

# R&D 프로젝트 투자 의사결정을 위한 실물옵션 의사결정나무 모델

최경현<sup>1\*</sup> · 조대명<sup>2</sup> · 정영기<sup>2</sup>

<sup>1</sup>한양대학교 기술경영대학원 / <sup>2</sup>한양대학교 산업공학과

## Real Option Decision Tree Models for R&D Project Investment

Gyunghyun Choi<sup>1</sup> · Daemyeong Cho<sup>2</sup> · Youngki Joung<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Graduate School of Technology and Innovation Management, Hanyang University

<sup>2</sup>Department of Industrial Engineering, Hanyang University

R&D is a foundation for new business chance and productivity improvement leading to enormous expense and a long-term multi-step process. During the R&D process, decision-makers are confused due to the various future uncertainties that influence economic and technical success of the R&D projects. For these reasons, several decision-making models for R&D project investment have been suggested; they are based on traditional methods such as Discounted Cash Flow (DCF), Decision Tree Analysis (DTA) and Real Option Analysis (ROA) or some fusion forms of the traditional methods. However, almost of the models have constraints in practical use owing to limits on application, procedural complexity and incomplete reflection of the uncertainties. In this study, to make the constraints minimized, we propose a new model named Real Option Decision Tree Model which is a conceptual combination form of ROA and DTA. With this model, it is possible for the decision-makers to simulate the project value applying the uncertainties onto the decision making nodes.

**Keyword:** R&D project, real options, decision tree

### 1. 서론

대부분의 기업들은 신제품 개발을 통해 기업 경쟁력을 확보하기 위하여 인력, 예산 등 막대한 자원을 R&D에 투자하고 있다. R&D 투자는 국가적으로는 기반기술 확보, 기술인력 확보, 민간기술유도 및 투자유도 등 다양한 경로를 통해 신산업 개척의 기반을 제공해 주며, 기업에서는 R&D 투자를 통한 기술혁신을 이룸으로써 신제품의 개발 및 신시장 개척 등 기업의 생산성 향상을 통해 기업의 위기상황을 극복하고 장기적으로는 기업의 경쟁력을 확보할 수 있다. 그러나 이러한 R&D는 장기

간에 걸쳐 여러 단계로 진행되며 그에 따른 투자비용도 막대하게 소요된다(Park, 2005). 연구개발이 성공적으로 이루어지게 되면 사업화에 따른 이익창출도 대규모로 이루어지게 되지만, 단계별 연구개발 소요비용도 적지 않을 뿐만 아니라 각 단계를 성공적으로 진행할 수 있을지에 대해서도 불확실성이 크게 존재한다. 또한 R&D에 투자하는데 있어서 투자비용, 투자시기, 경쟁사의 동향, 경제 환경 등 고려해야할 변수도 너무 많고 이로 인해 투자의 결과에 대한 불확실성은 더욱 증가할 수밖에 없다. 이와 같이 프로젝트 수행과정에서 불확실하게 발생하는 사건들로 인해 R&D 투자 활동과 같이 주변 환경이 급

이 논문은 2009~2012년 지식경제부 산업원천기술개발 사업의 지원을 받아 수행되었음.

\*연락처 : 최경현 교수, 133-791 서울특별시 성동구 왕십리로 222 한양대학교 기술경영전문대학원,

Fax : 02-2220-2255, E-mail : ghchoi@hanyang.ac.kr

투고일(2011년 10월 11일), 심사일(1차 : 2011년 02월 21일, 2차 : 2011년 07월 15일, 3차 : 2011년 08월 19일), 게재확정일(2011년 08월 22일).

변하는 장기간의 투자사업 프로젝트의 경우 프로젝트는 중단되거나 연기 혹은 취소되는 등 여러 가지 다양한 방향으로 발전하게 되므로 주변 환경의 불확실성을 충분히 고려하여 투자 전략을 수립한다면 프로젝트를 성공적으로 수행할 수 있지만 미래에 불확실하게 발생할 수 있는 시장 환경의 변화에 유연하게 대처하지 못한다면 투자 프로젝트는 실패하게 될 것이다. 이처럼 빠르게 변화하는 시장 환경에서 기업의 경영자들의 투자 의사결정은 기업의 존망을 좌우할 정도로 매우 중요한 문제이다. 투자를 할 것인지 안할 것인지, 어느 시점에 투자를 할 것인지, 어느 정도 투자를 할 것인지, 시장 환경에 따라 투자를 확장할 것인지 축소 또는 포기할 것인지 등 투자를 위한 의사결정에는 고려해야 하는 변수도 많고, 기업에서는 이러한 여러 조건들을 모두 고려하여 올바른 투자 의사결정을 내려야만 한다. 이에 올바르게 정확한 투자 의사결정을 위해서는 먼저 투자하는 프로젝트의 가치에 대한 정확한 평가가 이루어져야 한다. 이를 위해 투자 프로젝트의 가치평가를 위한 여러 방법들이 연구되고 개발되어져 왔다.

현금흐름할인 접근법은 기업의 프로젝트 가치평가 방법 중 가장 많이 언급되는 용어로서, 향후 사업의 위험을 충분히 예측할 수 있을 경우 즉, 현재 및 미래에 비교적 안정된 현금흐름이 예상되는 사업에 적합하여 실물로 투자한 사업의 재무타당성 분석에 폭넓게 이용되어져 왔다(Luchrman, 1997; Myer, 1984). 하지만, 이 기법은 이미 계획된 의사결정에 따라 사업이 수행된다고 가정하기 때문에 대규모 프로젝트 파이낸스, 석유 시추 등의 자원개발, 장시간의 R&D 투자를 수반하는 신약개발, 그리고 반도체산업 등과 같이 미래의 커다란 불확실성을 내포하고 있는 사업에서는 경영상 유연성(Management Flexibility)으로 일컬어지는 투자분석의 관행을 올바르게 반영하지 못하는 단점이 있다(Dixit and Pindyck, 1994; Mun, 2002; Sick, 1990; Trigeorgis, 1999). 이러한 접근법의 단점을 보완하기 위해 새로운 프로젝트 가치평가의 대안으로 옵션가격결정 이론을 기반으로 한 실물옵션 접근법이 제안되었다. 하지만 이러한 실물옵션 접근법은 금융옵션 개념에 기초하고 있기 때문에 재무적 지식이 요구되며, 수학적으로 복잡하여 접근하기 어렵기 때문에 의사결정자들이 쉽게 사용하지 못하고 있다. 이에 본 연구에서는 R&D 투자 프로젝트와 같이 불확실성이 높은 프로젝트들의 투자 의사결정시 의사결정에 따른 이득과 손실을 손쉽게 비교 분석하여 투자 전략을 수립할 수 있도록 하기 위한 방법을 제시하고자 한다.

## 2. 프로젝트 평가를 위한 전통적 방법론

최근까지도 프로젝트 평가를 위해서 다양한 방법들이 사용되고 있는데, 그 중 대표적인 주요 방법으로는 현금흐름할인법(DCF : Discounted Cash Flow), 의사결정나무(DTA : Decision Tree Analysis) 및 실물옵션(ROA : Real Options Analysis) 접근법 등이 있다.

### 2.1 현금흐름할인법(DCF)

투자안의 평가 시 자주 사용되는 전통적 방법인 DCF 방법은 투자사업의 순이익을 현재시점에서 추정된 가치(NPV : Net Present Value)를 가지고 의사결정을 하는 방법으로 투자 사업의 미래 현금흐름에 위험할증을 고려한 할인율을 적용함으로써 투자 사업 순이익의 순현재가치를 구하고 이것이 0보다 크면 투자를 하고, 그렇지 않으면 투자를 포기하는 방법이다(Brigham and Houston, 2004).

