

# 컨테이너 터미널의 디지털 트윈 기술 적용에 관한 연구

최훈도\* · † 유장호

\*부산연구원 초빙연구위원, † 창원시정연구원 연구보조원

## A Study on the Application of Digital Twin Technology for Container Terminals

Hoon-Do Choi\* · † Jang-Ho Yu

\*Visiting Research Fellow, Busan Development Institute, Korea

† Research Associate, Changwon Research Institute, Korea

**요약** : 디지털 트윈 기술은 다양한 산업에서 적용되고 있으며, 물류 산업에도 큰 영향을 미칠 것으로 예상되지만 컨테이너 터미널에서의 기술 도입은 제한적으로 발전하고 있다. 기존 선행연구를 검토한 결과 컨테이너 터미널을 대상으로 디지털 트윈 기술의 적용에 관한 연구는 미비한 실정이다. 본 연구에서는 컨테이너 터미널에 디지털 트윈 기술 우선 적용 분야를 도출하기 위하여 AHP 분석과 IPA 분석을 실시하였다. IPA 분석을 통해 컨테이너 터미널의 디지털 트윈 기술 적용 분야 세부 요소의 도입 시급성을 분석한 결과 ATC, 지능형 CCTV, 컨테이너 야드가 최우선으로 컨테이너 터미널에 도입이 되어야 할 것으로 판단된다. 다음으로 VR/AR 장비, AYT, 스마트 컨테이너, 컨테이너 자동 순환 시설, 냉동·냉장 컨테이너 야드, 항만용 Wearable 디바이스, 스마트 부표의 순이며, AQC, Berth, AGV, ASC, Apron, 자동 계류기기는 점진적으로 도입이 필요할 것으로 판단된다. 마지막으로 OSS 장비, 인터모달 연계시설, 지능형 드론, 위험물 장치장은 상대적으로 도입 순위에서 후순위에 위치한 것으로 나타났다.

**핵심용어** : 디지털 트윈, AHP, IPA, 디지털 항만, 디지털 전환

**Abstract** : Digital Twin Technology is currently being utilized in many industries and logistics seems soon to follow that trend. Currently, technology introduction to container terminals is restrictedly developing. In reviewing the existing literature, it became clear that research on the application of Digital Twin technology for container terminals is deficient. This study fulfilled AHP and IPA analysis causing fields to adjust priority at the container terminal. The result of analysis on the urgent necessity of adjustable fields' detailed elements from Digital Twin Technology, ATC, intelligent CCTV, and container yards, and showed that they were of the highest priority level. Also, VR/AR Equipment, AYT, Smart Container, Automated Container Delivery Facility, Refrigerated/Freezer Container, Wearable Device for Port Maintenance, and Smart Buoy were reviewed in detail. Our group suggests AQC, Berth, AGV, ASC, Apron, and Automated Mooring as potentially useful Digital Twin Technologies. Finally, our research suggests the OSS equipment, intermodal linkage facility, intelligent drone, and hazardous material storage are areas of low priority.

**Key words** : Digital Twin, AHP, IPA, digital port, digital transformation

### 1. 서 론

시장조사 전문기관인 가트너(Gartner)는 2017년부터 디지털 트윈 기술을 기업들이 주목해야 할 10대 전략기술로 언급해오고 있다. 디지털 트윈 기술 시장 규모는 2016년 1조 8,686억 원에서 2020년 3조 4,609억 원으로 연평균 21.3% 상승하였으며, 마켓스 앤 마켓스(Markets and Markets)의 디지털 트윈 시장 글로벌 예측 보고서에서는 디지털 트윈 기술 시장의 수요 증가로 2026년까지 연평균 58.0%의 성장세를 보일 것으로 예상하고 있다.

디지털 트윈 기술은 물리적 대상의 형태와 특성을 가상의 디지털 공간으로 구현하는 기술로, 4차 산업 시대를 이끌어갈

미래 기술로서 주목받고 있다. 디지털 트윈 기술은 제조분야를 중심으로 적용되어 도시/건설, 에너지, 교통, 물류 등의 분야로 적용 영역이 점차 확장되는 추세이다. 디지털 트윈 기술은 파편적으로 산재해있던 물리적 정보를 종합하여 가상의 모형을 구현함으로써, AI, VR, 시뮬레이션 등의 기술을 활용하여 물리적 대상의 효율적인 유지, 보수, 관리, 운영 등을 도모한다.

항만 분야에서의 디지털 트윈 기술 적용은 자동화 항만에서 4차 산업 기술 기반의 스마트 항만으로 전환이 가속화되면서 구체적인 적용방안에 대한 논의가 진행되고 있다. 선진항만들은 4차 산업 기술을 적용하여 생산성 향상, 운영 효율화 도모 등을 통한 경쟁력 향상뿐만 아니라, 디지털 트윈 기술을 이용하여 항만의 전주기 관리, 보안, 안전 및 방재까지 아우르는 항만으로의 도약을 준비하고 있다.

