

# 실물옵션 기법을 이용한 도로사업의 경제성 평가

Economic Feasibility Study of the Road Project Using Real Options Analysis

강동진 Kang Dong-Jin	한양대학교 대학원 도시공학과 박사과정 수료(제1저자) Finished Ph.D. Course, Dept. of Urban Engineering, Hanyang Univ.(Primary Author) (dj kang@kofra.co.kr)
송병록 Song Byung-Rok	(주)코리아인프라스트럭처 대표이사 CEO, Korea Infrastructure Co., Ltd. (brsong@kofra.co.kr)
노정현 Rho Jeong-Hyun	한양대학교 도시대학원 교수(교신저자) Prof., The Graduate School of Urban Studies, Hanyang Univ.(Corresponding Author) (jrho@hanyang.ac.kr)

## 목 차

- I. 서론
- II. 실물옵션의 이론적 고찰
  - 1. 실물옵션의 개념 및 금융옵션과의 비교
  - 2. 실물옵션의 분류
  - 3. 실물옵션에 의한 프로젝트의 가치 평가
- III. 선행 연구 검토 및 본 연구의 차별성
  - 1. 선행 연구 검토
  - 2. 본 연구의 차별성
- IV. 도로사업 사례 분석
  - 1. 분석대상 사업 선정 및 경제성 평가결과 검토(1단계)
  - 2. 사상나무(Event Tree) 작성(2단계)
  - 3. 의사결정나무(Decision Tree) 작성(3단계) 및  
실물옵션 적용 사업가치 산정(4단계)
  - 4. 기초자산의 변동성과 옵션만기의 영향 분석
- V. 결론

## I. 서론

도로·철도 등 대규모 육상 교통시설 투자 사업은 투자와 건설에 장기간이 소요됨에 따라, 사업 추진 결정단계에서 예측하지 못했던 위험들이 사업 추진 과정 또는 시설 개통 이후에 발생할 수 있는 불확실성이 크다. 최근 개통된 민간투자 도로사업들의 경우에도 개통 시의 실제 교통량이 타당성조사 단계의 예측 교통량에 훨씬 미치지 못하는 결과가 초래되어 정부의 재정지원 부담이 가중되고, 이 문제가 사회적 문제로까지 대두되기도 하였다.

이처럼 예측 교통량과 실제 교통량 간의 차이가 발생하는 이유는 교통수요 예측 당시 수요 자체를 과대 예측한 측면도 있으나, 관련 개발계획의 추진 지연, 사회·경제지표들의 미실현 등 교통수요 예측에 반영한 각종 지표들에 내재된 불확실성도 이유가 되고 있다.

전통적인 도로 투자사업의 경제성 평가방법, 특히 순현재가치(Net Present Value: NPV) 평가방법에서는 NPV 도출에 사용되는 독립변수들의 장래 불확실성을 분석 과정에 제대로 반영하지 못하는 단점이 있다. 대상 사업과 관련된 장래 불확실성이 현재가치 할인계수인 사회적 할인율(Social Discount Rate)에 일정 부분 감안되기는 하나, 사회적 할인율 하나의 변수만으로는 사업 관련 미래 불확실성이나 위험요소를 반영할 수 없고, 사업에 내재된 불확실성에 유연하게 대처할 수 있는 여러 대안을 고려하는 데 한계가 있다(황두건·이기환, 2007: 44).

정부 입장에서도 예산 제약하에서 개별사업에 대한 예산을 편성하여 지출하게 되므로, 어떻게 해야만 불확실성을 감소시키고 자원을 효율적으로 사용할 수 있을 것인가에 관심을 둘 수밖에 없다(심상달 외 6인, 2004: 309). 도로사업, 특히 대규모 고속도로 사업의 경우는 대상사업의 예비타당성 조사 때부터

준공 때까지 7~10년 여가 소요된다. 따라서 이 기간 동안에 당초 수요예측의 전제가 되었던 주변 개발계획들이 정책의 변화, 경제여건의 변화 등으로 취소 또는 연기되는 경우에는 해당 도로사업을 취소(Abandon) 또는 연기(Defer)할 필요가 있고, 당초보다 주변 개발계획이 확장되어 교통수요를 현저히 증가시킬 것으로 예상되는 경우에는 해당 도로사업을 확장(Expand)하거나 조기 착수하는 것이 정부의 효율적 사용에 도움이 될 것이다.

이러한 측면에서 본 연구가 시도되었다. 즉, 장래 불확실성 반영에 한계가 있는 전통적인 NPV 분석방법의 단점을 보완하는 방안의 하나로서 도로 투자사업의 경제성 평가에 실물옵션 기법(Real Option Analysis: ROA)을 이용하는 방안을 모색해 보고자 한다. 본 연구에서는 먼저 실물옵션 기법의 개념과 관련이론들을 고찰하고, 예비타당성 조사가 기 수행된 바 있는 도로사업의 경제성 평가분석 사례에 실물옵션 기법을 추가 적용하여 실증분석을 수행하였다.

다음으로는 기 수행된 경제성 평가결과와 실물옵션 기법을 적용한 결과를 상호 비교하여 실물옵션 기법 적용에 따른 효과와 의의를 도출해내고, 도로사업의 경제성 평가에 실물옵션 기법을 적용할 수 있는지 그 가능성과 정책적 함의를 고찰하였다. 또한 도로사업의 경제성 평가에 있어서의 실물옵션 기법 적용상의 한계점과 그러한 한계를 극복할 수 있는 방안에 대해서도 검토하였다.

## II. 실물옵션의 이론적 고찰

### 1. 실물옵션의 개념 및 금융옵션과의 비교

금융옵션(Financial Option) 거래에서는 옵션 매입자에게 주식 등의 특정 금융자산을 특정 기간의 한도

내에서 미리 약정한 가격, 즉 행사가격(Exercise Price)으로 사거나(팔거나) 혹은 사지 않음(팔지 않음) 수 있는 선택적 권리를 부여한다. 옵션은 권리일 뿐 의무는 아니므로, 미래시점의 상황에 따라 옵션 소유자에게 유리한 경우에만 행사할 수 있다. 만약 미래에 전개될 상황이 불확실하다면 예상을 벗어나는 결과가 나타날 가능성이 크므로 미래 불확실성이 클수록 옵션의 대가는 더욱 커진다. 또 이러한 불확실성은 가까운 미래보다는 먼 미래에 더 커지므로 만기가 길어질수록 옵션의 가치는 더 커진다(황두건·이기환, 2007: 46)

옵션거래로부터 얻어지는 이익의 크기는 만기시점의 기초자산 가격과 행사가격에 따라 달라지므로 이들은 해당 옵션 가격을 결정하는 데 중요한 영향을 미친다. 만기시점에서 콜옵션(Call Option)과 풋 옵션(Put Option)의 가치는 각각 <식 1> 및 <식 2>와 같이 계산된다.

$$\text{Call Option}(C) = \text{Max}(0, E[V(T)] - X) \quad \text{<식 1>}$$

$$\text{Put Option}(P) = \text{Max}(0, X - E[V(T)]) \quad \text{<식 2>}$$

여기서 C와 P는 콜옵션 및 풋옵션의 보유자가 만기에 취할 수 있는 이익가치(Pay Off)이며,  $E[V(T)]$ 는 만기시점(T)에 기초자산 가격의 기댓값, X는 행사가격을 의미한다. 만기시점(T)에서는 콜옵션의 경우 만기시점 당시의 실제 자산가치가 행사가격을 상회할 때  $[V(T) > X]$  그 차액만큼의 이익 실현이 가능하고, 풋옵션의 경우 행사가격이 자산가치를 상회할 때  $[X > V(T)]$  이익이 실현되어 권리행사가 이루어

진다(황두건·이기환, 2007: 46~47).

실물옵션 평가 방식은 금융옵션 가치 평가모형을 확장 및 응용하여, 특정 실물자산(Real Assets) 또는 프로젝트(Project)의 취급과 관련하여 장래에 의사결정의 유연성(Flexibility)이 반영될 경우의 해당 자산 또는 프로젝트의 가치를 평가하는 것을 말한다(Copeland and Antikarov, 2003: 5~9). 반면에 전통적인 NPV법은 (특정 공공투자사업을 포함한)투자안의 현금 흐름과 관련 변수들이 가지는 미래의 확률 분포가 최초의 의사결정 단계와 다르지 않을 것을 가정한다. 따라서 투자자(또는 의사결정자)는 상황 변화에 따른 사업 추진전략 변경을 고려할 필요가 없다. 그러나 실물옵션을 적용할 경우에 투자자(또는 의사결정자)는 미래의 상황변화에 반응하여 좀 더 나은 투자기회(또는 사업추진 기회)를 확보할 수 있도록 최초의 투자전략(또는 사업추진 전략)을 수정할 수 있는 기회를 가지는 것으로 가정한다(조주현·박홍일, 2004: 42~43).

실물옵션의 가치(Premium)<sup>1)</sup>는 기존 투자안의 연기(Defer), 확장(Expand), 축소(Contract), 중단(Abandon), 투자실행 단계에서의 수정 등에 대한 선택권 혹은 권리의 내재적 가치(Implied Value)를 의미한다. 투자자(또는 의사결정자)가 상황의 변화에 대응하여 미래의 의사결정을 수정하는 것은 이익 창출 가능성을 보다 증대(Upside Potential)하고, 손실 발생 가능성을 제한(Downside Protection)하여 투자안의 가치를 증가시키는 역할을 한다(조주현·박홍일, 2004: 42~43).

1) 실물옵션의 적용 시 변화된 사업의 가치와 실물옵션 자체의 가치(Premium)는 구분되어야 함. 본문의 <식 3>에서 ‘실물옵션 부 투자안의 가치(Expansive NPV)’는 전통적인 NPV법에 의해 산정된 사업 가치에 장래 상황 변화에 따른 전략적인 의사결정의 유연성을 추가적으로 고려함으로써 변화되는 사업 가치를 의미함. 본 논문의 후반부에서 산정된 옵션 적용 시의 가치들은 이 ‘실물옵션 부 투자안의 가치’에 해당함. 반면에 ‘실물옵션 자체의 가치(Premium)’는 개념적으로 실물옵션 적용 시의 변화된 사업 가치에서 당초 NPV법에 의한 사업 가치를 차감함으로써 산정할 수 있음.

실물옵션 부 투자안의 가치 = NPV법에 의한 가치 + 투자안의 수정기회 가치

Expansive(Dynamic or Strategic) NPV=  
Passive(Static, Passive or Direct) NPV+Option  
Premium <식 3>

## 2. 실물옵션의 분류

실물옵션은 크게 광의의 실물옵션과 협의의 실물옵션으로 구분할 수 있다. 광의의 실물옵션은 금융옵션이나 상품옵션 등과 같은 매매옵션에 대응되는 개념으로, 투자 의사결정 또는 자금조달 의사결정 등과 같이 경영 혹은 투자에 관련된 모든 비 매매옵션을 뜻한다. 반면에 협의의 실물옵션은 투자 연기옵션, 단계별 투자옵션, (확대, 축소 등) 규모 변경옵션, 중단옵션, 전환옵션, 성장옵션, 복합적 연계옵션 등으로 분류할 수 있는 실물투자 의사결정 옵션을 말한다(조주현·박홍일, 2004: 40~42).

