creative commons
COMMONS DEED

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

dCollection

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

[UCI]I804:24011-200000335584

2020년 8월

석사학위 논문

실물옵션을 활용한 공기업 신재생에너지 개발사업 가치평가 연구

- 공기업 유휴공간 활용방안을 중심으로-

조 선 대 학 교 대 학 원

토 목 공 학 과

나 승 범

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

실물옵션을 활용한 공기업 신재생에너지 개발사업 가치평가 연구

- 공기업 유휴공간 활용방안을 중심으로-

Research on the Evaluation of the Value of Renewable Energy Development Projects by Public Companies Utilizing Real Options

2020년 8월 28일

조 선 대 학 교 대 학 원

토 목 공 학 과

나 승 범

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

실물옵션을 활용한 공기업 신재생에너지 개발사업 가치평가 연구

지도교수 장 우 식

이 논문을 공학 석사학위 논문으로 제출함.

2020년 05월

조 선 대 학 교 대 학 원

토 목 공 학 과

나 승 범

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

나승범의 석사학위논문을 인준함.

위원장 조선대학교 교수 김 대 현 (인)

위 원 조선대학교 교수 박 상 준 (인)

위 원 조선대학교 교수 장 우 식 (인)

2020년 6월

조 선 대 학 교 대 학 원

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

감사의 글

엊그제 시작한 석사학위 같은데 벌써 2년 반이라는 시간이 지나 작은 결실을 맺고 새로운 도전을 할 때가 다가옵니다. 더욱 최선을 다하지 못한 아쉬움으로 송구스러운 마음 그지없지만 많은 도움과 노력으로 일군 작은 결실에 가슴 벅찬 일이 아닐 수 없습니다. 먼저 대학원에서 훌륭하신 교수님들로부터 배움의 길을 열어주시고 더 큰 꿈을 품을 수 있도록 축복해주신 하나님께 감사와 영광을 돌립니다. 너무나 부족한 저에게 많은 도움을 주신 고마운 분들께 감사의 마음을 전하고 싶습니다.

대학졸업을 앞두고 진로에 많은 고민을 하고 있을 무렵 땀을 흘려가며 정렬적인 모습으로 수업하시던 장우식 지도교수님께 매료되어 진로상담 메일을 보냈을 때가 기억이 납니다. 스쳐지나갈 수 있었던 한 학생의 고민에 대해 한문장 한문장 밑줄을 긋고 코멘트를 달아놓으셨던 A4용지 두 장과, 할 수 있다고 만들어보자고 믿음에 찬 눈으로 말씀하셨던 그날의 조언은 2년 반이라는 시간동안 저를 인내하고 노력할 수 있게 만들었습니다. 교수님의 지도를 통해 연구가 무엇인지, 제게 부족한 점이 무엇이고 어떤 방향으로 나아가야 할지에 대해 고민할 수 있었고, 더 큰 꿈을 품을 수 있었던 것 같습니다. 교수님의 제자로써 부족함이 없는 연구자가 될 수 있도록 노력하겠습니다. 박사과정동안에도 열정적인 지도와 많은 조언 부탁드립니다!

바쁘신 와중에도 소중한 시간을 내어 논문심사를 해주시고 따뜻한 격려와 조언을 아끼시지 않은 김경석 교수님, 김창윤 교수님께 깊은 감사를 드립니다. '실물옵션'을 공부하면서 느꼈던 고민과 방향성에 대해 지도해 주셨던 코멘트들을 잘 보완하여 좋은 연구할 수 있도록 노력하겠습니다.

항상 가족 같은 분위기로 저의 엔돌핀과 자극제가 돼주었던 CMERs 연구실 후배들에게 깊은 감사의 마음을 전해드립니다. 매일 같은시간 같은자리에서 본인의 목표를 달성하기 위해 노력하던 이경수 석사과정을 보며 생활에 나태함과 게으름이 찾아올 때 반성하고 다시 마음을 다잡을 수 있었습니다. 항상 저의 연구주제에 끊임없이 관심을 갖고 천진난만한 표정으로 질문하고 또 다양한 의견을 제시해 주었던 이창근 석사과정을 통해

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

연구를 진행함에 있어 더욱 견고해짐을 느끼고 즐거운 연구를 할 수 있었습니다. 모두들 정말 감사합니다.

항상 저를 믿어주시고 묵묵히 응원해주시는 사랑하는 부모님께 감사드립니다. 제멋대로인 아들인데 항상 이해해 주시고 응원과 격려해주셔서 석사학위를 졸업할 수 있었고, 한 발짝 더 나아가겠다는 결심도 할 수 있었습니다. '현재에 최선을 다해서 살라'는 부모님의 가르침을 마음에 세기고 열심히, 그리고 잘 하여서 부모님께서 주신 은혜에 보답할 수 있는 자랑스러운 아들이 되도록 하겠습니다. 밥은 잘 먹고 다니는지, 아픈 곳은 없는지 항상 걱정해주는 사랑하는 경은이 누나, 꿈을 위해 항상 노력하고 공부하는 사랑하는 막내 승권이 덕분에 마음 편히 연구할 수 있었습니다. 앞으로도 잘 부탁드리고 사랑합니다!

이외에도 여기에 미처 적지 못한 많은 분들께 감사드립니다. 여러분이 있어 지금의 제가 있었고, 저도 여러분께 힘이 될 수 있는 존재가 될 수 있도록 하겠습니다. 감사하고 사랑합니다. 마지막으로 저에게 지혜와 명철을 주시고, 매순간 감사함으로 살아갈 수 있게 해주신 하나님 아버지께 감사드립니다.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

목 차

ABSTRACT

제1장 서 론 ---- 1

1.1 연구배경 및 필요성 ---- 1

1.2 연구 목적 ---- 4

1.3 논문 구성 ---- 5

제2장 선행연구 고찰 ---- 6

2.1 실물옵션을 활용한 신재생에너지사업의 경제성분석 ---- 6

2.1.1 수력발전에 대한 실물옵션분석연구 ---- 6

2.1.2 풍력발전에 대한 실물옵션분석연구 ---- 8

2.1.3 태양광발전에 대한 실물옵션분석연구 ---- 11

2.2 수상 태양광 발전시스템의 동향 ---- 14

2.2.1 국내동향 ---- 14

2.2.2 해외동향 ---- 18

제3장 이론적 배경 ---- 20

3.1 실물옵션의 개념 및 이용실태 ---- 20

3.1.1 실물옵션의 개념 ---- 20

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

3.1.2 실물옵션의 중요성 및 선진기업의 이용실태 ---- 21
3.1.3 금융옵션과 실물옵션의 차이 ---- 26
3.2 실물옵션과 전통적 평가방법 ---- 28
3.2.1 전통적 가치평가모형의 한계 ---- 28
3.2.2 실물옵션과 NPV의 한계 ---- 33
3.3 실물옵션의 종류와 변수들 ---- 36
3.3.1 실물옵션의 종류 ---- 36
3.3.2 실물옵션의 변수들 ---- 40
3.3.3 불확실성과 옵션의 가치 ---- 43
3.4 실물옵션의 평가모형 ---- 45
3.4.1 실물옵션의 논리 ---- 45
3.4.2 실물옵션의 논리 ---- 48

제4장 사례분석 ---- 55
4.1 전통적 가치평가 방법을 활용한 경제성분석(1단계) ---- 55
4.1.1 사업의 개요 ---- 55
4.1.2 기상자원 ---- 57
4.1.3 비용추정 ---- 58
4.1.4 편익추정 ---- 61
4.1.5 경제성 분석 데이터 ---- 64
4.1.6 순현재가치(NPV) 분석 및 결과 ---- 66

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

4.2 실물옵션 분석법(ROA)을 이용한 가치평가 ---- 69
4.2.1 실물옵션에 의한 4단계 가치평가 과정 ---- 69
4.2.2 실물옵션의 변동성 추정 ---- 70
4.2.3 실물옵션의 사상나무(Event Tree)(2단계) ---- 74
4.2.4 의사결정나무(Decision Tree) 및 사업가치 산정(3.4 단계) ---- 79

제5장 결론 및 향후연구 ---- 87
5.1 요약 및 결론 ---- 87
5.2 향후연구 ---- 89

참 고 문 헌 ---- 90

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

표 목 차

표 1.1 수리시설 설치 경과년수 ····· 2
표 1.2 전국 수리시설물 현황 ····· 3
표 2.1 수력발전에 대한 실물옵션분석 연구동향 ····· 7
표 2.2 풍력발전에 대한 실물옵션 분석 연구동향 ····· 10
표 2.3 태양광발전에 대한 실물옵션 분석 연구동향 ····· 12
표 3.1 주요기업들의 실물옵션 적용분야 및 이용시기 ····· 23
표 3.2 금융옵션과 실물옵션의 차이 ····· 26
표 3.3 투자안의 증분현금흐름 ····· 32
표 3.4 실물옵션가치 요소와 가치변화 ····· 41
표 4.1 육상+수상 태양광발전소 시스템 개요 ····· 57
표 4.2 전라남도 'N댐' 지역 기상자원 ····· 57
표 4.3 'N댐' 태양광 발전소 건설비용 ····· 59
표 4.4 연간 운영 및 유지관리비용 산출 ····· 60
표 4.5 연간 SMP 매출액 산출 ····· 62
표 4.6 연간 REC 매출액 산출 ····· 63
표 4.7 공급인증서 발급대상 설비 기준 ····· 63
표 4.8 2011~2019년 생산자물가지수 ····· 64
표 4.9 경제성 분석 입력 데이터 ····· 66
표 4.10 육상태양광 발전소 연간 순현재가치 ····· 67
표 4.11 (a) 수상태양광 발전소 연간 순현재가치 ····· 68
표 4.11 (b) 수상태양광 발전소 연간 순현재가치 ····· 68
표 4.12 SMP 월별 평균가를 기초로 변동성 추정(2009~2019년) ····· 70
표 4.13 육상, 수상태양광 발전소 기초자산() ····· 74
표 4.14 실물옵션 분석을 위한 변수 산정 결과 ····· 76

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

표 4.15 전진계산 관정을 통한 사상나무 작성 과정 ····· 77
표 4.16 (a) 육상태양광 기초자산 사상나무 ····· 77
표 4.16 (b) 제2안 수상태양광 기초자산 사상나무 ····· 78
표 4.17 수상태양광 기초자산 사상나무 ····· 78
표 4.18 (a) 육상태양광 의사결정나무(연기옵션) ····· 81
표 4.18 (b) 제2안 수상태양광 의사결정나무(연기옵션) ····· 83
표 4.19 제1안 수상태양광 의사결정나무(확장옵션) ····· 85

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

그 림 목 차

그림 1.1 중장기 재생에너지 발전 비율 목표 ····· 3
그림 2.1 석문저수지 수상 태양광발전 ····· 15
그림 2.2 수상 태양광 발전(K-water, 100kW) ····· 15
그림 2.3 수상 태양광발전(한국농어촌공사, 30kW) ····· 16
그림 2.4 수상 태양광발전(한국농어촌공사, 10kW) ····· 16
그림 2.5 수상 태양광발전(K-water, 100kW, 추적식) ····· 17
그림 2.6 아이치 저수지 수상 태양광발전소 ····· 18
그림 2.7 Far Niente 수상 태양광발전소 ····· 19
그림 3.1 프로젝트 우선수위의 결정 ····· 22
그림 3.2 실물옵션과 DCF의 분산 ····· 33
그림 3.3 불확실성과 옵션의 가치 ····· 43
그림 3.4 프로젝트 연기의 경우 가치변화 ····· 46
그림 3.5 확장옵션과 포기옵션의 이익함수 ····· 47
그림 3.6 재결합 모델과 비재결함 이항모형 ····· 52
그림 4.1 전라남도 'N댐' 위성사진 및 현장 사진 ····· 56
그림 4.2 1981~2010년 일사량 분포도 ····· 58
그림 4.3 태양광 연도별 SMP 단가 ····· 61
그림 4.4 태양광 셀 모듈 가격변동 추이 ····· 86

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

ABSTRACT

Research on the Evaluation of the Value of Renewable Energy Development Projects by Public Companies Utilizing Real Options

Na, Seoung Beom
Advisor : Prof. Jang, Woosik, Ph.D.
Department of Civil Engineering,
Graduate School of Chosun University

Recently, due to the frequent safety accidents on the SOC(Social Overhead Capital) infrastructure, the need for appropriate maintenance measure and budgetary support for infrastructure has surfaced. Especially in the case of water facilities, while its aging rate hits as high as 20.5%, it is difficult to secure the sufficient amount of budget, hence, delaying the improvement repair of the water facilities. Therefore, this study proposes a long term solution in reducing the maintenance of the national financial burden and support the government's policy goal of expanding the supply of renewable energy in the short term.

In this study, a solar energy construction project was assumed using the idle slope (land solar) and idle surface (water solar) of the'N Dam' in Jeollanam-do, a maintenance and repair facility of the Korea Rural Community Corporation, analyzing the economic feasibility using the value method (NPV), and additionally evaluating the business value(ROV) reflecting the volatility of the system limit price (SMP), which is considered as a major revenue volatility factor for renewable energy projects. After analyzing the results of the net present value (NPV), in the case for land solar power(Phase1), a value of (-)123 million won was analyzed and was

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

judged that there would be difficulties in decision making for business promotion. In addition, in the case of floating photovoltaic power generation (Phase2), the value of (+)3.52 million won(in low project cost forecast) and (-)2.66 billion won(in high project cost forecast) was analyzed and the ambiguity of decision-making was confirmed. This net present value (NPV) reanalyzed the business value by using real options analysis because uncertainty inherent in the business cannot be taken into account for this limit.

In the real option evaluation method, in the case of land solar power(Phase1) and solar power(Phase2), the defer option to improve business value is considered by taking account the passive business promotion decision-making due to the existing (-)NPV, and pending the business promotion until the business environment improves or the uncertainty is resolved and analyzed. As a result of analysis, the eNPV of land solar power(phase1) and floating solar power(phase2) was analyzed to be 322.2 million won and 2.73 billion won respectively, and this result shows that it is possible to take a different path than from the existing decision by securing an additional value compared to the existing (-)NPV. In addition, a scenario in which the facility is expanded to 5% according to changes in the future was analyzed by setting up a water solar construction project using 1% of idle water surface. As a result of analysis, the eNPV was analyzed to be 3.69 billion won, and this value means that an additional return of approximately 171.4 million won can be expected compared to the existing NPV analysis. However, it has been confirmed that this revenue has ambiguity in the promotion of expansion decision-making due to poor earnings compared to 65 billion won in extended investment costs. In this study, therefore, changes in the price of solar cell modules, which have the greatest impact on the cost of water solar power projects, were utilized, and ROV changes due to changes in the cost of business were analyzed additionally, and it was confirmed that it was reasonable to consider expansion options in the case of a decrease of 30% or more compared to the existing cost of business.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

제 1 장 서 론

1.1 연구배경 및 필요성

세월호의 비극은 대한민국의 전반적인 안전관리 문제점 및 대책을 되돌아보게 하는 가슴 아픈 계기가 되었다. 세월호 사건으로 인해 언제 어느 곳에서든지 발생할 수 있는 이러한 안전문제의 심각성을 깨닫고 우리나라 SOC 시설관련 안전문제와 그에 대한 대책을 심각하게 고민하게 되었다.

국내의 경우 1970~1980년대에 SOC 시설의 건설이 활발하게 진행되었고 현재 노후화 SOC 시설의 비율이 급격히 증가하고 있으며 이를 관리할 대응전략 구축이 시급하다. 더불어 전 세계적으로 SOC 시설의 신규건설이 감소하면서 전반적인 SOC 예산이 축소되고 있기 때문에 관련 예산의 부족은 적절한 시기에 필요한 유지보수를 하는데 제약을 가져올 수밖에 없다. 국내의 경우 SOC에 대한 투자가 2004년부터 지속적으로 감소해왔으며, 2013년부터 2017년까지 약 6%가 감소하여 노후화 SOC 시설물의 유지보수에 적절한 대응책 마련과 향후 전략적 예산확보 방안구축에 대한 필요성이 대두되고 있다(기획재정부, 2013).

국내 전체 SOC 시설의 노후율은 평균 9.3%로 파악되고 있다(KDI, 2014). 특히, 이 중에서 수리시설의 노후율이 20.5%로 높은 편이며, 댐의 노후율은 55.9%로 가장 높다. 또한, 표 1.1과 같이 국내 수리시설은 설치한지 50년이 경과된 시설물이 24%, 30~50년이 경과된 시설물은 30%로서, 30년이 넘은 시설물이 54%로 대부분을 차지하고 있어 재해발생이 매우 취약한 실정이다(농어촌연구원, 2014). 수리시설의 경우 노후화에 따른 사고발생시 그 피해규모가 다른 SOC 시설물보다 매우 클 것으로 예상되고 있어, 수리시설물의 장기적 유지보수 계획 및 예산확보방안의 구체화가 매우 중요하다.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

표 1.1 수리시설 설치 경과년수

구 분	계		1959년 이전		1960~1979		1980~2010	
	시설수	면적(ha)	시설수	면적(ha)	시설수	면적(ha)	시설수	면적(ha)
계	69,313	777,494	16,955 (24%)	207,783	20,668 (30%)	292,816	31,690 (40%)	276,895
저수지	13,374	516,538	2,981 (22%)	123,378	4,192 (31%)	204,526	6,201 (47%)	188,634
양·배수장	55,939	271,448	13,974 (25%)	94,897	16,479 (29%)	88,290	25,489 (46%)	88,261

현재 국내 수리시설 개보수 및 유지관리비는 국고, 지방비, 공사 충당금으로 집행되고 있으며, 연간 5000억원의 사업비가 필요할 것으로 예상되어진다. 수리시설은 한국농어촌공사, 한국수자원공사, 한국수력원자력과 시군(지자체)으로 구분되어 관리되고 있으며, 표 1.2와 같이 저수지를 포함한 전체 수리시설 7만1천개중 공사가 19%, 시군이 81%를 관리하고 있고, 관리면적은 공사가 66%, 시군이 34%를 관리하고 있다. 이는 공사 관리시설 수는 적지만 대부분 규모가 크고 현대화된 시설물을 관리하고 있기 때문이다.

표 1.2 전국 수리시설물 현황

구 분	계		공사관리		시군관리	
	시설수	면적(ha)	시설수	면적(ha)	시설수	면적(ha)
계	71,179	772,108	13,588 (19%)	517,375 (67%)	57,591 (81%)	254,733 (33%)
저수지	17,505	449,105	3,372	640,998	14,133	108,107
양·배수장	7,614	192,987	4,201	162,557	3,413	30,430
취입보등	144,449	130,016	5,862	13,820	38,587	116,196
방조제	1,611	-	153	-	1,458	-

현재 각 공사에서는 수리시설의 개보수 및 유지보수 비용확보를 위해 다양한 재정사업(대표적으로 신재생에너지사업)을 추진하고 있으나, 사업운영에 어려움 있어 충분한 유지보수 예산확보에 어려움이 있다(한국농촌경제연구원, 2013). 정부는 2017년 재생에너지발전량 비중 8.08%(한국에너지공단 2017년 신재생에너지 보급통계)을 2030년에 20%까지 높이는 것을 목표로 하는 '3020재생에너지 정책'을 발표하였고, 그림 1.2와 같이 태

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

양광에너지를 주력으로 점진적 확대를 목표하였다. 이에 대표적으로 한국농어촌공사는 농업기반시설(댐, 저수지, 농경유휴지, 지사건물)을 활용한 태양광사업을 통해 생산된 전력의 판매수입금을 기반정비 사업비(수리시설 유지관리비)로 재투입함으로써, 장기적으로는 유지보수 국가재정 부담을 경감하고 단기적으로는 정부 신재생에너지 보급 확대라는 정책목표 달성에 일정부분 역할을 담당할 것을 목표하였다. 하지만, 한국농어촌공사의 태양광사업은 경제성 평가에 전력판매수입의 변동성과 사업비 및 민원 등의 사업 위험성을 반영하지 못했다는 지적이 있다(김태후 외 2019).

신재생에너지 사업의 경제성 및 수익성과 관련한 선행연구는 주로 전자·정보통신(서미자 외 2015), 환경 및 토목·건축공학(하승룡 외 2008; 구본상 2013), 에너지(김종민·김기영 2008; 김영경·장병만 2012) 등의 분야에서 이루어졌다. 이들 연구는 대부분 전통적 가치평가 방식인 순현재가치법(Net Present Value, 이하 NPV), 내부수익률법(Internal Rate of Return, 이하 IRR), 비용편익비(Benefit-Cost Ratio, 이하 B/C Ratio), 에너지균등화비용법을 활용하여 신재생에너지 사업이 경제적으로 타당성이 있는지를 검토하였다. 그러나 기존의 연구들은 대부분 미래 사업추진과정에서의 위험 및 불확실성에 대한 고려 없이 경제성 또는 수익성을 분석하였다는 한계점을 가지고 있다. 신재생에너지 개발 사업은 대규모 초기자금의 투입이 필요하고, 한번 투입한 자금에 대해서는 되돌리기 어려운 불가역성이 매우 높은 사업이며, 시장 환경변화에 민감한 프로젝트이기 때문에 사업추진 이전 사업의 위험요인 및 불확실성을 고려한 경제성 분석 및 이를 통한 전략적 의사결정 방안구축이 매우 중요하다.

그림 1.2 중장기 재생에너지 발전 비율 목표 (산업통상자원부, 2017)

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

1.2 연구목적 및 범위

한국수자원공사는 국내 댐 및 저수지 수면의 약 5% 정도만 활용하더라도 약 4,170 MW 규모의 발전시설 건설이 가능할 만큼 개발 잠재량이 풍부하여 환경에 대한 훼손 없이 국토를 효율적으로 활용할 수 있다고 평가하였다(한국수자원공사, 2018). 이처럼 국내 수상태양광 사업의 잠재량 및 효율성을 인정받고 있으나, 실제 사업과정에서 전력판매단가 불확실성, 사업비 변동, 민원 등의 예측의 어려움으로 인해 사업추진의 난관을 겪고 있다.

이에 본 연구에서는 한국농어촌공사에서 관리하고 있는 전라남도 'N댐'을 대상으로 유휴사면 및 유휴수면을 활용한 태양광에너지 개발사업의 경제성을 평가하고, 미래 프로젝트 수익불확실성 및 사업위험에 대응하는 전략적 의사결정 방안을 구축하고자 한다. 앞서 설명한바와 같이 전통적 가치평가 방식은 미래상황이 고정되어 있다고 가정하기 때문에 다가올 변화와 불확실성을 반영하지 못하는 한계가 있어 신재생에너지 개발사업과 같이 변동가능성이 크고 운영기간이 긴 사업의 가치를 정확하게 평가하기 어려운 한계가 있다. 이에 본 연구에서는 미래 사업 환경의 변화와 사업 불확실성을 반영할 수 있는 실물옵션 가치평가 기법을 활용하여 전라남도 'N댐'의 태양광사업의 가치를 평가하고 미래 상황에 따른 전략적 의사결정방안을 도출하고자 한다.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

1.3 논문구성

본 논문의 제 1장은 연구의 배경 및 필요성과 목적 및 논문의 구성을 언급하였으며, 제 2장은 실물옵션을 활용한 신재생에너지 가치평가, 수상태양광 프로젝트 수행 현황 및 전략적 의사결정방안구축에 대한 연구동향을 분석하였다. 연구동향을 통해 신재생에너지 및 태양광에너지 개발사업의 주요 사업변동성 요인과 의사결정 방안에 대한 연구들을 알 수 있으며, 실물옵션을 활용한 신재생에너지 개발사업 가치평가의 적용 가능성을 확인할 수 있다.

