
전략적 유연성을 고려한 연구개발사업의 경제성

평가: 이론 및 사례 분석

(Economic Valuation of R&D Programs with
Strategic Flexibility)

황석원* · 정종욱**

< 목 차 >

- I. 서론
- II. 경제성 평가 모형 및 방법론
- III. 사례 분석 연구개발사업 및 데이터
- IV. 결과 및 토론
- V. 결론

Summary : Under circumstances with increasing uncertainty, strategic flexibility has become an essential point on which any R&D management system should be based. Unfortunately the present R&D management system for government sponsored R&D programs cannot be said to be so flexible to adapt appropriately to various threatens such as technological failure, a severe change in competition environment, and so on. In this paper a new scheme for R&D planning and economic assessment with strategic flexibility is suggested and applied to a real R&D program. In the newly suggested R&D management system, economic valuation based on real option theory is performed for various alternative

* 과학기술정책연구원 부연구위원(e-mail: hsw100@stepi.re.kr)

** 서울대학교 박사후 과정(e-mail: braveguy@tepp.snu.ac.kr)

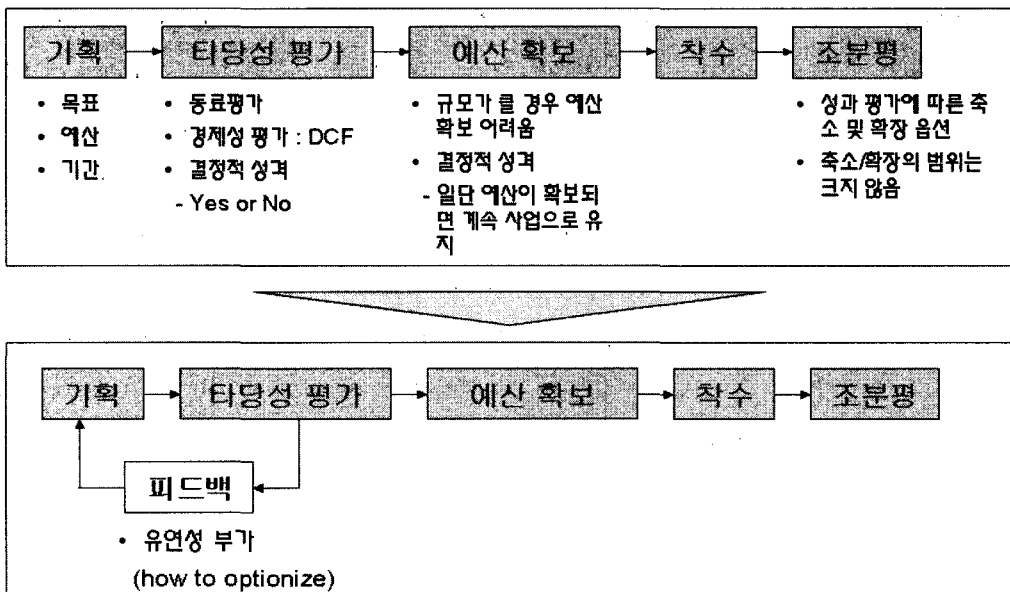
scenarios which have different strategic scheme for R&D process each and the result of the assessment is fed back to R&D planning to choose more superior strategic scheme. Introducing strategic flexibility into R&D planning and economic assessment, the value of R&D project could be remarkably enhanced.

Keywords : Strategic Flexibility, Real Option, Economic Assessment, R&D Planning

I. 서론

연구개발 프로그램/프로젝트를 평가함에 있어 경제성 평가가 차지하는 위상이 갈수록 높아지고 있다. 특히 사전 타당성 평가를 할 때 핵심적인 평가 요소로서 투자 금액이 일정 규모 이상인 경우 반드시 경제성 평가를 수행하게 되어 있다. 주의해야 할 점은 경제적 가치 산정이 단지 결과 값을 주기 위한 것만은 아니라는 점이다. 경제성 평가를 통해 다양한 전략적 유연성을 고려하여 어떠한 전략을 택할 때 프로그램

<그림 1> 경제성 평가와 기획 사이의 피드백을 통한 프로그램/프로젝트 가치제고

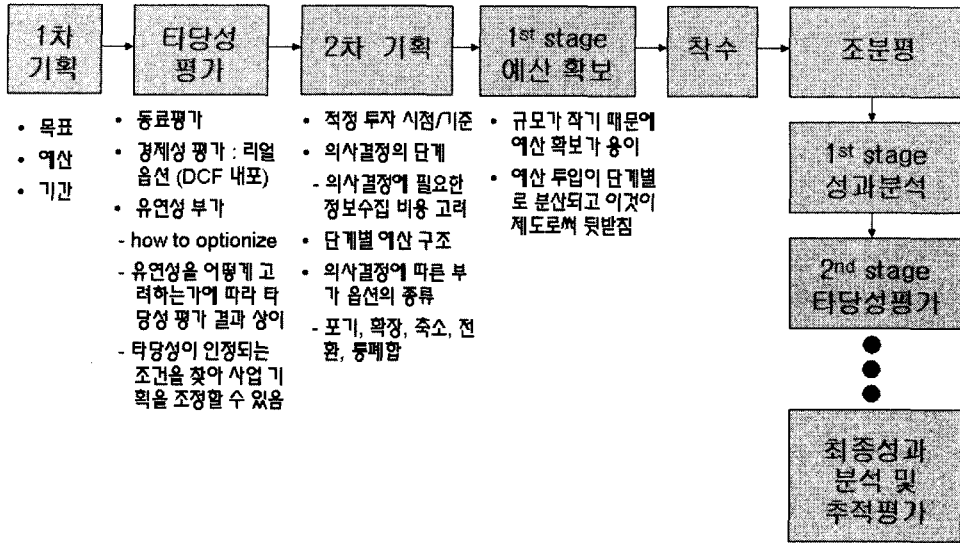


램/프로젝트의 가치를 더욱 증가시킬 수 있는지 분석할 수 있고, 그에 따라 보다 우월한 연구개발 전략을 선택할 수 있다. 이렇게 경제성 평가를 기획 과정에 피드백시킴으로써 프로그램/프로젝트의 가치를 제고할 수 있다는 사실로부터, 현재의 연구개발 프로세스를 상당히 개선할 수 있는 여지를 찾을 수 있다.

현재의 연구개발 프로세스는 기본적으로 단선적이다. 목표, 예산, 기간 등에 대한 기획 작업이 이뤄지면 이를 바탕으로 필요할 경우 타당성을 평가한다. 이 때 경제적 가치 산정은 주로 DCF에 의해 이루어지며 종합적인 평가는 각종 위원회를 기반으로 한 동료평가에 주로 의존한다. 타당성 평가에서 연구개발 투자에 관한 타당성이 인정되면 기획 단계로 피드백되지 않고 그대로 다음 단계로 진행된다. 기획 단계로 피드백되는 경우는 기획안의 타당성이 인정되지 않는 경우로서 평가 단계에서 드러난 문제점을 지적하는 정도의 피드백은 있을 수 있다. 그러나 본 연구에서 제안하는 바와 같이 보다 우월한 전략적 선택이 이뤄질 수 있도록 평가와 기획을 유기적으로 결합시키는 수준의 피드백과는 근본적인 차이가 있다. 이런 측면에서 프로세스가 유연하지 못하고 결정적 성격을 갖게 된다. 타당성이 인정된 경우 예산을 확보하게 되는데 옵션적 접근을 통해 전략적 유연성을 부가한 것이 아니므로, 예산은 사업이 끝까지 진행되는 경우를 상정하여 큰 규모의 투자액이 계상되고 따라서 대형 과제인 경우 예산 확보가 쉽지 않다. 하지만 일단 예산이 확보되면 대부분의 경우 큰 하자가 없으면 사업이 계속된다는 점에서 결정적 성격을 갖고 있다. 물론 국가연구개발 사업 조사분석평가 등을 거치면서 예산이 축소/확대될 수는 있지만 그 범위가 크지 않고 예산 조정은 대부분의 경우 상당히 보수적으로 이루어지는 경향이 있다. 조분평 등 성과 평가는 단계적으로 이루어지기는 하는데 각 단계별 성과 평가는 과거지향적으로 성과가 얼마나 좋았는가에 초점이 맞춰져 평가된다.

