

비컨테이너 부두 하역능력 산정을 위한 적정 점유율 기준 연구

A Study on Appropriate Occupancy Rate Standards for Estimating
Cargo Handling Capacity at Non-Container Terminals

이화섭 · 박민정 · 이나영 · 이기열



비컨테이너 부두 하역능력 산정을 위한 적정 점유율 기준 연구

A Study on Appropriate Occupancy Rate Standards for Estimating
Cargo Handling Capacity at Non-Container Terminals

이화섭 · 박민정 · 이나영 · 이기열



한국해양수산개발원
KOREA MARITIME INSTITUTE

저자	이화섭, 박민정, 이나영, 이기열			
내부연구진	연구책임자 이화섭	한국해양수산개발원	항만연구본부	전문연구원
	공동연구원 박민정	한국해양수산개발원	항만연구본부	전문연구원
	공동연구원 이나영	한국해양수산개발원	항만연구본부	전문연구원
	공동연구원 이기열	한국해양수산개발원	항만연구본부	연구위원

연구기간	2025. 1. 1. ~ 2025. 10. 31.
-------------	-----------------------------

보고서 집필내역

연구책임자	이화섭 연구총괄, 제1장 1절, 2절, 제2장, 제3장, 제4장 3절, 제5장 일부
내부연구진	박민정 제1장 3절, 제4장 1절
	이나영 제1장 3절, 제4장 2절
	이기열 제5장 일부

산·학·연·정 연구자문위원	여태현 태영그레인터미널 대표
	전용식 (주)젤큰 대표
	이중원 마산아이포트(주) 대표
	김율성 국립한국해양대학교 교수
	추윤식 해양수산부 항만정책과 서기관

※ 순서는 산·학·연·정 순임

발간사

최근 글로벌 공급망 재편, 에너지·원자재 시장의 변동성 확대, 기후 리스크 심화 등 항만을 둘러싼 환경은 매우 빠르게 변화하고 있다. 이러한 불확실성은 국내 항만 운영에도 직접적인 영향을 미치고 있으며, 특히 부두별·품목별 특성이 뚜렷한 비컨테이너 부두의 적정 하역능력 산정체계 마련의 필요성이 더욱 강조되고 있다. 그동안 컨테이너 중심으로 정립되어 온 용량 산정 기준은 비컨테이너 분야에 그대로 적용하기 어려운 한계가 있어, 현장의 실제 운영 데이터를 기반으로 한 정교한 기준 마련이 요구되어 왔다.

본 연구는 이러한 문제의식을 바탕으로, 국내 비컨테이너 부두의 실제 운영 자료와 대기행렬 이론, 시뮬레이션 분석을 결합하여 부두별 적정 점유율 기준을 도출하는 데 목표를 두었다. 특히 기존 정책에서 미흡했던 허용가능 대기시간 기준, 장치장 점유율 등 세부 지표의 근거를 명확히 제시하고, 국제 기준과의 비교를 통해 W/S 비율 적용의 타당성을 재검증하였다.

또한 부두별 물동량 특성과 지역경제 기여도, 서비스 수준에 대한 사회적 수용 가능성 등을 종합적으로 고려하여, 일률적인 점유율 기준에서 벗어난 차별적·유연한 서비스 수준 체계의 필요성도 제시하였다. 이는 단순한 하역능력 산정을 넘어, 향후 항만 개발 투자, 배후단지 연계, 항만 서비스 품질 개선 등 다양한 정책 분야에서 중요한 참고자료로 활용될 수 있을 것이다.

본 보고서가 제시하는 기준과 분석 결과가 현장의 운영 효율성 제고와 정책 판단의 객관성 강화에 기여하기를 기대한다. 아울러 본 연구 수행 과정에서 소중한 의견을 제공해 주신 유관기관 관계자와 전문가 여러분께 깊은 감사의 말씀을 드린다. 앞으로도 한국해양수산개발원은 변화하는 해운항만 환경 속에서 실효성 있는 연구를 지속하여 국가 물류경쟁력 강화에 이바지하겠다.

2025년 12월
한국해양수산개발원
원장 조 정 희

목차

요약 _ i

Executive Summary _ xv

01

서론 _1

제1절 연구의 배경, 필요성 및 목적	1
1. 연구의 배경 및 필요성	1
2. 연구의 목적	10
3. 기대 효과 및 활용 방안	11
제2절 연구의 내용 및 방법	13
1. 연구 내용	13
2. 연구 방법	16
3. 연구 추진 체계	22
제3절 선행연구 검토와 차별성	25
1. 선행연구 검토	25
2. 선행연구와의 차별성	29

02

항만 하역능력과 적정 점유율 _33

제1절 항만 하역능력의 개념	33
1. 항만 하역능력의 정의	33
2. 고유하역능력과 적정하역능력의 차이	36
3. 고유하역능력과 적정하역능력의 비교 및 관계	40
제2절 적정 점유율	42
1. 적정 점유율의 정의	42
2. W/S 비율에 따른 적정 점유율 산정 사례	46
3. 비컨테이너 부두 적정 점유율 적용 사례	52
제3절 소결 및 시사점	54

1. 소결	54
2. 시사점	56

03 적정 선석 점유율 산정_63

제1절 적정 선석 점유율 산정 방법	63
1. 적정 선석 점유율 산정 개요	63
2. 산정 절차	66
3. 대상 부두 산정	69
제2절 주요 품목별 적정 선석 점유율 산정	74
1. 도착시간 및 하역시간 분포 추정	74
2. 품목별 대기시간표 산출	78
3. 대기행렬 기반 적정 선석 점유율 산정	81
제3절 적정 선석 점유율 기준(안)	85
1. 컨테이너 터미널과의 비교	85
2. 품목별 특성 분석	88
3. 적정 선석 점유율 기준(안)	97

04 적정 장치장 점유율 산정_101

제1절 적정 장치장 점유율 산정 방법	101
1. 적정 장치장 점유율 산정 개요	101
2. 적정 장치장 점유율 산정 방법	103
제2절 주요 품목별 적정 장치장 점유율 산정	108
1. 유형별 장치장 특성 분석	108
2. 장치장 일시 저장 능력 산정	113
3. 시뮬레이션 기반 적정 장치장 점유율 산정	119
제3절 적정 장치장 점유율 기준(안)	124
1. 정책 대안 검토	124

2. 적정 장치장 점유율 기준(안)	126
---------------------	-----

05 결론 및 정책제언_129

제1절 결론	129
제2절 정책제언	132
1. 장치장 운영 데이터 확충 및 관리 체계 구축	132
2. 서비스 수준에 대한 사회적 합의 및 기준 정립	133

참고문헌_135

부록_139

표 목차

〈표 1-1〉 주요 국가별 GDP 대비 수출입 비율	2
〈표 1-2〉 컨테이너 터미널의 선석 점유율 및 장치장 점유율	7
〈표 1-3〉 비컨테이너 부두의 선석 점유율 및 장치장 점유율	8
〈표 1-4〉 본 연구와 선행연구와의 차별성 요약	32
〈표 2-1〉 하역능력 산정 방법 정리	36
〈표 2-2〉 하역능력 개념 요약	41
〈표 2-3〉 UNCTAD(1985)의 적정 선석 점유율	47
〈표 2-4〉 Agerschou(2015)의 적정 선석 점유율	49
〈표 2-5〉 W/S 방법론 기반 점유율 산출 결과 비교	51
〈표 2-6〉 주요 기관 및 연구에서 제시된 비컨테이너 적정 점유율 적용 사례 요약	53
〈표 2-7〉 부두별 적정 점유율 적용 기준 및 한계점	59
〈표 3-1〉 품목별 대상 부두 및 양적하 비율(요약)	71
〈표 3-2〉 주요 품목별 전용률 분석 결과(대표부두 요약)	73
〈표 3-3〉 품목별 도착시간 및 하역시간 기초 통계(요약)	75
〈표 3-4〉 품목별 도착시간 및 하역시간 분포 추정(요약)	77
〈표 3-5〉 기타광석 부두의 대기시간표() 요약	81
〈표 3-6〉 기타광석 부두의 W/S비(요약)	83
〈표 3-7〉 W/S 비율 적용 적정 선석 점유율 산정 결과(대표부두 요약)	84
〈표 3-8〉 품목별 도착시간 및 하역시간 분포 추정(요약)	86
〈표 3-9〉 품목별 평균 선박 길이	87
〈표 3-10〉 유류 특성 요약	90
〈표 3-11〉 양곡 특성 요약	91
〈표 3-12〉 광석·석탄·광물류 특성 요약	92
〈표 3-13〉 건설·산업자재류 특성 요약	94
〈표 3-14〉 잡화 특성 요약	95
〈표 3-15〉 자동차 특성 요약	96
〈표 3-16〉 화학공업생산물 특성 요약	97
〈표 3-17〉 W/S 비율 적용에 따른 선석 점유율	98
〈표 3-18〉 비컨테이너 적정 선석 점유율(안)	99
〈표 4-1〉 적정 선석 점유율 산정을 위한 입력 데이터 산출 및 적용 개요	105

〈표 4-2〉 장치장 부하 실험 개요	106
〈표 4-3〉 일반 장치장 하역능력 산정 개요	109
〈표 4-4〉 Ro-Ro 장치장 하역능력 산정 주요 변수	110
〈표 4-5〉 자동차 RT 환산 비율	111
〈표 4-6〉 Ro-Ro 장치장 하역능력 산정 개요	111
〈표 4-7〉 사일로 및 탱크형 장치장 하역능력 산정 주요 변수	113
〈표 4-8〉 사일로 및 탱크형 장치장 하역능력 산정 개요	113
〈표 4-9〉 화물 장치 기준 적용	115
〈표 4-10〉 일반 장치장 일시 저장 능력 산출(예시)	116
〈표 4-11〉 Ro-Ro 장치장 일시 저장 능력 산출(예시)	117
〈표 4-12〉 사일로 및 탱크형 장치장 일시 저장 능력 산출(예시)	119
〈표 4-13〉 품목별 적정 장치장 점유율 산정을 위한 W/S 적용 비율	120
〈표 4-14〉 시뮬레이션 기반 적정 장치장 점유율	123
〈표 4-15〉 적정 장치장 점유율(안)	127
〈표 5-1〉 비컨테이너 적정 선석 및 장치장 점유율(안)	130

그림 목차

〈그림 1-1〉 한국의 GDP 대비 수출입 비율	2
〈그림 1-2〉 비컨테이너 물동량 비중 변화	3
〈그림 1-3〉 산업통상자원부의 185개 공급망 안정품목	4
〈그림 1-4〉 트리거 룰을 활용한 추가 선석 개발 결정(예시)	5
〈그림 1-5〉 항만의 적정 서비스 수준 개념	6
〈그림 1-6〉 연구 추진 체계	24
〈그림 2-1〉 분석적 방법론 관점에서 항만 하위 시스템	35
〈그림 2-2〉 Fundación Valenciaport(2012)의 W/S별 선석 점유율	50
〈그림 2-3〉 사회적 비용을 고려한 적정 서비스 수준	51
〈그림 3-1〉 Kingman 근사식에 의한 CV와 W/S 비율의 관계	66
〈그림 3-2〉 기타광석 부두 도착 시간(상) 및 하역시간 분포 피팅(하)	79
〈그림 3-3〉 W/S 비율(0.2) 적용 기타광석 부두 적정 선석 점유율 산정	82
〈그림 4-1〉 부하 증가에 따른 장치장 점유율 및 W/S 비율 변화	122

요 약

비컨테이너 부두 하역능력 산정을 위한 적정 점유율 기준 연구

이화섭 · 박민정 · 이나영 · 이기열

1. 서론

1) 연구의 배경, 필요성 및 목적

- 우리나라 무역 구조와 공급망 리스크 변화에 대응한 비컨테이너 부두 하역능력 기준 마련 필요
 - 우리나라는 해상운송 의존도가 높아 항만 운영의 안정성이 곧 국가 공급망 안정성과 직결되며, 비컨테이너 화물 비중도 여전히 큼
 - 그러나 비컨테이너 화물은 품목·부두별 특성이 크게 달라 기존 컨테이너 기준만으로는 서비스 수준과 실제 처리능력을 설명하기 어려움
- 컨테이너 기준의 획일적 적용에 따른 한계를 보완할 서비스 수준 중심의 재정립 필요
 - 동일 점유율을 일괄 적용하면 하역능력이 과대·과소 산정되어 개발·투자 판단이 왜곡될 우려가 큼

-
- 항만 운영 특성과 W/S(대기/서비스시간) 관계를 반영한 새로운 기준 체계로 전환할 필요가 있음
 - 본 연구의 목적은 비컨테이너 부두의 선석·장치장 적정 점유율을 실증적으로 제시하는 것
 - Port-MIS 자료와 운영사 인터뷰, 공신력 있는 통계를 활용해 실제 도착·하역 패턴을 반영한 점유율을 산정함
 - 이를 토대로 항만기본계획, 하역능력 산정, 운영관리·투자 의사결정에 활용 가능한 정책·실무용 기준을 제시하고자 함

2) 연구의 내용 및 방법

- 선석·장치장을 함께 고려한 통합 점유율 산정체계 구축
- 선석은 대기행렬 모형을 활용해 점유율과 W/S 관계를 분석하고, 장치장은 저장능력·회전율·장치 방식 중심으로 용량을 평가함
- 실측자료를 기반으로 부두·품목별 차이를 반영하여 산정 결과의 현실성과 신뢰성을 높임
- 도착·하역시간 분포 추정과 국제 기준 비교를 통한 선석 점유율 도출
- 품목별 도착·하역시간 분포를 추정해 서비스 수준 변화에 따른 점유율 반응을 분석함
- UNCTAD(1985), Agerschou(2015) 등 국제 연구에서 제시한 W/S 기준과 비교해 국내 적용의 타당성을 검토함
- 장치장에 대해서는 저장능력·회전율·장치 방식 등을 고려해 적정 점유율 범위를 제시

