
디지털 공급사슬 물류정보통합 구축전략 연구(Ⅲ)

Strategy for the Integration of Logistics Information in
Digital Supply Chain (Ⅲ)

서정용 · 이언경 · 조지성 · 정인희 · 김효재



한국해양수산개발원
KOREA MARITIME INSTITUTE

저자	서정용, 이연경, 조지성, 정인희, 김효재				
내부연구진	연구책임자	서정용	한국해양수산개발원	항만연구본부	전문연구원
	공동연구원	이연경	한국해양수산개발원	항만연구본부	연구위원
	공동연구원	조지성	한국해양수산개발원	항만연구본부	전문연구원
	공동연구원	정인희	한국해양수산개발원	항만연구본부	연구원
	공동연구원	김효재	한국해양수산개발원	항만연구본부	연구원

연구기간 2021. 4. 14. ~ 2021. 10. 31.

보고서 집필내역

연구책임자	서정용 연구총괄, 제1장, 제2장, 제3장, 제4장, 제5장
내부연구진	이연경 제5장 제2절
	조지성 제2장 일부
	정인희 제2장 일부
	김효재 제2장 일부

산·학·연·정 연구자문위원	전용식 ㈜엔지엘 이사 채준재 한국항공대학교 교수
---------------------------	-------------------------------

※ 순서는 산·학·연·정 순임

발간사

4차 산업혁명기술의 발전에 힘입어 공급사슬의 디지털화 역시 많은 관심을 받고 있다. 클라우드 컴퓨팅이나 빅데이터 분석, 인공지능, 사물인터넷, 블록체인 등 다양한 기술이 빠른 속도로 발전하고 있고, 공급사슬과 융합해 경쟁력을 높이려는 움직임이 활발하다. 디지털화는 4차 산업혁명기술 활용의 기초를 구축하는 첨병이자, 핵심 과제로 여겨지며, 비즈니스 모델 전환과 연계될 수 있다. 디지털 전환 추세에 따라 비즈니스 모델을 완전히 전환한 조직은 고객의 적극적인 구매를 유도할 수 있으며, 경쟁사와 비교해 26% 높은 이익을 얻었다는 연구 결과가 발표됐다. 이는 디지털 전환이 공급사슬 참여 주체의 상호작용을 유도하고, 의사결정을 지원해 운영효율성을 강화하며, 궁극적으로 고객만족도를 증가시키기 때문이라 볼 수 있다.

머스크와 IBM이 합작한 트레이드렌즈(TradeLens)는 해상뿐 아니라 공급사슬 전반의 디지털화를 달성한 성공적인 사례로 평가받고 있다. 이는 대형선사 머스크 주도로 다른 선사들 비롯한 포워더, 터미널운영사, 육상운송사 등이 참여하는 공급사슬 정보공유 플랫폼으로 물류 가시성과 신뢰성, 그리고 효율성을 증대하는 데 이바지하고 있다. 특히, 코로나19로 인해 비대면 활동의 가치가 급부상한 현재 시점에서는 다양한 기관이나 기업 등이 트레이드렌즈와 같은 공급사슬 디지털화에 더욱 많은 관심을 보이고 있다.

우리나라의 경우, 항만을 통한 대외무역 의존도가 높은 만큼 항만을 중심으로 하는 컨테이너 공급사슬의 발전에 많은 관심을 가져왔다. 작업자의 피로를 감소시키고, 작업 효율을 증가시키는 원격 조종 항만 하역 장비의 투입, 컨테이너 반출입의 효율을 향상하는 차량 반출입 예약시스템의 도입, 항만 공사 주도의 빅데이터 플랫폼 개발 및 운영 등이 이러한 관심을 방증한다고 볼 수 있다. 현재도 해양수산부를 비롯한 정부 부처와 항만공사 등 여러 기관에서 공급사슬 디지털화 정책을 수립하고, 사업을 수행하고 있으며, 한국해양수산개발원 등 연구기관에서는 지속해서 관련 연구를 하고 있다.

이와 같은 관심에도 불구하고, 아직 공급사슬의 디지털화는 만족스러운 수준에 다다르지 못했다. 여러 이유가 존재하겠으나 가장 대표적인 이유는 공급사슬의 각 주체

가 수집·보유한 데이터와 정보가 적절한 통합관리, 운영 및 공유가 되지 않기 때문이다. 일부 공급사슬 참여자 간 데이터와 정보의 이동은 전화나 종이 등 전통적인 방식에 의존하는 경우가 있고, 일부 프로세스의 경우 정보교환 자체가 수행되지 않아 현장의 변화에 즉각적으로 대응할 수 있는 체계가 마련되어 있지 않다.

본 연구는 본원에서 2019년부터 3년 동안 수행한 연구과제로, 1차년도 연구에서는 항만 수출입 물류에 관여하는 이해관계자를 파악하고, 이들을 하나로 엮은 물류정보 흐름도를 작성했다. 2020년에 수행한 2차년도 연구에서는 항만 컨테이너 공급사슬 내 주요 이해관계자들의 업무상 데이터와 정보전달 방식을 파악 및 유형화하고, 이들을 1차년도 연구에서 도출한 물류정보 흐름도에 반영했다. 동시에 데이터와 정보전달 방식의 빈도와 비중을 파악·분석해 상대적으로 디지털화가 시급한 영역을 확인했다.

올해 수행한 3차년도 연구는 지난 3년의 연구를 마무리한 결과물이다. 공급사슬 디지털화의 사례나 평가 등 핵심 문헌을 검토하고, 디지털화가 시급한 영역인 터미널 컨테이너 반출입 프로세스 현황을 조사·분석했다. 디지털화를 통해 현안을 해결할 수 있는 반출 프로세스를 심화 분석대상으로 선정했으며, 애로사항 기반의 디지털화 대안을 도출한 후, 이에 대한 정량적 효과를 모의실험을 통해 상세히 제시했다. 마지막으로, 공급사슬 디지털화를 위해 정부 부처나 이해관계자가 추진해야 할 디지털 공급사슬 물류정보통합의 단계별 구축전략과 정책을 결론에 제시했다.

본 연구는 항만연구본부 첨단항만연구실의 서정용 전문연구원을 비롯한 이연경 연구위원, 조지성 전문연구원, 정인희 연구원, 김효재 연구원이 참여했다. 본 연구 과정에서 아낌없는 조언과 자문을 주신 (주)엔지엘의 전용식 이사님과 한국항공대학교 채준재 교수님, 향후 정책추진 방향 마련에 도움을 주신 해양수산부 관계자분들께도 큰 감사의 말씀을 전한다.

2021년 12월
한국해양수산개발원
원장 김 종 덕

목차

요약 _ i

Executive Summary _ xi

01	서론 _1	
	제1절 연구 배경 및 목적	1
	1. 연구 배경	1
	2. 연구 목적	5
	제2절 연구범위 및 방법론	6
02	공급사슬 디지털화 문헌검토 _9	
	제1절 공급사슬 및 디지털 공급사슬 정의와 배경	9
	제2절 공급사슬 디지털화 사례	21
	제3절 공급사슬과 디지털 공급사슬 평가	35
	제4절 시사점	41
03	컨테이너 반출입 현황 및 디지털화 방안_43	
	제1절 반출입 프로세스 현황	43
	1. 컨테이너 반출 프로세스	44
	2. 컨테이너 반입 프로세스	47
	3. 부산항 컨테이너 반출입 세부 현황	48
	제2절 애로사항 및 디지털화 대안	51
	1. 반출입에서의 애로사항	51
	2. 디지털화 대안	65

04	컨테이너 반출 프로세스 디지털화 분석_69	
	제1절 모의실험을 위한 반출 프로세스 재정의	70
	제2절 모의실험	74
	제3절 공급사슬 디지털화 효과분석	85

05	결론_99	
	제1절 요약	99
	1. 3차년도 연구	99
	2. 1차년도, 2차년도 연구	101
	제2절 디지털 공급사슬 물류정보통합 구축전략 및 정책	107
	1. 수출입 컨테이너 공급사슬 디지털화 구축 단계	108
	2. 정책제언	119
	제3절 연구의 한계점 및 향후 연구	128

	참고문헌_131	
--	-----------------	--

표 목차

〈표 1-1〉 로테르담항 디지털화 정량적 효과	3
〈표 2-1〉 핵심 성과지표에 영향을 주는 잠재적 기술 목록 조사 양식 및 예시(참고: 부두에서의 트럭 시간 감소)	12
〈표 2-2〉 교통·물류에서의 기술과 성과지표 간 관계	13
〈표 2-3〉 공급사슬의 기회 및 위협 요인	14
〈표 2-4〉 전통적 공급사슬과 디지털 공급사슬의 차이	17
〈표 2-5〉 선행연구별 디지털 공급사슬 정의 요약	20
〈표 2-6〉 공급사슬 선정 수리모형에서의 인덱스, 변수 및 파라미터 정의	38
〈표 2-7〉 선행연구 대비 본 연구의 차별성	42
〈표 3-1〉 컨테이너 반출입 애로사항 및 원인 요약	64
〈표 3-2〉 반출 디지털화 대안 정리	66
〈표 4-1〉 분석을 위한 반출 프로세스 재정의 및 단계별 핵심사항 요약	72
〈표 4-2〉 모의실험 파라미터 요약	76
〈표 4-3〉 야드크레인 제원	80
〈표 4-4〉 삼각분포 적용 확률	83
〈표 4-5〉 20ft 컨테이너 제원	83
〈표 4-6〉 모의실험 시나리오 정리	87
〈표 4-7〉 실험결과 요약(디지털화 적용 전)	89
〈표 4-8〉 실험결과 요약(디지털화 적용 후)	90
〈표 4-9〉 디지털화 적용 전과 후 비교(종합)	91
〈표 4-10〉 디지털화 적용 전과 후 비교(평가지표 값 차이 및 감소율)	92
〈표 4-11〉 트럭 도착 분포에 따른 비교	93
〈표 4-12〉 본선-반출입 작업비율에 따른 비교	94
〈표 4-13〉 평균 단적 차이에 따른 비교	95
〈표 5-1〉 선사 주요 서비스	112
〈표 5-2〉 국내 공급망 구조적 문제점	113
〈표 5-3〉 해상-항만-내륙물류 디지털화 관련 정책과 연계 내용	123

그림 목차

〈그림 1-1〉 디지털 전환 기술 시장 전망(2020년 → 2025년)	2
〈그림 2-1〉 전통적인 공급사슬 모형	15
〈그림 2-2〉 통합된 공급사슬 생태계	16
〈그림 2-3〉 디지털 기술 및 Supply Chain 4.0	18
〈그림 2-4〉 공급사슬 회복탄력성(SCRES) 프레임워크(Framework)	19
〈그림 2-5〉 스마트 포트 서비스 시스템 개요	21
〈그림 2-6〉 디지털 기술(블록체인) 적용 시, 항만물류 수입 정보 흐름도	22
〈그림 2-7〉 중소기업의 4차 산업혁명 및 공급사슬 4.0 실행	23
〈그림 2-8〉 일반적인 접근(환경, 참고모형, 활용 측면)	24
〈그림 2-9〉 금속 중소기업을 위한 의사결정 모형	25
〈그림 2-10〉 가치 고리	27
〈그림 2-11〉 디지털 기술 적용 개념도(제조업)	30
〈그림 2-12〉 전통적 소매 공급사슬과 디지털 소매 공급사슬 구조 비교	31
〈그림 2-13〉 디지털 공급사슬 개념도(소매업)	32
〈그림 2-14〉 디지털 공급사슬 개념도(식품업)	33
〈그림 2-15〉 디지털 공급사슬 기대효과	34
〈그림 2-16〉 선행연구에서의 공급사슬 평가 방법	35
〈그림 2-17〉 공급사슬 평가 관련 선행연구에서의 데이터 출처	39
〈그림 3-1〉 운송사의 배차업무와 운송시간	45
〈그림 3-2〉 근거리 운송의 배차업무	46
〈그림 3-3〉 부산항 10개 터미널 기준 2020년 7월 운송 거리에 따른 반출입 현황 ..	50
〈그림 3-4〉 본선 작업이 발생하는 장치장 블록의 반출 불가 처리	53
〈그림 3-5〉 터미널 반출입 작업 프로세스, 작업시간 및 작업시간 결정요소	56
〈그림 3-6〉 반출입 작업 지연회피를 위한 작업조정	57
〈그림 3-7〉 야드 블록별 예상 작업 수량	58
〈그림 3-8〉 블록, 시간대별 턴어라운드 타임	60
〈그림 3-9〉 블록, 시간대별 턴어라운드 타임의 불균형	61
〈그림 3-10〉 혼잡도 높은 블록의 반출입 처리물량	62
〈그림 3-11〉 혼잡 블록과 인접 블록의 턴어라운드 타임과 동시간대 도착 컨테이너 수 ..	63
〈그림 3-12〉 반출 프로세스 디지털화 대안 개념도	67

〈그림 4-1〉 야드 블록 구성	73
〈그림 4-2〉 ExtendSim 프로세스 도식화 예시	75
〈그림 4-3〉 워업 기간	78
〈그림 4-4〉 야드크레인 세부 명칭	81
〈그림 4-5〉 실수 삼각분포와 단적(자연수) 삼각분포	82
〈그림 4-6〉 선광인천컨테이너 터미널 평면 배치도	84
〈그림 4-7〉 모의실험 시나리오 조합	86
〈그림 4-8〉 ExtendSim 모델 스크린 샷	88
〈그림 5-1〉 항만 컨테이너 공급사슬 정보지도(1차년도, 수입 부문)	102
〈그림 5-2〉 항만 컨테이너 공급사슬 정보지도(2차년도, 수입 부문)	103
〈그림 5-3〉 예약 요청 등록 업무절차	105
〈그림 5-4〉 컨테이너 수출 업무에서의 화주(또는 포워더) 중심 데이터·정보 이동 ..	106
〈그림 5-5〉 수출입 컨테이너 공급사슬 디지털화 구축 단계	110
〈그림 5-6〉 장치·보관 서비스별 관련 주체 및 화물취급·운송기능 정보 정의	111
〈그림 5-7〉 터미널운행사 수출지도 및 공급사슬 수출 통합지도	113
〈그림 5-8〉 터미널운행사 수입 업무 순서도(상) 및 정보전달방식(하)	114
〈그림 5-9〉 트럭 반출입 대기 발생 원인(좌) 및 디지털화 방안(우)	117
〈그림 5-10〉 모의실험 모형	119
〈그림 5-11〉 디지털공급사슬 통합정보센터의 거버넌스 체계	125

약어 목록

- 3DP(3D 프린팅): 3-dimensional Printing
- AHP(계층화 분석법): Analytical Hierarchy Process
- AIDC(자동식별 및 데이터 캡처): Automatic Identification and Data Capture
- APICS(미국 생산 및 재고관리 협회): American Production and Inventory Control Society
- AR(증강현실): Augmented Reality
- ASCM(공급사슬관리 협회): Association for Supply Chain Management
- BD(빅데이터): Big Data
- BI(업무지능화): Business Intelligence
- B/L(선하증권): Bill of Lading
- BRT(베이-로우-티어): Bay-row-tier
- CBR(사례 기반 추론): Case Based Reasoning
- CC(클라우드 컴퓨팅): Cloud Computing
- CFS(컨테이너 화물 조작장): Container Freight Station
- COPINO(사전반출입정보): Container Pre-notification Message
- DCSA(디지털 컨테이너운송협회): Digital Container Shipping Association
- D/O(운송오더 또는 화물인도지시): Delivery Order
- DSC(디지털 공급사슬): Digital Supply Chain
- EDI(전자문서교환): Electronic Data Interchange
- ERP(전사적 자원관리): Enterprise Resource Planning
- GR(일반화 추론): General Reasoning
- GRAI: Graphs with Results and Actions Inter-related
- IAT(차량 도착 간격): Inter-arrival Time
- IBCS(컨테이너 운송 청사진): Industry Blueprint-Container Shipping
- ICT(정보통신기술): Information and Communication Technology

-
- IoT(사물인터넷): Internet of Things
 - KPI(핵심성과지표): Key Performance Indicator
 - M2M(사물통신): Machine to Machine
 - MCDM(다기준 의사결정론): Multi-criteria Decision Making
 - OC(옴니채널): Omni Channel
 - PM(예방 정비): Preventive Maintenance
 - RFID(전자식별): Radio Frequency Identification
 - SCM(공급사슬관리): Supply Chain Management
 - SCOR(공급사슬운영 참조모형): Supply Chain Operations Reference
 - SICT(선광인천컨테이너터미널): Sun-kwang Incheon Container Terminal
 - ST(센서기술): Sensor Technology
 - TT(턴어라운드 타임): Turn-around Time
 - UAV(무인항공기): Unmanned Aerial Vehicle
 - VR(가상현실): Virtual Reality

요약

1. 연구목적

- 본 연구는 2019년부터 시작된 『디지털 공급사슬 물류정보통합 구축 전략 연구』의 마지막 단계인 3차년도 연구로, 항만 컨테이너 수출입 공급사슬 디지털화의 정량적 편익과 물류정보통합 단계별 구축전략을 제시해 공급사슬 디지털화를 가속하는 것을 목적으로 함

2. 연구 방법 및 특징

1) 연구 방법

- 국내외 논문이나 연구보고서, 인터넷 자료 등을 참고해 공급사슬 디지털화 전반에 대한 문헌조사를 수행
 - 10개의 국내 문헌, 50개 이상의 국외 문헌을 조사 및 분석함
 - 약 15개의 인터넷 자료를 탐색 및 활용함

-
- 항만을 중심으로 수출입되는 컨테이너의 공급사슬 현황을 파악하고, 디지털 공급사슬 물류정보통합 구축전략을 수립하기 위해 현장 관계자 면담 조사와 전문가 자문을 수행함
 - 항만·물류 데이터 및 정보 분야 전문가 면담 조사 및 자문을 수행함
 - 터미널운영사, 선사 등 관계자 면담 조사를 수행함
 - 분석대상이 되는 컨테이너 반출 프로세스의 디지털화를 정량적으로 평가하기 위해 ExtendSim 기반 모의실험을 수행함
 - 컨테이너 반출 프로세스의 디지털화 전·후를 상이한 트럭 도착분포, 본선-반출입 작업비, 평균 단적 수를 적용해 24개의 실험 시나리오를 설정함
 - 프로세스 분석에 특화된 ExtendSim을 활용해 상기한 24개의 실험 시나리오에 해당하는 컨테이너 반출 프로세스를 분석함

2) 특징

- 공급사슬 디지털화와 관련해 i) 공급사슬 및 디지털 공급사슬 정의와 배경, ii) 공급사슬 디지털화 사례, iii) 공급사슬 및 디지털 공급사슬 평가로 세부 분야를 나눠 문헌 검토를 수행하고 시사점 도출

〈요약 표 1〉 선행연구 대비 본 연구의 차별성

차별 영역	본 연구	선행연구
연구 대상	항만 컨테이너 공급사슬 내 반출 프로세스	항만물류, 해운, 제조업, 소매업, 식품업 등 다양한 분야의 연구 수행(제2절 참조)¹⁾
연구 목적 및 주요내용	(목적) 현장 기반의 실질적 디지털화 대안을 제시하고, 이를 정량적으로 평가해 디지털화의 정량적 효과를 검증함으로써, 산업의 디지털화 촉진 기여 (주요내용) 컨테이너 반출입 현황 파악 및 분석, 컨테이너 반출입 애로사항 도출, 컨테이너 반출 디지털화 대안 정립¹⁾, 기대효과 도출, 정책제언	- Botti <i>et al.</i>(2017): 항만 스마트 서비스 시스템의 개념적 정의 제안 - Weernink <i>et al.</i>(2017): 블록체인 기술 도입을 통한 항만의 디지털화 전략 및 이에 대한 긍정적인 기대효과 제시 - Kapkaeva <i>et al.</i>(2020): 함부르크 항만의 디지털화를 정보 흐름 측면에서 제시 - 이상윤·임태건(2020): 물류/해운물류 부문의 블록체인 기술 적용 현황, 도입 제약요인, 개선방향 등을 제안 - 선화·김현덕(2019): 블록체인기술의 물류산업 도입에 대한 긍정적인 기대효과 및 적용 한계 제시
연구 방법	- 선행연구 검토 - 사례분석 - 전문가 인터뷰 - 모의실험을 위한 대안 모형화 - 모의실험 수행 및 분석 - 정책제언	- Botti <i>et al.</i>(2017): 선행연구 검토, 이론적 고찰, 사례분석 - Weernink <i>et al.</i>(2017): 선행연구 검토, 사례분석 - Kapkaeva <i>et al.</i>(2020): 선행연구 검토, 사례분석, TOGAF(The Open Group Architecture Framework) - 이상윤·임태건(2020): 선행연구 검토, 사례분석, 토픽모델 - 선화·김현덕(2019): 선행연구 검토, 이론적 고찰, 전문가 인터뷰, 사례분석
종합	항만 컨테이너 공급사슬 내 디지털화 범위를 한정하고, 애로사항 기반의 대안 도출과 모의실험을 통한 정량적 효과를 제시한 연구는 부재함	

- 대부분의 공급사슬 디지털화 연구와는 달리 현장 애로점 기반의 현실적·세부적인 디지털화 대안을 제시하고 모의실험을 수행해 정량적 효과를 제시

1) 반입보다 반출에서의 애로사항이 더 심각함을 서술해 디지털화의 범위를 반출로 한정함

3. 연구 결과

1) 컨테이너 반출 프로세스 디지털화 대안

- 컨테이너 반출 프로세스의 디지털화 대안은 반출 트럭이 터미널에 진입하기 전 확정 도착 정보를 터미널운영사에 공유하도록 함으로써 반출을 위한 사전작업(Re-handling)을 가능토록 해 반출 업무의 효율성을 제고함
- 반출 디지털화 대안은 i) 행위 또는 정보의 흐름, ii) 이동객체 및 iii) 디지털화 관련 사항에 따라 세부적으로 표현할 수 있음

〈요약 표 2〉 반출 디지털화 대안 정리

행위 또는 정보 흐름	이동 객체	디지털화 관련 사항
화주 → 선사	• 운송 비용	-
선사 → 운영사	• 예약 정보(수출)	
	• 화물 인도 지시(수입)	
화주(또는 선사) → 운송사	• 반출·반입 주문	
운송사 → 운영사	• 운송 및 배차정보	• 업무에 관한 정보 공유
운전기사 → 운영사	• 트럭 도착 예정 시간	• 운송 당일 운전기사의 스마트폰을 통한 실시간 확인 • 도착 시간은 다소 차이가 존재할 수 있으나, 순서는 지켜지도록 함 • 빅데이터, 기계학습 등 첨단기술을 활용한 예측 고도화 • 상기한 사항을 기반으로 반출 업무 효율화를 위한 사전 리핸들링 수행

2) 모의실험 결과

- 모의실험은 디지털화 여부, 트럭 도착 간격(100초, 130초), 본선-반출입 비율(5:5, 6:4, 7:3), 평균 단적 수(3.5, 5.0)를 기준으로 24개의 시나리오를 도출함
 - 디지털화는 트럭 도착 확정 정보를 트럭 도착 1시간 전 터미널운영사에 공유해 야드크레인이 유티 시 사전 리핸들링을 수행토록 하지만, 적용되지 않을 때는 도착 시점에 확정 정보를 확인함
 - 트럭의 도착 간격은 100초, 130초로 각각 설정됐으며, 이는 크레인 활용률이 0.8, 0.6을 만족하는 수치로 Trial & Error로 확인함
 - 본선-반출입 비율은 전문가 자문을 통해 3개의 시나리오를 도출함
 - 평균 단적 수는 현장 관계자 면담조사와 대상 터미널의 베이-로우-티어 시스템 기준 최대 티어를 적용함
- 모의실험을 기준으로 디지털화는 차량의 평균 대기시간이 53%, 차량의 체류시간 17% 감소시키는 개선 효과를 보임
 - 디지털화를 통한 대기시간의 감소는 야드크레인의 활용률이 낮을 때 더 두드러졌으며, 이는 야드크레인의 유티시간이 확보될수록 반출작업을 위한 사전 리핸들링을 수행할 수 있기 때문으로 볼 수 있음(디지털화 대안 기준 트럭 도착 간격이 130초인 경우 평균 대기시간 감소율은 약 57%, 100초인 경우 49%의 감소율을 보임)
 - 이에 반해, 트럭 도착 간격이 130초인 경우 평균 체류시간 감소율이 약 13%, 100초인 경우 22%로 나타남
 - 이는 차량 도착이 빈번하면 크레인에 대기하는 트럭 대기행렬이 길어지고 전체 체류시간에서 대기시간이 차지하는 비중이 늘어나므로, 대기시간이 줄어들에 따라 상대적으로 체감하는 체류시간 감소가 큰 것으로 유추할 수 있음

3) 디지털 공급사슬 물류정보통합 구축전략

- 디지털 공급사슬 물류정보통합 구축전략은 총 3단계로 구성되며, 1단계에서는 컨테이너 수출입 공급사슬 생태계를 파악함
 - 정보서비스 종류(내륙운송, 장치·보관, 통관·검역, 선적·하역, 입출항서비스)에 따른 5대 공급사슬 주체(화주 등의 무역거래기능, 터미널운영사, 선사 등의 화물취급·운송기능, 해양수산부, 관세청 등의 관리기능, 농림축산검역본부 등의 감시기능, 항만물류지원 및 정보시스템 기능)를 파악
 - 공급망 주요 영역(항만, 해상, 도로 및 철도운송, 금융 및 물류당국)별 제공 가능한 정보와 서비스 항목 등을 조사하고, 수출입 공급사슬 생태계 상의 실시간 정보공유, 거버넌스 부족 등의 구조적 문제점을 파악
 - 2개 핵심 서비스(무역거래기능, 화물취급·운송기능)와 6개 주체(CFS 운영사, 화주, 포워더, 터미널운영사, 내륙운송사, 선사)를 중심을 수출입 및 통합 정보지도를 구성
- 2단계에서는 컨테이너 수출입 공급사슬 정보연계 수단 및 디지털화 수준을 분석함
 - 1단계의 수출입 플랫폼 지도를 업무 프로세스 관점에서 상세하게 정보흐름을 도식화하고, 전달 정보 종류와 형태(선적요청서, 수출신고서, 상업송장, 선하증권 등)를 파악한 후, 관련 주체 간 정보 전달방식(종이, 전화, 팩스, 메일, EDI, 모바일, 웹)을 구체화함
 - 수출입 송수신 주체별(화주/포워더, 터미널운영사, 선사, 육상운송사 등) 정보전달 방식 빈도수에 따른 디지털화 비율을 분석함
 - 수출입 송수신 주체별 디지털화 니즈 및 애로사항을 파악하여 우선 디지털화 모형을 구축해야 하는 대상을 선정함

- 3단계에서는 컨테이너 수출입 공급사슬 디지털화 모형을 구축하고 효과를 분석함
 - 먼저 디지털화 모형을 구축해야 하는 대상으로 선정된 트럭 반출입 프로세스에 대한 디지털화 현황 조사 및 디지털 방안을 탐색함(단, 이는 다양한 이해관계자의 니즈에 따라 다른 대상이 선정될 수 있음)
 - 모의실험 기반 트럭 반출입 프로세스의 디지털화 효과를 분석함
 - 상기 분석을 토대로 디지털화의 정량적 효과를 확인한 후, 이해관계자의 니즈에 따라 나머지 공급사슬 프로세스에 대한 디지털화 모형을 구축하고 효과를 분석함

4) 정책제언

- 디지털 공급사슬 구축 방안을 실행하기 위한 구축전략과 이행방안이 마련돼야 하며, 이를 위해 공급사슬 디지털화를 위한 핵심 국정과제와의 연계로 시작되는 네 가지의 정책을 제언함

〈요약 표 3〉 해상-항만-내륙물류 디지털화 관련 정책과 연계 내용

구분	디지털 공급사슬 부분			연계 내용
	해운	항만	내륙	
수출입 물류 스마트화 추진 방안-해상물류를 중심으로(2020)	✓	✓	✓	• 선박입출항정보 • 항만 작업시간 • 트럭 반출입 정보
스마트 해운물류 확산 전략(2021)		✓	✓	• 트럭 반출입 정보 • 지자체 교통정보
2030 항만정책 방향 및 추진전략(2020)	✓	✓	✓	• 선박입출항정보 • 화물이송 양적하 정보 • 자율주행트럭 반출입 정보
글로벌 물류선도국가 도약 추진전략-제5차 국가물류 기본계획(2021)		✓	✓	• 시설, 기업, 배송위치 등의 물류정보 • 하역부터 이송까지 정보

-
- 두 번째로 물류정보 수집·제공 및 정보연계·통합을 위한 거버넌스를 구축해야 함
 - 수출입 컨테이너 공급사슬과 같이 관련 기관과 정보 소유자가 다수 존재할 경우 총괄 시스템 관리 및 운영을 위해 ‘디지털 공급사슬 통합정보센터’ 내 ‘디지털 공급사슬 위원회’ 등을 설치함
 - 다음으로, 해당 위원회에서는 정보 수집, 가공, 활용 등이 가능한 시스템을 구축하기 위해 기획 및 투자자금을 확보하고, 정보 가명처리 및 결합 등을 위한 가이드라인 마련, 계약서 작성 등의 법제도 개선, 투자자금 마련, 참여자들이 정보를 자발적으로 공유할 수 있는 차별화된 비즈니스 모델 및 서비스를 발굴해야 함
 - 또한 정보 연계를 위해 다부처 협의와 민관협력, 정보공유, 가공 데이터 수준 및 시점을 결정하는 거버넌스 체계도 마련해야 하고, 디지털 공급사슬 위원회를 운영하기 위한 전문 인력을 양성하고 운영 성과를 관리하는 혁신지원 체계도 필요할 것으로 판단됨
 - 다음으로 공급사슬 디지털화 평가를 위한 피드백 체계를 마련해야 함
 - 정부, 민간이 주도하는 디지털플랫폼의 성과를 평가하고, 차기 디지털화 모형구축에 반영 및 투자재원의 연속 지원 여부를 결정하기 위해 평가 지침을 마련해야 함
 - 디지털 모형의 평가 지침을 마련하기 위해서는 해당 공급사슬 프로세스의 문제점을 명확히 파악하고, 이를 해결하기 위한 디지털 모형이 구축됐는지 확인할 수 있어야 함
 - 또한, 디지털 모형을 기반으로 한 모의실험을 수행하고, 현실과의 괴리를 지속적으로 추적해 개선하는 노력이 수반돼야 함
 - 네 번째로 정보와 인력 등이 통합되고, 지속가능한 성장을 추구할 수 있는 디지털 공급사슬 생태계를 구축해야 함

- 활용성이 떨어지는 디지털 공급사슬 플랫폼 구축이 아닌 참여 주체들의 자발적인 정보공유, 연계를 통해 수익이 발생하고, 이를 기반으로 전체 공급사슬의 지속가능한 성장이 이뤄지는 체계를 마련해야 함
- 디지털 정보를 기반으로 한 공급사슬 추진 목표를 설정하고, 비즈니스 전문가, 데이터 분석 전문가, 정책전문가 등의 육성을 통해 개별 기업뿐만 아니라 공급사슬 전체의 문제점과 애로사항을 파악하고, 이를 해결하는 선순환 생태계를 조성해야 함
- 선순환 체계를 위해서는 디지털 공급사슬 업무를 주도적으로 추진할 수 있는 산관학연 협력위원회(디지털 공급사슬 위원회)가 산업 육성 클러스터를 조성하는 것이 필요함
- 이러한 물리적인 디지털 산업 육성 클러스터를 기반으로 국내뿐만 아니라 글로벌 수출입 물류 데이터가 모이고, 데이터를 가공, 분석하여 판매 등을 추진하는 디지털 공급사슬 데이터 센터로 발전을 시도하는 것도 필요할 수 있다고 판단됨

EXECUTIVE SUMMARY

1. Purpose

- Now in its third year, this study, which began in 2019, aims to present quantitative benefits of digitization of the supply chain of port container exports and imports, while suggesting a phased strategy for integrating logistics information. Through these efforts, this study ultimately aims to accelerate the digitization of the supply chain.

2. Methodology and Features

1) Methodology

- Taking domestic and foreign manuscripts, research papers, and data on the Internet for use as reference, this study sought to conduct a literature review on the overall subject of digitization.

-
- Approximately 10 forms of domestic literature and more than 50 items of foreign literature were investigated and analyzed.
 - Around 15 sources of data on the Internet were searched and utilized.
 - Interviews with on-site managers and consultations with experts were carried out to understand the present status of the supply chain of containers importing and exporting from ports as well as to establish a strategy for integrating digital supply chain logistics information.
 - Interviews and consultation with experts in ports and logistics data and information were carried out.
 - In addition, those working for terminal operators and shipping companies were interviewed.
 - This study utilized an ExtendSim-based simulation in order to quantitatively evaluate the digitization of the gate-in process of containers which is a target for the analysis.
 - With regards to prior/post digitization of the container gate-in process, 24 simulation scenarios were set up by applying variables including different distributions of truck arrivals, working cost for the main ship - gate-in/gate-out and the number of average stacks.
 - Utilizing the ExtendSim, which specializes in process analysis, this study analyzed the gate-in process of containers corresponding to 24 simulation scenarios.

2) Features

- A literature review was carried out in relation to the digitization of the supply chain, drawing implications. For this purpose, the subject was sub-divided into the following three categories: i) Definition and background of a supply chain and a digital supply chain, ii) Cases of digitization of the supply chain, and iii) Evaluation of the supply chain and the digital supply chain.

〈Summary Table 1〉 Differentiation of this study from preceding studies

Differentiating areas	This study	Preceding studies
Subject	• The gate-in process within a port's container supply chain	• Conducting research on a variety of fields including the ports & logistics, shipping, manufacturing, retail sales and food industry²⁾ (Referring to paragraph 2)
Purpose and major content	• (Purpose) Suggesting field-based practical alternatives for digitization, verifying the its quantitative effect base on quantitative assessment, contributing to facilitating the digitization of the industry • (Major content) Identifying and analyzing the present status of container gate-ins/gate-outs, drawing challenges of container gate-outs, establishing alternatives of digitization of container gate-outs, drawing expected	• Botti <i>et al.</i> (2017): Suggesting the conceptual definition of port smart service system • Weernink <i>et al.</i> (2017): Presenting a digitization strategy for ports based on introduction of block-chain technology as well as expected effects in terms of quality • Kapkaeva <i>et al.</i> (2020): Presenting the digitization of Port of Hamburg from the perspective of information flows • Lee & Lim(2020): Covering the present status of application of

Differentiating areas	This study	Preceding studies
	benefits and policy suggestions	blockchain technology to logistics/shipping logistic and constraints that prevent the introduction and improvement measures • Seon & Kim (2019): Suggesting qualitative expected effects and limitations following the introduction of block-chain technology to the logistics industry
Study methods	• A review of preceding studies • Case analysis • Interviews with experts • Modelization of measures for simulations • Performing simulations and analysis • Policy suggestions	• Botti <i>et al.</i> (2017): A review of preceding studies, theoretical consideration and case analysis • Weernink <i>et al.</i> (2017): A review of preceding studies and case analysis • Kapkaeva <i>et al.</i> (2020): A review of preceding studies, case analysis and TOGAF(The Open Group Architecture Framework) • Lee & Lim (2020): A review of preceding studies, case analysis and Topic models • Seon & Kim(2019): A review of preceding studies, theoretical consideration, interview with experts and case analysis
Summary	A lack of studies that provide alternatives based on challenges as well as quantitative effects through simulations after narrowing the scope of digitization within the supply chain of port containers.	

2) The scope of digitization in this study is limited to the gate-in process as the study describes challenges of gate-in containers more serious than those of carrying-in process.

- Unlike most preceding studies regarding digitization of the supply chain, this study suggests realistic and specific alternatives of digitization based on challenges in the fields, presenting qualitative effects after performing simulations.

3. Results

1) Alternatives for the digitization of container gate-in process

- Before trucks enter terminals, confirmation information of arrivals is shared with terminal operators, allowing the re-handling process in preparation for gate-out, ultimately boosting the efficiency of the gate-out process.
- Alternatives for digitization of the gate-out process can be specified by the following three categories: i) flow of activities or information, ii) travel objects and iii) digitization relevant elements.

〈Summary Table 2〉 Summary of alternatives for digitization of gate-out containers

Flow of activities or information	Moving objects	Items relevant to digitization
Shippers → shipping companies	• Transportation cost	-
Shipping companies → Operators	• Booking information (export)	
	• Delivery order (import)	

Flow of activities or information	Moving objects	Items relevant to digitization
Shippers (or Shipping companies) → Transport companies	• Gate-in/gate-out orders	
Transport companies → Operators	• Transportation and dispatch information	• Sharing work-related information
Drivers → Operators	• Expected time of truck arrival	• Checking in real-time on the day of transportation via smartphone of a driver • Time of arrival may vary but make sure keeping the order of arrival. • Advancing the forecasts with technologies such as big data and machine learning • Performing the re-handling to improve the efficiency of gate-out works

2) The results of simulation

- A total of 24 scenarios were extracted for simulation based on whether or not digitization was implemented, the interval between arrival of trucks (100 seconds, 130 seconds), the ratio from the main ship – gate in/gate out (5:5, 6:4, 7:3) and the average number of container stacks (3.5, 5.0).
- With regards to digitization, confirmation information of truck arrivals was shared with terminal operators an hour before the arrivals, allowing yard cranes, if idle, to perform re-handling. If digitization was not applied, however, information on such arrivals was checked at the time of arrivals.

- The arrival interval between trucks was scheduled to 100 seconds and 130 seconds, which was confirmed to satisfy the crane utilization rate of 0.8 and 0.6 respectively through trial and error.
- Based on consultations with experts, 3 scenarios were extracted regarding the ratio from the main ship - gate in/gate out.
- The average number of stacks is set to be the maximum tier based on the result of interviews with field workers as well as the Bay-Row-Tier system of a target terminal.
- The results of the simulation show that digitization has the effect of reducing 53% of the vehicles' average waiting time while cutting the turnaround time by 17%.
- The reduction of waiting time through digitization was more noticeable when the utilization of yard cranes was low. What it means is that the higher the idle time of a yard crane the more likely re-handling can be performed in preparation for the gate-out process. (With digitization as an alternative measure, when the arrival interval between trucks was 130 seconds, the average waiting time was reduced by approximately 57%, while showing a 49% reduction when the interval time was 100 seconds).
- Meanwhile, when the arrival interval between trucks was 130 seconds, the average turnaround time was reduced by 13% on average, while when the interval time was 100 seconds there was a 22% reduction. The more frequent the arrival of trucks is, the longer the waiting line of trucks will be, accounting for

a higher ratio from the total turnaround time. Therefore, as the waiting time is reduced, so is the turnaround time that truck drivers actually feel.

3) Strategies for establishing the integration of logistics information in digital supply chain

- Strategies for establishing the integration of logistics information in digital supply chain consist of 3 stages. The first stage identifies the ecosystem of container export and import supply chains.
- Identifying 5 principal agents (trade transaction functions such as shippers, cargo handling/transportation functions including terminal operators and shipping companies, management functions like the Ministry of Oceans and Fisheries and the customs office, inspection functions such as Animal and Plant Quarantine Agency and port logistics support and information system functions) in accordance with type of information services (inland transportation, installation/storage, customs/inspection, loading/unloading, and port entrance/departure service)
- Investigating items of available information and services by major sector of the supply chain (maritime transportation, ports, railways and land transportation, and finance and logistics departments in charge) and identifying problems within the supply chain ecosystems of imports/exports such as the shortage of real-time information sharing as well as governance.

- ~~—~~Constructing an import/export and integrated information map centering on 2 key services (trade transaction, cargo handling and transportation) as well as 6 principal agents (shippers, CFS operators, terminal operators, shipping companies, inland transportation services and forwarders)
- The second stage analyzes modes for connecting supply chain information of container imports and exports as well as the level of digitization.
- From the perspective of working process, the information flow of the import/export platform map constructed during the first stage is displayed in diagram form. It also specifically identifies types and forms of delivering information (shipping request, export declaration, commercial invoice, B/L etc.) followed by specifying the means to deliver information (paper, telephone, fax, mail, EDI, mobile and web) between relevant parties.
- This study analyzed the ratio of digitization following the frequency of information delivery per principal agents of sending and receiving imports and exports (shippers/forwarders, terminal operators, shipping companies and land transportation companies).
- After identifying the needs and challenges per principal agents of sending and receiving imports and exports, subjects that need to construct a digitization model were selected.
- The third stage constructs a digitized model for the supply chain of container imports and exports, while analyzing its impacts.