† Corresponding author : 정희원, yjh9646@naver.com 055)213-9045

\* 중신회원, hdchoi@bdi.re.kr 051)860-8715

로테르담, 싱가포르 등 세계 주요 선진항만에서는 완전자동화에 이어 운영, 에너지, 친환경 등의 분야에 4차 산업 기술을 기반으로 한 스마트 항만을 구축하고 있다. 컨테이너 터미널은 기존 물리적 역할에서 데이터 서비스의 제공자로 역할이 전환되고 있으며, 디지털 트윈 기술을 적용하여 물리적 공간과 가상의 공간을 통합하고 기존 직관적 중심의 의사결정에서 데이터 기반으로 한 혁신적 의사결정으로의 전환을 준비하고 있다. 또한 디지털 트윈으로의 전환을 통해 컨테이너 터미널의 운영 단계뿐만 아니라 개발 계획 단계부터 유지, 보수, 관리 단계까지의 전 주기적 혁신을 준비하고 있다.

정부는 부산항 제2신항(진해 신항)을 정보화·지능화·디지털화를 통한 스마트 허브로의 개발을 계획하고 있다. 항만의 건설 단계에서부터 운영 단계까지 전 주기에 디지털 관리체계를 도입할 예정으로 단계적 시범 사업 추진을 통하여 진해 신항에 새로운 기술을 도입할 예정이다. 그러나 데이터 기반 비즈니스 모델 부족, 지능화 및 정보화 역량 부족, 스마트 운영을 위한 제도 및 인프라 부족 등 선진 항만과의 격차로 인해 4차 산업혁명 기술을 기반으로 한 스마트 항만으로의 전환은 늦어지고 있는 실정이다.

항만 분야의 디지털 트윈 적용을 위해서는 항만을 구성하는 자원 및 공간의 스마트 기술 적용이 우선적으로 필요하나, 선진 항만과의 기술 격차 및 환경적인 문제로 모든 자원 및 공간의 디지털 트윈 전환에는 한계가 존재한다. 이렇듯, 국내 현실에 맞는 디지털 트윈 전환을 위해서는 디지털 트윈 기술의 단계적인 도입이 필요하며, 도입 우선순위를 평가한 뒤 관련 기술 개발 및 컨테이너 터미널 적용 방안 마련이 필요한 시점이다. 이에 따라 본 연구에서는 컨테이너 터미널에서 디지털 트윈 기술 적용 분야의 중요도를 도출하고 분야별 세부 요소의 도입 시급성을 도출하여 컨테이너 터미널 개발 방안의 시사점 제시를 목적으로 한다.

## 2. 디지털 트윈 이론적 고찰

### 2.1 디지털 트윈 기술의 개념

디지털 트윈의 기본 개념은 2002년에 미국 마이클 그리브스 박사가 제품 생애주기 관리의 이상적 모델로 설명하면서 등장하였다. 당시 기술 발전 수준이 디지털 트윈을 구현하는데 충분하지 않아 대중화되지 않고 개념적으로만 존재하였으나, 2016년 GE가 자사의 디지털 트윈 기술을 공개하면서 디지털 트윈 개념이 주목받기 시작하였다. 2017년부터 2019년까지 IT 리서치 기업인 가트너에서 디지털 트윈 기술을 미래 유망 10대 전략 기술 중 하나로 선정하였으며, 향후 5년에서 10년 내 혁신 성장이 가능한 기술로 평가하였다.

디지털 트윈의 일반적인 개념은 현실 공간에서 발생하는 데이터를 기반으로 가상공간에서 분석 및 시뮬레이션하고 도출된 최적 결과를 다시 현실에 적용하여 동기화하는 기술이

다. 항공기 엔진, 발전소, 플랜트, 빌딩 등 폭넓은 분야의 시설 및 장치를 효과적으로 모니터링하거나 생산성을 향상하는 데 사용되고 있다(KICT, 2018).

디지털 트윈 공간의 개념 모델은 3차원 모델링을 통해 현실 공간의 물리적 자산이나 객체, 프로세스 등을 디지털로 복제하는 것을 말한다. 로봇, 모바일 장비, 드론, 위성, 자율 주행차 등 디지털 트윈 공간 및 장비 정보를 통해 얻은 데이터를 기반으로 모니터링, 분석, 예측, 시뮬레이션 등을 수행한다. 이때 도출된 최적 결과 및 정보를 현실세계에 반영하여 적용 분야의 전 주기적인 관리, 운영, 문제해결, 사전 예방 등이 가능하다(KRIHS, 2018).

디지털 트윈 기술이 사회 전반적으로 도입되면 분야별 문제 진단 및 해결 방안 모색이 가능하고 실시간 모니터링을 통해 문제 발생 시 즉각 대응이 가능해진다. 또한 다양한 시스템이 융합·활용되는 플랫폼으로써 이해관계자 간 협업이 가능해지며, 디지털 트윈 적용으로 파생되는 새로운 산업의 생태계 조성이 가능하다(KRIHS, 2018).

본 연구에서는 디지털 트윈의 일반적인 개념과 디지털 공간의 개념모델 검토를 통해 항만에서의 디지털 트윈 전환을 다음과 같이 정의하였다. 항만의 형태와 특성을 디지털 공간으로 구현하여 항만 자원의 설계, 제작, 유지, 관리 등의 전 주기의 상태를 효율적으로 관리하고 수집되는 정보를 바탕으로 진단, 미래 예측 등의 관련 기술을 통해 효율적인 항만 체계로의 전환을 의미한다.