3장은 실물옵션에 대해 구체적으로 설명하기 위해 기존 경제성 분석방법에 대한 설명을 하였으며, 이와 비교하여 실물옵션을 설명하였다. 실물옵션 개념 및 저변에 깔린 이론적 배경설명 및 실물옵션 모형종류 등을 설명하고자 한다.

4장에서는 실물옵션을 태양광에너지 개발 사업에 적용하여 기존 분석방법과의 절차와 결과를 비교하고자 한다. 본 연구는 실물옵션평가를 한국농어촌공사 관리대상인 전라남도 'N댐'에 대해서 적용하였다. 따라서 'N댐'의 유휴사면과 유휴수면을 활용한 태양광에너지 개발사업의 경제성 분석 자료에 대해서 간단히 서술하고 실물옵션평가 적용 절차에 대해서 설명하고자 한다. 또한 전통적 가치평가방법의 결과와 실물옵션평가방법의 결과를 비교 분석함으로써 본 연구에서 제시한 태양광에너지 개발 사업의 적절성 및 전략적 의사결정방안에 대해 분석하고자 한다.

마지막으로 전통적 가치평가방식과 실물옵션을 적용한 개념의 차이 및 실물옵션의 장점에 대해 정리하고 본 논문의 한계점 및 향후연구에 대해 서술하였다.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

제 2 장 선행연구 고찰

2.1 실물옵션을 활용한 신재생에너지사업의 경제성분석

최근 전 세계적으로 신재생에너지 장려정책으로 인해 사업투자가 증가하고 있으며, 그에 대한 실물옵션 기반 경제성분석에 대한 연구가 늘고 있다. 김경석 (2017)은 수력, 태양광, 풍력발전 신재생에너지원 별로 분류하여 실물옵션 기반 경제성분석에 대한 연구들을 고찰하였고, 본 연구의 2.1장에서는 실물옵션을 활용한 신재생에너지 사업 가치평가의 주요 불확실성요소와 적용옵션을 고찰하고자 한다.

2.1.1 수력발전에 대한 실물옵션분석연구

수력발전사업은 신재생에너지 사업 중 가장 오래된 역사를 가졌기 때문에 관련된 연구가 적지 않다. Bøckman et al. (2008)은 노르웨이의 수력발전 프로젝트에 대한 실물옵션 모델을 개발하고 연기옵션을 적용하여 수력발전소의 경제성과 최적규모에 대해 연구하였다. Kjærland (2007)는 수력발전 전기판매가격의 추세를 고려한 연기옵션을 적용하였고, 투자시기 따라 옵션 가치 계산할 수 있는 실물옵션 프레임워크를 개발했다. Lee et al. (2013)은 인도네시아 수력발전소 시설규모에 따른 경제적 가치를 탄소배출감축(Carbon Emission Reduction : CER)가격불확실성을 반영하여 분석하였으며, 정부와 투자자가 부담해야 되는 가격의 범위를 결정하는 연구를 수행하였다. Kim et al. (2016)은 춘천수력발전소의 기후변화에 따른 확장투자에 대한 경제성을 평가하는데 복합옵션을 적용하였다. 옵션적용으로 강우량이 증가하는 지역에서 수력발전사업의 확장은 경제성이 있는 투자라는 것을 증명하였다. Kim et al. (2017)는 기후변화의 불확실성을 고려하여 수력발전사업 확장의 최적 투자시기를 결정하는 실물옵션 기반 프레임워크를 개발하였다. 특히 이 연구는 기후변화 시나리오로부터 발전량을 산출하여 기후요소의 영향을 정량화하는 방법을 제시하였다.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

표 2.1은 실물옵션을 활용하여 수력발전 가치평가를 수행한 연구들을 국가, 옵션형태와 불확실성 요소별로 구분하여 정리한 것이다. 수력발전의 주요 불확실성 요인으로는 전기판매요금, CER가격, 에너지생산량 등이 있으며, 옵션의 형태는 연기옵션과 복합옵션을 주로 많이 적용하는 것으로 나타났다. 연기옵션의 적용은 전기요금의 가격 혹은 기후변화의 추이를 고려한 투자시점을 알기 위해 사용되고, 복합옵션은 수력발전사업의 추진단계가 계획, 설계, 시공 3단계로 이뤄지는 점을 활용하여 투자 여부를 매 투자시점 마다 결정할 수 있는 옵션을 보유함으로써, 프로젝트의 경제성을 향상시킬 수 있음을 확인하였다.

표 2.1 수력발전에 대한 실물옵션분석 연구동향

Authors	Country	Option Type	Uncertainty
Batista et al., 2011	Brazil	Defferal	CER price
Zavodov, 2012	China	Defferal	CER price
Lee et al., 2013	Indonesia	Chooser	CER price
Kim et al., 2016	Korea	Compound	Energy Production, Tariff, CER Price, O&M cost
Kim et al., 2017	Korea	Compound, Deferral	Energy Production, Tariff, O&M cost
Kjærland, 2007	Norway	Deferral	Tariff, Investment cost
Bøckman et al., 2008	Norway	Deferral	Tariff
Gaudard, 2015	Swiss	Abandonment	Tariff, Energy production

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

2.1.2 풍력발전에 대한 실물옵션분석연구

풍력발전은 신재생에너지 중 가장 빠른 성장세를 보이고 있다. 2015년에는 전세계 433GW의 시설이 설치되었고, 전년 대비 22% 성장하였다(REN21, 2016). 빠른 속도로 성장하고 있는 풍력발전은 신재생에너지 중에서도 가장 먼저 그리드패리티를 달성했다(Loncar et al., 2016). 하지만 풍력발전은 단점도 적지 않다. 육상풍력이 소음발생, 바람의 방향과 세기가 불안정한 단점을 갖는데 반하여, 해상풍력은 육상에 비해 보다 안정적인 풍력을 얻을 수 있는 장점을 갖고 있지만, 건설비와 전송망에 대한 설치비가 높다는 단점도 있다. 높은 비용을 낮추기 위해서 해상풍력은 대형화로 규모의 경제를 실현해야 한다. 대형 해상풍력 프로젝트는 큰 비용이 소요되므로 기획단계에서 사업의 경제성 평가가 중요하다.

풍력을 포함한 모든 신재생에너지는 불확실성이 매우 높은 환경 하에 있다. 기후변화는 신재생에너지 발전 사업을 성장시키는 원동력인 것이 사실이지만, 자연 자원을 이용하여 발전하는 신재생에너지의 에너지발생량을 예측하기 힘들게 하는 요소이다. 풍력은 자연 바람의 밀도와 세기로서 에너지를 발생시키지만, 기후의 불확실성이 증가 될수록 발전량을 예측하기 쉽지 않다.

실물옵션분석 방법을 풍력발전에 적용한 선행연구들은 적지 않게 있다. Barroso & Iniesta (2014)는 독일의 풍력발전에 대해 신재생에너지 사업을 독려하기 위한 제도적인 옵션을 고려한 경제성분석방법론을 제시하였으며, 불확실성 요소로서는 투자비, 전기생산량, 전기요금, 소비자물가지수(CPI)를 고려하였다. Loncar et al. (2016)은 15개의 불확실성요소들을 Public (Market)과 Private (Project)으로 구분하여 세르비아의 풍력발전사업에 복합옵션을 적용한 방법론을 제시하였다. Abadie & Chamorro (2014)는 영국의 전력 가격, 풍력 발전량 및 보조금의 세 가지 불확실성 요소들을 고려하여 풍력 발전 단지 프로젝트를 조사하기 위해 실물옵션모델을 개발하였으며, 옵션형태는 연기옵션을 적용하였다. Lee(2011)는 대만의 풍력발전 프로젝트에서 실물옵션분석의 효과를 입증했으며, 기초자산 가격, 옵션행사가격, 옵션행사시기, 및 무위험이자율, 변동성을 불확실성 요소로 고려하였다. Venetsanos et al. (2002)는 그리스의 전기 시장 규제 완화 이후 풍력 에

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

너지 프로젝트와 관련된 불확실성 평가방법을 개발했다. Martinez-Cesena & Mutale (2012)는 실물옵션 방법을 적용하여 소형 풍력발전 프로젝트의 가치를 평가하였다. 그들은 풍력발전 프로젝트의 설계단계에서 풍력자원의 양을 예측하는 것이 어렵고, 불확실성이 많다는 것을 고려하여 옵션분석을 하였다. Kim et al. (2014) 은 우리나라의 풍력 R&D 투자의 경제성을 평가하고 투자시기를 결정하는 연구를 하였다. 그들은 R&D단계를 세부분으로 나눠서 복합옵션을 적용하여 경제성 분석을 하였으며, 에너지생산량, 무위험이자율, 변동성, 풍력발전단가 하락률을 불확실성 요소로 설정하고 각 상황별 시나리오 분석을 하였다. Reuter et al. (2012)는 풍력발전의 불확실성을 기상상태에 의존한 에너지생산량과 정부정책에 많은 영향을 받는 전기판매가격으로 보고, 경제성분석 모델을 실물옵션방법으로 제시하였다. Kim & Chang (2014)은 준공 후 매각에 성공한 실제 풍력프로젝트에 대한 경제성분석에 실물옵션을 적용하였다. 에너지생산량, 전기판매금액, 그리고 이자율의 변동성을 고려하여 경제성을 분석한 결과, 매각금액이 저평가되었음을 확인하였다. Lee et al. (2012)은 해상풍력실증단지에 대한 경제성평가를 확장옵션을 적용해서 연구했다. 이 연구는 사업의 수익성은 국가의 전기판매 보조금에 의존하는 것과 해상풍력 대형단지가 경제성을 향상시킨다는 것을 밝혔다. 표 2.2는 과거 많은 연구들이 보조금이 포함된 전기판매 가격과 에너지생산량을 중요한 불확실성요소로 분류한 것을 보여준다. 타 신재생에너지와 유사하게 전기판매가격이 투자 여부를 결정하는 요소 중 하나이다. 하지만 풍력발전사업은 대형화를 이루고, 기술 발전으로 그리드패리티가 되었기 때문에, 다른 발전원료들과 경쟁구도에서는 보조금 지급여부가 더 이상 중요하지 않을 것으로 예상되며, 기후변화에 의한 에너지생산량에 대한 연구가 더 필요할 것으로 판단된다.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

표 2.2 풍력발전에 대한 실물옵션 분석 연구동향

Authors	Country	Option Type	Uncertainty
Kim & Chang*, 2014	Korea	Abandonment	Energy production, Tariff, Interest rate
Lee et al., 2012	Korea	Expansion	Tariff
Reuter et al., 2012	Germany	Chooser	Energy production, government policy
Kroniger & Madlener, 2014	Germany	Deferral	Energy production, Tariff, Capacity
Venetsanoes et al., 2012	Greece	Deferral	Tariff
Lee & Shih, 2010	Taiwan	Deferral	Tariff, Costs
Lee, 2011	Taiwan	Deferral	Underlying price, Operation Time, Risk-free rate
Kumbaroğlu et al., 2008	Turkey	Deferral	Tariff
Abadie & Chamorro, 2014	UK	Deferral	Tariff, Energy production, Subsidy
Martinez-Cesena & Mutale, 2012	USA	Deferral	Wind resouce assessment
Kim et al., 2014	Korea	Compound	Energy production, Risk free rate, Volatility, Decreasing rate of the unit cost of wind power

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

2.1.3 태양광발전에 대한 실물옵션분석연구

과거 태양광발전 프로젝트 투자에 대한 장려정책이 성공할 수 있었던 것은 정부 보조금의 영향이 크다. 최근에는 태양광 모듈 관련 기술의 발전으로 설비가격이 저렴해지면서 타 에너지원과의 가격경쟁력이 생겨 투자가 다시 활발해지고 있다. 또한 태양광발전은 장소와 크기에 상관없이 설치가 가능한 장점을 가지고 있다. 최근 태양광사업의 실물옵션 기반 경제성분석 관련된 연구가 활발하다. Zhang et al. (2016)은 CER 가격, 화석에너지가격, 투자비 및 전기판매가격 등 다양한 불확실성 요소들을 고려하여 중국 태양광발전 프로젝트의 경제성을 평가하기 위해 연기옵션을 적용한 실물옵션 모델을 제안했다. Detert & Kotani (2013)는 몽골에서 석탄화력발전과 신재생에너지원의 경제성을 비교하는 연구를 하였다. 태양광과 풍력의 경제성분석에 연기옵션을 적용하고, 석탄가격의 변동성 분석하여 에너지원 종류 선택에 대해 연구하였다. Jeon et al. (2015)는 우리나라 전기판매가격, 에너지 생산량, 금리, 위험 프리미엄(Risk Premium), 무위험 이자율 및 환율과 같은 불확실성을 반영하여 태양광발전 투자에 대한 최적의 정부 보조금을 산정하기 위한 실물옵션 모델을 제안했다. Kim et al. (2016c)는 기후시나리오를 활용하여 태양광의 에너지 생산량과 미래 전기판매가격을 예측하고, 포기옵션을 적용한 경제성분석에 대해 연구하였다. Martinez-Cesena et al. (2013)은 영국의 태양광 기술발전과 연기옵션을 고려하여 태양광투자사업의 경제성을 분석하는 방법을 제안했다. Kim et al. (2017)은 전기판매가격의 불확실성을 고려하고 태 양광설비 확장을 연기옵션을 적용하여 경제성분석 할 수 있는 프레임워크를 제시하였다. 이 연구는 아파트 옥상과 벽면에 태양광 시설 확장여부를 결정하는 방법을 제시하였다. Kim & Kim (2013)은 우리나라의 전기판매금액을 불확실성요소로 정의하고, 현재 시행되는 RPS (Renewable Portfolio Standard) 제도로 인해 확장하기위한 투자를 해야 하는 기업의 입장에서 경제성을 분석하였다. RPS 비율에 따라서 확장옵션으로 인한 경제적 가치를 분석한 이 연구는 태양광발전사업의 정부 정책 수립에 가이드라인을 제시하였다. Jeon & Kim (2010)은 우리나라의 발전차액제도를 고려한 태양광사업투자의 수익성에 대해 연기옵션을 적용하여 연구하였다.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

표 2.3은 태양광사업에 실물옵션을 적용하여 경제성 분석을 수행한 연구들이다. 태양광사업에서 고려된 불확실성 요소들은 주로 전기판매요금이 주를 이루고 있다. 이것은 태양광사업에 있어서 투자여부를 결정하는 가장 큰 요소가 정부의 인센티브정책이기 때문이다. 연구에서 가장 많이 적용된 연기옵션은 보조금이 포함된 전기요금의 추세에 의존하여 투자시기를 결정하는 트리거(Trigger)가 된다는 것을 보여준다. 태양광 프로젝트의 경제성은 전기판매가격의 불확실성이 주된 요소이며, 연기옵션을 보유하여 프로젝트의 수익성을 향상시키는 것을 많은 연구에서 볼 수 있다.

표 2.3 태양광발전에 대한 실물옵션 분석 연구동향

Authors	Country	Option Type	Uncertainty
Zhang et al., 2016	China	Deferral	Non-renewable energy cost, Tariff, CER Price, Investment cost
Jeon et al., 2015	Korea	Compound	Tariff, Energy production, Interest rate, Risk free rate, Exchange rate
Kim et al., 2016c	Korea	Abandonment	Energy production, Tariff
Detert & Kotani, 2013	Mongolia	Deferral	Non-renewable energy cost
Martinez-Cesena et al., 2013	UK	Deferral	Tariff
Kim & Kim*, 2016	korea	Deferral	Tariff
Kim & Kim*, 2013	Korea	Expansion	Tariff

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Lin & Wesseh, 2013	China	Deferral	Non-renewable energy cost
Kim et al., 2017	Korea	Deferral	Tariff
Jeon & Kim*, 2010	Korea	Deferral	Tariff
Choi et al., 2015	Korea	Expansion	Non-renewable energy cost

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

2.2 수상 태양광 발전시스템의 동향

국토가 협소한 우리나라의 경우 그동안 태양광 사업개발로 인하여 임야 및 농지 등의 환경훼손이 심각한 수준에 이르고 있어 신재생에너지개발이 다른 양상의 환경파괴를 일으키고 있다. 수상 태양광발전기술은 자연과 어우러진 친환경융합기술로 태양광부문의 태양광모듈기술의 비약적 발전과 가격경쟁력확보, 주변기술 등이 획기적으로 개발될 경우 친환경·수자원분야의 미래성장 동력으로 자리매김 할 수 있을 것으로 예측되어진다.

2.2.1 국내동향

국내 수상 태양광발전은 2009년 이후 여러 기관에서 다양하게 개발되어 홍보하고 있다. 최근 들어 상용화된 제품들이 등장하면서 대규모의 발전소가 건립되기 시작하였으며, 국내에서 선보이고 있는 수상 태양광발전 기술을 설치된 순서대로 설명하면 다음과 같다.

(1) 석문저수지

석문저수지에 설치된 수상 태양광발전 구조물은 2007년에 설치된 것으로 추정되며, 이 구조물은 부유식 구조물 일부에 태양광모듈 9장을 설치한 것으로 별도의 계류장치 없이 저수지 주변에 고정하고 있으며, 수상 태양광발전에 대한 가능성을 시험하기 위해 설치된 것으로 추정된다.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

그림 2.1 석문저수지 수상 태양광발전

(2) 합천댐 (K-water, 100kW)

K-water에서는 2009년 주암댐에 설치한 시작품을 시작으로 지속적인 연구를 수행하여 최초로 상용화된 사업목적의 수상 태양광발전소를 건립하였다. 이 발전소는 100kW급의 용량으로 단위구조물 9기를 수상에서 서로 연결하는 방식으로 시공하였다. 각 단위구조물은 수상 태양광발전에 대한 표준화된 모델을 개발하기 위한 목적으로 구조물을 구성하는 구조재를 강재, 알루미늄, FRP 3가지 형태로 적용하였다. 검토결과 FRP구조물이 가장 경제적인 것으로 평가하였다.

그림 2.2 수상 태양광 발전(K-water, 100kW)

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

(3) 부안군 청호저수지 (한국농어촌공사, 30kW)

국내에서 저수지에 최초로 설치된 사업용 수상 태양광 발전소는 전라남도 부안군 청호지에 설치된 발전소이다. 이 발전시설에 사용된 구조재는 STS 304 강재와 FRP가 사용되었고, HDPE 원통관에 경량채움재를 충전한 부력체를 적용하였다. 또한, 유지관리 등을 목적으로 수상 태양광 발전소까지 부교를 설치하였다.

그림 2.3 수상 태양광발전(한국농어촌공사, 30kW)

(4) 군포시 반월저수지 (한국농어촌공사, 10kW)

그림 2.9에 나타낸 구조물은 한국농어촌연구원에서 협력 업체와 국가연구개발 사업을 참여하여 설치한 수상 태양광발전 시설이다. 이 시설은 구조물의 일부에 물을 채우고 구조물 내부에서 물을 이동시킴으로 구조물의 무게중심을 변화시켜 태양광모듈의 전면이 태양을 추적할 수 있도록 구성한 추적식 시스템이다.

그림 2.4 수상 태양광발전(한국농어촌공사, 10kW)

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

(5) 합천댐 (K-water, 100kW, 추적식)

K-water에서는 국토해양부 R&D지원으로 100kW급 추적식 수상 태양광발전소를 건설하였다. 이 시스템은 부유되어 있는 대규모 중량물을 회전시키는데 비교적 작은 에너지가 소비되는 아이디어에서 출발하여 약 25kW급의 원형구조물을 제작하여 모터에 의해 회전하는 시스템과, 액츄에이터에 의해 경사가 변동하는 시스템을 모두 갖추고 있다.

그림 2.5 수상 태양광발전(K-water, 100kW, 추적식)

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

2.2.2 해외동향

해외 기술선진국들에서는 현재 기술적인 측면에서뿐만 아니라 제도적이 측면에서도 신재생에너지의 개발을 위해 노력하고 있다. 특히, 수상 태양광발전에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다. 그러나 2014년 일본에서 건립된 1.2MW급의 수상 태양광발전소를 제외하면 아직까지는 대규모 태양광발전단지를 조성하기 위한 연구는 출현하고 있지 않으며, 주로 소규모의 다양한 형태로 건설되고 있다. 해외에서 설치된 수상 태양광발전소를 간략하게 정리하면 다음과 같다.

(1) 일본 아이치현 니신시 아이치 저수지

그림 2.14에 나타낸 수상 태양광발전 시설은 60kW급 용량으로 부유체를 FRP재질로 제작하였으며, 시스템의 신뢰성, 효율성 등을 시험하고 있다.

그림 2.6 아이치 저수지 수상 태양광발전소

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

(2) 미국 Far Niente, Napa Valley, California

그림 2.17에 나타낸 수상 태양광발전소는 약 477kW급으로 부유체를 폴리에틸렌 재질의 플로트파이프와 사각형 드럼을 사용하고 있다. 본 발전설비는 수면의 특성을 고려한 태양광발전이라기보다는 용수 확보를 위한 수분증발을 억제하기 위한 용도로 사용되어진다.

그림 2.7 Far Niente 수상 태양광발전소

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

제 3 장 이론적 배경

3.1 실물옵션의 개념 및 이용실태

3.1.1 실물옵션의 개념

본 연구에서 사용하는 실물옵션(real option)이란 금융옵션의 상대적 개념으로 전통적 NPV의 한계점을 극복하고 사업운영 중에 포착되는 투자연기 선택권, 철수선택권, 성장기회 선택권, 단계적 투자선택권, 등의 실물투자 의사결정 옵션을 말한다. 실물옵션의 개념은 MIT 슬론(Sloan)경영대학원의 Stewart Myers 교수가 전략적 계획과 재무활동에 관한 설명을 하는 과정에서 도입된 것으로, Fisher Black, Myron Scholes 및 Robert Merton등에 의해 도입된 금융옵션 가격결정이론을 실물자산의 평가 및 관리에 응용한 개념이다. 실물옵션은 투자사업의 미래현금흐름의 현가를 추정하고 미래 의사결정단계(decision node)에서 프로젝트의 연기, 확장, 축소, 전환 등의 옵션가치를 산정하여 프로젝트의 가치를 극대화시킬 수 있는 전략적 방향을 선택하는 투자결정이론이다. 실물옵션의 가장 큰 특징은 의사결정 단계마다 대상 옵션의 선택에 대한 의무가 아닌 권리를 갖는 옵션 고유의 성격에서 찾을 수 있다.

금융기초자산을 미래의 일정시점 혹은 기간 내에 매입이나 매도할 수 있는 행사가격을 사전에 결정하여 권리 매입자는 유리한 경우에만 매도나 매입 할 수 있는 권리를 가지는 반면 의무는 없는 계약관계를 금융옵션이라 한다. 이 경우 권리 매입자의 최대 손실은 권리매입을 위하여 지불한 프리미엄에 국한되어 선물 거래 시 발생하는 이론적 무한대의 손실과는 구별된다. 옵션 행사 가능시기에 따라 미국식 옵션, 유럽식 옵션 및 버뮤다 옵션 등으로 나눌 수 있다. 미국식 옵션은 옵션만기 전 언제든지 권리를 행사할 수 있으나 유럽식 옵션은 만기시점에만 가능하고 그 이전에는 행사를 할 수 없다. 반면에 이 두 옵션의 특성을 조합시킨 버뮤다 옵션은 약정한 특정기간에는 권리행사가 제한되고 나머지 기간은 만기 전에라도 옵션행사가 가능한 옵션이다.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

3.1.2 실물옵션의 중요성 및 선진기업의 이용실태

1) 실물옵션의 중요성

실물옵션가치에 영향을 미치는 주요변수는 투자사업의 현금흐름에 대한 변동성과 옵션 프리미엄으로, 변동성이 클수록, 그리고 옵션 프리미엄이 작을수록 옵션가치가 커진다. 현재와 같은 대규모 투자와 과거와는 비교할 수 없을 정도로 커진 변동성 및 장기 투자기간에 적합한 평가모형이 바로 실물옵션모형이며 기업에서 이를 사업위험관리, 성장기회의 포착, 기업의 인수 및 합병 시 자산의 평가, 불확실한 전략사업에 대한 투자, 등에 이용되고 있다. 경우에 따라서 현 사업에서 굳건한 우위를 유지하거나 신사업 대열에 합류하기 위하여 실물옵션기법이 이용되기도 한다.

