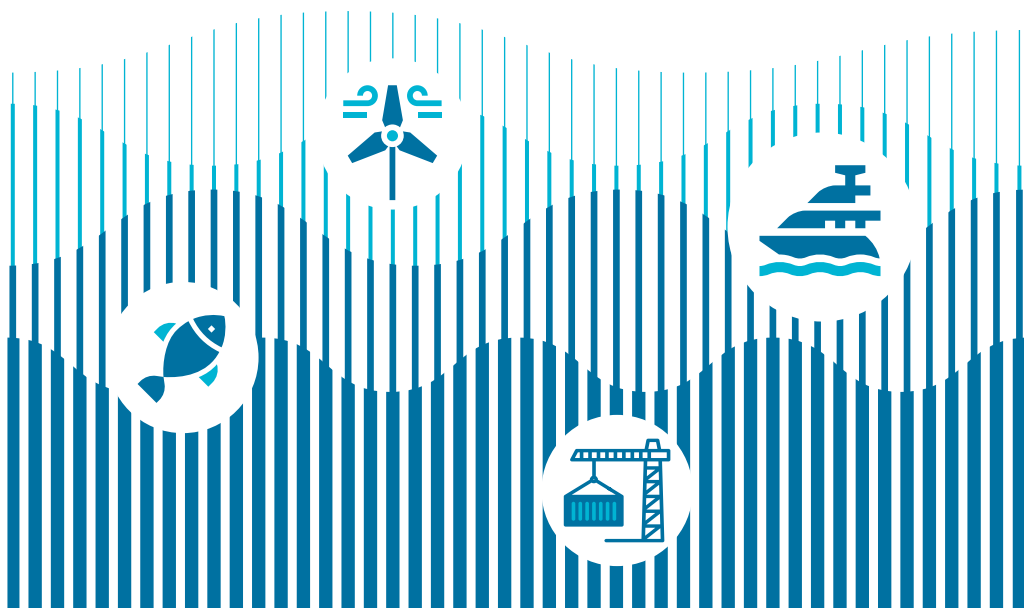


항만 하역능력의 서비스 수준 개선 연구

A Study on Improving the Service Level
of Port Cargo Handling Capacity

이화섭 · 조아현 · 박민정 · 이해령



한국해양수산개발원
KOREA MARITIME INSTITUTE

항만 하역능력의 서비스 수준 개선 연구

A Study on Improving the Service Level
of Port Cargo Handling Capacity

이화섭 · 조아현 · 박민정 · 이혜령



한국해양수산개발원
KOREA MARITIME INSTITUTE

저자

이화섭, 조아현, 박민정, 이해령

내부연구진

연구책임자 이화섭 한국해양수산개발원 항만연구본부 전문연구원
공동연구원 조아현 한국해양수산개발원 항만연구본부 전문연구원
공동연구원 박민정 한국해양수산개발원 항만연구본부 연구원
공동연구원 이해령 한국해양수산개발원 항만연구본부 전문연구원

연구기간

2024. 1. 1. ~ 2024. 10. 31.

보고서 집필내역

연구책임자

이화섭 연구총괄, 제1장 일부, 제2장 일부, 제3장 일부, 제4장, 제5장 일부

내부연구진

조아현 제1장 일부, 제3장 일부
박민정 제2장 일부
이해령 제5장 일부

산·학·연·정
연구자문위원

박상국 물류시스템연구소 소장
홍성장 부산신항국제터미널 영업기획본부 본부장
하명신 부경대학교 경영대학 국제통상학부 교수
추윤식 해양수산부 항만정책과 사무관

※ 순서는 산·학·연·정 순임

발간사

우리 한국해양수산개발원은 대한민국 해양수산 분야의 선도적인 연구기관으로서, 지속 가능한 해양경제와 글로벌 항만 경쟁력 강화를 위한 연구를 꾸준히 수행해 왔습니다. 이번에 발간된 「항만 하역능력의 서비스 수준 개선 연구」는 그 연장선에서, 국내 항만의 운영 효율성과 서비스 품질 향상을 위해 심도 깊은 분석과 혁신적인 제안을 담아낸 결과물입니다.

항만은 국가 경제를 떠받치는 핵심 인프라이자 글로벌 무역의 거점으로, 그 하역 능력과 서비스 수준은 국가 경쟁력과 직결됩니다. 본 연구는 항만 하역능력 산정에서 서비스 수준의 개념과 분류 기준을 체계적으로 정의하고, 이를 기반으로 적정 하역능력을 산출하는 과정을 구체화하였습니다. 특히, W/S(Waiting/Service) 비율을 활용한 대기행렬 이론과 경제성 분석을 결합하여, 항만별로 최적화된 서비스 수준을 도출하고 실증적 데이터를 바탕으로 정책적 시사점을 제시하였습니다.

이 보고서는 단순히 이론적 접근에 그치지 않고, 국내 주요 항만 데이터를 활용한 실질적인 분석을 통해 항만 운영 및 개발 전략에 직접 활용할 수 있는 구체적이고 적용 가능한 기준을 제공합니다. 더 나아가, 각 항만의 특성과 지역적 차이를 반영하여 서비스 수준을 차등적으로 적용할 수 있는 방안을 제안함으로써, 항만 하역능력 산정 기준 및 산정 결과의 신뢰성을 높이는 데 기여하고자 하였습니다.

본 연구를 통해 대한민국 항만의 하역능력이 더욱 효율적이고 체계적으로 운영되기를 기대하며, 이를 통해 국내 항만이 세계적인 경쟁력을 갖춘 해운 물류 허브로 자리매김 할 수 있기를 바랍니다. 이 연구가 항만 정책 수립과 운영 현장에 실질적인 도움이 되기를 바라며, 끝으로 연구를 위해 노력해 주신 모든 연구진과 관계자 여러분께 깊은 감사를 드립니다.

2024년 12월
한국해양수산개발원
원장 김 종 덕

목차

요약 _ i

Executive Summary _ v

01	서론 _1	
	제1절 연구의 배경과 목적	1
	1. 연구의 배경 및 필요성	1
	2. 연구의 목적	7
	제2절 연구 내용 및 방법	9
	1. 연구 내용	9
	2. 연구 방법	11
	제3절 선행연구 검토와 차별성	13
	1. 선행연구 검토	13
	2. 본 연구와의 차별성	15
02	항만 서비스 수준 정의 및 분류 기준 _21	
	제1절 항만 하역능력 서비스 수준의 개념 및 정의	21
	1. 항만 하역능력 개요	21
	2. 항만 서비스 수준 적용 사례	24
	3. 항만 서비스 수준 특징 분석	38
	제2절 타 SOC 분야 서비스 수준 측정 사례	41
	1. 도로	41
	2. 철도	46
	3. 공항	49
	4. 타 SOC 사례 서비스 수준 특징 분석	52
	제3절 항만 서비스 수준의 정의 및 특성	55
	1. 항만 서비스 수준 정의	55

2. 항만 서비스 수준의 주요 특성	56
제4절 소결 및 시사점	62

03

컨테이너터미널 적정 서비스 수준 산정_67

제1절 W/S 비율을 통한 선석 점유율 산정	67
1. 개요	67
2. 선석 점유율 산정	70
3. 산정 결과 분석	80
제2절 경제성 분석을 통한 선석 점유율 산정	82
1. 개요	82
2. 시설투자비용	83
3. 선박 대기비용	87
4. 선석 점유율 산정	97
5. 산정 결과 분석	104
제3절 W/S 비율을 통한 장치장 점유율 산정	106
1. 연구 개요	106
2. 장치장 점유율 산정	110
3. 산정 결과 분석	116
제4절 적정 서비스 수준 제안 및 시사점	117
1. 적정 서비스 수준 제안	117
2. 시사점	119

04

항만별 서비스 수준 적용 기준_121

제1절 항만별 처리 화물 영향권 분석	121
1. 개요	121
2. 항만별 화물 가치 규모 산정	123
3. 항만별 처리 화물 영향권 분석	133

4. 시사점	152
제2절 항만별 서비스 수준 적용(안) 제시	155
1. 항만별 서비스 수준 적용(안)	155
2. 서비스 수준 Ⅱ 적용 항만	160
3. 서비스 수준 Ⅲ 적용 항만	161
4. 서비스 수준 Ⅳ 적용 항만	162
5. 신규 개발 항만	163
제3절 소결 및 시사점	165

05 결론 및 정책제언_171

제1절 결론	171
제2절 정책제언	175
1. 하역능력 기초자료 수집체계 구축	175
2. 하역능력 산정 과정, 모형 및 변수 검토, 결과 검증 프로세스 도입	177
3. 하역능력 산정 및 서비스 수준 표준화 가이드라인 마련	178

참고문헌_181

부 록_187

표 목차

〈표 1-1〉 적정하역능력 산정 시 서비스 수준 분류	6
〈표 1-2〉 주요 선행연구 요약	20
〈표 2-1〉 하역능력 산정 방법	22
〈표 2-2〉 UNCTAD(1985)의 적정 선석 점유율(ϕ)	26
〈표 2-3〉 Agerschou, H.(2015)의 적정 선석 점유율	29
〈표 2-4〉 적정하역능력 산정 시 입력변수 및 예시	34
〈표 2-5〉 W/S 방법론 기반 선석 점유율 산출 결과 비교	36
〈표 2-6〉 하역능력 산정 방식, 서비스 수준 적용 및 평가지표 요약	40
〈표 2-7〉 도로 교통시설별 효과 척도	44
〈표 2-8〉 철도노선용량의 효과 척도	46
〈표 2-9〉 철도차량용량의 효과 척도	47
〈표 2-10〉 화물터미널 면적산정 기준	51
〈표 2-11〉 항만 서비스 수준별 상태 정의	57
〈표 2-12〉 항만 서비스 수준별 효과 척도	59
〈표 2-13〉 항만 서비스 수준 정의 및 특성 요약	63
〈표 3-1〉 국내 컨테이너터미널 대기행렬 주요 지표	69
〈표 3-2〉 부산신항 1부두 W/S 비율표	71
〈표 3-3〉 W/S 비율(0.1 기준)을 통한 컨테이너터미널의 선석별 선석 점유율 산정 결과 ...	74
〈표 3-4〉 부산신항 1부두 W/S 비율별 선석 점유율	75
〈표 3-5〉 전국 주요 컨테이너터미널(평균) W/S 비율별 선석 점유율	76
〈표 3-6〉 전국 주요 컨테이너터미널(평균) 선석 수 증가에 따른 선석 점유율 차이 ...	78
〈표 3-7〉 전국 컨테이너터미널 W/S 비율 증가에 따른 선석 점유율 차이	80
〈표 3-8〉 W/S 방법론 기반 선석 점유율 산출 결과 비교	81
〈표 3-9〉 항만 건설의 총사업비 구분	84
〈표 3-10〉 부산항 진해신항(1단계) 총사업비 산정 결과	86
〈표 3-11〉 부산항(신항, 북항) 입항 컨테이너 선박 평균 크기	87
〈표 3-12〉 선형별 컨테이너선 1일 용선료 추이 (\$)	88
〈표 3-13〉 주요 컨테이너 부두별 평균 선박 크기 및 용선료	89
〈표 3-14〉 화물 물동량 및 화물 가액 자료원 간 정보 항목 비교	91
〈표 3-15〉 부산항 32+1개 품목별 화물 가치 산정 (2018-2022)	93

〈표 3-16〉 항만별 컨테이너 화물 평균 화물 가치 (2018-2022년)	95
〈표 3-17〉 항만별 컨테이너 화물 평균 RT/TEU 비율 (2018-2022년)	96
〈표 3-18〉 아시아-북미/유럽 노선 컨테이너 선박 평균 적재율	97
〈표 3-19〉 부산신항 1부두 평균 대기시간(w_q) 산출표	100
〈표 3-20〉 부산신항 1부두 선석 수 증가에 따른 총비용 변화	101
〈표 3-21〉 경제성 분석을 통한 국내 컨테이너터미널의 선석 점유율 산정 결과	104
〈표 3-22〉 경제성 분석 기반 선석 점유율 산출 결과 비교	105
〈표 3-23〉 해양수산부(2020) 적정 장치장 점유율 설문 결과	107
〈표 3-24〉 적정 장치장 점유율 산정 시뮬레이션 프로세스	110
〈표 3-25〉 장치장 점유율 산정을 위한 시뮬레이션 변수	112
〈표 3-26〉 터미널별 W/S 비율에 따른 장치장 점유율 시뮬레이션 결과	115
〈표 3-27〉 해양수산부(2020) 적정 선석 점유율 설문 결과	117
〈표 3-28〉 적정 선석 점유율(안)	118
〈표 3-29〉 국내 컨테이너터미널 적정 서비스 수준(안)	119
〈표 4-1〉 국내 주요 항만별 컨테이너 물동량	124
〈표 4-2〉 국내 주요 항만별 컨테이너 수입 물동량	125
〈표 4-3〉 국내 주요 항만별 컨테이너 수출 물동량	126
〈표 4-4〉 국내 주요 항만별 컨테이너 국내 연안 물동량	127
〈표 4-5〉 국내 주요 항만별 컨테이너 국내 환적 물동량	128
〈표 4-6〉 국내 주요 항만별 수출입 컨테이너 화물 가치	130
〈표 4-7〉 국내 주요 항만별 수입 컨테이너 화물 가치	131
〈표 4-8〉 국내 주요 항만별 수출 컨테이너 화물 가치	132
〈표 4-9〉 부산항 처리 지역별 컨테이너 화물 가치 비중	135
〈표 4-10〉 인천항 처리 지역별 컨테이너 화물 가치 비중	138
〈표 4-11〉 광양항 처리 지역별 컨테이너 화물 가치 비중	141
〈표 4-12〉 울산항 처리 지역별 컨테이너 화물 가치 비중	144
〈표 4-13〉 평택·당진항 처리 지역별 컨테이너 화물 가치 비중	147
〈표 4-14〉 대산항 처리 지역별 컨테이너 화물 가치 비중	150
〈표 4-15〉 항만별 필요 서비스 수준 및 영향권 분석 결과 요약	155
〈표 4-16〉 항만별 처리 화물 영향권 분석 요약	156

〈표 4-17〉 항만별 처리 화물 영향권 분석에 항만별 순위	157
〈표 4-18〉 항만별 순위에 따른 점수 배점 기준	157
〈표 4-19〉 항만별 처리 화물 영향권 분석에 항만별 순위	158
〈표 4-20〉 항만별 서비스 수준 적용(안)	159
〈표 4-21〉 항만별 서비스 수준 적용(안) 및 상태 정의 요약	166
〈표 부록 1-1〉 부산신항 1부두 W/S 비율표	188
〈표 부록 1-2〉 부산신항 2부두 W/S 비율표	189
〈표 부록 1-3〉 부산신항 3부두 W/S 비율표	190
〈표 부록 1-4〉 부산신항 4부두 W/S 비율표	191
〈표 부록 1-5〉 부산신항 5부두 W/S 비율표	192
〈표 부록 1-6〉 부산 감만부두 W/S 비율표	193
〈표 부록 1-7〉 부산 신감만부두 W/S 비율표	194
〈표 부록 1-8〉 부산 자성대 W/S 비율표	195
〈표 부록 1-9〉 부산 신선대 W/S 비율표	196
〈표 부록 1-10〉 광양 2단계 1차 W/S 비율표	197
〈표 부록 1-11〉 광양 2단계 2차 W/S 비율표	198
〈표 부록 1-12〉 광양 3단계 1차 W/S 비율표	199
〈표 부록 1-13〉 인천 남항 ICT W/S 비율표	200
〈표 부록 1-14〉 인천 남항 E1 W/S 비율표	201
〈표 부록 1-15〉 인천 신항 선광 W/S 비율표	202
〈표 부록 1-16〉 인천 신항 한진 W/S 비율표	203
〈표 부록 1-17〉 울산 신항 W/S 비율표	204
〈표 부록 1-18〉 울산 정일 W/S 비율표	205
〈표 부록 1-19〉 평택·당진 PCTC W/S 비율표	206
〈표 부록 1-20〉 평택당진 PNCT W/S 비율표	207
〈표 부록 1-21〉 대산 4부두 W/S 비율표	208
〈표 부록 2-1〉 부산신항 1부두 W/S 비율별 선석 점유율	209
〈표 부록 2-2〉 부산신항 2부두 W/S 비율별 선석 점유율	210
〈표 부록 2-3〉 부산신항 3부두 W/S 비율별 선석 점유율	211
〈표 부록 2-4〉 부산신항 4부두 W/S 비율별 선석 점유율	212

〈표 부록 2-5〉 부산신항 5부두 W/S 비율별 선석 점유율	213
〈표 부록 2-6〉 부산북항 감만부두 W/S 비율별 선석 점유율	214
〈표 부록 2-7〉 부산북항 신감만부두 W/S 비율별 선석 점유율	215
〈표 부록 2-8〉 부산북항 자성대부두 W/S 비율별 선석 점유율	216
〈표 부록 2-9〉 부산북항 신선대부두 W/S 비율별 선석 점유율	217
〈표 부록 2-10〉 광양항 2단계 2차 W/S 비율별 선석 점유율	218
〈표 부록 2-11〉 광양항 2단계 1차 W/S 비율별 선석 점유율	219
〈표 부록 2-12〉 인천 남항 ICT W/S 비율별 선석 점유율	220
〈표 부록 2-13〉 인천 남항 E1 W/S 비율별 선석 점유율	221
〈표 부록 2-14〉 인천 신항 선광 부두 W/S 비율별 선석 점유율	222
〈표 부록 2-15〉 인천 신항 한진 부두 W/S 비율별 선석 점유율	223
〈표 부록 2-16〉 울산 신항 부두 W/S 비율별 선석 점유율	224
〈표 부록 2-17〉 울산 정일 부두 W/S 비율별 선석 점유율	225
〈표 부록 2-18〉 평택·당진 PCTC W/S 비율별 선석 점유율	226
〈표 부록 2-19〉 평택·당진 PNCT W/S 비율별 선석 점유율	227
〈표 부록 2-20〉 대산 4부두 W/S 비율별 선석 점유율	228

그림 목차

〈그림 1-1〉 연간 총 컨테이너 물동량 및 증감율	2
〈그림 1-2〉 항만 교역액 규모 및 비율	3
〈그림 1-3〉 적정하역능력의 서비스 수준	5
〈그림 1-4〉 연구 추진 체계	12
〈그림 2-1〉 분석적 방법론 관점에서 항만 하위 시스템	24
〈그림 2-2〉 UNCTAD(1985)의 적정 서비스 수준 평가	27
〈그림 2-3〉 항만의 사용자 및 고객	30
〈그림 2-4〉 Fundación Valenciaport(2012)의 W/S별 선석 점유율	31
〈그림 2-5〉 Fundación Valenciaport(2012)의 서비스 수준	32
〈그림 2-6〉 사회적 비용을 고려한 적정 서비스 수준	35
〈그림 2-7〉 서비스 수준별 교통류의 상태	42
〈그림 2-8〉 차로수 산정과정(다차로도로)	43
〈그림 2-9〉 고속도로 기본 구간의 서비스 수준	45
〈그림 2-10〉 고속도로 기본 구간의 밀도-교통량 곡선과 서비스 수준	45
〈그림 2-11〉 열차지연과 철도노선용량 이용률간 관계	48
〈그림 2-12〉 공항 여객터미널 서비스 수준	49
〈그림 2-13〉 첨두시 여객당 국제선 여객터미널 면적 산정 기준	50
〈그림 3-1〉 부산신항 1부두 선석별 적정 선석 점유율 산정 그래프	72
〈그림 3-2〉 전국 컨테이너터미널 선석 개수별 선석 점유율 차이	78
〈그림 3-3〉 전국 컨테이너터미널 W/S 비율 증가에 따른 선석 점유율 차이	80
〈그림 3-4〉 부산신항 1부두 선석 수 증가에 따른 총비용 변화	102
〈그림 3-5〉 하역능력 산정 시 고려해야 하는 항목 중요도	107
〈그림 3-6〉 부산신항 1부두 W/S 비율에 따른 장치장 점유율 변화	114
〈그림 4-1〉 부산항 처리 지역별 수출입 컨테이너 화물 가치 비중	136
〈그림 4-2〉 인천항 처리 지역별 수출입 컨테이너 화물 가치 비중	139
〈그림 4-3〉 광양항 처리 지역별 수출입 컨테이너 화물 가치 비중	142
〈그림 4-4〉 울산항 지역별 수출입 컨테이너 화물 가치 비중	145
〈그림 4-5〉 평택·당진항 지역별 수출입 화물 가치 비중	148
〈그림 4-6〉 대산항 지역별 수출입 화물 가치 비중	151

약어 목록

- TEU: Twenty-foot Equivalent Unit
- GDP: Gross Domestic Product
- SOC: Social Overhead Capital
- W/S: Wating/Service Rate
- LOS: Level-of-Service
- PSI: Port Service Index
- DEA: Data Envelopment Analysis
- TGS: Total Ground Slot
- LPC: Lift per call
- PIANC(세계 수상 교통 시설 협회): The World Association for Waterborne Transport Infrastructure
- GT: Gross Ton
- VOT: Value of time
- Port-MIS(해운항만물류정보시스템): Port Management Information System
- TOC: Terminal Operation Company

요 약

항만 하역능력의 서비스 수준 개선 연구

이화섭 · 조아현 · 박민정 · 이해령

1. 서론

1) 연구의 배경과 목적

- 항만은 국가 경제와 글로벌 무역의 중심으로, 지속적으로 증가하는 컨테이너 물동량에 대응하기 위해 적절한 하역능력 산정이 필수적임
- 본 연구는 항만 서비스 수준의 정의와 기준을 확립하고, 이를 통해 적정 하역능력을 산정하기 위한 기준을 제시하고자 함

2) 연구 내용 및 방법

- 항만 서비스 수준의 정의 및 평가 지표를 도출하며, 대기이론과 경제성 분석을 활용해 적정 선석 및 장치장 점유율을 산출, 실증 분석을 통해 국내 주요 항만의 실제 데이터를 기반으로 평가함

3) 선행연구 검토와 차별성

- 기존 연구는 이론적 접근에 그쳤으나, 본 연구는 실질적 데이터를 활용하여 기존 연구의 이론적 접근법의 연구 절차를 따름으로써 구체적이고 실질적인 결과를 제공함

2. 항만 서비스 수준 정의 및 분류 기준

1) 서비스 수준 개념 및 정의

- 항만 서비스 수준은 하역능력 산정의 핵심 요소로, 효율성과 고객 만족을 평가하는 기준임
- 도로, 철도, 공항 등 타 사회간접자본(SOC) 분야의 사례를 분석해 항만 서비스 수준 정의를 재정립함

2) 서비스 수준의 특성과 시사점

- 서비스 수준별로 선석 및 장치장의 상태를 정의하고, 타 SOC 분야를 참고하여 일반적인 서비스 수준의 특성을 항만 서비스 수준의 특성으로 재정립함

3. 항만 서비스 수준 정의 및 분류 기준

1) W/S 비율(Waiting/Service time Ratio) 기반 선석 점유율 산정

- 대기이론을 통해 선석 점유율을 도출하고, 국내 주요 항만의 데이터를 기반으로 분석하여 적정 수준을 제시함

2) 경제성 분석을 통한 선석 점유율 산정

- 선박 대기비용과 시설 투자비용을 고려한 경제성 분석으로 적정 선석 점유율을 도출함

3) 장치장 점유율 산정

- W/S 비율과 시뮬레이션을 활용해 장치장 점유율을 분석하고, 서비스 수준별 기준을 제시함

4) 적정 서비스 수준 제안 및 시사점

- W/S 비율, 경제성 분석, 장치장 점유율 산정 결과를 종합해 서비스 수준별 적정 하역능력을 제안함

4. 항만 서비스 수준 정의 및 분류 기준

1) 항만별 처리 화물 영향권 분석

- 각 항만의 물동량과 화물 가치를 분석하여 영향권을 파악, 항만별 특성에 따른 차등적 서비스 수준 적용 필요성을 강조함

2) 서비스 수준 적용(안) 제시

- 국내 컨테이너터미널의 특성을 반영하여 W/S 비율, 경제성 분석, 화물 처리 영향권 분석을 통해 차별적 서비스 수준 적용 방안을 제시함

5. 결론 및 정책제언

1) 결론

- 항만 서비스 수준의 정의와 적정 하역능력 산정의 중요성을 강조하며, 이를 통해 항만개발의 적정성 및 타당성을 확보하고자 함

2) 정책제언

- 하역능력 기초자료 수집체계 구축 필요성 제시
- 하역능력 산정 프로세스 개선 및 표준화 필요성 제시
- 서비스 수준 적용 가이드라인 마련 필요성 제시

EXECUTIVE SUMMARY

A Study on Improving the Service Level of Port Cargo Handling Capacity

Hwaseop Lee · Ah-Hyun Jo · Minjeong Park · Hyeryeong Lee

1. Introduction

1) Background and Purpose

- Ports are central to national economies and global trade, making the proper assessment of cargo handling capacity essential to address the continually increasing container traffic.
- This study aims to establish the definition and standards of port service levels and propose criteria for determining optimal cargo handling capacity.

2) Scope and Methodology

- The study defines port service levels and identifies evaluation indicators. Using queuing theory and economic analysis, it

calculates optimal berth and yard occupancy rates, validated through empirical analysis using real-world data from major domestic ports.

3) Review of Previous Studies and Differentiation

- While prior studies were limited to theoretical approaches, this study integrates practical data within an established theoretical framework, providing specific and actionable results.

2. Definition and Classification Criteria of Port Service Levels

1) Concept and Definition of Service Levels

- Port service levels are a key factor in determining cargo handling capacity, serving as criteria for evaluating efficiency and customer satisfaction.
- Drawing on examples from other SOC (Social Overhead Capital) sectors such as roads, railways, and airports, this study redefines the concept of port service levels to reflect industry-specific needs and standards.

2) Characteristics and Implications of Service Levels

- The conditions of berths and yards are defined for each

service level, and the general attributes of service levels observed in other SOC sectors have been critically analyzed to reflect the characteristics of port service levels.

3. Definition and Classification Criteria of Port Service Levels

1) Berth Occupancy Rate Based on W/S Ratio (Waiting/Service Time Ratio)

- Berth occupancy rates are derived through queuing theory. By analyzing empirical data from major domestic ports, this study proposes optimal berth occupancy levels

2) Berth Occupancy Rate Derived Through Economic Analysis

- Berth occupancy rates are determined through an economic analysis that balances the trade-offs between ship waiting costs and facility investment expenditures.

3) Yard Occupancy Rate Estimation

- Yard occupancy rates are analyzed through a combination of the W/S ratio and simulation, with service-level-based standards proposed.

4) Proposal for Optimal Service Levels and Implications

- Combining the results of the W/S ratio analysis, economic analysis, and yard occupancy rate estimation, this study proposes tailored cargo handling capacities for each defined service level.

4. Definition and Classification Criteria of Port Service Levels

1) Analysis of Cargo Handling Influence Zones by Port

- Following the analysis of the cargo volume and value handled at each port to identify their influence zones, the study underscores the need for differentiated service levels tailored to the characteristics of each port.

2) Proposal for Service Level Application

- This study proposed differentiated service level application methods by reflecting the characteristics of domestic container terminals through W/S ratio analysis, economic analysis, and cargo handling influence zone analysis.

5. Result and Policy Recommendation

1) Result

- The importance of defining port service levels and determining optimal cargo handling capacity were highlighted. These efforts are essential for ensuring the feasibility and appropriateness of port development.

2) Policy Recommendation

- Proposed the establishment of a data collection system for cargo handling capacity.
- Suggested the need for improving and standardizing the cargo handling capacity estimation process.
- Emphasized the necessity of preparing service level application guidelines.

01 서론

제1절 연구의 배경과 목적

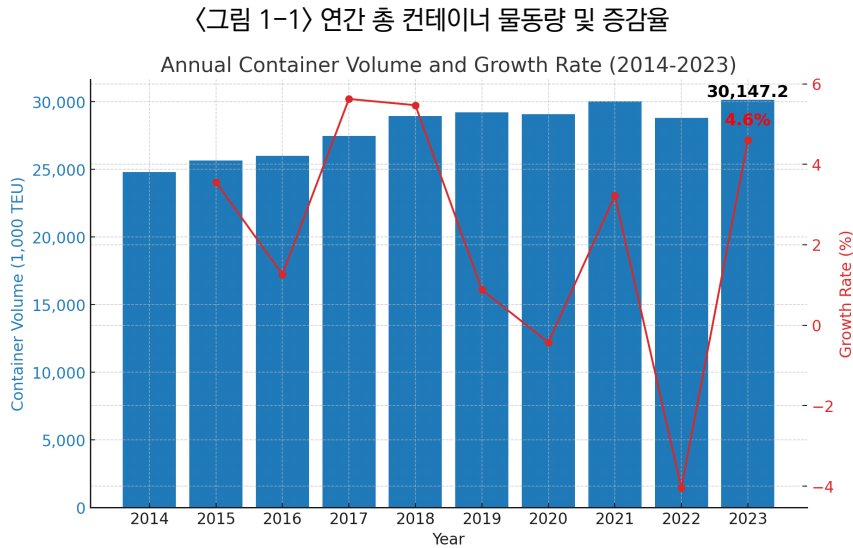
1. 연구의 배경 및 필요성

대한민국의 경제는 높은 무역의존도를 바탕으로 성장해 왔으며 대한민국의 국제무역에서 항만은 중추적인 역할을 수행하고 있다. 국내총생산(GDP) 대비 수출입 비중(2022년 기준 102.0)¹⁾이 큰 대한민국의 경우, 항만이 국내 공급망과 전 세계 공급망을 연결하는 매우 중요한 기반 시설이기 때문이다. 국내 주요 항만은 반도체, 자동차 및 전자제품 등과 같은 국가 주력 산업에서 필수적인 원자재의 수입과 완제품의 수출이 원활히 이루어질 수 있도록 지원한다. 따라서 국가 경제 전략에서 항만의 역할과 기능을 지속적으로 개선하고 최적화하는 것은 국가 경쟁력 제고를 위해 필수적이다.

2023년 국내 컨테이너 물동량은 2022년 대비 4.6% 증가한 3,014만 7천 TEU(Twenty-foot Equivalent Unit)를 기록했다. 이는 대한민국 항만

1) 한국은행, 수출입비율(GDP 대비)(검색일: 2024.4.3)

개항 이래 가장 많은 연간 물동량으로, 역대 최고치를 경신했으며 최근 10년간 컨테이너 물동량은 연평균 2.2%씩 증가하고 있다. 지속적으로 증가하는 컨테이너 물동량에 효과적으로 대응하기 위해서는 적절한 항만개발 규모 설정과 개발 시기의 선정이 매우 중요하다. 이를 위해 정부는 항만법 제5조에 따라 항만의 개발을 촉진하고 항만을 효율적으로 운영하기 위하여 항만기본계획을 10년 단위로 수립하며 5년마다 수정계획을 통해 보완하고 있다.

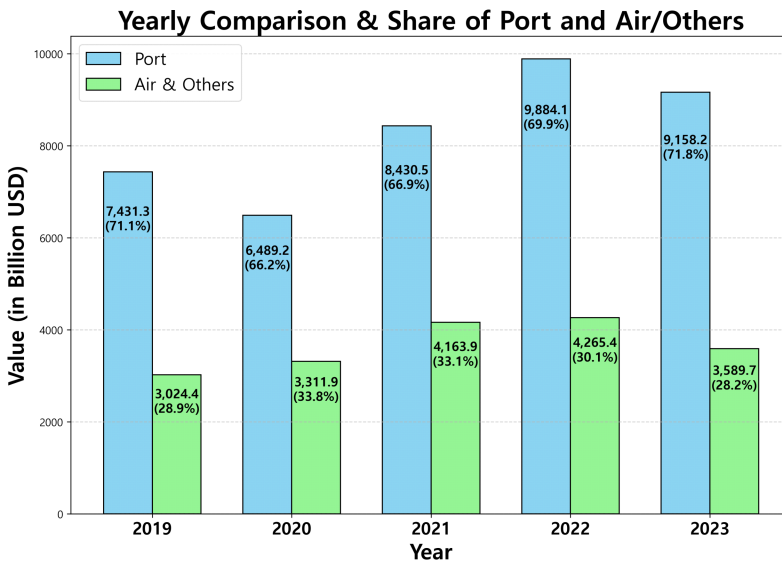


자료: 해운항만물류정보시스템(Port-MIS)(검색일: 2024.6.10.), 저자 재작성

항만기본계획은 항만의 주요 기능과 역할을 재정립하고 효율적인 항만 개발과 운영을 목적으로 하는 종합계획이다. 항만기본계획에서 하역능력(공급 측면) 산정은 매우 중요한 요소로 장기 물동량(수요 측면) 예측과 함께 항만개발 규모와 시기를 결정하는 핵심 기준이다. 만약 하역능력을 과소 산정할 경우, 항만개발이 적절한 시기에 이루어지지 않거나 필요로 하

는 규모보다 작게 개발되는 상황이 발생할 수 있다. 이러한 과소 산정은 항만 과부하를 초래하며, 물류 병목현상으로 이어질 가능성이 크다. 특히, 2023년 기준 국가 총 수출입의 71.8%에 해당하는 9,158억 2천 달러 규모의 물동량이 항만을 통해 처리되었다. 이는 항만 하역능력의 정확한 산정이 국가 경제에 미치는 영향이 막대함을 보여주는 지표이다. 만약 하역능력 산정에 오류가 발생한다면, 물류 병목현상으로 물동량 처리 지연, 비용 상승, 무역 경쟁력 악화 등 부정적 결과가 초래되며, 이는 곧 국가 국가 경제에 심각한 타격을 줄 수 있다.

〈그림 1-2〉 항만 교역액 규모 및 비율



자료: 한국무역통계 정보포털(검색일: 2024.8.15.), 저자 재작성

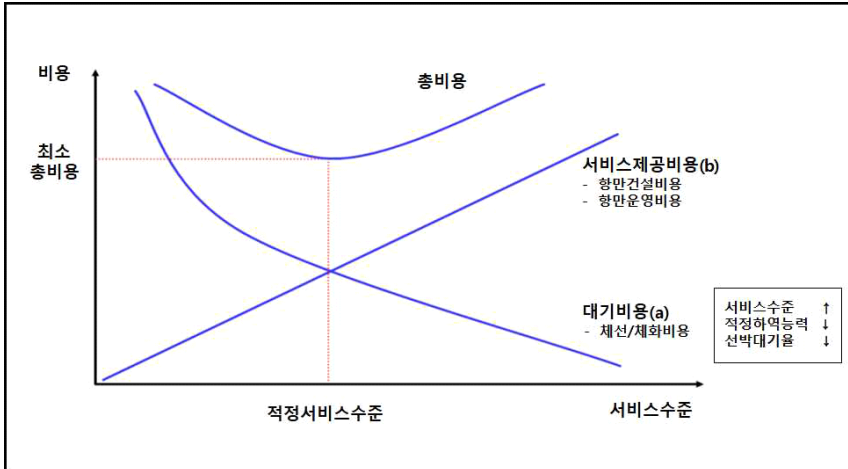
항만 하역능력은 일반적으로 특정 조건에서 처리할 수 있는 항만의 최대 물동량으로 정의된다. 항만 하역능력은 ‘고유하역능력’과 ‘적정하역능력’으로 구분된다. 고유하역능력은 1년간 항만 시스템이 아무 휴지 없이 가동되

며 모선당 시간당 능력이 연간 365일 1일 24시간 가동된다는 가정하에 산출된 능력이며, 적정하역능력은 하역장비의 이용율, 허용 가능한 대기시간을 감안한 접안율, 실제 가능한 하역작업시간, 실제 가용한 안벽 작업일수 등을 고려한 적정 서비스 수준을 감안하여 산출된 능력이다.²⁾ 본 연구에서 말하는 하역능력은 적정하역능력을 의미한다. 해양수산부는 항만기본계획을 수립하기 위해서 적절한 서비스 수준을 고려한 적정하역능력을 산정하고 예측 물동량이 적정하역능력을 초과할 경우 선석 개발이 필요하다고 결정한다. 적정하역능력은 최상의 효율성을 유지하면서 사회경제적 비용을 발생시키지 않는 수준의 최적 선석 점유율, 작업 일수, 작업 시간, 장비 효율성 및 터미널 생산성을 저해하지 않는 범위 내의 장치장 점유율을 포함하여 산정된다. 적정하역능력을 계산할 때 가장 중요하게 고려되어야 할 요소는 항만 서비스 비용과 선박 및 화물 대기 비용을 최소화하여 사회경제적 비용을 최소화하는 적정 서비스 수준을 결정하는 것이다.

적정하역능력 산정 시 항만 서비스 수준은 다음과 같은 문제점이 있다. 첫째, 항만 서비스 수준의 정의가 명확하지 않다. UNCTAD(1985)는 항만 서비스 수준을 항만 터미널 고객이 경험한 품질의 인식으로 정의한다. 하지만 해양수산부는 적정하역능력 산정 시 적용되는 서비스 수준을 부두의 혼잡도를 나타내는 개념으로 설명하고 있으며 정확한 정의를 제시하지 않는다. 또한 적정 서비스 수준에 대해서는 항만 서비스 비용과 선박 및 화물 대기비용의 합이 최소가 되는 수준으로 설명하지만 정작 서비스 수준에 대한 명확한 정의는 제시하지 않는다. 이러한 명확한 정의의 부재는 적정하역능력 산정에 있어 서로 다른 기준과 기대를 야기할 수 있으며 정책결정자는 적정하역능력과 같은 중요한 지표를 설정하고 산정하는 데 어려움을 겪을 수 있다. 따라서 정확한 적정하역능력 산정을 위해서 서비스 수준의 개념 및 정의를 명확하게 할 필요가 있다.

2) 해양수산부(2020), p. 11.

〈그림 1-3〉 적정하역능력의 서비스 수준



자료: 해양수산부(2020), p. 12.

둘째, 항만 서비스 수준별 상태에 대한 정의가 없다. 적정하역능력 산정 시 적용되는 항만 서비스 수준은 세 단계(Ⅲ, Ⅳ, Ⅴ)로 분류되며 Ⅲ은 혼잡도가 적정한 단계, Ⅴ는 혼잡도가 높은 단계를 의미한다. 하지만 각 단계가 의미하는 항만 시스템의 상태에 대해서는 명확한 설명이 없다. 각 서비스 수준 단계의 항만이 어떤 상태인지 명확한 설명이 없다면 항만개발 및 운영자와 정책결정자는 정확한 항만개발 목표를 세울 수 없다. 항만개발 시 가장 먼저 제기되는 질문은 “어느 정도의 능력을 갖는 항만을 건설할 것인가”이다. 이 질문에 대답하기 위해서는 먼저 항만 서비스 수준과 수준별 상태에 대한 명확한 정의가 필요하며 제공하고자 하는 항만의 서비스 수준에 따라 필요한 항만 인프라, 운영 계획 및 전략을 구체화할 수 있다.

셋째, 항만 서비스 수준 판단 지표의 적정성을 검증하지 못했다. 서비스 수준을 결정할 때 중요한 지표는 선석 점유율과 장치장 점유율이다. 적정 하역능력을 산정하기 위한 선석 점유율은 UNCTAD(1986)이 제안한 바를

따르며, 이는 선박 비용(Ship cost)과 선석 비용(Berth cost)의 비율이 4:1일 때 측정한 선석 점유율을 기준으로 한다. 해양수산부는 이 UNCTAD(1986)에 근거하여 선석 점유율을 40~70%로 선석 규모에 따라 차등 적용하고 있다. 하지만 서비스 수준별 선석 점유율을 차등하여 분류한 근거가 부족하다. 또한 장치장 점유율은 서비스 수준에 따라 60%~70%로 정의하고 있지만 하역능력 산정 시에는 선주 및 부두 운영사의 설문조사 결과를 기초로 60%로 일괄 적용한다. 이로 인해 각 항만의 특성을 충분히 반영하지 못하는 한계가 발생할 수 있다. 따라서 서비스 수준별 선석 점유율 및 장치장 점유율의 차등 적용 근거를 명확히 하고 장치장 점유율의 적용 방안을 도출하여 이를 바탕으로 정교한 하역능력 산정 기준을 마련할 필요가 있다.

〈표 1-1〉 적정하역능력 산정 시 서비스 수준 분류

단위: %

구분	선석 수	서비스 수준		
		Ⅲ	Ⅳ	Ⅴ
선석 점유율	1	40	50	55
	2	50	55	60
	3	55	60	65
	4	60	65	70
장치장 점유율		60		

자료: 해양수산부(2020), 저자 재작성

마지막으로 항만 서비스 수준의 적용 기준이 명확하지 않다. 현재 적정 하역능력 산정 시 대부분은 항만에서는 서비스 수준 Ⅲ을 적용하고 있지만, 일부 항만은 서비스 수준 Ⅳ를 적용한다. 이러한 서비스 수준의 차이는 항만의 적정하역능력 산정에 큰 영향을 미친다. 예를 들어, 2019년 기준 부산항 신항의 경우 서비스 수준이 Ⅲ에서 Ⅳ로 변경될 때 적정 하역능력이

약 11.7% 증가하는 것으로 나타났다 (해양수산부, 2020). 이처럼 항만별 서비스 수준의 적용은 하역능력 산정에 매우 중요한 역할을 하므로, 이에 대한 명확한 기준 설정이 필요하다. 각 항만이 처리하는 화물의 종류와 가치가 다르기 때문에 차별적인 서비스 수준 적용이 타당할 수 있다. 그러나 신규 터미널 개발 시에는 일관된 서비스 수준의 적용으로 터미널 간 공정한 경쟁과 예측 가능성을 높여 일관된 서비스 수준을 적용하는 것이 바람직할 수도 있다. 결국 적정하역능력 산정 시 항만별로 서비스 수준을 다르게 적용할 것인지, 아니면 일관되게 적용할 것인지에 대한 철저한 검토가 필요하다.

2. 연구의 목적

1) 항만 서비스 수준의 개념 및 분류 기준 정의

첫 번째 목표는 항만 서비스 수준의 개념을 명확하게 정의하고, 이를 체계적으로 분석하여 분류 기준을 수립하는 것이다. 항만 서비스 수준은 하역능력 산정에서 핵심적인 요소로, 항만 운영의 효율성과 효과성에 직접적인 영향을 미친다. 하지만 현재까지 항만 서비스 수준에 대한 명확한 정의와 일관된 개념이 부족한 상황이다. 기존 연구나 실무에서는 서비스 수준을 다루는 데 있어 포괄적이거나 모호한 개념을 적용하고 있어, 이에 기반한 정확한 하역능력 산정이 어려웠다.

본 연구는 이러한 문제를 해결하기 위해, 국내 항만에서 실제로 적용되고 있는 다양한 항만 서비스 수준 적용 사례들을 심층적으로 분석한다. 또한, 도로, 철도, 공항 등 다른 사회기반시설(SOC, Social Overhead Capital) 분야에서 활용되고 있는 서비스 수준의 개념과 적용 사례들을 종합적으로 검토하여, 항만 서비스 수준의 정의와 그 특성을 재정립한다. 이

를 통해 항만 운영의 효율성을 높이는 데 필요한 구체적이고 명확한 서비스 수준의 개념을 제시하고자 한다.

결론적으로, 본 연구는 하역능력 산정에서 중요한 역할을 하는 항만 서비스 수준의 개념을 명료화하고, 항만 운영 상태를 평가할 수 있는 기준을 정립하는 것을 목표로 한다.

2) 서비스 수준 평가지표 제시

두 번째 목표는 컨테이너터미널의 서비스 수준을 구체적으로 평가할 수 있는 평가지표를 제시하는 것이다. 항만 운영의 효율성을 높이기 위해서는 서비스 수준을 평가할 수 있는 객관적이고 구체적인 판단 지표가 필요하다. 하지만 현재까지 항만 서비스 수준을 측정할 수 있는 구체적인 지표들이 일관되게 정립되어 있지 않거나, 실질적인 운영 상황을 충분히 반영하지 못하는 경우가 많았다.

본 연구는 이를 해결하기 위해 하역능력 산정 과정에서 반드시 고려해야 하는 서비스 수준 평가지표를 조사하고, 이러한 지표들의 적정성을 평가한다. 구체적으로는 연간 처리 물동량, 선석 생산성, 대기시간, 선박 대기시간 비율, 선석 점유율, 장치장 점유율 등의 지표들을 중심으로, 각 지표가 서비스 수준을 정확하게 반영할 수 있는지에 대한 검토를 진행한다. 또한, 이 지표들의 산정 방식과 기준을 명확하게 정립하여, 항만 운영자들이 실무에서 객관적으로 서비스 수준을 평가할 수 있도록 지원한다.

결론적으로, 본 연구는 컨테이너터미널의 서비스 수준을 체계적으로 평가할 수 있는 평가지표들을 제시함으로써, 항만 운영의 효율성을 높이고 하역능력 산정을 위한 실질적인 도구를 제공하는 것을 목표로 한다.

3) 서비스 수준 적용 기준 제시

세 번째 목표는 선정된 평가지표를 사용하여 국내 컨테이너터미널의 서비스 수준을 실제로 평가하고, 이를 바탕으로 하역능력 산정을 위한 서비스 수준 적용 기준을 제시하는 것이다. 이를 위해 국내 주요 컨테이너터미널의 물동량 규모, 화물 가치, 항만의 영향권 등을 분석하고, 이를 토대로 각 항만의 역할과 중요성을 객관적으로 평가한다.

이 과정에서 각 항만의 서비스 수준을 차등 적용할지, 혹은 일괄 적용할지를 결정하기 위해 다양한 항만의 특성을 고려한다. 고부가가치 화물을 처리하거나 물동량이 높은 항만과, 상대적으로 낮은 물동량을 처리하는 항만의 서비스 수준은 다를 수 있다. 따라서 이러한 항만별 특성을 반영한 서비스 수준 적용 기준을 수립하여, 항만 자원의 효율적 배분과 불필요한 비용 낭비를 줄이는 방안을 제시하는 것이 목표이다.

결론적으로, 본 연구는 하역능력 산정 시 각 항만의 특성을 반영한 서비스 수준 적용 기준을 제시하여, 항만 운영 및 개발 과정에서 실질적인 기준으로 활용될 수 있도록 한다. 이를 통해 국내 항만의 효율적인 운영을 도모하고, 항만 자원의 최적 활용을 지원할 것이다.

제2절 연구 내용 및 방법

1. 연구 내용

본 연구는 항만 하역능력 산정에서 서비스 수준의 개념을 명확히 정의하

고, 이를 통해 항만 운영의 효율성을 개선하는 데 목적을 두고 있다. 이를 달성하기 위해 연구는 다음과 같은 주요 단계를 포함한다.

1) 항만 서비스 수준의 정의 및 분류 기준 수립

항만 서비스 수준은 하역능력 산정의 중요한 요소로 작용하나, 그 정의와 기준이 명확하지 않다. 본 연구는 국내외 항만 및 사회기반시설(SOC)에서 사용되는 서비스 수준의 개념을 종합적으로 분석하고, 이를 바탕으로 항만에 적합한 서비스 수준의 정의 및 분류 기준을 제시한다.

2) 서비스 수준 평가지표 선정 및 기준 제시

하역능력 산정 시 고려해야 할 주요 평가지표들을 선정하고, 이 지표들의 산정 방식 및 기준을 정립한다. 이를 위해 연간 처리 물동량, 선석 생산성, 선박 대기시간 비율(Waiting time to service time ratio, W/S 비율), 선석 점유율, 장치장 점유율 등 다양한 지표를 분석하고 적정 수준을 도출한다.

3) 국내 컨테이너터미널의 서비스 수준 평가 및 적용 기준 수립

선정된 평가지표를 활용하여 국내 주요 컨테이너터미널의 서비스 수준을 실제로 평가하고, 이를 바탕으로 서비스 수준 적용 기준을 마련한다. 항만별 물동량, 화물 가치, 항만의 경제적 영향권 등을 고려하여 각 항만의 특성에 맞는 서비스 수준 적용 방안을 도출한다.

2. 연구 방법

본 연구는 다양한 아래와 같은 연구 방법론을 결합 및 분석하여 적정 하역능력 산정을 위한 서비스 수준을 도출하고자 한다.

- 문헌 연구: 국내외 선행연구를 통해 항만 하역능력 산정과 서비스 수준에 대한 기존 연구와 정책 사례를 분석하였다. 이 과정에서 항만 서비스 수준의 개념과 평가지표에 대한 이론적 근거를 확립한다.
- 정량적 분석: 대기이론과 경제성 분석을 적용하여, 서비스 수준별 적정 선석 점유율 및 장치장 점유율을 산정한다. 특히 W/S 비율과 사회적 비용 함수를 바탕으로 선석 및 장치장의 최적 점유율을 도출한다.
- 실증 분석: 국내 주요 항만의 실제 운영 데이터를 활용하여, 도출된 이론적 결과를 실증적으로 검증한다. 이를 통해 각 항만의 하역능력 산정을 위한 서비스 수준을 평가하고 실제 운영에서 어떻게 적용되는지 확인한다.
- 정책적 분석: 연구 결과를 토대로 국내 항만 정책에 적용 가능한 서비스 수준 적용 기준을 수립하고, 향후 항만 개발 및 운영 효율성을 높이기 위한 정책적 시사점을 제시한다.

이 연구는 위와 같은 방법론을 통해 국내 항만 운영의 효율성을 높이고, 적정 하역능력 산정을 위한 구체적인 기준을 제시하는 것을 목표로 한다. 그에 따른 연구 추진 체계는 <그림 1-4>와 같다.

〈그림 1-4〉 연구 추진 체계



자료: 저자 작성

먼저 1단계에서는 국내외 항만 및 타 SOC의 서비스 수준 관련 문헌을 연구하여 서비스 수준의 정의 및 분류 기준을 제시한다. 그리고 제시된 정의 및 분류 기준을 하역능력 및 서비스 품질 전문가를 대상으로 검토를 한다. 2단계에서는 하역능력 산정을 위한 산정식, 시뮬레이션 모형을 검토해 하역능력 산정 시 적용되는 서비스 수준의 판단지표를 도출한다. 도출된 지표의 적정성 검토를 위해 대기이론, 시뮬레이션 및 경제성 분석을 실시한다. 마지막으로 컨테이너터미널의 물동량 및 영향권 분석을 통해 항만별 서비스 수준 적용 방안을 제시한다.

제3절 선행연구 검토와 차별성

1. 선행연구 검토

1) 항만 부문 서비스 품질 평가 및 개선 연구

이 분야의 연구는 1990년대부터 시작되어 현재까지 지속되고 있다. 노홍승·이철영(1996)은 항만물류 측면에서 서비스의 개념과 속성을 정의하는 기초 연구를 수행했다. 2000년대 들어 김창곤(2000)은 컨테이너터미널의 서비스 수준 평가지표를 고찰했고, Wiegmans et al.(2001)은 컨테이너터미널 서비스와 품질의 관계성을 규명했다. 2010년대에는 더욱 다양한 접근 방식이 시도되었다. 김창환·이상윤(2011)은 벌크항만의 서비스 품질 측정 도구를 개발했고, 박병인·배종욱(2012)은 광양항 컨테이너 부두의 서비스 품질 평가체계를 제시했다. Yeo, Thai, & Roh(2015)은 한국 컨테이너 항만의 서비스 품질과 고객 만족도 간의 관계를 분석했으며, Phan, Thai,

& Vu(2021)은 베트남 컨테이너 항만을 대상으로 유사한 연구를 수행했다.

2) 항만 하역능력 및 용량 최적화 연구

항만의 하역능력 산정과 관련된 연구는 1970년대 UNCTAD의 연구를 시작으로 발전해왔다. UNCTAD(1973, 1985, 1986)는 대기이론과 경제성 분석을 바탕으로 항만 하역능력 산정의 기초를 제시했다. 2000년대 들어 Maloni, & Jackson(2005)은 북미 컨테이너터미널의 하역능력에 대한 종합적인 문헌 검토를 수행했다. 2010년대에는 Chang et al.(2012)이 컨테이너터미널의 적정 하역능력을 경제적 관점에서 평가했고, Jeevan et al.(2015)은 말레이시아 주요 컨테이너터미널의 물동량 증가가 하역능력에 미치는 영향을 분석했다. Agerschou(2015)는 경제적, 재정적 타당성을 고려한 항만 하역능력 평가 방법을 제시했다.

3) 시뮬레이션 기반 연구

항만의 적정하역능력 산정과 관련하여 시뮬레이션 기법을 활용한 연구는 2000년대 초반부터 활발히 진행되었다. Kia, Shayan, & Ghotb(2002)는 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 항만 하역능력을 분석하고, 항만의 혼잡을 줄이고 용량을 증가시키는 운영 방법을 제안했다. 국내에서는 박상국·박남규(2013)가 ARENA 프로그램을 활용한 시뮬레이션 기반 적정하역능력산정 모델을 개발했다. 국내 목호항의 하역 프로세스를 기반으로 한 시뮬레이션 모델을 개발하고, 항만의 적정 하역능력을 평가하였다. 이를 기반으로 항만 효율성 향상 방안을 제시했다. Wu, & Peng(2013)은 시뮬레이션을 활용하여 홍콩항만의 하역능력 문제를 분석했다. 이를 통해 선박 대기 및 바지선 운용에 따른 서비스 수준 저하 원인을 규명하고, 수요 변화에 따라 서비스 수준이 크게 악화될 수 있는 문제점을 강조했다. Netto, Botter, &

Medina(2015)은 이산 이벤트 시뮬레이션을 통해 항만 서비스 수준과 하역능력의 관계를 분석했다.

4) 항만 적정 서비스 수준 기준 정립 연구

항만 적정 서비스 수준과 관련된 연구는 2010년대 들어 활발하게 이루어졌다. Lettner, Kosior, & Rozyckie(2014)는 주요 육상 기반의 출입국 항구의 인프라 계획에 적용할 수 있는 서비스 수준(Level-of-Service, LOS) 프레임워크 개발 및 적용하였다. LOS 방법론은 항구 개선 시나리오를 평가하고, 항구 간 및 국경 간 비교를 위한 표준화된 기준을 제공했다. Lee, & Lee(2024)는 항만 개발 시스템을 개선하기 위해 항만 서비스 지수(Port Service Index, PSI)를 계산하여 Trigger Rule 시스템에 서비스 수준을 연계했다. 이 연구는 다양한 선행 연구 분석을 바탕으로 포트 서비스 지수(PSI)의 계산 공식을 도출하고, 이를 사용하여 국내 컨테이너 및 벌크 터미널의 서비스 수준(LOS)을 평가했으며, 그 결과로 6개의 등급으로 나누어 각 LOS를 정의했다.

이러한 연구들은 항만 서비스 수준의 정의, 평가, 개선에 대한 이해를 깊게 하고 있으나, 대부분 이론적 방법론 제시나 개별 사례 분석에 그치고 있다. 향후 연구에서는 이론과 실제 데이터를 결합한 종합적이고 실용적인 접근이 필요할 것으로 보인다.

2. 본 연구와의 차별성

1) 항만 부문 서비스 수준 평가 체계 구축

기존의 항만 하역능력 산정을 위한 서비스 수준 평가 연구들은 주로 일

반적인 물류 서비스 품질 평가 방법을 사용하거나 설문 조사에 의존하는 경향이 있었다. 예를 들어, 허성호 외(2014)는 물류 서비스와 물류시설 요소를 나누어 만족도 조사를 실시했으며, 김병일(2006)의 연구는 설문조사를 통해 컨테이너 항만의 물류 서비스 품질이 고객 만족도에 미치는 영향을 분석했다. 이러한 접근 방식은 항만 이용자의 주관적 인식을 반영할 수 있다는 장점이 있지만, 항만의 고유한 운영 특성과 객관적인 성과 지표를 충분히 반영하지 못한다는 한계가 있다.

본 연구는 이러한 한계를 극복하고자 타 사회기반시설(SOC)의 서비스 수준 개념을 검토하고 항만 분야에 적합한 방식의 체계적인 서비스 수준 평가 방안을 제안했다. 특히, 도로나 공항 등 타 SOC에서 사용되는 서비스 수준 평가 방법론을 검토하고, 이를 항만의 특성에 맞게 재해석하여 적용했다. 이를 통해 항만의 고유한 운영 특성을 반영한 평가 기준을 수립할 수 있는 초석을 마련한 것으로 기대된다. 또한, 단순한 설문 조사를 넘어서 실제 항만 및 컨테이너터미널의 운영 데이터와 이론적 모델을 결합한 종합적인 평가 체계를 구축했다. 이는 보다 객관적이고 정량화된 서비스 수준 평가를 가능하게 하며, 항만 운영의 효율성과 서비스 품질을 동시에 고려할 수 있는 장점이 있다.

2) 정교한 방법론을 활용한 정밀한 서비스 수준 분석

기존 연구들은 주로 단순한 시뮬레이션 모델이나 기본적인 통계 분석을 사용하여 항만 서비스 수준을 분석했다. 예를 들어, 김창곤·장성용(2008)의 연구는 시뮬레이션을 통해 선박 대형화에 따른 선석별 점유율 변화를 분석했으며, 박병인(2005)의 연구는 DEA와 시뮬레이션을 결합한 모형을 제시했다. 이러한 접근 방식은 기본적인 항만 운영 특성을 반영할 수 있지만, 몇 가지 중요한 한계점을 가지고 있다.

첫째, 시뮬레이션 모델은 복잡한 항만 운영 환경과 다양한 확률적 변수들을 반영할 수 있지만, 결과에 대한 원인을 구체적으로 파악하기가 어렵다는 단점이 있다. 시뮬레이션은 '블랙박스' 접근 방식으로, 입력과 출력 사이의 인과관계를 명확히 설명하기 어려운 경우가 많다. 둘째, 시뮬레이션 환경 설정에 연구자의 주관의 개입될 가능성이 높다. 이는 결과의 객관성과 일반화 가능성을 저해할 수 있다. 마지막으로, 기본적인 통계 분석은 복잡한 항만 운영의 확률적 특성을 충분히 반영하지 못한다는 한계가 있다.

본 연구는 이러한 한계를 극복하기 위해 확률론적 접근을 기반으로 한 정교한 M/G/s 대기행렬모형을 적용했다. 이 모형은 선박의 도착 분포와 서비스 시간 분포를 더욱 현실적으로 반영할 수 있어, 기존의 단순한 모델보다 정확한 분석이 가능하다. 특히, 실제 선박 및 항만의 운영 데이터를 기반으로 선박 간 대기시간 간격과 서비스 시간의 분포를 추정하여 모델에 반영했다. 이는 기존 연구에서 주로 사용되던 결정론적 모형이나 단순화된 확률 모형의 한계를 극복하고, 실제 항만 운영 환경의 불확실성과 변동성을 보다 정확히 반영할 수 있게 한다.

이러한 접근 방식은 시뮬레이션의 단점을 보완하면서도 그 장점을 유지할 수 있다. M/G/s 대기행렬모형은 수학적으로 정의된 모델이므로, 결과에 대한 원인을 명확히 추적하고 설명할 수 있다. 또한, 모델의 파라미터들이 실제 데이터에 기반하여 추정되므로, 연구자의 주관적 개입을 최소화할 수 있다. 동시에, 이 모형은 복잡한 확률적 상황을 다룰 수 있어 시뮬레이션의 장점도 가지고 있다.

이를 통해 기존 연구보다 더욱 정확하고 신뢰성 있는 서비스 수준 분석이 가능하다. 또한, 이 방법론은 다양한 운영 시나리오에 대한 확률론적 분석을 가능하게 하여, 항만 운영 정책 변화에 따른 서비스 수준 변화를 예측하는 데에도 유용하게 활용될 수 있다. 이는 불확실성이 높은 항만 운영 환경

에서 보다 견고하고 유연한 의사결정을 지원할 수 있는 기반을 제공한다.

3) 항만별 서비스 수준 차이의 원인 분석

기존 연구는 항만별 서비스 수준의 차이를 단순히 선석 개수와 같은 물리적 시설 용량의 차이로 설명하는 경향이 있었다. 예를 들어, 박병인 외(2009)의 연구는 선박당 평균 대기 비용을 통해 항만의 서비스 수준을 평가했지만, 항만 별로 서비스 수준이 달라지는 현상과 그 원인에 대해서는 설명하지 못했다. 또한, 이기열 외(2015)의 연구는 항만 대기율과 선석점유율을 산정하여 서비스 지표를 개발했지만, 이 역시 물리적 시설 용량에 초점을 맞춘 한계가 있다.

이러한 기존 연구들의 접근 방식은 항만에서 기항 및 대기하는 선박의 용선료나 상·하역되는 화물의 가치와 같은 경제적 요인을 고려하지 않았다는 점에서 한계가 있다. 이는 실제 항만 운영에서 중요하게 작용하는 경제적 요인들을 간과했기에 항만별 서비스 수준 차이의 실질적인 원인을 제한적으로 파악했다고 할 수 있다.

본 연구는 이러한 한계를 극복하고, 사회적 총비용 관점에서 항만의 적정 서비스 수준을 분석했다는 점에서 큰 의의가 있다. 선박의 대기비용(체선, 체화비용)과 시설투자비용을 종합적으로 고려하여 항만별 서비스 수준의 차이를 분석했다. 항만에서 기항하는 선박의 용선료와 상·하역되는 화물의 가치를 고려함으로써, 각 항만의 고유한 경제적 특성이 서비스 수준에 미치는 영향을 분석했다. 이는 기존 연구가 주로 물리적 시설 용량에만 초점을 맞춘 것과는 대조적이며, 지금까지 거의 다루어지지 않았던 새로운 접근 방식이다.

4) 전국 주요 컨테이너 항만 대상 실증 연구 수행

마지막으로, 기존의 항만 서비스 수준 관련 연구들은 대부분 이론적 방법론 제시에 그치는 경향이 있다. 예를 들어, 박상국(2016)의 연구는 컨테이너 터미널의 서비스 수준을 분석하기 위한 절차와 방법론을 제시했지만, 항만별로 실제 데이터를 적용한 구체적인 결과를 도출하지는 않았다. 또한, 이기열 외(2015)의 연구는 항만 대기율과 선석점유율을 산정하는 방법을 제안했으나, 이를 실제 항만에 적용하여 적정 서비스 수준을 제시하지는 않았다. 이러한 기존 연구는 이론적 방법론 제시에 그쳐, 실제 정책 수립에 직접적으로 활용하기 어려운 측면이 있다. 또한, 각 항만의 고유한 특성을 반영한 맞춤형 서비스 수준 제시가 부족했다. 실제 항만 데이터를 적용한 구체적인 서비스 수준 값을 제시하지 않아서 현실적인 운영 지침을 제공하기 어렵다.

