



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

공학석사학위논문

복수의 성과요소로 구성된 연구개발  
프로젝트의 실물옵션 기반 경제적  
가치 평가 모형 개발  
: 반도체 사례를 중심으로

A Real option-based Economic Evaluation  
Model of R&D Projects with Multiple  
Performance Factors  
: Case of semiconductors industry

2023 년 2 월

서울대학교 대학원

산업공학과

홍택승

복수의 성과요소로 구성된 연구개발  
프로젝트의 실물옵션 기반 경제적  
가치 평가 모형 개발

: 반도체 사례를 중심으로

지도 교수 이덕주

이 논문을 공학석사 학위논문으로 제출함

2023년 2월

서울대학교 대학원

산업공학과

홍택승

홍택승의 공학석사 학위논문을 인준함

2023년 2월

위원장 장우진 (인)

부위원장 이덕주 (인)

위원 이성주 (인)

# 초 록

기업들은 4세대 R&D의 도래와 함께 고객과 사회의 다양한 요구를 충족시키는 프로젝트의 개발이 중요해졌다. 자동차 산업의 경우 기존의 성능, 안정성에 대한 소수 요구사항에서 디자인, 사후관리, 환경오염 물질 배출량 등의 요구사항이 추가되었고, 반도체 산업도 성능, 신뢰성, 용량의 요구사항에서 개인정보 보호, 품질 보증, interface 호환성 등으로 요구사항이 추가되었으며, 또한 자사의 제품을 고객사에 적기에 제공하는 것도 중요한 성공 요소로 제시되고 있다.

따라서 기업들은 신제품 출시를 위한 연구개발 시작 단계에서 복수의 성과요소에 대한 고려가 필요해졌고 실제로 이러한 성과요소들을 KSF(Key Success Factor)로 지정하여 진척도를 관리하고 있으며 이를 고객 제공 시점까지 극대화하여 이익 최대화를 추구하고 있다.

이러한 프로젝트의 단계성과 성과요소의 불확실성을 고려하여 연구개발 프로젝트의 경제적 가치를 평가하고자 할 때 유용하게 사용되는 방법은 실물옵션으로, 본 연구를 통해 복수의 성과요소를 고려한 연구개발 프로젝트의 가치 평가 모형을 실물옵션 방법으로 개발하고 이를 반도체 연구개발 데이터 기반으로 사례 분석을 하고자 한다.

주요어: 연구개발 실물옵션, 복수의 성과요소, 기술력, 진척도, 수요 변화  
학번: 2021-21328

# 목 차

초 록.....	iii
목 차 .....	iv
표 목차 .....	vi
그림 목차.....	vii
<b>제 1 장 서 론 .....</b>	<b>1</b>
제 1 절 연구 배경.....	1
제 2 절 연구 목표.....	3
제 3 절 논문 구성.....	4
<b>제 2 장 선행 연구.....</b>	<b>5</b>
제 1 절 연구개발 프로젝트 가치평가 방법의 변화.....	5
제 2 절 실물옵션 방법을 이용한 연구개발 프로젝트 가치평가 변화7	
제 3 절 연구의 차별성.....	12
<b>제 3 장 연구개발 프로젝트 가치 평가 모형.....</b>	<b>13</b>
제 1 절 실물옵션 방법.....	13
1. 실물옵션 개요.....	13
2. 무위험 포트폴리오.....	16
3. 위험중립확률.....	18
4. 이항격자.....	19
제 2 절 연구개발 프로젝트의 구조 및 의사결정 나무.....	20
1. 연구개발 프로젝트의 구조.....	20
2. 의사결정 나무.....	22
제 3 절 주요가정 및 연구모형.....	24
1. 주요가정.....	24
2. 표기법.....	24
3. 연구 모형.....	25

4. 프로젝트 경제적 가치의 의미 .....	29
<b>제 4 장 사례 연구.....</b>	<b>30</b>
제 1 절  분석 사례의 설정 .....	30
1. 환경 설정 .....	30
2. 파라미터 설정 .....	32
제 2 절  분석 결과.....	34
1. 이항 격자 구조에서의 프로젝트 가치 .....	34
2. 민감도 분석 .....	36
<b>제 5 장 결론.....</b>	<b>47</b>
<b>참고 문헌.....</b>	<b>49</b>
<b>부 록.....</b>	<b>59</b>
<b>Abstract.....</b>	<b>63</b>

## 표 목차

[표 1] 불확실성 요소 기준 분류.....	10
[표 2] 사용된 옵션의 수 기준 분류.....	10
[표 3] 평가방법 기준 분류 .....	11
[표 4] 적용산업 기준 분류 .....	11
[표 5] 본 연구가 가지는 이전 연구와의 차이점 .....	12
[표 6] 금융 콜옵션과 실물 옵션의 유사점.....	15
[표 7] 사례 분석 환경 설정.....	31
[표 8] 가격 변동 파라미터 도출 결과 .....	33
[표 9] R&D기간-진척속도별 연구개발 프로젝트의 Strategic NPV.	36
[표 10] R&D기간-진척속도별 연구개발 프로젝트의 Strategic NPV (기술력에 따른 수요 변화 제외).....	37
[표 11] R&D기간-진척속도별 연구개발 프로젝트의 옵션 가치 .....	42
[표 12] R&D기간-진척속도별 연구개발 프로젝트의 옵션 가치 (기술력에 따른 수요 변화 제외) .....	43

## 그림 목차

[그림 1] 옵션가격 1, 행사가격 19인 옵션 구입 및 행사에 따른 의사결정 나무.....	13
[그림 2] 단일기간 후의 주식과 옵션의 가격 .....	16
[그림 3] 복수의 성과요소로 구성된 연구개발 프로젝트의 구조 .....	21
[그림 4] 복수의 성과요소로 구성된 연구개발 프로젝트의 의사결정 나무 .....	23
[그림 5] 프로젝트 경제적 가치의 의의 및 구성 .....	29
[그림 6] 반도체 가격 추이 .....	32
[그림 7] Mass Production 단계에서의 수익과 변동비 추이.....	33
[그림 8] 평가방법별 연구개발 프로젝트의 Strategic NPV 비교.....	35
[그림 9] R&D기간 변화에 따른 연구개발 프로젝트의 Strategic NPV38	
[그림 10] R&D기간 변화에 따른 연구개발 프로젝트의 Strategic NPV (기술력에 따른 수요 변화 제외).....	39
[그림 11] 진척속도 변화에 따른 연구개발 프로젝트의 Strategic NPV .....	40
[그림 12] 진척속도 변화에 따른 연구개발 프로젝트의 Strategic NPV (기술력에 따른 수요 변화 제외).....	41
[그림 13] 성과요소 가중치 차이에 따른 옵션 가치의 변화.....	44
[그림 14] 기술적 의사결정 기준 정도에 따른 옵션 가치의 변화 .....	45



# 제 1 장 서론

## 제 1 절 연구 배경

현대 사회의 발전에 따라 기업이 출시하는 제품에는 점점 더 소비자의 요구와 사회, 규범적 제약을 반영하게 되었고 이러한 요구사항의 증가에 따라 다양한 측면에서 성과요소를 달성해야 하는 상황이 되었다.

이에, 기업들은 다수의 성과요소를 선정, 관리하고 달성하는 과정에서 의사결정 대상을 세분화하여 각 조직별로 의사결정 하는 제도적 방식을 도입하기도 하였고, MCDA(multiple criteria decision analysis) 방식을 사용하여 Score 산정하고 Rank 를 매겨 결정의 우선순위를 정하는 기술적 방법을 사용하기도 하였으며, 외부 전문가의 결정을 따르는 등 최적의 의사결정을 위해 노력해왔다(Steele et al., 2009; Rietveld et al., 2019).

그러나 다수의 성과요소 중에는 정량적인 성격도 있으나 정성적인 성격의 성과나 복합적인 성격의 성과가 포함되고, 판단해야 할 성과요소의 수가 늘어나다 보니, 특히 R&D 를 보유한 대규모 기업들은 이러한 상황이 의사결정의 불확실성 증가로 연결되어 종합적이고 경제적인 판단이 어려워지는 문제가 발생하고 있다.

자동차 산업의 경우에는 기존의 성능, 안정성과 같은 단순한 성과요소로 가치를 판단하다가 디자인, 사후관리, 환경오염 물질 배출량 등 다양한 측면의 성과가 요구되어 정확한 신규 자동차의 경제적 가치 판단의 불확실성이 증가하였으며, 반도체 산업의 경우도 성능, 신뢰성, 용량의 소수의 성과요소에서 정보 보호, 환경 안전, interface 호환 등을 요구하는 신제품 개발이 필요해짐에 따라 그 경제적 가치 산출에 어려움이 발생하고 있다.

또한 기술, 사회적 성과요소와 함께 B2B 사업과 같이 고객사에게 적기에 구성품을 제공해야하는 산업의 경우에는 시간적 요소가 사업

성패에 절대적 우선요소로 작용하게 된다. 이로 인해 기업은 자사 신제품의 기술력을 고객사 납기시점전까지 극대화하여 이윤을 높이는 노력을 기울이다 보니, 신제품의 기술력이 수요에 미치는 영향이 점차 커지고 있다.

실물옵션은 이러한 복잡한 상황과 불확실성을 고려할 때 유용하게 사용되고 있는 가치 평가 방법으로 2000년대부터 제약 산업과, 신재생 에너지 산업 중심으로 활발하게 연구되고 있다(Shafiee & Topal, 2009; Cassimon et al., 2011).

따라서 복수의 성과요소를 가지고 있는 신제품을 개발하는 기업은 실물옵션 방법을 사용하여 연구개발 프로젝트의 경제적 가치를 판단하는 것이 필요하다고 판단되며, 특히 연구개발 기간이 길어 여러 단계의 의사결정이 필요하거나 제품의 기술 수준에 따라 수요 불확실성이 존재하는 경우 더욱 효과적으로 가치를 평가할 수 있다.

예를 들어, 반도체 산업의 경우에는 신규 제품을 출시하고자 할 때 다양한 성과요소들이 존재하고 개별 성과요소별로 오랜 기간동안 연구가 단계적으로 진행되며 성능, 신뢰성 수준에 따라 사용처 제한이 발생한다. 이러한 구조적 복잡성과 불확실성을 고려해 볼때 복수의 성과요소로 구성된 연구개발 프로젝트의 실물옵션 기반의 경제적 가치 평가 모형 개발은 그 필요성을 가진다.

## 제 2 절 연구 목표

본 연구의 목적은 첫째로 복수의 성과요소를 구성된 연구개발 프로젝트의 실물옵션 기반 경제적 가치 평가 모형을 개발하는데 있다.

해당 모형은 복수의 성과요소를 포함하고 있으며, 프로젝트의 진척도(즉, 기술수준)가 소비자의 수요에 영향을 주고, 연구개발 단계마다 기술적 의사결정 기준이 존재하는 구조를 고려하고 있다.

두번째로 수립한 모형에 대해 반도체 기업의 연구개발 데이터를 사용하여 평가 및 분석하는데 그 목적이 있다.

### 제 3 절 논문 구성

1장의 연구 배경 및 목적을 시작으로, 2장에서는 본 연구의 경제성 평가 모형 수립에 필요한 문헌조사를 진행하고, 3장에서는 프레임워크 소개를 포함한 연구개발 프로젝트 가치평가 모형을 수립하고, 4장에서는 반도체 연구개발 데이터 기반으로 사례 연구 진행 및 분석, 5장에서는 결론을 도출하고자 한다.

## 제 2 장 선행 연구

### 제 1 절 연구개발 프로젝트 가치평가 방법의 변화

실물옵션 방법을 사용하기 이전에도 연구개발 프로젝트의 가치는 여러 가지 방법들로 평가되어왔다. 엔지니어의 설계가 가지는 생산성을 프로젝트의 가치로 평가(Martin & Thomson, 1960)하기 시작한 이후부터, 연구개발의 만질 수 없는 특징을 고려하여 여러가지 정성적 평가와 정량적 평가 방법이 사용되어 왔으며, 그 중 경제적 가치 평가 방법과 비교할 만한 정량적인 방법들의 변화를 Werner and William (1997)의 논문을 인용하여 살펴보면 아래와 같다.

초창기 연구개발 프로젝트의 가치는 계획 대비 실적, 목표 달성 정도 또는 입력 대비 출력 비율과 같은 유효한 수치로 판단되었다(Nayak, 1992). 이후 경제적 가치 개념이 고려되어 투자대비 수익(ROI, Return of investment), 수익률(ROR, Rate of Return)과 같은 방법으로 평가되었으며(Tenner, 1991; Mcgrath, 1994), 기업의 특허 수나 연구개발 지출 금액으로 연구개발 프로젝트의 가치가 평가되기도 하였다(Philip, 1992; Werner & Souder, 1997).

그러나 이러한 가치평가 방법들은 실제 평가결과로 도출되기까지 시간적 지체가 발생하는 문제가 있었고, 이를 보완하기 위해 과거 데이터를 이용하여 경제적 가치를 예측하는 방법이 추가되거나(Souder, 2013), 여러 판단요소를 이용한 방법들을 결합하여 가치 판단의 시점을 앞당기고 예측력을 높이는 방향의 연구가 이루어졌다(Werner & Bjorn, 1995).

다만, 이렇게 보완된 연구들도 연구개발 프로젝트가 가지는 미래의 불확실성까지는 고려하지 못하는 한계가 있었고, 이에 Morris et al. (1991)는 연구개발 프로젝트의 의사결정 체계를 구조화하고 기술적 불확실성과 시장 불확실성이 고려된 실물옵션 방법을 프로젝트의 가치를 평가하는데 적용하였다. 이를 시작으로 실물옵션 방법 적용 연구는 결합구조를 기반

으로 옵션이 가지는 유연성을 고려하여 다양한 산업 및 대상 특징에 맞추어 2000년대 초부터 지속적으로 발전되어 오고 있다(Huchzermeier & Loch, 2001; Herath & Park, 2002).

