

확률론적 시뮬레이션을 이용한 내륙수로 교통안전시설의 경제성 분석 -캄보디아의 프롬펜과 총크니아스항 구간을 대상으로-

김정훈*

The Economic Analysis on Traffic Safety Facility along the
Inland Waterway Using Probabilistic Simulation
-Focusing on the section between Phnom Penh and Chong Kneas port in Cambodia-

Jung-Hoon Kim

목 차

- | | |
|--------------------|-----------------|
| I. 서론 | IV. 경제성 분석 |
| II. 선행연구 검토 및 연구방법 | V. 결론 및 향후 연구과제 |
| III. 비용 및 편익 추정 | |

Key Words: economic analysis, traffic safety facility, simulation, inland waterway, Cambodia

Abstract

This study analyzed the economic analysis on the Cambodian inland waterway from Phnom Penh to Chong Kneas. The social discount rate of 3.5% was applied for the cost and benefit of projects and converted to the current values in 2009. The benefits were supposed as the triangle distribution with minimum, mode, and maximum value corresponding to pessimistic, moderate and optimistic prospect separately. And the distributions of costs were the normal. As the result of probabilistic simulations, the average of B/C for scenario A showed relatively the highest with 0.25 and its 90% confidence interval 0.16~0.35. The average B/C of scenario B is 0.10 with the 90% confidence interval 0.06~0.13 and the one of scenario C is 0.15 with 90% confidence interval 0.12~0.19. Therefore it was concluded as low economic feasibility to install inland waterway aids to navigation along the surveyed waterway. However, the performance of the project should be determined by its political analysis as well as the economic.

▷ 논문접수: 2009.07.26 ▷ 심사완료: 2009.11.13 ▷ 게재확정: 2009.11.23

* 한국산업관계연구원 수석연구원, jf1999@empal.com, 010)7234-8315

I. 서론

캄보디아에는 중국의 티베트 지역에서 발원하여 남중국해로 흐르는 메콩강, 톤네삽호 수로부터의 톤네삽강, 그리고 바삭강 등 약 1,750km의 선박통항이 가능한 내륙수로가 있다. 현재 캄보디아에서 내륙수로 교통안전시설이 설치된 구간은 베트남 국경에서 프놈펜까지의 구간이다. 프놈펜에서 캄퐁참 구간은 외국 원조를 통해 2009년에 계획되어 설치될 예정이다. 프놈펜에서 톤레삽 호수에 위치한 총크니아스항까지의 내륙수로 구간에 대해서는 캄보디아 정부가 내륙수로의 교통안전 제고 및 화물운송기능의 활성화 차원에서 교통안전시설의 설치를 고려하고 있다.

캄보디아 정부의 입장에서는 정부자원의 효율적인 집행차원에서 공공투자사업의 수행여부에 대한 사전 분석이 필요하다. 내륙수로의 교통안전시설은 등부표, 등주, 그리고 교차표지판 등으로서 통항위험수역에 주로 설치되어 교통사고로 인한 환경오염과 인명손실의 위험을 감소시키는 시설이다.¹⁾ 이러한 시설의 사업에는 운용을 통한 교통사고의 감소 및 항해자의 심리적 부담경감 등의 편익과 더불어 설치에 따른 비용이 수반된다. 따라서 사업의 수행이전에 정책적 차원에서의 분석과 더불어 사업의 비용·편익분석을 통한 경제성 분석이 필요하다.

경제성 분석은 경제적 측면에서 사업의 타당성을 분석하고 예측하는 기능을 수행한다. 이러한 분석에는 일정한 대푯값이 제시되는 결정론적 방법에 의한 분석이 주로 수행되어 왔다. 그러나 경제성 분석은 현재시점에서의 미래 예측이 필수적이다. 경제성 분석시 사업 추진에 따른 불확실성이 내재되어 있어서 불확실한 상황에서 의사결정을 해야 한다. 그러므로 의사결정문제에 불확실성이 존재하는 경우에는 확률론적 시뮬레이션 등과 같은 통계적 분석이 수행되는 것이 의사결정에 도움을 줄 수 있다.²⁾

본 연구는 확률론적 시뮬레이션을 통해 캄보디아 프놈펜-총크니아스항 구간의 내륙수로 교통안전시설사업의 경제성에 대한 분석을 목적으로 하였다. 먼저 사업의 대안을 교통수요의 전망에 따라 3가지 즉, 비관적, 중도적, 낙관적 전망으로 설정하였다. 사업 대안에 따른 각각의 비용과 편익을 기초로 사업비의 변동성과 편익의 분포를 고려하여 몬테카를로 시뮬레이션을 수행하였다. 이와 같은 시뮬레이션을 통해 비용·편익비(B/C)의 확률분포를 추정하고, 대안별 비교하였다. 본 연구는 사업의 타당성 분석에서 요구되는 경제성 분석과 정책적 분석 중에서 교통안전시설사업의 경제성 분석에 국한하여 수행되었다.

1) 해양수산부(2006), pp. 4-17.

2) 안성진(2007), pp. 1-3.

II. 선행연구 검토 및 연구방법

1. 선행연구의 검토

한국개발연구원(KDI)은 1999년부터 예비타당성조사 제도를 통해 공공건설사업에 대한 경제성 분석, 정책적 분석 등 사업의 타당성을 검증하고 있다.³⁾ 예비타당성조사는 대형 신규 사업의 신중한 착수와 재정투자의 효율성을 높이기 위해 수행되며, 2006년 현재 <표 1>과 같이 총 277건의 사업에 대해 이루어졌다. 분석 내용 중에서 경제성 분석에서는 비용·편익 분석(Cost-Benefit Analysis)을 기본적인 방법론으로 채택하고 있다. 또한 수요추정과 함께 경제적 타당성을 계량화된 비용과 편익을 기준으로 편익·비용비(B/C), 순현재가치(NPV) 등을 산정하여 평가하고 있다. 여기에서 비용과 편익의 불확실성은 각각의 특정 대표값에 대한 민감도 분석으로만 대부분 고려되고 있다.