본 연구는 이러한 한계를 극복하고, 실제 정책에 활용 가능한 구체적인 결과를 제시했다는 점에서 차별성을 가진다. 본 연구에서 개발한 방법론을 실제 항만 데이터에 적용하여, 이론과 현실의 간극을 좁히고 서비스 수준을 제시한 기존 연구와 비교하였다. 또한, 부산, 인천, 광양, 평택 등 전국 주요 컨테이너 항만을 대상으로 실제 데이터를 분석하여, 각 항만의 적정 선석 점유율 등 구체적인 서비스 수준 값을 도출했다. 각 항만의 고유한 특성(선박 크기, 화물 가치, 운영 환경 등)을 고려한 맞춤형 분석을 수행하여, 보다 현실적이고 적용 가능한 결과를 제시했다. 도출된 결과는 즉시 정책에 반영할 수 있는 구체적인 수치와 지침을 포함하고 있어, 실제 항만 운영 및 개발 정책 수립에 직접적으로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

결론적으로, 본 연구는 단순히 이론적 방법론을 제시하는 데 그치지 않고, 실제 데이터를 활용한 구체적인 분석 결과를 제시함으로써 학술적 가치와 실용적 가치를 지닌다. 이는 향후 항만 정책 수립 및 운영에 있어 중

요한 기초 자료로 활용될 수 있으며, 항만 서비스 수준 개선을 위한 실질적인 지침을 제공한다는 점에서 의의가 있다.

〈표 1-2〉 주요 선행연구 요약

구분	선행연구		본 연구 방향
	요약	참고문헌	
연구 목표	- 서비스 수준 및 판단 지표에 대한 개념적 정의는 제공 - 서비스 수준, 판단 지표 및 적용에 대한 명확한 기준은 제시되지 않음	- UNCTAD(1973) - UNCTAD(1985) - UNCTAD(1986) - 김창곤(2000), 박상국(2016) - 박병인 외(2009)	- 항만 서비스 수준 개념 및 분류 기준 정의 - 컨테이너터미널 서비스 수준 적정 판단 지표 및 기준 제시 - 컨테이너터미널별 서비스 수준 적용 기준 제시
연구 대상	국내 항만을 대상으로 한 연구의 경우 부산항, 광양항 등 특정 항만을 대상으로 함	- 박병인·배종욱(2012) - 이기열 외(2015) - 박상국·박남규(2013)	국내 컨테이너터미널 특성을 파악하기 위해 부산항 등 21개 컨테이너터미널을 대상으로 함
연구 범위	고객 만족 및 항만 선택 등의 요소로 서비스 수준을 평가	- Cullinane & Wang(2009) - Brooks & Schellinck(2013, 2015) - Lee & Lee(2024)	정확한 하역능력 산정을 위한 서비스 수준 개선과 정량적 지표 제시
연구 방법	- 문헌 연구, 대기이론, 시뮬레이션, 설문조사 등을 통해 서비스 수준 및 평가지표를 제시 - 한정적인 문헌 연구 및 다각적인 검토를 통한 서비스 수준 도출 연구는 미진함	- UNCTAD(1985, 1986) - Agerschou(2015) - 박병인·배종욱(2012) - 허성호 외(2014) - Felício, Caldeirinha, & Dionisio(2015) - Munim(2020)	문헌 연구, 대기이론, 시뮬레이션 및 경제성 분석을 통해 다각적인 연구방법론 적용

자료: 저자 작성

02

항만 서비스 수준 정의 및 분류 기준

제1절 항만 하역능력 서비스 수준의 개념 및 정의 ———

1. 항만 하역능력 개요

항만 하역능력은 특정 기간(일반적으로 1년)에 처리할 수 있는 화물의 양으로 정의된다(Bassan, 2007). 항만 하역능력을 결정하는 방법은 다양한 접근 방식으로 발전해 왔다. 초기에는 타 항만의 평균 생산성을 벤치마킹하는 경험적 방법에서 시작하여 좀 더 복잡한 공식을 사용하는 분석적 방법으로 발전했으며 분석적 방법의 단계는 대기이론(Queuing theory)을 기반으로 한 수식 산정, 이후 시뮬레이션을 기반으로 한 확률적 분석으로 발전한다(Fundación Valenciaport, 2012).

경험적 방법은 크기와 유형이 유사한 다른 시설의 벤치마킹을 통해 얻은 생산성 수준을 터미널에 적용하여 하역능력을 산정하는 방법이다. 이 방법은 새로운 터미널을 계획하고 항만 관리 계획을 설계할 때 매우 유용하며 하역능력 산정에 필요한 데이터가 없을 때 주로 사용하는 방법이다. 분석적 방법은 수학적 공식과 개념을 사용하여 항만의 하위 시스템(양적하, 화

물 장치 및 반출입 등)의 프로세스를 분석하는 방법이다. 이 방법은 선박에서 육상으로 전달되는 화물의 시스템을 세부적으로 분석하는 방법으로 다양한 연구자들에 의해 발전되었다 (Agerschou et al., 1983; UNCTAD, 1985; Dragović, Park, & Radmilović, 2006).

하역능력 산정을 위한 분석적 방법은 하역능력을 산정하는 과정에서는 터미널의 작동을 단순화한 모형을 만들고, 이 모델을 여러 극한 조건에 노출시켜 시뮬레이션을 통해 최대 처리량을 계산하는 방식으로 발전되어 왔다 (Henesey, 2006). 예를 들어 경제적으로 최적화된 용량, 시설이 완전히 포화된 상태에서의 용량, 그리고 처리량 증가로 인해 서비스 수준이 떨어지지 않는 선에서의 최소 허용 가능한 용량 등을 평가한다. 이러한 시뮬레이션 기반 하역능력 산정은 단순히 터미널의 한계를 설정하는 것뿐만 아니라 다양한 상황에서 터미널이 어떻게 작동할지 예측하고 계획하는 데 중요한 역할을 한다.

〈표 2-1〉 하역능력 산정 방법

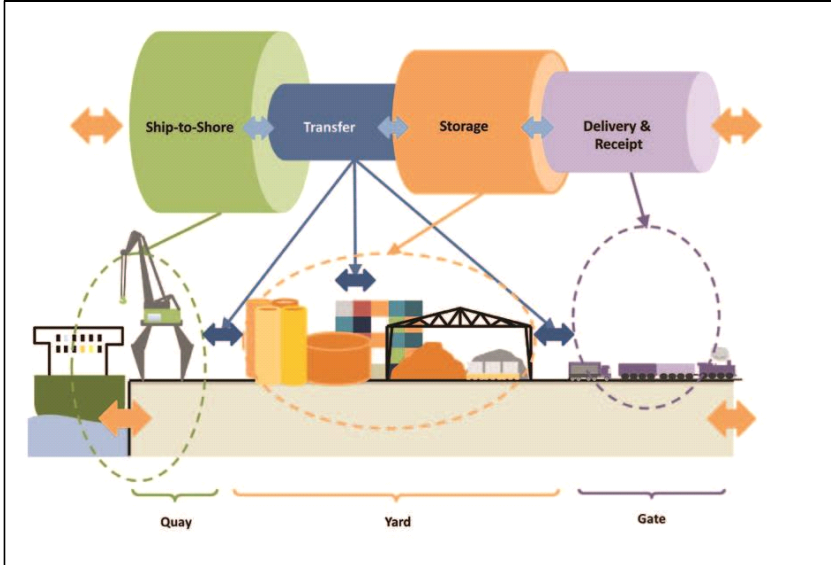
구분	특징
경험적 방법	• 유사한 크기와 유형을 가진 다른 시설의 평균 생산성에 기반함 • 주어진 터미널에 이러한 생산성을 적용하여 용량 추정함 • 새로운 터미널 설계나 항만개발 계획을 수립할 때 유용함 • 필요한 데이터가 부족할 때 활용 가능함
분석적 방법	• 수학적 공식과 개념을 적용하여 터미널 작동 프로세스를 정밀하게 분석함 • 선박에서 육상으로 전달되는 양적화 시스템 분석에 적합함 • 복잡한 시나리오를 모델링하는 데 효과적임 • 대기이론과 수학적 이론을 기반으로 하여 터미널의 다양한 교통 수요와 시나리오에 따른 반응을 예측함

자료: Agerschou et al.(1983), UNCTAD(1985), Dragović, Park, & Radmilović(2006) 자료 기반 저작
재작성

항만 하역능력 산정의 분석적 방법론은 다양한 하위 시스템을 고려하는 복잡한 과정이다. 이러한 하위 시스템은 안벽(Ship-to-shore, Berthing), 화물 이동(Transfer), 장치장(Storage) 및 화물 인도(Delivery & Receipt)로 구성된다(Fundación Valenciaport, 2012). 안벽은 선석 수, 선석 점유율, 그리고 선석 생산성(안벽 크레인 투입 수와 효율성에 따라 다름)에 의해 결정된다. 이 시스템은 터미널이 가지고 있는 장비와 그 장비의 생산성 수준이 충분하다고 가정하며 선석 용량에 직접적인 영향을 미친다. 화물 이동은 터미널 내부에서 화물을 다른 시스템으로 이동시키는 역할을 한다. 하역능력 산정 시에는 충분한 이동 장비를 갖추고 있다고 가정하며 안벽이나 저장 작업을 지연시키지 않는다고 가정한다. 장치장은 해상 및 육상 간의 운송 속도를 조절하는 버퍼 공간이다. 저장 공간, 적재 높이, 화물의 체류 시간 등에 따라 용량이 결정된다. 마지막으로 화물 인도는 외부 트럭이나 철송 장비가 화물을 수령 및 인도하는 것이며 하역능력 산정 시에는 충분한 게이트가 있다고 가정하며 본 시스템은 항만 하역능력을 제한하지 않아야 한다고 가정한다.

분석적 방법에서 항만 하역능력 산정은 각 하위 시스템 중 가장 낮은 하역능력을 가진 시스템이 그 터미널의 하역능력으로 결정된다. 이동과 화물 인도 시스템은 항만의 지연 및 용량 제한에 영향을 미치지 않는다고 가정하기 때문에 항만 하역능력은 안벽과 장치장에 의해 결정된다. 이러한 분석적 방법에서의 하역능력 개념은 UNCTAD, Fundación Valenciaport (발렌시아 항만재단) 및 해양수산부 등에서 정량적이고 체계적인 하역능력 산정을 위해 널리 사용되고 있다.

〈그림 2-1〉 분석적 방법론 관점에서 항만 하위 시스템



자료: Fundación Valenciaport(2012), p. 112.

2. 항만 서비스 수준 적용 사례

1) UNCTAD

UNCTAD(1973, 1985)는 항만의 하역능력을 고유하역능력과 적정하역 능력으로 구분한다.

- 고유하역능력: 항만 시스템이 중단없이 24시간, 365일 작동한다고 가정했을 때 이론적 최대 용량, 이는 가장 이상적인 상황에서의 항만 최대 처리 능력을 나타냄
- 적정하역능력: 하역장비의 이용률, 허용 가능한 대기시간, 실제 하역 작업의 시간, 실제로 가능한 안벽 작업 일수 등을 고려한 능력, 이는

실제 작업 환경에서 항만이 얼마나 많은 화물을 처리할 수 있는지 나타냄

UNCTAD는 적정하역능력을 결정하기 위해 항만 내 하위 시스템을 고려한 분석적 방법론을 제안한다. 앞서 설명한 것과 같이 분석적 방법론은 항만 내 이동과 화물 인도가 시스템에 지연 및 영향을 미치지 않는다는 가정 하에 안벽과 장치장의 하역능력 중 더 낮은 하역능력을 항만의 하역능력이 라고 결정한다.

UNCTAD의 안벽 하역능력(CB_{unctad})의 산정식은 아래와 같다.

$$CB_{unctad} = N \times \phi \times t_{year} \times P \quad (II-1)$$

여기서 N 은 선석 수, 선박이 동시에 접안할 수 있는 선석의 개수를 의미하며 t_{year} 는 연간 작업 시간, 실제로 가능한 안벽 작업 시간을 의미하며 P 는 선박 생산성, ϕ 는 선석점유율을 의미한다. 선박 생산성 P 은 아래와 같은 식으로 구할 수 있다.

$$P = \frac{v_{year}}{t_{occupied}} \quad (II-2)$$

여기서 v_{year} 는 연간 화물 처리량, $t_{occupied}$ 는 선박의 접안 시간을 의미한다. UNCTAD의 선석점유율 ϕ 은 선박대기시간표(Waiting time table)에 따른 것으로 선박 비용과 선석 비용의 비율이 4:1일 때의 선석 점유율을 사용한다. UNCTAD가 제시한 적정 선석 점유율은 <표 2-2>에 나타나 있다.

〈표 2-2〉 UNCTAD(1985)의 적정 선석 점유율(ϕ)

(단위: %)

구분	선석 수					
	1	2	3	4	5	6 이상
적정 선석 점유율	40	50	55	60	65	70

자료: UNCTAD(1985), pp. 124. 자료 기반 저자 재작성

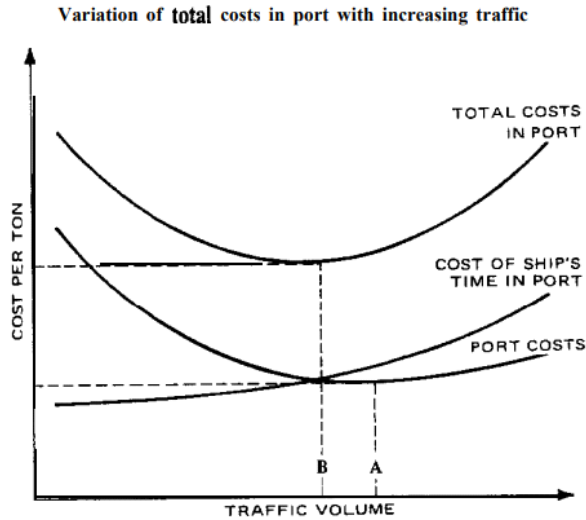
UNCTAD의 장치장 하역능력(CG_{unctad})의 산정식은 아래와 같다.

$$CG_{unctad} = TGS \times h \times \frac{365}{t_d} \quad (\text{II-3})$$

여기서 h 는 단적수, 컨테이너 장치장에서 컨테이너를 쌓을 수 있는 최대 높이, t_d 는 체류시간(Dwell time), TGS 는 Twenty-foot ground slot의 약자로, 20피트 컨테이너를 기준으로 한 장치 가능 면적을 의미한다.

UNCTAD(1985)는 항만 하역능력을 산정할 때, 서비스 수준을 결정하는 주요 판단 기준으로 선석 점유율을 제시하며, 적정 선석 점유율 산정 기준은 선박 비용과 항만 비용을 고려한다고 설명한다 (〈그림 2-2〉 참고). 이를 통해 각 선석의 적정 점유율을 정의하고, 안벽의 하역능력 산정에 적용한다. UNCTAD는 선박 비용을 산정할 때, 대기이론(Queueing Theory)을 사용하여 선박의 도착 시간은 포아송(Poisson) 분포, 서비스 시간은 지수 분포를 가정하고, 이를 바탕으로 선박 대기시간과 그에 따른 비용을 산정한다. UNCTAD는 안벽 하역능력 산정을 위해 〈표 2-2〉와 같이 선석 수에 따른 적정 선석점유율을 제시한다. 다만, 장치장 하역능력 산정 시 장치장 점유율을 고려하지 않으며, 이에 따른 적정 장치장 점유율은 제시하지 않는다.

〈그림 2-2〉 UNCTAD(1985)의 적정 서비스 수준 평가



자료: UNCTAD(1985), p. 29.

Agerschou(2015)는 UNCTAD(1985)가 제안한 선석 점유율 기준의 근거 부족을 지적하며, 서비스 수준을 측정하기 위한 중요한 지표로 선박 대기시간 비율(Waiting time to service time ratio, W/S 비율, ϵ)의 사용을 제안했다.

$$\epsilon = \frac{t_w}{t_s} \quad (\text{II-4})$$

여기서 t_w 는 입항선박의 평균 대기시간, t_s 는 입항선박의 평균 접안시간이다. 본 연구에서는 컨테이너터미널의 경우 W/S 비율을 0.1로, 일반 화물터미널의 경우 0.2로 설정하는 것이 경제적으로 적절하다고 제시한다. 이 비율은 선박의 대기시간 비용이 낮을수록, 그리고 선석이 효율적으로 사용될수록 낮아진다는 점에서 항만 운영 효율성을 반영한다.

본 연구에서는 컨테이너터미널에서의 선박 도착 시간이 포아송 분포를 따르고 서비스 시간이 얼랑(Erlang) 분포를 따른다고 가정한다. 서비스 시간의 얼랑 분포를 통해, 컨테이너터미널의 운영 변동성과 예측 가능성을 모두 고려하는 방식을 제안한다. 아래 식은 서비스 시간이 얼랑 분포일 때 서비스 시간이 t 를 초과할 확률에 대한 일반식이다.

$$P_o(t) = e^{-kut} \sum_{n=0}^{n=k-1} (Kut)^n / n! \quad (\text{II-5})$$

여기서 u 는 평균 서비스율, K 는 얼랑 분포의 형태 매개변수(shape parameter)이다. $K = 1$ 일 경우 서비스 시간은 지수 분포를 따르는 것으로, 무작위적(Randomness)이고 기억이 없는(Memoryless) 특성을 가지며, $K = \infty$ 일 경우 모든 서비스가 동일한 시간이 걸리는 일정한 서비스 시간을 나타낸다. 본 연구는 이러한 서비스 시간의 변동성을 고려하여 컨테이너선의 정기 도착과 무작위 도착이 혼재되어 있는 상황에서 $K = 2, 3, 4, \dots$ 의 값을 사용하기를 권장한다.

Agerschou(2015)는 컨테이너선의 시간 가치가 일반 화물선보다 높기 때문에 컨테이너선의 W/S 비율이 일반 화물선보다 낮아야 한다고 주장한다. 이는 선박의 대기시간 비용의 차이를 반영하며, 항만의 경제적 운영을 최적화하는데 중요한 요소이다. 또한 본 연구는 W/S 비율에 따른 적정 선석 점유율을 <표 2-3>과 같이 제시했으나 적정 장치장 점유율에 대해서는 제시하지 않았다.

〈표 2-3〉 Agerschou(2015)의 적정 선석 점유율

단위(%)

구분	선석 수					
	1	2	3	4	5	6 이상
$K = 4$	0.14	0.36	0.49	0.57	0.63	0.67
$K = \infty$	0.17	0.40	0.52	0.60	0.66	0.70

자료: Agerschou(2015), p. 14.

2) Fundación Valenciaport(발렌시아 항만재단)

Fundación Valenciaport(2012)는 항만 하역능력을 주어진 환경에서 처리할 수 있는 최대 처리 용량으로 정의한다. 하지만 주어진 환경이라는 것은 다양한 조건에 따라 달라질 수 있기 때문에 하역능력은 다양한 개념으로 정의할 수 있다고 언급한다. Fundación Valenciaport(2012)는 하역능력 산정을 위해 분석적 방법론을 사용하며 안벽 하역능력과 장치장 하역능력을 구분하여 산정한다. 안벽 하역능력(CB)은 UNCTAD(1985)가 제시한 수식(II-1)을 사용한다. 장치장 하역능력($CG_{valencia}$)은 수식(II-5)에 나타나 있다.

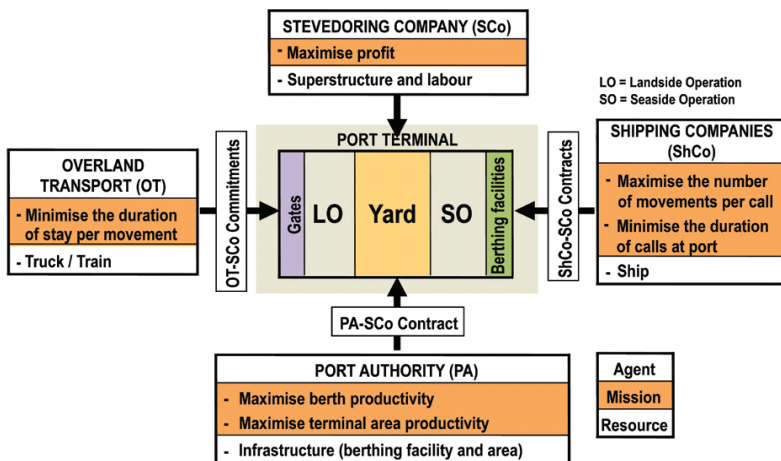
$$CG_{valencia} = \frac{A_i \times h_i \times 365 \times p_f \times \alpha_o}{T_{dw} \times s_i} \quad (\text{II-6})$$

여기서 A_i 는 장치장 면적, h_i 는 적재계수, p_f 는 피크계수, α_o 는 순저장계수, T_{dw} 는 평균 체류 시간 및 s_i 는 단위 화물당 필요 면적을 의미한다. 적재계수는 평균 단적수와 최대 단적수와의 비율을 의미하고 피크계수는 평균 체류 개수와 최대 체류 개수의 비율로 산정한다. 순저장계수는 전체 공간 중 실제 컨테이너를 적재할 수 있는 공간의 비율을 의미한다.

Fundación Valenciaport(2012)는 항만 서비스 수준을 항만 사용자와

고객이 인식하는 서비스 품질을 측정하기 위해 개발된 개념으로 설명한다. 서비스 수준은 항만 하역능력을 계산하는 데 중요한 요소 중 하나로 극단적인 시나리오를 고려해야 한다고 강조한다. Fundación Valenciaport (2012)는 항만의 사용자 및 고객은 선박 운행사(선박), 운송회사(도로 및 철도), 화물주선업체(화물)로 정의했으며 각 사용자 및 고객의 입장에 따라 서비스의 개념이 달라질 수 있다고 정의한다.

〈그림 2-3〉 항만의 사용자 및 고객



자료: Fundación Valenciaport(2012), p. 95.

Fundación Valenciaport(2012)는 항만의 사용자 및 고객의 입장을 고려해 서비스 수준의 주요 판단 지표와 서비스 수준의 최적화 방안을 제시한다. 먼저 서비스 수준의 주요 판단 지표는 선박 비용 및 재항 시간, 대기 시간과 서비스 시간, 그리고 서비스 품질을 주요 측정 지표로 제시한다. 선박 비용은 선박 운정사가 항만에 정박할 때마다 지불해야 하는 총 요금, 효율로 서비스의 비용을 말한다. 재항 시간은 선박이 항만에 입항하고부터 출항할 때까지의 전체 시간을 의미한다. 이는 선박이 항만에 접안하여 화

물을 양적하하는 과정, 서비스를 받는 시간 및 입출항 대기시간 등이 포함된다. 대기시간은 항만의 혼잡으로 인해 선박이 서비스를 받기 위해 정박지에서 기다려야 하는 시간이며, 서비스 시간은 선박이 접안을 위해 선석에 접근하는 시간을 포함하여 양적하 시간 및 계류하지 않고 있는 시간을 의미한다. 서비스 품질은 W/S 비율과 선박 생산성을 의미하며 이는 크레인 투입 숫자, 다른 하위 시스템(이동, 장치장 및 화물 인도)과의 연관성이 깊다. 서비스 수준을 최적화하기 위해서는 제시된 판단 지표 중 W/S 비율과 선박 생산성을 관리해야 한다고 강조한다. W/S 비율은 터미널 혼잡을 나타내며 이를 최소화하기 위한 계획이 필요하다. 선박 생산성은 터미널의 기술적 및 운영적 효율성을 반영하며 이를 통해 처리량을 늘리고 대기시간을 최소화할 수 있다.

Fundación Valenciaport(2012)는 안벽 하역능력을 산정하기 위해 서비스 수준과 그에 따른 선석 점유율을 정의하는 것이 매우 중요하다고 강조한다. 서비스 수준과 그에 따른 선석 점유율은 선박 도착 시간 및 서비스 시간 분포와 접안 시설의 크기에 따라 달라진다. Fundación Valenciaport(2012)는 선박 도착시간 분포는 지수 혹은 얼랑, 서비스 시간이 얼랑 분포($K = 2$ or 4)를 따른다고 가정하여 적정 선석 점유율을 산정한다. W/S 비율은 0.05, 0.1 및 0.2로 구분하여 적용한다.

〈그림 2-4〉 Fundación Valenciaport(2012)의 W/S별 선석 점유율

Number of berths (n)	Acceptable berth occupancy ratio Φ (%)								
	$T_w/T_s = 0.05$			$T_w/T_s = 0.10$			$T_w/T_s = 0.20$		
	M/E _v /n	M/E _v /n	E _v /E _v /n	M/E _v /n	M/E _v /n	E _v /E _v /n	M/E _v /n	M/E _v /n	E _v /E _v /n
1	< 5	7	22	12	14	31	21	24	43
2	25	27	43	33	36	53	47	49	63
3	38	39	53	49	49	63	60	61	72
4	47	47	61	56	57	70	66	68	78
5	53	54	66	62	63	73	71	73	81
6 or more	57	58	69	66	67	77	74	76	84

자료: Fundación Valenciaport(2012), p. 127.

Fundación Valenciaport(2012)의 서비스 수준은 W/S 비율과 선박 생산성이라는 두 가지 지표를 통해 평가한다. 제안된 서비스 수준은 (AA, AB, ..., CC)를 포함하고 있으며, 총 9단계로 구성된다. 이는 접안 시설의 크기(연간 컨테이너 처리량을 접안 시설의 미터당 계산으로 산출)와 관련되어 있으며 제안된 서비스 수준은 연간 평균 생산성(P)과 W/S 비율로 결정된다. <그림 2-5>에 나타나 있듯이 최소 수준인 CC는 연간 선박 생산성이 시간당 35개 컨테이너 처리(내륙 O/D 및 환적 포함) 수준으로 설정되어 있으며 W/S 비율이 0.2인 경우, 가장 낮은 서비스 수준을 의미한다.

<그림 2-5> Fundación Valenciaport(2012)의 서비스 수준

Level of service	Relative waiting time	LEVELS OF SERVICE			
D	> 0.20	-	-	-	-
C	0.10 - 0.20	-	CC	BC	AC
B	0.05 - 0.10	-	CB	BB	AB
A	up to 0.05	-	CA	BA	AA
		< 35	35-50	50-65	> 65
		Annual average productivity of vessel at berth (P) (cont./h)			
		D	C	B	A
		Level of service			

자료: Fundación Valenciaport(2012), p. 141.

3) 해양수산부

해양수산부는 UNCATD(1985)의 정의를 준용해 항만 하역능력을 고유 하역능력과 적정하역능력으로 구분한다. 고유하역능력은 항만시스템이 아무런 휴지 없이 가동되며 모선당 시간당 능력이 연간 365일 1일 24시간 가동된다는 가정 하에 산출된 능력이며 적정하역능력은 '항만이 경쟁력을 갖출 수 있는 적정 서비스를 제공할 경우의 하역능력으로 하역장비의 이용률, 허용 가능한 대기시간을 감안한 접안률, 실제 가능한 하역작업시간, 실제 가용한 안벽작업일수 등을 고려한 적정 서비스 수준을 감안하여 산출된

능력을 말한다. 여기서 적정 서비스 수준이란 항만대기비용과 항만건설에 투입되는 비용을 비교한 총비용이 최소화될 경우의 서비스 수준을 의미한다(해양수산부, 2020).

해양수산부는 적정하역능력 산정을 위해 분석적 기법을 적용하여 안벽 하역능력과 장치장 하역능력 중 낮은 값을 적정하역능력으로 판단하며 UNCATD(1985) 및 Fundación Valenciaport(2012)와 달리 안벽 및 장치장 하역능력 산정을 위해서 시뮬레이션 기법을 사용한다. 먼저 안벽 하역능력 산정을 위한 시뮬레이션 입력변수는 선석 수, 적정 선석 점유율, 연간 하역 일수, 일일 하역 가능 시간, 선박 도착시간 분포, 선박별 컨테이너 하역량(LPC, Lift per call), 선박별 크레인 할당 대수(CR 하역분포) 및 크레인 작업분포(작업분포)를 사용한다. 장치장 하역능력 산정을 위한 시뮬레이션 모형의 입력변수는 장치장 운영일수, 장치장 점유율, TGS, 단적수, 체류 시간, 수출입 환적 비율, 수출입 유형별(적, 공, 냉동, 비규격, 위험물) 비율, 연평균 장치 물동량, TEU 환산계수 및 컨테이너 유형별 장치장 분포를 사용한다. <표 2-4>의 선박도착분포, LPC, CR하역분포 및 작업분포는 확률분포로서 실제 항만 운영 데이터의 적합도 검정(Goodness of fit test)을 통해 적합한 분포를 도출, 시뮬레이션 입력변수로 적용한다.

〈표 2-4〉 적정하역능력 산정 시 입력변수 및 예시

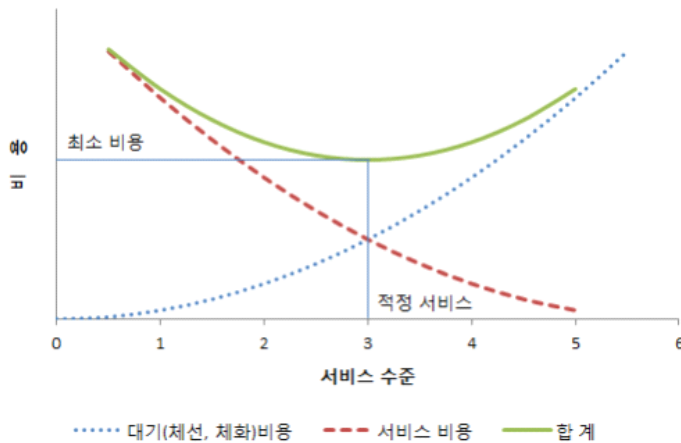
구분	입력변수	예시
안벽 하역 능력	• 선석 수	3선석
	• 적정 선석 점유율	0.55
	• 연간하역일수	365일
	• 일일하역가능시간	24시간
	• 선박도착분포	$-0.1+68 \times \text{BETA}(1.02, 10.2)$
	• LPC	$12+277 \times \text{BETA}(1.13, 1.31)$
	• CR하역분포	$\text{DISC}(0.6, 1, 1, 2)$
	• 작업분포	$0.25+2.75 \times \text{BETA}(3.55, 2.64)$
장치장 하역 능력	• 장치장 운영일수	365일
	• 장치장 점유율	0.6
	• TGS	7,501
	• 적재단수(적/공/냉동/비규격/위험물)	적:3.3, 공:3.9, 냉동:3.8 등
	• 평균장치일수(수출입구분/컨테이너구분)	수출/적:6.0, 수입/공:18.3 등
	• 수출입 환적 비율	수입:0.51, 수출:0.48 등
	• 수출입 유형별 비율	수출/공:0.51, 수입/냉동:0.112 등
	• 환적화물비율(적/공/냉동/비규격/위험물)	적: 0.1, 공: 0.3 등
	• 연평균 장치장 물동량	233,844개
	• TEU 환산계수	1.40
	• 컨테이너 유형별 장치장 분포	적:0.48, 공:0.45 등

자료: 해양수산부(2020), pp. 224-225. 자료 기반 저자 재작성

해양수산부(2020)에 따르면, 항만의 적정하역능력을 결정할 때 가장 중요하게 고려해야 하는 것은 사회경제적 비용의 최소화이다. 이는 항만 서비스 비용과 선박 및 화물 대기비용을 합산한 총비용을 최소화하는 서비스 수준을 설정하는 것을 의미한다. 〈그림 2-6〉에 나타나 있듯이, 서비스 수준을 1에서 5까지의 척도로 나타내며, 1은 항만시설의 여유가 많고 선박 대기시간이 짧은 최고의 서비스 수준을, 5는 항만시설의 여유가 없고 대기

시간이 가장 긴 낮은 서비스 수준을 의미한다. 항만의 주요 이용자로선 선사와 화주가 있으며, 이들의 체선 및 체화비용을 주요 평가지표로 활용한다. 또한, 터미널 운영사의 서비스 제공 비용도 중요한 판단 지표로서 대기 비용과 서비스 제공 비용을 포함한 사회적 총비용이 가장 낮을 때 최적의 하역 서비스를 제공할 수 있다고 설명한다.

〈그림 2-6〉 사회적 비용을 고려한 적정 서비스 수준



자료: 안태훈(2015) p. 10.(해양수산부 제출자료)

해양수산부(2020)는 대기비용과 서비스 비용에 따라 5단계 서비스 수준을 정의하지만 실제 하역능력 산정을 위해서는 3단계 서비스 수준을 적용한다 (〈표 2-5〉 참고). 선석 점유율은 선석 수 및 서비스 수준에 따라 40~60%를 적용하고 있지만 항만별 서비스 수준의 적용 기준이 불분명하고 대부분 서비스 수준 III을 적용(불분명한 이유로 일부 항만은 IV 적용)하여 〈표 2-5〉와 같이 선석 수에 따른 선석 점유율 40~60%, 선석 수가 4개 이상일 경우에는 4개와 동일한 기준을 적용한다. 장치장 점유율은 일괄적으로 60%를 적용한다.

〈표 2-5〉 W/S 방법론 기반 선석 점유율 산출 결과 비교

단위: %

구분		선석 수			
		1	2	3	4 이상
해양수산부 (2020)	선석 점유율	40	50	55	60
	장치장 점유율	60			

자료: 해양수산부(2020), pp. 315-317. 자료 기반 저자 재작성

4) PIANC

PIANC(The World Association for Waterborne Transport Infrastructure, 세계 수상 교통 시설 협회)는 1885년에 설립된 비영리 단체로 수상 교통 및 물류 인프라를 포함 항만, 수로, 내륙 항로와 관련된 기술적 문제를 다루는 전문가 집단이다(PIANC, 2014). PIANC가 제안한 안벽 하역능력 산정식은 아래와 같다.

$$CB_{pac} = n \times P \times f_{teu} \times N_{cb} \times n_{hy} \times \Phi \quad (II-7)$$

여기서 n 은 선석 수, P 는 크레인 생산성, f_{teu} 는 TEU 환산계수, N_{cb} 는 평균 크레인 투입 수, n_{hy} 는 연간 작업 시간, Φ 는 선석점유율이다. TEU 환산계수 f_{teu} 는 크레인 생산성을 TEU로 환산한 것으로 크레인 작업 횟수 대비 TEU(TEU/move)로 구할 수 있다. PIANC의 안벽 하역능력은 UNCTAD(1985)의 수식(II-1)에서 평균 크레인 투입수 및 크레인 생산성을 적용하는 것이 특징이다. 또한 주요 변수로 선석 점유율을 고려하고 있지만 서비스 수준을 고려한 선석 점유율이 아닌 현재 운영 선석 점유율을 적용한다.

PIANC의 장치장 하역능력(CG_{pac}) 산정식은 아래와 같다.

$$CG_{pac} = TGS \times h \times \frac{365}{t_d} \times \frac{\Psi}{p_f} \quad (\text{II-8})$$

여기서 TGS 는 장치장 가능 면적, h 는 단적수, t_d 는 체류 시간, Ψ 는 평균 장치장 점유율, p_f 는 피크계수를 의미한다. UNCTAD는 장치장 하역능력 산정 시 장치장 점유율 및 피크 계수를 고려하지 않지만 PIANC는 피크 계수의 개념이 추가된다. 피크 계수란 최대 처리량을 평균 처리량을 나눈 값으로, 이 계수를 통해 최대 장치장 이용율이 평균 장치장 이용율에 비해 얼마나 높은지 판단할 수 있는 지표이다.

5) 중국 교통운수부

중국 교통운수부는 중국의 교통 및 운송 시스템을 관리하고 규제하는 주요 부처로 중국의 도로, 철도, 항만 및 공항을 통합적으로 관리하고 운영한다. 교통운수부는 2013년 연안항만설계규범을 통해 컨테이너터미널의 하역능력 산정법을 제시했다(交通运输部, 2013; 해양수산부, 2020 재인용). 교통운수부의 안벽 하역능력 산정식은 아래와 같다.

$$CB_{cna} = \frac{t_{year} \Phi}{\frac{Q}{p t_g} + \frac{t_f}{t_d}} Q \quad (\text{II-9})$$

여기서 t_{year} 는 연간 작업 시간, Φ 는 선석 점유율, Q 는 선박당 평균 하역량(TEU), p 는 선박당 시간당 하역 속도(TEU/h), t_g 는 일일 작업 시간 t_f 하역 보조 작업 시간, t_d 는 주야 작업 시간 합계(24시간 적용)이다. 선박당 시간당 하역 속도인 p 로 산정된다.

교통운수부의 장치장 하역능력 산정식은 아래와 같다.

$$CG_{cna} = \frac{Q_h t_{dc} K_{BK}}{T_{uk}} \quad (\text{II-10})$$

여기서 Q_h 는 연간 물동량, t_{dc} 는 체류 시간, K_{BK} 는 장치장 피크 계수, T_{uk} 는 장치장 연간 작업 일수이다. 중국 교통운수부는 안벽 하역능력 산정 시 선박당 시간당 하역 속도를 산정하는 것이 다른 연구와의 차이점이며 선박당 시간당 하역 속도는 크레인 투입 대수, 크레인당 생산성 등을 고려하는 것이 특징이다.

3. 항만 서비스 수준 특징 분석

본 절에서는 항만 하역능력에 대한 개요와 함께 UNCTAD(1985), Fundación Valenciaport(2012), 해양수산부(2020)에서 정의하는 항만 서비스 수준 및 그 적용 사례를 조사하였다. 이들 기관은 항만 서비스 수준을 분석하기 위해 주로 수리모형 및 시뮬레이션 모형과 같은 분석적 접근 방식을 활용하였다. 각 방법은 안벽과 장치장의 하역능력을 산정하는 데에 다양한 요소를 고려하고 있다. 각각의 방법론은 특정한 환경 및 조건을 고려하여 하역능력을 산정한다. 하역능력의 개념 및 정의에 대한 주요 내용 및 시사점은 다음과 같다.

- 하역능력의 정의 및 구분: 항만 하역능력은 고유하역능력과 적정하역능력으로 구분됨. 고유하역능력은 이상적인 조건에서의 최대 처리 능력을 의미하며, 적정하역능력은 실제 작업 환경을 고려한 적정 서비스 수준의 하역능력을 말함
- 분석적 방법의 주요 가정: 분석적 방법은 항만 내 다양한 하위 시스템을 고려하여 하역능력을 산정함. 그러나 화물의 이동과 인도 시스템은 항만의 지면 및 용량 제한에 영향을 미치지 않는다는 가정하에, 안벽과

장치장의 하역능력으로 터미널 하역능력이 결정됨

- 서비스 수준 지표: UNCTAD, Fundación Valenciaport, PIANC, 중국 교통운수부 및 해양수산부는 각각의 방법론을 통해 하역능력을 수식 혹은 시뮬레이션을 통해 산정함. 이들은 서비스 수준에 따른 적정 선석 점유율, 선석 생산성 및 장치장 점유율을 고려하여 하역능력을 평가함

항만 서비스 수준은 항만이 제공하는 서비스의 품질과 효율성을 평가하는 기준 또는 척도로 사용된다. UNCTAD의 관점에 따르면, 항만 서비스 수준은 항만 용량과 수요 간의 균형을 중시하며, 경제적 효율성과 사용자 요구를 고려한다. 경제적 효율성은 항만 내의 비용을 최소화하고 서비스 수준을 최대화하는 것을 의미한다. Fundación Valenciaport는 서비스 수준을 선박 비용, 대기시간, 서비스시간 및 서비스 품질과 같은 주요 판단 지표를 기반으로 설명하며, 이는 항만 사용자 및 고객이 인식하는 서비스 품질을 강조한다. 마지막으로 해양수산부는 적정하역능력을 결정할 때 사회경제적 비용을 최소화하는 것을 강조한다. 이는 서비스 비용과 대기비용을 최소화하여 총비용을 줄이는 것이 중요하다는 것을 의미한다. 항만 하역능력 산정을 위한 서비스 수준의 적용은 다음과 같이 요약할 수 있다.

- UNCTAD(1985)는 대기이론과 경제성 분석을 바탕으로 선석 수에 따른 적정 선석 점유율을 산정, 산출된 선석별 선석 점유율을 적정 서비스 수준으로 간주함
- Agerchous, H.(2015)는 UNCTAD의 선석 점유율 산정 방식에서 경제성 분석 대신 W/S 비율을 활용하여 선석 수에 따른 적정 선석 점유율을 재산정, 이를 적정 서비스 수준으로 간주함
- Fundación Valenciaport(2012)는 W/S 비율과 선석 생산성을 고려

하여 선석 수와 서비스 수준을 각각 차등 적용하는 방법을 제안함

- 해양수산부(2020)는 UNCTAD(1985)의 선석 점유율(40~70%)을 기반으로 3단계 서비스 수준을 설정하고, 선석 수와 서비스 수준을 각각 차등 적용하는 방법을 사용, 장치장 점유율은 60%로 일괄 적용함

〈표 2-6〉 하역능력 산정 방식, 서비스 수준 적용 및 평가지표 요약

단위: %

구분	하역능력 산정 방식	서비스 수준 적용	서비스 수준 평가 지표
UNCTAD	수리모형	일괄적용	선석 점유율
Fundación Valenciaport	수리모형	차등적용	선석 점유율/선석 생산성
PIANC	수리모형	일괄적용	선석 점유율/장치장 점유율
중국 교통운수부	수리모형	일괄적용	선석 점유율/장치장 점유율
해양수산부	시뮬레이션	차등적용	선석 점유율/장치장 점유율

자료: UNCTAD(1985), Fundación Valenciaport(2012), PIANC(2014), 해양수산부(2020) 자료 기반 저자 작성

결론적으로, 해양수산부(2020)에서는 UNCTAD(1985)의 선석 점유율을 차용하고 있으나 서비스 수준에 따라 차등 적용하는 것이 특징이며 장치장 점유율 60%로 일괄 적용하는 것이 특징이다. 하지만 해양수산부(2020)가 차용하는 UNCTAD(1985)의 선석 점유율은 대기이론과 경제성 분석을 기반으로 했지만 선석 점유율의 산정 근거는 찾을 수 없다. Fundación Valenciaport(2012)는 W/S 비율과 선석 생산성을 근거로 선석 개수당 적정 선석 점유율과 서비스 수준의 차등 적용의 근거로 사용하고 있다.

항만 하역능력을 정확하게 산정하기 위해서는 서비스 수준에 대한 명확한 기준을 제시하는 것이 필수적이다. 이를 위해서는 항만 서비스 수준의 명확한 정의를 수립하고, 해당 정의에 기반한 서비스 수준의 분류 기준을

명확하게 제시해야 한다. 또한, 적정 하역능력 산정을 위해서는 분석적 방법론의 채택이 필수적이며, 수리모형과 시뮬레이션 기법에 활용이 가능한 서비스 수준을 제시하는 것이 중요하다. 대기이론을 활용한 경제성 분석과 W/S 비율을 활용한 적정 선석 점유율 및 서비스 수준의 도출이 연구의 활용성을 높이고 이론적 근거를 타당하게 하는 방안이 될 수 있다고 판단한다.

제2절 타 SOC 분야 서비스 수준 측정 사례

1. 도로

도로의 서비스 수준이란 도로의 통행속도, 통행시간, 통행 자유도, 안락감, 교통안전 등 도로의 운영 상태를 나타낸다(한국도로공사, 2020). 도로가 적절한 이동 기능을 확보하고 있다는 것은 도로가 적절한 서비스 수준을 유지하고 있다는 의미이다. 도로에서 서비스 수준은 설계 단계에서는 도로 용량 분석과 함께 목표하는 서비스 수준을 만족할 수 있는 교통시설의 규모를 결정할 때 활용된다. 또한 운영 단계에서는 도로·교통·교통 운영 조건이 주어졌을 때 교통류의 서비스 수준과 특성을 분석할 때 활용되며, 이를 바탕으로 도로 공급 정책의 판단 지표로 삼거나 기존 도로의 운영 개선을 모색한다. 도로의 서비스 수준은 A에서 F까지 6등급으로 구분된다.

〈그림 2-7〉 서비스 수준별 교통류의 상태

서비스 수준	구분	교통류의 상태
A	자유 교통류	사용자 개개인들은 교통류 내의 다른 사용자의 출현에 실질적으로 영향을 받지 않는다. 교통류 내에서 원하는 속도 선택 및 방향 조작 자유도는 아주 높고, 운전자와 승객이 느끼는 안락감이 매우 우수하다.
B	안정된 교통류	교통류 내에서 다른 사용자가 나타나면 주위를 기울이게 된다. 원하는 속도 선택의 자유도는 비교적 높으나 통행 자유도는 서비스수준 A보다 어느 정도 떨어진다. 이는 교통류 내의 다른 사용자의 출현으로 각 개인의 행동이 다소 영향을 받기 때문이다.
C	안정된 교통류	교통류 내의 다른 차량과의 상호작용으로 인하여 통행에 상당한 영향을 받기 시작한다. 속도의 선택도 다른 차량의 출현에 영향을 받으며, 교통류 내의 운전자가 주위를 기울여야 한다. 이 수준에서 안락감은 상당히 떨어진다.
D	안정된 교통류 높은밀도	속도 및 방향 조작 자유도 모두 상당히 제한되며, 운전자가 느끼는 안락감은 일반적으로 나쁜 수준으로 떨어진다. 이 수준에서는 교통량이 조금만 증가하여도 운행 상태에 문제가 발생한다.
E	용량상태 불안정 교통류	교통류 내의 방향 조작 자유도는 매우 제한되며, 방향을 바꾸기 위해서는 차량이 길을 양보하는 강제적인 방법을 필요로 한다. 교통량이 조금 증가하거나 작은 혼란이 발생하여도 와해 상태가 발생한다.
F	강제류 또는 와해상태	도착 교통량이 그 지점 또는 구간 용량을 넘어선 상태이다. 이러한 상태에서 차량은 자주 멈추며 도로의 기능은 거의 상실된 상태이다.

자료: 국토해양부(2013), p. 3.

도로 설계 단계에서 설계 서비스 수준은 해당 도로의 혼잡도를 어느 정도 허용할지를 결정하는 기본적인 기준으로 사용된다. 이 수준은 도로의 기능, 특성, 위치, 교통 여건 등을 종합적으로 고려하여 설정된다(국토교통부, 2023).

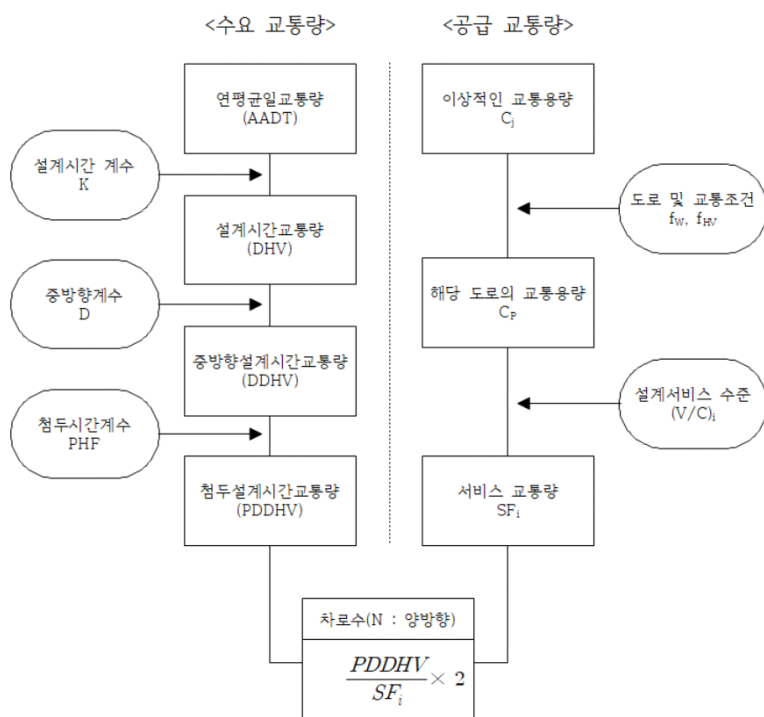
도시 지역 도로에는 혼잡도가 비교적 높아도 운전자들이 이를 수용하는 경우가 많으며, 도로 부지를 확보하기 어려운 점을 고려하여 설계 서비스 수준을 낮게 설정하는 경향이 있다. 이는 도시 내 제한된 공간과 높은 교통 밀도를 반영한 결과로, 혼잡을 일부 허용하면서도 도로 기능을 유지하는 방향으로 설계가 이루어진다(국토해양부, 2013).

반면, 지방 지역 도로에는 부지 확보가 도시 지역에 비해 상대적으로 용이

하며, 주로 지역 간 장거리 통행을 담당하는 특성을 가진다. 이러한 이유로 지방 도로는 높은 서비스 수준을 적용하여 원활한 교통 흐름과 효율적인 운송을 보장하는 것이 일반적이다. 특히, 지역 간 고속도로의 경우 이러한 특성을 더욱 반영해 도시 지역 도로보다 나은 서비스 수준으로 설계된다(국토해양부, 2013).

이러한 설계 서비스 수준에 따라 도로의 차로 수가 결정되며, 일반적으로 지방 지역 고속국도는 서비스 수준 C를, 그 외 도로는 서비스 수준 D를 기준으로 설정한다. 또한, 서비스 수준을 기반으로 수요 교통량과 차로당 공급 가능 교통량을 비교하여, 필요한 차로 수를 산정할 수 있다.

〈그림 2-8〉 차로수 산정과정(다차로도로)



자료: 국토교통부(2023), p. 7.

도로 교통시설의 서비스 분석 방법은 시설의 종류에 따라 다르며, 각 시설의 특성을 반영한 효과척도를 기반으로 평가된다. 효과척도는 도로별 교통 특성을 정확히 반영하고, 측정이 용이하며, 다른 효과척도를 대체할 수 있는 대표성을 가져야 한다.

〈표 2-7〉 도로 교통시설별 효과 척도

구분			효과 척도
연속류	고속국도	기본구간	밀도, 교통량 대 용량비
		엇갈림구간	평균 밀도
		연결로 접속부	영향권의 밀도
	다차로 도로		평균 통행속도, 교통량 대 용량비
	2차로 도로		총지체율, 평균 통행속도
단속류	신호교차로		차량당 평균 제어 지체
	도시 및 교외간선도로		평균통행속도
	비신호 교차로	양방향 정지 교차로	평균운영지체
		무통제 교차로	방향별 교차로 진입교통량, 시간당 상충 횟수

자료: 국토해양부(2013), 효과 척도 관련 자료 기반 저자 재작성

도로 교통시설 중 대표적으로 고속도로 기본구간³⁾의 서비스 수준 분석 방법을 구체적으로 살펴보면, 고속도로 기본구간의 서비스 수준 효과 척도는 교통량 대 용량비(V/c 비)와 밀도이다. 운영 상태 분석 시에는 분석 대상 도로의 교통량 대 용량비를 산출하고, 이에 상응하는 밀도값을 보간법으로 찾아 서비스 수준을 결정한다. 계획 및 설계 단계에서는 계획 도로의 수요 교통량을 목표 서비스 수준의 공급 서비스 교통량으로 나누어 소요 차로수를 산정한다.

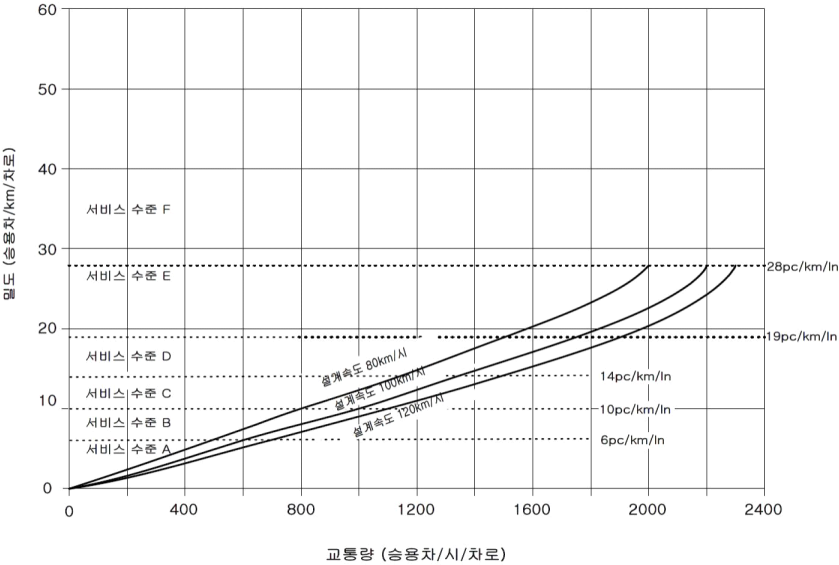
3) 고속도로는 기본구간, 엇갈림 구간, 연결로 및 연결로 접속부로 구성됨

〈그림 2-9〉 고속도로 기본 구간의 서비스 수준

서비스수준	밀도 (pcpkmpl)	설계 속도 120kph		설계 속도 100kph		설계 속도 80kph	
		교통량 (pcphpl)	V/c 비	교통량 (pcphpl)	V/c 비	교통량 (pcphpl)	V/c 비
A	≤ 6	≤ 700	≤ 0,30	≤ 600	≤ 0,27	≤ 500	≤ 0,25
B	≤ 10	≤ 1,150	≤ 0,50	≤ 1,000	≤ 0,45	≤ 800	≤ 0,40
C	≤ 14	≤ 1,500	≤ 0,65	≤ 1,350	≤ 0,61	≤ 1,150	≤ 0,58
D	≤ 19	≤ 1,900	≤ 0,83	≤ 1,750	≤ 0,80	≤ 1,500	≤ 0,75
E	≤ 28	≤ 2,300	≤ 1,00	≤ 2,200	≤ 1,00	≤ 2,000	≤ 1,00
F	> 28	-	-	-	-	-	-

주 : 1) pcpkmpl은 대/km/차로 (passenger car per km per lane)
2) pcphpl은 대/시/차로 (passenger car per hour per lane)
3) V/c 는 통과 교통량 대 용량의 비
자료: 국토해양부(2013), p. 20.

〈그림 2-10〉 고속도로 기본 구간의 밀도-교통량 곡선과 서비스 수준



자료: 국토해양부(2013), p. 21.

2. 철도

철도의 서비스 수준이란 철도 노선 및 차량과 같은 철도시설의 혼잡 정도를 A에서 F까지 구분한 것으로, 철도시설의 적정 투자 시기를 예측·결정하기 위한 철도 용량 분석 시 활용한다. 서비스 수준 분석을 위한 철도노선 용량의 효과 척도는 철도노선용량 이용률(v/c)⁴⁾, 철도차량용량의 효과 척도는 입석 승객의 밀도이다.

〈표 2-8〉 철도노선용량의 효과 척도

LOS	내용	고속철도 전용구간		일반철도 혼용구간		도시철도 전용구간	
		v/c	최대운행 가능속도 대비 운행 속도비 (%)	v/c	최대운행 가능속도 대비 운행 속도비 (%)	v/c	최대운행 가능속도 대비 운행 속도비 (%)
A	지연 없음	<0.30	100	<0.30	100	<0.30	100
B	거의 지연 없음	<0.50	100	<0.50	100	<0.50	100
C	회복(정시도착) 가능한 지연 발생	<0.70	100	<0.70	100	<0.70	100
D	회복(정시도착) 불가능한 지연 다소 발생	<0.85	100	<0.85	100	<0.85	100
E	회복(정시도착) 불가능한 지연 다소 발생	<1.00	95	<1.00	97	<1.00	92
F	이론 및 현실적 운영 가능 하나 철도운영에 비효율 초래	1.00≤	85	1.00≤	88	1.00≤	80

자료: 한국철도시설공단(2017), p. 16.

4) 철도노선 이용률'은 철도노선용량(C) 대비 실제 운행되는 열차운행 횟수(v)의 비(v/c)를 의미함. 이를 철도 Diagram(Dia)상에서 표현 하면, 유효 시간대와 설정열차의 종별, 선로보수 등에 따라 열차를 설정할 수 있는 시간으로 1일 24시간에 대한 비율

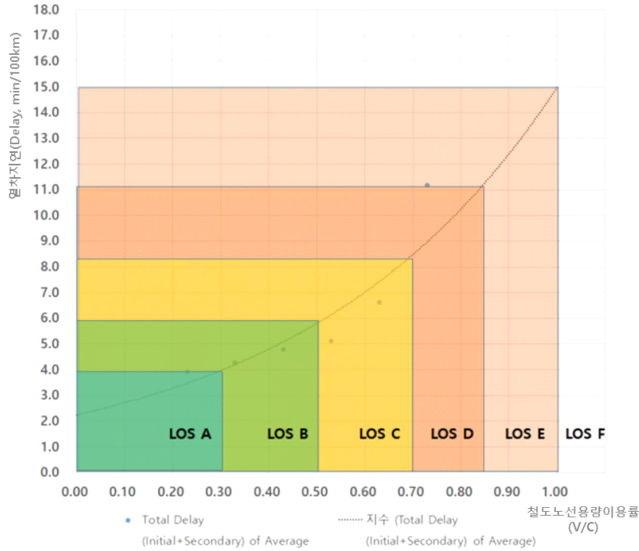
〈표 2-9〉 철도차량용량의 효과 척도

LOS	점유면적(m ² /인)	이격거리(m)	상태
A	$1.18 \leq A$	$1.2 \leq L$	자유 흐름의 영역
B	$0.78 \leq A < 1.18$	$1.0 \leq A < 1.2$	타인이 무리 없이 통과 가능
C	$0.54 \leq A < 0.78$	$0.8 \leq A < 1.0$	타인 통과 시 불편을 끼침
D	$0.34 \leq A < 0.54$	$0.6 \leq A < 0.8$	타인과의 접촉 없이 대기 가능
E	$0.23 \leq A < 0.34$	$L < 0.6$	타인과의 접촉 없이 대기 불가능
F	$A < 0.23$	꽉찬 상태	타인과 밀착, 심리적 불쾌 상태

자료: 한국철도시설공단(2017), p. 16.

특히 철도노선의 서비스 수준의 핵심 평가지표는 열차지연시간이다. 철도노선 서비스 수준 평가항목으로는 공급성과 신뢰성이 있으며, 공급성 평가지표로는 열차운행속도, 평균운행속도, 혼잡도, 신뢰성 평가지표로는 정시율과 운행취소율이 있으나 지표간 상관관계와 현실을 고려했을 때 유의미한 지표로 열차 지연 시간을 중심으로 평가한다. 열차 지연 시간은 여유시분과 반비례, 여유시분은 철도노선용량 이용률(v/c)과 반비례하므로 실제로는 철도노선용량 이용률로 서비스 수준을 평가한다. 철도노선용량 이용률은 열차운행횟수(회/일)/철도노선용량(회/일)으로 계산한다.

〈그림 2-11〉 열차지연과 철도노선용량 이용률간 관계



자료: 한국철도시설공단(2017), p. 51.

한편, 철도설계기준과 도시철도 정거장 및 환승·편의시설 설계지침에서는 철도건축물(철도역사 포함) 및 도시철도 정거장의 설계서비스 수준을 정하고 있다. 공통적으로 Fruin(1970)의 보행자 공간 서비스 수준 이론을 기준으로 하고 있으며, 시설별 서비스 수준은 공간모듈(m^2 /인), 밀도($인/m^2$), 흐름계수($인/m \cdot 분$), 평균 간격을 기준으로 A에서 F까지 구분한다. 철도설계기준에서는 이용객 수가 가장 많은 피크구간(첨두시간대) 기준으로 이용객의 편의성 투자재원의 효율성, 사회·경제적인 측면을 고려하여 승강장 및 내·외부 계단은 D 이상, 환승통로는 E 이상의 수준을 요구하고 있다. 도시철도 정거장의 서비스 수준은 “정거장 설계자가 보행공간의 질을 결정하기 위하여 대기공간, 보행로 및 계단에서 보행자의 보행속도나 보행흐름의 난이도를 어느 정도까지 허용할 것인가를 결정하는 척도로서 보행자 1인당 점유면적을 기초로 하여 단계별로 설정한 기준”로 정의하고

있으며(김광모 외, 2012), 승강장 및 내·외부 계단, 환승통로에서 요구하는 서비스 수준은 철도설계기준과 동일하다.

3. 공항

공항 부문에서는 여객터미널의 소요 면적 산정 시 여객에 의해 경험되는 시설의 서비스 질과 조건을 근거로 한 서비스 수준에 따라 시설 용량을 산정한다. 서비스 수준은 각 시설 및 기능에서 대기시간, 수속시간, 혼잡도를 기준으로 하며, 개별 공항의 특성을 반영하여 설정될 수 있다. 첨두시의 항공 여객 수와 취항항공기 좌석수 중 큰 값을 적용하여 서비스 수준별 1인당 소요시설 면적을 산정한다.

〈그림 2-12〉 공항 여객터미널 서비스 수준

- 서비스 수준-I: 수속대기 및 지체가 전혀 없이 수속처리 흐름이 매우 양호한 상태
- 서비스 수준-II: 수속대기 및 지체가 거의 없이 수속처리 흐름이 비교적 양호한 상태
- 서비스 수준-III: 수속대기 및 지체가 비교적 안정적인 상태로 수속처리 흐름이 적절한 상태이며, 이상적인 공사비로 건설 가능
- 서비스 수준-IV: 수속대기 및 지체가 있어 수속처리 흐름에 다소 지장을 초래하며 비교적 혼잡한 상태
- 서비스 수준-V: 불충분한 서비스 수준으로 불안정한 여객 흐름을 보이고 수용하기가 어려운 지체가 발생하며 안락함이 불충분한 상태

자료: 한국개발연구원 공공투자관리센터(2023), p. 188.

