

위험도분석을 이용한 철도투자사업 경제성평가 적용방안

Application of Risk Analysis for Economic Evaluation of Railroad Investments

이 호*
Lee, Ho

서 선덕**
Suh, Sunduck

Abstract

To account for uncertainties involved in an economic analysis of project, sensitivity analysis are usually being done in Korea. Though useful for policy analysis, but it lacks explicit consideration of probability of occurring certain events considered in the sensitivity analysis. Risk analysis otherwise can explicitly account for the probability of certain event which has dire impact on project viability, such as cost, discount rate, and size of benefit. This paper reports experience of applying risk analysis method for economic evaluation of railroad investment. Probability distribution of event has paramount impact on the risk analysis results, while not many prior researches dealt with these issues. Probability distribution of rolling stock cost and operating cost, in addition to those cost variables, are developed considering railway demand in this study. Case study results are reported. Issues in applying risk analysis are reported in addition to further research direction.

1. 서론

수송부분의 투자효과분석은 보다 체계적이고 종합적으로 시행되어야 한다. 특히 철도건설사업은 다른 사업에 비해서 대규모의 사업비와 주위에 대한 파급효과가 큰 사업이기에 이러한 요구사항은 더욱더 절실하다고 할 수 있다. 철도건설사업에 있어서 사업성 분석은 투자되는 자본과 수요예측을 바탕으로 한 비용-편익분석을 실시하고 있다. 특히 이런 비용과 편익항목의 비교를 토대로 투자의 효율성에 대한 판단근거로 B/C(Benefit-Cost Ratio), NPV(Net Present Value), IRR(Internal Rate of Return)등을 제시하고 있다. 현재 진행되고 있는 철도건설사업의 추진단계를 살펴보면 예비타당성→타당성조사 및 기본설계→실시설계→보상→착공의 순으로 설정하고 있다. 추진단계마다 경제성 평가를 실시하고 있으나, 각 단계마다의 투자에 소요되는 비용과 편익이 약간씩 차이가 있게 마련이다. 이는 철도건설사업 경제성평가에서 채택하는 여객화물수송량,공사비, 할인율,운수원가등에 대한 예측치와 계산치등이 장래에 어떻게 될지 모르는 불확실성을 내포하고 있기 때문에, 이러한 변화를 보이는 것이다. 특히, 시설투자사업에 있어서 수요예측의 부분은 매우 중요하다고 할 수 있다. 수요가 어떻게 변하느냐에 따라 철도건설사업의 경우, 비용에 있어서는 차량소요대수와 운행계획이 달라지고, 도로부분에서 발생하는 편익의 값도 달라지기 때문이다. 이렇듯 불확실성을 고려하지 않고서, 확정된 하나의 추정치만을 가지고서 대규모 시설투자사업을 평가한다고 하는 것은 자칫 왜곡된 결과를 초래 할 수도 있다. 현재 공사비,공사시간,수요,할인률등의 각 변수가 일정량만큼 변화가 있을 때 경제성은 어떻게 변하는가를 고려한 민감도 분석

*한양대학교 대학원생, 비회원

**한양대학교 교수, 정회원

(Sensitivity Analysis)을 시행하고 있지만, 이는 임의적인 기점분석으로 각 항목의 발생 확률을 반영하지 못하고 있다. 또한 계산된 값이 얼마나 실현가능성이 높은지에 대한 아무런 정보를 제공하지 못하고 있으며, 현재 다른 변수들은 일정하게 두고 한가지 변수의 변화만을 고려하고 있기에, 만약 여러 변수들이 서로 독립적이 아닌 이상 위험을 제대로 반영하지 못할 우려가 있다.

