

계층분석법을 이용한 GIS 사업추진시 분야별 비용 중요도 우선 순위 평가에 관한 연구

A Study on priority estimation of GIS cost Using Analytic Hierarchy Process(AHP)

허용* · 김정옥** · 양성철*** · 유기윤****

Heo, Yong · Kim, Jung Ok · Yang, Sung Chul · Yu, Ki Yun

要 旨

국토공간정보에 대한 수요의 증대와 다양화에 대응할 필요성으로 정부는 1995년 5월 제 1차 국가 지리정보시스템(NGIS) 기본계획을 수립하였다. 지금까지 총 7년여에 걸친 국가 지리정보시스템 사업을 통해 다양한 분야의 공간정보관련 사업을 추진하여 왔으나 투자의 효율성과 경제성 확보를 위한 과학적이며 계량적인 평가가 부족하여 투자 타당성분석 및 사업별 대안의 의사결정이 올바르게 시행되지 못하였다. 지리정보시스템(GIS)의 구축시 제안된 대안들의 효과나 비용을 각 항목별로 우선 순위를 결정하고 이를 토대로 최적의 사업을 결정하는 것은 사업의 타당성을 입증하고 예산의 효율성을 제고하는 기본적인 수단이다. 이와 같은 필요성에서 본 논문은 GIS의 구축시 관련된 세부 비용들에 대해 계층분석기법(AHP기법)을 적용하여 일반적인 GIS 사업의 추진 시 구성되는 비용별 중요도를 분석하여 보았다.

Abstract

In 1995 of May, the Ministry of Construction and Transportation (MOCT) developed the First Nation-wide Master Plan of GIS. It is set up in response to an increasing and various demands on spatial informations. Until now, a set of diverse projects related to spatial information have been proposed and executed. However, cost-benefit analysis of investment and decision making for alternatives have not been carried out appropriately because scientific evaluations for obtaining efficiency and economical validity of investment have been deficient. Optimum decision making for projects based on itemized priority order using effect or cost of proposed alternative plan is a fundamental expedient for demonstration of propriety of projects and enhancement of efficiency of investment. From such understanding, this paper applied the analytic hierarchy process (AHP) technique to the cost required to construct a GIS so that analyze the weight of each cost factor.

-
- * 정희원 · 서울대학교 지구환경시스템공학부 석사과정 (E-mail : hy21262@dreamwiz.com)
 - ** 정희원 · 서울대학교 지구환경시스템공학부 석사과정 (E-mail : geostar1@snu.ac.kr)
 - *** 정희원 · 서울대학교 지구환경시스템공학부 석사과정 (E-mail : scyang@gong.snu.ac.kr)
 - **** 정희원 및 이사 · 서울대학교 지구환경시스템공학부 전임강사 · 공학박사 (E-mail : kiyun@plaza.snu.ac.kr)

1. 서론

국토공간정보에 대한 수요의 증대와 다양화에 대응할 필요성으로 정부는 1995년 5월 제 1차 국가지리정보시스템(NGIS) 기본계획을 수립하였다. 총 7년여에 걸친 국가지리정보시스템사업을 통해 다양한 분야의 공간정보관련 사업을 추진하여 왔으나 투자의 효율성과 경제성 제고를 위한 과학적이며 계량적인 평가가 부족하여 투자타당성분석 및 사업별 대안의 의사결정이 올바르게 시행되지 못하였다. 지리정보시스템(이하 GIS)에 대한 투자는 투자비용과 함께 그로 인해 발생하는 효과를 측정하여 비용보다 효과가 크다는 확신이 있을 때 이루어진다. 또한 GIS의 구축 시 제안된 대안들의 효과나 비용을 각 항목별로 우선 순위를 결정하고 이를 토대로 최적의 사업을 결정하는 것은 사업의 타당성을 입증하고 예산의 효율성을 제고하는 기본적인 수단이다. 그러나 GIS의 비용효과분석은 단순하게 산정 할 수 있는 것이 아니다. 일반적으로 효과보다 정량화하기 용이하다고 알려져 있는 GIS의 비용문제는 비용의 많은 구성요소들이 즉각적으로 명백하게 나타나지 않기 때문에 효과의 산정 못지않게 중요하게 다루어져야 한다.

