



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

실물옵션 게임모형을 이용한 복점시장에서의
R&D 및 사업화 투자전략

R&D and Commercialization Investment Strategies
Using Game Theoretic Real Options in a Duopoly

2018 년 8 월

서울대학교 대학원

산업공학과

서 민 혁

실물옵션 게임모형을 이용한 복점시장에서의 R&D 및 사업화 투자전략

R&D and Commercialization Investment Strategies
Using Game Theoretic Real Options in a Duopoly

지도교수 이 덕 주

이 논문을 공학석사 학위논문으로 제출함

2018 년 6 월

서울대학교 대학원

산업공학과

서 민 혁

서민혁의 공학석사 학위논문을 인준함

2018 년 7 월

위 원 장 _____ 박 용 태 _____ (인)

부위원장 _____ 이 덕 주 _____ (인)

위 원 _____ 장 우 진 _____ (인)

초록

글로벌 경쟁 상황에서 기술경쟁력은 기업의 성패를 좌우하는 중요한 요소이기에 기술에 대한 R&D의 중요성이 더욱 부각되고 있다. 기업들은 궁극적으로 그들의 이윤을 최대화하는 방향으로 서로 경쟁하는 상황 속에서 기술 R&D 투자 여부, 더 나아가 사업화 투자 여부에 대한 의사결정을 내린다. 일반적으로 기술의 R&D 성공 여부와 시장의 수요는 불확실성을 가지므로 기업들은 투자 시기를 연기하는 옵션을 고려하게 되고, 이는 시장을 선점하는 이점과 상충관계를 가진다.

본 논문에서는 위의 상황을 2단계 게임 이론 모형으로 모델링 하여 이 문제를 분석한다. 첫 번째 단계는 R&D 투자 게임으로 먼저 R&D 투자 여부를 결정하고, 이후 두 번째 단계에서는 사업화 투자 여부를 결정한다. 이때, 두 번째 단계에서 각 기업의 이익은 첫 번째 단계의 R&D 투자 게임 결과에 영향을 받으며, 사업화 단계에서 시장 수요의 불확실성을 고려하기 위해 이산 실물옵션을 이용한다. 이 모델링을 통하여 경쟁하는 두 기업의 R&D와 사업화에 대한 전략적인 의사결정을 분석할 수 있다. 수치예제와 민감도 분석을 통해 구체적인 상황 속에서 경쟁하는 두 기업이 어떠한 의사결정을 내리는 것이 최적의 의사결정인지에 대해 설명한다.

주요어: 게임이론, 실물옵션, 최적의사결정, R&D, 사업화 투자

학번: 2016-27677

목차

초록	<i>i</i>
목차	<i>ii</i>
표 목차	<i>iv</i>
그림 목차	<i>v</i>
제 1 장 서론	1
1.1 문제정의.....	2
1.2 연구 동기 및 공헌.....	5
1.3 논문구성.....	6
제 2 장 선행연구	7
2.1 R&D 및 사업화 투자에 대한 선행연구.....	7
제 3 장 실물옵션 게임모형	9
3.1 이론적 배경: 실물옵션 모형.....	9
3.2 이론적 배경: 실물옵션 게임모형.....	11
3.3 R&D 및 사업화 투자 실물옵션 게임모형.....	13
3.4 R&D 및 사업화 투자 실물옵션 게임모형 분석.....	16

제 4 장 분석	25
4.1 수치 예제.....	25
4.2 민감도 분석.....	29
제 5 장 결론	36
5.1 결론.....	36
5.2 향후 연구.....	38
부록	39
참고 문헌	52
<i>Abstract</i>	59
감사의 글	61

표 목차

표 1 변수 정의.....	14
표 2 설정한 변수 값.....	25

그림 목차

그림 1: R&D 및 사업화 투자 실물옵션 게임모형.....	3
그림 2: R&D 및 사업화 투자 실물옵션 게임모형 결과(1).....	26
그림 3: 시장 수요의 변화에 따른 A기업의 R&D 경쟁에 대한 현재가치.....	29
그림 4: 시장 수요의 변화에 따른 B기업의 R&D 경쟁에 대한 현재가치.....	30
그림 5: B기업만 R&D 투자를 고려할 때의 투자 결정에 대한 현재가치.....	32
그림 6: 시장 불확실성의 변화에 따른 A기업의 R&D 경쟁에 대한 현재가치.....	33
그림 7: 시장 불확실성의 변화에 따른 B기업의 R&D 경쟁에 대한 현재가치.....	34
그림 8: R&D 및 사업화 투자 실물옵션 게임모형 결과(2).....	44
그림 9: R&D 및 사업화 투자 실물옵션 게임모형 결과(3).....	45
그림 10: R&D 및 사업화 투자 실물옵션 게임모형 결과(4).....	46
그림 11: R&D 및 사업화 투자 실물옵션 게임모형 결과(5).....	47
그림 12: R&D 및 사업화 투자 실물옵션 게임모형 결과(6).....	48
그림 13: R&D 및 사업화 투자 실물옵션 게임모형 결과(7).....	49
그림 14: R&D 및 사업화 투자 실물옵션 게임모형 결과(8).....	50
그림 15: R&D 및 사업화 투자 실물옵션 게임모형 결과(9).....	51

제 1 장 서론

모토롤라(Motorola)나 제록스(Xerox), 노키아(Nokia)의 몰락과 구글(Google), 애플(Apple), 아마존(Amazon)의 최근의 행보는 글로벌 경쟁 상황에서 기술경쟁력이 기업의 성패를 좌우하는 중요한 요소임을 보여준다[2]. 기술경쟁력 확보는 일반적으로 기술에 대한 연구개발(Research and Development, 이하 R&D)로부터 시작되기에 최근 많은 기업들의 기술 R&D에 대한 관심이 증가하고 있다. 기업의 입장에서 R&D는 그 자체로도 중요하겠지만, 궁극적으로는 R&D 이후 사업화를 통한 이익 실현이 목표이다. 이는 R&D가 사업화에 대한 옵션적 성질을 지닌다는 것을 의미한다.

Herath & Park[14]는 R&D와 사업화(Commercialization)을 하나의 흐름으로 보고 그 흐름 속에서 투자하는 옵션과 투자하지 않는 옵션을 고려하였다. 이후 실물옵션모형을 이용해 R&D와 사업화 투자에 대한 가치평가를 하지만, 기업 간 경쟁하는 상황이 고려되지 않았다는 한계점을 지닌다. 기본적으로 R&D와 사업화 투자는 경쟁하는 상황 속에서 고려되어야 하므로 이를 고려할 수 있는 게임이론적 방법론이 사용되어야 한다. 본 논문에서는 경쟁하는 상황에서의 R&D와 사업화 투자에 대한 가치평가 및 의사결정에 대한 문제를 다루고, 1.1 절에서 이 문제에 대해 소개한다.

1.1 문제정의

본 논문에서는 경쟁하는 두 기업(기업A와 기업B)이 동시에 R&D 투자 여부를 결정하고 (1단계), R&D 투자 여부와 성공 여부에 대한 각각의 결과가 사업화 단계에서의 각 기업의 수익에 영향을 미치게 되어 또다시 사업화 투자 여부를 결정하는 2단계 게임 이론 모형으로 문제를 정의하였다. 이때, 두 번째 단계에서 시장 수요의 불확실성을 고려하기 위해 이산 실물옵션을 이용한다. 즉, 두 번째 단계에서 각 기업은 사업화 투자 및 연기에 대해 동시에 결정을 내리고, 만약 사업화를 연기한 경우에는 다음 해의 시장 수요 변화를 확인한 후에 사업화 투자 여부를 결정하는 실물옵션적 접근을 사용하였다. 이 문제를 묘사한 그림이 그림 1에 제시되어 있다.

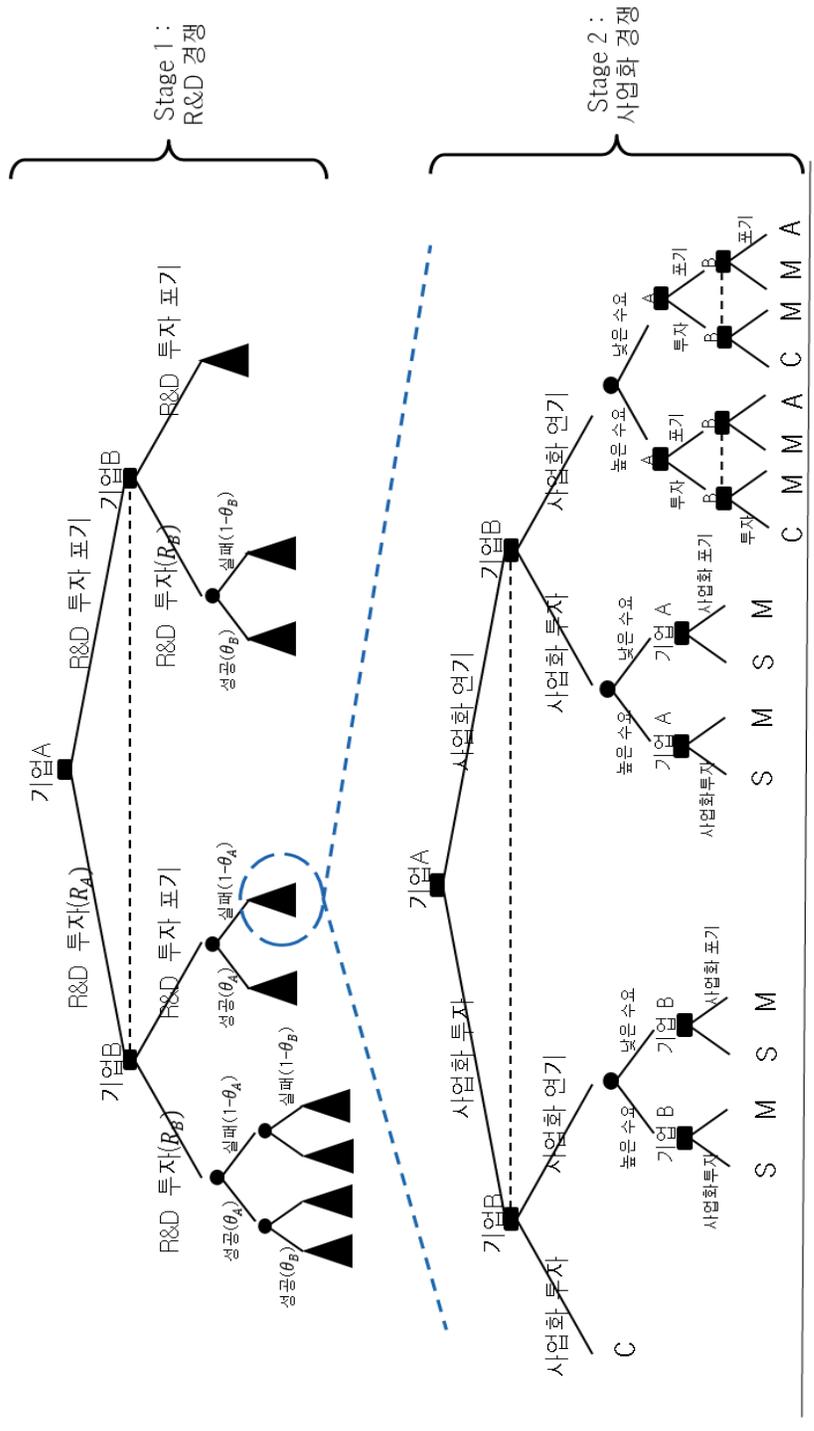


그림 1: R&D 및 사업화 투자 실패율 게임모형

그림 1의 R&D 단계(1단계)에서 R&D에 투자한 기업은 각자의 R&D 성공확률(θ_A, θ_B)에 따라 R&D 성공 여부가 나뉘게 되고, R&D에 성공하게 되면 제품의 생산단가가 줄어든다고 가정하였다.

사업화 경쟁 단계(2단계)에서는 9개의 R&D 경쟁 결과에 따라 생산단가에 대한 정보가 달라지게 되고, 이는 사업화 경쟁에서의 수익에 영향을 받는다. 각 기업은 자신의 수입을 최대화하는 방향으로 사업화 투자 및 연기 유무를 결정하게 되는데, 이때 두 기업의 사업화 투자 유무와 그 시기에 따라 적용되는 게임 모델이 달라진다. 만약 두 기업이 같은 시기에 사업화 투자를 결정하게 되는 경우에는 Cournot Model(그림 1상의 C)을 적용하고, 두 기업 중 한 기업이 먼저 사업화를 하고 나머지는 한 기업이 처음에는 투자를 연기했다가 뒤늦게 사업화를 결정하는 경우에 대해서는 선도자와 추종자가 발생하는 Stackelberg Model(그림 1상의 S)을 사용한다. 만약, 두 기업 중 한 기업만 사업화를 하는 경우에는 독점(Monopoly) 상황(그림 1상의 M)을, 두 기업 모두 사업화를 하지 않는 경우는 사업화 투자를 포기(Abandon)하는 상황(그림 1상의 A)을 고려하였다.

1.2 연구 동기 및 공헌

본 연구의 동기 및 공헌은 다음과 같다.

- (a) 보다 현실적인 상황에서 기업의 R&D와 사업화 투자에 대한 모형을 제안한다.
- (b) 제안한 모델링에서 각 기업의 최적의 의사결정을 분석한다.
- (c) 수치예제를 통해 다양한 시장 상황에서의 최적 의사결정을 비교분석한다.

1.3 논문구성

본 논문은 5 장으로 구성된다. 제 2장에서는 이론적 배경 및 선행연구를 살펴본다. 제 3장에서는 문제 상황에 대한 모형을 제안하고 분석한다. 제 4장에서는 수치예제와 민감도 분석에 대한 결과를 살펴본다. 마지막으로 제 5장에서는 결론과 향후 연구방향을 제시한다.

제 2 장 선행연구

2.1 R&D 및 사업화 투자에 대한 선행연구

R&D와 사업화 투자에 대한 가치평가 문제는 최근 십여 년간 꾸준히 연구되어 왔다[15, 18, 25, 26, 27, 42, 43, 47]. R&D 투자와 사업화 투자 각각에 대한 선행연구는 크게 세 가지 흐름으로 볼 수 있다. R&D의 경우에는 R&D가 가져다 주는 생산공정혁신(Process Innovation)과 제품혁신(Product Innovation)의 효과, R&D 경쟁에 따른 게임이론적 접근, 마지막으로 R&D의 불확실성을 실물옵션 기법을 이용해 고려하고, 그것의 가치를 평가하는 것이다. 비슷하게 사업화 투자의 경우에는 사업화를 하는 기업 간의 경쟁을 고려한 게임이론적 접근을 하고, 사업화의 불확실성을 실물옵션적으로 접근하는 것과, 마지막으로 사업화의 불확실성과 경쟁관계 모두를 고려한 실물옵션 게임모형적 접근방법이 있다.

