

이항옵션가격 모형을 활용한 CER 판매전략 구축과 이를 통한 CDM 사업 수익성 향상 방안에 관한 연구

구본상* · 박종호¹ · 김청운¹

¹서울과학기술대학교 건설시스템디자인공학과

Using the Binomial Option Pricing Model for Strategic Sales of CER's to Improve the Economic Feasibility of CDM projects

Koo, Bonsang*, Park, Jong-Ho¹, Kim, Cheong-Woon¹

¹Department of Civil Engineering, Seoul National University of Science and Technology

Abstract : The Clean Development Mechanism (CDM) allows New & Renewable Energy projects to make additional income by selling CER's, which represent the amount of Green House Gases(GHG) that is reduced in the project. However, forward contracts used to hedge fluctuating market prices does not allow projects to sell CER's at a premium. As an alternate approach to maximize CER revenue, CER's are modeled as a 'real option', in which CER's are sold only above the desired sales price. Using the Binomial Option Pricing model, the resultant lattices are used to determine whether to sell, defer or abandon the option at individual nodes. Overlaying Pascal's Triangle on the lattices also enabled the calculation of the annual probabilities for deferring CER sales without incurring downside losses. Application to an actual Landfill Gas project showed increased overall NPV, and that CER sales could be deferred at a maximum of 2 years. The proposed framework allows transparency in the analysis and provides valuable and strategical information when making investment decisions related to CER sales of CDM projects.

Keyword : CDM, CER, Real Options, Binomial Option Pricing Model, Investment Analysis

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

침체된 국내 건설경기의 극복을 위해 건설기업들은 사업 다각화를 모색하고 있으며 이 중 신재생에너지 사업에 대한 관심이 증대되고 있다. 태양광, 풍력, 수력, 매립가스 등으로 대표되는 신재생에너지 사업은 기존 화석연료를 기반으로 하는 재래식 발전 설비의 대안으로서 지구온난화의 주범이 되는 온실가스를 감축하거나 아예 발생시키지 않는 사업들이다. 이들의 사업을 권장하기 위한 일환으로 국내에서도 적용이 확대되고 있는 개발 모델이 청정개발체제(Clean Development Mechanism, 이하 CDM)사업이다.

CDM은 신재생에너지 사업의 수행을 통해 발생한 온실가스 저감 실적을 탄소배출권(Certified Emission Reductions, 이하 CER)이란 형태로 발급받고 국제 탄소시장에 판매할 수 있게 해주는 것이다(에너지관리공단 2007).

그러나, 일반적으로 CDM 사업은 수익성이 낮고 CER 판매에도 불구하고 그 수익성이 크게 개선되지 않는 문제점이 있다(구본상 2013). CDM 사업은 전력생산단가가 일반 발전 사업보다 높아 구조적으로 수익성이 높게 나올 수 있는 사업이 아니다. 이를 보조하기 위해 CER이 발급되지만, CER은 국제 탄소시장에서 매매가 이루어지며, 이 시장의 변동성리스크에 노출되어 있다. 즉, 판매 시점에 따라 CER 가격이 달라지는데, 이를 헷징하기 위해 사업시행자는 CER 구매자와 배출권구매협정(ERPA, Emission Reduction Purchase Agreements)이라는 일종의 선물계약(Forward Contract)을 맺게 된다(Ecosecurities 2007). 이런 선물계약은 CER 가격이 일정 가격 이하에서 판매함에 따라 생기는 손실위험(downside risk)은 줄일 수 있지만, 시장이 강세일 때의 프리미엄 혜택은 누릴 수 없다. 더불어 선물계약을 할 때 일반적으로 CER 선물가격을 보수적으로 잡기 때문에, 현 구조에서는 CER을 통한 높은 수익을 얻을 수 없는 것이다.

최근에는 선물계약을 맺지 않고 탄소시장의 시황을 파악하여 강세일때 현물로 판매하려는 CDM 사업들이 증가하고 있다(Bishop 2007). 즉, CER 가격이 올랐을 때만 판매를 하는 것으로 CER 매출을 늘리고 이는 전체 사업의 수익성

* Corresponding author: Koo, Bonsang, Department of Civil Engineering, Seoul National University of Science and Technology, Seoul 139-743, Korea
E-mail: bonsang@seoultech.ac.kr
Received September 5, 2013; revised December 30, 2013
accepted January 6, 2014

항상을 도모할 수 있게 된다. 물론, 이 경우 시장 리스크에 그대로 노출이 되는 위험이 있다.

본 연구에서는 이런 점에 착안하여 CER 가격이 상승했을 경우에만 판매할 수 있는 권한을 '실물옵션(Real Option)'으로 모델링하였다. 이런 옵션을 가지게 되면 CER을 일정 가격 이상일 경우에만 판매하고, 그 이하 가격에서는 판매를 지연하거나 포기할 수 있게 된다. 이에 따라 사업 의사결정에 유연성이 생기면서 가치가 증대되는데, 이 가치는 고전적 사업성 평가 도구인 NPV 및 IRR 방식으로는 양적 산정이 불가능하다. 그러므로 본 연구에서는 실물옵션 가치 산정 모형 중 이항옵션 가격 모형(Binomial Option Pricing Model)을 활용하여 CER의 판매를 지연 시킬 경우 생기는 옵션의 가치를 파악하였다. 이항옵션 모델을 활용하면 기존 NPV 결과와의 비교 분석을 통해 해당 CDM 사업의 투자 경제성에 상대적인 기여도를 파악할 수 있게 되었다.

이와 더불어, 분석 과정에서 생성되는 두 개의 라티스(Lattice)를 통해 절점(node)별로 CER의 판매 혹은 지연 여부를 파악할 수 있게 되며, '파스칼의 트라이앵글'의 원리를 적용하여 연도별 손실 위험 정도를 확률적으로 계산해 줄 수 있는 방안을 정립하였다.

본 연구에서 제시한 방안을 통해 CDM 사업자는 CER 판매 지연 옵션으로 구축해 사업의 수익성을 극대화할 수 있게 된다. 또한, 기존 NPV 방식에서는 제공되지 않는 산정 과정의 투명성 및 확률적 분석을 가능케 하여 더 명확한 투자 의사결정을 할 수 있는 정보를 제공해 준다.

최근에 CDM 사업에 옵션이론을 적용한 연구가 등장하고 있다(Lee et al. 2013, Kumbaroğlu et al. 2008). 그러나 이 연구들은 특정 에너지 사업을 CDM 사업으로 할 것인지(Lee 외, 2013) 또는 신재생에너지 기술의 전력단가가 점차 감소됨에 따라 CDM 사업의 수익성의 변화(Kumbaroğlu et al. 2008)를 실물옵션으로 분석한 연구들이다. 본 연구는 CER의 판매여부 및 그 시점을 이항옵션으로 분석했다는 점과 국내 CDM 사업을 대상으로 분석했다는 점에서 차별이 된다.

