

블랙숄즈모형을 적용한 태양광 핵심소재 기술가치평가: 기업사례를 중심으로

Valuation on the Photovoltaic Core Material Technology Using Black-Scholes Model:
a Company's Case Study

이동수(Dong-Su Lee)*, 정기호(Kiho Jeong)**

목 차

I. 서론	III. 실증분석
II. 분석모형	IV. 결론

국 문 요 약

본 논문은 차세대 그린에너지원으로 주목받고 있는 태양광산업의 핵심소재 기술에 대한 가치를 실물 옵션 기법을 이용하여 추정한다. 본 논문의 기여는 두 가지이다. 하나는 방법론적인 기여로서, 실물옵션의 기초자산 불확실성을 대변하는 변수로서 주가를 고려하여 실물옵션 적용에서 가장 복잡한 단계인 기초자산 불확실성의 모형과정을 대폭 단순화시켰다. 다른 하나는 응용상의 기여로서, 최근 수요가 크게 증가하고 있는 태양광산업의 핵심소재인 폴리실리콘의 생산공정 기술의 경제적 가치를 평가하였다.

분석사례인 폴리실리콘 산업의 A기업에 적용한 결과, 동 기업의 폴리실리콘 기술의 기초자산이 기하브라운모션을 따르는 것으로 나타났으며 이러한 결과에 블랙숄즈 옵션가격결정모형을 적용하여 A기업의 폴리실리콘 기술에 대한 콜옵션의 가치는 약 34,229억원으로 측정되었다.

핵심어 : 기술가치평가, 신재생에너지, 태양광, 폴리실리콘, 실물옵션

※ 논문접수일: 2011.4.15, 1차수정일: 2011.8.5, 게재확정일: 2011.9.21

* 경북대학교 경제학과 대학원 박사과정, try_lds@hanmail.net, 053-950-6441, 제1저자

** 경북대학교 경제통상학부 교수, khjeong@knu.ac.kr, 053-950-5416, 교신저자

ABSTRACT

This study estimates the value of photovoltaic core material technology, which is getting attention as a clean energy source. The estimation is based on the real option pricing model (ROPM).

This study has two main contributions. The first is in the methodology. The process of modeling volatility, which is the most complicated stage in ROPM, is greatly simplified by using the stock price as a covariate representing the volatility of the real option's basic asset. The second contribution is the application of technology. In this study, the economic value of poly-silicon, a core material in the photovoltaic industry and recently surging in demand, is evaluated as a manufacturing technology.

In a case study of a company in the photovoltaic industry, the stochastic process of a basic asset follows geometric Brownian motion (GBM), and the option value of firm A's poly-silicon manufacturing technology is estimated at 3.4 trillion won.

Key Words : Technology valuation, Renewable energy, Photovoltaic, Poly-Silicon, Real option

I. 서 론

최근 전 지구적으로 이상 기상현상의 발생 빈도 및 강도가 증폭하는 등 지구온난화에 따른 영향이 가시화되면서 기후변화 문제는 전 세계의 현안 문제로 급부상하고 있다. 이에 따라 각국은 온실가스 감축을 위해 다양한 노력을 기울이고 있으며, 우리나라도 이러한 기후변화 문제에 적극 대응하면서 동시에 신 성장 동력의 기회로 삼기 위해 다양한 노력을 경주하고 있다. 특히 우리나라는 온실가스 배출의 주요한 원인인 화석연료 사용을 줄이는 동시에 산업의 새로운 성장 동력이 될 수 있는 신재생에너지에 주목하고 최근 기술개발에 투자를 집중하고 있다.

본 논문은 최근 국내외적으로 시장규모가 빠르게 확대되고 있는 태양광 발전에 초점을 맞춘다.¹⁾ 태양광산업은 급격한 성장세에 있는 산업의 일반적인 특성에 따라 장치나 서비스 분야와 같은 하류부문보다 소재와 같은 상류부문으로 갈수록 높은 부가가치를 창출하고 있다. 본 논문은 태양광 핵심소재의 생산 기술에 대한 가치평가 방법과 응용사례 연구결과를 제시하고자 한다. 구체적인 분석 대상은 현재 태양광발전 설비 생산에서 가장 핵심적인 소재인 태양전지의 폴리실리콘 생산 기술이다. 이를 위해 최근 국내외 학계에서 기술 가치평가에 많이 사용되고 있는 실물옵션기법(Real Option Method)을 이용한다.

본 논문의 기여는 두 가지이다. 하나는 방법론적인 기여로서 기초자산 불확실성을 대변하는 변수로서 주가를 고려함으로써 실물옵션기법 적용에서 가장 복잡한 부분인 기초자산 불확실성의 모형과정을 대폭 단순화시켰다는 점이다. 다른 하나는 실물옵션기법의 응용상의 기여로서 태양광산업의 핵심소재인 폴리실리콘의 생산 공정 기술의 경제적 가치를 평가한다는 점이다.

실물옵션기법은 금융에서 사용하는 옵션가격결정모형을 실물자산의 가치평가에 적용한 것으로 전통적인 현금흐름할인법(Discount Cash Flow Method)에서 고려하지 못하는 경영 혹은 관리상의 유연성을 가치평가에 반영하는 방법을 제시한다. 동 기법은 적용 모형에 따라 블랙-숄즈 모형, 옵션가격결정모형, 이항옵션가격결정모형, 몬테카를로 시뮬레이션 모델 등으로 세분되며, 본 연구에서는 블랙-숄즈 옵션가격결정모형을 이용한다. 블랙-숄즈 옵션가격결정모형은 기초자산의 확률과정이 기하브라운모션(Geometric Brownian Motion, GBM)을 따를 때 적용될 수 있다. 본 연구에서는 분석사례로서 현재 폴리실리콘을 생산하고 있는 A기업을 고려하며, 평가대상인 A기업의 폴리실리콘 핵심소재 기술로 인한 기초자산을 측정하고 일반화적률법(Generalized Methods of Moments, GMM)을 이용하여 기초자산의 확률과정이 기

1) 한국 태양광 사업단(김동환 (2008))의 전망에 의하면 세계 태양광발전 능력은 2006년 현재 2,536MW에서 지속적으로 늘어 2010년 15GW로 증가할 것으로 예상하고 있으며 태양광 발전 시장의 확대에 의한 고용 창출은 271,000명, CO2 감축량은 1,500ton이 될 것으로 전망하고 있다.

