

정량화된 옵션공간을 이용한 투자전략 시각화에 관한 연구

정성윤*, 김남곤

한국건설기술연구원 미래스마트건설연구본부

A study on investment strategy visualization using quantified option space

Seong-Yun Jeong*, Nan-Gon Kim

Department of Future & Smart Construction Research,
The Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology

요약 사업투자를 결정할 때 기본적으로 현재의 가치로 할인한 투자비용과 투자수익 간의 차이를 가지고서 현금흐름할인법 기반의 경제성 평가를 한다. 또는 미래의 불확실성에 내재된 가치를 평가하기 위해 실물옵션을 적용하기도 한다. 이때 경제성 평가 결과를 재무적 수치로 설명한다. 재무적 수치는 투자비용과 투자수익의 관계를 정확하게 설명할 수 있으나, 비전문가인 의사결정자에게 미래의 불확실성에 따른 사업의 수익성을 직관적으로 설명하는데 다소 부족함이 있다. 이를 보완하기 위해 Luehrman은 투자전략을 시각적으로 표현하는 OSM을 발표하였다. 하지만 Luehrman의 OSM은 투자전략 영역 간의 경계 기준이 모호하여 주관적인 판단에 의지해야 한다. 이러한 OSM의 모호함을 보조할 수 있도록 옵션공간의 위치를 정량적 수치로 나타낼 수 있는 OSM 알고리즘을 개발하였다. Luehrman의 OSM 적용사례와 비교하여 개발한 알고리즘의 유효성을 실증하였다. 본 연구결과는 새로운 OSM을 제시하기보다는 Luehrman의 OSM이 갖는 모호함을 보완하기 위한 보조수단으로 사용될 수 있을 것으로 사료된다. 끝으로, 본 연구결과의 제약과 추가적인 연구를 제시하였다.

Abstract When making a project investment decision, an economic evaluation based on the discounted cash flow method is performed by determining the difference between the discounted investment cost and the discounted investment revenue. Alternately, real options are applied to evaluate the value inherent in future uncertainty. This paper explains the economic evaluation results in terms of financial figures. Although financial figures accurately explain the relationship between investment cost and investment revenue, they are somewhat insufficient in intuitively explaining the project's profitability according to future uncertainties to non-expert decision-makers. To supplement this, Luehrman presented OSM, which visually expresses investment strategy. However, in Luehrman's OSM, since the boundary criteria between investment strategy regions are ambiguous, you need to rely on subjective judgment. To assist with the ambiguity of this OSM, we developed an OSM algorithm that quantitatively represents the location of the option space. The validity of the developed algorithm was verified by comparing it with Luehrman's OSM application. Rather than suggesting a new OSM, we believe that the results of this study can be applied as an auxiliary means to compensate for the ambiguity of Luehrman's OSM. Finally, we present the limitations of the results of this study and other additional studies.

Keywords : Real Option, Option Space Model, Quadtree Model, Investment Strategy visualization, quantified Option Space

이 논문은 과학기술정보통신부의 재원으로 한국건설기술연구원 "(22주요-대1-목적)미래 건설산업 견인 및 신시장 창출을 위한 스마트 건설기술 연구(2/2)" 과제의 지원을 받아 수행되었음.

*Corresponding Author : Seong-Yun Jeong(KICT)

email: syjeong@kict.re.kr

Received September 14, 2022

Revised October 5, 2022

Accepted December 7, 2022

Published December 31, 2022

1. 서론

의사결정자는 사업투자를 결정하는 판단 기준 중 하나로, 경제성을 평가한다. 경제성은 보편적으로 투자비용과 사업을 통해 얻는 수익을 현재가치로 할인한 후에 비용과 수익 간의 차이를 가지고서 재무적 가치를 평가한다. 이러한 평가를 현금흐름할인법(Discouted Cash Flow, DCF)이라고 한다. 하지만 DCF는 미래의 불확실성에 따른 사업 투자의 변화를 고려하지 않는다[1,2]. 이를 보완하기 위해 불확실성에 내재된 가치를 평가하는 실물옵션(Real Option, RO) 이론을 적용할 수 있다. 하지만 DCF와 RO 모두 재무적 가치로 사업의 경제성을 평가하기 때문에 전문 지식을 갖지 않은 의사결정자가 재무적 가치를 이해하기란 쉽지 않다. 이를 보완하기 위해 Luehrman[3]은 미래의 불확실성에 내재된 가치를 반영한 투자전략을 시각적으로 표현하기 위한 옵션공간 모형(Option Space Model, OSM)을 고안하였다. 이 OSM은 6개의 구역으로 구성된 2차원 공간의 위치에 따라 투자전략을 직관적으로 설명할 수 있다. 하지만 구역간의 경계선 기준과 2개 이상 투자 대안이 동일 구역에 위치한 경우에 어떤 대안 투자를 우선 고려해야 할지에 대한 판단 기준이 모호하였다. 이러한 OSM의 모호함은 옵션공간에서의 위치를 정량적 수치로 표시하지 않아서 나타난 결과라고 생각하였다. 이를 보조하기 위해 새로운 OSM 알고리즘을 개발하였다. 개발된 알고리즘을 실증하기 위해 다음과 같은 절차에 따라 연구를 수행하였다. 먼저, Luehrman의 OSM에 대해 살펴보고, 선행 연구사례를 조사하였다. 다음으로, 사분트리(Quadtree) 기반의 옵션공간 알고리즘에 대한 착안점을 설명하였다. Luehrman의 OSM 적용사례를 비교하여 개발한 알고리즘의 유효성을 실증하였다. 끝으로, 본 연구가 갖는 의의와 연구의 한계를 제시하였다.

