기술혁신학회 가을 학술대회 2000. 11.

기술개발 투자안의 최적 포트폴리오 구성에 관한 연구

이현정*, 이정동**, 김태유***

ABSTRACT

In this paper, we suggest theoretical grounds on the problem of R&D portfolio with different option premiums utilizing the Real Options Model, which has received intensified attention as the method of assessment of R&D project with high risk.

Even though there have been many studies focused on the evaluation of option value of single project from technology valuation's perspective. there are few study on the portfolio of multiple technology investment by option value using. This paper bears practical importance by showing simple examples with the option value of investment alternatives and the valuation of related risk, the construction of optimum portfolio in technology investment alternatives.

* 서울대학교 기술정책대학원과정 박사과정
** 서울대학교 기술정책대학원과정 조교수
*** 서울대학교 기술정책대학원과정 교수

1. 서론

기술가치평가방법에 있어 하나의 중요한 역할을 담당하고 있는 실물옵션모형은 평가하고자 하는 기술의 개발 투자안이 가진 내재가치를 모두 평가함으로써 그 기술의 가치를 산정할 수 있도록 한다. 일반적으로 투자안의 가치를 측정하기 위하여 기존에는 NPV (Net Present Value) 방법이 많이 사용되었으나, 몇 가지 단점으로 인하여 많은 연구자들은 실물옵션방법이 더 우월한 방법론이라는 점을 지적해왔다. NPV와 실물옵션모형의 가장 중요한 차이점은 실물옵션모형에서는 투자결정과정의 경영상의 유연성을 반영하고 전략적 선택을 가능하게 함으로써 유연성의 가치를 측정할 수 있다는 점이다.

따라서 실물옵션모형에 의해서 측정된 옵션가치는 기존의 NPV와 비교하여 다음과 같은 두 가지 가치를 추가적으로 더 계산할 수 있다. (Trigoergis, 1988) 첫째는 경영활동의 유연성(Operating flexibility)의 가치로서 시간이 지남에 따라 추가적으로 얻어지는 정보, 감소되는 불확실성 등에 의해 투자계획을 연기, 확장 혹은 폐지하는 전략이 가능하게 됨으로써 얻어지는 가치이며, 두 번째는 전략적 가치(Strategic value)로서 어떤 기술을 개발함으로서 추가적인 다른 기술의 개발로 이어질 수 있으므로 새로운 가능성을 창출함으로써 얻어지는 가치이다.

본 논문에서는 개별 기술의 가치측정에 사용되어 온 실물옵션모형이 각기 다른 속성이 다른 여러 기술자산에 어떤 비율로 투자할 것인가에 관한 문제에 관해서도 역시 적용이 가능하다는 것을 보이며, 적합한 구성비를 구하기 위하여 기대수익률과 위험율을 정하는 방법론을 제시하고자 한다. 이를 위하여 2절에서는 실물옵션모형을 이용하여 각 투자안의 기대수익률을 측정하는 방법을 소개하였으며, 3절에서는 옵션가치로 측정된 투자안의 위험률을 측정하는 방법을 소개하였고, 4절에서는 이 두가지 요소들을 이용하여 기술개발 투자안의 포트폴리오를 구성하는 방법을 소개하였다.

현실적으로 개인투자자, 기업, 국가단위에서 직면하는 많은 문제들이 개별 기술의 가치를 산정한 뒤 투자여부를 결정하는 것 이외에 여러 기술들에 대한 투자를 어떤 비율로 할 것인가와 같은 기술투자안의 최적 포트폴리오 구성에 관한 문제들라는 점에서 이 연구는 이론적·실증적인 가치를 지닐 수 있다.

2. 옵션가치를 이용한 기대수익율 측정

일반적으로 개발단계에 있는 기술의 가치를 측정하기 위해서는 평가대상 기술의 투자안을 분석하여야 한다. 이 경우 투자안이 가지고 있는 옵션가치를 반드시 고려하여야만 올바르게 기술의 가치가 측정될 수 있는데, 기술개발 투자안이 가질 수 있는 옵션의 유형

으로는 크게 연기옵션(option to defer), 성장옵션(growth option, option to expand), 축소옵션(opton to contract), 포기옵션(option to abandon), 스위칭옵션(option to switch), 복합옵션 (compound option) 등이 있다. (Trigeorgis, 1996) 투자계획내에 어떠한 경영상의 유연성 및 전략적 선택이 가능한가에 따라 그 투자안에 있는 옵션의 종류는 다양해지며, 의사결정단계를 세분화하여 투자안의 유연성을 크게 할수록 옵션가치의 비중은 커진다.

최근에 발표된 관련 연구로서 Pennings and Lint(1997)는 R&D 옵션이 성격상 유러피안 콜옵션과 유사하다는 점을 지적하고, R&D 옵션의 기초자산에 있는 불확실성을 측정하는 모델을 제시하였으며, R&D 투자에 관한 실증연구를 하였다.

기술개발 투자안은 기본적으로 성장옵션과 포기옵션의 관점에서 논의할 수 있으며, 이 외에도 투자안을 어떻게 설계하는냐에 따라 다른 옵션들을 포함할 수 있다. 그러나 논의의 간편함을 위하여 가장 기본적으로 지니고 있는 성장옵션 및 포기옵션에 대하여 설명하고 그 옵션가치가 의한 기대수익율을 정의하도록 한다. 본 논문에서는 여러 가지 옵션모형 중에서 다음과 같이 대표적인 옵션가격결정모형인 블랙-숄즈 모형(Black and Scholes, 1973)을 이용하여 옵션가치를 나타내도록 한다.[2]

(1) $$BS_{call} = S*N(d_1) - Xe^{-r_f}TN(d_2)$$

(2) $$BS_{put} = Xe^{-r_f}T*N(-d_2) - S*N(-d_1)$$

(3) $$d_1 = \frac{\ln(S/X) + (r_{f+}\frac{\sigma^2}{2})T}{\sigma\sqrt{T}}, \quad d_2 = \frac{\ln(S/X) + (r_{f-}\frac{\sigma^2}{2})T}{\sigma\sqrt{T}}$$

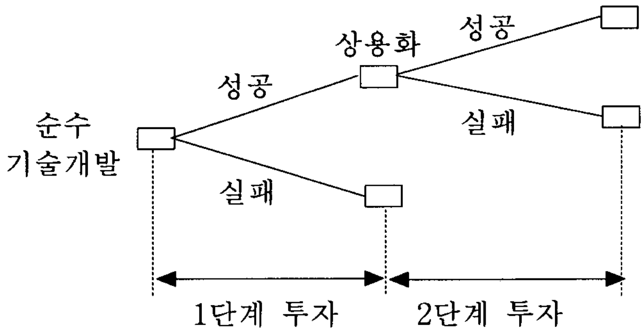
여기서 S는 투자기회(investment opportunity)로부터 창출되는 수익의 현재가치, X는 투자기회에서 행사하여야 하는 투자비용, T는 현재부터 투자기회가 있는 시점까지의 시간, σ는 기초자산 가치의 수익률 표준편차, r_f는 무위험이자율이다.

