

항만에서 최적 생산성 및 서비스 수준 관리를 위한 소프트웨어 개발

† 박상국

† 물류시스템연구소 연구소장

Software Development for Optimal Productivity and Service Level Management in Ports

† Sang-Kook Park

† Logistics System Institute, Seoul 07563, Korea

요약 : 항만의 서비스 수준은 항만의 운영 및 관리 주체인 터미널운영사(TOC), 항만공사 및 정부의 입장에서 항만간 경쟁력의 기준이 되며, 항만의 이용 주체인 선사 및 화주의 입장에서는 어느 항만을 선택할 지를 결정하는 중요 지표로도 활용된다. 이러한 지표의 중요성을 고려하여 컨테이너 부두 및 벌크부두를 대상으로 중요 서비스 지표인 선석 점유율, 선박 대기율, 선석 처리량, 접안 척수, 평균 대기 척수, 평균 대기 시간과 같은 6개 지표를 객관적으로 정의하고 관리할 수 있는 소프트웨어를 개발하였다. 컨테이너 부두는 1개 선석부터 6개 선석까지와 벌크 부두는 1개 선석부터 4개 선석까지를 선택적으로 활용할 수 있도록 6개의 서비스 지표를 산정하여 예측이 가능토록 하였다. 이를 활용하면 선석점유율 대비 선박 대기율, 선석 처리량, 접안 척수, 평균 대기 척수, 평균 대기 시간을 예측할 수 있다. 추가하여 선박의 도착 패턴에 따라 선박 대기율과 항만의 생산성 지표인 연간 처리량도 어떻게 변화되는지를 예측할 수 있도록 하였다. 결과적으로, TOC 입장에서는 서비스 지표인 선박 대기율과 생산성 지표인 연간 처리량의 관계에서 최적의 운영 수준을 전략적으로 선택(Trade-off)할 수 있으므로 경쟁 항만에 대비하여 더 많은 선사 및 화주를 유치할 수 있으므로 터미널 수입도 극대화할 수 있다.

핵심용어 : 항만 서비스 수준, 최적화, 소프트웨어, 선박대기율, 시뮬레이션

Abstract : Port service level is a metric of competitiveness among ports for the operating/managing bodies such as the terminal operation company (TOC), Port Authority, or the government, and is used as an important indicator for shipping companies and freight haulers when selecting a port. Considering the importance of metrics, we developed software to objectively define and manage six important service indicators exclusive to container and bulk terminals including: berth occupancy rate, ship's waiting ratio, berth throughput, number of berths, average number of vessels waiting, and average waiting time. We computed the six service indicators utilizing berth 1 through berth 5 in the container terminals and berth 1 through berth 4 in the bulk terminals. The software model allows easy computation of expected ship's waiting ratio over berth occupancy rate, berth throughput, counts of berth, average number of vessels waiting and average waiting time. Further, the software allows prediction of yearly throughput by utilizing a ship's waiting ratio and other productivity indicators and making calculations based on arrival patterns of ship traffic. As a result, a TOC is able to make strategic decisions on the trade-offs in the optimal operating level of the facility with better predictors of the service factors (ship's waiting ratio) and productivity factors (yearly throughput). Successful implementation of the software would attract more shipping companies and shippers and maximize TOC profits

Key words : Port Service Level, Optimization, Software, Ship's Waiting Ratio, Simulation

1. 서론

항만의 서비스 수준은 항만의 이용주체인 선사 및 화주의 입장에서는 중요한 지표이다. 특히 선사의 입장에서는 선박운항 원가의 30~40%를 차지하는 연료비를 절약하기 위하여 저속의 슬로우스티밍(Slow Steaming) 운항 전략을 취한다. 하

지만, 특정 항만의 기항 시점에 선박의 대기가 발생되면, 하역작업 이후에 슬로우스티밍 전략을 포기하고, 다음 기항지의 운항 스케줄을 맞추기 위하여 고속으로 항해하여야 한다. 따라서 선박의 속력을 높임으로써 연료 소모량이 일시적으로 대폭 늘어나 운항원가를 증가시키는 요인이 된다. Theo Notteboom & Pierre Cariou(2009)의 연구에 따르면, 연료 소

† Corresponding author : 종신회원, parksangkook@daum.net 02) 2659-4183

(주) 이 논문은 "산업단지의 수출경쟁력 향상을 위한 해상물류비용 절감방안 연구" 제목의 "2015 춘계학술대회 한국항해항만학회논문집(한국해양대학교, 2015.7.9.-10)"에 발표된 내용 기반으로 추가 연구한 내용임.

모량은 기준 속력을 바탕으로 선박 속력을 약 0.25배 올릴 경우에 연료 소모량이 약 2배로 증가하고, 속력을 약 0.50배 올릴 경우에는 연료 소모량이 약 4배 증가하는 것으로 나타났다.

Ha, T. Y., Sin, Y. J.(2007)은 컨테이너 터미널의 생산성과 관련하여 기존 터미널에서 사용되고 있는 하역장비는 기능이나 설계구조 측면에서 유연성이 부족하며, 이를 기반으로 하는 하역시스템 구성은 상당부분 이전에 설계된 형태이기 때문에 성능과 기능면에서 터미널의 생산성을 향상시키는데 한계가 있다고 하였다. 또한, 일반적으로 컨테이너 터미널의 하역시스템은 크게 안벽시스템, 이송시스템, 야드시스템, 게이트시스템의 4가지 하위시스템으로 구분될 수 있으며, 이들 각 하위시스템은 적합한 시설과 장비를 사용하여 터미널의 하역서비스를 수행하고 있고 하였다.

항만의 생산성 및 서비스 수준과 관련하여 항만에서의 생산성은 항만의 4개 하역시스템인 안벽시스템, 이송시스템, 야드시스템 및 게이트시스템간 성능이 균형있게 유지될때 최고의 생산성을 보장할 수 있고, 항만의 서비스 수준은 항만의 생산성과 직접적으로 관련되어 있다. 따라서, 항만에서 최고의 생산성이 항만의 이용자들에게 항상 최고의 서비스를 보장하는 것은 아니다. 항만의 이용자인 선사 및 화주 입장에서서는 항만의 가장 중요한 서비스 지표인 선박 대기율이 가급적 낮아지기를 원한다. 반면 항만의 서비스 제공자인 터미널운영사(TOC)는 항만의 가장 중요한 생산성 지표인 하역능력을 향상하기 위하여 지속적으로 노력하고 있다. 여기서 우리는 항만의 생산성 지표와 고객의 서비스 지표를 상호 간에 항상 최고 수준으로 만족시킬수 없다는 것을 알 수 있다. 즉, 항만의 생산성 지표와 고객의 서비스 지표는 어느 수준에서 상호간에 절충점(trade-off)이 필요하다.

항만의 하역능력 향상을 위해서는 통상적으로 항만개발 또는 하역장비의 교체를 통하여 처리능력을 개선하여 왔다. 그러나, 항만개발을 위해서는 많은 예산과 시간이 필요하므로 우선 손쉽고 시급하게 추진되어야 하는 것은 국내 항만의 주요 서비스 지표를 체계적으로 관리함으로써 객관적이고 비교 가능한 환경을 구축하는 것이다. 따라서, 본 연구에서는 선박 점유율에 따라 항만에서 최적의 생산성 지표와 고객 서비스 지표를 체계적으로 관리하고 TOC와 이용자간의 상호 절충점(trade-off)을 확인할 수 있는 소프트웨어를 개발하였다. 이를 통해서 항만에서의 추가적인 시설이나 인력 등의 투자 없이도 단기간에 효과적인 항만관리를 수행하면서 고객의 서비스 수준도 어느 정도 만족시킬 수 있는 계기를 마련하고자 하였다.

