

자동화 컨테이너 터미널의 하역 시스템에 따른 경제성 비교

조성우* · 원승환** · 최상희***

A Comparative Study on Automated Container Terminal according to Stevedoring System

Sungwoo Cho · Seunghwan Won · Sanghei Choi

Abstract : The purpose of this study is to identify economic benefits for analyzing the future port and propose an appropriate estimation model. This research has conducted the empirical analysis in order to examine the developed research model.

First of all, several existing economic benefits are reviewed and the list of benefits, are able to quantify and characterizable, is selected for the next step. We test the application possibility of the proposed model applying for the three suggestions(AS/RS, OSS, Sky Rail) which are based on "Development of Smart Green Container Terminal Technology."

The results of this paper are as follows: Firstly, all of the alternatives are proved economic validation because the values of B/C analysis are over 1.0. Secondly, sensitive analysis is attempted to test unforeseeable circumstances based on the cost increases. The result of the test is identified economic validation as well. Lastly, we convince that the proposed research model in this study is particularly applicable to future container terminal so-called "eco-friendly and fully automated container terminal with high productivity."

Key Words : Economic Analysis, Container Terminal, Automation, Stevedoring System

▷ 논문접수 : 2014. 08. 12. ▷ 심사완료 : 2014. 09. 02. ▷ 게재확정 : 2014. 09. 12.

* 군산대학교 물류학과 조교수, swcho@kunsan.ac.kr, 063)469-4804, 주저자

** 군산대학교 물류학과 조교수, shwon@kunsan.ac.kr, 063)469-4803, 교신저자

*** 한국해양수산개발원 항만연구본부 항만물류기술연구실장, shchoi@kmi.re.kr, 02)2105-2888

I. 서론

항만시설 투자에 대한 항만생산성 제고는 우리나라 제품의 원가에 영향을 미치게 되고 이는 우리나라 제품의 대외 경쟁력을 높이게 된다. 그러므로 수출지향적인 경제모형을 추구해온 우리나라에서는 효율적 항만투자와 운영은 아무리 강조해도 지나치지 않다(정형찬, 1985). 과거 항만을 포함하여 각종 SOC 사업이 경제적 타당성에 근거하여 진행되지 못하고 정치적 논리로 무리하게 추진되어 국민의 부담을 가중시킨 사례를 무수히 보아왔다. 이러한 폐단을 막기 위해 항만투자시 객관적이고 투명한 경제적 타당성 조사가 당연히 선행되어야 한다(이기웅 외, 2008).

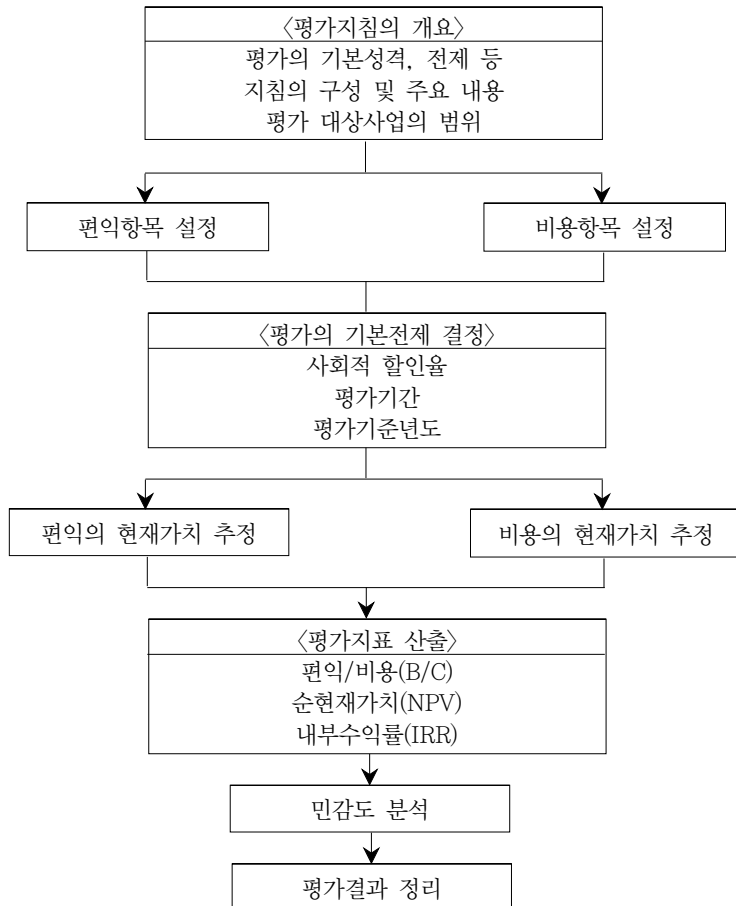
상기에 제시된 문제를 해결하기 위해 예비타당성조사 제도는 예산회계법 시행령을 개정하여 근거조항을 신설함으로써 1999년부터 시행되었다. SOC 사업 등 대규모 공공투자사업의 타당성 평가시 추정과정·평가항목 및 평가방법 등에 대해 표준화된 지침에 따라 객관적이고 신뢰성 높은 타당성 평가를 통한 투자 효율화를 도모하기 위해 제3의 기관에 의해 사전검토를 수행하는 것이다(양희승, 2010). 즉, 경제성이 낮아 진행하기에 무리가 있는 사업을 선별하고, 중도에 사업을 취소하는 것을 방지하며, 기술적·운영적 측면에서 타당성이 있다 하더라도 재정적 측면에서 발생할 수 있는 문제를 차단하기 위해 사전에 면밀하게 검토를 하게 된다. 예비타당성조사는 크게 정책성 분석과 경제성 분석으로 구분되어 실시되고 있으며, 정책성 분석을 통해 지역경제 파급효과, 사업추진 위험요인, 국고지원의 적합성, 재원조달방법 및 타당성, 상위계획과의 연관성 등이 검토되고 경제성 분석을 통해 수요추정, 편익 및 비용 추정, 경제성 및 재무성 평가 그리고 민감도 분석이 이루어진다(김문한, 2009).

예비타당성조사는 조사 자체의 투명성과 객관성을 높이기 위해 한국개발연구원(KDI)이 개발한 조사수행의 표준지침을 바탕으로 1999년 “예비타당성조사 수행을 위한 일반지침 연구” 보고서와 2000년 “예비타당성조사 수행을 위한 일반지침 연구(개정판)” 보고서가 출간되었다. 그리고 상기 보고서를 근간으로 완성된 “항만부문사업의 예비타당성 조사 표준지침 연구” 보고서가 항만부문사업의 예비타당성조사를 수행하는데 기본지침서로서의 역할을 담당하였다(KDI, 2001). 급격한 물류환경변화에 대처하기 위해 공공교통시설개발사업의 객관적이고 신뢰성 있는 타당성 평가를 위해 “교통시설 투자평가지침”은 여러 차례 개정을 통해 2013년 11월 5차 개정판이 출간되었다. 하지만 여전히 미래의 항만환경변화를 감안한 편익의 추정과 관련하여 보다 원론적이고 신뢰할만한 자료에 기초하여 항목이 제시되어야 할 필요성이 제기되었다. 따라서 본 연구에서는 미래 항만환경변화에 능동적으로 대처할 수 있는 편익항목을 선정한 후 기존에 제시된 분석 방법론에 대한 검토와 수정된 모형을 제시하는 것이 목표이다. 그리고 편익항목과 수정모형의 타당성을 확인하기 위해 실제 사례에 적용해서 결과값을 제시하고 타당성을 확인하고자 한다.

