

수자원 경제성 분석 입문(11)

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
 - 10.2.1 주관적 추정(Subjective Estimates)
 - 10.2.2 전환값(Switching Value)
 - 10.2.3 선택적 민감도분석
 - 10.2.4 일반적 민감도분석
 - 10.3 위험도와 불확실성
 - 10.4 민감도분석의 선택
 - 10.5 민감도분석의 적용사례
11. 수요와 공급
12. 비용배분

10. 민감도분석

10.1 민감도분석의 정의와 목적

민감도분석(sensitivity analysis: SA)은 시스템을 수행하는데 있어서 불확실한 파라미터 값 또는 변수들이 미치는 효과를 평가하고 규명하는 수단으로서, 주요 파라미터(key parameters) 값의 변화에 따른 사업평가(project evaluation)의 결과와 불확실성을 다루는 실용적인 방법(Loucks et. al, 1973)이라 정의할 수 있다. 보다 쉽게 말하면 민감도분석이란 미

래에 발생할 수 있는 파라미터 값의 변화가 최종적인 사업의 결과에 어떠한 영향을 미치는가를 분석하는 수단이며, 이러한 민감도분석을 통하여 계획하는 정책이나 프로젝트의 경제성이 각 파라미터에 얼마나 민감하게 반응하는가가 나타나게 된다.

민감도분석은 위험을 묘사하기 위해 가장 널리 통용되는 기법으로서 비용과 편익에 대한 대안적 가정이 어떠한 효과를 가져오는지도 제시해 준다. 구체적으로 민감도분석은 특정한 가정 하에서 어떤 변화가 순현재가치 또는 순현재가(NPV), 총비용, 내부수익률(IRR) 또는 다른 프로젝트의 결과에 얼마나 영향을 주는지를 산출한다. 그러므로 분석과정에 있어서 대안적 가정에 적절한 가중치를 부여하는 판단과정이 필요할 수 있다.

일반적으로 편익·비용분석에서는 프로젝트의 크기와 규모가 명확해야 한다. 그러나 현실적으로 프로젝트의 규모가 자금이 의해서 크거나 작게 되는 것만 가능하다. 민감도분석은 평가하려는 프로젝트의 적정 규모를 확인하기 위해서도 이용된다(Barry, 1995).

결국 민감도분석은 어느 프로젝트의 가정과 분석의 실현성에 대한 마지막 검사라 할 수 있으며(Grigg, 1996), 현재 상태에서 최적해가 구해진 이후에 최적해가 어떻게 변화하는가를 살펴보므로 사후분석(postoptimality analysis)이라고도 한다(전략경영시대의 경영학, 2001).

민감도분석에 있어서 가끔은 각 대안에 대한 계산이 독립적일 수 있다. 같은 변수라고 할지라도 경우에 따라서는 몇 가지 대안에 대하여 각기 다른 방식으로 영향을 미칠 수도 있다. 어떤 프로젝트의 경우, 서로

다른 결과에 대한 확률이 통계적 기법을 통하여 객관적으로 추정되어질 수도 있다. 예로서 홍수방지사업 계획에서의 홍수의 위험, 사고나 화재의 위험들이 있다. 하지만 대다수의 경우 필요한 데이터의 부재 및 이용 불가능의 이유로 인해 확률이 위와 같은 방법으로 추정되어지지 못한다. 반면에 어떤 과거 데이터들은 거의 항상 이용가능하기 때문에 적어도 민감도분석을 적용하고 해석하는데 도움을 주며 광범위하게 받아들여질 수 있는 판단을 할 수 있도록 도와준다. 때로는 상업적 보험 프리미엄이 확률에 대해 유용한 지침을 마련해 주곤 한다. 평가에 있어 아무리 주관적인 확률일지라도 모든 중요한 위험들을 무시하는 것 보다는 낫다.

민감도분석은 잘 설계되어야 하며, 그 결과가 명확히 제시되어야 한다. 특히 가장 중요한 불확실성은 무엇인지, 불확실성이 다른 것보다 더 크게 작용하는 측면이 무엇인지에 대한 분석의 초점이 맞춰져야 한다. 또한 모든 중요한 위험들이 고려되어야 하며 요소간의 중요한 관계성에 대한 고려도 해보아야 한다.