투자사업의 순현재가치 NPV는 다음의 식에 의해 간편하게 구할 수 있다.

$$NPV = \sum_{t=1}^T \frac{X_t}{(1+r)^t}$$

여기서  $X_t$ 는 프로젝트의 순현재금흐름을 나타내고,  $r$ 은 할인율을 나타낸다.

이 방법은 향후 사업의 위험을 충분히 예측할 수 있을 경우 즉, 현재 및 미래에 비교적 안정된 현금흐름이 예상되는 사업에 적합하여 실물로 투자한 사업의 재무타당성 분석에 폭넓게 이용되고 있다(Luchrman, 1997). DCF 방법은 모든 프로젝트에 대한 명확하고 일관성 있는 의사결정 기준을 지니고 있고, 화폐의 시간가치와 위험구조를 반영하고 있으며 관리자에게 설명하기 용이하며 쉽게 이해할 수 있는 장점이 있어 기업에서 프로젝트 가치평가 시 많이 사용되어져 왔다(Galvis and Bravo, 2008). 그러나 DCF 방법은 미래의 경제적 유입기간 동안 현금흐름 기대값이 고정되어 있다고 가정하고 있으며 이로 인한 미래 불확실성과 변동성을 반영하지 못한다는 단점을 가지고 있다. 또한 DCF 방법에서 사용되는 할인율은 고정적이며 모든 위험은 전적으로 할인율로서 설명하지만 현실에서는 프로젝트와 연관된 위험은 미래 시장, 기술환경에 따라 크게 변할 수 있어 이를 적절히 반영하지 못하는 단점도 가지고 있다.

### 2.2 의사결정나무법(DTA)

의사결정나무 기법은 투자 프로젝트 수행과정에서 발생하는 사건과 선택해야 하는 여러 대안의 조합에 의한 경로(path)의 결과를 나무(tree) 구조로 나타내는 방법으로 투자 의사결정을 돕기 위한 도구로서 사용될 수 있다. 의사결정나무는 기회마디(chance node)와 의사결정마디(decision node)로 연결되어 종료교점(terminal node)으로 마무리되는 경로에 의해 구성되는데, 여타 평가 방법과는 달리 선택의 기회, 위험, 목적, 금전적 이익뿐만 아니라 투자 문제에서 요구되는 정보 등을 의사결정자에게 명확하게 설명할 수 있다는 장점을 가지고 있다(Magee, 1964).

의사결정나무에서 의사결정 마디에 연결된 가지(branch)는

의사 결정에 따른 대안을 나타내고, R&D 투자 프로젝트에서의 대안은 투자 및 설비의 확장, 축소 또는 투자프로젝트의 포기 등이 있으며 의사결정자는 이러한 대안들 중에서 하나를 선택할 수 있다. 의사결정나무에서 불확실한 상황인 상황 마디(event node, 또는 chance node)에 연결된 가지는 사건을 나타내며, 이러한 사건들은 불확실성을 가지고 발생하게 된다. R&D 프로젝트 투자 활동과 같이 프로젝트 수행과정에서 주변 환경이 급변하는 경우에는 투자활동 과정에서 발생하는 사건들로 인해 투자가 중단되거나 연기 혹은 취소되는 등 여러 가지 다양한 방향으로 발전하게 된다. 이때 의사결정나무 기법을 활용하면 미래에 발생하게 되는 다양한 사건을 반영한 프로젝트 수행 경로를 모두 설정할 수 있어 투자 프로젝트의 가치를 유연성 있게 평가할 수 있다. 하지만 각 경로의 이득과 손실을 비교 분석하기 위해서는 각 마디에서의 사건 가치가 발생할 확률을 정량적으로 제시할 수 있어야 하는데, 이 과정이 쉽지 않고 모호하다는 단점이 있다.

2.3 실물옵션 기법(ROA)

상기와 같은 전통적 프로젝트 평가 방법의 문제점으로 인해 실물옵션 기법이 대안으로 등장하였다.

실물옵션은 Myers(1977)에 의해 처음 제안되었으며 금융옵션 개념에 기초하고 있다. 옵션이란 특정 행사일(유럽형) 혹은 행사일 이전(미국형)에 미리 약정된 가격인 행사가격(strike or exercise price)으로 특정 기초자산을 사거나 팔 수 있는 권리를 옵션 매입자에게 주는 것이다. 따라서 투자안의 진행과정에서 발생할 수 있는 시장 환경의 변화에 따라 투자를 연기, 포기, 축소, 확장할 수 있는 옵션은 금융옵션에 대한 투자 패턴과 유사하며 금융옵션의 가치평가를 위해 개발한 이론과 방법을 적용할 수 있다. 옵션의 가치를 설명하는 이론은 크게 연속시간(continuous time)대의 모형과 이산시간(discrete time)대의 모형으로 나누어 볼 수 있다. 먼저 연속 모형은 블랙-숄츠 방정식이 그 대표적인 예이며 다음과 같이 구할 수 있다 (Hull, 1997).

$$C = SN(d_1) - Xe^{-r(T-t)}N(d_2)$$

$$d_1 = \frac{\ln(\frac{S}{X}) + (r + 0.5\sigma^2)(R-t)}{\sigma\sqrt{T-t}}$$

$$d_2 = d_1 - \sigma\sqrt{R-t}$$

여기서  $C$ 는 옵션의 이론가격,  $N(\cdot)$ 는 표준정규분포의 누적확률,  $\sigma$ 는 실물수익율의 표준편차,  $S$ 는 현재 실물지수,  $X$ 는 옵션행사가격,  $T-t$ 는 잔존일수를 나타낸다. 이밖에도 Pindyck(1991)은 투자 시간에 대한 문제를 연속모형의 예를 통하여 보여주었으며 Brennan and Schwartz(1978) 그리고 Hull and White(1990)는 유한차분법(Finite Difference Method)을 이용

한 옵션 가격결정과정을 제시하였다. 연속모형은 만기까지 행사할 수 없는 형태인 유럽형 옵션을 평가하기에 편리하다는 장점이 있지만 미국형 옵션(American Option)이나 복합옵션(Compound Option)과 같이 만기 이전에 행사되거나 여러 옵션이 동시간대에 복합적으로 얽혀 있을 경우 혹은 순차적인 옵션이 존재할 경우에는 모형화와 수학적 복잡성 등으로 인해 사용하기 어려운 단점이 있다. 블랙-숄츠 모형은 수학적으로 매우 어려웠기 때문에 보다 간단한 수학적 기법을 이용하여 동일한 결과를 유도할 수 있는 방법이 요구되었으며, Cox *et al.*(1979)가 보다 간단한 방법으로 개발한 것이 이항 모형의 대표적 형태인 이항 격자모형이다. 이 모형은 옵션가격을 결정하는 기초자산인 주가가 상승 또는 하락하는 두 가지 경우, 즉 이항분포에 따른다고 가정함으로써 블랙-숄츠 모형보다 더 쉽고 직관적으로 옵션가격결정 요인들 간의 관계를 설명하고 있다. <그림 1>은  $n = 3$ 일 때의 기초자산의 이항 움직임의 예이다. 여기서  $S$ 는 기초자산의 가치,  $u$ 는 상승률,  $d$ 는 하락률을 나타낸다. 이항모형은 기초자산의 가격이 다음 시점에 취할 수 있는 값은 오직 상승 또는 하락 두 가지 뿐이며 또한 이들 값을 현재 시점에서 이미 알고 있다는 가정 하에서 옵션의 가격이 어떻게 결정되는지를 보여주는 모형으로 연속모형에 비해 변동의 경우를 작게 가져가야 한다는 단점을 가지고 있다.

