

Monte Carlo 시뮬레이션을 사용한 도로 투자비 추정 합리화 방안

Application of Monte Carlo Simulation to Efficiently Estimate Highway Investment Cost

서 선덕, 한양대학교 교통공학과
권 기진, 주) 동일기술공단 도로부

Sunduck D. Suh, Department of Transportation Engineering, Hanyang University
Ki Jin, Kwon, Highway Division, Dong-il Consulting Engineering, Co.

Abstract

도로의 건설을 위해서는 통상 타당성조사, 기본계획, 기본설계 및 시공의 여러 가지 단계를 밟는다. 이들 각 단계를 거치면서 일반적으로 투자비 추정액은 실제 공사비와 더욱 근접하게 되게 되나, 타당성조사 등 계획단계에서의 추정액은 실제 공사비와 상당한 차이를 보이는 것이 일반적이다. 이러한 차이는 계획물량의 추정이나, 단가의 추정 등에서도 발생할 수도 있고, 구체적인 지질조사 등이 없는 상태에서 가정한 지질조건이나 공사조건 등에 대한 불확실성으로 인해 발생한다. 현재의 일반적인 관행은 이러한 투자비 추정단계에 작용하는 불확실성을 명시적으로 고려하여 투자비 추정치의 확률적인 분포를 산정하지 않고, 하나의 확정적인 추정치만 제시하고 있어 제시된 추정치의 신뢰도를 확인하기가 곤란하다.

본 연구에서는 현재의 관행과는 달리 투자비추정에서 관여하는 불확실성을 확률분포를 사용하여 명시적으로 고려하여 추정된 투자비에 대한 확률분포를 명시적으로 파악하려는 노력을 하였다. 추정된 투자비에 대한 확률분포는 Monte Carlo 시뮬레이션 방법을 이용하여 분석하였으며, 연구의 결과와 현재 각 계획단계에서 일반적으로 용인되는 추정오차와의 관계도 분석하였다. 결과에 근거하여 도로사업에 대한 투자비 추정을 효율적으로 할 수 있는 방법을 제시하였으며, 추가적인 연구방향도 제시하였다.

I. 서론

교통시설, 특히 도로에 대한 투자소요는 우리나라의 경제발전이 괄목할 만하게 늘어나면서 더욱 커져 왔다. 반면에 이들 시설을 위한 재원의 확충은 투자 소요의 증가분에 크게 못 미치고 있어, 각 개별사업의 추진계획을 더욱 객관적으로 수립하여 계획의 효율성을 높일 필요가 있다.

특히 사업을 위한 투자비의 산정은 공사기간의 산정과 아울러 매우 중요한 항목이다. 현재의 관행으로는 도로사업을 위해서는 타당성조사, 기본계획, 기본설계, 실시설계 및 시공의 과정에서 투자비를 추정을 하고 있으며, 각 단계의 투자비는 과정을 지나면서 실제의 공사비와 점점 더 가까워지고 있다. 현실적으로 각 단계에서 용인되는 실제 투자비와의 추정오차 범위를 초기 단계에서는 크게, 후반부에서는 작게 제시를 하고 있다. 그러나 각 단계의 투자비 산출과정에서 존재하는 여러 가지 불확실성을 명시적으로 고려하지 못한 채, 확정적인 하나의 추정치만을 제시하고 있어 결과에 대한 신뢰도의 제고나, 사업의 진행단계에서 불확실성을 체계적으로 관리하여 투자비 증가를 관리하는 목적으로는 그 효용이 떨어진다. 민자유치에 의한 사업일 경우, 공사비의 증가와 공기의 지연은 단기적으로는 정부지원의 증가나 사용료의 증가를 유발하고, 장기적으로는 회사의 파산도 초래할 수 있는 심각한 상황을 발생시킬 것으로 보인다.

투자비와 공사기간의 급증에는 여러 가지 이유가 있을 수 있으나, 내포된 불확실성을 체계적으로 관리하지 못한 것도 주요한 이유가 된다. 현재에는 민감도 분석을 통하여 이러한 불확실성을 고려하고 있으나, 변수들의 변화가 반드시 이산형이지 않고 연속적인 분포를 보이는 경우가 많기 때문에 민감도 분석은 그 한계성을 내포하고 있다고 하겠다.

본 연구에서는 도로투자비 추정에 관여되는 비용요소에 대해 명시적인 확률분포를 고려하여, Monte Carlo 시물레이션 방법에 근거한 Risk Analysis를 시행하여 도로 투자비 산정을 효율적으로 할 수 있는 방안을 연구한다. 본 연구의 결과와 현행의 방법과 절차상의 비교와 아울러, 제시된 결과의 신뢰도에 대한 검증은 시도하며 사례연구를 통해 투자비 산정을 위해 시물레이션 개념의 활용방안을 집중 검토한다. 마지막으로 제시된 방법을 구체적인 절차로 정립하기 위해서 필요한 추가적인 연구내용들이 수록되어 있다.