### 2.2 선행연구 고찰

항만에서의 디지털 트윈 기술 적용에 관한 연구는 Szytyko(2019)의 컨테이너 크레인의 디지털 모델링에 관한 연구, Hofmann(2019)의 디지털 트윈 구현을 위한 실시간 의사결정 지원 모델에 관한 연구 등 주로 디지털 트윈 적용 분야의 기술적 연구가 주를 이루고 있으며, 컨테이너 터미널의 디지털 트윈 기술 적용 분야에 관한 연구는 미비한 실정이다. 또한, 두바이 버추얼 터미널, 물류센터 등 실시간 관제를 통한 특정 공간의 가상화 사례는 존재하나 항만 전체의 형태와 특성을 디지털 공간으로 구현한 사례는 미비한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 항만 분야의 디지털 트윈 전환에 관한 선행연구가 부족한 점을 보완하기 위하여 신기술 적용에 관한 선행연구 고찰을 통해 컨테이너 터미널의 디지털 트윈 적용을 위한 요인을 도출하였다.

과거부터 산업 전반에 걸친 신기술의 등장으로 항만 분야에서는 컨테이너 터미널 운영 효율화와 경쟁력 향상을 위해 신기술 적용에 관한 연구가 활발히 진행되어왔다. 컨테이너 터미널의 기술 적용에 관한 연구는 주로 항만 장비, 항만 시설, 운영 분야로 대표되어 연구되어 왔다.

첫 번째 항만 장비에 관한 연구는 AQC, AGV, ATC 등 항만 하역에 필요한 장비의 기술 개발 로드맵 수립을 위한 정책적 연구가 주를 이루고 있다. Choi(2009)는 항만 장비를 중심

으로 컨테이너 항만 기술 로드맵을 제시하였으며, Hong(2010)은 ATC의 기술 개발 로드맵을 제시하였다. Cha(2018)는 이송장비의 자동화 적용 방안을 제시하였으며, 국토교통부, 해양수산부 등 정부 기관에서는 차세대 기술 적용을 위한 하역장비 R&D를 진행하고 있다.

두 번째 항만 시설에 관한 연구는 항만 시설의 설계, 구축, 유지, 관리, 보수 등 항만 시설의 생애주기 관리를 위한 연구가 주를 이루고 있다. 해양수산부(2005)는 차세대 항만 설계 기술 개발을 진행하였으며, Lim(2018)은 상태기반 성능 모델 개발을 통해 항만 시설 유지관리 전략을 제시하였다. Kim(2020)은 데이터 연계를 통한 항만시설물 유지관리 의사결정 체계 개발 방안을 제안하였다.

세 번째 운영 분야는 차세대 기술 적용을 통한 컨테이너 터미널의 효율적 운영 시스템 효과 분석에 관한 연구가 주를 이루고 있다. Kim(2007)은 컨테이너 터미널에 RFID 도입 시 운영 시스템의 개선 효과 분석을 수행하였으며, Jeon(2020)은 운영 시스템 관점에서 IOT 적용 가능성을 검토하였다.

선행연구 고찰 결과를 바탕으로 본 연구에서는 컨테이너 터미널에서의 디지털 트윈 기술 적용 요인을 도출하기 위하여 컨테이너 터미널의 기술 적용에 관한 선행연구들에서 주로 연구되어있던 분야인 항만 장비, 항만 시설, 항만 운영 분야를 구분하여 연구를 진행하였다.

### 3. 컨테이너 터미널의 디지털 트윈 기술 적용 분야의 중요도 도출

#### 3.1 연구 방법론

본 연구에서는 컨테이너 터미널에서의 디지털 트윈 기술 적용 분야의 요인들을 계층적으로 분해하여 중요도를 산출하기 위해 AHP(Analytic Hierarchy Process) 기법을 사용하였다. AHP 기법은 의사 결정 계층구조를 구성하고 있는 요소 간의 쌍대 비교에 의한 판단을 통하여 평가자의 지식, 경험 및 직관을 포착하고자 하는 의사결정 방법이다(Saaty, 1980).

AHP 기법의 분석 과정은 일반적으로 4단계로 구성되며, 첫 번째 단계는 주어진 의사결정 문제를 상호 관련된 여러 의사결정 사항들을 계층구조로 분해하는 단계이다. 두 번째 단계는 같은 계층에 있는 의사결정 속성 간의 쌍대비교를 실시하는 단계이며, 세 번째 단계는 고유치방법(eigenvalue method)을 사용하여 의사결정 속성들의 상대적 중요도 또는 가중치를 추정한다. 마지막으로 네 번째 단계는 계층구조에 따라 종합화하여 컨테이너 터미널의 디지털 트윈 기술 우선 적용 순위와 종합적 선호도를 도출한다.