2.1 기술개발 투자안의 성장옵션

성장옵션은 금융자산의 어메리컨 콜옵션과 형식적으로 동일하며, 초기의 작은 투자로 미래의 추가적인 투자(follow-on investment)가 가능하므로, 미래의 추가적인 투자는 현재 시점에서 결정하는 것이 아니라, 미래 시점에서 주변여건에 따라 결정할 수 있도록 투자안이 설계되는 것이다. 이 경우 보통 추가적인 투자비용은 초기 비용보다 상당히 큰 경우가 대부분이다.

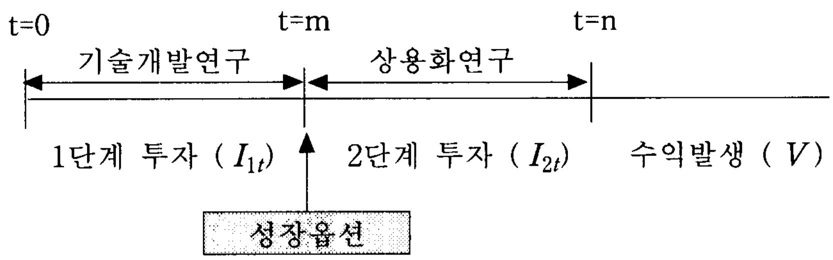
2) 특히, 연속시간확률과정(continuous-time stochastic process)을 통한 투자안평가모형은 Dixit and Pindyck (1993)을 참조할 것

기술개발 투자안는 아래 [그림 1]와 같이 크게 순수 기술개발단계와 상용화단계의 2단계로 구분될 수 있으며, (Boer, 1999) 이 경우 의사결정자는 기술개발완료시점에서의 시장환경에 따라 상용화단계를 선택할 것인지를 결정할 수 있다. 만일 상용화 투자를 하기에 시장 조건이 불리하다면 2단계 투자기회에 대한 권리를 포기함으로써, 즉 성장옵션의 행사를 포기함으로써 가능한 추가적 손실을 줄일 수 있다.



[그림 1] 기술개발 투자안의 투자단계 모형

실제적인 수익은 2단계 투자 이후에서 창출될 수 있으나, 2단계에서의 투자라는 의미는 초기 단계에서부터 확정적으로 결정된 것이 아니며, 단지 2단계 투자를 할 수 있는 권리가 주어진 것이므로, 이 투자안의 기대 수익은 NPV로 계산하여서는 안되고, 다만 선택 권리에 대한 옵션가치로서 구하여야 한다. 이 때 기초자산의 가치는 다음 [그림 2]에 도식화된 바와 같이 옵션이 행사되었을 때 얻게 되는 자산, V의 현재가치이고, 행사가격은 2단계 투자에 들어가는 비용의 행사시점에서의 가치, 만기는 1단계 투자 후 2단계 투자가 행하여 질 때까지의 기간이 된다.



[그림 2] 성장옵션의 도식화

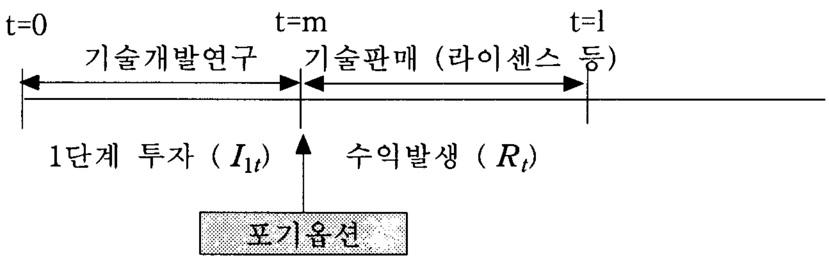
이러한 개념을 가지고 블랙-숄즈 모형을 이용한 성장옵션을 측정하는 식을 구성하게 되면 아래의 식 (4)와 같이 표현된다.

$$(4) \qquad ROV_1 = BS_{call}(S = \frac{V}{(1+r)^n}, X = \sum_{t=m}^{t=n} \frac{I_{2t}}{(1+r)^{t-m}}, T = m, \sigma^2, r_f)$$

2.2 기술개발 투자안의 포기옵션

포기옵션은 금융자산의 풋옵션과 같은 형식을 위하며, 주변여건이 부정적이어서 애초에 기대했던 미래의 현금흐름이 제대로 실현되지 않을 것으로 판단된다면, 현재의 자산을 매각하고 투자를 중단함으로써 추가적인 손실을 막을 수 있는 권리를 의미한다. (Myers and Majd, 1990)

기술개발 투자의 경우 기업 사정 혹은 시장여건 등의 요인으로 상업화 연구를 위한 추가적인 투자가 어려울 경우에는 개발된 기술 자체를 라이센스 등을 통해 판매할 수 있는 권리가 있다. 이 때 풋옵션의 행사가격은 청산가치로서, 다음 [그림 3]에서 보여지듯 t=m 시점 이후에 기술을 판매하게 될 경우의 기술판매수익으로부터 발생되는 가치가 된다. 이러한 개념하에 블랙-숄즈 모형을 이용한 성장옵션을 측정하는 식을 구성하게 되면 식 (5)와 같이 표현된다.



