

수자원 경제성 분석 입문(12)

심 명 필 (인하대학교 환경토목공학부 교수)

1. 시작하며
2. 물의 경제적 가치와 수자원경제
3. 수자원사업의 경제성분석
4. 편익·비용분석기법
5. 이자율과 할인율
6. 편익과 비용의 산정
7. 편익의 산정방법
8. 산업연관분석과 파급효과
9. 대안의 선정과 최적규모의 결정
10. 민감도 분석
 - 10.1 민감도분석의 정의와 목적
 - 10.2 민감도분석 기법
 - 10.3 위험도와 불확실성
 - 10.4 민감도분석의 선택
 - 10.5 민감도분석의 적용사례

10.3 위험도와 불확실성

10.3.1 위험도와 불확실성의 정의

위험도(risk)와 불확실성(uncertainty)은 의미가 다르다. 위험도와 불확실성 모두가 분석자의 주관적 판단에 의해 설정되는 상황이지만 대체로 불확실성의 상황이 위험상황보다 더 많은 추측이 요구된다(김동진, 1997). 불확실성이란 일련의 행위로 인한 결과가 불확정적이거나 의심스러울 때를 말한다. 물론 불확실성이란 주관적인 판단이지만 위험도와 달리 어떤 의미 있는 확률을 배정하는 것조차 불가능한 상황을 의미한다. 불확실성은 관련된 현상 및 과정과 관련하여 완전한 이해(perfect understanding)와 파라미터 값을 어떻게 결정해야 할 지에 대한 완전한

지식(perfect knowledge)의 결여에서 온다.

앞 절에서 소개한 '일반적 민감도분석(general SA)' 방법은 분석자(analyst)가 파라미터 α_i 의 조합, 즉 $A_1, A_2 \dots$ 등에 의미 있는 확률을 부여하여야 한다. 그러나 α_i 의 몇몇 부분집합(subset)에 대해 $A_{j1}, \dots, A_{j\theta_j}$ 를 결정할 경우 단순히 임의로 확률을 부여해서는 안 된다. 이렇듯 의미 있는 확률이 부여될 수 없는 상황을 불확실성 상황(situation of uncertainty)이라고 하며, 반면에 확률이 부여되는 상황을 위험도 상황(situation of risk)이라고 한다.

결국 불확실성은 우리가 통제할 수 없는 사상(events)의 출현으로써 간단히 정의될 수 있다. 객관적 불확실성(objective uncertainty)은 통계적인 샘플 집단으로부터 추론할 수 있거나 임의처리(random process)와 관련이 있으며, 주관적 불확실성(subjective uncertainty)은 어떠한 사실적인 정보도 이용가능하지 못한 경우와 관련이 있다.

위험도(risk)는 1개 이상의 결과가 발생할 가능성을 말하며, 일반적으로 어떤 일이 잘못 진행될 가능성이 있을 때를 말한다. 위험도 역시 주관적인 판단이지만 의미 있는 확률을 배정할 수 있는 상황을 의미한다(Mays, 1996).

구체적인 예를 들면, 최근의 금강산댐 둘러싼 남북 관계는 불확실한 상황이라 할 수 있다. 이는 남북한의 정치적인 상황, 국제정세, 양국간의 협의가능성 여부 등으로 앞날을 예측하기 어려울 정도로 불확실하기 때문이다. 그렇다면 금강산댐 유역의 금년 여름의 강우량은 얼마나 될까? 이는 불확실성보다는 위

험도 상황이라 할 수 있다. 과거의 강우자료나 발생 확률 등을 이용하면 비록 정확한 값은 아닐지라도 미래의 강우를 추정할 수 있기 때문이다. 금강산댐의 붕괴가능성 역시 댐의 초기저수량, 강우량, 운영규칙, 댐체와 여수로의 안전도 등을 고려하면 불확실성보다 위험도 상황이라 볼 수 있다.