## 제 2 절 실물옵션 방법을 이용한 연구개발 프로젝트 가치 평가 변화

실물옵션 방법을 이용한 가치평가는 Kolbe et al. (1991)의 Options embedded in R&D projects를 시작으로 연구개발의 다양성이 옵션에 미치는 영향이 연구되었고(Huchzermeier, 2001), 연구개발 프로젝트를 다단계로 구조화하고 콜 옵션 가치 도출 및 후진 귀납법 계산을 통해 포기, 확장 옵션이 포함된 연구개발 프로젝트의 가치 평가가 이루어졌다(Hemantha, 2002). 또한 Oriani and Sobrero (2008)의 연구와 같이 시장과 기술 불확실성의 존재하에서 연구개발 프로젝트의 가치가 성장, 교체, 대기 옵션에 따라 어떻게 변화하는지 미분방정식을 이용하여 평가되기도 하였다.

이후 Schneider et al. (2008)은 옵션 종류를 5가지로 확장하여 자동차 산업에서 연구개발 프로젝트의 가치를 평가하였고, 다단계 구조의 시나리오와 불확실성 나무를 결합하는 방법을 사용하였다. Lo and Lan (2010)은 연구개발 프로젝트의 가치에 영향을 주는 3가지 특징(지수 함수적 쇠퇴, 포아송 사건 발생, 정보 비용)을 혼합하여 경제적 가치를 평가한 뒤 각각의 영향성을 비교하였다. 그 외 다른 방법으로는 연구개발 단계를 6개로 더욱 세분화 한 뒤, 연구의 성공 또는 실패 상황에 따라 연구를 지속 또는 포기하는 구조에서 프로젝트의 경제적 가치를 단힌 형태로 풀어낸 Cassimon et al. (2011)의 연구가 있다.

이렇게 다양한 산업의 특징과 의사결정 구조에 맞추어 여러가지 방식으로 현실성 있게 발전되던 실물옵션 방법은 2010년대 들어서면서 기업 내부적인 상황이 아닌 기업간의 경쟁까지 고려하여 연구가 확장되었다.

Villani (2013)는 3단계 연구개발 구조에서 단계별 경쟁 기업의 유·무 및 자사 및 경쟁사 연구개발 성공 확률(베르누이 분포)을 감안하여 경제적 가치를 평가하였고, Nishihara (2018)는 연구개발 단계별로 경쟁사 선점 상황을 확률분포로 반영하여 가치를 평가하였다. 또한 Villani

(2008)와 Chang et al. (2016)과 같이 두 기업의 연구개발 프로젝트의 가치를 도출한뒤 옵션 세트별로 게임 이론을 결합하여 두 기업의 가치가 최적인 균형전략을 찾는 복합 연구도 진행되었다.

이러한 실물옵션기반 연구개발 프로젝트의 가치 평가 연구는 특히 제약 산업과 신재생 에너지 산업에서 활발히 전개되었다. 제약 산업에 대한 연구로, Olena and Pell (2001), Perlitz et al. (1999)와 Herath and Bremser (2005)는 결합형 실물옵션 방법을 적용하여 성공, 실패를 가지는 신약 개발 연구개발 프로젝트의 가치를 도출하였고, Cassimon et al. (2011)은 위 연구에 기술적 불확실성을 추가하여 단힌 형태로 풀어 내었으며, Rafiee and Kianfar (2011)는 실물옵션 방법으로 가치가 도출된 여러 프로젝트를 가진 포트폴리오에 비용 최소화 알고리즘을 적용하여 최적화하는 연구를 수행하였다. 그 외 동맹 효과를 고려하여 바이오 제약 연구개발에 대한 포트폴리오의 가치를 평가하는 Nigro et al. (2014)의 연구도 존재하였다.

신재생 에너지 산업에 적용된 실물옵션 방법들을 살펴보면, Kim et al. (2014)은 포기, 전개, 지속 옵션을 가진 의사결정 나무 기반으로 편미분 방정식을 이용하여 한국 풍력발전을 위한 연구개발 투자가치를 평가하고 전력, 비용, 가격 변동성 변화에 따른 민감도 분석을 수행하였으며, Zee and Spinler (2014)는 CO<sub>2</sub>를 감지하는 연구개발 투자에 대한 의사결정을 2단계로 구조화한 뒤 수요량의 증가, 유지, 감소를 삼항 격자구조로 설정하고 수요량이 일정 수준 이하이면 가치가 없는 장벽 옵션을 혼합하여 가치를 평가하는 연구를 수행하였다.

최근 Kim et al. (2020)은 한국의 신재생 에너지 연구개발 투자가치에 대해 비용 절감, 탄소배출 권리의 가격, 화석에너지 가격 불확실성을 고려하여 삼항 구조의 의사결정 나무 모형으로 경제적 가치를 평가하였고, Deeney, P. et al. (2021)은 연구개발 단계별로 아메리칸, 유러피언 콜 옵션 가치 사용하고 연구개발 진척에 따라 변동비가 감소하며 학습효과가 양산단계에 고려되는 복합적인 평가 방법을 제시하였다.

이렇게 실물옵션을 사용한 연구개발 프로젝트의 경제적 가치의 발전은



불확실성 요소, 사용된 옵션의 수, 평가방법의 다양화를 통해 적용 산업에 적합하도록 진화되었으며 본 문헌조사를 통해 정리한 결과는 표 [1]~[4]와 같다.

표[1]과 같이 불확실성 요소 측면에서는 1~2가지의 시장 불확실성을 고려한 평가와 각각 1가지의 시장 불확실성과 기술적 불확실성(연구 성공확률)을 종합적으로 다루는 연구가 많았으며, 본 연구에서 다루고자 하는 복수의 기술적 불확실성을 다룬 연구도 일부 있었으나 2개의 기술 프로젝트를 비교하는 연구로, 한 개의 기술을 복수의 성과요소로 세분화하는 본 연구와는 다른 점이 있다.

사용된 옵션의 수, 평가 방법, 적용 산업을 고려해 볼 때, 본 연구는 4개의 기술적 불확실성과 1개의 시장 불확실성을 고려하고, 2개의 옵션(지속, 포기)을 사용하여 의사결정 나무와 이항 격자 구조를 결합하여 반도체 산업의 연구개발 프로젝트에 대해 평가하고자 한다.

[표 1] 불확실성 요소 기준 분류

불확실성 요소		개수	참고 문헌 번호
시장	단일	7	12, 14, 15, 22, 32, 40, 67
	복합	5	1, 27, 36, 45, 46
시장 + 기술	단일 + 단일	7	11, 17, 33, 52, 59, 60, 70, 63
	복합 + 단일	2	1, 3
	단일 + 복합	4	10, 50, 56, 69
	복합 + 복합	2	35, 57

[표 2] 사용된 옵션의 수 기준 분류

옵션 수	순위	개수	참고 문헌 번호
1 개	확장, 절벽, 성장	3	5, 34, 67
2 개	지속, 포기, 성장, 대기	6	2, 15, 17, 35, 50, 68
3 개이상	지속, 포기, 대기, 성장, 라이선스 인, 전환	10	3, 13, 14, 22, 26, 27, 59, 60, 66, 70

[표 3] 평가방법 기준 분류

평가 방법	개수	참고 문헌 번호
몬테카를로 시뮬레이션	4	1, 15, 51, 72
격자 나무	12	6, 7, 10, 12, 13, 14, 22, 27, 32, 45, 66, 72
의사결정 나무	6	6, 21, 33, 50, 60, 17
블랙 솔츠 방법	10	3, 11, 14, 26, 30, 31, 45, 51, 54, 68
동적 프로그래밍	5	30, 38, 39, 57, 50
게임이론	3	5, 11, 68

[표 4] 적용산업 기준 분류

산업	개수	참고 문헌 번호
자원	4	4, 15, 24, 66
생산기반	5	3, 16, 36, 67, 14
제약	8	19, 39, 51, 54, 57, 66, 68, 72
신재생 에너지	7	13, 27, 28, 32, 33, 37, 56
통신	2	8, 45
교통	3	42, 46, 53
기타	5	1, 6, 12, 34, 59

### 제 3 절 연구의 차별성

위 2 절의 내용을 바탕으로 최근 실물옵션 방법을 사용한 연구개발 프로젝트의 가치평가 연구들과 본 연구를 비교해 보면 표[5]와 같이 나타낼 수 있다.

즉, 본 연구는 복수의 기술적 불확실성 요소를 다루고 있다는 점, 프로젝트의 진척도(기술력)에 따라 수요가 영향을 받는다는 점, 기술적 의사결정 기준이 존재한다는 점에서 기존 연구들과 그 차이점이 있다.

[표 5] 본 연구가 가지는 이전 연구와의 차이점

구분		이전 연구	본 연구
불확실성 요소		1 개 혹은 2 개의 시장 불확실성 + 1 개의 기술적 불확실성	1 개의 시장 불확실성 + 복수의 기술적 불확실성
평가방법		의사결정 나무 + 이항 또는 삼항 격자 구조	의사결정 나무 + 이항 격자 구조
그 외	수요	고정	기술력에 따라 변동
	기술적 기준	없음	존재

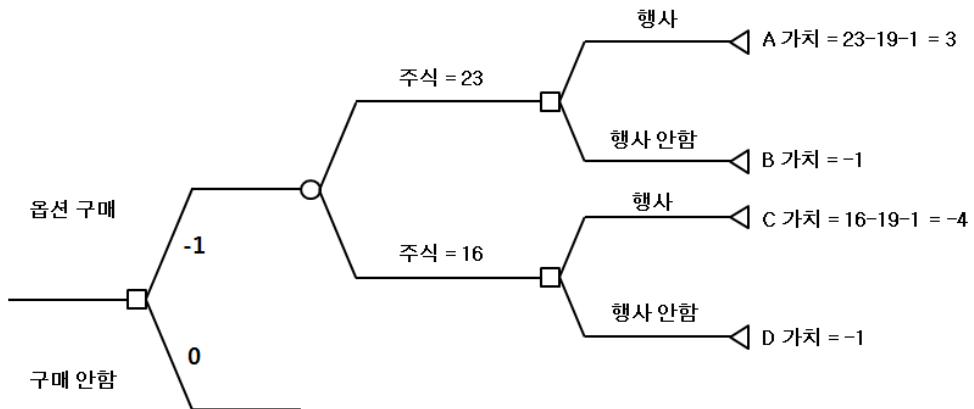
# 제 3 장 연구개발 프로젝트 가치 평가 모형

## 제 1 절 실물옵션 방법

### 1. 실물옵션 개요

실물옵션이란 기업의 실물투자 결정과정에서 후속 투자기회를 이용할 가능성이나 연기할 가능성 등 다양한 선택권이 존재할 때 선택 여하에 따라 실물투자사업의 투자가치가 증가될 수 있는 경우와 같이 선택권이 있는 실물투자 결정을 의미하는 것으로 기업의 경영에서 다양한 활동과 기회가 있기 때문에 발생한다.

실물옵션 방법은 금융 시장의 옵션과 실물 투자의 유사성에서 착안하여 불확실성 하에서 투자 결정이 어느 정도의 가치를 갖는 지를 도출하는 경제성 평가 방법으로 금융 시장의 옵션에는 다양한 형태의 옵션이 존재하나, 크게는 정해진 기간에 정해진 가격으로 금융 상품을 살 수 있는 권리를 주는 콜 옵션과 정해진 가격으로 팔 수 있는 권리를 주는 풋 옵션으로 구분되며, 콜 옵션의 구입 및 행사에 따른 의사결정 나무 예시는 아래 그림 [1]과 같다.



[그림 1] 옵션가격 1, 행사가격 19인 옵션 구입 및 행사에 따른 의사결정 나무

실물 옵션 방법은 기업의 경영에서 수행하는 투자를 일종의 옵션으로 다루는 접근법으로 생산을 멈추거나, 시작하거나, 연기하거나 증가시키는 것 혹은 새로운 시장에 진입하는 것 등 다양한 투자 결정을 돕는 의사 결정 도구라 할 수 있으며 기초 자산을 구매하는 권리를 가진다는 점에서 금융시장 옵션과 구조상 유사성을 가지며 둘의 유사점을 정리하면 표[6]과 같다.

기초 자산의 현재 가치를  $V(P)$ 라 하고, 초기 자본 지출을  $K$ 라 한다면 프로젝트의 순현재가치는 다음 식(1)과 같다.

$$NPV = V(P) - K \quad (1)$$

프로젝트의 순현재가치는 옵션을 행사하였을 때의 수익 혹은 프로젝트에 의해 기업에게 가산된 가치라 볼 수 있으며, 옵션 가치는 당장 옵션을 행사하여 얻을 수 있는 수익 가치와 추가적으로 창출된 가치의 합으로 후자의 경우 경영상의 유연성에 대한 가치라 할 수 있다. 이러한 유연성의 가치를 옵션 프리미엄이라 볼 수 있으며 옵션 가치는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\textit{Strategic NPV} = NPV + \textit{value of Flexibility}$$

이러한 실물 옵션의 종류로는 지속 옵션, 다음 단계를 위한 지속, 투자, 포기, 전환 옵션 등이 있으며 본 연구에서 사용한 옵션은 지속과 포기옵션이다.