-
- To begin with, the present status and digitization measures are investigated with regards to the gate-in/gate-out processes of trucks selected as a target for constructing a digitized model. (Different targets can be selected depending on the needs of a variety of stakeholders)
 - The effects of digitizing truck gate-in/gate-out processes were analyzed based on simulations.
 - Based on these analyses, the quantitative effects of digitization were identified. And models for the rest of the supply chain process were established depending on the needs of stakeholders and analyzed the effects.

4) Policy suggestions

- Construction strategies and implementation measures should be prepared in order to carry out measures for building digital supply chain. To attain this goal, this study proposes the following 4 policies that are connected to major national agendas.

〈Summary Table 3〉 Content in linkage to policies relevant to digitization of shipping–ports–inland logistics

Classification	Areas in digital supply chain			Linked content
	Shipping	Ports	Inland	
Measures towards Smartization of Import/Export Logistics – focusing on shipping logistics (2020)	✓	✓	✓	• Entrance/departure information of ships • Working time at ports • Gate-in/gate-out information of trucks
Strategy for Expanding Smart Shipping Logistics (2021)		✓	✓	• Gate-in/gate-out information of trucks • Traffic information by local governments
2030 Port Policy Direction and Promotion Strategy (2020)	✓	✓	✓	• Entrance/departure information of ships • Loading/unloading information of cargo transport • Gate-in/gate-out information of self-driving trucks
Implementation Strategies to become a global leading logistics nation – the 5th Basic Plan for National Logistics (2021)		✓	✓	• Logistical information such as facilities, companies and location of delivery • Information from unloading to transfer

- Secondly, the governance should be established to collect and provide logistics information as well as connect and integrate relevant information.
- When a number of relevant institutions and information owners are involved such as the supply chain of export and import containers, it is necessary to establish the Commission on Digital

Supply Chain within the integrated information center of digital supply chain for comprehensive management and operation of systems.

- This commission should assume a number of roles as following; planning for constructing a system necessary for collecting, processing and utilizing of information and securing investment; formulating a guideline for pseudonymization and combination of information; improving the legal systems such as writing contracts, securing investment funds and discovering differentiated business models and services that participants are willing to share information.
- For the purpose of connecting information, it is necessary to establish strong governance that allows multi-governmental discussions and private-public cooperation, information sharing and determining the level and timing of processing data. Furthermore, an innovative support system should be established to foster professional personnel for operating the Commission on Digital Supply Chain and manage the outcome.
- Next, digitization of the supply chain should be evaluated by establishing a feedback system.
- It is necessary to prepare evaluation guidelines that allow performance of a digital platform led by the government to be assessed and reflect the result when building a next digitization model. At the same time, such guideline is essential to determine whether or not the investment funds will continue their support.
- In order to make the evaluation guideline for a digital model,

problems of specific process of the supply chain should be understood while identifying whether a digital model is established to solve them.

- In addition, continuous efforts should follow to conduct simulations based on digital models, continuously tracking discrepancies with the reality and make improvements.
- Fourthly, it is important to establish the ecosystem of digital supply chain where information and human resources can be integrated, pursuing sustainable growth.
- Rather than establishing a digital supply chain platform with low availability, this study proposes a system that allows voluntary sharing of information by participants, generating profits by connecting them. Based on such ecosystem, the overall supply chain will be able to maintain sustainable growth.
- After setting up a goal of implementing the supply chain based on digital information, a group of experts including business experts, data analysts and policy experts should be nurtured. Through these efforts, it allows creating the ecosystem with virtuous cycle by identifying problems and challenges of the overall supply chain and then addressing them.
- To create the virtuous cycle, a cooperative commission consisting of the industry, universities, government departments, and research institutes (Commission on Digital Supply Chain) should take a leading role in organizing industrial clusters for promotion.
- Based on these physical foundations such as clusters for

promoting the digital industry, it is necessary to make a leap forward to develop and become a Digital Data Center for Supply Chain where global logistics data are gathered, processed and analyzed ultimately leading to sales.

01

서론

제1절 연구 배경 및 목적

1. 연구 배경

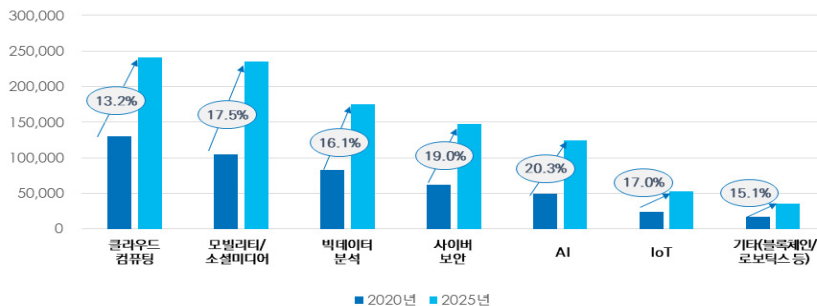
최근 학계에서 디지털 전환(Digital Transformation)에 대한 관심이 높아지고 있다. 공급사슬뿐 아니라 항만, 생산, 제조, 경영관리 등 다양한 영역에서 디지털 전환 연구가 진행되고 있고, 새로운 개념인 디지털 전환을 여러 연구자가 각자의 관점으로 해석하고 있다. Reis *et al.*(2018)은 디지털 전환을 정보·통신기술의 진화와 이점이 가져오는 기업 활동의 근본적 변화과정으로 이해했고, Nasiri *et al.*(2020)은 기관이나 비즈니스 네트워크 자원 등의 전략적 활용과 디지털 기술의 혁신적 활용이 가져오는 근본적 변화의 과정으로 해석했다.

이와 같은 학계의 관심과 더불어 디지털 전환 시장은 2020년 약 4,697억 달러에서 2025년 약 1조 102억 달러로, 연평균 16.5%의 지속적 성장세를 보일 것으로 예상된다(그림 1-1).¹⁾ 이러한 성장을 이끄는 핵심 기술

1) Markets and Markets(2020), p. 43, 65.

은 사물인터넷을 비롯한 데이터 수집기술, 자동화, 정보교환 및 네트워크 기술이며,²⁾ 디지털 전환 시장은 지속적 성장을 보일 것으로 기대된다.

〈그림 1-1〉 디지털 전환 기술 시장 전망(2020년 → 2025년)



자료: Markets and Markets(2020), p. 43, 65에 기반하여 저자 번역·정리

상기한 기술을 바탕으로, 디지털 전환은 적용영역을 공급사슬로 확장하고 있으며 여러 연구와 활용사례를 통해 효과를 입증하고 있다. 디지털 전환은 사물인터넷, 클라우드 등 최신 기술을 활용해 데이터와 정보 공유 영역을 획기적으로 개선할 수 있으며, 공급사슬의 (對)고객 서비스 수준 증가, 참여기업의 자원 대기시간 감소를 통한 활용률 증가 등의 편익을 가져온다.

Shashi *et al.*(2020)은 문헌조사를 통해 디지털 전환은 기술·운영·재무·고객관리 측면을 개선하는 데 도움을 줄 수 있다고 밝혔다. 디지털 전환 추세에 따라 비즈니스 모델을 완전히 전환한 조직은 경쟁사보다 26% 높은 이익을 얻는 등 실질적인 효과를 경험했다.³⁾ Ku, Chien & Ma(2020)의 사례연구에서는 디지털 전환기술이 개별 시스템 간 생산정보를 통합하고 검색 기기 일정에 대한 의사결정 지원시스템을 제시하며, 검색기기의 활용률을 평균 4.57% 증가시켰다.

2) Nasiri *et al.*(2020), p. 2.

3) GetFeedback(검색일: 2021. 9. 7)

공급사슬뿐 아니라, 공급사슬 내 핵심 거점인 항만과 항만 관련 공급사슬의 디지털화 역시 진행되고 있다. 항만은 수출입 관문의 역할을 수행하므로, 항만이 디지털화되지 않으면 다른 영역이 디지털화돼도 원활한 데이터 및 정보의 흐름이 달성될 수 없다. 이는 비(非) 디지털 항만과 디지털화된 이해관계자의 데이터 이동 호환성 확보를 위해 별도의 노력과 비용이 수반되기 때문이다.

〈표 1-1〉 로테르담항 디지털화 정량적 효과

개선항목	개선정도
출발 전 유휴시간 [†]	20% (3.5시간 → 2.8시간)
계획되지 않은 시간에서의 연료공급으로 인한 지연 ⁴⁾	100%(기존 19% 선박 대기 → 0%) ⁵⁾

† 하역서비스를 완료한 시점부터 출항하기까지의 유휴시간⁶⁾
 자료: van Assche(2019), p. 11을 기반으로 저자 번역·정리

항만 디지털 전환의 대표적 사례는 네덜란드 로테르담항으로 볼 수 있다. 이들은 데이터·정보공유 플랫폼인 PRONTO를 통해 항만 내 이해관계자가 실시간으로 작업 시작 및 종료 시각을 공유하도록 함으로써 관련 업무 계획과 의사결정을 지원하도록 한다. 〈표 1-1〉은 이에 관한 정량적 효과를 요약한 것이다.

공급사슬과 항만 디지털화에 대한 기술적 가능성과 다양한 이점에도 불구하고, 항만을 중심으로 이동하는 수출입 컨테이너 공급사슬의 디지털화는 아직 높은 수준에 도달하지 못했다. 2차년도 연구 결과에서 확인할 수 있듯이, 다양한 데이터 전달 방식이 혼합돼⁷⁾ 이해관계자의 부담이 높고, 운항계획 공유, 트럭 배차 등 수많은 세부 영역 또는 프로세스에서 종이나

4) APM Terminal Maasvlakte II를 이용하는 대형 머스크 선박 기준, 6주간 실험

5) Port of Rotterdam(검색일: 2021.9.7)

6) HellenicShippingNews(2020.5.28)

7) 이언경·서정웅·김효재(2020), pp. 35~68의 내용 참조

메일, 팩스, EDI 등 전통적인 전달 방식에 의존하고 있다.

이중 특히 관심을 가져야 할 영역은 상대적 약자인 외부트럭 운전기사가 투입되는 반출 프로세스이다. 컨테이너 반출 프로세스에서는 확정 도착 정보가 사전에 운영사에게 공유되지 않아 외부트럭의 불필요한 대기를 발생시켜 궁극적으로 하차작업의 효율성을 감소시킨다.⁸⁾ 2020년 7월 기준, 부산항 터미널 10곳을 대상으로 조사한 결과, 약 13만 시간의 대기가 발생했다.⁹⁾ 이를 운전기사의 임금과 근로시간, 운행 일수 등을 활용해 사회적 비용으로 환산하면 연간 수백억 원의 손실이 발생한 것으로 볼 수 있다.

이러한 대기는 터미널의 혼잡 때문에 발생하기도 하지만, 컨테이너 반출을 위한 트럭의 확정 도착 정보를 터미널에서 알 수가 없어 사전 리렌들링¹⁰⁾을 수행하지 못하기 때문이다. 즉, 디지털화의 부재가 이와 같은 손실을 초래하고 있고, 현장의 외부트럭 기사들도 장시간 대기에 대한 불만을 토로하고 있다.

디지털화가 더딘 대표적인 이유 중 하나는 디지털화 대안의 정량적인 효과를 파악하기 어렵기 때문이다. 디지털화 대안의 효과를 파악하기 위해서는 현황에 대한 정확한 이해와 구체적인 디지털화 대안과 적용 범위를 기반으로 모의실험을 수행하고, 이에 따른 결과를 해석해야 한다. 하지만, 다양한 이해관계자가 얹힌 공급사슬의 특성상 특정 이해관계자가 주도하기 어렵고, 물류·디지털화 전문가가 부족해 모의실험과 해석이 현실적으로 쉽지 않으며, 실험 결과를 도출한다고 할지라도 이를 대외적으로 공개하는 경우가 매우 드물다.

디지털화가 지연되는 또 다른 원인은 타 분야에 적용된 디지털화 대안을

8) 위의 책, p. 104.

9) 관련 사업담당자로부터 데이터를 획득함

10) 작업을 수행하기 위해 부수적으로 발생하는 컨테이너 위치 변경

그대로 활용할 수 없기 때문이다. 예를 들어, 생산 설비에 투입된 장비의 예방 정비(PM: Preventive Maintenance)를 위해 활용된 디지털화 대안을 컨테이너 공급사슬에 그대로 적용할 수 없다. 이는 디지털화 대안은 적용 분야별 특성에 따라 설계되고, 유사한 분야라 할지라도 디지털화 대상, 범위 등에서 차이를 보이기 때문이다. 즉, 컨테이너 반출에 대한 디지털화 대안이 설계되고, 이에 대한 정량적인 분석 결과가 산업계에 제시되어야 한다. 비록 컨테이너 반출은 전체 공급사슬에서 극히 일부 프로세스에 불과하지만, 컨테이너 반출 프로세스에서의 디지털화 효과를 입증한다면 디지털 공급사슬을 달성하는 전략이 실행되는 토대를 마련해줄 것이다.

문헌 검토 결과, 주로 농산물(Kittipanya-Ngam & Tan, 2020)이나 일반적인 공급사슬(Deepu & Ravi, 2021) 디지털화 연구가 활발히 수행됐다. 하지만, 항만 터미널에서의 컨테이너 반출에 관한 디지털화 연구는 매우 부족하다. 또한, 디지털화 적용 범위를 현실적으로 한정하고, 구체적이면서 실질적인 대안을 제시하며, 정량적 효과를 제시·분석한 연구는 연구진이 검토해 본 바에 의하면 찾을 수 없었다.

2. 연구 목적

본 연구는 2019년부터 시작된 『디지털 공급사슬 물류정보통합 구축전략 연구』의 마지막 단계인 3차년도 연구에 해당한다. 1차년도 연구에서는 디지털 공급사슬 정책, 국내 공급사슬 이해관계자의 정보연계 실태¹¹⁾를 조사한 후, 이해관계자 간 데이터·정보연계를 나타낸 개념도를 제시했다. 2차년도 연구에서는 디지털 공급사슬의 개념을 재정립하고, 관련 세계적 현황을 검토했다. 또한, 1차년도에 확인한 이해관계자 간 데이터와 정보의 흐

11) 활용 시스템, 서비스 영역, 주요 서비스 기반

를 더욱 구체화해 업무 기반의 데이터, 정보의 흐름을 파악했다. 그리고, 현장에서의 디지털화 니즈와 애로점을 파악해 3차년도 연구의 기틀을 마련했다.

3차년도 연구는 현실적이고 구체적인 컨테이너 반출 프로세스를 디지털화하는 대안을 제시함으로써, 트럭의 대기시간을 감소시키고 궁극적으로 공급사슬을 개선할 수 있음을 증명하는 것을 1차적인 목표로 한다. 이를 기반으로, 디지털 공급사슬 물류정보통합 구축전략을 단계별로 제시하고, 이를 실행하기 위한 정책을 제언하는 것을 궁극적인 목적으로 한다.

이와 같은 목적을 달성하기 위해, 현재까지 수행된 공급사슬 및 디지털화에 관한 연구를 살펴본 후 연구의 추세와 한계점을 파악한다. 다음으로, 현장의 애로점을 기반으로 구체적이면서 현실적인 디지털화 대안을 도출하고, 대안의 효과를 모의실험을 통해 정량적으로 분석하고, 디지털화의 효과를 입증한다. 마지막으로 디지털 공급사슬 물류정보통합 구축을 위한 구체적인 전략과 정책을 제시한다.

제2절 연구범위 및 방법론

본 연구에서 디지털화 효과를 입증하기 위한 분석 범위는 항만을 통해 반출되는 컨테이너 공급사슬로 정의될 수 있다. 해당 공급사슬은 핵심 이해관계자로 볼 수 있는 화주와 선사, 외부트럭 기사와 육상운송사, 그리고 터미널운영사를 포함한다. 화물을 컨테이너로 한정하므로, 공간적 범위는 컨테이너 터미널과 수화주, 양 공간을 오가는 도로로 정의된다. 분석을 통해 디지털화의 효과를 보이고, 이를 기반으로 항만 수출입 컨테이너의 전

반적인 공급사슬을 대상 범위로 해 단계별 물류 정보통합 구축전략과 정책을 제언한다.

본 연구는 서론에서 확인한 현황 파악을 기반으로, 문헌 검토와 디지털화 대안 도출, 모의실험과 물류정보통합 및 정책제언의 과정으로 진행된다. 먼저, 제2장 문헌검토 단계에서는 공급사슬 디지털화와 관련된 문헌을 검토한다. 세부적으로는 ① 공급사슬 및 디지털 공급사슬의 정의와 배경, ② 공급사슬 디지털화 사례, 그리고 ③ 공급사슬과 디지털 공급사슬 평가 분야를 중점적으로 검토했다. 이를 통해, 선행 연구의 한계점과 본 연구의 차별성을 확인했다.

제3장에서는 현재 항만 컨테이너 터미널을 통한 반출입 프로세스 현황을 면밀히 검토한다. 이는 1, 2차년도에 조사한 공급사슬에서 일부에 해당하는 반출입을 더욱 세부적으로 조사·검토하는 것이다. 다음으로 현재 반출입 프로세스에서의 애로사항을 파악한다. 전반적인 애로사항을 서술하며, ‘컨테이너 반출 차량의 도착 정보가 사전에 공유되지 않음’이 가장 큰 애로사항 중 하나로 선정된 이유를 더욱 자세히 설명한다. 제3장은 정의된 애로사항을 해결하는 디지털화 대안과 개념적 효과를 서술하는 것으로 마무리된다.

제4장에서는 제3장에서 정의한 컨테이너 반출에 관한 디지털 공급사슬을 시뮬레이션 분석을 위한 프로세스로 재정의한다. 이는 물리적 이동과 데이터·정보의 이동을 구분하며, 프로세스상에서 대기행렬을 발생시킬 수 있는 세부단계를 파악한다. 이를 기반으로 모의실험의 시나리오를 설계하고, 실험에 필요한 핵심 데이터 목록을 정의한다. 다음으로, 실험을 통한 공급사슬 디지털화의 효과를 트럭 대기시간 감소를 핵심 평가지표로 활용해 정량적으로 분석한다.

제5장에서는 3차년도의 연구와 앞선 1, 2차년도의 연구를 요약하고, 3

차년도 연구를 통해 확인한 디지털화 효과를 공급사슬 전반에 확산되도록 하기 위한 구체적인 전략과 정책을 제언한다. 마지막으로, 연구의 한계점과 이를 극복하는 향후 연구주제를 제안함으로써 3년간 수행된 『디지털 공급사슬 물류정보통합 구축전략 연구』를 마무리한다.

02

공급사슬 디지털화 문헌검토

제1절 공급사슬 및 디지털 공급사슬 정의와 배경

현재까지 많은 연구자에 의해 공급사슬이 정의됐으며(La Londe & Masters(1994), Lambert, Stock & Ellram(1998)), Mentzer *et al.*(2001)은 이들의 정의를 종합해 공급사슬을 “상품, 서비스, 파이낸스, 정보의 생산부터 최종 소비까지의 모든 과정에 직접적으로 참여하는 셋 이상의 참여자(조직 또는 개인) 집합”으로 정의하였다.¹²⁾ 또한 공급사슬관리를 “개별 기업 또는 공급사슬 전체의 장기적 성과를 개선하기 위한 비즈니스 기능 및 전략의 체계적인 조정”으로 정의하고,¹³⁾ 개별 기업 또는 공급사슬 전반의 경쟁력 강화(비용 절감, 효율성 제고) 및 고객가치 증대를 주요 목적으로 언급했다. 이러한 목적을 달성하기 위한 공급사슬관리 전략은 산업의 내적·외적 환경에 따라 지속해서 변화하며, 최근 4차 산업혁명기술의 발전으로 인해 효과적인 공급사슬관리 전략 수립이 가능해졌다.

4차 산업혁명기술의 발달은 공급사슬 참여자 간 정보공유 방식 및 의사결정 절차를 변화시켰으며, 이는 공급사슬 자체의 디지털화를 의미한다. 중

12) Mentzer *et al.*(2001), p. 4.

13) 위의 책, p. 18.

강현실(AR: Augmented Reality), 가상현실(VR: Virtual Reality), 빅데이터(BD: Big Data), 클라우드 컴퓨팅(CC: Cloud Computing), 로봇(R: Robotics), 센서기술(ST: Sensor Technology), 옴니채널(OC: Omni Channel), 사물인터넷(IoT: Internet of Things), 자율주행차량(Self-Driving Vehicle), 무인항공기(UAV: Unmanned Aerial Vehicle), 나노기술(Nanotechnology), 3D 프린팅(3DP: 3-dimensional Printing) 등은 물리적·지역적 인프라 요소로 구성된 전통적인 공급사슬 형태를 디지털 공급사슬(DSC: Digital Supply Chain)로 전환하는 주요 디지털 기술이다.¹⁴⁾

박성택·김태웅·김미량(2020)은 디지털화가 수반되지 않는 공급사슬은 개발, 제조, 물류가 독립적으로 수행되는 과정에 불과하며, 공급사슬 디지털화의 최종목표를 속도와 가시성으로 제시했다. 또한 실시간 의사결정도모하기 위해서는 공급사슬의 디지털화가 최우선과제이며, 이러한 동향에 함께하지 못하면 고객 등 환경 변화에 대한 인식이 지연돼 마침내 과도한 안전 재고를 포함한 다양한 물류 문제에 직면할 것이라 언급했다.

Agrawal & Narain(2018)은 클라우드 컴퓨팅, 사물인터넷, 빅데이터 분석 등의 디지털 기술이 변함에 따라 기업이 제품에서 가치를 창출하는 방법과 공급사슬 내의 구성원들이 서로를 구성하는 방식, 상호작용하는 방법이 변화하는 과정이라 설명했다. 또한 글로벌 공급사슬을 갖춘 많은 기업들에게 공급사슬 디지털화는 더는 선택이 아님 필수임을 강조하며, 이에 대처하지 못하면 기업은 정체나 도태할 것이라 언급했다.

Tjahjono *et al.*(2017)은 4차 산업혁명이 공급사슬관리에 미치는 영향에 대한 예비 분석(preliminary analysis)과 공급망 4.0에 대한 견해를 제시했다. 분석 범위는 공급망 내에 네 가지 기능(조달, 물류, 창고, 주문 이

14) Büyüközkan and Göçer(2018), pp. 157-177.

행)으로 한정하고, 공급사슬관리 핵심성과지표(KPI: Key Performance Indicator) 관점에서 제시했다. <표 2-1>은 SCM의 KPI에 영향을 줄 수 있는 잠재적인 기술 목록이다. 핵심성과지표가 각 기술에서 어떤 영향을 받았는지 분석한 후 기술과 핵심성과지표를 연결한 초기 양식이다.

이들은 적용영역에 따라 핵심성과지표에 영향을 주는 기술이 차이가 있을 수 있음을 강조했다. <표 2-2>는 교통·물류에서의 4차 산업혁명기술과 핵심성과지표의 관계를 요약해 보여준다. 이 표는 저자들이 본문에서 비교한 창고에서의 기술-성과지표 관계와 차이가 있다. 예를 들어, 창고 물류에서는 부두에서의 트럭 시간 단축이나, 재고소진 시간을 단축하는 것이 핵심 성과지표에 포함되고, 이들은 사물인터넷이나 일렉트로닉스 소형화, 자동식별 등과 관련이 있다.

〈표 2-1〉 핵심 성과지표에 영향을 주는 잠재적 기술 목록 조사 양식 및 예시(참고: 부두에서의 트럭 시간 감소)

기술	영향	영향을 주는 이유
가상현실(VR), 증강현실(AR)	Yes	-
3D 프린트	No	-
시뮬레이션	No	-
빅데이터 분석	No	-
클라우드 기술	No	-
사이버 보안	No	-
사물인터넷	Yes	모든 장치와 센서는 트럭의 적재 및 하역 효율을 높이기 위해 사용할 수 있는 데이터를 획득한다. 이를 활용해 트럭이 부두에 머무는 시간이 단축된다.
일렉트로닉스 소형화	Yes	상품이 배송되기 전에 미리 상태를 알 수 있기 때문에 수령 제품, 배송될 제품의 품질을 확인할 필요가 없다. 부적절한 품질, 요구사항 미준수와 같은 일이 발생하는 것을 방지한다.
자동식별 및 데이터 캡처 (AIDC)	Yes	트럭에 있는 물품의 정확한 위치를 사전에 알 수 있게 하므로, 시간을 절약하게 한다.
전자식별(RFID)	Yes	트럭에 있는 물품의 정확한 위치를 사전에 알 수 있게 하므로, 시간을 절약하게 한다.
시물통신(M2M)	Yes	운송업체 수, 트럭 종류, 품목 수량, 제품 종류를 파악하는 데 도움이 된다. 이 정보를 사전에 양하, 적하하는 데 필요한 자재들을 미리 확보할 수 있다.
업무지능화(BI)	Yes	조직 내 여러 곳에서 수집한 모든 정보를 활용함으로써 모든 자원을 사전에 확보할 수 있다. 트럭이 부두에 머무는 시간을 단축시키며, 예기치 않은 상황이 발생할 경우 자동으로 계획을 변경할 수 있다.

자료: Tjahjono *et al.*(2017), p. 1179를 기반으로 저자 번역

〈표 2-2〉 교통·물류에서의 기술과 성과지표 간 관계

기술	트랙적재 용량	소요시간 단축	선적 가시성	수송단축	정시수령	정시배달	손상없는 배송	배송시간 단축	고객과의 소통	주문 정확, 신속성
가상현실(VR), 증강현실(AR)	✓	✓					✓			
3D 프린트										
시뮬레이션										
빅데이터 분석							✓		✓	✓
클라우드 기술			✓			✓	✓	✓	✓	✓
사이버 보안									✓	
사물인터넷	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓		✓
일렉트로닉스 소형화	✓				✓		✓			✓
자동식별 및 데이터 캡처	✓	✓	✓		✓		✓			✓
전자식별		✓		✓	✓		✓	✓		✓
사물통신			✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓
업무자동화		✓		✓		✓	✓	✓		

자료: Tjahjono *et al.*(2017), p. 1180을 기반으로 저자 번역

동시에, 이들은 4차 산업혁명기술이 반드시 기회만을 가져오지는 않을 것으로 여겼다. 조달과 창고, 교통·물류 및 풀필먼트 영역을 기준으로 <표 2-3>과 같이 기회와 위협 요인을 구분해, 특정 기술을 물류영역에 적용 시 신중한 접근이 필요함을 강조했다.

〈표 2-3〉 공급사슬의 기회 및 위협 요인

기술	조달	창고	교통·물류	풀필먼트
가상현실(VR), 증강현실(AR)	+	+	+	+
3D 프린트	+	+	+	+
시뮬레이션	+	+	+	+
빅데이터 분석	+-	+-	+	+
클라우드 기술	+	+	+-	+-
사이버 보안			-	+-
IoT	+-	+	+	+-
일렉트로닉스 소형화	+-	+	+	+-
자동식별 및 데이터 캡처	+-	+	+	+-
전자식별	+-	+	+	+-
사물통신	+	+-	+-	+
업무지능화	+-	+-	+-	+

자료: Tjahjono *et al.*(2017), p. 1181을 기반으로 저자 번역

이와 같은 공급사슬의 디지털화는 2019년 말 시작된 코로나19 사태 이후 더욱 가속화되고 있다. 전염성이 높은 코로나19는 대면 작업을 어렵게 해 전 세계 공급사슬의 심각한 위기를 초래했으며, 이에 탄력적으로 대응하는 방안으로 디지털 공급사슬이 주목받고 있다.¹⁵⁾

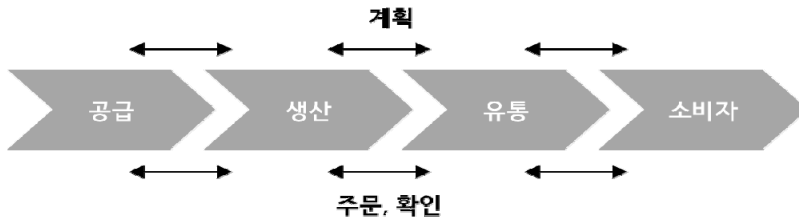
Aćimović & Stajić(2019)는 공급사슬 디지털화에 대한 정의, 도전과제, 모범 사례, 디지털화가 공급사슬에 미치는 영향을 설명했다. 이들은 디지털

15) Frederico(2021), Spieske & Birkel(2021), Govindan, Mina & Alavi(2020), Pournader, Kach & Talluri(2020)

공급사슬 관리의 비전을 공급사슬 기반의 향상된 사업 모델로 여겼다. 다시 말해, 디지털 공급사슬은 공급사슬 관리의 새로운 개념을 구현할 때 중요한 부분 중 하나로, 최고의 성과를 달성하기 위한 혁신적·지능적 기술 해법으로 언급했다. 디지털 공급사슬이라는 새로운 비전을 채택하는 것은 기업의 입장에서 쉽지 않은 도전이므로, 기존 공급사슬로 사업을 영위하는 기업에게 적절한 가이드라인을 제공하고, 디지털화 도입을 설득할 수 있어야 한다고 주장했다.

이들은 <그림 2-1>과 <그림 2-2>를 통해 공급사슬의 두 개념을 비교했다. <그림 2-1>은 전통적인 공급사슬 모형을 보여주며, 주문 과정은 여전히 이전 단계에서 예측된 수요를 전하는 데 중점을 둔다. 전통적인 공급사슬은 잘못된 커뮤니케이션, 저조한 실행전략, 납기 지연, 고객 손실을 초래할 수 있다.

<그림 2-1> 전통적인 공급사슬 모형

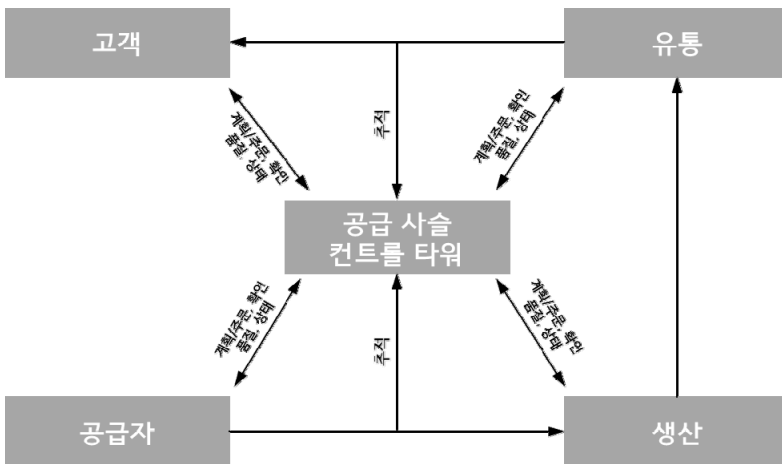


자료: Aćimović & Stajić(2019), p. 80을 기반으로 저자 번역

이에 반해, 통합된 공급사슬 생태계는 전통적인 공급사슬 모형에서 결함을 발견했을 때 새로운 기술적 해법을 통해 공급사슬관리를 이해하는 새로운 방법으로서 제시될 수 있다. 통합된 공급사슬 생태계는 디지털 통제 센터와 혁신 기술을 기반으로 공급망 안에서 새로운 기능이 발현될 수 있는 장을 마련한다. 예를 들어, 특정 제품에 대한 수요가 증가하면 중앙 집중형

시스템이 모든 이해관계자에게 알린다. 또한, 재고가 없을 때도 시스템은 공급자와 제조업체에게 알린다. 시스템은 유통업체와 소비자에게 배달 시간과 장소를 알려주기도 한다. 통합된 블록체인 시스템하에서 생산자는 제품 생산을 위해 주문한 재료의 원산지를 추적할 수 있다. 모든 과정은 실시간으로 진행된다. 배송 상태를 쉽게 확인할 수 있어 소비자에게 이점이 된다. 결론적으로 새롭게 제시된 개념은 공급사슬 내부 과정 최적화 및 사업 지향적 기술 해법에 대한 이해를 개선한 결과라고 할 수 있다.

〈그림 2-2〉 통합된 공급사슬 생태계



자료: Schrauf & Bertram(2018), p. 10; Aćimović & Stajić(2019), p. 80(재인용)을 기반으로 저자 번역

이들은 McKinsey의 ‘Supply Chain 4.0 - the next generation digital supply chain’의 전통적 공급사슬과 통합 공급사슬의 차이를 다섯 가지 측면에서 요약한 표를 소개하면서, 디지털 공급사슬의 특성과 강점을 강조하기도 했다.

〈표 2-4〉 전통적 공급사슬과 디지털 공급사슬의 차이

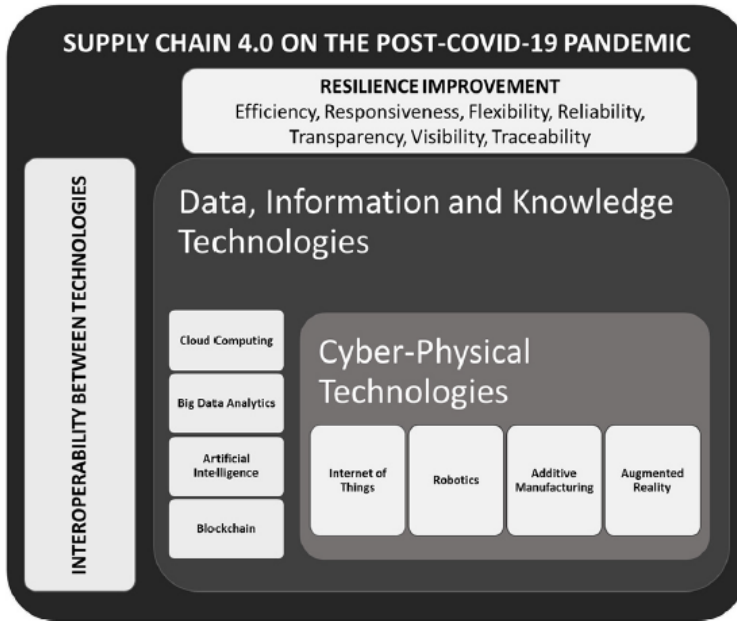
영역	전통적 공급사슬	디지털 공급사슬
투명성	공급사슬의 제한된 관점	공급사슬의 완전한 관점
의사소통	정보가 각 구조를 거치며 지연	모든 공급사슬 구성원은 동시에 정보 이용 가능
협동	전체 공급사슬에 대한 가시성이 제한되어 의미 있는 협력 제한됨	공급사슬 가치 본질에 관한 자연스러운 협동 발달
유연성	정보가 전달되며 최종 고객 수요 왜곡	최종 고객 수요 변화가 빠르게 가능됨
반응성	각기 다른 계획 사이클은 다수의 단계에 걸쳐 일치하지 않는 응답 및 지연으로 이어짐	계획 및 실행에 관한 실시간 응답

자료: Aćimović & Stajić(2019), p. 80을 기반으로 저자 번역

Frederico(2021)는 공급사슬의 디지털화를 ‘Supply Chain 4.0’이라 정의했으며, 코로나19와 같은 범유행¹⁶⁾에 대응하기 위해 가장 적절한 개념이라고 언급했다. 사물인터넷이나 센서 및 로봇기술 등과 같은 첨단기술을 공급사슬에 적용함으로써 신속한 자료 수집과 분석, 실시간 모니터링, 운영 자동화 등이 가능하다. 이는 신속한 수요 분석을 통한 효율적인 재고 관리 및 공급사슬 위기에 대한 예방책과 유연한 대응책을 수립할 수 있도록 함으로써, 공급사슬 회복탄력성을 제고시킨다. 〈그림 2-3〉은 이를 구조화한 것이다.

16) 팬데믹(Pandemic)

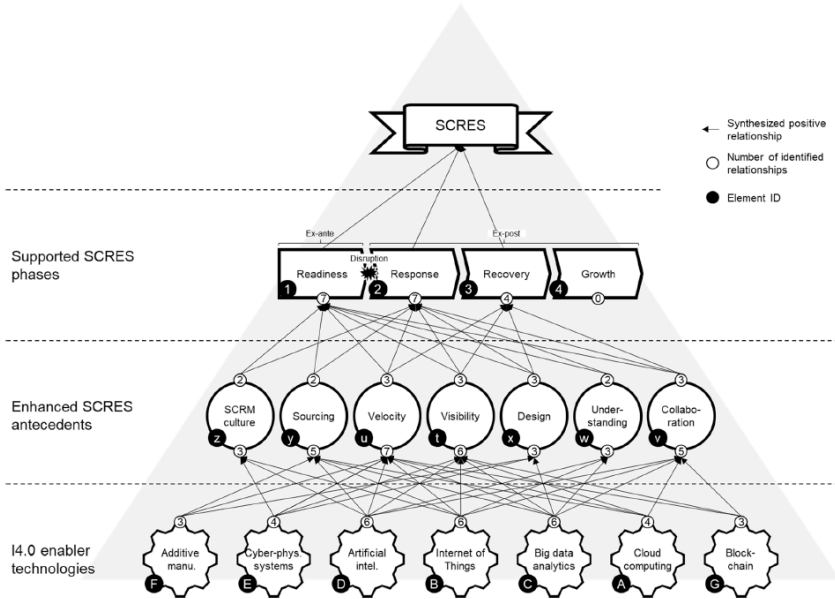
〈그림 2-3〉 디지털 기술 및 Supply Chain 4.0



자료: Frederico(2021), p. 6

Spieske & Birkel(2021)은 선행연구 분석을 통해 4차 산업혁명기술과 코로나19 팬데믹과 같은 공급망 위기에 대한 회복탄력성 간 관계를 보였다(그림 2-4). 이들은 코로나19가 공급사슬 취약성에 관심을 끌도록 하는 계기가 되었으며, 빅데이터 분석 기술이 공급사슬 회복탄력성 제고에 가장 큰 효과가 있음을 밝혔다. 62개 선행연구 검토 결과, 빅데이터를 활용한 기술이 연구 또는 산업에 적용·활성화된 사례(45건)는 IoT(16건), AI(14건), 블록체인(14건), 클라우드(9건) 등의 4차 산업혁명기술의 적용 사례 대비 약 2~3배 정도 높은 수준이다.

〈그림 2-4〉 공급사슬 회복탄력성(SCRES) 프레임워크(Framework)



자료: Spieske & Birkel(2021), p. 10

디지털 공급사슬에 대한 정의는 기관이나 전문가에 따라 다양하나 ① 디지털(또는 스마트) 기술을 활용해 ② 공급사슬 참여자 간 유기적 협력관계를 바탕으로 ③ 고객·가치 중심의 물류 프로세스를 지향한다는 점에서 공통점이 있다. <표 2-5>는 본 연구의 기반인 1, 2차년도 연구에서 검토했던 선행연구별 디지털 공급사슬의 정의를 요약한 것이다. 「Accenture」(2014), 「Supply Chain Quarterly」(2020) 등 대부분의 연구에서 디지털 기술이 적용됨을 강조했고, Raab & Griffin-Cryan(2011), Bhargava, Ranchal & Othmane(2013) 등은 공급사슬 참여자 간 협력관계가 바탕이 되어 함을 보였다. 또한 Büyüközkan & Göçer (2018), Nasiri *et al.*(2020)은 고객과 가치를 중심으로 한 물류 프로세스를 강조했다.

〈표 2-5〉 선행연구별 디지털 공급사슬 정의 요약

선행연구	디지털 공급사슬 정의
Raab · Griffin-Cryan(2011)	• 디지털 데이터, 정보 및 플랫폼 기반 협력적 공급사슬
Bhargava <i>et al.</i> (2013)	• 상호 협력 기반 공급사슬
Accenture(2014)	• 디지털화에 의한 개방형·고가치 공급사슬
Kinnett(2015)	• 지능형 가치기반의 물류망
ATKearney(2015)	• 프로세스 지원·동기화 기술과 공급사슬의 결합
Supply Chain Shaman(2016)	• 정보기술을 활용한 협력적 공급사슬
SearchERP(2016)	• 웹·정보기반 공급사슬
Büyüközkan & Göçer(2018)	• 스마트·가치 중심 효율적 물류 프로세스
Supply Chain Quarterly(2020)	• 신속·정확한 데이터 디지털화 및 이를 통한 공급망 성능 향상
SupplyChainGameChanger (2020)	• 전자 기술의 공급사슬 종단 간 적용 결과
Nasiri <i>et al.</i> (2020)	• 스마트기술 기반 공급사슬 내 고객과 공급자 간 연관된 활동의 묶음
Embedded Computing Design(2020)	• 제품 생산과 유통 관련 과정임과 동시에 시스템, 전자 도구, 자원 및 장치를 활용해 보안을 유지하며 필요 데이터를 처리·활용하는 과정

자료: 최상희·이연경·서정용(2019), p. 19; 이연경·서정용·김효재(2020), pp. 11~16 바탕으로 저자 재정리

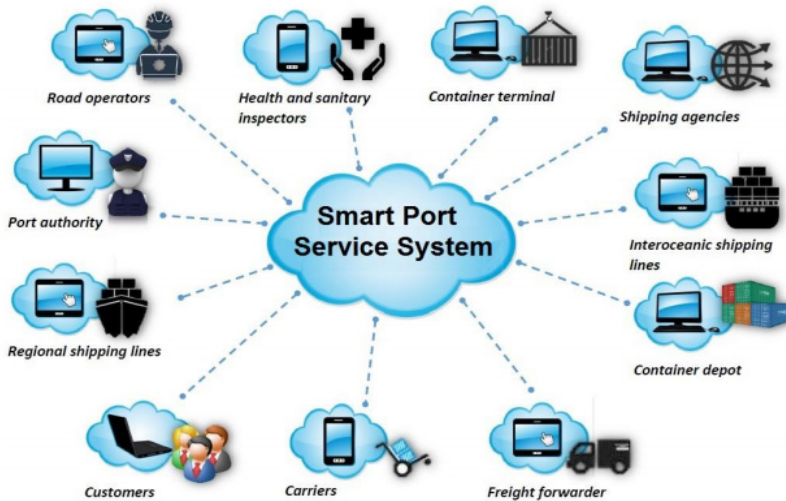
본 연구에서도 2차년도에 정의한 개념을 준용하고자 한다. 디지털 공급사슬이란 “스스로 진화하는 기술을 기반으로 양질의 물류 데이터와 정보를 실시간·적시에 공유해 공급사슬 내 참여자가 협력하는 지속할 수 있는 공급사슬”¹⁷⁾로 정의될 수 있다.

