

실물옵션 기반 기술가치 평가모델 정교화와 변동성 연구

성태응* · 이종택** · 김병훈*** · 전승표**** · 박현우*****

논문 요약

최근 들어 기술벤처기업에 대한 투자가 증가하고, 이를 위한 기술신용평가의 역할이 증대하였다. 그러나 금융권에서 바라보는 기술신용평가의 경우, 해당 기업의 신용등급이나 기술(력) 등급평가에 초점을 두어, 대상기술의 사업화 및 수익성 관점을 체계적으로 반영하지 못하는 한계를 지닌다. 따라서, 벤처캐피탈(VC)이나 엔젤투자자를 비롯한 금융권에서 대상기술의 수익성 정보를 참조하거나 기술벤처기업 설립시 기술지분을 참고하는 등, 기존 기술이전거래 협상참조용이나 담보·보증용에 널리 이용되던 기술가치평가의 활용범위가 급격히 확대되고 있다.

제조·서비스 분야의 일반 기술 뿐만 아니라, 바이오·제약·의료 분야 기술에서도 미래 투입되어야 하는 사업화 소요기간 및 비용을 고려하여 기술가치를 산정해야 할 때가 있다. 기존의 현금흐름할인법(DCF법)이 연속된 투자에 대한 고려를 못하거나 기술적용 제품의 상용화 투입비용에 대한 확실적인 속성을 반영하지 못하는 등 한계점을 지니고 있다. 그러나 기술과 투자의 가치는 기회가치로 보고 자원배분을 위한 의사결정 정보를 감안해야 하므로, 실물옵션의 개념을 적용하는 것이 바람직하다고 여겨진다.

흔히 기업가치를 평가할 때 주가의 변동성(volatility) 개념을 도입하여 전일종가 대비 익일시가의 분산값을 활용하기도 한다. 이러한 개념을 기술가치평가에 적용하기 위해서는 '주가의 연속성(상대적 미세한 변화)' 및 '양(+)'의 조건'을 고려해야 하는데, 실제 기술가치평가 상의 현금흐름은 사업초기년도 음(-)의 값이 나타나거나 2~3년 내외의 짧은 수익예상기간 하에서는 주가와 같은 변동성을 도출하는데 무리가 있다.

따라서 많은 문헌에서 연구된 바와 같이, 실물옵션 기반의 기술가치 산정을 위한 블랙-숄츠 모형에서 변동성과 기초자산가치, 그리고 사업화비용 간의 관계를 살펴볼 필요가 있다. 아울러 옵션 가격결정모형(Option Pricing Model)에서 불확실성을 반영한 기초자산의 현재가치와 사업화비용의 현재가치분이 특정 임계조건 하에서 '옵션행사 포기(NAT; no action taken)' 영역으로 구분되는 지를 수학적으로 도출하고 관찰변수(입력값)에 따른 옵션가치 산출표를 개발하여 제시한다.

Keyword : 기술가치평가, 실물옵션법, 블랙-숄츠 모형, 변동성(volatility), 기술투자 적정성

* 성태응, 한국과학기술정보연구원 책임연구원, 02-3299-6172, ts322@kisti.re.kr

** 이종택, 한국과학기술정보연구원 책임연구원, 02-3299-6023, jtlee@kisti.re.kr

*** 김병훈, 한국과학기술정보연구원 선임연구원, 02-3299-6225, bhkim@kisti.re.kr

**** 전승표, 한국과학기술정보연구원 책임연구원, UST 과학기술경영정책학과 전임교수, 02-3299-6095, spjun@kisti.re.kr

***** 박현우, 한국과학기술정보연구원 책임연구원, UST 과학기술경영정책학과 전임교수, 02-3299-6051, hpark@kisti.re.kr

I. 서론

최근 들어 기술벤처기업에 대한 투자가 증가하고, 이를 위한 기술신용평가의 역할이 증대하였다. 그러나 금융권에서 바라보는 기술신용평가의 경우, 해당 기업의 신용등급이나 기술(력) 등급평가에 초점을 두어, 대상기술의 사업화 및 수익성 관점을 체계적으로 반영하지 못하는 한계를 지닌다. 따라서, 벤처캐피털(VC)이나 엔젤투자자를 비롯한 금융권에서 대상기술의 수익성 정보를 참조하거나 기술벤처기업 설립시 기술지분을 참고하는 등, 기존 기술이전거래 협상참조용이나 담보·보증용에 널리 이용되던 기술가치평가의 활용범위가 급격히 확대되고 있다.

제조·서비스 분야의 일반 기술 뿐만이 아니라, 바이오· 제약· 의료 분야 기술에서도 미래 투입되어야 하는 사업화 소요기간 및 비용을 고려하여 기술가치를 산정해야 할 때가 있다. 기존의 현금흐름할인법(DCF법)이 연속된 투자에 대한 고려를 못하거나 기술적용 제품의 상용화 투입비용에 대한 확실적인 속성을 반영하지 못하는 등 한계점을 지니고 있다. 그러나 기술과 투자의 가치는 기회가치로 보고 자원 배분을 위한 의사결정 정보를 감안해야 하므로, 실물옵션의 개념을 적용하는 것이 바람직하다고 여겨진다.

흔히 기업가치를 평가할 때 주가의 변동성(volatility) 개념을 도입하여 전일종가 대비 익일시가의 분산값을 활용하기도 한다. 이러한 개념을 기술가치평가에 적용하기 위해서는 ‘주가의 연속성(상대적 미세한 변화)’ 및 ‘양(+의 조건)’을 고려해야 하는데, 실제 기술가치평가 상의 현금흐름은 사업초기년도 음(-)의 값이 나타나거나 2~3년 내외의 짧은 수익예상기간 하에서는 주가와 같은 변동성을 도출하는데 무리가 있다.

