
항만 컨테이너 물류 프로세스 디지털화 모형 연구

Digitalisation Model of the Port Container Logistics Process

서정용 · 김효재



한국해양수산개발원
KOREA MARITIME INSTITUTE

저자	서정용, 김효재
내부연구진	연구책임자 서정용 한국해양수산개발원 항만연구본부 전문연구원 공동연구원 김효재 한국해양수산개발원 항만연구본부 연구원

연구기간	2021. 1. 1. ~ 2021. 10. 31.
------	-----------------------------

보고서 집필내역

연구책임자	서정용 연구총괄, 제1장, 제2장, 제3장, 제4장, 제5장, 제6장
내부연구진	김효재 제2장 일부

산·학·연·정 연구자문위원	전용식 ㈜엔지엘 이사 이병권 National University of Singapore 연구 조교수 해양수산부 류지호 사무관
-------------------	---

※ 순서는 산·학·연·정 순임

발간사

항만은 오랫동안 물자를 주고받는 관문의 구실을 해왔고, 그 중심에는 컨테이너라는 용기의 개발이 있었다. 화물 운송의 효율화를 위해 고대부터 다양한 종류의 용기가 사용되어왔고, 19세기부터 초기 형태의 표준화된 컨테이너가 도입되었다. 1830년대 영국에서는 나무로 된 용기를, 제2차 세계대전 이전 유럽에서는 철제 프레임과 나무벽으로 구성된 용기를 사용하였다. 20세기 중반부터 국제 무역에 활용할 컨테이너 개발이 시작되었으며, 1970년대부터 본격적인 컨테이너 표준화가 이루어졌다. 컨테이너의 등장으로 인해 현대 모습의 항만 컨테이너터미널이 세계 각지에 구축되었다.

과거 단순히 컨테이너의 이동으로 항만 컨테이너 물류 프로세스를 정의하였으나, 최근 공급사슬과 연계하여 해당 프로세스를 협업의 과정과 결과로 이해하기 시작했다. 물류 프로세스에서는 선사를 비롯해 터미널 운영사, 육상운송사, 화주 및 포워더 등 여러 주체가 참여하고, 각자에게 부여된 수출입 관련 업무를 수행하기 위해 데이터와 정보를 교환한다. 이러한 특성으로 인해 물류 프로세스 내 이해관계자가 상호 작용한다고 볼 수 있다.

항만 컨테이너 물류 프로세스에는 다양한 이해관계자가 참여하므로, 상호 데이터나 정보를 교환하는 업무에 애로사항이 존재한다. 첫째, 다양한 채널을 통해 데이터와 정보가 조회되고, 데이터 관리에 활용되는 데이터 열쇠가 다양해 실무자는 관리업무에 불편함을 호소하고 있다. 둘째, 데이터와 정보의 정확성이 낮은 업무영역이 존재한다. 셋째, 적시에 데이터와 정보를 조회 또는 수신하지 못해 업무의 비효율성이 발생하고 있다.

이러한 문제를 4차 산업혁명의 핵심 패러다임으로 여겨지는 디지털화를 통해 해결할 수 있음에도 불구하고, 정부 부처 등에서 참고할 수 있는 지침 형태의 자료가 충분치 않은 실정이다. 디지털화의 중요성은 정부 및 물류 현장에서 충분히 인지하고 있지만, 다른 산업 및 업무영역에 같은 방식으로 적용이 어려운 디지털화의 특성은 디지털화 정책·관리에 대한 의사결정 지연을 가져오고 있다. 우리나라의 경우, 물류센터 스마트화와 농축산물 유통 플랫폼으로 디지털화 전략의 초점이 맞춰져 있으므로 항만을 통해 수출입되는 컨테이너 물류 프로세스를 디지털화하는 전략이 부재하다고 할 수 있다.

상기한 문제를 해결하기 위해 항만 컨테이너 물류 프로세스 디지털화 모형이 필요하다. 이에 본 연구에서는 항만 컨테이너 물류 프로세스의 디지털화 대안을 설정하고, 성과지표를 도출하며 대안 및 성과지표를 평가하는 디지털화 모형을 제시하였다. 이 연구가 항만 컨테이너 물류 프로세스뿐 아니라 공급사슬 전반의 디지털에 대한 필요성을 공감하는 계기가 되고, 실제 업무영역에 적용, 디지털화의 편익을 관련 이해관계자가 누릴 수 있도록 하는 시작점이 되었으면 한다.

끝으로 이 연구의 책임을 맡은 항만연구본부의 서정용 전문연구원과 연구진인 김효재 연구원의 노고에 깊은 감사를 표한다. 아울러 이 연구에 자문과 조언을 아끼지 않은 엔지엘(주) 전용식 이사, National University of Singapore 이병권 교수에게 깊은 감사를 드린다. 끝으로 적절한 조언으로 완성도를 높여 주신 우리 원의 최상희 본부장, 김형근 명예연구위원과 이 보고서가 출판되기까지 도움을 주신 모든 분에게 이 자리를 빌려 감사를 드린다.

2021년 12월
한국해양수산개발원
원장 김 종 덕

목차

요약 _ i

Executive Summary _ ix

01	서론 _1	
	제1절 연구 배경 및 목적	1
	1. 연구 배경	1
	2. 연구 목적	6
	제2절 연구 내용 및 방법	6
	1. 연구 내용	6
	2. 연구 방법	8
02	공급사슬 디지털화 문헌 검토 _13	
	제1절 항만, 물류 및 공급사슬 디지털화	13
	1. 항만 디지털화	13
	2. 물류 및 공급사슬 디지털화	17
	제2절 공급사슬 디지털화 방안	26
	제3절 공급사슬 디지털화 평가	28
	1. 평가지표 선정	30
	2. 평가 방안	35
	제4절 소결	41
03	항만 수출입 컨테이너 물류 프로세스 디지털화 대안 설정 _47	
	제1절 항만 수출입 컨테이너 물류 프로세스	48
	1. 수출 컨테이너 물류 프로세스	53
	2. 수입 컨테이너 물류 프로세스	61

3. 항만 컨테이너 물류 프로세스의 문제점	66
제2절 물류 프로세스 디지털화 대안 설정	69
1. 기존 시스템 유지	71
2. 데이터 열쇠 연계 및 통합	71
3. 공유 데이터 및 정보 정확성 향상	80
4. 데이터·정보공유 플랫폼 도입	82

04 | 물류 프로세스 디지털화 성과지표 도출 _89

제1절 성과지표 도출방안 수립	90
1. 성과지표 도출방안 비교	91
2. 성과지표 도출방안 설계	98
제2절 성과지표 도출	99
1. 신뢰성 영역	100
2. 응답성 영역	102
3. 유연성 영역	103
4. 비용 영역	107
5. 자산관리 영역	108
제3절 성과지표 객관성 검증	109

05 | 물류 프로세스 디지털화 대안평가 _113

제1절 계층화 분석법 및 퍼지 계층화 분석법	114
1. 계층화 분석법	114
2. 퍼지이론 및 퍼지 계층화 분석법	117
제2절 설문조사 준비	120
1. 설문지 작성	120
2. 설문대상 선정	124

제3절 설문 수행·분석법 및 결과해석	125
1. 설문 수행	125
2. 분석법	126
3. 결과해석	135

06

결론_143

제1절 요약	143
제2절 제언	148
1. 본 연구의 학술적 기여	148
2. 한계점 및 향후 연구 방향	150

참고문헌_153

부록_163

표 목차

〈표 2-1〉 체계적 문헌 검토 기법 기반 대상 연구 필터링 단계	15
〈표 2-2〉 공급사슬 디지털화를 위한 기본계획 수립 개선안	20
〈표 2-3〉 공급사슬 운영 참조모형 속성과 세부 속성	31
〈표 2-4〉 공급사슬 운영 참조모형과 투입·산출변수 비교	32
〈표 2-5〉 본 연구 대비 선행연구의 한계	44
〈표 3-1〉 항만 컨테이너 물류 프로세스 관련 애로사항 및 해결 방안 요약	69
〈표 3-2〉 항만 컨테이너 물류 프로세스 디지털화 대안 요약	70
〈표 4-1〉 신뢰성-완벽한 주문이행 이하 2, 3단계 세부 평가지표	93
〈표 4-2〉 비용-총 공급사슬 관리비용 이하 2, 3단계 세부 평가지표	94
〈표 4-3〉 자산관리 효율성-고정자산 수익률 이하 2, 3단계 세부 평가지표	95
〈표 4-4〉 각 평가지표 도출방식 장단점	97
〈표 4-5〉 물류 프로세스 디지털화 성과지표(평가요소) 요약	100
〈표 4-6〉 항만 컨테이너 물류 프로세스 디지털화 성과지표별 참고문헌	110
〈표 4-7〉 항만 컨테이너 물류 프로세스 디지털화 성과지표	111
〈표 5-1〉 본 연구에서 설문지 구성요소	120
〈표 5-2〉 설문 응답자 구성	124
〈표 5-3〉 대상 에 대한 대상 의 선호도 응답 수치화	127
〈표 5-4〉 쌍대비교 설문 응답 결과 행렬표현 예시	128
〈표 5-5〉 설문 응답에 따른 퍼지함수 적용결과(1 이상의 쌍대비교값)	129
〈표 5-6〉 설문 응답에 따른 퍼지함수 적용결과(1 미만의 쌍대비교값)	130
〈표 5-7〉 퍼지 쌍대비교표	130
〈표 5-8〉 퍼지 기하평균	131
〈표 5-9〉 추정된 퍼지 가중치 예시	132
〈표 5-10〉 원시가중치 및 최종가중치 도출	133
〈표 5-11〉 행렬의 크기별 무작위 일관성 지수	134
〈표 5-12〉 기초 응답 데이터(설문자 2)	136
〈표 5-13〉 퍼지 계층화 분석법 가중치 종합결과	138
〈표 5-14〉 일반 계층화 분석법 가중치 종합결과	139
〈표 6-1〉 연구 요약	146

그림 목차

〈그림 1-1〉 디지털 뉴딜 로드맵(2020~2025) 중 스마트 물류체계 구축 영역	4
〈그림 1-2〉 연구 방법론	9
〈그림 2-1〉 Fruth & Teuteberg(2017)의 디지털 공급사슬 개념도	19
〈그림 2-2〉 육상운송사 중심 수입 컨테이너 공급사슬상 자료·정보 흐름	21
〈그림 2-3〉 물류 디지털 전환 시 발생하는 5개 제한요소 및 8개 성공 요인	24
〈그림 2-4〉 철 생산 공급사슬에서 디지털화 대안과 프로세스 모델링	27
〈그림 2-5〉 공급사슬관리협회에서 제공하는 프레임워크	29
〈그림 2-6〉 공급사슬 평가 연구에서 활용 데이터 출처	35
〈그림 2-7〉 의사결정 문제의 계층화	37
〈그림 3-1〉 수출 프로세스상 화주 및 포워더 중심 정보흐름	50
〈그림 3-2〉 수입 절차 흐름도	51
〈그림 3-3〉 컨테이너 로드 이하(LCL) 수출화물의 이동경로	52
〈그림 3-4〉 화주 및 포워더·선사 중심 수출 물류 프로세스 간 작업 세부도 차이	54
〈그림 3-5〉 물류 프로세스 통합 개념도	56
〈그림 3-6〉 항만 중심의 수출 컨테이너 물류 프로세스	57
〈그림 3-7〉 항만 중심의 수입 컨테이너 물류 프로세스	62
〈그림 3-8〉 데이터 열쇠 현황 및 통합(수출 부문)	73
〈그림 3-9〉 데이터 열쇠 현황 및 통합(수입 부문)	77
〈그림 3-10〉 공급사슬 데이터·정보공유 플랫폼 개념도(수출 아웃바운드)	84
〈그림 3-11〉 공급사슬 데이터·정보공유 플랫폼 개념도(수입 인바운드)	87
〈그림 4-1〉 선행연구에서 공급사슬 성과지표 선정방식 비율	91
〈그림 4-2〉 린(Lean) 공급사슬 목표와 균형성과표의 관계	96
〈그림 4-3〉 데이터 품질 결정요소	101
〈그림 4-4〉 PSA PNIT 정보시스템	104
〈그림 4-5〉 Everstream의 공급사슬 위험관리 주기	106
〈그림 5-1〉 분할 정복 개념도	115
〈그림 5-2〉 대상 물류 프로세스 디지털화 대안평가 계층도	116
〈그림 5-3〉 퍼지 소속함수	117
〈그림 5-4〉 퍼지 소속함수와 쌍대비교	118
〈그림 5-5〉 삼각소속함수와 정규분포	119

〈그림 5-6〉 컨테이너 물리적 흐름(위)과 데이터·정보흐름(아래)의 차별성 부각	121
〈그림 5-7〉 대상 물류 프로세스 디지털화 대안평가 계층도(설문지 내)	122
〈그림 5-8〉 쌍대비교표 작성을 용이하게 하는 질문 구성	123
〈그림 5-9〉 퍼지 계층화 분석법 수행과정 요약	126
〈그림 5-10〉 설문 응답 퍼지화를 위한 삼각함수	129

약어 목록

- CMS(Carrier Management System)
- TOPSIS(Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution)
- 퍼지 긍정적인 해(FPIS: Fuzzy Positive Ideal Solution) 및 퍼지 부정적인 해(FNIS: Fuzzy Negative Ideal Solution)
- 계층화 분석법(AHP: Analytic Hierarchy Process)
- 고객체인운영 참조모형(CCOR: Customer Chain Operations Reference model)
- 교통관리시스템(TMS: Transportation Management System)
- 건강관리 공급사슬(HCSC: Healthcare Supply Chain)
- 공급사슬관리협회(ASCM: Association for Supply Chain Management)
- 공급사슬 운영 참조모형(SCOR: Supply Chain Operations Reference)
- 공급망 성능관리(M4SC: Managing for Supply Chain Performance)
- 국제 컨테이너 임대업자 협회(IICL: the Institute of International Container Lessors)
- 내륙 컨테이너기지(ICD: Inland Container Depot)
- 도착순으로 처리(FIFO: First In, First Out)
- 비즈니스 프로세스 관리(BPM: Business Process Management)
- 사물인터넷(IoT: the Internet of Things)
- 사회간접자본(SOC: Social Overhead Capital)
- 스마트하고 지속가능하며 회복력 있는(SSR: Smart, sustainable and resilient)
- 선하증권(B/L: Bill of Lading)
- 설계체인작업 참조모형(DCOR: Design Chain Operations Reference model)
- 선박자동식별시스템(AIS: Automatic Identification System)
- 싱가포르 해양항만청(MPA: Maritime and Port Authority)
- 인공지능(AI: Artificial Intelligence)
- 일관성 지수(CI: Consistency Index)
- 의사결정지원시스템(DSS: Decision Support System)

-
- 자료포락분석(DEA: Data Envelope Analysis)
 - 지속 가능한 공급사슬(SSC: Sustainable Supply Chain)
 - 전자정보교환(EDI: Electronic Data Interchange)
 - 체계적 문헌 검토(SLR: Systematic Literature Review)
 - 컨테이너 야드(CY: Container Yard)
 - 터미널 운영시스템(TOS: Terminal Operating System)
 - 제품 수명주기 작동 참조모형(PLCOR: Product Life Cycle Operations Reference model)

요약

1. 연구 목적

- 본 연구는 항만 컨테이너 물류 프로세스 디지털화를 위한 ‘대안 파악-평가지표 도출-평가’로 구성된 물류 프로세스 디지털화 모형을 제시하고, 이를 통해 정부 부처와 이해관계자들의 공급사슬 디지털화를 궁극적으로 지원하는 것을 목적으로 함

2. 연구 방법 및 특징

1) 연구 방법

- 국내외 논문이나 연구보고서, 백서, 분석자료, 지침, 인터넷 자료 등을 참고해 물류 프로세스를 포함한 공급사슬 디지털화 전반에 대한 문헌 검토를 수행함
 - 약 20개의 국내 문헌, 60개 이상의 국외 문헌을 검토함
 - 일부 인터넷 자료를 탐색 및 활용함
 - 이에 따른 시사점을 도출하고, 연구의 차별성을 확인함

-
- 항만을 중심으로 수출입되는 컨테이너 물류 프로세스의 현황을 파악하고, 디지털화 대안을 도출하기 위해 현장 전문가 면담조사와 전문가 자문을 수행함
 - 이해관계자별 업무와 데이터 흐름을 정리한 기존 문헌을 토대로 통합된 항만 컨테이너 물류 프로세스 다이어그램을 작성하고, 터미널 운영사, 선사 등 현장 전문가 면담조사와 전문가 자문을 수행해 보완함
 - 대상 물류 프로세스를 디지털화하는 대안을 도출하기 위해 항만물류·정보시스템 전문가 자문을 수행함
 - 물류 프로세스 디지털화를 평가하는 성과지표를 도출하기 위해 브레인스토밍, 도출된 성과지표를 선행연구 및 공급사슬 운영 참조모형과 비교 후 보완함
 - 항만 컨테이너 물류 프로세스의 배경 지식이 풍부한 연구진이 모여 디지털화 수준을 평가하는 데 활용 가능한 성과지표 및 세부 성과지표를 도출함
 - 도출된 성과지표의 객관성을 확보하기 위해 디지털화·공급사슬 평가와 관련된 선행연구 및 공급사슬 운영 참조모형의 성과지표와 비교·보완함
 - 항만 컨테이너 물류 프로세스 디지털화 대안을 평가하고 우선순위와 평가지표의 중요도를 도출하기 위해 퍼지 계층화 분석법을 활용함
 - 항만 컨테이너 물류 프로세스 디지털화 대안평가 방안을 설계하고, 설문조사를 위해 전문가 세부 그룹을 정의하며 각 그룹에 해당하는 전문가를 탐색·섭외함(40인 이상의 전문가 확보)
 - 대안과 평가지표의 수가 설문조사에 적절한지 확인하고, 설문 구성과 가독성을 고려한 설문지를 준비함
 - 설문 수행 결과를 정리하고, 퍼지 계층화 분석법에 근거해 평가지표와 세부 평가지표의 중요도, 대안의 선호도를 도출함(35개의 유효 설문 확보)

2) 특징

- 항만 컨테이너 물류 프로세스 디지털화와 관련해 i) 항만과 물류 및 공급사슬 디지털화, ii) 공급사슬 디지털화 방안, iii) 공급사슬 디지털화 평가로 세부 영역을 구분해 문헌 검토를 수행하고 시사점을 도출함
- 항만 컨테이너 물류 프로세스는 공급사슬에 포함되므로 공급사슬 전반의 문헌 검토를 통해 물류 프로세스 디지털화에 대한 이해를 확보함

〈요약 표-1〉 본 연구 대비 선행연구의 한계

검토 영역	본 연구	본 연구 대비 선행연구의 한계
연구 대상	항만 컨테이너 물류 프로세스 디지털화	- 항만 컨테이너 공급사슬을 대상으로 한 연구 대부분은 개념적 디지털화 대안을 제시하거나 디지털화에 대한 장점을 주로 언급 - 제조나 식품 공급사슬 등 타 분야에서 디지털화 관련 연구를 수행했으나, 이해관계자가 복잡하게 얽힌 항만 컨테이너 물류 프로세스와는 차이가 존재함
연구 목적	디지털화 대안 도출, 평가지표 선정 및 평가로 구성된 디지털화 모형 제시	- 본 연구와 같이 세 가지 핵심 절차를 하나의 모형으로 묶어 제시하기보다는, 간략히 디지털화 대안을 소개하고, 이의 장점을 언급 - 대안을 평가하는 연구가 존재하지만, 연구대상이 본 연구와 일치하지 않음
연구 범위	- 현장 니즈 기반 물류 프로세스 디지털화 대안 도출(애로점 기반 해결 방안을 도출하고, 이를 포함한 디지털화 대안 정의) - 객관적이고 검증된 물류 프로세스 디지털화 평가지표 선정(공급사슬 운영 참조모형, 연구진 브레인스토밍 및 선행연구와 교차검증 - Lima-Junior & Carpinetti(2017)의 방안 일부 조합) - 항만·물류 전문가 설문을 통한 대안 평가(퍼지 계층화 분석법 활용)	- 대부분 대안 도출 과정은 생략됐으며, 기술 중심 디지털화 대안 도출이 빈번하고, 산업계에서 대부분 인식하고 있는 개념적 디지털화 대안(데이터·정보공유 플랫폼 도입)이 선행연구에 등장 - Lima-Junior & Carpinetti(2017)의 5개의 지표선정 방식 중 하나를 택함 - 설문대상이 불명확하거나 항만 컨테이너 물류 프로세스와 관련된 다양한 분야 전문가를 설문대상에 포함하지 않음
종합	항만 컨테이너 물류 프로세스 디지털화를 대상으로 한 '디지털화 대안선정-평가지표 도출-평가' 모형 관련 연구 부재	

- 대부분의 물류 프로세스 및 공급사슬 디지털화 연구와는 달리 현장 관계자 및 항만물류·정보시스템 전문가 관점을 기반으로 디지털화 대안을 도출하고, 체계적인 절차를 통해 성과지표를 정리했으며 퍼지 계층화 분석법을 활용해 대안의 우선순위와 평가지표의 중요도를 제시함

3. 연구 결과

1) 항만 컨테이너 물류 프로세스 디지털화 대안

- 항만 컨테이너 물류 프로세스를 수입과 수출로 구분해 정리하고 애로사항과 해결 방안을 파악함

〈요약 표-2〉 항만 컨테이너 물류 프로세스 관련 애로사항 및 해결 방안 요약

애로사항	해결 방안
다(多)채널을 통한 데이터·정보조회	단일 데이터 채널 활용
필요한 시점에 데이터·정보 조회가 힘들	적시에 데이터·정보 조회 또는 수신
데이터·정보의 정확성이 완벽하지 않음	데이터 및 정보의 정확성 향상
데이터 열쇠가 통합되지 않아 관리가 어려움	데이터 열쇠 연계 및 통합

- 애로사항과 해결 방안을 기반으로 i) 기존 시스템 유지, ii) 데이터 열쇠 연계 및 통합, iii) 공유 데이터 및 정보 정확성 향상, 그리고 iv) 데이터·정보공유 플랫폼 도입 대안을 설정함

〈요약 표-3〉 항만 컨테이너 물류 프로세스 디지털화 대안 요약

대안	설명
데이터 열쇠 통합	• 데이터 열쇠란 데이터 집합이나 문서에 속한 대표 데이터를 의미하고, 물류 프로세스 내 이해관계자는 그들이 필요한 데이터나 정보를 요청하기 위해 데이터 열쇠라는 것을 활용(예: 수출 컨테이너 ID는 관련 송장과 포장명세서의 데이터 열쇠로 활용) • 현재 물류 프로세스에서는 통일된 데이터 열쇠가 활용되지 않으므로 각 이해관계자는 타 이해관계자에게 데이터와 정보를 요청할 때 데이터 열쇠가 무엇인지 먼저 확인해야 함 • 통상 이러한 작업은 인력에 의해 수행되므로, 물류 프로세스상 작업·서비스 지연을 야기함 • 본 대안은 이해관계자들의 데이터 열쇠를 통합해 상호 간 데이터 접근의 편의성을 제공
데이터 정확성 개선	• 물류 프로세스상 부정확한 데이터가 존재할 수 있음(예: 컨테이너의 실제 무게가 화주에 의해 입력된 값과 다름) • 이러한 차이는 크레인 작업에 요구되는 안정성이나, 트럭의 화물 부하 분산(Load Balancing)에 부정적인 영향을 줌 • 부정확성은 작업환경의 잦은 변화가 가져오는 높은 수준의 불확실성 때문이기도 함 • 작업환경의 잦은 변화는 화물 처리 작업의 계획단계에서 완벽하게 예측되지 못하고, 이해관계자에게 적절히 공유되지 않을 수 있으므로, 부정확한 데이터와 정보가 물류 프로세스 일부에 존재하게 됨 • 본 대안은 정확한 데이터의 입력과 다양한 예측 기술을 적용해 데이터의 정확도를 개선하고, 부정확한 데이터로 야기되는 부정적 영향을 최소화함
데이터·정보공유 플랫폼 도입	• 머스크와 IBM이 합작한 트레이드렌즈와 같은 데이터·정보공유 플랫폼을 도입하는 방안으로 해당 플랫폼은 높은 수준의 보안과 신속한 데이터 수집 및 정보공유 기능을 갖춘 소프트웨어로 볼 수 있음
기존 시스템 유지	• 현재의 물류 프로세스 데이터·정보처리 방식을 유지

2) 항만 컨테이너 디지털화 성과지표 도출

- 신뢰성, 응답성, 유연성, 비용, 자산관리 5개의 평가지표와 11개의 세부 평가지표를 도출함

〈요약 표-4〉 항만 컨테이너 물류 프로세스 디지털화 성과지표

평가지표	세부 평가지표	설명
신뢰성	데이터 일관성	• 이해관계자 간 컨테이너 물류 프로세스 데이터의 일관성
	데이터 완결성	• 필요한 데이터가 누락되지 않음
	데이터 정확성	• 실제 값과 데이터·정보 일치성
응답성	정규 응답	• 정기적인 또는 일상적인 데이터와 정보의 수신 시간 • '응답시점-요청시점'으로 계산
	피드백	• 데이터 및 정보 업데이트 시간으로, 정규 응답 외 피드백에 의한 추가 처리시간 • 정규 응답에 의해 전달된 데이터나 정보가 완벽하지 않을 때 발생 • '피드백에 대한 처리시점-피드백 요청시점'으로 계산
유연성	적응성	• 내·외부 시스템과 연결(또는 통합) 용이성
	위험 관리	• 사이버 보안수준, 시스템 장애 및 복구, 물류 프로세스가 부정확한 데이터로부터 받는 부정적 영향 정도 등을 포함하는 위험관리 전반
비용	초기 투자비용	• 물류 프로세스 데이터와 정보를 처리하기 위한 자본비용
	운영비용	• 물류 프로세스 데이터와 정보를 처리하기 위한 운영비용
자산관리	데이터 기록 및 관리	• 데이터 연계, 심화 분석 등 향후 활용을 위한 데이터 로그 생성 및 보존 수준
	데이터 투명성	• 이해관계자 간 데이터 투명성 수준(공유되는 데이터·정보의 수준 등)

3) 항만 컨테이너 물류 프로세스 디지털화 대안 평가

- 퍼지 계층화 분석법을 활용해 평가지표와 세부 평가지표의 중요도 및 대안의 선호도를 산출함

- 평가지표의 경우, 신뢰성(0.394) > 응답성(0.214) > 유연성(0.157) > 비용(0.140) > 자산관리(0.095) 순서로 중요도가 산출됨
- 세부 평가지표의 경우, 정확성(0.19) > 일관성(0.12) > 정규응답(0.11) > 피드백(0.1) > 완전성(0.09) > 적응성(0.08) ≥ 위험관리(0.08) > 운영비용(0.07) ≥ 초기 투자비용(0.07) > 데이터 투명성(0.05) > 데이터 기록성(0.04) 순서로 중요도가 산출됨
- 대안의 경우, 데이터 품질(0.30) > 데이터 열쇠(0.27) ≥ 데이터 플랫폼(0.27) > 기존 시스템(0.16) 순서로 선호도가 산출됨

〈요약 표-5〉 퍼지 계층화 분석법 가중치 종합결과

평가 지표	지역 가중치(1)	세부 평가지표	지역 가중치(2)	전역 가중치	데이터 열쇠	데이터 품질	데이터 플랫폼	기존 시스템
신뢰성	0.394	일관성	0.30	0.12	0.26	0.29	0.27	0.18
		완전성	0.22	0.09	0.30	0.35	0.24	0.11
		정확성	0.48	0.19	0.25	0.42	0.21	0.12
응답성	0.214	정규응답	0.52	0.11	0.30	0.25	0.31	0.15
		피드백	0.48	0.10	0.34	0.25	0.27	0.14
유연성	0.157	적응성	0.51	0.08 (0.0797)	0.31	0.23	0.31	0.15
		위험관리	0.49	0.08 (0.0773)	0.25	0.27	0.32	0.16
비용	0.140	초기 투자비용	0.48	0.07 (0.0665)	0.24	0.22	0.23	0.31
		운영비용	0.52	0.07 (0.0730)	0.23	0.26	0.33	0.18
자산 관리	0.095	데이터 기록성	0.45	0.04	0.28	0.28	0.31	0.14
		데이터 투명성	0.55	0.05	0.26	0.28	0.33	0.13
종합 가중치	-		-	-	0.27 (0.27456)	0.30	0.27 (0.27336)	0.16

주: 소수점 둘째 자리까지 반올림

4) 학술적 기여도

- ‘대안선정 → 평가지표 선정 → 평가’ 모형제시를 통해 기존 이론을 확장함
 - 선행연구에서 부족한 항만 컨테이너 물류 프로세스에 관한 디지털화 연구 결과를 제시함
 - 현장 애로점과 니즈 기반의 디지털화 대안선정, 선행연구에서 발견된 평가 지표 선정방식의 장점을 융합한 평가지표 선정, 그리고 다기준 의사결정론 기반 대안 평가로 이어지는 디지털화 모형을 제시함
 - 플랫폼 도입과 같은 일반적인 디지털화 대안을 넘어 데이터 열쇠 연계 및 통합 대안과 같은 새로운 대안을 제시해 기존 이론을 확장함
- 항만·물류 국내외 전문가 설문을 통해 기초자료의 유용성을 확보함
 - 본 연구에서 활용된 각 세부 평가지표와 관련된 정량적 데이터 확보는 현재 시점에서 매우 어려움
 - 국내외 연구계 및 산업계에 종사하는 표준화, 항만 및 물류 전반, 정보통신, 선사, 터미널 운영사, 육상운송사, 포워더, 화주 및 기타 비즈니스 전문가들을 대상으로 설문을 수행해 항만 컨테이너 물류 프로세스 디지털화 관련 연구의 분석 기초자료로서 유용성을 확보함
- 지표별 정량화 데이터 확보에 따라 후속연구 가능성을 개척함
 - 전문가를 통해 갖춰진 본 연구의 분석 기초자료는 이후 실질적 계산값 또는 실측치로 대체될 수 있음
 - 유사분야에 본 연구의 디지털화 모형을 활용해 후속연구를 수행할 수 있음
- 학계, 국가 및 사회로의 디지털화 분야 영향과 파급력을 확보함
 - 본 연구는 세계적인 디지털화의 흐름에도 부합하며 「디지털 뉴딜 로드맵」과 같은 국가정책과도 깊은 관련이 있음

EXECUTIVE SUMMARY

1. Purpose

- The purpose of this study is to suggest a digitalization model for the port container logistics process consisting of 'identifying alternatives – presenting evaluation indicators – evaluating the alternatives and the indicators, ultimately supporting the digitization of the supply chain of the government and stakeholders.

2. Methodology and Features

1) Methodology

- In this study, a literature review was conducted on the digitization of the overall supply chain, including the logistics process, by referring to domestic and overseas manuscripts, research papers, white papers, analysis data, guidelines, Internet materials and so on.

-
- Several online materials were utilized.
 - Accordingly, implications were drawn and confirmed this study's differentiating factors.
 - This study identified the current status of the port container logistics process and had a series of on-site expert interviews and experts' advice in order to come up with digitalization alternatives.
 - It drew two diagrams of port container import and export processes respectively integrated based on the literature on the work and data flows by stakeholders, which was later supplemented by the on-site expert interview and advice such as terminal operators and shipping companies.
 - It received advice from experts of the port logistics/information system in order to come up with alternatives for the digitization of a target logistics process.
 - The study compared and then supplemented the brainstorming results and derived performance indicators with the preceding studies and the reference model of supply chain operation in order to come up with performance indicators to evaluate the digitization of the logistics process.
 - A group of researchers with rich background knowledge in the port container logistics process gathered together to come up with performance indicators applicable to evaluate the digitization level as well as detailed performance indicators.

- In order to secure the objectivity of the resultant performance indicators, they compared/supplemented the evaluation of the digitization/supply chain with relevant preceding studies and the reference model of supply chain operation.
- This study evaluated alternatives for the digitization of port container logistics process and utilized the Fuzzy Analytic Hierarchy Process to determine the priority of alternatives and the importance of evaluation indicators.
- It designed an alternative evaluation plan for the digitization of the port container logistics process, defined the subgroups of experts for a survey, and searched/recruited experts for each subgroup (securing more than 40 experts).
- It confirmed whether the number of alternatives and evaluation indicators were adequate and prepared the questionnaire with the survey structure and readability considered.
- It organized the results of the survey and drew the importance of evaluation indicators as well as detailed evaluation indicators and the preference of alternatives based on the Fuzzy Analytic Hierarchy Process (securing 35 effective questionnaires).

2) Features

- In this study, a literature review was conducted, and implications were derived by dividing detailed areas into i) the digitization of ports and logistics and supply chain, ii) a supply chain digitization plan, and iii) the evaluation of

supply chain digitization, with regard to the digitization of port container logistics process.

- Since the port container logistics process is part of the supply chain, the logistics process digitization can be understood through literature review throughout the supply chain.

〈Table 1〉 Limitations of preceding studies compared to this study

Category	This study	Limitations of preceding studies compared to this study
Research target	• Digitization of port container logistics process	• The majority of studies targeting the port container supply chain present conceptual measures for digitization or advantages of digitization. • Other industries such as manufacturing and food supply chain. have carried out digitization-related studies. However, these studies are different from the port container logistics process, where a number of stakeholders are involved
Purpose	• Presenting a digitization model consisting of 'identifying alternatives, selecting evaluation indicators and evaluating'	• Instead of suggesting three key processes as one model as shown by this study, preceding studies briefly mentioned alternatives of digitization along with advantages. • Studies evaluating alternatives do exist; however, study targets are different.

Category	This study	Limitations of preceding studies compared to this study
Scope	• Drawing alternatives for logistics process digitization based on actual needs of the field (Developing solutions based on difficulties and defining alternatives that include aforementioned solutions) • Selecting objective and verified evaluation indicators for logistics process digitization (reference model of supply chain operation, brainstorming of researchers and cross – validation with preceding studies – partially integrating the methods presented in Lima-Junior & Carpinetti (2017)) • Evaluating alternatives through a survey of port/logistics experts (utilizing the Fuzzy Analytic Hierarchy Process)	• Most of the process for drawing alternatives was omitted; extracting technology-centered alternatives for digitization is frequent. The alternatives (introducing data/information sharing platforms) of conceptual digitization recognized by most industries are found in preceding studies. • Preceding studies select one of 5 indicator selection methods from Lima-Junior & Carpinetti(2017) • Survey targets are not clear, or a variety of experts relevant to the port container logistics process are not included in the target of surveys
Summary	The absence of research relevant to a model consisting of 'identifying alternatives – drawing evaluation indicators – evaluation' targeting the digitization of port container logistics process	

- Unlike other studies on the digitization of the logistics process and supply chain, this study established the alternatives for digitization from the perspectives of those working on-site and port logistics/information system experts and organized the performance indicators through the systemized procedure while presenting the priority of alternatives and the importance of evaluation indicators utilizing the Fuzzy Analytic Hierarchy Process.

3. Results

1) Alternatives for the digitization of port container logistics process

- The study organized port the container logistics process by dividing it into import and export and identified difficulties and their solutions.

〈Table 2〉 Summary of Difficulties and Their Solutions Regarding Port Container Logistics Process

Difficulties	Solutions
Data/information search via multi-channels	Utilize a single data channel.
Difficult to search data/information when needed.	Search and receive data/information in a timely manner.
The accuracy of data/information is not perfect.	Improve the accuracy of data and information.
Difficult to manage data/information due to unintegrated data keys.	Link and integrate data keys.

- Based on the difficulties and their solutions, the study established alternatives for i) maintaining the existing system, ii) linking and integrating data keys, iii) improving the accuracy of the shared data and information, and iv) introducing the data/information sharing platform.

〈Table 3〉 Summary of Alternatives for Digitization of Port Container Logistics Process

Alternatives	Description
Integrating data keys	• Data keys refer to representative data contained in the data group or documents, and stakeholders within the logistics process utilize the data keys to request data or information they need (e.g., The ID of an export container is utilized as a data key for the related invoice and packaging list). • Since an integrated data key is not used in the current logistics process, each stakeholder should first check which data key shall be used when requesting data and information from other stakeholders. • Such work is usually carried out by a person it can cause delays in the work/service of the logistics process. • This alternative provides the convenience of mutual data access by integrating the data keys of stakeholders.
Improving the accuracy of data	• There may be inaccurate data in the logistics process (e.g., the actual weight of a container differs from the value entered by the shipper). • Such difference has an adverse effect on the stability required for the crane work or the load balancing of trucks. • Such inaccuracy is also caused by a high level of uncertainty arising from frequent changes in working conditions. • Inaccurate data and information will be present in part of the logistics process since frequent changes in working conditions may not be fully predicted in the planning step of cargo handling work and properly shared by stakeholders. • This alternative improves the accuracy of data with the input of accurate data and the application of various prediction techniques and minimizes adverse effects caused by inaccurate data.
Introducing the data/information sharing platform	• This alternative is to introduce a data/information platform such as TradeLens, jointly developed by Maersk and IMB, which can be seen as software equipped with a high security level and rapid data collection and information – sharing functions.
Maintaining the existing system	This alternative is to maintain the data/information processing method of the current logistics process.

2) Drawing performance indicators for port container digitization

- This study drew five evaluation indicators (reliability, response, flexibility, cost, asset management) and 11 detailed evaluation indicators.

〈Table 4〉 Performance indicators for the digitization of port container logistics process

Performance indicator	Detailed evaluation indicator	Description
Reliability	Data consistency	• Consistency of container logistics process data between stakeholders
	Data integrity	• No missing of necessary data
	Data accuracy	• Comparability between actual values and data/information
Responsiveness	Normal response	• Time of receiving regular or ordinary data and information • Calculating as 'response time – request time'
	Feedback	• Time of data and information updates, additional processing time through feedback other than normal response time • Occurring when data and information delivered via normal response is not perfect • Calculating as 'processing time for feedback – request time for feedback'
Flexibility	Adaptability	• Easy connectivity (or integration) to inside/outside systems
	Risk management	• Overall risk management encompassing cyber security level, system failure and recovery and the level of negative impacts on logistics process received from inaccurate data

Performance indicator	Detailed evaluation indicator	Description
Cost	Initial investment cost	• Cost of capital for processing logistics process data and information
	Operational cost	• Cost of operation for processing logistics process data and information
Asset management	Data record and management	• The level of creating and preserving data logs for future utilization such as data connection and in-depth analysis
	Data transparency	• The level of data transparency among stakeholders (the level of shared data and information etc.)

3) Evaluating alternatives for the digitization of port container logistics process

- This study utilized the Fuzzy Analytic Hierarchy Process to estimate the importance of evaluation indicators and detailed evaluation indicators and the preference of alternatives.
- The importance of evaluation indicators was calculated in order of reliability (0.394) > response (0.214) > flexibility (0.157) > cost (0.140) > asset management (0.095).
- The importance of detailed evaluation indicators was calculated in order of accuracy (0.19) > consistency (0.12) > normal response (0.11) > feedback (0.1) > integrity (0.09) > adaptability (0.08) ≥ risk management (0.08) > operation cost (0.07) ≥ initial investment cost (0.07) > data transparency (0.05) > data recordability (0.04).

- The preference of the alternatives was calculated in order of data quality (0.30) > data key (0.27) ≥ the data platform (0.27) > the existing system (0.16).

〈Table 5〉 Summary of weights based on Fuzzy Analytic Hierarchy Process

Evaluation indicator	Local weight (1)	Detailed evaluation indicator	Local weight (2)	Global weight	Data key	Data quality	Data plat form	Existing system
Reliability	0.394	Consistency	0.30	0.12	0.26	0.29	0.27	0.18
		Integrity	0.22	0.09	0.30	0.35	0.24	0.11
		Accuracy	0.48	0.19	0.25	0.42	0.21	0.12
Responsiveness	0.214	Normal response	0.52	0.11	0.30	0.25	0.31	0.15
		Feedback	0.48	0.10	0.34	0.25	0.27	0.14
Flexibility	0.157	Adaptability	0.51	0.08 (0.0797)	0.31	0.23	0.31	0.15
		Risk management	0.49	0.08 (0.0773)	0.25	0.27	0.32	0.16
Cost	0.140	Initial investment cost	0.48	0.07 (0.0665)	0.24	0.22	0.23	0.31
		Operational cost	0.52	0.07 (0.0730)	0.23	0.26	0.33	0.18
Asset management	0.095	Data recordability	0.45	0.04	0.28	0.28	0.31	0.14
		Data transparency	0.55	0.05	0.26	0.28	0.33	0.13
Total weight	–		–	–	0.27 (0.2745)	0.30	0.27 (0.2736)	0.16

Footnote: Rounding off the numbers to the nearest hundredths

4) Academic contribution

- The existing theory was expanded through the proposed model of ‘identifying an alternative → selecting evaluation indicators → evaluation’.
- The study provided the results of digitization studies on the port container logistics process, which was not fully covered in the precedent studies.
- It presented the digitization model which leads to the identification of alternatives for digitization based on difficulties and needs of the fields, selection of evaluation indicators incorporating the advantages of the method to select the evaluation indicators found in preceding studies and evaluation of the alternatives based on the Multi-Criteria Decision Analysis.
- It expanded the existing theory by providing new alternatives, including linked data keys and integrated alternatives, beyond the general digitization alternatives such as the introduction of a platform.
- This study secured the usefulness of basic data through a survey of overseas and domestic experts in ports and logistics.
- It is very difficult to secure the quantitative data regarding each detailed evaluation indicator used in this study at this time.
- It secured the usefulness of the basic data for analysis in studies regarding the digitization of the port container logistics process by carrying out the survey for standardization, port and logistics

areas as a whole, IT, shipping companies, terminal operators, land transport companies, forwarders, shippers and other business experts engaging in domestic and overseas research and industry fields.

- The study improved the possibility of follow-up studies, depending on whether to secure the quantitative data for each indicator.
- The basic data for analysis provided by experts in this study may be substituted by subsequent actual calculated values or actual measured values.
- Follow-up studies may be carried out by using the digitization model of this study in similar areas.
- The study secured the influence and ripple effect on the academia, nation and society.
- This study is also in line with the global digitization trend and deeply related to national policies such as the 『Digital New Deal Roadmap』.

01

서론

제1절 연구 배경 및 목적

1. 연구 배경

화주, 선사, 터미널 운영사 등 항만물류와 관련한 이해관계자들은 협업을 통해 컨테이너를 공급사슬 내에서 이동시킨다. 화주나 운송 주선인¹⁾이 선사에게 선적을 요청하고, 창고운영사는 화주의 요청에 따라 화물 적입 작업과 출고를 수행하는 등 다양한 공급사슬 참여자의 협업으로 항만 컨테이너 물류 프로세스가 운영된다.

물류 프로세스 내 컨테이너의 물리적 이동을 위해 수행되는 이해관계자 간 데이터·정보의 교환·공유 업무는 매우 복잡하다. 이는 데이터·정보의 이동이 매우 빈번하게 발생하고, 때로는 동시에 발생하며, 같은 데이터나 정보가 여러 이해관계자에게 전달되는 등 컨테이너의 이동에 비해 데이터와 정보의 이동이 단순하지 않기 때문이다. 또한 잘못된 데이터와 정보의 흐름은 컨테이너 이동 실책과 비용을 초래한다. 이로 인해, 데이터와 정보

1) 포워더(Forwarder)

를 여러 번 교환하도록 하는 확인 절차가 일부 업무에 존재해 관련 업무를 더욱 복잡하게 한다.

상기한 이해관계자 간 협업을 대표하는 데이터·정보의 교환과 공유에 대한 중요성이 이전부터 인식됐고, 관련 시스템을 효율화하거나 업무를 단순화하기 위한 노력은 지난 수십 년간 지속되어 왔다. 개별 인편으로 전달되던 데이터와 정보는 우편 시스템을 통해 전달됐고, 팩스(Fax)와 전자정보교환(EDI: Electronic Data Interchange)의 도입, 개인 전화의 활용, 그리고 인터넷을 이용한 정보공유 등은 현장의 노력을 증명한다.

최근에는 사물인터넷(IoT: the Internet of Things), 클라우드(Cloud), 디지털 트윈(Digital Twin) 등 여러 4차 산업혁명 기술의 등장으로 데이터·정보 관련 시스템을 개선하려는 노력이 가속화됐다. 공급사슬 분야에서 가장 대표적으로 소개되는 사례는 머스크(Maersk)와 IBM의 협업으로 탄생한 트레이드렌즈(TradeLens)다. 공급사슬에서 인력이나 종이 문서 기반 프로세스를 디지털 해법으로 현대화하고, 가시성을 향상함으로써 의사결정을 지원하도록 한다.²⁾ 로테르담 항만은 항만 단독으로는 공급사슬에서 역할을 완수할 수 없음을 언급하며, 공급망 디지털화를 위한 해법을 계속 고민하고 있다.³⁾ Philipp(2020)은 디지털화가 항만과 스마트항만의 주요 평가지표로 활용됨을 언급하는 등 디지털화의 중요성과 이를 달성하려는 노력이 계속되고 있다고 볼 수 있다.

이와 같은 움직임은 학술적·기술적으로 ‘공급사슬 디지털화’ 또는 ‘디지털 공급사슬’로 일컬어진다. ‘공급사슬 디지털화’에 대한 정의는 연구자나 기관에 따라 차이가 있지만,⁴⁾ 최신 기술을 활용해 공급사슬 내 데이터·정보를 적시에 공유하도록 함으로써 이해관계자와의 협업을 개선하고 궁극적

2) Maersk(게시일: 2020. 5. 28, 검색일: 2021. 8. 15)

3) Port Technology(게시일: 2021. 2. 24, 검색일: 2021. 8. 15)

4) 최상희·이연경·서정용(2019), p. 12

으로 공급사슬 전체를 효율화하는 행위를 공급사슬 디지털화로 볼 수 있다.

학계에서는 크게 항만 디지털화(이연경 외, 2017; Fruth & Teuteberg, 2017; Inkinen *et al.*, 2019; Anwar, Henesey & Casalicchio, 2019 등), 물류 및 공급사슬의 디지털화(이충배·노진호·김정환, 2017; 최상희·이연경·서정용, 2019; 이상윤·임태건, 2020; Wang & Sarkis, 2021 등), 공급사슬 디지털화 방안(Schlüter, Hetterscheid & Schlüter, 2019; 박민호·오진호·하영목, 2019; Gonzalez *et al.*, 2021 등), 그리고 공급사슬 디지털화 평가(서옥환·임성목, 2011; Youn *et al.*, 2014; Ardito *et al.*, 2018; Ongena & Ravesteyn, 2020; Rasool, Greco & Grimaldi, 2021 등)에 대한 연구가 진행됐다.

이러한 산업계와 학계의 관심에 힘입어, 우리나라 정부에서도 물류 프로세스를 포함한 공급사슬 디지털화를 위한 노력을 지속하고 있으며, 그 결과 디지털 뉴딜 로드맵(2020~2025)을 제시했다. 사회간접자본(SOC: Social Overhead Capital) 디지털화 내 스마트 물류체계 구축을 위한 정책을 제시했으나, 이를 상세히 살펴보면 물류센터 스마트화와 농축산물 유통 플랫폼에 초점이 맞춰져 있다. 즉, 공급사슬에서 거점인 창고 스마트화에 집중됐고 농축산물 유통을 위한 정책만이 존재하므로, 항만을 통해 수출입되는 컨테이너 물류 프로세스를 디지털화하는 전략이 부재함을 알 수 있다.

일부 부처 담당자는 항만 컨테이너 물류 프로세스 디지털화의 중요성을 충분히 인지하고 있으나, 그들이 정책 실행에 참고할 수 있는 담당 분야의 구체적인 디지털화 대안이나 정책평가를 위한 물류 프로세스 디지털화 평가지표에 대해 참고할 자료가 부재한 실정이다. 이는 정책적 의사결정의 지연을 가져오고, 궁극적으로 디지털화의 지연 역시 초래하게 된다.

〈그림 1-1〉 디지털 뉴딜 로드맵(2020~2025) 중 스마트 물류체계 구축 영역



자료: 과학기술정보통신부(검색일: 2021. 8. 15) 중 저자 발체

가장 대표적인 디지털화 대안은 자동 데이터 수집 및 정보 전송 기능을 갖춘 데이터·정보공유 플랫폼 도입으로 여겨지고,⁵⁾ 부처 담당자들 역시 해당 디지털화 대안을 인지하고 있으나 사적 데이터 공유 문제로 인해 이해관계자의 참여가 현실적으로 어려움을 인지하고 있다. Kersten, Blecker & Ringle(2017)은 모든 기업이 각자의 사업모델과 데이터·정보시스템을 가지고 있으므로, 이를 특정 플랫폼에 연계하고 데이터와 정보를 표준화하는 작업이 쉽지 않음을 밝혔다. 즉, 현장 중심의 다양한 디지털화 대안이 충분히 논의되고 있지 않은 실정이다.

학계에서 공급사슬 디지털화 관련 연구가 많이 수행됐으나, 실질적인 항만 수출입 컨테이너 물류 프로세스에 관한 디지털화 연구는 많지 않았고, 국내를 기준으로 수입 인바운드(Inbound), 수출 아웃바운드(Outbound) 컨테이너 물류 프로세스의 디지털화 연구 역시 매우 부족했다. 대상 분야 맞춤형 연구는 부재했으며, 특히 컨테이너 물류현장의 애로점을 기반으로 디지털화 대안을 도출하고, 평가지표 그룹을 설계해 이들을 평가하는 가이드라인 형태의 연구는 연구자의 문헌조사 결과 찾을 수 없었다. 일부 항만 물류 및 공급사슬 디지털화에 관한 연구는 디지털화의 효과에 대한 소개나 포괄적인 해법을 제시하는 데 그쳐(이연경 외, 2017; 해양수산부, 2019), 실질적인 실행 전략으로는 활용할 수 없다.

즉, 정책형성을 위해 현장의 애로점을 기반으로 상세한 항만 컨테이너 물류 프로세스 디지털화 대안을 파악하고, 정책평가를 위한 객관적 물류 프로세스 디지털화 평가지표를 도출하며, 다수의 지표를 기반으로 대안을 적절히 평가하는 다기준 의사결정론 기반 평가방법이 제시돼야 한다. 이를 종합하면, 항만 컨테이너 물류 프로세스 디지털화 실행을 위한 대안 파악-평가지표 도출-평가 모형이 논리적이고 상세하게 제시될 필요가 있다.

5) Iddris(2018), pp. 47-61

2. 연구 목적

본 연구는 항만 컨테이너 물류 프로세스 디지털화를 위한 ‘대안 파악-평가 지표 도출-평가’로 구성된 물류 프로세스 디지털화 모형을 제시하고, 이를 통해 정부 부처와 이해관계자들의 공급사슬 디지털화를 궁극적으로 지원하는 것을 목적으로 한다. 국내 물류 프로세스 디지털화를 대상으로 하므로, 수입 인바운드와 수출 아웃바운드 컨테이너 흐름을 지원하기 위한 데이터·정보전달 및 공유에 초점을 맞춘다. 제시될 모형은 ① 항만 수출입 컨테이너 물류 프로세스 디지털화 대안 설정, ② 물류 프로세스 디지털화 평가지표 도출, 그리고 ③ 다기준 의사결정론 기반의 시나리오 평가로 구성되며, 각 단계는 본문 제3장, 제4장, 제5장에 각각 소개된다.