17) 이연경 외(2020), p. 16

제2절 공급사슬 디지털화 사례

최근 항만이 공급사슬상에 존재하는 하나의 물리적·공간적 인프라가 아니라 새로운 가치를 창출하는 허브(Hub) 역할을 수행하게 되면서, 항만을 항만물류 측면에서 재정의하는 연구가 수행되고 있다. Botti *et al.*(2017)은 항만 공급사슬을 스마트 항만 서비스 시스템(Smart Port Service System)으로 정의했다(그림 2-5). 이 시스템은 정보통신기술(ICT: Information and Communication Technology), 클라우드 컴퓨팅 등을 이용해 공급사슬 참여자들 간 데이터와 정보를 실시간으로 공유할 수 있게 하고, 이를 통해 공급사슬 전반의 비용 절감뿐 아니라, 업무 효율성, 유연성, 확장성, 혁신성 등을 제고한다. 즉, 항만은 상호접속 시스템으로서 가치를 재창출하는 역할을 수행한다.

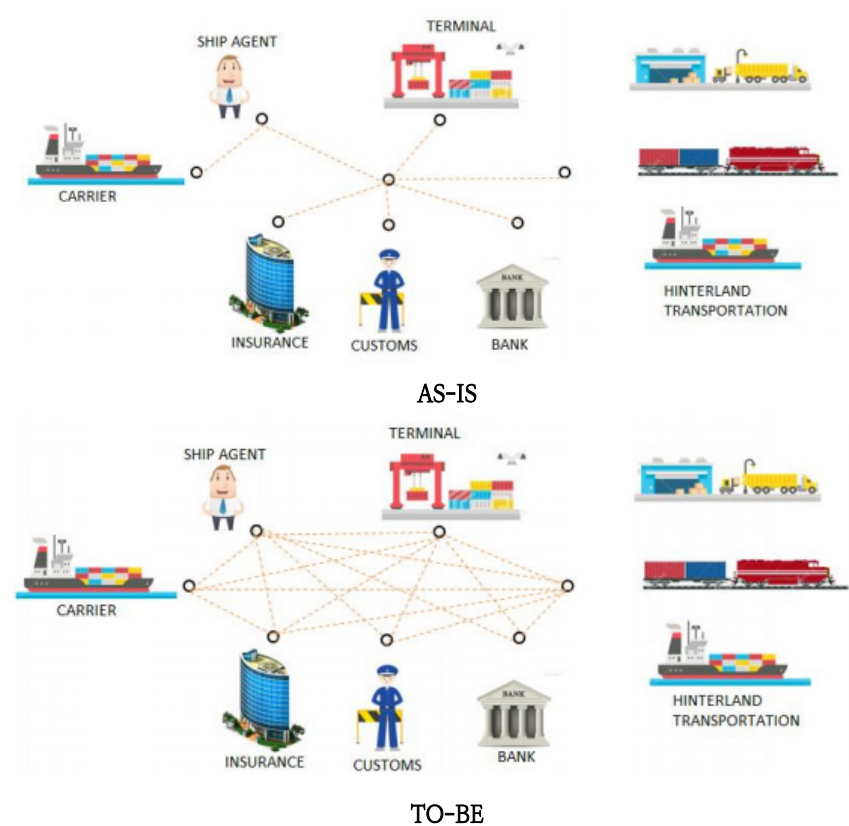
〈그림 2-5〉 스마트 포트 서비스 시스템 개요



자료: Botti *et al.*(2017), p. 7

Weernink *et al.*(2017)은 사물인터넷 및 블록체인 기술을 항만물류 공급사슬에 적용한 디지털 공급사슬 구조를 수입정보 흐름도를 통해 제안했다(그림 2-6). 블록체인 기술기반 플랫폼은 기존에 종이 문서로 전달되던 자료와 정보를 디지털화하고, 이를 실시간으로 모든 이해관계자에게 제공한다. 또한, 거래비용을 최소화하고 스마트 등 최신 장비를 이용한 서비스를 제공함으로써 업무의 효율성을 개선하고 고부가가치를 창출할 수 있다.

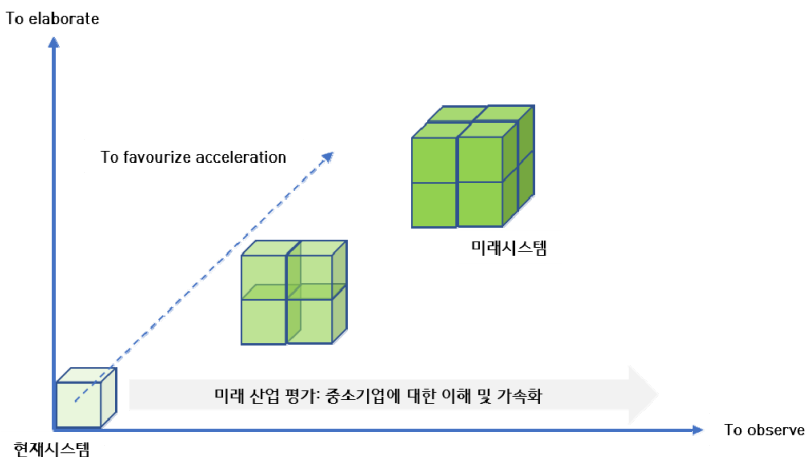
〈그림 2-6〉 디지털 기술(블록체인) 적용 시, 항만물류 수입 정보 흐름도



자료: Weernink *et al.*(2017), p. 9

Dossou(2018)는 더 나은 성과를 달성하기 위한 니즈의 결과로 4차 산업혁명(Industry 4.0)과 공급사슬 4.0(Supply Chain 4.0)이 등장했으나, 이러한 개념이 중소기업에 아직은 적용되지 않았다고 언급했다. 금속(야금) 관련 중소기업을 대상으로 사례 기반 추론(CBR: Case Based Reasoning)과 일반화 추론(GR: General Reasoning)을 활용해 기존 의사결정모형을 만들고, 실제 사례를 제시했다. <그림 2-7>은 중소기업에서 4차 산업혁명 및 공급사슬 4.0을 실행할 때 각 회사에 대해 이상적인 환경을 정의해야 함을 보여준다. 즉, 새로운 기술(자동화, 기계화, 로봇, 사물 인터넷, 추적성 등)을 공급사슬에 적용하기 위해 면밀한 현황진단(관찰)과 시스템 정교화가 선행되어야 한다.

<그림 2-7> 중소기업의 4차 산업혁명 및 공급사슬 4.0 실행

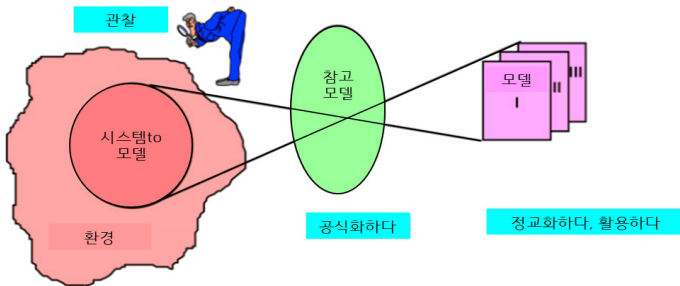


자료: Dossou(2018), p. 456을 기반으로 저자 번역

이들이 정의한 <그림 2-8>과 같은 접근방식은 관찰과 기존 시스템 모형을 기반으로 한다. 시스템 분석, 새로운 조직 설계, 4차 산업혁명과 공급사슬 4.0 채택에 대한 실행이 있다. 참고 모델인 금속(야금) 중소기업 패널

에 관한 연구 후 적응된 4차 산업혁명 및 공급사슬 4.0 구현 개념을 통합하는 작업이 정교해질 것이다.

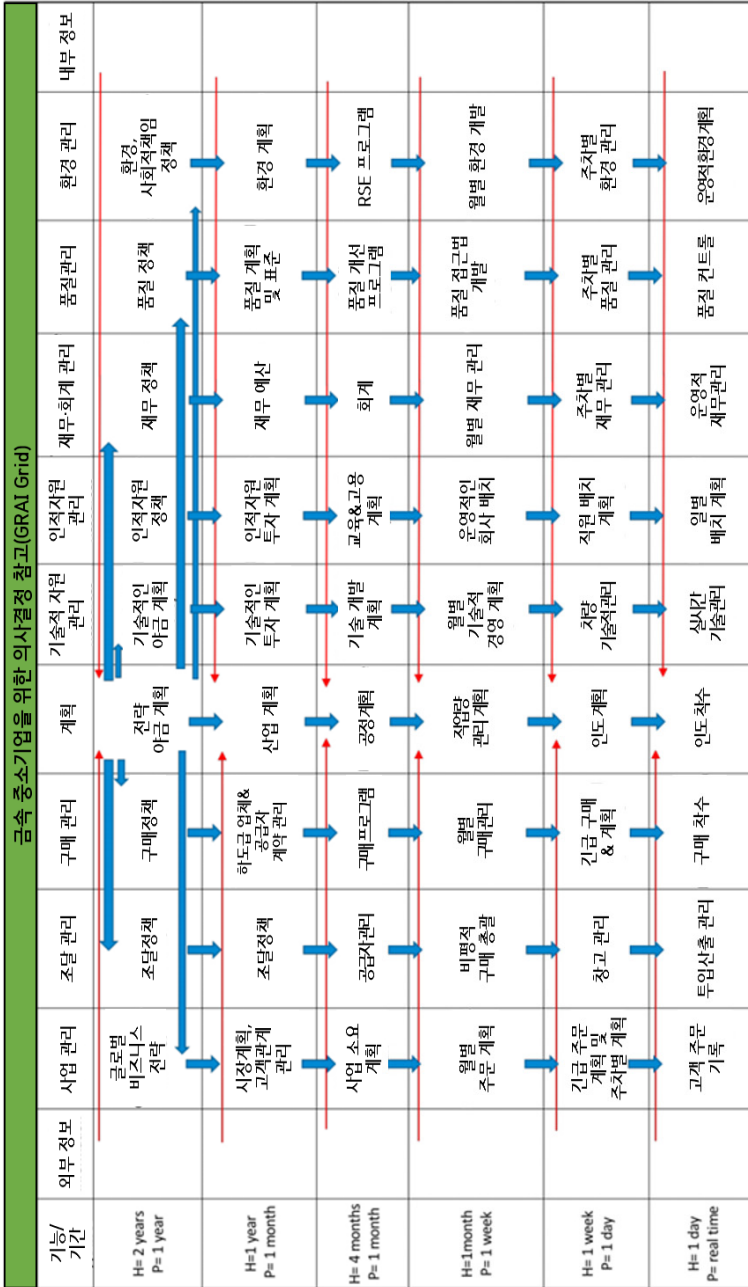
〈그림 2-8〉 일반적인 접근(환경, 참고모형, 활용 측면)



자료: Dossou(2018), p. 456을 기반으로 저자 번역

또한, 이들은 앞서 언급한 금속 중소기업을 위한 의사결정 모형을 〈그림 2-9〉를 통해 제시했다. 그림 안에서의 화살표는 이상적인 단기, 중기, 장기적 의사결정에 대해 정의하고, 열은 회사의 기능을 보여준다. 이상적인 격자는 중소기업이 잘 조직됐음을 입증하는 데 필요한 구조를 나타낸다. 실제 모델은 GRAI(Graphs with Results and Actions Inter-related) 방법론 개념에 따라 정교화돼야 한다. 기업의 상태를 측정하기 위해서는 성과 개선 기준을 통합하고, 가용 예산을 기반으로 필요 자원을 확인하는 것이 필요하다. 환경적, 사회적 측면을 포함한 점진적 변화과정을 거쳐 ‘4차 산업혁명 및 공급사슬 4.0’을 달성할 수 있다. 각 단계는 기업의 변화과정에 따라 달라진다.

〈그림 2-9〉 금융 중소기업을 위한 의사결정 모형



자료: Dossou(2018), p. 457을 기반으로 저자 번역

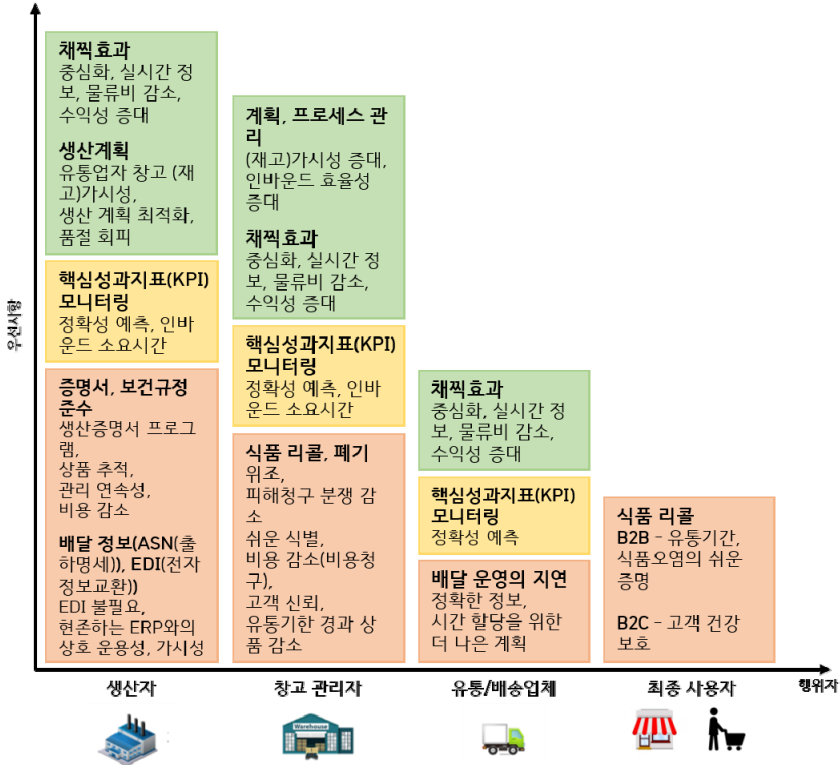
저자는 75명이 재직하는 자동차 부품 관련(트럭, 자동차, 농업용 기기 등) 금속 생산 기업인 Gamma에 제시한 모델을 적용했다. 모순점(사전 유지보수 및 기술 투자 계획 없음 등)을 찾고자 기존 의사결정과정을 분석했다. 모형을 활용해 시나리오를 정의하고, 테스트를 수행했다. Gamma는 기계, 기술, 소프트웨어의 비용에 부담을 느껴 신기술 관련 투자를 원하지 않았고, 회사는 효율성을 위해 태스크 포스를 로봇으로 대체하길 원하지 않았다. 신기술 구현에 필요한 연수 프로그램도 교육에 어려움을 겪을 인력이 많아 투입되지 못했다.

하지만, 지속가능성을 위한 새로운 설계 중심의 아이디어는 성공적이었다. 예를 들어 제조 주문 전달을 위한 스마트폰 투자는 어렵지 않게 받아들여졌다. 로봇이 아닌 코보트(cobot)¹⁸⁾에 투자하는 것도 성공적이었다. 사업·투자 계획 이외에도 생산·품질서비스 관리를 전면적으로 개편했고, 제품 및 고객만족도를 향상시켰다. 기술(로봇, 코보트, 신소재, IoT 추적성), 조직(유지관리, 생산관리, 품질관리, 물류 및 운송관리 등)뿐만 아니라 컴퓨팅(새로운 ERP, 유지관리 도구, 의사결정 지원 도구 선택)도 4차 산업혁명 및 공급사슬 4.0 개념으로 제시했다.

Perboli, Musso & Rosano(2018)는 디지털 공급사슬의 중요성을 인지하면서, 데이터 불변성, 공용 접근성과 같은 블록체인의 특징이 금융 등 특정 산업에 한정적으로 적용되는 현실에 주목했다. 이들은 블록체인이 공급사슬 인바운드 프로세스에 적용됨으로써, 효율성과 신뢰성 및 투명성을 높이고, 결과적으로 프로세스를 최적화할 수 있음을 설명했다. 또한, 신선식품 비즈니스 전략으로서 블록체인을 활용한 사례를 제시했다. <그림 2-10>은 신선식품 공급사슬상 각 단계의 행위자가 블록체인 관련 기술을 어떻게 활용할 수 있는지 도식화해 보여준다.

18) Cobot: 협동 로봇(collaborative robot)

〈그림 2-10〉 가치 고리



자료: Perboli, Musso & Rosano(2018), p. 62023을 기반으로 저자 번역

최병대(2019)는 실질적이고 구체적인 Use Case에 근거해, 삼성SDS가 지향하는 디지털 공급사슬관리(SCM: Supply Chain Management) 구현 프레임워크를 자율 플랫폼, 실시간 계획, 지능형 감지, End-to-End 통제 센터로 구분해 제시했다.

박성택·김태웅·김미량(2020)은 국제적 기업들이 활용한 공급망에서의 디지털 기반 의사결정을 소개했다. 월마트는 Operation Playbook과 인공지능, 로봇 등의 디지털 기술을 결합해 SCM을 개선했으며, Saffron

Technology는 인지컴퓨팅(Cognitive Computing) 기술을 적용하여 공급사슬 복잡도를 개선함으로써 글로벌 소싱 업무를 혁신한 사례를 소개했다.

Kapkaeva *et al.*(2020)은 항만 디지털플랫폼에 대한 독일 함부르크 항만을 예로 제시하며, 더는 컨테이너 항만이 자동화를 통한 비용 절감 구역이 되어서는 안 되고, 구성원 전체가 이득과 안전을 증진하기 위해 프로세스의 통합을 이뤄야 하며, 이를 위해 관련 정보의 흐름을 증가시키는 디지털화가 필요하다고 언급했다.

이상윤·임태진(2020)은 현재 물류 및 해운분야의 디지털화 주요 동향을 소개하고, 그 중 블록체인 기술을 중심으로 디지털화가 내포한 속성을 파악하기 위해 머스크와 IBM의 블록체인을 기반으로 한 물류 플랫폼인 트레이드렌즈(Tradelenz) 사례와 삼성SDS 컨소시엄의 Nexledger 사례를 통해 기술 특성을 분석했다. 이를 통해 물류 및 해운분야의 디지털화에 있어서 블록체인 기술의 제약성과 개선사항을 제시했다.

선화·김현덕(2019) 역시 머스크와 IBM의 트레이드렌즈를 예로, 디지털화된 선박 도착시간을 비롯한 선하증권, 고객 인도시간, 송장, 세관통과 등의 정보를 플랫폼 참여자 모두에게 실시간 공유하도록 하여 선적시간을 40% 단축한 사례를 소개했다. 또한 엔트워프 항만이 스타트업 T-mining을 통해 항만-내륙 간 디지털화된 물류정보를 플랫폼에서 공유함으로써 물류비와 시간을 절감한 사례도 제시했다.

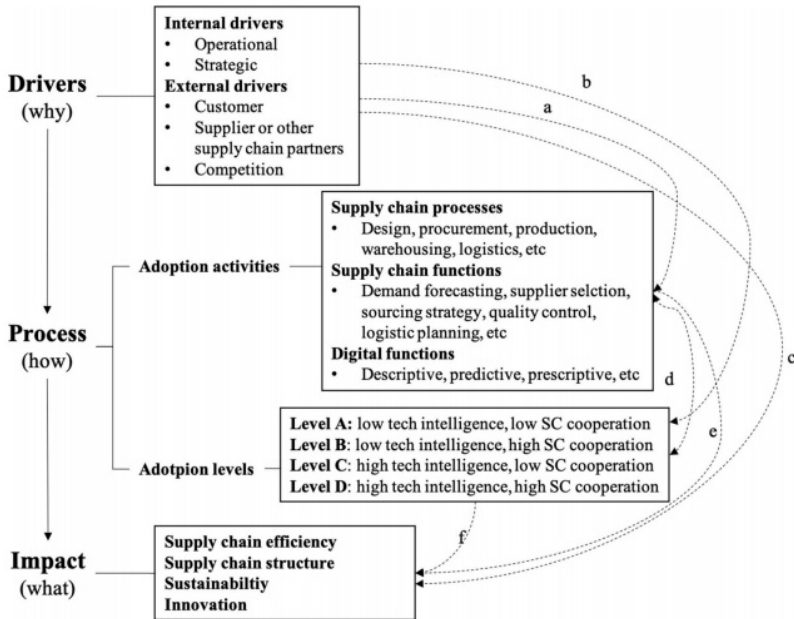
Jugović *et al.*(2019)은 물류 및 해상운송에 있어 블록체인 기술을 적용할 때 얻을 수 있는 이점에 대해 분석했다. 블록체인은 자산 출처 기록, 소유권 이전, 적법성, 보안 요구사항을 실시간으로 기록할 수 있어 불확실성을 줄이고, 참여자가 책임감 있는 태도로 참여하게 만든다. 이러한 이점을 물류와 해운에 적용될 수 있는 잠재력으로 여겼다. 또한, 스마트 계약

(Smart Contracts)은 기존 약관을 위반했을 경우 자동으로 벌금을 부과할 수 있도록 함으로써, 과거에 긴 시간을 소요한 분쟁 해결 과정을 단순화시킨다.

Yang, Fu & Zhang(2021)은 제조회사가 디지털 기술을 도입하는 다섯 가지 주요 요인(Drivers)을 크게 내적 요인과 외적 요인으로 구분했다. 디지털 기술을 도입하는 첫째 이유는 제조회사 내부 운영상 발생하는 문제를 해결하고 효율성을 증진하기 위함이다. 둘째 내적 요인은 회사의 전략적 방향성이다. 아마존, 알리바바, 구글은 사업 모델의 혁신을 위해 새로운 디지털 기술을 도입한 예이다. 외적 요인으로 소비자, 공급자를 비롯한 공급사슬 파트너, 그리고 경쟁을 지적하였다. 업체는 시장의 니즈를 충족시키고 효과적인 마케팅 수행을 위해 디지털 기술을 도입한다. 또한 공급사슬 파트너가 디지털 기술을 도입할 경우, 효율적인 업무 수행을 위해 제조업체도 동일한 디지털 기술을 사용해야 하며, 시장에서의 경쟁력 제고를 위한 수단으로 새로운 기술을 선제적으로 도입하고자 노력한다.

또한, 디지털 기술의 도입과정 속성을 도입 활동과 도입 수준으로 구분하고, 제조산업 공급사슬의 각 노드로 표현되는 프로세스(Supply Chain Processes: Design, Procurement, Production, Warehousing and Logistics)에서는 다양한 공급사슬 기능(Supply Chain Functions: Demand forecasting, Supplier selection, Sourcing strategy, Quality control and Logistics planning)을 개선하기 위해 다음과 같은 속성(Descriptive, Predictive, Prescriptive)을 가진 디지털 기능을 도입함을 보였다. 또한 기술도입으로 인한 효과를 ① 효율성(efficiency), ② 공급사슬 구조도(supply chain structure), ③ 지속가능성(sustainability), ④ 혁신(innovation) 측면으로 요약하였다. 다음 <그림 2-11>은 내적·외적 요인, 구축과정, 기대효과 간의 관계를 요약한 개념도이다.

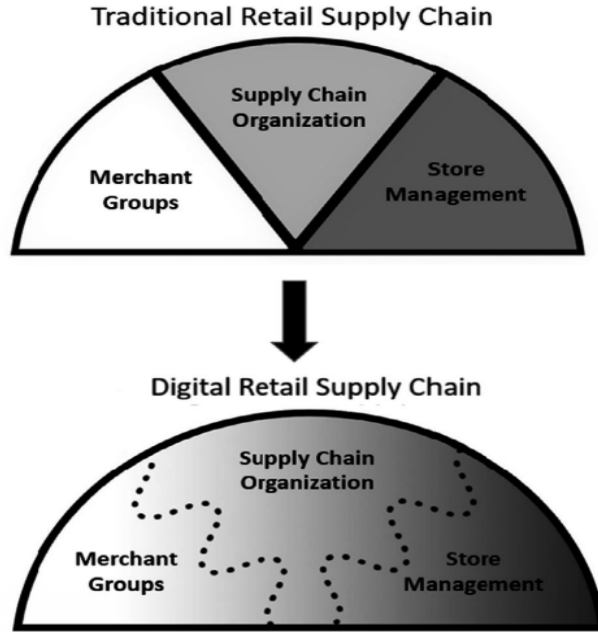
〈그림 2-11〉 디지털 기술 적용 개념도(제조업)



자료: Yang, Fu & Zhang(2021), p. 9

Ishfaq *et al.*(2021)은 소매산업의 디지털 공급사슬 구조를 제안했다. 소매산업의 전통적인 공급사슬은 각 노드(Node)로 표현되는 지점(단위 이해관계자)별 역할을 명확히 구분하며, 각 영역 내 정보를 바탕으로 의사결정을 수행한다(그림 2-12). 그러나 소비자가 온·오프라인의 다양한 경로로 상품을 경험하게 하는 옴니채널(Omnichannel) 환경은 디지털 기술의 도입을 촉진했으며, 〈그림 2-12〉와 같은 디지털 공급사슬 구조에서는 노드별 경계가 불명확해짐을 확인할 수 있다.

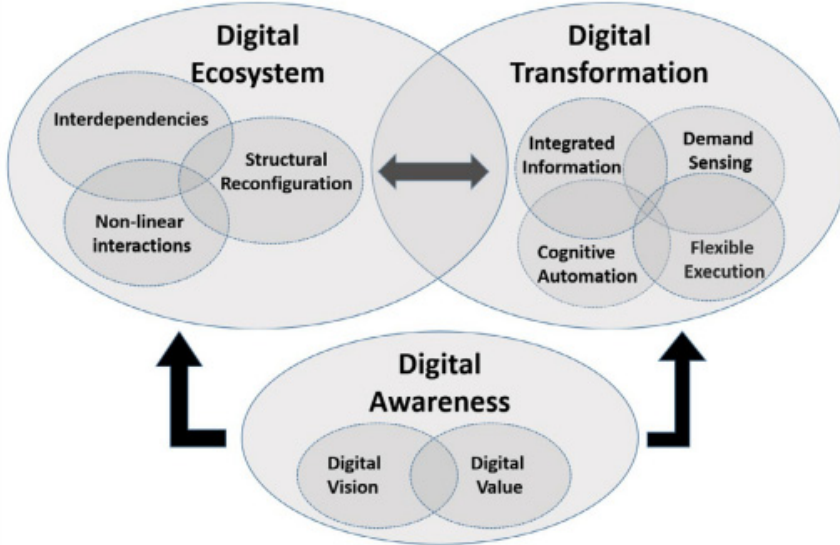
〈그림 2-12〉 전통적 소매 공급사슬과 디지털 소매 공급사슬 구조 비교



자료: Ishfaq, Davis-Sramek & Gibson(2021), p. 8

또한 Ishfaq, Davis-Sramek & Gibson(2021)은 소매산업 디지털 공급사슬 구조를 다음 〈그림 2-13〉과 같이 구체화했다. 디지털화 1단계는 업체의 디지털화에 대한 인식이다. 왜 디지털화가 필요하며, 이로 인해 얻을 수 있는 것이 무엇인지를 정의하는 것이다. 이를 바탕으로 디지털 생태계와 디지털 전환이 발생한다. 〈그림 2-13〉의 디지털 공급사슬 구조에서 확인할 수 있듯이 디지털 생태계는 참여자 간 상호의존성, 고객 요구에 유연하게 대응하기 위한 구조적 변화, 고객가치 향상을 위한 조직 내 비선형적 상호작용 특성을 가지며, 디지털 전환의 주요 요소는 정보공유, 인지 자동화, 수요 파악, 유연한 대응으로 볼 수 있다.

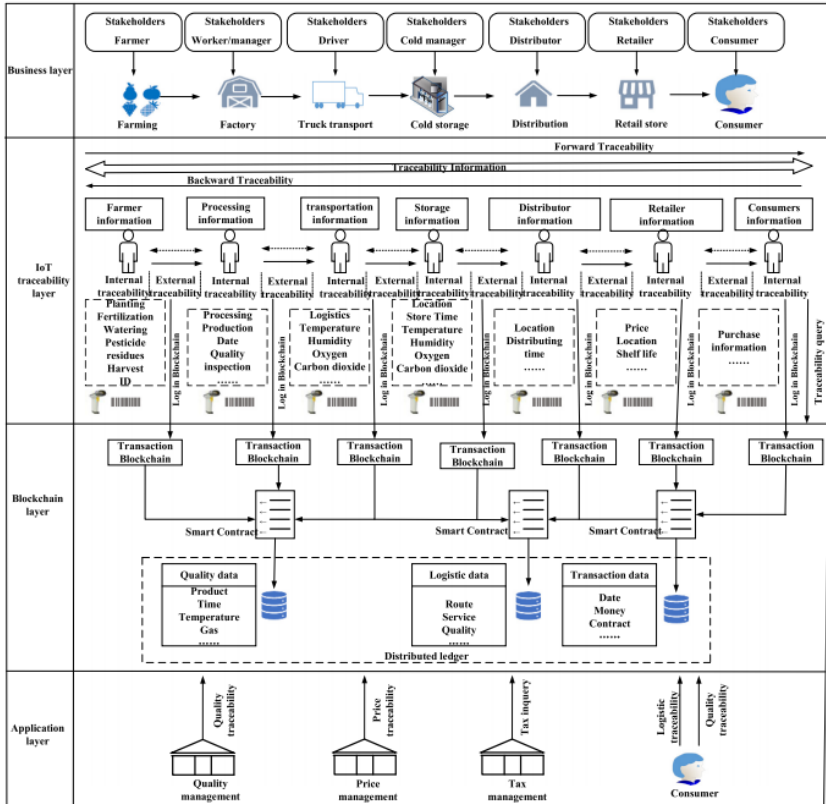
〈그림 2-13〉 디지털 공급사슬 개념도(소매업)



자료: Ishfaq, Davis-Sramek & Gibson(2021), p. 8

식품 공급사슬로의 빅데이터, 사물인터넷, 블록체인, 클라우드 컴퓨팅 등 디지털 기술 활용사례가 증가하고 있다. Köhler & Pizzol(2020)은 블록체인 기술을 식품 공급사슬에 적용한 여섯 가지 사례(FairChain, IBM FoodTrust, OpenSC, Provenance, TE-FOOD, WWF pilot)를 기술과 상품, 정보 및 조직 네 가지 측면에서 분석하고, 디지털 식품 공급사슬의 특징을 제시했다. 또한 Feng *et al.*(2020)은 블록체인 기술을 기반으로 한 식품 공급사슬 개념도를 제시했다(그림 2-14). 이는 사업 계층, 사물인터넷 계층, 블록체인 계층, 애플리케이션 계층으로 구성되어 있으며, 정보공유의 자동화와 참여 주체 간 자유로운 상호작용이 중요함을 시사한다.

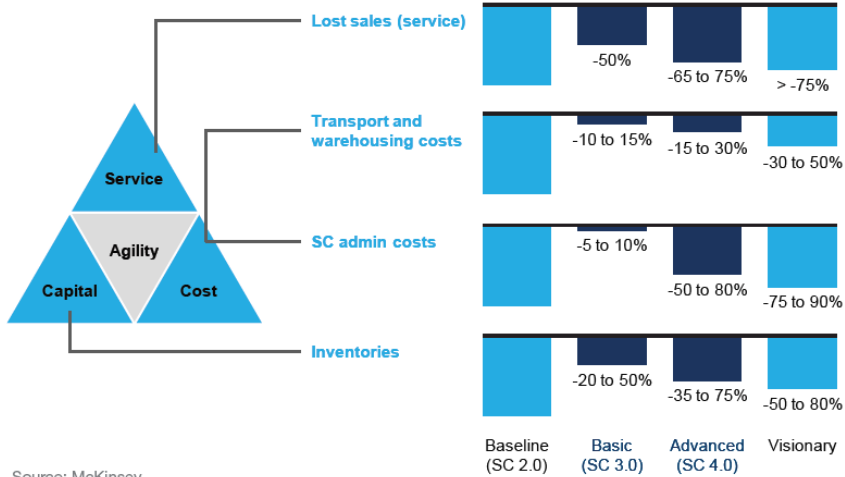
〈그림 2-14〉 디지털 공급사슬 개념도(식품업)



자료: Feng *et al.*(2020), p. 8

Alicke, Rexhausen & Seyfert(2017)는 ‘Supply chain 4.0’(디지털 공급사슬) 구축을 위해 ① 디지털과 그에 따른 ② 새로운 기능을 정의하고 ③ 이를 지지하는 환경의 조성이 필요하다고 언급했다. 또한 Supply chain 4.0은 공급사슬의 운영효율성을 증대시킴으로써 기존 대비 65~75%의 매출 손실 절감, 15~30%의 운송 및 보관 비용 절감, 50~80% 가량 공급사슬 운영비용 절감, 35~75%의 재고비용 감소와 공급사슬의 신속한 대응 수준 향상을 기대했다(그림 2-15).

〈그림 2-15〉 디지털 공급사슬 기대효과



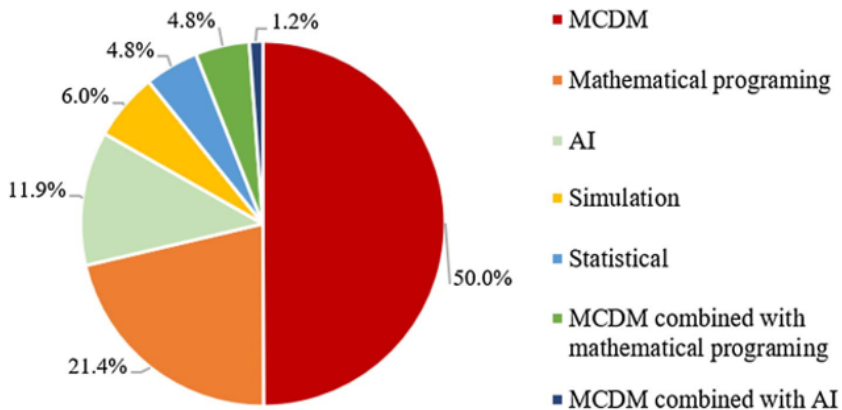
자료: Aliche, Rexhausen & Seyfert(2017), p. 10

본 절에서는 선행연구 검토를 통해 공급사슬의 디지털화가 항만·물류업 뿐 아니라, 제조업, 소매업, 식품업과 같이 다양한 산업 분야에서 발생함을 확인했다. 각 산업의 공급사슬 디지털화는 고객 니즈에 유연하게 대응하기 위함이라는 공통의 목적이 있으나, 디지털화의 세부 전략은 산업의 대내외적 환경(산업의 역할 재정의, 산업 내 비효율성 해결, 외적 환경의 변화 등)에 따라 서로 다르게 수립되고 있다. 또한 산업별 공급사슬 구조 및 연계 정보가 상이하므로 산업 전반을 아우르는 일반화된 공급사슬 디지털화 방안을 특정 산업에 적용하기에는 한계가 있는 것으로 판단된다.

제3절 공급사슬과 디지털 공급사슬 평가

디지털 공급사슬 평가는 디지털화 평가 방법과 공급사슬 평가 방법 각각을 고려해야 한다. 디지털 공급사슬은 공급사슬 유형 중 하나로 공급사슬을 평가하는 방법을 디지털 공급사슬에 일부 적용할 수 있다. 하지만, 물리적인 제품에서 파생하는 자료와 정보를 대상으로 한 디지털 공급사슬의 특성은 디지털화를 평가하는 방법의 적용 또한 고려하게 한다.

〈그림 2-16〉 선행연구에서의 공급사슬 평가 방법



자료: Lima-Junior & Carpinetti(2017), p. 340

Lima-Junior & Carpinetti(2017)는 선행연구에서 활용된 공급사슬 평가방법의 추세를 파악해 일곱 가지의 주요 평가 방법을 정리했다. 이들은 Science direct 등 검색엔진을 통해 약 170만 편의 연구에서 공급사슬 평가와 직접적으로 관련된 84편의 연구를 추렸다. 이들이 선행연구 검토를 통해 유형화한 공급사슬 평가 방법은 ① 다기준 의사결정론(MCDM: Multi-criteria decision making), ② 수리모형(Mathematical

Programming), ③ 인공지능(AI), ④ 모의실험(Simulation), ⑤ 통계적(Statistical) 접근, ⑥ 다기준 의사결정론과 수리모형 통합, ⑦ 다기준 의사결정론과 인공지능 통합 방식으로 정리된다(그림 2-16).

각 방식의 활용비율을 살펴보면, 다기준 의사결정론이 절반에 달해 가장 널리 활용됐다고 볼 수 있다. 이는 공급사슬이 하나의 평가 기준으로 평가되기는 적합하지 않기 때문이다. 실제로 선행연구에서 활용한 공급사슬의 평가 기준은 매우 다양하며, Webster(2002)는 비용, 지속가능성, 신속성(Agility), 유연성(Flexibility), 응답성을 핵심 기준으로 언급하기도 했다.

다기준 의사결정론이 연구계에서 가장 지배력이 있는 또 다른 이유는 공급사슬운영 참조모형(SCOR: Supply Chain Operations Reference)¹⁹⁾과 같은 널리 받아들여지는 지침이 존재하기 때문이라 판단된다. 공급사슬운영 참조모형은 (前)미국 생산 및 재고관리 협회(APICS: American Production and Inventory Control Society), (現)ASCM(Association for Supply Chain Management)이라는 공급사슬관리협회에서 제시한 지침으로, 공급사슬 업무를 개선하는 방법과 성능을 평가하는 기준을 제공한다.

마지막으로, 가용 데이터가 적어 전문가의 판단이나 설문에 의존해야 하는 경우, 계층화 분석법(AHP: Analytical Hierarchy Process)과 같은 접근방법이 더 신뢰성 있는 결과를 제시할 수 있기 때문이다. 예를 들어, 자동차 제조 공급사슬을 진단하는 경우, 공급사슬 운영비용은 참여기업의 사적 데이터로 인식돼 정량적 데이터를 확보하기 어렵다. 또한, 이해관계자 간 협력 정도와 같은 평가지표는 이와 관련된 맞춤형(Customised) 데이터가 사전에 수집돼야 하나, 그렇지 못한 경우가 많아 가용 데이터가 충분하다고 할 수 없다.

19) APICS(2017)

수리 모형화를 통한 공급사슬 평가는 두 번째로 많이 활용된 방식이다. 대상 선행연구의 2할 이상이 이 방법을 활용했다. 다기준 의사결정론과 마찬가지로, 가용 데이터가 많지 않았을 때 매우 유용하다. 이는 현실을 단순화한 수리모형을 제공함으로써, 향후 관련 데이터를 얻어 수리모형의 의사결정변수(Decision Variables)나 목적함수, 제약식(Constraints)의 계수(Coefficients)에 대입해 활용할 수 있기 때문이다.

