해양부 등 국가에서 제공하는 GIS data들을 이용하였고, 공간분석은 GIS tool인 Arcinfo 9.1을 이용하여 분석하였다.

4.2. 항목별 주제도 작성

지형·지질항목은 수치지형도에서 등고선을 추출한 후 불규칙삼각망(TIN: Triangulated Irregular Network)을 생성하고 이것을 수치고도모형(DEM: Digital Elevation Model)으로 변환하는 작업을 거쳤다. 도출한 경사도와 표고 등급을 바탕으로 재분류하여 등급화 된 지도를 구축한 후 지도대수(Map Algebra)를 이용하여 지형·지질의 주제도를 구축하였다.

동식물 항목의 경우, 사례지역에 포함되는 법·제도적 보호구역으로는 야생동식물 보호구역이 존재하였으며, 포함되는 야생동식물 보호구역을 추출하여 격자 데이터로 변환하였다. 또한 환경부에서 구축하여 제공되고 있는 생태자연도(1:25,000)를 격자데이터로 변환하여 생물다양성과 식생우수성 각각에 대한 등급 주제도를 구축하였다. 멸종위기 동식물로는 파충류, 조류, 양서류, 포유류, 곤충의 발견지점을 조사한 환경부 자료를 바탕으로 사례지역 내에 존재하는 멸종위기종, 희귀종, 특정동식물을 추출하였다. 사례지역 내에 포유류와 곤충은 존재하지 않았으며 양서류, 조류, 파충류가 존재하며 이들 발견지점을 등급화 기준(500 m, 1,000 m)을 바탕으로 버퍼링하여 격자로 변환하였다. 이들 각 주제도를 재분류 한 후 지도대수를 이용하여 최종 동식물상의 주제도를 구축하였다(Fig. 4).

토양생태항목의 경우 기의 연구결과⁵⁾를 바탕으로 토양질에 대한 생태등급을 적용하여 등급별 분류를 실시하였다.

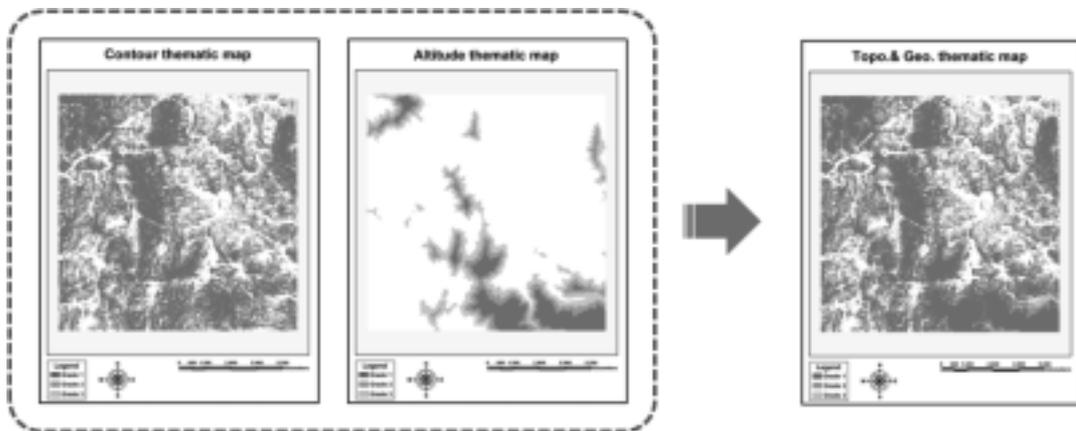


Fig. 3. Topography & geology subject map.