〈그림 2-13〉 침두시 여객당 국제선 여객터미널 면적 산정 기준

구분		처리시설		서비스 수준별 소요시설(㎡)				
				수준-Ⅰ	수준-Ⅱ	수준-Ⅲ	수준-Ⅳ	수준-Ⅴ
여객 이용 시설	수속 및 대기 시설	발권 및 수하물 탁송	면적(㎡)	0.833	0.752	0.651	0.612	0.578
			개	0.023	0.021	0.018	0.017	0.016
		출발보안검색	면적(㎡)	0.132	0.129	0.127	0.123	0.119
			개	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
		출국심사	면적(㎡)	0.134	0.129	0.121	0.114	0.108
			개	0.0062	0.0059	0.0056	0.0053	0.0050
		출국검역	면적(㎡)	0.134	0.129	0.121	0.114	0.108
			개	-	-	-	-	-
		입국검역	면적(㎡)	0.27	0.264	0.252	0.241	0.233
			개	-	-	-	-	-
		입국심사	면적(㎡)	0.27	0.264	0.252	0.241	0.233
			개	0.0153	0.0150	0.0142	0.0136	0.0132
		입국보안검색	면적(㎡)	0.132	0.129	0.127	0.123	0.119
			개	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
		수하물인도장	면적(㎡)	0.787	0.667	0.578	0.551	0.526
			길이(m)	0.055	0.047	0.040	0.039	0.037
		세관검사	면적(㎡)	0.311	0.285	0.262	0.251	0.242
			개	0.0065	0.006	0.0054	0.0052	0.005
		Recheck 지역	면적(㎡)	-	-	-	-	-
		환승보안검색	면적(㎡)	-	-	-	-	-
		환승카운터지역	면적(㎡)	-	-	-	-	-
		면적 계(㎡)			3.00	2.75	2.49	2.37
	대기 시설	일반대합실	출발(㎡)	1.61	1.44	1.26	1.09	0.91
			도착(㎡)	1.12	1.00	0.87	0.75	0.63
			계(㎡)	2.73	2.44	2.13	1.84	1.54
			격리대합실(㎡)	1.30	1.15	0.95	0.75	0.55
		환승라운지(㎡)		-	-	-	-	-
면적 계(㎡)		4.03	3.59	3.08	2.59	2.09		
편의 및 공용 시설(㎡)		9.99	8.44	7.16	5.90	5.00		
소계(㎡)		17.02	14.78	12.73	10.86	9.36		
여객 이용 관련 시설(㎡)			13.88	12.12	10.37	8.84	7.64	
합계(㎡)			30.9	26.9	23.1	19.7	17	

자료: 한국개발연구원 공공투자관리센터(2023), p. 46.

한편, 한국개발연구원 공공투자관리센터(2023)의 공항부문 예비타당성 조사 세부지침에서는 예비타당성조사 단계에서 개별 공항의 특성이 모두 반영된 여객터미널 서비스 수준을 제시하는 것이 어려우므로, 여객 터미널의 규모를 추가적으로 확보하고자 한다면 주무 부처에서 서비스 수준 및 해당 면적에 대한 근거를 명확히 확보하여 제시하여야 한다고 밝히고 있다. 가덕도 신공항 건설사업의 경우 국토교통부에서는 사전타당성 검토를 통해 서비스 수준 I을 적용하는 것이 적절하며, 추가 면적 확보가 필요한 것으로 검토하였다(국토교통부, 2022). 이 결과를 바탕으로 2023년 사업계획 적정성 검토에서는 서비스 수준 I을 적용하였다(한국개발연구원 공공투자관리센터, 2023). 이러한 최근 사례를 미루어 보았을 때 여객 터미널의 서비스 수준 설정에 대한 명확한 기준은 없으나, 대형 공항의 경우 운영전략에 따라 높은 서비스 수준을 제공할 수 있도록 하는 방향으로 서비스 수준을 설정하고 있다.

한편, 여객터미널은 서비스 수준에 따라 소요 면적이 산정되지만 화물터미널의 면적 산정 기준은 자동화 정도에 따른 수준에 따라 소요면적이 산정된다. 수준-I은 자동화장비를 설치하여 컨테이너를 단층 또는 다층으로 적치하고 화물을 이동·처리, 수준-II는 지게차 등과 같은 운반 장비를 통해 화물을 이동·처리, 수준-III은 사람의 손에 의한 화물의 이동·처리가 이루어진다.

〈표 2-10〉 화물터미널 면적산정 기준

구분	내용		
	수준-I	수준-II	수준-III
국내선	0.066m ² /ton (15.1ton/m ²)	0.116m ² /ton (8.6ton/m ²)	0.203m ² /ton (4.9ton/m ²)
국제선	0.029m ² /ton (35.0ton/m ²)	0.050m ² /ton (20.0ton/m ²)	0.088m ² /ton (11.4ton/m ²)

자료: 한국개발연구원 공공투자관리센터(2023)

4. 타 SOC 사례 서비스 수준 특징 분석

1) 도로

도로의 서비스 수준은 도로의 운영 상태를 나타내는 중요한 척도로, 다양한 요소를 포함하여 도로 사용자의 경험을 측정한다. 여기에는 통행속도, 통행시간, 통행 자유도, 안락감, 교통안전 등이 포함된다. 이러한 요소들은 도로의 이동 기능성 및 효율성을 유지하고 개선하는데 중요한 역할을 한다. 도로 부문의 서비스 수준의 주요 특징은 등급 분류, 효과척도, 설계 및 운영 적용, 도로 유형에 따른 차별화이다.

먼저 도로의 서비스 수준은 A에서 F까지의 등급으로 분류된다. A가 가장 우수한 상태를 나타내고 F는 가장 낮은 수준을 의미하는데, 각 등급은 도로의 통행 효율과 사용자의 경험을 기반으로 결정된다. 두 번째는 효과 척도이다. 도로에서 서비스 수준을 측정하고 평가하기 위해 여러 효과 척도가 사용된다. 예를 들어, 고속도로의 경우 교통량 대 용량비와 밀도가 주요 효과 척도로 활용되어, 이 두 척도를 통해 도로의 서비스 수준을 정량적으로 평가한다. 세 번째는 설계 및 운영 적용이다. 설계 단계에서는 도로 용량 분석과 함께 목표 서비스 수준을 고려하여 교통시설의 규모 및 차로 수 등을 결정한다. 운영 단계에서는 실제 교통 조건과 운영 데이터를 분석하여 도로의 서비스 수준을 평가하고, 필요한 경우 개선 방안을 모색한다. 마지막으로 도로 유형에 따른 차별화이다. 도로 부문에서는 도시 지역과 지방 지역의 도로에서 다른 서비스 수준이 적용된다. 도시 지역의 도로는 일반적으로 더 낮은 서비스 수준을 갖도록 설계되어 있으며, 지방 지역의 고속도로는 더 높은 서비스 수준으로 설계된다.

도로 부문의 서비스 수준은 이와 같이 복잡한 요소들의 조합을 통해 평가되며, 각 요소는 도로의 사용자의 전반적인 만족도와 직결되는 중요한

지표이다. 이를 통해 도로 설계 및 운영 전략을 계획하고 실행한다.

2) 철도

철도의 서비스 수준은 철도 운영의 효율성과 승객 만족도를 나타내는 중요한 지표이다. 이는 주로 철도 노선 및 차량의 혼잡도를 기준으로 측정되며, 철도 시설의 적정 투자 시기와 용량 관리에 필수적인 정보를 제공한다. 철도 서비스 수준을 구분하고 평가하는 주요 특징은 등급 분류, 효과척도, 운영 효율성 평가 및 설계 및 계획 기준이다.

먼저 철도 서비스 수준은 도로 부문과 동일하게 A에서 F까지의 등급으로 나누어진다. 각 등급은 철도 운영의 효율성, 혼잡도 및 승객의 편안함을 반영한다. 가장 높은 등급인 A는 지연이 거의 없는 상태를 의미하며, F등급은 운영이 가능하긴 하지만 매우 비효율적인 상태를 나타낸다. 두 번째는 효과 척도이다. 철도 서비스 수준의 핵심 효과 척도는 철도노선용량 이용률(v/c)로, 이는 실제 열차 운행 횟수 대비 철도 노선의 용량을 나타내는 지표이다. 또한, 철도차량용량의 효과 척도는 입석 승객의 밀도를 포함하여, 차량 내 승객의 편안함과 이동 공간을 측정한다. 세 번째는 운영 효율성 평가이다. 철도의 서비스 수준 평가는 열차 지연 시간을 중심으로 수행된다. 이는 열차의 정시 도착 가능성과 직결되며, 운영 신뢰성과 직접적인 연관이 있다. 철도노선의 v/c 비율이 높아질수록 지연 가능성이 증가하며, 이는 서비스 수준의 하락을 의미한다. 마지막으로 설계 및 계획 기준이다. 철도의 서비스 수준은 철도 설계 및 계획에 있어 중요한 기준점을 제공한다. 예를 들어, 승강장, 내·외부 계단, 환승 통로 등의 설계는 최소한의 서비스 수준을 충족해야 하며, 이는 승객의 편의성과 안전을 보장하기 위해 필요하다.

철도의 서비스 수준은 승객의 경험과 철도 서비스의 운영 효율성을 직접

적으로 반영하는 중요한 지표로, 이를 통해 철도 운영과 관련된 여러 의사 결정이 이루어 진다. 철도 운영의 개선, 용량 확장, 그리고 새로운 노선의 개발 등의 계획에서도 중요한 역할을 한다.

3) 공항

공항의 서비스 수준은 여객 터미널의 운영 효율성, 승객의 만족도 및 전반적인 편안함을 평가하는 중요한 지표이다. 이는 공항 설계, 용량 계획, 그리고 서비스 제공 방식에 큰 영향을 미치며 등급 분류, 효과 척도, 공항 특성 반영 및 공항 설계 및 계획과 같은 특징이 있다.

먼저 타 사례와 마찬가지로 공항 서비스 수준도 I에서 V까지의 등급으로 분류되며, 각 등급은 수속 대기시간, 지체 시간, 수속 처리 흐름의 질을 기반으로 한다. 최고 수준인 I은 효율적이고 지체가 없는 흐름을, 가장 낮은 수준인 V는 불안정하고 혼잡한 흐름을 의미한다. 두 번째는 효과 척도이다. 공항 부문의 효과 척도는 대기시간, 수속시간, 혼잡도이다. 이 척도들은 공항의 여객 처리 능력과 직접적으로 관련되어 있으며, 이를 통해 여객 터미널의 소요 면적과 같은 인프라 요구사항을 산정한다. 세 번째는 공항의 특성 반영이다. 개별 공항의 특성은 서비스 수준 설정에 크게 기여한다. 공항의 위치, 항공 트래픽의 성격, 지역적 요구사항 등이 모두 고려되어, 각 공항의 구체적인 상황에 맞는 서비스 수준을 결정한다. 마지막으로 공항 설계와 계획이다. 공항의 서비스 수준은 터미널의 설계, 확장 계획, 그리고 운영 방식을 결정하는 데 중요한 역할을 한다. 예를 들어, 첨두시의 항공 여객 수와 취항 항공기 좌석 수를 바탕으로 한 서비스 수준별 면적산정은 공항 설계와 용량 계획의 기준이 된다.

제3절 항만 서비스 수준의 정의 및 특성

1. 항만 서비스 수준 정의

본 연구는 항만 서비스 수준을 아래와 같이 정의한다.

- 항만 서비스 수준은 선박의 대기시간, 안벽 작업의 신속성, 그리고 장치장 처리 능력의 효율성을 종합적으로 고려한 운영 품질 상태

선박의 대기시간은 선박이 항만에 도착하여 처리를 기다리는 시간을 의미하며, 이는 항만의 운영 효율성을 직접적으로 반영한다. 대기시간이 짧다는 것은 항만이 선박 입출항을 신속하게 처리하고 있으며, 선박의 스케줄 준수와 운영 비용 절감에 기여하고 있다는 지표로 활용될 수 있다. 안벽 작업의 신속성은 하역 과정에서의 작업 속도를 말하며, 이는 항만의 하역 효율성과 직결된다. 작업이 신속하게 이루어질수록 더 많은 화물을 처리할 수 있으며, 선박의 회전율을 증가시켜 항만의 처리 용량과 수익성을 높일 수 있다. 장치장 처리 능력의 효율성은 장치장에서 화물을 얼마나 효과적으로 관리하고 처리하는지를 나타낸다. 이는 화물의 체류 시간, 정확한 위치 배정 및 최적의 공간 활용을 통해 평가될 수 있다. 효율적인 장치장 운영은 화물의 신속한 이동 및 인도 가능성을 높이며, 전체적인 항만 운영의 신속성과 정확성을 보장한다.

항만 서비스 수준의 특성은 도로, 철도 및 공항의 서비스 수준 특성과 유사한 방식으로 평가될 수 있다. 항만 서비스 수준은 항만의 운영 효율성, 하역능력, 접근성, 안전성 등 전반적인 서비스 제공을 평가하는 중요한 지표로 특징된다. 타 사례 서비스 수준 분석에 따른 항만 서비스 수준의 주요 필요 특성은 등급 분류, 효과 척도, 항만설계 및 운영 적용, 항만 특성에

따른 차별화이다.

2. 항만 서비스 수준의 주요 특성

1) 등급 분류

항만 서비스 수준 등급 분류의 목적은 항만의 서비스 수준을 구체적인 등급으로 분류함으로써 운영자와 이용자가 항만의 현재 서비스 상태를 명확하게 인식하고 기대하게 하는 것이다. 항만 서비스 수준의 등급 분류는 선박 대기, 안벽 작업 및 장치장 처리 능력에 따라 구분할 수 있다.

〈표 2-11〉은 항만의 서비스 수준을 다섯 가지 주요 등급(I-우수, II-양호, III-보통, IV-미흡, V-불안정)으로 세분화하여 정의한 것을 나타내고 있다. 각 등급은 선박의 대기시간, 안벽에서의 하역 작업 속도, 그리고 장치장에서의 화물 처리 효율성을 기준으로 평가된다. 이러한 분류는 항만 운영자와 이용자에게 각 항만의 운영 상태를 명확하게 이해하고 예상할 수 있는 기준을 제공하며, 서비스 개선을 위한 명확한 목표 설정에 도움을 줄 수 있다.

<표 2-11> 항만 서비스 수준별 상태 정의

서비스 수준	선박 대기	안벽 작업	장치장 처리
I (우수)	선박 대기시간이 매우 짧고 즉시 접안 및 하역 작업이 가능함	접안 및 하역 작업이 매우 신속하게 처리됨	충분한 화물 체류 시간을 보장하며 화물 이동과 인도가 매우 신속함
II (양호)	선박 대부분이 예정된 시간 내에 접안이 가능함	접안 및 하역에 문제가 없으며 효율적인 운영을 보여줌	화물이 예정된 기간 동안 체류하며 이동 및 인도 작업이 효율적으로 처리됨
III (보통)	약간의 대기가 발생할 수 있으나 일반적으로 수용 가능함	약간의 작업 지연이 발생할 수 있으나 예상 범위 내에 작업이 완료됨	화물이 예정된 기간 동안 체류하나 처리 과정에서 소폭의 지연이 있을 수 있음
IV (미흡)	항만 내 일부 지연이 발생하나 선박 일정과 운영에 다소 영향을 줄 수 있음	안벽 작업에 지연이 발생하여 항만 운영에 영향을 미침	장치장 처리 능력이 부족하여 항만 운영에 영향을 미침
V (불안정)	선박 대기시간이 매우 길어져 선박 일정과 운영에 심각한 영향을 미침	안벽 작업에 매우 많은 시간이 소요되며 항만 운영에 심각한 영향을 미침	장치장 처리 능력이 매우 부족하여 항만 운영에 심각한 영향을 미침

자료: 저자 작성

I 등급(우수)에서는 모든 작업이 최적의 조건에서 이루어져 선박의 접안과 하역, 화물의 인도까지 신속하게 처리된다. 이는 항만의 최고 수준의 효율성과 운영 능력을 나타내며, 선박과 화주에게 최상의 서비스를 제공한다. 반면, V등급(불안정)은 항만 운영의 심각한 문제를 나타내며, 많은 지연과 운영의 비효율성으로 인해 선박 일정과 전반적인 항만 운영에 부정적인 영향을 미친다. 이 등급에서는 개선이 시급히 필요함을 시사하며, 관리 및 운영 전략의 전면적인 재검토가 요구된다.

서비스 수준에 대한 인식은 선박 대기, 안벽 작업, 장치장 처리 능력이라는 세 가지 주요 요소 중 가장 낮은 성과를 보이는 요소가 해당 항만의 종합적인 서비스 수준으로 인식될 수 있다. 이는 항만 운영에서 특정 부문이 상대적으로 낮은 효율을 보일 경우, 전반적인 서비스 수준에 부정적인 영

향을 미치게 됨을 시사한다. 따라서 항만 운영자는 모든 요소에서 균형 잡힌 성과를 달성해야 하며, 서비스 수준의 개선을 위해서는 취약한 요소에 대한 집중적인 관리와 개선이 필요하다. 이러한 접근은 항만의 전반적인 운영 효율성을 향상하고, 항만 이용자에게 일관된 서비스 경험을 제공하는 데 필수적인 전략적 기준으로 작용할 수 있다.

2) 효과척도

항만 서비스 수준의 효과 척도는 각 등급을 정의하고 평가하기 위해 사용되는 구체적인 지표들을 말한다. 이러한 척도는 선박의 대기시간, 안벽 작업의 신속성, 그리고 장치장 처리 능력, 세 가지 주요 영역에서 항만의 성능을 객관적으로 측정하고 평가하는 중요한 지표이다. 본 연구에서는 구분된 세 가지 주요 영역을 평가하는 효과 척도와 서비스 수준을 종합적으로 평가하는 종합 척도를 제시한다.

먼저 종합 척도는 선석 점유율과 장치장 점유율이다. 종합 척도인 선석 점유율과 장치장 점유율은 항만의 전반적인 운영 효율과 공간 활용도를 객관적으로 평가하는데 중요한 지표이다. 선석 점유율은 항만 내 선석이 얼마나 효율적으로 사용되고 있는지를 나타내며, 이는 선박의 대기시간, 안벽 작업의 신속성과 직접적인 관련이 있다. 장치장 점유율은 컨테이너가 장치장 내에서 얼마나 효과적으로 관리되고 있는지를 보여주며, 항만 장치장 내 효율성과 연관된다.

선박 대기 관점에서는 선박 도착률과 평균 대기시간을 효과 척도로 선정한다. 선박 도착률은 항만 운영 시간 동안 입항하는 선박의 수를 의미한다. 이는 항만의 접근성과 처리능력을 평가하는 데 사용된다. 도착률이 높을수록 항만이 더 많은 선박을 효율적으로 처리하고 있다는 지표가 된다. 평균 대기시간은 선박이 항만에 도착한 후 접안할 때까지의 평균 대기시간을 의미한다. 이 시간이 짧을수록 항만의 서비스 효율성이 높다는 것을 의미한다.

안벽 작업 관점의 효과 척도로는 서비스율, 평균 서비스 시간, 안벽, 선박 및 크레인 생산성을 제시한다. 서비스율은 접안하는 선박 수 대비 안벽에서의 작업 시간을 나타낸다. 이를 통해 항만의 하역 작업 속도와 효율성을 평가할 수 있다. 평균 서비스 시간은 접안한 선박당 평균 서비스 시간을 측정하여, 항만이 선박 하역 작업을 얼마나 신속하게 처리하는지를 보여준다. 안벽 생산성은 접안 시간 대비 안벽에서 처리된 총화물량(TEU)을 측정한다. 선박 생산성은 입항 시간 동안 처리된 화물량으로 선박의 처리 능력을 평가하며 크레인 생산성은 크레인이 작업 시간 동안 처리한 화물량을 측정하여, 크레인의 작업 효율을 나타낸다.

마지막으로 장치장 처리 관점에서는 화물 체류 시간을 제시한다. 화물 체류 시간은 컨테이너가 장치장에 도착하여 최종적으로 반출될 때까지의 총 체류 시간을 의미한다. 이 시간이 짧을수록 장치장의 운영 효율이 높다는 것을 나타낸다.

〈표 2-12〉 항만 서비스 수준별 효과 척도

구분	효과 척도	단위	산정식
종합	• 선석 점유율	• 퍼센트(%)	• 접안 시간/운영 시간
	• 장치장 점유율	• 퍼센트(%)	• 평균 장치량/장치장 면적
선박 대기	• 선박 도착률	• 입항 척수/시간(h)	• 입항 척수/항만 운영 시간
	• 평균 대기시간	• 시간(h)	• 총 대기시간/입항 척수
안벽 작업	• 서비스율	• 접안 척수/시간(h)	• 접안 척수/안벽 작업 시간
	• 평균 서비스 시간	• 시간(h)	• 총 서비스 시간/접안 척수
	• 안벽 생산성	• TEU/시간(TEU/h)	• 안벽에서 처리된 화물량/접안 시간
	• 선박 생산성	• TEU/시간(TEU/h)	• 항만에서 처리된 화물량/입항 시간
	• 크레인 생산성	• TEU/시간(TEU/h)	• 크레인이 처리한 화물량/크레인 작업 시간
장치장 처리	• 화물 체류 시간	• 시간(h)	• 총 체류 시간/컨테이너 반출입량

자료: 저자 작성

3) 설계 및 운영 적용

항만의 설계와 운영 전략은 계획된 서비스 수준을 실제로 구현하고 지속적으로 유지하는 데 필수적이다. 먼저 항만의 설계 단계에서는 서비스 수준 목표를 명확히 설정하고, 이에 필요한 인프라와 자원을 계획해야 한다. 설계 단계에서 목표한 서비스 수준을 달성하기 위해 다음과 같은 요소들을 고려할 수 있다.

첫 번째는 선석의 길이이다. 선박의 크기와 종류에 따라 필요한 선석의 길이를 측정하고, 이에 맞추어 충분한 길이의 선석을 설계하여 다양한 선박이 동시에 접안할 수 있도록 해야 한다. 이는 대형선박의 처리 능력을 확보하고, 항만의 운영 효율성을 높이는 데 기여할 수 있다. 두 번째는 크레인 수 및 성능이다. 효율적인 하역 작업을 위해 필요한 크레인의 수와 기술적 성능을 평가해야 한다. 세 번째는 장치장 공간이다. 충분한 장치장 공간을 확보하여 화물의 빠른 처리와 저장이 가능하도록 해야 한다. 마지막으로 이송 장비이다. 최신 기술을 활용한 이송 장비를 도입하여 컨테이너의 항만 내 처리 시간을 단축할 수 있다.

운영 단계에서는 설계된 인프라를 활용하여 일상적인 활동을 지원하고, 다음과 같은 전략을 통해 효율적인 운영을 유지해야 한다. 첫 번째, 추가적인 터미널 개발이다. 선박 및 화물 트래픽 증가에 따라 추가 터미널을 개발하여 처리 용량을 확대해야 한다. 이는 증가하는 예측 물동량과 피크 시간에 따른 병목 현상을 완화하여 기존 터미널의 서비스 수준을 유지하는 데 기여한다. 두 번째는 항만 재개발 프로젝트이다. 기존의 항만 시설을 현대화하고 재구성하여 운영 효율을 높이고, 환경적 지속 가능성을 개선해야 한다. 마지막으로 스마트 항만 기술의 적용이다. IoT, 자동화, 데이터 분석 등의 스마트 기술을 적용하여 항만 운영 효율성을 향상해야 한다. 이 기술들은 실시간으로 운영 데이터를 수집하고 분석하여 의사결정을 지원하며,

장기적인 서비스 품질 관리에 기여할 수 있다.

4) 항만 특성에 따른 차별화

항만은 각기 다른 지리적 위치, 운영 방식, 그리고 서비스 목표를 가지고 있다. 이러한 차이는 항만마다 다루는 화물의 종류와 양, 그리고 화물의 경제적 가치에 큰 영향을 미친다. 따라서 항만의 서비스 수준을 설정하고 유지하는 과정에서 이러한 다양성을 반영하는 것이 중요하다.

먼저 항만별 화물 특성의 차이이다. 각 항만은 컨테이너 화물의 특성에 따라 다르게 운영될 수 있다. 예를 들어, 어떤 항만은 주로 고가의 전자제품, 반도체 및 국가 주력 산업품을 취급할 수 있으며, 다른 항만은 대량의 원자재나 일반 소비재를 다룰 수 있다. 이러한 화물의 성질은 항만 운영의 효율성뿐만 아니라 항만의 국가적 중요성 및 지속성에 영향을 줄 수 있다. 두 번째는 수입, 수출, 환적 활동의 차이이다. 항만별로 수입, 수출, 환적 활동의 비중은 크게 다를 수 있다. 일부 항만은 주로 수입 화물을 처리하는 반면, 다른 항만은 수출이나 환적 활동에 더 중점을 둘 수 있다. 이러한 활동의 차이는 항만의 서비스 수준 설정에 반드시 고려되어야 하며, 각 활동에 맞는 특화된 서비스 기준을 개발해야 할 필요성이 있다. 세 번째는 항만별 처리 화물의 변동성이다. 항만마다 매년 처리하는 화물량도 상이하며, 이는 계절적 요인, 경제적 변동, 국제 무역 정책 변경 등 여러 외부 요인에 의해 영향을 받는다. 항만의 서비스 수준은 이러한 변동성을 감안하여 유연하게 조정될 수 있어야 한다.

이러한 이유로, 항만별로 차별화된 서비스 수준 적용이 필수적이다. 각 항만의 특성에 맞춘 서비스 수준 기준을 설정하고, 이를 바탕으로 항만의 인프라, 기술, 운영 전략을 계획하고 조정해야 한다. 이는 항만이 지역적 특성과 국제 물류 네트워크 내에서의 역할을 최적화하고, 효율적으로 운영

될 수 있도록 지원해야 한다. 따라서, 각 항만은 자신의 고유한 특성을 정확히 이해하고, 이에 맞는 서비스 수준을 적용함으로써, 경쟁력을 유지하고 극대화할 수 있다. 이 과정은 항만의 지속 가능한 성장과 발전에 기여하며, 글로벌 무역 환경에서 항만의 중요성을 강화한다.

제4절 소결 및 시사점

〈표 2-13〉은 본 장에서 정의한 항만 서비스 수준 정의와 특성을 요약한 표이다. 본 연구에서는 기존에 불명확했던 항만 서비스 수준의 정의를 선박 대기시간, 안벽 작업의 신속성, 장치장 처리 능력의 효율성을 종합적으로 고려한 항만 운영 품질 상태로 정의한다. 즉, 항만이 얼마나 효율적으로 운영되고 있는지를 종합적으로 평가하는 기준을 뜻한다. 주요 특성에는 다음과 같은 등급 분류, 효과 척도, 설계 및 운영 적용 및 항만 특성에 따른 차별화로 도출했다.

등급 분류는 선박 대기, 안벽 작업, 장치장 처리 능력을 기준으로 항만의 운영 상태를 파악하여, 운영 개선 목표를 설정하는 등급 분류 체계이다. 효과 척도의 경우는 선석 점유율과 장치장 점유율을 통해 항만의 운영 효율과 공간 활용도를 평가하는 지표를 의미한다. 설계 및 운영 적용은 목표 서비스 수준을 실현하기 위해 선석 길이, 크레인 성능, 장치장 공간, 이송 장비 등 인프라와 스마트 기술을 활용한 효율적 관리 전략이 필요함을 강조하며 항만 특성에 따른 차별화는 각 항만의 지리적 위치, 운영 방식, 화물 특성에 따라 맞춤형 서비스 수준을 설정하고 유지해야 한다는 접근이다,

<표 2-13> 항만 서비스 수준 정의 및 특성 요약

구분	분류	요약
정의		항만 서비스 수준은 선박의 대기시간, 안벽 작업의 신속성, 그리고 장치장 처리 능력의 효율성을 종합적으로 고려한 운영 품질 상태
주요 특성	• 등급 분류	선박 대기, 안벽 작업, 장치장 처리 능력을 기준으로 항만 운영 상태를 파악하고 개선 목표를 설정함
	• 효과 척도	선석 점유율과 장치장 점유율로 항만의 운영 효율과 공간 활용도를 평가함
	• 설계 및 운영 적용	목표 서비스 수준 실현을 위해 선석 길이, 크레인 성능, 장치장 공간, 이송 장비 등의 인프라와 스마트 기술을 활용한 효율적 관리 전략 제시가 필요함
	• 항만 특성에 따른 차별화	각 항만이 고유한 지리적 위치, 운영 방식, 그리고 다루는 화물의 특성을 반영하여 맞춤형 서비스 수준을 설정하고 유지하는 접근이 필요함

자료: 저자 작성

항만 서비스 수준은 항만을 이용하는 다양한 이해관계자의 관점에 따라 그 개념이 명확하게 달라진다. 선사, 하역사, 화주 등 주요 이해관계자는 각각의 역할과 목표에 따라 서로 다른 서비스 수준의 기준을 가지고 있으며, 이러한 차이는 항만 운영 및 개발 정책에 중요한 영향을 미친다.

우선 선사의 입장에서 항만 서비스 수준은 항만에 입항한 선박이 화물을 신속하고 효율적으로 처리할 수 있는 능력에 달려 있다. 선사는 가능한 한 하역 시간의 단축과 대기시간의 최소화를 최우선으로 고려하며, 이러한 요소가 선사의 입장에서 서비스 수준을 평가하는 주요 기준이 된다. 짧은 대기시간과 빠른 하역 속도는 선박 운항의 효율성을 높여 추가 비용을 줄이고, 전체적인 운송 일정을 유지하는 데 중요한 역할을 한다.

반면, 하역사는 화물의 적재 및 하역을 담당하는 주체로서 운영 효율성과 수익 창출을 중요하게 여긴다. 하역사의 서비스 수준은 주로 설비의 가동률과 운영 효율성을 기준으로 평가된다. 하역사는 터미널 내 설비의 가동률을 최대한 높이고, 하역 작업의 효율성을 최적화하여 더 많은 선박을 처리하고 수익을 극대화하려고 한다. 따라서 하역사는 항만의 하역능력이

높을수록 더 많은 화물을 처리할 수 있는 이점을 얻게 된다.

화주의 관점에서 서비스 수준은 화물의 안전한 운송과 정시성에 중점을 둔다. 화주는 자신의 화물이 항만에서 파손되거나 손상되지 않고 안전하게 처리되기를 원하며, 동시에 화물이 제시간에 목적지에 도착하는 것을 중요하게 생각한다. 따라서 화주에게는 정시성과 화물의 안전성이 서비스 수준을 평가하는 핵심 기준이 된다. 화물을 빠르고 정확하게 운송할수록 화주의 물류비용 부담이 줄어들기 때문이다.

이와 같은 다양한 이해관계자들의 요구를 반영하는 적정하역능력의 개념은 주관적인 요소를 포함한다. 적정하역능력이 높아지면 항만 개발에 대한 추가적인 수요는 줄어들고, 각 선석에서 처리할 수 있는 화물의 양이 증가한다. 이는 항만 운영자에게는 더 많은 화물을 처리할 수 있는 기회를 제공하며, 추가적인 항만 개발 투자 없이 기존 터미널에서 더 많은 물량을 처리할 수 있는 이점을 제공한다.

그러나 적정하역능력이 낮을 경우, 이는 화주나 선사에게 유리한 상황을 만들 수 있다. 하역능력이 낮고 터미널 시설이 충분히 갖추어진 경우, 화주와 선사는 더 빠르고 즉각적인 서비스를 받을 수 있기 때문이다. 그러나 공공의 관점에서 보면, 적정하역능력이 낮을 경우 항만 개발에 대한 투자 비용이 증가할 가능성이 높다. 반면, 하역능력이 과도하게 높을 경우 국내 수출입 기업에게는 높은 물류비용 부담을 줄 수 있으며, 항만의 혼잡도가 상승하여 환적 화물 유치에 대한 항만의 경쟁력이 약화될 수 있다.

항만 서비스 수준에 대한 본 연구는 국가의 이익을 고려한 관점에서 하역능력을 평가하고 이를 정의하는 데 초점을 맞추었다. 본 연구에서는 항만 서비스 수준을 “선박의 대기시간, 안벽 작업의 신속성, 그리고 장치장 처리 능력의 효율성을 종합적으로 고려한 운영 품질 상태”로 정의하였다. 이러한 정의는 선사, 하역사, 화주 등 주요 이해관계자들의 요구를 포괄하

며, 항만 운영의 효율성을 극대화하는 데 필요한 요소들을 반영한 것이다.

이를 뒷받침하기 위해, UNCTAD, Fundación Valenciaport 및 해양수산부와 같은 국가 기관에서 하역능력을 어떻게 산정하고 서비스 수준을 적용하는지 분석하였다. 그 결과, 선석 점유율과 장치장 점유율이 항만 서비스 수준을 평가하는 주요 지표로 선정되었다. 적절한 선석 점유율과 장치장 점유율을 도출하기 위해서는 대기행렬 이론을 활용한 경제성 분석과 W/S 비율 분석이 필요하다는 결론을 도출하였다. 이 분석을 통해 항만 자원을 효율적으로 사용할 수 있는 최적의 수준을 설정하는 것이 가능해졌다.

또한, 다른 SOC 사례의 서비스 수준을 분석한 결과, 서비스 수준은 등급 분류, 효과 척도, 설계 및 운영 적용, 특성에 따른 차별화가 필수적임을 확인하였다. 이를 바탕으로 항만 서비스 수준별로 등급을 분류하고, 각 등급이 의미하는 상태를 선박 대기시간, 안벽 작업 속도, 장치장 처리 능력 관점에서 구체적으로 정의하였다.

이러한 정의와 분석 결과는 다음과 같은 기대 효과를 제공한다. 첫째, 항만 운영 상태에 대한 이해를 돕고, 항만 개발 및 운영 개선을 위한 정책 결정에 실질적인 지원을 제공할 수 있다. 둘째, 각 항만의 특성에 맞춘 서비스 수준별 전략을 수립하여, 항만 경쟁력을 높일 수 있다. 셋째, 국가 차원에서 항만 인프라에 대한 최적의 투자 계획을 수립할 수 있으며, 이는 물류비용 절감과 항만의 경제적 효율성 증대로 이어질 수 있다.

따라서 본 연구에서 제시한 항만 서비스 수준 정의와 평가 방법은 항만 운영과 개발 정책에 유용하게 활용될 수 있으며, 국가 경제와 물류 시스템 전반에 긍정적인 영향을 미칠 것이다. 이를 통해 항만의 운영 효율성과 경제성을 동시에 달성하면서도, 항만의 경쟁력을 유지할 수 있는 최적의 해결책을 마련하고자 한다. 이러한 접근은 항만 운영의 효율성과 국가 물류 경쟁력을 높이는 데 기여할 수 있을 것으로 기대한다.

03

컨테이너터미널 적정 서비스 수준 산정

제1절 W/S 비율을 통한 선석 점유율 산정

1. 개요

이 절에서는 국내 컨테이너터미널의 적정 선석 점유율을 산정하기 위해 W/S 비율(대기시간/하역시간)을 활용하는 방법론을 제시한다. W/S 비율이란 하역시간 대비 대기시간으로 W/S 비율이 0.1이라면 한 척의 선박이 10시간 하역하기 위해 입항할 경우 1시간은 대기를 해야 하는 것을 의미한다. 터미널의 선석 점유율은 터미널 운영의 효율성과 밀접한 연관이 있으며, 이를 적절하게 관리하는 것이 터미널의 서비스 수준을 유지하는 데 중요한 역할을 한다. 그러나 기존의 UNCTAD에서 제시한 선석 점유율 기준은 이론적 근거가 충분하지 않다는 문제가 있어, 본 연구에서는 Agerschou et al.(1983)의 방법론을 바탕으로 W/S 비율을 활용한 선석 점유율 산정 방안을 모색한다. 또한, Fundación Valenciaport(2012)에서도 W/S 비율을 통한 서비스 수준을 모색했으며 W/S 비율을 통해 서비스 수준을 적정하게 유지할 수 있는 기준을 제시하기 때문에, 본 연구에서는 국내 컨테이너터미널의 실제 운영 데이터를 활용하여 이 방안을 적용하고자 한다.

W/S 비율은 선박이 입항한 후 하역 작업을 시작하기까지의 대기시간과 하역시간의 비율로 정의된다. 이를 통해 터미널의 서비스 효율성을 평가할 수 있으며, 터미널별로 다른 운영 특성에 따라 적절한 선석 점유율을 산정할 수 있는 중요한 지표로 작용한다. 먼저, 각 터미널의 W/S 비율을 산정하기 위해서는 대기행렬 이론에 기반한 분석이 필요하다. 터미널에 도착하는 선박의 도착시간과 하역시간의 분포를 추정하고, 이를 대기행렬 모형에 적용하여 각 터미널의 효율성을 평가한다. 일반적으로 켄달(Kendall's)의 대기모형 중 하나인 $M/M/n$ 모형이 많이 사용되며, 이는 도착시간과 하역시간이 지수분포를 따르는 경우에 적합하다.

그러나 본 연구에서는 한국해양수산개발원(2023)의 연구를 통해 실제 국내 컨테이너터미널 운영 데이터를 분석한 결과, $M/M/n$ 모형뿐만 아니라 $M/G/n$ 모형이 보다 현실적인 모델로 적합할 수 있다는 점을 확인하였다. $M/G/n$ 모형은 하역시간이 지수분포가 아닌 임의의 분포를 따르는 경우에도 적용 가능하기 때문에, 국내 터미널의 특성을 보다 정확히 반영할 수 있는 모형일 것으로 판단된다. 이를 바탕으로, 한국해양수산개발원(2023)에서 제공한 대기행렬표를 활용하여 각 터미널의 평균 하역시간을 산출하고, 이를 통해 터미널별 W/S 비율표를 도출한다 (〈표 3-1〉 참고). 이 과정에서 각 터미널의 실제 운영 데이터를 바탕으로 하여, 보다 현실적인 W/S 비율을 계산할 수 있도록 한다.

각 터미널별로 산출된 W/S 비율은 터미널의 서비스 수준을 평가하는 중요한 지표로 사용될 수 있다. W/S 비율은 대기시간과 하역시간의 비율을 나타내며, 터미널 운영의 효율성을 판단하는 데 중요한 역할을 한다. 특히 W/S 비율이 0.1일 때 적절한 서비스 수준이 유지된다고 알려져 있어 (Agerschou et al., 1983), 본 연구는 이 기준을 적용하여 각 터미널의 적정 선석 점유율을 산정한다. W/S 비율이 0.1에 도달하는 선석 점유율을 확인함으로써, 각 터미널의 운영 효율성을 극대화할 수 있는 구체적인 방

안을 제시하고자 한다.

이 과정에서, 터미널별로 서로 다른 도착 패턴과 하역시간 분포를 고려하여 각 터미널에 맞는 최적의 선석 점유율을 도출하는 것이 연구의 핵심 과제이다. 이는 단순히 이론적인 분석을 넘어 실제 터미널 운영 데이터에 기반한 분석을 통해 각 터미널의 운영 특성을 반영하고, 이를 바탕으로 보다 현실적인 운영 최적화 방안을 제공하는 데 목적이 있다.

〈표 3-1〉 국내 컨테이너터미널 대기행렬 주요 지표

구분	도착시간	서비스시간	도착률	서비스율
부산신항 1부두	지수	감마	0.0996	0.0480
부산신항 2부두	지수	감마	0.1994	0.0529
부산신항 3부두	지수	감마	0.1226	0.0590
부산신항 4부두	지수	감마	0.1012	0.0550
부산신항 5부두	지수	감마	0.1001	0.0442
부산 감만	지수	감마	0.1739	0.0632
부산 신감만	감마	감마	0.1088	0.0607
부산 자성대	지수	감마	0.2223	0.0585
부산 신선대	지수	지수	0.2687	0.0591
광양 2단계 2차	지수	감마	0.1307	0.1152
광양 3단계 1차	지수	지수	0.1358	0.0989
인천 남항 ICT	지수	지수	0.0527	0.0670
인천 남항 E1	지수	정규	0.0309	0.0732
인천 신항 선광	지수	지수	0.1094	0.0719
인천 신항 한진	지수	감마	0.0947	0.0735
울산 신항	지수	감마	0.1005	0.0834
울산 정일	지수	감마	0.0443	0.1241
평택·당진 PCTC	지수	지수	0.0541	0.0615
평택·당진 PNCT	정규	지수	0.0126	0.0566
대산 4부두	로그정규	지수	0.0148	0.0654

자료: 한국해양수산개발원(2023), pp. 65-71. 참고 저자 재작성

2. 선석 점유율 산정

1) W/S 비율 적용

〈표 3-2〉는 대기행렬모형을 통해 산출된 부산신항 1부두의 W/S 비율표로, ρ 는 선석 점유율, C 는 선석 수를 나타낸다. 이 표를 통해 각 선석 수에 따라 W/S 비율이 변화하는 패턴을 확인할 수 있으며, 표에서 빨간색으로 강조된 값은 W/S 비율이 0.1에 가장 가까운 지점이다. W/S 비율이 0.1이라는 것은 컨테이너터미널의 대기시간 대비 하역 시간이 수용 가능하다는 의미로, 이는 서비스 수준을 유지하면서 터미널의 운영 효율성을 극대화할 수 있는 중요한 기준이 된다.

선석 수가 1개일 때, W/S 비율이 0.1에 가장 가까운 지점은 $\rho=15\%$ 이며 선석 수가 2개일 때는 $\rho=37.5\%$ 에서 W/S 비율이 0.1에 가까워진다. 이 경우 선석 2개를 운영하는 터미널에서 약 37.5%의 점유율이 적정하다는 것으로 해석할 수 있다. 이와 같은 방식으로, 표에서 각 선석 수에 따른 적정 선석 점유율을 도출할 수 있다.

〈그림 3-1〉은 이러한 W/S 비율을 시각적으로 표현한 그래프이다. X축은 선석 점유율을 나타내고, Y축은 W/S 비율을 나타낸다. 그래프에서 볼 수 있듯이, 선석 수가 적을수록 적정 선석 점유율이 낮고, 선석 수가 많아질수록 적정 점유율은 증가한다. 예를 들어, 1개의 선석을 가진 경우 약 15%의 점유율에서 W/S 비율이 0.1에 도달하지만, 선석 수가 3개인 경우에는 약 50.0%에서 비슷한 W/S 비율이 나타난다. 이는 선석 수가 많아질수록 처리 용량이 증가하여 대기시간이 줄어들고, 결과적으로 더 많은 선박을 효율적으로 처리할 수 있음을 시사한다.

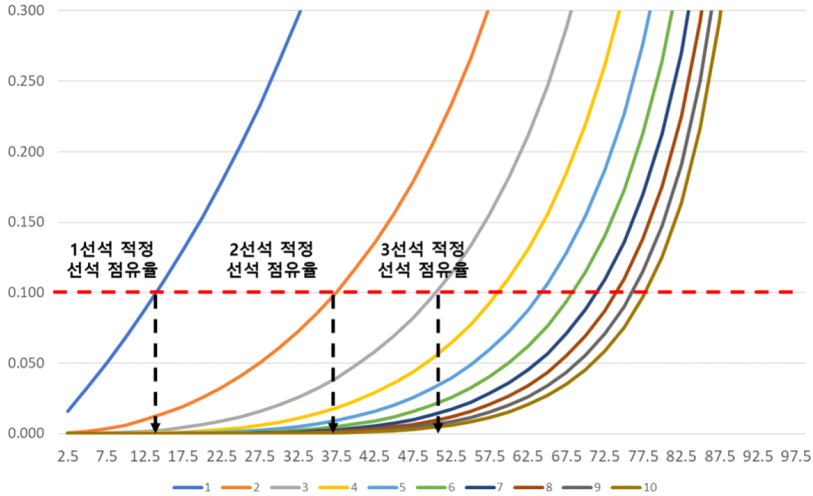
〈표 3-2〉 부산신항 1부두 W/S 비율표

ρ	C									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
15	0.108	0.014	0.003	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
20	0.153	0.026	0.006	0.002	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
25	0.205	0.041	0.012	0.004	0.002	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000
30	0.263	0.061	0.020	0.008	0.004	0.002	0.001	0.000	0.000	0.000
35	0.330	0.086	0.032	0.014	0.007	0.004	0.002	0.001	0.001	0.000
37.5	0.368	0.100	0.040	0.018	0.009	0.005	0.003	0.002	0.001	0.001
40	0.409	0.117	0.048	0.023	0.012	0.007	0.004	0.002	0.001	0.001
45	0.502	0.156	0.069	0.036	0.020	0.012	0.008	0.005	0.003	0.002
50	0.614	0.205	0.097	0.053	0.032	0.020	0.013	0.009	0.006	0.004
55	0.750	0.266	0.133	0.077	0.049	0.032	0.022	0.016	0.012	0.009
57.5	0.830	0.303	0.156	0.092	0.060	0.041	0.029	0.021	0.015	0.012
60	0.921	0.345	0.181	0.110	0.072	0.050	0.036	0.027	0.020	0.016
62.5	1.023	0.393	0.211	0.131	0.088	0.062	0.045	0.034	0.026	0.021
65	1.140	0.449	0.246	0.155	0.106	0.076	0.057	0.043	0.034	0.027
67.5	1.275	0.514	0.287	0.184	0.128	0.094	0.071	0.055	0.044	0.035
70	1.432	0.590	0.336	0.219	0.155	0.115	0.088	0.069	0.056	0.045
72.5	1.618	0.680	0.394	0.261	0.187	0.140	0.109	0.087	0.071	0.058
75	1.841	0.789	0.465	0.313	0.227	0.173	0.136	0.110	0.090	0.075
77.5	2.114	0.923	0.552	0.377	0.277	0.213	0.169	0.138	0.115	0.097
80	2.455	1.091	0.662	0.458	0.340	0.265	0.213	0.176	0.147	0.126
82.5	2.893	1.308	0.805	0.563	0.423	0.333	0.271	0.225	0.191	0.164
85	3.478	1.598	0.996	0.705	0.536	0.426	0.349	0.293	0.250	0.217
87.5	4.296	2.005	1.266	0.906	0.695	0.557	0.461	0.390	0.336	0.293
90	5.523	2.616	1.671	1.209	0.936	0.757	0.631	0.538	0.467	0.410
92.5	7.569	3.637	2.350	1.716	1.341	1.093	0.919	0.789	0.689	0.610
95	11.660	5.681	3.711	2.735	2.155	1.771	1.498	1.295	1.138	1.013
97.5	23.935	11.816	7.799	5.800	4.606	3.812	3.247	2.825	2.497	2.235

자료: 저자 작성

주: 표의 가시성을 위해 일부 행 삭제

〈그림 3-1〉 부산신항 1부두 선석별 적정 선석 점유율 산정 그래프



자료: 저자 작성

〈표 3-3〉은 W/S 비율을 바탕으로 다양한 국내 컨테이너터미널의 선석 개수에 따른 적정 선석 점유율을 요약한 표다. 이 표는 앞서 〈표 3-2〉와 〈그림 3-1〉에서 언급된 부산신항 1부두의 W/S 비율 및 적정 선석 점유율 분석을 확장하여, 다른 터미널에서도 동일한 기준을 적용해 적정 점유율을 도출한 결과를 포함하고 있다. 이를 통해 터미널 간 비교와 선석 수에 따른 점유율 변화 경향을 확인할 수 있다.

부산신항 1부두, 2부두, 3부두, 4부두, 5부두 등 부산항 관련 항만을 중심으로, 선석 수가 증가할수록 적정 선석 점유율 역시 상승하는 경향을 보인다. 예를 들어, 부산신항 1부두는 1개의 선석일 때 15%의 점유율을 보이지만, 선석 수가 6개 이상일 경우 70%까지 상승한다. 특히 6개 이상의 선석을 가진 경우, 70%라는 점유율은 다른 터미널과 비교했을 때 가장 높은 수치에 해당한다. 이는 선석 수가 많아질수록 부두가 더 많은 선박을 처리할 수 있는 능력이 향상된다는 것을 의미한다. 부산 감만의 경우, 선석이

6개 이상일 때 적정 선석 점유율이 65.0%로 나타났으며, 이는 다른 부산항 터미널보다 약간 낮은 수준을 보인다. 다만 다른 항의 컨테이너터미널은 동일 선석 기준으로는 60%를 제시하는 경우도 있어, 선석 수와 적정 선석 점유율 간의 상관관계가 항만마다 다를 수 있음을 시사한다.

광양항과 울산 정일 터미널은 1개의 선석일 때 적정 선석 점유율이 7.5%로 다른 항만과 비교했을 때 상대적으로 낮게 나타났으며 부산항과 비교했을 때 동일 선석 수 대비 적정 선석 점유율이 다소 낮게 나타났다. 6개 이상 선석의 적정 선석 점유율도 60%에 머물러 있어 부산항이 아닌 다른 항만과 비교했을 때도 낮은 수준을 보였다. 인천항의 경우 남항 ICT의 선석 점유율이 인천항의 다른 터미널 대비 높게 나타났으며 그 외 인천 E1, 선광 및 한진 터미널은 1개 선석일 때 10% 수준의 적정 선석 점유율로 나타났으며 선석 개수 별로 적정 선석 점유율이 동일한 것으로 나타났다. 울산은 경우 다른 항과 비교해서 전반적으로 낮은 적정 선석 점유율을 보였으며 정일부두의 경우 6개 선석 기준 모든 터미널 대비 가장 낮은 적정 선석 점유율인 57.5%로 나타났다.

결과적으로 전국 주요 컨테이너터미널의 실제 선박 입출항 실적, 하역시간, 이론적 대기시간 및 W/S 비율을 바탕으로 추정한 선석별 선석 점유율은 1개일 때 12%, 2개 34%, 3개 47%, 4개, 55%, 5개 61% 및 6개 이상은 66%로 나타났다. 이는 전국 주요 컨테이너터미널의 운영 실적과 이론적 대기시간으로 추정한 선석 개수당 선석 점유율의 평균값이다. 이는 수용 가능한 W/S 비율인 0.1을 기준으로 산정한 값이며 서비스 수준에 따라 W/S 비율은 0.1 이하로 낮추거나 0.1 이상으로 증가시키는 방법을 적용할 수 있다. 만약 W/S 비율이 0.1 이하로 낮아진다면 선박이 하역을 하기 위해 대기하는 대기시간이 줄어들을 뜻하기 때문에 서비스 수준은 높아지고 0.1 이상으로 높아진다면 하역시간 대비 대기시간이 늘어나기 때문에 많은 대기를 예상해야 한다.

〈표 3-3〉 W/S 비율(0.1 기준)을 통한 컨테이너터미널의 선석별 선석 점유율 산정 결과

단위: %

구분	선석 수					
	1	2	3	4	5	6 이상
부산신항 1부두	15	40	52.5	60	65	70
부산신항 2부두	15	37.5	50	57.5	65	67.5
부산신항 3부두	12.5	35	47.5	57.5	62.5	67.5
부산신항 4부두	12.5	37.5	50	57.5	62.5	67.5
부산신항 5부두	15	40	52.5	60	67.5	70
부산 감만	12.5	35	47.5	55	62.5	65
부산 신감만	12.5	35	47.5	57.5	62.5	67.5
부산 자성대	12.5	35	50	57.5	62.5	67.5
부산 신선대	12.5	35	47.5	57.5	62.5	67.5
광양 2단계 2차	7.5	25	40	47.5	55	60
광양 3단계 1차	7.5	27.5	40	50	55	60
인천 남항 ICT	12.5	32.5	47.5	55	60	65
인천 남항 E1	10	32.5	45	55	60	65
인천 신항 선광	10	32.5	45	55	60	65
인천 신항 한진	10	32.5	45	55	60	65
울산 신항	10	30	42.5	52.5	57.5	62.5
울산 정일	7.5	25	37.5	47.5	52.5	57.5
평택·당진 PCTC	12.5	35	47.5	57.5	62.5	67.5
평택·당진 PNCT	12.5	35	50	57.5	62.5	67.5
대산 4부두	12.5	35	47.5	55	60	65
평균	12	34	47	55	61	66

자료: 저자 작성

2) W/S 비율에 따른 선석 점유율 변화

〈표 3-4〉는 W/S 비율을 0.01~0.2까지 변화시키면서 부산신항 1부두의 선석 수에 따른 선석 점유율을 산출한 결과이다. 이는 W/S 비율이 달라짐에 따라 선석 점유율이 어떻게, 얼마나 변화하는지 보기 위함이다. W/S 비율이 낮다는 것은 부산신항 1부두의 서비스 품질을 높여 대기시간을 극히 짧은 상태로 유지하는 것을 의미한다. 예를 들어 W/S 비율이 0.01이라면 한 선박이 안벽에서 물량을 처리하는 데 10시간이 소요된다고 가정할 때 그 선박의 입항 이후 접안까지의 예상 대기시간은 약 6분으로 기대할 수 있다.

부산신항 1부두의 W/S 비율을 0.01로 설정하고 선석이 1개일 경우 선석 점유율은 3%로 나타났다. 이는 부산신항 1부두가 1개로 선석을 운영할 경우 선석 점유율을 3%로 유지해야 선박의 대기시간이 6분 정도로 기대할 수 있다는 것을 의미한다. 선석 수가 늘어남에 따라 선석 6개 이상은 선석 점유율이 45%로 나타났다. W/S 비율이 0.05일 때 선석 1개의 적정 선석 점유율은 8%로 나타났으며 6개 선석의 선석 점유율은 60%로 나타났다. W/S 비율이 0.2일 때 선석 6개 이상의 선석 점유율은 최대 78%로 나타났다.

〈표 3-4〉 부산신항 1부두 W/S 비율별 선석 점유율

단위: %

구분		선석 수					
터미널명	W/S 비율	1	2	3	4	5	6 이상
부산신항 1부두	0.01	3	13	25	33	40	45
	0.05	8	28	43	50	58	60
	0.10	15	40	53	60	65	70
	0.15	20	45	58	65	70	75
	0.20	25	50	63	70	75	78

자료: 저자 작성

〈표 3-5〉는 전국 컨테이너터미널의 W/S 비율별 평균 선석 점유율이다. W/S 비율이 0.01이고 선석이 1개일 경우 3%에서 6개 이상 선석은 41%로 나타났다. W/S 비율 0.1은 수용 가능한 서비스 수준으로 0.1 이상은 서비스 수준이 낮아 선박 대기시간이 증가할 수 있을 것으로 예상할 수 있다. W/S 비율이 0.2일 경우 선석 1개의 선석 점유율은 20%, 선석 6개 이상의 선석 점유율은 73%로 나타났다.

〈표 3-5〉 전국 주요 컨테이너터미널(평균) W/S 비율별 선석 점유율

단위: %

구분		선석 수					
터미널명	W/S 비율	1	2	3	4	5	6 이상
전국 주요 컨테이너터미널	0.01	3	11	22	30	36	41
	0.05	6	24	37	46	52	57
	0.10	12	34	47	55	61	66
	0.15	16	40	53	60	66	70
	0.20	20	45	58	65	70	73

자료: 저자 작성

〈표 3-6〉과 〈그림 3-2〉는 W/S 비율에 따른 선석 점유율 변화와 선석 수 차이에 따른 선석 점유율 차이를 보여준다. W/S 비율이 낮을수록 하역 시간 대비 대기시간이 짧아 서비스 수준이 높으며, 비율이 높을수록 대기 시간이 많아 서비스 수준이 낮아진다. 〈표 3-6〉에서 선석 수가 1에서 2로 증가할 때, W/S 비율이 높을수록 선석 점유율 차이가 크다는 것을 알 수 있다. 예를 들어, W/S 비율이 0.01일 경우 선석 수가 증가해도 적정 선석 점유율은 8% 밖에 증가하지 않지만 W/S 비율이 0.2일 경우에는 선석 수가 하나 증가하면 적정 선석 점유율은 25%가 증가하는 것을 알 수 있다. 이 비교의 핵심은 W/S 비율이 선석 점유율과 선석 수 증가에 미치는 영향을 이해하는 것이다. 〈표 3-6〉과 〈그림 3-2〉를 통해, W/S 비율이 높고 낮

음에 따라 선석 수 증가에 따른 선석 점유율 변화가 달라진다는 것을 관찰할 수 있다.

W/S 비율이 0.01처럼 낮을 경우, 즉 대기시간이 짧고 서비스 수준이 높을 때, 선석 수가 1에서 2로 증가해도 선석 점유율 차이는 작다. 이 현상은 서비스 수준이 높은 상황에서는 선석 수가 증가해도 컨테이너터미널의 효율성이 이미 높아서 선석 점유율에 큰 변화가 없다는 것을 의미한다. 즉, 시스템은 이미 최적화되어 있기 때문에 선석 수가 늘어나더라도 대기시간이 길어지지 않고, 이에 따라 점유율 증가가 제한적인 것으로 해석할 수 있다.

반대로 W/S 비율이 0.2일 경우, 즉 대기시간이 길고 서비스 수준이 낮을 때는 선석 수가 증가할 때 선석 점유율의 증가 폭이 크다. 이는 서비스 수준이 낮을 경우 시스템의 대기시간이 길어지고, 선석 수가 증가함으로써 대기시간을 줄일 수 있는 여지가 많아 점유율이 더 크게 증가한다는 것을 보여준다. 즉, 선석 수를 하나 더 추가하는 것이 대기시간을 줄이고 시스템의 효율성을 크게 개선할 수 있기 때문에 선석 점유율이 크게 증가한다.

결론적으로 W/S 비율이 낮을 때는 선석 수 증가가 선석 점유율에 미치는 영향이 미미하다. 이는 시스템이 이미 매우 효율적이기 때문이라고 해석할 수 있다. 하지만 W/S 비율이 높을 때는 선석 수가 증가하면 선석 점유율이 크게 증가한다. 이는 대기시간을 줄이고 시스템 효율성을 높이는데 더 큰 여지가 있기 때문이다. 이 차이는 선석 수 증가에 따라 시스템의 병목 현상을 얼마나 해소할 수 있는지를 잘 나타낸다. W/S 비율이 높을수록 선석 추가 개발이 병목을 해결하는 데 중요한 역할을 하며, 그에 따른 선석 점유율 증가가 크게 나타나는 것으로 해석할 수 있다.

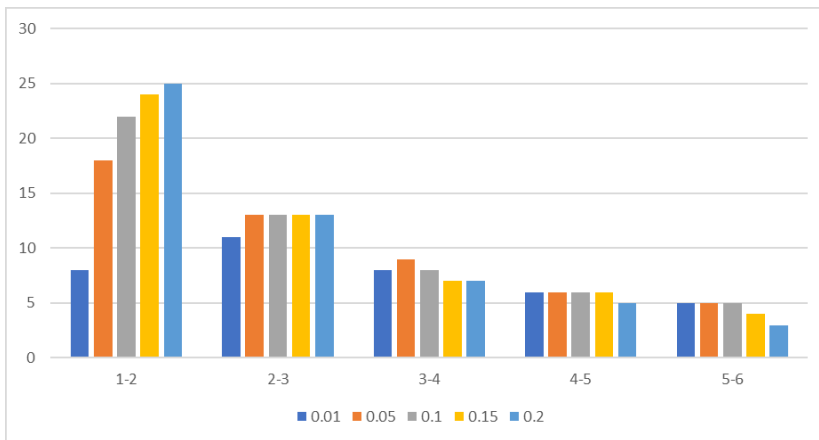
〈표 3-6〉 전국 주요 컨테이너터미널(평균) 선석 수 증가에 따른 선석 점유율 차이

단위: %

구분		선석 수 차이				
터미널명	W/S 비율	1→2	2→3	3→4	4→5	5→6
전국 주요 컨테이너터미널	0.01	8	11	8	6	5
	0.05	18	13	9	6	5
	0.10	22	13	8	6	5
	0.15	24	13	7	6	4
	0.20	25	13	7	5	3

자료: 저자 작성

〈그림 3-2〉 전국 컨테이너터미널 선석 개수별 선석 점유율 차이



자료: 저자 작성

〈표 3-7〉과 〈그림 3-3〉은 선석 개수별 W/S 비율 감소가 선석 점유율에 미치는 영향을 나타낸다. 특히 W/S 비율의 구간별 차이로 인한 선석 점유율 변화를 보여주고 있다. 선석 수에 상관없이 W/S 비율이 0.2에서 0.15로 감소하는 경우, 선석 점유율의 변화 폭이 크지 않다. 또한 선석 수가 6개 이상일 때는 선석 점유율을 3%만 줄여도 충분한 것으로 나타난다. 이는 컨테이너터미널이 이미 상대적으로 대기시간이 길고, 선석이 많아서 대기

시간을 줄이기 위해서는 큰 비용이나 노력이 들지 않음을 시사한다. 반면 W/S 비율이 0.05에서 0.01로 감소하려면, 특히 선석 수가 많은 경우 선석 점유율을 크게 줄여야 한다. 예를 들어, 선석 수가 3개일 때는 선석 점유율을 15% 줄여야 하고, 6개 이상일 때는 16% 줄여야 한다. 이는 낮은 W/S 비율에서 대기시간을 줄이는 것이 매우 어렵고, 추가적인 선석 투입이나 효율성을 높이는 데 많은 자원과 비용이 필요하다는 것을 나타낸다.

선석 수가 적을 때, W/S 비율을 낮추는 데 필요한 점유율 감소 폭은 비교적 작다. 하지만 선석 수가 많아질수록 W/S 비율을 낮추기 위해 점유율을 크게 줄여야 하므로, 이로 인해 대규모 투자가 필요하거나 운영 효율성을 높이는 데 드는 비용이 크게 증가할 수 있다. 이는 특히 0.05에서 0.01로 감소하는 구간에서 두드러지게 나타난다. W/S 비율을 낮출수록 서비스 수준은 높아지지만, 그에 따라 점유율을 감소시키는 데 필요한 비용도 기하급수적으로 증가할 가능성이 있다. 특히 서비스 수준이 높은 상태(W/S 비율이 0.01 수준)로 가려면, 많은 선석에서 점유율을 크게 줄여야 하고, 그에 따라 운영 효율성을 극대화하기 위한 추가적인 비용이 필요하게 됨을 보여준다. 반면, 서비스 수준이 낮은 상태에서 조금만 개선하는 경우(0.2에서 0.15로의 변화)는 점유율 감소 폭이 작고 비용 부담도 상대적으로 적은 것을 알 수 있다.