이는 실제 수리식을 통해 더욱 쉽게 이해할 수 있다. Shaw *et al.*(2012)은 Amid, Ghodsypour & O'Brien(2006), Kumar, Vrat & Shankar(2006)에서 언급한 전형적인 선형계획법 기반 공급자 선정 문제의 수리모형을 아래와 같이 보였다.

$$\text{Minimise } Z_1 = \sum_{i=1}^n P_i x_i \quad (1)$$

$$\text{Minimise } Z_1 = \sum_{i=1}^n Q_i x_i \quad (2)$$

$$\text{Minimise } Z_1 = \sum_{i=1}^n L_i x_i \quad (3)$$

$$\text{Minimise } Z_1 = \sum_{i=1}^n G_i x_i \quad (4)$$

Subject to :

$$\sum_{i=1}^n x_i = D \quad (5)$$

$$x_i \ll U_i \quad (6)$$

$$\sum_{i=1}^n G_i x_i \ll C^{Upper} \quad (7)$$

$$P_x x_i \ll B_i \quad (8)$$

$$x_i \gg 0 \text{ and integer} \quad (9)$$

〈표 2-6〉에서 정의·설명된 인덱스(Index)와 의사결정 변수, 파라미터를 기반으로 (1) ~ (4)는 각각 목적함수를, (5) ~ (9)는 제약조건을 보여준다. 이 수리모형은 ① 주문에서의 총비용과 거절 주문, 배송 지연 및 온실가스 배출량을 최소화 하는 공급자 선정을 ② 수요와 온실가스 배출 상한선 등의 제약조건 아래에 수행하기 위한 것이다. 즉, 〈표 2-6〉에 나타난 인덱스와 파라미터의 값을 찾아 대입하면, 수리식을 유용하게 활용할 수 있다.

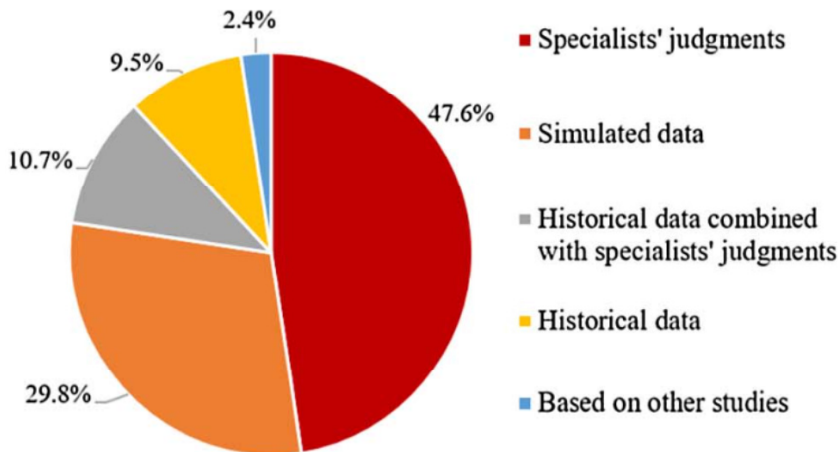
〈표 2-6〉 공급사선택 수리모형에서의 인덱스, 변수 및 파라미터 정의

표기	속성	정의 또는 설명
i	인덱스	• 공급자를 구분하기 위한 인덱스
x_i	의사결정 변수	• 공급자 i 로의 주문량
P_i	파라미터	• 주문량 x_i 에 대한 단위가격
Q_i		• 주문량 x_i 에 대해 거절된 주문량 비율
L_i		• 주문량 x_i 에 대해 늦게 인도된 주문량 비율
G_i		• 주문량 x_i 에 대한 온실가스 배출량
D		• 주어진 계획 기간의 총수요
U_i		• 공급자 i 를 위한 공급 수량 상한
C^{Upper}		• 공급사선택 내 온실가스 배출 상한선
B_i		• 공급자 i 에 할당된 예산 제약
n		• 공급자 선정 경쟁에 참여하는 공급자 수

자료: Shaw *et al.*(2012), p. 8185를 기반으로 저자 번역·정리

모의실험은 1할 이상의 선행연구에서 활용된 방법이다. 모의실험은 실제 환경을 모방해 실험하는 것으로, 양질의 데이터를 활용할 수 있을 때 매우 유용하다. 특히, 다기준 의사결정론이나 수리모형에서 고려할 수 없는 상세한 기준이나 제약 등을 모의실험에 반영할 수 있으므로, 선행연구에서 빈번히 사용됐다. ExtendSim과 같은 검증된 상용화 분석 도구를 별도로 구매·활용해야 하는 단점이 있으나, 분석 도구가 확보됐다면 양질의 결과를 도출할 수 있으므로 연구자들이 선호하는 방법으로 볼 수 있다.

〈그림 2-17〉 공급사슬 평가 관련 선행연구에서의 데이터 출처



자료: Lima-Junior & Carpinetti(2017), p. 343

다만, 모의실험에서의 잘못된 입력값은 무의미한 출력값(Garbage in Garbage out)을 제시하는 특성이 있으므로, 양질의 입력 데이터를 반드시 확보해야 한다. Lima-Junior & Carpinetti(2017)는 선행연구의 대부분이 전문가의 판단이나 가상으로 생성된 데이터를 분석에 활용했음을 보였다(그림 2-17). 이를 통해, 대부분 선행연구가 다기준 의사결정론이나 수리모형을 활용한 이유가 양질의 데이터 부족임을 유추할 수 있다.

공급사슬 평가에서 모의실험을 활용한 최신 선행연구는 LNG 공급사슬을 연구한 Katebah *et al.*(2020), 약국-병원 간 의약품 공급사슬을 연구한 Franco & Alfonso-Lizarazo(2020), 바이오매스(Biomass) 에너지 공급사슬을 연구한 Akhtari & Sowlati(2020), 옴니채널 소매 공급사슬을 연구한 Pereira & Frazzon(2021) 등이 있다.

Pereira & Frazzon(2021)은 소매 공급사슬에서 물리적 영역과 디지털 영역을 동시에 고려한 연구가 부족함을 언급했다. 이들은 기계학습과 같은 최신 기술을 활용해 수요예측이나 운영계획을 모의실험 기반으로 최적화하는데 집중했다.

De Giovanni(2019)는 전통적인 공급사슬이 디지털 공급사슬로 전환할 때, 정적 및 동적 해법을 비교하며 공급사슬에서의 게임을 중앙 집권식과 분산식으로 정의해 제시하였다. 여기에서의 게임은 게임이론(Game Theory)에서의 게임을 의미한다. 게임의 각 참여자가 적절한 전략을 선택해 공급사슬 시스템에서의 이익을 극대화하는 일종의 의사결정 게임으로 볼 수 있다.

Schlüter, Hetterscheid & Henke(2019)는 공급사슬 디지털화 시 필요한 리스크 관리 방안을 찾기 위해, 독일 철강산업을 예시로 다양한 디지털화 시나리오를 모의실험에 적용했고, 예상되는 평균 리드 타임 정량화를 통한 평가로 디지털화 시나리오를 선택하는 방법을 제시했다.

Paulauskas, Filina-Dawidowicz & Paulauskas(2021)는 항만의 디지털화 수준을 평가하는 방법론을 개발하고자 했다. 수집한 데이터를 기반으로 모의시험이 가능한 수리모형을 제시했고, 30개 항만에 대한 사례 연구를 진행했다. 이를 통해 디지털화 기준을 수립했고, 중·소형 항만이 대형 항만에 비해 디지털화 수준이 약 30% 낮은 것으로 추정했다.

제4절 시사점

제2장에서는 공급사슬과 디지털 공급사슬의 정의, 공급사슬 디지털화 사례, 평가방법에 대한 선행연구를 검토하였다. 4차 산업혁명기술의 발달, 코로나19, 고객 니즈변화 등 대내외적 환경변화로 인해 공급사슬의 디지털화는 다양한 산업 분야에서 빠르게 진행되고 있다. 디지털화 세부 전략은 항만물류, 해상운송, 제조업, 소매업, 식품업 등 산업 분야별로 해당 산업의 특성 및 환경을 고려하여 수립되고 있고 있다. 즉 특정 산업의 공급사슬 디지털화를 위해서는 우선 해당 산업의 공급사슬 구조, 특성, 대내외적 환경을 분석하고, 이를 반영한 디지털화 전략을 선택해야 할 것이다.

본 연구는 항만(공간적)에서의 컨테이너 공급사슬 내 반출 프로세스를 대상으로 실질적인 디지털화 전략을 제안하고, 도입효과를 정량적으로 평가하고자 한다. 항만물류 산업의 공급사슬 디지털화를 제안한 Botti *et al.*(2017), Weernink *et al.*(2017), Kapkaeva *et al.*(2020), 이상윤·임태건(2020), 선화·김현덕(2019)은 선행연구 검토 및 사례분석을 통해 디지털화 전략을 개념적으로 제안하고, 관련된 이슈를 발굴하는 데 집중하였다. Weernink *et al.*(2017) 및 선화·김현덕(2019)은 제안한 디지털화 전략에 대한 기대효과를 제시했다는 의의가 있으나, 선행연구와 사례분석을 기반으로 한 정성적인 효과라는 한계가 있다. 본 연구에서는 이를 보완하기 위해 항만물류 분야의 디지털화 전략에 대한 효과를 보다 객관적이고 정량적으로 추정하고자 한다. 정량적 기대효과는 공급사슬 참여자들이 디지털화 필요성에 대한 공감대를 형성하고, 산업의 디지털화를 촉진하는 데 중요한 역할을 할 것이다(표 2-7).

〈표 2-7〉 선행연구 대비 본 연구의 차별성

차별 영역	본 연구	선행연구
연구 대상	• 항만 컨테이너 공급사슬 내 반출 프로세스	• 항만물류, 해운, 제조업, 소매업, 식품업 등 다양한 분야의 연구 수행(제2절 참조)*
연구 목적 및 주요내용	• (목적) 현장 기반의 실질적 디지털화 대안을 제시하고, 이를 정량적으로 평가해 디지털화의 정량적 효과를 검증함으로써, 산업의 디지털화 촉진 기여 • (주요내용) 컨테이너 반출입 현황 파악 및 분석, 컨테이너 반출입 애로사항 도출, 컨테이너 반출 디지털화 대안 정립²⁰⁾, 기대효과 도출, 정책제언	• Botti <i>et al.</i>(2017): 항만 스마트 서비스 시스템의 개념적 정의 제안 • Weernink <i>et al.</i>(2017): 블록체인기술 도입을 통한 항만의 디지털화 전략 및 이에 대한 긍정적인 기대효과 제시 • Kapkaeva <i>et al.</i>(2020): 항부르크 항만의 디지털화를 정보 흐름 측면에서 제시 • 이상윤·임태건(2020): 물류/해운물류 부문의 블록체인 기술 적용 현황, 도입 제약요인, 개선방향 등을 제안 • 선화·김현덕(2019): 블록체인기술의 물류산업 도입에 대한 긍정적인 기대효과 및 적용 한계 제시
연구 방법	• 선행연구 검토 • 사례분석 • 전문가 인터뷰 • 모의실험을 위한 대안 모형화 • 모의실험 수행 및 분석 • 정책제언	• Botti <i>et al.</i>(2017): 선행연구 검토, 이론적 고찰, 사례분석 • Weernink <i>et al.</i>(2017): 선행연구 검토, 사례분석 • Kapkaeva <i>et al.</i>(2020): 선행연구 검토, 사례분석, TOGAF(The Open Group Architecture Framework) • 이상윤·임태건(2020): 선행연구 검토, 사례분석, 토픽모델 • 선화·김현덕(2019): 선행연구 검토, 이론적 고찰, 전문가 인터뷰, 사례분석
종합	항만 컨테이너 공급사슬 내 디지털화 범위를 한정하고, 애로사항 기반의 대안 도출과 모의실험을 통한 정량적 효과를 제시한 연구는 부재함	

* 본 연구와 선행연구와의 차별성을 도출하기 위해 〈표 2-7〉에서는 항만물류 부문 선행연구 5건에 대해서만 연구목적, 연구 방법론 기술

20) 반입보다 반출에서의 애로사항이 더 심각함을 서술해 디지털화의 범위를 반출로 한정함

03

컨테이너 반출입 현황 및 디지털화 방안

제3장에서는 항만 터미널의 컨테이너 반출, 반입 현황을 파악하고, 현장에서 애로사항을 확인하며, 이를 기반으로 실질적인 디지털화 방안을 도출한다. 2차년도 연구에서 도출한 전반적인 항만 컨테이너 공급사슬의 일부를 더욱 자세히 조사·분석하고, 실질적인 디지털화 방안을 도출함으로써, 제4장의 공급사슬 디지털화 모델 구축과 분석의 기반을 마련한다.

제1절 반출입 프로세스 현황

본 절에서는 항만 터미널에서 발생하는 컨테이너 반출·입 프로세스의 정의와 현황을 소개하고, 부산항에서 발생하는 반출·입 업무에 대해 더욱 자세히 설명한다. 본 절에서의 반출·입 프로세스란 외부트럭을 활용해 항만 터미널에 장치된 컨테이너를 빼내거나, 터미널에 장치시키는 업무를 의미하고, 본 연구에서는 앞선 2차년도 연구에서 정의했던 반출·입 업무를 더욱 자세히 조사·분석한다.

1. 컨테이너 반출 프로세스

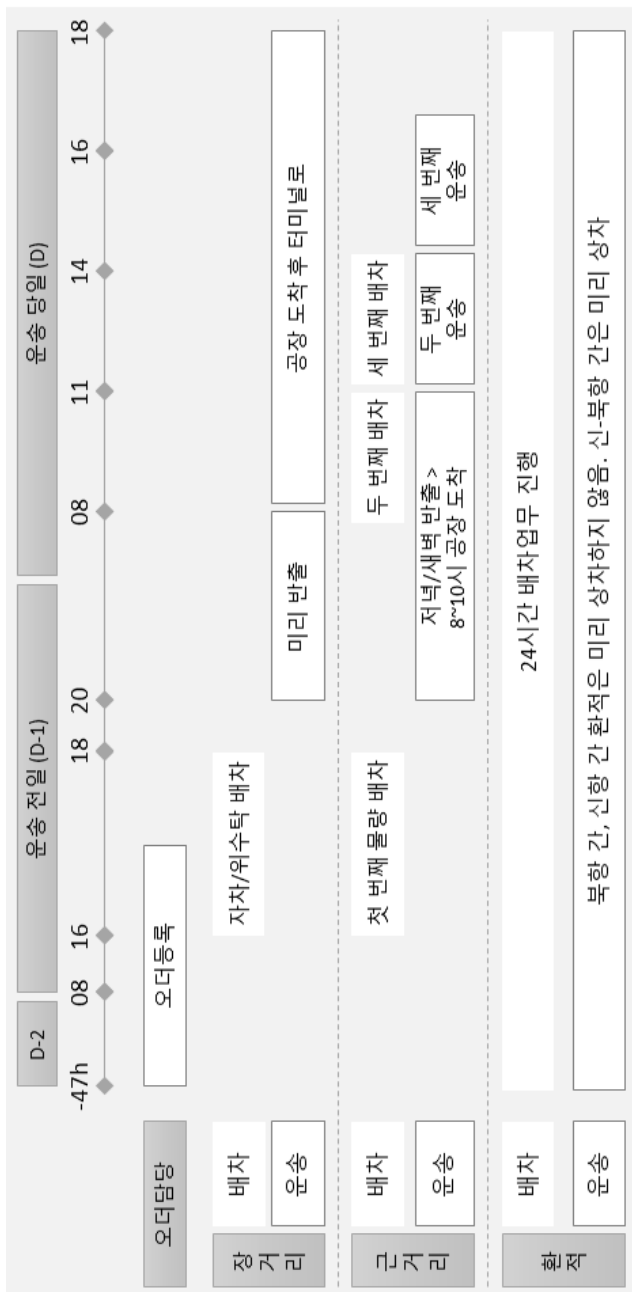
반출 프로세스란 수입이나 수입 환적²¹⁾ 과정에서 선박으로부터 양하된 후 터미널에 장치된 컨테이너를 외부트럭을 활용해 터미널 외부로 반출하는 작업을 의미한다. 비용 처리, 신고 등 사전절차가 마무리된 컨테이너를 대상으로 운송사는 사전반출정보를 전송해 반출 여부를 확인한 후, 외부트럭을 이용해 컨테이너를 반출한다.

반출 업무절차는 다음과 같다. ① 선사가 화주에게 화물 도착을 통지하는 것을 시작으로, ② 화주가 선사에 운임 비용을 지급하고, ③ 선사가 화주와 터미널운영사에 운송오더(D/O: Delivery Order) 발행 및 내역 통보를 수행한다. 다음으로, ④ 화주 또는 선사가 운송사에 반출운송을 의뢰하고, ⑤ 운송사는 창고 도착 요청 시간을 확인해 차량의 배차를 지시한다. ⑥ 터미널에 사전반출입정보가 전송되며, ⑦ 외부트럭이 터미널에 진입, 게이트를 통과해 야드 장치장으로 이동하고, ⑧ 야드 내 하역 장비(예: 야드 크레인)의 도움을 받아 컨테이너를 반출하게 된다.

운송사에서는 차량을 장거리 운송, 근거리 운송, 환적 운송으로 구분해 운영하고 있다(그림 3-1). 장거리 운송은 하루 한 번 반출입 주문을 처리하는 것이 일반적이다. 다만, 장거리 컨테이너 작업이 이른 시간에 종료되는 경우, 근거리나 환적에 투입되는 때도 있다. 근거리 운송은 터미널과 창고 간 운행 거리가 1시간 이내인 경우가 많고, 하루에 3~4회 정도의 운송업무가 포함된다. 환적 운송은 여러 명의 운송기사가 하나의 차량을 활용하는 때도 많으며, 24시간 운영을 목표로 한다.

21) 환적에서의 인바운드(Inbound)

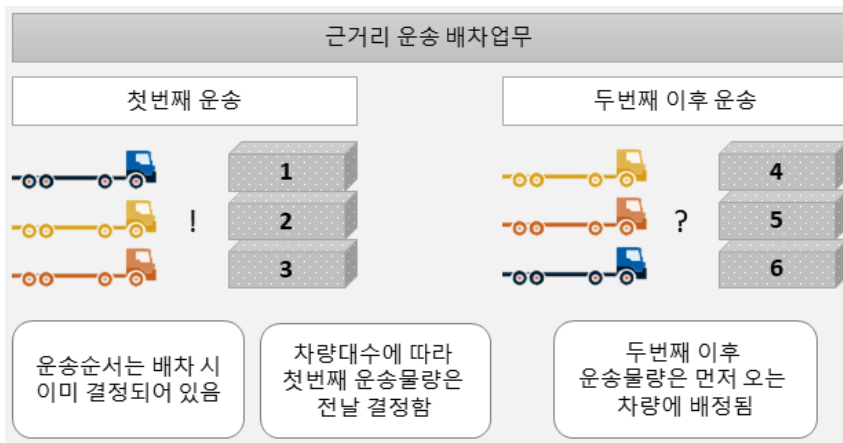
〈그림 3-1〉 운송사의 배차업무와 운송시간



자료: 저자 작성

장거리 차량의 운송 물량 배차는 운송 전날 오후 6시까지 이루어지며, 이와 동시에 사전 반출입정보가 자동으로 터미널운영사에 전송된다. 사전 반출입정보(COPINO: Container Pre-notification Message)²²⁾는 운송사에서 터미널로 컨테이너를 반출입하기 전에 전송하는 정보를 말하며, 컨테이너 단위의 수출은 예약정보, 수입은 운송오더 또는 선하증권(B/L: Bill of Lading) 정보, 환적은 선하증권정보가 포함돼 있다. 배차지시를 받은 운송기사는 터미널이 혼잡한 시간대를 피해 늦은 저녁이나 이른 아침에 컨테이너를 터미널에서 반출하는 경우가 많다.

〈그림 3-2〉 근거리 운송의 배차업무



자료: 저자 작성

근거리 차량의 운송 물량은 배차 전 운송순서가 결정돼 있으며, 근거리 첫 번째 물량은 장거리와 마찬가지로 운송 전날 배차 담당자가 퇴근하기 전 배차와 동시에 사전 반출입정보를 전송한다. 반면에, 운송일의 두 번째 작업부터는 이전 작업이 마감되는 시점을 알려주고, 다음 물량을 배차 받

22) SMDG(검색일: 2021. 9. 19)

게 된다. 때에 따라, 화주 요청 시점에서 터미널 반출까지의 시간 간격이 매우 짧은 경우도 빈번히 발생한다(그림 3-2).

타 부두 환적 물량은 24시간 동안 꾸준히 발생하며, 반출과 반입 시간 간격이 매우 짧아 터미널운영사 입장에서는 장치장의 상하차 사전작업을 준비하기 매우 어렵다. 또한, 여러 대의 차량이 투입돼 데이터와 정보가 지체없이 처리돼야 하는 터미널 상황에 맞게 배차 담당자와 운송기사가 긴밀하게 대처해야 한다.

2. 컨테이너 반입 프로세스

컨테이너 반입 작업이란 수출이나 수출 환적²³⁾ 컨테이너를 외부트럭을 활용해 터미널 내부로 반입하는 작업을 의미한다. 선적예약이 마무리된 컨테이너를 대상으로 운송사는 사전반입정보를 터미널운영사로 전송하고, 외부트럭을 이용해 반입 마감 시간 이내에 컨테이너를 반입하게 된다.

반입 업무절차는 다음과 같다. ① 화주 또는 포워더가 선사를 통해 선적 예약을 수행하고, ② 화주 또는 선사가 운송사에 반출운송을 의뢰한다. 다음으로, ③ 선사가 창고에 화물반출 예정 통보를 수행하고, ④ 운송사는 터미널 반입 마감 시한을 확인 후, 가용 차량을 대상으로 배차를 진행한다. ⑤ 외부트럭 기사는 터미널에서 화물 적입을 위한 공 컨테이너를 반출 후 창고로 이동한다. ⑥ 창고 운영사는 화물 적재 후 터미널로 반입지시와 함께 터미널에 사전 반출입정보를 전송하며, ⑦ 외부트럭이 게이트를 통해 터미널에 진입, 장치장으로 이동 후 ⑧ 야드 하역장비의 도움을 받아 컨테이너를 반입하게 된다.

23) 환적에서의 아웃바운드(Outbound)

장거리 차량의 운송 물량에 대한 배차 시점은 운송 당일이며, 이와 동시에 사전반입정보를 전송한다. 반면에, 근거리 물량은 공 컨테이너를 반출하고 화물 적입 작업을 완료한 후, 터미널에 반입한다. 트럭이 터미널로 출발하는 시점에 사전 반출입정보도 전송되기 때문에, 반입까지의 시간 간격이 매우 짧다.

터미널운영사는 반출입 작업의 효율성 향상을 위해 트럭의 도착시간이 예상 또는 확정되면, 이를 활용해 장치장 운영계획을 세워 궁극적으로 야드 장치장의 혼잡도가 최소화되기를 원한다. 야드 장치장의 혼잡도는 야드 크레인의 활용률 등 여러 요소에 의해 평가될 수 있으나, 가장 대표적으로 외부트럭의 대기시간이 활용된다.

3. 부산항 컨테이너 반출입 세부 현황

부산항은 우리나라에서 가장 혼잡한 터미널 중 한 곳으로, 반출입 역시 매우 빈번하게 발생한다. 부산항 컨테이너 반입 로컬(Local)과 반출 로컬²⁴⁾은 시간대별 유사한 모습을 보인다. 오전 8시를 기점으로 반출입량이 급격히 높아지기 시작해 점심 식사 시간에 낮아지고, 14시에서 17시까지 최고조의 반출입량을 기록했다(그림 3-3).

더욱 상세히 설명하면, 운송 전날 18시에서 운송 당일 8시까지는 전날 오후의 지·정체를 피해 들어오는 장거리와 근거리 첫 번째 반출물량의 비중이 가장 높았다. 운송 당일 오전 8시에서 11시까지는 화주 공장 또는 창고에서 컨테이너를 적입해 가지고 오는 근거리 1회차 반입물량이 증가했다. 오전 11시부터 오후 2시까지는 근거리 두 번째 반출입과 장거리 운송 작업에 해당하는 컨테이너가 반입되는 시점이며, 일시적으로 점심시간에

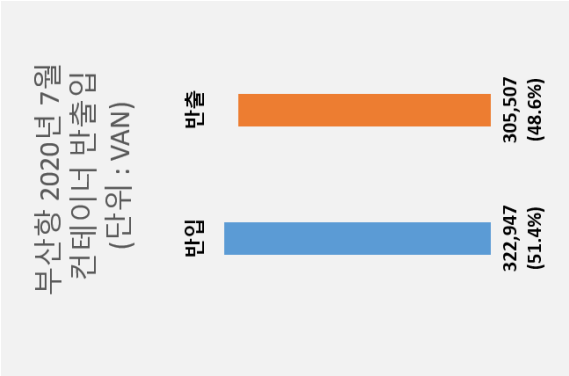
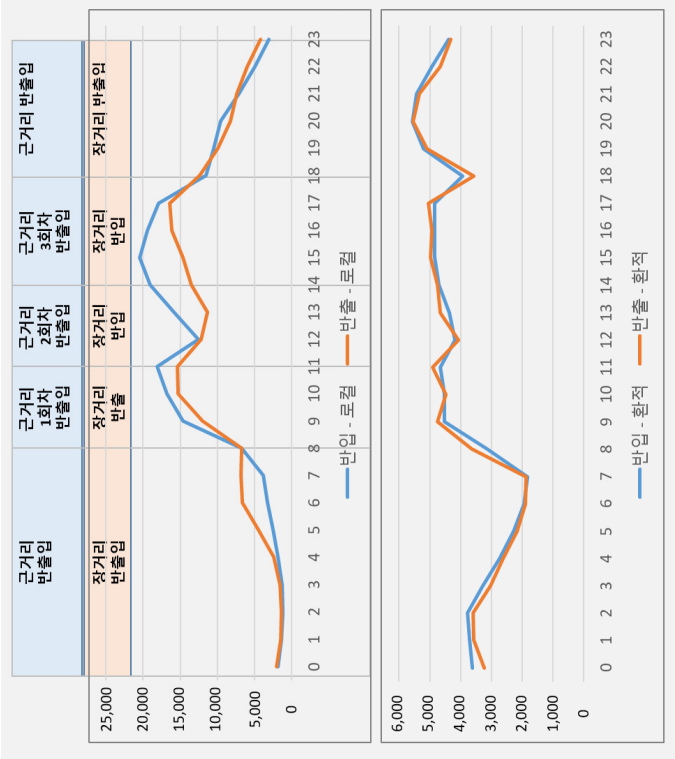
24) 현장에서는 환적과 구분하기 위해, 수입과 수출에서의 반입과 반출을 반입 로컬, 반출 로컬이라고 표현함

출입량이 적어졌다. 오후 2시부터 오후 6시까지는 근거리 3회차 반출입과 장거리 반입이 겹쳐지면서 정체가 가장 심해지는 시간대로 볼 수 있다.

환적 운송의 경우, 새벽 시간대와 점심, 저녁 식사 시간대를 제외하고는 비슷한 비율로 반출입이 발생했다. 즉, 환적보다는 반입로컬이나 반출로컬에 해당하는 반출입 작업이 시간대별 수요의 편차가 큰 것을 확인할 수 있었고, 이에 따라 외부트럭의 대기가 심각함을 짐작할 수 있다.

실제로, 〈그림 3-3〉을 통해 관찰된 트럭의 대기시간은 2020년 7월 한 달 동안 13만 시간을 초과했고, 이에 트럭기사의 임금과 에너지, 환경 피해 비용을 적용하면 연간 수백억 원의 기회비용이 초래됨을 유추할 수 있다. 다만, 이는 2020년 7월의 반출입 동향이 다른 시기에도 같다고 가정하여 계산된 수치로, 실제로는 차이가 있을 수 있다.

〈그림 3-3〉 부산항 10개 터미널 기준 2020년 7월 운송 거리에 따른 반출입 현황



자료: 부산항만공사 데이터를 활용해 저자 작성

제2절 애로사항 및 디지털화 대안

본 절에서는 제1절에서 파악한 컨테이너 반출입 현황과 세부 프로세스, 운송사의 배차업무 구분, 운송시간 및 패턴을 기반으로, 반출입에서의 애로사항을 도출한다. 실무에서 발생하는 현실적 애로사항을 현장데이터를 기반으로 자세히 파악한다. 이를 통해, 실제로 적용 가능한 수준의 디지털화 대안을 제시하고, 이에 대한 효과를 정성적으로 언급한다. 본문에서는 반입 보다는 반출에서의 문제가 더 심각함을 언급하며, 디지털화 대안 역시 반출 업무를 개선하는 데 초점을 맞춘다.

1. 반출입에서의 애로사항

제1절에서 언급된 바와 같이, 현재 컨테이너 반출입 업무는 개선의 여지가 있고, 업무 개선을 위해서는 애로사항을 파악·분석할 필요가 있다. 하지만 현장에서의 애로사항은 단순히 목록화해 서술될 수 없다. 이는 현장의 문제는 매우 복합적인 원인에 의해 발생하기 때문이다. 본 세부 절에서는 현장의 애로사항을 더욱 명확히 설명한다.

우선, 장치장은 선박의 양·적하 작업과 외부트럭의 반출입 작업이 동시에 진행되는 공간이다. 즉, 병목현상에 매우 취약한 영역으로 볼 수 있으며, 따라서 계획적인 장치장 작업이 필요하다. 하지만, 선박의 입출항에 비해 외부트럭의 진·출입은 예정 시간과 실제 소요 시간의 차가 매우 커 터미널운영사 입장에서는 장치장 작업을 계획적으로 수행하기 매우 어렵다.

트럭의 진입 및 출입, 즉 컨테이너 반출입시간을 세부화하면 ① 게이트 진입 후 블록까지 주행시간, ② 상하차를 위한 대기시간, ③ 상하차 작업시

간으로 구분할 수 있다. 게이트 진입 후 블록까지 이동시간은 터미널 내 교통에 방해되는 요소가 없는 경우, 유의미한 차이를 보이지 않는다.

이에 반해, 상하차를 위한 대기시간은 매우 가변적인 요소로 여겨진다. 이는 대기행렬 이론에서의 선입선출, 즉 먼저 도착한 외부트럭이 서비스를 먼저 받는 개념을 넘어, 작업의 우선순위가 존재해 추가로 대기시간이 늘어날 여지가 있기 때문이다. 외부트럭이 야드 블록에 도착하면, ① 기존에 대기하고 있는 트럭의 작업과 ② 작업 우선순위가 높은 컨테이너를 고려해 대기시간이 결정된다. 터미널 장치장 작업 우선순위는 본선의 양·적하 물량, 세관 요청 작업, 외부트럭에 의한 반출입 적(積) 컨테이너 등 순서로 중요도가 높다. 즉, 외부트럭의 반출입은 상대적으로 우선순위가 낮다. 그러므로, 본선 작업에 의한 안벽작업 상황 변경이 발생한다면 반출입 트럭이 장치장에서 대기하는 시간이 늘어나게 된다.

〈그림 3-4〉는 평택컨테이너터미널 장치장의 배치도를 보여준다. 각 야드 블록은 숫자와 영문으로 구성된 코드(Code)로 표현되며, 숫자는 블록의 세로 집합인 열(Column)의 순서를 나타내며, 영문은 블록의 가로 집합인 행(Row)의 순서를 나타낸다. 그림에서 빨간색으로 표현된 블록은 본선 작업으로 인해 반출이 불가능한 블록을 표시한 것으로, 해당 블록의 신규 반출 건은 허용하지 않는다. 즉, 운송기사는 이러한 정보를 사전에 통보받지 못하므로, 최악의 경우 관련 야드블록의 신규 반출 건이 허용될 때까지 대기해야 한다.

〈그림 3-4〉 본선 작업이 발생하는 장치장 블록의 반출 불가 처리

아드 블록별 COPINO LOCK 현황 (붉은색 표시 블록은 본선 작업으로 인해 반출 불가)

선석 9B	선석 8B	선석 7B	선석 6B
양하:1P	양하:2P	양하:3P	양하:4P
양하:1A	양하:2A	양하:3A	양하:4A
양하:1B	양하:2B	양하:3B	양하:4B
양하:1C HALU2027948 21:26 아드 작업 정비 : RT228	양하:2C	양하:3C	양하:4M
양하:1M	양하:2R	양하:3R	양하:4R
양하:1R	양하:2D	양하:3D FSCU4786010 21:37 아드 작업 정비 : RT203	양하:4D
양하:1D 아드 작업 정비 : RT207	양하:2E HJMU2050317 21:43 아드 작업 정비 : RT202	양하:3E SKLU1579840 21:43 아드 작업 정비 : RT229	양하:4E

자료: 저자 작성

상하차 작업시간의 경우, 야드 내 하역장비(예: 야드크레인)의 이동거리가 컨테이너 장치 위치에 따라 다르다는 점을 제외하면 유의미한 특성을 찾아보기 어렵다. 다만, 반입 컨테이너는 선행작업 후 바로 하차되지만, 반출 컨테이너는 리핸들링(Re-handling) 작업 후 상차가 진행된다.

리핸들링 작업은 본래 작업을 수행하기 위해 부수적으로 발생하는 컨테이너 재배치 작업을 의미한다. 외부트럭의 도착순서와 시간을 터미널운영사가 파악하기 어려우므로, 외부트럭 도착순으로 야드 작업이 수행되는 경우 리핸들링 시간이 매우 길어질 수 있다. 다만, 이러한 리핸들링은 본 작업뿐 아니라, 선행 외부트럭에도 동일하게 적용되므로 상하차 작업시간으로만 고려하는 것은 적절하지 않다.

또 하나의 애로사항은 운송사나 외부트럭 기사로서 야드크레인의 정비나 고장 등은 예측하기 어려운 변수라는 것이다. 다만, 운송사에서는 터미널 정보조회 서비스를 통해 시설이나 장비의 고장을 확인하고, 관련 블록의 반출 건을 진행하지 않는 등 대응이 가능하다.

〈그림 3-5〉는 외부트럭이 터미널 게이트 진입 후 상하차 작업까지의 턴어라운드 타임(TT: Turn-around time)²⁵⁾의 개념과 구성을 나타낸 것이다. 외부트럭의 턴어라운드 타임을 나타내는 ‘Land TT’는 외부트럭이 게이트 진입 후 장치장의 상하차 작업까지 소요하는 시간을 의미한다. 선박의 턴어라운드 타임을 나타내는 ‘Sea TT’는 선박의 양·적하 작업 후 장치장의 상하차 작업까지 소요하는 시간을 의미한다.

‘Land TT’를 자세히 살펴보면, ① 외부트럭이 터미널에 진입한 후 장치장 블록까지의 주행시간, ② 블록에서 상하차 작업을 위한 대기시간, 그리고 ③ 반출입 목적 컨테이너의 작업시간으로 구분된다. 주행시간은 터미널 내부의 외부, 내부트럭 수, 대기시간은 목적 컨테이너의 작업 우선순위와

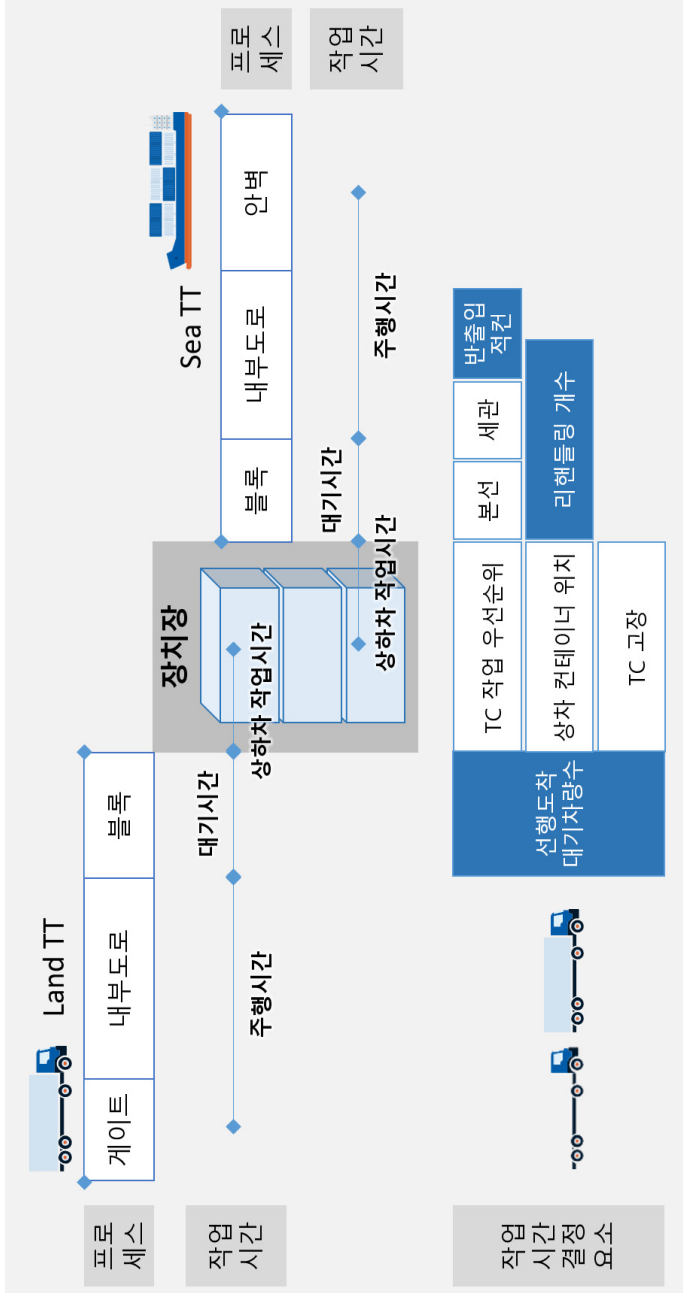
25) 실무에서는 ‘턴 타임’이라는 용어를 활용하기도 함

블록의 대기 차량, 그리고 대기 차량 각각의 리핸들링 작업 횟수에 영향을 받는다. 작업시간은 목적 컨테이너의 리핸들링 작업 횟수에 따라 결정된다. 특히, 작업 우선순위는 매우 가변적인 요소이며, 본선 작업이 혼재하는 블록에서는 예측하기 더욱 어렵다.

터미널의 여러 가지 상황을 고려하더라도 전반적인 터미널 장치장 혼잡도가 높다면, 반출입 작업의 지정체를 피하는 것은 사실상 어렵다. 운송기사 또는 터미널운영사는 이러한 상황을 능동적으로 회피함으로써 운송작업의 시간 단축을 위해 노력한다. 이들은 장치장 등 터미널 현장 상황을 면밀히 확인하고, 혼잡한 야드 블록에서 여유 블록으로 컨테이너의 위치를 조정하거나, 혼잡도 높은 블록에서의 작업회피를 요청한다.

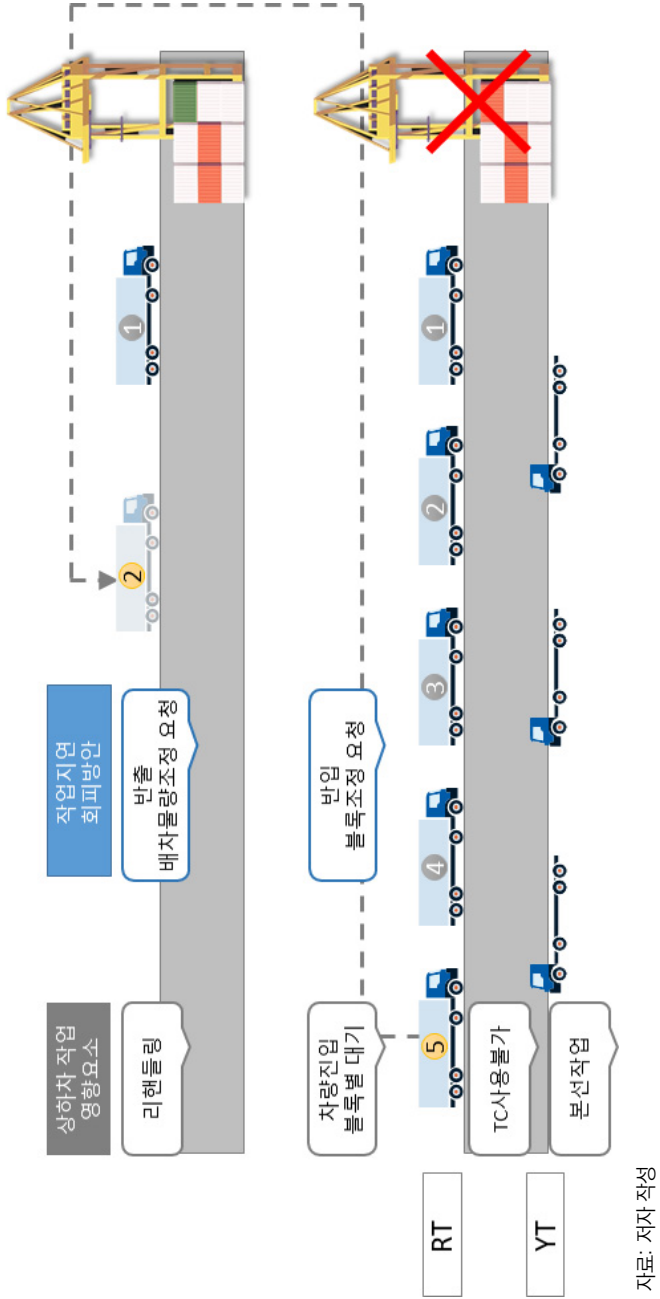
반입 컨테이너 작업 차량이 블록에 진입했을 때, 해당 블록에 대기하는 차량이 많다면, 하차 가능한 혼잡도가 낮은 블록으로 이동한다. 반출 컨테이너 작업 차량이 블록에 진입했을 때 대기 차량이 많다면, 이후 작업은 블록 혼잡도가 낮은 곳에서 되도록 수행한다(그림 3-6).

