■ 論 文 ■

민자유치대상고속도로 투자의 위험도분석

Risk Analysis of Highway Investment by Private Sectors

이 용 택 (서울대학교 환경대학원 박사과정)
김 상 범 (마포구청 교통행정과)
원 제 무 (한양대학교 도시대학원 교통물류학과 교수)

목 차

Ⅰ. 서론
1. 연구의 배경 및 목적
2. 연구의 범위 및 수행방법
Ⅱ. 위험도 분석 모형의 고찰
1. 정의 및 종류
2. 몬테카를로시뮬레이션
Ⅲ. 재무적 위험도 분석 모형 정립
Ⅳ. 사례분석
1. 분석자료 및 기본가정
2. 시뮬레이션 결과
Ⅴ. 결론 및 추후 연구방향
1. 결론
2. 추후 연구방향
참고문헌

요 약

본 논문은 도로투자 사업성분석시 사업주체의 현금흐름을 결정하는 항목들을 고정값(Deterministic Value)이 아닌 확률적으로 추정함으로써, 사업의 재무적 변동으로 인한 위험도를 민간사업자의 견지에서 사업성분석과정에 내재화하는 모형을 개발하는 것이다. 즉, 확률적 비용추정기법으로 국소적으로 활용되던 위험도분석을 재무모형에 내재화함으로써 사업의 재무적 변동을 보다 포괄적으로 분석할 수 있는 틀을 제공한다. 본 연구에서는 몬테카를로 시뮬레이션기법을 이용한 위험도분석(Risk Analysis)을 적용하여 사업성 평가지표와 비용의 확률밀도함수(Probability Density Function : PDF), 누적확률분포함수(Cumulative Distribution Function : CDF)를 산출하고, 그 결과로 해당 사업의 위험도를 고려하여 사업성을 평가한다. 이 모형은 사업의 모든 변동요인을 복합적으로 추정하여 사업기간 내 사업주체의 현금흐름을 분석할 수 있다. 따라서 사업주체는 효용에 따라 합리적인 위험도 관리 목표값(Target Value)을 선정하고, 사업의 위험도를 고려하여 건설비, 예비비를 결정할 수 있다. 본 연구에서 정립된 모형을 서울외곽순환고속도로(일산-퇴계원 구간)와 대전당진고속도로를 대상으로 사례분석을 수행하였다. 그 결과, 대전당진고속도로의 경우 사업성이 없으며, 서울외곽순환고속도로의 경우, 일부 위험도 발생변수를 합리적으로 관리한다면, 사업성이 충분한 것으로 분석되었다. 본 사례분석은 사업의 위험도를 반영한 사업성분석 방법으로 우리나라 민자유치대상고속도로의 사업성분석의 하나의 지침이 될 것이다.

Ⅰ. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

도로건설의 타당성을 평가하는 사업성분석은 사업기간동안 발생하는 현금 흐름(Cash Flow)을 비용항과 편익항으로 구분하여, 사업성 분석지표(비용편익비:B/C, 내부수익률:IRR, 순현재가치:NPV)를 근거로 사업의 타당성을 평가하는 기법으로 사업주체의 현금흐름을 결정하는 항목들이 고정값(Deterministic Value)으로 주어진다. 그러나 일반적으로 대규모 도로투자사업은 사회경제지표의 급격한 변화와 사업 계획 및 설계의 오류, 공사기간의 연장 등으로 인해 사업비용의 변동이 발생한다. 현재의 사업성분석기법(건교부, 1982:양지청, 1998:etc)은 이와 같은 사업성 변동을 모형에 내재화하기 위해 민감도 분석(Sensitivity Analysis)을 수행하고 있다. 그러나 현 기법은 사업성 평가기법 상의 논리적인 문제점뿐만 아니라, 불확실한 사업의 여건을 정확하게 고려하지 못하는 단점을 가지고 있다. 이러한 문제점을 간략히 살펴보면, 첫째, 민감도분석은 사업의 변동을 고려하기 위해 여타 조건은 일정하다는 가정 하에, 특정 항목의 변동을 추정하고 있으나, 사업의 불확실성을 고려하기 위해서는 변동가능한 항목간의 복합적인 조합을 분석해야한다. 둘째, 할인율, 이자율 등 사업 외적변동은 분석기간 내 장기간에 일률적으로 적용됨으로써 분석을 경직적으로 만든다. 셋째, 사업평가기법의 문제점으로 대안의 평가지표인 비용편익비, 내부수익율, 순현재가치는 사업의 특성에 따라 상이한 결과를 제공할 수 있다.

따라서 본고에서는 기존 사업성분석의 한계점을 개선하기 위해, 고정값으로 주어지던 항목을 확률적 개념으로 정의하여 분석대상 변수의 변동을 추정하는 위험도분석(Risk Analysis)기법을 활용하였다. 이를 위해 위험도분석의 종류 및 종류별 장단점을 고찰하였다. 또한 이를 바탕으로 사업의 재무적 위험도를 민간사업자의 견지에서 사업성분석과정에 내재화하는 모형을 정립하였다. 아울러 정립된 모형을 이용하여 재무적 위험도(Financial Risk)에 민감한 민자유치대상 고속도로(대전-당진 고속도로, 서울외곽순환 고속도로)를 대상으로 사례분석을 수행하였다. 본 사례연구에서는 사업성을 결정하는 항목 중 사업내적 변동(건설비용, 운영비용 등)뿐만 아니라 사업외적 변동(이자율, 물가상승율 등)에 대해서도 확률밀도함수(Probability Density Function)를 도입하여 폭넓은 사업의 변동을 분석하였다.

