

GIS의 활용에 따른 비용-이익 산정기법에 관한 소고

(A Study on Cost-Benefit Analysis Techniques in GIS Applications)

김정옥, 유기윤, 김용일
JungOk Kim, KiYun Yu, YongIl Kim

서울대학교 지구환경시스템공학부 공간정보연구실
(151-742) 서울시 관악구 신림동 산 56-1번지

要 旨

GIS의 구축과 활용에 있어서 비용과 그에 따른 효과의 산정에 관하여는 활발한 연구가 이루어지지 못하고 있는 실정이다. 이는 상당부분 적절한 산정방법론의 부재에 기인한다. 본 연구에서는 그간의 학제적 연구과정을 거쳐 온 전통적인 비용-효과 분석의 틀을 고찰해보고 이를 토대로 최근 미국 지질조사국(USGS)에서 제안한 모델링 기법을 분석해 보았다. 전통적인 비용-효과 분석의 틀은 다수의 고안된 계량적 지표에 의거하는데 이는 모델링 기법에 의한 분석에서도 역시 준거체로서 작용한다. 특히 모델링 기법에서는 효과의 산정에 있어 활용된 GIS의 복잡도를 기본 요소로서 인식하고 이를 다중회귀분석에 의해 분석하여 그 효과를 산정하였다.

1. 서 론

GIS의 구축과 활용에 있어서 비용과 그에 따른 효과의 산정에 관하여는 활발한 연구가 이루어지지 못하고 있는 실정이다. 이는 적절한 산정방법론의 부재뿐만 아니라 GIS 시스템의 실제 효과 및 잠재이익에 대한 분석에 많은 어려움이 있기 때문이다. 그러나 정확한 비용-이익 분석이 어렵다 할지라도 GIS의 활용에 따른 비용-이익 산정에 대한 연구는 계속 진행해야 한다. 왜냐하면, 이 분석 자료가 투자의 근거를 제시하여 향후 확장계획에 참고해야 할 기본 사항이 되기 때문이다. 그리고 신뢰할만한 비용 산정방법론의 부재는 실제 비용을 증가시킬 수도 있기 때문이다. 예를 들어 효과를 잘못 측정하게 되면 GIS 기술은 과소평가될 수도 있고, 효과

를 너무 높게 측정하게 되면 높은 지출로 인해서 투자가 연기되거나 취소될 수도 있다.

어떠한 조직체가 자본을 투자하기 위해서는 시스템 구축으로 인해 예상되는 이익이 비용을 초과하여야 하며 이로부터 투자에 대한 정당성이 부여된다. GIS와 관련하여 이익과 비용간의 수치적 비교를 통한 많은 분류법 중 가장 널리 사용되고 있는 것이 비용이익분석이다.

비용이익분석이란 사업계획에 있어서 사업대안의 집행에 필요로 하는 비용과 그것에서 얻어지는 이익을 화폐로 환산하여 비교·평가하고 그 안을 실시해도 바람직한가를 검토하는 방법이다. 간단히 말해서 GIS 기법을 활용하는데 지불한 비용과 GIS 기법을 활용하지 않고 작업을 수행할 때 지불한 비용을 비교하고 동시에 두 방

법에 의해서 생산된 결과물의 가치를 비교함으로써 이익이 결정된다.

본 연구에서는 그 동안의 학제적 연구 과정을 거쳐 온 전통적인 비용-이익 분석의 틀을 고찰해보고 이를 토대로 최근 미국 지질조사국(USGS)에서 제안한 모델링 기법을 분석해 보겠다.