제2절 연구 내용 및 방법

1. 연구 내용

주 연구 내용은 연구 목적과 모형의 세부 구성을 기반으로 크게 세 영역으로 구성되며, 연구 수행을 위한 문헌 검토와 연구 결과를 통한 결론 및 정책제언 역시 포함한다. 먼저, 제2장에서는 항만 수출입 컨테이너 공급사슬 디지털화와 관련된 다양한 문헌을 검토한다. 항만과 물류, 그리고 공급사슬 디지털화 문헌 조사를 통해 관련 영역 전반의 디지털화 정의와 동향 등을 전반적으로 살펴본다(제1절). 데이터·정보공유 플랫폼 도입 등 공급사슬⁶⁾ 디지털화 방안을 조사함과 동시에(제2절), 제3절에서 다기준 의사결

6) 공급사슬과 물류는 혼용되기도 하지만, 엄밀히 말하면 공급사슬이 더 상위 개념임

정론에 근거한 공급사슬 평가지표와 방법을 검토한다. 마지막으로, 선행연구 대비 본 연구의 차별성을 정리한다(제4절).

제3장에서는 수출입 인·아웃바운드 컨테이너 물류 프로세스 디지털화 대안을 도출하고, 각각을 상세히 설명한다. 우선, 2020년 한국해양수산개발원(KMI)에서 수행된 『디지털 공급사슬 물류정보통합 구축전략 연구(II)』⁷⁾에서 도출한 각 이해관계자별 공급사슬 데이터·정보 흐름을 취합 및 도식화(순서도)해 수출과 수입 각각의 데이터·정보의 흐름을 작업 기반으로 파악한다. 이는 물류 프로세스 디지털화 시나리오 설정에서의 대조군 역할을 하게 된다. 또한 현재 물류 프로세스 디지털화 측면에서의 문제점을 파악해 대안 도출의 기반을 마련한다(제1절). 제2절에서는 실험군 역할을 하게 될 물류 프로세스 디지털화 대안을 애로점 기반으로 도출하고, 이들의 적용 방식과 효과를 상세히 파악한다.

제4장에서는 항만 수출입 컨테이너 물류 프로세스 디지털화 평가를 위한 성과지표를 소개한다. 먼저, 선행연구를 기반으로 성과지표를 도출하는 다양한 방법을 파악한다(제1절). 이들을 비교해 본 연구에 적합한 도출방안을 수립하고, 물류 프로세스 디지털화 또는 디지털 공급사슬을 평가하는 다양한 성과지표를 도출하고, 이들을 계층화·도식화한다(제2절). 마지막으로, 도출된 성과지표의 객관성을 검증하기 위해 선행연구와 공급사슬 운영 참조모형(SCOR: Supply Chain Operations Reference)에서의 활용 여부를 파악한다(제3절).

제5장에서는 다기준 의사결정론을 기반으로 한 시나리오 우선순위를 선정한다. 먼저, 본 연구에서 활용될 계층화 분석법(AHP: Analytic Hierarchy Process)을 소개하고, 계층화 분석법에 수반되는 설문 응답의 모호성을 보완하는 퍼지이론(Fuzzy set theory)을 설명한다(제1절). 다음으로, 물류

7) 이언경·서정용·김효재(2020)

프로세스 디지털화 대안과 성과지표의 우선순위에 대해 응답할 설문대상을 선정한다(제2절 1). 이때, 효과적인 설문을 위해 필요한 집단을 정의하고, 전문성을 갖춘 설문대상자를 선정하는 과정을 거친다. 이후, 설문지 작성(제2절 2), 설문 수행과정 및 결과를 정리하고, 계층화 분석법 기본형과 퍼지 계층화 분석법을 통해 각 대안과 평가지표 및 세부 평가지표의 우선순위와 중요도를 각각 도출하며, 이를 해석한다(제3절).

제6장은 본 연구를 요약하고(제1절), 학술적 기여와 연구의 한계점 및 향후 연구 방향을 제안한다(제2절). 본 연구의 학술적 기여는 다음과 같이 요약된다: ① ‘대안선정, 평가지표 선정 및 평가’로 구성되는 물류 프로세스 디지털화 모형을 제시함으로써 해당 분야의 이론을 확장하고, ② 항만·물류 분야 국내외 전문가 설문을 통해 유용성 있는 기초자료⁸⁾를 확보했으며, ③ 평가지표 계층을 정립함으로써, 지표별 정량화 데이터 확보 여부에 따른 후속 연구의 가능성을 개척했고, 마지막으로 ④ 학계와 국가 및 사회에서 큰 관심을 받고 있는 공급사슬 디지털화 분야로의 영향과 파급력을 가진다.

2. 연구 방법

〈그림 1-2〉는 본 연구에 적용된 방법론을 요약해 보여준다. 제2장 문헌 조사를 위해 항만 컨테이너 수출입 인·아웃바운드 공급사슬 및 디지털화와 관련된 기사와 백서(White papers), 보고서, 분석자료, 지침(Guidelines) 및 연구논문을 온·오프라인으로 검토한다. 이를 기반으로 연구 시사점을 도출한다.

제3장 첫 번째 절은 항만 수출입 컨테이너 물류 프로세스 디지털화 대안 도출을 위해 선행연구⁹⁾에서 파악한 핵심 이해관계자별 작업 기반 데이터·

8) 부록에 수록

정보 흐름 순서도를 이해한다. 다음으로, 구체적인 디지털화 대안 설정을 위해, 수입과 수출 부문을 나눠 데이터·정보 흐름 순서도를 스웜레인 다이어그램(Swimlane diagram)으로 통합한다. 선행연구에서의 순서도는 중심 이해관계자 위주로 작업과 데이터, 정보 흐름이 도식화돼 타 이해관계자의 그것들이 단순화됐다면, 본 연구에서는 물류 프로세스 전체를 대상으로 하므로 모든 이해관계자의 작업과 데이터, 정보 흐름이 명확히 표현된다. 또한 취합하면서 발견된 업무 불일치 영역은 전문가 자문을 통해 보완한다.

〈그림 1-2〉 연구 방법론

1. 문헌 검토



- 관련분야 전반 온·오프라인 자료 탐색 및 검토(기사, 보고서, 논문 등)
- 시사점 도출

2. 대안 도출



- 현장 인터뷰, 문헌 검토를 통한 (現)공급사슬 정의 및 애드점 도출
- 전문가 자문 및 브레인 스토밍을 통한 공급사슬 디지털화 대안 설정

3. 평가지표 도출



- 문헌 검토를 통한 평가지표 도출방안 탐색
- 연구진 브레인 스토밍을 통한 평가지표 도출방안 설계 및 평가지표 도출
- 선행연구 등 문헌 검토를 통한 평가지표 교차검증

4. 대안평가



- 문헌에서의 공급사슬 평가방안 확인
- 연구진 브레인 스토밍을 통한 평가방안 설계
- 설문대상 선정, 설문지 작성 등 조사준비 및 조사 수행
- 결과도출 및 해석

5. 결론



- 결과요약
- 학술 기여도 및 향후 연구분야 소개

자료: 저자 작성

9) 이연경·서정용·김효재(2020)

제3장 두 번째 절은 공급사슬 디지털화의 실질적인 대안을 선정한다. 이를 위해 『디지털 공급사슬 물류정보통합 구축전략 연구(II)』에서 파악한 현장의 니즈와 2021년 수행한 전문가 인터뷰, 문헌조사 등을 통해 항만 수출입 컨테이너 물류 프로세스상 실현 가능하거나, 이상적인 방안으로 여겨지는 디지털화 대안을 파악한다. 또한 각 애로점 기반 대안을 현장 상황에 맞게 구체화하고 기대효과를 제시한다.

제4장에서는 물류 프로세스 디지털화 성과지표를 도출한다. 이를 위해, 다기준 의사결정론 선행연구에서 보이는 평가지표 도출방안을 파악하고, 각 방안의 활용 정도와 장단점 등을 파악한다. 이후, 각 방안을 효율적으로 조합해 성과지표 도출방안을 설계하고, 이를 기반으로 항만 수출입 인·아웃바운드 컨테이너 물류 프로세스 디지털화의 성과지표를 도출한다. 성과지표는 브레인스토밍(Brain storming)을 통해 1차로 도출한 후, 선행연구와 공급사슬 운영 참조모형에서 제시하는 공급사슬 평가지표들과 상호비교를 통해 객관성을 확보하는 과정을 거친다.

제5장에서는 다기준 의사결정론 중 하나인 계층화 분석법을 활용해 시나리오를 평가하고, 대안의 우선순위를 선정하며, 평가지표의 중요도를 도출한다. 우선, 계층화 분석법의 이론적 배경과 활용, 장단점을 각각 살펴보고, 계층화 분석법과 함께 활용되는 퍼지이론을 이해한다. 이를 기반으로, 물류 프로세스 디지털화 대안평가 방안을 설계하고, 설문조사를 위한 설문대상을 선정한다. 이 과정에서 전문가 세부 그룹을 정의하고, 각 그룹에 해당하는 전문가를 탐색 및 섭외한다.

다음으로, 일반적인 설문조사 방법에 근거한 설문지를 작성한다. 대안과 평가지표의 수가 설문조사에 적절한지 확인하고, 설문 구성과 가독성을 고려한 설문지를 준비한다. 이후 설문을 수행해 결과를 정리하고, 계층화 분석법에 근거해 평가지표와 세부 평가지표의 중요도와 각 대안의 선호도를

도출한다.

제6장에서는 본 연구에서 제시한 항만 컨테이너 물류 프로세스 디지털화 전략 수립 모형을 요약하고 연구의 학술적 기여도를 설명한다. 또한 향후 연구 분야를 소개해 후속연구의 방향을 제시한다.

02

공급사슬 디지털화 문헌 검토

본 연구는 항만을 통해 이동하는 수출입 컨테이너 공급사슬(물류 프로세스 포함)의 디지털화 대안을 제시하고, 이를 위한 평가지표를 도출해 대안의 선호도와 지표의 중요도를 평가하는 모형을 제시하는 것을 궁극적인 목적으로 한다. 제2장에서는 상기한 목적을 달성하기 위해 ① 항만, 물류 및 공급사슬 분야의 디지털화, ② 공급사슬 디지털화 방안, 그리고 ③ 공급사슬 디지털화 평가와 관련한 평가지표 선정과 평가 방안 문헌을 살펴보고, 이에 따른 시사점을 도출한다.

제1절 항만, 물류 및 공급사슬 디지털화

1. 항만 디지털화

스마트항만에 대한 인식과 중요성이 높아짐에 따라 관련 연구 또한 활발히 수행됐다. 이연경 외(2017)는 스마트항만 구축을 위해 현재 우리나라의 항만물류를 진단하고 문제점을 정의했으며, 이를 해결하는 개선방안을 제시했다. 우리나라 항만물류의 문제 중 하나를 정보연계 미비로 여겼고, 스마트

항만 달성을 위한 핵심기술로 디지털 기술을 지목했으며, 디지털 기술은 자료를 수집·가공해 의사결정을 지원·개선할 것이라고 언급했다. 이연경·이수영(2019)은 항만 스마트화 수준을 디지털화 수준과 동일하게 여기기도 한다.

Fruth & Teuteberg(2017)는 항만 디지털화가 효율성, 안전 및 에너지 절약 등과 관련해 이로운 영향을 미칠 것이지만 반대로 데이터 남용과 사이버 범죄로 확대될 수 있음을 시사했다. 문헌 검토를 통해 디지털화 프로세스 현황에 대해 정리하고 문제점 제시 및 개선 가능성을 언급했다.

Heilig, Lalla-Ruiz & Voß(2017)은 항만의 성장 가능성과 제한사항을 분석하기 위해 항만의 디지털화와 최첨단 기술 개요를 제시했고, 게임이론을 기반으로 한 프레임워크를 제안했다. 또한 제안한 프레임워크가 항만의 디지털 전환뿐만 아니라 대중교통 등 생활에 밀접한 새로운 경제 문제 해결을 위한 전략적 의사결정 도구와 방법 개발에 어떻게 사용될 수 있는지를 제시했다.

해양수산부(2019)는 한국형 스마트항만을 육성하는 방안을 모색하기 위해 중·장기 로드맵 수립을 중심으로 스마트항만의 일자리와 관련 기술을 조사하고 분석을 수행했다. 이들은 스마트항만의 핵심을 디지털 기술을 통한 이해관계자 간 연계를 기반으로 운영효율을 극대화하는 것으로 여겼다. 이들은 스마트항만 추진을 위한 첫 단계를 디지털화로 정의했으며, 선박 대기시간 최소화 등 개선 대상을 선정하거나, 데이터 수집 시스템을 구축하는 것 등을 디지털화의 주요 업무로 포함하였다.

Inkinen, Helminen & Saarikoski(2019)은 항만 디지털화의 핵심을 개방형 데이터의 활용으로 보았다. 이들이 말하는 개방형 데이터란 공개적으로 이용할 수 있고, 콘텐츠에 대해 청구되지 않으며, 기계 판독이 가능한 데이터로, 실시간 교통 상황 모니터링 데이터가 가장 대표적이다. 이러한 개방형 데이터는 데이터 기반의 의사결정 및 경영을 지원하며, 갑작스러운

사고나 비밀상적인 의사결정에서 특히 유용하다. 항만에서는 운송 인프라와 관련된 정보를 잠재적으로 활용 가능하며, 이와 같은 정적 데이터를 실시간 데이터와 연계해 항만 디지털화를 추진할 수 있다.

Anwar, Henesey & Casalicchio(2019)은 로테르담항, 싱가포르항 등 세계 선진항만들이 디지털 기술을 활용하는 것에 주목하며 항만 디지털화에 관한 문헌연구를 수행했다(표 2-1). 이들은 인공지능(AI: Artificial Intelligence)이나 클라우드 컴퓨팅(Cloud Computing), 사물인터넷(IoT), 블록체인(Blockchain) 기술의 컨테이너 터미널에서의 활용 측면에 대한 연구 동향을 파악하는 데 초점을 맞췄다. 체계적 문헌 검토(SLR: Systematic Literature Review) 기법을 토대로 2,100여 개의 문헌에서 관련성이 높은 57개의 연구를 추렸고, 이 중 94%는 인공지능, 29%는 클라우드와 사물인터넷에 관련된 연구임을 밝혔다. 블록체인의 경우 어떤 선행 연구에서도 다뤄지지 않았다.

〈표 2-1〉 체계적 문헌 검토 기법 기반 대상 연구 필터링 단계

단계	연구 수	속성
Scopus와 Web of Science 기준 필터링	286	• 영어로 작성되지 않은 연구논문 제외 • 저널 및 콘퍼런스 논문, 북 챕터(Book chapter)를 제외한 연구 제외 • 키워드 기반 관련 연구 추출
직접 필터링(1)	111	• 컨테이너 터미널에 초점을 맞추지 않은 연구 제외 • 준설, 보관 또는 예인선 스케줄링 같은 해변 운영 관련 연구 제외 • 선박 배출이나 안전에 관한 연구 제외 • 철도 계획과 같은 컨테이너 터미널 게이트 외부와 관련된 연구 제외 • 중복 제거
직접 필터링(2)	57	• 컨테이너 터미널 운영 또는 프로세스에 연구에서 정의한 디지털 기술을 활용·적용하지 않은 연구는 제외 • 동일한 저자가 다른 제목으로 작성한 유사 주제의 논문 제외

자료: Anwar, Henesey & Casalicchio(2019), p. 11을 기반으로 저자 번역

엄밀히 말해, 저자가 집중한 4대 기술은 4차 산업혁명을 대표하는 기술로 이들 간 경계가 명확하지 않거나, 상호 의존적인 모습을 띠기도 한다. 특히 사물인터넷 기술은 인공지능 기술의 핵심인 의사결정지원시스템(DSS: Decision Support System)을 지원하는 각종 자료와 정보를 수집하고, 공유하는 역할을 담당한다. 즉, 표면적으로는 선행연구들이 인공지능에 초점을 맞추고 있지만, 실제로는 사물인터넷이나 클라우드 컴퓨팅 등 다른 기술영역 역시 중요하다고 볼 수 있다.

Gurning(2019)은 인도네시아 주요 항만들을 대상으로 물류의 디지털화가 항만운영 및 내륙 물류 프로세스에 미치는 효과에 대해 주목했다. 이들은 항만 서비스를 이용하는 이해관계자들을 대상으로 디지털화의 요구사항과 기대치에 대한 설문을 수집하였고 이를 통해 디지털화가 프로세스 가시성과 투명성을 높여 소요시간과 비용 측면에서 더 나은 서비스 성과를 제공할 것이라 언급했다. 다만 필요조건으로 항만·물류 이해관계자들의 표준화된 ICT 플랫폼의 필요성을 설명했다.

Brinker & Haasis(2020)는 항만 물류의 디지털화 개념을 제시하고 이를 기반으로 항만 내 소요 전력 할당에 관한 연구로 확장했다. 이후 비대칭 전력 할당 모델을 제시했고, 디지털화 전략 수립 간 해당 모델의 필요성과 영향에 대해 설명했다.

이태휘(2020)는 싱가포르의 스마트항만 계획 및 구축 현황 검토를 통해 디지털 기술 기반의 해사 클러스터와 스마트 해상물류 생태계를 구축하는 것이 스마트항만의 핵심임을 언급했다. 다시 말해, 디지털항만과 스마트항만의 연관성이 매우 높음을 강조했다. 조성우·원승환(2020)은 자동화 컨테이너 터미널이 디지털·스마트항만으로의 다음 단계로 여겼다. 이는 항만의 디지털화에 대해 중·장기적으로 접근해야 함을 암시한다.

Kapkaeva *et al.*(2021)은 항만의 디지털·정보 플랫폼(항만 정보시스템)

의 역할과 적용영역을 함부르크항 사례를 통해 확인했다. 또한 항만 정보 시스템이 직원이나 선박, 차량 식별, 항만 인근을 움직이는 컨테이너 추적, 트럭 예약이나 화차 구성 등 여러 문제를 해결하는 데 도움을 줄 것으로 보았다. 이는 항만 정보시스템이 공급사슬상 정보 교환의 단일창구 역할을 수행하기 때문에 가능한 것으로 볼 수 있다.

Del Giudice *et al.*(2021)은 선박과 항만의 인터페이스에서의 운영 프로세스 디지털화에 초점을 두고 이러한 활동이 지속가능성 창출에 기여할 수 있는지 조사하는 것을 목표로 했다. 나아가 정성적 연구를 기초로 기존 문헌을 분석하기 위한 통계 방법인 계량서지학적(Bibliometrics) 분석을 통해 지속가능성 창출의 범주에 있는 환경적·사회적·경제적 목표를 충족하는 해운항만 비즈니스 모델의 조건을 제시했다.

2. 물류 및 공급사슬 디지털화

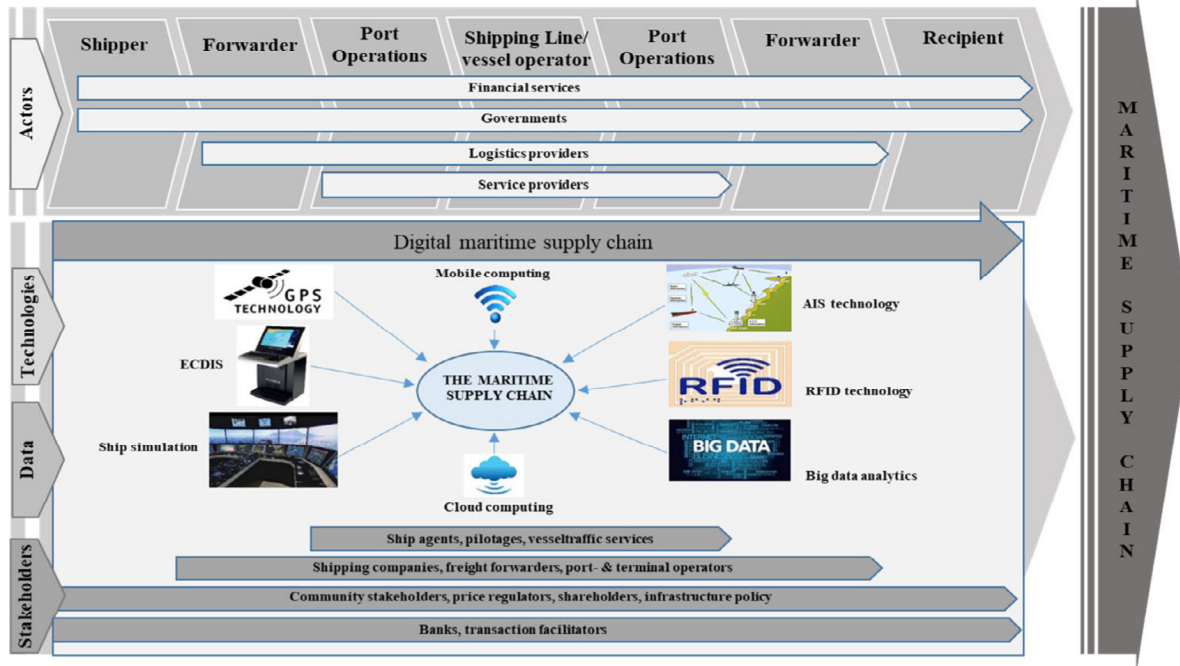
Kapkaeva *et al.*(2021)이 강조한 바와 같이, 항만은 공급사슬상 이해관계자와 정보를 교환하며 물류 서비스를 포함한 다양한 업무를 수행한다. 이들은 모든 혁신은 물류 모델과 공급사슬, 그리고 협업방식의 변화를 포함한다고 여기고, 이러한 혁신에는 정보통신 시스템과 네트워크 기반 통신 시스템 등이 연관된다고 보았다. 이들이 생각한 디지털·정보 플랫폼, 즉 디지털화는 이해관계자 간 협업 개선을 위한 최신 기술의 활용으로 해석할 수 있다.

이충배·노진호·김정환(2017)는 인공지능이나 사물인터넷 등 제4차 산업혁명 기술이 물류 산업에 미치는 영향을 설문조사를 통해 파악했다. 이들은 물류 서비스 품질개선과 맞춤형 물류 서비스 제공을 대표적인 효과로 파악했다. 또한 디지털화 관련 기술인 인공지능, 사물인터넷, 빅데이터 영

역이 공급사슬, 고객관리 및 정보활동에 활용될 수 있음을 언급했다.

Fruth & Teuteberg(2017)는 체계적 문헌 검토방법을 적용해 현재 해상물류에서의 디지털화 현황과 문제영역, 그리고 잠재력을 더욱 자세히 파악하고자 했다. 이들은 디지털화 솔루션이 일부 해상물류 영역에 이미 적용돼 있음을 파악하고, 앞으로도 자동화나 실시간 화물추적, 무선 주파수 인식(RFID: Radio Frequency Identification) 기술 기반 스마트 컨테이너 등 다양한 디지털 기술이 주목받을 것으로 생각했다. 또한 현재 연구들은 시작단계로 보여 현실 업무와 괴리가 있다고 여겼다

〈그림 2-1〉 Fruth & Teuteberg(2017)의 디지털 공급사슬 개념도



자료: Fruth & Teuteberg(2017), p. 2

〈그림 2-1〉은 이들이 정의한 디지털 해상 공급사슬의 개념도와 이해관계자를 보여준다. 이들은 공급사슬과 물류를 개념적으로 분류하고, 정부의 영역을 보다 명확하게 제시했으며, GPS(Global Positioning System)나 선박자동식별시스템(AIS: Automatic Identification System) 등 구체적인 적용기술을 제시함으로써 디지털 공급사슬을 더욱 명확하게 정의했다.

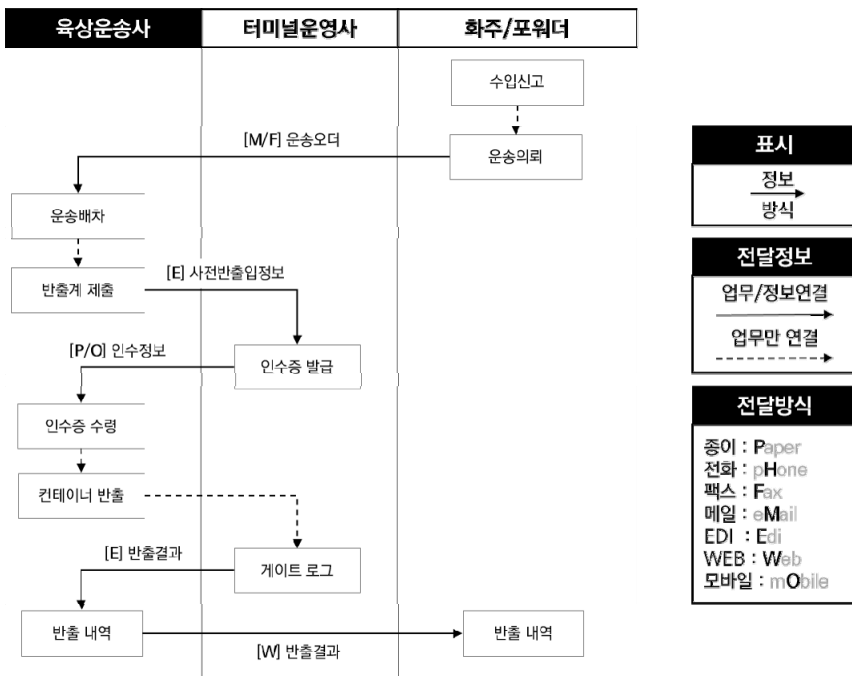
〈표 2-2〉 공급사슬 디지털화를 위한 기본계획 수립 개선안

단계		계획 실행 방법
1	기획 및 계획수립	• 데이터 기반 의사결정 • 시스템을 실질적으로 사용할 주체 참여
2	시스템 개발 사전 조사	• 시스템 수요자 정의 및 요구사항 파악 • 핵심 공유 정보 정의 • 기술과 정보연계 등을 종합적으로 고려한 로드맵 수립 • 유연하고 호환성 있는 시스템 개발
3	정보 수집 및 공유 정책 마련	• 공급사슬 내 단위 참여자별 공유 정보 정의 • 데이터 및 정보 수집과 전달·공유 방안 정의 • 데이터 및 정보 교환·공유 체계 정립 • 시스템 도입에 의한 참여자 혜택 준비
4	거버넌스 설정 및 운영 조직 마련	• 관련 기관 협업 유도 • 민·관 협의를 위한 정책 및 제도 마련 • 효과적인 거버넌스 운영을 위한 운영 위원회 및 조직 마련
5	프로세스 표준화 마련	• 디지털 공급사슬 관점에서의 데이터·정보 표준화 방안 준비 • 가이드라인 및 관련 교육 준비 및 실행 • 법제화·표준화 검토 및 방안 준비 • 국제 표준 고려
6	정보공유 활성화 마케팅	• 데이터·정보공유를 통한 성공사례 제시와 홍보 • 수요에 대한 이해와 핵심 가치를 제시함으로써 적극적 참여 유도 • 4차 산업기술을 활용해 데이터로부터 새로운 정보 창출

자료: 최상희·이연경·서정용(2019), pp. 105~106 기반으로 저자 수정

최상희·이언경·서정용(2019)는 우리나라 항만 중심 컨테이너 물류·공급 사슬을 디지털화하기 위한 기반연구를 수행했다. 먼저 현재의 공급사슬상 이해관계자와 이들 간 교환되는 핵심 자료 및 정보를 파악하는 데 집중했다. 또한 국내 항만 중심의 수출입 컨테이너 공급사슬에서 자료·정보연계의 문제점 중 하나를 종합 기본계획 부족으로 파악했으며, 이러한 문제를 해결하는 기본계획 수립 개선안을 단계별로 구분해 제시했다(표 2-2).

〈그림 2-2〉 육상운송사 중심 수입 컨테이너 공급사슬상 자료·정보 흐름



자료: 이언경 외(2020), p. 68

이연경·서정용·김효재(2020)는 최상희·이연경·서정용(2019)의 후속연구로 공급사슬에서 자료·정보연계의 방안을 화주 및 포워더, 선사, 터미널 운영사, 육상운송사를 중심으로 조사해 유형화하고(그림 2-2), 현장에서의 애로사항을 파악하는 데 중점을 두었다. 대표적인 애로사항으로는 각 이해관계자의 업무를 위해 자료와 정보를 개별적으로 확인하거나 연락을 통해 파악해 업무상 비효율이 발생한다는 점이었다. 또한 통합 자료·정보공유 플랫폼 도입을 위해 이해관계자의 참여를 독려하기에 현실적인 어려움이 있다는 것이었다.

Di Vaio & Varriale(2020)은 항만 이해관계자 간 업무효율을 디지털 플랫폼과의 연계를 통해 재고 및 재설계하고, 디지털 플랫폼은 항만과 이해관계자의 비즈니스 프로세스를 개선할 수 있음을 밝혔다. TPCS와 GAIA라는 디지털 플랫폼을 채택한 두 이탈리아 항구 사례를 통해 디지털화는 항만운영 프로세스 시간 절감과 종이 문서 감소 측면에서 도움을 줄 수 있음을 입증했다. Srai & Lorentz(2019)는 구매 및 공급사슬 디지털화를 달성하기 위한 기초기술과 심화기술을 분류하고 내·외부적 동인을 구분했다.

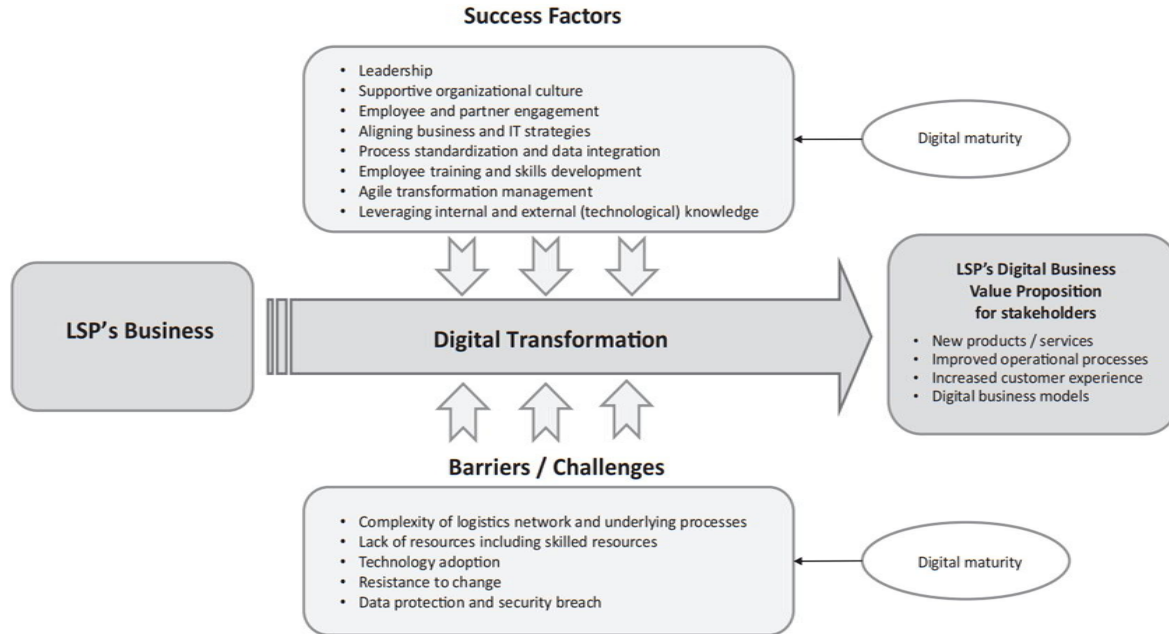
이상윤·임태건(2020)는 블록체인 기술을 중심으로 물류산업의 디지털화 속성을 분석했고, MAERSK사와 IBM사의 트레이드렌즈 추진과정과 성과에 대해 사례 연구를 진행했다. 다만 선행연구와 사례들을 분석해 개선사항을 분류 및 정리함에 따라 향후 물류 디지털화를 위해 구체적인 로드맵 구상을 위한 연구의 필요성을 제시했다.

Syedghorban *et al.*(2020)은 공급사슬 디지털화 관련 연구현황이 불분명함을 인식하고, 300개 이상의 연구논문 검토를 통해 향후 필요한 5개의 세부 연구 분야를 제시했다. 이는 ① 데이터 과학 기반의 공급사슬, ② 공급사슬 민첩성, ③ 디지털 제조 전략을 통한 인간 친화적 제조, ④ 옴니 채널과 사물인터넷, 그리고 ⑤ 리소스 기반 시각으로 구분된다. 해당 연구

분야들은 4차 산업기술과 밀접한 관련이 있으며, 분야-기술 간 일대일 매칭이 아닌 복합적으로 연계돼 있다.

Kittipanya-Ngam & Tan(2020)은 현재 대부분의 공급사슬 관련 연구가 디지털화의 이점에 초점을 맞추고 있음을 지적하며, 식품 공급사슬 디지털화에서 겪을 수 있는 도전과제와 기회를 태국 사례를 통해 조사·연구했다. 소비자들은 더 높은 수준의 교육을 통해 그들이 소비하는 음식에 대한 실시간 정보를 요구하고, 식품의 추적성과 안전성, 지속가능성에 관심을 가지기 시작했다. 이들은 공급사슬의 디지털화가 이러한 니즈를 충족할 수 있는 해법으로 보았다.

〈그림 2-3〉 물류 디지털 전환 시 발생하는 5개 제한요소 및 8개 성공 요인



자료: Cichosz, Wallenburg & Knemeyer(2020), p. 220

Annosi *et al.*(2021) 역시 식품 공급사슬 디지털화의 이점이 아닌 조금 더 현실적인 문제에 초점을 맞췄다. 이들은 디지털 식품 공급사슬의 주체(또는 행위자)들이 음식 쓰레기와 같은 문제를 해결하기 위해 채택하는 협업방식, 디지털 전환의 동인 및 장벽에 대한 연구를 진행했다. 식품 공급사슬에서 다른 역할을 담당하는 관리자들을 대상으로 18개의 심층 인터뷰를 수행하고, 이를 통해 조직 및 식품 공급사슬 프로세스가 디지털화로 인해 어떤 영향을 받는지 조사했다.

Cichosz, Wallenburg & Knemeyer(2020)은 물류 서비스 제공자들이 성공적인 디지털 전환을 위해 필수적으로 고려해야 할 부분을 확인하기 위해 선행된 문헌 조사를 기반으로 9개 글로벌 기업의 사례 분석을 진행했다. 이를 통해 물류 디지털 전환 시 발생하는 5개의 제한요소와 8가지 성공 요인을 제시했다(그림 2-3).

Yang(2019)은 해운 공급사슬에서의 블록체인 활용에 대한 연구를 수행했다. 이들은 블록체인을 활용한 실질적인 디지털화 적용영역과 장래 개선영역을 121명을 대상으로 한 설문과 요인분석을 통해 정의했다. 블록체인 적용영역으로는 종이 문서를 활용한 작업 디지털화 및 완화, 화물추적, 통관 관리로 분류했고, 장래 개선영역으로는 표준화와 플랫폼의 발전, 비즈니스 모델 설계, 규제와 같은 장애물 해결을 소개했다.

Wang & Sarkis(2021)는 디지털 정보통신기술을 기반으로 한 연결성, 물류 생태계 이해관계자들의 협업성, 디지털 기술 기반 부가가치 창출(자본화)을 디지털 기술과 물류가 접목하는 추세로 분류했다. 이러한 추세를 기반으로 신기술 채택과 관련된 분석 모델링, 디지털 공급망 모형화 등 새로운 연구영역을 제시하기도 했다.

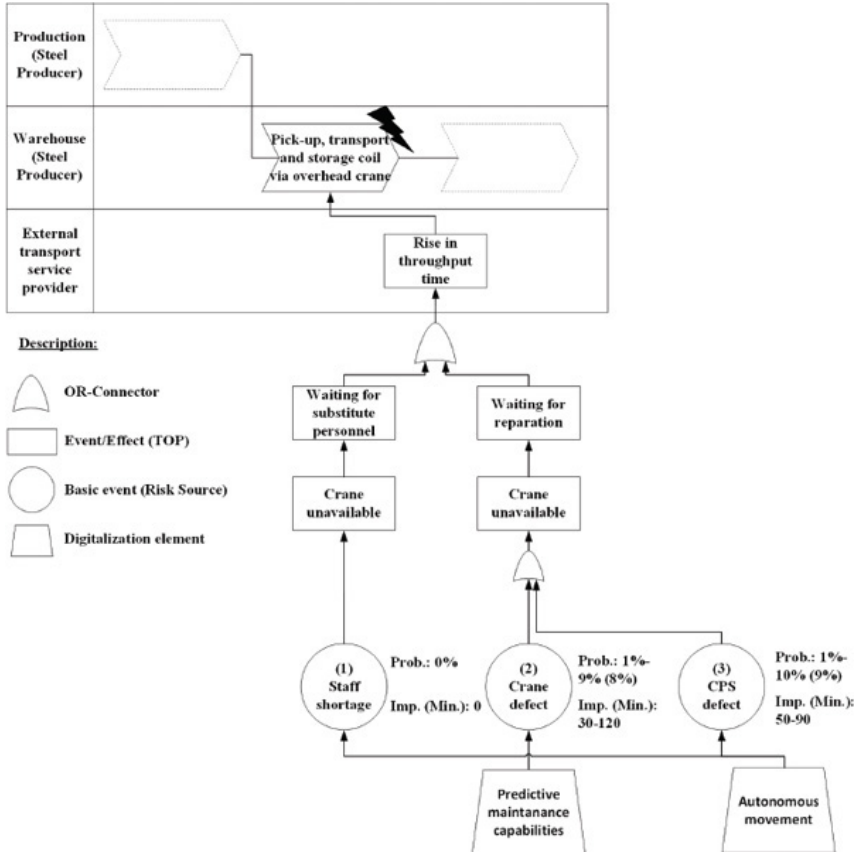
제2절 공급사슬 디지털화 방안

공급사슬 디지털화 방안은 공급사슬 참여자(Node) 또는 참여자 간 물리적·비물리적 연결(Link)에 디지털 기술을 적용하는 방법을 의미하며, 제1절에 소개한 문헌에 간략히 언급된 경우가 많다. 하지만 디지털화 방안을 더욱 구체적으로 언급한 일부 선행연구를 추려 구체적인 방안을 파악해 본 연구에 참고하고자 한다.

Schlüter, Hetterscheid & Henke(2019)은 공급망이 내재한 위험을 관리하기 위해 고려될 수 있는 디지털화 시나리오를 제시하고, 이를 평가하는 프레임워크를 제안했다. 이들이 제시한 프레임워크는 프로세스 확인, 위험 확인, 위험 분석, 위험 평가, 위험 디지털화 그리고 디지털화 시나리오 분석의 총 6단계(Phases)로 구성된다. 이들은 독일 철 생산회사를 대상으로 한 사례 연구를 수행했으며, 예측적 유지기술과 자율화 이송기술 도입을 디지털화 시나리오로 설정했다. 디지털화 전·후를 직원 부족과 기계 결함 측면 등에서 평가했으며(그림 2-4), 실제 데이터 확보의 어려움으로 인해 전문가 집단의 도움으로 위험수준을 정량화했다.

박민호·오진호·하영목(2019)는 디지털 기술 중 하나인 블록체인과 공급사슬 관리의 개념과 목표, 중개자와 데이터 저장 위치, 그리고 관련 핵심기술을 정의한 후 블록체인 기술을 공급사슬 관리에 적용하는 방안을 탐색했다. 이들은 공급사슬 내 방대한 데이터를 활용하지 못하고, 사람이 직접 데이터를 입력하는 현실을 문제로 파악했다. 즉, 블록체인을 도입해 의미 있는 데이터를 저장·활용하게 하고, 디지털 기술을 통해 데이터를 자동·지속적으로 저장하는 것을 디지털화 대안으로 제시했다.

〈그림 2-4〉 철 생산 공급사슬에서 디지털화 대안과 프로세스 모델링



자료: Schlüter, Hetterscheid & Henke(2019), p. 194

유광현(2020)은 공급사슬의 일부로 볼 수 있는 국제운송에서의 블록체인 활용사례를 검토했다. 국제화로 인해 원자재 조달이나 생산 등 물류 활동의 복잡성이 심화하고, 범위 확장으로 인한 비용상승을 우려했고, 이에 대한 해법으로 블록체인 플랫폼 도입을 제시했다. 이는 오프라인으로 수행하는 화물추적, 운송 및 선적예약 등 업무를 온라인으로 수행할 수 있도록 하므로, 비용 경쟁력을 확보하는 데 도움을 줄 수 있음을 언급했다.

Gonzalez *et al.*(2021)은 발틱해에 적용하기 위한 항만 활동 애플리케이션(the Port Activity Application)의 개발과 적용과정 및 결과를 요약했다. 이 애플리케이션은 현존하는 항만·선박 관련 시스템 간 정보 교환 메커니즘을 개선해 상호운용성(Interoperability)을 보장하기 위한 것이다. 즉, 디지털화 대안으로서 이해관계자 간 정보 교환과 다른 시스템 간 상호운용성 개선을 채택했음을 암시한다.

제3절 공급사슬 디지털화 평가

공급사슬 평가를 위해 가장 일반적으로 참고하는 문헌은 공급사슬관리협회(ASCM: Association for Supply Chain Management)¹⁰⁾에서 제공하는 공급사슬 운영 참조모형(SCOR)으로 볼 수 있다. 공급사슬 운영 참조모형은 특정 조직이 공급사슬 프로세스를 개선하기 위한 방법론과 진단 도구를 제공하는 일종의 가이드라인으로 볼 수 있다. 보고서 작성연도를 기준으로, 해당 참조모형은 ‘12.0’까지 공개됐다.

10) (전) 미국 생산 및 재고 관리 협회(APICS: American Production and Inventory Control Society)

〈그림 2-5〉 공급사슬관리협회에서 제공하는 프레임워크



자료: APICS(2017), p. 9

엄밀히 말해, 공급사슬 운영 참조모형은 공급사슬관리협회가 제공하는 프레임워크의 일부만을 차지하며, 해당 프레임워크에는 ① 제품 수명주기 작동 참조모형(PLCOR: Product Life Cycle Operations Reference model), ② 고객체인운영 참조모형(CCOR: Customer Chain Operations Reference model), ③ 설계체인작업 참조모형(DCOR: Design Chain Operations Reference model), ④ 공급망 성능관리(M4SC: Managing for Supply Chain Performance) 역시 포함된다(그림 2-5). 즉, 공급사슬 운영 참조모형은 제품 프로세스 디자인, 판매, 지원 분야 등과의 연계를 복합적으로 고려한 참조모형으로 높은 신뢰도를 가지고 있으며, 이에 따라 여러 선행연구(예: Bukhori, Widodo & Ismoyowatia(2015), Golparvar & Seifbarghy(2009), Kocaoğlu, Gülsün & Tanyaş(2013))에서 활용됨을 알 수 있다.

1. 평가지표 선정

공급사슬 운영 참조모형은 평가 전체를 다루지만, 많은 선행연구에서 평가지표 선정에 활용했다. 이는 공급사슬 평가를 위해 신뢰성(Reliability), 응답성(Responsiveness), 민첩성(Agility), 비용(Cost), 자산관리 효율성(Asset Management Efficiency)으로 구성된 다섯 가지 지표를 제시한다. 신뢰성은 요청받은 대로 업무를 수행할 수 있는 능력을 의미한다. 공정 결과의 예측 가능성에 초점을 맞추며, 적시에 적절한 수량이 공정상 처리되는지 등을 평가한다.

응답성은 관련 업무가 수행되는 속도를 의미하며, 일상적인 비즈니스 수행 속도가 대표적인 속성으로 볼 수 있다. 통상적으로, 작업 관련 시간 주기(Cycle)로 정량화될 수 있다.

민첩성의 경우 속도 관련 요인으로 오해할 수 있으나, 실제로는 외부 영향에 응답하는 능력으로 풀이된다. 이는 예측 불가능한 수요의 변동이나 공급사슬 파트너의 변화, 자연재해, 사이버 테러, 노동 문제 등에 응답하는 위험관리로도 볼 수 있다. 상기한 3개의 평가지표는 고객 중심의 속성으로 분류된다.

비용은 공급망 프로세스 운영비용을 의미하며, 계획부터 회수 단계에 이르기까지 발생할 수 있는 비용들을 포함한다. 대표적인 비용으로는 인건비나 자재비, 시스템비, 운송비 등이 있다. 자산관리 효율성은 공급사슬에 존재하는 자산(예: 재고)을 효율적으로 관리하는 속성을 포함하며, 재고 공급 일이나 현금 흐름, 설비 용량 활용도 등이 대표적이다.

자산관리 효율성의 경우 내부 역량에 집중된 특성으로 볼 수 있다.

〈표 2-3〉 공급사슬 운영 참조모형 속성과 세부 속성

속성(평가지표)	세부 속성(1단계)
신뢰성	• 완벽한 주문 이행
응답성	• 주문 이행 주기 시간
민첩성	• 상부(Upside) ¹¹⁾ 공급망 적응성 • 하부(Downside) 공급망 적응성 • 전반적인 위험 가치
비용	• 총 공급사슬 관리 비용 • 판매상품(또는 매출) 원가
자산관리 효율성	• 현금흐름 주기 • 고정자산 수익률 • 운용자본 수익률

자료: APICS(2017), p. 26을 기반으로 저자 번역

11) Upside와 Downside는 수요의 방향을 의미하며, 수요의 증가는 Upside, 감소는 Downside로 표시 (Bauer & Göbl, 2017, p. 9)

이러한 평가지표 정의에서 볼 수 있듯이 공급사슬 운영 참조모형은 물리적인 상품을 주대상으로 설계된 모형으로 볼 수 있으며, 디지털 자산(예: 자료나 정보)을 대상으로 하는 공급사슬로 활용하기 위해서는 일부 지표 또는 지표의 정의(예: 자산을 정의할 때, 물리적 상품 대신 자료 및 정보로 정의) 수정이 불가피함을 알 수 있다. <표 2-3>은 공급사슬 운영 참조모형에서 제시하는 평가지표를 2단계(속성 및 세부 속성)까지 계층화시켜 보여준다.

서옥환·임성묵(2011)은 자료포락분석(DEA: Data Envelope Analysis)을 활용해 완성차 공급사슬을 평가했다. 공급사슬 운영 참조모형을 기반으로 성과지표 후보를 도출하고, 현장 상황을 고려해 운반비와 현금화 주기, 매출원가, 매출액, 고객점수를 투입 및 산출변수로 채택했다(표 2-4). 자료포락분석을 공급사슬 운영 참조모형과 함께 고려한 점을 학술적 기여로 강조했다.

〈표 2-4〉 공급사슬 운영 참조모형과 투입·산출변수 비교

변수유형	성과지표	공급사슬 운영 참조모형 성과 분야
투입변수	• 매출원가	• 비용
	• 운반비	
	• 순현금화 사이클 시간	• 자산
	• 재고 회전율	
산출변수	• 고객납입 평가점수	• 신뢰성
	• 매출액	• 비용

자료: 서옥환·임성묵(2011), p. 80을 기반으로 저자 수정

최병돈·이돈희(2013)는 의료 공급사슬 관리에서 성공요인을 비교하기 위해 계층화 분석법을 활용했다. 이들은 의료 부문 역시 병원 내 다양한 부서 및 외부 이해관계자로 구성된 복잡한 공급사슬을 수반하기 때문에,

단일 지표로 평가될 수 없음을 인식했다. 이들은 선행연구 기반으로 평가 지표 및 세부지표를 도출했고, 실무전문가 의견을 수렴해 최종적으로 5개의 성과지표와 27개의 세부지표를 선정했다.

Youn *et al.*(2014)은 공급사슬 정보역량(Information capability)을 상호조직 간 정보역량과 상대적 경쟁력으로 분류하고, 이 정보역량이 공급사슬 성능과 참여기업 수준 성능에 얼마만큼의 긍정적 효과를 발생시키는지를 철강산업을 대상으로 설문기반 데이터 분석을 통해 보였다. 이 연구에서는 공급사슬 성능지표로서 공급사슬 유연성, 기업 수준 성능지표로는 고객 반응성과 비용 절감을 활용했다.

Peng *et al.*(2016)은 중국 내 기업을 대상으로 실증데이터를 분석함으로써 공급사슬과 비즈니스 프로세스의 정보역량이 기업의 성능(금융, 시장 확보, 혁신, 평판)에 유의한 영향을 끼친다는 것을 증명했다. DeGroot & Marx(2013)도 유사한 연구를 수행해 정보기술 역량으로 인해 공급사슬이 시장변화에 민감하게 반응하는 정도(민첩성 혹은 반응성이라 정의됨)를 설문조사를 바탕으로 분석했다.

Miri-Lavassani & Movahedi(2018)는 공급사슬 성능측정을 위해 문헌조사를 수행하고 다섯 가지 성능지표(비용, 시간, 반응성, 운영품질, 혁신)를 마련했다. 또한 프로세스 지향성을 네 가지 측정지표(계획, 주문, 생산, 배송)를 기반으로 설문조사를 수행해 이들의 연관성을 조사하고, 공급사슬 성능지표별로 지향되는 프로세스 종류를 분류했다.

Ardito *et al.*(2018)은 세 가지 종류의 프로세스 혁신(생산, 정보기술, 물류활동)이 조직의 경쟁력을 강화하는 개척형 성능지표와 새로운 경쟁력을 확보하는 탐사형 성능지표를 아우르는 좌우 병존 성능에 얼마나 이바지하는지를 조사·분석했다. 제조업을 대상으로 데이터를 설문·수집했고, 분석결과 생산과정과 정보기술에서 프로세스 혁신은 조직의 개척 및 탐사 관련

성능에 긍정적이고 유효한 기여를 할 수 있음을 보였다.

Ongena & Ravesteyn(2020)은 비즈니스 프로세스 관리(BPM: Business Process Management)의 성숙도를 일곱 가지 관점(프로세스 인식, 프로세스 설명, 프로세스 측정, 프로세스 통제, 프로세스 개선, 자원 및 지식, 정보기술)에서 기술하고, 167개 기업을 대상으로 설문 분석을 수행했다. 이를 통해 정보기술, 자원 및 지식, 프로세스 측정이 성숙도를 나타내는 가장 중요한 관점으로 조사됐다. 특히 정보기술 적용 수준은 프로세스 관리의 성숙도를 결정하는 매우 중요한 요인으로 조사됐으며, 이는 규모가 작은 조직일수록 더 유효함을 언급했다.

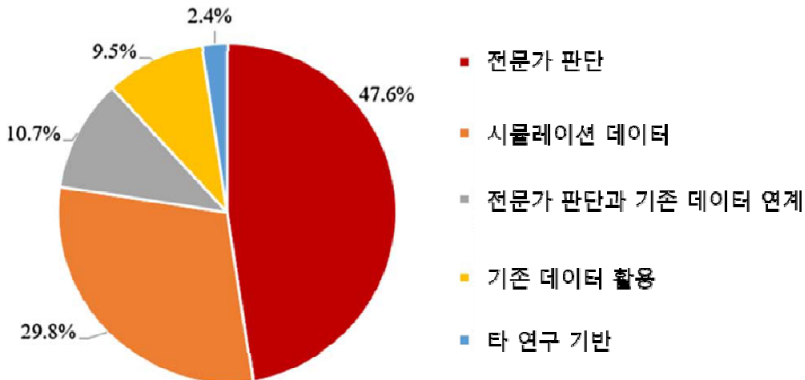
Wamba-Taguimdje *et al.*(2020)은 500개 인공지능 기술이 접목된 비즈니스 프로젝트를 분석해 인공지능 기술이 비즈니스 가치를 창출하는 데 이바지할 뿐만 아니라, 이를 구성하는 기업의 조직 및 프로세스 성능에 긍정적인 기여를 한다는 것을 설명했다. 즉, 인공지능 기술이 비즈니스 프로세스의 자동화 효과(효율성, 신뢰성, 관례화), 정보화 효과(반응성, 의사결정 품질, 자원관리), 변화관리(서비스 강화, 경영혁신, 재설계, 경쟁력, 신뢰구축)에 공헌함을 문헌조사와 인공지능 접목 비즈니스 프로젝트 보고서들을 분석해 설명했다.

Rasool, Greco & Grimaldi(2021)은 체계적 문헌 검토를 통해 디지털 공급사슬 성능을 평가하는 지표 관련 문헌을 조사하며 디지털 공급사슬 평가지표 선정에 관한 연구가 매우 부족함을 발견했다. 다시 말해, 공급사슬 평가지표를 포함해 디지털 공급사슬의 정의나 효과에 관한 일반적인 연구는 많지만 이를 적절하게 평가하는 지표를 선정하는 연구는 충분치 않다고 볼 수 있다.