[그림 3] 포기옵션의 도식화

$$(5) \qquad ROV_2 = BS_{put}(S = \sum_{t=1}^{m} \frac{I_{1t}}{(1+r)^t}, X = \sum_{t=m}^{l} \frac{R_t}{(1+r)^{t-m}}, T = m, \sigma^2, r_f)$$

2.3 기술개발 투자안의 기대수익율

앞에서 설명하였듯이 기술개발 투자안은 기본적으로 성장옵션과 포기옵션을 지니고 있으며, 이 외에도 투자안을 어떻게 설계하느냐에 따라 다른 옵션들이 포함될 수 있다. 본 논문에서는 성장옵션과 포기옵션만 가지고 있도록 가정하였으므로, 각각의 옵션가치를 합하게 되면 초기 투자로 인한 발생되는 전체 옵션가치가 결정된다. 따라서 이 투자안의 기대수익율 $E(R)$ 은 옵션가치와 초기투자비용의 비율로서 정의되며, 다음의 식 (6), (7)

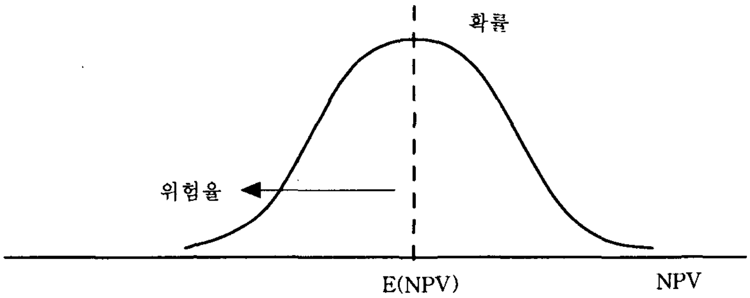
과 같이 나타낼 수 있다.

$$(6)\quad E(R) = \frac{ROV}{I_1},\ I_1 = \sum_{t=1}^{m} \frac{I_{1t}}{(1+r)^t} \quad (r : 위험조정할인율)$$

$$(7)\quad ROV = BS_{call}\left(S = \frac{R}{(1+r)^n},\ X = \sum_{t=m}^{t=n} \frac{I_{2t}}{(1+r)^{t-m}},\ T = m, \sigma^2, r_f\right) + BS_{put}\left(S = \sum_{t=1}^{m} \frac{I_{1t}}{(1+r)^t},\ X = \sum_{t=m}^{L} \frac{R_t}{(1+r)^{t-m}},\ T = m, \sigma^2, r_f\right)$$

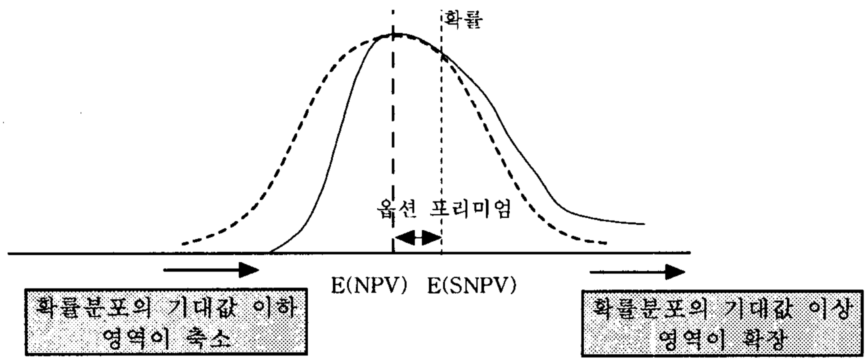
3. 기술개발 투자안의 위험률 측정

위험율은 전통적으로 기대수익율의 표준편차, 혹은 분산을 이용하였는데, 이는 논란의 소지가 있다. 그 이유는 기대값을 중심으로 확률분포의 오른쪽은 수익률의 기대값보다 높으므로 이것은 위험이 될 수 없으며, 기대값의 왼쪽에 있는 분산 즉, 미래 수익률이 기대값에 미달할 가능성이 진정한 위험이라 할 수 있기 때문이다. 그러나 기대수익율의 분포가 대칭적인 경우는 아래의 [그림 4]에서 보여지듯이 분산, 혹은 표준편차가 위험을 나타내는 척도로서 충분하게 된다.



[그림 4] 대칭적인 수익률 분포에서의 위험

따라서 기술개발 투자안의 위험율을 측정하기 위하여는 먼저 옵션가치로 얻어진 수익률의 분포가 대칭적인지의 여부가 확인되어야 한다. 왜냐하면 대칭적인 수익률 분포를 가질 경우, 앞서 논의에 따라 전통적인 위험의 척도인 수익률의 분산 혹은 표준편차가 충분히 사용될 수 있기 때문이다. 그러나 옵션가치에 의한 수익률 분포는 다음 [그림 5]에서 나타난 것처럼 비대칭적인 모양을 나타낸다.



[그림 5] 비대칭적 수익률 분포에서의 위험과 옵션

옵션은 의무가 아닌 권리로서, 만기일의 기초자산 가격이 행사가격보다 작은 경우 옵션행사권리를 포기하게 되므로 이 때의 현금흐름은 영(0)이다. 따라서 옵션가치는 만기일의 기초자산 가격이 행사가격보다 더 클 가능성만을 고려하여 산정된다. 이는 결과적으로 옵션가치를 만기일의 기초자산 가격이 행사가격보다 작을 수 있는 위험과 무관하게 만들게 되고, 수익률 분포의 기대값 이하 부분을 축소시키는 역할을 하게 된다. 그러므로 옵션가치로 평가한 투자안의 경우 수익률의 표준편차로서 위험을 나타내게 되면 진정한 위험율보다 더 큰 값을 갖게 되며, 이는 결국 포트폴리오의 최적 구성을 위한 투자배분비율에도 영향을 미치게 되는 것이다.

본 논문에서는 옵션가치로 측정한 투자안의 위험율, θ를 측정하기 위해서 다음 식(8)과 같이 만기일의 기초자산 가격이 행사가격보다 작아 옵션을 행사하지 못하게 되는 확률로서 계산하는 것이 타당할 것으로 판단된다.

(8) $\theta = k\Pr[S_T < X],\ (0 < 1 < k)$

옵션가치의 비대칭적 수익률 분포는 만기일에 옵션행사를 포기함으로서 추가적 손실을 줄였기 때문에 만들어진 것이다. 따라서 위 식(8)로 표현된 위험 측정 방법의 의미는 진정한 위험율이 만기일에 옵션행사를 포기할 확률과 비례적 관계에 있으며, 이것이 위험의 척도로 사용되어야 한다는 것이다. 블랙-숄즈 모형에서 옵션 만기일에 기초자산의 가치가 행사가격보다 작을 확률이 $1-N(d_2)$ 이므로 위험율 θ는 다음 식(9)와 같다.

(9) $\theta = 1 - N(d_2)$

보다 정확한 위험율을 구하기 위하여는 실제 옵션가치을 이용한 수익률 분포를 통해 기대값보다 더 작은 수익률이 나올 확률을 계산하여야 하나, 비대칭적 수익률의 분포

가 수리적으로 일정한 함수의 형태로 표현될 수 없게 되므로 수리적 형태로 나타내기 어려운 점이 있다. 다만, 몬테카를로 시뮬레이션을 통한 이항분포모형을 이용하여 옵션가치를 측정한 경우에는 경험적 확률을 통하여 기대값보다 더 작은 수익률이 나올 확률을 구할 수 있으므로, 이러한 경우는 위험율을 정확하게 도출할 수 있다.