10.3.2 불확실성과 민감도분석의 의미

이전까지 우리는 불확실성 상황이 아닌 위험도 상황에서 논의를 해왔다. 그렇다면 불확실성 상황에 대해서는 '일반적 민감도분석(general SA)'은 불필요할까? 그렇지 않다. 그러나 다소 문제가 복잡하고 그만큼 분석이 어렵고 애매해 질 수밖에 없다(김동건, 1997). 어떠한 상황에서 확률이 부여되고 안되는 이유를 말하기는 어렵다. 이것은 다소 분석자의 판단에 달렸다. 분석자는 각각의 불확실한 파라미터 값 (H, M, L)에 대해 순현가의 누적확률분포함수를 계산해야 한다. 이전 예에서 분석자가 $A_1 = \{ \alpha_1, \alpha_2, \alpha_3 \}$ 의 가능한 값에 대해 불확실성을 가지고 있다고 한다면 즉, 가능한 값들이 (H, L, H), (M, M, M), (L, H, L) 인 것을 알지만 이 결과물에 확률을 부여할 수는 없다. 주어진 불확실한 값 중 하나를 취해 3개의 순현가 누적확률함수가 계산될 수 있다.

모든 정보는 의사결정자에게 제공되어지고 의사결정자는 주관적으로 불확실한 상황의 발생 가능성을 결정해야 하며 그에 따라 행동해야 한다. 중요한 점은 분석자는 의사결정자에게 요약한 형태로 가능하면 많은 정보를 제공해야 한다. 다만 불확실성을 인정함으로써 위험상황에 비해 정밀도에서 뒤떨어질 수 있다는 점을 인식시켜야 할 것이다.

프로젝트 평가시 위험도와 불확실성에 대해 고려해야 할 사항을 정리하면 다음과 같다(예비타당성조사 수행을 위한 일반지침 연구, 한국개발연구원, 2000).

- ① 먼저 위험의 주된 발생지와 비용과 편익에 영향을 미치는 중요한 불확실성이 무엇인지를 식별하여야 한다.

- ② 성과를 결정짓는 주요 요인에 대한 확률과 그 범위에 대해 대략적인 수치적 판단을 도출해야 한다.
- ③ 과거의 유사 프로젝트로부터의 증거자료 확보가 가능하다면 이를 기초로 발생 가능한 효과를 수량화하여야 한다.
- ④ 민감도분석을 행하고 적절한 경우 손익분기점을 계산하여야 한다.
- ⑤ 시나리오나 민감도 분석보다 더 정밀한 다른 방법들이 유용한지를 고려하여야 한다.
- ⑥ 더 유연한 설계를 위한 방도가 있는지를 고려하고, 더욱 유연성 있는 프로젝트를 위한 방안이 있는지를 검토하여야 한다.
- ⑦ 계약상에 더 나은 타협을 위한 여지가 있는지를 검토하여야 한다.
- ⑧ 변화가능성이 프로젝트 혹은 프로그램 경영에 대해 어떤 비용을 부담시키며, 변화가능성이 개인들에게 큰 부담으로 와 닿는지 등을 고려하여야 한다.
- ⑨ 만일 변화가능성이 문제가 된다면 보다 확실한 대안이 선호될 수 있는지 여부를 검토하여야 한다.
- ⑩ 사후적 평가를 위해 그리고 위험분석과 관련하여 이후의 프로젝트에 도움이 되는 중요한 교훈을 이끌어 낼 수 있도록 하는 장치를 마련하여야 한다.

10.3.3 몬테칼로 분석과 확률분포 산정

민감도분석에서 가능한 모든 경우에 대하여 확률분포를 구하는 방법으로 몬테칼로 시뮬레이션(Monte Carlo simulation)을 들 수 있다. 몬테칼로 분석은 주요 변수별로 몇 개의 특정 값을 가정하는 것이 아니라 확률분포 전체를 가정하고, 그에 따라 현재가치에 대해서도 몇 개의 값이 아니라 분포전체를 계산해 내는 것이다. 따라서 주요변수의 변화가 얼마나 실현 가능한 것인지에 대한 정보가 자동적으로 고려되어진다.

또한 변수들의 확률분포를 가정함에 있어 변수들

간의 상관관계 또한 가정할 수 있으므로 여러 변수들의 변화를 종합적으로 고려할 수 있으며, 다음과 같이 불확실성이 주로 어떤 변수에 기인하는 것인지를 알고자 할 때 쓰인다.

- ① 각 변수에 대한 확률분포 가정
- ② 변수들 간의 상관관계 가정
- ③ 현재가치의 확률분포 계산

분석방법은 먼저 각 변수의 확률분포를 가정하기 위해서는 과거의 실제자료를 이용하여 히스토그램을 그려본다든지 아니면 과거 자료가 부족할 경우 정규분포, 삼각분포 등의 단순한 분포에 의존할 수 있다. 삼각분포는 최저값과 최고값, 그리고 최빈값의 세 가지 값만으로 결정되는 분포로서 그 단순성 때문에 널리 이용된다. 변수들간의 비독립성은 주로 변수들간의 상관관계수를 가정해 줌으로써 고려할 수 있다. 이러한 주요 변수들의 확률분포가 결정되고 나면 그 결과로 현재가치의 확률분포가 계산된다. 일단 현재가치의 확률분포가 주어지면 그로부터 현재가치의 기대값 뿐만 아니라 표준편차와 같은 위험관련 통계치도 간단히 구할 수 있게 된다.