<표 1> 예비타당성 조사의 수행현황

연도	도로	철도	항만	공항	수자원(댐)	기타	합계
1999	9	2	1	0	1	4	17
2000	11	7	5	1	1	5	30
2001	20	14	1	1	0	5	41
2002	9	9	0	0	4	7	29
2003	8	7	3	0	5	7	30
2004	17	13	0	0	3	15	48
2005	10	6	2	0	0	9	27
2006	29	7	4	0	0	15	55
합계	113	65	16	2	14	67	277

출처: 한국개발원, [http://pimac.kdi.re.kr/result/prepare_task1.jsp\(2009.08\)](http://pimac.kdi.re.kr/result/prepare_task1.jsp(2009.08))

조재호 등은 비용의 확률적 개념을 도입하여 비용의 위험도를 측정하고 건적시 과대과소의 오차합계를 최소화하기 위한 방법을 제시하였다.⁴⁾ 건설공사비의 산정방법에 있어서 기존에 주로 활용되는 확정론적 비용평가가 다수의 불확실성을 갖는 건설공사의 특수성을 반영하지 못하고 있다고 지적하였다. 연구의 방법으로서 몬테카를로 시뮬레이션 방법을 사용하여 총비용의 확률분포를 생성하고, 위험도 평가를 수행하였다.

심상달 등은 몬테카를로 분석이 어떤 투자사업에 수반되는 위험을 고려할 뿐만 아니

3) 한국개발연구원(2009), <http://pimac.kdi.re.kr>

4) 조재호 외(2000), pp. 63-71.

라 현재가치의 기대값을 정확하게 계산하기 위해서도 매우 중요하다고 제시하였다.⁵⁾ 어떤 사업에는 불확실성과 위험이 따르며 그 결과 현재가치의 값도 달라질 수 있으므로, 비용·편익 분석에서 제시하는 현재가치는 현재가치의 여러 가능한 값들의 평균, 혹은 기대값이어야 한다는 것이다. 몬테카를로 분석은 주요 변수별로 몇 개의 특정 값을 가정하는 것이 아니라 확률분포전체를 가정하고, 그에 따라 현재가치에 대해서도 몇 개의 값이 아니라 분포전체를 계산해 내는 것으로 정의하였다.

김지현은 투자안 가치평가 방법에서 순현재가치법(NPV)의 단일값에 대한 신뢰성 제고와 리스크 요인의 영향을 반영하는 몬테카를로 시뮬레이션을 소개하였다.⁶⁾ 가상의 제약회사를 설정하고 향후 5년간의 매출을 추정하여 투자가치를 계산하였다. 이를 위해 수학적 모델을 구축한 후에 몬테카를로 분석으로 각종 통계량 및 확률분포를 산출하였다. 이로써 불확실한 요인으로 인한 평균의 함정을 회피하고, 다양한 시나리오를 수행하는 효과가 있음을 보였다. 또한 몬테카를로 시뮬레이션이 각 산업 및 응용분야에서 불확실성을 정량적으로 측정하는 방법임을 주장하였다.

이성수 등은 사업타당성 분석에 확률론적 시뮬레이션 분석방법을 적용하면 정확하고 신뢰성이 향상된 의사결정이 가능하다고 제시하였다.⁷⁾ 기존의 결정론적 방법은 사업비의 변동으로 인한 동태적 불확실성이 내포되어 있음에도 불구하고, 이에 대해 일정한 대표값만이 제시되는 문제점을 지적하였다. 실증적으로 특정 공동주택 개발사업의 재무적 타당성 분석체계를 구축한 후에 결정론적인 방법인 스프레드시트기법과 확률론적 방법인 시뮬레이션기법으로 각각의 재무적 타당성 분석을 수행하였다. 두 기법간의 비교를 통해 시뮬레이션기법이 결과값이외에 그 달성확률의 도출, 산출된 각종 통계량으로 사업의 안전성 평가 등의 유용성으로 인해 타당성 분석의 정확성과 신뢰성이 향상된다고 제시하였다.

2. 연구방법 및 절차

1) 경제성 분석기법

경제성 분석은 공공투자사업의 효율성 평가에 널리 활용되어지고 있는 기법이다. 수행할 사업에 있어서 서로 다른 시점에서 발생하는 비용과 편익의 흐름을 동일한 시점에서 비교 및 분석한다. 이로써 효율성을 달성하기 위해 고려된 여러 대안 중에서 가장 우수한 대안을 선택하는 것을 목적으로 한다. 경제성분석기법으로는 비용·편익분석법이 주축을 이루며 구체적인 평가기법으로는 비용·편익비, 순현재가치, 내부수익율 등이 있다. 본 연구에서는 비용·편익비와 순현재가치만을 다루었다.

5) 심상달 외(2004), pp. 315-318.

6) 김지현(2006), pp. 388-390.

7) 이성수 외(2007), pp. 76-86.

편익·비용비(B/C)는 사업별로 편익의 현재가치를 비용의 현재가치로 나눈 값이 가장 큰 대안을 선택하는 방법이다. 사업의 비용, 편익은 장기간에 걸쳐 투입되거나 발생하기 때문에 일반적으로 할인율을 적용하여 이를 특정기간에 발생하는 것으로 환산하여 비교한다. 사업의 비용·편익비는 아래의 식(1)에 의해 산출된다. 이는 비용에 대한 편익의 상대적 크기를 비로 나타낸 것으로, 이 수치가 1보다 클 때는 경제적 측면에서 타당한 사업이라고 평가할 수 있다.

$$\frac{\sum_{t=0}^n B_t / (1+i)^t}{\sum_{t=0}^n C_t / (1+i)^t} \quad (1)$$

여기서, n : 평가기간
 B_t : t년차의 편익
 C_t : t년차의 비용
 i : 사회적 할인율

순현재가치(NPV: Net Present Value)는 현재가치로 환산된 장래의 연차별 편익의 합계에서 초기 투자비용 및 현재가치로 환산된 장래의 연차별 비용의 합계를 뺀 값을 의미한다. 사업의 순현재가치는 아래의 식(2)에 의해 산출된다. 이 수치가 0보다 클 때 경제적으로 효율적인 사업라고 평가할 수 있다.

