기술혁신학회지 제8권 1호
2005년 4월 pp.29~50

# 블랙-숄즈모형을 이용한 기술 R&D 투자가치 구간추정 연구*

## A Study on Interval Estimation of Technology R&D Investment Value using Black-Scholes Model

성 웅 현**

〈목 차〉



## Abstract

Real options provide a new and productive way to view corporate r&d investment decisions. DCF approach is well established and beloved of financial executives, but is known to systematically underestimate investment value under significant uncertainty. Though real options are not inherent in a r&d investment, they can be used to compute the investment value including managerial flexibility like option value. In this paper, we explain how the interval of option value in black-scholes model can be estimated using simulation. We also present a process framework for interval estimation of volatility and efficient period of investment value. In such a setting, we can obtain the appropriate interval estimation of the expanded investment value.

key word : 옵션가치, 구간추정, 확장된 투자가치

---

* 이 논문은 2005년도 한신대학교 학술연구비에 의하여 연구되었음
** 한신대학교 정보과학대학 정보통계학과 정교수, soh@hs.ac.kr

# I. 서론

최근 국내외 시장은 신기술, 세계화, 무형자산 중심으로 특성화되는 신경제로 급속하게 전환되고 있다. 신경제에서 기술 R&D 투자는 새로운 거래, 새로운 시장, 새로운 기회를 창출할 수 있는 반면에 높은 불확실성 때문에 위험이 크게 증가될 것으로 예상된다. 급변하는 신경제 환경에서 기업이 전략적 기술 R&D 투자를 통한 가치 창출은 경쟁력 강화의 핵심 동인이 될 것이고, 관리자는 설정된 투자를 계획대로 수행하기 보다는 불확실성에서 기회를 탐색하고 수정할 수 있는 경영 유연성(managerial flexibility)이 절대적으로 요구된다. 기술 R&D 투자가치를 평가하는데 전통적으로 사용되고 있는 방법은 현금흐름할인(DCF: discounted cash flow)이다. Baldwin, Clark(1994), Bodie, Merton(2000) 연구에 의하면 불확실성이 높은 고도성장 산업분야에서 DCF 에 의한 투자가치를 평가는 그 가치를 과소평가하는 경향이 있기 때문에, 적기에 성장기회를 활용하지 못할 가능성이 높다고 주장하였다. 또한 IT 투자평가에서 DCF 는 투자로 인한 잠재 기회(성장)가치를 고려하지 못하기 때문에, Benaroch, Kauffman(1999, 2000)은 DCF 대안으로 실물옵션분석(ROA: real option analysis)을 제안하였다.

DCF 와 ROA 접근방법의 근본적인 차이점은 미래 불확실성을 대처하는 사고에 있다. 기술 R&D 투자가치 평가시 불확실성 핵심 원천은 시장수요의 변화, 기술경쟁력 수준, 대체기술의 출현 가능성, 기술의 경제적 수명 등이다. DCF 관점에서 투자가치는 불확실성 수준의 대부분이 위험(매출액 규모의 감소, 할인율 수준의 증가 등)으로 변화되기 때문에, 현재 시점에서 평가된 투자가치는 기대보다 과소평가될 가능성이 존재한다. 반면에 ROA 관점에서 투자가치는 미래 일정기간동안 확률과정에 의해서 변동하기 때문에, 시장 불확실성에 현명하게 대처할 수 있는 관리자의 전략적 의사결정은 잠재적 기회가치를 창출할 수 있다고 가정한다. 이러한 기업 관리자에 의해서 창출될 수 있는 경영 유연성가치를 ROA 에서는 옵션가치라고 부른다. 이러한 경영 유연성가치를 고려하지 않고 평가된 투자가치를 기본적 투자가치(basic investment value)라고 표현하면, DCF 에서 구한 투자가치는 기본적 투자가치의 의미를 갖는다. 기술 R&D 투자가치 평가시 기업 입장에서는 투자가치가 과소평가될 가능성을 배제하기 위해서 잠재적 기회가치를 포함한 확장된 투자가치(expanded investment value)를 고려하게 될 것이다. ROA 에서 경영 유연성가치는 옵션가치로 산출되고, 옵션가치를 추

정하기 위해서 주로 사용되는 모형은 블랙-숄즈모형이나 이항모형이다.

기술 R&D 투자가치를 평가할 때 가치에 영향을 미치는 주요 요소들의 추정과 예측에는 불확실성이 높게 내재되어 있기 때문에, 최종적으로 산출된 투자가치가 최적이라는 보장은 없다. 일반적으로 DCF 혹은 ROA에서 평가된 투자가치는 단일값으로 표현되고, 그 가치는 가능한 여러 가치 중에서 대표값으로 사용될 수 있는 점추정값(point estimate)이다. 그러나 투자가치에 대한 점추정값은 참값에 대한 적절성을 평가할 수 없기 때문에, 불확실성을 고려하여 참값이 속할 구간추정(interval estimate)을 설정할 필요가 있다. 따라서 본 연구에서는 블랙-숄즈모형에서 옵션가치를 시뮬레이션을 이용하여 구간추정할 수 있는 논리적 절차를 제안하고, 이 결과를 이용하여 확장된 투자가치에 대한 구간추정을 설정하고자 한다.

## II. 확장된 투자가치 개념

기술 R&D 투자의 경제성을 평가하기 위해서 전통적으로 사용되는 방법은 DCF이다. DCF 로 기술 R&D 투자 프로젝트를 평가할 때 제기될 수 있는 문제를 요약하면 다음과 같다. 첫째, 경제적 유입기간동안 발생될 것으로 기대되는 미래 현금흐름 예측에 대한 신뢰성이다. 만약 기술 R&D 프로젝트와 연관된 과거 시장자료와 정보가 충분히 존재하고 미래 성장패턴이 예측가능하다면 적절한 통계모형을 이용하여 미래 현금흐름을 신뢰성 있게 예측할 수 있을 것이다. 그러나 새로운 시장개척을 위한 기술 R&D 투자인 경우에는 시장 규모와 더불어 성장 패턴에 대한 예측이 매우 어렵게 된다. 둘째, 경제적 유입기간동안 중장기 미래 현금흐름을 현재가치를 변환하기 위한 할인율 수준의 적절성이다. 할인율의 수준은 R&D 기술이 상용화되었을 때 기술과 제품의 수명, 미래 기대 현금흐름의 성장패턴, 시장과 경영위험 등 여러 요인에 의하여 영향을 받게 된다. Dixie, Pyndick(1995), Perlitz, Peske, Schrank(1999)에 의하면 투자 프로젝트와 연관된 불확실성이 높을수록 DCF 에서 적용될 할인율 수준은 높아지기 때문에, 투자가치가 과소평가될 가능성이 높아지고 투자기회의 적기를 놓치는 경우가 발생될 수 있다고 하였다.