몬테칼로 분석의 장점으로 분석방법이 다소 복잡한 반면 현재가치의 다양한 값들이 어떤 확률로 발생할 것인지를 일목요연하게 고려할 수 있으므로, 특히 두 가지 이상 사업의 비교에 매우 유용하게 쓰일 수 있다. 그러나 주요 변수별로 확률분포를 가정해야 하므로 사전적으로 요구되는 정보의 양이 많아진다. 주요변수의 확률분포에 대한 사전적인 정보가 없이는 민감도분석의 결과도 큰 의미를 가지기 어렵다. 따라서 현재가치의 불확실성이 주로 어떤 변수에 기인하는 것인지를 알고자 할 때에 사용될 수 있다.

몬테칼로 분석의 한계점은 여러 가지를 들 수 있다.

첫째, 위험을 고려하기 위해서는 개략적이거나 주요 변수의 확률분포에 대한 사전적인 정보를 가지고 출발하는 것이 필요하다.

둘째, 주요 변수의 일정한 변화를 가정하여 현재가치의 확률분포를 구하였다 하더라도 그 결과를 구체

적으로 최종 의사결정에 어떻게 반영할 것인가에 대해서는 일관된 규칙이 세워져 있지 않다. 예를 들어 두 가지 사업 A와 B 가운데 사업 A가 사업 B보다 현재가치의 기대치와 표준편차 모두에 있어서 더 크다고 할 때, A와 B중 어느 것을 선택해야 할 것인가가 분명하지 않다는 것이다.

셋째, 여러 투자사업을 개별적으로 분석하며 투자사업들간의 관계를 무시하고 있다. 그런데 일반적으로 분석결과는 고려되는 투자사업의 정의에 따라 달라질 수 있으므로, 여러 투자사업을 총체적으로 묶어서 마치 하나의 사업인 것처럼 고려한다면 그렇지 않은 경우와 비교하여 전혀 다른 결론이 도출될 수도 있다. 예를 들어 두 가지 사업 A와 B의 순편익이 서로 독립적이라면 사업 A와 B를 개별적으로 고려했을 때보다 A와 B를 묶어서 하나의 사업으로 취급했을 때의 위험이 더 작게 나타날 것이다. 보다 극단적으로 A와 B의 순편익이 완벽한 음의 상관관계를 가지고 있다면 A와 B 개별적으로는 아무리 위험이 크더라도 A와 B를 동시에 고려한 순편익은 항상 일정할 수 있는 것이다. 현실적으로 공공투자사업은 여러 개가 동시에 진행되는 것이 보통이므로, 여러 투자사업간의 관계를 제대로 고려하지 못하는 데에서 발생하는 단점은 매우 치명적인 것일 수 있다.

넷째, 수량화하기 어려운 변수의 변화를 제대로 반영하지 못한다. 이들 분석은 주요 변수의 확률분포를 전제로 하므로 확률분포가 정의되기 어려운 변수들에 대해서는 그 위험도를 제대로 반영하지 못하게 되는 것이다. 예를 들어 사전조사가 예상보다 늦게 끝날 가능성이나 혹은 사업이 중도에 포기될 가능성과 같은 계획상의 불확실성은 고려하기 어렵다.

10.3.4 수자원계획과 민감도분석

불확실성은 수자원계획에서도 자주 등장하는 한 요소로서, 강우량을 포함한 수자원의 공급의 변동성과 미래의 인구와 용수수요를 정확하게 예측하지 못하는 우리의 한계로 인해 야기된다고 할 수 있다. 수자원시스템 계획시 이러한 불확실성을 다루는 여러 방법 중 간단하고 널리 사용되는 기법이 민감도분석

이다. 민감도분석은 비용과 설계 파라미터의 오차에 대한 영향을 평가하는데 유용하다. 민감도분석을 사용함으로써 시스템이 모형화되고, 특정 파라미터와 파라미터의 조합에 의해 영향이 평가된다.