하브리온모션을 따르는 것을 규명한 후 블랙-숄즈 옵션가격결정모형을 적용하였다. 기초자산 가치 측정방법은 Meschi and Cheng (2002)의 연구를 원용하고, 확률과정 규명은 윤원철 (2005)의 연구를 활용한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제 II장에서는 실증연구절차와 분석모형에 대해 소개하고, 제 III장은 추정에 사용된 자료와 함께 추정 결과가 분석된다. 마지막으로 제 IV장에서는 결론을 제시한다.

II. 분석모형

1. 실증연구절차

태양광 핵심소재 기술에 투자한 A기업의 사례를 평가하기 위해 본 연구에서는 아래와 같은 절차를 따른다. 우선 실물옵션의 종류 및 옵션가격결정모형을 선택한다. 옵션가격결정모형의 선택은 연구의 목적에 따라 달라질 수 있는데, 본 연구에서는 신기술 사업에 투자한 기업이 가진 콜옵션의 가치를 화폐단위로 산출하는 것을 목적으로 하기 때문 블랙-숄즈 모형을 채택하였다.²⁾

다음으로는 기초자산의 크기를 측정한다. 실물옵션에서 기초자산의 크기는 평가대상이 되는 기술이나 투자 안에 대한 미래수익의 현재가치를 측정하는 것인데 여기서는 대상 기업의 주가자료를 활용하였다. 기초자산의 크기 측정을 위해서는 평가 대상이 되는 기술이 기초자산의 변화에 언제부터 어떻게 영향을 미쳤는지 밝히는 것이 선행되어야 한다. 이러한 시점과 크기를 측정하기 위해 초우검정(Chow, 1960)을 실시했다. 초우검정은 회귀모형에서 종속변수와 설명변수의 관계가 구조적으로 변화했는지를 F검정을 통해 판단하는 것으로서 본 연구에서는 기존의 기업이 태양광핵심소재 기술을 활용하여 태양광산업에 진출한다는 이슈가 기업의 주가에 언제부터 영향을 미쳤는지 찾아내는데 활용되었다.

세 번째로 기초자산이 갖는 불확실성을 추정하는 것이 필요하다. 블랙-숄즈 모형의 적용을 위해서는 기초자산의 확률과정이 기하브리온모션을 따라야한다. 선행연구들에서는 가정을 통해 확률과정 부문을 간소화하였지만 본 연구에서는 직접 확률과정을 규명하였다. 일반화적률

2) 설성수·유창석(2002)은 블랙-숄즈 모형을 실무자들이 쉽게 사용할 수 있는 모형 중 하나로 권장하고 있지만 연속모형이라는 치명적인 단점이 있다고 밝힌바 있고 따라서 적용에 주의를 요함. 블랙-숄즈 모형의 한계에 대해 유익한 지적과 참고문헌을 권해주신 익명의 심사위원께 감사를 드린다.

법을 이용하면 여러 개의 확률과정을 동시에 추정할 수 있고 변동성을 따로 추정해야 하는 불편함도 간소화 할 수 있기 때문에 이를 활용하였다.

마지막 단계로 블랙-숄즈 옵션가격결정모형에 대입하여 옵션의 가치를 도출한다.

2. 추정모형

1) 블랙-숄즈 옵션가격결정모형

블랙-숄즈 모형은 옵션가격을 도출하는 가장 용이한 방법이지만 가치평가방법론상의 정확성을 기하기 위해 몇 가지 고려해야할 조건이 있다.

첫째, 블랙-숄즈 모형은 만기에만 행사하는 유럽식 옵션에 유효한 모형이다. 따라서 만기 이전 언제든 행사가 가능한 미국식 옵션에는 적용하기 곤란하다. 그러나 홍동표(2001)의 연구에 따르면 『배당이 없고 옵션이 콜옵션인 경우에는 조기행사가 최적이지 아니기 때문에 미국형 콜옵션의 경우에도 블랙-숄즈 모형을 사용할 수 있다.』라고 밝힌바 있다. 본 연구의 대상인 폴리실리콘 사업에 대한 투자는 배당이 없는 콜옵션의 성격을 가지고 있다. 그리고 본 연구는 과거 시점에 발생한 투자 사업에 대한 평가이므로 유럽형 콜옵션으로 판단하여 블랙-숄즈 모형을 적용하여도 큰 무리가 없을 것이다.

둘째, 블랙-숄즈 모형을 적용하기 위해서는 기초자산의 확률과정이 기하브라운 모션을 따라야 한다(Black and Scholes, 1973; 최병호, 2003). 그러나 대부분의 기존 연구들은 기초자산의 확률과정을 별다른 검정 절차를 거치지 않고 GBM으로 가정해 왔다. 그러나 본 연구에서는 일반화적률법을 활용하여 기초자산의 확률과정을 직접 추정함으로써 가치평가의 정확성을 제고하고자 한다.

주식 S의 수익률은 아래와 같은 식으로 표현하면,

$$\frac{dS_t}{S_t} = \mu dt + \sigma dW_t \quad (1)$$

여기서, μ : 연이율
 μdt : 순간 수익률
 σ : 주가의 변동성
 σdW_t : 순간 변동성

기초자산과 시간의 함수형태로 나타낸 파생상품의 가격 (F)에 Ito Lemma를 적용해서 표

현하면 (Ito, 1951; 이정수 외, 2008),

$$dF = [F_s \mu + \frac{1}{2} F_{ss} \sigma_t^2 + F_t] dt + F_s \sigma dW \quad (2)$$

식 (1)과 (2)는 공통적으로 dW 에 의해 결정된다. 따라서 불확실성 요인 dW 를 제거하면 주식과 파생상품으로 이루어진 포트폴리오는 무위험 자산이 되며 이는 무위험 이자율 r 과 일치해야 한다.

$$rF_s S_t + F_t + \frac{1}{2} F_{ss} \sigma_t^2 = rF \quad (3)$$

이렇게 도출된 식 (3)을 블랙-숄즈 편미분 방정식이라 하고 이를 이용하여 $t=T$ 시점에서 $\text{Max}[S_t - K, 0]$ 또는 $\text{Max}[K - S_t, 0]$ 의 조건을 만족하는 아메리칸 콜옵션(C)과 유럽형 풋옵션(P)의 가격은 다음과 같다.

$$C = S \cdot N(d_1) - Ke^{-r(T-t)} \cdot N(d_2) \quad (4)$$

$$P = Ke^{-r(T-t)} \cdot N(-d_2) - SN(-d_1) \quad (5)$$

$$\text{단, } d_1 = [\ln(S/K) + (r + \sigma^2/2)(T-t)] \sigma \sqrt{T-t}$$

$$d_2 = [\ln(S/K) + (r - \sigma^2/2)(T-t)] \sigma \sqrt{T-t}$$

여기서, C : 콜옵션의 가격,

P : 풋옵션의 가격

S : 기초자산인 주식의 가격

K : 행사가격

N(d) : 표준정규분포함수

r : 무위험자산수익률

σ : 주가 변동성

T : 옵션의 만기

t : 현재 시점

2) 확률과정의 개요와 2 factor 확률과정

확률과정은 원래 무작위적 분자운동을 하는 액체 위의 부유물 입자를 수학적으로 모델링하기 위해 제시되었는데, 최근에는 여러 금융시계열의 연속시간모형에 광범위하게 응용되고 있다. 확률과정은 시간과 표본공간을 정의역으로 삼고 시계열자료가 존재하는 실수 공간을 치역으로 하는 $S: T \times \Omega \rightarrow R$ 과 같은 함수이며, 특정한 형태의 확률미분방정식의 해로 주어진다 (최병호, 2003).