1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구에서는 CDM 사업의 수익성을 향상시킬 수 있는 방안의 하나로 CER의 판매를 실물옵션으로 모델링했을 때 그 가치를 산정하고 CER 판매의 전략을 사업 시점별로 제시하고자 한다. 연구를 수행하기 위해서 다음과 같은 조사 및 분석을 수행하였다.

1) 국내 CDM 사업의 수익구조 분석 및 자료 수집

국내의 문헌을 통해 CDM 사업의 특성을 이해하고 기후변화협약(United Nations Framework Convention on Climate Change, 이하 UNFCCC) 사이트(<http://cdm.unfccc.int>)에 공개되어 있는 국내 CDM 사업성 분석 자료를 토대로 수

익 구조를 분석하였다.

2) 실물옵션 이론 및 양적 산정 방법 숙지 및 본 연구에 적합한 모형 선택

국내의 문헌을 통하여 대표적인 실물옵션의 양적 가치 산정 방법을 분석한 결과, 본 연구 목적에 가장 적합한 이항 옵션가격모형을 채택하였다.

3) CDM 사업에서 CER 판매를 지연시킬 수 있는 권한을 이항옵션 가격 모형으로 분석하는 방안 정립

구축된 이항옵션 가격 모형을 통해 옵션의 양적 가치를 산정하고 NPV 분석과 비교를 가능케 하였으며, 분석과정에서 생성되는 두 개의 라티스(Lattice)를 이용하여 옵션 행사에 대한 여부(판매, 지연, 포기)를 결정하고, '파스칼의 트라이앵글'을 연계시켜 손실위험을 확률적으로 계산할 수 있는 프레임워크를 정립하였다.

4) 국내 매립 가스 사업에 프레임워크 적용하여 결과 및 시사점 도출

개발된 프레임워크를 국내 매립가스 CDM 사업에 실제로 적용하여 NPV와 비교하고 CER 적정 판매시점을 산정 후 관련 시사점을 도출하였다.

2. 이론적 고찰

2.1 CDM 사업 개요

2.1.1 CDM 사업의 특성과 CER 판매의 중요성

CDM의 주목적은 개발도상국(비부속서 I국가)의 지속가능한 개발을 돕는 동시에 선진국(부속서 I국가)의 온실가스 감축의무를 비용 효과적으로 달성하는데 기여함으로써 기후변화협약의 궁극적인 목적을 달성하는 데 있다(교토의정서 12조 2항). CDM 사업을 통해 선진국은 개발도상국에서 보다 적은 비용으로 온실가스를 감축할 수 있는 사업을 찾아내어 수행하고, 그 결과 발생한 온실가스 감축실적을 자국의 감축실적으로 인정받고, 아울러 개발도상국은 선진국의 자본을 유치하거나 기술이전을 받음으로써 지속가능한 발전에 기여할 수 있다.

이러한 CDM 사업은 일반적으로 태양광, 풍력, 소수력, 매립가스 등의 사업과 같은 신재생에너지 사업이 주를 이루고 있다(에너지관리공단 2007). 이들 사업은 기존 화석연료를 이용하는 재래식 발전소에 비해 탄소배출량이 적거나 없기 때문에 재래식 발전소가 잠재적으로 배출할 온실가스만큼의 저감효과를 인정해 주는 것이다.

그러나 이들 사업은 일반적으로 재래식 발전사업에 비해 규모가 작으며, '생산율(capacity factor)'은 떨어지고 전력생산단가가 높아, 사업성이 상대적으로 떨어진다(World Bank, 2012). 더불어 CDM 사업에 등록하기 위해서는 기본적으로 사업성이 낮고 이에 따라 보조방안으로서 CER 판매를 받을 수 있는 당위성을 보여줘야 하는데, 이를 '재무적 추가

성(Financial Additionality)이라 한다. 즉, 수익성이 저조한 사업이어야 CDM 사업으로서의 자격을 갖추는 것이다.

실제로 구분상(2013)은 국내에서 2012년 8월까지 UNFCCC에 등록된 68개의 CDM 사업을 대상으로 수익성 분석을 실시하였으며 그 결과 평균 IRR이 -3.19%로 대상 사업들의 할인율(5.2~6%)보다 밑도는 것을 알 수 있었다.

국내에서 이른 바 '그리드 패리티(Grid Parity)가 이뤄질 때까지 발전차액지원제도(Feed in Tariff, FiT)등과 같은 여러 보조금을 활성화 방안으로 제공하는 이유가 여기 있으며, CER 판매 또한 불리한 사업 여건을 극복하기 위한 추가 보조 수단으로 볼 수 있다. 이에 따라 CER 판매를 통해 수익을 극대화할 수 있는 것이 CDM 사업의 투자경제성을 향상시키는 중요한 요소가 된다.

2.1.2 CDM 사업성 분석 방법 및 CER 판매 구조

CDM의 사업성 분석은 여느 사업과 같이 현금흐름할인법(Discounted Cash Flow method, 이하 DCF)에 기초한 NPV 및 IRR 분석으로 이루어진다. Fig. 1에서 보듯이, CDM 사업의 현금흐름은 일반 사업과 유사하게 초기에 기획 및 공사비용 등이 투입되고, 이후 시설 운영 기간에는 전력의 판매를 통한 연간 전력 매출(전력판매단가*연간 전력 생산량)과 운영비용이 존재한다. 단, CDM 사업에서는 이와 추가로 매년 CER 매출(CER 판매단가*연간 탄소저감량)의 현금유입이 생긴다. 이때 CER의 판매는 운영기간과는 별개로 7년 내지 10년간의 크레딧 인정기간(Crediting Period)이 부여되어 이 기간 동안 판매가 허락된다. NPV/IRR 분석은 이들 현금흐름에 적정 할인율을 부여하여 현재 가치를 통해 구하게 된다.

UNFCCC에 공개된 사업 분석 자료들을 살펴보면 대개 모든 사업들이 CER 가격을 8-20 유로 사이로 고정시키고 여기에 매년 탄소저감량을 곱하여 동일한 매출로 크레딧 인정기간 동안 추가 수입원으로 산정한 것을 알 수 있다.

이는 매년 변동하는 CER 판매 가격에 대한 헷징을 하기 위해 선물계약을 맺었다는 것을 전제로 한 것이다. 실제로 CER 판매 가격은 국제탄소시장의 상황에 따라 수시로 변동하게 되는데, 이를 헷징하기 위해 신재생에너지 사업자는 구매자와 배출권구매협정(Emission Reduction Purchase Agreements, ERPA)을 통해 선물계약을 맺게 된다. 이로써 CER이 일정 가격 아래로 떨어지는 손실위험(downside risk)은 피할 수 있으나, CER 가격이 상승했을 때의 혜택(upside gain)은 누릴 수 없다.