$$\sum_{t=0}^n \frac{B_t - C_t}{(1+i)^t} \quad (2)$$

2) 시뮬레이션

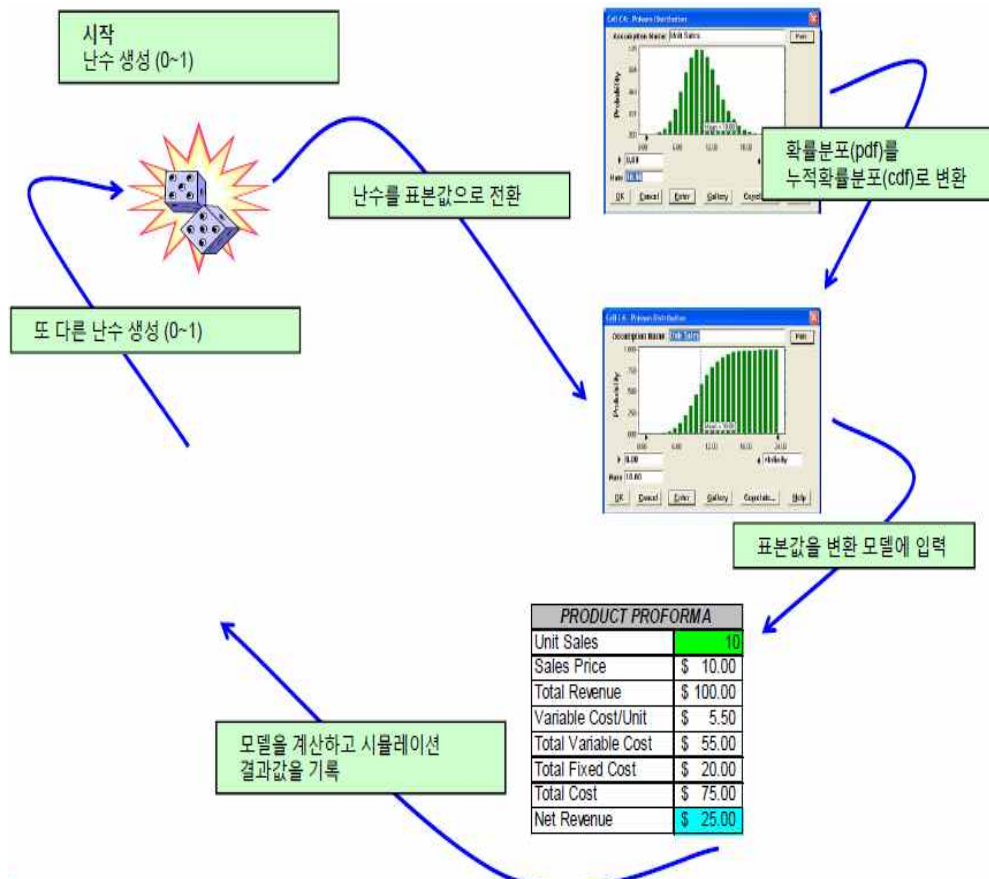
시뮬레이션은 어떠한 현상이나 사건을 모형화하여 가상으로 실행시켜 실제 상황에서의 결과를 예측하는 모의실험이다. 특정 확률분포의 가정하에서 수리모형을 설정하고 여러 상황에서 가장 효과적인 시스템 또는 방법을 모색하는 것이다. 몬테카를로 시뮬레이션은 불확실성의 효과를 측정하기 위해 난수를 이용하는 시스템이다. n번의 시뮬레이션을 통하여 매번 실행될 때마다 정의된 확률분포 함수로부터 입력값을 추출한다. 모델에 추출된 입력값을 적용하고 결과를 계산하여 저장한 후에 기술 통계량을 이용하여 결과의 변동을 설명한다.⁸⁾

본 연구에서는 경제성 분석의 시뮬레이션을 하기위해 몬테카를로 시뮬레이션의 소프

8) 김태식(2007), pp. 11-13.

트웨어인 Crystal Ball 11.1 프로그램을 사용하였다. 그 결과로서 결과값의 변동에 대한 예측치와 중요한 변동 요인을 확인할 수 있었다. <그림 1>은 몬테카를로 시뮬레이션의 알고리즘을 도식화한 것이다.

