

위험도분석을 활용한 교통투자사업 평가의 효율화방안

이 용 택 감사원 교통사무관

남 두 희 한국교통연구원 도로연구실 책임연구원

1. 머리말

건설교통부는 제한된 예산 하에서 공공의 후생을 극대화하도록 교통투자사업을 효율적으로 추진하기 위해서, 현재 교통체계효율화법 제10조 및 동법 시행령 제7조의 규정에 근거하여 교통투자사업의 타당성을 평가하고 투자우선순위에 따라 사업을 집행하고 있다. 그러나 대부분의 교통투자사업은 이러한 타당성평가를 수행, 사업을 선정·집행함에도 불구하고, 사업시행 전에 예측하지 못했던 불확실성으로 인해 당초의 경제성이 크게 훼손되는 것으로 나타난다. 이러한 사실을 입증하듯 월드뱅크의 조사결과에 따르면 1974년부터 1988년 동안 지원한 1,778건의 SOC투자사업을 분석한 결과, 이중 63%가 비용초과를 보였다고 밝혔다. 또한 미국 교통부(DOT)는 대규모 지하철사업을 추진하면서 전체 사업의 90%에 해당하는 사업이 비용초과를 보였으며, 비용초과분도 11%~106%에 달해 당초

경제성이 훼손된 것으로 보고하였다. 뿐만 아니라 국내에서도 한국개발연구원(KDI) 조사결과, 2005년 9월기준으로 2003년 이후 사업비 500억원 이상이 투입된 국책사업 95건 가운데, 48건이 경제성이 없는 것으로 보고한바 있다.

특히 국내 교통투자사업의 불확실성은 IMF사태 이후 정부의 재정여건 악화와 유가인상, 빠른 고령화, 정보통신기술의 발달 등으로 더욱 증가하고 있어, 사업초기 타당성분석과정에서부터 사업의 불확실성을 반영하여 사업에 미치는 위험도를 정확히 계량화하고 평가하여 과학적으로 관리해나가는 제도가 반드시 필요하다. 현재 교통투자사업의 타당성평가기법(건설교통부, 1982)으로 사용되는 전통적인 결정적 경제성분석모형(DEA : Deterministic Economic Analysis)은 【별첨 1】과 같이 사업기간동안 발생하는 비용과 편익항목을 경제성 분석지표(비용편익비 ; B/C, 내부수익률 ; IRR, 순현재가치 ; NPV)로 산출하고, 이를 근거로 사업의 타당성을 평가하고 있



다. 그러나 이 방법은 여타조건이 일정하다는 가정 하에 사업의 비용·편익항목, 할인율, 물가상승률 등 사업 내·외적인 변수들이 장기간에 걸쳐 고정값(Deterministic Value)으로 분석함으로써, 장래에 발생할 수 있는 다수의 대안들 중 하나의 편기된 대안만을 가지고 사업의 경제성을 판단할 수 있는 문제점을 안고 있다. DEA모형 기반 하에 이러한 문제점을 보완하기 위해 도입된 위험도 예측·평가하는 방법으로는 위험도 프리미엄을 반영한 할인율 산정¹⁾, 민감도분석(Sensitivity Analysis)²⁾, 또는 스파이더 다이어그램(Spider Diagram)³⁾과 확률등고선(Probability Contour)⁴⁾ 방법 등이 있으나 이는 여전히 DEA모형과 유사한 문제점을 안고 있다.⁵⁾ (Newton,1972 ; Perry외,1985 ; Dodgson,1998 ; 교통개발연구원,1999 ; 김상범외,1999 ; 김인호,2001 이용택외,2004)

따라서 이러한 기존 타당성평가의 한계점을

개선하고 사업성의 변동을 사전에 고려하기 위해, 고정값(Deterministic Value)으로 주어지던 사업성분석의 항목들을 확률적 개념으로 적용하는 위험도분석(PRA : Probabilistic Risk Analysis)기법을 도입하는 것이 바람직할 것으로 판단된다. 이러한 취지에 따라 본고에서는 교통투자사업의 추진과정 중에 발생하는 사업성의 변동을 유발하는 위험도 요인을 고찰하고, 이를 평가하여 합리적으로 관리할 수 있는 방안을 소개하고자 한다.

II. 위험도와 위험도관리체계의 개념

1. 위험도의 정의

사업성의 변동은 미래의 불확실성으로부터 발생하는데, 그렇다면 불확실성(Uncertainty)과 위험도(Risk)의 차이는 무엇일까? Frank Knight(1972)는 확실성이 결여되어있는 세계에

- 1) 위험도 프리미엄을 반영하여 할인율을 산정하는 방안은 경상할인율에 위험도프리미엄을 반영하여 할인율을 산정함으로써 사업기간 내에 일정 수익률을 보장하는 방안으로, 산출식은 $\frac{1+불가할인율}{1+불가상승률} - 1 = 불변할인율$ 으로, 여기서 경상할인율 = 이자율+스프레드+ 위험도 프리미엄이고, 스프레드는 금리 결정 시, 동일한 대출이라도 행사가격과 만기가 다르기 때문에 서로 다른 금리를 적용받게 되는데 이 가격의 차이를 스프레드라고 정의한다. (김인호,2001)
- 2) 민감도분석을 활용하는 방안으로 경제성분석 시 여타 조건이 동일하다는 가정 하에 해당변수의 조건을 변화시켜 사업의 경제성에 해당변수가 미치는 평가지표(NPV, B/C비 등)의 민감도를 분석하는 것이다.
- 3) 스파이더 다이어그램은 변수의 변동에 따른 비용 예측치의 변화를 나타내는 방법이다. 각 선의 기울기가 작을수록 해당 변수의 변화율이 예측 결과에 대하여 미치는 영향도가 더욱 민감한 것으로 판단할 수 있다.
- 4) 변수 간에 발생확률이 같은 지점을 연결한 것을 확률등고선이라고 한다. (Perry외,1985) 이러한 방법은 위험도와 관련된 변수의 민감도를 분석함으로써 변수의 상대적인 중요성을 파악하고, 불확실성의 감소로 인해 발생하는 비용절감의 잠정적인 편익을 도시화 할 수 있는 장점이 있다.
- 5) DEA모형 하에서 위험도를 고려하는 기법들은 사업의 변동을 고려하기 위해 여타 조건은 일정하다는 가정 하에 특정 위험변수의 변동만을 추정하거나, 총량적으로 위험도를 경제성평가지표에 반영할 뿐, 위험도의 원인을 직접 규명·해석하여 이를 관리하기 위한 대안을 제시하지 못하는 단점을 여전히 가지고 있다

서 의사결정을 하는 경우, 의사결정의 기초가 되는 확률분포가 존재하느냐의 여부를 기준으로 삼아 존재하면, 위험성하의 의사결정이라 하고 존재하지 않으면, 불확실하의 의사결정이라고 하여 양자를 구분하였다.