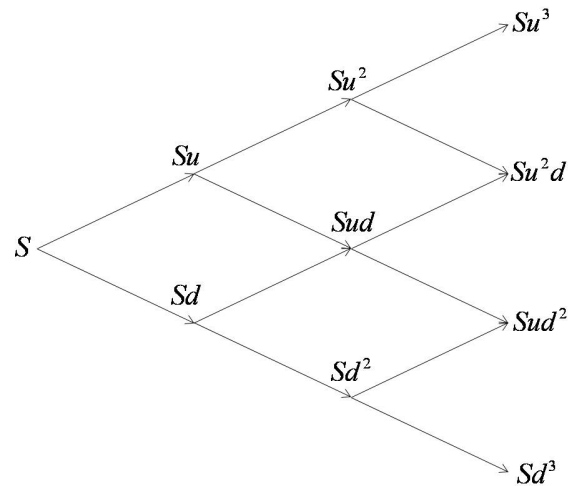


그림 1. 기초자산의 이항움직임

3. 전통적 방법론 혼합에 의한 프로젝트의 평가

상기에서 논의한 프로젝트 평가를 위한 전통적 방법론은 각기 그 장단점을 가지고 있다. 각 방법론에 대한 주요 장단점을 비교해 보면 <표 1>과 같다.

이러한 장·단점들로 인해 각 방법론의 장점을 최대한 살리기 위한 혼합적 기법이 등장하게 되었다. 이 중 주요한 혼합적 기법 모델은 다음과 같다.

표 1. Comparison of traditional methods for project evaluation

방법론	장점	단점
현금흐름 할인법	· 간단명료	· 미래 위험요인의 불확실성 미반영
의사결정 나무	· 간단명료 · 미래 위험요인의 불확실성 반영	· 불확실성에 대한 정량적 산출 방법 모호
실물옵션	· 미래 위험 요인의 불확실성 반영 · 불확실성에 대한 정량적 산출 가능	· 불확실성에 대한 정량적 산출 방법 난이

### 3.1 실물 옵션과 의사결정나무의 순차적 적용 모델

Kodukula and Papudesu(2006)는 많은 프로젝트들이 신기술의 효과 및 신기술 개발의 성공 여부와 같은 프로젝트 자체적 불확실성(private uncertainty)과 상업적인 성공여부와 같은 시장의 불확실성(market uncertainty)을 동시에 지니고 있으며, 이러한 두 가지의 불확실성을 모두 고려하여 프로젝트를 평가하기 위해서 의사결정나무와 실물옵션 기법을 통합하여 프로젝트를 평가하는 모델을 제안하였다. 이 모델에서는 먼저 시장의 불확실성을 고려하기 위해 실물옵션 기법의 이항 격자 모델을 이용하여 출시단계에서부터 상업화 단계에 이르기까지의 프로젝트의 가치를 구하고, 개발 단계에서 출시단계 사이에 존재하는 각종 프로젝트 자체적 불확실성을 고려하기 위해 앞에서 계산한 실물옵션 가치를 의사결정나무에 통합시키며 의사결정나무를 이용하여 전체 프로젝트의 가치를 구한다. Kodukula and Papudesu(2006)는 프로젝트 자체적 불확실성에 대한 예로써 신기술의 임상실험 및 FDA 승인을 들고 있으며 처음에 가정한 임상실험의 성공과 실패에 대한 각각의 확률과 FDA 승인 성공과 승인실패 각각에 대한 확률을 이용하여 의사결정 나무의 노드를 생성한다.

Kodukula and Papudesu(2006)의 모델은 먼저 실물옵션의 이항 격자 모델을 이용하여 자체적 불확실성인 임상실험과 FDA승인이 모두 성공한 후의 출시시점에서의 실물옵션가치를 구하고 다음으로 의사결정나무를 이용하여 현재시점에서의 전체 프로젝트의 가치를 계산한다.

이 모델에서 제안하는 것처럼 프로젝트가 시장의 불확실성과 임상실험 또는 FDA 승인 여부와 같은 프로젝트 자체적 불확실성을 동시에 지니고 있는 경우에는 실물옵션 접근법과 의사결정나무법을 순차적으로 적용하는 것이 가능하지만 모든 프로젝트들이 이와 같은 두 가지의 불확실성을 동시에 지니고 있는 것이 아니기 때문에 이 사례에서처럼 실물 옵션과 의사결정나무를 각각의 불확실성에 개별적으로 적용하는 데에는 한계가 있다.

또한 이 모델에서 사용하는 의사결정나무는 의사결정자의 의사결정에 따라 노드가 생성되는 것이 아니라 성공과 실패의 확률로서 노드가 생성되기 때문에 의사결정자의 의사결정을

반영하지 못한다. 이 모델에서의 의사결정나무는 확장, 축소, 포기옵션 등을 이용하여 노드를 생성하기가 어렵기 때문에 경영상 유연성을 반영한 의사결정을 할 수 없고 따라서 미래의 커다란 불확실성을 내포하고 있는 R&D 투자와 같은 프로젝트에 적용하기에는 한계가 있다.

### 3.2 의사결정나무에 실물 옵션 접근법을 적용한 모델

Brandao and Dyer(2005)는 기존의 의사결정 나무 기법에 Copeland and Antikarov(2001)에 의해 개발된 실물 옵션 방법론을 사용하여 프로젝트의 가치를 계산하는 모델을 제안하였다.

이 사례에서는 프로젝트 의사결정나무의 노드와 가치를 생성하기 위한 파라미터로써 위험중립 확률과 프로젝트의 각 기간에 발생하는 기대현금흐름을 사용하며, 여기서 위험중립 확률은 의사결정나무의 각 단계에서 현재가치로 할인될 때 프로젝트의 정확한 가치를 제공한다. 이 사례에서는 먼저 위험중립 확률을 계산하여 각각의 상승가치와 하락가치를 생성하며, 상승노드와 하락노드에서 발생하는 현금흐름에 대하여 기간에 따른 할인율과 상승률, 하락율을 이용하여 각 노드에서의 기대현금흐름을 구한다. 최종적으로는 각 노드에서 구한 현금흐름을 모두 더해줌으로써 최종 노드에서의 현재가치를 구하게 되며, 이 최종노드에서의 현재가치는 위험중립 확률에 의해 다시 현재시점의 프로젝트의 가치로서 할인된다.

이 모델에서는 프로젝트의 가치를 평가하기 위해 추가적으로 실물옵션 접근법의 확장과 포기옵션을 적용하여 의사결정나무의 노드를 생성하였다. 이 사례에서 옵션의 실행 시점을 보면 확장 또는 포기 등 옵션에 대한 의사결정의 시점이 프로젝트의 가치가 상승 또는 하락한 후에 이루어지게 된다. 그러나 현실에서 프로젝트에 대한 의사결정은 당해년도에 프로젝트의 가치가 상승 또는 하락한 후에 이루어지는 것이 아니라 당해년도 초에 프로젝트 투자 옵션에 대한 의사결정이 이루어지고 나서 프로젝트의 가치가 시장 환경에 의해 상승 또는 하락하는 것이 일반적이다. 따라서 이 사례에서의 모델은 프로젝트의 가치를 평가하기 위하여 적용하는 것은 가능하지만 의사결정 나무를 활용하여 의사결정자의 의사결정을 지원하기 위한 도구로서는 적절하지 않다. 또한 이 모델에서는 각 년도에 현금흐름에 대한 기대현금흐름을 계산하고 이 기대현금흐름에 이항모형의 상승인자(up factor)와 하락인자(down factor)를 이용하여 각 노드의 현재가치를 계산하는데, 이 경우 프로젝트 기간 동안의 정확한 현금흐름을 알 수 없을 경우에는 정확한 현재가치의 계산이 어렵게 된다.