AHP 기법에서 컨테이너 터미널의 디지털 트윈 적용 분야의 상대적 가중치를 추정하기 위해서는 쌍대비교를 통한 두 요소 간 상대적 중요도의 측정결과를 종합하여 다음과 같은

쌍대비교행렬  $A(n \times n)$ 를 구성하여야 한다. 이때 행렬  $A$ 를 구성하고 있는  $a_{ij}$ 는 요소  $I$ 에 대한  $j$ 의 상대적 가중치이며,  $a_{ij} = \frac{1}{a_{ji}}$ , 주 대각선의 원(element)의 값이 모두 1이 되는 성질을 가진 역수행렬을 가지게 된다.

$$A = [a_{ij}] = \begin{pmatrix} 1 & a_{12} & a_{13} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & 1 & a_{23} & \dots & a_{2n} \\ a_{31} & a_{32} & 1 & \dots & a_{3n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & a_{n3} & \dots & 1 \end{pmatrix} \quad (1)$$

행렬  $A$ 에 대한 평가 항목 간 상대적 중요도를 나타내는 가중치인 열벡터  $V = (v_1, v_2, v_3, \dots, v_n)^T$ 을 곱하면 다음과 같은 식이 되며, 아래 수식으로부터  $v$ 의 해를 구한 값을 컨테이너 터미널의 디지털 트윈 적용 요인에 대한 평가항목별 가중치로 사용한다.

$$A \times V = n \times V \quad (2)$$

#### 3.2 평가요인 선정

본 연구에서는 문헌조사와 항만 관련 전문가와의 브레인스토밍 과정을 통해 컨테이너 터미널의 디지털 트윈 기술 적용 분야를 선정하였다. 조사 과정에서 항만 분야와 관련 없는 요인들을 삭제하고 중복되거나 유사한 요인 및 요소들을 통합하여 최종 평가요인으로 3개 분야, 9개 요인, 20개 요소를 선정하였다. 컨테이너 터미널의 디지털 트윈 기술 적용분야를 항만 장비, 항만 시설, 항만 운영분야로 구분하였으며, 각 분야의 세부 요인 및 구성 요소는 Fig. 1과 같이 구조화하였다.

항만 장비 분야에서는 안벽장비 요인에 완전 무인 자동화 안벽크레인인 AQC(Automated Quay Crane)와 자율 주행 선박의 접안을 지원하는 안벽장비인 자동계류기기를 평가요소로 분류하였고, 이송장비 요인에서는 컨테이너 자동 이송 차량인 AGV(Automated Guided Vehicle), 완전 자동화 스트레들 캐리어인 ASC(Automated Straddle Carrier), 자율 주행 YT(Yard Tractor)를 평가요소로 분류하였다. 마지막으로 야드 장비 요인에서는 완전 무인 자동화 트랜스퍼 크레인인 ATC(Automated Transfer Crane)와 국내 기술로 개발 중인 차세대 항만 하역시스템인 OSS(Overhead Shuttle System)의 셔틀 크레인(Overhead Shuttle)을 평가요소로 구분하였다.

항만 시설 분야에서는 안벽요인에 곡주, 해측 구조물 등 안벽 내 해측작업 지원공간인 Berth와 안벽 내 이송 장비 대기 장소 등 안벽 내 육측작업 지원공간인 Apron으로 평가요소를 분류하였다. 장치장 요인은 컨테이너 야드(CY), 위험물 장치장, 냉동·냉장 컨테이너 장치장 요소로 평가요소를 분류하였다. 마지막으로 연계수송시설에서는 인터모달 시스템을 통해 항만-내륙(도로, 철도)을 연계하는 항만시설인 인터모달 연계 시설과 모노레일, 자동운행 셔틀 등을 이용하여 터미널 간 연

계를 지원해주는 항만 시설인 컨테이너 자동 순환시설로 평가요소를 분류하였다.

항만 운영 분야에서는 보안 요인에 특정 개체나 행위를 감지하여 식별할 수 있는 지능형 CCTV와 항만보안, 항만관리 등 업무를 지원하는 자율 주행드론으로 평가요소를 분류하였다. 안전 요인에서는 착용형 스마트 기기로서 항만 작업자의 안전을 도모하는 항만용 Wearable 디바이스와 증강현실과 가상현실 기술을 이용한 항만 작업 시뮬레이션 기기인 VR/AR 기기로 평가요소를 분류하였다. 방재 요인에서는 위치, 충격, 온도 등 컨테이너 정보를 파악할 수 있는 컨테이너인 스마트 컨테이너와 해역(날씨, 파고, 수위 등) 정보 관제 및 자율주행 선박의 항만 진입 지원기기인 스마트 부표로 평가요소를 분류하였다.