R&D의 가치평가에 있어서 Utterback and Abernathy[40]는 R&D로부터의 제품혁신과 생산공정혁신이 가져다 주는 효과에 대한 모델을 구축하였고, Boer and During 등 [7]과 Hullova 등 [16]은 제품혁신과 생산공정혁신을 비교분석하며 R&D 투자 가치를 평가하였다. Reinganum [28]은 R&D에 대해 기업간의 경쟁관계를 고려하여 게임이론적으로 접근하였고, Zschocke 등 [47]은 R&D 포트폴리오 투자에 대한 경쟁의 효과에 대해 분석하였다. Baglieri 등 [6]은 게임이론적으로 협력하는 상황에서의 R&D의 가치평가 방법을 제시하였다. R&D는 성공여부가 정해져 있지 않기 때문에, 그 불확실성을 고려해 주어야 하기에 이때 실물옵션 방법론을 적용하여 R&D의 가치평가를 하는 논문이 다수 존재한다[4, 10, 12, 13, 19, 23, 24, 36, 37, 38].

사업화 투자 문제 또한 R&D 투자 문제와 마찬가지로 기본적으로 기업 간의 경쟁관계가 존재한다. 따라서, 이러한 경쟁관계를 고려하기 위해 게임이론을 이용하여 사업화 투자의 가치를 평가하는 논문들이 있다(예를 들어, [35, 44, 46]을 참조). 사업화 투자는 사업화 이후 시장에서의 수요, 가격 변화와 같은 불확실성을 가지는데 이를 효과적으로 고려하기 위해 [26, 29, 42]은 실물옵션을 이용하여 사업화 투자가치를 분석하였다. 더 나아가, [3, 5, 8, 11, 23, 31, 32, 33, 34]에서 사업화 투자는 시장에서 불확실성을 가질 뿐만 아니라 기업 간의 경쟁관계도 존재하므로 이 모두를 고려하기 위해 게임이론과 실물옵션 모두를 적용하여 사업화 가치에 대해 분석하였다.

일반적으로, 기업이 R&D를 하는 궁극적인 이유는 R&D 성공 그 자체에 있는 것이 아니라 R&D 이후의 사업화를 통한 이윤 창출에 있으므로, R&D 투자 문제와 사업화 투자 문제는 [14]에서 제시된 것처럼 하나의 흐름으로 보아야 한다. Smit & Trigeorgis [34] 또한 R&D와 사업화 투자 문제를 하나의 흐름으로 보고, 그 속에서 사업화 투자가치를 실물옵션과 게임이론 모두를 이용해서 불확실성과 경쟁관계를 고려하였다. 하지만, R&D 투자 여부와 R&D 단계 이후의 사업화 투자 여부 모두 기업들이 경쟁하는 상황에서 결정하여야 함에도 불구하고, 사업화 투자 가치를 고려할 때만 경쟁관계를 고려하였다는 한계점이 있다.

따라서 본 연구의 중요한 차별점은 기업이 R&D 투자 여부와 더불어 사업화 투자 여부에 대한 의사결정을 내림에 있어서 시장과 R&D의 불확실성을 고려하였을 뿐만 아니라 R&D 투자에서의 기업간 경쟁과 사업화 투자에 대한 기업간 경쟁 모두를 고려하였다는 점이며, 이를 통해 기업의 의사결정자가 상대방의 기업을 고려한 최적의 의사결정을 분석할 수 있다.

제 3 장 실물옵션 게임모형

3.1 이론적 배경: 실물옵션 모형

기존의 경제성 분석에서 주로 활용되는 현금흐름할인법은 가격 및 수요 변화에 따른 불확실성을 반영하지 못한다는 단점이 있다. 이러한 한계를 보완하기 위해 Myers [19]에 의해 처음으로 실물옵션이 제안되었다. 실물옵션은 금융옵션 개념에 기초하고 있다. 여기서 옵션이란 옵션에 대한 특정 행사일 혹은 행사일 이전에 미리 약정된 가격인 행사가격(Strike or exercise price)으로 특정 기초자산을 사거나 팔 수 있는 권리를 옵션 매입자에게 주는 것이다. 실물옵션은 이와 유사한 방식으로 투자 진행과정에서 투자에 대해 투자, 연기, 포기할 수 있는 선택의 여지를 가짐으로써 전략적인 의사결정을 가능케 할 수 있다[5, 43].

실물옵션의 가치를 설명하는 이론은 시간의 연속성에 여부에 따라 크게 연속시간대의 모형과 이산시간대의 모형으로 나누어 볼 수 있는데, 본 연구에서는 이산모형을 이용한다. 이산모형의 대표적인 예로는 Cox, Ross and Rubinstein [10]의 이항모형이다. 이 모형은 시간의 변화에 따라 옵션가격을 결정하는 기초자산이 상승 또는 하락하는 이항분포를 따른다고 가정함으로써 보다 쉽고 직관적으로 옵션 가격결정 요인들 간의 관계를 설명한다는 장점을 가진다[1].

현재 기초자산의 가격이 S 일 경우에 Δt 이후의 가격은 uS 로 상승 또는 dS 로 하락한다. 만약 기초자산에 근거한 콜옵션이 있다고 가정하고 콜옵션의 만기 시기를 Δt , 행사가격을 K 라고 하면, 기초자산의 가격이 uS 로 상승할 경우 콜옵션의 가치 C_u 와 dS 로 하락할 경우의 콜옵션의 가치 C_d 는 다음과 같다.

기초자산이 uS 로 증가할 경우 : $C_u = \text{Max}(uS - K, 0)$

기초자산이 dS 로 하락할 경우 : $C_d = \text{Max}(dS - K, 0)$

이때, 무위험이자율을 r 이라 하면, 현재의 옵션의 가치 C 는 미래의 옵션 가격 C_u 와 C_d 를 p 와 $(1-p)$ 로 가중평균하여 무위험이자율로 할인한 형태로 만기시 옵션의 기댓값이라 할 수 있고 그 값은 다음과 같다.

$$C = \frac{pC_u + (1-p)C_d}{1+r}$$
$$\text{where } p = \frac{r-d}{u-d}$$

이러한 실물옵션은 불확실성이 존재하는 R&D와 사업화 투자의 가치평가를 포함한 매우 다양한 분야에 활용되었다[9, 17, 41, 45]. 한편, 일반적으로 독점 시장이 아닌 모든 시장에서는 경쟁 상대가 존재하며, 경쟁 상대가 있는 상황에서의 의사결정을 위해서는 반드시 상대의 의사결정을 고려한 전략적 의사결정이 필요하다. 즉, 실물옵션을 활용하여 시장의 불확실성을 고려하면서, 동시에 다른 기업과의 경쟁관계를 고려하여 투자 여부에 대한 대안을 선택하여야 한다. 따라서 본 연구에서는 시장의 불확실성을 고려할 수 있는 실물옵션과 경쟁관계에서의 의사결정을 분석할 수 있는 게임이론(Game Theory)을 결합한 모형을 사용하고자 한다.

3.2 이론적 배경: 실물옵션 게임모형

게임이론은 행위자들간에 전략적 상호의존성이 존재할 때 각 행위자들이 어떻게 의사결정을 내리고, 각 행위자들이 내린 의사결정으로부터 어떤 결과가 나올지를 분석, 예측하는 이론이다. 게임이론에서의 ‘게임’의 구성은 게임에 참여하는 행위자(Player), 그리고 각각의 행위자들이 내린 의사결정 및 전략에 따른 최종 결과와 그에 따른 보수(Pay-off)로 이루어지고, 다른 행위자들이 선택한 전략에 대한 각 행위자의 최선반응(Best Response)을 발견하는 것을 목표로 한다. 이러한 게임이론은 현실 상황 속 다양한 상호작용을 게임처럼 취급하고 분석하여 경쟁 상황 속에서 각 행위자들의 가장 합리적인 의사결정을 가능케 하는 장점이 있다[20].

게임이론은 기본적으로 각각의 행위자가 선택한 최선반응의 조합, 즉 각 행위자들의 균형점을 찾는 것을 목적으로 한다. 이를 위해 균형점에 관한 다양한 개념이 있지만, 내쉬 균형(Nash Equilibrium)이 가장 보편적으로 사용된다. 내쉬 균형은 각 행위자가 상대방의 주어진 전략에 맞춰 자신의 보수가 최대가 되는 최적의 전략을 선택하고, 그 결과가 균형을 이루는 전략의 집합을 의미한다. 이 균형 하에서는 다른 행위자들의 전략이 유지된다고 할 때 각 행위자가 다른 전략을 선택할 동기부여가 되지 않는 상태가 된다[18].

이러한 게임이론의 개념을 실물옵션 평가에 활용할 경우, 경쟁상황 하의 의사결정 과정에서 보다 유연하게 의사결정을 내릴 수 있을 것이다. 실물옵션 게임모형(Game Theoretic Real Option)은 앞서 설명한 실물옵션 모형과 게임이론을 결합한 것으로, 시장 내 불확실성을 고려하면서 서로 경쟁 상황에 있는 사업의 가치를 평가하는 것이 목적이다[2, 30, 39].

앞서 선행연구에서 언급했던 [34]는 R&D에 이은 사업화 투자 가치를 평가할 때
실물옵션 게임모형을 이용하였다. 하지만, R&D 투자 문제를 고려함에 있어서
실질적으로 기업 간의 경쟁관계를 고려해야 함에도 불구하고 오로지 하나의 기업에
대해서만 R&D에 투자할 수 있다고 가정하였다. 현실 상황에서는 일반적으로 R&D
투자 단계에서부터 경쟁관계가 시작되므로 본 연구에서는 첫 번째 단계, 즉 R&D
투자 단계에서도 경쟁관계를 고려하는 모형을 제시하고자 한다.

3.3 R&D 및 사업화 투자 실물옵션 게임모형

R&D 및 사업화 투자 실물옵션 게임모형은 상기의 R&D 투자 경쟁을 고려하지 못하는 문제점을 보완하기 위한 모형으로, 1단계에서부터 R&D 경쟁 게임을 다룬다. 1단계에서의 R&D 투자 여부와 이후의 R&D 성공 여부에 따라 그림 4와 같이 총 9가지의 경우의 수가 도출된다. 이러한 R&D 경쟁 관계를 고려해야 하는 이유는 1단계의 결과 각각의 경우에 따라 2단계, 즉 사업화 투자 단계에서 각 기업의 수익이 영향 받기 때문이다.

1단계의 9가지 결과는 R&D 투자 유무에 따라 i) A, B기업 모두 R&D 투자한 경우, ii) A기업만 R&D 투자한 경우, iii) B 기업만 R&D 투자한 경우, iv) A, B기업 모두 투자 포기한 경우를 포함해 크게 4가지로 나눌 수 있다. 두 기업 중 적어도 한 기업이 투자하는 경우(i, ii, iii)에는 R&D에 투자한 상대방 기업이 실질적으로 R&D에 성공했는지 혹은 실패했는지에 대해 알 수 없고, 그에 따라 상대방 기업의 생산단가에 대해 불완전 정보(incomplete information)를 가진다. 다만, 상대방 기업이 R&D를 했다면 그 기업 i에 대해 θ_i 의 확률로 성공했으리라는 belief를 가지게 된다. 만약 두 기업 모두 R&D에 투자를 포기한다면 각자의 기존 생산단가에 대해 완전 정보(complete information)를 가지고 있다고 가정한다.

1단계의 결과에 따라 해당 기업의 실질적인 생산단가와 상대방에 대한 생산단가 정보가 달라지게 되고, 이는 2단계 사업화 경쟁에서 각자의 수익(payoff)에 영향을 미치게 된다. 따라서 각 참여기업들(players)은 그들의 수익을 최대화하는 방향으로 생산량을 결정하는 전략(strategy)을 제시한다. 이를 분석하기 위해 본 연구에서 사용된 변수들이 표 1에 정의되어 있다.

표 1: 변수 정의

Notation	Descriptions
α_t	t 년도 시장의 잠재 수요
q_i	i 기업의 생산량
b	가격에 대한 수요민감도
C_i	i 기업의 총 비용
c_i	R&D 투자 포기 시 i 기업의 생산단가
c_i^H	i 기업의 R&D 실패 시 생산단가
c_i^L	i 기업의 R&D 성공 시 생산단가
R_i	i 기업의 R&D 투자 비용
I_i	i 기업의 사업화 투자 비용
θ_i	i 기업의 R&D 성공 확률에 대한 j 기업의 belief
π_i	i 기업의 payoff
P	시장 가격

본 모형에서는 모형의 간결성을 위해 시장의 수요가 선형적이라고 가정하고 역수요함수를 다음과 같이 표현했다.

$$P(\alpha_t, q_i, q_j) = \alpha_t - b(q_i + q_j), \quad b > 0, \quad i, j = A, B, \quad i \neq j \quad (1)$$

기업의 비용 함수는 다음과 같이 정의된다.

$$C_i(q_i) = c_i q_i \quad (2)$$

이때, 기업의 생산단가 c_i 는 R&D 성공 유무에 의해 결정된다. 일단 i 기업이 R&D에 참여하면, i 기업 자신은 R&D 실패 시 자신의 생산단가가 c_i^H , 성공 시 c_i^L 라는 것을 알고 있다. 하지만, j 기업은 i 기업의 생산단가에 대해 다음의 확률로 불완전한 정보를 가지고 있다.

$$E_j(c_i) = \begin{cases} c_i^H & \text{with probability } (1-\theta_i) \\ c_i^L & \text{with probability } \theta_i \end{cases} \quad (3)$$

즉, 기업 j 의 입장에서 i 의 생산단가의 기대값은 $E_j(c_i) = (1-\theta_i) c_i^H + \theta_i c_i^L$ 이다.