2. 이론적 고찰

2.1 Luehrman의 OSM 이론

DCF에서 대표적으로 사용하는 순현재가치(Net Present Value, NPV)는 현금 유입과 현금 유출 간의 차이를 가지고서 경제성을 평가하는데 $NPV > 0$ 이면 경제성이 있다고 평가한다. NPV는 계산이 간단하고, 평가 결과를 쉽게 이해할 수 있다는 장점을 가지고 있으나, 현금흐름이 변하지 않는다는 전제하에서 현금흐름과 할인율만을 가

지고 경제성을 평가한다. 즉, 유연한 의사결정을 통해 기대할 수 있는 불확실성에 내재된 경제적 가치를 고려하지 않는다. 이를 보완하기 위해 RO 이론을 활용할 수 있다[4]. RO는 Eq. (1)과 같이 Dynamic NPV를 토대로 경제성 여부를 평가한다[5].

$$Dynamic\ NPV = Static\ NPV + Option\ Premium \quad (1)$$

여기서 Dynamic NPV는 Static NPV와 옵션행사를 통해 얻는 수익(payoff)의 합을, Static NPV는 불확실성을 고려하지 않는 DCF의 NPV를 말한다.

옵션 프리미엄을 계산하기 위해 기초자산 가치(S), 행사가격(X), 옵션기간일(t), 기초자산의 변동성(σ) 및 무위험이자율(rf) 등 변수를 사용한다. 한편, Luehrman의 OSM은 Eq. (2) 및 Eq. (3)과 같이 가치비용비율(NPVq)을 X축으로, 변동성을 Y축으로 한 2차원 평면공간을 의미한다.

$$가치비용비율(NPVq) = \frac{S}{PV(X)} \quad (2)$$

$$변동성(volatility) = \sigma\sqrt{t} \quad (3)$$

여기서 PV(X)는 투자비용의 현재가치를 말한다.

Fig. 1은 투자전략에 따라 'invest now', 'maybe now', 'probably later', 'maybe later', 'probably never', 'invest never' 등 6개의 구역으로 구분한 옵션공간을 나타낸 것이다. 옵션공간은 Fig. 2처럼 유럽형 콜 옵션일 때 NPVq가 왼쪽에서 오른쪽으로 이동할수록, 변동성은 위에서 아래로 이동할수록 옵션 프리미엄이 높아진다[3].



Fig. 1. Dividing option space into regions

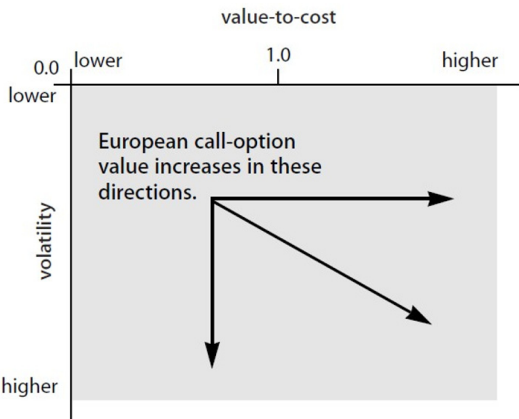


Fig. 2. Option space is defined by two Option-Value Metrics

2.2 선행연구사례 조사

Luehrman의 OSM은 투자비용과 투자수익간의 관계를 재무적 수치로 표시하는 대신에 2차원 옵션공간에 표시된 위치를 가지고서 투자전략을 시각적으로 표현하였다. 이러한 장점 때문에 Mun[4], Smit 외[5], 고영술[6,7], Khurum 외[8], 정인강[9], Chow 외[10], Badūns 외 [11] 등 여러 연구자들은 OSM을 이용하여 투자시기 등 투자전략을 설명하였다. 예를 들어 고영술[6,7]은 Luehrman의 OSM을 이용하여 개발, 일시중단, 포기 및 확대 등 옵션행사에 따른 연구개발 프로젝트의 투자수익 변화를 설명하였다. 또한, maybe later 구역과 probably never 구역 경계에 대한 판단 기준을 제시하였다. 정인강[9]는 IPTV 셋트박스 개발 프로젝트의 투자 시기를 invest now 구역과 maybe now 구역에 해당한다는 다소 모호한 설명을 제시하였다. 한편, Lewis[12], Chen 외[13], Domercant[14], Cannon[15]는 OSM의 X와 Y의 좌표 기준 및 투자전략 영역을 투자 사업에 맞게 응용한 새로운 OSM을 제시하였다.

