

민간투자 도로사업의 교통수요 예측위험의 경제적 가치

김 강 수

(한국개발연구원 선임연구위원)

조 성 빈

(송실대학교 경제학과 부교수)

양 인 석

(한국개발연구원 전문위원)

Valuing the Risks Created by Road Transport Demand Forecasting in PPP Projects

Kangsoo Kim

(Executive Director & Senior Fellow, PIMAC, KDI)

Sungbin Cho

(Associate Professor, Department of Economics, Soongsil University)

Inseok Yang

(Specialist, Division of Public Investment Evaluation, PIMAC, KDI)

* 본 논문은 필자들이 수행한 『민간투자 도로사업의 교통수요 예측위험가치』(정책연구시리즈 2012-17, 한국개발연구원, 2012)를 수정·보완한 것임을 밝힌다.

김강수: (e-mail) kskim@kdi.re.kr, (address) Korea Development Institute, 47, Hoegi-ro, Dongdaemun-gu, Seoul, 130-740, Korea.

조성빈(교신저자): (e-mail) sungbin.cho@ssu.ac.kr, (address) Department of Economics, Soongsil University, 369, Sangdo-ro, Dongjak-gu, Seoul, 156-743, Korea.

양인석: (e-mail) isyang@kdi.re.kr, (address) Korea Development Institute, 47, Hoegi-ro, Dongdaemun-gu, Seoul, 130-740, Korea.

- Key Word: 도로 민간투자사업(Road PPP Projects), 교통량 예측위험의 시장가치(Market Value of Traffic Volume Forecasting Risk), 리스크 프리미엄(Risk Premium)
- JEL Code: R40, R41, R42, R48, R49
- Received: 2013. 3. 25 • Referee Process Started: 2013. 4. 2
- Referee Reports Completed: 2013. 10. 28

ABSTRACT

The purpose of this study is to calculate the economic value of transport demand forecasting risks in the road PPP project. Under the assumption that volatility of the road PPP project value occurs only in regard with uncertainty of traffic volume forecasting, this study calculates the economic value of the traffic forecasting risks in the case of the road PPP project. To that end, forecasted traffic volume is assumed to be a stochastic variable and to follow the Geometric Brownian motion as time passes. In particular, this study attempts to differentiate itself from existing studies that simply use an arbitrary assumption by presenting the application of different traffic volume growth volatility and the rates before and after the ramp-up period. Analysis of the case projects reveals that the risk premium related to traffic volume forecast of the project turns out as 7.39~8.30%, without considering option value—such as minimum revenue guarantee—while the project value volatility caused by transport demand forecasting risks is 17.11%. As the discount rate grows higher, the project value volatility tends to decrease and volatility in project value is always suggested to be larger than that in transport volume influenced by leverage effect due to fixed expenditure. The market value of transport demand forecasting risk—calculated using the project value volatility and risk premium—is analyzed to be between 0.42~0.50, implying that a 1% increase or decrease in the transport amount volatility would lead to a 0.42~0.50% increase or decrease in risk premium of the project.

민간투자 도로사업의 경우, 사업의 미래 수익성과 직접적으로 관련 있는 예측 교통량의 불확실성과 이에 따른 위험이 민간 운영자에게 이전된다. 따라서 교통량 예측위험이 민간투자 도로사업의 추진에 어느 정도 영향을 미치며, 이러한 위험의 실제적인 경제적 가치를 파악하는 것은 민간투자사업의 적격성을 파악하고 이를 높일 수 있는 중요한 정보이다. 본 논문의 목적은 민간투자 도로사업의 교통수요 예측위험의 경제적 가치를 산정하는 것이다. 이를 위해 예측 교통량은 불확실성이 존재하는 확률변수이며, 시간이 경과하면서 기하 브라운 운동을 따른다고 가정한 후 민간투자사업의 가치변동성을 예측하는 방안을 제안하였다. 특히 본 논문에서는 개통 후 도로사업의 교통량 형성 특성을 고려한 램프업 기간 전후의 상이한 교통량 증가율과 그 변동성을 적용하여 단순히 임의적으로 가정한 기존 연구와 차별화하였다. 사례 사업

ABSTRACT

분석 결과, 예측된 해당 민간투자사업의 교통수요 예측 리스크 프리미엄은 출자 건설회사의 시가총액을 고려하지 않고 단순평균하는 경우 7.39%, 시가총액을 가중하여 평가하는 경우 8.30%로 분석되었으며, 교통수요 예측위험에 따른 해당 민간투자사업의 가치변동성은 17.11%로 예측되었다. 할인율이 클수록 프로젝트의 가치변동성은 작아졌는데, 비용의 고정으로 인한 레버리지 효과는 교통량 변동성보다 프로젝트의 가치변동성을 크게 하였다. 교통수요 예측위험에 따른 민간투자사업의 가치변동률과 리스크 프리미엄을 통해 산출하는 사례 민간투자사업 교통량 예측위험의 시장가치는 0.42~0.50 사이로 분석되었는데, 이는 교통량 변동성이 1% 증가하거나 감소하면 이에 따른 해당 프로젝트 위험 프리미엄은 0.42~0.50% 증가하거나 감소함을 의미한다.

I. 서론

민간투자사업의 목적은 부족한 재정을 보완하기 위해 민간의 재원을 활용하고 민간의 창의와 경쟁을 통하여 효율성을 제고하는 데 있다. 1994년 민간자본유치촉진법의 제정으로 민간투자제도가 도입된 이래 민간투자사업의 투자규모가 지속적으로 확대되었고, 2010년 9월 말 현재 총 55.5조원에 이르고 있다. 그러나 민간투자사업 추진을 위한 자본조달 여건이 점차 악화되어 정부와의 협약이 완료된 민간투자사업도 착공하지 못하거나 예정과 달리 지연 착공되고 있는 사례가 늘고 있다. 특히 민간투자 도로사업의 경우, 사업의 미래 수익성과 직접적으로 관련 있는 예측 교통량의 불확실성과 이에 따른 위험이 민간 운영자에게 이전되어, 정확한 교통량 예측과 이에 따른 사업위험 관리가 민간투자 도로사업의 성공적인 추진요소로 인식되고 있다. 따라서 민간투자 도로사업의 교통량 예측의 정확성을 높이고자 하는 노력과 더불어 교통량 예측위험이 전체 민간투자 도로사업의 추진에 어느 정도 영향을 미치며, 이러한 위험의 실제적인 경제적 가치를 파악하는 것은, 해당 민간투자사업 추진에 대한 적격성(Value for Money)을 파악하고 이를 높일 수 있는 중요한 정보일 뿐만 아니라 민간투자사업자와 정부 간의 이견을 좁혀 적정한 수준의 합의에 이르게 하는 데 도움을 줘, 원활한 민간투자사업 추진에 큰 역할을 할 수 있다. 또한 교통량 추정위험의 경제적 가치의 산정을 통해 교통량과 연계되는 다양한 옵션가치를 산정할 수 있으며, 정부 입장에서 보다 적은 비용이 소요되는 최적 옵션조건 분석도 가능하다.

본 논문의 목적은 민간투자 도로사업의 교통수요 예측위험의 경제적 가치를 산정하는 것이다. 민간투자 도로사업의 가치는 교통량 예측의 불확실성에 따라서 변화한다는 가정하에서 교통량 예측의 불확실성에 따른 민간투자 도로사업의 가치변동성 산정을 통해 교통량 예측위험의 시장가치를 산정한다.

논문의 주요 내용은 다음과 같이 구성되어 있다. 논문의 목적 및 배경을 설명하는 본장에 이어, 제Ⅱ장에서는 민간투자 도로사업의 교통량 예측과정 및 불확실성에 대해서 살펴본다. 교통량 예측의 불확실성은 교통량 예측단계마다 내재되어 있는데, 도로부분의 교통량 예측과정을 개략적으로 살펴보고 교통량 예측의 위험 원인과 실태를 살펴본

다. 그리고 기존 민간투자 도로사업의 교통량 예측위험의 경제적 가치와 관련된 연구를 살펴봄으로써 시사점을 이끌어 내도록 한다.

제Ⅲ장에서는 교통량 예측의 불확실성의 결과로 나타나는 교통량 예측위험에 대한 시장가치 산정방법을 살펴본다. 전통적인 재무이론 방법론을 이용하여 교통량 예측의 불확실성에 따른 민간투자 도로사업의 가치 변화를 시뮬레이션 방법을 통해 산정하고, 이를 바탕으로 교통량 예측위험의 시장가치를 산정하는 방안을 제시한다. 특히 예측 교통량을 불확실성이 존재하는 확률변수로 상정하고, 이러한 교통량이 시간에 따라 기하 브라운 운동(Geometric Brownian Motion: GBM)을 따른다고 가정한 후 민간투자사업의 가치변동성을 예측하는 방안을 제시한다. 제Ⅳ장에서는 제Ⅲ장에서 제시한 방법론을 바탕으로 실제 추진된 민간투자사업의 교통량 예측위험 프리미엄과 시장가치를 산출한다. 마지막으로 제Ⅴ장에서는 논문의 요약 및 결론과 더불어 추후 연구과제를 제시한다.

Ⅱ. 도로 교통수요 예측의 불확실성

1. 도로 교통수요 예측

일반적인 교통부문에 있어서 도로 교통수요 예측은 지역 i 에서 지역 j 까지의 기종점 교통량을 도로 네트워크(network)에 배정함으로써 이루어진다. 이때의 배정방법은 통행자의 노선 선택에 대한 가정이 중요한 역할을 한다. 예를 들어 통행자의 노선 선택에는 해당 노선의 경관, 안전성, 익숙함 등 다양한 노선 선택 기준이 있을 수 있다. ‘All or Nothing’ 노선 선택방법에서는 모든 통행자가 지역 i 에서 지역 j 로 통행할 때 노선 선택 기준을 비용 최소화라는 기준에 두고 최소비용 노선에 모든 교통량을 배정한다.¹ 한편, Beckman *et al.*(1956)이 제시한 사용자 균형배정(user equilibrium) 노선 선택방법은 전체 네트워크의 Wardrop의 제1차 조건²을 만족시키는 함수식에서 교통량을 산출하는

1 도로 네트워크에서 노선은 다양한 링크(link)로 구성된다. 교통량에 따라 변화하는 링크의 비용을 계산한 후 이러한 링크비용의 합인 노선비용을 산출한다.

