

교통량 위험을 고려한 도로 민간투자사업 적정 관리운영기간 산정 모형 개발

구석모* · 이승재

서울시립대학교 교통공학과

Development of Model for Optimal Concession Period in PPPs Considering Traffic Risk

KU, Sukmo* · LEE, Seungjae

Department of Transportation Engineering, University of Seoul, Seoul 02504, Korea

*Corresponding author: smku@kdi.re.kr

Abstract

Public-Private-Partnerships tend to be committed high project development cost and recover the cost through future revenue during the operation period. In general, long-term concession can bring on more revenue to private investors, but short-term concession less revenue due to the short recovering opportunities. The concession period is usually determined by government in advance or by the private sectors's proposal although it is a very crucial factor for the PPPs. Accurate traffic forecasting should be most important in planing and evaluating the operation period in that the forecasted traffic determines the project revenue with user fees in PPPs. In this regards, governments and the private investors are required to consider the traffic forecast risk when determining concession period. This study proposed a model for the optimal concession period in the PPPs transportation projects. Monte Carlo simulation was performed to find out the optimal concession period while traffic forecast uncertainty is considered as a project risk under the expected return of the private sector. The simulation results showed that the optimal concession periods are 17 years and 21 years at 5.5% and 7% discount level, respectively. This study result can be applied for the private investors and/or any other concerned decision makers for PPPs projects to set up a more resonable concession period.

Keywords: BTO, concession period, monte carlo simulation, PPP, risk analysis, traffic risk

초록

민간투자사업은 많은 프로젝트 개발 비용이 투입되며, 관리운영기간 동안의 미래 수입을 통하여 투자비를 회수하는 구조로 추진된다. 일반적으로 긴 관리운영기간은 민간사업자의 더 많은 수입을 가져가게 하고 짧은 관리운영기간은 민간사업자의 수입회수 기간이 짧아져 더 적은 수입을 가져가게 된다. 관리운영기간의 설정은 민간투자사업의 중요 요인임에도 불구하고 전통적으로 정부가 사전에 결정하거나 민간이 제안한 기간으로 결정되고 있다. 특히 교통분야 사업에서 관리운영기간의 설정은 정확한 교통량 예측이 전제되어야 하나, 교통량 예측은 실제 교통량과 차이가 발생하는 등 위험 및 불확실성이 뒤따른다. 따라서 정부 및 민간사업자는 관리운영기간 설정시 교통량 예측 위험을 고려할 필요가 있다. 본 연구는 도로사업에 있어 교통량 위험을 고려한 적정 관리운영기간을 설정하는 모형을 제시하였다. 이를 위해 몬테카를로 시뮬레이션 기법을 적용하였으며, 시뮬레이션 과정에서 교통량 위험은 확률 분포(single probability

J. Korean Soc. Transp.
Vol.34, No.5, pp.421-436, October 2016
<http://dx.doi.org/10.7470/jkst.2016.34.5.421>

pISSN : 1229-1366
eISSN : 2234-4217

Received: 23 May 2016

Revised: 22 July 2016

Accepted: 24 October 2016

Copyright ©
Korean Society of Transportation

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

distribution)와 확률 과정(stochastic process)을 함께 고려하였다.

본 연구에서 제시한 방법론 및 시뮬레이션 모형을 바탕으로 모의 분석을 수행하였다. 모의 분석 결과 기대수익률 7%인 경우, 평균 관리운영기간은 21.2년으로 산정되었으며, 정부의 할인율 5.5%를 적용한 경우 관리운영기간은 평균 17.2년으로 산정되었다. 그 밖에 도출된 통계량은 다각적인 해석을 통해 민간투자사업 관련 의사결정자들이 관리운영기간을 설정함에 있어 직관에 의존하거나 동일한 운영기간을 적용하기보다는 객관적이고 합리적인 관리운영기간 설정하도록 도움을 줄 것으로 기대된다.

주요어: 교통량 위험, 관리운영기간, 몬테카를로 시뮬레이션, 민간투자사업, 위험분석

서론

1. 연구배경 및 목적

민간투자사업이란 전통적으로 정부부문의 범주에 속했던 도로, 항만, 철도, 환경시설 등 사회간접자본시설(SOC)의 건설과 운영을 민간부문이 담당하여 추진하는 사업을 의미한다. 이미 세계적으로 각국 정부들은 재정여건 악화나 경기침체로 인해 민간투자사업을 활발히 추진하고 있다. 국내에서도 1994년 8월에 「사회간접자본시설에 대한 민간자본유치촉진법」이 제정된 이후 수익형 민간투자사업방식(이하 'BTO 방식')¹⁾이 도입되었고, 2005년 1월에 「사회기반시설에 대한 민간투자법(이하 '민간투자법」)으로 개정되어, 학교시설 및 군주거시설 등 대상으로 하는 임대형 민간투자사업 방식(이하 'BTL 방식')²⁾이 추가 도입된 이후 많은 사회기반시설들이 민간투자사업으로 추진되고 있다. 민간투자사업이 일반적인 공공조달계약과의 주요한 차이는 사회기반시설의 건설만이 아닌 운영까지도 민간투자사업 범위에 포함되는 것이 특징이다(Lee, 2016).

BTO 방식 민간투자사업의 기본 구조는 민간이 투자비를 투입하고 정해진 기간 동안 사용자로부터 사용료를 징수하여 투자비를 회수하게 되어 있다. 여기서 정해진 기간은 정부가 민간과의 계약을 통해 민간에게 사회기반시설의 관리운영 권한을 부여한 기간을 의미한다³⁾. 민간투자사업은 관리운영기간을 포함하여 투자비, 운영수입, 수익률 등 사업조건을 정부와 민간이 실시협약이라는 계약을 통해 추진되는 사업이다. 관리운영기간은 사업 유형에 따라 짧게는 10년에서 길게는 50년 이상인 사업들도 있다.

관리운영기간의 설정은 정부나 민간에게 위험 및 불확실성을 수반한다. 특히 장기간에 걸쳐 운영이 이뤄지는 교통시설 사업은 교통량 위험으로 인해 적절한 관리운영기간의 설정이 사업의 성패를 가르는 중요한 요인이 되기도 한다. 예를 들어, 관리운영기간 동안의 예측 교통량보다 실제 교통량이 미달할 경우 민간사업자는 손실이 발생하게 된다. 반대로 관리운영기간을 과도하게 길게 설정하면 민간은 당초 정해진 이익을 초과하는 문제가 발생 될 수 있다.

그동안 관리운영기간의 결정은 정부에 의해 미리 정해지거나 민간이 프로젝트를 제안한 경우⁴⁾ 관례적으로 민간이 제안한 관리운영기간으로 협약이 체결되었다. 예를 들어 도로사업의 경우 30년을 관리운영기간으로 정하는 것이 통상적이다. 모든 도로사업에 대해 일률적으로 30년을 적용하는 것은 각 개별 사업들의 고유의 위험요인과 특성이 반영되기 어렵고 그로 인해 프로젝트의 실패 가능성이 커지게 된다.

이 연구의 목적은 도로사업의 관리운영기간 결정에 있어 의사결정자의 의사결정을 도울 수 있는 적정 관리운영기간을 설정하는 모형을 개발하는 것이다. 관리운영기간 결정에 중요한 변수인 교통량은 하나의 값이 아닌 불확실성 변수로 가정한다. 즉, 민간의 기대수익률 하에서 예측 교통량의 불확실성을 고려하여 몬테카를로 시뮬레이션을 통

1) 민간투자법 제4조 제1호에 의한 방식으로 사회기반시설의 준공과 동시에 해당 시설의 소유권이 국가 또는 지방자치단체에 귀속되며, 사업시행자에게 일정기간의 시설관리운영권을 인정하는 방식이다.

2) 민간투자법 제4조 제2호에 의한 방식으로 사회기반시설의 준공과 동시에 해당 시설의 소유권이 국가 또는 지방자치단체에 귀속되며, 사업시행자에게 일정기간의 시설관리운영권을 인정하되, 그 시설을 국가 또는 지방자치단체 등이 협약에서 정한 기간 동안 임차하여 사용·수익하는 방식이다.