본 논문은 GIS와 관련된 세부 비용들에 대해 계층분석법(AHP)을 적용하여 일반적인 GIS사업의 추진 시 구성되는 비용별 중요도를 분석하여 GIS의 운용에 관련된 많은 요소들을 설명한다.

2. GIS 타당성분석의 현황

제2차 국가 GIS 사업이 시작되면서 투자의 타당성 분석에 대한 필요성이 증가하고 있으나 체계적이고 과학적인 기법이 정해지지 않은 상황이다. 이로 인해 시행주체마다 분석방법과 적용내용이 동일되지 못하고 적용하는 자료의 일관성이 미흡한 실정이다. 뿐만 아니라 지자체 및 국가 GIS사업은 공공사업이면서 각 지자체마다의 특징 및 업무가 반영되므로 측정 효과가 일정한 기준을 따르지 않기 때문에 타당성분석이 간단하지 않다. 또한 GIS와 같은 공공

사업의 경우 그 사업이 미치는 파급효과는 단순히 비용편익과 같은 경제적인 지표로 환산하여 평가하는 것은 바람직하지 않으며, 비경제적인 측면이나 정책적인 측면을 고려해야 하는 면이 있다. 따라서 비용과 시간은 물론 정책적인 효과 등 상이한 지표를 가지고 있거나 계량화할 수 없는 요소들을 동시에 평가할 수 있는 기법이 필요하다.

3. 다기준 분석방법론의 필요성

GIS 사업의 타당성분석을 통한 사업의 시행 여부를 종합적으로 평가하는 데는 비용?효과산정의 어려움과 함께 다음과 같은 어려움을 가지고 있다. 첫째, 정량적 분석 결과와 정성적 분석 결과를 통합하는 어려움이다. 경제성 분석과 정책적 분석 항목의 모든 결과를 고려할 때 경제성 분석은 그 결과가 비용/편익(B/C) 비율, 순편익, 내부수익률 등 정량적으로 제시되는 반면, 정책적 분석의 지역사업 추진 의지, 국고지원의 적합성, 관련계획과의 일치성 등 많은 평가항목의 결과는 계량화가 어려워 분석결과를 통합하는데 어려움이 따른다. 예를 들면, B/C비율은 높지만 상위계획과 일치하지 않는 사업의 타당성을 평가하는데 어려움이 발생할 수 있다. 둘째, 분석결과를 정량화 한 경우에도 상이한 척도(scale)를 갖는 평가항목을 통합하는 어려움이 따른다. B/C비율이 0.9이고 2,000명의 고용창출 효과를 갖는 사업의 경우 어떠한 기준에 의하여 양자를 통합하여 사업시행 여부를 종합적으로 평가할 것인가의 문제가 발생한다. 셋째, 평가의 일관성과 사업의 특수성을 동시에 반영해야 하는 어려움이 따른다. 타당성조사 체계가 일반적으로 적용될 수 있는 분석 틀로서의 가치를 유지하기 위해서는 해당사업에 특수한 평가항목이 사업시행 여부를 결정하는데 얼마만큼 중요한 영향을 미쳤는지를 객관적으로 보여주어야 한다.

본 연구에서는 이러한 어려움을 해소하고 사업을 종합적으로 판단하기 위하여 다기준 분석기법의 하나로 사용되는 계층분석법 (Analytic Hierarchy Process: AHP)을 적용하였다. AHP란 의사결정의 전

과정을 다단계로 나눈 후, 단계별로 분석·해결함으로써 최종적인 의사결정에 이르는 것을 지원하는 접근 방법의 하나로서 정성적 요소를 포함하는 다기준의 사결정(multi-criteria decision making)에 널리 사용되고 있다.