민감도분석을 설명하기 위해 간단한 용량확장모형(capacity expansion model)을 예로 들어보자(Loucks et al., 1981). 설계에 관련된 파라미터가 부적절한 값이라면 비용이 어떻게 변화될 것인가 라는 문제가 제기될 수 있다. 비최적인(nonoptimal) 설계기간이 선택될 수도 있고, 비최적인 용량의 시설이 지어질 수도 있다. 최적 설계용량을 확장한다면 실제비용은 설계기간, 할인율, 수요증가를 등의 파라미터에 의존하게 된다. 특정 프로젝트에 대해서는 대략적인 값만을 예상할 수 있으므로 이러한 데이터의 양과 질(quantity and quality)은 제한되어 있다.

댐, 운하, 정수처리시설, 하수처리시설, 관망설계 등의 전형적인 용량확장모형에서, 용량에 대한 구조물 비용은 지수함수(power function)에 의해 다음과 같이 개략적으로 표현할 수 있다고 하자.

$$K(x) = \alpha x^b \quad (10.21)$$

여기서 x 는 용량이고, K 는 초기비용(capital costs)이며, 유지비를 포함하고 있다. 파라미터 b 는 0과 1사이이고, 경제규모를 반영하고 있으며, 다음과 같이 용량에 대한 비용의 탄력성(elasticity)으로 정의된다.

$$b = \frac{x}{K} \frac{dK}{dx} \quad (10.22)$$

만약 $b=0.5$ 라면 용량의 10% 변화는 비용을 5% 변화시킨다. 식 (10.22)을 변형하면 다음과 같다.

$$\frac{dK}{K} = b \frac{dx}{x} \quad (10.23)$$

정수처리시설과 하수처리시설에서 b 의 값은 0.6에서 0.8 사이의 값을 가지는 것이 일반적이다. 댐이

나 운하의 경우는 b 의 값이 0.35 만큼 낮아질 수 있다. 광역 하수처리 시설과 같은 경우는 1에 가까워진다.

예제를 간단히 하기 위해, 용량과 관련 없는 운용과 유지비용은 총 비용에 대해 무시할 수 있다고 가정하고 그렇지 않으면 용량에 비독립적이고 시설 사용율에 대해서만 독립적이라 가정한다. 현재 수요의 증가로 용량 확장 공사의 일정에 관해 생각해보면, $b < 1$ 에 대해서 예상된 수요에 대해 이전에 공사를 한다면 경제적으로 유리하다. 그러나 이러한 것은 수년 동안 필요하지 않을 용량을 확장시켜 그에 해당하는 자원의 기회비용을 가중시키게 된다.

10.4 민감도분석의 선택

경제성분석에서 민감도분석은 반드시 수행되어야 하며, 앞 절에서 4개의 민감도분석 방법을 소개하였다. 그렇다면 분석자는 그 중의 어느 방법(또는 수준)을 선택하여야 할까? 만일 어떤 사업의 편익비용 분석이 시간과 예산에 제한을 받지 않는다면 다소 복잡하기는 하나 "일반적 민감도분석(general SA)"을 수행하는 것이 바람직하다. 이 방법이 의사결정권자에게 가장 "완전하고 신뢰할 수 있는(complete and reliable)" 정보를 이해하기 쉬운 형식으로 제공할 수 있기 때문이다(Sassone & Schaffer, 1978). 그러나 우리 나라에서는 수자원부분 사업은 물론이고 기타 다른 분야의 공공사업도 "일반적 민감도분석"의 적용 필요성은 제기되고 있으나 현실적으로 이용되지 않고 있다.

일반적으로 시간과 예산이 제한적이기 때문에 각 상황에 따라 분석자의 판단에 의해 민감도분석의 수준(level)을 결정해야 한다. 이러한 민감도 분석의 수준을 선택하기 위한 규칙(rule)으로 효율적인 자원 사용을 위한 경제적 규칙을 예로 들자. 일반적으로 편익·비용분석(BCA or CBA)은 민감도분석을 포함하여 다음 5가지 과제로 구성되어 있다(Sassone & Schaffer, 1978).

- (1) 문제의 정의와 가능한 대안 명시

- (2) 적절한 비용과 편익 규명
- (3) 비용과 편익 산정
- (4) 민감도 분석 시행
- (5) 최종 보고서 작성

편익비용분석을 수행할 경우 위와 같은 다섯 가지의 과제에 대하여 예산을 어떻게 배정해야 할까? 효율성 규칙이란 한 과제에 배정한 금액의 한계값이 다른 과제에 배정한 자금의 한계값과 일치하도록 하고 그래서 전체 비용·편익분석의 총가치가 최대로 증가될 수 있도록 자금을 배분하여야 한다는 것을 뜻한다.