### 3.3 DCF, 몬테카를로 시뮬레이션, 의사결정나무법을 통합시킨 다이나믹 의사결정나무 모델

Galvis *et al.*(2008)는 탐사사업 프로젝트 문제에 대한 의사결정 프로세스에 실물옵션 평가법을 통합한 모델을 제안하였

다. 이 사례에서 제안된 모델은 현금흐름할인법과 의사결정 나무 그리고 몬테카를로 시뮬레이션을 하나의 방법론 안에 통합시킨 접근법으로 콜롬비아 Sardinata의 개발 프로젝트를 평가하기 위한 프레임워크로 이 동적의사결정나무(DDT) 모델을 제안하였다. Galvis *et al.*(2008)는 투자 프로젝트를 평가하기 위한 방법으로 널리 사용되어진 Fisher(1930)와 Burr(1938)에 의해 제안된 현금흐름할인 모델의 한계성과 여러 단점을 극복하기 위해 다음의 동적의사결정나무 모델을 제안하였다. 동적의사결정나무(DDT) 모델은 오일 & 가스 산업과 같은 불확실성이 높은 프로젝트를 평가하기 위한 도구로서 사용될 수 있다.

Galvis *et al.*(2008)의 모델에서 제안된 방법은 먼저 몬테카를로 시뮬레이션을 통해 가격, 비용, 생산량, 하락율 등과 같은 중요한 변수들의 확률분포를 구하고 같은 방법으로 전체 프로젝트의 불확실성을 구한다. 프로젝트의 불확실성은 동적 DCF에 의해 프로젝트 NPV의 분포를 구함으로써 나타낼 수 있다. 이 사례에서는 이렇게 구한 확률 분포의 평균을 이용하여 의사결정 나무의 노드를 생성하며 프로젝트를 더욱 유연하게 평가하기 위하여 포기옵션을 적용하여 프로젝트를 평가한다.

그러나 DDT 모델은 몬테카를로 시뮬레이션을 이용하여 프로젝트와 관련된 각 투입 변수의 값을 구하는 데에는 적용이 가능하지만 기본적으로 의사결정 나무에서 노드의 생성은 기존의 의사결정 나무와 동일하며 실물옵션을 적용한 의사결정 나무의 경우처럼 불확실성을 고려한 프로젝트의 가치를 올바르게 평가하지 못한다는 단점을 가지고 있다. 또한 이 DDT 모델의 개념에서는 옵션을 실행할 최적의 시기를 찾는 것이 불가능하여, 실물옵션 평가법의 적용이 제한적이다.

#### 4. 제안모델 : 실물옵션 의사결정 나무 모델(RODT)

상기에서 논의한 바와 같이 전통적 프로젝트 평가 방법론의 단점을 극복하기 위해 다양한 혼합적 모델이 소개되었지만 이들 역시 실제 적용에 있어 문제가 될 수 있는 단점이 있는 것으로 나타나고 있다. 따라서 본 연구에서는 이미 소개된 혼합 모델의 단점을 최소화하기 위해 새로운 형태의 혼합 모델인 실물옵션 의사결정나무 모델(RODT)을 제안하고자 한다. 이 모델은 <표 2>에 있는 다양한 옵션의 유형 중에서 확장 옵션, 축소 옵션, 포기 옵션을 사용하여 의사결정 나무의 노드를 생성함으로써 투자 의사결정자는 프로젝트 유연성(project flexibility)을 고려하여 투자 의사결정을 함으로써 프로젝트의 올바른 가치를 평가할 수 있게 된다. 또한 실물옵션에서 프로젝트의 변동성을 고려한 기초자산의 상승과 하락의 원리를 이용하여 의사결정 나무 각각의 가치를 생성함으로써 프로젝트의 불확실성을 고려할 수 있으며, 의사결정 나무의 최종 노드에서 위험중립 확률과 각각의 상승과 하락의 값을 이용

하여 각 노드에서의 현재가치를 계산함으로써 최종적으로 프로젝트의 가치를 평가 한다.

표 2. R&D 프로젝트에 적용 가능한 옵션의 유형

옵션 유형	정의
연기옵션 (Defer Option)	R&D를 위한 건물 혹은 공장을 건설하거나 토지를 개발하는 것을 유리한 시점까지 투자를 연기할 수 있는 옵션.
포기옵션 (Abandon Option)	시장 여건이 심하게 침체되면 현재의 R&D 운영을 영원히 포기하고 다른 자산의 판매 가치를 확보할 수 있는 옵션.
교체옵션 (Switch Option)	가격이나 수요가 변하면 설비의 생산품 조합을 변경할 수 있는 옵션(생산물 유연성). 또한 동일한 상품이 다른 형태의 투입물로 생산될 수 있는 옵션(공정 유연성).
성장옵션 (Growth Option)	초기 투자가 필수적이거나 상호 연계된 프로젝트 사슬에 연결되어 미래 성장기회를 제공할 수 있는 옵션.
확장/축소옵션 (Expand/Contract Options)	시장 여건이 예상보다 유리하면 생산규모를 확대하거나 자원이용을 가속화 할 수 있으며, 역으로 시장여건이 불리하면 운영규모를 줄일 수 있는 옵션.

본 모델에서 실물옵션 의사결정 나무를 생성하는 방법을 단계별로 설명하면 다음과 같다.

- 단계 1 :** DCF 기법을 이용하여 프로젝트의 현재가치를 계산한다.
- 단계 2 :** 이 단계는 의사결정 마디로서 이 프로젝트의 현재 가치에 각각의 옵션(확장옵션, 축소옵션, 포기옵션)을 적용하여 대안 가치를 생성한다.
- 단계 3 :** 상황 마디로서 상승률(u)과 하락률(d)에 의해 사건 가치가 생성된다.
- 단계 4 :** 다음 마디에서도 단계 2와 마찬가지로 각각의 옵션을 적용하여 대안 가치를 생성하며 이때의 실물옵션 값은 또 다시 상승과 하락을 반복하여 사건 가치를 생성한다.
- 단계 5 :** 의사결정 나무의 모든 대안가치와 상황 마디를 생성한 뒤 최종 상황 마디에서부터 현재시점까지 위험중립확률(p)를 이용하여 프로젝트의 현재가치를 계산한다.

이항 모형은 각 시간구간 동안에 기초자산의 가격은 상승하거나 하락하는 단 두 가지의 경우만 존재한다고 가정하고 있으며, 그 때의 상승률과 하락률은 다음과 같이 계산된다(Mun, 2002).

$$\bullet \text{상승률}(u) = e^{\sqrt{\Delta t}}$$

$$\bullet \text{ 하락률}(d) = 1/\text{상승률} = 1/e^{\sqrt{\Delta t}}$$

여기서  $\sigma$ 는 프로젝트의 변동성을  $\Delta t$ 는 시간 단위를 나타내고 옵션 가치를 도출하기 위한 상승 혹은 하락경로별 위험중립확률(p)는 다음과 같이 계산된다(Mun, 2002).

$$p = \frac{\exp(r\Delta t) - d}{u - d}$$

여기서  $r$ 은 무위험 이자율  $u$ 와  $d$ 는 각각의 상승률과 하락률을 나타낸다. 본 모델에서는 위의 식을 이용하여 상승률, 하락률 및 위험중립 확률을 계산한다.

각 단계별로 살펴보면 먼저 Step 1에서는 기존의 DCF 기법을 이용하여 프로젝트의 현재가치를 계산한다. 하지만 현재의 프로젝트의 가치는 프로젝트의 유용성 및 불확실성이 고려되지 않은 가치이므로 좀 더 정확한 프로젝트의 가치를 구하기 위해 각각의 옵션을 적용한 Step 2로 진행된다.

Step 2에서는 먼저 의사결정자가 현재시점에서 프로젝트의 투자 옵션에 대한 의사결정을 진행하게 된다. 각 상황에 따른 각각의 옵션(확장옵션, 축소옵션, 포기옵션)을 적용하여 옵션을 고려했을 경우의 프로젝트의 가치를 비교한 후 어떠한 옵션을 실행할 지 아니면 옵션을 실행하지 않고 그대로 프로젝트를 진행할 지에 대한 의사결정을 내릴 수가 있다.