2. 선행 연구

2.1 항만 서비스 지표 연구

항만의 서비스 지표에 관한 연구는 측정 시점 및 측정 대상

에 따라 다양하게 수행되었으며, 대표적인 항만 서비스 지표의 관련 연구로는 UNCTAD, World Bank, MARAD, KMI, 해양수산부(MOF), 기타로 구분하여 볼 수 있다.

Table 1 Port performance indicators by organizations

Organization	Classification	PPIs(Port Performance Indicators)
UNCTAD	Operation Indicators	Ship's arrival counts per month
		Waiting time
		Service time
		Turn-around time
		Throughput per ship
		Working time rate per total berth time
		Gang count per ship's shift
		Throughput per ship's hour
		Total throughput / (gang * hour)
World Bank	Operation Indicators	Average ship turnover
		Average throughput per ship's day
		Average berth time
		Average non-berth time
		Average waiting time
MARAD	Ship & berth	Total ship throughput per berth count
		Total throughput per berth count
		Throughput per processable throughput

UNCTAD(1976)가 발간한 "Port Performance Indicators"에서 제시한 내용을 근간으로 UNCTAD에 의해 제안된 주요 운영 지표는 Table 1에서와 같이 9개를 제안하였다.

World Bank(1993)는 항만 생산성 지표를 운영(operation), 자산(asset), 재무(finance) 3가지로 구분하였고, 운영지표로 Table 1에서와 같이 5개로 정의하였다.

MARAD(2010)는 컨테이너 터미널의 생산성 평가를 위해 미국 전역의 컨테이너 항만을 대상으로 조사하여 선박&접안, 크레인(장비) 및 야드로 구분하여 측정 및 비교하였으며, 특히 선박&접안과 관련하여 Table 1과 같이 3개를 제시하였다.

Soner Esmer(2008)는 항만생산성에 관한 선행연구를 바탕으로 항만관련 기관과 종사자의 의견을 종합하여 항만생산성의 범주를 4가지로 각각 구분하였다. 세부적으로는 생산(Production) 범주에 4가지, 생산성(Productivity) 범주에 7개, 활용도(Utilization) 범주에 4개, 서비스(Services) 범주에 3가지 등 총 18가지로 분류하였다.

KMI(1998)는 국내 부두의 적정하역능력 산정방식으로 선석 미터당 하역능력 산정 방식과 선석 수, 선석 접안율, 연간 작업일수, 1일 작업시간, 화물별 시간당 하역능력, 장비의 가동률 혹은 작업비율, 각 부두에서의 화물별 처리 점유비율

등과 같은 항만 현황을 반영하여 품목별 하역능력을 산정하였다.

MOF(2014)는 컨테이너 전용부두 하역능력 재산정 연구에서 선석점유율과 선박대기율을 중요 지표로 활용하였다. 2013년 연구(MOF, 2013) 기준으로 경제성 분석 기법을 적용하여 컨테이너 전용부두 4선석은 선석점유율 57.1% 및 선박대기율 7.4%에서, 5선석은 선석점유율 63.4% 및 선박대기율 6.6%에서, 6선석은 선석점유율 66.6% 및 선박대기율 5.6%를 최적 서비스 수준으로 정의하였다.

2.2 항만 선박대기율 관련 연구

NABO(2015)는 사업현안분석 평가 보고서에서 항만의 중요 서비스 지표인 선박대기율을 실제 현장에서 발생하는 선박대기율로 실측할 필요가 있다고 강조하였다.

Park, S. K.(2014)은 Park, S. K. & Park, N. K.(2014)의 연구를 기반으로 벌크 전용부두에서의 최적 서비스 수준에 관한 연구에서 선박의 도착분포로 정규분포와 지수분포를 적용하였다. 그 결과, 선석수 별로 경제성 분석기법을 반영하여 최적 선박대기율을 구하였는데, 1선석은 6.20%~6.70%, 2선석은 4.20%~5.60%, 3선석은 3.50%~4.20%, 4선석은 2.90%~3.50% 사이를 최적 서비스 수준으로 도출하였다.

Park, S. K.(2016)은 컨테이너 전용부두의 최적 서비스 수준에 관한 연구에서 컨테이너 부두 4선석은 선석점유율 63.4%와 선박대기율 10.6%에서, 5선석은 선석점유율 66.0%와 선박대기율 9.6%에서, 6선석은 선석점유율 69.0%와 선박대기율 8.5%에서 최적 서비스 수준으로 분석되었다. 반면, 해양수산부의 2013년 연구 결과에서는 4선석에서 선석점유율 57.1%와 선박대기율 7.4%에서, 5선석에서는 선석점유율 63.4%와 선박대기율 6.6%에서, 6선석은 선석점유율 66.6%와 선박대기율 5.6%에서 최적 서비스 수준을 분석하였다. 결과적으로, 최적 서비스 수준은 분석 대상 및 시점에 따라 달라질 수 있음을 언급하였다.

Table 2 Software products of ports

Type & Goals	Product Name	Software Operating Organization
Government type (Port management & Maritime safety)	Port-MIS	KL-NET
	SP-IDC	
	GCTS	Ministry of Oceans and Fisheries
	GICOMS	
Company type(Container terminal efficiency)	CATOS	Total Softbank
	SPARCS N4 EXPRESS	NAVIS
	TOPS	RBS
	Mainsail Vanguard	Tideworks

Kim, E. S., Kim, G. S.(2016)은 국내 항만의 선박 대기율 실증 연구에서 우리나라 항만의 현행 체선지표인 체선율은 항

만별 선박척수 비율로 단순 산정되어 항만의 고객인 선화주의 항만 선택 결정 및 항만관리자의 항만 개발 및 관리·운영 정책 수립 의사결정에 제한적으로 활용되는 바, 항만운영정보시스템과 해상교통관제시스템 원시자료를 활용하여 우리나라 항만의 선박 입출항 서비스 수준을 측정하고자 약 10년간의 부두별, 선종별 대기율을 산정하였다.

2.3 항만관련 소프트웨어 개발 및 운영 현황

항만 운영과 관련하여 현재 국내·외에 적용중인 대표적인 항만관련 소프트웨어를 Table 2와 같이 두가지 유형(Type)으로 구분하여 볼 수 있다.

항만운영 관련하여 정부 주도형(Government type)에서는 항만 관리(Port management) 또는 해사 안전(Maritime safety)을 목적으로 하는 소프트웨어로 구분하여 볼 수 있다. 대표적으로 항만운영정보시스템 Port-MIS, 해운항만물류정보센터시스템 SP-IDC, 글로벌화물추적시스템 GCTS(Global Container Tracking System), 해양안전 종합정보 시스템 GICOMS(General Information Center on Maritime Safety & Security)를 들 수 있다.

항만 운영사 유형(Company type)에서는 항만 운영 주체인 터미널 운영사 TOC가 터미널 운영 효율성의 향상을 목적으로 하는 소프트웨어 유형으로 분류할 수 있고, 관련 소프트웨어FH는 CATOS, SPARCS, TOPS 등이 있다.

2.4 선행 연구 요약

지금까지는 항만운영 관점에서 효율성과 안전 향상을 목적으로 하는 소프트웨어로 국내 및 해외를 막론하고 여러 종류가 개발되어 현장에 적용되어 활용되고 있다.