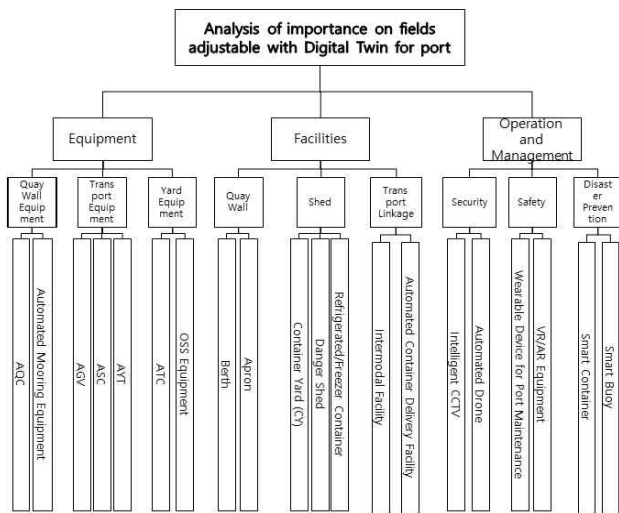


Fig. 1 Hierarchical structure model

3.3 분석 결과

설문조사의 전문성을 높이기 위하여 항만분야의 전문가를 대상으로 설문조사를 수행하였으며, 회수된 47부의 설문지를 바탕으로 평가자의 일관성(CR; Consistency Ratio) 비율을 검토하였다. 일관성 비율 검토를 통하여 설문대상자가 응답한 판단의 일관성을 검증함으로써, 설문대상자의 디지털 트윈 기술의 항만 적용 분야에 대한 계층구조를 보다 정확하게 분석하고자 하였다. 일관성 비율은 일관성 지수(CI; Consistency Index)를 임의 지수(RI; Random Index)로 나눈 값을 의미하며 0.1이나 0.2 이하의 값이 나와야 설문의 신뢰도가 있다고 본다. 본 연구에서는 0.1 미만을 기준으로 삼아 전문가(항만공사, 컨테이너 터미널, 항만·물류 연구기관, 터미널 관련 IT 업체)에 대한 설문의 신뢰도를 검증하였으며, 회수된 설문지 47부 중 일관성 비율이 0.1 미만을 기록한 34부를 바탕으로 분석을 수행하였다.

설문 응답자 특성 분석 결과 컨테이너 터미널 종사자가 14부(41.2%)로 가장 많았고 항만·물류 연구기관 9부(26.5%), 항만공사 8부(23.5%), 터미널 관련 IT 업체 3부(8.8%) 순으로

회수되었다. 경력으로는 10년 이상 종사자가 15부(44.1%)로 가장 많았고, 6~10년 종사자 14부(41.2%), 3~6년 종사자 5부(14.7%) 등의 순으로 회수되었다. 컨테이너 터미널 종사자, 항만·물류 관련 연구원, 항만 관련 기관을 대상으로 한 조사에서 대부분(85.3%)의 응답자가 6년 이상의 경력을 보유하고 있어 응답자의 전문성을 확보하였다고 판단된다.

Table 1 Responses to job classification status (Unit : No. %)

Div	Frequency	Percent
PA	8	23.5%
Container terminal	14	41.2%
Port&Logistics Research	9	26.5%
IT Company	3	8.8%
Total	34	100.0%
3-6 years	5	14.7%
6-10 years	14	41.2%
more than 10 years	15	44.1%
Total	34	100.0%

먼저 컨테이너 터미널의 디지털 트윈 기술 적용 가능 분야인 항만 장비, 항만 기술, 항만 운영 분야의 상대적 중요도를 산출한 결과 항만 장비 0.702, 항만 시설 0.217, 항만 운영 0.081 순으로 나타났다.

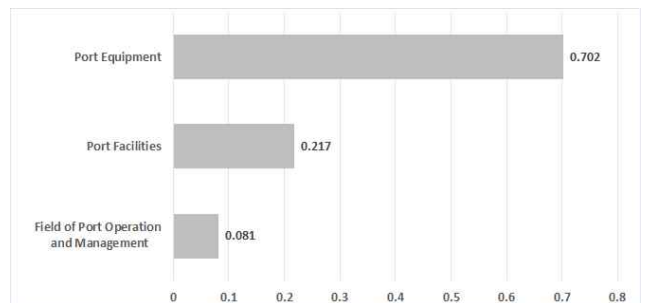


Fig. 2 Analysis result of relative importance amongst utilizable fields of digital twin technology

항만 장비 분야를 구성하고 있는 요인 및 세부 요소의 계층별 중요도는 다음과 같다. 항만 장비 분야를 구성하고 있는 요인 간 상대적 중요도는 안벽 장비 0.653, 이송장비 0.247, 야드장비 0.100 순으로 나타났다. 세부 요소의 최종 중요도는 AQC 0.526, AGV 0.163, 자동계류기기 0.127, ATC 0.075, ASC 0.060 등의 순으로 나타났다.

Table 2 Hierarchical importance of port equipment

Div	Importance by factor	Detailed element	Importance by detailed element	Final importance
Quay Wall Equipment	0.653	AQC	0.805	0.526
		Automated Mooring Equipment	0.195	0.127
Transport Equipment	0.247	AGV	0.662	0.163
		ASC	0.244	0.060
		AYT	0.094	0.023
Yard Equipment	0.100	ATC	0.752	0.075
		OSS Equipment	0.248	0.025

항만 시설 분야를 구성하고 있는 요인 및 세부 요소의 계층별 중요도는 다음과 같다. 항만 시설 분야를 구성하고 있는 요인 간 상대적 중요도는 안벽 0.662, 장치장 0.250, 연계 수송시설 0.088 순으로 나타났다. 세부 요소의 최종 중요도는 Berth 0.519, 컨테이너 야드 0.184, Apron 0.143, 인터모달 연계시설 0.062, 위험물 장치장 0.044 등의 순으로 나타났다.