3.4 R&D 및 사업화 투자 실패옵션 게임모형 분석

3.3절에서 R&D 투자 유무에 따라 크게 4가지의 경우로 나누었다. 각 경우에 따라 사업화 투자 단계에서의 기업의 효용함수가 달라지기 때문에 이 절에서는 이 각각의 경우에 대해 기업의 효용 함수를 분석한다.

i) 두 기업 모두 R&D 투자한 경우

이 경우는 i, j기업 모두가 상대방의 R&D 성공 여부에 대해 알 수 없다. 다만, i는 j기업에 대해 θ_j 의 확률로 R&D에 성공한다는 belief를 가지고 있고 반대로 j는 i기업에 대해 θ_i 의 확률로 R&D에 성공한다는 belief를 가지고 있는 경우이다. 사업화 단계에서 Cournot Model을 적용하는 경우, 즉 같은 시기에 사업화 투자를 하는 경우 식(4)와 같이 최적의 생산량이 도출된다(부록1 참조).

$$\begin{cases} q_i^*(c_i^H) = \frac{1}{3b}[\alpha_i - \frac{1}{2}(3c_i^H - 2E_i(c_j) + E_j(c_i))] \\ q_i^*(c_i^L) = \frac{1}{3b}[\alpha_i - \frac{1}{2}(3c_i^L - 2E_i(c_j) + E_j(c_i))] \\ q_j^*(c_j^H) = \frac{1}{3b}[\alpha_j - \frac{1}{2}(3c_j^H - 2E_j(c_i) + E_i(c_j))] \\ q_j^*(c_j^L) = \frac{1}{3b}[\alpha_j - \frac{1}{2}(3c_j^L - 2E_j(c_i) + E_i(c_j))] \end{cases} \quad (4)$$

이에 해당하는 기업들 간의 평형(equilibrium) 이윤 조합은 식(5)와 같다. 이 경우, 두 기업 모두 R&D와 사업화에 투자를 하기 때문에 각각의 투자 비용을 고려한 이윤 함수이다.

$$\begin{cases} \pi_i^*(c_i^H) = \frac{1}{9b} [\alpha_i - \frac{1}{2}(3c_i^H - 2E_i(c_j) + E_j(c_i))]^2 - R_i - I_i \\ \pi_i^*(c_i^L) = \frac{1}{9b} [\alpha_i - \frac{1}{2}(3c_i^L - 2E_i(c_j) + E_j(c_i))]^2 - R_i - I_i \\ \pi_j^*(c_j^H) = \frac{1}{9b} [\alpha_i - \frac{1}{2}(3c_j^H - 2E_j(c_i) + E_i(c_j))]^2 - R_j - I_j \\ \pi_j^*(c_j^L) = \frac{1}{9b} [\alpha_i - \frac{1}{2}(3c_j^L - 2E_j(c_i) + E_i(c_j))]^2 - R_j - I_j \end{cases} \quad (5)$$

사업화 단계에서 Stackelberg Model을 적용하는 경우, 즉 한 i기업이 먼저 사업화 투자를 하고, j기업은 처음에는 사업화를 연기하였다가 다음 해에 사업화 투자를 결정하는 경우의 최적 생산량은 식(6)과 같다(부록1 참조).

$$\begin{cases} q_i^{SF*}(c_i^H) = \frac{1}{4b} [\alpha_i - 2c_A^H + 2E_i(c_j) - E_j(c_i)] \\ q_i^{SF*}(c_i^L) = \frac{1}{4b} [\alpha_i - 2c_A^L + 2E_i(c_j) - E_j(c_i)] \\ q_j^{SL*}(c_j^H) = \frac{1}{2b} [\alpha_i - c_j^H - E_i(c_j) + E_j(c_i)] \\ q_j^{SL*}(c_j^L) = \frac{1}{2b} [\alpha_i - c_j^L - E_i(c_j) + E_j(c_i)] \end{cases} \quad (6)$$

이에 해당하는 기업들 간의 평형(equilibrium) 이윤 조합은 식(7)와 같다. 식(5)와 마찬가지로 R&D 투자 비용과 사업화 투자 비용이 고려되었다. SF는 추종자(Stackelberg Follower)를, SL은 선도자(Stackelberg Leader)를 의미한다.

$$\left\{ \begin{array}{l} \pi_i^{SF*}(c_i^H) = \frac{1}{16b}[\alpha_i - 2c_H + 2E_i(c_j) - E_j(c_i)]^2 - R_i - I_i \\ \pi_i^{SF*}(c_i^L) = \frac{1}{16b}[\alpha_i - 2c_L + 2E_i(c_j) - E_j(c_i)]^2 - R_i - I_i \\ \pi_j^{SL*}(c_j^H) = \frac{1}{8b}[\alpha_i - c_j^H - E_i(c_j) + E_j(c_i)]^2 - R_j - I_j \\ \pi_j^{SL*}(c_j^L) = \frac{1}{8b}[\alpha_i - c_j^L - E_i(c_j) + E_j(c_i)]^2 - R_j - I_j \end{array} \right. \quad (7)$$

사업화 단계에서 i기업이 독점(Monopoly)하는 경우, 즉 오로지 i기업만 사업화에 투자하는 경우의 최적 생산량은 식(8) 같다.

$$\left\{ \begin{array}{l} q_i^*(c_i^H) = \frac{1}{2b}[\alpha_i - 2c_i^H] \\ q_i^*(c_i^L) = \frac{1}{2b}[\alpha_i - 2c_i^L] \\ q_j^* = 0 \end{array} \right. \quad (8)$$

그에 따른 기업의 이윤은 식(9)와 같다.j기업의 경우, 사업화 투자를 하지 않았기에 생산에 따른 이익(profit), 비용(cost), 사업화 투자 비용은 없으나 R&D 투자를 하였기에 그 비용이 발생하였다.

$$\left\{ \begin{array}{l} \pi_i^*(c_i^H) = \frac{1}{4b}[\alpha_i - 2c_i^H]^2 - R_i - I_i \\ \pi_i^*(c_i^L) = \frac{1}{4b}[\alpha_i - 2c_i^L]^2 - R_i - I_i \\ \pi_j^* = -R_j \end{array} \right. \quad (9)$$

사업화 단계에서 두 기업 모두 사업화 투자를 포기하는 경우, 즉 Abandon하는 경우에는 어떤 기업도 제품을 생산하지 않는다. 따라서 두 기업 모두 R&D 투자 비용만 발생하게 되고, 그 값은 식 (10)과 같다.

$$\begin{cases} \pi_i^* = -R_i \\ \pi_j^* = -R_j \end{cases} \quad (10)$$

ii & iii) 둘 중 한 기업만 R&D에 투자한 경우

i기업을 R&D에 투자한 기업, j기업을 R&D 투자를 포기한 기업이라 하면, j기업은 i기업이 실제로 R&D 성공했는지 여부를 알 수 없으나 i기업이 θ_i 의 확률로 R&D에 성공한다는 belief를 가지고 있는 경우이다. 따라서 i기업은 j기업의 생산단가에 대해 완전 정보를 가지고 있고 j기업은 i기업에 대해 불완전 정보를 가지고 있는 비대칭정보게임(Asymmetric Game)이 형성된다. 사업화 단계에서 비대칭정보게임의 Cournot Model을 적용하는 경우는 식 (11)와 같이 최적의 생산량이 도출된다(부록2 참조).

$$\begin{cases} q_i^*(c_i^H) = \frac{1}{3b}[\alpha_i - \frac{1}{2}(3c_i^H - 2c_j + E_j(c_i))] \\ q_i^*(c_i^L) = \frac{1}{3b}[\alpha_i - \frac{1}{2}(3c_i^L - 2c_j + E_j(c_i))] \\ q_j^*(c_j) = \frac{1}{3b}[\alpha_i - 2c_j + E_j(c_i)] \end{cases} \quad (11)$$

이에 해당하는 기업들 간의 평형(equilibrium) 이윤 조합은 식(12)로, i기업은 R&D와 사업화 모두에 투자를 하고, j기업은 사업화에만 투자를 하기 때문에 각각의 투자 비용을 고려한 이윤 함수이다.

$$\begin{cases} \pi_i^*(c_i^H) = \frac{1}{9b}[\alpha_i - \frac{1}{2}(3c_i^H - 2c_j + E_j(c_i))]^2 - R_i - I_i \\ \pi_i^*(c_i^L) = \frac{1}{9b}[\alpha_i - \frac{1}{2}(3c_i^L - 2c_j + E_j(c_i))]^2 - R_i - I_i \\ \pi_j^*(c_j) = \frac{1}{9b}[\alpha_i - 2c_j + E_j(c_i)]^2 - I_j \end{cases} \quad (12)$$

사업화 단계에서 Stackelberg Model을 적용하는 경우는 R&D에 투자했던 i기업이 선도자(Stackelberg Leader)가 되는 경우와 R&D에 투자하지 않았던 j기업이 선도자가 되는 경우가 발생한다. 먼저 i기업이 선도자가 되는 경우의 최적 생산량은 식(13)과 같다(부록2 참조).

$$\begin{cases} q_i^{SL*}(c_i^H) = \frac{1}{2b}[\alpha_i - 2c_i^H + c_j] \\ q_i^{SL*}(c_i^L) = \frac{1}{2b}[\alpha_i - 2c_i^L + c_j] \\ q_j^{SF*}(c_i^H) = \frac{1}{4b}[\alpha_i - 3c_j + 2c_i^H] \\ q_j^{SF*}(c_i^L) = \frac{1}{4b}[\alpha_i - 3c_j + 2c_i^L] \end{cases} \quad (13)$$

이에 해당하는 기업들 간의 평형 이윤 조합은 식(14)와 같다. 식(12)와 마찬가지로 기업의 투자 전략에 따라 R&D 투자 비용과 사업화 투자 비용이 고려되었다.

$$\begin{cases} \pi_i^{SL*}(c_i^H) = \frac{1}{2b}[\alpha_i - 2c_i^H + c_j] - R_i - I_i \\ \pi_i^{SL*}(c_i^L) = \frac{1}{2b}[\alpha_i - 2c_i^L + c_j] - R_i - I_i \\ \pi_j^{SF*}(c_i^H) = \frac{1}{4b}[\alpha_i - 3c_j + 2c_i^H] - I_j \\ \pi_j^{SF*}(c_i^L) = \frac{1}{4b}[\alpha_i - 3c_j + 2c_i^L] - I_j \end{cases} \quad (14)$$

사업화 단계에서 Stackelberg Model을 적용하는 경우 중 R&D에 투자하지 않았던 j기업이 선도자가 되는 경우의 최적 생산량은 식(15)과 같다(부록2 참조).

$$\begin{cases} q_i^{SF*}(c_i^H) = \frac{1}{4b}[\alpha_i - 2c_i^H + 2c_j - E_j(c_i)] \\ q_i^{SF*}(c_i^L) = \frac{1}{4b}[\alpha_i - 2c_i^L + 2c_j - E_j(c_i)] \\ q_j^{SL*} = \frac{1}{2b}[\alpha_i - 2c_j + E_j(c_i)] \end{cases} \quad (15)$$

이에 해당하는 기업들 간의 평형 이윤 조합은 식(16)와 같다.

$$\begin{cases} \pi_i^{SF*}(c_i^H) = \frac{1}{16b}[\alpha_i - 2c_i^H + 2c_B - E_j(c_i)]^2 - R_i - I_i \\ \pi_i^{SF*}(c_i^L) = \frac{1}{16b}[\alpha_i - 2c_i^L + 2c_B - E_j(c_i)]^2 - R_i - I_i \\ \pi_j^{SL*} = \frac{1}{8b}[\alpha_i - 2c_j + E_j(c_i)]^2 - I_j \end{cases} \quad (16)$$

사업화 단계에서 i기업이 독점(Monopoly)하는 경우, 즉 오로지 i기업만 사업화에 투자하는 경우의 최적 생산량은 식(17) 같다.

$$\begin{cases} q_i^*(c_i^H) = \frac{1}{2b}[\alpha_i - 2c_i^H] \\ q_i^*(c_i^L) = \frac{1}{2b}[\alpha_i - 2c_i^L] \\ q_j^* = 0 \end{cases} \quad (17)$$

그에 따른 기업의 이윤은 식(9)와 같다. j기업의 경우, R&D와 사업화 모두 투자를 하지 않았기에 생산에 따른 이익(profit), 비용(cost)이 존재하지 않는다.

$$\begin{cases} \pi_i^*(c_i^H) = \frac{1}{4b}[\alpha_i - 2c_i^H]^2 - R_i - I_i \\ \pi_i^*(c_i^L) = \frac{1}{4b}[\alpha_i - 2c_i^L]^2 - R_i - I_i \\ \pi_j^* = 0 \end{cases} \quad (18)$$

사업화 단계에서 j기업이 독점(Monopoly)하는 경우, 즉 R&D에 투자하지 않았던 j기업만 사업화에 투자하는 경우의 최적 생산량은 식(18) 같다.

$$\begin{cases} q_i^* = 0 \\ q_j^*(c_j) = \frac{1}{2b}[\alpha_i - 2c_j] \end{cases} \quad (18)$$

그에 따른 기업의 이윤은 식(19)와 같다. R&D에만 투자한 i기업의 경우 R&D 비용은 지불해야 하지만, 사업화에 투자를 하지 않았기에 생산에 따른 이익(profit), 비용(cost)이 존재하지 않는다.

$$\begin{cases} \pi_i^* = -R_i \\ \pi_j^*(c_j) = \frac{1}{4b}[\alpha_i - 2c_j]^2 - I_j \end{cases} \quad (19)$$

사업화 단계에서 두 기업 모두 사업화 투자를 포기하는 경우, 즉 Abandon하는 경우에는 어떤 기업도 제품을 생산하지 않는다. 따라서 R&D 투자했던 i 기업만 비용이 발생하게 되고, 그 값은 식 (20)과 같다.

$$\begin{cases} \pi_A^* = -R_A \\ \pi_B^* = 0 \end{cases} \quad (20)$$

iv) 두 기업 모두 R&D 투자 포기한 경우

이 경우는 두 기업 모두가 R&D에 투자하지 않음으로써 각자의 기존 생산단가에 대해 완전정보(complete information)를 가지고 있다고 가정한다. 완전정보게임의 사업화 단계에서 π_i^{C*} 를 Cournot 상황에서의 i 기업의 이윤, π_i^{SL*} 를 i 기업이 Stackelberg Leader일 때의 이윤, π_i^{SF*} 를 i 기업이 Stackelberg Follower일 때의 이윤, π_i^{M*} 을 Monopoly 상황에서의 i 기업의 이윤, π_i^{A*} 를 Abandon 상황의 i 기업의 이윤이라고 하면 그 값들은 식 (21)과 같다.

$$\left\{ \begin{array}{l} \pi_i^{C*} = \frac{1}{9b}[\alpha_i - 2c_i + c_j]^2 - I_i \\ \pi_i^{SL*} = \frac{1}{8b}[\alpha_i - 2c_i + c_j]^2 - I_i \\ \pi_i^{SF*} = \frac{1}{16b}[\alpha_i - 3c_i + 2c_j]^2 - I_i \\ \pi_i^{M*} = \frac{1}{4b}[\alpha_i - c_i]^2 - I_i \\ \pi_i^{A*} = 0 \end{array} \right. \quad (21)$$

매해 i 기업의 이윤이 π_i 만큼 지속적으로 발생한다고 가정하면, R&D 및 사업화 투자에 대한 현재 가치 NPV_i 는 R&D 및 사업화 투자로부터의 총 수익이 V_i 이고, 위험조정할인률(risk-adjusted discount rate)이 k 일 때 식(22)와 같다.

$$NPV_i = V_i - I_i - R_i = \frac{\pi_i}{k} - I_i - R_i \quad (21)$$

3.4절의 내용을 요약하면, 1단계 R&D 경쟁 단계에서의 결과가 2단계 사업화 투자 경쟁 단계에서 기업의 효용 함수에 영향을 미친다. 따라서, 1단계 R&D 경쟁 상황 각각의 결과에 따라 2단계 사업화 투자 경쟁에서 발생할 수 있는 모든 경우에 대해 기업들의 이윤 함수를 도출하였다. 다음 장에서는 구체적인 수치예제와 더불어 각각의 이윤 함수와 3.1절에서 소개했던 Cox, Ross and Rubinstein의 이산이항모형을 이용하여 사업화 경쟁을 시작하는 시점에서의 투자와 연기의 가치를 추정하여 서로를 고려했을 때 사업화 경쟁에서의 최적의 의사결정을 분석할 것이다. 더 나아가, 사업화 경쟁에서의 최적의 의사결정을 통해 다양한 시장 상황 하에서 R&D 경쟁 단계의 기업의 최적 의사결정에 대해 살펴볼 것이다.

