

실물옵션 가치평가모형을 이용한 국도건설사업의 경제적 가치 평가

Economic Evaluation of National Highway Construction Projects using Real Option Pricing Models

정성윤 Jeong, Seong-Yun | 정회원 · 한국건설기술연구원 수석연구원
서울과학기술대학교 박사과정수료 · 주저자 (E-mail: syjeong@kict.re.kr)
김지표 Kim, Ji-Pyo | 서울과학기술대학교 글로벌융합산업공학과 교수 · 교신저자 (E-mail: jpkim@seoultech.ac.kr)

ABSTRACT

PURPOSES : This study evaluates the economic value of national highway construction projects using Real Option Pricing Models.

METHODS : We identified the option premium for uncertainties associated with flexibilities according to the future's change in national highway construction projects. In order to evaluate value of future's underlying asset, we calculated the volatility of the unit price per year for benefit estimation such as VOTS, VOCS, VICS, VOPCS and VONCS that the "Transportation Facility Investment Evaluation Guidelines" presented.

RESULTS : We evaluated the option premium of underlying asset through a case study of the actual national highway construction projects using ROPM. And in order to predict the changes in the option value of the future's underlying asset, we evaluated the changes of option premium for future's uncertainties by the defer of the start of construction work, the contract of project scale, and the abandon of project during pre-land compensation stages that were occurred frequently in the highway construction projects. Finally we analyzed the sensitivity of the underlying asset using volatility, risk free rate and expiration date of option.

CONCLUSIONS : We concluded that a highway construction project has economic value even though static NPV had a negative(-) value because of the sum of the existing static NPV and the option premium for the future's uncertainties associated with flexibilities.

Keywords

real option pricing model, economic evaluation, highway construction project, binominal option model, sensitivity analysis

Corresponding Author : Kim, Ji-Pyo, Professor
Department of Industrial & Information Systems Engineering,
Seoul National University of Science & Technology, 232, Gongeung-ro,
Nowon-gu, Seoul, 139-743, Korea
Tel : +82.2.970.6486 E-mail : jpkim@seoultech.ac.kr

International Journal of Highway Engineering
http://www.ijhe.or.kr/
ISSN 1738-7159 (Print)
ISSN 2287-3678 (Online)
Received Nov. 12, 2013 Revised Nov. 13, 2013 Accepted Jan. 21, 2014

1. 서론

국도건설사업은 사업초기에 막대한 예산이 투입되고 직접적인 이윤 회수보다는 장기적으로 편익을 얻는다. 이러한 특성 때문에 정부는 경제적 평가를 통해 사업의 투자여부를 결정하도록 "교통시설 투자평가지침"(국토해양

부, 2011)과 "도로·철도부문 사업의 예비타당성 조사 표준지침 수정·보완"(한국개발연구원, 2008)을 마련하였다. 이 지침들은 비용과 편익을 현재가치로 환산하여 경제적 가치를 평가하는 현금흐름할인법(Discounted Cash Flow, DCF)을 사용하고 있다.

하지만 DCF 평가법은 사업의 경제성 여부를 쉽게 판단할 수 있으나 예기치 않은 미래의 상황변화를 고려하지 않는다(Myers 1984, Dixit 등 1985). 이런 이유 때문에 미래의 불확실성(uncertainty)에 따른 의사결정의 유연성을 통해 얻을 수 있는 사업에 내재된 가치를 누락할 수 있다. 이를 개선하기 위한 방법으로써 실물옵션 가치평가모형(Real Option Pricing Model, ROPM)을 이용할 수 있다.

전재범 등(2009)는 통행료의 변동성(volatility)을 가지고서 민자도로 건설사업의 경제성 평가에 ROPM을 이용하였다. 강동진(2012)도 업무용 승용차의 통행시간 감소를 통해 얻는 편익산정기준의 변동성을 가지고서 고속도로의 경제성을 평가하였다. 하지만 아직까지 국도건설사업의 경제성 평가에 ROPM을 이용한 연구사례는 없었다.

국도건설사업은 후생적인 측면에서 편익을 산정하기 때문에 민자도로나 고속도로와 같이 통행료의 변동성을 가지고서 사업의 경제성을 평가하는 것은 현실적으로 적합하지 않다. 또한 일부 편익산정기준의 변동성만을 가지고서 전체사업의 내재된 가치를 산정할 경우에 자칫 평가결과에 대한 왜곡을 범할 수 있다.

본 연구는 ROPM을 이용하여 지방국토관리청에서 발주한 국도건설사업에 내재된 가치를 평가하였다. 평가결과의 왜곡현상을 최소화하기 위해 “교통시설 투자평가지침”에서 제시한 5개의 편익산정기준을 대응변수로 사용하여 변동성을 산정하였다.

다음으로 축소, 연기, 포기 등의 옵션을 행사를 통해 당초 DCF기반의 순현재가치(Net Present Value, NPV)보다 높은 NPV를 얻을 수 있다는 것을 실증하였다.

끝으로 ROPM을 이용한 국도건설사업의 가치평가에 있어서 예상되는 한계와 그 대안을 제시하였다.

2. 현행 도로건설사업의 경제성 평가

2.1. 도로건설사업의 경제성 평가 절차

도로건설사업 관리기관은 다음과 같이 “교통시설 투자평가지침”과 “예비타당성 조사지침”에서 제시한 절차에 따라 경제성을 평가한다.

먼저 인구수, 지역 총생산, 자동차보유대수, 여객 및 화물수요, 지역별 노선수요 등의 연도별 변화추세를 조사한다. 조사한 내용을 토대로 과업구간을 통행하는 장래의 교통수요를 예측한다. 다음으로 편익항목과 비용

항목을 설정하고 사회적 할인율, 평가기간 및 평가기준 연도를 결정한다.

평가기간동안에 연도별로 편익과 비용을 현재가치로 환산한다. 환산된 편익과 비용을 편익/비용 비율(Benefit/Cost ratio, B/C ratio), NPV, 내부수익률(Internal Rate of Return, IRR)에 대입하여 경제성을 평가한다.

끝으로 교통수요, 공사비, 할인율 등의 변수 값을 일정한 간격으로 변경시켜 대안가치에 대한 민감도를 분석한다.

2.2. 편익 추정

편익은 Eq. (1)과 같이 국도를 개통한 전·후의 차이를 한국개발연구원에서 발표한 사회적 할인율을 적용하여 현재가치로 환산한 금액을 말한다.

“교통시설 투자평가지침”에서는 통행시간감소 편익(Valuation Of Travel time Savings, VOTS), 차량 운행비감소 편익(Valuation of vehicle Operation Costs Savings, VOCS), 교통사고비용감소 편익(Valuation of Incident Costs Savings, VICs), 대기 오염발생량감소 편익(Valuation Of Pollution Costs Savings, VOPCS) 및 차량소음발생량감소 편익(Valuation Of Noise Costs Savings, VONCS)으로 구분하여 편익을 추정한다.

$$\text{총Benefit} = \text{VOTS} + \text{VOCS} + \text{VICs} + \text{VOPCS} + \text{VONCS} \quad (1)$$

2.2.1. 통행시간감소 편익(VOTS)

VOTS는 도로를 개통한 후에 단축된 통행시간을 화폐적 가치로 환산한 것을 말한다. VOTS는 업무통행시간의 가치와 비업무통행시간의 가치로 구분하여 편익을 계산한다.

업무통행의 시간가치는 노동부의 “사업체별 임금통계”(각연도)와 통계청(2009)의 “운수업 통계조사 보고서”, 한국은행의 “기업경영분석”(각연도), 한국국토연구원(1999)의 “도로사업 투자분석 기법정립”을 참조하여 차종별로 원단위의 통행시간가치를 산정한다.

비업무통행의 시간가치는 한국개발연구원(2004)의 “도로·철도부문사업의 예비타당성조사 표준지침 수정·보완연구(제4판)”에서 제시한 기준을 적용하여 원단위의 통행시간가치를 산정한다. VOTS는 다음과 같이 Eq. (2)을 사용하여 추정한다.

$$VOIS = VOT_{\text{사업미시행}} - VOT_{\text{사업시행}},$$

$$VOT = \left\{ \sum_l \sum_{k=1}^3 (T_{kl} \times P_k \times Q_{kl}) \right\} \times 365 \quad (2)$$

- T_{kl} : 링크 l 의 차종별 통행시간
- P_k : 차종별 시간가치
- Q_{kl} : 링크 l 의 차종별 통행량
- k : 차종(1 : 승용차, 2 : 버스, 3 : 화물차)

2.2.2. 차량운행비감소 편익(VOCS)

VOCS는 도로를 개통한 후 이동거리가 단축되면서 얻어지는 차량운행감소 비용을 의미한다.

차량운행비용은 크게 유류비, 엔진오일비, 타이어비, 유지정비비, 감가상각비를 차종별·속도별로 구분하여 산정한다.

유류비는 한국석유공사에서 발표한 실질유류가격을 적용한다. 차종별·속도별 유류소모량은 교통안전공단의 “차종별 연료소비율 시험결과”를 적용한다. 엔진오일비, 타이어비, 유지정비비, 감가상각비의 소모율과 소모량은 Jan de Weille(1966)의 “Quantification of Road User Saving”과 한국도로공사(1999)의 “도로사업 투자분석 기법정립”을 적용하여 산정한다.