<그림 8> 몬테카를로 시뮬레이션의 알고리즘

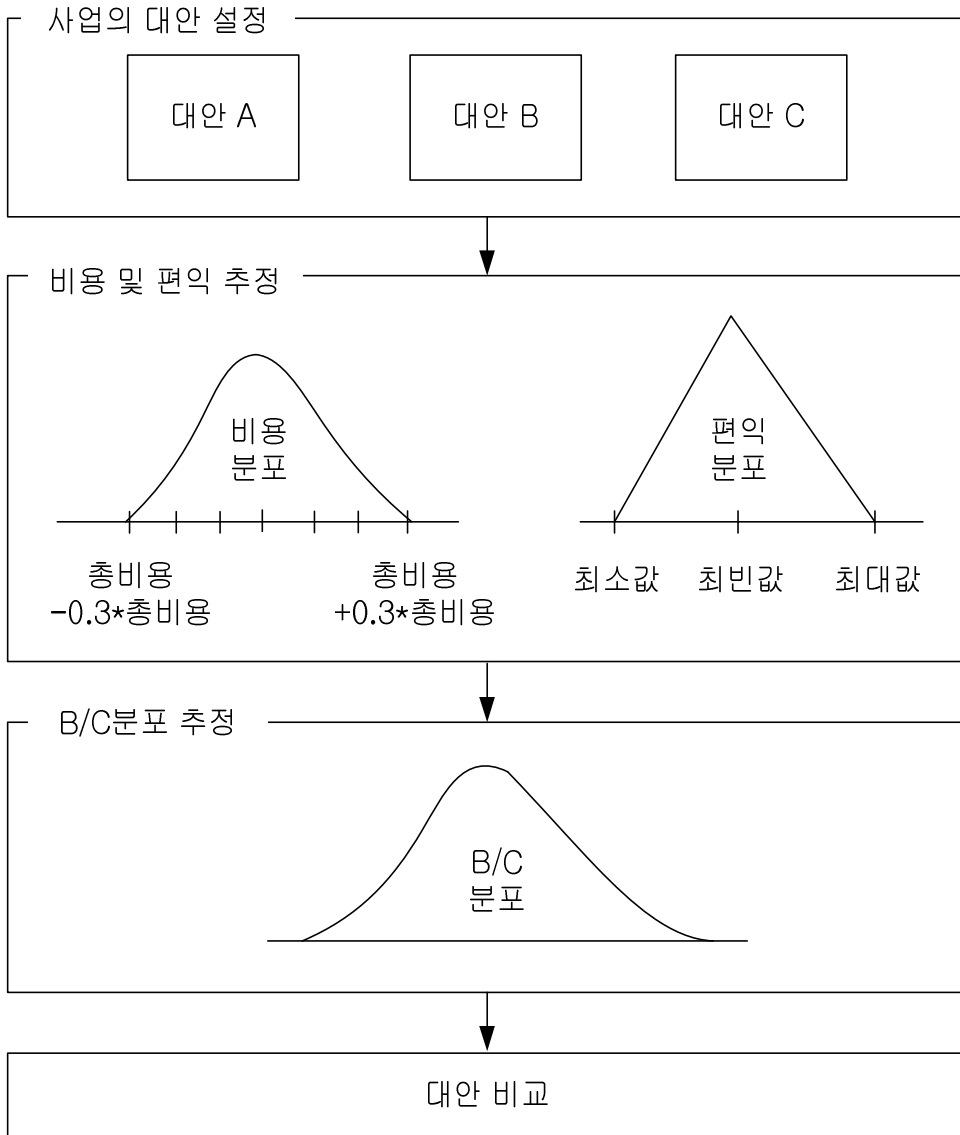


출처: 김태식, p. 13.

3) 연구절차

본 연구의 진행절차는 <그림 2>와 같다. 먼저 프놈펜-츙크니아스항 구간의 교통안전 시설사업에 대해 3가지 대안을 설정하였다. 이후에 설정된 대안에 따른 비용을 산출하고, 사업의 편익을 교통수요에 대한 전망에 따라 각각 예측하였다. 비용은 표준편차가 공사비의 10%인 정규분포로 가정되었다. 편익의 분포는 각 전망값을 최소, 최빈, 그리고 최대값으로 하는 삼각분포로 가정되었다. 최종적으로 시뮬레이션을 통해 비용·편익비의 확률분포를 구한 후에 사업의 각 대안을 비교하였다. 본 시뮬레이션에서는 B/C 예측값에 대한 도수분포를 구하기 위해 대안별 100만회 반복 실행하였다.

<그림 2> 연구절차의 흐름도



Ⅲ. 비용 및 편익 추정

1. 사업대안의 설정

본 사업에서 설치하고자 하는 교통안전시설은 등부표, 등주, 교차표지판, 항로분기표지판, 교량표지 등이며 항로표지선의 투입도 고려되었다. 등부표는 저수심지역과 항행 위험지역을 형상 및 등명기를 이용하여 표시하는 부표이다. 등주는 기둥에 등명기 및 레이더반사판을 설치하여 위치를 표시하는 시설이다. 교차표지판은 급격한 변침점에 설치하여 선박이 변침위치를 파악할 수 있도록 하는 시설을 말한다. 항로분기표지판은 강의 지류들이 만나고 분기되는 지점에 항로가 분기됨을 표시하기 위한 시설이다. 교량표지는 교각의 위치를 시인하고 통항로를 표시하기 위한 시설이다. 또한 항로표지선은 이러한 교통안전시설을 유지 및 관리하는데 사용되는 선박이다.

1) 대안 A

대안 A는 시설을 최소한으로 설치하는 것이다. 이 대안은 기존에 등부표가 설치되어 있는 프놈펜-베트남 구간의 항로표지 설치현황과 유사한 설치안이다. 설치되는 등부표는 상대적으로 소형이며, 설치기수를 최소한으로 한정하였다. 소형 등부표의 광달거리는 실제 2마일 이상이나 집중 강우시 시정의 저하를 고려하여 설계거리로 2마일을 적용하였다. 등부표의 배치에는 비대칭 방식을 사용하였다. 내륙수로의 변침점이나 급격한 선회지점에서는 교차표지판을 설치하는 것을 계획하였다.

2) 대안 B

대안 B는 등부표 및 등주의 설치기수를 적정한 수준으로 증가시킨 것이다. 이는 대안 A에 비해 등부표 및 등주의 설치기수를 늘려 교통안전시설의 선박유도 기능을 강화시킨 안이다. 선박의 효율적인 운항과 안전성 확보의 관점에서 보면 현재 프놈펜-베트남간 교통안전시설의 설치 수량은 부족하다. 그러므로 대안 B에서는 등부표의 경우 대안 A에 비해 약 2배로 확충하고, 등주는 3배 이상으로 확충하였다. 또한 등부표의 배치방식으로 항로의 좌우에 동시에 설치하는 대칭형을 적용하는 것으로 계획하였다.

3) 대안 C

대안 C는 등부표의 크기를 확대하고 항로표지선을 도입하는 것이다. 사고발생이 가능한 저수심 및 항행위험 지역에 중형 등부표를 설치함으로써 다른 대안들에 비해 시인성을 높일 수 있다. 또한, 교통안전시설의 신뢰성을 유지하기 위해서 최소한 6개월 주기의 유지보수가 필수적이다. 등부표의 경우 최소 2개월 주기로 계류시설에 쌓이는 이물질을 제거해야 한다. 이러한 유지보수에 항로표지선을 도입함으로써 신뢰성 있는

교통안전시설의 관리 및 유지를 확보할 수 있다.