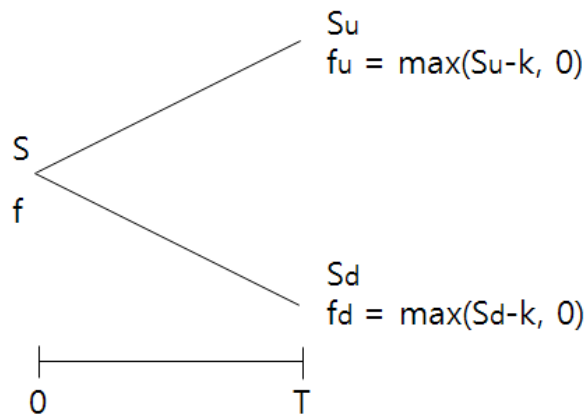
[표 6] 금융 콜옵션과 실물 옵션의 유사점

	금융 콜 옵션	프로젝트 투자에 대한 실물옵션
기초자산	주식 또는 자산, $S$	미래 현금흐름의 현재가치, $V(P)$
행사가격	행사가격, $K$	자본투자, $K$
만기	계약 만기, $T$	기회 행사, $T$
불확실성	주가 불확실성	프로젝트 가치 불확실성
변동성	주식 변동성, $\sigma$	프로젝트 변동성, $\sigma$
할인율	무위험 이자율, $r$	무위험 이자율, $r$
행사	콜옵션 가격 = $S - K$	$F(P) = V(P) - K$ 일 때 투자
내재가치	$S - K$	$NPV = V(P) - K$

## 2. 무위험 포트폴리오

옵션 가치의 계산은 무위험 포트폴리오 설정에 의존하며 포트폴리오가 무위험이라면 옵션의 가치는 가격의 변동에 영향을 받지 않기 때문에 그 가치를 계산할 수 있다.

가장 단순한 경우로 그림 [2]와 같이 기초자산인 주식의 가격이  $S$ 이고, 옵션의 가격이  $f$ 인 단일 기간의 모형을 생각해 보면 단일 기간 후 주식의 가격은  $S_u$ 로 상승할 수 있다. 이 때  $u$ 는 가격상승을 나타내는 요인이다. 또한 주식의 가격은  $S_d$ 로 하락할 수 있다. 이 때  $d$ 는 가격하락을 나타내는 요인이다. 주식의 가격이 상승하는 경우 옵션의 가격은  $f_u$ 이며, 주식의 가격이 하락하는 경우 옵션의 가격은  $f_d$ 이다.



[그림 2] 단일기간 후의 주식과 옵션의 가격



주식과 옵션으로 포트폴리오를 구성하는 목적은 위험을 제거하는 것이다. 포트폴리오는  $m$ 개의 주식을 구매하고 주식에 대한 옵션을 하나 판매함으로써 얻을 수 있다. 이 포트폴리오의 초기 값은  $V_0$ 로 주어지며 식 (2)와 같다.

$$V_0 = mS - f \quad (2)$$

이 때 포트폴리오가 무위험이 되도록 하는 수만큼 주식을 구입한다. 이는 포트폴리오가 주가변동과 관계없이 일정한 상수 값을 가진다는 것을 의미하며, 즉 항상 일정한 수익을 가져다준다는 것을 의미한다. 만약 이런 경우에는 식(3)과 같은 관계가 성립하며 이를  $m$ 에 대해 정리하면 식 (4)와 같다.

$$mS_u - f_u = mS_d - f_d \quad (3)$$

$$m = \frac{f_u - f_d}{S_u - S_d} \quad (4)$$

만기시점  $T$ 에서의 무위험 포트폴리오의 현재 가치는 무위험 이자율로 할인된 포트폴리오 가치로 식 (5)와 같이 표현할 수 있으며, 이 때  $r$ 은 무위험 이자율,  $PV$ 는 현재가치의 함수를 나타낸다.

$$PV(V_t) = (mS_u - f_u) \frac{1}{1+r} \quad (5)$$

포트폴리오의 현재가치는 포트폴리오 초기값과 반드시 같아야 하기 때문에 식(6)과 같은 관계가 성립하며, 식(4)에서 도출된  $m$ 을 이용하면 식(7)과 식(8)을 통해 옵션의 가격  $f$  와 확률  $p$ 값을 구할 수 있다.

$$mS - f = (mS_u - f_u) \frac{1}{1+r} \quad (6)$$

$$f = \frac{1}{1+r} (pf_u + (1-p)f_d) \quad (7)$$

$$p = \frac{(1+r) - d}{u - d} \quad (8)$$

### 3. 위험중립확률

단일기간 모형을 사용한다는 것은 옵션의 가치에 대한 정확한 추정 이루어지지 못한다는 것을 의미하며, 식(7)의  $p$  값은 확률로 해석될 수 있으며, 해당 기간 동안 주식가격이 상승할 확률을 나타낸다. 이 경우 옵션의 기대가치는 식(9)와 같이 표현할 수 있으며 만기 시점의 주식 가격 기대 값은 식(10)과 같고 식(8)의  $p$  값을 이용하면 식(11)로 간략히 나타낼 수 있다.

$$E[f] = pf_u + (1-p)f_d \quad (9)$$

$$E[S_t] = pS_u + (1-p)S_d \quad (10)$$

$$E[S_T] = S(1+r) \quad (11)$$

식 (11)은 주식가격의 기대 값이 현재의 주식가격에 무위험 이자율을 곱한 값과 동일하다는 것을 보여주며 주식의 가격이 무위험 이자율만큼 증가한다는 것이다. 따라서 매 기간 주식 가격이 상승할 확률은  $p$  이며, 이를 위험중립확률이라고 한다.

위험중립 세계는 객관적인 세계나 현실이 아니며 현실세계의 주식가격이 상승할 확률은 위험중립형 평가방법에서 사용한 옵션 가치 계산과는 무관하다. 자산의 무위험 포트폴리오로부터 예상되는 수익률은 무위험

이자율이며, 미래의 현금흐름은 위험중립세계의 위험중립확률로 할인되는 것이다.

#### 4. 이항격자

이항격자는 옵션의 가격을 결정함에 있어서 무위험 포트폴리오와 위험중립확률에 근거한 계산방법이다. 상승 요인  $u$ 와 하강 요인  $d$ , 위험중립 확률  $p$ 는 반드시 선택되어야 하므로 식 (10)와 식 (11)이 유지된다. 이는 기간말의 주식 가격의 기대 값이 아래의 식과 같다는 것을 의미한다.

$$Se^{rT} = pSu + (1 - p)Sd \quad (12)$$

이 때 지수요인  $e^{rT}$ 는 연속적인 복리를 의미하며 주식 가격 변화에 대한 표준편차는 주가가격의 변동성과 반드시 같아야 한다. 이는  $T$ 기간 동안의 주가가격 변화에 대한 분산이  $S^2\sigma^2T$ 임을 의미하는데, 이 때  $\sigma$ 는 주식 가격의 표준 편차이다. 변수  $X$ 의 분산은  $E[X^2] - E[X]^2$ 이므로, 주식 가격의 분산은 다음과 같다.

$$S^2\sigma^2T = pS^2u^2 + (1 - p)S^2d^2 - S^2(pu + (1 - p)d)^2 \quad (13)$$

식 (12)과 식(13)에  $u = 1/d$  조건을 이용하여 풀면 최종  $p, u, d$ 를 다음과 같이 구할 수 있고 위험중립세계에서 주가가격의 변화를 계산하는데 사용된다.

$$p = \frac{e^{rT} - d}{u - d} \quad (14)$$

$$u = e^{\sigma\sqrt{T}} \quad (15)$$

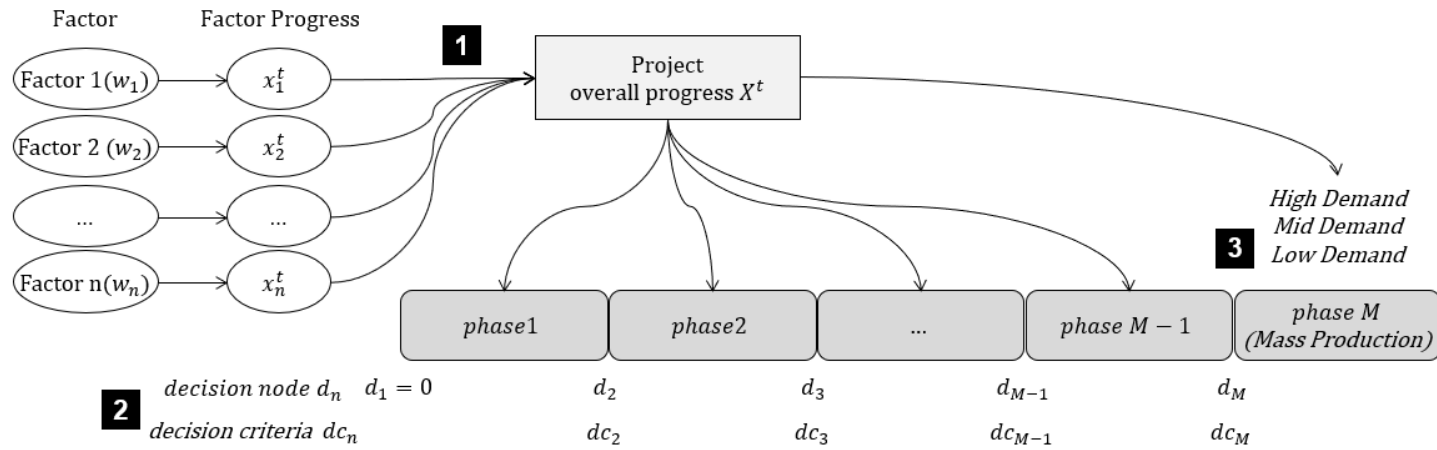
$$d = e^{-\sigma\sqrt{T}} \quad (16)$$

## 제 2 절 연구개발 프로젝트의 구조 및 의사결정 나무

### 1. 연구개발 프로젝트의 구조

복수의 성과요소로 구성된 연구개발 프로젝트는 그림 [3] 과 같은 구조로 나타낼 수 있다.

구조의 주요 특징으로 첫번째는 프로젝트의 성공을 위해  $n$  개의 성과요소가 존재하며 각 성과요소는  $w$  라는 중요도가 존재한다. 각 성과요소는 시간  $t$  에 따라 진척도  $x_i^t$  를 가지며 모든 성과요소의 종합으로 프로젝트의 진척도  $X^t$  가 결정된다, 두번째로 프로젝트 진척도  $X^t$  는 매 단계 마다 발전하고 각 단계 종료시점에서 기술적 의사결정 기준을 점검하여 기준 이상의 진척도를 보일 때 다음 단계로 넘어갈 수 있다. 마지막으로 양산 단계를 시작하기 직전에 최종 프로젝트의 진척도가 결정되고 프로젝트의 기술력에 해당하는 이 진척도를 기반으로 예상되는 수요에 맞추어 기업은 생산량을 결정하게 된다.



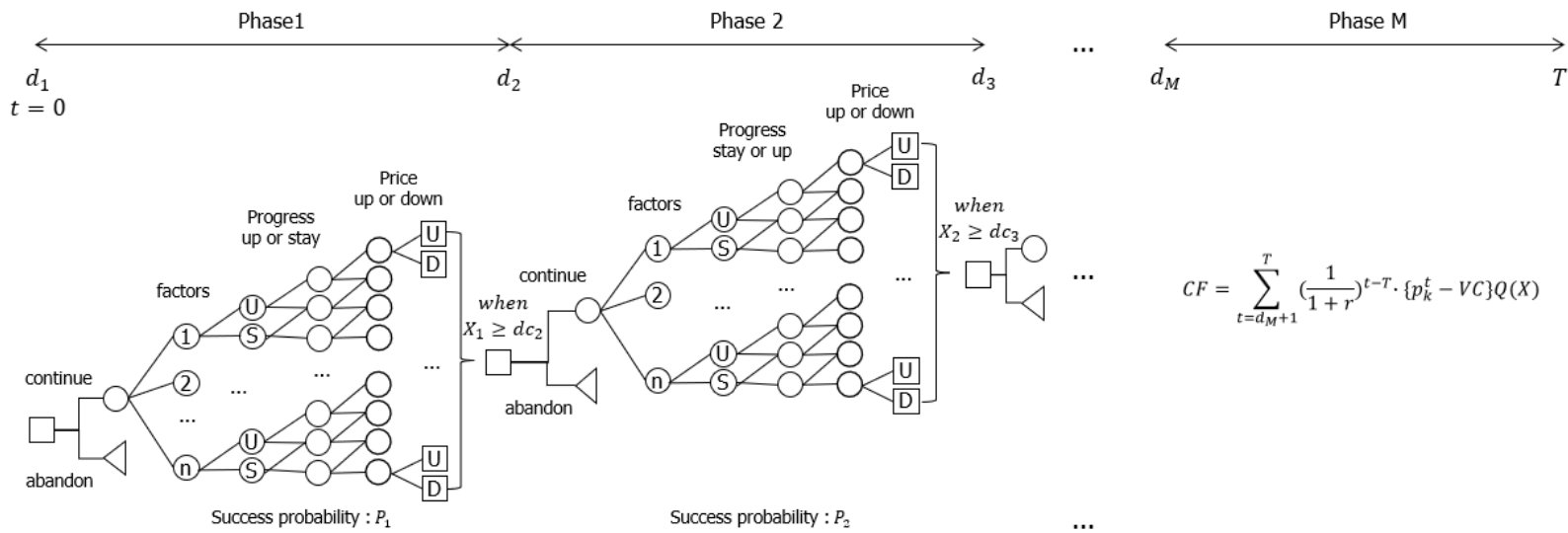
[그림 3] 복수의 성과요소로 구성된 연구개발 프로젝트의 구조

## 2. 의사결정 나무

위 구조를 바탕으로 새로운 연구개발 프로젝트를 진행에 대한 실물옵션 방법에서 사용할 의사결정 나무는 그림 [4]와 같다.