2 Wardrop(1952)에서 Wardrop의 제1차 조건은 “사용자가 실제로 선택한 모든 경로의 통행시간은 모두 동일하며, 아직 사용되지 않은 어떤 경로의 통행시간보다 크지 않다.”는 조건이다. (“The journey time on all the routes actually used are equal, and less than those which would be experienced by a single vehicle on any unused route.” p.345)

방법이며, 교통분석에서 가장 많이 사용되는 방법이다. 즉, Wardrop의 제1차 조건하에서 링크의 교통량을 산출하기 위한 함수식을 만들고 이 함수식의 해를 구함으로써 각 링크의 교통수요, 즉 교통량을 예측하게 된다.

다음 식은 각 링크의 교통량을 산출하기 위한 목적함수(Z)이고, 이러한 목적함수를 최소화하는 해가 본 논문에서 관심을 두는 도로의 예측 링크(link) 교통량이다.

$$Z = \sum_a \int_0^{v_a} C_a(v) dv \quad (1)$$

여기서 $C_a(v)$ 는 교통량(v)에 따라 증가하는 단조증가(non-decreasing) 비용함수로서 통행비용 지체함수라고 한다. v_a 는 링크 a 의 교통량(v)을 의미한다.

2. 도로 교통수요 예측 오차 및 위험

도로 예측 교통량은 도로 네트워크(network)의 표현 정도와 방법, 노선 선택 알고리즘, 통행비용(시간)함수, 그리고 지역 i 에서 지역 j 까지의 기종점 교통량의 불확실성 등으로 인해 예측 교통량과 실제 교통량의 차이인 교통량 예측 오차가 발생할 수 있다. 이러한 기본적인 모형 및 외생요인 이외에 변수의 측정 잘못에서 비롯되는 측정 오차도 교통량 예측 오차의 원인이다.³

Standard & Poor's(S&P's)는 실제적으로 발생하는 교통량 예측 오차를 분석한 결과, 2002년 기준 운영 첫째 실제 대 예측 교통량의 평균 비율은 0.734이며, 실제 대 예측 교통량 비율의 78%가 0.9 미만이었고, 실제 대 예측 교통량 비율의 경우 12%가 1.05 이상임을 확인하였다.⁵ Bain and Plantagie(2003)의 연구에서는 증가한 표본을 바탕으로, 통행료 징수 역사가 있는 국가와 없는 국가의 교통량 예측 오차 결과를 분석하였다. 유료도로를 시행한 경험이 있는 국가의 경우 실제 교통량 대비 예측비율의 평균이 0.81로 나타나, 그렇지 않은 국가의 0.58과의 차이가 극명하게 나타나는 것으로 분석하였다. Bain and Plantagie(2004)의 연구에서도 새로운 유료 고속도로에서의 교통량 예측

3 교통량 예측 오차의 원인에 대해서는 김강수(2007, 2010)에 비교적 자세히 제시되어 있다.

4 예측의 정확도를 나타내는 정확도 비율이 실제 교통량/예측 교통량 비율로 표현되었다. 따라서 이 값이 1 이하이면 과다 예측된 경우를 의미하며, 1 이상이면 과소 예측된 경우를 의미한다.

5 분석에 사용된 자료는 Bain and Wilkins(2002)의 32개 도로사업, Bain and Plantagie(2003)의 68개 도로사업, Bain and Plantagie(2004)의 87개 유료도로 프로젝트이다.

위험과 무료 고속도로의 교통량 예측위험을 비교하였다. 보고서에 의하면 무료도로의 경우 교통량 과다 및 과소 예측비율이 비교적 균등하게 분포하는 것으로 나타났고, 유료도로의 경우 교통량 과다 예측이 상대적으로 많은 것으로 분석하였다.

Flyvbjerg *et al.*(2002, 2006)은 전 세계에서 수행된 210개의 교통시설 투자사업에 대해 교통량 예측치와 실적치를 비교하였는데, 예측치와 실적치의 차이가 20% 이상인 사례는 철도사업에서 85%, 도로사업에서 50%에 이른다고 분석하였다. 특히 교통량 과다 예측 현상은 연대별, 국가별, 사업별로 큰 차이 없이 무작위로 나타나고, 교통량 과다 예측 현상이 개선되지 않고 있는 것은 예측기법의 불완전성이나 자료의 불충분성에서 오는 문제가 아니라고 주장하였다. 이러한 Flyvbjerg *et al.*(2002, 2006)의 결과는 Mierzejewski(1995)의 견해와도 일치하는데, 장기적으로도 교통량 예측 오차는 시간이 경과함에 따라 서로 상쇄되어 줄어들기보다는 오히려 증가하며, 이러한 차이가 교통량을 발생시키는 토지개발계획 등의 불확실성과 교통량 예측을 위한 기초자료의 불확실성에서 기인하는 것으로 분석하였다.

김강수(2007)에서도 우리나라의 지역 간 통행을 주로 담당하는 국도 및 고속도로 부문에 대해, 타당성 평가 또는 실시설계 시 예측했던 교통량 예측 결과와 실제 이용하는 교통량을 비교함으로써 교통량 예측 오차를 분석하였다. 분석 결과, 전체적으로 실제 교통량과 비교 시 미래 교통량이 과다 예측된 것으로 분석되었다. 평균 교통량 예측치가 실제 이용 교통량과 비교해 볼 때 평균 약 22% 과다 예측되었다. 도로사업을 재정사업과 민자사업으로 구분 시, 민자사업의 도로는 평균 약 50%의 교통량이 과다 예측되어 있는 것으로 분석되었다. 반면, 재정사업으로 추진한 국도와 고속도로 사업의 경우, 교통량이 약 21% 정도 과다 예측되어 민간투자사업의 교통량 예측이 재정사업보다 낙관적인 것으로 분석되었다. 시간이 흐를수록 교통수요 예측을 위한 기초자료가 많아지고, 분석방법이 발달함에 따라 교통량 예측의 정확성이 높아질 수 있을 것으로 판단되었으나, 타 변수에 대한 영향을 통제하여 분석한 결과 시간 경과에 따른 교통수요 예측 오차는 감소하지 않은 것으로 분석되었다. 김강수(2007)에서는 이처럼 대부분의 교통량이 과다 예측되는 경향이 교통량 예측의 불확실성을 유발하는 모형 및 자료의 특성과 더불어 낙관적인 가정과 사업 추진으로 기우는 편향 때문에 발생하는 것으로 판단하였다. 특히 분석에 포함된 민간투자사업의 경우 모두 교통량이 상당 부분 과다 예측되었는데, 이는 해당 민간투자 도로사업의 추진 시 최소운영수입 옵션이 존재했기 때문인 것으로 분석하였다.

이처럼 실제 교통량과 예측 교통량을 비교한 연구를 종합해 보면, 교통량 예측은 불확실성이 존재하는 위험변수이고 이러한 위험이 단순히 무작위로 발생하기보다는, 교통량 예측을 위한 제도적인 측면과 예측자의 의도적인 경향, 그리고 특히 민간투자사업에 내재하는 계약조건에 따라 교통량 예측 오차가 발생하는 것으로 제시하고 있다.

따라서 본 연구에서 다루고자 하는 우리나라 민간투자사업의 교통량 예측 불확실성 산정도 단순히 실제 교통량과 예측 교통량의 차이를 교통량 예측의 불확실성으로 파악하기보다는 위와 같은 '편의'가 제거된 교통수요 예측의 불확실성을 산정해야 함을 의미하고 있다.

이러한 측면에서 본 논문에서는 현재 시현되고 있는 실제 교통량과 예측 교통량의 차이를 교통량 예측의 불확실성으로 파악하지 않고, 예측 교통량을 로그정규분포를 따르는 확률적인 변수로 가정한 후, 시뮬레이션 방법을 통해 발생하는 각 도로 링크 교통량의 분산을 도로 링크 교통량 추정의 불확실성으로 상정한다.

3. 기존의 교통량 예측위험의 경제적 가치 연구

교통량 예측은 상당한 정도의 오차위험을 내포하고 있다. 특히 민간투자 도로사업의 교통량 예측 결과는 민간투자사업의 수익과 직접적으로 연결되어 있다. 교통량 예측위험은 예측 오차의 영향이 크고, 다른 위험과 달리 민간투자사업 전 운영기간에 걸쳐 발생해 사실상 분산하기 어려운 특징이 존재한다. 이런 측면에서 교통량 예측위험은 운영 중인 민간투자사업의 재무적 위험과 동일시되고 있으며, 교통량 예측위험이 민간투자사업의 수익성에 어느 정도의 영향을 미치는지 분석하는 것은 민간투자사업의 투자자뿐만 아니라 민간투자사업의 적격성을 강조하는 정부에 있어서 매우 중요한 정보이다.

기존 연구에서도 도로 교통량 예측위험을 통해 최소운영수입보장 또는 교통량 수준과 관련 있는 옵션(예를 들어 교통량 증가에 따른 추가 차로의 건설허가권 등)가치 산정을 통해 민간투자 도로사업의 교통량 예측위험 프리미엄을 산정하고 있으나, 옵션가치 산정에 절대적으로 영향을 미치는 교통량 변수의 예측 불확실성 및 초기 형성과정, 증가 또는 변동성에 대해 매우 단순한 가정을 하고 있다. 예를 들어 Irwin(2004)은 우리나라의 최소운영수입 및 환율 보장제도(revenue and exchange-rate guarantee)의 옵션가치를 산정함에 있어서 교통량 예측위험을 고려하였는데, 서울~부산 고속도로, 서울~인천 고속도로, 그리고 대전~순천 고속도로의 통행료 수입의 변동성을 사용하여, 대표치

에 대한 의문뿐만 아니라 2000년 이후 본격적으로 개통된 우리나라의 민간투자 도로사업의 특성을 반영하지 못하고 있다.