2. 비용의 추정

교통안전시설의 비용은 종류와 수량에 의해 산정되었다. 등부표 및 등주의 가격 및 설치비는 프놈펜-베트남 구간에 설치되어 있는 기존 시설의 비용현황과 국내에서의 비용을 고려하여 추정하였다. 각 시설의 비용은 국내의 자료 및 전문가 의견을 토대로 추정되었다. 교통안전시설의 설치수량은 캄보디아 정부에서 제공한 내륙수로 해도로 도상 검토하고, 현장 답사를 통해 재검증하여 산정되었다.

1) 대안 A

사업에 소요되는 교통안전시설의 종류, 수량 및 비용은 <표 2>와 같다. 예비품을 포함하여 소형 등부표 57기, 등주 41기, 교차표지판 및 항로분기표지판 12기, 그리고 교량등 1식으로 구성되었다. 등부표는 약 41.6만 달러, 등주는 65.6만 달러, 교차표지판 및 항로분기표지판은 25.2만 달러, 그리고 교량등은 8만 달러가 소요될 것으로 예상되어 총비용은 약 140만 달러로 산출되었다.

2) 대안 B

대안 B에서 필요한 시설의 종류, 수량 및 비용은 <표 2>와 같이 산출되었다. 대안 A와 비교하여 소형 등부표는 54기, 등주 116기가 추가되었다. 총비용은 등부표에 약 39만 달러, 등주에 184만 달러가 더 소요되어 약 365만 달러로 산출되었다.

3) 대안 C

대안 C의 시설 종류 및 수량, 비용은 <표 2>와 같다. 해당 내륙수로에 설치되는 시설과 예비수량은 대안 B와 대부분 동일하다. 다만 등부표가 중형이 적용되어 약 192만 달러로 증가되고, 항로표지선의 도입에 따른 항로표지선의 비용 114만 달러가 추가될 것으로 예상되었다. 따라서 최종적으로 대안 C의 총비용은 약 590만 달러로 산출되었다.

3. 편익의 추정

본 연구에서 편익은 김정훈(2009)이 수행한 “캄보디아 내륙수로의 교통안전시설에 대한 편익추정”의 결과를 이용하였다.⁹⁾ 이 연구는 프놈펜항에서부터 총크니아스항까지 교통안전시설을 설치할 경우의 편익에 대한 추정이다. 편익은 교통수요에 대한 비관적, 중도적, 그리고 낙관적 전망에 따라 각각 예측되었다. 교통안전시설이 2010년에 설치될

9) 김정훈(2009), pp. 73-95.

경우의 편익을 <표 3>과 같이 안전편익과 기타 편익으로 구분하고, 2011년부터 2020년까지 추정하였다. 추정된 편익은 각 연도의 불변가치이기 때문에 본 연구에서는 할인율을 적용하여 각 연도의 현재가치를 환산하였다. 편익의 산정에서 사업 대안에 따라 편익을 구분하지 않은 이유는 실제 현지 사용자들이 그 차이를 인식하지 못하고, 편익의 크기가 전망에 따른 교통량의 변화에 의해 대부분 좌우되기 때문이다.

<표 2> 내륙수로 교통안전시설의 대안별 비용

(단위: \$)

구분	구입비용			설치비용		소계	
	기수	단가	소계	단가	소계		
대안 A	등부표	57	6,000	342,000	1,300	74,100	416,100
	등주	41	15,000	615,000	1,000	41,000	656,000
	교차표지판 ^{주)}	12	20,000	240,000	1,000	12,000	252,000
	교량등	1	40,000	40,000	40,000	40,000	80,000
	항로표지선	-	-	-	-	-	-
	총비용						1,404,100
대안 B	등부표	111	6,000	666,000	1,300	144,300	810,300
	등주	157	15,000	2,355,000	1,000	157,000	2,512,000
	교차표지판	12	20,000	240,000	1,000	12,000	252,000
	교량등	1	40,000	40,000	40,000	40,000	80,000
	항로표지선	-	-	-	-	-	-
	총비용						3,654,300
대안 C	등부표	111	16,000	1,776,000	1,300	144,300	1,920,300
	등주	157	15,000	2,355,000	1,000	157,000	2,512,000
	교차표지판	12	20,000	240,000	1,000	12,000	252,000
	교량등	1	40,000	40,000	40,000	40,000	80,000
	항로표지선	1	1,140,000	1,140,000	-	-	1,140,000
	총비용						5,904,300

주) 항로분기표지판 포함.

출처: 국토해양부, 캄보디아 해상교통시설 설치사업 기초타당성 조사(2009), pp. 3-24. 발췌정리.

편익에 대한 비관적 전망은 Sou Ching 투자회사¹⁰⁾의 사업이 부진하여 총크니아스항의 적정 적·하역장비 및 부대시설, 그리고 개선된 선박의 투입이 거의 없는 경우를 대표한다. 중도적 전망은 Sou Ching 투자회사에 의해 적·하역장비 및 부대시설, 그리고

10) Sou Ching 투자회사(사장 김양수)는 2007년에 총크니아스항의 개발을 포함한 톤레삽 호수의 독점적 개발권(70년 사용권)을 캄보디아 정부로부터 인가받았다.

의 적정 적·하역장비 및 부대시설, 그리고 개선된 선박의 투입이 거의 없는 경우를 대표한다. 중도적 전망은 Sou Ching 투자회사에 의해 적·하역장비 및 부대시설, 그리고 신규 선박의 투입이 되며, 과거 추세와 유사한 수요패턴이 예상되는 경우이다. 마지막으로 낙관적 전망은 적·하역장비, 부대시설, 그리고 개선된 선박의 투입 및 이의 서비스 개선과 더불어 내륙수로의 교통수요가 크게 증가하는 경우를 말한다.