- 야적장·사일로·탱크·Ro-Ro 등 장치 방식별로 일시 저장능력과 장치울 변화가 선석 작업과 처리효율에 미치는 영향을 분석함
- 시뮬레이션을 통해 특성별 W/S 비율 상한치에 나타나는 혼잡·효율 저하 양상을 검증하고 허용 상한을 도출함

3) 선행연구 검토와 차별성

- 기존 연구는 컨테이너 중심 또는 특정 품목 위주로 비컨테이너 부두 전반을 포괄하지 못한 한계
 - 대부분 컨테이너 터미널 또는 일부 벌크·액체 부두에 초점을 맞추어, 선석·장치장을 아우르는 종합 점유율 기준은 제시되지 못함
 - 장치장 운영과 저장능력을 함께 고려한 비컨테이너 전체 분석은 매우 제한적임
- 본 연구는 다양한 화물과 운영 방식을 통합적으로 반영한 점에서 범위와 현실성이 확대됨
 - 건화물·액체·자동차 등 주요 비컨테이너 화물과 연속식·단속식·Ro-Ro·탱크형 등 다양한 하역 방식을 검토함
 - 선석과 장치장을 동시에 고려하는 이중 구조의 점유율 기준을 제시해 기존 연구와 뚜렷이 구분됨
- 실측 기반 정량분석을 결합해 기준의 정책·실무 활용도를 강화
 - Port-MIS 실측자료를 활용해 실제 운영 패턴과 혼잡 수준을 반영한 점유율 기준을 산정함
 - 국제 기준과의 비교, 민감도 분석을 통해 향후 항만계획·투자 타당성 검토에 활용 가능한 근거 기반 지표로 정리함

2. 항만 하역능력과 적정 점유율

1) 항만 하역능력의 개념

- 항만 하역능력은 설계상 최대치를 의미하는 ‘고유하역능력’보다, 실제 운영 조건과 서비스 수준(W/S)을 반영한 ‘적정하역능력’을 중심으로 평가해야 함
 - 고유하역능력은 24시간 최대 가동을 가정한 이론값으로 기상·교대제·장비 고장·도착 변동 등을 반영하지 못해 과대평가 위험이 큼
 - 적정하역능력은 대기·혼잡도를 포함한 현실적 처리 가능 수준을 제시하며, 안벽과 장치장 중 병목이 되는 요소가 전체 하역능력을 결정하기 때문에 정책·운영 판단에서 더 타당한 기준이 됨
- 비컨테이너 부두는 품목·장치 방식 차이가 크기 때문에 적정하역능력 개념 적용이 필수적임
 - 동일 시설이라도 화물 특성에 따라 작업시간·체류패턴이 달라 선석 사용량과 서비스 수준이 크게 변동됨
 - 서비스 품질 유지와 체선 방지 측면에서 ‘현실적 처리한계’에 기반한 용량 평가가 더 신뢰성 있다고 판단됨

2) 적정 점유율

- 점유율은 하역능력의 핵심 지표로, W/S 비율(대기/서비스시간)을 기준으로 적정 범위를 설정함
 - 점유율이 높아지면 대기시간이 급격히 증가하고, 낮으면 시설이 과소활용되는 문제가 발생함
 - W/S 기반 분석을 통해 적정 서비스 수준이 유지되는 점유율을 찾는 것이

합리적인 접근 방법이라 판단함

- 국제 기준을 참고하되 국내 실측 기반으로 $W/S \approx 0.2$ 를 점유율 기준선으로 설정함
 - UNCTAD(1985) 등에서 비컨테이너 부두의 $W/S \approx 0.2$ 수준을 권고하며, 벌크·다목적부두는 컨테이너보다 더 높은 W/S 허용 가능성이 있음
 - 국내 부두 특성과 운영 패턴을 고려해 품목별·부두별로 세부 조정하되, 기본 임계값은 $W/S \approx 0.2$ 또는 0.25를 기준으로 설정함
- 비컨테이너 부두는 화물·운영방식 다양성이 커 일률적 점유율보다 유형별 기준 적용 필요
 - 건화물은 연속하역 특성으로 낮은 점유율에서 혼잡 발생 가능성이 높고, 액체부두는 탱크 저장능력 영향으로 비교적 높은 점유율을 수용할 수 있음
 - 자동차(Ro-Ro)는 입·출고 변동성이 커 별도 관리가 필요해 유형별 기준 적용의 필요성이 큼

3) 소결 및 시사점

- 적정 점유율은 W/S 를 기준으로 혼잡과 유희의 균형점을 찾는 문제이며, 컨테이너·비컨테이너에 서로 다른 기준이 필요함
 - 서비스 수준은 W/S (대기/서비스시간)로 정량화되며, 컨테이너는 대체로 $W/S \approx 0.1$, 비컨테이너는 0.2(일부 벌크 0.3~0.4)까지 허용 가능한 것으로 파악됨
 - 선석·장치장별 목표 W/S 를 정한 뒤 대기행렬·시뮬레이션으로 이를 만족하는 점유율 상한을 역산하는 것이 합리적이며, 컨테이너는 보수적, 비컨테이너는 다소 높은 점유율을 허용하되 임계치를 넘지 않도록 관리해야 함
- 컨테이너 기준의 획일적 적용을 지양하고, 부두 유형·화물 특성·장치

장 역할을 반영한 차등 기준과 활용 원칙이 필요함

- 현재 컨테이너 점유율 기준(선석 40~60%, 장치장 60%)을 비컨테이너 부두에 일괄 적용하면 일반부두·전용부두·액체부두·자동차부두의 운영 특성과 서비스 요구를 반영하지 못함
- 액체·사일로 부두처럼 장치장이 병목이 아닌 경우도 있는 반면, 건화물·자동차·잡화처럼 장치장이 하역능력에 영향을 미치는 경우도 있어 적정 점유율은 품목·운영 방식에 따라 차별적으로 반영해야 함
- 결국 적정 선석 점유율은 W/S 기반으로, 장치장 점유율은 안벽 하역을 저해하지 않는 범위에서 유형별로 설정하고, 두 지표를 함께 고려해 최종 적정 점유율을 도출하는 원칙이 필요함

3. 적정 선석 점유율 산정

1) 적정 선석 점유율 산정 방법

- $W/S \approx 0.2$ (일부 품목 0.25)를 기준 서비스 수준으로 두고, 이를 초과하지 않는 선석 점유율을 ‘적정 점유율’로 정의함
- Port-MIS 기반 도착·하역시간 분포를 $M/G/s \cdot G/G/s$ 대기행렬 모형에 입력해 점유율-W/S 관계를 계산함
- 각 선석 수별로 $W/S \approx 0.2(0.25)$ 가 되는 지점을 혼잡 임계점으로 보아 해당 점유율을 적정 선석 점유율로 도출함
- 선석 수가 늘어날수록 동일 W/S 기준에서 허용 가능한 점유율이 크게 상승하는 패턴이 확인됨
- 1선석에서는 W/S 기준을 맞추기 위해서는 매우 낮은 점유율만 허용되지만, 다선석으로 갈수록 50%~70% 수준까지 수용 가능해짐

- 이는 다선석 체계가 대기 분산 효과를 가져 와, 더 높은 점유율에서도 서비스 수준을 유지할 수 있음을 의미함

2) 주요 품목별 적정 선석 점유율 산정

- 품목별 도착·하역 특성 차이로 인해 $W/S \approx 20\%$ 기준에서 허용 점유율 수준이 서로 다르게 나타남
- 고철·양곡·석탄·철광석 등은 도착 간격과 하역시간이 길어, 같은 선석 수에서도 비교적 보수적인 점유율이 적정함
- 유류·자동차·화공품 등은 하역 시간 변동성이 낮아 다선석일 경우 더 높은 점유율까지 W/S 기준을 만족함
- M/G/s·G/G/s 모형 분석 결과 기준, 선석 수 증가에 따른 품목별 적정 점유율 범위가 제시됨
- 단일 선석에서는 대부분 10~30% 수준, 2선석에서는 35~45%, 3선석부터는 50% 이상까지 확장됨
- 기타광석·유류·자동차·화공품 등 상대적으로 안정적인 품목은 6선석에서 70~75% 수준까지도 $W/S \approx 20\%$ 이내로 운영이 가능함
- 모래·잡화처럼 변동성이 큰 품목은 같은 선석 수에서도 더 낮은 점유율에서 W/S 를 초과하는 경향이 확인됨

3) 적정 선석 점유율 기준(안)

- 분석값과 정책적 활용성을 반영해, 1선석은 일괄 40%으로 보정하고 선석 수가 늘어날수록 5% 단위로 상향 조정함
- 모형상 1선석 적정 점유율은 10~30% 수준이지만, 실제 현장에서는 약 40%를 기준으로 운용되므로 이를 기준(안)에 반영

-
- 2선석 이후는 품목별·선석 수별 분석값을 기반으로 45~85%까지 단계적으로 상향되는 구조로 설계함
 - 품목별 특성과 사회적 비용 민감도를 반영해 4개 그룹으로 차등 기준을 제시함(6선석 기준 상한)
 - 고점 그룹(80~85%): 시멘트, 목재 - 연속설비·전용부두, 사회적 비용 민감도 낮아 높은 점유율 허용 가능
 - 중상 그룹(75%): 고철, 유류, 화공품 - 안전·품질 리스크 고려해 다소 보수적 관리 필요
 - 중간 그룹(70%): 기타광석, 양곡, 철광석, 철재 - 전략자원·기초산업 원자재로 일정 여유 확보 필요
 - 보수 그룹(65%): 모래, 석탄, 자동차, 잡화 - 변동성·채류 불규칙성·경제적 중요도 등을 고려해 상대적으로 낮은 상한 유지
 - 이 기준(안)은 컨테이너 기준을 그대로 준용하던 기존 방식과 달리, 비컨테이너 부두 특성을 반영한 품목별·선석 수별 맞춤형 지표로 평가할 수 있음

4. 적정 장치장 점유율 산정

1) 적정 장치장 점유율 산정 방법

- 장치장 점유율은 안벽-장치장-내륙운송 흐름을 기준으로, 서비스 수준과 혼잡도를 동시에 고려해 산정함
- 장치장은 안벽에서 처리된 화물이 내륙으로 나가기 전 일시 저장되는 공간으로, 점유율이 너무 높으면 안벽 하역 지연·내륙 반출입 병목을 초래함
- 따라서 단순 저장능력 대비 활용률이 아니라, 선석 서비스 수준(W/S)과

장치장 혼잡이 허용 범위 내에 있는 상한을 '적정 점유율'로 정의함

- 실제 운영자료와 확률 시뮬레이션을 활용해 적정 점유율 상한을 도출함
 - Port-MIS와 운영세척·운영사 인터뷰를 통해 장치장 유형(사일로·탱크형, Ro-Ro형, 일반 야적장형), 면적, 저장용량, 평균 장치일수 등을 수집함
 - 선박 도착간격·하역시간 분포, 장치장 반출입 단위 물량을 추정해 확률변수로 설정하고, 도착률을 단계적으로 높이는 부하 실험을 통해 W/S와 장치장 점유율 변화를 시뮬레이션함
- W/S 기준과 P95(시간가중 95퍼센타일 점유율)를 함께 활용해 적정 상한을 판단함
 - 유류·양곡·자동차·화공품·기타광석·석탄은 W/S $\approx$ 20%, 시멘트·잡화·철재·고철·목재·모래는 W/S $\approx$ 25%를 목표 서비스 수준으로 설정함
 - 각 부하 수준에서 W/S가 기준에 처음 도달하는 시점의 점유율을 후보 상한으로 보고, 그때의 장치장 점유율 P95가 급격히 상승하기 전 수준을 적정 장치장 점유율로 채택함

2) 주요 품목별 적정 장치장 점유율 산정

- 장치장 유형별로 하역능력 산정 방식과 일시 저장 능력을 정리함
 - 일반 장치장(야적장·창고): 면적 $\times$ 유효면적비(약 0.85) $\times$ 적치 높이 $\times$ 설계하중을 통해 톤 단위 일시 저장능력을 산정하고, 평균 장치일수로 연간 하역능력을 계산함
 - Ro-Ro 장치장(자동차): 야적장 면적, 차량 1대당 점유면적(16m²/대), RT/대(평균 10.6RT/대), 평균 장치일수(10일)를 이용해 차량·RT 기준 일시 저장능력을 산정함
 - 사일로·탱크형 장치장: 저장용량(톤)과 무료 장치기간에 따른 회전율(예:

양곡·석탄 15일→24.3회/연, 시멘트 4일→91.3회/연)을 곱해 연간 하역 능력을 산정함

- 시뮬레이션 결과, 유형·품목별 평균 적정 장치장 점유율 수준이 다음과 같이 나타남
 - 일반 야적장형: 철재(평균 59%), 철광석·모래(41%), 기타광석(39%) 등이 상대적으로 높은 수준, 목재(13%)·잡화(26%)는 낮은 수준으로 분석됨
 - Ro-Ro형(자동차): 평균 약 46%, 최소 18~최대 65% 범위로 부두별 편차가 큰 것으로 나타남
 - 사일로·탱크형: 유류(64%), 시멘트(56%), 석탄·화공품(51%), 양곡(45%) 순으로 평균 점유율이 높게 나타나, 대규모 저장시설을 가진 품목군에서 혼잡 위험이 크게 확인됨

3) 적정 장치장 점유율 기준(안)

- 안벽과 장치장은 상호 보완적 기능을 가지며, 장치장 점유율 기준은 안벽 하역 기능을 보조하는 방향으로 설정함
 - 안벽은 선박 대기과 직결되므로 낮은 혼잡 허용 한계를 가지는 반면, 장치장은 일정 수준 혼잡은 허용되지만 과도한 점유율은 결국 안벽 효율을 떨어뜨림
 - 시뮬레이션을 통해 확인된 최대 점유율과 현행 기준을 비교해, 유형별로 적용 가능한 상한을 정책 대안으로 제시함
- 유형별 적정 장치장 점유율 기준(안)은 다음과 같음
 - 사일로·탱크형: 시멘트·석탄·화공품·양곡 등은 최대 점유율이 70% 이상으로 확인되어, 현행 60%에서 상향된 70%를 권고
 - 유류는 배관·탱크 저장 방식으로 탱크 설계용량 자체가 하역능력을 결정