소비자 물가지수를 적용하여 차종별·속도별 소모량의 원단위 차량운행비용을 산정한다.

$$VOCS = VOC_{\text{사업미시행}} - VOC_{\text{사업시행}},$$

$$VOC = \sum_l \sum_{k=1}^3 (D_{kl} \times VT_k \times 365) \quad (3)$$

- D_{kl} : 링크 l 의 차종별(k)대·km
- VT_k : 해당속도에 따른 차종별 차량운행비용
- k : 차종(1 : 승용차, 2 : 버스, 3 : 화물차)

2.2.3. 교통사고비용감소 편익(VICS)

도로를 개통한 후에 이동거리가 짧아짐만큼 안전성이 높아진다. VICS는 안전성이 높아짐에 따른 교통사고비용의 감소치를 화폐적으로 환산한 것을 말한다.

교통사고비용은 교통사고비용과 사고처리비용을 곱하여 계산한다. 교통사고비용과 사고처리비용에 대한 지표는 경찰청의 “교통통계연보”, 도로교통공단의 “지역별 교통사고비용의 추계”, 국토교통부의 “도로교통통계연보”, 한국교통연구원의 “교통사고비용 추정 연구”

등 자료를 참조하여 추정한다.

사고비용 발생비율은 km당 사고건수를 계산한다. 사고비용의 원단위 단가는 인적·물적 피해비용과 사회적 비용으로 구분하여 계산한다.

$$VICS = VIC_{\text{사업미시행}} - VIC_{\text{사업시행}},$$

$$VIC = \sum_{t=1}^3 \sum_{s=1}^2 (A_{ts} \times P_s \times VL_{ts}) \quad (4)$$

- A_{ts} : 도로유형별·사고유형별 1억대·km당 교통사고 사상자수
- P_s : 사고유형별 사고비용
- VL_{ts} : 연간 도로유형별 억대·km
- t : 도로유형(1 : 고속도로, 2 : 국도, 3 : 지방도)
- s : 사고유형(1 : 사망, 2 : 부상)

2.2.4. 대기오염발생량감소 편익(VOPCS)

VOPCS는 도로를 개통한 후에 대기오염의 감소량을 화폐적 가치로 계량화한 것을 말한다. 대기오염 발생량에 대한 비용은 차종별·속도별 유해가스의 배출계수로 산출한다.

다음으로 대기오염별로 단위당 대기오염 피해비용을 곱하여 산정한다. 배출계수는 국립환경과학원(2007)의 “대기오염물질 배출량 산정방법 편람”과 한국철도시설공단과 한국교통연구원(2008)의 “철도투자평가편람 전면개정연구”를 참조하여 산출한다.

대기오염비용의 원단위는 한국환경정책평가연구원(2002)의 “육상교통수단의 환경성 비교분석”과 소비자물가지수를 이용하여 산정한다.

$$VOPCS = VOPC_{\text{사업미시행}} - VOPC_{\text{사업시행}},$$

$$VOPC = \sum_l \sum_{k=1}^3 (D_{lk} \times VT_k \times 365) \quad (5)$$

- D_{lk} : 링크 l 의 차종별(k)대·km
- VT_k : 차종별(k) 해당 링크 주행속도의 km당 대기오염비용
- k : 차종(1 : 승용차, 2 : 버스, 3 : 화물차)

2.2.5. 차량소음발생량감소 편익(VONCS)

VONCS는 도로를 개통한 후에 차량에서 발생하는 소음의 감소량과 단위소음의 원단위를 곱하여 화폐적 가치로 환산한 것을 말한다.

차량에서 발생하는 소음을 직접적으로 실측하는 것이 현실적으로 쉽지 않다. 따라서 국립환경연구원(1987)의 “도로교통소음 저감을 위한 종합대책에 관한 연구”와 한국도로공사에서 제안하는 소음예측식을 적용하여 소음도를 계산한다. 보통 소음도는 도시부인 경우에는 55dB, 지방부는 45dB을 적용한다.

$$VONCS = VONC_{\text{사업미시행}} - VONC_{\text{사업시행}}, \quad (6)$$

$$VONC = P \times l_{ij} \times L_{ij}$$

- P : 소음가치의 원단위 단가
- l_{ij} : 대상노선연장길이
- L_{ij} : 예측소음도
- i : 도로구분(일반도로, 고속도로 등)
- j : 영향권 내 개별 링크

2.3. 비용 추정

비용은 국도건설을 계획하여 해체할 때까지 전 과정에서 지출하는 금액을 말한다.

비용은 크게 사업비와 유지관리비로 나누며 사업비는 다시 건설공사비, 부대비와 용지보상비로 구분한다. 부대비는 계획과 설계하는데 소요하는 용역비를 말하며 조사비, 설계비, 감리비로 구성한다. 유지관리비용은 점검·진단·인건비·시설운영 등 정기적으로 지출하는 운영비와 보수·보강·개축 등으로 소요하는 유지보수비로 나눌 수 있다.

사업비는 통행구간에 해당하는 수치지형도를 기준으로 하여 소요되는 물량과 단가를 곱하여 비용을 산출한다. 하지만 실제로 수치지형도를 기초로 하여 지역별, 공종별로 물량을 산출하기가 쉽지 않다. 따라서 “표준폼셈”(각연도), “일위대가”(각연도) 등에서 정한 공사비의 단가를 적용하여 산출한다.

2.4. DCF기반의 경제성 평가 방법

2.4.1. 편익/비용 비율(Benefit/Cost ratio)

B/C ratio는 비용과 편익의 현재가치를 비교하여 B/C 비율이 '1' 보다 클 경우 투자사업에 경제성이 있다고 판단하는 방법이다.

$$\text{편익/비용비율(B/C ratio)} = \frac{\sum_n BPV_n}{\sum_m CPV_m} \quad (7)$$

BPV_n : n 항목에 대한 편익의 현재가치

CPV_m : m 항목에 대한 비용의 현재가치

n, N : 편익항목의 종류

m, M : 비용항목의 종류

$$BPV_n = \sum_{t=0}^T \frac{B_{nt}}{(1+r)^t}, \quad CPV_m = \sum_{t=0}^T \frac{C_{mt}}{(1+r)^t}$$

T : 기준연도로부터 평가대상기간 최종 연차까지의 연수

t : 기준연도를 0으로 하는 연차

B_{nt} : 기준연도로부터 t 년째의 n 항목의 편익

C_{mt} : 기준연도로부터 t 년째의 m 항목의 비용

r : 사회적 할인율

n : 편익(비용)의 종류

2.4.2. 순현재가치(Net Present Value)

B/C ratio가 높은 소규모 사업과 상대적으로 B/C ratio가 낮은 대규모 사업을 선정할 때 의사결정에 혼란을 줄 수 있다. 이는 B/C ratio가 사업에 내포된 경제적 가치를 고려하지 않고 단순히 편익과 비용간의 비율만을 계산하였기 때문이다.

NPV는 편익과 비용간의 비율이 아닌 투자사업의 미래 현금유입과 유출의 흐름을 비교한다. 유입이 유출보다 많은 경우에 사업의 투자가치가 있다고 판단하는 방법이다.

따라서 규모가 상이한 투자사업들 간의 우선순위를 결정할 때에 의사결정에 혼란을 주지 않는다.

$$\text{순현재가치(NPV)} = \sum_{t=0}^T \frac{\sum_{i=n}^N B_{ti} - \sum_{j=m}^M C_{tj}}{(1+r)^t} \quad (8)$$

B_{ti} : i 항목의 t 연도 편익

C_{tj} : j 항목의 t 연도 비용

n, N : 편익항목의 종류

m, M : 비용항목의 종류

T : 기준연도로부터 평가대상기간 최종연차까지의 연수

t : 기준연도를 0으로 하는 연차

r : 사회적 할인율

2.4.3. 내부수익률(Internal Rate of Return)

국도건설사업은 초기단계에서 집중적으로 비용이 발생하고 편익은 국도를 개통한 후에 지속적으로 발생한다. 이처럼 단기적으로는 경제적 가치를 낮게 평가할 수 있으나 장기적인 관점에서는 사업의 효과가 클 수 있다.

$$\text{내부수익률(IRR)} = \sum_{t=0}^T \frac{\sum_{i=n}^N B_{ti} - \sum_{j=m}^M C_{tj}}{(1+ir)^t} = 0 \quad (9)$$

IRR은 편익과 비용의 현재가치를 동일한 할인율로 나누어 계산하는 방법이다. IRR이 높은 사업은 경제적 가치가 있다고 판단한다.