Table 3 Hierarchical importance of port facilities

Div	Importance by factor	Detailed element	Importance by detailed element	Final importance
Quay Wall	0.662	Berth	0.784	0.519
		Apron	0.216	0.143
Shed	0.250	Container Yard (CY)	0.737	0.184
		Danger Shed	0.176	0.044
		Refrigerated/Freezer Container	0.087	0.022
Transport Linkage	0.088	Intermodal Facility	0.699	0.062
		Automated Container Delivery Facility	0.301	0.027

항만 운영 분야를 구성하고 있는 요인 및 세부 요소의 계층별 중요도는 다음과 같다. 항만 운영 분야를 구성하고 있는 요인 간 상대적 중요도는 보안 0.609, 안전 0.305, 방재 0.086 순으로 나타났다. 세부 요소의 최종 중요도는 지능형 CCTV 0.470, 항만용 Wearable 디바이스 0.241, 자율주행 드론 0.139, 스마트 컨테이너 0.071, VR/AR 기기 0.064 등의 순으로 나타났다.

Table 4 Hierarchical importance in field of port operation and management

Div	Importance by factor	Detailed element	Importance by detailed element	Final importance
Security	0.609	Intelligent CCTV	0.772	0.470
		Automated Drone	0.228	0.139
Safety	0.305	Wearable Device for Port Maintenance	0.791	0.241
		VR/AR Equipment	0.209	0.064
Disaster Prevention	0.086	Smart Container	0.821	0.071
		Smart Buoy	0.179	0.016

컨테이너 터미널의 디지털 트윈 기술 적용 가능 분야의 상대적 중요도를 반영한 세부 요소 간 중요도 분석 결과 AQC 36.9%, AGV 11.5%, Berth 11.3%, 자동계류기 8.9%, ATC 5.3% 등의 순으로 나타났다.

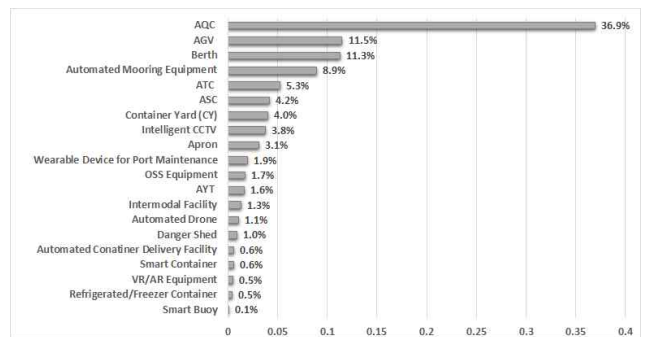


Fig. 3 Analysis result of relative importance amongst detailed adjustable fields of digital twin technology

#### 4. 컨테이너 터미널 디지털 트윈 기술 적용 분야의 도입 시급성 분석

본 연구에서는 IPA 기법을 적용하여 컨테이너 터미널에서 디지털 트윈 기술 적용이 가능한 분야별 세부 요소 도입의 시급성을 분석하고자 한다. IPA는 중요도와 만족도를 동시에 분석하는 마케팅 기법으로서, 사업 혹은 브랜드별 마케팅 전략의 방향성을 수립하고 이에 따른 자원을 효율적으로 배분하기 위한 방법으로 미래에 가장 높은 수익을 낼 곳에 자원을 할당하기 위한 분석 기법이다.

본 연구에서는 컨테이너 터미널 분야의 디지털 트윈 전환을 위한 전략 수립의 시사점을 도출하기 위해 X축 요인을 도입 시급성, Y축 요인을 중요도로 설정하고 2\*2 매트릭스를 구축하였다. X축 요인인 도입 시급성은 국내 컨테이너 터미널 운영 환경에 맞는 필요 수준, Y축 요인인 중요도는 터미널 운영 및 관리 등 전 주기적 개선에 있어서 필요 수준 정도로 정

의하였다.

2\*2 매트릭스를 구축하는 영역으로는 기술적 중요도 및 도입 시급성이 높은 최우선 도입영역, 중요도는 높으나 도입 시급성이 낮은 점진적 도입영역, 중요도는 낮으나 도입 시급성이 높은 우선 도입 검토 영역, 중요도와 시급성이 모두 낮은 저순위 도입 영역으로 구분하였다. 분석 결과 Fig. 4와 같이 컨테이너 터미널의 디지털 트윈 적용 세부 요소는 최우선 도입영역에 3개, 점진적 도입영역에 6개, 우선 도입 검토 영역에 7개, 저순위 도입 영역에 4개가 위치하고 있다.