3. 정량화된 OSM 알고리즘

3.1 사분트리(Quadtree) 모형

사분트리 모형은 R. Finkel과 J. L. Bentley[16]이 고안한 것으로, Fig. 3과 같이 사분면이 만나는 지점을 중심으로 하여 북서(North West, NW), 북동(North East, NE), 남서(South West, SW), 남동(South East, SE) 등의 방향으로 4개의 블록(quadrant block)을 분할하는

계층적 데이터 구조를 말한다. 사분트리 모형은 이진영상을 $2^m \times 2^m$ 개의 블록으로 분할하는데, 여기서 m은 레벨 수를 의미한다. Fig. 4 (a)는 이진 영상이고, Fig. 4 (b)는 이진 영상을 계층적 데이터 구조로 표시한 예를 나타낸 것이다[17].

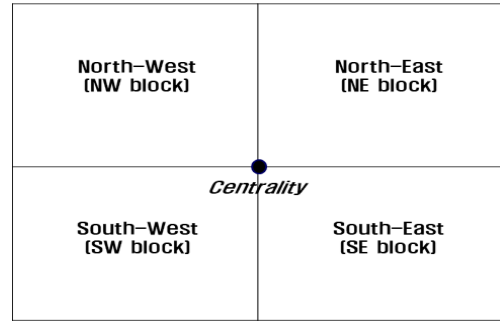
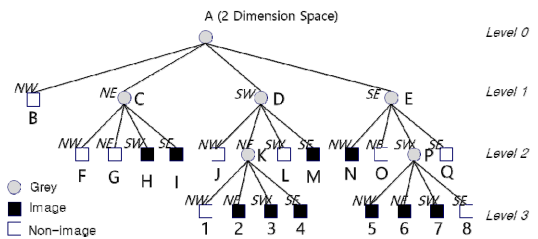


Fig. 3. Example of a Quadrant block

	B		F	G
			H	I
J	1	2	N	O
	3	4		
L	M		5	6
			7	8
			Q	

(a) Notation for the number of blocks



(b) Quadtree-based data structure of binary image

Fig. 4. Example of a Quadtree generation

3.2 정량화된 OSM 알고리즘 착안

본 연구는 Luehrman의 OSM이 갖는 모호함을 보조하기 위하여 다음과 같은 사분트리 모형을 이용하는 착안점을 구상하였다. 먼저, NPVq가 1.0보다 크고 작음에 따라 투자수익여부를 판가름할 수 있도록 X축의 중간지점을 1.0으로 지정하였다. 다음으로, X와 Y축의 좌표 눈금을 $2^m \times 2^m$ 개의 블록으로 나누었다. 예를 들어 m이 5인 경우에는 X축과 Y축을 각각 32개로 등분한 눈금으로

표시하였다. 등분된 눈금을 기준으로 2차원 공간을 1,024개의 블록으로 나누었다. 셋 번째로, $NPV_q > 1.0$ 인 경우에 NE 방향으로 이동할수록 NPV_q 는 높으면서 변동성은 낮아진다. 반대로, SW 방향으로 이동할수록 NPV_q 는 낮아지고 변동성은 높아진다. 따라서 NE 방향으로 이동할수록 투자시기가 빨리 도래할 수 있다. 반대로, $NPV_q < 1.0$ 인 경우에 NW 방향으로 이동할수록 NPV_q 와 변동성은 낮아지기 때문에 투자시기의 도래가 희박해진다. SE 방향으로 이동할수록 NPV_q 와 변동성이 높아지기 때문에 투자시기가 빨리 도래할 수 있다. 네 번째로, 블록의 위치를 정량적 점수로 환산하기 위해 사분면의 방향에 따라 기준점수 기준이 달라지도록 Eq. (4)를 제시하였다. 투자수익을 쉽게 알 수 있도록 Eq. (4)와 같이 NPV_q 가 1.0보다 크거나 작음에 따라 투자수익에 대한 기준점수를 양수(陽數) 또는 음수(陰數)로 표시하였다.

$NPV_q > 1.0$ 일 때, N 또는 E의 기준점수 = $2^{(m+1)-i}$,
 S 또는 W의 기준점수 = 2^{m-i} ,
 $NPV_q < 1.0$ 일 때, N 또는 W의 기준점수 = $-2^{(m+1)-i}$,
 S 또는 E의 기준점수 = -2^{m-i} (4)
 여기서 m은 지정한 레벨의 수, i는 현재의 레벨 수를 말한다.