2. 연구의 범위 및 수행방법

1) 연구의 범위

연구의 내용적 범위를 살펴보면, 고속도로 건설시 발생하는 사업의 위험도는 정치적, 경제적, 사회적, 공학적, 재무적으로 다양할 수 있으나 본 연구에서는 재무적 위험도에 초점을 맞추었다. 재무적 위험도를 기존의 컴퓨터 시뮬레이션기법을 이용한 위험도분석과 재무모형을 결합하는 재무적 위험도분석모형을 정립한다. 정립된 모형을 적용한 사례분석대상은 사업주체의 재무적 위험도에 민감한 민자유치대상고속도로로 제한한다. 연구의 공간적 범위를 살펴보면, 사례분석 대상지로는 서울외곽순환고속도로 일산-퇴계원 구간과 대전당진고속도로를 선정하였으며, 해당사업의 개요는 〈표 1〉과 같다.

〈표 1〉 사례분석대상지의 개요

구분	대전-당진고속도로	서울외곽순환고속도로
도로연장	63.4Km	36.33Km
차선수	4차선	8차선
공사비	13,909억 (사업시행자이윤 포함)	13,508억 (사업시행자이윤 포함)
건설기간	5년	5년
무상사용기간	30년	30년

2) 연구의 수행방법

본 연구는 다음과 같은 절차와 방법을 이용하여 수행되었다.

(1단계) 현 사업성분석기법의 문제점을 파악한다.
(2단계) 1단계에서 제시된 문제점을 개선하기 위해, 기존 연구문헌을 고찰하여 재무적 위험도분석모형을 정립한다.
(3단계) 사례분석을 수행하여 정립된 모형의 적용성을 검토한다.
(4단계) 모형 및 사례분석의 결론을 도출하여, 사업성분석기법의 지침을 제공한다.

Ⅱ. 위험도 분석 모형의 고찰

1. 정의 및 종류

1) 위험도분석의 정의

위험도(Risk)는 미래의 불확실성(Uncertainty)중 확률분포로 변수들을 나타낼 수 있는 경우를 말하며, 위험도분석은 변동 가능한 분석대상변수를 확률분포로 설명하는 기법으로 본 연구에서 다루게 될 재무적 위험도는 사업비용 또는 수입의 변동으로 인해 발생하는 금전적인 손실에 관한 변동을 분석하게된다. 예를 들어 개념을 설명하면, 건설비용이 80억원이 될 확률이 0.20, 90억원이 될 확률이 0.25, 100억원이 될 확률이 0.45, 110억원이 될 확률이 0.10이라 할 때, 기대값(80×0.20+90×0.25+100×0.45+110×0.10=94.50)인 94.50억원으로 비용을 책정한다. 여기서 비용은 결정적인 모델에 의해서 이루어지지 않고 확률적 추정에 의해서 이루어지며, 확률적 추정은 위험도 변수의 선택과 위험도의 분포형태, 변수들간의 상관관계에 의해 결정된다.

2) 위험도분석기법의 종류

위험도분석기법 종류에는 분산-공분산법(Variance-Covariance Approach), 이력 시뮬레이션기법(Historical Simulation Approach), 몬테카를로 시뮬레이션기법(Monte Carlo Simulation), 시나리오 시뮬레이션기법(Scenario Simulation)이 있다.

(1) 분산공분산법(Variance-Covariance Approach)

중심극한이론에 의해 관찰치가 정규분포가 된다는 가정에서 출발하여 모든 위험도 변수는 정규분포를 띠고 정규분포하의 위험도함수는 선형의 성질을 가지는 것으로 분석한다. 따라서 분석이 용이하지만, 정확도가 떨어지고 비정규(Non-normality)와 비선형(Non-linearity)의 특성을 반영하지 못하는 단점을 가지고 있다.

(2) 이력시뮬레이션기법(Historical Simulation Approach)

과거의 이력자료를 이용하여 위험도변수의 분포를 추정하는 방법으로 개념적으로 간단하고 확률 분포에 관한 가정에 의존하지 않아 분포의 계수 측정으로 인한 평가의 부정확성의 위험이 존재하지 않고 과거의 위험도 발생추세를 적절히 반영할 수 있다. 그러나 실자료 획득이 어렵고, 이력자료 집합의 신뢰성에 문제가 있을 수 있을 뿐만 아니라, 이력자료 추세별로 미래의 불확실이 발생하지 않을 경우에 대한 분석이 불가능하다.

(3) 시나리오시뮬레이션기법(Scenario Simulation)

이력시뮬레이션기법과는 반대로 사업성을 결정하는 중요한 변수에 대해 일어날 수 있는 대안들을 시나리오로 작성한다. 이때 분석가는 이력자료에 없지만 있음직한 대안을 주관적으로 판단하여 적용한다. 그러나 잘못 설정된 시나리오는 잘못된 추정을 낳게되고, 변수간의 상관관계가 발생할 경우, 추정의 정확도가 떨어지는 단점이 있다. 따라서 사업의 대규모 변동을 나타는 변수에 대해 다른 기법을 보완하는 기법으로 적용하는 것이 바람직하다.

(4) 몬테카를로시뮬레이션(Monte-Carlo Simulation)

위험도 발생변수(예:공사비, 운영설비비 등)들을 광범위하게 평가하며, 다양한 분포형태와 상관관계를 설명할 수 있다. 이는 주어진 분포형태별로 난수(Random Number)를 발생하여 위험도발생변수의 분포를 추정한다. 이 방법은 여타 방법들의 문제점을 해소할 수 있으나, 많은 추정량과 이에 따른 계산시간 때문에 컴퓨터 등의 관련 기술이 발달되기 이전에는 아이디어를 현실화시키는 데에는 한계가 있었다. 따라서 본 연구에서는 이중 비선형성이나 비정규성의 성질뿐만 아니라 변수들의 상관관계를 손쉽게 해결할 수 있는 몬테카를로시뮬레이션기법을 활용하였다.