결론적으로 W/S 비율을 낮추는 것, 특히 0.05에서 0.01로 줄이는 것은 상당한 비용이 수반되는 예상되는 반면, 0.2에서 0.15로 줄이는 것은 비교적 적은 비용으로도 이루어질 수 있을 것으로 예상된다. 이러한 현상은 선석 수가 많을수록 더욱 더 두드러진다. 즉, 서비스 수준을 최고 수준으로 유지하려면 더 많은 자원과 비용이 필요하고 선석의 수가 많은 경우는 선석의 수가 작은 경우보다 더 많은 자원과 비용이 필요하다는 것을 알 수 있다. 하지만 낮은 서비스 수준을 조금만 개선하는 경우에는 비교적 적은 자원으로도 가능하다는 결론을 내릴 수 있다.

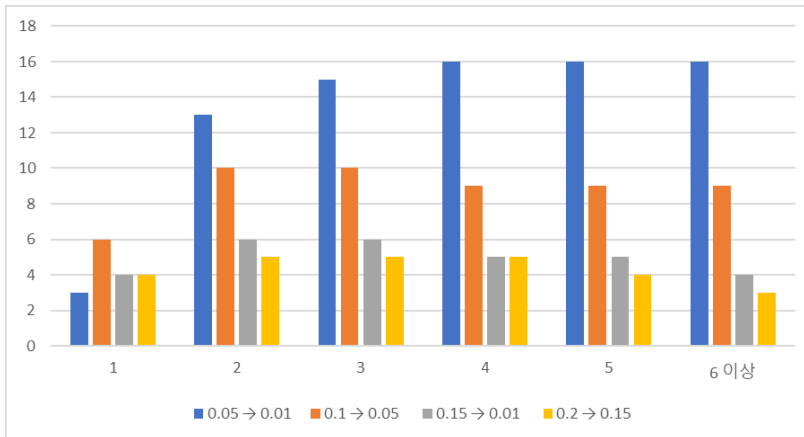
〈표 3-7〉 전국 컨테이너터미널 W/S 비율 증가에 따른 선석 점유율 차이

단위: %

구분		선석 수 차이					
터미널명	W/S 비율	1	2	3	4	5	6 이상
전국 주요 컨테이너터미널	0.05 → 0.01	3	13	15	16	16	16
	0.1 → 0.05	6	10	10	9	9	9
	0.15 → 0.01	4	6	6	5	5	4
	0.2 → 0.15	4	5	5	5	4	3

자료: 저자 작성

〈그림 3-3〉 전국 컨테이너터미널 W/S 비율 증가에 따른 선석 점유율 차이



자료: 저자 작성

3. 산정 결과 분석

〈표 3-8〉은 W/S 비율을 적용한 적정 선석 점유율의 산출 결과와 다양한 연구에서 제시한 선석 수에 따른 적정 선석 점유율을 보여준다. 먼저 UNCTAD(1985)에서 제시한 기준에 따르면 1개의 선석을 가진 경우 적정 점유율은 40%이며, 6개 이상의 선석을 가진 경우에는 70%로 나타난다. Agerschou(2015)와 Fundación Valenciaport(2012)는 $M/E_k/n$ 모형,

즉 도착시간이 지수분포를 따르고 하역시간은 일량분포($K=4$, 숫자가 높을수록 무기역성이 낮음)를 따르는 같은 모형을 사용했기 때문에 동일한 값을 산출하였다. 따라서 선석 1개는 14%, 2개는 36% 등 6개 이상은 67%로 나타났다. 하지만 Fundación Valenciaport(2012)는 W/S 비율을 0.05, 0.1 및 0.2로 구분하여 적용한 적정 선석 점유율과 $M/E_k/n$ ($K=1$), $M/E_k/n$ ($K=4$) 및 $E/E_k/n$ ($K=4$) 모형을 적용해 선박 도착의 특징 및 하역시간이 모두 일량분포를 따를 때 적정 선석 점유율도 제시하였다.

해양수산부는 4개 선석까지는 UNCTAD(1985)를 따르지만 4개 이상은 60%로 일괄 적용한다. 본 연구에서 제안한 W/S 비율 적용 결과는 1개의 선석일 때 11%에서 시작하여 6개 이상의 선석일 때 65%로 산출되었다. Agerschou(2015)와 Fundación Valenciaport(2012)의 결과와 비교했을 때 유사한 경향을 보이지만 일부 차이가 존재한다. 특히 1개의 선석에서 본 연구는 가장 낮은 점유율을 제시하고 있으며 선석 수가 늘어남에 따라 점유율 증가폭이 큰 것을 알 수 있다. UNCTAD와 해양수산부는 상대적으로 높은 점유율을 제시하며, Agerschou(2015)와 Fundación Valenciaport(2012)는 비교적 보수적인 수치를 제시한다. 본 연구는 이들 연구와 비교하여 중간 정도의 값을 제시하고 있으나 선석이 1개일 경우에 가장 낮은 점유율을 제안하고 있어 적용에 신중한 검토가 필요하다.

〈표 3-8〉 W/S 방법론 기반 선석 점유율 산출 결과 비교

단위: %

구분	선석 수					
	1	2	3	4	5	6 이상
UNCTAD(1985)	40	50	55	60	65	70
Agerschou(2015)	14	36	49	57	63	67
Fundación Valenciaport(2012)	14	36	49	57	63	67
해양수산부(2020)	40	50	55	60	60	60
W/S 비율 적용 결과	12	34	47	55	61	66

자료: 저자 재작성

제2절 경제성 분석을 통한 선석 점유율 산정

1. 개요

이 절에서는 선석 점유율을 경제적 관점에서 분석하여 적절한 점유율을 도출하기 위해, 선석 점유율과 선석 수에 따른 총비용 함수를 개발한다. 총비용은 크게 선석 건설에 필요한 시설투자비용과 선박의 대기로 인해 발생하는 대기비용의 합으로 구성된다.

시설투자비용은 최근 우리나라 항만 분야에서 시행된 예비타당성조사인 「부산항 진해신항(1단계) 건설사업 예비타당성조사」(한국개발연구원, 2022)와 「부산항 제2신항 건설사업 예비타당성조사」(한국개발연구원, 2021)를 참고하여 산정되었다. 본 연구에서는 이 보고서의 총사업비를 시설투자비용의 기준으로 삼았다.

한편, 선박 대기비용은 부두 운영사의 자료와 관련 통계를 활용하여 추정하였다. 구체적으로, 선석 점유율 변화에 따른 선박의 평균 대기시간을 계산한 후, 이를 기반으로 부두별 입항 선박 수와 시간당 선박 대기비용 단위를 곱해 대기비용을 산출하였다. 선박 대기비용 단위는 선형별 체선비용(용선료)과 체화비용(화물 가치에 따른 비용)을 사용하였다.

이렇게 산정된 시설투자비용과 선박 대기비용을 통해 선석 수에 따른 점유율과 총비용의 관계를 도출하였다. 이를 바탕으로 대기행렬이론을 적용해 총비용을 최소화하는 최적의 선석 수와 점유율을 결정하는 방법론을 제시한다.

2. 시설투자비용

1) 시설투자비용 산정 기준

선석 수 증가에 따른 시설투자비용은 최근 항만 분야 예비타당성조사인 「부산항 진해신항(1단계) 건설사업 예비타당성조사」(한국개발연구원, 2022)와 「부산항 제2신항 건설사업 예비타당성조사」(한국개발연구원, 2021)를 기반으로 산정되었다. 이 보고서의 총사업비에는 공사비, 시설 부대경비, 보상비, 운영설비비, 예비비 등 다양한 비용 항목이 포함된다. 총사업비는 선석 확충에 직접적으로 관련된 비용뿐 아니라 부대시설, 설비, 인프라 개선 등과 같은 추가 비용까지 종합적으로 반영한 것이다. 예비타당성조사는 표준화된 지침과 방법론에 따라 비용을 추정하므로, 일관성 있게 비용을 산정할 수 있으며, 시장 조사, 유사 사례 분석, 전문가 의견 등을 종합적으로 고려해 현실성 있는 비용을 제공한다.

〈표 3-9〉 항만 건설의 총사업비 구분

구분		항목
A. 공사비		• 건설 공사비 1) 방파제공 : 남방파제(1공구) 2) 접안시설공 : 9선석(컨테이너 9선석) 3) 호안공 : 3구역 방파호안 및 내부가호안, 남측 및 서측방파호안 4) 준설 및 매립 5) 항만배후단지 및 항만시설용부지 : 연약지반개량 및 상부시설공 6) 임항교통시설 (진입도로, 임항도로) 7) 기타시설공
B. 시설부대 경비	설계비	• 기본설계비 및 실시설계비
	설계감리비	• 설계감리비(공사비 300억 원 이상)
	감리비	• 전면책임감리비(건설사업관리비)
	조사 및 각종 영향검토비	• 조사비 및 각종영향검토비(공사비의 1% 적용)
C. 보상비		• 어업권 보상비
D. 운영설비비		• 하역장비비(야드 내 운송장비), 전산장비
E. 부가가치세		• 사업비의 10%
F. 예비비		• 부가세가 포함된 총사업비(공사비+시설부대경비+보상비+운영설비비)의 10%

자료: 한국개발연구원(2022), p. 269.

2) 항만 건설 예비타당성조사 사례

「부산항 진해신항(1단계) 건설사업 예비타당성조사」(한국개발연구원, 2022)의 접안시설 공사비 산정은 최신 항만 건설 트렌드와 초대형 선박 수용을 위한 시설 계획을 반영하여 이루어졌다. 진해신항 1단계 사업은 8천 TEU급 선석 9개(1-1단계 3선석, 1-2단계 6선석)의 축조를 계획하고 있다. 이는 부산항 신항 대비 접안시설의 규모를 확대하여 22,000TEU급까지의 초대형 선박을 수용하고 대규모 물동량을 처리하기 위한 것으로, 나아가 장래 25,000~30,000TEU급 초대형선의 출현에 대비한 확장성도 고려한 것이다. 구체적인 접안시설 규모를 살펴보면, 1-1단계의 경우 8천

TEU급 3선석, 연장 1,390m로 계획되었으며, 1-2단계는 8천 TEU급 6선석, 연장 2,450m에 달한다. 선석 당 연간 89만 TEU의 하역능력을 목표로 하며, 상부시설은 인접 부산항 신항의 설계를 준용하여 계획되었다. 본 조사의 총사업비는 7,920,805백만 원으로 산정되었다. 이 총사업비를 건설 계획 선석 수인 9개로 나누고, 항만 시설의 내구연한인 30년으로 나누면 선석 당 평균 사업비(공사비, 1년 기준)를 도출할 수 있다. 이는 약 333.1억 원으로 나타났다.

한편, 「부산항 제2신항 건설사업 예비타당성조사」(한국개발연구원, 2021)에서는 항만 건설사업이 장기에 걸쳐 단계별로 추진되는 대규모 항만 자동화 및 스마트 물류 허브를 포함하므로 기존의 일반적인 항만 건설 사업에 비해 상대적으로 많은 불확실성이 내포되어 있다고 판단하였다. 따라서 이와 같은 사업 특성을 감안하여 향후 본 사업의 적정 사업 시기나 사업 규모 등에 대한 합리적인 의사결정에 참고가 될 수 있도록 변경 사업 계획에 포함되어 있는 3단계 컨테이너 부두를 제외하는 사업 규모 변경 대안을 추가 검토하였다. 본 연구에서는 8,000TEU급 컨테이너부두 9선석을 대상으로 하는 대안을 기준으로 사업비를 계산하였다. 부산항 제2신항 건설사업은 대안에서 9개 선석의 건설을 계획했으며 총 사업비는 9,134,234백만 원으로 나타났다. 이를 총 선석 수인 9개로 나누고, 항만 시설의 내구연한인 30년으로 나누어 선석 당 연간 평균 사업비는 약 338.3억 원으로 나타났다.

위 2개 항만 건설 사업에서 선석당 평균 사업비(1년)는 각각 333억 원과 338억 원으로 매우 유사하게 도출되었다. 본 연구에서는 2개 값의 평균인 335.7억 원을 선석 1개의 추가를 위한 시설투자비용(1년)으로 사용하였다.

〈표 3-10〉 부산항 진해신항(1단계) 총사업비 산정 결과

단위: 백만원

구 분	사업계획서_2018년 기준			검토안_2020년 기준			증감(B-A)
	재정	민간	계(A)	재정	민간	계(B)	
A. 공사비	1,839,178	3,077,746	4,916,924	1,952,467	3,103,243	5,055,709	증 138,785
A-1. 방파제	218,139		218,139	226,645		226,645	증 8,506
A-2. 호안	1,144,977		1,144,977	1,189,631		1,189,631	증 44,654
A-3. 접안시설		2,513,581	2,513,581		2,525,669	2,525,669	증 12,088
A-4. 항로 및 박지준설	247,516		247,516	257,169		257,169	증 9,653
A-5. 임항교통시설	16,727		16,727	55,163		55,163	증 38,436
A-6. 서컨항만배후단지	44,622	133,862	178,484	46,361	139,083	185,444	증 6,960
A-7. 항만 시설용부지	-	150,508	150,508	-	156,378	156,378	증 5,870
A-8. 부가가치세	167,198	279,795	446,993	177,497	282,113	459,610	증 12,617
B. 시설부대경비	209,169	229,901	439,071	222,003	231,800	453,803	증 14,732
B-1. 설계비	67,996	111,179	179,175	72,181	112,107	184,288	증 5,113
B-2. 설계감리비	6,394	9,765	16,159	6,820	9,855	16,675	증 516
B-3. 감리비	43,289	55,861	99,150	47,078	56,304	103,382	증 4,232
B-4. 조사 및 측량비	69,490	27,981	97,471	72,578	28,211	100,789	증 3,318
B-5. 시설부대비	2,985	4,215	7,200	3,165	4,249	7,414	증 214
B-6. 부가가치세	19,015	20,900	39,916	20,182	21,073	41,255	증 1,339
C. 보상비	366,631	-	366,631	369,931	-	369,931	증 3,300
C-1. 어업권 보상비	366,631		366,631	369,931		369,931	증 3,300
D. 운영설비비	-	1,277,428	1,277,428	-	1,321,288	1,321,288	증 43,860
D-1. 하역장비비		1,143,698	1,143,698		1,183,571	1,183,571	증 39,873
D-2. 제조검사비		17,600	17,600	-	17,600	17,600	0
D-3. 부가가치세		116,130	116,130		120,117	120,117	증 3,987
E. 예비비	241,498	458,508	700,006	254,440	465,634	720,074	증 20,068
F. 총사업비	2,656,477	5,043,583	7,700,060	2,798,840	5,121,965	7,920,805	증 220,745

자료: 한국개발연구원(2022), p. 303.

3. 선박 대기비용

1) 체선비용

(1) 표준 선형 설정

「부산항 진해신항(1단계) 건설사업 예비타당성조사」(한국개발연구원, 2022)에서 설정한 부산항 신항의 평균 선형은 63,705GT(4천~5천TEU급)이었다. 이는 부산항 신항에 2016년부터 2020년까지 지난 5년간 입출항한 선박 크기를 선형별 입출항 척수에 따라 가중평균하여 산출한 값이다. 한국개발연구원(2022)은 앞서 산출된 부산항 신항의 평균 선형이 63,705GT임을 바탕으로 컨테이너선 기준 표준 선형을 4,400TEU로 정의하고, 해당 표준 선형의 용선료를 편익 산정 수식에 반영하였다.

〈표 3-11〉과 같이 부산항 신항에 입항하는 선박의 평균 크기는 약 6,400TEU에서 7,000TEU까지 소폭 증가하는 추세를 나타냈지만, 부산항 북항에 입항하는 선박의 크기는 약 1,400TEU에서 약간 감소하거나 유지되는 추세를 보였다(한국해양수산개발원, 2023).

〈표 3-11〉 부산항(신항, 북항) 입항 컨테이너 선박 평균 크기

단위: TEU

구분		2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	5년 평균
부산항 전체	GT	34,171	35,342	37,319	38,599	39,050	39,055	39,156	38,636
	TEU	3,419	3,664	3,744	3,880	3,937	3,850	3,846	3,852
부산 신항	GT	60,096	63,336	66,927	70,979	73,395	73,276	71,486	71,213
	TEU	6,446	6,860	6,627	6,973	7,174	7,012	6,834	6,924
부산 북항	GT	14,019	13,627	13,501	13,428	14,162	14,834	14,262	14,037
	TEU	1,418	1,367	1,348	1,323	1,423	1,468	1,392	1,390

자료: 한국해양수산개발원(2023), p. 101.

본 연구에서는 한국해양수산개발원(2023)의 Port-MIS의 선박 입출항 정보와 선박 제원 자료를 바탕으로 2016년부터 2023년까지 5개년 전국 주요 컨테이너 항만에 입항한 선박 크기를 적용하였다. Port-MIS를 통해 각 컨테이너 부두의 입항 선박 정보를 추출한 후, 선박 식별자를 활용하여 IHS Markit의 선박 제원 데이터와 연계하여 선박별의 크기(TEU 기준)를 표준 선형 산출에 반영하였다.

(2) 선형별 용선료 비교

〈표 3-12〉에 따르면, 한국개발연구원(2022)에서는 2020년 평균 환율을 적용하여 4,400TEU급 컨테이너선의 1일 용선료를 1,138만 원으로 산정한 반면에 본 연구에서는 2018~2022년 5년간 평균 환율을 적용하여 6,800TEU급 컨테이너선의 1일 용선료를 6,264만 원으로 도출하였다. 이처럼 용선료에 큰 차이가 발생한 이유는 지난 2년간(2021~2022년) 용선료가 급격히 상승했기 때문이다(Clarksons Research, 2016-2022).

〈표 3-12〉 선형별 컨테이너선 1일 용선료 추이 (\$)

적용 환율: 1,177원

연도/TEU	1,000	1,700	2,750	4,400	6,800
2016	6,550	6,804	6,000	4,979	-
2017	6,142	7,242	8,800	7,692	13,171
2018	7,467	9,675	10,813	11,096	14,542
2019	6,158	8,139	9,600	11,175	20,410
2020	6,079	8,116	10,819	14,012	21,328
2021	24,244	33,847	48,525	67,123	78,542
2022	29,205	44,591	63,010	91,601	112,014
2023	10,974	13,076	16,507	21,272	33,813
5년 평균(\$)	15,332	21,554	29,692	41,037	53,221
5년 평균(원)	18,045,764	25,368,823	34,947,719	48,300,078	62,641,588

주: 풀컨테이너선 6~12개월 정기용선료 기준

자료: 한국해양수산개발원(2023), p. 94., Clarksons Research(2016-2022), Container Intelligence Monthly 기반 저자 재작성⁵⁾

국내 주요 컨테이너 항만 중에서는 부산신항의 터미널이 가장 큰 선박들을 수용하고 있으며, 그에 따라 용선료도 가장 높은 것으로 나타났다. 부산 북항(감만, 신감만, 자성대, 신선대)은 신항에 비해 상대적으로 작은 선박들을 처리하고 있다. 한국해양수산개발원(2023)에 따르면 일반적으로 부산신항은 미주 및 유럽 노선을 취항하는 비교적 대형선박이 취항하고, 부산북항은 Intra-Asia 노선에 취항하는 비교적 소형 선박이 취항하는 것으로 분석되었다. 이외에 광양, 인천, 울산, 평택·당진항은 대체로 중소형 선박이 기항하고 있으며, 용선료도 그에 따라 상대적으로 낮은 것으로 나타났다.

〈표 3-13〉 주요 컨테이너 부두별 평균 선박 크기 및 용선료

구분	터미널	평균선박크기(TEU)	용선료(원)
부산신항	1부두	7,714	71,416,916.64
	2부두	7,613	70,647,698.82
	3부두	7,445	69,354,397.02
	4부두	6,412	61,449,355.25
	5부두	8,218	75,274,071.93
부산북항	감만	1,267	22,073,898.57
	신감만	2,274	29,776,160.10
	자성대	1,238	21,851,045.49
	신선대	1,091	20,722,109.71
광양	2단계 2차	2,309	30,044,089.90
	3단계 1차	2,418	30,882,450.89
인천	남항 ICT	2,141	28,759,757.28
	남항 E1	762	18,204,729.88
	신항 선광	1,682	25,248,782.70
	신항 한진	1,445	23,437,900.45
울산	신항	1,394	23,042,229.33
	정일	1,249	21,933,718.11
평택·당진	PCTC	1,122	20,964,726.81
	PNCT	580	16,816,136.35

주: 적용 환율: 1,177원

자료: 해운항만물류정보시스템(검색일: 2024.6.10.), 저자 재작성

5) 한국해양수산개발원(2023), p. 94.의 원자료인 Clarksons Research(2016-2022)을 활용, 2023년 값은 2018-2022년 5년 평균 환율을 적용하여 재산정

2) 체화비용

(1) 체화비용의 개념 및 산정 방법

시간가치(Value of Time, VOT)는 여객과 화물운송에서 사용되는 개념으로, 단위 이동 시간(일반적으로 1시간)을 줄이기 위해 지불할 수 있는 금전적 가치를 의미한다(이재길, 1992). 화물의 시간가치는 운송 시간 단축으로 화주가 얻는 경제적 이익을 반영하며, 화물 가치에 따른 시간 경과에 따라 기회비용이 발생한다(최창호, 2019).

우리나라에서는 한국도로공사(1999)가 임금률법을 활용해 화물의 시간가치를 산정한 이후, 예비타당성 조사에서도 이를 준용해 왔다. 그러나 항만에서는 화물의 평균 시간비용을 산정하기 어렵다는 이유로 경제성 분석에서 화물 운송 시간 단축 효과를 충분히 반영하지 못하고 있다. 따라서 정확한 체화비용의 산정을 위해서는 선박 대기로 인해 발생하는 화물의 기회비용을 조사하고, 이를 편익 분석에 반영하는 것이 필요하다(한국해양수산개발원, 2022).

본 연구에서는 경제성 분석에서 사용하는 사회적 할인율 4.5%(최지은·박동규, 2015)를 연 이자율로 적용하여 컨테이너 화물의 체화비용 원단위를 도출한다. 다만 항만에서 컨테이너 화물의 가치를 추정을 위해서는 컨테이너 물동량(TEU단위)과 내품(품목)의 가치 정보가 매핑되어야 하기 때문에 Port-MIS와 같은 단일 데이터 출처를 통해 체화비용을 산정하는 것은 불가능하다. 따라서 Port-MIS, 교통KTDB 및 한국무역통계 정보포털(Trass)와의 데이터를 결합을 통해 화물 가치를 추정할 수 있다. 데이터 출처별 정보 항목은 <표 3-14>에 나타나 있다.

〈표 3-14〉 화물 물동량 및 화물 가액 자료원 간 정보 항목 비교

시스템명	품목구분	수출입 환적구분	기준점 유무	중량 표시	화물 가치	출발/ 도착항
교통 KTDB	HS 코드	수입/수출	O	Kg	X	O
Port-Mis	32개 품목	수입/수출/환적	X	RT	X	O
한국무역통계 정보포털 (Trass)	HS 코드	수입/수출/환적	O	Kg	O	O

자료: 한국해양수산개발원(2022), p. 126. 참고 저자 재작성

(2) 항만별 컨테이너 화물 가치 산정

Port-MIS 데이터는 총 32개 화물 품목⁶⁾과 컨테이너로 구분하여 화물의 물동량 실적을 각각 제시한다. 컨테이너 화물의 내품도 동일한 기준으로 분류되며, 비컨테이너 화물은 전체 화물에서 컨테이너 화물을 제외한 실적치를 바탕으로 집계된다. 이를 기반으로 화물의 물동량과 가격 데이터를 통합하기 위해 자료의 분류체계를 동일한 기준으로 재구성해야 한다.

화물의 물동량과 가격 데이터를 동시에 제공하는 자료는 한국무역통계정보포털(Trass)에서 확보할 수 있으나, 이 데이터는 컨테이너 화물과 비컨테이너 화물을 구분하지 않고 Port-MIS와의 중량 단위 및 품목 구분이 다르다. Port-MIS의 중량 단위는 운임톤(Revenue Ton)이며 Trass의 중량 단위는 중량톤(Metric Ton)이다. 또한 Port-MIS는 32개 화물 품목 기준 Trass는 HS코드(10자리)를 기준으로 품목을 분류한다. 따라서 Port-MIS 화물 품목의 HS코드로 Trass의 데이터를 매핑, 중량 단위의 보정을 통해 2018년부터 2022년까지 국내 항만 수출입 화물의 품목별 화물 가치를 산

6) 컨테이너, 고철, 기타, 기계류 및 그부품, 기타광석 및 생산물, 기타동물성생산물, 당류, 동식물성유지류, 모래, 목재, 목탄, 코르크 등, 무연탄, 방직용섬유 및 그제품, 비료, 비철금속 및 그제품, 석유 정제품, 석유가스 및 기타가스, 시멘트, 양곡, 어패류, 감각류 등, 원목, 원유(역청유), 석유, 유연탄, 육류, 전기기기 및 그부품, 제분공업생산물, 조제식품, 음료, 주류 등, 차량 및 그부품, 철강 및 그제품, 철광석, 플라스틱, 고무 및 제품, 피혁류 및 그제품, 항공기, 선박 및 부품, 화학공업생산물

출하였다. 동일 기준으로 재구성한 Trass와 Port-MIS 데이터를 통해 산정한 2018~2022년 국내 항만 품목별 수출입화물의 화물 가치는 <표 3-15>에 제시되어 있다.

분석 결과에 따르면 부산항은 컨테이너 화물이 전체 물동량의 대부분을 차지하며, 총중량 기준으로 약 76억 4천만 톤의 물동량을 기록하고 있다. 이는 부산항이 컨테이너 물류 처리에 있어 뛰어난 역량을 갖추고 있음을 보여준다. 대부분의 품목에서 높은 컨테이너화율을 보이는 점도 주목할 만하다.

화물 가치 측면에서는 기계류 및 그 부품(16,432.3원/kg), 전기기기 및 그 부품(15,309.1원/kg), 차량 및 그 부품(9,555.0원/kg)과 같은 고부가가치 제조업 품목들이 상위를 차지한다. 이는 부산 및 인근 지역에서 발달한 기계, 전자, 자동차 산업의 특성을 반영한다. 반면, 철강 및 그 제품(1,354.8억 톤), 플라스틱·고무 및 제품(1,255.8억 톤) 등 중간재 성격의 화물도 큰 비중을 차지하며, 부산항이 수출입 물류의 중심지 역할을 수행하고 있음을 보여준다.

또한, 화학공업 생산품(1,016.3억 톤)의 높은 물동량은 부산항이 인근 석유화학 산업단지와 긴밀하게 연계되어 있다는 점을 시사한다. 이러한 분석은 부산항이 다양한 화물의 처리뿐만 아니라 산업과 물류의 허브로서 기능하고 있음을 잘 보여준다.

〈표 3-15〉 부산항 32+1개 품목별 화물 가치 산정 (2018~2022)

품목	총중량 (억 톤)	총금액 (억 달러)	화물 가치 (원/kg)	컨테이너 화율
컨테이너	7,640.1	31,611.6	4,869.9	-
고 철	114.7	71.3	731.5	88%
기 타	663.7	1,866.9	3,310.7	99%
기계류 및 그부품	520.5	7,266.3	16,432.3	98%
기타광석 및 생산품	194.0	208.9	1,267.3	96%
기타동·식물성 생산품	233.8	501.9	2,526.5	92%
당 류	38.7	48.4	1,470.2	93%
동·식물성 유지류	25.9	50.8	2,305.1	92%
모 래	5.2	1.2	271.4	5%
목재·목탄·코르크 등	264.8	153.1	680.4	99%
무연탄	1.3	0.3	302.6	99%
방직용섬유 및 그제품	338.4	1,663.7	5,786.5	100%
비 료	25.5	14.6	674.4	100%
비철금속 및 그제품	533.1	2,280.5	5,035.2	98%
석유 정제품	86.0	116.9	1,601.4	12%
석유가스 및 기타가스	7.9	16.9	2,506.8	82%
시멘트	6.5	2.0	367.0	4%
양 곡	170.1	57.5	398.1	45%
어패류·갑각류 등	150.1	447.6	3,509.7	85%
원 목	36.5	9.5	306.0	86%
원유(역청유)·석유	0.0	0.0	471.0	47%
유연탄	0.8	0.2	303.0	100%
육 류	118.4	525.9	5,229.2	98%
전기기기 및 그부품	296.3	3,854.0	15,309.1	100%
제분공업 생산품	40.7	28.8	831.2	97%
조제식품·음료·주류등	397.8	985.6	2,916.5	100%
차량 및 그부품	325.8	2,645.2	9,555.0	91%
철강 및 그제품	1,354.8	2,214.0	1,923.5	75%
철광석	0.2	0.0	250.4	99%
플라스틱·고무 및 제품	1,255.8	3,503.8	3,283.9	99%
피혁류 및 그 제품	21.3	130.3	7,190.9	100%
항공기·선박 및 부품	86.6	282.8	3,843.4	92%
화학공업생산품	1,016.3	4,110.8	4,760.8	99%

자료: Clarksons Research(2016~2022), 저자 제작성

주: 적용 환율 1,177원

항만별 컨테이너 화물의 평균 화물 가치 분석 결과는 각 항만의 배후권역 특성과 주요 산업 구조를 잘 반영하고 있으며, 이는 본 연구에서 선석의 적정 점유율을 산정하기 위한 중요한 지표가 된다. <표 3-16>은 항만별 컨테이너 화물의 평균 화물 가치를 보여준다.

평택·당진항이 5,762원/kg로 가장 높은 화물 가치를 보이고 있는데, 이는 배후에 위치한 삼성전자 화성사업장, LG전자 평택공장 등 고부가가치 전자산업 단지의 영향으로 보인다. 특히 반도체, 디스플레이 등 단위 중량당 가치가 매우 높은 제품들의 수출입이 많이 이루어지고 있음을 추정할 수 있다.

부산항은 4,870원/kg로 두 번째로 높은 화물 가치를 나타내고 있다. 이는 국내 최대 컨테이너 항만으로서의 위상과 다양한 고부가가치 화물 처리 능력을 반영한 결과로 볼 수 있다. 부산항은 고부가가치 제조업 제품과 다양한 수출입 화물이 고르게 분포하고 있어, 전국의 다양한 화물을 처리하고 있음을 보여준다.

인천항은 4,668원/kg로 세 번째로 높은 화물 가치를 보였으며, 이는 수도권에 인접한 지리적 이점을 활용한 결과로 해석된다. 수도권의 다양한 산업 구조를 반영하여 전자제품, 자동차 부품, 기계류 등 고부가가치 제품과 함께 다양한 소비재 수입이 이루어지고 있음을 시사한다.

울산항은 2,037원/kg로 중간 정도의 가치를 나타냈는데, 이는 주로 산업 원자재나 석유화학 제품 등을 처리하는 항만의 특성이 반영된 것으로 보인다. 특히 울산항에서 컨테이너화물과 물동량이 높은 플라스틱, 고무 및 제품의 경우 부피에 비해 가치가 낮은 편이어서 전체적인 평균 화물 가치를 낮추는 요인이 되는 것으로 보인다.

광양항은 1,315원/kg로 가장 낮은 화물 가치를 보였으며, 이는 주로 별

크화물이나 원자재 등 상대적으로 저부가가치 화물을 많이 처리하고 있기 때문에 분석된다. 광양항에서 컨테이너화물과 물동량이 많은 제품군으로는 플라스틱, 고무 및 제품, 목재, 목탄, 코르크, 조제식품, 음료, 주류 등으로 나타났다. POSCO 광양제철소를 비롯한 대규모 중공업 단지가 배후에 위치해 있어, 중량은 무겁지만 단위 중량당 가치가 상대적으로 낮은 화물이 많이 처리되고 있음을 알 수 있다.

〈표 3-16〉 항만별 컨테이너 화물 평균 화물 가치 (2018~2022년)

항만	화물량 합계 (백만 톤)	금액 합계 (백만 달러)	화물 가치(원/kg)
부산	764,014	3,161,163	4,870
광양	187,071	208,946	1,315
인천	188,428	747,359	4,668
울산	34,604	59,883	2,037
평택·당진	25,839	126,494	5,762

자료: 한국무역통계 정보포털(검색일:2024.8.15.), 저자 재작성

주: 적용 환율 1,177원

이처럼 화물 가치의 차이는 각 항만의 특성, 주요 처리 화물의 종류, 배후 산업단지의 특성 등을 종합적으로 반영한다. 특히, 화물의 가치와 선박의 대기비용 간에는 밀접한 관계가 있다. 화물의 가치가 높을수록 해당 화물을 운송하는 선박의 대기비용도 증가한다. 예를 들어, 평택·당진항이나 인천항과 같이 고가의 전자제품이나 자동차 부품 등을 주로 처리하는 항만에서 선박이 대기하게 될 경우, 화물의 시간당 기회비용이 높아 더 많은 경제적 손실이 발생할 수 있다. 반면, 광양항과 같이 상대적으로 화물 가치가 낮은 항만에서는 선박의 대기로 인한 경제적 손실이 상대적으로 적을 수 있다.

본 연구에서 사용한 항만별 ton-TEU 전환 비율 데이터는 해양수산부에서 제공하는 Port-MIS를 통해 수집되었다. 본 연구는 2018년~2022년 5

년간의 데이터를 분석에 사용하였다. 항만별 ton-TEU 전환 비율은 컨테이너 물동량을 실제 중량으로 환산하여 보다 정확한 비용을 산정하였다.

〈표 3-17〉 항만별 컨테이너 화물 평균 RT/TEU 비율 (2018-2022년)

항만		화물량 합계(백만 톤)
부산	신항	18.3
	북항	17.1
광양		16.4
인천		15.1
울산		16.6
평택·당진		13.7

자료: 해운항만물류정보시스템(검색일: 2024.6.10.), 저자 재작성

〈표 3-18〉은 한국해양수산개발원(2023)이 분석한 주요 컨테이너 항로별 선박 적재율 데이터를 나타낸다. 선박 적재율은 선박의 총 적재 가능 용량 대비 실제 화물이 적재된 비율로(한국해양수산개발원, 2023), 선박 운송 효율성을 평가하는 핵심 지표다. 본 연구에서는 이 데이터를 활용하여 항만별 평균 적재율을 산출함으로써 보다 현실적인 체화비용을 분석하고자 한다.

〈표 3-18〉에 제시된 데이터는 2019년 1분기부터 2022년 3분기까지 주요 항로(아시아-유럽, 유럽-아시아, 아시아-북미, 북미-아시아)의 평균 적재율을 바탕으로 조사되었다. 이를 토대로, 부산항의 컨테이너 처리 실적, 권역별 항로 수, 정기노선 기항 횟수를 기준으로 가중평균하여 부산항의 평균 적재율을 추정하였다.

추정 결과, 부산항 컨테이너 선박의 평균 적재율은 약 53%이다. 이는 10,000TEU급 컨테이너 선박이 정박지에서 대기 중일 때, 약 5,300TEU의 화물이 체화되는 것으로 해석할 수 있다.

〈표 3-18〉 아시아-북미/유럽 노선 컨테이너 선박 평균 적재율

단위: %

노선	2019-Q1	2019-Q2	2019-Q3	2019-Q4	2020-Q1	2020-Q2	2020-Q3	2020-Q4
Asia-EU	73	69	72	74	65	70	79	80
EU-Asia	44	43	43	47	41	49	50	52
Asia-NA	70	74	78	74	63	77	86	84
NA-Asia	31	35	33	34	34	39	30	30
노선	2021-Q1	2021-Q2	2021-Q3	2021-Q4	2022-Q1	2022-Q2	2022-Q3	Average
Asia-EU	73	79	77	81	77	76	75	74.7
EU-Asia	45	45	43	43	42	42	41	44.7
Asia-NA	77	77	78	73	67	70	70	74.5
NA-Asia	26	24	20	19	19	20	18	27.5

자료: Lloyd's List Containers Data Hub(검색일: 2023.08.17.), 한국해양수산개발원(2023), p. 81. 재인용

4. 선석 점유율 산정

1) 사회적 총비용 최소화 목적함수 정의

본 연구에서는 대기행렬이론에 기반해 총비용 최소화 관점에서 최적의 선석 수와 점유율을 도출하는 방법론을 제안한다. 제안 모형의 목적함수는 항만 선석 건설에 소요되는 시설투자비용과 선박 대기로 인해 발생하는 대기비용의 합인 사회적 비용을 최소화하는 것으로 정의된다. 선석 공사비용 또는 시설투자비용은 신규 선석 수에 정비례하는 것으로 가정하였다. 선박 대기비용은 체선비용과 체화비용으로 구성되며, 각 비용은 연간 선박 입항 횟수, 평균 대기시간, 단위 시간당 대기비용을 곱하여 산정한다. 선박의 평균 대기시간은 선석 점유율에 의해 결정되는데, 선석 수가 증가하면 선석 점유율이 감소하여 대기시간 또한 감소한다.

선석 점유율은 선박의 도착률, 서비스율, 선석 수에 의해 결정된다. 하지만 본 연구에서는 선박의 도착률과 서비스율은 실증 데이터로 도출된 상수

이기 때문에 선석 점유율과 대기시간은 선석 수에 의해서만 영향을 받는다. 신규 선석이 추가 건설되면 선석 점유율은 감소하게 되고, 이는 곧 선박의 대기시간의 감소로 이어진다. 즉, 총비용 함수는 선석 수와 점유율의 함수로 표현할 수 있으며, 나아가 대기행렬이론의 선석 점유율 관계식을 이용하면 선석 수를 유일한 결정변수로 하는 총비용함수의 정의가 가능하다.

또한, 선석 점유율과 대기시간은 선석 수뿐만 아니라 선석에 가장 적합한 대기행렬모형, 즉 선박의 도착 간격 분포와 또는 서비스시간의 분포에 따라 달라질 수 있다. 다시 말해, 대기행렬모형의 유형($M/M/c$, $M/G/c$ 등)과 선석 수에 따라 대기시간에 따른 적절한 선석 점유율이 도출된다. 그러나, 기존의 관련 문헌은 부두 유형별 대기행렬모형 유형이나 적정 서비스 수준에 대해 언급하지 않거나, 선석 점유율과 선석 수 간의 관계를 고려하지 않는 경우가 많다.

2) 대기행렬표를 적용한 선석 점유율 산정

본 연구에서 제안하는 방법론의 타당성을 입증하기 위해 실제 부두의 운영 데이터를 활용한 사례 분석을 수행하였다. 분석 대상은 부산신항 1부두로, 과거 5년간의 선박 입항 패턴을 바탕으로 선박의 평균 도착률과 서비스율을 추정하였다. 실제 선석의 운영 데이터 기반의 접근을 통해 적정 서비스 수준에 대한 이론을 검증하고 보다 현실적인 시사점을 도출하고자 하였다.

이 분석 방법에서 주목할 점은 사회적 총비용 추정 과정에서 단위 선석 증설에 따른 한계비용(시설투자비용)과 한계 편익(대기비용의 감소)의 변화를 면밀히 관찰했다는 것이다. 과거 5년간의 실제 선박 운영 데이터를 바탕으로 도착률과 서비스율 산정하고, 대기행렬표를 구성하고, 추가 선석 수를 단계적으로 늘려가며 사회적 총비용 변화를 추적함으로써, 최적 선석 점유율과 최적 선석 수를 도출하였다.

부산신항 1부두의 적정 선석 점유율을 추정하기 위해 <표 3-19>의 대기행렬표를 활용한 분석이 수행되었다. 분석에 사용된 주요 데이터는 Port-MIS를 통해 수집되었으며, 지난 5년간 부산신항 1부두의 평균 선박 도착률(λ)은 0.0996척/시간, 평균 서비스율(μ)은 0.048척/시간, 그리고 평균 선석 점유율(ρ)은 69.1%로 나타났다. 선석 점유율(ρ)은 도착률(λ)을 서비스율(μ)과 선석 수(c)로 나눈 값으로, 아래 수식으로 표현할 수 있다.

$$\rho = \lambda / (\mu \times c) \quad (\text{III-1})$$

위 값을 바탕으로 부산신항 1부두에 신규 선석을 1개, 2개, 3개, 4개 추가하는 시나리오별 선석 점유율을 대기행렬표를 통해 산정하였다. 그 결과, 선석이 3개에서 7개로 증가함에 따라 점유율은 각각 51.8%, 41.5%, 34.6%, 29.6%로 감소하는 것으로 나타났다. 이는 신규 선석 추가에 따른 부두 서비스 수준의 향상을 의미한다.

선석 수 증가에 따른 선박당 평균 대기시간은 <표 3-19>의 대기행렬표를 이용하여 근사할 수 있다. 선석 수가 3개에서 7개까지 차례로 증가할 때 선석 점유율은 각각 51.8%, 41.5%, 34.6%, 29.6%로 감소하고, 이 점유율과 가장 근접한 대기율과 그에 따른 대기시간을 <표 3-19>의 대기행렬표에서 찾으면 각각 6.694, 1.342, 0.330, 0.073, 0.016시간으로 감소하는 것으로 나타났다. 평균 대기시간 감소는 연간 총 선박 대기비용의 절감으로 이어진다. 총 선박 대기비용(WC)은 아래 수식을 통해 산정할 수 있다.

$$WC = W_q \times \lambda \times 24 \times 365 \times (Cd + Co) \quad (\text{III-2})$$

여기서 Cd는 시간당 체선비용, Co는 시간당 체화비용을 의미한다. 24×365 은 연간 총시간을 나타낸다. 위 수식에 따라 산정된 연간 총 선박 대기비용은 선석 수가 3개에서 7개로 증가함에 따라 298억 원, 57억 원, 14억 원, 3억 원, 1억 원 순으로 감소하는 것으로 분석되었다.

〈표 3-19〉 부산신항 1부두 평균 대기시간(W_q) 산출표

$C =$	3		4		5		6		7	
ρ	대기시간	총비용	대기시간	총비용	대기시간	총비용	대기시간	총비용	대기시간	총비용
0.025	0	-	0	336	0	671	0	1,007	0	1,343
0.05	0.002	0	0	336	0	671	0	1,007	0	1,343
0.075	0.008	0	0.001	336	0	671	0	1,007	0	1,343
0.1	0.018	1	0.003	336	0	671	0	1,007	0	1,343
0.125	0.034	1	0.007	336	0.001	671	0	1,007	0	1,343
0.15	0.057	2	0.013	336	0.003	672	0.001	1,007	0	1,343
0.175	0.089	4	0.023	337	0.007	672	0.002	1,007	0.001	1,343
0.2	0.131	6	0.038	337	0.012	672	0.004	1,007	0.001	1,343
0.225	0.185	8	0.059	338	0.021	672	0.008	1,007	0.003	1,343
0.25	0.251	11	0.087	339	0.033	673	0.013	1,008	0.006	1,343
0.275	0.331	14	0.123	341	0.05	674	0.022	1,008	0.01	1,343
0.3	0.426	18	0.169	343	0.074	675	0.034	1,009	0.016	1,343
0.325	0.539	23	0.226	345	0.104	676	0.051	1,009	0.026	1,344
0.35	0.672	29	0.297	348	0.143	677	0.073	1,010	0.039	1,344
0.375	0.825	35	0.381	352	0.193	680	0.103	1,011	0.058	1,345
0.4	1.003	43	0.483	356	0.254	682	0.142	1,013	0.082	1,346
0.425	1.207	51	0.604	361	0.33	685	0.191	1,015	0.115	1,348
0.45	1.442	61	0.747	367	0.422	689	0.252	1,018	0.157	1,349
0.475	1.711	73	0.915	375	0.533	694	0.329	1,021	0.211	1,352
0.5	2.019	86	1.112	383	0.667	700	0.423	1,025	0.278	1,355
0.525	2.372	101	1.342	393	0.826	707	0.537	1,030	0.363	1,358
0.55	2.777	118	1.611	404	1.016	715	0.676	1,036	0.467	1,363
0.575	3.242	138	1.925	418	1.241	724	0.844	1,043	0.596	1,368
0.6	3.78	161	2.294	433	1.51	736	1.047	1,052	0.754	1,375
0.625	4.403	187	2.726	452	1.829	749	1.292	1,062	0.947	1,383
0.65	5.129	218	3.237	473	2.21	765	1.589	1,075	1.183	1,393
0.675	5.983	255	3.843	499	2.668	785	1.948	1,090	1.474	1,405
0.7	6.994	298	4.567	530	3.221	808	2.386	1,109	1.831	1,421
0.725	8.206	349	5.443	567	3.894	837	2.925	1,132	2.274	1,440
0.75	9.679	412	6.513	613	4.723	872	3.594	1,160	2.828	1,463
0.775	11.497	489	7.844	669	5.761	917	4.436	1,196	3.531	1,493
0.8	13.791	587	9.532	741	7.085	973	5.517	1,242	4.438	1,532
0.825	16.763	713	11.729	835	8.816	1,046	6.937	1,302	5.636	1,583
0.85	20.752	883	14.689	961	11.157	1,146	8.865	1,384	7.269	1,652
0.875	26.365	1,122	18.868	1,138	14.474	1,287	11.607	1,501	9.6	1,751
0.9	34.822	1,482	25.18	1,407	19.498	1,501	15.772	1,678	13.15	1,902
0.925	48.963	2,083	35.755	1,857	27.933	1,860	22.779	1,976	19.137	2,157
0.95	77.311	3,289	56.987	2,760	44.893	2,582	36.89	2,577	31.213	2,671
0.975	162.485	6,913	120.838	5,477	95.949	4,754	79.416	4,386	67.645	4,221

자료: 저자 작성

한편, 신규 선석 건설에는 상당한 공사비가 소요된다. 본 연구는 「부산항 진해신항(1단계) 건설사업 예비타당성조사」(한국개발연구원, 2022)를 바탕으로 선석 1개 추가 시 연간 약 336억 원의 공사비가 발생하는 것으로 가정하였다. 따라서 신규 선석 투자로 인한 대기비용 절감 효과와 공사비 증가분을 종합적으로 고려하여 경제적 선석 수를 결정해야 한다. 이를 반영한 경제적 선석 점유율 분석 결과는 <표 3-20>과 <그림 3-4>에 나타나 있다.

<표 3-20> 부산신항 1부두 선석 수 증가에 따른 총비용 변화

선석 수	3	4	5	6	7
대기행렬표 선석 점유율(%)	69.1	52.5	42.5	35.0	30.0
경제적 선석 점유율(%)	52.5	51.8	41.5	34.6	29.6
평균 대기시간(시간)	6.7	1.3	0.3	0.07	0.02
선박 대기비용(억 원)	298	57	14	3	1
시설 투자 비용(억 원)	0	335.7	671.4	1,007.1	1,342.8
총비용	298	393	685	1,010	1,344

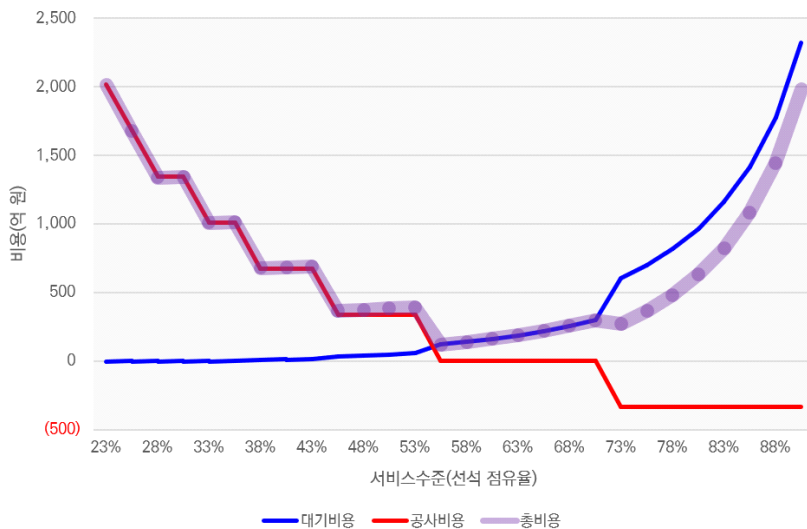
자료: 저자 작성

현재 부산신항 1부두의 대기행렬표로 산출한 이론적 선석 점유율은 69.1%의 높은 선석 점유율로 운영되고 있으며, 이는 사회적 비용을 고려한 선석 점유율인 52.5%를 약 16% 이상 상회하는 수준이다. 이러한 높은 점유율은 항만 운영의 효율성 저하와 선박 대기시간 증가로 이어져 사회적 비용을 증가시킬 가능성이 있다.

분석 결과, 현재 3개 선석 운영 시 평균 대기시간은 6.7시간이며 연간 선박 대기비용은 298억 원에 달한다. 4개 선석으로 증설 시 선석 점유율은 51.8%로 감소하고, 평균 대기시간은 1.3시간으로 줄어들며, 연간 선박 대기비용은 57억 원으로 크게 감소한다. 그러나 선석을 1개 추가 건설할 경

우, 335.7억 원의 연간 추가 시설 투자비용이 발생하기 때문에 현재 선석의 수인 3개를 유지하는 것이 가장 비용 효율적인 상태라고 볼 수 있다. 더 나아가 선석 수를 5개 이상으로 증설할 경우, 선석 점유율과 평균 대기 시간이 더욱 감소하지만, 시설 투자비용이 역시 증가하여 총비용이 크게 증가하는 것으로 나타났다. 이는 부산신항 1부두의 3개 선석 운영이 현 시점에서 가장 최적의 대안임을 시사한다.

〈그림 3-4〉 부산신항 1부두 선석 수 증가에 따른 총비용 변화



자료: 저자 작성

3) 국내 주요 컨테이너터미널의 적정 선석 점유율

〈표 3-21〉은 위와 같은 접근법을 이용하여 추정한 국내 주요 컨테이너 부두의 현재 선석 점유율, 현재 선석 수, 적정 점유율, 적정 선석 수, 사회적 총비용을 나타낸다. 사회적 총비용은 해당 컨테이너터미널의 선석 수, 체화비용, 체선비용, 선박 입항 수, 하역시간, 평균 선형 등을 모두 고려하

여 산정된 값이다. 사회적 총비용이 음수로 나타나는 것은 현재 기준으로 기존 시설의 시설투자비용이 그 시설로부터 얻는 사회·경제적 이익을 초과한다는 의미이다. 따라서 이러한 상황에서는 추가적인 시설투자를 지양하고, 물동량 유치를 통해 기존 시설의 활용도를 높이거나 다른 용도로의 전환을 고려해야 한다. 다만, 이미 건설된 항만 시설을 제거하거나 용도를 변경하는 것은 현실적으로 매우 어렵고 비용이 많이 드는 일이므로, 장기적인 관점에서의 물동량 증가, 선박의 대형화 및 항만의 전략적 중요성 등을 종합적으로 고려하여 신중하게 접근할 필요가 있다.

분석에 따르면, 많은 부두에서 현재 선석 수가 사회적 비용을 고려한 경제적 선석 수보다 많은 것으로 나타났다. 광양, 인천, 울산, 평택의 일부 부두들은 고시된 선석 수와 사회적 비용을 고려한 선석 수의 차이가 2배 이상인 것으로 나타났다. 다만 본 연구에서 사용한 선석 수는 4차 기본계획 상에 고시된 선석 수로 실제 운영 선석 수나 선박의 선형을 고려한 현실적 선석 수를 의미하는 것은 아니다.

부산신항의 경우, 대부분의 부두에서 현재 점유율이 적정 점유율에 근접해 있어 비교적 효율적으로 운영되고 있는 것으로 보인다. 그러나 신항 4부두의 경우 이론적 선석 점유율(0.46)이 사회적 비용을 고려한 선석 점유율(0.65)보다 낮아 개선의 여지가 있어 보인다. 인천 남항 ICT와 평택·당진 PNCT의 경우, 대기모형에 따른 점유율이 매우 낮은 수준으로 나타났다. 이는 터미널 규모에 비해 적은 입항 횟수로 터미널이 유향화된 것으로 보이나, 이는 최근 인천 남항 ICT와 평택·당진항 PNCT의 실제 선석 점유율과 큰 차이를 보여, 최신 데이터를 활용한 추가적인 검토가 필요한 것으로 보인다.

〈표 3-21〉 경제성 분석을 통한 국내 컨테이너터미널의 선석 점유율 산정 결과

구분	터미널	대기모형 선석점유율	현재 선석 수	경제적 선석 점유율	경제적 선석 수	총비용
부산 신항	1부두	0.69	3	0.55	3	118
	2부두	0.63	6	0.65	5	-152
	3부두	0.52	4	0.55	3	-194
	4부두	0.46	4	0.65	2	-334
	5부두	0.57	4	0.60	3	-157
부산 북항	감만	0.69	4	0.73	3	-184
	신감만	0.60	3	0.63	2	-197
	자성대	0.76	5	0.78	4	-152
	신선대	0.91	5	0.78	5	151
광양	2단계 2차	0.28	4	0.40	2	-633
	3단계 1차	0.34	4	0.48	2	-608
인천	남항 ICT	0.04	2	0.08	1	-335
	남항 E1	0.42	1	0.23	1	6
	신항 선광	0.51	3	0.78	1	-313
	신항 한진	0.43	3	0.68	1	-501
울산	신항	0.30	4	0.43	2	-645
	정일	0.36	1	0.20	1	5
평택·당진	PCTC	0.22	4	0.33	2	-663
	PNCT	0.07	3	0.15	1	-670

자료: 저자 작성

5. 산정 결과 분석

〈표 3-22〉는 UNCTAD(1985), Agerschou(2015), Fundación Valenciaport(2012), 해양수산부의 연구에서 제시된 선석 점유율과 본 연구의 경제성 분석 결과를 비교한 표이다. 〈표 3-22〉의 경제성 분석 결과는 국내 컨테이너터미널의 경제적 선석 수 별 선석 점유율을 평균한 값이다. 선석 1개의 선석 점유율은 35%, 2개 48%, 3개 61%, 4개는 78%, 5개는

71%로 나타났다. 선석 4개의 78% 부산북항 자성대부두 한 사례만 고려되어 이상치로 간주한다. 따라서 선석 수 4개의 선석 점유율은 선석 수 3개와 5개의 중간값인 66%로 보정한다.

먼저 경제성 분석 결과는 선석 수가 6개 이상인 사례가 없어 6개 이상의 선석 점유율은 산출이 불가능했다. 선석 수 1개를 비교해 보면 W/S 비율을 기반으로 한 Agerschou(2015), Fundación Valenciaport(2012) 및 W/S 비율 적용 결과보다는 높은 35%로 나타났으나 UNCTAD(1985) 및 해양수산부(2020)보다는 다소 낮게 나타났다. 선석 수 2개 또한 선석 수 1개와 비슷한 양상을 보였으나 선석 수 3개부터는 UNCTAD(1985)나 해양수산부(2020)보다 높은 61%로 나타났다. 선석 수 4개부터는 기존 연구보다 가장 높게 나타났으며 선석 수 4개일 때 66%, 5개일 때 71%로 나타났다.

〈표 3-22〉 경제성 분석 기반 선석 점유율 산출 결과 비교

단위: %

구분	선석 수					
	1	2	3	4	5	6 이상
UNCTAD(1985)	40	50	55	60	65	70
Agerschou(2015)	14	36	49	57	63	67
Fundación Valenciaport(2012)	14	36	49	57	63	67
해양수산부(2020)	40	50	55	60	60	60
경제성 분석 결과	35	48	61	78*	71	-
경제성 분석 결과(보정)	35	48	61	66	71	-

자료: 저자 작성

*자성대 부두 한 개의 사례만 고려되어 이상치로 간주

제3절 W/S 비율을 통한 장치장 점유율 산정

1. 연구 개요

항만 운영에서 장치장과 선석(안벽)의 효율적이고 균형있는 운영은 매우 중요한 과제다. 특히 선석 점유율에 대한 연구는 꾸준히 이루어졌지만, 장치장 점유율에 대한 연구는 상대적으로 부족한 상황이다. 김근섭(2021)은 컨테이너터미널 운영의 중심이 선석에서 장치장으로 옮겨가고 있으며, 장치장의 효율적인 관리가 터미널 전체 운영에 미치는 영향이 매우 크다고 밝혔다. 이는 기술 발전에 따라 안벽 영역의 문제가 줄어드는 반면, 항만 운영의 병목 현상이 장치장으로 이동하고 있다는 것을 뜻한다.

특히 우리나라의 주요 항만인 부산항의 경우 환적 비율이 높아 장치장의 효율적인 운영이 매우 중요한 실정이다. 부산항의 특성상 많은 선박이 환적 작업을 위해 항만을 이용하며, 이때 장치장이 효율적으로 운영되지 못할 경우 선박의 대기시간 증가와 더불어 전체 항만 생산성이 저하될 위험이 있다. 이에 따라 장치장의 점유율을 효율적으로 관리하는 것이 선박의 원활한 흐름을 유지하고, 선석 생산성을 극대화하는 데 핵심적인 역할을 한다.

해양수산부(2020)에 따르면, 국내 주요 항만에서는 적정 선석 점유율을 60%로 설정하고 있으며, 이는 컨테이너터미널 항만 종사자 및 이용자를 대상으로 한 조사의 결과에 기반한 수치이다. 해양수산부(2020)는 TOC 운영자 20명, 선사 22명, 운전자 349명을 대상으로 적정 장치장 점유율에 대한 설문조사를 하였는데, 그 결과 TOC 운영자들이 제시한 적정 장치장 점유율은 평균 65%, 선사들이 제시한 적정 장치장 점유율은 평균 62%로 나타났다. 같은 조사에서 하역능력 산정 시 고려해야 할 항목의 중요도에

서는 장치장의 크기 및 장치율에 대한 중요도가 가장 높다고 나왔다. 이러한 조사 결과는 터미널 운영에서 장치장의 효율적 관리가 필수적임을 다시 한번 강조하고 있다.

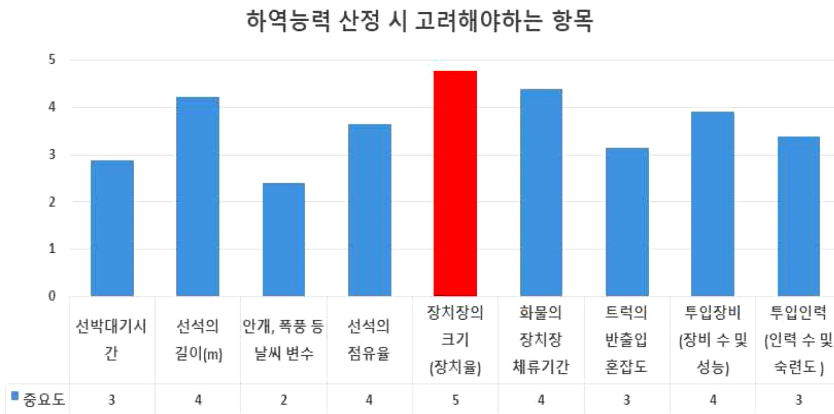
〈표 3-23〉 해양수산부(2020) 적정 장치장 점유율 설문 결과

단위: %

구분	2007	2017	2019	평균
TOC	61	66	68	65
선사	63	55	67	62

자료: 해양수산부(2020), p. 298.

〈그림 3-5〉 하역능력 산정 시 고려해야 하는 항목 중요도



자료: 해양수산부(2020), p. 300.

해양수산부(2020)뿐만 아니라 PIANC 및 중국 교통운수부 등 다양한 기관에서 하역능력 산정 방식에 장치장 점유율을 중요한 요소로 고려하고 있다(수식 II-7 및 II-9 참고). 이들 기관은 모두 선석 점유율뿐만 아니라 장치장 점유율을 중요한 서비스 수준 지표로 채택하고 있으며, 이는 터미널의 효율적 운영을 위해 필수적인 요소로 인정받고 있음을 시사한다. 특히,

해양수산부는 시뮬레이션을 통해 하역능력을 산정할 때 선석 점유율과 함께 장치장 점유율을 중요한 지표로 사용하고 있다. 이는 항만 운영에서 장치장의 역할이 선석만큼이나 중요하다는 것을 의미하며, 장치장의 효율적인 관리가 선석 생산성과 연계되어 전체 터미널 운영에 큰 영향을 미친다는 것을 반영하는 결과이다. 따라서, 장치장 점유율을 고려하지 않고서는 항만의 전체적인 생산성을 논할 수 없으며, W/S 비율을 통한 장치장 점유율 산정은 터미널 자원의 효율성을 극대화하기 위한 중요한 연구 방향이라고 할 수 있다.

본 연구는 W/S 비율을 활용하여 적정한 장치장 점유율을 산정하고, 이를 통해 항만의 생산성을 최적화하는 방안을 모색한다. 이 비율이 높을수록 선박의 대기시간이 길어지고 서비스 시간 대비 효율성이 떨어지며, 비율이 낮을수록 선박의 대기시간이 적고 운영이 원활하게 이루어진다고 판단할 수 있다. W/S 비율은 터미널 전체의 혼잡도를 평가하여 대기시간과 서비스 시간을 최적화할 수 있는 지표로 활용된다. 장치장 혼잡으로 인해 선박 대기시간이 길어지면 터미널의 생산성 저하를 초래하며, 이를 조정하기 위한 핵심 수단으로 W/S 비율이 적합하다고 판단한다. 장치장 점유율이 너무 높아지면 터미널의 혼잡도가 증가하고, 이는 안벽 작업에 부정적인 영향을 줘 대기시간의 증가와 W/S 비율의 악화를 초래할 수 있다. 반면, 점유율이 너무 낮으면 자원을 효율적으로 활용하지 못해 운영 비용이 증가할 수 있다. 해양수산부(2020)에서 제시한 적정 장치장 점유율은 60% 범위이며, W/S 비율을 활용한 연구는 이러한 조사 결과와 조화롭게 적정 점유율을 산정할 수 있을 것으로 판단한다.

본 연구는 W/S 비율을 기반으로 컨테이너터미널에서의 적정 장치장 점유율을 도출하기 위한 시뮬레이션을 수행하였다. 이를 위해 각 터미널의 실질적인 선박 입출항, 하역작업 시간 및 분포 등의 실제 운영 데이터를 바탕으로 터미널별 작업 특성을 반영한 시뮬레이션을 설계하였다. 이 시뮬

레이션 모형의 목적은 목표하는 W/S 비율을 달성하기 위해서는 장치장 점유율을 어떻게 유지해야 하는지 알아보는 것이다. 터미널별로 W/S 비율 목표(0.01, 0.05, 0.1, 0.15, 0.2)를 설정하고, 이에 대응하는 장치장 점유율을 계산하여, 각 터미널에서 목표 W/S 비율에 따른 적정 장치장 점유율을 도출하였다.