신제품 연구개발 프로젝트에 대한 요구가 발생하는 초기 시작 단계에서 개발 프로젝트의 지속 또는 포기의 의사결정을 할 수 있고, 지속이 결정되면 각 성과요소에 대한 개별 연구가 진행되며 일정 주기를 가지고 지속적으로 반복된다. 각 성과요소에 대한 연구의 성공, 실패에 따라 성과요소의 진척도는 증가 또는 유지되며 매 단계 종료 시점에 성과요소들의 진척도를 종합하여 프로젝트의 전체 진척도가 결정되고 그 진척도가 기술적 의사결정 수준을 넘었을 때 다음 단계로 넘어갈 수 있다. 다음 단계 시작 시점에서도 현재 연구개발 프로젝트의 진척도를 기반으로 각 성과요소의 연구 진행상황을 반영하여 미래에 제품의 진척도가 될 수 있는 모든 경우를 고려할 수 있고, 모든 경우로부터 예상되는 최종 진척도와 그 때의 미래 현금흐름(예상 수익과 예상 총비용의 합)을 기반으로 경제적 가치를 계산 및 단계 시작 시점으로 할인하여 해당 프로젝트를 지속할지 포기할지 결정할 수 있다.

이렇게 프로젝트 지속 결정에 따라 전체 연구개발 프로젝트 단계 동안 개별 성과요소 연구의 성공과 실패, 프로젝트 진척도 도출, 경제적 가치 평가가 반복적으로 수행되며, 양산 단계 시작 직전에 최종 프로젝트의 진척도에 따라 예상되는 수요가 변하게 된다. 이를 바탕으로 기업에서 정해진 생산량을 생산하고 판매하는 의사결정 나무를 가진다.



[그림 4] 복수의 성과요소로 구성된 연구개발 프로젝트의 의사결정 나무

### 제 3 절 주요가정 및 연구모형

#### 1. 주요가정

본 연구에서 다루는 실물옵션 모형에서 설정된 가정은 다음과 같다.

1. 가격은 GBM(Geometric Brownian Motion)을 따른다.
2. 각 성과요소는 서로 독립적이다.
3. 각 성과요소는 개별 연구 결과에 따라 동일하거나 올라가는 진척도를 가진다.
4. 성과요소 연구의 성공확률은 단계별로 다르다.
5. 생산된 제품은 모두 판매되며 생산-판매간 시간 차이는 무시한다.

#### 2. 표기법

본 연구에서 사용된 표기법은 크게 진척도, 시간, 비용, 기타 항목으로 나눌 수 있으며 내용은 다음과 같다.

- 진척도
  - $n$  : 성과요소 개수
  - $w_i$  : 성과요소  $i$ 의 가중치,  $i \in \{1, 2, \dots, n\}$
  - $L_i$  : 성과요소  $i$ 의 최대 진척도
  - $x_i^t$  : 시점  $t$ 에서의 성과요소  $i$ 의 진척도,  $x_i^t \in \{1, 2, \dots, L_i\}$
  - $X^t$  : 시점  $t$ 에서의 프로젝트의 진척도 상태,  $X^t = (x_1^t, \dots, x_n^t)$
  - $\mu(X^t)$  : 시점  $t$ 에서의 프로젝트 평균 진척도,  $\mu(X^t) = \sum_{i=1}^n w_i \frac{x_i^t}{L_i}$
  - $x'_i, X'$  : 성과요소  $i$ , 프로젝트의 다음 시점에서의 진척도



- 시간
  - $M$  : 단계의 개수
  - $S_m$  : 단계  $m$  셋업 종료 시점,  $m \in \{1, 2, \dots, M\}$
  - $d_m$  :  $m$ 번째 의사결정 시점
- 비용
  - $c_{i,m}$  : 성과요소  $i$ 의 단계  $m$ 에서의 연구비용
  - $I_{s,m}$  : 단계  $m$ 의 셋업비용
  - $I_m$  : 단계  $m$ 의 진입비용 (연구비용 + 셋업비용)
- 기타
  - $P_{i,m}$  : 성과요소  $i$ 의 단계  $m$ 에서의 성공확률
  - $dc_m$  :  $m$ 번째 단계에서의 최소 요구 진척도,  $m \in \{1, 2, \dots, M\}$
  - $V_m^t(k, X)$  : 프로젝트 가치  
( $m$ 단계,  $t$ 시점,  $k$ 번 가격하락,  $X$ 진척도를 가지는 경우)

### 3. 연구 모형

$M$  개의 단계를 가진 연구개발 프로젝트의 경제적 가치평가를 실물옵션 방법으로 평가하기 위해 크게 초기 단계, 중간 단계, 양산 단계 3가지로 구분하여 계산할 수 있으며 각 단계별 가치 도출 방법 및 수식은 다음과 같다.

① 초기 단계 ( $t = 0$ )

연구개발 시작 전 프로젝트의 경제적 가치는 연구 진입비용  $I_1$ 과 연구 시작 시 가치  $V_1^0(0,0)$ 의 합으로 구할 수 있고, 이 시점에서는 프로젝트 지속 또는 포기의 의사결정 옵션을 행사할 수 있으므로 위 가치와 0 값과의 비교 우위 값으로 식(17)과 같이 경제적 가치를 도출할 수 있다.

$$V = \max[0, -I_1 + V_1^0(0,X)], X^t = (0,0,\dots,0) \quad (17)$$

② 중간 단계  $m$  ( $1 \leq m \leq M-1$ )

중간 단계  $m$ 에서의 연구개발 프로젝트의 경제적 가치는 단계 내 세부 특징에 따라 i) 단계 셋업 중, ii) 단계 셋업 후 연구개발 중, iii) 다음 단계로 넘어가는 진입 결정 시, 이렇게 총 3 가지 구간으로 나누어 다른 계산과정을 거쳐야 하며 각 구간별 경제적 가치 도출 방법 및 수식은 다음과 같다.

i) 단계  $m$  셋업 중 ( $d_m \leq t \leq S_m$ )

단계 셋업 기간이란 연구개발을 위한 환경을 준비하는 기간으로 해당 기간에서는 각 성과요소의 연구가 진행되지 않는다. 따라서 성과요소의 진척은 발생하지 않으며 이 기간의 프로젝트 가치는 셋업비용  $I_{s,m}$ 과 가격의 상승, 하락을 고려한 다음시점에서의 가치  $V_m^{t+1}(\cdot)$ 에 위험중립확률  $\pi_u, \pi_d$ 를 곱한 값의 합으로 식(18)과 같이 표현할 수 있다.

$$V_m^t(k, X) = -I_{s,m} + \left(\frac{1}{1+r}\right)\{\pi_u V_m^{t+1}(k, X) + \pi_d V_m^{t+1}(k+1, X)\} \quad (18)$$

ii) 단계  $m$  셋업 후 연구개발 중 ( $S_m + 1 \leq t < d_{m+1}$ )

중간 단계에서 셋업 완료 후 연구개발 중인 시점에서 프로젝트의 경제적 가치는  $n$ 개의 성과요소 연구에 들어간 총 비용  $\sum_{i=1}^n c_{i,m}$ 과 진척도 증가 후 가격의 상승, 하락을 고려한 다음 시점에서의 가치  $V_m^{t+1}(\cdot)$ 에 위험중립확률로 곱한 기대 가치의 합으로 식(19)와 같이

구할 수 있다. 여기서 기대가치  $E_{x'}[\cdot]$ 는 다음시점의 미래 가치  $V_m^{t+1}(\cdot)$ 와  
진척 확률  $P_m(X'|X)$ 의 곱으로 식(20)과 같이 구할 수 있으며, 진척 확률  
 $P_m(X'|X)$ 은 식(21)과 같이 다음 시점에서 성과요소의 진척여부  $x'_i -$   
 $x_i \in \{0,1\}$ 에 따라 성공확률  $P_{i,m}$  또는 실패확률  $1 - P_{i,m}$ 이 곱해지도록  
수식화 할 수 있다.

$$V_m^t(k, X) = -\sum_{i=1}^n c_{i,m} \left(1 - \left\lfloor \frac{x'_i}{L_i} \right\rfloor\right) + \quad (19)$$

$$\left(\frac{1}{1+r}\right)\{\pi_u E_{x'}[V_m^{t+1}(k, X')|X] + \pi_d E_{x'}[V_m^{t+1}(k + 1, X')|X]\}$$

$$E_{x'}[V_m^{t+1}(k, X')|X] = \sum_{X': X' - X \in \{0,1\}^N} V_m^{t+1}(k, X) \cdot P_m(X'|X) \quad (20)$$

$$P_m(X'|X) = \begin{cases} \prod_{i=1}^n (P_{i,m})^{x'_i - x_i} \cdot (1 - P_{i,m})^{(1 - (x'_i - x_i))} & x'_i - x_i \in \{0,1\} \text{ \& } x'_i \leq L_n \\ 0 & \text{o/w} \end{cases} \quad (21)$$

iii) 단계  $m + 1$  진입결정 시 ( $t = d_{m+1}$ )

중간 단계  $m$  종료 후 다음 단계  $m + 1$  진입결정 시 프로젝트의  
경제적 가치는 프로젝트의 진척도가 기술적 의사결정 기준을 넘었을 때  
(즉,  $\mu(X^t)$ 가  $dc_{m+1}$ 보다 큰 경우)에만 발생하며 다음 단계의 진입비용  
 $I_{m+1}$ 과 진입 시 가치  $V_{m+1}^t(k, X)$ 의 합으로 구할 수 있다. 또한 이  
시점에서도 프로젝트 지속 또는 포기의 의사결정 옵션을 행사할 수  
있으므로 위 가치와 0 값과의 비교 순위 값으로 식(22)와 같이 경제적  
가치를 도출할 수 있다.

$$V_m^t(k, X) = \max[0, -I_{m+1} + V_{m+1}^t(k, X)] \cdot 1(\mu(X^t) \geq dc_{m+1}) \quad (22)$$

③ 양산 단계에서의 프로젝트 가치 ( $t = d_M$ )

양산 단계에서의 프로젝트 경제적 가치는 해당 단계 셋업기간  $t = d_M + 1$ 부터  $S_M$ 까지 들어간 총 비용  $-I_{s,M}$ 과 제품의 생산 기간  $t = S_M + 1$ 부터  $T$ 까지 벌어들인 총 수익의 합으로 구할 수 있으며 식(23)과 같다. (양산 단계의 셋업은 다른 단계 대비 장기간 필요 고려)

$$V_M^{d_M}(k, X) = \sum_{t=d_M+1}^{S_M} \left( \frac{1}{1+r} \right)^{t-d_M} \cdot (-I_{s,M}) \quad (23)$$

$$+ \sum_{t=S_M+1}^T \left( \frac{1}{1+r} \right)^{t-S_M} \cdot (p_k^t - VC)Q(X)$$

이때 생산량  $Q(X)$ 는 프로젝트 진척도  $X$ 에 따른 수요 변화가 고려된 값으로 기업의 전략적 기준에 따라 여러 수준으로 정할 수 있음을 고려하면 식(24)와 같이 나타낼 수 있다.

$$Q(X) = \begin{cases} Q_H, & \text{if } X_{dM} \geq \alpha \\ Q_M, & \text{if } \alpha > X_{dM} \geq \beta \\ Q_L, & \text{if } X_{dM} < \beta \end{cases} \quad (24)$$

본 실물옵션 연구 모형은 초기 단계, 중간 단계, 양산 단계 순으로 설명하였으나 실제 프로젝트 경제적 가치는 후진 귀납 방식을 사용하여 도출한다.

#### 4. 프로젝트 경제적 가치의 의미

본 연구에서 보이는 프로젝트의 경제적 가치는 Strategic NPV를 의미하며, 이는 무조건적으로 진행하는 경우에 발생하는 프로젝트의 가치인 Static NPV와 R&D진행 여부에 대한 선택권이 가지는 가치인 Option가치로 나눌수 있으며 이를 도식화하면 그림 [5]와 같다.

여기에서 Static NPV는 각 단계에서 발생하는 비용과 가치의 합으로 의사결정을 고려하지 않기 때문에 0 값과 비교하여 우위 값으로 결정되지 않는다.

$$\begin{array}{c}
 \text{Strategic NPV} = \text{Static NPV} + \text{Option Value} \\
 \text{프로젝트의 가치} \qquad \text{무조건적 진행시} \qquad \text{R\&D진행 여부} \\
 \qquad \qquad \qquad \text{프로젝트 가치} \qquad \qquad \text{선택권의 가치}
 \end{array}$$
  

	<b>Strategic NPV</b>	<b>Static NPV</b>	
<b>Initial Phase</b>	$V = \max[0, -I_1 + V_1^0(0, X)]$	$V = -I_1 + V_1^0(0, X)$	= <b>Option Value</b>
<b>Middle Phase</b>	$V_m^t(k, X) = \max[0, -I_{m+1} + V_{m+1}^t(k, X)]$	$V_m^t(k, X) = -I_{m+1} + V_{m+1}^t(k, X)$	

[그림 5] 프로젝트 경제적 가치의 의미 및 구성

## 제 4 장 사례 연구

### 제 1 절 분석 사례의 설정

#### 1. 환경 설정

본 연구의 사례 분석은 반도체 기업의 연구개발 데이터와 주요 성과요소를 이용하여 진행하였으며 주요환경은 다음과 같다(표 [7]).