II. 선행 방법론에 대한 고찰

현재 활용되고 있는 항만투자사업에 대한 경제적 타당성 평가에 관한 지침은 1977년 UNCTAD의 “Appraisal of Port Investment” 와 유사하다(국토교통부, 2013). 항만시설을 포함하여 모든 교통시설 투자사업은 “교통시설 투자평가지침” 에서 제시하는 표준적인 경제성 평가 절차를 따라야 하며, 모든 분석은 지침의 내용에 맞추어 진행되어야 한다. 경제성 분석을 실시하는 절차는 다음과 같다(그림 1 참조).

〈그림 1〉 경제성 평가의 절차 및 단계별 수행내용



항만투자사업에 대한 경제적 편익은 항만시설을 확장하거나 개발함으로써 발생하는 비용의

절감효과와 그에 따른 부수적인 효과를 편익으로 간주할 수 있다. 항만투자의 경제적 편익은 이용자 측면과 지역사회, 공공부문으로 나눌 수 있으며, 모든 편익을 계량화하여 금액으로 조정하여 표기하는 것이 현실적으로 쉽지 않기 때문에 계량화가 가능한 편익 항목만을 사용하고 있는 실정이다. 현재 적용되고 있는 항만투자사업의 경제적 편익항목을 정리하면 <표 1>과 같다.

<표 1> 경제적 편익항목

편익의 분류	편익항목	편익산정 방법
이용자	<ul style="list-style-type: none"> • 선박대기비용 절감효과 • 선박재항비용 절감효과 • 하역비용 절감효과 • 내륙운송비용 절감효과 • 화물운송시간가치 절감효과 • 토지조성효과 	<ul style="list-style-type: none"> • 항만체증 완화 • 하역생산성 제고 • 화물운송거리 단축 • 교통 혼잡 완화효과 • 체증완화 및 생산성제고 • 신규 토지조성의 효용
지역사회	<ul style="list-style-type: none"> • 건설부문의 고용-소득증대 • 관련산업의 고용-소득증대 • 지역산업의 안정발전 • 산업의 국제경쟁력 제고 • 환적화물 유치효과 	<ul style="list-style-type: none"> • 파급효과로 산정
공공부문	<ul style="list-style-type: none"> • 지방세·국세의 증가 • 환경비용 절감효과 	<ul style="list-style-type: none"> • 이전지출 • 환경비용산정

자료 : 국토교통부(2013), 교통시설 투자평가지침(제5차 개정판), p. 246

이용자 측면의 경제적 편익은 선사측면과 화주측면으로 나눌 수 있는데 선사측면에서는 선박 대기비용과 선박재항비용 절감편익이 있고, 화주측면에서는 하역비용 및 내륙운송비용 절감효과 그리고 화물운송시간의 단축편익이 있다. 지역의 편익은 간접적인 편익으로서 지역경제의 파급효과 등을 정책적인 측면에서 산정하고 공공부문에서는 조세수입 증가효과와 환경개선에 따른 환경비용 절감편익이 있다.

“교통시설 투자평가지침(제5차 개정판)”에 따르면 항목별 편익산정 방법은 선박대기비용 절감효과, 선박재항비용 절감효과, 하역비용 절감효과, 화물운송거리 단축효과, 도로교통 혼잡비용 완화효과, 환적화물 유치효과, 대기오염 감소편익, 온실가스 절감편익, 토지조성효과와 같이 모두 9개로 구성된다. 본 연구에서 적용된 편익항목, 즉 이용자 측면의 편익인 선박대기비용 절감효과, 선박재항비용 절감효과, 하역비용 절감효과 그리고 지역사회 및 지역경제의 편익인 환적화물 유치효과 마지막으로 공공부문의 편익인 환경비용 절감효과에 대해서 선행연구를 바탕으로 정리하고자 한다.

선박대기비용 절감효과를 산정하기 위한 절차는 우선 선박의 대기비용을 산정해야 한다. 대기비용은 대기행렬이론을 이용하여 산정하는 것을 원칙으로 하고 정기선 선박의 경우 적용타당

성이 없기 때문에 실제분포 혹은 이론분포를 활용하여 시뮬레이션 모형으로 산정한다. 대기비용을 산정하기 위해서는 대기행렬이론을 이용하여 평균대기시간을 산출해야 한다. 선박의 평균 대기시간을 산출하는데 있어 선박의 도착시간 및 항만서비스 시간에 대한 확률분포를 파악해야 하는데 실질적으로 정확한 확률분포를 산출하기 어렵고 자료 확보가 쉽지 않기 때문에 인근 유사한 기존 항만의 평균대기시간을 적용하여 산정한다. 선박의 평균 대기시간이 산출되면 with-case와 without-case 각각의 총 대기비용을 산정하면 그 차액을 구하여 선박대기 비용의 절감효과를 산정하게 된다. 이를 수식으로 표현하면 다음과 같다.

$$WTC_t = WT_t \times PC$$

$$WTC'_t = WT'_t \times PC$$

$$RWTC_t = WTC'_t - WTC_t$$

여기서 $WTC_t(WTC'_t)$: t년도의 with-case(without-case)의 대기비용
 $WT_t(WT'_t)$: t년도의 with-case(without-case)의 대기시간
 PC : 표준선박의 단위시간당 재항비용
 $RWTC_t$: t년도의 대기비용 절감효과

선박재항비용 절감효과는 with-case의 경우 하역생산성이 향상되게 되어 without-case보다 물동량을 처리하는데 걸리는 시간이 단축되고 이로 인해 선박의 재항시간 및 비용이 절감되는 효과를 말한다. 항만 개발이 이루어지지 않는 without-case에서는 현재부두의 처리능력을 초과하는 화물이 부선하역 됨으로써 with-case 경우보다 생산성이 낮은 것이 일반적일 것이다. 선박재항비용의 절감효과는 다음과 같이 표현된다.

$$BC_t = PC \left(\frac{P'_{1t}}{TPD'_{1t}} + \frac{P'_{2t}}{TPD'_{2t}} \right) - PC \left(\frac{P_{1t}}{TPD_{1t}} + \frac{P_{2t}}{TPD_{2t}} \right)$$

여기서 BC_t : 선박재항비용 절감효과
 PC : 표준선박의 1일 재항비용
 $P_{1t}(P'_{1t})$: with case(without case)의 t년도 선석에서의 처리물동량
 $P_{2t}(P'_{2t})$: with case(without case)의 t년도 부선에 의한 처리물동량
 $TPD_{1t}(TPD'_{1t})$: with case(without case)의 선석당 1일 하역생산성
 $TPD_{2t}(TPD'_{2t})$: with case(without case)의 부선당 1일 하역생산성

표준선박의 1일 재항비용은 선박의 1일 용선료를 대리변수로 사용하는데 최근 5년간의 1일 당 선박용선료의 평균을 이용하여 산정하도록 한다. 선석당 1일 하역생산성은 부두별 표준선석의 연간하역능력을 사용하고 부선당 1일 생산성은 해당 항만이 개발되지 않을 경우 이용하게

되는 물양장 혹은 재래부두의 연간하역능력을 적용하도록 한다.