제 4 장 분석

4.1 수치 예제

본 연구에서 제시한 R&D 및 사업화 투자 실물옵션 게임모형을 분석하기 위해 사용한 변수들이 표 2에 제시되어 있고, 이 변수들을 적용한 R&D 및 사업화 투자 실물옵션 게임모형의 결과는 그림2과 같다.

표 2: 설정한 변수 값

Parameter	Values
α_0	17.5
b	1.5
c_A, c_A^H	7
c_B, c_B^H	6
c_A^L	1
c_B^L	2
R_A	41
R_B	48.5
θ_A	0.2
θ_B	0.3
u	1.25
r	0.1
k	0.13

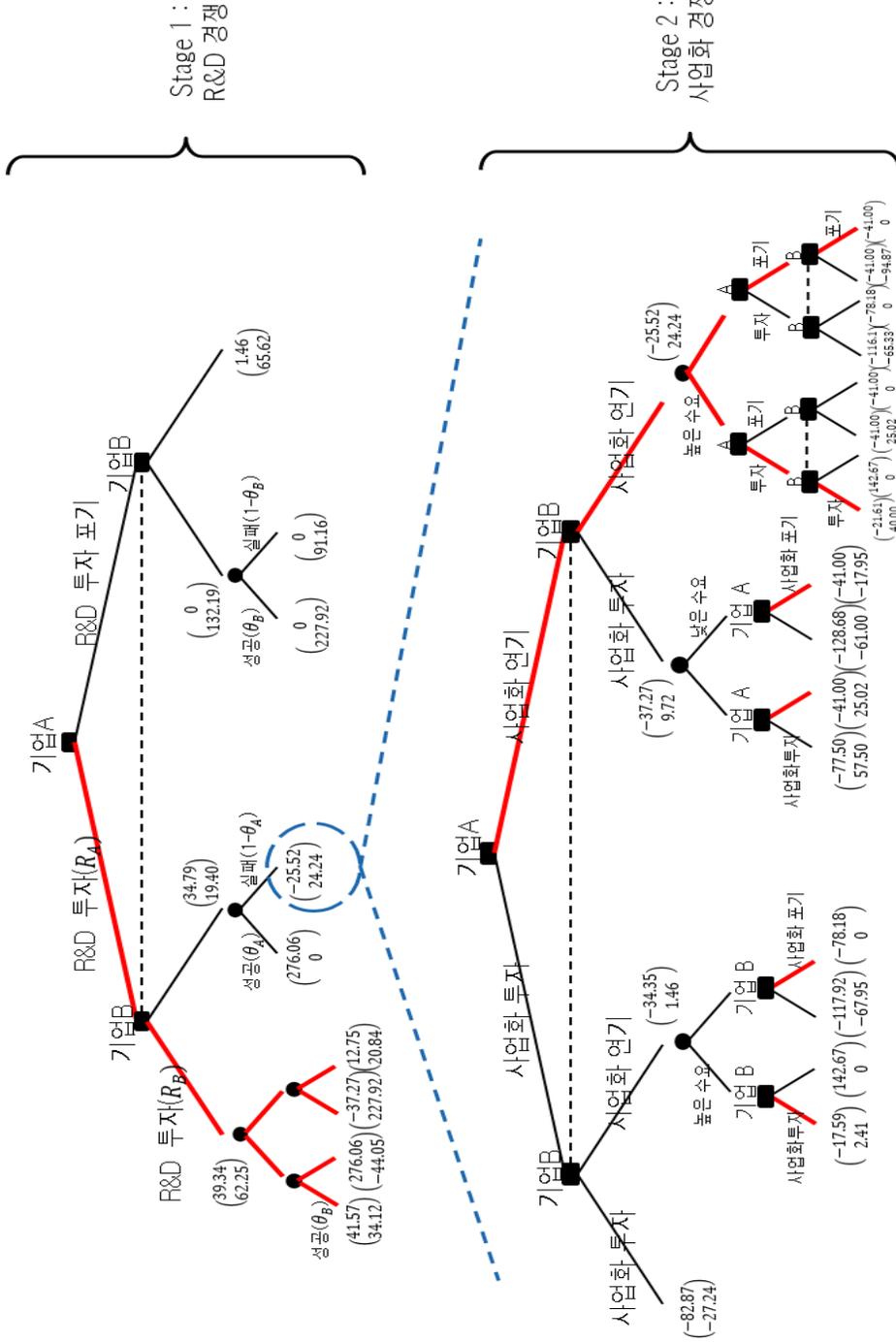


그림 2: R&D 및 사업화 투자 실패율선 게임모형 결과(1)

본 모형은 실패옵션 기반의 게임모형이므로, 경쟁하는 상황에서 R&D 투자에 대한 현재가치(present value)를 도출하기 위해서 역행 귀납법(backward induction)으로 접근해야 한다. 따라서, 2단계에서 각 기업의 R&D 및 사업화 투자로부터의 이윤 함수를 구하고 그 값으로부터 사업화 투자 게임에서의 부분게임 완전균형(Subgame Perfect Nash Equilibrium)을 찾는다. 이후, R&D 투자 단계에서의 최종 내쉬균형을 찾기 위해 9가지의 R&D 투자 및 성공유무에 대해 부분게임 완전균형 값을 넣고 그 기댓값을 도출한다.

그림 2은 1단계에서는 R&D 투자의 최종 내쉬균형을 나타내었고, 2단계에서는 기업 A만 R&D에 참여를 했으나, 실질적으로는 R&D에 실패한 경우의 사업화 단계에서 A와 B의 게임을 표현하였다. 이때, 각 부분게임의 내쉬균형과 더불어 부분게임 완전균형 전략에 대해서는 진한 선으로 이었다.

그림 2에서 굵게 표시된 2단계 부분게임 완전균형은 기업 A와 기업B 모두 사업화를 연기하고, 다음 해의 시장 수요가 높아질 때는 A, B 모두 사업화에 투자하고 반대로 다음 해의 시장 수요가 낮은 경우에 대해서는 A, B 모두 사업화 투자를 포기하는 것이다. 기업 A의 입장에서는 비록 혼자서 R&D에 투자하였지만, 결과적으로는 R&D에 실패하였기에 첫 해부터 사업화하는 것의 가치가 떨어졌다. 이는 이미 R&D 투자 비용을 지불하였고, 시장의 불확실성을 안고 가기에는 부담스럽기 때문이다. 이런 이유로 인하여 A는 첫 해에는 사업화를 연기하게 된다.

기업 B의 입장에서는 기본적으로 기업 A 혼자서 R&D에 투자하였기에, 비록 실제로 성공했는지 여부는 알 수 없지만 만약 두 기업이 같이 사업화를 하게 된다면 상대적으로 기술력이 약한 B 기업은 손해가 클 것이다. 따라서 B 또한 첫 해에는 사업화를 연기하는 결정을 내린다. 다만, 두 기업 모두 만약 다음 해의 시장 수요가

높아질 경우에는 사업화에 투자하여 수익을 벌어들일 확률이 높아지게 되고, 이에 따라 투자 전략을 세울 것이다. 다음 해의 시장 수요가 낮아질 경우에는 두 기업 모두 사업화 투자로부터 이익을 얻기가 쉽지 않기 때문에 사업화 투자를 포기하게 된다. 위 경우의 부분게임 완전균형 값 $(-25.52, 24.24)$ 은 두 부분게임의 내쉬균형 값 $(-21.61, 40.00)$ 과 $(-41.00, 0)$ 에서 Cox, Ross and Rubinstein 이항모형으로부터 도출된 값이다.

위와 같은 방법으로 R&D 투자 및 성공 유무에 따른 9가지 결과 각각에 대해 사업화 경쟁 단계에서의 부분게임 완전균형 값을 구한다(부록 3 참조). A, B 모두 R&D에 투자한 경우, 두 기업 모두 R&D에 성공하면 부분게임 완전균형 값이 $(41.57, 34.12)$ 이고, A만 성공한 경우 $(276.06, -44.05)$, B만 성공한 경우 $(-37.27, 227.92)$, 모두 실패한 경우 $(12.75, 20.84)$ 이다. A만 R&D에 투자한 경우, R&D에 성공하면 부분게임 완전균형 값이 $(276.06, 0)$ 이다. B만 R&D에 투자한 경우, 성공하면 부분게임 완전균형 값이 $(0, 227.92)$ 이고 실패하면 $(0, 91.16)$ 이다. A, B기업 모두 R&D 투자를 포기하면 완전균형 값은 $(1.46, 65.62)$ 가 된다.

4.2 민감도 분석

다양한 시장 상황에서의 두 기업의 R&D 및 사업화 투자에 대한 최적 의사결정을 비교분석 하기 위해 처음 시점의 시장 수요 α_0 의 변화에 따른 A기업과 B기업의 R&D 투자 결정에 대한 현재 가치(present value)의 변화를 각각 그림 3, 그림 4와 같이 나타내었다.

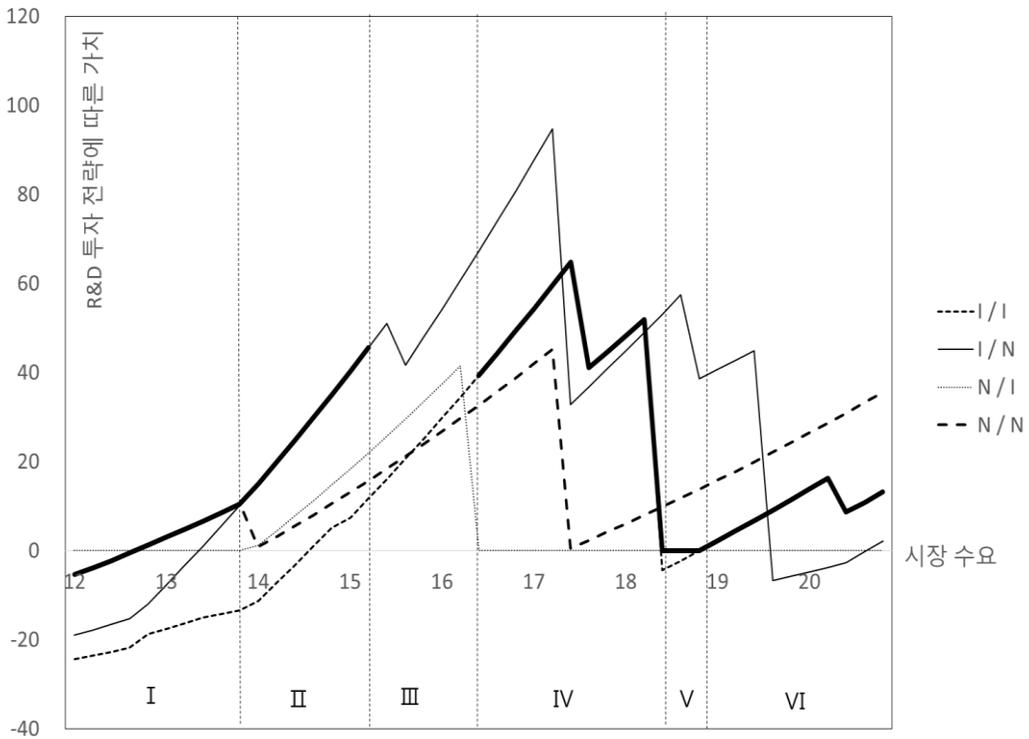


그림 3: 시장 수요의 변화에 따른 A기업의 R&D 경쟁에 대한 현재가치

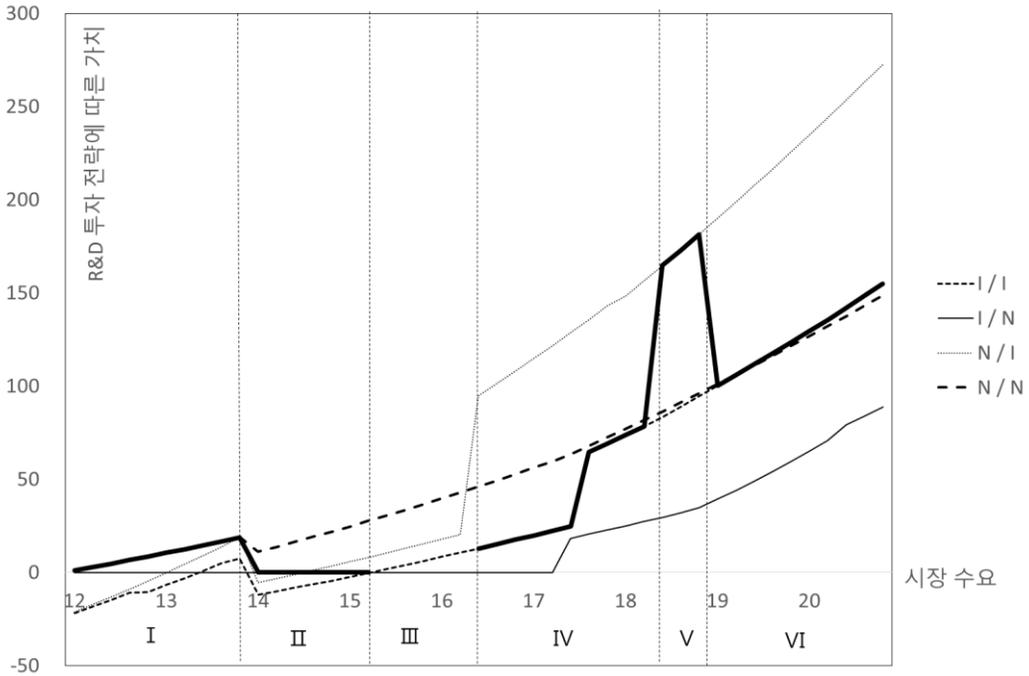


그림 4: 시장 수요의 변화에 따른 B기업의 R&D 경쟁에 대한 현재가치

그림 3와 그림 4에서는 시장의 수요 변화에 따른 A기업과 B기업의 R&D 경쟁에 대한 현재 가치를 나타내었다. 각 기업의 R&D 투자 가치는 두 기업의 투자 전략에 따라 달라지는데, 특히 최적 투자 전략의 현재 가치는 진하게 표시하였다. 각 기업의 최적 투자 전략을 기준으로 시장 수요를 총 6가지의 범위로 나눌 수 있다.