2. 평가 방안

모든 평가 방안의 기초는 자료확보로 볼 수 있지만, 현장과 관련된 대상을 분석하거나 평가하는 방법 대부분은 설문조사를 기초로 한다. 이는 평가 기준에 해당하는 실제 값은 관찰 또는 수집되기 어렵고, 설문대상자 집단의 규모가 커질수록 결과의 객관성이 강화되기 때문이다. 실제로, 공급사슬 성능 평가에 대한 문헌 조사를 수행한 Lima-Junior & Carpinetti(2017)는 선행연구의 10% 미만이 실제 데이터만을 활용했음을 밝혔다(그림 2-6).

〈그림 2-6〉 공급사슬 평가 연구에서 활용 데이터 출처



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

다기준 의사결정론에 근거한 평가 방안은 다양하며, 주로 활용되는 방식은 규준화(Normalisation)를 통한 단순비교, 자료포락분석, 계층화 분석법(AHP: Analytic Hierarchy Process)으로 볼 수 있다. 규준화를 통한 단순비교는 평가요소들이 동일한 단위(예: 원화로 환산할 수 있는 비용)를 가지고 있을 때 쉽게 활용될 수 있다. 하지만 현실에서 다기준 의사결정 문제는 정성, 정량적인 평가요소를 모두 반영해야 하므로 실질적인 활용영역이 매우 제한된다.

자료포락분석은 입력요소와 출력요소의 구분이 명확할 때, 평가요소의 수와 관계없이 효율적인 의사결정을 지원하는 방법이다. 유사한 평가요소의 그룹화나 계층을 고려하지 못하고, 절대적인 크기를 기준으로 판단해 수치가 커질수록 부정적인 평가요소가 포함되는 경우(예: 평균 대기시간, 별도의 변환이 필요하다.

계층화 분석법은 평가요소가 그룹화·계층화될 때 유용한 의사결정방법으로, 목적과 대안, 평가요소, 세부 평가요소를 그룹화·계층화하고(그림 2-7), 세부 평가요소별, 평가요소별 가중치를 산정해 가장 선호되는 대안을 선택한다. 이는 단독으로 활용되는 경우도 많으나, 퍼지이론이나 TOPSIS (Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution)와 융합돼 사용되기도 한다. 퍼지이론(Fuzzy theory)은 인간의 응답이 가지는 모호성을 분석과정에서 고려하도록 한다.¹²⁾ TOPSIS는 각 대안이 가지는 특성이 이상적 대안(Ideal Solution)에 얼마나 가까운지를 추정할 수 있도록 한다.¹³⁾

계층화 분석법은 설문조사를 기반으로 수행되므로 응답자의 주관적 판단에 영향을 받는다. 많은 경우, 응답자의 선택지 간 모호성이 설문 조사지에 반영되기 어려우며, 이로 인해 설문 일관성에 문제가 생기기도 한다. 이러한 단점을 보완하기 위해, 설문 응답에 모호성을 부여하고, 이를 분석 프로세스에서 드러나도록 하는 방법이 퍼지이론이다. 즉, 설문조사 결과를 단편적인 값(Crisp)으로 보지 않고, 이를 퍼지화한 범위 값(Fuzzification)¹⁴⁾으로 변환해 분석한다. 퍼지이론은 대안평가에 있어 주관적이고 함축적인 인간의 지식(Subjective and implicative human knowledge)이 필요하고 이를 평가방식에 반영할 때 주로 사용된다.¹⁵⁾

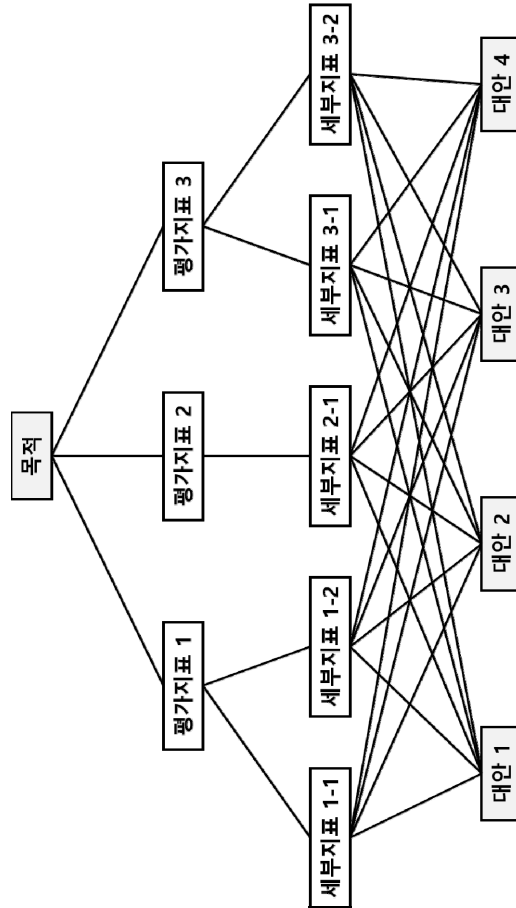
12) Pan(2008), p. 958.

13) Mesran, M., *et al.*(2021), p. 661.

14) 함수로 표현

15) Boral *et al.*(2020), p. 2.

〈그림 2-7〉 의사결정 문제의 계층화



자료: 저자 작성

TOPSIS는 개념적으로 평가대상이 되는 각 대안이 모든 평가요소에서 이상적인 값을 갖는 이상해(Ideal solution or alternative)와 어느 정도 괴리가 있는지 파악한다. 이는 특정 대안이 특정 평가지표에 대해 유의미한 우수성을 보일 때 유용할 수 있다. 하지만 각 대안이 비교적 새로운 것이라면 특정 항목에서 우수성이 무의미할 가능성이 크므로, 활용에 신중할

필요가 있다.

Paradowski, Więckowski & Dobryakova(2020)은 TOPSIS 방법이 항상 옳은 결과를 가져오지 않음을 연구를 통해 밝혔다. 이들은 TOPSIS 방법에서 의사결정에 활용하는 행렬을 표준화(Normalisation)할 때, 잘못된 방법을 적용한다면 신뢰할 수 없는 분석 결과가 나올 수 있음을 보였다. 표준화는 행렬의 각 요소를 0과 1 사이의 값으로 만드는 행렬연산의 한 형태로 방법이 매우 다양하며, 이는 분석자가 적절한 표준화 방식을 선택하기 더욱 어렵게 만든다.

Seçme, Bayrakdaroğlu & Kahraman(2009)은 터키 상위 5개 상업은행을 대상으로 퍼지 계층화 분석법과 TOPSIS를 결합한 모델을 적용해 평가하는 응용연구를 수행하였다. 퍼지 TOPSIS가 아닌 일반 TOPSIS를 적용했기 때문에, 퍼지 계층화 분석법의 모델링에서 디퍼지화한(De-fuzzified) 표준화된 가중치(Normalised weights) 결과를 TOPSIS의 대안별 가중치로 적용했다.

Wang, Cheng & Huang(2009)은 이를 통해 Chen(2000)이 개발한 퍼지 TOPSIS를 개선하고자 Chen & Cheng(2005)에서 쓰이는 퍼지 긍정적인 해(FPIS: Fuzzy Positive Ideal Solution) 및 퍼지 부정적인 해(FNIS: Fuzzy Negative Ideal Solution)와의 거리측정함수를 재검토하고 이를 단순화했다. 또한 퍼지 계층화 분석법과 퍼지 TOPSIS를 결합하는 알고리즘을 개발하고 이를 제시하였다. 즉, 퍼지 계층화 분석법에서 추정된 퍼지 가중치를 퍼지 TOPSIS의 대안별 가중치로 받아들이고 FPIS, FNIS와 각 대안별 거리를 새로 개발한 거리측정함수를 적용하였다. PIS와 최대한 가깝고 FNIS와 최대한 거리가 먼 대안을 최종 선정하는 규칙도 제시하였다.

Rostamzadeh & Sofian(2011)은 생산 라인의 일곱 가지 운영요소인 관리, 인력, 마케팅, 방법, 기계, 재료 및 화폐(7Ms: Management, Manpower,

Marketing, Method, Machine, Material, Money)가 생산시스템의 성능개선에 얼마나 영향을 끼치는지를 평가했다. 퍼지 계층화 분석법과 퍼지 TOPSIS를 결합한 모형화를 적용하고 분석결과를 계층화 분석법, 퍼지 계층화 분석법, 퍼지 TOPSIS와 벤치마킹해 알고리즘의 우수성을 증명했다. 이 연구에서는 설문조사를 통해 수집한 정보들과 평가지표의 계층구조를 반영한 사례 또한 제시했다.

Jia, Fan & Guo(2012) 역시 퍼지 계층화 분석법과 TOPSIS를 혼합한 모델링 방식을 이용해 세계 47개국의 저탄소개발 현황을 비교·평가했다. 전문가 집단의 주관적 응답(Linguistic responses)을 퍼지화하는 단계를 거쳐 TOPSIS로 양의 이상해(PIS: Positive Ideal Solution) 및 음의 이상해(NIS: Negative Ideal Solution)와의 거리를 측정해 상대 평가를 수행하였다. Vinodh, Prasanna & Prakash(2014) 역시 퍼지 계층화 분석법과 퍼지 TOPSIS를 결합해 플라스틱 재활용 대안을 평가하는 연구를 수행하였다. 즉, 퍼지 계층화 분석법에서 구한 표준화된 퍼지 가중치를 퍼지 TOPSIS의 대안별 가중치로 적용했다.

Govindan, Mangla & Luthra(2017)은 퍼지 계층화 분석법을 적용한 인도의 제조회사 사례 연구를 통해 공급사슬 평가지표 간 우선순위를 도출했다. Kumar & Garg(2017)는 지속가능한 공급사슬(SSC: Sustainable Supply Chain)의 성과지표를 도출하고, 이들의 순위를 파악하기 위해 퍼지 계층화 분석법을 활용했다. 인도의 자동차 산업 분야를 대상으로 사례 연구를 수행했으며, 환경적·사회적 영역이 지속가능성에 더 영향력이 있음을 밝혔다.

Butdee & Phuangsalee(2019)는 버스 차체 제조 공급망에 대한 위험 관리요소를 파악하고, 이들의 중요성을 계층화 분석법과 퍼지 계층화 분석법을 통해 도출했다. 자동차 업체는 다양한 종류의 부품을 단기간에 생산

하는 경우가 많아 공급망에서의 위험관리를 공급망 성능의 핵심으로 여겼다. 이들은 공급사슬 운영 참조모형에서 분류한 계획(Plan), 조달(Source), 수·배송(Delivery), 생산(Make) 및 반품(Return) 영역에서 세부지표를 도출해 활용했다.

Ganguly & Kumar(2019) 역시 공급사슬 위험관리에 초점을 맞춰 평가 지표와 세부평가지표를 선행연구를 통해 정의하고 이들의 중요도를 파악했다. 이들은 공급사슬 위험관리의 4대 지표로 미시적 공급사슬 위험, 재무 위험, 정보 위험, 생산 위험으로 구분하고, 각 평가지표하 4개의 세부지표를 각각 정의했다. 이에 대한 중요도를 퍼지 계층화 분석법을 통해 평가했다. 삼각퍼지함수와 기하평균 등 일반적인 방법을 활용했다.

Hossain & Vikas(2021)은 스마트하고 지속가능하며 회복력 있는(SSR: Smart, sustainable and resilient) 건강관리 공급사슬(HCSC: Healthcare Supply Chain) 평가 연구를 수행했다. 이들은 가장 일반적이면서도 검증된 형태의 퍼지 계층화 분석법을 활용했으며, 공급사슬 정보시스템의 프로세스 조정 및 통합, 유연성이 가장 중요한 평가요소임을 밝혔다.

Patidar, Sharma & Agrawal(2021)은 식품 공급망에서의 추적성(Traceability)에 주목했다. 이들은 견실한 추적성이 생산과 가공, 유통 단계에서 발생 가능한 제품 품질 저하 현상을 최소화할 것으로 여겼다. 식품 품질 등 16개의 추적성 동인을 파악하고, 전문가 합의체(Panel)로부터 입력값을 받아 계층화 분석법과 퍼지 계층화 분석법을 활용해 동인들의 중요도를 평가했다. 정보와 관련된 추적성 동인들이 1, 2, 4, 6위의 중요도를 차지함으로써 환경이나 사회, 환경적 동인보다 관심을 받고 있음을 알 수 있었다.

그 외로, 신혜경·홍유신(2007)은 공급사슬 운영 참조모형을 기반으로 성과지표를 도출하고, 만족도 함수를 활용한 공급사슬 성과측정 프레임워크

를 제시했다. 만족도 함수는 다양한 단위를 갖는 관찰 값을 단일 척도로 비교·측정하기 위한 함수이므로, 다양한 종류의 평가지표를 갖는 공급사슬을 평가하는 데 유용하다고 여겼다.

제4절 소결

연구계에서는 디지털화의 중요성을 인식하고, 항만과 물류 및 공급사슬 분야에서도 디지털화에 관한 연구가 지속해서 수행됐음을 알 수 있었다. 항만 디지털화 부문에서는 디지털화를 현재 항만의 문제점을 해결하는 해결책으로 인식하거나(이연경 외, 2017), 스마트화와 디지털화를 유사하게 인식하기도 한다(이연경·이수영, 2019). 디지털화 달성의 핵심(Inkinen, Helminen & Saarikoski, 2019)이나 활용과 적용기술(Anwar, Henesey & Casalicchio, 2019)에 관한 연구가 진행되기도 했다. Gurning(2019), 이태휘(2020), Kapkaeva *et al.*(2021)은 사례 연구를 통해 항만 디지털화에 관해 연구했다.

물류 및 공급사슬 부문에서 역시 이충배·노진호·김정환(2017)이 수행한 연구처럼 디지털화 기술에 초점을 맞춘 연구가 일부 발견된다. 또는 디지털 플랫폼과 같은 개념적인 디지털화 대안을 소개하고, 업무 개선 가능성을 언급하는 연구(Di Vaio & Varriale, 2020)가 수행됐고, Kittipanya-Ngam & Tan(2020)과 Annosi *et al.*(2021)과 같이 공급사슬의 영역을 한정함으로써 특정 분야를 위한 연구를 수행한 연구도 다수 존재한다.

본 연구와 유사도가 높은 Yang(2019)의 연구는 해운 공급사슬에서 블록체인 활용에 관한 연구를 수행했으나, 애로사항 중심의 대안 도출이라기보다 기술 중심의 대안 도출로 볼 수 있어 본 연구와는 차이가 존재한다.

최상희·이연경·서정용(2019) 역시 우리나라 항만 중심의 컨테이너 물류와 공급사슬 디지털화를 연구해 본 연구와 유사도가 높다. 하지만 구체적인 대안보다는 개념적 접근에 그쳤다.

공급사슬 디지털화 방안에 대한 연구는 일부 발견되기는 하지만, 상대적으로 관심을 적게 받은 연구영역으로 볼 수 있었다. 물론, 많은 연구에서 디지털화 방안이나 대안을 제시하긴 하지만 개념적인 수준에 그친 경우가 많다. 또한 현장 니즈 중심의 대안 도출이라기보다는 4차 산업혁명 기술과 같은 신기술의 적용영역을 찾아 디지털화 대안을 설계하는 기술 중심의 대안 도출로 볼 수 있어 현장 적합도가 높다고 볼 수 없다. Schlüter, Hetterscheid & Henke(2019)과 같이 철 생산회사의 사례 연구를 통해 실질적인 디지털화 대안을 설계한 연구가 존재하지만, 업무 프로세스의 차이 등으로 인해 항만 컨테이너 공급사슬에 적용하기는 적절하다고 볼 수 없다.

공급사슬을 포함한 디지털 공급사슬과 공급사슬 디지털화에 관한 평가지표 관련 문헌은 다양했으나, 본 연구와는 차이가 있었다. 대표적인 문헌은 공급사슬 운영 참조모형으로 볼 수 있는데, 이는 수요예측이나 재고 관리 등 물리적인 제품을 대상으로 하는 공급사슬을 위한 것이므로 디지털 공급사슬을 평가하는 지표로 활용하기에는 일부 적합하지 않을 수 있다. 다만, 공급사슬 운영 참조모형은 타 연구에 자주 활용됐으며, 실제로 선행연구에서 자주 활용된 다섯 가지 방식 중 하나로 분류되기도 한다.

선행연구에서는 완성차 공급사슬(서옥환·임성묵, 2011)이나 의료 공급사슬(최병돈·이돈희, 2013)을 평가하는 지표를 제시하기도 했다. 본 연구와 유사도가 높은 일부 연구들에서는 정보역량을 핵심 지표로 선정하기도 했으며(Youn *et al.*, 2014; Peng *et al.*, 2016), 이는 본 연구에서 데이터·정보관리 관련 성과지표가 필요함을 인식하는 계기를 제공하기도 했다.

하지만 Rasool, Greco & Grimaldi(2021)이 언급한 대로 디지털 공급사슬 성능을 평가하는 지표 관련 연구는 매우 부족하며, 이를 항만 컨테이너 공급사슬로 한정한다면 더욱 참고할 만한 문헌이 없음을 암시한다.

공급사슬 디지털화 평가 방안에 관한 연구는 앞선 두 개의 분야와 연계되는 경우가 많다. 많은 경우 다기준 의사결정론에 근거한 연구가 많았고, 특히 계층화 분석법을 활용한 경우가 많았다. 계층화 분석법의 경우, 인간 응답의 모호성에 취약한 설문을 기반으로 하는 단점이 존재하지만, 이를 보완하는 퍼지이론과 결합하거나 일관성을 확보하도록 설문 단계에서 노력을 기울이는 등 단점을 보완할 수 있으므로 연구자들이 선호하는 방법으로 생각할 수 있었다. 다만 TOPSIS의 적용에는 신중을 요구하는 연구가 존재했다.

유의미한 발견 중 하나는 많은 공급사슬 평가연구가 실제 데이터를 기반으로 수행되지 못했다는 것이다. Lima-Junior & Carpinetti(2017)의 연구에서 밝힌 바와 같이, 실제 데이터를 기반으로 한 연구는 불과 10%에 불과했다. 선행연구의 약 절반(47.6%)이 전문가의 판단에 근거해 도출한 데이터를 기반으로 연구를 수행했고, 30%는 시뮬레이션 데이터를 근거로 연구를 수행했다. 이는 디지털 공급사슬의 평가지표 각각에 대해 현재의 시스템이 적절한 데이터를 제공하지 못함을 의미한다. 후술하겠지만, 본 연구에서 도출된 평가지표 역시 관련 실측 데이터가 존재하지 않았으며, 시뮬레이션을 통한 데이터 생성 역시 적절하지 않았다. 그러므로 관련 분야의 전문가를 섭외해 설문을 수행하고, 분석의 기초 데이터로 활용했다.

선행연구 대비 본 연구의 차별성을 <표 2-5>와 같이 정리될 수 있다. 본 연구에서 제시하는 항만 컨테이너 물류 프로세스 디지털화를 대상으로 한 ‘디지털화 대안선정-평가지표 도출-평가’ 모형을 제시한 연구는 찾아볼 수 없고, 이를 본 연구의 핵심 차별성으로 정리할 수 있다. 타 연구대상을 중

심으로 한 연구에서도 이와 같은 접근을 취하지 않았으며 대부분 개념적인 디지털화 수준에 그쳤다. 또한 다양한 이해관계자가 복잡하게 얽힌 항만 컨테이너 공급사슬과 환경적 차이로 인해 유의미한 디지털화 대안을 찾을 수 없었다. 관련 연구들은 분석법을 특화하기보다, 각자 연구대상의 특성에 맞는 디지털화 대안과 평가지표를 도출하려 했으나, 현장의 애로사항 중심으로 해결 방안과 대안을 도출하지 못한 채 기술 중심의 해법에 그쳤으며, 공급사슬 디지털화를 대상으로 한 평가지표 관련 연구는 부족했다.

〈표 2-5〉 본 연구 대비 선행연구의 한계

검토 영역	본 연구	본 연구 대비 선행연구의 한계
연구 대상	항만 컨테이너 물류 프로세스 디지털화	- 항만 컨테이너 공급사슬을 대상으로 한 연구 대부분은 개념적 디지털화 대안을 제시하거나 디지털화에 대한 장점을 주로 언급 - 제조나 식품 공급사슬 등 타 분야에서 디지털화 관련 연구를 수행했으나, 이해관계자가 복잡하게 얽힌 항만 컨테이너 물류 프로세스와는 차이가 존재함
연구 목적	디지털화 대안 도출, 평가지표 선정 및 평가로 구성된 디지털화 모형 제시	- 본 연구와 같이 세 가지 핵심 절차를 하나의 모형으로 묶어 제시하기보다는, 간략히 디지털화 대안을 소개하고, 이의 장점을 언급 - 대안을 평가하는 연구가 존재하지만, 연구대상이 본 연구와 일치하지 않음
연구 범위	- 현장 니즈 기반 물류 프로세스 디지털화 대안 도출(애로점 기반 해결 방안을 도출하고, 이를 포함한 디지털화 대안 정의) - 객관적이고 검증된 물류 프로세스 디지털화 평가지표 선정(공급사슬 운영 참조모형, 연구진 브레인스토밍 및 선행 연구와 교차검증 - Lima-Junior & Carpinetti(2017)의 방안 일부 조합) - 항만·물류 전문가 설문을 통한 대안 평가(퍼지 계층화 분석법 활용)	- 대부분 대안 도출 과정은 생략했으며, 기술 중심 디지털화 대안 도출이 빈번하고, 산업계에서 대부분 인식하고 있는 개념적 디지털화 대안(데이터·정보 공유 플랫폼 도입)이 선행연구에 등장 - Lima-Junior & Carpinetti(2017)의 5개의 지표선정 방식 중 하나를 택함 - 설문대상이 불명확하거나 항만 컨테이너 물류 프로세스와 관련된 다양한 분야 전문가를 설문대상에 포함하지 않음

검토 영역	본 연구	본 연구 대비 선행연구의 한계
종합	항만 컨테이너 물류 프로세스 디지털화를 대상으로 한 '디지털화 대안선정-평가지표 도출-평가' 모형 관련 연구 부재	

자료: 저자 작성

본 연구는 현장 애로사항을 기반으로 대안을 도출해 항만 컨테이너 물류 프로세스의 디지털화 대안을 상세히 제시하며, 관련 문헌을 체계적으로 검토해 객관적이고 검증된 물류 프로세스 디지털화 평가지표를 제시한다. 이는 선행연구에서 빈번히 활용된 계층화 분석법과 퍼지 계층화 분석법으로 평가된다.

03

항만 수출입 컨테이너 물류 프로세스 디지털화 대안 설정

제3장의 항만 수출입 컨테이너 물류 프로세스는 컨테이너의 이동을 수행 또는 지원하는 이해관계자 간 업무 프로세스를 나타내며 물류 프로세스의 범위는 항만을 중심으로 한 수입 인바운드와 수출 아웃바운드 데이터·정보의 흐름이다. 디지털화란 업무 프로세스에서 활용되는 데이터와 정보가 이해관계자 간 이동 또는 공유되는 시스템의 수준을 의미한다. 예를 들어, 물류 프로세스 관련 정보가 담긴 종이 문서가 인편을 통해 전달되고 이러한 정보가 물류 프로세스 내에서 체계적으로 관리되지 않는다면, 디지털화의 수준이 낮다고 여겨질 수 있다. 반대로 데이터·정보의 이동과 공유가 자동화된 시스템에 의해 수행되고 물류 프로세스 데이터가 체계적으로 관리된다면, 디지털화 수준이 높다고 볼 수 있다.

본 장에서는 항만 수출입 컨테이너 물류 프로세스 디지털화 대안을 설정하는 일련의 과정을 설명한다. 제1절에서는 현재의 대상 물류 프로세스(As-Is)를 수출입으로 나눠 정의한다. 이 과정에서 선행연구에서 정리된 물류 프로세스를 통합하고, 통합과정에서 발생하는 작업 세부도¹⁶⁾ 불일치 문

16) 즉, Level of work detail.

제를 해결한다. 이와 같은 정의를 바탕으로 현황을 파악하고, 이를 기반으로 물류 프로세스상 문제점을 파악·유형화한다. 제2절에서는 유형화된 문제점에 대응하는 물류 프로세스 디지털화 대안을 설정한다. 본문에서는 기존 시스템 유지를 포함해 총 4개의 대안이 제시됐다.

제1절 항만 수출입 컨테이너 물류 프로세스

항만 컨테이너 물류 프로세스의 디지털화 대안을 선정하기에 앞서, 항만 중심의 컨테이너 수출입 물류 프로세스를 이해하고, 현 물류 프로세스의 문제점을 파악·유형화하는 것이 선행돼야 한다. 특히 구체적인 대안 도출을 위해서는 가능한 한 자세히 현재 프로세스를 이해할 필요가 있다.

본 연구에서 정의하는 항만 수출입 컨테이너 물류 프로세스는 핵심 이해관계자인 터미널 운영사, 선사, 화주 및 포워더, 육상운송사, 검정·검수사, 창고운영사, 관세청, 해수부, 항만공사, 출입국검역소의 업무를 대상으로 한다. 이들이 수출입 인·아웃바운드 물류 프로세스에서 담당하는 업무를 정의하고, 업무의 선·후를 파악하며, 업무수행에 활용되는 데이터와 정보의 흐름을 도식화해 항만 수출입 컨테이너 물류 프로세스의 이해를 돕도록 한다.

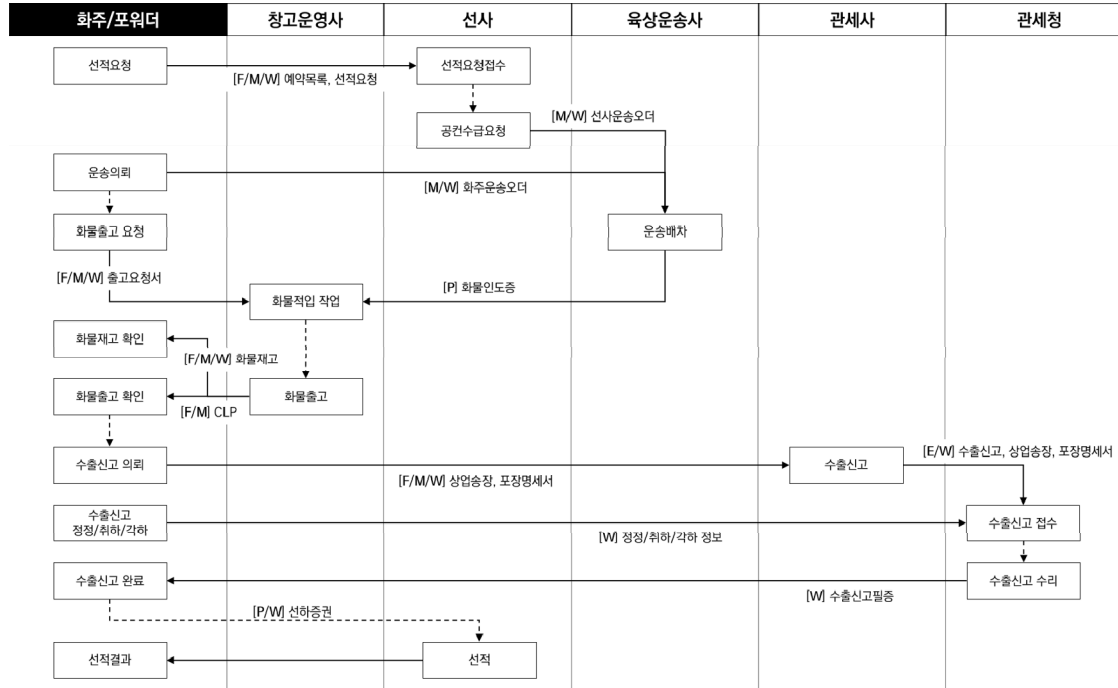
선행연구에서 언급된 바와 같이, 항만을 중심으로 일어나는 수출입 물류 프로세스나 디지털 공급사슬을 정의하는 연구 또는 관련 업무는 기존 문헌에 일부 정리됐다. 본 연구의 모태가 된 『디지털 공급사슬 물류정보통합 구축전략 연구(II)』¹⁷⁾에서는 육상운송사, 선사, 화주 및 포워더, 터미널 운

17) 이연경 외(2020)

영사를 중심으로 한 항만 중심의 수출입 컨테이너 디지털 공급사슬이 제시됐다. 해당 연구에서는 각 이해관계자를 중심으로 한 업무를 별도로 구분해 제시했다(그림 3-1). 이러한 표현방식은 개별 이해관계자 입장에서 업무를 세부적으로 파악하는 데 도움이 되지만, 공급사슬 전체의 관점에서 물류 프로세스를 파악하는 데 다소 어려움이 있다. 이는 해당 그림에서 중심이 아닌 타 이해관계자¹⁸⁾의 업무는 단순화돼 표현되기 때문이다.

18) 화주/포워더를 제외한 나머지 이해관계자

〈그림 3-1〉 수출 프로세스상 화주 및 포워더 중심 정보흐름

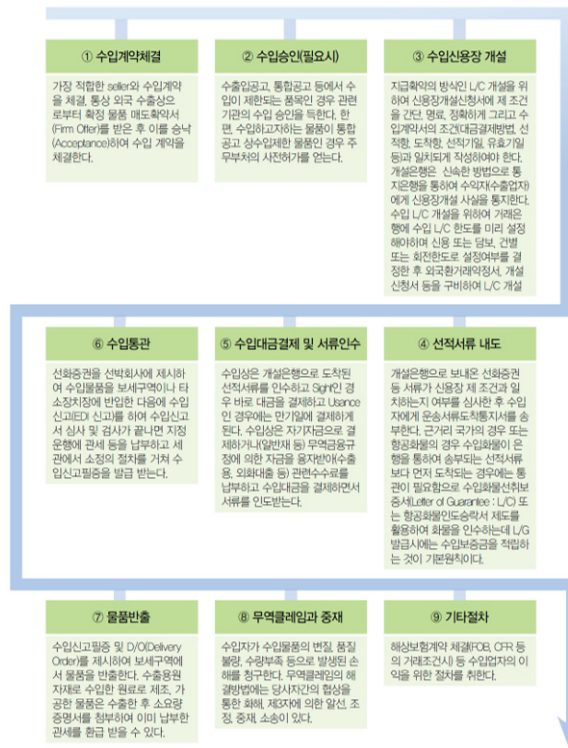


표시
정보 → 방식
전달정보
업무/정보연결 →
업무만 연결 - - - - -
전달방식
종이 : Paper
전화 : pHone
팩스 : Fax
메일 : eMail
EDI : Edi
WEB : Web
모바일 : mObile

자료: 이언경·서정용·김효재(2020), p. 37

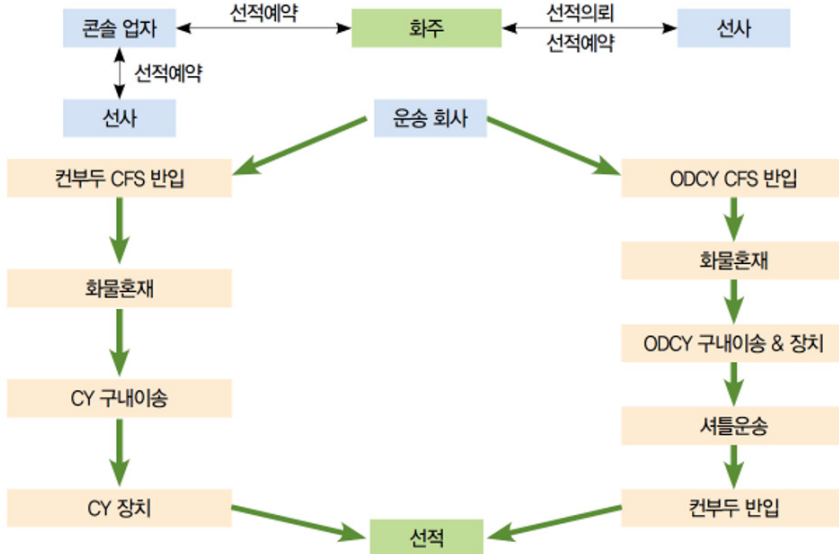
수출입 물류 프로세스와 업무 프로세스를 정리한 가장 대표적인 자료는 국토해양부에 의해 2013년에 작성돼 국가물류통합정보센터에서 내려받을 수 있는 「한국의 수출입물류 프로세스」다. 이 자료는 해외에 있는 우리나라 물류기업의 실무를 지원하기 위해 국토해양부에서 만든 교재로 실무에서 교환하는 서류와 계약 절차 등에 초점이 맞춰져 있거나(그림 3-2), 화물의 이동경로를 파악하는 데 중점을 두었다(그림 3-3). 이는 실무적인 업무 프로세스를 이해하는 데 도움이 되지만, 이해관계자 중심의 업무순서를 파악하기는 어렵다.

〈그림 3-2〉 수입 절차 흐름도



자료: 국토해양부(2013), p. 18

〈그림 3-3〉 컨테이너 로드 이하(LCL) 수출화물의 이동경로



자료: 국토해양부(2013), p. 32

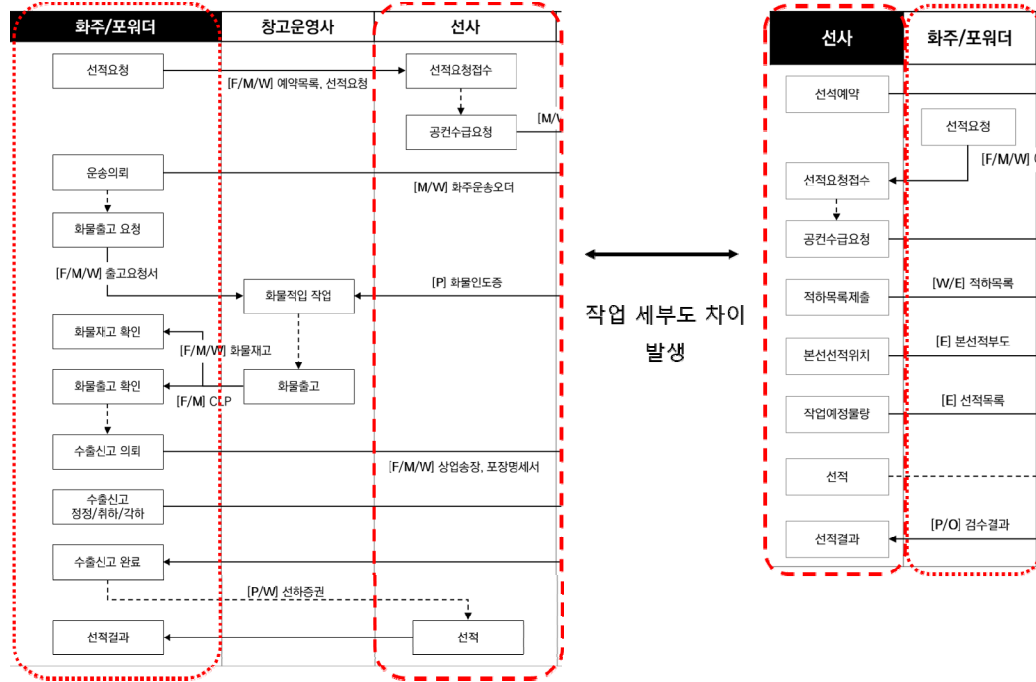
본 연구의 목적에 부합하는 수출입 물류 프로세스를 파악하기 위해서는 이연경·서정용·김효재(2020)에서 제시한 각 이해관계자 중심으로 그려진 업무 프로세스를 하나로 통합할 필요가 있다. 하지만 앞서 설명한 바와 같이 각 이해관계자의 관점에서 물류 프로세스가 표현됐기 때문에, 이를 통합하는 과정에서 불일치가 발생한다. 예를 들어, 화주 및 포워더 중심으로 도식화한 물류 프로세스는 육상운송사 관점에서 핵심 업무가 단순화될 수 있으므로, 육상운송사 입장에서 도식화한 업무 프로세스에서 연계되는 화주 및 포워더의 업무와 차이가 발생한다. 후술할 세부 절에서는 다른 이해관계자 관점에서 도식화된 업무 프로세스를 하나로 합치는 과정에서 발생하는 문제점을 확인하고, 이를 해결해 항만 컨테이너 수출입 물류 프로세스를 도출, 세부적으로 설명한다.

1. 수출 컨테이너 물류 프로세스

본 세부 절에서는 이연경·서정용·김효재(2020)에서 도출한 화주 및 포워더, 선사, 터미널 운영사 그리고 육상운송사 각각의 물류 프로세스를 통합해 하나의 스웜레인 다이어그램(Swimlane Diagram)으로 나타낸다. 이러한 통합과정에서 발견한 문제점을 확인한 후, 이를 해결하는 통합방안 역시 소개한다.

〈그림 3-4〉는 작업 불일치 사례를 보여주며, 이는 대부분의 이해관계자 간 업무 프로세스를 통합할 때 발생한다. 해당 그림은 가장 대표적인 사례인 화주 및 포워더 중심의 물류 프로세스(그림 좌측)와 선사 중심의 물류 프로세스(그림 우측) 간 작업 세부도(Level of detail)의 차이를 보여준다. 화주 및 포워더의 입장에서는 ① 예약목록을 선사에게 전송함으로써 수행되는 선적요청과 ② 선사가 선적 이후 선적결과를 통지하는 업무가 선사와 연계되는 주업무이다. 이에 반해, 선사의 입장에서 그린 물류 프로세스에서는 선석 예약을 포함해 선석 요청 접수, 공컨 수급 요청, 적하목록 제출 등의 주요 업무가 표현된다. 이러한 작업 세부도 차이는 통합 물류 프로세스를 도출할 때 어느 수준의 작업 세부도를 중심으로 통합할지 결정을 요구한다.

〈그림 3-4〉 화주 및 포워더-선사 중심 수출 물류 프로세스 간 작업 세부도 차이



자료: 이언경·서정용·김효재(2020), p. 37, p. 50 기반으로 저자 수정

〈그림 3-5〉는 본 연구의 물류 프로세스 통합 개념을 도식화해 보여준다. 먼저, 좌측 상단을 보면 이연경·서정용·김효재(2020)의 화주 및 포워더 중심으로 그려진 물류 프로세스로부터 해당 이해관계자의 업무만 추출한 단위 그림을 확인할 수 있다(빨간 점선 상자 및 빨간 실선 화살표). 파란 막대들은 각 이해관계자의 업무 묶음을 나타내고, 진한 정도는 작업 세부도를 나타낸다. 그리고 막대 위의 숫자는 이해관계자를 숫자로 단순화해 표기한 것이다. 터미널 운영사 중심의 막대 집합을 예로 들면(그림 우측 상단), 터미널 운영사의 업무를 의미하는 2번째 파란 막대가 가장 진하게 표기됐고, 1, 3, 4에 해당하는 화주 및 포워더, 선사, 육상운송사의 업무를 의미하는 막대들은 중간 수준으로 진하게, 나머지 이해관계자 업무를 의미하는 막대들은 가장 얇게 그려졌다.

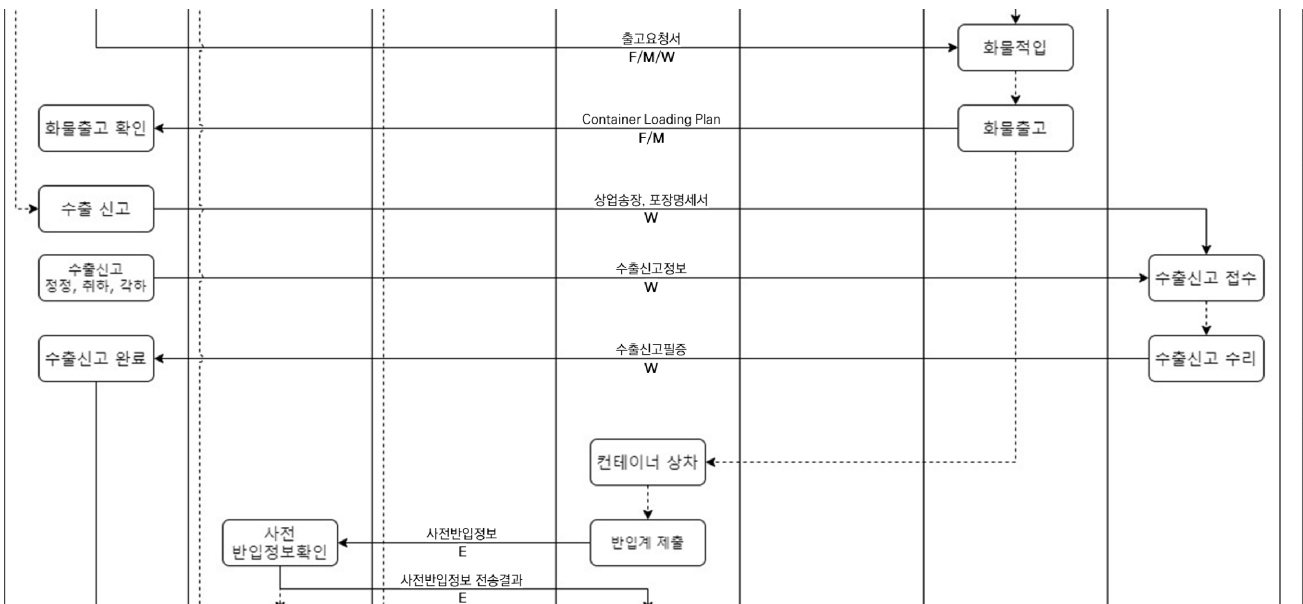
항만 중심 수출 컨테이너 물류 프로세스 통합도(圖)에서는 가장 세부적인 수준으로 물류 프로세스를 통합한다. 이는 현황에 대해 가능한 한 세부적으로 표현함으로써 애로점을 파악하고 이에 대한 디지털화 대안을 효과적으로 도출하기 위함이다.

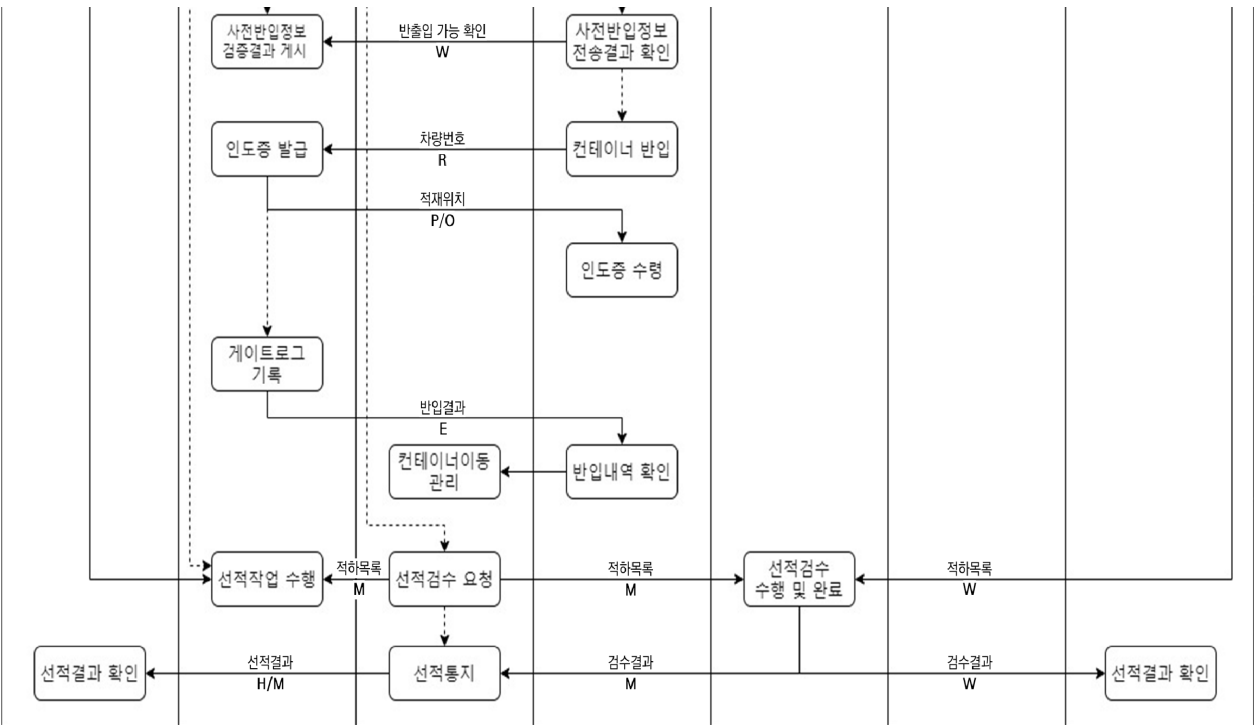
〈그림 3-5〉의 하단을 보면 상기한 목적에 부합하는 통합 물류 프로세스 개념을 파악할 수 있다. 가장 진한 파란색 막대들의 집합과 4대 이해관계자에 포함되지 않은 주체들의 필수 업무를 기반으로 함을 알 수 있다. 〈그림 3-4〉와 같은 작업 세부도의 차이는 모든 이해관계자 간 발생하므로, 이러한 차이를 해소하면서 프로세스를 취합하고, 기존 연구에서 정의했던 프로세스 일부를 명사형에서 동작(동명사형)으로 수정했다(예: 선적 → 선적통지). 이와 같은 정리작업의 결과로서 수출 컨테이너 물류 프로세스를 〈그림 3-6〉과 같이 정리하였다.

〈그림 3-5〉 물류 프로세스 통합 개념도



자료: 저자 작성





자료: 저자 작성

〈그림 3-6〉에 소개된 수출 인바운드 물류 프로세스의 시작은 선사 운항 계획으로 인해 터미널의 선석계획(스케줄)에 맞춰 화주 및 포워더가 선적요청을 하는 것에서 시작된다. 출항일 전후에 선적항에 기항하는 선박 계획을 확인해야 하는데, 선박 계획 확인은 해당 항로에 취항하는 선사에 전화 상담 또는 홈페이지 등을 통해 파악하거나, 선박 계획을 제공하는 홈페이지에서 정보를 확인하고 선사와 관련 업무를 진행할 수도 있다.¹⁹⁾ 선적요청이 접수되면 해당 화주에게 선적지시서를 보내 선적예약이 완료됐음을 알린다.

선적요청에 따라 선사 또는 화주가 육상운송사에게 화물 운송을 의뢰하면, 운송사는 수출화물 적재를 위한 공컨테이너를 터미널에서 반출한다. 반출된 공컨테이너는 창고 또는 내륙 컨테이너기지(ICD: Inland Container Depot)에 보내지고, 화주가 출고 요청한 화물이 공컨테이너에 적입된다. 적입된 화물이 출고됨과 동시에 화주에게 출고 알림이 전달되며, 컨테이터 상차 후 터미널로 출발한다. 이때 운송사는 반입계를 터미널에 제출한다. 반입계를 받은 터미널은 사전 반출입정보(Copino)를 확인해 컨테이너를 반입할 수 있는지 검증하고, 터미널 정보조회서비스에 결과를 게시한다. 운송사는 사전반입정보 전송결과와 검증결과를 확인하고, 문제가 있으면 컨테이너를 적재한 트럭이 터미널에 도착하기 전 해결해야 한다. 또한 마감 시간 내 화물반입이 이루어지지 않으면 예약된 선박에 선적하지 못하는 일이 발생한다. 특히 ‘자가운송’을 이용하는 경우 선사에게 책임이 없으므로 수출자 스스로 마감 시간을 지키도록 주의해야 한다.²⁰⁾

문제가 해결된 트럭이 컨테이너를 터미널에 반입하면 인도증이 발급된다. 인도증은 모바일, 종이로 운송기사에서 전달되며 장치장의 위치가 표시된다. 본선 선적목록과 선박 계획을 확인한 하역업체(터미널 운영사)는 반

19) 국토해양부(2013), p. 36.

20) 위의 책, p. 40.

입계와 게이트 로그를 확인해 컨테이너를 컨테이너 야드(CY: Container Yard)에 장치했다가 선박이 도착하면 선적작업을 수행하게 된다. 그리고 컨테이너가 터미널 게이트를 통해 반입됐다는 기록을 육상운송사에 보내 반입내역을 확인할 수 있도록 한다. 운송사는 계약관계인 선사에게 이 정보를 다시 전달하고, 선사는 최종 컨테이너 이동을 관리할 수 있도록 한다.