3) 관리운영권은 민간투자사업에서 중요한 개념이므로 본문에서 자세히 기술하기로 한다.

4) 국내 민간투자사업 추진절차는 사업주체에 따라 '정부고시사업'과 '민간제안사업'으로 구분된다. 민간제안사업의 경우 민간투자대상사업에 포함되지 않은 사업을 민간이 제안하여 추진할 수 있는 방식을 의미한다.

해 관리운영기간을 설정하는 방법을 개발한다. 본 연구에서 적용한 몬테카를로 시뮬레이션은 위험 및 불확실성의 변수를 광범위하게 평가하며, 다양한 분포형태와 상관관계를 설명하는데 용이하다.

연구의 방법으로는 관리운영기간과 교통량 위험에 대해 구체적인 개념을 고찰하고 이 두가지를 고려한 관리운영기간 설정 시뮬레이션 모형을 구축한다. 교통량 위험을 고려하기 위한 방법으로는 교통량 위험 발생 원인에 따른 위험 요소를 선별하고 이를 계량화하거나 분석 대상사업과 유사 사업들의 경험치를 직접적으로 반영할 수 있을 것이다. 하지만 이러한 방법들이 미래 발생할 수 있는 교통량 위험을 모두 고려할 수 없으며, 분석 대상 사업과 유사 사업을 찾기가 쉽지 않을 것이다. 또한, 위험 요인을 평가하는 모델을 구축하기 위해서는 단지 단순한 확률 분포(single probability distribution)가 아닌 확률 과정(stochastic process)이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 이와 같은 문제점을 개선하여 확률 분포와 확률 과정을 함께 고려하였다.

모형의 적용은 국내 민간투자사업 중 고속도로를 대상으로 시뮬레이션에 포함되는 주요 변수를 추정하고 대상사업을 선정하여 관리운영기간을 산정한다.

마지막으로 결론 및 향후 연구에서는 본 연구의 내용을 종합하고 연구의 한계점 및 추후 논의되어야 할 점을 기술한다.

2. 관리운영기간 설정에 관한 기존 문헌 고찰

관리운영기간은 통상 정부에 의해 사전적으로 결정되거나 민간사업자의 기대수익률 및 투자비 회수기간을 고려하여 설정된다. 실제적으로 관리운영기간의 설정은 간단한 문제는 아니다. 주관적인 판단요소와 더불어 수학적으로 비선형(non-linearity) 및 다수해(multi-criteria)를 찾는 문제이다. 많은 연구자들은 이 문제를 풀기 위해 여러 연구를 수행하였다.

관리운영기간 결정에 관한 국외 연구를 살펴보면, Shen et al.(2002) 프로젝트의 경제적 수명과 관리운영기간의 관계를 순현재가치(NPV: Net Present Value)를 기준으로 설명하였으며 이후 민간투자사업의 불확실성을 고려한 몬테카를로 시뮬레이션을 통해 관리운영기간을 설정하는 연구를 수행하였다(Shen and Wu, 2005).

Table 1 은 기존 관리운영기간 설정과 관련한 기존 연구를 정리하였다. 대부분의 선행 연구에서는 위험 및 불확실성을 고려하여 관리운영기간 설정 모델을 제안하였다. 이때 사용한 시뮬레이션 기법은 몬테카를로 시뮬레이션이 대부분이며, 정부와 민간의 협상이론이나 퍼지이론을 활용한 연구도 있다(Ng et al., 2007; Shen et al., 2007; Yu and Lam, 2013) 또한, 민간투자사업의 위험 및 불확실성 요인 선정시 공사비, 운영비, 수입, 물가상승율 등 여러 가지 불확실성 요소를 위험요인으로 선정하고 있다. 기존 연구에서 대부분 적용한 몬테카를로 시뮬레이션은 여러 가지 불확실성 요소에 대해 단순한 분포를 가정하여 시뮬레이션하였으며, 교통량 위험은 단순히 표준정규분포를 가정하거나 유사 사업의 통계량을 적용하였다.

Table 1. A summary of existing studies on determining concession period

Author/s (Year)	Key methods	Critical assumptions	Traffic risk
Shen et al. (2002)	NPV	Trade-off between government's and investor's interests	X
Shen and Wu (2005)	NPV, Monte Carlo simulation	Risk and uncertainty	A normal distribution
Zhang and AbouRizk (2006)	NPV, critical path method, Monte Carlo simulation	Trade-off between government's and investor's interests, Risk and uncertainty	A normal distribution
Ng et al.(1) (2007)	NPV, Monte Carlo simulation	Risk and uncertainty	A normal distribution
Ng et al.(2) (2007)	NPV, Monte Carlo simulation, fuzzy set theory	Trade-off among investment return, tariff regime and concession period	statistics of similar facilities
Shen et al. (2007)	NPV, bargaining game theory	the investor and the government concerned	X
Yu and Lam (2013)	NPV, principal component analysis, Monte Carlo simulation	Risk and uncertainty	A normal distribution

관리운영기간 및 교통량 위험의 개념 고찰

1. 관리운영기간

민간투자사업의 관리운영기간은 해당 사회기반시설사업을 수행하는 민간사업자에게 정부로부터 본 사업시설을 관리 및 운영할 수 있는 권한이 주어지는 기간이다. 이 권한을 관리운영권이라고 하며, 사회기반시설의 민간투자법 제26조⁵⁾ 및 제25조에 따라 법률로써 정의된다. 즉, 주무관청⁶⁾이 사회기반시설사업을 시행한 사업시행자에게 총민간사업비의 범위에서 해당 시설의 준공 후 일정기간 무상으로 사용·수익 할 수 있는 권리를 의미한다. 총민간사업비의 범위에서 사업시행자에게 사용을 허가한다는 의미는 사업시행자의 경제적 관점에서 투자비 회수기간을 의미한다. 민간사업자는 실시협약에서 미리 정해진 기간 동안 관리운영을 하며, 그 기간이 만료되면 사회기반시설을 정부에게 이전하게 된다.

관리운영기간과 경제성 분석기간의 의미를 명확히 할 필요가 있다. 민간투자사업의 관리운영기간과 경제성 분석기간이 동일한 사업이 많기 때문이다. 이는 국내 민간투자사업의 추진절차상 경제성 분석을 수행한 후 경제성이 확보된 사업에 한하여 민간투자사업을 추진하다 보니 자연스럽게 관리운영권 기간과 경제성분석 기간이 동일시된 것으로 보인다.

경제성 분석기간은 해당 사업시설의 편익과 비용이 발생할 것으로 예상되는 기간을 의미하며, 원칙적으로는 해당 투자사업의 수명과 일치한다. 관리운영기간은 경제성분석 기간보다 같거나 짧게 설정되는 것이 통상적이다.

2. 관리운영기간 설정시 고려요소

민간투자사업에서 관리운영기간을 설정함에 있어 영향을 주는 요소가 무엇인지 살펴보고자 한다. 서론에서 기술하였듯이 국내 민간투자사업에서 주로 수행되는 방식은 BTO 방식과 BTL 방식이 있으나, BTL 방식은 민간의 투자비 회수 구조가 정부의 연간 임대료 지불능력 및 운영비 등에 따라 결정되므로 본 연구에서는 BTO 방식의 도로사업으로 범위를 한정하였다.

BTO 방식은 높은 프로젝트 개발 비용이 투입되며, 운영기간의 미래 수입을 통하여 투자비를 회수하는 구조이다. Equation 1은 「민간투자사업기본계획⁷⁾」 제11조의 BTO 방식 구조를 수식으로 설명한 것이다. 매년도 운영수입에서 운영비용을 차감한 금액의 총합계와 총 민간투자비 금액의 합계가 사업수익률로 할인하여 같아지도록 하는 사용료나 수익률을 결정하게 된다. 이때 관리운영기간(N)은 할인율과 연계하여 사용료나 수익률을 결정하는 주요 요인이다.

$$\sum_{i=0}^n \frac{CC_i}{(1+r)^i} = \sum_{i=n+1}^N \frac{OR_i - OC_i}{(1+r)^i} \quad (1)$$

여기서, n : 시설의 준공시점

N : 무상 사용기간 또는 관리운영권 설정기간의 종료시점

CC_i : 시설의 준공을 위해 매년도 투입되는 비용(다만, 정부재정지원 금액은 제외)

OR_i : 매년도 운영수입

5) 제26조(사회기반시설의 관리운영권) ① 주무관청은 제4조제1호 또는 제2호에 따른 방식으로 사회기반시설사업을 시행한 사업시행자가 제22조에 따라 준공확인을 받은 경우에는 제25조제1항에 따라 무상으로 사용·수익할 수 있는 기간 동안 해당 시설을 유지·관리하고 시설사용자로부터 사용료를 징수할 수 있는 사회기반시설관리운영권(이하 "관리운영권"이라 한다)을 그 사업시행자에게 설정할 수 있다.