본 연구에서는 철도건설 사업시 이러한 단점들을 보완할 수 있는 불확실성을 고려한 경제성평가를 수행하고자, 경제성평가의 항목에 대한 확률분포를 고려하고, Monte Carlo Simulation 방법을 근거로 하여 위험도 분석(Risk Analysis)을 실시하고자 한다. 이는 주요 변수별로 몇 개의 특정 값을 가정하는 것이 아니라 확률분포를 가정하고, 그에 따라 현재가치등의 경제지표에 대해서도 몇 개의 값이 아니라 분포전체를 계산해 내는 것이다. 분석에 있어서는 공사비 뿐만 아니라 경제성에 큰 영향을 줄 수 있는 수요에 대한 불확실성을 가미하여 비용항목 뿐만 아니라 편익항목에 대해서도 보다 구체적인 위험도분석 방법을 제시하고자 한다. 또한 실제 진행되고 있는 사업에 대해 위험도분석을 적용해 보고, 위험도분석의 적용방안에 대해서 살펴보도록 한다.

2. 기존연구 검토

공사비와 공기에 대한 위험도분석을 위한 확률적 모형을 적용하여 궁극적으로는 경제성분석에 활용한 사례는 많다. 대표적으로 Flanagan and Norman(1994)은 건설 및 건축에 대한 Risk 관리에 대한 개괄적인 내용을 소개하고 있다. 좀더 구체적인 적용으로서, Risk 평가를 터널의 타당성 조사에 활용한 사례를 Conway(1993)이 보고하고 있다. 이 연구는 터널의 지질조건이 터널 공사비에 매우 큰 영향을 미치지만 초기 단계에서 터널내의 지질에 대한 완전한 정보가 없기 때문에 발생할 수밖에 없는 투자비에 대한 불확실성을 토질조건에 대한 확률분포를 활용하여, 투자비에 대한 확률분포를 추론해 낸다는 접근방법을 제시하고 있다. Alhalaby and Whyte(1993)는 건설에 있어서 Project Financing에 지질조건이 미치는 영향을 Risk 분석을 사용하여 분석하였다. 이 연구는 역시 지질조건이 투자비에 영향을 미치고, 결국에는 재무성에 직접적인 영향을 미친다는 점을 이용하고 있다. 비록 초기 단계에서 완전한 지질조사를 하지 않은 상태이지만, 유사한 지역의 정보나, 과거의 경험에 의한 토질 상태에 대한 정보를 활용하여, 지질조건에 대한 확률분포를 추론하고, 그 정보를 이용하여 재무성에 미치는 지질조건에 대한 불확실성을 분석하였다.

Ali Touran and Palu J.Bolster(1994)는 Monte Carlo Simulation 방법을 사용하여 위험도분석시 재무성과 건설의 위험도를 동시에 고려하는 접근방법을 제시하였다. 이 방법은 제시된 공기나 비용을 실제공사시 초과할 확률을 추정해 하기 위해서 사용되었다.

또한 교통시설물에 대한 구체적인 사례로는 DOT(1994)에서 케도교통수단의 건설에서 발생하는 Risk를 평가하고 관리하는데 대한 제반 사항을 제시하고 있으며, Risk 분석에 대한 많은 문헌목록을 제시하고 있다.

우리나라에서는 서선덕,권기진(1998)이 도로에 대한 토공,포장공,부대공 등 공사비의 주요 항목에 대한 확률분포를 고려하여, 타당성 조사, 기본설계, 그리고 실시설계의 각 단계에서 공사비의 추정치가 어떠한 확률분포를 보일 것인지에 대한 연구를 발표한 바 있다. 또한 서선덕,권기진(1998)에 도로사업의 경제성 평가에 위험도 분석을 활용하여 기존의 방법과 비교하여 적용과정의 문제점에 대해서 제시해 주었다.

이용택,김상범,원재무(2000)은 기존의 연구된 방법을 활용하여 민자유치대상 고속도로의 투자의 위험도 분석에 관해서 제시하고 있다.