Table 3 Review summary

Classification	Author & Organization	Study Contents
Port Performance Indicators	UNCTAD(1976)	9 Operating indicators
	World Bank(1993)	5 Operating indicators
	MARAD(2010)	3 Ship & berth indicators
	Soner Esmer(2008)	4 Port productivity category
Ship's Waiting Ratio	KMI(1998)	Calculation by item handling capacity
	NABO(2015)	Measurement concerning the ship's waiting ratio
	S. K. Park(2014)	Estimation on the optimal service level of exclusive bulk terminals or container terminals
Port Related Software	E. S. Kim, G. S. Kim(2016)	Emperical research on ship's waiting ratio
	Port management & Maritime safety	Port-MIS, SP-IDC, GCTS, GICOMS
	Container terminal efficiency	CATOS, SPARCS, N4 EXPRESS TOPS

그러나, 항만의 생산성 및 서비스 효율을 동시에 감안하여 항만 이용주체인 선사와 화주의 입장에서 서비스 수준을 관리 가능하도록 하는 소프트웨어는 개발되지 않은 것이 현실이다. 따라서, 우리나라는 세계적인 항만 경쟁력을 확보해야 하는 시점에서 국내 항만의 서비스 수준을 신속하게 관리하고 전체 항만을 비교·관리할 수 있는 소프트웨어 개발이 필요한 상황에 직면해 있다.

3. 소프트웨어 설계

3.1 항만의 생산성 지표 및 서비스 지표 정의

소프트웨어 개발을 위한 중요 항만 생산성과 서비스 지표로는 선석 점유율, 선석 처리량, 접안 척수, 선박 대기율, 평균 대기 척수, 평균 대기 시간을 들 수 있다.

소프트웨어 설계를 위해 서비스 제공자인 TOC의 관심 사항인 주요 생산성 지표를 다음과 같이 정의하여 산정하였다.

- 선석 점유율(Berth occupancy rate, BOR) = $\frac{\sum(\text{입항선박의 접안시간})}{\sum(\text{선석의 총 가용시간})}$ ----- (식 1)
- 선석 처리량(Throughput) = $\sum(\text{선박별 하역량})$ - (식 2)
- 접안 척수(Berthing ship count, BSC) = $\sum(\text{하역 처리한 선박 수})$ ----- (식 3)

또한, 서비스 이용자인 화주 및 선사의 관심 사항인 주요 서비스 지표를 다음과 같이 정의하여 산정하였다.

- 선박 대기율(Waiting ratio, WR) = $\frac{\text{Ave}(\sum(\text{대기선박의 대기시간}))}{\text{Ave}(\sum(\text{입항선박의 접안시간}))}$ ---- (식 4)
- 평균 대기척수(Average waiting count, AWC) = $\text{Count}(\text{대기 선박 수})$ ----- (식 5)
- 평균 대기시간(Average waiting time, AWT) = $\frac{\sum(\text{대기선박의 대기시간})}{\text{총대기 선박수}}$ ----- (식 6)

이러한 지표를 활용하여 선석점유율 기준으로 선석 처리량, 접안 척수, 선박대기율, 평균 대기 척수 및 평균 대기 시간을 구할 수 있다. 또한, 역으로 선박 대기율 기준으로 선석 점유율을 산정함으로써 필요 목적에 따라 다양하게 지표값을 활용할 수 있게 하였다.

3.2 생산성 및 서비스 지표의 분석 절차

(식 1) ~ (식 6)에서 정의된 항만 서비스 지표를 얻기 위한 분석 절차는 Fig. 1과 같이 총 12단계로 진행하였고, 각 단계별 진행 내용은 다음과 같다.

첫째, 항만 서비스 지표를 얻기 위한 연구 대상 및 범위를 설정하는 단계로, 연구 대상은 벌크(일반) 부두와 컨테이너 부두를 대상으로 하였다. 또한, 연구 범위로는 선박이 항만에 입항하여 선석에 접안하고 하역 종료 이후에 이안하여 출항하는

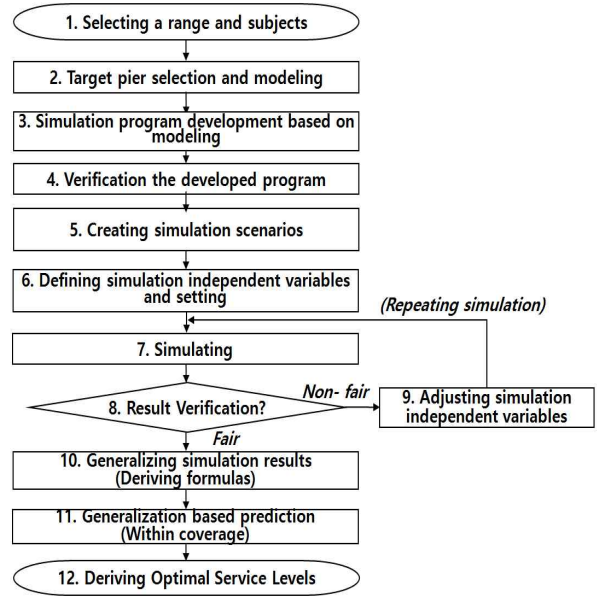


Fig. 1 Analysis process of port service indicators

프로세스로 하였고, 만일에 입항 선박의 접안 선석이 가용 상태가 아니면, 묘박지에서 대기하다가 선석이 가용상태가 되었을 때 접안하는 프로세스도 반영하였다.

- 둘째, 대상부두의 선정 및 모델링 과정으로 대상 부두로는 벌크부두 1선석부터 4선석과 컨테이너 부두 1선석부터 6선석까지 운영하는 항만에 적용 가능하도록 하였고, 선석의 수에 따라 운영되는 전체 프로세스를 모델링하였다.
- 셋째, 모델링된 결과를 기반으로 Arena 소프트웨어를 활용하여 벌크부두와 컨테이너 부두를 대상으로 시물레이션 모델 프로그램을 개발하였다.
- 넷째, 시물레이션 개발 프로그램이 벌크 부두 및 컨테이너 부두의 선석 운영규모에 따라 적절한 결과를 도출하는지를 검증하였다. 검증 방법은 실제 해당 항만에서 3년간 처리한 실적과 시물레이션을 통해 얻은 결과를 비교하여 약 95% 이상(오차범위 5% 이내)의 결과가 유사하면 적절하게 모델링된 것으로 평가하여 적용하였다.
- 다섯째, 항만의 여러 서비스 지표를 얻기 위한 시물레이션 실험 시나리오를 작성하였으며, 선박의 도착 분포로 지수분포를 적용하였다. 이 단계에서 선박의 도착분포가 지수분포를 형성하지 않는 경우에는 대안으로 적합한 도착분포, 예를 들면 포아송분포를 적용하여도 무방한 것으로 확인되었다.
- 여섯째, 시물레이션 시나리오에 따른 시물레이션 독립변수 정의 및 설정을 진행하였으며, 여기에 적용되는 독립변수는 선석의 수 및 해당 항만의 현실이 반영된 자료(장비수, 장비성능, 야드 규모, 투입인력 규모 등)를 적용하였다.