이외에도 Schumpeter(1934)는 결과에 대한 확률분포가 알려져 있는 경우, Lindley(1971)는 통계분석이 가능한 경우로 유사하게 위험도를 정의하고 있다.

2. 위험도의 분류

위험도의 분류는 【별첨 2】와 같이 위험도성격에 따른 분류(Diekman, 1988), 위험도성격과 발생원에 의한 분류(Wardman, 1989), 사업에 미치는 영향에 의한 분류(Wideman, 1992), 건설사업의 성격에 따른 분류(Perry & Hayes, 1985; 김인호, 2001), 건설사업 추진단계별 분류(Perry & Hayes, 1985; 김인호, 2001), 통제가 능여부에 따른 분류(Inyany, 1983)로 다양하게 구분할 수 있다. 교통투자사업의 경우 계획, 설계, 건설, 운영, 유지관리 등 각 단계별로 계약종류, 계약방법, 공사방법, 계약자의 신뢰도, 가용재원 등 사업내적 요인뿐만 아니라 규제, 천재지변, 입지 등 법·제도, 환경 등의 사업외적 요인

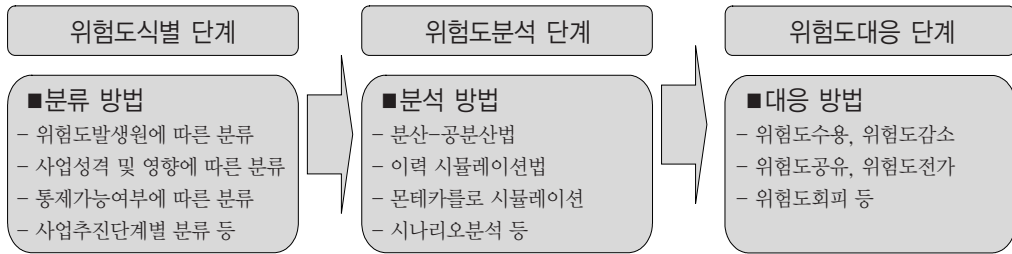
에 의한 위험에도 노출된다. 이와 같은 위험으로 사업비의 초과와 사업공기의 지연을 초래하게 되며, 이로 인해 사업 전에 추정된 경제성분석 결과와 상이한 결과를 초래하게 된다. 이러한 취지에서 본 연구는 다양한 위험도요인으로 인한 사업비 초과와 공기연장 등의 영향을 경제성분석과정에 내재화 할 수 있는 기법에 대해서 구체적으로 소개하고자한다.

3. 위험도관리체계

위험도 관리체계는 특정상황에 관련된 위험도의 원인을 파악하여 관련인자를 식별하고, 식별된 위험도발생 시 예상되는 결과를 확률적 분석 기법을 활용하여 측정·평가함으로써 위험도의 부정적인 영향을 관리하는 연속된 과정을 의미한다. 위험도관리의 추진절차에 대해서는 연구자별로 용어를 다양하게 정의⁶⁾하고 있으나, 본 고에서는 위험도의 분류체계를 위험도식별(Risk Identification), 위험도분석(Risk Analysis), 위험도대응(Risk Response)으로 정의하고자 한다.

위험도 식별은 위험도의 근원을 인식하고 관련인자의 유형과 특성을 파악함으로써 발생 가능한 위험도의 성격을 규명하는 과정이다. 이 단계에서는 사업으로 인해 향후 발생할 수 있는 모

6) 위험도관리의 분류체계는 Flanagan의(1990)의 경우 위험도 식별(Risk Identification), 위험도 분류(Risk Classification), 위험도 분석(Risk Analysis), 위험도 대응(Risk Response)의 4단계로, Fellows(1989)는 위험도 식별(Risk Identification), 위험도 계량화(Risk Qualification), 위험도 할당(Risk Allocation), 위험도 대응(Risk Response)의 4단계로, RAMP(1998)는 위험도 검토(Risk Review), 위험도 관리(Risk Management), 위험도 모니터링(process close-down)의 3단계로 분류하는 등 연구자별로 상이한 모습을 보이고 있다. 그러나 본 고에서는 이들이 내용적으로 동일하다고 판단하여 위험도식별(Risk Identification), 위험도분석(Risk Analysis), 위험도대응(Risk Response)으로 구분하였다.



[그림 1] 위험도관리 체계도

든 위험도의 근원과 주요 인자를 파악하고, 각 위험도의 발생결과에 대한 잠재적인 영향도 고려하여야 한다.

위험도분석은 다양한 확률론적 분석기법을 사용하여 인식된 위험인자를 계량화해 나가는 과정이다. 분석단계에서는 위험도의 발생규모, 위험도 변수의 개별적인 영향 및 종합적인 위험도의 효과를 계량적으로 추정·평가하여야 한다.

마지막으로 위험도 대응은 식별·분석된 위험도 인자의 처리방안을 수립하는 과정으로, 위험도 대응을 위해 사업자는 특정 위험을 다른 사업주체에게 회피, 전가시키거나 이를 적극적으로 수용하는 등 적절한 대응방안을 수립하게 된다.

III. 위험도분석기법의 종류 및 적용방안

모형의 분석기법의 종류에는 분산-공분산법(Variance-Covariance Approach), 이력시뮬레이션기법(Historical Simulation Approach),

몬테카를로 시뮬레이션기법(Monte Carlo Simulation Approach), 시나리오 시뮬레이션기법(Scenario Simulation Approach)이 있으며 이를 살펴보면 다음과 같다.

1. 위험도분석기법의 종류

가. 분산-공분산법(Variance-Covariance Approach : VCA)

VCA는 중심극한이론(Central Limit Theory:CLT)⁷⁾에 의해 관찰치가 정규분포가 된다는 가정에서 출발하였으며, 따라서 모든 위험변수는 정규분포를 띠고 정규분포 하의 위험도 함수는 선형의 성질을 가지는 것으로 분석하는 대표적인 모수적 추정방법이다. 따라서 분석이 용이하지만 정확도가 떨어지고 위험변수의 비정규(Non-normality)·비선형(Non-linearity) 특성을 반영하지 못하는 단점을 가지고 있다.

7) 중심극한정리(Central Limit Theory)는 관찰치가 증가함에 따라 표본의 평균이 정규분포를 따르게 된다는 이론이다.