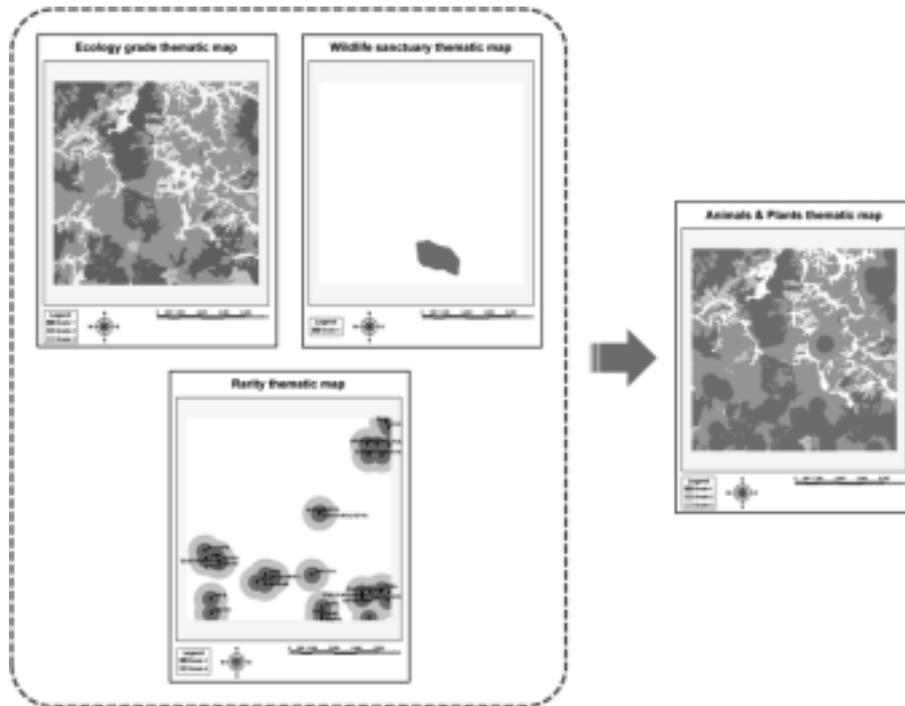


Fig. 4. Animals & plants subject map.

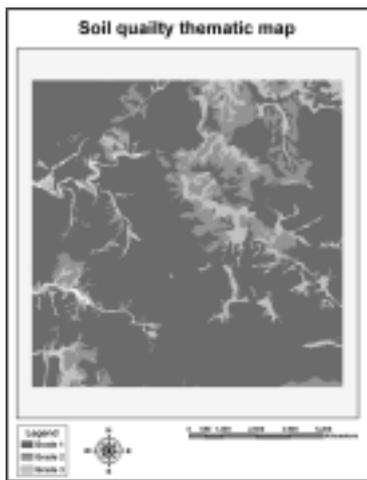


Fig. 5. Soil Ecology subject map.

수질항목의 경우 사례지역의 대부분이 팔당상수원특별대책지역으로 지정되어 수질과 관련한 각별한 주의가 요구되는 것으로 나타났다. 사례지역 내 팔당상수원특별대책지역을 추출하여 격자데이터로 변환한 주제도와 사례지역내의 토지피복도와 수자원단위지도를 이용한 불투수면 비율 주제도를 구축해 다른 평가항목과 같은 방법으로 수질 주제도를 구축하였다.

대기질의 지표인 경사도, 지형, 풍속 중 사례지역 내 지형 등급에 해당하는 지역은 나타나지 않았으며, 풍속정보는 주변 기상관측소의 자료를 바탕으로 매우 광범위한 지역의 보간(interpolation)에 의해 추정을 하기위해 2005년 연평균 풍속 자료를 바탕으로 크리깅(Kriging)을 이용한 보간법을 적용하였다. 크리깅 결과 사례지역 내의 풍속은 1.1~1.6 m/s의 범위로 나타났으며 이를 주제도로 구축하였고