먼저, 시뮬레이션 대상이 되는 18개 국내 주요 컨테이너터미널(선석 점유율 산정 대상과 동일)에 대한 실질적인 운영 파라미터(입항 선박 수, 도착률, 서비스율, 장치장 평균 체류 시간, 표준편차)를 사전에 정의하였으며, 이를 바탕으로 터미널별 장치장 점유율 산정 시뮬레이션을 적용하였다. 예를 들어, 컨테이너터미널의 입항 선박수, 도착률 등은 한국해양수산개발원(2023)의 연구를 활용했으며 평균 안벽 작업 시간 및 분포는 한국해양수산개발원(2023)의 데이터를 활용하여 실제 분석을 실시했다. 컨테이너터미널별 장치장 체류 시간 평균과 표준편차는 해양수산부(2020)의 데이터를 활용하여 실제 운영 실정에 맞게 모형별 파라미터를 각기 다르게 설정하였다.

각 터미널에서 작업 시간 데이터를 바탕으로, 다양한 분포(예: 감마, 정규, 지수, 로그정규 분포로 한정)를 적용하여 해당 터미널의 작업 시간 패턴을 모델링하였다. 이를 위해 파이썬(Python)의 Fitter 라이브러리를 사용하여, 각 터미널의 작업 시간에 가장 적합한 분포를 자동으로 선택하고, 해당 분포의 파라미터를 추정하였다. 최적의 분포가 선택되면, 분포의 평균을 계산하여 안벽에서의 처리 시간을 도출했으며 터미널별로 다른 분포가 적용되며, 각 터미널의 실질적인 운영 데이터를 바탕으로 작업 시간을 모델링하였다.

선박 입항 간격과 장치장 체류 시간을 반영한 시뮬레이션을 통해, 각 터미널에서 설정한 W/S 비율 목표(0.01, 0.05, 0.1, 0.15, 0.2)를 만족하는

장치장 점유율을 도출하였다. 이 과정에서 선박의 입항 간격은 한국해양수산개발원(2023)에서 분석한 분포 결과에 따르며, 장치장 체류 시간은 정규 분포를 따른다고 가정하였다. 본 연구에서 정의한 시뮬레이션 프로세스는 <표 3-24>와 같다.

<표 3-24> 적정 장치장 점유율 산정 시뮬레이션 프로세스

단위: %

구분	시뮬레이션 절차	방법
1	선박 입출항 패턴	한국해양수산개발원(2023)에서 제공한 컨테이너터미널의 선박 도착 시간 분포, 입항 횟수, 도착률을 사용하여 선박 입출항 패턴을 모사함
2	안벽 작업 시간	한국해양수산개발원(2023)의 원시 데이터를 활용해 터미널별 최적의 분포를 분석하고, 해당 분포(예: 감마분포)에 맞춰 무작위로 안벽 작업 시간을 생성함
3	장치장 체류 시간	해양수산부(2020) 조사 데이터를 기반으로 평균 체류 일자와 편차를 반영하여 정규분포로 가정하고, 평균과 표준편차에 맞춰 무작위로 생성함
4	장치장 점유율과 대기시간	장치장 점유율에 따라 선박의 대기시간이 결정되며, 점유율이 높을수록 대기 확률이 증가. 시뮬레이션을 통해 W/S 비율 목표에 도달하는 장치장 점유율 계산
5	시뮬레이션 설정	각 터미널별로 목표 W/S 비율(0.01, 0.05, 0.1, 0.15, 0.2)에서 1,000회씩 반복 시뮬레이션 수행, 목표 W/S 비율 유지 시점의 평균 장치장 점유율을 적정 점유율로 간주함

자료: 저자 작성

2. 장치장 점유율 산정

<표 3-25>는 국내 주요 컨테이너터미널별 적정 장치장 점유율을 산정하기 위한 시뮬레이션 변수 값을 정리한 것이다. 먼저 도착시간 분포는 대부분 지수 분포를 따르고 있으며, 이는 선박들이 항만에 도착하는 시간이 확률적으로 일정하다는 가정을 반영하고 있다. 지수 분포는 대기 행렬 모형에서 일반적으로 사용되며, 선박 도착 사이의 시간이 일정하지 않고, 무작

위적으로 발생하는 상황을 설명하는 분포이다.

하역시간 분포는 터미널별로 감마 분포나 정규 분포를 따른다. 감마분포는 터미널의 작업 시간이 선박마다 다를 수 있음을 반영하며, 작업량에 따라 하역 시간이 변동될 수 있다는 특징을 가진다. 일부 터미널은 정규 분포를 따르며, 이는 평균과 표준편차가 일정한 범위 내에서 하역 작업이 이루어지는 터미널이라고 볼 수 있다.

입항 횟수는 각 터미널의 일정 기간 동안 처리된 선박 수를 나타낸다. 이 값은 시뮬레이션에서 도착률 계산에 사용되며, 도착률은 단위 시간당 선박이 터미널에 도착하는 빈도를 나타낸다. 도착률이 높으면 터미널에 선박이 자주 도착해 작업 부하가 증가하고 대기가 발생할 수 있다.

서비스율은 터미널이 선박을 처리하는 속도를 나타낸다. 시뮬레이션에서 서비스율이 높을수록 터미널의 작업이 효율적으로 이루어지며, 대기시간이 줄어든다. 서비스율은 하역 시간 분포에 따라 결정되며, 각 터미널별 작업 시간 데이터에 기반해 설정되었다.

체류일수는 선박이 터미널에 머무는 시간으로, 이 값은 터미널의 장치장 점유율에 직접적인 영향을 미친다. 평균 체류 시간이 길어질수록 장치장의 혼잡도가 증가하고, 대기시간도 늘어나게 된다. 반면, 체류 시간이 짧으면 장치장에 여유가 발생하고 안벽 작업이 효율적으로 진행될 수 있다. 표준편차는 장치장 체류 시간의 변동성을 나타낸다. 표준편차가 클수록 선박의 체류 시간이 터미널마다 크게 달라질 수 있음을 의미하며, 이는 장치장 점유율을 예측하는 데 중요한 요소이다. 예를 들어, 부산신항 4부두는 평균 체류 일수가 12.2일로 다른 터미널과 비교해서 상대적으로 길고 표준편차도 20.5일로 매우 높아, 이 터미널은 장치장 점유율이 불안정할 가능성이 있다.

〈표 3-25〉 장치장 점유율 산정을 위한 시뮬레이션 변수

단위: 회, 일

구분	도착시간 분포	하역시간 분포	입항 횟수	도착률	서비스 율	체류일수	
						평균	편차
부산신항 1부두	지수	감마	872.8	0.0996	0.0480	4.9	2.9
부산신항 2부두	지수	감마	1,746.4	0.1994	0.0529	6.0	3.5
부산신항 3부두	지수	감마	1,074.4	0.1226	0.0590	6.3	3.4
부산신항 4부두	지수	감마	886.8	0.1012	0.0550	12.2	20.0
부산신항 5부두	지수	감마	876.8	0.1001	0.0442	5.9	3.4
부산 감만	지수	감마	1,523.6	0.1739	0.0632	5.1	3.6
부산 신감만	감마	감마	952.8	0.1088	0.0607	4.3	3.3
부산 자성대	지수	감마	1,947.4	0.2223	0.0585	4.3	1.8
부산 신선대	지수	지수	2,354.2	0.2687	0.0591	4.1	2.0
광양 2단계 2차	지수	감마	1,145.0	0.1307	0.1152	6.6	3.7
광양 3단계 1차	지수	지수	1,189.2	0.1358	0.0989	12.0	12.8
인천 남항 ICT	지수	지수	461.8	0.0527	0.0670	9.6	8.1
인천 남항 E1	지수	정규	270.6	0.0309	0.0732	11.0	5.4
인천 신항 선광	지수	지수	958.6	0.1094	0.0719	5.2	4.2
인천 신항 한진	지수	감마	829.4	0.0947	0.0735	6.3	4.7
울산 신항	지수	감마	880.6	0.1005	0.0834	5.1	5.0
울산 정일	지수	감마	387.8	0.0443	0.1241	11.7	6.3
평택·당진 PCTC	지수	지수	473.6	0.0541	0.0615	5.9	4.8
평택·당진 PNCT	정규	지수	110.2	0.0126	0.0566	3.4	3.8
대산 4부두	로그정규	지수	130.0	0.0148	0.0654	6.8	5.4

자료: 한국해양수산개발원(2023), 해양수산부(2020) 자료 기반 저자 재작성

〈표 3-26〉은 터미널별 W/S 비율에 따른 장치장 점유율 시뮬레이션 결과를 나타낸 것이다. 이 표는 국내 주요 컨테이너터미널에서 W/S 비율이 0.01, 0.05, 0.1, 0.15, 0.2로 설정되었을 때의 장치장 점유율을 보여준다. 각 터미널의 장치장 점유율은 W/S 비율이 증가할수록 장치장 점유율이 상승하는 경향을 보이며, 이는 장치장이 혼잡할수록 대기시간이 길어지고, 효

울적인 안벽 작업이 어려워진다는 것을 시사한다.

W/S 비율이 0.01이라는 것은 대기시간이 거의 없고, 선박이 터미널에 도착하자마자 서비스가 시작됨을 의미한다. 이 상태에서는 평균 장치장 점유율이 3~5%로 매우 낮게 나타나며, 이는 터미널 내 장치장 자원이 충분히 여유롭고 선박의 하역 작업이 완벽하게 이루어진다는 것을 보여준다. 장치장 혼잡도의 관점에서 보면 이 상황에서는 장치장이 거의 혼잡하지 않음을 의미한다. 이는 안벽에서의 작업 효율이 매우 높고, 장치장이 안벽 작업을 완벽하게 지원할 수 있는 상태인 것으로 해석할 수 있다.

W/S 비율이 0.05로 상승하면, 평균 장치장 점유율은 16~18%로 증가한다. 대기시간이 다소 증가하기 시작하며, 터미널에서 선박이 하역 작업을 시작하기 전에 최소한의 대기시간이 발생하고 있음을 나타낸다. 이때는 장치장의 자원 점유율이 약간 증가했지만, 여전히 터미널의 효율적인 운영을 유지할 수 있는 수준이다. 혼잡도도 약간 증가하지만, 대기시간이 여전히 짧아 안벽 작업이 원활하게 이루어진다고 예상할 수 있다.

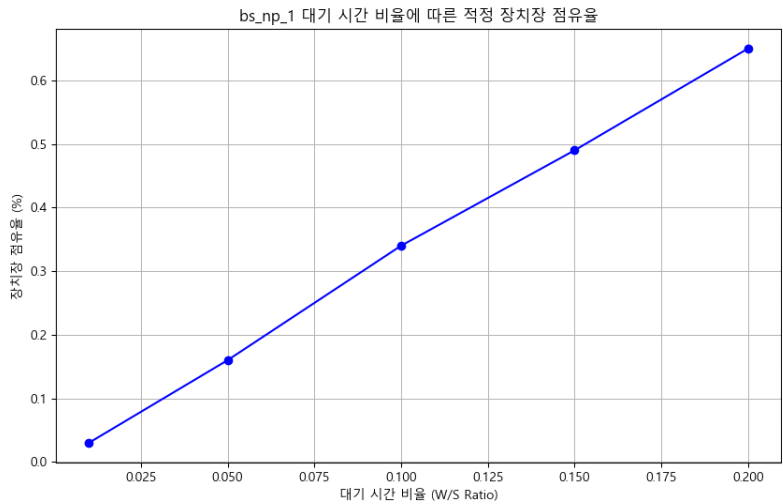
W/S 비율이 0.1로 증가하면, 평균 장치장 점유율은 30~35%로 나타난다. 이 수준에서는 대기시간이 다소 증가하지만, 여전히 관리가능한 혼잡도이다. 터미널의 자원은 적절히 활용되고 있으며, 장치장의 점유율이 절반에 못 미치므로 효율적으로 운영되고 있다. W/S 비율 0.1까지는 장치장의 혼잡도가 허용 가능한 범위로 판단된다. 선석과 장치장이 균형을 이루고 있으며, 대기시간이 크게 지연되지 않는 상태를 유지하고 있다고 해석할 수 있다.

W/S 비율이 0.15로 증가하면, 평균 장치장 점유율은 45~50%에 도달한다. 대기시간이 더욱 길어지고, 터미널 내 작업 효율성이 낮아진다고 판단할 수 있다. 또한 침투기간(피크타임)을 고려하면 이 시점에서는 장치장은 절반 이상 혼잡해지며, 터미널 운영의 지연이 본격적으로 발생하기 시작한

다고 해석할 수 있다. 터미널 자원이 점차 부족해지며, 선박 대기시간이 빠르게 증가하는 경향을 보일 것으로 예상된다.

W/S 비율이 0.2에 도달하면, 평균 장치장 점유율은 65~67% 수준으로 상승합니다. 또한 침두기간을 고려하면 이는 터미널 운영에 있어 상당한 혼잡 상태에 도달한 것을 예상된다. 선박은 장치장에서 장시간 대기하게 되며, 터미널 자원이 포화 상태에 도달해 작업의 효율성이 많이 떨어진 상태로 해석할 수 있다.

〈그림 3-6〉 부산신항 1부두 W/S 비율에 따른 장치장 점유율 변화



자료: 저자 작성

〈표 3-26〉 터미널별 W/S 비율에 따른 장치장 점유율 시뮬레이션 결과

단위: 회, 일

구분	W/S 비율				
	0.01	0.05	0.1	0.15	0.2
부산신항 1부두	3	16	34	49	65
부산신항 2부두	4	18	31	50	66
부산신항 3부두	4	18	33	51	66
부산신항 4부두	4	16	33	47	67
부산신항 5부두	4	15	32	49	66
부산 감만	4	17	33	52	67
부산 신감만	5	16	34	50	66
부산 자성대	4	18	35	50	67
부산 신선대	3	15	33	50	67
광양 2단계 2차	4	16	33	51	68
광양 3단계 1차	4	17	34	51	67
인천 남항 ICT	3	17	32	50	66
인천 남항 E1	2	17	31	45	64
인천 신항 선광	5	17	31	50	67
인천 신항 한진	4	18	32	48	66
울산 신항	4	17	35	48	67
울산 정일	3	13	30	46	66
평택·당진 PCTC	4	16	33	52	65
평택·당진 PNCT	4	16	24	47	64
대산 4부두	3	15	35	49	61
평균	4	16	32	49	66

자료: 저자 작성

3. 산정 결과 분석

PIANC, 중국 운수부, 해양수산부는 모두 장치장 점유율을 고려한 하역 능력 산정 방식을 채택하고 있다. 해양수산부는 장치장 점유율을 60%로 설정하고 있으며, 이는 터미널 운영의 안정적 수준으로 유지할 수 있으며 이 수준은 선석 작업에 큰 영향을 미치지 않으면서도 장치장이 과부하 상태에 이르지 않는 수준으로 설정한 것으로 판단된다.

항만 운영에서 안벽은 가장 중요한 자원으로, 항만의 효율성과 생산성을 결정하는 핵심 요소이다. 장치장은 선석의 생산성을 지원하는 역할을 하며, 선석의 효율성을 저해하지 않는 범위 내에서 장치장 점유율을 관리하는 것이 중요하다. 본 절의 시뮬레이션 결과를 바탕으로, 장치장의 점유율을 효율적으로 관리하는 데 필요한 결론을 도출할 수 있다.

W/S 비율이 0.2일 때, 즉 안벽 작업의 생산성에 영향을 미치지 않을 수준의 장치장 점유율을 66% 이하로 유지하는 것은 합리적인 수준으로 보인다. 장치장이 과부하 상태에 도달하지 않도록 관리해야 하며, 터미널 운영의 안정성을 위해서는 66%를 초과하지 않도록 하는 것이 최적으로 판단된다. W/S 비율이 0.1일 때 장치장 점유율이 30~35% 수준에서 유지되는 것은 여유로운 상태이지만, 실제로 운영 측면에서는 비효율적일 수 있다. 따라서, 터미널 자원이 효율적으로 활용될 수 있도록 점유율을 최대 66% 이내에서 관리하는 것이 바람직한 것으로 판단된다. 장치장은 선석 작업을 지원하는 역할을 하므로, 선석의 생산성을 저해하지 않는 범위에서 효율적으로 운영되어야 한다. 이를 위해 선석 점유율은 W/S 비율을 0.1 이하인 상태로 유지하고 장치장은 안벽 작업을 지원하기 위해 최대 허용 가능한 장치장 점유율인 66% 이상의 점유율에 도달하지 않도록 관리하는 것이 운영 전략의 핵심이다.

〈표 3-27〉 해양수산부(2020) 적정 선석 점유율 설문 결과

단위: %

구분		적정 선석 점유율
해양수산부(2020)	하역능력 산정	60
	TOC 조사 결과	65
	선사 조사 결과	62
W/S 비율 적용 시뮬레이션 결과		66

자료: 해양수산부(2020), 저자 재작성

제4절 적정 서비스 수준 제안 및 시사점

1. 적정 서비스 수준 제안

〈표 3-28〉은 선석 수에 따른 선석 점유율 분석 결과를 보여준다. 해양수산부(2020)의 하역능력 산정을 위한 선석 점유율은 1선석의 경우 40%, 2선석은 50%, 3선석은 55%, 4선석 이상은 60%이다. W/S 비율을 적용하여 계산된 선석 점유율은 1선석의 경우 10%, 2선석은 35%, 3선석은 50%, 4선석 이상은 55%로 나타난다. 마지막으로 경제성 분석 결과는 1선석은 35%, 2선석은 50%, 3선석은 60%, 4선석 이상은 65%이다. 세 가지 결과를 종합적으로 판단했을 때 1선석 40%, 2선석 50%, 3선석 60% 및 4선석 이상 65%를 제안한다. 이는 기존 해양수산부(2020)와 본 연구에서 분석된 결과의 최대값을 적용한 것으로 향후 지속적으로 발전하는 항만 기술과 선박의 대형화 등을 고려하여 진취적인 수치로 설정했다. 이는 이론적 대기 시간 및 경제성 분석에서 높은 선석 수에서 선석 점유율의 급격한 증가를 일부 반영한 결과로 기존 해양수산부(2020)의 3선석과 4선석 이상에서

5%씩 증가한 결과이다. 또한 정책적 활용성을 높이기 위해 4선석 이상은 4선석과 동일한 값을 적용한다.

〈표 3-28〉 적정 선석 점유율(안)

단위: %

구분	선석 수			
	1	2	3	4 이상
해양수산부(2020)	40	50	55	60
W/S 비율 적용 결과	10	35	50	55
경제성 분석 결과	35	50	60	65
적정 선석 점유율(안)	40	50	60	65

자료: 저자 작성

주: W/S 비율, 경제성 분석 결과는 5배수 근사값 적용, 적정 선석 점유율(안)은 세 값의 최대값 적용

〈표 3-29〉는 국내 컨테이너터미널 적정 서비스 수준을 분석한 결과로, 선석 수에 따른 적정 선석 점유율을 서비스 수준별로 나눈 내용을 보여주고 있다. 각 서비스 수준에 따라 선석 점유율이 달라지며, 선석과 상관없는 장치장 점유율도 제시하고 있다. 〈표 3-29〉는 I에서 V까지 다섯 가지 서비스 수준으로 나뉘어 있다. 이는 타 SOC 사례의 서비스 수준 분석으로 도출한 등급 분류 특성을 고려한 것이며 앞서 2장에서 정의한 서비스 수준별 상태와 접목하여 해석할 수 있다. 각 수준은 다른 선석 점유율을 나타내며, 일반적으로 서비스 수준이 높아질수록 선석 점유율도 높아진다. 이를 해석하면 사회·경제적 중요도가 높은 항만은 실제 운영, 이론적 대기시간 및 사회적 비용을 고려해 서비스 수준을 높게(I) 가져가서, 선석 점유율을 낮게 유지하고 대기시간을 줄이는 것이 사회적으로 이익이 될 수 있다는 것으로 해석할 수 있다. 또한 일반적인 항만은 적정한 서비스 수준을 유지하여 항만 사용자의 만족도를 수용 가능한 수준으로 유지하고 운영사의 이익을 균형있게 확보하여 사회적 비용을 줄이는 형태로 해석할 수 있다.

서비스 수준 I에서는 1선석이 30%, 4선석 이상이 55%로 설정한다. 서

비스 수준 III는 적정 수준으로, 1선석 40%, 4선석 이상 65%의 점유율을 제시한다. 서비스 수준 V는 가장 높은 수준으로, 1선석 55%, 4선석 이상은 70%의 점유율로 설정한다. 장치장 점유율은 선석 수에 상관없이 동일하게 적용했으며 이는 실제로도 선석 수와 상관없이 운영되는 장치장의 특성을 고려한 사항이다. 그리고 적정 장치장 점유율 65%는 기존 해양수산부(2020)와 항만 이해관계자들의 설문조사 및 W/S 비율 기반 시뮬레이션의 결과로 안벽 생산성을 유지하기 위해서는 최대 65% 수준으로 유지해야 하며 그 이상이 될 경우는 안벽 생산성 및 선박 대기에 영향을 미칠 수 있을 것으로 판단하여 65%로 설정하였다.

〈표 3-29〉 국내 컨테이너터미널 적정 서비스 수준(안)

단위: %

서비스 수준		선석 수에 따른 적정 선석 점유율			
		1	2	3	4 이상
선석 점유율	I	30	40	50	55
	II	35	45	55	60
	III	40	50	60	65
	IV	45	55	65	70
	V	55	60	70	70
장치장 점유율		65			

자료: 저자 작성

2. 시사점

본 장에서는 기존의 획일적인 선석 점유율 기준에서 벗어나, 국내 컨테이너터미널의 실제 운영 데이터를 활용하여 대기행렬 이론, W/S 비율 적용, 사회적 비용 함수 및 시뮬레이션 등 적용함으로써 새로운 선석 점유율 기준을 도출했다. 이는 정책 및 운영 의사결정의 현실성과 정교함을 높일

수 있을 것으로 판단한다. 본 연구에서 제시한 대기행렬 기반 W/S 비율 적용 방법론은 데이터 기반의 과학적 분석을 바탕으로 항만 개발 및 운영 계획 수립에 직접적인 도움을 줄 수 있다. 향후 신규 항만 개발이나 기존 항만의 확충 시, 예상 물동량 변화 및 비용 구조에 대한 정밀한 예측을 통해 효율적인 투자 결정을 지원할 수 있다.

또한 사회적 비용 모형은 선박 대기비용과 시설 투자 비용을 종합적으로 고려하여 사회적 총비용을 최소화할 수 있는 선석 점유율을 도출한다. 이를 통해 항만 운영의 경제적 효율성을 극대화하고 불필요한 시설 과잉투자 및 중복투자를 예방할 수 있으며, 장기적으로 항만의 경쟁력을 강화할 수 있다. 선석 점유율뿐만 아니라 W/S 비율을 통한 시뮬레이션은 안벽 생산 성과 W/S 비율을 해치지 않는 선에서의 적정 장치장 점유율을 제안함으로써 효율적인 항만 운영을 달성하고 이론적 기반을 이룰 수 있다.

다만 장래 물동량 증가, 선박 대형화 등 해운 환경 변화에 따라 적정 선석 점유율은 변화할 수 있다는 것을 고려해야 한다. 따라서 지속적인 모니터링과 분석을 통해 변화에 유연하게 대응하고, 중장기적 관점에서 시설 운영 및 투자 계획을 수립하는 것이 필요하다.

04

항만별 서비스 수준 적용 기준

제1절 항만별 처리 화물 영향권 분석

1. 개요

항만 운영에서 하역능력은 효율적인 물류 흐름을 보장하고, 선박 대기시간을 최소화하는 핵심 요소이다. 하역능력이 부족할 경우, 선박은 항만에서 대기해야 하며, 이는 항만 이용자와 사회 전체에 경제적 손실을 초래할 수 있다. 이러한 손실은 특히 고가의 화물을 처리하는 항만에서 더욱 심각하게 나타나며, 대기시간이 길어질수록 발생하는 기회비용이 증가한다. 반면, 일반적인 가치의 화물을 다루는 항만에서는 일정 정도의 대기가 허용될 수 있으며, 대기가 심각해지지 않는 한 이는 사회적 비용의 증가에 상대적으로 적은 영향을 미칠 수 있다.

기존 연구(해양수산부, 2020)에서는 항만의 하역능력 산정을 위해 서비스 수준을 일괄적으로 적용하였다. 일부 항만에서는 다른 서비스 수준을 적용했지만, 그 적용 기준이 불분명했고 왜 차별적으로 적용했는지에 대한 명확한 근거도 없었다. 그러나 항만이 처리하는 화물의 가치, 물량, 그리고

항만의 운영 특성에 따라 서비스 수준을 차별화할 필요가 있다. 예를 들어, 고부가가치 화물을 다루는 항만에서는 하역능력 산정 시 더욱 엄격한 기준을 적용해야 하며, 선박 대기시간을 최소화하기 위해 높은 수준의 서비스가 요구된다. 반면, 상대적으로 가치가 낮은 화물을 처리하는 항만에서는 상대적으로 완화된 서비스 수준을 적용할 수 있다.

화물의 물량 역시 항만 서비스 수준 차등 적용의 중요한 요인으로 작용할 수 있다. 대규모 물동량을 처리하는 항만에서는 선박이 대기하는 시간이 길어질수록 발생하는 경제적 손실이 기하급수적으로 증가할 수 있다. 이는 단순히 대기비용뿐만 아니라, 물류 지연으로 인해 공급망 전체에 악영향을 미칠 수 있기 때문이다. 대량 화물이 처리되는 항만에서는 짧은 대기시간에도 막대한 물량이 영향을 받을 수 있으므로, 더욱 높은 수준의 서비스가 요구된다.

이번 장은 항만별로 처리하는 화물의 가치와 물동량에 따라 차별화된 하역능력 산정 및 서비스 수준 적용 기준을 마련하는 것을 목적으로 한다. 따라서 항만이 처리하는 화물의 특성과 사회적 가치를 종합적으로 고려하여, 각 항만에 적합한 하역능력과 서비스 수준을 차등적으로 적용함으로써 자원의 효율적 배분과 운영비용 절감을 도모하고자 한다.

특히 하역능력 산정에 있어 항만별 화물 가치 및 물동량의 차이를 반영하여, 고부가가치 화물을 처리하는 항만에서는 보다 엄격한 서비스 수준을 적용하고, 일반적인 화물을 처리하는 항만에서는 유연한 기준을 적용할 수 있는 체계를 제시한다. 이를 통해 선박의 대기시간을 줄이고, 항만 운영의 효율성을 높일 수 있는 방안을 모색하고자 한다.

2. 항만별 화물 가치 규모 산정

1) 컨테이너 수출입 물동량 분석

국내 주요 항만들의 컨테이너 물동량 분석을 통해 각 항만이 처리하는 화물의 규모와 비중을 파악할 수 있다. 2019년부터 2023년까지 국내 주요 항만의 컨테이너 물동량을 분석한 결과, 부산항이 국내 전체 물동량의 75.9%를 차지하며 가장 중요한 역할을 담당하고 있는 것으로 나타났다. 연평균 2,235만 1천 TEU의 물동량을 처리하는 부산항은 국내외 물류의 중심 허브로 기능하고 있으며, 국내 물류 흐름에서의 영향력이 절대적이다. 인천항은 연평균 327만 4천 TEU로 11.1%의 비중을 차지하며 수도권 물류의 핵심 거점으로 자리 잡고 있다. 광양항은 연평균 207만 8천 TEU를 처리하며, 전체 물동량의 7.1%를 차지하고 있다. 이와 달리, 울산항과 평택·당진항은 각각 1.6%와 2.8%의 물동량을 처리하며, 상대적으로 적은 규모지만 특정 지역 및 산업과 연계된 물류 기능을 수행하고 있다. 대산항과 그 외 항만들은 각각 0%와 1%의 물동량을 처리하여, 상대적으로 적은 양의 컨테이너를 다루고 있다.

〈표 4-1〉 국내 주요 항만별 컨테이너 물동량

단위: 천 TEU

구분	2019	2020	2021	2022	2023	평균	비중(%)
부산	21,992	21,824	22,706	22,078	23,154	22,351	75.9
인천	3,092	3,272	3,354	3,192	3,461	3,274	11.1
광양	2,378	2,159	2,125	1,864	1,863	2,078	7.1
울산	517	536	457	389	404	461	1.6
평택·당진	725	793	936	853	820	825	2.8
대산	74	121	75	67	103	88	0.3
그 외	447	397	386	378	342	390	1.3
합계	29,226	29,101	30,038	28,822	30,147	29,467	100

자료: 해운항만물류정보시스템(검색일: 2024.6.10.), 저자 재작성

국내 주요 항만들의 컨테이너 수입 물동량을 살펴보면, 부산항이 전체 수입 물동량의 61.4%를 차지하며 가장 큰 역할을 하고 있다. 부산항은 연평균 514만 3천 TEU의 수입 화물을 처리하며, 국내외 물류 네트워크의 중요한 축을 형성하고 있다. 인천항은 연평균 164만 1천 TEU로 전체 수입 물동량의 19.6%를 담당하며, 수도권 수입 화물의 핵심 거점 역할을 한다. 광양항은 10.1%의 비중으로 연평균 85만 TEU를 처리하며, 주요 산업 화물의 수입을 지원하고 있다. 한편, 울산항과 평택·당진항은 각각 2.5%와 4.9%의 비중을 차지하며, 연평균 20만 8천 TEU와 40만 8천 TEU의 수입 화물을 처리한다. 이들 항만은 주로 지역 산업을 지원하는 수입 물류 허브로 기능하고 있다. 대산항과 그 외 항만들은 0.5%와 1.1%의 수입 물동량 비중을 차지하며, 상대적으로 소규모 수입 화물을 처리하고 있다.

〈표 4-2〉 국내 주요 항만별 컨테이너 수입 물동량

단위: 천 TEU

구분	2019	2020	2021	2022	2023	평균	비중(%)
부산	5,192	4,853	5,208	5,133	5,331	5,143	61.4
인천	1,565	1,623	1,689	1,593	1,737	1,641	19.6
광양	873	874	897	801	802	850	10.1
울산	234	242	205	173	187	208	2.5
평택·당진	360	391	467	417	407	408	4.9
대산	31	57	37	34	50	42	0.5
그 외	113	99	94	74	74	91	1.1
합계	8,368	8,139	8,598	8,225	8,587	8,383	100

자료: 해운항만물류정보시스템(검색일: 2024.6.10.), 저자 재작성

국내 컨테이너 수출 물동량에서 부산항은 전체의 61.6%를 차지하며, 연평균 518만 6천 TEU의 수출 화물을 처리하고 있다. 인천항은 연평균 157만 2천 TEU로 18.7% 비중을 차지하며, 수도권 산업의 주요 수출 항만으로 기능하고 있다. 광양항은 10.2%의 비중을 차지하며, 연평균 82만 6천 TEU의 수출 물동량을 처리한다. 울산항은 2.9%의 비중으로 연평균 24만 6천 TEU의 수출 화물을 처리하며, 주로 산업 화물의 수출을 담당한다. 평택·당진항은 연평균 405천 TEU로 4.8%를 차지하며, 중부권 산업의 수출 물류를 지원한다. 대산항과 그 외 항만들은 각각 0.5%와 1.2%의 수출 물동량 비중을 차지하며, 상대적으로 적은 양의 수출 화물을 처리하고 있다.

〈표 4-3〉 국내 주요 항만별 컨테이너 수출 물동량

단위: 천 TEU

구분	2019	2020	2021	2022	2023	평균	비중(%)
부산	5,163	4,951	5,225	5,178	5,414	5,186	61.6
인천	1,487	1,570	1,602	1,524	1,675	1,572	18.7
광양	925	914	891	776	806	862	10.2
울산	276	290	247	207	208	246	2.9
평택·당진	353	390	458	419	405	405	4.8
대산	43	63	38	33	53	46	0.5
그 외	122	111	109	84	93	104	1.2
합계	8,368	8,290	8,570	8,220	8,655	8,420	100

자료: 해운항만물류정보시스템(검색일: 2024.6.10.), 저자 재작성

국내 주요 항만별 컨테이너 연안 물동량을 분석한 결과, 전체 연안 물동량의 94.8%가 그 외 항만(목포, 제주 및 동해·묵호항)에서 처리되고 있는 것으로 나타났다. 2019년부터 2023년까지 연평균 18만 2천 TEU가 목포, 제주 및 동해·묵호항을 통해 이동하고 있으며, 이는 연안 물류에서 상대적으로 소규모 항만들의 역할이 두드러짐을 보여준다. 부산, 울산, 평택·당진, 대산항은 연안 물동량에서 거의 역할을 하지 않으며, 각각의 비중은 0%에 가깝다.

이와 같은 연안 물동량 분석은 국내 주요 항만들이 국제 물류와 산업 물류를 중심으로 운영되고 있으며, 연안 물동량의 대부분이 상대적으로 작은 항만에서 이루어지고 있음을 보여준다. 이러한 결과는 주요 항만에서 연안 화물 처리보다는 대형 화물이나 국제적 물동량을 처리하는 데 집중하고 있음을 시사한다.

〈표 4-4〉 국내 주요 항만별 컨테이너 국내 연안 물동량

단위: 천 TEU

구분	2019	2020	2021	2022	2023	평균	비중(%)
부산	-	0	0	1	1	0	0.0
인천	7	9	8	4	1	6	3.1
광양	-	0	5	10	4	4	2.1
울산	-	-	-	0	-	0	0.0
평택·당진	-	-	-	-	-	-	-
대산	-	-	-	-	-	-	-
그 외	200	175	167	205	162	182	94.8
합계	206	185	181	221	167	192	100

자료:해운항만물류정보시스템(검색일: 2024.6.10.), 저자 제작성

국내 주요 항만별 컨테이너 환적 물동량을 분석한 결과, 부산항이 전체 환적 물동량의 96.4%를 차지하며 압도적인 비중을 담당하고 있는 것으로 나타났다. 부산항은 연평균 1,202만 1천 TEU의 환적 물동량을 처리하며, 국제적 환적 허브로서의 중요한 역할을 하고 있다. 이는 부산항이 아시아와 유럽, 미주를 연결하는 주요 환적 거점으로 기능하고 있음을 보여준다.

부산항에 비해 인천항과 광양항의 환적 물동량은 매우 적으며, 각각 0.4%와 2.9%의 비중을 차지한다. 인천항은 연평균 5만 5천 TEU, 광양항은 36만 2천 TEU를 처리하며 환적 물류에서는 제한적인 역할을 하고 있다. 울산항, 평택·당진항, 대산항 등은 환적 물동량에서 거의 역할을 하지 않으며, 각 항만의 비중은 0%에 가깝다. 이와 같은 환적 물동량 분석은 국내 환적 물류에서 부산항이 차지하는 절대적인 역할을 강조하며, 다른 항만들은 환적보다는 수출입 물류에 중점을 두고 있음을 시사한다.

〈표 4-5〉 국내 주요 항만별 컨테이너 국내 환적 물동량

단위: 천 TEU

구분	2019	2020	2021	2022	2023	평균	비중(%)
부산	11,638	12,020	12,273	11,766	12,409	12,021	96.4
인천	33	69	54	72	48	55	0.4
광양	580	371	331	278	251	362	2.9
울산	7	4	5	9	10	7	0.1
평택·당진	12	12	11	18	8	12	0.1
대산	0	0	0	0	0	0	0.0
그 외	13	11	15	15	13	14	0.1
합계	12,283	12,487	12,690	12,157	12,739	12,471	100

자료: 해양수산부, 해운항만물류정보시스템(Port-MIS)(검색일: 2024.6.10.), 저자 재작성

국내 주요 항만들의 물동량 분석 결과, 각 항만이 처리하는 화물의 종류와 규모에 따라 하역능력과 서비스 수준의 차별적 적용이 필수적임을 확인할 수 있다. 부산항은 전체 물동량의 75.9%, 수입 화물의 61.4%, 수출 화물의 61.6%, 환적 물동량의 96.4%를 처리하는 압도적인 물류 허브로서, 고도의 하역능력과 신속한 서비스 제공이 요구된다. 특히 부산항은 국제적 환적 허브로서의 기능을 수행하기 때문에, 환적 물류의 특성상 빠른 하역과 높은 서비스 수준을 유지하지 않으면 경쟁력을 잃을 위험이 크다.

인천항과 광양항은 각각 전체 물동량의 11.1%와 7.1%를 차지하며, 주로 수도권 및 산업 중심지와 연계된 수출입 물류에 중요한 역할을 하고 있다. 이들 항만은 환적 물동량 비중이 상대적으로 낮고, 지역적 수요에 맞춘 물류 처리를 중점으로 하기 때문에 부산항에 비해 유연한 하역능력과 서비스 수준을 설정할 수 있다. 그러나 수도권과 산업 중심지에서 발생하는 물류 수요를 효과적으로 처리하기 위해서는 물동량 변화에 대응할 수 있는 탄력

적인 서비스 수준 관리가 필요하다.

울산항, 평택·당진항, 대산항 등은 상대적으로 적은 물동량을 처리하지만, 특정 산업과 연계된 물류를 담당하고 있다. 이러한 항만에서는 특화된 서비스 수준이 필요하다. 반면, 연안 물동량의 대부분을 처리하는 소규모 항만에서는 비용 절감과 효율성을 목표로 한 최소한의 서비스 수준을 갖추는 것이 적합할 수 있다.

환적 물동량에서 절대적인 비중을 차지하는 부산항과 달리, 다른 항만들은 환적 물동량 비중이 낮고 주로 수출입 물류에 집중하고 있다. 이러한 차이를 고려할 때, 부산항은 글로벌 경쟁력을 유지하기 위해 최고 수준의 하역 서비스와 국제적인 운영 기준을 적용해야 하며, 다른 항만들은 지역 수출입 물류 특성에 맞춘 차별화 전략을 수립할 필요가 있다.

2) 항만별 처리 컨테이너 화물 가치 분포

〈표 4-6〉은 국내 주요 항만별 컨테이너 수출입 화물 가치를 보여준다. 부산항은 연평균 1,344억 달러의 수출입 컨테이너 화물을 처리하며, 전체의 66.8%를 차지하고 있다. 이는 부산항이 국내에서 가장 중요한 경제적 허브로 기능하고 있음을 나타낸다. 부산항은 높은 하역능력과 빠른 화물 처리 속도가 요구되는 항만이다. 인천항은 연평균 393억 달러의 수출입 컨테이너 화물을 처리하며, 전체 비중의 19.5%를 차지한다. 인천항은 부산항 다음으로 높은 수출입 화물 가치를 기록하고 있다.

광양항은 연평균 96억 달러의 수출입 컨테이너를 처리하며, 전체 비중의 4.8%를 차지하고 있다. 울산항은 연평균 40억 달러로 전체의 2.0%를 차지하며, 산업 중심 항만으로 특화된 역할을 한다. 평택·당진항은 연평균 103억 달러의 수출입 화물을 처리하며, 전체 비중의 5.1%를 차지하고 있다.

〈표 4-6〉 국내 주요 항만별 수출입 컨테이너 화물 가치

단위: 억 달러

구분	2019	2020	2021	2022	2023	평균	비중(%)
부산	1,213	1,125	1,382	1,498	1,499	1,344	66.8
인천	329	348	409	448	430	393	19.5
광양	93	84	108	101	94	96	4.8
울산	44	40	45	38	32	40	2.0
평택·당진	88	86	118	123	101	103	5.1
대산	4	5	5	4	4	4	0.2
그 외	38	35	33	31	26	33	1.6
합계	1,810	1,723	2,100	2,243	2,187	2,013	100

자료: 한국무역통계 정보포털(검색일:2024.8.15.), 저자 재작성

〈표 4-7〉은 국내 주요 항만별 수입 컨테이너 화물 가치를 나타낸다. 부산항은 연평균 1,177억 달러의 수입 컨테이너 화물을 처리하며, 전체 수입 화물 가치의 62.5%를 차지하고 있다. 인천항은 연평균 524억 달러로 전체의 27.8%를 차지하며, 수입 부문에서 두 번째로 중요한 항만이다. 광양항은 연평균 54억 달러를 처리하며, 전체 수입 화물 가치의 2.9%를 담당하고 있다. 울산항은 연평균 11억 달러의 수입 화물을 처리하며, 전체의 0.6%를 차지한다. 평택·당진항은 연평균 99억 달러로, 전체 수입 화물의 5.3%를 차지하고 있다. 대산항과 그 외 항만들은 각각 0.1%와 1.0%를 차지하며, 상대적으로 적은 규모의 수입 화물을 처리한다.

〈표 4-7〉 국내 주요 항만별 수입 컨테이너 화물 가치

단위: 억 달러

구분	2019	2020	2021	2022	2023	평균	비중(%)
부산	1,066	1,001	1,187	1,319	1,310	1,177	62.5
인천	430	460	550	604	574	524	27.8
광양	50	49	60	62	52	54	2.9
울산	16	13	10	9	8	11	0.6
평택·당진	79	79	110	121	105	99	5.3
대산	1	0	1	1	1	1	0.1
그 외	23	19	16	16	16	18	1.0
합계	1,664	1,623	1,932	2,132	2,067	1,883	100

자료: 한국무역통계 정보포털(검색일:2024.8.15.), 저자 재작성

〈표 4-8〉은 국내 주요 항만별 수출 컨테이너 화물 가치를 나타낸다. 부산항은 연평균 1,510억 달러의 수출 화물을 처리하며, 전체 수출 화물 가치의 70.5%를 차지하고 있다. 이는 부산항이 국내 수출 물류에서 가장 큰 비중을 차지하고 있음을 보여준다. 인천항은 연평균 262억 달러의 수출 화물을 처리하며, 전체의 12.2%를 차지한다. 광양항은 연평균 137억 달러의 수출 화물을 처리하며, 전체 수출 화물 가치의 6.4%를 차지한다. 울산항은 연평균 69억 달러의 수출 화물을 처리하며, 전체의 3.2%를 차지한다. 평택·당진항은 연평균 107억 달러의 수출 화물을 처리하며, 전체 수출 화물의 5.0%를 차지한다. 대산항과 그 외 항만들은 각각 0.4%와 2.2%를 차지하며, 수출 부문에서 상대적으로 적은 비중을 차지하고 있다.

〈표 4-8〉 국내 주요 항만별 수출 컨테이너 화물 가치

단위: 억 달러

구분	2019	2020	2021	2022	2023	평균	비중(%)
부산	1,361	1,249	1,577	1,677	1,688	1,510	70.5
인천	229	236	268	293	286	262	12.2
광양	136	119	157	139	137	137	6.4
울산	73	66	80	68	56	69	3.2
평택·당진	96	92	127	125	96	107	5.0
대산	8	9	9	7	7	8	0.4
그 외	53	51	50	46	35	47	2.2
합계	1,956	1,823	2,268	2,355	2,305	2,141	100

자료: 한국무역통계 정보포털(검색일:2024.8.15.), 저자 재작성

결과적으로 각 항만의 수출입 화물 가치에 따라 서비스 수준을 차등 적용해야 할 필요성이 있을 것으로 판단된다. 부산항은 압도적으로 높은 수출입 화물 가치를 처리하고 있으므로, 최고 수준의 하역능력과 신속한 처리 능력이 요구된다. 고부가가치 화물이 많이 유통되는 항만일수록 선박 대기시간의 기회비용이 커지기 때문에, 부산항 같은 항만에서는 더욱 엄격한 서비스 기준을 적용해야 한다.

인천항과 광양항 역시 중요한 역할을 하고 있으나, 부산항보다는 상대적으로 완화된 서비스 수준이 적용될 수 있다. 그러나 이들 항만에서도 수출입 물동량이 많아 항만의 효율적인 운영과 지속적인 하역능력 관리가 필요하다. 특히 인천항은 수도권 물류의 중심지로서, 화물 처리 능력을 일정 수준 이상 유지해야 할 필요가 있다고 판단된다.

울산항, 평택·당진항, 대산항과 그 외 항만은 상대적으로 적은 수출입 화

물 가치를 처리하고 있으므로, 서비스 수준을 다소 유연하게 적용할 수 있다. 이들 항만에서는 산업 특성에 맞춘 서비스를 제공하며, 대기시간에 대한 민감도가 상대적으로 낮을 수 있다. 그러나 산업 중심 항만으로서의 기능을 고려하여, 특정 산업 물동량 증가에 대비한 유연한 하역능력 관리가 필요하다. 따라서 각 항만의 특성에 맞는 서비스 수준을 차등 적용함으로써, 항만 운영의 효율성을 극대화하고 사회적 비용을 최소화할 수 있을 것으로 기대한다.

3. 항만별 처리 화물 영향권 분석

항만별 처리 화물 영향권 분석은 각 항만이 담당하는 지역적, 경제적 영향력을 파악하는 데 중요한 역할을 한다. 각 항만은 다루는 화물의 종류와 물동량에 따라 그 영향권이 다르고, 이로 인해 항만의 서비스 수준을 결정하는 기준이 달라질 수 있다. 영향권 분석을 통해 어떤 항만이 전국적 물류 흐름에 중요한 역할을 하고, 어떤 항만이 특정 지역 경제에 집중적인 영향을 미치는지를 명확히 파악할 수 있다.

첫째, 전국적 물류 흐름에 중대한 영향을 미치는 전국권 항만과 지역 경제에 집중적인 영향을 미치는 지역권 항만을 구분할 수 있다. 전국권 항만의 서비스 수준이 낮아지면 물류 지연과 같은 문제가 전국적으로 퍼져 사회적 비용을 증가시키지만, 지역권 항만은 그 영향이 국한된 지역에서만 발생하며 이를 해결하기 위한 노력이나 다른 방안을 찾아 유연한 전략을 수립할 수 있다. 이를 구분하면, 항만별로 적절한 자원 배분과 하역능력 산정이 가능해지며, 사회적 비용과 경제적 효율성을 모두 고려한 의사결정을 할 수 있다.

둘째, 항만별로 처리하는 화물이 각 지역 경제에 미치는 영향을 분석함

으로써 서비스 수준을 일률적으로 적용할지, 차등 적용할지 판단할 수 있다. 전국적 영향을 미치는 항만의 경우 높은 서비스 수준을 유지해야 하지만, 지역권 항만은 그 특성에 맞춰 보다 유연하게 대응할 수 있다. 이로써 항만 운영의 효율성을 극대화하고, 물류 흐름의 안정성을 보장할 수 있다.

1) 부산항

부산항은 전국의 주요 지역에서 화물 가치 비중이 높게 나타나며 대한민국 전역에 걸쳐 고르게 물류 흐름에 영향을 미친다. 특히 수도권과 동남권에서 중요한 물류 허브 역할을 하고 있으며, 이러한 부산항의 중요성은 <표 4-9>와 <그림 4-1>에서 명확히 드러난다.

먼저, 서울특별시(24.1%)와 경기도(19.0%)가 부산항을 통해 처리되는 화물 가치에서 가장 큰 비중을 차지하고 있다. 이는 부산항이 수도권 물류에도 핵심적인 역할을 담당하고 있음을 보여준다. 수도권은 대한민국의 중심지로, 부산항의 서비스 수준이 떨어질 경우 물류 지연 및 비용 상승과 같은 사회적 비용이 전국적으로 확산될 가능성이 크다. 따라서 부산항은 수도권과 연결된 물류 흐름에서 높은 서비스 수준을 유지해야 할 필요성이 매우 크다.

또한, 부산항은 경상남도(8.7%), 울산광역시(8.3%), 경상북도(7.5%)와 같은 동남권 지역에서도 중요한 역할을 하고 있다. 이 지역들은 산업단지가 밀집해 있고, 수출입 물동량이 많은 곳으로 부산항의 원활한 운영이 동남권 경제에 직접적인 영향을 미친다. 이러한 지역적 특성을 고려할 때, 부산항은 동남권 지역의 물류를 안정적으로 지원하기 위한 핵심 항만으로 기능하며, 동남권 경제의 성장과 효율성을 위해서도 중요한 역할을 수행한다고 볼 수 있다.

〈표 4-9〉 부산항 처리 지역별 컨테이너 화물 가치 비중

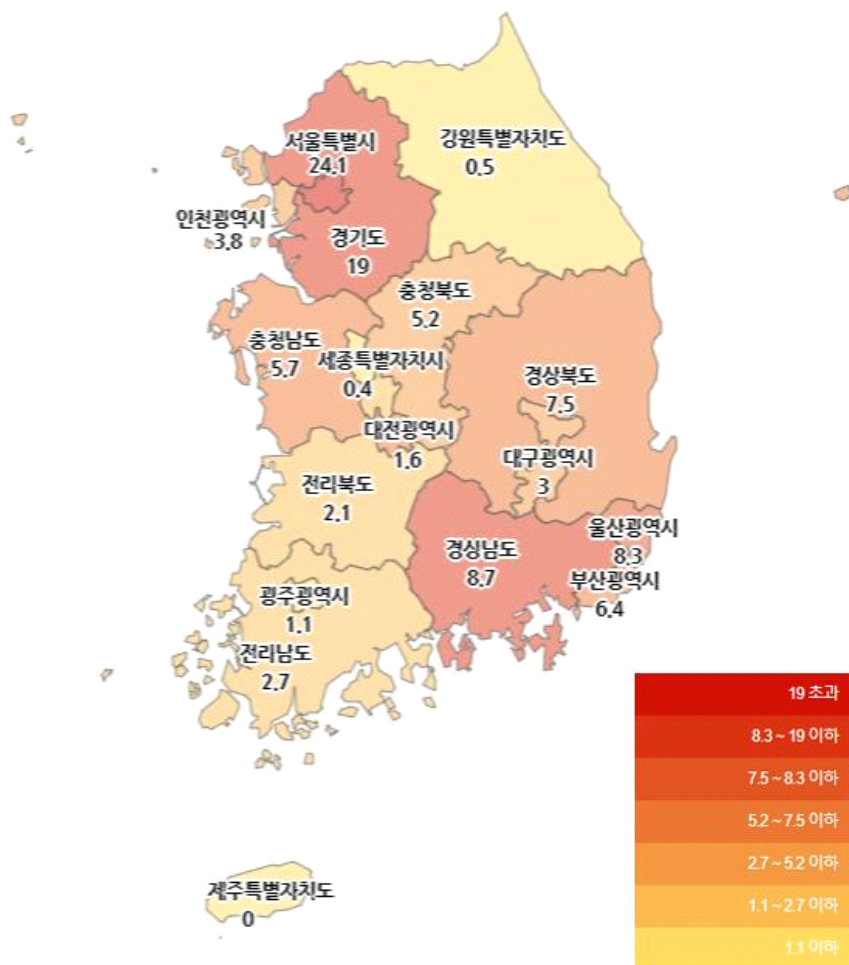
단위: %

구분	2019	2020	2021	2022	2023	평균
서울	24.2	24.4	24.3	23.5	24.1	24.1
경기	19.7	20.0	19.0	18.5	18.4	19.0
경남	8.9	8.8	8.9	8.5	8.5	8.7
울산	7.9	7.6	8.9	8.4	8.3	8.3
경북	7.3	7.0	7.0	7.4	8.4	7.5
부산	7.1	6.6	6.2	6.5	5.9	6.4
충남	5.8	5.8	5.7	6.0	5.2	5.7
충북	4.5	5.1	4.8	5.9	5.6	5.2
인천	3.8	3.8	3.4	3.7	4.1	3.8
대구	3.0	2.7	2.7	3.0	3.4	3.0
전남	2.2	2.3	3.2	3.0	2.8	2.7
전북	1.9	1.9	2.2	2.3	1.9	2.1
대전	1.6	2.0	1.5	1.3	1.5	1.6
광주	1.0	1.1	1.3	1.2	1.0	1.1
강원	0.6	0.6	0.5	0.5	0.5	0.5
세종	0.6	0.4	0.3	0.3	0.3	0.4
제주	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
합계	100	100	100	100	100	100

자료: 한국무역통계 정보포털(검색일:2024.8.15.), 저자 재작성

〈그림 4-1〉 부산항 처리 지역별 수출입 컨테이너 화물 가치 비중

단위: %



자료: 저자 작성

2) 인천항

인천항은 수도권을 중심으로 중요한 물류 허브 역할을 수행하며, 그 특성은 <표 4-10>과 <그림 4-2>에서 잘 나타나 있다. 인천항을 통해 처리되는 화물의 약 66.9%가 경기도(36.8%)와 서울특별시(30.1%)에서 발생하고 있다. 이는 인천항이 수도권 물류의 핵심 거점임을 보여준다. 수도권은 대한민국 경제의 중심지로, 인천항의 서비스 수준이 저하될 경우 수도권 물류 흐름에 직접적인 영향을 미치고, 국가 경제에도 광범위한 파급 효과를 미칠 수 있다.

또한, 충청남도(6.7%)와 인천광역시(13.3%)도 인천항을 통한 물류 비중이 상당히 높은 편이다. 이는 인천항이 수도권뿐만 아니라 인접한 충청권 지역에도 일정한 영향을 미치고 있음을 나타낸다. 특히, 인천 자체에서도 많은 물동량이 발생하는 만큼, 인천항은 인천시 경제에 있어서도 중요한 역할을 한다.

부산항과 비교했을 때 부산항이 전국에 걸쳐 고르게 물류를 처리하는 전국적 항만이라면 인천항은 수도권을 중심으로 특정 지역에서 집중적으로 물류가 처리되는 지역 집중형 항만이라는 차이가 있다. 부산항은 전국 각 지역에서 균형 있게 물동량을 처리하는 반면, 인천항은 수도권과 충청권에 중점을 두고 있다. 이는 두 항만의 기능적 차이를 반영하며, 인천항은 수도권 경제와 밀접하게 연관된 지역 거점 항만으로서의 특성을 강하게 띠고 있다.

〈표 4-10〉 인천항 처리 지역별 컨테이너 화물 가치 비중

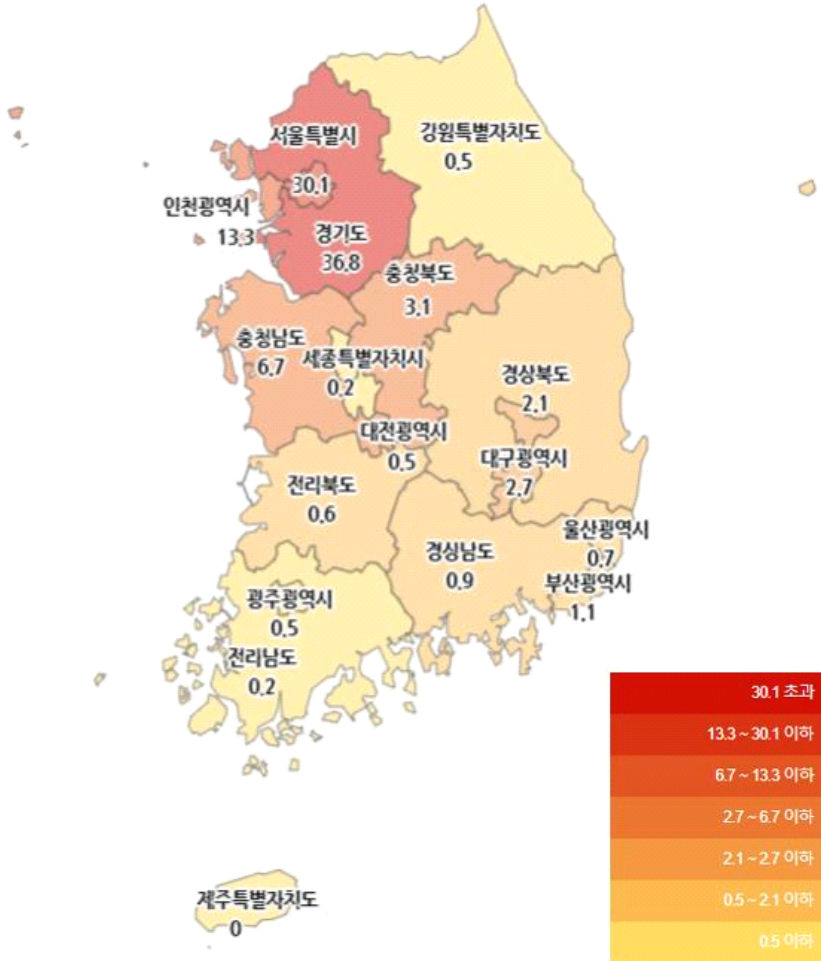
단위: %

구분	2019	2020	2021	2022	2023	평균
경기	36.6	37.9	37.5	36.0	36.0	36.8
서울	31.0	30.2	30.4	29.3	29.9	30.1
인천	14.5	13.3	12.9	12.3	13.7	13.3
충남	6.5	7.3	6.5	7.3	5.9	6.7
충북	2.8	3.0	3.4	3.2	3.0	3.1
대구	1.3	1.2	1.6	4.5	4.2	2.7
경북	2.2	2.1	2.1	2.0	2.2	2.1
부산	1.2	1.0	1.1	1.1	1.1	1.1
경남	1.0	0.9	0.9	1.0	0.9	0.9
울산	0.5	0.4	0.7	0.8	0.8	0.7
전북	0.6	0.7	0.7	0.5	0.5	0.6
대전	0.4	0.5	0.5	0.6	0.5	0.5
광주	0.6	0.5	0.5	0.5	0.4	0.5
강원	0.4	0.4	0.6	0.4	0.4	0.5
전남	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
세종	0.1	0.2	0.2	0.2	0.3	0.2
제주	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
합계	100	100	100	100	100	100

자료: 한국무역통계 정보포털(검색일:2024.8.15.), 저자 재작성

〈그림 4-2〉 인천항 처리 지역별 수출입 컨테이너 화물 가치 비중

단위: %



자료: 저자 작성

3) 광양항

광양항은 전라남도(43.7%)에 집중된 지역 중심 항만으로, 전남 지역의 물류 흐름에서 매우 중요한 역할을 한다. <표 4-11>과 <그림 4-3>에서 명확히 드러나듯이, 광양항을 통해 처리되는 화물의 거의 절반에 가까운 비율이 전라남도에서 발생하고 있으며, 이는 광양항이 전남 지역 경제에 밀접한 관련이 있음을 보여준다. 광주광역시(11.6%) 역시 광양항의 중요한 물류 처리 지역으로, 광양항이 전남과 광주 지역을 연결하는 핵심 항만임을 나타낸다.

또한, 서울특별시(15.4%)와 경기도(7.7%)도 광양항을 통해 상당한 화물 가치를 처리하고 있다. 이는 광양항이 수도권 물류 흐름에도 일정한 역할을 하고 있음을 시사한다. 그러나 전반적으로는 수도권보다는 남부 지역, 특히 전남과 광주 지역에 더 큰 비중이 있으며, 이들 지역에서 발생하는 화물 처리에 광양항이 중점적으로 기여하고 있다.

광양항은 지역 집중형 항만으로, 주로 전남 및 광주와 같은 남부 지역의 물류를 처리하는 역할을 한다. 전국적인 물류 거점 역할을 하는 부산항과는 달리, 광양항은 특정 지역의 경제와 물류 흐름에 보다 깊이 연계된 항만이다. 특히, 전남 지역에서의 비중이 43.7%로 압도적으로 높은 점을 고려하면, 광양항의 운영과 서비스 수준은 전남 지역의 경제 활동과 직결된다고 할 수 있다. 따라서 광양항은 전남과 광주를 포함한 남부 지역의 경제를 안정적으로 지원하기 위해서 지역 맞춤형 서비스 수준을 유지해야 하며, 전남 지역의 물류 수요에 적합한 운영 전략이 필요해 보인다.

〈표 4-11〉 광양항 처리 지역별 컨테이너 화물 가치 비중

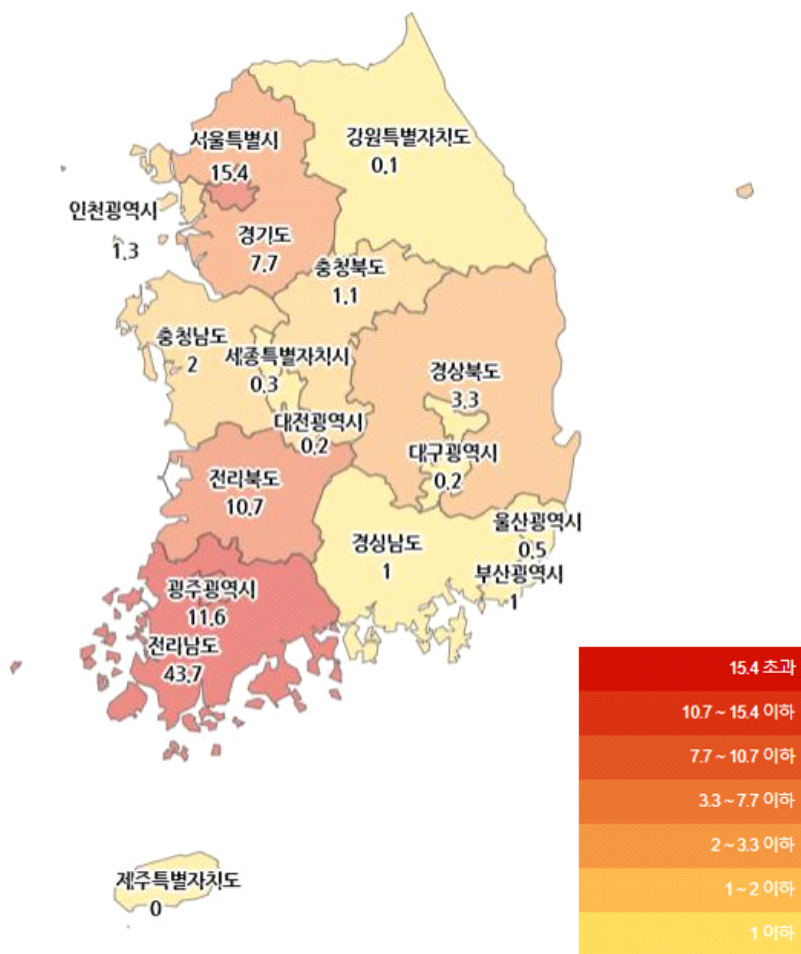
단위: %

구분	2019	2020	2021	2022	2023	평균
전남	48.0	46.3	42.2	38.9	43.8	43.7
서울	12.4	14.3	17.0	16.7	15.9	15.4
광주	12.8	12.5	11.1	10.8	10.9	11.6
전북	11.1	10.6	10.5	11.2	10.1	10.7
경기	8.0	7.4	7.1	8.3	7.6	7.7
경북	0.6	1.1	3.3	6.3	4.7	3.3
충남	1.8	2.0	2.1	2.1	2.1	2.0
인천	1.5	1.2	1.1	1.5	1.2	1.3
충북	0.7	0.8	1.0	1.4	1.4	1.1
경남	0.5	0.9	1.8	0.9	0.8	1.0
부산	1.4	1.4	0.9	0.7	0.6	1.0
울산	0.4	0.5	1.0	0.3	0.3	0.5
세종	0.3	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3
대전	0.3	0.3	0.2	0.2	0.3	0.2
대구	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2
강원	0.0	0.1	0.0	0.1	0.0	0.1
제주	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0
합계	100	100	100	100	100	100

자료: 한국무역통계 정보포털(검색일:2024.8.15.), 저자 재작성

〈그림 4-3〉 광양항 처리 지역별 수출입 컨테이너 화물 가치 비중

단위: %



자료: 저자 작성

4) 울산항

울산항은 울산광역시(64.2%)에 매우 높은 화물 가치 비중이 집중된 항만이다. <표 4-12>와 <그림 4-4>에서 볼 수 있듯이, 울산항을 통해 처리되는 화물 가치의 약 64.2%가 울산 지역에서 발생하고 있다. 이는 울산항이 울산 지역의 경제 및 물류 활동에서 핵심적인 역할을 하고 있음을 나타내며, 지역 중심형 항만으로서 울산의 산업 및 경제 활동에 크게 기여하고 있음을 보여준다.