다섯 번째로, 투자전략에 따라 최대 점수와 최소 점수를 부여할 수 있는 점수 기준이 필요하였다. 이 기준을 '투자전략별 배점'이라고 하였다. 투자전략별 배점은 최대 점수와 최소 점수의 사이를 기준으로 투자전략 영역을 지정하였다. 사분면의 꼭지에 있는 블록의 위치를 점수로 환산하였을 때 Eq. (5)와 같이 레벨별로 최대점수와 최소점수를 얻을 수 있다.

$$NPV_q > 1.0 \text{ 일 때, 최대점수} = \sum_{i=1}^m (2^{(m+1)-i}) \times 2,$$

$$\text{최소점수} = (2^{(m-1)/2} + 2^{(m-1)} + \sum_{i=2}^m 2^{(m-i)}) \times 2$$

$$NPV_q < 1.0 \text{ 일 때, 최소점수} = -(\sum_{i=1}^m (2^{(m+1)-i}) \times 2,$$

$$\text{최대점수} = -(2^{(m-1)/2} + 2^{(m-1)} + \sum_{i=2}^m 2^{(m-i)}) \times 2 \quad (5)$$

Eq. (4)와 Eq. (5)를 적용하면 Table 1과 같이 레벨 5까지 투자전략별로 배점 범위를 얻을 수 있다.

Table 1. Allotted scores by types of investment period

Levels	Invest now	Maybe now	Probably later	Maybe later	Probably never	Invest never
2	10.7~12.0	9.4~10.6	8.0~9.3	-8.0~-9.3	-9.4~-10.6	-10.7~-12.0
3	24.7~28.0	21.4~24.6	18.0~21.3	-18.0~-21.3	-21.4~-24.6	-24.7~-28.0
4	52.7~60.0	45.4~52.6	38.0~45.3	-38.0~-45.3	-45.4~-52.6	-52.7~-60.0
5	108.7~124.0	93.4~108.6	78.0~93.3	-78.0~-93.3	-93.4~-108.6	-108.7~-124.0

3.3 OSM 알고리즘 개발

앞에서 설명한 사분면 트리 모형과 착안점을 감안하여 Fig. 5와 같이 옵션공간을 정량적 수치로 표시할 수 있는 OSM 알고리즘을 개발하였다.

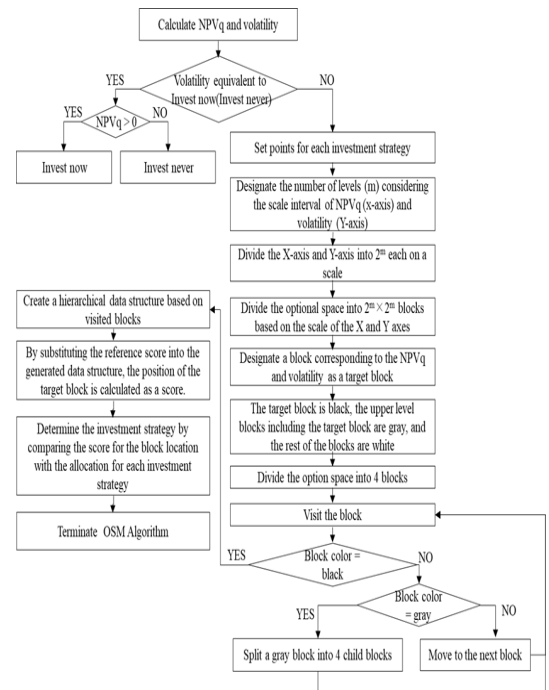


Fig. 5. The algorithm for quantified OSM

개발한 알고리즘은 다음과 같은 흐름으로 수행하도록 구상하였다. 먼저, Luehrman의 OSM과 동일하게 Eq. (2)와 Eq. (3)을 대입하여 NPV_q 와 변동성을 계산하였다. 만약 투자사업의 변동성이 'invest now' 또는 'invest never'에 해당하지 않는 경우에는 NPV_q (X축)과 변동성(Y축)의 눈금 간격을 고려하여 레벨 수(m)를 지정한다. 지정한 레벨 수를 기준으로 X축과 Y축을 각각 2^m 개로 등분한 눈금으로 표시하였다. 등분된 눈금을 기준으로 2차원 옵션공간을 $2^m \times 2^m$ 개의 블록으로 분할하

였다. 나는 블록들 중에서 NPV_q와 변동성에 해당하는 블록을 찾아 표적 블록으로 지정하였다. 표적블록의 색깔을 검정색으로 지정하였고, 표적블록을 포함하는 상위 레벨의 블록들은 회색으로 표시하였다. 검정색과 회색으로 표시되지 않은 블록은 흰색으로 지정하였다. 검정색을 갖는 블록을 찾으면 레벨 1에서부터 표적블록을 포함한 레벨까지 방문한 블록만을 모았다. 모은 블록의 위치를 계층적 데이터 구조로 생성하였다. 생성된 데이터 구조를 Eq. (4)와 Eq. (5)에 대입하여 표적블록의 위치를 정량화된 점수로 환산하였다. Table 1을 참조하여 환산된 점수에 따른 투자전략을 결정하였다.

4. 실증 분석

4.1 Luehrman의 OSM 적용 사례

Luehrman은 Table 2와 같이 재무적 수치로 표시된 6개의 개별 프로젝트에 대한 NPV와 옵션 프리미엄 및 RO를 적용하기 위한 변수를 제시하였다. 제시된 프로젝트들에 대한 투자시기 등 투자전략을 Fig. 6과 같이 옵션 공간에 시각적으로 표시하였다[3].