〈그림 3-5〉 터미널 반출입 작업 프로세스, 작업시간 및 작업시간 결정요소



자료: 저자 작성

〈그림 3-6〉 반출입 작업 지연회피를 위한 작업조정



선박의 양·적하 작업은 사전에 일정 수준 파악할 수 있으므로, 계획적인 장치장 작업이 어느 정도 가능하다. 조금 더 자세히 언급하면, 양·적하 작업은 시간대별, 블록별 예측이 가능하고, 이를 공개해 블록의 혼잡도를 예측할 수 있다. 하지만, 외부트럭 진·출입에 의한 컨테이너 반출입 작업은 관련 반출입 컨테이너의 규모(Volume)와 순서, 시간 파악이 어려워 장치장 작업 계획을 수립하기 매우 어렵다(그림 3-7).

본선 작업과 반출작업이 혼재되는 경우, 블록별 혼잡도의 불균형이 발생할 수 있다. 턴어라운드 타임이 높은 경우는 반출입 작업량을 제한해 혼잡도가 지속 또는 심화되는 것을 회피하게 된다.

〈그림 3-7〉 야드 블록별 예상 작업 수량

야드 블록별 작업현황

블록	현재		1시간 후		2시간 후		5시간 후
	반출입	본선	반출입	본선	반출입	본선	
1F				4			
1G		1				3	
1P		2					1
1R		1		1			13
2A		11		17			4
2B				6			8
2C		9					
2F		1		25		24	7
2G				1			1
2N							

...

자료: 저자 작성

실무에서는 반출입 차량이 진입하는 순서에 따라 작업을 하는 경우가 많고, 이에 따라 차량 정체가 심한 시간대는 혼잡도가 더욱 높아진다. 블록별 턴어라운드 타임이 2배 이상 차이가 나는 경우도 많으며, 심지어는 근접한 블록이라도 2~3배의 차이를 보이는 경우가 있다.

이러한 문제는 반출 프로세스에서 더욱 심각하다. 반입 컨테이너를 실은 외부트럭이 게이트 진입 시 적재 가능한 장치장이 여러 가지일 경우, 혼잡도에 따라 블록을 지정하는 것이 가능하다. 하지만, 반출 컨테이너는 블록 위치가 정해져 있어 리핸들링 외 업무는 조정할 수 없다. 특히, 본선 작업과 지속적으로 연계된 블록의 작업일 경우는 대기시간이 더욱 길어질 수 있다.

〈그림 3-8〉은 블록, 시간대별 턴어라운드 타임을 보여주고, 〈그림 3-9〉는 턴어라운드 타임의 불균형을 보여준다. 그림에서 야드 블록 번호 중 1, 2, 3은 평면배치상 블록 행(Row)의 순서이고, A, B, C는 열의 순서를 나타낸다. 16시 1C 블록은 동시간대 평균 턴어라운드 타임보다 100% 이상 길었으나(그림 3-9), 16시에 블록에 진입한 컨테이너 반입작업 2개의 블록 간 조정은 이루어지지 않았다(그림 3-10). 20시 1B 블록 역시 동시간대 평균 턴어라운드 타임보다 100% 이상 길었으나, 반입 컨테이너 3개의 하차 건이 존재했고 별도의 업무조정이 이루어지지 않았다. 마찬가지로, 20시 1E 블록의 동시간대 평균 턴어라운드 타임보다 100% 이상 길었으나, 컨테이너 반입업무 2건은 별도의 업무조정대상에 포함되지 않았다.

〈그림 3-8〉 블록, 시간대별 턴어라운드 타임

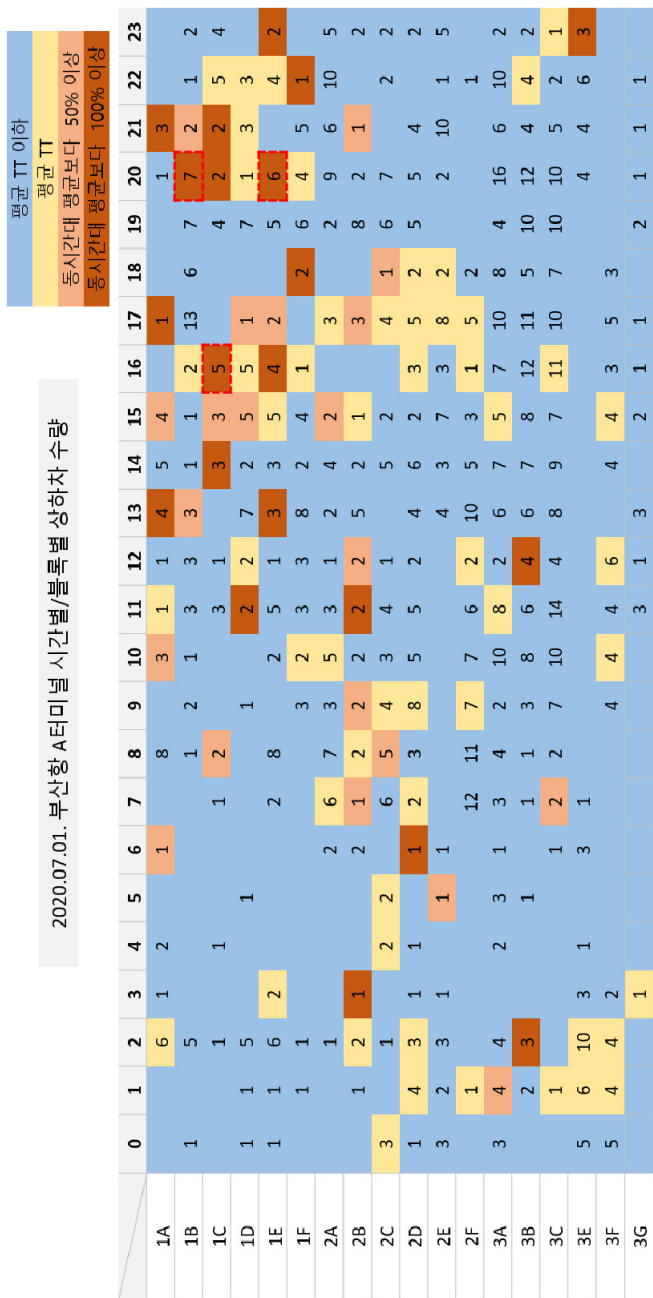
2020.07.01. 부산항 A터미널 시간별/블록별 턴어라운드 타임																								평균 TT 이하				
블록번호		시간																							평균 TT			
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	동시간대 평균보다 50% 이상	동시간대 평균보다 100% 이상	
1A			7.39	5.92	8.32	19.95	12.98	23.99	17.88	7.52	35.77	10.75	34.99		79.15								5.27	41.23				
1B	5.33	4.97					9.57	6.70	8.55	6.72	4.64	23.27	11.45	11.50	26.72	19.92	18.65	11.43	50.36	26.05	5.52	6.73						
1C		5.00	6.57				5.38	21.44		7.23	6.77			72.18	29.68	57.52			15.04	48.80	49.15	12.43	5.73					
1D	3.97	4.98	5.38				5.38		4.90					36.19	8.59	9.20	7.35	31.39	24.65	71.93								
1E	4.08	4.18	6.13	8.60				6.79	10.05		6.05	8.28	4.80	31.92	17.34	27.27	57.22	70.37		16.02	24.15	23.50	16.34					
1F	4.57	5.32								5.43	18.39	14.08	5.95	8.30	16.09	15.25	28.33		49.03	9.38	21.46	9.64	44.55					
2A		4.27						7.11	9.08	8.30	9.05	21.31	6.11	6.05	12.25	14.90	33.29	39.78		10.24	20.95	9.69	6.60	7.74				
2B		3.87	7.63	18.13				5.43	14.53	17.96	18.71	6.70	56.25	13.88	10.82	6.82	20.13	60.21		8.67	10.63	25.37						
2C	8.29		5.65		12.50	7.42		8.75	22.86	14.27	9.58	9.45	6.33		7.38	9.06			42.17	32.05	14.07	8.94	8.07	7.71				
2D	7.02	6.40	9.47	3.60	5.17		24.02	11.02	7.59	11.59	10.62	9.87	5.71	10.32	9.79	15.96	30.83	39.16	25.15	11.99	12.14	8.63						
2E	7.61	4.02	4.83	4.78		11.88	7.07							11.13	16.91	13.72	7.72	43.90	27.59		18.61	8.32	6.00	7.80				
2F		8.67						6.96	9.91	11.08	14.27	7.57	7.84	10.62	8.83	14.74	26.85	40.96	17.47									
3A	6.48	9.67	4.95		6.45	6.24	5.47	8.06	12.93	8.62	6.85	14.65	5.53	14.18	18.13	20.28	21.85	28.95	15.25	10.87	10.91	12.12	6.21	7.41				
3B																												
3C			5.56	13.17		4.85		5.62	6.45	7.10	8.26	6.94	16.03	8.73	8.79	12.25	11.56	27.96	12.86	8.81	11.54	7.66	13.23	6.49				
3C			6.27				8.03	16.09	10.75	7.46	8.21	8.13	5.91	10.79	9.45	18.92	22.37	18.85	14.69	15.34	13.61	9.34	6.78	13.03				
3E	6.36	6.92	7.35	5.57	5.07		6.96	6.65																				
3F	7.77	6.48	6.64	6.29				8.05	18.47	13.00	10.07			11.64	27.43	17.84	24.09	7.47										
평균 TT	7.92	5.96	6.54	7.76	8.78	7.16	10.50	8.99	13.85	10.61	14.27	14.35	7.61	14.42	19.09	19.15	22.37	36.20	19.43	16.10	21.03	16.41	11.59	10.65				

평균 TT 이하
평균 TT
동시간대 평균보다 50% 이상
동시간대 평균보다 100% 이상

2020.07.01. 부산항 A터미널 시간별/블록별 턴어라운드 타임

자료: 저자 작성

〈그림 3-9〉 블록, 시간대별 턴어라운드 타임의 불균형



자료: 저자 작성

2020.07.01. 부산항 A터미널 시간표/물류박람회출입구

평균 77 이하
평균 77
동시간대 평균보다 50% 이상
동시간대 평균보다 100% 이상

16시 1C					20시 1B					20시 1E				
번호	반영(이) 반영(오)	확정	적권(가) 공권(에)	블록도착시간	번호	반영(이) 반영(오)	확정	적권(가) 공권(에)	블록도착시간	번호	반영(이) 반영(오)	확정	적권(가) 공권(에)	블록도착시간
1	1	I	E	2020-07-01 16:09:28	1	0		F	2020-07-01 20:15:29	1	0		F	2020-07-01 20:07:04
2	0	O	T	2020-07-01 16:20:05	2	1		E	2020-07-01 20:18:06	2	0		F	2020-07-01 20:16:52
3	1	I	F	2020-07-01 16:33:32	3	1		E	2020-07-01 20:18:40	3	1		E	2020-07-01 20:27:06
4	0	O	T	2020-07-01 16:36:08	4	0		F	2020-07-01 20:22:57	4	1		E	2020-07-01 20:32:34
5	0	O	F	2020-07-01 16:58:22	5	0	T	F	2020-07-01 20:53:24	5	0		F	2020-07-01 20:38:26
					6	0		F	2020-07-01 20:54:22	6	0		F	2020-07-01 20:43:09
					7	1		E	2020-07-01 21:28:30					

자료: 저자 작성

상기한 문제에서, 16시 1C 블록과 인접한 블록의 혼잡도를 확인하면, 1B와 1D 블록은 평균 턴어라운드 타임이 소요됐고, 2C는 평균 이하의 턴어라운드 타임이 소요됐음을 확인할 수 있다(그림 3-8). 동시간대 블록에 진입한 컨테이너는 1B는 2개, 1D는 5개, 2C는 0개로 확인됐다(그림 3-10).

〈그림 3-11〉 혼잡 블록과 인접 블록의 턴어라운드 타임과 동시간대 도착 컨테이너 수

16		20				평균 TT 이하	
	1B [2]		1A [1]		1D [1]	평균 TT	
2C [0]	1C [5]	2B [2]	1B [7]	2E [2]	1E [6]	동시간대 평균보다 50% 이상	
	1D [5]		1C [2]		1F [4]	동시간대 평균보다 100% 이상	

자료: 저자 작성

〈그림 3-11〉은 혼잡 블록과 인접 블록의 턴어라운드 타임과 같은 시간대에 도착한 컨테이너 수를 요약해 보여준다. 그림에서 대괄호([]) 안의 숫자는 시간대별 블록에 진입한 컨테이너의 수를 의미한다. 20시 1B 블록과 인접한 블록의 혼잡도는 1C가 다소 높게 나타나지만, 1A와 2B는 평균 이하의 턴어라운드 타임을 보이며, 동시간대 블록에 진입한 컨테이너는 1A에 1개, 2B에는 2개로 확인됐다. 20시 1E 블록과 인접한 블록의 혼잡도는 1D 블록에서 평균 턴어라운드 타임으로 파악됐고, 1F와 2E 블록은 평균 이하의 턴어라운드 타임이 소요됨을 확인했다. 동시간대 블록에 진입한 컨테이너는 1D는 1개, 1F는 4개, 2E는 2개로 조사됐다.

상기한 애로사항의 근본적인 발생원인은 외부트럭 진·출입과 관련된 컨테이너 반출입 작업에 대한 정보가 사전에 터미널에 공유되지 않기 때문이다. 조금 더 자세히 설명하면, 외부트럭의 터미널 확정 도착시간이 터미널에 공유되지 않기 때문에, 터미널이 덜 혼잡할 때 수행이 가능한 사전 리핸들링이 현장에서 고려될 수 없다. 이는 특정 외부트럭에 한정해 생각하기 쉽지만, 실제로는 선행 외부트럭의 리핸들링과 관련이 있으므로 〈그림 3-5〉

에 나타난 주행시간, 대기시간, 상하차 작업시간 중 대기시간과 상하차 작업시간에 관련이 있다.

야드블록 간 작업 부하 분산 시스템의 부재 역시 애로사항으로 볼 수 있으나, 이는 엄밀히 말해 사전 리핸들링 부재에 따른 의존적인(Dependent) 애로사항으로도 볼 수 있다. 만약, 외부트럭의 확정 도착 시간 공유시스템이 존재한다면, 각 블록에서의 사전 리핸들링이 가능하므로, 트럭의 대기시간 감소와 블록의 업무 부하가 감소할 수 있다. 즉, 별도의 작업 부하 분산(Load Balancing) 시스템의 도입이 없어도 외부트럭 확정 도착 시간 공유시스템이 관련 문제를 일부 해결할 수 있다. 또한, 부하 분산은 전통적인 산업공학 문제로 분류될 수 있으므로, 디지털화 대안으로 삼기에는 적절하지 않을 수 있다. <표 3-1>은 상기한 컨테이너 반출입 애로사항과 원인을 정리한 것이다.

<표 3-1> 컨테이너 반출입 애로사항 및 원인 요약

반출입 업무	애로사항의 원인	현실에서의 애로사항
반입	외부트럭 도착에 대한 확정도착시간 공유시스템 부재	• [근본적 애로사항] 터미널이 덜 혼잡하더라도 사전 리핸들링이 불가능해 각 외부트럭의 대기시간과 상하차 작업시간이 증가함 • [의존적 애로사항] 이는 야드블록 간 업무 부하의 불균형을 심화시킬 수 있으므로, 야드블록 간 작업 부하 분산(Load balancing) 시스템이 필수적으로 요구됨
반출		

자료: 저자 작성

앞서 언급한 바와 같이, 반입보다는 반출에서 더 심각한 문제를 초래한다. 반입의 경우 덜 혼잡한 블록에 컨테이너를 장치시키는 것이 가능하지만, 반출의 경우 대상 컨테이너의 위치가 정해져 있으므로 혼잡한 블록이라 할지라도 일단 해당 블록에서의 작업을 완료시켜야 한다. 이는 디지털

화 대안이 반입보다는 반출에 더 시급함을 의미하며, 프로세스 개선의 여지 역시 더욱 크다는 것을 알 수 있다.

2. 디지털화 대안

본 세부 절에서는 앞서 도출한 컨테이너 반출, 반입 프로세스에서의 애로점을 해결하는 디지털화 대안을 소개한다. 앞선 세부 절에서 반출에서의 문제가 더 심각함을 인식했고, 외부트럭의 확정 도착 정보 공유시스템을 구축하는 것 디지털화 해법이 될 수 있음을 파악했다.

대안에 대한 자세한 설명에 앞서 기존 프로세스를 요약해 설명하면, 전체 프로세스상 육상운송 부분에 해당하는 수출입 컨테이너의 반출입 작업은 화주, 선사, 운송사 및 운송기사, 터미널운영사가 핵심 이해관계자로 볼 수 있다. 터미널은 선박과 외부트럭의 작업이 발생하는 병목지점으로 효율적인 장치장 운영이 매우 중요하며, 계획적인 작업을 위해서는 양·적하와 반출입 컨테이너의 규모와 순서 및 시간을 파악해야 한다.

양하, 적하 작업은 규모와 순서가 미리 결정되어 있으며, 선박 접안 후 하역 작업 시작 시 양하와 적하 예상 시간을 산정할 수 있다. 하지만, 반입, 출입 컨테이너의 경우 차량의 도착 예상 시간을 정확히 알기 어려우며, 화주의 요청이나 배차상태, 도로 및 교통 상황 등에 의해서 도착 예상 시간이 변경될 가능성이 높다.

하지만, 정보·통신기술의 발전으로 차량이 터미널로 출발하는 순간 목적지에 대한 도착 예상 시간을 계산할 수 있으며, 차량이 터미널로 접근함에 따라 이를 적절히 재계산(Re-calculation)함으로써 도착 확정 시간을 사전에 터미널운영사가 파악할 수 있다. 또한, 컨테이너 반·출입 시간이 사

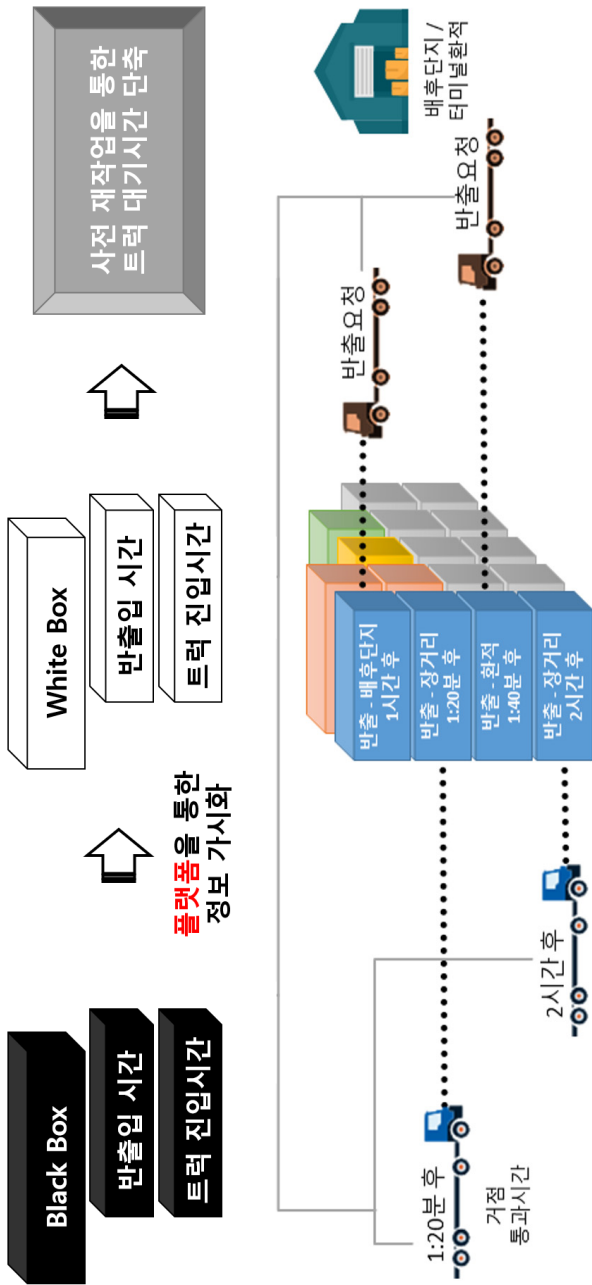
전에 운송사에 공유된다면, 사전 리핸들링을 통한 대기시간 감소 또는 최소화를 목표로 장치장 작업계획 수립이 가능하다. <그림 3-12>는 반출 프로세스 디지털화 대안의 개념을 도식화해 나타낸 것이고, <표 3-2>는 반출 디지털화 대안의 세부 사항을 표로 정리한 것이다.

〈표 3-2〉 반출 디지털화 대안 정리

행위 또는 정보 흐름	이동 객체	디지털화 관련 사항
화주 → 선사	• 운송 비용	-
선사 → 운영사	• 예약 정보(수출)	
	• 화물 인도 지시(수입)	
화주(또는 선사) → 운송사	• 반출·반입 주문	
운송사 → 운영사	• 운송 및 배차정보	• 업무에 관한 정보 공유
운전기사 → 운영사	• 트럭 도착 예정 시간	• 운송 당일 운전기사의 스마트폰을 통한 실시간 확인 • 도착 시간은 다소 차이가 존재할 수 있으나, 순서는 지켜지도록 함 • 빅데이터, 기계학습 등 첨단기술을 활용한 예측 고도화 • 상기한 사항을 기반으로 반출 업무 효율화를 위한 사전 리핸들링 수행

자료: 저자 작성

〈그림 3-12〉 반출 프로세스 디지털화 대안 개념도



자료: 저자 작성

해당 디지털화 대안을 이해관계자 간 업무 관점에서 더욱 자세히 언급하면, 플랫폼을 통해서 공유된 컨테이너 반출입정보 및 트럭 도착정보를 활용해 터미널운영사는 장치장 작업계획을 보다 효율적으로 수립하게 된다.

화주가 선사에 운송 관련 비용을 모두 지급했을 경우, 선사는 터미널운영사에 수출 운송 건의 경우 예약정보를, 수입 운송 건의 경우 화물 인도지시(Delivery Order) 정보를 보낸다. 이와 동시에, 화주 또는 선사는 운송사에게 반출입 주문을 보낸다. 운송사가 반출입 주문을 받으면, 운송일과 함께 터미널에 운송 및 배차 관련 정보를 공유하게 된다.

운송 당일이 되면 운영사는 외부트럭의 도착 예상 시간을 운송기사 스마트폰을 통해 실시간으로 확인하고, 도착순서와 시간을 고려해 외부트럭의 대기과 리핸들링 작업이 최소화되도록 장치장 작업을 진행한다. 도착 예상 시간은 빅데이터, 기계학습 등 첨단기술을 활용해 오차가 매우 작을 것이고, 외부트럭이 터미널에 접근함에 따라 예측치를 조정해 도착 시각은 다소 차이가 있어도, 도착순서는 지켜지도록 한다.

터미널운영사는 장치장으로의 컨테이너 반출 시간을 실시간으로 기록하고 작업순서를 결정한다. 운송 차량의 도착 예상 시간에 따라 작업순서를 결정하고, 본선 작업이 없거나, 다른 이유로 인해 터미널 혼잡도가 낮은 경우, 반출 업무 효율화를 위해 사전 리핸들링을 수행한다. 반입 업무 효율화를 위해서는 혼잡도가 높은 블록에 장치된 컨테이너를 혼잡도가 낮은 블록에 사전에 보냄으로써 부하를 분산시킨다.

다음 장인 제4장에서는 해당 디지털화의 대안을 반출 업무에 적용해 효과를 분석한다. 이는 부하 분산과 디지털화 대안이 융합되는 반입 업무와는 달리, 반출 업무 영역은 디지털화 대안의 직접적인 효과를 파악하기에 더욱 쉽기 때문이다. 또한, 반입 업무와 비교해 반출 업무는 더욱 디지털화가 시급한 영역으로, 분석의 대상으로 선정하기에 적합하다고 판단한다.

04

컨테이너 반출 프로세스 디지털화 분석

제4장에서는 제3장에서 도출한 애로점 기반의 반출 프로세스 디지털화 대안을 모의실험 분석에 활용할 수 있도록 프로세스를 재정의하고, 모의실험을 수행 후, 디지털화 효과를 분석한다. 우선, 데이터·정보의 이동과 외부트럭, 컨테이너, 야드크레인의 물리적 이동을 기반으로 프로세스를 정의한다. 이는 본 연구에서 활용할 상업용 분석 도구인 ExtendSim에 모형을 이식·분석하기 위함이다.

다음으로, 모의실험과 ExtendSim에 대한 소개를 시작으로, 모의실험에 활용될 변수와 파라미터 등 기초 자료를 조사하고, 실제 데이터를 활용할 수 없는 경우 합리적인 수치나 분포를 가정한다. 장치장에서 활용되는 야드크레인과 컨테이너, 평면배치 및 외부트럭 도착과 장치장 현황에 관련된 데이터가 광범위하게 수집됐다. 모의실험에서는 디지털화 대안에 따른 외부트럭 대기시간을 부(不)편익 요소로 활용했으며, 이는 사전 리핸들링 수행을 통해 감소시킬 수 있는 요소이다. 디지털화 전과 후를 평균 단적 수, 본선-반출입 작업비율별 시나리오 기반으로 실험하고, 이에 따른 결과를 면밀히 분석해 디지털화 편익을 정량적으로 제시한다.

제1절 모의실험을 위한 반출 프로세스 재정의

제3장에서는 항만 터미널 컨테이너 반출 프로세스의 현황에 대한 이해를 돕기 위해 자세히 서술했다. 하지만, 이러한 프로세스 정의는 분석 도구를 통한 모의실험에 적절하지 않을 수 있다. 일반적으로, 프로세스 분석을 위해 분석대상이 되는 프로세스로부터 데이터 및 정보의 흐름과 물리적 사물의 흐름을 분리시킨다. 이는 대부분의 편익 또는 불편익 요소가 물리적 사물 흐름과 직접적인 관련이 있기 때문이다. 다만, 데이터와 정보의 흐름은 상기한 편익과 불편익 요소를 계산하는 데 간접적인 도움을 주는 경우가 많다. 즉, 프로세스를 분리함으로써 분석의 편의를 도모하는 것이다.

본 절에서의 디지털 공급사슬 대상은 외부트럭에 의한 컨테이너 반출 프로세스로 한정된다. 이는 수입 컨테이너가 항만 터미널에 장치되었을 때, 육상운송사가 외부트럭을 배차해 터미널에 있는 컨테이너를 수령하고, 이를 터미널로부터 반출하는 행위를 의미한다.

대상 프로세스는 다음과 같이 정의된다. ① 화주는 선사에게 운송을 의뢰하고, ② 선사는 운송사에 외부트럭 운송배차를 요청한다. ③ 외부트럭은 현재 장소에서 터미널 게이트로 이동·통과하게 되고, ④ 게이트를 통과한 트럭은 지정된 블록으로 이동한다. ⑤ 해당 블록에 외부트럭이 도착하면, 선행 트럭의 작업과 자신의 반출과 관련한 리핸들링 업무시간만큼 대기하고, ⑥ 대상 외부트럭의 리핸들링을 마친 야드크레인 반출 컨테이너를 집어 올린 뒤, 트럭에 상차한다. ⑦ 컨테이너 상차가 완료된 외부트럭은 블록에서 게이트로 이동 후, 터미널을 빠져나오게 된다. 이 중, ①과 ②는 데이터와 정보만 이동하는 단계이고, 나머지는 외부트럭, 컨테이너, 또는 야드크레인 같은 물리적 사물의 이동을 포함하는 단계이다.

대상 프로세스에서 발생하는 모든 물리적 이동이 모의실험에서 고려되는 것은 아니다. 본 연구에서 모의실험의 목적은 디지털화 대안 적용, 즉 확정 도착 정보 사전공유 여부에 따른 사전 리핸들링 관점에서 비교해 트럭 대기시간이 얼마나 감소하는지 파악하는 것이다. 즉, 상기한 프로세스를 기준으로, 5단계가 핵심 세부 단계로 정의될 수 있다. 다만, 나머지 프로세스가 불필요한 것은 아니다. 만약, 모의실험 및 분석의 목적이 반출 트럭에 의한 임향도로 혼잡을 파악하는 것이라면, 3단계가 핵심 세부 단계로 여겨질 것이다.

〈표 4-1〉은 각 반출 프로세스 단계에서의 핵심 고려사항을 요약해 보여 준다. 이는 모의실험의 원활한 수행을 위해 프로세스 정의 단계에서 사전에 고려해야 하는 항목을 의미한다. 대기행렬 이론을 기반으로 하므로, 3단계에서는 트럭의 도착 간격(도착률 또는 분포)을 고려하며, 5단계에서는 야드크레인을 서버(Server)로 간주해 처리율을 계산·추정하기 위한 핵심사항이 제시된다. 7단계에서 외부트럭과 반출 컨테이너가 터미널(시스템)을 빠져나가며 단위 업무가 종료된다.

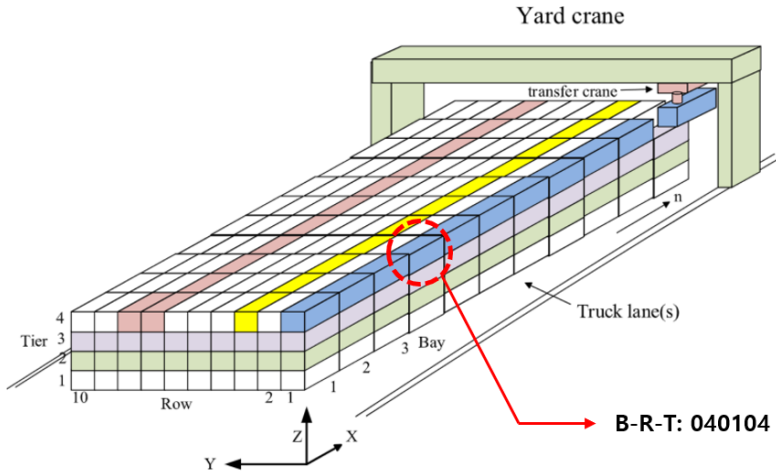
〈표 4-1〉 분석을 위한 반출 프로세스 재정의 및 단계별 핵심사항 요약

단계	핵심사항
1단계: 운송의뢰	• 공급사슬 내 업무의 하나로, 데이터와 정보만 이동
2단계: 배차요청	• 공급사슬 내 업무의 하나로, 데이터와 정보만 이동
3단계: 게이트로 이동	• 트럭이 현재 위치에서 터미널 게이트로 이동하는 물리적 이동 • 본 연구에서 3단계의 이동 거리와 시간은 고려대상이 아님 • 블록을 통과하는 과정에서 대기가 발생할 수 있으므로, 트럭의 도착률 또는 분포와 게이트의 수, 게이트 통과시간을 파악해야 함
4단계: 블록으로 이동	• 트럭이 게이트를 통과한 후, 블록으로 이동하는 물리적 이동 • 특정 터미널의 평면배치를 기준으로, 게이트와 야드 장치장의 중심점 (Centroid)을 거리계산에 활용하거나, 게이트와 각 블록 간 거리의 평균값을 활용할 수 있음 • 일반적으로 반출 컨테이너는 육측에 장치시킴
5단계: 트럭 대기	• 트럭의 도착을 사전에 예측하지 못한 리핸들링은 트럭 대기를 필연적으로 발생시킴 • 트럭 도착 정보를 사전에 알 수 있어도, 야드크레인이 유휴상태여야 사전 리핸들링이 가능 • 야드크레인의 초기위치를 비롯해 평균 리핸들링 횟수, 각 리핸들링 시간, 리핸들링이 끝난 시점에서 야드크레인 위치 데이터 또는 가정 필요
6단계: 컨테이너 상차	• 야드크레인의 물리적 이동이 발생하지만, 트럭은 정지상태
7단계: 터미널 아웃	• 외부트럭이 시스템을 빠져나감

자료: 저자 작성

〈그림 4-1〉은 야드 블록 구성을 보여준다. 야드 블록은 베이-로우-티어 (Bay-row-tier) 시스템을 활용해 컨테이너 장치 위치를 표시한다. 그림에서 빨간 점선으로 표시된 컨테이너의 베이-로우-티어는 '040104'로 표현될 수 있다. 로우 1이 해측, 로우 10이 육측이라 가정하면, 반출 컨테이너는 외부트럭이 접근하기 편한 육측에 해당하는 로우(예: Row 6~10)에 장치하는 것이 일반적이고, 반입 컨테이너의 경우 해측 작업의 효율화를 위해 해측과 가까운 로우에 장치시키는 것이 일반적이다.

〈그림 4-1〉 야드 블록 구성



자료: Hsu *et al.*(2021), p. 3을 기반으로 저자 수정

다만, 상기한 것은 원칙 또는 선호일 뿐, 현장에서는 이와 같은 장치위치 선호가 반드시 지켜지는 것은 아니다. 야드 블록에서의 혼잡이나, 반입·반출 컨테이너 수급의 불균형으로 인해 반출 컨테이너임에도 해측에 장치될 수 있고, 이와 반대로 반입 컨테이너임에도 육측에 장치되는 경우가 많다. 본 연구에서는 분석의 편의를 위해 무차별적으로 컨테이너가 장치됨을 가정한다.

제2절 모의실험

모의실험(Simulation)은 새로운 전략이나 대안 등을 평가하기 위해 가장 널리 활용되는 방법의 하나다. 이는 평가 대상의 전부 또는 일부를²⁶⁾ 직접 구현하는 것이 아니므로 매우 경제적인 평가 방법으로 여겨진다. 정성적인 접근과 비교했을 때, 정량적인 결과를 도출하는 장점이 있다. 수리모형과 비교하면 더욱 많은 변수와 제약조건, 파라미터 등이 조사·검토되어야 한다. 이는 더 높은 정확성을 보장한다는 의미이므로, 때에 따라 수리모형을 대체하거나, 수리모형과 모의실험을 결합해 전략이나 대안 등을 평가하는 경우가 많다.

공급사슬 디지털화 대안은 수리모형화(Mathematical Modelling)를 통해 분석하기보다는, 프로세스 기반의 모의실험을 수행하는 것이 더 적합하다. 이는 ① 디지털화 대안이 프로세스 관점에서 변화를 가져올 것이 예상되고, ② 트럭의 도착률이나 야드크레인의 처리율 등 다양한 터미널 상황은 결정론적(Deterministic)이 아닌 확률론적(Stochastic)이며, ③ 이에 따라 다양한 시나리오 기반의 터미널 시스템을 분석하기에 모의실험이 더 적합하기 때문이다.

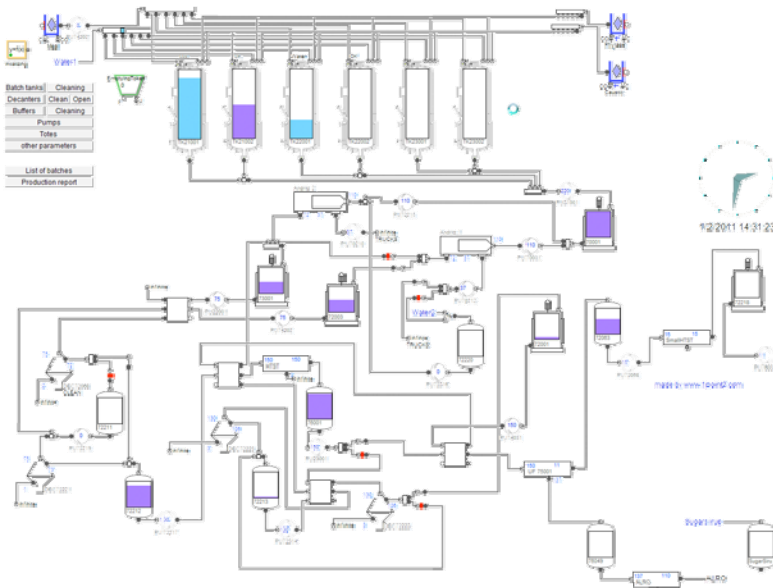
따라서, 본 연구에서는 모의실험을 활용해 제3장에서 제시된 공급사슬 디지털화 대안을 평가한다. 앞서 설명한 대안의 경우, 업무 프로세스로 정의될 수 있으므로, 프로세스 분석에 자주 활용되는 ExtendSim을 분석 도구로 활용했다(그림 4-2). 이 분석 도구는 은행 시스템이나 전화 상담실, 물류 및 스케줄링, 공급사슬 등을 분석하는 데 활용할 수 있고,²⁷⁾ Vieira *et al.*(2020)은 공급사슬 관련 선행연구에서 ExtendSim이 주요 분석 도구

26) 테스트베드(Testbed)

27) ExtendSim(검색일: 2021. 9. 13)

중 하나임을 보이기도 했다.

〈그림 4-2〉 ExtendSim 프로세스 도식화 예시



자료: ExtendSim(검색일: 2021. 9. 12)

ExtendSim을 적절히 활용하기 위해서는 모의실험에서 활용할 파라미터와 제약조건을 사전에 정의해야 한다. <표 4-2>는 일반, 외부트럭, 평면배치, 야드 블록, 야드크레인 및 리핸들링으로 대표되는 6개의 항목과 각각의 세부 항목(파라미터)의 상세 설명, 초깃값 및 도출방안 등을 정리한 것이다. 일부 세부 항목에는 단일 초깃값이 제시되기 어려워 도출원리가 대신 제시됐다.

〈표 4-2〉 모의실험 파라미터 요약

항목	세부 항목	상세 설명	초기값 또는 도출방안	단위
일반	모의실험 기간	• 1회 실험(Run)이 포함하는 모의실험 기간	60	일
	반복 실험 횟수	• 동일한 시나리오를 반복 실험하는 횟수	30	회
	웜업(Warm-up) 기간	• 시스템 안정화 기간(실제 분석기간에 포함되지 않음)	1	일
	본선-반출입 작업비	• 야드크레인이 수행하는 본선 작업과 반출입 작업의 비율	5:5, 6:4, 7:3	-
	양적하, 반출입 작업비	• 본선작업 내 양적하, 반출입 작업 내 반입과 반출 작업비율	각각에 대해 5:5	-
외부트럭	도착 간격	• 게이트로의 외부트럭 도착 간격	지수 분포(평균값 = 130, 100)	초
	이동 속도	• 크레인 적정 활용률(0.6 ~ 0.8)을 만족하는 수치		
평면배치		• 터미널 내 외부트럭 이동 속도	3.82 ²⁸⁾	m/sec
	이동 거리	• 터미널 내 외부트럭 이동 거리 • 직각 거리 활용 • 게이트 중심점 - 장치 영역 중심점	700	미터
	규모	• 베이-로우-티어	36-9-5 ²⁹⁾	-
야드 블록	평균 단위	• 장치장의 평균 단위	평시: 3.5, 혼잡: 5.0	-
	야드크레인 수	• 장치장 내 야드크레인의 수	블록 수 * 2	-

28) 최상희·하태영(2005), p. 108

29) SNCT(검색일: 2021. 9. 20)

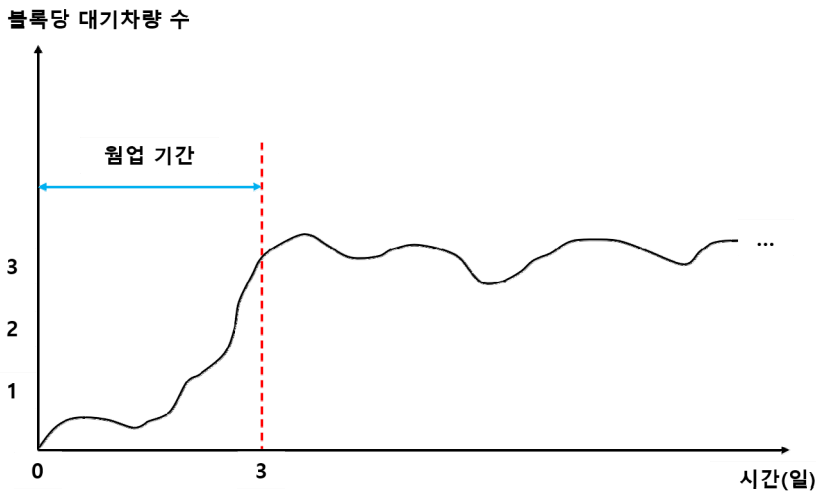
항목	세부 항목	상세 설명	초기값 또는 도출방안	단위
야드 크레인	권상하 속도(무하)	• 컨테이너를 체결한 스프레더의 상하 속도	0.75	m/sec
	권상하 속도(무부하)	• 스프레더의 상하 속도	1.50	m/sec
	트롤리 속도(무하)	• 컨테이너를 체결한 야드크레인 트롤리가 메인 빔을 따라 이동하는 속도	2	m/sec
	트롤리 속도(무부하)	• 야드크레인 트롤리가 메인 빔을 따라 이동하는 속도	2	m/sec
	주행속도	• 야드크레인 이 레일을 따라 움직일 때의 주행속도	3	m/sec
	평균 픽업 시간	• 야드크레인 스프레더가 컨테이너를 체결하는 데 걸리는 시간	15	sec
	평균 릴리즈시간	• 야드크레인 스프레더가 컨테이너를 분리하는 데 걸리는 시간	15	sec
	평균 리핸들링 횟수	• 평균 리핸들링 횟수	평균 단적 수 기반 삼각분포 활용 ³⁰⁾	-
리핸들링	평균 리핸들링 시간	• 리핸들링에 소요되는 평균 시간 • 대상 컨테이너 상단의 컨테이너는 바로 옆의 Row로 이동	평균 단적 수, 장비 제원 등 기반	-

자료: 저자 작성

30) 삼각분포는 정규분포와 유사하면서 간단하게 적용할 수 있으며, '(Min, Mode, Max)'로 표기할 수 있음

일반항목에서, 모의실험 기간은 단일 실험이 포함하는 모의실험 기간을 의미한다. 예를 들어, 단일 실험이 1년의 터미널 운영을 포함한다면, 모의 실험 기간은 1년이 된다. 반복 실험 횟수는 같은 실험을 반복하는 횟수를 의미한다. 모의실험 기간이 길수록 반복 실험 횟수는 많을 필요가 없다. 다만, 유의미한 결과를 도출하는 최적의 모의실험 기간과 횟수를 파악하기는 매우 어려우므로, 연구자나 분석자의 감에 의존한 보수적인 수치를 활용하는 경우가 많다. 본 연구에서는 실험 기간을 60일로 설정했다. 야드크레인의 평균 작업시간을 고려 시, 60일이면 수백 개의 하역업무를 처리할 수 있는 기간이므로, 통계적으로 유의한 기간으로 판단했다. 반복 실험 횟수는 중심극한정리를 만족하는 최솟값인 30회로 설정했다.