3. 위험도 분석의 개념과 사례연구

3.1 위험도 분석

투자사업의 경제성 평가는 미래에 대한 예측을 근거로 하기 때문에 비용과 편익의 추정은 불가피하게 어느 정도의 불확실성을 내포하고 있다. 즉, 공사비가 당초 예상했던 것보다 높아질 수도 있고, 사업의 기간이 연장될 수도 있으며, 예측된 수요가 덜 발생할 수도 있다. 이때 현재 또는 미

래의 상황을 적절한 확률분포로 표현할 수 있는 경우를 위험도(Risk)라 하고, 확률로 나타낼 수 없는 경우를 불확실성(Uncertainty)이라고 한다. 경제성 평가에서 여건의 변동을 확률적 분포로 표현하여 기대치 분석을 하는 것을 위험도 분석(Risk Analysis)라고 한다. 위험도분석은 미래의 불확실성(Uncertainty)중 확률분포로 나타낼 수 있는 변수들에 대해 변수의 변화에 따른 사업성의 변동을 설명하는 기법이다. 리스크 분석에 대한 접근방법은 크게 Variance-Covariance Approach, Historical Simulation Approach, Monte Carlo Simulation and Related Approaches, Scenario Simulation으로 구분할 수 있다. Variance-Covariance 방법은 관찰치가 정규분포를 이루고 있다고 가정하고 분석하기에 리스크 분석의 추정이 간단하지만, 논리적인 일관성과 신뢰성이 부적합하고 정확도가 떨어지는 단점을 가지고 있다. Historical simulation 방법은 과거의 자료를 이용하여 리스크 변수의 분포를 추정하여 적용하는 방법으로, 과거의 위험도 상황과 추세를 적절히 반영할 수 있고, 개념적으로 간단하다는 장점이 있다. 하지만 자료의 취득이 어렵고, 과거자료의 신뢰성과 추정기간 길이에 대한 문제점이 있다. Monte Carlo 시뮬레이션 기법은 리스크 변수는 독립적이고 정규분포를 따른다는 가정하에서 적합한 분포를 선정한 이후 random number를 발생시켜 리스크 변수의 값을 추출한다. 이는 분포가 정규화된다는 가정하에서 가장 심각한 문제인 비선형성과 관련된 가격위험도 쉽게 다룰 수 있기에 위험도분석을 추정하는데 가장 많이 사용되는 방법이라 할 수 있다.(Boyle at al.1997) Scenario Simulation 방법은 포트폴리오에 의한 가치를 결정하는 가격과 이자율의 적정한 분포의 기본요소분포를 사용하는 방법이다. 이는 보다 정확하고 계산량이 적다는 장점을 가지고 있지만, 시간과 지적자원의 문제 때문에 절차의 복잡성을 해결하지 못하는 단점을 가지고 있다.

3.2 위험도 분석 절차

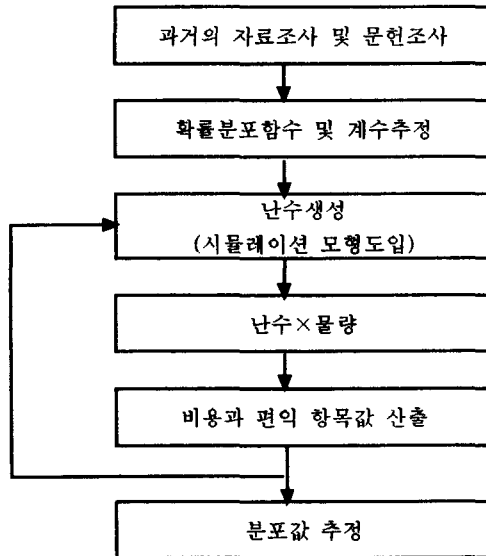


그림 1. 작업흐름도

앞서 제시한 위험도분석 방법 중에서 Monte Carlo 시뮬레이션 방법을 사용하여 위험도 분석을 수행하고자 한다. 이는 건설사업에서 발생하는 비용의 확률적 평가기법 중에서 가장 일반화된 기법으로, 잠재적으로 높은 변동을 가진 모든 비용을 random variable로 모형화하고, 컴퓨터 프로그램은 다양한 비용항목등 다양한 요소들의 가정된 통계적 분포를 기초로 random number를 발생한다. 일반화된 수와 일정 비용등이 다양한 요소가 추가되면서 총비용이 수백번에서 수천번 반복적

으로 계산하게 된다<그림 1 참조>.