신성환(2009)도 도로부문 교통량 예측위험에 대한 프리미엄을 교통량 예측 오차위험 대비 적립 자본금(buffer)에 해당하는 금액을 사업 시작과 함께 무위험인 국채에 투입한다고 가정하여 최소운영수입보장 옵션의 가치를 분석하였는데, 연도별 예측 수입 대비 실제 수입의 수준이 운영 개시 시점부터 총운영기간 동안 20% '하락'함을 가정하고, 교통량 예측위험 프리미엄도 기존 Irwin(2004)의 가정을 차용하여 산정하였다. 그리고 최초 통행료 수입의 수준은 천안~논산 고속도로의 연도별 평균 통행료 수입의 성장률, 수입의 변동성은 서울~부산, 서울~인천, 대전~순천 고속도로의 변동성을 적용하였다.

외국의 관련 연구도 민간투자사업이 갖고 있는 다양한 '옵션'을 가치화하는 과정에서 교통량 예측위험 프리미엄을 고려하였으나 예측 교통량의 확률분포와 시간 경과에 따른 교통량 변화의 특성을 면밀하게 고려하지 않고 단순하게 가정하였다. 예를 들어 Banister(2005)와 Brandao and Saraiva(2007)는 교통량의 증가율과 변동성을 산정함에 있어서 GDP의 변동률을 차용하여 적용하였고, Brandao and Saraiva(2008)는 전문가의 판단에 따른 임의의 교통량 증가 변동률을 적용하였다. Cheah and Liu(2006)는 교통량 증가율을 1998~2007년까지는 18%, 2007년 이후에는 9%로 단순히 가정하여 분석하였다. Garvin and Cheah(2004)도 교통량 증가율을 개통 후 최초 6년 동안은 14%, 잔여기간은 7%로 적용하였으나 이에 대한 논거는 찾을 수 없다.

이처럼 기존 연구에서는 민간투자사업에 내재하고 있는 교통량 관련 옵션의 가치를 산정함에 있어서 교통수요 예측위험의 프리미엄 또는 가치 산정을 다루고 있으나, 산정 결과에 절대적으로 영향을 미치는 초기 교통량 형성 및 장래 교통량 증가율, 그리고 교통량 증가율의 변동성뿐만 아니라 예측 교통량 자체가 불확실성을 포함하는 확률변수임을 고려하지 않는 단순한 가정을 적용하여 교통량 예측위험의 가치 산정 결과를 제시하고 있다.

Ⅲ. 민간투자 도로사업의 교통량 예측위험의 경제적 가치 추정방법

본 장에서는 민간투자 도로사업 가치의 변동성에 영향을 미치는 불확실한 위험변수를 교통량으로 한정⁶하고, 교통량의 확률적인 변화에 따른 민간투자사업의 변동성 산정을 통해 교통수요 예측위험에 대한 프리미엄과 이에 대한 시장가치를 산정하는 방안을 제안한다.

이를 위해 민간투자 도로사업 투자자는 투자금액의 투자기간에 걸친 시간가치뿐만 아니라 교통량 예측위험에 상응하는 보상가치(리스크 프리미엄)를 기대한다는 점을 감안하고, 투자자의 기대수익률과 투자위험에 대한 보상수익률과의 관계를 나타내는 자본자산 가격결정모형(Capital Asset Pricing Model: CAPM) 구축을 통해 교통수요 예측위험 프리미엄을 산출하는 방안을 제안한다. 민간투자사업 가치의 변동성은 과거 도로사업의 교통량 증가율 및 변동성, 그리고 시뮬레이션 방법을 통한 교통량의 확률적인 변화를 통해 산정하고, 이를 통해 투자자들의 도로 교통량 예측위험에 대한 시장가치를 산정하는 방안을 제안한다.

1. 교통량 예측위험의 경제적 가치 산정모형

가. 개요

합리적인 민간투자 도로사업 투자자라면, 투자금액의 투자기간에 걸친 시간가치뿐만 아니라 교통량 예측위험을 회피하기 위한 보상가치(리스크 프리미엄) 또는 초과기대수익을 요구하게 될 것이며, 이러한 초과기대수익을 교통수요 예측위험에 대한 프리미엄으로 정의할 수 있다. 즉, 민간투자 도로사업 투자자는 민간투자사업에 대한 교통수요

6 민간투자 도로사업의 교통량 예측 결과는 민간투자사업의 수익과 직접적으로 연결되어 있으며, 예측 오차의 영향이 크다. 이로 인해 교통량 예측위험은 민간투자사업의 재무적 위험과 동일시되고 있는 등 민간투자 도로사업 가치의 변동성에 가장 큰 영향을 미치는 위험변수이다. 본 논문의 목적은 민간투자 도로사업의 교통수요 예측위험의 경제적 가치를 산정하는 것으로 논문의 목적 및 교통량 예측위험의 중요성을 감안하여 교통량 추정위험만을 불확실성 변수로 상정하여 분석하였다.

예측위험의 시장가격(λ)에 교통수요 예측 불확실성 때문에 변할 수 있는 민간투자사업의 가치변동(σ_p)을 곱한 만큼을 보상하는 초과기대수익률을 기대할 것이며, 이를 식으로 표현하면 다음과 같다.

$$\mu - r = \lambda \sigma_p \quad (2)$$

여기서 μ 는 프로젝트(민간투자사업) 기대수익률, r 은 무위험수익률로서 투자금액의 투자기간에 걸친 시간가치 보상을 의미한다. 따라서 $\mu - r$ 은 교통량 예측 리스크 프리미엄, 즉 초과기대수익률이 된다. λ 는 프로젝트(민간투자사업)에 대한 교통수요 예측위험에 대한 시장가치, σ_p 는 교통수요 예측위험을 통해 변하는 프로젝트(민간투자사업)의 가치변동성이다.

식 (2)의 좌변은 교통량 예측 리스크 프리미엄을 나타내는데, 투자자의 기대수익률과 투자위험에 대한 보상수익률 간의 관계를 나타내는 자본자산 가격결정모형(Capital Asset Pricing Model: CAPM)으로 표현할 수 있고, 교통량 예측 리스크 프리미엄 $\mu - r$ 은 예측되는 베타(β)와 $E[R_m] - r$ 의 곱으로 표현할 수 있다.⁷

$$\mu = r + \beta(E[R_m] - r) \leftrightarrow \mu - r = \beta(E[R_m] - r) \quad (3)$$

여기서 $E[R_m]$ 은 민간투자사업 시장의 기대수익률로서, $E[R_m] - r$ 은 프로젝트의 초과수익률을 의미하게 된다. β 는 해당 프로젝트와 전체 민간투자사업 기대수익률 간의 연관성을 나타낸다.

민간투자 도로사업 교통량 예측의 위험가치를 산정하기 위해서는, 확실적인 교통량 변화에 따른 프로젝트(민간투자사업) 가치의 변동성도 계산해야 하는데, 민간투자사업 가치의 변동성(σ_p)은 확률변수인 교통량의 변동에 따라 몬테카를로 시뮬레이션을 통해 산출한다.

본 논문에서는 기하 브라운 운동(Geometric Brownian Motion: GBM)에 따른 장래 교통량 변화뿐만 아니라 t 년도의 교통량(K_t) 자체도 확률변수라고 가정한다. 즉, 난수 발생과정을 통해 로그정규 확률분포인 연도별 교통량을 산출하고 이에 따라 변하는 민간투자사업의 현금유입⁸의 표준편차를 통해 민간투자사업의 가치변동성 σ_p 를 구한다.

7 건설 및 도로 사업의 위험가치 산정에 있어 CAPM 등의 모형을 통한 예측방법론에 대한 이론적인 개요 및 논의는 Cheah and Liu(2006) 및 Wooldridge *et al.*(2002) 등을 참고하라.

8 민간투자 도로사업 가치의 불확실성이 교통량 예측의 불확실성에서만 기인한다고 가정하는 경우, 민간투자사업 가치의 변동성(σ_p)은 교통량 예측 변동성에 따른 민간투자 도로사업의 현금유입의 변동성의

추정된 β , σ_p 를 통해 민간투자 도로사업 교통량 예측의 위험가격(λ)을 산출할 수 있는데, 이는 교통량 예측 리스크 프리미엄을 교통량 예측위험에 따른 프로젝트의 가치변동성으로 나눈 값, 즉 교통량 위험 단위당 리스크 프리미엄으로 계산된다.

$$\lambda = \frac{\mu - r}{\sigma_p} = \frac{\beta(E[R_m] - r)}{\sigma_p} \quad (4)$$

나. 자본자산 가격결정모형의 베타값 추정

민간투자 도로사업 교통량 예측의 위험가격(λ)은 교통량 예측 리스크로 인한 시장 프리미엄을 교통량 예측위험에 따른 프로젝트의 가치변동성으로 나눈 값, 즉 교통량 위험 단위당 리스크 프리미엄으로 계산된다고 앞 소절에서 제시하였다.

본 논문에서는 자본자산 가격결정모형(CAPM)에 의해 시장 프리미엄($\mu - r$ 또는 $\beta(E[R_m] - r)$)을 추정하는데, 추정모형은 다음과 같이 상정한다.

$$R_{c,t} - r_t = \alpha_c + \beta_c(R_{m,t} - r_t) + e_{c,t} \quad (5)$$

여기서 좌변의 $(R_{c,t} - r_t)$ ⁹는 무위험수익률을 차감한 건설업 포트폴리오의 수익률이고, 우변의 $(R_{m,t} - r_t)$ ¹⁰는 무위험수익률을 차감한 시장수익률이다.