민감도분석에 관한 이해를 돕기 위한 쉬운 예를 들어보자(예비타당성조사 수행을 위한 일반지침, KDI, 2000). 최신형 컴퓨터 구입에 100 만원의 비용이 들며 10년 동안 1년에 150,000원의 인력 절약을 유발 시킴이 예상된다고 하자. 6%의 할인율을 적용하면 이러한 비용과 편익의 순현재가치(NPV)는 104,000 원이 된다. 일꾼 감소분 추정치는 컴퓨터가 한 명당 10,000원의 비용을 초래하는 15명의 일꾼을 대체한다고 가정을 해보자. 두 가지 가능한 민감도분석은 다음과 같다.

- ① 컴퓨터가 단지 10명의 일꾼을 대체할 수 있으면 어떻게 되겠는가?
 - 1년에 일꾼 감소분은 100,000원으로 떨어지고, 순현재가치는 부(- 264,000원)로 바뀔 것이다.
- ② 만일 실질적으로 봉급이 1년에 2%씩 상승한다면 어떻게 되겠는가?
 - 일꾼 절감액의 현재가치는 1.216만원으로 증

가하여 순현재가치는 216,000원이 된다.

이러한 민감도분석은 보다 자세한 정보가 얼마나 가치가 있는지를 밝혀주는데 있어서 유용한, 때로는 필수적인 지침이 되기도 한다. 또한 이 방법은 특별히 세심한 평가나 운영을 요하는 요인들에 대해 관심을 갖도록 하는데 도움이 될 수 있다. 이러한 요소들은 일반적으로 프로젝트나 정책 투입요소 가령 지역 선정, 상대가격의 선물(미래) 변화와 같은 가능성을 모두 포함하게 된다. 또한 서로 다른 평가자에게 가능성 있는 비용과 편익에 대해 서로 다른 견해를 갖도록 허용함으로써 그 성과에 어떻게 영향을 줄 것인지 알아보는 방법으로서 유용하다.

민감도분석은 결과를 분석하고 해석하는데 매우 유용한 방법이므로, 분석자의 통찰력을 높여주는 수단이기도 하다(김홍배, 1997). 민감도분석은 모든 프로젝트 평가에서 고려되어야 하는데 대안별 결과를 고려해 보는 이 방법론은 때로는 위험(risk)과 대안(alternativity)의 양자에 대한 새로운 생각과 판단을 이끌어 내기도 한다. 특히, 대규모 건설 프로젝트, 재건축, 중요한 신기술, 실질적인 재배치, 또는 시장점유율의 예측 등을 수반하는 모든 프로젝트에 적용되어야 한다(예비타당성조사 수행을 위한 일반지침, KDI, 2000).

경제성분석을 포함한 정책분석에서는 자재비, 토지비, 공사비, 인건비 등과 같은 파라미터 값들이 시간에 따라 변화하는 것이 아니라 일정한 것으로 취급된다. 그러나 현실적으로 파라미터 값들은 기술혁신이나 유류파동 그리고 노동조합의 활동 등 경제외적인 변화에 따라 변한다. 그리고 이러한 파라미터 값의 변화는 정책분석 결과에 큰 영향을 미치게 된다. 따라서 분석결과의 불확실성은 바로 파라미터 값의 불확실성에서 기인되었다고 할 수 있다. 이러한 파라미터 값의 불확실성에 대해 분석자가 취할 수 있는 방법이 바로 민감도분석이다(김홍배, 1997).