김태유 외 (2002)와 윤문섭 외 (2003)에서는 대형연구개발사업에서의 단계별 의사결정의 필요성을 제기하였으며 Vonortas and Hertzfeld (1998), Vonortas and Lackey (2003), Neufville (2003) 등도 대형연구개발사업에 있어서의 유연성을 포함한 의사결정의 중요성을 지적한 바 있다. 본 연구에서는 이러한 현재의 경직된 연구개발 프로세스를 개선하여 전략적 유연성을 부가함으로써 프로그램/프로젝트의 가치를 제고하기 위한 방법론을 제안하고 있으며, 개선된 연구개발 프로세스도 같이 제시하고 있다.

<그림 2> 연구개발 기획에 유연성을 부가함으로써 프로그램/프로젝트의 가치를 제고할 수 있도록 개선된 연구개발 프로세스



개선된 연구개발 프로세스에서는 1차 기획에서 목표, 예산, 기간이 잠정적으로 정해지고 나면 타당성 평가 단계에서 경제적 가치를 산정하면서, 유연성을 고려하여 보다 더 가치를 제고할 수 있는 전략을 선택할 수 있도록 한다. 이 결과는 기획 단계로 피드백되어 2차 기획이 이루어지게 된다. 전략적 선택은 적정 투자 시점, 의사결정의 단계, 의사결정에 따른 부가 옵션의 종류 등을 포괄한다. 이렇게 2차 기획이 이루어지면 전략적 유연성이 부가된 기획안이 확정되어 예산 확보 단계로 들어가게 된다. 전략적 유연성의 기본은 단계적 의사결정이기 때문에 예산은 첫 번째 의사결정 단계에서 처분이 결정되는 투자액에 대해서만 요청하게 된다. 따라서 사업이 끝까지 진행된다고 가정할 때의 전체 투자액에 비해 규모가 작기 때문에 예산 확보가 상대적으로 용이하다. 이렇게 예산 투입이 단계적으로 분산되고 이것이 제도로서 뒷받침되면 보다 많은 창의적 아이디어들이 채택되어 연구에 착수될 수 있을 것이다. 이러한 수많은 가능성 가운데 일정한 시간이 흐른 뒤 실제 성과를 보여주는 것을 선별하여 다음 단계 연구를 진행시키게 되면, 국가 연구개발 전체의 효율성도 크게 개선될 것으로 기대된다.

II. 경제성 평가 모형 및 방법론

1. 전략적 유연성 부가를 위한 경제성 평가 모형

전략적 유연성은 연구개발 단계나 상업화 단계 어디에라도 다양하게 부여할 수 있다. 연구개발 단계에서는 해당 기술의 수익성 전망을 단계별로 평가하여 연구개발 지속 여부, 또는 예산 확대/축소 등에 대해 의사결정을 내릴 수 있다. 상업화 이후에는 처음에는 적은 규모의 투자로 사업을 시작하여 당분간 시장 반응을 지켜보다가 시장 반응이 좋으면 투자를 대폭 확대하고 그렇지 않으면 사업을 포기하는 등의 전략적 유연성을 고려할 수도 있다.

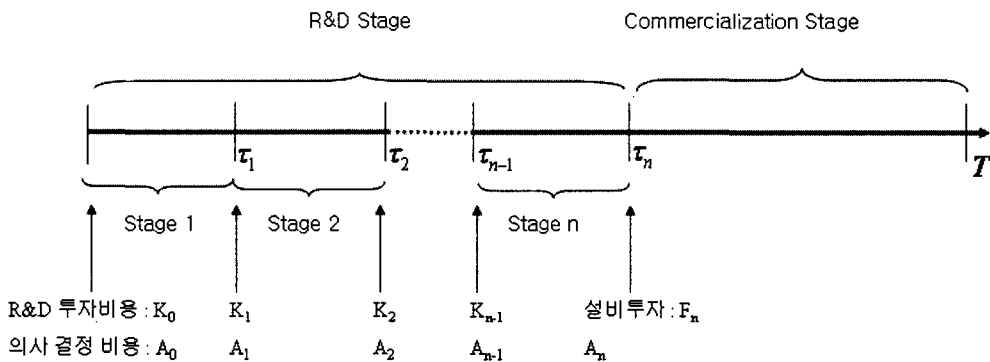
전략적 유연성을 고려한 경제적 가치 산정은 실물옵션 방법을 통해 이루어진다. Black and Scholes (1973)과 Merton (1973)에 의해 제시된 옵션가격결정이론은 Myers (1977)에 의해서 투자 의사결정을 위한 방법론으로 제안되었고 Geske (1979)와 Kester (1984)에 의해 다양한 전략적 유연성을 지닌 의사결정의 가치 산정 방법론으로 발전하였다. Trigeorgis (1996)에서는 전략적 유연성 형태, 방법론 및 적용 분야에 따라서 실물옵션의 문헌과 논문을 정리하여 제시한 바 있다.

본 연구에서는 실물옵션의 접근법 가운데 이산시간수리모형(finite time difference scheme)을 사용하였다. 이산시간수리모형은 연속시간확률과정(continuous time stochastic process) 모형에서 편미분방정식의 닫힌 해(closed form)가 얻어지지 않을 경우 이를 이산 방정식(discrete time difference equation)으로 바꾼 뒤 Monte Carlo 시뮬레이션 등의 수치해석적 방법을 통하여 옵션의 가치를 구하는 것이다.(Lee, 2003) 불확실성을 가진 변수가 많고 의사결정 구조가 복잡할 때 유력한 방법으로서 본 연구에서 사용한 방법이다. 본 연구에서는 프로그램/프로젝트의 가치를 GBM으로 가정하고 시뮬레이션을 통해 여러 가지 전략적 유연성(옵션)에 대해 그 가치를 구하여 보다 나은 전략을 채택할 수 있는 방법론을 제시한다.

본 연구에서는 연구개발 단계에서의 전략적 유연성만을 고려하기로 한다. Ottoo (1998)과 Cassimon et al. (2004)은 다단계의 의사결정에서의 유연성 가치산정방법에만 주목한 것에 비해 본 연구에서는 다단계 의사결정(Multi-stage Option)을 고려하여 가장 우월한 R&D 투자 전략을 선택하는 일련의 과정을 보여줄 것이다. 의사결정 단

계를 늘리면 유연성이 높아지므로 일반적으로 사업의 가치가 커진다. 반면, 의사결정을 위한 정보 수집 및 분석 비용(타당성 평가 비용)이 늘어난다는 점, 지나치게 잦은 의사결정이 연구자 입장에서의 불확실성을 크게 하여 연구 의욕을 떨어뜨리는 등 여러가지 비효율성이 발생할 수 있다는 점 등을 고려해야 한다. 이러한 긍정적인 요인과 부정적인 요인이 실제 경제적 가치 산정에 어떤 영향을 미치는지 살펴보고, 관심의 대상이 되는 연구개발사업에 있어서 가장 바람직한 의사결정 단계를 결정할 것이다.

<그림 3> 유연성 부가를 위한 경제적 가치 평가 모형



이러한 다단계 의사 결정은 언뜻 보기에 현재의 성과평가 시스템과 큰 차이가 없어 보일 수 있다. 그러나 현재의 성과평가 시스템에서의 단계들은 보다 우월한 전략적 유연성을 부가하기 위해 설계되는 것이 아니라, 미리 정해진 경직된 단계들을 무차별적으로 설정하는 것이라는 점에서 근본적 차이가 있다. 본 연구에서 제안하는 방법은 몇 단계 의사 결정 과정을 둘 것인지, 단계 사이의 기간은 얼마인지 등을 적용 대상에 따라 달리 선택할 수 있도록 한다. 또, 현재의 평가시스템은 단계별 평가에 있어서 주로 과거 지향적인 잣대, 즉 지금까지 연구개발 성과가 어떠했는지에 초점을 두고 평가를 한다. 그러나 본 연구의 방법론은 어디까지나 미래지향적 잣대에 의해 진행중인 연구개발사업을 둘러싼 전략적 의사결정을 내리는데 초점을 둔다. 프로그램/프로젝트의 가치를 제고하는 보다 우월한 의사결정 구조를 선택하면서 유연하게 설정된 매 단계별로 새로운 정보를 충실히 수집하여 해당 사업의 미래 전망을 갱신하고, 경제적 가치를 새로 산정하여 의사결정의 근거가 되게 한다.