2. Risk 분석의 필요성 및 관련연구

2.1 Risk 분석의 필요성

전술한 공사비의 상승이나, 공기의 지연은 일반 건설에서도 매우 중요한 항목이며, 이에 대한 많은 연구가 있어왔다. 현재까지 주로 공사비나, 공기에 영향을 미치는 주요변수에 대한 변화가 공사비나 공사기간에 어떠한 영향을 미치는지 파악하는 민감도분석 (Sensitivity Analysis)이 많이 사용되어왔다. 그러나 이 방법은 Deterministic한 방법이며 Risk를 계량화 해주지는 못하여 의사 결정자는 여전히 그러한 사건이 발생할 확률을 평가하여야 한다. 그 이외에 사용하는 Breakeven Analysis나 Scenario Analysis도 민감도 분석의 응용이라고 할 수 있다.

이와 같은 민감도 분석의 제약을 극복하고 모든 위험성 있고 불확실한 변수들의 동시적인 변화를 고려할 수 있는 확률적 방법의 적용이 필요하다. Monte Carlo Simulation을 활용한 확률적 시물레이션 (Stochastic Simulation)이 가장 많이 사용되는 확률적 분석방법이다. 이 방법에 따르면 불확실성이 있는 변수는 확률분포로 나타낼 수 있기 때문에 이 확률분포를 이용하여 전체 비용추정에 대한 다수의 시물레이션을 만들어 낸다. 본 연구에서의 Risk 분석도 이와 같은 확률적 분석모형인 Monte Carlo Simulation을 사용한다.

2.2 관련연구

이와 같이 공사비와 공기에 대한 위험성분석을 위한 확률적 모형의 적용사례는 많다. 대표적으로 Flanagan and Norman (1993)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. Alhalaby and Whyte(1993)는 건설에 있어서 Project Financing에 지질조건이 미치는 영향을 Risk 분석을 사용하여 분석하였다.

또한 교통시설물에 대한 구체적인 사례로는 DOT(1994)를 들 수 있는데, 이 보고서는 궤도교통수단의 건설에서 발생하는 Risk를 평가하고 관리하는데 대한 제반 사항을 제시하고 있으며, Risk 분석에 대한 많은 문헌목록을 제시하고 있다.

3. 도로 투자비 산정을 위한 Risk 분석

3.1 Risk 분석

일반적인 불확실성(Uncertainty)에 확률을 추가하게 되면 일반적으로 위험성(Risk)라고 인식이 되고 있다. 도로 투자비를 산정하기 위해서는 산정과정에 작용하는 여러가지 불확실성을 내포하는 변수를 파악하고, 거기에 확률을 추가하는 것이 매우 중요하다.

일단 확률분포가 파악이 되고 나면 그 확률분포에서 난

수(Random Number)를 생성하고, 여기에 물량을 곱하여 비용 계상 소 항목에 대해서 공사비를 계산하고 이들 소 항목들을 더하여 총 공사비를 추정하는 단계를 여러 번 반복하는 것이 일반적인 시뮬레이션 방법이다. 이들 절차를 요약하면 다음과 같다.

- 단계1: 역사적, 경험적 또는 기술적인 자료에서 변수에 해당하는 적절한 확률분포를 선정
- 단계2: 각 분포로부터 난수(Random Number) 생성
- 단계3: 이 수 에다 물량을 곱함
- 단계4: 각 소 항목의 값을 더하여 총 공사비 산출
- 단계5: 이 과정을 N번 반복
- 단계6: N번의 추정을 누적변도로 표시

과거의 연구들에 따르면, N은 약 500회 정도이면 충분하다는 의견을 제시하고 있다.

이 과정을 보면, 가장 중요한 것은 각 변수의 확률분포를 파악하는 것이고, 그 다음은 전체 과정을 용이하게 반복할 수 있도록 해주는 도구임을 알 수 있다. 일반적으로 도로의 공사비들이 표 계산 프로그램 (Spreadsheet)에 주로 계산이 되는 것을 고려할 때, 표 계산 프로그램에서 직접 이상의 과정을 반복할 수 있는 것이, 범용의 시뮬레이션 프로그램을 이용하는 것보다는 훨씬 더 편리할 것으로 판단되었다. 본 연구에서는 Excel 프로그램의 Add-on 프로그램으로 개발된 @Risk프로그램(Palisade, 1997)을 사용하여 상기 과정을 수행하였다.

3.2 사례연구

시뮬레이션 방법을 사용하여 도로의 투자비를 산정하는 방법과 기존의 방법을 비교하기 위해서, 실제의 도로구간에 대해서 사례연구를 시행하였다. Monte Carlo 시뮬레이션을 사용하여 투자비를 산정한 결과와 현행의 방법에 따른 결과를 집중 비교하였으며, 시뮬레이션에 의한 방법의 우수성을 검토하였다.

사례연구 구간으로 선정된 것은 서해안 고속도로의 안산-당진 구간내의 42.6Km 구간이다. 이 구간에 대해, 타당성조사, 기본설계 및 실시설계에 따라 추정된 투자비를 파악하고, 이들 투자비를 1990년 기준가격으로 환산하였다. 실제의 적용에서는 장래의 물가상승률 또한 시뮬레이션의 대상이 될 수 있지만, 여기서는 과거의 예측결과를 사용하기 때문에 불변가격을 사용하였다.