실물옵션은 새로운 사업 환경에 따른 혁신적인 해답이라기보다는 가치평가 및 자산배분을 개선하고 결국에 가서는 주주가치를 증진시키는 점진적 과정의 일부로 인식되고 있다. 실물옵션의 이용에 대한 강요는 없으나 장기적 관점에서 실물옵션이 전통적 DCF 모형보다 우수한 의사결정기법으로 경쟁우위를 제공할 수 있는 논리적 근거를 갖고 있다.

특히, 오늘날 에너지산업 혹은 생명과학산업과 같은 분야에서 기업의 생존과 성장을 위한 미래의 불확실한 수익에 막대한 투자가 요구되나 전통적 가치평가방법으로는 이러한 위험성 있는 투자에 대한 정당성을 확인시켜줄 수 없을 경우 실물옵션이 유용한 수단으로 이용되고 있다.

Mun(2006)이 지적하였듯이 실물옵션은 오늘날과 같이 매우 불확실성이 큰 투자환경하에서 취할 수 있는 미래의 다양한 경영의사결정을 평가시점에서 반영하여 가치를 산정하고 장기적인 시각을 요구하는 전략적 프로젝트의 옵션가치를 확인할 수 있으며 또한 실물옵션을 통하여 프로젝트의 최적 투자시기와 가치 그리고 비용과 수익요인을 확인할 수 있다. 더불어 프로젝트의 우선순위 결정에 있어 경영의 유연성을 감안하지 않는 NPV와 유연성을 고려하는 실물옵션 모델 간에 차이가 날 수 있으며 이것이 기업의 성장전략에 큰 영향을 미칠 수 있다.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

예를 들어 기업이 아래 그림 3.1과 같이 4가지 투자 사업안을 검토하고 있을 때 C 프로젝트의 경우 신기술 개발이어서 초기의 현금흐름이 B 투자안보다 좋지 않아 NPV 관점에서 투자 운서순위는 A-D-B-C가 되겠지만, 경영의 유연성을 고려한 실물옵션 관점에서는 A-D-C-B로 B와 C의 순위가 바뀌게 된다. 즉, 기업이 정한 거부율(Corporate Hurdle Rate)을 고려하면 NPV 경우 프로젝트 C를 버리고 B를 택하여 전략적 가치가 떨어지는 투자를 하게 된다. 따라서 기업에서 투자우선 순위를 고려할 때 실물옵션을 이용한 투자안 분석이 절대적으로 필요하다.

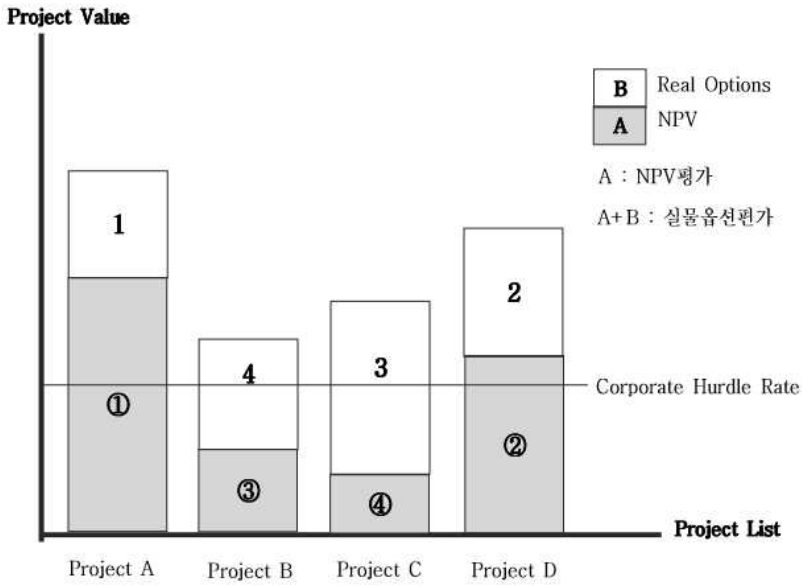


그림 3.1 프로젝트 우선수위의 결정

기업의 미래성장을 위한 전략적 기반투자의 경우 대부분 시장의 미성숙이나 초기에 집중되는 투자로 인하여 NPV가 음수가 되어 투자를 기각하게 되는데 이러한 그릇된 투자결정에 대한 잘못을 바로잡아 줄 수 있는 평가방법이 바로 실물옵션이다. 만약 경쟁자가 실물옵션을 이용하여 전략적 투자를 결정하는 반면 특정 기업은 NPV를 고집하여 투자를 기각한다면 해당 기업의 향후 경쟁력은 약화될 것이다.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

2) 선진기업의 이용실태

Triantis와 Borison(2001)이 7개국 34개 기업을 조사한 결과 이들 기업들은 실물옵션을 기업 내 의사결정과정에서 논의의 기준으로 삼을 뿐만 아니라 모든 업무과정(Business Process)에서 전략적 옵션을 확인하고 이를 적극 활용하여 기업의 가치를 높이려는 수단으로 이용하는 것으로 확인하였다.

한편 Tom과 Valdimir(2001)는 아래 표 3.1과 같이 다국적 기업의 상당수가 이미 1990 년 초반부터 실물옵션을 기업의 투자의사결정 뿐만 아니라 다양한 분야에 적극 활용하고 있으며 이러한 추세는 더욱 확대되어지고 있다는 것을 확인하였다. 더욱이 이들 기업들의 실물옵션 적용분야가 신제품 개발, 사용연료의 전환뿐만 아니라 기업의 시장철수, 공급옵션가치산정, 특허기술 가치산정과 같은 매우 다양한 분야로 확대되고 있는 것이 밝혀졌다.

표 3.1 주요기업들의 실물옵션 적용분야 및 이용 시기

기업명	이용 시기	적용분야
▪ Enron	1994	신제품 개발 및 사용연료의
▪ Hewlett_Packard	1990s	전환제품의 생산 및 유통
▪ Anadarko Petroleum	1990s	유정입찰(Bidding for Oil Reserves)
▪ Apple	1995	PC사업에서 철수 결정
▪ Cadence Design System	1990s	특허기술 가치산정
▪ Tennessee Valley Authority	1994	전력구매
▪ Mobile	1996	가스전 개발
▪ Exxon	1990s	석유탐사 및 개발
▪ Airbus Indistries	1996	공급옵션의 가치산정
▪ ICI	1997	신규공장건설
▪ Texaco	1990s	석유의 탐사와 생산
▪ Pratt & Whitney	1989	운영리스의 취소결정

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

최근 이와 같이 실물옵션 평가가 활성화되는 이유는 과거와 같이 실물옵션의 적용이 시장에서 거래되고 있는 상품에만 국한되지 않아도 되고 옵션가치 계산을 위하여 고등수학 지식이 필요치 않고 과거에 비해 훨씬 성능이 향상된 PC가 보급되었으며 또한 옵션가치 평가기술이 진보하여 단순 옵션에서부터 다양한 복합옵션이나 무지개옵션 등의 가치산정 모델이 개발되어 그 응용범위를 넓어지고 있기 때문이다.

3) 실물옵션의 산업계 적용 예

Kodukula와 Papudesu(2006)는 실무옵션 개념이 본격적으로 산업계에 적용되어 이용되기 시작한지는 오래지 않지만 응용분야가 점차 넓어지고 있다고 분석하였다.

(1) 자동차산업 및 일반 제조업

미국의 자동차 제조업체인 GM의 경우 한정된 시간 안에 보다 저렴한 자원을 조달하기 위하여 전환옵션을 신형 자동차 생산에 적용하고 있다. GM은 최소 구매량을 요구하는 글로벌 기자재 및 부품 공급자들로부터 과도한 재고를 떠안고 있었는데, 자재구매 시스템에 옵션적 요소를 활용하여 특정지역의 기자재나 부품비가 과도하게 높을 경우 다른 지역으로 구매처를 돌리는 전환옵션을 이용하여 큰 성과를 이루었다. 즉, 자재공급자와 구매계약을 체결할 때 추가적인 옵션 프리미엄을 지불하면서 계약자재의 전부를 특정지역에서 다른 지역으로 구매소스를 전환하거나 최소한의 구매만 하고 나머지는 다른 경쟁적인 곳에서 구입한다. 특히 실물옵션의 이용은 지역 간 가격 변동성이 클수록 가격위험을 해지시킬 수 있는 좋은 대안이 되고 있다.

(2) 정유산업

정유공장은 원유를 일차적으로 상압 증류하여 얻는 LPG, 가솔린, 등유, 경유, 중유 등과 같은 제품 이외에 상압증류 탑 하단부에 정제하고 남은 잔사유를 재증류하여 가솔린 혹은 디젤과 같은 고부가가치 제품을 생산하기 위한 고도화 시설에 투자하여 시장상황에 따라 상대적으로 유리한 제품의 생산량을 늘리고 그렇지 못한 제품은 줄이는 프로닥 믹스(product mix) 전략이 가능하도록 전환옵션(option to switch)을 이용한다. 이 경

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

우 옵션을 보유하기 위한 옵션 프리미엄은 설비고도화 비용이 된다.

아울러 재품의 생산량을 늘리기 위한 확장옵션을 구사하기 위하여 공장건설 초기에 향후 확장을 위한 전기, 스팀 및 에어 등과 같은 유틸리티 설비는 물론 배관 및 프로세스 설비규모를 여유 있게 고려하게 된다.

(3) R&D 산업

연구개발의 경우 NPV로는 단기에 수익이 나지 않아 사업을 포기하여야 하지만 선행 연구사업이 향후 전개되는 후속사업의 기반이 되어 기업에 커다란 수익을 제공할 수 있기 때문에 연기옵션, 포기옵션 및 단계적 투자옵션을 이용하여 대규모 연구사업을 평가하게 된다. 근시안적 모델로는 단기 현금흐름의 결과가 매우 불투명한 연구개발 사업을 포기하게 되지만 현실세계에서는 도처에서 진행하고 있는 그 이론적 근거는 바로 실물옵션 개념에 있다고 할 수 있다. 기업들은 매 사업기간 마다 여러 옵션을 고려하여 프로젝트를 추진하게 된다.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

3.1.3 금융옵션과 실물옵션의 차이

Mun(2006)은 금융옵션과 실물옵션은의 차이점을 아래 표 3.2와 같이 밝히 고 있다.

표 3.2 금융옵션과 실물옵션의 차이

구 분	금융옵션	실물옵션
*만기	수개월	수년
*기초자산	주식, 이자, 환율과 같은 금융자산	부동산 및 공장과 같은 실물자산
*개인의 능력에 따라 옵션가치의 증감 가능성	개인 능력에 따라 증감 불능	경영자의 경영능력에 따라 기초자산인 실물자산 가치가 변화하여 옵션가치도 증감하게 됨
*거래역사	130년 이상	10여 년 전부터 기업에서 실무적으로 투자평가에 응용
*옵션가격 산출 방법	Black-Scholes와 같은 편미분방정식을 이용	Black-Scholes 방정식 보다는 적응성이 큰 이항분포 모델이 실무적으로 이용됨
*시장성과 유동성	금융옵션시장이 잘 발달되어 있어 공정시장가격 거래가 활성화 되어 유동성이 큼	금융옵션과 같은 시장이 존재하지 않아 유동성이 매우 낮음
*옵션가치 손익 분배 대상	광범위한 금융옵션시장 참여자들	옵션을 보유한 기업/프로젝트의 주주
*옵션가치 산출을 위한 투입 요소	기초자산가격(S), 실행가격(X), 변동성(σ), 만기(T), 무위험이자율(r_f) 등에 임의적 요소가 거의 없음	5가지 옵션가격 투입요소 중, 기초자산, 변동성 부분에 임의적 요소가 있을 수 있음.

이들의 특징을 요약하면 다음과 같다. 첫째, 기초자산(S)은 금융옵션의 경우 주식, 이자율, 외환 등인데 반하여 실물옵션은 프로젝트 미래현금흐름의 현재 가치이다. 금융옵션은 유동성이 커서 시장거래가 매우 활발하나 실물옵션은 실물자산에 대한 시장거래가 제한적이라 유동성이 낮다. 둘째, 금융옵션에서 행사가격(X)은 금융자산을 매입하거나

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

매도할 수 있는 가격인데 반하여 실물 자산의 경우는 미래현금흐름을 발생시키기 위한 투자비용이다. 셋째, 옵션권리를 행사할 수 있는 만기(T)는 금융옵션이나 실물옵션의 권리행사 가능기간을 의미한다. 따라서 만기가 지나면 옵션권리는 자동적으로 소멸되어 옵션가치를 얻지 못하게 된다. 금융옵션 보유자는 옵션기간 안에 매입이나 매도를 하여야 되는 반면 실물옵션 보유자는 투자를 하거나, 연기, 확장, 축소 등을 하여야 한다. 넷째, 변동성(σ)은 금융자산의 경우 주식, 이자율, 외환 등에 대한 수익률 변동을 의미하며, 실물자산의 경우는 투자사업의 미래현금흐름의 변동을 말한다.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

3.2 실물옵션과 전통적 평가방법

3.2.1 전통적 가치평가모형의 한계

Hayes와 Garvin(1982)은 표준적인 NPV를 이용하는 기업들의 근시안적 시각으로 인하여 프로젝트의 가치를 제대로 평가하지 못하고 경영의 유연성에 대한 가치를 바르게 인식하지 못하여 소중한 투자기회를 잃는 경우가 많다고 지적하였다. 또한 Mayers(2004)는 전통적 NPV 모델의 한계성 때문에 중요한 운영옵션이나 전략옵션을 내포하고 있어도 이에 대한 가치를 산출할 수 없다고 주장하였다.

1) 순현가(NPV)법

Bacidore, Boquist, Milbourn, 및 Thakor(1967)와 Hevert(2001)는 전통적 DCF모형 중 가장 대표적인 NPV 모형이 매우 단순하여 이해하기가 쉽고 모든 프로젝트에 일관된 적용을 할 수 있으며 엄밀한 의미에서 가치평가자의 위험에 대한 태도와는 관계없이 동일한 NPV를 갖게 된다고 주장하였다. 그러나 NPV는 이러한 장점에도 불구하고 프로젝트의 불확실한 미래현금흐름을 평가 시에 확정한다는 비현실성과 사업기간 동안 접하게 되는 환경변화에 능동적으로 대응하여 얻을 수 있는 경영의 유연성을 전혀 고려하지 못하고 있으며 미래는 시간의 경과에 따라 불확실성이 증폭됨에도 불구하고 단일 할인율을 쓴다는 결정적인 문제점이 있다. NPV의 이러한 한계점은 그 동안 여러 학자에 의하여 비판을 받아왔으며 이를 정리하여 요약하면 다음과 같다.

첫째, 미래의 경영환경은 소비자들의 취향변화, 거시경제변수의 불규칙한 변동, 신기술의 발전, 등의 요인에 의하여 과거와 비교할 수 없을 정도로 급변할 수 있음에도 불구하고 NPV는 평가 시점에 결정된 사업내용이 종료 시까지 조정 없이 지속된다는 비현실적 가정에 근거하여 그 결과를 수용하기가 어렵다.

둘째, 기업은 통상적으로 여러 사업단위(business unit)로 구성되어 있어 이들 상호간에 네트워크 효과, 시너지효과, 분산효과 등을 갖게 되는 것이 일반적인데 NPV는 특

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

정 프로젝트를 독립된 사업으로 고립시켜 현금흐름을 산출하여 이러한 다양한 효과에서 오는 이점을 충분히 고려하지 못하고 있다. 즉, 투자 사업을 진행하면서 목적사업의 유통구조나 인지도를 이용하여 전후방 사업에 참여하여 네트워크 및 시너지효과를 기대할 수 있으나 이를 무시한 NPV는 단선적인 평가에 그친다.

셋째, 프로젝트 운영기간(project life cycle) 동안 경영환경 변화의 단계마다 능동적인 의사결정이 요구됨에도 불구하고 NPV는 초기 결정대로 투자 사업이 운영된다고 가정하는 수동적 입장을 취하고 있어 현실감이 떨어지는 평가방법이다. 통상, 목적사업을 운영하는 동안 시장상황이 사업을 계속시킬 수 없을 정도로 좋지 않을 경우 조업단축, 생산시설의 전용, 가능한 범위에서 생산제품의 변경, 생산원가를 낮추기 위한 투입원료의 변경, 그리고 최종의 경우 매각 등과 같은 다양한 조치를 취하는 것이 현실임에도 불구하고 NPV는 이러한 중도변경이 없는 것으로 가정한다. NPV는 이러한 다양한 미래 환경변화를 수용하지 못하는 정적인 투자결정분석법이라 할 수 있다.

넷째, 경영환경의 변화에 따른 사업위험이 상존하는 투자사업의 미래 현금흐름을 확정적이라고 보는 NPV의 가정은 현실적으로 받아들이기 어렵다. 왜냐하면 어떠한 투자사업이라도 업종의 특성에 따른 경기순환으로 인한 현금흐름의 변동성을 보이기 때문이다. 이를 극복하기 위한 미래현금흐름의 시나리오 추정법에 의한 단순한 확률적 기댓값을 산출할 경우 투자가치가 낮아져 그릇된 판단을 내릴 수 있다.

다섯째, NPV에서 가장 민감한 투입변수 중에 하나가 바로 할인율(discount rate)인데 이를 계산하기 위하여 필요한 자기자본비용을 다음과 같은 CAPM 모델에 의해서 계산할 수 있다는 가정은 현실성이 떨어진다.

$$E(r_i) - r_f = \frac{Cov(r_i, r_M)}{\sigma_M^2}[E(r_M) - r_f] = \beta_i[E(r_M) - r_f]$$

단, $E(r_i)$: 자산 i의 기대 수익률

r_f : 무위험수익률

$E(r_M)$: 시장 포트폴리오 수익률

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

βi : 자산 i의 체계적 위험의 측정치로, $\beta i = \frac{Cov(r_i, r_M)}{\sigma_M^2}$

앞의 식에서 자기자본비용인 $E(r_i)$를 계산하기 위해서 개별기업의 체계적 위험 측정치인 β_i가 결정되어야 한다. 이 β_i는 개별자산의 수익률과 시장포트폴리오 수익률의 공분산을 시장포트폴리오의 분산으로 나누어 구하는데, 문제는 개별자산의 수익률과 시장수익률이 자산가격의 변동성 때문에 정확한 투자베타를 구하기 어려운 단점이 있다. 베타는 시장포트폴리오 값에 대한 기업의 주식 값의 변화로 볼 수 있는데 이 두 수치가 항상 변하기 때문에 값을 정하기 어렵다. 즉, 측정하는 시간에 따라 베타가 크게 변동하게 되어 결국 자기자본비용이 변하여 WACC도 일정한 값을 가질 수가 없게 된다. 더구나 유동성이 매우 낮은 실물자산에 대해서 베타를 합리적으로 구하는 것은 거의 불가능하다. 단 하나의 사업이며 시장에서 거래가 되지 않는 프로젝트 베타에 대한 대용으로 여러 프로젝트의 포트폴리오로 구성하고 있고 시장에서 거래되고 있는 기업의 베타를 이용하는 것은 잘못된 결과를 낳게 된다.

여섯째, 일반적으로 잔여가치는 사업운영 마지막 연도의 현금흐름이 성장 없이 영구히 지속된다는 가정과 성장률이 일정률로 증가하면서 영구히 계속된다는 가정의 일정성장률모델(Gordon Constant Growth Model)이 있다.

$$\text{제로 성장 잔여가치} = FCF_t / WACC$$
$$\text{일정성장 잔여가치} = FCF_t(1+g)/(WACC-g)$$

고든의 일정성장률 모델에서 문제점은 가중평균자본비용이 성장률보다 작을 경우 잔여가치의 산출이 불가능하게 되는 계산상의 문제와 더불어 성장률이 일정하게 계속된다는 가정의 현실성에 대한 의문이 아울러 지적되고 있다.

일곱째, NPV에서 미래현금흐름 할인율인 WACC에 반영된 위험이 일정한 것으로 가정하고 있으나 기술변화가 빠르고 사업환경이 급변하는 시대의 위험은 동적인 성격을 내포하고 있어 고정 할인율 가정은 NPV의 최대 제약점으로 작용하고 있다. 먼 미래는 가까운 미래보다 불확실성과 그에 따른 위험이 커 할인율도 커지는 것이 당연함에도 불구

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

하고 일정한 할인율을 적용하는 것이 합당하지 않다.

정리하면 NPV는 단순성과 직관적 이해가능성 및 오랜 기간 동안 투자결정 방법으로 사용해왔기 때문에 투자책임자에게 별도의 설명이 필요 없는 장점을 갖고 있으나 투자사업의 미래현금흐름 변동성이 당연함에도 불구하고 이를 불변하는 것으로 확정한 후 문제가 있는 고정할인율로 할인하여 미래현금흐름의 현가를 계산한 뒤 투자현가와 비교하여 투자여부를 결정하는 것은 큰 문제점이 아닐 수 없다.

한편, Hayes와 Garvin(1982)은 상기에서 언급한 NPV적용에 대한 한계점 이외에 NPV가 갖고 있는 경영의 유연성을 고려하지 않는데서 오는 저평가문제와 당장에 NPV가 부(-)의 현금흐름을 보이지만 기업의 미래성장기반이 되는 전략적 투자를 기각하여 결국에는 기업의 성장 잠재력을 저하시키고 이어 기업 가치를 떨어트리는 잘못된 투자결정을 유도할 수 있다는 점을 지적했다.

2. 내부수익률(IRR)법

IRR 평가방법은 결과 수치를 직관적으로 자본비용과 대비하여 이보다 큰 경우 기업가치를 증가시키기 때문에 투자안을 수락하고 반면에 작으면 기각시킨다는 매우 명쾌한 투자안 평가기준을 갖고 있으나 내부수익률이 일반적으로 다항식 전개 산식으로 계산되기 때문에 복수의 내부수익률 혹은 내부수익률 부재를 보이는 경우가 발생하는 문제점을 보이고 있다.

내부수익률은 미래유입현금흐름의 현가와 현금유출 현가를 같게 하는 할인율이기 때문에 다음과 같은 계산식을 보이게 된다.

$$\sum_{t=o}^{n} \frac{R_t}{(1+IRR)^t} = I_0$$

이러한 n차 다항식은 n 개의 해가 존재하게 되는데 대부분의 투자안에 있어서 한 개를 제외한 해는 의미가 없게 된다. 일반적으로 투자안의 내부수익률은 하나만 존재하지만 투자로부터 기대되는 현금흐름이 양(+)에서 음(-)으로 혹은 음에서 양으로 한번이상

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

바꾸게 될 경우 내부수익률이 복수가 될 수 있다.

예를 들어 어떤 투자안의 미래현금흐름이 다음 표3.3과 같을 때 할인율에 따른 순현가를 플로팅 해보면 이 투자안의 내부수익률은 25%와 400% 이다. 이와 같이 복수의 내부수익률이 존재하는 경우에는 어느 수치가 우월하다는 근거가 없기 때문에 모두를 투자안 평가의 근거로 삼을 수 없게 된다.

더불어 투자기간 동안 사업 환경이 변하여 기간별 자본비용이 k1, k2, k3,…, kn 과 같이 달라질 경우 내부수익율법을 사용하면 투자안의 수락과 거부를 판단할 자본비용의 선정이 어려워 투자안 평가 방법으로 사용하기가 곤란하게 된다.