효율성규칙을 수식으로 설명하면 다음과 같다. M_1, M_2, \dots, M_5 를 상기 다섯 과제에 배분된 예산이라고 하고, Z 를 편익비용분석의 총가치(overall quality)를 나타내는 지수라고 하면 다음과 같이 표시할 수 있다.

$$M = M_1 + M_2 + M_3 + M_4 + M_5 \quad (10.24)$$

$$Z = F(M_1, M_2, M_3, M_4, M_5) \quad (10.25)$$

Lagrangian 함수는 다음과 같다.

$$L = F(M_1, M_2, M_3, M_4, M_5) - \lambda(M_1 - M_2 - M_3 - M_4 - M_5) \quad (10.26)$$

최적배분 ($M_1^*, M_2^*, M_3^*, M_4^*, M_5^*$)이 이뤄지도록 하는 필요조건은 여섯 개의 변수 (M_i, λ)들로 L 을 미분함으로써 얻어진다. 즉, 최적배분 ($M_1^*, M_2^*, \dots, M_5^*$) 은 다음의 조건을 만족시킴으로써 이루어지는 것이다.

$$\frac{\partial F}{\partial M_1} = \frac{\partial F}{\partial M_2} = \dots = \frac{\partial F}{\partial M_5} \quad (10.27)$$

위 조건이 의미하는 바는 과제 1에 배분된 금액의 한계값이 과제 2, 과제 3 등에 배분된 금액의 한계값과 같아져야 한다는 것이다.

이러한 방법은 분석자의 판단을 돕기 위한 방법이나, 분석가치의 기준이나 수준을 정의하는 것이 쉽지는 않고 예산의 한계값도 명확하지는 않다. 그러나 만일 분석자가 과제별로 비용을 할당하여야 한다면 경제적 효율성 규칙(economic efficiency rule)이 도움을 줄 것이다. 결론적으로 민감도분석의 수준을 결정하기 위해서는 의사결정자가 원하는 수준, 여러 과제에 사용된 예산의 효율성, 전체적인 편익비용분석에 끼치는 공헌도 등을 고려하여 결정하면 된다.

민감도분석 기법을 이용하여 의사결정모델을 세우고 해결하는 의사결정 도구로서 토네이도 다이어그램(Tornado Diagram)이 있다(Cleman, 1995). 각 파라미터가 가질 수 있는 기본값(base value)을 유지하면서 특정 파라미터가 변할 때 연간이익(annual profit)이 변하는 정도를 나타내어, 파라미터의 변동이 얼마나 이익에 영향을 미치는지를 추정할 수 있다. 가장 민감한 파라미터를 알 수 있으므로 그와 관련된 다른 제반사항을 고려할 수 있어서 신중한 의사결정이 이뤄진다.

10.5 민감도분석의 적용사례

공공사업에 대한 타당성 여부를 사전에 평가할 때 불확실하거나 위험한 상황을 미리 고려하여 이것이 사업의 성패에 어떠한 영향을 미치는가에 대한 분석이 필요하다(예비타당성조사 수행을 위한 일반지침 연구, 한국개발연구원, 2000). 이와 같은 여러 변동 상황에 대한 영향을 제시하는 민감도분석은 의사결정자(decision maker)에게 사업선택에 관한 최종판단을 내리도록 하는데 도움을 줄 뿐만 아니라 이를 통하여 사업의 성공적 집행을 위한 사전예방조치를 강구하도록 하는 계기가 마련될 수 있다.

예비타당성조사 수행을 위한 일반지침 연구(한국개발연구원, 2000)에서 다음의 경우에는 항상 민감도분석을 수행하도록 제시하고 있다.

■ 학술/기술강좌

수자원 경제성 분석 입문(12)

① 비용과 편익의 추정치에 있어 중대한 편익을 예상해야 할 이유가 존재하는 경우 특히, 중요한 신기술, 실질적인 재배치, 예외적으로 큰 대규모 건설 프로젝트, 재건축 혹은 시장 점유율의 예측 등을 수반하는 어떤 프로젝트든지 적용되어야 한다.