나. 이력시물레이션기법(Historical Simulation Approach : HSA)

HSA는 과거의 이력자료를 이용하여 위험변수의 확률분포를 추정하는 모수적 추정방법으로, 개념적으로 간단하고 확률분포에 관한 가정에 의존하지 않아 분포의 모수 예측으로 인한 오차가 발생하지 않고 과거의 위험도 발생추세를 적절히 반영하여 위험도를 계량화할 수 있는 장점을 가지고 있다. 그러나 통계적으로 유의한 실자료의 수집이 어렵고, 이력자료의 신뢰성에 문제가 발생할 수 있을 뿐만 아니라 분석기간 내 이력자료의 추세와 동일하게 위험도가 발생하지 않을 경우에 대한 분석이 불가능한 단점을 가지고 있다.

다. 시나리오시물레이션기법(Scenario Simulation Approach : SSA)

이력시물레이션기법과는 반대로 사업성을 결정하는 중요한 변수에 대해 일어날 수 있는 대안들을 시나리오로 작성한다. 이때 분석가는 이력자료에 없지만 있음직한 대안을 주관적으로 판

단하여 적용한다. 그러나 잘못 설정된 시나리오는 잘못된 추정을 낳게 되고, 변수간의 상관관계가 발생할 경우 추정의 정확도가 떨어지는 단점이 있다. 따라서 이력시물레이션기법 등 다른 기법을 보완하여 적용하는 것이 바람직하다.

라. 몬테카를로시물레이션기법(Monte Carlo Simulation Approach : MCSA)⁸⁾

MCSA는 위험변수(예를 들면 공사비, 유지관리비 등)를 주어진 분포형태별로 난수(Random Number)⁹⁾를 발생하여 확률밀도함수, 누적확률밀도함수 등 위험도의 평가지표를 반복적으로 계산하는 시물레이션기법의 분석기법으로, 확률분포의 활용에 제약에 받고 있는 타 방법들의 문제점을 극복할 수 있는 장점이 있다.

또한 MCSA는 분포형태와 상관관계를 비모수적 추정방법으로 손쉽게 적용할 수 있으나, 계산된 위험도를 분석가가 직관적으로 이해하기가 어렵고, 많은 추정량에 따른 계산시간 때문에 컴퓨터 기술이 발달하기 전에는 적용의 한계가 있었다.

8) 몬테카를로시물레이션기법은 협의의 해석과 광의의 해석으로 구분되는데, 협의의 해석은 결과변수의 확률분포를 입력변수의 확률분포로부터 추출하여 계산하는 샘플링기법을 의미한다. 또한 광의의 해석은 난수를 사용하여 모의실험을 반복적으로 수행하는 시물레이션기법을 포괄적으로 의미한다.

9) 난수(Random Number)란 간격 [0, 1]사이에서 균등하고 독립적으로 배분된 확률변수(Probabilistic Variable)로 일반적으로 독립적인 균등분포를 가진 확률변수라고 해석할 수 있다. 본 연구에서는 컴퓨터 시물레이션분석을 위해서 연속형 확률밀도함수 $f(x)$ 를 무수한 n 개의 구간으로 분할하여 단계적(Stepwise Approximation)으로 이산형 확률밀도함수와 같은 방법으로 추정함으로써 연속형 확률분포를 추정한다. (Haitsma외, 1964 ; Halton, 1970 ; Molenaar, 1968) 그러나 컴퓨터 상에서 대규모 난수를 저장하고 이를 검색하여 적용하는 방법은 계산시간이 많이 걸리는 문제점을 안고 있다. 이에 Shreider(1964), Telchreew(1965) Tocher(1963) 등은 가난수(Pseudo Random Number)를 개발·이용하였다. 가난수는 대수학적 공식(algebraic formula)에 의해 상호 독립적이고 균등하게 배분된 분포를 발생하는 방법으로 Power Residue기법과 multiplicative congruential기법 등이 주로 사용된다.

2. 몬테카를로 시뮬레이션분석기법

몬테카를로 시뮬레이션기법은 위험도 발생항목의 확률변수를 설정하여, 해당분포의 범위 내에서 난수를 발생하여 사업성의 불확실성을 평가하는 시뮬레이션 기법이다. 이를 사용하기 위해서 필수적이라 할 수 있는 확률변수의 분포형태 선정방법과 항목(Cost item)간의 상관관계(Correlations)분석방법에 대해 구체적으로 소개하고자 한다.

가. 확률변수의 확률분포 선정방법

위험도분석 결과의 정확성에 매우 중요한 영향을 미치는 것이 바로 위험변수의 확률변수를

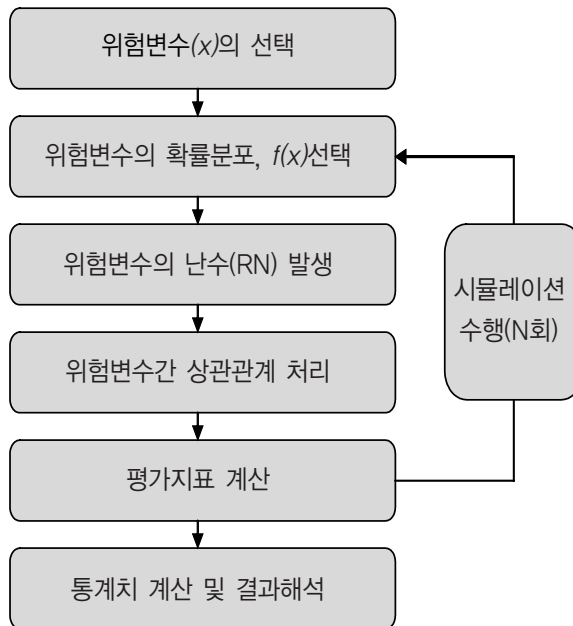
선택하는 과정이다. 예를 들어, 위험도분석 시 총비용은 식(1)과 같이 확률변수 분포의 합으로 구성되며, 따라서 분포형태의 선정이 사업변동의 정확도를 결정하게 된다.

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

여기서 C_{tot} ; 사업변동을 유발하는 비용항목의 합

C_i ; 확률변수로 모형화 된 비용항목

확률분포선정 시 Spooner(1974)는 정규분포(Normal Distribution), 로그정규분포(Lognormal Distribution), 삼각분포



[그림 2] 몬테카를로 시뮬레이션분석 절차

(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.

이외에도 Touran(1987;1994), Teichoz(1964) 등의 연구자들이 SOC·교통투자사업의 위험변수의 확률분포를 적용하여 <표 1>과 같이 확률분포 활용사례 및 선정기준¹⁰⁾을 제시하였으며, 현재 이러한 연구에 근거하여 확률분포를 선정하고 있다.