2. 전통적인 비용-이익 분석

2.1. 연구동향

GIS의 활용에 따른 이익관련 분석의 연구는 많은 학자들에 의해서 진행되어 오고 있다. Dickinson & Calkins(1998)는 GIS 구축에 따른 경제적 분석으로 전통적인 비용이익 분석을 소개하고 이에 적합한 대안적 비용이익 분석을 제안하였고 1990년에는 지리정보적인 범위, 경제적인 범위와 경제적인 범위간의 차이점을 비교하면서 GIS의 활용에 따른 비용-이익 평가에 대한 해석상의 어려움과 차별적인 평가기준 제시의 필요성을 제기하였다. Smith & Tomlinson(1992)은 이익과 비용간의 수치적 비교 및 유형·무형에 대한 손익과 비용을 정의하고 지리정보사업의 이점과 손실을 설명하였다. Worrall(1994)은 지방정부의 공공사업을 위한 비용이익 분석과 그에 따른 효율성 및 효과를 논의하였다.

2.2. 비용이익분석의 기초

비용이익분석에서 비용과 이익은 장래 시점에서 발생하는 것으로 한 시점 즉, 현재 가치로 환산하여 양자의 비율 또는 차를 가지고 평가기준으로 삼는 것이 일반적이다. 비용이익분석의 구체적인 평가기법으로 비용이익비(Cost Benefit Ratio : CBR), 현재가치(Present Value), 내부수익

율(Internal Rate of Return : IRR)이 있다. 현재가치에 대한 다음의 공식을 살펴보면,

$$Present\ value = \frac{Future\ value}{(1 + discount\ rate)^{years}}$$

예를 들어 은행 이자율이 5%일 때, 10년이 지난 미래에 \$1,000의 현재 가치를 측정하고자 한다면

$$Present\ value = \frac{\$1,000}{(1 + 0.05)^{10}} = \$613.90$$

이 된다.

순현재가치(Net Present Value:NPV)는 계획되어진 프로젝트에 대한 이익의 순현재가치와 비용의 순현재가치의 차이에 의해 경제적 채산성을 판단하는 것으로, 사업의 경제성을 가늠하는 척도 가운데 대안선택에 있어서 정확한 기준을 제시해주고, 계산이 용이하여 교통사업의 경제성 분석 시 보편적으로 이용되는 방법이다.

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{B_t - C_t}{(1 + i)^t}$$

i = 할인율

B_t = 프로젝트 시작 제 t 년도의 이익

C_t = 프로젝트 시작 제 t 년도의 비용

n = 계획년도

비용이익비는 계획되어진 프로젝트에 대한 이익의 현재가치와 비용의 현재가치와의 비를 구하여 경제적 채산성을 판단하는 방법이다. 이때 동일한 기준시점에서 상호비교가 가능하도록 적절한 할인율을 선택하여 현재가치를 환산한다. 할인율은 시장이자율, 기업할인율, 정부차입이자율, 사회적 할인율, 공공투자사업의 기준할인율 등이 있다.

$$CBR = \left(\sum_{t=1}^n \frac{B_t}{(1 + i)^t} \right) / \left(\sum_{t=1}^n \frac{C_t}{(1 + i)^t} \right)$$

내부수익율은 계획되어진 프로젝트에 대한 이익과 비용의 현재가치의 차이이다. 즉, 순현재가치를 0으로 만드는 할인율을 말한다. 이는 비용을 사업내용 기간 내에 회수함과 동시에 수익을 창출하는 비용의 가득력을 의미한다.

$$IRR = \sum_{t=1}^n \frac{(B_t - C_t)}{(1+i)^t} = 0$$

i = 내부수익률 (IRR)

2.3. GIS 비용이익 산정의 기본 구성

GIS의 활용에 따른 비용과 이익 산정에 있어서 첫 번째 단계는 GIS의 활용으로 인해 생기는 두 종류의 다른 이익, 즉 효율이익(Efficiency benefits)과 효과이익(Effectiveness benefits)을 확인하는 것이다.