또한 선적요청을 받은 선사는 접수된 목록을 정리해 운항 선사에게 본선 선적목록을 전송한다. 운항 선사는 적하목록을 관세청에 제출하고 승인받는다. 이는 향후에 검정/검수사에게 전달돼 선적 검수 자료로 활용된다. 본선 선적목록은 터미널로 보내지며, 작업예정물량과 함께 본선 작업 계획에 사용된다. 이 계획을 토대로 선적작업이 수행되며, 선적 검수를 통해 선적 결과를 만든다. 선적결과는 계약관계인 선사와 관세청에 전달되며, 선사는 선적 완료의 의미로 화주에게 선적결과를 통보한다. 화주는 운송 의뢰 시 수출 물품을 보세구역의 컨테이너 야드 또는 컨테이너 작업장²¹⁾(또는 집화소) 반입 상태에서 수출 화물출고를 요청하고, 관세청에 수출 신고를 접수한다. 관세청에서 수출 신고가 수리되면, 이 결과를 터미널이 선적작업 이전에 확인할 수 있도록 한다.²²⁾

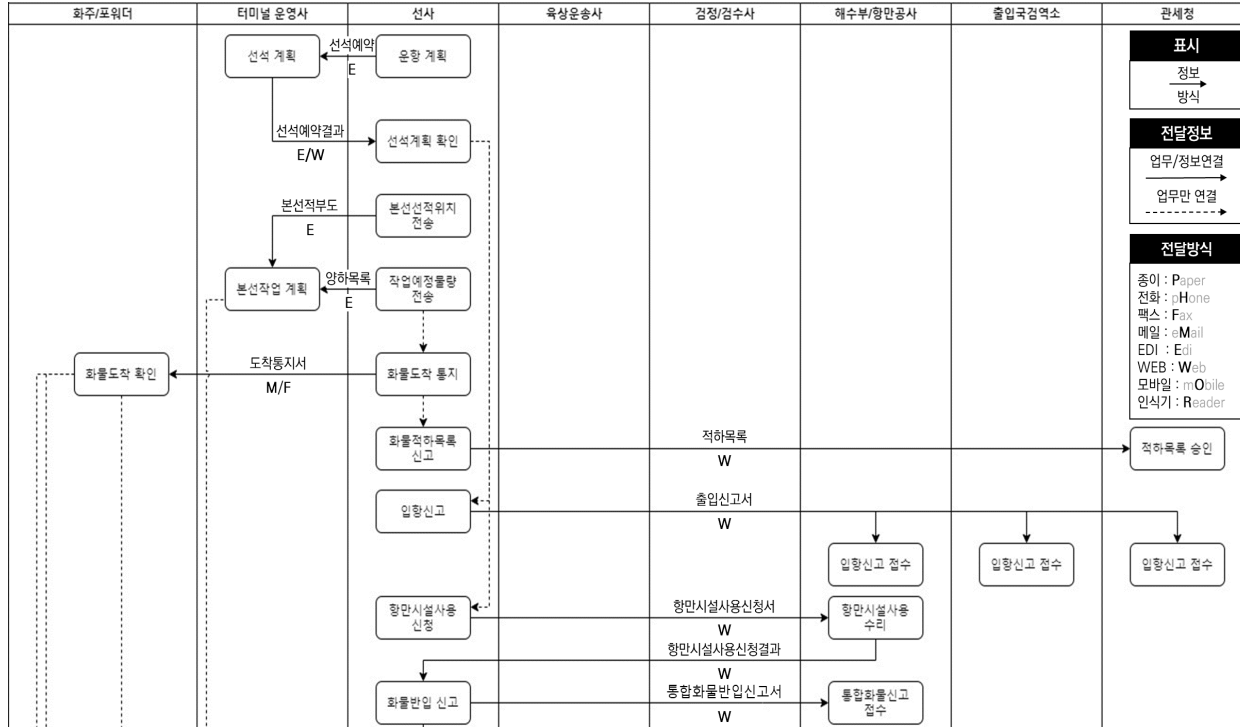
2. 수입 컨테이너 물류 프로세스

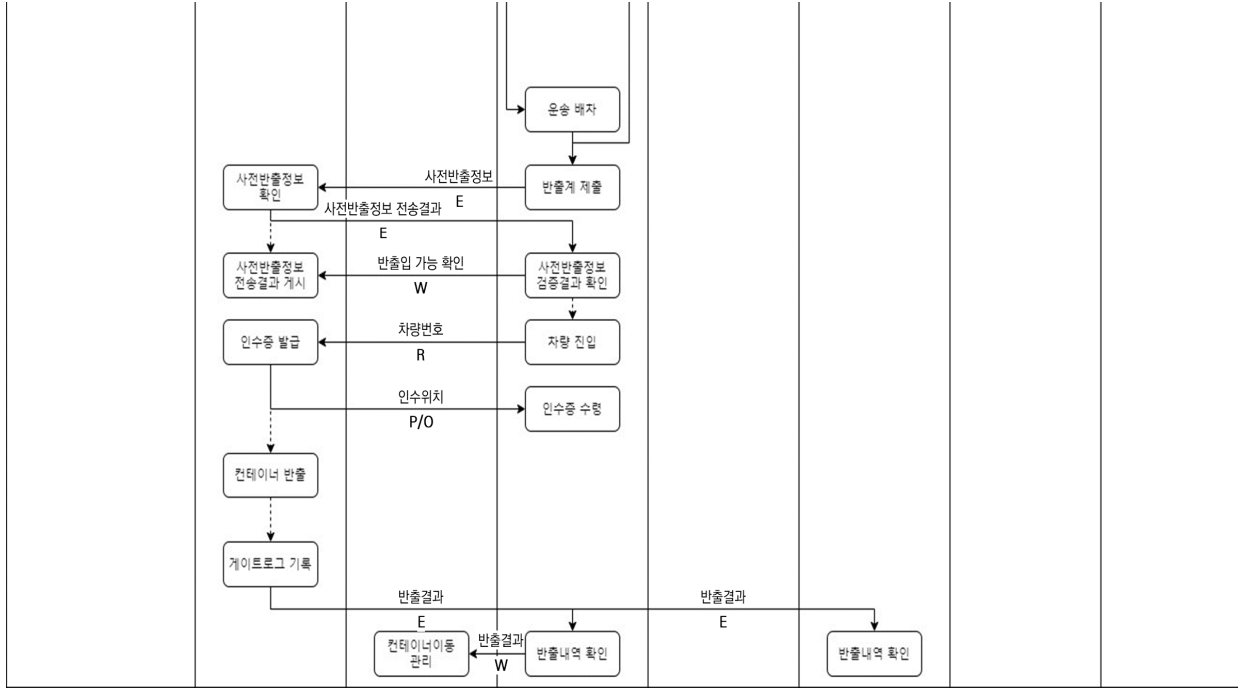
수출 부문과 같이 수입 부문에서도 이연경·서정용·김효재(2020)에서 도출된 항만 컨테이너 수입 부문의 4대 이해관계자 디지털 공급사슬을 활용했다. 작업 상세도 수준을 일치시키고, 기존 업무 프로세스 내용을 검토·개선에 <그림 3-7>과 같은 수입 컨테이너 물류 프로세스 통합도를 도출했다.

21) Container Freight Station(CFS)

22) 엔지엘(주) 전용식 이사(2021. 5. 17., 대한민국 부산) 기반 저자 작성

〈그림 3-7〉 항만 중심의 수입 컨테이너 물류 프로세스





자료: 저자 작성

수입 컨테이너 물류 프로세스는 선사의 운항계획에 의해 시작된다. 선사의 운항계획에 따라 터미널 운영사의 선석계획이 결정되고, 선사는 선석계획을 확인해 해양수산부와 항만공사에 입항신고와 항만시설사용신청을 진행한다. 입항신고는 해수부, 항만공사와 관세청, 출입국관리사무소, 검역소 등을 대상으로 하며, 외항선 출입 신고서, 적하목록, 승무원/승객 명부, 검역신청서를 제출한다.²³⁾ 또한 항만시설 사용신청에 대한 수리 후 화물반입 신고가 이루어지며, 통합화물신고와 위험물반입신고로 접수한다.

터미널 운영사는 입항 전 선사로부터 작업예정물량과 본선 선적 위치를 전송받아 본선 작업계획을 수립한다. 작업예정물량은 선사대리점에서 화물 도착 통지에 사용되며, 화주는 화물 도착 확인 후 수입신고를 진행하고, 터미널에 직반출을 요청하거나 운송사에 운송 의뢰를 요청한다. 원칙적으로 수입신고는 물품이 도착한 후 지정 보세구역에 장치됐다는 것을 확인받은(장치 확인) 후 세관에 수입신고를 해야 한다.

그러나 예외적으로 신속한 통관을 위해 수입 물품이 한국에 도착하기 전 신고할 수도 있으며, 부두직통관 화물은 사전수입신고가 가능하다. 수입신고란 외국으로부터 반입한 물품을 수입하겠다는 의사표시다. 수입신고 후 세관에서는 수입신고한 물품과 수입승인서상의 물품이 일치하는지 심사한 후 수입자에게 ‘수입신고필증’을 교부한다. 직반출은 수입 화물을 입항 전에 수입 신고하거나 하선 전에 보세운송신고를 수행하고, 부두에서 직반출하거나 부두에 장치 후 직반출하는 경우를 말하며, 당해 화물을 적재한 선박이 입항하기 전에 선사 또는 대리점에 당해 화물을 부두 내 하선하거나 본선에서 차상 반출하도록 부두 하선 요청을 해야 한다.²⁴⁾

23) 『선박의 입항 및 출항 등에 관한 법률 시행규칙』.

24) 국토해양부(2013), p. 51.

선사는 화물 도착 통지 후 입항 24시간 전까지 관세청에 화물 적하목록 신고를 진행한다. 화주가 수입신고 완료 후 터미널 또는 보세구역에서 화물을 찾기 위해 선사에 운임비용을 지급하면, 선사는 화물인도 지시서 발행내역을 터미널에 전달한다. 화물인도 지시서를 받은 화주는 운송사에 직접 운송을 요청하거나 선사에 운송을 요청한다. 운송사는 운송요청에 대해 배차업무를 진행하며, 동시에 반출계를 터미널에 제출한다.

터미널은 반출계 검증결과를 터미널 정보조회서비스에 사전반출정보 전송결과로 게시하며, 운송사는 이를 조회·확인한다. 사전반출정보 검증결과가 문제 될 것이 없다면, 차량이 진입해 발급된 인수증을 받아 컨테이너를 반출한다. 이후 컨테이너 이동에 따른 게이트 로그는 반출내역으로 운송사, 해수부, 선사에 전달된다. 이 정보를 통해 선사는 컨테이너 이동관리의 자료로 활용한다.²⁵⁾

3. 항만 컨테이너 물류 프로세스의 문제점

부산항만공사(2019)²⁶⁾는 부산항 물류 주체 110여 개 업체를 대상으로 업무 프로세스와 정보화의 필요성 그리고 수준을 파악했다. 화주 및 포워더, 선사, 터미널 운영사는 비교적 정보화 수준이 높았으나, 화주 및 포워더는 출고 요청이나 수출신고의뢰, 선사는 통선, 줄잡이, 급수, 청소 등 항만용역업무와 급유 발주, 운송계약, 급유선 배선, 출하 통보, 급유(병커링), 정산 등의 선박 연료공급 요청, 터미널 운영사는 선박 계획 확인, 선박 계획 접수, 하역작업 계획 확정 후 선사 알림과 검수 결과 수신업무의 정보화 수준이 가장 낮은 것으로 조사됐다. 내부 시스템보다는 거래 업체와 업무

25) 엔지엘(주) 전용식 이사 인터뷰(2021. 5. 17, 대한민국 부산) 기반 저자 작성

26) 2018년 부산항만공사가 수립한 정보전략계획에서, 부산항 물류 주체 110개 업체를 대상으로 업무 프로세스와 정보화 필요성, 수준을 파악

를 진행하기 위한 정보화 수준이 낮은 것으로 판단된다.

선사는 CMS(Carrier Management System)를 가지고 있으며, 세부 기능은 Service, Sales, Invoice, Vessel, Equipment 등으로 구분된다. 수입과 수출에 따라 필요한 정보와 FAX, EDI, E-mail, WEB 등의 다양한 방식으로 데이터·정보전달 및 교환을 진행하고 있다. 수출입 화물처리에 대한 통합·단일 뷰어(Viewer) 구축을 목표로 하고 있으나, 항만 부대사업자와 운송사와의 협업 및 이견 조율에 어려움을 가지고 있다.

터미널 운영사는 터미널 운영시스템(TOS: Terminal Operating System)을 가지고 있으며, 세부적인 기능은 계획 관리, 운영 관리, EDI 관리, CFS 관리, 장비(리소스) 관리 등으로 구분된다. 해측과 육측의 반출입에 따라 필요한 정보와 FAX, EDI, E-mail, 전화, WEB 등의 방식으로 데이터와 정보를 교환한다. 해측은 선박 단위로 반출입 주문이 발생하며, 입항 선박의 본선적부도나 출항 선박의 선적정보가 변경, 오입력 등으로 인해 부정확하고, 육측은 차량 단위의 진입 예상시간을 적시에 정확히 알 수 없어 업무에 어려움을 겪고 있다.

운송사는 교통관리시스템(TMS: Transportation Management System)을 가지고 있으며, 세부적인 기능은 주문관리, 배차관리, 정산관리의 운송 정보시스템과 차량업무, 차량관계, 통신관리 등의 차량관계시스템 등으로 구분된다. 수출입과 환적에 따라 필요한 정보와 전화, EDI, FAX, E-MAIL, WEB 등 다양한 데이터·정보 교환 방식을 활용하고 있다. 선사로부터 운송 주문 수신과 배차 및 반출입을 위한 터미널 운영사와의 정보연계를 통해 업무 자동화를 달성하는 것을 목표로 하고 있으나, 외국적 선사 시스템과 연계 불가, 터미널 변경정보 실시간 확인 불가 등의 이유로 협업 작업에 어려움을 가지고 있다.

이언경·서정용·김효재(2020) 역시 수출입 부문 디지털화 니즈와 애로점을 현장 관계자 인터뷰 및 전문가 자문을 통해 정리했다. 부산항만공사(2019)에서 언급한 바와 유사하게 화주 및 포워더의 경우, 물류의 모든 구간에 걸친 데이터와 정보를 단일 채널을 통해 확인하길 원하지만, 현재는 육상운송사와 선사, 관세청 등과 개별적으로 연락하거나, 그들의 정보시스템을 조회해 확인해야 한다.

또한 운송을 의뢰하는 시점부터 선적과정을 파악하기 위해 선하증권(B/L: Bill of Lading), 예약번호 등 다양한 인식 값(ID)을 확인·관리해야 한다. 이러한 인식 값은 특정 데이터 묶음이나 문서를 조회할 때 활용되는데, 업무 프로세스와 일치하지 않는 방향으로 사용되는 경우가 있다. 이러한 인식 값은 데이터 키(Key) 또는 열쇠라고 한다. 다양한 데이터 열쇠의 존재로 인한 불편함은 육상운송사에서 주로 호소하고 있다.

또 다른 문제는 현장에서 활용하는 데이터와 정보의 부정확함으로 요약할 수 있다. 이 원인은 크게 두 가지인데, 첫째는 현실의 불확실성으로 인해 발생하는 다양한 작업환경이나 조건의 변화를 사전에 예측하고, 이를 계획(Planning) 단계에서 반영하는 수준에 다다르지 못했기 때문이다. 두 번째는 의도하거나, 실수로 데이터를 오기·오입력했기 때문이다.

위와 같은 데이터와 정보의 부정확함은 작업일정 등을 착각해 자원운영의 효율을 감소시킬 뿐 아니라, 크레인 작업이나 트럭 운송에서 중요한 부하 균형(Load Balancing)을 파악하게 한다. 즉, 이해관계자 대부분은 데이터와 정보의 정확성을 개선하고자 하는 니즈를 가지고 있다.

〈표 3-1〉 항만 컨테이너 물류 프로세스 관련 애로사항 및 해결 방안 요약

애로사항	해결 방안
다(多)채널을 통한 데이터·정보조회	단일 데이터 채널 활용
필요한 시점에 데이터·정보조회가 힘들	적시에 데이터·정보 조회 또는 수신
데이터·정보의 정확성이 완벽하지 않음	데이터 및 정보의 정확성 향상
데이터 열쇠가 통합되지 않아 관리가 어려움	데이터 열쇠 연계 및 통합

자료: 저자 작성

〈표 3-1〉은 상기한 애로사항과 이에 따른 니즈를 요약해 보여준다. 애로사항은 크게 ① 여러 채널을 통한 데이터·정보조회로 업무의 복잡도 증가, ② 적시에 필요한 데이터와 정보조회가 어려워 업무의 비효율 발생, ③ 공유되는 데이터와 정보의 정확성이 보장되지 않는 경우가 있어 업무 비효율 발생, ④ 데이터 열쇠가 통합되지 않아 이를 관리하는 데 어려움을 겪음으로 정리될 수 있다.

각각의 애로사항을 해결하는 방안은 일차적으로 단순화할 수 있다. 가령, 다(多)채널을 통한 데이터·정보조회는 단일 채널을 활용하는 식으로, 문제가 되는 단어를 변경하는 것이다. 다만 이렇게 단순화한 해결 방안은 현실에서 대안으로 활용되지 못할 수 있다. 그러므로 현실적으로 도입 가능하거나 궁극적인 공급사슬 디지털화로 여겨지는 대안을 구체적으로 설정할 필요가 있다.

제2절 물류 프로세스 디지털화 대안 설정

본 절에서는 앞서 정리된 항만 수출입 컨테이너 물류 프로세스와 애로사항, 해결방안을 토대로 물류 프로세스 디지털화 대안을 제시한다. 기초 대안이 되는 ① 기본 시스템 유지, ② 〈표 3-1〉의 데이터 열쇠 관련 애로사항

을 해결하는 데이터 열쇠 연계 및 통합, ③ 데이터와 정보의 부정확성 애로 사항을 개선하는 공유 데이터 및 정보 정확성 향상, 마지막으로 ④ 단일 채널에서 적시에 데이터·정보공유를 가능하게 하는 데이터·정보공유 플랫폼 도입 대안은 <표 3-2>에 요약됐으며, 절의 나머지는 각각을 설명한다.

〈표 3-2〉 항만 컨테이너 물류 프로세스 디지털화 대안 요약

대안	설명
데이터 열쇠 통합	• 데이터 열쇠란 데이터 집합이나 문서에 속한 대표 데이터를 의미하고, 물류 프로세스 내 이해관계자는 그들이 필요한 데이터나 정보를 요청하기 위해 데이터 열쇠라는 것을 활용(예: 수출 컨테이너 ID는 관련 송장과 포장명세서의 데이터 열쇠로 활용) • 현재 물류 프로세스에서는 통일된 데이터 열쇠가 활용되지 않으므로 각 이해관계자는 타 이해관계자에게 데이터와 정보를 요청할 때 데이터 열쇠가 무엇인지 먼저 확인해야 함 • 통상 이러한 작업은 인력에 의해 수행되므로, 물류 프로세스상 작업·서비스 지연을 야기함 • 본 대안은 이해관계자들의 데이터 열쇠를 통합해 상호 간 데이터 접근의 편의성을 제공
데이터 정확성 개선	• 물류 프로세스상 부정확한 데이터가 존재할 수 있음(예: 컨테이너의 실제 무게가 화주에 의해 입력된 값과 다름) • 이러한 차이는 크레인 작업에 요구되는 안정성이나, 트럭의 화물 부하 분산(Load Balancing)에 부정적인 영향을 줌 • 부정확성은 작업환경의 잦은 변화가 가져오는 높은 수준의 불확실성 때문이기도 함 • 작업환경의 잦은 변화는 화물처리 작업의 계획단계에서 완벽하게 예측되지 못하고, 이해관계자에게 적절히 공유되지 않을 수 있으므로, 부정확한 데이터와 정보가 물류 프로세스 일부에 존재하게 됨 • 본 대안은 정확한 데이터의 입력과 다양한 예측 기술을 적용해 데이터의 정확도를 개선하고, 부정확한 데이터로 야기되는 부정적 영향을 최소화함
데이터·정보공유 플랫폼 도입	• 머스크와 IBM이 합작한 트레이드렌즈와 같은 데이터·정보 공유 플랫폼을 도입하는 방안으로 해당 플랫폼은 높은 수준의 보안과 신속한 데이터 수집 및 정보공유 기능을 갖춘 소프트웨어로 볼 수 있음
기존 시스템 유지	• 현재의 물류 프로세스 데이터·정보 처리 방식을 유지

자료: 저자 작성

1. 기존 시스템 유지

기존 시스템 유지 대안은 별도의 변경 없이 현재를 유지하는 대안이다. 타 대안을 실험군으로 볼 때, 기존 시스템 유지 대안은 대조군으로 볼 수 있다. 별도의 초기 투자비가 소요되지는 않으나, 추가적인 편익(예: 공유되는 데이터의 품질 개선) 역시 달성될 수 없다. 일반적으로 새로운 시스템 도입에 보수적인 입장을 취할 때 선호되는 대안으로 볼 수 있다.

2. 데이터 열쇠 연계 및 통합

데이터 열쇠 연계 및 통합 대안을 설명하기에 앞서 현재 항만 컨테이너 물류 프로세스에서 데이터 열쇠 사용 현황을 더욱 깊이 파악할 필요가 있다. 앞서 언급한 바와 같이, 수출 프로세스는 많은 이해관계자가 존재하며, 각각 생성하는 정보가 상이하다.

선사는 선박과 컨테이너를 소유하고 있으며, 이에 대한 정보를 생성하는 주체이기도 하다. 또한 선박 운항에 따라 운항계획을 수립하고, 항차 정보를 생성한다. 터미널 운영사는 선박이 운항계획에 따라 배를 대면, 선박을 대상으로 양·적하 작업을 수행하고, 육상운송을 위해 차량과 기차가 들어 오면 이들을 대상으로 상하차 작업을 수행하는 주체로서 선박입항에 따른 모선향차를 생성한다. 육상운송사는 화주나 선사의 요청에 따라 터미널과 창고 간 화물 운송을 담당하며 운송화물 트럭의 차량번호를 생성한다.

각자의 업무와 계약관계로 연결된 데이터와 정보만을 수집하고 있으나, 실제 정보 전달은 업무의 진행에 따라 다음 단계로 한 단계씩 넘어간다. 선사는 터미널 운영사와 계약관계로 선박을 통해 수입되는 화물을 터미널에 양하하면, 화주 또는 선사와 계약된 육상운송사는 이 양하된 컨테이너

의 반출입 운송을 요청한다.

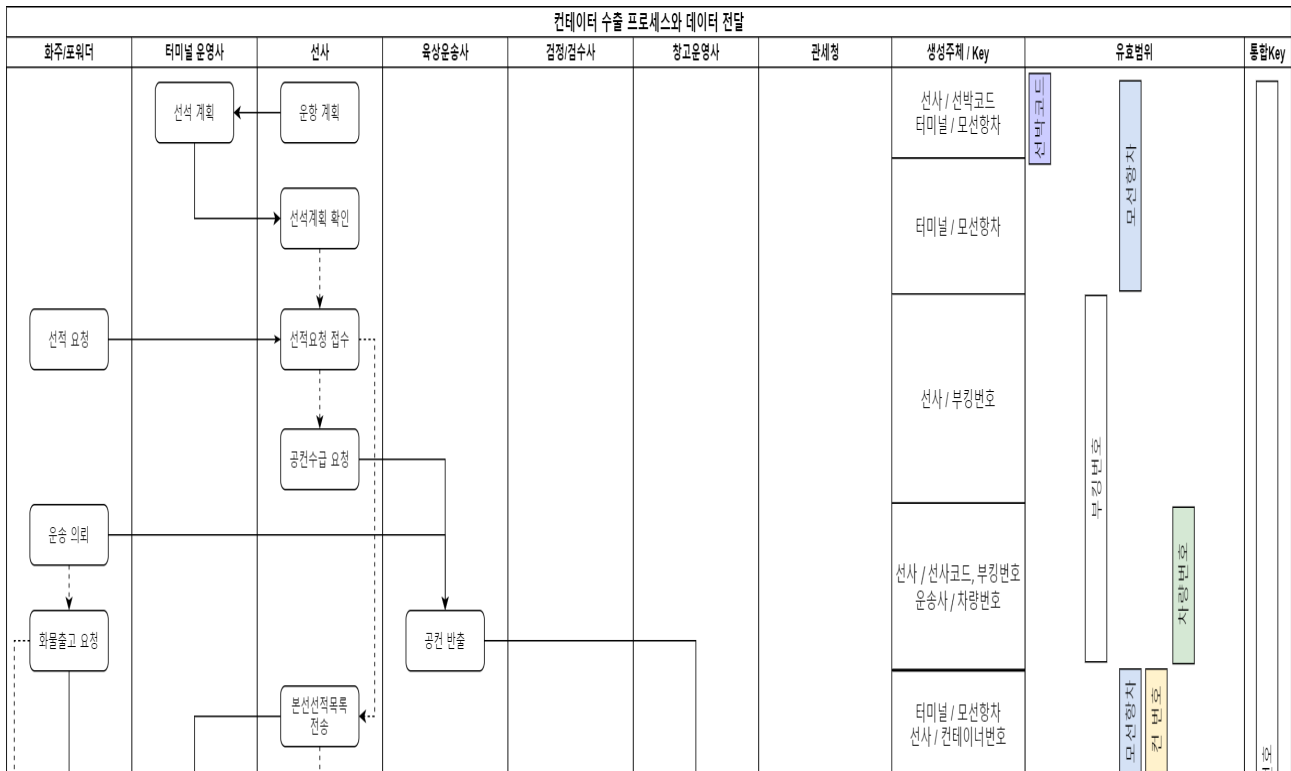
이 과정에서 운송사는 화주로부터 반출입에 대한 정보(예: 운송 오더)를 받기 때문에 선사의 항차를 받아 터미널의 모선 항차 코드로 전환 후, 사전 반출입정보(COPINO)에 입력해야 하는 번거로운 수작업이 존재한다. 이는 터미널 운영사는 이미 선사로부터 받은 항차를 터미널 업무에서 사용하는 코드로 전환했기 때문이다. 운송사는 선사로부터 항차를 받았지만, 터미널이 변환한 정보를 자동으로 추적할 수 없다. 이와 같은 단점을 해결하기 위해 열쇠로 활용되는 데이터(Key data 또는 Data key) 간 연계를 통해 데이터가 필요에 따라 자동으로 전환되는 서비스 또는 시스템 구축이 필요하다.

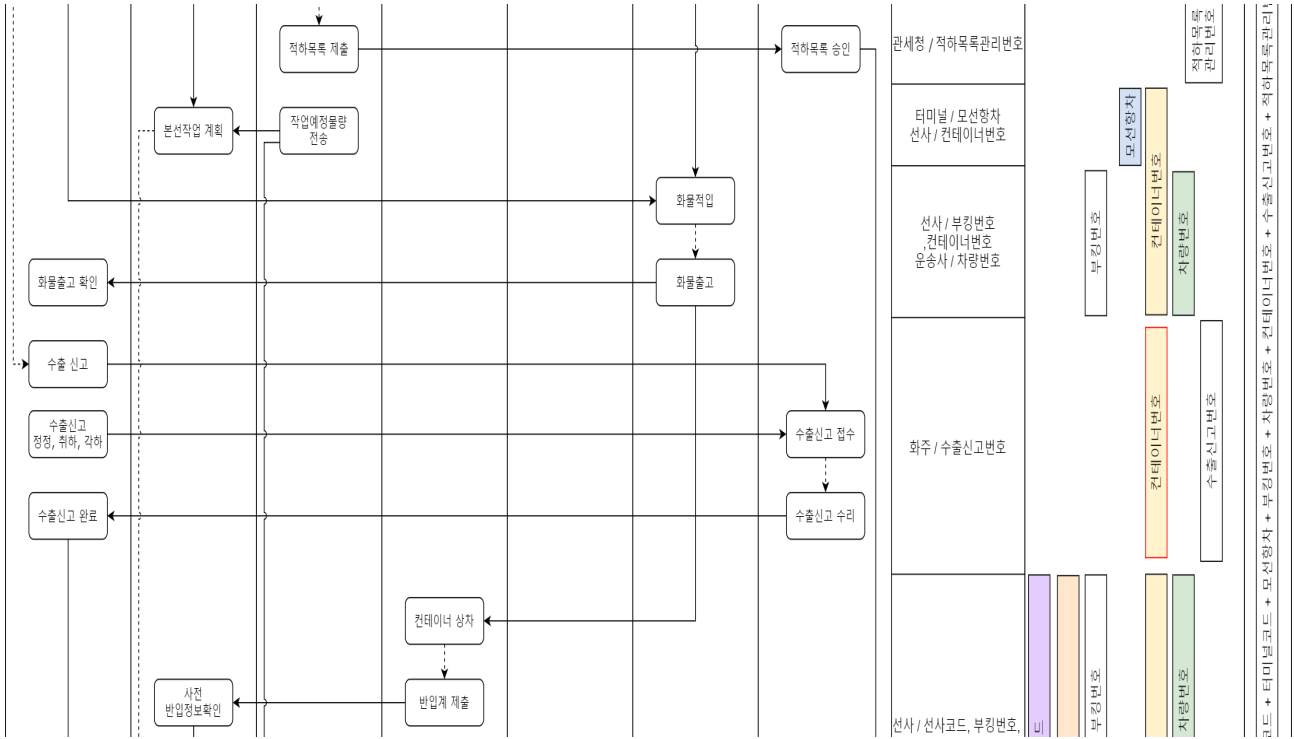
수출 프로세스 전체를 보기 위해서는 선사 코드, 선박 코드, 터미널 코드, 모선 항차, 예약번호,²⁷⁾ 차량번호, 컨테이너 번호, 수출 신고번호, 적하 목록관리번호 등을 연결해야 한다. 기본적으로 물류 주체가 생성하거나 관리를 위해서 주로 사용하는 데이터 열쇠가 있으며, 이를 중심으로 정보가 연결돼야 한다.

예를 들면, 수화주가 제조 및 보관된 화물을 선적하기까지 책임이 있다면, 수출 프로세스를 단일 데이터 열쇠를 통해 모니터링하고자 하는 니즈가 있을 것이다. 여기서 언급한 데이터 열쇠는 최초 선사와 선적요청에 따른 예약번호이거나 컨테이너 번호 같은 것이 활용될 수 있고, 이를 중심으로 나머지 정보들이 연결된다면 업무효율이 개선될 것이다.

27) 현업에서는 부킹(Booking) 번호라는 용어를 주로 사용

〈그림 3-8〉 데이터 열쇠 현황 및 통합(수출 부문)





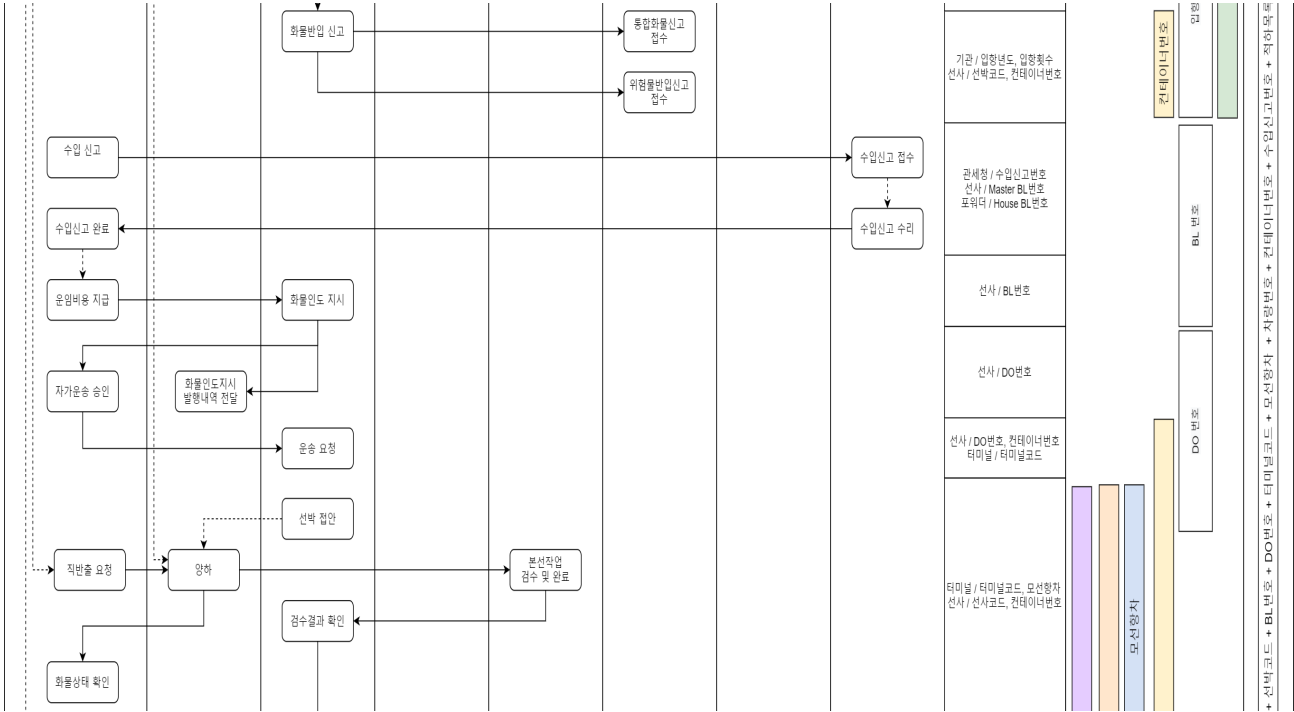
이를 달성하기 위해서는 우선 데이터를 담을 수 있는 통합구조와 정보 수집에 따른 계층 관계도(Hierarchy diagram)가 만들어져야 한다. 수출의 경우 선사가 선박 코드와 예약번호를 등록하면, 터미널이 선석계획에 따른 모선 항차 코드를 추가하고, 이 수출 건에 운송사의 배차업무 시 차량 번호를 등록하는 구조가 만들어진다면 수출 프로세스를 조금 더 쉽게 연결할 수 있을 것이다. 여기까지만 연결되면 이후 발생하는 화물 운송 위치정보의 확인은 화주, 선사, 터미널, 운송사가 쉽게 접근할 수 있다. 데이터 열쇠만을 연결하는 구조는 영업상의 비밀이나 기업 보안자료에 대해 추가로 정보 접근 시 권한을 통한 사용자 인증으로 제어가 쉽다.

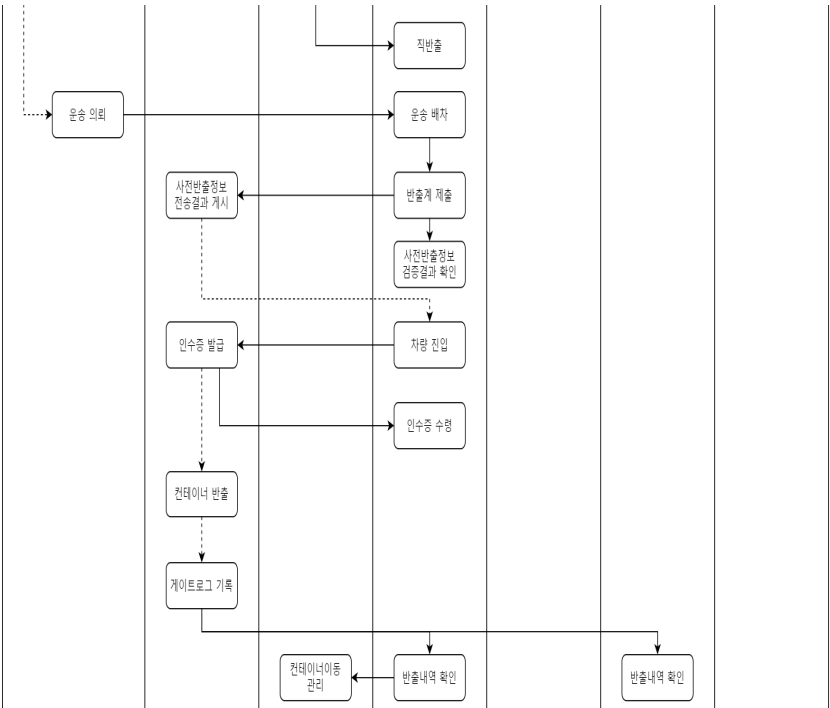
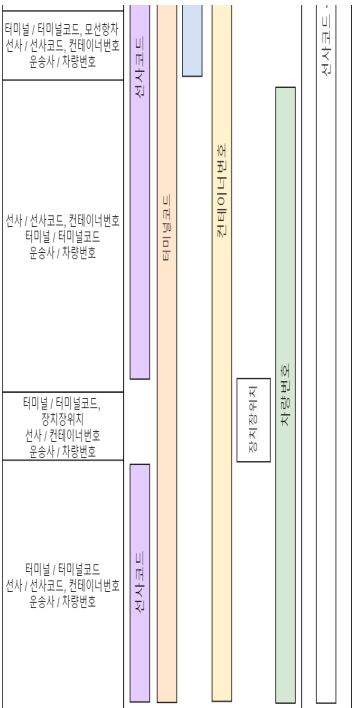
또 다른 한 축은 화물 운송 전에 신고정보의 흐름이라고 할 수 있다. 신고는 화물이 이동해 특정 지점에 도착하기 전에 완료돼야 한다. 관세청의 적하목록신고는 화물이 선박에 적재되기 24시간 전까지 수행돼야 하며,²⁸⁾ 무역항으로 반입되는 위험물은 24시간 전에 지방해양수산청에 신고돼야 한다.²⁹⁾ 시간에 따라 신고절차가 진행돼야 하며, 현재 화물의 위치와 작업 상태를 데이터 열쇠로 연결해야 모니터링이 가능하다.

〈그림 3-8〉은 수출 부문에서 현재의 데이터 열쇠 활용 현황과 연계·통합 결과를 보여준다. 기존 물류 프로세스 통합도와 다른 점은 우측 상단에 생성주체/Key, 유효범위 그리고 통합 Key라는 열 인덱스(index)가 추가됐다는 점이다. 생성주체/Key는 데이터 열쇠와 해당 열쇠 데이터를 생성하는 이해관계자를 의미한다. 가령, 선사/선박코드는 선사가 선박코드를 데이터 열쇠로서 생성하는 것이다. 유효범위는 데이터 열쇠의 유효범위를 나타낸 것으로, 사각형의 상단부는 유효성이 생기는 시기, 하단부는 끝나는 시기를 의미한다. 통합 Key는 통합되는 데이터 열쇠가 담는 데이터·정보로 이들을 하나의 인식 값으로 관리하는 별도 코드가 활용될 수 있다.

28) 『보세화물 입출항 하선 하기 및 적재에 관한 고시』 제8조(적하목록 제출)

29) 『선박의 입항 및 출항 등에 관한 법률 시행규칙』 제14조(위험물 반입의 신고)





자료: 저자 작성

3. 공유 데이터 및 정보 정확성 향상

물류 프로세스에서 작업을 수행하기 위해 사전정보의 확보가 중요하다. 다음 선적 선박을 알아야 터미널에서는 어느 위치에 장치할지 결정이 되며, 컨테이너 중량을 알아서 선박 적하 시 안정성(Stability)을 고려한 위치가 결정된다. 하지만 정보는 정량적인 수치이기 하나 부정확한 데이터인 경우 오히려 부정적인 영향을 더욱 많이 줄 수 있다. 그래서 객관성을 가진 정보의 공유가 매우 중요하며, 이를 업무에 사용할 수 있도록 해야 한다.

예를 들면, 국내에서는 2016년 ‘컨테이너 화물의 총중량 검증 등에 관한 기준’(이하 ‘VGM’)을 제정/고시하였으며, 컨테이너 무게에 대한 객관적인 정보 확보에 따라 차량운행의 과적 여부, 선적 시 안정성 확인 등에 유용한 자료로 활용할 수 있다.

컨테이너 검사에 따른 상태정보도 객관적인 기준에 따라서 분류돼야 한다. 현재는 국제 컨테이너 임대업자 협회(IICL: the Institute of International Container Lessors) 규정이 가장 엄격하며, 실제 선사에서는 IICL 규정보다는 완화된 내부규정을 가지고 있다. 하지만 수입 공컨테이너의 경우 검사를 수행할 수 없으며, 운송을 위해 상차한 후 운송기사가 검사를 진행하고 있다. 운송기사가 화주의 성향을 고려해 컨테이너 상태가 불량(Bad or Poor)이라 판단할 경우 터미널에 교체를 요청하며, 이 과정에서 불필요한 작업시간이 소요된다. 즉, 객관적인 기준을 통해 컨테이너 상태를 관리할 필요가 있다.³⁰⁾

객관적인 데이터 확보도 중요하지만, 필요한 물류 주체가 이를 활용할 수 있도록 데이터 발생 즉시 공유돼야 하는 업무영역도 존재한다. 차량이 반출입하는 컨테이너는 사전반출입정보라는 형태로 운송사가 차량 출발 전

30) 엔지엘(주) 전용식 이사 인터뷰(2021. 5. 17, 대한민국 부산) 기반 저자 작성

에 터미널에 전송한다. 하지만 터미널에서는 짧게는 8시간 전, 길게는 24시간 전에 들어올 것을 짐작하지만, 실제로는 게이트에 진입하는 순간에 인지할 수 있다. 그러다 보니 차량이 한꺼번에 진입할 경우 혼잡도는 증가할 수밖에 없다.

화주가 요청한 시간에 맞춰 작업을 하게 되면, 차량이 터미널에 진입하는 시간은 비슷한 형태(패턴)를 보인다. 여기서 터미널에서 우선시하는 본선작업까지 추가된다면 정체는 극심해지고 대기시간은 증가할 수밖에 없다. 상하차 차량의 대기시간은 블록별로 야드크레인의 동작 여부, 본선작업 유무, 선행 도착 차량 수, 단적 컨테이너 리핸들링 수로 결정된다. 상하차 작업이 도착순으로 처리(FIFO: First In, First Out)되지만, 지연으로 인해 내부 터미널의 혼잡이 가중될 경우 다른 작업에 방해가 되므로 작업의 비효율성을 초래한다. 그래서 외부 차량의 도착 예상시간을 파악하고 야드작업을 실시간 최적화하는 시스템이 필요하다.³¹⁾

공유 데이터 및 정보 정확성 향상 대안은 의도하거나, 또는 의도하지 않은 데이터의 오기나 오입력 가능성을 최소화하고, 차량 도착시간 등을 더욱 정확하게 예측하는 시스템의 도입을 통해 물류 프로세스에 공유되는 데이터와 정보의 정확도를 개선하는 대안이다. 이를 통해, 수출입에서 발생하는 불필요한 업무의 효율을 감소하고, 데이터의 수정이 초래하는 물류 프로세스 내 데이터의 비밀관성을 최소화할 수 있다.

31) 엔지엘(주) 전용식 이사 인터뷰(2021. 5. 17, 대한민국 부산) 기반 저자 작성

4. 데이터·정보공유 플랫폼 도입

데이터·정보공유 플랫폼을 도입하는 것은 가장 대표적인 디지털화 대안 중 하나다. 본 대안은 머스크와 IBM이 합작한 트레이드렌즈와 같이 데이터와 정보를 자동으로 수집, 관리 및 공유하는 플랫폼을 적용하는 것이다. 이는 높은 수준의 보안과 신속한 데이터·정보 처리능력을 갖는 소프트웨어로 볼 수 있다. 데이터 열쇠를 활용하지만, 플랫폼을 통한다는 것이 데이터 열쇠 연계 및 통합 대안과의 차이점이라 볼 수 있다. 가장 이상적이지만 이해관계자의 참여의향과 데이터·정보공유 동의를 받는 것이 매우 어려우므로, 현장이나 일부 학계에서는 당장 실현 가능한 대안으로는 여기지 않는다.

본 대안을 정확히 파악하기 위해서는 데이터 열쇠와 함께 업무정보와 생성정보, 참조정보를 이해할 필요가 있다. 업무정보는 이해관계자 본인이 생성하는 정보(이하 ‘생성정보’)와 타인으로부터 받는 정보(이하 ‘참조정보’)로 구분한다. 공급사슬에서는 다양한 이해관계자가 업무정보를 주고받고 있으며, 업무정보 관리를 위해 생성정보와 참조정보를 데이터 열쇠를 통해 접근하게 된다. 하지만 상호 직접적인 계약관계가 아니더라도 공급사슬 활동 중 서로의 신분을 확인하기 위해 참조정보의 데이터 열쇠를 요청한다.

업무연결이 길고 단계가 많아질수록 참조정보에 대한 데이터 열쇠를 파악하기 어려우며, 파악하고 있더라도 일부 데이터의 변경 발생 시 바로 감지하기 어렵다. 이 문제를 해결하기 위해 생성정보가 발생하면 공유 플랫폼에 저장하고 이해관계자 간 데이터 열쇠를 공유해 접근자 권한에 따라 적절한 정보를 제공하는 것이다.

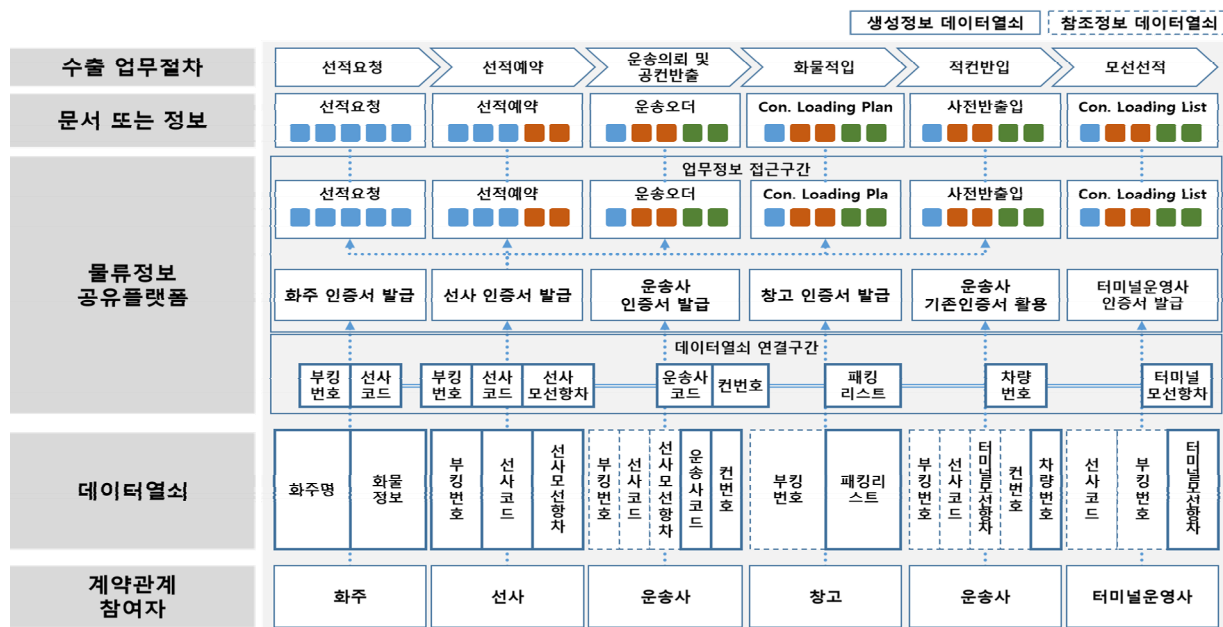
생성정보의 데이터 열쇠를 등록하기 위해 보내진 참조정보의 데이터 열쇠를 통해 참여자라는 것을 확인받을 수 있다. 데이터 열쇠는 한 번 지정되

면 변경되지 않는 식별자(ID)를 사용하며, 업체 특성에 따라 형식이 정의되고 관리된다. 새로운 생성정보가 만들어지면 기존 생성정보와 연결하기 위해 기존 데이터 열쇠의 집합에 신규 데이터 열쇠를 추가한다.

업체 간 계약관계에 따라 교환하는 문서의 정보가 정해지면, 업체 간 데이터 열쇠를 공유해 업무 관련 문서를 조회할 수 있는 권한을 확인할 수 있다. 예를 들어, 운송사는 터미널 운영사와 계약관계는 아니지만, 차량번호만으로 컨테이너, 모선, 장치 위치 등을 조회할 수 있게 된다. 이로 인해 정보 접근에 대한 편의성이 높아진다.

생성정보를 생산하는 이해관계자가 데이터 열쇠에 따른 조회·접근 권한을 부여한다면 보안에 대한 우려도 해결할 수 있으며, 데이터 열쇠 간 연결 구조는 데이터 변경을 실시간으로 확인할 수 있도록 한다. 데이터 열쇠로 이어진 각 이해관계자는 데이터 변경 시 알림을 줄 수 있으므로, 즉각적인 업무 대응이 가능하다. 이러한 기능은 플랫폼을 통해 제공할 수 있다.

〈그림 3-10〉 공급사슬 데이터·정보공유 플랫폼 개념도(수출 아웃바운드)



자료: 저자 작성

또한 공유 플랫폼은 단독으로 운영되지 않고, 레거시 시스템과 연계된다. 이해관계자들은 조회 및 관리 대상이 될 사건(Event)을 정의하고, 정보변경을 실시간으로 파악해야 한다. 예를 들어, 선박의 선석 스케줄이 변경되면, 터미널에서 선사로 통보하고 선사는 운송사에 변경정보를 알려야 하며, 운송사는 배차정보 변경을 위해 운송기사에게 개별적으로 연락해야 한다. 다시 말해, 모든 참여자가 변경정보를 인지하기 위해 긴 시간이 필요하다. 이때, 기존 알림 시스템과 공유 플랫폼을 연계한다면 정보공유를 신속하게 수행할 수 있게 된다.

〈그림 3-10〉은 수출 아웃바운드 컨테이너 흐름에서 공급사슬 데이터·정보 공유 플랫폼이 운영되는 체계를 보여준다. 화주가 선사에게 화주명과 화물정보 등을 알려주면, 부킹번호, 선사코드, 선사모션항차가 결정되며 선적예약이 된다. 화주와 선사가 처음 계약관계가 형성되며 공급사슬 데이터·정보 공유 플랫폼에 등록되고, 선사는 생성정보의 데이터 열쇠를 정의한다. 화주의 화주명과 화물정보를 데이터 열쇠로 활용하기 어려우므로 이 단계에서 선사의 부킹번호와 선사코드로 대체돼야 한다.

이후 선사가 운송사에 데이터 열쇠를 전달하면, 운송사는 이 정보에 생성정보를 추가한다. 운송사는 운송사코드와 같은 데이터 열쇠를 입력하며 플랫폼에 참여하게 된다. 이때 부킹번호, 선사코드, 선사모션항차 등은 참조정보의 데이터 열쇠로 이 공유 플랫폼에 참여할 수 있음을 인증하는 정보로써 활용된다. 수출을 위해 공컨테이너 반출 시 컨테이너 번호가 결정되고, 터미널에서 운송사로 장치장 상차 또는 게이트 반출 이력을 통해 등록될 수 있다.

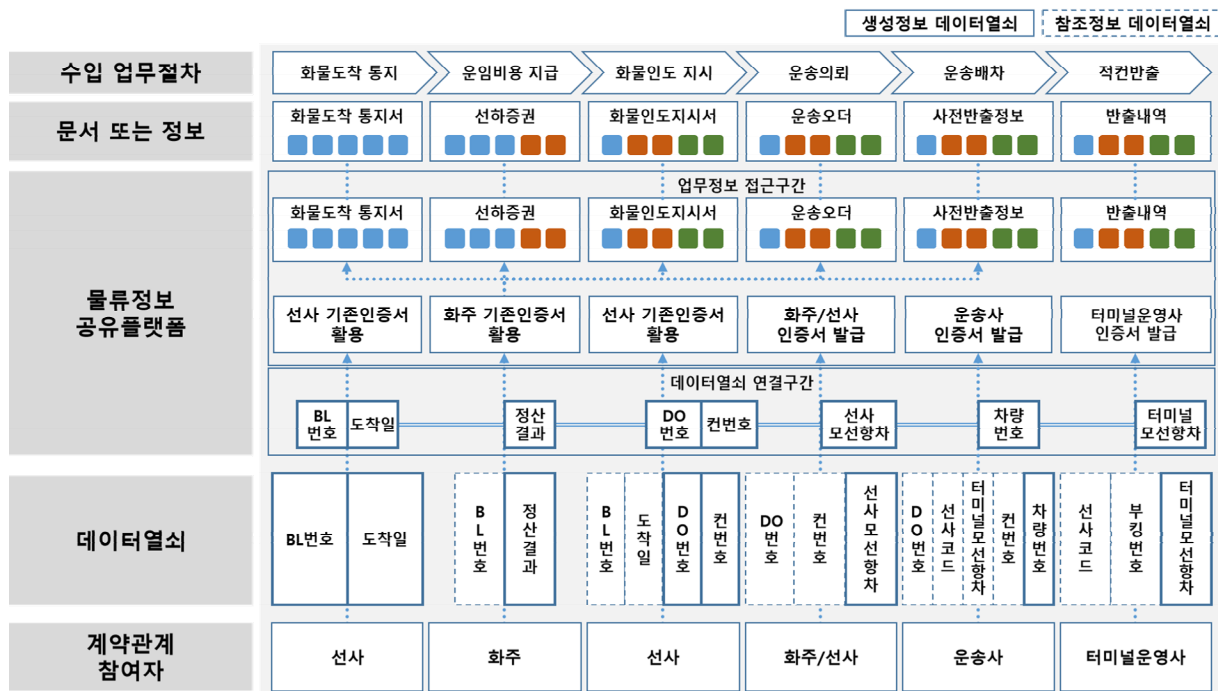
창고가 선사로부터 부킹번호를 받으면, 패키리스트를 데이터 열쇠로 입력하면서 생성정보를 등록할 수 있다. 그리고 터미널 운영사는 선사코드, 부킹번호를 인증정보로 활용해 터미널 모션항차를 등록한다. 항만 수출입

은 계약관계의 중심에 선사가 있으며, 선사 생성정보의 데이터 열쇠를 활용해 각 이해관계자의 생성정보를 등록해 연결할 수 있다.

항만 수출업무는 생성정보가 생성 즉시 등록된다고 가정하면, 화주-선사-터미널/운송사-창고-운송기사의 순서로 발생할 가능성이 크다. <그림 3-10>과 같은 플랫폼을 활용할 경우, 항만 수출입 참여자를 연결해 실시간 발생하거나 변경되는 정보에 대한 참여자 간 정보 불일치나 정보 접근 불편에 따른 시차 또는 누락 등을 방지할 수 있다.

<그림 3-11>은 수입 인바운드 컨테이너 흐름에서 공급사슬 데이터·정보 공유 플랫폼이 운영되는 체계를 보여준다. 플랫폼 도입으로부터 오는 장점이나 데이터 열쇠, 생성정보, 참조정보 등을 활용하는 방식은 수출 부문과 같다. 상기한 플랫폼은 데이터·정보 접근의 편의성뿐 아니라, 가시성 등의 장점이 있으므로 수입 컨테이너 물류 프로세스를 디지털화하는 하나의 핵심 대안으로 여겨질 수 있다.