<표 1> 위험변수의 모수추정 시 분포활용 연구 사례

분포 유형	적용 경우	연구 사례
균등분포	· 자료량이 불충분할 경우 · 자료 변동이 상대적으로 적을 경우 · 최우추정치가 불분명할 경우	· Spooner(1974) · Touran, Bolster(1994)
삼각분포	· 최우추정치가 정확할 경우 · 최대, 최소점의 정보가 확실할 경우	· Maker 와 Bryant(1990) · Spooner(1974) · Touran, Bolster(1994)
정규분포	· 최우추정치의 가능성이 높은 경우	· Bodie(1993)
베타분포	· 단측(Unimodal) · 한쪽으로 편중된(Skewed) 분포형태	· Touran(1987) · Spooner(1974) · Touran, Bolster(1994)
로그정규분포	· 단측(Unimodal) · 한쪽으로 편중된(Skewed) 분포형태 · 토목, 전기, 건설 관련 비용의 일반적인 분포형태로 사용	· Touran(1987) · Teichoz(1964), · O'Shea(1966) · Gaarslev(1969)

10) 상기 연구자들의 연구결과를 종합하면, 확률분포의 선정기준을 다음과 같이 일곱 가지로 요약할 수 있다. 첫째, 참여자의 주관적 의견반영이 용이해야 한다. 둘째, 변수의 결정이 쉽게 이루어져야 한다. 셋째, 다양한 분포유형의 제공이 가능하도록 충분한 유연성을 가져야 한다. 넷째, 구간한계, 폐쇄확률밀도함수를 가져야 한다. 다섯째, 비대칭분포를 표현할 수 있어야 한다. 여섯째, 단일형식으로 표현할 수 있어야 한다. 일곱째, 계산과정이 단순해야 한다.



나. 위험변수간의 상관관계 처리방법

두 개 위험변수의 확률분포가 상관관계를 가지고 있는 경우 한 분포에서 추출한 값이 다른 분포에서 추출된 값에 영향을 주게 되는데 (PouliQuen, 1972) 이를 위험변수 간의 상관관계로 나타내면 다음과 같다.(Touran외,1992)

$$C_{tot} = \sum_{i=1}^n C_i \quad (\text{식 3.2})$$

$$Var(C_{tot}) = \sum_{i=1}^n Var(C_i) + \sum_{i \neq j}^n \sum_j^n Cov(C_i, C_j) \quad (\text{식 3.3})$$

여기서, C_{tot} ; 사업변동을 유발하는 비용항목의 합

C_i ; 확률변수로 모형화된 비용항목

$Var(C_{tot})$; 총비용의 분산

$Cov(C_i, C_j)$; 비용 C_i, C_j 간의 공분산값

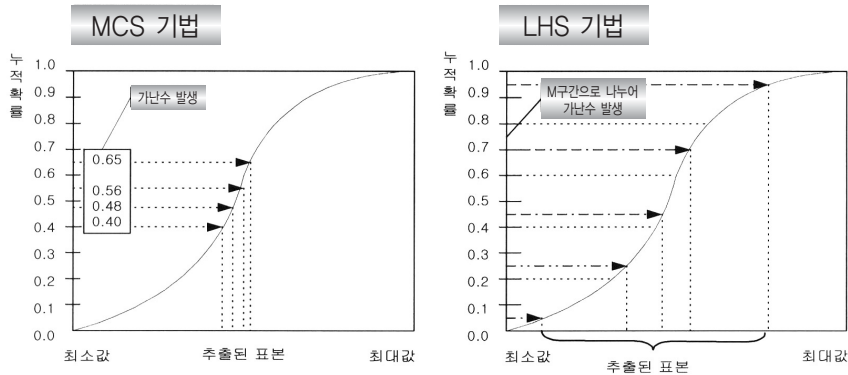
$$\rho^{(C_i, C_j)} = \frac{Cov(C_i, C_j)}{\sigma_{C_i} \times \sigma_{C_j}} ; \text{비용 } C_i, C_j \text{간의 상관계수}$$

이때 분포간의 상관관계 $\rho^{(C_i, C_j)}$ 는 -1~1의 값을 가지며 0은 두변수가 독립적인 것을 의미하고, 1은 한 변수가 큰 값이 발생하면 다른 변수도 큰 값을 발생시키고, -1은 한 변수가 큰 값을 발생시키면 다른 변수는 매우 작은 값을 발생시키는 것을 의미한다. 이러한 분석방법에는 개략추정방법¹¹⁾, 낙관적·비관적 분석방법¹²⁾, 상세추정방법¹³⁾, 주관적 상관계수법¹⁴⁾, 순위상관계수법이 있다.¹⁵⁾

다. 위험변수의 표본추출 방법

표본추출방법에는 크게 MCS(Monte-Carlo Sampling)방법과 LHS(Latin Hypercube

- 11) 개략추정방법(Approximate Method)은 높은 상관관계를 가지는 변수들을 하나의 변수로 묶어 독립적으로 분석하여 (Touran,1989;Curran,1989;PouliQuen,1972) 일정 규모의 비용 변동 폭을 계량화하는 방법으로 분석이 쉽고 실용적이나, 위험변수의 항목이 많아질수록 추정의 정확도가 떨어지는 단점이 있다.
- 12) 낙관적-비관적 접근방법(Pessimistic-Optimistic Approach)은 두 변수간의 상관관계가 결과에 미치는 결과를 낙관적, 비관적인 경우에 따라 상관관계의 영향을 분석하는 방법이다. 즉, 사업의 경제성이 높은 경우 비관적으로 분석하여 경제성이 있으면 신뢰성이 높은 결과를 얻을 수 있다. 반대로 경제성이 없는 경우, 낙관적으로 분석하여도 경제성이 좋지 않은 경우는 경제성이 없는 것으로 판정한다. 여기서 경제성의 판단기준은 자본비용의 기회비용이 10%일 경우 10%이상의 수익률이 발생할 확률이 기준치 이상이면 경제성이 있는 것으로 판단 할 수 있다.
- 13) 상세추정방법은 비용항목들 간에 결합밀도함수(Joint Density Function)를 추정하여 변수들 간의 공분산값을 계산하는 모수 추정방법이다.(Devore,1991) 본 기법은 위험변수의 변동을 명확히 구분하여 분석할 수 있는 장점이 있으나 이력자료가 풍부해야 하며 위험변수가 정규분포가 아닌 경우 계산이 매우 복잡하다는 단점을 가지고 있다.
- 14) 주관적 상관관계법(Subjective Correlation)은 다항변수의 분포(Multivariate Distribution)하에서 정보가 부족할 경우 변수의 상관관계를 3개의 정량적 지표로 제시하는 것을 말한다. (Touran,1993) 여기에서 그는 건설비용의 상관계수값은 0과 1사이의 값에서 발생하므로 상관관계가 약함, 중간, 높음으로 구분하여, 상관계수가 0-0.3사이일 때 0.15로, 0.3-0.6사이일 때 0.45로, 0.6-0.10사이일 때 0.8로 적용할 수 있다고 제시하였다.
- 15) 순위상관계수법은 어떤 분포들 간에도 상관관계를 묘사할 수 있는 장점을 가지고 있기 때문에 비분포접근법(Distribution Free Approach)이라 불린다. 순위상관계수법은 19세기 초 C. Spearman에 의해 변수 간 순위를 기초로 하는 순위상관계수(Rank Correlation)를 통해 도입되었으며, 이후 Iman(1982)이 순위점수를 이용하여 모의실험을 통해 다양한 분포 상에서 상관난수(Correlated Random Number)를 발생시킬 수 있는 방법론을 제시하였다.