② 경영에 있어 불확실성이 잠재적인 예산문제를 야기하는 경우 특히, 총예산에 비하여 상대적으로 그 규모가 큰 종류의 프로젝트에 적용되어야 하며, 환위험과 같이 커다란 불확실성 하에서 진행되는 프로젝트에도 반드시 적용되어야 한다.

10.5.1 국내 수자원부문 사업의 민감도분석

다목적댐을 포함한 기존의 국내 수자원사업에서 사용 민감도분석 방법은 앞 절에서 설명한 객관적인 접근방법의 하나인 '선택적 민감도분석(selective SA)'라고 할 수 있다. 이는 여러 변수의 변동 가능성이나 그로 인한 영향에 대한 언급이 없고 여러 변수의 조합이나 연관성에 대한 관계 및 확률 분포가 없기 때문이다.

민감도분석의 내용은 초보단계로서 여러 가지 파라미터를 복합적으로 고려하여 변동상황에 대한 민감도분석을 하기보다는 주로 할인율을 대상으로 하여

편익·비용비(B/C ratio), 내부수익률(IRR) 및 순편익(NPV) 등의 경제성분석 지표를 제시하고 있다.

국내 다목적댐의 타당성조사 보고서, 기본설계 및 실시설계보고서의 경제성분석 사례를 조사한 결과, 민감도 분석에 사용한 파라미터는 일반적으로 내용연수 50년에 대해서 할인율을 변화시켜 경제성분석 지표를 산정하고 있다.

〈사례 10-1〉 한탄강댐 타당성조사

출처: 한탄강댐 기본설계보고서(건설교통부·한국수자원공사, 2001. 6.)

파라미터로서 '할인율'을 선택하여 민감도분석 결과를 수행하였고, 할인율 선정시 최근 적용된 다목적댐의 할인율, 분석 당시(2001년)의 시중금리, 물값산정시 적용하는 투자보수율을 고려하였다. 물가상승은 고려하지 않으므로써 할인율 이외의 변수가 미치는 영향을 최소화하여 비교적 정확한 계산을 한 셈이다. 한탄강댐의 편익과 비용에 포함된 항목은 〈표 10-3〉과 같으며, 민감도 분석에 사용한 파라미터는 할인율 7.5%~12% 사이의 값이고 분석결과는 〈표 10-4〉와 같다.

〈표 10-3〉 한탄강댐의 경제성분석에서 편익 및 비용에 포함된 항목

편 익		비 용
직접 편익	간접 편익	
①홍수조절편익 ②용수공급편익	①관광 편익 ②지역소득 증대에 의한 편익 ③재정수입 증대에 의한 편익 ④비상용수 공급편익 ⑤도로이설에 의한 교통편익	①공사비 ②보상비 ③유지 관리 보수비 및 기타

〈표 10-4〉 할인율에 따른 민감도 분석결과

(단위 백만원)

할인율	비용의 현재가치	편익의 현재가치	순편익(B-C)	B/C
12 %	1,351,141	1,265,004	86,137	0.84
10 %	1,291,842	1,272,460	19,382	0.98
9 %	1,263,995	1,285,429	21,434	1.02
8 %	1,237,530	1,306,791	69,260	1.06
7.5 %	1,224,895	1,324,358	96,463	1.08

〈사례 10-2〉 용담댐 타당성조사

출처: 용담다목적댐 타당성조사 보고서(한국수자원공사, 1990)

용담댐의 경우에는 할인율을 변화시켜 편익·비용비, 순편익, 내부수익율을 검토하였으며, 기존 다른 댐과 달리 발전편익의 산정에서는 동일 유역에 있는 대청다목적댐의 영향까지 고려하였다. 내부수익율의 경우 대청다목적댐의 영향을 고려하면 12.35%, 고려하지 않으면 13.34%로 나타났으며, 대청다목적댐을 고려하지 않는 경우 편익·비용비나 순편익이 고려하는 경우보다 높게 나타났다. 용담댐 민감도분석 결과는 〈그림 10-4〉와 같다(수자원개발의 경제성 분석모델 개발 보고서, 심명필 등, 1998. 9.)

