

시스템다이내믹스를 활용한 항만분야 민간투자사업 재무적타당성 평가 모형 구축 연구*

천민수** · 전준우***

A study on the construction of a financial feasibility evaluation model for
private investment projects in the port sector using system dynamics

Cheon Minsoo · Jeon Junwoo

Abstract

Private investment projects have the characteristic of generating profits for a long period of 30 to 40 years, and fluctuations in profits and costs occur over time, so the interaction of variables over time rather than statistical models or discounted cash flows. If the system dynamics technique, which enables simulation of the system, is used, it is considered that meaningful simulation results can be derived for internal and external variables.

In other words, by establishing a financial feasibility comparison/verification model based on system dynamics for private investment projects in the port sector that have not been attempted before, we compare the differences with the existing cash flow discount method, macroeconomic factors, operating period, social discount rate. We will conduct a differentiated study that has not been tried before by simulating how the interrelationships of such variables affect the change in financial performance.

Key words: Private investment, financial feasibility, system dynamics

▷ 논문접수: 2021. 02. 26. ▷ 심사완료: 2021. 03. 29. ▷ 게재확정: 2021. 03. 29.

* 『이 논문은 부산항만공사 대학 연구비 지원사업을 통해 연구되었음』

** 한국해양수산개발원 연구원, 제1저자, myers@kmi.re.kr

*** 성결대학교 동아시아물류학부 교수, 교신저자, jwjeon@sungkyul.ac.kr

I. 서론

민간투자과 관련된 연구들은 다양한 시각과 주제로 지속되어오고 있지만 그동안의 연구방법은 주로 단선적 사고에 기반을 둔 통계·계량경제학적 접근방법을 사용하였다¹⁾. 특히, 재무적 타당성은 주로 회계법인들에 의해 수행되어 왔으며 현금흐름할인법(Discounted Cash Flow methods, DCF)이 거의 유일한 타당성 검토 방법으로 굳어져 왔다.

민간투자사업은 다양한 연구방법론은 통해 재무성과와 타당성 등을 평가하고 예측할 수 있지만 그 특성과 다양한 위험요인으로 인해 한계가 존재한다. 또한, 단선적 사고에 기반을 둔 통계적 계량분석은 민간투자사업을 구성하는 주요 변수 및 인과관계에 대한 전체 논리 중 일부 영향요인을 간과할 수밖에 없다. 또한, 기존의 현금흐름할인법은 오랫동안 안정적으로 큰 변동없이 사업을 해온 기업의 경우에 적절하게 사용될 수 있지만 민간투자사업과 같이 미래의 사업계획을 바탕으로 하거나 미래 변화가 큰 사업의 경우에는 신뢰도와 정확도가 급격히 낮아지는 특성이 있다. 전문가들에 따르면 미래 현금흐름 추정시 회사가 작성한 사업계획이 반영되기 때문에 장밋빛 산업 전망이나 재무목표 등이 가치평가에 영향을 크게 줄 수 있어 DCF에서 할인율로 사용되는 가중평균자본비용이나 영구현금흐름산출에 크게 영향을 미치는 영구성장률 책정 등은 많은 추정이나 가정에 근거하고 있기 때문에 가치평가가 상당히 왜곡될 가능성도 있다고 지적한다. 따라서 기존 재무적 타당성을 평가·검증하기 위해 변수의 영향을 파악하고, 인과관계에 근거한 시스템적 논리가 필요하다.

이에, 본 연구에서는 재무적 타당성 검증 및 시뮬레이션 도구로써 기존의 회귀분석과 같은 통계적 방법론이나 계량경제학적 방법론과 차별하여, 시스템 사고를 중시하는 복잡계적(complex system) 연

구방법론 중 하나인 시스템 다이내믹스를 사용하여 항만분야 민간투자사업의 재무적 타당성 평가 모형 구축을 통해 기존 현금흐름할인법과의 차이를 비교 및 검증해 보고자 한다.

민간투자사업은 30~40년이라는 긴 기간동안 수익이 발생하는 특성을 가지며 시간이 흐름에 따라 수익과 비용에 변동요인이 발생하여 통계모형이나 현금흐름할인법보다는 시간 흐름에 따른 변수들의 상호작용에 대한 시뮬레이션이 가능한 시스템 다이내믹스 기법을 이용한다면 내외부 변수들에 대해 유의미한 시뮬레이션 결과를 도출해 낼 수 있을 것으로 판단된다.

즉, 이전에 시도된 적 없는 항만분야 민간투자사업에 시스템다이내믹스를 기반으로 한 재무적 타당성 비교·검증 모형 수립을 통해 기존 현금흐름할인법과의 차이를 비교해보고, 거시경제요인, 운영기간, 사회적 할인율 등 각 변수들의 상호관계 작용이 재무성에 변화에 어떤 영향을 미치는지 시뮬레이션해 봄으로써 기존에 시도해 보지 않은 차별화된 연구를 수행해 보고자 한다.

II. 선행연구

국내에서 수행된 시스템 다이내믹스를 이용한 재무적 타당성 분석 연구는 호텔개발사업, 도시개발사업, 선박투자 총 세가지 분야의 연구가 있으며 현재까지 항만투자 분야에 대한 재무적 타당성 검증 모델에 대한 연구는 이전에 연구된 바가 없다.

먼저, 박경열(2012)의 확률론적 시스템 다이내믹스를 적용한 호텔개발사업 재무적 타당성 분석 모델 구축 연구에서 저자는 기존 결정론적 방법에 대한 한계와 확률론적 시스템 다이내믹스의 유용성 그리고 호텔개발사업 재무적 타당성 분석의 개념체계와 중요 변수를 파악하였다.

기존의 호텔개발사업의 재무적 타당성 분석 연구들은 주로 결정론적 방법에 따라 대부분 수익과 비

1) 강지원(2015)

용 부문에 포함되어야 할 분석 항목과 내용을 위주로 분석 결과 값에 영향을 미치는 환경변수들을 생략 또는 확정하였으며 저자는 이를 보완하고 발전시켜 환경변수 들을 포함시켰으며 기존 연구에서 제시하지 못한 다양한 의사결정 정보를 제공하였다.

시스템 다이내믹스를 이용한 재무적 타당성 시뮬레이션 모델은 투자결과를 예측하고 시뮬레이션하여 투자 수준을 판단할 수 있는 좌표 제시와 분석 결과값의 도출과 결과 값에 영향을 미치는 변수를 파악하여 의사결정자가 투자나 의사결정 수위를 판단하는데 도움을 줄 수 있게 하는데 의의가 있다.

본 연구주제인 항만투자 분야에 있어서도 기존 재무적 타당성 평가시 환경변수를 포함하고 의사결정자가 투자 수준을 판단하는데 위의 연구와 같이 도움을 줄 수 있을 것으로 판단하였다.

다음으로 박화영(2014)의 시스템다이내믹스 기법을 활용한 도시개발사업의 재무적 타당성 분석 연구에서는 시스템 다이내믹스 이론을 바탕으로 동태적 분석을 통해 사업 진행 과정에서 발생 가능한 많은 위험요인들에 대한 다각적 분석을 수행하였다.

해당 연구는 인천에 위치한 특정 도시개발사업지구에 대해 2006년부터 2040년까지의 기간동안 실제 집행된 사업 비용과 회수 비용 실적자료를 이용하였으며 현업에서 적용 가능한 분석 모형을 통해 다양한 위험요인과 시계열 변화에 대해 효과적으로 검토하고 사업 시행시 합리적 의사결정이 이루어지도록 하였다.