하역비용 절감효과는 해당 항만개발이 될 경우(with-case)와 개발이 되지 않을 경우(without-case)로 나누어 생각해볼 수 있는데 초과물량이 발생하면 without case에서는 부선 작업을 통해 하역하거나 인근 항만에서 물량을 처리해야 할 것이다. 이와 같이 해상하역비용과 접안하역비용간의 차이로 인하여 발생하는 편익이 하역비용 절감편익이 된다. 이를 수식으로 표현하면 다음과 같다.

$$BH_t = (P'_{1t} \times H'_{1t}) - (P_{1t} \times H_{1t})$$

여기서 BH_t : 하역비용 절감효과

$P_{1t}(P'_{1t})$: with case(without case) t년도 선석에서의 처리물동량

$P_{2t}(P'_{2t})$: with case(without case) t년도 부선 처리물동량

$H_{1t}(H'_{1t})$: with case(without case)의 접안하역시 톤당 하역비용

$H_{2t}(H'_{2t})$: with case(without case)의 부선하역시 톤당 하역비용

접안하역시 톤당 하역비용과 부선하역시 톤당 하역비용은 국토교통부에서 매년 고시하는 항만하역요금표의 품목별 하역요금을 준용하여 계산할 수 있으며 접안하역에서 발생하는 하역요금은 선내요금이며, 해상하역에서 발생하는 하역요금은 선내요금, 예부선 요금 및 부선양적요금의 합계가 된다.

대기오염 감소편익은 환경비용 절감효과 중 하나로 항만개발 사업으로 인해 대기오염물질 배출이 감소되는데 이를 계량화함으로써 측정이 가능하다(국토해양부, 2008). 우선 항만개발 사업으로 인해 도로운송이 해상운송으로 전환되는데 따른 대기오염비용 절감효과를 고려해야 한다. 이러한 운송패턴의 전환에 따른 대기오염비용 절감효과를 계산하기 위해서는 운송수단별 배출량에 대한 단위당 배출원가를 산출해야 한다(국토해양부, 2010). 오염물질별 배출계수는 “철도투자평가편람 전면개정 연구”에서 제시한 차종별 오염물질 배출계수 산출식을 이용하여 “교통시설 투자평가지침”에 따라 산정한다. 환경비용 절감편익은 상기의 내용을 바탕으로 다음의 수식에 따라 산정한다.

$$EB_j = \sum_j [(EL(WO)_j * ET(WO)_j) - (EL(W)_j * ET(W)_j)] \times N_j$$

여기서 EB_j : 배후권역 j의 환경비용 절감편익

N_j : 배후권역 j의 화물량

$EL(WO)_j$: without-case의 경우 배후권역 j와 기존 항만간의 거리

$EL(W)_j$: with-case의 경우 배후권역 j와 기존 항만간의 거리

$ET(WO)_j$: without-case의 경우 배후권역 j와 기존 항만간의 단위당 환경비용(원/km)

$ET(W)_j$: with-case의 경우 배후권역 j와 신항만간의 단위당 환경비용(원/km)

Ⅲ. 자동화 컨테이너 터미널의 개념 및 대안

자동화 컨테이너 터미널은 기존 터미널과 비교해 생산성은 획기적으로 높이고 탄소배출은 감축함과 동시에 완전 무인화를 추구하는 터미널이다. 새로운 개념의 터미널의 개발로 선석당 컨테이너 처리량 및 공간 활용률이 향상될 것이며 선박의 재항시간, 외부트럭 대기시간은 상당히 줄어들게 될 것이고 탄소 배출량도 50%이상 감축될 것이다. 본 연구에서는 2012년 한국해양수산개발원(KMI)에서 수행한 “스마트 그린 컨테이너 터미널 기술개발 기획연구” 에서 제안된 3가지 대안(AS/RS, OSS, Sky Rail)에 대해서 경제성 분석을 실시하고자 한다.

우선 각 대안에 대해서 간략하게 설명하면 AS/RS(Automatic Storage and Retrieval System)는 이송영역에 이송장비를 활용하는 대신 고정식 플랫폼인 엘리베이터식 설비를 설치하고 적용하여 컨테이너를 야드부분에 이송시키는 개념이다. 만약 야드 적재 구조가 수직이라면 컨테이너를 회전시킬 수 있는 턴테이블 장치가 있어야 한다. AS/RS 방식은 소개한 엘리베이터식 이외에도 다층분배기를 이용한 직접연계방식, 엘리베이터와 수평이동장치가 동시에 사용되는 방식, 직접연계와 수평이동장치를 활용한 방식 등을 들 수 있다. AS/RS 대안의 장점은 직접연계로 생산성 증대를 이룰 수 있으며 이송공간이 줄어들어 공간 활용도도 높아진다. 그리고 기존의 어느 정도 개발되어 있는 개념이라 적용도 비교적 수월할 것이다. 무인자동화 컨테이너 터미널 운영이 가능한 것과 전기를 이용한 시스템 활용으로 친환경적인 이점도 있다. 단점으로 구조물 사용으로 인해 유연성이 감소할 수 있으며 고장시 대응이 어려울 것으로 생각된다. 아직 컨테이너와 같은 중량물 이송에 활용된 사례가 없어 위험에 적극 대비해야 하고 초기 건설비용이 높을 것으로 판단된다.

OSS는 오버헤드셔틀시스템(Overhead Shuttle System)의 약어로 안벽크레인과 연계되는 버퍼플랫폼(buffer platform)을 통해 야드 작업과의 일관작업체계를 구축하고 야드에서는 land space가 아닌 overhead space를 활용하여 적재하는 시스템이다. 야드부분에는 수직형과 수평형을 적용할 수 있고 수직형과 다층레이어 혼합형 등 다양한 방식의 적용이 가능하다. OSS 대안의 장점은 현재 터미널에 쉽게 적용이 가능하고 내부 차량을 사용하지 않아 혼잡 및 환경에 상당한 영향을 미친다. 외부차량의 대기 시간을 줄일 수 있고 이송장치의 개수를 조정하여 지연 없는 컨테이너 작업이 가능하다. 그리고 각 단계별 독립성을 가지고 있기 때문에 인터페이스 연계가 원활하며 단순한 프로세스 구성으로 효율적이고 신속한 운영이 가능하다는 것이다. 야드부분이 수평형 혹은 수직형인지에 따라 컨테이너를 최소 한번은 회전(turning point)을 해야 하는 상황이 발생하여 작업의 효율성과 안전성에 영향을 미칠 수 있는 가능성이 있다. 양하에 비해 적하 작업의 어려움으로 인해 운영체계에 대한 심도 있는 연구가 진행되어야 하고 트윈, 텐덤방식의 적용에 있어서도 상당한 어려움이 있다. 버퍼 플랫폼의 설계 및 운영에 대한 사항도 야드와의 원활한 연계를 위해서 고민해야 할 요소이다.