Step 3에서는 Step 2에서 의사결정자의 의사결정에 따른 프로젝트의 가치가 시장 환경에 반응하여 즉, 프로젝트의 변동성을 고려한 이항 모형의 상승과 하락의 가정에 의해 상승 또는 하락을 하며 사건가지를 생성하게 된다.

Step 4에서는 전 년도의 상승과 하락에 따른 프로젝트의 가치를 감안하여 또 다시 투자 옵션에 대한 대안가치를 생성하며 의사결정을 진행하게 되고 이때의 프로젝트의 가치는 또 다시 의사결정자의 의사결정에 따라 최종 노드까지 상승과 하락을 반복한다. 단 포기옵션의 경우는 포기옵션에 대한 의사결정시 이미 정해진 가격에 프로젝트의 종결을 의미하므로 프로젝트의 가치가 상승 또는 하락하지 않고 노드가 더 이상 진행되지 않는다.

이와 같은 방법으로 최종노드까지 진행이 될 경우 시장의 환경 변화에 따른 의사결정 시 어느 시점에서 어떠한 옵션 전략을 실행할 것인지 의사결정자는 각 단계에서 보다 전략적인 의사결정을 내릴 수 있으며, Step 5에서는 위험중립 확률(p)을 이용하여 최종노드에서부터 현재시점까지 정확한 프로젝트의 가치를 계산할 수 있다.

## 5. 제안모델의 적용사례

상기의 제안된 모델의 유용성 파악을 위해 특정 신약의 개발 및 제조를 하고 있는 제약회사를 대상으로 다양한 전략적 옵션을 적용하는 상황을 가정하여 사례 연구를 수행하였다. 본 사례연구에서 제시하고 있는 각각의 사례에서는 사건 가지에서 실제로 여러 대안 가지가 생겨날 수 있어 다양한 동적 특성에 대한 분석이 이루어 질 수 있으나 본 절에서는 제안하고 있는 모델의 특징을 파악하는데 중점을 두고 있으므로 복잡성을 최소화하기 위해 특정 대안에 초점을 맞춘 분석을 중심으로 수행하였다. 옵션은 현재의 제조공정을 확장, 축소, 포기하는 전략 중 한 가지를 다음 5년 안에 아무 때나 행사할 수 있다. 먼저 확장옵션은 현 공정의 30%를 확장하며 이때에는 \$20million의 추가비용이 발생한다. 축소옵션은 현재의 공정을 10% 단축시키는 옵션으로서 축소옵션의 행사시 \$25M이 절약된다. 또한 신약개발의 불확실성의 문제로 인해 전략적 포기옵션을 사용할 수 있으며 이 경우 지적재산권을 \$100M에 판매할 수 있다고 가정한다. 먼저 기존의 DCF 기법으로 계산한 이 프로젝트의 현재가치는 \$100M이고 몬테카를로 시뮬레이션을 이용한 logarithmic return 즉, 이 프로젝트의 변동성은 15%, 무위험 이자율은 5%로 가정한다.

선을 적용하는 상황을 가정하여 사례 연구를 수행하였다. 본 사례연구에서 제시하고 있는 각각의 사례에서는 사건 가지에서 실제로 여러 대안 가지가 생겨날 수 있어 다양한 동적 특성에 대한 분석이 이루어 질 수 있으나 본 절에서는 제안하고 있는 모델의 특징을 파악하는데 중점을 두고 있으므로 복잡성을 최소화하기 위해 특정 대안에 초점을 맞춘 분석을 중심으로 수행하였다. 옵션은 현재의 제조공정을 확장, 축소, 포기하는 전략 중 한 가지를 다음 5년 안에 아무 때나 행사할 수 있다. 먼저 확장옵션은 현 공정의 30%를 확장하며 이때에는 \$20million의 추가비용이 발생한다. 축소옵션은 현재의 공정을 10% 단축시키는 옵션으로서 축소옵션의 행사시 \$25M이 절약된다. 또한 신약개발의 불확실성의 문제로 인해 전략적 포기옵션을 사용할 수 있으며 이 경우 지적재산권을 \$100M에 판매할 수 있다고 가정한다. 먼저 기존의 DCF 기법으로 계산한 이 프로젝트의 현재가치는 \$100M이고 몬테카를로 시뮬레이션을 이용한 logarithmic return 즉, 이 프로젝트의 변동성은 15%, 무위험 이자율은 5%로 가정한다.

### Input parameters.

$S_0$	= \$100M
$T$	= 5 years
Volatility	= 15%
$r$	= 5%
$\Delta t$	= 1 year
$P_1$	= 0.8
$P_2$	= 0.9

### Option parameters의 계산.

$$u = \exp(\sigma\sqrt{\delta t}) \\ = \exp(0.15 \times \sqrt{1}) \\ = 1.1618$$

$$d = 1/u \\ = 1/1.1618 = 0.8607$$

$$p = \frac{\exp(r\delta t) - d}{u - d} \\ = [\exp(0.05 \times 1) - 0.8607] / (1.1618 - 0.8607) \\ = 0.6328$$

### 5.1 포기옵션을 적용한 의사결정 나무

위의 시나리오에서 포기옵션만을 적용했을 경우의 RODT를 살펴보면 다음과 같다. 먼저 DCF로 계산한 현재가치 \$100M이 1년 후 상승 또는 하락하였을 각각의 경우를 계산한다.

- 상승할 경우 = \$100M × 1.1618(u) = \$116.18M
- 하락할 경우 = \$100M × 0.8607(d) = \$86.07M

다음으로 Year 2에서 의사결정자는 상승했을 경우의 \$116.18M은 포기옵션의 잔존가치인 \$100M보다 크므로 포기옵션을 사용하지 않을 것이다. 하락하였을 경우의 \$86.07M은 포기옵션의 잔존가치인 \$100M보다도 낮기 때문에 의사결정자는 포기 옵션을 행사할 수 있을 것이며, 이 시점에서 노드는 더 이상 진행하지 않게 된다. 다음으로 Year 1에서 상승했을 경우의 \$116.18M은 옵션을 행사하지 않은 상태에서 Year 2에서 다시 상승과 하락을 반복한다.

- 상승할 경우 =  $\$116.18M \times 1.1618(u) = \$134.97M$
- 하락할 경우 =  $\$116.18M \times 0.8607(d) = \$99.99M$

위와 마찬가지로 Year 3에서 상승하였을 경우의 노드와 하락할 경우의 노드 값을 보면, 먼저 상승하였을 경우의 \$134.97M은 포기옵션의 잔존가치인 \$100M보다 크기 때문에 포기옵션을 행사하지 않을 것이며, 하락하였을 경우의 \$99.99M은 포기 옵션의 잔존가치인 \$100M보다 낮기 때문에 의사결정자는 여기서 또다시 포기옵션을 행사할 수 있을 것이다. 위와 마찬가지로 이 시점에서도 노드는 더 이상 진행하지 않게 된다. 이와 같은 방법으로 최종노드까지 진행하게 되면 <그림 2>와 같이 나타날 수 있다. <그림 2>를 보면 1차 년도에 프로젝트가 진행된 후 프로젝트의 가치가 상승하였을 경우(B1)에는 2차 년도에 프로젝트를 중단하는 것보다 프로젝트를 이대로 진행하는 것이 프로젝트의 가치가 더 높으며 반대로 1차 년도에 프로젝트의 가치가 하락하였을 경우(B2)에는 2차 년도에 프로젝트를 계속 진행하는 경우(B21)보다 포기옵션을 행사하는 경우(B22)의 가치가 더 높으므로 의사결정자는 이 시점에서 포기옵션을 행사하는 의사결정을 내릴 수 있을 것이다. 이처럼 노드를 진행하다 보면 의사결정자는 2차 년도에 노드(B11)에서 프로젝트의 가치가 하락하였을 경우에는 마찬가지로 3차 년도에 포기 옵션을 행사하는 경우(C22)의 의사결정을 내릴 수 있을 것이며, 4차 년도에 (D21)에서 프로젝트의 가치가 하락하였을 경우 (E4)에서도 5차 년도에서 포기옵션을 행사할 수 있을 것이다. 이처럼 의사결정자는 각 년도의 옵션의 실행에 따른 이득과 손실을 비교하여 의사결정 나무를 생성함으로써 보다 유연한 투자 전략을 수립할 수 있을 것이다.