한편, 본 논문에서 CAPM 모형을 이용한 베타값은 개별 프로젝트의 수익률 자료 대신에 전체 건설사의 주식수익률을 사용하여 예측하였다. 엄밀한 의미에서 β 는 해당 프로젝트 수익률과 전체 민간투자 도로사업의 기대수익률 간의 연관성을 나타내므로, 해당 프로젝트에 소요된 부채와 자기자본의 가중평균인 수익률 자료를 이용하여 예측해야 하나, 본 논문에서는 건설사의 자기자본에 해당하는 건설사 주식수익률을 사용하여 β 를 예측하였다.¹¹ 따라서 본 논문에서 예측하는 베타는 이러한 개별 프로젝트의 수익률 대신에 전체 건설사의 주식수익률로 예측한 일종의 근사치로 해석할 수 있다.

로 해석할 수 있다.

9 식 (4)의 $\mu - r$ 을 의미한다.

10 식 (4)의 $E[R_m] - r$ 을 의미한다.

11 김재형(2006)에서는 전체 건설사들의 매출조정 '자산'수익률을 사용하여 베타값을 예측하였으나, 이 또한 민간투자사업에 참여했던 전체 건설사의 자산수익률이라는 점에서 여전히 해당 프로젝트에 참여한 건설사들의 수익률과 괴리가 있을 수 있다. 본 논문에서도 매출조정 자산수익률을 이용하여 베타값을 예측하였으나 본 논문의 분석 기간과 자료를 대상으로 예측한 베타는 통계적으로 유의하지 못한 결과가 제시되었다.

1) 분석자료 및 방법론

가) 분석자료

분석 대상이 되는 건설사는 증권업 분류에 의해 건설업에 포함되는 건설사와 민간투자사업에 참여한 기업의 합집합으로 구성할 수 있다. 민간투자사업에 참여한 건설회사는 131개인데, 이 중 상장건설회사는 46개이며, 주가자료가 존재하는 상장건설회사는 68개이다.¹²

분석기간도 시장 프리미엄과 베타값을 산정하는 데 있어 중요한 요소인데, 본 논문에서는 2001년 7월부터 2011년 12월까지의 기간으로 월별 자료를 이용하여 베타값을 예측하고자 한다. 주가자료는 분석 대상 기간 이전에도 존재하나 1998년 외환위기 이후 구조조정과정이 진행되고 외국인 증권직접투자와 관련한 규제가 변화하였고, 집합투자기구의 비중이 2001년 이후 빠르게 증가한 점을 고려하여 2001년 7월 이후의 자료를 대상으로 하고자 한다.

주가자료는 WiseFN으로부터 추출할 수 있는데, 배당수익률을 고려한 수정주가를 기준으로 월별 수익률을 구하고 무위험수익률은 10년 만기 국고채수익률을 월별 수익률 자료로 환산하여 사용한다.¹³ 시장 포트폴리오로서 코스피(KOSPI)지수를 벤치마크로 삼는다.

이상의 기준으로 정리한 표본의 요약통계는 <Table 1>에 제시되어 있다. 첫 번째 열은 전체 표본의 단순평균을, 그리고 두 번째와 세 번째 열은 시가총액을 가중치로 한 경우와 동일한 가중치를 적용한 포트폴리오의 경우를 나타낸다.

나) 방법론

상장건설사의 시장 프리미엄을 예측하는 방법으로는 전체 자료를 동질적으로 취급하여 풀링(pooling) 예측하는 방법, 개별 기업별로 예측한 뒤 기업별 예측치의 평균값을 이용하는 방법, 각 시점별로 포트폴리오를 구축하고 포트폴리오의 시계열 자료에서 베타값 및 시장 프리미엄을 예측하는 방법 등 세 가지를 생각할 수 있다.

첫 번째 방법의 경우 주가수익률에서 일반적으로 발견되는 높은 횡단면 상관관계

¹² 상장폐지 및 시장이전 기업들에 대해서는 상장폐지 시점과 시장이전 시점을 고려해야 한다.

¹³ 민간투자사업의 계약기간이 장기간인 점을 고려하면 30년 만기 국채수익률을 사용하는 것이 바람직할 수 있으나 동 자료의 시계열이 짧아 10년 만기 국고채수익률을 사용한다. 3년 만기 국고채수익률을 사용하여 분석한 경우에도 정성적으로 결과가 변화하지 않는다. CD수익률의 경우 2007년 하반기 이후 전 세계적인 금융위기 등으로 인해 국고채수익률과 상관관계가 낮은 모습을 보이고, 위험이 국고채에 비해 큰 이유 등으로 인해 무위험수익률로 상정하지 않는다.

<Table 1> Summary Information of the Sample

	Simple mean of the whole sample	Value-weighted portfolio	Equally weighted portfolio
$R_{c,t} - r_t$	1.0117 (0.0781)	2.2862 (10.4101)	1.0622 (9.8969)
$R_{m,t} - r_t$	0.6841 (6.8430)	0.7078 (6.9314)	0.7078 (6.9314)
No. of obs.	7,973	126	126

Note: The standard deviations are shown in parentheses.

(cross section correlation)를 고려하면 적절한 방법이 될 수 없다. 두 번째와 세 번째 방법은 균형 패널자료인 경우 예측치가 동일하고, 통계량도 유사하다.¹⁴ 그러나 본 논문에서처럼 기업별 존속기간이 다른 불균형 패널자료이고, 존속기간에 관계없이 각 시점에 존재한 모든 기업을 예측에 포함시키려 할 경우 유일한 예측방법은 세 번째 방법이다. 세 번째 방법의 실행을 위해서는 포트폴리오 구성에 있어 사용할 가중치가 선택되어야 하는데, 본 보고서에서는 기업별 시가총액을 가중치로 한 경우와 동일가중치로 한 경우로 구별하여 분석한다.

2) 추정 결과

앞서 언급한 분석 자료와 기간을 식 (5)의 자본자산 가격결정모형(CAPM)을 바탕으로 추정한 결과는 다음과 같다. 먼저 전체 건설회사를 대상으로 예측한 β_c , α_c 추정 결과는 <Table 2>에 제시되어 있다. 각각의 건설회사의 시가총액을 가중치로 한 경우(value-weighted portfolio)와 동일한 가중치를 적용한 경우(equally weighted portfolio)로 나누어 추정하였는데, 앞서 언급한 바와 같이 자료는 월별 자료를 사용하였다. 추정 결과, 추정계수가 1% 수준에서 통계적으로 유의함을 보여주고 있는데, 시가총액으로 가중하여 추정한 포트폴리오의 경우 베타값이 동일가중 포트폴리오의 베타값보다 높게 추정되었다. 이는 상대적으로 시가총액이 큰 기업들의 베타값이 규모가 작은 기업들의 베타값보다 크기 때문이다.

시장균형 프리미엄($E(R_m) - r_f$)은 분석기간의 월별 프리미엄의 평균치로 계산하였는데,¹⁵

¹⁴ 예를 들어 Ferson and Schadt(1996)를 보라.

¹⁵ 균형 프리미엄은 $E(R_m) - r_f$ 이 되나 시장수익률의 기댓값의 대용으로 분석기간의 시장프리미엄의 평균을 이용하였다.

〈Table 2〉 Estimation Results: All Construction Firms

	Value-weighted portfolio	Equally weighted portfolio	$E(R_m) - r_f$
β_c	1.2290*** (0.0781)	1.0625*** (0.0862)	0.7078
α_c	1.4163*** (0.5408)	0.3101 (0.5964)	
Adj. R ²	0.664	0.547	
MKT premium (annual, %)	10.95	9.41	

Note: The standard errors are shown in parentheses. *, **, *** denote statistical significance at 10, 5 and 1 percent level, respectively.

〈Table 3〉 Estimation Results: Construction Firms with BTO

	Value-weighted portfolio	Equally weighted portfolio	$E(R_m) - r_f$
β_c	1.2381*** (0.0800)	1.1564*** (0.0960)	0.7078318
α_c	1.3904** (0.5540)	0.3633 (0.6645)	
Adj. R ²	0.656	0.536	
MKT premium (annual, %)	11.04	10.28	

Note: The standard errors are shown in parentheses. *, **, *** denote statistical significance at 10, 5 and 1 percent level, respectively.

〈Table 2〉의 MKT 프리미엄은 월 시장균형 프리미엄을 조합하여 연 시장균형 프리미엄으로 전환한 값이다.

이상의 결과는 전체 건설회사를 대상으로 한 것으로 BTO 사업에 참여하지 않은 기업들을 포함하고 있다. 따라서 사업에 참여한 경험이 있는 기업들을 대상으로 위의 모형을 재추정하였는데, 추정 결과는 〈Table 3〉에 제시되어 있다. 추정된 베타값(β_c)들은 모두 통계적으로 99% 신뢰수준에서 유의함을 보여주고 있다. 한편, 연 시장균형 프리미엄인 MKT 프리미엄은 각각 11.04%와 10.28%로 전체 건설회사를 대상으로 한 결과보다 다소 높은 프리미엄을 요구하고 있다.

해당 프로젝트와 전체 민간투자 도로사업의 기대수익률 간의 연관성을 나타내는 베타값과 MKT 프리미엄이 시기에 따라 다른 값을 가질 수 있으므로 표본을 2006년까지와 2007년 이후의 두 시기로 나누어 추정하였으며, 그 결과는 〈Table 4〉와 〈Table 5〉에 제시되어 있다. 베타값과 프리미엄이 시기에 따라 다른 값을 가짐을 확인하였으며,

<Table 4> Estimation Results by Period: All Construction Firms

2001:07~2006:12			
	Value-weighted portfolios	Equally weighted portfolios	$E(R_m) - r_f$
β_c	1.0050*** (0.0999)	0.8401*** (0.1121)	1.1364
α_c	2.1818*** (0.6975)	1.1273 (0.7826)	
Adj. R ²	0.607	0.459	
MKT premium (annual, %)	13.71		

2007:01~2011:12			
	Value-weighted portfolios	Equally weighted portfolios	$E(R_m) - r_f$
β_c	1.4676*** (0.1152)	1.2982*** (0.1268)	0.2364
α_c	0.7979 (0.7897)	-0.3664 (0.8689)	
Adj. R ²	0.732	0.638	
MKT premium (annual, %)	4.163	3.68	

Note: The standard errors are shown in parentheses. *, **, *** denote statistical significance at 10, 5 and 1 percent level, respectively.