4. 기술개발 투자안의 옵션가치를 반영한 포트폴리오 구성

4.1 포트폴리오 구성 이론

금융자산의 포트폴리오 이론은 여러 위험금융자산에 분산투자함으로써 전체적인 포트폴리오의 위험을 줄이고자 하는 것으로서 마코위츠(H. Markowitz)가 1952년 발표한 '포트폴리오 선택(Portfolio Selection)' 이후 비약적인 발전을 하였다.

기술개발 투자안의 포트폴리오의 위험 및 기대수익률을 계산하는 것은 다음의 간단한 통계지식을 활용함으로서 가능해진다. n 개의 금융자산에 대한 각각의 기대수익률을 $E(R_i)$, 위험을 나타내는 척도인 분산을 σ_i^2 ($i=1,2,\ldots,n$)라 하면, 각각의 구성비율이 w_i로 이루어진 포트폴리오 P의 기대수익률 및 수익률의 분산은 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$E(R_p)=\sum_{i=1}^{n} w_i E(R_i)\ ,\quad \sigma_p^2=\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} w_i w_j \sigma_{ij}=\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} w_i w_j \rho_{ij}\sigma_i\sigma_j\ ,\quad \sum_{i=1}^{n} w_i=1 \tag{10}$$

(σ_{ij}: 기술개발 투자안 i 와 j 의 수익률의 공분산,

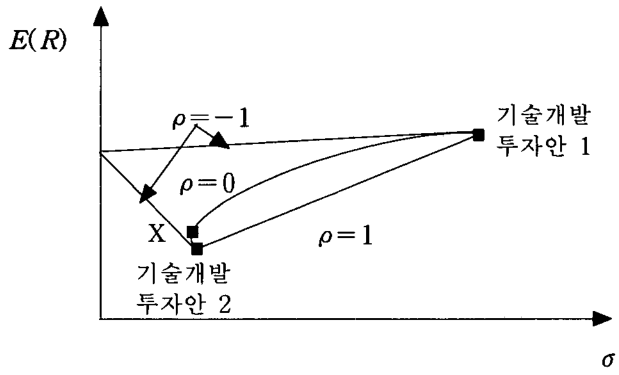
ρ_{ij}: 기술개발 투자안 i 와 j 의 수익률의 상관계수)

따라서 기술개발 투자안의 수익률간의 상관계수가 1보다 작을 경우, 여러 위험자산에 분산투자를 하게 되면 포트폴리오의 위험은 줄어들게 되고, 특히 상관계수가 -1에 가까울수록 분산효과는 크게 나타난다. 그러나 대부분 기술개발 투자안의 수익률의 상관계수가 -값을 갖는 경우는 거의 없고, 대부분 0과 1사이 값을 갖게 될 것이다.

한편, 두 기술개발 투자안으로 구성된 포트폴리오의 기대수익률과 표준편차의 조합은 다음 [그림 6]에서 나타내었다. 이와 같이 투자비율의 변화에 따른 기대수익률과 표준편차의 조합의 변화를 나타내는 선은 포트폴리오결합선(portfolio combination line)이 된다. 특히 X는 이 두 개의 기술개발 투자안으로 만들 수 있는 포트폴리오 중 위험이 가장 작은 것으로 이를 최소분산포트폴리오라 하는데, 이는 포트폴리오의 분산이 가장 작도록

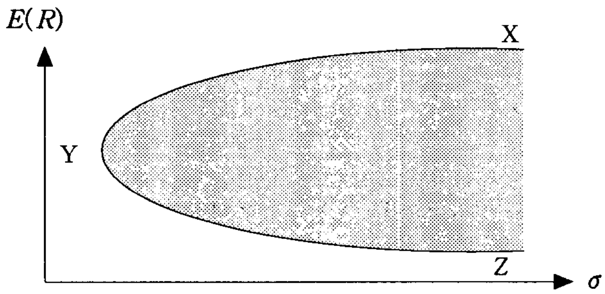
하는 투자 비율을 구하기 위하여 포트폴리오의 분산을 w_1과 w_2에 대하여 각각 1차 미분하여 0으로 놓으면 된다. 이에 따라 투자비율 w_1과 w_2은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$(11) \qquad w_1 = \frac{\sigma_1^2 - \sigma_{12}}{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 - 2\sigma_{12}}, \quad w_2 = 1 - w_1$$



[그림 6] 포트폴리오 결합선

다수의 투자대상이 결합된 포트폴리오의 경우에도 위와 같은 논리를 반복하여 적용하게되면 다음의 [그림 7]와 같은 투자기회집합 (investment opportunity set)을 도출할 수 있다. 투자기회집합의 경계가 되는 포트폴리오결합선은 X, Y, Z를 지나는 곡선이며, 이는 투자기회집합중에서 일정한 기대수익률을 갖는 포트폴리오들의 집합을 생각할 때 위험이 가장 적은 포트폴리오들로 구성되어 있는 집합을 뜻한다.

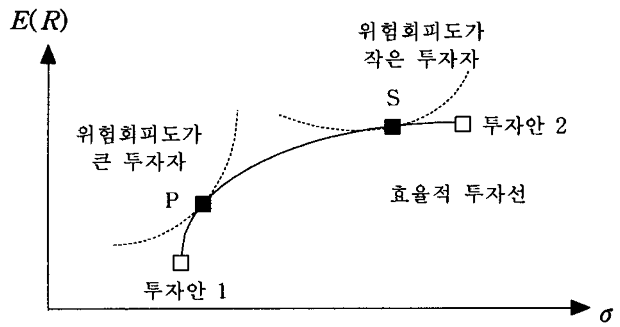


[그림 7] 투자기회집합

이러한 의미에서 포트폴리오결합선 X, Y, Z는 최소분산포트폴리오집합(minimum variance portfolio set)이 된다. 이 가운데 XY 곡선은 최대 수익률을 나타내고 있으므로 효율적 투자선(efficient frontier)이 된다.

한편, 투자비중 w_i를 결정함으로써 기술투자안의 최적 포트폴리오 구성을 위하여

는 효율적 투자선 중 한 점을 선택하여야 하는데, 이 점은 아래의 [그림 8]에서 보여지듯 투자자의 효용함수의 무차별곡선과 효율적 투자선이 접하는 점이다.



[그림 8] 효율적 투자선

이런 방식으로 위험회피도가 큰 투자자의 경우는 포트폴리오 P를 구성함으로써 가장 큰 효용을 얻을 수 있으며, 위험회피도가 작은 투자자는 포트폴리오 S를 구성함으로써 각기 자신의 효용을 극대화한다.