첫 번째 범위(I)에서는 시장의 수요가 너무 적어서 두 기업 모두 R&D에 투자하지 않는 것이 최적인 경우이다. 기본적으로 수요가 적으면 생산으로부터 얻을 수 있는 수익 자체가 작고, 이는 R&D의 투자 비용과 그 실패 가능성을 고려해보았을 때 R&D의 가치가 상대적으로 낮다는 것을 의미한다.

두 번째 범위(Ⅱ)에서는 시장의 수요가 아주 작지는 않지만, 상대적으로 현재 상황에서 기술적 우위를 가진 B기업이 R&D의 불확실성까지 감수하면서 R&D에 투자할만한 충분한 시장 수요는 아니다. 반면, 기술적으로 열등한 기업 A의 입장에서는 만약 R&D에 투자하지 않으면 생산단가 자체가 높기 때문에 사업화를 하더라도 수익을 거두기가 쉽지 않은 시장 수요이기 때문에 R&D를 공격적으로 투자하여 기술력에서의 경쟁우위 확보를 통해 이윤을 최대화하려고 할 것이다. 따라서 현 시점에서 기술적으로 열등한 A기업만 R&D에 투자하고, B기업은 R&D에 투자하지 않게 된다.

세 번째 범위(Ⅲ)에서는 어떤 순수내쉬균형(Pure Nash Equilibrium)이 존재하지 않는 구간이다. 따라서, 경쟁하는 상황 속에서 최적의 의사결정이 없기 때문에 각 기업의 의사결정자가 의사결정을 내리기 가장 힘든 시장 수요의 범위이다.

네 번째 범위(Ⅳ)에서는 두 기업 모두 R&D에 투자하는 것이 최적의 의사결정이다. 시장의 수요가 아주 충분히 크지는 않지만, R&D의 투자 비용과 그 불확실성을 고려하더라도 시장 수요가 어느 정도는 존재하기 때문에 이 시점부터는 현재 기술적 우위를 가진 B기업이 R&D에 투자하게 된다. 이를 고려해보았을 때, A기업은 만약 R&D에 투자하지 않게 되면 기술적으로 더욱 열등하게 되고, 시장 수요도 아주 충분한 것은 아니기 때문에 B와 함께 R&D에 투자하는 것이 최적의 되는 수요 범위이다.

다섯 번째 범위(Ⅴ)에서는 앞서 네 번째 범위(Ⅳ)와 마찬가지로 현재 기술적 우위를 가진 B기업이 지속적으로 그 우위를 가지기 위해 투자를 할 것이다. 반면 A의 입장에서는 굳이 R&D에 투자할 이유가 상대적으로 작다. 이는, 어느 정도 시장의 수요가 있기 때문에 현재 기술력을 바탕으로 생산하여도 이윤이 존재하고, R&D

투자의 비용과 실패에 대한 불확실성을 고려해보았을 때, 오히려 R&D 투자를 포기하는 것이 더욱 이윤을 최대화하는 방향이기 때문이다. 따라서 이 범위에서는 오로지 기업 B만 R&D에 투자하게 된다.

마지막 여섯 번째 범위(VI) 는 시장의 수요가 충분히 크기 때문에 두 기업 모두 생산량을 높일 것이고, 따라서 이윤을 최대화하기 위해 R&D 투자를 통해 생산단가를 낮추려는 유인(incentive)이 존재한다. 이에 따라 두 기업 모두 R&D에 투자하는 것이 최적의 전략이다.

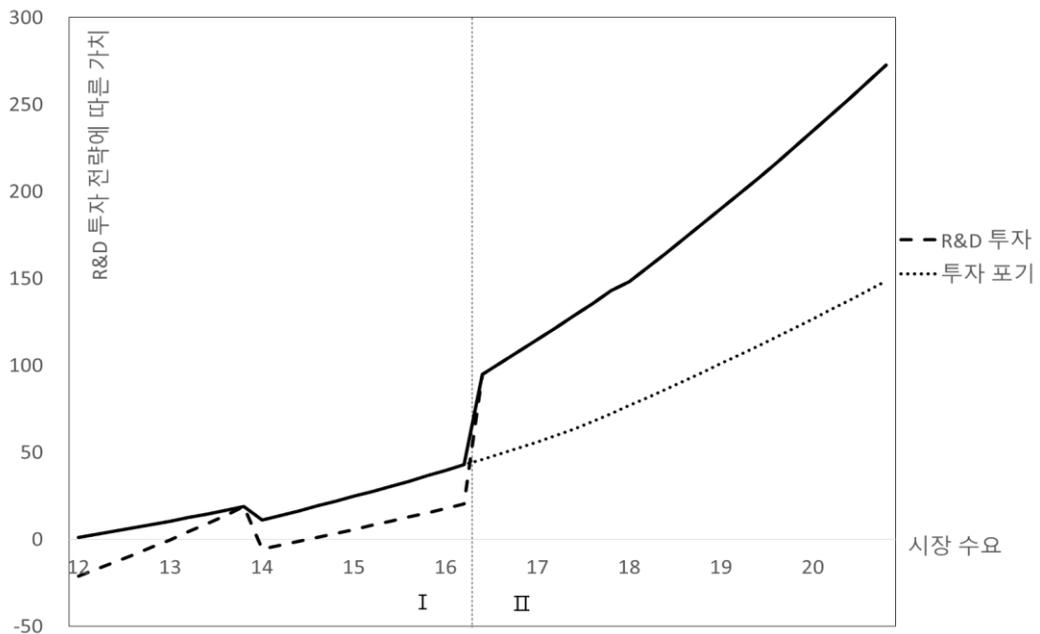


그림 5: B기업만 R&D 투자를 고려할 때의 투자 결정에 대한 현재가치

그림 5는 두 기업의 경쟁 상황 속에서 R&D 투자를 고려하는 것이 아니라, [34]에서 고려된 것처럼 오로지 한 기업, 즉 B기업만 R&D 투자를 할 수 있는 경우에 대해 R&D 투자 전략에 따른 현재 가치를 나타낸 것이다. 이 경우에는 앞서 그림 3과

그림 4와 같이 시장 수요의 범위에 따라 전략적으로 투자 결정이 바뀌는 것이 아니라, 단순히 특정 시장 수요(16.2)보다 큰 지 혹은 작은 지에 따라 투자를 하거나 포기하는 것이 최적의 의사결정이 된다. 따라서 시장 수요가 특정 시장 수요(16.2)보다 작은 첫 번째 범위(I)에서는 B기업이 R&D 투자를 포기하는 것이 최적의 전략임을, 시장의 수요가 특정 시장 수요보다 큰 두 번째 범위(II)에서는 R&D에 투자하는 것이 최적의 전략이다. 이를 통해, 본 연구에서 제시한 모형을 이용하면 시장의 수요변화에 따른 각 기업의 동태적 투자 전략을 분석할 수 있음을 확인하였다.

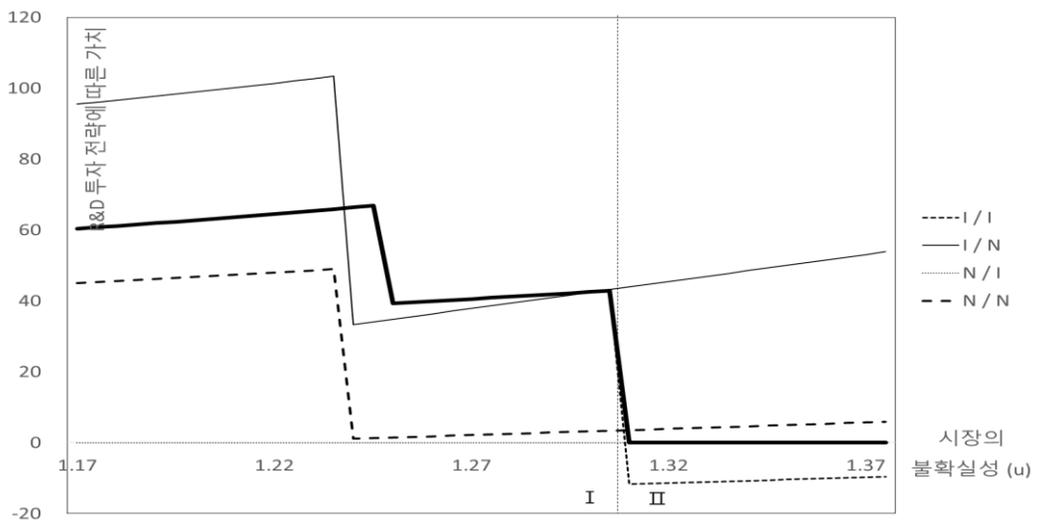


그림 6: 시장 불확실성의 변화에 따른 A기업의 R&D 경쟁에 대한 현재가치

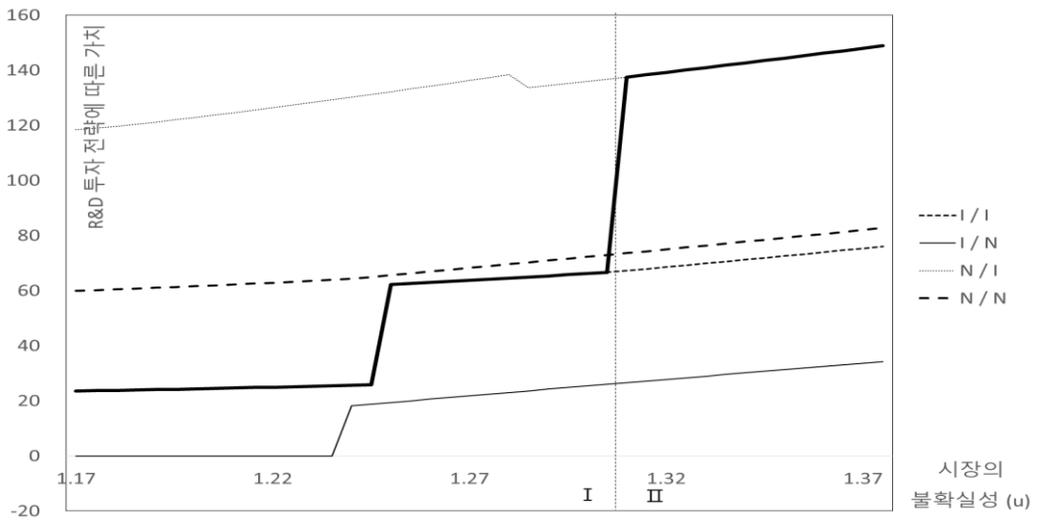


그림 7: 시장 불확실성의 변화에 따른 B기업의 R&D 경쟁에 대한 현재가치

그림 6과 그림 7에서는 시장의 불확실성 u 의 변화에 따른 두 기업의 R&D 및 사업화 투자에 대한 최적 의사결정을 비교분석 하기 위해 A기업과 B기업의 R&D 투자에 대한 현재 가치(present value)의 변화를 나타내었다. 이때 각 기업의 R&D 투자 가치는 두 기업의 투자 전략에 따라 달라지는데, 특히 최적 투자 전략의 현재 가치는 진하게 표시하였다. 각 기업의 최적 투자 전략을 기준으로 시장의 불확실성 u 에 따라 두 범위로 나눌 수 있다.

첫 번째 범위(I)의 시장 불확실성에서는 두 기업 모두 R&D에 투자하는 것이 최적이다. 다만, 시장의 불확실성이 증가함에 따라 두 번째 범위(II)의 시장 불확실성에서는 R&D투자에서는 기술적으로 열등한 A기업이 R&D 투자를 포기하는 것이 최적의 의사결정이 된다. 이는 시장의 불확실성이 커질수록 현재 기술적 열세인 A기업이 시장에서 이윤을 남기기 어려워지기 때문이다. 즉, 시장 불확실성이 커질수록 A기업은 R&D의 비용과 불확실성을 감수하면서까지 R&D에 투자할 인센티브가

작아진다. 반면, 기술적으로 우위를 가진 B기업의 경우 시장 불확실성이 증가함에도 불구하고 지속적으로 R&D에 투자할 인센티브를 가지고 있기 때문에, 실물옵션의 특성상 불확실성이 커질수록 오히려 그 가치 자체는 높아지게 된다.

제 5 장 결론

5.1 결론

본 논문에서는 경쟁하는 경쟁하는 두 기업이 생산단가를 낮추기 위해 R&D에 투자하고, 나아가 이윤 최대화를 위한 사업화 투자 여부에 대해 의사결정하는 문제를 분석한다. 위 문제를 모형화하기 위해 비협조적 게임이론과 이산 실물옵션을 결합한 실물옵션 게임모형을 이용하였다. 본 연구에서 제시한 실물옵션 게임모형에서 발생할 수 있는 모든 경우에 대해 두 기업의 이윤 함수를 도출하였고, 수치예제를 통해 주어진 상황 및 변수에서 R&D 투자 단계와 사업화 투자 단계 각각에 대해 두 기업의 최적의 의사결정에 대해 분석하였다. 추가적으로, 다양한 시장 상황에서의 두 기업의 R&D 및 사업화 투자에 대한 최적 의사결정을 비교분석 하기 위해 처음 시점의 시장 수요의 변화에 따른 R&D 투자에 대한 현재 가치와 시장의 불확실성의 변화에 따른 두 기업의 R&D 투자에 대한 현재 가치에 대해 민감도 분석을 수행하였다.

기존 연구들과 비교하여 본 연구의 가장 중요한 차별점은 R&D 투자와 사업화 투자를 하나의 흐름으로 보되 R&D 투자와 사업화 투자 두 가지 모두에 대한 가치 평가를 두 기업이 경쟁하는 상황 속에서 고려하였다는 점이다. 특정 한 기업만 R&D 투자를 할 수 있다고 가정한 Smit & Trigeorgis [39]의 논문에서는 단순히 특정 시장 수요보다 큰 지 작은 지에 따라 R&D 투자 유무에 대한 의사결정이 내려지지만, 이는 현실 상황을 고려해 보았을 때 한계점을 지닌다. 이러한 한계점을 보완하기 위해 본 논문에서는 R&D에서부터 경쟁 상황을 고려하였고, 민감도 분석을 수행한 결과 시장 수요의 변화에 따라 기업들이 투자에 대해 전략적이고 다양하게 의사결정을 내리는

것을 확인하였다. 특히, 기술적으로 열등한 기업이 기술적으로 우세한 기업보다 R&D에 더 공격적으로 투자한다는 것과 특정 시장 수요보다 큰 경우에 대해서는 기술적으로 우세한 기업이 기술적 우위를 지속적으로 유지하려고 한다는 것을 확인할 수 있었다. 한편으로, 특정 범위의 시장 수요에서는 균형점이 존재하지 않았는데 이는 경쟁하는 상황 하에서 의사결정의 어려움을 의미한다. 또한, 시장의 불확실성이 커질수록 기술적으로 열등한 기업이 상대적으로 R&D에 투자할 동기부여(incentive)가 적어진다는 것을 확인할 수 있었다. 이처럼, 본 연구에서 제시한 모형은 기업의 의사결정자가 경쟁하는 상황 속에서 R&D와 사업화 투자 여부에 대한 의사결정을 내릴 때 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

5.2 향후 연구

본 연구에서는 모형의 간결성을 위해 두 기업이 경쟁하는 상황 속에서 R&D 투자와 사업화 투자 문제를 실물옵션 게임모형을 이용하여 다루었다. 하지만 일반적으로 현실 상황에서 경쟁하는 기업의 수는 두 개 이상인 경우가 많으므로 N개의 기업이 경쟁하는 상황 속에서의 R&D 투자와 사업화 투자 문제를 고려한 모형으로 확장할 필요가 있다.