따라서 많은 문헌에서 연구된 바와 같이, 실물옵션 기반의 기술가치 산정을 위한 블랙-숄즈 모형에서 변동성과 기초자산가치, 그리고 사업화비용 간의 관계를 살펴볼 필요가 있다. 아울러 옵션가격결정모형(Option Pricing Model)에서 불확실성을 반영한 기초자산의 현재가치와 사업화비용의 현재가치분이 특정 임계조건 하에서 ‘옵션행사 포기(NAT; no action taken)’ 영역으로 구분되는 지를 수학적으로 도출하고 관찰변수(입력값)에 따른 옵션가치 산출표를 개발하여 제시한다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. II장에서는 실물옵션법의 필요성, 블랙-숄즈 모형에서의 변동성 측정을 위한 이론적 배경을 설명하고, III장에서는 블랙-숄즈 모형 적용시 변동성이 유효한 영역이 존재하는지 살펴보기 위한 연구방법을 기술하며, IV장에서는 실물옵션 가치 산정을 위한 사업비용-대비-자산 임계비율, 특정 비즈니스 모델에 따른 유효 변동성 영역과 옵션가치 결정 등에 대한 연구결과를 제시하며, 마지막으로 V장에서는 연구결과 및 시사점을 제시한다.

II. 선행연구 분석

1. DCF법과 실물옵션법 기반의 기술가치평가

일반적으로 기술가치평가 방법은 크게 소득접근법, 시장접근법, 그리고 비용접근법으로 크게 구분하고 있다. 이 중 비용접근법의 경우, 대체의 원리에 근거하여 유사 혹은 동일한 기술의 개발에 투입된 소요비용과 마진 등을 고려하여 기술가치의 최소 수준을 가늠하게 하는 방법이며, 이는 미래의 수익성을 기반으로 의사결정에 참고하는 등 기타 용도에는 권장되지 않고 있다.

시장접근법의 경우, 기술적용 제품의 시장 자체가 존재하지 않거나 (해당 기술분야의) 국내 수집된 거래사례 정보의 수가 적은 경우 한정된 정보의 통계자료를 참조하는데 한계점을 지니기도 한다. 또한, 수익접근법 기반의 현금흐름할인법(DCF법)이 무형자산에 대한 미래 수익성을 기반으로 정량적인 기술가치액을 보여줄 수 있으나, 비즈니스 모델의 특수성이나 사업화 주체의 역량을 고려한 최적의 의사결정을 지원하는 자료를 제공해 주지 못하므로 인해, 실물옵션법과 같은 가치평가기법이 등장하게 되었다.

설성수·유창석(2002)은 기술이나 관련 투자 가치의 평가상에 현금흐름할인법의 한계와 실물옵션법의 대체가능성을 언급하였고 기술 기반의 옵션 개념을 설명하였다. 특히 DCF법의 가장 현저한 문제점으로 연속된 투자에 대한 고려를 못하는 점과 가격변화 등 프로젝트에 내재한 불확실성을 반영하지 못하는 점 등은 Myers(1987), Kester(1984) 등에서도 이미 지적된 바 있다. 특히 Myers(1987)는 연구개발(R&D) 활동 및 성과 자체가 옵션가치로 이뤄져 있다고 봤으며, Nichols(1994)가 옵션가치평가의 사용이 연속적인 프로젝트 단계의 평가를 가능하게 하므로 실무에서 좀더 유연하게 시뮬레이션기법과 함께 이용될 수 있다고 보았다.

한편, 성웅현(2002)은 복합옵션을 활용한 단계별 기술투자의 가치평가를 실증하는 연구를 수행하였고, 박현우 외(2009)는 특정 리스크가 존재하는 초기단계 프로젝트에 대한 의사결정 트리와 시장 리스크가 존재하는 후기단계 이항격자로 구성되는 실용적 하이브리드 모델을 설명하였다. 이러한 상호 연관 2단계 투자 R&D의 가치를 평가하기 위해, Geske(1979), Geske and Johnson(1984), Buraschi and Dumas(2001)은 이중옵션을 제안하였고 개별적으로 영향을 미치는 요인에 대해 선형 회귀분석을 수행하였다.

Benaroch and Kauffman(1999, 2000)에 의하면 DCF법이 투자로 인한 잠재 기회 가치를 고려하지 않기 때문에 이에 대한 대안으로 실물옵션법을 제안하였다. Luehrman(1998)은 불확실성이 내재된 투자프로젝트를 평가하기 위해 실물옵션과 순현재가치를 비교하였고, Panayi and Trigerogis(1998)는 복합옵션의 개념을 통해 단

계별 장거리 통신 프로젝트 가치평가를 수행하였다.

국내에서는 김동환(2003)이 기업의 시가총액, 행사가격, 변동성, 행사기간, 무위험 이자율 이상 5개 변수를 기반으로 벤처기업의 가치평가를 수행하기 위해 실물옵션 기법을 적용하였으며, 김태완·윤재홍(2014)은 기술공급자와 기술수요자 사이에 기술거래의 불확실성이 존재함을 가정하고 옵션가치를 산출하였는데, 기존의 기술공급자 측에서 바라본 비용접근법 기반의 평가결과와 기술수요자 측의 실물옵션법 기반 평가결과를 고려하여 옵션가치를 산정하였다.

이외에도 현금흐름할인법(DCF법)과 실물옵션법에 관한 이론 및 평가사례는 꾸준히 연구되고 있으나, 특정의 사업화 주체, 전략 및 비즈니스 모델에 따라 실물옵션법이 DCF법의 한계를 보완하여 실무적으로 적용가능하다는 점에 대한 연구가 필요한 시점이다.

2. 블랙-숄츠(Black-Scholes) 모형과 변동성

기술가치평가에 흔히 적용되는 대표적인 모형으로 블랙-숄츠 모형과 이항모형이 있으며, 이외에도 다이나믹 DCF, 옵션 반영 DCF, 옵션 트리 모형 등이 있다. 이 중 금융옵션 기반의 블랙-숄츠 모형은 의사결정의 연속성을 가정하여 가장 널리 활용될 수 있음을 Black and Scholes(1973)가 처음으로 제안하였으며, Brennan and Schwartz(1985)에 의해 실물옵션으로 확장 적용되어 발전하였다. 이후에도 Santos(1991), Grenadier and Weiss(1997), McGrath(1997), 허은녕(2000), 설성수·유창석(2002) 등이 기술 및 신규투자에 대한 순현재가치의 한계를 극복하기 위한 실물옵션 및 블랙-숄츠 모형의 적용가능성을 제안하였다.