이러한 과정에서 가장 중요한 것은 위험도변수에 대해 어떠한 확률분포함수와 계수값을 사용하느냐에 따라 변수 추출된 값이 달라지게 된다. 확률분포는 과거의 유사한 사업의 실제 결과 또는 이론적 추론에 근거하여, 각 변수에 대한 확률분포를 추론하게된다. 실제자료와의 적합도 정도를 판단하기 위하여 Chi-Squared 값, Kolmogorov-Smirnov(K-S) 값, Anderson-Darling(A-D)값, Root-Mean Squared Error(RMSE)등을 사용하여 분석하도록 한다.

3.3 사례연구

기존의 단순한 경제성평가를 시행하였던 방법과 불확실성을 고려한 방법과의 비교를 위하여 실제 철도건설사업과 관련된 내용에 적용해 보았다. 분석방법은 Monte Carlo Simulation기법을 사용하고 앞서 제시한 절차를 이용하였다. 본 연구의 분석을 효율적으로 하기 위하여 범용의 시뮬레이션 프로그램을 활용하였으며, 이는 Excel 프로그램의 Add-on 프로그램으로 개발된 @Risk 4.0(Palisade,2000)을 사용하여 분석하도록 하였다<그림 2참조>. 적용하는 사업은 부산신항만 배후 철도건설사업으로 하였으며, 사업의 내용은 낙동강역부터 녹산역까지 철도노선을 신설하는 것이다. 분석사업에서는 노선대안을 4가지를 제시하고 있으나, 본 사례연구에서는 최적대안으로 제시된 대안에 대해서만 비교 분석하도록 하였다. 제시된 대안의 구간연장길이는 38.8km이며, 철도개통시기는 2007년이며, 분석기간은 30년으로 하였다. 비용항목으로는 건설비, 운영비, 차량구입비를 고려하였으며 편익항목으로는 도로부문의 차량운행비감소,통행시간절감,사고비용감소를 고려하였다.

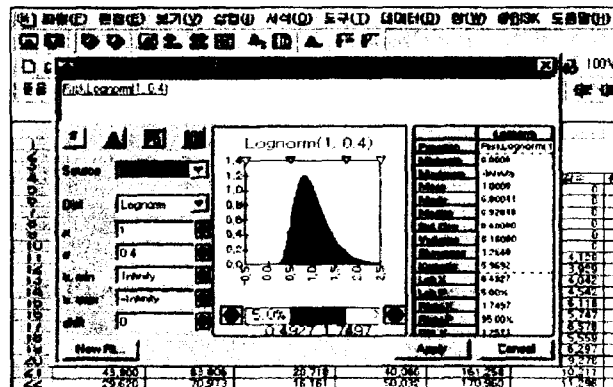


그림 2 @Risk 프로그램

분석결과 편익/비용비(B/C Ratio)는 1.41, 순현재가치(NPV)는 472,705백만원, 내부수익률(IRR)는 11.5%로 나타났다. 또한 민감도 분석시 건설비, 차량구입비,운영비등이 10%증가하는 경우에도 경제성이 유지되는 것으로 분석되었다.

우선 배후철도신설에 따른 위험도 분석을 실시하기 위하여 경제성평가에 들어가는 각 항목에 대한 확률분포가 정의되어야 한다. 비용항목에 있어서 건설비는 서선덕,권기진(1998)의 연구에서 제시된 삼각형 분포(Triangle Distribution)를 적용하였으며, 분포에 대한 기본적으로 최소값, 최우 값 및 최대값 계수는 울산-포항간 복선전철 사업(철도청,2000)과 원주-강릉간 철도건설 타당성 사업(철도청,2000), 서해안 산업철도 건설사업(KDI,1999)과 예비타당성지침서(KDI,2000)를 활용하여 단가비용을 산정하도록 하였다. 다음은 본 연구에서 적용한 공정별 비용을 나타낸다.