IV. 경제성 분석

1. 분석의 전제

본 연구에서는 다음과 같은 조건을 가정하였다. 첫째, 경제성 분석의 모든 비용과 편익은 2009년도 불변가격으로 산정하였다. 둘째, 편익의 발생기간은 투자완료 후 10년으로 전제하였다. 셋째, 현재가격은 2009년을 기준으로 사업의 비용 및 편익에 적용하였다. 또한, 사업의 성격상 비용이 초기에 집중 발생하는 반면 편익은 장기간 동안 발생하기 때문에 분석기간 동안 예상되는 비용과 편익에 사회적 할인율을 적용하여 현재가치로 평가하였다.

비용과 편익의 미래흐름을 비교하기 위하여 사용되는 할인율은 자원의 기회비용, 즉 투자 사업에 사용된 자본이 다른 투자 사업에 사용되었을 경우 얻을 수 있는 수익을 추정하게 한다. 또한 사람에 따라 혹은 사회 및 시대에 따라 다를 수 있는 시간의 객관적인 가치를 나타낸다. 본 연구에서는 각 연도의 금액이 인플레이션이 반영되지 않은 불변가격으로서 시간에 대한 가치만 할인시키는 할인율인 실질할인율을 사회적 할인율로서 사용한다. 따라서 본 연구에서는 최적 성장률 방법(optimal growth rate approach)¹¹⁾의 관점에서 사회적 할인율 3.5%를 적용하였다.

11) Anthony et al.(2005), pp. 264-266.

Anthony 등은 가장 적절한 할인율을 결정하기 위해 최적 성장률과 시장중심 할인율 방법(market-based interest rate approach)을 제시하였다. 비록 이들 방법의 선택에 어려움이 있지만 최적 성장률 방법을 더 우선하였다(Although we prefer the optimal growth rate method, this is a judgment call). 최적 성장률 방법에 따르면 사업기간이 50년 미만이며, 공공사업의 경우에 3.5%의 할인율이 사용된다.

<표 3> 전망별 편익

(단위: \$)

연도		2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	계
비관적 전망	안전 편익	290	310	340	450	460	510	580	640	700	670	4,950
	기타 편익	14,700	15,400	16,300	19,900	20,400	22,050	24,450	26,800	29,100	27,650	216,750
	계	14,990	15,710	16,640	20,350	20,860	22,560	25,030	27,440	29,800	28,320	221,700
중도적 전망	안전 편익	400	520	650	850	780	980	1,140	1,290	1,450	1,360	9,420
	기타 편익	20,550	26,850	33,750	42,650	36,450	45,700	52,300	58,900	65,600	61,700	444,450
	계	20,950	27,370	34,400	43,500	37,230	46,680	53,440	60,190	67,050	63,060	453,870
낙관적 전망	안전 편익	540	700	870	1,110	1,040	1,350	1,600	1,840	2,080	1,980	13,110
	기타 편익	28,000	36,350	45,200	56,350	49,100	64,050	75,050	86,100	97,050	93,250	630,500
	계	28,540	37,050	46,070	57,460	50,140	65,400	76,650	87,940	99,130	95,230	643,610

출처: 김정훈(2009), p. 92.

경제성 분석의 절차를 보면 내륙수로 교통안전시설사업에 대해서 3가지 대안을 중심으로 분석하였다. 우선 비관적, 중도적, 그리고 낙관적 전망에서 각각의 비용·편익 분석을 하였다. 이후에 확률론적 시뮬레이션 분석을 수행하였다. 시뮬레이션에서는 사업의 편익이 각 전망별로 각각 최소값, 최빈값, 그리고 최대값으로 하는 삼각분포로 가정하였다. 비용의 분포는 대안별 산출된 총공사비의 10%를 표준편차로 하는 정규분포로 가정되었다. 이와 같은 각각의 사업에 대한 비용변동과 편익의 분포로부터 비용·편익비(B/C)의 확률분포가 최종적으로 구해졌다.

2. 비용 및 편익의 현재가치 산출

대안 A에서 비관적 전망인 경우 사업의 수행으로 인해 편익의 현재가치가 <표 4>에 서와 같이 약 17만 달러로 나타났다. 순현재가치는 약 -118만 달러로 계산되었다. 중도적 전망이 예상되는 경우에는 편익의 현재가치가 약 35만 달러로 나타났다. 순현재가치는 약 -100만 달러로 계산되었다. 또한 낙관적 전망에서는 사업의 수행으로 인한 편익의 현재가치가 약 50만 달러이며, 순현재가치는 약 -86만 달러로 계산되었다.

대안 B에서 비관적 전망인 경우 사업의 수행으로 인한 순현재가치는 약 -336만 달러로 계산되었다. 중도적 전망이 예상되는 경우에는 순현재가치가 약 -318만 달러로 계산되었다. 또한 낙관적 전망에서는 순현재가치가 약 -303만 달러로 계산되었다. 각 전망

에 대한 편익의 현재가치는 대안 A와 동일하다. 이는 해당 내륙수로를 운항하는 선박의 항해자들이 교통안전시설에 대해 생소하며, 각 대안별 차이를 인식하지 못하기 때문이다.

대안 C에서는 항로표지선이 포함되어 본 연구의 최종 분석연도인 2020년의 그 잔존가치가 편익에 포함되었다. 여기서 항로표지선의 내구연한은 30년으로 전제하였다. 항로표지선을 2010년부터 운영하여 2039년에 폐기하는 것으로 할 경우에 내구연한이 종료되는 시점의 최종 잔존가치가 5만 달러라고 가정하였다. 이로써 정액법을 적용하면 매년 약 3.8만 달러의 가치가 감소하여 2020년에는 약 76만 달러의 잔존가치가 있을 것으로 예상되었다.