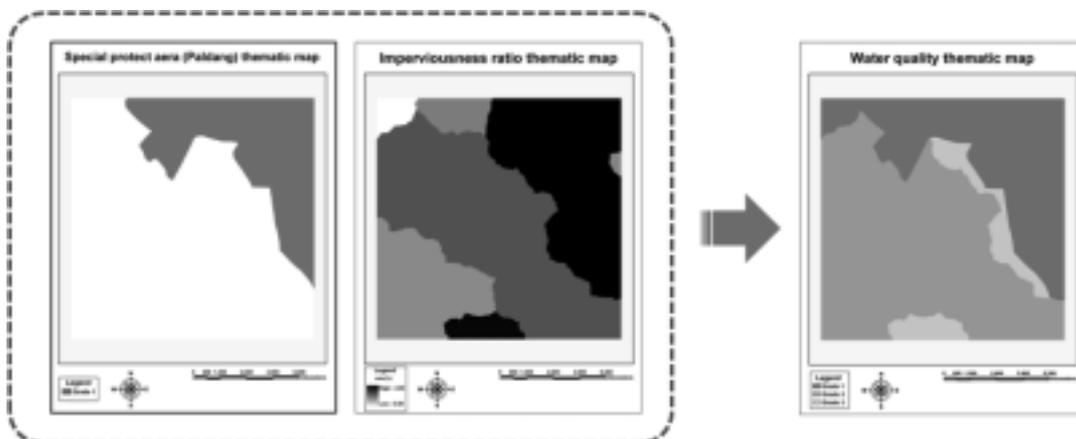


Fig. 6. Water quality subject map.

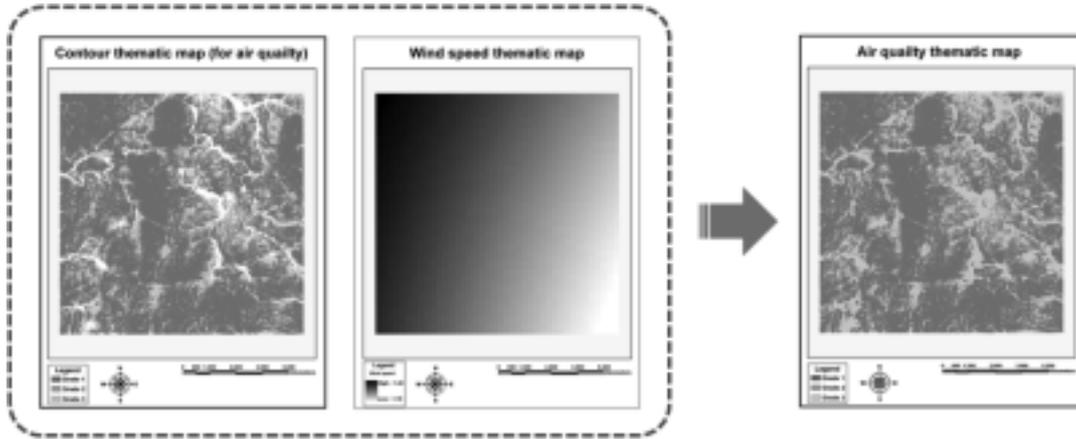


Fig. 7. Air quality subject map.

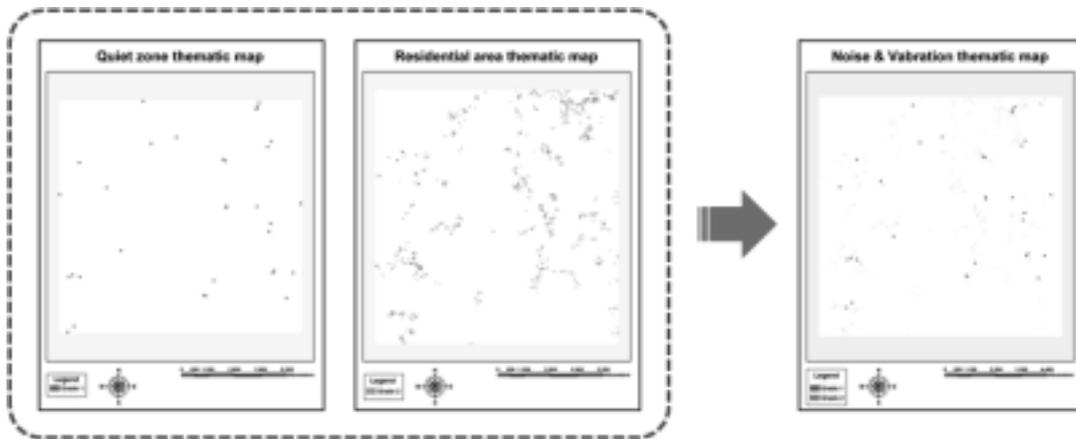


Fig. 8. Noise subject map.