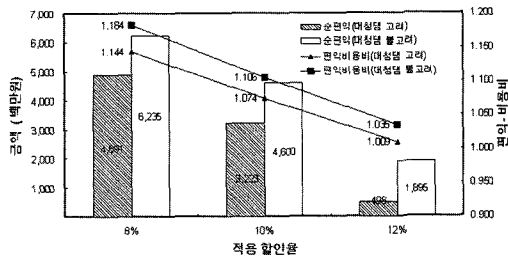


그림 10-4. 용담댐의 민감도 할인율에 따른 민감도 분석

〈사례 10-3〉 송리원댐 예비타당성조사

출처: 송리원 다목적댐 예비타당성조사 보고서(한국개발연구원, 1999.8)

할인율 3%~12%을 변화시켜 적용할인율 7.5%에 대한 추정오차를 보완하였고, 아울러 용수의 사회적 가치의 변화가 수익성에 미치는 영향을 검토하였다.

50년간 총 용수공급량은 약 116억톤, 현재가치는 약 3,590억원이며, 용수 1톤의 공급단가는 약 31원으로 추정되었다. 용수의 지불의사(WTP)나 사회적 가치에 대한 기준치가 없는 상황에서 정확한 경제성을 평가할 수는 없지만, 용수의 사회적 가치가 공급

단가를 크게 상회할 것으로 추정되어 상당한 경제성을 가지고 있는 것으로 판단하였다. 송리원댐의 할인율과 용수가치에 따른 민감도 분석결과를 〈그림 10-5〉와 〈그림 10-6〉에 나타내었다.

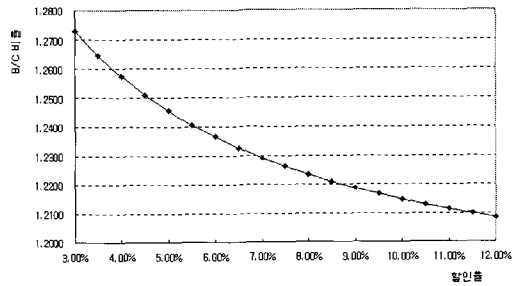


그림 10-5. 송리원댐의 할인율 변화에 따른 민감도 분석 결과

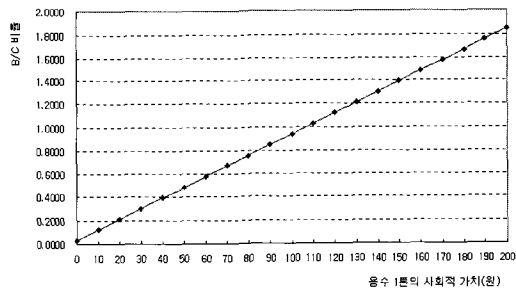


그림 10-6. 송리원댐의 용수의 사회적가치 변화에 따른 민감도 분석 결과

〈사례 10-4〉 팔당댐 경제성분석

출처: 팔당댐 운영 합리화 방안 타당성 조사 보고서(한국수자원공사, 1996.10)

팔당댐은 기존 시설물이므로 사업비용은 이용을 극대화하기 위한 댐 증고비용으로 하였다. 경제적 타당성 여부는 신규사업이 아니므로 투자 타당성이 아닌 다목적댐 기능의 평가와 다목적 기능의 강화방안의 투자에 대한 경제성을 검토하는 것으로 다음과 같은 경우로 나누어 경제성 평가를 하였다.

- ① 현재와 같이 발전 단일 기능만 가질 경우

■ 학술/기술강좌

수자원 경제성 분석 입문(12)

- ② 다목적 기능을 가질 경우
- ③ 댐을 1m 증고 후 다목적 기능을 가질 경우
- ④ 댐을 1m 증고 전·후의 발생비용과 증가 편익

할인율 10%를 기준으로 하여 편익·비용비, 순편익, 내부수익율을 산정하였고 할인율의 변화(4%~14%)에 대한 민감도 분석을 하였다.

〈사례 10-5〉다목적댐의 적용 할인율

최근의 다목적댐의 기본설계 보고서 등에서 민감도 분석을 위해 적용한 할인율을 정리하면 <표 10-5>와 같다. 최근 한국개발연구원(KDI)에서 발간한 「수자원부문사업의 예비타당성조사 표준지침연구(개정판)」(김재형과 심명필 등, 2001.12)에서는 수자원부문 공공사업의 경제성 분석에서는 할인율을 6%를 추천하고 있으므로 6%를 기준으로 각종 지표를 산정하고 할인율을 달리하여 민감도분석을 수행하는 것이 바람직할 것이다.

10.5.2 외국의 사례

외국의 경우는 사업의 경제성분석에서 비교적 자

세한 민감도분석을 실시함으로써, 불확실한 각 변수의 확률분포를 고려한 분석결과를 제시하고 있다. 결과적으로 파라미터 값의 변동에 따른 사업효과를 사전에 비교함으로써 사업추진에 대한 신뢰도가 높다고 할 수 있다.