만약 투자자의 효용함수가 $U = E(R) - 0.005 * A * \sigma^2$ (A는 위험회피도)의 형태이고, 2개의 투자안으로 포트폴리오를 구성할 경우, 다음과 같은 효용극대화 문제를 풀게 됨으로써 최적 포트폴리오 구성비인 w_i를 결정할 수 있다.

(12)
$$\begin{aligned} \underset{w}{Max} \quad & U = E(R) - 0.005 * A * \sigma^2 \\ s.t. \quad & E(R) = w_1 E(R_1) + w_2 E(R_2) \\ & \sigma^2 = w_1^2 \sigma_1^2 + w_2^2 \sigma_2^2 + 2 w_1 w_2 \sigma_{12} \\ & w_1 + w_2 = 1 \end{aligned}$$

위의 효용극대화 문제의 해를 구해보면 다음과 같다.

(13)
$$w_1 = \frac{(R_1 - R_2)/0.01A + \sigma_2^2 - \sigma_{12}}{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 - 2\sigma_{12}} \quad , \quad w_2 = 1 - w_1$$

4.2 Numerical Examples

기술개발 투자안의 최적 포트폴리오를 구성하기 위해서는 투자안의 기대수익율과 위험율에 대한 분석이 일차적으로 이루어져야 하며, 만약 이들 요소들의 측정이 잘못되었

을 경우에는 포트폴리오 구성에 있어 심각한 오류를 야기시키게 된다. 본 절에서는 NPV 방식과 옵션모형 측면에서 결정된 값의 차이가 포트폴리오 구성에 어떤 영향을 미치는지 구체적으로 알아보기 위하여 가상적인 두 개의 투자안을 [사례 1]과 [사례 2]로 나누어 설정하여 분석하고자 한다.

[사례 1] 다음의 <표 1>은 가상적인 기술개발 투자안 A, B의 1단계 및 2단계 투자비용과 상용화를 통한 기대수익, 그리고 가치측정시 필요한 파라메터를 나타낸 것이다. 초기 투자비용 I_1, 2단계 투자비용 I_2, 예상수익 V, 기술개발기간 m, 상용화 연구기간 l, 무위험이자율 r_f, 위험조정이자율 r은 두 개의 투자안이 모두 동일한 상황이지만 , 수익 변동율 σ는 각각 다른 값으로 설정하였다. 아래의 두가지 투자안 조합에서의 특징은 투자안 A가 낮은 성장률이 예상되나 그만큼 투자 위험이 적은 대안, 그리고, 투자안 B는 높은 성장률과 동시에 이에 수반된 높은 투자 위험이 내포되어 있는 것이라 할 수 있다. 이러한 상황은 여러 가지 기술개발투자를 동시에 수행하여야 하는 의사결정자 입장에서 이들이 모두 동일한 투자비용을 요구함에도 불구하고 서로 다른 성장률과 위험의 정도를 가지고 있을 때 흔히 부딪힐 수 있는 문제이다.

<표 1> 가상적 기술개발 투자안 (1)

	A	B
I_1	20	20
I_2	500	500
V	900	900
m	1년	1년
l	1년	1년
σ	15%	40%
r_f	5%	
r	30%	

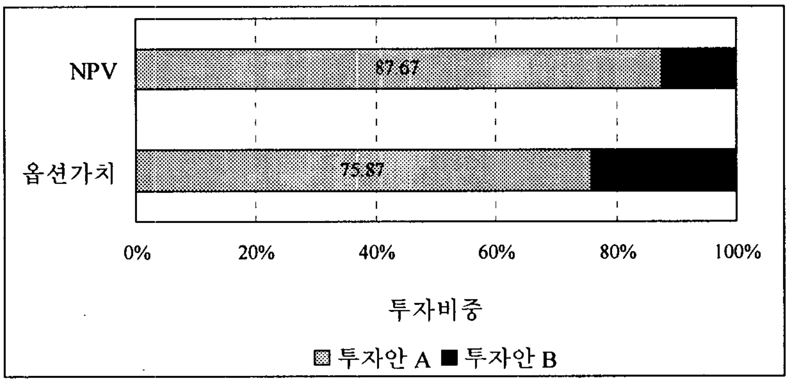
다음의 <표 2>는 위에서 제시한 기술개발 투자안에 대한 기대수익, 기대수익율 및 위험율을 나타낸 것으로서 기대수익은 NPV와 옵션가치로, 기대수익율은 기대수익과 초기투자비용 I_1의 비율로서, 위험율은 NPV로 평가한 투자안의 경우는 변동율로, 옵션가치로 평가한 투자안의 경우는 옵션포기확률로 사용하였다. 미래가치를 할인하는 경우에 있어서는 미래 투자비용의 경우 확실히 예상되는 금액이므로 무위험이자율 r_f를, 미래 예상수익의 경우는 불확실한 금액이므로 위험이자율 r을 사용하여 현재가치로 환산하였다. 최적 포트폴리오 구성비은 w_i는 투자자의 효용함수를 위험회피도가 4인 형태로 설

정하여 $U=E(R)-0.02*\sigma^2$ 로 두고 계산하였다.

<표 2> NPV와 옵션모형으로 측정한 기대수익 및 위험률 (1)

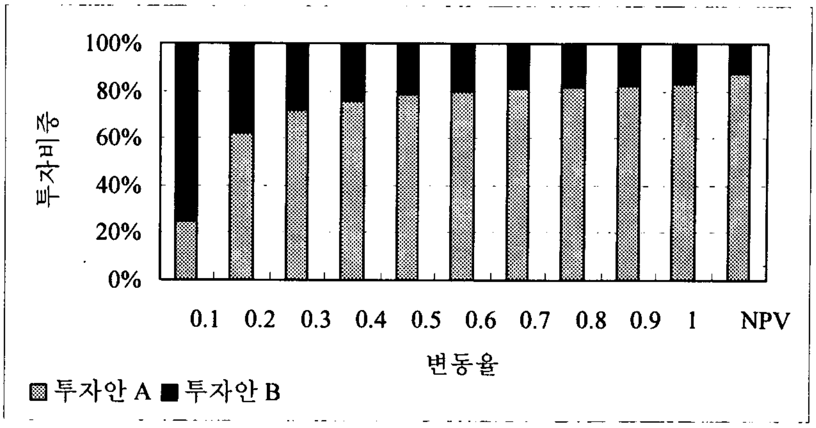
	투자안 A		투자안 B	
	기대수익 (수익률)	위험률	기대수익 (수익률)	위험률
NPV	56.4 (2.82)	15%	56.4 (2.82)	40%
옵션	66.8 (3.34)	24.9%	111.5 (5.575)	46.7%