본 연구분야인 항만투자사업에 있어서도 다양한 리스크가 존재하며 실제 집행된 재무모형을 활용한다는 점에서 선행 연구와 방법론에 있어 유사한 점이 존재하며 시계열 변화에 대해 검토해 본다면 유의미한 연구결과를 도출할 수 있을 것으로 사료된다.

비교적 최근에 수행된 최정석(2017)의 연구는 시

스템다이내믹스를 활용한 선박투자의 재무적 타당성 평가 연구로 선박투자 사업의 성과에 영향을 미치는 수입 및 비용의 주요 변수들간의 종합적 인과관계를 바탕으로 동태적이고 체계적인 방법으로 선박 투자 타당성 모델을 활용하였다.

해당 연구의 실증분석 모델은 방콕막스 컨테이너 선으로 선정하였으며 사업 기간은 사업 특성상 비교적 짧은 기간인 12년으로 선박투자사업의 타당성 분석 관련 평가항목 선정 및 영향요인을 기초로 하여 시뮬레이션 모델을 구축 및 검증하였다.

해운 분야에 해당하는 선박투자사업의 기간적 측면에 있어서나 사업 구조에 있어 항만투자사업과는 큰 차이가 있어 시스템다이내믹스를 활용한다는 공통점을 제외하면 본 연구는 학문적 차별성을 가질 수 있을 것으로 판단된다.

위 선행연구들의 공통점인 시스템다이내믹스를 이용한 재무적 타당성 모델 구축 연구를 제외하면 항만투자를 포함한 민간투자사업에 대한 다양한 연구들과 재무성에 관련된 연구들 그리고 시스템다이내믹스를 이용한 활발한 연구가 수행되었으며 이에 대한 연구주제들은 주제를 제외하고는 본 연구와 차이가 있다고 사료되어 간략하게 소개하고 넘어가고자 한다.

항만투자에 관한 선행연구인 황두건(2007)의 연구는 실물옵션법을 이용한 항만투자 경제적 타당성 평가 연구로 금융옵션인 실물옵션 적용 방법론을 통해 실제 조건 변수와 자료로 현금흐름할인법과 실물옵션 가치평가법을 비교하여 항만의 투자가치를 분석하였다.

박봉수(2007)는 글로벌 환경하에서의 허브항의 역할과 GTO 투자전략에 관한 연구에서 GTO들의 해외항만 투자 요인 및 유형과 투자시 고려되는 요인을 문헌적 연구와 설문 조사를 병행하여 분석하였다.

이동현(2009)은 한국 항만개발 투자지출 경정 요인에 관한 연구에서 거시적 측면에서 항만개발 투

자지출 결정요인을 선정하여 부산항과 광양항 개발의 투자지출에 영향을 미친 결정요인들을 상호 비교하였다. 연구방법론으로는 문헌조사법과 인터뷰 등을 통해 항만개발정책의 특징과 영향요인을 찾고 사회경제적요인, 정치적요인, 정부조직요인 등을 독립변수로 하여 회귀분석을 실시하였다.

민간투자사업에 대한 연구는 광범위하게 수행되었으며 크게 민간투자사업의 운영방식에 관한 연구, 민간투자사업의 최소수입보장제도(MRG), 민간투자사업의 수익률에 관한 연구로 구분할 수 있으며 세부 선행 연구들은 본 논문의 지면 관계상 생략하기로 한다.

재무성에 관한 선행연구들은 이현필(2008)의 제조기업의 재무구조 예측을 위한 평가모형 개발에 관한 연구, 박한구(2003)의 생명보험회사의 재무건전성 평가에 관한 연구, 양병한(2009)의 재무정보를 이용한 기업가치평가모형에 관한 실증연구, 오근혜(2013) 및 이승현(2017), 고세라(2010) 등 많은 연구가 진행된 재무적 성과에 관한 연구들이 있다. 끝으로, 본 연구의 방법론인 시스템 다이내믹스를 활용한 선행연구들은 광범위한 분야에서 다양하게

이용되고 있다. 박진서(2013)의 항공운송수요 행태 분석 연구, 박범석(2016)의 주택담보대출 리스크 분석에 관한 연구, 이상오(2019)의 철도사고 유형별 인적오류 분석 연구, 정희태(2008)의 중소병원 경영성과 평가 연구, 김형호(2018)의 항공여객 수요예측 모델에 관한 연구 등이 있으며 그 외에도 재난예측 시뮬레이션, 선박연료유 가격 예측, 항만물동량 예측, 전력수요예측 등 2000년대 이후 활발한 연구가 수행되고 있는 상황이다.

III. 민간투자사업의 개요

민간투자사업은 전통적으로 정부예산으로 건설·운영해 온 도로, 항만, 철도, 학교, 환경 등의 사회기반시설들을 민간의 재원으로 건설하고 민간이 운영함으로써 민간의 창의와 효율을 도모하고자 하는 사업을 의미하며 사회기반 시설의 유형은 도로, 철도, 항만, 공항, 수자원, 정보통신, 에너지, 환경, 유통, 문화관광, 교육, 국방, 주택, 보건복지, 산림 등의 분야로 구분 가능하다.

표 1. 민간투자사업 추진방식

추진방식	내용
BTO(Build-Transfer-Operate) 방식	사회기반시설의 준공(신설·증설·개량)과 동시에 사업시행자에게 일정기간의 시설관리운영권을 인정하는 방식으로 해당 시설의 소유권이 국가 또는 지방자치단체에 귀속
BTL(Build-Transfer-Lease) 방식	시설을 국가 또는 지방자치단체 등이 협약에서 정한 기간 동안 임차하여 사용·수익하는 방식으로 사회기반시설의 준공(신설·증설·개량)과 동시에 사업시행자에게 일정기간의 시설관리운영권을 인정하되, 해당 시설의 소유권이 국가 또는 지방자치단체에 귀속
BOT(Build-Operate-Transfer) 방식	사회기반시설 준공(신설·증설·개량) 후 일정기간동안 사업시행자에게 당해시설의 소유권이 인정되며 그 기간의 만료 시 시설소유권이 국가 또는 지방자치단체에 귀속되는 방식
BOO(Build-Own-Operate) 방식	사회기반시설의 준공(신설·증설·개량)과 동시에 사업시행자에게 당해시설의 소유권이 인정되는 방식
BLT(Build-Lease-Transfer) 방식	임대 기간 종료 후 시설물을 국가 또는 지방자치단체에 이전하는 방식으로 사업시행자가 사회기반 시설을 준공(신설·증설·개량)한 후 일정 기간 동안 타인에게 임대
혼합형 방식	법 제4조제1호 내지 제6호의 방식 중에서 둘 이상의 방식을 혼합한 방식

민간투자사업은 먼저 제안 주체에 따라 크게 정부고시사업과 민간제안사업으로 나눌 수 있는데 정부고시사업은 재정투자사업 중 사업성이 우수하고 정부보다 민관이 추진하는 것이 더 효율적일 것으로 예상되는 사업을 정부가 선정하여 민간사업자를 공모하는 사업이며 민간제안사업은 민간사업자가 공공투자사업 중 수익성이 있다고 판단되는 사업을 자체적으로 발굴, 정부에 제안하는 사업이다.

민자사업의 추진방식은 민자사업 기본계획²⁾에 따라 총 6가지로 나눌 수 있으며 표에 제시된 6가지 방식 이외에 민간부문이 제시하고 주무관청이 타당하다고 인정하거나 주무관청이 민간투자 시설사업기본계획에서 제시하는 방식으로도 추진이 가능하다.