이효석 외(2004), 이동수·정기호(2011), 장혁수·이봉규(2014) 등은 기술 관련 투자에 대한 불확실성을 감안한 의사결정에 활용하기 위해 블랙-숄츠 모형에 관한 많은 실증연구를 수행하였는데, 금융데이터의 신경망 이론 기반 최적화, 제약기술의 R&D평가, 태양광 핵심소재인 폴리실리콘의 생산공정 기술 가치평가 등에 직접 사례 적용 하였다.

Chakravarthy(1997)은 미래 시장 및 기술의 변화에 민감하게 반응하여 가치를 창출하는 경영진의 역량을 전략적 유연성 가치라고 정의하고, Huchzermeier and Loch(1999)가 이 가치개념을 프로젝트와 연관된 변동성(시장수요 변동성, 성과 변동성, 시장요구 변동성, 유효기간 변동성)과 선형관계에 있음을 주창하였다. 이로부터 프로젝트에 대한 확장, 축소, 포기, 전환 등과 같은 옵션적 의사결정을 가능하게 하고, Dahlberg and Porter(2000)에 의해 미래 성장패턴의 안정성이 보장되지 않는 상황에서는 블랙-숄츠 모형 기반의 실물옵션 가치를 고려할 필요가 있다고 제안되었다.

박현우 외(2009)는 변동성 σ 를 사업화주체에 대한 주가의 변동성을 추정함으로써 산출하도록 제안하거나 김상국 외(2013)는 업종의 영업이익률 변동성을 대응치로 활

용하여 20개 기술별 옵션가치를 평가하도록 제안하였다. 또한 시장이 분명히 존재하는 기술에 대해 신규 시장으로 진입하는 경우 Razgatis(1999)가 제안한 30%의 변동성을 언급하기도 하였다.

투자가치를 평가함에 있어, 블랙-숄즈 모형의 적용시 가장 중요한 요소는 변동성에 대한 측정이며, 이에 대한 추정은 Mun(2002)에 의해 자연대수 현금흐름할인 수익률 변동성, 역사적 변동성, 몬테카를로 시뮬레이션 변동성, 시장 대응치 등의 방법이 있다고 제시되어 왔다.

III. 연구방법

신규 기술이나 투자프로젝트의 가치를 평가하기 위해, 실물옵션법을 적용할 경우 수익예상 기간이 2~3년으로 비교적 짧거나 현금흐름의 변동폭이 클 경우 산출된 분산값을 그대로 적용하면 옵션가치의 유의성이 낮아질 수 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해, 블랙-숄즈 모형에서 변동성을 어떻게 정의하고, 미래 불확실성을 옵션가치에 반영하여 의사결정에 활용할 수 있는 유효 변동성 영역을 구할 지에 대해 살펴보기로 한다.

1. 블랙-숄즈 모형에서의 변동성 개념

블랙-숄즈 모형은 금융옵션의 가격을 결정하는 문제에 주가의 변동성과 헷지의 원리를 반영하여 옵션가격결정모형(Option Pricing Model)로 체계화되었으며 현재까지도 널리 활용되고 있으며, 다음과 같은 가정하에 유도된다(성웅현, 2005).

- 주식가격은 기하브라운 운동(Geometric Brownian Motion)을 따른다.
- 단기 이자율은 알려져 있으며 옵션기간 동안 일정하다.
- 기초자산인 주식의 (중간) 배당금 지급은 없다.
- 거래비용, 세금 및 공매도 제약이 없는 완전시장이다.
- 기초자산의 수익률 변동성은 옵션기간 동안 변하지 않는다.

기초자산에 대한 불확실성을 Gauss Wiener Process(식 (1)~(2))과 같은 형태로 표현된 식으로부터 최종 해(solution)를 산출하고, 상기 OPM 가정으로부터 식 (3)과 같이 옵션가치(콜옵션)을 구한다.

$$dS_t = \alpha S_t dt + \sigma S_t dz \quad \text{----- (1)}$$

$$d \ln S_t = \left[\alpha - \frac{1}{2} \sigma^2 \right] dt + \sigma dz \quad \text{----- (2)}$$

여기서, S_t : 기초자산 가치 (금융옵션의 주식가격에 해당)

α : 기초자산 가치의 성장률

σ : 기초자산 가치의 변동성 (표준편차)

dz : 가우스 위너 프로세스 (Gauss Wienerprocess)

$$V = S \cdot N(d_1) - X e^{-rT} \cdot N(d_2) \text{ ----- (3)}$$

$$d_1 = \frac{\ln(\frac{S}{X}) + (r + \frac{1}{2}\sigma^2)T}{\sigma \sqrt{T}} \text{ ----- (4)}$$

$$d_2 = \frac{\ln(\frac{S}{X}) + (r - \frac{1}{2}\sigma^2)T}{\sigma \sqrt{T}} = d_1 - \sigma \sqrt{T} \text{ ----- (5)}$$

V : 최종 옵션 가치 (금융옵션에서의 최종 콜옵션 가치)

S : 기초자산의 현재가치 (금융옵션의 현가)

X : 사업화 소요비용 (금융옵션의 행사가격)

r : 무위험이자율

T : 사업화 소요기간 (금융옵션의 만기까지 잔존기간)

σ^2 : 기초자산의 가치 변동성 (금융옵션의 수익률 변동)

$N(\cdot)$: 누적정규분포

식 (3)에서 $S \cdot N(d_1)$ 는 만기시 투자가치가 사업화비용보다 큰 경우의 옵션가치 기댓값을 의미하고, $N(d_2)$ 는 만기시 투자가치가 사업화비용보다 클 것으로 예상되는 위험중립확률(risk neutral probability)을 의미하며 $X e^{-rT}$ 는 사업화비용의 현재가치를 의미한다. 여기서, 최종 옵션가치 V 는 $\frac{S}{X}$, rT , $\sigma \sqrt{T}$ 에 대해 증가함수이며, 해당 실물옵션이 내재가치를 가지는 상태, 즉 내가격(ITM: in-the-money)에 있기 위해서는 기초자산의 가치 S 가 사업화비용 X 보다 커야 한다.

앞선 선행연구 분석에서 Mun(2002)에 의하면 변동성(volatility)은 여러 형태로 측정 가능하지만, 자연대수 현금흐름수익법과 몬테카를로 시뮬레이션 기반으로 변동성을 추정할 수 있다.