경사도 지표 주제도와 중첩시켜 최종 대기질 주제도를 구축하였다.

소음·진동 항목은 수치지형도와 토지피복분류도를 이용하여 사례지역 내 정온시설 및 주거지역의 분포를 추출하였다. 등급화 기준을 바탕으로 정온시설은 50 m로 버퍼링 하였으며 지도대수(Map Algebra)를 이용하여 중첩시켜 소음·진동의 주제도를 구축하였다.

토지이용항목에서는 공공편의시설인 관공서 및 기존도로에서부터 4,000 m 이상(1등급), 1,000~4,000 m(2등급), 1,000 m 미만(3등급)으로 버퍼링 하고, 공적규제지역인 팔당상수원특별대책지역에서 500 m 미만(1등급), 500~1,500 m(2등급), 1,500 m 이상(3등급) 버퍼링 하였으며, 이를 지도대수(Map Algebra)를 이용하여 중첩시켜 토지이용의 주제도를 구축하였다(Fig. 9).

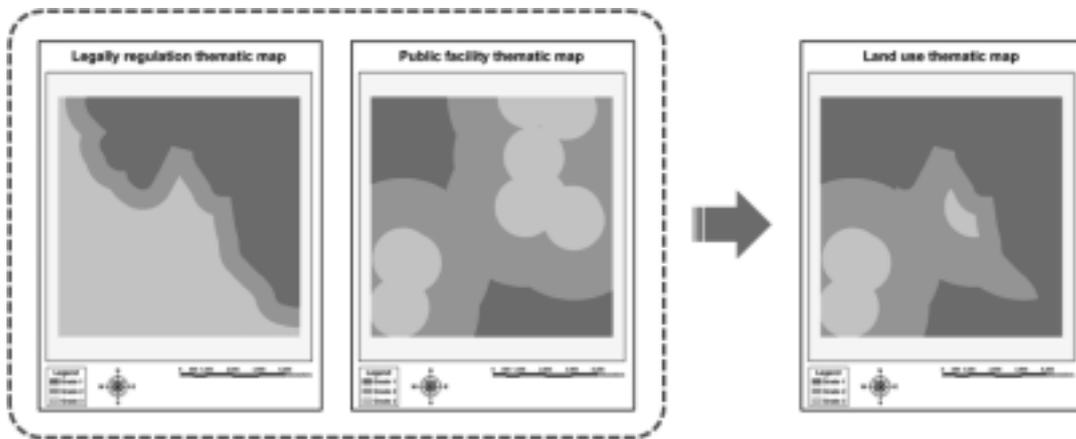


Fig. 9. Land use subject map.

Table 4. Final all items weighting factor

division		Weighting factor		
		I	II	III
Natural Environment	Topo. & Geo.	0.144	0.045	0.015
	Animals & Plants	0.195	0.059	0.022
	Soil Ecology	0.123	0.044	0.020
Living Environment	Water quality	0.052	0.017	0.007
	Air quality	0.048	0.019	0.008
	Noise & Vibration	0.055	0.017	0.007
	Land use	0.032	0.011	0.005
	Landscape	0.041	0.012	0.006

Table 5. Environmental evaluation mark

Score	Cell numbers	Area (km ²)	ratio (%)
1	1,176	0.118	0.082
2	57,520	5.752	3.994
3	223,465	22.347	15.518
4	333,816	33.382	23.182
5	375,240	37.524	26.058
6	290,535	29.054	20.176
7	158,183	15.818	10.985
8	65	0.007	0.005
합계	1,440,000	144	100



Fig. 10. Overlap of map.

위락경관 항목의 경우 사례지역이 평가기준에 해당되지 않아 제외하였다.