셋째, 기술 R&D 투자 관리자의 경영 유연성 가치를 고려하지 못한다는 것이다. Chakravarthy(1997)는 미래 시장과 기술 변화에 민감하게 반응하여 가치를 창출할 수 있는 관리자의 능력을 전략적 유연성 가치라고 하였다. Huchzermeier, Loch(1999)의 연구에 의하면

전략적 유연성 가치는 프로젝트와 연관된 변동성(시장 수요 변동성, 성과 변동성, 시장요구 변동성, 투자 유효기간 변동성 등)이 증가할수록 증가한다고 주장하였다. 왜냐하면 변동성이 클수록 관리자는 정보에 근거해서 프로젝트를 확장, 축소, 포기, 전환 등과 같은 옵션적 사고가 가능해지기 때문이다. Dahlberg, Porter(2000)에 의하면 DCF는 미래 위험요소가 축적된 정보에 의하여 예측 가능하거나 미래 성장 패턴이 안정적일 때 적합한 평가방법이지만, 불확실성이 높은 경우에는 DCF 단점을 보완할 수 있는 ROA를 함께 고려할 필요가 있다고 주장하였다.

ROA 접근방법은 투자가치를 산출하는 새로운 방법이라기보다는 DCF와 밀접한 관계를 가지고 있다. 만약 R&D 투자가치 구성에서 경영(전략적) 유연성 가치를 고려하지 않는다면 두 가지 방법에서 산출된 결과는 같기 때문에, DCF 접근방법은 ROA 접근방법의 특별한 경우라고 볼 수 있다. 기술 R&D 투자가치를 ROA 관점으로 평가하기 위해서는 두 가지 핵심적인 가정이 필요하다. 첫째, 투자가치는 확정적이 아니라 확률과정인 기하브라운 운동(geometric brownian motion)에 의하여 변동한다는 것이다. 즉, 투자가치 구성은 기대수익률과 같은 평균적인 개념인 확정적 부분(deterministic part)과 미지의 확률적 부분(stochastic part)으로 구성된다. 이러한 확률과정에서 투자가치 분포는 대수정규분포(lognormal distribution)[1]에 따른다고 가정한다. DCF 에서 투자가치는 일반적으로 정규분포로 가정되지만, ROA에서는 오른쪽으로 왜곡된 대수정규분포를 가정한다. 왜냐하면 미래 상황에 따라서 전략적 옵션을 행사할 수 있는 관리자의 유연성이 고려된다면, 투자가치는 시점에 따라 비대칭적으로 크게 변화할 수 있기 때문이다.

둘째, R&D 투자에 내재된 높은 불확실성의 일부는 위험으로 변환되고 나머지 부분은 가치를 창출할 수 있는 기회로 전환될 수 있다는 것이다. 왜냐하면 현명한 관리자라면 불확실한 환경에서도 수집된 정보에 근거해서 기업에 유리한 방향으로 기회를 창출할 수 있는 경영 유연성을 가정할 수 있기 때문이다. 블랙-숄즈모형의 구성요인을 ROA에 적용하기 위한 대응변수는 Amram과 Kulatilaka(1999), Luehrman(1998), Lint, Pennings(1998), Mun(2002)에

1) 대수정규분포의 주요 속성을 정규분포와 비교하여 설명하면 다음과 같다. 정규분포에 따르는 확률변수가 취할 수 있는 가능한 범위는 $-\infty$ 와 $+\infty$ 이 지만, 대수정규분포에 따르는 확률변수는 0 과 $+\infty$ 값을 취하게 된다. 또한 분포의 형태를 비교하면 정규분포는 종모양의 좌우 대칭인 분포인 반면에, 대수정규분포는 오른쪽으로 긴 꼬리를 가진 왜곡된 분포(skewed distribution)의 형태를 가지게 된다.

의해서 다음과 같이 정의되었다. ROA에서 경영 유연성 가치인 옵션가치를 구할 때 영향을 미치는 다섯 가지 요인은 투자 프로젝트로부터 기대되는 미래 잉여현금흐름[2)]의 현재가치인 투자가치 $S$, 투자비용의 현재가치 $K$, 투자가치 유효기간 $T$, 변동성 $\sigma$, 무위험이자율 $r_f$ 등이다. 이러한 요인에 대하여 관리자의 경영 유연성가치를 창출할 수 있는 전략을 요약하면 다음과 같다. 관리자는 시장변화에 반응하여 투자가치를 증가시키기 위해서 (1) 시장 수요와 공급에 의한 제품당 판매가격 상승 전략, (2) 경제규모를 통해서 제품당 운영비용 축소 전략 등을 고려할 수 있을 것이다. 투자가치 유효기간 동안 기대되는 투자비용의 현재가치를 감소시키기 위해서 규모의 경제 (economies of scale), 범위의 경제(economies of scope), 학습의 경제(economies of learning) 등을 고려하게 된다. 투자가치 유효기간을 연장하기 위해서 (1) 특허취득, (2) 기술혁신 전략 등을 고려하게 된다. 그리고 변동성을 증가시키기 위해서 (1) 새로운 시장의 개척, (2) 보완 상품 혹은 혁신 제품의 개발 등을 추진하게 될 것이다.

결론적으로 DCF 와 ROA의 근본적인 차이점은 기술 R&D 투자가치를 평가할 때 불확실성을 고려하는 사고에 따라 달라진다. DCF 에서는 미래 불확실성 수준에 의하여 대응되는 위험수준을 고려하지만, ROA에서는 잠재적 가치창출의 기회로 활용될 수 있다고 가정한다. 기술 R&D 투자가치는 불확실성을 충분히 고려한 DCF 의 투자가치와 경영 유연성가치인 옵션가치로 구성되는 것이 적절할 것으로 판단된다. 본고에서 DCF 에서 산출된 투자가치를 기본적 투자가치로 간주하고, 기본적 투자가치에 옵션가치를 고려한 가치를 확장된 투자가치로 표현하기로 하자.

## III. 옵션가치에 대한 가정

금융시장에서 통용되는 금융옵션가치는 미래 실현 가능한 이익을 추정한 후 일정한 옵션비용을 지불하고, 그 옵션을 실행함으로써 현시점에서 모두 매수 혹은 매도하는 것보다 더 큰 이익을 얻을 수 있는 권리가치를 의미한다. 반면에 기술 R&D 투자에 적용될 옵션가치는 투자가치 유효기간동안 관리자의 유연한 전략으로 발생될 수 있는 잠재적 기회가치를 의미한다. ROA는 상황에 따라 여러 가지모형이 제안되었으나, 본고에서는 기본적인 블랙-숄즈모

2) 잉여현금흐름은 매출액에서 영업비용, 이자 및 원금상환액과 미래성장을 유지하는데 필요한 자본적 지출을 공제한 후의 잔여 현금흐름을 의미한다.

형을 이용하고자 한다. 옵션가치를 구할 때 적용된 주요 가정은 아래와 같다. 본고에서 활용한 수리적 유도과정은 Hull(2002)의 Options, Futures, and Other Derivatives 와 Mun(2002)의 Real Options Analysis 를 참조하였다.