다음으로 전체 프로젝트의 가치는 다음과 같이 구할 수 있다. 본 연구에서는  $t = 0$ 의 시점에서의 현재가치를 계산하기 위해 위험중립확률  $p$ 를 사용한다. 먼저 최종노드 year 5에서의 각각 상승과 하락의 상황 마디인  $F_1$ 노드의 값인 \$211.67M과  $F_2$ 노드의 값인 \$156.81M은 각각 위험중립확률  $p$ 와  $1-p$ 에 의해 year 4에서의  $E_1$  노드의 현재가치를 구할 수 있다. 마찬가지로  $E_1$ 노드와  $E_2$ 노드에 의해  $D_1$ 노드에서의 현재가치를 구할 수 있으며 이를 반복하여 최종적으로  $A_1$ 노드에서의 전체 프로젝트의 가치를 구할 수 있다.

(<그림 2>의 각 노드 값의 계산은 <부록>참조).

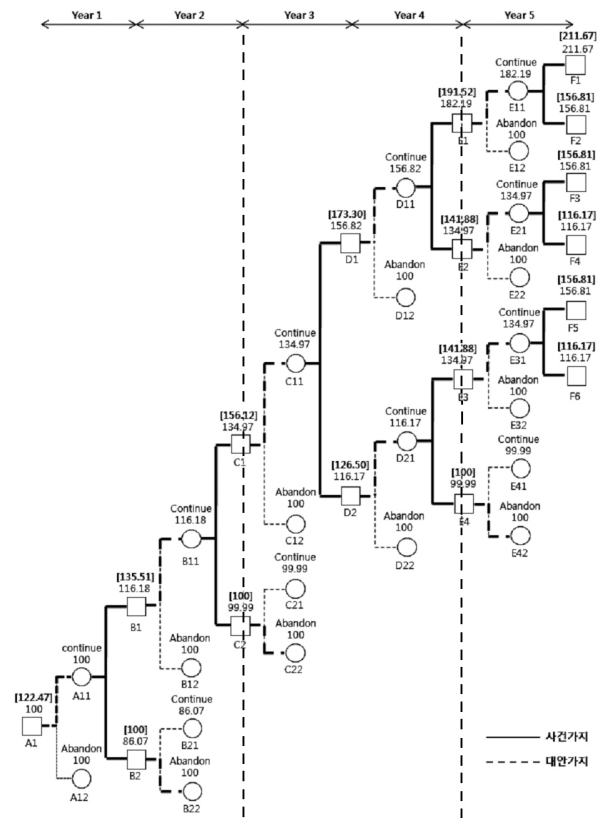


그림 2. 포기옵션을 적용한 의사결정 나무

5.2 포기옵션과 축소옵션을 적용한 의사결정 나무

위의 예제에서 프로젝트의 기간은 3년으로 가정하고 축소 옵션과 포기옵션 2가지를 적용하였을 경우의 RODT는 다음과 같다. 먼저 의사결정자는 현재시점에서 각각의 옵션에 대한 가치를 계산할 수 있다.

- 축소 옵션의 가치 =  $\$100 \times 0.9(\text{Contraction factor}) + \$25(\text{Contraction Savings}) = \$115M$
- 포기 옵션의 가치 = \$100M(잔존가치)

<그림 3>을 보면 Year 1의 의사결정마디에서 위의 옵션의 가치를 계산함으로써 대안가지를 생성할 수 있다. <그림 3>에서는 축소 옵션을 행사하였을 경우의 가치가 \$115M으로 가장 높게 나타나기 때문에 의사결정자는 이 단계에서 축소옵션을 행사할 수 있을 것이며 이 상황 마디의 값인 \$115M은 이항 모형의 상승과 하락의 원리에 의해 1년 후 <그림 3>과 같이 사건 가지가 생성될 수 있다.

- 상승률,  $= e^{\sqrt{\Delta t}} = 1.1618$
- 하락률,  $= 1/\text{상승률} = 0.8607$
- 상승할 경우 =  $\$115 \times 1.1618 = \$133.60M$
- 하락할 경우 =  $\$115 \times 0.8607 = \$98.98M$

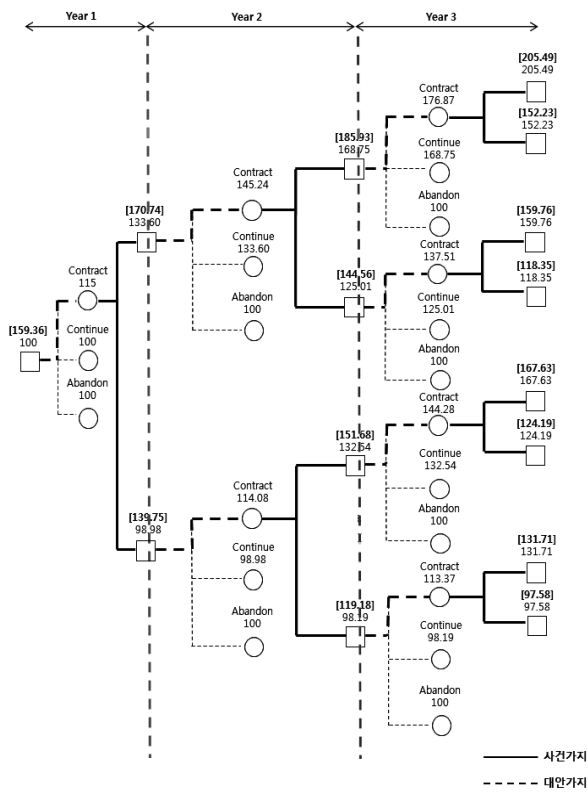


그림 3. 축소옵션과 포기옵션을 적용한 의사결정 나무

1년 후 <그림 3>에서와 같이 상승할 경우와 하락할 경우의 각각의 노드에서 또다시 옵션의 가치를 계산하여 대안가치를 생성하게 된다.

- 상승할 경우
  - 축소 옵션의 가치 =  $\$133.60 \times 0.9(\text{Contraction factor}) + \$25(\text{Contraction Savings}) = \$145.24M$
  - 포기 옵션의 가치 =  $\$100M(\text{잔존가치})$
- 하락할 경우
  - 축소 옵션의 가치 =  $\$98.98 \times 0.9(\text{Contraction factor}) + \$25(\text{Contraction Savings}) = \$114.08M$
  - 포기 옵션의 가치 =  $\$100M(\text{잔존가치})$

이와 같은 방법으로 Year 3까지 의사결정 나무의 의사결정 마디에서의 대안가치와 상황 마디에서의 사건가치를 생성하게 되면 <그림 3>과 같이 나타날 수 있다. 본 예에서도 위와 마찬가지로 위험중립확률 p와 (1-p)를 이용하여 각 노드의 현재가치를 계산하게 되면 t = 0의 시점에서 이 프로젝트의 가치는 \$159.36M이 된다.