로 시행한다.

임대형인 BTL 방식은 사업시행자가 관리운영권을 기반으로 사업시설을 주무관청에게 임대하고, 임대료를 수취함으로써 투자비를 회수하는 방식으로, 학교 및 문화 시설 등 수요자(학생, 관람객 등)에게 사용료 부과로 투자비 회수가 어려운 시설을 대상으로 시행하고 정부의 임대료로 투자비를 회수하므로 사업시행자는 사업시설의 운영과 관련된 시장위험(수요변동위험)을 부담하지 않는 것이 특징이다.

항만분야 민간투자사업의 실적은 최근까지 17건으로 총투자비는 702조원, 사업당 평균투자비는 4,261억 원 수준으로 비교적 사업비가 큰 편에 속하며 전체 사업은 모두 일관되게 BTO 방식으로 수행되었다.

표 2. 수익형/임대형 민간투자사업 비교

추진방식	BTO (수익형 민자사업)	BTL (임대형 민자사업)
대상시설 성격	최종사용자에게 사용료 부과로 투자비 회수가 가능한 시설(수익형)	최종사용자에게 사용료 부과로 투자비 회수가 어려운 시설(서비스구입형)
주요 시설	도로, 철도, 항만 등	학교, 군관사, 하수관거, 문화시설, 복지시설 등
투자비 회수	최종사용자의 사용료 (수익자부담원칙)	정부의 시설임대료 (정부제정)
사업 리스크	민간이 수요위험 부담 (수요에 따라 수익률 변동)	민간의 수요위험 배제
수익률	상대적으로 높음	상대적으로 낮음
사업추진방식	<ul style="list-style-type: none"> • BTO(Build-Transfer-Operate) • BTO_rs(Build · Transfer-Operate-risk sharing: 위험분담형) • BTO_a(Build · Transfer Operate-adjusted: 손익공유형) 	<ul style="list-style-type: none"> • BTL(Build-Transfer-Lease)

수익형인 BTO 방식³⁾은 사업시행자가 관리운영권을 기반으로 자신의 책임 하에 사업시설을 운영하고, 그 사용자로부터 사용료를 징수함으로써 투자비를 회수하는 방식으로 대체로 도로, 철도 항만 등 수익(통행료 등) 창출이 용이한 시설을 대상으

IV. 평가모델 구축

1. 시스템다이내믹스 방법론

2000년대부터 이어온 시스템이론은 산업동태론으로도 불리는 새로운 시도 중 하나로 볼 수 있다. 시스템 이론은 일정 목적 하에 운영되는 전체가 존

2) 민간투자사업 기본계획 제3조

3) 한국개발연구원, 2018년도 KDI 공공투자관리센터 연차보고서

재하며 그 전체를 구성하는 하위 구성 부분이 있으며 이러한 전체는 환경과 끊임없이 상호작용하고 구성부분들도 상호작용을 지속함으로써 전체와 구성인자가 통일적으로 목적을 추구하고 유지된다는 전체를 가진다.

이러한 전체하에 시스템 다이내믹스를 이용하여 모델을 구축하기 위해서는 먼저 평가대상의 결과에 영향을 미치는 요인들을 도출해 낸 뒤 이들 간의 인과 관계를 파악하는 인과지도를 작성해야 한다. 이와 같은 정성적 분석방법을 바탕으로 시스템 변수들 간의 인과관계를 연립 미적분방식으로 정립한 시스템 다이내믹스 모델을 구축하여 정량적 연구 분석을 수행한다. 연구 분석 결과가 도출되면 다양한 관점에서 시뮬레이션을 수행하고 객관성 검증을 통해 유의미한 결론과 시사점을 제시한다.⁴⁾

2. 모델구축방법

본 연구 분석을 위한 모델은 선행연구들과 실제 항만 분야 민간투자사업 사례를 토대로 재무적 타당성에 영향을 미치는 변수들을 도출하고 이를 바탕으로 종속변수와 독립변수를 구분하여 모델링을 통해 실증분석 시뮬레이션을 실시한다.

본 연구의 방법론인 시스템다이내믹스는 변수들 간의 동태적 행태 변화를 기반으로 수리화하며 변수들간의 관계를 인과지도로 나타내어 구조를 파악하는 정성적 모델방식과 각 변수들간의 데이터 값을 토대로 시뮬레이션을 통해 피드백 형태를 분석하는 정량적 모델 방식을 동시에 활용한다.

시스템다이내믹스를 이용한 실증 분석을 위해서는 수식의 자동계산과 모델 구축이 가능한 전문 프로그램이 필요한데 본 연구에서는 Vensim을 이용하였다.

3. 시스템다이내믹스 모델링

시스템다이내믹스는 사회현상에서 발생하는 문제들의 원인을 파악하고 복잡한 시스템 구조의 동태적 변화를 구조화하여 문제를 해결하는 연구방법으로 문제정의, 인과지도 작성, 모델 시뮬레이션, 타당성 검증, 활용 및 분석의 과정을 거친다.

문제정의 단계에서는 전반적인 모델링을 계획 및 설계하고 원하는 결과값 도출을 위해 변수와 시스템 구조를 설정한다. 이 단계에서는 얻고자 하는 모델의 범위를 정확히 설정해야 하며 그렇지 않을 경우 목표한 값과 다른 형태를 보이게 된다. 항만 투자 분야의 재무성 분석 모델의 경우도 물동량, 금리, 운영기간 등에 대한 명확한 범위와 분류를 통해 유의미한 결과값을 도출할 수 있게 된다.

다음으로 인과지도 작성 단계에서는 문제의 원인이 되는 주요 구성 변수들의 인과관계를 구조화하고 여러 변인들이 어떤 형태로 상호작용하고 피드백 구조를 가지는지 나타내는 것이다. 이 단계는 정성적인 분석 방법이며 주요 변수들의 인과관계량의 관계(+)와 음의 관계(-)로 화살표를 통해 나타낸다.

이러한 인과지도는 분석 대상의 주요 변수들의 상호작용과 영향을 전반적으로 이해하는데 도움이 되며 Vensim과 같은 시스템다이내믹스 전문 프로그램을 통해 실제 시뮬레이션 모델링에 활용된다.

모델 시뮬레이션 단계에서는 인과성을 가지는 변수들을 구분하여 각종 수식을 설정하는 과정으로 저장-유량(Stock and Flow) 다이어그램 작성 후 변수들간의 오류를 수정하고 보완하는 작업이 수행되어야 한다. 이를 바탕으로하여 연립미적분방정식 계산을 통해 시뮬레이션을 수행하여 이에 따라 저장-유량 변수의 값이 변화된다.

모델 타당성 검증 단계에서는 주요 변수들에 대한 타당성과 객관성을 검증하게 되는데 이 과정은 주요 변수들의 설명력을 높이고 연구 결과의 타당성을 보완하는 필수적인 과정이다.

4) 최정석(2017), 시스템다이내믹스를 활용한 선박투자의 재무적 타당성 평가 연구

본 연구에서는 시뮬레이션 모델의 정확도를 검증하기 위하여 신뢰도가 높고 예측 오차의 비교가 명확한 절대 평균오차비율(MAPE : Mean Absolute Percentage Error)을 적용하였다.(Lewis, 1982)

여타 변수들의 변화에 따른 재무성의 영향도 같이 살펴보고자 하며 재무모델 또한 현재도 실제 운영 중에 있는 부산신항의 컨테이너부두 민간투자사업 재무모델을 활용하여 시뮬레이션을 수행하고자한다.