## 3. 실물옵션에 의한 프로젝트의 가치 평가

### 1) 옵션가치 결정 모형의 선정

특정 프로젝트에 실물옵션을 적용할 경우의 가치 평가 모형은 금융옵션에서의 옵션가치 결정 모형을 그대로 준용해서 사용할 수 있다. 금융옵션에서의 옵션가치 결정모형은 연속모형(Continuous Model)에 해당하는 Black-Sholes 모형과 이산모형(Discrete Model)에 해당하는 이항옵션가격결정모형(Binomial

Option Pricing Model)의 두 가지로 구분할 수 있다(박정식 외 2인, 2001: 774).

Black-Sholes 모형(이하 “BS모형”이라 함)을 적용하기 위해서는 6가지의 가정이 필요하다. 첫 번째는 만기일에만 옵션 행사가 가능한 유럽형 옵션에 적용 가능하다는 것이다. 두 번째는 기초자산 가치의 불확실성은 한 가지 요인에 의해서만 결정되어야 한다는 것이다. 세 번째는 단일 기초자산에 대한 옵션에만 모형을 적용할 수 있다는 것이다. 따라서 복합옵션(Compound Option)에는 BS 모형을 적용하기 어렵다. 네 번째는 옵션만기까지 배당을 지급하지 않는 무배당을 가정한 기초자산에 대해서만 적용 가능하다는 것이다. 다섯 번째는 기초자산의 시장가격과 역사적인 변화 과정이 시장에서 관측될 수 있어야 한다는 것이다. 여섯 번째는 기초자산의 수익률 분산은 시간의 경과에 관계없이 일정해야 한다는 것이다(Copeland and Antikarov, 2003: 106).

한편 1979년 Cox-Ross-Rubinstein에 의해 개발된 이항옵션가격결정모형(이하 “이항모형”이라 함)은 기초자산인 V가 불확실한 환경 속에서 두 가지 값<sup>2)</sup>만 가지는 경우를 가정한다. 즉, 이항모형을 통한 옵션적용가치 결정을 위해서는, 옵션만기까지의 잔존기간을 여러 기간으로 나누고 각 기간마다 실물자산인 V의 가격변화와 그에 따른 옵션(O)의 가치변화가 이산적(Discrete)으로 일어나는 것으로 가정한다(Amram and Kulatilaka, 1999: 113~121).<sup>3)</sup>

한편 위험중립을 가정할 경우 단일기간 이항모형에서의 옵션가치는 다음 식에 의해 결정된다(Copeland and Antikarov, 2003: 97).

2) 기초자산(Underlying Asset)이 상승 또는 하락하는 경우의 두 가지만을 가정함.

3) 이항모형에서는 이러한 옵션가격과 동일한 움직임의 복제 포트폴리오(Replicating Portfolio)를 다른 자산으로 구성하여 이 포트폴리오의 가치를 계산하는 방식으로 옵션의 가치를 산정하게 됨. 이항모형은 현재 만기가 남아있는 옵션에 대해 그 만료시점에 나타날 실물옵션 적용 시 사업가치의 분포를 예상하여 만료시점의 가치에서 출발하여 거꾸로 거슬러 올라와 현재의 옵션가치를 파악하는 회귀적(Recursive) 접근법을 적용함.

$$C_0 = \frac{[pC_u + (1-p)C_d]}{1+r_f} \quad <식 4>$$

$C_0$ : 현재 시점에서의 옵션의 가치

$p$ : 위험중립확률(Risk-Neutral Probability)

$C_u$ : (1기간 후에)기초자산의 가격 상승 시의 옵션의 기대값

$C_d$ : (1기간 후에)기초자산의 가격 하락 시의 옵션의 기대값

$r_f$ : 무위험이자율(Risk-Free Interest Rate)

## 2) 모형의 선택

금융옵션은 대부분 금융시장에서 거래되는 주식, 채권 등의 유가증권이 기초자산이다. 이들 자산은 과거의 가격이나 수익률 등에 대해 축적된 자료가 많아 옵션의 가치평가가 상대적으로 용이하다. 그러나 실물옵션의 경우는 기초자산이 주로 R&D 또는 신규 프로젝트 투자여서 일반적으로 시장에서 거래되지 않으며, 가치평가에 필요한 축적된 자료가 금융옵션에 비해 상대적으로 빈약하거나 거의 없다(조주현·박홍일, 2004: 47). 따라서 기초자산의 시장가격과 역사적인 변화 과정이 시장에서 관측 가능해야 한다는 가정을 전제로 하는 BS모형을 실물옵션에 그대로 적용하기는 힘들다.

또한 실물옵션의 경우 옵션만기와 옵션의 행사시점이 일반 금융옵션보다 긴 편이며, 특히 본 연구의 실증 분석에서 적용된 옵션의 형태는 미국형 옵션이다. 미국형 옵션의 경우 BS모형 적용에 한계가 있다. BS모형의 기본 가정에는 만기 시에만 옵션을 행사할 수 있고 만기 시까지는 배당을 하지 않는다는(No Dividend) 가정 때문이다.

따라서 본 연구에서는 이러한 실물옵션과 BS모형의 특성들로 인해 실물옵션을 적용한 도로사업 가치 분석에 BS모형을 적용하는 것이 적합지 않다고 판단하여 이항모형을 이용한 분석을 실시하였다.

## 3) 위험중립 가정

금융옵션에 대해 위험중립을 가정할 경우, 위험중립 확률(Risk Neutral Probability)을 이용하여 미래 옵션의 기대값을 구하고 무위험이자율(Risk-Free Interest Rate)로 할인하는 방법으로 현재시점의 옵션가치를 비교적 쉽게 구할 수 있다. 그런데 위험중립의 가정을 위해서는, 금융옵션과 그 기초자산을 이용하여 헤지 포트폴리오(Hedge Portfolio)<sup>4)</sup>를 구성할 수 있어야 한다(조주현·박홍일, 2004: 49).

실물옵션 가치평가에 이러한 위험중립을 가정하기 위해서는 분석대상 프로젝트의 현금흐름과 거의 유사한 현금흐름을 실현할 수 있는 대응증권을 도입해야 한다. 실물옵션 적용을 위한 조건 중 차익거래가 존재하지 않는다는 가정에 따라, 무차익거래의 균형 상태에서 대응증권의 가격은 분석대상 프로젝트의 가격이 되기 때문이다. 그러나 시장에서 이러한 대응증권을 찾을 수 없을 경우 Copeland and Antikarov(2003)는 별도의 옵션을 고려하지 않은 분석 대상 프로젝트 현금흐름의 현재가치 자체를 그것의 시장가치의 대리변수로 가정<sup>5)</sup>하는 방안을 제안하고 있다. 따라서 본 연구에서도 분석대상 도로사업에 대한 실물옵션 적용 시 위험중립을 가정한 이항모형을 사용하였으며, 이 과정에서 Copeland and Antikarov(2003)의 MAD 가정을 적용하였다.

4) 헤지 포트폴리오(Hedge Portfolio)란 특정 주식(또는 채권 등)과 그 주식에 대한 콜옵션(Call Option)을 적절하게 결합하여 장래의 주가변동에 관계없이 일정한 수익을 가져다주도록 구성된 포트폴리오를 의미하며, 일명(一名) 무위험포트폴리오라고도 함(박정석 외 2인, 2001: 775~778).

5) Copeland and Antikarov(2003)는 이러한 가정에 "MAD(Marketed Asset Disclaimer)"라는 명칭을 부여하고 있음.

#### 4) 실물옵션에 의한 4단계 가치평가 과정

Copeland and Antikarov(2003)는 실물옵션에 의한 특정 프로젝트의 가치 평가 과정을 4단계로 제안하고 있다. 제1단계는 전통적인 NPV법에 의한 의사결정의 유연성이 없는 상태에서 대상 프로젝트의 NPV를 도출하는 것이다. 제2단계는 대상 프로젝트의 NPV의 변동성(Volatility)에 영향을 미치는 불확실성들을 반영한 사상나무(Event Tree)를 작성하는 것이다. 제2단계까지는 의사결정상의 유연성을 반영하지 않았으므로, 사상나무(Event Tree)에 기초한 프로젝트의 현재 가치는 1단계에서의 NPV와 동일해야 한다. 제3단계는 제2단계에서의 사상나무(Event Tree)에 활용 가능한 의사결정의 유연성(Flexibility)을 반영하여 의사결정나무(Decision Tree)를 작성하는 것이다. 제4단계는 의사결정나무(Decision Tree)에 대하여 수리적 방법과 스프레드 시트(Spread Sheet) 프로그램을 이용하여 의사결정의 유연성이 반영되었을 경우의 대상 프로젝트의 NPV를 평가하는 것이다 (Copeland and Antikarov, 2003: 220~222).

본 연구에서도 Copeland and Antikarov(2003)의 4단계 실물옵션 가치 평가 방법론을 준용하여 도로사업에 의사결정의 유연성을 감안할 때의 사업 가치를 평가해 보았다.

#### 5) 변동성(Volatility)의 측정

실물옵션이 금융옵션과 다른 점은 만기가 보통 장기라는 점이다. 금융옵션에서는 변동성 자체가 확률과정(Stochastic Process)인 경우가 일반적 현상이라는 점이 인정되고 있다. 이에 따라 옵션에 대한 연구에서는 변동성의 확률과정 혹은 시계열(Time Series) 모형을 설정하여 이론가격을 도출하려는 연구가 많이

이루어지고 있다. 금융옵션에서는 이러한 시도가 현실성이 있다고 할 수 있다. 변동성은 주식 등 기초자산의 시장가격에서 쉽게 구할 수 있고, 과거 데이터(Data)도 비교적 풍부하여 시계열적 특성이나 확률 과정을 쉽게 설정할 수 있기 때문이다. 그러나 실물 옵션에서는 옵션의 기초자산이 되는 프로젝트의 현금흐름에 대한 과거 데이터가 없기 때문에 금융옵션에서처럼 역사적 변동성을 계산할 수 없다.

실물옵션에 관련된 기존 연구들에서는 기초자산의 변동성 도출 시 과거 데이터의 부재로 인한 문제점을 해결하기 위한 방식들을 제안하고 있다. 이 방식들은 우선 대상 프로젝트에 대한 분석을 통해 프로젝트 현금흐름의 불확실성에 영향을 미치는 변수들을 확인한다. 그리고 이 변수들의 확률분포 및 해당 변수와 프로젝트 현금흐름 간의 상관관계를 분석한다. 그다음에는 시뮬레이션을 통해서 분석 대상 프로젝트 현금흐름의 확률분포를 규명한다. 이와 같은 시뮬레이션 과정을 통해 생성된 확률분포의 표준편차( $\sigma$ )를 해당 프로젝트의 변동성으로 사용할 수 있다(조주현·박홍일, 2004: 48~49).

본 연구에서도 시뮬레이션을 통해 사업의 변동성을 추정하는 방식을 적용하였다. 즉, 분석 대상 도로사업의 편익에 영향을 미치는 대표적인 변수들 중 통행시간가치를 우선 선정하였다. 다음으로는 선정된 변수의 확률분포를 도출하고, 이를 고려할 경우에 분석 대상 도로사업의 편익의 변동성을 시뮬레이션을 통해 추정하였다.