표 3.3 투자안의 증분현금흐름

단위 : 천 달러

년도	기존시설의 현금흐름	대체시설의 현금흐름	증분현금흐름
0	-1,600	0	-1,600
1	+20,000	10,000	+10,000
2	0	10,000	-10,000

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

3.2.2 실물옵션과 NPV의 한계

1) 현금흐름의 분산과 위험

Mun(2006)에 따르면 위험을 미래 현금흐름의 변동성으로 정의할 때 아래 그림 3.3과 같이 DCF의 현금흐름에 대한 분산이 실물옵션의 분산보다 훨씬 큰 것을 확인 할 수 있다.

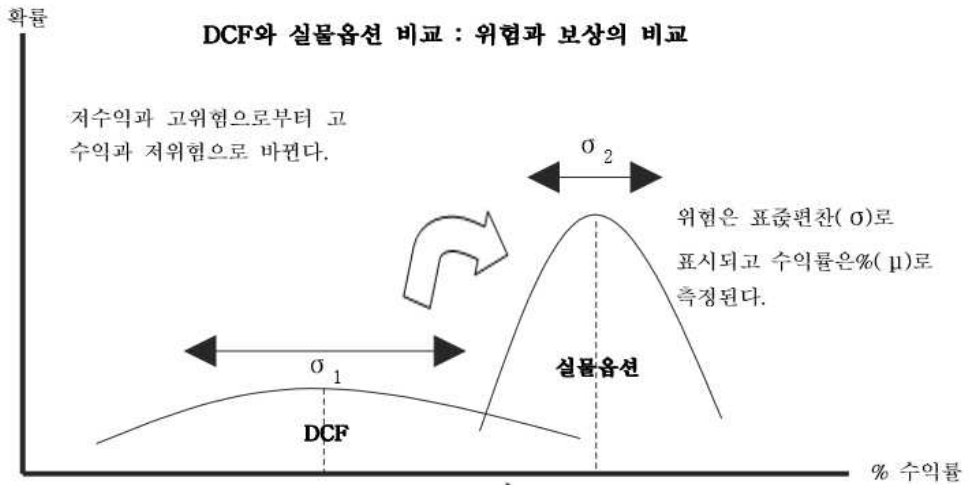


그림 3.2 실물옵션과 DCF의 분산

그 원인은 NPV의 미래현금흐름이 불확실한 경영상황의 변화에 그대로 노출되어 현금흐름이 양호할 경우와 그렇지 못할 경우가 혼재되어 있는 것에 반해 실물옵션의 경우 기업에 유리할 경우만 투자를하기 때문에 현금흐름의 변동폭이 훨씬 작기 때문이다. 즉 옵션의 특성에 따라 사업위험이 작을 수밖에 없다.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

2) 실물옵션의 한 형태인 NPV

실물옵션의 출발점인 프로젝트의 현재가치 산출은 NPV의 프로젝트 현가를 이용하기 때문에 실물옵션과 NPV는 유사한 측면도 있지만 근본적으로 다른 점이 있다. 즉, NPV는 실물옵션에서 투자기간 동안 변동성이 없는 특수한 경우에 해당된다고 할 수 있다. 일반적으로 프로젝트의 NPV는 다음과 같은 수식으로 표시할 수 있다.

$$NPV = -I_0 + \sum_{t=0}^{n} \frac{E(FCF_t)}{(1+WACC)^t}$$

위 식에서 보듯이 NPV는 미래의 불확실한 상황의 현금흐름에 대한 고려 없이 사업기간 동안 확정된 현금흐름을 현가계산의 대상으로 삼고 있는 것에 반하여 실물옵션은 이에 대한 변동성을 고려함은 물론이고 투자결정 이후 예측하지 못한 경영환경 변화가 발생함에 따라 사업운영을 전략적으로 조정하는 근본적인 차이점을 보이고 있다.

Tom and Vladimir(2001)는 NPV와 실물옵션의 차이를 수학적으로 표시하고 있다. 즉, 복수의 배타적 투자안일 때, NPV는 현재시점에서 미래 현금흐름의 현가에서 투자의 현가를 공제한 순현가 $E_0(V_r - X)$이 양수인 경우 투자안을 선택하는 것인 반면, 실물옵션(콜옵션의 경우)의 관점에서는 미래 시점에 프로젝트의 현가가 투자액(행사가격)보다 클 때($V_r > X$) 투자하게 된다. 즉, NPV는 t = 0 시점에서 $E_0(V_r > X)$ 일 경우에만 프로젝트를 수락하게 되는데 만일 변동성이 없는 경우 $E_0(V_r)$와 실물옵션평가(ROV)의 V_r가 같기 때문에 NPV와 실물옵션 방법은 동일한 결과를 같게 된다. 따라서 NPV는 미래 현금흐름의 변화가 없는 실물옵션의 특수한 경우라 할 수 있다.

$$NPV\,rule : MAX(at\,t=0)\,[0, E_0(V_r - X)]$$
$$ROV\,rule : E_0 MAX(at\,t=T)[0, V_r - X]$$

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

결국 NPV가 프로젝트의 수익에서 비용을 제한 순현가를 나타낸다면 일부 학자들이 확장된 NPV(eNPV)라고 칭하는 실물옵션가치는 순현가에 옵션가치를 합한 것으로 볼 수 있다. 기초자산의 변동성이 없어 미래현금흐름이 확정적일 경우 변동성에 기인한 유리한 옵션가치가 없어져 영(0)이 되기 때문에 eNPV와 NPV가 동일하게 된다. 따라서 NPV는 실물옵션 모델의 특수한 예라고 볼 수 있다.

$$eNPV = NPV + \text{옵션가치}$$

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

3.3 실물옵션의 종류와 변수들

윤원철(2001)은 투자안 평가를 위한 실물옵션은 미래 경영환경을 단선적이고 확정적으로 가정하는 것이 아니라 기업환경의 변화에 따라 투자 사업을 연기하거나 포기, 혹은 확장 및 축소 등과 같이 다양한 의사결정을 내리게 되는데 바로 이러한 투자사업의 경영유연성이 옵션가치를 창출하게 된다고 주장하였다. 실물옵션의 종류와 적용대상 투자 사업은 다음과 같다.

3.3.1 실물옵션의 종류

1) 연기옵션 (option to defer)

대형 투자 사업은 투자기간이 장기이고 투자금액 또한 규모가 큰 것을 특징으로 하고 전통적 NPV는 투자가 시작되면 외부 경영환경의 변화와 무관하게 투자를 지속하는 것을 전제로 하고 있다. 그러나 현실적으로 경영자들은 투자기간 내에도 경기침체, 소비자 수요 감소, 환경이나 안전 등과 같은 정부의 관련 법규 변경으로 인하여 예상수익을 이룰 수 없을 때 기업은 설계, 구매 및 건설을 사업 환경이 호전되거나 혹은 불확실성이 해소될 때까지 연기하게 되는데 이러한 경우가 바로 연기옵션에 해당한다.

Trigeorgis 와 Mason(2004)에 따르면 연기옵션의 적용대상은 자원개발, 부동산개발, 농산물 경작, 제지산업 등이며 옵션값의 계산논리를 아래와 같이 제시하였다.

$$E^{+} = Max[V^{+} - I_n, 0]$$
$$E^{-} = Max[V^{-} - I_n, 0]$$
$$E = [P \times V^{+} + (1-P) \times E^{-}/(1+r_f)]$$

단, E^{+} : 경영환경이 호전되었을 경우 연기 옵션가치

E^{-} : 경영환경이 악화되었을 경우 연기 옵션가치

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

V^+ : 경영환경이 호전되었을 경우 프로젝트 가치의 기대치

V^- : 경영환경이 악화되었을 경우 프로젝트 가치의 기대치

I_n : $I_0 \times (1+r)^n$, 투자시기를 n기간 연기 했을 때 투자비

r_f : 무위험 이자율

E : 투자연기에 따른 투자가치

P : 위험을 고려한 호·불황 경영환경이 발생할 확률(natural risk probability)

2) 단계적 투자옵션(time to build option for staged investment)

대형 투자 사업은 단 한 번의 투자결정으로 프로젝트를 진행하는 대신, 투자위험을 줄이기 위해 투자를 단계화 시켜 전단계의 투자 사업이 유리할 경우 다음 단계의 투자를 진행 하지만 그렇지 않을 때는 중도에 사업을 포기함으로써 옵션가치가 발생하게 된다. 이 경우 각 단계는 전 단계의 가치를 바탕으로 하는 특정옵션으로 볼 수 있어 단계별 옵션의 성격을 띠게 된다.

해당 분야로는 기술의 첨단성에 따라 대규모 R & D투자가 요구되는 생명공학, 제약, 전자사업이나 대규모 정유 및 석유화학 콤플렉스, 혹은 에너지 생산설비 등과 같은 자본집약적인 사업 등이 여기에 속한다.

Amram, Li, 및 Perkins(2006)는 최근 생명공학이나 통신 및 반도체, 액정표시장치(LCD) 등과 같은 첨단 분야에 있어 신제품 개발에 따른 투자비용이 과거와는 비교할 수 없을 정도로 커진 반면 제품을 시장에 성공적으로 진입시킬 가능성이 낮기 때문에 이러한 단계적 투자옵션전략이 그 어느 때보다 중요하다고 지적하고 있다.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

3) 변경옵션(option to alter operation scale)

시장여건이 예측보다 유리할 경우 경영자원을 집중하여 생산규모나 생산제품의 폭과 깊이를 확대시키거나 그 반대로 불리할 경우 투입된 자원의 일부를 다른 수익사업으로 전환하여 운영규모를 축소시킬 수 있다. 때에 따라 생산시설의 일부를 제3자에게 양도하여 시설대여료는 물론이고 시설축소에 따른 인건비 및 시설유지비의 감소를 통한 일부 경영자원을 회수할 수 있고 미래 경기전망에 따라 생산자체를 중단시키거나 재가동 할 수 있다. 관련 분야로는 광물채굴, 원유나 가스 등과 같은 자원개발, 경기 순환적 사업의 시설계획, 의류산업, 부동산개발 등과 같은 사업 분야를 들 수 있다.

4) 포기옵션 (option to abandon)

시장상황이 극도로 악화되었을 경우 잔존가치를 시장에 매각하고 투자사업의 운영에서 완전 철수하는 경우가 있다. 해당 분야로는 항공, 철도 등과 같은 자본집약적인 투자사업, 불확실한 상황에서 신제품 출시, 잔존가치가 시장성이 있는 연구개발 사업 등을 들 수 있다. 특히, 통신이나 생명공학 등과 같은 기술발전이 급속한 분야의 경우 기업에서 기반기술의 축적시간을 단축시키기 위하여 일정 단계의 연구 성과에 대한 매입의사가 있기 때문에 프로젝트 평가 시 포기옵션을 적극 고려해야 한다. 이러한 포기옵션은 계획투자에서 철수할 경우 투자비의 일부를 보상받을 수 있는 보험적 성격을 갖는 옵션이라 할 수 있다.

5) 전환옵션 (option to switch)

시장에서 해당 제품의 가격이나 수요가 변할 경우 기업은 제품조합을 변경하는 생산제품의 유연성(product flexibility), 동일한 제품을 생산하지만 투입물(원재료, 에너지, 등)을 달리하는 경우 공정의 유연성(process flexibility) 등을 확보할 수 있는 전환옵션 가치를 가지게 된다. 생산제품의 유연성은 소비자 선호도가 급격히 변화하는 첨단 다중이용제품 즉, 가전, 장난감, 특수제지, 등과 아울러 가솔린, 등유, 경유를 생산하는 정유제품 등을 들 수 있다. 이들의 공통점은 수요의 변화에 생산제품의 종류를 바꾸어 수익을 증가시키는 것이다. 또한 발전의 경우에 수요의 변화에 따라 디젤, 석탄 및 가스 중에 수익을 극대화시킬 수 있는 사용 연료로 전환시킴으로서 옵션의 가치를 창출하게 된다. 이

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

는 투입물이나 전기, 스팀이나 용수 등과 같은 유틸리티 공급방식의 변화에 따라 발생하게 된다.

6) 성장옵션 (growth option)

R&D나 개발되지 않은 대지 혹은 유전에 대한 임대계약, 전략적 인수, 정보 네트웍 인프라 구축 등과 같은 초기투자가 반드시 필요한 분야나 상호 연계된 연속투자가 요구되는 상황에 성장옵션이 존재한다. 이러한 투자 사업은 신규제품이나 공정개발, 유전개발 및 신시장 진입, 핵심사업 강화 등과 같은 기업의 미래성장 기회를 제공하는 투자에서 볼 수 있는 옵션이다. 성장옵션은 복합옵션과 유사하게 가치를 평가할 수 있다.

기업의 현재가치는 운영사업에서 발생하는 현금흐름 가치와 향후 미래에 현금흐름을 가져올 수 있는 무형적 성장옵션 즉, 장차 발생할 투자로부터 기대되는 현금흐름의 가치이기 때문에 기업의 성장기회는 콜옵션이고 해당 분야로는 하이테크 제품, 제약, 컴퓨터와 같은 제품을 생산하는 전략산업에 대한 기반투자, 다국적 사업, 전략적 인수 등이 있다.

7) 복합연계옵션 (multiple interacting option)

현실세계는 여러 옵션이 복합적으로 구성되어 있는 옵션들의 집합체로 구성되어 있다. 투자안 평가 시에 위에서 언급한 연기옵션, 확장이나 축소옵션, 전환옵션 등과 같은 다양한 옵션전략을 구사하여 투자이익의 증대는 강화하고 손실은 최소화 시켜야 한다.

8) 무지개옵션(rainbow option)

현실세계에는 단일 불확실 변수만 있는 것이 아니라 제품가격, 판매량, 이자율 등과 같은 불확실 변수가 복합되어 있는데 이러한 복수의 불확실 변수를 내포한 옵션을 무지개옵션이라 한다.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

3.3.2 실물옵션 변수들

실물옵션가격에 영향을 미치는 5가지 요소에는 기초자산가치(the value of the underlying asset), 실행가격(exercise price), 옵션만기(the time to expiration of the option), 기초자산가격의 표준편차(the standard deviation of the value of the underlying risky asset), 옵션만기까지의 무위험이자율(the risk-free rate of interest over the life of the option)이 있다.

1) 기초자산가치, S_0

투자나 합병과 같은 분야의 실물옵션 경우 기초자산가격이 상승하면 옵션의 가치는 비례적으로 상승하게 된다. 금융옵션과의 큰 차이는 금융옵션의 보유자는 효율적 시장에서 기초자산의 가격에 대하여 영향력을 행사할 수가 없는데 반하여 실물옵션의 경우 실물자산을 운영하는 운영주체의 능력에 따라 기초자산의 가치를 증가시킬 수 있어 옵션가치를 올릴 수 있다.

2) 실행가격, X

콜옵션은 자산을 구입하거나 생산시설을 건설할 때 지출하는 투자액, 혹은 반대로 풋옵션은 자산을 매각하여 받을 금액을 말한다. 일반적으로 콜옵션은 실행가격이 낮을 때 옵션가치가 크고, 풋옵션은 실행가격이 높을수록 풋옵션 가격이 커지게 된다.

3) 옵션만기, T

옵션만기가 길수록 옵션가치가 커진다. 그 이유는 만기가 오래 남아 있을수록 기초자산의 변동성으로 인하여 옵션가치가 커질 확률이 높기 때문이다. 일반적으로 옵션가치는 내재가치 즉, 미국식 옵션의 경우 현재 시점에서 기초자산가격이 행사가격을 상회하는 부분을 말하며 여기에 만기까지의 시간가치를 합하여 결정되는 것이다. 따라서 만기에 다가 갈수록 옵션의 시간가치는 작아지게 된다.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

4) 변동성, V, *Volatility*

옵션의 가치는 기초자산의 변동성이 클수록 증가하게 된다. 변동성이 큰 위험 자산일수록 미래가격이 큰 폭으로 하락할 수도 있고 상승할 수도 있지만 옵션의 성격이 보유자에게 유리한 경우에만 행사하기 때문에 옵션의 가치는 변동성, 즉 표준편차가 클수록 커지게 된다.

5) 옵션만기까지의 무위험이자율, r_f

무위험이자율이 클수록 옵션의 가치가 커지게 된다. 무위험이자율이 클수록 기초자산가치는 상승하는 반면 행사가격가치가 하락하여 옵션가치가 상승하게 된다.

표 3.4 실물옵션가치 요소와 가치변화

가치변수	형 태	기초변수	옵션가치	의 미
기초자산 현가	투자로부터 유입되는 미래현금흐름의 현가	+	+	현금흐름이 클수록 NPV가 커지고 이에 따라 옵션의 가치가 증가
행사가격	실물자산에 대한 투자금액	+	−	콜옵션의 경우 투자금액이 클수록 옵션가치 감소
만기	실물자산의 옵션행사기간	+	+	만기가 길수록 옵션의 시간가치가 커지기 때문에 옵션가치가 증가

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

변동성	미래현금흐름의 변동성	+	+	옵션의 특성에 따라 변동성이 클수록 옵션의 가치 상승
무위험이자율	옵션만기와 같은 무위험이자율(예, 미재무성 증권)	+	=	무위험이자율이 클수록 기초자산가치는 상승하는 반면 행사가격가치가 하락하여 옵션가치가 상승
배당	만기 동안 주주에게 지불되는 배당금	+	−	배당유출이 크면 클수록 기초자산의 가치를 하락시켜 옵션가치 하락

위와 같이 여러 요소들이 실물옵션 가치에 영향을 미치고 있으나 이에 대한 가치의 기반은 투자사업 운영의 유연성 및 기업의 옵션실행에서 찾을 수 있다. 즉, 투자사업에서 변동성에 기인한 옵션적 상황을 확인하고 유리한 경우에 옵션을 행사하는 사업운영의 유연성과 이러한 유연성을 적극 활용할 수 있는 기업의 대응력으로 압축할 수 있다. 즉, 변동성이 없을 때는 결국 NPV와 같은 결과를 이끌게 되며, 또한 기업의 옵션실행 상황에서 적극적으로 대응하지 못할 때에는 옵션가치를 창출하지 못하게 된다. 각 변수의 변화에 따른 옵션가치의 변화는 앞 장의 표 3.4와 같다.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

3.3.3 불확실성과 옵션의 가치

불확실성(uncertainty)과 위험(risk)은 혼용되어 사용되지만 엄밀히 다른 의미라 할 수 있다. 불확실성이란 정보나 지식이 부족하여 변화의 방향과 폭, 깊이 등을 파악할 수도 없고 예측할 수도 없는 상황을 말하는 반면 위험은 이러한 미래의 불확실한 상황에 노출되어 발생하는 경제적 손실이라 할 수 있다.

실물옵션에 대한 획기적인 개념을 발표한 Myers(1990)는 전통적 NPV에서 취급하는 불확실성과 위험에 대한 인식을 달리하였다. 현실 경영세계에 상존하는, 더욱이 최근과 같이 급변하는 기업환경 하에서 NPV가 투자가치를 낮게 평가하는 부정적 요소로 보아야 할 것인가의 문제에 대한 해답을 금융옵션 이론에서 찾았다. 즉, 실물옵션에 있어서 변동성은 다음 그림 3.4와 같이 가치를 하락시키는 것이 아니라 오히려 가치를 창출하는 긍정적 요소로 보아야 한다는 것이다. 결국, 불확실성이 가치를 창출하게 된다는 것이다.

이러한 실물옵션은 실행가격이 기초자산가격보다 크면 옵션을 행사하고 작으면 행사하지 않기 때문에 불확실성이 클수록 즉, 기초자산의 미래가치의 확률분포가 넓게 퍼질수록 실물옵션의 가치는 크게 된다. 즉, 옵션적 유연성이 증가 할수록 옵션가치는 커지게 된다.

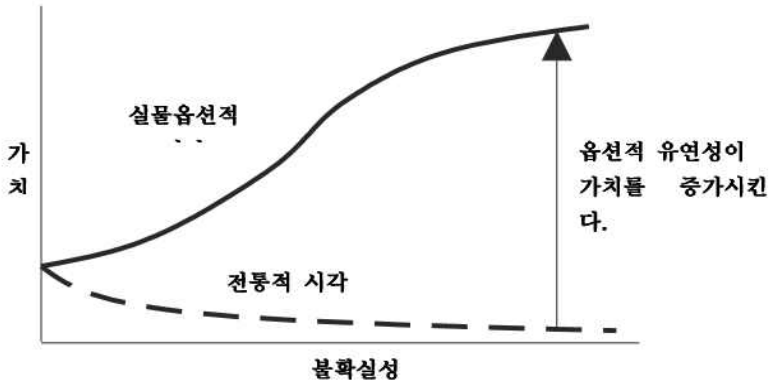


그림 3.3 불확실성과 옵션의 가치

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

옵션계산에 흔히 사용되는 이항모형의 경우 이항구간이 극한값을 가질 때 기초자산가격이 가우스분포를 띠기 때문에 종 모양의 확률밀도함수를 보이게 된다. 여기서 음의 자산가치와 양의 자산가치를 보이게 되는데 투자자는 양의 경우만 옵션을 행사하여 투자를 실행하기 때문에 실물옵션의 이익함수는 비대칭이 된다.

따라서 실물옵션은 경영자가 미래의 불확실한 경영환경을 최대로 이용하여 투자사업을 유리하게 전개시킬 수 있는 유연성을 가질 수 있어 NPV보다 큰 투자가치를 산출하게 된다. 따라서 경영자는 과거와 같이 변동성이 회피의 대상이 아니라 가치의 원천이라는 인식으로 전환하여 이를 적극적으로 이용하여야 한다.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

3.4 실물옵션의 평가모형

3.4.1 실물옵션의 논리

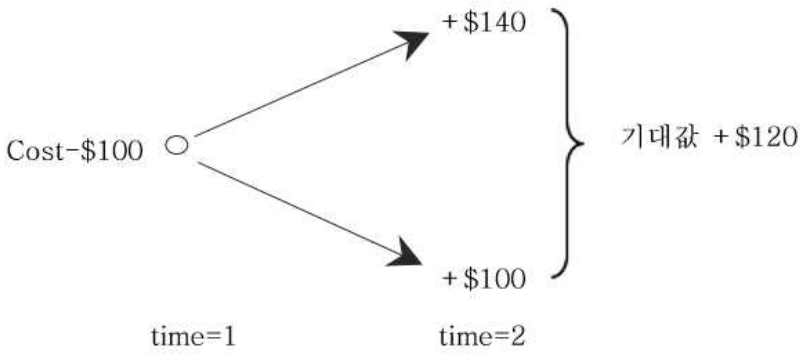
실물옵션은 NPV와 같이 일회적 의사결정과 단선적인 미래현금흐름을 가정하지 않고 상황변화에 따른 최적의 의사결정으로 투자가치를 극대화시키는 것을 논리로 하고 있다. 성장옵션의 한 예로 어느 기업이 현재 $100을 투자를 하여 1년 후 예상현금흐름이 경기가 좋을 경우와 나쁠 경우 50:50의 확률을 가지며 각각 $140과 $100의 현금흐름을 보일 경우 미래현금의 기대치가 $120이 되며 위험조정할인율을 15%로 가정할 경우 순현가는 아래 식과 같이 $4.3이 된다.

$$NPV = (\$140 \times .5 + \$100 \times .5)/(1/15)^1 - \$100 = \$4.3$$

그러나 만약 현재의 불확실성이 1년 후에 해소될 때까지 투자를 연기할 경우 순현가는 아래 그림 3.5와 같이 변할 것이다. 즉, 상황이 유리할 경우에만 투자를 하여 순현가는 $10.6이 될 것이다.