### 5.3 확장, 축소, 포기옵션을 적용한 의사결정 나무

제 5.2절의 예와 마찬가지로 프로젝트의 기간은 3년으로 가

정하고 확장옵션과 축소옵션, 포기옵션을 모두 적용하였을 경우의 RODT를 살펴본다. 본 예에서는 확장옵션은 Year 1~2에서만 고려하고 축소옵션은 Year 2~3에서만 고려하며 포기옵션은 언제나 행사 가능하다고 가정한다. 기존의 방법과 동일하게 각 노드에서 옵션의 가치를 구하고 각 옵션의 비교를 통해 현재 단계에서 확장을 할 것인지 축소할 것인지 포기옵션을 적용할 것인지 옵션을 행사하지 않을 것인지에 대해 결정한 후 다시 상승과 하락의 마디 생성을 반복하여 최종적으로 Year 3까지 의사결정 나무를 생성하게 되면 아래 <그림 4>와 같으며 이때의 프로젝트의 가치는 \$158.91M이 된다.

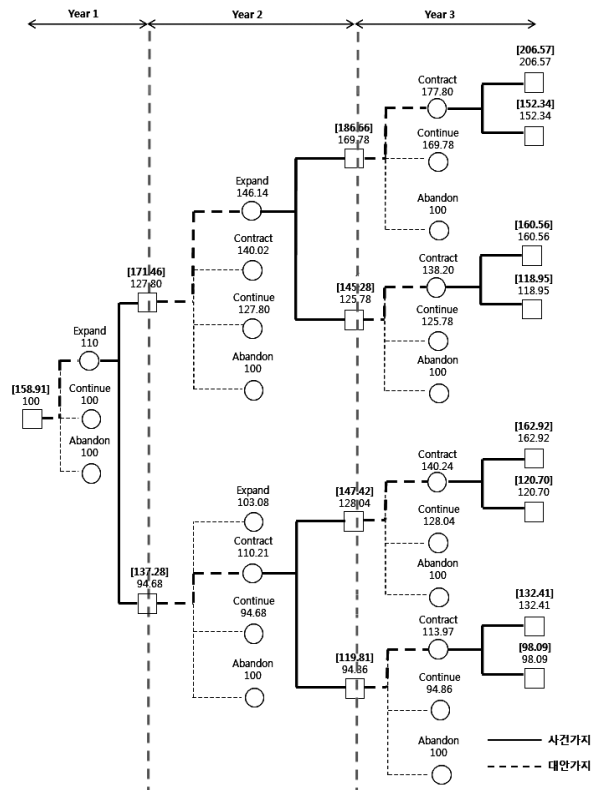


그림 4. 확장, 축소, 포기옵션을 고려한 의사결정 나무

### 5.4 변동성이 동일하지 않은 상황에서 축소, 확장 옵션을 적용한 의사결정 나무

위의 예제에서는 프로젝트 기간 동안에 변동성이 일정하다는 가정하에서의 사례를 소개하고 있는데 실제의 상황에서는 변동성 자체가 변하는 경우가 더욱 빈번하므로 본 절에서는 매년 10%, 15% 20%로 증가한다고 가정하고 축소옵션과 포기옵션 2가지를 적용하였을 경우에 대하여 고찰해 보았다.

이 경우의 RODT는 다음과 같다. 먼저 매년 동일하지 않은 변동성을 적용할 경우 각각의 상승률과 하락률 및 위험중립확률을 계산한다.

- Year 1에서 변동성이 10%인 경우





## 5.5 토론

상기의 적용 사례에서 살펴본 바와 같이 새롭게 제안된 혼합형태 모델인 실물옵션 의사결정 나무 모델은 실물옵션에서 이항모형의 움직임을 의사결정 나무에 적용하여 의사결정에 따른 프로젝트 가치의 변화를 제공해준다.

<그림 2>를 보면 포기옵션을 고려했을 경우의 프로젝트의 가치는 \$122.47M으로 현금흐름할인법으로 계산된 \$100M보다 높게 나타났다. 또한 <그림 3>의 포기옵션과 축소옵션을 고려하였을 경우의 프로젝트의 가치도 \$159.36M으로 기존의 \$100M보다 높게 나타났으며, <그림 4>의 포기옵션과 축소옵션 및 확장옵션을 고려하였을 경우의 프로젝트의 가치 또한 \$158.91M으로 세 경우 모두 기존의 현금흐름할인법으로 계산된 \$100M보다 높게 나타났다. 이는 프로젝트의 가치에 변동성 및 다양한 옵션의 가치를 고려한 결과이다. 이처럼 <그림 2>~<그림 4>와 같이 본 제안모델은 프로젝트의 불확실성 및 다양한 옵션을 고려하여 프로젝트의 가치를 계산할 수 있을 뿐만 아니라 옵션의 실행 여부 및 의사결정자의 의사결정에 따른 프로젝트 가치의 변화를 시각적으로도 유용하게 제공해 줄 수 있다. 즉, 실물옵션 모델의 장점과 의사결정 나무 모델의 장점을 동시에 제공하여 줄 수 있다. 또한 본 제안모델은 실물옵션과 의사결정 나무가 통합된 형태이기 때문에 Kodukula and Papudesu(2006)의 모델에서처럼 각각의 불확실성에 실물옵션과 의사결정 나무를 개별적으로 적용하는 것 보다 더욱 다양한 프로젝트에 쉽게 적용이 가능하다.

Kodukula and Papudesu(2006)의 모델에서의 의사결정 나무는 의사결정자의 의사결정에 의해 노드가 생성되는 것이 아니라 이미 정해진 확률에 의해 노드가 생성되므로 유연한 의사결정을 내리는 데 한계가 있지만 본 연구에서 제안하는 모델은 다양한 유형의 옵션을 적용하여 노드를 생성하기 때문에 더욱 유연한 평가를 내릴 수 있다. 또한 제안 모델은 Brandao and Dyer(2005)의 의사결정 나무와 달리 의사결정 나무의 각 노드 생성 시 투자 옵션에 대한 의사결정을 위해 상황 마디를 먼저 생성하며 이러한 의사결정이 이루어지고 난 후에 상승과 하락에 대한 사건가지가 생성된다. 즉, 투자 옵션에 대한 의사결정이 먼저 이루어지고 나서 시장 환경에 의해 프로젝트의 가치가 상승 또는 하락한다고 가정하고 있으므로 보다 현실에 적합한 프로젝트의 가치를 제공해 주며, 따라서 의사결정자에게 보다 전략적인 의사결정을 위한 도구로서 이용될 수 있다.

본 제안모델은 프로젝트의 가치가 상승 또는 하락한다는 이항 모형의 기본가정을 사용하고 있으므로 보다 쉽고 간단한 계산이 요구되며, Brandao and Dyer(2005)의 연구와는 달리 각 기간에 따른 기대현금흐름을 정확히 할 수 없을 경우에도 프로젝트의 가치가 시장의 환경에 반응하여 어떻게 상승 또는 하락할 수 있는지 보여줄 수 있는 것으로 판단된다.

## 6. 결 론

본 연구에서는 R&D 투자 활동과 같이 주변 환경이 급변하는 장기간의 투자사업 프로젝트를 행하는데 있어서 의사결정자의 투자 의사결정을 지원하기 위한 실물옵션 의사결정 나무를 제안하였다. 프로젝트 수행과정에서 불확실하게 발생하는 사건들로 인해 프로젝트가 중단되거나 연기 혹은 취소되는 등 여러 가지 다양한 방향으로 발전하게 되는 경우 주변 환경의 불확실성을 충분히 고려하여 투자전략을 수립하여야 한다. 기존의 DCF 방법론 같은 경우는 이러한 불확실성을 고려하기에 한계가 있으며, 이에 본 연구에서는 실물옵션 접근법을 사용하여 의사결정 나무를 생성함으로써 의사결정자의 의사결정을 지원하기 위한 보다 간단하고 시각적인 프로세스를 제공한다.