〈그림 4-3〉 워업 기간



자료: 저자 작성

워업 기간(Warm-up period)은 시스템이 안정화되는 기간으로, 모의실험을 실행한 후 초기의 일정 기간에 해당한다. 예를 들어, 컨테이너 터미널

이 개장한 시점에는 터미널 내 외부트럭이 존재하지 않는다. 하지만, 터미널을 운영하는 시간이 흐름에 따라, 소위 ‘일상적’이라는 터미널 혼잡도에 도달하게 된다. 워업 기간은 이러한 ‘일상적’ 조건에 도달하는 기간으로 실제 분석 기간에는 포함되지 않는다. 본선-반출입 작업비는 야드크레인이 수행하는 (對)선박 작업과 (對)외부트럭 작업의 비율을 나타낸다. 세부적으로는 양하, 적하, 반입, 반출로 구성된다. 본 연구에서는 본선과 반출입 작업을 본선-반출입 작업비에 따라 나누고, 본선 작업에서의 양적하 비율, 반출입 작업에서 반입과 반출 작업 비율을 각각 5:5로 적용한다.

외부트럭의 도착 분포는 실측 데이터를 활용해 적정 분포를 도출하거나, 야드크레인의 적정 활용률을 만족하는 특정 확률분포함수를 도출해 사용할 수 있다. 전자가 이상적이지만, 게이트에서 수집되는 원시데이터 특성상 그 규모가 매우 크고 차량 번호와 같은 사적 데이터를 포함하기 때문에 운영사로부터 데이터를 얻어 활용하기 어렵다. 그러므로, 본 연구에서는 적정 장비 활용률로 여겨지는 0.6과 0.8을 달성시키는 외부트럭의 도착 분포를 도출해 활용한다. 차량 도착에 활용되는 지수분포를 활용하며, 차량 도착 간격(IAT: Inter-arrival Time)의 평균값은 각각 130초, 100초를 적용한다.

평면배치를 기반으로 외부트럭의 이동 거리는 계산하는 방법이 다양하다. 게이트 중심점으로부터 장치 영역의 중심점을 고정값으로 활용하거나, 각 장치장의 중심점을 고려할 수 있다. 또는, 각 장치장 베이에 도착할 확률을 균등분포를 적용해 작업별 이동 거리 계산이 가능하다. 하지만, 본 연구에서 평면배치상 외부트럭의 이동 거리는 중요한 요소가 아니므로, 터미널 내 외부트럭의 이동시간은 특정 블록을 대상으로 고정된 값(700m)을 적용한다.

평면배치와는 달리, 야드 블록의 규모나 평균 단적, 야드크레인의 수는 외부트럭의 대기시간과 실질 서비스 시간을 도출하기 위한 핵심 데이터로

서 활용된다. 베이-로우-티어로 구성된 야드 블록의 규모는 인천의 선광신 컨테이너터미널의 데이터를 활용했다. 평균 단적 수는 터미널운영사의 경험 값인 평시 3.5,³¹⁾ 혼잡 시 5.0을 적용한다. 장치장 내 야드크레인의 수는 반자동화 터미널에서 일반적으로 적용되는 블록당 2대를 적용한다.

〈표 4-3〉 야드크레인 제원

항목	수치	단위
권상하속도(부하)	0.75	m/sec
권상하속도(무부하)	1.50	m/sec
트롤리속도(부하)	2	m/sec
트롤리속도(무부하)	2	m/sec
주행속도	3	m/sec
평균 픽업시간	15	sec
평균 릴리즈시간	15	sec
가용율	95	%
작업효율	80	%

자료: 저자 작성

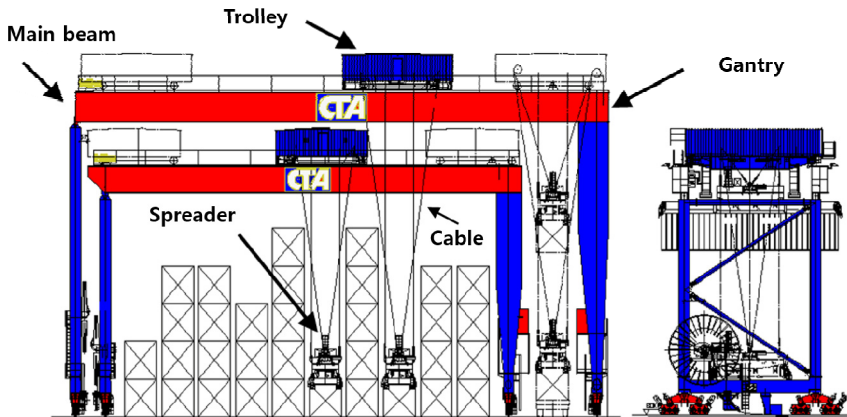
야드크레인 서비스 시간을 도출하기 위해서는 상기한 야드 블록 데이터 뿐 아니라, 야드크레인 제원 데이터가 필요하다. 〈표 4-3〉은 한국해양수산개발원 내부자료에 정리된 야드크레인 제원을 포함한다. 야드크레인 제원을 이해하기 위해서는 장비 내 장치 명칭에 대한 이해가 필수적이다. 〈그림 4-4〉는 야드크레인 정면과 각 장치를 표시해 보여준다. 먼저, 야드크레인 은 갠트리(Gantry) 크레인이라고도 하며, 야드크레인 장비 자체를 지칭하기도 한다. 갠트리 이동이란, 야드크레인이 바퀴 또는 레일에 의해 움직이는 이동을 의미한다. 컨테이너를 직접 체결하는 스프레더(Spreader)는 트롤리(Trolley)에 연결된 케이블(Cable)에 의지해 상하로 이동하고, 트롤리

31) 3.8을 적용하는 터미널도 존재함

는 메인 빔(그림 내 빨간색 도형)을 따라 움직인다.

이를 기반으로, 야드크레인의 제원을 이해하면 다음과 같다. 권장하 속도는 케이블에 의해 위·아래로 이동하는 스프레더의 속도로 부하는 컨테이너와 함께 이동할 때의 속도를, 무부하는 컨테이너 없이 이동할 때의 속도를 의미한다. 트롤리 속도는 메인 빔을 따라 움직이는 트롤리의 속도를, 주행속도는 레일을 따라 움직이는 크레인의 갱트리 속도를 의미한다.

〈그림 4-4〉 야드크레인 세부 명칭



자료: Speer & Fischer(2017) 기반 저자 수정

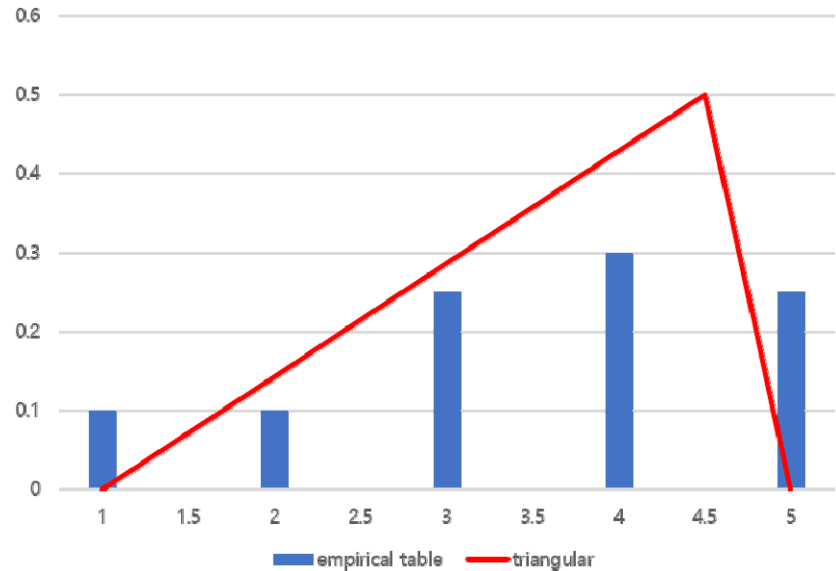
평균 픽업(Pick-up)과 릴리즈(Release) 시간은 스프레더가 야드 블록 또는 차량 위의 컨테이너를 잡거나(또는 체결하거나), 이를 향해 컨테이너를 내려놓는 실질적인 작업시간을 의미한다. 즉, 야드크레인의 직접적인 이동 속도와 픽업, 릴리즈 시간을 고려한다면 야드크레인의 작업시간을 도출할 수 있다. 가용률은 전체 실험 기간 중 고장이나 수리시간을 제외한 야드크레인의 실제 이용 가능 시간이다.

리핸들링에 관한 데이터는 크게 두 가지로 구성된다. 평균 리핸들링 횟수는 평균 단적 수를 기반으로 한 삼각분포(Triangular Distribution)를

활용했다. 삼각분포는 정규분포와의 유사성을 가짐과 동시에 최솟값(Min), 최빈값(Mode), 최댓값(Max)만으로도 쉽게 적용할 수 있는 장점이 있다. 다만, 최대단적이 5이므로, 평균 단적이 5인 경우에는 최소, 최빈 및 최댓값이 5로 적용된다.

평균 단적이 3.5인 경우, 최빈값을 3으로 설정하면 평균 3.0 단적이 도출된다. 그러므로, 우측으로 치우친 삼각분포의 형태를 띄게 된다(그림 4-5). 또한, 1단적과 5단적의 확률을 0으로 설정하는 것은 현실과 거리가 있으므로, 각 단적에 적절한 확률값을 부여했다. 그림에서의 빨간 실선은 실수로 표현된 삼각분포를, 파란 막대는 단적 수에 적용된 확률을 나타낸 것으로, 본 연구의 모의실험에 적용한 삼각분포가 실수 삼각분포를 충실히 따라감을 알 수 있다. 이에 적용된 구체적인 값은 <표 4-4>에 정리하였다.

〈그림 4-5〉 실수 삼각분포와 단적(자연수) 삼각분포



자료: 저자 작성

〈표 4-4〉 삼각분포 적용 확률

단적 수	적용 확률값	단적을 실수로 고려 시, 확률값
1	0.1	0
1.5	-	0.0714
2	0.1	0.1429
2.5	-	0.2143
3	0.25	0.2857
3.5	-	0.3571
4	0.3	0.4286
4.5	-	0.5
5	0.25	0

자료: 저자 작성

평균 리핸들링 시간의 경우, 평균 단적 수와 야드크레인 제원 등을 고려해 적용한다. 또한, 상단에 위치한 컨테이너는 바로 옆 로우에 장치시킴을 가정한다.

〈표 4-5〉 20ft 컨테이너 제원

항목	수치	단위
컨테이너 가로 너비	2.44	m
컨테이너 여유폭	0.4	m
컨테이너 세로 길이	6.096	m
컨테이너 높이	2.62	m

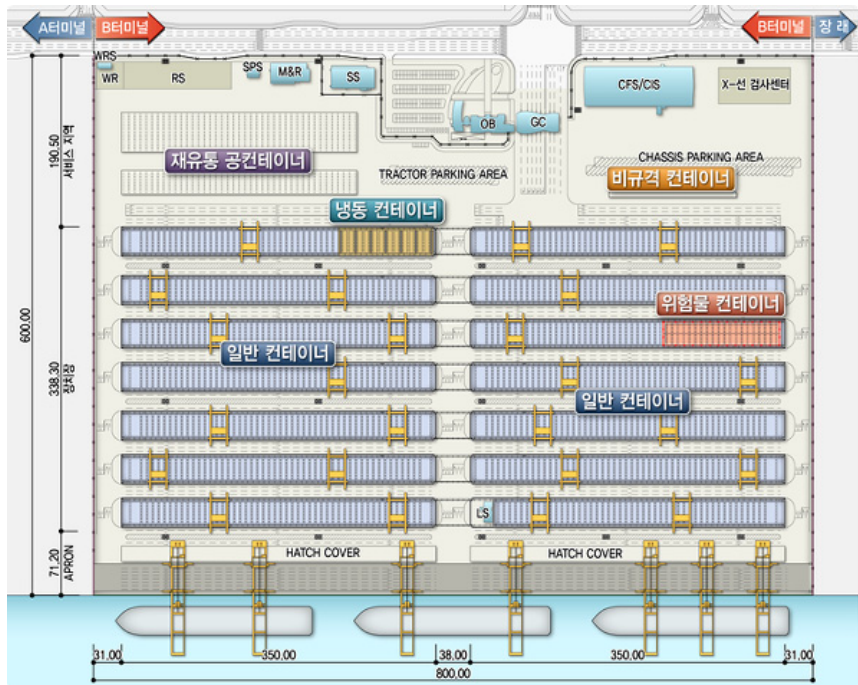
자료: TradLinx(검색일: 2021. 9. 20)

〈표 4-5〉는 컨테이너의 제원을 보여준다. 20ft 컨테이너³²⁾는 각 야드 블록의 베이-로우-티어를 구성하는 기본 단위가 되며(그림 4-1), 컨테이너의 제원은 야드 블록의 규모와 결합해 야드크레인이 이동하는 거리를 계산하는 데 도움을 준다.

32) 또는 TEU(Twenty-foot equivalent unit)

마지막으로 컨테이너 터미널의 평면 배치도가 필요하다. 이는 반출 프로세스 전반을 도식화해 이해하기 위함이다. 본 연구에서는 인천항만공사에서 공개한 선광인천컨테이너터미널(SICT)의 평면 배치도를 활용해 분석을 진행했다(그림 4-6).

〈그림 4-6〉 선광인천컨테이너 터미널 평면 배치도



자료: 인천항만공사(검색일: 2021. 9. 15)

파라미터뿐 아니라, 모의실험에서의 가정은 원활한 실험을 위해 필요하다. 본 연구에서의 핵심 가정은 아래와 같다.

- 외부트럭 각각은 복화 운송을 수행하지 않음. 다시 말해, 컨테이너 반출을 위해 터미널에 진입한 외부트럭은 컨테이너 반입작업을 수행하지 않음

- 터미널 내 도로혼잡을 고려하지 않음
- 블록의 속성이 동일하므로, 단일 블록을 기준으로 분석
- 야드크레인의 갠트리, 트롤리, 스프레더의 이동 속도는 등속도를 가정하며, 가속·감속은 고려하지 않음
- 모든 외부트럭과 야드크레인은 균질(Homogeneous)함
- 시스템 내부에서는 20ft 컨테이너만 고려함(즉, 40ft 컨테이너는 고려하지 않음)
- 블록 내 발생할 수 있는 야드크레인 간 작업 간섭을 고려하지 않음

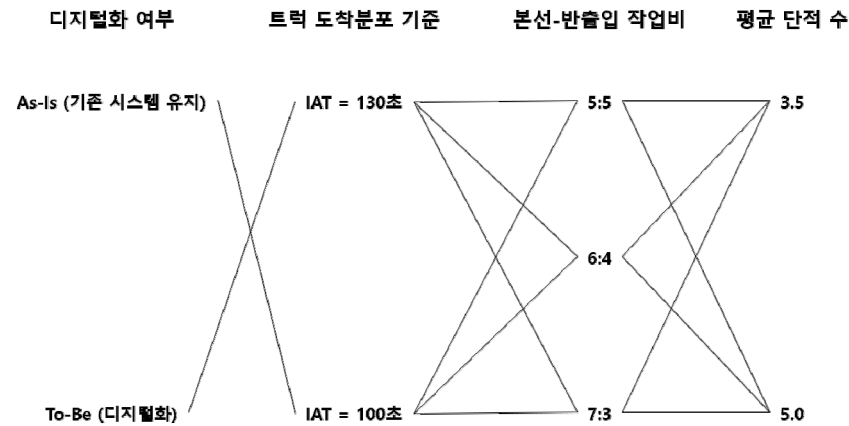
상기한 가정은 실제 현장과는 다르지만, 분석의 편의를 위해 설정한 것이다. ExtendSim의 경우, 개별 컨테이너나 장비의 세부적 움직임보다는 프로세스 관점에서의 분석에 특화된 분석 도구이므로, 향후 AutoMod와 같은 분석 도구가 활용된다면, 더욱 세부적인 작업(Operation) 관점에서 분석이 가능할 것이다.

제3절 공급사슬 디지털화 효과분석

본 절에서는 제2절에서 정의한 파라미터와 가정을 기반으로 제1절에서 정의한 디지털 공급사슬 프로세스 모형을 ExtendSim을 활용해 분석한다. 디지털화 전(As-Is)과 후(To-Be)를 외부트럭의 도착 분포, 본선-반출입 작업비 및 평균 단적을 기반으로 총 24개의 시나리오를 도출한다(〈그림 4-7〉 및 〈표 4-6〉). 본 절에서의 디지털화 여부는 외부트럭의 도착 확정 정보를 미리 알 수 있는지 여부를 의미한다. 기존 시스템 유지 대안은 외

부트럭의 확정 도착 정보를 사전에 알 수 없으나, 디지털화 대안은 1시간 전 해당 정보를 받아 야드크레인이 유휴 시 사전 리핸들링을 수행한다. <그림 4-7>은 본 실험을 위해 ExtendSim에서 설계된 프로세스 모형을 보여준다.

〈그림 4-7〉 모의실험 시나리오 조합



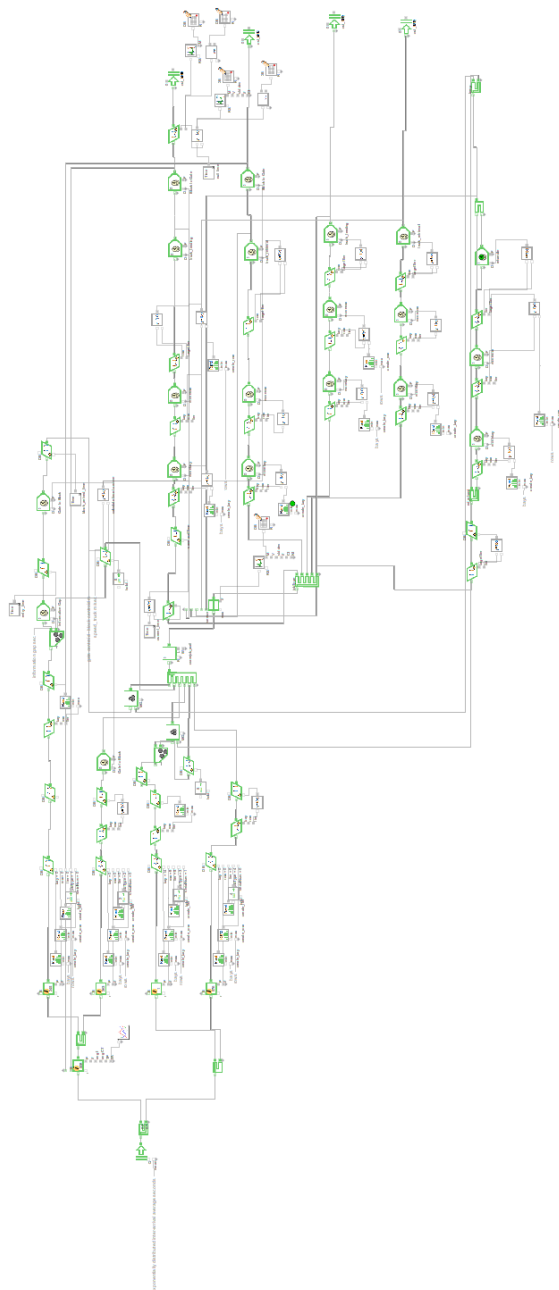
자료: 저자 작성

〈표 4-6〉 모의실험 시나리오 정리

인덱스	디지털화 여부	트럭 도착간격(IAT, 단위: 초)	본선-반출입 비율	평균 단적 수
1	X	130	5:5	3.5
2				5
3			6:4	3.5
4				5
5			7:3	3.5
6				5
7		100	5:5	3.5
8				5
9			6:4	3.5
10				5
11			7:3	3.5
12				5
13	O	130	5:5	3.5
14				5
15			6:4	3.5
16				5
17			7:3	3.5
18				5
19		100	5:5	3.5
20				5
21			6:4	3.5
22				5
23			7:3	3.5
24				5

자료: 저자 작성

〈그림 4-8〉 ExtendSim 모델 스크린 샷



자료: 저자 작성

〈표 4-7〉 실험결과 요약(디지털화 적용 전)

시나리오	도착 분포 평균	작업 비율	평균 단적 수	크레인 활용률	체류시간(평균)	체류시간(최대)	대기시간(평균)	대기시간(최대)
1	130	5:5	3.5	0.60	569.5	2014.4	95.4	1509.1
2	130	5:5	5	0.67	649.1	2599.9	179.0	2116.4
3	130	6:4	3.5	0.60	569.3	2122.4	95.3	1366.5
4	130	6:4	5	0.67	650.1	2681.4	180.0	2043.7
5	130	7:3	3.5	0.60	568.5	1956.0	94.5	1349.7
6	130	7:3	5	0.67	648.1	2480.7	178.0	1963.3
7	100	5:5	3.5	0.78	718.4	3098.3	244.4	2619.2
8	100	5:5	5	0.87	1080.8	5392.5	610.7	4913.6
9	100	6:4	3.5	0.78	716.6	3031.3	242.6	2556.9
10	100	6:4	5	0.87	1073.6	5320.0	603.5	4844.3
11	100	7:3	3.5	0.78	714.9	2955.6	240.9	2477.7
12	100	7:3	5	0.87	1073.0	5401.0	602.9	4927.6

자료: 저자 작성

〈표 4-8〉 실험결과 요약(디지털화 적용 후)

시나리오	도착 분포 평균	작업 비율	평균 단적 수	크레인 활용률	체류시간(평균)	체류시간(최대)	대기시간(평균)	대기시간(최대)
13	130	5:5	3.5	0.60	517.1	1384.3	43.1	831.8
14	130	5:5	5	0.67	541.5	1685.0	71.4	1130.2
15	130	6:4	3.5	0.60	517.4	1573.4	43.3	755.6
16	130	6:4	5	0.67	542.3	1854.3	72.2	1091.7
17	130	7:3	3.5	0.60	518.0	1490.3	44.0	744.3
18	130	7:3	5	0.67	544.0	1901.5	73.9	1070.9
19	100	5:5	3.5	0.78	598.5	1940.6	124.5	1465.8
20	100	5:5	5	0.87	780.3	3289.7	310.2	2819.2
21	100	6:4	3.5	0.78	598.1	1942.8	124.1	1410.0
22	100	6:4	5	0.87	775.1	3181.6	304.9	2715.2
23	100	7:3	3.5	0.78	599.7	1970.2	125.7	1407.1
24	100	7:3	5	0.87	779.0	3247.6	308.9	2773.8

자료: 저자 작성

〈표 4-9〉 디지털화 적용 전과 후 비교(종합)

대응 시나리오 좌측	우측	크레인 활용률		체류시간(평균)		체류시간(최대)		대기시간(평균)		대기시간(최대)	
		적용 전	적용 후	적용 전	적용 후	적용 전	적용 후	적용 전	적용 후	적용 전	적용 후
1	13	0.60	0.60	569.5	517.1	2014.4	1384.3	95.4	43.1	1509.1	831.8
2	14	0.67	0.67	649.1	541.5	2599.9	1685.0	179.0	71.4	2116.4	1130.2
3	15	0.60	0.60	569.3	517.4	2122.4	1573.4	95.3	43.3	1366.5	755.6
4	16	0.67	0.67	650.1	542.3	2681.4	1854.3	180.0	72.2	2043.7	1091.7
5	17	0.60	0.60	568.5	518.0	1956.0	1490.3	94.5	44.0	1349.7	744.3
6	18	0.67	0.67	648.1	544.0	2480.7	1901.5	178.0	73.9	1963.3	1070.9
7	19	0.78	0.78	718.4	598.5	3098.3	1940.6	244.4	124.5	2619.2	1465.8
8	20	0.87	0.87	1080.8	780.3	5392.5	3289.7	610.7	310.2	4913.6	2819.2
9	21	0.78	0.78	716.6	598.1	3031.3	1942.8	242.6	124.1	2556.9	1410.0
10	22	0.87	0.87	1073.6	775.1	5320.0	3181.6	603.5	304.9	4844.3	2715.2
11	23	0.78	0.78	714.9	599.7	2955.6	1970.2	240.9	125.7	2477.7	1407.1
12	24	0.87	0.87	1073.0	779.0	5401.0	3247.6	602.9	308.9	4927.6	2773.8

자료: 저자 작성

〈표 4-10〉 디지털화 적용 전과 후 비교(평가지표 값 차이 및 감소율)

대응 시나리오 좌측	우측	크레인 활용률(AT)	체류시간(평균)		체류시간(최대)		대기시간(평균)		대기시간(최대)	
			차이	감소율	차이	감소율	차이	감소율	차이	감소율
1	13	0.60(130)	52.37	0.09	630.11	0.31	52.35	0.55	677.31	0.45
2	14	0.67(130)	107.60	0.17	914.90	0.35	107.59	0.60	986.17	0.47
3	15	0.60(130)	51.88	0.09	548.95	0.26	51.93	0.55	610.88	0.45
4	16	0.67(130)	107.79	0.17	827.13	0.31	107.79	0.60	951.93	0.47
5	17	0.60(130)	50.55	0.09	465.67	0.24	50.52	0.53	605.40	0.45
6	18	0.67(130)	104.17	0.16	579.11	0.23	104.14	0.58	892.39	0.45
7	19	0.78(100)	119.88	0.17	1157.73	0.37	119.89	0.49	1153.38	0.44
8	20	0.87(100)	300.49	0.28	2102.86	0.39	300.50	0.49	2094.38	0.43
9	21	0.78(100)	118.51	0.17	1088.48	0.36	118.54	0.49	1146.91	0.45
10	22	0.87(100)	298.58	0.28	2138.39	0.40	298.57	0.49	2129.04	0.44
11	23	0.78(100)	115.18	0.16	985.43	0.33	115.16	0.48	1070.56	0.43
12	24	0.87(100)	294.02	0.27	2153.47	0.40	294.03	0.49	2153.79	0.44

자료: 저자 작성

〈표 4-11〉 트럭 도착 분포에 따른 비교

대응 시나리오 좌측	우측	크레인 활용률		체류시간(평균)		체류시간(최대)		대기시간(평균)		대기시간(최대)	
		IAT=130	IAT=100	IAT=130	IAT=100	IAT=130	IAT=100	IAT=130	IAT=100	IAT=130	IAT=100
1	7	0.60	0.78	569.5	718.4	2014.4	3098.3	95.4	244.4	1509.1	2619.2
2	8	0.67	0.87	649.1	1080.8	2599.9	5392.5	179.0	610.7	2116.4	4913.6
3	9	0.60	0.78	569.3	716.6	2122.4	3031.3	95.3	242.6	1366.5	2556.9
4	10	0.67	0.87	650.1	1073.6	2681.4	5320.0	180.0	603.5	2043.7	4844.3
5	11	0.60	0.78	568.5	714.9	1956.0	2955.6	94.5	240.9	1349.7	2477.7
6	12	0.67	0.87	648.1	1073.0	2480.7	5401.0	178.0	602.9	1963.3	4927.6
13	19	0.60	0.78	517.1	598.5	1384.3	1940.6	43.1	124.5	831.8	1465.8
14	20	0.67	0.87	541.5	780.3	1685.0	3289.7	71.4	310.2	1130.2	2819.2
15	21	0.60	0.78	517.4	598.1	1573.4	1942.8	43.3	124.1	755.6	1410.0
16	22	0.67	0.87	542.3	775.1	1854.3	3181.6	72.2	304.9	1091.7	2715.2
17	23	0.60	0.78	518.0	599.7	1490.3	1970.2	44.0	125.7	744.3	1407.1
18	24	0.67	0.87	544.0	779.0	1901.5	3247.6	73.9	308.9	1070.9	2773.8

자료: 저자 작성

〈표 4-12〉 본선-반출입 작업비율에 따른 비교

대응 시나리오 좌측	우측	크레인 활용률		체류시간(평균)		체류시간(최대)		대기시간(평균)		대기시간(최대)	
		5:5	7:3	5:5	7:3	5:5	7:3	5:5	7:3	5:5	7:3
1	5	0.60	0.60	569.5	568.5	2014.4	1956.0	95.4	94.5	1509.1	1349.7
2	6	0.67	0.67	649.1	648.1	2599.9	2480.7	179.0	178.0	2116.4	1963.3
7	11	0.78	0.78	718.4	714.9	3098.3	2955.6	244.4	240.9	2619.2	2477.7
8	12	0.87	0.87	1080.8	1073.0	5392.5	5401.0	610.7	602.9	4913.6	4927.6
13	17	0.60	0.60	517.1	518.0	1384.3	1490.3	43.1	44.0	831.8	744.3
14	18	0.67	0.67	541.5	544.0	1685.0	1901.5	71.4	73.9	1130.2	1070.9
19	23	0.78	0.78	598.5	599.7	1940.6	1970.2	124.5	125.7	1465.8	1407.1
20	24	0.87	0.87	780.3	779.0	3289.7	3247.6	310.2	308.9	2819.2	2773.8

자료: 저자 작성

〈표 4-13〉 평균 단적 차이에 따른 비교

대응 시나리오 좌측	우측	크레인 활용률			체류시간(평균)			체류시간(최대)			대기시간(평균)			대기시간(최대)		
		3.5	5.0	0.67	3.5	5.0	649.1	3.5	5.0	2014.4	3.5	5.0	179.0	3.5	5.0	2116.4
1	2	0.60	0.67		569.5			2122.4			95.4			1509.1		
3	4	0.60	0.67		569.3		650.1	2122.4		2681.4	95.3		180.0	1366.5		2043.7
5	6	0.60	0.67		568.5		648.1	1956.0		2480.7	94.5		178.0	1349.7		1963.3
7	8	0.78	0.87		718.4		1080.8	3098.3		5392.5	244.4		610.7	2619.2		4913.6
9	10	0.78	0.87		716.6		1073.6	3031.3		5320.0	242.6		603.5	2556.9		4844.3
11	12	0.78	0.87		714.9		1073.0	2955.6		5401.0	240.9		602.9	2477.7		4927.6
13	14	0.60	0.67		517.1		541.5	1384.3		1685.0	43.1		71.4	831.8		1130.2
15	16	0.60	0.67		517.4		542.3	1573.4		1854.3	43.3		72.2	755.6		1091.7
17	18	0.60	0.67		518.0		544.0	1490.3		1901.5	44.0		73.9	744.3		1070.9
19	20	0.78	0.87		598.5		780.3	1940.6		3289.7	124.5		310.2	1465.8		2819.2
21	22	0.78	0.87		598.1		775.1	1942.8		3181.6	124.1		304.9	1410.0		2715.2
23	24	0.78	0.87		599.7		779.0	1970.2		3247.6	125.7		308.9	1407.1		2773.8

자료: 저자 작성

이와 같은 시나리오 조합을 기반으로 한 모의실험 결과는 <표 4-7>, <표 4-8>과 같이 요약되며, 시나리오를 구분하는 4개의 항목에 대한 비교는 <표 4-9>부터 <표 4-13>에 각각 정리됐다. 먼저, 본 연구에서의 핵심인 디지털화 전과 후를 <표 4-7>과 <표 4-8>을 통해 비교 시, 체류시간과 대기시간에서 큰 차이를 보임을 알 수 있다. 체류시간은 각 차량의 이동시간과 대기시간 및 작업시간 합으로 표현되며, 이동시간과 작업시간에 대한 조건이 같으면 대기시간에 영향을 받는다.

<표 4-10>에서는 디지털화 전과 후의 평가지표 값 차이와 감소율을 보여주는데, 대기시간의 경우 평균 50% 이상의 차이를 보이며 디지털화 대안의 우수성을 입증했다. 이러한 차이는 야드크레인의 활용률이 낮을 때 더 두드러지는데, 이는 야드크레인의 유휴시간이 확보될수록 반출작업을 위한 사전 리핸들링을 수행할 수 있기 때문이다. 크레인 유휴시간이 상대적으로 확보되는 시나리오를 비교한 상단 6개의 행에서의 평균 대기 시간 감소율은 약 57%인데 반해, 하단 6개의 행, 즉 상대적으로 크레인 활용률이 높은 시나리오에서는 평균 대기 시간 감소율이 49% 수준을 보인다.

이와 달리, 상단 6개 행에서의 평균 체류시간 감소율이 약 13%, 하단 6개 행에서의 평균 체류시간 감소율이 약 22%로 나타났다. 즉, 차량 도착이 잦을수록 디지털화에 따른 체류시간 감소율이 크다는 것이다. 이는 차량 도착이 빈번하면 크레인에 대기하는 트럭 대기행렬이 길어지고, 이에 따라 전체 체류시간에서 대기시간이 차지하는 비중이 늘어난다. 이때, 디지털화 대안으로 인해 사전 리핸들링을 수행하고, 이에 따라 대기시간이 줄어들면 그 비중만큼 대기시간이 감소하므로, 상대적으로 체감하는 체류시간 감소가 큰 것으로 유추할 수 있다.

디지털화 대안 적용 전과 후를 비교 시, 크레인 활용률은 변화가 없다. 이는 <표 4-11>과 <표 4-13>을 통해 그 원인을 파악할 수 있는데, 외부트

력의 도착이 잦을수록, 그리고 평균 단적이 높을수록 크레인 활용률이 높아짐을 알 수 있다. 먼저, <표 4-11>의 첫 행을 보면(대응 시나리오: 좌측 1, 우측 7), 트럭 도착 간격에 따라 크레인 활용률이 차이를 보임을 알 수 있다(0.60, 0.78). 두 번째 행을 보면, 같은 트럭 도착 간격에도 불구하고 시나리오 1의 크레인 활용률이 시나리오 2의 크레인 활용률보다 낮음을 알 수 있다. 이와 같은 패턴은 두 행 간격으로 일어난다. 즉, 홀수 시나리오와 짝수 시나리오의 차이를 파악하면 그 원인을 알 수 있다. <표 4-6>에 정리된 시나리오 인덱스에 따라, 홀수 시나리오의 평균 단적(3.5)이 짝수 시나리오의 평균 단적(5.0)보다 낮음을 알 수 있다. 이는 단적이 높아질수록 리핸들링 소요시간이 길어지기 때문이다.

<표 4-12>는 본선작업과 반출입 작업비율에 따른 모의실험 결과를 비교한 것이다. 최대 체류시간과 최대 대기시간의 경우, 극단값을 의미하므로 일정 수준의 차이를 확인할 수 있으나, 평균값을 관찰하면 본선-반출입 작업 비율은 체류시간이나 대기시간에 큰 영향을 끼치지 않음을 알 수 있다. 이는 모의실험에서 크레인의 유휴시간이 일정 수준 확보되어 별도의 작업 우선순위를 지정하지 않았기 때문이다.

05

결론

제1절 요약

본 절에서는 올해 수행한 『디지털 공급사슬 물류정보통합 구축전략 연구(Ⅲ)』를 요약함과 동시에, 지난 2019, 2020년에 각각 수행한 1단계, 2단계의 연구를 간략히 설명한다. 이를 통해, 3개년도 연구를 종합적으로 요약해 소개한다. 또한, 디지털 공급사슬 물류정보 통합 구축전략을 지원하는 정책을 제언함으로써, 본 연구가 보다 실질적으로 현장에 도움이 되도록 한다.

1. 3차년도 연구

『디지털 공급사슬 물류정보통합 구축전략 연구(Ⅲ)』는 크게 다섯 영역으로 구분된다. 제1장에서는 디지털 전환에 관한 관심을 시작으로, 디지털화가 공급사슬에 적극적으로 도입됨을 강조함과 동시에, 항만을 중심으로 수출입되는 컨테이너 공급사슬 관련 연구가 미비함을 언급했다. 이 중, 컨테이너 반출 프로세스에서의 외부트럭 대기 현황을 소개해 디지털화가 시급함을 강조해 연구의 당위성을 제시했다. 이 과정에서 연구의 범위를 컨테

이너 반출 프로세스로 한정했다. 그리고 디지털화를 통해 외부트럭의 대기 시간을 감소시키고, 궁극적인 공급사슬 개선을 달성하기 위한 디지털 공급사슬 구축전략의 필요성이 제시됐다.

제2장에서는 전반적인 디지털화 문헌 검토가 수행됐다. 공급사슬 및 디지털 공급사슬의 정의와 배경을 소개하는 것을 시작으로, 공급사슬 디지털화 사례와 공급사슬 및 디지털 공급사슬 평가와 관련한 문헌을 중점적으로 조사했다. 많은 선행연구는 공급사슬 디지털화 자체를 정의하면서 분석대상이 되는 공급사슬을 정의하거나 선정하고 이를 평가하는 연구 방법론을 가졌다. 즉, 본 연구는 이러한 선행연구의 방법론이 포함한 세부 절차 각각에 집중함으로써, 더욱 의미있는 시사점을 도출하고자 했다. 문헌 검토를 통해 항만 컨테이너 공급사슬 내 디지털화 범위를 한정하고, 애로사항 기반의 대안 도출과 모의실험을 통한 정량적 효과를 제시한 연구가 아직 수행되지 않았음을 알아냈다.

제3장은 컨테이너 반출입 현황을 1, 2차년도 연구에서보다 더욱 자세히 파악하는 것으로 시작하였다. 반입과 반출 각각의 프로세스를 장거리와 근거리 등 운송의 유형을 구분해 조사했고, 부산항 10개 터미널을 기준으로 한 실제 데이터를 기반으로 현황을 진단, 실질적인 애로사항을 파악하는데 중점을 뒀다. 애로사항 확인 결과, 반입보다는 반출에서의 문제가 더 심각해 디지털화가 시급함을 인지했고, 애로사항을 해결하는 디지털화 대안을 도출했다.