최우선 도입영역에 위치한 요소는 ATC, 지능형 CCTV, 컨테이너 야드이며, 다른 요소보다 최우선으로 적용이 필요할 것으로 판단된다. 우선 도입 검토 영역에는 VR/AR 장비, AYT, 스마트 컨테이너, 컨테이너 자동 순환시설, 냉동·냉장 컨테이너 야드, 항만용 Wearable 디바이스, 스마트 부표가 위치해 있으며, 최우선 도입영역에 위치한 요소보다 후발적으로 적용이 필요할 것으로 판단된다.

점진적 도입영역에 위치한 요소는 AQC, Berth, AGV, ASC, Apron, 자동계류기이며, 점진적으로 적용해야 할 것으로 판단된다. 저순위 도입영역에는 OSS 장비, 인터모달 연계시설, 지능형 드론, 위험물 장치장이 위치해 있으며, 다른 요소보다 상대적으로 낮은 도입 우선순위를 갖는 것으로 판단된다.

컨테이너 터미널의 디지털 트윈 적용 요소들의 상대적 중요도 및 시급성 분석 결과 최우선 도입영역에 위치한 요소들의 우선 도입을 위한 정책 시행이 필요할 것으로 판단된다. 이후 도입 시급성은 높지만, 상대적으로 중요도가 떨어지는 요소들의 도입 검토가 필요하다. 점진적 검토 영역과 저순위 영역에 위치한 요소들은 도입 시급성이 상대적으로 떨어져 디지털 트윈 전환의 낮은 우선순위를 갖는다.



Fig. 4 Analysis result of importance-performance analysis

## 5. 결 론

디지털 트윈 기술은 물리적 대상의 형태와 특성을 가상의 디지털 공간으로 구현하는 기술로, 4차 산업 시대를 이끌어갈

미래 기술로 주목받고 있다. 디지털 트윈 기술은 제조분야를 중심으로 적용되어 도시/건설, 에너지, 교통, 물류 등의 분야로 적용 영역이 점차 확장되는 추세이다.

항만 분야에서의 디지털 트윈 기술 적용은 자동화 항만에서 4차 산업 기술 기반의 스마트 항만으로 전환이 가속화되면서 구체적인 적용방안에 대한 논의가 진행되고 있다. 하지만 기존 선행연구를 검토한 결과 컨테이너 터미널을 대상으로 한 디지털 트윈 기술의 적용에 관한 연구는 미비한 실정이다. 컨테이너 터미널에서의 디지털 트윈 기술 적용이 가시화되는 지점이 국내 컨테이너 터미널의 운영 현실에 맞는 우선 도입 분야를 고려해야 하는 중요한 시기라고 판단된다.

디지털 트윈은 도입 분야의 자원 및 공간을 디지털로 전환하여 효율적인 유지, 보수, 관리, 운영 등을 도모하는 것으로 본 연구에서는 디지털 트윈의 컨테이너 터미널 적용을 위하여 항만 장비 및 시설을 중심으로 AHP를 통해 도입 우선순위를 선정하였다. 또한 IPA 분석을 통하여 세부요소의 도입 시급성을 도출함으로써 기존 연구의 부족함을 보완하고 연구의 차별성을 꾀하였다.

본 연구에서는 컨테이너 터미널에서 디지털 트윈 기술 적용 가능 분야의 중요도를 도출하기 위하여 항만 전문가 집단을 대상으로 설문조사를 실시하였다. 평가요인은 3개 분야, 9개 요인, 20개 요소를 선정하여 AHP 기법을 사용하여 각각의 중요도를 분석하였다. AHP 분석을 통해 컨테이너 터미널에서의 디지털 트윈 기술 적용 가능 분야의 중요도를 분석한 결과 각 분야의 중요도가 항만 장비 0.702, 항만 시설 0.217, 항만 운영 0.081 순으로 나타났다.

항만 장비 분야를 구성하고 있는 요인 간 상대적 중요도는 안벽 장비 0.653, 이송장비 0.247, 야드장비 0.100 순으로 나타났다. 세부 요소의 최종 중요도는 AQC 0.526, AGV 0.163, 자동계류기 0.127, ATC 0.075, ASC 0.060 등의 순으로 나타났다.

항만 시설 분야를 구성하고 있는 요인 간 상대적 중요도는 안벽 0.662, 장치장 0.250, 연계 수송시설 0.088 순으로 나타났다. 세부 요소의 최종 중요도는 Berth 0.519, 컨테이너 야드 0.184, Apron 0.143, 인터모달 연계시설 0.062, 위험물 장치장 0.044 등의 순으로 나타났다.

항만 운영 분야를 구성하고 있는 요인 간 상대적 중요도는 보안 0.609, 안전 0.305, 방재 0.086 순으로 나타났다. 세부 요소의 최종 중요도는 지능형 CCTV 0.470, 항만용 Wearable 디바이스 0.241, 자율주행 드론 0.139, 스마트 컨테이너 0.071, VR/AR 기기 0.064 순으로 나타났다.

컨테이너 터미널의 디지털 트윈 기술 적용 분야의 상대적 중요도를 반영한 세부 요소 간 중요도 분석 결과 AQC가 36.9%로 매우 높은 중요도를 보였으며 이어서 AGV 11.5%, Berth 11.3%, 자동계류기 8.9%, ATC 5.3% 등의 순으로 나타났다.