B_{ti} : i 항목의 t 연도 편익

C_{tj} : j 항목의 t 연도 비용

n, N : 편익항목의 종류

m, M : 비용항목의 종류

T : 기준연도로부터 평가대상기간 최종연차까지의 연수

t : 기준연도차를 0으로 하는 연차

ir : 내부수익률

2.4.4. DCF의 한계

DCF기반의 가치평가법은 현금유입과 유출의 현재가치를 동일하게 환산하기 위해 '할인율'이라는 할인계수만을 사용한다. 이는 투자비용과 편익에 대해 미래의 현금흐름을 현재시점에서 평가하기 때문이다. 예를 들어 NPV의 값이 '0' 보다 작아서 투자사업을 선택하지 않거나 반대로 '0' 보다 크다고 투자사업을 선택한다는 것이 반드시 올바른 결정이라고 할 수 없다. 이는 NPV가 '0' 보다 낮지만 사업이 정책적, 사회적, 경제적 이유 때문에 '0' 이상의 높은 사업보다 더 많은 편익을 얻을 수 있다.

이처럼 DCF기반의 가치평가법은 미래의 상황변화에 따라 유연한 의사결정을 통해 얻을 수 있는 사업의 내재된 가치를 고려하지 않는다.

3. 실물옵션 가치평가모형의 이론적 고찰

3.1. 옵션(option)의 개념

옵션(option)은 정해진 기간 동안에 기초자산을 사거나

나 팔 수 있는 권리(right)를 갖는 증권을 말한다.

옵션을 산 사람(buyer)은 정해진 기간 동안에 약정된 금액으로 기초자산을 사거나 팔 수 있는 권리(right)에 대한 대가를 지불하여 그 권리를 갖는다. 반대로 옵션을 판 사람(seller)은 옵션을 산 사람으로부터 약정된 금액을 받고 옵션을 산 사람의 권리행사에 따라야 하는 의무가 있다.

옵션은 Fig. 1과 Eq. (10)과 같이 dynamic NPV를 통해 사업의 경제성을 평가한다. dynamic NPV는 static NPV에 사업에 내재된 옵션 프리미엄을 더한 값을 의미한다(Trigeorgis 등 2004, Marha 등 1999). 여기서 static NPV는 옵션가치를 포함하지 않은 DCF기반의 NPV를 말하며 옵션 프리미엄은 유연한 의사결정을 통해 얻는 옵션가치를 가리킨다.

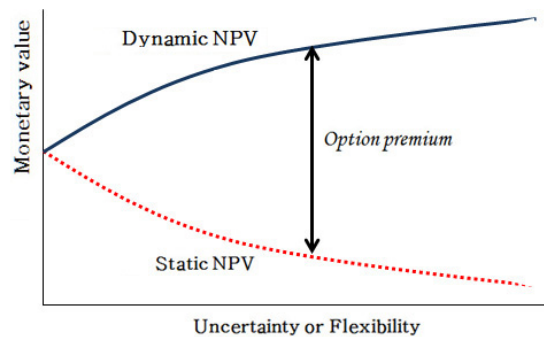


Fig. 1 Project Value Changes using Option Analysis

$$\text{dynamic NPV} = \text{static NPV} + \text{option premium} \quad (10)$$

기초자산 가치가 유리할 경우에 옵션권리를 행사할 것인지 아니면 행사가격으로 기초자산을 팔 것인지에 따라 전자는 콜 옵션(call option, C[S(T)]), 후자는 풋 옵션(put option, P[S(T)])으로 구분한다. 여기서 S는 옵션에서 거래되는 자산 즉, 기초자산(underlying assets)을 말하며 T는 옵션만기시점 또는 옵션행사시점을 의미한다.

또한 옵션권리를 옵션만기일에만 행사할 수 있는지 또는 옵션만기시점 전에도 행사할 수 있는지에 따라 유럽형 옵션(European option)과 미국형 옵션(American option)으로 구분한다. 유럽형 콜 옵션(C[S(T)])은 Eq. (11)과 같이 옵션만기시점(T)에서 콜(C[S(T)]) 또는 풋 옵션(P[S(T)])을 행사한다. 이 때 기초자산가치(E[S(T)])와 행사가격(X)간의 차액(payoff)을 얻는다.

$$\text{call option } (C[S(T)]) = \text{MAX}(0, E[S(T)] - X) \quad (11)$$

$$\text{put option } (P[S(T)]) = \text{MAX}(0, X - E[S(T)])$$

$C[S(T)], P[S(T)]$: 옵션 소유자가 옵션만기시점 (T)에서 이익(payoff)을 얻을 수 있는 옵션의 형태

$E[S(T)]$: 옵션만기시점 (T)에서 기대할 수 있는 기초 자산가치

T : 옵션만기시점

X : 행사가격

3.2. 금융옵션과 실물옵션과의 비교

옵션은 크게 금융옵션과 실물옵션으로 구분할 수 있다. 실물옵션은 금융옵션(financial option)의 가격결정이론을 준용하여 실물자산에 내재된 옵션 가치를 평가하는 개념이다.

금융옵션은 금융자산의 가치에 영향을 주는 변수에 대한 역사적 자료를 얻을 수 있다. 실물옵션은 시장에서 실물자산의 거래가 거의 이루어지지 않기 때문에 실물자산의 가치를 알 수 없다. 금융옵션은 실물옵션에 비해 옵션기간이 상대적으로 짧으며 옵션 권리가 명확하다(황두건, 이기환(2007)).

Table 1은 금융옵션과 실물옵션에서 사용하는 변수를 비교한 것이다.

Table 1. Variables Comparison between the Financing Options and the Real Options

Variable	Financial Option	Real Option
S	Stock Price	Value of the underlying asset
X	Strike Price	Exercise price
T	Time to expiration	Time to expiration
σ	Volatility of Stock Price	Volatility of the underlying asset
r	Risk free rate	Risk free rate

3.3. 실물옵션의 유형

실물옵션은 미래의 불확실한 상황이 해소할 때까지 연기, 확장/축소, 포기, 단계별 확장, 성장, 복합 등 다양한 유형의 옵션을 사용할 수 있다(Mun 2002, Trigeorgis 등 2004).

연기옵션(option to defer)은 지금 투자하는 것보다는 투자시기를 연기하는 것이 유리할 때에 적용하는 옵션이다.

이 옵션은 국도건설사업과 같이 초기 투자비용이 큰 사업에 적합하며 콜옵션의 형태를 갖는다.

확장옵션(option to expand)과 축소옵션(option to contract)이다. 이 옵션은 외부 상황변화가 호전(악화)되어 당초 계획하였던 사업규모를 확대(축소)하는 것이 유리할 때에 적용하는 옵션이다. 확장옵션은 콜옵션의 형태를 가지며 축소옵션은 풋옵션의 형태를 갖는다.

포기옵션(option to abandon)은 상황변화가 악화되어 당초 예상한 편익을 확보할 수 없을 경우에 사용한다. 이 옵션은 풋옵션의 형태를 갖는다.

변경옵션(option to alter)은 당초 예상한 편익을 확보할 수 없어 사업을 다른 목적으로 변경할 경우에 사용하는 옵션을 의미한다.

끝으로 복합옵션(Compound)은 하나의 옵션보다 여러 유형의 옵션을 연계하는 것이 유리할 때에 사용하는 옵션을 말한다. 이 옵션은 개별옵션에 비해 가치상승을 고려한 콜옵션과 가치보존을 고려한 풋옵션을 조합해야 하는 등 옵션 가치 계산과정이 복잡하다.

3.4. Binominal Option 모형

ROPM은 시계열 데이터기반 연속모형(continuous model)을 이용한 Black-Scholes(BS) 모형과 이산모형(discrete model)기반의 Binomial Option(BO) 모형을 가장 많이 사용한다(Black 등 1973, 이기홍 등 2009).

BS모형은 미래에 발생할 기초자산의 연속적인 현금흐름을 확률분포에 따라 가중평균을 계산하여 옵션 가치를 구한다(Hull 2008, 유선희 등 2005). BS모형은 사전에 확률적 지식과 복잡한 수학적식을 필요로 한다(정다래 등 2010). 또한 BS모형은 유럽형 옵션형태를 갖는다(Cox 등 1979, 이기홍 등 2009).

BO모형은 Fig. 2와 Eq. (12)처럼 정해진 기간마다 이산(discrete)적으로 상승비율과 하락비율에 따라 기초자산의 가치를 계산한다.

Fig. 2에서 $t=0$ 일 때 S 는 당초 기초자산의 가치를 의미한다. 여기서 static NPV의 편익을 말한다. $t=1$ 일 때 $S(u)$ 는 Eq. (12)의 상승비율(u)만큼 반영한 후 기대할 수 있는 기초자산 가치를 가리키며 반대로 $S(d)$ 는 하락비율(d)만큼 반영한 기초자산 가치를 말한다. 계속해서 $t=2$ 일 때 $S(u^2)$ 또는 $S(d^2)$ 는 S 에 상승비율(u) 또는 상승비율(d)을 2번 반영한 기초자산 가치를 의미하며 $S(ud)$ 는 S 에 상승비율(u)과 하락비율(d)을 각각 반영한 기초자산 가치를 말한다. 이와 같은 방법

을 통해 옵션만기기간동안 기대할 수 있는 기초자산 가치를 계산한다.