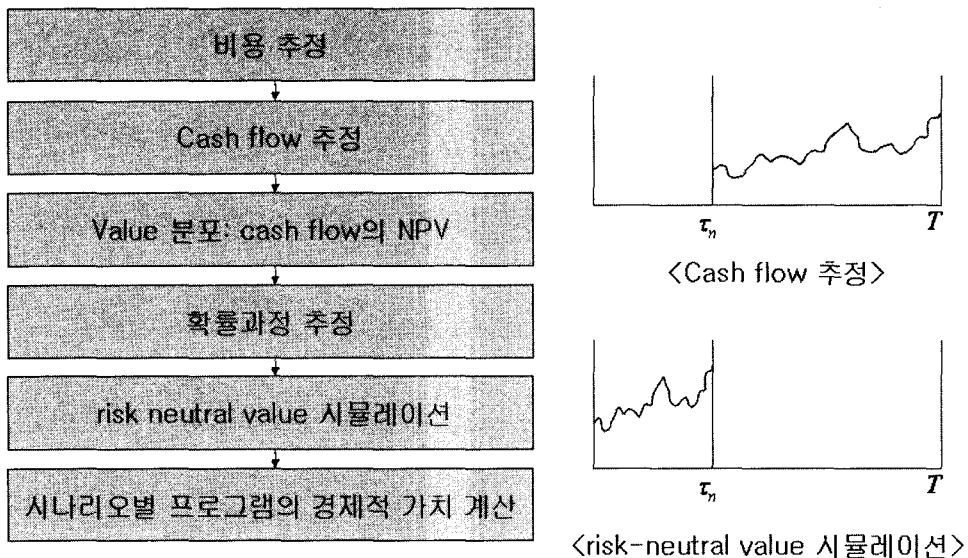
본 연구에서는 다단계 의사결정에 있어서 포기옵션만을 고려하여 비교적 단순하게 보다 우월한 의사결정의 구조(단계의 개수와 단계 사이의 기간)를 선택하는 것을 주된 내용으로 하고 있지만, 향후 실효성 있는 의사결정에 이 방법론이 사용된다면, 연기옵션, 축소/확대 옵션 등 다양한 전략들을 고려할 수 있을 것이다. 또한 연구개발 단계에 대해서만이 아니라 상업화 단계에서도 사업 연기, 사업의 축소/확대, 매각, 사업다각화 등 다양한 전략들을 포괄하여 경제적 가치를 산정하고 보다 우월한 전략적 유연성을 찾을 수 있을 것이다.

2. 경제적 가치 산정 절차 및 방법론

경제적 가치 산정의 절차는 다음과 같다.

먼저 연구개발 투자액과 상업화 이후 설비 투자액, 생산물의 단위 비용 등을 추정한다. 이들 비용 요소들은 불확실성이 크지 않다고 보고 각각의 값들을 추정하여 그대로 사용할 수도 있고, 불확실성을 고려하여 확률과정으로 표현하여 시물레이션에 포함시킬 수도 있다.

<그림 4> 경제적 가치 산정 절차



예상 시장점유율, 생산물의 가격, 시장 규모 등을 추정하여 예상 현금흐름의 유입액을 구한다. 기본적으로 이들 변수들은 모두 불확실성을 내포하고 있으므로 확률과정으로 표현하여 시뮬레이션에 넣는 것이 좋다. 현금흐름 결정식은 다음과 같다.

$$\pi = m_t(p_t - c_t)D_t - F_t \quad (1)$$

여기서 m_t 는 시장 점유율 (확률 과정), p_t 는 가격 (확률 과정), D_t 는 시장 규모 (확률 과정), c_t 는 단위 비용 (확률 과정), F_t 는 해당 시기의 고정비용(설비투자 등)을 의미한다.

시장점유율을 구하기 위해서는 예상되는 점유율 분포를 조사해야 한다. 관련 자료가 미리 존재하면 좋지만 그렇지 않을 경우에는 전문가를 대상으로 설문조사를 실시하여 예상 시장 점유율 분포를 구할 수 있다. 시장 점유율은 시장에 진입하는 시점에서는 0이고 사업이 잘 영위되면 점차 증가하게 된다. 따라서 예상 시장 점유율(최대값)에 대한 조사뿐만 아니라 그 시장 점유율의 최대값이 언제 달성될 수 있을지에 대해서도 조사해야 한다. 이로부터 시장 진입 시점부터 최대값 달성 시점까지의 성장률을 구할 수 있는데 이는 확률과정을 기하적 브라운 운동(Geometric Brownian Motion, GBM)으로 가정할 경우 기대 수익률 변수에 해당한다. 여기에 더해 시장점유율의 변동성(volatility)까지 추정하면 시장 점유율의 확률과정을 결정할 수 있다. 변동성은 기존 시장 참여 업체 점유율의 시계열 데이터로부터 추정하거나 데이터가 없을 경우 적절한 가정을 통해 시나리오 식으로 접근할 수 있을 것이다. 전체적으로 볼 때, 시장 진입시점부터 시장 점유율의 최대값 달성때까지는 일정한 성장률을 고려한 GBM 확률과정을 사용하고, 그 이후 시점에는 성장률을 0으로 한 확률과정(Wiener process)를 사용하면 될 것이다.

본 사례 연구에서는 선행 연구(황석원, 2005)에서 전문가를 대상으로 실시한 설문조사 결과를 활용하였다. 아쉽게도 예상 시장 점유율은 조사되어있지만 시장 점유율 달성까지 걸리는 시간에 대해서는 조사 결과가 없다. 따라서 본 사례연구에서는 시장 점유율을 확률과정으로 다루지 않고 고정된 분포를 갖는 것으로 간주한다.

가격은 연구개발이 목표로 하는 것과 유사하거나 동일한 제품이 시장에 이미 존재한다면 그 제품 가격의 과거 시계열 자료를 이용해 확률과정을 결정(기대수익률,

volatility 등)할 수 있다. 인플레이션을 배제한 불변 가격으로 데이터를 바꾸어 추정해야 할 것이다. 이럴 경우 가격에 특별한 트렌드가 존재하지 않는다면 Wiener process로, 시간 트렌드가 존재한다면 일반화된 Wiener process를 사용하면 된다.

단위비용은 전문가 집단이 수행한 비용추정 결과를 이용한다. 불확실성을 고려한 비용 변동 범위도 조사(비용=중심값 ± 변동범위)할 수 있다. 비용을 확률과정으로 표현한다면 Wiener process가 적절할 것이다. 중심값과 변동범위를 고려하여 적절한 비용 분포를 가정하고(예컨대 normal 분포) 이로부터 확률과정의 필요한 변수들의 값을 알아내고 미래 단위 비용을 생성(generation)할 수 있을 것이다. 또는 벤치마킹 대상의 시계열 데이터로부터 volatility를 추정하여 확률과정을 결정할 수도 있다. 예컨대 심해저 자원개발의 경우 육상 광물자원 개발의 비용 데이터를 활용할 수 있을 것이다. 비용을 생성할 때의 초기값은 비용 분포의 평균이나 중심값을 사용하면 된다.

필요한 변수들의 값을 모두 결정하거나 확률과정을 통해 생성했다면, 앞에서 제시한 현금흐름 결정식에 따라 전체적인 현금흐름을 계산한다.

현금흐름을 생성하고 나면 누적 가치의 분포를 알 수 있다. 각 시물레이션마다 가중평균자본비용 (Weighted Average Cost of Capital, WACC)을 사용하여 상용화 시작 시점을 기준으로 순현재가치(Net Present Value, NPV) 값을 계산한다. 계산된 값들은 하나의 분포를 이루는데 이것이 상용화 시작 시점을 기준으로 한 가치 분포 (value distribution)이다.