- 일곱째, 시뮬레이션을 진행하는 단계로 개발된 시뮬레이션 프로그램을 Arena 소프트웨어에 반영하여 실행하였다.
- 여덟째, 시뮬레이션 결과를 검증하는 단계로 실험에 따른 오차를 줄이기 위하여 동일 실험을 최소 10회에서 많게는 50회 정도를 반영함으로써 실험 오차를 줄였다.
- 아홉째, 실험결과를 검증하여 부적정한 경우에는 시뮬레이션 독립변수를 조정하여 동일 실험을 반복하였다.
- 열번째, 실험결과가 적정한 경우에는 실험결과를 취합하여 Excel의 통계 프로그램을 적용하여 일반화를 위한 산정식을 도출하였고, 산정식의 상관관계 결정계수(Coefficient of determination, R^2)가 적어도 0.95 이상의 산정식만을 채택하였다.
- 열한번째, 일반화된 산정식을 통해 실험에서 적용한 범위 내(신뢰구간)에서 결과가 보장될 수 있도록 보장 범위를 제한적으로 적용하였다.
- 마지막으로, 산정식에 따라 주요 서비스 지표를 활용하여 최적 서비스 수준을 도출하고 소프트웨어에 적용하기 위한 데이터 값을 정리하였다.

3.3 항만의 생산성 및 서비스 지표의 도출 산정식(예시)

항만 서비스 지표의 분석 절차에 따라 소프트웨어에서 관리할 데이터는 해당 항만의 최근 1년~3년 간의 실제 항만에 입출항 선박의 접안 및 하역 실적을 토대로 접안 선박의 크기 및 하역규모에 따라 여러 단계의 패턴으로 구분하여 분석하였다. 이렇게 여러 단계로 패턴을 구분한 이유는 입항 선박의 크기 및 하역 규모에 따라 하역 작업에 투입되는 크레인, 트랙터 등과 같은 장비수 및 하역작업 지원 인력인 갱(Gang)의 규모도 달리 투입되므로 하역 처리 속도가 달라질 수 있다는 점들을 반영하여 정확한 결과를 얻기 위함이다.

상기 사항을 반영하여 선박의 도착 척수를 적은 규모에서 큰 규모를 늘려가면서 여러 차례의 시뮬레이션을 반복적으로 진행하면 선석점유율도 변화하게 된다. 따라서 선석점유율에 따른 반복된 시뮬레이션 결과인 생산성 지표 값들과 서비스 값들을 선석점유율 기준으로 산점도 형태로 좌표에 나타내면 패턴을 형성하게 된다. 형성된 산점도 패턴을 반영한 일반화 산정식을 도출하므로써 선석점유율에 따라 필요한 생산성 지표 및 서비스 지표 값을 예측할 수 있다. 선석점유율에 따른 예측 구간은 시뮬레이션이 진행된 선석점유율 구간(통상적으로 0.300~0.750 이내로 1.000은 선석점유율 100%를 의미)만을 대상으로 얻어 내었다. 즉, 이러한 시뮬레이션 결과의 의미는 선석점유율이 증가된다는 것은 해당 항만에 선박 도착 척수가 많아진다는 것으로, 늘어나는 선박의 도착 패턴도 최근에 항만에 입항하는 선박의 추세를 반영하여 진행함으로써 해당 항만의 선박 도착 패턴과 도착 패턴에 따른 투입장비의 규모 및 투입 인력의 규모도 모두 반영되어 해당 항만의 운영특성이 제대로 반영되었음을 의미한다.

결과적으로, 항만의 생산성 지표인 선석 처리량과 선박 접안 척수는 Table 4와 같은 산정식(예시로 실제 상황과 다를수 있음)을 얻었으며, 상관관계 결정계수도 역시 0.95 이상의 값을 얻어 선석점유율에 따른 결과값도 모두 신뢰할 수준임을 알수 있다. 또한, 항만의 서비스 지표인 선박 대기율, 평균 대기 척수 및 평균 대기 시간도 Table 5와 같이 산정식(예시로 실제 상황과 다를수 있음)을 얻었으며, 상관관계 결정계수도 역시 0.95 이상의 값을 얻어 선석점유율에 따른 결과값도 모두 신뢰수준을 확보하였음을 의미한다.

즉, 벌크부두 및 컨테이너 부두의 선석 수에 따라 해당되는 산정식을 적용하면 항만의 생산성 지표 및 서비스 지표를 선석점유율의 신뢰구간 이내에서 예측해 낼 수 있다.

Table 4 Formula summary on port productivity indicators (x : berth occupancy rate)

Terminal type	No. of berth	Throughput		Berthing ship count	
		Formula	R^2	Formula	R^2
Exclusive bulk terminal	1	$y = 2E+06x - 9477.5$	0.9997	$y = 676.1x + 2.872$	0.9998
	2	$y = 4E+06x - 27523$	0.9997	$y = 1344.4x + 7.9466$	0.9999
	3	$y = 6E+06x - 186610$	0.9979	$y = 2031.7x + 2.0158$	0.9999
	4	$y = 8E+06x - 99784$	0.9996	$y = 2704.9x + 4.8125$	0.9997
Container terminal	1	$y = 988622x + 5304.1$	0.9995	$y = 727.57x - 2.0582$	0.9998
	2	$y = 2E+06x + 6995.3$	0.9996	$y = 1389.1x + 2.1928$	0.9986
	3	$y = 3E+06x + 12912$	0.9995	$y = 2127.4x - 33.636$	0.9997
	4	$y = 4E+06x - 14021$	0.999	$y = 2775.8x - 16.968$	0.9998
	5	$y = 5E+06x - 40513$	0.9992	$y = 3418.9x - 7.2888$	0.9996
	6	$y = 6E+06x - 10594$	0.9994	$y = 4020.3x + 28.072$	0.9989

Table 5 Formula summary on port service indicators (x : berth occupancy rate)

Terminal type	No. of berth	Average waiting count(AWC)		Average waiting time(AWT)		Ship's waiting ratio(WR)	
		Formula	R^2	Formula	R^2	Formula	R^2
Exclusive bulk terminal	1	-	-	$y = 208.61x^4 - 436.64x^3 + 350.53x^2 - 122.95x + 17.155$	0.9965	$y = 2.183x^3 - 3.2355x^2 + 1.6739x - 0.2537$	0.9947
	2	-	-	$y = 840.61x^4 - 2216.3x^3 + 2187.9x^2 - 952.49x + 154.84$	0.9935	$y = 21.765x^4 - 57.417x^3 + 56.714x^2 - 24.705x + 4.0189$	0.9936
	3	-	-	$y = 3568.9x^5 - 11834x^4 + 15559x^3 - 10118x^2 + 3252x - 412.37$	0.9888	$y = 82.838x^5 - 274.09x^4 + 359.76x^3 - 233.67x^2 + 75.037x - 9.5079$	0.9851
	4	-	-	$y = 6664.4x^5 - 22793x^4 + 30757x^3 - 20388x^2 + 6605.7x - 830.04$	0.9892	$y = 98.943x^4 - 299.85x^3 + 340.33x^2 - 171.32x + 32.272$	0.9892
Container terminal	1	$y = 803.44x^2 - 40.298x + 3.1782$	0.9998	$y = 124.56x^3 - 84.014x^2 + 30.074x - 1.5736$	0.9974	$y = 33.477x^4 - 38.692x^3 + 17.669x^2 - 2.2056x + 0.1706$	0.9977
	2	$y = 1841x^2 - 544.24x + 53.778$	0.9995	$y = 73.636x^3 - 57.76x^2 + 20.157x - 1.7327$	0.9962	$y = 18.664x^4 - 24.653x^3 + 13.092x^2 - 2.5059x + 0.1862$	0.9988
	3	$y = 2530x^3 - 263.82x^2 + 33.561x - 8.9565$	0.9999	$y = 135.41x^3 - 163.76x^2 + 72.606x - 10.506$	0.9932	$y = 15.247x^4 - 21.21x^3 + 11.977x^2 - 2.664x + 0.2007$	0.9943
	4	$y = 17899x^3 - 24811x^2 + 13340x - 2360.9$	0.9943	$y = 159.66x^3 - 212.5x^2 + 99.402x - 15.378$	0.9984	$y = 34.152x^4 - 63.344x^3 + 45.818x^2 - 14.636x + 1.7534$	0.9991
	5	$y = 5367.5x^3 - 1302.7x^2 - 526.69x + 175.65$	0.9998	$y = 141.64x^3 - 190.98x^2 + 89.42x - 13.94$	0.9986	$y = 14.957x^4 - 21.617x^3 + 11.828x^2 - 2.6094x + 0.1807$	0.9989
	6	$y = 11112x^3 - 9308x^2 + 3171.5x - 396.01$	0.9997	$y = 93.366x^3 - 118.63x^2 + 52.262x - 7.6268$	0.9957	$y = 8.3341x^3 - 10.573x^2 + 4.6508x - 0.6776$	0.9960