대안 C에서 비관적 전망인 경우 사업의 수행으로 인한 순현재가치는 약 -501만 달러로 나타났다. 중도적 전망이 예상되는 경우에는 순현재가치가 약 -483만 달러로 계산되었다. 또한 낙관적 전망에서는 순현재가치가 약 -468만 달러로 나타났다.

3. 시뮬레이션 분석결과

<표 4> 대안별 비용 및 편익의 현재가치

(단위: 1,000\$)

구분		비관적 전망 (최소값)	중도적 전망 (최빈값)	낙관적 전망 (최대값)
대안 A	비용의 현재가치	1,357	1,357	1,357
	편익의 현재가치	174	353	499
	순현재가치	-1,182	-1,003	-858
대안 B	비용의 현재가치	3,531	3,531	3,531
	편익의 현재가치	174	353	499
	순현재가치	-3,357	-3,177	-3,032
대안 C	비용의 현재가치	5,705	5,705	5,705
	편익의 현재가치	698	877	1,022
	순현재가치	-5,007	-4,828	-4,683

캄보디아 프놈펜-총크니아스항 구간의 교통안전시설 설치사업에 대한 대안들의 시뮬레이션의 결과는 <그림 3>과 <표 5>와 같이 나타났다. 대안 A는 B/C의 평균이 0.25, 표준편차가 0.06이 나왔다. 또한 이 B/C에 대한 90%의 신뢰구간은 0.16~0.35의 범위에 있음을 확인하였다. 대안 B는 B/C의 평균이 0.10, 표준편차가 0.02로 분석되었다. 이 B/C에 대한 90%의 신뢰구간은 0.06~0.13의 범위로 나타났다. 마지막으로 대안 C에 대한 B/C의 평균은 0.15, 표준편차가 0.02로 분석되었다. 이에 대한 90%의 신뢰구간은 0.12~0.19로 나타났다.

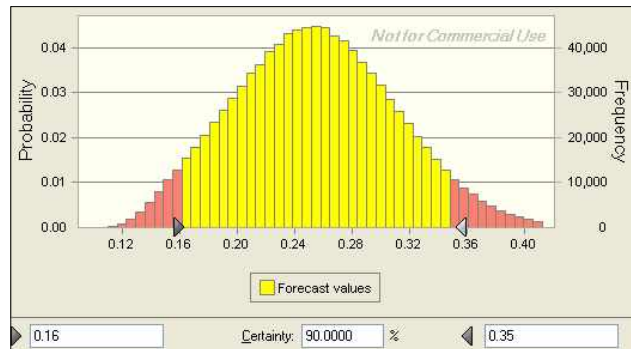
대안별 비교를 보면 대안 A가 상대적으로 가장 높은 B/C를 보였다. 반면 대안 B는 가장 낮은 값을 나타냈다. 그러나 대상 사업에 대한 B/C가 1보다 낮은 경우에는 일반적으로 경제성이 없는 것으로 해석한다. 따라서 본 연구의 사업 대안들은 경제적 타당성이 모두 낮은 것으로 판단되었다.

<표 5> 각 대안별 시뮬레이션 결과

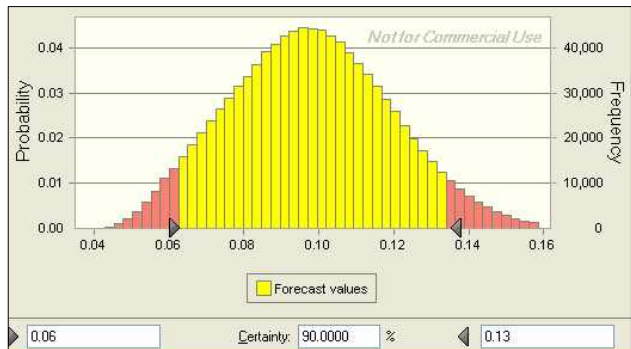
구분	비용·편익비(B/C)				
	평균	표준편차	최소값	최대값	90% 신뢰구간
대안 A	0.25	0.06	0.10	0.60	0.16~0.35
대안 B	0.10	0.02	0.04	0.24	0.06~0.13
대안 C	0.15	0.02	0.09	0.31	0.12~0.19

<그림 3> B/C의 분포 및 90% 신뢰구간에 대한 예측

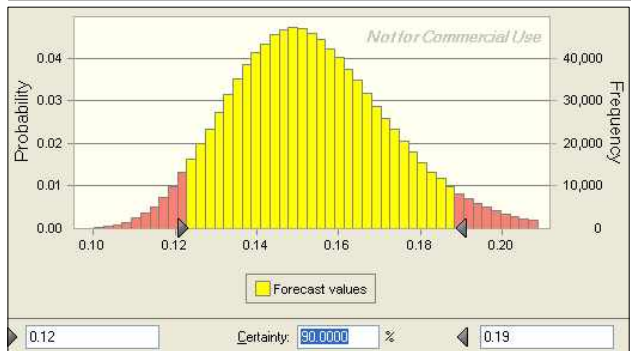
(a) 대안 A



(b) 대안 B



(c) 대안 C



V. 결론 및 향후 연구과제

본 연구에서는 캄보디아의 내륙수로인 프놈펜-총크니아스항 구간에 대한 교통안전시설사업의 경제성을 분석하였다. 사업의 대안을 3가지로 설정하고, 이에 따른 사업비의 변동성과 편익의 분포를 고려하여 몬테카를로 시뮬레이션을 수행하였다. 이를 통해 각 대안별 비용·편익비(B/C)의 확률분포를 추정하고 비교하였다.

대안 A는 교통안전시설을 최소한으로 설치하는 안으로서 총비용이 약 140만 달러가

소요되는 것으로 예상되었다. 대안 B는 대안 A에 비해 교통안전시설을 종류에 따라 2~3배로 확충하여 선박운항의 효율성과 안전성을 높이는 안으로서 총비용이 약 365만 달러로 산출되었다. 대안 C의 경우에는 중형 등부표를 설치하고, 설치 시설의 유지보수를 위한 항로표지선을 추가하는 안으로서 약 590만 달러의 비용이 예상되었다.