[그림 3] 표본추출 방법

Sampling)방법이 있는데, MCS기법은 누적확률분포의 Y축의 0과 1사이에서 가난수를 발생시켜 이에 상응하는 입력 변수값을 선택하는 대표적인 샘플링기법으로 확률분포 상에서 발생확률이 높은 지역의 입력변수가 집중되는 군집문제(Clustering Problem)를 야기시킨다.

이러한 결과는 낮은 확률을 가지지만 중요한 사건에 대해 고려치 못함으로써, 사업의 위험도를 정확히 계량화하지 못하는 문제를 낳게 되기 때문에 입력변수의 확률분포와 유사한 표본을 발생시키기 위해서는 반복수행이 필요한 단점을 가지고 있다.

반면 LHS기법은 Mackay, Bekman과 Conover(1979), Loh(1996)가 시뮬레이션모형상에서 MCS기법의 문제점을 보완하기 위해 개발한 모형으로, 위험변수(비용, 편익, 사업외적변수)의 표본을 작은 확률을 가진 Outlying사건을 포함하여 추출할 수 있도록 전략적으로 누적확률밀도의 간격(0-1)을 M개의 구간으로 분할하

는 샘플링기법이다. 이때 분할된 구간에서 각각 위험변수, (X)의 표본을 추출해내고 한 번 표본이 추출된 구간에서는 다시 표본을 선정하지 않음으로써 전 구간에서 고루 표본을 추출할 수 있기 때문에 위험변수의 생성된 표본이 확률분포에 빠르게 수렴¹⁶⁾해나가는 장점을 가지고 있다.

IV. 분석 틀 및 적용사례

1. 분석 틀 (소프트웨어)

위험도 분석용 소프트웨어는 시뮬레이션 작성 언어로 구축하는 방법과 소프트웨어 패키지를 사용하는 방법이 있다. 대표적인 시뮬레이션 언어에는 SLAM(pritsker,1986), SIMAN(pegden,1990)이 있다. 이는 분석가 마음대로 자유로이 분석의 틀을 구성할 수 있는 장점이 있지만 사용이 어려워 학습에 시간이 소요되고, 분석가가 확률적 시스템모형화에 대한 전문적인 지식이 있어야한다.

16) 수렴은 입력변수의 확률분포 통계치(평균, 표준편차, %값)가 오차범위 내에서 안정적으로 발생하는 것을 의미한다.

반면 대표적인 소프트웨어 패키지로는 Palisade사의 @RISK와 Primavera사의 MontecarloTM이 있다. 본 분석은 사용이 편리하나 주어진 패키지들을 확장할 수 없다는 단점이 있다. 본 소프트웨어들은 공정별 시간과 재원이냐, 재무옵션에 따른 사업주체의 현금흐름을 누적확률분포함수 등의 평가지표 통계분석 및 보고 기능을 제공한다.

이외에도 교통투자사업의 목적에 따라 위험도 분석을 적용함으로써 교통학자나 경제학자가 아니더라도 이용하기 쉽고 편리하도록 개발된 패키지가 있다. 예를 들어, 미국 교통부(DOT)에

서, 도로포장관리의 사업비 산정을 위해 개발한 HDM-4, 고속도로계획 및 예산관리를 효율적으로 운영하기위해 개발한 StraBENCOST, 지능형교통체계(ITS)의 서브시스템 선정 및 경제성 분석을 위해 개발된 IDAS 등이 대표적인 교통투자사업용 위험도분석 패키지라고 할 수 있다.

2. 교통투자사업의 위험도분석모형 연구 사례

국외에서는 IBRD(1972)에서 경제성분석에 위험도를 적용한 이래로, 1990년대 이후 민간부

〈표 2〉 교통관련사업의 위험도분석모형 적용 사례

연구자	분석 목적	분석 대상	분석 방법 및 내용
Louis Y. Pouliquen (1972)	IBRD사업으로 저개발 국가에 대해 기존의 경제성분석(민감도분석)을 보완한 확률 분석 개념 도입	소말리아 Mogadiscio 지역의 Lighterage항만 건설사업 (1967년)	몬테카를로시뮬레이션의 기본 개념을 도입하여 공학적 판단에 의한 사업비확률밀도 추정 및 IRR의 누적확률밀도 도출
IBRD(1972)	IBRD사업으로 불확실성이 높은 저개발 국가대상 사업에 대해 확률분석 개념 도입	잠비아의 Copper belt부터 탄자니아의 Dar-es-Salaam 항구에 이르는 965마일의 2차로 도로건설 사업	몬테카를로 기법을 활용하여 공학적 판단에 의한 비용의 확률밀도 및 IRR의 누적확률밀도 산정
Touran (1997)	미 대중교통국 (FTA)의 철도 사업의 재무와 건설위험을 통합적으로 분석하기 위해 위험도분석모형 도입	미 대중교통국이 추진하는 19.3Km의 철도사업의 총건설비용 및 현금흐름분석	몬테카를로시뮬레이션기법을 활용하여, 발생비용의 재원조달방식별로 재무적 위험도를 분석하며, 총사업비의 누적확률밀도와 사업기간의 현금흐름분석을 도출
이용택, 김상범, 원제무(1999)	민자유치 고속도로의 사업성 분석을 위한 위험도분석 기법 정립 및 사례분석	BOT방식의 2개 민자 고속도로를 대상으로 하여 사례분석 수행(외곽순환고속도로, 대전-당진고속도로)	몬테카를로시뮬레이션 기법을 활용, 공학적 판단에 비용과 편익의 확률밀도함수를 선정, 총공사비, NPV의 누적확률밀도를 도출
김인호, 현창택 (2000)	경량전철에 관한 민간투자사업의 재무적 위험도 분석모형 정립	BTO방식의 중소 도시 경량철도민자투자사업의 사례분석 수행 (U시 사례)	몬테카를로시뮬레이션 기법을 활용하여 공학적 판단에 의해 비용, 편익의 확률밀도를 산정, 총사업비 및 NPV의 누적확률밀도 도출
Darrin Grimsey, Mervyn K. Lewis (2000)	민·관협력, 민간자본 참여사업의 사업주체별 위험도분석 모형 정립	스코틀랜드의 하수관리 민자사업에 대해 사례분석을 수행	몬테카를로시뮬레이션기법을 활용, IRR의 누적확률밀도 도출

문의 사회간접자본투자가 확대되면서, Lam외(1998), US.DOT(1994;1996), Touran(1997), 이용택 외(1999) 등이 교통투자사업의 타당성분석을 위한 위험도분석모형을 개발·활용하였다.