구축된 항목별 주제도에는 각 항목별 등급이 설정되어 있다. 이를 앞서 AHP를 이용하여 도출된 항목별 가중치

를 바탕으로 중첩시켜 최종 환경성 평가 점수를 도출하였다. 또한 이렇게 중첩된 점수를 1~9점의 정수로 표준화시켜 노선에 대한 평가점수 도출이 용이하도록 하였다. Fig. 10은 표준화된 사례지역의 환경성평가도이다.

사례지역의 환경성 평가현황을 살펴보면 가장 높은 점수인 9점은 발견되지 않았으며 8점인 지역은 0.007 km²으로 나타났다. 이는 전체 면적 144 km²의 0.005%에 해당된다. 전체 면적 중 가장 많은 점수를 차지하는 것은 비교적 높은 점수대인 5점 지역으로 37.524 km²을 차지하는 것으로 조사되어 도로노선 계획시 사례지역에 환경성에 대한 고려가 상당히 필요할 것으로 판단된다.

이렇게 구축된 환경성 평가도를 바탕으로 하여 가장 환경친화적인 노선대를 선정하여 보았다. 최적 노선 선정을 위하여 먼저 비용거리함수 레이어와 방향코드함수 레이어를 구축하였다. 앞서 설명하였듯이 비용거리함수 레이어는 최소비용거리를 결정하며 방향코드함수 레이어는 최적방향을 결정하여 준다. 구축된 각 레이어를 이용하여 비용경로분석을 실시하였으며 그에 따라 최종적으로 사례지역에서의 가장 환경친화적인 노선대를 도출하였다.

이렇게 선정된 노선대는 최종 최적도로노선 선정시 환경성 분야에 대한 참고자료로 활용될 수 있을 것이다.

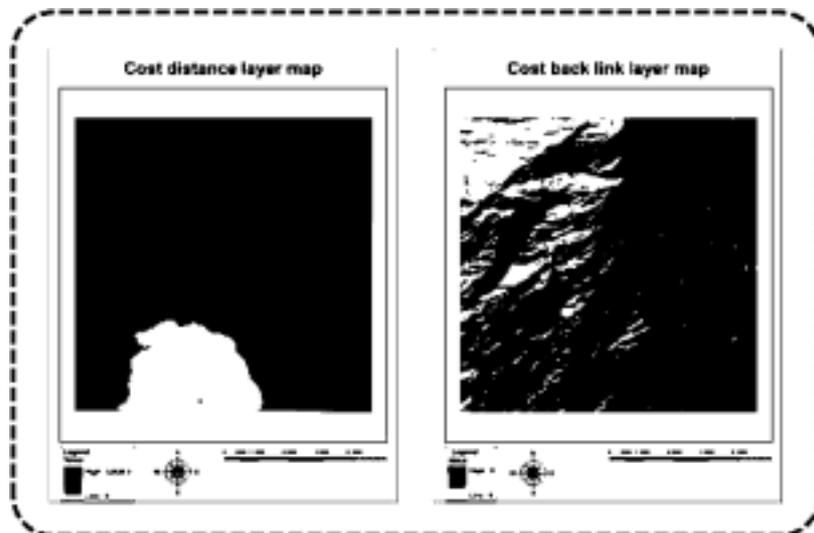


Fig. 11. Cost distance & Back link map.



Fig. 12. Creation of environmental Friendly road route.

이런 결과를 토대로 본 연구에서 개발한 환경친화적인 도로노선대 선정방법은 향후 도로계획 및 노선선정시 실제 현장조사 등의 큰 비용과 시간의 소요 없이도 지역의 환경성 평가를 대략적으로 수행할 수 있으며, 실제 도로노선선정에 환경성의 반영을 간단히 할 수 있어 환경친화적인 도로건설에 일조할 수 있을 것으로 기대된다.