경제성 분석은 2009년을 기준으로 사업의 비용 및 편익에 대한 현재가치를 적용하였다. 이에 사용된 할인율은 3.5%이었다. 편익은 비관적, 중도적, 그리고 낙관적 전망에 따른 기존의 연구결과를 적용하였다. 사업의 편익분포는 각 전망에서 산출된 편익을 최소값, 최빈값, 그리고 최대값으로 하는 삼각분포로 가정되었다. 비용 분포는 대안별 산출된 총공사비의 10%를 표준편차로 하는 정규분포로 가정되었다. 이와 같은 각각의 사업에 대한 비용변동과 편익의 분포로부터 비용·편익비(B/C)의 확률분포가 최종적으로 구해졌다.

대안 A의 B/C의 평균은 0.25이며, 이의 90%의 신뢰구간은 0.16~0.35로 나타났다. 대안 B는 B/C의 평균이 0.10이고, 90%의 신뢰구간이 0.06~0.13로 나타났다. 대안 C의 경우에는 평균이 0.15, 90%의 신뢰구간은 0.12~0.19로 산출되었다. 따라서 프놈펜-총크니아스항 구간의 교통안전시설에 대한 경제적 타당성은 낮은 것으로 판단되었다.

본 연구는 사업의 타당성 분석에서 요구되는 경제성 분석과 정책적 분석 중에서 내륙수로 교통안전시설사업의 경제성 분석에 한정하여 수행되었다. 교통안전시설의 효용에 대해 향후의 사용자들이 충분하게 인지를 하지 못하고 있는 경우가 많아 실제 발생할 수 있는 편익이 과소평가되어 있을 수 있다. 캄보디아의 경우, 본 사업시설에 대한 편익에 대해 사용자들의 이해도가 낮으며, 국가적으로 낙후된 경제현황을 고려한다면 B/C값의 해석에 대한 일반적인 적용이 불합리할 수 있다.

향후 연구과제로서는 캄보디아의 해당 내륙수로에 대한 교통안전시설의 정책적 타당성을 분석하는 것이다. 사업의 타당성 분석에는 경제적 타당성과 정책적 타당성이 모두 검토되어야 한다. 이로써 본 연구의 경제성 분석과 함께 종합적으로 고려하여 본 연구의 대상 사업에 대한 시행여부를 결정해야 할 것이다.

참 고 문 헌

1. 국토해양부, 『캄보디아 해상교통시설 설치사업 기초타당성 조사』, 국토해양부, 2009.
2. 김동건, 『비용·편익분석』, 박영사, 2004.
3. 김정훈, "캄보디아 내륙수로의 교통안전시설에 대한 편익추정", 『한국항만경제학회지』, 제25권 제2호, 한국항만경제학회, 2009, pp. 73-95.
4. 김지현, "몬테카를로 시뮬레이션을 이용한 NPV(Net Present Value) 분석에 대한 확률론적 접근", 『한국경영과학회 추계학술대회 논문집』, 한국경영과학회, 2006, pp. 388-390.
5. 김태식, 『Simulation, Real Option and IFRS』, 이레테크, 2007.
6. 심상달, 박현 외 7인, 『에비타당성조사 수행을 위한 일반지침 수정·보완 연구(제4판)』, 한국개발연구원, 2004.
7. 안성진, 『통계적 의사결정론』, 자유아카데미, 2007.
8. 이성수, 최희복, 강경인, "확률론적 시뮬레이션 분석방법을 적용한 건축개발사업의 재무적 타당성 분석", 『한국건설관리학회논문집』, 제8권, 제3호, 2007, pp. 76-86.
9. 조재호, 전재열, "확률적 평가에 의한 건설공사 비용 위험도 측정의 적용성에 관한 연구", 『한국건설관리학회논문집』, 한국건설관리학회, 2000, pp. 63-71.
10. 한국개발연구원(KDI), <http://pimac.kdi.re.kr/>, 2009.08.
11. 해양수산부, 『항로표지 업무편람』, 해양수산부, 2006.
12. Anthony B. et al., *Cost Benefit Analysis: Concepts and Practice*, New Jersey: Prentice Hall, Inc., 2005.

후 기

“이 논문은 2006년도 정부(교육인적자원부)의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구임” (KRF-2006-353-F00014)

< 요약 >

확률론적 시뮬레이션을 이용한 내륙수로 교통안전시설의 경제성 분석 -캄보디아의 프놈펜과 총크니아스항 구간을 대상으로-

김정훈

본 연구는 캄보디아의 내륙수로인 프놈펜-총크니아스항 내륙수로 구간에 대한 교통안전시설사업의 경제성 분석을 다루었다. 이 분석에서 B/C의 값은 몬테카를로 시뮬레이션을 이용하여 산출되었다. 대상 사업의 비용 및 편익은 3.5%의 할인율을 적용하여 2009년의 현재가치로 환산되었다. 편익의 경우 사업에 대한 비관적, 중도적, 그리고 낙관적 전망의 편익을 각각 최소, 최빈, 그리고 최대값으로 하는 삼각분포로 가정하였다. 대안별 비용은 해당 총비용의 10%를 표준편차로 하는 정규분포로 가정되었다. 시뮬레이션 결과로서 대안 A의 B/C 평균은 0.25이며, 90% 신뢰구간은 0.16~0.35로 나타났다. 대안 B는 B/C의 평균이 0.10이고, 90% 신뢰구간이 0.06~0.13로 나타났다. 대안 C의 경우에는 평균 0.15과 0.12~0.19의 90% 신뢰구간을 보였다. 결론적으로 모든 대안에서 B/C가 1보다 낮아서 연구대상 구간의 교통안전시설에 대한 경제적 타당성은 낮은 것으로 나타났다. 그러나 본 교통안전시설사업에 대한 시행여부는 정책적 분석까지 고려하여 결정되어야 할 것이다.

□ 주제어: 경제성 분석, 교통안전시설, 시뮬레이션, 내륙수로, 캄보디아