이 때 경영 유연성의 가치는 그림 3.5와 같이 $6.3 ($10.6 - $4.3)이 되며 이를 옵션가치라 부른다. 앞의 예에서 보듯이 투자시점에 확정된 미래 현금흐름을 상정하는 전통적 NPV에서 산출한 프로젝트의 현가와 프로젝트에 유리한 경우에만 투자하여 얻게 되는 현가와의 차이를 옵션가치라 한다.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

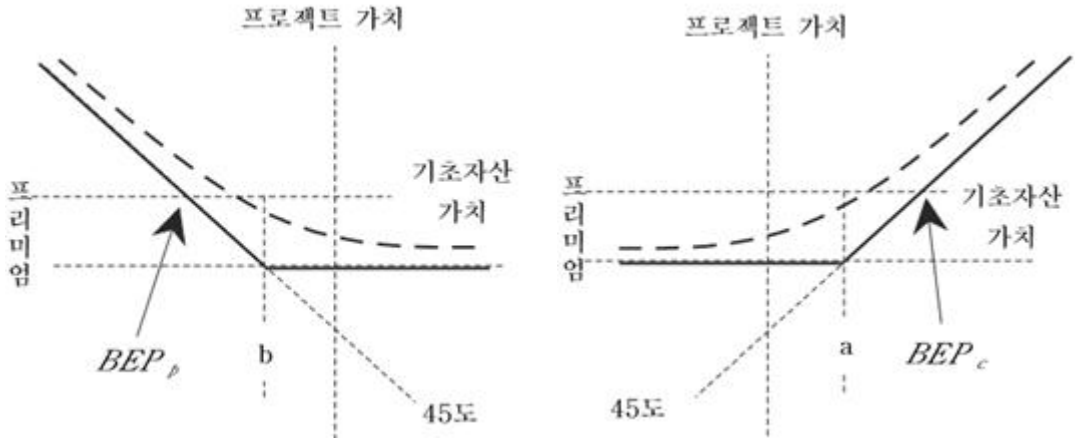


$$NPV = \frac{140}{(1.15)^2} - \frac{100}{(1.05)^1} = \$10.6$$

그림 3.4 프로젝트 연기의 경우 가치변화

아래 그림 3.6에서 횡축은 기초자산가격을 그리고 종축은 옵션가치를 포함한 프로젝트의 총 가치를 나타내고 있는데, 이 경우 확장옵션(콜옵션)의 이익은 손익분기점인 BEPc(break even point)를 지나면 기초자산가격이 오른 만큼 동일한 비율로 커져서 45도 직선을 이루며 이론상 무한대의 이익을 갖는 반면, BEPc를 지나 기초자산가격이 a점까지 하락할 때까지 손실이 연장되나 그 이후 최대손실은 지불한 프리미엄, 즉 실물자산을 얻기 위한 투자비까지로 국한된다. 즉, 상향 이익은 무한대이고 하향 손실은 투입비로 한정되는 손익의 비대칭적 특성을 보인다.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY



(a) 포기옵션 이익함수 (b) 확장옵션 이익함수

그림 3.5 확장옵션과 포기옵션의 이익함수

따라서 확장옵션의 경우 기업에서는 BEPc보다 큰, 즉 지불한 투자비보다 획득할 실물자산 가치가 큰 경우에만 옵션을 행사하게 되고 그렇지 않을 때에는 포기하게 되므로 옵션을 고려한 eNPV는 NPV보다 항상 같거나 크게 되어 실물자산에 대한 옵션이 발생하게 된다.

금융옵션의 풋옵션에 해당하는 포기옵션의 경우 확장옵션과는 반대로 기초실물자산의 가격이 지불한 프리미엄보다 클 때 즉, BEPp 이상에서는 최대손실이 지불한 프리미엄으로 한정되지만 실물자산의 가격이 BEPp 이하일 때에는 대응이익은 무한히 커질 수 있다.

따라서 실물옵션의 구조와 논리는 금융옵션과 같다. 즉, 프로젝트에 유리한 경우에만 옵션을 행사하여 이익을 취하고 그렇지 않을 때에는 옵션을 포기하기 때문에 프로젝트의 기초자산가치가 미래의 불확실성으로 인하여 NPV가치보다 클 때도 있고 작을 때도 있는 상황을 이용하여 클 때에는 제품 판매시장이나 사업범위의 확대, 생산량 증대, 신제품 출시 같은 확장옵션을 사용하고 반대로 작을 때에는 개발 중인 기술의 매각이나 사업에서 철수하는 포기옵션을 사용하는 경영유연성을 고려하여 프로젝트의 가치를 높이게 된다. 경영자는 기업에게 유리한 경우 확장, 전환, 단계적 실행 등과 같은 다양한 옵션을 행사하지만 불리한 경우에는 프로젝트를 연기하거나 포기하게 된다.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

결국 실물옵션이 성립하기 위해서는 옵션가치를 산출할 수 있는 금융모델과 기술의 발전이나 수요의 변동에 따른 미래 현금흐름에 불확실성이 존재하고, 경영자가 프로젝트의 옵션적 요소를 발견하며, 새로운 정보가 유입되어 미래의 불확실성이 해소되어 옵션 실행에 따른 가치증분이 옵션행사에 소요되는 비용을 넘어서는 옵션가치를 확인한 후 이를 행사할 수 있는 실행력이 구비되어 야만 가능하다.

3.4.2 실물옵션의 평가모형들

평가모형에는 계산방식에 따라 클로스드폼법(closed-form solutions), 편미분방정식법(partial-differential equations) 및 이항모형법(binomial lattice) 등이 있다. Black-Scholes모형과 같은 closed-form solution은 이미 계산 소프트웨어 패키지가 개발되어 포켓 계산기에 내장될 정도로 보편화되어 있어 계산에 필요한 몇 가지 투입변수를 대입하면 간단하게 옵션값을 산출할 수 있다는 장점이 있으나 이 산식들의 이해를 위해서는 통계나 고등수학이 요구되어 이 분야에 전문지식이 없는 경영진에게 설명하기가 쉽지 않다는 단점이 있다.

또한, Kathleen와 Hevert(2001)는 Black-Scholes 모델은 기초자산의 위험이 시간의 경과에도 불구하고 일정하다는 것과 만기에만 옵션을 행사하는 유럽식 옵션을 전제로 한 것이기 때문에 비현실적인 측면이 많고 특히 언제든 행사할 수 있는 미국식 옵션이나 다양한 조건이 부가된 옵션값 계산은 기본 Black-Scholes 모델로는 한계가 있다고 지적하고 있다.

반면 이항모형은 계산하기도 쉽고 결과를 설명하기도 용이할 뿐더러 유럽식 옵션은 물론 다양한 조건이 부가된 옵션의 가치계산도 가능하다는 편리함은 있지만 매 기간에 상승과 하락 두 경우만 존재한다는 가정이 비현실적 이라고 비판을 받았었다. 이러한 문제점을 Cox, Ross 및 Rubinstein(1979)이 상승과 하락 분기점을 더욱 짧게 하여 극한으로 전개하면 결과치는 연속분포와 동일한 행태를 갖게 되어 결국 산출값은 Black-Scholes모델과 같아진다는 아주 중요한 연구결과를 발표하여 극복하였다.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

1) 연속형모형(Black - Sholes 모형)

(1) 기본가정

Black과 Scholes(1973)은 논문에서 무배당 주식과 콜옵션을 적절히 조합한 무위험포트폴리오를 구성하여 차익거래(arbitrage transaction)가 발생치 않는 균형가격의 유도로부터 도출한 옵션가격평가모형에 대한 이론 전개를 단순화하기 위하여 다음과 같은 기본가정을 제시하였다.

첫째, 기초자산가격은 추세(drift)와 변동성을 갖는 기하적브라운운동(GBM: Geometric Brownian Motion)을 따르고 $dS = \mu S\delta t + \sigma S dz$, 단 $dZ = \epsilon\sqrt{\delta t}$ 라는 Markov-Wiener 확률과정 을 갖는다. 여기서, μ는 추세이고 σ는 표준편차로 표시되는 기초자산의 변동이다. 아울러 수익률은 로그정규분포(log-normal distribution)를 따른다.

둘째, 차익거래가 없는 효율적인 완전시장이다. 시장에서는 차익거래의 기회가 존재하지 않는다. 즉, 완전대체자산들(perfect substitutes)의 균형수익률은 동일하다. 셋째, 모형에서의 평가대상은 만기일에 행사할 수 있는 유럽식 옵션으로 한정한다. 넷째, 중도에 배당을 하지 않는 금융자산을 기초자산으로 한다. 다섯째, 기초자산가격은 연속적으로 변하며, 주가변화의 분산은 시간경과에 관계없이 일정하다. 여섯째, 투자자들은 위험중립적(risk-neutral)이다. 일곱째, 투자자는 무위험 이자율로 대출과 차입이 가능하며 무위험이자율은 안정적이다.

(2) 모형의 유도

옵션가격은 기초자산과 행사격의 차이인 내재가치(intrinsic value)와 만기까지 남아있는 시간가치(time value)의 함수로 표시할 수 있는데 과거 실증연구에 의하면 금융자산의 기초자산가격은 시간이 경과함에 따라 일반적인 위너과정을 따른다고 밝혀졌다. 이를 기반으로 하여 Black - Scholes가 유도한 최종 옵션가격 산출식은 다음과 같다.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

$$C_0 = S_0 N(d_1) - X \cdot e^{-r_f T} N(d_2)$$

단, C_0 = 콜옵션(call option) 가격

S_0 = 기초금융자산

X = 행사가격

$N(d_1)$ = d_1은 단위정규변수(unit normal variable)의 누적정규분포 확률

$N(d_2)$ = d_2는 단위정규변수(unit normal variable)의 누적정규분포 확률

r_f = 무위험이자율

T = 옵션만기

e = 자연수대로 2.1728...

$$d_1 = \frac{\in (S/X) + r_f T}{\sigma \sqrt{T}} + \frac{1}{2\sigma \sqrt{T}}$$
$$d_2 = d_1 - \sigma \sqrt{T}$$

위 식을 아래와 같이 편미분하면, Black-Scholes 모형의 콜옵션 가치는 기초자산가격(S)이 클수록 커지고, 반대로 행사가격(X)이 커지면 콜옵션 가격은 작아지며 그 밖에 만기가 길수록, 변동성이 클수록 그리고 무위험이자율이 클수록 콜옵션 가격은 커지게 된다.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

2) 이산형모형(이항모형: Binomial Lattice Model)

(1) 모형의 배경

1973년 Black-Scholes의 옵션가격결정모델은 발표된 이후 이 분야에 대한 활발한 연구가 진행되었으나 계산과정의 복잡성과 가정의 제한성 때문에 다양한 환경의 옵션값 산출에 어려움이 있었는데 이를 극복한 유용한 옵션가격결정방법이 Cox, Ross 및 Rubinstein(1979)에 의해서 제시되었다. 즉, Black과 Scholes의 모형이 매끈한 산식으로 표현되었으나 이를 이해하기 위해서 통계나 미적분과 같은 고등수학이 요구되었을 뿐만 아니라, 비현실적인 가정들로 인하여 모델사용에 제한이 있었던 것을 Cox, Ross 및 Rubinstein이 Black-Scholes가 사용한 미래현금흐름의 연속분포(continuous distribution) 대신에 이산분포(binomial distribution)를 이용하여 모형의 현실성을 넓히면서 Black-Scholes 모형에서 계산하기 어려운 연기, 확장 및 축소, 포기옵션 등의 다양한 옵션뿐만 아니라 일정 기간의 옵션행사를 제한하는 버뮤다옵션 등도 자유롭게 계산할 수 있는 길을 열어 놓았다.

(2) 기본가정

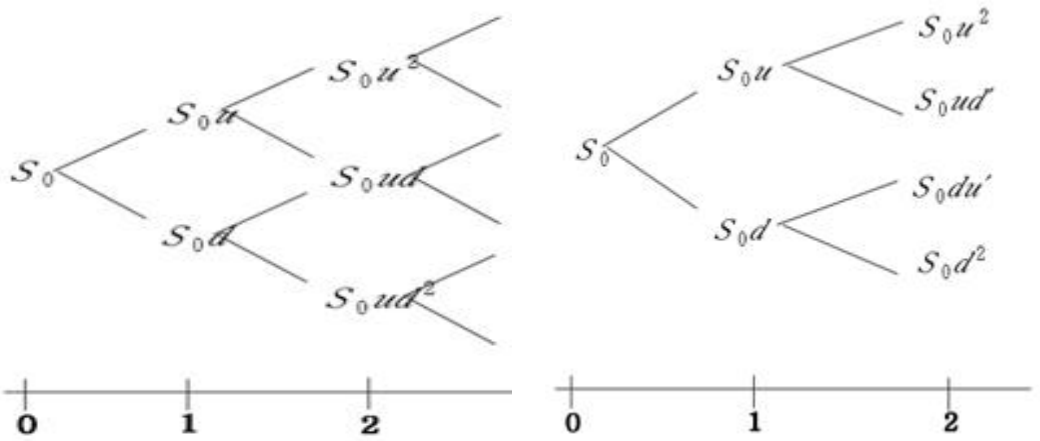
이항모형에서 전제로 하고 있는 가정은 다음과 같다. 첫째, 기초자산의 가격변동은 상승 또는 하락으로만 나타난다. 즉, 기초자산가격은 이항분포를 따르는 이산적인 확률변수(discrete random variable)이다. 둘째, 기초자산가격의 상승 또는 하락의 확률은 항상 독립적이며 일정하다. 셋째, 기초자산의 상승률과 하락률은 일정하다. 즉 만기까지 기초자산은 일정한 변동성을 갖는다. 넷째, 세금, 거래비용, 이자율 변화, 등과 같은 시장의 모든 마찰적 요소가 없는 완전자본 시장이다. 다섯째, 시장은 수요와 공급이 일치하는 균형시장이다.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

(3) 모형의 유도

① 기초자산의 전개

이산형 모형의 사건(event)전개 과정에는 출발 분기점에서 S_0u, S_0d라는 상향 및 하향 2가지로 전개되고, 두 번째 분기점에서는 S_0u^2, S_0ud, S_0d^2라는 3가지 방향을 갖게 된다. 이 경우 하향계수 d가 상방향 계수인, $u = e^{\sigma}$의 역수, 즉 d= 1/u 이 성립된다는 조건이 붙게 된다. 이런 전개는 각 구간의 변동성(σ)이 일정하여 기초자산가치가 구간 1에서 구간 2로 진행할 때 $S_0u^2, S_0ud, S_0du, S_0d^2$라는 4가지 사건이 발생하나 동일한 변동성을 가정할 경우 S_0ud, S_0du는 같은 값을 가지게 되어 결국 3가지 결과가 나타나게 된다. 그 이후 구간에도 같은 논리로 전개되어 n번의 사건이 발생하면 $n+1$개의 결과가 생기게 된다. 이와 같은 이항전개를 재결합 래티스(recombining lattice)라고 한다. 그러나 구간과 구간 사이의 변동성이 일정하다는 가정을 무시하고 변동성이 구간에 따라 변할 수 있는 현실성을 감안한 비재결합 래티스(non-recombining lattice)에 대해서 살펴보면 다음 그림 3.7에서 보듯이 구간 1에서 2로 전개될 결과는 재결합 모델과는 달리 $S_0u^2, S_0ud', S_0u'd, S_0d^2$ 4가지의 결과가 발생한다.



결합모델 비결합모델

그림 3.6 재결합 모델과 비재결함 이항모형

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

여기서 $S_0ud', S_0u'd$는 각각 다른 값을 갖게 되기 때문이다 분기점마다 결과치는 기하급수적으로 늘어나게 되어 옵션가치 계산이 매우 어려워지게 된다. 그러나 이러한 문제는 구간을 매우 짧게 할 경우 재결합 래티스와 비재결합 래티스에 의한 결과가 같게 되어 해결할 수 있다. 또한 이항모형이 아닌 한 분기점에서 다항 즉, 2개 이상의 결과를 보이는 경우가 있을 수 있다. 예를 들어 트리노미알 래티스(trinomial lattice) 경우 의사결정 분기점 마다 3개의 결과를 산출하여 이항모형보다 훨씬 많은 수의 결과를 보여 옵션값 산출이 복잡해지는데 이문제도 역시 이항 모형의 이항구간을 매우 짧게 하면 다항모형 값과 근사하다는 것이 이미 밝혀졌다.

이항모형에서의 옵션가치는 상향계수나 하향계수가 크면 클수록 프로젝트에 유리한 방향의 값이 커지기 때문에 옵션가치가 커지게 된다. 즉, 변동성이 클수록 옵션가치가 커지게 된다.

② 기하적 브라운 운동(GBM: geometric brownian motion)

일반적으로 금융자산의 경우 미래 예측값 전개(evolution)는 변동성(volatility)이 일정한 GBM을 따른다는 것이 밝혀졌고 다음과 같은 산식으로 표시할 수 있다.

$$\delta S/S = \mu(\delta t) + \sigma e\sqrt{\delta t}$$

단, $\delta S/S$: 기초자산가치의 변화

μ : 추세(drift term 혹은 average growth)

σ : 연간 변동성(volatility parameter)

δt : 이항구간의 분기시간(stepping time)

ϵ : 시뮬레이션 변수(simulated variable), ~N(0.1) 평균이 0이고 표준편차가 1인 정규분포를 따름

이 GBM에 따라 σ가 일정하더라도 $\epsilon\sqrt{\delta t}$에 의해서 시간이 경과 할수록 불확실성이 증가하게 된다. 즉, 불확실성은 시간의 제곱근에 비례하여 증가하기 때문에 시간이 흐를수록 미래를 예측하기가 더 어려워지게 된다.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

GBM은 시간이 경과할수록 결과치들이 확산되어 삼각형 모양의 불확실성 깔때기(cone of uncertainty) 형태를 보이는데 이항모형도 이와 유사한 결과분포를 보인다. 결과적으로 GBM은 미래의 불확실한 결과치에 대한 연속확률시뮬레이션과정(continuous stochastic simulation process)인 반면 이항모형은 이산형 시뮬레이션이라 할 수 있기 때문에 만약 이항구간이 극한값을 갖게 되면 그 결과치는 GBM의 결과치에 근접하게 된다. 즉, GBM을 이산적인 관점에서 해를 구하면 이항방정식(binomial equations)이 되는 반면 연속적이면 Black-Scholes와 같은 클로스드폼방정식(closed-form equations)이 된다. 한편, 기초자산의 가치변동을 GBM의 지수 형태인 지수적 브라운 운동(EBM: exponential brownian motion)으로 나타내면 다음과 같다.

$$\delta S/S = e^{\mu(\delta t)+\sigma\epsilon\sqrt{\delta t}}$$

여기서 $e^{\mu(\delta t)}$는 확정변수(deterministic)로 시간의 경과에 따라 진행하는 기초자산의 미래가격 예측에 대한 브라우니안 프로세스의 기울기 혹은 평균 성장률을 나타내며, $e^{\sigma\epsilon\sqrt{\delta t}}$에서 ε는 평균이 영(0)이고 분산이 1인 확률분포의 잔차항이 되어 결국 이항모형의 상향계수 u는 $d^{\sigma\sqrt{\delta t}}$가 되고 하향계수는 상향계수의 역수인, $e^{-\sigma\sqrt{\delta t}}$가 되어, $d=1/u$의 산식이 산출되게 된다.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

제 4 장 사례분석

본 연구는 한국농어촌공사 관리 수리시설인 전라남도 'N댐'을 대상으로 실물옵션평가를 적용한다. 따라서 4.1 절에서는 사례 프로젝트에 대한 개요 소개 및 전통적 가치평가 방식을 활용한 경제성 분석 및 시사점을 도출하고자 하였다. 또한, 4.2 절에서부터 실물옵션의 적용에 관한 내용을 정리하고 적용의 결과 및 미래 환경변화에 따른 전략적 의사결정 방안을 제시하고자 한다.

4.1 전통적 가치평가 방법을 활용한 경제성분석 (1단계)

신재생에너지는 상대적으로 높은 투자비로 인해 경제성이 낮고 자생적 시장 창출이 곤란한 단점이 있다. 이러한 단점을 보완하고 대규모 상업용 발전시설 확대를 위해 정부에서는 2012년부터 신재생에너지 공급의무화 제도 (Renewable Energy Portfolio Standard, 이하 RPS)를 도입 및 운영하고 있으며 이 신재생에너지 공급의무화 제도 (RPS)하 육상 및 수상태양광 발전소를 설치하였을 경우 경제성에 관하여 분석해 보고자 한다. 또한, 한국농어촌공사의 유휴사면(육상태양광)과 'N댐' 전체수면의 1%에서 5%를 활용하여 태양광 발전시설(수상태양광)을 건설하였을 경우 단계별 전략적 의사결정방안에 대해 분석해 보고자 한다.

4.1.1 사업의 개요

본 연구의 사례대상인 'N댐'의 위치는 그림 4.1과 같으며, 농업용(다목적)댐으로써 1976년 완공하여 한국농어촌공사에서 수리용으로 관리하고 있다. 유역면적은 1만470ha이고, 만수면적은 780ha이며, 저수량 9058만m^3, 몽리면적 1만1200ha이다. 관개용수 댐으로는 국내 최대 규모의 저수량을 보유하고 있으며, 본 연구에서는 'N댐'의 유휴사면을 활용하여 1MW급 육상태양광발전소 설치(Phase1.)를 가정하였으며, 만수면적의 1%를 활용하여 약 8MW급 수상태양광발전소를 건설할 경우(Phase2.)와 1% 수상태양광 발전설비 건설 이후 만수면적의 5%까지 확장(Phase3)하여 건설할 경우를 구분하였다. 본 사업은 2020년 12월 사업에 착수하여 2년의 설계 및 법률, 인허가 기간과 1년의 건설기간 이후

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

20년의 운영기간을 가정하였다. 본 사례는 공기업이 보유한 댐의 유휴사면과 유휴수면을 활용하여 태양광발전소를 건립하여 청정에너지를 생산해 전력난을 해소하고, 전력 판매 수익금을 한국농어촌공사의 수리시설 유지관리비로 재투입함으로써 유지보수 국가재정 부담의 경감과 공기업 재정건전성 회복을 목표하였다.

그림 4.1 전라남도 'N댐' 위성사진 및 현장 사진

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

전라남도 'N댐'에 설치되는 9MW(육상1MW+수상8MW)급 태양광발전소의 태양광 시스템개요는 표 4.1과 같다.

표 4.1 육상+수상 태양광발전소 시스템 개요

구 분	내 용	
	육상 태양광	수상태양광
설치면적	약 15,000 m^2	약 80,000 m^2
설치용도	태양광발전사업 (육상 위 설치)	태양광발전사업 (수면 위 설치)
설치용량	999kW (모듈 300W * 3330EA)	7,999kW (모듈 300W * 26,640EA)
인버터	500kW * 2대	500kW * 16대
패널 구분	고정 가변형 3330EA	일체형 부유체 26,666EA

4.1.2 기상자원

태양광발전 사업모델에 적용되는 기상자원은 기상청에서 제공하는 'N댐'지역의 수평면 일사량 정보를 활용하여 태양광에너지 발전량을 산출하였다. 기상청에서는 이산화탄소 배출을 줄이기에 기여할 수 있는 태양광발전 건설에 필요한 태양에너지 최적 활용을 위한 기상자원을 분석하여 제공하고 있으며, 1981년부터 2010년까지 20년간 'N댐' 지역의 일사량 평균값은 4912.8(MJ/m^2) 이며, 총 22개소 관측지점 중 5위에 해당한다.