〈그림 3-11〉 공급사슬 데이터·정보공유 플랫폼 개념도(수입 인바운드)



자료: 저자 작성

04

물류 프로세스 디지털화 성과지표 도출

제3장에서는 항만 컨테이너 물류 프로세스의 현황을 파악하고 현황(기존 시스템) 유지를 포함한 4개의 디지털화 대안을 도출했다. 기존 문헌에 정리돼 있던 이해관계자별 수출, 수입 측면 물류 프로세스를 연계·통합하고, 이 과정에서 발견된 작업 세부도 간 차이를 조정했다. 도출된 통합 물류 프로세스와 선행연구, 현장 관계자 인터뷰 및 전문가 자문을 기반으로 항만 컨테이너 물류 프로세스의 애로사항을 파악하고, 이를 해결하는 물류 프로세스 디지털화 대안을 도출했다.

제4장에서는 도출된 4개의 시나리오(기존 시스템 유지, 데이터 열쇠 연계 및 통합, 공유 데이터 및 정보 정확성 향상, 데이터·정보공유 플랫폼 도입)를 평가하기 위한 성과지표를 도출한다. 이를 위해 선행연구에서 활용된 성과지표 도출방안을 파악한 후, 각각의 장단점을 비교한다. 다음으로 각 방식의 강점과 약점을 고려해 여러 방식을 조합한 성과지표 도출방안을 설계한다. 이 방안을 기반으로 신뢰성, 응답성, 유연성, 비용 및 자산관리로 대표되는 평가지표와 데이터 일관성, 위험관리, 데이터 투명성 등 11개의 세부 평가지표를 도출했다. 이들은 제5장의 대안평가방안과 연계되고, 평가과정에서 성과지표의 가중치 역시 함께 도출된다.

제1절 성과지표 도출방안 수립

제2절 문헌 검토에서 파악한 바와 같이 디지털 공급사슬을 포함한 모든 형태의 공급사슬³²⁾을 하나의 속성(Attribute)으로 평가하는 것은 적절하지 않다. 동시에, 모든 형태의 공급사슬을 같은 속성 집단으로 평가하는 것 역시 적절하다고 볼 수 없다. 이는 공급사슬에서 주목하는 객체(Object)의 형태와 특성, 대상 비즈니스(내·외부) 범위 등에서 차이가 있기 때문이다. 다시 말해, 과일과 같이 물리적이면서 상하기 쉬운 객체에 주목하게 되면 물리적인 공간확보와 온도관리가 중요한 성과지표로 활용되나, 데이터와 정보 등 무형의 객체에 주목한다면 이와 같은 지표는 공급사슬의 성능을 제대로 반영하지 못한다.

본 연구는 항만 컨테이너 물류 프로세스상의 데이터와 정보를 대상으로 하므로 일반적인 제품 대상의 공급사슬이 고려하는 원자재 조달, 구매, 제조, 판매, 수·배송, 환불, 폐기와 직접적인 연관이 없다. 본 연구에서 주목하는 대상 업무는 선사와 육상운송사 등 다양한 이해관계자들이 참여하는 관계적·대외적 비즈니스로 상호 전달 및 공유하는 데이터와 정보의 신뢰성 등 적합한 평가요소를 찾아 적용해야 한다.

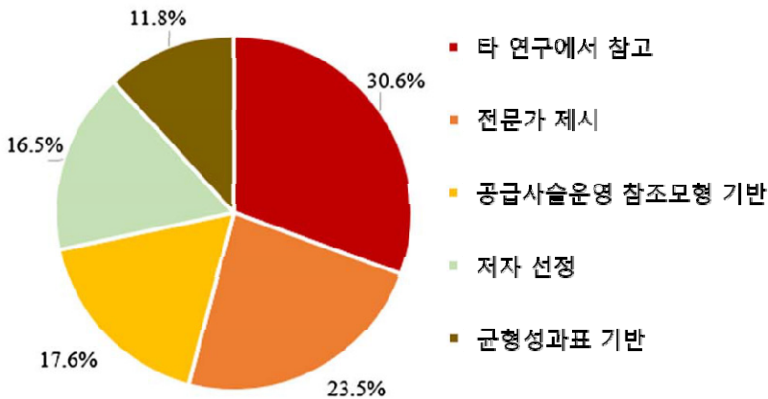
본 절에서는 성과지표를 도출하는 다양한 방안을 선행연구를 통해 살펴본 후, 각 방안의 장단점을 파악한다. 파악된 방안을 적절히 조합함으로써 객관성을 보장하며 연구의 목적과 대상, 범위에 적합한 지표를 선정하는 방안을 설계·제시한다.

32) 물류 프로세스 포함

1. 성과지표 도출방안 비교

제2장 문헌 검토에서 언급한 바와 같이, 공급사슬 성능 및 성과평가를 위한 지표선정 방식은 Lima-Junior & Carpinetti(2017)의 연구에 정리돼 있다.³³⁾ 이들이 대상으로 선정한 총 84개의 연구논문에서 파악된 방식은 <그림 4-1>에서 보이는 바와 같이 총 다섯 가지로 파악된다.

<그림 4-1> 선행연구에서 공급사슬 성과지표 선정방식 비율



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

가장 많이 활용된 방식은 타 유사 연구에서 공급사슬 성과지표를 참고하는 방식이다. ‘Science Direct’, ‘Emerald’, ‘IEEE Xplore’, ‘Scopus’, ‘Google Scholar’와 같은 신뢰성 있는 데이터베이스에서 접근 가능한 타 연구논문들은 이미 학술적 성과를 인정받았기 때문에 논리적 타당성이 확보된다는 가정하에 관련 연구논문들로부터 성과지표를 활용할 수 있다. 이 방식의 가장 큰 장점은 사용자의 연구와 관련 있는 연구논문을 기반으로 검증된 성과지표를 도출할 수 있다는 것이다. 이에 반해 선행연구와의 유

33) 단, 해당 연구에서는 각 방식의 장단점을 언급하지 않음

사성이 완벽할 수는 없으므로 때에 따라 매우 방대한 선행연구를 검토해야 한다. 또한 새로운 분야의 연구를 진행하는 경우 선행연구로부터 적절한 성과지표를 찾아내지 못할 수 있다.

연구자들이 선호한 두 번째 방식은 전문가 또는 전문가 집단이 제시한 성과지표를 활용하는 방식이다. 단순한 연구 자문 형태, 또는 전문가 집단에 소속된 개별 의견을 수집, 교환 및 개선하는 델파이(Delphi) 기법 등이 활용될 수 있다. 저자가 직접 평가지표를 선정하는 방식³⁴⁾과 유사하게 평가대상에 대한 높은 이해도를 바탕으로 성과지표가 선정되므로 평가대상과 평가지표의 연계성이 타 방식에 비해 높을 수 있다. 하지만 전문가 집단의 규모와 전문성에 직접적인 영향을 받기 때문에 지표선정의 객관성을 담보하기 위한 보조적 검증수단이 필요할 수 있다. 또한 전문가 활용비 등 예산 확보가 선행돼야 한다.

세 번째로 많이 활용된 방식은 공급사슬 운영 참조모형을 참고하는 방식이다. 제2장에서 언급된 바와 같이, 공급사슬 운영 참조모형은 공급사슬관리협회(ASCM)에서 제공하는 가이드라인으로 공급사슬 평가에 활용할 수 있는 지표를 목록·그룹화해 보여준다. 이로 인해 다기준 의사결정론, 특히 계층화 분석법에 별도의 수정 없이 적용할 수 있다. 다만 해당 참조모형에서 정의한 성과지표들은 물리적 형태를 가진 상품이나, 원자재 조달부터 생산, 반품까지의 단계를 갖는 일반 제조·판매업에 더욱 적합³⁵⁾하기 때문에, 공급사슬이 주목하는 대상에 따라 커스터마이징(customising)이 필요하다. 공급사슬 운영 참조모형은 공급사슬의 평가지표를 크게 5개의 그룹(신뢰성, 응답성, 민첩성, 비용, 자산관리 효율성)으로 정의하고, 세부 평가지표를 1~3단계까지 제공한다.

34) 단, 지표선정에서 객관성이 결여됨

35) 특히, 자산관리 효율성 측면

〈표 4-1〉 신뢰성-완벽한 주문이행 이하 2, 3단계 세부 평가지표

세부 평가지표(2단계)	세부 평가지표(3단계)
완벽하게 주문이 이행된 비율	• 배송 품목 정확도
	• 배송 수량 정확도
고객과 약속된 날짜에 이행된 주문 성능	• 고객 제품 수령시간 정확도
	• 배송 위치 정확도
서류 정확도	• 이행 서류 정확도
	• 기타 필요한 문서 정확도
	• 결제(지불)문서 정확도
	• 선적서류 정확도
완벽한 상태	• 완벽한 설치 ³⁶⁾ 비율
	• 공정(라인) 대비 손상 없이 처리된 주문 비율 ³⁷⁾
	• 손상 없는 주문 달성
	• 결함 없는 주문 달성
	• 보증 및 반품

자료: APICS(2017), pp. 29-49를 기반으로 저자 번역·정리

〈표 4-1〉은 신뢰성-완벽한 주문이행(1단계 세부 평가지표) 아래 4개의 2단계 세부 평가지표와 13개의 3단계 세부평가지표를 나타낸다. ‘신뢰성’이라는 평가지표명에서 알 수 있듯이 배송의 핵심 요소인 시간, 장소, 품목, 수량의 정확성을 포함한다. 또한 주문이행에 필요한 서류의 정확도, 제품의 손상 및 결함 여부, 특정 제품이 수반하는 설치 서비스 등이 전반적으로 고려됨을 알 수 있다.

36) 고객이 위치한 장소에 제품을 설치하는 경우, 설치가 평가항목으로 고려돼야 함

37) 하나의 주문은 복수의 공정(라인)으로 구성

〈표 4-2〉 비용-총 공급사슬 관리비용 이하 2, 3단계 세부 평가지표

세부 평가지표(2단계)	세부 평가지표(3단계)
계획 비용	• 계획 비용(공급사슬)
	• 계획 비용(공급)
	• 계획 비용(제조)
	• 계획 비용(배송)
	• 계획 비용(반품)
공급 비용	• 공급업체 승인비용
	• 생산품 수령비용
	• 제품배송 예약비용
	• 제조 및 배송에 수반되는 제품 이전비용
	• 원자재 검증비용
제조 비용	• 생산에 투입되는 직접 재료비(매출원가는 미포함)
	• 생산에 발생하는 간접비(매출원가는 미포함)
	• 직접인건비(매출원가는 미포함)
배송 비용	• 주문관리 비용
	• 주문 배송 및 설치비용
반품 비용	• 자재 반품비용
	• 고객으로부터의 반품비용
위험 완화 비용	• 위험 완화 비용(계획)
	• 위험 완화 비용(공급)
	• 위험 완화 비용(제조)
	• 위험 완화 비용(배송)
	• 위험완화 비용(반품)

자료: APICS(2017), pp. 99-113을 기반으로 저자 번역·정리

〈표 4-2〉는 매출원가를 제외한 총 공급사슬 관리비용 이하 2, 3단계 세부 평가지표를 보여준다. 공급사슬 운영 참조모형은 공급사슬 프로세스에 포함된 계획, 공급, 제조, 배송 및 반품단계와 관련된 비용을 3단계 세부 평가지표를 통해 항목별로 정의했다. 또한 공급사슬에서 발생 가능한 비

(非)체계적 위험관리에 대한 비용을 2단계 세부 평가지표인 위험 완화 비용으로 나타냈다. 매출원가에 관련한 2단계 세부 평가지표 역시 존재하며, 이들은 직접 인건비와 직접 재료비, 제조와 관련된 간접비로 나뉜다.

〈표 4-3〉 자산관리 효율성-고정자산 수익률 이하 2, 3단계 세부 평가지표

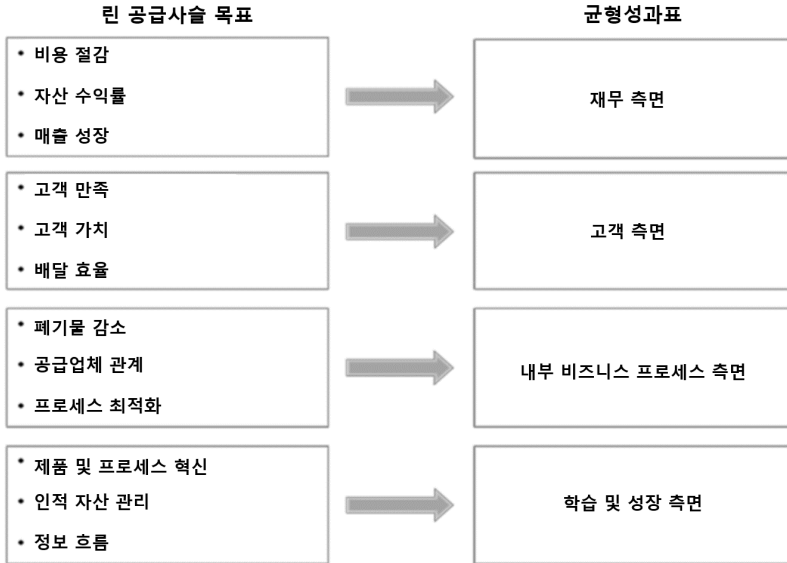
세부 평가지표(2단계)	세부 평가지표(3단계)
공급사슬 수익	• 3단계 세부 평가지표가 정의되지 않음
공급사슬 고정자산	• 고정자산 가치(배송)
	• 고정자산 가치(제조)
	• 고정자산 가치(계획)
	• 고정자산 가치(반품)
	• 고정자산 가치(공급)

자료: APICS(2017), pp. 114~125를 기반으로 저자 번역·정리

〈표 4-3〉은 자산관리 효율성-고정자산 수익률 이하 2, 3단계 세부 평가지표를 나타낸다. 2단계 세부 평가지표인 공급사슬 수익은 하부 평가지표를 가지고 있지 않으며, 공급사슬 고정자산(2단계 세부 평가지표)은 공급사슬 단계별 관련 자산의 가치를 항목별로 정의한다.

네 번째로 많이 활용된 방식은 저자가 직접 평가지표를 선정하는 방식으로 전체에서 약 16%를 차지했다. 이 방식에서는 연구 목적과 대상, 범위를 가장 잘 이해하는 저자가 평가지표 선정에 직접 관여하기 때문에 지표의 적합도 측면에서 강점을 보이지만 별도의 검증절차가 없다면 객관성을 담보했다고 보기 어렵다.

〈그림 4-2〉 린(Lean) 공급사슬 목표와 균형성과표의 관계



자료: Afonso & do Rosário Cabrita(2015), p. 273을 기반으로 저자 번역

균형성과표(BSC: Balanced Scorecard)는 상기한 5개의 방식 중 가장 선호도가 낮은 방식이다. Kaplan & Norton(1992)이 제시한 균형성과표는 고객, 재무, 학습 및 성장, 내부 비즈니스 프로세스 측면에서 기업의 실적을 평가하는 방법으로, 〈그림 4-2〉는 Afonso & do Rosário Cabrita(2015)가 린 공급사슬 목표와 균형성과표를 연계한 모습을 보여준다. 각 측면은 세부 평가지표를 가지며, 이는 연구자, 연구대상에 따라 달라질 수 있다. 균형성과표는 단일 기업을 대상으로 활용되는 경우가 많다. 상기 4개의 분석 측면에 집중할 필요가 있다면, 매우 유용할 수 있으나, 그렇지 않다면 분석 목적과 다소 동떨어질 가능성이 있다. 또한 재무자료와 같이 간단히 얻을 수 없는 데이터 영역이 존재해 많은 시간과 노력이 필요할 수 있다.

〈표 4-4〉 각 평가지표 도출방식 장단점

평가지표 도출방식	장단점
선행연구 참고	• 객관적이고 검증된 성과지표 도출 가능 • 연구자가 수행하는 연구와 완벽히 일치하는 선행연구는 존재하지 않으므로 적합성이 완벽하다고 볼 수 없음
전문가 활용	• 수행하는 연구에 적합한 성과지표 도출 가능 • 전문가 집단의 규모와 전문성에 의존적이며, 연구 자문비 등 예산 필요
공급사슬운용 참조 모형 참고	• 객관적이고 검증된 성과지표 도출 가능 • 연구자의 연구와 적합성이 완벽하다 볼 수 없고, 데이터와 정보 등 무형의 자산에 초점을 맞추는 경우 세부 평가지표는 적합하지 않음
저자 직접 선정	• 수행하는 연구에 가장 적합한 성과지표 도출 가능 • 연구자 주관에 의존하므로 객관성을 담보할 수 없음
균형성과표 활용	• 단일 기업의 고객, 재무, 학습 및 성장 및 내부 비즈니스 프로세스 측면을 집중적으로 평가할 때 유용 • 4대 측면에 집중하므로, 자칫 다른 분석 목적과는 동떨어질 수 있음

자료: 저자 작성

〈표 4-4〉는 각 평가지표 도출방식별 장단점을 요약한 것이다. 각각의 방식은 고유의 장단점을 가지고 있으므로, 특정 대안이 우수하거나 열등하다고 단정하기 어렵다. 따라서 하나의 대안을 선택하기보다는 복수의 방식을 조합해 장점을 살리고 단점을 보완하는 방안을 설계할 필요가 있다. 핵심은 수행하는 연구에 적합하면서 객관성이 확보된 성과지표를 도출하는 것이다.

2. 성과지표 도출방안 설계

선행연구에서 주로 활용된 다섯 가지 공급사슬 평가지표 선정방식은 고유의 장단점이 있고, 물류 프로세스 및 디지털 공급사슬로의 적용 적절성도 차이가 존재할 수 있다. 예를 들어, 제조 분야와 관련된 공급사슬 평가지표 문헌에서 활용한 평가지표들은 데이터와 정보에 초점을 맞춘 디지털 공급사슬 또는 물류 프로세스에 직접 활용될 수 없다. 하나의 예로 ‘배송 제품 설치 성공률’과 같은 세부 평가지표는 디지털 공급사슬에 적용될 수 없다. 반면 데이터의 일관성이나 투명성 같은 경우 상기한 물류 프로세스와 디지털 공급사슬에서 중요도가 월등히 높을 것이다.

다만, 물류 프로세스는 공급사슬 일부에 해당하므로 공급사슬 관련 평가지표 사용이 불가능한 것은 아니다. 가령, ‘구축 비용’ 평가지표의 경우, 적용 분야에 따라 세부 의미의 차이는 존재할 수 있으나 용어 자체의 재사용이 가능하고, ‘제품 품질’ 평가지표는 ‘제품’을 ‘데이터·정보’로 바꿔 사용할 수 있다.

연구대상에 적합한 물류 프로세스 평가지표를 객관적으로 도출하기 위해 선행연구에서 활용된 다섯 가지 방안 일부를 장단점을 고려해 적절히 조합할 필요가 있다. 본 연구에서는 공급사슬 운영 참조모형의 성과지표 그룹과 1단계 세부 성과지표를 기반으로 성과지표의 계층(Hierarchy)을 설계한 후, 물류 프로세스에 적합하도록 성과지표 및 세부성과지표들을 재정의하고, 필요 시 추가·제거한다. 후술할 제3절에서 문헌과 비교를 통해 도출된 성과지표의 객관성을 검토한다. 요약하면, 본 연구에서는 공급사슬 운영 참조모형을 참고해 저자가 지표를 선정 및 보완하고, 선행연구 조사 및 검토를 통해 각 지표의 객관성을 검증한다.

제2절 성과지표 도출

공급사슬 운영 참조모형은 신뢰성, 응답성, 민첩성, 비용, 자산관리 효율성으로 대표되는 5개의 평가지표 그룹을 기반으로 최대 3단계까지 세분화된 평가지표를 정의한다. 평가지표의 경우, 많을수록 다양한 영역을 평가대상으로 고려할 수 있다는 장점이 있다. 하지만 평가를 준비하는 단계에서는 자료 수집의 어려움이 생길 수 있다. 또한 설문 등을 통해 평가를 수행하는 단계에서 지표 간 비교 횟수가 많아져 응답자의 피로감을 일으키므로 신뢰성 있는 결과를 도출하지 못할 수 있다. 대개, 선택 대안이 8개 이상이면 선택대안의 과잉으로 여겨 인간이 일관적인 선택을 할 수 없다고 여긴다.³⁸⁾ 이러한 사실에 착안해 적절한 평가지표의 수를 고려할 필요가 있다. 동시에, 만약 평가지표의 수가 늘어나면, 이들을 적절히 그룹화·계층화해 분할 정복(Divide and Conquer)을 할 수 있도록 설계해야 한다.

본 연구는 공급사슬 운영 참조모형에서 소개하는 5개 평가지표 영역을 기반으로 한다. 이는 모든 형태의 공급사슬의 주요 판단 지표가 될 수 있는 포괄적인 항목이기 때문이다. 평가지표의 세분화 단계는 복잡성을 회피하기 위해 1단계까지로 제한하며, 1단계 세부 평가지표를 연구자의 전문성을 기반으로 한 판단에 의존해 정의한다. 이는 연구 대상인 ‘물류 프로세스’에 적합한 세부 평가지표를 도출하기 위함이다. 물리적 제품에 주목하는 제조업 공급사슬과는 달리, 항만 컨테이너 물류 프로세스(디지털 공급사슬)에 연관된 데이터와 정보에 초점을 맞춘다.

38) 민재형(2015), p. 415.

〈표 4-5〉 물류 프로세스 디지털화 성과지표(평가요소) 요약

평가지표	세부 평가지표
신뢰성	• 데이터 일관성
	• 데이터 완전성
	• 데이터 정확성
응답성	• 정규 응답
	• 피드백
유연성	• 적응성
	• 위험관리
비용	• 초기 투자비용
	• 운영비용
자산관리	• 데이터 기록 및 관리
	• 데이터 투명성

자료: 저자 작성

〈표 4-5〉는 물류 프로세스 디지털화 성과지표 및 세부 평가지표를 보여 주며, 다음 절에서는 이들을 소개하고, 도출한 근거를 설명한다.

1. 신뢰성 영역

공급사슬의 핵심 성과지표 중 하나는 신뢰성으로 볼 수 있다. 공급사슬 운영 참조모형에서 정의한 신뢰성은 요청받은 대로 관련 업무를 수행할 수 있는 포괄적 역량을 의미한다. 신뢰성의 1단계 세부지표로 ‘완벽한 주문이행’이 정의됐으나, 부가적인 설명 없이 이를 이해하기 어렵다. 이는 신뢰성이라는 단어가 갖는 포괄성 때문이며 세부지표를 도출하기 위해 신뢰성을 보다 구체적으로 정의해야 함을 의미한다.

본 연구에서는 물류 프로세스의 핵심 대상이 ‘데이터’라는 점에 착안해

데이터의 품질이 신뢰성을 결정한다고 정의했다. 데이터 품질을 결정하는 요인은 문헌에 따라 차이가 존재하는데, 한국데이터베이스진흥원(2009)은 필수 데이터의 누락 없음을 의미하는 완전성(Completeness), 중복성이 없음을 의미하는 유일성(Uniqueness), 유효범위 만족 여부를 판단하는 유효성(Validity), 데이터 구조, 값 등의 일관됨을 나타내는 일관성(Consistency) 및 정확성(Accuracy)이 품질을 결정하는 주요 기준이라 정의했다.³⁹⁾ 이외에 적시성(Timeliness)이 고려되기도 한다.⁴⁰⁾ <그림 4-3>은 Amurata에서 소개한 데이터 품질 결정요소를 보여주며, 상기한 평가지표 모두가 고려됐음을 확인할 수 있다.

<그림 4-3> 데이터 품질 결정요소



자료: Amurata(검색일: 2021. 6. 4)

본 연구에서는 소개된 품질 기준 중 데이터의 일관성과 완전성, 정확성을 신뢰성 측면에서 고려한다. 데이터의 일관성은 공급사슬 이해관계자 간

39) 한국데이터베이스진흥원(2009), p. 17.

40) Sigurdardottir *et al.*(2012), pp. 880-889.

관련 데이터의 일관성으로 각 이해관계자가 가진 데이터 간 불일치가 존재하지 않는 정도로 풀이된다. 데이터의 완전성은 업무에 필요한 데이터가 누락되지 않음을 의미한다. 데이터의 정확성은 실제 값(예: 화물의 무게)과 데이터의 일치성을 의미한다.

유일성을 고려하지 않은 이유는 공급사슬에서 다루는 데이터의 특성상, 고유의 식별자(ID)를 기반으로 해 유일성이 대부분 지켜진다고 볼 수 있기 때문이다. 구조화된 공급사슬 데이터베이스의 특성상 유효성 역시 잘 지켜진다고 볼 수 있어 본 연구의 평가지표에서 제외했다. 적시성의 경우, 다음 절에서 소개될 응답성과 관련이 있어 신뢰성 영역에서는 고려하지 않는다.

2. 응답성 영역

응답성은 공급사슬 운영 참조모형에서 관련 업무가 수행되는 속도, 즉 신속성을 의미한다. 본 연구가 대상으로 하는 항만 수출입 컨테이너 물류 프로세스에서는 특정 이해관계자가 필요로 하는 데이터를 얼마나 신속하게 받을 수 있는지로 해석될 수 있다. 현업에서는 일상적으로 수행되는 업무와 비일상적인 업무를 구분하므로 응답성 영역에서 역시 이를 적절히 고려해야 한다.

본 연구에서는 응답성 영역의 세부 평가지표로 정규 응답과 피드백을 활용한다. 정규 응답은 정기적인 또는 일상적인 데이터(또는 정보)의 수신 시간을 의미하며, 응답 시점과 요청 시점의 차이로 계산된다. 피드백의 경우, 데이터(또는 정보)의 업데이트 시간으로 정규 응답 외 피드백에 의한 추가적인 처리시간을 의미한다. 이는 정규 응답으로 전달된 데이터가 완벽하지 않았을 때 발생한다.⁴¹⁾ 정규 응답과 유사하게 피드백에 대한 추가 처리시

41) 즉, 신뢰성의 특정 기준이 결여됐을 경우

점과 피드백 요청시점의 차이로 계산할 수 있다.

상기한 두 하위 평가요소는 시간과 관련된 속성이므로 신뢰성에서 소개한 적시성과 유사하다고 생각될 수 있다. 하지만 적시성의 경우 주문제품의 정시도착 등 물리적 물건의 수·배송이나 제조 공정에서의 중간품 도착 등에 주로 활용된다. <표 4-1>에서 정리된 바와 같이, 고객의 제품 수령시간의 정확도(적시성)가 3단계 세부 평가지표에 정의된 것을 볼 수 있다. 데이터와 정보의 경우 요청과 수신을 기반으로 전달·공유되므로 적시성이 아닌 정규 응답 및 피드백이 디지털 공급사슬의 응답성을 대표할 수 있을 것으로 판단된다.

3. 유연성 영역

유연성의 경우, 공급사슬 운영 참조모형의 민첩성(Agility)에 해당된다. 영어단어 ‘Agility’는 표면적으로는 얼마나 빠르게 생각·이해하고 움직이는지를 의미하고,⁴²⁾ 동시에 유연성의 의미를 내포하고 있다. 참조모형에서는 불확실성이 높은 수요나 공급사슬 내 파트너 변경, 파업 등에 얼마나 잘 대처하는지를 중요한 평가요인으로 인식했다. 이는 민첩성보다는 유연성에 의미상 더 가까우므로 본 연구에서는 ‘Agility’의 사전적 번역인 ‘민첩성’을 사용하지 않고, ‘유연성’이라는 단어를 활용한다.

본 연구 대상인 물류 프로세스(디지털 공급사슬)는 특정 상품의 수요와 같은 시장 상황을 예측하기보다는 이해관계자 간 공유되는 데이터와 정보의 품질을 높이며 효과적인 교환 및 공유 시스템을 구축하는 데 초점을 맞추고 있다. 그러므로 공급사슬 운영 참조모형에서 정의한 민첩성의 세부항목을 그대로 활용하지 않고 연구 목적에 맞게 재정의될 필요가 있다.

42) 즉, 민첩성

〈그림 4-4〉 PSA PNIT 정보시스템

PSA PNIT

본선연령

컨테이너조회

YARD연령

전자문서

ONDOCK

비용정산

CFS

고드조회

선석 배정현황(목록)

선석 배정현황(카드)

본선 작업 현황

양적하 예상시간 조회

선박별 미반입 목록

선박별 과반입 목록

선박별 미반출 목록

선석 취소 목록

리턴컨테이너 목록

선박별 양적하 목록

Container Loading List

CLL 대조 확인

선석배정 신청 및 조회

제조작 목록

Berth Schedule (Text)

Berth Schedule (Chart)

Bay별 작업현황

양하 예정시간 조회

Today Berthing Schedule

모선항지	접안(예정)일시	출항(예정)일시	양하	적하
MAAN002	21/06/05 18:30	21/06/07 22:00	3916	2454
MMBI002	21/06/06 13:33	21/06/07 17:00	1903	1333
MVBH002	21/06/07 12:00	21/06/08 12:00	500	1000
OHYD002	21/06/07 19:00	21/06/08 09:00	413	456
MKA0004	21/06/08 00:00	21/06/10 02:00	2299	2661
MSEL004	21/06/08 02:00	21/06/09 00:00	1278	350

Notice & News

제목	작성일
Internet Explorer 기와 중단	202104080904
아드 북수로 인한 반입 제한 협조 요청 건(반입 제한일 변경)	202104011504
송기문은 트래일리 운전 홍보(장시정발시 요청)	202103251103
MAE DRY Empty 반출 Booking 관련	202102251402
실날 유무로 인한 GATE 반출입 중단 및 장과보관로 연계 관련 건	202102081402
PNIT 현수요를 변경 안내(2021. 02. 01.부)	202012211312
외부자 기사님들께 알립니다.	202012161612
외부 기사님들께 공지합니다.	202012161112
특수하물(OOG) 컨테이너 반출입 안내	202007311607
PNIT 게이트 진출입로 주차 단속 강력 실시 안내	202007311407

Favorites

· 선석 스케줄 (그래프)	· 본선 작업 현황	· 구역, 방역, 임시 신청
· 컨테이너 Stock Report	· 컨테이너 조회	· PTI 오더 신청 및 조회
· 양적하 예상시간 조회	· 아드 컨테이너 목록	· 반출입 물량 조회
· Booking Order 조회	· 컨테이너 Movement 현황 조회	· 아드 작업 현황

터미널아드 온잡 현황

	반입	반출
아드 거점 현황	98 대	58 대
Truck Turn Time	13 분	11 분
현 아드 상태 매우 혼잡 (대기차량 : 156 대)		

Container 양하예정시간 조회

Container 거래명세서 조회

Empty 반출 가능개수

OPR	20DC	40DC	40(HC)	45DC
CMA	0	0	0	0
HLC	23	50	47	0
HMM	0	0	0	0
MAE	500	175	77	2
MSC	선사에 문의하여 주시기 바랍니다.			
ONE	27	13	166	0
RCL	76	0	1	0
SKR	34	0	12	0
ZIM	47	6	2	21

자료: PSA PNIT(검색일: 2021. 6. 7)을 기반으로 저자 수정

먼저, 적응성이라는 세부 평가지표를 정의한다. 이는 각 이해관계자 입장에서 내·외부 시스템과의 연결 및 통합 용이성을 나타낸다. 예를 들어, 터미널 운영사는 자체적인 정보 시스템을 가지고 있다. <그림 4-4>는 PSA PNIT 운영사의 정보 시스템으로 선석 배정현황을 포함한 본선 작업 현황, 양·적하 예상시간, 선박별 미반입목록, 선석 일정(Berth Schedule) 등을 보여준다(빨간 점선으로 표시된 영역).

각 터미널 운영사는 이와 같은 정보시스템을 운영하고 있으며, 항만공사나 육상운송사, 선사 등 핵심 이해관계자는 대외 또는 대내적인 시스템을 구축·운영하고 있다. 이 시스템들은 필요에 따라 상호 연계되거나 연계할 필요가 있어 상호운용성(Interoperability) 또는 적응성(Adaptability)이 핵심적인 평가요소가 될 수 있다.

두 번째 세부 평가요소로는 공급사슬 운영 참조모형에서도 활용한 위험관리(Risk Management) 측면이다. 이는 정의하는 연구자나 기관에 따라 개념적 차이가 존재한다. Mason-Jones & Towill(1998)은 환경 위험원, 프로세스 위험원, 제어 위험원, 공급 및 수요 위험원을 공급사슬의 대표적인 위험원으로 보았다. 즉, 이들은 상기 위험원을 관리하는 것을 공급사슬 위험관리로 여겼다.

〈그림 4-5〉 Everstream의 공급사슬 위험관리 주기



자료: Everstream(검색일: 2021. 6. 7)

이에 반해, ‘Everstream’은 공급사슬 위험관리의 주기를 도식화해 자사 홈페이지에 게시했다(그림 4-5). 이들은 ① 공급망 지도화(Map supply chain), ② 자료 보강(Augment data), ③ 위험 평가(Assess Risks), ④ 위험 감시(Monitor Risks), ⑤ 사건 대응(React to Events), ⑥ 협업(Collaborate)을 통해 공급사슬의 위험을 관리하는 방안을 제시했다. 즉, Mason-Jones & Towill(1998)은 공급사슬 위험의 근원을 파악하는 데 중점을 둔 반면, ‘Everstream’은 위험관리에 중점을 둔 것을 확인할 수 있다.

본 연구에서 다루는 물류 프로세스 위험관리는 사이버 보안수준, 시스템 장애 및 복구, 공급사슬이 부정확한 데이터로부터 받는 부정적 영향 정도를 포함하는 전반적이고 포괄적인 상황을 의미한다. 일반적인 공급사슬이 아닌 디지털 공급사슬을 대상으로 하므로 ‘시스템’에 초점을 두었으며, 최근 보안 분야의 중요성이 특히 강조되는 만큼 이와 같이 정의된 위험관리는 항만 컨테이너 물류 프로세스의 핵심적인 평가지표로 여겨질 수 있다.

4. 비용 영역

비용 영역은 공급사슬을 포함한 다양한 사업이나 프로세스 등을 평가하는 가장 대표적인 평가지표라 할 수 있다. 비용-편익분석에서는 비용이 모든 편익요소를 포함한 만큼 중요시된다. 특히 기회비용이나 사회적 비용과 같이 분석자 또는 상황에 따라 편차가 클 수 있는 비용 요소를 제외하면, 대부분은 낮은 수준의 오차로 정량적인 값을 도출하는 것이 가능하다. 이로 인해 사업 추진 관련 경제성 분석이나 의사결정에 항상 활용된다. 물리적인 제품에 초점을 둔 공급사슬 프로세스 관점에서는 공급사슬을 계획하는 단계부터 반품 등 회수 물류 단계까지 발생 가능한 모든 비용을 포함한다.

일반적으로 이러한 비용은 사업 추진 또는 시스템 구축에 소요되는 초기 투자비용(Initial investment cost)과 이를 운영하는 데 소요되는 운영비용(Operating costs)으로 구분된다. 회계적 관점으로 보면 직접비와 간접비, 인건비, 재료비 등을 구분하지만, 통상적인 다기준 의사결정 모형에서는 단순화를 위해 세부적으로 운영비를 구분하지 않는다.

본 연구에서 초기 투자비는 각 디지털화 대안을 구축하기 위한 소요비용을 의미하고, 운영비는 해당 대안들에서 데이터와 정보를 처리하는 데 소요되는 비용 전반을 의미한다.

5. 자산관리 영역

일반적인 비즈니스에서 자산관리는 사업 대상으로 여겨지는 상품과 재고, 이를 처리하기 위한 자원(예: 인적자원, 운송수단) 등을 대상으로 한다. 공급사슬 운영 참조모형은 물리적인 상품을 다루는 일반적인 공급사슬을 대상으로 하므로 재고 관리 등의 세부항목이 자산관리 영역에 포함된다.

하지만 본 연구에서 다루는 항만 컨테이너 물류 프로세스에서는 컨테이너의 흐름에 따른 데이터와 정보를 대상으로 하므로 공급사슬 운영 참조모형에서 제시한 자산관리 영역을 별도의 수정 없이 활용할 수 없다. 데이터와 정보의 경우, 물리적인 공간이 필요치 않으므로 재고 비용의 중요성이 매우 낮고, ‘자산’으로 여겨지는 데이터와 정보 가공을 통한 향후 활용성이 존재하는 등 차이를 보이기 때문이다.

빅데이터의 대두로 인해 데이터와 정보는 향후 활용가치가 있는 특별한 자산으로 여겨진다. 특히 과거에는 중요하게 여겨지거나 관리되지 않았던 원시 데이터(Raw data) 또는 데이터 로그(Data log)에서 유의미한 정보를 도출할 수 있게 되면서 데이터 관리에 기업이나 조직의 역량을 집중하는 경우를 볼 수 있다. 이는 당장 활용 가능한 비즈니스 모델이 존재하지 않더라도 원시 데이터의 잠재력을 고려해 보관하는 경우도 많고, 기계학습에 활용할 훈련 데이터를 미리 수집하는 관점에서의 접근 역시 가능하다.

미래 활용을 위해 원시 데이터 또는 정보를 기록하는 것 외에, 데이터 투명성(또는 가시성)은 디지털 공급사슬의 자산관리 측면에서 매우 중요한 역할을 한다. Venkatesh *et al.*(2020)은 디지털 공급사슬의 혁신을 가져오는 블록체인의 장점으로 데이터와 정보의 투명성을 언급했으며, 이를 통해 디지털 공급사슬에서는 데이터의 투명성이 핵심적인 평가지표로 활용될 수 있음을 간접적으로 파악할 수 있다.

즉, 본 연구에서는 자산관리 측면에서 데이터 로그 관리를 의미하는 데이터 기록성과 데이터 투명성을 세부 성과지표로 활용한다. 데이터 기록성은 데이터 연계, 심화 분석 등 향후 활용을 위한 데이터 로그 생성 및 보존 수준을 의미하고, 데이터 투명성은 이해관계자들 간 공유되는 데이터와 정보의 수준을 의미한다.

제3절 성과지표 객관성 검증

제2절에서는 공급사슬 운영 참조모형에 소개된 평가지표를 기반으로 한 컨테이너 물류 프로세스 평가를 위한 지표를 저자가 새롭게 정의하거나 제시했다. 이와 같은 방식은 공급사슬 운영 참조모형을 기반으로 하므로 일정 수준의 객관성을 보장하기도 한다. 연구자의 주관적인 판단으로 도출한 새로운 지표들은 높은 연구 적합성에도 불구하고 객관성을 보장하기 어려워 별도의 검증과정이 필요하다고 판단된다.

앞선 절에서 도출한 성과지표 및 세부 성과지표의 객관성·적절성을 검증하기 위해 이들이 관련 선행연구에서도 활용됐는지를 조사했다. <표 4-6>은 이를 요약한 것이다. 일부 연구는 해당 세부 성과지표를 공급사슬 평가에 직접 활용했고, 특정 항목이 공급사슬에서 중요한 요소임을 언급해 이들이 평가지표로 활용될 수 있음을 시사하는 연구들도 존재한다.

〈표 4-6〉 항만 컨테이너 물류 프로세스 디지털화 성과지표별 참고문헌

평가지표	세부 평가지표	핵심 레퍼런스
신뢰성	• 데이터 일관성	• Hazen <i>et al.</i> (2014) • Amurata(검색일: 2021. 6. 4)
	• 데이터 완결성	• Hazen <i>et al.</i> (2014) • Amurata(검색일: 2021. 6. 4)
	• 데이터 정확성	• APICS(2017) • Hazen <i>et al.</i> (2014) • Amurata(검색일: 2021. 6. 4)
응답성	• 정규응답	• Schlüter, Hetterscheid & Henke(2019) • Hazen <i>et al.</i> (2014)
	• 피드백	• APICS(2017)
유연성	• 적응성	• APICS(2017)
	• 위험관리	• Schlüter, Hetterscheid & Henke(2019) • APICS(2017)
비용	• 초기 투자비용	• APICS(2017) • Büyüközkan & Göçer(2018)
	• 운영비용	• APICS(2017) • Büyüközkan & Göçer(2018)
자산관리	• 데이터 기록 및 관리	• Venkatesh <i>et al.</i> (2020)
	• 데이터 투명성	• Venkatesh <i>et al.</i> (2020)

자료: 저자 작성

〈표 4-6〉에 요약된 바와 같이, 본 연구에서 도출한 물류 프로세스(디지털 공급사슬) 평가지표 및 세부지표들은 선행연구 전반에 활용됐거나 디지털 공급사슬에서의 중요한 항목임이 언급됐으므로 적합성뿐만 아니라 객관성과 적절성을 확보했다고 볼 수 있다. 최종적으로 도출된 평가지표와 세부 평가지표, 그리고 각각에 대한 요약 설명은 〈표 4-7〉에 정리했다.

〈표 4-7〉 항만 컨테이너 물류 프로세스 디지털화 성과지표

평가지표	세부 평가지표	설명
신뢰성	데이터 일관성	• 이해관계자 간 컨테이너 물류 프로세스 데이터의 일관성
	데이터 완결성	• 필요한 데이터가 누락되지 않음
	데이터 정확성	• 실제 값과 데이터·정보 일치성
응답성	정규 응답	• 정기적인 또는 일상적인 데이터와 정보의 수신 시간 • ‘응답시점-요청시점’으로 계산
	피드백	• 데이터 및 정보 업데이트 시간으로, 정규 응답 외 피드백에 의한 추가 처리시간 • 정규 응답에 의해 전달된 데이터나 정보가 완벽하지 않을 때 발생 • ‘피드백에 대한 처리시점 - 피드백 요청시점’으로 계산
유연성	적응성	• 내·외부 시스템과 연결(또는 통합) 용이성
	위험관리	• 사이버 보안수준, 시스템 장애 및 복구, 물류 프로세스의 부정확한 데이터로부터 받는 부정적 영향 정도 등을 포함하는 위험관리 전반
비용	초기 투자비용	• 물류 프로세스 데이터와 정보를 처리하기 위한 자본비용
	운영비용	• 물류 프로세스 데이터와 정보를 처리하기 위한 운영비용
자산관리	데이터 기록 및 관리	• 데이터 연계, 심화분석 등 향후 활용을 위한 데이터 로그 생성 및 보존 수준
	데이터 투명성	• 이해관계자들 간 데이터 투명성 수준(공유되는 데이터·정보의 수준 등)

자료: 저자 작성

제3장과 본 장에서 각각 도출된 디지털화 대안과 평가지표들을 기반으로 제5장에서는 디지털화 대안의 순위와 평가지표 간 중요도를 도출한다.

05

물류 프로세스 디지털화 대안평가

제3장에서는 항만 컨테이너 물류 프로세스 디지털화 대안을 제시했고, 제4장에서는 이를 평가하기 위한 지표 및 세부지표를 제시했다. 제5장에서는 이를 기반으로 물류 프로세스 디지털화 대안을 평가하는 방법과 절차를 소개한다. 제1절에서는 본 연구에서 활용한 계층화 분석법과 퍼지 계층화 분석법을 소개한다. 계층화 분석법은 제4장에서 도출한 계층화된 평가지표를 활용하는 데 특화된 다기준 의사결정 방법 중 하나다. 퍼지 계층화 분석법은 인간이 내재한 모호성을 적용한 계층화 분석법으로 의사결정과 관련한 연구 분야에서 자주 활용되는 방법이다.

다음으로, 기초 분석 데이터 확보를 위한 설문지를 준비하는 과정과 설문대상에 대해 소개한다. 먼저, 설문지 작성 시 유의사항 및 설문지 구성요소를 설명하고, 설문대상자의 규모와 분야를 정한다. 본 연구에서는 학계 및 연구계에 종사하는 항만·물류 전문가와 항만공사, 화주, 포워더, 터미널 운영사, 선사, 육상운송사, 물류 정보기술, 항공물류, 표준화 및 컨설팅에 종사하는 산업계 전문가를 설문대상으로 선정했다(제2절).

제3절은 설문 수행방식을 간략히 소개하고, 설문 분석에 활용된 퍼지 계층화 분석법과 일반 계층화 분석법 절차를 설명한다. 퍼지소속함수, 퍼지 기하평균 등 분석법의 핵심 내용을 소개했으며, 분석결과를 요약해 제시했

다. 이는 대안의 선호도를 포함해 평가지표 및 세부 평가지표의 중요도로 나타나며, 향후 공급사슬 디지털화 의사결정에 도움이 될 것으로 판단한다.

제1절 계층화 분석법 및 퍼지 계층화 분석법

계층화 분석법은 계층화된 평가지표들을 활용해 대안 선택을 지원하는 다기준 의사결정 방법의 하나다. 이는 인간이 가장 합리적인 선택을 할 수 있는 쌍대비교를 활용하지만, 인간이 내재한 모호성으로 인해 계층화 분석법에 수반되는 설문결과가 생각이나 판단을 정확하게 전달하지 못할 수 있다. 퍼지이론(Fuzzy set theory)은 이러한 모호성을 보완하는 이론으로 계층화 분석법에 결합해 활용하는 경우가 많다.

본 절은 계층화 분석법과 퍼지이론 각각에 대해 간략히 소개하고, 각 방법이 본 연구에 적용된 형태를 설명한다.

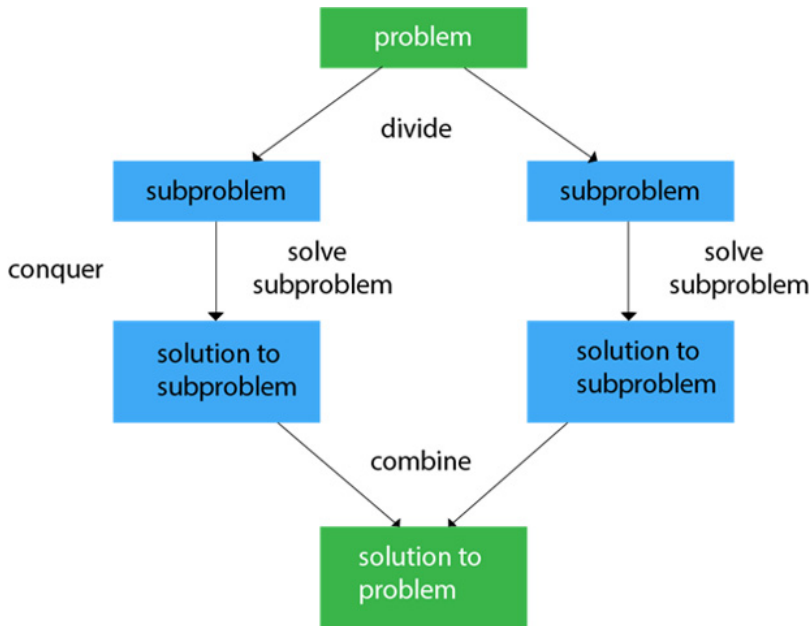
1. 계층화 분석법

계층화 분석법은 미국의 Thomas L. Saaty가 1970년대 초반에 제시한 다기준 의사결정 이론으로,⁴³⁾ 지난 수십 년 동안 공급사슬 파트너 선정, 공급사슬 평가 등 다양한 분야에서 활용됐다. 이는 복잡한 문제를 분할 후 정복하는 분할 정복(Divide and conquer)의 개념을 활용한다(그림 5-1). 다기준 의사결정 문제 역시 기준과 대안의 수에 따라 매우 복잡한 문제가 될 수 있는데, 계층화 분석법은 이러한 문제를 계층화해 더욱 쉬운 해법을

43) Mahapatra *et al.*(2020), p. 1468.

제시한다. 계층화는 다기준 의사결정의 핵심 요소인 설정된 목표, 평가지표, 대안을 기반으로 수행된다. 평가지표가 그룹화·계층화된 경우, 평가지표의 계층을 분류한다.

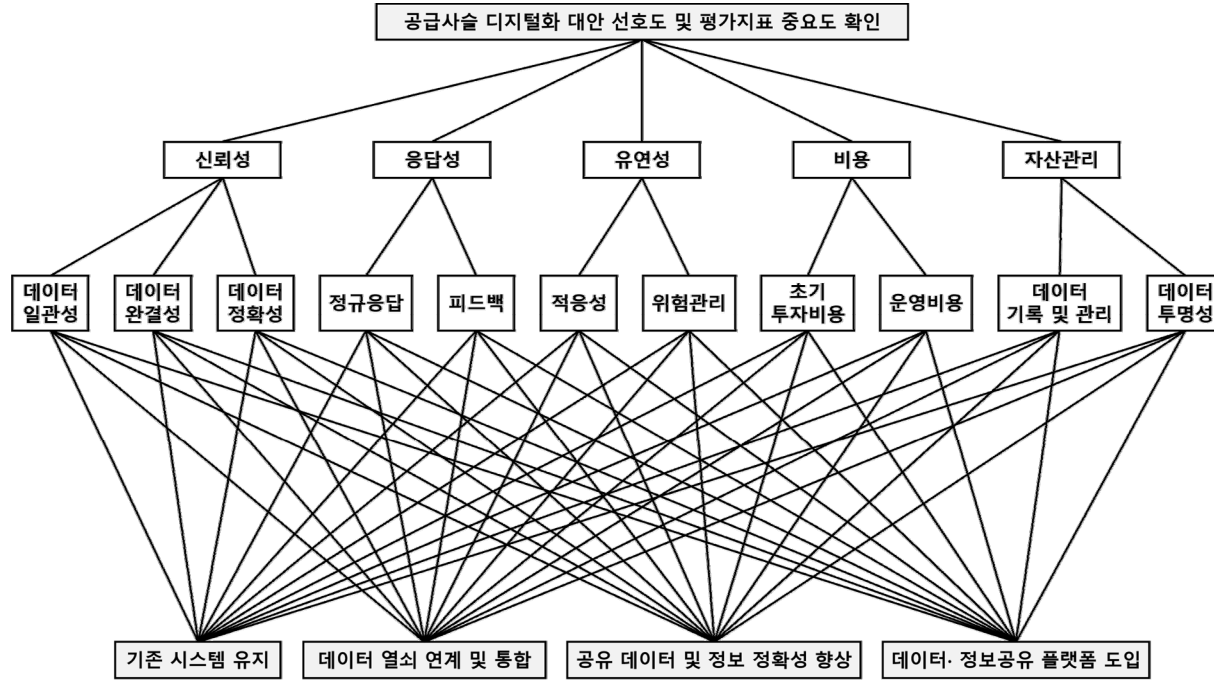
〈그림 5-1〉 분할 정복 개념도



자료: JavaTpoint(검색일: 2021. 8. 15)

본 연구에서는 제3장에서 도출된 네 가지 디지털화 대안을 제4장에서 도출된 평가지표로 평가한다. 계층화 분석법을 통해 평가지표 간 중요도와 각 평가지표에 속한 세부 평가지표의 중요도도 함께 도출된다. 상기한 목표, 평가지표 및 대안을 계층화해 표현하면 〈그림 5-2〉와 같다.

〈그림 5-2〉 대상 물류 프로세스 디지털화 대안평가 계층도

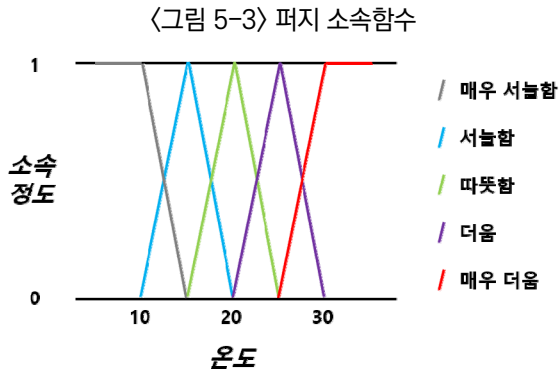


자료: 저자 작성

계층화된 문제는 ① 설문지 작성, ② 설문조사 수행, ③ 설문지 응답 기반 쌍대비교표 도출, ④ 쌍대비교표 규준화, ⑤ 쌍대비교표에 따른 가중치 도출, ⑥ 일관성 확인, ⑦ 종합가중치 선정 및 결과해석 단계로 풀이된다. 만약, 여섯 번째 단계에서 일관성이 보장되지 않은 설문응답이 있다면 재조사를 수행해 일관성이 보장되도록 한다.⁴⁴⁾ 계층화 분석법은 필요에 따라 퍼지이론 등 다른 이론과 결합하는 경우가 많다. 본 연구에서는 연구 목적과 대안의 특성을 고려해 계층화 분석법을 퍼지이론과 결합해 활용한다.