또한, 서울특별시(29.2%) 역시 울산항을 통해 처리되는 화물 가치에서 큰 비중을 차지한다. 이는 울산항이 울산을 중심으로 하되, 서울의 경제 활동에도 중요한 영향을 미치는 항만임을 시사한다. 비록 경기도(2.7%), 충북(0.9%), 부산(0.8%) 등 다른 지역에서도 일부 화물 가치가 발생하지만, 그 비중은 울산과 서울에 비해 매우 적다.

울산항의 특징은 울산 지역 경제와 밀접하게 연관된 항만이라는 점이다. 울산항의 화물 가치 대부분이 울산에서 집중적으로 발생하고 있으며, 이는 울산의 주요 산업과 수출입 활동이 울산항을 통해 이루어지고 있음을 의미한다. 울산항은 전국적 물류 흐름보다는 지역 경제와의 긴밀한 연관성이 크기 때문에, 지역 산업을 뒷받침하는 맞춤형 서비스 수준을 유지하는 것이 중요하다.

〈표 4-12〉 울산항 처리 지역별 컨테이너 화물 가치 비중

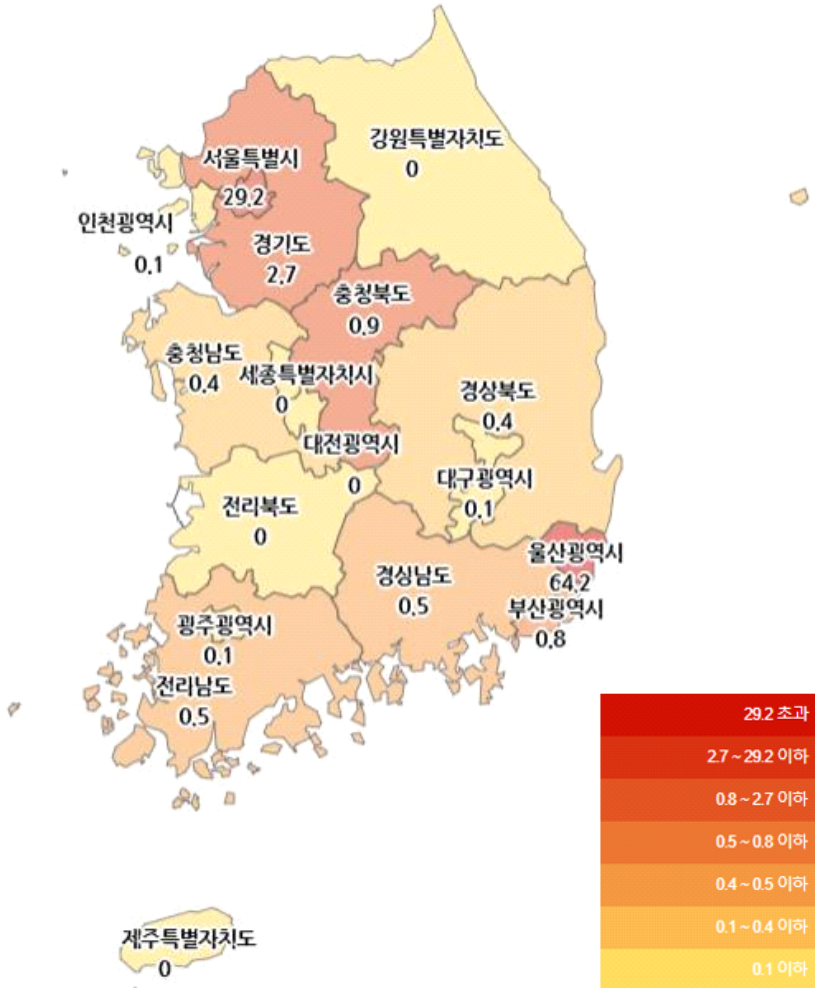
단위: %

구분	2019	2020	2021	2022	2023	평균
울산	64.2	63.3	65.1	67.3	60.7	64.2
서울	30.2	32.0	29.1	25.0	29.3	29.2
경기	1.3	1.8	2.9	3.7	4.4	2.7
충북	0.5	0.7	0.8	0.8	1.8	0.9
부산	1.1	0.3	0.3	1.0	1.0	0.8
전남	0.5	0.6	0.5	0.5	0.4	0.5
경남	0.7	0.5	0.3	0.4	0.6	0.5
충남	0.1	0.2	0.5	0.5	1.0	0.4
경북	0.5	0.3	0.3	0.4	0.5	0.4
인천	0.2	0.2	0.1	0.0	0.1	0.1
광주	0.1	0.2	0.1	0.0	0.0	0.1
대구	0.3	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1
전북	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0
대전	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0
강원	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
제주	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
세종	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
합계	100	100	100	100	100	100

자료: 한국무역통계 정보포털(검색일:2024.8.15.), 저자 재작성

〈그림 4-4〉 울산항 지역별 수출입 컨테이너 화물 가치 비중

단위: %



자료: 저자 작성

5) 평택·당진항

평택·당진항은 경기도(31.4%)와 충청남도(23.0%)를 중심으로 화물 가치가 집중된 항만이다. <표 4-13>과 <그림 4-5>에서 확인할 수 있듯이, 경기도와 충청남도는 평택·당진항을 통해 처리되는 화물 가치의 절반 이상을 차지하고 있다. 이는 평택·당진항이 수도권과 충청권의 물류 허브로서 중요한 역할을 하고 있음을 의미한다.

서울특별시(17.9%)도 평택·당진항을 통해 처리되는 화물에서 상당한 비중을 차지하고 있다. 이로 인해 평택·당진항은 수도권 물류 흐름에 필수적인 항만으로 기능하며, 서울, 경기, 충남 지역의 물류와 경제 활동에 큰 영향을 미친다.

또한, 충청북도(9.2%), 인천광역시(5.8%) 등 인접한 지역에서도 일정한 화물 가치가 발생하고 있다. 충북과 인천은 평택·당진항을 통해 화물을 처리하며, 인접 지역의 산업과 물류 흐름에도 기여하고 있다.

반면, 경상남도(1.0%), 부산광역시(0.9%) 등의 남부 지역은 상대적으로 낮은 비중을 보이며, 평택·당진항의 주요 영향권은 주로 수도권과 충청권에 집중되어 있음을 알 수 있다.

따라서 평택·당진항은 수도권과 충청권의 물류 흐름을 안정적으로 지원하는 지역 중심형 항만으로서의 역할을 하고 있으며, 이들 지역의 경제 활동에 중대한 영향을 미치고 있다. 특히 경기도와 충청남도를 중심으로 화물 가치가 집중되어 있기 때문에, 이들 지역의 물류 수요를 충족시키기 위한 항만 서비스 수준 유지가 중요하다.

〈표 4-13〉 평택·당진항 처리 지역별 컨테이너 화물 가치 비중

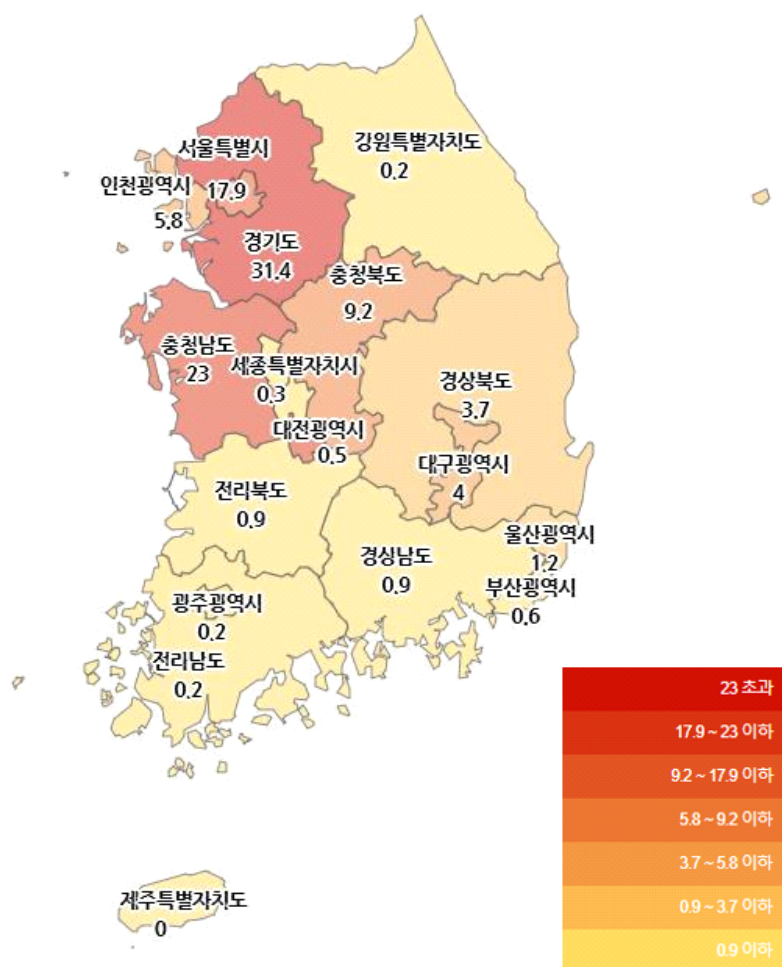
단위: %

구분	2019	2020	2021	2022	2023	평균
경기	32.2	35.5	32.0	28.7	29.8	31.4
충남	28.3	23.8	25.2	21.1	17.6	23.0
서울	14.7	16.5	18.6	19.1	19.5	17.9
충북	6.9	9.4	9.5	10.1	9.7	9.2
인천	9.5	6.6	4.7	4.5	5.0	5.8
대구	0.8	1.0	2.6	6.7	7.7	4.0
경북	2.8	2.7	2.8	4.9	5.0	3.7
울산	0.9	0.9	1.0	1.3	1.9	1.2
경남	1.0	0.5	0.9	1.0	1.0	0.9
전북	0.6	1.0	1.1	0.9	0.8	0.9
부산	0.7	0.7	0.5	0.6	0.6	0.6
대전	0.5	0.6	0.5	0.5	0.5	0.5
세종	0.4	0.3	0.3	0.2	0.2	0.3
전남	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
광주	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
강원	0.2	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2
제주	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
합계	100	100	100	100	100	100

자료: 한국무역통계 정보포털(검색일:2024.8.15.), 저자 재작성

〈그림 4-5〉 평택·당진항 지역별 수출입 화물 가치 비중

단위: %



자료: 저자 작성

6) 대산항

대산항은 충청남도(68.0%)에 압도적으로 집중된 항만으로, 충청남도 지역의 물류와 경제 활동에서 핵심적인 역할을 하고 있다. <표 4-14>와 <그림 4-6>에서 확인할 수 있듯이, 대산항을 통해 처리되는 화물 가치의 약 68%가 충청남도에서 발생하고 있다. 이는 대산항이 지역 중심형 항만으로 충청남도 경제에 중요한 기여를 하고 있음을 보여준다.

서울특별시(23.7%) 또한 대산항을 통한 화물 가치에서 두 번째로 큰 비중을 차지하며, 수도권과의 연결성도 유지하고 있음을 알 수 있다. 이는 대산항이 충청남도를 중심으로 하면서도 서울과 같은 수도권 지역의 물류 흐름에도 영향을 미치고 있음을 나타낸다.

또한, 울산광역시(5.1%)와 경기도(2.3%)에서도 일부 화물 가치가 대산항을 통해 처리되고 있다. 그러나 그 비중은 충청남도와 서울에 비해 현저히 낮다. 대산항은 주로 충청남도에 기반을 둔 지역 경제 활동에 필수적인 항만으로, 충청남도의 물류와 산업에 중요한 기여를 하고 있다. 수도권과의 연결성도 있지만, 그 역할은 충청남도 중심의 지역 경제에 초점을 맞추고 있다.

〈표 4-14〉 대산항 처리 지역별 컨테이너 화물 가치 비중

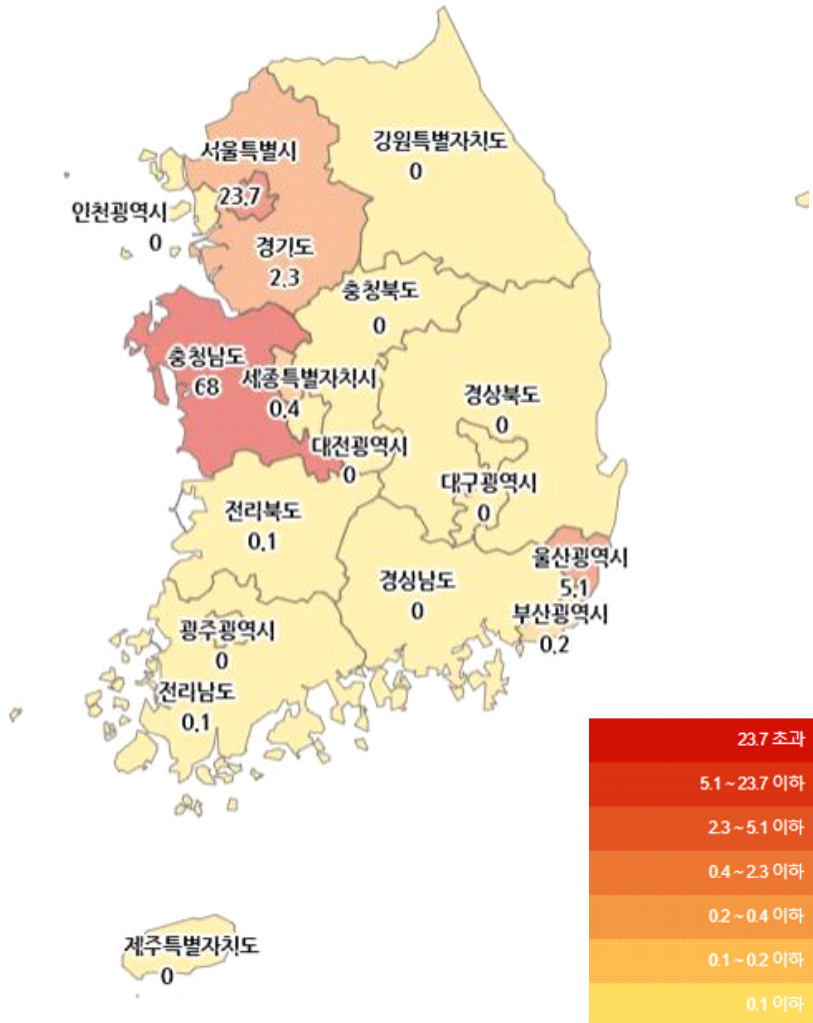
단위: %

구분	2019	2020	2021	2022	2023	평균
충남	62.9	67.4	67.5	65.6	79.1	68.0
서울	22.8	27.3	26.7	26.5	15.2	23.7
울산	11.6	2.3	3.7	5.9	2.4	5.1
경기	2.0	2.8	1.9	1.8	2.8	2.3
세종	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.4
부산	0.4	0.1	0.0	0.0	0.0	0.2
전남	0.0	0.0	0.0	0.2	0.1	0.1
전북	0.1	0.0	0.1	0.0	0.1	0.1
경북	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
강원	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0
광주	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0
경남	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
대구	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
대전	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
인천	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
제주	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
충북	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
합계	100	100	100	100	100	100

자료: 한국무역통계 정보포털(검색일:2024.8.15.) 저자 재작성

〈그림 4-6〉 대산항 지역별 수출입 화물 가치 비중

단위: %



자료: 저자 작성

4. 시사점

항만별 서비스 수준 적용과 관련된 시사점은 항만별로 처리하는 화물의 가치, 물동량, 그리고 각 항만의 지역적·경제적 역할에 따라 차별화된 접근이 필요하다는 점에서 도출된다. 각 항만은 물류 흐름에 있어 다양한 특성과 역할을 가지고 있으며, 이러한 역할에 맞춰 하역능력과 서비스 수준을 다르게 적용함으로써 물류 효율성과 사회적 비용 절감을 동시에 추구할 수 있다.

부산항과 인천항은 국내에서 처리하는 화물의 가치와 물동량이 매우 높으며, 특히 부산항은 국내외 물류 허브로서의 역할을 수행하고 있다. 부산항은 고부가가치 화물의 대량 처리가 이루어지는 항만이다. 이러한 항만에서는 선박 대기시간을 최소화하고 하역 작업을 신속하게 처리할 수 있는 고도의 하역능력과 서비스 수준이 요구된다. 특히, 환적 물류에서의 경쟁력 유지를 위해 부산항은 글로벌 기준에 맞는 최고 수준의 하역 서비스를 제공해야 한다.

부산항과 비교할 때 인천항과 광양항은 상대적으로 낮은 물동량을 처리하지만, 수도권과 산업 중심지와의 연결성이 강하며, 수출입 물류에서 중요한 역할을 하고 있다. 특히 인천항은 수도권 물류의 핵심 항만으로, 물동량 변화에 따라 유연하게 대응할 수 있는 탄력적인 하역능력과 서비스 수준이 필요하다. 수도권에서 발생하는 높은 물류 수요를 효과적으로 처리하기 위해서는 높은 수준의 하역능력과 물류 관리가 필요하며, 이를 통해 수도권 경제와의 연결성을 유지할 수 있다.

울산항, 평택·당진항, 대산항 등은 지역 중심형 항만으로서, 특정 지역 및 산업과 밀접하게 연관된 물류 흐름을 담당하고 있다. 이러한 항만들은 지역 내 경제와 산업 활동을 지원하는 역할을 하므로, 고부가가치 화물을

다루는 항만에 비해 다소 유연한 서비스 수준을 적용할 수 있다. 그러나 각 항만의 지역적 특성과 산업적 중요성을 고려하여, 해당 지역의 물류 수요에 맞는 적절한 하역능력 관리가 필요하다.

예를 들어, 울산항은 주로 울산 지역 산업을 지원하며, 울산 지역에서 발생하는 물동량의 대부분을 처리하고 있다. 울산항은 산업 중심 항만으로서, 울산의 산업 활동에 맞춘 하역 서비스를 제공할 필요가 있다. 평택·당진항 역시 수도권과 충청권을 연결하는 물류 허브로서 기능하며, 해당 지역 경제의 특성에 맞는 맞춤형 서비스 수준을 제공함으로써 효율적인 물류 흐름을 지원할 수 있다. 대산항은 충청남도 중심의 물류 흐름을 담당하며, 충청남도와 수도권을 중심으로 한 물류 수요를 충족시키기 위한 적절한 하역능력과 서비스 수준이 요구된다.

항만별로 처리하는 물동량의 차이에 따라 서비스 수준을 차별화할 필요가 있다. 대규모 물동량을 처리하는 항만일수록 선박 대기시간이 길어질 경우 발생하는 경제적 손실이 크게 증가할 수 있기 때문이다. 부산항과 같이 대규모 물동량을 처리하는 항만은 높은 수준의 하역능력과 신속한 서비스 제공이 필수적이다. 반면, 울산항이나 대산항과 같이 상대적으로 물동량이 적은 항만에서는 일정 정도의 대기시간이 허용될 수 있으며, 그로 인한 사회적 비용은 상대적으로 적게 발생할 가능성이 있다.

따라서 대규모 물동량이 처리되는 항만에서는 신속한 하역능력과 효율적인 물류 처리가 중요하며, 이를 통해 선박 대기시간을 최소화할 수 있는 체계를 갖추어야 한다. 반면, 중소 규모 항만에서는 보다 유연한 서비스 수준을 적용하여 지역 특성에 맞는 효율성을 극대화할 수 있는 방안을 마련해야 한다.

환적 물동량의 대부분을 처리하는 부산항은 글로벌 환적 허브로서의 경쟁력을 유지하기 위해 최고 수준의 서비스가 요구된다. 환적 물류의 특성

상 신속한 하역과 물류 처리 속도가 필수적이며, 이 과정에서 선박의 대기 시간을 최소화하지 않으면 경쟁 항만에 비해 경쟁력을 잃을 위험이 있다. 반면, 인천항과 광양항을 비롯한 대부분의 국내 항만들은 수출입 물류에 집중하고 있기 때문에, 수출입 화물의 특성에 맞춘 효율적인 하역능력 관리가 중요하다.

수출입 물류를 담당하는 항만에서는 물류 흐름의 안정성을 유지하기 위해 적정 수준의 하역능력을 유지하면서도 지역별 물류 수요와 화물 가치에 맞춰 유연하게 대응할 필요가 있다. 예를 들어, 인천항은 수도권 물류의 중심지로서, 화물 처리 속도를 높여 수도권 경제와 산업에 기여할 수 있는 수준의 서비스가 요구된다. 광양항과 같은 산업 중심 항만에서는 배후 산업의 수요에 맞춘 하역능력과 서비스 수준을 적용하여, 산업 물류가 지연 없이 처리될 수 있도록 해야 한다.

항만별로 차별화된 서비스 수준을 적용하는 것은 항만 운영의 효율성을 높이고 사회적 비용을 최소화하는 데 중요한 역할을 한다. 고부가가치 화물을 처리하는 항만에서는 엄격한 하역능력과 서비스 수준이 요구되며, 지역 중심형 항만에서는 각 지역의 물류 특성에 맞춘 맞춤형 서비스 수준을 제공해야 한다. 이를 통해 각 항만은 자신이 맡은 역할을 효율적으로 수행할 수 있으며, 물류 지연으로 인한 사회적 비용을 최소화하고, 자원의 효율적 배분을 통해 운영비용 절감과 물류 경쟁력 강화를 동시에 달성할 수 있다.

따라서 항만별 화물 가치와 물동량, 그리고 지역적·경제적 특성에 따라 서비스 수준을 차별적으로 적용함으로써, 항만 운영의 효율성을 극대화하고 국가 경제에 기여할 수 있는 전략이 필요하다.

〈표 4-15〉 항만별 필요 서비스 수준 및 영향권 분석 결과 요약

구분	주요 영향권	필요 서비스 수준	특징
부산항	전국	최고 수준의 하역능력과 신속한 처리 필요	국제 환적 허브, 신속한 항만 처리 능력 필요
인천항	수도권/충청권	탄력적인 하역능력 관리와 수도권 수요 고려	수도권 물류 중심지, 급격한 수요 증가를 고려한 유연한 대응 필요
광양항	전남/광주	전남 지역 배후 산업 수요 고려	전남 경제의 주요 역할, 지역 맞춤형 전략 필요
울산항	울산/서울	울산 지역 산업 (자동차, 선박용 부품) 중심 수요 고려	울산 지역 산업 특화, 적절한 하역능력 관리 필요
평택·당진항	수도권/충청권	수도권, 충청권 수요 고려	수도권과 충청권 연결, 지역 수요를 고려한 하역능력 관리 필요
대산항	충남권/서울	충청남도 중심 수요 고려	충청남도 경제의 핵심 항만, 충남권 산업 수요를 고려한 하역능력 관리 필요

자료: 저자 작성

제2절 항만별 서비스 수준 적용(안) 제시

1. 항만별 서비스 수준 적용(안)

〈표 4-16〉은 본 장 1절에서 수행된 항만별 처리 화물 영향권 분석 결과를 요약한 것이다. 화물 가치 크기, 전국 기준 물동량 비중, 그리고 전국 기준 화물 가치 비중은 해당 항만이 처리하는 물류의 중요도를 나타내는 지표로, 값이 클수록 항만 운영에 문제가 발생했을 경우 더 큰 사회적 파급 효과를 초래할 수 있다. 따라서 이러한 지표가 높은 항만은 안정적이고 고

품질의 서비스 수준을 유지해야 할 필요성이 크다.

한편, 지역별 화물 가치 비중 범위는 전국 시·군·구별로 해당 항만이 미치는 영향력을 나타내며, 이는 해당 지역에서의 화물 가치 비중의 최대값과 최소값의 차이로 계산된다. 이 범위 값이 작을수록 해당 항만이 전국적으로 고르게 영향을 미치며, 값이 클수록 특정 지역에 국한된 영향력을 가지는 것으로 해석할 수 있다. 따라서 지역별 화물 가치 비중 범위가 낮은 항만은 전국적인 중요성을 고려하여 높은 품질의 서비스 수준을 유지해야 한다.

〈표 4-16〉 항만별 처리 화물 영향권 분석 요약

구분	화물 가치 크기 (원/kg)	전국 기준 물동량 비중(%)	전국 기준 화물 가치 비중(%)	지역별 화물 가치 비중 범위 (최대-최소, %)
부산항	4,870	75.9	66.8	24.1
인천항	4,668	11.1	19.5	36.8
광양항	1,315	7.1	4.8	43.7
울산항	2,037	1.6	2.0	64.2
평택·당진항	5,762	2.8	5.1	31.4
대산항	-	0.3	0.2	68.0
그 외 항만	-	1.3	1.6	-

자료: 저자 작성

〈표 4-17〉은 항만별 처리 화물 영향권 분석을 통해 화물 가치 크기, 물동량 비중, 화물 가치 비중, 그리고 영향권 순위를 종합적으로 나타낸 결과다. 각 지표의 순위를 통해 항만별 중요도를 비교할 수 있다. 부산항은 모든 지표에서 1~2위를 차지하며, 국내에서 가장 중요한 항만으로 평가된다. 평택·당진항은 화물 가치에서 1위를 기록했으나 물동량 비중과 화물 가치 비중에서는 상대적으로 낮은 순위를 기록했다. 인천항은 모든 지표에서 중

상위권에 위치하며, 수도권외의 주요 항만으로서 고르게 중요한 역할을 하고 있다. 광양항과 울산항은 대부분의 지표에서 하위 순위를 기록하며, 지역적 역할에 더 집중된 항만으로 해석된다. 대산항과 그 외 항만은 주요 지표에서 낮은 순위를 기록하며, 전국적인 영향력보다는 제한적인 역할을 수행하는 것으로 보인다.

〈표 4-17〉 항만별 처리 화물 영향권 분석에 항만별 순위

구분	화물 가치 크기 순위	물동량 비중 순위	화물 가치 비중 순위	영향권 순위
부산항	2	1	1	1
인천항	3	2	2	3
광양항	5	3	4	4
울산항	4	5	5	5
평택·당진항	1	4	3	2
대산항	-	-	7	6
그 외 항만	-	-	6	-

자료: 저자 작성

항만별 서비스 수준 적용 기준을 설정하기 위해 〈표 4-17〉에 나타나 있는 화물 가치 크기 순위, 물동량 비중 순위, 화물 가치 비중 순위, 그리고 영향권 순위를 기준으로 점수를 차등 적용하고 이를 합산하여 항만별 총점을 산출하고자 한다. 항만별 순위에 따른 점수 배점 기준은 〈표 4-18〉과 같다.

〈표 4-18〉 항만별 순위에 따른 점수 배점 기준

구분	순위					
	1	2	3	4	5	그 외
배점	25	20	15	10	5	0

자료: 저자 작성

이를 수식으로 나타내면 특정 항만 i 의 총점 S_i 는 다음과 같이 계산된다.

$$S_i = P_{i1} + P_{i2} + P_{i3} + P_{i4} \quad (IV-2)$$

여기서 P_{i1} 은 화물 가치 순위 점수, P_{i2} 는 물동량 비중 순위 점수, P_{i3} 은 화물가치 비중 순위 점수, P_{i4} 는 영향권 순위 점수를 나타낸다.

제안된 점수 배점 기준으로 지표별 점수를 적용한 결과는 <표 4-19>와 같다. 산출된 총점을 기준으로 각 항만에 적합한 서비스 수준을 다음과 같이 설정했다.

<표 4-19> 항만별 처리 화물 영향권 분석에 항만별 순위

구분	화물 가치 점수 (순위)	물동량 비 중 점수 (순 위)	화물 가치 비중 점수 (순위)	영향권 점 수 (순위)	총점	서비스 수준
부산항	20점 (2)	25점 (1)	25점 (1)	25점 (1)	95점	II
인천항	15점 (3)	20점 (2)	20점 (2)	15점 (3)	70점	III
광양항	5점 (5)	15점 (3)	15점 (3)	10점 (4)	45점	III
울산항	10점 (4)	5점 (5)	5점 (5)	5점 (5)	25점	IV
평택·당진항	25점 (1)	10점 (4)	10점 (4)	20점 (2)	65점	III
대산항	0점 (-)	0점 (-)	0점 (-)	0점 (-)	0점	IV
그 외 항만	0점 (-)	0점 (-)	0점 (-)	0점 (-)	0점	IV

자료: 저자 작성

- II 수준 (90점 이상): 부산항은 총점 95점으로, 모든 지표에서 최상위권을 차지하며 전국적인 물류 허브로서의 역할을 수행하고 있다. 따라서 최고 수준의 서비스를 제공하여 안정적이고 효율적인 운영을 유지할 필요가 있다.
- III 수준 (30점 이상 90점 미만): 인천항(70점), 광양항(45점), 평택·당진항(65점)은 총점이 중간 수준에 해당하며, 지역 내 주요 물류 거점으

로 기능하고 있다. 이들 항만은 물류 허브로서의 역할과 지역적 중요성을 고려해 적정 수준의 서비스를 제공하는 것이 적합하다.

- IV 수준 (30점 미만): 울산항은 총점 25점으로, 특정 화물에 집중된 제한적 역할을 수행하며 상대적으로 낮은 지표 순위를 기록하고 있다. 따라서 기본적인 운영을 지원하는 수준의 서비스를 제공하는 것이 적합하다. 대산항과 기타 항만은 총점이 0점으로, 전국적인 영향력이 매우 제한적이며 모든 지표에서 최하위권에 속한다. 이에 따라 최소한의 서비스 수준만 유지하는 것이 적절하다.

〈표 4-20〉은 항만별 서비스 수준 적용(안)을 제시하고 있으며, 각 항만의 선석 수와 이에 따른 서비스 수준을 기반으로 하역능력 산정을 위한 기준을 나타낸다. 이 표는 앞서 분석한 항만별 컨테이너 물동량 및 화물 가치 영향권 분석 등을 고려하여 서비스 수준을 달리 적용했으며 선석 수에 따른 선석 점유율 및 장치장 점유율은 앞 장에서 분석한 대기행렬이론, W/S 비율 적용, 사회적 비용 함수 및 W/S 비율 기반 시뮬레이션 결과를 종합한 내용이다.

〈표 4-20〉 항만별 서비스 수준 적용(안)

단위: %

서비스 수준		선석 수				해당 항만
		1	2	3	4개 이상	
선석 점유율	I	30	40	50	55	부산항 인천항/광양항/ 평택·당진항 울산항/대산항/그 외
	II	35	45	55	60	
	III	40	50	60	65	
	IV	45	55	65	70	
	V	55	60	70	70	
장치장 점유율		65				전체 항만

자료: 저자 작성

2. 서비스 수준 II 적용 항만

부산항은 서비스 수준 II에 해당하는 항만으로, 이는 항만 운영에서 높은 효율성을 요구하는 기준이다. 서비스 수준 II는 부산항이 다루는 대규모 물동량과 고부가가치 화물을 처리하기 위해 적합한 기준으로 설정되었다. 부산항은 국내외 물류 허브로서 선박 대기시간을 최소화하고 신속한 화물 처리가 필수적인 항만이므로 이와 같은 엄격한 서비스 수준을 통해 물류 흐름을 원활하게 유지할 필요가 있다.

부산항의 선석 점유율은 선석 수에 따라 다르게 적용된다. 선석이 1개인 경우 35%의 점유율을 적용받으며, 선석이 4개 이상인 경우에는 최대 60%까지 점유율이 확대된다. 이러한 점유율 기준은 부산항이 보유한 선석을 효율적으로 활용하여 대기시간을 줄이고, 동시에 물류 작업의 효율성을 극대화하기 위한 것이다.

부산항은 국내 물류의 핵심 허브로, 전체 컨테이너 물동량의 대부분을 처리하고 있으며, 수출입 및 환적 부분에서도 압도적으로 많은 컨테이너 화물을 처리하고 있다. 부산항은 컨테이너 화물만으로 연간 1,344억 달러 가치의 화물을 처리하고 있으며 이는 국내 전체 컨테이너 화물 가치의 67%이다. 단위당 화물 가치도 4,870원/kg로 매우 높은 편이므로 부산항이 국내외 물류 네트워크에서 차지하는 비중이 매우 크다는 것을 의미하며, 부산항의 운영이 원활하지 않으면 물류 지연과 같은 문제가 발생해 사회적 비용이 증가할 가능성이 크다. 따라서 부산항은 서비스 수준 II를 적용하여 높은 수준의 하역능력과 처리 속도를 유지하고, 높은 서비스 수준을 유지해야 한다.

3. 서비스 수준 III 적용 항만

인천항과 광양항 및 평택·당진항은 서비스 수준 III을 적용한다. 이들 항만이 처리하는 물동량, 화물 가치, 그리고 항만의 역할에 맞는 적절한 서비스 기준으로 판단된다. 이 항만들은 부산항과 같이 대규모 국제 환적항만은 아니지만, 각각의 지역에서 중요한 물류 허브로 기능하고 있으며, 특히 수도권과 중부권 물류 흐름에서 핵심적인 역할을 한다.

인천항은 연평균 약 327만 4천 TEU의 컨테이너 물동량과 연간 393억 달러의 화물 가치를 처리하고 있으며, 화물 가치(4,668원/kg)도 상당히 높은 편이다. 이는 인천항이 수도권 물류의 중심지로서 중요한 역할을 하고 있음을 나타낸다. 수도권 경제와 밀접하게 연계된 인천항은 대규모 물동량을 처리하는 부산항에 비해 상대적으로 적지만, 수도권 지역에서의 물류 흐름과 경제에 큰 영향을 미친다.

인천항은 수도권의 중요한 수출입 항만으로, 고부가가치 화물도 상당히 많이 처리하고 있다. 다만, 부산항처럼 국제적 환적 기능을 수행하는 것은 아니기 때문에, 서비스 수준 III은 인천항의 특성에 맞는 적절한 기준이라 할 수 있다. 이 수준에서는 일정 수준의 선박 대기시간이 발생할 수 있지만, 수도권 전체 물류에 큰 영향을 미치지 않도록 관리할 수 있다. 이러한 점에서 인천항은 적절한 서비스 수준을 유지하면서도 효율적으로 물류 흐름을 관리할 수 있다.

광양항은 주요 수출입 컨테이너 처리 항만 중 하나이다. 화물 가치는 1,315원/kg로 다른 항만에 비해 다소 낮은 편이지만 최근 5년간 연평균 207만 8천 TEU를 처리했다. 광양항은 주로 전라도 지역의 유일한 물류 허브 역할을 수행하고 있으며, 주로 배후 산업 화물을 처리하는 항만으로 그 중요도가 높다고 판단된다. 다만 광양항은 컨테이너 물동량은 많지만

비교적 낮은 화물 가치를 다루고 있기 때문에 선박 대기시간은 어느 정도 발생해도 그로 인한 사회적 비용은 부산항, 인천항, 평택·당진항 등 고가 화물을 다루는 항만에 비해 상대적으로 적다고 판단된다.

평택·당진항은 연평균 82만 5천 TEU의 물동량과 103억 달러의 화물 가치를 처리하고 있다. 비록 물동량은 상대적으로 적지만, 화물 가치(5,762 원/kg)는 국내 항만 중 가장 높아, 평택·당진항은 고부가가치 화물을 다루는 항만으로 매우 중요한 역할을 하고 있다. 특히, 평택·당진항은 중부권과 수도권을 연결하는 주요 물류 거점으로, 지역 경제와 산업의 중심 역할을 수행한다.

서비스 수준 III는 선석 점유율이 40%에서 65%로 설정되어 있어, 인천항, 광양항과 평택·당진항의 운영에 적합하고 판단된다. 이들 항만은 전국적인 물류 흐름에서 차지하는 비중이 부산항과 비교하여 크지 않지만, 각각의 지역에서 중요한 물류 허브로 기능하기 때문에 효율적인 하역능력 관리가 필요하다.

4. 서비스 수준 IV 적용 항만

울산항은 서비스 수준 IV에 속하며, 주로 전자기기 및 관련 제품을 처리하는 항만이다. 울산항의 평균 물동량 46만 1천 TEU로 연간 40억 달러의 컨테이너 화물을 처리한다. 화물 가치는 2,037원/kg로 주로 제조 산업 화물에 집중된 항만이다. 특히 울산은 한국의 산업 중심지로, 석유화학 및 중공업 물류가 주를 이루나 컨테이너 화물은 주로 전자기기 등으로 구성된다.

울산항은 서비스 수준 IV로 분류된 이유는 비교적 낮은 화물 가치와 특정 산업에 특화된 물동량을 처리하기 때문이다. 서비스 수준 IV란 선박 대

기시간은 항만 내 상태에 따라 발생할 수 있으며, 안벽 작업에도 약간의 지연이 발생할 수 있다고 예상하는 수준이다. 장치장 처리 능력이 충분히 확보되지 않은 경우, 운영에 다소 영향을 미칠 수 있다. 이에 따라 선석 점유율은 45%에서 70%로 설정되어 있으며, 울산항의 특성을 반영하여 완화된 수준이다.

대산항 역시 서비스 수준 IV에 속하는 항만으로, 주로 충청남도 지역의 석유화학 및 산업 화물을 처리하는 항만이지만 컨테이너터미널의 다른 항만과 비교해 전국적 영향력의 중요성은 상대적으로 낮은 편이다. 대산항은 비교적 적은 물동량을 처리하고 있으며, 주로 인근 지역 경제에 집중된 역할을 수행하고 있다.

그 외 항만들 또한 서비스 수준 IV로 분류된다. 이 항만들은 전국적으로 중요한 역할을 수행하지는 않지만, 지역 경제에 필수적인 물류 흐름을 지원한다. 이 항만들은 비교적 낮은 수준의 서비스 요구를 받으며, 선석 점유율도 45%에서 70%로 설정되어 있다. 항만 운영이 상대적으로 유연하게 적용되며, 물류 처리 효율성을 적정 수준에서 유지할 수 있는 수준으로 판단된다.

5. 신규 개발 항만

신규로 개발되는 컨테이너터미널의 서비스 수준을 설정하는 것은 매우 중요한 과제이다. 항만의 역할, 처리 물동량, 화물의 가치, 해당 지역의 물류 흐름 및 국가 경제에 미치는 영향을 고려하여 적절한 서비스 수준을 결정해야 한다. 이를 통해 신규 개발 항만이 얼마나 물동량을 처리할 수 있을지에 대한 예상이 되고 관련 정책 및 전략을 수립하는 것이 과제이다.

먼저, 신규 항만을 개발할 때는 해당 항만이 속한 권역의 기존 항만 서비스 수준을 준용하는 것이 타당한 접근 방법으로 볼 수 있다. 예를 들어, 부산항에 신규 터미널을 개발해야 할 경우, 부산항이 속한 권역의 서비스 수준인 서비스 수준 II를 적용하는 것이 적절해 보인다. 이는 부산항이 고부가가치 화물을 처리하며 국내외 물류 허브로서 중요한 역할을 담당하는 만큼, 동일한 수준의 높은 하역능력과 효율성을 요구하기 때문이다.

또한, 인천권역에 새로운 터미널을 개발할 경우, 인천항의 서비스 수준인 서비스 수준 III를 적용하는 것이 적절해 보인다. 인천항은 수도권 주요 수출입 항만으로 지역 경제와 물류 흐름에 중요한 역할을 하고 있으나, 부산항과 같은 국제적 환적항으로서의 역할보다는 지역 중심의 물류 허브 역할에 중점을 두고 있다. 이러한 권역별 적용 방안은 각 지역의 물류 흐름과 경제적 역할을 반영하여 신규 터미널이 지역 경제에 최적화된 역할을 수행할 수 있도록 한다.

또 다른 방법으로는 현재 최신의 컨테이너터미널에서 적용하고 있는 경험적 데이터를 바탕으로 서비스 수준을 설정하는 방법이 있다. 이는 이미 구축된 최신 터미널에서 검증된 운영 데이터를 바탕으로, 효율적이고 경제적인 운영 방안을 도출하는 방식이다. 이 경우, 기존에 적용된 서비스 수준을 바탕으로 현재 운영되고 있는 컨테이너터미널들의 하역능력, 물동량, 대기시간, 생산성 등을 분석하여, 이를 신규 항만의 서비스 수준을 산정하고 적용할 수 있다. 예를 들어, 현시점에서 신규 컨테이너터미널을 개발한다고 가정하면 부산항에서 가장 최근에 개장하였으며 운영이 정상화된 BCT의 운영 데이터를 기반으로 신규 터미널에 맞는 서비스 수준을 산출할 수도 있다.

결론적으로, 신규 개발 항만의 서비스 수준 적용에 있어 권역별 서비스 수준을 준용하는 방안과 최신 터미널의 운영 경험을 바탕으로 한 경험적

접근 방안 두 가지를 고려하여 적절한 수준을 적용하는 것이 가장 이상적일 것이다. 권역별 서비스 수준 준용은 해당 항만이 속한 지역의 물류 특성과 경제적 역할을 반영한 정책적 접근 방식이며, 경험적 접근은 최신 기술과 운영 데이터를 반영한 실증적 접근 방식이다. 이러한 두 가지 방식을 결합하여 신규 항만의 서비스 수준을 설정함으로써, 항만 투자 효율성을 높일 수 있을 것으로 기대한다.

제3절 소결 및 시사점

〈표 4-21〉은 본 연구에서 제안하는 항만별 서비스 수준 적용(안)과 상태 정의를 요약한 표이다.

서비스 수준 I(우수)는 선석 점유율이 1선석에서는 30%, 2선석 40%, 3선석 50%, 4개 이상 선석은 55%로 설정된다. 이 등급에서는 선박 대기시간이 매우 짧으며, 하역 작업이 신속하게 처리되는 상태를 나타낸다. 서비스 수준 II(양호)는 선석 점유율이 1선석에서는 35%, 2선석 45%, 3선석 55%, 4개 이상 선석은 60%로 구성된다. 부산항이 이에 적용되며, 대부분의 선박이 예정 시간 내에 접안이 가능하고 효율적인 운영이 이루어지는 상태를 의미한다. 서비스 수준 III(보통)은 선석 점유율이 1선석에서는 40%, 2선석 50%, 3선석 60%, 4개 이상 선석은 65%로 설정된다. 인천항, 광양항, 평택항, 당진항이 이에 해당하며, 약간의 대기가 발생할 수 있으나 일반적으로 소요가 가능한 상태를 의미한다. 서비스 수준 IV(미흡)은 선석 점유율이 1선석에서는 45%, 2선석 55%, 3선석 65%, 4개 이상 선석은 70%로 설정된다. 울산항, 대산항 및 그 외 전국 항만이 이에 해당하며, 일

부 대기와 작업 지연이 발생할 가능성이 있어 운영에 다소 영향을 미치는 상태를 나타낸다. 서비스 수준 V(불안정)은 선석 점유율이 1선석에서는 55%, 2선석 60%, 3선석 70%, 4개 이상 선석은 70%로 설정된다. 이 수준에서는 대기시간이 길고 작업 지연이 많아 항만 운영에 심각한 영향을 미치는 상태를 보여준다.

장치장 점유율은 모든 항만에 대해 65%를 목표로 설정하고 있다. 이는 전국 항만에서 안정적인 안벽 처리 능력을 유지하기 위한 최대치로 설정이 되어 있다.

〈표 4-21〉 항만별 서비스 수준 적용(안) 및 상태 정의 요약

단위: %

서비스 수준		선석 수				해당 항만	상태 정의
		1	2	3	4개 이상		
장치장 점유율	I (우수)	30	40	50	55		선박 대기시간이 매우 짧고 하역 작업이 신속하게 처리됨
	II (양호)	35	45	55	60	부산항	대부분 선박이 예정 시간 내 접안 가능, 효율적인 운영
	III (보통)	40	50	60	65	인천항/ 광양항/ 평택·당진항	약간의 대기 발생 가능, 일반적으로 소요 가능
	IV (미흡)	45	55	65	70	그 외 전국 항만	일부 대기 및 작업 지연 발생 가능, 운영에 다소 영향
	V (불안정)	55	60	70	70		대기시간이 길고 작업 지연이 많아 운영에 심각한 영향
장치장 점유율		65				전국 항만	안벽 처리 능력 보장 필요

자료: 저자 작성

본 연구는 국내 주요 항만의 컨테이너 물동량과 화물 가치를 분석하여, 각 항만의 특성과 역할에 맞는 차별화된 서비스 수준을 제시하였다. 부산항, 인천항, 광양항, 울산항, 평택·당진항, 대산항 등 주요 항만은 각기 다른 경제적·지역적 특성을 가지고 있으며, 이에 따라 물동량 및 화물 가치, 그리고 선박 대기시간의 영향이 각 항만마다 상이하게 나타났다. 이를 고려해 항만별 서비스 수준을 차등 적용해야 한다는 결론을 도출했다.

항만별로 서비스 수준을 차등 적용하는 것은 정부와 항만 운영기관의 전략적 정책 수립에 있어 매우 중요하다. 특히, 부산항과 같이 전국적 물류 허브로서의 역할을 하는 항만에는 국제 경쟁력을 유지할 수 있는 고도의 하역 능력과 운영 효율성이 필요하다. 이를 위해서는 정부가 항만에 대한 지속적인 투자와 관리, 인프라 확충을 통해 이러한 고도의 서비스를 뒷받침해야 한다. 반면, 울산항이나 대산항처럼 지역 특화 산업과 연계된 항만은 지나친 과잉 투자보다, 그 지역 특성에 맞춘 맞춤형 자원 배분과 서비스 운영이 필요하다.

항만별로 차등화된 서비스 수준을 적용하는 이유는 항만이 처리하는 물동량, 화물 가치, 그리고 각 항만의 특성에 따라 최적의 운영 전략을 설정함으로써 전체적인 물류 흐름의 효율성을 극대화하기 위함이다. <표 4-21>에서 제시한 서비스 수준은 각 항만의 선석 수, 처리 물량, 화물 가치, 그리고 지역 경제에 미치는 영향을 종합적으로 고려한 결과다. 이로부터 다음과 같은 시사점을 도출할 수 있다.

1) 항만 운영 효율의 극대화

서비스 수준을 차등 적용함으로써 각 항만의 운영 효율성을 극대화할 수 있다. 부산항과 같이 대규모 물량을 처리하는 항만은 서비스 수준 II와 같이 높은 기준을 유지함으로써 선박 대기시간을 최소화하고, 물류 흐름의

원활함을 보장할 수 있다. 이는 컨테이너 수출입 물류의 대부분을 처리하면서 그 영향력이 전국적인 부산항에서 필수적이며, 부산항의 엄격한 운영이 국가 및 글로벌 물류 흐름에 미치는 영향을 최소화할 수 있다.

2) 사회적 비용 절감

서비스 수준을 차등 적용함으로써 항만 운영 과정에서 발생하는 사회적 비용을 줄일 수 있다. 고가의 화물을 처리하는 항만에서 선박 대기시간이 길어질수록, 그로 인한 기회비용은 크게 증가할 수 있다. 평택·당진항처럼 화물 가치가 매우 높은 화물을 처리하는 항만에서 높은 서비스 수준을 유지하는 것은, 선박 대기시간을 줄여 불필요한 사회적 비용을 억제하는 데 매우 효과적일 것으로 판단된다.

3) 항만 운영 및 자원 배분의 효율화

항만별로 물동량과 화물 가치를 고려한 차별화된 서비스 수준을 적용하면 자원 배분의 효율성을 높일 수 있다. 각 항만의 특성에 맞는 운영 기준을 설정함으로써, 인프라의 효율적 사용과 인력 배치 최적화가 가능하다. 예를 들어, 울산항이나 대산항과 같은 항만들은 지역 산업과의 연계를 고려해 유연한 운영 기준을 적용하고, 지나친 과투자를 피하면서도 필요한 서비스 수준을 유지할 수 있다.

이로써 항만별 맞춤형 전략을 도입하여, 특정 지역에 집중된 물류 수요를 더욱 효율적으로 대응할 수 있다. 특히, 서비스 수준 IV에 속하는 울산항과 대산항은 인근 산업(유류, 에너지 등) 물류를 주로 담당하기 때문에, 이와 같은 맞춤형 접근을 통해 지역 산업 성장에 기여하고, 항만의 자원을 최적화하는 데 중요한 역할을 할 수 있다.

항만별 서비스 수준을 차등 적용하는 것은 국가 경제와 지역 물류의 균형 발전을 목표로 하며, 이는 각 항만이 담당하는 물류 역할에 따른 합리적인 운영 전략을 가능하게 한다. 대규모 혹은 고부가가치 화물을 처리하는 항만은 고도의 운영 효율성을 요구하며 지역 거점 항만들은 적절한 수준의 서비스를 제공하는 완화된 기준이 적용 가능하다. 또한 특정 산업 중심 항만들은 완화된 기준을 통해 유연한 운영이 가능하므로, 이를 기반으로 항만 자원의 최적 활용과 국가 물류 경쟁력 강화를 이룰 수 있을 것으로 판단한다.

05

결론 및 정책제언

제1절 결론

본 연구는 항만 하역능력 산정 과정에서 서비스 수준의 명확한 정의와 기준이 부족하다는 문제 인식에서 출발하였다. 기존 연구와 실무에서는 항만 서비스 수준을 다루는 데 있어 일관된 정의와 적절한 기준이 제시되지 않았고, 선석 점유율 및 장치장 점유율 같은 주요 서비스 지표의 적용 근거가 부족했다. 이러한 문제로 인해 항만 운영자 및 정책 결정자들은 실제 하역능력을 정확히 평가하지 못하고, 이로 인해 항만 운영과 확장, 자원 배분의 효율성이 저하될 가능성이 컸다.

특히, 하역능력을 정확히 산정하지 못할 경우 여러 가지 심각한 문제가 발생할 수 있다. 첫째, 과잉투자의 위험이 증가한다. 항만 운영자나 정책 결정자들이 실질적인 하역능력을 과소평가하면, 필요 이상의 항만 시설 확장이 이루어질 수 있다. 이는 자원 낭비뿐만 아니라 국가 차원의 재정 부담을 초래할 수 있으며, 항만 이용률이 예상보다 낮을 경우 이는 시설 유향화를 이어져 장기적인 비용 부담이 가중될 수 있다.

둘째, 항만 개발 규모와 시기에 오류가 발생할 가능성이 있다. 항만의 하

역능력과 서비스 수준을 잘못 산정하면 적절한 시기에 필요한 규모로 항만을 개발하는 데 실패할 수 있다. 예를 들어, 항만의 하역능력이 이미 포화 상태에 도달했음에도 불구하고 이를 적시에 인식하지 못한다면, 항만 개발이 지연되어 물동량 증가에 적절히 대응하지 못하게 된다. 이는 곧 항만의 혼잡을 유발하고, 선박 대기시간이 증가하여 글로벌 물류망에서의 경쟁력을 상실할 수 있는 문제로 이어진다.

셋째, 하역능력 평가의 부정확성은 항만 자원의 비효율적 배분으로 연결된다. 각 항만이 처리할 수 있는 실제 하역능력에 대한 정확한 이해가 부족하면, 국가 차원의 항만 자원 배분에서 비효율적인 결정이 이루어질 수 있다. 이는 항만 간의 자원 불균형을 초래하여, 특정 항만은 과부하 상태에 빠지는 반면에 다른 항만은 자원을 효율적으로 활용하지 못하는 상황이 발생할 수 있다. 또한, 지역 경제 발전에 있어서도 중요한 항만 정책이 왜곡될 수 있으며, 국가 전체 물류 시스템의 효율성 저하로 이어질 수 있다.

본 연구의 주된 방향은 항만 하역능력 산정 시의 서비스 수준에 대한 명확한 정의와 기준을 재정립하는 데 있었다. 기존 연구들은 항만 서비스 수준을 다루는 데 있어 일반적이고 모호한 개념으로 접근했으며, 이를 구체적으로 평가할 수 있는 기준이 부재했다. 반면, 도로, 철도, 공항 등 다른 SOC 분야에서는 서비스 수준이 명확하게 정의되고 평가 지표가 구체적으로 제시되어 있는 경우가 많았다. 이러한 점에서 항만 분야의 서비스 수준을 체계적으로 정립할 필요성이 대두되었다.

본 연구는 이러한 문제를 해결하기 위해, 항만 서비스 수준을 명확히 정의하고, 이를 평가할 수 있는 주요 지표를 도출하는 것을 목표로 했다. 특히, 선석 점유율과 장치장 점유율과 같은 서비스 수준별 평가 지표를 재정립하여, 이를 토대로 항만 운영 효율성을 객관적으로 평가할 수 있도록 하는 것이 본 연구의 핵심 방향이었다.

또한, 연구의 중요한 목표 중 하나는 선석 점유율과 장치장 점유율과 같은 주요 지표들이 각 항만별로 어떻게 적용되어야 하는지에 대한 명확한 기준을 세우는 것이었다. 항만별로 물동량, 화물 특성, 항만 운영 상황이 상이하기 때문에, 이들 지표를 일괄적으로 적용하는 것은 효율적이지 않다. 그러나 기존 연구에서는 이러한 차별화된 기준이 부족했기 때문에, 각 항만의 특성에 맞춘 지표 적용 기준을 세우는 것이 본 연구의 주요 목표 중 하나였다.

결국, 본 연구는 항만 서비스 수준의 정의와 평가 기준을 SOC 타 사례들처럼 명확하게 정립하고, 항만별 특성을 반영한 구체적인 지표 적용 방안을 제시하여 항만 운영의 효율성을 제고하고자 했다. 이를 통해 항만 자원을 효율적으로 배분하고, 불필요한 비용을 줄이는 데 기여하고자 하는 것이 연구의 목표였다.

본 연구는 기존의 대기이론, 경제성 분석, W/S 비율 분석 등의 전통적 방법론을 활용하면서도, 국내 컨테이너터미널의 실제 운영 데이터를 기반으로 실증적인 접근을 시도한 점에서 차별화된다. 기존 연구들은 주로 이론적 분석에 집중해 서비스 수준과 선석 점유율을 도출했지만, 본 연구는 실증적 데이터를 통해 이론적 분석과 실제 운영 결과를 결합하여 보다 현실적인 결과를 도출했다.

먼저, 연구 방법론의 핵심은 대기이론, W/S 비율 및 경제성 분석이다. 대기이론의 경우 한국해양수산개발원(2023)에서 분석한 국내 컨테이너터미널의 선박 입출항, 하역시간 특성 등을 차용했다. 한국해양수산개발원(2023)의 연구는 컨테이너터미널의 선박 대기와 관련된 지표들을 적합도 분석(Goodness of fit test) 등으로 면밀하게 분석한 결과이므로 신뢰성 높은 데이터를 활용했다는 것도 연구의 의의로 볼 수 있다.

W/S 비율은 UNCTAD(1985)가 제안한 경제성 분석에 기반한 서비스 수

준 적용의 이론적 근거 부족을 이유로 대기행렬 모형을 적용하여 적정 선석 점유율을 도출할 수 있는 지표로 제안되었다. 이번 연구에서는 신뢰도 높은 국내 컨테이너터미널 운영 데이터로 W/S 비율을 적용한 이론적 적정 선석 점유율을 도출했다. 또한 이 방법론을 확장하여 장치장 체류시간을 포함한 W/S 비율 검토로 이론적 적정 장치장 점유율까지 검토하였다.

또한, 본 연구는 항만 서비스 수준과 관련하여 매번 회자되는 항만 투자 비용 대비 선박 대기비용의 함수, 즉 UNCTAD(1985)에서 제시한 경제성 분석 방법론에 대해서도 국내 데이터를 적용하여 실증적 분석을 시도하였다. 기존의 대기이론과 W/S 비율을 적용한 연구들이 이론적 분석에만 치우쳐 있었다면, 본 연구는 실제 운영 데이터를 활용하여 항만 운영의 경제적 타당성을 고려한 적정 선석 점유율을 제시했다.

마지막으로 항만별 컨테이너터미널의 처리 화물이 국가 경제에 미치는 양과 영향권을 분석하여 항만별 서비스 수준을 차별적으로 적용할 수 있는 방법론을 제시했다. 이는 항만별 화물의 가치가 다르고 국가 경제에 미치는 영향이 다르다는 가설에서 시작했으며 고부가가치 화물을 처리하고 국가적 영향력이 큰 항만은 높은 서비스 수준을 유지하고 지역 거점의 항만은 정책적 유연성 및 완화된 기준을 제시하는 것이 중요하다고 판단했다.

이 결과는 기존 해양수산부의 기존 서비스 수준 적용 방법과 비교 검토되었으며, 이를 통해 정책적 활용성을 고려한 선석 수당 적정 선석 점유율 및 장치장 점유율을 제시할 수 있었다. 기존 연구는 이러한 서비스 수준의 정책적 활용에 대한 실증적 근거가 부족했던 반면, 본 연구는 이를 명확히 제시하고자 했다.

본 연구는 항만 운영 및 개발에 있어 중요한 정책적 시사점을 제공한다. 첫째, 각 항만의 특성에 맞춘 차별화된 서비스 수준을 적용함으로써 항만 자원의 효율적 배분이 가능해지고, 불필요한 과투자와 자원 낭비를 방지할

수 있다. 이는 국가 자원 활용의 효율성을 높이고 물류 경쟁력을 강화하는데 중요한 역할을 할 것이다.

둘째, 본 연구에서 제시한 적정 선석 점유율과 장치장 점유율을 기반으로 하역능력을 산정함으로써, 각 항만의 적정하역능력을 보다 정확하게 평가할 수 있다. 여기서 말하는 적정하역능력은 항만적정하역능력은 사회적 비용을 최소화하는 하역능력을 의미한다. 이를 통해 항만 운영자가 정확한 하역능력을 바탕으로 선석과 장치장 시설을 최적화하여, 필요한 규모와 시기에 맞춘 개발을 추진할 수 있게 된다. 이는 항만의 혼잡을 줄이고 선박의 원활한 하역 작업을 지원하며, 궁극적으로 국가 전반의 항만 생산성과 운영 효율성을 증진시킬 것이다.

셋째, 항만 서비스 수준에 대한 명확한 정의와 기준을 제시함으로써, 향후 항만 확장 및 신규 항만 개발 시 중요한 기준으로 활용될 수 있다. 이 연구 결과는 항만 개발 시 예상 물동량 및 비용 구조를 정확히 예측하고 효율적인 자원 배분을 위한 의사결정을 지원할 수 있을 것이다.

제2절 정책제언

1. 하역능력 기초자료 수집체계 구축

현재 국내 항만에서 운영 중인 해운항만물류정보시스템(Port-MIS)은 항만 물류와 관련된 다양한 데이터를 제공하고 있으며, 그 신뢰성도 높은 편이다. 그러나 하역능력 산정을 위한 핵심 데이터는 충분히 확보되지 못하고 있어, 이를 개선할 필요가 있다. Port-MIS에서 제공하는 선박 입항 시

간 정보는 실제 입항 시간과 다를 수 있어, 선박 대기시간과 관련된 정확한 데이터를 확인하는 데 어려움이 있다. 또한, Port-MIS는 선박의 입항과 출항 시간, 하역량, 접안 시간 등의 정보는 잘 제공하고 있으나, 장치장과 관련된 정보는 거의 제공되지 않고 있다.

장치장에 대한 정보 부족은 하역능력 산정 과정에서 중요한 문제를 야기한다. 장치장 내 개별 컨테이너의 체류 시간, 장치장의 혼잡도, 그리고 장치장 처리 능력에 대한 정보가 미비하기 때문에, 이와 관련된 데이터는 많은 가정을 바탕으로 산정될 수밖에 없다. 이는 결과적으로 항만 운영 효율성을 평가하고 하역능력을 정확하게 산정하는 데 한계로 작용한다.

따라서 첫 번째 정책제언으로, 하역능력 기초자료 수집 체계의 구축이 필요하다. 이는 보다 체계적으로 선박의 실제 입항 시간, 대기시간, 장치장 체류 시간 등을 수집할 수 있는 방안을 마련하는 것을 의미한다. 구체적으로는 다음과 같은 개선 방안을 제안할 수 있다:

- 실제 선박 입항 시간과 대기시간 데이터 수집 체계 구축: 선박이 실제로 항만에 도착한 시간과 대기시간을 자동으로 기록할 수 있는 시스템을 구축하여, 선박 대기시간을 정확하게 측정할 수 있도록 한다.
- 장치장 운영 데이터 수집 시스템 강화: 장치장 내 개별 컨테이너의 체류 시간, 장치장 내 혼잡도 및 처리 능력을 실시간으로 모니터링하고 기록할 수 있는 체계를 마련하여, 항만 하역능력 평가 시 장치장 데이터의 정확성을 높인다.
- 통합 데이터베이스 구축: 선박과 장치장의 운영 정보를 통합하여 관리할 수 있는 통합 데이터베이스 시스템을 구축한다. 이를 통해 하역능력 산정에 필요한 모든 데이터를 한 곳에서 체계적으로 수집하고 분석할 수 있도록 한다.