6) 주무관청은 민간투자법 제2조 제4항에 의해 사회기반시설사업의 업무를 관장하는 행정기관의 장을 의미한다. 예를 들어 민간투자사업의 고속도로는 국토교통부가 주무관청이 된다.

7) 민간투자사업기본계획은 기획재정부공고 제2016-64호를 말한다.

OC_i : 매년도 운영비용(다만, 법인세 제외)
 γ : 사업의 세전 실질수익률(IRR)

관리운영기간을 길게 설정하면 사업시행자는 더 많은 수입을 가져가게 하고 관리운영기간을 짧게 설정하면 사업시행자의 수입 회수 기간이 짧아져 더 적은 수입을 가져가게 된다. 사업시행자 측면에서 관리운영기간은 대출상환 및 투자자의 시장 위험을 고려하여 투자수익률을 회수할 수 있는 기간이 되어야 하므로, 관리운영기간이 짧아지면 사용료를 더 높게 설정하려고 할 것이다. 반면, 높은 사용료 수준이나 사용료 인상은 강한 공공의 반대를 일으킬 수 있기 때문에 적정 관리운영기간을 설정하는 것이 바람직하다.

사회기반시설의 경제적 수명⁸⁾(life cycle)을 기준으로 보면, 관리운영기간은 그보다 같거나 짧게 된다. 관리운영기간의 설정 범위는 해당 사업의 손익분기점부터 사회기반시설의 경제적 수명 이내에서 설정되며, 그 기간 동안의 사업의 NPV를 정부와 민간의 나누는 지점을 찾는 것으로 해석할 수 있다(Figure 1 참고).

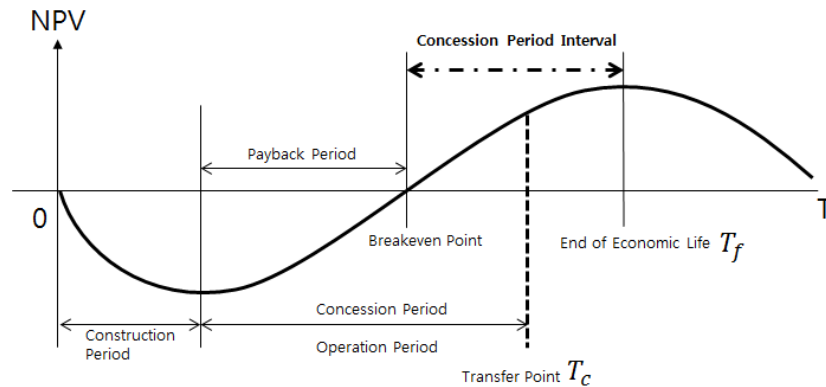


Figure 1. Relationship between the concession period and life cycle

Shen et al.(2002, 2005)의 연구⁹⁾에서는 BTO 방식의 관리운영기간 범위를 Equation 2, 3으로 제시하였다. 경제적 수명(T_f) 종료시점에서 사업시설의 NPV는 최대가 되며, 관리운영기간(T_c)은 NPV가 “0”이 되는 손익분기점에서 경제적 수명(T_f) 종료시점 사이에서 설정된다. 관리운영기간 종료 지점은 정부와 민간이 정해진 NPV를 나누는 지점이 된다.

$$IR \leq NPV(T_c) \leq NPV(T_f) \tag{2}$$

여기서 T_c : 관리운영기간(건설기간 포함)
 T_f : 프로젝트의 경제적 수명(내구연한)
 I : 투자자의 자본투자
 R : 투자자의 기대수익률
 $NPV(T_c)$: 프로젝트의 관리운영기간 동안 발생한 순현재가치
 $NPV(T_f)$: 프로젝트의 경제적 수명 동안 발생한 순현재가치

8) 내용연수라고 말하기도 하며, 해당 시설이 본래의 목적으로 사용될 수 없을 때까지의 기간으로 정의할 수 있다.
 9) 관리운영기간의 정의는 국가마다 조금씩 차이가 나타나고 있는데, Ye and Tiong(2003)은 두가지 타입으로 정의하였다. Single-period concession은 건설기간과 운영기간을 포함한 형태와 Two-period concession은 건설기간과 운영기간을 분리한 형태이다. 국내는 법률적으로 운영기간을 관리운영기간으로 정의하고 있어 Two-period concession 범주에 포함된다.

$$NPV(T_c) = \sum_{t=1}^{T_c} \frac{NCF_t}{(1+r)^t} = \sum_{t=1}^{T_c} \frac{(I_t - C_t)}{(1+r)^t} \tag{3}$$

$$\begin{aligned} NPV(T_f) &= \sum_{t=1}^{T_f} \frac{NCF_t}{(1+r)^t} \tag{4} \\ &= \sum_{t=1}^{T_c} \frac{NCF_t}{(1+r)^t} + \sum_{t=T_c+1}^{T_f} \frac{NCF_t}{(1+r)^t} \\ &= \sum_{t=1}^{T_c} \frac{(I_t - C_t)}{(1+r)^t} + \sum_{t=T_c+1}^{T_f} \frac{(I_t - C_t)}{(1+r)^t} \end{aligned}$$

여기서, NCF_t : t 연도의 순현금흐름
 I_t : t 연도의 수입
 C_t : t 연도의 비용
 r : 할인율

민간사업자는 관리운영기간 동안 시장위험을 고려한 적절한 투자수익률을 획득하여야 하고, 정부는 민간의 투자 수익률이 초과하지 않도록 관리운영기간을 설정하여야 한다. 정부와 민간은 사업의 손익분기점과 시설의 경제적 수명사이에서 적절한 관리운영기간이 설정되도록 하여야 한다. 관리운영기간의 설정의 주요 변수는 수입이고, 수입은 교통량과 통행료의 곱으로 산정된다. 통행료는 정부가 일정부분 통제가 가능한 변수이므로 교통량 위험을 고려하여 관리운영기간을 설정할 필요가 있다.

3. 교통량 위험

위험은 값의 예측할 수 없는 변화로 정의¹⁰⁾된다(Irwin, 2007). 따라서 교통량 위험은 실제로 실현되는 교통량이 기대치와 달라질 가능성으로 정의할 수 있다. 교통량 예측에 있어서 위험이 존재하는지와 그 위험이 어느 정도인지는 과거 경험치를 통해 알 수 있다.

교통량 예측의 방법은 단순한 방법부터 정교한 방법(예를 들어 교통수요 4단계예측 모형)까지 다양하다. 하지만 예측 교통량은 교통량 예측의 방법론상의 한계를 제외하고도 다양한 원인으로 인해 변화될 수 있다. 첫째, 교통시스템 상의 기초적 변화로 예측 교통량이 변화할 수 있다. 즉, 인구의 증가, 경제활동, 자동차 보유 등 사회경제지표의 변화나 사람들의 수단 이용 변화에 따라 예측 교통량은 변화한다. 두 번째로 교통네트워크 개선이 교통량에 영향을 주기도 한다. 예를 들어, 새로운 고속도로의 건설이나 중요한 대중교통의 체계 변경으로 인해 유발되는 수요나 기존에 통행을 포기하거나 타 수단을 이용하던 사람들이 통행에 참여해 교통량이 변화한다.

국내의 연구 중 예측교통량과 실제교통량을 비교 분석한 연구는 Kim(2007, 2010)의 연구에서 깊이 있게 다루고 있다. 그의 연구에서는 국내 도로부문 교통량 추정위험(2007)과 철도부문의 교통량 예측 위험(2010)을 각각 분석하였다.