표 4.2 전라남도 'N댐' 지역 기상자원

구 분	일사량	일조시간	평균기온
전라남도 'N댐'	4912.8 MJ/m^2	2,097 hr	13.8 ℃

표 4.2의 전라남도 'N댐' 지역의 연평균 일사량 4912.8 MJ/m^2/year을 전력으로 변환하면 1,375.56kWh/m^2/year 가 되고, 일평균 수평일사량으로 변환하면 3.76kWh/m^2/day 가

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

된다.

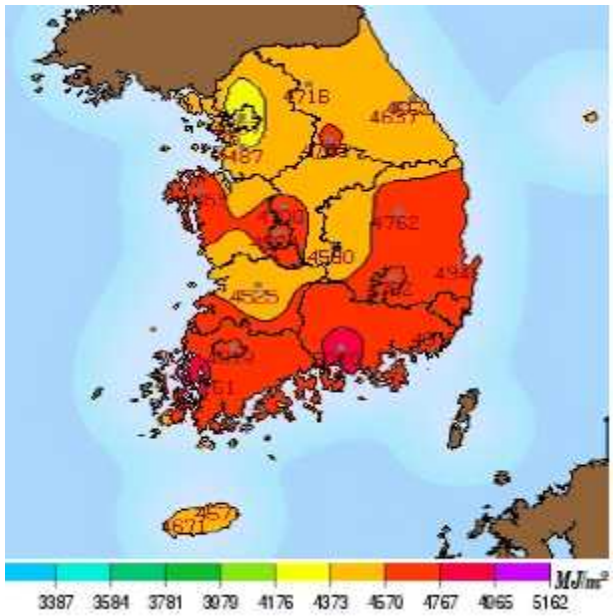


그림 4.2 1981~2010년 일사량 분포도

4.1.3 비용추정

태양광발전 사업으로 발생하는 비용은 크게 초기 건설비용과 매년 발생하는 유지관리 비용으로 구분되며, 유지관리비용은 한국농어촌공사의 자산을 사용하므로 유휴사면과 유휴수면 임대료는 고려하지 않았으며, 설비의 유지보수비용 및 금융비용을 포함한 세금으로 구성된다.

(1) 건설비용

본 태양광발전사업에 소요되는 건설비용은 한국농어촌공사 및 실제 태양광 사업을 수행하고 있는 태양광 시공 전문기업과 투자조건 및 설치비용 등에 대한 논의를 진행하여 각 수치들을 결정하였다. 본 연구에서는 기존 경험이 풍부한 육상태양광사업에 대해서는 1건의 건설비용 추정데이터와 경험이 부족한 수상태양광사업에 대해서는 보수적·우호적

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

관점의 2건의 건설비용 자료를 활용하였다. 건설비용의 항목으로는 표 4.3과 같이 주요기자재인 태양광모듈, 인버터, 일체형 부유체, 고정가변형 패널, 수배전반, 접속반 등이 있으며, 전기, 계류장치, 수생식물공사로 구성되어있다.

표 4.3 'N댐' 태양광 발전소 건설비용

구 분	규 격	단위	육상 태양광(1MW)		제1안. 수상 태양광(8MW)		제2안. 수상 태양광(8MW)	
			수량	금액 (백만원)	수량	금액 (백만원)	수량	금액 (백만원)
토목공사			-	50	-	-	-	-
태양광 모듈	300W	장	3,330	500	26,640	4,000	26,640	5,000
인버터	500kW	대	2	250	16	2,000	16	2,500
고정가변형		EA	3,330	500	-	-	-	-
일체형 부유체		EA	-	-	26,640	5,350	26,640	7,000
수배전반	2MW급	식	1/2	110	4	880	4	1000
접속반	24채널	대	8	40	64	320	64	400
전기공사		식	1	150	1	150	1	200
계류장치		식	-	-	1	150	1	200
수상식물		식	-	-	1	150	1	200
합계				**1,600**		**13,000**		**16,500**

(2) 유지보수비용

기존의 육상태양광 발전시스템은 무인운전을 전제로 설계·제작되어 기본적으로 정기점검 외에는 일상적인 보수점검은 하지 않는다. 그러나 수상태양광은 특성상 정기적인 점검이 의무화할 필요가 있고 여기에 수상태양광 발전설비의 유지정비를 위한 비용을 책정할 필요가 있다. 일반적으로 육상태양광에 대한 유지보수비용을 추정함에 있어 태양광 발전이 어느 정도 진행된 유럽지역은 매출액대비 1.%를 적용하여 O&M(Operating & Maintenance) 비용을 추정하고 적용하고 있고, 우리나라의 에너지관리공단에서 발표한

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

‘신재생에너지 발전차액지원 제도개선 및 RPS제도와 연계방안(2006)’에서는 O&M 비용은 1%로 제시하고 있으나, ‘발전차액지원제도 개선방안 공청회 안내(2010)’에서는 2~2.5%로 제시하고 있다. 따라서 본 연구에서는 육상태양광 설비에 대한 운영 및 유지관리비는 매출액의 1%를 적용하고, 수상태양광설비에 대해서는 공사비의 2%를 적용하여 산출한다. 연간 유지관리비용 산출과정은 표 4.4와 같다.

표 4.4 연간 운영 및 유지관리비용 산출

<연간 유지관리비용 산출>	
육상 태양광발전설비	수상 태양광발전설비
= 연간 매출액 * 1.0%	제1안(우호적 관점의 사업비) = 총 투자비 * 2.0% = 13,000,000,000 * 2.0% = 260,000,000(원/year) 제2안(보수적 관점의 사업비) = 총 투자비 * 2.0% = 16,500,000,000 * 2.0% = 330,000,000(원/year)

(3) 금융비용

본 연구에서 사례대상이 되는 육상 및 수상태양광 발전소는 한국농어촌공사에서 보유하고 있는 댐의 유휴사면과 유휴수면을 활용하여 직접 투자하고 20년간 관리 및 운영하는 사업으로 총 사업비의 구성은 자기자본 20%와 금융기관에서 80%를 조달하여, 상환방법은 원리금균등 방식으로 거치기간은 1년, 상환기간 5년, 금리 3.5%를 적용하였다.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

4.1.4 편익추정

현재 우리나라에서 태양광발전 보급·확대를 위해 펼치고 있는 정책은 신재생에너지공급의무화사업(RPS사업)이 있다. RPS사업은 사업시행 후 12년간은 계통한계가격(System Marginal Price, 이하 SMP) + 공급인증서(Renewable Energy Certificate, 이하 REC) 매출이 발생하고, 12년 이후에는 SMP 매출만 발생하는 사업으로 기대할 수 있는 편익은 발전을 통해 생산한 전력을 한국전력공사 또는 전력거래소를 통해 판매하는 SMP매출과 태양광 의무사용발전사업자에게 입찰 또는 수의로 계약하여 12년간 판매하는 REC매출을 적용하여 매출을 산정할 수 있다.

(1) SMP(계통한계가격) 매출

거래시간별로 일반발전기(원자력, 석탄 외의 발전기)의 전력량에 대해 적용하는 전력시장가격(원/kWh)으로서, 전력생산에 참여한 일반발전기 중 변동비가 가장 높은 발전기의 변동비로 결정된다.

태양광발전의 연도별 SMP 정산단가는 유가상승 등으로 인해 아래 그림 4.3과 같이, 큰 변동성을 보이고 있으며, 2017년(1월~12월) SMP 평균단가는 81.77원/kWh이고, 2018년(1월~12월) SMP 평균단가는 95.16원/kWh 이다.

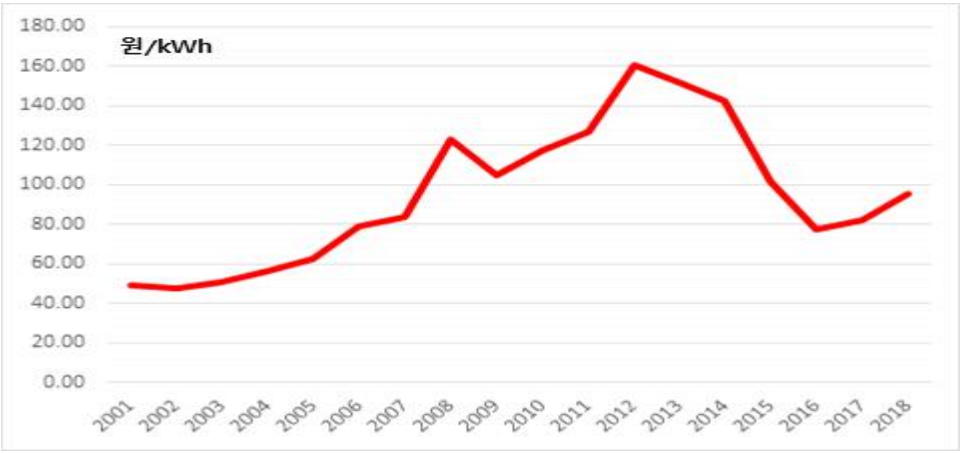


그림 4.3 태양광 연도별 SMP 단가

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

이와 같이 SMP는 크게 변동하고 있으나, 본 연구의 한전판매 발전수익 산출 시에는 사업의 위협요소를 줄이고자 최근 10년의 평균단가인 116원/kWh을 적용하기로 한다. 연간 SMP 매출액 산출과정은 표 4.5와 같다.

표 4.5 연간 SMP 매출액 산출

<연간 SMP 매출액 산출>	
육상 태양광발전설비	수상 태양광발전설비
= SMP가격 * 시설용량 * 일일평균발전시간 * 365일	
= 116원/kWh * 999kW * 3.76Wh/m^2/day * 365 = 159,039,201(원/year)	= 116원/kWh * 7,999kW * 3.76Wh/m^2/day * 365 = 1,273,428,002(원/year)

(2) REC(공급인증서) 매출

REC(공급인증서)란 공급인증서의 발급 및 거래단위로서 공급인증서 발급대상 설비에서 공급된 MWh 기준의 신·재생에너지 전력량에 대해 가중치를 곱하여 부여하는 단위를 말하며, 에너지관리공단에서 발급하여 전력거래소에서 판매를 하고 매입자는 신재생에너지공급의무가 있는 발전회사들이 12년간 구매한다.

이에 본 연구에서는 REC 수익 산출시 사업의 위험요소를 줄이고자 보수적으로 REC 단가를 추정하였다. REC 단가는 발급 시 설치유형, 지목, 용량별로 별도의 가중치를 부여하는데 본 연구대상인 전남 'N댐' 태양광 발전소는 육상 999kW, 수상 7,999kW 규모로 지목이 유지로 되어 있어 가중치 0.7과 1.5에 해당되므로 114.803원/kWh에 각각의 가중치를 곱하여 적용한 80.3621원/kWh와 172.2원/kWh이 REC가격이 된다.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

표 4.6 연간 REC 매출액 산출

<연간 REC 매출액 산출>	
육상 태양광발전설비	수상 태양광발전설비
= REC가격 * 가중치 * 시설용량 * 일일평균발전시간 *365일	
= 114.803원/kWh * 0.7 * 999kW * 3.76Wh/m^2/day * 365 = 110,178,657.1(원/year)	= 114.803원/kWh * 1.5 * 7,999kW * 3.76Wh/m^2/day * 365 = 1,890,431,313(원/year)

표 4.7은 공급인증서 발급대상 설비기준인 설치유형, 지목, 용량별로 가중치가 부여되는 사항을 정리한 것으로 태양광발전사업을 시행할 때 수익성에 직접적인 영향을 미치기 때문에 중요한 사항으로 고려된다.

표 4.7 공급인증서 발급대상 설비 기준

<table>
<tr><th rowspan="2">구 분</th><th rowspan="2">공급인증서 가중치</th><th colspan="3">대상에너지 및 기준</th></tr>
<tr><th>설치유형</th><th>지목유형</th><th>용량기준</th></tr>
<tr><td rowspan="4">태양광 에너지</td><td>0.7</td><td rowspan="3">건축물 등
기존시설물을
이용하지 않는 경우</td><td colspan="2">5개 지목
(전, 답, 과수원, 목장용지, 임야)</td></tr>
<tr><td>1.0</td><td rowspan="2">기타 23개 지목</td><td>100kW 이상</td></tr>
<tr><td>1.2</td><td>100kW 미만</td></tr>
<tr><td>1.5</td><td colspan="3">1. 건축물 등 기존 시설물을 이용하는 경우
2. 유지의 수면에 부유하여 설치하는 경우 (이하 “수상 태양광” 이라 한다.</td></tr>
</table>

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

4.1.5 경제성 분석 데이터

본 연구에서 활용한 가정 사항은 태양광발전 사업모델의 경제성 분석에 적용되는 할인율, 물가상승률, 설비감가상각, 법인세 등 주요변수 정의를 통해 순현재가치(NPV)를 산출하는데 활용된다.

(1) 할인율

미래가치를 측정하는 중요 변수인 할인율(rate of discount)은 예비타당성 평가에 사용되는 사회적 할인율 (모든 공공투자사업에 대하여 공통적으로 적용)인 6.5%로 설정하였다.

(2) 물가상승률

물가상승률을 적용하기 위하여 통계청에서 제공하는 생산자물가지수 데이터를 활용하였다. 생산자물가지수는 국내에서 생산하여 국내시장에 출하되는 모든 재화와 서비스요금(부가가치세를 제외한 공장도 가격)의 변동을 측정하기 위하여 1996년부터 한국은행에서 작성하는 지수이며, 본 연구에서는 2011년부터 2019년까지 9년간 측정된 데이터 중에 전력, 가스 및 수도지수를 사용하였다. 아래의 표 4.8에서 전력, 가스 및 수도의 지수는 10년 평균 1.81% 상승하였음을 확인하였고 본 연구에 적용하였다. 물가상승률을 적용함에 따라 비용측면에서 유지관리비 등은 상승하게 되고, 편익측면에서는 SMP 매출이 상승하게 된다.

표 4.8 2011~2019년 생산자물가지수

구 분	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
총지수	6.70	0.70	-1.60	-0.50	-4.00	-1.80	3.50	1.90	0.00
농림수산품	7.40	0.80	-6.00	0.60	2.30	5.80	6.40	3.60	-2.30
공산품	9.00	-0.40	-3.00	-2.10	-6.70	-3.50	4.80	2.20	-1.00
전력, 가스, 수도	5.80	7.50	5.70	5.30	-6.60	-5.80	1.60	0.50	2.30
서비스	2.50	1.60	0.40	1.50	1.20	1.00	1.40	1.40	1.20

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

(3) 설비감가상각

공장이나 기계설비와 같은 고정자산은 일정기간이 경과하면 사용이 불가능하게 된다. 그러나 그 가치는 그것이 사용불능이 되었을 때 모두 없어지는 것이 아니라, 전 기간에 걸쳐서 평균적으로 감가되며, 그 기간마다 일부 가치가 생산물에 이전된다는 견해에서 각 기간의 비용으로 할당된 것을 감가상각비라고 한다. 회계상, 고정자산은 취득원가로 인식되기 때문에, 그 감가상각비는 고정자산에 대한 투하자본액의 당해 회계기간의 요회수금액이라고 여겨진다. 즉, 감가상각비는 그 고정자산을 그 기간 중 이용하는 데 필요했던 그 기업의 가치희생액을 나타내는 것으로, 기업은 감가부분을 적립하여 고정자산의 갱신에 충당한다. 감가상각 방법에는 정액법·정률법·급수법·생산액비례법 등이 있는데, 정액법·정률법이 주로 쓰인다(국토해양부, 2009). 이에 본 연구에서는 정액법을 사용하고, 재물가액비율은 80%, 감가상각기간은 사업기간인 20년을 적용하였다.

(4) 법인세

주식회사와 같이 법인 형태로 사업을 하는 경우 그 사업에서 생긴 소득에 대하여 부과하는 세금으로, 기업소득세라고 할 수 있다. 우리나라의 법인세율 체계는 과세표준 2억원 이하는 10%, 2~200억원 이하 20%, 200억원 초과 22% 등으로 나뉘어 있어, 매년 과세표준 금액에 맞춰 적용하였다.

(5) 태양광 모듈 효율감소

햇빛을 받아 전력을 생산하여 판매하는 태양광발전소의 요소 중 태양광모듈은 가장 중요한 요소로서, 태양광 모듈 제조 기업은 통상 1년간 초기효율 대비 약 0.7% 효율감소를 보증하며, 20~25년간 효율 약 82% 이상 보증을 해주고 있다. 태양광 발전소는 20년 이상 장기간 운영하는 사업으로 태양광 모듈의 효율감소에 따라 수입이 달라져 경제성 분석에 영향을 주고 있다. 이에 본 연구에서도 태양광 모듈의 효율감소율을 매년 0.7%를 적용하였다.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

4.1.6 순현재가치(NPV) 분석 및 결과

본 연구에서는 한국농어촌공사 관리 수리시설인 전라남도 'N댐'의 육상 및 수상태양광 발전소의 경제성을 분석하기 위해 신재생에너지공급의무화(RPS)제도를 적용하여 예상되는 비용과 편익정보를 표 4.9와 같이 입력하였다.

표 4.9 경제성 분석 입력 데이터

구 분		입력데이터	
		육상태양광	수상태양광
기본정보	사업대상	전라남도 'N댐' 태양광발전소	
	설비용량	999kW	7,999kW
	사업방식	RPS 사업	
	총 사업기간	21년 (건설1년, 운영20년)	
	발전시간	3.76Wh/m^2/day	
비용정보	총 사업비	1,600 백만원	13,000 백만원 16,500 백만원
	자금조달	자본 20%, 차입 80%, 금리 3.5%	
	유지보수비(연간)	(연간 매출액 * 1%)	(총 사업비 * 2%)
	감가상각	재물가액 80%, 20년	
	법인세(연간)	2억원 이하 10% 2~200억원 이하 20% 200억원 초과 22%	
편익정보	SMP 매출(연간)	159 백만원	1,273 백만원
	REC 매출(연간)	110 백만원	1,890 백만원
경제성 분석 데이터	할인율	6.5%	
	물가상승률	1.81%	
	모듈 효율감소(연간)	0.7%	

표 4.9의 입력 데이터를 적용하여 20년간 운영한 태양광발전소의 연평균 발전량은 육상태양광 1,283MWh/year, 수상태양광 10,277MWh/year 이고, 각각의 사업비 1,600 백만원, 13,000/16,500백만원을 기준으로 순현재가치(NPV)를 산출하였다. 순현재가치(NPV)는 20년 사업을 진행한 후에 육상, 수상태양광 각각 -1억2천3백만원과 (제1안)35억2천2

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

백만원, (제2안)(-)26억6천1백만원으로 분석되었다.

육상태양광 발전소의 경우 해당 연도별 순현재가치(NPV)는 1차년도에 1억8천7백만원을 시작으로 6차년도까지 하락하였고, 대출금 상환이 끝나는 7차년도에 1억6천4백만원으로 대폭 증가하지만, 또다시 20차년도까지 하락하는 것으로 분석되었다. 즉, 전라남도 'N댐'의 유휴사면을 활용한 육상 태양광발전소 건설 사업은 경제성이 없는 것으로 분석되었으며, 아래의 표 4.10과 같이 경제성 분석결과를 정리하였다. 하지만, 본 연구의 육상태양광 건설사업 경제성 분석 결과는 향후 프로젝트 수익성에 영향을 미치는 불확실성을 반영하지 않은 결과로, 경제성이 없다고 단정하기에는 무리가 있다. 따라서 본문 '4.2 실물옵션 분석법(ROA)을 이용한 가치평가'에서 프로젝트 수익불확실성 및 적정 의사결정을 반영하여 프로젝트 경제성을 재분석 하고자 한다.

표 4.10 육상태양광 발전소 연간 순현재가치단위: 백만원)

사업연도	순현재가치	사업연도	순현재가치
1차년도	187	11차년도	124
2차년도	-31	12차년도	104
3차년도	-24	13차년도	97
4차년도	-17	14차년도	90
5차년도	-10	15차년도	84
6차년도	-5	16차년도	64
7차년도	164	17차년도	60
8차년도	153	18차년도	56
9차년도	143	19차년도	52
10차년도	133	20차년도	49

제1안의 건설비를 활용한 수상태양광 발전소의 해당 연도별 순현재가치(NPV)는 1차년도에 19억8백만원으을 시작으로 6차년도까지 하락하였고, 대출금 상환이 끝나는 7차년도에 14억2천7백만원으로 대폭 증가하였지만, 또다시 20차년도까지 하락하는 것으로 분석되었다. 즉, 제1안 우호적 사업비 데이터를 활용한 수상 태양광발전소 건설 사업은 경제성이 있는 것으로 분석되었으며, 아래의 표 4.11 (a)과 같이 경제성 분석결과를 정리하였다.

제2안의 건설비를 활용한 수상태양광 발전소의 해당 연도별 순현재가치(NPV)는 1차년도에 17억8천만원을 시작으로 6차년도까지 하락하였고, 대출금 상환이 끝나는 7차년도에 21억6천2백만원으로 대폭 증가하였지만, 또다시 20차년도까지 하락하는 것으로 분석되

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

어 사업 경제성이 없는 것으로 분석되었다. 제2안의 보수적 건설비를 활용한 수상태양광 사업의 해당 연도별 순현재가치(NPV)는 표 4.11 (b)과 같이 정리하였다.

이처럼 경험이 부족한 대규모 수상태양광 사업의 경우 순현재가치(NPV)가 -26억6천1백만원에서 35억2천2백만원까지 큰 폭으로 변동할 수 있어 사업 추진 의사결정의 모호함이 발생함을 확인하였다. 이에 본 연구에서는 수상태양광 사업 불확실성을 반영한 경제성을 재분석 하고 상황에 맞는 적정 의사결정 방안에 대해 분석해 보고자 한다. 또한, 현재 국내 수상태양광 실 수행 사례를 살펴보았을 때, 운영기간 내의 전력판매단가의 불확실성, 민원발생 등 여러 불확실성 요소로 인하여 사전경제성 분석 예측결과에 도달하지 못함을 확인하여 본문 '4.2 실물옵션 분석법(ROA)을 이용한 가치평가'에서 프로젝트 수익불확실성을 반영한 경제성 재분석을 수행하고자 한다.

표 4.11 (a)수태양광 발전소 연간 순현재가치단위: 백만원)

사업연도	순현재가치	사업연도	순현재가치
1차년도	1,908	11차년도	1,076
2차년도	309	12차년도	1,003
3차년도	241	13차년도	934
4차년도	277	14차년도	871
5차년도	308	15차년도	811
6차년도	335	16차년도	756
7차년도	1,428	17차년도	704
8차년도	1,330	18차년도	656
9차년도	1,240	19차년도	611
10차년도	1,155	20차년도	570

표 4.11 (b)수태양광 발전소 연간 순현재가치단위: 백만원)

사업연도	순현재가치	사업연도	순현재가치
1차년도	1,897	11차년도	1,048
2차년도	-204	12차년도	976
3차년도	-250	13차년도	909
4차년도	-166	14차년도	847
5차년도	-92	15차년도	789
6차년도	-25	16차년도	735
7차년도	1,391	17차년도	684
8차년도	1,296	18차년도	638
9차년도	1,207	19차년도	594
10차년도	1,125	20차년도	553

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

4.2 실물옵션 분석법(ROA)을 이용한 가치평가

4.2.1 실물옵션에 의한 4단계 가치평가 과정

Copeland and Antikarov(2003)는 실물옵션에 의한 특정 프로젝트의 가치평가 과정을 4단계로 제안하고 있다. 본 논문에서도 Copeland and Antikarov(2003)의 4단계 실물옵션 가치 평가 방법론을 준용하여 전라남도 'N댐' 태양광발전소 건설 프로젝트에 의사결정의 유연성을 반영할 때의 사업 가치를 평가해 보고자 한다.

제 1단계는 전통적인 순현재가치법에(NPV) 의해 의사결정의 유연성이 없는 상태에서 대상 프로젝트의 NPV를 도출하는 것이다. 본 연구에서는 '4.1 전통적 가치평가 방법을 활용한 경제성분석'을 통해 전통적 가치평가 방식으로써의 경제성을 분석하였다.