본 연구에서는 Chan et. al.(1992)이 소개한 2 factor 확률과정 모형의 일반식을 일반화적 방법을 통해 추정했다. 본 연구에서 고려한 2 factor 확률과정은 본래 단기금리가 따르는 확률과정들로 Merton(1973)이 제시한 모형부터 가장 최근에 Cox, Ingersoll and Ross(1985)가 제시한 모형까지 총 8가지 모형이다.

확률과정 모형의 일반식은 고정탄력성(Constant elasticity volatility, CEV)확률과정이라고 부르는데 식으로 표현하면 아래와 같다.

$$dS_t = (\alpha + \beta S_t)S_t dt + \sigma S_t^\gamma dW_t \tag{6}$$

단, $dW_t \sim N(0, dt)$

이때 α 는 추세, β 는 평균회귀, σ 는 변동성(volatility) 혹은 확산, γ 는 가격변화의 조건부 변동성이 가격수준에 의존하는 정도를 나타내며, dW_t 는 위너과정을 의미한다. 가격의 동태성을 확률미분방정식으로 표현한다면, 가격변화의 조건부 평균과 분산이 가격수준에 따라 결정 되도록 나타낼 수 있고 식 (6)에 적절한 제약을 부과하면, 다양한 형태의 기초자산의 확률과정을 표현할 수 있다. 다음 <표 1>과 <표 2>는 확률과정 모형과 일반식에 부여될 제약을 나타낸 것이다.

<표 1> 8가지 단기금리 확률과정 모형³⁾

1. Merton	$dS_t = \alpha dt + \sigma dW_t$
2. Vasicek	$dS_t = (\alpha + \beta S_t)dt + \sigma dW_t$
3. CIR SR	$dS_t = (\alpha + \beta S_t)dt + \sigma S_t^{1/2}dW_t$
4. Dothan	$dS_t = \sigma S_t dW_t$
5. GBM	$dS_t = \beta S_t dt + \sigma S_t dW_t$
6. B-S	$dS_t = (\alpha + \beta S_t)dt + \sigma S_t dW_t$
7. CIR VR	$dS_t = \sigma S_t^{3/2}dW_t$
8. CEV	$dS_t = \beta S_t dt + \sigma S_t^\gamma dW_t$

3) 모형 1은 Merton(1973)이 제시한 브라운 운동 모형이며 모형 2는 Vasicek(1977)이 제시한 온슈타인-올렌벡 확률과정으로 선형추세를 지니고 확산함수가 상수로써 분산탄력성이 0인 경우이며, 모형 3은 Cox, Ingersoll and Ross(1985)가 제시한 펠러의 제곱근 확률과정으로 선형추세를 지니고 분산탄력성이 1인 경우이다. 그리고 모형 4, 5, 6은 Brennan and Schwartz(1979)의 모형(이하 B-S)에 속하고, 모형 7, 8은 Cox and Ross(1976)가 제시한 CEV 확률과정이다. (최병호(2003), 재인용)

〈표 2〉 확률과정 모형별 모수에 대한 제약

모형	α	β	σ	γ
1. Merton	-	0	-	0
2. Vasicek	-	-	-	0
3. CIR SR	-	-	-	0.5
4. Dothan	0	0	-	1
5. GBM	0	-	-	1
6. B-S	-	-	-	1
7. CIR VR	0	0	-	1.5
8. CEV	0	-	-	-

3) 일반화 적률법

일반화적률법(GMM)은 Hansen(1982)에 의해 개발된 모형으로 최우추정법(Maximum Likelihood Method)과 비교했을 때 확산함수 분포에 대한 가정이 필요 없고 여러 가지 확률과정 모형을 하나의 틀에서 규명할 수 있는 장점이 있다. 일반화적률법을 활용하기 위해서는 연속적인 확률과정을 이산적으로 표현된 시계열 데이터로 근사시키는 것과 시계열의 안정성을 검증하는 것이 필요하다. 이 두 가지 조건이 충족되면 일반화적률법을 활용한 모수의 추정이 가능해 진다.

시계열의 안정성 여부는 자기상관검정을 통한 에르고딕성(ergodicity)의 충족 여부와 단위근 검정을 통한 정상성(stationarity)의 충족 여부로 판단할 수 있다.

시계열의 에르고딕성은 대수의 법칙이 성립한다는 뜻인데, 실증연구에서는 $S_{t+1} - S_t$ 시계열의 자기상관을 살펴봄으로써 종속성을 검사할 수 있다. 일반적으로 자기상관에 대한 검정은 더빈-왓슨(Durbin-Watson, D-W)통계량을 주로 사용하지만 D-W통계량은 시계열의 1차 자기상관만을 검정함으로써 시계열이 무작위 행보 혹은 마팅게일임을 확인하는 데는 무리가 따른다. 따라서 본 논문에서는 고차항의 자기상관 유무도 검정할 수 있는 Box-Ljung의 Q통계량을 사용했다. 정상성검정은 $S_{t+1} - S_t$ 시계열에 대한 단위근검정을 통해 정상성 충족여부를 확인한다.