## 1. 투자가치와 수익률 확률과정

세분한 단위기간 $dt$ 동안 투자가치 $S$의 변화량 $dS$을 설명하기 위해서 기하브라운 운동을 적용하면 식(1)과 같다. 식(1)에서 $\mu$는 단위기간동안 투자가치의 평균성장률을 의미하고, $\epsilon$는 평균이 0 이고 분산이 1 인 표준정규분포[3]에 따르는 확률오차항을 의미한다. 식(1)에서 양변을 $S$ 로 나누면 투자수익률 확률과정은 식(2)와 같이 표시된다.

$$dS = S\mu(dt) + S\sigma\epsilon\sqrt{dt} \tag{1}$$

$$\frac{dS}{S} = \mu(dt) + \sigma\epsilon\sqrt{dt} \tag{2}$$

단위기간 수익률 구조를 살펴보면 결정적 부분과 확률적 부분의 합으로 구성되어 있음을 알 수 있다. 식(2)의 우변 첫째 항인 $\mu(dt)$는 결정적 부분으로 투자가치 평균성장률 $\mu$ 가 결정되면 단일값으로 구해진다. 두 번째 항인 $\sigma\epsilon\sqrt{dt}$ 는 확률적 부분으로 변동성 $\sigma$, 확률오차항 $\epsilon$, 단위기간 $dt$로 구성되기 때문에, 표준정규분포에서 추출된 임의값을 의미한다. 따라서 투자가치 변화과정에 기하브라운 운동을 적용하면 투자가치는 평균성장률을 고려한 투자가치 평균에 확률적인 가치 변동분을 합하여 산출될 수 있다는 논리가 성립된다. 또한 평균성장률 $\mu$과 변동성 $\sigma$ 이 일정할 경우에 투자수익률 분포는 평균이 $\mu(dt)$ 이고 분산이 $\sigma^2(dt)$ 인 식(3)과 같은 정규분포[4]에 따르게 된다.

---

3) 표준정규분포는 평균이 0 이고 분산이 1인 정규분포를 의미한다. 표준정규확률밀도함수 $f(z) = \phi(z)$ 와 누적확률 $\Phi(z)$는 아래와 같이 정의된다.

$$f(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}z^2}, \quad \Phi(z) = P(Z < z) = \int_{-\infty}^{z} f(t)dt$$

$$\frac{dS}{S} \sim N[\mu(dt), \sigma^2(dt)] \tag{3}$$

위에서 투자수익률 분포는 정규분포에 따른다고 가정하였는데, 이로부터 투자가치 분포는 다음과 같이 유도된다. 확률항을 $z = \varepsilon\sqrt{dt}$ 로 하고 대수투자가치를 $G = \ln S$ 로 표시하면, 변화량 $dG$ 은 이토프로세스(Ito process)에 의하여 식(4)와 같이 전개된다.

$$dG = \left(\frac{\partial G}{\partial S}\mu S + \frac{\partial G}{\partial t} + \frac{1}{2}\frac{\partial^2 G}{\partial S^2}\sigma^2 S^2\right)dt + \frac{\partial G}{\partial S}\sigma S\,dz \tag{4}$$

식(4) 우편에서 일차와 이차편미분[5]한 값을 식(4)에 다시 대입하면 대수투자가치 변화량 $dG$ 은 식(5)와 같다.

$$dG = \left(\mu - \frac{\sigma^2}{2}\right)dt + \sigma\,dz \tag{5}$$

식(5)에서 평균성장률과 변동성은 일정하기 때문에, 대수투자가치에 대한 순간 변화량은 평균이 $\mu - \sigma^2/2$ 이고 분산이 $\sigma^2$ 인 정규분포에 따르게 된다. 위에서 구한 순간 변화량을 현재시점과 미래 $t$ 시점사이의 변화량 $\ln S_t - \ln S$ 으로 확장하여 생각하면, 두 시점사이의 대수투자가치 변화량 분포는 평균이 $(\mu - \sigma^2/2)t$ 이고 분산이 $\sigma^2 t$ 인 식(6)과 같은 정규분포에 따르기 때문에, $t$ 시점 대수투자가치 분포는 식(7)과 같이 표현된다.

---

4) 투자수익률은 $dS/S = \mu(dt) + \sigma\varepsilon\sqrt{dt}$ 로 구성되고, $\mu$와 $\sigma$는 일정하다고 가정한다. 확률오차항 $\sigma\varepsilon\sqrt{dt}$ 에서 확률변수는 평균이 0이고 분산이 1인 정규분포에 따르는 $\varepsilon$이고 나머지는 상수이기 때문에, 확률오차항 $\sigma\varepsilon\sqrt{dt}$ 은 평균이 0이고 분산이 $\sigma^2(dt)$인 정규분포 $\sigma\varepsilon\sqrt{dt} \sim N[0, \sigma^2(dt)]$ 에 따르게 된다. 따라서 투자자산 순간 수익률도 역시 정규분포 $dS/S \sim N[\mu(dt), \sigma^2(dt)]$ 에 따르게 된다. 정규분포의 속성에 대한 표기는 $N$(평균, 분산) 이다.

5) 자연대수함수 $y = \ln a$ 의 $a$ 에 대한 $y$ 의 일차편미분은 $\partial y/\partial a = 1/a$ 이 되고, 이차편미분은 일차편미분을 다시 $a$ 에 대하여 미분한 것으로 $\partial^2 y/\partial a^2 = -1/a$ 이 된다. 따라서 $\partial G/\partial S = 1/S$, $\partial^2 G/\partial S^2 = -1/S^2$, $\partial G/\partial t = 0$ 이 된다.

$$\ln S_t - \ln S = \ln \frac{S_t}{S} \sim N\left[\left(\mu - \frac{\sigma^2}{2}\right)t,\ \sigma^2 t\right] \tag{6}$$

$$\ln S_t \sim N\left[\ln S + \left(\mu - \frac{\sigma^2}{2}\right)t,\ \sigma^2 t\right] \tag{7}$$

$t$ 시점 대수투자가치 분포가 정규분포에 따르기 때문에, 대수정규분포 성질[6]에 의하여 투자가치는 대수정규분포에 따르게 된다. 결론적으로 ROA 에서 투자수익률 분포는 정규분포에 따르게 되고, 투자가치 분포는 대수정규분포에 따르게 된다는 것이다. 투자가치 변화에 대한 확률과정은 두 가지 모수인 $\mu$ 와 $\sigma$ 를 포함하고 있음을 알 수 있다. 모수 $\mu$ 는 투자자들이 요구하는 연간 기대수익률을 의미한다. 대부분 투자자들은 투자자산에 높은 위험이 예상될 경우에는 상대적으로 높은 수익률을 요구하기 때문에, $\mu$ 는 투자자산 수익의 위험에 영향을 받게 된다. 그러나 다행히 옵션가치를 결정할 때 세부적인 기대수익률 $\mu$ 의 결정에 관심을 가질 필요는 없다. 왜냐하면 일반적으로 옵션가치는 그 투자가치에 영향을 받고 기대수익률과는 독립적이기 때문이다. 그러나 변동성 $\sigma$ 는 옵션가치를 결정하는 데 매우 중요한 역할을 한다.

## 2. 블랙-숄즈모형 옵션가치

블랙-숄즈모형은 몇 가지 엄격한 가정[7]에서 만기에만 권리를 행사할 수 있는 유럽형옵션의 이론적 콜옵션가치를 결정한다. 설정된 가정이 성립될 때 블랙-숄즈 모형에서 콜옵션가치 $C$ 는 식(8)과 같이 정의된다.

---

6) $\ln S_t$ 가 정규분포에 따를 때 확률변수 $S_t$ 는 대수정규분포에 따른다고 한다. 따라서 확률변수 $S_t$ 의 평균은 $E(S_t) = \exp[\ln S + (\mu - \sigma^2/2)t]$ 이 되고, 분산은 $V(S_t) = \exp(\sigma^2 t)$ 가 된다.