Table 2. Vital statistics for six independent projects

Variable	A	B	C	D	E	F	Portfolio Value
S Underlying asset value (\$ millions)	\$100.00	\$100.00	\$100.00	\$100.00	\$100.00	\$100.00	
X Exercise price (\$ millions)	\$90.00	\$90.00	\$110.00	\$110.00	\$110.00	\$110.00	
t Time to expiration (years)	0.00	2.00	0.00	0.50	1.00	2.00	
σ Standard deviation (per year)	0.30	0.30	0.30	0.20	0.30	0.40	
r _f Risk-free rate of return (% per year)	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	
NPV _q Value-to-cost metric	1.111	1.248	0.909	0.936	0.964	1.021	
σ _v Volatility metric	0.000	0.424	0.000	0.141	0.300	0.566	
Call value (\$ millions)	\$10.00	\$27.23	\$0.00	\$3.06	\$10.42	\$23.24	\$73.95
S-X Conventional NPV (\$ millions)	\$10.00	\$10.00	-\$10.00	-\$10.00	-\$10.00	-\$10.00	\$20.00
Region	1	2	6	5	4	3	
Exercise decision	now	maybe now	never	probably never	maybe later	probably later	

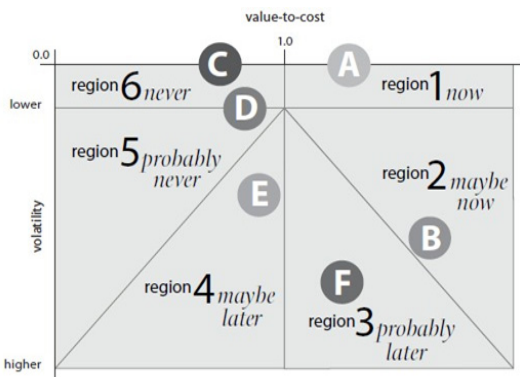


Fig. 6. Locating the projects in the option space

static NPV의 관점에서 볼 때 NPV > 0인 ①과 ② 프로젝트만 투자 가치가 있고, 나머지 프로젝트들은 투자 가치가 없다. 하지만 RO를 적용한 경우에는 ① 프로젝트는 미래의 불확실성이 거의 발생하지 않으면서 투자수익이 예상되므로 지금 투자하는 것이 바람직하고, 반대로 ③ 프로젝트는 미래의 불확실성이 거의 발생하지 않으면서 투자손실이 예상되므로 투자하지 말라는 전략을 표시하였다. 나머지 프로젝트들은 미래의 상황 변화에 따라 유연한 의사결정을 행사한다면 투자시기의 차이는 있으나, 투자수익을 기대할 수 있다는 전략을 표시하였다. 이처럼 OSM은 수익성이 가장 높은 프로젝트를 선별하는 판단기준이라기 보다는 프로젝트들의 투자시기를 직관적으로 시각화할 수 있는 모형이라 볼 수 있다. 하지만 Fig. 6에서 보듯이 OSM은 NPV_q와 변동성의 높고 낮음을 주관적으로 판단해야 한다. 또한, 구역(4)과 구역(5) 간의 경계기준이 없어 투자수익이 경계에 위치할 경우에는 어떤 투자전략을 선택해야 할지가 모호할 수 있다. 더불어, 2개 이상의 프로젝트가 동일 구역에 위치한 경우에 어떤 프로젝트를 우선 투자해야 할지에 대한 판단기준이 분명하지 않다.

4.2 개발 알고리즘 적용

본 연구는 Luehrman의 OSM 적용 사례를 토대로 개발 알고리즘의 유효성을 다음과 같이 실증하였다. 먼저, X축의 범위를 0에서 2.0까지, Y축의 범위를 0에서 1.0까지, 레벨 수는 5로 지정하여 옵션공간을 1,024개의 블록으로 나누었다. Eq. (2)와 Eq. (3)을 대입하여 Fig. 7과 같이 옵션공간에 프로젝트들의 위치를 표시하였다. 이때 고영술[8]에서 제시한 것과 같이 프로젝트별로 투자수익과 투자비용간의 관계를 실선과 점선으로 그려진 원으로 표시하였다.

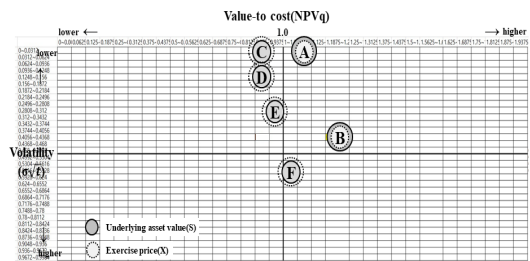


Fig. 7. Example of the option space for projects in Table 2

다음으로, 개발한 알고리즘을 적용하면 Fig. 8과 같이 방문한 블록들을 계층적 데이터 구조로 생성하였다. 생성된 계층적 데이터 구조를 Eq. (3)에 대입한 후에 Table 1을 참조하여 Table 3과 같은 점수와 투자전략을 얻었다.