상용화 시작 시점을 기준으로 한 가치 분포를 구하고 나면 프로그램/프로젝트의 가치가 연구개발 기간 동안에는 어떤 값을 가질 것인지에 관한 위험 중립(risk-neutral) 확률과정을 추정한다. 위험중립 확률과정을 추정하는 이유는 나중에 위험중립 가치산정(risk-neutral valuation)을 통해 프로그램/프로젝트의 가치를 산정하기 위함이다. 프로그램/프로젝트의 가치는 기업가치 또는 사업안의 가치와 본질적으로 유사하기 때문에 주식가격 확률과정에 많이 사용되는 GBM으로 가정한다.

$$dS = \mu S dt + \sigma S dz \tag{2}$$

여기서 S 는 주식가격 또는 기초자산의 가치이고 μ 는 기대수익률, σ 는 주식가격 또는 기초자산 가치의 변동성이다. GBM 확률과정은 Ito's lemma에 의해 다음과 같

이 바뀔 수 있다.

$$d\ln S = (\mu - \frac{\sigma^2}{2})dt + \sigma dz \quad (3)$$

이 식이 의미하는 바는 $\ln S$ 가 일반화된 Wiener process를 따른다는 것이고, 시간 0에서 T 까지 $\ln S$ 의 변화값은 다음과 같은 정규분포가 된다는 점이다.(Hull, 2003)

$$\ln S_T - \ln S_0 \sim \Phi[(\mu - \frac{\sigma^2}{2})T, \sigma\sqrt{T}] \quad (4)$$

이를 다르게 표현하면 다음과 같이 된다.

$$\ln S_T \sim \Phi[\ln S_0 + (\mu - \frac{\sigma^2}{2})T, \sigma\sqrt{T}] \quad (5)$$

앞에서 구한 상용화 시작 시점에서의 프로그램/프로젝트의 가치가 바로 S_T 를 의미하므로 이로부터 위 정규분포의 평균과 분산을 추정할 수 있게 된다. 이 작업은 연구개발 기간 동안의 위험중립 확률과정을 결정하기 위한 것이므로 실제로는 변동성 값 σ 만이 중요한 의미를 가진다.

이렇게 상용화 시작 시점의 횡단면적(cross-sectional) 가치 분포로부터 시간의 흐름에 따르는 확률 과정을 추정하는 문제는 본 연구에서 제안하는 새로운 시도이다.

위험중립 가치산정을 위하여 GBM의 기대수익률 변수를 위험중립 수익률(risk-free rate)로 바꾸어 주고, 앞에서 추정한 변동성 값을 대입한 새로운 확률 과정(위험중립 확률 과정)을 구하고, 이를 이용하여 위험중립 가치(risk-neutral value)의 분포를 생성한다. 여기서 위험중립 확률과정은 다음과 같이 표현된다.

$$dS = r_f S dt + \sigma S dz \quad (6)$$

이렇게 복잡한 과정이 필요한 이유는 프로그램/프로젝트의 가치를 객관적으로 알

수 있는 시장이 존재하지 않기 때문이다. 또, 연구개발 단계에서는 현금흐름의 유입도 없기 때문에 현금흐름으로부터 프로그램/프로젝트의 가치를 추정하는 것도 불가능하다. 금융자산의 경우 시장이 존재하여 늘 자산가격을 알 수 있다는 것과 대비된다. 본 연구에서는 가격을 알 수 있는 시장이 존재하지 않는 대신에 의사결정 비용 A 를 의사결정 단계마다 지출함으로써 필요시 언제든지 자산의 가치를 산정할 수 있음을 가정하고 있다.

유연성이 부가된 프로젝트/프로그램의 경제적 가치는 역진 귀납(backward induction)으로 구할 수 있다.(Jeong, 2006) 시물레이션을 통해 위험중립 가치의 분포를 구하고 나면 각 의사결정 단계마다 이 분포를 사용해 옵션행사와 결부된 수익을 계산한다. 포기옵션의 경우라면 가치가 해당 단계의 연구개발 투자비(행사가격)를 초과하면 옵션을 행사해 프로그램/프로젝트를 계속 진행하고, 초과하지 못하면 프로그램/프로젝트를 포기하는 것이다. 가치 산정 식은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$ROV = \widehat{E} \left\{ \text{Max} \left\{ \text{Max} \left\{ \dots \text{Max} \left\{ \text{Max} \left\{ S - A_n, 0 \right\} e^{-r(\tau_n - \tau_{n-1})} \right\} \dots \right\} e^{-r(\tau_1 - \tau_0)} - K_0 - A_0, 0 \right\} \right\} \right\} \quad (7)$$

이 방법의 단점은 현실적이지 않은 지나치게 단순한 가정을 사용하고 있다는 점이다. 각각의 시물레이션이 보여주는 가치의 변화는 확률과정에 따라 다양하게 나타나고 실제 현실에서도 그러한 변화 양태를 보일 것임에도 불구하고 상용화 시작 시점에서 파악한 가치를 단지 의사결정의 시점에 따라 할인한 것을 토대로 의사결정을 내리기 때문에, 실제 현실에서의 확률과정에 따른 다양한 변화를 담아내지 못하는 것이다.

III. 사례 분석 연구개발사업 및 데이터

1. 사례 분석 대상 연구개발사업

사례분석의 대상은 해수담수화용 일체형 원자로(SMART)의 상용화를 위한 준비

단계로 규모를 축소한 실험용 연구로 SMART-p를 건설하는 사업이다. 기초 연구 및 상용화 이전의 개발 연구가 모두 완료된 상황이므로 상용화가 시작되는 단계라고 할 수 있다.

그 동안의 경과는 다음과 같다. 원자력 해수담수화 에너지원과 중소규모 전력생산을 병행할 수 있는 열병합 330MW급 일체형 원자로 개발이 원자력연구개발사업의 일환으로 추진되어 1996년 11월 개념 개발이 시작되었다. 1997년 7월 개념개발을 완료하고 개념설계에 착수하여 1999년 3월에 개념설계를 완료하고 이후 계속되는 과제를 수행하여 2002년 3월 기본 설계가 완료되었다.

개념개발을 위해 설계개발 초기단계에 러시아와 협력이 불가피 하였지만 개념을 선정한 후부터는 우리나라가 확보하고 있는 기술과 노력에 의해 개발된 기술을 활용하여 독자적 모델의 설계개념을 확보하였다.

일체형원자로(SMART)의 활용과 관련된 원자력 해수 담수화 기술확보를 위해 담수공정법 평가를 수행하여 최적 에너지 사용요건을 고려한 담수공정법을 선정하고 담수화에 대한 예비 경제성 평가를 수행하였고 또한 기초기술도 확보하였다. 2005년 3월 기준으로 일체형원자로(SMART)를 검증하기 위한 연구로서 SMART-p에 대한 설계가 진행 중이며, SMART-p 설계 및 기기개발 진도율은 85%이다.

<표 1> 일체형원자로개발사업 연구개발 추진 실적

| 기 간 | 과 제 명 | 연구내용 | 비 고 |
|---------------|---------------|--------------------------------|------------------|
| '94.07~'97.07 | 신형원자로 기술개발 | 신형원자로 핵심기술파악, 평가, 소형 일체형 개념 설정 | 원자력연구개발 중장기 계획사업 |
| '96.11~'97.07 | 중소형일체형원자로개발 | 소형일체형원자로개념개발 | 정부출연사업 |
| '97.07~'99.03 | 신형원자로 기술개발 | SMART(330MWt)개념설계 | 원자력연구개발 중장기 계획사업 |
| '99.04~'02.03 | 일체형원자로 설계기술개발 | SMART(330MWt)기본설계 | 원자력연구개발 중장기 계획사업 |

SMART-p는 건설·운영허가를 획득, 원자로 설치 및 테스트, 초기임계(시운전)를 하는 순서로 진행되며 동 사업이 성공해야 담수화장비와 일체형원자로의 수출이 가능하다. 현재 건설비는 4388억원으로 추정(2005년 현재가격)되며 재원은 정부와 산업체가 공동부담할 예정이다.(2010년까지 불변가격 투자액의 단순 합계액은 5600억)

<표 2> SMART와 SMART-p 주요제원비교

| | SMART | SMART-p |
|------|---------|----------|
| 열출력 | 330MWt | 65MWt |
| 전기출력 | 100MWe | 14MWe |
| 담수방법 | MED | MED |
| 담수능력 | 4만톤/day | 100톤/day |

사례 연구는 어디까지나 본 연구에서 제시한 방법론을 실제 적용해보고 그것이 애초 의도했던 대로 의미있는 시사점을 주는지 여부를 확인하기 위한 것이다. 따라서 예상 수익 등과 관련해 현실적으로 대단히 복잡한 요소들은 대부분 생략하고 가정을 단순화하여 본 연구에서 제시한 방법론 및 절차가 간결하고 명쾌하게 드러나도록 하였다. 그러므로 본 연구의 결과가 실제 SMART-p의 건설과 관련된 의사 결정에 직접 사용될 수는 없다는 점에 특히 유의해야 한다. 어디까지나 사례 연구로서 연구자가 제안하는 방법론을 적용해보고, 그러한 방법론이 실제 의사결정을 위한 경제성 평가에 안정적으로 사용될 수 있다는 점을 보이는 것이 연구의 초점임을 다시 한 번 강조한다.