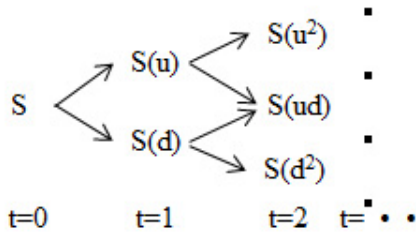


Fig. 2 Value Changes of the Underlying Asset

$$u = \exp(\sigma), \quad d = \exp(-\sigma) = \frac{1}{u},$$

$$p = \frac{(1+r_f) - d}{u-d}, \quad q = 1-p \quad (12)$$

r_f : 무위험이자율

σ : 기초자산 가치의 변동성

u : 상승비율, d : 하락비율

p : 위험중립의 상승 헷지확률

q : 위험중립의 하락 헷지확률

옵션만기일(T)까지 상승비율과 하락비율을 반영하여 기대할 수 있는 기초자산 가치(S)를 계산한 후에 역순환 계산과정(Recursive Backward Iteration)을 통해 옵션행사를 통해 얻을 수 있는 기초자산의 가치를 계산한다. 옵션 가치는 콜(C) 또는 풋(P) 옵션 종류에 따라 옵션 기댓값을 계산한다. 예를 들어 만기시점($t=T$)에서 옵션 가치가 상승할 경우에 콜옵션 기댓값($C(u)$)과 반대로 하락할 경우에 콜옵션 기댓값($C(d)$)을 계산한다.

$$t = T \text{시}, C(u) = \text{Max}(S(u) - X, 0),$$

$$C(d) = \text{Max}(S(d) - X, 0) \quad (13)$$

다음으로 위험중립의 상승 헷지확률과 하락 헷지확률을 이용하여 Eq. (14)과 같이 특정시점에서의 옵션 기댓값을 계산한다(Copeland 등 2003).

$$C = \frac{(pC(u) + (1-p)C(d))}{1+r_f} \quad (14)$$

$C(u), C(d)$: 특정시점에서 기초자산의 가치 상승

또는 하락 시, 콜옵션의 기댓값,

C : 단일기간의 콜옵션 기댓값

계속해서 T-1시점에서 상승과 하락에 따라 기대할 수 있는 기초자산 가치($S-X$)와 단일기간의 옵션 기댓값(C)을 비교하여 높은 값을 기대할 수 있는 콜옵션 가치로 선택한다.

$$t = T-1 \text{시}, C(u) = \text{Max}\left(\left[\frac{(pC(u) + (1-p)C(d))}{1+r_f}\right], S(u) - X\right),$$

$$C(d) = \text{Max}\left(\left[\frac{(pC(u) + (1-p)C(d))}{1+r_f}\right], S(d) - X\right) \quad (15)$$

이처럼 역순환계산과정을 통해 $t=0$ 시점에서 얻은 값이 최종적인 콜옵션을 통해 얻을 수 있는 기초자산의 가치가 된다.

3.5. ROPM의 변수들

DCF는 할인율이라는 하나의 변수만을 사용하여 사업의 경제성을 평가한다. ROPM은 기초자산 가치, 행사가격, 기초자산 가치의 변동성, 무위험이자율, 옵션기간 등 변수를 가지고서 사업에 내재된 가치를 반영하여 사업의 경제성을 평가한다.

3.5.1. 기초자산 가치의 변동성

실물옵션은 금융옵션과 다르게 실물자산에 대한 역사적 자료가 거의 없기 때문에 유사한 사업에서 사용한 변수를 대용변수(Proxy)로 선정한다. 선정된 대용변수의 확률과정을 통해 기초자산 가치의 변동성을 계산한다(Copeland 등 2003). 계산된 변동성은 u 와 d 를 결정하는데 사용한다.

3.5.2. 무위험이자율

실물옵션은 시장가격이 없기 때문에 기초자산 가치가 기하학적 브라운운동(geometric brownian motion)을 따른다고 가정한다. 이러한 가정 하에 위험중립확률을 이용하여 미래에 기대할 수 있는 기초자산 가치($E[S(T)]$)를 구한다. 이때 $E[S(T)]$ 를 무위험이자율로 할인한다.

하지만 무위험이자율을 계산하기 위한 유사 대용변수를 가지지 않기 때문에 실물옵션에서는 보통 국고채의 평균수익률을 무위험이자율로 사용한다.

3.5.3. 옵션만기기간

“교통시설 투자평가지침”과 “도로·철도부문 사업의 예비타당성 조사지침”에서는 기준년도부터 평가만기연도까지 경제성 평가기간으로 선정한다. 이기간 동안에 발생하는 총 편익과 총 비용을 토대로 경제성을 평가한다.

실물옵션은 미래의 상황변화에 따라 유리하도록 확장·축소, 연기, 포기 등 의사결정을 내릴 수 있는 기간을 옵션만기기간으로 정한다. 따라서 종래의 경제성 평가와 같이 기준년도부터 평가만기연도까지를 옵션만기기간으로 그대로 적용하는 것은 현실적으로 의미가 없다.

3.6. 선행연구와의 차별성

도로건설사업의 경제성 평가를 위해 ROPM을 이용한 국내 논문으로는 전재범 등(2009)와 강동진(2012)이 있다.

전재범 등(2009)는 민자도로 건설사업을, 강동진(2012)은 고속도로 건설사업을 대상으로 하였다. 국도건설사업의 경제성 평가에 ROPM을 이용한 연구사례는 없었다.

전재범 등(2009)는 연간 차량 통행량의 변화율과 통행료를 가지고서 민자도로 건설사업의 편익을 계산하였다. 하지만 국도건설사업은 후생적인 차원에서 편익을 산정해야하기 때문에 통행료를 편익으로 한 가치평가모형은 국도건설사업에는 현실적으로 적합하지 않다.

강동진(2012)은 “교통시설 투자평가지침”에서 제시한 편익산정기준들 중 업무용 승용차 VOT의 확률분포를 가지고서 편익의 변동성을 계산하였다. 하지만 하나의 편익산정기준의 변동성만을 가지고서 전체사업의 편익의 변동성을 계산할 경우에 자칫 왜곡된 평가결과를 얻을 수 있다.

예를 들어 업무용 승용차 VOT의 변동성보다 나머지 편익산정기준의 평균 변동성이 클 경우에는 사업의 내재된 가치를 과소평가할 수 있다. 반대로 편익산정기준의 평균 변동성보다 업무용 승용차 VOT의 변동성을 크게 계산할 경우에는 자칫 과대평가할 수도 있다.

본 연구는 이러한 왜곡된 평가가능성을 최소화하기 위해 “교통시설 투자평가지침”에서 제시한 5개의 편익산정기준에서 사용한 연도별 원단위 단가를 대응변수로 선정하여 변동성을 계산하였다.

또한 연도별 원단위 단가 변화를 현실에 맞도록 평가하기 위해 한국은행의 경제통계시스템과 소비자물가지수(생활물가지수는 제외)에서 발표한 실질이자율을 적용하여 원단위 단가를 현재가치로 환산하였다. 환산된

연도별 원단위 단가의 변화율을 토대로 확률과정을 통해 편익의 변동성을 계산하였다.

3.7. 국도건설사업에서 옵션 적용성 분석

국도건설사업은 현장별 공사규모, 예산확보 여부, 특수공종 적용, 민원 및 보상 해결 등에 따라 사업착수에 서 준공까지의 소요기간의 차이가 있을 수 있으나 평균 7.9년이 소요된다(도로업무편람 2012).

이 기간 동안에 다양한 상황변화가 발생할 수 있다. Fig. 3은 국도건설사업에서 발생할 수 있는 의사결정 경로를 나타낸 것이다.

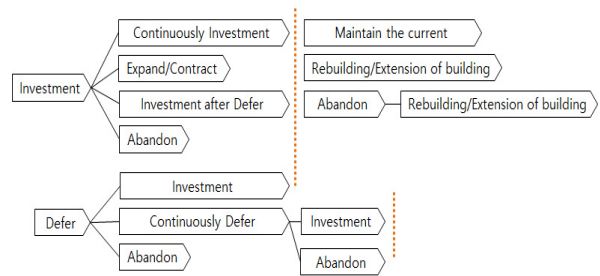


Fig. 3 Example of Investment Decisions in National Highway Construction Projects

Fig. 3에서 당초 계획대로 사업을 투자하거나 외부 상황변화에 따라 연기, 포기 등의 투자의사를 결정할 수 있다. 또는 당초 계획대로 사업을 계속하거나 불확실성이 해소될 때까지 사업을 연기할 수 있으며 상황변화에 따라 사업규모를 확장 또는 축소하거나 사업을 포기할 수 있다. 용지보상 이후의 경우에 사업을 포기할 경우에는 용지보상비와 공사비가 매몰비용으로 처리되기 때문에 이 기간에서 사업 포기는 바람직하지 않을 수 있다. 국도개통 후에 유지관리에서도 현행 유지하거나 차로수 확장, 선형·구조 변경 등 추가적인 투자확대 등의 의사결정을 내릴 수 있다. 한편 국도건설사업의 특성을 고려할 때 변경옵션, 단계별 확장옵션 및 복합옵션은 현실적으로 적용가능성이 낮다.