도로의 경우 예측 교통량을 중심으로 개통전의 수요 예측치와 개통 후의 실제 이용 교통량과의 차이에 대한 예측 오차를 분석하였다. 분석결과 평균 교통량 예측 오차율은 -22.39%로 교통량 예측치가 실제 이용 교통량과 비교해 볼 때 평균 약 22% 과다 예측한 것으로 분석되었다. 도로 사업을 재정사업과 민자사업으로 구분 시, 민자사업의 도로는 평균 약 50%의 교통량이 과다 추정되어 있는 것으로 분석되어, 민자사업의 교통량 추정이 재정사업보다 다소 낙관적인 것으로 분석되었다.

철도의 경우 도로와 마찬가지로 전체적으로 과다 추정된 것으로 나타났는데, 평균적으로 실제 노선별 개통연도 교통량의 경우

10) Knight(1921)에 따르면, 위험과 불확실성의 의미는 엄밀히 구별된다. 위험은 기대한 것과 다른 결과의 가능성이 이미 알려진 경우가 위험이며, 불확실성은 다른 결과의 가능성이 알려지지 않은 경우이다. 하지만, 대부분 현실 세계에서는 위험과 불확실성을 구별하는 것이 쉽지 않아 위험과 불확실성 모두를 통칭하여 위험이라고 불려지고 있다.

예측치 대비 22%에 그치는 것으로 분석되었고, 역별 개통연도 교통량의 경우 예측치 대비 26% 수준인 것으로 분석되었다.

Kim(2007, 2010)에 의하면 교통량 추정 오차에 대한 문제는 국내에서만 문제가 아니며, 세계 모든 나라에서 보편적으로 일어나고 있는 것으로 파악¹¹⁾되었다.

Flyvbjerg et al.(2005, 2006)은 각국의 교통시설 투자 사업을 대상으로 교통량 예측의 부정확성에 대한 연구를 수행하였다. 전 세계 14개국에서 수행된 도로/철도 210개의 교통시설투자사업(1969-1998)에 대해 교통량 예측치와 실적치를 통계적으로 비교하였다. 그 결과 도로, 철도 모두 상당히 부정확한 것으로 나타났다. 철도의 경우 전체 프로젝트의 2/3가 상당히 높게 부풀려졌다. 전체 평균 106% 과다추정 되었고, 도로의 경우 철도만큼은 아니지만, 도로 프로젝트의 50%가 ± 20% 차이를 나타냈다. 게다가 도로/철도의 예측의 부정확성은 시간에 지남에 따라 개선되지 않았다.

Wachs(1992)는 교통량 예측의 윤리적 딜레마의 본질을 탐구하므로서 교통량 예측 부정확성의 이유를 제공하였다. 기술적 전문가, 엔지니어, 계획가는 대부분 투자자의 결정에 정당화되어 예측 결과를 제공한다는 것이다. 즉, 정치가의 한정된 자원 활용과 결부된 정부구조의 복잡성은 예측자에게 큰 짐을 지운다고 주장하였다.

사회기반시설 건설에 있어 교통량 예측 위험은 사업의 안정성에 영향을 준다. 특히 민간투자사업은 재정사업과 달리 교통량 예측 오차는 직접적인 수입의 감소를 초래하여 안정적인 운영에 영향을 준다. 따라서, 민간투자사업의 교통량 위험은 다른 위험 요인보다 중요하게 받아들여지고 있다.

교통량 위험을 고려한 관리운영기간 설정 모형

본 장에서는 교통량 위험 및 불확실성을 고려하여 적절한 관리운영기간을 설정하는 시뮬레이션 모형을 구축한다. 교통량 위험, 즉 사업의 재무위험을 측정하고 평가하는 기법은 분산-공분산 접근법(variance-covariance approach), 역사적 시뮬레이션 접근법(historical simulation), 몬테카를로 시뮬레이션 접근법(Monte Carlo simulation) 등이 있다. 분산-공분산 접근법은 모든 위험이 정규분포를 따른다고 가정하는 모형이다. 분석이 용이하지만 위험요인이 비선형인 경우 특성을 반영하기 어렵다.

역사적 시뮬레이션 접근법은 위험의 과거분포를 사용하여 시뮬레이션하는 기법이다. 단, 어떠한 과거자료를 사용하느냐에 따라 결과 값이 크게 달라질 수 있으며, 위험요인의 변화를 제대로 반영하기 어렵다는 단점이 있다. 예를 들어, 교통량 위험의 과거 자료는 국내 민간투자사업의 역사가 20년이 지났기 때문에 상당히 확보되었다고 할 수 있다. 하지만 정부와 민간의 교통량 위험 제도는 지속적으로 변경되어 왔다¹²⁾. 정부와 민간의 교통량 위험 분담에 따라 교통수요 예측 오차도 상당한 차이가 존재하기 때문에 과거자료를 직접적으로 적용하기에는 적합하지 않다. 단편적으로 MRG제도가 있는 사업과 MRG제도가 없는 사업의 수요 예측 오차는 MRG제도가 있는 사업에서 더 크게 발생할 것이기 때문이다.

마지막으로 몬테카를로 시뮬레이션 기법은 대표적인 확률분포 접근방법으로 위험 항목별로 확률변수를 설정하여 분포의 범위내에서 사업의 불확실성을 평가하는 기법이다. 몬테카를로 시뮬레이션 방법은 분석 대상의 위험요인의 확률분포를 정의한 후 결과의 샘플을 도출하기 위해 난수를 발생시키고, 이 같은 과정을 무수히 반복하여 히스토그램이나 누적 확률분포 곡선으로 도식화하여 최종 의사결정자의 의사결정에 도움을 준다. 즉 단순히 위험의 가치화뿐만 아니라 다른 유용한 통계량도 얻어 낼 수 있다.

본 연구는 예측 교통량에 위험요인을 고려하여야 한다. 미래 교통량 예측은 특정 년도의 한 개 교통량만 예측하는 것이 아니라 매년도 교통량에 확률과 변동성을 부여하여야 하고 이러한 과정을 반복적으로 수행하여야 한다. 따라서, 본 연구에서 몬테카를로 시뮬레이션 기법을 채택하였다. 매년도 교통량 예측을 토대로 미래의 현금흐름(cash flow)이 발생하고 그 현금흐름의 크기와 변동성을 측정하기에는 효율적인 방법이다.

몬테카를로 시뮬레이션을 위한 모형 구축은 입력변수, 시뮬레이션 과정, 결과도출 3단계로 구분하였다.

11) S&P(2004) 보고서에 전 세계 68개의 유료도로를 대상으로 분석한 결과 유료도로 교통량의 경우 평균 20-30% 과다 추정되었다고 제시하였다.

12) 민간투자사업 교통량 위험 제도는 MRG제도(1999-2009), 투자위험의 분담제도(2009-2014), 투자위험분담형 도입(2015-)으로 지속적으로 변경되어 오고 있다.

1. 입력변수

관리운영기간 설정에 영향을 주는 요인은 예측 교통량을 포함하여 사용료, 건설비용, 운영비용, 투자수익률, 사업 시행자의 재무조건 등 여러 요인이 존재한다. 관리운영기간을 예측 값(forecast value)으로 두었을 때, 다른 변수들은 결정변수(decision variable) 또는 불확실성 변수(uncertain variable)로 분류하여야 한다.

본 연구에서는 예측 교통량의 불확실성을 위험요인으로 가정하고 나머지 변수는 불확실성 요인이 아닌 결정적 요인으로 전제하였다. Jung(2001), Park(2007) 등 기존 연구들은 불확실성 변수를 교통량을 제외하고도 건설비용, 운영비 등을 확률변수로 두는 경우가 많았으나, 국내 민간투자사업에서의 사업비, 운영비 위험은 많은 부분 정부가 경감시켜주고 있으며¹³⁾ 정부 측면에서 총사업비 확정주의를 채택하고 있으므로 건설비, 운영비 등은 고정 변수로 가정하였다. 또한 사용료의 경우 주무관청에서 정책적으로 결정 가능한 변수로 결정변수에 해당한다. 다만 사용료는 교통량과 결부되어 최종분석 결과에 영향을 주므로 통행료 인상에 대한 합리적인 가정을 통해 모형에 적용할 필요가 있다.