4. 모델 구축 대상 및 실증분석 사례

본 연구는 항만 분야 민간투자사업의 재무적 타당성을 검증하기 위해 시스템다이내믹스를 활용하는데 그 목적이 있다. 특히, 항만 사업은 품목별로 다양한 전용터미널이 있지만 세계 6위권 컨테이너 물동량 처리 실적을 기록 중인 우리나라의 항만의 특성과 향후 확장 가능성을 고려하여 본 연구에서는 컨테이너터미널을 대상으로한 민간투자사업의 재무적 타당성을 검증해 보고자 한다.

항만 사업은 대규모 투자비를 필요로하며 장기간의 운영기간을 갖는 특성상 다양한 리스크에 노출될 수 있으나 수입의 가장 큰 부분인 물동량에 변화가 재무성에 많은 영향을 주게 된다.

이에 물동량의 변화가 재무성에 미치는 영향과

V. 실증분석

1. 실증분석의 흐름

본 연구의 실증분석을 위해 먼저 시스템의 구조와 재무적 타당성 검증을 위한 구성 변수를 설정하고 이를 토대로 인과지도를 작성하였다. 다음으로 시뮬레이션 모델을 구축하였으며 시뮬레이션 이후 모델 검증 작업을 수행하였다. 끝으로 시스템다이내믹스를 이용한 항만 분야 민간투자사업의 타당성 검증과 그 결과값을 기존의 현금흐름할인법을 통해 도출된 결과와 비교분석하였다.

표 3. 항만 분야 민간투자사업 실증분석 사례 개요

구분	항목	내용	구분	항목	내용
사업개요	사업형태 선석	컨테이너부두 3	운영수입	부의 재정지원	-
	경상사업수익률 (세전/세후)	10.43%/9.46%		제안사용료	50,000원/TEU
시점에 대한 가정	가격기준시점	2004/7/1	운영비용	기준사용료	81,042원/TEU
	기준년도	2008		사용료적용비율	61.7%
	공사기간	54개월	물동량적용비율	100%	
	준공시점	2012/12/31	TEU/운영비용 적용비율	18,253원/TEU 100%	
물가 및 세율	무상사용기간	30년	자금투입 순서	자본금1	1
	운영종료시점	2042/12/31		자본금2	2
	물가상승률	4%	후순위차입금	3	
	VAT	10%	금융기관차입금	4	
사업비	법인세율(1억 초과)	27.5%	재원조달 계획	자본금	25%
	이자수익	3%		후순위차입금	7.5%
	부채비율	300%		금융기관차입금	67.5%
	적용비율	100%		시설장기차입이자율	8%
	기타사업비	100%		신용공여차입이자율	8%

2. 실증분석 사례 개요

본 연구의 실증분석 대상이 되는 부산신항 컨테이너부두는 3개의 선석을 가지며 세후 9.46%의 경상사업수익률을 가지는 것으로 현금흐름할인법에 의한 재무성 분석결과 나타났다.

시점에 있어서는 54개월의 공사기간과 30년의 무상사용기간(운영기간)을 갖는 것으로 계약하였으며 운영종료 시점은 2042년말까지로 하였다.

물가 및 세율에 있어서는 물가상승률의 4%로 고정하고 사업비는 전액 집행하는 것으로 가정하였다.

가장 중요한 운영수입은 1TEU 당 금액을 산정하였으며 물동량은 예측치를 100% 달성할 것으로 가정하였으며 운영 비용 또한 1TEU당 금액을 산정하고 계획된 비용이 다 투입되는 것으로 가정하였다. 자금투입 순서와 재원조달계획은 일정 순서와 비율로 표와 같이 산정하였다.

3. 실증분석

1) 인과지도

시스템 다이내믹스를 활용하여 항만 투자의 타당성을 평가하기 위해서는 각 구성 변수 간의 인과관계와 전체 흐름을 쉽고 편리하게 이해할 수 있는 개념 정리가 필요하다.

인과지도는 각 구성변수 간의 인과관계를 바탕으로 순환적 구조의 정성적 모델을 작성하여 시뮬레이션 모델의 이해를 도울 수 있으며 항만 투자의 타당성을 평가하기 위해 본 연구에서는 항만물동량, 운영비, 투자비를 주요 변수로 선정하였다.

또한 항만 물동량을 운영수입으로 계산하며, 운영비에는 인건비, 경비, 유지관리비, 보험료, 감가상각비, 부대사업설비 상각비, 무형자산상각비가 포함되며 매출 총이익은 운영수입과 운영비로 계산되며, 투자손익은 항만 투자 NPV와 총 투자비로 계산되었다.

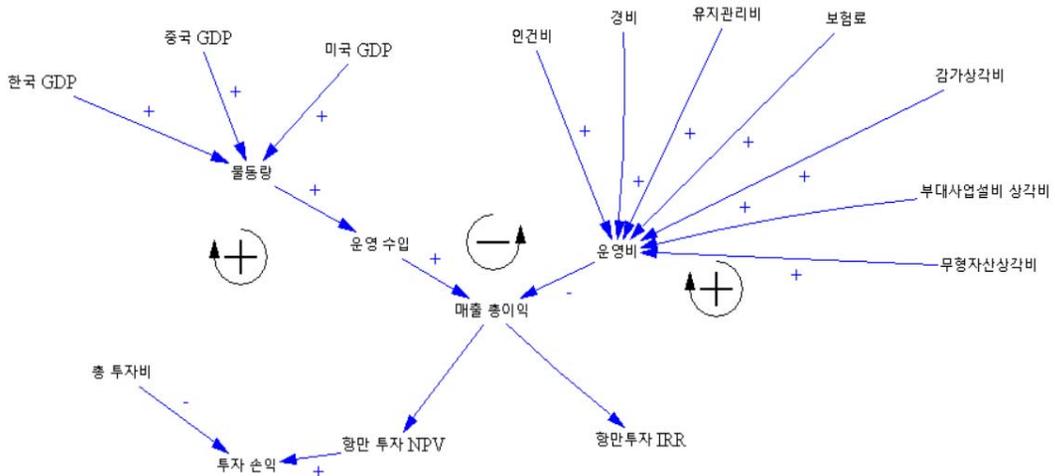


그림 1 항만투자 인과지도

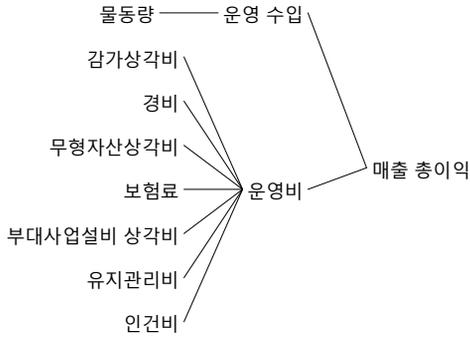


그림 2 매출 총이익 계층도

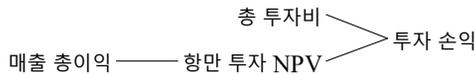


그림 3 투자 손익 계층도

2) 시뮬레이션 모델

시뮬레이션 모델의 Time 정의는 시스템 다이나믹스를 활용하여 항만 투자의 타당성을 판단하기 위해 구성변수들을 선정하고 이에 따라 구축된 모델이 시간의 흐름에 따라 변수간의동적인 변화를 나타내는 시뮬레이션 모델을 구축하고자 시간적 개념에 대한 변수의 개념 아래와 같이 정립하였다.