2. 퍼지이론 및 퍼지 계층화 분석법

퍼지이론은 제2장에서 설명된 바와 같이 인간의 선택이 갖는 모호성을 분석에 녹여내는 이론이다. 쉽게 이해할 수 있는 퍼지이론의 적용영역은 온도에 대한 사람의 느낌이다.



자료: 저자 작성

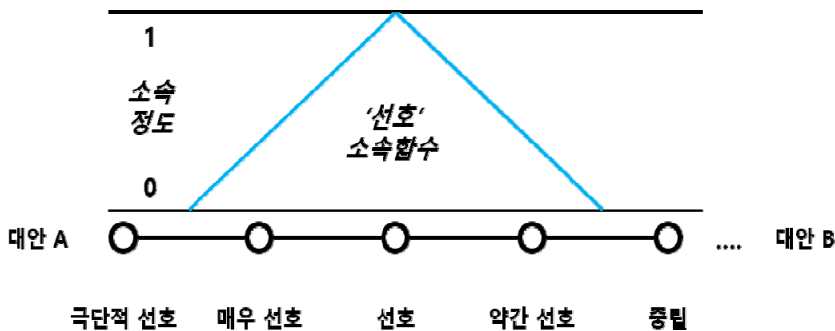
44) 전문가 집단을 대상으로 한 것이 아닌 시민 등 불특정 다수를 대상으로 하는 설문에서는 일관성이 낮은 설문은 활용하지 않음

〈그림 5-3〉은 온도에 대한 사람의 느낌을 퍼지 소속함수(Membership function)로 나타낸 것이다. 이는 특정 온도가 어떤 소속함수에 어느 정도로 소속됐는지를 보여준다. 예를 들어, 30도의 경우 소속의 정도가 1이며, 이는 매우 더움에 늘 소속되는 것이다. 10도의 경우, 서늘함의 소속함수와 매우 서늘함의 소속함수에 같은 정도로 소속된다.

이를 대안 A와 대안 B가 평가지표 C에서 선호도를 쌍대비교를 수행하는 경우에 대입할 수 있다. 응답자는 특정 값(예: 대안 A를 선호)으로 응답하는데, 엄밀히 말해 이 응답에는 대안 A를 매우 선호함과 약간 선호함을 어느 정도 포함할 수 있는 것이다(그림 5-4). 즉, 퍼지이론은 설문 응답에서 특정 값에 퍼지 소속함수를 적용해 인간이 가진 모호성을 표현하는 이론이라 볼 수 있다.

〈그림 5-4〉 퍼지 소속함수와 쌍대비교

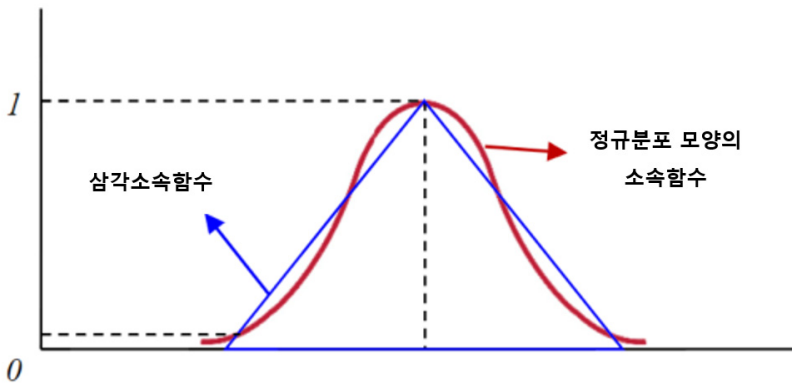
평가지표 C에서의 대안 선호도 비교



자료: 저자 작성

소속함수는 삼각형, 사다리꼴 등 다양한 형태를 보인다. 하지만 가장 일반적인 형태의 소속함수는 삼각소속함수로 볼 수 있다.⁴⁵⁾ 가장 널리 활용되는 데는 여러 이유가 존재하겠으나, 대표적인 장점은 함수 표현의 단순함이다. <그림 5-4>에서 각 꼭지점의 x 좌표값으로 함수를 표현할 수 있기 때문이다. 또한 대부분의 자연현상을 대표할 수 있는 정규분포(Normal Distribution)와 유사한 모습을 가지고 있기 때문이다. 인간의 선택이 정규분포를 띠를 가정하는 것은 치명적인 논리결함이 없으므로 연구결과에 부정적인 영향을 주지 않는다고 볼 수 있다. <그림 5-5>는 Wicaksono, Arshad & Sihombing(2020)의 논문에서 발취 후 번역·수정한 것으로 삼각소속함수가 정규분포를 일정 수준 대신할 수 있음을 확인할 수 있다.

〈그림 5-5〉 삼각소속함수와 정규분포



자료: Wicaksono, Arshad & Sihombing(2020), p. 4를 기반으로 저자 번역·수정

본 연구에서는 상기한 퍼지이론의 장점과 가장 널리 받아들여지는 삼각소속함수를 분석에 활용했다. 상세한 적용방식은 제3절에서 소개되며, 이를 설명하기 전 설문조사 준비에 대해 서술한다(제2절).

45) Pedrycz(1994), p. 21.

제2절 설문조사 준비

설문조사는 사전에 정의한 구조화된 질문 묶음을 통해 자료를 수집하는 행위다. 이는 대면 인터뷰 또는 웹이나 이메일 등을 활용한 비대면으로 수행될 수 있다. 코로나19로 인해, 본 연구에서는 웹과 이메일을 통한 비대면 설문을 수행했으므로 이에 따라 설문지를 준비했다. 양질의 자료를 얻기 위해 공급사슬과 항만, 물류 등 관련 분야 학계 및 산업계 전문가로 설문대상을 구성했다.

1. 설문지 작성

설문지는 조사 수행자가 정의한 문제를 분석·해결하기 위해 질문을 구조화한 문서로 정의할 수 있다. 이는 설문 응답자의 주관적인 생각을 객관화함으로써 분석의 편의를 제공한다. 설문지는 연구자나 조사 수행자가 선택한 분석방법에 따라 다르게 작성될 수 있으나, ① 설문 조사에 대해 충분한 설명을 포함하고 ② 단순하고 명확한 질문을 작성해야 하며 ③ 객관적인 응답을 방해하는 용어의 사용을 피하는 등 기본적인 요령을 공유한다. 계층화 분석법에서 설문지는 이러한 항목을 고려하면서 <표 5-1>과 같은 구조로 작성됐다.

<표 5-1> 본 연구에서 설문지 구성요소

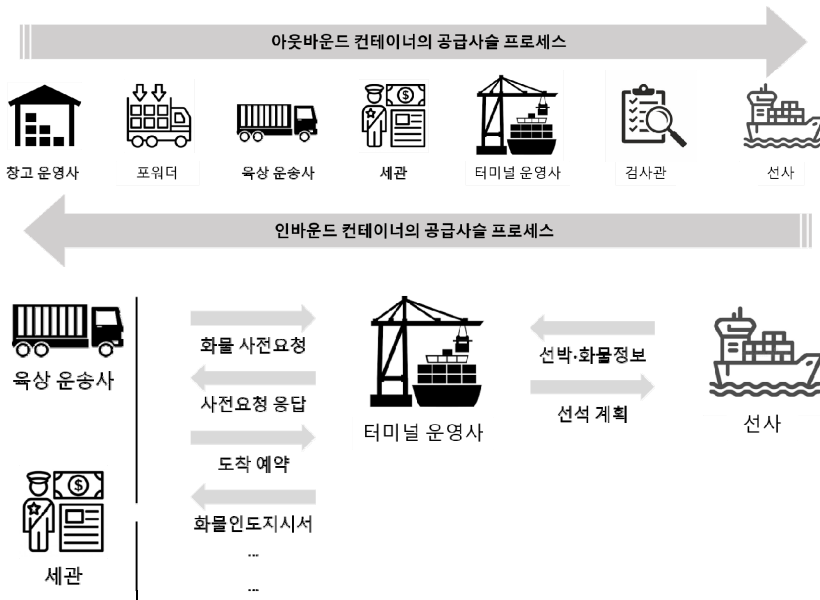
설문지 영역	역할
설문 개요	설문의 목적 소개와 개인정보 보호 알림
설문 배경	설문에 대한 이해를 돕기 위한 배경 소개
문제 서술	계층화된 문제 설명

설문지 영역	역할
성과지표 설명 선호도 조사	물류 프로세스 디지털화 성과지표 설명 및 질문지
대안 설명 및 선호도 조사	물류 프로세스 디지털화 대안 설명 및 질문지
참고 문서	계층화 분석법에서 쌍대비교와 일관성 설명

자료: 저자 작성

본 연구 대상인 항만 수출입 인·아웃바운드 컨테이너 디지털 공급사슬은 업계 전문가라 해도 익숙하지 않은 용어·개념일 수 있다. 그러므로 설문지 전반부에는 설문의 개요와 배경을 소개함으로써 설문의 목적과 배경에 대한 이해를 설문 응답자와 공유한다. 특히 인바운드 및 아웃바운드 해상 컨테이너 이동과 데이터·정보 흐름의 차이를 보여 디지털 공급사슬(대상 물류 프로세스)의 차별성을 부각했다(그림 5-6).

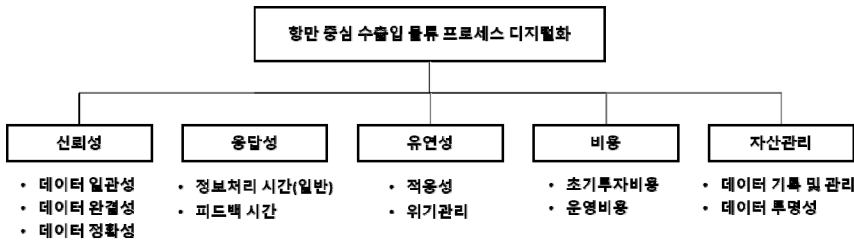
〈그림 5-6〉 컨테이너 물리적 흐름(위)과 데이터·정보흐름(아래)의 차별성 부각



자료: 저자 작성

또한 연구자가 계층화한 문제를 도식화해 공유함으로써 문제에 대한 이해를 돕도록 한다(그림 5-7). 설문지 구성상 대안이 후반부에 설명됐으므로 그림에서는 평가지표의 계층만을 보여준다.

〈그림 5-7〉 대상 물류 프로세스 디지털화 대안평가 계층도(설문지 내)



자료: 저자 작성

평가지표 계층도를 기반으로 각 평가지표와 세부 평가지표에 대한 각각의 설명을 추가해 평가지표 간 쌍대비교에 도움이 되도록 했다. 또한 본 연구에서 정의한 디지털화 대안 역시 생소한 개념일 수 있으므로 대안별 설명을 더했다. 마지막으로, 계층화 분석법에서 쌍대비교 해설과 서수·기수적 일관성 설명을 추가해 응답의 일관성을 높이고자 했다.

설문지의 각 질문은 쌍대비교표를 작성하기 용이하도록 구성됐다. 이러한 방식은 향후 설문결과를 쉽게 수집하도록 한다. 본 연구의 경우 ① 평가지표 간 중요도(〈그림 5-8〉 위), ② 세부 평가지표 간 중요도(〈그림 5-8〉 중간), 그리고 ③ 각 세부 평가지표하 대안 간 선호도(〈그림 5-8〉 아래)가 단위 질문 묶음으로 구성됐다.

〈그림 5-8〉 쌍대비교표 작성을 용이하게 하는 질문 구성

1.2 평가요소 간 쌍대비교를 통해 선호도를 표현해 주십시오.

- '평가요소 1(왼쪽)'과 '평가요소 2(오른쪽)' 간 상대적 선호도를 원에 체크표시(✓)를 통해 표현해 주십시오.

평가요소 1	극단적 선호	매우 선호	선호	약간 선호	중립	약간 선호	선호	매우 선호	극단적 선호	평가요소 2
← 선호도 →										
신뢰성	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	응답성
신뢰성	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	유연성
신뢰성	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	비용
신뢰성	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	자산 관리
응답성	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	유연성
응답성	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	비용
응답성	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	자산 관리
유연성	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	비용
유연성	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	자산 관리
비용	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	자산 관리

1.3 평가요소 '신뢰성'의 세부 평가요소 간 쌍대비교를 통해 선호도를 표현해 주십시오.

- '세부 평가요소 1(왼쪽)'과 '세부 평가요소 2(오른쪽)' 간 상대적 선호도를 원에 체크표시를 통해 표현해 주십시오.

세부 평가요소 1	극단적 선호	매우 선호	선호	약간 선호	중립	약간 선호	선호	매우 선호	극단적 선호	세부 평가요소 2
데이터 일관성	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	데이터 완전성
데이터 일관성	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	데이터 정확성
데이터 완전성	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	데이터 정확성

2.2 평가요소 '신뢰성'의 세부 평가요소 '데이터 완전성' 측면에서 대안 간 쌍대비교를 통해 선호도를 표현해 주십시오.

- '대안 1'과 '대안 2' 사이 상대적 선호도를 원에 체크표시를 통해 표현해 주십시오.

대안 1	극단적 선호	매우 선호	선호	약간 선호	중립	약간 선호	선호	매우 선호	극단적 선호	대안 2
데이터 열쇠	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	데이터 품질
데이터 열쇠	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	데이터 플랫폼
데이터 열쇠	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	기존 시스템
데이터 품질	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	데이터 플랫폼
데이터 품질	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	기존 시스템
데이터 플랫폼	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	기존 시스템

자료: 저자 작성

설문은 국내외 전문가를 대상으로 수행됐기 때문에, 국문과 영문 두 가지를 준비했고, 전체 설문지는 〈부록〉을 통해 확인할 수 있다.

2. 설문대상 선정

설문대상은 설문지를 통해 분석에 필요한 기초 데이터를 제공해 주는 집단이다. 설문대상을 통해 수집된 기초자료는 연구자의 주관적 판단을 배제한 자료이므로, 주관성이 상대적으로 낮다. 또한 학계와 연구계 및 업계 전문가 다수의 의견을 종합하므로 특정 전문가의 의견에 치우치지 않도록 설문조사를 설계할 수 있다.

설문대상을 선정하기에 앞서 설문대상 규모를 먼저 결정해야 한다. 본 연구에서는 중심극한정리가 성립하는 최소한의 표본 크기인 30 이상을 만족하도록 설문대상 규모를 전문가 46인으로 설정했다. 이는 계층화 분석법 기준으로 일관적 대답을 하지 못한 전문가의 의견을 분석에서 배제하기 위해 설문대상을 선정하는 단계에서 미리 여유 인원을 확보한 것이다.

〈표 5-2〉 설문 응답자 구성

단위: 명

설문 응답자 분류(전문분야 또는 소속)		국내·외 구분(유효 응답자)	총계(유효 응답자)
학계·연구계	항만·물류 전반	국내 4(4), 국외 8(3)	-
	항만공사	국내 5(4), 국외 1(1)	-
산업계	화주	국내 3(3)	-
	포워더	국내 4(4)	-
	터미널 운영사	국내 4(3)	-
	선사	국내 4(3)	-
	육상운송사	국내 3(2)	-
	물류 정보기술(IT)	국내 6(4)	-

설문 응답자 분류(전문분야 또는 소속)	국내·외 구분(유효 응답자)	총계(유효 응답자)
항공물류	국내 2(2)	-
표준화	국내 1(1)	-
컨설팅	국외 1(1)	-
-	-	46(35)

자료: 저자 작성

설문대상을 선정할 때, 설문 목적 및 내용과 관련된 충분한 경험과 전문 지식이 있는 응답자를 확보하는 것이 중요하다. 본 연구는 물류 프로세스의 주요 참여자와 공급사슬 및 관련 활동을 연구하는 집단이 설문대상으로 적절하다. <표 5-2>는 설문 응답자 구성을 요약한 것으로 설문 응답자 집단은 학계·연구계의 항만·물류 전문가와 산업계에서 항만공사, 화주, 포워더, 터미널 운영사, 선사, 육상운송사, 물류 정보기술(IT), 항공물류, 표준화, 컨설팅에 종사하는 전문가로 구성됐다. 표 안에 두 개의 숫자가 적혀 있는데, 괄호 없이 기재된 숫자는 설문대상의 수이고, 괄호 안에 기재된 숫자는 일관성을 만족한 응답을 한 유효 응답자의 수다. 분석 단계에서는 유효 응답자의 설문지를 추려 분석을 수행했다.

제3절 설문 수행·분석법 및 결과해석

1. 설문 수행

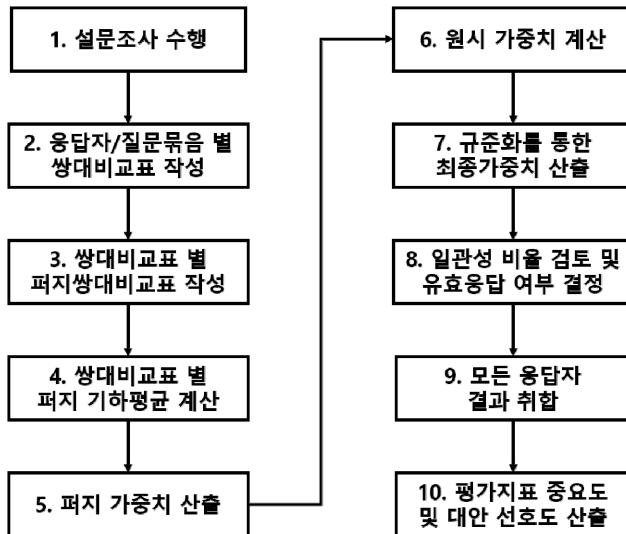
설문은 코로나19로 인해 비대면으로 2021년 6월 2일부터 8월 31일까지 진행됐다. 각 설문 대상자에게 연구진이 유선으로 설문의 목적과 배경 및 내용을 설명했으며, 국외의 경우 구글 조사(Google Survey)를 활용하고, 국내의 경우 이메일을 통해 설문지를 대상자에게 전달했다. 일관성에

대한 설명을 구두로 전달함으로써 일관성 있는 응답을 받기 위한 재설문 횟수를 최소화하고 신뢰성 높은 결과를 도출할 수 있도록 했다. 그럼에도 불구하고 일관성 비율이 낮게 나온 설문지의 응답자를 대상으로 설문 전반 및 일관성 비율에 관해 재설명하고, 설문을 반복했다.

2. 분석법

수행된 설문은 퍼지 계층화 분석법으로 활용하기 위해 별도의 정리작업이 필요하며, 정리된 자료를 바탕으로 결과해석이 이루어진다. <그림 5-9>는 퍼지 계층화 분석법 절차를 요약한 것이다.

〈그림 5-9〉 퍼지 계층화 분석법 수행과정 요약



자료: 저자 작성

설문조사를 수행한 후, 쌍대비교 형태의 질문 묶음을 쌍대비교 행렬로 변환한다. 대상 i 와 대상 j 각각의 선호도(중요도)를 w_i 와 w_j 로 정의하면, 대상 j 와 비교했을 때 대상 i 의 상대적 선호도는 w_i/w_j 로 표현 가능하다. 이 상대적 선호도를 $a_{ij} = w_i/w_j$ 로 표현함과 동시에, i 와 j 를 행과 열의 인덱스(Index)로 활용한다면 대상 j 에 대한 대상 i 의 상대적 선호도를 a_{ij} 로 구성된 행렬로 표현할 수 있는 것이다. 이렇게 생성된 행렬은 쌍대비교를 기반으로 하므로 정방행렬이 된다.

〈표 5-3〉 대상 j 에 대한 대상 i 의 선호도 응답 수치화

설문 응답	선호도 또는 중요도 적용 수치
극단적 불호	1/9
매우 불호	1/7
불호	1/5
약간 불호	1/3
중립	1
약간 선호	3
선호	5
매우 선호	7
극단적 선호	9

자료: 저자 작성

본 연구에서 활용한 각 질문 응답지의 경우, 원리적으로 5단계⁴⁶⁾로 구성된다(그림 5-8). 설문지상 각 질문 묶음에 대한 응답에는 〈표 5-3〉에 요약된 수치를 적용한다. 예를 들어, 각 평가요소를 쌍대비교한 설문조사는 〈표 5-4〉와 같이 행렬로 표현해 수치를 적용할 수 있다. 이 행렬에서 같은 평가지표의 비교를 나타내는 대각성분은 1로 채워진다.

46) 양방향으로는 9단계로 구성되고, 다섯 번째 단계는 중립으로 표기

〈표 5-4〉 쌍대비교 설문 응답 결과 행렬표현 예시

평가지표	신뢰성	응답성	유연성	비용	자산관리
신뢰성	1	1/3	1/5	1/7	1/9
응답성	3	1	1/3	1/5	1/7
유연성	5	3	1	1/3	1/5
비용	7	5	3	1	1/3
자산관리	9	7	5	3	1

자료: 저자 작성

이 외의 성분은 다른 지표 간 비교 결과를 나타낸다. 예를 들어, 신뢰성과 응답성의 상호 상대적 설문 응답 관계는 1행 2열, 2행 1열에 각각 나타난다. 전자는 응답성과 비교했을 때 신뢰성의 중요도, 후자는 신뢰성과 비교했을 때 응답성의 중요도를 의미한다. 이들은 역수 관계이므로, 하나의 성분만 고려해도 분석에 지장이 없다. 대부분은 아래의 수식을 만족하는 성분을 활용한다.

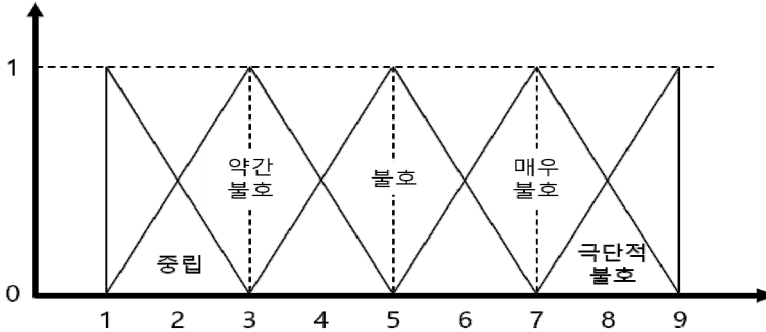
$$a_{ij} \quad \forall i \in I, j \in J \quad i > j$$

다음으로 설문응답의 퍼지화가 수행된다.⁴⁷⁾ 상대적·주관적 응답을 단편적인 판단요소로 다루지 않고 퍼지화 단계를 거쳐 활용한다. 퍼지화 단계에서 활용하는 소속함수는 설문 응답자의 주관적 판단에 유연성을 부여하기 위해 판단마다 범위를 할당하는 방법으로 다양하게 적용될 수 있다. 본 연구에서도 이러한 퍼지화를 의사결정 과정에 활용했다.

퍼지화는 퍼지 소속함수에 따라 표현방식이 상이할 수 있으나, 본 연구에서는 가장 일반적으로 사용되는 소속함수인 삼각소속함수를 사용한다(그림 5-10). 앞서 설명한 바와 같이 적용방법이 간단하고 정규분포를 닮은 특성으로 인해 본 연구에 적용이 적합하다고 볼 수 있다.

47) 퍼지이론을 적용하지 않는 계층화 분석법에서는 퍼지화 단계가 생략됨

〈그림 5-10〉 설문 응답 퍼지화를 위한 삼각함수



자료: 저자 작성

〈그림 5-10〉에 보이는 삼각소속함수는 〈표 5-5〉와 같이 정리될 수 있다. 각 설문 응답 값은 쌍대비교행렬 값(a_{ij})으로 변환되고, 각 쌍대비교행렬 값은 3개의 수(l, m, u)로 구성된 퍼지평점($\tilde{a}_{ij}$)으로 표현된다. 퍼지평점은 삼각형을 구성하는 점의 x 좌표를 의미한다. 행렬의 각 요소가 1보다 크거나 같으면, 〈표 5-5〉에서 나타난 퍼지 평점(Ratings)을 적용한다. 그렇지 않은 경우, 설문 응답 ‘중립’을 기준으로 대응되는 퍼지 평점 (l_o, m_o, u_o)을 기준으로 아래의 수식을 적용해 퍼지평점을 구한다.

$$(l, m, u) = (l_o, m_o, u_o)^{-1} = \left(\frac{1}{u_o}, \frac{1}{m_o}, \frac{1}{l_o} \right)$$

〈표 5-5〉 설문 응답에 따른 퍼지함수 적용결과(1 이상의 쌍대비교값)

설문 응답	쌍대비교행렬 값	퍼지 평점(l, m, u)
중립	1	(1, 1, 3)
약간 선호	3	(1, 3, 5)
선호	5	(3, 5, 7)
매우 선호	7	(5, 7, 9)
극단적 선호	9	(7, 9, 9)

자료: 저자 작성

이는 중립을 기준으로 대응되는 응답의 성분 순서를 뒤집은 후, 각 성분에 역수를 취한 것이다. 예를 들어, (1, 3, 5)의 퍼지 평점을 가지는 ‘약간 선호’ 응답에 대응하는 ‘1/약간 선호’는 ‘약간 불호’를 의미하며, (1/5, 1/3, 1/1)의 퍼지 평점으로 표현한다. <표 5-6>은 결과를 요약한 것이고, <표 5-7>은 <표 5-4>를 퍼지평점으로 변환한 것이다.

<표 5-6> 설문 응답에 따른 퍼지함수 적용결과(1 미만의 쌍대비교값)

설문 응답	쌍대비교행렬 값	퍼지 평점(l, m, u)
약간 불호	1 / 3	(1/5, 1/3, 1/1)
불호	1 / 5	(1/7, 1/5, 1/3)
매우 불호	1 / 7	(1/9, 1/7, 1.5)
극단적 불호	1 / 9	(1/9, 1/9, 1/7)

자료: 저자 작성

<표 5-7> 퍼지 쌍대비교표

평가지표	신뢰성			응답성			유연성			비용			자산관리		
신뢰성	1	1	1	1/4	1/3	1/2	1/6	1/5	1/4	1/8	1/7	1/6	1/9	1/9	1/9
응답성	2	3	4	1	1	1	1/4	1/3	1/2	1/6	1/5	1/4	1/8	1/7	1/6
유연성	4	5	6	2	3	4	1	1	1	1/4	1/3	1/2	1/6	1/5	1/4
비용	6	7	8	4	5	6	2	3	4	1	1	1	1/4	1/3	1/2
자산관리	9	9	9	6	7	8	4	5	6	2	3	4	1	1	1

자료: 저자 작성

다음으로 퍼지 기하평균(Fuzzy geometric mean) 값을 계산한다. 쌍대 비교 행렬에서 각 퍼지평점 성분은 $\tilde{a}_{ij} = (l, m, u)$ 을 만족하고, 퍼지평점을 단순화하면 $\tilde{A}$ 로 표현할 수 있다. n 이 양수일 때, 퍼지평점 $\tilde{A}_1 = (l_1, m_1, u_1)$ 는 아래 함수를 만족한다.

$$\tilde{A}_1^{\frac{1}{n}} = (l_1, m_1, u_1)^{\frac{1}{n}} = (l_1^{1/n}, m_1^{1/n}, u_1^{1/n})$$

두 번째 퍼지평점 $\tilde{A}_2 = (l_2, m_2, u_2)$ 에 대해 아래 퍼지함수를 만족한다.

$$\tilde{A}_1 \otimes \tilde{A}_2 = (l_1 \times l_2, m_1 \times m_2, u_1 \times u_2)$$

평가대상의 수를 n 으로 정의하고, i 번째 평가대상의 퍼지 기하평균을 $\tilde{r}_i$ 로 표현하면 각 퍼지 기하평균은 행을 기준으로 계산 및 할당할 수 있다. $\tilde{r}_i$ 는 아래 함수를 통해 계산 가능하다.

$$\tilde{r}_i = (\tilde{A}_{i1} \otimes \tilde{A}_{i2} \otimes \tilde{A}_{i3} \otimes \tilde{A}_{i4} \dots \otimes \tilde{A}_{in})^{\frac{1}{n}}$$

즉, $\tilde{A}_{ij}$ 의 모든 j 값에 대해 $\otimes$ 함수를 적용하는 것을 기반으로 한다. <표 5-7>을 기반으로 퍼지 기하평균을 구하면 <표 5-8>로 나타낼 수 있다.

<표 5-8> 퍼지 기하평균

평가지표	퍼지 가중치		
신뢰성	0.225	0.254	0.297
응답성	0.401	0.491	0.608
유연성	0.803	1.000	1.246
비용	1.644	2.036	2.491
자산관리	3.366	3.936	4.441

자료: 저자 작성

퍼지 기하평균을 기반으로, 퍼지 가중치(Fuzzy weight) $\tilde{w}_i$ 를 계산하며, 이 과정에서 아래 함수를 활용한다.

$$\tilde{A}^{-1} = (l, m, u)^{-1} = (\frac{1}{u}, \frac{1}{m}, \frac{1}{l})$$

$$\tilde{A}_1 \oplus \tilde{A}_2 = (l_1 + l_2, m_1 + m_2, u_1 + u_2)$$

$$\tilde{w}_i = \tilde{r}_i \otimes (\tilde{r}_1 \oplus \tilde{r}_2 \oplus \tilde{r}_3 \oplus \tilde{r}_4 \dots \oplus \tilde{r}_n)^{-1}$$

상기 함수를 기반으로, 퍼지 가중치를 계산하면 <표 5-9>와 같다.

<표 5-9> 추정된 퍼지 가중치 예시

평가지표	퍼지 가중치		
신뢰성	0.025	0.033	0.046
응답성	0.044	0.064	0.094
유연성	0.088	0.130	0.193
비용	0.181	0.264	0.387
자산관리	0.371	0.510	0.690

자료: 저자 작성

이를 토대로 단편적(Crisp)인 가중치 v_i 를 도출하려면 퍼지화된 가중치를 역퍼지화(De-fuzzification)해야 한다. 퍼지평점으로 표현된 가중치 $\tilde{r}_i$ 에 대해 $\tilde{r}_i = (l, m, u)$ 로 정의하면, 아래 수식이 의미하는 면적중심(CoA: Centre of Area)법을 활용해 퍼지평점 가중치를 역퍼지화한다.

$$v_i = \frac{l + m + u}{3}$$

이는 표준화된 값이 아니므로, 모든 i 에 대한 v_i 의 총합이 1이 아닐 수 있다. 그러므로 열(Column)의 각 성분을 해당 열의 합으로 나누는 표준화 과정(선형 합)을 통해 표준화된 퍼지 가중치(Normalised Fuzzy Weight)를 계산한다. <표 5-10>은 결과를 보여준다.

〈표 5-10〉 원시가중치 및 최종가중치 도출

평가지표	퍼지 가중치			원시 가중치	최종 가중치
신뢰성	0.025	0.033	0.046	0.035	0.033
응답성	0.044	0.064	0.094	0.067	0.065
유연성	0.088	0.130	0.193	0.137	0.132
비용	0.181	0.264	0.387	0.277	0.267
자산관리	0.371	0.510	0.690	0.523	0.503
열 합	-	-	-	1.040	1.000

자료: 저자 작성

해당 예시에서는 자산관리, 비용, 유연성, 응답성, 신뢰성 순서로 평가지표의 중요도가 결정됐음을 보여준다. 이는 각 세부 성과지표 아래 대안의 선호도 순서를 결정할 때도 같게 적용된다.

상기한 퍼지 계층화 분석법과는 달리, 일반 계층화 분석법은 〈표 5-4〉를 통해 도출한 쌍대비교표의 각 성분을 열의 합으로 나눠 표준화하고, 각 행의 평균을 도출함으로써 가중치를 도출한다. 즉, 퍼지 계층화 분석법의 핵심인 퍼지화와 역퍼지화가 분석과정에 포함되지 않는다.

본 연구에서 활용한 두 계층화 분석법에는 같은 일관성 확인 절차가 적용됐다. 쌍대비교행렬과 계층화 분석법에서 도출한 가중치 행렬을 곱한 후, 각 성분을 이와 대응하는 가중치로 나눈다(λ 로 정의). $\lambda_{average}$ 를 λ 값들의 평균, n 을 비교대상의 수로 정의하면, 아래 식을 통해 일관성 지수(CI: Consistency Index)를 도출할 수 있다.

$$CI = \frac{(\lambda_{average} - n)}{(n - 1)}$$

〈표 5-11〉 행렬의 크기별 무작위 일관성 지수

비교 대상 수(행 또는 열의 수)	무작위 일관성 지수
1	0
2	0
3	0.58
4	0.90
5	1.12
6	1.24
7	1.32
8	1.41
9	1.45
10	1.49

자료: Saaty(1987), p. 171

도출된 일관성 지수를 〈표 5-11〉에 정리된 비교 대상의 수에 따른 무작위 일관성지수로 나누면 일관성 비율이 도출된다. 일관성 비율이 0.1 이하 일 때, 설문 응답이 서수적·기수적 일관성을 갖췄다고 말할 수 있다. 하지만 선행 사례가 없는 탐색형 연구의 경우, 기준 일관성 비율 값을 0.15~0.2로 완화하기도 한다.⁴⁸⁾ 본 연구는 탐색형 연구로 볼 수 있으므로, 0.15의 기준 일관성 비율 값을 채택했다.

모든 설문지를 대상으로 추출된 평가지표 및 세부 평가지표의 중요도와 대안 간 선호도는 평균화돼 최종 결과로서 제시된다. 이는 일반적인 계층화 분석법과 같게 적용된다. 연구자 또는 분석자는 최종 결과를 가지고 최우선 대안을 선정하거나, 사업의 우선순위를 정하는 등 의사결정에 활용하게 된다.

참고로, 본 세부 절에서 설명한 퍼지 계층화 분석법은 여러 퍼지 계층화 분석법 중 하나다. 즉, 세부 절차의 변경에 따라 다른 결과를 얻을 수도 있

48) 민재형(2015), p. 442.

다. Wang *et al.*(2009)에서 활용한 퍼지 계층화 방법으로는 지표의 중요도와 대안의 선호도를 마지막 단계에서 취합하지 않고, 질문 묶음 단위로 얻어지는 퍼지 쌍대비교표를 도출한 후 모든 응답자의 쌍대비교표를 합친 통합 쌍대비교표를 만들어 다음 분석절차를 수행한다.

예를 들어, 응답자의 수가 K 면, 특정 응답에 대해 K 개의 퍼지행렬이 존재하게 된다. 응답자 k 의 특정 질문에 대해, 삼각소속함수를 적용한 퍼지 평점을 $a_{ij}^k, b_{ij}^k, c_{ij}^k$ 로 정의할 때, 아래 수식을 통해 통합 퍼지 쌍대비교표를 도출할 수 있다.

$$a_{ij} = \min_k \{a_{ij}^k\}, \quad b_{ij} = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K b_{ij}^k, \quad c_{ij} = \max_k \{c_{ij}^k\}$$

이 경우, 통합 퍼지평점의 최소값(a_{ij})과 최대값(c_{ij})이 극단적인 값에 영향을 받게 된다. 즉, 응답자 중 한 명이라도 극단적 불호 또는 선호를 택하는 경우, 나머지 응답 값은 b_{ij} 에서 평균으로 고려될 뿐 퍼지평점의 최소값과 최대값에는 반영되지 못한다.

3. 결과해석

설문조사를 통해 얻은 기초 응답 데이터는 <표 5-12>로 정리된다.⁴⁹⁾ <그림 5-8>에서 나타난 쌍대비교 질문에 대한 응답을 왼쪽부터 오른쪽 순서로 1부터 9까지의 자연수로 표기한다.

49) 부록의 설문지를 함께 참고할 것

〈표 5-12〉 기초 응답 데이터(설문자 2)

쌍대비교 질문 번호 및 내용	원시 응답
1.2 - 평가요소 간 쌍대비교	2, 5, 3, 3, 8, 6, 6, 3, 3, 5
1.3 - 신뢰성 아래 세부 평가요소 간 쌍대비교	7, 7, 5
1.4 - 응답성 아래 세부 평가요소 간 쌍대비교	7
1.5 - 유연성 아래 세부 평가요소 간 쌍대비교	2
1.6 - 비용 아래 세부 평가요소 간 쌍대비교	7
1.7 - 자산관리 아래 세부 평가요소 간 쌍대비교	5
2.1 - 신뢰성의 데이터 일관성 아래 대안 간 쌍대비교	7, 8, 4, 7, 3, 2
2.2 - 신뢰성의 데이터 완전성 아래 대안 간 쌍대비교	5, 6, 4, 7, 4, 3
2.3 - 신뢰성의 데이터 정확성 아래 대안 간 쌍대비교	8, 7, 4, 4, 2, 4
2.4 - 응답성의 정규 응답 아래 대안 간 쌍대비교	3, 5, 3, 7, 4, 3
2.5 - 응답성의 피드백 아래 대안 간 쌍대비교	6, 6, 4, 5, 3, 3
2.6 - 유연성의 적응성 아래 대안 간 쌍대비교	6, 9, 4, 8, 4, 2
2.7 - 유연성의 위험 관리 아래 대안 간 쌍대비교	5, 7, 4, 7, 4, 3
2.8 - 비용의 초기 투자비용 아래 대안 간 쌍대비교	5, 4, 6, 4, 6, 7
2.9 - 비용의 운영비용 아래 대안 간 쌍대비교	6, 7, 4, 6, 4, 2
2.10 - 자산관리의 데이터 기록성 아래 대안 간 쌍대비교	4, 6, 4, 7, 4, 2
2.11 - 자산관리의 데이터 투명성 아래 대안 간 쌍대비교	5, 7, 4, 7, 4, 2

자료:저자 작성

정리된 응답 데이터를 기반으로 상기한 퍼지 계층화 분석법과 일반 계층화 분석법을 수행해 결과를 정리하면 각각 〈표 5-13〉, 〈표 5-14〉로 요약할 수 있다. 각 표에는 평가지표의 1단계 지역 가중치, 각 평가지표 아래 세부 평가지표의 지역 가중치(2단계), 그리고 이들의 곱연산으로 도출된 전역 가중치가 정리돼 있다. 각 세부 평가지표의 전역 가중치 아래에는 대안별 가중치가 정리돼 있다. 가령, 평가지표 ‘신뢰성’ 아래 세부 평가지표 ‘일관성’을 기준으로 ‘데이터 열쇠’, ‘데이터 품질’, ‘데이터 플랫폼’, ‘기존 시스템’ 대안의 가중치는 각각 0.26, 0.29, 0.27, 0.18로 나타난다. 이는 ‘데이터 품질’ 대안이 해당 세부 평가지표 아래 총 가중치 1.00에서 0.29를 차지하며 가장 우수한 대안임을 보여준다. 계층화 분석법에서 가중치는 순

서뿐 아니라 정도의 차이도 보여주므로 각 수치를 통해 지표의 중요도와 대안의 선호도 차이를 유추할 수도 있다.

〈표 5-13〉의 핵심인 대안 간 선호도의 경우, 공유 데이터 및 정보 정확성을 개선하는 ‘데이터 품질’ 대안이 가장 높은 종합가중치인 0.30을 차지했다. 다음으로는 데이터 열쇠 연계 및 통합을 의미하는 ‘데이터 열쇠’ 대안이 종합가중치 0.27456(반올림 시 0.27)으로 두 번째 대안으로 도출됐으나, 데이터·정보공유 플랫폼 도입을 의미하는 ‘데이터 플랫폼’ 대안의 종합가중치인 0.27336(반올림 시 0.27)과 큰 차이를 보이지 못했다. 기존 시스템 유지를 의미하는 ‘기존 시스템’ 대안은 종합가중치 0.16으로 가장 선호되지 않았다. 순서로는 ‘데이터 품질’, ‘데이터 열쇠’, ‘데이터 플랫폼’, ‘기존 시스템’ 대안이지만, ‘데이터 열쇠’와 ‘데이터 플랫폼’ 대안은 차이가 매우 작아 의사결정자에 따라 같은 수준으로도 볼 수 있다.

평가지표별 중요도를 살펴보면, ‘신뢰성(0.394)’ > ‘응답성(0.214)’ > ‘유연성(0.157)’ > ‘비용(0.140)’ > ‘자산관리(0.095)’ 순으로 조사됐다. 세부 평가지표별 중요도로는 ‘신뢰성’ 아래 3개의 세부 평가지표인 ‘일관성’, ‘완전성’, ‘정확성’은 각각 지역 가중치 0.30, 0.22, 0.48을 가져 전역 가중치는 0.12, 0.09, 0.19로 각각 계산된다.

‘응답성’ 아래 ‘정규응답’과 ‘피드백’ 세부 평가지표는 지역 가중치 0.52, 0.48을 각각 가져, 전역 가중치 0.11, 0.10의 전역 가중치가 각각 도출된다. ‘유연성’ 아래 ‘적응성’과 ‘위험관리’ 세부평가지표는 0.51, 0.49의 지역 가중치, 0.0797, 0.0773(반올림 시 0.08)의 전역 가중치를 각각 가진다.

‘비용’ 아래 세부 평가지표인 ‘초기 투자비용’과 ‘운영비용’은 지역 가중치 0.48, 0.52, 전역 가중치 0.0665, 0.0730(반올림 시 0.07)을 가진다. ‘자산관리’ 아래 ‘데이터 기록성’과 ‘데이터 투명성’은 지역 가중치 0.45, 0.55, 전역 가중치 0.04, 0.05를 각각 가진다.

〈표 5-13〉 퍼지 계층화 분석법 가중치 종합결과

평가지표	신뢰성			응답성		유연성		비용		자산관리		종합가중치
지역 가중치 (1)	0.394			0.214		0.157		0.140		0.095		-
세부 평가지표	일관성	완전성	정확성	정규응답	피드백	적응성	위험관리	초기 투자비용	운영비용	데이터 기록성	데이터 투명성	
지역 가중치 (2)	0.30	0.22	0.48	0.52	0.48	0.51	0.49	0.48	0.52	0.45	0.55	-
전역 가중치	0.12	0.09	0.19	0.11	0.10	0.08 (0.0797)	0.08 (0.0773)	0.07 (0.0665)	0.07 (0.0730)	0.04	0.05	-
데이터 열쇠	0.26	0.30	0.25	0.30	0.34	0.31	0.25	0.24	0.23	0.28	0.26	0.27 (0.27456)
데이터 품질	0.29	0.35	0.42	0.25	0.25	0.23	0.27	0.22	0.26	0.28	0.28	0.30
데이터 플랫폼	0.27	0.24	0.21	0.31	0.27	0.31	0.32	0.23	0.33	0.31	0.33	0.27 (0.27336)
기존시스템	0.18	0.11	0.12	0.15	0.14	0.15	0.16	0.31	0.18	0.14	0.13	0.16

주: 소수점 둘째 자리까지 반올림

자료: 저자 작성

〈표 5-14〉 일반 계층화 분석법 가중치 종합결과

평가지표	신뢰성			응답성		유연성		비용		자산관리		종합가중치
지역 가중치 (1)	0.390			0.213		0.159		0.140		0.098		-
세부 평가지 표	일관성	완전성	정확성	정규응 답	피드백	적응성	위험관 리	초기 투자비 용	운영비 용	데이터 기록성	데이터 투명성	
지역 가중치 (2)	0.30	0.22	0.48	0.52	0.48	0.51	0.49	0.48	0.52	0.44	0.56	-
전역 가중치	0.12	0.09	0.19	0.11	0.10	0.08 (0.08047)	0.08 (0.0782)	0.07 (0.06673)	0.07 (0.07340)	0.04	0.05	-
데이터 열쇠	0.26	0.30	0.25	0.30	0.34	0.31	0.25	0.24	0.23	0.28	0.26	0.27 (0.27485)
데이터 품질	0.30	0.35	0.42	0.25	0.25	0.23	0.27	0.22	0.26	0.28	0.28	0.30
데이터 플랫폼	0.27	0.24	0.21	0.31	0.27	0.31	0.32	0.23	0.33	0.31	0.33	0.27 (0.27328)
기존시스템	0.18	0.11	0.12	0.15	0.14	0.15	0.16	0.31	0.18	0.14	0.13	0.16

주: 소수점 둘째 자리까지 반올림
자료: 저자 작성

이를 기반으로 결과를 해석하면 설문 응답자들은 공급사슬 내에서 이해관계자 간 공유되는 데이터와 정보의 품질을 가장 중요시하는 것을 알 수 있었다. 이는 ‘신뢰성’ 평가지표와 그 세부 평가지표를 살펴보면 원인을 파악할 수 있는데, 신뢰성은 약 4할에 달하는 지역 가중치를 가져 두 번째 순위인 ‘응답성’에 비해서도 약 2배의 가중치를 가진다. 즉, 신뢰성 아래의 평가지표에서 높은 점수를 받은 대안이 우수한 대안으로 선정될 가능성이 매우 높아진다고 볼 수 있다.

‘데이터 품질’ 대안은 ‘신뢰성’ 아래 ‘일관성’, ‘완전성’, ‘정확성’ 모든 부문에서 다른 대안들보다 우수했다. ‘일관성’ 아래 0.29의 가중치로 ‘데이터 열쇠’ 0.26, ‘데이터 플랫폼’ 0.27, ‘기존 시스템’ 0.18과 차이를 보였다. ‘완전성’ 아래 0.35의 가중치를 가져, 다른 대안들의 가중치인 0.30, 0.24, 0.11과 차이를 보였다. ‘정확성’ 아래 0.42로 다른 대안들의 가중치인 0.25, 0.21, 0.12와 상대적으로 더욱 큰 차이를 보였다. 이를 ‘데이터 품질’ 대안이 가장 높은 종합가중치를 갖게 한 이유로 볼 수 있다.

‘데이터 품질’ 대안은 ‘신뢰성’ 측면에서의 강점으로 인해 ‘응답성’이나 ‘유연성’에서의 약점이 대부분 상쇄됐다고 볼 수 있다. 실제로, ‘신뢰성’의 지역 가중치는 0.394로 ‘응답성’과 ‘유연성’의 지역 가중치 합인 0.371보다 크다. 이로 인해, ‘정규응답’이나 ‘피드백’, ‘적응성’, ‘위험관리’ 세부 평가지표에서 다른 대안들에 비해 우수하다고 볼 수 없는 ‘데이터 품질’ 대안이 여전히 가장 높은 종합가중치를 가질 수 있었다. ‘데이터 품질’ 대안의 경우, ‘응답성’ 아래 ‘정규응답’, ‘피드백’ 영역과 ‘유연성’ 아래 ‘적응성’ 영역에서 다른 신규 대안인 ‘데이터 열쇠’와 ‘데이터 플랫폼’과 비교했을 때 큰 차이를 보였다(예: 적응성 측면에서 가중치 0.23으로 다른 두 대안의 0.3126, 0.3112⁵⁰⁾와 약 35% 차이를 보임).

50) 반올림 시 0.31로 동일

‘비용’ 측면에서 역시 ‘데이터 품질’ 대안이 우수하다고 볼 수 없었다. ‘초기 투자비용’에서는 ‘기존 시스템’의 가중치인 0.31에 비해 7할 수준인 0.22에 불과했고, ‘운영비용’에서는 0.26으로 ‘데이터 플랫폼’ 대안의 가중치인 0.33에 비해 뒤처졌다. ‘데이터 열쇠’ 대안은 두 세부 평가지표 아래 0.24, 0.23의 가중치로 ‘데이터 품질’ 대안과 큰 차이를 보이지 않았다.

‘자산관리’ 측면에서 역시 ‘데이터 플랫폼’ 대안보다 ‘데이터 품질’ 대안이 우수하지 못했다. ‘데이터 플랫폼’ 대안은 각 이해관계자가 아닌 플랫폼을 통해 데이터와 정보를 주고받으므로, 데이터와 정보를 자산으로 관리하는 데 유리하다. 즉, 응답자들은 이러한 장점에 기반해 ‘데이터 플랫폼’ 대안에 ‘데이터 기록성’ 측면에서 0.31, ‘데이터 투명성’ 측면에서 0.33의 가중치를 부여했다. 이는 ‘데이터 품질’ 대안에서의 가중치인 0.2768, 0.2774(반올림 시 0.28)에 비해 다소 우세한 수치다. ‘데이터 열쇠’ 대안의 경우, ‘데이터 기록성’ 측면에서는 ‘데이터 품질’ 대안과 거의 차이를 보이지 않았으며, ‘데이터 투명성’ 측면에서는 ‘데이터 품질’ 대안보다 약간 낮은 가중치(0.26)를 보였다.

‘데이터 품질’ 대안을 가장 선호되는 대안으로 만든 평가지표는 결국 ‘신뢰성’으로 볼 수 있다. 하지만 종합가중치를 보면 ‘데이터 품질’의 0.30에 비해 ‘데이터 열쇠’의 종합가중치인 0.27456(반올림 시 0.27), ‘데이터 플랫폼’의 종합가중치인 0.27336(반올림 시 0.27)과 아주 큰 차이를 보인다고는 볼 수 없다. 이는 상기한 대로 다른 평가지표 영역에서 ‘데이터 열쇠’ 또는 ‘데이터 플랫폼’ 대안이 대부분 우수했기 때문으로 볼 수 있다.

일반 계층화 분석법에서는 세부적인 수치의 차이가 존재할 뿐, 퍼지 계층화 분석법을 통해 얻은 종합결과와 유의미한 차이를 보이지 않았다.

06

결론

제1절 요약

본 연구는 항만 컨테이너 수출입 물류 프로세스의 디지털화를 위해 ① 현장의 애로점을 기반으로 한 디지털화 대안선정, ② 객관적이고 검증된 물류 프로세스 디지털화 평가지표 도출, 그리고 ③ 다기준 의사결정론 기반 대안평가로 구성된 물류 프로세스 디지털화 모형을 제시했다. 이를 위해, 먼저 항만과 물류, 공급사슬의 디지털화 전반, 공급사슬 디지털화 방안, 공급사슬 디지털화 평가에 관련된 문헌을 체계적으로 검토함으로써, 해당 분야의 이해를 넓혔다. 다음으로, 물류 프로세스 디지털화의 네 가지 대안을 현장 인터뷰 및 전문가 자문을 통해 선정하고, 문헌 검토를 통해 객관적인 평가지표 선정방식과 지표를 도출했다. 이를 기반으로, 국내외 46인의 전문가를 대상으로 설문조사를 수행, 35개의 일관성 있는 결과를 수집했으며, 이를 퍼지 계층화 분석법을 통해 분석했다.

선정된 네 가지 디지털화 대안 중, 일반적으로 받아들여지는 데이터·정보공유 플랫폼 도입이 아닌, 공유 데이터 및 정보 정확성 향상 대안이 가장 선호됨을 알아냈고, 데이터 열쇠 연계 및 통합 대안은 플랫폼 도입 대안에

버금가는 선호도를 보임을 밝혔다. 평가지표 측면에서 데이터 신뢰성의 가중치가 약 4할에 달해 5개의 평가지표(신뢰성, 응답성, 유연성, 비용, 자산 관리) 중 가장 중요한 요소로 인식됨을 밝혔다. 그중에서도, 데이터 신뢰성의 하위 항목인 데이터의 정확성은 전역 가중치가 약 2할(0.1893)에 달해 11개의 세부 평가지표 중 가장 높은 비중을 차지했다. 즉, 데이터 신뢰성의 모든 세부 평가지표에서 높은 점수를 받고, 나머지 항목에서 적정수준의 선호도를 보인 데이터 및 정보 정확성 향상 대안이 최우선 대안으로 선정된 것이다. 기존 시스템을 유지하는 대안은 최하위 대안으로 선정됐다.