표 1. 공정별 확률분포의 계수추정치

단위: 억원/km

구분		최소값	최우값	최대값
보상비	용지보상비	19.0	20.9	22.0
노반비	도공	71.0	92.0	96.0
	교량	140.0	177.0	196.0
	터널	174.0	177.0	180.0
시스템비	궤도	11.2	12.2	16.2
	전력비	3.4	3.9	4.2
	신호	5.5	6.8	7.1
	통신	4.9	5.7	6.8

차량구입비와 운영비용은 철도수요에 의해서 영향을 받는 항목이다. 특히 차량비용은 동차와 객차, 화차수에 각 차량의 단가를 곱하여 계산하게 되는데, 수요가 어떻게 변하느냐에 따라 이런 비용도 크게 영향을 받는다. 우선 이런 비용에 대한 불확실성을 고려하기 위해서는 수요에 대한 불확실성을 고려하도록 하여야 한다. 차량의 수는 철도수요에 따라 변하는 값이기에, 차량구입비에 관한 확률분포는 철도수요에 의한 분포를 고려하여 나타낼 수 있다. 우선 수요의 추정치는 장래로 갈수록 불확실성이 점점 더 커지는 성향을 반영하고 있다. 이러한 시간이 지날수록 커지는 불확실성을 반영하고자 평균값에 대해서 비대칭을 가지며, 양수값을 나타내는 Lognormal 확률분포를 사용하며, 장래에 대해서는 5%정도의 불확실성으로 커진다고 가정하고, 이에 맞추어 표준편차를 키워나가도록 하였다. 차량수와 차량단가는 부산신항만 배후철도건설 기본계획 보고서(철도청,2000)에 나와있는 방법을 적용하도록 하였다.

운영비용은 고정비와 변동비로 구분된다. 고정비는 역 운영비와 궤도유지비로 나눌 수 있으며, 변동비는 차량운행비를 포함하게 된다. 실제 수요에 의해서 영향을 받는 비용은 변동비부분으로서, 본 연구에서는 운영비용중에서 고정비용을 빼 나머지 비용에 대해서 수요와 동일한 확률분포를 적용하여 운영비용을 산정하도록 하여 불확실성을 적용하도록 하였다. 운영비용도 결국 철도수요에 의해서 영향을 받는 부분이기에, 운영비용중에서 고정비용을 빼 나머지 부분에 대해서 수요와 동일한 확률분포를 적용하여 운영비용을 산정하도록 하였다.

철도신설로 인한 도로부분의 인-km와 톤-km의 감소분을 이용하여 차량운행비 감소,통행시간절감,사고비용감소 편익을 산정할 수 있다. 이런 편익은 철도수요가 어떻게 변하느냐에 따라 편익도 달라질 수 있다. 따라서 본 연구에서는 철도부분과 도로부분의 인-km와 톤-km가 비슷한 분포를 보일 것으로 보고, 앞서 제시한 Lognormal 분포를 각 항목에 적용하도록 한다.

직접적으로 사업의 경제성에 영향을 미칠 수 있는 할인율에 관해서도 고려해 보도록 하였다. 할인율은 단기적으로는 안정적이고, 장래에 대해서 변화방향을 예측하기가 매우 곤란한 변수이기에 가장 일반적으로 정규분포를 가진다고 가정하고 변화가능성은 표준편차의 크기로 제시한다.(서선덕,권기진(1998)) 본 연구에서는 할인율의 확률분포를 평균이 7.5%이고, 표준편차가 1%인 정규분포로 가정하였다. 비용에 있어서 총사업비와 차량구입비, 운행비를, 편익에 있어서는 차량운행비감소, 통행시간절감, 사고비용감소의 각각의 항목에 대해서 확률분포를 모두 동시에 고려하여 시물레이션을 시행하였다.

이상과 같이 각 항목별로 확률분포를 고려하고, 앞서 제시한 단계를 1500번 반복시행하도록 하였다. 다음은 모든 것을 고려한 시물레이션시 나타난 편익/비용비(B/C Ratio), 순현재가치(NPV),내부수익률(IRR) 분포를 제시해 주고 있다.