연속확률과정의 이산화과정은 오일러 근사를 통해서 이루어진다. 앞서 살펴본 CEV 확률과정(식 (6))을 근사시키면 식 (7)이 되는데 이런 근사 방법을 오일러 근사(Euler approximation)라 부른다.

$$S_{t+\Delta} - S_t \approx \mu(S_t)\Delta + \sigma(S_t)(W_{t+\Delta} - W_t) \quad (7)$$

오일러 근사는 연속확률과정 식을 근사시켜 이산화 시키는 것을 말한다. 일반적인 연속확률 과정은 식 (8)와 같이 표현될 수 있고 이를 이산화 시키면 식 (9)과 같이 나타낼 수 있다.

$$dS_t = \mu(S_t, \theta)dt + \sigma(S_t, \theta)W_t \quad (8)$$

$$\begin{aligned} S_{t+\Delta} - S_t &\approx \mu(S_t, \theta)\Delta + \sigma(S_t, \theta)(W_{t+\Delta} - W_t) \\ &\approx \mu(S_t, \theta)\Delta + \sigma(S_t, \theta)\sqrt{\Delta} u_{t+\Delta} \end{aligned} \quad (9)$$

$$\text{단, } u_{t+\Delta} \sim N(0, 1)$$

이때 적률들을 모수의 함수로 표현하면 식 (10)과 같이 되고, 표본간격 $\Delta = 1$ 혹은 동등한 시간간격으로 설정하면 이산 시간모형의 일반식을 식 (11)과 같이 표현할 수 있고 GMM을 적용하기 위한 이산화 과정이 완료된다.

$$\epsilon_{t+\Delta} = S_{t+\Delta} - S_t - \mu(S_t, \theta)\Delta \quad (10)$$

$$S_{t+1} - S_t = (\alpha + \beta S_t) + \epsilon_{t+1} \quad (11)$$

식 (11)에서 ϵ_{t+1} 과 S_t 간에 상관관계가 없다고 보면 ϵ_{t+1} 의 1, 2차 적률조건(moment condition)과 S_t 와의 직교성질을 이용해 GMM 적용단계에 필요한 직교조건을 도출할 수 있다.

Chan et al.(1992)이 도출한 ϵ_{t+1} 의 1, 2차 적률조건은 식 (12)과 같고

$$E(\epsilon_{t+1}) = 0, \quad E(\epsilon_{t+1}^2) = \sigma^2 S_t^{2\gamma} \quad (12)$$

식 (11)과 식 (12)를 적률 방정식 체계에 대한 과대식별 제약으로 검정하는 것이 GMM의 본질이다. $\alpha, \beta, \sigma, \gamma$ 를 원소로 하는 모수 벡터를 θ 라하고, 식 (11)을 이항 정리 하면,

$$\epsilon_{t+1} = S_{t+1} - S_t - (\alpha + \beta S_t) \quad (13)$$

벡터 $f_t(\theta)$ 를 다음과 같다고 하면,

$$f_t(\theta) = \begin{bmatrix} \epsilon_{t+1} \\ \epsilon_{t+1} S_t \\ \epsilon_{t+1}^2 - \sigma^2 S_t^{2\gamma} \\ (\epsilon_{t+1}^2 - \sigma^2 S_t^{2\gamma}) S_t \end{bmatrix} \quad (14)$$

2 factor 모형의 직교조건은 $E[f_t(\theta)] = 0$ 이 된다. $E[f_t(\theta)]$ 에 해당하는 표본값을 $g_T(\theta)$ 라 하고, 관찰개수를 N 이라 하면,

$$g_T(\theta) = \frac{1}{n} \sum_{n=1}^N f_t(\theta) \quad (15)$$

$$g_T(\theta) \xrightarrow{D} E[f_t(\theta)] = 0 \quad (16)$$

이때 이차방정식 형태(quadratic form)를 최소화하는 모수를 선택하면 식 (17)에서와 같이 효율적 추정치를 얻게 된다.

$$J_T(\theta) = g_T'(\theta)W_T(\theta)g_T(\theta) \quad (17)$$

$W_T(\theta)$ 는 양정 대칭 가중치 행렬(positive-definite symmetric weighting matrix)로서 Hansen(1982)은 GMM 추정치의 점근적 공분산이 가장 작아지는 행렬을 소개했다.⁴⁾

식 (17)의 값을 최소화하는 $\hat{\theta}$ 를 구하는 것은 식 (17)을 1차 미분한 함수를 0으로 하는 $\hat{\theta}$ 을 구하는 것과 동일하다.

$$D'(\theta)W_T(\theta)g_T(\theta) = 0 \quad (18)$$

단, $D(\theta)$ 는 $g_T(\theta)$ 의 Jacobian matrix

식 (18)에서 구해진 최소값은 모형이 참이라는 귀무가설 하에서 자유도가 직교조건인 개수에서 추정할 모수의 개수를 뺀 값에 해당하는 χ^2 분포를 하게 된다 (Newey and West, 1987; 최병호, 2003). 확률과정 모형의 일반식을 형태적 제약 없이 추정할 경우, 자유도가 0이 되므로 모형에 대한 적합성 검정이 불가능하지만 8가지 2 factor 모형에서와 같이 모수에 제약이 가해지는 경우 모형 적합성 검정을 할 수 있다. 이때, χ^2 값이 크면 모형이 잘못 식별되었음을 의미한다.

$$N \cdot J_T(\hat{\theta}) \sim \chi^2(r-a) = \chi^2(\text{d.f.}) \quad (19)$$

단, r 은 직교조건인 개수, a 는 모수의 개수

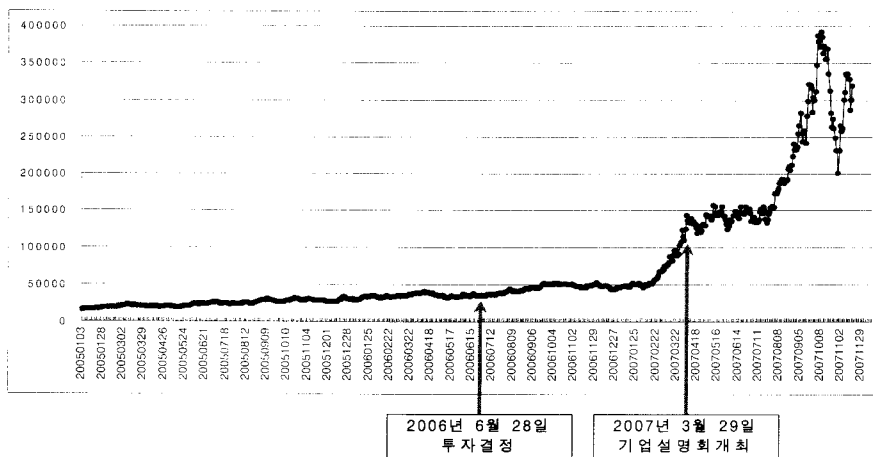
4) $W_T(\theta) = \Omega^{-1}(\theta)$ where $\Omega(\theta) = E[f_t(\theta)f_t(\theta)']$