외부트럭 도착에 대한 확정 도착 시간 공유시스템이 부재를 애로사항의 원인으로 파악했다. 이에 따른 현실에서의 근본적인 애로사항을 터미널 혼잡도가 낮음에도 불구하고, 터미널운영사가 사전 리핸들링을 계획·수행하지 못해 각 외부트럭의 대기시간과 상하차 작업시간이 증가하는 것으로 정의했다. 즉, 기존 블랙박스로 여겨진 트럭의 진입시간과 컨테이너 반출입시

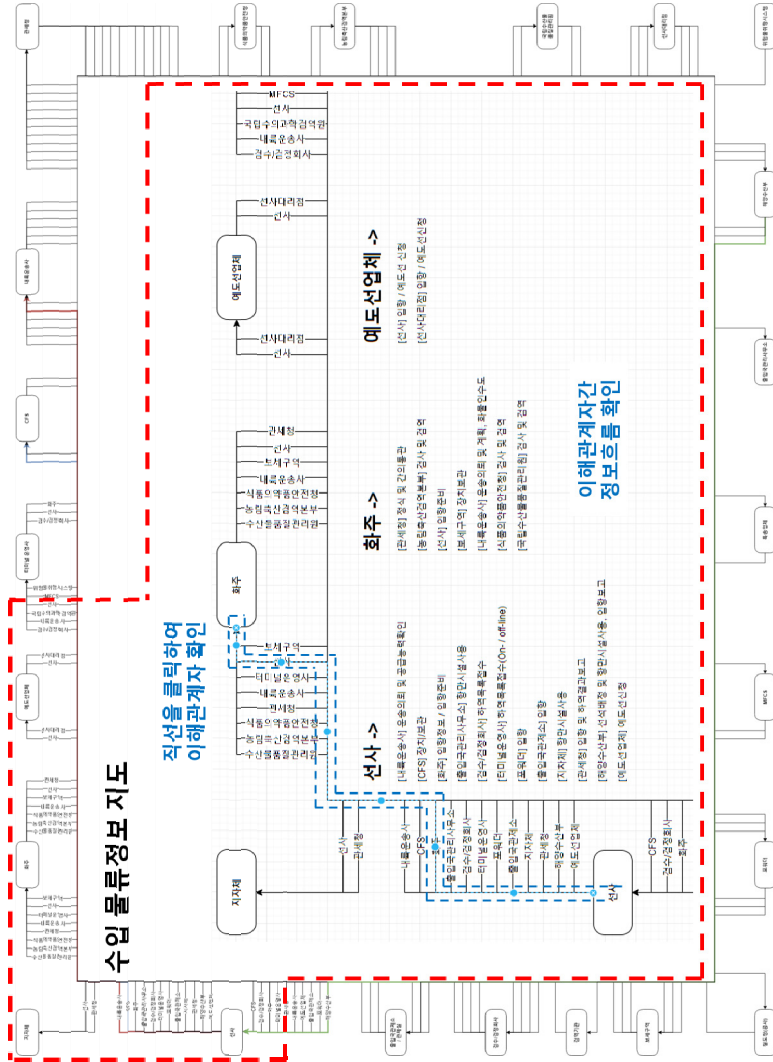
간을 화이트박스화 하는 플랫폼을 도입함으로써, 사전 리핸들링이 가능한 환경을 구축하는 것을 디지털화 대안으로 선정했다.

제4장에서는 제3장에서 정의한 디지털화 대안을 프로세스 기반 모의실험에 적합한 형태로 재정의하고, 이를 ExtendSim 기반 모의실험을 통해 정량적으로 분석했다. 모의실험은 디지털화 여부를 비롯한 트럭 도착 간격, 본선-반출입 작업비, 평균 단적을 기준으로 총 24개의 시나리오가 설정됐으며, 대기시간과 체류시간을 평가지표로 삼아 분석이 진행됐다. 그 결과, 디지털화 대안은 대기시간 측면에서 53%, 체류시간 측면에서 17%의 감소 효과를 보여 그 효과를 입증했다. 이러한 디지털화의 정량적 효과는 향후 추진될 공급사슬 디지털화를 지원하는 참고자료가 될 것이다.

2. 1차년도, 2차년도 연구

1차년도 연구인 『디지털 공급사슬 물류정보통합 구축전략 연구(I)』에서는 디지털 공급사슬을 정의함과 동시에, 국내외 디지털 공급사슬 관련 정책과 현황을 조사했다. 독일이나 네덜란드, 싱가포르와 같은 선진국에서의 활동과 트레이드렌즈(TradeLens)를 통해 디지털화를 선도하는 머스크와 같은 기업 활동을 구분했다. 다음으로, 항만을 통해 수출입되는 컨테이너 공급사슬을 국내 관점에서 조사했다. 이 과정에서 컨테이너 수입 인바운드(Inbound)와 수출 아웃바운드(Outbound)라는 연구의 범위를 명확히 설정했으며, 공급사슬상 관련 이해관계자를 파악하고 업무적·연결 여부를 ‘디지털화’라는 표현을 통해 정리했다. 이를 통해, 일종의 공급사슬 정보지도를 수입과 수출을 구분, 도식화해 제시했다(그림 5-1).

〈그림 5-1〉 항만 컨테이너 공급사슬 정보지도(1차년도, 수입 부문)



자료: 최상희·이연경·서정용(2019), p. 131

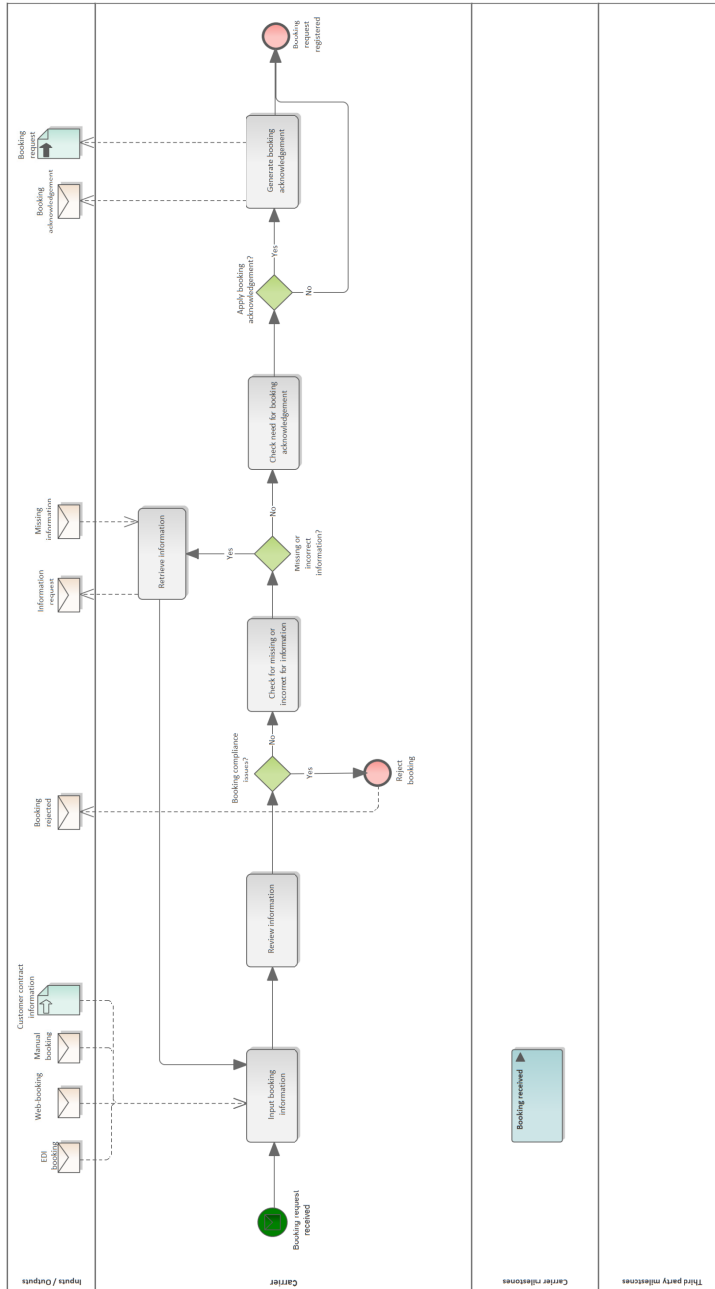
2차년도 연구에서는 디지털 공급사슬을 재정의하고, 디지털 공급사슬과 관련된 세계의 현황을 정리했다. 세드나 플랫폼의 성장, 블록체인을 기반으로 한 컨테이너 운송을 시험한 로테르담 항만 등 관심을 받은 사건을 소개했다. 이 중 팔목할 만한 사건은 디지털 컨테이너운송협회로 불리는 DCSA(Digital Container Shipping Association)가 IBCS(Industry Blueprint-Container Shipping), 즉 컨테이너 운송 청사진을 발표한 것이었다. 이는 해운물류업에서 수행하는 다양한 업무를 파악하고 관련 프로세스를 정의·표준화한 것으로, 구체적인 디지털화 전략을 수립하는 데 큰 도움을 줄 것으로 기대된다.

이들은 크게 선적과 화물·장비, 선박 및 예외처리 업무로 구분하고, 각각을 세분화한 업무 프로세스를 알고리즘과 순서도를 통해 정의했다. 예를 들어, 선적 업무는 예약 요청을 등록하는 것을 포함한 여섯 가지의 세부 업무로 구성돼있다.³³⁾ <그림 5-3>은 예약 요청 등록업무 프로세스를 보여주며, 입·출력 데이터, 운송업자(Carrier) 업무절차, 핵심 마일스톤을 포함한다.

또한, 1차년도 연구에서는 이해관계자 간 업무연결 여부에 중점을 두었다면, 2차년도 연구에서는 데이터·정보전달 방식으로 정의된 디지털화 수준을 조사하고, 애로점을 파악하는 데 중점을 뒀다. 컨테이너 수출입 공급사슬의 4대 이해관계자로 볼 수 있는 화주(또는 포워더), 선사, 터미널운영사, 그리고 육상운송사 각각을 중심으로, 업무에 따른 데이터·정보 전달 방식을 종이, 전화, 팩스, 이메일, 전자문서교환(EDI: Electronic Data Interchange), 웹, 그리고 개인 휴대전화기(Mobile)로 유형화했다(그림 5-4).

33) 2차년도 연구 수행 당시, 청사진의 버전은 2.0이었으나, 현재 3.0 버전이 공개됨

〈그림 5-3〉 예약 요청 등록 업무 절차



자료: DCSA(2020), p. 8

이와 같은 현황을 정리한 후, 상대적으로 종이 등 전통적인 전달 방식에 의존해 디지털화 수준이 낮은 업무 영역을 정의하고, 디지털화의 니즈 및 애로점을 파악했다. 각 이해관계자의 처지에서 다양한 애로점이 확인됐으며, 이는 제3차년도 연구범위인 외부트럭에 의한 컨테이너 반출입 역시 포함한다.

제2절 디지털 공급사슬 물류정보통합 구축전략 및 정책 —

본 절에서는 디지털 공급사슬 물류정보통합 구축 방안을 마련하기 위해 우리나라 컨테이너 수출입 공급사슬의 디지털화 방안을 단계적으로 제시하고, 실행 및 이행을 위한 디지털 공급사슬 구축전략을 정책제언에서 제시하고자 한다.

디지털 공급사슬 물류정보통합 구축 방안의 첫 번째 단계는 2019년 1차년도 연구에서 제시한 ‘해상물류 중심 컨테이너 수출입 공급사슬 생태계’를 파악한다. 두 번째 단계는 2020년도 2차년도 연구에서 제시한 ‘컨테이너 수출입 공급사슬 정보연계 수단 및 디지털화 수준’을 분석한다. 세 번째 단계는 올해 3차년도 연구에서 제시한 ‘컨테이너 수출입 공급사슬 디지털화 모형 구축 및 효과’를 분석한다. 본 연구에서는 전체 공급사슬에 대한 디지털화 모형 구축 및 효과분석을 하기에는 시간적·예산적 제약 때문에 외부 물류 흐름뿐만 아니라 항만 생산성 변동에 영향을 크게 미치는 트럭 반출 프로세스를 중심으로 한 디지털화 모형 구축 및 효과를 제시했다. 향후 동일한 방법으로 나머지 프로세스에 대한 디지털화 모형 구축 및 효과를 분석함으로써 수출입 컨테이너에 대한 디지털 공급사슬 물류정보통합 구축

이미지와 효과를 제시할 수 있을 것으로 판단된다.

또한 본 연구에서는 디지털 공급사슬 구축 전략을 수립하고 지속적인 이행을 위해서 i) 공급사슬 디지털화를 위한 핵심 국정과제와의 연계, ii) 물류정보 수집·제공 및 정보연계·통합을 위한 거버넌스 구축, iii) 공급사슬 디지털화 평가를 통한 피드백 체계를 마련하고, iv) 디지털화 내재화를 위한 통합된 공급사슬 생태계 구축 및 실행전략을 마련하고자 한다.

1. 수출입 컨테이너 공급사슬 디지털화 구축 단계

3개년(2019~2021년)에 걸친 『디지털 공급사슬 물류정보통합 구축전략 연구(I), (II), (III)』의 연구목적은 공급사슬 지도를 구성하고, 디지털화 방안을 제시하는 것이다. 그런데 디지털 공급사슬 구축을 위해서는 관련 주체, 서비스 및 정보 종류, 정보 연계 방법 등을 우선 정의해야 하는데, 취급 제품, 회사규모, 물류 운송 수단, 디지털 구축 목표 등에 따라 너무 상이하고 다양하다. 다양한 공급사슬의 디지털화 방안을 모두 제시하기 어렵기 때문에 표준 프로세스가 정립되어 있고 운영시스템을 기반으로 디지털화를 추진하고 있으나, 해외 선도 항만에 비해 디지털화가 미흡한 수출입 컨테이너 공급사슬 프로세스에 집중해 공급사슬 디지털화 구축 단계를 제시했다(그림 5-5).

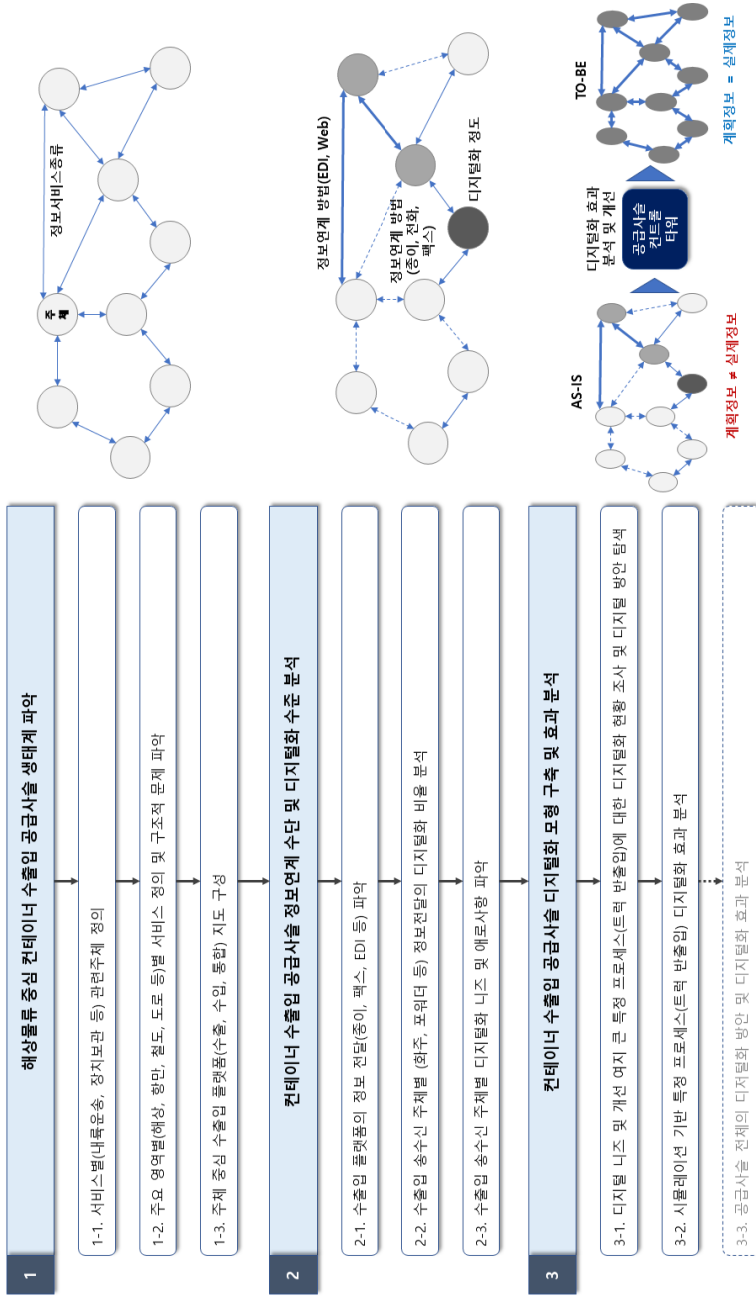
수출입 컨테이너 공급사슬 디지털화 구축은 1단계 해상물류 중심 컨테이너 수출입 공급사슬 생태계 파악, 2단계 컨테이너 수출입 공급사슬 정보연계 수단 및 디지털화 수준 분석, 3단계 컨테이너 수출입 공급사슬 디지털화 모형 구축 및 효과분석 순서로 이뤄진다. 1단계 해상물류 중심 컨테이너 수출입 공급사슬 생태계를 파악하기 위해 i) 서비스별 관련 주체를 정의하고, ii) 주요 영역별 서비스를 정의한 후 구조적 문제점을 파악하며, iii) 관

련 주체 중심의 수출입 플랫폼 지도를 완성한다. 즉 1단계에서는 관련 주체(노드)와 정보서비스(링크)를 파악하는 것을 목적으로 한다.

2단계 컨테이너 수출입 공급사슬 정보연계 수단 및 디지털화 수준 분석을 위해서 수출입 플랫폼의 정보전달 형태를 파악하고, 수출입 송수신 주체별 기준 정보전달의 디지털화 비율을 분석하고, 수출입 송수신 주체별 디지털화 니즈 및 애로사항을 파악한다. 2단계에서는 1단계에서 파악된 관련 주체(노드) 간 정보서비스(링크) 송수신 연계 수단에 따라 주체별·송수신 정보별 디지털화(EDI, Web 등) 정도 및 니즈를 파악하는 것을 목적으로 한다.

3단계 컨테이너 수출입 공급사슬 디지털화 모형 구축 및 효과분석에서는 올해 디지털화 니즈 및 개선여지가 큰 특정 프로세스(컨테이너터미널 트럭 반출입)에 대한 디지털화 현황 조사 및 디지털 방안을 모색하고, 시물레이션 기반 특정 프로세스의 디지털화 효과를 분석했다. 향후 연구에서는 공급사슬 나머지 프로세스에 대한 디지털화 현황 및 방안을 모색한 후 효과를 분석할 예정이다. 3단계에서는 2단계의 디지털화 정도 및 니즈를 기반으로 디지털화 방안을 마련한 후 효과를 파악하는 것을 목적으로 한다.

〈그림 5-5〉 수출입 컨테이너 공급사슬 디지털화 구축 단계

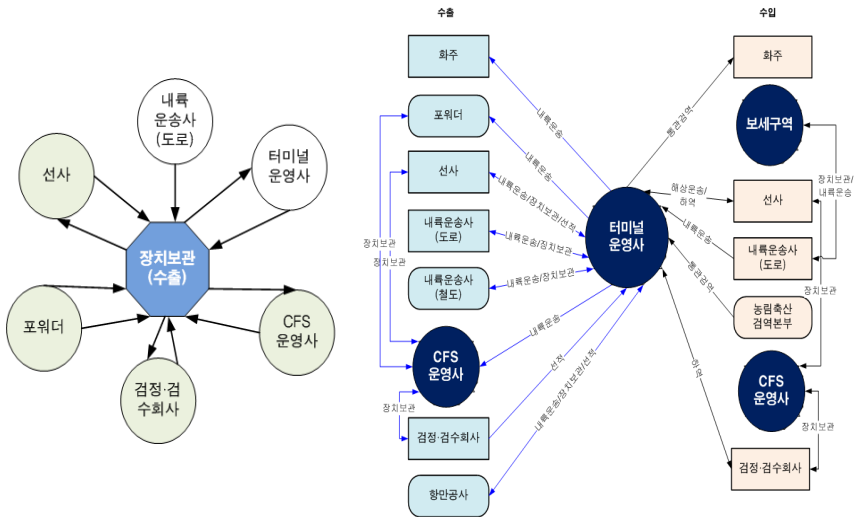


자료: 저자 작성

1) 1단계: 해상물류 중심 컨테이너 수출입 공급사슬 생태계 파악

1단계 작업으로 우선 1차년도(2019년) 연구를 통해 「물류정책기본법 시행령」 ‘별표 1’상의 물류업종과 해상물류 중심 공급사슬 참여자를 기준으로 정보서비스를 도출했다. 첫 번째 ‘해상물류 중심 컨테이너 수출입 공급사슬 생태계’를 정의하기 위하여 정보서비스 종류(내륙운송, 장치·보관, 통관·검역, 선적·하역, 입출항서비스)에 따른 5대 공급사슬 주체(화주 등의 무역거래기능, 터미널운영사, 선사 등의 화물취급·운송기능, 해양수산부, 관세청 등의 관리기능, 농림축산검역본부 등의 감시기능, 항만물류지원 및 정보시스템 기능)를 파악했다.

〈그림 5-6〉 장치·보관 서비스별 관련 주체 및 화물취급·운송기능 정보 정의



자료: 최상희·이연경·서정용(2019), p. 25, 29

두 번째 공급망 주요 영역(항만, 도로 및 철도운송, 해상운송, 금융 및 물류당국)별 제공 가능한 정보와 서비스 항목 등을 조사하고, 수출입 공급

사슬 생태계 상의 실시간 정보공유, 거버넌스 부족 등의 구조적 문제점을 파악한다.

〈표 5-1〉 선사 주요 서비스

서비스 연계 기관	주요 서비스
터미널 운영사	• 선박 정보(기항 일정, 입항, 적부도, 제원 등) • 화물 정보(양적하, 반출, 적재, 공컨예약, 위험물, 인도지시) • 화물운송 정보(공컨 반출, 운송 등)
화주	• 선박 정보(입항, 도착, 예약) • 화물 정보(도착통지, 인도지시, 세관신고, 위험물, B/L) • 화물운송 정보(위치, 상하차)
포워더	• 선박 정보(기항 일정, 입항, 적부도, 제원 등) • 화물 정보(B/L, 도착통지, 인도지시) • 화물위치 정보
내륙운송사	• 선박 정보(기항 일정) • 화물 정보(인도지시, 적하목록, 인도동의서), 손상여부
세관	• 선박 정보(입항/하선신고) • 화물정보(B/L, 적하목록) • 화물운송 정보(보세도착)
해양수산부	• 선박 정보(입항회수/일시, 선원, 면세품, 유류, 기항지, 정박지, 계선 등) • 화물정보(위험물 통계, 수입, 수출 및 환적화물 등) • 과금(시설사용료, 화물료, 화물보안료)

자료: 최상희·이언경·서정용(2019), pp. 85~86을 기반으로 저자 수정

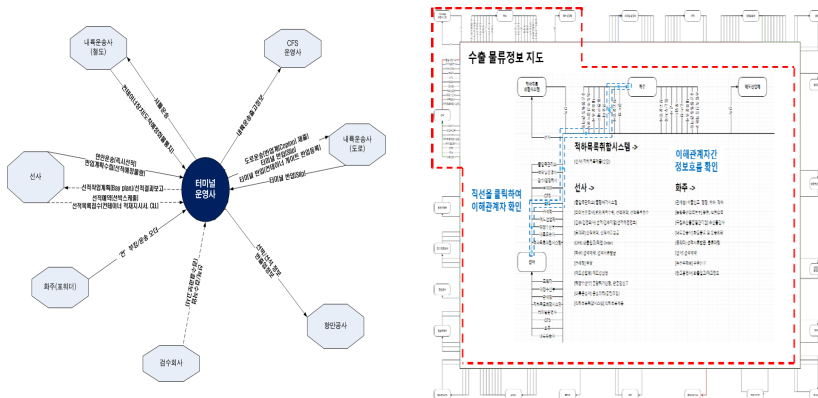
〈표 5-2〉 국내 공급망 구조적 문제점

구분	내용		
실시간 정보 공유	계획 정보	대기시간 발생 문제	• 항만 재작업: 실시간 선적계획 변경 관련 정보가 선사에서 항만으로 적시에 전달되지 않아 항만 내 사전 재작업 불가 • 벙커링에 따른 지연: 선박 하역 종료 후에도 완료되지 않은 벙커링에 의한 출항 지연
		고객 서비스 지연	• 선박 안전의 이유로 화주의 화물이 누락되는 경우 정보를 공유하지 않아 고객 서비스 지연 발생
	운송중 정보	손상정보 누락	• 화물 손상 감지 태그(Shock, Tilt tag) 육안 확인에 의한 오류 발생 • 선사는 신선화물 관리 온도 변화 정보를 사고가 발생해 보험사가 요구하는 경우에만 제공
		작업 정보	• 위험화물이 직반출되는 경우 트럭운전자가 선박 하역 현황 파악이 어려워 직반출되지 못한채 선박이 출항하는 경우 존재

자료: 최상희·이연경·서정용(2019), p. 97

1단계 마지막으로 2개 핵심 서비스(무역거래기능, 화물취급·운송기능)와 6개 주체(화주, 포워더, 터미널운행사, CFS 운행사, 선사, 내륙운송사)를 중심으로 수출입 및 통합 정보지도를 구성했다.

〈그림 5-7〉 터미널운행사 수출지도 및 공급사슬 수출 통합지도

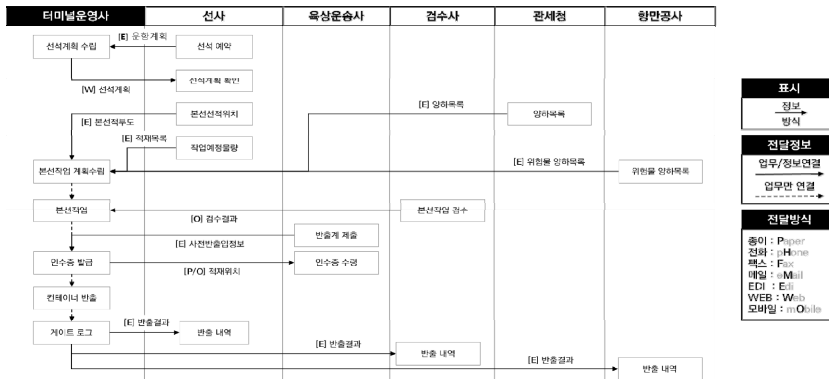
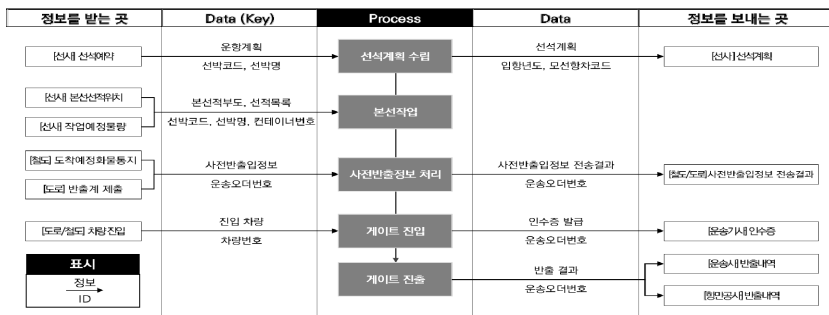


자료: 최상희·이연경·서정용(2019), p. 103, 115

2) 2단계: 컨테이너 수출입 공급사슬 정보연계 수단 및 디지털화 수준 분석

2단계 작업으로 2차년도(2020년) 연구에서는 1단계에서 구성된 수출입 플랫폼 지도(주체별 정보흐름)를 업데이트해서 컨테이너 수출입 공급사슬 정보연계 수단 및 디지털화 수준을 분석했다. 첫 번째는 1단계의 수출입 플랫폼 지도를 업무 프로세스 관점에서 상세하게 정보 흐름을 도식화하고, 전달 정보 종류와 형태(선적요청서, 수출신고서, 상업송장, 선하증권 등)를 파악한 후 관련 주체 간 정보 전달 방식(종이, 전화, 팩스, 메일, EDI, 모바일, 웹)을 구체화한다.

〈그림 5-8〉 터미널운행사 수입 업무 순서도(상) 및 정보전달방식(하)



자료: 이연경·서정용·김효재(2020), p. 79, 60

두 번째는 수출입 송수신 주체별(화주/포워더, 터미널운행사, 선사, 육상운송사 등) 정보전달 방식 빈도수에 따른 디지털화 비율을 분석한다. 분석 결과 송신자 기준으로는 주로 메일을 사용하는 화주/포워더를 제외하고는 터미널운행사, 선사, 육상운송사들은 EDI를 이용하고 있다. 수신자 기준으로 살펴보면 화주/포워더들은 팩스, 메일, 웹을 골고루 사용하고, 터미널운행사는 EDI를 대부분 사용하여 디지털 수준이 높은 편이고, 선사는 종이, EDI, 웹을 비슷한 수준으로 사용하는 반면에 육상운송사는 디지털방식보다 종이, 메일 사용 비중이 상대적으로 높은 편이다. 즉 수출입 송수신 주체별 정보 전달 방식의 디지털화 수준을 살펴본 결과, 상대적으로 육상운송사가 종이, 메일, 팩스 등의 비(非)디지털화 수단 혹은 실시간 체크가 불가능한 방식을 많이 사용하고 있는 것으로 파악되었다.³⁴⁾

세 번째는 수출입 송수신 주체별 디지털화 니즈 및 애로사항을 파악하여 우선 디지털화 모형을 구축해야 하는 대상을 선정하는 것이다. 공급사슬 관련 이해관계자 송수신 형태를 살펴보면 다양한 데이터 전달 방식이 종이, 메일, 팩스, EDI, 웹 등 전통적인 전달 방식이 혼재되어 있어 컨테이너 터미널 운영 및 생산성에 영향을 미치는 선박 입출항정보, 트럭 출·도착 정보 공유 등이 쉽지 않다. 여러 물류 프로세스 중 주목해야 할 부분은 상대적 약자인 외부트럭 운전기사들의 정보 확인 형태이다. 예를 들면 외부트럭 운전기사들은 다른 운영시스템을 가진 의 선적계획, 사전반출입정보 처리 결과 등을 확인하기 위해서는 트럭운전자(운송사)가 직접 홈페이지에서 일일이 확인해야 하는 수고스러움이 있다. 특히 컨테이너 반출 프로세스는 확정 도착 정보가 외부트럭 기사에게 사전에 공유되지 않고, 터미널 장치장 내 혼잡도가 높거나 재작업을 많이 해야 하는 블록에 배당받게 되면 외부트럭 운전자들의 불필요한 대기를 발생시킨다. 이러한 불필요한 대기는 터미널 외부 차량 정체 현상을 일으키기도 하고, 반출 컨테이너의 트럭 도

34) 이언경·서정용·김효재(2020), p. 99.

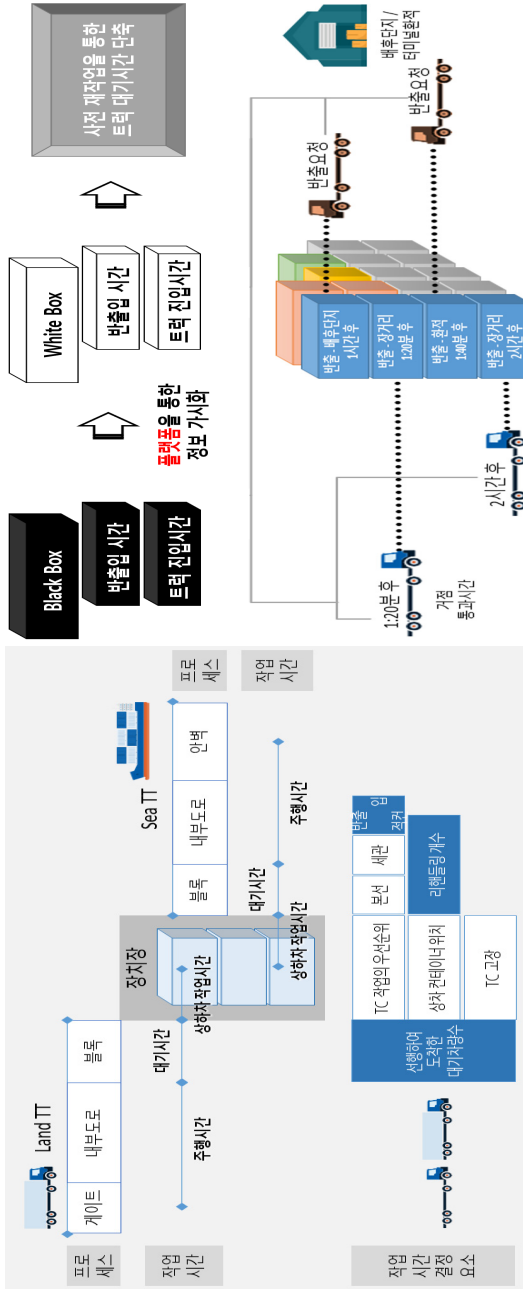
작 정보의 사전 확인이 안돼 터미널 내 사전 리핸들링 작업 진행 역시 불가능하므로, 하차작업 효율성을 감소시켜 항만 생산성을 떨어뜨린다. 이러한 문제는 디지털 기반의 외부트럭 확정 도착 정보의 공유를 통해서 해결이 가능하고, 그 효과가 크기 때문에 공급사슬 프로세스 중 우선 개선되어야 하는 영역으로 파악되었다.

3) 3단계: 컨테이너 수출입 공급사슬 디지털화 모형구축 및 효과분석

3단계 작업으로 3차년도(2021년) 연구에서는 2단계에서 우선 디지털화가 필요한 트럭 반출입 프로세스에 대한 디지털화 모형 구축 및 효과 분석을 실시하고, 그 결과를 바탕으로 나머지 공급사슬 프로세스 중심으로 디지털화 현황 조사 및 디지털화 방안을 제시한다. 3단계 작업을 통해 컨테이너 수출입 공급사슬 디지털화 평가 및 피드백을 바탕으로 지속적인 개선이 가능하도록 프레임워크를 마련한다.

첫 번째는 트럭 반출입 프로세스에 대한 디지털화 현황 조사 및 디지털 방안을 탐색한다. 외부트럭의 컨테이너터미널 진·출입 예정(계획)시간과 실제 진·출입 시간 차이가 상이하여 는 트럭 도착 전 사전 리핸들링 등의 계획적인 장치장 작업이 어렵다. 예를 들면 앞에서 언급된 것과 같이 부산항 컨테이너 10개 터미널의 트럭 대기시간(2020년 7월 기준)을 조사한 결과 약 13만 시간의 대기가 발생했다. 이는 항만 내부의 장치장 작업 효율성을 떨어뜨리고, 외부 게이트의 혼잡으로 인한 도로 교통정체가 발생할 뿐 아니라 대기 중 공회전을 통한 환경오염 문제도 유발한다.

〈그림 5-9〉 트럭 반출입 대기 발생 원인(좌) 및 디지털화 방안(우)

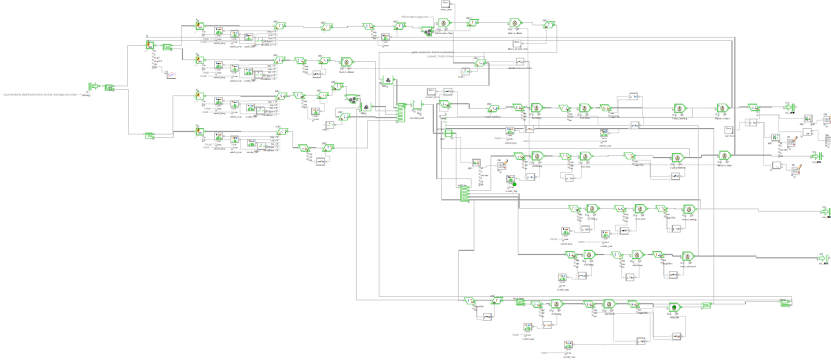


자료: 저자 작성(제3장 〈그림 3-5〉, 〈그림 3-12〉)

그러므로 우선 트럭 반출입 프로세스에서 대기가 발생하는 원인을 데이터 분석, 현장 전문가 인터뷰 등을 통해 면밀히 분석해야 한다. 즉 트럭 반출입 대기시간 발생 원인은 기존에 대기하고 있는 트럭 작업, 야드크레인 등의 고장 등의 변수, 작업 우선순위가 높은 컨테이너의 작업 배정(본선작업 및 세관 작업 등), 반출입 컨테이너 단적 위치에 따른 리핸들링 회수 등 매우 다양하다. 그다음 파악된 트럭 반출입 대기 발생 원인을 해결하기 위한 디지털화 방안을 탐색해야 한다. 사물인터넷 센서와 교통정보 연계를 통한 딥러닝 분석을 통해 외부트럭의 터미널 도착순서를 지정하고, 도착시간을 예측·확정한 후 트럭 도착시간을 고려한 사전 리핸들링 작업을 수행하여 트럭 대기시간을 최소화한다. 즉 외부트럭의 컨테이너 터미널 도착 예정 및 확정정보의 공유시스템 구축을 통해 해당 문제가 해결될 것으로 판단된다.

두 번째는 시뮬레이션 기반 트럭 반출입 프로세스의 디지털화 효과를 분석하는 것이다. 이를 위해서는 ExtendSim 시뮬레이션 툴을 활용한 모형 구축을 통한 모의실험(실험기간 약 60일)으로 디지털화 효과를 탐색할 수 있다. 디지털화 전과 후를 비교하기 위하여 외부트럭의 도착분포, 본선 및 반출입 작업비, 평균 단적을 기반으로 시나리오를 구축 한 후 실험한 결과 대기시간 감소 측면에서 약 53%, 체류시간 감소 측면에서 약 17%의 개선 효과가 나타나는 것으로 파악됐다.

〈그림 5-10〉 모의실험 모형



자료: 저자 작성(본 보고서 〈그림 4-8〉)

세 번째는 3단계의 트럭 반출입 프로세스에 대한 디지털화 현황 및 디지털화 방안 마련 후, 시뮬레이션 모델링을 통한 디지털화 효과 분석 방법을 토대로 우선순위가 높은 나머지 공급사슬 프로세스에 대한 디지털화 모형 구축 및 효과를 분석한다. 향후 전체 공급사슬 프로세스에 대한 디지털화 모형구축 및 효과분석이 완성되면, 공급사슬 관제 센터 등의 분석·관리체계를 마련하여 지속적인 문제 파악 및 개선방안 마련뿐만 아니라, 디지털화 효과를 분석하여 가장 효율적인 부분에 대한 디지털화 이행방안을 마련하는 것이 필요하다. 즉 이행 결과를 피드백하여 다음번 개선 작업에 반영하는 통합된 공급사슬 생태계 구축 방안을 마련해야 한다.

2. 정책제언

앞에서 마련된 디지털 공급사슬 구축 방안을 실행하기 위해서는 디지털 공급사슬 구축전략이 마련되고 지속적인 이행방안을 마련해야 한다. 이를 위해서 본 연구에서는 4가지 정책 대안인 i) 공급사슬 디지털화를 위한

핵심 국정과제와의 연계, ii) 물류정보 수집·제공 및 정보연계·통합을 위한 거버넌스 구축, iii) 공급사슬 디지털화 평가를 통한 피드백 체계를 마련하고, iv) 정보, 인력 등이 통합되고 지속가능한 성장을 추구할 수 있는 디지털 공급사슬 생태계를 구축한다.

1) 핵심 국정과제와의 연계

2020년 2월 관계부처합동으로 『수출입 물류 스마트화 추진방안-해상물류를 중심으로』에서는 항만-선박-육상 연계운송 효율화를 통해 항만 내 실시간 작업정보 분석 및 작업 완료시점 예측에 의한 항만 대기시간 최소화를 위한 연구 추진을 제안했다. 선박과 항만의 작업시간 연계를 통해 선박 도착 전 항만 이용 준비 완료시점과 하역 작업 완료시점을 예측, 통보하여 최적운항계획을 수립하게 했다. 또한 트럭의 컨테이너 반·출입 예약제로 트럭의 항만 이용을 분산시키고, 예상 하역작업 완료시간을 제공하여 최적운송계획 수립 지원을 제안했다. 그리고 항만 이용 주체 간 항만의 실시간 처리상황을 공유하는 통합 정보 플랫폼 도입을 검토했다.³⁵⁾

앞에서 제안된 과제의 실천을 위해 2021년 4월에는 경제중대본회의에서 「스마트 해운물류 확산전략」을 발표했다. 해당 사업은 물류운송 최적화를 위한 플랫폼 구축 및 고도화를 위한 방안이 적혀 있다. 부산항에 항만과 육상 간 화물 이동 정보의 공유를 위한 플랫폼 개발 및 운영을 추진할 예정이며, 그 일환으로 컨테이너 사전 반출입 예약시스템을 구축하여 실시간 반출입 정보를 공유할 예정이다. 이로 인해 물류 주체 간 쌍방향 의사소통 및 수송스케줄 변경 의사결정 지원 인터페이스 구축으로 실시간 데이터 공유뿐만 아니라 인공지능 기반 물류최적화가 가능해질 것으로 기대되고 있다. 또한 항만공사의 항만물류시스템과 지자체의 지능형 CCTV 등을 활용

35) 관계부처 합동(2020. 2), pp. 7~8.