2. 몬테카를로시뮬레이션기법

몬테카를로시뮬레이션기법은 위험도 발생항목의 확률변수를 설정하여, 해당분포의 범위 내에서 난수를 발생하여 사업성의 불확실성을 평가하는 시뮬레이션 기법이다. 본 기법은 국내의 경우, 정확한 모형의 개발이나 적용 사례연구가 없으며, 국외의 경우, 건축시설물(Touran, 1987)이나 도로사업(Pritsker, 1996), 지하철(Touran,1998)의 확률적 비용추정 기법으로 활용되고 있다. 앞에서 기술하였듯이 본 연구에서는 몬테카를로기법을 이용하여 민간사업자 측면의 재무적

위험도분석모형을 개발하는 것이다. 이를 위해서 몬테카를로시뮬레이션기법을 사용하기 위해서 필수적이라 할 수 있는 확률변수의 분포형태와 범위 결정방법과 항목(Cost item)간의 상관관계(Correlations)분석방법에 관한 문헌고찰을 수행하였다.

1) 확률변수의 분포형태

위험도분석시 총비용은 식(1)과 같이 확률변수의 분포의 합으로 구성되며, 따라서 분포형태의 선정이 사업변동의 정확도를 결정하게된다.

$$C_{tot} = \sum_{i=1}^{n} C_i \quad (1)$$

여기서 C_{tot} : 사업변동을 유발하는 비용항목의 합
C_i : 확률변수로 모형화 된 비용항목

이에 대한 연구를 살펴보면, Spooner(1974)는 정규분포(Normal Distribution),로그정규분포(Lognormal Distribution), 삼각분포(Triangular Distribution), 베타분포(Beta Distribution), 균등분포(Uniform Distribution)로 건설사업의 비용분포를 추정하여 분포 특성별로 적용방안을 제시하였다. 균등분포는 자료량이 충분치 않고, 상대적으로 변동의 범위가 작을 때 사용하며, 삼각분포는 가장 단순한 형태로, 최우추정치가 정확하고 변동의 폭, 즉 최대, 최소점에 대한 정보가 확실하다고 판단될 경우 적용이 가능하다. 그러나 일반적으로 건설비용은 비용이 감소하는 경우는 드물어, 최소비용항목이 없는 비용항목으로도 추정이 가능하다. 따라서 단측(Unimodal)이며, 한쪽으로 편중된(Skewed) 분포형태인 베타분포와 로그정규분포로 건설비용의 분포형태를 추정하는 것이 바람직하다고 제시하였다.

Touran(1987)은 10년간의 1,014개의 사무실 건물의 건설비용의 확률분포 추정을 위하여 미국 전역에서 표본자료를 추출하여, 주요 15개 비용항목별 분포를 추정한 결과 로그정규분포가 가장 적합하며, 다음으로 베타분포가 적합하다고 제시하였다. 이외에도 철도사업(Touran,1998) 도로사업(Prisker,1996) 등의 공공투자사업에서도 건설비용의 확률적분포를 로그정규분포로 사용할 것을 제시하고 있다.

2) 비용간의 상관관계

위험도분석시 비용항목간의 상관관계로 인하여 식(2)와 같이 하나의 항목비용 증가는 다른 항목의 비용증가를 유발한다(Touran과 Wiser, 1992).

$$Var(C_{tot}) = \sum_{i=1}^{n} Var(C_i) + \sum_{i \neq j}^{n} \sum_{j}^{n} Cov(C_i, C_j) \quad (2)$$

여기서 $Var(C_{tot})$: 총비용의 분산
$Cov(C_i, C_j)$: 비용 C_i, C_j간의 공분산값

이러한 문제점을 해결하기 위한 연구를 살펴보면, Curran(1989)은 높은 상관관계를 가지는 변수들을 하나의 변수로 묶어 독립적으로 분석하는 개략추정방법(Approximate Method)을 제시하였다. 이 방법은 다른 분포로 추정되는 비용항목의 다수를 합칠 경우, 분포의 추정이 어렵다. 그러나 Touran(1989)은 일반적으로 개략추정방법으로 상관관계를 무시한 채, 비용항목을 합하여 일정 규모의 비용 변동폭을 조정하여 사용하는 것이 실용적이라고 밝혔다.

Devore(1991)는 상관관계가 존재하는 비용항목들 간에 결합밀도함수(Joint Density Function)를 추정하여 변수들간의 공분산값을 추가하는 상세추정방법(Exact Method)을 제시하였다. 그러나 이 방법은 계산이 복잡하고, 모든 비용항목이 정규분포가 아닐 경우, 공분산값에 대한 정보가 부족하여 결합밀도함수를 계산할 수 없다.

Iman(1982)은 비용항목들이 정규분포가 아닐 경우, 순위상관계수법(Rank Correlation)을 기초로 상관난수(Correlated Random Number)를 발생하여 다양한 분포의 상관관계를 설명하였다. 이 방법은 컴퓨터 시뮬레이션기법(@Risk, RiskTM 등)에 매우 유용한 기법으로 널리 적용되고있다.