하므로, 운영 가능한 최대 장치장 점유율로 90%를 권고

- Ro-Ro형(자동차): 시뮬레이션상 최대 65%, 평균 46% 수준이지만 높은 경제적 중요성과 정시성 요구를 감안해, 현행과 동일한 60% 유지
- 일반 야적장형: 품목 구성·입항·하역 방식이 매우 이질적이고, 시뮬레이션 결과에서도 일관된 패턴이 나타나지 않아, 관리 단순성과 일관성을 고려해 현행 60% 유지
- 이 기준(안)은 기존 일괄 기준을 기본적으로 유지하되, 사일로·탱크형 및 유류에 대해서 상향 조정함으로 정책적 연결성 및 합리성을 확보함

5. 결론 및 정책제언

1) 결론

- 연구 목적과 최종 산출물
 - 본 연구는 비컨테이너 항만의 적정 선석 점유율과 장치장 점유율 기준을 도출하고, 이를 정책지표로 제시하는 것을 목적으로 수행됨
 - 최종적으로 품목별·선석 수별 적정 선석 점유율과 장치장 점유율(안)을 제시함
- 선석 점유율 관련 주요 결과
 - 선석 점유율은 W/S(대기시간/서비스시간)를 성능지표로 사용해 산출했으며, $W/S \approx 20\%/25\%$ 를 임계치로 설정함
 - 시뮬레이션 결과, 이 임계치를 초과하면 선석 대기시간이 급격히 증가하는 것이 확인되었고, 이를 바탕으로 선석별 점유율을 서비스 수준 유지가 가능한 한계치로 설정함
- 장치장 점유율 관련 주요 결과

- 화물 유형별 시뮬레이션 결과, 장치장 점유율이 약 60~70%를 넘어서면 혼잡도가 급증하고 처리 효율이 저하되는 경향이 확인됨
- 이를 반영해 사일로·탱크형은 0.7, 유류는 0.9, Ro-Ro형과 일반 야적장 형은 0.6 유지라는 유형별 권고안을 제시함(유형·품목별 혼잡 허용 특성 차이 반영)

■ 연구 방법과 성과의 의미

- 문헌 검토, 대기행렬 모형, 시뮬레이션 검증을 함께 적용해 이론적 타당성과 현실 적용성을 동시에 확보함
- 점유율과 서비스 수준 간 정량적 관계를 규명하고, 최대 처리능력이 아닌 서비스 품질을 보장할 수 있는 운영 한계치를 제시했다는 점에 의의가 있음

■ 한계와 후속과제

- 장치장 자료 및 증소항만 특성이 충분히 반영되지 못한 한계가 있어, 향후 자료 확충·표본 확대·지역 특성 반영이 필요함
- Port-MIS 기반 자료가 실제 입항·작업·대기·재항시간을 완전하게 반영하지 못해, AIS·현장 계측 등 실측 데이터 기반 분석체계 구축이 요구됨
- 경제성 분석(비용·편익 비교)을 병행할 경우, 점유율 기준의 실용성과 정책 의사결정 근거가 더욱 강화될 것으로 제시됨

2) 정책제언

■ 장치장 운영 데이터 확충 및 관리 체계 구축

- 현재 장치장 면적·이론 적치능력은 파악되지만, 실제 점유율·적치율·장치 일수 등 운영지표는 체계적으로 수집·관리되지 않는 문제가 있음
- 이로 인해 장치장 병목을 간과하고 항만능력을 과대 산정할 위험이 있다고

보고, 장치장 운영현황 데이터 수집이 선행 과제로 제시됨

- 또한 터미널 운영사로부터 장치장 일별 평균 점유율, 피크 시 점유율, 평균 장치일 등 핵심 지표를 정기적으로 공유받고 중앙 DB로 구축하는 방안이 필요함
- 이를 통해 장치장 포화로 인한 운영상 애로를 조기에 파악하고, 투자·확충 시점을 객관적 지표로 판단할 수 있는 기반을 마련할 수 있을 것으로 판단됨

■ 서비스 수준에 대한 사회적 합의 및 기준 정립

- 본 연구에서 제시한 W/S 기준($W/S=0.2$)은 기존 연구의 참조와 대기행렬·시뮬레이션을 통한 정량적 분석을 위해 전문가 판단에 따른 값임
- 이를 정책 기준으로 활용하기 위해서는 “어느 정도 대기·혼잡을 수용 가능한 서비스 수준으로 볼 것인가”에 대한 사회적 공감대가 필요함
- 통계자료 분석·설문조사 등을 통해 허용 가능한 대기시간 비율, 장치장 혼잡 수준에 대한 기준치를 사회적으로 합의하는 과정이 필요함
- 이렇게 합의된 기준은 W/S·점유율 지표를 공식 정책지표로 사용하는 데 정당성과 실효성을 부여하고, 정책 수립·집행 과정에서 이해관계자 지지를 확보하는 데 기여할 수 있을 것으로 판단됨

EXECUTIVE SUMMARY

A Study on Appropriate Occupancy Rate Standards for Estimating Cargo Handling Capacity at Non-Container Terminals

Hwaseop Lee · Minjeong Park · Na-Young Lee · Kiyoul Lee

1. Introduction

1) Background, Necessity and Purpose

- Establishing non-container terminal handling capacity standards is necessary to respond to changes in Korea's trade structure and supply chain risks.
- Korea's heavy dependence on maritime shipping creates a direct link between port operational stability and national supply chain security. Non-container cargo continues to represent a significant share of total cargo volume.
- However, non-container cargo varies significantly in characteristics by commodity type and berth. Therefore existing container-based

standards are insufficient to adequately explain service levels and actual handling capacity.

- A service level-centered approach must be established to address the limitations of uniform container-based standards.
- The uniform application of occupancy rates across all facilities risks overestimating or underestimating handling capacity, potentially distorting development and investment decisions.
- There is a need to transition to a new standard framework that reflects port operational characteristics and the relationship between waiting time and service time (W/S).
- The purpose of this study is to provide empirical evidence for appropriate occupancy rates of berths and storage yards at non-container terminals
- This study calculates occupancy rates that reflect actual vessel arrival and cargo handling patterns through Port-MIS data analysis, interviews with terminal operators, and authoritative statistical sources.
- Based on these findings, the study aims to propose policy and operational standards applicable to port master planning, handling capacity estimation, and operational management and investment decision-making.

2) Content and Methodology

- Establishing an integrated occupancy rate calculation system that considers both berths and storage yards

- Berth analysis employs queuing models to examine the relationship between occupancy rates and W/S ratios. Storage yard analysis focuses on storage capacity, turnover rates, and stacking methods to assess capacity
- Actual measurement data are utilized to reflect differences across berths and commodity types, enhancing the practicality and reliability of the calculation results.
- Calculating berth occupancy rates through estimation of arrival and handling time distributions and comparison with international standards
- Arrival and handling time distributions are estimated by commodity type to analyze occupancy rate responses according to changes in service levels.
- The validity of domestic application is evaluated by benchmarking against W/S standards suggested in international research, notably UNCTAD(1985) and Agerschou(2015).
- For storage yards, appropriate occupancy rate ranges are presented by considering storage capacity, turnover rate, and stacking methods.
- The impact of temporary storage capacity and occupancy rate variations on berth operations and throughput efficiency is analyzed by stacking method, including open yards, silos, tanks, and Ro-Ro facilities.
- The study uses simulation to identify congestion and efficiency decline patterns occurring at upper W/S ratio thresholds for

various facility characteristics, thereby establishing acceptable operational limits."

3) Review of Previous Research and Differentiation

- Existing research has primarily focused on container terminals or specific commodities, limiting comprehensive coverage of non-container terminal operations
- Most studies have concentrated on container terminals or specific bulk and liquid cargo terminals, without presenting comprehensive occupancy rate standards that encompass both berths and storage yards.
- Comprehensive analysis of non-container facilities incorporating both storage yard operations and storage capacity is extremely limited.
- This study expands in scope and practicality by incorporating diverse cargo types and operational methods in an integrated manner.
- Major non-container cargo types, including dry bulk, liquid cargo, and automobiles, are examined alongside diverse handling methods such as continuous, intermittent, Ro-Ro, and tank-based operations.
- This study clearly distinguishes itself from prior studies by proposing a dual-structured occupancy rate standard that integrates berth and storage yard considerations.
- By integrating actual measurement-based quantitative

analysis, the study enhances the policy and practical applicability of the proposed standards.

- Port-MIS operational data are employed to derive occupancy rate criteria that incorporate actual operational patterns and congestion conditions.
- Through comparative analysis against international standards and sensitivity examination, this research compiles evidence-based indicators applicable to subsequent port planning and investment viability assessments.

2. Port Handling Capacity and Appropriate Occupancy Rates

1) Concept of Port Handling Capacity

- Port handling capacity should be assessed primarily through 'appropriate handling capacity,' which reflects actual operational conditions and service levels (W/S), rather than 'inherent handling capacity,' which represents the theoretical maximum design capacity.
- Inherent handling capacity represents a theoretical value assuming continuous 24-hour operation at maximum capacity, thereby posing significant overestimation risk due to its inability to incorporate weather disruptions, shift patterns, equipment breakdowns, and vessel arrival fluctuations.
- Appropriate handling capacity offers realistic processing levels that incorporate waiting time and congestion factors. This

serves as a more valid criterion for policy and operational decision-making, since bottleneck elements between the quay and storage yard determine overall handling capacity.

- For non-container terminals, application of the appropriate handling capacity concept is essential due to significant variations in commodity types and stacking methods.
- Even for identical facilities, operational duration and dwell patterns vary according to cargo characteristics, resulting in substantial fluctuations in berth utilization and service levels.
- In terms of sustaining service quality and mitigating vessel waiting time, capacity assessment based on 'realistic processing limits' is considered more reliable.

2) Appropriate Occupancy Rates

- As a core indicator of handling capacity, occupancy rate requires the establishment of appropriate range based on the W/S ratio.
- Higher occupancy rates cause sharp increases in waiting time, while lower occupancy rates create problems of facility underutilization.
- A rational approach involves identifying occupancy rates that maintain appropriate service levels through W/S-based analysis.
- While referencing international standards, this study establishes $W/S \approx 0.2$ as the baseline occupancy rate based on domestic empirical data.

- International guidance, notably UNCTAD (1985), recommend $W/S \approx 0.2$ for non-container terminals, with bulk and multipurpose terminals potentially accommodating higher W/S ratios than container terminals.
- The baseline threshold is established at $W/S \approx 0.2$. Detailed adjustments are then applied by commodity type and terminal to account for domestic terminal characteristics and operational patterns.
- Non-container terminals require type-specific standards rather than uniform occupancy rates due to the substantial diversity in cargo characteristics and operational methods.
- Dry bulk cargo exhibits continuous handling characteristics, resulting in high congestion potential even at lower occupancy rates. Conversely, liquid cargo terminals can accommodate relatively higher occupancy rates due to the influence of tank storage capacity.
- Automobile (Ro-Ro) terminals require separate management due to high variability in inbound and outbound movements, highlighting the significant need for type-specific standards.

3) Interim Findings and Implications

- Estimating appropriate occupancy rates involves finding the balance point between congestion and underutilization based on W/S ratios, with container and non-container terminals requiring different standards.

-
- Service levels are quantified using W/S (waiting time/service time) ratios. Container terminals generally allow $W/S \approx 0.1$, while non-container terminals can accommodate up to 0.2, with some bulk operations reaching 0.3-0.4.
 - A rational approach involves first establishing target W/S levels for berths and storage yards, then back-calculating occupancy rate upper limits that meet these targets using queuing theory and simulation. Container terminals should adopt conservative occupancy rates, while non-container terminals may permit somewhat higher occupancy rates, provided that critical thresholds are not exceeded.
 - Rather than uniformly applying container-based standards, differentiated criteria and application principles reflecting terminal type, cargo characteristics, and storage yard functions are necessary.
 - Current container standards apply berth occupancy of 40-60% and yard occupancy of 60%. Uniform application of these standards to non-container terminals fails to reflect the distinct operational characteristics and service requirements of general cargo, dedicated, liquid cargo, and automobile terminals.
 - While storage yards do not constitute bottlenecks in liquid cargo and silo terminals, they determine processing limits for dry bulk, automobiles, and general cargo operations. Consequently, yard occupancy standards require selective application based on commodity characteristics and operational methods.
 - Ultimately, appropriate berth occupancy rates should be

established based on W/S ratios, while yard occupancy rates should be set by terminal type within ranges that do not impede quayside operations. A guiding principle is necessary to derive final appropriate occupancy rates by jointly considering both indicators.

3. Estimation of Appropriate Berth Occupancy Rates

1) Methodology for Estimating Appropriate Berth Occupancy Rates

- This study adopts $W/S \approx 0.2$ (or 0.25) as the baseline service level criterion, defining 'appropriate occupancy rates' as berth occupancy thresholds that maintain compliance with this standard.
- Arrival and handling time distributions derived from Port-MIS data are input into M/G/s and G/G/s queuing-models to quantify the relationship between occupancy rates and W/S ratios.
- For each berth configuration, the point at which $W/S \approx 0.2$ (or 0.25) is identified as the congestion threshold. The occupancy rate at this point is derived as the appropriate berth occupancy rate.
- Results demonstrate that as the number of berths increases, allowable occupancy rates at the same W/S standard rise substantially.
- Single-berth terminals require very low occupancy rates to maintain $W/S \approx 0.2$ (or 0.25), whereas configurations with

multi-berths can accommodate occupancy levels of 50 to 70%.

- This indicates that multi-berth systems distribute waiting times across berths, enabling service level maintenance even at higher occupancy rates.