이처럼 선물계약은 CER 판매가를 보수적으로 책정하기 때문에 추가적인 수입이 저조해지는 문제가 있다. 더군다나 최근에는 CER의 초과공급으로 인해 CER 가격이 계속 하락하고 있으며 2020년까지 2 유로까지 떨어질 수 있다는 전망까지 나오고 있어(Heimdal et al. 2012), CER의 선물

판매가격은 더욱 낮게 책정될 전망이다.

이에 따라 최근에는 선물계약을 맺지 않고 시황에 따라 기회적으로 판매를 시도하는 CDM 사업이 증가하고 있다(Bishop 2007). 리스크를 감수하더라도 기회적으로 CER을 판매하겠다는 것이다. 그러나 이는 해당 사업을 탄소 시장의 변동성 리스크에 그대로 노출시키게 된다.

본 연구에서는 이 손실위험은 피하면서 상승장에 따르는 혜택을 최대화하기 위해 최적 시기에 판매할 수 있게 하는 권한을 옵션으로 모델링하고자 하는 것이다.

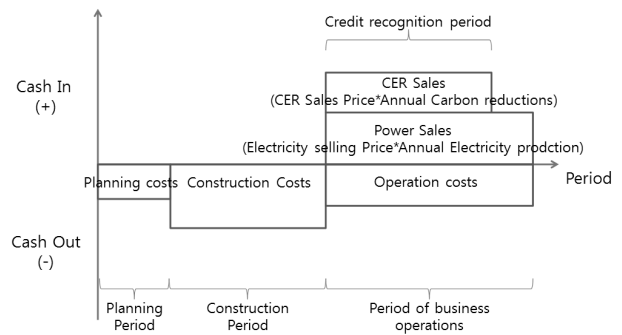


Fig. 1. Cash flow over time

2.2 실물옵션 개요

2.2.1 실물옵션의 정의

실물옵션에 의한 가치평가 방식은 기존의 옵션평가방식을 사용하여 '실물자산' 또는 '프로젝트'에 대한 가치를 평가하는 것을 말한다(윤원철 et al. 2003). 여기서 실물자산이란 비금융자산으로써 해당 자산에 대한 가격을 시장에서 결정할 수 없는 자산을 일컫는 것으로서 제품, 부동산, 자원, 시설물 등을 말한다. 기존의 NPV 및 IRR 등에 의한 가치평가 방식은 투자대상 사업 여건 변화에 유연하게 대처할 수 있는 '운영상의 유연성(managerial flexibility)을 제대로 고려하지 못하는 한계가 있다. '운영상의 유연성'이란 특정 프로젝트의 투자 및 운영단계에서 해당 프로젝트를 연기(defer), 확장(expand), 축소(contract), 폐기(abandon) 또는 사용변경(switch)할 수 있는 선택권 혹은 권리에 대한 내재적 가치(implied value)를 의미한다(윤원철, 2001). 이러한 권리의 평가는 DCF 방식에서는 평가 될 수 없는 것이며 변동성이 클수록 더 많은 가치를 가지게 된다. 예를 들어, 특정 사업의 투자가치를 평가할 때 DCF에서는 사업이 성공할 경우와 실패할 경우를 모두 고려하여 평균적으로 현재가치를 산정하지만 실물옵션의 경우는 실패할 경우에 대하여 사업을 포기하거나 연기하는 권한을 부여하여 실패할 경우에 대한 수익은 일정수준 밑으로 내려가지 않게 한다. 이러한 권한의 가치를 평가한 것이 실물옵션가치이다(정우용 et al. 2008).

2.2.2 실물옵션 가치 산정 방법의 종류

실물옵션의 가치를 양적으로 산정하는 방법으로는 크게 세 가지로 블랙-숄츠 방식(Black and Scholes Equation), 시뮬레이션 방식 및 이항옵션가격모형(Binomial Option Pricing Model)이 있다(Kodukula et al. 2006).

이중에서 블랙-숄츠방식은 1973년에 응용수학박사 Black 과 경제학박사 Scholes가 브라운운동, 테일러전개, 이토, 렘마 공식 등을 이용한 방식으로서, 최초로 옵션의 가치를 양적으로 산정할 수 있는 편미분 방정식을 정의한 것이다(Black et al. 1973). 시뮬레이션 방식은 주로 Monte Carlo Simulation을 사용하여 불확실성에 기인한 미래 현금흐름을 무수히 생성하고 이에 따라 불확실성 원추(cone of uncertainty)를 형성하여 옵션 가치를 산정한다(Kodukula et al. 2006). 두 가지 방식은 고난도의 수학을 요구하는 동시에 중간 산정 과정을 명시하지 않는다는 단점이 있다.

이에 비해 이항옵션가격 모형은 1979년 Cox와 Rubinstein에 의해 발전되었으며 옵션가치평가를 보다 대중적으로 만들게 되었다(Cox et al. 1979). 이항옵션은 옵션가격을 결정하는 기초 자산인 주가가 시간 변동구간마다 상승과 하락, 두 가지의 이산적인 형태로 변하며 그 변동은 한정된다는 가정에서 출발한다. 이러한 가정으로 인하여 쉽고 직관적인 옵션가격 결정요인들 간의 관계를 설명할 수 있고 산정과정을 일일이 보여주기 때문에 투명성을 제공해 준다. 본 연구에서는 이런 장점에 기인해 옵션 가치 산정에서 이항옵션모형을 활용하였다.

2.2.3 이항옵션 가격 모형

이항옵션가격 모형을 이용하여 옵션가치를 평가하려면 다음과 같은 변수의 정의가 필요하다.

1) S_0 : 투자 프로젝트의 현재가치(Asset Value)

S_0 는 기초자산, 대상자산 이라고도 불리며 선물거래, 옵션거래 등 파생금융상품에서 거래대상이 되는 자산으로써 이는 DCF를 기반한 NPV로써 산정된다.

2) X : 행사가격(Exercise Price)

X 는 행사가격을 나타내는데 옵션을 산 사람이 권리를 행사해 특정주식을 매수하거나 매도할 수 있는 권리가 발생하는 가격이다. 콜옵션의 경우 옵션매수자가 특정주식을 살 수 있는 가격을 뜻하고, 풋옵션의 경우에는 특정주식을 팔 수 있는 가격을 뜻한다.

3) r : 무위험 수익률(Risk-free Interest Rate)

무위험수익률은 투자에 있어서 위험이 전혀 내포되지 않는 순수한 투자의 기대수익률을 말하는 것이며 무위험 수익률 또는 순수이자율 이라고도 한다. 예를 들면 정기예금, 국채, 보증사채 등의 이자율 등이 있다.