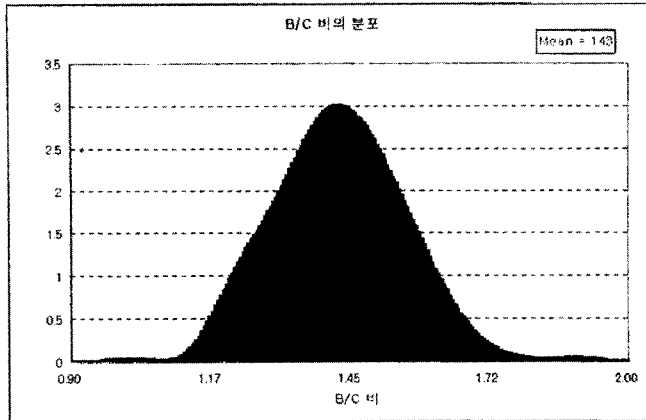


그림 3. 편익/비용비(B/C Ratio) 분포

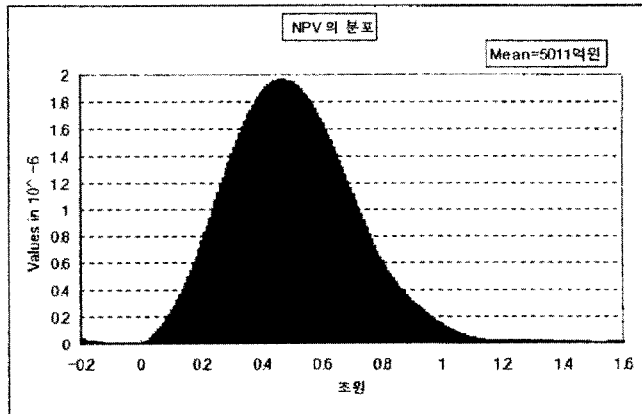


그림 4 순현재가치(NPV) 분포

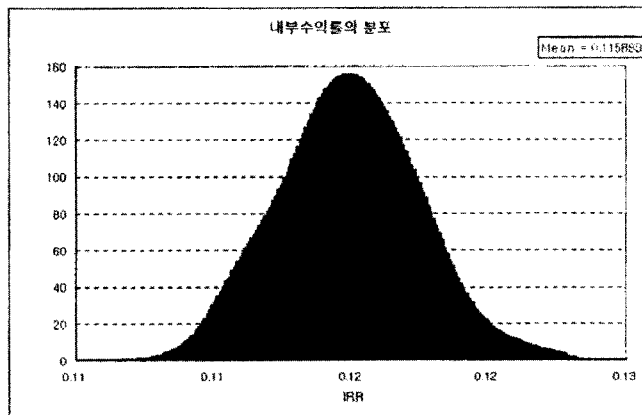


그림 5 내부수익률(IRR) 분포

기존 경제성평가의 지표값들은 어느 특정한 하나의 값만을 제시해 주었으나, 본 연구에서는 확률분포를 고려한 분포로써 지표값들을 제시해 주고 있다. 표 2 에 제시되어진 것처럼, 각 지표값이 가질 수 있는 범위가 주어지므로, 계산된 값의 신뢰도를 함께 고려할 수 있다는 것이 기존의 연구방법과의 차이이다.

표 2 위험도분석 결과값

	최소값	최대값	평균	경제성분석(기준)	비교
B/C 비	0.99	1.91	1.43	1.42	51.5%
NPV(백만원)	-11,672	1,523,491	501,154	472,705	50.9%
IRR(%)	10.8%	12.5%	11.6%	11.5	62.5%

위험도 분석을 이용하면, 기존의 경제성평가의 B/C비 1.42, NPV 472,705백만원, IRR 11.5%은 각 51.5%, 50.9%, 62.5%에 해당되는 범위에 있는 값이라 제시할 수 있다. 이들 결과를 보면 기존 결과는 상대적으로 높은 실현 확률을 가진다고 할 수 있다. 만약 정책 결정자가 80%정도의 신뢰도를 가지고자 하면, 결과에서 80%에 해당되는 결과치를 읽으면 된다. 80%에 해당되는 B/C비, NPV, IRR는 각각 1.32, 331,698백만원, 및 11.4%이다. 이처럼 위험도분석을 이용한 경제성평가는 기존의 방법에 비해서 보다 신뢰성 있는 값을 제공해 주며, 정책결정시 보다 객관적인 자료를 제시해 줄 수 있을 것이다.