〈표 2〉 3가지 대안의 정의

구분	AS/RS	OSS	Sky Rail
개념	<ul style="list-style-type: none"> 안벽크레인과 야드의 연계를 위해 이송장비 대신 엘리베이터식 설비를 활용 야드부분은 자동 적재 불출 시스템을 활용 	<ul style="list-style-type: none"> 안벽크레인과 야드의 연계를 위해 이송장비 대신 버퍼플랫폼 활용 야드부분은 오버헤드셔틀을 활용하여 적재 	<ul style="list-style-type: none"> 안벽크레인과 야드의 연계를 위해 이송장비 대신 버퍼플랫폼 활용(다만, 높이가 OSS보다 높음) 야드에 격자구조의 오버헤드 레일을 적용
방식	<ul style="list-style-type: none"> 엘리베이터식 직접연계방식 엘리베이터+수평이동장치 직접연계+수평이동장치 	<ul style="list-style-type: none"> 수평형(야드적재) 수직형(야드적재) 수직형+다층레이어 	<ul style="list-style-type: none"> 수평형(야드적재) 수직형(야드적재)
장점	<ul style="list-style-type: none"> 생산성 증대 공간 활용성 증대 쉬운 적용성 친환경적 	<ul style="list-style-type: none"> 혼잡 완화 및 친환경적 이송장치를 탄력적으로 활용에 따른 효율성 증대 인터페이스간 연계가 수월 	<ul style="list-style-type: none"> 장비에 투입되는 비용의 최소화 야드 적재를 향상 기존 야드에 적용 가능
단점	<ul style="list-style-type: none"> 구조물로 인한 유연성감소 고장시 대응 문제 높은 건설 비용 중량물 이송에 대비 	<ul style="list-style-type: none"> 방식에 따른 회전이 필요하여 안전 및 효율성에 영향을 미칠 수 있음 양하 및 적하 운영체계에 대한 연구 필요 트윈, 텐덤 방식의 적용 문제 	<ul style="list-style-type: none"> 스카이 레일의 설계상 복잡함 회전을 위한 장비가 추가로 필요 기술개발을 위한 비용이 많이 발생

자료 : 국토해양부(2012), 스마트 그린 컨테이너터미널 기술개발 기획연구, pp. 190-201.

Sky Rail 대안은 안벽크레인과 야드의 연계를 위해 버퍼플랫폼을 활용하는 방식은 OSS와 유사하나 버퍼플랫폼의 높이가 OSS방식보다는 다소 높고 야드에 격자구조의 overhead rail(sky rail로 명명)적용하여 최단경로로 이동하는 개념이다. 레일의 이동은 클라우드(cloud)를 통해 이루어진다. 안벽크레인의 호이스트 소요시간을 단축하기 위해 버퍼플랫폼의 높이를 적하용은 16m, 양하용은 13m로 조정하였다. 장거리 이송을 위한 외곽주행로와 야드 내부이동을 위한 주행로는 분리되어 있다. Sky Rail 대안의 장점은 장비에 투입되는 비용을 최소화할 수 있고 기존 야드에 적용이 가능하며 기존에 비해 약 2배 정도의 적재량이 향상된다는 점이다. 단점은 sky rail 구조 설계가 복잡할 것이고 컨테이너 회전을 위한 장비가 클라우드에 추가로 장착되어야 하며 기술개발을 위한 비용이 발생한다는 것이다. 회전 작업의 안전성 확보를 위해 육상에서의 작업도 고려해야 하는 등 작업의 이원화에 대한 부담 또한 단점이라 할 수 있다.

IV. 대안의 경제성 분석

경제성 분석의 대상은 앞에서 제시하고 설명한 세 가지 대안(AS/RS, OSS, Sky Rail)을 대상으로 하되 선석당 생산성(240 van/hr, 360 van/hr)을 감안하여 총 6개의 시나리오로 구분하여 분석을 실시한다. 편익을 산출하기 위해서 총 6개의 시나리오(with-case)와 기존의 항만(without-case)을 비교해야 하는데, 본 연구에서는 기존 항만(conventional type)을 부산항의 H터미널로 정하고 이를 바탕으로 분석하고자 한다. 분석을 하는데 있어 대상이 되는 컨테이너 터미널은 모두 3개 선석을 운영하는 것으로 가정한다.

〈표 3〉 시나리오별 분석대상 정의

시나리오	기존 항만 (conventional type)	저탄소 자동화 컨테이너 터미널	
		대안	선석당 생산성
1	부산항 H터미널	AS/RS	240 van/hour
2		AS/RS	360 van/hour
3		OSS	240 van/hour
4		OSS	360 van/hour
5		Sky rail	240 van/hour
6		Sky rail	360 van/hour

경제성 분석의 절차는 제2장에서 언급한 것과 같이 “교통시설 투자평가지침(제5차 개정)”에서 제시하는 표준적인 경제성 평가 절차에 맞추어 진행하며, 각 단계별로 지침의 내용을 바탕으로 경제성 평가 결과를 추정하려 한다.

1. 편익 추정

항만투자사업에 대한 경제적 편익은 항만시설을 확장하거나 개발함으로써 발생하는 비용의 절감효과와 그에 따른 부수적인 효과를 편익으로 간주할 수 있다. 항만투자의 경제적 편익은 제2장에서 정리한 것과 같이 이용자의 편익과 지역사회 및 지역경제의 편익, 공공부문의 효과로 구분할 수 있으며, 이 모든 편익을 계량화하여 화폐가치화 하는 것이 현실적으로 힘들기 때문에 계량화가 가능한 편익만을 산정하고 있는 실정이다.

〈표 4〉 경제적 타당성 평가 세부편의항목

선정된 편의 항목	교통시설 투자평가지침서 항목	저탄소 자동차 컨테이너 터미널 적용 항목
선박대기비용 절감효과	선박대기시간	유사한 성격을 갖는 기존 항만의 평균대기시간 적용 (선석당 생산성을 감안하여 산정)
	표준선박의 단위 시간당 재항비용	선박의 1일 용선료를 대리변수로 사용
선박재항비용 절감효과	선석당 1일 하역 생산성	부두별 표준선석의 연간하역능력을 사용
	표준선박의 1일 재항비용	선박의 1일 용선료를 대리변수로 사용
하역비용 절감효과	접안하역시 톤당 하역비용	『항만하역요금표』의 품목별 하역요금 적용 (접안하역에서 발생하는 하역요금은 선내요금이기 때문에 선내요금을 적용)
대기오염 절감효과	환경비용 유발장비 대수	Y/T(Yard Tractor), T/H(Top Handler), R/S(Reach Stacker)를 환경비용 유발장비로 선정
	총 운영기간의 처리물동량	-
	TEU당 절감비용	하이브리드엔진 적용 연구결과(W378/TEU)를 활용

본 연구에서는 상기의 내용을 감안하여 편의 항목을 선정하였다. 우선 이용자의 편의에서는 선박대기비용 절감효과, 선박재항비용 절감효과, 하역비용 절감효과를 편의항목으로 구성하였으며, 지역사회 및 지역경제의 편의으로는 환적화물 유치효과를 항목으로 선정하였고 공공부문의 편의에서는 환경비용 절감효과를 편의항목으로 결정하였다. 총 5개의 항목을 선정하였으나, 환적화물 유치효과는 항만운영기간 동안의 수요가 일정하여 제외하고 최종적으로 총 4개의 편의항목을 분석을 위해 구성하였다. 편의를 산정하기 위해 “교통시설 투자평가지침서 항목”을 바탕으로 가장 적합도가 높은 항목을 선정하여 적용하였으며, 적용 항목에 대한 설명은 〈표 4〉와 같다.