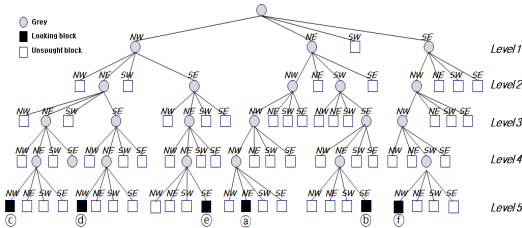


Fig. 8. Quadtree-based data structure for location of projects

Table 3. Scores and investment strategy for the six projects

Project	L.1	L.2	L.3	L.4	L.5	Score	Investment strategy
Ⓐ	NE	NW	NW	NW	NE	110	Invest now
Ⓑ	NE	SW	SW	NE	SE	99	Maybe now
Ⓒ	NW	NE	NE	NE	NW	-110	Invest never
Ⓓ	NW	NE	SE	NE	NW	-106	Probably never
Ⓔ	NW	SE	NE	NE	SE	-100	Probably never
Ⓕ	SE	NW	NW	SW	NW	91	Probably later

프로젝트들은 동일한 투자전략을 얻었다. Ⓔ 프로젝트는 NPVq가 1.0보다 작았고, static NPV도 0보다 작았다. 변동성은 상대적으로 높았고, dynamic NPV도 0보다 높았다. Luehrman의 OSM에서는 static NPV와 dynamic NPV를 고려하여 maybe later라는 투자전략을 제시하였다. 반면에, 개발한 알고리즘은 static NPV와 Dynamic NPV를 고려하지 않고, 옵션공간에 표시된 블록의 위치에 대한 점수를 기준으로 투자시기를 판단하였다. 예를 들어 Ⓔ 프로젝트는 Ⓓ 프로젝트보다 6점이 높기 때문에 Ⓓ 프로젝트보다 투자시기가 일찍 도래할 수 있다. Ⓔ 프로젝트는 Ⓕ 프로젝트보다 점수가 낮기 때문에 상대적으로 투자시기가 늦게 도래할 수 있다. 비록 Luehrman의 투자전략과는 다르지만 옵션공간에서의 위치를 볼 때 Ⓔ 프로젝트의 투자전략은 유사하다고 해석할 수 있다.

4.3 민감도 분석

본 연구는 Table 4와 Table 5와 같이 변동성($\sigma\sqrt{t}$)에 영향을 미치는 표준편차(σ)와 옵션만기일(t)의 값이

일정 비율로 증가하였을 경우에 Table 2에서 제시한 6개의 프로젝트의 투자전략이 어떻게 변하는 지를 확인하였다. Table 4에서 보듯이 Ⓐ 프로젝트와 Ⓒ 프로젝트는 표준편차가 변화하더라도 투자전략에는 영향을 주지 않았다. 나머지 프로젝트는 $NPVq > 1.0$ 일 때 표준편차가 증가할수록 점수는 작아졌다. 이는 투자전략이 부정적으로 바뀔 수 있다고 해석할 수 있다. 반대로 $NPVq < 1.0$ 일 때 점수는 증가하였다. 따라서 투자전략은 긍정적으로 변경될 수 있다.

Table 4. Sensitivity according to the increasing standard deviation

Projects Std. Dev.	a	b	c	d	e	f
0.2	110	110	-110	-110	-108	106
0.4	110	107	-110	-109	-106	102
0.6	110	104	-110	-108	-104	99
0.8	110	102	-110	-107	-102	95
1.0	110	99	-110	-106	-100	91
1.2	110	96	-110	-105	-98	88
1.4	110	93	-110	-104	-96	84
1.6	110	91	-110	-103	-94	81
1.8	110	88	-110	-102	-92	78
2.0	110	85	-110	-101	-90	78

Table 5. Sensitivity according to the increasing time to expiration

Projects Option expiration date	a	b	c	d	e	f
0.00	110	112	-110	-110	-109	109
0.25	106	108	-106	-107	-105	103
0.50	104	106	-104	-106	-103	100
0.75	102	104	-102	-105	-101	99
1.00	101	103	-101	-104	-100	97
1.25	100	102	-100	-103	-99	95
1.50	99	101	-99	-103	-98	94
1.75	98	100	-98	-102	-97	93
2.00	97	99	-87	-101	-96	91
2.25	96	98	-96	-101	-95	90
2.50	95	97	-95	-100	-94	89
2.75	95	97	-95	-100	-94	88
3.00	94	96	-94	-99	-93	87
3.25	93	95	-93	-99	-92	86
3.50	93	95	-93	-99	-92	86
3.75	92	94	-92	-98	-91	85
4.00	91	93	-91	-98	-90	84

Table 5에서는 $NPVq > 1.0$ 일 때 옵션만기일(t)의 값이 길어질수록 점수는 작아졌다. 이는 투자전략이 부정적으로 바뀔 수 있다고 해석할 수 있다. 반대로, $NPVq < 1.0$ 일 때 점수는 커졌다. Table 4 및 Table 5와 같이 미래의 불확실성이 커질수록 유연한 의사결정을 한다면

긍정적인 상황보다 부정적인 상황에서 더 많은 수익을 기대할 수 있다고 유추할 수 있다. 또한, 긍정적 상황에서는 투자를 빨리할수록 수익을 기대할 수 있다고 해석할 수 있다. 다음으로, NPVq에 영향을 미치는 무위험자산수익(rf)의 값이 일정 비율로 증가하면 Table 6과 같은 점수를 얻는다.