<Table 5> Estimation Results by Period: Construction Firms with BTO

Panel A: 2001:07~2006:12			
	Value-weighted portfolios	Equally weighted portfolios	$E(R_m) - r_f$
β_c	0.9984*** (0.1015)	0.8524*** (0.1236)	1.1364
α_c	2.2319*** (0.7092)	1.6293* (0.8630)	
Adj. R ²	0.595	0.418	
MKT premium (annual, %)	13.62	11.62	

Panel B: 2007:01~2011:12			
	Value-weighted portfolios	Equally weighted portfolios	$E(R_m) - r_f$
β_c	1.4931*** (0.1179)	1.4753*** (0.1371)	0.2364
α_c	0.7042 (0.8078)	-0.7247 (0.9399)	
Adj. R ²	0.730	0.660	
MKT premium (annual, %)	4.24	4.18	

Note: The standard errors are shown in parentheses. *, **, *** denote statistical significance at 10, 5 and 1 percent level, respectively.

이는 BTO 사업의 프리미엄 추정에 있어 참여기업의 특성 외에 시기에 대한 고려가 필요함을 시사한다.¹⁶

다. 민간투자사업의 가치변동성 추정

교통량 예측위험에 대한 프리미엄을 산정하기 위해서는 베타값 산정을 통한 교통수요 예측의 시장위험가격 이외에 교통수요 예측의 불확실성으로 인한 민간투자사업의 가치 변동성(σ_p)을 추정해야 한다.

본 논문에서는 과거 도로사업의 교통량 증가율 및 이에 대한 변동성뿐만 아니라 초기 교통량 형성의 특성과 확률적인 분포를 이용한 몬테카를로 시뮬레이션 방법을 통해 민간투자사업 가치의 변동성을 산정하는 방안을 다음과 같이 제안한다.

1) 초기 교통량 예측의 불확실성

도로 예측 교통량은 네트워크(network)의 표현 정도와 방법, 노선 선택 알고리즘, 통행비용(시간)함수뿐만 아니라 무엇보다도 지역 i에서 지역 j까지의 교통량을 나타내는 기종점 교통량의 불확실성 등으로 실제 시현되는 교통량과 차이가 발생할 수 있는 확률 변수이다. 본 논문에서는 김강수(2007) 및 김강수·김진석·조혜진(2009)의 결과를 인용하여 예측 교통량 자체를 로그정규분포를 따르는 확률변수로 가정함으로써 교통량 예측의 불확실성을 분석한다.

김강수·김진석·조혜진(2009)에서는 시뮬레이션 방법을 통해 (의사) 기종점 통행량을 발생시킨 후, 이러한 의사 기종점 통행량을 도로 네트워크에 배정하여 기종점 (Origin/Destination 또는 O/D) 통행량의 불확실성으로 인한 교통량 예측 결과의 불확실성을 산정하였다. 즉, 생성된 다수의 의사 기종점 통행량을 네트워크에 배정함으로써, 예측되는 각 링크 교통량의 분산을 다음과 같이 예측하였다.¹⁷

$$y_{ij}^{(b)} = \hat{y}_{ij} \times \exp(\epsilon), \quad \epsilon_{ij} \sim N(0, \sigma_{G_1, G_2}^2) \quad (6)$$

¹⁶ 본문의 시기 구분은 민간투자사업의 위험가치를 추정하는 데 있어 분석자료의 기간이 의미를 가질 수 있음을 지적하기 위한 것이다. 따라서 사업별 위험 프리미엄을 추정하기 위한 기간은 각 사업의 특성을 반영하여 산정하여야 한다.

¹⁷ 보다 자세한 내용은 김강수·김진석·조혜진(2009)을 참고하기 바란다.

여기서 $y_{ij}^{(b)}$ 는 생성된 의사 O/D 통행량을 의미하고, \hat{y}_{ij} 는 모형식으로 예측된 O/D 통행량에서의 지수변환값을 의미한다.

또한 김강수·김진석·조혜진(2009)에서는 분석 네트워크에 포함된 기존 도로뿐만 아니라, 새로이 건설되는 도로 링크의 분산을 예측하는 방법도 제안하였는데, 새롭게 예측하는 A도로 링크 교통량(T_A)의 분산(표준편차)은 인근 영향권 안에 있는 링크와의 관련성을 이용하여 산정하는 방안을 제시함으로써 향후에 계획 중이거나 개통 예정인 도로의 예측 교통량 분산을 추정하는 방안을 제시하였다.¹⁸

즉, 새롭게 예측하는 A도로 링크 교통량 T_A 를 다음과 같이 표현할 수 있다고 가정하면,

$$T_A \approx \sum_{l \in L(A)} w_l T_l \quad (7)$$

여기서 $T_l, T_k, l \neq k$ 는 서로 독립이며, w_l 은 링크(A) 통행량에 대한 가중치로 영향력을 의미한다. $L(A)$ 는 새로이 건설되는 도로의 영향권 안에 있는 링크 모두를 의미한다.

새로운 도로 A구간의 예측 교통량의 분산(표준편차)은 아래의 식 (8)과 같이 나타낼 수 있고,

$$Var(T_A) \approx Var\left(\sum_{l \in L(A)} w_l T_l\right) = \sum_{l \in L(A)} w_l^2 Var(T_l) \quad (8)$$

분산을 구하기 위한 가중치 w_l 이 ① 모든 링크 통행량이 동일한 가중치를 가지는 경우에는 $w_l = \frac{T_A}{\sum_l T_l}$, ② 링크 통행량에 비례하는 경우에는 $w_l = \frac{T_l T_A}{\sum_l T_l^2}$ 로 산출할 수 있음을 보여준다.

2) 장래 교통량 변화의 불확실성

가) 시간에 따른 교통량 변화

예측 교통량 자체는 불확실한 변수로서 음이 될 수 없는 로그정규분포를 따른다고 가

18 본 논문에서는 공간적으로 인접한 도로의 예측 불확실성(분산)을 이용하여 신설 도로 교통량 추정의 불확실성(분산)을 추정하고 있다. 그러나 도로의 특성 및 주변 환경 등에 따라 신설 도로 교통량 예측 분산은 다양할 수 있다고 판단되어 이러한 가정을 본 논문 분석방법의 한계로 제시하고 있으나 '예측' 교통량의 불확실성은 공간적 인접성과 상당한 관계가 있을 것으로 추정된다.

정하였다. 본 소절에서는 이처럼 불확실한 예측 교통량이 시간이 지남에 따라 변하는 확률과정을 고려하는데, 기존 연구를 참고하여 현재의 교통량 수준에 대한 확률분포는 과거 교통량 수준의 확률분포와 독립적인 마코브 확률과정을 따르고 시간 경과에 따른 교통량 변화과정은 위너 과정(Winner process)하에서 기하 브라운 운동(Geometric Brownian Motion: GBM)¹⁹을 따른다고 가정한다.²⁰

즉, 로그정규분포를 따르는 t 년도의 교통량 K_t 의 장래 변화는²¹ 다음과 같이 개통 후 일정 기간의 교통량 증가율 α 와 그 변동성 σ 의 함수로 표현할 수 있으며, 교통량 증가율과 변동성이 장래 교통량 변화를 결정하는 중요한 변수가 된다.

$$dK_t = K_t(\alpha dt + \sigma dw_t) = \alpha K_t dt + \sigma K_t dw_t \quad (9)$$

여기서 dK_t 는 t 년도 dt 의 기간 동안의 교통량 증분, α 는 dt 기간의 교통량 증가율 (α_i 의 평균 $(\alpha_i = \ln(\frac{K_i}{K_{i-1}}) \quad i = 1, 2, \dots, t)$), σ 은 교통량 증가율의 변동성 ($\sigma = \sqrt{\frac{1}{t-1} \sum_{i=1}^t (K_i - \bar{K})^2}$)이며, dw_t 는 평균이 0이고 분산이 1인 정규분포를 따르는 확률변수($\tilde{Z}_t \sim N(0, 1)$)이다.

도로 개통 이후 시간 경과에 따라 교통량은 확률적으로 변화하지만 일정 기간이 지난 후에는 이전 시기 교통량과 비교 시 교통량의 증가율 α 와 변동성 σ 가 상당 부분 작아지는 램프업(ramp-up) 현상이 존재하는 것으로 알려져 있다.²² 즉, 기존의 관련 연구에서는 예측 교통량의 확률적인 변화에 대한 고려가 없었을 뿐만 아니라, 운영 개통 후 사업종료 시점까지 단순히 일정한 교통량 증가율과 그 변동성을 적용하여 산정²³하였을

19 위너 과정은 마코브 과정의 특수한 형태로 연간 변화의 평균이 0이고 분산이 1인 확률과정을 의미한다. 위너 과정은 물리학에서 작은 충격에 따른 분자의 운동을 묘사하는 데 이용되고 있다. 이런 분자의 운동을 브라운 운동이라고 부른다.

20 시간 경과에 따라 교통량의 변화가 기하 브라운 운동(Geometric Brownian Motion: GBM)을 따른다고 하는 가정은 다양한 기존 문헌(Baxter and Rennie[1996]; Benninga[2000]; Hull[2003])에서도 이루어졌는데, 가정의 합리성 측면뿐만 아니라 분석의 용이성 측면에서도 장점이 있는 것으로 알려져 있다.

21 예측 장래 교통량의 확률분포인 GBM과 교통량 변화 자체의 확률분포, 로그정규분포는 독립적이다.

22 램프업은 신규 교통시설이나 기존 시설의 개통 이후 교통량이 안정화되기 전까지 일정 기간 등락을 반복하며 상승하는 현상이다. 신규 개통된 도로를 이용하는 통행자의 특성, 대체 도로의 존재 여부, 도로의 기능 등에 의해 램프업 발생 여부와 기간 및 그 정도가 결정되는데, 개통 후 이전 교통량과 비교 시 교통량 증가와 변동성이 작아지기까지의 기간을 램프업 기간이라고 한다. 보다 자세한 내용은 PCIE(2002), Florida High Speed Rail Authority(2003), Douglas(2003), World Bank(2005), 장수은·이상호(2005), 정성봉·김강수·김기민(2005), 김홍수 외(2003), 장수은·정성봉(2006)을 참고하기 바란다.