따라서 시뮬레이션 입력변수는 교통량만을 불확실성 변수로 모형에 고려한다. 기타 변수를 불확실성 변수로 포함하게 되면 종합적인 사업 위험에 대한 검토는 가능하나, 본 연구의 목적이 교통량 위험에 따른 관리운영기간의 설정이므로 연구 목적에 부합되도록 변수를 설정하였다.

1) 교통량 불확실성으로 인한 확률 분포

시뮬레이션을 위해 교통량 불확실성에 따른 확률 분포를 정의하여야 한다. 교통량 위험 값을 산정하기 위한 확률 분포의 적용은 과거 실적자료 및 방법에 따라 다양하다. 가장 쉽게는 장래 교통량 예측치의 합에 단일 확률 분포를 가정하여 적용하는 방법부터 예측 연도 각각의 확률 분포를 가정하는 방법이 있을 수 있다. 장래 누적교통량에 단일 확률분포를 적용하는 것보다 예측 연도 각각의 분포를 가정한 후 시뮬레이션하는 방법이 좀 더 우월하다고 할 수 있다¹⁴⁾. 그런데 매년도 확률 분포를 도출하기에는 분석 대상 사업과 유사한 실적 자료를 입수하기가 쉽지 않으며, 장래 연도로 갈수록 불확실성에 따른 오차가 증가될 것인데 이러한 가정의 근거를 찾기가 현실적으로 어렵다고 할 수 있다. 무엇보다도 장래 교통량 예측치가 전제되기 때문에 교통량 위험 분석 결과가 경직될 것으로 보인다.

따라서 확률 분포를 정의함에 있어 민간투자사업과 같이 장기에 걸쳐 운영되는 사업은 불확실성에 따른 확률 분포를 단일 값으로 적용하기에는 적합하지 않다고 판단하였다.

본 연구는 이러한 장래 교통량의 확률분포를 달리 적용하기 보다는 시뮬레이션에서 확률 과정(stochastic process)을 포함하였다. 장래 예측 교통량은 랜덤워크(Random Walk)¹⁵⁾의 무작위적 확률 과정을 적용한 기하브라운 운동(Geometric Brownian Motion: GBM)¹⁶⁾을 따르는 것으로 가정한 것이다. 이는 위험 요인의 증가 또는 감소뿐만 아니라 불확실성 요소의 장래 증가율을 고려할 수 있다. 이러한 방법은 수요추정이 완료된 결과에 위험요인을 고려하는 기존 방법론 보다 유연하고 의미있는 결과가 도출될 것으로 판단된다.

교통량 위험을 금융분야의 적용되는 기하브라운 운동을 따른다고 가정한 것은 실질적으로 교통량의 위험이 기본적인 경제성장률, 유가상승과 같은 경제여건의 영향과 경쟁노선의 개발, 개발계획의 실현 등 불확실성 요인을 함께 고려하기 위한 것이다. 기하브라운 운동의 주요 변수는 기대성장률과 성장률에 대한 변동성이고, 이는 교통량 증가율과 증가율에 대한 변동성으로 나타낼 수 있으며, 증가율과 변동성을 과거 데이터를 통해 도출하게 되면 교통량 위험 요인이 확률 과정을 통해 반영될 수 있다. 하지만 교통량 위험을 기하브라운 운동으로 가정한 것은 교통수요 추정시 장래계획 등 확정적인 수요변화 요인을 반영하기 어려우며, 교통량 증가율이 하나의 값으로 포함되어 증가율.

13) 민간투자사업 기본계획 제10조(총사업비 변경) 제2조 제2항은 건설기간 물가변동, 관련 법령의 제개정, 주무관청이 인정하는 비용 등 민간사업자의 총사업비 변동 위험을 상당부분 완화해 주고 있다.

14) 기존 연구에서는 교통량 위험의 확률분포를 초기 5년은 일양분포, 이후 삼각분포를 적용하거나(정동욱(2001)), 초기 7년 각각의 확률분포를 추정하여 적용하기도 하였다(박경애(2007)).

15) 랜덤워크는 효율적 시장가설이론의 하나로 주가의 변동은 시계열적으로, 매기 독립적이며 또한 동일한 형태의 확률분포를 갖는 확률변수라는 가설로 과거 정보와는 상관없이 무작위적으로 변동한다는 가정임.

16) 김강수, 양인석, 조성빈(2012)은 민간투자 도로사업의 교통수요 예측 위험치치 산정시 예측 교통량을 기하브라운 운동에 따르는 가정하였다.

에 대한 유연성이 떨어질 수 있는 단점이 있다.

수학적으로 기하브라운 운동(Geometric Brownian Motion: GBM)으로 인한 위험 요인 x 의 변화는 Equation 5와 같다.

$$dx = \mu x dt + \sigma x \sqrt{dt} z \tag{5}$$

- 여기서 μ : x 의 기대성장률
- dt : 시간의 증가
- σ : x 의 성장률에 대한 변동성
- z : 표준정규분포(평균 0, 분산 1)로부터 얻어지는 임의 값

Equation 5의 x 값의 결정은 기대성장률과 기대성장률에 대한 변동성을 고려하여 증가 값의 변화를 준다. 이는 현재의 값은 이전 값의 함수로서 Equation 6과 Equation 7을 의미하며, 표준정규분포의 값은 마이크로소프트 엑셀의 "NORMSINV(RAND())" 함수로서 엑셀 스프레드시트에서 구현이 가능하다.

$$x_t = x_{t-1} \exp \left[\left(\mu - \frac{\sigma^2}{2} \right) dt + \sigma \sqrt{dt} z \right] \tag{6}$$

$$x_t = x_0 \exp \left[\left(\mu - \frac{\sigma^2}{2} \right) t + \sigma \sqrt{t} z \right] \tag{7}$$

또한, 증가율과 변동성에 대한 예측 교통량 모형을 정립했다면, 모형에 적용될 초기교통량이 필요하다. 초기교통량은 하나의 값을 예측하여 입력하는 방법과 확률변수로 입력할 수 있다. Flyvbjerg(2005)에 따르면 개통초기 예측 교통량과 실제교통량의 오차율은 시간이 경과함에 따라 크게 바뀌지 않으며, 의사결정자들은 경험적으로 초기년도의 예측수요에 따라 다양한 의사결정을 한다라고 기술하고 있다. 즉, 초기교통량의 입력이 시뮬레이션 결과에 상당한 영향을 주는 요인인데 본 모형에서 초기교통량을 예측값으로 고정할 경우, 초기교통량 예측 오차로 인해 결과가 왜곡될 수 있다. 따라서, 초기교통량에 대한 예측도 하나의 위험요인으로 가정하여 확률변수로 정의하는 것이 타당하다. 초기교통량의 확률분포는 Bain(2009)의 연구에서 전세계의 104개 교통사업의 초기교통량의 오차를 분석한 결과 표준정규분포 형태를 띠는 것으로 나타났으며, 본 연구에서도 이를 적용한다.

결과적으로 교통량 위험은 초기교통량 발생시 한번 고려되고, 이후 매년도 예측 교통량 발생시 교통량 위험과 변동성이 적용된다.

2) 할인율

매년도 교통량의 발생은 매년도 운영수입으로 계산되고 매년도 운영수입의 합과 투자비의 합에 따라 NPV¹⁷⁾가 도출된다. 이때 할인율의 수준에 따라 NPV가 달라질 수 있다. 즉, 관리운영기간은 총 현재가치 비용과 총 현재가치 수입이 동일해지는 지점으로 설정되므로, 할인율 수준에 따라 결과에 상당한 영향을 준다. 이론적으로 가장 적절한 할인율은 가중평균자본비용(WACC: weighed average cost of capital)¹⁸⁾으로 가능한 이론에 근접하게 설정하는 것이 이상적일 것이다. 하지만 가중평균자본비용은 주주의 자본 비용, 부채비용, 부채비율(leverage ratio)에 의존하여 민간입장에서의 프로젝트 수익률이 될 수 있으나, 정부입장 및 사회적 관점에서 할인율은 다를 수 있다.