4) σ : 프로젝트 가치의 변동성(Volatility)

변동성은 주식이나 통화의 시세가 완만하게 움직이는 때

도 있지만 단기간에 급 등락하는 경우도 있기 때문에 가격이 향후 어느 정도 움직일 가능성이 있는가를 나타내는 척도로 쓰인다. 변동성을 계산 할 수 있는 방법은 Logarithmic Cash Flow Returns(LCFR) 방식, Project Proxy Approach, Market Proxy Approach 등이 있다(Kodukula et al. 2006).

LCFR 방식은 기초자산의 변동성을 찾을 수 있는 가장 대표적인 방법으로서, 기초자산의 가치 자체를 계산하는 데 사용되는 것과 동일한 현금흐름 추정치의 변동성을 기반으로 하는 변동요인을 제공한다. 즉, 기초자산의 변동성에 대한 직접적인 실적 데이터를 활용하는 것이다. Project Proxy Approach는 기초자산의 변동성을 추정하는 간접적인 방법으로, 과거의 유사한 성격을 지닌 프로젝트의 데이터와 현금흐름 프로파일을 가정하여 변동성을 찾아 낼 수 있다. Market Proxy Approach는 과거의 유사한 기업의 주가정보를 사용하는 것이다. 두 방법 모두 간접적 데이터를 활용하는 방법이다.

5) Δt : 시간 변동구간 T : 옵션 만기 기간

옵션 만기 기간(T)은 옵션의 유효기간(Expiration Time)이며, 시간 변동구간(Δt)은 현금 흐름의 월별 또는 연도별 주기이다.

상기 변수들이 규정되면 두 개의 이항 라티스(binomial lattice)를 구축할 수 있게 된다. 첫 번째 라티스는 '자산가치' 라티스로, 주어진 기초자산의 미래 가치를 변동성에 기인해 현금흐름 격자로 예상하는 것이다. Fig. 2에서와 같이 기초자산(S_0)에서 시작하여 절점(node)별로 up factor(u) 및 down factor(d)를 곱하여 순차적으로 계산을 하여 라티스가 완성이 된다. 여기서 u , d 는 무위험 수익률을 고려한 가격 증가율과 가격 감소율로서, Kodukula et al. (2006)에 의해 다음과 같은 공식으로 구해진다.

$$u = e^{\sigma \sqrt{\Delta t}}, d = e^{-\sigma \sqrt{\Delta t}} \quad (1)$$

여기서, e 는 자연로그 e , σ 는 변동성(volatility)이며, Δt 는 시간 변동 구간이다.

두 번째 라티스는 '옵션가치' 라티스로서, 첫 라티스를 활용하여 옵션의 가치를 역으로 계산하여 산정하는 것이다. 옵션가치 라티스는 자산가치 라티스의 최종연도의 항에서 행사가격(X)를 뺀 값으로부터 역으로 최종 옵션가치(Call option value 이하 C)를 찾아가는 방식이다. 아메리칸 옵션(American option)인 경우 최초 구해진 항 C_{uuu} 로부터 C 까지 아래의 공식을 이용하여 역순으로 계산 한다(Kodukula et al. 2006).

$$C_{uu}(American) = Max[S_{uu} - X; (pC_{uuu} + (1-p)C_{uud})/r] \quad (2)$$

여기서 p 는 위험중립확률(Risk Neutral Probability)로써

후거래소(European Climate Exchange, ECX)를 활용할 수 있으며 CER 가격 변동에 대한 정기적인 정보서비스를 제공하는 Intercontinental Exchange(ICE, <https://www.theice.com>)사의 자료를 이용할 수 있다.

Table 1. General definitions of S_0, X and their application in CDM projects

	General definition and calculation method	Application in CDM projects
S_0	Basic asset, products to be transacted under option contracts	Values obtained by converting sales volumes obtained with fixed CER into present values
X	Exercise price, the price at which the right for those who bought the option to exercise their right to buy or sell certain stocks occurs	Values obtained by converting sales volumes obtained with required CER into present values
σ	The volatility of the relevant asset, Logarithmic cash flow, Project Proxy, Market Proxy, etc.	The volatility of CER prices The LCFM method is used
r	Risk-free interest rate (3-year period, national or public bonds)	The discount rate of the relevant CDM project is applied
T	Time expiry period	Crediting period
Δt	Time change section	The CER selling period of the relevant CDM project

3) $r, T, \Delta t$

r 은 무위험 이자율로써 이는 해당 CDM 사업의 DCF 분석 시 사용된 동일한 값을 활용하면 된다. T 의 경우 옵션의 계약이 만료가 되는 기간으로써 크레딧 인정기간이 되며 Δt 는 CER의 판매 주기가 된다.

3.2.2 라티스 구축

이항옵션 가격 모형 방법에 따라 두 개의 라티스를 구하게 된다. 첫 번째 라티스(자산가치 라티스)에서는 변동성에 기인한 CER 매출가격의 미래 현금흐름을 예측한 것이며, 두 번째 라티스(옵션 가치 라티스)에서는 공식(2), (3)에 따라 역으로 순차적 계산을 하여 CER 매출 옵션의 가치를 절점별로 산정하게 된다. 마지막으로 산정된 옵션 값이 최종 옵션가치(Real Option Value, ROV)가 된다.

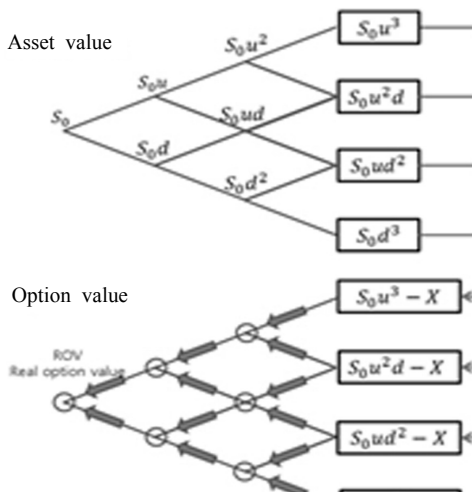


Fig. 3. Lattice construction method

3.3 구축된 라티스의 해석 및 활용

3.3.1 구축된 라티스의 결과 해석

1) 최종 옵션 가치

옵션가치 라티스에서 최종 옵션의 가치(ROV)가 0 보다 크면 옵션의 가치가 있다는 의미이다. 즉, 고정된 가격에 CER을 판매하지 않고 요구 CER 가격 이상일 경우에만 판매하는 권리의 가치인 것이다. 이를 통해 나온 최종 옵션의 가치와 기존의 NPV 값을 비교하여 CER 판매를 지연했을 때 생기는 추가 사업 가치를 알 수 있게 된다.