표 4. 시뮬레이션 모델의 Time 정의

변수	개념	단위
Time	항만 투자 성과 측정을 위한 기본 시간단위	Year
Initial time	시뮬레이션 시작 시점	2013년
Final time	시뮬레이션 종료 시점	2052년

시뮬레이션 모델의 변수 목적의 정리는 시스템

다이나믹스 모델 수행을 위해 변수 간의 목적에 따른 구분을 수행하는 것으로 변수는 시뮬레이션을 위한 목적에 따라 목적변수, 정책변수, 시나리오 변수로 구분된다.

목적변수는 항만 투자 타당성 평가를 위해 도출하고자 하는 사업성과에 대한 변수이며 정책변수는 사업성과에 직접적인 영향을 미치는 수입과 비용에 관련된 변수이다. 운영수입과 운영비가 포함될 시나리오 변수는 물동량 시뮬레이션에 영향을 미치는 변수이며, 한국 GDP, 중국 GDP, 미국 GDP가 포함된다.

항만 투자 재무적 타당성 분석을 위한 변수 구분은 표와 같다.

표 5. 시뮬레이션 모델의 변수 정의

변수	개념
목적변수	사업성과지표(NPV, IRR)
정책변수	운영수입(물동량), 운영비
시나리오 변수	한국 GDP, 중국 GDP, 미국 GDP

3) 저장-유량(Stock and Flow) 다이어그램

인과지도와 위의 변수에서 설명한 내용을 시뮬레이션을 위한 물동량과 투자손익 Stock and flow Diagram은 그림과 같으며 본 연구의 주요 수식은 Jeon et al.(2020)이 제시한 방법을 따랐다.

4) 모델 검증

본 연구 결과의 신뢰성은 시뮬레이션 모델의 신뢰성과 밀접한 관련이 있으며 시스템다이나믹스에서 모델 검증은 중요한 단계이다. 연구 결과물에 대한 신뢰를 위해 시뮬레이션 모델의 검증이 반드시 필요하다.(Yeo et al., 2013)

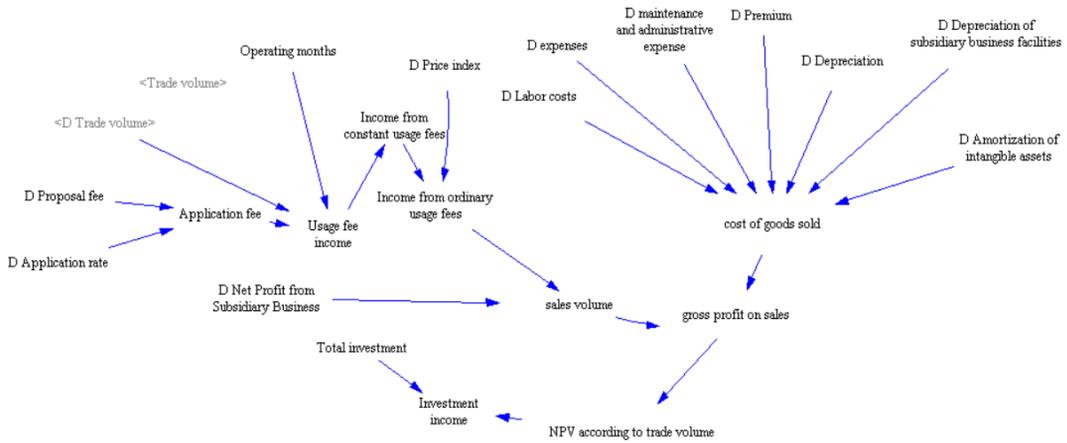


그림 4 저장-유량(Stock and Flow) 다이어그램-물동량

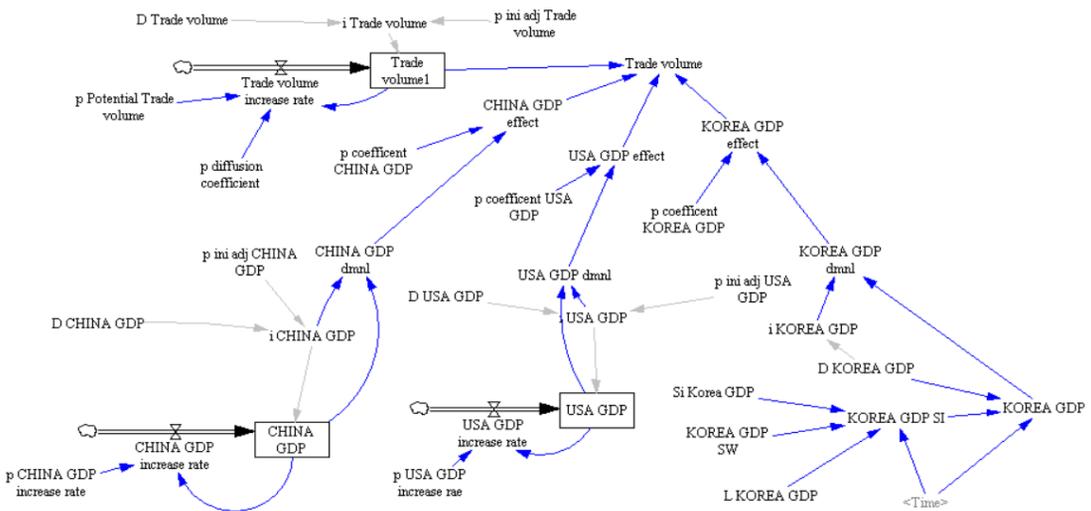


그림 5 저장-유량(Stock and Flow) 다이어그램-투자 손익

본 연구에서는 시뮬레이션 모델의 정확도를 검증하기 위하여 신뢰도가 높고 예측 오차의 비교가 명확한 절대 평균오차비율(MAPE : Mean Absolute Percentage Error)을 적용하였다.(Lewis, 1982)

- 0% ≤ MAPE < 10% : 매우 정확한 예측
- 10% ≤ MAPE < 15% : 비교적 정확한 예측
- 20% ≤ MAPE < 50% : 매우 합리적인 예측
- 50% < MAPE : 부정확한 예측

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum \left| \frac{X_t - F_t}{X_t} \right| \times 100$$

본 연구의 시뮬레이션 결과 값과 실증분석 사례

인 부산신항 컨테이너 부두의 재무성 분석 결과값을 비교한 결과는 그림과 같다.

그림에서 1번 라인은 부산신항 컨테이너 부두의 재무성 분석 결과값 데이터이며, 라인 2는 본 연구의 시뮬레이션 결과 값이다.

본 연구 시뮬레이션 결과값은 표와 같으며, MAPE 값은 4.04%로 분석되어 매우 정확한 예측모델로 판단된다.

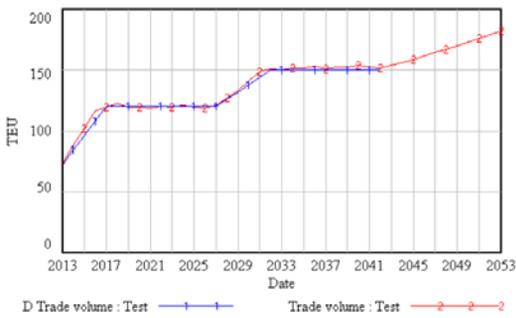


그림 6 시뮬레이션 값과 실제 값 비교

표 6. 결과값 비교

Date	D Trade volume	Trade volume
2013	72	74
2014	84	88
2015	96	102
2016	108	117
2017	120	120
2018	120	123
2019	120	119
2020	120	120
2021	120	118
2022	120	120
2023	120	119
2024	120	121
2025	120	120
2026	120	119
2027	120	121

Date	D Trade volume	Trade volume
2028	126	127
2029	132	134
2030	138	141
2031	144	148
2032	150	151
2033	150	150
2034	150	152
2035	150	152
2036	150	153
2037	150	151
2038	150	152
2039	150	152
2040	150	153
2041	150	152
2042	150	152

5) 사업성과지표

본 연구에서는 물동량 운영수입에 따른 NPV를 계산했으며, 할인율은 5.5%와 4.5%를 활용하였다.