또한, 사업화 투자 단계에서와는 달리 R&D 투자 단계에서는 연기하는 옵션을 고려하지 않았는데 추후 연구에서는 R&D 투자 단계에서도 연기하는 옵션을 고려한 모형으로 확장하여 모형의 실용성을 개선하고자 한다.

부록

부록 1. A, B기업 모두 R&D에 투자하는 경우

a) 사업화 단계에서 Cournot Model을 적용하는 경우의 식

$$\begin{aligned}
 & \underset{q_A}{\text{Max}} \pi_A(q_A, q_B | c_A^H, \theta_B) \\
 &= \underset{q_A}{\text{Max}} (1 - \theta_B)(\alpha_t - b(q_A(c_A^H) + q_B(c_B^H)) - c_A^H) q_A \\
 & \quad + \theta_B(\alpha_t - b(q_A(c_A^H) + q_B(c_B^L)) - c_A^H) q_A
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & \underset{q_A}{\text{Max}} \pi_A(q_A, q_B | c_A^L, \theta_B) \\
 &= \underset{q_A}{\text{Max}} (1 - \theta_B)(\alpha_t - b(q_A(c_A^L) + q_B(c_B^H)) - c_A^L) q_A \\
 & \quad + \theta_B(\alpha_t - b(q_A(c_A^L) + q_B(c_B^L)) - c_A^L) q_A
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & \underset{q_B}{\text{Max}} \pi_B(q_A, q_B | c_B^H, \theta_A) \\
 &= \underset{q_B}{\text{Max}} (1 - \theta_A)(\alpha_t - b(q_A(c_A^H) + q_B(c_B^H)) - c_B^H) q_B \\
 & \quad + \theta_A(\alpha_t - b(q_A(c_A^L) + q_B(c_B^H)) - c_B^H) q_B
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & \underset{q_B}{\text{Max}} \pi_B(q_A, q_B | c_B^L, \theta_A) \\
 &= \underset{q_B}{\text{Max}} (1 - \theta_A)(\alpha_t - b(q_A(c_A^H) + q_B(c_B^L)) - c_B^L) q_B \\
 & \quad + \theta_A(\alpha_t - b(q_A(c_A^L) + q_B(c_B^L)) - c_B^L) q_B
 \end{aligned}$$

b) 사업화 단계에서 Stackelberg Model을 적용하는 경우의 식 (B가 리더인 경우)

$$\begin{aligned}
 & \underset{q_A}{\text{Max}} \pi_A(q_A, q_B | c_A^H, \theta_B) \\
 & = \underset{q_A}{\text{Max}} (1 - \theta_B)(\alpha_t - b(q_A(c_A^H) + q_B(c_B^H) - c_A^H)) q_A \\
 & \quad + \theta_B(\alpha_t - b(q_A(c_A^H) + q_B(c_B^H) - c_A^H)) q_A
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & \underset{q_A}{\text{Max}} \pi_A(q_A, q_B | c_A^L, \theta_B) \\
 & = \underset{q_A}{\text{Max}} (1 - \theta_B)(\alpha_t - b(q_A(c_A^L) + q_B(c_B^H) - c_A^L)) q_A \\
 & \quad + \theta_B(\alpha_t - b(q_A(c_A^L) + q_B(c_B^L) - c_A^L)) q_A
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & \underset{q_B}{\text{Max}} \pi_B(q_A^*(c_H), q_A^*(c_L), q_B | c_B^H, \theta_A) \\
 & = \underset{q_B}{\text{Max}} (1 - \theta_A)(\alpha_t - b(q_A^*(c_A^H) + q_B(c_B^H) - c_B^H)) q_B \\
 & \quad + \theta_A(\alpha_t - b(q_A^*(c_A^L) + q_B(c_B^H) - c_B^H)) q_B
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & \underset{q_B}{\text{Max}} \pi_B(q_A^*(c_H), q_A^*(c_L), q_B | \bar{c}_L, \theta_A) \\
 & = \underset{q_B}{\text{Max}} (1 - \theta_A)(\alpha_t - b(q_A^*(c_H) + q_B(c_B^L) - c_B^L)) q_B \\
 & \quad + \theta_A(\alpha_t - b(q_A^*(c_A^L) + q_B(c_B^L) - c_B^L)) q_B
 \end{aligned}$$

부록 2. A기업만 R&D에 투자하는 경우

a) 사업화 단계에서 Cournot Model을 적용하는 경우의 식

$$\begin{aligned} & \underset{q_A}{\text{Max}} \pi_A(q_A, q_B | c_H) \\ & = \underset{q_A}{\text{Max}} [\alpha_t - b(q_A(c_H) + q_B - c_H)] q_A \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \underset{q_A}{\text{Max}} \pi_A(q_A, q_B | c_L) \\ & = \underset{q_A}{\text{Max}} [\alpha_t - b(q_A(c_L) + q_B - c_L)] q_A \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \underset{q_B}{\text{Max}} \pi_B(q_A, q_B | \theta_A) \\ & = \underset{q_B}{\text{Max}} (1 - \theta_A)(\alpha_t - b(q_A(c_H) + q_B - c_B)) q_B \\ & \quad + \theta_A(\alpha_t - b(q_A(c_L) + q_B - c_B)) q_B \end{aligned}$$

b) 사업화 단계에서 Stackelberg Model 을 적용하는 경우의 식 (A 가 리더인 경우)

$$\begin{aligned} & \underset{q_B}{\text{Max}} \pi_B(q_A^*(c_H), q_B \mid c_A = c_H) \\ & = \underset{q_B}{\text{Max}} [\alpha_t - b(q_A^*(c_H) + q_B - c_B)]q_B \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \underset{q_B}{\text{Max}} \pi_B(q_A^*(c_L), q_B \mid c_A = c_L) \\ & = \underset{q_B}{\text{Max}} [\alpha_t - b(q_A^*(c_L) + q_B - c_B)]q_B \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \underset{q_A}{\text{Max}} \pi_A(q_A(c_H), q_B^* \mid c_A = c_H) \\ & = \underset{q_A}{\text{Max}} [\alpha_t - b(q_A(c_H) + q_B^* - c_H)]q_A \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \underset{q_A}{\text{Max}} \pi_A(q_A(c_L), q_B^* \mid c_A = c_L) \\ & = \underset{q_A}{\text{Max}} [\alpha_t - b(q_A(c_L) + q_B^* - c_L)]q_A \end{aligned}$$

c) 사업화 단계에서 Stackelberg Model 을 적용하는 경우의 식 (B 가 리더인 경우)

$$\begin{aligned} & \underset{q_A}{\text{Max}} \pi_A(q_A, q_B | c_H) \\ & = \underset{q_A}{\text{Max}} [\alpha_t - b(q_A(c_H) + q_B - c_H)] q_A \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \underset{q_A}{\text{Max}} \pi_A(q_A, q_B | c_L) \\ & = \underset{q_A}{\text{Max}} [\alpha_t - b(q_A(c_L) + q_B - c_L)] q_A \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \underset{q_B}{\text{Max}} \pi_B(q_A^*(c_H), q_A^*(c_L), q_B | c_B, \theta_A) \\ & = \underset{q_B}{\text{Max}} (1 - \theta_A)(\alpha_t - b(q_A^*(c_H) + q_B - c_B)) q_B \\ & \quad + \theta_A(\alpha_t - b(q_A^*(c_L) + q_B - c_B)) q_B \end{aligned}$$

부록 3. R&D 투자 및 성공 유무에 따른 9가지 결과 각각에 대한 사업화 경쟁 단계에서의 부분게임 완전균형

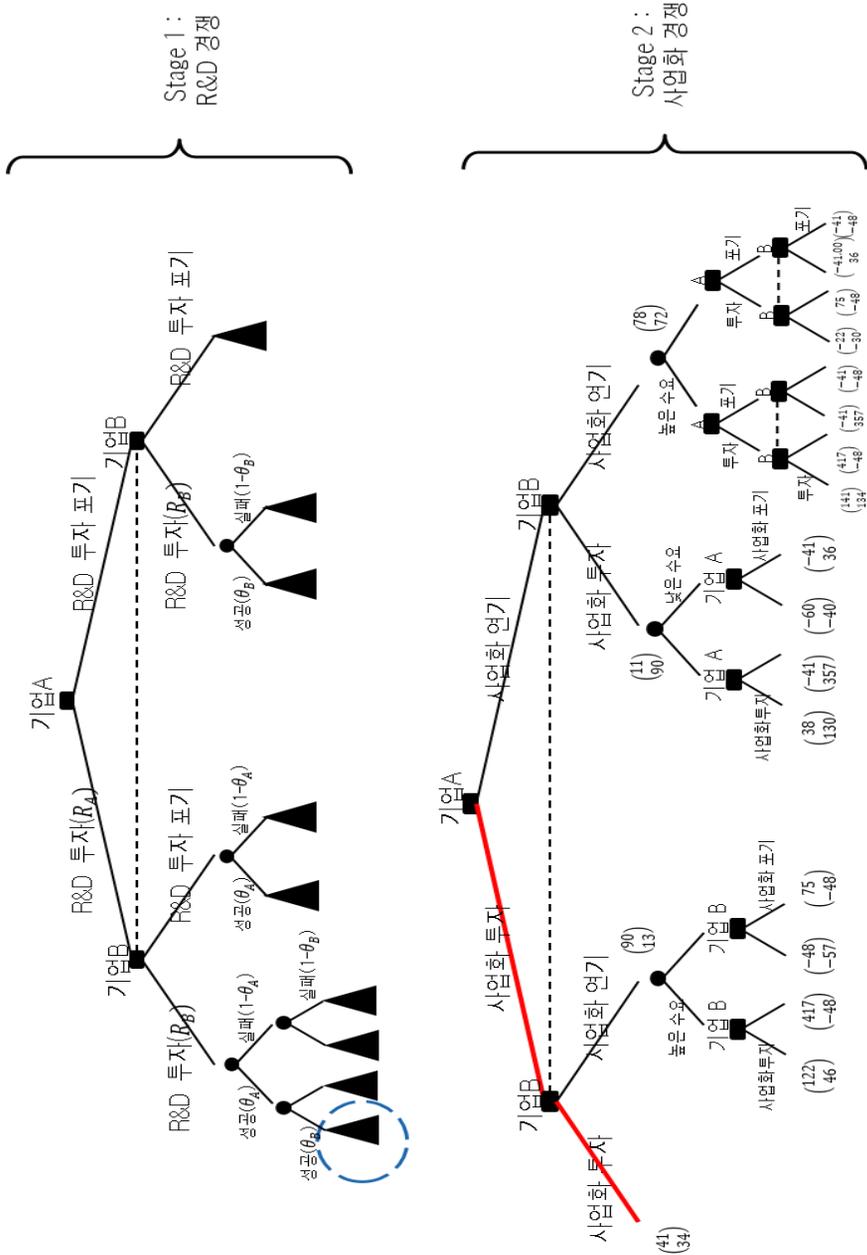


그림 8: R&D 및 사업화 투자 실패율 게임모형 결과(2)

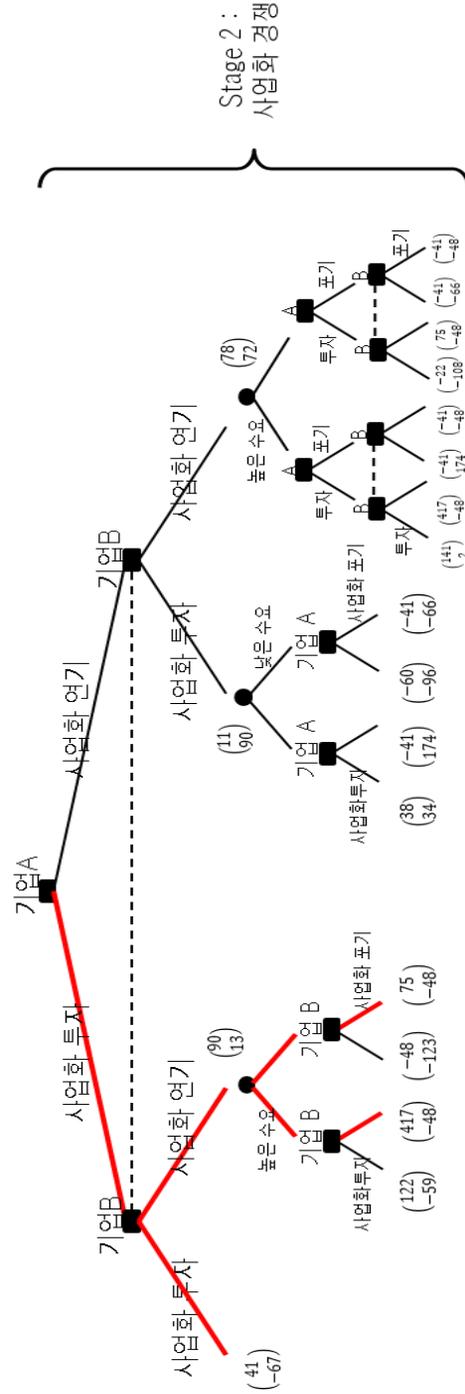
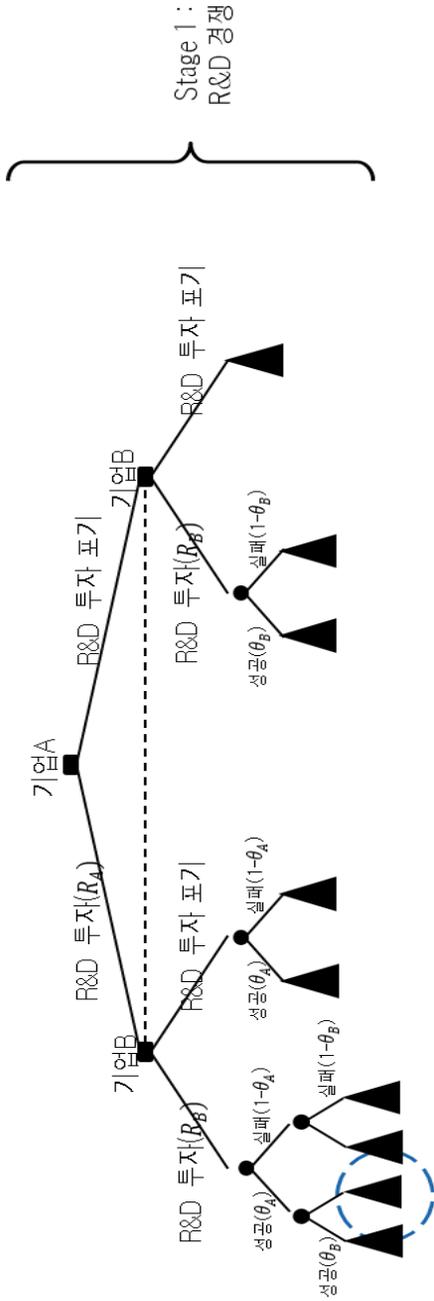