17) NPV(Net Present Value): 순현재가치

18) WACC는 자기자본 및 타인자본을 가중 평균한 값으로 (자기자본비용×자기자본비중) + (타인자본비용 × 타인자본비중) 산정된다.

본 연구의 시뮬레이션 모형에서의 할인율은 결정적 변수로 전제하나 ‘제IV장 모형적용’에서는 민간입장에서의 수익률과 정부입장의 사회적 할인율을 구분하여 적용하기로 한다.

2. 시뮬레이션 과정

몬테카를로 시뮬레이션을 활용한 관리운영기간 설정 모형의 각 단계별 시뮬레이션 절차는 Figure 2와 같다.

1) 1단계: 프로젝트의 현재가치 비용 산정(dC_t)

분석하고자 하는 프로젝트의 현재가치 비용을 산정하는 과정이다. 시뮬레이션에서 관리운영기간의 결정은 NPV가 0이상 되는 지점에서 마지막 교통량 예측이 종료되는 해당연도가 된다. 현재가치 비용을 결정한 후 장래 예측교통량에 따른 현재가치 수입을 산정하도록 모형을 구축하였다. 현재가치 비용의 산정은 엑셀 워크시트를 활용한다.

2) 2단계: 교통량 위험을 고려한 초기 교통량 발생

앞서 설명하였듯이 장래 교통량 예측을 위해 초기 교통량이 필요하다. 본 모형에서는 초기교통량도 정규분포를 따르는 확률변수로 가정¹⁹⁾하였다. 초기 교통량은 정의된 정규분포에서 난수를 발생시켜 결정하게 된다.

3) 3단계: 예측 교통량 생성 및 수입 산정(dR_t)

발생된 초기 교통량에 교통량 증가율 및 변동성을 적용하여 수입을 산정하는 단계이다. ‘1. 입력변수’에서 설명하였듯이 교통량 증가율 및 변동성은 기하브라운 운동을 따르는 것으로 가정하였으며, 증가율 적용시 난수를 발생시켜 예측 교통량을 결정하게 된다. 교통량이 결정되면 사용료를 적용하여 수입을 산정하고, 여기에 할인율을 적용하

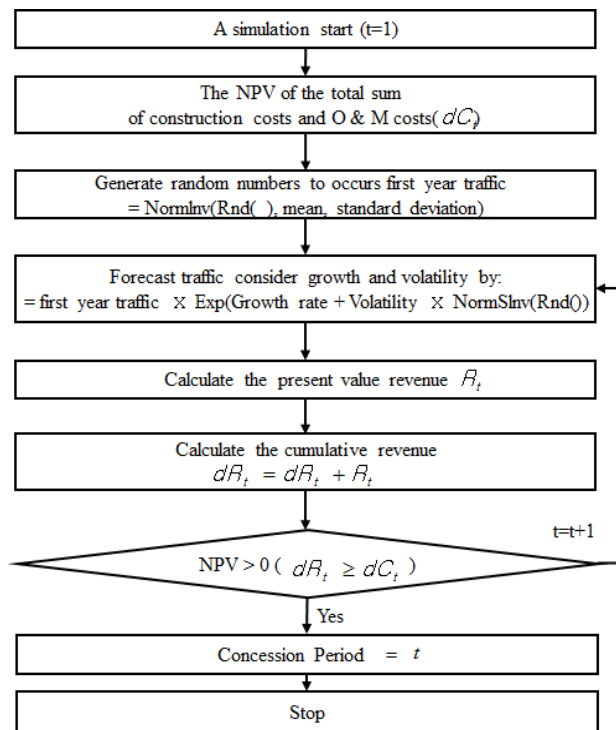


Figure 2. Simulation flow

19) Bain(2009)의 연구에서 전세계의 104개 교통사업의 초기교통량의 오차를 분석한 결과 표준정규분포 형태로 나타났다.

Table 2. Cost and operation cost data for the model application

	contents
Title	○○~△△ highway
Construction period	5 years(2004-2008)
Total Private Cost	449.2 billion Won
Operation Cost	231.1 billion Won(30years)
Base Year	Constant Price in 2003
Real Rate of Return	7%(Before Tax)

여 현재가치 수입을 산정한다.

1단계에서 산정한 할인비용과 비교하여 현재가치 수입이 작게 산정되면 다음 년도의 교통량을 예측하게 되는데 이러한 과정을 NPV가 0이상이 될 때까지 반복하게 된다.

4) 4단계: 시뮬레이션 반복

3단계에서 나온 결과, 즉 교통량 위험을 고려한 관리운영기간을 도출하게 된다. 이러한 과정을 여러 번 반복하게 되는데, 일반적으로 결과의 신뢰도를 충족시킬 때까지 N회 반복 시뮬레이션을 한다. 본 연구에서는 N을 1,000회로 설정한다. 시뮬레이션은 마이크로 소프트사의 엑셀에 탑재된 VBA(Visual Basic for application)를 이용하여 프로그래밍하였다.

3. 결과도출

몬테카를로 시뮬레이션으로 계산된 값은 기댓값을 의미하게 되므로 민감도분석의 결과 뿐만 아니라 위험을 고려한 관리운영기간 값을 결정할 수 있다. 수회 반복된 관리운영기간 값의 분포도 및 누적확률분포를 발생시키고 이에 따른 통계량을 산정한다. 통계량은 평균, 중앙값, 분산 등을 산정하고 이를 해석하는 단계이다.

모형의 적용

1. 사례사업 선정

모형 적용을 위해서 필요한 자료는 총사업비, 공사기간, 연도별 운영비용 등이다. 단순한 수치로 가정할 수 있겠으나, 조금 더 현실성 있는 모형의 적용을 위해 현재 운영중인 국내 고속도로 민간투자사업 중 1개 사업을 선정하였으며, 선정된 대상사업은 2009년에 개통하고 2016년 현재도 운영 중인 사업으로 사업비와 운영비 등 개요는 Table 2와 같다.

2. 교통량 증가율 및 변동성 추정

시뮬레이션 모형의 교통량 위험을 고려하기 위해 신뢰성있는 교통량 증가율과 변동성을 추정하여야 한다. 본 연구에서는 국토교통부의 고속도로 민간투자사업 중 현재 개통하여 5년 이상 운영 중인 총 9개 사업의 실제 연도별 교통량을 분석하였다. 대상 고속도로의 개통일과 2015년 기준 현재까지 운영기간 및 연도별 교통량 증가는 Table 3 및 Figure 3 과 같다.

Table 3. Traffic growth and volatility estimates source

	Opening Year	Operating Periods(years)
Road A	2000-12-05	15
Road B	2002-12-23	13
Road C	2006-02-12	10
Road D	2006-06-29	10
Road E	2008-12-01	7
Road F	2009-07-01	7
Road G	2009-07-15	7
Road H	2009-11-01	7
Road I	2009-10-01	7

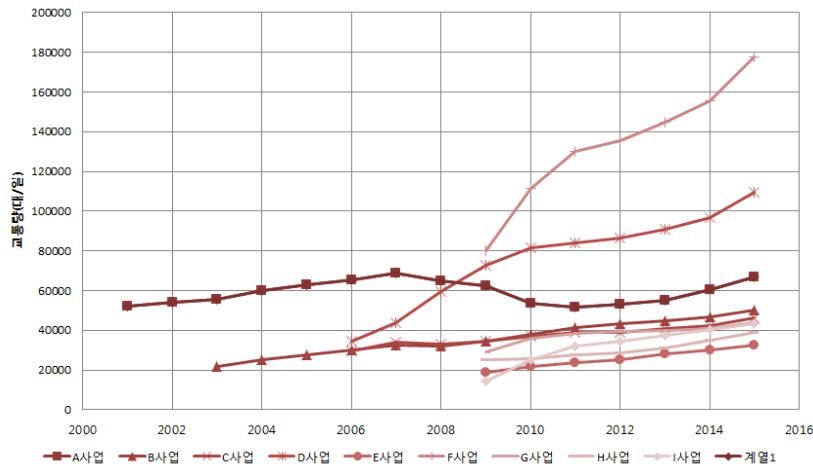


Figure 3. Annual traffic volume data of PPP highway

한편, 교통시설의 경우 도로가 개통한 후 일정기간이 지나기 전까지 램프업(ramp-up)²⁰ 현상이 존재하는 것으로 알려져 있다. 본 연구에서는 대상 고속도로의 전체 운영기간 중 초기 3년을 제외한 기간에 대해서 교통량 증가율과 변동성을 추정하였다.