이와 같은 체계적인 데이터 수집 방안은 향후 항만 하역능력 산정의 정확성을 크게 향상시키고, 항만 운영의 효율성을 제고하는 데 기여할 수 있을 것이다.

2. 하역능력 산정 과정, 모형 및 변수 검토, 결과 검증 프로세스 도입

항만 하역능력은 항만의 추가 개발 및 국가적 물류 시스템의 효율성을 결정짓는 중요한 요소로, 정확한 산정이 필수적이다. 기본계획 수립을 위한 하역능력은 전국 30개 무역항, 346개 부두, 764개 선석에 대한 하역능력을 산정해야 하며, 이는 매우 복잡하고 방대한 작업이다. 이 과정에서 데이터의 부족이나 오류, 관리되지 않는 자료로 인해 정확한 하역능력 산정이 어려워지고, 이로 인한 사회적 합의의 필요성이 대두된다. 그러나 현재 하역능력 산정 후 결과에 대한 장기적인 검증 프로세스가 없어, 결과의 신뢰성이 떨어질 수 있는 상황이다. 이를 해결하기 위해 지속가능한 검증 체계와 관련 논의가 필요하다.

두 번째 정책 제언으로는 하역능력 산정 과정, 모형 및 변수 검토, 결과에 대한 검증 프로세스 도입을 제안한다. 이는 하역능력 산정의 신뢰성을 제고하고, 장기적으로 정확한 산정을 가능하게 하는 검증 체계를 구축하는 것을 의미한다. 구체적으로는 다음과 같은 방안을 제시할 수 있다.

- 전문가 그룹 조성: 항만 운영, 물류, 통계 및 경제 전문가들로 구성된 전문가 그룹을 조성하여, 하역능력 산정 모형과 변수에 대해 장기적인 검토를 받는 체계를 구축한다. 이 전문가 그룹은 산정 과정의 적정성을 지속적으로 검토하며, 산정 결과의 신뢰성을 확보하는 역할을 한다.
- 검증 및 논의 협의체 구성: 하역능력 산정에 사용되는 데이터와 변수에 대해 지속적으로 검토하고, 데이터가 부족하거나 오류가 있을 때 어떻

게 대체할 것인지에 대한 대안을 논의하는 협의체를 구성한다. 이 협의체는 산정에 필요한 데이터가 없을 경우 합리적인 대체 방안을 마련하며, 데이터의 신뢰성과 일관성을 보장한다.

- 정기적 모형 검토 및 업데이트: 하역능력 산정 모형은 시간이 지남에 따라 변할 수 있는 여러 요인들을 반영할 수 있어야 하므로, 정기적으로 모형을 검토하고 최신 데이터를 반영한 업데이트가 필요하다. 이를 통해 지속가능한 산정 결과를 도출하고, 변화하는 항만 환경에 맞춘 모형을 적용할 수 있도록 한다.
- 검증 프로세스의 투명성 제고: 산정 결과와 검토 과정을 투명하게 공개하고, 이에 대한 피드백을 수집하여 사회적 합의를 이끌어내는 것이 중요하다. 이를 위해 검증 프로세스의 결과를 정기적으로 보고서 형태로 공개하고, 관련 이해관계자들과 지속적으로 논의할 수 있는 체계를 마련한다.

이러한 검증 프로세스 도입은 하역능력 산정의 정확성을 높이고, 장기적으로 신뢰할 수 있는 데이터를 바탕으로 정책적 결정을 내릴 수 있는 기반을 제공할 것이다.

3. 하역능력 산정 및 서비스 수준 표준화 가이드라인 마련

항만 운영의 효율성을 높이고 정책적 일관성을 유지하기 위해서는 항만 하역능력 산정 및 서비스 수준 표준화 가이드라인을 마련하는 것이 필요하다. 현재 국내 항만들은 각기 다른 특성과 역할을 가지고 있지만, 일관된 기준과 가이드라인이 없는 상황에서는 각 항만의 하역능력 산정 방식과 서비스 수준의 적용이 이해관계자들마다 해석이 다르고, 합의가 이루어지지 않을 가능성이 있다. 이는 정책 실행의 일관성을 저해할 뿐만 아니라, 항만

간의 불균형을 초래할 수 있으며, 장기적으로 국가 물류망의 효율성을 저하시키는 요인이 될 수 있다.

따라서 세 번째 정책 제언으로는 항만 하역능력 산정 및 서비스 수준 표준화 가이드라인 마련을 제안한다. 이는 항만별 특성을 반영하면서도, 하역능력 산정과 서비스 수준 적용에 있어 통일된 기준을 제공함으로써 항만 정책의 일관성과 실행력을 강화하는 데 목적이 있다.

- 국가 표준 하역능력 산정 지침 마련: 정부 차원에서 항만 하역능력 산정에 대한 표준화된 지침을 마련하여, 각 항만이 동일한 기준을 기반으로 하역능력을 산정하도록 한다. 이 지침에는 W/S 비율, 선석 및 장치장 점유율 등의 주요 지표를 기반으로 하여, 항만별로 하역능력을 계산하는 방법을 명확히 규정할 수 있다.
- 서비스 수준 분류 기준 통일: 항만별로 적용되는 서비스 수준에 대한 통일된 분류 기준을 마련한다. 항만의 특성에 따라 다르게 적용될 수 있지만, 항만별 서비스 수준 분류에는 명확한 기준이 필요하다. 이를 통해 항만 운영 효율성 평가 및 정책 수립 시 일관성을 유지할 수 있다.
- 항만별 특성을 반영한 유연한 적용 방식 제시: 표준화된 가이드라인은 모든 항만에 일률적으로 적용되기보다는 각 항만의 특성을 반영한 유연한 적용 방식을 제시해야 한다. 예를 들어, 고부가가치 화물을 처리하는 항만과 저부가가치 화물을 처리하는 항만은 다른 기준이 적용될 수 있으며, 이에 따라 서비스 수준의 차별화가 필요할 수 있다.
- 정기적인 가이드라인 검토 및 업데이트: 항만 운영 환경이 변화함에 따라, 표준화된 가이드라인은 정기적으로 검토되고 업데이트되어야 한다. 새로운 물류 트렌드, 기술 발전, 물동량 변화 등을 반영하여

하역능력 산정 및 서비스 수준 가이드라인을 지속적으로 개선함으로써, 정책의 현장 적합성을 높일 수 있다.

이 가이드라인이 도입되면, 항만 하역능력 산정과 서비스 수준 평가에서의 일관성이 유지될 뿐만 아니라, 항만 정책의 투명성과 신뢰성이 제고될 것이다. 더 나아가 적정하역능력을 보다 정확하게 산정하고 항만 이해관계자들 간의 이해 격차를 줄일 수 있을 것으로 예상된다.

참고문헌

국내 문헌

- 국토해양부(2013), 도로용량편람.
- 국토교통부(2022), 가덕도신공항 건설을 위한 사전타당성 검토 연구.
- 국토교통부(2023), 도로설계기준(도로설계 일반사항).
- 김광모 외(2012), 고속철도 역사의 서비스수준과 면적기준 상관관계에 관한 고찰, 한국철도학회 학술발표대회논문집, pp. 1522-1527.
- 김근섭(2021), 컨테이너터미널 장치장 점유율 추정 연구: 부산항 신항 컨테이너 터미널을 중심으로, 한국항해항만학회지, 45(3), pp. 148-154.
- 김병일(2006), 항만물류 서비스품질 차원이 고객만족도에 미치는 영향: 인천항 컨테이너 터미널을 중심으로: 인천항 컨테이너 터미널을 중심으로, 한국항만경제학회지, 22(1), pp. 125-149.
- 김창곤(2000), 컨테이너 터미널의 서비스 수준 평가지표에 대한 고찰, 해양정책연구, 15(1), pp. 39-57.
- 김창곤·장성용(2008), Bulk 부두의 선박 대형화에 따른 선석별 점유율 비교 분석, 한국시물레이션학회 논문지, 17(3), pp. 63-73.
- 김창환·이상윤(2011), 벌크항만의 서비스 품질 측정도구의 설계와 적용, 해운물류연구, 27(4), pp. 545-561.
- 노홍승·이철영(1996), 항만물류 서비스의 개념과 속성 고찰에 관한 연구, 해운물류연구, 23, pp. 101-124.
- 박병인(2005), DEA 및 시뮬레이션에 의한 컨테이너 터미널의 효율성 분석, 경영과학,

-
- 22(2), pp. 77-97.
- 박병인·배종욱(2012), 평양항 컨테이너 부두의 서비스품질 평가체계, 한국항만경제학회지, 28(2), pp. 95-111.
- 박병인·배종욱·박상준(2009), 선박당 평균대기비용에 의한 항만의 서비스 수준 평가, 한국항만경제학회지, 25(4), pp. 185-205.
- 박상국·박남규(2013), 항만에서 시뮬레이션 기반 적정하역능력 산정 모델에 관한 연구: 항만 화물 전용부두 중심으로, 한국정보통신학회논문지, 17(10), pp. 2454-2460.
- 박상국(2016), 컨테이너 전용부두의 최적 서비스 수준에 관한 연구, 한국항만경제학회지, 32(2), pp. 137-156.
- 이기열 외(2015), 국내 항만의 서비스 지표 개발을 위한 항만 대기율 산정, 대한산업공학회 춘계공동학술대회 논문집, pp. 111-115.
- 이재길(1992), 일본에서의 시간가치 측정방법, 교통정보, 제74호, pp. 41-49.
- 최지은·박동규(2015), 공공투자 사업의 경제성분석을 위한 사회적 할인율 추정, 사회과학연구, 41(3), pp. 145-167.
- 최창호(2019), 벌크화물의 시간가치 반영을 위한 기초환경 구축 방안 연구, 한국항만경제학회지, 35(1), pp. 1-17.
- 한국개발연구원(2008), 도로·철도 부문 사업의 예비타당성조사 표준지침 수정·보완 연구(제5판).
- 한국개발연구원(2021), 부산항 제2신항 건설사업 예비타당성조사 보고서.
- 한국개발연구원(2022), 부산항 진해신항(1단계) 건설사업 예비타당성조사 보고서.
- 한국개발연구원 공공투자관리센터(2023), 2023년도 사업계획 적정성 검토 보고서, 가덕도신공항 건설사업.
- 한국도로공사(1999), 도로사업 투자분석 기법정립 연구, 국토연구원 연구과제.
- 한국도로공사(2020), 도로설계요령(제1권 도로 계획 및 기하구조).
- 한국철도시설공단(2017), 철도용량 편람.
- 한국해양수산개발원(2022), 선박대기시간 예측모형 개발을 위한 방법론 연구.
- 한국해양수산개발원(2023), 대기행렬모형을 활용한 선박대기비용 절감 편익 산정 연구.

- 허성호 외(2014), 국가산업단지 및 수출입 공항·항만의 물류서비스 수준 진단방법 개발에 관한 연구, 한국교통연구원 기본연구보고서, pp. 1-198.
- 해양수산부(2020), 항만 적정하역능력 재산정 최종보고서(컨테이너부두).

국외 문헌

- Agerschou, H. et al. (1983). Planning and design of ports and marine terminals. Chichester: Wiley.
- Agerschou, H. (2015). Planning and design of port and marine terminals, 2nd Edition. Thomas Telford Publishing.
- Bassan, S. (2007). Evaluating seaport operation and capacity analysis—preliminary methodology. *Maritime Policy & Management*, 34(1), pp. 3-19.
- Brooks, M. R., & Schellinck, T. (2013). Measuring port effectiveness in user service delivery: What really determines users' evaluations of port service delivery?. *Research in Transportation Business & Management*, 8, pp. 87-96.
- Brooks, M. R., & Schellinck, T. (2015). Measuring port effectiveness: what really determines cargo interests' evaluations of port service delivery?. *Maritime Policy & Management*, 42(7), pp. 699-711.
- Chang, Y. T., Tongzon, J., Luo, M., & Lee, P. T. W. (2012). Estimation of optimal handling capacity of a container port: an economic approach. *Transport Reviews*, 32(2), pp. 241-258.
- Cullinane, K., & Wang, Y. (2009). A capacity-based measure of container port accessibility. *International Journal of Logistics: Research and Applications*, 12(2), pp. 103-117.
- Felício, J. A., Caldeirinha, V., & Dionisio, A. (2015). The effect of port and container terminal characteristics on terminal performance. *Maritime Economics & Logistics*, 17, pp. 493-514.
- Fruin, J. J. (1970). Designing for pedestrians a level of service concept. Polytechnic University.

-
- Fundación Valenciaport(2012), Sea port capacity manual: application to container terminals. Technical report.
- Henesey, L. (2006), Multi-agent systems for container terminal management (Doctoral dissertation, Blekinge Institute of Technology).
- Jeevan, J. et al. (2015), The implications of the growth of port throughput on the port capacity: The case of Malaysian major container seaports, *International Journal of e-Navigation and Maritime Economy*, 3, pp. 84-98.
- Kia, M., Shayan, E., & Ghotb, F. (2002), Investigation of port capacity under a new approach by computer simulation, *Computers & industrial engineering*, 42(2-4), pp. 533-540.
- Lee, S. Y., & Lee, N. Y. (2024), Improvement of the Port Development System through the Port Service Index (PSI), *Journal of Coastal Research*, 116(sp1), pp. 294-298.
- Lettner, D. E., Kosior, J. M., & Rozyckie, S. P. (2014), Developing and Applying Level-of-Service Framework to Land-Based Port-of-Entry Infrastructure Planning, *Transportation Research Record*, 2409(1), pp. 54-62.
- Maloni, M., & Jackson, E. C. (2005), North American container port capacity: A literature review, *Transportation journal*, 44(2), pp. 16-36.
- Munim, Z. H. (2020), Does higher technical efficiency induce a higher service level? A paradox association in the context of port operations. *The Asian Journal of Shipping and Logistics*, 36(4), pp. 157-168.
- Netto, J. F., Botter, R. C., & Medina, A. C. (2015, December), Analysis of capacity associated to levels of service at port terminals using systemic approach and simulation of discrete events, In *2015 Winter Simulation Conference (WSC)* (pp. 3426-3437). IEEE.
- Phan, T. M., Thai, V. V., & Vu, T. P. (2021), Port service quality (PSQ) and customer satisfaction: an exploratory study of container ports in Vietnam, *Maritime Business Review*, 6(1), pp. 72-94.
- PIANC. (2014), Masterplans for the development of existing ports.
- UNCTAD(1973), Berth throughput: systematic methods for improving general

cargo operations.

UNCTAD(1985), Port development: A handbook for planners in developing countries.

UNCTAD(1986), Planning and Design of Ports and Marine Terminals

Wiegmans, B., Rietveld, P., & Nijkamp, P. (2001), Container terminal services and quality, Research Memorandum, 2001, 40.

Wu, Y., & Peng, C. (2013, July), An analysis of capacity and service level of the container terminals of Hong Kong, In 2013 10th International Conference on Service Systems and Service Management (pp. 404-409), IEEE.

Yeo, G. T., Thai, V. V., & Roh, S. Y. (2015), An analysis of port service quality and customer satisfaction: The case of Korean container ports, The Asian Journal of Shipping and Logistics, 31(4), pp. 437-447.

Dragović, B., Park, N. K., & Radmilović, Z. (2006), Ship-berth link performance evaluation: simulation and analytical approaches, Maritime Policy & Management, 33(3), pp. 281-299.

交通运输部(2013), 海港总体设计规范, Design Code of General Layout for Sea Ports, JTS 165-2013.

인터넷 자료

한국은행, 수출입비율(GDP 대비), <https://www.index.go.kr/unify/idx-info.do?idxCd=4207&clasCd=7>(검색일: 2024.4.3.)

해양수산부, 해운항만물류정보시스템(Port-MIS), <https://new.portmis.go.kr/portmis/websquare/websquare.jsp?w2xPath=/portmis/w2/main/intro.xml>(검색일: 2024.6.10.)

한국무역통계 정보포털(TRASS), <https://www.bandtrass.or.kr/index.do>(검색일: 2024.8.15.)

Clarksons Research(2016-2022), <https://sin.clarksons.net/#!/login>(검색일: 2023.4.17.)

부 록

1. 국내 주요 컨테이너터미널별 W/S 비율표 —————

〈표 부록 1-1〉 부산신항 1부두 W/S 비율표

$\rho \backslash C$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0.025	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.05	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.075	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.1	0.06	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.125	0.08	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.15	0.10	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.175	0.12	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.2	0.14	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.225	0.16	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.25	0.19	0.04	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.275	0.21	0.05	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.3	0.24	0.06	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.325	0.27	0.07	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.35	0.30	0.08	0.03	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.375	0.34	0.09	0.04	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.4	0.37	0.11	0.04	0.02	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
0.425	0.42	0.12	0.05	0.03	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00
0.45	0.46	0.14	0.06	0.03	0.02	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00
0.475	0.51	0.16	0.08	0.04	0.02	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00
0.5	0.56	0.19	0.09	0.05	0.03	0.02	0.01	0.01	0.01	0.00
0.525	0.62	0.21	0.10	0.06	0.04	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01
0.55	0.69	0.24	0.12	0.07	0.04	0.03	0.02	0.01	0.01	0.01
0.575	0.76	0.28	0.14	0.08	0.05	0.04	0.03	0.02	0.01	0.01
0.6	0.84	0.32	0.17	0.10	0.07	0.05	0.03	0.02	0.02	0.01
0.625	0.94	0.36	0.19	0.12	0.08	0.06	0.04	0.03	0.02	0.02
0.65	1.04	0.41	0.23	0.14	0.10	0.07	0.05	0.04	0.03	0.02
0.675	1.17	0.47	0.26	0.17	0.12	0.09	0.06	0.05	0.04	0.03
0.7	1.31	0.54	0.31	0.20	0.14	0.10	0.08	0.06	0.05	0.04
0.725	1.48	0.62	0.36	0.24	0.17	0.13	0.10	0.08	0.06	0.05
0.75	1.69	0.72	0.43	0.29	0.21	0.16	0.12	0.10	0.08	0.07
0.775	1.94	0.85	0.51	0.35	0.25	0.20	0.16	0.13	0.11	0.09
0.8	2.25	1.00	0.61	0.42	0.31	0.24	0.20	0.16	0.14	0.12
0.825	2.65	1.20	0.74	0.52	0.39	0.31	0.25	0.21	0.17	0.15
0.85	3.19	1.46	0.91	0.65	0.49	0.39	0.32	0.27	0.23	0.20
0.875	3.94	1.84	1.16	0.83	0.64	0.51	0.42	0.36	0.31	0.27
0.9	5.06	2.40	1.53	1.11	0.86	0.69	0.58	0.49	0.43	0.38
0.925	6.94	3.33	2.15	1.57	1.23	1.00	0.84	0.72	0.63	0.56
0.95	10.68	5.21	3.40	2.51	1.97	1.62	1.37	1.19	1.04	0.93
0.975	21.93	10.83	7.15	5.31	4.22	3.49	2.98	2.59	2.29	2.05

자료: 저자 작성, *C:선석 수, ρ :선석점유율

〈표 부록 1-2〉 부산신항 2부두 W/S 비율표

$\rho \backslash C$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0.025	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.05	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.075	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.1	0.06	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.125	0.08	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.15	0.10	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.175	0.12	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.2	0.14	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.225	0.16	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.25	0.19	0.04	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.275	0.21	0.05	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.3	0.24	0.06	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.325	0.27	0.07	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.35	0.30	0.08	0.03	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.375	0.34	0.09	0.04	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.4	0.37	0.11	0.04	0.02	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
0.425	0.42	0.12	0.05	0.03	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00
0.45	0.46	0.14	0.06	0.03	0.02	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00
0.475	0.51	0.16	0.08	0.04	0.02	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00
0.5	0.56	0.19	0.09	0.05	0.03	0.02	0.01	0.01	0.01	0.00
0.525	0.62	0.21	0.10	0.06	0.04	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01
0.55	0.69	0.24	0.12	0.07	0.04	0.03	0.02	0.01	0.01	0.01
0.575	0.76	0.28	0.14	0.08	0.05	0.04	0.03	0.02	0.01	0.01
0.6	0.84	0.32	0.17	0.10	0.07	0.05	0.03	0.02	0.02	0.01
0.625	0.94	0.36	0.19	0.12	0.08	0.06	0.04	0.03	0.02	0.02
0.65	1.04	0.41	0.23	0.14	0.10	0.07	0.05	0.04	0.03	0.02
0.675	1.17	0.47	0.26	0.17	0.12	0.09	0.06	0.05	0.04	0.03
0.7	1.31	0.54	0.31	0.20	0.14	0.10	0.08	0.06	0.05	0.04
0.725	1.48	0.62	0.36	0.24	0.17	0.13	0.10	0.08	0.06	0.05
0.75	1.69	0.72	0.43	0.29	0.21	0.16	0.12	0.10	0.08	0.07
0.775	1.94	0.85	0.51	0.35	0.25	0.20	0.16	0.13	0.11	0.09
0.8	2.25	1.00	0.61	0.42	0.31	0.24	0.20	0.16	0.14	0.12
0.825	2.65	1.20	0.74	0.52	0.39	0.31	0.25	0.21	0.17	0.15
0.85	3.19	1.46	0.91	0.65	0.49	0.39	0.32	0.27	0.23	0.20
0.875	3.94	1.84	1.16	0.83	0.64	0.51	0.42	0.36	0.31	0.27
0.9	5.06	2.40	1.53	1.11	0.86	0.69	0.58	0.49	0.43	0.38
0.925	6.94	3.33	2.15	1.57	1.23	1.00	0.84	0.72	0.63	0.56
0.95	10.68	5.21	3.40	2.51	1.97	1.62	1.37	1.19	1.04	0.93
0.975	21.93	10.83	7.15	5.31	4.22	3.49	2.98	2.59	2.29	2.05

자료: 저자 작성, *C:선석 수, ρ :선석점유율

〈표 부록 1-3〉 부산신항 3부두 W/S 비율표

$\rho \backslash C$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0.025	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.05	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.075	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.1	0.08	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.125	0.10	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.15	0.12	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.175	0.15	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.2	0.17	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.225	0.20	0.04	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.25	0.23	0.05	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.275	0.26	0.06	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.3	0.30	0.07	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.325	0.33	0.08	0.03	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.35	0.37	0.10	0.04	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.375	0.41	0.11	0.04	0.02	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
0.4	0.46	0.13	0.05	0.03	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
0.425	0.51	0.15	0.07	0.03	0.02	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00
0.45	0.57	0.18	0.08	0.04	0.02	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00
0.475	0.63	0.20	0.09	0.05	0.03	0.02	0.01	0.01	0.01	0.00
0.5	0.69	0.23	0.11	0.06	0.04	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01
0.525	0.76	0.26	0.13	0.07	0.04	0.03	0.02	0.01	0.01	0.01
0.55	0.84	0.30	0.15	0.09	0.05	0.04	0.03	0.02	0.01	0.01
0.575	0.94	0.34	0.18	0.10	0.07	0.05	0.03	0.02	0.02	0.01
0.6	1.04	0.39	0.20	0.12	0.08	0.06	0.04	0.03	0.02	0.02
0.625	1.15	0.44	0.24	0.15	0.10	0.07	0.05	0.04	0.03	0.02
0.65	1.28	0.51	0.28	0.17	0.12	0.09	0.06	0.05	0.04	0.03
0.675	1.44	0.58	0.32	0.21	0.14	0.11	0.08	0.06	0.05	0.04
0.7	1.61	0.66	0.38	0.25	0.17	0.13	0.10	0.08	0.06	0.05
0.725	1.82	0.77	0.44	0.29	0.21	0.16	0.12	0.10	0.08	0.07
0.75	2.07	0.89	0.52	0.35	0.26	0.19	0.15	0.12	0.10	0.08
0.775	2.38	1.04	0.62	0.42	0.31	0.24	0.19	0.16	0.13	0.11
0.8	2.76	1.23	0.75	0.52	0.38	0.30	0.24	0.20	0.17	0.14
0.825	3.26	1.47	0.91	0.63	0.48	0.38	0.30	0.25	0.21	0.18
0.85	3.92	1.80	1.12	0.79	0.60	0.48	0.39	0.33	0.28	0.24
0.875	4.84	2.26	1.43	1.02	0.78	0.63	0.52	0.44	0.38	0.33
0.9	6.22	2.95	1.88	1.36	1.05	0.85	0.71	0.61	0.53	0.46
0.925	8.53	4.10	2.65	1.93	1.51	1.23	1.03	0.89	0.78	0.69
0.95	13.13	6.40	4.18	3.08	2.43	1.99	1.69	1.46	1.28	1.14
0.975	26.96	13.31	8.78	6.53	5.19	4.29	3.66	3.18	2.81	2.52

자료: 저자 작성, * C :선석 수, ρ :선석점유율

〈표 부록 1-4〉 부산신항 4부두 W/S 비율표

$\rho \backslash C$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0.025	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.05	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.075	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.1	0.07	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.125	0.09	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.15	0.11	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.175	0.14	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.2	0.16	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.225	0.19	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.25	0.21	0.04	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.275	0.24	0.05	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.3	0.28	0.06	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.325	0.31	0.08	0.03	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.35	0.35	0.09	0.03	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.375	0.39	0.11	0.04	0.02	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
0.4	0.43	0.12	0.05	0.02	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
0.425	0.48	0.14	0.06	0.03	0.02	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00
0.45	0.53	0.16	0.07	0.04	0.02	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00
0.475	0.58	0.19	0.09	0.05	0.03	0.02	0.01	0.01	0.00	0.00
0.5	0.64	0.21	0.10	0.06	0.03	0.02	0.01	0.01	0.01	0.00
0.525	0.71	0.25	0.12	0.07	0.04	0.03	0.02	0.01	0.01	0.01
0.55	0.79	0.28	0.14	0.08	0.05	0.03	0.02	0.02	0.01	0.01
0.575	0.87	0.32	0.16	0.10	0.06	0.04	0.03	0.02	0.02	0.01
0.6	0.97	0.36	0.19	0.12	0.08	0.05	0.04	0.03	0.02	0.02
0.625	1.07	0.41	0.22	0.14	0.09	0.07	0.05	0.04	0.03	0.02
0.65	1.20	0.47	0.26	0.16	0.11	0.08	0.06	0.05	0.04	0.03
0.675	1.34	0.54	0.30	0.19	0.13	0.10	0.07	0.06	0.05	0.04
0.7	1.50	0.62	0.35	0.23	0.16	0.12	0.09	0.07	0.06	0.05
0.725	1.70	0.71	0.41	0.27	0.20	0.15	0.11	0.09	0.07	0.06
0.75	1.93	0.83	0.49	0.33	0.24	0.18	0.14	0.12	0.09	0.08
0.775	2.22	0.97	0.58	0.40	0.29	0.22	0.18	0.15	0.12	0.10
0.8	2.58	1.15	0.70	0.48	0.36	0.28	0.22	0.18	0.15	0.13
0.825	3.04	1.37	0.84	0.59	0.44	0.35	0.28	0.24	0.20	0.17
0.85	3.65	1.68	1.05	0.74	0.56	0.45	0.37	0.31	0.26	0.23
0.875	4.51	2.10	1.33	0.95	0.73	0.58	0.48	0.41	0.35	0.31
0.9	5.80	2.75	1.75	1.27	0.98	0.79	0.66	0.57	0.49	0.43
0.925	7.95	3.82	2.47	1.80	1.41	1.15	0.96	0.83	0.72	0.64
0.95	12.24	5.96	3.90	2.87	2.26	1.86	1.57	1.36	1.20	1.06
0.975	25.13	12.41	8.19	6.09	4.84	4.00	3.41	2.97	2.62	2.35

자료: 저자 작성, *C:선석 수, ρ :선석점유율

〈표 부록 1-5〉 부산신항 5부두 W/S 비율표

$\rho \backslash C$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0.025	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.05	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.075	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.1	0.06	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.125	0.07	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.15	0.09	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.175	0.11	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.2	0.13	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.225	0.15	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.25	0.17	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.275	0.20	0.04	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.3	0.22	0.05	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.325	0.25	0.06	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.35	0.28	0.07	0.03	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.375	0.31	0.08	0.03	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.4	0.35	0.10	0.04	0.02	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
0.425	0.38	0.11	0.05	0.02	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
0.45	0.42	0.13	0.06	0.03	0.02	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00
0.475	0.47	0.15	0.07	0.04	0.02	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00
0.5	0.52	0.17	0.08	0.05	0.03	0.02	0.01	0.01	0.01	0.00
0.525	0.57	0.20	0.10	0.05	0.03	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01
0.55	0.63	0.22	0.11	0.07	0.04	0.03	0.02	0.01	0.01	0.01
0.575	0.70	0.26	0.13	0.08	0.05	0.03	0.02	0.02	0.01	0.01
0.6	0.78	0.29	0.15	0.09	0.06	0.04	0.03	0.02	0.02	0.01
0.625	0.86	0.33	0.18	0.11	0.07	0.05	0.04	0.03	0.02	0.02
0.65	0.96	0.38	0.21	0.13	0.09	0.06	0.05	0.04	0.03	0.02
0.675	1.08	0.43	0.24	0.16	0.11	0.08	0.06	0.05	0.04	0.03
0.7	1.21	0.50	0.28	0.18	0.13	0.10	0.07	0.06	0.05	0.04
0.725	1.37	0.57	0.33	0.22	0.16	0.12	0.09	0.07	0.06	0.05
0.75	1.55	0.67	0.39	0.26	0.19	0.15	0.11	0.09	0.08	0.06
0.775	1.78	0.78	0.47	0.32	0.23	0.18	0.14	0.12	0.10	0.08
0.8	2.07	0.92	0.56	0.39	0.29	0.22	0.18	0.15	0.12	0.11
0.825	2.44	1.10	0.68	0.48	0.36	0.28	0.23	0.19	0.16	0.14
0.85	2.93	1.35	0.84	0.59	0.45	0.36	0.29	0.25	0.21	0.18
0.875	3.62	1.69	1.07	0.76	0.59	0.47	0.39	0.33	0.28	0.25
0.9	4.66	2.21	1.41	1.02	0.79	0.64	0.53	0.45	0.39	0.35
0.925	6.39	3.07	1.98	1.45	1.13	0.92	0.78	0.67	0.58	0.51
0.95	9.84	4.79	3.13	2.31	1.82	1.49	1.26	1.09	0.96	0.86
0.975	20.20	9.97	6.58	4.89	3.89	3.22	2.74	2.38	2.11	1.89

자료: 저자 작성, *C:선석 수, ρ :선석점유율

〈표 부록 1-6〉 부산 감만부두 W/S 비율표

$\rho \backslash C$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0.025	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.05	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.075	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.1	0.08	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.125	0.11	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.15	0.13	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.175	0.16	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.2	0.19	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.225	0.21	0.04	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.25	0.25	0.05	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.275	0.28	0.06	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.3	0.32	0.07	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.325	0.36	0.09	0.03	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.35	0.40	0.10	0.04	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.375	0.44	0.12	0.05	0.02	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
0.4	0.49	0.14	0.06	0.03	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
0.425	0.55	0.16	0.07	0.04	0.02	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00
0.45	0.61	0.19	0.08	0.04	0.02	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00
0.475	0.67	0.22	0.10	0.05	0.03	0.02	0.01	0.01	0.01	0.00
0.5	0.74	0.25	0.12	0.06	0.04	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01
0.525	0.82	0.28	0.14	0.08	0.05	0.03	0.02	0.01	0.01	0.01
0.55	0.90	0.32	0.16	0.09	0.06	0.04	0.03	0.02	0.01	0.01
0.575	1.00	0.37	0.19	0.11	0.07	0.05	0.03	0.03	0.02	0.01
0.6	1.11	0.42	0.22	0.13	0.09	0.06	0.04	0.03	0.02	0.02
0.625	1.23	0.47	0.25	0.16	0.11	0.07	0.05	0.04	0.03	0.02
0.65	1.38	0.54	0.30	0.19	0.13	0.09	0.07	0.05	0.04	0.03
0.675	1.54	0.62	0.35	0.22	0.15	0.11	0.09	0.07	0.05	0.04
0.7	1.73	0.71	0.41	0.26	0.19	0.14	0.11	0.08	0.07	0.05
0.725	1.95	0.82	0.48	0.32	0.23	0.17	0.13	0.11	0.09	0.07
0.75	2.22	0.95	0.56	0.38	0.27	0.21	0.16	0.13	0.11	0.09
0.775	2.55	1.11	0.67	0.45	0.33	0.26	0.20	0.17	0.14	0.12
0.8	2.96	1.32	0.80	0.55	0.41	0.32	0.26	0.21	0.18	0.15
0.825	3.49	1.58	0.97	0.68	0.51	0.40	0.33	0.27	0.23	0.20
0.85	4.20	1.93	1.20	0.85	0.65	0.51	0.42	0.35	0.30	0.26
0.875	5.18	2.42	1.53	1.09	0.84	0.67	0.56	0.47	0.41	0.35
0.9	6.66	3.16	2.02	1.46	1.13	0.91	0.76	0.65	0.56	0.50
0.925	9.13	4.39	2.84	2.07	1.62	1.32	1.11	0.95	0.83	0.74
0.95	14.07	6.85	4.48	3.30	2.60	2.14	1.81	1.56	1.37	1.22
0.975	28.88	14.26	9.41	7.00	5.56	4.60	3.92	3.41	3.01	2.70

자료: 저자 작성, *C:선석 수, ρ :선석점유율

〈표 부록 1-7〉 부산 신감만부두 W/S 비율표

$\rho \backslash C$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0.025	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.05	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.075	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.1	0.08	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.125	0.10	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.15	0.13	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.175	0.15	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.2	0.18	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.225	0.21	0.04	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.25	0.24	0.05	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.275	0.27	0.06	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.3	0.30	0.07	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.325	0.34	0.08	0.03	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.35	0.38	0.10	0.04	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.375	0.43	0.12	0.05	0.02	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
0.4	0.47	0.14	0.06	0.03	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
0.425	0.53	0.16	0.07	0.03	0.02	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00
0.45	0.58	0.18	0.08	0.04	0.02	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00
0.475	0.64	0.21	0.10	0.05	0.03	0.02	0.01	0.01	0.01	0.00
0.5	0.71	0.24	0.11	0.06	0.04	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01
0.525	0.79	0.27	0.13	0.07	0.05	0.03	0.02	0.01	0.01	0.01
0.55	0.87	0.31	0.15	0.09	0.06	0.04	0.03	0.02	0.01	0.01
0.575	0.96	0.35	0.18	0.11	0.07	0.05	0.03	0.02	0.02	0.01
0.6	1.07	0.40	0.21	0.13	0.08	0.06	0.04	0.03	0.02	0.02
0.625	1.19	0.46	0.24	0.15	0.10	0.07	0.05	0.04	0.03	0.02
0.65	1.32	0.52	0.29	0.18	0.12	0.09	0.07	0.05	0.04	0.03
0.675	1.48	0.60	0.33	0.21	0.15	0.11	0.08	0.06	0.05	0.04
0.7	1.66	0.68	0.39	0.25	0.18	0.13	0.10	0.08	0.06	0.05
0.725	1.87	0.79	0.46	0.30	0.22	0.16	0.13	0.10	0.08	0.07
0.75	2.13	0.91	0.54	0.36	0.26	0.20	0.16	0.13	0.10	0.09
0.775	2.45	1.07	0.64	0.44	0.32	0.25	0.20	0.16	0.13	0.11
0.8	2.84	1.26	0.77	0.53	0.39	0.31	0.25	0.20	0.17	0.15
0.825	3.35	1.52	0.93	0.65	0.49	0.39	0.31	0.26	0.22	0.19
0.85	4.03	1.85	1.15	0.82	0.62	0.49	0.40	0.34	0.29	0.25
0.875	4.98	2.32	1.47	1.05	0.81	0.65	0.53	0.45	0.39	0.34
0.9	6.40	3.03	1.94	1.40	1.08	0.88	0.73	0.62	0.54	0.48
0.925	8.77	4.21	2.72	1.99	1.55	1.27	1.06	0.91	0.80	0.71
0.95	13.51	6.58	4.30	3.17	2.50	2.05	1.74	1.50	1.32	1.17
0.975	27.73	13.69	9.04	6.72	5.34	4.42	3.76	3.27	2.89	2.59

자료: 저자 작성, *C:선석 수, ρ :선석점유율

〈표 부록 1-8〉 부산 자성대 W/S 비율표

$\rho \backslash C$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0.025	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.05	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.075	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.1	0.08	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.125	0.10	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.15	0.12	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.175	0.15	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.2	0.17	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.225	0.20	0.04	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.25	0.23	0.05	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.275	0.26	0.06	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.3	0.29	0.07	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.325	0.33	0.08	0.03	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.35	0.37	0.10	0.04	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.375	0.41	0.11	0.04	0.02	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
0.4	0.46	0.13	0.05	0.03	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
0.425	0.51	0.15	0.06	0.03	0.02	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00
0.45	0.56	0.17	0.08	0.04	0.02	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00
0.475	0.62	0.20	0.09	0.05	0.03	0.02	0.01	0.01	0.01	0.00
0.5	0.69	0.23	0.11	0.06	0.04	0.02	0.01	0.01	0.01	0.00
0.525	0.76	0.26	0.13	0.07	0.04	0.03	0.02	0.01	0.01	0.01
0.55	0.84	0.30	0.15	0.09	0.05	0.04	0.03	0.02	0.01	0.01
0.575	0.93	0.34	0.17	0.10	0.07	0.05	0.03	0.02	0.02	0.01
0.6	1.03	0.39	0.20	0.12	0.08	0.06	0.04	0.03	0.02	0.02
0.625	1.14	0.44	0.24	0.15	0.10	0.07	0.05	0.04	0.03	0.02
0.65	1.27	0.50	0.27	0.17	0.12	0.09	0.06	0.05	0.04	0.03
0.675	1.42	0.57	0.32	0.21	0.14	0.10	0.08	0.06	0.05	0.04
0.7	1.60	0.66	0.37	0.24	0.17	0.13	0.10	0.08	0.06	0.05
0.725	1.81	0.76	0.44	0.29	0.21	0.16	0.12	0.10	0.08	0.07
0.75	2.06	0.88	0.52	0.35	0.25	0.19	0.15	0.12	0.10	0.08
0.775	2.36	1.03	0.62	0.42	0.31	0.24	0.19	0.15	0.13	0.11
0.8	2.74	1.22	0.74	0.51	0.38	0.30	0.24	0.20	0.16	0.14
0.825	3.23	1.46	0.90	0.63	0.47	0.37	0.30	0.25	0.21	0.18
0.85	3.88	1.78	1.11	0.79	0.60	0.48	0.39	0.33	0.28	0.24
0.875	4.80	2.24	1.41	1.01	0.78	0.62	0.51	0.44	0.37	0.33
0.9	6.17	2.92	1.87	1.35	1.05	0.85	0.70	0.60	0.52	0.46
0.925	8.45	4.06	2.62	1.92	1.50	1.22	1.03	0.88	0.77	0.68
0.95	13.02	6.34	4.14	3.05	2.41	1.98	1.67	1.45	1.27	1.13
0.975	26.73	13.20	8.71	6.48	5.14	4.26	3.63	3.15	2.79	2.50

자료: 저자 작성, *C:선석 수, ρ :선석점유율

〈표 부록 1-9〉 부산 신선대 W/S 비율표

$\rho \backslash C$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0.025	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.05	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.075	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.1	0.08	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.125	0.10	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.15	0.12	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.175	0.15	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.2	0.17	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.225	0.20	0.04	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.25	0.23	0.05	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.275	0.26	0.06	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.3	0.30	0.07	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.325	0.33	0.08	0.03	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.35	0.37	0.10	0.04	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.375	0.42	0.11	0.04	0.02	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
0.4	0.46	0.13	0.05	0.03	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
0.425	0.51	0.15	0.07	0.03	0.02	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00
0.45	0.57	0.18	0.08	0.04	0.02	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00
0.475	0.63	0.20	0.09	0.05	0.03	0.02	0.01	0.01	0.01	0.00
0.5	0.69	0.23	0.11	0.06	0.04	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01
0.525	0.77	0.26	0.13	0.07	0.04	0.03	0.02	0.01	0.01	0.01
0.55	0.85	0.30	0.15	0.09	0.06	0.04	0.03	0.02	0.01	0.01
0.575	0.94	0.34	0.18	0.10	0.07	0.05	0.03	0.02	0.02	0.01
0.6	1.04	0.39	0.20	0.12	0.08	0.06	0.04	0.03	0.02	0.02
0.625	1.15	0.44	0.24	0.15	0.10	0.07	0.05	0.04	0.03	0.02
0.65	1.29	0.51	0.28	0.18	0.12	0.09	0.06	0.05	0.04	0.03
0.675	1.44	0.58	0.32	0.21	0.14	0.11	0.08	0.06	0.05	0.04
0.7	1.62	0.67	0.38	0.25	0.17	0.13	0.10	0.08	0.06	0.05
0.725	1.83	0.77	0.44	0.29	0.21	0.16	0.12	0.10	0.08	0.07
0.75	2.08	0.89	0.52	0.35	0.26	0.19	0.15	0.12	0.10	0.08
0.775	2.38	1.04	0.62	0.42	0.31	0.24	0.19	0.16	0.13	0.11
0.8	2.77	1.23	0.75	0.52	0.38	0.30	0.24	0.20	0.17	0.14
0.825	3.26	1.48	0.91	0.64	0.48	0.38	0.31	0.25	0.22	0.18
0.85	3.92	1.80	1.12	0.80	0.60	0.48	0.39	0.33	0.28	0.24
0.875	4.85	2.26	1.43	1.02	0.78	0.63	0.52	0.44	0.38	0.33
0.9	6.23	2.95	1.89	1.36	1.06	0.85	0.71	0.61	0.53	0.46
0.925	8.54	4.10	2.65	1.94	1.51	1.23	1.04	0.89	0.78	0.69
0.95	13.16	6.41	4.19	3.09	2.43	2.00	1.69	1.46	1.28	1.14
0.975	27.00	13.33	8.80	6.54	5.20	4.30	3.66	3.19	2.82	2.52

자료: 저자 작성, *C:선석 수, ρ :선석점유율

〈표 부록 1~10〉 광양 2단계 1차 W/S 비율표

$\rho \backslash C$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0.025	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.05	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.075	0.10	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.1	0.14	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.125	0.18	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.15	0.22	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.175	0.27	0.04	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.2	0.32	0.05	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.225	0.37	0.07	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.25	0.42	0.08	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.275	0.48	0.10	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.3	0.54	0.13	0.04	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.325	0.61	0.15	0.05	0.02	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
0.35	0.68	0.18	0.07	0.03	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
0.375	0.76	0.21	0.08	0.04	0.02	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00
0.4	0.84	0.24	0.10	0.05	0.03	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00
0.425	0.93	0.28	0.12	0.06	0.03	0.02	0.01	0.01	0.00	0.00
0.45	1.03	0.32	0.14	0.07	0.04	0.02	0.02	0.01	0.01	0.00
0.475	1.14	0.37	0.17	0.09	0.05	0.03	0.02	0.01	0.01	0.01
0.5	1.26	0.42	0.20	0.11	0.07	0.04	0.03	0.02	0.01	0.01
0.525	1.40	0.48	0.23	0.13	0.08	0.05	0.04	0.02	0.02	0.01
0.55	1.55	0.55	0.27	0.16	0.10	0.07	0.05	0.03	0.02	0.02
0.575	1.71	0.62	0.32	0.19	0.12	0.08	0.06	0.04	0.03	0.02
0.6	1.90	0.71	0.37	0.23	0.15	0.10	0.07	0.06	0.04	0.03
0.625	2.11	0.81	0.44	0.27	0.18	0.13	0.09	0.07	0.05	0.04
0.65	2.35	0.92	0.51	0.32	0.22	0.16	0.12	0.09	0.07	0.06
0.675	2.63	1.06	0.59	0.38	0.26	0.19	0.15	0.11	0.09	0.07
0.7	2.95	1.21	0.69	0.45	0.32	0.24	0.18	0.14	0.11	0.09
0.725	3.33	1.40	0.81	0.54	0.38	0.29	0.22	0.18	0.15	0.12
0.75	3.79	1.63	0.96	0.64	0.47	0.36	0.28	0.23	0.19	0.16
0.775	4.35	1.90	1.14	0.78	0.57	0.44	0.35	0.28	0.24	0.20
0.8	5.06	2.25	1.36	0.94	0.70	0.55	0.44	0.36	0.30	0.26
0.825	5.96	2.69	1.66	1.16	0.87	0.69	0.56	0.46	0.39	0.34
0.85	7.16	3.29	2.05	1.45	1.10	0.88	0.72	0.60	0.52	0.45
0.875	8.85	4.13	2.61	1.87	1.43	1.15	0.95	0.80	0.69	0.60
0.9	11.38	5.39	3.44	2.49	1.93	1.56	1.30	1.11	0.96	0.85
0.925	15.59	7.49	4.84	3.54	2.76	2.25	1.89	1.62	1.42	1.26
0.95	24.02	11.70	7.64	5.63	4.44	3.65	3.09	2.67	2.34	2.09
0.975	49.30	24.34	16.07	11.95	9.49	7.85	6.69	5.82	5.14	4.60

자료: 저자 작성, *C:선석 수, ρ :선석점유율

〈표 부록 1-11〉 광양 2단계 2차 W/S 비율표

$\rho \backslash C$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0.025	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.05	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.075	0.11	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.1	0.15	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.125	0.19	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.15	0.24	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.175	0.29	0.04	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.2	0.34	0.06	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.225	0.39	0.07	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.25	0.45	0.09	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.275	0.51	0.11	0.03	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.3	0.58	0.13	0.05	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.325	0.65	0.16	0.06	0.02	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
0.35	0.73	0.19	0.07	0.03	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
0.375	0.81	0.22	0.09	0.04	0.02	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00
0.4	0.90	0.26	0.11	0.05	0.03	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00
0.425	1.00	0.30	0.13	0.06	0.03	0.02	0.01	0.01	0.00	0.00
0.45	1.10	0.34	0.15	0.08	0.04	0.03	0.02	0.01	0.01	0.00
0.475	1.22	0.39	0.18	0.10	0.06	0.03	0.02	0.01	0.01	0.01
0.5	1.35	0.45	0.21	0.12	0.07	0.04	0.03	0.02	0.01	0.01
0.525	1.49	0.51	0.25	0.14	0.09	0.06	0.04	0.03	0.02	0.01
0.55	1.65	0.59	0.29	0.17	0.11	0.07	0.05	0.04	0.03	0.02
0.575	1.83	0.67	0.34	0.20	0.13	0.09	0.06	0.05	0.03	0.03
0.6	2.02	0.76	0.40	0.24	0.16	0.11	0.08	0.06	0.04	0.03
0.625	2.25	0.87	0.46	0.29	0.19	0.14	0.10	0.08	0.06	0.05
0.65	2.51	0.99	0.54	0.34	0.23	0.17	0.12	0.10	0.07	0.06
0.675	2.80	1.13	0.63	0.41	0.28	0.21	0.16	0.12	0.10	0.08
0.7	3.15	1.30	0.74	0.48	0.34	0.25	0.19	0.15	0.12	0.10
0.725	3.56	1.50	0.87	0.57	0.41	0.31	0.24	0.19	0.16	0.13
0.75	4.05	1.74	1.02	0.69	0.50	0.38	0.30	0.24	0.20	0.17
0.775	4.65	2.03	1.21	0.83	0.61	0.47	0.37	0.30	0.25	0.21
0.8	5.40	2.40	1.46	1.01	0.75	0.58	0.47	0.39	0.32	0.28
0.825	6.36	2.88	1.77	1.24	0.93	0.73	0.59	0.49	0.42	0.36
0.85	7.65	3.51	2.19	1.55	1.18	0.94	0.77	0.64	0.55	0.48
0.875	9.45	4.41	2.78	1.99	1.53	1.23	1.01	0.86	0.74	0.64
0.9	12.15	5.75	3.68	2.66	2.06	1.66	1.39	1.18	1.03	0.90
0.925	16.65	8.00	5.17	3.77	2.95	2.40	2.02	1.73	1.51	1.34
0.95	25.64	12.49	8.16	6.02	4.74	3.89	3.29	2.85	2.50	2.23
0.975	52.64	25.99	17.15	12.76	10.13	8.38	7.14	6.21	5.49	4.92

자료: 저자 작성, *C:선석 수, ρ :선석점유율

〈표 부록 1-12〉 광양 3단계 1차 W/S 비율표

$\rho \backslash C$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0.025	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.05	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.075	0.09	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.1	0.13	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.125	0.17	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.15	0.20	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.175	0.25	0.04	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.2	0.29	0.05	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.225	0.34	0.06	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.25	0.39	0.08	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.275	0.44	0.09	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.3	0.50	0.11	0.04	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.325	0.56	0.14	0.05	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.35	0.62	0.16	0.06	0.03	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
0.375	0.70	0.19	0.07	0.03	0.02	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00
0.4	0.77	0.22	0.09	0.04	0.02	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00
0.425	0.86	0.26	0.11	0.05	0.03	0.02	0.01	0.01	0.00	0.00
0.45	0.95	0.29	0.13	0.07	0.04	0.02	0.01	0.01	0.01	0.00
0.475	1.05	0.34	0.16	0.08	0.05	0.03	0.02	0.01	0.01	0.01
0.5	1.16	0.39	0.18	0.10	0.06	0.04	0.03	0.02	0.01	0.01
0.525	1.28	0.44	0.21	0.12	0.07	0.05	0.03	0.02	0.02	0.01
0.55	1.42	0.50	0.25	0.15	0.09	0.06	0.04	0.03	0.02	0.02
0.575	1.57	0.57	0.29	0.17	0.11	0.08	0.05	0.04	0.03	0.02
0.6	1.74	0.65	0.34	0.21	0.14	0.09	0.07	0.05	0.04	0.03
0.625	1.93	0.74	0.40	0.25	0.17	0.12	0.09	0.06	0.05	0.04
0.65	2.15	0.85	0.46	0.29	0.20	0.14	0.11	0.08	0.06	0.05
0.675	2.41	0.97	0.54	0.35	0.24	0.18	0.13	0.10	0.08	0.07
0.7	2.70	1.11	0.63	0.41	0.29	0.22	0.17	0.13	0.10	0.09
0.725	3.05	1.28	0.74	0.49	0.35	0.27	0.21	0.16	0.13	0.11
0.75	3.48	1.49	0.88	0.59	0.43	0.33	0.26	0.21	0.17	0.14
0.775	3.99	1.74	1.04	0.71	0.52	0.40	0.32	0.26	0.22	0.18
0.8	4.63	2.06	1.25	0.86	0.64	0.50	0.40	0.33	0.28	0.24
0.825	5.46	2.47	1.52	1.06	0.80	0.63	0.51	0.42	0.36	0.31
0.85	6.57	3.02	1.88	1.33	1.01	0.80	0.66	0.55	0.47	0.41
0.875	8.11	3.79	2.39	1.71	1.31	1.05	0.87	0.74	0.63	0.55
0.9	10.43	4.94	3.16	2.28	1.77	1.43	1.19	1.02	0.88	0.77
0.925	14.29	6.87	4.44	3.24	2.53	2.06	1.73	1.49	1.30	1.15
0.95	22.02	10.73	7.01	5.16	4.07	3.34	2.83	2.45	2.15	1.91
0.975	45.19	22.31	14.73	10.95	8.70	7.20	6.13	5.33	4.71	4.22

자료: 저자 작성, *C:선석 수, ρ :선석점유율

〈표 부록 1-13〉 인천 남항 ICT W/S 비율표

$\rho \backslash C$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0.025	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.05	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.075	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.1	0.09	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.125	0.11	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.15	0.14	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.175	0.17	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.2	0.20	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.225	0.23	0.04	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.25	0.26	0.05	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.275	0.30	0.06	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.3	0.34	0.08	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.325	0.38	0.09	0.03	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.35	0.42	0.11	0.04	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.375	0.47	0.13	0.05	0.02	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
0.4	0.52	0.15	0.06	0.03	0.02	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00
0.425	0.58	0.17	0.07	0.04	0.02	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00
0.45	0.64	0.20	0.09	0.05	0.03	0.02	0.01	0.01	0.00	0.00
0.475	0.71	0.23	0.11	0.06	0.03	0.02	0.01	0.01	0.01	0.00
0.5	0.78	0.26	0.12	0.07	0.04	0.03	0.02	0.01	0.01	0.01
0.525	0.87	0.30	0.15	0.08	0.05	0.03	0.02	0.02	0.01	0.01
0.55	0.96	0.34	0.17	0.10	0.06	0.04	0.03	0.02	0.01	0.01
0.575	1.06	0.39	0.20	0.12	0.08	0.05	0.04	0.03	0.02	0.01
0.6	1.18	0.44	0.23	0.14	0.09	0.06	0.05	0.03	0.03	0.02
0.625	1.31	0.50	0.27	0.17	0.11	0.08	0.06	0.04	0.03	0.03
0.65	1.46	0.57	0.31	0.20	0.14	0.10	0.07	0.06	0.04	0.03
0.675	1.63	0.66	0.37	0.24	0.16	0.12	0.09	0.07	0.06	0.04
0.7	1.83	0.75	0.43	0.28	0.20	0.15	0.11	0.09	0.07	0.06
0.725	2.07	0.87	0.50	0.33	0.24	0.18	0.14	0.11	0.09	0.07
0.75	2.35	1.01	0.59	0.40	0.29	0.22	0.17	0.14	0.12	0.10
0.775	2.70	1.18	0.71	0.48	0.35	0.27	0.22	0.18	0.15	0.12
0.8	3.14	1.40	0.85	0.59	0.43	0.34	0.27	0.22	0.19	0.16
0.825	3.70	1.67	1.03	0.72	0.54	0.43	0.35	0.29	0.24	0.21
0.85	4.45	2.04	1.27	0.90	0.69	0.54	0.45	0.37	0.32	0.28
0.875	5.49	2.56	1.62	1.16	0.89	0.71	0.59	0.50	0.43	0.37
0.9	7.06	3.35	2.14	1.55	1.20	0.97	0.81	0.69	0.60	0.52
0.925	9.68	4.65	3.01	2.20	1.71	1.40	1.17	1.01	0.88	0.78
0.95	14.91	7.27	4.75	3.50	2.76	2.26	1.92	1.66	1.46	1.30
0.975	30.61	15.11	9.98	7.42	5.89	4.88	4.15	3.61	3.19	2.86

자료: 저자 작성, *C:선석 수, ρ :선석점유율

〈표 부록 1-14〉 인천 남향 E1 W/S 비율표

$\rho \backslash C$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0.025	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.05	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.075	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.1	0.10	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.125	0.12	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.15	0.15	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.175	0.18	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.2	0.21	0.04	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.225	0.25	0.05	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.25	0.29	0.06	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.275	0.33	0.07	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.3	0.37	0.08	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.325	0.41	0.10	0.04	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.35	0.46	0.12	0.05	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.375	0.51	0.14	0.06	0.03	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
0.4	0.57	0.16	0.07	0.03	0.02	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00
0.425	0.63	0.19	0.08	0.04	0.02	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00
0.45	0.70	0.22	0.10	0.05	0.03	0.02	0.01	0.01	0.00	0.00
0.475	0.78	0.25	0.11	0.06	0.04	0.02	0.01	0.01	0.01	0.00
0.5	0.86	0.29	0.14	0.07	0.04	0.03	0.02	0.01	0.01	0.01
0.525	0.95	0.33	0.16	0.09	0.06	0.04	0.02	0.02	0.01	0.01
0.55	1.05	0.37	0.19	0.11	0.07	0.05	0.03	0.02	0.02	0.01
0.575	1.16	0.42	0.22	0.13	0.08	0.06	0.04	0.03	0.02	0.02
0.6	1.29	0.48	0.25	0.15	0.10	0.07	0.05	0.04	0.03	0.02
0.625	1.43	0.55	0.30	0.18	0.12	0.09	0.06	0.05	0.04	0.03
0.65	1.59	0.63	0.34	0.22	0.15	0.11	0.08	0.06	0.05	0.04
0.675	1.78	0.72	0.40	0.26	0.18	0.13	0.10	0.08	0.06	0.05
0.7	2.00	0.82	0.47	0.31	0.22	0.16	0.12	0.10	0.08	0.06
0.725	2.26	0.95	0.55	0.37	0.26	0.20	0.15	0.12	0.10	0.08
0.75	2.57	1.10	0.65	0.44	0.32	0.24	0.19	0.15	0.13	0.11
0.775	2.95	1.29	0.77	0.53	0.39	0.30	0.24	0.19	0.16	0.14
0.8	3.43	1.52	0.93	0.64	0.48	0.37	0.30	0.25	0.21	0.18
0.825	4.04	1.83	1.12	0.79	0.59	0.47	0.38	0.31	0.27	0.23
0.85	4.86	2.23	1.39	0.99	0.75	0.59	0.49	0.41	0.35	0.30
0.875	6.00	2.80	1.77	1.27	0.97	0.78	0.64	0.54	0.47	0.41
0.9	7.72	3.66	2.34	1.69	1.31	1.06	0.88	0.75	0.65	0.57
0.925	10.58	5.08	3.28	2.40	1.87	1.53	1.28	1.10	0.96	0.85
0.95	16.29	7.94	5.19	3.82	3.01	2.47	2.09	1.81	1.59	1.42
0.975	33.45	16.51	10.90	8.11	6.44	5.33	4.54	3.95	3.49	3.12

자료: 저자 작성, *C:선석 수, ρ :선석점유율

〈표 부록 1-15〉 인천 신항 선광 W/S 비율표

$\rho \backslash C$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0.025	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.05	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.075	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.1	0.09	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.125	0.12	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.15	0.15	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.175	0.18	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.2	0.21	0.04	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.225	0.24	0.04	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.25	0.28	0.06	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.275	0.32	0.07	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.3	0.36	0.08	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.325	0.41	0.10	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.35	0.45	0.12	0.04	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.375	0.51	0.14	0.05	0.03	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
0.4	0.56	0.16	0.07	0.03	0.02	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00
0.425	0.62	0.19	0.08	0.04	0.02	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00
0.45	0.69	0.21	0.09	0.05	0.03	0.02	0.01	0.01	0.00	0.00
0.475	0.76	0.25	0.11	0.06	0.04	0.02	0.01	0.01	0.01	0.00
0.5	0.84	0.28	0.13	0.07	0.04	0.03	0.02	0.01	0.01	0.01
0.525	0.93	0.32	0.16	0.09	0.05	0.04	0.02	0.02	0.01	0.01
0.55	1.03	0.37	0.18	0.11	0.07	0.04	0.03	0.02	0.02	0.01
0.575	1.14	0.42	0.21	0.13	0.08	0.06	0.04	0.03	0.02	0.02
0.6	1.26	0.47	0.25	0.15	0.10	0.07	0.05	0.04	0.03	0.02
0.625	1.40	0.54	0.29	0.18	0.12	0.09	0.06	0.05	0.04	0.03
0.65	1.56	0.62	0.34	0.21	0.15	0.10	0.08	0.06	0.05	0.04
0.675	1.75	0.71	0.39	0.25	0.18	0.13	0.10	0.08	0.06	0.05
0.7	1.97	0.81	0.46	0.30	0.21	0.16	0.12	0.09	0.08	0.06
0.725	2.22	0.93	0.54	0.36	0.26	0.19	0.15	0.12	0.10	0.08
0.75	2.53	1.08	0.64	0.43	0.31	0.24	0.19	0.15	0.12	0.10
0.775	2.90	1.27	0.76	0.52	0.38	0.29	0.23	0.19	0.16	0.13
0.8	3.37	1.50	0.91	0.63	0.47	0.36	0.29	0.24	0.20	0.17
0.825	3.97	1.80	1.10	0.77	0.58	0.46	0.37	0.31	0.26	0.22
0.85	4.77	2.19	1.37	0.97	0.74	0.58	0.48	0.40	0.34	0.30
0.875	5.90	2.75	1.74	1.24	0.95	0.76	0.63	0.54	0.46	0.40
0.9	7.58	3.59	2.29	1.66	1.28	1.04	0.87	0.74	0.64	0.56
0.925	10.39	4.99	3.23	2.36	1.84	1.50	1.26	1.08	0.95	0.84
0.95	16.01	7.80	5.09	3.75	2.96	2.43	2.06	1.78	1.56	1.39
0.975	32.85	16.22	10.71	7.96	6.32	5.23	4.46	3.88	3.43	3.07

자료: 저자 작성, *C:선석 수, ρ :선석점유율

〈표 부록 1-16〉 인천 신항 한진 W/S 비율표

$\rho \backslash C$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0.025	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.05	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.075	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.1	0.10	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.125	0.12	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.15	0.15	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.175	0.18	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.2	0.22	0.04	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.225	0.25	0.05	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.25	0.29	0.06	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.275	0.33	0.07	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.3	0.37	0.09	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.325	0.41	0.10	0.04	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.35	0.46	0.12	0.05	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.375	0.52	0.14	0.06	0.03	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
0.4	0.57	0.16	0.07	0.03	0.02	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00
0.425	0.64	0.19	0.08	0.04	0.02	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00
0.45	0.70	0.22	0.10	0.05	0.03	0.02	0.01	0.01	0.00	0.00
0.475	0.78	0.25	0.12	0.06	0.04	0.02	0.01	0.01	0.01	0.00
0.5	0.86	0.29	0.14	0.07	0.04	0.03	0.02	0.01	0.01	0.01
0.525	0.95	0.33	0.16	0.09	0.06	0.04	0.02	0.02	0.01	0.01
0.55	1.05	0.37	0.19	0.11	0.07	0.05	0.03	0.02	0.02	0.01
0.575	1.17	0.43	0.22	0.13	0.08	0.06	0.04	0.03	0.02	0.02
0.6	1.29	0.48	0.25	0.15	0.10	0.07	0.05	0.04	0.03	0.02
0.625	1.44	0.55	0.30	0.18	0.12	0.09	0.06	0.05	0.04	0.03
0.65	1.60	0.63	0.35	0.22	0.15	0.11	0.08	0.06	0.05	0.04
0.675	1.79	0.72	0.40	0.26	0.18	0.13	0.10	0.08	0.06	0.05
0.7	2.01	0.83	0.47	0.31	0.22	0.16	0.12	0.10	0.08	0.06
0.725	2.27	0.95	0.55	0.37	0.26	0.20	0.15	0.12	0.10	0.08
0.75	2.58	1.11	0.65	0.44	0.32	0.24	0.19	0.15	0.13	0.11
0.775	2.97	1.30	0.77	0.53	0.39	0.30	0.24	0.19	0.16	0.14
0.8	3.44	1.53	0.93	0.64	0.48	0.37	0.30	0.25	0.21	0.18
0.825	4.06	1.84	1.13	0.79	0.59	0.47	0.38	0.32	0.27	0.23
0.85	4.88	2.24	1.40	0.99	0.75	0.60	0.49	0.41	0.35	0.30
0.875	6.03	2.81	1.78	1.27	0.97	0.78	0.65	0.55	0.47	0.41
0.9	7.75	3.67	2.35	1.70	1.31	1.06	0.89	0.76	0.65	0.58
0.925	10.62	5.10	3.30	2.41	1.88	1.53	1.29	1.11	0.97	0.86
0.95	16.36	7.97	5.21	3.84	3.02	2.48	2.10	1.82	1.60	1.42
0.975	33.58	16.58	10.94	8.14	6.46	5.35	4.56	3.96	3.50	3.14