7) 금융옵션에서 블랙-숄즈모형에 적용된 몇 가지 가정을 정리하면 다음과 같다. (1) 단기 이자율은 알려져 있고 옵션기간동안 고정된다. (2) 주식가격은 기하브라운 운동에 따른다. (3) 기초자산인 주식의 배당금(dividend) 지급은 없다. (3) 거래비용, 세금 및 공매도(short selling) 제약이 없는 완전시장이다. (4) 기초자산의 수익률의 변동성은 옵션의 잔존기간동안 변하지 않는다.

$$C = S\,N(d_1) - K\,e^{-r_f T}\,N(d_2) \tag{8}$$

위에서

$$d_1 = \frac{\ln(S/K) + (r_f + \sigma^2/2)\,T}{\sigma\sqrt{T}}$$

$$d_2 = \frac{\ln(S/K) + (r_f - \sigma^2/2)\,T}{\sigma\sqrt{T}} = d_1 - \sigma\sqrt{T}$$

블랙-숄즈모형의 옵션가치를 실물옵션에 적용하기 위해서 $S$는 DCF 에서 구한 기본적 투자가치, $K$는 투자비용의 현재가치, $T$는 투자가치 유효기간, $\sigma$는 잉여현금흐름 변동성, $r_f$ 는 무위험이자율로 대체하여 사용한다. 식(8)에서 $N(d_1)$ 은 표준정규분포에서 그 값이 $d_1$ 이하일 누적확률로 식(9)와 같다.

$$N(d_1) = \Phi(d_1) = P(Z \le d_1) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}}\int_{-\infty}^{d_1} e^{-\frac{z^2}{2}}\,dz \tag{9}$$

그리고 $N(d_2)$는 표준정규분포에서 그 값이 $d_2$ 이하일 누적확률로 만기시 콜옵션이 내가격(ITM)[8]이 될 확률을 의미하고, $N(-d_2)$는 만기시 풋옵션이 내가격이 될 확률을 의미한다. 식(8) 우변에 대하여 Amram, Kulatilaka(1999)는 다음과 같이 해석하였다. $S\,N(d_1)$는 만기시 투자가치가 투자비용보다 큰 경우의 투자가치 기대값(expected value)을 의미하고, $N(d_2)$는 만기시 투자가치가 투자비용보다 클 것으로 예상되는 위험중립확률

8) 옵션가치(option value)는 크게 내재가치(intrinsic value)와 시간가치(time value)라는 두가지 요소의 합으로 구성된다. 옵션의 내재가치는 옵션보유자가 옵션의 권리를 행사함으로서 발생될 수 있는 가치를 의미하고, 옵션의 시간가치는 옵션의 전체가치 중에서 내재가치를 초과하는 부분을 의미한다. 만기 이전의 특정시점에서 옵션의 가치상태는 투자가치 ($S_t$)가 투자비용 ($K$)사이의 차이로 정해진다. 설정된 옵션에 내재가치가 존재하게 되면 해당옵션은 내가격(ITM: in-the-money)상태에 있다고 한다. 콜옵션 경우 옵션의 가치상태가 내가격이 되기 위해서는 자산가치가 투자비용보다 높아야 한다 ($S_t > K$)

(risk neutral probability)을 의미하고, $K\,e^{-r_f T}$ 은 투자비용의 현재가치를 의미한다. 그리고 콜옵션가치 $C$ 는 $S/K$, $r_f T$, $\sigma^2 T$ 에 대하여 모두 증가함수이고, 투자가치 유효기간이 길수록 상대적인 투자가치는 커지게 된다.

## IV. 옵션가치 구간추정

블랙-숄즈모형에서 옵션가치는 투자가치, 투자비용 현재가치, 투자가치 유효기간, 변동성, 무위험이자율의 함수인 식(8)과 같은 $C = f(S, K, T, \sigma, r_f)$ 로 결정된다. 옵션가치에 영향을 미치는 다섯 가지 요인 중에서 일부 요인은 고정된 값이 아니라 변동할 수 있는 값들이다. 따라서 옵션가치는 오차항 $\eta$을 고려한 확률적 모형인 $C = f(S, K, T, \sigma, r_f) + \eta$ 로 구성하는 것이 적합하다. 오차항을 고려하지 않았을 때 옵션가치 점추정값은 다섯 가지 요인에 대한 값을 식(8)에 대입하여 구할 수 있다. 그러나 점추정은 추정의 불확실성을 반영하지 못하는 단점이 있다. 이러한 점추정의 한계를 극복하기 위해서는 옵션가치의 참값이 속할 범위를 추정할 필요가 있다. 만약 오차항에 대한 확률분포가 알려져 있다면, 오차항에 대한 확률분포로부터 옵션가치의 구간추정을 수리적으로 유도할 수 있을 것이다. 그러나 확률분포가 미지인 경우에 수리적 접근보다는 시뮬레이션 방법을 이용하여 구하는 것이 효율적이라고 판단된다. 옵션가치에 유의한 영향을 미치는 요인은 변동성, 투자가치 유효기간 등이고, 투자비용과 무위험이자율은 시장정보로부터 접근이 가능하기 때문에 상대적으로 불확실성이 작다. 투자가치의 변화는 변동성에 의하여 결정되기 때문에, 옵션가치에 대한 구간추정은 변동성과 투자가치 유효기간에 의하여 정해진다. 성웅현(2004)은 잉여현금흐름 변동성을 시뮬레이션을 이용하여 추정할 수 있는 절차를 제안하였다. 그의 논문에서 변동성을 추정할 수 있는 한 방법으로 미래 잉여현금흐름 현재가치의 대수 수익률을 이용하였고, 옵션가치를 구하기 투자가치 유효기간은 고정된 값으로 설정하였다. 그러나 옵션가치의 범위를 설정하기 위해서는 변동성뿐만 아니라 투자가치 유효기간에 대한 구간추정을 함께 고려하는 것이 추정의 신뢰성을 확보할 수 있을 것이다. 따라서 본고에서는 변동성과 투자가치 유효기간에 대한 구간추정 결과를 적용하여 옵션가치 참값이 속할 것으로 예상되는 범위를 근사적으로 추정하고자 한다.

## 1. 변동성 구간추정 절차

ROA 에서 투자가치는 대수정규분포에 따르고 대수 투자수익률은 정규분포에 따른다고 가정하였다. 변동성은 R&D 투자로 발생된 미래 잉여현금흐름의 현재가치 대수수익률의 표준편차로 정의된다. 따라서 투자가치의 확산정도는 변동성 $\sigma$에 의하여 결정된다. 변동성에 대한 참값이 속할 하한을 $\sigma_L$ 상한을 $\sigma_U$ 라고 표시하면 구간추정은 $\sigma_L \leq \sigma \leq \sigma_U$ 로 표시된다. 변동성 구간추정 절차는 아래와 같다.

[절차 1] 경제적 유입기간( $n$ 년)동안 R&D 투자로 발생될 것으로 예상되는 연도별 잉여현금흐름의 현재가치를 $PV_t$ , $t=1, 2, \cdots, n$ 라고 표시하면, 두 시점 $t$ 와 $t-1$ 시점사이의 수익률은 $PV_t / PV_{t-1}$, $t=2, \cdots, n$ 이 된다.