23 자료 수집이 비교적 용이한 인구 또는 GDP와 같은 사회경제지표의 증가율과 변동성을 교통량 증가율

나, 본 논문에서는 예측 교통량 및 시간 경과에 따른 교통량의 변화를 확률적으로 고려하고, 도로사업의 개통 후 교통량 형성과정의 특성, 즉 개통 후 초기에는 교통량 증가율과 그 변동성이 크나 램프업 기간 이후에는 점차 안정화되는 점을 감안하여 장래 교통량의 증가율(α)과 그 변동성(σ)을 산정한다.

나) 교통량 증가율과 변동성

기존 도로사업의 경우를 고려하여 교통량 증가율과 변동성을 고려할 때, 대상 도로는 통행료를 징수하는 민간투자 도로사업의 특성과 유사해야 하며, 고려하는 시기도 교통량이 특이하게 감소하거나 증가하지 않는 시기는 제외하는 것이 바람직하다. 예를 들어 경부고속도로를 민간투자 도로사업의 증가율과 변동성을 산정하기 위한 대상 도로로 선정하는 경우, 해당 민간투자사업의 증가율과 변동성이 과대하게 산정되는데, 과거 급격하게 성장한 우리나라의 경제상황이 교통량의 증가율과 변동성에 반영되어 있기 때문이다. 특히 우리나라 민간투자 도로사업의 경우 대부분 1997년 외환위기 이후 추진된 점을 감안하고 이후에 정상적인 도로 교통량이 증가와 변동성을 보이고 있는 점을 감안할 때, 2000년 이후 개통·운영 중인 유료도로를 대상으로 분석하는 것이 바람직할 것이다.

본 논문에서는 2000년 이후 신설 혹은 개량된 유료도로를 <Table 6>과 같이 선정하였다.²⁴ 일반 국도의 경우 무료도로이고, 교통량 자료의 수집이 용이하지 않아 분석 대상에서 제외하였다. 이러한 기준하에서 교통량 증가율과 변동성을 산정하기 위한 도로 노선은 ‘천안논산고속도로’, ‘인천국제공항고속도로’ 등 민간투자사업 2개 노선과 ‘서해안고속도로’, ‘중앙고속도로’, ‘중부고속도로’ 등 재정사업 3개 노선이며, 해당 노선의 램프업 전후 교통량 증가율과 변동성을 본 논문의 교통량 증가율과 그 변동성 지표로 활용하였다.

각 노선의 램프업 기간 중 교통량 증가율과 변동성을 분석한 결과, <Table 7>에서 보는 바와 같이 평균 램프업 기간의 교통량 증가율은 22.1%, 안정화 기간의 연평균 증가율은 1.7%로 램프업 기간 전후 비교 시 큰 차이를 보여주고 있다. 램프업 기간 중에도 사업마다 상이한 교통량 증가율을 보여주고 있는데, 서해안고속도로의 경우 연 40.9%의

과 변동성의 대리 지표로 활용하기도 하였다.

24 본 논문에서 적용되는 사례 노선은 장수은·정성봉(2006)과 일치한다. 장수은·정성봉(2006)에서는 대상 노선에 대한 램프업 기간도 산정하였는데, 본 논문에서도 이를 인용하였다.

<Table 6> Example Highways for the Estimation of Traffic Growth Rate and Volatility

	Name	Section	Length (km)	No. lanes	Operation date
Public financed highway	Seohaean Highway	Seopyeongtaek~ Songak	12.3	6	2000. 11. 10
		Seosan~Haemi	10.7	4	2000. 11. 20
	Chungang Highway	Hoengseong~ Hongcheon	25.4	4	2001. 8. 17
	Choungbu Highway	Muju~Deogyu	16.0	4	2001. 11. 29
PPP highway	Cheonan Nonsan Highway	Cheonan~ Nonsan	82.1	4	2002. 12. 23
	Incheon International Airport Highway	Incheon~ Goyang	36.5	6~8	2001. 1. 1

<Table 7> Estimation Results of the Traffic Growth Rate and Volatility

		Chungang Highway	Seohaean Highway	Choungbu Highway	Cheonan Nonsan Highway	Incheon International Airport Highway	Mean
Annual growth rate	Ramp-up period	0.160 (24)	0.409 (29)	0.158 (18)	0.321 (19)	0.058 (22)	0.221 (22)
	Stabilization period	0.012	0.036	-0.067	0.066	0.038	0.017
	Total	0.080	0.186	0.039	0.162	0.041	0.102
Annual volatility (σ)	Ramp-up period	0.080 (24)	0.148 (29)	0.159 (18)	0.144 (19)	0.070 (22)	0.120 (22)
	Stabilization period	0.047	0.116	0.131	0.109	0.048	0.090
	Total	0.067	0.140	0.146	0.132	0.057	0.108

Note: The ramp-up periods (months) are shown in parentheses. The ramp-up period of Incheon International Airport Highway averaged other 4 highways' ramp-up periods.

증가율을 보여주고 있는 반면, 인천공항고속도로의 경우 5.8%의 미미한 수준을 보여주고 있다. 한편, 안정화 기간의 교통량 증가율의 경우 서해안고속도로는 연평균 3.6%의 증가율을 보여주고 있는 반면, 중부고속도로의 경우 교통량이 오히려 감소하고 있고, 인천국제공항고속도로의 경우 지속적으로 3%에서 5%의 증가율을 보여주고 있다.

한편, 변동성의 경우에도 사업에 따라 그리고 램프업 기간의 전후에 따라 차이를 보여주고 있다. 램프업 기간에는 평균 12.0%, 안정화 기간에는 9%의 변동성을 보여주고 있다. 램프업 기간 중에는 중부고속도로의 변동성이 15.9%로 가장 크고, 인천국제공항고속도로가 7%로 가장 작다. 안정화 기간의 변동성은 램프업 기간 중의 변동성보다는

작지만 중부고속도로가 13.1%, 중앙고속도로가 가장 낮은 4.7%를 보여주고 있다.

3) 시뮬레이션을 통한 민간투자사업 가치변동성

민간투자 도로사업 가치의 불확실성이 교통량 예측의 불확실성에서만 기인한다고 가정하는 경우 민간투자사업 가치의 변동성은 교통량 예측 변동성에 따른 민간투자 도로사업의 현금유입의 변동성으로 해석할 수 있으며, 교통량 예측에 따른 프로젝트의 가치 변동성은 몬테카를로 시뮬레이션 방법을 통해 산정한다.

시뮬레이션 방법을 이용하여 프로젝트의 가치변동성을 구하는 과정은 다음과 같다. 먼저 확률변수인 교통량을 생성한다. 즉, 로그정규분포를 따르는 교통량을 산출한 후 우리나라의 도로 교통량 증가율과 변동성을 이용하여 누적 로그정규분포하에서 난수들을 생성하여 연도별 교통량을 발생시킨다. 이렇게 i 번²⁵ 발생시킨 교통량을 이용하면 연도별 민간투자사업의 현금유입 V_i 를 구할 수 있다. 이렇게 구한 V_i 를 이용하여 교통량 예측위험에 따른 프로젝트의 가치변동성은, 예를 들어 $i=1$ 인 경우 식 (10)과 같은 확률변수 \hat{v} 의 표준편차를 산정함으로써 구할 수 있다.

$$\hat{v} = \ln\left(\frac{\hat{V}_1}{V_0}\right) \quad (10)$$

여기서 V_0 는 최초 주어진 교통량에서의 프로젝트의 순현금유입을 의미한다.

교통량을 발생시키기 위한 몬테카를로 시뮬레이션은 Microsoft Excel 프로그램을 이용하여 실시하였는데, 'Norminv(Rand(), μ , σ)' 함수를 사용하여 교통량을 생성하였다. 한편, 몬테카를로 시뮬레이션 분석은 본 논문에서 가정했던 로그정규 및 기하 브라운 운동 이외에 다양한 확률분포를 고려할 수 있을 뿐만 아니라, 요금, 비용 등 다양한 확률변수 변동에 대한 민간투자사업의 가치변동성도 예측할 수 있다. 그러나 이러한 변수에 대한 이력자료 및 확률분포 그리고 확률변수 간의 상관관계 등에 대한 선행연구가 부족해, 본 논문에서는 확률변수를 교통량으로 한정하여 민간투자사업 가치의 변동성을 예측하였다.

25 교통량을 발생시키는 시뮬레이션 시행 횟수는 평가의 정확성을 얼마나 요구하느냐에 따라서 달라지는데, 오차는 시행 횟수의 제곱근에 반비례하는 것으로 알려져 있다. 예를 들어 시뮬레이션의 정확성을 2배로 증가시키려면 시행 횟수를 4배로 늘려야 하고, 정확성을 10배로 증가시키려면 시행 횟수를 100배로 늘려야 한다. 본 논문에서는 각 연도별로 1,000번의 교통량을 발생시켜 분석하였다.

Ⅳ. 민간투자 도로사업의 교통량 예측위험의 경제적 가치 산정

1. 사례 사업

본 장에서는 앞서 제안한 방법론을 실제 우리나라에서 추진된 민간투자 도로사업에 적용하여 교통량 예측위험의 경제적 가치를 추정한다. 교통량 예측위험은 경쟁 및 연결 도로 유무, 해당 도로를 이용하고자 하는 통행자의 행태, 통행요금의 수준 등 도로 및 민간투자사업의 특성에 따라 다양할 수 있고, 교통량 예측위험의 경제적 가치는 해당 민간투자사업에 참여하는 투자자들에게 요구되는 교통량 예측위험 프리미엄에 따라 상이할 수 있으므로 우리나라에서 추진된 특정 민간투자 도로사업을 대상으로 교통량 예측위험의 정도와 위험에 따른 프리미엄, 그리고 교통량 예측위험의 시장가치를 산정하였다.