한 스마트 교통시스템 간 데이터 연계를 통해 도시물류 흐름 최적화도 추진할 계획을 가지고 있다.³⁶⁾ 또한 수출입 물류 데이터의 유통 촉진을 위해 해양수산 빅데이터 거래소 구축 사업을 추진 중이며, 타 기관의 공공 물류 데이터 수집을 위해 물류 관련 공공플랫폼의 데이터 수집이 가능하도록 「물류정책기본법」의 관련 규정(단위물류정보망에서의 데이터 요구 등) 신설 검토 중이다. 또한 개인정보 노출방지를 위한 비식별화된 가명정보, 결합정보를 제공·활용하기 위한 해양수산부 주도로 세부 가이드라인을 마련하기 위해 노력 중이다.³⁷⁾

2020년 11월 해양수산부는 『2030 항만정책 방향 및 추진전략』에서 항만물류 정보화, 지능화를 통한 스마트 물류 연계망 구축 등의 사업을 제안했다. 해당 사업은 ‘2030 세계적 경쟁력을 갖춘 고부가가치 디지털 항만’ 실현을 위해 4차 산업혁명기술을 적극적으로 도입 활용하고, 해당 인프라 개선 등을 통해 항만과 지역이 지속가능한 상생발전을 도모할 수 있도록 하고 있다. 이용 주체 간 항만의 선박 입출항, 검역 및 통관 등의 화물정보 등의 5G, 블록체인 기반 실시간 연계 및 AI 분석을 통해 최적 항만운영계획을 수립할 계획을 발표했다. 또한 자율주행트럭의 게이트 출입, 화물 이송 및 양적하 정보 공유 플랫폼 개발 등을 제안했다.³⁸⁾

2021년 7월 국토교통부·해양수산부 공동으로 「글로벌 물류선도국가 도약 추진전략: 제5차 국가물류기본계획(2021~2030)」을 발표했다. 첨단 스마트 기술 기반 물류시스템 구축과 디지털 전환 추진전략을 위하여 자율주행 및 군집주행 화물운송, 스마트항만 건설·운영, 자율운항선박 및 운항시스템 등을 개발하여 하역부터 이송까지 작업 전 과정을 자동화·지능화할 계획이다. 또한 초연결·융합을 위한 물류정보 통합플랫폼을 구축하여 다양

36) 관계부처 합동(2021. 4), p. 8.

37) 관계부처 합동(2021. 4), p. 13.

38) 해양수산부 보도자료(2020. 11. 17), p. 7.

한 물류정보(시설, 기업, 배송 위치 등)를 지도 기반으로 연계·표출하고, 민간 활용도가 높은 지능화된 물류관리 시스템을 구축하려고 한다.³⁹⁾

정부에서 제안한 디지털 공급사슬 관련 정책은 해운-항만-내륙 물류정보를 플랫폼 구축을 통해 민간, 공공 수출입 데이터 공유를 유도하기 위해 노력하는 등 전체 공급사슬의 디지털화 방안을 제시하고 있다. 이를 위해 ① 자율주행트럭, 자율운항선박, 센서·5G 및 인공지능 기반 자동화·스마트항만 등의 개발 및 구축으로 실시간 데이터 추적이 가능하도록 유도하고, ② 가명정보 및 결합정보 가이드라인, 공공 물류데이터 수집을 위한 「물류정책기본법」 관련 규정을 신설하고, ③ 선박입출항, 항만하역정보, 트럭반출입 정보 등의 실시간 연계 방안을 제시하며, ④ 더 나아가 트럭 반출입정보와 지자체의 교통흐름 정보 연계 방안 필요성도 제안하고 있다.

이러한 과제들을 추진하기 위해서는 디지털 인력 육성, 정보공유 및 거래 등을 위한 플랫폼 구축, 법제도 개선이 선행되어야 한다. 추진을 제안한 국가정책은 4차 산업혁명기술을 기반으로 선도 국가에 비해 디지털화가 미비한 수출입 해상물류 분야의 발전을 통해 국가 경쟁력을 확보하려 하고 있다. 이러한 국가정책에 부합하여 디지털 공급사슬 정보 생태계를 구축하고 추진할 경우 성과가 빠른 시간 내에 가시화될 것으로 판단된다.

39) 국토교통부·해양수산부(2021. 7. 1), pp. 8~10.

〈표 5-3〉 해상-항만-내륙물류 디지털화 관련 정책과 연계 내용

구분	디지털 공급사슬 부분			연계 내용
	해운	항만	내륙	
수출입 물류 스마트화 추진 방안-해상물류를 중심으로(2020)	✓	✓	✓	• 선박 입출항 정보 • 항만 작업시간 • 트럭 반출입 정보
스마트 해운물류 확산 전략(2021)		✓	✓	• 트럭 반출입 정보 • 지자체 교통정보
2030 항만정책 방향 및 추진전략(2020)	✓	✓	✓	• 선박 입출항 정보 • 화물이송 양적하 정보 • 자율주행트럭 반출입정보
글로벌 물류선도국가 도약 추진전략-제5차 국가물류기본계획(2021)		✓	✓	• 시설, 기업, 배송위치 등의 물류정보 • 하역부터 이송까지 정보

자료: 관계부처합동(2020.2, 2021.4), 해양수산부 보도자료(2020. 11. 17.), 국토해양부·해양수산부(2021.7.1)를 기반으로 저자 작성

2) 물류정보 수집·제공 및 정보연계·통합관리를 위한 거버넌스 구축

공급사슬 내 이해관계자들의 디지털 물류 정보 연계를 통해 물류 효율화를 위한 운영 데이터로 활용하기 위해서는 다양한 데이터의 등록·수집이 우선되어야 한다. 물류 정보의 수집, 축적, 가공·제공·활용이 원활하게 되기 위해서는 첫째, 디지털 공급사슬 시스템 개발 기획 단계에서부터 시스템 구축 비전과 목표, 시스템 사용자 및 서비스별 정보공유 목적을 명확히 해야 한다. 둘째, 시스템 사용자의 데이터 사용 니즈 조사뿐만 아니라 상세한 비즈니스 프로세스 분석을 통해 정보공유 가능성을 평가하고, 가명처리를 통한 물류 프로세스 전체에 대한 정보 결합을 통해 다양한 정보를 제공하는 것이 필요하다. 한편 데이터 3법 개정으로 가명정보 활용 가능성은 높아졌으나 가명처리 및 결합 등에 대한 가이드라인이 명확하지 않아 사용

에 한계점이 존재하므로 해당 정보의 특수성을 고려하고 해양수산부, 국토교통부 등 관련 정보관리 부처에 맞는 가이드라인 작성이 필요하다.⁴⁰⁾

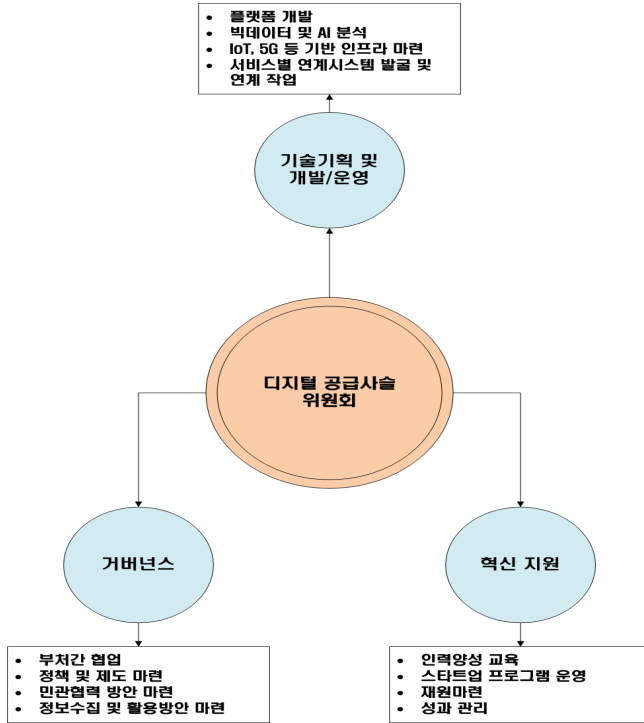
참여자들이 자발적으로 정보를 등록하고 공유하게 하기 위해서는 수출입 물류 플랫폼인 트레이드렌즈(TradeLens)와 엔트워프항의 NxtPort 플랫폼과 같은 정책이 필요할 것으로 판단된다. 해운선사 머스크와 정보공급업체인 IBM이 합작하여 구성한 수출입 물류 플랫폼인 트레이드렌즈는 선사, 터미널운영사, 육상운송사, 창고운영사, 데이터 수집사, 금융업체 등 참여업체들의 계약서를 기반으로 한 데이터 공유 독려로 화물추적 등 공급사슬 정보 가시성이 높아졌다. 정보공유 계약서 내용 핵심은 회원들은 ‘운송 관련 데이터(필요한 관리 이벤트, 변경사항 등)를 제공하는 데 동의한다’라는 조항으로 회원들은 사전 동의에 의해 플랫폼 내 데이터를 수집, 활용하게 된다. 트레이드렌즈에서의 데이터나 정보는 유럽의 일반 개인정보 보호법의 원칙에 따라 운영되고 있어 트레이드렌즈 서비스가 종료되거나 고객 요청 시 데이터를 제거할 수 있다.⁴¹⁾ 벨기에 엔트워프항의 NxtPort 플랫폼 운영 방식은 터미널운영사, 포워더, 화주, 항만공사, 선사, 세관 등 항만물류 관련 참여주체가 정보를 제공하는 대신 플랫폼 운영자가 수집된 정보 기반 데이터 분석을 통해 요청 기업의 문제점을 해결해주고 있다. 이 플랫폼 참여자들은 최초 가입 당시 계약 서류에 제3자에게 가공 정보를 공유하는 것에 동의했다.⁴²⁾

40) 최상희·이연경·서정용(2019), pp. 134~138, 조지성 외(2020), p. 99 기반 재구성

41) 조지성 외(2020), p. 23.

42) 위의 책, p. 24.

〈그림 5-11〉 디지털공급사슬 통합정보센터의 거버넌스 체계



자료: 최상희·이언경·서정용(2019), p. 138

수출입 컨테이너 공급사슬과 같이 관련 기관과 정보 소유자가 다수 존재할 경우 총괄 시스템 관리 및 운영을 위해 디지털 공급사슬 통합정보센터 내 디지털 공급사슬 위원회 등을 설치해야 한다. 다음으로, 해당 위원회에서는 정보 수집, 가공, 활용 등 필요한 시스템 구축을 위한 기획 및 투자자금 확보, 정보 가명처리 및 결합 등을 위한 가이드라인 마련, 계약서 작성 등의 법제도 개선, 투자자금 마련, 참여자들이 정보를 자발적으로 공유할 수 있는 차별화된 비즈니스 모델 및 서비스를 발굴해야 한다. 또한 정보연계를 위해 다부처 협의와 민관협력, 정보공유, 가공 데이터 수준 및 시점을 결정하는 거버넌스 체계도 마련해야 하고, 디지털 공급사슬 위원회를

운영하기 위한 전문 인력을 양성하고 운영 성과를 관리하는 혁신지원 체계도 필요할 것으로 판단된다.⁴³⁾

3) 디지털화 평가 및 피드백 체계 마련

대규모 투자를 수반하는 데이터 기반의 공급사슬 모형을 구축한다고 해서 전통적인 방식의 공급사슬 운영 결과보다 좋다고 보장할 수는 없다. 성과가 발생하는 디지털 공급사슬 플랫폼을 구축하기 위해서는 데이터 기반의 운영 결과에 대한 평가와 피드백 체계가 마련되어야 한다.

현재 디지털화 평가는 가용할 수 있는 데이터에 따라 방식이 다양하지만, 정부나 기업이 활용할 수 있는 명확한 체계가 없어 구체적인 실행이 어렵다. 정부, 민간이 주도하는 디지털플랫폼의 성과를 평가하고, 차기 디지털화 모형구축에 반영 및 투자재원의 연속 지원 여부를 결정하기 위해 평가 지침을 마련해야 한다.

디지털 모형의 평가 지침을 마련하기 위해서는 해당 공급사슬 프로세스의 문제점을 명확히 파악하고, 이를 해결하기 위한 디지털 모형이 구축됐는지 확인할 수 있어야 한다. 또한, 디지털 모형을 기반으로 한 일정 기간의 모의실험을 통해 해당 디지털 모형을 현실에 가깝게 갱신해야 한다. 다음으로, 디지털 공급사슬 구축에 필요한 민관 데이터 출처를 파악하여, 해당 이해관계자를 대상으로 데이터 수집 및 공유를 위한 설득 작업을 진행하고, 데이터 공유에 따른 이익 등을 데이터 제공자에게 명확하게 알려줘야 한다. 그리고 공급사슬의 디지털화 이후에는 새로운 정책에 따른 성과를 평가하고, 평가 결과에 따라 정책을 수정하는 것이 필요하다. 시뮬레이션 결과와 실제값이 다른 경우에는 디지털 모형을 업데이트하고, 데이터의 정합성을 높이기 위해 노력하는 과정도 필요할 것으로 판단된다.

43) 최상희·이언경·서정용(2019), pp. 137~138.

4) 지속가능한 디지털 공급사슬 생태계 구축

활용성이 떨어지는 디지털 공급사슬 플랫폼 구축이 아닌 참여 주체들의 자발적인 정보공유, 연계를 통해 수익이 발생하고, 이를 기반으로 전체 공급사슬의 지속가능한 성장이 가능한 체계를 마련해야 한다. 이를 위해서는 디지털 정보를 기반으로 한 공급사슬 추진 목표를 설정하고, 비즈니스 전문가, 데이터 분석 전문가, 정책전문가 등의 육성을 통해 개별 기업뿐만 아니라 공급사슬 전체의 문제점과 애로사항을 파악하고, 이를 해결하는 선순환 생태계를 조성해야 한다. 즉 공급사슬의 수익 및 효율성 개선을 위하여 필요한 아이디어를 참여 주체들이 제안하고, 관련 기술자, 데이터 분석가, 비즈니스 전문가들이 아이디어를 사업 형태로 구체화한 후 산관학연이 협업하여 특정 현장에 프로토타입의 성공모델을 만든다. 그 결과를 바탕으로 전체 공급사슬로 확대할 것인지를 결정한 후 지속가능한 모델로 정형화한다.

이러한 아이디어 공모, 제안, 연구개발, 현장 도입, 적용 확대의 선순환 체계를 가져가기 위해서는 디지털 공급사슬 업무를 주도적으로 추진할 수 있는 산관학연 협력위원회(디지털 공급사슬 위원회)가 산업 육성 클러스터를 조성하는 것이 필요하다. 해당 클러스터 내에 디지털 인재를 육성하는 교육기관을 설치하고, 자유로운 연구개발이 진행되고, 다양한 모의실험을 진행할 수 있도록 하는 스타트업 육성 프로그램을 개발하고, 개발자 및 데이터 분석가들이 편안하게 아이디어를 공유할 수 있는 거주공간 및 휴식공간 등도 마련한다. 또한, 필요한 자금을 모집할 수 있도록 다양한 금융상품을 개발하고, 현장 도입 및 적용 확대를 통해 발생한 수익을 다시 환원하는 상품도 개발해야 한다.

이러한 물리적인 디지털 산업 육성 클러스터를 기반으로 국내뿐만 아니라 글로벌 수출입 물류 데이터가 모이고, 데이터를 가공, 분석하여 판매 등

을 추진하는 디지털 공급사슬 데이터 센터로 발전을 시도하는 것도 필요할 수 있다고 판단된다.

제3절 연구의 한계점 및 향후 연구

『디지털 공급사슬 물류정보통합 구축전략 연구』는 2019년부터 3년 동안 수행됐음에도 불구하고, 몇몇 한계점을 가지며, 이를 해결하는 향후 연구가 필요하다.

먼저, 컨테이너 수입 인바운드와 수출 아웃바운드로 연구의 범위를 한정했음에도 불구하고, 연구범위가 워낙 방대해 디지털화 대안을 세부 프로세스 기반으로 제시하지 못했다. 3차년도 연구에서 알 수 있듯이, 디지털화 대안은 일반화해 적용하기 어렵다. 특히, 실질적인 해법을 제시하기 위해서는 세부 업무 프로세스를 파악하고, 디지털화를 통해 변화하는 프로세스를 인식함으로써 개선 영역과 정도를 도출해야 한다.

즉, 향후 연구에서는 본 연구에서 구분한 공급사슬 내 업무 프로세스를 기반으로 ① 현장의 애로사항을 파악하고, ② 이를 기반으로 맞춤형 디지털화 대안을 도출하며, ③ 이에 대한 효과를 분석하기 위한 평가지표를 도출해 ④ 다기준 의사결정론 등 선행연구에서 자주 활용한 평가방법을 활용해 디지털화에 대한 효과를 정량적으로 제시할 필요가 있다.

또한, 본 연구에서 모의실험 이상의 사례연구를 수행하지 못한 것이 연구진의 아쉬움으로 남는다. 연구보고서나 인터넷을 통한 자료가 아닌 실제 운영 데이터를 일부 입력값으로 활용해 모의실험을 수행했으나, 이는 실제

현장에 적용한 연구가 아니므로 디지털화의 효과를 완벽히 보여줬다고는 볼 수 없다. 향후 연구에서는 본 연구진이 제시한 디지털화 대안을 실제 터미널에 적용해 효과를 파악하는 것을 주제로 삼을 수 있다. 또는, 다른 세부 프로세스 기반의 맞춤형 디지털화 대안을 화주, 포워더, , 선사, 육상 운송사 등과 협의해 실제 환경에 적용하고, 이에 대한 효과를 분석하는 것도 가능하다.

마지막으로, 본 연구에서는 다양한 공급사슬 디지털화 평가방안을 소개했을 뿐, 가장 적합한 평가방안을 제시하지는 못했다. 향후 다양한 공급사슬 디지털화 평가방법을 비교하는 연구 또한 필요하다고 판단한다. 분석에 필요한 데이터를 얻기 힘든 현재 상황에서, 다양한 사례연구를 통해 가장 적합한 현황진단 및 평가방법이 무엇인지 도출할 필요가 있다. 이러한 연구는 향후 분석 방법 탐색의 소요시간을 획기적으로 줄여, 디지털화 실행에 큰 도움을 줄 것으로 판단한다.

참고문헌

국내 문헌

- 관계부처 합동(2020. 2.), 『수출입 물류 스마트화 추진방안-해상물류를 중심으로』, pp. 1~16.
- 관계부처 합동(2021. 4.), 『스마트 해운물류 확산전략』, pp. 1~17.
- 국토교통부·해양수산부(2021. 7. 1.), 『글로벌 물류선도국가 도약 추진전략-제5차 국가물류기본계획('21-'30)』, pp. 1~136.
- 박성택·김태웅·김미량(2020), 『공급망관리의 디지털화: 구성요소와 전략적 파급 효과』, 한국디지털정책학회, 18(6), pp. 109~120.
- 선화·김현덕(2019), 『블록체인 기술이 물류산업에 미치는 영향에 관한 연구』, 국제e-비즈니스학회, 20(3), pp. 137~148.
- 이상윤·임태건(2020), 『물류산업의 디지털화 동향과 속성 및 발전방향: 블록체인 기술을 중심으로』, 인하대학교 정석물류통상연구원, pp. 3~37.
- 이언경·서정용·김효재(2020), 『디지털 공급사슬 물류정보통합 구축전략 연구(II)』, 한국해양수산개발원, pp. 1~126.
- 조지성 외(2020), 『수출입물류 데이터 활용도 제고를 위한 법제도 개선방안 연구』, 해양수산부.
- 최병대(2019), 『디지털 SCM 프레임워크와 구현사례』, 삼성SDS.
- 최상희·이언경·서정용(2019), 『디지털 공급사슬 물류정보통합 구축전략 연구(I)』, 한국해양수산개발원, pp. 1~145.

최상희·하태영(2005), 「차세대항만 대응을 위한 고효율 야드시스템의 개발 연구」, 『해양정책연구』, 20(2), pp. 81~126.

국외 문헌

Accenture(2014), "Supply chain management in the cloud", pp. 1-11.

Aćimović, Slobodan & Nenad Stajić(2019), "Digital Supply Chain: Leading Technologies And Their Impact On Industry 4.0", *Business Logistics in Modern Management*, pp. 75-90.

Agrawal, Prakash & Rakesh Narain(2018), "Digital supply chain management: An Overview", *In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 455(1), 012074.

Akhtari, Shaghaygh & Taraneh Sowlati(2020), "Hybrid optimization-simulation for integrated planning of bioenergy and biofuel supply chains", *Applied Energy*, 259, 114124.

Alicke, Knut, Daniel Rexhausen & Andreas Seyfert(2017), "Supply Chain 4.0 in consumer goods", *Mckinsey & Company*, pp. 1-11.

Amid, A., S. H. Ghodsypour & Ch O'Brien(2006), "Fuzzy multiobjective linear model for supplier selection in a supply chain", *International Journal of production economics*, 104(2), pp. 394-407.

APICS(2017), "SCOR Supply Chain Operations Reference Model Version 12.0".

AT Kearney(2015), "Digital Supply Chains: Increasingly Critical for Competitive Edge"

Bhargava, Bharat., Rohit Ranchal & Lotfi Ben Othmane(2013), "Secure information sharing in digital supply chains", *2013 3rd IEEE international advance computing conference (IACC)*, pp. 1636-1640.

Botti, Antonio, *et al.*(2017), "The re- conceptualization of the port supply chain as a smart port service system: the case of the port of Salerno", *Systems*, 5(2), p. 35.

Büyükoğkan, Gülçin & Fethullah Göçer(2018), "Digital Supply Chain: Literature

- review and a proposed framework for future research”, *Computers in Industry*, 97, pp. 157-177.
- DCSA(2020), “Industry Blueprint – Container Shipping 3.0”.
- De Giovanni, Pietro(2019), “Digital supply chain through dynamic inventory and smart contracts”, *Mathematics*, 7(12). p. 1235.
- Deepu, T. S. & V. Ravi(2021), “A conceptual framework for supply chain digitalization using integrated systems model approach and DIKW hierarchy”, *Intelligent Systems with Applications*, 10, 200048.
- Dossou, Paul-Eric(2018), “Impact of Sustainability on the supply chain 4.0 performance”, *Procedia Manufacturing*, 17, pp. 452-459.
- Feng, Huanhuan, *et al.*(2020), “Applying blockchain technology to improve agri-food traceability: A review of development methods, benefits and challenges”, *Journal of Cleaner Production*, 260, 121031.
- Franco, Carlos & Edgar Alfonso-Lizarazo(2020), “Optimization under uncertainty of the pharmaceutical supply chain in hospitals”, *Computers & Chemical Engineering*, 135, 106689.
- Frederico, Guilherme F.(2021), “Towards a Supply Chain 4.0 on the post-COVID-19 pandemic: a conceptual and strategic discussion for more resilient supply chains”, *Rajagiri Management Journal*, 15(2), pp. 94-104.
- Govindan, Kannan, Hassan Mina & Behrouz Alavi(2020), “A decision support system for demand management in healthcare supply chains considering the epidemic outbreaks: A case study of coronavirus disease 2019 (COVID-19)”, *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 138, 101967.
- Hsu, Hsien-Pin, *et al.*(2021), “Scheduling of collaborative operations of yard cranes and yard trucks for export containers using hybrid approaches”, *Advanced Engineering Informatics*, 48, 101292.
- Ishfaq, Rafay, Beth Davis-Sramek & Brian Gibson(2021), “Digital supply chains in omnichannel retail: A conceptual framework”, *Journal of Business Logistics*, pp. 1-20.

-
- Jugović, Alen, *et al.*(2019), "The Possibilities of Applying Blockchain Technology in Shipping", *Pomorstvo*, 33(2), pp. 274-279.
- Kapkaeva, Natalia, *et al.*(2021), "Digital Platform for Maritime Port Ecosystem: Port of Hamburg Case", *Transportation Research Procedia*, 54, pp. 909-917.
- Katebah, Mary A., *et al.*(2020), "Rigorous simulation, energy and environmental analysis of an actual baseload LNG supply chain", *Computers & Chemical Engineering*, 141, 106933.
- Kinnett, Jim(2015), "Creating a Digital Supply Chain: Monsanto's Journey", *Washington: 7th Annual BCTIM Industry Conference*, pp. 1-16.
- Kittipanya-Ngam, P. & Hua Tan Kim(2020). "A framework for food supply chain digitalization: lessons from Thailand", *Production Planning & Control*, 31(2-3), pp. 158-172.
- Köhler, Susanne & Massimo Pizzol(2020), "Technology assessment of blockchain-based technologies in the food supply chain", *Journal of Cleaner Production*, 269, 122193.
- Ku, Chien-Chun, Chen-Fu Chien & Kang-Ting Ma(2020), "Digital transformation to empower smart production for Industry 3.5 and an empirical study for textile dyeing", *Computers & Industrial Engineering*, 142, 106297.
- Kumar, Manoj, Prem Vrat & Ravi Shankar(2006), "A fuzzy programming approach for vendor selection problem in a supply chain", *International Journal of Production Economics*, 101(2), pp. 273-285.
- La Londe, Bernard J & James M. Masters(1994), "Emerging logistics strategies: blueprints for the next century", *International journal of physical distribution & logistics management*, 24(7), pp. 35-47.
- Lambert, Douglas M., James R. Stock & Lisa M. Ellram(1998), "Fundamentals of logistics management", McGraw-Hill/Irwin.
- Lima-Junior, Francisco Rodrigues & Luiz Cesar Ribeiro Carpinetti(2017), "Quantitative models for supply chain performance evaluation: A literature review", *Computers & Industrial Engineering*, 113, pp. 333-346.
- Markets and Markets(2020), "Digital Transformation Market: Global Forecast to 2025".

- Mentzer, John T. *et al.*(2001), "Defining supply chain management", *Journal of Business logistics*, 22(2), pp. 1-25.
- Nasiri, Mina *et al.*(2020), "Managing the digital supply chain: The role of smart technologies", *Technovation*, 96, 102121.
- Paulauskas, Vytautas, Ludmiła Filina-Dawidowicz & Donatas Paulauskas(2021), "Ports Digitalization Level Evaluation", *Sensors*, 21(18), p. 6134.
- Perboli, Guido, Stefano Musso & Mariangela Rosano(2018), "Blockchain in logistics and supply chain: A lean approach for designing real-world use cases", *IEEE Access*, 6, pp. 62018-62028.
- Pereira, Marina Meireles & Enzo Morosini Frazzon(2021), "A data-driven approach to adaptive synchronization of demand and supply in omni-channel retail supply chains", *International Journal of Information Management*, 57, 102165.
- Pournader, Mehrdokht., Andrew Kach, and Srinivas Talluri(2020), "A review of the existing and emerging topics in the supply chain risk management literature", *Decision Sciences*, 51(4), pp. 867-919.
- Raab, Martin & Belinda Griffin-Cryan(2011), "Digital Transformation of Supply Chains: Creating Value-When Digital Meets Physical", *Capgemini Consulting*.
- Reis, João *et al.*(2018), "Digital transformation: a literature review and guidelines for future research", *World conference on information systems and technologies*, pp. 411-421
- Schlüter, F. F., E. Hettterscheid & M. Henke(2019), "A simulation-based evaluation approach for digitalization scenarios in smart supply chain risk management", *Journal of Industrial Engineering and Management Science*, 1, pp. 179-206.
- Schrauf, Stefan & Philipp Bertram(2018), "How digitalization makes the supply chain more efficient, agile, and customer-focused", *PWC*, pp. 1-31.
- Shashi *et al.*(2020), "Agile supply chain management: where did it come from and where will it go in the era of digital transformation?", *Industrial Marketing Management*, 90, pp. 324-345.
- Shaw, Krishnendu *et al.*(2012), "Supplier selection using fuzzy AHP and fuzzy multi-

-
- objective linear programming for developing low carbon supply chain”, *Expert systems with applications*, 39(9), pp. 8182-8192.
- Speer, Ulf & Kathrin Fischer(2017), “Scheduling of different automated yard crane systems at container terminals”, *Transportation Science*, 51(1), pp. 305-324.
- Spieske, Alexander & Hendrik Birkel(2021), “Improving supply chain resilience through industry 4.0: a systematic literature review under the impressions of the COVID-19 pandemic”, *Computers & Industrial Engineering*, 158, 107452.
- Tjahjono, Benny *et al.*(2017), “What does industry 4.0 mean to supply chain?”, *Procedia manufacturing*, 13, pp. 1175-1182.
- UNCTAD(2020), “Digitalizing the port call process”, 13, pp. 1-33.
- van Assche, Roland(2019), “Innovating together”, *Port of Rotterdam*.
- Vieira, António AC *et al.*(2020), “Supply chain data integration: A literature review”, *Journal of Industrial Information Integration*, 19, 100161.
- Webster, Margaret(2002), “Supply system structure, management and performance: a conceptual model”, *International Journal of Management Reviews*, 4(4), pp. 353-369.
- Weernink, Marissa Oude *et al.*(2017), “The blockchain potential for port logistics”, *White Paper-Blockchain*, pp. 1-15.
- Yang, Miying, Mingtao Fu & Zihan Zhang(2021), “The adoption of digital technologies in supply chains: Drivers, process and impact”, *Technological Forecasting and Social Change*, 169, 120795.

인터넷 자료

- 인천항만공사, 「SICT 선광인천컨테이너터미널을 방문하다」, <https://incheonport.tistory.com/682> (검색일: 2021. 9. 15.)
- 해양수산부 보도자료(2020. 11. 17.), 「2030년까지 스마트항만을 구축, 글로벌 경쟁력 강화-해수부, ‘2030 항만정책 방향 및 추진전략’ 발표」(검색일: 2021. 10. 20.)

- Embedded Computing Design, “What are Digital Technologies and the Digital Supply Chain?”, <https://www.embedded-computing.com/guest-blogs/what-are-digital-technologies-and-the-digital-supply-chain> (검색일: 2020. 8. 16.)
- ExtendSim, 「Discrete Rate Technology」, <https://extendsim.com/products/line/rate> (검색일: 2021. 9. 12.)
- _____, “ExtendSim DE”, <https://extendsim.com/products/line/extendsimde> (검색일: 2021. 9. 13.)
- GetFeedback, “How Digital Transformation Brings Positive Changes in Customer Experience”, <https://www.getfeedback.com/resources/ux/how-digital-transformation-brings-positive-changes-in-customer-experience/> (검색일: 2021. 9. 7.)
- HellenicShippingNews (2020. 5. 28), “PortXchange results in shorter idle times on departure”, <https://www.hellenicshippingnews.com/portxchange-result-s-in-shorter-idle-times-on-departure/> (검색일: 2021. 9. 7.)
- Port of Rotterdam, “Pilot with Pronto: bunker delays for container ships significantly reduced”, <https://www.portofrotterdam.com/en/news-and-press-releases/pilot-with-pronto-bunker-delays-for-container-ships-significantly-reduced> (검색일: 2021. 9. 7.)
- SearchERP, “digital supply chain”, <https://searcherp.techtarget.com/definition/digital-supply-chain> (검색일: 2019. 10. 2.)
- SMDG, “Container Messages”, <https://newsmdg.de/documents/edifact-migs-message-implementation-guidelines/container-messages/> (검색일: 2021. 9. 19.)
- SNCT, <http://snct.sun-kwang.co.kr/infoservice/webpage/vessel/yardWorkStatus.jsp> (검색일: 2021. 9. 20.)
- Splash, “80% of ports missing out on the benefits of digitalisation, creating last mile risks”, <https://splash247.com/80-of-ports-missing-out-on-the-benefits-of-digitalisation-creating-last-mile-risks/> (검색일: 2021. 9. 7.)
- SupplyChainGameChanger, “What is the Digital Supply Chain?”, <https://supplychaingamechanger.com/what-is-the-digital-supply-chain/> (검색일: 2020. 8. 16.)

-
- Supply Chain Quarterly, "Digital supply chain transformation: Taking the first step"
<https://www.supplychainquarterly.com/articles/2061-digital-supply-chain-transformation-taking-the-first-step> (검색일: 2020. 8. 16.)
- Supply Chain Shaman, "Embracing the Digital Supply Chain", <http://www.supplychainshaman.com/demand/demanddriven/embracing-the-digital-supply-chain/> (검색일: 2019. 10. 2.)
- TradLinX, 『컨테이너 사이즈, 컨테이너 규격, 컨테이너 종류별 특징』, <https://www.tradlinx.com/> (검색일: 2021. 9. 20.)

기본연구보고서 발간목록

Ⅰ 2021년

01	시민참여형 해안돌봄 정책 도입방안 연구	정지호
02	해양 플라스틱 쓰레기가 선박 운항에 미치는 영향분석 연구	김보람
03	여성어업인 노동정책 방향 연구	홍혜수
04	순환경제 시스템을 활용한 어업폐기물의 자원화 방안 연구	고동훈
05	1conomy 시대, HMR 시장 확대에 따른 수산부문 대응전략 수립 연구	마창모
06	AIS 데이터 기반 해상교통 안전 평가모델 개발 연구	황선일
07	항만 에너지 관리시스템 도입을 위한 로드맵 구축 연구 - 부산항 신항 전기에너지 소비를 중심으로 -	김근섭
08	해양분야 리빙랩 활성화 방안 연구	좌미라
09	빅데이터의 연계·활용을 통한 선박의 배출량 산정체계 고도화 방안 연구	안용성
10	해양공간계획 집행체계 고도화 방안 연구	최희정
11	수산식품산업 푸드테크 환경분석 및 적용전략 연구	이상건
12	AIS데이터기반 해상물동량 추정 연구	황수진
13	항만부문 정책의사결정 지원 빅데이터 플랫폼 구축 방안 연구	이기열
14	항만 컨테이너 물류 프로세스 디지털화 모형 연구	서정용
15	해양수산 분야 국제산업연관표 구축기반 연구	정수빈
16	해양수산 과학기술 정책평가모형 연구 - 해양수산 R&D를 중심으로 -	전형모
17	글로벌 경제위기와 해운산업 대응체계 연구	박성화
18	항만산업 경기진단체계 구축 연구 - 경기동행지수 개발을 중심으로 -	김성아
19	전국 무역항 부두 분류 체계 개선방안 연구	이수영
20	IMO 규제기반 해사산업의 글로벌 지속발전방안 연구 - 新해사산업의 육성 및 지원을 위한 법제화 연구(5차년도) -	박한선
21	수소에너지 거점 구축을 위한 항만의 대응방안 연구	신수용

| 2020년

01	해양수산업의 지역 간 연관구조 분석	장정인
02	해양수산 분야 기술 대외의존도 분석연구 - 스마트항만을 중심으로 -	전형모
03	지역 해양수산 오픈 플랫폼 구축방안 연구	최지연
04	갯벌 거버넌스 개선방안에 관한 연구	육근형
05	해양환경정책의 능동적 추진을 위한 재원체계 개선 방안 연구	박수진
06	항만 대기환경 관리 표준 및 평가모형 연구	안용성
07	해양수산분야 사회문제해결형 R&D 기반 구축 연구	좌미라
08	해양 유입 하천쓰레기 관리체계 개선방안	이윤정
09	수산식품 품질·안전관리 제도 개선방안 연구	이헌동
10	국제법 변화에 대응한 어선원 안전 및 권리 제고방안 연구	한덕훈
11	스마트 양식 클러스터 추진 방안 수립 연구	이상철
12	해양포유류 보호에 관한 수산업 대응 방안 연구	정명화
13	수산물 수급통계 개선 방안 연구	김수현
14	IMO 온실가스 규제 대응 정책방향 연구	박한선
15	퇴직전문가 활용을 통한 해운업 경쟁력 강화방안 연구	안영균
16	글로벌 선사들의 물류통합화 전략에 대한 국적선사의 대응방안	전형진
17	내항여객운송항로 정책 발전방안 연구	김태일
18	블록체인 기술기반 식품콜드체인 체계 구축 연구	조지성
19	항만자동화 도입 관련 노무 갈등 해소 방안 연구	김찬호
20	스마트항만과 스마트도시 연계 발전 방안 연구	이연경
21	항만의 회복탄력성 측정 모형 구축에 관한 연구	김성기
22	IMO 규제기반 해산산업의 글로벌 지속발전방안 연구 - 新해산산업의경제적파급효과분석연구(4차년도) -	박한선
23	국내 항만연계 산업의 가치사슬 및 공급사슬 연계성 강화방안 - 자동차 산업을 중심으로	신수용

수시연구보고서 발간목록

Ⅰ 2021년

01	해양환경산업 육성 방안 연구	한기원
02	선원의 인권 및 근로여건 향상을 위한 선원근로감독관 제도 개선 방안 연구	허성례
03	포스트 코로나 시대를 대비하는 지역 해양축제 활성화 연구	최일선
04	회복탄력성 개념을 적용한 항만 위기관리 시스템 구축 연구	김성기
05	중대재해처벌법 시행에 따른 항만에서의 대응방안 연구	최상균
06	크루즈산업 COVID-19 방역체계 구축방안 연구	황진희
07	한국형 선주사의 최적 운영방안 연구	고병욱
08	어촌형 생활서비스 전달체계 개선 연구	이호림
09	원양산업의 ESG 도입 기초 연구	윤미경
10	수상레저활동 관리체계 개선방안 연구	홍장원
11	연안지역 자연성 회복을 위한 정책 방향_간척지·담수호 중심으로	정지호
12	스마트항만 구축에 따른 탄소저감 효과 연구 - 동력전환을 중심으로 -	김가현

Ⅰ 2020년

01	포스트 코로나 19 해양수산 분야 정책방안	박광서
02	생분해성 어구 사용 활성화 방안 연구	심성현
03	해양법 전문인력 양성 방안 연구	박영길
04	무인도서 해양주권 강화와 이용 활성화를 위한 제도 개선방안	정지호
05	지역 해양수산 재정분권 대응방향	황재희
06	데이터 3법 개정에 따른 항만·물류 데이터 활용도 제고 방안	이기열
07	양식 활어 유통 효율화 방안 연구	마창모
08	해양레저관광사업 추진을 위한 제도정비 방안	홍장원
09	해양바이오기업의 규제 정비 방안 연구	최석문
10	비상체제 시 선원의 안전을 위한 선박-항만-항공 이동경로 구축방안	이혜진

일반연구보고서 발간목록

Ⅰ 2021년

01	해양수산 정책영향평가를 위한 기초 연구	김주현
02	해양교육의 사회·경제적 가치 평가 연구	이슬기
03	해양수산업 경기진단체계 기초연구 - 해운업을 중심으로	권장한
04	선박 기술진보를 고려한 탄소 배출량 추정 연구	최건우
05	서포트벡터머신(SVM) 기법을 활용한 해운시황 예측 연구	김병주
06	크루즈 여객 수요 전망 모형 구축 연구	안승현
07	디지털 공급사슬 물류정보통합 구축전략 연구(Ⅲ)	서정용
08	수출용 전복의 유통경로 분석 연구	이정필
09	인공지능기반 해상운임 예측 연구(3차년도)	황수진
10	인공신경망모형을 이용한 양식수산물 단수 전망에 관한 연구 - 김 양식을 중심으로 -	천성훈
11	해양수산분야 미래 리스크 발굴 및 파급효과 분석 연구	박광서

Ⅰ 2020년

01	지역 해양관광 경쟁력 지수 체계화 연구	최일선
02	AIS 기반 글로벌 선박 배기가스 배출량 분석 연구	강무홍
03	김 중기 수급전망모형 「Gim-MFoS」 구축 연구	허수진
04	중앙 북극 공해 비규제어업방지협정 이행방안 연구	김민수
05	동해 평화관광구역 조성 방안 연구	윤인주
06	디지털 공급사슬 물류정보통합 구축전략 연구(Ⅱ) - 일반 수출입 컨테이너 정보교환방식 중심 -	이연경
07	스트레스 테스트를 통한 우리나라 해운·조선 기업의 안정성 분석	박성화
08	인공지능기반 해상운임예측 연구	황수진
09	국제물류주산업 실태분석 및 경쟁력 제고 방향 연구	최나영환
10	디지털화에 따른 개별 직업의 대체 가능성 추정 연구	박희대
11	시계열 분석을 통한 해운시장 분석 및 예측 연구	고병욱
12	해양수산분야 글로벌 경제효과 분석모형(KMI-GEM) 시범 구축 연구	임병호
13	해운항만물류 인력양성사업 관리운영 제도 개선 방안 연구	이자연

일반연구 2021-07

디지털 공급사슬 물류정보통합 구축전략 연구(Ⅲ)

인쇄 2021년 12월 29일

발행 2021년 12월 31일

발행인 김 종 덕

발행처 한국해양수산개발원

주 소 49111 부산시 영도구 해양로 301번길 26(동삼동)

연락처 051-797-4800 (FAX 051-797-4810)

등록 1984년 8월 6일 제313-1984-1호

조판·인쇄 세븐스가든

판매 및 보급: 정부간행물판매센터 Tel: 02-394-0337

정가 6,000원