NPV의 결과값은 아래 그림과 같으며, 라인 1은 할인율 5.5% 결과이고, 라인 2는 할인율 4.5% 결과이다. 2042년까지의 NPV는 할인율 5.5%일 때 11,480억 원이며, 할인율 4.5%일 때 13,530억 원이다.

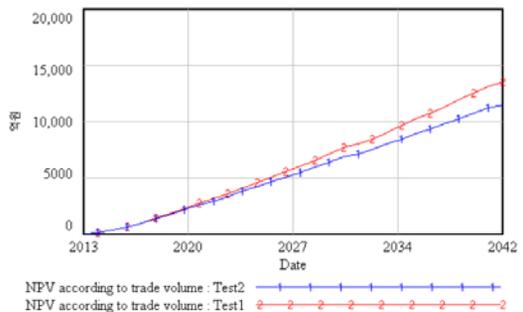


그림 7 NPV 변화

총 수익은 아래 그림과 같으며, 라인 1은 할인율 5.5%의 결과이며, 라인 2는 할인율 4.5% 결과이다. 투자대비 수익이 흑자로 전환되는 시점은 2029년으로 2042년 기준 총 수익은 할인율 5.5%일 때 5,486 억원이며, 할인율 4.5%일때 7,533 억원이다.

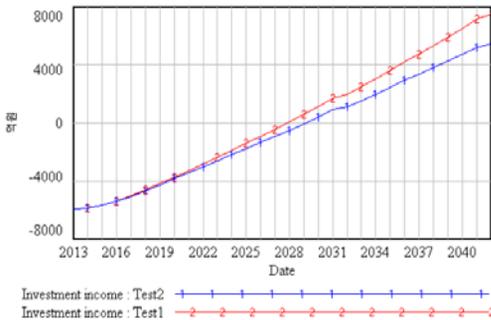


그림 8 총 수익 변화

IRR 분석결과, 아래 그림과 같이 2042년 기준 10%로 분석되었다.

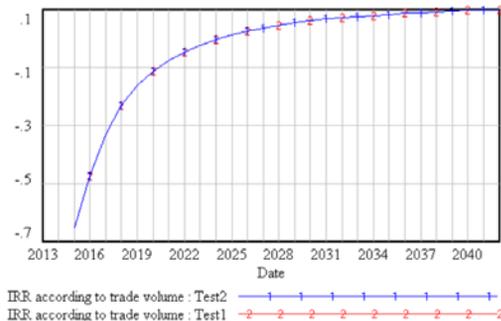


그림 9 기본 시뮬레이션 모델의 IRR

물동량 시뮬레이션에 활용한 GDP가 물동량에 영향을 미치는 정도는 중국 GDP 0.360849, 미국 GDP 0.2759, 한국 GDP 0.15853로 분석되었다.

이에 중국 GDP와 미국의 GDP가 5% 증감 했을 때 물동량의 변화와 물동량 변화에 따른 NPV, 총 수익, IRR을 계산하였다.

아래 그림에서 라인 1은 중국 GDP가 5% 증가할 경우의 물동량이며, 라인 2는 중국 GDP가 5% 감소할 경우의 물동량, 라인 3은 시나리오가 적용되지 않은 물동량이다.

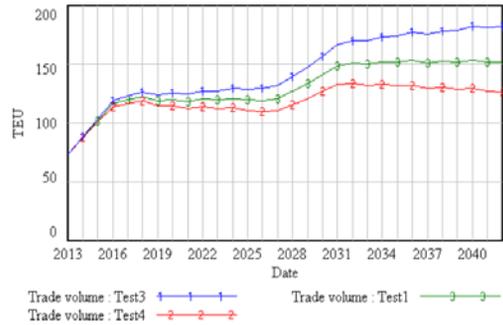


그림 10 중국 GDP 증감의 물동량 변화

시나리오가 적용되지 않았을 때의 아래 그림과 같이 NPV는 13,150 억원이며, 중국 GDP가 5% 증가하면 NPV는 15,780 억원이며, 중국 GDP가 5% 감소하면 NPV는 11,360 억원으로 나타났다.

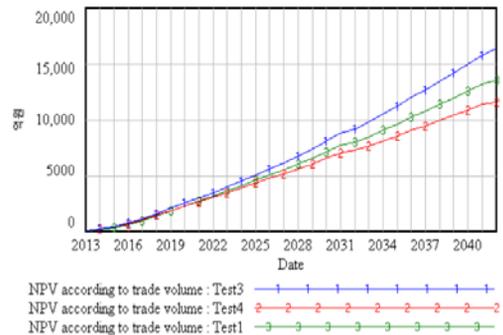


그림 11 중국 GDP 증감의 NPV 변화

시나리오가 적용되지 않았을 때의 총 수익은 아래 그림과 같이 7,533 억원이며, 중국 GDP가 5% 증가하면 총 수익은 10,340 억원임, 중국 GDP가 5% 감소하면 총 수익은 5,604억 원 나타났다.

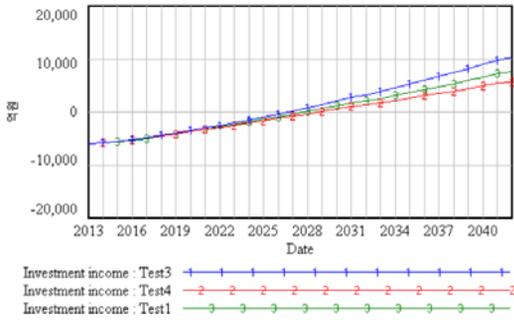


그림 12 중국 GDP 증감의 총 수익 변화

시나리오가 적용되지 않았을 때의 IRR은 아래 그림과 같이 10%이며, 중국 GDP가 5% 증가하면 IRR은 11%, 중국 GDP가 5% 감소하면 IRR은 9%로 나타났다.

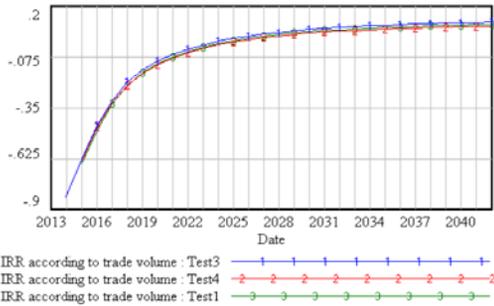


그림 13 중국 GDP 증감에 따른 IRR 변화

아래 그림에서 라인 1은 미국 GDP가 5% 증가할 경우의 물동량이며, 라인 2는 미국 GDP가 5% 감소할 경우의 물동량, 라인 3은 시나리오가 적용되지 않은 물동량이다.