항만에서의 선박 입·출항 형태는 일반적으로 대기행렬 시스템과 거의 흡사하므로 대기행렬 이론을 이용하여 선박의 대기비용을 추정하는 것을 원칙으로 한다. 대기시간은 다음의 식을 통해 추정할 수 있다.

$$WT_t = ST_t \times WRS_t$$

$$WT'_t = ST'_t \times WRS'_t$$

여기서 WT_t (WT'_t) : t년도의 with-case(without-case)의 대기시간

$ST_i(ST'_i)$: t년도의 with-case(without-case)서비스 시간

$WRS_i(WRS'_i)$: t년도의 with-case(without-case)서비스 시간에 대한 평균 대기 시간의 비율

대기비용을 산출하기 위해서는 우선 대기행렬이론을 이용하여 평균대기시간을 산출해야 하는데 “교통시설 투자평가지침(제5차 개정)”에 따라 선박의 평균 대기시간을 산출할 수 있으나 산출하기 위해서는 선박의 도착시간 및 항만서비스 시간에 대한 확률분포를 통해 대기시간을 산출해야 한다. 현실적으로 정확한 확률분포를 산출하기 어렵고 자료 확보가 곤란하기 때문에 인근 유사한 성격을 갖는 기존 항만의 평균대기시간을 적용하여 산정하는 것이 일반적이다.

$$WTC_t = WT_t \times PC$$

$$WTC'_t = WT'_t \times PC$$

$$RWTC_t = WTC'_t - WTC_t$$

여기서 $WTC_t(WTC'_t)$: t년도의 저탄소 자동화 (기존) 컨테이너터미널의 대기비용

$WT_t(WT'_t)$: t년도의 저탄소 자동화 (기존) 컨테이너터미널의 대기시간

PC : 표준선박의 단위시간당 재항비용

$RWTC_t$: t년도의 대기비용 절감효과

선박의 t년도 대기시간은 입항하는 선박의 하역시간이 24시간을 넘지 않는다는 전제하에 입항 선박의 수에 대기율을 곱하여 산정하는데(여기서 대기 선박의 수는 일 대기시간과 같은 개념) 저탄소 자동화 컨테이너 터미널의 경우 선석당 생산성을 감안하여 선박의 대기시간을 산정하였다. 표준선박의 단위시간당 재항비용(여기서는 1일 재항비용)은 선박재항비용의 절감효과를 추정하기 위하여 선박의 1일 용선료를 대리변수로 사용하여 산정한다. 최근 5년간(2007년~2011년)의 1일당 선박용선료의 평균을 이용하여 산정하는 것을 원칙으로 하며, 원단위를 기준으로 산정한다. 본 연구에서는 20,000 TEU급 컨테이너 선박을 기준으로 1일 용선료를 산정하며, 해당 선박은 현재 운항되는 선박이 아닌 관계로 3,500 TEU급 컨테이너선의 용선료를 기준으로 추정하였다.

〈표 5〉 1일당 선박재항비용

선형(TEU)	1일 용선료(달러/일)					평균
	2007	2008	2009	2010	2011	
3,500	29,958	26,616	6,575	13,250	18,800	19,040

선박재항비용 절감효과는 다음의 절차를 거쳐 산정되었다. 선박재항비용은 선박이 선석에 접안하여 서비스를 받는 동안 발생하는 비용으로서 하역생산성을 제고시킬 때 비용절감효과가 발

생하게 된다. 기존 항만에서는 물동량을 처리하는데 걸리는 시간이 저탄소 자동화 컨테이너 터미널보다 길어지고 이로 인하여 선박의 재항시간 및 비용이 증가하는 현상이 발생하게 된다. 선박재항비용의 절감효과는 다음의 수식으로 표현된다.

$$BC_t = PC\left(\frac{P'_{1t}}{TPD'_{1t}}\right) - PC\left(\frac{P_{1t}}{TPD_{1t}}\right)$$

여기서 BC_t : 선박재항비용 절감효과

PC : 표준선박의 1일 재항비용

$P_1(P_{1t})$: 저탄소 자동화 (기존) 컨테이너터미널의 t년도 선석에서의 처리물동량

$TPD_1(TPD_{1t})$: 저탄소 자동화 (기존) 컨테이너터미널의 선석당 1일 하역생산성

선박재항비용 절감효과의 산출시 적용할 수 있는 선석당 1일 하역생산성은 부두별 표준선석의 연간하역능력을 사용하기로 한다. “투자평가지침서”에 제시되어 있는 부선당 1일 생산성은 본 연구에서 편익을 산출하는데 필요하지 않으므로 제외하도록 한다. 표준선박의 1일 재항비용은 ‘선박대기비용 절감효과’에서 사용한 값을 적용한다.

하역비용 절감효과는 해당항만의 개발이 시행되지 않을 경우와 개발될 경우에 해상하역비용과 접안하역비용간의 차이로 인하여 발생하는 편익을 의미한다. 본 연구에서는 기존 항만(터미널)의 접안하역시 톤당 하역비용과 저탄소 자동화 컨테이너터미널의 하역비용의 차이를 편익으로 산정한다. 하역비용 절감효과를 산출하기 위한 수식을 표현하면 다음과 같다.

$$BH_t = (P'_{1t} \times H'_{1t}) - (P_{1t} \times H_{1t})$$

여기서 BH_t : 하역비용 절감효과

$P_1(P_{1t})$: 저탄소 자동화 (기존) 컨테이너터미널 t년도 선석에서의 처리물동량

$H_1(H_{1t})$: 저탄소 자동화 (기존) 컨테이너터미널의 접안하역시 톤당 하역비용

“투자평가지침서”에 제시되어 있는 부선하역시 톤당 하역비용은 본 연구에서 편익을 산출에 적절한 항목이 아니므로 제외하도록 한다. 접안하역 톤당 하역비용은 국토교통부에서 매년도 고시하는 『항만하역요금표』의 품목별 하역요금을 준용하여 계산할 수 있다. 본 연구에서는 접안하역 톤당 하역비용은 매년 조금씩 상승하는 추세이므로 최근 5년(2007년~2011년)의 데이터를 평균하여 상승률(2%)을 계산하고 이를 감안하여 총 운영기간에 적용하였다. 접안하역에서 발생하는 하역요금은 선내요금이며, 해상하역에서 발생하는 하역요금은 선내요금, 예부선요금 및 부선양적요금의 합계가 되며, 항만개발에 따른 편익은 해상하역요금과 접안하역요금의 차이가 된다. 본 연구에서는 접안하역만을 기준으로 하기 때문에 하역요금은 선내요금을 적용하여 산정하도록 한다.