이와 같은 연구결과에 도달하기 위해 연구진은 제2장에서 공급사슬 디지털화 분야를 세분화해 선행연구와 기타 문헌을 검토했다. 우선, 항만과 물류, 공급사슬의 디지털화를 전반적으로 이해하기 위해 각 분야의 디지털화 문헌을 상세히 검토했다. 그리고 디지털화를 통해 얻을 수 있는 편익과 관련 기술, 개념적인 서비스 개선사항 등을 파악했다. 또한 공급사슬 디지털화 방안 분야의 문헌 검토를 통해 세부적인 디지털화 대안을 이해했다. 디지털 공급사슬 또는 공급사슬 디지털화 평가 분야의 문헌 검토를 통해 평가지표를 선정하는 다양한 방법을 찾고, 각 방법의 장단점을 파악했다. 동시에, 어떤 평가지표가 주로 활용되는지, 어떤 평가방법이 활용되는지를 검토했다.

제3장에서는 항만 수출입 컨테이너 물류 프로세스 디지털화 대안을 선정했다. 이를 위해 선행연구⁵¹⁾에서 정리된 이해관계자별 컨테이너 물류 프로세스를 수입과 수출로 구분한 후 통합해 현황을 자세히 파악하고, 이를 기반으로 공급사슬 업무에 따른 데이터와 정보의 흐름을 정리했다. 연구진은 이 중간결과물과 현장의 애로사항을 토대로 애로사항에 대응하는 해결방안, 즉 항만 컨테이너 물류 프로세스 디지털화 대안을 도출했다. 현장의 애

51) 이연경 외(2020)

로사항으로는 ① 다(多)채널을 통한 데이터와 정보 조회, ② 필요한 시점에 데이터와 정보의 조회가 어려움, ③ 데이터와 정보의 정확성이 완벽하지 않음, ④ 데이터 열쇠가 통합되지 않아 데이터와 정보관리 전반이 어려움으로 요약됐다. 이에 따라 기존 시스템을 유지하는 대안 외에 ① 데이터 관리를 용이하게 하는 데이터 열쇠 연계 및 통합 대안, ② 데이터와 정보의 정확성을 높이는 공유 데이터 및 정보 정확성 향상 대안, 그리고 ③ 정보조회 채널을 단일화하고 적시 조회를 가능하게 하는 데이터·정보공유 플랫폼 도입 대안이 도출됐다.

제4장에서는 제3장에서 도출된 대안을 평가하는 지표를 도출하는 과정과 도출된 지표를 설명한다. 우선, 선행연구에서 활용된 다섯 가지 주요 평가지표 도출방안을 확인했다. 이는 ① 저자가 직접 도출하는 방안, ② 선행 연구를 통해 도출하는 방안, ③ 공급사슬 운영 참조모형을 통해 도출하는 방안, ④ 균형성과표를 활용하는 방안, 마지막으로 ⑤ 전문가를 통해 도출하는 방안이다. 각 방안을 적절히 조합해 본 연구에서는 객관적이면서 연구대상에 적합한 지표를 도출하려 했다. 먼저, 공급사슬 운영 참조모형을 통해 물류 프로세스 디지털화 평가지표의 기본계층(Hierarchy)을 만들고, 해당 모형에서 평가지표 및 세부 평가지표 정의를 확인한 다음, 대상 물류 프로세스(디지털 공급사슬)에 맞게 지표 재정의 및 커스터마이징(Customising)을 수행했다. 연구진은 도출한 지표들이 선행연구에서 활용됐는지 여부를 확인해 평가지표의 객관성을 확보하고, 최종적으로 2개의 계층으로 구성된 평가지표를 정의했다.

제5장에서는 제3장에서 정의한 항만 컨테이너 물류 프로세스 디지털화 대안을 제4장에서 정의한 평가지표를 활용해 평가하는 과정을 설명하며, 이 과정에서 평가지표의 중요도 역시 도출됐다. 먼저 본 연구에서 활용한 계층화 분석법과 퍼지이론, 그리고 퍼지 계층화 분석법을 간략히 소개했다. 계층화 분석법은 목적과 평가요소, 그리고 대안을 계층화해 분할 정복의

방식으로 대안의 우선순위를 도출할 때 활용하는 다기준 의사결정 방법의 하나다. 사람이 가지는 생각의 모호함을 다루는 퍼지이론은 계층화 분석법과 연계돼 자주 활용되며, 이렇게 결합된 계층화 분석법을 퍼지 계층화 분석법이라 한다.

다음으로, 항만 컨테이너 물류 프로세스 설문조사에 적합한 설문대상을 선정하고, 설문지를 작성, 설문을 수행했다. 설문대상자는 국내외 연구계와 산업계로 분류한 후, 항만공사, 선사, 운송사, 화주, 포워더, 운영사, 물류 IT, 항공사, 표준화 영역의 항만·물류 전문가 46인으로 구성했다. 이들을 대상으로 활용할 설문지는 설문의 개요와 배경, 문제 서술 등 설문 응답에 필요한 내용을 포함한다. 또한 일관성지수에 대한 설명을 설문지에 추가해 일관성을 보장하는 설문결과를 최대한 많이 확보하도록 했다. 그 결과, 총 35개의 유효한 설문응답을 확보했고, 이는 중심극한정리를 만족하는 표본의 크기이므로 분석의 유효성을 보장한다.

〈표 6-1〉 연구 요약

연구 내용		세부 연구 내용
문헌 검토		• 항만, 물류 및 공급사슬 디지털화 • 공급사슬 디지털화 대안 • 공급사슬 디지털화 평가요소 • 공급사슬 디지털화 평가방법
항만 컨테이너 물류 프로세스 디지털화 모형	디지털화 대안 도출	• 항만 컨테이너 수출입 물류 프로세스 파악 • 물류 프로세스 애로사항 파악 • 애로사항 기반 기존시스템 유지 외 3개의 신규 대안 도출 ※ 데이터 열쇠 연계 및 통합, 공유 데이터 및 정보 정확성 향상, 데이터·정보공유 플랫폼 도입 • 물류 프로세스 디지털화 세부 설명
	평가지표 도출	• 선행연구 기반 물류 프로세스 평가지표 도출방안 검토 • 평가지표 도출방안 설정 • 공급사슬 운영 참조모형 기반 평가지표 도출

연구 내용		세부 연구 내용
		• 브레인스토밍 기반 평가지표 재정의 및 보완 • 선행연구와의 평가지표 교차검증을 통한 객관성 확인 ※ 최종적으로 신뢰성(데이터 일관성, 데이터 완결성, 데이터 정확성), 응답성(정규응답, 피드백), 유연성(적응성, 위험관리), 비용(초기 투자비용, 운영비용), 자산관리(데이터 기록 및 관리, 데이터 투명성)로 5대 성과지표 및 11대 세부 성과지표 도출
	대안 평가	• 분석방법 선정(계층화 분석법 및 퍼지 계층화 분석법) • 설문대상 선정(연구계/산업계 국내외 항만 · 물류 전문가 집단) ※ 산업계는 항만공사, 화주, 포워더, 터미널 운영사, 선사, 육상운송사, 물류 정보기술, 항공물류, 표준화 및 컨설팅 종사자로 구성 • 설문지 작성, 설문 및 결과해석 ※ 대안 순서: 데이터 품질 > 데이터 열쇠 > 데이터 플랫폼 > 유지 ※ 성과지표 순서: 신뢰성 > 응답성 > 유연성 > 비용 > 자산관리 ※ 세부지표 순서: 정확성 > 일관성 > 정규응답 > 피드백 > 완전성 > 적응성 > 위험관리 > 운영비용 > 초기 투자비용 > 데이터 투명성 > 데이터 기록성
학술 기여도		• ‘대안선정 → 평가지표 선정 → 평가’ 모형제시를 통한 이론 확장 • 항만 · 물류 국내외 전문가 설문을 통한 기초자료 유용성 확보 • 지표별 정량화 데이터 확보여부에 따라 후속연구 가능성 개척 • 학계, 국가 및 사회로의 공급사슬 디지털화 분야 영향과 파급력 확보

자료:저자 작성

이후 본 연구에서 활용한 세부 분석절차를 소개한 후 결과를 제시했다. 분석결과 ① ‘데이터 품질(0.30)’ 대안은 다른 대안보다 높은 선호도를 보였으며⁵²⁾, ② ‘데이터 열쇠(0.27456)’ 대안은 ‘데이터 플랫폼(0.27336)’ 대안보다 다소 우세하나, 유의미한 차이는 없다(반올림 시 0.27로 동일). ③ ‘기존 시스템(0.16)’ 대안은 선호도가 가장 낮았다. 평가지표 측면을 보면, ④ 1단계 지표로는 ‘신뢰성(0.394)’이 다른 1단계 지표보다 중요하다 인식됐고(응답성, 0.214; 유연성, 0.157; 비용, 0.140; 자산관리, 0.095), ⑤ 2단계 지표에서는 데이터 정확성(0.19)과 일관성(0.12), 정규응답(0.11) 및 피드백(0.10)이 주요 지표로 인식됨을 파악할 수 있었다.

52) 이후, 괄호 안은 퍼지 계층화 분석법을 통해 얻은 가중치

제2절 제언

1. 본 연구의 학술적 기여

본 연구는 ‘대안선정 → 평가지표 선정 → 평가’로 구성된 항만 컨테이너 물류 프로세스의 디지털화 모형을 제시했다. 본 연구를 통한 학술적 기여도는 아래 네 가지로 설명할 수 있으며, 이는 제1절의 <표 6-1> 하단에도 요약돼 있다.

첫째, 항만 수출입 컨테이너 물류 프로세스의 디지털화를 위한 ‘대안선정 → 평가지표 선정 → 평가’ 모형을 제시해 기존 이론을 확장했다. 문헌 검토를 통해 식품 등 타 분야보다 항만 컨테이너와 이를 처리하는 업무를 대상으로 한 디지털화 연구가 부족함을 파악했다. 또한 ① 현장의 애로점을 기반으로 한 니즈 파악 및 대안선정부터 ② 선행연구에서 발견된 방식의 장점을 고려한 평가지표 선정, 그리고 ③ 다기준 의사결정론을 기반으로 한 평가로 이어지는 일련의 프로세스를 포함한 모형은 찾을 수 없었다.

공급사슬상의 업무를 기반으로 한 데이터와 정보의 흐름을 화주 및 포워더, 선사, 터미널 운영사, 육상운송사 등 핵심 이해관계자 관점에서 재검토하고, 현장 관계자를 대상으로 수집한 자료를 바탕으로 한 문헌을 기반으로 애로점을 파악하고 이를 유형화했다. 이는 각 대안을 도출하는 기초가 됐으며, 일반적으로 여겨졌던 데이터·정보공유 플랫폼 대안 외에 데이터 열쇠 연계 및 통합 대안과 같은 새로운 대안을 제시함으로써 기존의 이론을 확장했다고 볼 수 있다.

본 연구는 항만 물류 프로세스상의 디지털화 대안을 정보화 역량 수준에 따라 세 가지를 제시했다. 이는 분산화된 정보처리를 허용하는 데이터 열

식 연계 및 통합 대안, 예측데이터를 활용한 공유 데이터 및 정보 정확성 향상 대안, 데이터·정보공유 플랫폼 도입 대안으로 정리된다. 각 대안은 블록체인에 기반한 분산 및 암호화 기술, 통계적 데이터 분석 및 기계학습에 기반한 다양한 예측 기술, 머스크(Maersk) 사의 트레이드렌즈 플랫폼, 싱가포르 해양항만청(MPA)의 digitalPORT@SG Platform과 같은 플랫폼에 기반한 데이터 통합관리 기술 등으로 구현 가능한 것들이다. 본 연구는 이제 가지 대안의 장점을 설명하고 각각의 운영방식을 제시했다.

추가로, 다기준 의사결정론을 기반으로 한 대안평가를 위해 평가지표 선정방식을 문헌 검토를 통해 마련했다. 공급사슬 디지털화의 필요성을 기초로 학술적·실무적 가치를 널리 인정받은 공급사슬 운영 참조모형을 참고했고, 연구진 브레인스토밍을 통해 맞춤형 평가지표를 도출했다. 이를 관련 선행연구에서 제시된 평가지표와 교차검증 함으로써 항만 컨테이너 물류 프로세스 및 공급사슬 디지털화 평가지표의 토대를 마련했다.

둘째, 국내외 연구계 및 산업계에 종사하는 표준화, 항만 및 물류 전반, 정보통신, 선사, 터미널 운영사, 육상운송사, 포워더, 화주 및 기타 비즈니스 전문가들을 대상으로 설문을 수행해 항만 컨테이너 물류 프로세스 디지털화 관련 연구의 분석 기초자료로서 유용성을 확보했다. 본 연구에서 활용된 각 세부 평가지표와 관련된 정량적 데이터는 확보하기가 현재 시점에서는 매우 어렵고 대부분은 불가능하다. 예를 들어, 각 대안의 초기 투자비용이나 운영비용은 사업 수준에서의 비용분석을 통해서만 얻을 수 있어, 관련 데이터를 얻기 매우 어렵다. 데이터 정확성과 일관성 등 비용 외적인 세부 평가지표들은 관련 데이터 확보를 위한 기반 인프라가 갖춰지지 않아 현장에서 측정된 데이터를 얻을 수 없다.

이 같은 경우, 관련 분야의 전문가 의견을 통한 기초 데이터 확보가 매우 중요하다. 본 연구에서는 40명 이상의 항만 컨테이너 공급사슬 관련 분야

전문가를 대상으로 설문을 수행해 일관성 있는 35개의 응답을 얻었다. 이러한 기초자료는 관련 연구에 매우 유용하게 활용될 수 있다.

셋째, 본 연구는 향후 평가지표별 성과지표가 갖춰지면 후속연구를 진행할 수 있는 발판을 마련했다. 전문가를 통해 갖춰진 분석 기초자료는 이후 실질적 계산값 또는 실측치로 대체될 수 있다. 가령, 각 대안의 초기 투자비용과 운영비용이 특정 사업을 통해 계산되거나, 컨테이너 물류 프로세스 전반에 정규 응답 시간을 실측·저장하는 기반 인프라가 구축된다면, 관련 데이터를 기반으로 심화분석을 진행할 수 있도록 한다. 또한 항공물류나 공로운송, 창고물류 등 관련 분야나 유사분야에 본 연구에서 제시하는 디지털화 모형을 활용해 각 분야에 적합한 디지털화 대안과 평가지표를 선정하고 이를 평가해 학술적 영역을 점차 확장해 나갈 수 있도록 한다.

넷째, 본 연구에서 다루는 공급사슬 디지털화 영역은 학계의 관심뿐만 아니라 세계적인 디지털화의 흐름에도 부합하며 「디지털 뉴딜 로드맵」과 같은 국가정책과도 관련이 있다. 즉, 국가 및 사회에 미치는 영향과 파급력 또한 갖추고 있다고 볼 수 있다.

2. 한계점 및 향후 연구 방향

상기한 학술적 기여에도 불구하고, 본 연구는 다음과 같은 한계점이 존재해 추가 연구가 진행된다면 항만 컨테이너 물류 프로세스 및 공급사슬을 디지털화하는 데 도움이 될 것으로 판단한다. 먼저, 본 연구에서는 중심극한정리를 기준으로 정규분포를 보일 수 있는 최소한의 표본을 대상으로 설문을 수행했다. 이는 관련 분야 전문가의 전체적인 시각을 보여주는 것이지만, 각 이해관계자 집단의 시각을 개별적으로 보여주지 못하는 단점이 있다. 즉, 각 집단 표본의 수를 대폭 증가시킨 설문조사를 기반으로 분석을

수행할 필요가 있다. 이를 통해 각 이해관계자의 시각과 입장 등을 알 수 있으므로, 디지털화 대안에 관한 실행 전략 수립 시 이들의 입장이 적절히 고려되게 할 수 있을 것이다.

또한 다기준 의사결정론에서 소개하는 다양한 방법을 활용해 디지털화 대안을 평가하고, 평가지표의 중요도를 도출하지 못했다. 본 연구에서는 계층화 분석법과 퍼지 계층화 분석법만을 활용했지만, 자료포락분석이나 델파이 등 다른 방법을 통해 대안을 평가하고, 각 방식을 비교해 시사점을 찾는 연구 또한 유의미할 것으로 판단한다.

마지막으로, 특정 평가지표를 기준으로 모의실험이나 실증분석을 하는 연구가 수행될 필요가 있다. 예를 들어, 항만 컨테이너 공급사슬에서 공유되는 데이터와 정보의 정확성 변화가 정량적으로 기록될 수 있다면, 프로세스 분석에 자주 활용되는 ExtendSim 등의 상용화 모의실험 프로그램을 통해 더욱 유의미한 분석결과를 도출하는 것이 가능할 것이다. 또는 물류 프로세스 내 일부를 디지털화하는 실증연구를 통해 각 대안의 실질적 편익을 도출하는 것도 향후 유의미한 연구가 될 것으로 판단한다.

참고문헌

국내 문헌

- 국토해양부(2013), 『한국의 수출입물류 프로세스』.
- 민재형(2015), 『스마트 경영과학』, 생능.
- 부산항만공사(2019), 『클라우드 기반 글로벌 통합플랫폼 구축을 위한 정보화전략계획(ISP) 수립 용역』.
- 박민호·오진호·하영목(2019), 「블록체인 기술의 공급사슬관리 적용에 관한 연구」, 『통상정보연구』, 21(3).
- 서옥환·임성목(2011), 「DEA를 이용한 자동차 부품업체의 공급사슬 성과측정」, 『한국 SCM 학회지』, 11(2).
- 신혜경·홍유신(2007), 「SCOR 모델과 만족도 함수를 이용한 공급 사슬의 성과 측정 프레임워크 개발에 관한 연구」, 『Entrue Journal of Information Technology』.
- 유광현(2020), 「국제운송에서의 블록체인 기술 활용을 위한 개선방안」, 『통상정보연구』, 22(1).
- 이상윤·임태건(2020), 『물류산업의 디지털화 동향과 속성 및 발전방향: 블록체인 기술을 중심으로』, 인하대학교 정석물류통상연구원.
- 이언경 외(2017), 『4차 산업혁명시대 항만물류산업 고도화 방안 연구』, 한국해양수산개발원.
- 이언경·서정용·김효재(2020), 『디지털 공급사슬 물류정보통합 구축전략 연구(Ⅱ)』, 한국해양수산개발원.

-
- 이연경·이수영(2019), 『4차 산업혁명시대 국내 스마트항만 수준 측정과 비교분석』, 한국해운물류학회.
- 이충배·노진호·김정환(2017), 「제4차 산업혁명의 기술이 물류성과에 미치는 영향에 대한 인식 연구」, 『물류학회지』, 27(5).
- 이태휘(2020), 「스마트항만의 해외사례 분석과 정책 시사점: 유럽과 싱가포르를 중심으로」, 『한국항만경제학회지』, 36(1).
- 조성우·원승환(2020), 「자동화 컨테이너 터미널의 추진 전략에 관한 연구」, 『물류학회지』, 30(5).
- 최병돈·이돈희(2013), 「AHP기법을 이용한 의료SCM 성공요인에 대한 비교: 자체운영 vs. 아웃소싱」, 『서비스경영학회지』, 14(5).
- 최상희·이연경·서정용(2019), 『디지털 공급사슬 물류정보통합 구축전략 연구(I)』, 한국해양수산개발원.
- 해양수산부(2019), 『스마트항만 육성방안 연구』.
- 한국데이터베이스진흥원(2009), 『데이터 품질진단 절차 및 기법(Ver.1.0)』.

국외 문헌

- Afonso, Hugo & Maria do Rosário Cabrita(2015), “Developing a lean supply chain performance framework in a SME: a perspective based on the balanced scorecard”, *Procedia Engineering*, 131, pp. 270-279.
- Annosi, Maria Carmela, *et al.*(2021), “Digitalization within food supply chains to prevent food waste. Drivers, barriers and collaboration practices”, *Industrial Marketing Management*, 93, pp. 208-220.
- Anwar, Mahwish, Lawrence Henesey & Emiliano Casalicchio(2019), “Digitalization in container terminal logistics: A literature review”, *27th Annual Conference of International Association of Maritime Economists*, Athens, pp. 1-25.
- APICS(2017), “SCOR Supply Chain Operations Reference Model Version 12.0”.
- Ardito, Lorenzo, *et al.*(2018), “The influence of production, IT, and logistics process

- innovations on ambidexterity performance", *Business Process Management Journal*, 24(5), pp. 1271-1284.
- Bauer, Daniel & Martin Göbl(2017), "Flexibility measurement issues in supply chain management", *Journal of Applied Leadership and Management*, 5, pp. 1-14.
- Boral, Soumava, *et al.*(2020), "An integrated approach for fuzzy failure modes and effects analysis using fuzzy AHP and fuzzy MAIRCA", *Engineering Failure Analysis*, 108, 104195.
- Brinker, Janosch & Hans-Dietrich Haasis(2020), "The impact of an asymmetric allocation of power on the digitalization strategy of port logistics", *Hamburg International Conference of Logistics*, 30, pp. 457-484.
- Bukhori, Ikhsan Bani, Kuncoro Harto Widodo & Dyah Ismoyowati(2015), "Evaluation of poultry supply chain performance in XYZ slaughtering house Yogyakarta using SCOR and AHP method", *Agriculture and Agricultural Science Proceedings*, 3, pp. 221-225.
- Butdee, Suthep & Puntiva Phuangsalee(2019), "Uncertain risk assessment modelling for bus body manufacturing supply chain using AHP and fuzzy AHP", *Process Manufacturing*, 30, pp. 663-670.
- Büyükoğkan, Gülçin & Fethullah Göçer(2018), "Digital supply chain: literature review and a proposed framework for future research", *Computers in Industry*, 97, pp. 157-177.
- Chen, Chen-Tung(2000), "Extensions of the TOPSIS for group decision-making under fuzzy environment", *Fuzzy sets and systems*, 114(1), pp. 1-9.
- Chen, Ling-Show & Ching-Hsue Cheng(2005), "Selecting IS personnel use fuzzy GDSS based on metric distance method", *European journal of operational research*, 160(3), pp. 803-820.
- Cichosz, Marzenna, Carl Marcus Wallenburg & A. Michael Knemeyer(2020), "Digital transformation at logistics service providers: barriers, success factors and leading practices", *The International Journal of Logistics Management*, 31(2), pp. 209-238.
- DeGroote, Sharon E. & Thomas G. Marx(2013), "The impact of IT on supply chain agility and firm performance: An empirical investigation", *International Journal*

-
- rnal of Information Management*, 33(6), pp. 909-916.
- Del Giudice, Manlio, *et al.*(2021), "Digitalization and new technologies for sustainable business models at the ship-port interface: a bibliometric analysis", *Maritime Policy & Management*, pp. 1-37.
- Di Vaio, Assunta & Luisa Varriale(2020), "Digitalization in the sea-land supply chain: experiences from Italy in rethinking the port operations within inter-organizational relationships", *Production Planning & Control*, 31(2-3), pp. 220-232.
- Fruth, Markus & Frank Teuteberg(2017), "Digitization in maritime logistics—What is there and what is missing?", *Cogent Business & Management*, 4(1), p. 1411066.
- Ganguly, Kunal & Gopal Kumar(2019), "Supply chain risk assessment: a fuzzy AHP approach", *Operations and Supply Chain Management: An International Journal*, 12(1), pp. 1-13.
- Golparvar, Maziyar & Mehdi Seifbarghy(2009), "Application of SCOR Model in an Oil-producing Company", *Journal of Industrial Engineering*, 4(4), pp. 59-69.
- Gonzalez, Olena de Andres, *et al.*(2021), "Digitalization in Just-In-Time Approach as a Sustainable Solution for Maritime Logistics in the Baltic Sea Region", *Sustainability*, 13(3), p. 1173.
- Govindan, Kannan, Sachin Kumar Mangla & Sunil Luthra(2017), "Prioritising indicators in improving supply chain performance using fuzzy AHP: insights from the case example of four Indian manufacturing companies", *Production Planning & Control*, 28(6-8), pp. 552-573.
- Gurning, Raja Oloan Saut(2019), "DETERMINING THE IMPORTANT FACTORS OF PORT DIGITALIZATION: THE EMPIRICAL CASES OF INDONESIAN PORTS", *9th International Conference on Operations and Supply Chain Management*, Vietnam, pp. 1-9.
- Hazen, Benjamin T., *et al.*(2014), "Data quality for data science, predictive analytics, and big data in supply chain management: An introduction to the problem and suggestions for research and applications", *International Journal of Pro*

- duction Economics*, 154, pp. 72-80.
- Heilig, Leonard, Eduardo Lalla-Ruiz & Stefan Voß (2017), "Digital transformation in maritime ports: analysis and a game theoretic framework", *Springer Science+Business Media*, 18(2), pp. 227-254.
- Hossain, Md Kamal & Thakur Vikas(2021), "Smart, sustainable and resilient (SSR) healthcare supply chain: A Fuzzy-AHP Approach", *In 24th International Conference on IT Applications and Management*, pp. 117-128.
- Iddris, Faisal(2018), "Digital supply chain: survey of the literature", *International Journal of Business Research and Management*, 9(1), pp. 47-61.
- Inkinen, Tommi, Reima Helminen & Janne Saarikoski(2019), "Port Digitalization with open data: Challenges, opportunities, and integrations", *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*, 5(2), p. 30.
- Jia, Junsong, Ying Fan & Xiaodan Guo(2012), "The low carbon development (LCD) levels' evaluation of the world's 47 countries (areas) by combining the FAHP with the TOPSIS method", *Expert Systems with Applications*, 39(7), pp. 6628-6640.
- Kapkaeva, Natalia, *et al.*(2021), "Digital Platform for Maritime Port Ecosystem: Port of Hamburg Case", *Transportation Research Procedia*, 54, pp. 909-917.
- Kaplan, Robert S. & David P. Norton(1992), "The Balanced Scorecard: measures that drive performance", *Harvard Business Review*, 83(7), p. 172.
- Kersten, Wolfgang, Thorsten Blecker & Christian M. Ringle(2017), "Digitalization in supply chain management and logistics: Smart and Digital Solutions for an Industry 4.0 Environment", *Proceedings of the Hamburg International Conference of Logistics*, 23, Berlin: epubli GmbH.
- Kittipanya-Ngam, Pichawadee & Kim Hua Tan(2020), "A framework for food supply chain digitalization: lessons from Thailand", *Production Planning & Control*, 31(2-3), pp. 158-172.
- Kocaoğlu, Batuhan, Bahadır Gülsün & Mehmet Tanyaş(2013), "A SCOR based approach for measuring a benchmarkable supply chain performance", *Journal of Intelligent Manufacturing*, 24(1), pp. 113-132.

-
- Kumar, Divesh & Chandra Prakash Garg(2017), "Evaluating sustainable supply chain indicators using fuzzy AHP: Case of Indian automotive industry", *Benchmarking: An International Journal*, 24(6), pp. 1742-1766.
- 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.
- Mahapatra, Puspallata, *et al.*(2020), "Prioritizing & Classifying the Impact Factors of Overseas Investment on Indian Insurance Industry: An AHP Approach", *International Journal of Management*, 11(7), pp. 1467-1474.
- Mason-Jones, R. & D.R. Towill(1998), "Shrinking the supply chain uncertainty cycle", *IOM Control*, 24, pp. 17-22.
- Mesran, M., *et al.*(2021). "Implementation of Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS) in Recommendations for New Position in Companies", *International Journal of Information System & Technology*, 4(2), pp. 661-669.
- Miri-Lavassani, Kayvan & Bahar Movahedi(2018), "Achieving higher supply chain performance via business process orientation", *Business Process Management Journal*, 24(3), pp. 671-694.
- Ongena, Guido & Pascal Ravesteyn(2020), "Business process management maturity and performance: A multi group analysis of sectors and organization sizes", *Business Process Management Journal*, 26(1), pp. 132-149.
- Pan, Nang-Fei(2008), "Fuzzy AHP approach for selecting the suitable bridge construction method", *Automation in construction*, 17(8), pp. 958-965.
- Paradowski, Bartosz, Jakub Więckowski & Larisa Dobryakova(2020), "Why TOPSIS does not always give correct results?", *Procedia Computer Science*, 176, pp. 3591-3600.
- Patidar, Akshay, Monica Sharma & Rajeev Agrawal(2021), "Prioritizing drivers to creating traceability in the food supply chain", *Procedia CIRP*, 98, pp. 690-695.
- Pedrycz, Witold(1994), "Why triangular membership functions?", *Fuzzy sets and Systems*, 64(1), pp. 21-30.
-

- Peng, Jianping, *et al.*(2016), "Mediation effect of business process and supply chain management capabilities on the impact of IT on firm performance: Evidence from Chinese firms", *International journal of information management*, 36(1), pp. 89-96.
- Philipp, Robert(2020), "Digital readiness index assessment towards smart port development", *Sustainability Management Forum*, 28, pp. 49-60.
- Rasool, Faisal, Marco Greco & Michele Grimaldi(2021), "Digital supply chain performance metrics: a literature review", *Measuring Business Excellence*. [Ahead of Print]
- Rostamzadeh, Reza & Saudah Sofian(2011), "Prioritizing effective 7Ms to improve production systems performance using fuzzy AHP and fuzzy TOPSIS (case study)", *Expert Systems with Applications*, 38(5), pp. 5166-5177.
- Saaty, Roseanna W.(1987), "The analytic hierarchy process—what it is and how it is used", *Mathematical modelling*, 9(3-5), pp. 161-176.
- Schlüter, F. F., E. Hetterscheid & M. Henke(2019), "A simulation-based evaluation approach for digitalization scenarios in smart supply chain risk management", *Journal of Industrial Engineering and Management Science*, 2019(1), pp. 179-206.
- Seçme, Neşe Yalç ın, Ali Bayrakdaroglu & Cengiz Kahraman(2009), "Fuzzy performance evaluation in Turkish banking sector using analytic hierarchy process and TOPSIS", *Expert systems with applications*, 36(9), pp. 11699-11709.
- Syedghorban, Zahra, *et al.*(2020), "Supply chain digitalization: past, present and future", *Production Planning & Control*, 31(2-3), pp. 96-114.
- Sigurdardottir, Lara Gudrun, *et al.*(2012), "Data quality at the Icelandic Cancer Registry: comparability, validity, timeliness and completeness", *Acta oncologica*, 51(7), pp. 880-889.
- Srai, Jagjit Singh & Harri Lorentz(2019), "Developing design principles for the digitalisation of purchasing and supply management", *Journal of Purchasing and Supply Management*, 25(1), pp. 78-98.
- Venkatesh, V. G., *et al.*(2020), "System architecture for blockchain based transparency of supply chain social sustainability", *Robotics and Computer-Integrated*

-
- ed Manufacturing*, 63, p. 101896.
- Vinodh, S., M. Prasanna & N. Hari Prakash(2014), "Integrated Fuzzy AHP-TOPSIS for selecting the best plastic recycling method: A case study", *Applied Mathematical Modelling*, 38(19-20), pp. 4662-4672.
- Wamba-Taguimdje, Serge-Lopez, *et al.*(2020), "Influence of artificial intelligence (AI) on firm performance: the business value of AI-based transformation projects", *Business Process Management Journal*, 26(7), pp. 1893-1924.
- Wang, Jia-Wen, Ching-Hsue Cheng & Kun-Cheng Huang(2009), "Fuzzy hierarchical TOPSIS for supplier selection", *Applied Soft Computing*, 9(1), pp. 377-386.
- Wang, Yingli & Joseph Sarkis(2021), "Emerging digitalisation technologies in freight transport and logistics: Current trends and future directions", *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 148, p. 102291.
- Wicaksono, Fermi Dwi, Yusri Bin Arshad & Haeryip Sihombing(2020), "Norm-dist Monte-Carlo integrative method for the improvement of fuzzy analytic hierarchy process", *Heliyon*, 6(4), p. e03607.
- Yang, Chung-Shan(2019), "Maritime shipping digitalization: Blockchain-based technology applications, future improvements, and intention to use", *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 131, pp. 108-117.
- Youn, Sun Hee, *et al.*(2014), "Supply chain information capabilities and performance outcomes: An empirical study of Korean steel suppliers", *International Journal of Information Management*, 34(3), pp. 369-380.

인터넷 자료

- 과학기술정보통신부, 「디지털 뉴딜 로드맵(2020-2025)」, <https://digital.go.kr/front/promotion/policyView.do>(검색일: 2021. 8. 15.)
- Amurata, "Data Quality", <https://www.amurta.com/platform/data-quality/>(검색일: 2021. 6. 4.)
- Everstream, "Supply Chain Risk Management", <https://www.everstream.ai/solutions/>

- supply-chain-risk-management/(검색일: 2021. 6. 7.)
- JavaTpoint, "Divide and Conquer Introduction", <https://www.javatpoint.com/divide-and-conquer-introduction>(검색일: 2021. 8. 15.)
- Maersk, "DP World Joins with TradeLens to Digitize Global Supply Chains", <https://www.maersk.com/news/articles/2020/05/28/dp-world-joins-with-tradelens-to-digitize-global-supply-chains> (게시일: 2020. 5. 28., 검색일: 2021. 8. 15.)
- Port Technology, "SDP 2021: Rotterdam outlines smart port priorities", <https://www.porttechnology.org/news/sdp21-rotterdam-outlines-smart-port-priorities/>(게시일: 2021. 2. 24., 검색일: 2021. 8. 15.)
- PSA PNIT, 「부산신항국제터미널 정보서비스」, <https://www.pnitl.com/infoservice/main/mainPage.jsp>(검색일: 2021. 6. 7.)

인터뷰 자료

엔지엘(주) 전용식 이사(2021. 5. 17., 대한민국 부산).

법령 자료

- 「보세화물 입출항 하선 하기 및 적재에 관한 고시」(2020.11.23. 관세청고시 제2020-40호).
- 「선박의 입항 및 출항 등에 관한 법률 시행규칙」(2020.11.1. 해양수산부령 제294호).

부록

〈표〉 기초 응답 데이터(설문자 1)

쌍대비교 질문 번호 및 내용	원시 응답
1.2 - 평가요소 간 쌍대비교	6, 4, 5, 2, 4, 3, 2, 6, 3, 3
1.3 - 신뢰성 아래 세부 평가요소 간 쌍대비교	6, 8, 6
1.4 - 응답성 아래 세부 평가요소 간 쌍대비교	2
1.5 - 유연성 아래 세부 평가요소 간 쌍대비교	2
1.6 - 비용 아래 세부 평가요소 간 쌍대비교	7
1.7 - 자산관리 아래 세부 평가요소 간 쌍대비교	8
2.1 - 신뢰성의 데이터 일관성 아래 대안 간 쌍대비교	7, 6, 5, 4, 2, 4
2.2 - 신뢰성의 데이터 완전성 아래 대안 간 쌍대비교	6, 5, 4, 3, 3, 5
2.3 - 신뢰성의 데이터 정확성 아래 대안 간 쌍대비교	6, 5, 4, 4, 3, 4
2.4 - 응답성의 정규 응답 아래 대안 간 쌍대비교	5, 4, 3, 4, 3, 3
2.5 - 응답성의 피드백 아래 대안 간 쌍대비교	5, 5, 4, 4, 4, 5
2.6 - 유연성의 적응성 아래 대안 간 쌍대비교	6, 5, 4, 4, 4, 4
2.7 - 유연성의 위험관리 아래 대안 간 쌍대비교	5, 4, 4, 4, 4, 4
2.8 - 비용의 초기 투자비용 아래 대안 간 쌍대비교	5, 5, 4, 4, 4, 4
2.9 - 비용의 운영비용 아래 대안 간 쌍대비교	5, 4, 4, 4, 4, 4
2.10 - 자산관리의 데이터 기록성 아래 대안 간 쌍대비교	5, 4, 4, 4, 4, 4
2.11 - 자산관리의 데이터 투명성 아래 대안 간 쌍대비교	5, 4, 4, 4, 4, 4

자료: 저자 작성

〈표〉 기초 응답 데이터(설문자 2)

쌍대비교 질문 번호 및 내용	원시 응답
1.2 - 평가요소 간 쌍대비교	2, 5, 3, 3, 8, 6, 6, 3, 3, 5
1.3 - 신뢰성 아래 세부 평가요소 간 쌍대비교	7, 7, 5
1.4 - 응답성 아래 세부 평가요소 간 쌍대비교	7
1.5 - 유연성 아래 세부 평가요소 간 쌍대비교	2
1.6 - 비용 아래 세부 평가요소 간 쌍대비교	7
1.7 - 자산관리 아래 세부 평가요소 간 쌍대비교	5
2.1 - 신뢰성의 데이터 일관성 아래 대안 간 쌍대비교	7, 8, 4, 7, 3, 2
2.2 - 신뢰성의 데이터 완전성 아래 대안 간 쌍대비교	5, 6, 4, 7, 4, 3
2.3 - 신뢰성의 데이터 정확성 아래 대안 간 쌍대비교	8, 7, 4, 4, 2, 4
2.4 - 응답성의 정규 응답 아래 대안 간 쌍대비교	3, 5, 3, 7, 4, 3
2.5 - 응답성의 피드백 아래 대안 간 쌍대비교	6, 6, 4, 5, 3, 3
2.6 - 유연성의 적응성 아래 대안 간 쌍대비교	6, 9, 4, 8, 4, 2
2.7 - 유연성의 위험관리 아래 대안 간 쌍대비교	5, 7, 4, 7, 4, 3
2.8 - 비용의 초기 투자비용 아래 대안 간 쌍대비교	5, 4, 6, 4, 6, 7
2.9 - 비용의 운영비용 아래 대안 간 쌍대비교	6, 7, 4, 6, 4, 2
2.10 - 자산관리의 데이터 기록성 아래 대안 간 쌍대비교	4, 6, 4, 7, 4, 2
2.11 - 자산관리의 데이터 투명성 아래 대안 간 쌍대비교	5, 7, 4, 7, 4, 2

자료: 저자 작성

〈표〉 기초 응답 데이터(설문자 3)

쌍대비교 질문 번호 및 내용	원시 응답
1.2 - 평가요소 간 쌍대비교	2, 3, 4, 1, 6, 7, 4, 6, 3, 2
1.3 - 신뢰성 아래 세부 평가요소 간 쌍대비교	5, 8, 8
1.4 - 응답성 아래 세부 평가요소 간 쌍대비교	8
1.5 - 유연성 아래 세부 평가요소 간 쌍대비교	3
1.6 - 비용 아래 세부 평가요소 간 쌍대비교	8
1.7 - 자산관리 아래 세부 평가요소 간 쌍대비교	3
2.1 - 신뢰성의 데이터 일관성 아래 대안 간 쌍대비교	4, 3, 2, 4, 3, 4
2.2 - 신뢰성의 데이터 완전성 아래 대안 간 쌍대비교	4, 3, 2, 4, 3, 4
2.3 - 신뢰성의 데이터 정확성 아래 대안 간 쌍대비교	4, 3, 1, 4, 2, 4
2.4 - 응답성의 정규 응답 아래 대안 간 쌍대비교	4, 3, 2, 4, 3, 4
2.5 - 응답성의 피드백 아래 대안 간 쌍대비교	4, 3, 2, 4, 3, 4
2.6 - 유연성의 적응성 아래 대안 간 쌍대비교	4, 3, 1, 4, 2, 3
2.7 - 유연성의 위험관리 아래 대안 간 쌍대비교	4, 3, 2, 4, 3, 4
2.8 - 비용의 초기 투자비용 아래 대안 간 쌍대비교	4, 3, 2, 4, 3, 4
2.9 - 비용의 운영비용 아래 대안 간 쌍대비교	4, 3, 2, 4, 3, 4
2.10 - 자산관리의 데이터 기록성 아래 대안 간 쌍대비교	4, 3, 2, 4, 3, 4
2.11 - 자산관리의 데이터 투명성 아래 대안 간 쌍대비교	4, 3, 2, 4, 3, 4

자료: 저자 작성

〈표〉 기초 응답 데이터(설문자 4)

쌍대비교 질문 번호 및 내용	원시 응답
1.2 - 평가요소 간 쌍대비교	4, 3, 2, 2, 4, 2, 3, 3, 4, 6
1.3 - 신뢰성 아래 세부 평가요소 간 쌍대비교	3, 3, 6
1.4 - 응답성 아래 세부 평가요소 간 쌍대비교	3
1.5 - 유연성 아래 세부 평가요소 간 쌍대비교	7
1.6 - 비용 아래 세부 평가요소 간 쌍대비교	3
1.7 - 자산관리 아래 세부 평가요소 간 쌍대비교	4
2.1 - 신뢰성의 데이터 일관성 아래 대안 간 쌍대비교	6, 7, 3, 5, 3, 3
2.2 - 신뢰성의 데이터 완전성 아래 대안 간 쌍대비교	6, 4, 2, 3, 1, 4
2.3 - 신뢰성의 데이터 정확성 아래 대안 간 쌍대비교	8, 4, 2, 3, 1, 4
2.4 - 응답성의 정규 응답 아래 대안 간 쌍대비교	3, 4, 2, 7, 4, 2
2.5 - 응답성의 피드백 아래 대안 간 쌍대비교	3, 6, 2, 7, 4, 2
2.6 - 유연성의 적응성 아래 대안 간 쌍대비교	3, 5, 2, 8, 4, 2
2.7 - 유연성의 위험관리 아래 대안 간 쌍대비교	6, 7, 4, 7, 3, 2
2.8 - 비용의 초기 투자비용 아래 대안 간 쌍대비교	4, 3, 7, 4, 7, 7
2.9 - 비용의 운영비용 아래 대안 간 쌍대비교	3, 6, 3, 8, 6, 3
2.10 - 자산관리의 데이터 기록성 아래 대안 간 쌍대비교	4, 7, 3, 7, 4, 2
2.11 - 자산관리의 데이터 투명성 아래 대안 간 쌍대비교	4, 6, 3, 7, 4, 2

자료: 저자 작성

〈표〉 기초 응답 데이터(설문자 5)

쌍대비교 질문 번호 및 내용	원시 응답
1.2 - 평가요소 간 쌍대비교	6, 4, 3, 3, 3, 3, 4, 5, 5, 5
1.3 - 신뢰성 아래 세부 평가요소 간 쌍대비교	3, 3, 5
1.4 - 응답성 아래 세부 평가요소 간 쌍대비교	3
1.5 - 유연성 아래 세부 평가요소 간 쌍대비교	3
1.6 - 비용 아래 세부 평가요소 간 쌍대비교	3
1.7 - 자산관리 아래 세부 평가요소 간 쌍대비교	3
2.1 - 신뢰성의 데이터 일관성 아래 대안 간 쌍대비교	6, 6, 3, 6, 1, 1
2.2 - 신뢰성의 데이터 완전성 아래 대안 간 쌍대비교	6, 7, 4, 6, 3, 1
2.3 - 신뢰성의 데이터 정확성 아래 대안 간 쌍대비교	5, 6, 4, 7, 4, 1
2.4 - 응답성의 정규 응답 아래 대안 간 쌍대비교	5, 7, 4, 6, 3, 1
2.5 - 응답성의 피드백 아래 대안 간 쌍대비교	5, 6, 3, 6, 3, 1
2.6 - 유연성의 적응성 아래 대안 간 쌍대비교	5, 7, 4, 7, 4, 1
2.7 - 유연성의 위험관리 아래 대안 간 쌍대비교	5, 7, 4, 7, 4, 1
2.8 - 비용의 초기 투자비용 아래 대안 간 쌍대비교	5, 7, 4, 7, 4, 1
2.9 - 비용의 운영비용 아래 대안 간 쌍대비교	5, 7, 4, 6, 4, 1
2.10 - 자산관리의 데이터 기록성 아래 대안 간 쌍대비교	6, 6, 4, 5, 1, 1
2.11 - 자산관리의 데이터 투명성 아래 대안 간 쌍대비교	6, 7, 4, 5, 1, 1

자료: 저자 작성

〈표〉 기초 응답 데이터(설문자 6)

쌍대비교 질문 번호 및 내용	원시 응답
1.2 - 평가요소 간 쌍대비교	1, 3, 2, 4, 7, 6, 8, 4, 6, 7
1.3 - 신뢰성 아래 세부 평가요소 간 쌍대비교	3, 6, 8
1.4 - 응답성 아래 세부 평가요소 간 쌍대비교	4
1.5 - 유연성 아래 세부 평가요소 간 쌍대비교	7
1.6 - 비용 아래 세부 평가요소 간 쌍대비교	3
1.7 - 자산관리 아래 세부 평가요소 간 쌍대비교	6
2.1 - 신뢰성의 데이터 일관성 아래 대안 간 쌍대비교	2, 3, 4, 6, 7, 6
2.2 - 신뢰성의 데이터 완전성 아래 대안 간 쌍대비교	3, 4, 2, 6, 4, 3
2.3 - 신뢰성의 데이터 정확성 아래 대안 간 쌍대비교	4, 3, 2, 4, 3, 4
2.4 - 응답성의 정규 응답 아래 대안 간 쌍대비교	3, 4, 2, 6, 4, 3
2.5 - 응답성의 피드백 아래 대안 간 쌍대비교	4, 3, 2, 4, 3, 4
2.6 - 유연성의 적응성 아래 대안 간 쌍대비교	2, 3, 1, 6, 4, 3
2.7 - 유연성의 위험관리 아래 대안 간 쌍대비교	4, 3, 2, 4, 3, 4
2.8 - 비용의 초기 투자비용 아래 대안 간 쌍대비교	3, 6, 3, 8, 5, 2
2.9 - 비용의 운영비용 아래 대안 간 쌍대비교	2, 4, 3, 7, 6, 4
2.10 - 자산관리의 데이터 기록성 아래 대안 간 쌍대비교	4, 3, 2, 4, 3, 4
2.11 - 자산관리의 데이터 투명성 아래 대안 간 쌍대비교	3, 2, 1, 4, 3, 4

자료: 저자 작성

〈표〉 기초 응답 데이터(설문자 7)

쌍대비교 질문 번호 및 내용	원시 응답
1.2 - 평가요소 간 쌍대비교	4, 3, 2, 2, 5, 4, 4, 5, 4, 4
1.3 - 신뢰성 아래 세부 평가요소 간 쌍대비교	5, 5, 5
1.4 - 응답성 아래 세부 평가요소 간 쌍대비교	4
1.5 - 유연성 아래 세부 평가요소 간 쌍대비교	7
1.6 - 비용 아래 세부 평가요소 간 쌍대비교	5
1.7 - 자산관리 아래 세부 평가요소 간 쌍대비교	3
2.1 - 신뢰성의 데이터 일관성 아래 대안 간 쌍대비교	3, 2, 2, 3, 2, 4
2.2 - 신뢰성의 데이터 완전성 아래 대안 간 쌍대비교	5, 3, 3, 2, 2, 5
2.3 - 신뢰성의 데이터 정확성 아래 대안 간 쌍대비교	5, 4, 4, 4, 4, 5
2.4 - 응답성의 정규 응답 아래 대안 간 쌍대비교	4, 4, 5, 5, 5, 7
2.5 - 응답성의 피드백 아래 대안 간 쌍대비교	3, 4, 4, 5, 5, 6
2.6 - 유연성의 적응성 아래 대안 간 쌍대비교	2, 4, 4, 7, 7, 5
2.7 - 유연성의 위험관리 아래 대안 간 쌍대비교	5, 6, 6, 8, 7, 5
2.8 - 비용의 초기 투자비용 아래 대안 간 쌍대비교	4, 3, 6, 5, 6, 8
2.9 - 비용의 운영비용 아래 대안 간 쌍대비교	5, 7, 8, 8, 8, 5
2.10 - 자산관리의 데이터 기록성 아래 대안 간 쌍대비교	4, 5, 3, 7, 5, 4
2.11 - 자산관리의 데이터 투명성 아래 대안 간 쌍대비교	5, 8, 8, 8, 8, 4

자료: 저자 작성

〈표〉 기초 응답 데이터(설문자 8)

쌍대비교 질문 번호 및 내용	원시 응답
1.2 - 평가요소 간 쌍대비교	6, 6, 6, 6, 4, 4, 4, 4, 4, 4
1.3 - 신뢰성 아래 세부 평가요소 간 쌍대비교	6, 7, 7
1.4 - 응답성 아래 세부 평가요소 간 쌍대비교	5
1.5 - 유연성 아래 세부 평가요소 간 쌍대비교	3
1.6 - 비용 아래 세부 평가요소 간 쌍대비교	5
1.7 - 자산관리 아래 세부 평가요소 간 쌍대비교	3
2.1 - 신뢰성의 데이터 일관성 아래 대안 간 쌍대비교	4, 4, 4, 6, 4, 4
2.2 - 신뢰성의 데이터 완전성 아래 대안 간 쌍대비교	4, 4, 4, 6, 4, 4
2.3 - 신뢰성의 데이터 정확성 아래 대안 간 쌍대비교	4, 4, 4, 6, 4, 4
2.4 - 응답성의 정규 응답 아래 대안 간 쌍대비교	4, 4, 4, 6, 4, 4
2.5 - 응답성의 피드백 아래 대안 간 쌍대비교	4, 4, 4, 6, 4, 4
2.6 - 유연성의 적응성 아래 대안 간 쌍대비교	4, 6, 4, 6, 4, 4
2.7 - 유연성의 위험관리 아래 대안 간 쌍대비교	6, 4, 4, 4, 4, 4
2.8 - 비용의 초기 투자비용 아래 대안 간 쌍대비교	4, 4, 4, 6, 4, 4
2.9 - 비용의 운영비용 아래 대안 간 쌍대비교	4, 4, 4, 6, 4, 4
2.10 - 자산관리의 데이터 기록성 아래 대안 간 쌍대비교	4, 4, 4, 6, 4, 4
2.11 - 자산관리의 데이터 투명성 아래 대안 간 쌍대비교	4, 4, 4, 6, 4, 4

자료: 저자 작성

〈표〉 기초 응답 데이터(설문자 9)

쌍대비교 질문 번호 및 내용	원시 응답
1.2 - 평가요소 간 쌍대비교	3, 3, 3, 5, 4, 5, 6, 5, 5, 5
1.3 - 신뢰성 아래 세부 평가요소 간 쌍대비교	4, 5, 7
1.4 - 응답성 아래 세부 평가요소 간 쌍대비교	8
1.5 - 유연성 아래 세부 평가요소 간 쌍대비교	5
1.6 - 비용 아래 세부 평가요소 간 쌍대비교	2
1.7 - 자산관리 아래 세부 평가요소 간 쌍대비교	6
2.1 - 신뢰성의 데이터 일관성 아래 대안 간 쌍대비교	5, 6, 4, 6, 4, 4
2.2 - 신뢰성의 데이터 완전성 아래 대안 간 쌍대비교	4, 6, 4, 6, 4, 4
2.3 - 신뢰성의 데이터 정확성 아래 대안 간 쌍대비교	6, 7, 5, 6, 5, 4
2.4 - 응답성의 정규 응답 아래 대안 간 쌍대비교	6, 7, 5, 7, 4, 3
2.5 - 응답성의 피드백 아래 대안 간 쌍대비교	2, 4, 2, 5, 5, 4
2.6 - 유연성의 적응성 아래 대안 간 쌍대비교	6, 8, 5, 8, 5, 3
2.7 - 유연성의 위험관리 아래 대안 간 쌍대비교	3, 3, 3, 5, 5, 4
2.8 - 비용의 초기 투자비용 아래 대안 간 쌍대비교	4, 4, 3, 5, 3, 3
2.9 - 비용의 운영비용 아래 대안 간 쌍대비교	6, 7, 5, 7, 5, 4
2.10 - 자산관리의 데이터 기록성 아래 대안 간 쌍대비교	4, 3, 3, 4, 5, 5
2.11 - 자산관리의 데이터 투명성 아래 대안 간 쌍대비교	7, 7, 5, 5, 4, 3

자료: 저자 작성

〈표〉 기초 응답 데이터(설문자 10)