추정결과 국내 고속도로 민간투자사업의 램프업 기간을 제외한 연평균 증가율은 약 5.5%로 도출되었으며, 변동성은 약 3.9%로 분석되어 시뮬레이션은 이 값을 적용하기로 한다(Table 4 참조).

Table 4. Estimation results of the traffic growth rate and volatility

	Traffic Growth Rate	Volatility
A highway	0.010	0.074
B highway	0.058	0.032
C highway	0.051	0.027
D highway	0.070	0.043
E highway	0.088	0.016
F highway	0.094	0.037
G highway	0.039	0.027
H highway	0.109	0.020
I highway	0.080	0.008
Mean	0.055	0.039

20) 램프업은 신규 교통시설이나 기존 시설의 개통이후 교통량이 안정화되기 전까지 일정 기간 등락을 반복하면 상승하는 현상을 말한다.

다음으로 초기 교통량생성을 위하여 표준정규분포의 초기교통량의 평균과 표준편차를 산정하여야 한다. 첫째 교통량이 정해지면 앞서 산정된 연평균증가율과 변동성이 시뮬레이션 과정에서 적용되기 때문에 초기교통량이 너무 많으면 관리운영기간이 짧게 산정되며, 반대로 초기교통량이 적으면 관리운영기간이 길게 추정되는 결과가 나타난다.

따라서 초기교통량의 생성은 위험을 고려하여 표준정규분포를 따르는 것으로 구성²¹⁾하였으며, 정규분포의 평균과 표준편차는 본 연구의 사례사업의 실시협약을 분석하여 30년간 협약교통량의 평균치를 정규분포의 평균으로 하고, 표준편차는 2009년부터 2015년까지 약 7년간의 실제 교통량을 분석하여 연간 변화율의 표준편차인 10%로 가정하였다.

3. 모형 적용 결과

시뮬레이션은 마이크로 소프트웨어의 엑셀 VBA(Visual Basic for application)을 이용하였다. 적용 할인율에 따라 두 가지 경우에 대해 분석하였다. 첫 번째 경우는 사례사업의 프로젝트의 기대수익률(IRR)인 7%와 두 번째 경우는 정부가 사회기반시설의 경제성 분석시 사용하는 사회적 할인율은 5.5%로 가정한다. 두 가지 할인율은 몬테카를로 시뮬레이션의 NPV가 0이 되는 값을 찾는 현재가치 비용 및 현재가치 수입의 할인율로 입력된다.

적용결과, 할인율이 민간사업자의 기대수익률 7%인 경우, 평균 관리운영기간은 21.2년으로 산정되었으며, 누적확률분포의 5%값은 13.47년, 95%값은 31.08년으로 도출되었다. 즉, 13년에서 31년까지 범위에서 관리운영기간이 결정될 확률이 90%로 해석된다. 또한, 정부의 할인율 5.5%를 적용한 경우 관리운영기간은 평균 17.2년으로 산정되었다. 누적확률분포의 5%값은 12.57년, 95%값은 22.78년으로 추정되어, 교통량 예측 위험을 포함할 경우 약 13-22년 범위에서 관리운영기간이 결정될 확률이 90%로 해석된다(Table 7 참조).

Table 7. Statistics of concession period(year)

	Discount ratio 7%	Discount ratio 5.5%
Mean(years)	21.2	17.2
Standard deviation	6.338	3.328
Median(years)	20.0	17.0
Skewness	2.175	1.354
Kurtosis	6.472	3.364
95% percentile	31.084	22.786
5% percentile	13.471	12.575

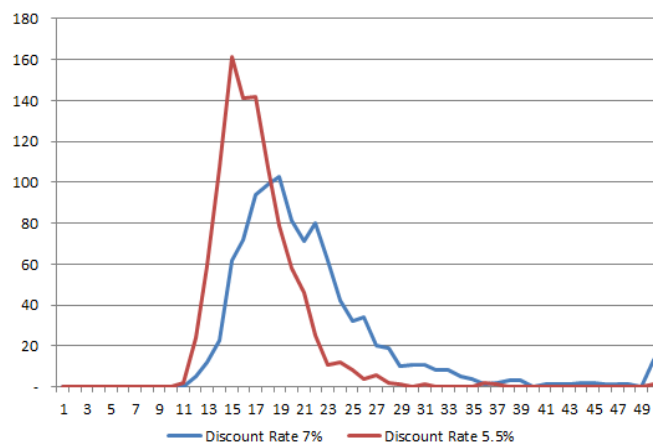


Figure 4. Simulated frequency distribution table

21) Bain(2009)의 연구에서 전세계의 104개 교통사업의 초기교통량의 오차를 분석한 결과 표준정규분포 형태로 나타났다.

할인율이 높은 민간사업자의 분석대안이 관리운영기간이 더 긴 것으로 분석되는데, 이는 수익률이 높을수록 관리운영기간이 길어진다는 것을 의미하고, 관리운영기간이 길어질수록 민간사업자의 수익률은 높아지는 것으로 해석할 수 있다.

시뮬레이션 결과로 도출된 누적확률분포는 교통량 위험에 대해 검토가 가능하다. 사업 주체가 위험중립적이 라면 누적확률분포의 50%값 수준에서 관리운영기간을 설정할 수 있으며, 교통량 위험에 안정적인 수준에서 관리운영기간을 정하고 싶다면 백분위수를 90% 정도의 수준에서 결정할 수 있다(Table 8 참조).

모형적용 사례의 경우 할인율이 7%일 경우 위험중립적 의사결정자는 관리운영기간을 20년, 위험회피적 의사결정자는 28년으로 결정할 수 있고, 할인율이 5.5%일 경우 위험중립적 의사결정자는 16.8년, 위험회피적 의사결정자는 21년에서 정할 수 있다(Figure 5 참조).

민간사업자는 할인율을 높이면서 교통량 위험에 대해 안정적으로 사업을 추진하려고 한다면, 관리운영기간을 길게 가져가려고 할 것이고, 반면 정부입장에서는 가급적 교통량 위험을 민간에 부담하기 위해 할인율은 낮추면서 위험수준은 높게 하려고 할 것이다.

이와 같은 분석으로 관리운영기간 설정시 정부나 민간의 의사결정자들은 교통량 위험을 고려하여 관리운영기간을 정할 수 있다.

Table 8. Cumulative probability distribution of concession period(years)

percentile	Discount rate of 7% (Project IRR)	Discount rate of 5.5% (Social discount rate)
100%	52.7	32.2
95%	31.1	22.4
90%	28.3	21.0
85%	26.6	20.1
80%	25.3	19.4
75%	24.3	18.9
70%	23.4	18.4
65%	22.6	17.9
60%	21.8	17.5
55%	21.1	17.1
50%	20.5	16.8
45%	19.8	16.4
40%	19.2	16.0
35%	18.6	15.7
30%	17.9	15.3
25%	17.2	14.9
20%	16.5	14.5
15%	15.7	14.0
10%	14.8	13.4
5%	13.5	12.6
0%	9.3	9.8