2) 절점별 옵션 행사 여부 결정

이항옵션모형의 장점은 최종 옵션가치 뿐만 아니라 그 산정 과정과 결과를 명시하므로 이에 따른 절점별로 의사결정을 가능케 한다는 것이다.

구축된 라티스를 해석하기 위해서는 자산가치 라티스의 각 절점 값인 순자산가치(Net asset value)와 옵션가치 라티스의 상응하는 절점의 옵션가치를 비교해 봐야 한다 (Kodukula et al. 2006). 여기서 순자산가치는 첫 번째 라티스의 각 절점에서 예상자산가치(Expected Asset Value)에서 행사가격 (Exercise Price)를 차감한 값이다. 본 계산을 하면 Fig. 4 및 Table 2에서와 같이 각 절점이 세 개의 유형으로 구분된다.

- ① 옵션 만료기간이 아닌 시점에 하나의 절점에서의 옵션가치와 순자산가치가 0보다 큰 형태를 갖는다면 옵션 판매를 지연시켜 더 큰 이익을 기대하는 것이 유리하다.
- ② 옵션 만료기간까지 옵션가치가 0보다 큰 값을 갖는다면 그 시점이 지나면 수익을 얻을 수 없기 때문에 옵션을 이용하여 CER을 판매 하는 것이 이익이다.
- ③ 옵션가치가 0이고 순자산가치는 0보다 작은 값을 갖는다면 옵션을 행사하지 않고 포기하는 것이 손해를 보지 않는 방법이다.

이처럼 CER 판매 가격에 따라 절점별로 비교하여 옵션행사 여부를 결정할 수 있게 해준다.

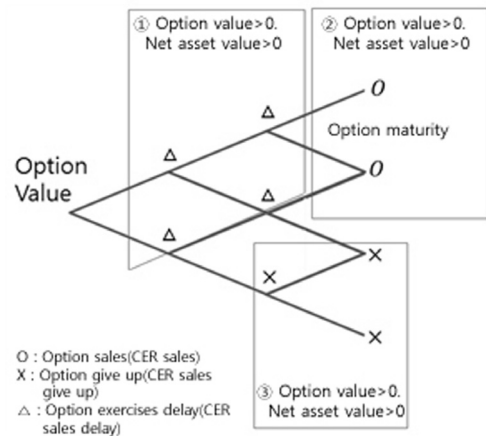


Fig. 4. Option exercises according to conditions

Table 2. Option exercises according to conditions

Option exercise	Condition
① Delay	when option value > 0, net asset value > 0, option maturity has come
② Sales	when option value > 0, net asset value > 0, option maturity has not come
③ Give up	When option value = 0, net asset value < 0

3.3.2 파스칼 트라이앵글을 이용한 확률적 분석

두 개의 구축된 라티스에 '파스칼의 트라이앵글'을 적용하면 각 연도별 CER 판매의 리스크를 확률적으로 파악할 수 있다(Kodukula et al. 2006). 파스칼의 트라이앵글은 자연수를 삼각형 모양으로 배열한 것으로 이 역시 이항형태의 전개가 이루어지기 때문에 라티스의 각각의 값이 결정되는 확률이 구해진다. 예를 들어 Fig. 5에서와 같이 이항 분포로 전개될 때 3년차에서 나올 수 있는 S_0u^3 의 확률은 $1/(1+3+3+1)*100$ 이므로 12.5%에 해당한다.

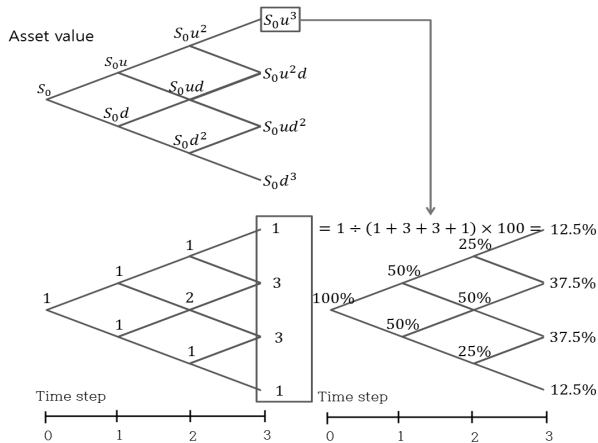


Fig. 5. Binomial Option Pricing Model and Pascal's triangle

이를 두 번째 라티스에서 수익을 낼 수 있는 절점(옵션가치가 0이 아닌 절점)만을 선택하여 파스칼의 트라이앵글로 산출된 확률을 합산하면 해당 년도의 옵션 행사(판매, 포기, 지연)에 관하여 결정할 수 있다.

예를 들어 Table 3에서와 같이 해당 연도별로 절점의 확률을 합산해 볼 수 있는데, 첫 두 해(1, 2년)에는 옵션가치 라티스의 절점이 모두 양수(0이 아닌 값)라는 것이다. 이는 곧 옵션의 가치가 그해에는 0보다 크므로 옵션을 지연해도 손해를 볼 확률이 없다는 것이다. 이에 반해 해가 경과될수록 그 확률은 떨어지는데, 이는 옵션을 지연시켜도 되지만 손해를 볼 확률이 증가한다는 의미이다. 즉, 시간이 경과될수록 옵션을 지연시켰을 경우 손해 볼 수 있는 리스크가 증가한다는 것을 의미한다. 이러한 방식으로 연도별 정리를 사업전체 기간 동안 적용시키면 그 사업의 리스크를 파악하는 좋은 자료로 쓰일 수 있다. 위의 과정을 통하여 임의의 CDM 사업을 분석하여 아래와 같은 표를 산출해 냈다

고 하자.

Table 3. Probability of annual option about sales and delay

(Unit : %)						
1year	2year	3year	4year	5year	6year	7year
100	100	85	68	50	34	22

산출된 표에서 보듯이 해당 CDM 사업은 2년차까지 옵션 가치 라티스의 모든 절점에서 옵션의 크기가 0보다 크다는 것이다. 그 의미는 결국 2년차 까지는 옵션을 지연시켜도 손해를 보지 않는다는 것이다. 아울러 그 이후시점부터 더 큰 이익을 위하여 CER을 판매할 계획을 가지고 있다면 위험을 감수하면서 지연결정을 내려야 한다.

4. 적용사례

4.1 적용 사업 개요

정립된 분석 방안을 UNFCCC에 CDM 사업으로 등록된 국내 목포 매립가스 사업(사업번호: 2834)에 적용하였다. 매립가스 사업은 폐기물을 매립하고 이에 의해 발생하는 메탄가스를 이용하여 전력을 생산하는 사업이다.