상기 표에서 보는 각 공종에 대한 추정 확률이 상이하 며, 이는 추정과정에서의 변수에 대한 신뢰도에 대한 차이에서 비롯된다고 하겠다. 각 공종에 대한 확률분포의 결정은 통계적으로 접근을 하거나, 아니면 기술적인 추정을 통해서 추정이 가능하겠지만, 본 연구에서는

(단위: 억원)

	타당성조사	기본설계	실시설계
순공사비	1013	2035	2074
제비용	382	654	717
공사비계	1395	2689	2791
부가세	139	269	279
예비비	154	298	0
총공사비	1688	3256	3070
모상비	885	1178	1111
총사업비	2573	4434	4181

기술적인 판단에 의거해서 확률변수를 추정하였다. 예를 들어 순 공사비를 이루고 있는 항목, 즉 토공, 배수공, 구조물공, 포장공, 부대공에 대해서 삼각형 분포를 사용하였으며, 설계단계별 최소값, 최우값, 최대값을 추정하였다. 다음의 표는 타당성조사 단계에서의 공종별 삼각형 분포의 최소값, 최우값, 및 최대값을 예시한 것이다.

기본설계 및 실시설계에 대해서도 동일한 요령으로 확률분포가 가정되었으며, 차이점은 기본설계와 실시설계에 대해서는 불확실성의 감소로 추정값의 범위가 좁아진다는 것이다.

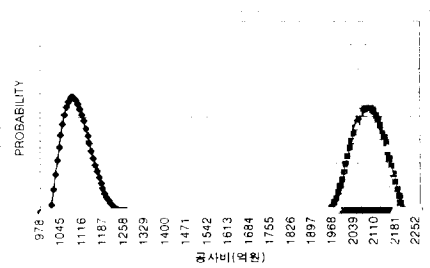
이상과 같이 각 공종별로 확률분포를 결정하고 전술한 6 단계의 과정을 2000번 시행하였으며,

(단위: 억원)

	최소	최우	최대
토공	292	324	453
배수공	55	61	85
구조물공	329	365	475
포장공	116	122	134
부대공	127	141	184

그 과정은 전술한 바와 같이 @Risk라는 프로그램을 사용하였다.

각 공종의 확률을 고려한 순공사비 추정결과는 다음 그림과 같다.



그림에서 보는 바와 같이 시뮬레이션을 사용한 투자비 추정은 현재의 관행처럼 하나의 추정치를 제시하는 것이 아니고, 추정치 자체가 확률변수로 추정이 된다는 점이 차이가 있다. 이러한 확률을 고려하게 되면 추정치의 신뢰도도

95-01, Washington, 1994

5. Palisade Corporation, "Guide to Using @Risk", July, 1997

추가적으로 계산할 수 있게 되는 점이 기존의 방법과 상이한 점이다. 예를 들어 타당성조사 단계에서, 50 Percentile 값은 1085억원이고, 85 Percentile 값은 1136억원인데, 현재 방식으로 추정된 값이 1013억원인 것을 보면 훨씬 더 신뢰성 있는 추정값을 얻을 수 있음을 알 수 있다.

		현행 (억원)	본 연구(억원)	
			50 Perc.	85 Perc.
순공사비	타당성	1013	1085	1136
	기본설계	2035	2087	2146
	실시설계	2074	2084	2111
총사업비	타당성	2573	2759	2897
	기본설계	4434	4569	4672
	실시설계	4181	4216	4267

4. 결론 및 추후 연구방향

도로에 대한 투자비를 추정하는 방법 중 현재의 방법은 하나의 추정치만 제시하고 있기 때문에 그 추정치의 신뢰도를 객관적으로 파악하기가 힘들다. 본 연구에서 사용한 Monte Carlo 시물레이션을 사용하는 방법은 주요 변수에 대한 확률분포를 사용하여 추정치의 확률분포를 알 수 있게 해주는 방법이며, 사례연구를 통해 그 우수성을 입증하였다.

연구에서 사용된 방법이 좀더 구체적이고 광범위하게 사용이 되기 위해서는 변수에 대한 확률분포에 대한 추가적인 연구가 도움이 될 것이다.

참 고 문 헌

1. Flanagan. R. and G. Norman, "Risk Management and Construction", Blackwell Scientific Publications, Cambridge, 1993
2. J. J. Conway, "Applications of Risk Management in Tunnel Feasibility Studies", in Risk and Reliability in Ground Engineering, Thomas Telford, London, 1993
3. N.M.H. Alhalaby and I.L. Whyte, "The Impact of Ground Risk in Construction on Project Finance", in Risk and Reliability in Ground Engineering, Thomas Telford, London, 1993
4. U.S. Department of Transportation (DOT), "Risk Assessment in Fixed Guideway Transit System Construction", Federal Transit Administration, DOT- T-