민감도분석은 추정치의 신뢰성을 평가하기 위하여 가능하다면 과거 데이터를 이용하여 산출되어야 한다. 예로써 건설 프로젝트의 경우 비용과 시간 초과에 관한 과거기록들, 수요 예측의 정확성에 대한 기록들

이 이용된다. 특정 변화의 가능성에 대하여 서로 다른 가정이 예상되는 순현재가(NPV)에 어떻게 영향을 미치는가를 보여주는 것도 도움이 될 수 있다. 또한 민감도분석시 비판적 그리고 낙관적 변수들끼리 묶어주는 방식으로 변수들을 그룹화 하는 것도 도움이 될 수 있다. 이러한 방법은 프로젝트를 계속 진행시켜 나갈 것인지 아닐지를 결정하기 위해 책임자들이 그 성과의 가능성에 대해 포괄적인 평가를 하게 하는데 도움이 된다.

10.2 민감도분석 기법

10.2.1 주관적 추정(Subjective Estimates)

주관적 추정이란 장래에 발생할지도 모를 변동상황을 주관적인 느낌으로 예측하고 판단한 것으로서, 가장 신속하고 간편한 접근방법이라 할 수 있다(김동진, 1997년). 이와 같은 판단은 분석자(analyst)의 경험과 직관(intuition or "gut feeling")을 가지고 실제 오차의 정도를 결정하는데, 예를 들면 프로젝트의 순현재가(NPV)를 계산한 후에 분석자는 +10% 또는 -10%의 오차를 가지고 있다고 말하는 경우이다. 이러한 오차의 예상은 계산과정이 없이 순전히 주관적이고 경험적으로 이뤄진다.

분석자의 능력에 따라서는 주관적 오차의 추정이 유리할 수도 있다. 주관적 추정기법의 장점으로는 객관적인 측정에서 반영되지 않은 다양성을 고려할 수 있고, 신속하고 간편하게 추정할 수 있는 점을 들 수 있다. 반면에 단점으로는 의사결정자가 추정치에 대한 확신이 적으며, 반대측에 자신의 결정을 옹호하기가 어렵다는 점을 들 수 있다. 더욱이 주관적인 평가에서 반드시 발생하는 것으로 오차 결정에 대한 뚜렷하게 정립된 것이 없어서 분석자의 해석방법을 조사하거나 타당성을 평가하는 것은 불가능하다는 점을 들 수 있다(Sassone & Schaffer, 1978).

10.2.2 전환값(Switching Value)

일반적으로 민감도분석은 주요변수에 대한 가정이 일정하게 변화할 때 현재가치, 순현재가(NPV) 또는 내부수익률(IRR)이 얼마나 변화하는가를 보여주는 식

으로 이루어지는 경우가 많다. 전환값이란 프로젝트의 순현재가를 0으로 만드는 어떤 변수의 값을 의미하며, 주로 어떤 변수의 변화분을 백분율로 나타낸다.

어떤 프로젝트나 대안여부를 결정하는데 있어서 어떤 단 하나의 요인이 매우 중요하게 작용할 경우가 있다. 이러한 경우는 그 요인의 가치가 편익이라면 얼마만큼 감소되어야 그 대안을 취할 가치가 없어지는지, 비용이라면 얼마만큼 증가되어야 그 대안을 취할 가치가 없어지는 알아보는 방식으로, 이러한 가치는 소위 전환값(switching value) 또는 전환점(switching point)으로 불리고 있다(예비타당성조사 수행을 위한 일반지침, KDI, 2000). 일단 전환점이 설정된 경우라면 결과가 나빠질 가능성을 평가하는 것이 상대적으로 쉽게 된다.

〈예제 10-1〉

어떤 고속도로의 건설에 따른 순현재가(NPV)가 자동차 수요나 유가 등의 전망에 따라 달라진다고 하자(예비타당성조사 수행을 위한 일반지침, KDI, 2000). 〈표 10-1〉은 자동차에 대한 수요가 10% 하락할 때 사업의 현재가치가 얼마나 변화하는가를 보여주는 것이다.

이 때 주요변수에 대한 가정을 변화시킴에 있어서는 비판적인 경우를 주로 고려하게 되는데, 이는 위험기피적인 효용 하에서는 기대 이하의 수익이 발생함에 따른 추가적인 불만족이 기대 이하의 수익이 발생함에 따른 추가적인 만족보다 더 크게 느껴지기 때문이다. 물론 꼭 필요하다고 생각되는 경우에는 비판적인 경우와 낙관적인 경우에 대하여 대칭적으로 민감도분석을 하여도 무방하다.