4. 계층분석법(AHP)

AHP는 1970년대 초 Tomas Saaty에 의해 개발된 의사결정 방법론으로서 정성적, 다기준 의사결정에 유용한 기법이다. AHP의 가장 큰 특징은 복잡한 문제를 계층화하여 주요 요인과 세부 요인들로 나누고, 이러한 요인들에 대한 쌍대 비교를 통해 중요도를 결정하는데 있다. 이 기법은 인간의 사고와 유사한 방법으로 문제를 분석하고 분해하여 구조화할 수 있다는 점과 모형을 이용하여 상대적 중요도 또는 선호도를 체계적으로 비율척도(ratio scale)화하여 정량적인 형태로 결과를 얻을 수 있다는 점에서 그 유용성을 인정받고 있다.

표 1은 이러한 AHP의 기본적인 원리를 보여주고 있다. 기본적으로 계층이라는 것은 유사한 특성을 지니고 있는 하위의 원소들을 하나의 상위 집합으로 군집화 하여 계층을 지닌 구조화시키는 과정이 필요하다. 그리고 각각의 군집 또는 원소들은 각각의 가중치를 지니게 되며 이때의 가중치는 동일한 위계를 가지는 항목들간의 쌍대 비교를 통하여 결정한다. 그리고 이러한 쌍대 비교를 통한 가중치의 결정은 그

표 1. AHP의 원리

원 리	내 용
계층적 구조 설정	• 현상을 동질성을 가진 부분으로 나눔으로써 보다 많은 정보를 문제의 구조화에 포함
상대적 중요성 설정	• 유사한 사물들을 짝으로 묶어 특정기준에 대비·비교 • 짝을 이루는 구성인자 사이의 선호도를 판단
논리적 일관성	• 사물이나 생각들이 논리적 일관성을 갖도록 관계를 설정

표 2 AHP의 분석 과정

분석 단계	내 용
1. Brainstorming	• 문제 요구사항 분석
2. 계층구조의 설정	• 계층구조 구성
3. 가중치의 설정 (weighting)	• 쌍대 비교행렬 작성 • 고유벡터와 고유치를 계산하여 평가 항목간 가중치 및 응답의 일관성 검토
4. 측정 (measurement)	• 평가점수에 가중치를 곱하여 각 대안별로 합산
5. 검토	• 평가결과의 전체적인 일관성을 검토

과정에서 논리적인 오류를 포함하게 된다. 즉 쌍대 비교를 통한 우선 순위상에서 서로 모순이 되는 결과를 포함하게 된다. 이러한 오류를 평가하는 과정이 논리적 일관성의 평가이며 이러한 과정을 거쳐 AHP 기법을 사용하게 된다. 표 2는 이러한 원리를 이용하여 실제 분석을 수행하는 과정이다. 가중치로 표현되는 상대적 중요도를 구하고 이 수치에 일정한 기준에 근거한 평가점수를 곱한 수치들의 합을 이용하여 의사결정에 이용하게 된다.

4.1 GIS 비용지수 산정을 위한 AHP 계층구조

계층이란 시스템의 특수형태로서, 계층구조를 설정한다는 것은 해결하고자 하는 문제의 요소를 파악하고 동질적인 집합으로 군집화하여 이 집합을 상이한 수준에 배열하는 것을 의미한다. 이 때 각 집합들을 수준이라고 부르고 각 수준은 요소로 구성된다. 그림 1은 이러한 계층구조를 보여주는 한 형태이다. 최종적인 결과인 목표와 이 목표를 구성하는 기준과 각각의 기준의 세부기준으로 나누어진다.

본 연구에서 GIS 비용을 하나의 통합지표(aggregate indicator)로 나타내기 위해서 표 3의 6개 지표를 하나로 통합하는 과정을 수행하였다. 그러나 6개 지표는 각각 측정단위(scale)와 분포가 상이하기 때문에 단일한 기준에서 비교를 하기 어렵다. 뿐만