〈사례 10-6〉메콩강의 민감도분석

출처: Claudia Ringler(2001), Optimal Allocation and Use of Water Resources in the Mekong River Basin : Multi-Country and Intersectoral Analyses

메콩강은 <그림 10-7>과 같이 하류 유역에 캄보디아, Lao PDR, 태일란드, 베트남의 4개국이 공유하고 있고 이들 국가간에 “메콩강 수자원관리위원회”가 있다.

민감도분석은 기본 시나리오(baseline scenario)에 대해 여러 파라미터의 변화에 대한 다양한 항목의 분석을 하였으며, <표 10-6>은 분석결과를 보여주고 이를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 총유입량이 반으로 줄면 행① 과 같이 관개편익(irrigation profit) 36%, 생공편익(M&I) 5%,

표 10-5. 다목적댐의 적용할인율

댐 명	적용 할인율(%)	비 고
남강다목적댐	8, 10	남강다목적댐 기본계획 검토서 (1988)
합천다목적댐	10	합천다목적댐 공사지 (1989)
용담다목적댐	10	용담다목적댐 타당성조사 보고서 (1990)
부안다목적댐	8, 10, 12	부안다목적댐 실시설계 보고서 (1990)
보령다목적댐	8, 10, 12	보령다목적댐 타당성조사 보고서 (1990)
횡성다목적댐	8, 10	횡성다목적댐 실시설계 보고서 (1990)
주암다목적댐	8	주암다목적댐 공사지 (1991)
밀양다목적댐	8, 10, 12	밀양다목적댐 기본설계 보고서 (1991)
임하다목적댐	8, 10	임하다목적댐 공사지 (1992)
탐진다목적댐	8, 10, 12	탐진다목적댐 기본설계 보고서 (1995)
영월다목적댐	8.5	영월다목적댐 기본설계 보고서 (1997)
적성다목적댐	9	적성다목적댐 기본설계 보고서 (1998)

표 10-6. 다양한 파라미터에 대한 민감도 분석

Parameter	Levels/ values	Irrigation Profit	M&I Benefit	HP Profit	fish Profit	Wetland Benefit	Total Profit	Irrigation Withdrawal	비고
Inflow	50%	64	95	56	32	82	58	94	①
	60%	69	99	95	45	87	66	96	
	80%	95	99	76	82	95	91	87	
	120%	103	100	102	133	96	111	82	
Irrigation Efficiency	0.5 ^a	70	98	95	100.3	100	84	99	②
	0.9 ^a	108	100	101	100.7	100	104	92	
Irrigated Area	75%	76	100	100	101.1	99.9	88	79	③
	150%	106	98	84	100.0	99.9	103	108	
	175%	122	97	91	100.6	99.8	111	123	
Irrigation Water Price	\$0.002/m ³	64	100	104	106	100	84	51	④
	\$0.004/m ³	57	100	102	106	98	80	21	
	\$0.006/m ³	52	100	103	106	98	77	17	
	\$0.008/m ³	47	100	103	106	98	75	16	

수력발전(HP) 이익 44%, 어업(fishery) 이익 68%, 습지(wetland) 편익 18% 정도가 줄어들며, 농업용수(agriculture water)는 약 6% 감소한다.

(2) 면적사용효율(field application efficiency)



그림 10-7. Mekong River 유역

의 기본값은 0.7이고 전체적인 관개효율은 39%이다. 관개효율이 0.5로 떨어지면 행②에서 총 이익은 16%, 전체적인 관개효율은 29%로 감소한다. 이러한 시나리오에서는 기본적인 관개용수 수준까지 끌어올리기 위해 관개용수를 39%까지 증가시켜야 할 필요가 있다. 그러나 용수 저류용량은 제한되어 있으므로 이러한 경우에는 생공용수(M&I)의 사용으로부터 직접 끌어와야 한다.

(3) 관개면적(수확면적)이 175%까지 증가하면 총이익은 11%, 관개이익은 22% 정도 증가한다. 동시에 외곽-산업부분과 수력발전은 각각 3%, 9% 감소한다.

(4) 기본 시나리오에서는 관개용수의 가격은 0으로 되어있지만 행④와 같이 \$0.002/m³로 오른다면 관개이익은 36%까지 크게 떨어지며, 관개용수 사용은 반으로 준다. ●