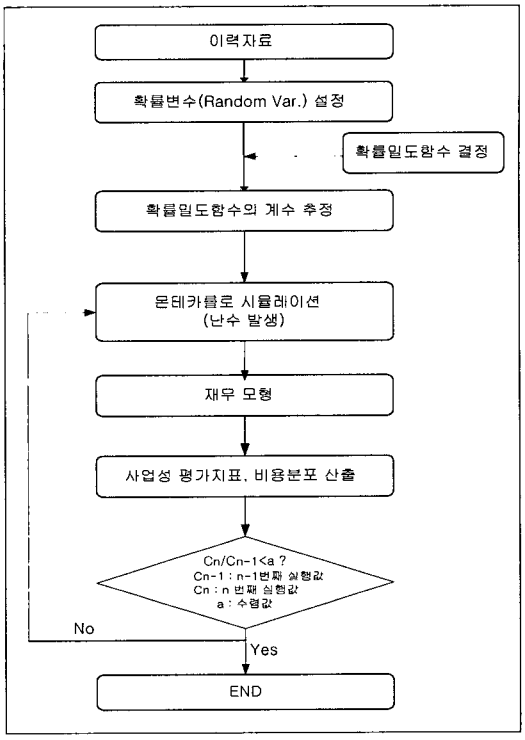
Touran(1993)는 다항변수 로그정규분포(Multivariate Lognormal Distribution)하에서 정보가 부족할 경우 비용간의 상관관계를 규명하기 어려운 문제점을 해결하기 위해, 변수의 상관관계를 3개의 정량적 지표로 제시하였는데 이를 주관적 상관관계법(Subjective Correlation)이라 한다. 그는 건설비용의 공분산값은 0과 1사이의 값에서 발생하므로, 상관관계가 약함, 중간, 높음으로 구분하여, 공분산값이 0~0.3 사이일 때 0.15로, 0.3~0.6사이 일 때 0.45로, 0.6~

0.10사이일 때 0.8로 적용할 수 있다고 제시하였다.

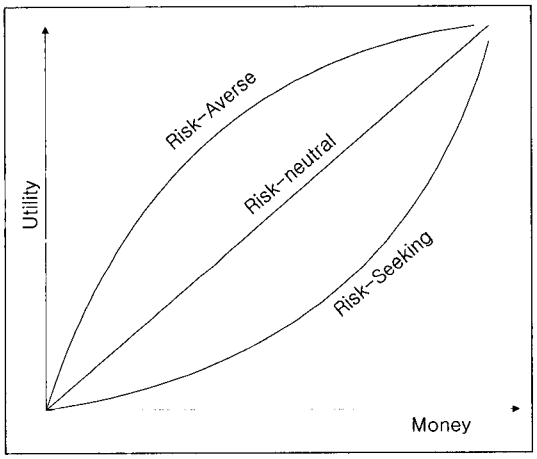
Ⅲ. 재무적 위험도 분석 모형 정립

본 연구에서는 민간사업자의 입장에서 사업의 재무적 위험도를 확률적으로 추정하기 위해 기존의 확률적 비용추정기법으로 국소적으로 사용되던 위험도 분석기법과 재무분석모형을 통합하여 민간기업의 현금흐름분석을 수행할 수 있는 재무적 위험도분석모형을 정립하였다. 먼저 확률변수는 크게 사업외적요인과 사업내적요인으로 구분된다. 사업외적요인은 할인율, 이자율, 물가상승률이 있으며, 사업내적요인은 비용항과 편익항으로 구분되고 이때 사업주체는 민간사업자이므로, 일반 공공투자사업과는 다른 비용, 편익항을 선정하였으며, 자세한 항목은 〈표 2〉와 같다.

다음으로 〈그림 1〉과 같이 이 모형은 문헌조사에서 나타난 변수의 이력자료의 특성을 바탕으로 확률변수 형태를 선택한다. 선택된 확률변수의 확률밀도함수와 확률밀도함수의 계수를 결정한 후, 이를 재무모형에 내재한다. 선정된 확률변수들은 몬테카를로시뮬레이션 샘플링기법을 통해 분석가가 설정한 수렴에 이르기까지 사업성 평가지표와 비용의 값을 반복적으로 산출한다. 이렇게 산출된 값을 바탕으로 해당변수의 확률밀도함수와 누적확률분포함수의 결과를 제공한다. 이때 재무모형에 사용된 사업성 평가지표로는 사업시행으로 인한 금전적 변동을 검토하기 위해 순현재가치를 사용한다. 또한 적정 신뢰수준 하에서의 총건설비용, 연도별 건설비용의 변동, 분석기간동안의 사업주체의 현금흐름의 변동값을 산출한다. 분석가는 위와 같은 결과를 토대로 해당사업의 위험도를 고려하여 사업성을 평가한다. 사업성을 평가하는 과정에서, 민간사업주체의 위험에 대한 효용유형에 따라 사업의 추진 유형이 달라지게 된다. 사업주체는 사업의 효용 내에서 합리적인 위험도 관리 목표값(Target



〈그림 1〉 재무적 위험도분석모형



〈그림 2〉 민간사업주체의 효용함수

〈표 2〉 민간사업자의 확률변수선정시 사업내적인자

비용항목	총건설비용(CC)	① 공사비 : 순공사비, 간접노무비, 산재보험료, 안전관리비, 일반관리비, (시공)이윤, 기타경비 ② 조사비, ③ 설계비, ④ 보상비, ⑤ 부대비, ⑥ 운영설비비, ⑦ 제세공과금, ⑧ 영업 준비금, ⑨ (시행)이윤
	운영비용(OC)	① 법인세, ② 고정자산구입비, ③ 판매관리비, ④ 매출원가
편익항목	통행료수입(TI)	-
	부대사업순수입(OI)	-

Value)을 선정하고, 이에 따라 총 건설비용을 결정한다. 즉, 기업의 효용곡선이 위험선호적인(Risk-seeking)경우 누적확률분포함수 상에서 평균값(Mean) 이하에서, 위험중립적(risk-neutral)인 경우 평균값에 근사하게, 위험기피적인(risk-averse)경우 평균값 상위에서 비용을 결정하게된다.