5. 결론

본 연구에서는 도로노선 계획시 GIS 정보를 이용한 환경성평가를 수행하여 노선선정에 지원될 수 있도록 하는 환경친화적인 도로노선대 선정방법론을 연구하였고 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

첫째, 도로건설 사업의 특성과 연구의 목적에 근거하여 다양한 영향요인을 규명하고, 요인들 간의 연결고리와 영향관계를 파악하는 작업을 바탕으로 환경성을 평가할 수 있는 평가항목 및 지표를 선정·개발하였고, 이를 체계적으로 구조화 시켰다. 이를 가중치 부여 등의 과정을 걸쳐 환경성 평가 모델로서 도로노선대 선정에 활용될 수 있고, 대상지역에 대한 환경성평가를 수행할 수 있을 것으로 판단된다.

둘째, 도로노선선정에 고려하여야 할 환경성 평가 항목 및 지표로는 여러 문헌 연구 등을 거쳐 지형·지질, 동식물상, 토양생태, 수질, 대기질, 소음·진동, 토지이용, 위락·경관의 8개 항목과 각 항목별 세부지표를 선정하고 AHP 방법에 따라 쌍대비교의 설문을 수행하여 각 항목별 지표별 가중치를 산정하였다.

셋째, 개발된 환경친화적인 도로노선대 선정 방법의 검증을 위하여 사례구간을 선정하여 실제 적용하여 그 결과

를 도출하였다. 그 결과 가장 환경친화적인 도로노선대를 선정할 수 있었고, 대안노선의 비교를 위한 환경성평가지도를 구축할 수 있었다. 이는 향후 도로계획 및 노선선정시 실제 현장조사 등의 큰 비용과 시간의 소요 없이도 지역의 환경성 평가를 수행할 수 있고, 도로노선선정에 환경성을 쉽게 반영할 수 있도록 할 수 있을 것으로 보여진다.

사 사

본 연구는 친환경·지능형 도로설계 기술개발 연구단을 통하여 지원된 국토해양부 건설기술혁신 연구사업에 의하여 수행되었습니다. 연구지원에 감사드립니다.

참고문헌

1. 김영표, 임은선, GIS기반 공간분석방법론 적용 연구, 국토연구원 2004-35 연구보고서, 국토연구원, 1~2(2004).
2. 최유경, 도로노선 선정을 위한 GIS기반 환경성평가기법에 관한 연구, 아주대학교 석사학위 논문(2006).
3. 김성희, 의사결정 분석 및 응용, 영지문화사(1994).
4. 이관규, 환경평가를 위한 지표의 가중치 산정방법 결정 모형, 환경영향평가, 10(1), 59~71(2001).
5. 기동원, 의사결정나무 방법을 이용한 토양생태 등급 수치지도 작성방법 개발, 연세대학교 석사학위논문(2007).
6. 노태호, 노선선정에서 계층분석과정을 이용한 GIS의 적용, 한국지리정보학회지, 8(2), 55~67(2005).
7. 양광식, GIS 기법을 활용한 환경친화적 도로시설 노선선정, 한국GIS학회지, 8(1), 117~130(2000).
8. 이병두, GIS를 이용한 환경친화적 임도노선선정 및 평가 프로그램의 개발, 서울대학교 석사학위논문(2000).
9. 이승일, 환경친화적 도시공간구조 분석을 위한 방법론, 국토연구, 28, 45~60(1999).
10. 주용준, 변병설, 최준규, 환경친화적 도로노선을 위한 환경성지표 선정 및 평가방향에 관한 연구, 환경정책, 13(1), 91~111(2005).
11. Xiugang Li et al., GIS based map overlay method for comprehensive assessment of road environmental impact, *Transportation Research*, 4(3), 147~158(1999).
12. Joanna Treweek, Neil Veitch, The Potential Application of GIS and Remotely Sensed Data to the Ecological Assessment of Proposed New Road Schemes, *Global Ecology and Biogeography Letters*, 5(4), 249~257(1996).
13. Klungboonkrong, P. and Taylor, M. A .P., "A micro-computer-based system for multicriteria environmental impacts evaluation of urban road network," *Compu., Environ. and Urban Systems*, 22(5), 425~446(1998).