2) Estimation of Appropriate Berth Occupancy Rates by Major Commodity

- Due to differences in arrival and handling characteristics across commodity types, allowable occupancy levels at the $W/S \approx 0.2$ (or 0.25) standard vary accordingly.
- Commodities such as scrap metal, grain, coal, and iron ore demonstrate prolonged arrival intervals and extended handling durations. For these commodities, relatively conservative occupancy rates are appropriate even with the same number of berths.
- Petroleum products, automobiles, and chemicals exhibit low handling variability or advanced mechanization. In multi-berth configurations, these commodities can satisfy W/S standards at higher occupancy rates.
- Based on M/G/s and G/G/s model analysis results, appropriate occupancy rate ranges by commodity type are presented corresponding to increasing berth quantities.
- For single berths, most commodities require occupancy rates of 10 to 30% This range expands to 35-45% for two berths and to 50% or higher for three or more berths.

- Relatively stable commodities such as other ores, petroleum products, automobiles, and chemicals can operate within $W/S \approx 0.2$ at occupancy levels of 70 to 75% even in six-berth configurations.
- Highly variable commodities such as sand and general cargo demonstrate a tendency to exceed W/S thresholds at lower occupancy rates even with the same number of berths.

3) (Draft) Standards for Appropriate Berth Occupancy Rates

- Reflecting analytical results and policy applicability, single-berth occupancy is uniformly adjusted to 40%, with incremental upward adjustments of 5% as the number of berths increases.
- Model-based appropriate occupancy rates for single berths range from 10 to 30%. However, actual field operations are conducted at approximately 40%, and the proposed standards reflect this operational reality.
- For two or more berths, the structure is designed to increase stepwise from 45 to 85% based on commodity-specific and berth number-specific analytical values.
- Differentiated standards are proposed for four groups reflecting commodity-specific characteristics and social cost sensitivity (upper limits based on six-berth configurations).
- High group (80-85%): Cement, timber – Continuous handling systems and dedicated terminals with low social cost sensitivity

permit higher occupancy rates.

- Medium-high group (75%): Scrap metal, petroleum products, chemicals – Safety and quality risk considerations require somewhat conservative management.
- Medium group (70%): Other ores, grain, iron ore, steel products
 - As strategic resources and basic industrial raw materials, these require maintenance of operational buffer capacity.
- Conservative group (65%): Sand, coal, automobiles, general cargo – Lower upper limits are maintained due to high variability, irregular dwell patterns, and economic importance considerations.
- Unlike conventional approaches that directly applied container-based standards, these draft standards enable assessment through commodity-specific and berth-number-specific tailored indicators that reflect non-container terminal characteristics.

4. Estimation of Appropriate Storage Yard Occupancy Rates

1) Method for Estimating Appropriate Storage Yard Occupancy Rates

- Storage yard occupancy rates are calculated based on the flow from quay to storage yard to inland transport, considering both service levels and congestion conditions.

- Storage yards serve as temporary holding spaces for cargo processed at the quay before inland transport. When occupancy rates become too high, they cause delays in quayside operations and create bottlenecks in inland cargo movements.
- Therefore, 'appropriate occupancy rates' are defined not merely as utilization relative to storage capacity, but as upper limits where berth service levels (W/S) and yard congestion remain within acceptable ranges.
- Upper limits for appropriate occupancy rates are derived by utilizing actual operational data and probability-based simulation.
- Storage yard characteristics are collected through Port-MIS data, operational regulations, and interviews with operators. These include yard types (silo and tank-type, Ro-Ro-type, general open yard-type), area, storage capacity, and average dwell days.
- Vessel arrival intervals, handling time distributions, and cargo inbound and outbound volumes are estimated and set as random variables. Load experiments progressively increasing arrival rates are conducted to simulate changes in W/S ratios and yard occupancy rates.
- Appropriate upper limits are determined by jointly utilizing W/S criteria and P95 (time-weighted 95th percentile occupancy rate).
- Target service levels vary by commodity type. $W/S \approx 0.20$ is set for petroleum products, grain, automobiles, chemicals, other

ores, and coal, while $W/S \approx 0.25$ applies to cement, general cargo, steel products, scrap metal, timber, and sand.

- The occupancy rate at which W/S first reaches the threshold at each load level is identified as a candidate upper limit. The appropriate yard occupancy rate is then adopted as the level immediately before $P95$ shows sharp increases.

2) Estimation of Appropriate Storage Yard Occupancy Rates by Major Commodity

- The following provides a summary of handling capacity calculation methods and temporary storage capacity by storage yard type.
- General storage yards (open yards and warehouses): Temporary storage capacity in tons is calculated through area $\times$ effective area ratio (approximately 0.85) $\times$ stacking height $\times$ design load, with annual handling capacity derived from average dwell days.
- Ro-Ro storage yards (automobiles): Temporary storage capacity is calculated on both vehicle and RT bases. This utilizes open yard area, per-vehicle occupancy area ($16\text{m}^2/\text{vehicle}$), RT/vehicle ratio (average 10.6 RT/vehicle), and average dwell days (10 days).
- Silo and tank-type storage yards: Annual handling capacity is calculated by multiplying storage capacity (tons) by turnover rate. Turnover rates are based on free storage periods, such as 15 days for grain and coal (24.3 cycles/year) and 4 days for

cement (91.3 cycles/year).

- Simulation results show average appropriate storage yard occupancy rates by type and commodity as follows.
 - General open yard-type: Steel products (average 59%), iron ore and sand (41%), and other ores (39%) exhibit relatively high levels, while timber (13%) and general cargo (26%) demonstrate lower levels.
 - Ro-Ro type (automobiles): The average occupancy rate is approximately 46%. However, significant terminal-to-terminal variation is observed, ranging from 18 to 65%.
 - Silo and tank-type: Average occupancy rates rank highest for petroleum products (64%), followed by cement (56%), coal and chemicals (51%), and grain (45%). This confirms significant congestion risk for commodity groups with large-scale storage facilities.

3) (Draft) Standards for Appropriate Storage Yard Occupancy Rates

- Quays and storage yards serve complementary functions, and storage yard occupancy rate standards are established to support quayside handling operations.
 - Quays maintain low congestion tolerance thresholds because they are directly linked to vessel waiting times. Storage yards can tolerate moderate congestion levels. However, excessive yard occupancy rates ultimately reduce quayside efficiency.

-
- Maximum occupancy rates identified through simulation are compared with current standards, and applicable upper limits by type are proposed as policy alternatives.
 - (Draft) standards for appropriate storage yard occupancy rates by type are as follows.
 - Silo and tank-type: Cement, coal, chemical products, and grain exhibit maximum occupancy rates above 70%. Therefore, an upward revision from the current 60 to 70% is recommended.
 - Petroleum products: Given that pipeline and tank storage systems determine handling capacity through tank design capacity itself, a maximum operational storage yard occupancy rate of 90% is recommended.
 - Ro-Ro type (automobiles): Simulation results show a maximum of 65% and average of 46%. However, the current standard of 60% is maintained given the high economic importance and strict punctuality requirements of this cargo type.
 - General open yard-type: This category exhibits highly diverse commodity composition, vessel arrival patterns, and handling methods, with simulation results showing no consistent patterns across these variables. Therefore, the current standard of 60% is maintained to ensure management simplicity and consistency.
 - These (draft) standards maintain existing uniform standards as a baseline while providing upward adjustments for silo and tank-type facilities and petroleum products. This approach ensures policy continuity with methodological rationality.

5. Conclusion and Policy Recommendations

1) Conclusion

- **Research Purpose and Key Outputs**
 - This study aims to establish appropriate berth and storage yard occupancy rate standards for non-container terminals and present them as policy indicators.
 - Final outputs of this study include appropriate berth occupancy rates by commodity type and berth number, along with (draft) storage yard occupancy rates.
- **Key Findings on Berth Occupancy Rates**
 - Berth occupancy rates are calculated using W/S (waiting time/service time) as the performance indicator, with the threshold set at $W/S \approx 0.2$ (or 0.25).
 - Simulation results confirmed that vessel waiting times increase sharply when this threshold is exceeded. Based on this finding, berth-specific occupancy rates were established as the maximum levels capable of maintaining acceptable service performance.
- **Key Findings on Storage Yard Occupancy Rates**
 - Simulations conducted for different cargo types confirmed that congestion levels surge and processing efficiency deteriorates when storage yard occupancy rates exceed approximately 60–70%.

-
- Based on these findings, the following type-specific recommendations are proposed: 70% for silo and tank-type facilities, 90% for petroleum products, and 60% maintained for Ro-Ro-type and general open yard-type facilities. These reflect the varying congestion tolerance characteristics across facility types and commodity categories.

- **Methodology and Significance of Findings**

- By combining literature review, queuing models, and simulation verification, this study achieves both theoretical validity and practical applicability.
- This research bears its significance in establishing quantitative relationships between occupancy rates and service levels, and in presenting operational threshold limits that ensure service quality rather than maximum processing capacity.

- **Limitations and Future Research**

- This study has limitations in that storage yard data and small-to-medium port characteristics are insufficiently reflected. Future research should expand data collection, enlarge sample sizes, and incorporate regional characteristics.
- Port-MIS-based data cannot fully represent actual vessel arrival, operation, waiting, and port stay times. Future studies require development of analysis systems based on direct measurement data from sources such as AIS and on-site monitoring equipment.
- Incorporating economic analysis (cost-benefit comparison) would further strengthen the practical utility of occupancy rate standards and their foundation as policy decision-making tools.

2) Policy Recommendations

- **Enhancing Storage Yard Operational Data and Establishing Management Systems**
 - While storage yard area and theoretical stacking capacity are currently tracked, operational indicators such as actual occupancy rates, stacking rates, and dwell days are not systematically collected or managed.
 - This gap may result in overlooking storage yard bottlenecks and overestimating port capacity. Therefore, establishing storage yard operational data collection is identified as a priority task.
 - Furthermore, a data-sharing framework is needed to regularly obtain key indicators from terminal operators, including daily average occupancy rates, peak occupancy rates, and average dwell days, and consolidate these into a centralized database.
 - Such data infrastructure would enable early identification of operational constraints resulting from yard saturation. Moreover, it would provide an objective, indicator-based foundation for making informed decisions regarding investment priorities and expansion timing.
- **Establishing Social Consensus and Standards for Service Levels**
 - The W/S standard ($W/S \approx 0.2$) proposed in this study represents an expert judgment value based on reference to prior research and quantitative analysis through queuing theory and simulation.
 - To utilize this as a policy standard, social consensus is needed

regarding "what level of waiting and congestion constitutes an acceptable service level."

- Establishing these standards requires a systematic consensus-building process. This should utilize statistical analysis, surveys, and stakeholder consultations to determine acceptable waiting time ratios and storage yard congestion levels.
- Standards established through such consensus would provide legitimacy and effectiveness for using W/S and occupancy rate indicators as official policy metrics, and contribute to securing stakeholder support during policy formulation and implementation processes.

01

서론

제1절 연구의 배경, 필요성 및 목적

1. 연구의 배경 및 필요성

대한민국은 대외무역 의존도가 높은 개방경제로, 국내 생산·소비의 큰 몫을 해외 교역에 의존한다. 최근 지표를 보면 우리나라의 GDP 대비 수출입 비율은 선진국을 상회하는 수준을 지속하고 있으며(독일: 88.3%, 일본: 36.7% 등), 이러한 구조적 특성은 경기 국면과 무관하게 장기적으로 유지되어 왔다(〈그림 1-1〉, 〈표 1-1〉).¹⁾ 나아가 수출입 물량의 약 99.7%가 해상운송을 통해 처리되는 현실을 고려하면,²⁾ 항만은 단순한 화물의 반출입 통로가 아니라, 생산·소비·투자·고용으로 이어지는 경제활동과 비용구조에 직접적인 영향을 미치는 전략 인프라이다.

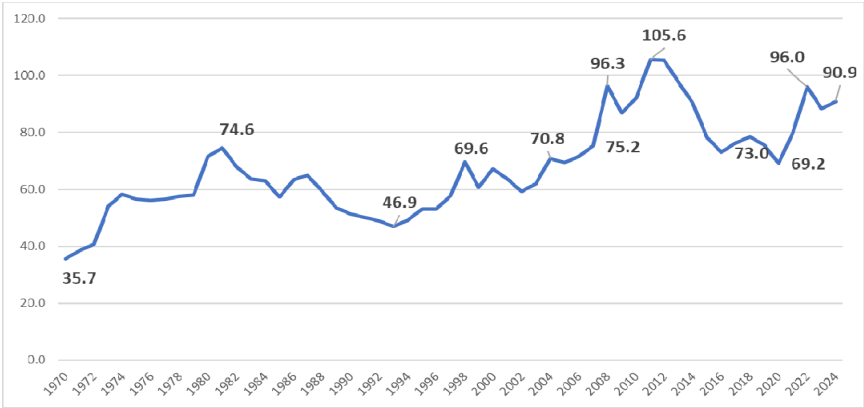
해상운송 중심의 교역 구조에서는 항만 운영의 연속성과 예측 가능성이 곧 공급망의 신뢰도를 뜻한다. 항만에서의 지연은 선박 회차, 내륙운송, 창고·공장 가동계획까지 연쇄적으로 영향을 미쳐 재고비용 증대, 운임·보험

1) 지표누리 국가발전지표, 수출입비율(GDP대비)(검색일: 2025.4.21.)

2) 한국무역통계, 정보포털(TRASS)(검색일: 2025.8.15.)

로 상승, 납기 신뢰도 하락 등 사회적 비용 증가로 확산될 가능성이 있다. 반대로 항만의 원활한 흐름은 선석-장치장-배후물류 단계에서 체류시간을 억제해 전체 물류비를 낮추고, 제조·에너지·곡물 등 핵심산업의 공급망 리스크를 줄이는 효과를 낸다.