가. 자연대수 현금흐름수익법 기반 변동성 추정

본 기법은 주가수익률 변동성을 계산하는 방식과 유사하게, 전년도 현금흐름 대비 당해연도 현금흐름의 로그값으로부터 직접 변동성을 계산하는 방법이다.

$$\sigma^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{t=1}^n \left(\ln\left(\frac{CF_t}{CF_{t-1}}\right) - \overline{R_{CF_{n-1}}} \right)^2 \text{ ----- (6)}$$

여기서, CF_t : t년도 현금흐름

$$\overline{R_{CF_{n-1}}}: (n-1)개의 \ln\left(\frac{CF_t}{CF_{t-1}}\right) \text{ 평균값}$$

자연대수 현금흐름수익법은 추가적으로 몬테카를로 시뮬레이션을 수행할 필요가 없고, 과거 데이터가 충분한 유동 금융자산의 경우 변동성을 측정하기 좋은 방법이다. 일정 진폭 이내의 변이(fluctuation), 즉 연속적인 변이가 예상가능한 주식(금융자산)의 경우 ‘전일종가 대비 익일시가’ 라는 데이터가 풍부하여, 월 혹은 연간 변동성을 측정하기 용이하다.

그러나, 기술가치평가와 같이 최대 30년보다 짧은 수익예상기간을 지니는 기술 또는 투자프로젝트의 경우, 표본값의 개수가 상대적으로 작으며 또한 현금흐름(cash flow)이 음(-)의 값을 가지는 경우 자연대수 값을 취할 수 없으므로, 현실적으로 적용하기 어렵다.

신규 사업을 시작한 기업의 경우와 같이, 한 부문의 기술사업에서 발생한 현금흐름 음(-)의 값을 다른 부문 사업으로 보존하는 경우가 아닌 경우에는 대부분 현금흐름 추정기간의 초기 단계에는 현금흐름 값이 많은 경우 음(-)의 값을 가지므로, 본 기법을 적용하는데 무리가 있다. 따라서, 이러한 경우에 해당 업종(혹은 기업)의 재무비율을 활용하여, (세전) 영업이익의 기반 대용치(proxy)로부터 변동성을 추정할 수도 있으나 블랙-숄즈 모형의 최종 옵션가치 산식(식 (3))에서 기초자산의 현재가치와 함께 고려해도 되는지를 고려할 필요가 있다고 하겠다.

나. 몬테카를로 시뮬레이션 기반 변동성 추정

본 기법은 현재(0차년도) 기준의 현금흐름 현재가치 총합(PV_0)과 1차년도 기준의 현금흐름 현재가치 총합(PV_1)을 기반으로 하여, 변동성을 몬테카를로 시뮬레이션으로부터 구하는 방법이다. 이는 다음과 같이 매개변수 $Y = \ln\left(\frac{PV_1}{PV_0}\right)$ 로부터 측정할 수 있다.

$$Y = \ln\left(\frac{PV_1}{PV_0}\right) = \ln\left(\frac{\sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1+r)^{t-1}}}{\sum_{t=0}^n \frac{CF_t}{(1+r)^t}}\right) \text{ ----- (7)}$$

여기서, PV_0 : 현재 기준 현금흐름의 현재가치 총합 (CF_0 고려)

PV_1 : 1차년도 기준 현금흐름의 현재가치 총합

r : (위험조정)할인율

본 기법의 장점은 연도별 현금흐름이 특정년도에 음(-)의 값을 가지더라도 PV_0

및 PV_1 이 양(=)의 값을 가지는 경우에 적용 가능하다는 점이다. 따라서, $CF_0 \sim CF_n$ 이 주어진 경우, $\min(CF_i)$ 와 $\max(CF_i)$ 값들을 하한과 상한으로 하여 Uniform Distribution 하에서 CF_i 를 반복 발생시켜, 몬테카를로 시뮬레이션 횟수에 따라 $Y = \ln\left(\frac{PV_1}{PV_0}\right)$ 의 분산값으로부터 변동성을 추정할 수 있다.

2. 옵션가치 산정을 위한 변동성의 유효영역

전절에서 언급된 변동성값에 대해, 항상 유효한 옵션가치가 도출되는 것은 아니다. 이를 금융옵션의 의사결정 원리에 근거하여 보정하기 위해서는, (성장률을 고려한) 기초자산의 현재가치가 (위험중립확률 기반의) 사업화비용의 현재가치보다 적게 되는 영역의 임계값을 고려할 필요가 있다.

기초자산 가치(S)와 사업화 비용(X), 그리고 무위험이자율(σ) 및 사업화소요기간(T)이 특정값으로 주어질 때, 사업화비용 대비 기초자산가치 비율($R = \frac{S}{X}$)의 임계값 이하에서는 옵션행사 포기(NAT: No Action Taken) 영역이 산출될 수 있으며, 이 때는 옵션가치가 0이 된다.

또한, 특정의 R 값에 대해, 변동성 σ^2 값의 전 영역에서 항상 유효한 옵션가치가 도출되는 것은 아니다. 이를 금융옵션의 의사결정 원리에 근거하여 보정하기 위해서는, (성장률을 고려한) 기초자산의 현재가치가 (위험중립확률 기반의) 사업화비용의 현재가치보다 적게 되는 영역에서 옵션가치가 0이 되어 (R, σ^2) 곡선 아래 영역을 발견할 수 있다.

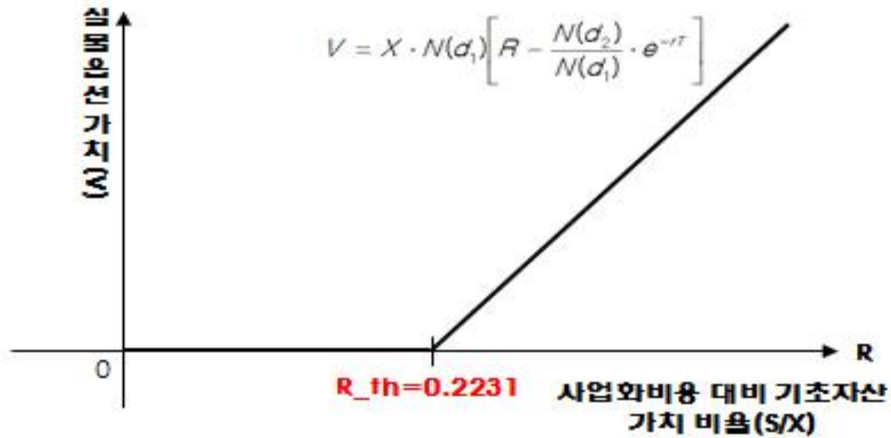
IV. 연구결과

1. 실물옵션 가치 산정을 위한 사업화비용-대비-기초자산가치 임계비율

사업화비용 대비 기초자산가치 비율(R)과 변동성(σ^2)에 따른 옵션행사 포기(NAT) 영역을 관찰하기 위해, 다음과 같이 일반적인 경우를 고려하자.