그림 9: R&D 및 사업화 투자 실패율 게임모형 결과(3)

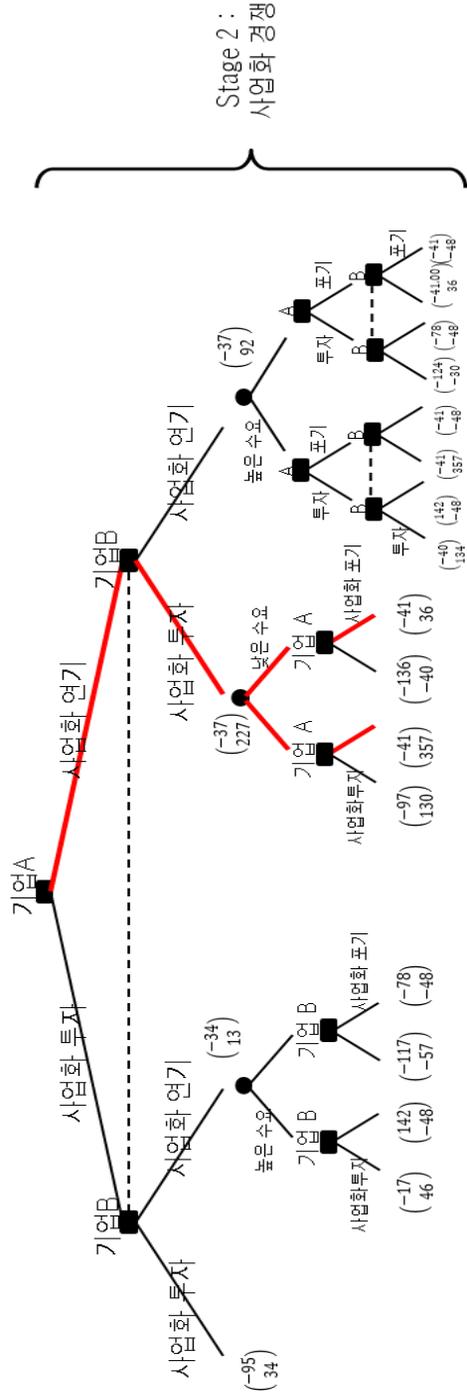
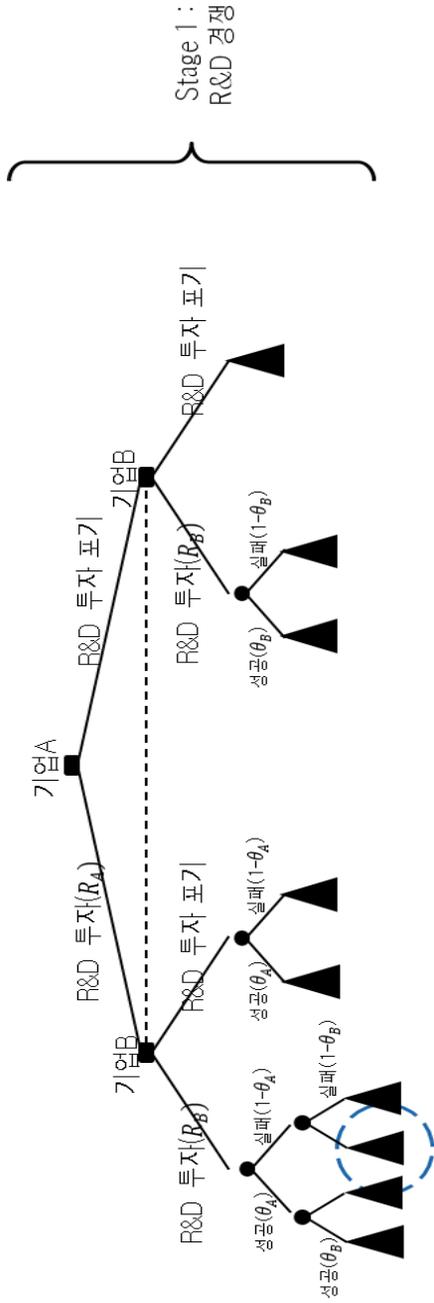


그림 10: R&D 및 사업화 투자 실패율 게임모형 결과(4)

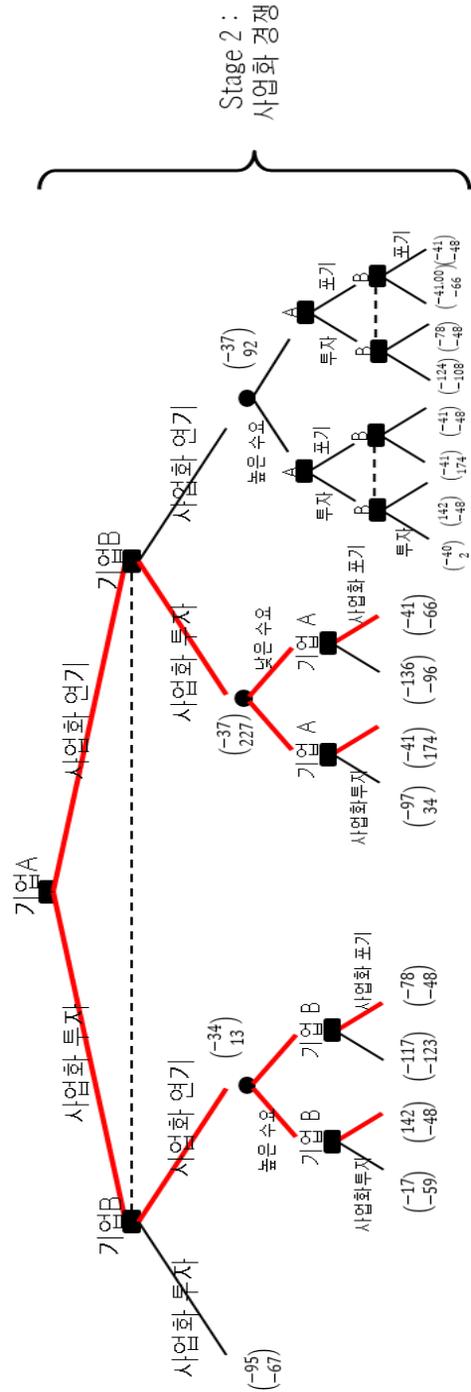
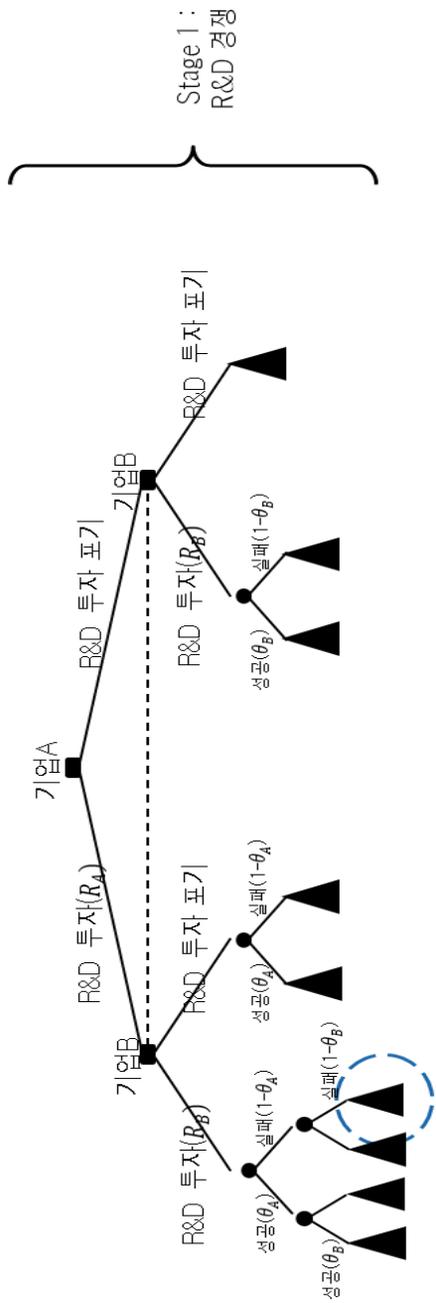


그림 11: R&D 및 사업화 투자 실패율 게임모형 결과(5)

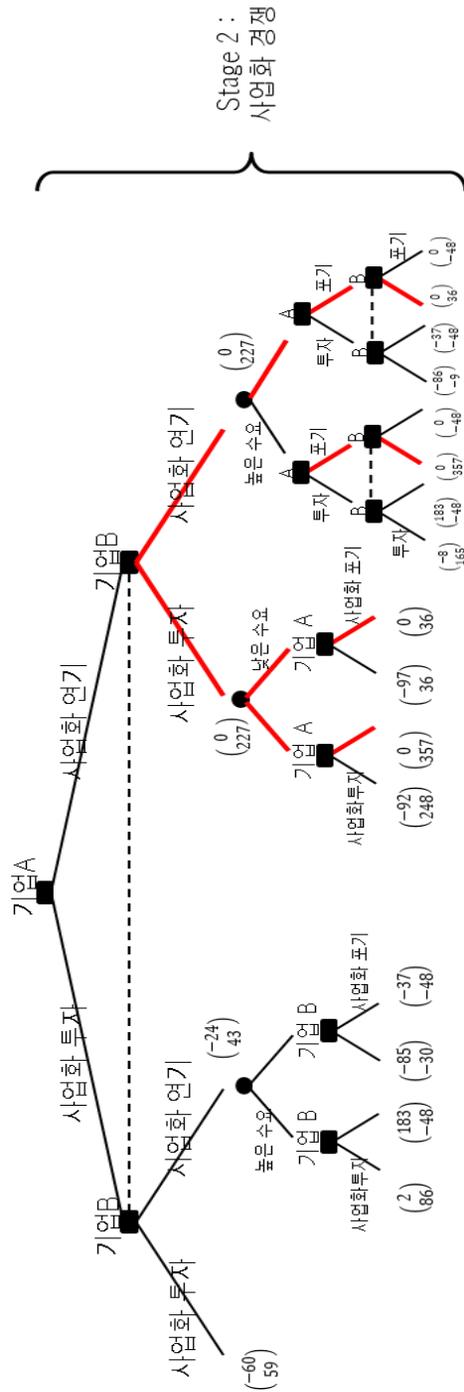
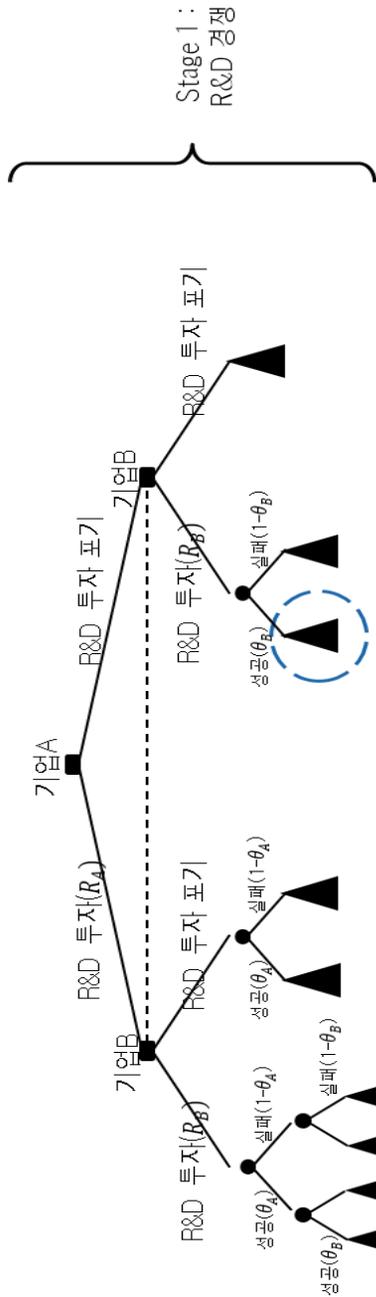


그림 13: R&D 및 사업화 투자 실패율 게임모형 결과(7)