이와 같이 국도건설사업을 투자하는 과정에서 발생할 수 있는 상황변환에 따라 적절하게 의사결정을 한 것을 ‘유연한 의사결정’이라 말할 수 있다.

4. ROPM의 실증 분석

4.1. 국도건설사업 개요

본 연구는 ROPM을 이용하여 지방국토관리청에서

발주한 통행구간 거리가 7.75km이고 일방향 2차로 국도건설사업에 내재된 가치를 평가하였다.

먼저 static NPV 계산을 위해 “공공교통시설개발사업에 관한 투자평가지침”(건설교통부, 2004)을 근간으로 하여 기준연도를 2004년으로 정하고 6.5%를 사회적 할인율로 적용하였다.

사업비를 추정하기 위해 “도로·철도부문사업의 예비타당성조사 표준지침 수정·보완연구(제4판)”(한국개발연구원(2004))에서 정한 연도별 건설비용의 투입율을 준용하여 2006년부터 2012년까지 매년 소요되는 설계용역비, 공사비, 용지보상비 및 부대비용을 산정하였다.

2013년에 국도개통 후 평가만기시점인 2042년까지 통행구간거리에 따라 연차별 고속도로 표준유지관리비 투입액의 평균 25%를 적용하여 유지관리비용을 산정하였다.

4.2. DCF기반의 경제성 평가

본 연구는 EMME/2(Traffic Demand Modeling Software)를 통해 분석된 도로용량분석과 장래교통량 수요예측 결과를 가지고서 2042년까지 편익과 비용의 현재가치를 추정하였다. EMME/2는 지역단위(zone)별 통행량, 통행수단, 통행속도, 차로수 등의 분포 데이터와 교통수요분석을 통해 장래의 교통량 수요를 예측하는 시뮬레이션 소프트웨어이다.

본 연구는 편익을 추정하기 위해 설계속도(80km/h), 통행량(2,000대/일), 공사기간(07~12), 차종별·속도별 회귀분석지표 등의 조건을 채택하였다.

VOTS, VOCS 및 VICS의 원단위 단가는 “공공교통시설개발사업에 관한 투자평가지침”(건설교통부 2004)을 참조하였다. VOPCS와 VONCS의 원단위 단가는 “도로 및 철도부문사업의 예비타당성조사 표준지침 연구”(2004)를 참조하였다. 대기오염비용은 “철도투자평가편람”(대한교통학회(2006))에서 제시한 단가를 사용하였다.

평가기간동안 장래 수요교통량에 편익의 원단위 단가를 대입하여 총 편익의 현재가치(59,791백만 원)를 추정하였다.

다음으로 평가기간동안에 투입되는 총 비용의 현재가치(75,454백만 원)를 추정하였다. Table 2는 투자대안에 대한 연도별 비용과 편익을 나타낸 것이다.

Table 2. Annual Cost-Benefit Estimation of the Alternative Investment

Year	Costs(unit: million won)		Benefits(unit: million won)	
	Total Costs	Discounted Costs	Total Benefits	Discounted Benefits
2006	1,229	1,084	-	-
2007	1,229	1,017	-	-
2008	7,059	5,487	-	-
2009	19,506	14,237	-	-
2010	22,759	15,597	-	-
2011	31,862	20,504	-	-
2012	18,207	11,001	-	-
2013	180	102	5,487.2	3,113
2014	215	115	5,679.1	3,025
2015	254	127	5,883.0	2,943
2016	300	141	6,099.6	2,865
2017	353	156	6,330.7	2,792
2018	413	171	6,577.9	2,724
2019	482	187	6,974.1	2,712
2020	558	204	7,262.2	2,651
2021	643	220	7,572.9	2,596
2022	736	237	7,908.1	2,546
2023	837	253	8,016.4	2,423
2024	944	268	8,127.5	2,307
2025	1,056	281	8,241.4	2,196
2026	1,170	293	8,357.9	2,091
2027	1,285	302	8,477.3	1,992
2028	1,401	309	8,599.8	1,897
2029	1,513	313	8,726.2	1,808
2030	1,620	315	8,855.8	1,722
2031	1,722	314	8,988.4	1,642
2032	1,815	311	9,124.9	1,565
2033	1,903	306	9,265.0	1,492
2034	1,980	299	9,408.8	1,422
2035	2,050	291	9,556.7	1,357
2036	2,112	282	9,709.4	1,294
2037	2,166	271	9,865.9	1,235
2038	2,215	260	10,026.6	1,178
2039	2,255	249	10,192.4	1,125
2040	2,290	237	10,362.5	1,074
2041	2,319	226	10,537.9	1,025
2042	-5,616	-513	10,719.2	979
Total	133,022	75,454	250,935	59,791

다음으로 추정된 편익과 비용을 B/C ratio(Eq. (7)), NPV(Eq. (8)), IRR(Eq. (9))에 대입하여 Table 3과 같이 투자대안에 대한 경제성을 평가하였다.

Table 3. Economic Evaluation of the Alternative Investment

Division	Evaluation
Total Discounted Cost(million won)	75,454
Total Discounted Benefit(million won)	59,791
B/C Ratio(%)	0.79
NPV(million won)	-15,663
IRR(%)	4.74

4.3. 변동성 계산

본 연구는 기초자산 가치에 영향을 주는 변동성(σ)을 계산하기 위해 “도로사업 투자분석 기법 연구”(1999), “예비타당성 조사 표준지침”(1999, 2000, 2001, 2004, 2006, 2008), “교통시설 투자평가지침”(2002, 2004, 2005, 2006, 2007, 2009, 2011), “교통사고비용추정”(1999, 2000, 2001, 2008, 2010)에서 제시한 차종별 VOT, 차종별·속도별 VOC, 사고유형별 VIC, 차종별·속도별 VOPC, 도시부·지방부별에 대한 연도별 기준 단가를 조사하였다. 누락된 연도의 단가는 전년도와 차년도의 평균치로 대체하였다.

Table 4. Unit Price and Probability Distribution of the Annual VOT

Year	(unit : won)		
	Car	Bus	Truck
1998	14,098.07	75,727.88	11,113.11
1999	12,317.16	86,162.33	-
2000	13,105.34	98,275.83	13,444.56
2000	14,255.45	13,005.33	13,444.56
2001	14,019.27	57,018.00	13,777.92
2002	14,243.66	57,930.62	13,998.06
2003	14,697.87	91,432.85	14,117.21
2003	16,037.01	11,280.46	14,117.21
2003	14,697.87	101,054.81	-
2004	14,389.77	99,061.60	13,828.25
2005	18,548.88	16,056.68	14,302.86
2005	16,660.07	117,052.47	13,984.74
2005	12,970.48	51,566.15	13,984.74
2005	17,770.58	52,635.58	14,575.21
2006	16,488.07	59,328.26	14,212.19
2007	16,410.45	73,679.95	14,053.56
2007	16,863.82	65,881.41	18,642.46
2008	15,455.11	94,998.59	16,348.34
2009	17,289.37	68,063.59	15,599.29
Average	15,279.91	67,905.92	14,326.13
Standard Deviation	1,733.69	30,575.38	1,527.77
Maximum	18,548.88	117,052.47	18,642.46
Minimum	12,317.16	11,280.46	11,113.11
Median	14,697.87	68,063.59	14,053.56

조사된 연도별 원단위 단가를 현재가치로 환산하기 위해 한국은행의 경제통계시스템과 소비자물가지수(생활물가지수는 제외)를 토대로 실질이자율을 적용하여 단가를 환산하였다. 환산된 VOT, VOC, VIC, VOPC, VONC의 단가에 대한 시계열 변화를 평균, 분산, 최대·최소·중간값 등으로 구분하여 확률분포를 산정하였다.

Table 4는 5개의 편익항목들 중 차종별 VOT 단가에 대한 확률분포에 대한 예를 나타낸 것이다.

다음으로 단가의 확률분포를 가지고서 10,000개의 편익추정액을 도출하기 위해 Monte Carlo Simulation을 하였다(Longstaff 등 2001). Monte Carlo Simulation은 기초자산 가치에 영향을 미치는 변수에 대한 불확실한 상황에서의 확률적 실험 방법이다.

Fig. 4와 같이 교통수요분석 결과에 연도별 편익의 원단위 단가의 확률분포를 대입하였다(Crystal Ball의 Assumption에 해당함).

다음으로 국도건설사업의 시행 전과 후의 편익항목별로 산정한 편익추정액을 출력 값으로 지정하였다(Crystal Ball의 Forecast에 해당함).

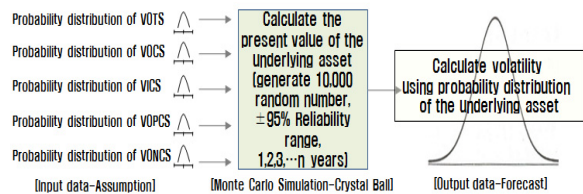


Fig. 4 Volatility Through Monte Carlo Simulation

본 연구는 2013년부터 2042년까지 연도별로 10,000회의 난수를 발생하였으며 신뢰도 $\pm 95\%$ 범위조건과 로그정규분포(Lognormal Distribution)로 하여 Monte Carlo Simulation을 하였다. 로그정규분포는 '0'보다 큰 값을 가지며 주가와 같이 연속적인 데이터의 확률분포를 계산하는데 주로 사용한다. BS모형에서도 주가가 기하학적 브라운운동(Geometric Brownian Motion)의 특성을 따르고 이때 주가의 확률분포로 로그정규분포를 사용하였다.