Ⅳ. 사례분석

1. 분석자료 및 기본가정

사례분석대상지로 서울외곽순환 고속도로의 북측인 일산-퇴계원 구간과 대전-당진 민자유치대상 고속도로를 선정하였다. 또한 민자유치사업 주체의 현금흐름분석을 위한 모형을 정립하였으며, 교통량과 현금흐름분석자료는 기존 자료를 활용하였다.(국토연구원, 1998) 위험도 분석에 사용된 확률분포의 기본과정은 〈그림 3〉, 〈표 3〉과 같이 연도별, 항목별로 상이하게 적용되었다. 먼저, 사업외적 변동요인을 살펴보면, 물가상승율은 3%~6.5%의 변동을 보이며, 5%선에서 수렴하는 것으로 분석하였으며, 이자율은 11%~16%의 변동을 보이며, 13%선에서 수렴하는 것으로 분석하였다. 또한 할인율은 5%~11%의 변동을 보이며, 8%에서 수렴하는 것으로 분석하였다. 할인율, 이자율, 물가상승율의 확률분포는 Spooner(1974)가 제시한 분포특성을 고려하여 삼각분포를 사용하였다. 예를 들어 이자율(I)의 확률분포를 살펴보면, 〈표 3〉의 유형으로 RiskTrang(11,13,16)으로 표현되며, 식(3)과 같이 나타난다.

$$
\begin{aligned}
&f(x)=0 && \text{if } 11> x \qquad (3)\\
&f(x)=\frac{(x-11)^2}{(13-11)(16-11)} && \text{if } 11\le x \le 13\\
&f(x)=1-\frac{(x-11)^2}{(13-11)(16-11)} && \text{if } 13\le x \le 16\\
&f(x)=1 && \text{if } 16<x
\end{aligned}
$$

사업내적 변동요인으로 Ⅲ장의 〈표 2〉의 해당항목들을 적용하였다. 먼저 비용항목의 총건설비용(CC) 중 조사비, 설계비, 보상비는 정부가 대행하는 것으로 분석하였으며, 편익항목의 부대사업은 없는 것으로 분석하였다.

사업내적요인으로 총건설비용은 Spooner (1974), Tourn(1987), Prisker(1996) 등의 연구를 바탕으로 로그정규분포를, 통행료수입은 Spooner(1974)가 제시한 분포의 특성을 고려하여 삼각분포를 확률분포의 기본가정으로 사용하였다. 예를 들어 첫해 건설비용 CC1의 순공사비항을 살펴보면, 〈표 3〉과 같이 로그정규분포형태를 나타낸다. 여기서 외곽순환고속도로의 경우, Lognorm(1,080억,27억)을, 대전당진고속도로의 경우 Lognorm(1,112억,28억)을 사용하며 이때의 확률밀도함수는 식(4)와 같다. 몬테카를로시뮬레이션 샘플링기법을 통해 로그정규분포의 누적확률밀도함수 상에서 확률 0~1사이의 임의의 확률을 선정하고 선정된 확률에 해당하는 순공사비 x를 산출한다. 또한 시간 t가 지남에 따라 정보의 불확실성의 증가로 인해 표준편차(σ)가 커지는 것이 합리적이며, 이를 수식으로 표현하면 식(5)와 같다. 이때 건설비용(CC_n)의 표준편차(σ_{CCn})의 경우 연도별로 평균(μ_{CCn})의 2.5% 증감하는 것으로 분석하였으며, 운영비용(OCn) 및 통행료수입(TI_n)의 경우 5년 단위마다 평균(μ_{OCn}, , μ_{TIn})의 5%씩 증감하는 것으로 분석하였다.

$$f(x)=\frac{1}{x\sqrt{2\pi\sigma_1^2}}\exp\left(-\frac{(\ln x-\mu_1)^2}{2\sigma_1^2}\right) \qquad (4)$$

여기서,

$$\mu_1=\ln\left(\frac{\mu_{cc1}^{\ 2}}{\sqrt{\sigma_{cc}^{\ 2}+\mu_{cc1}^{\ 2}}}\right),\quad \sigma_1=\sqrt{\ln\left(\frac{\sigma_{cc}^{\ 2}+\mu_{cc1}^{\ 2}}{\mu_{cc1}^{\ 2}}\right)},$$

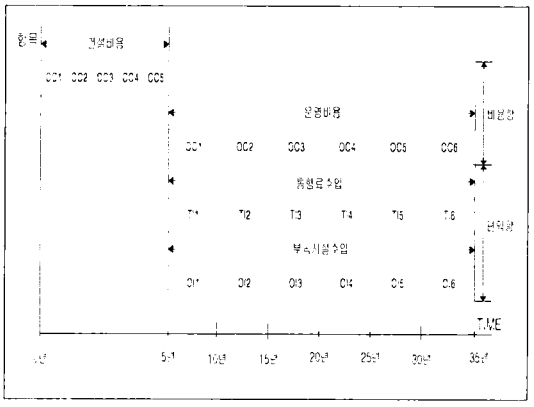
$$x>0\ ,\sigma_1>0\ ,\mu_1>0$$

$$\sigma_{cc_1}<\sigma_{cc_2}<\sigma_{cc_3}<\sigma_{cc_4}<\sigma_{cc_5}$$

$$\sigma_{oc_1}<\sigma_{oc_2}<\sigma_{oc_3}<\sigma_{oc_4}<\sigma_{oc_5}<\sigma_{oc_6} \qquad (5)$$

비용의 상관관계분석방법은 민자유치대상고속도로 비용구조에 대한 이력자료의 부재와 몬테카를로시뮬레이션기법에서 변수간의 상관관계를 설명하기 용이하다는 이유로 주관적 상관관계법(Touran, 1993)과 순위상관계수법(Iman, 1982)을 사용하였다. 먼저 순위상관법은 상관관계가 높은 쌍(pair)에 대해 동시에 높거나 낮은 비용을 발생시키기 위한 방법이며, 이때 사용되는 공분산값은 Touran의 주관적 상관계수에서 제시하는 값을 사용하였다. 따라서 본 분석에서는 건

설비용(CC)의 경우, 순공사비가 증가함에 따라 관련 비용이 비례적으로 급격히 증가함을 반영하기 위해 0.45~0.8의 높은 상관관계계수를 사용하였으며, 운영비용(OC)의 경우 통행료수입 증가에 따라 증가함을 반영하여 0.15~0.45인 중간 상관계수를 사용하였다.