자동차 수요가 예상값 보다 10% 감소하거나 유가가 20% 상승할 때 고속도로의 현재가치가 0이 된다

표 10-1. 민감도분석에 의한 주요변수의 변화에 따른 순현재가(NPV)의 변화

주요변수	변화율	순현재가
자동차 수요	-10%	-30 억원
유가	+10%	-15 억원
건설비용	+10%	-30 억원

표 10-2. 순현재가(NPV)가 0이 되는 주요변수의 전환값

주요변수	전환값
자동차 수요	-10%
유가	+20%
건설비용	+10%

면, 이들의 전환값은 <표10-2>와 같이 각각 10%, +20%가 된다.

민감도분석의 결과를 보고함에 있어서는 선호에 따라 <표 10-1>이나 <표 10-2>의 형태 중 하나를 취할 수 있다. 그러나 민감도분석의 목적이 어떤 변수에 대한 순편익의 탄력성을 추정하는 것이 아니라 어떤 사업의 현재가치가 마이너스가 될 지도 모를 위험을 개략적으로 따져보기 위한 것이라면, <표 10-2>에서와 같이 현재가치가 0이 되는 각 변수의 변화분 즉 전환값을 보고하는 것이 보다 더 간편하고 유용할 수 있다.

그러나 전환값 방법에서는 몇 가지 한계점을 가진다.

첫째, <표 10-1>에서 고려된 변수의 변화분 또는 <표 10-2>에서 계산된 전환값이 얼마나 실현가능성이 높은지에 대한 아무런 정보가 제공되지 않는다는 것이다. 예를 들어 <표 10-2>를 보면 자동차 수요가 예상보다 10%이상 하락하면 투자사업의 현재가치가 마이너스로 돌아설 것으로 추정되고 있으나 자동차 수요가 10%이상 하락할 가능성이 얼마나 되는지는 알 수가 없다. 이에 대한 해결로는 <표 10-2>의 경우 각 전환값에 대하여 그 값 혹은 그보다 더 나쁜 값이 실현될 확률을 개략적으로 제시하거나, <표 10-1>의 경우 고려되는 변수의 변화분을 해당 표준편차에 따라 설정해주는 방법을 생각해 볼 수 있다.

둘째, 다른 변수들을 일정하게 두고 한 가지 변수의 변화만을 고려할 경우, 여러 변수들이 서로 독립적이 아닌 이상 위험을 제대로 반영하지 못할 우려가 있다는 점이다. 예를 들어 국제 유가가 인상될 경우 국내 건설비용 또한 더불어 상승하는 경향이 있다면 유가인상에 따른 위험은 각 변수간의 독립성이 가정되어 제시된 것보다 더 클 수 있는 것이다. 이러한 단점

을 종합적으로 극복할 수 있는 방법으로 몬테칼로 분석을 들 수 있다.

10.2.3 선택적 민감도분석(Selective Sensitivity Analysis)

선택적 민감도분석(selective SA)은 명확한 계산 과정을 통해 오차를 측정하는 객관적인 접근방법이다. 분석자는 오차와 순현재가(NPV) 계산에 가장 크게 영향을 미치는 파라미터를 선택한다. 분석자는 이 파라미터에 대해 “가장 크거나 낮은(high and low)” 또는 “가장 좋거나 나쁜(best and worst)” 값을 선택하고 각각에 대해 순현재가를 계산한다. 결국 의사결정자(decision maker)에게는 각각의 파라미터에 대한 3개(높음, 중간, 낮음)의 순현재가를 제시하게 된다.

<예제 10-2>

풍력에너지 시스템(wind energy system)을 예로 들자(Sassone & Schaffer, 1978). 경제적 타당성을 결정하기 위해서는 2002년부터 2012년까지의 유가(oil price)가 중요한 파라미터일 것이다. 프로젝트의 순현재가는 각각의 파라미터에 대해 처음에는 최상의(best) 추정값을 사용하여 계산된다. 그때 가장 높거나 가장 낮은 유가로 순현재가가 계산된다. 이때 다른 파라미터도 같은 최상의 조건에서 계산된다. 이와 같이 의사결정자는 2002년과 2012년 사이의 유가가 순현재가에 얼마나 민감한가에 대한 정보를 가질 수 있다. 같은 절차가 전기수요, 할인율(discount rate)에 대해서도 수행되어질 수 있다.