본 논문에서 교통량 예측위험의 경제적 가치를 산정하기 위한 사례 사업은 OO~OO 민자고속도로사업이다. 서울특별시 강동구 강일동(옛 하일동)을 시점으로 남양주시 삼패동~와부읍 월동리~화도읍 금남리~양평군 서종면 수입리~가평군 설악면을 거쳐 강원도 춘천시 동산면 조양리를 연결하며, 총길이는 61.4km이다. 시점인 강일인터체인지(IC)에서 화도인터체인지까지의 14.8km 구간은 왕복 6~8차로, 화도인터체인지에서 춘천분기점(JCT)까지의 46.6km 구간은 왕복 4차선이다. 강일·미사·와부·화도·서종·청평·강촌 등 7개 인터체인지와 1개 분기점이 있다.

2001년 9월 OO를 대주주로 하는 OO~OO고속도로주식회사가 민간투자사업 제안서를 제출하면서 추진되어 2004년 8월 착공되었으며, 8개 공구로 나뉘어 공사가 진행되었다. 상행선과 하행선을 합하여 교량 103개, 터널 41개를 건설하는 등 총공사비 2조 2,537억 원이 소요되었다.

2. 베타값 및 출자자의 교통량 예측 리스크 프리미엄

자본자산 가격결정모형의 베타값은 사업기간을 고려하여 2004년 개통 이후의 출자자들의 월별 주식가격 자료를 이용하여 예측하였다. 주가자료는 WiseFN으로부터 추출

〈Table 8〉 Estimation Results for OO~OO Highway Construction Project

	Value-weighted portfolios	Equally weighted portfolios
β_c	0.6297** (0.2660)	0.5604*** (0.1879)
α_c	-1.7965 (2.2152)	-1.1370 (1.5646)
Adj. R ²	0.129	0.203
MKT premium (annual, %)	8.30	7.39

Note: The standard errors are shown in parentheses. *, **, *** denote statistical significance at 10, 5 and 1 percent level, respectively.

하였는데, 배당수익률을 고려한 수정주가를 기준으로 월별 수익률을 구하였고, 무위험 수익률은 10년 만기 국고채수익률을 월별 수익률 자료로 환산하여 사용하였다.²⁶

예측은 기업별 시가총액을 가중치로 한 경우와 동일가중치로 한 경우로 구별하여 이루어졌다. 예측 결과, 〈Table 8〉에 나타난 바와 같이 예측계수가 1% 수준에서 통계적으로 유의함을 보여주고 있는데, 시가총액으로 가중하여 예측한 포트폴리오의 경우 베타값(0.6297)이 동일가중 포트폴리오의 베타값(0.5604)보다 높게 예측되었다. 이는 상대적으로 시가총액이 큰 기업들의 베타값이 규모가 작은 기업들의 베타값보다 크기 때문이다. 이에 따라 프로젝트 리스크 프리미엄도, 연단위로 환산 시, 시가총액으로 가중한 경우가 8.30%로 동일가중한 경우인 7.39%보다 높게 산출되었다.

3. 예측 교통량(협약 교통량)의 분산 및 프로젝트의 가치변동성(σ_p)

OO 고속도로의 초기 교통량은 협약 교통량을 기준으로 설정하였으나 이는 앞서 언급한 바와 같이 불확실성을 갖는 확률변수이다. 예측 교통량의 불확실성 지표인 협약 교통량의 표준편차(분산)는 김강수·김진석·조혜진(2009)에서 제시한 방법을 이용하여

²⁶ 프로젝트의 기대초과수익률 $\mu - r$ 을 프로젝트 실시협약서상의 예상수익률로부터 구하지 않고, 출자 건설사의 주식수익률 자료로부터 구한 이유는 우리나라 민간투자사업 실시협약에 제시되어 있는 예상수익률은 내부수익률로 단순히 현재가치화된 비용과 수입을 동일하게 만드는 할인율 개념이기 때문이다. 따라서 실제 프로젝트의 기대초과수익률은 실시협약서상에 명시적으로 제시되어 있지 않고, 알 수도 없음에 따라 프로젝트의 기대초과수익률을 프로젝트 실시협약서상의 예상수익률로부터 구하지 않고, 건설사의 주식수익률 자료로부터 산출하였다. 또한 매출조정 자산수익률을 이용하여 베타값을 예측하였으나, 분석 기간과 자료의 한계로 예측 베타는 통계적으로 유의하지 못한 결과가 제시되었다.

〈Table 9〉 Variance of the Forecasted Road Traffic in the Influencing Area

Route name	Chungbu Highway	Youngdong Highway	Youngdong Highway	Seoul Oegwak (nothern ring)	National Road, No. 6	National Road, No. 6 (Seoul~Kangwon)
Section	Sangok JCT~ Hanam IC	Manjong JCT~ Wonju IC	Yeoju JCT~ Yeoju IC	Sangil IC~ Kangil IC	Namyangju~ Neungnae-ri	Yangpyeong-eup~ Yongdu-ri
Standard deviation	14,186	16,596	9,657	32,632	3,479	1,750

Route name	National Road, No. 44	National Road, No. 45	National Road, No. 46	Natioanl Road, No. 46	Olympic Daero	Olympic Daero
Section	Hongcheon-eup~ Hwachon-myeon	Pyeongchangdam~ Hwado-eup	Gapyeong-eup~ Uiam-ri	Namyangju~ Hwado-eup		
Standard deviation	1,893	1,951	3,797	2,502	65,799	18,023

추정하였다.

즉, OO 고속도로의 예측 교통량의 분산($Var(K_{oo-oo})$)은 주변 도로 예측 교통량의 분산과 비례한다고 가정하여 추정하였고, 주변 영향권 도로의 표준편차는 〈Table 9〉와 같다.

〈Table 9〉의 결과와 식 (9)를 이용하여 OO~OO 고속도로의 초기 교통량(평균 μ , 52,236대/일)의 표준편차(σ)는 4,031대로 산정되었다.

교통량 예측에 따른 프로젝트의 가치변동성은 몬테카를로 시뮬레이션 방법을 통해 산정한다. 교통량을 확률적으로 시뮬레이션함으로써 프로젝트의 가치변동성을 구하는데, 앞의 평균과 표준편차를 이용하여 로그정규분포하는 교통량 변량 K_0 를 생성하였다. 한편, 장래 교통량의 변화는 기하 브라운 확률분포를 따른다고 가정하여 생성하였고, 교통량 증가율과 변동성은 교통량 형성과정을 고려하여 램프업 기간 전후를 구분하여 달리 적용하였다. 적용된 증가율과 변동성은 사례 사업의 결과를 인용하였다.

추정 결과, OO~OO 민간투자 고속도로의 교통량 변화에 따른 프로젝트의 가치변동성 σ_p 는 다양한 할인율하에서 〈Table 10〉과 같이 산정되었다.

우리나라 공공투자사업에서 일반적으로 적용하는 할인율 5.5% 적용 시 교통수요 예측위험에 따른 프로젝트의 가치변동성은 17.11%로 예측되었다. 할인율이 클수록 프로젝트의 가치변동성은 작아지는 경향이 존재한다. 교통수요의 변동성이 전 기간에 걸쳐 평균 10.8%인 점을 감안하면, 교통수요 변동으로 인한 프로젝트의 가치변동성은 항상 이보다 크게 제시되고 있는데, 이는 비용요소 고정으로 인한 레버리지 효과 때문인 것으로 파악된다.

<Table 10> Estimation Results of the Project Value Volatility (σ_p) According to the Various Discount Ratios

Discount ratios	Project value volatility (σ_p)
4%	17.49%
4.50%	17.36%
5.50%	17.11%
6.50%	16.86%
7.50%	16.62%
8.00%	16.50%

4. 교통량 예측위험의 경제적 가치

민간투자 도로사업 교통량 예측의 시장위험가격(λ)은 프로젝트의 리스크 프리미엄을 교통량 예측위험에 따른 프로젝트의 가치변동성으로 나눈 값으로 정의할 수 있다. 즉, λ 는 교통량 위험을 조정한 프로젝트 리스크 프리미엄으로 생각할 수 있다.

먼저 본 사례 프로젝트의 리스크 프리미엄은 예측 베타값과 프로젝트의 초과수익률을 곱하여 산출되었는데, 출자사의 시가총액을 가중평균한 경우 8.30%, 그리고 단순평균인 경우 7.39%로 예측되었다.

<Table 11>은 다양한 할인율(4~8%)에 따른 본 사업의 교통량 예측의 시장위험가격(λ)을 보여주고 있다. 분석 결과, λ 는 0.42~0.50 사이에 분포하는 것으로 분석되었다. 즉, 교통량 예측위험이 1% 증가하면, 이에 따른 해당 프로젝트 위험 프리미엄은 0.42~0.50% 증가하는 것으로 분석되었다.

이러한 λ 의 예측은 우리나라 민간투자 도로사업의 문제점으로 지속적으로 제시되고 있는 최소운영수입보장 등 교통량과 연계되는 다양한 옵션에 대한 가치 분석을 가능케 해준다. 즉, 재무분석의 위험중립 방법론에서 λ 를 이용하여 교통량의 예상 증가율을 감소시켜 새로운 교통량 변화를 산출한 후 본 논문에서 수행되었던 시뮬레이션을 통해 최소운영수입보장 옵션이 갖는 가치를 산출할 수 있다. 이를 통해 보다 적은 비용이 소요되는 최소운영수입보장 조건이 무엇인지 분석할 수 있으며, 최소운영수입보장 옵션을 제공하는 것이 정부 입장에서 효율적인 정책인지에 대한 분석도 가능하다. 그리고 이러한 옵션에 대한 가치 분석을 통해 실제 이러한 옵션이 존재하는 민간투자사업의 투자적격성 분석과 이를 증진시킬 수 있는 정책대안 분석도 가능할 것으로 사료된다.