[절차 2] $t$ 시점 수익률을 대수변환한 대수수익률은 $y_t = \ln(PV_t / PV_{t-1})$ 이 되고, 전체 $y_t$ 개수는 $n-1$ 개가 된다. 수익률을 대수 변환한 이유는 투자가치는 대수정규분포에 따른다고 가정하기 때문이다. 따라서 대수수익률의 분포는 정규분포에 따르게 된다.

[절차 3] $n-1$ 개 $y_t$ 에서 표본평균을 구하면 $\overline{y} = (\sum_{t=2}^{n} y_i)/(n-1)$ 으로 표시하면, 변동성 $\sigma$ 의 점추정값인 표본표준편차 $\widehat{\sigma}$ 는 식(10)과 같이 계산한다.

$$\widehat{\sigma} = \sqrt{\frac{1}{n-2} \sum_{t=2}^{n} (y_t - \overline{y})^2} \qquad (10)$$

[절차 4] 일반적으로 R&D 투자로 발생되는 경제적 유입기간 $n$ 은 충분히 길지 않기 때문에 식(10)에서 구한 점추정값을 변동성 추정값으로 사용하기에는 적합하지 않다. 만약 표본수 $n$ 이 충분히 크다면 $(n-2)\ \widehat{\sigma}^2 / \sigma^2$ 의 표본분포는 자유도가 $n-2$ 인 카이제곱분포 $\chi^2_{n-2}$ 에 따르게 되기 때문에, 변동성에 대한 구간추정이

가능하다. 그러나 $n$ 이 짧은 기간인 경우에는 카이제곱분포를 이용한 구간추정이 불가능하기 때문에 시뮬레이션을 이용하여 추정하는 것이 적절하다. 시뮬레이션을 이용하여 변동성을 구간추정하기 위해서는 DCF 에서 연도별 매출액과 할인율에 확률분포를 설정한 후 시뮬레이션을 통하여 난수를 발생시켜 식(10)과 같은 변동성을 $s$ 회 반복적으로 구하게 된다. 만약 $j-$번째 난수로부터 구한 $t$ 시점 잉여현금흐름의 현재가치 $PV_t^j$ 로 표시하면, 대수수익률은 $y_t^j = \ln(PV_t^j / PV_{t-1}^j)$이 된다. 이때 $j-$번째 대수 수익률 표본평균을 $\bar{y}^j = (\sum_{t=2}^{n} y_t^j)/(n-1)$ 로 표시하면, $j-$번째 추정된 변동성 $\hat{\sigma}^j$ 은 식(11)과 같이 다시 계산된다.

$$\hat{\sigma}^j = \sqrt{\frac{1}{n-2}\sum_{t=2}^{n}\left(y_t^j - \bar{y}^j\right)^2}, \quad j = 1, 2, \cdots, s. \tag{11}$$

[절차 5] 식(11)과 같은 추정 과정을 $s$ 회 반복적으로 시행한 시뮬레이션 자료분포로부터 변동성 요약통계를 구한다. 이때 변동성 시뮬레이션 자료분포에서 $p-$분위수(quantile)를 $\zeta_p(\sigma)$ 라고 표시하자. 자료분포에서 하위 25% 에 해당되는 일사분위수(Q1)를 $\zeta_{0.25}(\sigma)$ 로, 50% 에 해당되는 중앙값을 $\zeta_{0.50}(\sigma)$ 로, 상위 25% 에 해당되는 삼사분위수(Q3)를 $\zeta_{0.75}(\sigma)$ 로 표시하자. 시뮬레이션 과정에서 발생될 수 있는 이상값을 제거하기 위해서 변동성 구간추정 하한값을 $\sigma_L = \zeta_{0.25}(\sigma)$ 로 설정하고, 상한값을 $\sigma_U = \zeta_{0.75}(\sigma)$ 로 설정하면, 시뮬레이션에 의한 변동성 구간추정 범위는 $\zeta_{0.25}(\sigma) \le \sigma \le \zeta_{0.75}(\sigma)$ 으로 설정될 수 있다.

## 2. 투자가치 유효기간 구간추정 절차

금융옵션에서 옵션만기 기간은 일반적으로 알려져 있지만, ROA 에서 투자가치 유효기간 $T$ 는 투자가치가 확산될 수 있는 유효기간으로 미지의 값이다. 투자가치가 기하브라운 운동에 따른다고 가정하고 투자 현재가치를 $T$ 에 대하여 편미분하여 최대 투자가치를 가지

는 시점 $T^*$ 을 Mun(2002)은 식(12)와 같이 유도하였다. 식(12)에서 $r$ 은 미래 잉여현금흐름을 현재가치로 변환할 때 사용된 할인율이다.

$$T^* = \frac{1}{r_f} \ln\left[ \frac{r\,K}{(r - r_f)\,S} \right] \tag{12}$$

식(12)에서 구한 최적시점은 재무적 관점에서 DCF 에 근거해서 산출한 최적시점을 의미하고, 이 시점은 기술의 경제적 수명을 고려한 유효기간으로 단정하기에는 미흡하다. 저자의 입장에서 R&D 투자가치 유효기간은 R&D 투자로 발생된 기술의 경제적 수명과 상당한 연관이 있다고 본다. 기술의 경제적 수명 주기는 일반적으로 R&D 단계, 시장도입 단계, 시장침투 단계, 시장 확대 단계, 경쟁포화 단계, 기술대체 단계, 기술진부화 단계 등 7단계로 전개되고, 큰 수익이 발생되는 시점은 시장 확대 단계로부터 시작되는 경향이 있다. 기술의 경제적 수명을 평가할 수 있는 주요 방법으로 델파이 조사, 특허분석, 기술 로드맵 등이 있지만, 특허 데이터베이스를 이용하여 신기술 출현 가능성을 탐색하는 특허분석이 기술의 경제적 수명을 통계적으로 평가할 수 있는 방법이라도 판단된다. 그러나 기술의 경제적 수명은 특허뿐만 아니라 기술혁신의 확산 정도, 경제사회적 수요, 기술적 기회 등 여러 변수들에 의하여 복합적으로 결정되기 때문에 특허분석에서 도출된 기술 수명주기를 기술의 경제적 수명으로 대체할 수 있는지 여부는 현실적인 추후 연구과제로 남아있다. 그럼에도 불구하고 본고에서는 기술의 경제적 수명에 대한 변동을 기술 수명주기로 유의하게 설명할 수 있다는 전제에서, 기술수명 주기를 활용하여 투자가치 유효기간을 구간추정하고자 한다.

유선희(2003, 2004)는 IT 와 BT 에 속한 주요 업종 기술에 대한 국제특허 데이터베이스로부터 (1) 기술군의 분류, (2) 특허별 인용빈도수(특정 특허그룹 내에서 개별 특허가 인용한 특허의 수) 계산, (3) 인용분석, (4) 기술인용 수명주기 설정 등과 같은 절차를 통하여 기술수명 주기를 평가한 연구보고서를 발표하였다. 연구보고서에 의하면 기술이 공표된 이후 매년 인용빈도를 측정하여 인용빈도 도수분포를 작성한 후, 인용빈도가 평균이상인 구간을 평가하여 그 구간을 기술수명 주기로 추정하였다. 기술수명 주기 설정의 기본 전제는 특허 인용기간이 긴 특허일수록 기술수명 주기가 증가할 수 있다는 가설이다. 연구보고서에서 오디오 신호처리 시스템에 관한 기술군에서 특허 4,884 건에 대한 분석결과를 한 예로 인용하면

아래 <표 1>와 같다. <표 1>에 의하면 인용주기 분포가 1990년도 이전과 이후 두기간 사이에 큰 차이가 있음을 알 수 있다. 1990년 이전 인용분포는 사분위수범위(Q3 -Q1)는 7년이지만, 1990년 이후 인용분포 사분위수범위는 5년으로 짧아졌음을 알 수 있다. 또한 1990년 이후 인용분포 왜도는 이전 인용분포와 비교해서 상대적으로 크므로 비대칭 분포로 오른쪽으로 치우쳐 있음을 알 수 있다. 두기간 사이의 정보가 상당한 차이가 있기 때문에, 투자가치 유효기간을 추정하기 위해서는 1990년 이후 정보를 이용하는 것이 적절하다고 판단된다.