구체적으로, 10개의 파라미터를 가지고 있는 두 가지 대안 프로젝트에 대해 선택적 민감도분석이 이뤄진다고 하자. 10개의 선별적 민감도분석에 대해 각 대안별로 20개의 순현재가가 구해진다. 분석자는 초기 추정치(initial “best” estimates)를 포함하여 42개의 순현재가를 의사결정자에게 제공하게 된다. 그러나 이런 많은 추정치는 의사결정자에게 전혀 도움을 주지 못할 수도 있다.

더욱이 편리성보다 더 중요한 점은, 각 대안별로 의사결정자에게 제공된 21개의 순현재가는 다른 중요

한 정보를 놓칠 수가 있다. 일반적으로 의사결정자는 기대할 수 있는 최악의 결과를 알기 원한다. 우리는 파라미터에 대해 최악, 중간, 최상의 모든 조합을 계산하는 것은 그리 어려운 것이 아니라고 할 수도 있다. 그러나 10개의 파라미터의 단순한 경우에도 각 프로젝트에 대해 3^{10} 또는 59,049 개의 순현가를 의사결정자에게 제시해야 한다. 그리고 우리는 실제로 일어날 수 있는 낮은 조건의 1000개중에 하나의 가능성에 관한 정보를 구체화하지 못 할 수가 있다.

선택적 민감도분석의 장점은 추정치의 객관성과 계산의 용이성이라 할 수 있고, 단점은 많은 파라미터에 대한 분석에는 부적당하다는 점을 들 수 있다.

10.2.4 일반적 민감도분석(General Sensitivity Analysis)

일반적 민감도분석(general SA)은 사업의 순현재가(NPV) 또는 내부수익률(IRR)에 영향을 미칠 수 있는 주요 변수들의 변화가 실제로 일어날 수 있는 가능성을 모두 나열하고, 각각의 가능성에 대하여 확률을 부여함으로써 장래에 발생하는 여러 가지 상황을 종합적으로 정리·분석하는 방법이다(Sassone & Schaffer, 1978; 김동진, 1997).

이 방법은 결과로 제시된 순현재가의 확률분포의 유도에 의해 정해진다. 앞 절에서 59,049 개(each)의 가능한 순현재가에 들어있는 모든 정보는 의사결정자에게 유용하다. 분석자는 사업의 여러 가지 측면을 확률에 입각하여 설명하고 있으므로 사업이 성공할 수 있는 상황 또는 사업이 실패할 수 있는 상황 등을 확률적으로 정리하여 의사결정자에게 제시하게 된다.

일반적 민감도분석은 사업효과에 대한 확률분석(probability analysis) 또는 일종의 위험도 분석(risk analysis)라고 할 수 있으며, 종합적이고 가장 체계적인 민감도분석 방법이기 때문에 단계별로 나누어 자세하게 설명하도록 하자(Sassone & Schaffer, 1978).

(1) 문제의 구성(Problem Formulation)

순현재가(NPV) 계산에 핵심을 이루는 편익과 비용은 일반적으로 많은 파라미터 또는 변수에 의존한다.

이 파라미터 셋(parameter set)은 다음과 같다.

$$\alpha = \{\alpha_1, \alpha_2 \dots \alpha_k\} \quad (k \text{는 파라미터의 수}) \quad (10.1)$$

각각의 요구조건인 α 가 변할 때 순현재가도 변하게 된다. 그런데 통상 α 는 서로 독립적으로 변한다기보다는 상호영향을 주고받는 경우가 흔하다. 예를 들어 다음 세 개의 파라미터를 가지는 α 를 가정해보자.