UNFCCC 사이트(<http://cdm.unfccc.int>)에 공개된 내용에 따르면 본 사업은 연간 탄소저감량이 23,779 ton-CO2e이며 사업 타당성 분석 시 CER 가격은 9유로로 설정하여 고정 시킨 후 사업성 분석을 하고 있다. 그 결과 IRR은 4.5%, NPV는 -1.07억원으로 분석되어 있다. Table 4에서 보듯이, IRR이 해당 사업의 할인율인 5.24%보다 낮으며 NPV도 0보다 작아 투자경제성이 없는 사업인 것을 볼 수 있다.

매립가스 사업은 다른 신재생에너지 사업(태양광, 풍력 등)에 비해 상대적으로 탄소저감량이 많아 CDM 사업 중에 사업성이 높다(구분상 2013). 그럼에도 불구하고 이처럼 고정된 CER 가격으로 판매를 했을 경우 사업성이 떨어지는 것을 볼 수 있다.

Table 4. Matters regarding the analysis of the landfill gas project (<http://cdm.unfccc.int>)

	Value	Unit
CER	9	euro/ton-CO2e
Carbon reduction amount	23,779	ton-CO2e
NPV	-1.07	KRW 100 million
IRR	4.5	%
Discount rate (national or public bonds)	5.24	%
Crediting period	7	year
Project period	10	year

4.2. 변수 산정 및 분석 방법

본 사업에서 CER을 주어진 크레딧 인정기간 내에 가격이 유리할 경우에만 판매하는 이항옵션 가격 모형으로 모델링

하고 그 결과로 최종옵션가치, 옵션가치 라티스의 절점별 해석 및 연도별 확률 분석을 실시하였다.

분석을 위한 변수들은 Table 5와 같으며 3장에서 소개된 방법으로 산정되었다. 이 중에서 행사가격(X)의 경우, 요구 IRR은 본 매립사업이 최소한 사업성이 있기 위해서 IRR을 할인율($IRR > \text{할인율}$) 보다 크게 해주는 요구 CER을 구하여 분석을 실시하였다. 이에 따라 식 (5)를 이용하여 산출된 행사가격이 Table 5에 제시되어 있다.

변동성(σ)의 경우, 실적 데이터는 ICE사의 자료 중 2009년 1월부터 2012년 4월까지의 CER 가격에 대한 데이터를 근거로 산정하였다(Table 6). 본 데이터에 변동성을 구하는 식(6),(7)를 사용하였고 최종적으로 38.9%를 산출하였다.

Table 5. Variable calculation methods and applied values

Variable	Variable calculation method	Value
S_0	A value obtained by converting the sales volume obtained with the fixed CER into the present value	€1,227,648
X	A value obtained by converting the sales volume obtained with the required CER into the present value	€1,363,755
σ	The LCFR method was used (period : 09.01~12.04)	38.9%
Δt	Real option application period	1 year
T	Crediting period	7 years
r	The same value as used during the DCF analysis of the landfill gas project	5.24%
u,d	values calculated using the formulas $u = e^{\sigma \sqrt{\Delta t}}, d = e^{-\sigma \sqrt{\Delta t}}$	$u=1.48, d=0.68$

Table 6. Monthly CER prices from January 2009 to April 2012

Year	Month	CER (euro)	Year	Month	CER (euro)
2009	1	10.63	2011	1	12.31
	2	9.32		2	12.96
	3	11.11		3	14.59
	4	11.93		4	14.61
	5	13.25		5	14.30
	6	12.09		6	11.75
	7	12.43		7	10.35
	8	13.44		8	10.39
	9	11.62		9	9.16
	10	13.80		10	8.17
	11	12.11		11	6.39
	12	11.48		12	5.56
2010	1	11.87	2012	1	5.21
	2	11.67		2	6.08
	3	11.03		3	5.03
	4	13.40		4	4.91
	5	12.09		5	
	6	12.85		6	
	7	12.65		7	
	8	12.74		8	
	9	13.08		9	
	10	11.86		10	
	11	11.14		11	
	12	11.18		12	

Source : Intercontinental Exchange, London. ICE

4.3 적용 결과

4.3.1 최종 옵션 가치

Fig. 6은 고정된 CER 매출에 식(1)을 사용하여 얻어진 u,d 값을 곱하여 만들어진 자산가치 라티스이고 Fig. 7은 행사가격(X)이 136.4만 유로로 생성된 옵션가치 라티스를 나타낸다.

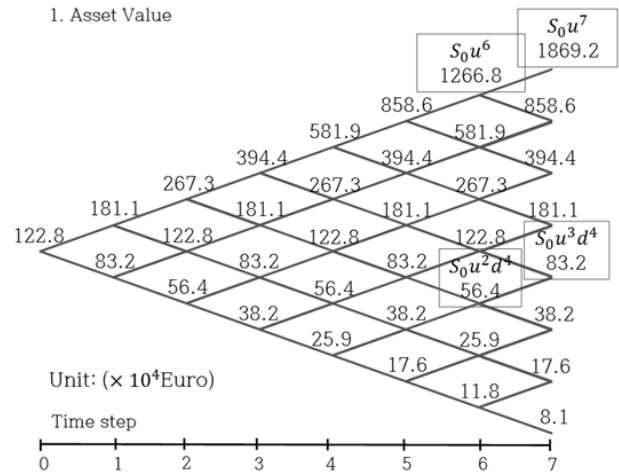


Fig. 6. Asset value lattice

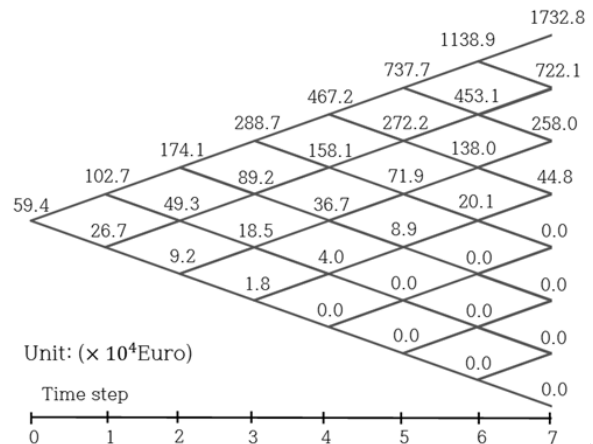


Fig. 7. Option value lattice

최종 옵션 가치는 59.4만 유로이다. 이는 현재가치로 환산된 값이므로 기존 NPV 값인 -1.07억원에 추가로 8.9억원(594,135유로*1500원)의 가치가 생긴 것이다. 결국, CER 판매 옵션을 가졌을 때 사업의 최종가치는 7.83억원이 된다. 즉, NPV가 0보다 커져 사업성이 있는 것이다.