<표 1> 오디오 신호처리 시스템 기술군 인용분석 결과

| 항목 | 전체기간 | 1990년 이후 | 1990년 이전 |
|---|---|---|---|
| 자료수 | 4,884 | 3,217 | 1,667 |
| 평균 | 7.31 | 5.41 | 10.97 |
| 중앙값 | 6 | 5 | 11 |
| 표준편차 | 4.69 | 3.03 | 5.13 |
| 왜도 | 0.93 | 0.48 | 0.22 |
| Q1 | 4 | 3 | 7 |
| Q3 | 10 | 8 | 14 |

본고에서는 투자가치 유효기간 $T$ 를 추정하기 위해서 특허인용 빈도분석 결과를 처음으로 사용하고자 한다. 특허인용 빈도분포에서 일사분위수인 Q1 은 특허인용 발생빈도가 상승하는 시점을, 삼사분위수인 Q3 는 특허인용 발생빈도가 급격히 하락하는 시점을, 중앙값은 비대칭 빈도분포에서 대표값으로 사용할 수 있는 시점을 의미한다. 이러한 특허인용 빈도분석 결과를 기술의 경제적 수명 단계에 대응시킨다면 다음과 같은 해석이 가능하다. 특허인용 빈도분포에서 Q1 까지는 기술의 불확실성이 매우 높은 기간으로 기술의 경쟁수준은 매우 낮을 것으로 예상되기 때문에, 대응되는 기술의 경제적 수명 단계는 R&D 단계 혹은 시장도입 단계에 속할 것으로 예상된다. 반면에 특허인용 빈도분포에서 Q3 이후 기술의 경쟁수준은 매우 높아지기 때문에, 대응되는 기술의 경제적 수명 단계는 기술대체 단계 혹은 기술진부화 단계에 속할 것으로 예상할 수 있다. 그리고 특허인용 빈도분포에서 일사분위수 Q1 과 중앙값 사이가 특허 인용빈도 증가율이 상대적으로 높은 기간이기 때문에, 기술의 경제적 수명 단계에서는 시장침투 단계 혹은 시장확대 단계에 속할 것으로 예상할 수 있다.

위와 같은 해석에 근거해서 특허인용 빈도분석에서 구한 결과를 투자가치 유효기간의 범위를 설정할 때 적용할 수 있는 논리적 절차는 다음과 같다. 특허인용 빈도분포에서 일사분위수는 $\zeta_{0.25}(T)$로 표시하고 중앙값은 $\zeta_{0.50}(T)$로 표시하자. 투자가치 유효기간은 투자가치의 확산이 클 것으로 예상되는 기간이기 때문에, 기술의 경제적 수명 측면에서는 시장도입 단계로부터 시장침투 단계까지의 기간으로 간주하는 것이 적절하다. 따라서 투자가치 유효기간의 하한값 $T_L$은 특허인용 빈도분포의 일사분위수인 $\zeta_{0.25}(T)$로 설정하는 적절하고, 상한값 $T_U$은 중앙값보다 약간 작은 $\zeta_{0.50}(T)-\delta$로 설정하는 것이 적절할 것으로 판단된다. 따라서 투자가치 유효기간에 대한 구간추정을 $\zeta_{0.25}(T) \leq T \leq \zeta_{0.50}(T)-\delta$ 로 설정하는 것이 가능해진다. 여기서 $\delta$ 의 크기는 기술경쟁력을 고려하여 전문가의 판단에 의해서 결정되지만, 최대 $\delta$ 의 값의 범위는 $0 \leq \delta \leq 1$로 설정하는 것이 적절하다고 판단된다. 그리고 위와 같이 설정된 투자가치 유효기간 범위에는 식(12)에서 구한 최적기간이 포함되는 것이 적절하다.

## 3. 옵션가치 구간추정 절차

변동성과 투자가치 유효기간에 대한 구간추정이 설정되면, 두 요인에 대한 확률분포를 설정하여 시뮬레이션을 수행하면 옵션가치에 대한 구간추정도 가능하다. 두 요인에 설정된 확률분포에서 발생된 난수로부터 식(8)의 옵션가치를 반복적으로 구하면, 시뮬레이션 옵션가치 자료분포로를 구할 수 있다. 시뮬레이션 옵션가치 자료분포에서 일사분위수를 $\zeta_{0.25}(C)$ 로, 중앙값을 $\zeta_{0.50}(C)$ 로, 삼사분위수를 $\zeta_{0.75}(C)$ 로 표시하자. 시뮬레이션 과정에서 발생될 수 있는 이상값을 제외하기 위해서 일사분위수 보다 작은값과 삼사분위수보다 큰 값을 제외하면, 옵션가치에 대한 구간추정은 $\zeta_{0.25}(C) \leq C \leq \zeta_{0.75}(C)$ 으로 설정된다. 따라서 확장된 투자가치의 구간은 DCF 에서 구한 기본적 투자가치 $S_o$ 에 옵션가치의 상한과 하한을 고려한 $S_o + \zeta_{0.25}(C) \leq S \leq S_o + \zeta_{0.75}(C)$ 으로 구해진다.

# V. 사례분석

본 연구 목적은 옵션가치에 대한 구간추정을 시뮬레이션을 이용하여 설정할 수 있는 방법을 제안하는 것이기 때문에, DCF 로 기본적 투자가치를 구하는 과정은 생략하겠다. 사례분석에서는 R&D 투자가치를 DCF 로 평가한 사전 결과를 이용하여 앞에서 제안한 구간추정 절차에 따라 확장된 투자가치를 평가하고자 한다. 사례에서 오디오 신호처리 시스템 업종 벤처기업의 기술 R&D 투자가치를 ROA 방법으로 평가하고자 한다. DCF 분석에서 경제적 유입기간을 약 5년으로 가정하고, 연도별 매출액 규모(62억, 77억, 90억, 120억, 130억)는 국내 시장 성장, 기술과 사업경쟁력 등을 종합적으로 분석하여 시장점유율로 추정되었다. 할인율은 가중평균자본비용, 기술력위험 등을 종합적으로 고려하여 약 19% 로 평가되었다. 또한 비용구조는 해당업종 평균을 사용하였고, 산출된 5년간 잉여현금흐름 현재가치는 2.67, 4.13, 4.46, 2.58, 2.94 로 구해졌다. 따라서 DCF 로 구한 기본적 투자가치는 16.78억원으로 나타났고, 식(10)에서 구한 변동성 점추정값은 약 41% 로 구해졌다.