효율이익은 이전에 GIS로 구축되어 있지 않은 업무를 GIS로 활용하였을 때 발생하는 이익으로 동등한 품질의 결과물이 생산되지만 비용이 더 적게 들어 생기는 이익이다. 그리고 효과이익은 현재 결과물의 질을 향상시키거나 이전에는 가능하지 않았던 결과물을 생성할 때 발생하는 이익으로 반드시 GIS를 활용해서만 수행 가능한 작업에 이용된다. 예를 들어서 새로운 도로를 어떻게 건설한 것인지에 대한 지도를 GIS를 활용한다면 빠르고 쉽게 작성할 수 있다. 만약 입지 선정에 대한 공간분석과정에서 많은 중첩을 필요로 한다면 이 작업은 GIS를 활용하지 않고는 이루어질 수 없을 것이다.

효율이익과 효과이익은 특히 GIS 활용에 따른 이익 측정에 유용하게 사용된다. 특정분야에의 응용을 위해서 GIS를 활용하였을 때 얻게 되는 이익은 “현재의 시스템과 새로 제안된 시스템의 비교평가”라고 할 수 있으며 (Wilcox 1990) 이는

다음의 식으로 설명된다.

$$\text{Benefits of GIS} = (\text{Value of Output}_{GIS} - \text{Value of Output}_{nonGIS}) + (\text{Cost}_{nonGIS} - \text{Cost}_{GIS})$$

이 공식에서 GIS를 활용하여 얻은 결과물과 GIS를 이용하지 않고 얻은 결과물이 같을 때 첫 번째 항은 사라지고 즉, 순수 효율이익 ($\text{Cost}_{non-GIS} - \text{Cost}_{GIS}$)만 남게 된다. 그리고 비용이 서로 같다면 두 번째 항 즉, 효과이익($\text{Value of Output}_{GIS} - \text{Value of Output}_{non-GIS}$)만 남게 된다. 공식의 네 개의 항들 중에서 $\text{Cost}_{non-GIS}$ 의 경우는 정부 기관 등에서 정확한 정보를 가지고 있을 것이나 Cost_{GIS} 의 산정은 광범위한 사전조사를 요구할 것이며 결과물의 가치를 측정하는 것 역시 단순한 작업으로 알 수 없다. 이러한 힘든 작업들 때문에 GIS의 이익을 양적으로 측정하는 연구가 드물다.

전통적인 GIS의 비용과 이익에 대한 연구는 효율이익에 대해서만 집중되어 있다. 이는 앞에서도 언급한 바와 같이 구축비용과 그 비용의 절감에 대한 산정은 상대적으로 용이하기 때문이다. 그러나 전통적인 비용-이익분석에서와 같이 효율이익만 집중하여 이익을 산정하면 2가지의 오류를 범한다. 첫째, GIS 기술을 경시하게 되어 투자의 연기, 심지어는 투자 계획 자체가 취소될 수 있다. 둘째는 효율이익이 클 때에만 GIS 구축에 투자하는 결과가 발생한다. 전통적인 분석 방법의 오류를 범하지 않고, GIS 비용-이익 연구의 발전을 위해서 우리는 다음의 두 가지를 명심해야 한다. 첫째, 효과이익의 산정을 소홀히 하지 않으며 둘째, 명확한 경계구분 없이 애매모호하게 이익을 구분 지으면 안된다.

3. 비용이익산정을 위한 모델링

3.1. GIS 비용이익산정에 영향을 미치는 요소들

미국지질조사국(USGS)에서 제안한 GIS 이익 산정방법 모델링 기법에 관한 연구는 GIS 활용대상의 복잡성(complexity)을 이익에 영향을 미치는 주요한 요인으로 주목한다. 절대·상대 위치정확도, 대상내용, 공간데이터 처리 등과 같은 요소들의 복잡성은 투자 효과에 영향을 준다. 복잡성이 주요한 요인으로 선택된 이유는 첫째, 효율이익, 효과이익이 복잡성에 영향을 받는다는 이론적 근거가 명확하다. 둘째, 이미 이전의 연구에서 GIS의 중요한 성공 요인으로 증명되었다. 셋째, 연방정부의 GIS 활용에 대한 일련의 USGS 사례연구에서 복잡성은 GIS 이익 산정에 있어서 유용한 개념임과 동시에 측정 가능한 개념임이 증명되었기 때문이다.