다음의 [그림 9]은 <표 2>의 결과를 이용하여 구한 포트폴리오의 투자비중을 나타낸 것이다. 아래 그림을 통하여 유연성의 가치를 포함하고 있는 옵션가치로 평가한 경우는 기존의 보수적인 평가방법인 NPV로 평가한 경우에 비하여 투자안 B에 대한 투자비중이 증가한 것을 알 수 있다. 이는 NPV가 높은 변동률을 위험률로만 인식하고 있는 것에 반하여, 옵션가치는 높은 변동률로 인하여 예상미래수익보다 더 높은 수준의 수익을 얻을 수 있다는 점과, 그러나, 예상미래수익보다 더 많이 떨어질 것이 예상되는 경우에는 2단계 투자를 포기함으로서 추가적 손실을 방지할 수 있는 유연성의 가치를 포함하고 있기 때문이다. 이와 같이 두 가지 투자안의 상황이 변동율 이외의 부분에서 동일하다면, 변동율이 큰 투자안은 NPV로 평가하였을 때보다 옵션가치로 평가한 경우에 더 높은 투자비중을 갖게 된다.



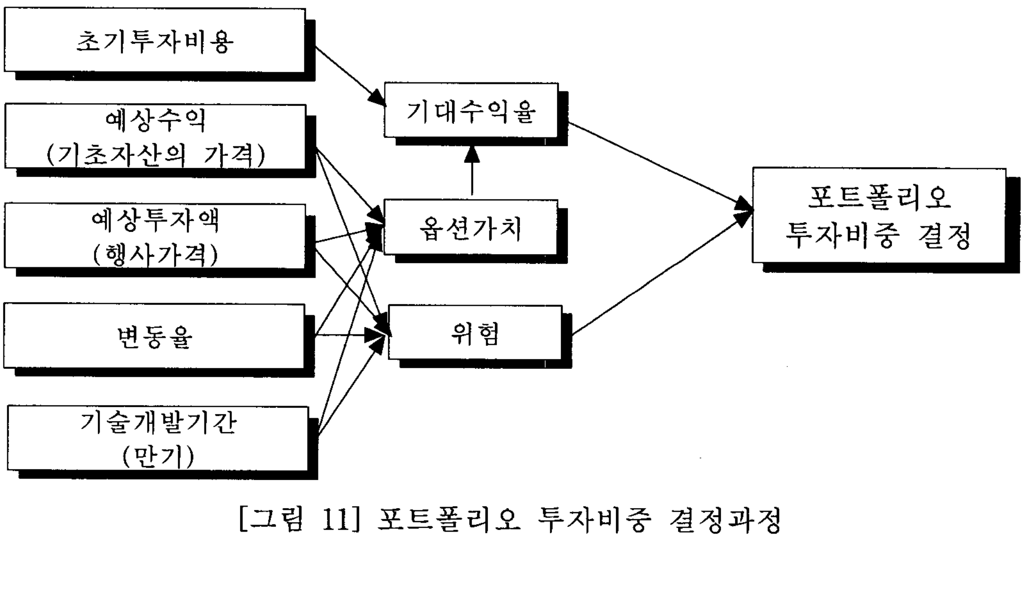
[그림 9] 투자안 A, B의 포트폴리오 투자비중

다음 [그림 10]은 투자안 A는 그대로 두고, 투자안 B의 변동율이 바뀜에 따라 옵션가치로 측정한 포트폴리오의 구성이 어떻게 변화하는지를 나타낸 것이다. 이를 통하여 어떠한 변동율하에서도 옵션가치로 측정하였을 때의 투자안 B의 투자비중은 NPV하에서보다 항상 높다는 것을 알 수 있다.



[그림 10] 투자안 B의 변동율에 따른 투자비중 변화

위 그림으로 알 수 있는 또 하나의 특징으로서, 투자안 B의 변동율이 커질수록 포트폴리오의 최적 투자비중은 작아지고 있다는 것인데, 이는 아래의 [그림 11]에서와 같이 변동율이 포트폴리오의 최적 투자비중에 영향을 미치는 두 요소, 기대수익율과 위험율을 동시에 변화시키기 때문이다. 변동율이 커질수록 기대수익율과 위험율이 동시에 커지게 되는데, 한편 변동율 변화에 따른 기대수익율 증가분이 위험율의 증가분보다 훨씬 작게 되면, 이와 같이 변동율이 커질수록 포트폴리오의 투자비중은 작아지게 된다. 이와 같은 현상은 일반적인 것이 아니며, 반대로 변동율이 커질수록 포트폴리오 투자비중이 커질 수도 있다.



[그림 11] 포트폴리오 투자비중 결정과정

[사례 2] 다음의 <표 3>는 2단계 투자비용과 예상수익, 변동율이 다른 두 개의 투자안에 대하여 최적 포트폴리오 구성분석을 하였다.

<표 3> 가상적 기술개발 투자안 (2)

	A	B
I_1	20	20
I_2	300	500
V	600	900
m	1년	1년
l	1년	1년
σ	15%	40%
r_f	5%	
r	30%	

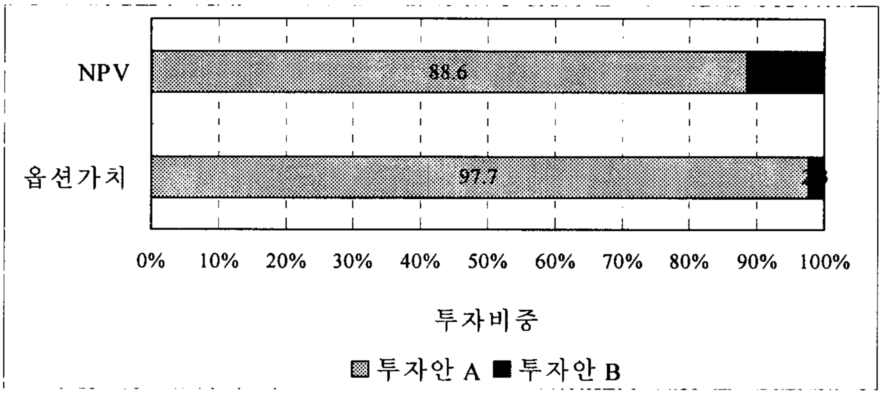
위의 투자안들의 특성을 보면, 비록 두 개의 투자안이 모두 초기의 기술개발에 같은 비용이 투자되지만, 투자안 A에 비하여 투자안 B는 상용화 연구에 많은 비용이 들어가며, 그만큼 더 큰 수익이 예상됨을 알 수 있다. 또한 투자안 B의 변동율이 더 높으므로 투자안 A에 비하여 더 큰 위험부담을 가지고 있다고 할 수 있다. 이렇게 기술적 특성에 따라서 비록 기술개발비용은 비슷하더라도 상용화단계에서의 비용과 위험부담이 다른 투자안들간의 투자비중 결정문제는 현실에서도 많이 찾아볼 수 있다. 포트폴리오의 최적 투자비중을 계산하는 과정은 [사례 1]과 동일하며, 그 결과는 <표 4>에 제시되어 있다.