III. 실증분석

실증분석은 앞서 제시한 실증연구 절차에 따라 이루어졌다. 우선 분석사례 기업이 보유한 실물옵션의 종류를 아메리칸 콜옵션의 속성을 지닌 성장옵션으로 판단하였다. 기존의 연구들은 기초자산의 크기 측정부문에 있어서 기업의 과거 손익계산서를 통해 미래의 손익계산서를 추정하거나 시나리오를 통해 기초자산을 추정하는 방법을 사용했는데 이 경우 실물옵션가격 결정모형에서 가장 중요한 변수에 연구자의 주관이 개입되는 문제가 발생한다. 따라서 본 연구는 객관성 확보를 위해 기초자산의 측정부문에 있어서 기업 주가를 활용하였으며 이를 위해 주식시장의 효율성을 가정하였다.⁵⁾

1. 자료

분석 대상 자료는 국내에서 이미 폴리실리콘 산업에 진출한 A사의 일별 주가 시계열 자료와 종합주가 지수 그리고 A사의 분기별 재무제표데이터이다. 폴리실리콘 사업에 참여한 A사의 주가 자료는 2005년 1월 3일에서 2007년 12월 12일까지를 이용했고 종합주가 지수 역시 같은 기간의 자료를 사용했다. 재무제표데이터의 경우 2005년부터 2007년까지 분기별 데이터를 사용했다.



(그림 1) A기업 주가 추이

5) 주식시장의 효율성이란 주어진 정보 안에서 기업의 가치가 적절히 평가 되었다는 것을 의미한다. 주식시장에 대한 효율성은 강효율성과 약효율성으로 구분할 수 있는데, 본 연구에서는 후자를 채택한다. 주식시장의 약효율성은 기업 내부자들이 알고 있는 정보가 공유되지 않은 상태에서 오직 기업 외부인들이 보유한 정보만을 통해 기업가치가 결정되는 것을 의미한다.

2. 추정결과

1) 구조변화검정과 기초자산의 측정

기업의 가치는 주식의 가격에서 총 주식발행수를 곱한 주가총액으로 정의할 수 있다. 앞서 가정한 주식시장의 효율성을 적용한다면 실물옵션에서 기초자산이 되는 미래수익의 현재가치는 현재의 주가에 반영되어 있을 것이다.⁶⁾ 기초자산의 현재가치를 측정하기 위해서는 주가에 반영되어 있는 폴리실리콘 산업의 영향을 찾아내는 것이 중요하다.

여러 개의 사업부문이 공존하는 A사의 주가에서 폴리실리콘 산업이 미치는 영향을 찾아내기 위해서는 A사의 주가가 언제부터 폴리실리콘 산업에 영향을 받게 되었는지 밝혀야만 한다. 이러한 문제를 해결하기 위해 A사의 주가에 대한 구조변화 검정을 실시하였다.

A사의 폴리실리콘 산업과 관련된 큰 사건은 <그림 1>에서의 화살표와 같이 폴리실리콘 사업부문에 대한 투자결정(2006년 6월 28일)과 폴리실리콘 사업에 대한 기업투자설명회 개최(2007년 3월 29일)로 나눌 수 있다. 본 논문에서는 이 두 개의 시점을 전·후로 A사의 구조변화 검정을 실시하였다. 먼저 2005년 1월 3일에서 2007년 3월 29일까지의 데이터를 사용해서 폴리실리콘 사업에 대한 투자결정이 주가 구조에 변화를 주었는지 검정했고, 2005년 1월 3일부터 2007년 12월 12일까지의 데이터를 사용해서 기업투자설명회가 주가 구조에 변화를 주었는지 검정했다.

구조변화 검정에 사용한 모형은 아래와 같다.

$$\begin{cases} dS_t = \alpha_1 + \alpha_2 dI_t + e_t & t \in T_1 \\ dS_t = \beta_1 + \beta_2 dI_t + u_t & t \in T_2 \end{cases} \quad (20)$$

여기서, dS_t : 주가 변화 분 ($S_{t+1} - S_t$)

dI_t : 종합주가지수 변화 분 ($I_{t+1} - I_t$)

T_1 : 이벤트 발생 이전 기간

T_2 : 이벤트 발생 이후 기간

구조변화가 없다는 귀무가설($H_0 : \alpha_1 = \beta_1, \alpha_2 = \beta_2$)을 검정하기 위한 통계량으로 F통계량을 사용했고 두 이벤트에 대한 가설검정 결과는 <표 3>과 같다.

6) 주식시장이 효율적이라면 신규 사업에 의한 가치가 그대로 주가에 반영될 수 있다는 것을 의미한다. 그러나 주가에 반영된 신규 사업의 기대가치를 기술의 가치만으로 볼 수 있는가의 문제는 제기될 수 있다. 따라서 추정된 기초자산에 대한 정확한 해석이 필요하다. 이러한 문제를 지적해주신 익명의 심사위원께 감사를 드린다.

〈표 3〉 구조변화 검정 결과

	투자결정시점	설명회개최시점
F 통계량	3.347989	25.21425
기준 값	4.643804	4.634465

주 : 기준 값은 1% 유의수준

구조변화 검정 결과 1% 유의수준 하에서 폴리실리콘 산업에 대한 투자결정으로 인한 구조 변화는 없었으며, 2007년 3월 29일 A기업의 투자설명회 개최이후 주가의 구조가 변했다는 결론을 내릴 수 있었다. 따라서 폴리실리콘 산업에 의한 주가의 증분은 투자설명회 개최시점부터 볼 수 있고 기초자산의 측정을 위한 시계열의 범위는 투자설명회 개최시점부터 투자 완료시점까지로 결정했다.

폴리실리콘 산업에 의한 주가 증분을 도출하기 위해서는 먼저 A기업이 폴리실리콘 산업에 진출하지 않았을 경우를 가정한 상태에서 현재 주가를 추정하는 것이 필요하다. 현재 주가에서 기존 사업부문으로 인한 주가를 차분하면 폴리실리콘 산업에 의한 주가증분이 도출된다. 이때 사용하는 모형은 Meschi and Cheng(2002)이 사용한 모형으로 특정이벤트 발생 이전의 주가와 종합주가지수의 회귀분석을 통해 계수 값들을 추정하고 특정이벤트 발생 이후의 종합주가지수를 활용해 기존 사업부문의 주가를 추정하였다.

$$S_t = \alpha + \beta I_t + e_t \tag{21}$$

여기서, Q_1 : 변화 전 상장주식 수, Q_0 : 변화 후 상장주식 수

S_t : 태양광 진출이전 주가 I_t : 태양광 진출이전 종합주가 지수

t : 2005년 1월 3일 ~ 2007년 3월 29일 (556일)

회귀분석 결과 R^2 값이 0.7351로 나타났으며 계수 값과 통계량은 〈표 4〉와 같다.