GIS 활용에 있어서 복잡성의 다양한 측면은 입력 자료의 복잡성, 분석의 복잡성, 결과물의 복잡성으로 설명할 수 있다. 첫째, 입력 자료의 복잡성은 활용작업을 수행하기 위해서 필요한 자료의 주제와 관계가 깊다. 다시 말하면 데이터 주제의 개수와 다양성, 입력 자료의 총계, 활용성의 영역범위를 뜻한다. 예를 들어 모든 조건이 같다고 가정할 때 더 넓은 연구지역과 많은 물리적 자료의 양이 주어진다면 사람이 손으로 입력해야하는 자료는 많아지고 자료를 많이 입력하면 더 많은 정보를 포함한 결과물 즉 가치가 높은 결과물이 도출된다. 이는 높은 효과이익과 더 많은 효율이익을 의미한다.

둘째, 분석의 복잡성은 데이터 주제가 활용대상의 내부에서 조작되어지는 방법과 관계가 깊다. 예를 들어 동시중첩의 최대 개수, 분석단계의 수, 중간 데이터 주제의 생성 수, 두 데이터 주제 간의 분석

가능한 상호작용의 수이다. 모든 조건이 같다는 전제 하에 공간분석과정에서 많은 중첩이 이루어져야하고 많은 입력 자료가 요구된다면 효율이익뿐만 아니라 효과이익 역시 높아지는 것을 확인할 수 있다.

셋째, 결과물 복잡성은 활용대상에 따라 다양하게 만들어지는 생산물과 관계가 깊다.

3.2. GIS 이익 측정을 위한 모델

USGS 연구에서 제시된 모델은 앞에서 언급한 복잡성 요소와 연관하여 한 쌍의 일반 최소 제곱 (OLS : Ordinary least squares) 다중회귀분석방정식으로 설명된다. 이 모델은 효율이익과 효과 이익을 별개로 산정한다.

$Cost_{non-GIS}$ 와 $Cost_{GIS}$ 가 같은 순수 효과이익의 계산은 다음의 방정식을 이용한다.

$$LT = 3.752 + 0.673 INPLEX1 + 0.045 INTERACT + 0.429 OUTPLEX + 3.147 SMALL + \text{잔차}$$

여기서 LT = 순수 효과이익의 화폐 가치에 대한 자연로그.

INPLEX1 = 입력 복잡성의 측정값.

INTERACT = 분석 복잡성의 측정값.

OUTPLEX = 결과 복잡성의 측정값.

SMALL = 활용대상 전체의 복잡성을 반영하는 가상 변수.

36개의 사례 관측을 수행한 결과 이 방정식의 결정계수(R^2)는 0.592이고 F 검정통계량의 측정값은 11.250이다. 결정계수는 효과이익에서 측정된 변수의 약 60%의 설명력을 가짐을 의미하고 F 검정통계량은 절편을 제외한 모든 계수가 '0'이라는 것을 나타낸다. INTERACT를 제외한

모든 변수가 신뢰도 99%의 유사성을 보였으며 INTERACT는 신뢰도 80%의 유사성을 보였다. 순수 효과이익은 측정된 자연로그의 진수를 취함으로써 화폐로 환산할 수 있다. 예를 들어 LT가 5일 때 화폐로 환산한 가치는 \$148이고 LT가 7일 때 화폐로 환산한 가치는 \$1,097이다. 만약 $Cost_{non-GIS}$ 와 $Cost_{GIS}$ 의 수치가 같지 않다면 이 둘의 차는 측정된 총계에서 제외시켜야 한다.

순수 효율 benefits를 계산하는 방정식은 다음과 같다.

$$RATIO = 0.477 + 0.100 INPLEX2 - 0.001 INTERACT + 0.051 OUTPLEX + 0.377 SMALL + 0.232 COST - 0.186 LAND + 잔차$$

여기서 RATIO = 효율이익 비율.