결론적으로 이는 기존의 NPV대비 사업가치가 증가 하였다고 할 수 있다. 이러한 결과는 CDM 사업을 진행할 때 수익성 부분에 있어서 큰 장점으로 제공될 것이다.

4.3.2 라티스 절점별 옵션 행사 여부

위와 같이 주어진 두 개의 라티스에서 Table 2에서 소개

된 대로 절점별로 순자산가치와 옵션가치를 비교하여 CER의 판매, 지연 또는 포기 여부를 결정할 수 있다. 아래는 각각의 경우에 예시를 제공하였다.

1) 자산가치 라티스에서 절점 S_0u^7 은 1869.2만 유로이다. 이 옵션의 행사가격(X)가 약 136.4만 유로이기 때문에 순자산가치(net asset value)는 1732.8만 유로가 될 것이다. 이 시점에서 옵션사용을 하지 않고 지연을 시킨다면 옵션만기 기간인 7년을 넘어가기 때문에 다음번의 수익은 0이 될 것이다. 그러므로 S_0u^7 에는 옵션 행사를 결정하는 것이 가장 합리적이다.

2) 자산가치 라티스에서 절점 $S_0u^3d^4$ 에서 예상되는 자산가치는 83.2만 유로이다. 행사가격(X)가 약 136.4만 유로인 것을 고려하면 예상되는 손실액은 53.2만 유로이다. 이때의 옵션가치 라티스에 동일 절점에 해당하는 값은 0이다. 그러므로 이 시점에서는 옵션을 포기하는 것이 좋다.

3) 자산가치 라티스의 절점 S_0u^6 에서 순자산가치는 1266.8만 유로이고 식(2)를 통하여 옵션가치를 구하면 1138.9만 유로이다. 이 절점에서 옵션가치와 순자산가치는 0보다 크기 때문에 이 시기에는 옵션을 행사하지 않고 지연시키는 것이 더욱 이익이다.

4) 자산가치 라티스의 절점 $S_0u^2d^4$ 에서 자산가치는 56.4만 유로이다. 행사가격(X)는 136.4만 유로이므로 순 손실은 80만 유로이다. 옵션가치를 계산해보면 0이기 때문에 이 부분에서 옵션가치는 0 순 자산가치는 음수가 나온다. 순자산가치는 0보다 작고 옵션가치는 0이므로 이 절점에서는 옵션을 포기하는 것이 유리하다.

Fig. 8은 모든 절점별로 분석을 실시했을 때 옵션을 지연, 판매 및 포기로 구분해 놓은 것이다.

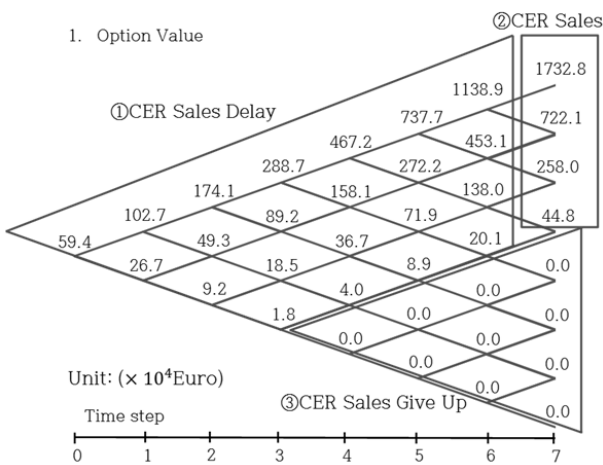


Fig. 8. Ranges of determination of CER sales, delay, or giving up

4.3.3 확률적 분석을 통한 자연 리스크 선정

앞서 정립한 파스칼의 트리아앵글을 라티스에 적용한 결과는 Fig. 7과 같으며 이를 연도별로 합산한 값이 Table 7에 제시되어 있다.

Table 7. Probability of Landfill gas of Option sales, delay, or giving up (Unit : %)

1year	2year	3year	4year	5year	6year	7year
100	100	100	93.8	81.3	65.7	50

위에서 보듯이 본 매립가스 사업에서 가장 안전한 CER 판매시점은 사업 운영시작 후 3년까지인 것이다. 즉, 3년까지는 CER 판매를 지연해도 손해를 보지 않지만 4년차부터는 옵션으로 손해를 볼 확률이 늘어나기 시작한다.

앞서 계산한 값은 IRR 값이 할인율을 넘기 위한 최소한의 CER 값으로 행사가격(X)을 설정한 것이다. 이는 투자 경제성의 최저기준이고, 일반적으로는 IRR이 높을수록 투자 매력력이 증가한다. 예를 들어, IRR을 10%로 설정하여 행사가격(X)을 구하여 동일한 방식으로 라티스를 전개한다면 그에 대한 옵션의 판매, 지연시의 확률은 Table 8과 같이 나타난다.

Table 8. Probability of Option sales, delay, or giving up when the IRR=10% (Unit : %)

1year	2year	3year	4year	5year	6year	7year
100	100	87.5	68.8	50	34.4	22.7

위의 표에 대한 안전한 CER의 판매시점은 사업 운영시작 후 2년까지로, Table 7에 비해 1년 단축된 것을 볼 수 있다. 이는 증가한 행사가격의 크기만큼 순자산가치가 감소하여 옵션가치 라티스의 가치를 전체적으로 하락시키기 때문이다. 이처럼 IRR 값을 변경함에 따라 CER 판매 지연에 따른 손실확률을 파악할 수 있게 되며, 이는 사업자에게 리스크 정도를 비교 분석할 수 있게 해준다.

4.3.4 소결

적용 사례에서 보듯이, 주어진 CDM 사업에서 CER의 판매를 지연할 수 있는 옵션이 있다면, 이는 일정 가격 이상 일경우에만 판매하는 것이므로 전체 사업의 NPV 증대에 기여하고 결론적으로 전체 사업의 수익성이 향상되는 것을 볼 수 있다.

제시된 이항옵션 모형은 이 옵션의 양적 산정을 가능하게 해 줄 뿐 아니라 크레딧 인정 기간 중 예상 CER 가격에 따라 CER을 판매, 지연 내지 포기 여부를 제시해 줄 수 있다. 또한, 확률적으로 몇 년까지 판매를 지연해도 손해를 보지 않는지를 산정할 수 있게 해 준다.

따라서, CDM 사업자가 CER을 선물계약으로 할 것인지,

아니면 옵션 형태로 판매할 것인지에 관한 투자의사결정에 유용한 정보를 제공해 주고 있다.