- ① 2002년의 기름가격 (price of oil) P_o
- ② 2002년의 기름소비량 (quantity of oil consumed) Q_o
- ③ 2002년의 천연가스 가격 (price of natural gas) P_G

각 경우에 대한 이 세 파라미터들의 변동가능성은 “높음, 중간, 낮음 (high, medium and low)” 수준으로 변동이 예상된다고 하자. 이러한 변동의 발생확률은 <표 10-3>과 같으며, 이 확률분포는 분석자의 주관적 판단에 의해 작성된 것이다.

3개의 파라미터에 3개의 값이 가능하기에 파라미

표 10-1. 민감도분석에 의한 주요변수의 변화에 따른 순현재가(NPV)의 변화

Parameter	발생확률(probability of occurrence)		
	High	Medium	Low
P_o	1/3	1/2	1/6
Q_o	1/6	1/2	1/3
P_G	1/3	1/2	1/6

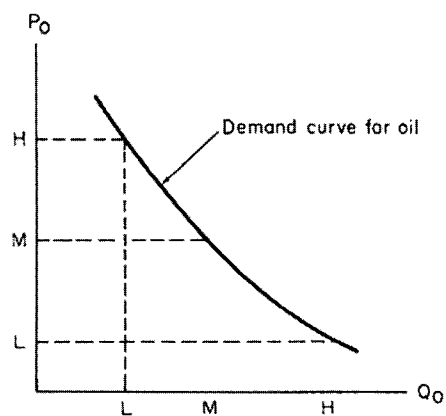


그림 10-1. 기름의 수요곡선

터는 3^3 또는 27개의 순현가를 발생시킨다고 생각될 수 있다. 그러나 이것은 옳지 않을 수 있다. 이는 이들 파라미터들이 서로 연관이 되어있어 독립적이라기 보다는 상호의존적이기 때문이다. 이 관계는 기초경제 이론으로부터 알 수 있다. <그림 10-1>에서와 같이 기름가격과 기름소비량은 기름수요곡선(demand curve)과 관련이 있어 가격이 오를수록 소비량은 적어진다. 그리고 그 역도 성립한다.

그러므로 P_o 와 Q_o 에 대해서 가능한 조합이 9개보다는 단지 3개의 조합이 있으며 다음과 같다.

$$(P_o, Q_o) = (H, L), (M, M), (L, H) \quad (10.2)$$

많은 방법들 중에 천연가스는 기름을 대체한다. 기름가격이 상승하면 소비자들은 천연가스로 대체하고 천연가스의 수요가 증가한다. 기름과 천연가스 가격의 관계는 <그림 10-2>에서 설명하면, D_L , D_M 그리고 D_H 는 기름가격이 상대적으로 낮고, 중간, 높을 때의 천연가스에 대한 수요 곡선이다.

천연가스의 시장 가격은 기름의 시장가격이 높으면 높게, 중간이면 중간정도, 낮으면 낮아지려는 경향이 있다. 이와 같이 P_o 와 P_G 사이에서 가능한 상관관계는 9개가 아닌 3개이다. 조합은 다음과 같다.

$$(P_o, P_G) = (H, H), (M, M), (L, L) \quad (10.3)$$

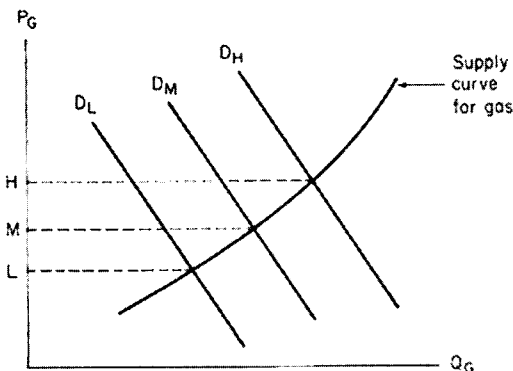


그림 10-2. 다양한 기름가격이 주어졌을 때의 가스의 수요곡선과 공급곡선

결국 3개의 파라미터에 대해 3개의 파라미터 셋(parameter set)의 값은 27개가 아닌 다음의 3개가 가능하다.

$$(P_o, Q_o, P_G) = (H, L, H), (M, M, M), (L, H, L) \quad (10.4)$$

위의 set에 대해 발생할 조합확률은 <표 10-3>의 정보를 통해 $1/3, 1/2, 1/6$ 임을 알 수 있다. 여기서 최종 순현가 확률분포에 영향을 미치는 파라미터들 사이에 독립성을 얼마나 적절히 고려했는지를 주시해야 한다.