2. 데이터

앞 절에서 경제적 가치 산정 절차를 상세하게 설명하였는데, 이러한 절차는 데이터의 확보 수준에 따라서 현실적으로 다소의 수정이 가해진다.

사례 연구 대상 연구개발사업의 경우 선행 연구(황석원, 2005)에서 예상 시장 점유율 분포는 조사되었지만, 시장 진입 초기 점유율 0에서 예상 시장 점유율을 확보할 때까지 걸리는 시간에 대해서는 조사된 것이 없다. 따라서 시장 점유율은 확률과정으로 다루지 않고 고정된 분포를 갖는 것으로 하였다.

시장 규모도 수량이 아니라 화폐 가치로 주어져 있는데, 과거 시계열 데이터가 확보되어 있지 않은 상황이므로 변동성을 추정할 수도 없다. 따라서 시장 규모 역시 확률과정으로 다룰 수 있는 형편이 아니다.

생산물, 즉 해수담수화 과정을 거친 물의 가격에 대한 정보도 확보되어 있지 않은데, 다행스럽게 시장 규모가 화폐 가치로 주어져 있기 때문에 시장 점유율 정보를 이

용하여 매출액을 추정할 수는 있는 상황이다. 따라서 적절한 마진율을 가정한다면, 매출액에서 수익이 어느 정도 나지를 추정할 수 있다. 그러한 마진율로서 제조업 평균 매출액 순이익률을 사용하였다.

원래의 현금흐름 결정식은 다음과 같이 바꿀 수 있고, 본 사례 연구에서는 이 새로운 현금흐름 결정 모형을 사용하였다.

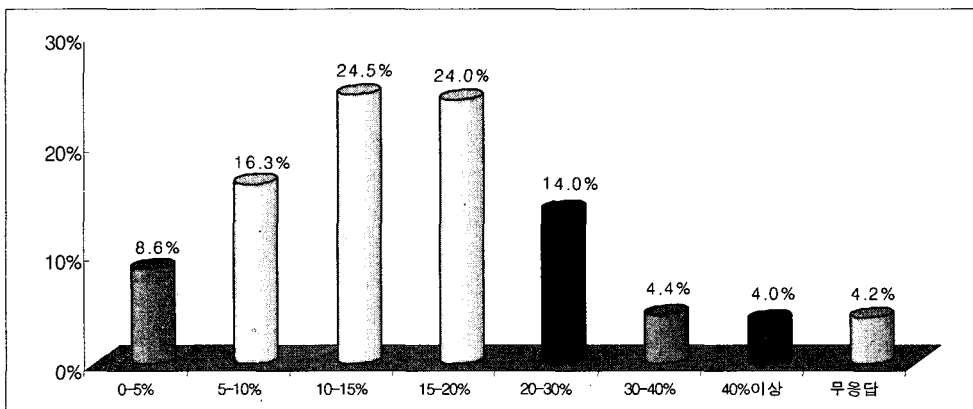
$$\pi = m_t(p_t - c_t)D_t - F_t = m_t \left(\frac{p_t - c_t}{p_t} \right) p_t D_t - F_t = m_t \times \text{margin} \times S_t - F_t \quad (8)$$

여기서 S_t 는 화폐가치로 표현된 시장 규모를 의미하고 다른 변수는 지금까지와 동일한 의미를 갖는다.

현금흐름 결정 모형에서의 변수 가운데 확률과정으로 다룰 만큼 데이터가 충분히 확보되어 있는 변수가 없으므로 현금흐름은 확률과정으로 다루지 않고, 다만 예상 시장 점유율의 불확실성을 고려하여 전체 현금 흐름의 분포, 나아가 누적 수익으로서 가치의 분포를 구하였다.

사례 연구에서 사용된 예상 시장 점유율 분포 데이터는 다음과 같다. 이 시장 점유율 분포는 가치 분포에 결정적인 영향을 미치는데 분포 모양이 로그정규분포와 유사하게 꼬리가 길기 때문에 가치의 확률과정에 대한 GBM 가정과 잘 부합한다.

<그림 5> SMART가 해수담수화 시장에 진입할 경우 예상 시장 점유율



자료 : 황석원 (2005)

시장규모 자료도 선행 연구(황석원, 2005)에서 인용하였다. 2030년까지 사업이 지속되는 것으로 설정하고 2011년부터 2030년까지 매년 일정한 비율로 시장이 성장하는 것을 가정하였다. 연도별 연구개발 투자 비용도 선행 연구(황석원, 2005)에서 제시된 것을 그대로 가져다 사용하였다. SMART-p 건설 및 시험에 5차년도까지 총 5600억원이 소요되는 것으로 나타났다.

무위험이자율은 3년 만기 국채 이자율(2006년 9월 15일 기준)을 사용하였다. WACC는 한수원과 한전 자료를 이용하여 추정하였다. 이들이 원자력 관련 사업을 담당하는 기업이기 때문에 향후 해수담수화용 원자로의 상용화가 이루어진다면 이들 기업을 통해서일 것이기 때문이다. 한수원 홈페이지에 공개된 자료에 따르면 2006년 9월 현재 부채비율은 41%, 이자비용(타인자본비용)은 6%이다. 증권사에서 한수원 및 한전의 2001년 자료를 바탕으로 추정한 결과에 의하면 시장위험프리미엄은 7.2%, 베타는 0.68이었다.(2001, 굿모닝증권) 따라서 자기자본 비용은 CAPM에 의해 다음과 같이 결정된다.(박동원 외, 2004)

$$\text{자기자본비용} = 0.047 + 0.68(0.072 - 0.047) = 0.064 \quad (9)$$

타인자본 비용 0.06과 자기자본비용 0.064를 자본구성비를 가중치로 가중 평균하여 0.061의 WACC 값을 얻었다. 제조업 평균 순이익률은 지난 6년간 제조업평균 순이익률의 평균값인 3.43%를 사용하였다.

<표 3> 연도별 SMART-p 건설 관련 R&D 투자 비용

| 구분(단위:억원) | 1차년도 (05.7~06.6) | 2차년도 (06.7~07.6) | 3차년도 (07.7~08.6) | 4차년도 (08.7~09.6) | 5차년도 (09.7~10.6) | 계 |
|---------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|-------|
| 1. 원자로계통설계 및 핵연료 공급 | 208 | 191 | 327 | 363 | 344 | 1,432 |
| 2. 플랜트종합설계 | 76 | 83 | 118 | 101 | 100 | 478 |
| 3. 원자로, 터빈, 잠수설비 등 기자재 공급 | 160 | 38 | 733 | 563 | 565 | 2,402 |
| 4. 플랜트 건설 시공 | 72 | 132 | 234 | 250 | 176 | 864 |
| 5. 건설/운영허가 및 시운전 | 55 | 59 | 113 | 104 | 94 | 424 |
| 계 | 570 | 845 | 1,525 | 1,380 | 1,279 | 5,600 |

자료 : 황석원 (2005)

<표 4> 예상 해수담수화 시장 규모

| 시장규모(십억원) | 국내수요 | 해 외 | 총 수요 |
|-----------|----------|----------|----------|
| 2011 | 183.5504 | 8740.497 | 8924.047 |
| 2012 | 189.0569 | 9002.712 | 9191.769 |
| 2013 | 194.7287 | 9272.793 | 9467.522 |
| 2014 | 200.5705 | 9550.977 | 9751.547 |
| 2015 | 206.5876 | 9837.506 | 10044.09 |
| 2016 | 212.7853 | 10132.63 | 10345.42 |
| 2017 | 219.1688 | 10436.61 | 10655.78 |
| 2018 | 225.7439 | 10749.71 | 10975.45 |
| 2019 | 232.5162 | 11072.2 | 11304.72 |
| 2020 | 239.4917 | 11404.37 | 11643.86 |
| 2021 | 246.6764 | 11746.5 | 11993.17 |
| 2022 | 254.0767 | 12098.89 | 12352.97 |
| 2023 | 261.699 | 12461.86 | 12723.56 |
| 2024 | 269.55 | 12835.71 | 13105.26 |
| 2025 | 277.6365 | 13220.79 | 13498.42 |
| 2026 | 285.9656 | 13617.41 | 13903.37 |
| 2027 | 294.5446 | 14025.93 | 14320.48 |
| 2028 | 303.3809 | 14446.71 | 14750.09 |
| 2029 | 312.4823 | 14880.11 | 15192.59 |
| 2030 | 321.8568 | 15326.51 | 15648.37 |
| 계 | 4932.069 | 234860.4 | 239792.5 |

자료 : 황석원 (2005)

IV. 결과 및 토론

1. 시뮬레이션 시나리오

시나리오 및 민감도 분석에서 고려할 수 있는 변수는 여러 가지가 있다. 전략적으로 선택할 수 있는 변수들에는 의사결정 단계, 의사결정을 위한 정보수집 및 행정절차 비용, 사업 지속 기간, 설비 규모, 시장 진입 시점 등이 있고, 불확실성 하에서 정

확한 추정이 이루어져야 하는 변수로서 민감도 분석을 통해 이 변수들이 갖고 있는 불확실성이 전체 결과에 어떤 영향을 미치는지 살펴보아야 하는 변수로서 시장 규모, 시장 점유율, 프로그램/프로젝트 가치의 확률과정의 변동성 등이 있다.