V. 위험도 대응방안

지금까지 위험발생 항목을 파악하고 이를 계량화하는 방안을 살펴보았다. 다음으로 발생 가능한 위험도를 경감시키고 사업주체에 따라 적절하게 위험을 배분하는 위험도 관리방안을 검토할 필요가 있다. 위험도를 관리하기 위해서는 먼저 각 항목에 대한 위험이 각 사업주체에 어떠한 영향을 미치는지에 대한 분석이 필요하며, 합리적인 위험배분의 원칙 하에 사업주체 간의 역할분담에 관한 정책대안을 수립·협약해나가야 한다.

1. 위험도배분의 원칙

사업주체간의 위험도배분의 원칙은 연구자별로 다양하게 제안되고 있으나 본고에서는 내용별로 분류하여 크게 세 가지로 정의하였다. 첫째, 해당 위험도를 최적으로 통제할 수 있는 사업주체에 대해 위험도를 할당한다.(Diekmann 외,1998 ; Thompson과 Perry,1992 ; Wideman,1992) 예를 들어 철도가 도심을 지나가는 계획안에서 인접건물에 진동을 미침으로써 발생하는 위험은 설계기술을 보유한 설계자가 담당하는 것이 바람직하다. 둘째, 해당위험도가 통제되지 않는다면 위험도를 받아들이기 가장 좋은 입장에 있는 주체에게 할당하는 것이 바람

직하다.(Bramble외,1990 ; Thompson과 Perry ; Wideman,1992 ; Diekmann외,1988 ; Nadel,1979) 셋째, 위험이 발생했을 때 위험도를 견딜 수 있는 능력을 가지는 주체가 해당 위험도를 책임지는 것이 바람직하다. 이때 위험을 전가 받은 사업주체에게 위험도에 대한 프리미엄을 고려해주거나, 해당 위험의 발생으로 인한 인센티브를 제공하는 것이 바람직하다.

2. 위험도대응방안

첫째, 위험도 수용(Acceptance)방안으로 사업주체가 위험도를 수용할 때, 위험도는 계획된 위험도와 비계획된 위험도로 구분된다. 계획된 위험도는 사업추진을 위해서 불가피한 대안이 없는 경우, 위험도에 대한 결과가 알려지지 않은 경우, 위험도 발생확률이 높은 경우, 위험도 발생의 확률은 낮지만 치명도가 높은 경우 사업주체가 자발적으로 사업의 위험도에 대한 체계적인 위험도 계획을 수립한다. 반면 소유자가 위험도를 인식하지만 정확하게 그 크기를 추정할 수 없으며, 동시에 사업주체의 비용에 큰 영향을 미칠 때 수동적으로 위험도를 받아들이게 되는데 이러한 위험도를 비계획된 위험도라 한다. 이러한 위험도 수용은 우발성을 가지고 있는 경우와 그렇지 않은 경우로 다시 나뉜다. 우발성예산을 가지는 위험도 수용은 실제 발생할 손실(예를 들면, 비용이나 시간)을 사업비로 일부 확보하는 것이다. 이와 같이 사업 추진 시 위험항목의 우발성으로 인해 발생하는 비용의 합을 우발성예산(CB : Contingency Budget)이라 하고 이를



사업의 예산에 합산한다. 반면 위험의 발생확률이 낮아 계획한 사업비 내에서 사업을 성공할 확률이 목표값 이상일 경우에는 우발성예산을 배제한 채 사업에 착수하기도 한다.

둘째, 위험도 감소(Reduction)방안으로 사업주체가 위험도를 수용했지만 잠재적인 영향을 낮추는 특별한 방어적인 계획을 가지고 있는 경우를 말한다. 이 경우에는 위험도발생의 확률을 낮추거나, 사건이 발생한다면 재무적 위험도를 낮추는 방법이 있다. 예를 들면 훈련프로그램을 강화하고 우수한 노동력을 확보하는 동시에 프로젝트 기간동안 노사안정을 확보함으로써 인적 자원의 위험도를 감소시킬 수 있다. 또한 사업자가 강력한 프로젝트 통제력을 가지기 위해 우수한 하청업자(Subcontractor)를 확보하고 안전·위기관리, 책임할당(Responsibility Allocation)제를 도입하는 등의 노력도 이에 속한다.

셋째, 위험도 공유(Sharing)방안으로 한 사업주체가 특정 위험도를 통제하기 불가능하거나 이로 인해 효율성이 떨어질 때, 2개 이상의 사업주체가 자신이 가장 잘 통제할 수 있는 위험도를 담당하여 공유하는 방안이다. 예를 들어 계약단계에서 최대가격보장(Guaranteed Maximum Price:GMP)계약을 사용하여 위험도를 공유할 수 있다. 이는 계약상에 설정한 최대비용초과 시 발주자가 일정 비용을 보장해주는 방식으로 시공사와 발주자 간에 사업비용에 관한 위험도를 공유할 수 있는 방안이다.

넷째, 위험도 전가(Transfer)방안으로 계약자, 설계자, 자재공급자, 시공업체, 하청업체, 보험회사에 위험도를 적절히 전가하는 것이다. 위

험도 전가는 초기에 설정된 위험도 배분의 원칙 하에 전체적으로 사업이 최상의 결과를 얻도록 유도해야 한다. 이때 사업주체들은 할당된 위험 중 직접적인 대인·대물피해, 결과적 손실, 합법적인 신뢰성을 인정받을 수 있는 경우뿐만 아니라, 인사 관련 등 전문적인 위험의 경우에도 위험을 보장해주는 보험서비스를 사용할 수 있다.


다섯째, 위험도 회피(Avoidance)방안으로 위험도가 높은 작업, 재료, 과정을 피하는 것으로, 예를 들어 사업의 계획·설계단계에서는 신기술보다 검증된 기술을 도입함으로써 위험도를 줄일 수 있다.

VI 맺음말

미합중국의 35대 대통령 John. F. Kennedy는 “There are risks and costs to a programme of action but they are far less than the long range risks and costs of comfortable inaction.” (정책시행에는 예산과 위험이 존재하기 마련이다. 그러나 무사안일한 무대응은 장기간 과다한 예산낭비와 더 큰 위험을 자초한다.) 라고 말하였는데, 이는 정부가 공공정책이나 사업을 추진 할 때, 의사결정과정에서 위험도에 대한 적극적인 관리와 대응이 얼마나 중요한가를 강조한 말이라 할 수 있다. 더욱이 우리나라의 경우, IMF사태이후 정부의 재정여건 악화와 유가인상, 세계에서 가장 빠른 고령화 속도, 정보통신기술의 발달 등 교통투자사업을 둘러싼 사회적, 경제적, 공학적 여건이 빠르게 변화하면서 교통투자사업의 불확실성과 위험

도가 증가되고 있는 추세여서 교통학자에게도 이에 대한 적극적인 대응책이 요구되고 있다. 이러한 일환으로 본고에서는 교통투자사업의 타당성 분석 시 위험도를 정량적으로 계량화하는 기법에 대해서 고찰하였는데, 이는 해당 사업주체에 부담되는 사업의 위험도 항목을 파악하고 이를 계량화하여 평가하고, 합리적으로 배분·감소시켜나가는 체계적인 위험도관리방안을 의미한다 하겠다.