예를 들면, 만약 우리가 3개의 파라미터가 관련이 없음에도 불구하고 계속한다면, (H, M, H) 의 확률은 $1/3 \times 1/2 \times 1/6 = 1/18$ 이라는 결과와 그에 상응하는 순현가가 계산될 것이다. 사실 (H, M, H) 의 조합은 발생하지 않으므로 그것의 확률은 0이며, 그에 상응하는 순현가는 있을 수 없다. 이런 논의를 일반화하고 이것을 일반적인 민감도분석의 계획으로 삼는다면 set α 의 파라미터는 다음 사항으로 나뉘어야 한다.

- ① 2개 파라미터 α_i 와 α_j 이 연관되어 있다면 이 파라미터들은 동일한 셋 속에 있게 된다.
- ② 2개 파라미터 α_i 와 α_j 이 연관이 없다면 이 파라미터들은 동일한 셋 속에 있을 수 없다.

각 α_i 는 한 가지 셋 속의 구성요소가 될 뿐, 한가지 이상의 셋의 구성요소가 될 수 없음을 의미한다. 이러한 셋을 $A_1, A_2, \dots, A_j, \dots, A_J$ 로써 표현된다.

여기서 $A_j = \{\alpha_1, \dots\}$. $J \leq K$ (본래 파라미터의 수)이다.

각 A_j 에 α_i '들은 연관이 있기 때문에 A_j 에는 어느 일정한 형태의 어떤 조합값들이 된다. 분석자는 이런 조합과 그에 상응하는 확률을 결정해야 한다. 셋 A_j 는 다른 상대적 배열인 θ_j (different configurations)를 가정할 수 있다. 이들 배열은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$A_{j1}, A_{j2}, \dots, A_{j\theta_j}$$

그리고 상응하는 확률은 다음과 같다.

$$A_{33} = (H) \quad (10.18)$$

$$P(A_{j1}), P(A_{j2}), \dots, P(A_{j\theta_j})$$

그리고 이들 조합이 가질 수 있는 확률은 <표 10-3>의 값을 이용하여 구하면 다음과 같다.

이 시점에서 논의를 요약하고 예를 들어 내용을 명백하게 설명하는 것이 필요할 것이다. 변수 α 가 6개 있다고 하자.

$$\alpha = \{\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4, \alpha_5, \alpha_6\} \quad (10.5)$$

가 되며 α 에 의해 형성된 셋이 3개 있다고 하면,

$$A_1 = \{\alpha_1, \alpha_3, \alpha_4\} \quad (10.6)$$

$$A_2 = \{\alpha_2, \alpha_5\} \quad (10.7)$$

$$A_3 = \{\alpha_6\} \quad (10.8)$$

로 구성되어 있는 셋을 상상할 수 있고 이들 각 A_j 에 대한 변동상황의 조합은 다음과 같을 수 있다.

$$A_{11} = (H, L, H) \quad (10.9)$$

$$A_{12} = (M, M, M) \quad (10.10)$$

$$A_{13} = (L, H, L) \quad (10.11)$$

$$A_{21} = (L, L) \quad (10.12)$$

$$A_{22} = (L, M) \quad (10.13)$$

$$A_{23} = (M, M) \quad (10.14)$$

$$A_{24} = (M, H) \quad (10.15)$$

$$A_{31} = (L) \quad (10.16)$$

$$A_{32} = (M) \quad (10.17)$$

$$\begin{aligned} P(A_{11}) &= 1/3 \\ P(A_{12}) &= 1/2 \\ P(A_{13}) &= 1/6 \\ P(A_{21}) &= 1/10 \\ P(A_{22}) &= 3/10 \\ P(A_{23}) &= 4/10 \\ P(A_{24}) &= 2/10 \\ P(A_{31}) &= 1/3 \\ P(A_{32}) &= 1/3 \\ P(A_{33}) &= 1/3 \end{aligned}$$