제 2단계는 대상 프로젝트 NPV의 변동성(volatility)에 영향을 미치는 불확실성들을 반영한 사상나무(Event Tree)를 작성하는 것이다. 제 2단계까지는 의사결정 상의 유연성을 반영하지 않았으므로, 사상나무에 기초한 프로젝트의 현재 가치는 1단계에서의 NPV와 동일해야한다. 본 연구에서는 '2.1 실물옵션분석을 활용한 신재생에너지사업의 경제성분석'을 통해 신재생에너지 경제성 평가의 주요 변동성요인으로 고려되는 전력판매단가(SMP)를 확인하였으며, '4.2.2 실물옵션의 변동성 추정'을 통해 전력판매단가(SMP) 변동성을 추정하여 '4.2.3 실물옵션의 사상나무(Event Tree)'에 반영하고자 한다.

제 3단계는 제 2단계에서의 사상나무에 활용 가능한 의사결정의 유연성을 반영하여 의사결정나무(Decision Tree)를 작성하는 것이다. 본 연구에서는 '4.2.4 실물옵션의 의사결정나무(Decision Tree)'를 활용하여 본 사례 프로젝트에 의사결정의 유연성을 반영한 사업 가치를 재평가 하고자 한다.

제 4단계는 의사결정나무에 대하여 수리적 방법과 스프레드 쉬트(Spread Sheet) 프로그램을 이용하여 의사결정의 유연성이 반영될 경우 대상 프로젝트의 NPV를 평가하는 것이다. 본 연구에서는 '4.2.5 실물옵션 가치평가'를 통해 의사결정의 유연성을 반영한 사

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

업 가치와 기존 NPV와의 비교를 통해 실물옵션을 활용한 신재생에너지 프로젝트 경제성 분석의 효용성과 본 프로젝트의 시사점을 분석하였다.

4.2.2 실물옵션의 변동성 추정

본 연구에서는 전력판매단가(SMP) 변동성을 주요 수익변동요인으로 고려하였고, 2009년 1월부터 2019년 12월까지의 계통한계가격(SMP) 월별 평균가를 기초로 하여 월별 자료를 산출하여 변동성을 추정하였다.

표 4.12 SMP 월별 평균가를 기초로 변동성 추정 (2009년~2019년)

기 간	SMP 가격	RN	자연로그	표준편차
2019/12	84.18	1	-	-
2019/11	81.83	0.97208	-0.02831	0.00110
2019/10	88.21	1.07797	0.07508	0.00493
2019/09	79.64	0.90285	-0.10220	0.01147
2019/08	84.83	1.06517	0.06313	0.00339
2019/07	79.76	0.94023	-0.06163	0.00442
2019/06	78.54	0.98470	-0.01541	0.00041
2019/05	79.65	1.01413	0.01403	0.00008
2019/04	99.44	1.24846	0.22191	0.04710
2019/03	112.42	1.13053	0.12269	0.01388
2019/02	105.85	0.94156	-0.06022	0.00424
2019/01	111.28	1.05130	0.05003	0.00204
2018/12	109.95	0.98805	-0.01202	0.00029
2018/11	105.11	0.95598	-0.04502	0.00249
2018/10	102.36	0.97384	-0.02651	0.00099
2018/09	92.87	0.90729	-0.09730	0.01044
2018/08	91.02	0.98008	-0.02012	0.00062
2018/07	87.27	0.95880	-0.04207	0.00220
2018/06	89.79	1.02888	0.02847	0.00056
2018/05	87.64	0.97606	-0.02424	0.00085
2018/04	90.91	1.03731	0.03663	0.00101
2018/03	101.47	1.11616	0.10989	0.01103
2018/02	90.75	0.89435	-0.11165	0.01358
2018/01	92.23	1.01631	0.01618	0.00013
2017/12	90.77	0.98417	-0.01596	0.00043
2017/11	81.48	0.89765	-0.10797	0.01273

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

2017/10	72.84	0.89396	-0.11209	0.01368
2017/09	73.21	1.00508	0.00507	0.00000
2017/08	76.40	1.04357	0.04265	0.00143
2017/07	76.79	1.00510	0.00509	0.00000
2017/06	82.71	1.07709	0.07427	0.00482
2017/05	79.14	0.95684	-0.04412	0.00240
2017/04	75.35	0.95211	-0.04907	0.00291
2017/03	92.06	1.22177	0.20030	0.03819
2017/02	91.07	0.98925	-0.01081	0.00025
2017/01	86.31	0.94773	-0.05368	0.00343
2016/12	86.93	1.00718	0.00716	0.00001
2016/11	75.04	0.86322	-0.14708	0.02309
2016/10	73.48	0.97921	-0.02101	0.00067
2016/09	71.55	0.97373	-0.02662	0.00099
2016/08	71.73	1.00252	0.00251	0.00001
2016/07	67.06	0.93489	-0.06732	0.00521
2016/06	65.31	0.97390	-0.02644	0.00098
2016/05	68.78	1.05313	0.05177	0.00220
2016/04	75.38	1.09596	0.09163	0.00753
2016/03	87.31	1.15826	0.14692	0.02018
2016/02	87.62	1.00355	0.00354	0.00000
2016/01	90.77	1.03595	0.03532	0.00093
2015/12	95.46	1.05167	0.05038	0.00207
2015/11	94.93	0.99445	-0.00557	0.00011
2015/10	98.34	1.03592	0.03529	0.00093
2015/09	90.98	0.92516	-0.07779	0.00683
2015/08	88.59	0.97373	-0.02662	0.00099
2015/07	81.99	0.92550	-0.07742	0.00677
2015/06	84.54	1.03110	0.03063	0.00066
2015/05	96.62	1.14289	0.13356	0.01656
2015/04	103.72	1.07348	0.07091	0.00436
2015/03	118.35	1.14105	0.13195	0.01615
2015/02	121.33	1.02518	0.02487	0.00040
2015/01	140.76	1.16014	0.14854	0.02064
2014/12	144.10	1.02373	0.02345	0.00035
2014/11	133.78	0.92838	-0.07431	0.00627
2014/10	132.22	0.98834	-0.01173	0.00028
2014/09	131.44	0.99410	-0.00592	0.00012
2014/08	128.60	0.97839	-0.02184	0.00071
2014/07	142.72	1.10980	0.10418	0.00986
2014/06	136.35	0.95537	-0.04566	0.00255
2014/05	144.61	1.06058	0.05882	0.00291

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

2014/04	151.09	1.04481	0.04384	0.00152
2014/03	163.40	1.08147	0.07833	0.00539
2014/02	153.63	0.94021	-0.06165	0.00443
2014/01	143.16	0.93185	-0.07058	0.00569
2013/12	149.90	1.04708	0.04601	0.00169
2013/11	145.05	0.96765	-0.03289	0.00143
2013/10	155.80	1.07411	0.07149	0.00444
2013/09	136.88	0.87856	-0.12947	0.01805
2013/08	154.19	1.12646	0.11908	0.01304
2013/07	155.29	1.00713	0.00711	0.00000
2013/06	158.13	1.01829	0.01812	0.00018
2013/05	151.04	0.95516	-0.04587	0.00258
2013/04	163.33	1.08137	0.07823	0.00538
2013/03	152.13	0.93143	-0.07104	0.00576
2013/02	150.79	0.99119	-0.00885	0.00019
2013/01	152.14	1.00895	0.00891	0.00002
2012/12	165.46	1.08755	0.08393	0.00625
2012/11	139.04	0.84032	-0.17397	0.03198
2012/10	150.39	1.08163	0.07847	0.00542
2012/09	134.01	0.89108	-0.11532	0.01445
2012/08	160.94	1.20096	0.18312	0.03177
2012/07	185.14	1.15037	0.14008	0.01828
2012/06	178.16	0.96230	-0.03843	0.00188
2012/05	171.35	0.96178	-0.03897	0.00192
2012/04	158.24	0.92349	-0.07960	0.00714
2012/03	177.53	1.12190	0.11503	0.01213
2012/02	159.93	0.90086	-0.10440	0.01194
2012/01	147.88	0.92465	-0.07834	0.00692
2011/12	146.64	0.99161	-0.00842	0.00018
2011/11	140.63	0.95902	-0.04185	0.00218
2011/10	123.73	0.87983	-0.12803	0.01766
2011/09	133.51	1.07904	0.07607	0.00507
2011/08	117.09	0.87701	-0.13123	0.01853
2011/07	119.50	1.02058	0.02037	0.00024
2011/06	119.84	1.00285	0.00284	0.00000
2011/05	117.78	0.98281	-0.01734	0.00049
2011/04	117.56	0.99813	-0.00187	0.00005
2011/03	123.70	1.05223	0.05091	0.00212
2011/02	123.47	0.99814	-0.00186	0.00005
2011/01	132.30	1.07152	0.06907	0.00412
2010/12	131.43	0.99342	-0.00660	0.00013
2010/11	105.74	0.80453	-0.21749	0.04945

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

2010/10	112.01	1.05930	0.05760	0.00278
2010/09	116.42	1.03937	0.03862	0.00114
2010/08	119.89	1.02981	0.02937	0.00060
2010/07	114.51	0.95513	-0.04591	0.00258
2010/06	114.80	1.00253	0.00253	0.00001
2010/05	115.66	1.00749	0.00746	0.00001
2010/04	115.48	0.99844	-0.00156	0.00004
2010/03	120.88	1.04676	0.04570	0.00167
2010/02	120.52	0.99702	-0.00298	0.00006
2010/01	122.58	1.01709	0.01695	0.00015
2009/12	116.77	0.95260	-0.04856	0.00286
2009/11	104.45	0.89449	-0.11150	0.01354
2009/10	83.56	0.80000	-0.22314	0.05199
2009/09	79.78	0.95476	-0.04629	0.00262
2009/08	75.70	0.94886	-0.05249	0.00329
2009/07	66.39	0.87701	-0.13123	0.01853
2009/06	74.08	1.11583	0.10960	0.01097
2009/05	93.69	1.26471	0.23485	0.05289
2009/04	114.18	1.21870	0.19778	0.03721
2009/03	126.37	1.10676	0.10144	0.00932
2009/02	161.05	1.27443	0.24250	0.05647
2009/01	159.44	0.99000	-0.01005	0.00022

월별 SMP 가격의 자연로그 값의 평균을 구하면 0.004876이고 표준편차의 합계는 0.96788을 구하였다. 변동성 표준편차 합계를 총 기간 132개에서 표준편차를 구한 기간인 131개로 나눈 값을 제곱근하면 0.085956을 구할 수 있다. 그러나 이 변동성은 월별 변동성이므로 연간 변동성으로 변환해줄 필요가 있다. 월별 변동성을 연간 변동성으로 변환하기 위해서는 월별 변동성에 개원수인 12의 제곱근을 곱하면 0.297759로 SMP 가격의 변동성은 29.78%가 된다.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

4.2.3 실물옵션의 사상나무(Event Tree) (2단계)

1단계에서 선정된 사례 프로젝트에서의 기초자산에 대해 2단계에서는 의사결정상의 유연성을 반영하지 않은 사상나무를 작성하였다. 위험중립을 가정한 이항모형에서 사상나무를 작성하기 위해서는 먼저 아래 변수들을 산정하여야 한다.

S_0 : 분석대상 사업의 기초자산
σ : 사업의 기초자산의 연간 변동성
r_f : 무위험 이자율

1) 분석대상 사업의 기초자산, S_0

여기서 S_0는 옵션의 유형에 따라 장래 총 편익의 현재가치와 본 프로젝트의 잉여현금흐름(Free Cash Flow, 이하 FCF)으로 구분할 수 있으며, 육상태양광과 수상태양광 각각의 S_0는 표 4.13과 같다.

표 4.13 육상, 수상태양광 발전소 기초자산(S_0) (단위: 백만원)

구분	육상태양광	제1안. 수상태양광	제2안. 수상태양광
잉여현금흐름 (FCF)	-123	3,522	-2,660
총 편익의 현재가치	27,498	33,105	13,839

2) 무위험 이자율, r_f

본 논문에서 연간 무위험이자율(r_f)은 대상사업의 기준년도인 2019년 연간 평균 국고채(5년) 금리인 4.52%를 적용하였다.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

3) 옵션 만기

옵션 만기를 정하기 위해서는 우선 분석대상 사업에 적용할 옵션의 종류를 결정하여야 한다. 본 논문에서는 '3.3.1 실물옵션의 종류'에서 언급한 옵션의 종류 중 연기옵션(Option to Defer)을 활용하여 (-)NPV로 분석되었던 육상태양광(Phase1.) 및 제2안 수상태양광(Phase2.) 사업 가치를 사업 환경이 호전되거나 혹은 불확실성이 해소될 때까지 연기함으로써 예상되는 기대가치를 산출하고자 하였다. 또한, 전라남도 'N댐' 유휴수면의 1%를 활용하여 수상태양광 설치를 가정하였던 초기 사업에서 나아가, 한국수자원공사가 예측한 유휴수면의 5%까지 확장(Phase3.) (Option to Expand / Option to Alter Operation Scale)하여 활용하였을 경우 사업 가치를 산출하고자 하였다.

기 언급한 바와 같이 전라남도 'N댐' 태양광발전소 건설사업의 추진일정은 2년의 설계 및 법률, 인허가 등의 사업 준비 기간과 1년의 건설기간 이후 20년의 운영기간으로 설정되어 있다. 육상태양광(Phase1.) 및 제2안 수상태양광(Phase2.) 사업의 경우 (-)NPV로 인해 사업 추진 의사결정에 소극적일 수 있으나, 사업 환경이 호전되거나 불확실성이 해소될 때 까지 연기함으로써 사업 가치를 향상시킬 수 있다. 이에, 본 연구에서는 5년의 옵션 만기를 가정하여, 향후 5년 동안의 사업 환경 변화에서의 사업 가치를 추정하고자 하였다. 또한 수상태양광 사업의 경우 유휴수면 1%를 활용한 초기 건설사업 이후, 운영기간 최대 7년 이내 추가 확장함(Phase3.)을 가정하여 확장시의 사업 가치를 추정하고자 하였다.

4) 기타 변수들의 산정

대상 사업의 기초자산에 대한 사상나무를 작성하고 추후 3단계에서 의사결정나무를 작성하기 위해서는 앞에서 산정된 변수들(S_0, σ, r_f)을 이용하여 연도별 기초자산의 상승비율(u)과 하강비율(d), 위험중립확률(p) 등을 산정해야 한다. 이들 변수들의 산정 식은 아래의 식 4.1 ~ 식 4.3과 같다.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

$$u = e^{\sigma} \tag{4.1}$$

$$d = \exp^{-\sigma} = 1/u \tag{4.2}$$

$$p = \frac{(1+r) - d}{u - d} \tag{4.3}$$

이상과 같은 과정을 거쳐 산정된 사상나무와 의사결정나무 작성을 위한 변수들의 산정 결과는 표 4.14와 같다.

표 4.14 실물옵션 분석을 위한 변수 산정 결과

구분		(Phase1.) 육상태양광	(Phase2) 제2안. 수상태양광	(Phase3) 제1안. 수상태양광
S_0	FCF	-123 백만원	-2,660 백만원	3,522 백만원
	총 편익 현재가치	1,477 백만원	13,839 백만원	16,521 백만원
적용옵션		연기옵션	연기옵션	확장옵션
변동성 (σ)		29.78 %		
무위험 이자율 (r_f)		4.52 %		
상승비율 (u)		1.347		
하강비율 (d)		0.742		
위험중립확률 (p)		0.503		

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

5) 사상나무(Event Tree) 작성

위와 같이 산정된 변수들을 이용하여 사상나무는 표 4.15와 같이 기초자산의 초기 값($S_{육상}$ = 1,477 백만원, $S_{수상}$ = 3,522 백만원)에서 출발하여 옵션만기에 해당하는 연차까지 연도별로 전진계산과정(Rolling Forward Process)을 거쳐 작성하였다.

표 4.15 전진계산 과정을 통한 사상나무 작성 과정

	기준 시점 (t=0)	1년차 (t=1)	2년차 (t=2)	…
s=0	S_0	$S_{10} = uS_0$	$S_{20} = u^2S_0$	…
s=1		$S_{11} = dS_0$	$S_{21} = udS_0$	…
s=2			$S_{22} = d^2S_0$	…
⋮				…

주 : 1년차 이후에 S_{ts}는 t년차의 s상태의 기초자산의 가치임. 아래의 본문 내용들에서도 기초자산의 표기는 동일한 방식 적용하였음.

이러한 방식으로 작성된 옵션만기, 즉 5, 7년차까지의 기초자산의 사상나무는 표 4.16 ~ 4.17과 같다.

표 4.16(a) Phase1. 육상태양광 기초자산 사상나무

t=0	t=1	t=2	t=3	t=4	t=5
1477.0	1989.4	2679.5	3608.9	4860.8	6547.0
	1096.6	1477.0	1989.4	2679.5	3608.9
		814.2	1096.6	1477.0	1989.4
			604.5	814.2	1096.6
				448.8	604.5
					333.2

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

표 4.16(b) Phase2. 제2안 수상태양광 기초자산 사상나무

t=0	t=1	t=2	t=3	t=4	t=5
13839.0	18639.6	25105.6	33814.5	45544.5	61343.6
	10274.8	13839.0	18639.6	25105.6	33814.5
		7628.5	10274.8	13839.0	18639.6
			5663.8	7628.5	10274.8
				4205.1	5663.8
					3122.1

표 4.17 Phase3. 수상태양광 기초자산 사상나무

t=0	t=1	t=2	t=3	t=4	t=5	t=6	t=7
3522.0	4743.8	6389.3	8605.7	11591	15611	21027	28321
	2614.9	3522.0	4743.8	6389.3	8605.7	11591	15611
		1941.4	2614.9	3522.0	4743.8	6389.3	8605.7
			1441.4	1941.4	2614.9	3522.0	4743.8
				1070.2	1441.4	1941.4	2614.9
					794.6	1070.2	1441.4
						589.9	794.6
							438.0

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

4.2.4 의사결정나무(Decision Tree) 및 사업가치 산정 (3, 4단계)

2단계에서의 기초자산에 대한 사상나무 작성결과와 제 변수들의 산정결과에 근거하여 연기옵션과 확장옵션을 적용할 경우의 의사결정나무를 작성하였다. 여기서 의사결정나무는 각각의 옵션, 즉 의사결정 상의 유연성을 적용한 시나리오에 해당하는 연차별, 상태별 기초자산의 변화된 가치(이하 '옵션 적용가치')들로 구성된다.

옵션 적용가치의 산정은 처음에는 사상나무의 최종 연차로부터 시작하여 이전 연차로 역행하여 산정하게 된다. 먼저 사상나무의 최종 연차, 즉 옵션 만기 시점에서는 각 상태에 대해 식 4.3 ~ 식 4.4의 개념에 의해 옵션의 행사 여부를 판단하여 옵션 적용가치를 산정한다. 옵션 만기의 이전 연차들에 대해서는 다음 연차의 옵션 적용가치들과 무위험이자율(r_f), 위험중립확률(p)을 이용하여 식 4.5에 의해 할인된 현재가치를 산정한다. 유럽형 옵션이라면 이러한 할인된 현재가치가 각 상태의 옵션 적용가치가 된다. 미국형 옵션의 경우에는 각 상태에서 해당 연차에 옵션을 행사함으로써 얻는 가치와 다음 연차의 옵션 적용가치를 할인하여 구한 현재가치를 비교하여 최댓값을 선택하는 방식으로 옵션 적용가치를 구하게 된다. 이러한 방식으로 모든 연차와 사애들을 거쳐 역행계산을 함으로써 최종적으로 기준시점(t=0)에서의 옵션 적용가치가 산정된다. 본 연구에서 활용한 연기, 확장옵션은 옵션 만기이전 언제든지 옵션을 행사할 수 있는 미국형 옵션이라고 볼 수 있다.

$$Call\ Option\ (C) = Max(0, E[V(T)] - X) \tag{4.3}$$

$$Put\ Option\ (P) = Max(0, X - E[V(T)]) \tag{4.4}$$

$$C_0 = \frac{[pC_u + (1-p)C_d]}{1 + r_f} \tag{4.5}$$

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

1) 연기옵션(Option to Defer)

연기옵션은 옵션만기 시까지 연차별로 상황변화를 지켜보면서 전라남도 'N댐'의 유휴사면을 활용한 육상태양광(Phase1.)과 유휴수면 1%를 활용한 제2안의 수상태양광 건설사업(Phase2.)의 설계 착수 자체를 연기할 것인지 또는 착수할 것인지를 결정하는 시나리오이다. 이 시나리오에서 옵션만기에 해당하는 연차에는 사업을 착수할 것인지 또는 아예 착수하지 않을 것인지를 결정하게 된다. 여기서 연기옵션을 미국형 콜옵션의 형태로 고려할 수 있다.

Phase1. 육상태양광의 연기옵션에 대해서는 옵션만기인 t=5 시점에 s=0 상태의 eNPV는 MAX[$V_{50}-I_0\times(1+r_f)^5$, 0] = 4,551.2 백만원으로 산정되었다. 한편 t=4 시점, s=0 상태에서의 eNPV는 MAX[$V_{60}-I_0\times(1+r_f)^4$, $[p\times V_{50}+(1-p)\times V_{51}]/(1+r_f)$] = 2,956.2 백만원으로 산정되었다. 이러한 역행 산정과정을 거친 의사결정나무의 작성결과는 표 4.18(a)과 같다. 표 4.18(a)에 의하면 옵션만기 이전에는 모든 연차의 상태들이 "Defer" or "Not Invest"에 해당하여 사업 착수를 연기하거나 투자하지 않는 전략이 최적이라는 해석이 가능하다. 그리고 옵션만기인 5차 년도에 이르러서 "Invest"의 상태들에 해당할 경우 사업에 착수하고 기타 "Not Invest"의 상태일 경우에는 사업의 추진 자체를 포기하는 전략이 필요하다.

의사결정나무의 작성과정 등을 거쳐 산정된 기준시점에서의 연기옵션 적용시의 실물옵션가치(ROV)는 322.2 백만원이며, 이 결과는 기존 NPV와 비교할 시 445.2 백만원의 연기 의사결정으로 인한 추가가치를 확보할 수 있음을 의미한다. 따라서 기존 순현재가치(NPV)분석과는 다르게 만기 5년의 연기옵션을 적용할 경우 사례분석 대상 사업은 충분한 경제성이 확보되는 것으로 판단할 수 있다.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

표 4.18(a) 육상태양광 의사결정나무 (연기옵션)

t=0	t=1	t=2	t=3	t=4	t=5
322.2 (Defer)	584.7 (Defer)	1038.5 (Defer)	1790.6 (Defer)	2956.2 (Defer)	4551.2 (Invest)
	86.2 (Defer)	179.4 (Defer)	373.0 (Defer)	775.7 (Defer)	1613.1 (Invest)
		0.0 (Not-Invest)	0.0 (Not-Invest)	0.0 (Not-Invest)	0.0 (Not-Invest)
			0.0 (Not-Invest)	0.0 (Not-Invest)	0.0 (Not-Invest)
				0.0 (Not-Invest)	0.0 (Not-Invest)
					0.0 (Not-Invest)

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Phase2. 제2안의 사업비를 활용한 수상태양광의 연기옵션에 대해서는 옵션만기인 t=5 시점에 s=0 상태의 eNPV는 MAX[$V_{50}-I_0\times(1+r_f)^5$, 0] = 40,761.9 백만원으로 산정되었다. 한편 t=4 시점, s=0 상태에서의 eNPV는 MAX[$V_{60}-I_0\times(1+r_f)^4$, $[p\times V_{50}+(1-p)\times V_{51}]/(1+r_f)$] = 25,898.1 백만원으로 산정되었다. 이러한 역행 산정과정을 거친 의사결정나무의 작성결과는 표 4.18(b)과 같다. 표 4.18(b)에 의하면 옵션만기 이전에는 모든 연차의 상태들이 “Defer” or “Not Invest”에 해당하여 사업 착수를 연기하거나 투자하지 않는 전략이 최적이라는 해석이 가능하다. 그리고 옵션만기인 5차 년도에 이르러서 “Invest”의 상태들에 해당할 경우 사업에 착수하고 기타 “Not Invest”의 상태일 경우에는 사업의 추진 자체를 포기하는 전략이 필요하다.