무위험이자율은 2016년 기준 1.5~3%대에서 변동폭을 보였으며, 사업화소요기간은 한국과학기술정보연구원에서 2015~2016년에 실제 수행한 40여건 평균인 1.9~2.3년인 점을 감안할 때, (r, T)=(2.75%, 2.1년)를 고려할 수 있다. 그러나 본 논문에서는 최대 가능한 (r, T)=(5%, 30년)을 적용하여 아래 <그림 1>과 같이, 옵션행사 포기(NAT) 영역의 임계값인 R_{th} =0.2231을 산출하였다. 이 값은 수치해석기법에 의해 <표

1)로부터 변동성이 0.0015(즉, $\sigma^2=1.5\%$)보다 작으면 옵션가치가 0이 됨을 알 수 있다. 이 결과로부터 <그림 1>의 x절편에 해당하는 $\frac{N(d_2)}{N(d_1)} \cdot e^{-rT}$ 와 일치함을 알 수 있고, 특정 R_{th} (즉 S 가 X 의 0.2231배에 해당)이하에서는 변동성 임계값보다 낮은 구간에서 옵션가치가 0이 되는 NAT 영역이 존재함을 알 수 있다.



<그림 86> ‘자산/사업비용(R)’ 에 따른 실물옵션 가치(V)와 임계값(R_{th})

<표 88> ‘자산/사업비용($R=0.2231$)’에 따른 실물옵션 가치(V) 변화

항목	설명	변동성 변화에 따른 블랙숄즈 모형 적용 옵션 가치												
sigma_2	1) 변동성	0.0009	0.001	0.0015	0.0016	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
S	2) 기초자산가치	0.2231												
X	3) 사업화비용	1												
R=S/X	4) 자산/비용	0.2231	0.2231	0.2231	0.2231	0.2231	0.2231	0.2231	0.2231	0.2231	0.2231	0.2231	0.2231	0.2231
r=0.05	5) 무위험이자율	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
T=30	6) 사업화기간	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
rT=1.5		1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
e^{-rT}		0.22313	0.22313	0.22313	0.22313	0.22313	0.22313	0.22313	0.22313	0.22313	0.22313	0.22313	0.22313	0.22313
d_2		5.081646	4.812212	3.893799	3.763308	-0.87835	-1.21717	-1.48711	-1.71741	-1.92133	-2.10613	-2.27629	-2.43478	-2.5837
N(d_2)		1	0.999999	0.999951	8.38E-05	0.189878	0.11177	0.068493	0.042952	0.027345	0.017597	0.011414	0.00745	0.004887
d_1		5.245962	4.985417	4.105931	3.982397	1.571143	1.782833	1.976992	2.155573	2.321314	2.476446	2.622689	2.76137	2.893527
N(d_1)		1	1	0.99998	0.999966	0.941925	0.962693	0.975979	0.984442	0.989865	0.993365	0.995638	0.997122	0.998095
V/X	7) 비용대비 옵션가치	-3.01E-05	-3E-05	-2.4E-05	0.223074	0.167776	0.189838	0.202458	0.210045	0.214737	0.217693	0.21958	0.220796	0.221585
V/S	8) 자산대비 옵션가치	-0.000135	-0.00013	-0.00011	0.999882	0.752022	0.850908	0.907477	0.941484	0.962516	0.975766	0.984222	0.989671	0.993207

<표 2>와 <표 3>에서와 같이, R 값(즉, $\frac{S}{X}$)이 각각 2와 0.25가 되어, 변동성 σ^2 에 제한받지 않고 모든 구간에서 실물옵션 가치가 산출되며, 이 경우 DCF법보다 항상 크거나 같은 값을 갖게 된다. <표 2>의 기초자산가치 대비 옵션가치 항목(8) $\frac{V}{S}$ 에 서는, S 가 X 의 2배가 될 경우 변동성값 전구간에서 기초자산가치 대비 88.8~99.8%

의 옵션가치를 가지게 됨을 설명해 주고 있다.