본 사례연구에서는 이들 가운데 의사결정 단계에 대하여 세 가지 시나리오를 고려하고, 의사결정 비용과 확률과정의 변동성 두 가지 변수에 대하여 민감도 분석을 수행하였다.

시나리오1은 일단 연구개발이 착수되면 종료될 때까지 중단 없이 연구를 수행하며 2011년 연구개발 종료 이후 상용화 여부에 대한 의사결정을 내리는 것이다. 따라서 의사결정 시점에서 연구개발 투자비는 매몰 비용(sunk cost)으로 이미 지출된 것으로 보기 때문에 설비투자비 등 향후 소요되는 비용만을 고려하여 이를 행사가격으로 보고 옵션적 의사결정을 내리게 된다. 본 사례연구의 대상 기술은 원자로를 건설해줌으로써 영업활동을 하는 것이므로 그때그때 계약이 이루어질 때마다 원자로 건설 비용을 따로 계상해주면 되는 것으로서 시장 진입 시점에 별도의 특별한 설비투자가 필요한 것이 아니다. 따라서 본 사례연구에서는 2011년 시점의 옵션 행사가격은 0이고, 시장에서의 기대 수익이 0보다 크면 진입하고 0보다 크지 않으면 진입을 포기하게 된다.

<그림 6> 시나리오 및 민감도 분석의 개요

| |
|---|
| 시나리오 |
| <ul style="list-style-type: none"> • 시나리오 1 : 의사결정 시점 2006, 2011년 <ul style="list-style-type: none"> - 의사결정을 위한 정보수집 및 행정절차 비용 1억원 • 시나리오 2 : 의사결정 시점 2006, 2009, 2011년 • 시나리오 3 : 의사결정 시점 : 2006, 2008, 2010, 2011년 |
| 민감도 분석 |
| <ul style="list-style-type: none"> • 변수 1 : 의사결정을 위한 정보수집 및 행정절차 비용 <ul style="list-style-type: none"> - 0.1억원부터 10억원까지 다양한 값을 사용하여 결과가 어떻게 달라지는지 민감도 분석을 수행 • 변수 2 : 확률과정의 변동성 <ul style="list-style-type: none"> - 실증 자료로부터 도출한 변동성값의 0.2배부터 2배까지 다양한 값을 사용 |

시나리오 2와 3은 연구개발 중간에 포기옵션에 대한 의사 결정 단계를 두는 것이

다. 시나리오2는 2009년 1회, 시나리오3은 2008년, 2010년 2회에 걸쳐 연구개발 와중에 중간 평가를 통해 의사결정을 내리게 된다. 이때의 평가란 과거지향적인 성과 평가에 그치는 것이 아니라 미래지향적인 경제적 가치 평가를 새롭게 수행하는 것을 의미하며, 의사결정도 단지 예산의 확대/축소 수준에 멈추는 것이 아니라 사업의 지속 여부를 결정하는 포기옵션 행사에 관한 심각한 의사결정을 의미한다. 기본 시나리오에서는 의사결정 비용을 1억원으로 책정하였는데, 이는 최소한도의 경제성 평가 경비만을 계상한 것이다. 실제로는 경제성 평가 경비도 더 많이 소요될 수 있고, 무엇보다 단지 경제성 평가 경비뿐만 아니라 의사결정 단계가 늘어나면서 초래될 수 있는 연구분위기 저하, 연구자 입장에서의 신분적 불안정성 증가로 인한 연구개발 효율성 저하까지 고려하면 훨씬 더 많은 비용이 소요된다고 볼 수 있다.

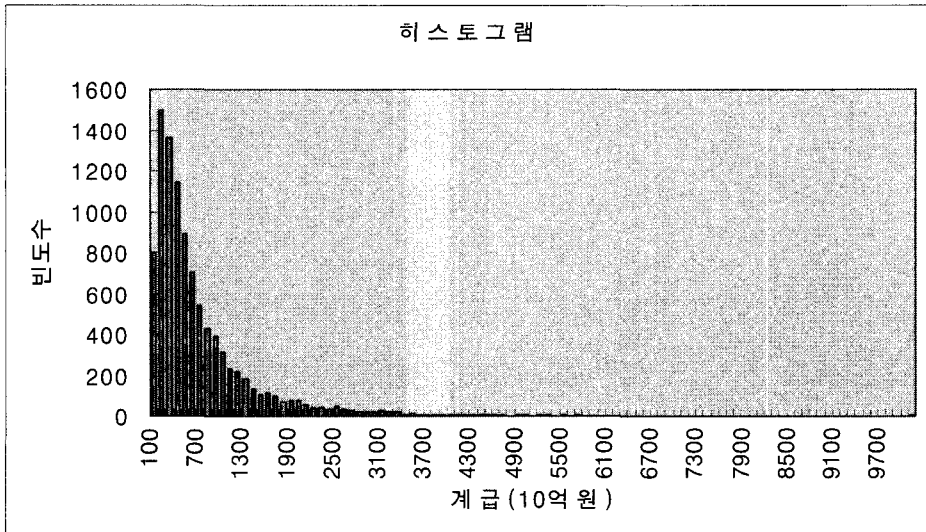
민감도 분석의 첫 번째 고려 대상인 의사결정 비용에 대해서는 1천만원, 2천만원, 5천만원, 1억원, 2억원, 5억원, 10억원 등 값을 변화시켜가면서 경제성 평가 결과에 미치는 영향을 살펴보았다. 두 번째 고려 대상인 확률과정의 변동성에 대해서는 실증 자료로부터 추정한 변동성값(메인 시나리오에서 사용한 값)의 0.2배에서 2배까지 변화시켜가며 경제성 평가 결과에 미치는 영향을 분석하였다.

2. 경제성 평가 및 민감도 분석 결과

시뮬레이션을 통해 상용화 시작 시점에서 평가한 사업으로부터의 기대 누적 수익의 분포를 구하였다. 이는 위험중립 가치산정을 위한 위험중립 가치의 분포이다. 본 사례연구에서 경제적 가치 산정은 역진 귀납 방법을 사용하였기 때문에 GBM을 가정한 위험중립 확률과정으로부터 생성된 위험중립 가치의 분포는 정확히 로그정규 분포 꼴을 보이고 있다. 평균은 7038억원, 표준편차는 9179억원을 보이고 있다.

본 사례분석 대상 연구개발사업의 경제적 가치를 산정해본 결과 DCF에 의한 NPV값은 558.3억원이 도출되었고, 유연성을 고려한 경제적 가치를 산정해본 결과 시나리오1에서는 557.5억원, 시나리오2에서는 899.0억원, 시나리오3에서는 1522.2억원이 도출되었다. DCF에 의한 NPV에 비해 실물옵션 방법을 통해 유연성의 가치를 고려하고 의미있는 의사결정 단계를 적절하게 배치할 경우 프로그램/프로젝트의 경제적 가치가 대폭 증가함을 알 수 있다. 본 사례 분석에서는 시나리오3, 즉 연구개발 기간 중 2차례의 의사결정 단계를 배치하는 것이 가장 가치가 큰 것으로 나타났다.