위험도분석기법은 의사결정자에게 교통투자사업의 타당성을 판단하는 정책자료를 제공하고, 이를 통해 합리적인 재원의 투자를 유도할 수 있어 국내에서도 적극적으로 활용되기를 기대한다. 그러나 교통투자사업에 위험도분석모형을 적용할 때에는 아직까지 수렴조건 등 분석방법론이 미흡하며 계산비용과 시간이 많이 소요될 뿐만 아니라 의사결정자방법론이 애매하다는 문제점 등이 개선되어야한다. 이외에도 사업의 위험변수에 대한 자료확보와 확률분포추정의 오차에 대한 문제점, 분석시간과 노력에 비해 의사결정방법이 애매한 문제점, 그리고 확률분포의 적용과 해석에 있어 분석가의 주관이 개입될 수 있는 문제점 등이 지속적으로 보완되어야 할 것이다. 특히 국내 교통투자사업의 타당성평가 지침으로 활용되기 위해서는 무엇보다도 위험발생 항목의 확률분포에 대한 정보를 축적·분석하여야하며, 각 항목별로 합리적인 확률분포와 모수추정에 대한 연구가 지속적으로 추진되어야 할 것이다. 아울러 이러한 평가기법뿐 만아니라, 교통투자사업에서 발생하는 정치적, 경제적, 사회적, 공학적, 재무적 위험도를 종합적으로 관리할

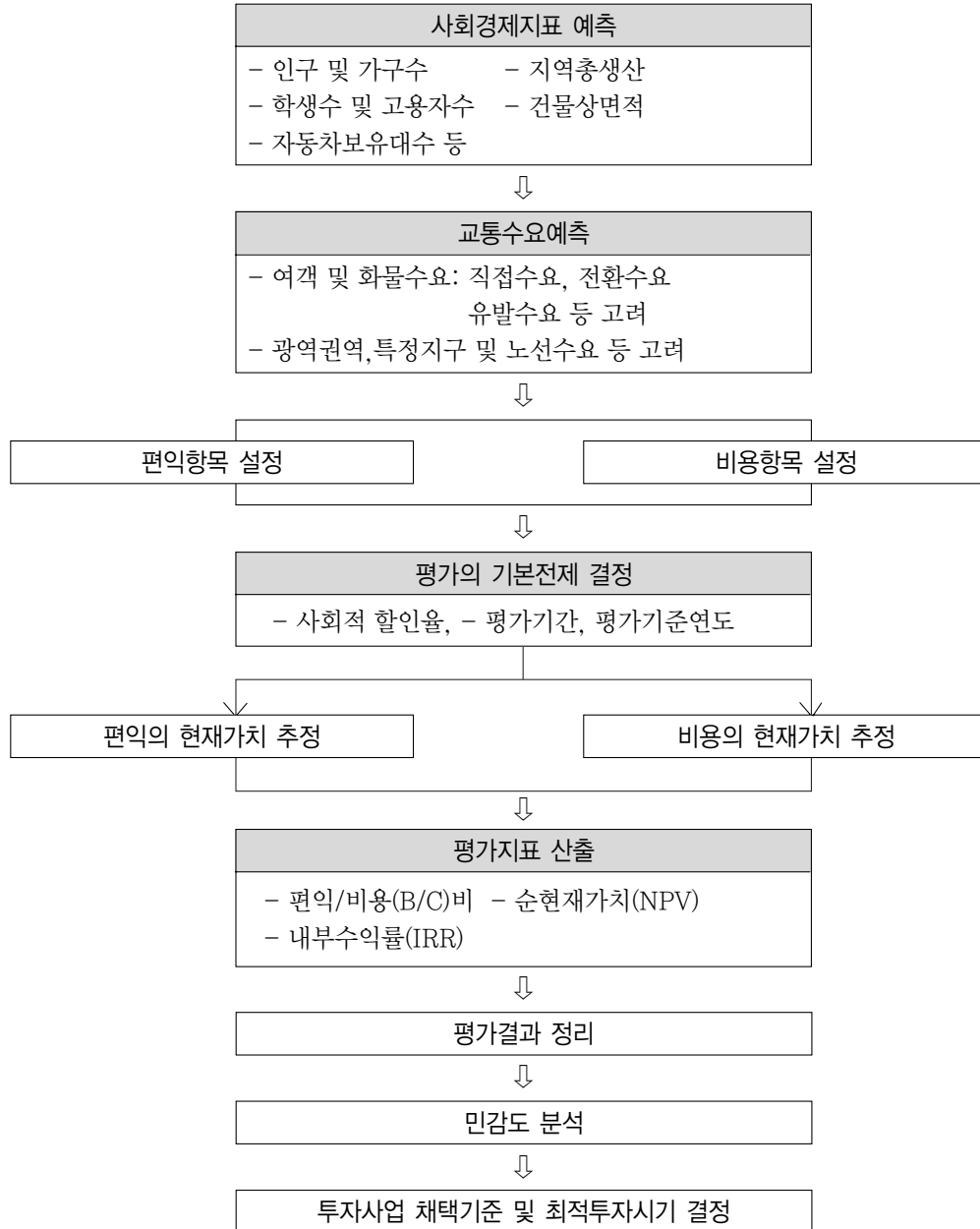
수 있는 위험도관리체계를 체계적으로 정립하고, 제도화해 나아가야겠다. 