Monte Carlo Simulation을 위해 리스크분석 소프트웨어인 Crystal Ball을 사용하였다. Simulation을 통해 얻은 편익추정액의 변화량을 가지고서 기초자산 가치의 변동성(8.51%)을 얻었다. 이 변동성의 값은 강동진(2012)의 8.35%, 김명희 등(2012)의 7.51%와는 비슷하며 강태훈(2006)의 25%, 장철호·박호정(2009)의 36%와는 큰 차이가 있다.

4.4. 무위험이자율 산정

무위험이자율은 2009년을 기준으로 하여 10년 만기 국고채의 평균 수익률인 4.17%를 채택하였다.

4.5. 옵션만기기간 설정

사업은 2006년에 설계용역을 착수하여 2008년에 설계를 완료할 계획이다. 2009년에는 용지보상을 하고 2010년부터 2012년까지 시공한 후 2013년에 국도를 개통할 계획이다.

연기옵션은 준공시점까지 유리할 때 권리를 행사할 수 있도록 옵션만기기간을 7년차로 설정하였다. 축소옵션은 시공 전인 4년차를 옵션만기기간으로 정하였다. 포기옵션은 매몰비용 발생을 하지 않도록 용지보상 이전인 3년차를 옵션만기기간으로 설정하였다.

4.6. BO모형을 이용한 기초자산 가치 계산

기초자산 가치의 변동성을 Eq. (12)에 대입하여 상승비율(u), 하락비율(d), 위험중립 상승 헷지확률(p)을 구하였다.

$$u = \exp(0.0851) = 1.0888,$$

$$d = \exp(-0.0851) = \frac{1}{1.0888} = 0.9184,$$

$$p = \frac{(1 + 0.0417) - 0.9184}{1.0888 - 0.9184} = 0.7234$$

이렇게 얻은 u , d , p 와 기초자산 가치(S), 행사가격(X), 옵션기간(T)를 가지고서 다음과 같은 절차로 국도 개통 전까지의 기대할 수 있는 기초자산 가치를 계산하였다.

Fig. 2와 같이 전진계산과정(Rolling Forward Process)을 거쳐 연차별로 기초자산 가치를 계산하였다.

Table 5는 전진계산과정을 통해 얻은 기대할 수 있는

Table 5. Basic Binominal Option Lattice of the Alternative Investment

(unit: million won)

Annual Status	t=0	t=1	t=2	t=3	t=4	t=5	t=6	t=7
c=0	59,791	65,102	70,885	77,181	84,037	91,501	99,629	108,479
c=1		54,913	59,791	65,102	70,885	77,181	84,037	91,501
c=2			50,433	54,913	59,791	65,102	70,885	77,181
c=3				46,319	50,433	54,913	59,791	65,102
c=4					42,540	46,319	50,433	54,913
c=5						39,070	42,540	46,319
c=6							35,883	39,070
c=7								32,955

기초자산 가치를 기본 Binominal Option Lattice로 표시한 것이다.

4.7. 옵션유형별 옵션 가치 계산

국도건설사업에 있어서 의사결정자는 미래의 불확실성에 대해 더 나은 투자기회를 얻을 때까지 확대, 축소, 연기, 포기 등의 의사결정을 할 수 있는 유연성을 갖는다.

확장옵션과 축소옵션은 Eq. (11)처럼 콜(C) 옵션과 풋(P) 옵션방식만 다를 뿐 나머지 계산방식은 동일하기 때문에 본 연구는 사업규모를 축소하는 경우, 사업을 포기하는 경우 및 사업 착수를 연기하는 경우로 구분하여 옵션 가치를 계산하였다.

본 연구는 Mun(2002), 강동진(2012)에서 제시한 옵션유형별 가치 계산방식을 준용하여 사업에 내재된 옵션 가치를 계산하였다.

4.7.1. 사업규모 축소에 따른 옵션 가치 산정

정부가 과업구간의 인근지역에 대체교통수단으로써 철도를 건설하는 교통시설 개발계획을 발표함에 따라 장래 교통량 수요가 대폭 감소할 것으로 예측된다고 가정하자. 이런 경우에 사업규모를 축소하여 사업 손실을 최소화하는 것이 더 나은 경우에 축소옵션을 사용할 수 있다.

국도의 차로수를 1차선으로 축소하여 국도를 건설할 경우에 편익이 60%, 비용이 50%씩 각각 감소한다고 가정하자. 이 경우에 옵션을 산 사람은 옵션만기기간동안 유리할 경우에 언제든지 축소옵션을 행사할 수 있기 때문에 미국형 풋(P) 옵션의 유형을 갖는다. 이러한 가정하에서 다음과 같이 축소옵션 행사를 통해 얻는 기초자산의 가치를 계산하였다.

Table 5에서 $t=4$, $c=0$ 일 때 유지 시 기대할 수 있는 기초자산 가치는 $S(u^4)$ 이고 축소 시 기대할 수 있는 가치는 $E(u^4)=0.4 \times S(u^4) + 0.5 \times X \times (1+r_f)^4$ 가 된다. 따라서 $t=4$, $c=0$ 에서의 옵션 가치는 $V(u^4)=\text{Max}(S(u^4), E(u^4))=S(u^4)=84,037$ 백만 원이 된다. 같은 방법으로 $t=4$ 시점에서 나머지 상태(c)에 대한 옵션 가치를 계산하였다.

계속해서 $t=3$, $c=0$ 에서 축소 시 가치는 $E(u^3)=0.4S(u^3)+0.5 \times X \times (1+r_f)^3$ 로 축소된다. 개방(open) 시에 가치는 Eq. (13)에 따라 $O(u^3) = (p \times (u^4) + (1-p) \times V(u^3d))/(1+r_f)$ 가 된다. 최종적으로 $t=3$, $c=0$ 에서의 옵션 가치는 $V(u^3)=\text{Max}(E(u^3), O(u^3))=O(u^3)=77,684$ 백만

원이 된다. 여기서 개방(open)은 옵션행사시점(t)에서 축소 또는 유지보다는 유리한 정보를 얻을 때까지 의사결정을 유보하는 것이 바람직하다는 의미이다.

이와 같은 역순환계산과정을 통하면 Table 6과 같이 축소옵션을 통해 얻을 수 있는 기초자산의 가치와 의사결정 경로를 얻었다. Table 6에서 t=0, c=0일 때의 63,039백만 원이 축소옵션 행사를 통해 얻는 기초자산 가치가 된다.

축소옵션을 통해 얻은 기초자산의 가치를 Eq. (10)에 대입하면 옵션 프리미엄은 3,248백만 원이 되고 dynamic NPV는 -12,415백만 원이 된다. 또한 B/C ratio도 0.835로 높아졌으며 기초자산 가치도 5.4%로 상승하였다.

Table 6. Underlying Assets and Decision Path Through the Option to Contract

(unit: million won)

Annual Status	t=0	t=1	t=2	t=3	t=4
c=0	63,039 (open)	67,350 (open)	72,186 (open)	77,684 (open)	84,037 (continue)
c=1		61,266 (contract)	64,855 (contract)	68,687 (contract)	72,778 (contract)
c=2			61,112 (contract)	64,612 (contract)	68,341 (contract)
c=3				61,174 (contract)	64,598 (contract)
c=4					61,441 (contract)

4.7.2. 사업포기에 따른 옵션 가치 산정

정부가 국토개발 5개년 개발계획을 취소함에 따라 과업구간에 장래 교통량 수요가 대폭 감소할 것으로 예측된다고 가정하자. 이런 경우에 사업의 경제성이 낮아져 포기하는 것이 손실을 최소화할 경우에 포기옵션을 사용할 수 있다.

옵션을 산 사람이 옵션만기기간동안 사업을 포기하는 것이 유리할 경우에 언제든지 포기옵션을 행사할 수 있기 때문에 미국형 풋(P) 옵션의 유형을 갖는다.

포기옵션은 기준연도를 제외한 용지보상과 공사비에 따른 매몰비용이 일부 발생하지 않는 3년으로 옵션만기기간으로 설정하였다.

이러한 가정 하에서 다음과 같이 포기옵션 행사를 통해 얻는 기초자산의 가치를 계산하였다. Table 5에서 t=3,

c=0일 때 유지 시 기대할 수 있는 기초자산 가치는 $S(u^3)$ 이고 포기 시 기대할 수 있는 가치는 $E(u^3)=X_{3\text{년도}}(1+r_f)^3$ 이 된다. 여기서 $X_{3\text{년도}}$ 는 3년도 이후에 투자되는 비용(53,629만 원)이 된다. 최종적으로 t=3, c=0에서의 기대할 수 있는 옵션 가치는 $V(u^3)=\text{Max}(S(u^3), E(u^3))=S(u^3)=77,181$ 백만 원이 된다. 같은 방법으로 t=3시점에서 나머지 상태(c)에 대한 옵션 가치를 계산하였다.