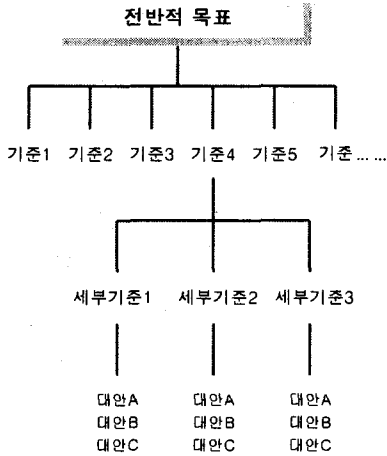


그림 1 AHP의 계층구조

표 3 비용측정용 6개 지표

평가항목	평가내용
시스템 운용 및 유지	<ul style="list-style-type: none"> • 기기 및 시스템 보수 • DB 유지보수 및 갱신
소프트웨어	<ul style="list-style-type: none"> • OS, DBMS • 기본S/W, 통신S/W • 관리시스템 등의 구입
데이터 획득 및 변환	<ul style="list-style-type: none"> • 기본도 • 개별 이용데이터 • 수치지도 제작 등
GIS 인력관리	<ul style="list-style-type: none"> • GIS실무담당자 및 직원의 보수 및 교육 • 사용자 교육비
하드웨어	<ul style="list-style-type: none"> • 컴퓨터 • 네트워크 기기 • 소모품 등의 구입
시스템 구축	<ul style="list-style-type: none"> • 데이터 서버 • 운영시스템 • 인터페이스화 개발

아니라 각각의 지표가 비용의 측정에 미치는 상대적 중요도는 상이하며, 응용프로그램의 발전 단계별, 경제·사회 환경 등에 따라 변화할 수 있다. 예를 들어, GIS 구축 초기에는 데이터 획득 및 변환, 시스템 구축비용 등이 비용을 산정하는데 있어서 상대적으로 중요한 지표로 볼 수 있을 것이다. 그러나 구축이 완료된 단계에서는 시스템 운용·유지나 교육 및 훈련비용이 높은 가중치를 부여받을 수 있을 것이다.

따라서 GIS 비용측정을 위해서는 6개 지표간 상대적 중요도를 정량화함으로써 지표간 중요도의 차이를 GIS비용지수에 반영하는 작업이 필요하다. 본 연구에서는 1단계의 계층구조의 분석만을 실시하였다.

이것은 세부기준으로 나누어진 항목의 경우 대다수의 설문응답자의 결과가 일관성을 지니지 못한 결과를 가져와 현실적인 의미를 가지지 못했기 때문이다. 만약 세부 구조에 대한 분석을 실시하기 위해서는 상위계층의 전문가들만을 대상으로 별개의 분석을 실시해야 할 것이다.

4.2 AHP를 이용한 가중치 연산

6개의 지표를 쌍대 비교하기 위해서 15개의 질문을 만들어 각 분야의 전문가를 대상으로 설문 조사하여 항목별 가중치를 추정하였다. 이 때 쌍대 비교를 통한 항목별 우선 순위의 계량화는 9점 척도법을 이용하였다.

표 4 쌍대비교시 중요도의 척도

언어적 판단	계량적 점수부여
극단적으로 선호	9
매우 강하게-극단의 중간	8
매우 강하게 선호	7
매우 강하게-강하게의 중간	6
강하게 선호	5
강하게-약간의 중간	4
약간 선호	3
약간-동등하게의 중간	2
동등하게 선호	1

(Saaty and Vargas, 1982)

이 기법은 두 개의 쌍대 비교시 하나의 기준이 다른 기준에 비해 얼마나 중요한가를 동등한 경우 1, 극단적으로 선호될 경우 9 점을 부여하여 행렬을 구성하고 고유벡터법을 이용하여 $A = |a_{ij}|$ 행렬을 구하는 방법이다.

이때 a_{ij} 는 w_i/w_j 의 추정치이고 행렬 A는 $a_{ij} = 1/a_{ji}$, 주대각선의 원들이 모두 1이 되는

성질을 가진다. A와 평가항목간 가중치 행렬 w 는 식 (1)의 관계를 갖는다.