Table 6. Sensitivity according to the increasing risk-free rate of return

Projects rf	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
0.01	110	98	-110	-106	-101	-92
0.02	110	98	-110	-106	-101	-91
0.03	110	98	-110	-106	-101	-91
0.04	110	99	-110	-106	-100	-91
0.05	110	99	-110	-106	-100	91
0.06	110	99	-110	-106	-100	91
0.07	110	100	-110	-105	-100	91
0.08	110	100	-110	-105	-100	91
0.09	110	100	-110	-105	-100	92
0.1	110	101	-110	-105	-100	92
0.11	110	101	-110	-105	100	92
0.12	110	101	-110	-105	100	93
0.13	110	102	-110	-105	100	93
0.14	110	102	-110	-105	100	93
0.15	110	103	-110	-105	100	94
0.16	110	103	-110	-105	100	94
0.17	110	104	-110	-105	101	94
0.18	110	104	-110	-105	101	95
0.19	110	105	-110	-105	101	95
0.2	110	105	-110	-105	101	95

Table 6에서 보면 Table 4와 동일하게 ① 프로젝트와 ③ 프로젝트는 무위험자산수익이 변화하더라도 투자 전략에는 영향을 미치지 않았다. $NPVq > 1.0$ 일 때 무위험자산수익이 증가할수록 점수도 증가하였다. 이는 투자 전략이 긍정적으로 바뀔 수 있다고 유추할 수 있다. $NPVq < 1.0$ 일 때 무위험자산수익이 증가할수록 투자 전략이 부정적으로 바뀔 수 있다. 다만, 표준편차와 옵션만 기일에 비해 점수의 변화 폭은 작았다.

5. 결론

의사결정자가 사업투자를 결정할 때 가장 우선적으로 사업의 경제성을 평가한다. 경제성 평가는 투자비용과 투자수익간의 관계를 금전적 가치로 환산하며, 금전적 가치는 재무적 수치로 설명한다. 재무적 수치는 투자비용과 투자수익의 관계를 정확하게 설명할 수 있으나, 의사결정자가 비전문가인 경우에는 재무적 수치를 갖고서

미래의 불확실성에 따른 수익성 변화에 대한 투자전략을 직관적으로 설명하는데 다소 부족함이 있다. 이를 보완하기 위해 Luehrman은 투자전략을 시각적으로 표현하는 OSM을 고안하였다. 하지만 OSM은 옵션공간을 구성하는 NPVq와 변동성의 눈금을 숫자로 표시하지 않아 NPVq와 변동성의 범위를 주관적으로 판단해야 한다. 또한, invest now 구역과 maybe now 구역 간, invest never 구역과 probably never 구역 간, maybe later 구역과 probably never 구역 간의 경계기준이 모호하다. 게다가, 동일 구역에 2개의 이상의 프로젝트가 존재하는 경우에 어떤 사업을 우선 투자해야 할지에 대한 판단기준이 명확하지 않다. 이러한 모호함은 옵션공간에서의 위치를 정량적으로 표시하지 않아서 나타난 현상이라고 판단하였다. 이를 위해 사분트리 모형을 응용한 정량화된 알고리즘을 개발하였다. Luehrman의 OSM 적용 사례 비교와 민감도 분석을 통해 개발한 알고리즘의 유효성을 실증하였다. 개발한 알고리즘은 새로운 식물옵션 이론을 제안하거나 Luehrman의 OSM보다 우수함을 제시하기보다는 OSM이 갖는 모호함을 보조하는 수단으로 사용할 수 있다는데 본 연구결과의 의의가 있다. 끝으로, 본 연구는 다음과 같은 제약과 추가적인 연구가 필요하다. 먼저, 경제성 평가에 관한 지식을 보유한 사람은 재무적 수치만으로도 사업의 수익성 변화에 따른 투자전략을 정확하게 이해할 수 있다. 다만, 재무적 가치 평가에 관한 전문적 지식을 갖지 않은 사람은 미래의 투자환경 변화에 따라 기대할 수 있는 수익성에 대한 정보를 직관적으로 이해하는데 OSM을 사용한다. 이때 OSM의 모호함을 보조하기 위해 옵션공간의 위치를 정량적 수치로 환산하는데 개발한 알고리즘을 사용할 수 있다. 두 번째, 개발한 알고리즘을 통해 환산된 점수와 투자전략 영역간의 판단기준이 모든 유형의 사업에 동등하게 적용될 수 있는지에 대한 추가적인 연구가 필요하다. 끝으로, MUN[4]가 언급하였듯이 RO 이론을 통해 얻은 경제성 평가결과는 이론적인 결과이지, 현실에서 동일한 결과를 기대하는 것은 무리가 있다. 따라서 개발한 알고리즘은 OSM의 부족함을 보조하는 자료로만 활용되어야 한다.