### III. 선행 연구 검토 및 본 연구의 차별성

#### 1. 선행 연구 검토

1980년대 초반부터 단순히 현금흐름을 할인율로 할

인하는 DCF(Discounted Cash Flow)법의 전략적 유연성의 한계가 논의되면서 금융옵션을 실물투자에 적용하는 실물옵션에 대한 연구가 활발히 진행되어 왔다. Cheah and Liu(2005)는 공공기반 산업에 대해 몬테카를로 시뮬레이션(Monte Carlo Simulation)을 적용하여, 대형 투자사업에 실물옵션의 적용성을 확대시킬 수 있는 방안을 도출하였다. Sadowsky(2005)는 특정 산업의 생산발달 단계별 가치를 실물옵션을 통해 연구하여 기존 가치평가법과 그 결과를 비교하여 단계별 가치를 평가할 때 실물옵션 기법 적용의 유용성을 밝혀내었다. Pereira와 2인(2006)은 국제공항의 최적 건설시점을 실물옵션을 통해 분석했는데, 공항 이용 승객과 이용료를 이용하여 수익을 계산하고, 공항개발 사업의 긍정적인 영향 및 부정적 영향을 이용해 그 현실성을 분석하였다. 또한 실제 공항 건설 사업에 적용하여 그 모델의 적용성을 높였다. 한편 Abadie and Chamorro(2006)는 미국형 옵션을 이용하여 몬테카를로 시뮬레이션을 통해 천연가스 투자와 이에 연관된 발전소 건설의 타당성을 연구하였다.

도로, 철도 등의 육상 교통시설에 관련된 연구들로는 Rose(1998)가 유료도로사업의 재무성 평가에, Bowe and Lee(2004)가 고속철도 사업의 재무성 평가에 복합적 연계 옵션을 적용하는 방안을 연구한 바 있다. 교통시설과 관련해서는 최근 Chow and Regan(2011)의 사례와 같이 개별 시설 사업의 평가에서 진일보하여 특정 지역의 전체 교통 네트워크의 설계와 평가에 실물옵션을 적용하려는 연구도 있다.

한편 교통시설은 아니지만, Angelou and Anastasios(2009)의 연구에서는 사업 추진을 위한 최적 의사 결정을 위해 실물옵션 기법과 분석적 계층화법(Analytic Hierarchy Process)을 결합하는 시도를 한 사례도 있다.

국내에서는 1990년대 중반 이후부터 다양한 에너지 자원 개발 사업 평가에 실물옵션 기법이 적용되기

시작하였다. 발전소 건설투자를 분석한 윤원철·손양훈·김수덕(2003), 농지보전 프로그램의 농업투자 효과를 분석한 박호정·황의식(2003), 환경오염 방지시설 투자에 대한 박호정(2005) 등의 연구에 의해서 실물옵션 기법이 국내에 소개된 바 있다.

이 외에도 조주현·박홍일(2004)의 연구에서는 가상의 부동산 개발사업 시나리오를 설정하고, 이 사업에 실물옵션의 이항모형을 적용하여 재무적 타당성을 분석하였다. 장철호(2007)의 연구에서는 실물옵션을 이용하여 공립도서관사업의 경제적 타당성을 평가하였다. 또한 황두건·이기환(2007)의 연구에서는 항만개발 사업의 경제성 평가에 대한 실물옵션 기법의 적용 가능성을 평가하였다. 특히 이들은 옵션 가치의 평가를 위해 BS모형을 적용하였다. 한편 최근에는 전재범·김성일(2009)이 민간투자 도로사업에 실물옵션 기법을 적용하는 방안을 고찰하였다. 특히 이들은 ‘투자지연’이라는 의사결정이 민자 도로사업의 재무적 타당성에 미치는 영향을 파악하기 위하여 실물옵션 기법을 적용하는 방안을 이론적인 측면에서 검토하였다.

## 2. 본 연구의 차별성

본 연구는 실물옵션 기법을 이용한 프로젝트의 가치 평가에 관한 기존 국내 연구들과 연구의 대상 및 연구방법 측면에서 다음과 같이 차별화된다.

첫째, 연구의 대상 측면에서 본 연구는 기존의 국내 연구들이 시도하지 않았던 도로사업의 경제성 평가에 실물옵션 기법을 적용하였다. 기존의 국내 연구들 중 대규모 교통시설의 경제성 평가에 실물옵션 기법을 적용한 사례는 항만개발 사업에 대한 황두건·이기환(2007)의 연구가 유일하다.

한편 도로사업에 실물옵션 기법을 적용한 연구로는 전재범·김성일(2009)의 연구가 있다. 그러나 전재

범·김성일(2009)의 연구 대상은 민자 도로사업의 재무적 타당성 평가 분야<sup>6)</sup>로서, 본 연구와는 실물옵션의 기초자산 등에서 큰 차이점이 있다. 즉, 전재범·김성일(2009)의 연구에서는 실물옵션의 기초자산으로 분석 대상 도로 자체의 예측 교통량에서 도출되는 운영수입을 산정하였다. 반면에 본 연구에서는 분석 대상 도로가 포함된 영향권<sup>7)</sup> 내의 전체 교통 네트워크에 발생하는 편익들<sup>8)</sup>을 실물옵션의 기초자산으로 산정하였다. 따라서 본 연구에서의 편익의 규모는 분석대상 도로의 예측 교통량보다는 영향권 내의 전체 교통 네트워크에서 발생하는 혼잡도 등의 상태변화에 더 크게 좌우된다. 그러한 측면에서 본 연구에서의 실물옵션의 기초자산 산정과 옵션가치 산정은 전재범·김성일(2009)의 연구와 차이가 있다.

둘째, 기존 연구들에서는 대부분 연구자 스스로 가정한 가상의 자료를 이용하여 실물옵션가치를 평가하고 있다. 전재범·김성일(2009)의 연구에서도 도로사업에 대한 실물옵션 적용의 이론적 틀을 검토하는 측면에서 가상의 도로사업에 대한 단일 기간의 사업추진 연기 시나리오를 설정하여 옵션가치를 산정하는 방식을 제시하고 있다. 그러나 본 연구에서는 실제 예비타당성 조사가 수행된 도로사업을 선정하여 이 사업의 경제성 평가결과에 실물옵션 기법을 적용함으로써 실증분석 결과의 사실성을 높이고 실질적인 측면에서 정책적 시사점을 도출하고자 하였다.

셋째, 연구의 방법 측면에서 국내 연구들 중 대규

모 교통시설의 경제성 평가에 실물옵션 기법을 적용한 유일한 사례인 황두건·이기환(2007)의 연구에서는 BS모형을 분석에 이용하였다. 그러나 기 언급한 바와 같이 BS모형은 무배당의 유럽형 옵션을 가정해야 하는 등 비금융자산에 대해 적용하기 어려운 점이 존재한다. 이러한 점을 감안하여 본 연구에서는 이항모형을 적용하여 프로젝트의 가치를 평가하였다. 한편 이항모형을 적용한 기존 국내 연구들에서는 대부분 분석대상 프로젝트(Project)의 가치 변동성(Volatility)을 단순히 특정 숫자로 가정하여 분석을 수행하고 있다. 그러나 본 연구에서는 분석대상 도로사업의 가치, 즉 편익에 영향을 미치는 변수들 중 하나를 선정한 후, 해당 변수가 실질적으로 사업의 편익에 미치는 영향을 고려하여 몬테카를로 시뮬레이션(Monte Carlo Simulation)을 수행함으로써 사업편익의 변동성(Volatility)을 도출하는 과정을 거쳤다. 이러한 과정을 거친 것 또한 본 분석결과에 사실성을 제고하기 위한 것이다.

#### IV. 도로사업 사례 분석

본 연구에서는 2007년 예비타당성 조사가 수행된 특정 도로사업(광주순환고속도로 건설사업)을 선정한 후, Copeland and Antikarov(2003)의 4단계 실물 옵션가치 평가방법론을 준용하여 옵션을 적용했을 때의 가치변화를 평가하였다.

6) 경제성 평가와 재무성 평가는 그 목적에 있어 근본적인 차이가 존재함. 경제성 평가는 공공사업의 비용과 편익을 국가 전체적(사회적) 입장에서 측정하고 이에 따라 경제적 순편익 가치를 계산하여 타당성 여부를 결정하는 방법임. 반면에 재무성 평가는 사회 전체의 입장이 아닌 개별 사업주체의 입장에서 실제 사업 추진 시의 급전적 비용과 수입(현금흐름)을 추정하고, 이에 따른 재무적 수익성을 계산하여 그 사업의 타당성을 검토하는 방법임(심상달 외 6인, 2004: 54).

7) 도로 및 철도 사업의 예비타당성 조사에서 교통수요 추정과 편익 산정을 위한 ‘영향권’은 사업시행으로 인하여 현저한 교통 패턴(Pattern)의 변화가 발생하여 사업의 타당성을 분석하는 데 포함되어야 할 공간적 범위를 의미함(박현 외 12인, 2004: 111~112).

8) 예비타당성 조사 지침에서는 도로 사업의 경제적 평가에서 추정하는 편익(Benefit)에 통행시간 절감 편익, 차량운행비용 절감 편익, 교통사고 감소 편익, 환경비용(공해 및 소음) 절감 편익 등을 제시하고 있음(박현 외 12인, 2004: 171~173). 이러한 도로 사업의 편익들은 그 규모 측면에서는 통행시간 절감 편익과 차량운행비용 절감 편익이 전체 편익의 대부분을 차지하고 있음.

1. 분석대상 사업 선정 및 경제성 평가결과 검토 (1단계)

광주순환고속도로사업은 왕복 4차로로 계획되었으며, 예비타당성 조사 수행 당시 사업 추진 노선에 따라 4개의 대안<sup>9)</sup>을 설정하여 경제성을 평가하였다. 예비타당성 조사 당시 분석의 기준연도는 2005년으로 설정하고, 2008~2012년의 5년간 설계기간을 거친 후 2013년에 착공하여 2019년에 준공하여 2020년부터 30년간 운영하는 것으로 가정하여 경제성을 평가하였다.

예비타당성 조사 단계에서는 4개의 노선 대안 중 세 번째 대안이 편익/비용비(Benefit/Cost Ratio: B/C)와 NPV가 각각 1.05와 162억 원으로 도출되어 해당 대안으로의 사업 추진을 권고하였다. 본 연구에서는 선택되지 않은 나머지 3개의 노선대안들 중 채택된 대안 다음으로 B/C가 높은 대안을 선택<sup>10)</sup>하여 실물 옵션을 적용하지 않은, 즉 별도의 의사결정상의 유연성을 고려하지 않은 시나리오(이하 “기본 시나리오”라 함)로 설정하였다. 선택된 기본 시나리오 상태의 경제성 평가 결과는 <표 1>과 같다.