계속해서 t=2, c=0에서 포기 시 가치는 $E(u^2)=X_{2\text{년도}} \times (1+r_f)^2$ 가 된다. 개방 시 가치는 Eq. (13)에 따라 $O(u^2)=(p \times V(u^3)+(1-p) \times V(u^2d))/(1+r_f)$ 가 된다. 따라서 t=2, c=0에서의 옵션 가치는 $V(u^2)=\text{Max}(E(u^2), O(u^2))=E(u^2)=73,644$ 백만 원이 된다.

이와 같은 역순환계산과정을 통하면 Table 7처럼 포기옵션 행사를 통해 얻는 기초자산 가치와 의사결정 경로를 얻었다.

Table 7. Underlying Assets and Decision Path Through the Option to Abandon

(unit: million won)

Annual Status	t=0	t=1	t=2	t=3
c=0	74,370 (abandon)	76,412 (abandon)	73,644 (abandon)	77,181 (continue)
c=1		76,412 (abandon)	73,644 (abandon)	65,102 (continue)
c=2			73,644 (abandon)	60,622 (abandon)
c=3				60,622 (abandon)

Table 7에서 t=0, c=0일 때의 74,370백만 원이 포기옵션을 통해 얻을 수 있는 기초자산의 가치가 된다. 이 때 옵션 프리미엄은 14,579백만 원이 되고 NPV는 -1,084백만 원이 된다. B/C ratio도 0.986로 향상하였다. 이는 포기옵션을 행사한다면 기초자산 가치가 24.4%로 상승하는 효과를 얻었다.

4.7.3. 착수시기 연기에 따른 옵션 가치 산정

정부는 국토개발 5개년 개발계획 발표를 연기함에 따라 사업 착수시기를 연기해야 한다고 가정하자. 이때 사용할 수 있는 것이 연기옵션이다.

옵션을 산 사람은 옵션만기기간동안 착수시기를 연기하는 것이 유리할 경우에 언제든지 연기옵션을 행사할 수 있기 때문에 미국형 콜(C) 옵션의 유형을 갖는다.

연기옵션 행사를 얻는 기초자산의 가치를 산정하기 위해서는 먼저 옵션만기시점인 $t=7$, $c=0$ 일 때 dynamic NPV는 $V(u^7)=\text{Max}(S(u^7)-X \times (1+r_f)^7, 0) = 8,045$ 백만원이 된다. 이와 같은 방법으로 $t=7$ 시점에서 나머지 상태(c)에 대한 dynamic NPV를 계산하였다. 계속해서 $t=6$, $c=0$ 일 때 연기 시 가치는 $E(u^6)=S(u^6)-X \times (1+r_f)^6$ 가 된다. 개방(open) 시에 가치는 $O(u^6)=(p \times V(u^7)+(1-p) \times V(u^6d))/(1+r_f)$ 가 된다. 따라서 $t=6$, $c=0$ 일 때 dynamic NPV는 $V(u^6)=\text{Max}(E(u^6), O(u^6))=5,587$ 백만원이 된다. 이 때 의사결정은 개방이 된다. 같은 방법으로 역순환계산과정을 통하면 Table 8에서 보듯이 최종적으로 $t=0$, $c=0$ 일 때 dynamic NPV는 627백만원이 된다. 따라서 Eq. (10)을 대입하면 옵션 프리미엄은 16,290백만원이 되고 B/C ratio도 1.008로 향상하였다. 이는 연기옵션을 행사한다면 기초자산은 76,081백만원이 되고 기초자산 가치가 27.2%로 상승하는 효과를 얻을 수 있다.

Table 8. Underlying Assets and Decision Path Through the Option to Defer

(unit: million won)

Annual Status	t=0	t=1	t=2	t=3	t=4	t=5	t=6	t=7
c=0	627 (open)	903 (open)	1,300 (open)	1,871 (open)	2,695 (open)	3,880 (open)	5,587 (open)	8,045 (defer)
c=1		0 (open)	0 (open)	0 (open)	0 (open)	0 (open)	0 (open)	0 (not invest)
c=2			0 (open)	0 (open)	0 (open)	0 (open)	0 (open)	0 (not invest)
c=3				0 (open)	0 (open)	0 (open)	0 (open)	0 (not invest)
c=4					0 (open)	0 (open)	0 (open)	0 (not invest)
c=5						0 (open)	0 (open)	0 (not invest)
c=6							0 (open)	0 (not invest)
c=7								0 (not invest)

4.7.4. POPM 변수 변화에 따른 민감도 분석

본 연구는 미래의 불확실성에 따른 사업의 위험정도를 파악하기 위해 기초자산 가치에 영향을 미치는 변동성, 무위험이자율 및 옵션만기기간의 변수 값을 일정 비율로 변경하여 축소옵션과 포기옵션의 민감도를 분석하였다.

민감도 분석을 위해 먼저 Table 9와 Table 10과 같이 축소옵션과 포기옵션별로 옵션만기기간, 무위험이자

율 및 변동성의 값을 일정한 간격으로 변경시켜 dynamic NPV, B/C Ratio 및 기초자산 가치의 상승률을 계산하였다.

Table 9. Sensitivity Analysis for Contract Option

(unit: million won, %)

Value for the variable			Contract Option			
			D NPV	B/C Ratio	S Increased rate	
S: 30%, X: 50% reduction	$r_f = 0.0417$	$\sigma = 0.0851$	4,127	1.055	33.10	
S: 20%, X: 50% reduction			10,106	1.134	43.10	
$r_f = 0.01$	$r_f = 0.07$	S: 40%, X: 50% reduction	$\sigma = 0.0851$	-1,852	0.975	23.10
$r_f = 0.07$				-1,852	0.975	23.10
$\sigma = 0.07$	$r_f = 0.0417$	S: 40%, X: 50% reduction	$\sigma = 0.0851$	-1,852	0.975	23.10
$\sigma = 0.25$				-571	0.992	25.24
$\sigma = 0.35$				1,063	1.014	27.97

Table 10. Sensitivity Analysis for Abandon Option

(unit: million won, %)

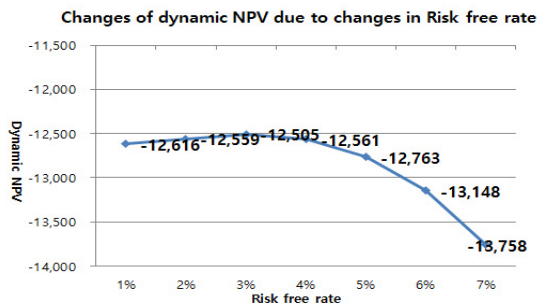
Value for the variable			Abandon Option			
			D NPV	B/C Ratio	S Increased rate	
$r_f = 0.01$	T = 3	$\sigma = 0.0851$	-1,084	0.986	24.38	
$r_f = 0.07$			-1,084	0.986	24.38	
$\sigma = 0.07$	$r_f = 0.0417$	T = 3	$\sigma = 0.0851$	-1,084	0.986	24.38
$\sigma = 0.25$				1,266	1.017	28.31
$\sigma = 0.35$				4,901	1.065	34.39

Table 9, 10에서 보듯이 모든 옵션들이 변동성이 클수록 dynamic NPV도 높아지는 것을 알 수 있다. 이는 미래의 불확실성이 클수록 유연한 의사결정을 통해 사업에 내재된 가치를 높일 수 있다는 것을 의미한다.

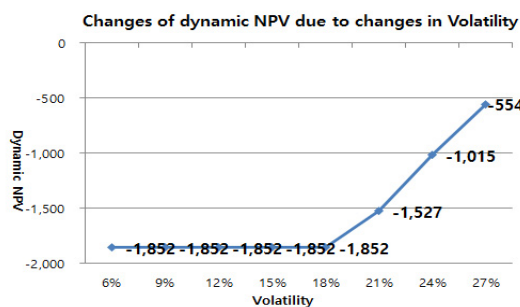
포기옵션은 일정 기간과 일정 무위험이자율의 변화에도 dynamic NPV에는 영향을 미치지 않는다는 것을 알 수 있었다. 이는 무위험이자율을 반영한 기초자산 가치가 행사가격 보다 높아야 하는데 포기옵션인 경우에 옵션기간이 짧기 때문에 무위험이자율만 가지고서 기초자산 가치를 높이는데 한계가 있다고 해석할 수 있다.

Fig. 5와 Fig. 6은 축소옵션의 만기기간을 3년과 5년으로 구분하고 구분된 기간에 따라 변동성(8.51%)을 고정하고 S를 60%로, X를 50%로 감소하였을 경우에 무위험이자율을 변화시켜 dynamic NPV의 변화를 나타낸

것이다. 또한 무위험이자율(4.17%)을 고정하고 S를 40%로, X를 50%로 감소하였을 경우에 변동성을 일정비율로 변화시켜 dynamic NPV의 변화를 예측한 것이다.