대기오염 감소편익 항목의 산정과정은 『교통시설 투자평가지침(제5차 개정)』에 명시되어 있

으나 산출방법의 차이로 인해 기본적인 개념만 참고하였다. 우선 환경비용을 유발하는 장비의 유형 및 대수를 결정하고 총 운영기간동안의 처리물동량을 산정한 후 여기에 TEU당 절감비용(원)을 곱하게 되면 대기오염 감소편익을 산출할 수 있다. 저탄소 자동화 컨테이너 터미널은 환경비용을 유발하는 장비가 없는 것으로 가정하고 기존 항만의 운영장비현황을 파악하여 환경비용을 유발하는 장비(Yard Tractor, Top Handler, Reach Stacker)를 선정하고 운영대수를 계산하였다. TEU당 절감비용(원)은 “컨테이너터미널 에너지비용절감 방안 연구”에서 하이브리드 엔진을 컨테이너 터미널을 적용했을 때 예상되는 연료비용을 산출한 결과(Yard Tractor의 경우 ₩378/TEU)를 활용하였다(김우선 외, 2007).

2. 비용 추정

『항만법』 제17조 및 동법시행령 제18조 규정에 의한 총사업비는 해당 항만 공사의 준공 확인일을 기준으로 하여 해당 항만공사와 관련된 제비용을 합산한 금액으로 규정하고 있다. 즉, 『항만법』 및 동법 시행령에 총사업비는 조사비, 설계비, 공사비, 보상비, 부대비, 건설이자, 부가가치세 및 이윤으로 구분하고 있다. 본 연구에서는 하부시설공사비, 상부시설공사비, 유지관리비를 비용항목으로 선정하고 상부시설공사비는 재료비, 공사비, 설계비로 구분하여 설정하였다. 연차별 사업비 투입률은 “교통시설 투자평가지침(제5차 개정)”의 공사기간별 연차별 투자비율을 활용하였다.

〈표 6〉 공사기간에 따른 연차별 투자비율

(단위 : %)

공사기간	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	합계
2	50	50												100
3	30	40	30											100
4	10	35	35	20										100
5	10	20	30	30	10									100
6	5	20	25	25	20	5								100
7	5	15	20	20	20	15	5							100
8	5	8	16	16	17	17	16	5						100
9	5	5	10	10	15	16	16	16	7					100
10	4	5	5	8	10	12	16	16	16	8				100
11	3	5	5	6	8	10	10	15	15	15	8			100
12	3	5	5	5	5	6	8	10	15	15	15	8		100
13	3	5	5	5	5	6	8	8	10	10	12	15	8	100
용지보상비	30	70												100

주 : 기본 및 실시설계비는 사업의 추진계획에 따라 투입률을 산정함

자료 : INRET & INTRAPLAN, Traffic & Profitability for Western European High Speed Train Network, 1993

모든 공사비는 공사기간을 감안하여 저탄소 자동화 컨테이너 터미널 건적금액을 바탕으로 산정하였으며, 세 가지 대안(AS/RS, OSS, Sky Rail)에 대하여 선석당 생산성(240 van/hour, 360 van/hour)을 구분하여 비용을 산출하였다. 유지관리비는 상부시설공사비에서 재료비와 공사비만을 산정항목으로 편성하고 장비의 내구연한을 감안하여 금액을 조정하였다. 장비시설의 경우 터미널의 개장과 함께 구매되는 것이므로 초기 시설투자비에 포함할 수 있으나, 장비의 특성상 내용연한이 있고 매년 감가상각 되는 것이므로 연간운영비의 감가상각에 포함할 수도 있고 장비의 내용연한 대부분 30년에 미치지 못하기 때문에 장비시설비를 초기 시설투자비에 포함할 경우 20년에 알맞게 장비시설비를 조정해야 한다. 예를 들어 안벽 크레인의 수명이 20년일 경우 1.5를 곱하여 총 운영기간에 맞추어 장비설비비를 조정할 수 있다. 지침에 따르면 유지운영비를 산정하는 경우 기존 항만의 실적치를 기초로 하여 단계별 투자누계액의 일정 비율(2~3%)를 적용하기로 하고, 단계별 공사중에는 발생하지 않고 단계별 공사가 완공되어 운영이 시작될 때부터 발생하는 것으로 한다. 따라서 지침에서 제안하는 유지관리비를 적용하여 공사비의 2%를 적용하여 계산하였다.

3. 경제적 타당성 평가

분석의 기준연도는 2011년 말(2012년 1월 1일)이며 연구개발기간은 2013년부터 2015년까지 총 3년으로 하였다. 공사기간은 2016년부터 2019년까지 4년으로 설정하였으며 분석기간은 공사 완료 후 30년인 2020년부터 2049년까지로 설정하였다. 사회적 할인율은 예비타당성조사 시에 적용되는 기준과 전문기관의 연구용역결과를 토대로 도로, 철도, 항만, 공항 등 교통시설의 타당성 평가를 위한 사회적 할인율 5.5%를 활용하였다. 앞서 밝힌 것과 같이 공사기간이 4년으로 설정되어 있으므로 연차별 사업비 투입률은 1차년도 10%, 2차년도 35%, 3차년도 35%, 4차년도 20%를 적용하였다. 경제성 평가를 위해 4가지 대안(기존 항만 1개 대안, 저탄소 자동화 터미널 3개 대안)에 대한 기초자료를 정리하면 다음의 <표 7>과 같이 정리된다.

<표 7> 분석을 위한 기초자료 요약

항 목	A	B	C	D
R&D 기간	-	3년 (2013~2015년)	3년 (2013~2015년)	3년 (2013~2015년)
공사 기간	4년 (2016~2019년)	4년 (2016~2019년)	4년 (2016~2019년)	4년 (2016~2019년)
운영시작 시점	-	2020년	2020년	2020년
운영기간 동안의 수요	135만 (TEU/년) 45만 (TEU/선석/년)	135만 (TEU/년) 45만 (TEU/선석/년)	135만 (TEU/년) 45만 (TEU/선석/년)	135만 (TEU/년) 45만 (TEU/선석/년)

자동화 컨테이너 터미널의 하역 시스템에 따른 경제성 비교

상부(240van/hr)	2601억 5500만원	5674억 3376만원	3826억 9430만원	4955억 472만원
상부(360van/hr)		7704억 2851만원	4972억 5850만원	6501억 2316만원
하부	1304억원	1073억 9960만원	1045억 3520만원	1048억 1240만원
장비 내구연한	C/C : 20년 Y/C : 20년 Y/T : 8년 T/H : 8년 R/S : 8년	20년	20년	20년
환경비용을 유발하는 장비유형 및 대수	Y/T : 96대 T/H : 3대 R/S : 3대	-	-	-
선석당 생산성	120van/hr	240van/hr 360van/hr	240van/hr 360van/hr	240van/hr 360van/hr

A : conventional type, B : AS/RS, C : OSS, D : Sky Rail

대안 A는 대안 B, C, D의 편익을 산출하기 위한 기준으로 활용하였고, 운영시작 시점은 R&D 기간(3년)과 공사 기간(4년)을 고려하여 운영시작 시점을 2020년으로 가정하였다. 운영 기간 동안의 수요는 모든 대안에 대하여 매년 135만TEU로 추정(선석당 45만TEU * 3선석 = 135만 TEU)하였다. 컨테이너 터미널의 대안별 건설비는 항만 건설 경험이 많은 엔지니어링 기업에 대안의 기본개념을 구체적으로 설명하고 상부와 하부로 나누어 견적을 의뢰하였다. 장비 내구연한은 C/C 20년, Y/C 20년, Y/T 8년, T/H 8년, R/S 8년, AS/RS 20년, OSS 20년, Sky Rail 20년으로 가정하였으며, 환경비용 관련 편익은 대안 A와 B, A와 C, A와 D의 환경비용 차이이므로, 환경비용을 유발하는 장비만을 선정하여 유발된 환경비용을 추정하였다.