INPLEX2 = 입력 복잡성의 측정값.

INTERACT = 분석 복잡성의 측정값.

OUTPLEX = 결과 복잡성의 측정값.

SMALL = 전체 활용대상의 복잡성을 반영하는 가상변수.

COST = 수동적인 방법의 활용대상 운용비용을 반영하는 가상변수.

LAND = 활용대상이 실행되는 지역, 구역을 반영하는 가상변수.

31개의 관측을 통해서 이 방정식의 결정계수(R^2)는 0.742이고 F 검정통계량의 측정값은 11.531이다. 결정계수를 통해서 수동 작업 비용에 대한 효율이익 비율에서 측정된 변수의 약 75%의 설명력을 가짐을 알 수 있다. 효율을 구하는 방정식은 효과를 구하는 방정식과 다르다. 효율이익의 절대치를 측정하지 않고 GIS 기술을 활용함으로써 절약되는 비용의 비율을 계산한다.

순수 효율이익의 화폐가치는 측정된 비율과 활용대상을 수동으로 운영하는데 지출되는 비용의 곱으로 계산한다. 예를 들어 RATIO가 75.0이고 $Cost_{non-GIS}$ 가 \$1,000면 화폐로 전환한 가치는 \$750이다.

활용대상에서 효과이익과 효율이익 모두 발생했다면 GIS의 이익 측정은 위의 두 방정식에서 계산한 값을 더하면 된다.

3.3. 제시된 모델을 사용하는 순서도

USGS 연구에서 제시한 GIS 효과 산정 모델은 향상된 GIS의 비용-이익 연구이며, 그 작업과정은 아래의 10단계로 요약된다.

단계 1. 새로이 GIS를 활용하여 운영될 활용대상의 유형을 확인한다.

단계 2. 유형에 따라 주된 이익이 무엇인지 확인한다. 앞에서 언급한 바와 같이 이익에는 비용절감 등을 의미하는 효율이익, 더 나은 가치의 결과물 생산 등을 의미하는 효과이익이 있고 이 둘을 모두 고려하는 경우가 있다.

단계 3. 활용대상의 운영 빈도를 산정한다.

효율이익의 비중이 중요시되는 활용대상의 경우 :

단계 4. 방정식을 계산하는데 필요한 정보를 산정한다. 효율 방정식에서 사용될 복잡성 변수의 값과 기존의 방법(non-GIS)을 이용하여 지출되는 비용을 파악한다.

단계 5. 방정식에 변수의 값을 대입한다. 결과로 측정된 $Cost_{non-GIS}$ 의 비율은 GIS기법을 활용함으로써 절약되는 비용이다.

단계 6. 화폐단위로 전환하고 이를 모두 더한다. 수동으로 활용대상을 운영할 때 발생하는 비용과 이전 단계에서 계산한 비율을 곱하여 GIS 효율이익의 화폐 가치

를 구한다. 계산된 효율이익과 발생 횟수를 곱하면 그 결과는 절약되는 효율의 총 화폐 가치이다. 활용대상에서 절약한 모든 효율이익을 더하여 GIS기법을 활용하여 얻게 되는 효율의 총 화폐가치를 알 수 있다.

효과이익의 비중이 중요시되는 활용대상의 경우 :

단계 7. 방정식을 계산하는데 필요한 정보를 산정한다. 효과 방정식에서 사용될 복잡성 변수의 값을 파악한다. 만약 GIS기법을 활용하여 활용대상을 운영하는 경우의 비용이 더 많다면 $Cost_{GIS}$ 는 $Cost_{non-GIS}$ 보다 더 크게 된다.

단계 8. 방정식에 변수의 값을 대입한다. 이 결과는 GIS기법을 활용하여 예상되는 새롭고 향상된 결과물의 화폐가치에 대한 자연로그이다.