- 반도체 기업은 연구개발 프로젝트 시작부터 생산에 이르기까지 크게 R&D, Development, Mass Production 단계를 거치며 각각의 기간은 18개월, 12개월, 36개월로 설정하였다.
- 반도체 개발의 주요 성과요소는 수율, 성능, 신뢰성, 품질 4가지로 선정하였으며 각 성과요소는 소비자 요구수준 대비 실제수준의 비율(%)로 진척도를 산정할 수 있다고 가정하였다.
- 성과요소의 진척속도는 다양하나 본 연구에서는 10%~20% 수준으로 가정하였고 각 단계별 연구의 성공확률은, R&D 50%, Development 70%로 가정하였다.
- 단계별 기술적 의사결정 기준은 연구 개발 프로젝트의 진척도를 대상으로, R&D 단계에서는 50%이상을 Development 단계에서는 75%이상으로 가정하였다.
- 프로젝트 진척도에 따른 생산량은 프로젝트의 최종 진척도 75~80% 수준 시  $Q_L = 0.5 Q$ , 80~90%시  $Q_M = Q$ , 90~100%시  $Q_H = 1.5 Q$ 로 설정하였다.
- 또한 계산상의 편의를 위해 Mass production에서 생산되는 모든 반도체 제품은 판매되고 생산-판매간 시간 차이는 없다고 가정하였다.

[표 7] 사례 분석 환경 설정

구분	R&D	Development	Mass Production
기간	18개월	12개월	36개월
연구성공확률	50%	70%	-
기술적 의사결정기준	≥50%	≥75%	-
변경요소	진척속도, R&D기간, 성과요소 가중치 R&D의사결정 기준 등		

## 2. 파라미터 설정

가격 변동 계수는 그림 [6]의 반도체 실제 가격 데이터를 바탕으로 도출하였다. 사용된 산식은 아래와 같고 도출된 결과는 표 [8]과 같으며 가격 상승, 하락 비율을 반도체 초기 가격에 곱한 이항 프로세스로 프로젝트 가치를 평가하는데 결합하였다.

- $\mu, \sigma$  : 로그 가격 변화의 평균, 표준편차
- $U = e^\sigma, D = e^{-\sigma}$  : 가격 상승, 하락 비율
- $\pi_u = \frac{R-D}{U-D}, \pi_d = \frac{U-R}{U-D}$  : 가격 상승, 하락 위험중립확률

또한 반도체 기업 데이터로부터 도출된 Mass production 단계에서의 수익과 변동비는 그림 [7]과 같다.



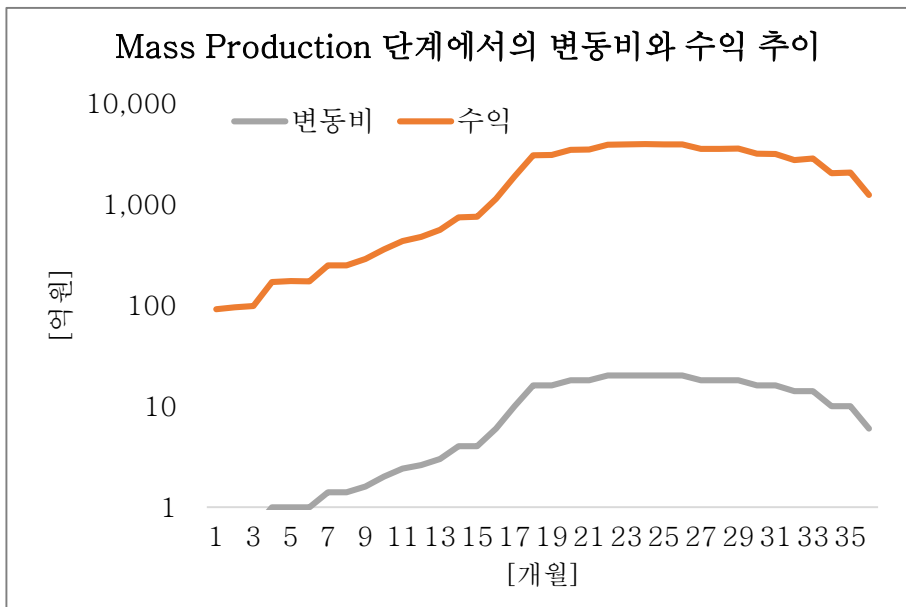
[그림 6] 반도체 가격 추이



[표 8] 가격 변동 파라미터 도출 결과

파라미터	값
$\mu$	-0.0040
$\sigma$	0.0626
$U$	1.0646
$D$	0.9393
$R$	1.05
$\pi_u$	0.8833
$\pi_d$	0.1167

[그림 7] Mass Production 단계에서의 수익과 변동비 추이



## 제 2 절 분석 결과

### 1. 이항 격자 구조에서의 프로젝트 가치

연구개발 프로젝트의 경제적 가치는 후진 귀납 방식의 풀이 과정을 거쳐 최종적으로 도출된다. 즉 Mass Production 단계에서 발생될 경제적 가치를 이용하여 Mass Production 단계 시작 시점에서의 프로젝트 가치를 도출하고 이 가치를 이용하여 Development 단계 시작 시점에서의 프로젝트 가치를 도출할 수 있으며, 다시 이 가치를 이용하여 최종 목표인 R&D 단계 시작 시점에서의 프로젝트 가치를 도출할 수 있다.

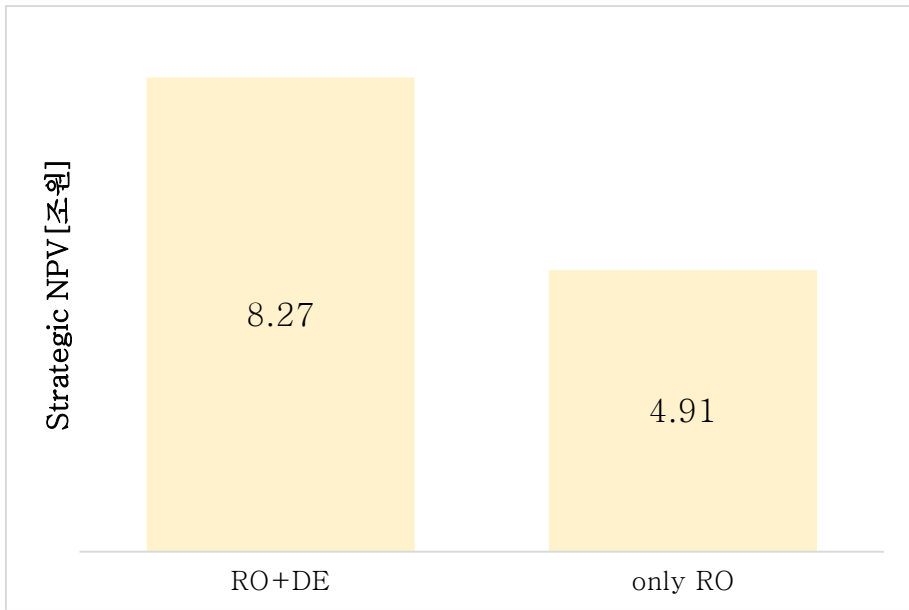
또한 본 모형은 여러 성과요소 진척도의 종합으로 프로젝트 진척도가 결정되고 최종 프로젝트 진척도에 따라 변화되는 수요에 맞추어 생산량이 결정되기 때문에 프로젝트 진척도 수준과 가격 변화에 대한 모든 조합에 대해 프로젝트의 가치가 도출된다.

따라서 각 단계에서 발생하는 모든 상황별 프로젝트의 경제적 가치를 본 논문의 본문에 표현하기에는 그 중요도 대비 내용이 많아 흐름을 방해할 수 있어 부록에 첨부하였다.

모형의 결과로 4 가지 성과요소로 구성된 신제품 개발 프로젝트의 경제적 가치(Strategic NPV)는 약 8.27 조원으로 확인되었다(R&D 기간 1.5 년, 진척속도 10% 기준). 이 중 프로젝트 기술력에 따른 수요 효과 제외 시 경제적 가치는 약 4.9 조원으로 수요 변화에 의한 가치 증가분은 약 3.4 조원으로 확인되었다. (그림[8] 참고)

4.9조원은 국내 반도체 기업 매출대비 평균 약 5~10% 수준으로, 여러 신제품을 개발하는 반도체 기업의 특성 및 R&D 집중도를 고려해 볼 때 적정 수준으로 판단된다.

- '21 년 삼성전자메모리 사업부 매출액 94.16 조원, SK 하이닉스 매출액 42.99 조원 (출처: 각 기업 경영실적 자료)
- '21 년 R&D 집중도: 삼성전자 (8.1%), SK 하이닉스(9.4%) (출처: IC Insight)



RO: Real Option, DE: Demand Effect

[그림 8] 평가방법별 연구개발 프로젝트의 Strategic NPV 비교

## 2. 민감도 분석

### ① R&D기간 및 진척속도별 Strategic NPV

본 연구의 모형을 이용하여 6~9개월의 R&D기간과 10~20%의 진척속도에서 각 조합별 프로젝트의 Strategic NPV를 표[12]와 같이 도출하였다.

R&D기간이 6개월인 경우, 연구성공에 따른 진척속도 12%이하일때는 경제적 가치가 발생하지 않는 것을 확인하였다. 이는 기술력이 목표 수준까지 도달하지 못하여 수익대비 높은 비용발생에 의해 포기옵션이 결정된 결과로 판단된다.

이를 이용하여 안정적인 기업의 연구개발 Guide 조건을 제시할 수 있을 것으로 판단되며 연구의 성공확률, 이자율 등 세부 조건 변동 시 재산출을 통해 제시할 수 있다.

[표 9] R&D 기간-진척속도별 연구개발 프로젝트의 Strategic NPV

환율 1,300원/\$ 기준

Strategic NPV [조원]		R&D 기간				
		6 개월	9 개월	12 개월	15 개월	18 개월
진척 속도	10%	0	0.15	2.56	7.53	8.27
	12%	0	2.37	6.64	8.29	8.37
	14%	0.32	4.77	7.77	8.35	8.37
	17%	0.32	6.88	8.21	8.35	8.37
	20%	1.89	7.95	8.32	8.36	8.37

기술력에 따른 수요 변화를 제외한 경우에 대해서도 상황별 프로젝트의 Strategic NPV를 확인하였으며 결과는 표[13]과 같다.

Strategic NPV가 0이되는 영역은 수요 변화를 고려한 경우와 같이 6개월 R&D기간에서 12%이하의 진척속도를 가지는 상황으로 확인되었으며 평균적으로 경제적 가치는 약 40% 감소하였다.

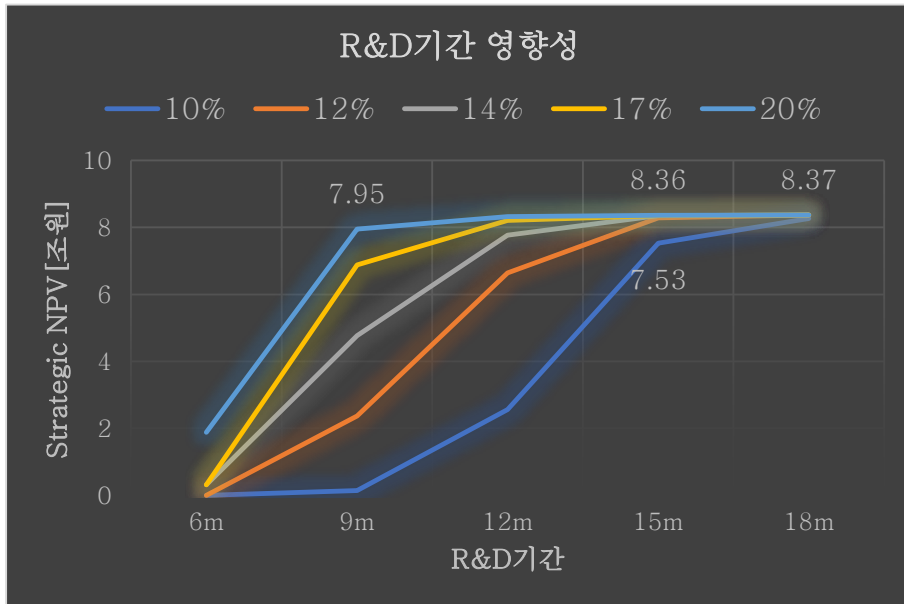
[표 10] R&D기간-진척속도별 연구개발 프로젝트의 Strategic NPV  
(기술력에 따른 수요 변화 제외)

Strategic NPV [조원]		R&D 기간				
		6 개월	9 개월	12 개월	15 개월	18 개월
진척 속도	10%	0	0.08	1.52	4.47	4.91
	12%	0	1.40	3.93	4.92	4.97
	14%	0.01	2.82	4.60	4.96	4.97
	17%	0.19	4.06	4.86	4.95	4.97
	20%	1.11	4.69	4.92	4.95	4.97

## ② R&D기간 영향성

R&D 기간이 프로젝트의 경제적 가치에 주는 영향을 분석하기 위해 각 진척속도에 대해 6 개월부터 18 개월까지 3 개월 간격으로 R&D 기간별 프로젝트의 Strategic NPV 를 확인하였으며 결과는 그림 [9]와 같다.