〈표 4〉 회귀분석 결과

	계수	표준오차	t 통계량
α	-34072.2	1726.994	-19.7292
β	54.36115	1.385057	39.24832

2007년 3월 29일 이후의 종합주가 지수를 〈표 4〉의 회귀분석 결과에 대입하면 A기업이 폴리실리콘 산업에 진출하지 않았음을 가정한 주가를 도출할 수 있는데 이를 현재의 주가에서

빼주면 폴리실리콘 산업에 진출하여 추가로 획득한 주가 증분을 얻을 수 있다. 그러나 이러한 절차가 타당하기 위해서는 A기업의 총 주식발행수가 동일하여야 한다는 조건이 필요하다.

본 논문에서는 A기업의 신규주식 발행으로 인해 발생한 개별 주식의 가격이 감소하는 효과를 제거한 수정주가를 사용했다. A기업의 경우 주가가 상승함에 따라 추가 상장을 여러 차례 실시하였다. 이러한 추가 상장은 시가총액에는 영향을 주지 않을 수 있지만 개별 주식의 가치는 하락하게 만든다. 따라서 이러한 효과를 제거하기 위해 아래와 같은 식을 이용해 수정된 주가를 생성하였다.

$$\hat{P} = P_1 * Q_1 / Q_0 \quad (22)$$

여기서, \hat{P} : 수정주가,

P_1 : 주가,

실물옵션가격결정모형에서의 기초자산은 2007년 12월 12일 폴리실리콘산업에 대한 투자완료 시점에서 측정된다. 즉 폴리실리콘 산업에 대한 투자가 완료되는 시점의 주가 증분은 주식시장의 효율성 가정에 따라 폴리실리콘 산업의 모든 미래수익의 현재가치를 반영한 것으로 가정한다. 이렇게 도출된 폴리실리콘에 의한 주가총액의 증분은 46,171억 원으로 측정되었다.

폴리실리콘 산업에 대한 투자로 인한 미래수익의 현재가치를 측정함에 있어서 마지막으로 한 가지 더 고려해야 할 사항이 있다. 폴리실리콘 사업에 의한 자본의 투자로 인한 토지나 설비의 확보는 필연적으로 기업의 청산가치를 크게 한다. 따라서 미래수익의 현가가 0이라고 할 지라도 기업의 청산가치는 증가하게 된다. 그러므로 순수한 폴리실리콘에 의한 미래수익의 현가는 폴리실리콘에 의한 주가총액의 증가분에서 동일기간 A기업의 유형 자산 증가분을 빼주는 것이다.

폴리실리콘 산업에 대한 투자로 인한 유형 자산의 변화 분은 A기업의 분기별 재무제표를 통해서 추정했다.⁷⁾

〈표 5〉 A기업의 자본과 부채변화

단위 : 억 원

	'06. 6. 28	'07. 12. 12	변화 분
자본	7,573.32	10,473	2,899
부채	8,264.45	11,831	3,566
부채자본 총계	15,837.76	22,304	6,466
폴리실리콘 자본			2,175

7) '06. 6. 28과 '07. 12. 12에서의 자본과 부채에 대한 재무제표는 '06. 2Q 와 '07. 4Q의 재무제표로 대신함

〈표 5〉를 보면 폴리실리콘 산업에 대한 투자가 개시되고 투자가 완료되는 시점 사이의 부채와 자본 증가는 약 6,500억 원이다. A기업의 폴리실리콘 사업에 대한 투자금액은 약 4,000억 원이다.

폴리실리콘 사업에 대한 투자로 인한 순수 유형 자산의 증가분은 자본의 증가분으로 이해될 수 있다. 따라서 신규투자에 대한 부채와 자본 조달 비율이 기존의 부채와 자본 비율과 동일하다는 가정을 통해 폴리실리콘으로 인한 순수 기업의 유형 자산 증가분을 추정한다. 이런 방식을 통해 추정된 폴리실리콘 사업으로 인한 자본증가분은 약 2,175억 원이다.

〈표 6〉 A기업의 폴리실리콘 산업으로 인한 미래수익의 현가

	폴리실리콘 증분	폴리실리콘 자본	'07.12.12기준 NPV
금액(억원)	46,171	2,175	43,996

폴리실리콘 산업에 대한 투자로 인한 A기업의 미래수익의 현가는 2007년 12월 12일을 기준으로 측정된 것이다. 따라서 실물옵션가격결정모형에 사용하기 위한 기초자산으로는 투자 고려시점에서의 NPV로 나타내야 한다. 이때 사용한 할인율은 A기업의 투자자금에 대한 기회비용이 되는 가중평균자본비용(Weighted Average Cost of Capital : WACC)을 사용했다.⁸⁾

폴리실리콘 산업에 대한 투자 고려시점에서의 폴리실리콘 산업에 투자로 인한 미래수익의 현재가치는 38,162억 원으로 추정되었다.⁹⁾

2) 변동성 추정 및 확률과정 규명

실물옵션기법을 사용하기 위한 기초자산의 크기가 결정되었다면 기초자산이 어떠한 확률과정을 따르는지 규명하고 변동성을 추정하는 작업이 필요하다.

GMM을 활용하기 위해서는 먼저 시계열의 안정성이 충족되어야 하므로 추정된 폴리실리콘에 의한 주가 증분의 시계열에 대한 안정성 검정을 실시했다. 자기상관검정을 통해 에르고딕성의 충족을 확인했고, 단위근 검정을 통해 정상성의 충족을 확인했다.

에르고딕성 충족 검정은 χ^2 분포를 따르는 Box-Ljung의 Q통계량을 활용하였다. 이때 귀무가설은 자기상관이 없다는 것이며, p값이 유의수준 확률을 넘을 때 귀무가설은 수락된다. 〈표 7〉은 검정 결과를 보여주고 있으며, p값을 봤을 때 유의수준을 5%로 설정할 경우 10차까지 자기상관이 없다는 귀무가설을 무난하게 받아들일 수 있으며 따라서 에르고딕성이 충족되는 것으로 나타났다.