## 1. 변동성과 투자가치 유효기간 구간추정

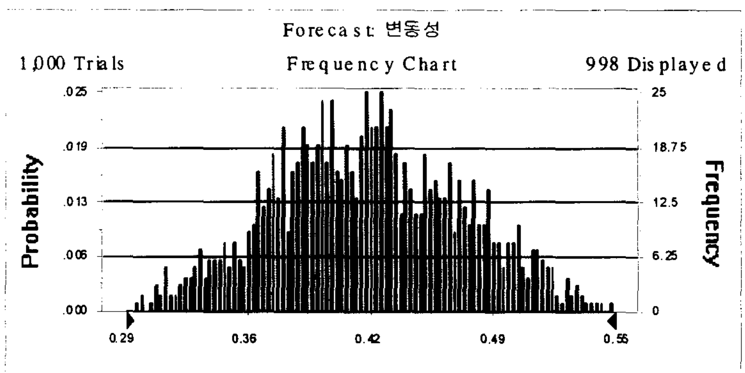
시뮬레이션을 이용하여 변동성을 구간추정하기 위해서 연도별 매출액과 할인율에 다음과 같은 확률분포를 설정하여 반복적인 해를 구하였다. 본 사례에서 5년간 연도별 매출액 확률분포는 균일분포[9])로 가정하였고, 연도별 매출액의 상한값과 하한값은 DCF 에서 산출된 매출액을 평균으로 하고 예측오차의 상하범위를 약 5% 로 가정하였다. 예를 들면, 일차년도 매출액 분포는 $V_1 \sim U(59, 65)$ 인 균일분포로 설정되었다. 균일분포는 고려대상 변수의 확률분포가 미지일 때 시뮬레이션에서 사용되고, 재무분석에서 매출액 분포는 균등분포로 자주 가정된다. 또한 할인율 $r$ 에 대한 점추정값이 19% 로 구해졌고 추정오차를 약 5% 로 가정하면, 할인율 분포는 하한이 17%, 상한이 21%, 최대 확률 가능값을 19% 인 삼

---

9) 균일분포는 구간 $(a, b)$에서 확률변수가 취할 수 있는 값이 모두 동일한 밀도를 갖는 확률분포를 의미한다. 균일분포에서 $a$ 는 구간 하한값이고 $b$ 는 구간 상한값을 의미한다. 확률변수 $V_t$ 가 구간 $(a, b)$에서 균등분포에 따를 때 $V_t \sim U(a, b)$ 로 표시한다.

각분포[10]에 $r \sim Tri(17, 19, 21)$ 따른다고 가정하였다. 할인율에 대한 확률분포로 정규분포도 가정할 수 있으나 표준편차가 미지이기 때문에, DCF 과정에서 추정된 할인율을 최대확률 가능값으로 설정하고 약 5% 오차를 고려한 삼각분포가 적절할 것으로 판단된다. 그리고 비용구조는 DCF 과정에서 설정된 업종평균 비율을 그대로 적용하였다. 위와 같은 확률분포 가정으로부터 대수수익률 변동성을 1000번 시뮬레이션을 실행한 결과 자료분포는 <그림 1>과 같고 요약통계는 <표 2>와 같다. 시뮬레이션 결과 변동성 자료분포 중앙값은 $\zeta_{0.50}(\sigma)$ = 42%, 일사분위수는 $\zeta_{0.25}(\sigma)$ = 39%, 삼사분위수는 $\zeta_{0.75}(\sigma)$ = 45% 인 대칭에 매우 근사한 분포로 나타났다. 따라서 변동성에 대한 구간추정은 $39\% \le \sigma \le 45\%$로 설정되었다.

<그림 1> 변동성 시뮬레이션 자료분포




<표 2> 변동성 시뮬레이션 요약통계

| 구분 | 평균 | 중앙값 | 표준편차 | 왜도 | Q1 | Q3 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 통계값 | 42% | 42% | 5% | 0.00 | 39% | 45% |

10) 삼각분포는 하한값 $a$, 상한값 $b$, 최대확률 가능값 $c$ 등 세 가지 모수에 의하여 정의된다. 최대 가능값은 구간내 어느 값보다도 관측 가능성이 상대적으로 높은 값을 의미한다. 할인율 $r$ 이 삼각분포에 따른다고 가정하면 $D \sim Tri(a, b, c)$ 로 표시한다.

투자가치 유효기간을 정하기 위해서 <표 1> 정보에서 일사분위수 $\zeta_{0.25}(T)$ = 3 과 중앙값 $\zeta_{0.50}(T)$ = 5 를 이용하여 투자가치 유효기간에 대한 구간추정 범위를 구하면 $3 \leq T \leq 5-\delta$ 가 된다. DCF 에서 사용한 할인율은 $r = 19\%$ 이고 산출된 기본적 투자가치는 $S_o = 16.78$ 이었다. 식(12)에서 최적시점을 구하기 위해서 무위험이자율을 $r_f = 5\%$ 로 투자비용을 $K = 15$ 로 설정하면 $T^*$ 는 3.88 년으로 구해진다. 위와 같은 두 가지 정보를 함께 고려하면 $\delta$ = 1 이 적절할 것으로 판단되기 때문에, 투자가치 유효기간 구간 추정 범위는 $3 \leq T \leq 4$ 이 된다.

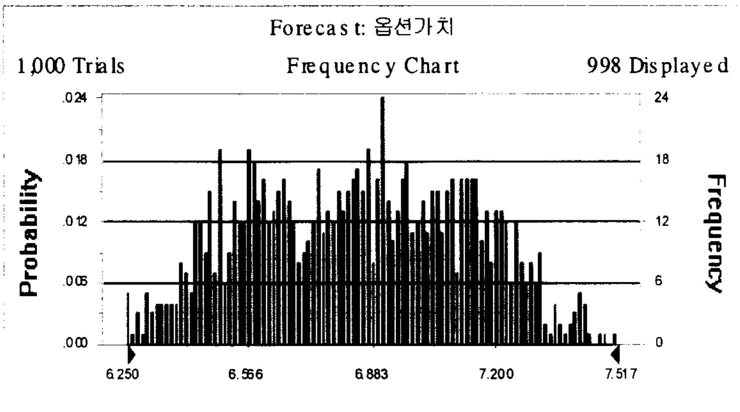
## 2. 옵션가치와 확장된 투자가치 구간추정

상기 분석 결과 기본적 투자가치는 $S_o = 16.78$, 투자비용은 $K = 15$, 무위험이자율을 $r_f = 5\%$ 이었다. 그리고 변동성 구간추정은 $39\% \leq \sigma \leq 45\%$ 이고, 투자가치 유효기간 구간추정은 $3 \leq T \leq 4$ 이었다. 옵션가치의 구간추정을 위해서 변동성에 대한 확률분포는 하한값 39%, 상한값 45%, 최대 확률 가능값 42%인 삼각분포 $\sigma \sim Tri(39, 45, 42)$ 로 설정하고, 투자가치 유효기간에 대한 확률분포는 균등분포 $T \sim U(3,4)$ 로 설정하여, 1000번 시뮬레이션을 통하여 구한 옵션가치 자료분포는 <그림 2>와 같고 요약통계는 <표 3>과 같다.