한편 실물옵션 적용가치를 산정하기 위해서는 기

표 1\_ 기본 시나리오의 경제성 평가 결과

B/C	NPV	IRR
0.85	-972.63억 원	3.9%

자료: 이훈기 외 11인. 2007. 광주순환고속도로 건설사업 - 예비타당성 조사보고서. 서울: 한국개발연구원. p32.

9) 광주순환고속도로사업은 예비타당성 조사 당시 경제성을 확보하는 것으로 평가된 세 번째 노선대안에 대해 2011년 현재 기본설계가 진행 중인. 한편 예비타당성 조사 보고서는 그 내용이 일반인들에게는 완전히 공개되지 않고 내부 관계자 또는 일부 외부 신청인들에 한해 전체 내용을 볼 수 있는 제한된 자료라는 점을 감안하여 본 논문에서는 광주순환고속도로사업의 예비타당성 조사 당시 고려된 4개의 노선 대안들에 대한 구체적인 설명은 생략함.

10) 본 연구에서 분석 대상으로 선택한 대안의 B/C는 본문의 <표 1>에서와 같이 0.85인 반면 나머지 2개 노선 대안들의 B/C는 각각 0.71과 0.70임. 이들 나머지 2개 대안들에 비해서 선택 대안에 실물옵션을 적용할 때 경제성이 없는 상황이 반전되어 경제성을 확보할 확률이 상대적으로 높으며, 이에 따라 실물옵션 적용 효과를 상대적으로 극명하게 보여줄 수 있음. 본 연구에서는 이러한 점에 착안하여 분석 대상 대안을 선택하였음.

본 시나리오 상태에서의 변동성(Volatility)을 고려하여 사상나무(Event Tree)를 작성하는 대상인 기초자산(Underlying Asset)과 기본 시나리오에서의 사업추진을 위한 비용(이하 “초기비용”이라 함)을 먼저 결정해야 한다. 본 연구에서 기초자산은 기본 시나리오 상태에서의 장래 발생 편익의 현재가치로 설정하였으며, 예비타당성 조사 결과에 의하면 그 값은 5,394억 원이다. 한편 초기비용은 기본 시나리오 상태에서 건설기간 중의 사업비와 운영기간 중의 유지운영비의 합계의 현재가치로 설정하였는데, 예비타당성 조사 결과 그 값은 6,367억 원이다.

2. 사상나무(Event Tree) 작성(2단계)

1단계에서 선정된 광주순환고속도로 노선대안의 기초자산에 대해 2단계에서는 의사결정상의 유연성을 반영하지 않은 사상나무(Event Tree)를 작성하였다. 위험중립을 가정한 이항모형에서 사상나무(Event Tree)를 작성하기 위해서는 먼저 다음의 변수들을 산정하여야 한다.

$V_0$ : 분석대상 사업의 기초자산

$\sigma$ : 사업의 기초자산의 연간 변동성(Volatility)

$r_f$ : 무위험 이자율(Risk-Free Interest Rate)

여기서  $V_0$ , 즉 장래 총 편익의 현재가치는 1단계에서 언급된 바와 같이 5,394억 원이다.

## 1) 기초자산의 변동성(Volatility) 산정

기초자산 즉, 편익의 현재가치의 변동성( $\sigma$ )을 구하기 위하여 본 연구에서는 몬테카를로 시뮬레이션(Monte Carlo Simulation)을 수행하였다. 시뮬레이션 수행을 위해서는 사업 편익의 현재가치에 영향을 미치는 변수를 선정하여야 한다. 일반적으로 도로사업의 편익에 영향을 미치는 대표적인 변수들로는 통행시간가치(Value of Time: VOT), 차량운행비용(Vehicle Operating Cost: VOC), 영향권 내의 교통 네트워크에서의 구간별 교통량 등이 있다. 시뮬레이션 과정에서는 이들 중 하나의 변수를 고려하거나 2개 이상의 변수를 동시에 고려하여 시뮬레이션을 수행할 수도 있다. 정지(精緻)한 분석을 위해서는 시뮬레이션 과정에서 3개의 변수를 모두 고려할 필요도 있다.

사실상 도로사업의 편익에 가장 큰 영향을 미치는 변수는 영향권 내 교통 네트워크에서의 구간별 교통량이다. 그러나 본 연구 과정에서는 기 수행된 예비타당성 조사 결과를 사후적으로 구득한 상태에서 구간별 교통량의 변화에 대한 몬테카를로 시뮬레이션(Monte Carlo Simulation)을 통해 장래 발생편익의 변동성( $\sigma$ )을 산정하기는 어렵다는 점을 발견하였다. 일반적으로 교통 네트워크의 구간별 교통량

변화에 따른 분석대상 도로사업의 편익 변화는 교통 네트워크 상에서의 구현을 통해 파악되어야 한다. 국내에서 이러한 교통 네트워크의 구현과 분석은 일반적으로 EMME/2 또는 TRANSCAD 등의 교통수요 분석 소프트웨어를 통해서 이루어지고 있다. 따라서 개략적으로라도 구간별 교통량의 변화에 따른 편익의 변화를 파악하기 위해서는 해당 도로사업의 예비타당성 조사 과정에서 만들어진 교통수요 분석 소프트웨어 파일(File)을 획득해야 한다. 그러나 기 수행된 예비타당성 조사에 대해 구득할 수 있는 자료는 예비타당성 조사 결과보고서에 한정되며, 대상 사업에 대한 교통수요 분석 소프트웨어 파일(File)은 현실적으로 구득하기 어렵다. 본 연구와 같이 예비타당성 조사가 기 수행된 사업에 대한 분석결과를 가지고 수행하는 사후적 연구에서는 구간별 교통량의 변화에 의한 편익 변화 파악이 사실상 불가능하다.<sup>11)</sup> VOC의 경우에도 교통수요 분석 소프트웨어 파일(File)을 획득하기 어려운 경우에는 몬테카를로 시뮬레이션(Monte Carlo Simulation) 과정에 VOC를 고려하기 곤란하다.<sup>12)</sup> 따라서 본 연구에서는 다른 2개의 변수들은 고려하지 못하고, 교통수요 분석 소프트웨어 파일(File)이 없더라도 고려가 가능한 VOT의 변화<sup>3)</sup>에 의한 편익의 변동성(Volatility)만을 산정하였

11) 교통수요 분석 소프트웨어 파일(File)의 획득이 가능하더라도, 전체 교통 네트워크에서의 구간별 교통량의 변화에 의한 총 편익의 현재가치의 변화 도출은 별도의 복잡한 가정 설정과 이에 따른 분석이 필요할 것으로 보임. 이러한 점들을 종합적으로 감안하여 교통량의 변화에 의한 기초자산의 변동성 도출 등에 대한 연구는 후속 연구로 남겨두고자 함.

12) 본문에서 언급된 바와 같이 도로사업의 편익에 영향을 미치는 대표적인 변수로는 영향권 내 교통 네트워크의 구간별 교통량 이외에 VOC와 VOT가 있으나, VOC는 예비타당성 조사 지침에서 차종과 속도별로 서로 상이한 값을 규정하고 있음(박현 외 12인, 2004: 184~185). 따라서 VOC의 변화에 따른 편익의 변화를 파악하기 위해서는 교통 네트워크에 속하는 개별 구간별로 교통량과 차량 속도를 각각 구한 후, 각 구간에 대해 속도에 따라 별개의 VOC를 적용하는 과정을 거쳐야 함. 이 과정 또한 예비타당성 조사 당시 만들어진 교통 수요 분석 소프트웨어 파일이 없을 경우에는 매우 어려운 작업임.

13) 예비타당성 조사 지침에서 VOT의 경우에는 차량별 이용자의 값만을 규정하고 있음(박현 외 12인, 2004: 189) 또한 이론적으로 통행시간절감 편익은 분석 대상 도로사업의 추진으로 인한 영향권 내 전체 교통 네트워크의 통행시간 절감분에 VOT를 곱하여 산출되는 것임. 즉, VOT와 통행시간 절감 편익 사이에는 선형(Linear) 관계가 성립하는 것으로 볼 수 있음. 따라서 교통수요 분석 소프트웨어 파일을 획득하기 어려운 상황에서도, 기존 예비타당성 조사의 현금 흐름표와 적용된 VOT의 값만 있으면 단순 계산을 통해 통행시간 절감분을 구할 수 있음. 이에 따라 VOT의 변화에 의한 편익의 변동성은 교통수요 분석 소프트웨어 파일이 없더라도 분석이 가능함.

다.

예비타당성 조사 지침에서 VOT는 승용차이용자, 버스운전자, 트럭운전자로 구분하여 각 주체별로 업무통행과 비업무통행의 시간가치를 산정하는 기준을 제시하고 있다. 여기서 업무통행의 시간가치는 근로자 1인의 시간당 임금에 오버헤드(Overhead) 비율을 적용하여 산정하도록 규정하고 있다. 그리고 비업무통행의 시간가치는 업무통행 시간가치에 일정비율을 적용하여 산정하도록 규정하고 있다. 여기서 승용차이용자의 시간가치는 농업을 제외한 전체 산업 평균임금에 기반을 두어 산정하고, 버스운전자와 트럭운전자의 시간가치는 각각 전체 산업부문 중 육상여객운송업과 도로화물운송업의 평균임금에 그 기반을 두고 있다(박현 외 12인, 2004: 188~191). 이러한 VOT 산정 방식을 감안하여, 본 연구에서는 승용차이용자의 업무통행 시간가치(이하 “승용차 업무 VOT”라 함)가 다른 수단 이용자 및 비업무통행의 시간가치들에 대한 대표성을 가지는 것으로 간주하였다. 그러한 이유로 본 연구에서 분석 대상 사업의 편익의 변동성 산정에 고려된 변수인 VOT에는 승용차 업무 VOT가 반영되었다.

이와 같은 승용차 업무 VOT의 변화에 의한 편익의 변동성을 시뮬레이션을 통해 산정하기 위해서는 크게 3단계의 작업 과정을 거쳐야 한다. 첫 번째 단계는 승용차 업무 VOT의 확률분포를 도출하는 것이다. 실제 광주순환고속도로의 예비타당성 조사 단계에서는 사업편익 산정을 위한 승용차 업무 VOT를 2005년 불변가격 기준으로 1만 3,257(원/시간)으로 산정하였다(이훈기 외 11인, 2007). 본 연구에서

는 예비타당성 조사 단계에서의 승용차 업무 VOT 산정 방식과 동일한 방식을 적용하여 2005년 이외 기타 연도들의 승용차 업무 VOT를 산정하고, 이들에 대한 시계열 데이터(Time Series Data)를 구축하였다. 구체적으로는 시계열 데이터를 구축하기 위해 통계청 ‘국가통계포털’상의 ‘고용·노동·임금’ 항목에서 1993~2009년의 기간에 대한 연도별 월평균급여와 근로시간 데이터를 도출해 내었다. 그리고 이 데이터를 이용하여 연도별 승용차 업무 VOT를 도출하여 1993~2009년 기간 중의 시계열 데이터를 구축하였으며, 구축된 시계열 데이터로부터 승용차 업무 VOT의 연도별 증가율의 표준편차 값을 도출하여 VOT의 변동성(Volatility)을 산정하였다.<sup>14)</sup>

두 번째 단계로는 승용차 업무 VOT와 분석대상 사업의 기초자산 즉, 총 편익의 현재가치 간의 관계를 설정하는 것이다. 이를 위해 본 연구에서는 먼저 분석대상 사업의 기본 시나리오에서의 경제성 평가 결과 도출과정을 범용 스프레드 시트(Spread sheet) 소프트웨어인 엑셀(Microsoft Excel)로 구현하였다.