자료: 저자 작성, *C:선석 수, ρ :선석점유율

〈표 부록 1-17〉 울산 신항 W/S 비율표

$\rho \backslash C$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0.025	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.05	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.075	0.08	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.1	0.11	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.125	0.14	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.15	0.17	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.175	0.21	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.2	0.24	0.04	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.225	0.28	0.05	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.25	0.33	0.07	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.275	0.37	0.08	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.3	0.42	0.10	0.03	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.325	0.47	0.12	0.04	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.35	0.53	0.14	0.05	0.02	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
0.375	0.59	0.16	0.06	0.03	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
0.4	0.65	0.19	0.08	0.04	0.02	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00
0.425	0.72	0.22	0.09	0.05	0.03	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00
0.45	0.80	0.25	0.11	0.06	0.03	0.02	0.01	0.01	0.01	0.00
0.475	0.88	0.28	0.13	0.07	0.04	0.03	0.02	0.01	0.01	0.00
0.5	0.98	0.33	0.15	0.08	0.05	0.03	0.02	0.01	0.01	0.01
0.525	1.08	0.37	0.18	0.10	0.06	0.04	0.03	0.02	0.01	0.01
0.55	1.19	0.42	0.21	0.12	0.08	0.05	0.04	0.03	0.02	0.01
0.575	1.32	0.48	0.25	0.15	0.09	0.06	0.05	0.03	0.02	0.02
0.6	1.47	0.55	0.29	0.18	0.12	0.08	0.06	0.04	0.03	0.02
0.625	1.63	0.63	0.34	0.21	0.14	0.10	0.07	0.05	0.04	0.03
0.65	1.81	0.71	0.39	0.25	0.17	0.12	0.09	0.07	0.05	0.04
0.675	2.03	0.82	0.46	0.29	0.20	0.15	0.11	0.09	0.07	0.06
0.7	2.28	0.94	0.53	0.35	0.25	0.18	0.14	0.11	0.09	0.07
0.725	2.58	1.08	0.63	0.42	0.30	0.22	0.17	0.14	0.11	0.09
0.75	2.93	1.26	0.74	0.50	0.36	0.27	0.22	0.17	0.14	0.12
0.775	3.37	1.47	0.88	0.60	0.44	0.34	0.27	0.22	0.18	0.15
0.8	3.91	1.74	1.05	0.73	0.54	0.42	0.34	0.28	0.23	0.20
0.825	4.61	2.08	1.28	0.90	0.67	0.53	0.43	0.36	0.30	0.26
0.85	5.54	2.54	1.59	1.12	0.85	0.68	0.56	0.47	0.40	0.35
0.875	6.84	3.19	2.01	1.44	1.11	0.89	0.73	0.62	0.53	0.47
0.9	8.79	4.17	2.66	1.92	1.49	1.21	1.00	0.86	0.74	0.65
0.925	12.05	5.79	3.74	2.73	2.13	1.74	1.46	1.26	1.10	0.97
0.95	18.57	9.04	5.91	4.36	3.43	2.82	2.39	2.06	1.81	1.61
0.975	38.11	18.81	12.42	9.23	7.33	6.07	5.17	4.50	3.98	3.56

자료: 저자 작성, *C:선석 수, ρ :선석점유율

〈표 부록 1-18〉 울산 정일 W/S 비율표

$\rho \backslash C$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0.025	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.05	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.075	0.12	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.1	0.16	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.125	0.21	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.15	0.26	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.175	0.31	0.05	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.2	0.36	0.06	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.225	0.42	0.08	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.25	0.48	0.10	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.275	0.55	0.12	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.3	0.62	0.14	0.05	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.325	0.70	0.17	0.06	0.03	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
0.35	0.78	0.20	0.08	0.03	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
0.375	0.87	0.24	0.09	0.04	0.02	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00
0.4	0.97	0.28	0.11	0.05	0.03	0.02	0.01	0.01	0.00	0.00
0.425	1.07	0.32	0.14	0.07	0.04	0.02	0.01	0.01	0.01	0.00
0.45	1.19	0.37	0.16	0.08	0.05	0.03	0.02	0.01	0.01	0.00
0.475	1.32	0.42	0.19	0.10	0.06	0.04	0.02	0.02	0.01	0.01
0.5	1.45	0.48	0.23	0.13	0.08	0.05	0.03	0.02	0.01	0.01
0.525	1.61	0.55	0.27	0.15	0.09	0.06	0.04	0.03	0.02	0.01
0.55	1.78	0.63	0.32	0.18	0.12	0.08	0.05	0.04	0.03	0.02
0.575	1.97	0.72	0.37	0.22	0.14	0.10	0.07	0.05	0.04	0.03
0.6	2.18	0.82	0.43	0.26	0.17	0.12	0.09	0.06	0.05	0.04
0.625	2.42	0.93	0.50	0.31	0.21	0.15	0.11	0.08	0.06	0.05
0.65	2.70	1.06	0.58	0.37	0.25	0.18	0.13	0.10	0.08	0.06
0.675	3.02	1.22	0.68	0.44	0.30	0.22	0.17	0.13	0.10	0.08
0.7	3.39	1.40	0.80	0.52	0.37	0.27	0.21	0.16	0.13	0.11
0.725	3.83	1.61	0.93	0.62	0.44	0.33	0.26	0.21	0.17	0.14
0.75	4.36	1.87	1.10	0.74	0.54	0.41	0.32	0.26	0.21	0.18
0.775	5.01	2.19	1.31	0.89	0.66	0.50	0.40	0.33	0.27	0.23
0.8	5.82	2.58	1.57	1.08	0.81	0.63	0.50	0.42	0.35	0.30
0.825	6.85	3.10	1.91	1.33	1.00	0.79	0.64	0.53	0.45	0.39
0.85	8.24	3.79	2.36	1.67	1.27	1.01	0.83	0.69	0.59	0.51
0.875	10.18	4.75	3.00	2.15	1.65	1.32	1.09	0.92	0.80	0.69
0.9	13.09	6.20	3.96	2.86	2.22	1.79	1.50	1.28	1.11	0.97
0.925	17.93	8.62	5.57	4.07	3.18	2.59	2.18	1.87	1.63	1.44
0.95	27.62	13.46	8.79	6.48	5.11	4.20	3.55	3.07	2.70	2.40
0.975	56.70	27.99	18.48	13.74	10.91	9.03	7.69	6.69	5.92	5.30

자료: 저자 작성, *C:선석 수, ρ :선석점유율

〈표 부록 1-19〉 평택·당진 PCTC W/S 비율표

$\rho \backslash C$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0.025	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.05	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.075	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.1	0.08	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.125	0.10	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.15	0.13	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.175	0.15	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.2	0.18	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.225	0.21	0.04	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.25	0.24	0.05	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.275	0.27	0.06	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.3	0.31	0.07	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.325	0.35	0.09	0.03	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.35	0.39	0.10	0.04	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.375	0.43	0.12	0.05	0.02	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
0.4	0.48	0.14	0.06	0.03	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
0.425	0.53	0.16	0.07	0.03	0.02	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00
0.45	0.59	0.18	0.08	0.04	0.02	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00
0.475	0.65	0.21	0.10	0.05	0.03	0.02	0.01	0.01	0.01	0.00
0.5	0.72	0.24	0.11	0.06	0.04	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01
0.525	0.80	0.27	0.13	0.08	0.05	0.03	0.02	0.01	0.01	0.01
0.55	0.88	0.31	0.16	0.09	0.06	0.04	0.03	0.02	0.01	0.01
0.575	0.97	0.36	0.18	0.11	0.07	0.05	0.03	0.02	0.02	0.01
0.6	1.08	0.41	0.21	0.13	0.09	0.06	0.04	0.03	0.02	0.02
0.625	1.20	0.46	0.25	0.15	0.10	0.07	0.05	0.04	0.03	0.02
0.65	1.34	0.53	0.29	0.18	0.12	0.09	0.07	0.05	0.04	0.03
0.675	1.50	0.60	0.34	0.22	0.15	0.11	0.08	0.06	0.05	0.04
0.7	1.68	0.69	0.39	0.26	0.18	0.13	0.10	0.08	0.07	0.05
0.725	1.90	0.80	0.46	0.31	0.22	0.16	0.13	0.10	0.08	0.07
0.75	2.16	0.93	0.55	0.37	0.27	0.20	0.16	0.13	0.11	0.09
0.775	2.48	1.08	0.65	0.44	0.32	0.25	0.20	0.16	0.13	0.11
0.8	2.88	1.28	0.78	0.54	0.40	0.31	0.25	0.21	0.17	0.15
0.825	3.40	1.54	0.94	0.66	0.50	0.39	0.32	0.26	0.22	0.19
0.85	4.08	1.88	1.17	0.83	0.63	0.50	0.41	0.34	0.29	0.25
0.875	5.04	2.35	1.49	1.06	0.82	0.65	0.54	0.46	0.39	0.34
0.9	6.48	3.07	1.96	1.42	1.10	0.89	0.74	0.63	0.55	0.48
0.925	8.89	4.27	2.76	2.01	1.57	1.28	1.08	0.93	0.81	0.72
0.95	13.69	6.67	4.36	3.21	2.53	2.08	1.76	1.52	1.34	1.19
0.975	28.10	13.87	9.16	6.81	5.41	4.48	3.81	3.32	2.93	2.62

자료: 저자 작성, *C:선석 수, ρ :선석점유율

〈표 부록 1-20〉 평택당진 PNCT W/S 비율표

$\rho \backslash C$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0.025	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.05	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.075	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.1	0.07	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.125	0.09	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.15	0.12	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.175	0.14	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.2	0.17	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.225	0.19	0.04	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.25	0.22	0.04	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.275	0.25	0.05	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.3	0.28	0.07	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.325	0.32	0.08	0.03	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.35	0.36	0.09	0.03	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.375	0.40	0.11	0.04	0.02	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
0.4	0.44	0.13	0.05	0.03	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
0.425	0.49	0.15	0.06	0.03	0.02	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00
0.45	0.54	0.17	0.07	0.04	0.02	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00
0.475	0.60	0.19	0.09	0.05	0.03	0.02	0.01	0.01	0.00	0.00
0.5	0.66	0.22	0.10	0.06	0.03	0.02	0.01	0.01	0.01	0.00
0.525	0.73	0.25	0.12	0.07	0.04	0.03	0.02	0.01	0.01	0.01
0.55	0.81	0.29	0.14	0.08	0.05	0.04	0.02	0.02	0.01	0.01
0.575	0.90	0.33	0.17	0.10	0.06	0.04	0.03	0.02	0.02	0.01
0.6	0.99	0.37	0.20	0.12	0.08	0.05	0.04	0.03	0.02	0.02
0.625	1.11	0.43	0.23	0.14	0.09	0.07	0.05	0.04	0.03	0.02
0.65	1.23	0.49	0.27	0.17	0.11	0.08	0.06	0.05	0.04	0.03
0.675	1.38	0.56	0.31	0.20	0.14	0.10	0.08	0.06	0.05	0.04
0.7	1.55	0.64	0.36	0.24	0.17	0.12	0.09	0.07	0.06	0.05
0.725	1.75	0.73	0.43	0.28	0.20	0.15	0.12	0.09	0.08	0.06
0.75	1.99	0.85	0.50	0.34	0.24	0.19	0.15	0.12	0.10	0.08
0.775	2.28	1.00	0.60	0.41	0.30	0.23	0.18	0.15	0.12	0.10
0.8	2.65	1.18	0.72	0.49	0.37	0.29	0.23	0.19	0.16	0.14
0.825	3.13	1.41	0.87	0.61	0.46	0.36	0.29	0.24	0.21	0.18
0.85	3.76	1.73	1.08	0.76	0.58	0.46	0.38	0.32	0.27	0.23
0.875	4.64	2.17	1.37	0.98	0.75	0.60	0.50	0.42	0.36	0.32
0.9	5.97	2.83	1.81	1.31	1.01	0.82	0.68	0.58	0.50	0.44
0.925	8.18	3.93	2.54	1.85	1.45	1.18	0.99	0.85	0.74	0.66
0.95	12.60	6.14	4.01	2.96	2.33	1.91	1.62	1.40	1.23	1.09
0.975	25.86	12.77	8.43	6.27	4.98	4.12	3.51	3.05	2.70	2.42

자료: 저자 작성, *C:선석 수, ρ :선석점유율

〈표 부록 1-21〉 대산 4부두 W/S 비율표

$\rho \backslash C$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0.025	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.05	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.075	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.1	0.09	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.125	0.11	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.15	0.14	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.175	0.16	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.2	0.19	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.225	0.22	0.04	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.25	0.26	0.05	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.275	0.29	0.06	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.3	0.33	0.08	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.325	0.37	0.09	0.03	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.35	0.41	0.11	0.04	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.375	0.46	0.13	0.05	0.02	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
0.4	0.51	0.15	0.06	0.03	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
0.425	0.57	0.17	0.07	0.04	0.02	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00
0.45	0.63	0.19	0.09	0.04	0.03	0.02	0.01	0.01	0.00	0.00
0.475	0.69	0.22	0.10	0.05	0.03	0.02	0.01	0.01	0.01	0.00
0.5	0.77	0.26	0.12	0.07	0.04	0.03	0.02	0.01	0.01	0.01
0.525	0.85	0.29	0.14	0.08	0.05	0.03	0.02	0.02	0.01	0.01
0.55	0.94	0.33	0.17	0.10	0.06	0.04	0.03	0.02	0.01	0.01
0.575	1.04	0.38	0.19	0.12	0.07	0.05	0.04	0.03	0.02	0.01
0.6	1.15	0.43	0.23	0.14	0.09	0.06	0.05	0.03	0.03	0.02
0.625	1.28	0.49	0.26	0.16	0.11	0.08	0.06	0.04	0.03	0.03
0.65	1.42	0.56	0.31	0.19	0.13	0.10	0.07	0.05	0.04	0.03
0.675	1.59	0.64	0.36	0.23	0.16	0.12	0.09	0.07	0.05	0.04
0.7	1.79	0.74	0.42	0.27	0.19	0.14	0.11	0.09	0.07	0.06
0.725	2.02	0.85	0.49	0.33	0.23	0.18	0.14	0.11	0.09	0.07
0.75	2.30	0.99	0.58	0.39	0.28	0.22	0.17	0.14	0.11	0.09
0.775	2.64	1.15	0.69	0.47	0.35	0.27	0.21	0.17	0.14	0.12
0.8	3.06	1.36	0.83	0.57	0.42	0.33	0.27	0.22	0.18	0.16
0.825	3.61	1.63	1.00	0.70	0.53	0.42	0.34	0.28	0.24	0.20
0.85	4.34	1.99	1.24	0.88	0.67	0.53	0.44	0.37	0.31	0.27
0.875	5.36	2.50	1.58	1.13	0.87	0.70	0.58	0.49	0.42	0.37
0.9	6.90	3.27	2.09	1.51	1.17	0.95	0.79	0.67	0.58	0.51
0.925	9.45	4.54	2.93	2.14	1.67	1.37	1.15	0.98	0.86	0.76
0.95	14.56	7.09	4.63	3.42	2.69	2.21	1.87	1.62	1.42	1.27
0.975	29.88	14.75	9.74	7.24	5.75	4.76	4.05	3.53	3.12	2.79

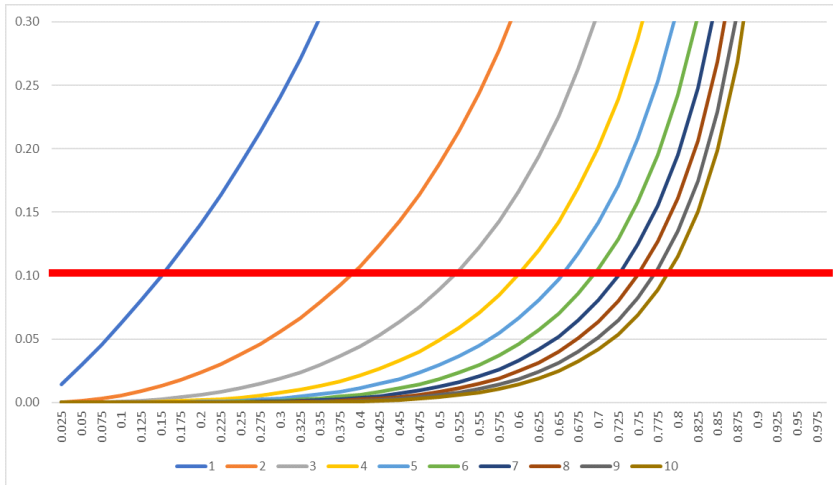
자료: 저자 작성, *C:선석 수, ρ :선석점유율

2. 국내 주요 컨테이너터미널별 W/S 비율별 선석 점유율

〈표 부록 2-1〉 부산신항 1부두 W/S 비율별 선석 점유율

단위: %

구분		선석 수					
터미널명	W/S 비율	1	2	3	4	5	6 이상
부산신항 1부두	0.01	3	13	25	33	40	45
	0.05	8	28	43	50	58	60
	0.10	15	40	53	60	65	70
	0.15	20	45	58	65	70	75
	0.20	25	50	63	70	75	78

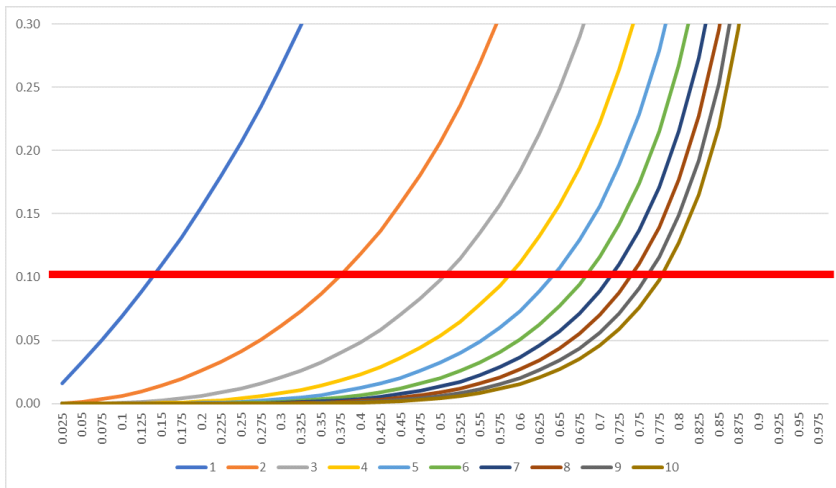


자료: 저자 작성

〈표 부록 2-2〉 부산신항 2부두 W/S 비율별 선석 점유율

단위: %

구분		선석 수					
터미널명	W/S 비율	1	2	3	4	5	6 이상
부산신항 2부두	0.01	2.5	12.5	22.5	32.5	37.5	42.5
	0.05	7.5	27.5	40	50	55	60
	0.10	15	37.5	50	57.5	65	67.5
	0.15	20	45	57.5	65	70	72.5
	0.20	25	50	62.5	67.5	72.5	77.5

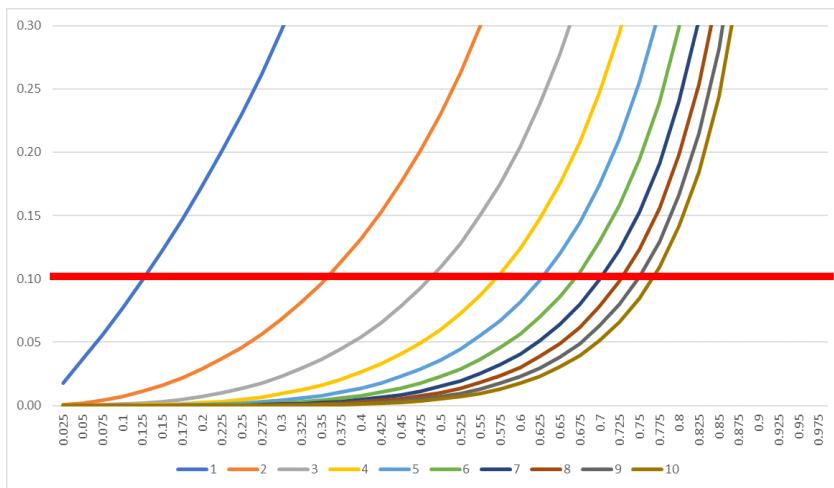


자료: 저자 작성

〈표 부록 2-3〉 부산신항 3부두 W/S 비율별 선석 점유율

단위: %

구분		선석 수					
터미널명	W/S 비율	1	2	3	4	5	6 이상
부산신항 3부두	0.01	2.5	12.5	22.5	30	37.5	42.5
	0.05	7.5	25	40	47.5	55	57.5
	0.10	12.5	35	47.5	57.5	62.5	67.5
	0.15	17.5	42.5	55	62.5	67.5	72.5
	0.20	22.5	47.5	60	67.5	72.5	75

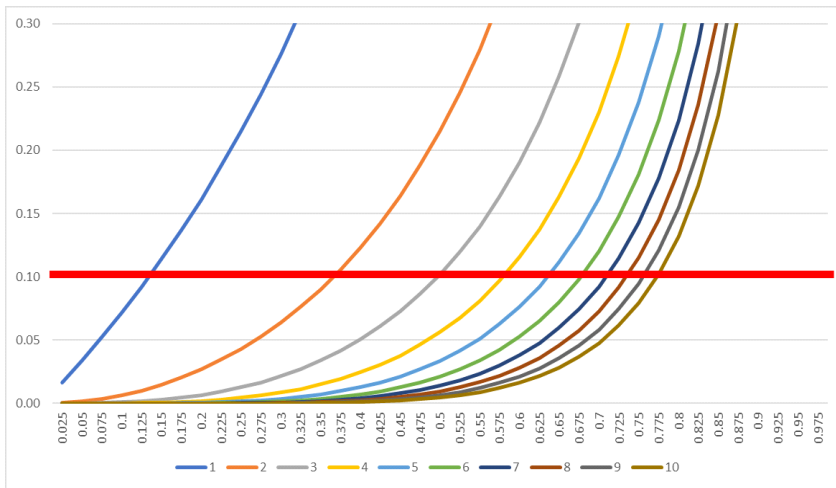


자료: 저자 작성

〈표 부록 2-4〉 부산신항 4부두 W/S 비율별 선석 점유율

단위: %

구분		선석 수					
터미널명	W/S 비율	1	2	3	4	5	6 이상
부산신항 4부두	0.01	2.5	12.5	22.5	32.5	37.5	42.5
	0.05	7.5	27.5	40	47.5	55	60
	0.10	12.5	37.5	50	57.5	62.5	67.5
	0.15	20	42.5	55	62.5	70	72.5
	0.20	22.5	47.5	60	67.5	72.5	75

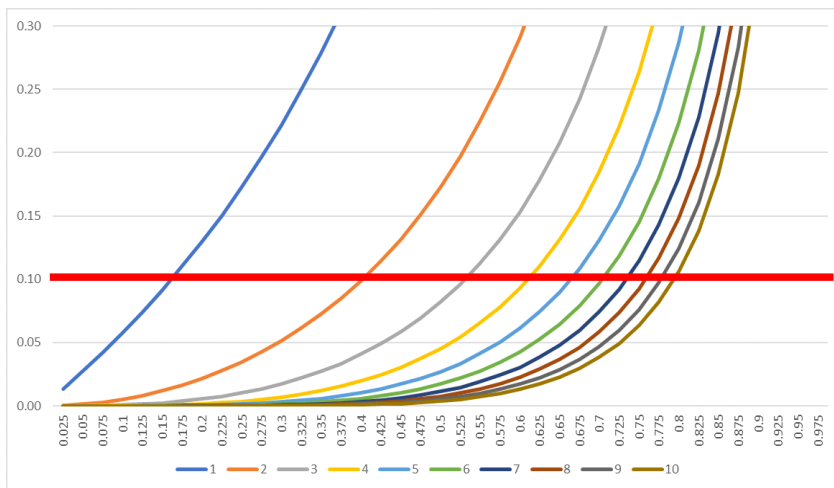


자료: 저자 작성

〈표 부록 2-5〉 부산신항 5부두 W/S 비율별 선석 점유율

단위: %

구분		선석 수					
터미널명	W/S 비율	1	2	3	4	5	6 이상
부산신항 5부두	0.01	2.5	12.5	25	32.5	40	45
	0.05	10	30	42.5	52.5	57.5	62.5
	0.10	15	40	52.5	60	67.5	70
	0.15	22.5	47.5	60	67.5	72.5	75
	0.20	27.5	52.5	65	70	75	77.5

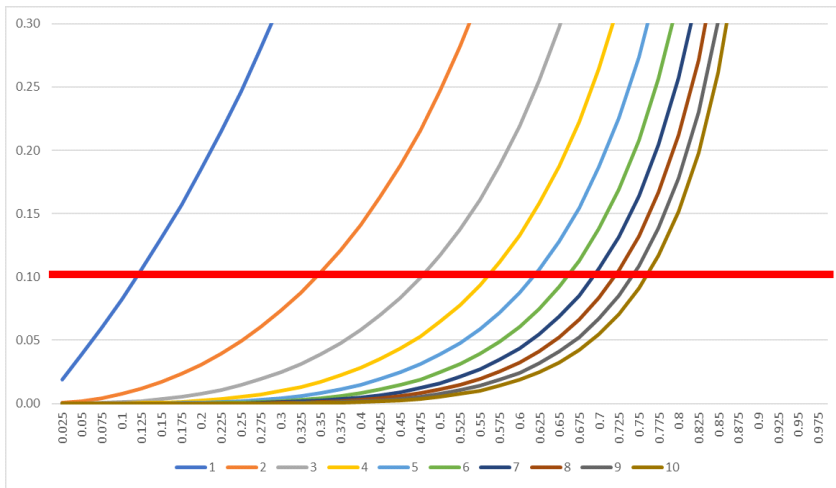


자료: 저자 작성

〈표 부록 2-6〉 부산북항 감만부두 W/S 비율별 선석 점유율

단위: %

구분		선석 수					
터미널명	W/S 비율	1	2	3	4	5	6 이상
부산북항 감만부두	0.01	2.5	12.5	22.5	30	37.5	42.5
	0.05	7.5	25	37.5	47.5	52.5	57.5
	0.10	12.5	35	47.5	55	62.5	65
	0.15	17.5	40	55	62.5	67.5	70
	0.20	20	45	57.5	65	70	75

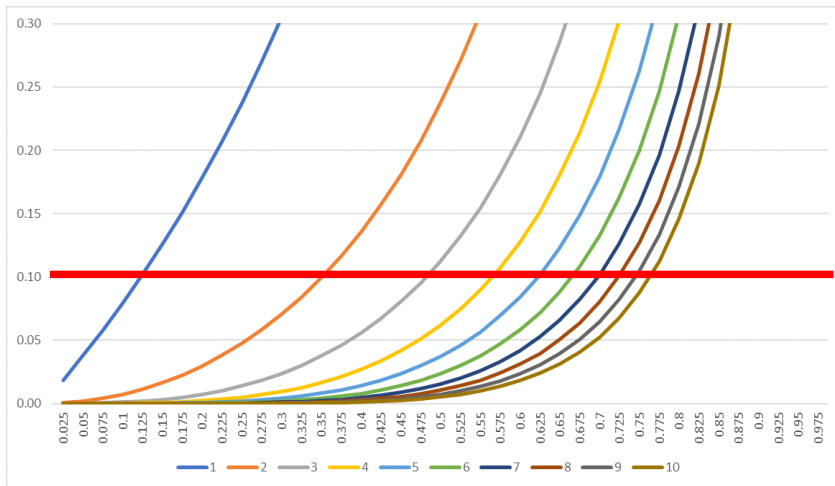


자료: 저자 작성

〈표 부록 2-7〉 부산북항 신감만부두 W/S 비율별 선석 점유율

단위: %

구분		선석 수					
터미널명	W/S 비율	1	2	3	4	5	6 이상
부산북항 신감만부두	0.01	2.5	12.5	22.5	30	37.5	42.5
	0.05	7.5	25	37.5	47.5	52.5	57.5
	0.10	12.5	35	47.5	57.5	62.5	67.5
	0.15	17.5	42.5	55	62.5	67.5	72.5
	0.20	22.5	47.5	60	67.5	72.5	75

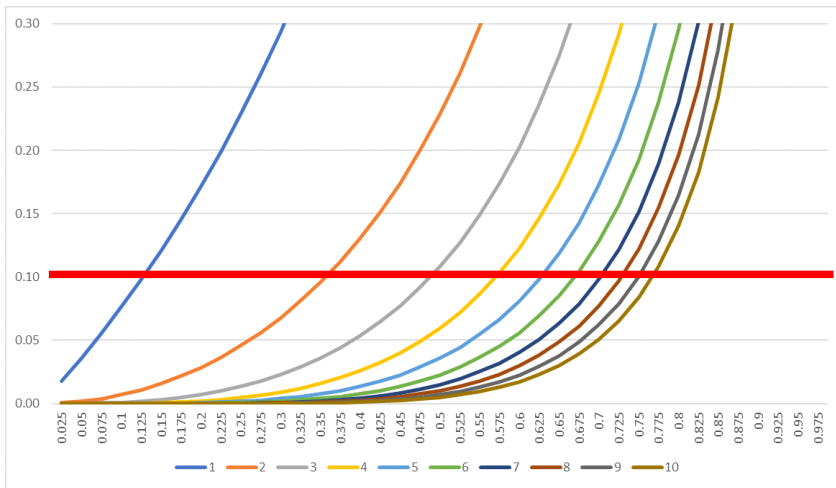


자료: 저자 작성

〈표 부록 2-8〉 부산북항 자성대부두 W/S 비율별 선석 점유율

단위: %

구분		선석 수					
터미널명	W/S 비율	1	2	3	4	5	6 이상
부산북항 자성대부두	0.01	2.5	12.5	22.5	30	37.5	42.5
	0.05	7.5	25	40	47.5	55	57.5
	0.10	12.5	35	50	57.5	62.5	67.5
	0.15	17.5	42.5	55	62.5	67.5	72.5
	0.20	22.5	47.5	60	67.5	72.5	75

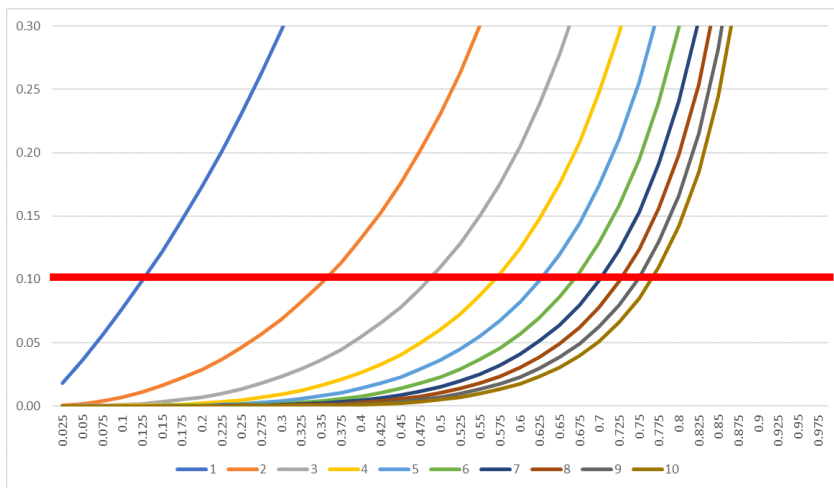


자료: 저자 작성

〈표 부록 2-9〉 부산북항 신선대부두 W/S 비율별 선석 점유율

단위: %

구분		선석 수					
터미널명	W/S 비율	1	2	3	4	5	6 이상
부산북항 신선대부두	0.01	2.5	12.5	22.5	30	37.5	42.5
	0.05	7.5	25	40	47.5	55	57.5
	0.10	12.5	35	47.5	57.5	62.5	67.5
	0.15	17.5	42.5	55	62.5	67.5	72.5
	0.20	22.5	47.5	60	67.5	72.5	75

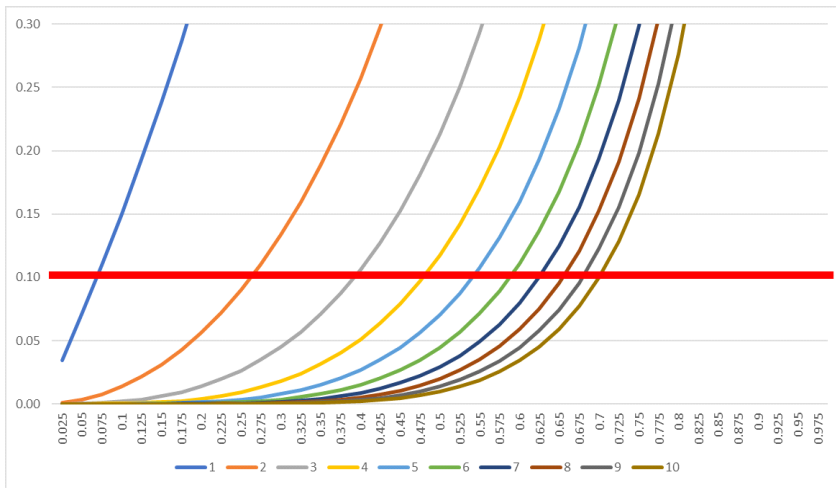


자료: 저자 작성

〈표 부록 2-10〉 광양항 2단계 2차 W/S 비율별 선석 점유율

단위: %

구분		선석 수					
터미널명	W/S 비율	1	2	3	4	5	6 이상
광양항 2단계 2차	0.01	2.5	7.5	17.5	25	32.5	37.5
	0.05	2.5	20	30	40	45	50
	0.10	7.5	25	40	47.5	55	60
	0.15	10	32.5	45	52.5	60	62.5
	0.20	12.5	35	50	57.5	62.5	67.5

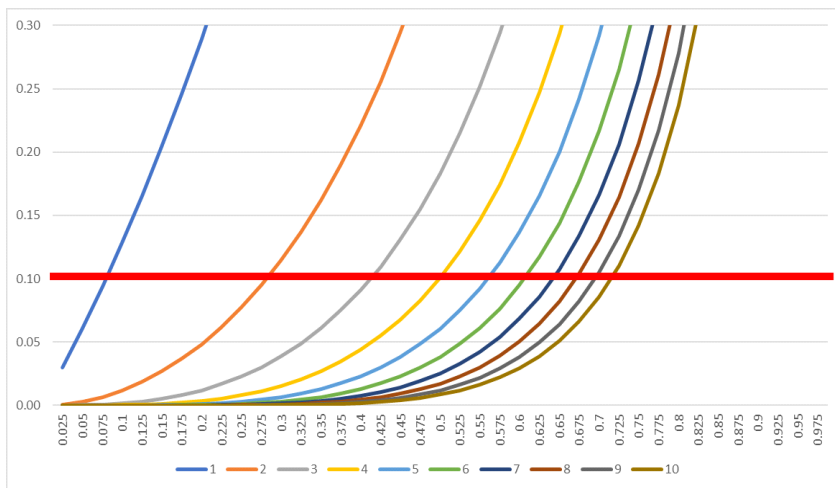


자료: 저자 작성

〈표 부록 2-11〉 광양항 2단계 1차 W/S 비율별 선석 점유율

단위: %

구분		선석 수					
터미널명	W/S 비율	1	2	3	4	5	6 이상
광양항 3단계 2차	0.01	2.5	10	20	27.5	32.5	37.5
	0.05	5	20	32.5	42.5	47.5	52.5
	0.10	7.5	27.5	40	50	55	60
	0.15	12.5	35	47.5	55	60	65
	0.20	15	37.5	52.5	60	65	70

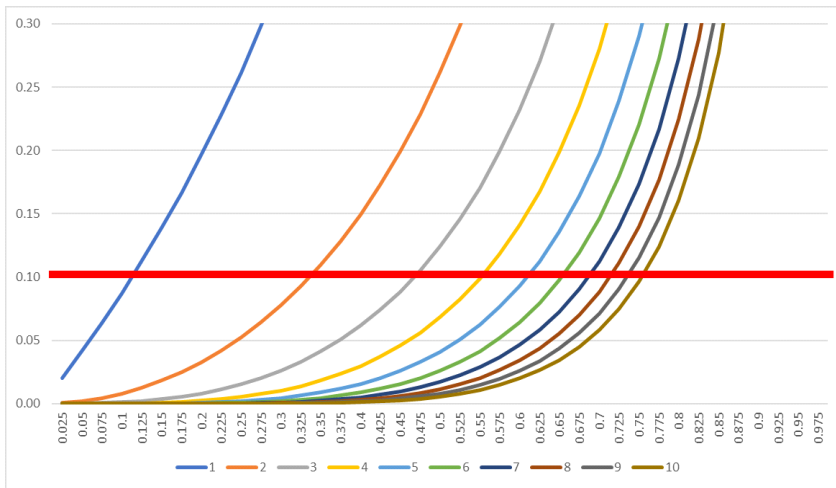


자료: 저자 작성

〈표 부록 2-12〉 인천 남항 ICT W/S 비율별 선석 점유율

단위: %

구분		선석 수					
터미널명	W/S 비율	1	2	3	4	5	6 이상
인천 남항 ICT	0.01	2.5	10	22.5	30	35	40
	0.05	5	25	37.5	45	52.5	57.5
	0.10	12.5	32.5	47.5	55	60	65
	0.15	15	40	52.5	60	67.5	70
	0.20	20	45	57.5	65	70	72.5

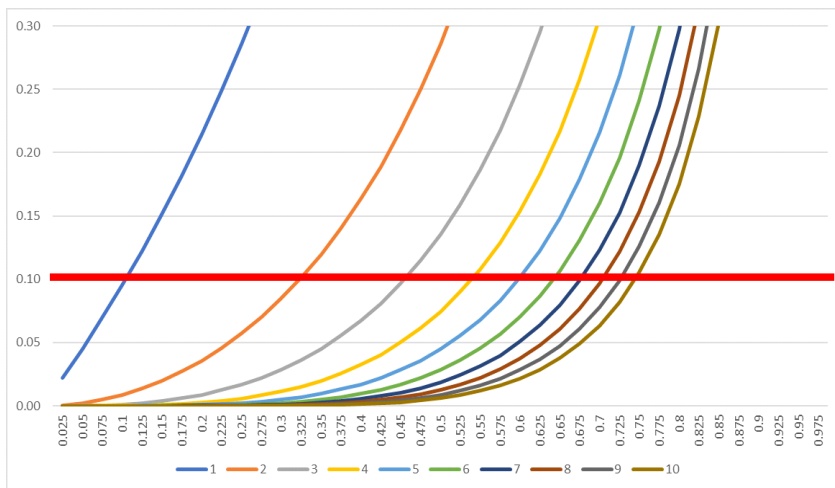


자료: 저자 작성

〈표 부록 2-13〉 인천 남항 E1 W/S 비율별 선석 점유율

단위: %

구분		선석 수					
터미널명	W/S 비율	1	2	3	4	5	6 이상
인천 남항 E1	0.01	2.5	10	20	30	35	40
	0.05	5	22.5	35	45	50	55
	0.10	10	32.5	45	55	60	65
	0.15	15	37.5	52.5	60	65	70
	0.20	20	42.5	55	65	70	72.5

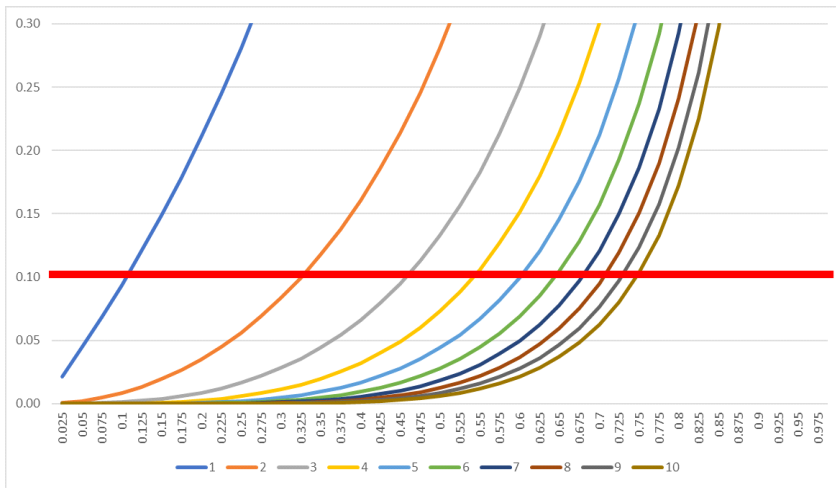


자료: 저자 작성

〈표 부록 2-14〉 인천 신항 선광 부두 W/S 비율별 선석 점유율

단위: %

구분		선석 수					
터미널명	W/S 비율	1	2	3	4	5	6 이상
인천 신항 선광 부두	0.01	2.5	10	20	30	35	40
	0.05	5	22.5	37.5	45	52.5	55
	0.10	10	32.5	45	55	60	65
	0.15	15	40	52.5	60	65	70
	0.20	20	45	57.5	65	70	72.5

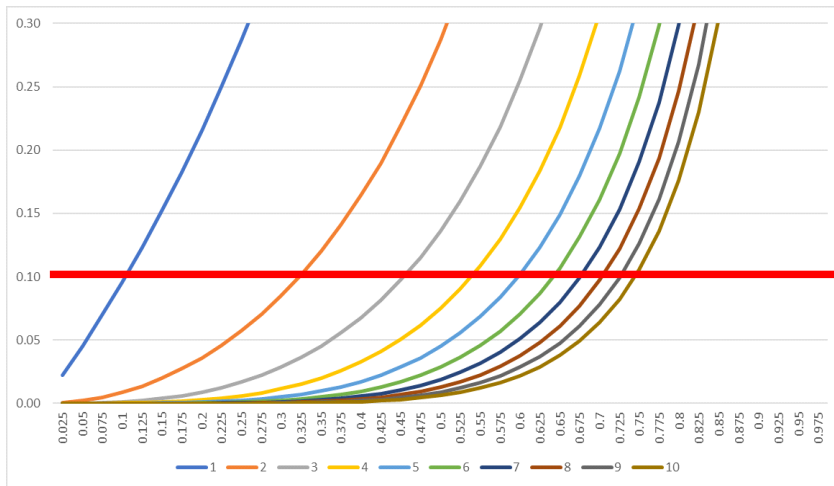


자료: 저자 작성

〈표 부록 2-15〉 인천 신항 한진 부두 W/S 비율별 선석 점유율

단위: %

구분		선석 수					
터미널명	W/S 비율	1	2	3	4	5	6 이상
인천 신항 한진 부두	0.01	2.5	10	20	30	35	40
	0.05	5	22.5	35	45	50	55
	0.10	10	32.5	45	55	60	65
	0.15	15	37.5	52.5	60	65	70
	0.20	20	42.5	55	62.5	70	72.5

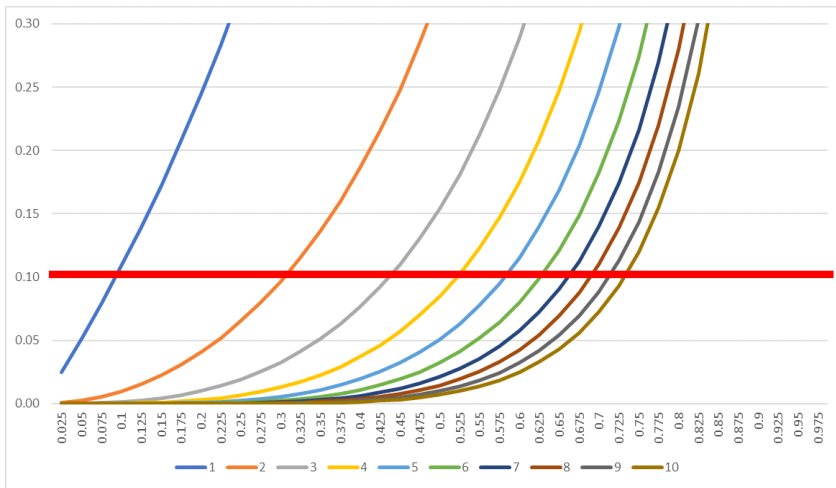


자료: 저자 작성

〈표 부록 2-16〉 울산 신항 부두 W/S 비율별 선석 점유율

단위: %

구분		선석 수					
터미널명	W/S 비율	1	2	3	4	5	6 이상
울산 신항 부두	0.01	2.5	10	20	27.5	35	40
	0.05	5	22.5	35	42.5	50	55
	0.10	10	30	42.5	52.5	57.5	62.5
	0.15	12.5	37.5	50	57.5	62.5	67.5
	0.20	17.5	40	55	62.5	67.5	70

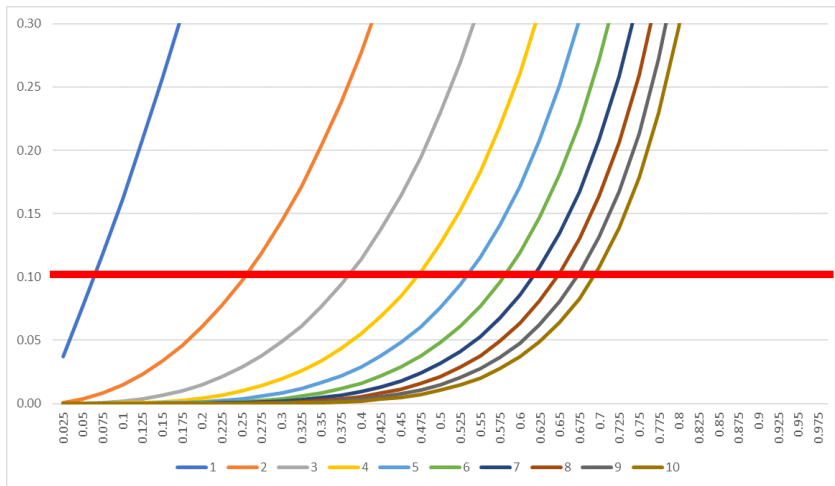


자료: 저자 작성

〈표 부록 2-17〉 울산 정일 부두 W/S 비율별 선석 점유율

단위: %

구분		선석 수					
터미널명	W/S 비율	1	2	3	4	5	6 이상
울산 정일 부두	0.01	2.5	7.5	17.5	25	30	35
	0.05	2.5	17.5	30	40	45	50
	0.10	7.5	25	37.5	47.5	52.5	57.5
	0.15	10	30	42.5	52.5	57.5	62.5
	0.20	12.5	35	47.5	55	62.5	65

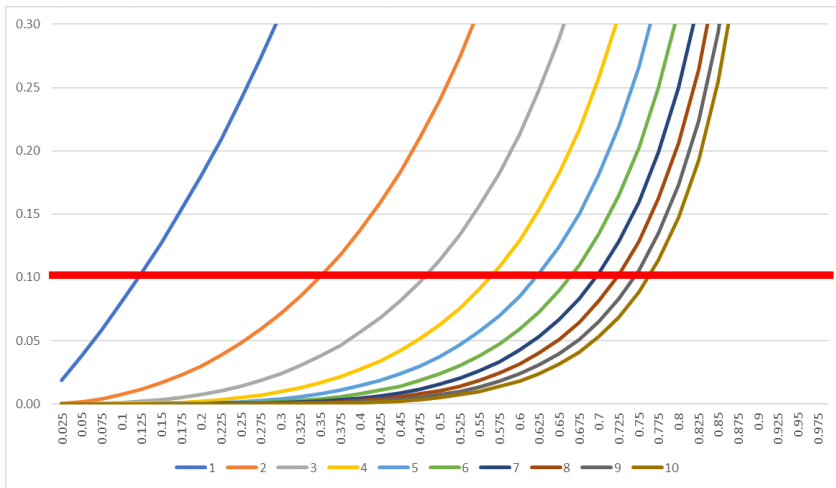


자료: 저자 작성

〈표 부록 2-18〉 평택·당진 PCTC W/S 비율별 선석 점유율

단위: %

구분		선석 수					
터미널명	W/S 비율	1	2	3	4	5	6 이상
평택·당진 PCTC	0.01	2.5	12.5	22.5	30	37.5	42.5
	0.05	7.5	25	37.5	47.5	52.5	57.5
	0.10	12.5	35	47.5	57.5	62.5	67.5
	0.15	10	30	42.5	52.5	57.5	62.5
	0.20	17.5	42.5	55	62.5	67.5	72.5

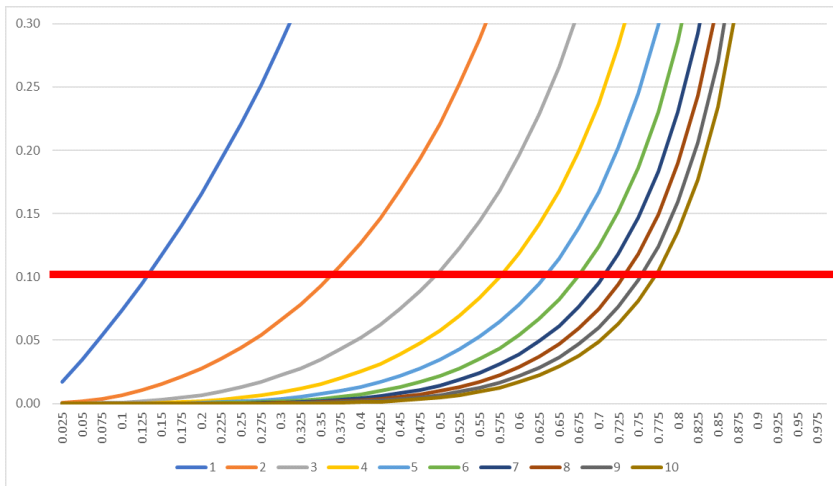


자료: 저자 작성

〈표 부록 2-19〉 평택·당진 PNCT W/S 비율별 선석 점유율

단위: %

구분		선석 수					
터미널명	W/S 비율	1	2	3	4	5	6 이상
평택·당진 PNCT	0.01	2.5	12.5	22.5	30	37.5	42.5
	0.05	7.5	27.5	40	47.5	55	60
	0.10	12.5	35	50	57.5	62.5	67.5
	0.15	17.5	42.5	55	62.5	67.5	72.5
	0.20	22.5	47.5	60	67.5	72.5	75

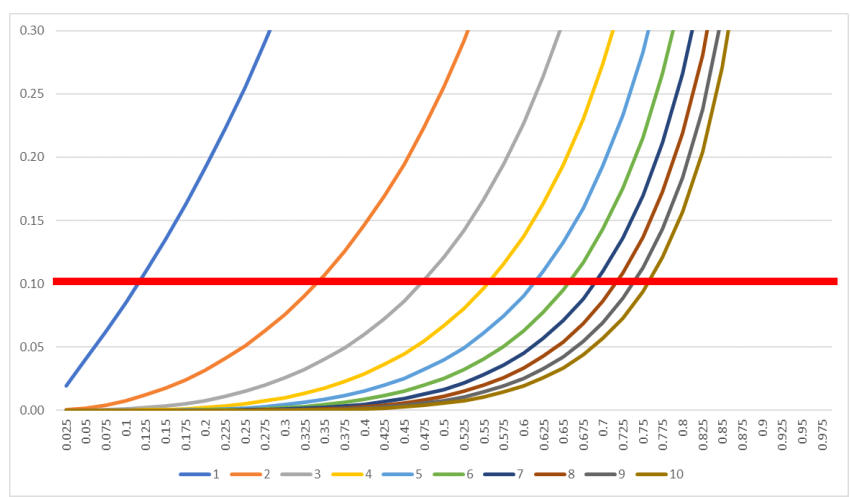


자료: 저자 작성

〈표 부록 2-20〉 대산 4부두 W/S 비율별 선석 점유율

단위: %

구분		선석 수					
터미널명	W/S 비율	1	2	3	4	5	6 이상
대산 4부두	0.01	2.5	12.5	22.5	30	35	42.5
	0.05	5	25	37.5	47.5	52.5	57.5
	0.10	12.5	35	47.5	55	60	65
	0.15	17.5	40	52.5	60	67.5	70
	0.20	20	45	57.5	65	70	75



자료: 저자 작성

기본연구보고서 발간목록

Ⅰ 2024년

01	섬·바다·강 연계 관광 네트워크 구축방안 연구	최일선
02	해양 스타트업 실패 자산화 방안 연구	좌미라
03	시민친화적 바닷가 공간 조성에 관한 연구	정지호
04	연안이용 관리 법제 정비방안 연구	최석문
05	특별관리해역 관리제도 재편 방안 연구	최수빈
06	해양관할구역 과세권한의 체계적 배분방안 연구	이혜영
07	어업인의 디지털 전환 수용성 제고방안 연구	오서연
08	수산물 무역(수출입) 단기 전망모형 구축 연구	한기욱
09	어촌소멸에 따른 사회경제적 영향분석과 대응전략 연구	이상규
10	어촌다움에 기반한 어촌공간관리 방안 연구	이승혜
11	파생상품을 이용한 해운선사의 위험관리에 관한 연구 - 운임선도거래(FFA)를 중심으로 -	김한나
12	내항상선 해양사고 경감방안 연구	허성례
13	항만재개발사업 공공성 강화 방안 연구	김세원
14	해외 항만터미널 확보 전략 연구	김근섭
15	항만 하역능력의 서비스 수준 개선 연구	이화섭
16	국내 무역항 거버넌스 체계 개편방안 연구	김근섭
17	선박의 원격운항을 위한 제도 개선방안 연구	박혜리
18	국제물류기업 육성을 위한 법제 개선방안 연구	최나영환
19	글로벌 공급망 리스크 대응 정책효과 분석 모형 개발 연구	강무홍
20	한-북미 무역구조 분석 및 물류공급망 변화 대응방안 연구	이성우

2023년

01	자율운항선박 운항을 위한 해상교통관제 대응방안 연구	박상원
02	인공지능(AI)을 활용한 무역규범의 해양수산분야 영향 분석 연구	임병호
03	공급망 안정화를 위한 항만의 대응방안 연구	이나영
04	연안재해 정보 활용 개선 방안 연구	김찬웅
05	항만의 생활물류 기능 활성화 방안 연구	최석우
06	마을어장 이용·관리 개선방안 연구	마창모
07	해양생태계 복원정책 개선방안 연구 - 사회·생태복원 중심으로 -	최석문
08	주민행태기반 해양정책 수용성 제고 설계 방안 연구	이슬기
09	항만연관산업 고도화 방안 연구	김세원
10	탄소배출권 거래제가 해운선사에 미치는 영향 분석 연구	조아현
11	물류 연계 효율화를 위한 스마트항만 구축방안 연구 - 항만물류 데이터 공유 플랫폼을 중심으로 -	서정용
12	어업분야 종대재해처벌법 대응방안 연구	고동훈
13	수산물의 디지털 수출 활성화 방안 연구	이상건
14	항만개발사업의 정책영향평가 연구	이수영
15	해운산업의 미래 변화 예측과 국내 대응 전략 연구	이호춘
16	어선현대화 촉진을 위한 금융제도 개선방안 연구	엄선희
17	연안도시의 쇠퇴와 대응방안 연구	강창우
18	해양범죄 실태 진단을 통한 대응체계 개선방안 연구	민영훈
19	민간기업의 해양환경분야 ESG 활성화 방안 연구	김지윤
20	식량안보를 고려한 수산물 수급관리 방안 연구	허수진
21	지방분권시대의 수산업·어촌분야 대응전략 연구	이호림
22	해운산업 고도화를 위한 선박투자 활성화 방안 연구	김한나
23	글로벌 공급망 리스크 대응 물류망 최적화 방안 연구 : 한국-북미 물류공급망 중심	이성우

수시연구보고서 발간목록

Ⅰ 2024년

01	해양정보산업 진흥을 위한 제도 개선 방안 연구	김찬웅
02	한-아프리카 국제수산협력 체계 개선 연구	이채령
03	해양안보 MDA 체계 협력적 운용 방안 연구	민영훈
04	인천항 자유무역지역의 효과적 운영을 위한 전략 방안	한장협
05	해양문화자원을 활용한 연안도시활력 증진 방안 연구	이슬기
06	부산항 물동량 유치방안 연구	김은우
07	국제사회의 대북제재 동향과 우리의 대응:해양수산분야를 중심으로	채수란
08	국내 연안여객선 관광·이용 활성화 방안 연구	이정아
09	내수면어업 허가·신고 제도 개선방안 연구	최순
10	어업 선진화를 위한 어업관리체계 개편 방안 연구	심성현
11	글로벌 공급망 변동에 따른 해운물류 지원방안	황수진
12	연안 중소선사의 탄소중립 달성을 위한 친환경정책 지원방안	류희영
13	항만기술산업 활성화를 위한 법제도 정비 방안 연구	김보경
14	해양모태펀드 투자활성화 방안 연구	한기원
15	특별관리해역 내 공공하수처리시설의 방류수 수질기준 강화방안	장원근
16	중대재해처벌법 대응 양식장 안전성 개선 방안 연구	윤미경
17	국가관리연안항 발전전략 수립체계 연구	신정훈
18	글로벌 공급망 대응 해운항만물류 전문인력 양성 발전방안 연구	권보배
19	해양수산 국제개발협력 중장기 전략 연구	전혜은

Ⅰ 2023년

01	양식어업 비과세 합리화 방안 연구	이정필
02	복합해양레저관광도시 개념정립 및 추진방안에 관한 연구	최일선
03	항만기술산업 육성을 위한 법제도 마련 연구	안승현
04	블루푸드테크 전문기관의 도입 필요성에 대한 연구	이동림
05	지방자치단체의 해양관할구역 설정 요인 연구	이혜영
06	양식장 내 어류 복지 기준 마련을 위한 연구	오서연
07	해양플라스틱 재활용산업 공급사슬 기반 조성 연구	이윤정
08	중소·중견 물류기업의 ESG경영 가이드라인 구축 연구	이재호
09	신항만건설사업의 민간투자 확대를 위한 제도개선 연구	김보경
10	해수욕장 이용객 집계·관리체계 개선방안 연구	이정아
11	유엔 플라스틱 협약의 주요쟁점 분석 및 대응방향 연구	박수진
12	어촌 활력 제고를 위한 제도 개선방안 연구	문지원
13	어선의 친환경에너지 전환방안 연구	고동훈

일반연구보고서 발간목록

Ⅰ 2024년

01	한-북극권 청색 경제 협력사업 추진 방안	김엄지
02	전환기 글로벌 해양환경규범의 대응력 강화 연구	박수진
03	해양 지속가능성 시범 평가 연구	최희정
04	Scope 3 기준 원양산업 탄소배출추정 및 대응방안 연구 - 원양저연승어업을 중심으로	조현주
05	수산물 공급망 관리 개선 방안 연구(한·태 무역을 중심으로)	한기욱
06	신통상규범 확대에 따른 수산분야 영향 및 대응방안	박혜진
07	탄소배출 규제 대응을 위한 컨테이너 선대 교체 수요 추정연구	최건우
08	연안항개발사업의 경제적 편익에 관한 연구	김성아
09	한국과 미동부 항만 간 녹색해운항로 구축방안 연구	김가현
10	비컨테이너 항만물동량 예측모형 고도화 방안 연구(Ⅲ) -철광석, 화학공업생산물, 기타광석, 잡화를 중심으로	이나영
11	접안 대기시간 감소에 따른 탄소집약도지수(CII) 변화 분석	김보람

Ⅰ 2023년

01	해양수산업 조기경보지수 개발 - 컨테이너 해운시장을 중심으로	권장한
02	AIS 기반 글로벌 선박 배기가스 배출량 분석 연구(Ⅱ) - 우리나라 주요 항만을 중심으로	강무홍
03	우리나라 수산식품 소비 활성화 방안 마련 연구	한기욱
04	비컨테이너 항만물동량 예측모형 고도화 방안 연구(Ⅱ) - 유류, 철재, 모래, 목재, 양곡을 중심으로	이화섭
05	대기행렬모형을 활용한 선박대기비용 절감 편익 산정 연구	조아현
06	항만개발사업 정책효과 세부항목별 효과산정 방법 연구	이종필
07	해양 지속가능성 평가체계 구축 연구	최희정
08	국내 해운기업의 ESG 경영 확산 방안 연구	황진희
09	해운 경기순환 분석 및 예측 연구	황수진
10	수산물 공급 안정을 위한 수입수산물 전략품목 관리 방안 연구	박혜진
11	항만산업 여성인력 확대방안 연구	이지원
12	선사공동행위의 규제 및 행동 변화에 따른 영향 분석과 정책방안 연구	류희영

기본연구 2024-14

항만 하역능력의 서비스 수준 개선 연구

인쇄 2024년 12월 29일

발행 2024년 12월 31일

발행인 김 종 덕

발행처 한국해양수산개발원

주소 49111 부산시 영도구 해양로 301번길 26(동삼동)

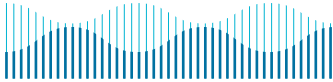
연락처 051-797-4800 (FAX 051-797-4810)

등록 1984년 8월 6일 제313-1984-1호

조판·인쇄 동아기획 (051-291-7605)

판매 및 보급: 정부간행물판매센터 Tel: 02-394-0337

정가 15,000원



항만 하역능력의 서비스 수준 개선 연구

A Study on Improving the Service Level
of Port Cargo Handling Capacity



한국해양수산개발원
KOREA MARITIME INSTITUTE

부산광역시 영도구 해양로 301번길 26(동삼동)

TEL. 051-797-4800

FAX. 051-797-4810



9 791168 662469

ISBN 979-11-6866-246-9 값 15,000원