5. 결론

저감된 온실가스에 상응하는 CER을 제공하고 이의 판매를 통해 추가 수입원을 제공해 주는 CDM 사업체계는 신재생에너지와 같이 아직 채산성이 떨어지는 친환경 사업에 중요한 보조 방안 중 하나이다. 그러나, 2012년 이후 포스트 교토의정서가 발효되지 않아, 국제탄소시장의 탄소가격은 극심한 가격 하락세를 이어가고 있으며 이에 따라 기존 CDM 사업들의 경제성에 타격을 주고 있다.

본 연구에서 시도한 실물옵션 접근 방식은 이러한 문제를 인지하고 이에 따라 CER의 판매를 통한 추가 수입을 극대화할 수 있는 방안의 일환으로 제시한 것이다. 즉, CER의 판매를 일정 이상일 경우에만 판매하는 조건을 실물옵션으로 모델링함으로써 손실위험(downside risk)은 면하면서 잠정 혜택(upside gain)은 최대화 할 수 있도록 해준 것이다.

이를 매립가스 사업에 적용해 본 결과 고정 가격에 CER을 판매했을 때보다 사업의 가치가 증가하는 것을 정량적으로 파악할 수 있었다. 더불어, 이항옵션 가격 모형을 사용함으로써 예상 CER 가격에 따라 달라지는 판매 전략을 제시할 수 있었으며, 파스칼의 트라이앵글을 도입함으로써 크레딧 인정 기간 중 확률적으로 손해를 피하면서 CER 판매를 최대 지연할 수 있는 기간을 산정할 수 있었다.

이는 NPV 분석에서는 수행이 불가능한 분석으로서 CER 판매에 대한 올바른 투자의사결정에 중요한 정보를 제공해 줄 수 있음을 보여준다.

미래 현금흐름을 라티스로 예측하기 위해 실적데이터를 사용하였지만 실질적으로 2012년 이후 탄소시장에 크게 작용할 외부 변수들은 고려되지 못한 한계점이 있다. 또한 CER 가격의 상한가를 두지 않은 문제점도 있다.

마지막으로, 매립가스 사업은 탄소저감량이 매우 큰 사업으로 CER 판매 가격에 따라 IRR이 크게 상승할 수 있어 옵션의 혜택을 크게 볼 수 있는 사업이다. 이에 비해 다른 신재생에너지 사업은 CER 매출 비중이 미비하여 혜택이 적을 수 있으며 이러한 사업별 비교 분석이 향후 연구로 계획되어 있다.

감사의 글

이 논문은 2012년도 정부재원(교육과학기술부)으로 한국연구재단의 지원을 받아 연구되었음 [NRF-2012-R1A1A2009327]

References

Black, F., Scholes, M (1973). "The pricing of Options and Corporate Liabilities." *Journal of Political Economy*, 81(3)

Bishop, V (2007). "Improving price equity in CDM projects: strategies for maximizing carbon value." *Equal Exchange: Determining a Fair Price for Carbon*.

Cox, J., Ross, S., Rubinstein M (1979). "Option Pricing: A simplified approach" *Journal of Financial Economics*, 7(3), pp. 229-263.

EcoSecurities (2007). "Guidebook to financing CDM projects." Roskilde UNEP-CD4CDM

Gürkan, K., Reinhard, M., Mustafa, Demirel. (2008). "A real option evaluation model for the diffusion prospects of new renewable power generation technologies," *Energy Economics*, 30, pp. 1882-1908.

Heimdal, C., Dimantchev, E., Chai, H., Mazzacurati, E., Nordeng, A., Sørhus, I., Yakymenko, N. and Zelljadt, E.(2012). "Carbon 2012. A Market Waiting for Godot." Thomas Reuters Point Carbon.

Jung, W. Y., Koo, B. S., Han, S. H. (2008) "Estimation Profitability of Private Finance Investment Using Real Option : Quantifying Value of Overturn Share Ratio and Minimum Revenue Guarantee." *Korea Journal of Construction Engineering and Management*, KICEM, 9(6), pp. 611-614.

Kodukula, P. and Papudesu, C (2006). "Project Valuation Using Real Options: A Practitioner's Guide." J. ROSS Publishing.

Koo, B. S. (2013). "A study on the analysis of the improvement of the profitability of green construction projects by FIT and CDM assisting methods," *Korea Journal of Construction Engineering and Management*, KICEM, 14(3), pp. 123-133.

Korea Energy Management Corporation (2007). "CDM project guidelines for enterprises," Korea Energy Management Corporation, Hwashin Culture Co., Ltd.

Lee, H., Park, T. I., Kim, B., Kim, K., and Kim, H. (2013). "A Real Option-Based Model for Promoting Sustainable Energy Projects under the Clean Development Mechanism" *Energy Policy*, 54, pp. 360-368.

Yun, W. C. (2001). "Assessment of the economic feasibility of energy related projects utilizing the real option pricing method," *Korea Energy Economics Institute*.

Yun, W. C., Son, Y. H., and Kim, S. D. (2003). "Analysis of the feasibility of power plant construction utilizing real options," *Resource-environment and Economy Study*, 12(2), pp. 217-244.

World Bank(2012). *Green Infrastructure Finance : Framework Report*. © Washington, DC.

요약: 청정개발체제(Clean Development Mechanism, CDM)사업은 온실가스 배출을 줄이는 대신 그에 상응하는 탄소배출권(Certified Emission Reductions, CER)의 판매를 통해 추가 수입을 얻는 대표적인 신재생에너지 사업 보조 수단이다. 그러나 선물계약으로 고정된 가격에 CER을 판매할 경우 손실위험은 피할 수 있으나 CER 가격 상승에 따르는 프리미엄 혜택은 받지 못한다. 본 연구에서는 CER 매출을 극대화하기 위한 방안으로 CER이 일정 가격이상 일 경우에만 판매하는 권한을 실패옵션으로 모델링하였다. 옵션 가치를 정량화하기 위해 이항옵션 가격 모형을 활용하였으며, 생성된 라티스를 통해 예상되는 CER의 시장가격에 따라 옵션의 행사, 지연 및 포기여부의 점점별 분석을 가능케 하였다. 더불어, '파스칼의 트라이앵글' 원리를 적용하여, 손실은 피하면서 CER 판매를 지연시킬 수 있는 연도별 확률을 구할 수 있는 방안을 정립하였다. 이를 실제 국내 CDM 사업 중 매립가스 사업에 적용해 본 결과, 옵션으로 인해 사업의 NPV가 증대되었고, 최대 3년까지 CER 판매를 지연해도 손해를 보지 않는 것으로 관측되었다. 본 연구에서 제시한 프레임워크는 분석과정에서 투명성을 제공하고 NPV분석 외에 추가적인 사업성 정보를 제공하여 CER 판매 전략에 관한 중요한 투자 의사결정 정보를 제시해 준다.

키워드 : CDM, CER, 실패옵션, 이항옵션가격 모형, 투자 경제성 분석