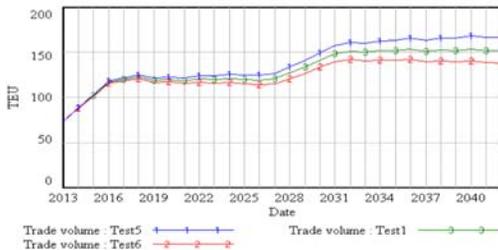


그림 14 미국 GDP 증감의 물동량 변화

아래 그림과 같이 시나리오가 적용되지 않았을 때의 NPV는 13,530 억원이며, 미국 GDP가 5% 증가하면 NPV는 15,110 억원, 미국 GDP가 5% 감소하면 NPV는 12,620 억원으로 나타났다.

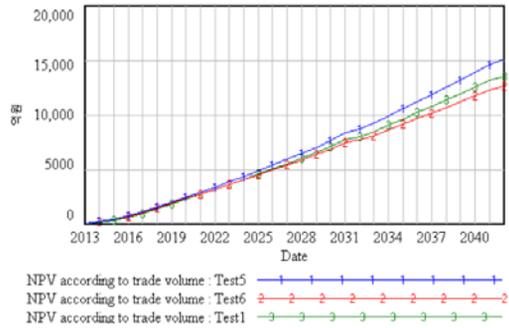


그림 15 미국 GDP 증감의 NPV 변화

아래 그림과 같이 시나리오가 적용되지 않았을 때의 총 수익은 7,533 억원이며, 미국 GDP가 5% 증가하면 총 수익은 9,114 억원, 미국 GDP가 5% 감소하면 총 수익은 6,618 억원으로 나타났다.

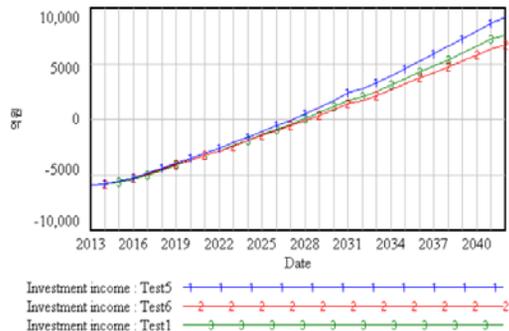


그림 16 미국 GDP 증감의 총수익 변화

시나리오가 적용되지 않았을 때의 IRR은 10%이며, 미국 GDP가 5% 증가하면 IRR은 11%, 미국 GDP가 5% 감소하면 IRR은 9%로 나타났다.

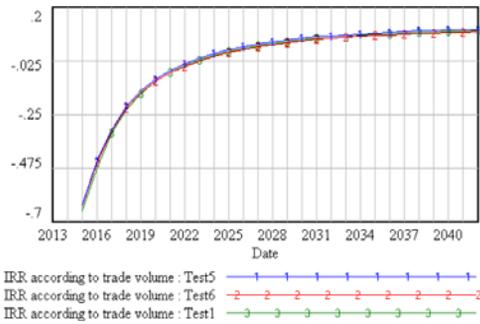


그림 17 미국 GDP 증감에 따른 IRR 변화

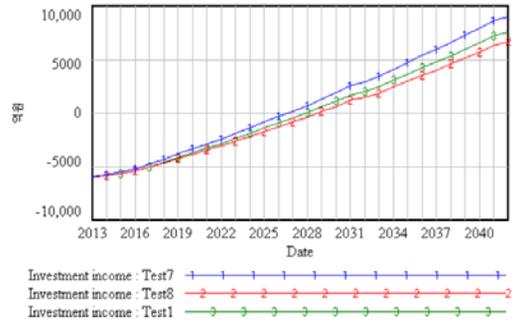


그림 19 물가지수 변화의 총수익 변화

물가지수에 따른 수입의 변화에 대하여 시나리오 분석을 실시하였는데 아래 그림에서 라인 1은 물가지수가 5% 증가할 경우의 NPV이며, 라인 2는 물가지수가 5% 감소할 경우의 NPV, 라인 3은 시나리오가 적용되지 않은 NPV이다.

시나리오가 적용되지 않았을 때의 NPV는 13,530 억원이며, 물가 지수가 5% 증가하면 NPV는 14,580 억원, 물가 지수가 5% 감소하면 NPV는 12,290 억원으로 나타났다.

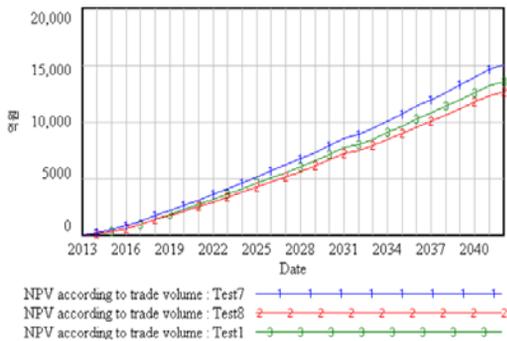


그림 18 물가지수 변화에 따른 NPV 변화

시나리오가 적용되지 않았을 때의 총 수익은 7,533 억원이며, 물가 지수가 5% 증가하면 총 수익은 9,011 억원, 물가 지수가 5% 감소하면 총 수익은 6,636 억원으로 나타났다.

시나리오가 적용되지 않았을 때의 IRR은 10%이며, 물가 지수가 5% 증가하면 IRR는 11%, 물가 지수가 5% 감소하면 IRR은 9%로 나타났다.

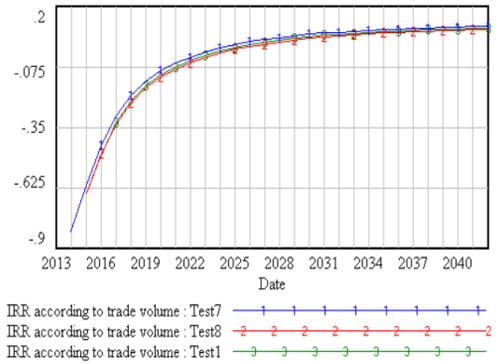


그림 20 물가지수 변화에 따른 IRR 변화

시나리오별 변화에 따른 결과를 종합하면 아래 표와 같다.

표 7.시나리오별 결과 종합

시뮬레이션	시나리오	NPV(억원)	총수익(억원)	IRR(%)
Test1	할인율 4.5%	13,150	7,155	10%
Test2	할인율 5.5%	11,200	5,201	10%
Test3	중국 GDP 5% 증가, 할인율 4.5%	15,780	9,779	11%
Test4	중국 GDP 5% 감소, 할인율 4.5%	11,360	5,365	9%
Test5	미국 GDP 5% 증가, 할인율 4.5%	14,630	8,636	11%
Test6	미국 GDP 5% 감소, 할인율 4.5%	12,310	6,312	9%
Test7	물가지수 5% 증가, 할인율 4.5%	14,580	9,011	11%
Test8	물가지수 5% 감소, 할인율 4.5%	12,290	6,636	9%

VI. 결 론

1. 시나리오별 평가 결과 비교

할인율이 동일한 상황에서는 시나리오 분석 결과 미국 보다 중국 GDP의 변화에 따라 운영수익 및 순현재가치의 변화 폭이 크게 나타나는 것으로 나타났으며 물가지수변화에 따라서도 10%이상의 순현재가치 차이를 보이는 것으로 분석되었다. 특히 본 논문에서는 지면 관계상 다 수록하지 못하였으나 운영기간 변수의 경우 모든 변수에 영향을 크게 미치는 것으로 나타나 향후 이에 대한 분석도 추가 연구를 진행해 보려한다.