〈그림 1-1〉 한국의 GDP 대비 수출입 비율



자료: 지표누리 국가발전지표, 수출입비율(GDP대비)(검색일: 2025.4.21.)의 자료를 바탕으로 저자 작성

〈표 1-1〉 주요 국가별 GDP 대비 수출입 비율

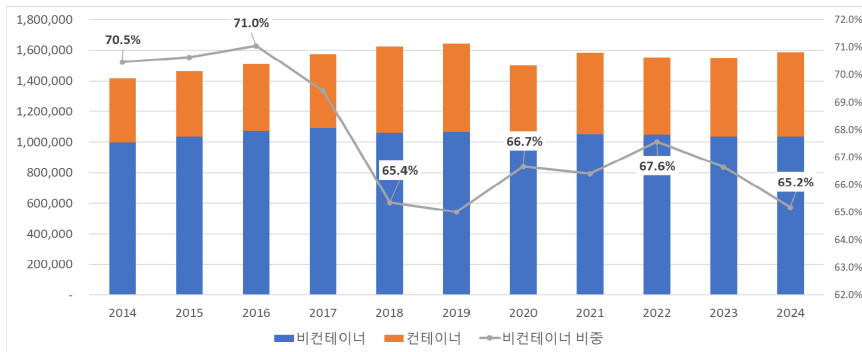
단위: %	
국가(기준연도)	GDP 대비 수출입 비율
한국(2023)	88.9
독일(2022)	88.3
일본(2022)	36.7
미국(2022)	25.4
중국(2022)	37.2

자료: 지표누리 국가발전지표, 수출입비율(GDP대비)(검색일: 2025.4.21.), World Bank Open Data, Trade(% of GDP)(검색일:2025.6.8.)의 자료를 바탕으로 저자 작성

항만 물동량 구조를 보면 공급망 리스크가 현실화될 때 사회적 파급력은 비컨테이너³⁾ 산업에서 더 클 가능성이 크다. 〈그림 1-2〉에 나타나 있듯이

비컨테이너 화물의 비중은 2014년 70.5%에서 2024년 65.2%로 완만한 하락세를 보였음에도 여전히 컨테이너 화물보다 높은 비중을 보인다. 이는 양곡, 석탄, 철재, 유류 및 자동차 등 핵심 원자재와 완제품의 대량 이동이 비컨테이너 형태로 이뤄지고 있음을 보여준다. 이는 곧, 국가 경제의 안정성과 직결된 공급망 리스크를 논할 때 비컨테이너 부두의 처리 안정성을 면밀히 점검해야 함을 시사한다.

〈그림 1-2〉 비컨테이너 물동량 비중 변화



자료: 해양수산부, 해운항만물류정보시스템(Port-MIS)(검색일: 2024.6.10.)의 자료를 바탕으로 저자 작성

정부(관계부처 합동)가 2025년 3월 발표한 「2025 공급망안정화 시행계획」에는 산업통상자원부가 선정한 경제안보 핵심품목 185개가 포함되어 있으며, 이는 첨단전략산업, 주력/신산업, 기초소재산업으로 분류된다. 이 목록에서 철강·비철금속·화학제품 등 기초소재와 원유·가스·석유제품, 곡물·광석 등 에너지·원자재성 품목의 다수는 컨테이너가 아닌 비컨테이너(벌크·액체·중량물) 형태로 수급된다. 따라서 해당 품목들의 적체·지연은 공장 가동률 저하, 전력수급 불안, 식량·연료 가격 상승 등으로 파급될 가능성이 높다. 비컨테이너 부두의 적정 규모 확보와 운영 안정성(서비스 수

3) 항만물류통계상 13개 품목 분류: 양곡, 시멘트, 모래, 석탄, 철광석, 기타광석, 목재, 고철, 철재, 자동차, 잡화, 유류, 화학공업생산물

준) 유지가 소비재 위주인 컨테이너와 동등하거나 일부 품목에서는 더 엄격하게 요구된다. 국가 공급망 안정화를 위해서는 항만의 비컨테이너 처리 기능이 적절히 확보되어야 하고 그 서비스 수준도 일정하게 유지될 필요가 있다. 따라서 항만 개발 계획에서 비컨테이너 부두의 개발 시기와 규모 결정을 위한 방법 및 절차에 대해 집중적으로 검토해야 할 필요성이 있다.

〈그림 1-3〉 산업통상자원부의 185개 공급망 안정품목

< 185개 공급망 안정품목 >

구분	업종	품목수	대표품목
첨단 전략 산업	반도체	17개	반도체 희귀가스(네온, 크립톤, 크세논), 실리콘웨이퍼, 불화수소 등
	이차전지	19개	수산화리튬, 인조(천연)흑연, 이차전지 제조용 전해액·분리막·파우치 등
	디스플레이, 바이오, 전기전자	22개	FMM, OLED 발광소재, 멤브레인, 바이오배지, DC모터 등
주력/ 신산업	자동차, 조선	24개	희토영구자석, 와이어링 하네스, 자율주행칩, 선박용 열교환기 등
	기계, 로봇, 항공	24개	산업용 로봇, 무인운반로봇, 수치제어기 등
기초 소재 산업	금속 (철강, 비철금속)	29개	마그네슘괴, 니켈괴, 알루미늄, 티타늄, 팔라듐 등
	섬유	16개	탄소섬유, 공중합 아라미드 섬유, 분산성 염료 및 그 중간체 등
	세라믹	16개	산화코발트, 공업용 천연석영, 내화성 노출, 흑연막대, 광섬유 등
	화학	17개	요소, 무수불산, 브롬, 이산화티타늄, 무수암모니아 등

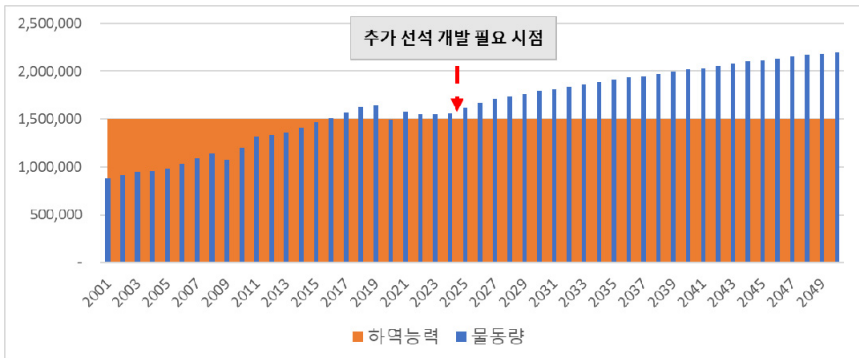
자료: 산업통상자원부 보도자료(2023.12.13.)(검색일: 2025.6.8)

항만 개발의 상위 지침인 항만기본계획에서는 물동량 전망과 하역능력 산정 결과에 따라 개발 시기와 규모가 결정된다. 물동량 전망은 한국해양수산개발원이 매년 수행하고 있으며, 하역능력 산정은 5년 주기로 이루어진다. 이 두 지표를 비교하여 물동량이 하역능력을 초과하는 시점이 도출되면, 이를 근거로 트리거 룰(trigger rule)⁴⁾이 적용되어 항만 개발의 시기

4) 트리거 룰: 항만개발 기본계획 수립 시 물동량과 하역능력 간의 격차를 기준으로 항만 확충의 필요성과 시

와 규모가 결정된다. 이중 하역능력은 항만 개발의 핵심 기준이며, 물동량이 증가하더라도 충분한 하역능력이 확보되지 못할 경우 공급망 차질로 이어질 수 있다. <그림 1-4>는 이러한 트리거 룰을 통한 항만 개발 개념을 시각적으로 제시한 것이다. 그래프에서 주황색은 항만의 하역능력을, 파란색은 물동량 전망치를 나타낸다. 시간이 지남에 따라 물동량이 점진적으로 증가하면서 특정 시점 이후 하역능력을 초과하게 되는데, 이 지점이 바로 “추가 선석 개발 필요 시점”⁵⁾으로 해석된다. 따라서 항만 개발의 규모와 시기는 물동량 전망과 하역능력 산정의 격차를 기반으로 정량적으로 결정된다.

<그림 1-4> 트리거 룰을 활용한 추가 선석 개발 결정(예시)



자료: 저자 작성

이러한 배경에서 항만기본계획의 핵심적인 기준이 되는 하역능력은 ‘고유하역능력’과 ‘적정하역능력’으로 구분된다. 먼저, 고유하역능력은 항만 시설과 장비가 연중 365일, 하루 24시간 중단 없이 가동된다는 가정하에 산출되는 설계상 최대 처리능력을 의미한다.⁶⁾ 이는 이론적으로 가능한 한

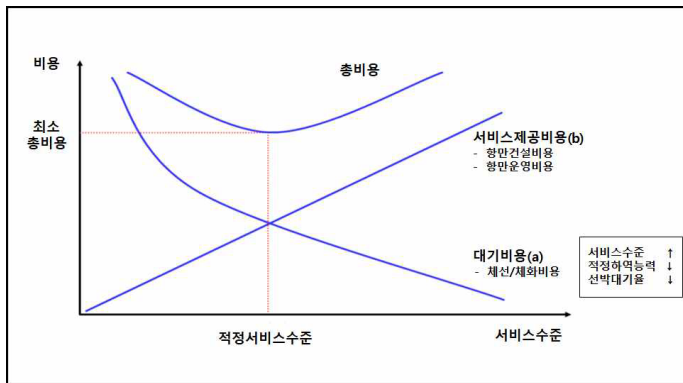
기를 판단하는 기준 규정(「제4차 전국항만기본계획(2021~2030)」)

5) 트리거 룰은 하역능력 대비 물동량 초과량이 신규 개발 부두 하역능력의 50% 이상을 초과하는 시점에 준공을 계획, 준공(n) - 약 3년을 착공 시점으로 계획함

제치에 해당하지만, 실제 운영 여건과는 괴리가 존재한다. 반면, 적정하역 능력은 선석수, 작업 가능 일수, 선석 생산성 및 적정 점유율 수준 등 현실적인 제약 조건을 반영하여 산출된 능력으로, 실제 항만 운영 환경을 고려한 현실적인 처리능력이라 할 수 있다. 본 연구는 이 적정하역능력을 결정하는 핵심 요인인 적정 점유율에 초점을 맞추고자 한다.

적정 점유율은 항만 시설이 안정적으로 기능을 수행하면서도 과도한 대기나 병목을 발생시키지 않는 수준의 활용도를 의미한다. 선석이나 장치장과 같은 항만 자원이 일정 수준 이상 점유될 경우, 항만 운영 효율성이 저하되고 선박 대기시간이 증가함에 따라 제시간에 도착·발송되어야 할 화물이 지연되는 문제가 발생한다. 이는 단순한 물류비용 상승에 그치지 않고 선사와 화주에게는 운항 지연에 따른 추가 비용을, 국가적으로는 원자재·에너지·식량 등 필수 물자의 공급 차질을 통해 생산성 저하와 가격 불안이라는 사회적 비용을 초래한다. 따라서 적정 점유율은 항만의 서비스 수준을 유지하면서 사회적 비용의 증가를 최소화할 수 있는 수준으로 정의될 수 있다.

〈그림 1-5〉 항만의 적정 서비스 수준 개념



자료: 해양수산부(2020), p. 12.

6) 해양수산부(2020), p. 11.

이와 같은 이유로 항만기본계획에서는 적정하역능력의 산정을 위해 적정 점유율을 핵심 기준으로 적용해 왔으나, 실제 적용 과정에서는 일률적인 수치 적용과 적용 기준의 불명확성 등 한계가 나타나고 있다. 특히 컨테이너 터미널과 비컨테이너 부두는 선박 입항 패턴, 정기선 취항 여부, 장치장 운영 방식 등에서 뚜렷한 차이가 있음에도 불구하고, 컨테이너 터미널을 기준으로 산정된 점유율이 비컨테이너 부두에도 일괄적으로 적용되고 있다는 점이 문제로 지적된다.

실제로 기존의 항만 하역능력 산정 연구는 대부분 컨테이너 전용 터미널을 중심으로 이루어져 왔으며, 컨테이너 터미널의 서비스 수준의 지표로서 선석 점유율과 장치장 점유율을 활용해 왔다. 예를 들어, 선석이 1개인 터미널의 경우 선석 점유율 40%를 적정 상한으로 설정하고, 4개 이상 선석을 보유한 터미널은 60% 수준까지 활용이 가능하다고 간주하는 기준이 적용된다. 장치장 역시 혼잡을 방지하기 위해 적정 점유율의 상한선을 약 60%로 설정하는 것이 바람직한 것으로 여겨져 왔으며, 이러한 값들은 컨테이너 터미널의 적정하역능력을 산정하는 사실상 표준 기준으로 활용되어 왔다.

〈표 1-2〉 컨테이너 터미널의 선석 점유율 및 장치장 점유율

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), 재인용: 한국해양수산개발원(2024)

그러나 현재 이러한 컨테이너 터미널 중심의 서비스 수준 기준이 비컨테이너 부두에도 획일적으로 적용되는 실정이며, 이에 따른 한계가 지적되고 있다. 액체화물·양곡·시멘트 등을 처리하는 탱크·사일로형 부두, 잡화·철강·목재 등을 취급하는 일반화물 부두, 자동차 전용 부두 등 비컨테이너 부두들은 취급 화물의 성격과 선박 운항 패턴이 컨테이너 부두와 상당히 다름에도 불구하고, 관행적으로 동일한 선석 점유율(40~60%)과 장치장 점유율(60%) 기준에서 하역능력 산정이 이루어지고 있다. 더욱이 비컨테이너 부두의 경우, 컨테이너와 동일하게 40~60% 범위를 적용하고 40%, 50%, 55%, 60% 등으로 선석 점유율이 차등 적용을 하지만, 이는 선석 수에 따른 구분이 아니라 어떠한 기준에 의한 것인지조차 불분명하다.

이러한 일률적 점유율 적용과 차등 기준의 불명확성은 비컨테이너 부두의 실제 하역 특성을 제대로 반영하지 못할 우려가 크다. 그 결과, 처리능력을 과소평가하여 시설 활용을 저해하거나 반대로 과도한 여유 용량을 계획하여 비효율적인 투자가 이루어지는 등 다양한 문제가 발생할 수 있다. 즉, 컨테이너 부두를 기준으로 한 동일한 잣대를 적용할 경우 비컨테이너 화물 분야에서는 운영 현실과 부합하지 않는 하역능력 산정 결과가 도출될 가능성이 높다.