<표 2> '자산/사업비용(R=2)'에 따른 실물옵션 가치(V) 변화

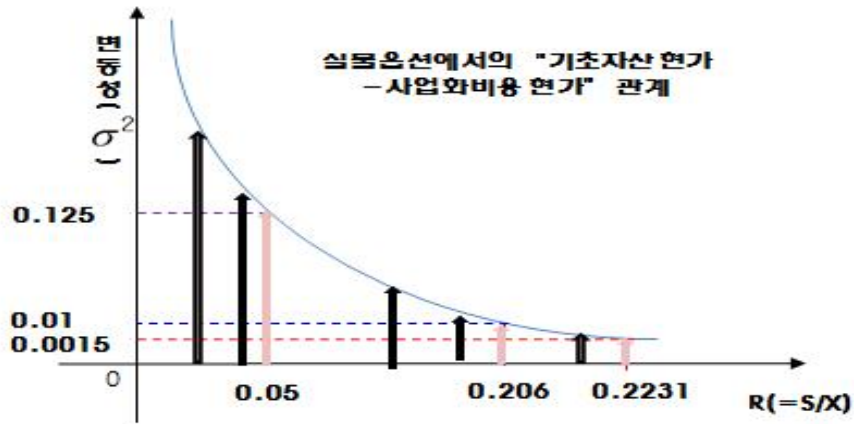
항목	설명	변동성 변화에 따른 블랙숄즈 모형 적용 옵션 가치												
sigma_2	1) 변동성	0.01	0.03	0.05	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
S	2) 기초자산가치	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
X	3) 사업화비용	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
R=S/X	4) 자산/비용	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
r=0.05	5) 무위험이자율	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
T=30	6) 사업화기간	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
rT=1.5		1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
e ^{-(rT)}		0.22313	0.22313	0.22313	0.22313	0.22313	0.22313	0.22313	0.22313	0.22313	0.22313	0.22313	0.22313	0.22313
d_2		3.014355	1.424111	0.858162	0.1738	-0.48948	-0.89966	-1.21214	-1.47147	-1.69681	-1.89827	-2.08186	-2.25147	-2.40979
N(d_2)		0.998712	0.922793	0.804599	0.431011	0.312252	0.184151	0.11273	0.070582	0.044866	0.02883	0.018678	0.012178	0.007981
d_1		3.562077	2.372794	2.082907	1.905851	1.960012	2.100343	2.251963	2.401516	2.545827	2.684305	2.817123	2.944685	3.067434
N(d_1)		0.999816	0.991173	0.98137	0.971665	0.975003	0.982151	0.987838	0.991836	0.994549	0.996366	0.997577	0.998384	0.99892
V/X	7) 비용대비 옵션가치	1.776789	1.776443	1.78321	1.847159	1.880333	1.923212	1.950522	1.967924	1.979087	1.986299	1.990987	1.99405	1.99606
V/S	8) 자산대비 옵션가치	0.888395	0.888221	0.891605	0.9233579	0.940166	0.961606	0.975261	0.983962	0.989544	0.99315	0.995493	0.997025	0.99803

<표 3> '자산/사업비용(R=0.25)'에 따른 실물옵션 가치(V) 변화

항목	설명	변동성 변화에 따른 블랙숄즈 모형 적용 옵션 가치												
sigma_2	1) 변동성	0.01	0.03	0.05	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
S	2) 기초자산가치	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
X	3) 사업화비용	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
R=S/X	4) 자산/비용	0.25	0.2231	0.2231	0.2231	0.2231	0.2231	0.2231	0.2231	0.2231	0.2231	0.2231	0.2231	0.2231
r=0.05	5) 무위험이자율	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
T=30	6) 사업화기간	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
rT=1.5		1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
e ^{-(rT)}		0.22313	0.22313	0.22313	0.22313	0.22313	0.22313	0.22313	0.22313	0.22313	0.22313	0.22313	0.22313	0.22313
d_2		1.365545	0.420055	0.080425	-0.37614	-0.87835	-1.21717	-1.48711	-1.71741	-1.92133	-2.10613	-2.27629	-2.43478	-2.5837
N(d_2)		0.913959	0.662778	0.53205	0.353405	0.189878	0.11177	0.068493	0.042952	0.027345	0.017597	0.011414	0.00745	0.004887
d_1		1.913268	1.368739	1.305169	1.355907	1.571143	1.782833	1.976992	2.155573	2.321314	2.476446	2.622689	2.76137	2.893527
N(d_1)		0.972143	0.91446	0.904082	0.912436	0.941925	0.962693	0.975979	0.984442	0.989865	0.993365	0.995638	0.997122	0.998095
V/X	7) 비용대비 옵션가치	0.039104	0.05613	0.082984	0.124709	0.167776	0.189838	0.202458	0.210045	0.214737	0.217693	0.21958	0.220796	0.221585
V/S	8) 자산대비 옵션가치	0.156416	0.251592	0.37196	0.558983	0.752022	0.850908	0.907477	0.941484	0.962516	0.975766	0.984222	0.989671	0.993207

2. 비즈니스 모델에 따른 유효 변동성 영역과 의사결정

특정 (R, σ^2)에 대해, 변동성값 이하에서 옵션가치가 0이 되는 구간을 <그림 2>에 서 알 수 있으며, 이는 수치해석기법에 의해, (R, σ^2) 테이블을 작성하고 참고할 수 있다. 이 결과를 토대로, 전절에서 논의된 몬테카를로 시뮬레이션 기반 변동성값이 유효한 옵션가치값을 도출하도록 적절하게 시뮬레이션 되었는지를 검증할 수 있다 하겠다. <그림 2>에서 R 이 0.2231보다 클 경우에는 모든 σ^2 에 대해, 옵션가치가 유효하게 산출되나, $R=0.206$ 인 경우, σ^2 이 0.01(1%)보다 클 경우에만 0보다 큰 옵션가치를 도출하게 된다.



〈그림 87〉 '자산/사업비용(R)'과 '변동성(σ^2)'에 따른 영(zero) 옵션가치 구간

3. 유효 변동성 하에서의 옵션 가치 결정

전 절에서 옵션행사 포기(NAT) 영역의 임계값인 $R_{th}=0.2231$ 에 대해, σ^2 이 1.5%보다 큰 구간에서 옵션가치가 0이 아닌 값을 도출함을 살펴보았다. <표 4>~<표 6>과 같이, R값이 0.05, 0.175, 0.206이 될 때, 노란색 구간의 옵션가치가 0이 되며, 이 로직이 웹기반 기술가치평가 시스템(STAR-Value 5.0 PLUS)에 탑재되어 있다.

〈표 4〉 '자산/사업비용(R=0.05)'에 따른 실물옵션 가치(V) 변화

항목	설명	변동성 변화에 따른 블랙숄즈 모형 적용 옵션 가치													
sigma_2	1) 변동성	0.01	0.03	0.05	0.1	0.125	0.126	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1	
S	2) 기초자산가치	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	
X	3) 사업화비용	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
R=S/X	4) 자산/비용	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	
r=0.05	5) 무위험이자율	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	
T=30	6) 사업화기간	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	
rT=1.5		1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	
$e^{-(rT)}$		0.22313	0.22313	0.22313	0.22313	0.22313	0.22313	0.22313	0.22313	0.22313	0.22313	0.22313	0.22313	0.22313	
d_2		0.089407	-0.26461	-0.44991	-0.75115	-0.8655	-0.86977	-1.67461	-1.88512	-2.07442	-2.24787	-2.40888	-2.55978	-2.70229	
N(d_2)		0.535621	0.604345	0.673614	0.226281	0.193383	0.192213	0.047005	0.029707	0.01902	0.012292	0.008001	0.005237	0.003443	
d_1		0.637129	0.684074	0.774831	0.980901	1.070994	1.07445	1.789489	1.987866	2.168218	2.334707	2.490104	2.636368	2.77494	
N(d_1)		0.73798	0.753036	0.78078	0.836679	0.857914	0.85869	0.963232	0.976587	0.984929	0.990221	0.993615	0.99581	0.997239	
V/X	7) 비용대비 옵션가치	-0.082614	-0.0972	-0.11126	-0.00866	-0.00025	4.61E-05	0.037673	0.042201	0.045003	0.046768	0.047895	0.048622	0.049094	
V/S	8) 자산대비 옵션가치	-1.652283	-1.94391	-2.22529	-0.17312	-0.00508	0.000921	0.753467	0.844016	0.90005	0.935365	0.95791	0.97244	0.981874	