본 연구에서는 프로젝트에 대한 투자 의사결정을 지원하기 위하여 실물옵션의 이항 격자 모형의 상승과 하락의 원리와 위험중립 확률을 이용하여 의사결정 나무의 각 노드를 생성하고 프로젝트의 가치를 구하였다. 위의 예제를 보면 포기옵션을 고려하였을 경우, 포기옵션과 축소옵션을 고려하였을 경우 그리고 포기옵션, 축소옵션, 확장옵션을 고려하였을 각각의 경우를 의사결정 나무로 생성하여 각 시점에서 의사결정에 따른 프로젝트 가치의 변화를 좀 더 간단하고 시각적인 프로세스로서 나타내었으며 의사결정자는 이에 따라 프로젝트 투자를 위한 의사결정시 프로젝트의 유연성과 경영상의 유연성을 고려하여 의사결정을 내릴 수 있을 것이다. 즉, 위의 예제에서와 같이 의사결정자는 프로젝트의 성격과 시장 환경에 따라 유연하게 각각의 옵션을 적용함으로써 프로젝트의 올바른 가치를 평가할 수 있으며, 확장, 축소, 포기옵션을 행사할 경우 프로젝트의 가치가 어떻게 변화되는지를 의사결정 나무의 형태로서 나타내어 의사결정자가 단순히 옵션을 고려하여 투자를 할 경우 프로젝트의 가치만을 계산해 주는 것이 아니라 보다 전략적으로 어느 시점에 어떠한 의사결정을 내릴 수 있을지를 도와줄 수 있을 것이다.

한편 본 연구에서는 연구개발의 성공 여부와 같이 프로젝트 자체의 불확실성이 존재하는 경우를 제외한 상황에 초점을 맞추고 있으므로 향후에는 이러한 불확실성을 고려할 수 있는 추가 후속 연구가 이루어질 것이다.

## 참고문헌

- Brandao, L., Dyer, J., and Hahn, W. (2005), Using Binomial Decision Trees to Solve Real-Option Valuation Problems, *Decision Analysis*, 2(2), 69-88.
- Brennan, M. J. and Schwartz, E. S. (1978), Finite Difference Methods and Jump Processes Arising in the Pricing of Contingent Claims: A Synthesis, *Journal of Financial and Quantitative Analysis*, 13, Seattle: Univ. of Washington. 461-474.
- Brigham, E. F. and Houston, J. F. (2004), Fundamentals of Financial Management, 10th ed. Mason, O. H.: Thomson South-Western.
- Cox, J. C., Ross, S. A., and Rubinstein, M. (1979), Option pricing: A simplified

- approach, *Journal of Financial Economics*, 7, 229-263.
- Dixit, A. K. and Pindyck, R. S. (1994), Investment under Uncertainty, Princeton, N. J. : *Princeton Univ. Press*.
- Galvis, F. and Bravo, O. (2008), Dynamic Decision Trees as an Alternative for Real Options Valuation, *SPE Annual Technical Conference and Exhibition*, 21-24.
- Hull, J. (1997), Option, Futures and Other Derivatives, 3rd ed. Englewood Cliffs, N. J. : Prentice Hall.
- Hull, J. and White, A. (1990), Valuing Derivate Securities Using the Explicit Finite Difference Method, *Journal of Financial and Quantitative Analysis*, 25(1), Seattle : Univ. of Washington, 87-100.
- Joung, Y.-K. and Choi, G. (2010), A Decision Tree by Real Options Analysis and its application, *Spring Conference of Korea Institute of Industrial Engineers/ The Korean Operations Research and Management Science Society*.
- Kodukula, P. and Chandra, P. (2006), *Project Valuation Using Real Options*, J. Ross Publishing Inc.
- Luehrman, T. (1997), What's it Worth? A General Managers Guide to Valuation, *Harvard Business Review*, 75(3), U.S. : Harvard Business Publishing, 132-142.
- Magee, J. (1964), Decision trees for decision making, *Harvard Business Review*, 126-138.
- Mun, J. (2002), Real Options Analysis : Tools and Techniques for Valuing Strategic Investments and Decision. N. J. : *John Wiley and Sons*.
- Myers, S. C. (1984), Finance Theory and Financial Strategy, *Interfaces*, 14(1), Hanover, M. D. : Informs, 126-137.
- Park, H.-W. (2005), Strategy Implications on R&D of New Medicine through Technology Valuation, *Journal of Korea Technology Innovation Society*, 8(1), 94-115.
- Pindyck, R. S. (1991), Irreversibility, Uncertainty, and Investment, *Journal of Economic Literature*, 29(3), U. S. : American Economic Association, 1110-1148.
- Sick, G. (1990), Capital Budgeting with Real Options, Monograph Series in Finance and Economics, New York : *Salomon Brothers Center for the Study of Financial Institutions, Stern School of Business, New York Univ.*
- Trigeorgis, L. (1999), Real Options-Managerial Flexibility and Strategy in Resource Allocation. Cambridge, M. A. : *The MIT Press*.

## <부 록>

<그림 2>의 노드별 자세한 계산 과정은 다음과 같다.

- Year 4의  $E_{1\sim 4}$ 노드의 PV의 계산

$$\begin{aligned} E_1\text{노드의 PV} &= (0.6328 \times 211.67(F_1)) + \\ &\quad (0.3672 \times 156.81(F_2)) \\ &= \$191.52M \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} E_2\text{노드의 PV} &= (0.6328 \times 156.81(F_3)) + \\ &\quad (0.3672 \times 116.17(F_4)) \\ &= \$141.88M \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} E_3\text{노드의 PV} &= (0.6328 \times 156.81(F_5)) + \\ &\quad (0.3672 \times 116.17(F_6)) \\ &= \$141.88M \end{aligned}$$

$$E_4\text{노드의 PV} = \$100M(\text{abandon value})$$

- Year 3의  $D_{1\sim 2}$ 노드의 PV의 계산

$$\begin{aligned} D_1\text{노드의 PV} &= (0.6328 \times 191.52(E_1)) + \\ &\quad (0.3672 \times 141.88(E_2)) \\ &= \$173.30M \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} D_2\text{노드의 PV} &= (0.6328 \times 141.88(E_3)) + \\ &\quad (0.3672 \times 100(E_4)) \\ &= \$126.50M \end{aligned}$$

- Year 2의  $C_{1\sim 2}$ 노드의 PV의 계산

$$\begin{aligned} C_1\text{노드의 PV} &= (0.6328 \times 173.30(D_1)) + \\ &\quad (0.3672 \times 126.50(D_2)) \\ &= \$156.12M \end{aligned}$$

$$C_2\text{노드의 PV} = \$100\text{million}(\text{abandon value})$$

- Year 1의  $B_{1\sim 2}$ 노드의 PV의 계산

$$\begin{aligned} B_1\text{노드의 PV} &= (0.6328 \times 156.12(C_1)) + \\ &\quad (0.3672 \times 100(C_2)) \\ &= \$135.51M \end{aligned}$$

$$B_2\text{노드의 PV} = \$100M(\text{abandon value})$$

- Year 0의  $A_1$ 노드의 PV의 계산

$$\begin{aligned} A_1\text{노드의 PV} &= (0.6328 \times 135.51(B_1)) + \\ &\quad (0.3672 \times 100(B_2)) \\ &= \$122.47M \end{aligned}$$



**최경현**

Virginia Tech, ISE 박사

현재 : 한양대학교 기술경영전문대학원,  
산업공학과 교수

관심분야 : R&D Management, Technology Strategy/  
Commercialization, Optimization



**정영기**

한양대학교 산업공학과 석사

관심분야 : R&D Project Investment Project  
Valuation



**조대명**

한양대학교 산업공학과 박사 수료

현재 : ABNC 컨설팅 대표, 한양대 기술경영  
전문대학원 겸임 교수

관심분야 : Technology Valuation , Trading and  
Commercialization of Technology,  
Open Innovation of Technology