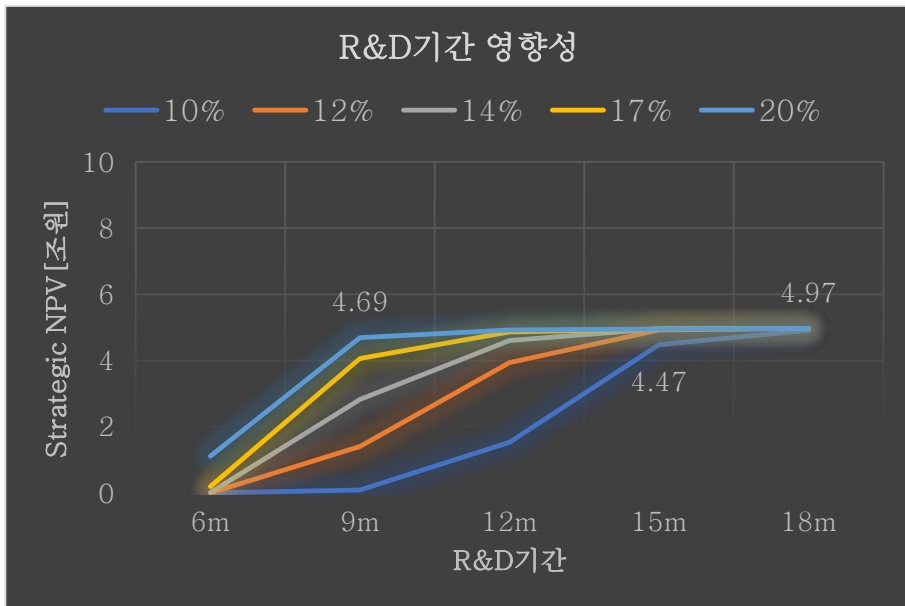
진척속도에 관계없이 R&D 기간이 증가할수록 프로젝트의 Strategic NPV 는 증가 현상을 보였으며 해당 프로젝트의 최대 가치는 8.37 조원으로 확인되었다. R&D 기간 1 개월 증가시 Strategic NPV 는 평균 0.65 조원씩 증가하며 15 개월이 넘어가는 경우부터 프로젝트의 Strategic NPV 차이는 크지 않았다. 이는 충분한 연구기간에 따라 높은 기술력이 확보되어 최대 경제적 가치를 발생시킨 결과로 판단된다.



[그림 9] R&D기간 변화에 따른 연구개발 프로젝트의 Strategic NPV

기술력에 따른 수요 변화를 제외한 경우에 대해서도 그림 [10]과 같이 R&D 기간이 프로젝트의 Strategic NPV 에 미치는 영향을 분석하였다. 그 결과, Strategic NPV 수준(최대 4.97 조원)만 변화하였을 뿐 수요 변화 고려 결과와 동일하게 R&D 기간이 증가할수록 프로젝트의 Strategic NPV는 증가하였고 포화 경제적 가치에 도달하는 R&D기간도 15 개월 이후로 확인되었다.

다만, 기술력에 따른 수요 변화를 제외할 경우 R&D기간 1 개월 증가에 따른 Strategic NPV 변화가 기존 0.65 조원에서 0.39 조원으로 약 40% 둔감해지는 결과를 확인하였다.

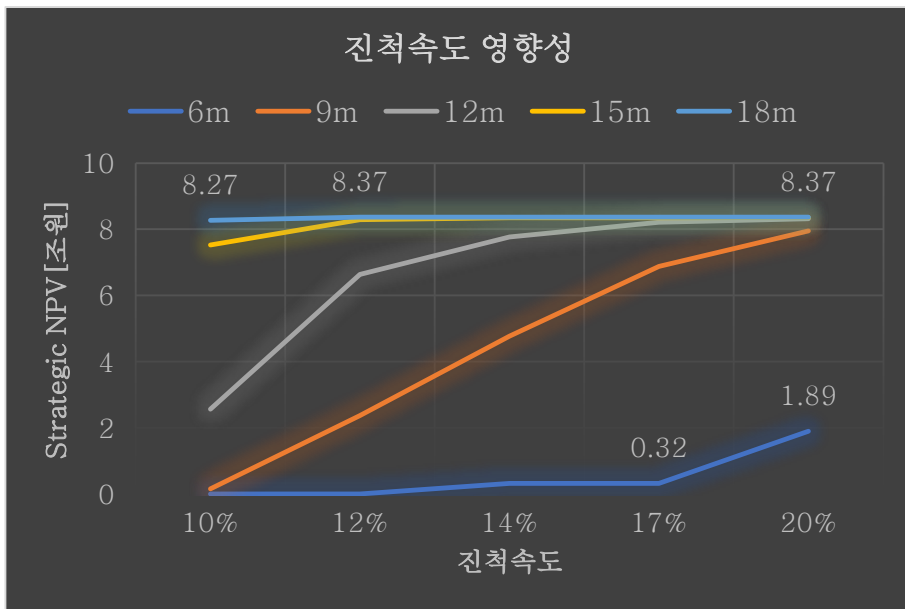


[그림 10] R&D기간 변화에 따른 연구개발 프로젝트의 Strategic NPV  
(기술력에 따른 수요 변화 제외)

### ③ 진척속도 영향성

진척속도란 한번의 연구성공시 발생하는 진척의 변화 정도로, 진척속도가 프로젝트의 가치에 미치는 영향을 분석하기 위해 각 R&D기간하에서 10%부터 20%까지 증가시키면서 프로젝트의 Strategic NPV를 확인하였으며 결과는 그림[11]과 같다.

전반적으로 진척속도가 증가할수록 프로젝트의 Strategic NPV는 증가하는 것을 확인할 수 있으며, 6개월의 R&D기간을 가지는 프로젝트나 18개월의 R&D기간을 가지는 프로젝트의 경우 Strategic NPV 변화가 거의 발생하지 않는 것을 확인하였다. 이는 높은 진척속도에도 연구기간이 짧아 기술적 의사결정 수준을 넘기기 어렵거나 충분한 연구기간이 제공되어 진척속도에 관계없이 높은 기술력이 확보되어 발생한 현상으로 판단된다.

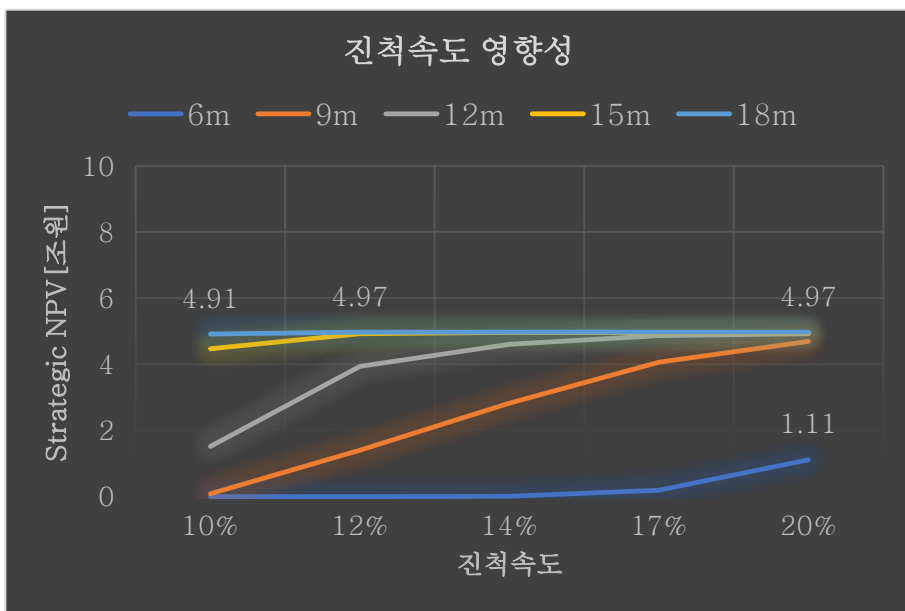


[그림 11] 진척속도 변화에 따른 연구개발 프로젝트의 Strategic NPV



기술력에 따른 수요 변화를 제외한 경우에 대해서도 그림 [12]와 같이 진척속도가 프로젝트의 Strategic NPV에 미치는 영향을 분석하였다. Strategic NPV 수준(최대 4.97조원)만 감소하였을 뿐 진척속도가 증가할수록 Strategic NPV가 증가하는 현상과 최대 Strategic NPV에 도달하는 최소 진척속도는 이전과 동일한 것이 확인되었다.

다만, 기술력에 따른 수요 변화를 제외할 경우, 진척속도 1% 증가에 따라 Strategic NPV 변화가 기존 0.33조원에서 0.19조원으로 약 41% 둔감해지는 결과는 발생하였다.



[그림 12] 진척속도 변화에 따른 연구개발 프로젝트의 Strategic NPV  
(기술력에 따른 수요 변화 제외)

④ R&D기간 및 진척속도별 옵션 가치

옵션의 가치란 그림 [5]에서 설명한 것과 같이 R&D 진행 여부에 대한 선택권의 가치로 볼 수 있다. 따라서 표 [12],[13]에서 Strategic NPV가 0인(R&D 6개월, 진척속도 12%이하) 영역에서 옵션의 가치를 확인할 수 있었으며 기술력에 따른 수요 변화를 고려, 미 고려한 경우 모두 약 15억 수준으로 확인되었다(표 [14],[15]).

15억의 옵션 가치란 기술력 확보, 가격 변동 등의 불확실성 증가에 따라 신제품 판매에 위험이 존재하여 R&D를 시작할 경우 적자가 예상되는 경우 포기옵션을 사용하여 프로젝트를 시작하지 않게 되었을 때 예방되는 손실액으로 해석할 수 있으며, 따라서 기술력 확보에 대한 불확실성이 조금이라도 높은 진척속도 10% 상황에서 12% 대비 높은 가치를 가지는 것을 확인할 수 있다.

[표 11] R&D기간-진척속도별 연구개발 프로젝트의 옵션 가치

Option Value [억원]		R&D 기간				
		6 개월	9 개월	12 개월	15 개월	18 개월
진척 속도	10%	15.84	0	0	0	0
	12%	14.57	0	0	0	0
	14%	0	0	0	0	0
	17%	0	0	0	0	0
	20%	0	0	0	0	0

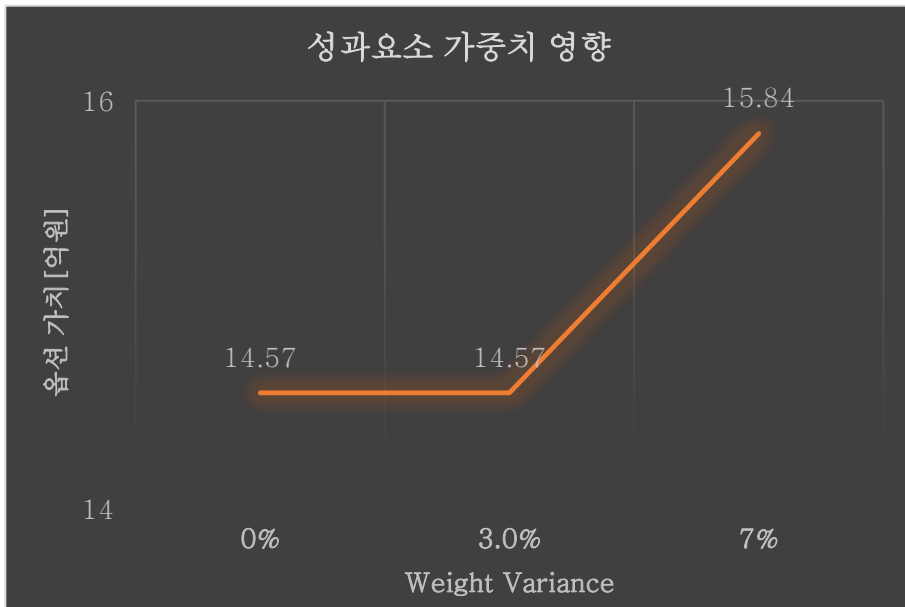
[표 12] R&D기간-진척속도별 연구개발 프로젝트의 옵션 가치  
(기술력에 따른 수요 변화 제외)

Option Value [억원]		R&D 기간				
		6 개월	9 개월	12 개월	15 개월	18 개월
진척 속도	10%	15.84	0	0	0	0
	12%	15.09	0	0	0	0
	14%	0	0	0	0	0
	17%	0	0	0	0	0
	20%	0	0	0	0	0

### ⑤ 성과요소 가중치 차이 영향성

복수의 성과요소를 가지고 있는 연구개발 프로젝트의 개별 성과요소는 다양한 가중치를 가지고 있다. 이에 가중치 변동에 따른 옵션 가치의 변화를 확인하기 위해 본 사례 분석에서 사용한 4개의 성과요소의 가중치가 같은 경우와 다른 경우에 대해, 다른 경우에도 그 정도 차이에 따른 옵션의 가치를 비교하였다(R&D 6개월, 진척속도 12% 기준).

결과는 그림 [13]과 같다. 각 성과요소의 가중치 차이가 가장 큰 조건에서 옵션의 가치가 증가하였고 가중치 차이 3%이하에서는 옵션의 가치가 변하지 않음을 확인하였다. 이는 불확실성이 증가할수록 옵션의 가치가 증가하는 실물옵션의 특징으로 해석할 수 있으며, 성과요소의 수가 증가할수록 옵션 가치는 감소될 것을 예상할 수 있다.