〈표 1-3〉 비컨테이너 부두의 선석 점유율 및 장치장 점유율

단위: %

부두 기능	적용 선석 점유율	장치장 점유율
유류 외 12개 품목	40/50/55/60	60
유류	40/50/55/60/65	-

자료: 해양수산부(2020)의 자료를 바탕으로 저자 작성

하역능력 산정 시 적정 선석 점유율의 5% 차이만으로도 산정 결과에는 큰 격차가 발생한다. 실제로 제4차(‘21~’30년) 전국항만기본계획 수립 당

시 부산항의 경우, 선석 점유율이 5% 변동할 때 하역능력은 평균 8.6% 차이를 보였으며, 이는 부산항 전체 하역능력 기준으로 약 158만 4천 TEU에 해당하는 규모이다(해양수산부, 2020). 부두운영회사(TOC) 입장에서는 하역능력 대비 물동량 처리 실적이 주요 평가 지표로 활용되기 때문에 실제 처리 능력과 부합하지 않는 점유율 기준을 적용할 경우, 산정된 하역능력과 현실 간 괴리가 커지고 부두운영 성과평가에도 부정적인 영향을 미치게 된다. 또한 지나치게 낮은 점유율 기준은 항만 운영사의 수익성을 저하시킬 뿐 아니라, 불필요한 항만 확충이나 신규 개발을 유발하는 등 정책적 비효율로 이어질 우려가 있다. 따라서 현장의 운영 여건과 실제 처리 능력을 반영한 합리적이고 현실적인 점유율 기준 마련이 시급하다.

실제 사례로, 국내 무역항의 한 기타광석 부두는 이러한 문제점을 잘 보여준다. 2019년 하역능력 산정 당시 연평균 물동량은 약 1,000만 톤으로 기록되었으나, 이는 2013년 산정된 하역능력 약 160만 톤, 2019년 산정된 하역능력 약 400만 톤과 비교할 때 약 600만 톤에 달하는 괴리를 보였다(해양수산부, 2020). 이처럼 비컨테이너 부두의 특성을 충분히 반영하지 않은 획일적 기준 적용은 실제 물동량과 산정된 하역능력 간에 상당한 차이를 발생시켜, 항만 개발 계획과 정책 실행 과정에서 불일치를 야기할 수 있음을 시사한다.

이상의 내용을 종합하면, 한국 경제의 높은 대외무역 의존도와 해상운송 중심의 교역 구조 속에서 항만은 국가 공급망 안정성을 좌우하는 핵심 인프라로 기능하고 있다. 특히 비컨테이너 화물은 에너지, 원자재, 식량 등 경제안보와 직결된 품목이 많음에도 불구하고, 현재의 항만 하역능력 산정 방식은 컨테이너 터미널 중심의 기준을 그대로 적용하는 한계가 존재한다. 이러한 기준은 비컨테이너 부두의 운영 특성과 화물 특성을 충분히 반영하지 못해 하역능력 산정 결과와 실제 운영 현황과의 괴리를 초래하고, 나아가 항만 개발 계획과 정책 집행의 정합성을 저해할 가능성이 크다. 따라서

향후 항만 개발의 시기와 규모를 합리적으로 결정하기 위해서는 컨테이너와 구별되는 비컨테이너 부두에 적합한 새로운 적정 점유율 기준을 마련하는 것이 필수적이다.

2. 연구의 목적

본 연구의 목적은 비컨테이너 부두의 운영 현실과 화물 특성을 반영한 새로운 적정 점유율 기준을 정립하여, 항만 하역능력 산정의 현실성과 타당성을 높이는 데 있다. 기존의 컨테이너 중심 점유율 기준은 비컨테이너 부두의 물리적·운영적 특수성을 충분히 반영하지 못해 실제 처리능력과 산정 결과 간 괴리를 초래해 왔다. 이러한 문제의식을 바탕으로 본 연구는 다음의 세 가지 목표를 갖는다.

첫째, 비컨테이너 부두의 특성을 반영한 적정 점유율 기준을 산정한다. 주요 비컨테이너 화물의 성격과 선박 입항·운항 패턴, 장치·저장 방식, 체선 허용 범위 등을 고려하여 컨테이너와 구별되는 선석·장치장 점유율의 적정 수준을 규정한다. 이를 통해 비컨테이너 부두의 하역능력 산정에서 발생해 온 구조적 왜곡을 줄이고, 부두 기능·화물 유형별로 현실적인 기준선을 제시한다.

둘째, 적정 점유율의 적용 방안을 제시한다. 비컨테이너 부두는 취급 화물과 운영 방식이 다양하므로, 단일 수치를 일괄 적용하는 방식은 부적절하다. 본 연구는 부두 유형(탱크/사일로형, 일반화물, 자동차 등), 운영 주체(민간/공공), 부두 기능(단일/복합) 등 조건을 반영해 점유율을 차등 적용할 수 있는 운영 지침(가이드라인)과 판단 기준을 마련한다. 이는 각 항만이 자체 여건에 맞게 점유율을 선택·조정할 수 있도록 돕는 적용 프레임워크를 제공하고자 한다.

셋째, 정책적 활용의 기반을 마련한다. 새롭게 정립된 기준과 적용 지침이 항만기본계획 및 항만 개발 타당성 검토에 직접 연계될 수 있도록 항만 개발 정책에 반영 가능한 형식으로 제시한다. 이를 통해 개발 시기·규모 결정의 합리성을 높이고, 국가 공급망 안정성 확보와 항만 인프라 투자 우선순위 설정에 활용될 수 있는 근거 체계를 구축을 목표로 한다.

3. 기대 효과 및 활용 방안

본 연구에서 마련한 비컨테이너 부두의 새로운 적정 점유율 기준은 정책적·경제적·운영적 측면에서 다양한 기대효과를 창출할 수 있으며, 향후 항만개발 기본계획 수립과 항만 정책 수립에 폭넓게 활용될 수 있다.

우선, 정책적 측면에서 본 연구의 성과는 항만 개발계획과 평가의 현실성을 제고하는 데 기여할 것으로 기대된다. 현재 비컨테이너 항만시설 하역능력 산정 시 적용되는 점유율 기준은 컨테이너 부두에 맞추어 설정된 것으로, 선석 수에 따라 40%에서 60%까지 이용률을 허용하고 있다. 그러나 이러한 획일적 기준은 비컨테이너 화물의 특성을 반영하지 못하여 실제 처리능력과 산정치 간 괴리를 발생시킬 가능성이 있다. 본 연구는 이러한 왜곡을 시정하고 화물 유형별로 적정 점유율을 재정립함으로써 정책 수립의 근거를 한층 현실화할 수 있다. 새롭게 정립된 기준은 제5차 전국항만기본계획 수립 과정에서 하역능력 산정의 근거로 활용될 수 있으며, 항만개발사업 타당성 검토 지침에도 반영되어 보다 정밀한 투자 판단을 지원할 것이다. 이를 통해 항만별 기능과 화물 특성에 부합하는 맞춤형 용량계획이 가능해지고, 항만 기본계획 및 항만시설 투자계획의 합리성과 신뢰성이 제고될 것으로 기대된다. 또한 국가 공급망 안정화 전략과 연계하여 경제안보 품목의 원활한 수출입을 정책적으로 뒷받침하는 효과도 확보할 수 있다.

경제적 측면에서는 항만 인프라 투자 효율성과 물류비용 절감 효과가 예상된다. 점유율 기준이 현실화되면 항만개발 시기의 최적화가 가능해져 수요에 비해 이른 시점의 과잉투자를 방지하는 동시에 필요한 시기에 적기 투자가 이루어질 수 있다. 이는 한정된 예산을 효율적으로 활용하여 항만 인프라 투자 우선순위를 합리적으로 결정하는 데 기여한다. 예컨대 기존 기준에서 과소평가된 부두는 적기 투자 시기를 놓쳐 선박 대기과 지체 비용을 유발할 수 있는데, 새로운 기준은 이러한 문제를 사전에 방지할 수 있다. 항만 혼잡으로 인한 체선 비용 증가는 선사와 화주에게 부담을 전가하고 나아가 소비자 물가 상승으로 이어질 수 있으나, 적정 점유율 기준의 도입은 혼잡을 선제적으로 완화함으로써 국민경제 전반의 비용 부담을 줄이는 효과를 가진다. 동시에 불필요한 시설 과잉 건설을 방지하여 투자 대비 편익을 극대화할 수 있으며, 결과적으로 항만과 물류 부문의 생산성 향상과 비용 절감을 통해 국가 경제적 편익과 수출입 경쟁력을 강화할 수 있을 것이다.

마지막으로, 운영적 측면에서 새로운 기준은 항만 서비스 수준을 높이고 시설 운영의 효율성을 개선하는 데 기여할 수 있다. 컨테이너 터미널은 일반적으로 장치장 이용률이 60% 내외일 때 항만이 원활히 운영되며, 80%를 초과하면 혼잡이 심화되는 것으로 알려져 있다. 본 연구에서 제시하는 점유율 기준은 화물별 특성에 따라 이러한 임계점을 세분화함으로써 일부 부두의 장치장 점유율은 60% 수준으로, 특정 부두는 70~80% 수준까지 증가시켜도 무리 없이 운영할 수 있다면 부두의 특성에 따른 맞춤형 가이드 라인을 제공할 수 있다. 이를 통해 항만 운영자는 현장 여건에 맞는 목표 이용률을 설정해 시설을 최대한 활용하면서도 과도한 혼잡을 방지할 수 있다. 결과적으로 선박 평균 대기시간이 단축되고 하역 작업의 연속성이 개선되며 서비스 수준이 전반적으로 향상된다. 특히 비컨테이너 부두의 경우, 화물 입출항 패턴과 장치장 체류기간이 컨테이너와 다르므로 맞춤형 점유

율을 적용할 경우 하역 프로세스 최적화와 처리능력 산정의 정확성이 크게 개선된다. 이는 항만 이용자인 선사와 화주에게 신뢰성을 높여주고 국내 항만의 경쟁력 강화로 이어질 것이다. 더 나아가 운영 효율 개선을 통해 물류 흐름이 가속화되면 국내 제조업과 유통업 등 산업 전반의 공급망 관리 효율성 향상에도 기여할 수 있다.

이와 같이, 본 연구에서 제시하는 비컨테이너 부두의 새로운 적정 점유율 기준은 항만 정책 수립, 인프라 투자 판단, 현장 운영 전반에 걸쳐 활용 가능하며, 결과적으로 항만 개발과 운영의 패러다임 전환을 유도할 수 있다. 이를 통해 항만 부문의 지속 가능한 발전을 뒷받침하고, 국가 물류 경쟁력 강화에 기여할 수 있는 견고한 기반을 마련하는 것이 본 연구의 기대 효과이자 활용방안이라 할 수 있다.

제2절 연구의 내용 및 방법

1. 연구 내용

1) 비컨테이너 부두의 적정 선석 점유율 기준 정립

현재 국내 항만에서 통용되는 선석 점유율 기준은 컨테이너 터미널의 운영 특성을 전제로 마련된 것으로, 비컨테이너 부두의 다양한 운영 구조와 하역 특성을 충분히 반영하지 못하고 있다. 컨테이너 부두는 정기선 위주의 선박 입출항 패턴과 고정된 스케줄, 표준화된 하역 장비와 인력 운영을 기반으로 하고 있어 선석 점유율을 비교적 일관되게 관리할 수 있다. 반면, 비컨테이너 부두는 곡물, 유류, 철광석, 시멘트, 일반화물 등 화물 유형별

특성에 따라 선박의 입출항 패턴이 불규칙하며, 정기선 취항보다는 부정기선 운항 비중이 높다. 또한 상하역 방식 역시 컨테이너의 기계화·표준화 작업과 달리 벌크 화물의 연속식 하역, 일반화물의 단속식 작업, 액체 화물의 파이프라인 이송 등으로 세분화되어 있어 선석 이용률과 회전율에 큰 차이가 발생한다.

이러한 특성은 체선 발생 가능성과 허용 가능한 대기 수준에서도 차이를 발생시킨다. UNCTAD(1985)는 선석 3개를 보유한 컨테이너 터미널의 경우 W/S(Waiting Time / Service Time) 비율을 0.10~0.14 수준으로, 일반화물터미널의 경우 0.13~0.22 수준으로 제시하고 있으며, 이는 비컨테이너 부두가 컨테이너 부두보다 상대적으로 높은 대기율을 수용할 수 있음을 의미한다. 본 연구는 이러한 국제 기준을 토대로 컨테이너와 비컨테이너 부두의 선박 입출항 패턴과 하역 특성을 비교·분석하고, 실제 운영 자료를 활용하여 비컨테이너 부두의 적정 선석 점유율을 도출하고자 한다. 이를 통해 현재 컨테이너 중심으로 적용되고 있는 획일적인 점유율 기준을 보완하고, 비컨테이너 부두의 특수성을 반영한 합리적이고 차별화된 선석 점유율 기준을 제시하고자 한다.

2) 비컨테이너 부두의 적정 장치장 점유율 기준 정립

비컨테이너 부두의 장치장은 컨테이너 부두와는 장치 방법과 공간적 특성에서 뚜렷한 차이를 보인다. 컨테이너 장치장이 표준화된 컨테이너 박스를 단위로 기계화·자동화된 장치가 가능하고, 일정한 회전율을 유지할 수 있는 구조인 반면, 비컨테이너 장치장은 화물의 유형과 성상에 따라 장치 방식이 크게 달라진다. 곡물은 대형 사일로나 저장창고를 통해 보관되며, 기타광석·석탄과 같은 건화물은 야적장에 대량으로 적치되는 경우가 많고, 액체 화물은 전용 탱크 시설을 통해 저장된다. 또한 일반화물은 화물의 크

기와 형태에 따라 장치 공간과 적치 방식이 달라지며, 장치 기간 역시 품목별 수출입 패턴이나 유통 경로에 따라 상이하게 나타난다.

이처럼 비컨테이너 화물의 장치장은 단순히 저장 공간의 확보 차원을 넘어, 수출입 시기와 물류 특성을 고려한 운영이 필수적이다. 곡물은 계절적 요인에 따라 대량으로 유입된 후 장기간 보관될 수 있고, 유류나 액체화물은 정기적·연속적으로 반출입되며, 철광석과 같은 원자재는 대량 수입 후 점진적으로 내륙으로 이송되는 등 화물별로 장치장 활용 패턴이 상이하다. 따라서 비컨테이너 부두의 장치장 점유율을 일률적으로 적용하는 것은 한계가 있으며, 품목별·운영 특성별로 구분된 적정 점유율 기준을 마련할 필요가 있다.