다음으로는 승용차 업무 VOT와 운영기간 중 연도별 통행시간 절감편익 간의 관계식을 엑셀(Excel) 상에서 구현하였다. 이 경우 이미 엑셀(Excel) 상에서 구현되어 있는 연도별 통행시간 절감편익과 총 편익의 현재가치 간의 관계식에 의해, 승용차 업무 VOT와 총 편익의 현재가치 간의 관계식은 엑셀(Excel) 상에서 간접적으로 구현될 수 있다.

마지막 단계로는 승용차 업무 VOT의 변동성(Volatility), 그리고 엑셀(Excel)에서 구현된 승용차 업무 VOT와 총 편익의 현재가치 간의 관계식을 기

14) 1993~2009년의 기간에 대한 VOT의 시계열 데이터에서 VOT가 기하학적 브라운 운동(Geometric Brownian Motion)을 따르는 것으로 가정할 경우, VOT는 음(-)의 값을 가질 수 없으므로 로그정규분포(Lognormal Distribution)를 따르게 됨. 여기서 VOT의 변동성(Volatility)은 연도별 VOT의 증가율의 자연로그 값들로 이루어지는 분포의 표준편차에서 도출됨. 특정 시점에서 전년도의 VOT 값이  $VOT_{t-1}$ , 당해 연도의 VOT 값이  $VOT_t$ 일 때,  $\ln(VOT_t / VOT_{t-1})$  값들의 시계열 데이터를 도출하면, 이 시계열 값들의 표준편차(Standard Deviation)가 VOT의 변동성이 됨(Amram and Kulatilaka, 1999: 212~214; Copeland and Antikarov, 2003: 260~262, 312~314). 이러한 방식으로 도출한 VOT의 변동성(Volatility) 값은 19.7%임.

초로, 몬테카를로 시뮬레이션(Monte Carlo Simulation)<sup>15)</sup>을 수행하였다. 이를 통해 기본 시나리오에서 승용차 업무 VOT의 변동성에 따른 기초자산 즉, 총 편익의 현재가치의 변동성( $\sigma$ )을 도출<sup>16)</sup>하였으며, 그 값은 8.35%였다.

## 2) 기타 변수들의 산정

기본 시나리오의 기초자산에 대한 사상나무를 작성하기 위하여 기초자산의 변동성( $\sigma$ ) 이외에 설정해야 할 변수들은 연간 무위험이자율( $r$ )과 옵션의 만기이다.

### (1) 무위험이자율

본 연구에서 연간 무위험이자율( $r_f$ )은 대상사업의 불변가격 기준연도인 2005년도 연간 평균 국고채(5년)<sup>17)</sup> 금리인 4.52%를 적용하였다.

### (2) 옵션 만기

옵션 만기를 정하기 위해서는 우선 분석대상 사업에 적용할 옵션의 종류를 결정하여야 한다. 본 연구에서는 ‘II. 실물옵션의 이론적 고찰’ 부분에서 언급한

협회의 실물옵션 유형들 중 복합옵션 부류에 속하는 단계적 투자옵션, 성장옵션, 복합적 연계옵션은 고려 대상에서 제외하였다.<sup>18)</sup> 나머지 네 가지 옵션들 중 전환옵션과 확장옵션도 고려 대상에서 제외하였다. 도로사업에 전환옵션을 적용하려면 계획 중인 도로시설을 철도, 항만 등 전혀 다른 시설로 전환 가능해야 한다. 그러나 현실성은 매우 낮다. 전환옵션을 본 연구에서 제외한 이유다. 도로사업에 적용할 수 있는 확장옵션은 차로 수를 확장하는 것이다. 차로 수의 확장에는 추가비용이 소요되고 차로 수 확장이 인정되려면 해당 노선의 장래 교통량 증가가 명백해야 한다. 본 연구의 사례도로와 같이 기본 시나리오상에서 교통량 부족 등으로 경제성이 확보되지 못한 경우는 더욱 더 그러하다. 이러한 점을 감안하여 본 연구에서는 확장옵션 또한 고려 대상에서 제외하고, 축소옵션, 중단옵션, 연기옵션의 세 가지를 고려하였다.

축소옵션은 당초 계획대로 광주순환고속도로사업을 4차로로 설계 및 건설을 진행하다가, 장래 상황 변화에 따라 필요성이 인정될 경우, 특정 시점에서 차로수를 2차로로 축소하는 시나리오다. 중단옵션은 당초 계획에 의해 설계 등을 진행하다가 장래 상황

15) 본 연구에서 몬테카를로 시뮬레이션(Monte Carlo Simulation)은 경영과학 분야의 위험분석(Risk Analysis) 소프트웨어인 Crystal Ball ver. 11.1 프로그램을 이용해 수행하였음.

16) 몬테카를로 시뮬레이션(Monte Carlo Simulation)의 독립변수에 해당하는 승용차 업무 VOT가 로그정규분포(Lognormal Distribution)를 따르고 기하학적 브라운 운동(Geometric Brownian Motion)을 하는 것으로 가정하였으므로, 시뮬레이션에서 도출되는 편익의 현재가치도 로그정규분포를 따르게 됨. 당초 예비타당성 조사에서 도출된 편익의 현재가치를  $PV_0$ , 몬테카를로 시뮬레이션 과정에서 VOT의 변화에 따라 변화하는 편익의 현재가치를  $PV_1$ 이라 할 때(이때  $PV_0$ 의 값은 고정), VOT의 변화에 따라 도출되는  $\ln(PV_1 / PV_0)$  값의 분포의 표준편차가 총 편익의 현재가치의 변동성이 됨(Copeland and Antikarov. 2003: pp245~251, pp312~314).

17) 국내 국고채 금리는 5년 만기물 이외에도 1년, 3년, 10년, 20년 만기물 등이 있음. 그러나 본 연구에서는 국내 민자사업 추진 관련 규정에서 임대형 민자사업의 수익률 산정 시 무위험 이자율(Risk-Free Interest Rate)에 해당하는 지표금리에 5년 만기 국채 금리를 적용하도록 규정(기획재정부, 2010: p16)한 점을 감안하였음. 물론 본 사업은 임대형 민자사업과 관련이 없기는 하나, 국내에서 특정 사업의 사업성 또는 경제성 분석과 관련하여 무위험 이자율(Risk-Free Interest Rate)의 수준에 대한 정부측의 공식 규정은 기획재정부(2010)의 사례가 유일함. 이러한 점을 고려하여 본 연구에서는 무위험 이자율(Risk-Free Interest Rate)에 5년 만기 국고채 금리를 적용하였음.

18) 실물옵션에 관련된 국내 연구들 중 복합옵션을 연구한 사례로는 최성호·김규태(2003), 임금순 외 3인(2006) 등이 있음. 복합옵션의 산정은 개별 옵션에 비해 그 산정 과정과 결과의 해석이 훨씬 복잡하나, 본 연구에서는 일단 고려하지 않고 후속 연구로 남겨두고자 함.

변화에 의해 사업 추진을 중단하고 이후 시점에 집행될 예산을 다른 목적에 사용하는 시나리오이다.

한편 연기옵션은 옵션만기 시까지 연차별로 장애 상황변화에 따라 사업에 착수할 것인지 또는 착수를 연기할 것인지를 여부를 결정하는 시나리오이다.

기 언급한 바와 같이 예비타당성 조사 단계에서 광주순환고속도로사업의 추진 일정은 5년의 설계기간과 7년의 공사기간(용지보상기간 포함)으로 설정되어 있다. 추진일정상 도로 건설을 위한 용지확보는 7년의 공사기간 중 초기 2년에 완료하는 것으로 설정하고 있다. 현실적으로 고속도로사업 추진 도중에 그간의 상황변화를 감안하여 당초 계획보다 차를 축소하여 이후 건설을 추진하는 행위는 공사기간 초기 또는 최대한으로는 용지확보가 완료되는 시점까지만 가능할 것이다. 일단 건설에 착수하게 되면 축소에 따른 매몰비용이 크게 나타나기 때문이다. 따라서 본 연구에서는 축소옵션을 행사할 수 있는 옵션 만기는 설계기간과 용지확보기간을 합한 7년으로 설정하였다. 연기옵션의 경우도 마찬가지로 이유로 축소옵션과 동일하게 7년으로 옵션만기를 설정하였다.

반면에 중단옵션을 행사할 수 있는 옵션만기는 설계기간인 5년으로 정하였다. 설계기간 이후 공사와 용지보상을 진행하던 도중에 사업을 중단할 경우, 기 투입된 공사비와 용지보상비에 의한 매몰비용(Sunk Cost)이 커지므로 이에 따른 사회적 손실도 커지기 때문이다.

### 3) 사상나무(Event Tree) 작성

대상 사업의 기초자산에 대한 사상

나무를 작성하고 추후 3단계에서 의사결정나무를 작성하기 위해서는 앞에서 산정된 변수들( $V_0, \sigma, r$ )을 이용하여 연도별 기초자산의 상승비율( $u$ )과 하강비율( $d$ ), 위험중립확률( $p$ ) 등을 산정해야 한다. 이들 변수들의 산정식은 아래의 <식 5~7>과 같다.

$$u = \exp(\sigma) \quad \text{<식 5>}$$

$$d = \exp(-\sigma) = 1/u \quad \text{<식 6>}$$

$$p = \frac{(1+r)-d}{u-d} \quad \text{<식 7>}$$

이상과 같은 과정을 거쳐 산정된 사상나무와 의사결정나무 작성을 위한 변수들의 산정 결과는 <표 2>와 같다.

이와 같이 산정된 변수들을 이용하여 사상나무는 아래 <표 2>와 같이 기초자산의 초기값( $V_0=5,394$ 억 원)에서 출발하여 옵션만기에 해당하는 연차까지 연도별로 전진계산과정(Rolling Forward Process)을 거쳐 작성하였다. 이러한 방식으로 작성된 옵션만기, 즉

표 2\_ 실물옵션 분석을 위한 변수 산정 결과

$V_0$	$\sigma$	$r$
5,394억 원	8.4%	4.52%
$u$	$d$	$p$
1.09	0.92	74.9%

그림 1\_ 전진계산과정을 통한 사상나무 작성 과정

연차 상태	기준 시점 ( $t=0$ )	1년차 ( $t=1$ )	2년차 ( $t=2$ )	...
$s=0$	$V_0$	$V_{10} = uV_0$	$V_{20} = u^2V_0$	...
$s=1$		$V_{11} = dV_0$	$V_{21} = udV_0$	...
$s=2$			$V_{22} = d^2V_0$	...
:				...

주: 1년차 이후의  $V_{ts}$ 는  $t$ 년차의  $s$ 상태의 기초자산의 가치임. 다음의 본문 내용들에서도 기초자산의 표기는 동일한 방식 적용.