4. 결론 및 향후연구과제

시설투자사업의 사업성을 평가함에 있어서 기존방법은 평가항목에 대한 불확실성을 배제한 평가가 시행되어 왔다. 민감도 분석(Sensitivity Analysis)을 수행하고 있지만, 이는 임의적인 기점분석으로 각 항목의 위험도를 반영하지 못하며, 제시된 값 자체에는 실현가능성에 대한 아무런 정보도 제공되지 못한다. 또한 여러 변수들이 서로 비독립적이라면 위험을 제대로 반영하지 못할 우려를 가지고 있다. 현재 이러한 부분을 보완하고자 도로부분에 대해서는 비용항목에 대한 위험도 분석이 연구되어져 왔으나, 철도부분에 대한 연구는 없는 실정이다. 특히 철도시설투자에 있어서 수요의 변화는 향후 차량운행계획에 있어 많은 영향을 미치는 부분이기에 꼭 고려가 되어야 할 부분이다. 그래서 본 연구에서는 공사비와 수요에 대한 확률분포를 고려하고, Monte Carlo 시뮬레이션을 사용하여 경제성분석에 위험도를 적용하여 보았다. 이러한 절차를 사례연구에 적용하여, 확률분포를 고려한 B/C 비, NPV, IRR를 구할 수 있었으며, 기존의 경제성분석에서 구한 값이 44.2%, 47.4%, 36%의 범위에 있는 값이라 제시할 수 있다. 이렇듯 앞으로 경제성 분석시 위험도 분석을 고려한 경제성분석을 시행하여, 보다 신뢰할 수 있는 정책결정이 이루어지도록 하여야 할 것이다.

향후 위험도분석이 철도건설 사업성분석에 폭넓게 적용이 되기 위해서는, 수요의 장래 불확실성에 대한 크기와 평가항목에 대한 확률분포가 추가적으로 연구되어야 하며, 보다 자세한 편익에 대한 불확실성을 고려하기 위해서 불확실성을 고려한 수요를 이용하여 반복적 Network분석을 시행해 보아서 편익에 대한 분포를 구해야 할 것으로 본다.

5. 감사의 글

본 논문은 한국과학기술부, 한국과학재단에서 지원한 첨단도로연구센터의 연구수행 결과입니다.

참고문헌

1. Flanagan. R. and G. Norman. "Risk Management and Construction", Blackwell Scientific Publications, Cambridge,1993
2. Conway J. J., "Applications of Risk Management in Tunnel Feasibility Studies", in Risk and Reliability in Ground Engineering, Thomas Telford, London, 1993.
3. Alhalaby N.M.H. and I.L. Whyte,"The Impact of Ground Risk in Construction on Project Finance", in Risk and Reliability in Groud Engineering, Thomas Telford, London, 1993.
4. U.S Department of Transportation(DOT)(1994), "RiskAssessment in Fixed Guided Transit System Construction", Federal Transit Adminstration, DOT-T-95-01,Washington,D.C
5. David Vose(2000),"Risk analysis - A quantitative guide", JOHN WILEY&SONS,LTD
6. Palisade Corporation(2000),"Guide to Using @Risk"
7. 서선덕,권기진(1998년),"Monte Carlo 시뮬레이션을 사용한 도로 투자비 추정 합리화 방안", 춘계학술발표대회 논문집,한국시뮬레이션학회
8. 서선덕,권기진(1998년),"도로사업의 경제성 평가를 위한 위험성 분석의 활용방안", 공학기술논문집,한양대학교.
9. 이용택,김상범,원제무(1999년),"민자유치대상고속도로 투자의 위험도분석 ",대한교통학회지 통46호
10. 철도청(2000년),"원주-강릉간 철도건설 타당성 검토"
11. 철도청(2000년),"2000년도 철도수송계획"
12. 철도청(2000년),"부산신항만 배후철도건설 기본계획",한국철도기술공사,한양대학교
13. KDI(2000),"철도부분사업의 예비타당성조사 표준지침연구(개정판)"
14. KDI(2000),"동해남부선 울산-포항간 복선전철화사업"