이 예에서 다음과 같은 값을 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} K &= 6 \\ \theta_j &= 3 \\ \theta_1 &= 3 \\ \theta_2 &= 4 \\ \theta_3 &= 3 \end{aligned}$$

일반적 민감도분석(general SA)의 유도에서 최종 순현가의 확률은 전수조사법(complete enumeration)이나 임의 추출법(random sampling)을 이용하여 구할 수가 있다.

(2) 전수조사법(complete enumeration)

파라미터의 총 조합수 $(\theta_1 \times \theta_2 \times \dots \times \theta_j)$ 가 적을 때는 상응하는 확률에 따라 가능한 순현가의 수는 계산될 수 있다. 순현가의 수와 파라미터의 수가 같다는 것은 명확하다. 각 계산은 순현가와 그에 따른 확률을 산출할 것이다. 물론 확률은 순현가로부터 분리되어 계산된다.

앞의 예제에서 A_{11} , A_{21} , A_{31} 을 선택으로 시작하였다. 이것은 파라미터 값들이 다음과 같다는 것이다.

$$(A_{11}, A_{21}, A_{31}) = (\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4, \alpha_5, \alpha_6) \quad (10.19)$$

$$= (H, L, L, H, L, L)$$

모든 파라미터가 명백하므로 순현재가는 계산된다 (예를 들면, NPV = 1,000). 그 다음 확률을 계산한다.

$$P(A_{11}) \times P(A_{21}) \times P(A_{31}) = 1/90 \quad (10.20)$$

이는 새로운 변동상황이 발생하여 NPV = 1,000 이 되는 발생확률은 1/90 이라는 뜻이다. 이렇듯 순현재가와 상응하는 확률의 모든 가능한 순서쌍이 36(=3×4×3)개를 모두 계산하고 나면 그 프로젝트에 대한 누적확률밀도함수(cumulative probability density function)로 정리할 수 있게 된다. 결과는 <그림 10-3>과 같으며, 이 그래프에 의거하여 의사결정자는 이 프로젝트에 대해 다음과 같이 말할 수 있다.

- ① 순현재가(NPV)가 0보다 작게 되는 가능성은 대략 0.05 또는 5% 이다.
- ② 순현재가는 어떠한 상황에서도 -1,000 이하로 내려가는 가능성은 없다.
- ③ 순현재가가 양의 값을 가질 가능성은 95% 이다.
- ④ 순현재가가 5,000 이상의 값을 가질 가능성은 0

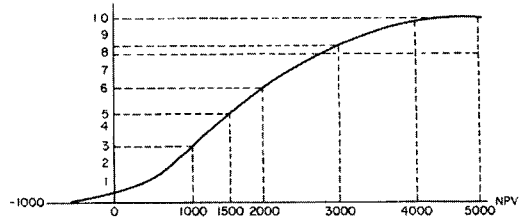


그림 10-3. 순현재가(NPV)의 누적확률밀도함수

이다.

⑤ 순현재가가 0과 3,000 사이의 값을 가질 가능성은 80% 이다.

⑥ 예상 순현재가는 1,500 이다.

순현재가의 누적확률분포는 의사결정자에게는 강력한 도구(powerful tool)이다. 이것을 이용해 유용하고 적절한 정보를 제공받을 수 있고, 어떤 위험(risk)이 의사결정에 일어나는지 명확히 알 수 있을 것이다.

(3) 임의 추출법 (Random Sampling)

파라미터의 총 조합수($\theta_1 \times \theta_2 \times \dots \times \theta_j$)가 많을 때는, 각각의 조합에 대해 모든 순현재가와 관련 확률을 계산하기에는 실질적으로 어려우며, 불필요할 수 있다. 이러한 경우에는 무작위로 적절한 숫자의 조합을 선택하는 임의 추출법이 더 바람직하며, 그 과정과 유도는 전수조사법과 같다. ●