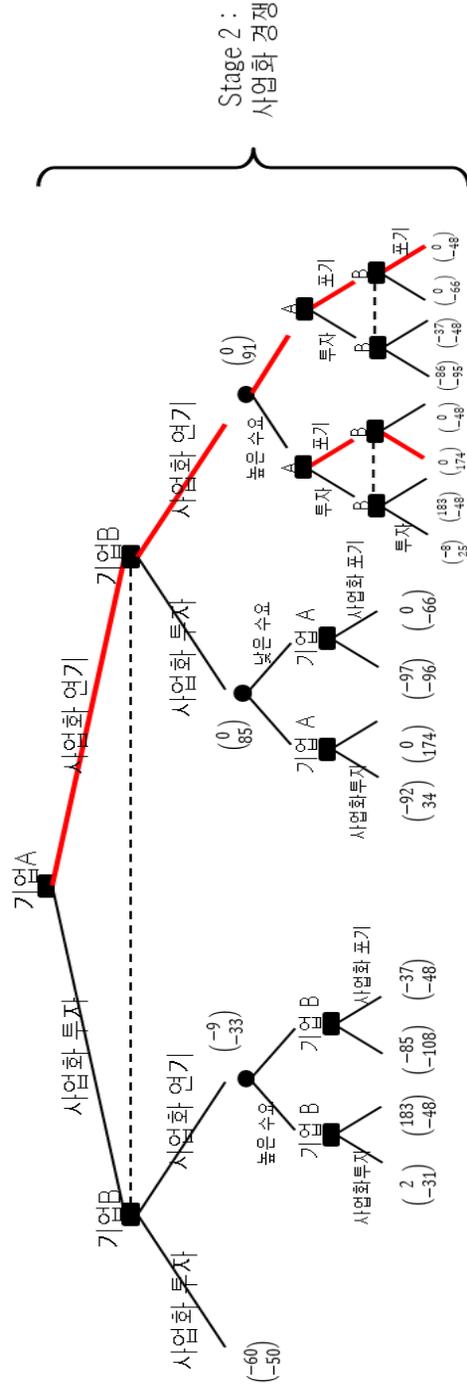
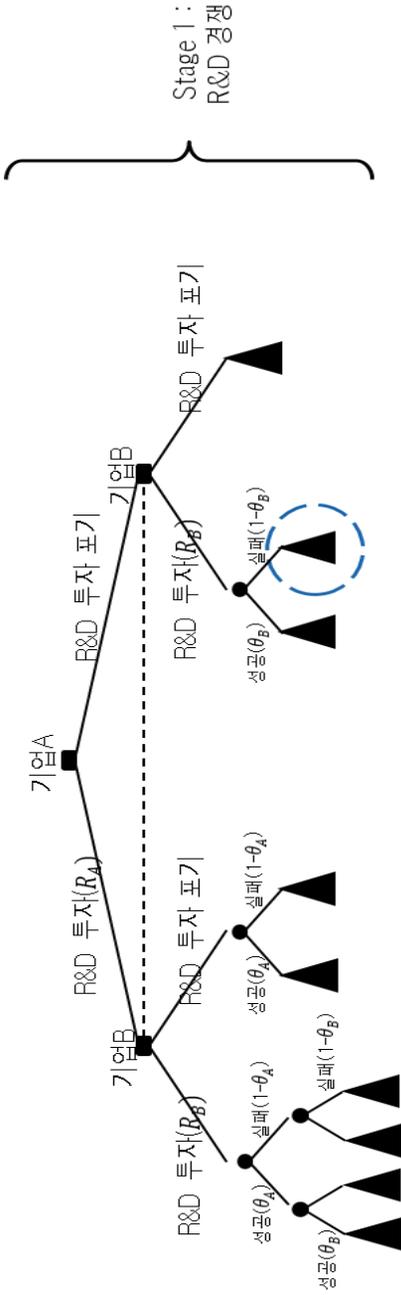


그림 14: R&D 및 사업화 투자 실패율선 게임모형 결과(8)

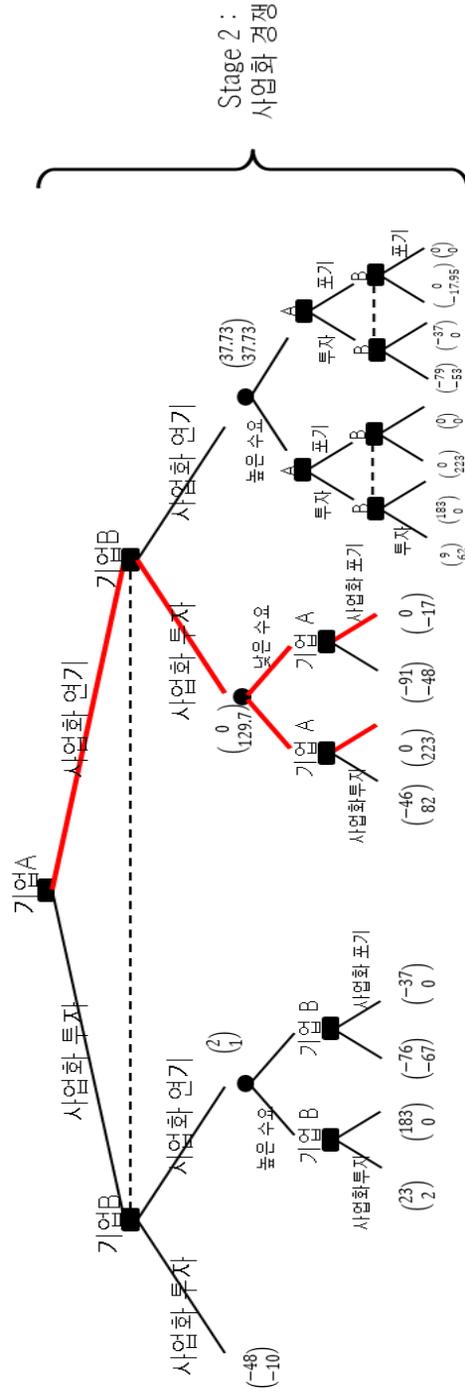
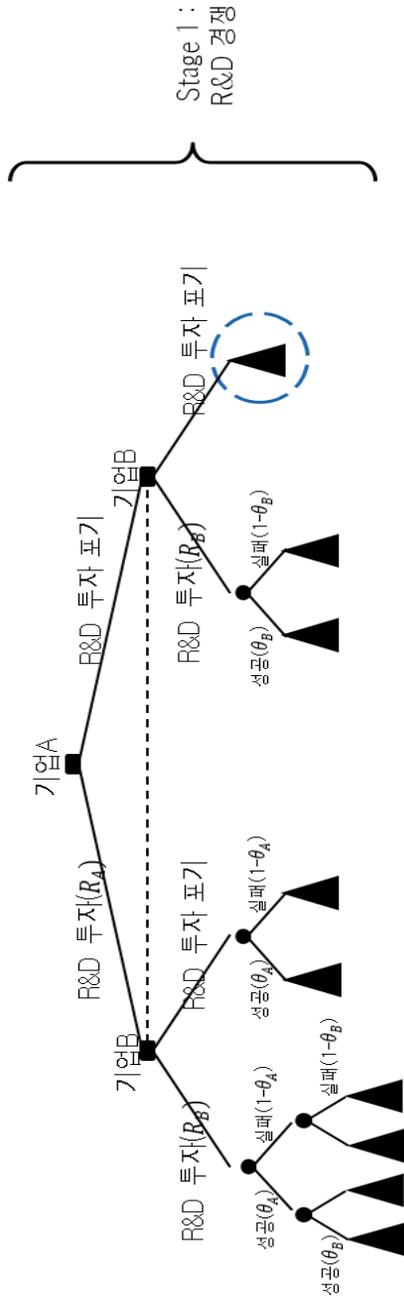


그림 15: R&D 및 사업화 투자 실패율 연 게임모형 결과(9)

참고 문헌

- [1] 김경택. "시장 불확실성을 고려한 신재생에너지 R&D 의 경제적 가치 평가."
한국경영과학회 학술대회논문집 (2016): 1178-1199.
- [2] 김진용, 김재희, and 김승권. "실물옵션 게임이론을 이용한 특허가치 평가 방법."
한국경영과학회지 40.2 (2015): 43-61.
- [3] A. Arasteh, Combination of real options and game-theoretic approach in investment analysis, *Journal of Industrial Engineering International*, 12(2016), pp. 361-375.
- [4] J. Anand, R. S. Oriani, R. Vassolo, Managing a portfolio of real options, In J. J. Reuer & T. W. Tong (Eds.), *Advances in strategic management* (pp. 275-303). West Yorkshire, England: Emerald Group Publishing Limited, 2007.
- [5] A. F. Azevedo and D. A. Paxson, *Real options game models: A review*, Real Options, 2010.
- [6] Baglieri, Enzo, et al. "Evaluating intangible assets: the measurement of R&D performance." (2001).
- [7] Boer, Harry, and Willem E. During. "Innovation, what innovation? A comparison

- between product, process and organisational innovation." *International Journal of Technology Management* 22.1-3 (2001): 83-107.
- [8] B. Chevalier-Roignant and L. Trigeorgis, *Competitive strategy: Options and games*, Princeton, NJ: Princeton University Press, 2011.
- [9] T. Chi, Option to acquire or divest a joint venture, *Strategic Management Journal*, 21(2000), pp. 665–688.
- [10] J. C. Cox and S. A. Ross, and M. Rubinstein, Option pricing: A simplified approach, *Journal of Financial Economics*, 7(1979), pp. 229–263.
- [11] A. K. Dixit and R. S. Pindyck, *Investment under uncertainty*, Princeton, NJ: Princeton University Press, 1994.
- [12] T. B. Folta and K. D. Miller, Real options in equity partnerships, *Strategic Management Journal*, 23(2002), pp. 77–88.
- [13] T. B. Folta and J. P. O'Brien, Entry in the presence of dueling options, *Strategic Management Journal*, 25(2004), pp. 12–138.
- [14] Herath, Hemantha SB, and Chan S. Park. "Economic analysis of R&D projects: an options approach." *The Engineering Economist* 44.1 (1999): 1-35.
- [15] A. Huchzermeier and C. H. Loch, Project management under risk: Using the real option approach to evaluate flexibility in R&D, *Management Science*, 47(2001), pp. 85–101.

- [16] Hullova, Dusana, Paul Trott, and Christopher Don Simms. "Uncovering the reciprocal complementarity between product and process innovation." *Research policy* 45.5 (2016): 929-940.
- [17] Y. J. Kim and G. L. Sanders, Strategic actions in information technology investment based on real option theory, *Decision Support Systems*, 33(2002), pp. 1-11.
- [18] W. S. Lu and H. M. Chen, The Analysis of R&D Cooperation and The Government Optimal Policy with Game Theory, *Chinese Journal of Management Science*, 71(2003), pp. 45-52.
- [19] Myers, Stewart C. "Determinants of corporate borrowing." *Journal of financial economics* 5.2 (1977): 147-175.
- [20] R. Makadok, The interaction effect of rivalry restraint and competitive advantage on profit, *Management Science*, 56(2010), pp. 356–372.
- [21] S. H. Martzoukos and E. Zacharias, Real option games with R&D and learning spillovers, *Omega*, 41(2013), pp.236–249.
- [22] A. M. McGahan, The effect of incomplete information about demand on preemption, *International Journal of Industrial Organization*, 11(1993), pp. 327–346.
- [23] R. G. McGrath, A real options logic for initiating technology positioning

- investments, *Academy of Management Review*, 22(1997), pp. 974–996.
- [24] R. G. McGrath and A. Nerkar, Real options reasoning and a new look at the R&D investment strategies of pharmaceutical firms, *Strategic Management Journal*, 25(2004), pp. 1–21.
- [25] K. Miltersen and E. Schwartz, R&D investments with competitive interactions, *Review of Finance*, 8(2004), pp. 355–401.
- [26] R. Oriani and M. Sobrero, Uncertainty and the market valuation of R&D within a real options logic, *Strategic Management Journal*, 29(2008), pp. 343–361.
- [27] S. Ramani, (1995). Game Theory and the Logic of R&D Strategic Alliances, IIM Bangalore Research Paper No. 69,
- [28] Reinganum, Jennifer F. "On the diffusion of new technology: A game theoretic approach." *The Review of Economic Studies* 48.3 (1981): 395-405.
- [29] W. Rohlfs and R. Madlener, Investment decisions under uncertainty: CCS competing with green energy technologies, *Energy Procedia*, 37(2013), pp. 7029-7038.
- [30] J. T. J. Smit and L. A. Ankum, A real options and game-theoretic approach to corporate investment strategy under competition, *Financial Management*, 22(1993), pp. 241–250.
- [31] J. T. J. Smit and T. Moraitis, Playing at acquisitions: Behavioral option games,

Princeton, NJ: Princeton University Press, 2015.

- [32] J. T. J. Smit and L. Trigeorgis, *Strategic investment: Real options and games*, Princeton, NJ: Princeton University Press, 2004.
- [33] J. T. J. Smit and L. Trigeorgis, Valuing infrastructure investment: An option games approach, *California Management Review*, 51(2009), pp. 21–39.
- [34] J. T. J. Smit and L. Trigeorgis, Strategic NPV: Real Options and Strategic Games under Different Information Structures, *Strategic Management Journal*, 38(2017), pp. 2555-2578.
- [35] S. Song, M. Makhija and S. M. Kim, International investment decisions under uncertainty: Contributions of real options theory and future directions, *Journal of Management & Organization*, 21(2015), pp. 786-811.
- [36] T. W. Tong and Y. Li, Real options and investment mode: Evidence from corporate venture capital and acquisition, *Organization Science*, 22(2011), pp. 659–674.
- [37] L. Trigeorgis, Real options and interactions with financial flexibility, *Financial Management*, 22(1993), pp. 202–224.
- [38] L. Trigeorgis, The nature of option interactions and the valuation of investments with multiple real options, *Journal of Financial and Quantitative Analysis*, 28(1993), pp. 1–20.
- [39] L. Trigeorgis and J. J. Reuer, *Real options theory in strategic management*,

- Strategic Management Journal, 38(2017), pp. 42–63.
- [40] Utterback, James M., and William J. Abernathy. "A dynamic model of process and product innovation." *Omega* 3.6 (1975): 639-656.
- [41] R. S. Vassolo, J. Anand and T. B. Folta, Non-additivity in portfolios of exploration activities: A real options-based analysis of equity alliances in biotechnology, *Strategic Management Journal*, 25(2004), pp. 1045–1061.
- [42] G. Villani, An R&D investment game under uncertainty in real option analysis, *Computational Economics*, 32(2008), pp. 199-219.
- [43] J. Wang, C. Y. Wang and C. Y. Wu, A real options framework for R&D planning in technology-based firms, *Journal of Engineering and Technology Management*, 35(2015), pp. 93-114.
- [44] B. A. Wernerfelt and A. Karnani, Competitive strategy under uncertainty, *Strategic Management Journal*, 8(1987), pp. 187–194.
- [45] L. C. Wu, S. H. Li, C. S. Ong and C. Pan, Options in technology investment games: The real world TFT-LCD industry case, *Technological Forecasting and Social Change*, 79(2012), pp. 1241-1253.
- [46] K. Zhu and J. P. Weyant, Strategic decisions of new technology adoption under asymmetric information: a game-theoretic model, *Decision sciences*, 34(2003), pp. 643-675.

- [47] M. S. Zschocke, B. Mantin, and E.M. Jewkes, The Effect of Competition on R&D Portfolio Investments, *Production & Operations Management*, 23(2015), pp. 1439-1449.

Abstract

R&D and Commercialization Investment Strategies Using Game Theoretic Real Options in a Duopoly

Minhyuk Sur

Department of Industrial Engineering

The Graduate School

Seoul National University

As technology competitiveness is an important factor which determines the success of companies in the global competition situation, technology R&D has received much attention. In order to maximize their profits, competing companies decide whether to invest in R&D and commercialize products. Generally, because R&D and market demand have an uncertainty, firms tend to consider defer-option, which has a trade-off with preempting a market.

In this paper, we modelled the problem above using 2-stage game theoretic real options. On the first stage game, the competing two firms decide whether to invest in R&D simultaneously. On the second stage game, the two firms decide whether to commercialize products. In this case, the profits of the two firms are affected by the outcome of the first stage game and real options is used to consider market uncertainty. Through this modeling, we can analyze strategic decisions of R&D and commercialization of two competing firms. Numerical example and sensitivity analysis explain which decision-making is optimal in the competing situation.

Keywords: Game Theory, Real Options, Optimal Decision-making, R&D,
Commercialization, Investment

Student Number: 2016-27677

감사의 글