$$\begin{pmatrix} \frac{w_1}{w_1} & \frac{w_1}{w_2} & \dots & \frac{w_1}{w_n} \\ \frac{w_2}{w_1} & \frac{w_2}{w_2} & \dots & \frac{w_2}{w_n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{w_n}{w_1} & \frac{w_n}{w_2} & \dots & \frac{w_n}{w_n} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} nw_1 \\ nw_2 \\ \vdots \\ nw_n \end{pmatrix}$$

$$A \cdot w = n \cdot w \tag{1}$$

식 (1)은 일반적인 고유치 문제를 표현하는 식으로서 쌍대비교행렬 A의 특성방정식(characteristic equation)의 해인 특성근(characteristic root) 또는 고유치(eigenvalue)를 산출하는 과정에서 우선순위벡터의 추정치 w 를 유도할 수 있다. 여기서 n 은 행렬 A의 최대고유치이며 행(또는 열)의 수이다. 식 (1)은 n 개의 연립방정식 체계에서 non-zero 해를 구하는 고유치 문제이다. 식 (1)을 w 에 대해 정리를 하면 식 (2)을 얻는다.

$$(A - nI) \cdot w = 0 \tag{2}$$

식 (2)을 만족시키는 영벡터가 아닌 w 는 요소간 상대적 중요도를 나타내는 가중치 벡터이다. 하지만, 의사결정자는 일반적으로 행렬 A와 같이 일관성 있게 요소들을 평가할 수 없어 일체의 쌍대비교행렬은 불일치를 포함한다. 따라서 쌍대비교행렬 A와 λ_{max} (A의 고유치중 가장 큰 값)을 이용하여 식 (1)의 대체식 (3)을 얻는다

$$A \cdot w = \lambda \cdot w, (A - \lambda I) \cdot w = 0 \tag{3}$$

여기서, 0 은 $n \times 1$ 열벡터이다. 식(3)의 해를 구하는 것은 식 (4)를 만족하는 해를 구하는 것과 동일하다.

$$|A - \lambda I| = 0 \tag{4}$$

단, λ 는 고유치(eigenvalue)이며, w 는 λ 에 상응하는 고유벡터(eigenvector)이다.

Laplace 전개에 의해 식 (4)를 전개하면 w 에 대

한 n 차 연립방정식을 얻는다. 이 전개식으로부터 λ 에 대한 n 개의 해를 구할 수 있다. λ 값을 식 (3)에 대입하면 w_i 와 w_j 는 상대적 비율만을 가지므로 w 에 상응하는 eigenvector를 그 합이 1이 되도록 정규화(normalization)하여 w_i 값을 구한다. 이렇게 구한 w 가 고유치 λ_{max} 에 상응하는 eigenvector이며, λ_{max} 에 상응하는 eigenvector를 평가항목간 가중치로 사용한다.

4.3 일관성 검증(consistency test)

만약 이원비교행렬 A가 완전한 기수적 일관성(cardinal consistency)을 갖는다면 특성방정식의 근 λ_{max} 만이 n 의 값을 갖고 나머지 근들은 모두 0이다. 하지만, 쌍대비교에 대한 응답이 완전한 일관성을 가지고 있지 않은 경우 λ_{max} 는 n 보다 큰 값을 가지게 된다. 따라서 λ_{max} 가 n 에 가까울수록 평가자가 쌍대비교에서 일관성있는 판단을 내렸음을 알 수 있는데 착안하여 일관성지수(CI; consistency index)를 식 (5)로 정의할 수 있다.

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \tag{5}$$

Saaty는 일관성비율이 0.1 미만이면 합리적인 일관성을 갖는 것으로 판단하고, 0.2 이내일 경우 용납할 수 있으나, 그 이상이면 일관성이 부족한 것으로 재조사가 필요하다고 제안하였다.

5. 결론

표 5는 설문을 통한 6개 지표의 결과이다. 이 때 표의 숫자는 행에 있는 지표가 각 열에 있는 지표와 비교하였을 때의 9점 척도이다. 이 때 분수로 표현된 값은 반대로 열에 있는 지표가 분모만큼의 9점 척도를 가진다는 것을 의미한다.