<표 3> 옵션가치 시뮬레이션 요약통계

| 구분 | 평균 | 중앙값 | 표준편차 | 왜도 | Q1 | Q3 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 통계값 | 6.85 | 6.84 | 0.28 | 0.01 | 6.63 | 7.08 |

<그림 2> 옵션가치 시뮬레이션 자료분포




옵션가치 시뮬레이션 자료분포는 왜도가 0.01으로 대칭분포와 매우 유사하게 나타났다. 시뮬레이션 결과 옵션가치 점추정값은 중앙값인 6.84 억원이 되고, 구간추정 하한값은 $\zeta_{0.25}(C)$ = 6.63 억원, 상한값은 $\zeta_{0.75}(C)$ = 7.08 억원으로 나타났다. 시뮬레이션 결과 옵션가치의 구간추정은 $6.63 \le C \le 7.08$ 로 나타났다. 따라서 확장된 투자가치는 DCF 에서 구한 기본적 투자가치 16.77억에 옵션가치 구간추정을 고려하면 하한은 23.40억원이 되고 상한은 약 23.85억원이 될 것으로 예상되기 때문에, 확장된 투자가치 구간추정은 $23.40 \le S \le 23.85$ 이 된다.

# VI. 결론

불확실성이 높은 기술 R&D 투자가치를 평가할 때 전통적으로 사용되는 DCF는 경영 유연성가치를 고려하지 못하기 때문에 그 가치를 과소평가하는 경향이 있다. 본 연구에서는 DCF 에서 과소평가 될 수 있는 가치를 옵션가치로 간주하고, 옵션가치를 추정하기 위해서 블랙-숄즈모형을 이용하였다. 일반적으로 옵션가치를 추정할 때 점추정을 이용하지만, 옵션가치에 대한 점추정값은 참값에 대한 적절성을 평가할 수 없다는 단점이 있다. 따라서 본 연구에서는 시뮬레이션을 통하여 옵션가치를 구간추정할 수 있는 논리적 절차를 제안하였고, 연구 내용은 변동성과 투자가치 유효기간에 대한 구간추정 방법 개발과 시뮬레이션 과

정에서 적용할 적절한 확률분포 선택을 포함하고 있다.

변동성 구간은 잉여현금흐름 현재가치 대수수익률의 표준편차가 속할 구간을 시뮬레이션을 이용하여 추정하였다. 변동성에 대한 시뮬레이션 과정에서 매출액 규모와 연관된 확률분포는 DCF에서 산출된 매출액 예측값을 평균으로 5% 예측오차를 고려한 균등분포를, 할인율에 대한 확률분포는 DCF에서 추정된 할인율을 최대 확률 가능값으로 설정하고 5% 예측오차를 고려한 삼각분포를 적용하였다. 그리고 투자가치 유효기간 구간은 기술 수명주기와 투자가치 최적시점을 함께 고려하여 추정하는 방법을 사용하였다. 옵션가치의 구간은 변동성과 투자가치 유효기간에 대한 확률분포를 가정하여 시뮬레이션에 의하여 추정하였다. 변동성에 대한 확률분포는 삼각분포로 설정하였고, 투자가치 유효기간에 대한 확률분포는 균등분포로 설정하였다.

기술 R&D 투자가치를 추정할 때 유의할 점은 DCF 혹은 ROA에서 도출된 최종가치를 단순 비교하여 어떤 가치가 참값을 대표할 수 있는지에 대한 정확한 해답은 없다. 왜냐하면 개별 모형마다 설정된 가정이 서로 상이하기 때문이다. 그러나 최근 연구결과에 의하면 불확실성이 매우 높은 기술 R&D 투자를 DCF로 투자가치를 평가할 때 과소평가될 수 있는 가능성이 높고 투자의 적기를 놓칠 수 있는 위험이 존재할 수 있다는 것이 현실이다. 이러한 기술 R&D 투자 의사결정의 현실적인 문제를 극복하기 위해서는 DCF에서 구한 기본적 투자가치와 더불어 상호 보완할 수 있는 ROA를 적용하여 평가한 확장된 투자가치를 함께 고려하는 것이 합리적이라고 판단된다. 다만, ROA를 통해서 가치평가를 할 경우 주요 개별 요인에 대한 점추정값과 구간추정값을 설정에 따라 그 가치가 달라질 수 있기 때문에 추정에 대한 객관성과 타당성을 확보하기 위한 신뢰성 있는 정보의 축척과 더불어 방법론에 대한 추가 연구가 필요하다. 본 연구에서는 불확실성이 높은 기술 R&D 투자가치를 평가하기 위해서 ROA 개념을 도입하였고, 불확실성을 고려해서 투자가치의 구간추정을 설정하기 위해서 시뮬레이션을 적용하였다.

# 참 고 문 헌


성웅현, "몬테칼로 시뮬레이션을 이용한 기술투자 실물옵션평가에 대한 연구," 기술혁신학회지, 제7권 제3호, 2004, pp.533-554.

유선희, IT 와 BT 업종별 기술수명 추정, 수익접근법에 근거한 기술가치평가 실무지침, 산업자원부, 2003, 2004.

Amram, M. and N. Kulatilaka, *Real Options : Managing Strategic Investment in an Uncertain Words*. Jarvard Business School Press. Boston, Massa- chusetts, 1999, p.121.

Baldwin, C., and Clark, K., "Capabilities and capital investment: New perspectives on capital budgeting," *Journal of Applied Corporate Finance*, Summer, 1992, pp.67-87.

Benaroch, M. and Kauffman, R. J., "A Case for Using Real Option Pricing Analysis to Evaluate Information Technology Project Investment," *Information Systems Research*, Vol. 10, No. 1, 1999, pp.70-86.

________________________, "Justifying Electronic Banking Network Expansion Using Real Option Analysis," *MIS Quarterly*, Vol. 24, No.2, 2000, pp. 197-225.

Black, F. and Scholes, M., " The Pricing of Options and Corporate Liabilities." *Journal of Political Economy*, Vol. 81, 1973, pp. 637-654.

Bodie, Z. and Merton, R. C., Finance, Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, 2000, pp. 446-449.

Chakravarthy, B., "A new strategy framework for coping with turbulence," *Sloan Management Review*, Vol. 38(1997), No. 2, pp. 69-82.

Dahlberg, K. and Porter, B. S., "Get real," *Andersen Consulting Outlook Journal*, No. 2, pp. 33-37, 2000.

Dixie, A. K. and Pyndick, R. S., " The options approach to capital investment," *Harvard Business Review*, Vol. 72, 1995, No. 3, pp. 105-115.

Huchzermeier, A. and Loch, C. H., "*Project management under risk : using real options approach to evaluate flexibility in R&D*," working paper INSEAD, Fontainbleau, 1999.

Hull, John. G., *Options, Futures, and Other Derivatives*, Prentice Hall, 2003, pp. 234-266.

Lint, E. and Pennings, E., "R&D as an options on market introduction," *R&D Management*, Vol. 28, No. 4, 1998, pp. 279-287.

Luehrman, T A., "Investment Opportunities as Real Options: Getting Started On the Numbers," *Harvard Business Review*, July-August 1998, pp. 51-58.

Mun, Johnathan, *Real Options Analysis-Tools and Techniques for Valuing Strategic Investments and Decisions-*, Wiley, 2002. pp.197-204.

Perlitz, M., Peske, T., and Schrank, R., "Real options valuation: the new frontier in R&D project evaluation," R&D Management, Vol. 29, pp.255-269, 1999.