표 8. 시나리오별 순현재가치 차이

시나리오	순현재가치
중국 GDP 5% 증가	20.0%
중국 GDP 5% 감소	-13.6%
미국 GDP 5% 증가	11.3%
미국 GDP 5% 감소	-6.4%
물가지수 5% 감소	10.9%
물가지수 5% 감소	-6.5%

본 연구는 System dynamics를 활용하여 항만분야 민간투자사업의 재무적 타당성(NPV, IRR)을 비교 검증하는 모형을 개발했다. 이는 기존의 현금흐름할인법과는 다음과 같은 차이점이 존재한다. 1): 시나리오 분석이 가능하다. 본 연구에서는 항만 물동량 시뮬레이션에 중국GDP, 미국 GDP, 물가 등의 여러 변수를 활용하였으며 모델의 정확도 검증을 수행했다. 이를 바탕으로 각 변수들의 변화에 따른 NPV, IRR의 변화를 확인 할 수 있으며, 이는 향후 항만 운영에 반영이 가능하다고 사료된다. 2) 예측이 가능하다. 민간투자사업은 30-40년이라는 긴 기간동안 수익이 발생하는 특성을 갖는다. 하지만 기존의 현금흐름 할인법은 30-40년 긴 기간동안의 수익과 비용의 변동요인의 변화를 반영하기가 어렵다. 하지만 System dynamics는 time과 time step이 큰 변수를 기본으로 하는 시간의 흐름을 베이스로 하는 시뮬레이션 방법이다. 따라서 System dynamics를 활용해 30-40년 기간의 수익과 비용의 변동요인을 시뮬레이션 모형에 반영하고, 이를 바탕으로 예측이 가능하다.

이와 같은 장점들을 바탕으로 본 연구는 항만분야 재무성 검증과 다양한 의사결정을 함에 있어서 첫 시발점으로서 의의를 가지며 향후 다양한 방식으로 연구의 확장이 가능하다는 장점을 가진다.

2. 연구의 한계 및 향후 연구 수행 방안

연구가 가지는 명확한 목적성에도 불구하고 시스템다이내믹스의 인과지도가 가지는 정성적 분석의 측면에서 미흡한 부분이 존재하는데 이는 향후 연구에서 관련 분야 전문가들의 의견을 반영하여 객관성과 타당성을 보완한다면 한층 더 신뢰도 높은 연구 결과를 얻을 수 있을 것으로 판단된다.

또한 항만 사업의 특성상 수많은 리스크가 존재하는데 이들의 특성상 계량화하기가 어려워 시스템다이내믹스 모델링에 적용이 어려운 부분이 존재하기에 다양한 실제 항만사업의 재무성에 영향을 준 리스크요인들을 분석하고 계량화 하는 연구가 진행된다면 재무성 검증 모델의 신뢰성도 크게 높아질 것으로 사료되어 향후 추가 연구 수행이 필요하다.

참고문헌

박경열(2012), 확률론적 시스템 다이내믹스를 적용한 호텔 개발사업 재무적 타당성 분석 모델 구축
 박화영(2014), 시스템 다이내믹스 기법을 활용한 도시개발사업의 재무적 타당성 분석
 최정석(2017), 시스템다이내믹스를 활용한 선박투자의 재무적 타당성 평가 연구
 황두건(2007), 실물업선을 이용한 항만 투자의 경제적 타당성 평가
 이동현(2009), 한국 항만개발 투자지출의 결정요인에 관한 연구 : '양항정책'을 중심으로
 박봉수(2007), 글로벌 SCM 환경하에서의 허브항의 역할과 GTO의 투자전략에 관한 연구
 김영신(2018), 공연시설 BTO 민간투자사업 개선에 관한 연구 : B홀을 중심으로
 정창기(2019), 문화관광 민간투자시설 운영개선을 위한 BTL·BTO 혼합방식 도입방안 실증연구
 김동환(2016), 철도민간투자사업의 BTO-ww 재구조화 모델 개발
 박용성 (2011), 경로의존모델에 따른 관점에서 최소운영수입보장제도의 경로변화를 연구

황진숙(2017), 창의적 과정의 시스템 다이내믹스 모형 구성 및 적합성 분석
 박진서(2013), 시스템다이내믹스를 활용한 항공운송수요 행태 분석 연구
 권경자(2006), 의료기관의 간호인력 산정을 위한 시스템다이내믹스 모델 개발
 강은원(2019), 한국 웹툰산업 형성 및 발전과정 연구 : 시스템다이내믹스 방법론을 중심으로
 함규태(2007), 시스템 다이내믹스에 의한 동적 균형성과표 개발 : K기업 사례를 중심으로
 안천호(2008), 시스템다이내믹스를 활용한 토지이용 변화가 도시동태성에 미치는 영향에 관한 연구 : 성남시를 중심으로
 박범석(2016), 시스템 다이내믹스를 이용한 주택담보대출 리스크 분석에 관한 연구
 이상오(2019), 시스템다이내믹스를 활용한 철도사고 유형별 인적오류 분석
 고성필(2014), 시스템다이내믹스를 이용한 방위산업의 제조 또는 구매결정에 관한 연구 : 거래비용이론과 자원기반이론의 통합적 접근을 기반으로
 정희태(2008), 중소기업 경영성과의 평가에 대한 시스템다이내믹스 모델 개발
 서민아(2014), 시스템다이내믹스모형을 이용한 불소계 온실가스(HFCs) 배출 최적 감축방안 연구
 김형호(2018), 시스템다이내믹스를 활용한 항공여객 수요 예측 모델 및 저비용항공사 항공운송 시장진입 전략에 관한 연구
 조소현(2019), 시스템 다이내믹스를 이용한 자율운항선박의 기술발전에 따른 한국해양산업인력의 규모와 구조 변화에 대한 연구
 Lewis, C. D.(1982). 「Industrial and business forecasting methods: A practical guide to exponential smoothing and curve fitting. London: Butterworth Scientific」
 Jeon, J. W., Duru, O., and Yeo, G. T. (2020), "Modelling cyclic container freight index using system dynamics". Maritime Policy & Management, No. 47, Vol.3, pp.287-303.
 Yeo, G. T., J. Y. Pak, and Z. Yang. (2013). "Analysis of Dynamic Effects on Seaports Adopting Port Security Policy."Transportation Research Part A: Policy and Practice, Vol. 49, pp. 285-301.

시스템다이나믹스를 활용한 항만분야 민간투자사업 재무적타당성 평가 모형 구축 연구

천민수 · 전준우

국문요약

민간투자사업은 30~40년이라는 긴 기간동안 수익이 발생하는 특성을 가지며 시간이 흐름에 따라 수익과 비용에 변동요인이 발생하여 통계모형이나 현금흐름할인법보다는 시간 흐름에 따른 변수들의 상호작용에 대한 시뮬레이션이 가능한 시스템 다이나믹스 기법을 이용한다면 내외부 변수들에 대해 유의미한 시뮬레이션 결과를 도출해 낼 수 있을 것으로 판단된다.

즉, 이전에 시도된 적 없는 항만분야 민간투자사업에 시스템다이나믹스를 기반으로 한 재무적 타당성 비교·검증 모형 수립을 통해 기존 현금흐름할인법과의 차이를 비교해보고, 거시경제요인, 운영기간, 사회적 할인을 등 각 변수들의 상호관계 작용이 재무성에 변화에 어떤 영향을 미치는지 시뮬레이션해 봄으로써 기존에 시도해 보지 않은 차별화된 연구를 수행해 보고자 한다.

주제어: *Private investment, financial feasibility, system dynamics*