참고문헌

1. 원제무(1998), “도시계량분석”, 박영사
2. 양지청(1998), “민자유치대상 고속도로의 사업성 분석”, 국토연논, 국토개발연구원
3. 노성태,(1996), “민자유치제도 발전방향”, 한화 경제연구원
4. 김인호외(2001), 건설사업의 리스크관리, 기문당
5. 이용택외(1998), “민자유치대상사업의 정부재정지원 방식 적용사례연구”, 고속도로 57호, 한국도로공사
6. 이용택외(1999), 교통투자사업의 위험도관리기법, 대한토목학회지
7. 이용택외(1999), 민자유치대상고속도로투자의 위험도분석, 대한교통학회지 제17권 제5호
8. 이용택외(2004), 확률적 위험도분석을 이용한 ITS사업의 경제성평가모형, 대한교통학회지 제23권 제3호
9. Abe(2002), Evaluation of Route Comparison Information Boards on Hansin Expressway, 6th ITS AP Forum
10. Bernaer(1998), A Review of Micro-Simulation Models, Institute of Transport Studies, University of Leeds
11. Curran(1989) “Range Estimating” Journal of Cost Engineering and Management, ASCE., 31(3), pp18-26
12. De Rus and Chris Nash(1998), “Recent Developments in Transportation Economics” Ashgate

13. Devore(1991), "Probability and statistics for engineering and the sciences", Brooks/Cole Publishing Co., Pacific Grove, Calif.
14. Diekmann(1983) "Probabilistic estimating: Mathematics and applications" Journal of Construction Engineering and Management, ASCE, 109(3), pp297-308
15. Dodgson(1998), Evaluating transport projects and policies, Recent Development in Transport Economics
16. Dowd(1998), "Beyond Value at Risk" John Wiley & Sons
17. Fishman(1978) "Principles of discrete event simulation", John Wiley and Sons, New York
18. Hendrickson(1984), Transportation Investment and Pricing Principle, Willey Interscience
19. ITE(2000), "Information Technology", Intelligent Transportation Primer
20. Iman and Conover(1982), A Distribution-Free Approach to introducing Rank Correlation Among Input Variables" : Commun. Statistic Simulation Computation 11(3), P311-334
21. Institution of Civil Eng.(2000), Risk Analysis and Management for Projects
22. Johnson and Ramberg(1978). "Transformations of the multivariate normal distribution with applications to simulation". Technical Report. Los Alamos Science Lab., Los Alamos, N.M.
23. Jorion(1997), "Value at Risk", IRWIN, pp185-203,
24. Knight(1921), Risk Uncertainty, and profit New york, Mifflin,
25. Kratofil(2001), A Benefit-Cost Analysis for the use of ITS Technology for temporary construction zone Traffic Management on the I-496 reconstruction in Lansing, Michigan
26. Linda(1995), Bestfit, Distribution Fitting Software by Palisade Corporation, Winter Simulation Conference
27. Loh(1996), On Latin Hypercube Sampling, Annals of Statistics Vol 24 No5
28. Newton(1972), Cost-Benefit Analysis in Administration, George Aleen & Unwin LTD
29. PouliQuen(1972), Risk Analysis in Project Appraisal, IBRD, Johns Hopkins Press
30. Spooner(1974), "Probabilistic Estimating", Journal of the Construction Division
31. Touran and Wisner (1974), "Monte Carlo technique with correlated random variable" Journal of Cost Engineering and Management, ASCE, 11(2), pp258-272
32. Touran(1993), " Probabilistic Cost Estimation with Subjective Correlation", Journal of Cost Engineering and Management, ASCE, vol 119 No. 1,
33. Touran(1994), "Integration of Financial and Construction Risk", TRR1450, pp15-22

[별첨 1] 결정적 경제성분석의 분석방법론(건설교통부, 2001)



[별첨 2] 위험도의 분류방법 및 내용

분류기준	분류 항목	내용
위험도성격에 의한 분류 (Diekmann,1988)	① Known ② Known-Unknown ③ Unknown-Unknown	① 알고 있고 정확히 측정을 할수 있는 경우 (예 : 노동의 생산성) ② 예상할 수 있으나 일반적으로 기대되지 않는 것 (예 : 지진, 태풍 등) ③ 예측할 수 없는 것(예 : 석면 침착증 등의 산업재해)
위험도성격과 발생원에 의한분류 (wardman,1989)	① External-Unpredictable ② External-Predictable ③ Internal-technical ④ Legal	① 사업외적인 요인으로 예측이 어려운 것 (예 : 지진 등 자연재해) ② 사업외적인 요인으로 예측이 가능한 것 (예 : 인플레이션, 환율 등 사회적 영향) ③ 사업의 내부사항으로 기술적인 것 (예 : 개발기술, 사업규모 등) ④ 기술관련하여 법적 관련사항 (예 : 표준, 특허권 등)
사업에 미치는 영향에 의한 분류 (Wideman,1992)	① Cost Risk ② Schedule Risk ③ Quality Risk	① 단위공정별 소요비용, 원가 관리 ② 단위공정별 소요기관 관리 ③ 단위공정별 품질관리
건설사업의 성격에 따른 위험도 분류 (Perry & Hayes, 1985; 김인호,2001)	① 물리적 위험 ② 천재지변 ③ 환경적 ④재정경제 ⑤정치적 위험	① 구조물 손상, 붕괴, 장비손상, 지반침하, 화재, 산업재해 사고 등 공사 중 물리적으로 발생하는 위험 ② 홍수, 지진, 태풍, 산사태, 낙뢰 등 자연재해로 인해 발생하는 위험 ③ 생태계파괴, 소음, 악취, 수질오염, 환경관련 민원, 지리적 조건, 역사적 유물발굴로 인해 발생하는 위험 ④ 인플레이션, 환율, 이자율 변동, 노동력부족, 자재품귀, 세제변경, 노동력 품귀 등으로 발생하는 위험 ⑤ 공사법규정 및 정책의 변경, 계약제도 변경, 클레임 제기, 토지 수용 등 토지관련 정책 등에 의한 위험
건설사업 추진단계별 위험 (Perry & Hayes, 1985; 김인호,2001)	① 타당성분석단계의 위험 (Feasibility Study) ② 계획, 설계단계의 위험 (Planning & Design) ③ 계약, 시공단계의 위험 (Contract&Construction) ④ 운영 및 유지관리 단계의 위험(Operation&maintenance)	① 타당성분석 시 수요예측 및 공사비 산출 오류 등으로 발생하는 위험 ② 계획과 설계 시 신기술 도입·적용, 시방서의 정밀도와 적합성, 조사연구결과의 반영 시 발생하는 위험 ③ 계약, 시공 시 계약방식 및 시공방법의 타당성, 안전성, 설계변경, 기후 예측, 관리감독 오류로 발생하는 위험 ④ 운영 및 유지관리 시, 시장의 수요변화, 유지 관리 수요 변동, 운영상의 안전 미흡으로 발생하는 위험
통제가능여부에 의한 위험도 분류 (Inyany, 1983)	① 통제 가능한 위험 (Controllable Risks) ② 통제 불가능한 위험 (Uncontrollable Risks)	① 사업과정에 통제 가능한 위험 (예 : 작업 미숙지, 설계·시공 동시수행, 수명주기비용의 간과, 수요예측의 부정확, 부적절한 계약방식/공사기준, 부적절한 자재와 장비 등) ② 사업과정에서 통제가 불가능한 위험 (예 : 비정상적인 인플레이션, 파산, 환경문제, 정부의 규제 등)