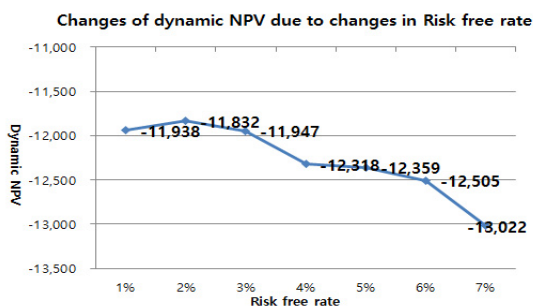


(a) Changes in risk free rate

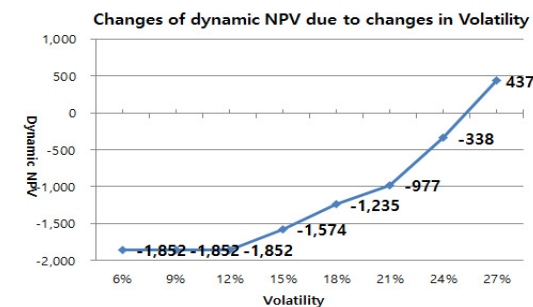


(b) Changes in volatility

Fig. 5 Changes of Dynamic NPV at T=3



(a) Changes in risk free rate



(b) Changes in volatility

Fig. 6 Changes of Dynamic NPV at T=5

Fig. 5와 Fig. 6에서 보듯이 옵션기간이 길수록 dynamic NPV은 높아지고 무위험이자율은 낮을수록 dynamic NPV은 높아지는 것을 알 수 있었다. 또한 변동성이 일정 비율 이상이 되면 dynamic NPV이 높아지는 것을 알 수 있었다.

5. 결론

국도건설사업은 사업초기에 비용을 집중적으로 투입하고 장기간에 걸쳐 후생적인 차원에서 편익을 얻는다. 이러한 특성 때문에 사업투자 여부를 결정하기 위한 방법으로 B/C Ratio, NPV 및 IRR을 사용하고 있다. 이 경제성 평가법들은 편익과 비용을 현재가치로 환산한 후 편익과 비용간의 관계를 통해서 경제성을 평가한다. 하지만 미래의 불확실성에 따른 의사결정의 유연성을 통해 얻을 수 있는 국도건설사업에 내재된 가치를 고려하지 않는다.

본 연구는 국도건설사업의 경제성 평가를 개선하고자 ROPM을 이용한 경제성 평가를 실증 분석하였다. 특히 사업의 내재된 가치 평가가 왜곡되지 않도록 “교통시설 투자평가지침”에서 제시한 5개의 편익산정기준에서 사용한 연도별 원단위 단가를 대응변수로 선정하여 기초자산 가치의 변동성을 계산하였다.

본 연구는 ROPM을 이용하여 지방국토관리청에서 발주한 국도건설사업에 내재된 가치를 계산하였다. 실증분석을 통해서 ROPM을 이용할 경우에 Static NPV보다 많은 투자이익(payoff)을 얻는다는 것을 알 수 있었다. 또한 민감도 분석을 통해 변동성, 무위험이자율 및 만기기간의 변화에 따라 기초자산 가치도 변하는 것을 실증하였다.

의사결정자가 국도건설사업의 투자를 평가할 때 본 연구의 결과를 활용한다면 종래에 NPV보다 사업에 내재된 가치를 높일 수 있을 것으로 사료된다. 예를 들어 투자대안의 static NPV가 -15,553백 원으로 투자 가치가 없는 것으로 평가할 수 있으나 연기옵션을 행사할 경우에 dynamic NPV가 627백 원이 되기 때문에 투자 가치가 있는 것으로 평가할 수 있다. 이처럼 ROPM은 종래의 static NPV이외에 보조적인 역할로서 국도건설사업을 투자 평가하는데 활용할 수 있다.

한편 국도건설사업에 내재된 가치 평가에 ROPM을 이용할 경우에 다음과 같은 몇 가지 제약을 가진다. 먼저 모든 시점에서 동일한 변동성을 갖는다는 가정 하에서 기초자산 가치를 평가하였다. 변동성은 실제로 옵션

만기기간동안 불규칙적으로 달라질 수 있다. 이러한 제약을 보완하기 위해서는 보다 객관적인 역사적 자료를 가지고서 변동성을 계산해야 한다.

둘째로 본 연구는 편익산정기준 단가의 변화율을 가지고서 기초자산 가치의 변동성을 계산하였다. 하지만 편익 단가이외에도 국도건설사업의 가치 변동에 영향을 미칠 수 있는 Network 레벨에서의 장래 교통량 수요 변화율, 인구이동과 차량등록대수의 변화율 등 사회경제적 지표를 종합적으로 고려하여 변동성을 계산할 필요가 있다.

셋째로 편익추정에 사용하는 변수들의 불확실성과 전략적 의사결정 요소들의 관계가 복잡하기 때문에 이에 적합한 가치결정모형에 대한 추가적인 연구가 필요하다.

끝으로 국도건설사업은 정치적 사항에 따라 투자여부를 결정하는 경우가 있다. 이 때 본 연구의 결과를 적용한다면 의사결정자에게 투자계획 변경에 따른 사업의 경제적 가치변화 예측정보를 제공할 수 있을 것으로 사료된다.

감사의 글

이 연구는 서울과학기술대학교 교내 학술연구비 (일부)지원으로 수행되었습니다.

References

Kang, Dong-Jin(2012), Essays on the issues for the cost- benefit analysis of transportation infrastructure : focusing on the maintenance cost, social discount rate and the real options analysis, Thesis submitted to the Graduate school Hanyang University, pp. 111-154.

Kang, Tae-Hoon(2006), "An Empirical Study on the Convergence of Option Pricing by Monte Carlo Simulation", Korea International Accounting Review, Vol.15, pp. 45-65.

MyoungHee Kim, Kihwan Lee(2012), "Economic Evaluation of Port Hinterlands Using Real Option-Focusing on the Case Study for Hinterland of Busan New Port-", Korea port economics review, Vol.28 No.3, pp. 235-257.

Ministry of Land, Infrastructure and Transport(2004), Investment evaluation guidelines for public transport development, pp. 162-177.

Ministry of Land, Infrastructure and Transport(2011), Investment evaluation guidelines for transportation facility, Rev.4, pp. 145-328.

Ministry of Land, Infrastructure and Transport(2012), Road Services Manual, pp. 81.

Korean Society of Transportation(2006), Railway Investment Evaluation Manuals.

Yu Seonhui, Seong Unghyeon, Lee Gihong(2005), Real option and performance analysis and prediction for R&D projects, Korea Institute of Science and Technology Information, pp. 64-75.

Lee Gihong, Gwak Seungju(2009), Financial engineering is easy to learn Excel VBA Programming, Hanbit Media Inc., pp. 123-138.

Chulho Jang, Hojeong Park(2009), "Social Economic Evaluation for public Libraries using Real Option Model" Journal of Economic Studies, Vol.25 No.2, pp. 105-125.

Jae-bum Jun, Sung-il Kim(2009), "Financial Feasibility Analysis of Project Finance Considering Strategic Decision-making", The Korea Spatial Planning Review, Vol.61, pp. 25-39.

Jeong, Da Rae, Kim, Jun Seok(2010), Introduction to Numerical Analysis of Black-Scholes equation , Korean Studies Information, pp. 161-183.

Korea Development Institute(2008), Modified and complementary of standard guidelines in preliminary feasibility study for roads and railway sector project, Rev.5, pp. 311-380.

Doo Gun Hwang , Ki Hwan Lee(2007), "Article : The Valuation of Port Development using Real Options Analysis", The Journal of Shipping and Logistics, Vol.55, pp. 43-68.

Black, F., M. Scholes(1973), "The Pricing of Options and Corporate Liabilities", Journal of Political Economy, pp. 637-659.

Cox, J., Ross, S., Rubinstein, M.(1979), "Option Pricing : A Simplified Approach", Journal of Financial Economics Vol.7, No.3, pp. 229-263.

Dixit, Avinash K., Robert S. Pindyck(1985), The options approach to capital investment, Harvard Business Review, pp. 105-115.

John C. Hull(2008). Options, Futures, And Other Derivatives, 7th ed, Prentice Hall, pp. 277-309.

Longstaff, F. A., E. S. Schwartz(2001), "Valuing American Options by Simulation : A Simple Least-Square Approach", Review of Financial Studies, 14:1, pp. 113-147.

Martha Amram, Nalin Kulatilaka(1999), Real Options : Managing Strategic Investment in an Uncertain World, Harvard Business School.

Mun, J.(2002.), Real Options Analysis : Tools and Techniques for Valuing Strategic Investments and Decision, John Wiley & Sons.

Smit, H. T. J., L. Trigeorgis(2004), Strategic Investment: Real Options and Games, Princeton University Press.

Stewart C. Myers(1984), "Finance Theory and Financial Strategy", Interfaces 14:1, pp. 126-137.

Thomas E. Copeland, Vladimir Antikarov(2003), Real Options a Practitioner' s Guide, Texere, 1ed.

EMME2, <http://www.inrosoft.com/en/products/emme/index.php>