<Table 11> Risk Premium of the Traffic Forecast and the Market Value

Discount ratios	σ_P	$(\mu-r)$	λ
4%	17.49%	8.30%	0.47
		7.39%	0.42
4.50%	17.36%	8.30%	0.48
		7.39%	0.43
5.50%	17.11%	8.30%	0.49
		7.39%	0.43
6.50%	16.86%	8.30%	0.49
		7.39%	0.44
7.50%	16.62%	8.30%	0.50
		7.39%	0.44
8.00%	16.50%	8.30%	0.50
		7.39%	0.45

V. 종합 및 결론

민간투자 도로사업의 교통량 예측의 정확성을 높이고자 하는 노력과 더불어 교통량 예측위험이 어느 정도이며, 이러한 위험이 민간투자 도로사업의 사업성에 어떻게 영향을 미치는가를 분석하는 것은 민간투자사업의 원활한 추진뿐만 아니라, 투자적격성을 증진시킬 수 있는 측면에서 중요하다고 할 수 있다.

본 논문의 목적은 민간투자 도로사업에서의 교통수요 예측위험의 경제적 가치를 산정하는 것이다. 민간투자 도로사업 가치의 변동성은 교통량 예측의 불확실성하에서만 발생한다고 가정하고, 사례 사업의 교통량 예측위험의 경제적 가치를 산정하였다. 이를 위해 예측 교통량은 불확실성이 존재하는 확률변수이며, 이러한 교통량은 시간이 경과하면서 기하 브라운 운동을 따른다고 가정한 후 민간투자사업의 가치변동성을 예측하는 방안을 제안하였다. 특히 본 논문에서는 개통 후 도로사업의 교통량 형성 특성을 고려한 램프업 기간 전후의 상이한 교통량과 증가율의 적용을 제시하여 단순히 임의적으로 가정한 기존 연구와 차별화하였다.

사례 사업 분석 결과, 예측된 해당 민간투자사업의 리스크 프리미엄은 최소운영수입 보장 등 교통량과 연계된 옵션가치 및 출자 건설회사의 시가총액을 고려하지 않고 단순

평균하는 경우 7.39%, 시가총액을 가중하여 평가하는 경우 8.30%로 분석되었으며, 교통수요 예측위험에 따른 해당 민간투자사업의 가치변동성은 우리나라 공공투자사업에서 일반적으로 적용하는 할인율 5.5% 적용 시 17.11%로 예측되었다. 할인율이 클수록 프로젝트의 가치변동성은 작아졌는데, 비용의 고정으로 인한 레버리지 효과는 교통량 변동성보다 프로젝트의 가치변동성을 크게 하였다.

교통수요 예측위험에 따른 민간투자사업의 가치변동률과 리스크 프리미엄을 통해 산출하는 민간투자사업 교통량 예측위험의 시장가치 λ 는 0.42~0.50 사이에 분포하였다. 즉, 교통량 변동성이 1% 증가하거나 감소하면 이에 따른 해당 프로젝트 위험 프리미엄은 0.42~0.50% 증가하거나 감소하는 것으로 분석되었다.

이러한 교통량 예측위험의 가치 λ 는 민간투자사업의 교통량 위험요소를 고려한 프리미엄 결과로서 해당 민간투자사업의 수익률을 간접적으로 판단할 수 있는 기초자료이다. 또한 민간투자 적격성 분석과 이를 증진시킬 수 있는 정책대안 분석을 가능케 하는 기초자료이며, 교통량 예측의 불확실성을 줄일 수 있는 다양한 정책의 근거자료가 된다. 또한 λ 의 산정을 통해 교통량과 연계되는 다양한 옵션을 산정할 수 있으며, 이를 통해 최적 옵션조건 분석도 가능하다. 즉, λ 의 산정은 최소운영수입보장 옵션이 갖는 가치뿐만 아니라 정부 입장에서 보다 적은 비용이 소요되는 최소운영수입보장 조건 분석을 가능케 해준다.

본 논문에서는 민간투자 도로사업 가치의 변동성은 교통량 예측의 불확실성하에서만 발생한다고 가정하였다. 그러나 교통량 변화에 따라 비용의 증감도 있을 수 있고, 요금의 변동성도 고려할 수 있을 것이다. 또한 민간투자 도로사업의 가치는 교통량 이외의 다른 요소, 즉 건설 및 운영 위험에 따라 변할 수도 있음을 고려할 때 이에 대한 추후 연구가 필요하다. 더불어 본 논문에서는 새로운 도로의 교통량 예측의 불확실성(분산)은 기존 주변 영향권 도로의 추정 예측 교통량의 불확실성과 비례한다고 가정하였다. 공간적 인접성과는 달리 도로의 특성 및 주변 환경에 따라 예측 교통량의 분산은 상이할 수 있다. 이러한 제반 요소를 감안한 교통량 추정의 불확실성에 대한 지속적인 연구도 필요하다.

참고문헌

- 김강수, 『SOC 투자의사결정 합리화 방안: 도로부문 교통량 예측위험 분석을 중심으로』, 정책 연구시리즈 2007-06, 한국개발연구원, 2007.
- _____, 『SOC 투자의사결정 합리화 방안(Ⅱ): 철도부문 교통량 예측위험 분석을 중심으로』, 정책연구시리즈 2010-13, 한국개발연구원, 2010.
- 김강수·김진석·조혜진, 「기종점 통행량 변화에 따른 링크 교통량 예측의 불확실성에 관한 연구」, 『대한교통학회지』, 제27권 제1호, 대한교통학회, 2009. 12.
- 김재형, 『민간투자사업의 '적정 수익률' 예측연구』, 한국개발연구원, 2006.
- 김홍수 외, 『민간투자사업의 주요 쟁점별 협상방안 연구』, 국토연구원, 2003. 12.
- 신성환, 「BTO 민간투자사업 적정 수익률에 관한 연구」, 『한국건설관리학회지』, 제10권 제2호, 한국건설관리학회, 2009. 3.
- 장수은·이장호, 「철도 수요의 Ramp-up: 현상과 시사점」, 『교통계획모형과 적용』, 대한교통학회 교통계획분과위원회, 2005, pp.66~77.
- 장수은·정성봉, 『초기 교통수요 형성의 특성규명을 통한 교통수요분석의 신뢰도 제고방안 연구』, 한국교통연구원, 2006.
- 정성봉·김강수·김기민, 「도로의 Ramp-up 기간 산정방법 개발」, 대한토목학회 2005년 학술대회 발표자료, 2005.
- Bain, R. and J. W. Plantagie, *Traffic Forecasting Risk: Study Update 2003*, Standard & Poor's, McGraw-Hill International (UK) Ltd., November 2003.
- _____, *Traffic Forecasting Risk: Study Update 2004*, Standard & Poor's, McGraw-Hill International (UK) Ltd., October 2004.
- Bain, R. and M. Wilkins, *Infrastructure Finance: Traffic Risk in Start-Up Toll Facilities*, Standard & Poor's, McGraw-Hill International (UK) Ltd., September 2002.
- Banister, D., *Unsustainable Transport: City Transport in the New Century*, London: Routledge, 2005.
- Baxter, Martin and Andrew Rennie, *Financial Calculus: An Introduction to Derivative Pricing*, Cambridge: Cambridge University Press, 1996.
- Beckman, M. et al., *Studies in the Economics of Transportation*, New Haven: Yale University Press, 1956.

- Benninga, Simon, *Financial Modeling*, Second Edition, Cambridge, Massachusetts: The MIT Press, 2000.
- Brandao, L., "An Application of Real-option Theory in Discrete Time to the Valuation of a Highway Concession Project in Brazil," Pontificia Universidade Catolica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, unpublished doctoral dissertation, 2002.
- Brandao, L. E. T. and E. C. G. Saraiva, "Valuing Government Guarantees in Toll Road Projects," Pontificia Universidade Catolica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.
- Brandao, L. E. T. and E. Saraiva, "The Option Value of Government Guarantees in Infrastructure Projects," *Const. Mgt. & Econ.*, Vol. 26, No. 11, 2008, pp.1171~1180.
- Cheah, Charles Y. J. and Jicai Liu, "Valuing Governmental Support in Infrastructure Projects as Real Options Using Monte Carlo Simulation," *Construction Management and Economics*, Vol. 24, May 2006, pp.545~554.
- Douglas, N., *Patronage Ramp-up Factors for New Rail Services*, Douglas Economics Consultancy, 2003.
- Person, W. E. and R. Schadt, "Measuring Fund Strategy and Performance in Changing Economic Conditions," *Journal of Finance*, Vol. 51, No. 2, 1996, pp.425~461.
- Florida High Speed Rail Authority, *Orlando-Miami Planning Study*, 2003
- Flyvbjerg, B., M. Skamris, and S. Buhl, "Underestimating Costs in Public Works Projects: Error or Lie?" *Journal of the American Planning Association* 68(3), 2002, pp.279~295.
- _____, "Inaccuracy in Traffic Forecasts," *Transport Reviews* 26(1), 2006, pp.1~24.
- Garvin, M. J. and C. Y. J. Cheah, "Valuation Techniques for Infrastructure Investment Decisions," *Construction Management and Economics* 22(4), 2004, pp.373~383
- Hull, John C., *Options, Futures, and Other Derivatives*, Prentice-Hall International Inc, 2003.
- Irwin, Timothy C., "Measuring and Valuing the Risks Created by Revenue and Exchange-Rate Guarantee in Korea," World Bank Working Paper, 2004.
- Mierzejewski, E. A., *A New Strategic Urban Transportation Planning Process*, Tampa: University of South Florida, Center for Urban Transportation Research, 1995.

PCIE, *East Coast Corridor High Speed Rail Patronage Forecasts for Commonwealth Department of Transport and Regional Services through TMG International*, 2002. 5.

Wardrop, J. G. "Some Theoretical Aspects of Road Traffic Research," *Proc. Int. Civil Engineer*, Part II, 1952, pp.325~378.

Wooldridge, Stephen C., Michael J. Garvin, Yuen Jen Cheah, and John B. Miller, "Valuing Flexibility in Private Toll Road Development: Analysis of the Dulles Greenway," *Journal of Structured & Project Finance*, Vol. 7, Issue 4, Winter 2002, pp.25~36.

World Bank, *Demand Forecasting Errors*, Transport Note No. TRN-12, 2005.