특히 항만 운영의 본질적 핵심은 안벽에 있으며, 장치장은 어디까지나 안벽의 하역 효율성을 보조하는 기능을 수행해야 한다. 장치장의 점유율이 과도하게 높아 화물 반출입이 지연되거나 하역된 화물이 제때 처리되지 못하면, 이는 곧 안벽의 생산성 저하로 이어지게 된다. 따라서 본 연구는 “장치장은 안벽의 하역 기능에 지장을 주지 않는 범위 내에서 운영되어야 한다”는 원칙을 바탕으로, 비컨테이너 화물의 특성·품목별 장치 방식·수출입 시기 등을 종합적으로 고려하여 적정 장치장 점유율 기준을 제시하고자 한다. 이를 통해 장치장의 활용 효율을 높이면서도 안벽 운영의 안정성과 생산성을 동시에 보장할 수 있는 합리적인 기준을 마련하고자 한다.

3) 적정 점유율 산정 및 활용 가이드라인 제시

본 연구는 앞서 도출된 적정 선석 점유율과 장치장 점유율, 그리고 하역 형태 및 항만 유형별 차등화 기준을 종합하여, 비컨테이너 부두의 하역능력을 합리적으로 산정할 수 있는 가이드라인을 제시하고자 한다. 이를 통해 항만 운영자는 매년 또는 정기적으로 핵심 지표인 선석 점유율과 장치

장 점유율을 산정할 수 있으며, 항만별·기능별·품목별 특성에 따른 적정 기준을 일관되게 적용할 수 있다.

제시된 가이드라인은 하역능력 평가 결과를 구체적으로 제시할 수 있는 절차적·방법론적 근거를 제공하며, 이를 기반으로 항만계획 수립, 시설 확충 여부 검토, 투자 우선순위 결정 등 정책적 의사결정에 활용될 수 있다. 나아가 이러한 기준을 공식 지침이나 운영 관리 매뉴얼에 반영함으로써 비컨테이너 부두의 하역능력 평가 체계 전반의 신뢰성을 높이고 운영 효율화를 지원할 수 있을 것이다.

2. 연구 방법

1) 연구대상 분류 및 데이터 수집

본 연구는 비컨테이너 부두의 적정 점유율 기준 정립을 위한 이론적 기반을 마련하기 위하여 우선 국내외 문헌 조사를 수행하고자 한다. 기존 연구는 주로 컨테이너 터미널을 대상으로 한 선석 점유율 및 서비스 수준 분석에 집중되어 있어, 비컨테이너 부두에 특화된 연구 성과는 상대적으로 제한적이다. 이에 따라 UNCTAD, PIANC 등 국제기구 보고서와 주요 항만 선진국의 정책 사례를 폭넓게 검토하여, 비컨테이너 부두의 특성을 반영할 수 있는 기준 마련의 이론적 타당성을 확보한다. 또한 국내 항만 개발 계획 및 용량 산정 지침에서 제시하는 점유율 관련 규정과 실제 적용 현황을 검토함으로써 현행 제도의 한계와 개선 필요성을 도출한다.

아울러 항만 운영 전문가 및 관계 기관 자문을 통해 현장의 목소리를 반영하고자 한다. 비컨테이너 부두 운영자는 화물 특성에 따라 체선 발생 양상, 장치장 활용 방식, 하역 장비 운영 등에서 다양한 애로사항과 요구를

가지고 있다. 따라서 현장 전문가와 관계 기관으로부터 의견을 수렴하여 연구 모형의 기본 가정과 분석 틀의 현실 적합성을 점검한다. 이를 통해 도출된 기준이 단순한 이론적 제안에 머무르지 않고, 실제 항만 운영에 적용 가능한 실효성을 갖출 수 있도록 한다.

2) 기초 데이터 수집 및 분석

본 연구는 비컨테이너 부두의 적정 점유율 기준을 정립하기 위해 체계적인 데이터 수집과 기초 분석을 수행하고자 한다. 우선 연구 대상 부두를 화물 유형과 하역 방식에 따라 세분화한다. 벌크 화물 부두, RORO 부두, 사일로 시설을 포함한 특수 설비 부두 등으로 유형을 구분하고, 각 부두의 운영 현황을 반영할 수 있는 기초 자료를 확보한다. 주요 수집 항목은 선박 입출항 횟수, 처리 물동량, 접안 및 하역 시간, 장치장 점유 현황 등으로, 이를 통해 부두별 운영 특성을 정량적으로 파악할 수 있는 기반을 마련한다.

특히 데이터 수집 과정에서는 Port-MIS(해운항만물류정보시스템) 자료를 활용하였다. Port-MIS를 통해 안벽에서 발생하는 선박 입출항 이력, 상·하역 처리 실적, 수출입 화물 및 양·적하 데이터 등을 확보하여, 부두 운영의 실제 흐름을 정밀하게 반영하였다. 또한 전국 항만에서 적용되는 항만시설운영세칙을 분석하여 장치장의 면적, 시설 규모, 상재하중 및 화물의 평균 체류시간 등 장치장 운영 특성과 관련된 자료를 수집하였다. 이를 통해 단순히 선석 운영 데이터뿐만 아니라 장치장 차원의 운영 여건까지 함께 고려할 수 있는 다층적 자료 기반을 마련하였다.

수집된 자료를 바탕으로 비컨테이너 부두의 입출항 패턴과 선박 체류시간 분포를 분석한다. 선박의 접안 후 하역 완료까지 소요되는 시간과 화물별 처리 속도의 특성을 통계적으로 검토하여, 현행 부두 운영의 효율성과 병목 가능성을 진단한다. 또한 장치장 점유 현황과 반출입 주기를 분석함

으로써 부두 유형과 화물 특성에 따른 운영 차이를 구체적으로 규명한다. 이러한 기초 분석 결과는 대기행렬 모형 설계와 시뮬레이션 모형 구축의 입력값으로 활용되며, 이후 단계에서 적정 점유율 기준을 산정하는 데 필요한 실증적 근거를 제공한다.

연구 대상인 비컨테이너 부두를 화물 및 하역 방식별(벌크 화물 부두, RORO 부두, 사일로 시설 등)로 분류하고, 각 부두의 운영 현황 자료(입출항 횟수, 처리 물동량, 접안 및 하역 시간 등)를 체계적으로 수집한다. 이를 통해 비컨테이너 부두의 하역 특성과 운영 실태를 정확히 파악할 수 있는 기초자료를 마련한다.

3) 대기행렬 이론 기반 정량적 모델링

본 연구는 비컨테이너 부두의 적정 점유율 기준을 도출하기 위해 대기행렬 이론(Queueing Theory)에 기반한 정량적 모델링을 수행하고자 한다. 비컨테이너 선박의 입출항 및 하역 특성은 화물의 종류와 하역 방식에 따라 불규칙성이 크고, 선박별 체류시간 역시 큰 편차를 보인다. 따라서 단순한 평균값에 의존한 분석보다는 확률적 접근을 통해 점유율과 서비스 수준의 관계를 규명할 필요가 있다.

이를 위해 본 연구는 M/M/s, M/G/s 등 다중 서버 대기행렬 모형을 적용하여 선석과 장치장의 점유율이 선박 대기시간과 시스템 효율성에 미치는 영향을 분석한다. 선석은 서버로, 입항 선박은 고객으로 이상화하여 도착률(λ)과 서비스율(μ)을 입력값으로 설정하고, Port-MIS에서 수집한 선박 입출항 기록, 접안 시간, 상·하역 작업 시간 자료를 활용하여 모형을 구체화한다. 이를 통해 평균 대기시간, 체선 발생 확률, W/S 비율(대기시간/서비스시간) 등의 성과 지표를 산출하고, 목표 서비스 수준에 대응하는 적정 점유율을 수리적으로 제시한다.

또한 장치장 역시 화물의 입·반출 빈도와 체류시간 분포를 반영하여 대기행렬 모형에 포함한다. 항만시설운영세척에서 확인된 장치장의 면적과 운영 기준, Port-MIS 기반의 화물 반출입·체류 데이터 등을 결합하여, 장치장의 점유율 변화가 안벽 하역 효율성에 미치는 영향을 분석한다. 특히 곡물 사일로의 연속 처리, RORO 차량의 단속 처리, 액체 화물의 파이프라인 이송 등 하역 형태별 특성을 모형 변수에 반영함으로써 화물 유형별로 차별화된 적정 점유율 산정이 가능하도록 설계한다.

이러한 대기행렬 기반 분석은 비컨테이너 부두 운영의 불확실성을 구조적으로 설명할 수 있는 틀을 제공하며, 이후 시뮬레이션 분석과 결합하여 현실성을 보완하는 데 기초 자료로 활용될 것이다.

4) 시뮬레이션 모형 구축 및 검증

본 연구는 대기행렬 이론을 통해 도출된 분석 결과를 보완하고, 실제 운영 상황과의 적합성을 높이기 위해 시뮬레이션 기법을 활용한다. 비컨테이너 부두는 화물의 종류와 하역 방식, 선박의 입출항 패턴이 다양하고 불규칙적이기 때문에, 단순 수리적 모형만으로는 운영 실태를 충분히 설명하기 어렵다. 따라서 시뮬레이션을 통해 실제 운영 환경을 가상으로 재현하고, 다양한 시나리오에서 점유율 변화를 실험함으로써 도출된 기준의 타당성과 현실성을 검증하고자 한다.

시뮬레이션 모형은 Port-MIS에서 확보한 선박 입출항 기록, 접안 시간, 상·하역 처리 자료를 기반으로 설계된다. 또한 항만시설운영세척에서 제공하는 장치장 면적, 운영 기준, 화물별 체류시간 등을 반영하여 안벽과 장치장이 연계된 종합적 운영 흐름을 구현한다. 모형은 일반 벌크 화물의 연속 하역, RORO 선박의 차량 상·하역, 액체화물의 펌프 이송, 사일로 시설을 활용한 저장 및 처리 등 다양한 하역 형태를 개념적으로 시뮬레이션할 수

있도록 구성한다. 이를 통해 실제 부두에서 발생하는 선박 대기, 장치장 적체, 반출입 지연 등 복합적인 운영 상황을 모의할 수 있다.

시뮬레이션은 여러 운영 시나리오에서 반복적으로 수행되며, 선석 수 변화, 선박 도착률 변화, 화물 처리속도 변동, 장치장 회전율 차이 등이 주요 변수로 설정된다. 이를 통해 선박 대기시간, 처리 물동량, 장치장 점유율, 서비스 수준(W/S 비율) 등 핵심 성과 지표가 어떻게 달라지는지를 비교 분석한다. 예를 들어, 특정 부두에서 선석 점유율이 70%를 초과할 경우 체선 발생 가능성이 얼마나 증가하는지, 장치장 점유율이 일정 수준을 넘어설 때 안벽 하역 효율성이 얼마나 저하되는지를 정량적으로 검증한다.

또한 시뮬레이션 결과는 앞서 수행한 대기행렬 모형의 분석값과 비교·보완하여 활용된다. 수리적 모형이 제공하는 이론적 기준과 시뮬레이션이 보여주는 실제 운영 시나리오 간의 차이를 분석함으로써, 적정 점유율 기준이 단순 계산값에 그치지 않고 실질적 정책 지표로서 기능할 수 있도록 한다. 특히 시뮬레이션을 통해 유형별·품목별 적정 점유율을 세분화할 수 있으며, 이는 지역별·부두별 정책 적용에 있어 보다 현실적인 기준을 마련하는 데 기여할 것이다.

이와 같은 시뮬레이션 검증 과정을 통해 본 연구는 비컨테이너 부두의 운영 특성을 정밀하게 반영하고, 제안된 적정 점유율 기준이 실제 항만 운영에서 활용 가능한 수준의 타당성과 신뢰성을 갖추도록 한다.

5) 적정 점유율 기준 적용 가이드라인 정의

본 연구는 앞선 문헌 조사, 데이터 수집 및 분석, 대기행렬 이론 모형, 시뮬레이션 검증을 통해 비컨테이너 부두의 적정 점유율 기준을 종합적으로 도출하고자 한다. 기존의 컨테이너 중심 점유율 기준은 비컨테이너 부

두의 특수성을 반영하지 못하여 실제 운영 실태와 괴리가 발생해 왔으며, 이에 따라 본 연구는 비컨테이너 화물의 하역 방식, 선박 입출항 패턴, 장치장 운영 방식 등 다양한 요인을 반영한 새로운 기준을 제시한다.

도출된 적정 점유율 기준은 단일 수치로 제시되기보다는 부두 유형별, 화물 품목별, 운영 특성별로 세분화하여 제공된다. 예를 들어, 곡물이나 유류와 같이 연속적인 처리 특성을 지닌 화물은 상대적으로 높은 점유율을 허용할 수 있는 반면, 일반화물이나 복합 부두는 변동성과 불확실성이 크므로 보다 보수적인 점유율을 적용하는 것이 타당하다. 이와 같이 차별화된 기준은 항만 운영의 현실성을 높이는 동시에 서비스 수준의 안정성을 보장할 수 있다.

또한 본 연구는 적정 점유율을 산정하고 이를 활용할 수 있는 가이드라인을 함께 제시한다. 가이드라인은 첫째, 매년 혹은 정기적으로 선석 점유율과 장치장 점유율을 산정할 수 있는 절차적 프레임워크를 포함한다. Port-MIS 기반의 운영 데이터를 주기적으로 분석하여 최신화된 점유율 지표를 도출하고, 이를 항만별·기능별·품목별로 공표함으로써 점유율 기준의 투명성과 활용도를 높인다. 둘째, 산정된 점유율 기준을 항만 개발계획의 용량 산정, 시설 확충 여부 검토, 운영 효율성 제고를 위한 정책적 의사결정에 직접 반영할 수 있는 활용 방안을 제안한다. 셋째, 점유율 기준을 장기적으로 관리·운영하기 위해 관계 기관 간 협력 체계를 구축하고, 필요시 전문가 검증 절차를 거쳐 기준을 보완하는 방안도 포함한다.