〈그림 3〉 연도별 확률분포

〈표 3〉 확률변수분포 가정

확률변수	확률분포함수 유형
CC1	Lognorm (μ_{cc1}, σ_{cc1})
CC2	Lognorm (μ_{cc2}, σ_{cc2})
CC3	Lognorm (μ_{cc3}, σ_{cc3})
CC4	Lognorm (μ_{cc4}, σ_{cc4})
CC5	Lognorm (μ_{cc5}, σ_{cc5})
OC1	Lognorm (μ_{oc1}, σ_{oc1})
OC2	Lognorm (μ_{oc2}, σ_{oc2})
OC3	Lognorm (μ_{oc3}, σ_{oc3})
OC4	Lognorm (μ_{oc4}, σ_{oc4})
OC5	Lognorm (μ_{oc5}, σ_{oc5})
OC6	Lognorm (μ_{oc6}, σ_{oc6})
TI1	Triang (Min_{T1}, $Most\ Likely_{T1}$, Max_{T1})
TI2	Triang (Min_{T2}, $Most\ Likely_{T2}$, Max_{T2})
TI3	Triang (Min_{T3}, $Most\ Likely_{T3}$, Max_{T3})
TI4	Triang (Min_{T4}, $Most\ Likely_{T4}$, Max_{T4})
TI5	Triang (Min_{T5}, $Most\ Likely_{T5}$, Max_{T5})
TI6	Triang (Min_{T6}, $Most\ Likely_{T6}$, Max_{T6})
OI	Fixed
할인율	Triang (Min_d, $Most\ Likely_d$, Max_d)
이자율	Triang (Min_i, $Most\ Likely_i$, Max_i)
물가상승율	Triang (Min_j, $Most\ Likely_j$, Max_j)

주 : Lognorm(평균, 분산) : 로그정규분포, Triang(최소값, 최우추정치, 최소값) : 삼각분포

2. 시뮬레이션 분석결과

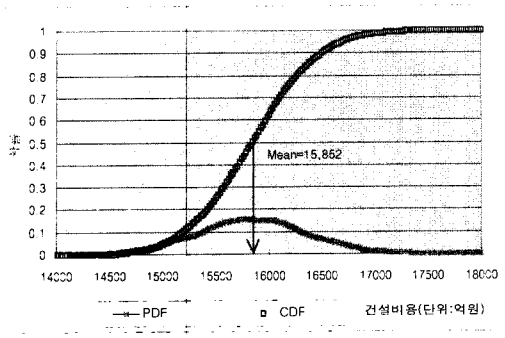
본 연구에서는 몬테카를로 시뮬레이터 중의 하나인 Palisade사의 @RISK와 EXEL 97환경에서 모형을 개발하였다. 수렴(Convergence) 조건 α=1%로 설정하여 위험도분석을 실행한 결과, 서울외곽순환 고속도로의 경우, 2200번 반복 후, 대전당진고속도로의 경우, 2100번 반복 후, 수렴에 도달하였다.

시뮬레이션 결과, 건설비용 및 사업성지표의 확률밀도함수와 누적확률분포함수가 산출되었다. 먼저, 건설비용 결과를 살펴보면, 기존의 사업성분석과정에서는 고정값으로 건설비용을 설정할 경우, 총액의 일정비율을 예비비로 확보함으로써 사업성의 변동에 대비하였다. 그러나 위험도분석으로 산출된 누적확률분포함수는 사업주체의 효용유형에 따라 건설비용의 위험도 목표값을 선정하여 확률에 따라 건설비용 및 총사업비를 결정할 수 있다. 예를 들어, 일반적으로 사업주체가 위험중립적인 투자형태를 취한다면, 건설비용은 〈표 4〉와 같이 누적확률분포함수의 50%값인 1조5,252억(서울외곽순환고속도로), 1조5,832억(대전당진

〈표 4〉 건설비용의 %값 (단위:백만원)

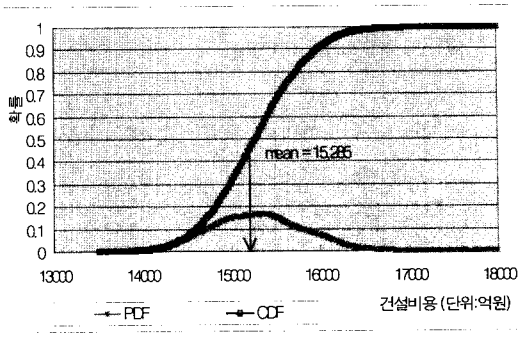
%값 \ 구분	서울외곽순환	대전당진
5%값	-53,735	-372,977
10%값	-27,799	-478,846
15%값	-5,932	-458,086
20%값	9,379	-443,698
25%값	26,669	-432,902
30%값	41,332	-421,610
35%값	53,115	-412,046
40%값	65,247	-403,396
45%값	78,849	-395,386
50%값	91,571	-386,973
55%값	104,378	-372,584
60%값	120,408	-362,872
65%값	134,749	-354,425
70%값	151,650	-346,292
75%값	168,468	-335,317
80%값	186,762	-321,256
85%값	209,608	-308,146
90%값	234,320	-290,352
95%값	272,193	-258,126
100%값	392,874	-131,017