References

[1] Stewart C. Myer, "Finance Theory and Financial Strategy", *Interfaces*, 14(1), pp.126-137, 1984.
DOI: <https://doi.org/10.1287/inte.14.1.126>

- [2] Dixit, Avinash K., Robert S. Pindyck, "The options approach to capital investment", *Harvard Business Review*, Vol.73, pp.105-115, 1985.
- [3] Timothy A. Luehrman, "Strategy as a Portfolio of Real Options", *Harvard Business Review*, 76(5), pp.89-99, 1998.
- [4] J. Mun, *Real Option Analysis*, 2nd Ed., Wiley Finance Series, 2006, New Jersey, pp.590-593.
- [5] Han Smit, Lenos Trigeorgis, "Strategic Planning: Valuing and Managing Portfolios of Real Options", *R&D Management*, 36(4), pp.403-419, 2006.
DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1467-9310.2006.00440.x>
- [6] Yeongsul Go, "The valuation of investment using Real Option: Decision making in 2-dimensions option space", *2007 Fall comprehensive academy conference of Korea Research Society for Customs*, pp.289-307, 2007.
- [7] Yeongsul Go, "Real Options in a Two Dimensional Option Space : A Visual Approach to Investment Strategy", *Journal of Korea Research Society for Customs*, 9(1), pp.2463-487, 2008.
UCI: G704-001591.2008.9.1.003
- [8] Mahvish Khurum, Sebastian Barney, "Innovative Features Selection using Real Options Theory", *3rd International Workshop on Software Product Management*, pp.11-14, 2009.
DOI: <https://doi.org/10.1109/IWSPM.2009.3>
- [9] Ingang Jeong, *A Study on the Valuation of the Project using Real Options Model: A Case Study of the IPTV STB Project*, Master's thesis submitted to the Graduate of the Pohang University of Science and Technology, Korea, 2010.
- [10] Joseph Y. J. Chow, Amelia C. Reganb, Fatemeh Ranaiefar, Dmitri I. Arkhipov, "A network option portfolio management framework for adaptive transportation planning", *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 45(8), pp.765-778, 2011.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tra.2011.06.004>
- [11] Edmunds Badūns, Andrejs Čirjevskis, "Value Maximizing Decision by The Use of A Real Option Analysis in Current Economic Climate", *Economic and Management*, 17(2), pp.459-465, 2012.
DOI: <https://doi.org/10.5755/i01.em.17.2.2167>
- [12] Andrew Michael Lewis, *Using Stochastic Optimization and Real-Options Models to Value Private Sector Incentives to Invest in Food Protection Measures*, Thesis Submitted to the Graduate Faculty of the North Dakota State University, 2006.
- [13] Andrew H. Chen, James A. Conover, John W. Kensinger, *Voluntary Disclosure of Real Options: When and How it Can be Done*, Thesis Submitted to the Annual meeting of the Financial Management Association, pp.25-27, 2008.
- [14] Jean C. Domerçant, ARC-VM: An Architecture Real Options Complexity-based Valuation Methodology for Military Systems-of Systems Acquisitions, Georgia Institute of Technology, pp.170-179, 2011.
- [15] David Cannon, *ITIL Service Strategy*, The Stationery Office(TSO), pp.125-128, 2011.
- [16] Raphael Finkel, J.L. Bentley, "Quad Trees: A Data Structure for Retrieval on Composite Keys", *Acta Informatica*, Vol.4, pp.1-9, 1974.
DOI: <https://doi.org/10.1007/BF00288933>
- [17] Clifford A. Shaffer, Hanan Samet, "Optimal Quadtree Construction Algorithms, Computer Vision", *Graphic And Image Processing*, Vol.37, pp.402-419, 1987.
DOI: [https://doi.org/10.1016/0734-189X\(87\)90045-4](https://doi.org/10.1016/0734-189X(87)90045-4)

정 성 윤(Seong-Yun Jeong) [정회원]



- 1992년 2월 : 한양대학교 전자계산학과 (공학학사)
- 1994년 2월 : 송실대학교 컴퓨터공학과 (공학석사)
- 2018년 2월 : 서울과학기술대학교 산업정보시스템전공 (공학박사)

• 1994년 3월 ~ 현재 : 한국건설기술연구원 미래스마트건설연구본부 연구위원

<관심분야>

건설정보화, 텍스트 마이닝, 투자공학

김 남 곤(Nam-Gon Kim) [정회원]



- 1989년 2월 : 울산대학교 전자계산학과 (공학학사)
- 2001년 2월 : 공주대학교 컴퓨터공학과 (공학석사)
- 1991년 10월 ~ 현재 : 한국건설기술연구원 미래스마트건설연구본부 연구위원

<관심분야>

건설정보화, 텍스트 마이닝, 빅데이터