<표 4> NPV와 옵션모형으로 측정한 기대수익 및 위험률 (2)

	투자안 A		투자안 B	
	기대수익 (수익률)	위험률	기대수익 (수익률)	위험률
NPV	69.3 (3.465)	15%	56.4 (2.82)	40%
옵션	71.2 (3.56)	0.08%	111.5 (5.575)	46.7%

위의 [그림 12]에서 나타난 투자비중의 변화는 [사례 1]의 [그림 9]에서 나타난 방향과 반대로서, 투자안 B는 높은 성장률을 가지고 있음에도 불구하고 옵션가치로 평가한 포트폴리오 구성시 더 낮은 비중을 차지하게 되었다. 이는 옵션가치로 평가한 기대수익이 더 높아졌으나 옵션행사를 포기할 확률이 높은 상태이기 때문에 포트폴리오 구성의 투자

비중 결정시 부정적인 영향을 주기 때문이다. 옵션행사를 포기할 확률은 행사가격(2단계 투자비용)이 기초자산의 가격(예상수익)의 차이가 작을수록, 변동율이 클수록, 그 값은 커지게 된다. 투자안 A의 경우 행사가격과 기초자산의 가격의 차이가 충분히 크고, 변동율이 작으므로 옵션포기확률이 매우 낮은 값을 갖지만, 투자안 B의 경우는 변동율이 큰 것에 비하여 행사가격과 기초자산의 가격의 차이가 충분히 크지 못했으므로 옵션포기확률, 즉 위험률이 높게 나온 것이다.

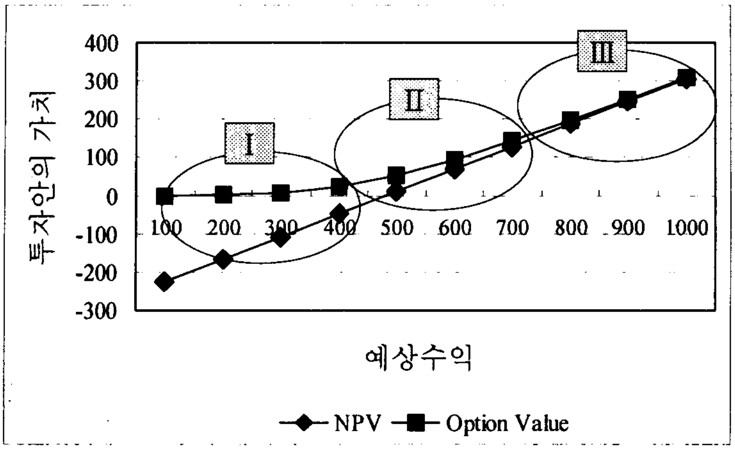


[그림 12] 투자안 A, B의 포트폴리오 투자비중

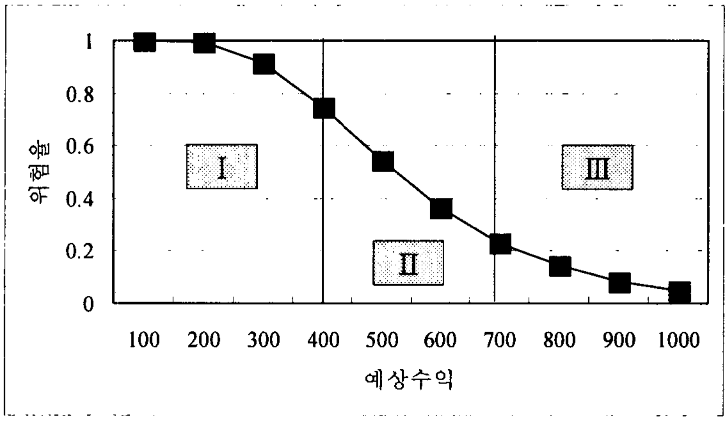
따라서 NPV와 옵션모형으로 구성한 포트폴리오의 투자비중 변화는 단순히 변동율에 의해서만 변화하는 것이 아니라 예상수익(기초자산가격), 투자비용(행사가격) 등의 다른 요소들에 의해 달라질 수 있다. 예상수익과 투자비용이 포트폴리오 투자비중에 미치는 영향을 구체적으로 살펴보기 위하여 다음과 같이 예상수익의 변화에 따른 NPV와 옵션가치의 변화를 분석하였다.

[그림 13]은 2단계 투자비용 I_2가 300, 변동율 σ가 40%, 이고, 무위험이자율 r_f가 5%, 위험조정이자율 r이 30%인 단일 투자안의 예상수익 변화에 따른 NPV값과 옵션가치의 변화를 나타낸 것이다. 이 그림을 통하여 이론적으로 유연성의 가치를 고려하지 않는 NPV가 옵션가치보다 항상 작게 된다는 사실을 확인할 수 있다.

한편, 예상수익이 어느 값 이상이 되면 NPV와 옵션가치의 차이는 거의 없음을 알 수 있는데, 이는 2단계 투자비용에 비하여 예상수익이 충분히 크게 되면, 변동성만큼의 위험율이 존재할 경우 2단계 투자를 결정하는 시점에서 거의 100% 투자를 하는 것으로 결정을 하게 되고, 따라서 2단계 투자기회의 옵션가치와 2단계 투자가 확정적으로 일어나는 것으로 생각하는 NPV값과 일치하게 되기 때문이다. 이런 논리에 따라 옵션포기확률 역시 [그림 14]에서처럼 예상수익이 높아지게 되면 거의 0의 값으로 수렴하게 된다.