대전당진고속도로 분석결과

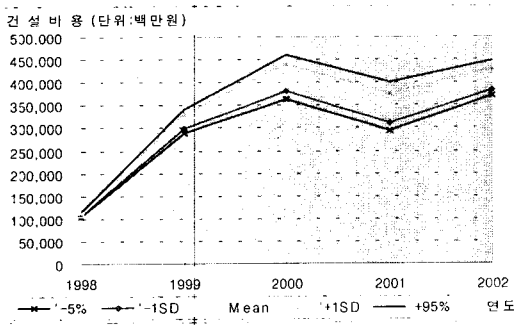


〈그림 4〉 건설비용의 확률분포

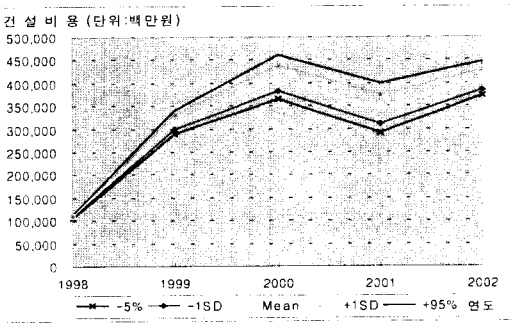
서울외곽순환고속도로 분석결과



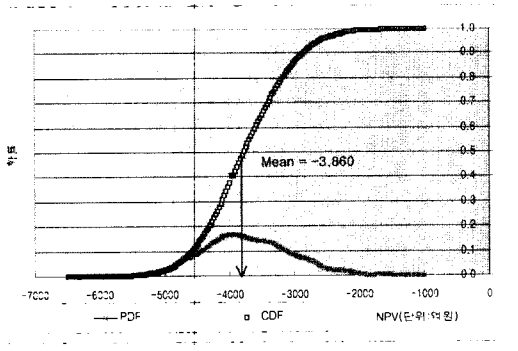
〈그림 5〉 건설비용의 확률분포



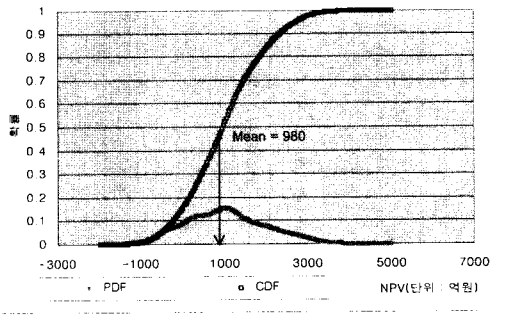
〈그림 6〉 연도별 건설비용 변동



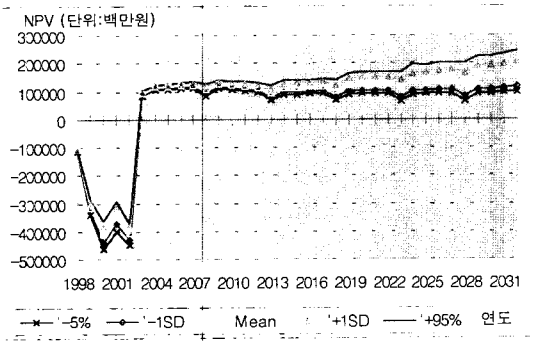
〈그림 7〉 연도별 건설비용 변동



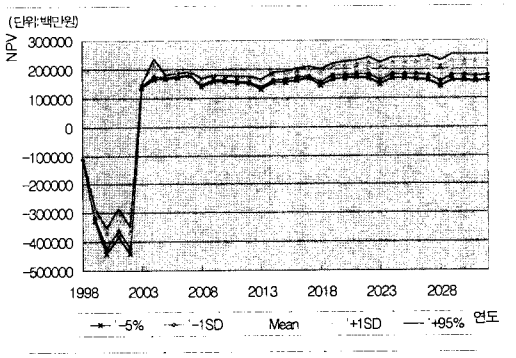
〈그림 8〉 NPV의 확률분포



〈그림 9〉 NPV의 확률분포



〈그림 10〉 기업의 현금흐름분석



〈그림 11〉 기업의 현금흐름분석

고속도로)로 투자할 것이다. 이때 사업의 재무흐름을 원활하고 보다 안전한 투자를 위해, 85%값까지 확보하여 사업비가 초과할 확률을 15%선으로 줄이고자한다면, 1조5,822억(서울외곽순환고속도로), 1조6,365억(대전당진고속도로)로 투자할 것이다. 이 경우, 건설비용의 연도별 변동의 85%까지 관리할 수 있다.

사업성지표의 결과를 살펴보면, 순현재가치는 사업기간 내의 사업주체의 순이익금액을 나타내며, 〈그림 8, 9〉는 사업성지표의 확률밀도함수와 누적확률분포함수를 나타낸다. 또한 〈표 5〉을 보면, 서울외곽순환고속도로는 순현재가치의 평균값이 980억의 흑자를 보이고 있으며, 변동가능한 사업환경의 84%는 흑자를 발생시킨다. 따라서 사업성 변동에 가장 큰 영향을 미치는 항목을 분석하여, 집중적으로 관리한다면, 사업성이 충분한 것으로 분석된다. 그러나 대전당진고속도로의 경우 순현재가치의 평균값이 3,860억의 적자를 보이고 있으며, 사업주체의 효용에 상관없이 100% 손실을 볼 것으로 분석되었다.

도로를 건설, 운영, 관리하는 동안 발생하는 기업의 현금흐름분석을 살펴보면, 〈그림 6, 7〉은 건설비용의 변동을 설명하고 있으며, 〈그림 10, 11〉은 사업기간 내 기업의 현금흐름의 변동을 나타내고 있다. 이때, 각 선들은 평균값을 중심으로 $-1\sigma \sim +1\sigma$, -5%~95%값 내에서 사업주체의 현금흐름 변동을 나타내고 있으며, 시간이 흐름에 따라 더욱 큰 폭으로 변동을 보이고 있다.