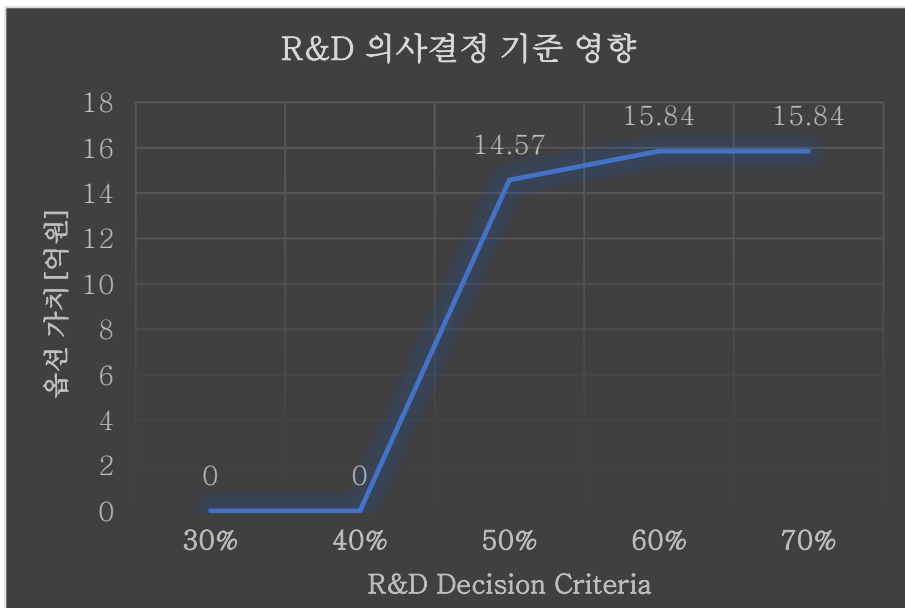


[그림 13] 성과요소 가중치 차이에 따른 옵션 가치의 변화

## ⑥ 의사결정 기준 영향성

기술적 의사결정 기준은 의사결정자 성향 및 외부 환경에 따라 달라질 수 있다. 따라서 본 민감도 분석에서는 변경할 수 있는 R&D단계의 의사결정 기준을 30%부터 70%까지 점진적으로 높여가며 옵션의 가치 변화를 살펴보고 결과 는 그림 [14] 와 같다.

R&D단계의 의사결정 기준이 특정 수준까지는 옵션의 가치가 없다가 그 수준을 넘어서면 가치가 나타나는 현상을 볼 수 있었고, 이후 기준이 강화될수록 옵션의 가치가 증가하는 결과를 확인하였다. 이는 연구 성공 확률 대비 낮은 목표에서는 포기 옵션이 사용되지 않아 옵션의 가치가 발생하지 않다가 높은 목표에서는 다음 단계로 넘어갈 불확실성이 증가하여 옵션의 가치가 발생하고 더 높은 목표에서는 가치가 증가한 것으로 해석할 수 있다.



[그림 14] 기술적 의사결정 기준 정도에 따른 옵션 가치의 변화

### ⑦ 민감도 분석 결과 요약

위 다양한 민감도 분석을 통해 여러가지 의미있는 결과를 확인하였으며 요약한 내용은 아래와 같다.

- 1) R&D기간이 증가할수록 프로젝트의 Strategic NPV는 증가하며, 특정 기간 이상에서는 충분한 기술력이 확보되어 가치의 변화가 미미함.
- 2) 진척속도가 증가할수록 프로젝트의 Strategic NPV는 증가하며, R&D기간 대비 진척속도가 느린 경우 기술력 확보가 불가하여 가치가 낮아짐.
- 3) 기술력에 따른 수요 변화 미 고려 시, 포기 옵션이 결정되는 R&D기간과 진척속도 조건은 동일하며 최대 Strategic NPV와 R&D기간 및 진척속도 증가에 따른 Strategic NPV 변화 정도는 약 40% 감소함.
- 4) 각 성과요소의 가중치 차이가 클수록 옵션의 가치는 증가함.
- 5) 초기 단계의 의사결정 기준이 높을수록 옵션의 가치는 증가하며, 낮을수록 옵션을 사용하는 경우가 감소하여 옵션 가치는 감소함.

## 제 5 장 결론

본 연구를 통해 복수의 성과요소를 고려한 연구개발 프로젝트에 대한 경제적 가치 평가 모형을 개발하였다. 시장 출시 시기와 기술적 의사 결정 기준을 포함하여 보다 현실적인 모형으로 발전시켰으며, 반도체 연구개발 데이터를 활용하여 프로젝트의 가치를 도출하였고 민감도 분석을 통해 모형의 특징 및 의미있는 결과를 확보하였다.

Strategic NPV결과를 통해 사례 연구 대상의 경제적 가치가 8.27조 원을 가지는 것을 확인하였고 국내 반도체 기업의 상황과 비교하여 그 적정성을 확인하였다. 또한 수요 변화를 고려하지 않은 경우와의 가치 비교를 통해 기술력에 따른 수요 변화가 프로젝트의 가치에 약 40% 수준으로 큰 영향을 준 결과도 확인하였다. 연구기간과 진척속도가 증가할수록 프로젝트의 Strategic NPV는 증가하였으며, 옵션의 가치가 발생하는 영역에서 성과요소 가중치의 차이나 기술적 의사결정 수준이 증가할수록 옵션의 가치는 증가하였다. 이를 통해 본 모형이 가지는 특징과 불확실성 증가가 옵션 가치에 미치는 영향을 확인할 수 있었다.

본 모형을 사용하면 신규 프로젝트 시작 시 경제적 의미를 가지는 의사결정을 할 수 있으며 최적의 연구 개발 기간 및 성공적인 연구 개발에 필요한 최소 진척속도 목표도 제시할 수 있을 것으로 판단된다. 또한 본 모형의 응용을 통해 개별 연구과제에 대한 투자 결정, 다수의 과제에 대한 연구비용 할당 등 기업의 다양한 경영 전략으로 확장하여 경제적 의사결정에 사용할 수 있을 것으로 판단된다.

다만, 사례 분석에서 사용된 단계별 연구 성공확률 및 의사결정 기준이 편중된 결과를 도출함에 따라 옵션의 가치가 발생하는 조건이 적었고 그 수준이 낮아 직관적인 경향성 확인이 미흡한 점이 존재한다..

따라서 향후에는 진척속도 및 기간을 좀 더 세분화하고 더 많은 성과요소를 선정하여 모형의 특징이 더욱 잘 드러나고 명확한 경향성을 보일 수 있는 환경 조건을 찾는 연구를 지속하고자 한다. 또한 모형의 중요요소인 개별 성과요소의 가중치에 대해서는 AHP 분석 등의 결과를 결

합하고, 연구 성공확률에 대해서는 Historical 데이터를 활용한 Curve Fitting 등의 방법을 추가하여 실제 산업에서 신뢰도를 가지고 현실적으로 쓰일 수 있도록 모형을 발전시키고자 한다.



## 참고 문헌

- [1] Abadie, L. M., Sainz de Murieta, E., & Galarraga, I. (2017). Investing in adaptation: Flood risk and real option application to Bilbao. *Environmental Modelling and Software*, 95, 76–89. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2017.03.038>
- [2] Adner, R., & Levinthal, D. A. (2004). What Is Not a Real Option: Considering Boundaries for the Application of Real Options to Business Strategy. In Source: *The Academy of Management Review* (Vol. 29, Issue 1). <https://www.jstor.org/stable/20159010>
- [3] Agliardi, E., Cattani, E., & Ferrante, A. (2018). Deep energy renovation strategies: A real option approach for add-ons in a social housing case study. *Energy and Buildings*, 161, 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.11.044>
- [4] Armstrong, M., Galli, A., Bailey, W., & Couët, B. (2004). Incorporating technical uncertainty in real option valuation of oil projects. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 44(1–2), 67–82. <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2004.02.006>
- [5] Azevedo, A., & Paxson, D. (2014). Developing real option game models. *European Journal of Operational Research*, 237(3), 909–920. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2014.02.002>
- [6] Brandão, L. E., Brandão, B., & Dyer, J. S. (2005). Decision Analysis and Real Options: A Discrete Time Approach to Real Option Valuation. In *Annals of Operations Research* (Vol. 135).
- [7] Brandão, L. E., Dyer, J. S., & Hahn, W. J. (2005). using binomial decision trees to solve real-option valuation problems. *Decision Analysis*(Vol.2), pp. 69–88
- [8] Carlsson, C., & Fullér, R. (2003). A fuzzy approach to real option

- valuation. *Fuzzy Sets and Systems*, 139(2), 297–312.  
[https://doi.org/10.1016/S0165-0114\(02\)00591-2](https://doi.org/10.1016/S0165-0114(02)00591-2)
- [9] Cassimon, D., de Backer, M., Engelen, P. J., van Wouwe, M., & Yordanov, V. (2011a). Incorporating technical risk in compound real option models to value a pharmaceutical R&D licensing opportunity. *Research Policy*, 40(9), 1200–1216.  
<https://doi.org/10.1016/j.respol.2011.05.020>
- [10] Cassimon, D., Engelen, P. J., & Yordanov, V. (2011). Compound real option valuation with phase-specific volatility: A multi-phase mobile payments case study. *Technovation*, 31(5–6), 240–255. <https://doi.org/10.1016/j.technovation.2010.12.004>
- [11] Chang, S., Li, Y., & Gao, F. (2016). The impact of delaying an investment decision on R&D projects in real option game. *Chaos, Solitons and Fractals*, 87, 182–189.  
<https://doi.org/10.1016/j.chaos.2016.03.035>
- [12] Chen, C. C., Chiang, Y. S., & Chien, C. F. (2007). Real Option Analysis for Capacity Investment Planning for Semiconductor Manufacturing, *IEEE*.
- [13] Chen, Y. (2012). A tetranomial tree real option model on renewable energy R&D project valuation. In *2012 Proceedings of PICMET '12: Technology Management for Emerging Technologies*.
- [14] Čirjevskis, A., & Tatevosjans, E. (2015). Empirical Testing of Real Option in the Real Estate Market. *Procedia Economics and Finance*, 24, 50–59. [https://doi.org/10.1016/s2212-5671\(15\)00611-5](https://doi.org/10.1016/s2212-5671(15)00611-5)
- [15] Cortazar, G., Gravet, M., & Urzua, J. (2008). The valuation of multidimensional American real options using the LSM simulation method. *Computers and Operations Research*, 35(1), 113–129.

- <https://doi.org/10.1016/j.cor.2006.02.016>
- [16] de Neufville, R., Asce, M., Scholtes, S., & Wang, T. (2006). Real Options by Spreadsheet: Parking Garage Case Example. *JOURNAL OF INFRASTRUCTURE SYSTEMS*, <https://doi.org/10.1061/ASCE1076-0342200612:2107>
- [17] Deeney, P., Cummins, M., Heintz, K., & Pryce, M. T. (2021). A real options based decision support tool for R&D investment: Application to CO2 recycling technology. *European Journal of Operational Research*, 289(2), 696–711. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2020.07.015>
- [18] Hartmann, M., & Hassan, A. (2006). Application of real options analysis for pharmaceutical R&D project valuation—Empirical results from a survey. *Research Policy*, 35(3), 343–354. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2005.12.005>
- [19] Herath, H. S. B., & Bremser, W. G. (2005). Real—option valuation of research and development investments. Implications for performance measurement. *Managerial Auditing Journal*, 20(1), 55–72. <https://doi.org/10.1108/02686900510570704>
- [20] Herath, H. S. B., & Park, C. S. (2001). Real options valuation and its relationship to Bayesian decision—making methods. *Engineering Economist*, 46(1), 1–32. <https://doi.org/10.1080/00137910108967560>
- [21] Herath, H. S. B., & Park, C. S. (2002). MULTI STAGE CAPITAL INVESTMENT OPPORTUNITIES AS COMPOUND REAL Options. *The ENGINEERING as a Studies on Real Options* (Vol. 22, Issue 3).
- [22] Hu, Q., & Zhang, A. (2015). Real option analysis of aircraft acquisition: A case study. *Journal of Air Transport Management*, 46, 19–29. <https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2015.03.010>

- [23] Huchzermeier, A., & Loch, C. H. (2001). Project management under risk: Using the real options approach to evaluate flexibility in R&D. *Management Science*, 47(1), 85–101. <https://doi.org/10.1287/mnsc.47.1.85.10661>
- [24] Insley, M. (4714). A Real Options Approach to the Valuation of a Forestry Investment 1. *Journal of Environmental Economics and Management*, 44. <https://doi.org/10.1006rjeem.2001.1209>
- [25] Ipsmiller, E., Brouthers, K. D., & Dikova, D. (2019). 25 Years of Real Option Empirical Research in Management. *European Management Review*, 16(1), 55–68. <https://doi.org/10.1111/emre.12324>
- [26] Kemna, A. G. Z. (1993). Case Studies on Real Options. *Financial Management* (Vol. 22, Issue 3). <https://about.jstor.org/terms>
- [27] Kim, K. T., Lee, D. J., & An, D. (2020). Real option valuation of the R&D investment in renewable energy considering the effects of the carbon emission trading market: A Korean case. *Energies*, 13(3). <https://doi.org/10.3390/en13030622>
- [28] Kim, K. T., Lee, D. J., & Park, S. J. (2014). Evaluation of R&D investments in wind power in Korea using real option. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (Vol. 40, pp. 335–347). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.07.165>
- [29] Kim, K., & Park, C. S. (2020). Pricing real options based on linear loss functions and conditional value at risk. *Engineering Economist*, 66(1), 3–26. <https://doi.org/10.1080/0013791X.2020.1867273>
- [30] Laras Kemala, B. K., & Simatupang, T. (2020). Real Option Analysis Approach for Pharmaceutical Project Portfolio Optimization Model Considering Multi-project Dependencies.