<그림 7> 사업으로부터 기대되는 누적 수익의 분포 (risk-neutral value 분포)



물론 2차례보다 더 잦은 의사결정 단계를 배치할 경우, 프로그램/프로젝트의 가치가 더 제고되는 것으로 나올 수도 있다. 그러나 시뮬레이션에서 고려하지 않은, 잦은 의사결정이 초래할 수 있는 비효율성을 감안할 때 5년 사이에 2차례 이상의 중간 의사결정, 그것도 포기할지 계속 진행할지 여부를 판단하는 심각한 의사결정 단계를 배치하는 것은 무리라고 판단된다. 따라서 더 이상 잦은 의사결정 단계를 상정한 시나리오를 고려하지 않았다.

결과를 보면 시나리오1의 경우 R&D 비용을 모두 매몰비용으로 지출한 이후 시장 진입 여부에 대한 의사결정(포기옵션 행사)이 단 1회 이루어지므로 유연성의 가치가 크지 않다. 오히려 의사결정 비용 때문에 큰 차이는 아니지만 오히려 의사결정비용이 필요치 않은 DCF에 의해 산정된 결과 보다 프로그램/프로젝트의 가치가 감소하는 것을 보여주고 있다.

주의할 것은, 이 사례 연구는 어디까지나 본 연구에서 제시하는 방법론을 적용해 봄으로써 그 유용함을 보여주는데 목적이 있기 때문에, 현실 세계의 복잡한 요소들에 대한 고려를 많이 생략하였다는 점이다. 또한 데이터도 다소 미흡한 상태지만 몇 가지 단순화 가정을 통해 계산이 가능하도록 하여 시뮬레이션을 진행하였다. 다시 말해, 어디까지나 방법론의 적용 사례를 보여주는데 목적이 있는 것이지, 당장 정책적으로 실효성 있는 의사결정의 근거가 될 수 있는 결과를 보여주는 것이 목적이 아

나라는 점을 다시 강조해둔다.

<표 5> 분석 대상 연구개발사업의 경제적 가치 산정 결과

| NPV (억원) | 유연성을 고려한 경제적 가치(억원) | | |
|-------------|---------------------|--------|--------|
| | 시나리오 1 | 시나리오 2 | 시나리오 3 |
| 558.3 | 557.5 | 899.0 | 1522.2 |

의사결정을 위한 정보수집 및 행정절차 비용을 대상으로 민감도 분석을 수행하였다. 결과를 보면 시나리오에 따라 의사결정 단계가 달라지는 것에는 결정적인 영향을 받지만 의사결정 비용이 1천만원에서 10억원까지 변화함에도 불구하고 결과에는 별 영향이 없음을 알 수 있다. DCF에 의한 결과는 시나리오1의 결과와 거의 비슷한 값을 보이고 있다.

본 사례의 경우에는 연구개발 투자비가 5600억원에 이르는데, 이처럼 연구개발 투자 규모가 몇백억원에서 몇천억원에 이르는 대형과제의 경우에는 의사결정 비용이 큰 문제가 되지않고, 의사결정 단계를 적절하게 배치함으로써 그 비용보다는 유연성 제고에 의한 경제적 가치 증가 효과가 훨씬 더 클 것임을 알 수 있다. 본 사례에서는 고려하지 않았지만, 지나치게 잦은 의사결정이 초래할 수 있는 연구개발의 효율성 저하를 비용 요소로 감안한다 하더라도 대형 과제의 경우 워낙 투자 규모가 크기 때문에 전략적 유연성이 주는 긍정적 효과가 그러한 유연성을 부가하기 위한 비용(의사결정 비용 및 연구개발 의욕 저하 등)보다 더 크다고 볼 수 있다.

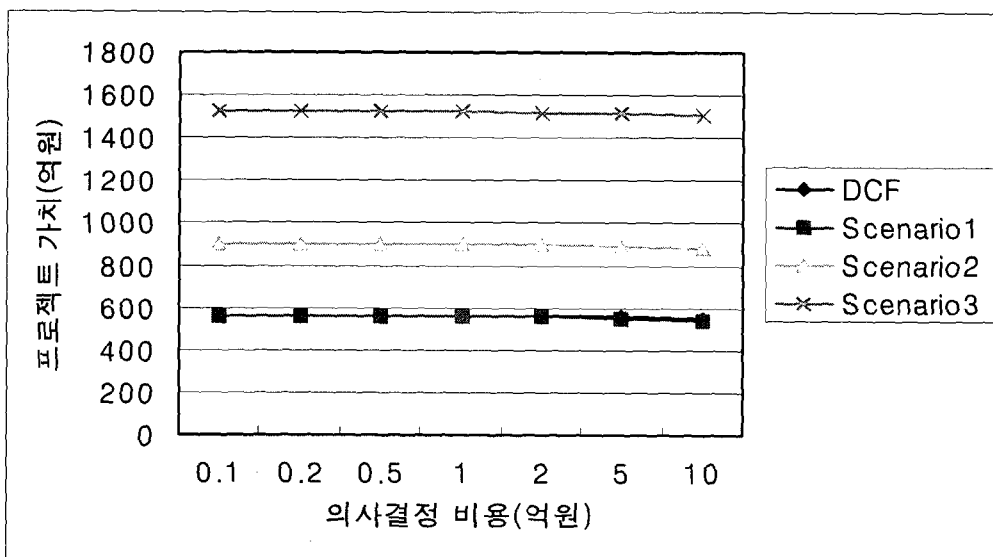
그러나 소규모로 창의성이 중시되는 연구 과제에 대해서는 지나치게 잦은 의사결정이 연구자에게 미래에 대한 불안감을 조성하여 의욕을 저하시키고, 평가를 위한 행정 비용이 연구개발 투자 규모에 비해 적지 않다고 볼 수 있기 때문에, 전략적 유연성을 부가한답시고 무분별하게 의사결정 단계를 많이 설정하는 것은 피하는 것이 좋다.

확률과정의 변동성에도 대해 민감도 분석을 수행하였다. 확률과정을 GBM으로 가정하였기 때문에 가치가 0보다 작아지는 일이 없다는 점에 유의하면, 시나리오1에서 연구개발 투자를 모두 매몰비용으로 처리하고 행사가격 0(실제로는 의사결정 비용을 고려해야 하므로 행사가격은 곧 의사결정비용)으로 의사결정을 진행할 때, 탈락

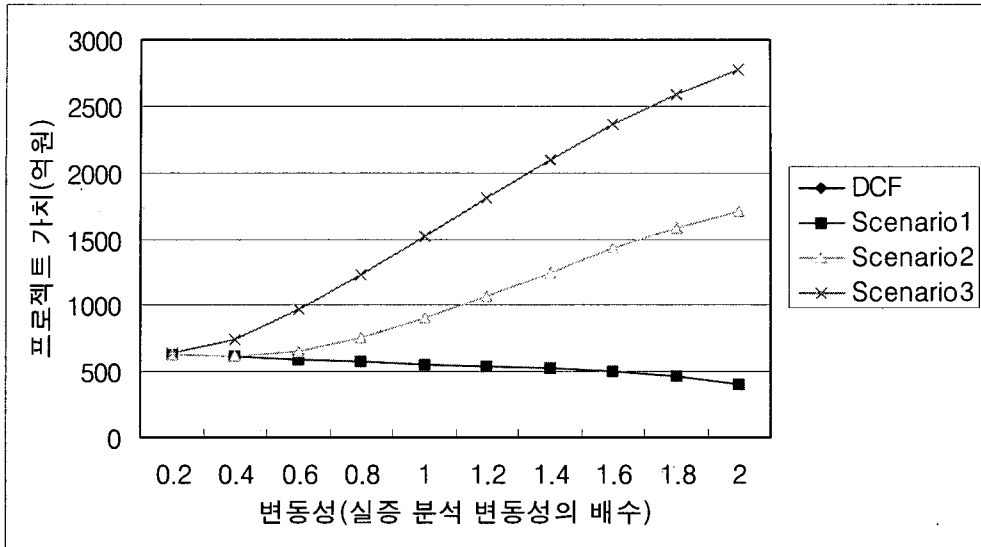
하는 경우가 거의 없으리라는 점을 알 수 있다. 그러므로 시나리오1에서는 옵션 행사라는 것이 거의 의미가 없고, 따라서 그 결과는 DCF와 다를 것이 거의 없다. 다만 차이가 있다면 의사결정 비용 정도의 차이를 보이게 된다. 이 때는 변동성의 증가가 의미하는 것이 평균값의 감소가 되는데, 실제 결과를 보면 프로그램/프로젝트의 가치가 변동성 증가에 따라 점차 감소하는 것을 볼 수 있다. 연구개발 과정에 의미있는 의사결정 단계를 설정하는 시나리오2와 3에서는 변동성 증가가 큰 영향을 미친다. 옵션 가치는 불확실성이 증가하면 이론적으로 무조건 커지기 때문이다. 실제 분석에서도 시나리오2와 3에서처럼 의미있는 유연성을 적절하게 추가하였을 때, 변동성이 증가함에 따라 프로그램/프로젝트의 가치가 크게 증가하는 것을 볼 수 있다.