단계 9. 화폐단위로 전환하고 이를 모두 더한다. 계산한 자연로그의 진수를 취하여 순수 효과이익을 화폐가치로 산정한다. $Cost_{GIS}$ 가 $Cost_{non-GIS}$ 를 초과한다면 산정한 효과이익에서 그 차이만큼 뺄으로써 순 효과이익의 화폐가치를 구한다. 순 효과이익과 빈도를 곱하여 순 효과이익의 총합계를 구한다. 모든 효과 활용대상에서 발생하는 이익을 더한다. 이로써 GIS 기법 활용에 대한 효과이익의 화폐가치 총합을 구할 수 있다.

단계 10. 타당성을 검증한다.

실제로 몬타나 지리정보회의(MGIC)에서 위의 10단계를 통해 분석을 시행했고, (McInnis & Blundell 1998) 이 모델링 기법이 GIS의 효과를 산정하는데 훌륭한 모델이라고 보고한바 있다.

4. 결론

GIS의 효과를 산정하는 많은 산정방법론 중에서 특히 복잡성 변수를 주 요인으로 선정한 USGS의 연구를 살펴보았다. GIS기법을 활용하는 경우는 일반적으로 초기의 막대한 자본 투자가 이루어진 후에도 지속적인 유지관리비용이 요구된다. 또한 GIS 구축에 사용되는 예산 편성 및 집행에 있어서 정당성을 제시해야 할 필요가 있다. 그러므로 GIS의 비용-이익 분석에 관한 연구는 구축 이전뿐만 아니라 개발 중에도 이루어져야 한다.

기존의 GIS 기법을 이용한 비용-이익 연구에 있어서 대부분의 연구가 상대적으로 산정하기 용이한 효율이익만을 측정하고 효과이익을 측정하는 일은 등한시 하였다. 이러한 경우 효율이익에 집중된 비용-이익 분석에는 효율이익이 높을 때의 투자만이 정당화되는 등의 오류를 범하게 된다. 그러나 실제로 GIS기법을 사용함으로써 기대하는 효과는 비용절감에 초점이 맞추어져 있기보다 더 효과적인 작업 처리에 있다.

USGS의 연구는 효과이익의 양적인 산정에 대한 실질적인 기술을 제시함으로써 GIS기법을 활용한 결과물이 이전의 수동방식의 결과물과 어떻게 다른지에 대해서 그리고 이 둘이 사용자에게 미치는 영향력의 차이를 확인시켜준 것에서 그 가치를 찾을 수 있다. 일반화된 표준을 세우기는 어렵지만 앞으로도 GIS 효과 분석에 대한 향상된 연구를 통해서 GIS에 대한 평가가 제대로 이루어져야 한다.

참고문헌

Aronoff, Stan, 1989. Geographic Information System : a Management Perspective, WDL Publications, Ottawa,

Canada.

Dickinson, Holly J. and Hugh W. Calkins, 1988. "The Economic Evaluation of Implementing a GIS." *International Journal of Geographical Information System*, 2:4, pp.307-327

Gillespie, Stephen R, 1997, A model approach to estimating GIS benefits, United States Geological Survey, Reston, VA 22092, unpublished article.

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

Smith, Douglas A. and Roger F. Tomlinson, 1992. "Assessing Costs and Benefits of Geographical Information Systems: Methodological and Implementation Issues." *International Journal of Geographical Information Systems*, 6:3, pp. 247-256

Wellar, B, 1997. *Assessing GIS Benefits : The Methodology Dimension*, GIS/LIS '97 Annual conference and Exposition Proceedings, Cincinnati, Ohio, October, pp.207-213

Wilcox, D. L, 1990. Concerning 'The economic evaluation of implementing a GIS'. *International Journal of Geographical Information Systems*, Vol 4, No. 2, pp. 203 - 210

김홍배, 1997, *비용편익분석*, 홍문사

조명희, 김광주, 박상우, 1999, "지방자치단체에서 GIS구축에 따른 비용편익분석," *한국지리정보학회지*, 제2권, 제2호, pp. 87-96.