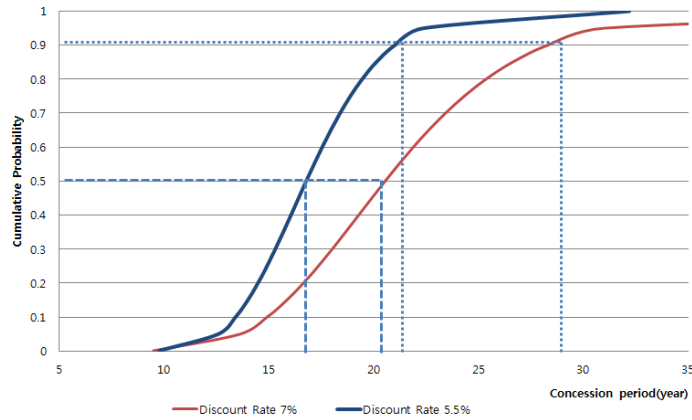


Figure 5. Simulated cumulative probability distribution

결론 및 향후 연구

민간투자사업의 관리운영기간은 사업의 구조 설정에 있어 중요한 변수 중 하나이다. 현재 BTO 방식의 대부분을 차지하고 있는 도로, 철도 사업은 시장 환경에 따른 민간사업자의 수익률 악화와 프로젝트의 가장 큰 위험요인으로 작용하고 있는 교통량 예측에 따른 불확실성으로 사업 추진에 어려움을 겪고 있는 실정이다. 모든 사업에 대해 획일적인 관리운영기간을 적용하는 것은 각 개별 사업들의 고유의 위험요인과 특성이 반영되기 어렵고 그로 인해 프로젝트의 실패 가능성이 커지게 된다. 관리운영기간의 설정은 프로젝트의 경제적 수명 내에서 정부와 민간이 NPV를 나눠가지는 것을 의미하므로 정부입장에서도 면밀한 분석을 통해 적정 관리운영기간을 결정하는 것이 필요하다.

본 연구에서 제안된 방법은 도로분야 BTO 방식의 민간투자사업의 위험 요인 중 교통량 예측 위험을 고려한 관리운영기간을 설정하는 것이다. 먼저 관리운영기간과 교통량 위험의 개념에 대해서 살펴보고 교통량 위험을 고려하기 위한 시뮬레이션을 결정하였다. 시뮬레이션은 전통적으로 위험 및 불확실성 분석을 위해 폭넓게 사용되고 있는 몬테카를로 방법을 적용하였다.

몬테카를로 시뮬레이션(Monte Carlo simulation)의 가장 중요한 요소는 불확실성 변수에 대한 확률분포의 가정이다. 기존의 연구들은 교통량 예측에 대한 확률분포를 단일분포(single probability distribution)를 적용하였으나 이는 장래 교통량 예측치가 이미 전제되어 산정된 위험 값의 결과가 경직될 것으로 판단되었다. 본 연구는 단순한 확률 분포를 적용하기보다는 확률 과정(stochastic process)을 포함하였다. 장래 예측 교통량은 랜덤워크(Random Walk)²²⁾의 무작위적 확률 과정을 적용한 기하브라운 운동(Geometric Brownian Motion: GBM)²³⁾을 따르는 것으로 가정하는 것이다. 이는 위험 요인이 증가 또는 감소뿐만 아니라 불확실성 요소의 장래 증가율을 고려할 수 있기 때문에 수요추정이 완료된 결과에 위험요인을 고려하는 기존 방법론 보다 유연한 결과가 도출될 것으로 판단된다.

제안된 시뮬레이션 모형은 사례 사업을 통해 적용하였다. 사례 사업 분석결과 할인율 5.5% 수준에서 17년, 7% 수준에서 21년으로 관리운영기간이 도출되었고, 교통량 예측 위험을 고려했을 경우 90% 확률에서 각각 13-22년, 14-31년 범위로 나타났다. 그밖에 시뮬레이션 결과는 다양한 통계량을 제공한다. 분석 결과를 토대로 의사결정자들은 자신이 가진 위험 회피 성향에 따라 관리운영기간을 결정하는데 도움 받을 수 있다.

본 연구에서 제안한 시뮬레이션 모형은 교통량만을 불확실한 변수로 고려하였다. 그밖에 민간투자사업의 불확실성 요인인 통행료, 건설 및 운영비용의 증감, 물가상승률 등도 고려한다면 좀 더 종합적인 관리운영기간을 도출할 수 있을 것이다.

22) 랜덤워크는 효율적 시장가설이론의 하나로 주가의 변동은 시계열적으로, 매기 독립적이며 또한 동일한 형태의 확률분포를 갖는 확률변수라는 가설로 과거 정보와는 상관없이 무작위적으로 변동한다는 가정임.

23) 김강수, 양인석, 조성빈(2012)은 민간투자 도로사업의 교통수요 예측 위험가치 산정시 예측 교통량을 기하브라운 운동에 따르는 가정하였다.

민간투자사업의 교통량은 프로젝트 구조의 근간이 되고 있다. 본 연구는 교통량 위험을 적용하는 것에 주안점을 두었으나, 교통량 위험에 대한 원인 분석도 중요하다. 예측 교통량 오차 전반에 대한 선행 연구는 많이 있으나, 민간 투자사업에 국한하여 교통량 오차 분석을 수행한 연구는 많지 않다. 더불어 민간투자사업의 교통량 오차가 체계적으로 분석된다면 사업 추진단계의 경제성 및 재무성 분석시 낙관적 편이나 역사적 시뮬레이션 기법 등 보다 간편한 위험 적용이 가능할 것으로 보인다.

REFERENCES

- Bain R. (2009), Error and Optimism Bias in Toll Road Traffic Forecasts, *Transportation*, 36, 469-482.
- Flyvbjerg B., Holm M., Buhl S. (2005), How (in) Accurate are Demand Forecasts in Public Works Projects?, *Journal of the American Planning Association*, 71, 131-146.
- Flyvbjerg B., Holm M., Buhl S. (2006), Inaccuracy in Traffic Forecasts, *Transport Reviews*, 26, 1-24.
- Irwin (2007), Government Guarantees: Allocating and Valuing Risk in Privately Financed Infrastructure Projects, *World Bank*.
- Jung D.g. (2001), A Study on the Financial Risk Assessment of SOC Private Investment Projects, Master thesis, University of Seoul.
- Kim K. S, Cho S. B, Yang I. S. (2012), Valuing the Risks Created by Road Transport Demand Forecasting in PPP project, Korea Development Institute.
- Kim K. S. (2007), Rationalization for Decision-making on SOC Investment, Korea Development Institute.
- Kim K. S. (2010), Rationalization for Decision-making on SOC Investment(II): Risk Analysis of Estimated Subway Ridership, Korea Development Institute.
- Lee D. H. (2016) Rational Allocation of Risks on PPP Project by Concession Contract, *Legal Research Institute of Korea University*, 80.
- Lee Y. T., Kim S. B., Won J. M. (1999), Risk Analysis of Highway Investment by Private Sectors, *J. Korean Soc. Transp.*, 17(5), Korean Society of Transportation, 33-42.
- Ng S. T., Xie J., Cheung Y. K., Jefferies M. (2007), A Simulation Model for Optimizing the Concession Period of Public-private Partnerships Schemes, *International Journal of Project Management*, 25, 791-798.
- Ng S. T., Xie J., Skitmore M., Cheung Y. K. (2007), A Fuzzy Simulation Model for Evaluation the Concession Items of Public-private Partnership Schemes, *Automation in Construction*, 17, 22-29.
- Park K. A. (2007), A Comparative Analysis of PSC and PFI for a Cost-effective Solution for Sewage Treatment Facilities, Doctorate thesis, Seoul National University.
- Shen L. Y., Bao H. J., Wu Y. Z., Lu W. S. (2007), Using Bargaining-Game Theory for Negotiation Concession Period for BOT-Type Contract, *Journal of Construction Engineering and Management*, 133(5), 385-392.
- Shen L. Y., Li H., Li Q. M. (2002), Alternative Concession Model for Build Operate Transfer Contract Projects, *Journal of Construction Engineering and Management*, 326-330.
- Shen L. Y., Wu Y. Z. (2005), Risk Concession Model for Build/Operate/Transfer Contract Projects, *Journal of Construction Engineering and Management*, 211-220.
- Wachs M. (1992), Ethical Dilemmas in Forecasting for Public Policy, *Public Administration Review*, 42(6), 562-567.
- Yu C.Y., Lam K.C. (2013), A Decision Support System for the Determination of Concession Period Length in Transportation Project Under BOT Contract, *Automation in Construction*, 31, 114-127.
- Zhang X., AbouRizk S. M. (2006), Determining a Reasonable Concession Period for Private Sector Provision of Public Works and Services, *Can. J. Civ. Eng.*, 33, 622-631.