[그림 13] 예상수익변화에 따른 NPV와 옵션가치



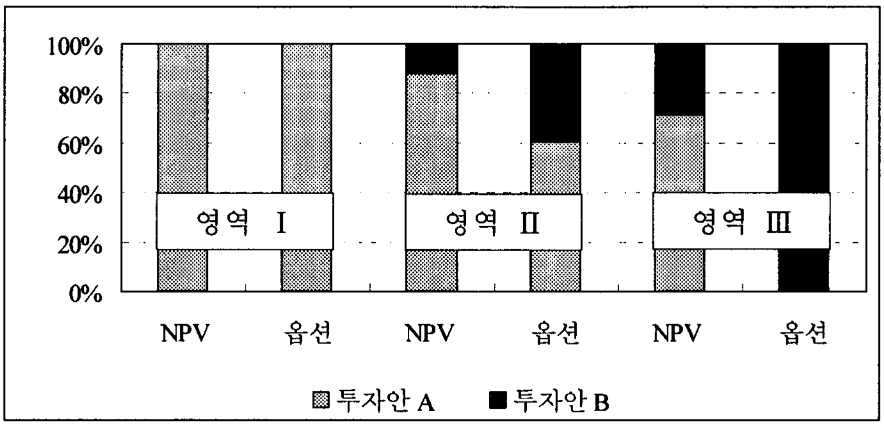
[그림 14] 옵션포기확률

NPV와 옵션가치의 격차에 따라 예상수익을 3개의 그룹, 영역 Ⅰ, 영역 Ⅱ, 영역 Ⅲ으로 구분하였다. 영역 Ⅰ은 두 값의 격차가 매우 큰 경우로서 예상수익이 400보다 작은 경우이며, 영역 Ⅱ는 두 값의 격차가 보통인 경우로서 예상수익이 400과 800 사이인 경우이며, 영역 Ⅲ은 두 값의 격차가 거의 없는 경우로서 예상수익이 800 이상인 경우이다.

예상수익의 변화에 따른 포트폴리오의 투자비중 변화를 보기 위하여 이 세 영역 각각에서 임의의 한 값을 선택한 뒤 아래의 <표 5>와 같이 투자안 B에 대하여 3가지 경우를 가정하고, 투자안 A와의 최적 포트폴리오 투자비중을 분석하였다. <표 5>에서 제시한 값 이외의 파라메터는 앞의 예제에서 설정한 값들을 그대로 유지했으며, 그 결과 아래의 [그림 15]와 같은 투자비중이 결정되었다.

<표 5> 예상수익의 변화에 따른 기대가치 및 위험률

	A	B		
		영역 I	영역 II	영역 III
I_1	20	20	20	20
I_2	300	300	300	300
V	500	300	500	900
NPV	10.1	-108.2	10.1	246.8
변동률	15%	40%	40%	40%
옵션가치	23.1	5.1	51.5	251.1
위험률	43.42%	92.7%	54.4%	8.7%



[그림 15] 예상수익규모에 따른 투자비중의 변화

[그림 15]를 통해 예상수익 규모가 충분이 큰 영역 III에 있는 투자안 B의 경우, NPV 방식으로 포트폴리오를 구성했을 때는 상대적으로 적은 투자비중을 차지하나, 옵션모형을 통하여 포트폴리오를 구성하게 되면 100% 투자비중을 차지하게 됨을 알 수 있다.

이는 NPV 방법에 의하면 예상수익이 충분히 큰 경우에 있어서도 위험률을 예상수익이 작은 경우와 동등하게 취급하므로써, 2단계에서 충분히 투자비용을 회수할 수 있음에도 불구하고, 그 가치를 과소평가하기 때문이다. 이런 경우에 있어서는 특히 옵션가치로 평가하여 포트폴리오를 구성하는 것이 더 타당하다고 할 수 있다.

지금까지 살펴본 옵션가치를 반영한 기술개발 투자안의 포트폴리오 구성에 관한 예들을 통하여 다음과 같은 사실들을 정리할 수 있다.

1) 기존의 보수적 가치측정방법인 NPV를 이용한 경우와 옵션가치를 반영하여 구성한 경우, 각각의 포트폴리오는 서로 다른 투자비중을 제시하고 있다.
2) 미래예상소득이 충분히 크거나 혹은 변동성이 큰 기술개발 투자안의 경우 옵션모형을 이용하지 않으면, 투자비중이 최적수준보다 낮은 수준으로 결정될 수 있다.
3) 옵션가치를 고려함과 동시에 옵션가치의 비대칭적 수익률 분포에 의해 변화되는 위험율을 적절히 조정하여 포트폴리오를 구성하여야 할 필요성이 있다.

5. 결론

본 연구는 최근 기술가치평가를 위한 방법론의 하나로서 많은 관심을 받고 있는 실물옵션모형을 사용하여 기대수익율과 위험율을 계산하고, 최적 포트폴리오 구성을 위한 투자비중을 도출하는 과정을 제시하였다. 기존에 많이 사용하고 있는 NPV 방식은 보수적인 관점에서 가치를 측정할 뿐 아니라 위험율 역시 변동율을 그대로 사용하여 평가하는 등의 단점을 가지고 있다.

따라서 본 연구에서는 기술개발 투자안의 기대수익율을 제대로 평가하기 위해서는 그 안에 내재되어 있는 성장옵션 및 포기옵션 등과 같은 옵션가치를 반드시 고려하여야 하며, 위험율은 비대칭적인 수익률의 분포를 감안하여 옵션이 행사되지 못하는 확률만을 고려하여야 함을 제시하였다.

간단한 예제를 통하여, 투자안이 변동성이 크고, 수익이 충분히 크게 예측되는 경우는 특히 기존의 NPV 방식과 옵션모형 방식의 최적 포트폴리오 투자비중의 차이가 크게 날 수 있음을 보였다.

향후 연구과제로서는 옵션가치의 수익률 분포를 수리적으로 도출하여 위험율을 보다 명확하게 계산하고, 이를 포트폴리오 구성시 정확히 반영할 수 있도록 하는 것이다.

참고문헌

1. Black, F. and M. Scholes, "The pricing of options and corporate liabilities", Journal of Political economy, Vol. 81, 1973, pp.637-659
2. Boer, F.P., "The valuation of technology- Business and Financial Issues in R&D," John Viley & Sons, Inc. 1999
3. Dixit, A.K. and Pindyck, R.S., "Investment under Uncertainty," Princeton University Press, 1994
4. Myers, S.C. and S. Majd, "Abandonment value and project life", Advances in Futures and Options Research, Vol.4, pp.1-21
5. Pennings, E. and O. Lint, "The Option Value of Advanced R&D", European Journal of Operational Research, Vol.103, 1997, pp.83-94
6. Trigeorgis, L., "A Conceptual options framework for capital budgeting", Advances in Futures and Options Research, Vol.3, pp.145-167, 1988
7. Trigeorgis, L., "Real Options; Managerial Flexibility and Strategy in Resource Allocation," The MIT Press, 1996.