상기 연구결과는 (r, T)=(5%, 30년)의 경우에 대해, '사업화비용 대비 기초자산가치' 비율과 '변동성' 관계에 따른 옵션가치 변화를 살펴보았다. 따라서, 무위험이자율(r)과 사업화소요기간(T), 사업화비용(X)에 대한 특정 조건 하에서 현금흐름 기반의 기초자산가치(S)와 변동성(σ^2)을 산출할 수 있으며, 이에 따른 변동성의 유효 구간(NAT 영역 바깥 부분) 또한 도출할 수 있다.

본 연구를 통해, 수치해석 기반의 실물옵션 가치 산출을 위한 산출로직이 개발되었으며, 실물옵션법의 정교화와 불확실성을 반영한 최적의 의사결정 신뢰성을 높이는 데 기여할 것으로 기대된다.

〈표 5〉 '자산/사업비용(R=0.175)'에 따른 실물옵션 가치(V) 변화

항목	설명	변동성 변화에 따른 블랙숄츠 모형 적용 옵션 가치												
		0.01	0.02	0.021	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
sigma_2	1) 변동성	0.01	0.02	0.021	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
S	2) 기초자산가치	0.175	0.175	0.175	0.175	0.175	0.175	0.175	0.175	0.175	0.175	0.175	0.175	0.175
X	3) 사업화비용	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
R=S/X	4) 자산/비용	0.175	0.175	0.175	0.175	0.175	0.175	0.175	0.175	0.175	0.175	0.175	0.175	
r=0.05	5) 무위험이자율	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	
T=30	6) 사업화기간	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	
rT=1.5		1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	
e ^{-(rT)}		0.22313	0.22313	0.22313	0.22313	0.22313	0.22313	0.22313	0.22313	0.22313	0.22313	0.22313	0.22313	
d_2		1.082734	0.57196	0.539277	-0.43703	-0.9214	-1.25232	-1.51755	-1.74464	-1.94618	-2.12914	-2.29782	-2.45508	-2.60295
N(d_2)		0.860537	0.716325	0.705152	0.331044	0.178421	0.105227	0.064563	0.040524	0.025816	0.016621	0.010786	0.007043	0.004621
d_1		1.630457	1.346556	1.333003	1.295019	1.528089	1.747679	1.946547	2.128343	2.296456	2.453432	2.601162	2.741074	2.874272
N(d_1)		0.948498	0.910938	0.908735	0.902343	0.936755	0.95974	0.974205	0.983346	0.989175	0.992925	0.995355	0.996938	0.997975
V/X	7) 비용대비 옵션가치	-0.026025	-0.00042	0.001688	0.084044	0.124121	0.144475	0.15608	0.163043	0.167345	0.170053	0.17178	0.172893	0.173615
V/S	8) 자산대비 옵션가치	-0.148712	-0.0024	0.009645	0.480252	0.709263	0.825573	0.891885	0.931677	0.956259	0.971732	0.981602	0.987958	0.992083

〈표 6〉 '자산/사업비용(R=0.206)'에 따른 실물옵션 가치(V) 변화

항목	설명	변동성 변화에 따른 블랙숄츠 모형 적용 옵션 가치												
		0.01	0.011	0.05	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
sigma_2	1) 변동성	0.01	0.011	0.05	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
S	2) 기초자산가치	0.206	0.206	0.206	0.206	0.206	0.206	0.206	0.206	0.206	0.206	0.206	0.206	0.206
X	3) 사업화비용	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
R=S/X	4) 자산/비용	0.206	0.206	0.206	0.206	0.206	0.206	0.206	0.206	0.206	0.206	0.206	0.206	
r=0.05	5) 무위험이자율	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	
T=30	6) 사업화기간	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	
rT=1.5		1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	
e ^{-(rT)}		0.22313	0.22313	0.22313	0.22313	0.22313	0.22313	0.22313	0.22313	0.22313	0.22313	0.22313	0.22313	
d_2		1.21205	1.129533	0.052147	-0.39614	-0.89248	-1.22871	-1.49711	-1.72635	-1.92949	-2.11369	-2.28336	-2.44145	-2.59002
N(d_2)		0.887253	0.870663	0.520794	0.346001	0.186067	0.10959	0.067183	0.042142	0.026835	0.017271	0.011205	0.007314	0.004798
d_1		1.759773	1.703989	1.276892	1.335912	1.557005	1.771289	1.966994	2.146631	2.313151	2.468888	2.61562	2.754705	2.887204
N(d_1)		0.960777	0.955808	0.89918	0.909211	0.940265	0.961744	0.975408	0.984089	0.989643	0.993223	0.995547	0.997063	0.998057
V/X	7) 비용대비 옵션가치	-5.3E-05	0.002625	0.069026	0.110094	0.152178	0.173666	0.185944	0.193319	0.197879	0.20075	0.202583	0.203763	0.204529
V/S	8) 자산대비 옵션가치	-0.000257	0.012744	0.335078	0.534438	0.738726	0.84304	0.902639	0.938442	0.960576	0.974516	0.98341	0.98914	0.992859

V. 결론 및 연구의 시사점

본 논문은 기술가치평가의 대표적인 소득접근법 기반 모델로 활용되는 현금흐름 할인 모델의 한계점을 보완하는 실물옵션법과 이에 관련된 블랙-숄츠 모형의 변동성 연구에 목적을 두고 있다. 또한, 블랙-숄츠 모형에서 변동성을 산출하는 자연대수 현금흐름수익법 기반과 몬테카를로 시뮬레이션 기반 변동성 추정기법을 살펴보고, 특정 '사업화비용 대비 기초자산가치' 비율값이 주어질 때의 변동성 유효구간을 살펴보았다.