Table 6 Menu configuration of software

Main Menu	Sub Menu	Main Menu	Sub Menu
1.Basic Code Management	Area Code	5.Optimal Data Management	Optimal Berth's Throughput
	Nation Code(ISO)		Optimal Ship's Waiting Ratio
	Port Code(ISO)	6.Optimal Settting of General Cargo Port	Optimization of 1 Berth
	Port Facility Code(Port-MIS Code)		Optimization of 2 Berths
	TOC code(Port-MIS Code)		Optimization of 3 Berths
	TOC Operation Group Code		Optimization of 4 Berths
User Account	7.Optimal Settting of Container Terminal Port	Optimization of 1 Berth	
Ship's Waiting Ratio Formula		Optimization of 2 Berths	
Berth's Throughput Formula		Optimization of 3 Berths	
Berth Ship's Count Formula		Optimization of 4 Berths	
Average Waiting Count Formula		Optimization of 5 Berths	
Average Waiting Time Formula	Optimization of 6 Berths		
3.Performance Indicator Query of General Cargo Port	1 Berth of General Cargo	8.Optimization Management of Ship Arrival	1 Berth of General Cargo
	2 Berths of General Cargo		2 Berths of General Cargo
	3 Berths of General Cargo		3 Berths of General Cargo
	4 Berths of General Cargo		4 Berths of General Cargo
4.Performance Indicator Query of Container Terminal Port	1 Berth of Container Terminal		1 Berth of Container Terminal
	2 Berths of Container Terminal		2 Berths of Container Terminal
	3 Berths of Container Terminal	3 Berths of Container Terminal	
	4 Berths of Container Terminal	4 Berths of Container Terminal	
	5 Berths of Container Terminal	5 Berths of Container Terminal	
	6 Berths of Container Terminal	6 Berths of Container Terminal	

3.4 소프트웨어 메뉴 구성

소프트웨어 구성을 위한 메뉴는 Table 6과 같이 메인(주) 메뉴와 서브(하위) 메뉴로 구분하였고, 8개의 주메뉴를 기준으로 메뉴 용도에 따라 최소 2개에서 최대 10개의 서브메뉴로 구성하였으며, 메뉴별 세부 기능은 다음과 같다.

- 1.기본 코드 관리(Basic Code Management) : 소프트웨어에서 사용할 기본 코드를 등록하고 관리하는 메뉴로, 항만의 대륙별 지역코드(Area code), 항만의 국가 소속 코드(Nation Code), 항만 코드(Port code), 항만별 시설 코드(Port Facility Code), 터미널 운영사 코드(TOC code), 터미널 운영사가 다수의 터미널을 운영할 때 관리하기 위한 터미널 운영 그룹 코드(TOC Operation Group Code), 소프트웨어 사용자 계정(User Account)으로 구성되었다. 즉, 국가/항만/항만시설/TOC 단위로 체계적으로 관리할 수 있도록 설계하였다.
- 2.분석자료관리(Analysis Data Management) : 해당 항만의 과거 운영실적을 기반으로 시뮬레이션을 통해서 분석된 자료, 즉 선박 대기율(Ship's Waiting Ratio), 선석 처리량(Berth's Throughput), 선석 접안척수(Berth Ship's Count), 평균 대기 척수(Average Waiting Count), 평균 대기시간(Average Waiting Time)에 대한 5개의 산정식(Formula)을 등록하여 관리한다.
- 3.일반화물 성과지표 조회(Perfomance Indicator Query of General Cargo Port) : 2.분석자료관리 메뉴에서 등록된 일반화물 취급항만의 산정식에 따라 일반화물을 취급하는 TOC 단위로 최대 4개 선석까지의 5개 성과지표를 선석점유율 기준으로 조회할 수 있게 하였다.
- 4.컨테이너 성과지표 조회(Perfomance Indicator Query of Container Terminal Port) : 2.분석자료관리 메뉴에서 등록된 컨테이너 취급항만의 산정식에 따라 컨테이너를 취급하는 TOC 단위로 최대 6개 선석까지의 5개 성과지표를 선석점유율 기준으로 조회할 수 있게 하였다.
- 5.최적 데이터 관리(Optimal Data Management) : 선박의 항만 도착 간격 기준으로 표준편차에 따른 선박 대기율과 선석 처리량의 변화를 시뮬레이션한 결과를 반영한 산정식(Formula)을 등록하여 관리할 수 있게 하였다. 이러한 결과를 활용하면 해당 항만에서 TOC의 대표적 생산성 지표인 연간 처리량과 화주 및 선사의 대표적 서비스 지표인 선박 대기율간에 선박의 도착 패턴에 따라 어떻게 상호 변화되는지를 비교하여 알 수 있다.
- 6.일반화물 최적화 설정(Optimal Setting of General Cargo Port) : 5.최적 데이터 관리에서 등록한 자료

를 기반으로 일반화물을 취급하는 TOC는 해당 항만의 연간 처리량과 선박 대기율의 상호 관계에서 고객에 대한 서비스 지표 수준을 감안하여 선박의 항만 도착 간격 패턴 중에 가장 적합한 최적 도착 패턴 구간을 설정할 수 있게 하였다.

- 7.컨테이너 최적화 설정(Optimal Setting of Container Terminal Port) : 5.최적 데이터 관리에서 등록한 자료를 기반으로 컨테이너를 취급하는 TOC는 해당 항만의 연간 처리량과 선박 대기율의 상호 관계에서 고객에 대한 서비스 지표 수준을 감안하여 선박의 항만 도착 간격 패턴 중에 가장 적합한 최적 도착 패턴 구간을 설정할 수 있게 하였다.
- 8.선박도착 최적화 관리(Optimization Management of Ship Arrival) : TOC는 6.일반화물 최적화 설정 결과 및 7.컨테이너 최적화 설정 결과와 해당 항만의 실제 운영 결과인 실시간 처리량 및 선박대기율을 상호 비교하고 모니터링해 나감으로써 해당 항만을 최적으로 운영해 나가는데 활용할 수 있다.

4. 소프트웨어 개발

4.1 소프트웨어 개발 절차

서비스 지표 분석 절차로 얻은 결과값을 관리하기 위한 소프트웨어의 개발 절차는 Fig. 2와 같이 총 8단계로 진행하였고, 각 단계별 진행 내용은 다음과 같다.