비용-편익비가 1.0을 초과할 경우 사업은 경제적 타당성이 있다고 판단하여 채택할 수 있으나, 편익과 비용의 추정에 어느 정도 불확실성이 존재하기 때문에 민감도 분석을 통해 비용-편익비가 1.0이상이 되는 사업을 채택하는 것이 합리적이라 할 수 있다(유일근, 2011; 장용남, 2012). 본 연구에서는 모든 대안들에 있어 비용-편익비가 선석당 생산성에 관계없이 1.0을 초과하여 경제적 타당성을 확보한 것으로 보이며, 특히 OSS 방식의 경우 3.0이상의 높은 수치를 보였다. 순현재가치(NPV)를 우선순위 판단에 적용할 경우 큰 규모의 사업 우선순위가 결정되는 문제가 발생하므로 참고 자료로만 활용하였으며, 내부수익률 수준이 사회적 할인율보다 큰 경우 해당사업의 타당성이 존재하는 것으로 판단하는데 분석결과 기준이 사회적 할인율(5.5%)을 모두 상회하는 값을 보이므로 저탄소 자동화 컨테이너 터미널 사업은 타당성이 충분한 것으로 판단된다.

〈표 8〉 경제성 분석 결과 요약

240van/hr	B/C	NPV(억원)	IRR(%)
AS/RS	2.19	7,926.66	10.69
OSS	3.38	10,295.63	15.78
Sky rail	2.77	9,331.67	13.24
360van/hr	B/C	NPV(억원)	IRR(%)
AS/RS	2.20	9,265.25	10.66
OSS	3.21	11,684.66	15.01
Sky rail	2.56	10,341.44	12.28

민감도 분석은 타당성 평가 과정에서 사용된 여러 가지 변수들을 변화시켜 최종적인 타당성 평가 결과가 미래에 예측하지 못한 상황변화에 대한 예상을 할 수 있도록 하는 것으로 본 연구에서는 비용의 증가를 통해 민감도를 분석하였다(이기환 외, 2008). 비용은 50%까지 10% 단위로 증가하는 경우를 분석하였으며, 비용의 변화에 따른 민감도 분석 결과 50%의 비용이 증가할 경우에 있어서도 모든 대안들에 있어 경제적 타당성을 확보하는 것으로 분석되었다.

〈표 9〉 비용 변화에 따른 AS/RS 대안의 민감도 분석

240 (van/hr)	B/C	NPV(억원)	IRR(%)	360 (van/hr)	B/C	NPV(억원)	IRR(%)
10%	1.99	7,258.05	9.71	10%	2.00	8,495.19	9.70
20%	1.82	6,589.44	8.86	20%	1.84	7,725.14	8.86
30%	1.68	5,920.83	8.11	30%	1.69	6,955.09	8.13
40%	1.68	5,252.22	7.44	40%	1.57	6,185.03	7.47
50%	1.56	4,583.61	6.84	50%	1.47	5,414.98	6.88

〈표 10〉 비용 변화에 따른 OSS 대안의 민감도 분석

240 (van/hr)	B/C	NPV(억원)	IRR(%)	360 (van/hr)	B/C	NPV(억원)	IRR(%)
10%	3.08	9,863.92	14.54	10%	2.92	1,1156.55	13.82
20%	2.82	9432.20	13.47	20%	2.68	10,628.43	12.79
30%	2.60	9,000.49	12.53	30%	2.47	10,100.32	11.89
40%	2.60	8,568.78	11.70	40%	2.29	9,572.21	11.09
50%	2.41	8,137.07	10.96	50%	2.14	9,044.10	10.37

〈표 11〉 비용 변화에 따른 Sky Rail 대안의 민감도 분석

240 (van/hr)	B/C	NPV(억원)	IRR(%)	360 (van/hr)	B/C	NPV(억원)	IRR(%)
10%	2.52	8,803.56	12.14	10%	2.33	9,679.01	11.24
20%	2.31	8,275.45	11.19	20%	2.13	9,016.57	10.34
30%	2.13	7,747.34	10.35	30%	1.97	8,354.14	9.54
40%	2.13	7,219.23	9.61	40%	1.83	7,691.70	8.83
50%	1.98	6,691.12	8.94	50%	1.71	7,029.27	8.19

V. 결론

수출 지향적 경제모델을 추구해온 우리나라에서는 효율적 항만투자자와 운영은 항만의 생산성 제고를 통해 우리나라 제품의 대외 경쟁력을 높이는 중요한 요소임에 틀림없다. 하지만 항만을 포함하여 각종 SOC 사업이 경제적 타당성 보다는 정치적 논리로 진행되어 국민의 질타를 받아온 사례를 여러 차례 보았다. 이러한 폐단을 막기 위해서 항만투자자시 객관적이고 투명한 경제적 타당성 조사가 필요하다. 항만 환경은 많이 변화되었으며 앞으로 더욱 더 급격한 변화가 있을 것으로 예상된다. 따라서 새로운 개념의 미래형 항만을 감안한 편익의 추정과 모형을 제시할 필요성이 제기되었다. 본 연구에서는 미래 항만환경변화에 능동적으로 대처할 수 있는 편익항목을 검토·선정하고 기존의 분석 방법론을 수정한 모형을 제시하였다. 그리고 저탄소 자동화 컨테이너 터미널 세 가지 대안(AS/RS, OSS, Sky Rail)에 적용하여 활용가능성에 대해 검토하였다.

우선 기존에 적용되고 있는 항만투자사업의 경제적 편익항목을 검토하였으며 계량화가 가능하고 미래형 항만 특성이 충분히 반영될 수 있는 편익항목을 선정하였다. 이용자의 편익에서는 선박대기비용 절감효과, 선박재항비용 절감효과, 하역비용 절감효과를 편익항목으로 구성하였으며, 지역사회 및 지역경제의 편익으로는 환적화물 유치효과를 항목으로 선정하였고 공공부문의 편익에서는 환경비용 절감효과를 편익항목으로 결정하였다. 총 5개의 항목을 선정하였으나, 환적화물 유치효과는 항만운영기간 동안의 수요가 일정하여 제외하고 최종적으로 총 4개의 편익항목을 분석을 위해 구성하였다. 저탄소 자동화 컨테이너 터미널의 대안별 건설비는 항만 건설 경험이 있는 엔지니어링사에 대안의 기본개념을 설명하고 상부와 하부로 나누어 견적을 의뢰하였다. 그리고 세 가지 대안(AS/RS, OSS, Sky Rail)에 대하여 선석당 생산성(240 van/hr, 360 van/hr)을 구분하여 비용을 산출하였다.