쌍대비교 질문 번호 및 내용	원시 응답
1.2 - 평가요소 간 쌍대비교	4, 3, 2, 2, 5, 4, 4, 5, 4, 4
1.3 - 신뢰성 아래 세부 평가요소 간 쌍대비교	5, 5, 5
1.4 - 응답성 아래 세부 평가요소 간 쌍대비교	4
1.5 - 유연성 아래 세부 평가요소 간 쌍대비교	7
1.6 - 비용 아래 세부 평가요소 간 쌍대비교	5
1.7 - 자산관리 아래 세부 평가요소 간 쌍대비교	3
2.1 - 신뢰성의 데이터 일관성 아래 대안 간 쌍대비교	3, 2, 2, 3, 2, 4
2.2 - 신뢰성의 데이터 완전성 아래 대안 간 쌍대비교	5, 3, 3, 2, 2, 5
2.3 - 신뢰성의 데이터 정확성 아래 대안 간 쌍대비교	5, 4, 4, 4, 4, 5
2.4 - 응답성의 정규 응답 아래 대안 간 쌍대비교	4, 4, 5, 5, 5, 7
2.5 - 응답성의 피드백 아래 대안 간 쌍대비교	3, 4, 4, 5, 5, 6
2.6 - 유연성의 적응성 아래 대안 간 쌍대비교	2, 4, 4, 7, 7, 5
2.7 - 유연성의 위험관리 아래 대안 간 쌍대비교	5, 6, 6, 8, 7, 5
2.8 - 비용의 초기 투자비용 아래 대안 간 쌍대비교	4, 3, 6, 5, 6, 8
2.9 - 비용의 운영비용 아래 대안 간 쌍대비교	5, 7, 8, 8, 8, 5
2.10 - 자산관리의 데이터 기록성 아래 대안 간 쌍대비교	4, 5, 3, 7, 5, 4
2.11 - 자산관리의 데이터 투명성 아래 대안 간 쌍대비교	5, 8, 8, 8, 8, 4

자료: 저자 작성

〈표〉 기초 응답 데이터(설문자 11)

쌍대비교 질문 번호 및 내용	원시 응답
1.2 - 평가요소 간 쌍대비교	4, 3, 1, 2, 4, 2, 3, 4, 6, 6
1.3 - 신뢰성 아래 세부 평가요소 간 쌍대비교	4, 7, 8
1.4 - 응답성 아래 세부 평가요소 간 쌍대비교	3
1.5 - 유연성 아래 세부 평가요소 간 쌍대비교	5
1.6 - 비용 아래 세부 평가요소 간 쌍대비교	7
1.7 - 자산관리 아래 세부 평가요소 간 쌍대비교	7
2.1 - 신뢰성의 데이터 일관성 아래 대안 간 쌍대비교	7, 7, 7, 6, 7, 5
2.2 - 신뢰성의 데이터 완전성 아래 대안 간 쌍대비교	7, 6, 6, 5, 6, 6
2.3 - 신뢰성의 데이터 정확성 아래 대안 간 쌍대비교	7, 7, 6, 5, 6, 6
2.4 - 응답성의 정규 응답 아래 대안 간 쌍대비교	3, 4, 3, 7, 6, 4
2.5 - 응답성의 피드백 아래 대안 간 쌍대비교	4, 5, 4, 7, 6, 4
2.6 - 유연성의 적응성 아래 대안 간 쌍대비교	3, 4, 4, 7, 6, 4
2.7 - 유연성의 위험관리 아래 대안 간 쌍대비교	4, 8, 7, 8, 7, 4
2.8 - 비용의 초기 투자비용 아래 대안 간 쌍대비교	6, 6, 7, 6, 7, 7
2.9 - 비용의 운영비용 아래 대안 간 쌍대비교	6, 7, 8, 7, 8, 6
2.10 - 자산관리의 데이터 기록성 아래 대안 간 쌍대비교	5, 8, 8, 7, 7, 5
2.11 - 자산관리의 데이터 투명성 아래 대안 간 쌍대비교	5, 7, 7, 7, 7, 5

자료: 저자 작성

〈표〉 기초 응답 데이터(설문자 12)

쌍대비교 질문 번호 및 내용	원시 응답
1.2 - 평가요소 간 쌍대비교	3, 7, 5, 2, 8, 6, 4, 4, 1, 2
1.3 - 신뢰성 아래 세부 평가요소 간 쌍대비교	3, 6, 9
1.4 - 응답성 아래 세부 평가요소 간 쌍대비교	8
1.5 - 유연성 아래 세부 평가요소 간 쌍대비교	7
1.6 - 비용 아래 세부 평가요소 간 쌍대비교	8
1.7 - 자산관리 아래 세부 평가요소 간 쌍대비교	8
2.1 - 신뢰성의 데이터 일관성 아래 대안 간 쌍대비교	6, 8, 4, 7, 2, 1
2.2 - 신뢰성의 데이터 완전성 아래 대안 간 쌍대비교	4, 2, 1, 2, 3, 5
2.3 - 신뢰성의 데이터 정확성 아래 대안 간 쌍대비교	8, 7, 5, 3, 1, 2
2.4 - 응답성의 정규 응답 아래 대안 간 쌍대비교	8, 7, 5, 3, 1, 2
2.5 - 응답성의 피드백 아래 대안 간 쌍대비교	2, 3, 1, 7, 5, 2
2.6 - 유연성의 적응성 아래 대안 간 쌍대비교	3, 2, 7, 5, 8, 9
2.7 - 유연성의 위험관리 아래 대안 간 쌍대비교	8, 4, 6, 1, 5, 8
2.8 - 비용의 초기 투자비용 아래 대안 간 쌍대비교	7, 5, 8, 3, 6, 9
2.9 - 비용의 운영비용 아래 대안 간 쌍대비교	5, 2, 1, 4, 2, 3
2.10 - 자산관리의 데이터 기록성 아래 대안 간 쌍대비교	4, 7, 2, 8, 5, 1
2.11 - 자산관리의 데이터 투명성 아래 대안 간 쌍대비교	7, 3, 3, 2, 1, 5

자료: 저자 작성

〈표〉 기초 응답 데이터(설문자 13)

쌍대비교 질문 번호 및 내용	원시 응답
1.2 - 평가요소 간 쌍대비교	5, 5, 4, 5, 5, 5, 5, 4, 5, 5
1.3 - 신뢰성 아래 세부 평가요소 간 쌍대비교	5, 5, 5
1.4 - 응답성 아래 세부 평가요소 간 쌍대비교	7
1.5 - 유연성 아래 세부 평가요소 간 쌍대비교	5
1.6 - 비용 아래 세부 평가요소 간 쌍대비교	6
1.7 - 자산관리 아래 세부 평가요소 간 쌍대비교	7
2.1 - 신뢰성의 데이터 일관성 아래 대안 간 쌍대비교	5, 5, 3, 7, 3, 3
2.2 - 신뢰성의 데이터 완전성 아래 대안 간 쌍대비교	5, 5, 3, 3, 3, 3
2.3 - 신뢰성의 데이터 정확성 아래 대안 간 쌍대비교	5, 5, 3, 3, 3, 3
2.4 - 응답성의 정규 응답 아래 대안 간 쌍대비교	5, 5, 4, 5, 4, 4
2.5 - 응답성의 피드백 아래 대안 간 쌍대비교	5, 5, 3, 5, 3, 3
2.6 - 유연성의 적응성 아래 대안 간 쌍대비교	5, 5, 3, 3, 3, 3
2.7 - 유연성의 위험관리 아래 대안 간 쌍대비교	5, 5, 3, 3, 3, 3
2.8 - 비용의 초기 투자비용 아래 대안 간 쌍대비교	5, 5, 3, 3, 3, 3
2.9 - 비용의 운영비용 아래 대안 간 쌍대비교	5, 5, 4, 4, 4, 4
2.10 - 자산관리의 데이터 기록성 아래 대안 간 쌍대비교	5, 5, 4, 5, 4, 4
2.11 - 자산관리의 데이터 투명성 아래 대안 간 쌍대비교	5, 5, 4, 4, 4, 4

자료: 저자 작성

〈표〉 기초 응답 데이터(설문자 14)

쌍대비교 질문 번호 및 내용	원시 응답
1.2 - 평가요소 간 쌍대비교	9, 4, 2, 3, 2, 1, 2, 3, 4, 5
1.3 - 신뢰성 아래 세부 평가요소 간 쌍대비교	9, 5, 2
1.4 - 응답성 아래 세부 평가요소 간 쌍대비교	8
1.5 - 유연성 아래 세부 평가요소 간 쌍대비교	5
1.6 - 비용 아래 세부 평가요소 간 쌍대비교	3
1.7 - 자산관리 아래 세부 평가요소 간 쌍대비교	5
2.1 - 신뢰성의 데이터 일관성 아래 대안 간 쌍대비교	9, 7, 5, 4, 2, 3
2.2 - 신뢰성의 데이터 완전성 아래 대안 간 쌍대비교	8, 6, 4, 4, 2, 3
2.3 - 신뢰성의 데이터 정확성 아래 대안 간 쌍대비교	9, 7, 5, 3, 2, 4
2.4 - 응답성의 정규 응답 아래 대안 간 쌍대비교	6, 7, 4, 7, 2, 1
2.5 - 응답성의 피드백 아래 대안 간 쌍대비교	8, 9, 6, 6, 4, 3
2.6 - 유연성의 적응성 아래 대안 간 쌍대비교	2, 5, 2, 8, 5, 2
2.7 - 유연성의 위험관리 아래 대안 간 쌍대비교	2, 5, 2, 6, 4, 3
2.8 - 비용의 초기 투자비용 아래 대안 간 쌍대비교	3, 4, 3, 6, 5, 4
2.9 - 비용의 운영비용 아래 대안 간 쌍대비교	7, 7, 4, 5, 2, 2
2.10 - 자산관리의 데이터 기록성 아래 대안 간 쌍대비교	7, 8, 6, 6, 3, 2
2.11 - 자산관리의 데이터 투명성 아래 대안 간 쌍대비교	9, 8, 7, 4, 3, 4

자료: 저자 작성

〈표〉 기초 응답 데이터(설문자 15)

쌍대비교 질문 번호 및 내용	원시 응답
1.2 - 평가요소 간 쌍대비교	3, 2, 1, 1, 3, 2, 2, 3, 3, 5
1.3 - 신뢰성 아래 세부 평가요소 간 쌍대비교	5, 8, 8
1.4 - 응답성 아래 세부 평가요소 간 쌍대비교	7
1.5 - 유연성 아래 세부 평가요소 간 쌍대비교	3
1.6 - 비용 아래 세부 평가요소 간 쌍대비교	3
1.7 - 자산관리 아래 세부 평가요소 간 쌍대비교	3
2.1 - 신뢰성의 데이터 일관성 아래 대안 간 쌍대비교	4, 3, 1, 4, 1, 2
2.2 - 신뢰성의 데이터 완전성 아래 대안 간 쌍대비교	3, 3, 2, 4, 4, 4
2.3 - 신뢰성의 데이터 정확성 아래 대안 간 쌍대비교	2, 2, 1, 5, 3, 4
2.4 - 응답성의 정규 응답 아래 대안 간 쌍대비교	4, 4, 3, 6, 4, 4
2.5 - 응답성의 피드백 아래 대안 간 쌍대비교	3, 3, 1, 6, 4, 4
2.6 - 유연성의 적응성 아래 대안 간 쌍대비교	2, 2, 1, 4, 3, 5
2.7 - 유연성의 위험관리 아래 대안 간 쌍대비교	9, 6, 5, 3, 3, 3
2.8 - 비용의 초기 투자비용 아래 대안 간 쌍대비교	5, 5, 6, 5, 6, 6
2.9 - 비용의 운영비용 아래 대안 간 쌍대비교	4, 4, 5, 5, 5, 5
2.10 - 자산관리의 데이터 기록성 아래 대안 간 쌍대비교	4, 3, 3, 5, 5, 5
2.11 - 자산관리의 데이터 투명성 아래 대안 간 쌍대비교	8, 7, 5, 4, 3, 3

자료: 저자 작성

〈표〉 기초 응답 데이터(설문자 16)

쌍대비교 질문 번호 및 내용	원시 응답
1.2 - 평가요소 간 쌍대비교	3, 3, 2, 2, 7, 6, 6, 5, 5, 5
1.3 - 신뢰성 아래 세부 평가요소 간 쌍대비교	3, 3, 5
1.4 - 응답성 아래 세부 평가요소 간 쌍대비교	6
1.5 - 유연성 아래 세부 평가요소 간 쌍대비교	3
1.6 - 비용 아래 세부 평가요소 간 쌍대비교	5
1.7 - 자산관리 아래 세부 평가요소 간 쌍대비교	3
2.1 - 신뢰성의 데이터 일관성 아래 대안 간 쌍대비교	5, 6, 5, 6, 4, 4
2.2 - 신뢰성의 데이터 완전성 아래 대안 간 쌍대비교	3, 3, 2, 4, 4, 4
2.3 - 신뢰성의 데이터 정확성 아래 대안 간 쌍대비교	6, 7, 5, 6, 5, 4
2.4 - 응답성의 정규 응답 아래 대안 간 쌍대비교	3, 3, 1, 6, 4, 4
2.5 - 응답성의 피드백 아래 대안 간 쌍대비교	2, 4, 2, 5, 5, 4
2.6 - 유연성의 적응성 아래 대안 간 쌍대비교	9, 6, 5, 3, 3, 3
2.7 - 유연성의 위험관리 아래 대안 간 쌍대비교	2, 2, 1, 4, 3, 5
2.8 - 비용의 초기 투자비용 아래 대안 간 쌍대비교	5, 5, 6, 5, 6, 6
2.9 - 비용의 운영비용 아래 대안 간 쌍대비교	6, 7, 5, 7, 5, 4
2.10 - 자산관리의 데이터 기록성 아래 대안 간 쌍대비교	4, 4, 5, 5, 5, 5
2.11 - 자산관리의 데이터 투명성 아래 대안 간 쌍대비교	4, 3, 3, 5, 5, 5

자료: 저자 작성

〈표〉 기초 응답 데이터(설문자 17)

쌍대비교 질문 번호 및 내용	원시 응답
1.2 - 평가요소 간 쌍대비교	3, 3, 6, 3, 5, 7, 3, 7, 5, 3
1.3 - 신뢰성 아래 세부 평가요소 간 쌍대비교	5, 5, 5
1.4 - 응답성 아래 세부 평가요소 간 쌍대비교	3
1.5 - 유연성 아래 세부 평가요소 간 쌍대비교	3
1.6 - 비용 아래 세부 평가요소 간 쌍대비교	7
1.7 - 자산관리 아래 세부 평가요소 간 쌍대비교	7
2.1 - 신뢰성의 데이터 일관성 아래 대안 간 쌍대비교	6, 5, 4, 5, 4, 4
2.2 - 신뢰성의 데이터 완전성 아래 대안 간 쌍대비교	6, 5, 4, 5, 4, 4
2.3 - 신뢰성의 데이터 정확성 아래 대안 간 쌍대비교	6, 5, 4, 4, 4, 4
2.4 - 응답성의 정규 응답 아래 대안 간 쌍대비교	6, 5, 4, 4, 4, 4
2.5 - 응답성의 피드백 아래 대안 간 쌍대비교	4, 4, 4, 5, 5, 5
2.6 - 유연성의 적응성 아래 대안 간 쌍대비교	4, 6, 4, 7, 5, 2
2.7 - 유연성의 위험관리 아래 대안 간 쌍대비교	4, 6, 4, 6, 4, 4
2.8 - 비용의 초기 투자비용 아래 대안 간 쌍대비교	6, 5, 4, 5, 4, 4
2.9 - 비용의 운영비용 아래 대안 간 쌍대비교	6, 6, 4, 5, 4, 4
2.10 - 자산관리의 데이터 기록성 아래 대안 간 쌍대비교	6, 6, 4, 6, 4, 4
2.11 - 자산관리의 데이터 투명성 아래 대안 간 쌍대비교	6, 6, 4, 6, 4, 4

자료: 저자 작성

〈표〉 기초 응답 데이터(설문자 18)

쌍대비교 질문 번호 및 내용	원시 응답
1.2 - 평가요소 간 쌍대비교	4, 4, 3, 3, 4, 4, 4, 3, 4, 7
1.3 - 신뢰성 아래 세부 평가요소 간 쌍대비교	5, 7, 7
1.4 - 응답성 아래 세부 평가요소 간 쌍대비교	7
1.5 - 유연성 아래 세부 평가요소 간 쌍대비교	7
1.6 - 비용 아래 세부 평가요소 간 쌍대비교	5
1.7 - 자산관리 아래 세부 평가요소 간 쌍대비교	3
2.1 - 신뢰성의 데이터 일관성 아래 대안 간 쌍대비교	5, 5, 3, 5, 3, 3
2.2 - 신뢰성의 데이터 완전성 아래 대안 간 쌍대비교	4, 5, 3, 6, 3, 3
2.3 - 신뢰성의 데이터 정확성 아래 대안 간 쌍대비교	6, 5, 3, 4, 3, 3
2.4 - 응답성의 정규 응답 아래 대안 간 쌍대비교	5, 5, 3, 5, 3, 3
2.5 - 응답성의 피드백 아래 대안 간 쌍대비교	6, 5, 3, 4, 3, 3
2.6 - 유연성의 적응성 아래 대안 간 쌍대비교	4, 5, 3, 6, 3, 3
2.7 - 유연성의 위험관리 아래 대안 간 쌍대비교	5, 5, 3, 5, 3, 3
2.8 - 비용의 초기 투자비용 아래 대안 간 쌍대비교	4, 5, 3, 6, 3, 3
2.9 - 비용의 운영비용 아래 대안 간 쌍대비교	6, 6, 3, 5, 3, 3
2.10 - 자산관리의 데이터 기록성 아래 대안 간 쌍대비교	6, 6, 3, 5, 3, 3
2.11 - 자산관리의 데이터 투명성 아래 대안 간 쌍대비교	4, 5, 3, 6, 3, 3

자료: 저자 작성

〈표〉 기초 응답 데이터(설문자 19)

쌍대비교 질문 번호 및 내용	원시 응답
1.2 - 평가요소 간 쌍대비교	2, 3, 1, 1, 7, 2, 3, 1, 2, 7
1.3 - 신뢰성 아래 세부 평가요소 간 쌍대비교	4, 7, 7
1.4 - 응답성 아래 세부 평가요소 간 쌍대비교	6
1.5 - 유연성 아래 세부 평가요소 간 쌍대비교	4
1.6 - 비용 아래 세부 평가요소 간 쌍대비교	3
1.7 - 자산관리 아래 세부 평가요소 간 쌍대비교	6
2.1 - 신뢰성의 데이터 일관성 아래 대안 간 쌍대비교	5, 4, 4, 4, 3, 3
2.2 - 신뢰성의 데이터 완전성 아래 대안 간 쌍대비교	5, 4, 3, 3, 4, 6
2.3 - 신뢰성의 데이터 정확성 아래 대안 간 쌍대비교	6, 4, 4, 4, 4, 6
2.4 - 응답성의 정규 응답 아래 대안 간 쌍대비교	5, 4, 6, 4, 6, 6
2.5 - 응답성의 피드백 아래 대안 간 쌍대비교	6, 4, 6, 4, 4, 7
2.6 - 유연성의 적응성 아래 대안 간 쌍대비교	4, 4, 4, 5, 4, 4
2.7 - 유연성의 위험관리 아래 대안 간 쌍대비교	4, 6, 6, 6, 6, 6
2.8 - 비용의 초기 투자비용 아래 대안 간 쌍대비교	6, 6, 6, 6, 6, 4
2.9 - 비용의 운영비용 아래 대안 간 쌍대비교	6, 7, 6, 7, 4, 4
2.10 - 자산관리의 데이터 기록성 아래 대안 간 쌍대비교	6, 6, 4, 4, 4, 4
2.11 - 자산관리의 데이터 투명성 아래 대안 간 쌍대비교	6, 6, 4, 4, 4, 4

자료: 저자 작성

〈표〉 기초 응답 데이터(설문자 20)

쌍대비교 질문 번호 및 내용	원시 응답
1.2 - 평가요소 간 쌍대비교	2, 3, 1, 4, 6, 4, 7, 3, 6, 8
1.3 - 신뢰성 아래 세부 평가요소 간 쌍대비교	5, 6, 6
1.4 - 응답성 아래 세부 평가요소 간 쌍대비교	4
1.5 - 유연성 아래 세부 평가요소 간 쌍대비교	5
1.6 - 비용 아래 세부 평가요소 간 쌍대비교	7
1.7 - 자산관리 아래 세부 평가요소 간 쌍대비교	7
2.1 - 신뢰성의 데이터 일관성 아래 대안 간 쌍대비교	4, 6, 2, 7, 3, 1
2.2 - 신뢰성의 데이터 완전성 아래 대안 간 쌍대비교	3, 6, 2, 8, 4, 1
2.3 - 신뢰성의 데이터 정확성 아래 대안 간 쌍대비교	7, 7, 4, 5, 2, 2
2.4 - 응답성의 정규 응답 아래 대안 간 쌍대비교	4, 7, 3, 8, 4, 1
2.5 - 응답성의 피드백 아래 대안 간 쌍대비교	4, 6, 3, 7, 4, 2
2.6 - 유연성의 적응성 아래 대안 간 쌍대비교	3, 6, 3, 8, 5, 2
2.7 - 유연성의 위험관리 아래 대안 간 쌍대비교	7, 8, 5, 6, 3, 2
2.8 - 비용의 초기 투자비용 아래 대안 간 쌍대비교	4, 3, 6, 4, 7, 8
2.9 - 비용의 운영비용 아래 대안 간 쌍대비교	4, 6, 3, 7, 4, 2
2.10 - 자산관리의 데이터 기록성 아래 대안 간 쌍대비교	4, 6, 4, 7, 5, 3
2.11 - 자산관리의 데이터 투명성 아래 대안 간 쌍대비교	3, 7, 3, 9, 5, 1

자료: 저자 작성

〈표〉 기초 응답 데이터(설문자 21)

쌍대비교 질문 번호 및 내용	원시 응답
1.2 - 평가요소 간 쌍대비교	3, 4, 1, 2, 6, 3, 4, 2, 3, 6
1.3 - 신뢰성 아래 세부 평가요소 간 쌍대비교	3, 4, 6
1.4 - 응답성 아래 세부 평가요소 간 쌍대비교	3
1.5 - 유연성 아래 세부 평가요소 간 쌍대비교	3
1.6 - 비용 아래 세부 평가요소 간 쌍대비교	7
1.7 - 자산관리 아래 세부 평가요소 간 쌍대비교	7
2.1 - 신뢰성의 데이터 일관성 아래 대안 간 쌍대비교	6, 4, 3, 3, 2, 4
2.2 - 신뢰성의 데이터 완전성 아래 대안 간 쌍대비교	4, 3, 2, 4, 3, 4
2.3 - 신뢰성의 데이터 정확성 아래 대안 간 쌍대비교	7, 5, 3, 3, 2, 3
2.4 - 응답성의 정규 응답 아래 대안 간 쌍대비교	4, 6, 2, 7, 3, 1
2.5 - 응답성의 피드백 아래 대안 간 쌍대비교	4, 6, 3, 7, 4, 2
2.6 - 유연성의 적응성 아래 대안 간 쌍대비교	4, 7, 3, 6, 4, 2
2.7 - 유연성의 위험관리 아래 대안 간 쌍대비교	3, 7, 4, 9, 6, 3
2.8 - 비용의 초기 투자비용 아래 대안 간 쌍대비교	6, 4, 7, 3, 6, 8
2.9 - 비용의 운영비용 아래 대안 간 쌍대비교	4, 3, 6, 4, 7, 8
2.10 - 자산관리의 데이터 기록성 아래 대안 간 쌍대비교	3, 4, 2, 6, 4, 3
2.11 - 자산관리의 데이터 투명성 아래 대안 간 쌍대비교	4, 7, 3, 7, 4, 2

자료: 저자 작성

〈표〉 기초 응답 데이터(설문자 22)

쌍대비교 질문 번호 및 내용	원시 응답
1.2 - 평가요소 간 쌍대비교	6, 3, 4, 2, 2, 3, 1, 6, 4, 3
1.3 - 신뢰성 아래 세부 평가요소 간 쌍대비교	6, 8, 7
1.4 - 응답성 아래 세부 평가요소 간 쌍대비교	3
1.5 - 유연성 아래 세부 평가요소 간 쌍대비교	4
1.6 - 비용 아래 세부 평가요소 간 쌍대비교	4
1.7 - 자산관리 아래 세부 평가요소 간 쌍대비교	7
2.1 - 신뢰성의 데이터 일관성 아래 대안 간 쌍대비교	5, 3, 2, 4, 2, 3
2.2 - 신뢰성의 데이터 완전성 아래 대안 간 쌍대비교	6, 4, 3, 3, 2, 4
2.3 - 신뢰성의 데이터 정확성 아래 대안 간 쌍대비교	7, 4, 3, 2, 1, 3
2.4 - 응답성의 정규 응답 아래 대안 간 쌍대비교	6, 7, 4, 6, 3, 2
2.5 - 응답성의 피드백 아래 대안 간 쌍대비교	7, 8, 5, 7, 2, 3
2.6 - 유연성의 적응성 아래 대안 간 쌍대비교	3, 4, 2, 6, 4, 3
2.7 - 유연성의 위험관리 아래 대안 간 쌍대비교	4, 5, 2, 6, 4, 3
2.8 - 비용의 초기 투자비용 아래 대안 간 쌍대비교	6, 4, 7, 3, 6, 8
2.9 - 비용의 운영비용 아래 대안 간 쌍대비교	6, 5, 7, 4, 5, 6
2.10 - 자산관리의 데이터 기록성 아래 대안 간 쌍대비교	8, 7, 6, 4, 3, 4
2.11 - 자산관리의 데이터 투명성 아래 대안 간 쌍대비교	7, 8, 5, 6, 4, 3

자료: 저자 작성

〈표〉 기초 응답 데이터(설문자 23)

쌍대비교 질문 번호 및 내용	원시 응답
1.2 - 평가요소 간 쌍대비교	1, 4, 3, 2, 8, 7, 6, 4, 3, 4
1.3 - 신뢰성 아래 세부 평가요소 간 쌍대비교	4, 8, 9
1.4 - 응답성 아래 세부 평가요소 간 쌍대비교	4
1.5 - 유연성 아래 세부 평가요소 간 쌍대비교	7
1.6 - 비용 아래 세부 평가요소 간 쌍대비교	3
1.7 - 자산관리 아래 세부 평가요소 간 쌍대비교	4
2.1 - 신뢰성의 데이터 일관성 아래 대안 간 쌍대비교	7, 6, 4, 4, 2, 3
2.2 - 신뢰성의 데이터 완전성 아래 대안 간 쌍대비교	7, 6, 4, 6, 3, 2
2.3 - 신뢰성의 데이터 정확성 아래 대안 간 쌍대비교	6, 4, 3, 3, 2, 4
2.4 - 응답성의 정규 응답 아래 대안 간 쌍대비교	6, 8, 7, 7, 6, 4
2.5 - 응답성의 피드백 아래 대안 간 쌍대비교	6, 8, 7, 7, 6, 4
2.6 - 유연성의 적응성 아래 대안 간 쌍대비교	3, 4, 2, 6, 4, 4
2.7 - 유연성의 위험관리 아래 대안 간 쌍대비교	4, 6, 3, 7, 4, 2
2.8 - 비용의 초기 투자비용 아래 대안 간 쌍대비교	6, 7, 4, 6, 3, 2
2.9 - 비용의 운영비용 아래 대안 간 쌍대비교	6, 7, 4, 6, 3, 2
2.10 - 자산관리의 데이터 기록성 아래 대안 간 쌍대비교	3, 4, 2, 6, 4, 3
2.11 - 자산관리의 데이터 투명성 아래 대안 간 쌍대비교	3, 4, 2, 6, 4, 3

자료: 저자 작성

〈표〉 기초 응답 데이터(설문자 24)

쌍대비교 질문 번호 및 내용	원시 응답
1.2 - 평가요소 간 쌍대비교	6, 4, 7, 3, 3, 6, 3, 8, 4, 1
1.3 - 신뢰성 아래 세부 평가요소 간 쌍대비교	4, 7, 8
1.4 - 응답성 아래 세부 평가요소 간 쌍대비교	4
1.5 - 유연성 아래 세부 평가요소 간 쌍대비교	5
1.6 - 비용 아래 세부 평가요소 간 쌍대비교	7
1.7 - 자산관리 아래 세부 평가요소 간 쌍대비교	7
2.1 - 신뢰성의 데이터 일관성 아래 대안 간 쌍대비교	7, 6, 8, 4, 6, 7
2.2 - 신뢰성의 데이터 완전성 아래 대안 간 쌍대비교	6, 4, 7, 3, 4, 8
2.3 - 신뢰성의 데이터 정확성 아래 대안 간 쌍대비교	6, 4, 8, 3, 6, 9
2.4 - 응답성의 정규 응답 아래 대안 간 쌍대비교	3, 4, 6, 6, 7, 9
2.5 - 응답성의 피드백 아래 대안 간 쌍대비교	4, 3, 6, 4, 7, 8
2.6 - 유연성의 적응성 아래 대안 간 쌍대비교	3, 4, 6, 6, 8, 7
2.7 - 유연성의 위험관리 아래 대안 간 쌍대비교	3, 4, 6, 6, 8, 7
2.8 - 비용의 초기 투자비용 아래 대안 간 쌍대비교	4, 6, 7, 7, 9, 6
2.9 - 비용의 운영비용 아래 대안 간 쌍대비교	3, 4, 6, 6, 8, 7
2.10 - 자산관리의 데이터 기록성 아래 대안 간 쌍대비교	4, 6, 7, 7, 8, 6
2.11 - 자산관리의 데이터 투명성 아래 대안 간 쌍대비교	2, 3, 4, 6, 7, 6

자료: 저자 작성

〈표〉 기초 응답 데이터(설문자 25)

쌍대비교 질문 번호 및 내용	원시 응답
1.2 - 평가요소 간 쌍대비교	2, 4, 1, 3, 7, 4, 6, 2, 4, 6
1.3 - 신뢰성 아래 세부 평가요소 간 쌍대비교	5, 9, 9
1.4 - 응답성 아래 세부 평가요소 간 쌍대비교	7
1.5 - 유연성 아래 세부 평가요소 간 쌍대비교	6
1.6 - 비용 아래 세부 평가요소 간 쌍대비교	5
1.7 - 자산관리 아래 세부 평가요소 간 쌍대비교	7
2.1 - 신뢰성의 데이터 일관성 아래 대안 간 쌍대비교	6, 3, 4, 2, 3, 6
2.2 - 신뢰성의 데이터 완전성 아래 대안 간 쌍대비교	6, 4, 3, 3, 2, 4
2.3 - 신뢰성의 데이터 정확성 아래 대안 간 쌍대비교	7, 3, 3, 1, 1, 5
2.4 - 응답성의 정규 응답 아래 대안 간 쌍대비교	7, 4, 6, 2, 4, 7
2.5 - 응답성의 피드백 아래 대안 간 쌍대비교	6, 3, 4, 2, 3, 6
2.6 - 유연성의 적응성 아래 대안 간 쌍대비교	7, 6, 8, 4, 6, 7
2.7 - 유연성의 위험관리 아래 대안 간 쌍대비교	7, 5, 6, 3, 4, 6
2.8 - 비용의 초기 투자비용 아래 대안 간 쌍대비교	7, 6, 8, 4, 6, 7
2.9 - 비용의 운영비용 아래 대안 간 쌍대비교	6, 4, 4, 3, 3, 5
2.10 - 자산관리의 데이터 기록성 아래 대안 간 쌍대비교	6, 4, 7, 3, 6, 8
2.11 - 자산관리의 데이터 투명성 아래 대안 간 쌍대비교	7, 6, 4, 4, 2, 3

자료: 저자 작성

〈표〉 기초 응답 데이터(설문자 26)

쌍대비교 질문 번호 및 내용	원시 응답
1.2 - 평가요소 간 쌍대비교	3, 3, 5, 2, 5, 8, 6, 8, 6, 3
1.3 - 신뢰성 아래 세부 평가요소 간 쌍대비교	8, 6, 3
1.4 - 응답성 아래 세부 평가요소 간 쌍대비교	4
1.5 - 유연성 아래 세부 평가요소 간 쌍대비교	6
1.6 - 비용 아래 세부 평가요소 간 쌍대비교	3
1.7 - 자산관리 아래 세부 평가요소 간 쌍대비교	7
2.1 - 신뢰성의 데이터 일관성 아래 대안 간 쌍대비교	7, 5, 3, 3, 3, 5
2.2 - 신뢰성의 데이터 완전성 아래 대안 간 쌍대비교	7, 4, 3, 2, 3, 4
2.3 - 신뢰성의 데이터 정확성 아래 대안 간 쌍대비교	8, 4, 2, 3, 1, 4
2.4 - 응답성의 정규 응답 아래 대안 간 쌍대비교	7, 5, 3, 2, 1, 3
2.5 - 응답성의 피드백 아래 대안 간 쌍대비교	8, 6, 4, 3, 2, 4
2.6 - 유연성의 적응성 아래 대안 간 쌍대비교	7, 5, 3, 2, 1, 3
2.7 - 유연성의 위험관리 아래 대안 간 쌍대비교	7, 5, 3, 3, 3, 5
2.8 - 비용의 초기 투자비용 아래 대안 간 쌍대비교	7, 4, 3, 2, 3, 4
2.9 - 비용의 운영비용 아래 대안 간 쌍대비교	7, 4, 2, 2, 3, 5
2.10 - 자산관리의 데이터 기록성 아래 대안 간 쌍대비교	7, 5, 3, 2, 1, 3
2.11 - 자산관리의 데이터 투명성 아래 대안 간 쌍대비교	8, 6, 4, 3, 2, 4

자료: 저자 작성

〈표〉 기초 응답 데이터(설문자 27)

쌍대비교 질문 번호 및 내용	원시 응답
1.2 - 평가요소 간 쌍대비교	5, 1, 2, 1, 2, 1, 2, 2, 4, 6
1.3 - 신뢰성 아래 세부 평가요소 간 쌍대비교	5, 4, 3
1.4 - 응답성 아래 세부 평가요소 간 쌍대비교	2
1.5 - 유연성 아래 세부 평가요소 간 쌍대비교	3
1.6 - 비용 아래 세부 평가요소 간 쌍대비교	3
1.7 - 자산관리 아래 세부 평가요소 간 쌍대비교	1
2.1 - 신뢰성의 데이터 일관성 아래 대안 간 쌍대비교	2, 4, 6, 5, 7, 6
2.2 - 신뢰성의 데이터 완전성 아래 대안 간 쌍대비교	5, 4, 3, 3, 4, 5
2.3 - 신뢰성의 데이터 정확성 아래 대안 간 쌍대비교	5, 3, 4, 3, 4, 7
2.4 - 응답성의 정규 응답 아래 대안 간 쌍대비교	3, 4, 4, 7, 7, 5
2.5 - 응답성의 피드백 아래 대안 간 쌍대비교	1, 2, 4, 3, 6, 8
2.6 - 유연성의 적응성 아래 대안 간 쌍대비교	6, 4, 5, 2, 4, 7
2.7 - 유연성의 위험관리 아래 대안 간 쌍대비교	5, 4, 2, 4, 5, 5
2.8 - 비용의 초기 투자비용 아래 대안 간 쌍대비교	5, 4, 6, 5, 6, 7
2.9 - 비용의 운영비용 아래 대안 간 쌍대비교	5, 6, 5, 5, 5, 5
2.10 - 자산관리의 데이터 기록성 아래 대안 간 쌍대비교	5, 4, 2, 3, 4, 5
2.11 - 자산관리의 데이터 투명성 아래 대안 간 쌍대비교	4, 4, 4, 6, 4, 3

자료: 저자 작성

〈표〉 기초 응답 데이터(설문자 28)

쌍대비교 질문 번호 및 내용	원시 응답
1.2 - 평가요소 간 쌍대비교	2, 3, 4, 5, 6, 8, 9, 7, 7, 8
1.3 - 신뢰성 아래 세부 평가요소 간 쌍대비교	4, 2, 3
1.4 - 응답성 아래 세부 평가요소 간 쌍대비교	8
1.5 - 유연성 아래 세부 평가요소 간 쌍대비교	6
1.6 - 비용 아래 세부 평가요소 간 쌍대비교	8
1.7 - 자산관리 아래 세부 평가요소 간 쌍대비교	4
2.1 - 신뢰성의 데이터 일관성 아래 대안 간 쌍대비교	6, 8, 9, 7, 7, 6
2.2 - 신뢰성의 데이터 완전성 아래 대안 간 쌍대비교	7, 9, 8, 7, 6, 4
2.3 - 신뢰성의 데이터 정확성 아래 대안 간 쌍대비교	2, 4, 5, 7, 8, 8
2.4 - 응답성의 정규 응답 아래 대안 간 쌍대비교	8, 7, 6, 6, 5, 4
2.5 - 응답성의 피드백 아래 대안 간 쌍대비교	4, 3, 6, 5, 9, 8
2.6 - 유연성의 적응성 아래 대안 간 쌍대비교	8, 8, 6, 5, 4, 2
2.7 - 유연성의 위험관리 아래 대안 간 쌍대비교	8, 8, 6, 6, 3, 3
2.8 - 비용의 초기 투자비용 아래 대안 간 쌍대비교	3, 3, 6, 5, 8, 8
2.9 - 비용의 운영비용 아래 대안 간 쌍대비교	5, 6, 3, 7, 3, 2
2.10 - 자산관리의 데이터 기록성 아래 대안 간 쌍대비교	6, 5, 3, 4, 3, 4
2.11 - 자산관리의 데이터 투명성 아래 대안 간 쌍대비교	3, 4, 4, 6, 8, 6

자료: 저자 작성

〈표〉 기초 응답 데이터(설문자 29)

쌍대비교 질문 번호 및 내용	원시 응답
1.2 - 평가요소 간 쌍대비교	4, 3, 1, 2, 4, 2, 3, 3, 4, 6
1.3 - 신뢰성 아래 세부 평가요소 간 쌍대비교	6, 7, 6
1.4 - 응답성 아래 세부 평가요소 간 쌍대비교	4
1.5 - 유연성 아래 세부 평가요소 간 쌍대비교	6
1.6 - 비용 아래 세부 평가요소 간 쌍대비교	6
1.7 - 자산관리 아래 세부 평가요소 간 쌍대비교	6
2.1 - 신뢰성의 데이터 일관성 아래 대안 간 쌍대비교	4, 6, 3, 7, 4, 2
2.2 - 신뢰성의 데이터 완전성 아래 대안 간 쌍대비교	7, 6, 4, 4, 2, 3
2.3 - 신뢰성의 데이터 정확성 아래 대안 간 쌍대비교	7, 6, 4, 4, 2, 3
2.4 - 응답성의 정규 응답 아래 대안 간 쌍대비교	3, 4, 2, 6, 4, 3
2.5 - 응답성의 피드백 아래 대안 간 쌍대비교	3, 4, 2, 6, 4, 3
2.6 - 유연성의 적응성 아래 대안 간 쌍대비교	3, 4, 2, 6, 4, 3
2.7 - 유연성의 위험관리 아래 대안 간 쌍대비교	6, 7, 4, 6, 3, 2
2.8 - 비용의 초기 투자비용 아래 대안 간 쌍대비교	6, 4, 7, 3, 6, 8
2.9 - 비용의 운영비용 아래 대안 간 쌍대비교	6, 4, 7, 3, 6, 8
2.10 - 자산관리의 데이터 기록성 아래 대안 간 쌍대비교	4, 6, 3, 7, 4, 2
2.11 - 자산관리의 데이터 투명성 아래 대안 간 쌍대비교	4, 6, 3, 7, 4, 2

자료: 저자 작성

〈표〉 기초 응답 데이터(설문자 30)

쌍대비교 질문 번호 및 내용	원시 응답
1.2 - 평가요소 간 쌍대비교	4, 2, 3, 1, 3, 4, 2, 6, 4, 3
1.3 - 신뢰성 아래 세부 평가요소 간 쌍대비교	4, 3, 4
1.4 - 응답성 아래 세부 평가요소 간 쌍대비교	4
1.5 - 유연성 아래 세부 평가요소 간 쌍대비교	4
1.6 - 비용 아래 세부 평가요소 간 쌍대비교	4
1.7 - 자산관리 아래 세부 평가요소 간 쌍대비교	4
2.1 - 신뢰성의 데이터 일관성 아래 대안 간 쌍대비교	3, 4, 2, 6, 4, 3
2.2 - 신뢰성의 데이터 완전성 아래 대안 간 쌍대비교	3, 4, 2, 6, 4, 3
2.3 - 신뢰성의 데이터 정확성 아래 대안 간 쌍대비교	3, 4, 2, 6, 4, 3
2.4 - 응답성의 정규 응답 아래 대안 간 쌍대비교	3, 4, 2, 6, 4, 3
2.5 - 응답성의 피드백 아래 대안 간 쌍대비교	3, 4, 2, 6, 4, 3
2.6 - 유연성의 적응성 아래 대안 간 쌍대비교	3, 6, 4, 7, 6, 3
2.7 - 유연성의 위험관리 아래 대안 간 쌍대비교	3, 6, 4, 7, 6, 3
2.8 - 비용의 초기 투자비용 아래 대안 간 쌍대비교	3, 6, 4, 7, 6, 3
2.9 - 비용의 운영비용 아래 대안 간 쌍대비교	3, 6, 4, 7, 6, 3
2.10 - 자산관리의 데이터 기록성 아래 대안 간 쌍대비교	3, 6, 4, 7, 6, 3
2.11 - 자산관리의 데이터 투명성 아래 대안 간 쌍대비교	3, 6, 4, 7, 6, 3

자료: 저자 작성

〈표〉 기초 응답 데이터(설문자 31)

쌍대비교 질문 번호 및 내용	원시 응답
1.2 - 평가요소 간 쌍대비교	8, 6, 3, 4, 4, 1, 3, 1, 3, 7
1.3 - 신뢰성 아래 세부 평가요소 간 쌍대비교	5, 5, 5
1.4 - 응답성 아래 세부 평가요소 간 쌍대비교	8
1.5 - 유연성 아래 세부 평가요소 간 쌍대비교	3
1.6 - 비용 아래 세부 평가요소 간 쌍대비교	6
1.7 - 자산관리 아래 세부 평가요소 간 쌍대비교	8
2.1 - 신뢰성의 데이터 일관성 아래 대안 간 쌍대비교	5, 5, 7, 5, 7, 7
2.2 - 신뢰성의 데이터 완전성 아래 대안 간 쌍대비교	7, 4, 4, 3, 3, 5
2.3 - 신뢰성의 데이터 정확성 아래 대안 간 쌍대비교	8, 5, 5, 3, 3, 5
2.4 - 응답성의 정규 응답 아래 대안 간 쌍대비교	7, 5, 5, 2, 3, 5
2.5 - 응답성의 피드백 아래 대안 간 쌍대비교	8, 5, 5, 2, 3, 5
2.6 - 유연성의 적응성 아래 대안 간 쌍대비교	6, 5, 4, 3, 3, 5
2.7 - 유연성의 위험관리 아래 대안 간 쌍대비교	7, 4, 4, 3, 3, 5
2.8 - 비용의 초기 투자비용 아래 대안 간 쌍대비교	7, 4, 4, 3, 3, 5
2.9 - 비용의 운영비용 아래 대안 간 쌍대비교	8, 5, 5, 3, 3, 5
2.10 - 자산관리의 데이터 기록성 아래 대안 간 쌍대비교	8, 5, 5, 3, 3, 5
2.11 - 자산관리의 데이터 투명성 아래 대안 간 쌍대비교	8, 5, 5, 3, 2, 6

자료: 저자 작성

〈표〉 기초 응답 데이터(설문자 32)

쌍대비교 질문 번호 및 내용	원시 응답
1.2 - 평가요소 간 쌍대비교	2, 3, 5, 3, 5, 7, 6, 7, 6, 3
1.3 - 신뢰성 아래 세부 평가요소 간 쌍대비교	2, 5, 7
1.4 - 응답성 아래 세부 평가요소 간 쌍대비교	3
1.5 - 유연성 아래 세부 평가요소 간 쌍대비교	5
1.6 - 비용 아래 세부 평가요소 간 쌍대비교	3
1.7 - 자산관리 아래 세부 평가요소 간 쌍대비교	8
2.1 - 신뢰성의 데이터 일관성 아래 대안 간 쌍대비교	4, 7, 8, 7, 9, 5
2.2 - 신뢰성의 데이터 완전성 아래 대안 간 쌍대비교	2, 6, 3, 8, 7, 2
2.3 - 신뢰성의 데이터 정확성 아래 대안 간 쌍대비교	4, 7, 3, 7, 3, 2
2.4 - 응답성의 정규 응답 아래 대안 간 쌍대비교	3, 7, 3, 7, 4, 1
2.5 - 응답성의 피드백 아래 대안 간 쌍대비교	4, 6, 4, 7, 4, 1
2.6 - 유연성의 적응성 아래 대안 간 쌍대비교	4, 7, 3, 6, 4, 1
2.7 - 유연성의 위험관리 아래 대안 간 쌍대비교	3, 7, 2, 7, 4, 1
2.8 - 비용의 초기 투자비용 아래 대안 간 쌍대비교	4, 8, 4, 7, 4, 1
2.9 - 비용의 운영비용 아래 대안 간 쌍대비교	4, 6, 4, 6, 4, 1
2.10 - 자산관리의 데이터 기록성 아래 대안 간 쌍대비교	4, 7, 3, 7, 3, 2
2.11 - 자산관리의 데이터 투명성 아래 대안 간 쌍대비교	4, 7, 3, 6, 4, 2

자료: 저자 작성

〈표〉 기초 응답 데이터(설문자 33)

쌍대비교 질문 번호 및 내용	원시 응답
1.2 - 평가요소 간 쌍대비교	3, 3, 4, 1, 4, 6, 4, 7, 4, 3
1.3 - 신뢰성 아래 세부 평가요소 간 쌍대비교	6, 8, 7
1.4 - 응답성 아래 세부 평가요소 간 쌍대비교	7
1.5 - 유연성 아래 세부 평가요소 간 쌍대비교	6
1.6 - 비용 아래 세부 평가요소 간 쌍대비교	6
1.7 - 자산관리 아래 세부 평가요소 간 쌍대비교	6
2.1 - 신뢰성의 데이터 일관성 아래 대안 간 쌍대비교	6, 5, 7, 4, 7, 8
2.2 - 신뢰성의 데이터 완전성 아래 대안 간 쌍대비교	6, 4, 5, 4, 4, 5
2.3 - 신뢰성의 데이터 정확성 아래 대안 간 쌍대비교	6, 5, 6, 4, 4, 5
2.4 - 응답성의 정규 응답 아래 대안 간 쌍대비교	8, 8, 8, 5, 6, 7
2.5 - 응답성의 피드백 아래 대안 간 쌍대비교	6, 5, 4, 4, 2, 3
2.6 - 유연성의 적응성 아래 대안 간 쌍대비교	5, 5, 7, 5, 6, 7
2.7 - 유연성의 위험관리 아래 대안 간 쌍대비교	7, 6, 6, 4, 3, 5
2.8 - 비용의 초기 투자비용 아래 대안 간 쌍대비교	6, 7, 8, 7, 7, 6
2.9 - 비용의 운영비용 아래 대안 간 쌍대비교	5, 5, 4, 5, 3, 4
2.10 - 자산관리의 데이터 기록성 아래 대안 간 쌍대비교	8, 5, 6, 4, 4, 5
2.11 - 자산관리의 데이터 투명성 아래 대안 간 쌍대비교	4, 4, 5, 5, 6, 6

자료: 저자 작성

〈표〉 기초 응답 데이터(설문자 34)

쌍대비교 질문 번호 및 내용	원시 응답
1.2 - 평가요소 간 쌍대비교	7, 6, 4, 3, 4, 2, 2, 4, 2, 4
1.3 - 신뢰성 아래 세부 평가요소 간 쌍대비교	3, 4, 6
1.4 - 응답성 아래 세부 평가요소 간 쌍대비교	6
1.5 - 유연성 아래 세부 평가요소 간 쌍대비교	7
1.6 - 비용 아래 세부 평가요소 간 쌍대비교	7
1.7 - 자산관리 아래 세부 평가요소 간 쌍대비교	6
2.1 - 신뢰성의 데이터 일관성 아래 대안 간 쌍대비교	7, 5, 5, 3, 3, 5
2.2 - 신뢰성의 데이터 완전성 아래 대안 간 쌍대비교	6, 6, 5, 3, 3, 5
2.3 - 신뢰성의 데이터 정확성 아래 대안 간 쌍대비교	7, 5, 5, 3, 3, 5
2.4 - 응답성의 정규 응답 아래 대안 간 쌍대비교	7, 5, 5, 5, 5, 5
2.5 - 응답성의 피드백 아래 대안 간 쌍대비교	7, 5, 7, 5, 5, 5
2.6 - 유연성의 적응성 아래 대안 간 쌍대비교	7, 5, 5, 5, 4, 5
2.7 - 유연성의 위험관리 아래 대안 간 쌍대비교	7, 5, 6, 3, 4, 5
2.8 - 비용의 초기 투자비용 아래 대안 간 쌍대비교	7, 5, 5, 4, 4, 5
2.9 - 비용의 운영비용 아래 대안 간 쌍대비교	6, 5, 5, 3, 4, 5
2.10 - 자산관리의 데이터 기록성 아래 대안 간 쌍대비교	7, 5, 5, 4, 4, 5
2.11 - 자산관리의 데이터 투명성 아래 대안 간 쌍대비교	6, 5, 5, 4, 4, 5

자료: 저자 작성

〈표〉 기초 응답 데이터(설문자 35)

쌍대비교 질문 번호 및 내용	원시 응답
1.2 - 평가요소 간 쌍대비교	2, 2, 4, 3, 4, 6, 4, 6, 5, 4
1.3 - 신뢰성 아래 세부 평가요소 간 쌍대비교	5, 9, 8
1.4 - 응답성 아래 세부 평가요소 간 쌍대비교	3
1.5 - 유연성 아래 세부 평가요소 간 쌍대비교	7
1.6 - 비용 아래 세부 평가요소 간 쌍대비교	6
1.7 - 자산관리 아래 세부 평가요소 간 쌍대비교	5
2.1 - 신뢰성의 데이터 일관성 아래 대안 간 쌍대비교	7, 4, 7, 3, 5, 8
2.2 - 신뢰성의 데이터 완전성 아래 대안 간 쌍대비교	7, 6, 9, 4, 6, 6
2.3 - 신뢰성의 데이터 정확성 아래 대안 간 쌍대비교	6, 2, 3, 1, 3, 6
2.4 - 응답성의 정규 응답 아래 대안 간 쌍대비교	6, 4, 3, 4, 3, 3
2.5 - 응답성의 피드백 아래 대안 간 쌍대비교	5, 4, 3, 4, 3, 3
2.6 - 유연성의 적응성 아래 대안 간 쌍대비교	7, 4, 3, 3, 2, 3
2.7 - 유연성의 위험관리 아래 대안 간 쌍대비교	5, 2, 7, 2, 7, 8
2.8 - 비용의 초기 투자비용 아래 대안 간 쌍대비교	3, 4, 2, 5, 3, 3
2.9 - 비용의 운영비용 아래 대안 간 쌍대비교	5, 5, 4, 4, 3, 4
2.10 - 자산관리의 데이터 기록성 아래 대안 간 쌍대비교	7, 3, 6, 2, 4, 7
2.11 - 자산관리의 데이터 투명성 아래 대안 간 쌍대비교	8, 5, 6, 2, 4, 7

자료: 저자 작성

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 해수산업의 글로벌 지속발전방안 연구 - 新해수산업의경제적파급효과분석연구(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

기본연구 2021-14

항만 컨테이너 물류 프로세스 디지털화 모형 연구

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 애드원플러스 (070-4390-3850)

판매 및 보급: 정부간행물판매센터 Tel: 02-394-0337

정가 15,000원