7년차까지의 기초자산의 사상나무는 부록의 <표 1>과 같다.

3. 의사결정나무(Decision Tree) 작성(3단계) 및  
실물옵션 적용 사업가치 산정(4단계)

2단계에서의 기초자산에 대한 사상나무 작성결과와 제 변수들의 산정결과에 근거하여 축소옵션, 중단옵션, 연기옵션을 적용할 경우의 의사결정나무를 작성하였다. 여기서 의사결정나무는 각각의 옵션, 즉 의사결정상의 유연성을 적용한 시나리오에 해당하는 연차별, 상태별 기초자산의 변화된 가치(이하 “옵션 적용가치”라 함)들로 구성된다.

이러한 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 1> 또는 <식 2>의 개념에 의해 옵션의 행사 여부를 판단하여 옵션 적용가치를 산정한다. 옵션 만기의 이전 연차들에 대해서는 다음 연차의 옵션 적용가치들과 무위험 이자율( $r_f$ ), 위험중립확률( $p$ )을 이용하여 <식 4>에 의해 할인한 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 현재가치<sup>19)</sup>를 비교하여 최댓값을 선택하는 방식으로 옵션 적용가치를 구하게 된다.

이러한 방식으로 모든 연차와 상태들을 거쳐 역행

산정을 함으로써 최종적으로는 기준시점( $t=0$ )에서의 옵션 적용가치가 산정된다.

1) 축소옵션(Option to Contract)

축소옵션은 광주순환고속도로를 4차로로 설계 및 건설을 진행하다가 장래 상황변화에 맞게 2차로로 차로 수를 감소시키는 시나리오를 설정하였다. 이에 따라 축소옵션을 행사할 경우의 기초자산과 초기비용은 차로 수의 감소 비율인 50%씩 감소하는 것으로 가정하였다. 여기서 축소옵션은 미국형 풋옵션(Put Option)의 형태로 고려할 수 있다.

옵션만기인  $t=7$  시점에  $s=0$  상태의 옵션 적용가치는  $MAX[0.5 \times V_{70} + 0.5 \times I_0 \times (1+rf)^7, V_{70}] = 9,678$ 억 원<sup>20)</sup>으로 산정되었다. 한편  $t=6$  시점,  $s=0$  상태에서의 옵션 적용가치는  $MAX\{0.5 \times V_{60} + 0.5 \times I_0 \times (1+rf)^6, [p \times V_{70} + (1-p) \times V_{71}] / (1+rf)\} = 8,961$ 억 원으로 산정되었다. 이러한 역행 산정과정을 거친 의사결정나무의 작성결과는 부록의 <표 2>와 같다. <표 2>에 의하면, 7차 연도에 “Contract”의 상태들에 해당할 경우에는 차로 수를 4차로에서 2차로로 축소하고, 기타 “Go”에 해당하는 상태들에서는 당초 계획된 차로 수대로 사업을 추진하는 것이 최적이라는 해석이 가능하다.

의사결정나무의 작성과정 등을 거쳐 산정된 기준시점에서의 축소옵션 적용가치는 5,929억 원이다. 이 가치는 기본 시나리오의 기초자산 가치에 비해서 9.9% 증가한 것이며, 해당 가치를 적용해 NPV와 B/C를 도출하면 각각 437.49억 원과 0.93으로 기본

19) “다음 연차의 옵션적용가치를 할인하여 구한 현재가치”는 “옵션보유가치”에 해당함. 즉, 옵션 만기 이전 연차들에서 미국형 옵션은 “옵션행사가치”와 “옵션보유가치”를 비교하여 큰 값을 선택하는 방식으로 해당 시점의 옵션적용가치를 산정함.  
20) 이 수식은  $V_{70} + MAX[0.5 \times I_0 \times (1+rf)^7 - 0.5 \times V_{70}, 0]$ 의 형태로 변형될 수 있어 <식 2>에서와 같은 풋옵션(Put Option)의 형태가 됨.

시나리오에 비해 경제성 평가결과가 향상되는 것을 알 수 있다.

옵션을 적용할 경우에는 경제성의 확보가 가능한 것으로 분석되었다.

## 2) 중단옵션(Option to Abandon)

중단옵션은 광주순환고속도로의 설계 진행 도중에 장래 상황 변화를 관찰하여 경우에 따라서는 사업 추진 자체를 중단하는 시나리오를 설정하였다. 중단 옵션은 미국형 풋옵션(Put Option)의 형태로 고려할 수 있으며, 기 언급한 바와 같이 중단옵션의 만기는 설계기간인 5년으로 설정하였다.

옵션만기인  $t=5$  시점에  $s=0$  상태의 옵션 적용가치는  $MAX[I_{5A} \times (1+rf)^5, V_{50}] = 8,189$ 억 원<sup>21)</sup>으로 산정되었다. 한편  $t=4$  시점,  $s=0$  상태의 옵션 적용가치는  $MAX[I_{4A} \times (1+rf)^4, [p \times V_{50} + (1-p) \times V_{51}] / (1+rf)] = 7,715$ 억 원으로 산정되었다. 이러한 역행 산정과정을 거친 의사결정나무의 작성결과는 부록의 <표 3>과 같다. 부록의 <표 3>에 의하면, 옵션 만기까지의 각 연차에 “Abandon”의 상태들에 해당할 경우에는 사업을 중단하고, 기타 “Go”에 해당하는 상태들에서는 사업을 그대로 추진하는 것이 최적이라는 해석이 가능하다.

의사결정나무의 작성과정 등을 거쳐 산정된 기준 시점에서의 중단옵션 적용가치는 6,349억 원이다. 이 가치는 기본 시나리오의 기초자산 가치에 비해 17.7% 증가한 것이며, 해당 가치를 적용해 NPV와 B/C를 도출하면 각각 -18.09억 원과 1.0으로서 중단

## 3) 연기옵션(Option to Defer)

연기옵션은 옵션만기 시까지 연차별로 상황변화를 보아가면서 광주순환고속도로의 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 연기옵션은 미국형 콜옵션(Call Option)의 형태로 고려할 수 있다.

연기옵션에 대해서는 옵션만기인  $t=7$  시점에  $s=0$  상태의 NPV는  $MAX[V_{70} - I_0 \times (1+rf)^7, 0] = 1,002$ 억 원<sup>22)</sup>으로 산정되었다. 한편  $t=6$  시점,  $s=0$  상태에서의 NPV는  $MAX[V_{60} - I_0 \times (1+rf)^6, [p \times V_{70} + (1-p) \times V_{71}] / (1+rf)] = 718$ 억 원으로 산정되었다. 이러한 역행 산정과정을 거친 의사결정나무의 작성결과는 부록의 <표 4>와 같다. 부록의 <표 4>에 의하면, 옵션만기 이전에는 모든 연차의 상태들이 “Defer”에 해당하여 사업 착수를 연기하는 전략이 최적이라는 해석이 가능하다. 그리고 옵션만기인 7차 연도에 이르러서는 “Invest”의 상태들에 해당할 경우에는 사업에 착수하고, 기타 “Not Invest”의 상태일 경우에는 사업의 추진 자체를 포기하는 전략이 필요하다.

의사결정나무의 작성과정 등을 거쳐 산정된 기준 시점에서의 연기옵션 적용 시의 NPV는 97.65억 원

21) 수식에서  $I_{5A}$ 는 5년차 이후의 사업추진 비용을 의미함. 또한 이 수식은  $V_{50} + MAX[I_{5A} \times (1+rf)^5 - V_{50}, 0]$ 의 형태로 변형될 수 있어, <식 2>에서와 같은 풋옵션(Put Option)의 형태가 됨.

22) 축소·중단옵션들은 옵션 행사에 필요한 행사가격(Exercise Price)으로 초기비용 이외에 추가적인 비용 소요가 고려되었음. 이에 따라 이들 옵션들을 적용할 경우의 사업가치는 옵션 적용 시의 기초자산(편익의 현재가치)의 변화된 값을 별도로 산정할 수 있었음. 그리고 이들 변화된 기초자산의 가치에서 초기비용을 차감하여 NPV를 도출할 수 있었음. 그러나 연기옵션의 경우에는 옵션 자체의 특성 상 옵션 행사 시에 고려되는 행사가격은 수식에서와 같이 초기비용 자체를 고려해야 함. 이에 따라 연기옵션의 경우에는 본문의 수식에서 도출되는 옵션 행사 시의 가치 자체가 NPV의 개념이 됨.

이며, 이로부터 도출되는 B/C는 1.02이다. 따라서 만기 7년의 연기옵션을 적용할 경우 분석 대상 사업은 충분한 경제성이 확보되는 것으로 판단할 수 있다.

#### 4. 기초자산의 변동성과 옵션만기의 영향 분석

본 논문의 ‘II. 실물옵션의 이론적 고찰’ 부분에서 언급한 바와 같이 일반적으로 옵션의 적용가치에 영향을 미치는 대표적인 변수로는 장래 불확실성과 옵션의 만기가 거론된다. 즉, 장래 불확실성이 클수록, 그리고 옵션의 만기가 길수록 옵션 적용가치는 커지는 것으로 알려져 있다. 본 연구에서는 이러한 옵션 이론의 가설이 실제 도로사업의 경제성 평가에서도 구현되는지의 여부를 분석하였다. 이를 위해 축소옵션과 중단옵션에 대해 당초 적용된 기초자산의 변동성을 30%, 60% 증가시키는 경우, 그리고 옵션만기를 당초 적용된 7년 이외에 4년, 2년으로 감소시키

표 3\_ 축소옵션의 기초자산 대비 옵션 적용가치 증가 비율

변동성 옵션만기	초기값	30% 증가	60% 증가
초기값(7년)	9.92%	11.25%	12.56%
4년	9.02%	10.23%	11.05%
2년	9.02%	9.02%	9.33%

는 경우<sup>23)</sup> 기준시점의 옵션 적용가치가 기본 시나리오의 기초자산 가치에 비해 증가하는 비율을 도출하였다. 축소옵션의 경우 각각의 시나리오 대안에 대한 분석결과는 <표 3>과 같다.

분석 결과 옵션만기가 길어질수록, 변동성의 값이 커질수록 기본 시나리오의 기초자산 대비 옵션 적용가치의 증가 비율도 커지는 것을 알 수 있다. 중단옵션 또한 동일한 경향이 나타나며, 이 결과는 부록의

23) 중단옵션의 경우에는 옵션만기를 5년, 4년, 2년의 세 가지 대안으로 설정하여 분석하였음.

<표 5>와 같다. 이러한 결과를 통해 도로사업의 경제성 평가에 있어서도 실물옵션의 기본적인 이론들이 실증적으로 구현되는 것을 확인하였다.

#### V. 결론

실물옵션은 전통적인 경제성 평가에서 고려하지 못하는 장래의 정책 및 사회·경제적 상황들의 불확실성과 이에 대응하는 의사결정의 유연성을 분석에 반영하고자 하는 데 근본적인 목적이 있다. 본 연구에서는 이러한 실물옵션의 개념에 대하여 이론적으로 검토한 후, 예비타당성 조사가 기 수행된 도로사업

표 4\_ 실물옵션 적용에 의한 경제성 평가결과의 변화

구분	기본 시나리오	옵션 적용		
		축소	중단	연기
NPV (억 원)	-973	-437	-18	98

의 특정 노선대안에 실물옵션 기법을 적용한 경제성 평가를 수행하였다. 이러한 실물옵션 적용결과와 기존 예비타당성 조사에서의 경제성 평가결과를 NPV를 중심으로 비교·정리하면 <표 4>와 같다.