표 6은 설문을 통하여 얻은 결과와 AHP 분석 소프트웨어인 Expert Choice를 이용하여 얻은 항목별 가중치이다. 설문 대상자는 GIS에 관련된 업종에

표 5 설문을 통한 6개의 지표의 결과

	소프트웨어	데이터획득 및 변환	GIS 인력관리	하드웨어	시스템구축
시스템운용 및 유지	5	1/4	1/3	1/3	1/6
소프트웨어		1/6	1/3	1/4	1/4
데이터획득 및 변환			4	5	3
GIS 인력 관리				6	1/3
하드웨어					1/7

표 6 설문을 통한 6개의 지표의 가중치

시스템 운용 및 유지	소프트웨어	데이터획득 및 변환	GIS 인력관리	하드웨어	시스템구축
0.066	0.036	0.383	0.159	0.079	0.278

종사하는 인력들로 GIS 프로그램 제작자, 연구인력, 연구자 등 다양한 분야의 전문가들로 구성되었다. 결과를 해석하면, 현재 국내의 GIS 활용에 있어서 비용으로서 가장 큰 부분을 차지하고 있는 지표는 데이터획득 및 변환(0.383)과 시스템구축(0.278)인 것으로 나왔다. 이에 비해 소프트웨어(0.036)과 하드웨어(0.079)와 관련된 항목은 미비한 것으로 나왔다. 이것은 아직 국내 GIS활용이 초기 데이터구축 단계에서 운용단계로 접어드는 과도기로서 본격적인 활용보다는 그 기초자료와 시스템의 구축을 중심으로 시장이 형성되어 있는 것이 반영된 것으로 보인다. 분석결과 일관성을 검토하기 위한 일관성검증의 결과 CI가 0.18로서 Saaty의 분류상 합리적인 일관성을 가지지는 못하지만 수용할 수 있는 범위로 나타났다.

하지만 AHP 기법의 적용에는 해결해야 할 문제점들이 있다. 먼저 그 결과의 신뢰성에 관한 문제로서, 비계량적인 지표들을 통합하고 여러 대안 중에서 최적의 해를 얻는 과정이므로 그 타당성을 계량적인 수치로 검증하는 것은 한계가 있다. 또한 의사 결정 시 비록 전문가라 할지라도 주관적인 경험이나 환경에 의해 서로 상이한 결과가 나올 수 있다. 마지막으로 AHP 기법은 비율척도를 이용하여 계량적인 척도와 비계량적인 척도를 통합하여 최적의 대안을 찾는 기법이다. 따라서 그 결과를 어떠한 절대적인 수치로서 환산하여 적용하는 것은 옳지 못한 방법이다. GIS의 편익이나 효과들을 통합된 지표로서 각각의

항목들의 가중치를 얻는 것은 가능해도 계량적인 수치로서 사용할 수 없다는 단점이 있다. AHP를 통한 가중치의 결정은 각각의 항목을 다른 척도에 의해 정량화 된 수치들을 구하고 이를 각 가중치에 곱한 것의 합으로 의사결정을 지원하는 목적으로 제시된 기법이 가지는 한계이다. 이는 비용효과분석과 같이 의사결정을 지원하는 목적이 아닌 비계량적인 지수를 어떤 절대적인 지수로 바꾸어 사용하는 목적에는 분명한 한계가 있는 것을 말한다.

참고문헌

1. 한국개발연구원(2000), 예비타당성조사 수행을 위한 다기준분석 방안 연구
2. 한국개발연구원(2001), 국립디지털도서관 건립사업
3. Silva, E.(1998), "Cost-Benefit Analysis for Geographic Information System", NYS GIS Coordinating Body 보고서
4. Geospatial Information Land Victoria(1997), Report on Whole of Government Benefits Review for the Delivery and Development of Geospatial Information
5. McInnis, L and Blundell, S(1998), "Analysis of Geographic Information Systems(GIS) Implementations in State and County Government of MONTANA"

6. Tulloch, David, Ben Niemann & Earl Epstein (1997), "Assessing the Outcomes of MPLIS Implementation: Identifying and Describing Benefits", ESRI User Conference proceedings
7. 유복모(1996), 지형공간정보론, 동명사, pp.675-709
8. Obermeier, N. J.(1999). "Measuring the Benefits and Costs of GIS." Longley, Paul A., Michael F. Goodchild, David J. Maguire, and David W. Rhind, eds. Geographical Information System, pp. 601-610

(2002년 7월 1일 원고접수)