그리고 수치해석적 접근을 통해, 옵션가격결정모형(Option Pricing Model)에서 불확실성을 반영한 기초자산의 현재가치와 사업화비용의 현재가치분이 특정 임계조건 하에서 '행사 포기(NAT; no action taken)' 영역으로 구분되는 지를 수학적으로 도출하고 관찰변수(입력값)에 따른 옵션가치 산출표를 개발하여 제시하였다.

본 연구를 통해, 확정 변수만으로 결정할 수 없는 비즈니스 모델에 대해 현금흐름할인모델 평가 적용상의 한계를 보완하기 위한 실물옵션법 기반의 기술가치 산출 모델이 보다 정교화 되고 기술거래·라이센싱·기술금융 등 다양한 목적의 시장활성화에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

[참고문헌]

- 김동환(2003), “실물옵션평가방법에 의한 벤처기업의 가치평가”, 한국산학기술학회 춘계 학술발표논문집, 143-145.
- 김태완·윤재홍(2014), “기술거래 주체별 옵션가치를 반영한 기술가치평가방법”, 경영과학, 31(2): 71-86.
- 김상국·박현우·성태웅(2013), “이익변동성 분석모형 정교화를 통한 기술가치 평가모델 개선 연구”, 기술혁신학회 춘계 학술발표논문집, 151-162.
- 박현우·나도백·박종규(2009), “기술가치평가를 위한 실용적 하이브리드 모델의 제안”, 경영정보연구, 28(4): 27-44.
- 설성수·유창석(2002), “기술 및 투자 가치평가를 위한 실무형 실물옵션”, 기술혁신학회지, 5(1): 44-58.
- 성웅현(2002), “이중실물옵션을 활용한 단계별 기술투자 가치평가”, 기술혁신학회지, 5(2): 141-151.
- 성웅현(2005), “블랙-숄츠모형을 이용한 기술 R&D 투자가치 구간추정 연구”, 기술혁신학회지, 8(1), 29-50.
- 이동수·정기호(2011), “블랙숄츠모형을 적용한 태양광 핵심소재 기술가치평가: 기업사례를 중심으로”, 기술혁신학회지, 14(3): 578-598.
- 이효석·이혁순·최형준·이재욱(2004), “옵션가격결정모형에 대한 블랙숄츠모형과 다양한 신경망 기법의 성능 비교”, 대한산업공학회/한국경영과학회 2004 춘계 학술대회, 9-12.
- 장혁수·이봉규(2014), “실물옵션 기법을 이용한 기업의 빅데이터 기술 도입의 경제적 가치 분석 - 유유계약 사례를 중심으로”, Journal of Internet Computing and Services, 15(6): 15-26.
- 허은녕(2000), “가치평가기법의 최근 동향 - CVM, MAUA 그리고 Real Option Pricing”, 기술혁신학회지, 3(1): 37-54.
- Benaroch, M. and Kauffman, R.J.(1999), “A Case for Using Real Option Pricing Analysis to Evaluate Information Technology Project Investment”, Information Systems Research, 10(1), 70-86.
- Benaroch, M. and Kauffman, R.J.(2000), “Justifying Electronic Banking Network Expansion Using Real Option Analysis”, MIS Quarterly, 24(2), 197-225.
- Black, F. and Scholes, M(1973), “The Pricing of options and corporate liabilities”, Journal of Finance Political Economy, Vol. 81.
- Brennan, M.J. and Schwartz, E.S.(1985), “Evaluating Natural Resource Investment”, Journal of Business, Vol. 58: 135-157.
- Chakravarthy, B.(1997), “A new strategy framework for coping with turbulence”, Sloan Management Review, 38(2): 69-82.

- Dahlberg, K. and Porter, B.S.(2000), “Get real” , Andersen Consulting Outlook Journal, Vol. 2: 33-37.
- Buraschi, A. and Dumas, B.(2001), “The Forward Valuation of Compound Options” , The Journal of Derivatives, 9(1): 8-17.
- Geske, R.(1979), “The validation of compound options” , Journal of Financial Economics, 7, 63-81.
- Geske, R. and Johnson, H.E.(1984), “The Valuation of Corporate Liabilities as Compound Options: A Correction” , Journal of Financial and Quantitative Analysis, Vol. 19: 231-232.
- Grenadier, S.R. and Weiss, A.M.(1997), “Investment in Technology Innovations: An Option Pricing Approach” , Journal of Financial Economics, Vol.44: 397-416.
- Huchzermeier, A. and Loch, C.H.(1999), “Project management under risk: using real options approach to evaluate flexibility in R&D” , working paper INSEA, Fontainbleau.
- Kester, W.C.(1984), “Today’ s Options for Tomorrow’ s Growth” , Harvard Business Review, 153-159.
- Luehrman, T.A.(1998), “Investment Opportunities as Real Options: Getting Started On the Numbers” , Harvard Business Review, 51-58.
- McGrath, R.G.(1997), “A Real Options Logic for Initiating Technology Positioning Investments” , Academy of Management Review, 22(4): 974-996.
- Mun, J.(2002), “Real Options Analysis-Tools and Techniques for Valuing Strategic Investments and Decisions” , Wiley, 197-204.
- Myers, S.C.(1987), “Finance Theory and Financial Strategy” , Midland Corporate Finance Journal, 6-13.
- Nichols, N.(1994), “Scientific Management at Merck: an Interview with CFO Judy Lewent” , Harvard Business Review, 88-99.
- Panayi, S. and Trigerogis, L.(1998), “Multi-stage Real Options: The Cases of Information Technology Infrastructure and International Bank Expansion” , The Quarterly Review of Economics and Finance, Vol.38: 675-692.
- Razgatis, R.(1999), “Early-Stage Technologoes: Valuation and Pricing” , New York: John Wiley and Sons.
- Santos, B.(1991), “Justifying Investment in New Information Technology” , Journal of Management Information Systems, 7(4): 71-89.