8) A기업의 가중평균자본비용은 2006년 6.05%, 2007년 8.71%이며 자료는 KISVALUE를 통해 획득함

9) 2006년 1월 2일부터 폴리실리콘 사업에 대한 투자를 고려했다고 가정함

〈표 7〉 에르고딕성 검정결과

시차	자기상관함수(ACF)	Box-Ljung	p-값
1	0.131	3.021	0.082
2	-0.096	4.657	0.097
3	0.070	5.542	0.136
4	0.018	5.602	0.231
5	-0.115	8.009	0.156
6	0.085	9.311	0.157
7	0.029	9.470	0.221
8	0.041	9.781	0.281
9	-0.034	10.002	0.350
10	0.016	10.051	0.436

정상성 검정을 위해, 본 연구에서 사용한 모형은 ADF통계량을 도출하는 모형과 동일한 모형을 사용했다. 검정결과 모형 1, 2, 3 모두에서 1% 유의수준 하에서 단위근을 갖는다는 귀무가설을 모두 기각했다. 폴리실리콘에 의한 주가 증분은 정상성 역시 충족했고 GMM을 적용하기 위한 기본조건들이 모두 충족되었다.

〈표 8〉 $H_0: \phi = 1$ 에 대한 정상성 검정결과

모형	1	2	3
p-값	0.000002282	0.000069070	0.000057507

〈표 9〉는 GMM을 이용한 2 factor 확률과정을 추정한 결과이다. 기초자산의 확률과정모형의 후보로 고려된 모형들 중에서 B-S, CEV, Merton, GBM, Dorthan, CIR VR가 5% 유의수준 하에서 기각되지 않았다. 이 6개의 모형 중에서 GBM이 가장 모형적합성이 큰 것으로 나타났다. 많은 선행연구들에서 주가의 확률과정으로 GBM을 가정해왔고 이는 옵션가격결정모형 활용의 편의를 위해서였다. 따라서 본 논문에서도 여러 가지 확률과정이 적합한 모형으로 추정되었지만 계산의 편의성을 위해 모형적합성이 가장 큰 GBM만을 채택했다.

기초자산의 변동성은 GBM 모형에서 σ 값으로 0.083526으로 추정되었다.

3) Black-Scholes 모형을 활용한 옵션가치 도출

실물옵션가격결정법을 활용한 폴리실리콘 산업에 대한 가치평가를 위해 폴리실리콘 산업에

〈표 9〉 폴리실리콘 산업에 의한 주가증분의 2factor 확률과정 추정결과

	α	β	σ	γ	χ^2 test	df
unrestricted	0.0001 (0.00)	0.0001 (0.00)	5.917E-6 (0.00023)	10.8679 (3.1160)		
Vasiek	10187.95 (2639.4)	-0.02911 (0.0195)	12424.19 (1414.6)	0	26.6118 (0.000)	1
CIR SR	1432.593 (1570.1)	0.006287 (0.0173)	31.36521 (2.3374)	0.5	8.7377 (0.003)	1
B-S	-1111.61 (1534.7)	0.020396 (0.0173)	0.083603 (0.00557)	1	0.7448 (0.3881)	1
CEV	0	0.008727 (0.00658)	0.439372 (0.54685)	0.860376 (0.1049)	0.1642 (0.6853)	1
Merton	2674.127 (1055.7)	0	-7802.87 (773.7)	0	0.8942 (0.6394)	2
GBM	0	0.00839 (0.00657)	0.083526 (0.00561)	1	0.2801 (0.8693)	2
Dothan	0	0	0.082992 (0.00547)	1	0.9708 (0.8083)	3
CIR VR	0	0	1.623987 (0.1103)	1.5	1.2917 (0.7311)	3

주 : 계수 아래 괄호는 표준오차, χ^2 test 아래 괄호는 P-Value

투자로 인한 미래수익의 현가로 정의되는 기초자산을 추정했고, 기초자산의 확률과정이 GBM을 따른다는 것을 규명함으로써 블랙-숄즈 모형을 활용할 수 있음을 밝혔다.

A기업이 폴리실리콘 사업에 대한 투자 결정이 있기 6개월 전 폴리실리콘 사업에 대한 투자 여부를 고려하는 상황을 가정하고 실제 투자 이후 발생한 주가의 증분에서 폴리실리콘 산업의 가치를 추출하여 실물옵션에 활용하였다. 옵션 가격결정을 위한 변수들의 값과 결과는 〈표 10〉과 같다.

블랙-숄즈 모형을 활용한 A기업이 보유한 폴리실리콘 산업에 대한 콜옵션의 가치는 약 34,304억원으로 추정되었다. A기업은 실제 폴리실리콘 산업에 4000억 원을 투자했고 그로 인해 기업가치의 큰 증가를 경험했다.¹⁰⁾ 본 논문에서 도출된 폴리실리콘 산업에 대한 가치평가 결과를 후발기업이 그대로 인용하여 투자결정을 하는 것은 무리가 따를 것이다. A기업은 국내 폴리실리콘 산업에 초기 진입자로 시장 선점의 이익이 있다. 그러나 폴리실리콘 시장이 국내에만 국한된 것이 아니고 신재생에너지의 하나로 태양광시장의 성장 전망이 밝은 것을 고려할 때 옵션의 가치가 과대평가되었다고 단언하는 것 역시 무리가 따를 것이다.

10) 2005년 1월 3일부터 2007년 12월 12일까지 약 3년간 주가총액은 약 20배 증가함

〈표 10〉 콜옵션 가격 도출을 위한 변수들의 값

변수	값	비고
추정치의 현가(S_0)	38,162억 원	
투자비용 (X_0)	4,000억 원	
무위험이자율 (r)	0.0242%	년간 6%가정
투자수익률의 변동성 (σ^2)	8.35%	GBM 확률과정의 σ 값
만기까지의 기간 (T, day)	124	6개월, 영업일 기준

주 : 무위험이자율을 일간으로 환산하기 위해 연간 6%를 영업일(248)일로 나누어 계산함.¹¹⁾

〈표 11〉 실물옵션을 이용한 폴리실리콘 사업의 가치

변수	값	변수	값
d1	2.922994249	N(d1)	0.998266585
d2	1.9931776	N(d2)	0.976878998
		콜옵션의 가치	34,304억 원

IV. 결 론

본 논문은 실물옵션기법 중 블랙-숄즈 옵션가격결정모형을 이용하여 태양광 핵심소재 기술인 폴리실리콘 생산기술에 투자한 A기업의 사례에 대한 가치평가를 실시했다. 기초자산의 측정에는 폴리실리콘 사업에 대한 투자로 인한 기업 주가의 증분이 활용되었으며 재무제표상의 유형가치 증분도 고려되었다. 실물옵션을 이용하는 선행연구들에서는 기초자산의 확률과정을 타당성 검토 없이 바로 가정되었는데, 본 연구에서는 다양한 확률과정을 한꺼번에 추정하여 통계적 신뢰성이 높은 확률과정을 선택할 수 있고 실물옵션에서 주요한 변수가 되는 변동성을 따로 구해야 하는 불편함을 제거할 수 있는 일반화적방법을 소개하였다.