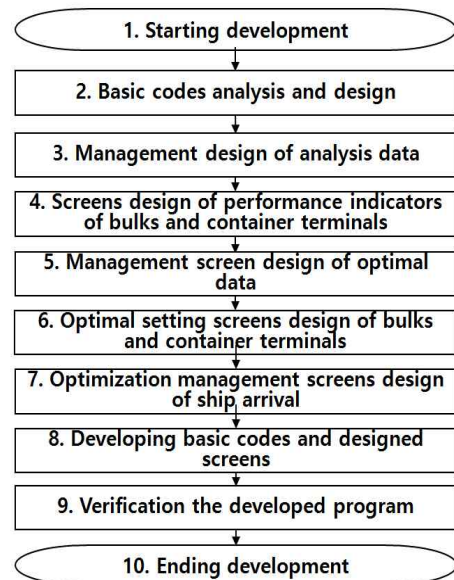


Fig. 2 Software development process

- 첫째, 소프트웨어에서 공통적으로 사용할 기본 코드의 분석 및 설계를 진행하였다. 기본 코드는 총 6가지로 해양수산부의 Port-MIS 시스템에서 사용하는 코드와 국

제표준화기구(ISO)의 표준 코드 체계를 기반으로 하였고, Port-MIS 코드를 그대로 적용한 부분은 지역코드, 국가코드, 항구코드, 항만시설코드 및 운영사 코드이며, 나머지 1개는 운영사 운영그룹 코드로 개발 소프트웨어를 활용하기 위하여 Port-MIS의 운영사 코드를 기반으로 추가 일련번호를 부여하여 생성하였다.

- 둘째, 분석자료 관리를 위한 설계 단계로 (식 1)~(식 6)에서 정의된 주요 항만 서비스 지표를 데이터베이스로 관리하기 위한 데이터 구조를 정의하였다.
- 셋째, 벌크부두(일반화물) 및 컨테이너 부두의 성과지표를 관리하기 위한 조회 화면을 설계하였으며, 선석점유율에 따라 선박대기율, 선석처리량, 접안척수, 평균대기척수 및 평균대기시간을 데이터 또는 그래프로 조회할 수 있게 하였다.
- 네째, 최적화 자료 관리를 위한 화면 설계를 진행하였다. 이 화면을 통해 최적 선박 대기율과 최적 선석 처리량을 도출할 수 있는 산정식을 등록하고 관리할 수 있게 하였다.
- 다섯째, 일반화물 및 컨테이너 부두의 최적화 설정을 위한 화면을 설계하였다. 이를 통해서 선박의 도착 간격 또는 패턴에 따라 선박대기율과 연간 처리량을 예측할 수 있게 하였고, 해당 항만이나 터미널 운영사에서 최적의 선박 도착 패턴을 설정할 수 있게 하였다.
- 일곱째, 선박도착 패턴의 최적화 관리를 위한 화면 설계를 진행하였다. 이 화면을 통해서 선박도착 패턴에 따라 TOC의 생산성 지표인 연간처리량과 항만 이용주체인 선사 및 화주의 서비스 수준인 선박대기율을 선박 도착 패턴에 따라 동시에 조회함으로써 TOC가 최적의 서비스 수준을 다양하게 판단할 수 있게 하였다.
- 여덟째, 이전 단계의 설계 화면을 기반으로 관계형 데이터베이스 구축과 클라이언트 서버(C/S) 기반의 소프트웨어를 개발하였다.
- 마지막으로 개발된 소프트웨어가 적정하게 개발되었는지를 검증하는 단계로, 국가의 소프트웨어 품질 인증 절차를 기준으로 검증하였다(MSIP, 2013).



Fig. 3 Initial screen of developed software

4.2 개발 소프트웨어의 주요 화면

개발 절차에 따라 진행된 최종 소프트웨어의 초기 화면은 Fig. 3과 나타낼 수 있다.

개발 절차에 따라 진행된 최종 소프트웨어의 메인 화면은 Fig. 4와 같다.



Fig. 4 Main screen of developed software

개발 절차에 따라 진행된 최종 소프트웨어의 운영사(TOC) 관리 화면은 Fig. 5와 같다.

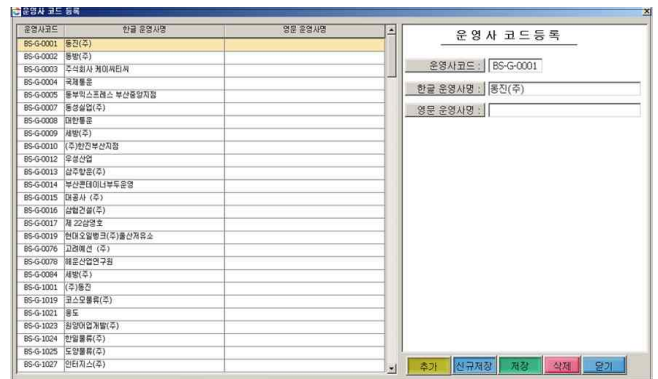


Fig. 5 Management screen for TOC code

개발 절차에 따라 진행된 최종 소프트웨어의 선박 대기율 순식 관리 화면은 Fig. 6과 같다.

운영사코드	운영사명	일련번호	X ⁶	X ⁵	X ⁴	X ³	X ²	X ¹	상수	결과계수(%)
MSP1	대우중공업(주)	1	0.000	0.000	0.000	2.183	-3.236	1.674	-0.2537	0.9947
MSP2	대우중공업(주)	1	0.000	0.000	21.765	-57.417	56.714	-24.705	4.0189	0.9936
MSP3	대우중공업(주)	1	0.000	82.838	-274.090	359.760	-233.670	75.037	-9.5079	0.9851
MSP4	대우중공업(주)	1	0.000	0.000	99.943	-299.850	340.330	-171.320	32.2720	0.9892
PK1	부산선박(주)	1	0.000	0.000	33.477	-38.692	17.669	-2.206	0.1706	0.9977
PK2	부산선박(주)	1	0.000	0.000	18.664	-24.653	13.092	-2.506	0.1862	0.9988
PK3	부산선박(주)	1	0.000	0.000	15.247	-21.210	11.977	-2.664	0.2007	0.9943
PK4	부산선박(주)	1	0.000	0.000	34.152	-63.344	45.818	-14.636	1.7534	0.9991
PK5	부산선박(주)	1	0.000	0.000	14.957	-21.617	11.828	-2.609	0.1807	0.9989
PK6	부산선박(주)	1	0.000	0.000	0.000	8.934	-10.573	4.651	-0.6776	0.9960

Fig. 6 Management screen for ship's waiting ratio formula

4.3 벌크 부두의 최적화 소프트웨어 개발

벌크 부두의 최적화 관리를 위해 Table 4 및 Table 5의 벌크부두 산정식을 적용하여 최적화 1선석 성과지표를 관리할 수 있도록 프로그램을 개발하였다. Fig. 7과 Fig. 8는 선석점유율에 따른 선박대기율, 선석처리량, 접안척수, 평균대기척수, 평균대기시간을 관리할 수 있게 하였다.