분석 결과, 옵션을 적용하지 않았던 기본 시나리오에 비해 옵션을 적용할 경우에 세 가지 옵션 모두 NPV 측면에서 경제성이 향상된 것을 볼 수 있다. 또한 기본 시나리오에서는 NPV가 음(-)의 값으로 도출되어 경제성을 확보하지 못하지만, 모든 경우에 NPV가 개선되는 것으로 나타났으며, 특히 중단옵션은 0(Zero)에 가까운 값, 연기옵션은 NPV가 양(+)의 값을 가져 경제성을 확보하는 것으로 분석되었다. 한편 세 가지 옵션 중에서는 연기옵션을 적용할 경우의 경제성 향상 정도가 상대적으로 가장 큰 것을

확인할 수 있었다. 이러한 분석결과를 통해 <식 3>에 의해 표현되는, 즉 실물옵션의 적용을 통한 대상 사업가치 증대 이론이 도로사업의 경제성 평가에서도 실증적으로 증명되는 것을 확인할 수 있었다. 또한 실제 도로사업 추진 시 경제성 평가결과를 활용한 의사결정 측면에서는, 전통적인 NPV법으로 분석할 경우 경제성이 부족하여 추진 여부가 불투명한 사업이라도, 장래 추진 가능한 의사결정의 유연성을 설정하여 실물옵션 기법으로 분석할 경우 해당 사업의 추진 가능성을 확보할 수도 있음을 보였다. 또한 몇 가지 옵션 대안을 적용하여 그 결과를 상호 비교할 경우, 국가경제 전체적으로 가용자원의 효율적 활용을 확보하는 최적의 전략을 선택할 수도 있음을 보였다.

한편 본 연구에서 선정된 노선대안에 실물옵션을 적용하여 도출된 NPV와 당초 광주순환고속도로사업의 예비타당성 조사 시 사업 추진이 권고된 세 번째 노선대안의 NPV(162억 원)를 상호 비교하여 보았다. 비교 결과, 본 연구의 노선대안에 적용된 세 가지 옵션들 중 NPV가 가장 크게 도출된 연기옵션 적용 시의 NPV는 98억 원으로, 이 값보다는 세 번째 노선대안의 NPV가 큰 것을 관찰할 수 있다. 이에 따라 옵션의 적용을 고려하더라도 분석 대상 사업의 경우 최적의 노선 대안은 당초 사업 추진이 권고된 세 번째 노선대안인 것을 알 수 있다. 그러나 사업에 따라서는 노선 대안별로 옵션을 적용할 경우 선정되는 최적 노선대안은 옵션을 적용하지 않을 경우와는 달라지는 상황도 발생 가능할 것으로 보인다.

본 연구에서는 기초자산의 변동성과 옵션만기가 변화할 경우, 기초자산 대비 옵션 적용가치의 증가 비율이 변화하는 패턴(Pattern)을 분석하였다. 분석 결과 변동성이 증가할수록, 그리고 옵션만기가 길어질수록 옵션 적용가치의 증가 비율도 커지는 패턴(Pattern)을 관찰하였다. 따라서 도로사업에서의 경

제성 평가에 실물옵션 기법을 적용할 경우에도, 실물옵션 이론상의 주요 가설들이 충분히 증명되는 것을 관찰하였다. 이에 따라 본 연구에서 제시된 분석 방식과 과정들을 거칠 경우, 실제 도로사업의 경제성 평가에도 실물옵션 기법을 적용한 분석과 그 결과에 근거한 유연한 의사결정 대안의 설정이 가능함을 보였다.

그러나 본 연구에서 도로사업에 대한 실물옵션 기법 적용 과정에 드러난 가장 큰 한계는 기초자산 즉, 총 편익의 현재가치의 변동성 산정에 있다. 일반적으로 도로사업의 경제성 평가에서 편익 산정에 가장 큰 영향을 미치는 변수는 영향권 내 교통 네트워크에서의 구간별 교통량이다. 그러나 본 연구에서는 편익 산정에 영향을 미치는 변수들 중에서 VOT의 변화에만 근거하여 기초자산의 변동성을 도출하였다. 교통량의 변화에 의한 총 편익의 변화를 도출해 내기 위해서는 교통수요 분석 소프트웨어 파일(File)을 획득하여야 하나, 국내 여건상 현실적으로 자료 구득에 한계가 있어 VOT의 변화에 근거한 총 편익의 변동성 산정에 만족할 수밖에 없었다.

이러한 VOT의 변동성은 20%로 도출되었으나, 몬테카를로 시뮬레이션(Monte Carlo Simulation)을 수행한 결과 기초자산 즉, 총 편익의 현재가치의 변동성은 8.4%에 불과한 것으로 나타났다. 이러한 결과가 도출된 이유는 VOT가 사업의 전체 편익 중 통행 시간 절감편익에만 영향을 미치기 때문인 것으로 보인다. 그러나 교통 네트워크의 구간별 교통량은 도로사업의 경제성 평가에서 산정되는 모든 종류의 편익에 영향을 미치므로, VOT의 변화를 고려할 경우에 비해 전혀 다른 결과가 도출될 것으로 보인다. 그리고 진정한 의미에서 총 편익에 영향을 미치는 대표적인 변수로는 교통량의 변화를 고려하는 것이 적절할 것으로 보인다.

이러한 점들을 감안하여 향후에는 교통 네트워크

상에서 구간별 교통량의 변화에 기초하여 기초자산의 변동성을 도출하고, 이에 따른 실물옵션 적용가치를 산정하는 연구가 추가적으로 필요할 것으로 보인다.<sup>24)</sup> 이를 위해서는 현실적으로 예비타당성 조사 이후에 사후적으로도 필요성이 있을 경우 교통수요 분석 소프트웨어 파일(File)이 자유롭게 제공되는 환경이 조성되어야 할 것이다. 또는 근본적으로는 예비타당성 조사 수행단계에서부터 교통 네트워크의 구축 및 교통수요 분석과 함께 실물옵션을 적용한 경제성 평가를 함께 수행하는 방안도 고려할 필요가 있을 것으로 보인다.<sup>25)</sup> 이와 같이 교통 네트워크를 직접적으로 분석할 수 있게 된다면, 기초자산의 변동성 이외에도 교통 네트워크를 활용하여 좀 더 정치(精緻)한 실물옵션 적용을 구현할 수 있는 추가적인 연구도 필요할 것으로 보인다. 한편 추후 분석 대상 도로사업 즉, 광주순환고속도로의 실제 개통 이후 실현되는 현상 데이터(Data)들을 이용한 변동성 측정 결과와 본 연구에서 도출한 사전적인 변동성 산정 결과와의 상호 비교 연구도 필요할 것으로 보인다.

아울러 실제 정책 추진단계에서 실물옵션 기법을 고려한 경제성 평가결과의 정책적 수용과 실물옵션에서 고려한 유연한 의사결정 대안의 실현 가능성, 그리고 이의 실현을 위한 관련 법령 및 예산집행체계 등의 제도적 정비방안에 대한 추가적인 연구도 필요할 것으로 보인다.

그리고 본 연구에서는 적용 가능한 옵션들을 개별

적으로 적용하는 시나리오만을 고려하였는바, 추후 연구에서는 최근의 해외 연구 사례들을 참조하여 몇 개의 옵션을 순차적으로 연계하여 고려할 수 있는 복합적 연계옵션<sup>26)</sup>의 적용에 대한 연구도 필요할 것으로 보인다. 또한 Angelou and Anastasios(2009)의 연구에서와 같이 국내 도로사업에 대해서도 사업의 추진을 위한 최적 의사 결정을 위해 실물옵션 기법과 분석적 계층화법(Analytic Hierarchy Process)을 결합하는 방안에 대한 연구도 필요할 것으로 보인다.

#### 참고문헌 •••••

- 기획재정부. 2010·2010년도 민간투자사업기본계획.  
 박구현·송한식·원중연. 2009. 엑셀 활용 경영과학 개정 3판. 경기 : (주)교보문고.  
 박정식·박종원·조재호. 2001. 현대재무관리. 제6판. 서울 : 다산출판사.  
 박현 외 12인. 2004. 도로·철도 부문사업의 예비타당성 조사 표준지침 수정·보완 연구. 제4판. 서울 : 한국개발연구원.  
 박호정·황의식. 2003. “실물옵션모형을 이용한 농지보전 프로그램의 농업투자 효과분석”. 농업경제연구 제44권 제4호 pp121-139.  
 박호정. 2005. “배출권 가격 불확실성을 고려한 기업의 환경투자 실물옵션 연구”. 경제학연구 제53집 제4호. pp173-199.  
 심상달 외 6인. 2004. 예비타당성 조사 수행을 위한 일반지침 수정·보완 연구. 제4판. 서울 : 한국개발연구원.  
 윤만호 외 7인. 2006. 알면 신나는 파생상품 이야기. 서울 : 산업은행.  
 윤원철·손양훈·김수덕. 2003. “실물옵션을 활용한 발전소 건설 타당성 분석”. 자원환경경제연구 제12권 제2호. pp217-244.

24) 또는 대표적인 변수인 구간별 교통량 이외에도 VOC와 VOT를 함께 고려하여 기초자산의 변동성을 도출하는 연구도 필요할 것으로 보임. 이처럼 여러 가지 변수를 동시에 고려하여 기초자산의 변동성을 도출하는 방식을 Copeland and Antikarov(2003)에서는 “Consolidated Approach”라 칭함.  
 25) 이러한 교통량의 변화가 고려된다면 본 연구에서 고려하지 못한 확장옵션도 추가적으로 분석할 수 있을 것임. 한편 운영개시 이후의 기간에 대해 장기간(15년 또는 20년 등)의 옵션만기를 보유한 확장옵션 적용가치를 분석한다면, 장래 차로 확폭을 위한 도로 부지의 사전확보 필요성에 대한 논의에도 시사점을 제공할 수 있을 것으로 보임.  
 26) 예를 들어 설계기간에는 연기옵션 또는 중단옵션을 고려하고, 그 결과에 따라 공사기간에는 확장옵션 또는 축소옵션을 고려하는 시나리오를 의미함.