〈표 5〉 NPV의 %값 (단위:백만원)

구분 / %값	서울외곽순환	대전당진
5%값	1,446,638	1,505,481
10%값	1,463,002	1,522,232
15%값	1,475,695	1,533,880
20%값	1,484,701	1,542,276
25%값	1,492,659	1,550,540
30%값	1,499,671	1,558,405
35%값	1,506,227	1,563,977
40%값	1,513,265	1,569,606
45%값	1,519,719	1,576,715
50%값	1,525,223	1,583,164
55%값	1,533,003	1,590,071
60%값	1,539,998	1,596,361
65%값	1,547,875	1,602,896
70%값	1,555,373	1,,610,354
75%값	1,562,295	1,617,563
80%값	1,570,762	1,625,509
85%값	1,582,212	1,636,512
90%값	1,596,961	1,653,017
95%값	1,618,123	1,673,281
100%값	1,709,506	1,782,001

V. 결론 및 추후 연구방향

1. 결론

기존 사업성분석의 한계점을 극복하고 사업의 재무적 위험도를 정확히 분석하기 위해서, 사업의 변동으로 인해 발생하는 사업의 위험도를 추정할 수 있는 위험도분석과 재무 모형을 통합한 모형을 정립하고 적용하였다. 본 논문은 결론은 다음과 같이 요약할 수 있다.

첫째, 도로투자 사업성분석 시 사업주체의 현금흐름을 결정하는 항목들을 고정값이 아닌 확률적으로 추정함으로써, 사업성변동의 위험성을 사업성분석과정에 내재화하는 기법을 정립하였다. 즉, 위험도분석기법을 도입함으로써 위험발생 가능한 모든 변수들의 복합적인 조합을 확률적 위험도로 나타내었다. 또한 본 모형은 사업의 내적비용 뿐만 아니라 사업외적비용에 관해서도 폭넓게 사업의 변동을 설명할 수 있다.

둘째, 사업주체의 효용에 따른 사업의 변동을 확률밀도함수 또는 누적확률분포함수로 나타내어, 합리적인 의사결정을 유도할 수 있다. 기존의 사업성분석모형은 사업의 변동을 고려하기 위해, 예비비, 이윤을 사업의 일정비율로 확보하였다. 따라서 사업성분석과정에서 비용항목과 편익항목의 기준이 애매해지고, 사업성을 평가하기 어려운 단점이 있었다. 그러나 본 모형의 경우, 분석결과에 따라 이윤, 예비비 등을 확률적 관점에서 결정할 수 있다. 특히 민자유치사업의 경우, 사업의 진입 결정과 정부의 재정지원방안 협상 등을 고정값이 아닌 위험도를 확률적으로 분할, 배분한다면 합리적인 의사결정을 유도할 수 있다.

셋째, 본 모형을 적용하여 민자유치대상고속도로의 사례분석을 수행한 결과, 서울외곽순환고속도로의 경우 위험발생변수를 합리적으로 관리한다면, 충분히

사업성이 있는 것으로 분석되었다. 아울러 이러한 사례연구는 우리나라 민자유치대상고속도로의 투자분석 기법의 하나의 지침이 될 것으로 판단된다.

2. 추후 연구방향

향후 연구과제로는 위험발생항목의 확률분포에 대한 정보를 축적하고 분석하여, 각 비용항목별로 합리적 분포와 계수 추정에 대한 연구가 계속적으로 추진되어야한다. 또한 민자유치사업의 재무적 위험도 외에도 정치적, 경제적, 사회적, 공학적 위험도를 종합적으로 관리할 위험도관리체계(Risk Management System)를 정립할 필요가 있다.

참고문헌

1. 원제무(1998), "도시계량분석", 박영사.
2. 양지청(1998), "민자유치대상 고속도로의 사업성 분석", 국토연논, 국토연구원.
3. 한국도로공사(1998),"민자유치대상사업의 정부재정지원방식 적용사례연구", 고속도로57호.
4. Philippe Jorion(1997), *"Value at Risk"*, IRWIN, pp.185~203.
5. Curran, M. W.(1989) *"Range Estimating"* Journal of Cost Engineering and Management, ASCE., 31(3), pp.18~26.
6. Touran A. and Wiser E.(1974), *"Monte Carlo technique with correlated random variable"* Journal of Cost Engineering and Management, ASCE, 11(2), pp.258~272.
7. Touran(1993), *"Probabilistic Cost Estimation with Subjective Correlation"*, Journal of Cost Engineering and Management, ASCE, Vol. 119 No. 1.
8. Touran(1994), *"Integration of Financial and Construction Risk"*, TRR1450, pp.15~22.
9. Devore, J. L.(1991), *"Probability and statistics for engineering and the sciences"*, Brooks/Cole Publishing Co., Pacific Grove, Calif.
10. Diekmann, J. E.(1983) *"Probabilistic estimating: Mathematics and applications"* Journal of Construction Engineering and Management., ASCE, 109(3), pp.297~308.
11. Fishman, G. S.(1978) *"Principles of discrete event simulation"*, John Wiley and Sons, New York, N.Y.
12. Johnson, M. E. and Ramberg, J. S(1978). *"Transformations of the multivariate normal distribution with applications to simulation"*. Technical Report. Los Alamos Science Lab., Los Alamos, N.M.
13. James E. Spooner(1974), *"Probabilistic Estimating"*, Journal of the Construction Division.
14. Kevin Dowd(1998), *"Beyond Value at Risk"* John Willey & Sons.
15. User's Guide to @RISK(1997), Palisade.
16. User's Guide to RISKview(1997), Palisade.