본 연구에서는 2012년 한국해양수산개발원(KMI)에서 수행한 “스마트 그린 컨테이너 터미널 기술개발 기획연구” 에서 제안된 3가지 대안(AR/RS, OSS, Sky Rail)에 대해서 경제성 분석

을 실시하였다. 분석의 기준연도는 2012년 1월 1일이며 연구개발기간은 2013년부터 2015년까지 총 3년으로 하였으며, 공사기간은 2016년부터 2019년까지 4년으로 설정하였다. 그리고 경제성 분석기간은 공사 완료 후 30년인 2020년부터 2049년까지로 설정하였다. 사회적 할인율은 예비타당성조사시 적용되는 5.5%를 활용하였으며, 공사기간 4년간의 연차별 사업비 투입률은 1차년도 10%, 2차년도 35%, 3차년도 35%, 4차년도 20%를 적용하였다. 운영기간 동안의 수요는 매년 135만TEU(선석당 45만TEU * 3선석 = 135만TEU)로 설정·적용하였으며, 장비 내구연한은 C/C 20년, Y/C 20년, Y/T 8년, T/H 8년, R/S 8년, AS/RS 20년, OSS 20년, Sky Rail 20년으로 가정하여 분석하였다.

분석결과 모든 대안들에 있어 비용-편익비가 선석당 생산성에 관계없이 1.0을 초과하여 경제적 타당성을 확보한 것으로 확인되었으며, 특히 OSS 방식의 경우 3.0 이상의 높은 결과값이 도출되었다. 미래에 예측하지 못한 상황변화를 감안하여 민감도 분석을 비용의 증가를 통해 실시하였다. 비용은 50%까지 10% 단위로 증가하는 경우를 가정하여 분석하였으며, 비용의 변화에 따른 민감도 분석 결과 50%의 비용이 증가할 경우에 있어서도 모든 대안들이 경제적 타당성이 확보되는 것으로 확인되었다.

본 연구에서 제시한 경제성 분석 모형이 미래형 컨테이너 터미널의 개념에 적용시켜 분석해 본 결과 타당성이 있는 것으로 확인되었다. 따라서 차후의 항만 터미널의 경제성을 분석하는데 있어 “교통시설 투자평가지침” 과 더불어 본 연구에서 제시된 편익추정방법을 적용하면 더 정확한 결과를 도출할 수 있을 것으로 생각된다. 다만 본 연구에서는 이미 하부공사가 완료된 항만에 적용하는 상황을 가정하여 연구가 진행되어 편익항목에서 하부공사도 진행될 경우 감안해야 할 사항에 대해서는 고려하지 않았다. 후속 연구에서는 이러한 부분도 고려되고 조금 더 종합적인 관점에서 연구가 이루어진다면 모형의 완성도를 높일 수 있을 것이다. 유럽을 비롯한 선진 항만은 항만에서 발생하는 환경오염을 줄이기 위해 자동화 컨테이너 터미널의 활용을 높이고 있는 상황이다. 우리나라도 자동화 컨테이너 터미널 개발을 통해 환경뿐만 아니라 경제 활성화를 위한 비즈니스 모델로 활용할 수 있을 것이다.

참고문헌

- 국토교통부, 『교통시설 투자평가지침(제5차 개정)』, 국토교통부, 2013.
- 국토교통부, 『저탄소 항만 구축방안에 관한 연구』, 국토교통부, 2008.
- 국토해양부, 『Green Port구축 종합계획 수립용역』, 한국해양수산개발원, 2010.
- 국토해양부, 『교통시설 투자평가지침(제4차 개정)』, 국토해양부, 2011.
- 국토해양부, 『스마트 그린 컨테이너터미널 기술개발』, 한국해양수산개발원, 2012.
- 김문한, 『건설프로젝트의 코스트매니지먼트』, 국토일보, 2009.
- 김우선·최상희·하태영, 『컨테이너터미널 에너지비용 절감방안 연구』, 한국해양수산개발원, 2007.
- 양희승, “R&D 예비타당성조사에서의 편익 추정의 정형화 가능성에 관한 고찰”, 『정책분석평가학회보』, 제20권 제2호, 2010, 77-101.
- 유일근, 『최신 경제성공학』, 형성출판사, 2011.
- 이기웅·이문규·방효식, “부산항 환적화물 분석에 유치를 위한 항만경쟁력에 관한 실증연구”, 『통상정보연구』, 제13권 제1호, 2008, 97-120.
- 이기환·황두건·김명희, “부산항 신항 컨테이너터미널 배후단지 조성사업의 경제성 평가에 관한 연구”, 『항만경제학회지』, 제24권 제4호, 2008, 153-171.
- 장용남, 『사례중심의 경제성공학』, 도서출판 두남, 2012.
- 정형찬, “항만투자사업의 경제성 평가”, 『해양한국』, 제141호, 1985, 31-37.
- Clarkson, Container Intelligence Monthly, 2007~2011.

국문요약

자동화 컨테이너 터미널의 하역 시스템에 따른 경제성 비교

조성우 · 원승환 · 최상희

SOC 사업 등 대규모 공공투자사업의 타당성 평가시 추정과정·평가항목 및 평가방법 등에 대해 표준화된 지침에 따라 객관적이고 신뢰성 높은 타당성 평가를 통해 투자 효율화를 도모하기 위해 한국개발연구원(KDI)이 개발한 조사수행의 표준지침을 바탕으로 조사가 수행되었으며, 수행된 여러 보고서를 바탕으로 “항만부문사업의 예비타당성 조사 표준지침 연구” 보고서가 출간되었다. 항만 환경은 과거와 많이 변화되었으며 미래에는 더 급격한 변화가 예상됨에도 불구하고 미래의 항만환경변화를 감안한 편익의 추정과 관련하여 보다 원론적이고 신뢰할만한 자료에 기초하여 항목이 제시되어야 할 필요성이 제기되었다. 본 연구의 목적은 미래 항만환경변화에 능동적으로 대처할 수 있는 편익항목을 선정하고 기존에 제시된 분석 방법론을 검토한 후 수정된 모형을 제시함과 동시에 적용가능성을 확인하는 것이다.

우선 기존에 적용되고 있는 항만투자사업의 경제적 편익항목을 검토하였으며 계량화가 가능하고 미래형 항만 특성이 충분히 반영될 수 있는 편익항목을 선정하였다. 그리고 2012년 한국해양수산개발원(KMI)에서 수행한 “스마트 그린 컨테이너 터미널 기술개발 기획연구”에서 제안된 세 가지 대안(AS/RS, OSS, Sky Rail)에 적용하여 활용가능성에 대해 검토하였다. 분석결과 모든 대안들이 기준값이 1.0을 초과하여 경제적 타당성을 확보한 것으로 확인되었으며, 미래에 예측하지 못한 상황변화를 감안하여 민감도 분석을 비용의 증가를 통해 확인하였다. 민감도 분석 결과도 모든 대안들에 대해 타당성이 확보되는 것으로 확인되었다. 본 연구에서 제시한 경제성 분석 모형이 미래형 컨테이너 터미널의 개념에 적용시켜 분석해본 결과 큰 무리가 없는 것으로 확인되었다.

핵심 주제어 : 경제성 분석, 컨테이너 터미널, 자동화, 하역 시스템