추정결과, A기업의 폴리실리콘 사업에 대한 투자 사례는 태양광시장의 급속한 성장과 태양광산업의 산업구조 특성에 의해 4000억 원의 투자에 대해 약 3조 4천억 원의 옵션가치를 가지는 것으로 나타났다. 폴리실리콘 산업은 급성장하는 태양광산업의 상류(Up-Stream)산업으로 급성장세에 있는 산업의 일반적인 특성에 따라 부가가치가 크게 나타나 옵션가치 또한 크게 나타났다.

이러한 추정 결과를 태양광산업 전반의 성장 가능성으로 확대 해석하는 데는 무리가 따를 수 있겠지만 태양광산업 분야를 국가 신·성장 동력으로 설정하고 정부 주도의 연구개발 투자

11) 할인율 계산의 오류를 지적해 주신 심사위원께 감사를 드린다.

를 진행하고 있는 정부정책의 타당성을 부여하는 결과라 하겠다.

본 연구는 실물옵션기법의 적용과정에서 기초자산을 측정함에 있어서 기업의 주가를 이용한 최초의 연구이다. 기업의 주가를 활용하는 것은 실물옵션의 적용에 있어서 가장 중요한 변수 중 하나인 기초자산의 현재가치를 측정함에 있어서 객관성을 확보할 수 있다는 장점이 있다. 이러한 방법론을 최근 관심을 받고 있는 여타의 대체에너지에 적용한다면, 미래 성장 동력의 하나로 주목받고 있지만 시장의 불확실성이 커서 경제성에 아직 확신을 받지 못하고 있는 신재생에너지 산업 전반에 대해 실물옵션적 가치를 반영한 가치평가를 시도할 수 있을 것이다. 이러한 다양한 대체에너지 기술투자에 대한 사업의 가치평가에 대한 연구는 추후 연구과제로 진행될 예정이다.

그러나 주식시장의 효율성을 인정한다고 하더라도 주가 증분을 미래수익의 현재가치로 받아들이 실무적으로 활용될 수 있을 것인가에 대한 의문은 여전히 숙제로 남는다. 또한 블랙숄즈 모형은 옵션가치를 도출하는데 있어서 가장 단순한 모형이지만 의사결정의 연속성을 가정한 모형이므로 본 사례와 이미 투자 결정이 끝난 상황에서 과거 자료를 활용해 투자옵션의 가치를 측정해 보는 경우에는 활용이 가능하지만 새로운 정보가 존재할 때마다 단속적으로 의사결정이 이루어지는 상황에는 사용하기 어려운 단점이 있다.¹²⁾

참고문헌

(1) 단행본

- 윤원철 (2005), 「확률과정 모형을 활용한 석유가격 추정 및 시사점」, 경기: 에너지경제연구원.
 이경수 (2008), 「파생상품 Modeling I : Matlab 활용」, 서울: 도서출판아진.
 홍동표 (2001), 「Real Option을 이용한 IT투자 가치 분석」, 경기: 정보통신정책연구원.

(2) 학위 논문 및 학술 논문

- 설성수·유창석 (2002), “기술 및 투자 가치평가를 위한 실무형 실물옵션”, 「기술혁신연구」, 5(1) : 44-58.
 이동수 (2009), “태양광 핵심소재 기술 가치평가 - 실물옵션 접근”, 경북대학교 석사학위논문.
 최병호 (2003), “실물옵션 가치평가법의 기초자산 확률과정 규명 연구”, 서울대학교 석사학위 논문.

12) 블랙숄즈 모형의 한계에 대해서 언급해 주시고, 참고문헌을 소개해주신 익명의 심사위원께 감사사를 드립니다.

- Black, F. and M. Scholes (1973), "The Pricing of options and corporate liabilities", *Journal of Political Economy*, 81.
- Brennan, M. J. and E. S. Schwartz (1979), "A continuous time approach to the pricing of bonds", *Journal of Banking & Finance*, 3 : 133-155.
- Chan, K.C, G. A. Karolyi, F. A. Longstaff, and B. A. Sanders (1992), "An empirical comparison of alternative models of short-term interest rate", *Journal of finance*, 47 : 1209-1228.
- Chow, G. C. (1960), "Tests of Equality Between Sets of Coefficients in two Linear Regression", *Econometrica*, 28 : 591-605.
- Cox, J. C., J. E. Ingersoll, and S. A. Ross (1985), "A theory of the term structure of interest rates", *Econometrica*, 53 : 385-407.
- Cox, J. C. and S. A. Ross (1976), "The valuation of options for alternative stochastic processes", *Journal of Financial Economics*, 3 : 146-166.
- Cox, J. C., S. A. Ross and Rubinsteinm (1979), "Option Pricing : a Simplified Approach", *Journal of Financial Economics*, 7 : 229-263.
- Hansen, L. P. (1982), "Large sample properties of generalized method of moments estimators", *Econometrica*, 50 : 1029-1054.
- Ito, K. (1951), "On stochastic Differential Equations", *Memoris American Mathematical Society*, 4 : 1-51.
- Merton, R. C. (1973), "Theory of rational option pricing", *The Bell Journal of Economics and Management Science*, 101 : 141-183.
- Meschi, P. X. and L. T. W. Cheng (2002), "Stock price reactions to Sino - European joint ventures", *Journal of World Business*, 37 : 119-126.
- Newey, W. and K. West (1987), "Hypothesis testing with efficient method of moments estimation", *International Economic Review*, 28 : 777-787.
- Vasicek, O. (1977), "An equilibrium characterization of the term structure", *Journal of Financial Economics*, 5 : 177-188.

(3) 기타자료

- 김동환 (2008), "Technology Trend and Business Direction of Korea Solar Industry", 한국태양광 사업단.

이동수

경북대학교에서 경제학 석사를 취득하고 동대학원에서 박사과정에 재학 중이다. 관심분야는 기후변화 대응 사업, 기술의 경제성 등이며, 특히 동태적 최적화기법과 금융공학기법을 결합한 기술가치평가 등이다.

정기호

University of Wisconsin-Madison에서 경제학 박사(계량경제학 전공)를 취득하고 현재 경북대학교 경제통상학부 교수로 재직 중이다. 관심분야는 기후와 에너지 분야와 관련한 다부문모형, 시장예측, 그리고 파생상품가격분석 등이다.