- 2020 7th International Conference on Frontiers of Industrial Engineering*, ICFIE 2020, 40–47.  
<https://doi.org/10.1109/ICFIE50845.2020.9266740>
- [31] Lee, J. W., & Paxson, D. A. (2001), Valuation of R&D real American sequential exchange options. *R&D Management*, 31
- [32] Lee, S. C. (2011). Using real option analysis for highly uncertain technology investments: The case of wind energy technology. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (Vol. 15, Issue 9, pp. 4443–4450). Elsevier Ltd.  
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.07.107>
- [33] Lee, S. C., & Shih, L. H. (2010). Renewable energy policy evaluation using real option model – The case of Taiwan. *Energy Economics*, 32(SUPPL. 1).  
<https://doi.org/10.1016/j.eneco.2010.04.010>
- [34] Li, J., & Li, B. (2017). Evaluation Method of R&D Investment Value of Intelligent Manufacturing Enterprise Based on Growth Option. *Procedia Engineering*, 174, 301–307.  
<https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.01.142>
- [35] Lint, O., & Pennings, E. (2001). An option approach to the new product development process: a case study at Philips Electronics. *R&D Management*, 31(2)
- [36] Liu, J., & Cheah, C. Y. J. (2009). Real option application in PPP/PFI project negotiation. *Construction Management and Economics*, 27(4), 331–342.  
<https://doi.org/10.1080/01446190902807071>
- [37] Liu, L., Zhang, M., & Zhao, Z. (2019). The application of real option to renewable energy investment: A review. *Energy Procedia*, 158, 3494–3499.  
<https://doi.org/10.1016/j.egypro.2019.01.921>

- [38] Liu, S. S., & Wang, C. J. (2011). Optimizing project selection and scheduling problems with time-dependent resource constraints. *Automation in Construction*, 20(8), 1110–1119. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2011.04.012>
- [39] lo Nigro, G., Morreale, A., & Enea, G. (2014). Open innovation: A real option to restore value to the biopharmaceutical R&D. *International Journal of Production Economics*, 149, 183–193. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2013.02.004>
- [40] Lo, K. H., & Lan, Y. W. (2010). An approach to the R&D value based upon real option method. *Quality and Quantity*, 44(3), 509–527. <https://doi.org/10.1007/s11135-008-9208-5>
- [41] Luehrman, T.A. (1998). Strategy as a Portfolio of Real option. *HARVARD BUSINESS REVIEW* (September–October 1998)
- [42] Machiels, T., Compennolle, T., & Coppens, T. (2021a). Real option applications in megaproject planning: trends, relevance and research gaps. A literature review. *European Planning Studies*, 29(3), 446–467. <https://doi.org/10.1080/09654313.2020.1742665>
- [43] Martin, H. W., & Thomson, R. J. (1960). Work Measurement and Productivity in Engineering Design. *IRE Transactions on Engineering Management*, EM-7(3), 83–95. <https://doi.org/10.1109/IRET-EM.1960.5007548>
- [44] Mcgrath, M. E., Romeri, M. N., & Mcgrath, M. (1994). FROM EXPERIENCE The R&D Effectiveness Index: A Metric for Product Development Performance.
- [45] Mkhize, M., & Moja, N. (2009). The application of real option valuation techniques in the cellular telecommunication industry in South Africa. In *J.Bus.Manage* (Issue 3).
- [46] Moon, S., & Lee, D. J. (2019). An optimal electric vehicle

- investment model for consumers using total cost of ownership: A real option approach. *Applied Energy*, 253. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.113494>
- [47] Morris., Peter A., Teisberg., Elizabeth Olmsted., Kolbe., & Lawrence (1991). When choosing R&D projects, go with long shots. *Research Technology Management*; Jan–Feb 1991; 34, 1
- [48] Nayak, P. R. (1992). Measuring Product Creation Effectiveness. *JOURNAL OF BUSINESS STRATEGY*
- [49] Newton, D. P., Paxson, D. A., & Widdicks, M. (2004). Real R&D options 1. In *International Journal of Management Reviews* (Vol. 5).
- [50] Nishihara, M. (2018). Valuation of R&D investment under technological, market, and rival preemption uncertainty. *Managerial and Decision Economics*, 39(2), 200–212. <https://doi.org/10.1002/mde.2896>
- [51] Olena, B., & Pell, J. (2001), Real option approach to R&D project valuation : case study at Serono International S.A. *The Financier* (VOL. 8), NOS. 1–4
- [52] Oriani, R., & Sobrero, M. (2008). Uncertainty and the market valuation of R&D within a real options logic. *Strategic Management Journal*, 29(4), 343–361. <https://doi.org/10.1002/smj.664>
- [53] Padhy, R. K., & Sahu, S. (2011). A Real Option based Six Sigma project evaluation and selection model. *International Journal of Project Management*, 29(8), 1091–1102. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2011.01.011>
- [54] Perlitz, M., Peske, T., & Schrank, R. (1999). Real options valuation: the new frontier in R&D project evaluation? In *R&D Management* (Vol. 29). Blackwell Publishers Ltd.

- [55] Philip H. Fransis (1992). Putting Quality into the R&D Process. *Research Technology Management*, (July–August 1992), pp.16–23
- [56] Qu, J., & Jeon, W. (2022). Price and subsidy under uncertainty: Real–option approach to optimal investment decisions on energy storage with solar PV. *Energy and Environment*, 33(2), 263–282. <https://doi.org/10.1177/0958305X21992291>
- [57] Rafiee, M., & Kianfar, F. (2011). A scenario tree approach to multi–period project selection problem using real–option valuation method. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 56(1–4), 411–420. <https://doi.org/10.1007/s00170-011-3177-x>
- [58] Rietveld, J., Schilling, M. A., & Bellavitis, C. (2019a). Platform strategy: Managing ecosystem value through selective promotion of complements. *Organization Science*, 30(6), 1232–1251. <https://doi.org/10.1287/orsc.2019.1290>
- [59] Ryu, Y., Kim, Y. O., Seo, S. B., & Seo, I. W. (2018). Application of real option analysis for planning under climate change uncertainty: a case study for evaluation of flood mitigation plans in Korea. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 23(6), 803–819. <https://doi.org/10.1007/s11027-017-9760-1>
- [60] Schneider, M., Tejada, M., Dondi, G., Herzog, F., Keel, S., & Geering, H. (2008). Making real options work for practitioners: A generic model for valuing R&D projects. *R & D Management*, 38(1), 85–106. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9310.2007.00500.x>
- [61] Shafiee, S., & Topal, E. (2009). When will fossil fuel reserves be diminished? *Energy Policy*, 37(1), 181–189.



<https://doi.org/10.1016/j.enpol.2008.08.016>

- [62] Smith, J. E., & Nau, R. F. (1995). Valuing Risky Projects: Option Pricing Theory and Decision Analysis. In Source: *Management Science* (Vol. 41, Issue 5). <https://www.jstor.org/stable/2633099>
- [63] Souder, W. E. (2013). The validity of subjective probability of success forecasts by R & D project managers. *IEEE Transactions on Engineering Management*, EM-16(1), 35-49. <https://doi.org/10.1109/tem.1969.6447043>
- [64] Steele, K., Carmel, Y., Cross, J., & Wilcox, C. (2009). Uses and misuses of multicriteria decision analysis (MCDA) in environmental decision making. In *Risk Analysis* (Vol. 29, Issue 1, pp. 26-33). <https://doi.org/10.1111/j.1539-6924.2008.01130.x>
- [65] Tenner, Arthur, R. (1991). Quality Management Beyond Manufacturing. *Research Technology Management*; Sep/Oct 1991; 34, pg. 27
- [66] Topal, E., Nehring, M., & Shafiee, S. (2009). Adjusted real option valuation to maximise mining project value—A case study using century mine. <https://www.researchgate.net/publication/47380040>
- [67] van Zee, R. D., & Spinler, S. (2014). Real option valuation of public sector R&D investments with a down-and-out barrier option. *Technovation*, 34(8), 477-484. <https://doi.org/10.1016/j.technovation.2013.06.005>
- [68] Villani, G. (2008). An R&D investment game under uncertainty in real option analysis. *Computational Economics*, 32(1-2), 199-219. <https://doi.org/10.1007/s10614-008-9133-7>

- [69] Villani, G. (2013). Valuation of R&D Investment Opportunities with the Threat of Competitors Entry in Real Option Analysis. *Comput Econ* (2014) 43:331–355 DOI 10.1007/s10614-013-9370-2
- [70] Wang, J., Wang, C. Y., & Wu, C. Y. (2015). A real options framework for R&D planning in technology-based firms. *Journal of Engineering and Technology Management – JET-M*, 35, 93–114. <https://doi.org/10.1016/j.jengtecman.2014.12.001>
- [71] Werner, B. M., & Souder, W. E. (1997). Measuring R & D performance – State of the art. *Research Technology Management*, 40(2), 34–42. <https://doi.org/10.1080/08956308.1997.11671115>
- [72] Willigers, B. J. A., & Hansen, T. L. (2008). Project valuation in the pharmaceutical industry: a comparison of least-squares Monte Carlo real option valuation and conventional approaches. *R&D Management*, 38, 5
- [73] Yeo, K. T., & Qiu, F. (2003). The value of management flexibility—a real option approach to investment evaluation. *International Journal of Project Management*, 21(4), 243–250. [https://doi.org/10.1016/S0263-7863\(02\)00025-X](https://doi.org/10.1016/S0263-7863(02)00025-X)

## 부 록

본 부록에서는 4장의 사례 연구에서 언급된 프로젝트의 경제적 가치가 도출되는 과정에서 발생한 이항 격자 구조에서의 단계별 Strategic NPV를 보여주고자 한다. 후진 귀납 방식의 풀이과정을 고려하여 Mass Production 시작, Development 시작, R&D 시작 단계에서의 도출된 Strategic NPV 결과는 아래 [A.1]~[A.3]과 같다.

[A.1] Mass Production 시작 단계에서의 상황별 프로젝트의 Strategic NPV

Mass Production [조원]		가격 하락 횟수																																
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29			
프로젝트 진척도	0.0%	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	2.5%	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	5.0%	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	7.5%	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	10.0%	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	12.5%	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	15.0%	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	17.5%	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	20.0%	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	22.5%	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	25.0%	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	27.5%	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	30.0%	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
32.5%	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	



[A.2] Development 시작 단계에서의 상황별 프로젝트의 Strategic NPV

Development [조원]		가격 하락 횟수											
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
프로젝트 진척도	0.0%	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	2.5%	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	5.0%	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	7.5%	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	10.0%	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	12.5%	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	15.0%	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	17.5%	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	20.0%	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	22.5%	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	25.0%	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	27.5%	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	30.0%	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	32.5%	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	35.0%	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	37.5%	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	40.0%	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	42.5%	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	45.0%	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
47.5%	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
50.0%	9.70	9.63	9.36	9.08	8.81	8.54	8.13	7.99	7.72	7.43	7.17	6.98	

52.5%	9.70	9.63	9.36	9.08	8.81	8.54	8.13	7.99	7.72	7.43	7.17	6.98
55.0%	9.70	9.63	9.36	9.08	8.81	8.54	8.13	7.99	7.72	7.43	7.17	6.98
57.5%	9.70	9.63	9.36	9.08	8.81	8.54	8.13	7.99	7.72	7.43	7.17	6.98
60.0%	9.70	9.63	9.36	9.08	8.81	8.54	8.13	7.99	7.72	7.43	7.17	6.98
62.5%	9.70	9.63	9.36	9.08	8.81	8.54	8.13	7.99	7.72	7.43	7.17	6.98
65.0%	9.70	9.63	9.36	9.08	8.81	8.54	8.13	7.99	7.72	7.43	7.17	6.98
67.5%	9.70	9.63	9.36	9.08	8.81	8.54	8.13	7.99	7.72	7.43	7.17	6.98
70.0%	9.70	9.63	9.36	9.08	8.81	8.54	8.13	7.99	7.72	7.43	7.17	6.98
72.5%	9.70	9.63	9.36	9.08	8.81	8.54	8.13	7.99	7.72	7.43	7.17	6.98
75.0%	9.70	9.63	9.36	9.08	8.81	8.54	8.13	7.99	7.72	7.43	7.17	6.98
77.5%	9.70	9.63	9.36	9.08	8.81	8.54	8.13	7.99	7.72	7.43	7.17	6.98
80.0%	9.70	9.63	9.36	9.08	8.81	8.54	8.13	7.99	7.72	7.43	7.17	6.98
82.5%	9.70	9.63	9.36	9.08	8.81	8.54	8.13	7.99	7.72	7.43	7.17	6.98
85.0%	9.70	9.63	9.36	9.08	8.81	8.54	8.13	7.99	7.72	7.43	7.17	6.98
87.5%	9.70	9.63	9.36	9.08	8.81	8.54	8.13	7.99	7.72	7.43	7.17	6.98
90.0%	9.70	9.63	9.36	9.08	8.81	8.54	8.13	7.99	7.72	7.43	7.17	6.98
92.5%	9.70	9.63	9.36	9.08	8.81	8.54	8.13	7.99	7.72	7.43	7.17	6.98
95.0%	9.70	9.63	9.36	9.08	8.81	8.54	8.13	7.99	7.72	7.43	7.17	6.98
97.5%	9.70	9.63	9.36	9.08	8.81	8.54	8.13	7.99	7.72	7.43	7.17	6.98
100.0%	9.70	9.63	9.36	9.08	8.81	8.54	8.13	7.99	7.72	7.43	7.17	6.98

[A.3] R&D 시작 단계에서의 연구개발 프로젝트의 Strategic NPV

R&D [조원]		가격 하락 횟수
		0
프로젝트 진척도	0%	8.27

## **Abstract**

# A Real option–based Economic Evaluation Model of R&D Projects with Multiple Performance Factors : Case of semiconductors industry

Tackseung Hong

Department of Industrial Engineering

The Graduate School

Seoul National University

With the advent of fourth–generation R&D, it has become important for companies to develop projects that meet various needs of customers and society. In the case of the automobile industry, requirements such as design, follow–up management, and environmental pollutant emissions were added to the existing performance and stability requirements, and the semiconductor industry also added requirements such as personal information protection, quality assurance, and interface compatibility.

Accordingly, companies need to consider multiple performance factors in the R&D stage for the launch of new project and companies designate these performance factors as KSF (Key Success Factor) to manage progress.

Considering the progress of these performance factors, a useful method to evaluate R&D project's economic value is a real option.

Through this study, the value evaluation model of the R&D project considering multiple performance factors is developed as a real option method, and a case study is conducted based on semiconductor R&D data.

Keywords: R&D Real options, multiple factors, technical progress

Student Number: 2021-21328