이로부터 얻을 수 있는 시사점은 변동성이 큰 프로그램/프로젝트의 경우 본 연구에서 제안한 방법에 의한 전략적 유연성 부가가 대단히 중요하다는 점이다. 불확실성이 거의 없이 연구개발 결과 달성되는 기술이 주는 수익을 정확하게 예측할 수 있다면 굳이 실물옵션 접근법에 의한 전략적 유연성 부가같이 복잡한 방법을 쓸 필요 없이 DCF만으로도 충분하다. 실제 분석 결과를 보면 변동성 값이 0.2배일 때는 DCF나 실물옵션에 의한 결과나 거의 차이가 없음을 볼 수 있다.

<그림 8> 민감도 분석 : 의사결정 비용에 따른 프로젝트의 가치 변화



<그림 9> 민감도 분석 : 확률과정의 변동성에 따른 프로젝트의 가치 변화



그러나 연구개발사업은 연구개발 과정에서의 기술개발 성공 여부와 상업화 이후 시장에서의 성공 여부라는 두 가지 불확실성을 모두 고려해야하기 때문에 일반적인 사업 기획안보다 훨씬 불확실성이 크다는 점에 유의해야 한다. 따라서 대부분의 연구개발 사업을 기획할 때는 본 연구에서 제안한 방법에 따라 가장 바람직한 전략적 유연성을 부가하기 위한 경제성 평가 과정을 밟을 필요가 있다.

한편, 미래 예측이 정확하게 이루어질수록, 즉 변동성의 값을 정확하게 알수록 정확한 경제적 가치 산정이 이루어질 수 있으며, 만약 미래 예측이 부정확할 경우 변동성의 값을 과대평가하게 되고 이는 프로그램/프로젝트의 가치에 대한 과대평가로 이어져 잘못된 의사결정을 내릴 수 있다는 점도 유의해야 한다.

V. 결론

본 연구에서는 기본적으로 단선적이며 결정적인 성격을 갖고 있는 현재의 경직된 연구개발 프로세스를 개선하여 전략적 유연성을 부가함으로써 프로그램/프로젝트의 가치를 제고하기 위한 방법론을 제안하였다. 프로그램/프로젝트의 경제성을 평가할 때, 유연성을 고려하여 다양한 전략들을 고려하고 그중 프로그램/프로젝트의 가치를

가장 크게 제고할 수 있는 전략을 선택한다는 것이 핵심이다. 이 때 전략적 선택은 적정 투자 시점, 의사결정의 단계, 의사결정에 따른 부가 옵션의 종류 등을 포괄할 수 있다.

본 연구에서 제안된 방법론을 적용하기 위해 실제 국가연구개발사업 가운데 하나를 선정하여 사례 연구를 수행하였다. 어디까지나 시범적으로 방법론을 적용해보는 것이기 때문에 데이터나 절차 등을 많이 단순화하긴 하였지만, 핵심적인 사항은 여전히 유효하다. 전략적 선택에 따라 상이한 여러 시나리오들에 대해 사업의 가치를 구한 결과 각기 다른 값을 얻었으며, 가장 큰 가치를 보여주는 시나리오 및 그에 결부된 전략을 선택할 수 있음을 보여주었다. 본 사례연구의 대상 사업의 경우 규모가 아주 크기 때문에 의사결정 비용은 상대적으로 무시할 만하며, 따라서 상황 변화에 기민하게 대응할 수 있도록 의사 결정 단계를 많이 두는 것이 바람직하다는 결과를 얻었다. 한편 변동성에 관한 민감도 분석 결과, 불확실성이 큰 사업일수록 본 연구에서 제안한 방법론을 사용하여 프로그램/프로젝트의 가치를 제고할 수 있는 여지가 크다는 결과를 얻었다.

상용화 이후의 수익성에 대한 데이터를 요구한다는 점에서 본 연구의 방법론은 주로 상용화에 가깝거나 그렇지 않더라도 미래의 시장 여건에 대한 예측이 가능한 R&D에 적용할 수 있다. 상용화 시점이 멀거나 미래 시장에 대한 예측이 어려운 R&D에 대한 경제성 평가는 향후 연구 과제로 남겨둔다.

본 연구에서는 고려된 시나리오 가운데 가장 우월한 시나리오를 찾고 그에 따라 전략적 선택을 하는 방법론을 제시하고 있지만, 이론적으로 가능한 모든 변수와 해당 변수의 모든 상태를 고려하여 최적 전략을 찾는 것을 전제로 하고 있지는 않다. 이론적으로는 가능할 수 있지만 실제로는 대단히 어려운 일이기 때문이다. 따라서 본 연구의 방법론은 일반적인 최적 전략이 아니라 보다 우월한 전략을 찾는 수준에 그치고 있는 것이 사실이다. 연구개발 추진 전략의 최적화에 대한 이론적 실증적 작업은 향후의 연구 과제로 남겨둔다.

참고문헌

- 국가과학기술위원회 (2005), 「국가연구개발사업 조사분석평가 결과」
- 굿모닝증권 (2001), 「한국전력 기업분석 보고서」
- 김태유 · 이정동 · 이종수 (2002), “대형연구개발사업의 기술적 · 경제적 타당성 분석 방법”, 과학기술정책연구원
- 박동원 · 김광준 · 박순풍 (2004), 「기업가치평가」, 경문사
- 윤문섭 · 이우형 · 이종석 · 장진규 (2003), “신기술 분야 대형연구개발과제의 사전심의를 위한 타당성 분석 방법”, 과학기술정책연구원
- 황석원 (2005), “해수담수화용 원자로(SMART)의 연구용원자로 건설을 위한 예비 타당성 조사”, 과학기술부
- Black, F. and Scholes, M. (1973), “The Pricing of Options and Corporate Liabilities,” *Journal of Political Economy*, Vol. 81, pp. 637-659
- Cassimon D. P. J., Engelen, L., Thomassen, M. and Van Wouwe (2004), “The valuation of a NDA using a 6-fold compound option”, *Research Policy*, Vol. 33, pp. 41 - 51
- Geske, R. (1979), “The Valuation of Compound Options”, *Journal of Financial Economics*, pp. 63-81
- Hull, J. C. (2003), *Options, Futures, and Other Derivatives, 5th ed.*, Prentice Hall
- Jeong, J. (2006), “The Application of Real Options Theory in Strategic Decision Making”, Ph.D. Dissertation, Seoul National University
- Kester W. (1984), “Today’s Options for Tomorrow’s Growth”, *Harvard Business Review*, Vol. 62 (2), pp. 153-160
- Lee, H. J. (2003), “Three Essays on Real Options”, Ph.D. Dissertation, Seoul National University
- Merton, R. C. (1973), “The Theory of Rational Option Pricing,” *Bell Journal of Economics*, Vol. 4, pp. 141-183
- Myers, S. C. (1977), “Determinants of Corporate Borrowing,” *Journal of*

- Financial Economics*, Vol. 5, pp. 147-175
- Neufville (2003), "Real Options : Dealing with Uncertainty in Systems Planning and Design," *Integrated Assessment*, Vol. 4, No. 1, pp. 26-34.
- Otto, R. E. (1998), "Valuation of Internal Growth Opportunities: The Case of a Biotechnology Company", *The Quarterly Review of Economics and Finance*, Vol. 38, pp. 615-633
- Trigeorgis, L. (1996), *Real Options: Managerial Flexibility and Strategy in Resource Allocation*, The MIT Press
- Vonortas N. S. and H. R. Hertzfeld (1998), "Research and Development Project Selection in the Public Sector," *Journal of Policy Analysis and Management*, Vol. 17(4), pp. 621-638.
- Vonortas N. S. and Lackey (2003), "Real Options for Public Sector R&D Investments," *Learning from Science and Technology Policy Evaluation: Experiences from the United States and Europe*, Edward Elgar Publishing, Cheltenham Glos, UK.

□ 논문 접수: 2006년 11월 20일/ 최종 수정본 접수: 12월 29일