중요도 분석 결과 항만 장비 분야의 중요도가 매우 높게 나타났다. 정부는 현재 국내 기술 중심의 자동화 항만 도입을 위

해 항만 하역 장비 자동화 기술의 국산화를 추진 중으로 완전 자동화 기술뿐만 아니라 항만 하역 장비의 디지털 전환 기술 개발이 병행되어야 할 것으로 판단된다.

IPA 분석을 통해 디지털 트윈 기술의 도입 시급성을 평가한 결과 시급 도입 분야는 ATC, 컨테이너 야드, 지능형 CCTV로 나타났다. 도입 시급성이 높은 요소는 지능형 CCTV와 같이 현재 컨테이너 터미널에 적용 가능한 기술이거나, ATC, 스마트 야드와 같이 싱가포르, 두바이 등 해외항만에서 디지털 전환 적용 사례가 있는 경우이다.

분석 결과를 종합하면, 컨테이너 터미널의 디지털 전환 기술 도입을 위해서는 장기적인 관점에서 단계적인 적용 전략 수립이 필요하며, 주요 장비의 기술 개발과 함께 현재 적용 가능한 기술의 우선 도입이 필요할 것으로 판단된다. 컨테이너 터미널의 디지털 전환으로 부두 건설에서부터 운영과정의 유지관리까지 전 주기의 항만 관리체계 구축이 필요하며, 이를 통해 컨테이너 터미널의 생산성, 안정성을 제고하고 파손, 안전사고 등을 사전에 차단하여 경쟁력을 제고할 필요가 있을 것으로 판단된다.

## References

- [1] Cha, S. H. and Noh, C. K.(2018), "A Study on Application of Yard Transportation Equipment Automation System in the Container Terminal", *Journal of Navigation and Port Research*, Vol. 42, No. 3, pp. 217-226.
- [2] Cho, S. W. and Won, S. H.(2020), "A Study on the Promotion Strategies of Automated Container Terminal", *Korea Logistics Review*, Vol. 30, No. 5, pp. 63-75.
- [3] Choi, S. H. et al.(2009), "A Study on the Establishment of the Technology Road Map for Container Ports in Korea - Focusing on the Logistics and the Handling Equipment in Ports -", *Journal of Navigation and Port Research*, Vol. 33, No. 3, pp. 199-206.
- [4] Han, D. G. and Sun, A. S.(2014), "A Study on Priority of residential environment factors according to the Urban-life Housing type", *The Geographical Journal of Korea*, Vol. 48, No. 2, pp. 231-244.
- [5] Hofmann, W. and Branding, F.(2019), "Implementation of an IoT- and Cloud-based Digital Twin for Real-Time Decision Support in Port Operations", *IFAC Papers Online*, Vol. 52, No. 13, pp. 2104-2109.
- [6] Hong, D. H. and Sun, S. K.(2010), "Road-Map for Automation Technology Development of Port Equipment's ATC", *The Journal of the Korea Contents Association*, Vol. 10, No. 12, pp. 109-119.
- [7] Jeon, S. H. et al.(2020), "A Study on the Applicability of IoT for Container Terminal", *The Korea Port Economic Association*, Vol. 32, No. 2, pp. 1-17.
- [8] Jeong, S. J. and Kim, I. S.(2015), "A Study on Analysis of Personal Information Risk Using Importance-Performance Analysis", *The Journal of The Institute of Internet*, Vol. 15, No. 6, pp. 267-273.
- [9] Kim, H.(2007), "A Study on the Efficiency of RFID Application in Container Terminal", *Korea Maritime and Ocean University*, PhD Dissertation.
- [10] Kim, Y. H. and Kang, Y. K.(2020), "A Study on the Development of the Data Linkage Method for Performance-based on Port Facility Maintenance Decision Marking System", *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, Vol. 21, No. 11, pp. 9-18.
- [11] Kim, Y. S. and Lee, S. H.(2013), "Research on the Importance and Satisfaction of Selection Attribute for Pension using Importance-Performance Analysis(IPA)", *The Journal of the Korea Contents Association*, Vol. 13, No. 3, pp. 392-401.
- [12] Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology(2018), "A preliminary Study on KICT digital Twin Technology", pp. 5-9.
- [13] Korea Research Institute for Human Settlements(2018), "KRIHS POLICY BRIEF", No. 661, pp. 1-6.
- [14] Lim, J. W. et al.(2018), "A Study on Performance Model for Establishing Strategies of Port Facilities Maintenance", *Magazine of The Korean Society of Hazard Mitigation*, Vol. 18, No. 7, pp. 359-367.
- [15] Ministry of Oceans and Fisheries(2005), "Development of Next Generation Technical Standards for Port & Harbor Structures", pp. 17-20.
- [16] Saaty, T. L.(1980), *The Analytic Hierarchy Process*, McGraw-Hill, New York.
- [17] Szpytko, J. and Yorlandys, S. D.(2019), "Digital Twins Model for Cranes Operating in Container Terminal", *IFAC Papers Online*, Vol. 52, No. 20, pp. 25-30.

Received 03 December 2020

Revised 17 December 2020

Accepted 28 December 2020