- 이훈기 외 11인. 2007. 광주순환고속도로 건설사업-예비타당성 조사 보고서. 서울 : 한국개발연구원.
- 임금순 외 3인. 2006. “실물옵션을 이용한 차세대 정보통신 투자사업의 가치 평가 및 최적 투자시기 결정”. *대한산업공학회지* 제32권 제3호. pp180-190.
- 장철호. 2007. “실물옵션 기법을 이용한 사업의 경제성 분석”. 전남대학교 석사학위 논문.
- 전재범·김성일. 2009. “전략적 의사결정을 고려한 프로젝트 파이낸스 민자사업의 재무타당성 분석에 관한 연구”. *국도연구* 제61권. pp25-39.
- 조주현·박홍일. 2004. “이항옵션모형을 이용한 부동산 개발가치 평가에 관한 연구”. *부동산학연구* 제10집 제1호. pp37-60.
- 최성호·김규태. 2003. “실물옵션을 이용한 대규모 단계적 투자프로젝트의 평가모형에 대한 연구”. *한국경영학회·대한산업공학회 2003 춘계공동학술대회논문집*. pp612-619.
- 황두건·이기환. 2007. “실물옵션과 항만개발의 경제성 평가”. *해운물류연구* 제55호. pp43-68.
- 경제통계시스템. 한국은행(<http://ecos.bok.or.kr>). [2011.8.1].
- 국가통계포털. 통계청(<http://www.kosis.kr>). [2011.8.1].
- Amram, M. and Kulatilaka, N. 1999. *Real Options - Managing Strategic Investment in an Uncertain World*. Boston : Harvard Business School Press.
- Angelou, G. N. and Anastasios, A. 2009. “A Compound Real Option and AHP Methodology for Evaluating ICT Business Alternatives”. *Telematics and Informatics* vol.26. issue.4. pp353-374.
- Black, F. and Scholes, M. 1973. “The Pricing of Option and Corporate Liabilities”. *Journal of Political Economy* vol. 81. pp637-659.
- Bowe, Michael. and Lee, L. Ding. 2004. “Project Evaluation in the Presence of Multiple Embedded Real Options: Evidence from the Taiwan High-Speed Rail Project”. *Journal of Asian Economics* vol.15. issue.1. pp71-98.
- Cheah, Charles Y. J. and Liu, J. 2005. “Valuing Governmental Support in Infrastructure Projects as Real Options Using Monte Carlo Simulation”. *Construction Management and Economics* vol.24, issue.5. pp545-555.
- Chow, J. Y. J. and Regan, C. Amelia. 2011. “Real Option Pricing of Network Design Investments”. *Transportation Science* vol.45, no.1. pp50-63.
- Copeland, T. and Antikarov, V. 2003. *Real Options : A Practitioner's Guide*. New York : Cengage Learning.
- Cox, J., Ross, S. and Rubinstein, M. 1979. “Option Pricing : A Simplified Approach”. *Journal of Financial Economics* vol.7, no.3. pp229-263.
- Luis, M. Abadie and Jose, M. Chamorro. 2006. “Monte Carlo Valuation of Natural Gas Investments”. *Real Options 10<sup>th</sup> annual International Conference*. New York. ([http://www.realoptions.org/abstracts\\_2006.html](http://www.realoptions.org/abstracts_2006.html))
- Pereira, P. and Rodrigues, A. and Manuel, J. Armada. 2006. “The Optimal Timing for the Construction of an International Airport : A Real Options Approach with Multiple Stochastic Factors and Shocks”. *Real Options 10<sup>th</sup> Annual International Conference*. New York. ([http://www.realoptions.org/abstracts\\_2006.html](http://www.realoptions.org/abstracts_2006.html))
- Rose, S. 1998. “Valuation of Interacting Real Options in a Tollroad Infrastructure Project”. *The Quarterly Review of Economics and Finance* vol.38, issue.3, Part 2. pp711-723.
- Sadowsky, J. 2005. *The Value of Learning in the Product Development Stage : A Real Options Approach*. California : Stanford University.
- Trigeorgis, L. 1996. *Real Options : Managerial Flexibility and Strategy in Resource Allocation*. Cambridge : MIT Press.
- Trigeorgis, L. and Schwartz, E. 2001. *Real Options and Investment under Uncertainty : Classical Readings and Recent Contributions*. Cambridge : MIT Press.

- 
- 논문 접수일: 2011. 9.22
  - 심사 시작일: 2011.10.14
  - 심사 완료일: 2012. 2.13

[부록]

표 1\_ 기초자산의 사상나무

(단위 : 억 원)

상태 \ 연차	기준시점 (t=0)	1년차 (t=1)	2년차 (t=2)	3년차 (t=3)	4년차 (t=4)	5년차 (t=5)	6년차 (t=6)	7년차 (t=7)
s=0	5,394	5,864	6,375	6,930	7,533	8,189	8,902	9,678
s=1		4,962	5,394	5,864	6,375	6,930	7,533	8,189
s=2			4,565	4,962	5,394	5,864	6,375	6,930
s=3				4,199	4,565	4,962	5,394	5,864
s=4					3,863	4,199	4,565	4,962
s=5						3,553	3,863	4,199
s=6							3,268	3,553
s=7								3,007

표 2\_ 축소옵션 적용 시의 의사결정나무

(단위 : 억 원)

상태 \ 연차	기준시점 (t=0)	1년차 (t=1)	2년차 (t=2)	3년차 (t=3)	4년차 (t=4)	5년차 (t=5)	6년차 (t=6)	7년차 (t=7)
s=0	5,929	6,327 (Go)	6,760 (Go)	7,232 (Go)	7,750 (Go)	8,323 (Go)	8,961 (Go)	9,678 (Go)
s=1		5,808 (Go)	6,175 (Go)	6,567 (Go)	6,986 (Go)	7,436 (Go)	7,917 (Go)	8,433 (Contract)
s=2			5,760 (Go)	6,116 (Go)	6,496 (Go)	6,903 (Go)	7,338 (Go)	7,803 (Contract)
s=3				5,734 (Go)	6,081 (Go)	6,452 (Go)	6,847 (Go)	7,270 (Contract)
s=4					5,730 (Go)	6,070 (Go)	6,433 (Go)	6,819 (Contract)
s=5						5,747 (Go)	6,082 (Go)	6,437 (Contract)
s=6							5,785 (Go)	6,115 (Contract)
s=7								5,841 (Contract)

표 3\_ 중단옵션 적용 시의 의사결정나무

(단위 : 억 원)

상태 \ 연차	기준시점 (t=0)	1년차 (t=1)	2년차 (t=2)	3년차 (t=3)	4년차 (t=4)	5년차 (t=5)
s=0	6,349	6,641 (Go)	6,959 (Go)	7,311 (Go)	7,715 (Go)	8,189 (Go)
s=1		6,620 (Abandon)	6,886 (Abandon)	7,163 (Abandon)	7,421 (Abandon)	7,690 (Abandon)
s=2			6,886 (Abandon)	7,163 (Abandon)	7,421 (Abandon)	7,690 (Abandon)
s=3				7,163 (Abandon)	7,421 (Abandon)	7,690 (Abandon)
s=4					7,421 (Abandon)	7,690 (Abandon)
s=5						7,690 (Abandon)

표 4\_ 연기옵션 적용 시의 의사결정나무(NPV 측면)

(단위 : 억 원)

상태	연차	기준시점 (t=0)	1년차 (t=1)	2년차 (t=2)	3년차 (t=3)	4년차 (t=4)	5년차 (t=5)	6년차 (t=6)	7년차 (t=7)
s=0		97.65	136.18 (Defer)	189.91 (Defer)	264.84 (Defer)	369.34 (Defer)	515.07 (Defer)	718.3 (Defer)	1,001.71 (Invest)
s=1			0.0 (Defer)	0.0 (Defer)	0.0 (Defer)	0.0 (Defer)	0.0 (Defer)	0.0 (Defer)	0.0 (Not Invest)
s=2				0.0 (Defer)	0.0 (Defer)	0.0 (Defer)	0.0 (Defer)	0.0 (Defer)	0.0 (Not Invest)
s=3					0.0 (Defer)	0.0 (Defer)	0.0 (Defer)	0.0 (Defer)	0.0 (Not Invest)
s=4						0.0 (Defer)	0.0 (Defer)	0.0 (Defer)	0.0 (Not Invest)
s=5							0.0 (Defer)	0.0 (Defer)	0.0 (Not Invest)
s=6								0.0 (Defer)	0.0 (Not Invest)
s=7									0.0 (Not Invest)

표 5\_ 중단옵션의 기초자산 대비 옵션 적용가치 증가 비율

옵션만기	변동성	초기값	30% 증가	60% 증가
초기값(5년)		17.70%	19.70%	21.39%
4년		17.42%	18.48%	20.68%
2년		17.42%	17.42%	18.16%

## Economic Feasibility Study of the Road Project Using Real Options Analysis

**Keywords:** Road Project, Economic Feasibility Study, Real Option, Traffic Volume, Value of Time

The purpose of this study is to consider the way of applying the real options analysis to the economic feasibility study of the road project. It is said that the real options analysis can supplement the traditional NPV(net present value)'s weakness that can't consider the future's uncertainty. This study reviewed the definition of the real options firstly, and investigated the theories of option valuation models, risk-neutral approach, four-step option valuation process etc. And then three kinds of options(option to contract/abandon/defer) were applied to a road project that the pre-feasibility study had been undertaken on it, and the value of options were estimated. The results showed that NPV of the road project increased when the options were applied. And the value of options increased as the volatility of the underlying asset and the life of option increase. These results shows that the theories about real options can be realized well in the case of the feasibility study of the road projects. But the greatest limit of this study is that the value of time - instead of the traffic volume - was used to estimate the volatility of the underlying asset. This limit was caused by difficulty in the acquisition of the relevant transportation analysis software file. So in the future study, it is necessary to resolve this difficulty and to consider the traffic volume in estimating the volatility of the underlying asset.

### 실물옵션 기법을 이용한 도로사업의 경제성 평가

**주제어:** 도로사업, 경제성 평가, 실물옵션, 교통량, 통행시간가치

본 연구의 목적은 도로사업의 경제성 평가에서 장래 불확실성 반영에 한계가 있는 전통적인 NPV 분석법의 단점을 보완하는 방안의 하나로서 실물옵션 기법을 이용하는 방안의 모색에 있다. 본 연구에서는 먼저 실물옵션의 개념에 대해 살펴보고, 본 연구의 실증분석 과정에서 적용하기 위한 옵션가치 결정 모형과 위험중립 등 필요한 가정, 그리고 4단계 옵션가치 평가 과정 등에 대해 관련 이론들을 고찰하였다. 실증 분석 과정에서는 예비타당성 조사가 기 수행된 바 있는 도로사업에 대해 축소옵션, 중단옵션, 연기옵션의 세 가지를 적용하여 분석하였다. 분석 결과 예비타당성 조사 결과에 비해 옵션을 적용할 때 경제성 평가 결과가 향상되는 것을 확인하였다. 그리고 기초자산의 변동성이 커질수록, 옵션만기가 길어질수록 옵션 적용 가치가 커지는 것을 확인하였다. 이러한 결과들은 실물옵션 관련 이론들이 실제 도로사업의 경제성 평가에서도 그대로 구현되는 것을 증명한다. 그러나 본 연구의 가장 큰 한계는 자료 획득 등의 문제점으로 인해 기초자산의 변동성 도출 시 교통 네트워크에서의 구간별 교통량의 변화를 감안하지 못하고 통행시간가치의 변화를 고려한 것이다. 향후 도로사업의 경제성 평가에 실물옵션 기법을 적용하기 위해서는 교통량의 변화를 고려해야 하고, 이를 위해 교통수요 분석 소프트웨어 파일의 제공 문제 등이 해결되어야 할 것으로 보인다.