Fig. 7 Performance indicators of exclusive bulk terminals

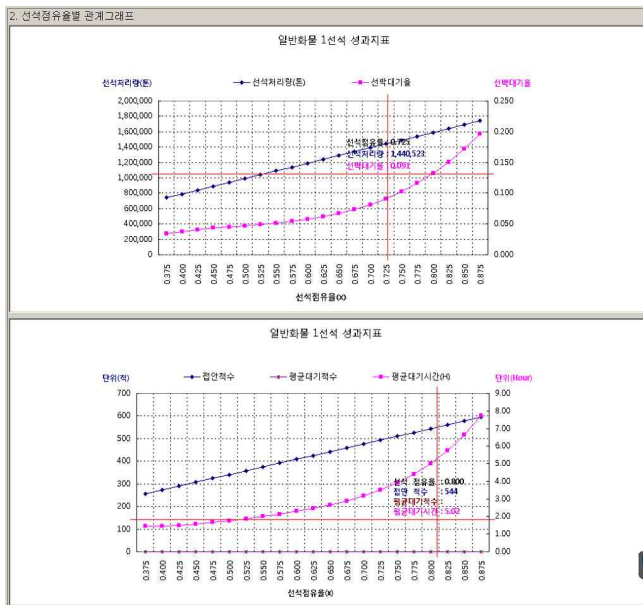


Fig. 8 Performance graphs of exclusive bulk terminals

4.4 컨테이너 부두의 최적화 소프트웨어 개발

컨테이너 부두의 최적화 관리를 위해서 Table 4 및 Table 5의 컨테이너 산정식을 적용하여 최적화 1선석 성과지표를 관리할 수 있도록 프로그램을 개발하였다. Fig. 9와 Fig. 10은 선석점유율에 따른 선박대기율, 선석처리량, 접안척수, 평균대기척수, 평균대기시간을 관리할 수 있게 하였다.



Fig. 9 Performance indicators of container terminals

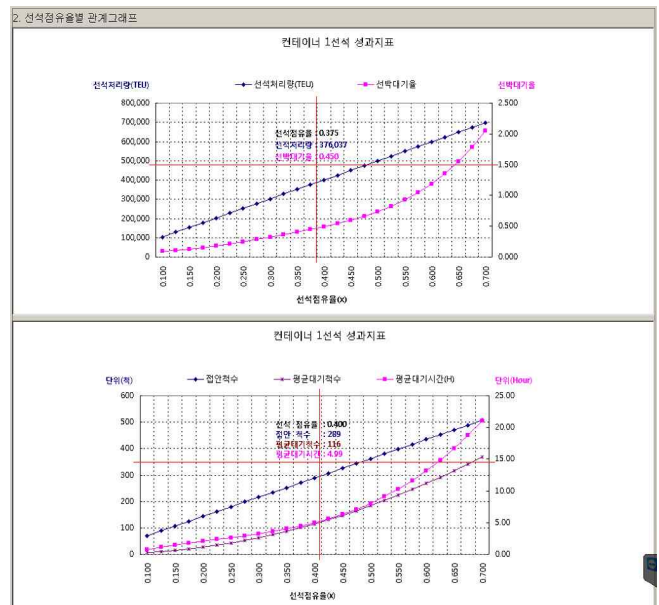


Fig.10 Performance graphs of container terminals

4.5 선박의 도착 패턴에 따른 서비스 수준

벌크 부두 또는 컨테이너 부두의 운영 선석수 기준으로 항만에서 선박 대기율 또는 선박 도착 패턴에 따라 항만의 서비스 수준은 달리 나타날 수 있다. 이러한 점을 반영하여 선박이 일정한 시간 간격에 따라 입항한다는 가정 하에 선박 도착 간

5. 결 론

항만의 서비스 수준은 항만의 운영 및 관리 주체인 TOC, 항만공사 및 정부의 입장에서는 항만간 경쟁력의 중요 기준이 된다. 반면, 항만의 이용 주체인 선사 및 화주의 입장에서는

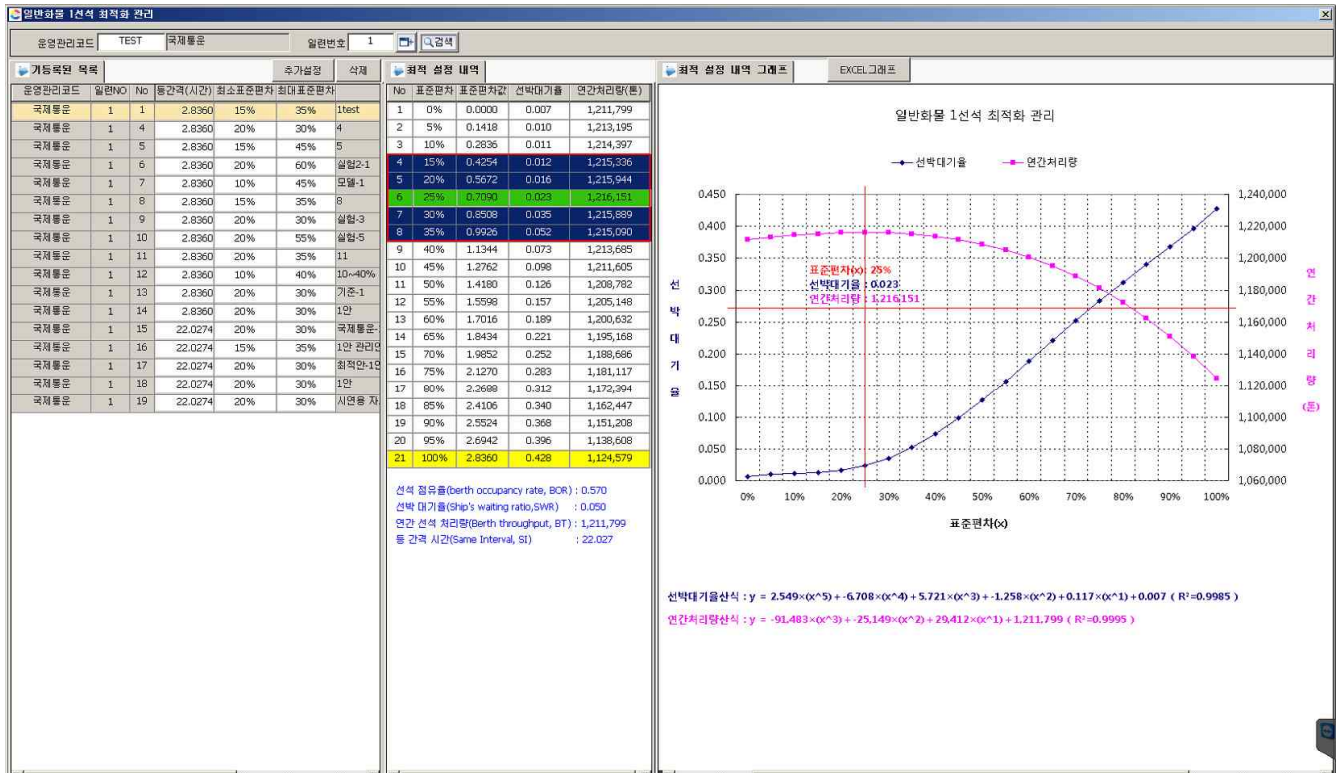


Fig. 11 Optimal management screen of exclusive bulk terminals (1 berth sample)

격의 표준 편차에 따라 항만 서비스 지표인 선박 대기율과 항만의 생산성 지표인 연간 처리량과의 관계를 관리할 수 있도록 Fig. 11과 같이 예측 가능한 화면을 설계하여 개발하였다.

즉, 터미널 운영사인 TOC 입장에서는 선사의 선박 도착 간격이 어떤 형태로 발생하는가에 따라 선사 및 화주의 서비스 지표 수준도 달리 나타날 수 있고, 반대로 TOC의 항만 생산성 지표인 연간 처리량도 어떻게 변화되는지를 알 수 있다. 따라서 터미널 운영사인 TOC는 자신들의 부두 또는 항만을 타 경쟁사 또는 경쟁 항만 대비로 어떤 서비스 수준으로 제공하거나 관리할 것인지도 판단할 수 있다. 뿐만 아니라, 이에 따른 생산성 지표인 연간 처리량도 알 수 있으므로 연간 수입도 예측할 수 있게 된다. 이렇게 관리함으로써 경쟁항만이나 경쟁사보다도 전략적으로 유리하게 항만을 운영해 나갈 수 있고, 항만 경쟁력도 확보할 수 있으므로 시시각각 변화하는 항만 운영 상황에 따라 신속하게 적정 서비스 수준을 터미널에 적용할 수 있는 기반을 마련하게 될 수 있다.