의사결정나무의 작성과정 등을 거쳐 산정된 기준시점에서의 연기옵션 적용시의 실물옵션가치(ROV)는 2,731.4 백만원이며, 이 결과는 기존 NPV와 비교할 시 5,391.4 백만원의 연기의사결정으로 인한 추가가치를 확보할 수 있음을 의미한다. 따라서 기존 순현재가치(NPV)분석과는 다르게 만기 5년의 연기옵션을 적용할 경우 사례분석 대상 사업은 충분한 경제성이 확보되는 것으로 판단할 수 있다.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

표 4.18(b) 제2안 수상태양광 의사결정나무 (연기옵션)

t=0	t=1	t=2	t=3	t=4	t=5
2731.4 (Defer)	4980.0 (Defer)	8900.5 (Defer)	15481.4 (Defer)	25898.1 (Defer)	40761.9 (Invest)
	707.5 (Defer)	1471.3 (Defer)	3059.7 (Defer)	6363.1 (Defer)	13232.8 (Invest)
		0.0 (Not-Invest)	0.0 (Not-Invest)	0.0 (Not-Invest)	0.0 (Not-Invest)
			0.0 (Not-Invest)	0.0 (Not-Invest)	0.0 (Not-Invest)
				0.0 (Not-Invest)	0.0 (Not-Invest)
					0.0 (Not-Invest)

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

2) 확장옵션(Option to Expand / Option to Alter Operation Scale)

Phase3. 제1안의 사업비를 활용한 수상태양광의 확장옵션은 전라남도 'N댐' 1%의 유휴수면을 활용하여 수상태양광 건설 사업을 진행하다가 장래 상황변화에 따라 5%로 설비를 확장시키는 시나리오로 설정하였다. 이에 따라 확장옵션을 행사할 경우의 기초자산과 초기비용은 확장 비율인 500%씩 증가하는 것으로 가정하였다. 여기서 확장옵션은 미국형 콜옵션의 형태로 고려할 수 있다.

옵션만기인 t=7 시점에 s=0 상태의 옵션 적용가치는 MAX $[5\times V_{70}-5\times I_0\times(1+r_0)^7, V_{70}]$ = 53,034 백만원으로 산정되었다. 한편 t=6 시점, s=0 상태에서의 옵션 적용가치는 MAX$[5\times V_{60}-5\times I_0\times(1+r_0)^6, \ [p\times V_{70}+(1-p)\times V_{71}]/(1+r_f)]$ = 32,931 백만원으로 산정되었다. 이러한 역행 계산과정을 거친 의사결정나무의 작성결과는 아래의 표 4.19와 같다. 표 4.19에 의하면 7차년도 "Expand"의 상태에 해당할 경우에는 설치 수면을 1%에서 5%로 확장하고, 기타 "Go"에 해당하는 상태들에서는 당초 계획으로 사업을 추진하는 것이 최적이라는 해석이 가능하다.

의사결정나무의 작성과정 등을 거쳐 산정된 기준시점에서의 확장옵션 적용가치는 3,693.4 백만원이다. 이 가치는 기존 NPV와 비교했을 때, 171.4 백만원 추가 수익을 기대할 수 있어 기본 시나리오에 비해 경제성분석 결과가 향상되는 것을 알 수 있다. 그러나 연차의 지연에 따른 사업비의 증가로 인해 확장투자비 650억 대비 1억7천1백만원의 수익은 투자 효율이 매우저조하다고 판단되어 확장의사결정의 모호함이 있다. 이에 본 연구에서는 사업비 변동에 따른 ROV를 재분석하여 최적 확장시점을 도출하고자 하였다.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

표 4.19 제1안 수상태양광 의사결정나무 (확장옵션)

t=0	t=1	t=2	t=3	t=4	t=5	t=6	t=7
3693.4 (Go)	5077.6 (Go)	7056.4 (Go)	9961.2 (Go)	14373.2 (Go)	21356.9 (Go)	32931.4 (Go)	53034.0 (Expand)
	2630.5 (Go)	3539.5 (Go)	4762.6 (Go)	6408.4 (Go)	8622.8 (Go)	11602.5 (Go)	15611.8 (Go)
		1951.1 (Go)	2625.3 (Go)	3532.5 (Go)	4753.2 (Go)	6395.7 (Go)	8605.7 (Go)
			1447.1 (Go)	1947.2 (Go)	2620.1 (Go)	3525.5 (Go)	4743.8 (Go)
				1073.4 (Go)	1444.3 (Go)	1943.4 (Go)	2614.9 (Go)
					796.1 (Go)	1071.2 (Go)	1441.4 (Go)
						590.5 (Go)	794.6 (Go)
							438.0 (Go)

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

본 연구에서는 수상태양광 건설비용에 가장 크게 영향을 미치는 태양광 셀 모듈 가격 추이를 활용하여 가격 변화에 따른 ROV를 재분석 하였다. 그림 4.4는 최근 10년간 태양광 셀 모듈 가격변동 추이를 나타내며, 최소 4%에서 최대 45%까지의 큰폭의 변동성을 보이고 있음을 확인하였다.

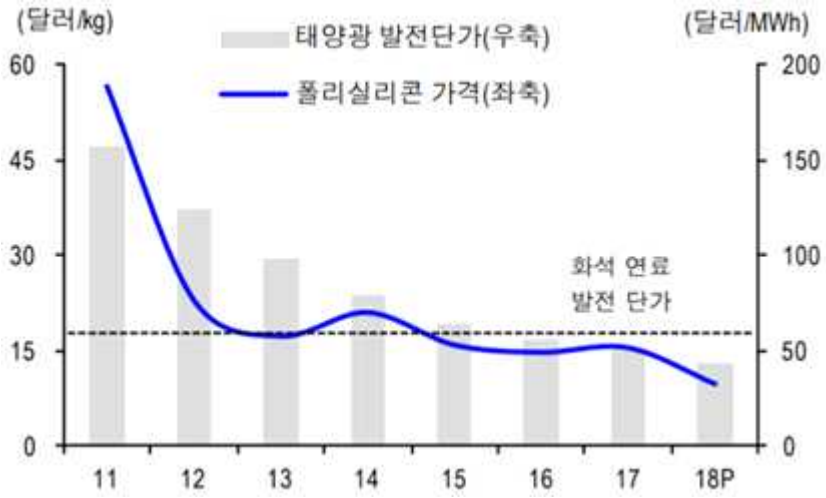


그림 4.4 태양광 셀 모듈 가격 변동추이

본 연구에서는 그림4.4의 가격 하락 변동성에 따른 ROV 변동성을 재분석하였다. 분석결과 5% 감소시 37억2천만원의 수익을 시작으로 30%감소시 38억7천만원의 수익으로 선형이동함을 확인하였다. 이후 35%감소시 수익변화 폭이 상승하였으며 40억8천만원을 시작으로 60% 감소시 51억2천만원 까지 선형이동함을 확인하였다. 또한, 65%이상 감소시 수익변화 폭이 상승하였으며 57억5천만원을 시작으로 80%감소시 82억5천만원까지 선형이동함을 확인하였다. 본 연구에서는 현실적인 상황을 고려하였을 경우 태양광 사업비의 60%이상 감축은 기대하기 힘들다고 판단하여, 사업비가 30%이상 감소할 경우 수상태양광의 확장옵션을 고려함이 합리적임을 판단하였다.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

제 5 장 결론 및 향후연구

5.1 요약 및 결론

전통적인 가치평가방법인 현금흐름할인법(DCF)은 불확실한 미래의 사업 환경을 현시점에서 하나의 안으로 확정한다는 비현실적인 가정을 기초로 한다. 반면 본 논문에서 사용한 실물옵션모델은 해당 투자사업의 진행 중 환경변화에 따라 수시로 기존의 계획을 변경할 수 있는 경영 유연성을 투자안의 가치평가에 반영한다. 예로 에너지사업, 생명과학산업과 같은 분야는 장기간에 걸쳐 수행되는 사업으로 투자 이후 미래 기술 및 경제상황에 따라 투자조정이 이루어진다. 순현재가치분석법(NPV)과 같은 전통적 가치평가방법으로는 이러한 유연성이 내재된 투자안에 대해 평가를 적절히 할 수 없다는 지적이 있다. 따라서 실물옵션모델을 활용하여 미래 수익불확실성을 반영한 프로젝트 가치평가를 수행한다면 보다 직관적이고 현실적인 사업가치 분석이 가능하다.

특히 신재생에너지 사업은 사업의 수명이 길고 초기 자금투입이 막대한 점 그리고 매우 불확실한 미래 규제환경에 노출되어 있다는 점에서 실물옵션모델을 적용한 정확한 투자가치 평가가 요구되는 사업 분야이다. 본 논문에서는 한국농어촌공사의 관리 수리시설인 전라남도 'N댐'을 대상으로 댐의 유휴사면을 활용한 육상태양광과 유휴수면(1%~5%)을 활용한 수상태양광 발전설비 설치를 제안하고, 신재생에너지 주요 수익변동요인으로 고려되는 계통한계가격(SMP)의 불확실성을 반영한 실물옵션 가치평가를 수행하였다. 본 논문에서는 한국농어촌공사와 태양광 시공 전문기업의 자문을 받아 대상지역의 사업비를 추정하였으며, 육상태양광의 경우 기존 사업수행 경험이 많아 합리적인 사업비 추정이 가능하지만, 수상태양광의 경우 기존 대규모 수상태양광 사업수행 경험이 부족하고 사업비의 변동 폭이 매우 큼을 확인하였다. 이에 본 연구에서는 육상태양광 사업비 1건과 수상태양광 사업비 2건(보수적, 우호적)을 추정하고 이를 활용하여 경제성분석을 수행하였다. 전통적 가치평가방식인 순현재가치분석(NPV)법으로 본 사례를 분석하였을 때, 육상태양광의 경우 (-)123 백만원, 수상태양광의 경우 제1안(우호적 사업비)은 3,522

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

백만원, 제2안(보수적 사업비)은 (-)2,660 백만원으로 분석되었다. 순현재가치분석(NPV)법 만으로 사업 추진의사결정을 수행할 경우 육상태양광은 사업을 기각함이 합리적이고, 수상태양광의 경우 수익 편차에 의해 사업추진 의사결정의 모호함이 발생함을 확인하였다. 이에 본 연구에서는 실물옵션 가치평가 방식을 활용하여 수익변동성(SMP)을 반영하고, 각 사업별 추진 단계(Phase1. 육상태양광 연기옵션, Phase2. 제2안을 활용한 수상태양광 연기옵션, Phase3. 제1안을 활용한 수상태양광 확장옵션)를 구분하여 본 사례의 경제성을 재분석 하였다.

육상태양광(Phase1.)과 제2안의 사업비를 활용한 수상태양광(Phase2.)의 경우 기존 (-)NPV로 인한 소극적인 사업추진 의사결정을 감안하고, 사업 환경이 호전되거나 불확실성이 해소될 때 까지 사업추진을 보류함으로써 사업 가치를 향상시키고자 연기옵션을 활용하여 분석하였다. 분석결과 육상태양광의 eNPV는 322.2 백만원으로 분석되었고, 이 결과는 기존 (-)NPV와 비교할 시 (+)445.2 백만원의 추가가치를 확보함으로써 기존의 사업추진 기각의사결정과는 다른 의사결정을 수행할 수 있음을 의미한다. 또한 제 2안의 사업비를 활용한 수상태양광의 경우 eNPV는 2,731.4 백만원으로 분석되었고, 이 결과는 기존 (-)NPV와 비교할 시 (+)5,391.4 백만원의 추가가치를 확보함으로써 기존의 사업추진 기각 의사결정과는 다른 의사결정을 수행할 수 있음을 확인하였다. 또한 1%의 유휴수면을 활용하여 수상태양광(제1안) 건설 사업을 진행하다가 장래 상황변화에 따라 5%로 설비를 확장시키는 시나리오(Phase3.)를 설정하여 분석하였다. 분석결과 eNPV는 3,693.4 백만원으로 분석되었고, 이 가치는 기존 ROV분석과 비교했을 때 약 171.4 백만원의 추가 수익을 기대할 수 있음을 의미한다. 그러나 본 수익은 확장투자비 650억 대비 저조한 수익으로 인한 확장의사결정 추진의 모호함이 있음을 확인하였다. 이에 본 연구에서는 수상태양광 사업비에 가장 크게 영향을 미치는 태양광 셀 모듈 가격변동 추이를 활용하여 사업비 변동에 따른 ROV 변동을 추가 분석하여, 기존 사업비 대비 30%이상 감소하였을 경우 확장옵션을 고려함이 합리적임을 확인하였다.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

5.2 연구의 한계와 향후연구

본 연구에서는 객관적이고 정확한 데이터 수집을 위해 태양광 시공 전문기업의 자문 및 공신력 있는 공공기관의 자료를 수집하였으나, 연간 운영비와 초기투자비 같은 데이터들은 많은 유연성이 있음을 확인하였고, 이에 향후연구에서는 대상지역의 정밀한 사업비 추정을 통한 경제성 분석이 필요하다. 또한 실물옵션을 적용할 때 불확실성의 요소는 분석결과에 큰 영향을 미친다. 본 연구에서는 태양광에너지 사업의 주요 변동성 요인으로 계통한계가격(SMP)변동성 하나를 고려하였지만, Phase3. 확장투자를 고려한 수상태양광 사업의 경우 사업비 변동성에 크게 영향을 받음을 확인하였다. 이에 향후 연구에서는 보다 정밀한 사업가치 분석을 위해 건설비용측면에서 연간운영비, 초기투자비 등의 불확실성 요소를 고려한 적정 변동성 추정을 활용한 분석이 필요하다.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

참 고 문 헌

1. 기획재정부. 2013.12. 2013~2017년 국가재정운용계획. 세종: 기획재정부
2. 구본상. 2013. “녹색 건설사업의 FiT 및 CDM 보조방안에 의한 수익성 향상 분석에 관한 연구.” 한국건설관리학회. 제14권 제3호.
3. 국토해양부. 2009. 건축구조 기준
4. 김기훈. 2010. “실물옵션을 이용한 공모형 PF사업 가치평가에 관한 연구” 경원대학교 대학원 석사학위 논문
5. 김영경, 장병만. 2012. “한국 태양광발전사업의 에너지균등화비용(LOCE) 추정: 재무적 투자자 참여 사업을 대상으로.” 신재생에너지. 제8권 제3호
6. 김종민, 김기영. 2008. “신재생에너지 발전(태양광, 풍력, 소수력, 바이오가스)의 경제성 분석 연구.” 한국태양에너지학회. 제28권 제6호.
7. 김태후, 최용호. 2019.12. 태양광 발전사업의 수익성 및 위험성 분석: 한국농어촌공사 사례를 중심으로
8. 산업통상자원부, 2017. 재생에너지 3020이행계획(안)
9. 서미자, 우제택, 이재환, 서태원, 한명희. 2015 “임차공간 설치 태양광 발전시스템 경제성 평가에 관한 연구”. 한국전자통신학회. 제10권 제12호
10. 윤원철, 『실물옵션가격결정방법을 활용한 에너지 관련 사업의 경제성 평가』, 에너지경제연구원, 2001
11. 하승룡, 황원호, 홍태훈, 현창택. 2008. “태양광 발전사업과 일반보급사업의 경제성 분석.” 대한건축학회 학술발표대회 논문집. 제28권 제1호.
12. 한국개발연구원. 2014. 노후화 인프라시설의 안전성 향상을 위한 추진방안 검토. 세종: 한국개발연구원.
13. 한국농어촌공사 농어촌연구원. 2014. 수리시설관리 효율화 실천방안 연구
14. 한국농촌경제연구원. 2013.12. 농업수리시설 관리의 효율화 방안 연구
15. 한국수자원공사, 2018. Floating Photovoltaic resources investigation report
16. 한국에너지공단. 2017년 신재생에너지 보급통계
17. 허가형(2014), “원자력 발전비용의 쟁점과 과제”서울 : 국회예산정책처.
18. Alex Triantis and Adam Borison, (2001), Real Option : State of the Practice, Journal of Applied Corporate Finance, Vol.14, No.2

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

19. Bacidore, J. M., A.Boquist, T.T.Milbourn and A.V.Thakor, (1967), The Search for the Best Financial Performance Measure, Financial Analysis Journa
20. Barroso, M. M., and Iniesta, J. B. (2014). "A valuation of wind power projects in Germany using real regulatory options." Energy , 77, pp. 422-433.
21. Batista, F. R. S., Geber de Melo, A., Teixeira, J. P., and Baidya, T. K. N. (2011). "The carbon market incremental payoff in renewable electricity generation projects in Brazil: A real options approach." Power Systems, IEEE Transactions on , 26(3)
22. Bøckman T, Fleten S-E, Juliussen E, Langhammer HJ, and Revdal I. (2008)
23. Choi, J-Y, Kim, H-B, Son, M-J, and Hyun, C-T. (2015). "Application of Real Option based Life Cycle Cost Analysis for Reflecting Operational Flexibility in Solar Heating Systems." Korean Journal of Construction Engineering and Management, KICEM , 16(4)
24. Copeland, T. and Antikarov, V. (2003), Real Options : A Practitioner's Guide. New York : Cengage Learning.
25. Cox, John C., Steven A. Ross, and Mark Rubinstein, (1979), Option Pricing: A Simplified Approach, Journal of Financial Economics, No. 7,
26. Detert N, and Kotani K. (2013). "Real options approach to renewable energy investments in Mongolia." Energy Policy . 56, pp. 136-50. Gaudard, L.
27. Gaudard, L. (2015). "Pumped-storage project: A short to long term investment analysis including climate change." Renewable & Sustainable Energy Reviews , 49,
28. Jeon C, Lee J, and Shin J. (2015). "Optimal subsidy estimation method using system dynamics and the real option model: Photovoltaic technology case." Applied Energy. 142,
29. Jeon Y-S. and Kim, H-T. (2010). "Feed-in Tariff calculation using real option approach : model derivation and application to photovoltaic generation." Korean Energy Economic Review , 9(1),
30. Johnathan Mun, (1964), Real Option Analysis: Tools and Techniques for Valuating Strategic Investments and Decisions, 2nd ed.,(New Jersey.: John Wiley & Sons, 2006). Journal of Finance, September

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

31. Kathleen T.Hevert, (1964), Real Option Primer: A Practical Synthesis of Concepts and Valuation Approaches, Journal of Applied Corporate Finance, Vol.14.no.2,
32. Kim, B., and Kim, C. (2016). "A Real Option Perspective to Evaluate Purchase Decisions of Construction Materials with High Price Volatility." Korean Journal of Construction Engineering and Management, KICEM , 17(1)
33. Kim, E. M., and Kim, M. S. (2013). "Evaluating Economic Feasibility of Solar Power Generation Under the RPS System Using the Real Option Pricing Method: Comparison Between Regulated and Non-regulated Power Providers." Journal of KIEEME , 26(9)
34. Kim, K., Jeong, H., Ha, S., Bang, S., Bae, D.-H., and Kim, H. (2017). "Investment timing decisions in hydropower adaptation projects using climate scenarios: A case study of South Korea." Journal of Cleaner Production , 142, Part 4,
35. Kim K, Kim S, and Kim H. (2016c). "Real options analysis for photovoltaic project under climate uncertainty." IOP Conference Series: Earth and Environmental Science . 40(1), 012080.
36. Kim, K., Park, H., and Kim, H. (2016a). "Real options analysis for renewable energy investment decisions in developing countries." Renewable and Sustainable Energy Reviews , http://dx.doi.org/10.1016/ j.rser.2016.1011.1073.
37. Kim K, Park T, Bang S, Kim H. (2016b). "Real OptionsBased Framework for Hydropower Plant Adaptation to Climate Change." Journal of Management in Engineering , doi:10.1061/(ASCE)ME.19435479.0000496.
38. Kim K-T, Lee D-J, and Park S-J. (2014). "Evaluation of R&D investments in wind power in Korea using real option." Renewable and Sustainable Energy Reviews . 40
39. Kim, Y., and Chang, B. (2014). "Real Option Valuation of a Wind Power Project Based on the Volatilities of Electricity Generation, Tariff and Long Term Interest Rate." New & Renewable Energy , 10(1)
40. Kjærland F. (2007). "A real option analysis of investments in hydropower－The case of Norway." Energy Policy , 35
41. Lee, D., Yun, S., Kim, S., and Jeong, K. (2012). "Economic Evaluation of Offshore Wind Power Demonstration Project by the Real Option Method." Korean Energy

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Economic Review, 11(2),

42. Lee H, Park T, Kim B, Kim K, and Kim H. (2013). “A real option-based model for promoting sustainable energy projects under the clean development mechanism.” Energy Policy , 54
43. Lee S-C. (2011)“Using real option analysis for highly uncertain technology investments: The case of wind energy technology.” Renewable and Sustainable Energy Reviews . 15
44. Lenos Trigeorgis and Scott P.Mason, (2004), Valuing Managerial Flexibility, Cambridge, Massachusetts: The MIT Press
45. Lin, B., and Wesseh Jr, P. K, (2013), "Valuing Chinese feed-in tariffs program for solar power generation: A real options analysis.” Renewable and Sustainable Energy Reviews , 28,
46. Loncar, D., Milovanovic, I., Rakic, B., and Radjenovic, T, (2016), "Compound real options valuation of renewable energy projects: The case of a wind farm in Serbia.” Renewable and Sustainable Energy Reviews , http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2016.11.001.
47. Martha Amram, Fanfu Li, and Chery A. Perkins, (2006), How Kimberly-Clark Uses Real Options, Journal of Applied Corporate Finance, Vol. 18, No.2
48. Martinez-Cesena EA, and Mutale J, (2012), “Wind power projects planning considering real options for the wind resource assessment.” Sustainable Energy, IEEE Transactions on , 3,
49. Martinez Cesena EA, Azzopardi B, and Mutale J, (2013), “Assessment of domestic photovoltaic systems based on real options theory.” Progress in Photovoltaics: Research and Applications , 21,
50. Prasad Kodukula and Chandra Papudesu, (2006), Project Valuation Using Real Options, Fort Lauderdale, Florida: Ross Publishing, Inc.
51. Reid, R. 2008. Special Report: The Infrastructure Crisis-Special Report. Civil Engineering-ASCE 78, a: 40-65.
52. R. H. Hayes and D. A. Garvin., (1982), Managing as if Tomorrow Mattered, Harvard Business Review, Vol. 60, No.3, May-June
53. Tom Copeland and Vladimir Antikarov, (2001), Real Options: Practitioner's Guide,

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

New York: TEXERE LLC

54. Venetsanos, K., Angelopoulou, P., and Tsoutsos, T. (2002). "Renewable energy sources project appraisal under uncertainty: the case of wind energy exploitation within a changing energy market environment." Energy Policy , 30(4),
55. Zavodov, K. (2012). "Renewable energy investment and the clean development mechanism." Energy Policy , 40,
56. Zhang, M. M., Zhou, P., and Zhou, D. Q. (2016). "A real options model for renewable energy investment with application to solar photovoltaic power generation in China." Energy Economics , 59.