인근에 이용 가능한 항만이 있는 경우에는 어떤 항만을 선택할 지를 판단하는 지표로도 활용된다. 이러한 항만 서비스 수준 지표의 중요성에도 불구하고, 이를 객관적이고 예측 가능한 수준으로 관리할 수 있는 적합한 소프트웨어가 정부 차원이나 소프트웨어 시장에서 현재까지 마련되지 않고 있다. 이러한 문제점들을 반영하여 컨테이너 부두 및 벌크부두를 대상으로 중요 서비스 지표인 선석 점유율, 선박 대기율, 선석 처리량, 집안 척수, 평균 대기 척수, 평균 대기 시간과 같은 6개 지표를 객관적으로 정의하고 관리할 수 있는 소프트웨어를 개발하였다.

컨테이너 부두를 운영하는 TOC를 위하여서는 컨테이너 부두 운영 선석수, 즉 1개 선석부터 6개 선석까지 터미널을 실제 운영하는 실정에 맞게 선택적으로 활용할 수 있도록 6개의 서비스 지표를 산정하고 예측 가능한 기반 환경을 마련하였으며, 실제 터미널에서 운영될 수 있는 선석 가동을 범위에서 TOC 운영 상황에 따라 선택적으로 활용 가능토록 하였다. 또한, 벌크 부두를 운영하는 TOC 입장에서도 벌크 부두 운영

선석수, 즉 1개 선석부터 4개 선석까지 해당 TOC가 실제 운영하는 실정에 따라 선택하여 활용할 수 있도록 6개의 서비스 지표를 산정하고 예측 가능토록 하였다.

이를 활용하면, 컨테이너 부두 또는 벌크 부두의 선석 운영 규모에 따라, 우선적으로 선석점유율 대비 선박 대기율, 선석 처리량, 접안 척수, 평균 대기 척수, 평균 대기 시간을 예측할 수 있도록 하였다. 추가하여 이를 기초로 항만에 입항하는 선박의 도착 패턴이나 도착 간격에 따라 선박 대기율과 항만의 생산성 지표인 연간 처리량도 어떻게 변화되는지를 예측할 수 있도록 하였다. 따라서, TOC 입장에서는 서비스 지표인 선박 대기율과 생산성 지표인 연간 처리량의 관계에서 최적의 운영 수준을 전략적으로 절충(Trade-off)할 수 있고, 결과적으로 경쟁 항만과 대비하여 더욱 많은 선사 및 화주를 유치할 수 있으므로 터미널 수입도 극대화할 수 있다.

본 연구에서 활용한 6개 지표 자료는 실제 항만을 대상으로 측정하고 시뮬레이션을 통하여 산정하였으나, 개별 항만의 운영 상황에 따라 결과는 달리 나올 수 있다. 즉, 개별 항만의 특정 시점 자료를 기준으로 분석되어 실시간으로 변화하는 상황을 반영하기에는 한계가 있을 수 있다.

따라서, 본 연구에서 개발된 소프트웨어에 다음과 같은 기능이 향후 추가 개발되어 연계(Interface)될 필요가 있다. 첫째, 실제 항만의 운영 데이터를 실시간으로 반영할 수 있는 데이터 연계 과정이 반영되어야 한다. 이를 위하여 국내 항만에 입항하는 선박들의 입항정보를 실시간으로 반영하기 위한 Port-MIS 시스템과 연계가 필요하다. 둘째, 각 항만에서 가용 선석의 부족으로 항계 인근의 묘박지에서 대기하는 선박의 척수 및 대기 시간을 파악하기 위해 각 선박의 AIS 데이터도 연계하여 대기시간을 반영하는 과정도 필요하다. 셋째, 연계된 실시간 데이터를 대상으로 필요시 자동으로 시뮬레이션하기 위한 시뮬레이션 프로그램과 직접 연동이 필요하며, 시뮬레이션 분석 결과는 본 소프트웨어의 데이터베이스에 직접 반영될 수 있는 환경 구축이 필요하다.

본 소프트웨어에 위의 추가 기능들이 실시간으로 연계되어 구축된다면, 국내 항만의 서비스 지표를 실시간으로 파악할 수 있고, 다른 항만 경쟁국의 서비스 지표 대비로 국내 항만의 서비스 지표가 어느 수준인지도 신속하게 파악할 수 있어 국내 항만 개발 및 운영 전략을 수립하는데도 중요하게 활용될 수 있을 것이다.

References

- [1] Ha, T., Y., Shin, J., Y.(2007), Performance Evaluation of the Next Generation Stevedoring System at Container Terminal, *Journal of Navigation and Port*, Vol. 31, No. 3, pp. 253-261.
- [2] Kim, E. S., Kim, G. S.(2016), An analysis of ship's waiting ratio in the Korean seaports, *Journal of Navigation and Port*, Vol. 40, No. 1, pp. 35-41.
- [3] KMI(1998), Report on the Cargo Handling Capacity of Port and Private Financing Feasibility Research Service, Ministry of Oceans and Fisheries(MOF).
- [4] MARAD(2010), Improving Marine Container Terminal Productivity, The Tioga Group.
- [5] Ministry of Oceans and Fisheries(MOF)(2013), A Study on Estimation of the Proper Cargo Handling Capacity by Port Cargo Exclusive Pier.
- [6] Ministry of Oceans and Fisheries(MOF)(2014), A Study on Estimation of the Proper Cargo Handling Capacity by Container Terminals.
- [7] Ministry of Science, ICT and Future Planning(MSIP) (2013), Detailed Standards and Procedures on the Software Quality Assurance, MSIP Notice No. 2013-42(2013.9.6).
- [8] National Assembly Budget Office(NABO)(2015), Problem and Improvement Projects of Proper handling capacity of the port (Focusing on the container terminal), Business Valuation Issues Analysis Report Vol. 57.
- [9] Park, S. K. & Park, N. K.(2014), A Simulation Model for Appropriate Cargo Handling Capacity of the Port, Proceedings of the 2014 International Association of Maritime Economists (IAME) Conference, Paper ID 7.
- [10] Park, S. K.(2014), A Study on the Optimal Service Level of Exclusive Bulk Terminals, Doctoral Thesis of Soongsil University.
- [11] Park, S. K.(2016), A Study on the Optimal Service Level of Exclusive Container Terminals, *Journal of Korea Port Economic Association*, Vol. 32, No. 2, pp. 137-156.
- [12] Soner Esmer(2008), Performance Measurements of Container Terminal Operations, *Dokuz Eylul University, Sosyal Bilimler Enstitusu Dergisi*, Cilt 10, Sayı 1, pp. 238-254.
- [13] Theo Notteboom & Pierre Cariou(2009), Fuel surcharge practices of container shipping lines: Is it about cost recovery or revenue-making? , Proceedings of the 2009 International Association of Maritime Economists (IAME) Conference. pp. 24-26.
- [14] UNCTAD(1976), Port Performance Indicators, p. 9.
- [15] World Bank(1993), Port Performance Indicators.

Received 16 May 2016

Revised 05 April 2017

Accepted 10 April 2017