궁극적으로 본 연구가 제시하는 적정 점유율 기준과 가이드라인은 비컨테이너 부두 하역능력 평가의 신뢰성을 제고하고, 항만 운영 효율화와 정책적 합리성을 동시에 확보하는 데 기여할 것이다. 이를 통해 향후 항만계획 수립과 투자 우선순위 결정에서 보다 정밀하고 실효성 있는 판단 근거가 마련될 것으로 기대된다.

3. 연구 추진 체계

본 연구는 비컨테이너 부두의 적정 점유율 기준을 과학적으로 도출하고 이를 정책적으로 활용할 수 있는 가이드라인으로 정립하기 위해 3단계 추진 체계를 설정하였다. 각 단계는 개념 정립-기준(안) 산정-실증 검증의 흐름을 따르며, 정성적 분석(문헌 조사, 전문가 자문)과 정량적 분석(대기행렬 이론, 시뮬레이션)을 병행하는 방식으로 구성된다.

1단계에서는 국내외 선행연구와 기존 제도의 검토를 통해 비컨테이너 부두의 적정 점유율(선석, 장치장)의 개념을 정의하고, 그 적용 타당성을 고찰한다. 이 과정에서 컨테이너 부두와 비컨테이너 부두의 입출항 패턴, 정기선 취항 여부, 하역 방식 차이를 반영하여 기존 컨테이너 중심 기준을 적용하는 데 따른 한계를 도출한다. 또한 UNCTAD(1985)가 제시한 W/S(대기/서비스) 비율(컨테이너 0.10~0.14, 일반화물 0.13~0.22)과 Agerschou(2015)가 제시한 W/S 비율(컨테이너 0.1, 일반화물 0.2)을 참조하여, 비컨테이너 부두에서 허용 가능한 서비스 수준을 설정한다. 아울러 Port-MIS를 활용하여 선박 입출항, 접안 및 하역 시간, 수출입·양·적하 실적을 확보하고, 전국 항만의 항만시설운영세칙을 검토하여 장치장 면적, 시설 특성, 화물 체류시간 등 운영 지표를 정리함으로써 후속 분석을 위한 기초 자료를 마련한다.

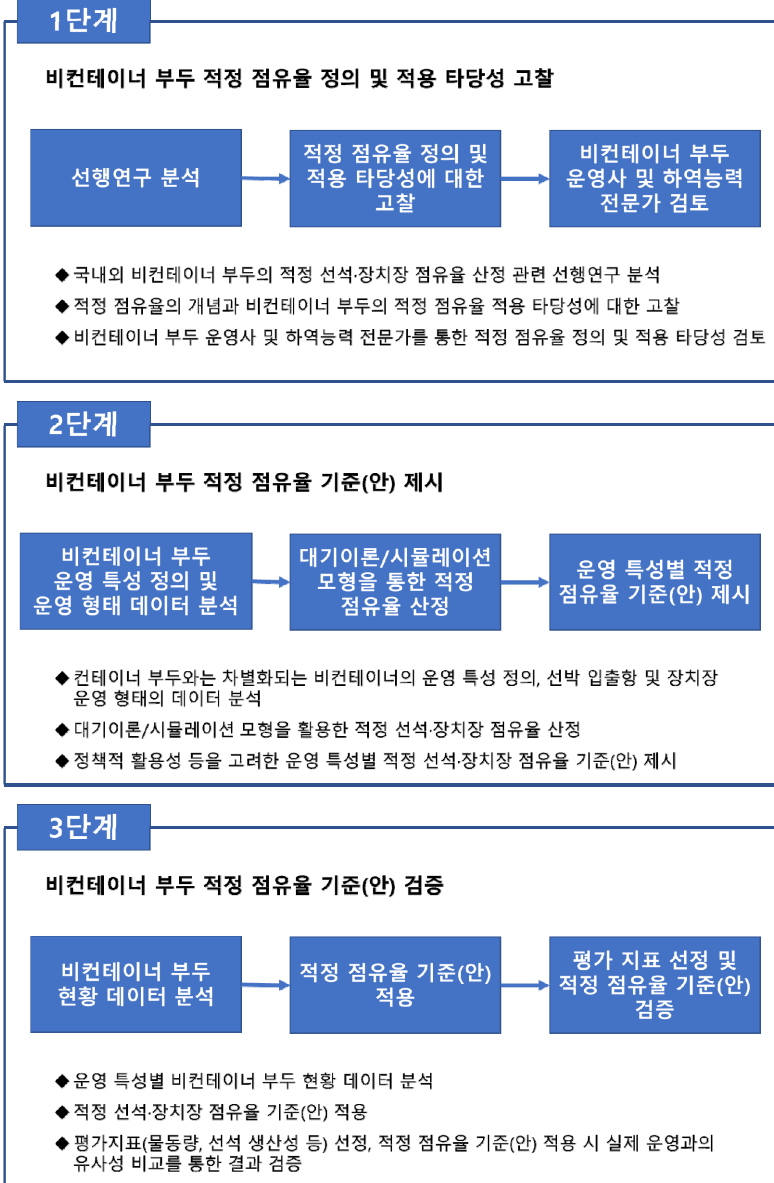
2단계에서는 대기행렬 이론과 시뮬레이션 기법을 활용하여 적정 점유율 기준(안)을 산정한다. 대기행렬 모형(M/M/s, M/G/s)을 적용하여 선석과 장치장의 점유율 변화가 선박 대기시간, 체선 발생 확률, W/S 비율에 미치는 영향을 분석한다. 이때 Port-MIS와 항만시설운영세칙 기반 자료를 활용하여 도착률, 서비스 시간 분포, 화물 체류 특성 등을 반영하며, 곡물·유류와 같은 연속 처리형 화물과 일반화물·RORO와 같은 단속 처리형 화물의 특성을 구분하여 모형에 반영한다. 또한 시뮬레이션을 통해 실제 운영

을 가상 재현하여 다양한 시나리오(선석 수 변화, 도착률 변동, 장치장 회전을 차이 등)를 실험하고, 이론적 결과와 비교·보완함으로써 현실성이 높은 기준(안)을 제시한다.

3단계에서는 산정된 적정 점유율 기준(안)의 적용성과 타당성을 검증한다. 운영 특성이 상이한 비컨테이너 부두의 실제 데이터를 대상으로 기준(안)을 적용하고, 물동량, 생산성, W/S, 장치장 점유율 등의 평가지표를 활용하여 실제 운영 결과와 비교·분석한다. 이를 통해 기준(안)의 신뢰성과 정책 적용 가능성을 평가하고, 필요시 관계 기관 자문을 통해 현실성을 보완한다. 마지막으로 적정 점유율 산정·활용을 위한 가이드라인을 제시한다. 가이드라인에는 매년 또는 정기적으로 점유율을 산정·공표하기 위한 절차적 프레임워크, 항만별·기능별·품목별 산정 결과의 제시 방식, 항만개발계획·용량 산정·투자 우선순위 결정 등 정책적 활용 방안이 포함된다.

종합하면, 본 연구의 추진 체계는 문헌·현장 기반의 정성적 진단과 대기행렬·시뮬레이션 기반의 정량적 분석을 단계적으로 통합하여, 비컨테이너 부두의 적정 점유율 기준을 과학적·정책적으로 정립하는 것을 목표로 한다. 이를 통해 향후 비컨테이너 부두의 하역능력 산정과 항만정책 수립에 활용 가능한 실효성 높은 기준을 마련할 수 있을 것으로 기대된다. 결과적으로 본 연구는 정성적 진단과 정량적 분석을 단계적으로 통합하여 비컨테이너 부두의 하역능력 산정의 과학적·정책적 기반을 마련하는 것을 목표로 하며, <그림 1-7>은 이러한 목표를 체계적으로 실현하기 위한 구체적인 추진 절차를 제시하고 있다.

〈그림 1-6〉 연구 추진 체계



자료: 저자 작성

제3절 선행연구 검토와 차별성

항만의 하역능력 및 적정 점유율 관한 선행연구는 항만 운영의 효율성, 투자 경제성, 서비스 안정성 확보 등을 위한 다양한 목적을 바탕으로 수행되어 왔다. 다만 항만 유형 중 비컨테이너 부두는 선박 회전율, 하역 장비 특성, 화물 특성 등에서 컨테이너터미널과 뚜렷한 차이를 보임에도 불구하고, 대부분의 기존 연구는 컨테이너 항만 중심으로 구성되어 있는 경우가 많았다. 이에 따라 본 절에서는 비컨테이너 연구 외 컨테이너를 포함하여 주요 항만 터미널의 적정 점유율에 관한 주요 선행연구들을 주요 목적 및 방법론 중심으로 재분류하여 검토하고, 향후 연구의 방향성을 도출하고자 한다.

1. 선행연구 검토

1) 항만 서비스 수준 및 기준 마련 연구

항만 서비스 수준을 정량화하고 이를 통해 적정 점유율 기준을 제시하려는 시도는 항만 계획의 초창기부터 이어져 왔다. 대표적인 연구는 UNCTAD(1973)로 항만 하역능력 산정을 위한 대기시간 산출표를 제시하여 하역능력 산정의 근간이 되는 이론을 제시한 데 의의가 있으며, W/S 비율이 30%를 초과하지 않도록 설정할 것을 권고하였다. 이후 UNCTAD(1985)에서는 선박대기 및 하역시간을 기반으로 대기이론을 적용한 경제성 분석을 통해 컨테이너 및 일반화물 부두의 항만서비스 수준 및 관련 평가지표에 대한 체계적인 가이드라인을 제시하였으며, 이를 실증적으로 평가하여 현실 적용의 한계점을 보완하고 보다 정교한 기준을 제시하였다.

이러한 선행연구는 항만계획 초기에 참조 가능한 정량적 지표와 기준을 제공하고, 부두설계·운영계획 수립 시 혼잡을 방지하는 데 실질적 기초자료를 마련하였다는 점에서 중요한 의의를 갖는다. 다만 대부분의 기준이 컨테이너터미널 중심으로 설정되어 있고, 벌크나 액체화물 등 비컨테이너 부두의 물류 특성과 차이를 반영하지 못한 채 일률적으로 적용되고 있으며, 제시된 기준은 1970~90년대의 물류 환경을 기반으로 하고 있어 최근 항만의 자동화, 선박의 대형화 등 항만 운영 환경 변화를 충분히 반영하지 못하고 있다는 한계점이 존재한다.

국내외에서도 선석 점유율과 선박 대기 수준을 바탕으로 항만 서비스 수준을 평가하고 개선하기 위한 연구가 지속되었다. 김창곤(2000)은 선석 활용도와 대기시간 등 컨테이너 터미널 서비스 수준 지표를 분석하였으며, 박병인·배종욱·박상준(2009), 이기열 외(2015)는 선박 대기율 및 대기 비용을 활용해 항만 서비스 수준을 평가하였다. Agreschou(2015)는 컨테이너 터미널의 목표 하역능력 구현을 위한 방안을 시뮬레이션 분석을 통해 도출하고자 하였으며, 선박도착률, 선박크기 등 서비스 수준과 하역능력에 미치는 요소들을 선정하고 운영 효율 개선 방안을 제시하였다. 또한 시뮬레이션 분석 및 경제성 분석을 통해 컨테이너 터미널과 비컨테이너 부두의 최적 서비스 수준과 적정 하역능력을 도출하는 연구도 수행되었다(박상국·박남규, 2013; 박상국, 2014; 박상국, 2016).

2) 적정 하역능력 및 점유율 산정 연구

항만 적정 하역능력과 부두 점유율을 정량적으로 산정하려는 데 목적을 둔 연구는 항만 건설 계획 및 투자 의사결정의 기준점을 도출하는 데 중점을 둔다. 이러한 연구들은 주로 대기이론, 경제성 분석, 효율성 평가 모형(DEA, OEE 등)을 활용하여 점유율 또는 처리능력을 정량화하며, 일부는

별크나 액체화물 등 비컨테이너터미널을 대상으로 적용 가능한 모델을 제시한다.

Madueke(2013)는 액체 터미널의 최적 운영 전략 도출을 위해 액체 화물 터미널의 운영효율을 DEA와 OEE 지표를 통해 평가하였으며, 장비 가동률 및 병목 발생 구간을 정량화함으로써 터미널의 효율성 개선을 위한 실증적 기준을 제시하였다. Chang et al.(2012)은 컨테이너터미널을 대상으로 대기이론과 시뮬레이션을 활용하여 적정 처리능력을 산정하고, 점유율이 선박의 체류시간과 비용 효율성에 미치는 영향을 분석하였다. 이를 통해 아시아 주요항만의 용량 산정 현황을 검토하고 국가 경제적 관점에서 최적 용량 산정 방안을 제시하였다. Bugri et al.(2011)은 시뮬레이션 모델을 통해 하역 장비의 수와 운영 방식에 따른 부두 점유율과 선박 대기시간의 관계를 정량적으로 평가하고, 점유율이 운영 효율성에 미치는 영향을 분석하였으며 대기이론 기반 설계방법론으로 모형을 검증하였다.

국내에서도 합리적인 항만 개발을 위해 적절한 하역능력을 산정하기 위한 연구들이 수행되었다. 한국해양수산개발원(2001)은 시뮬레이션 분석을 통해 UNCTAD의 적정 선석 점유율 산정 방법의 국내 적용이 타당한지 검증하고 국내 실정에 맞는 안벽 하역능력 산정을 위한 선박 대기시간 비율을 산정하였다. 송용석·남기찬·곽규석(2004)은 부산항 컨테이너 터미널의 안벽 크레인 수와 선석 점유율 재조정을 통해 안벽 하역능력을 현실화하여 재산정하고자 하였다. 또한 안태훈(2015)은 합리적인 항만 투자를 위해 컨테이너 터미널 적정 하역능력 산정 방법의 문제점을 분석하고, 적정 서비스 수준의 재검토와 선박 대기율의 실측 필요성을 제시했다. 한편 고용기·조정구·여택동(2011)은 비컨테이너부두 개발소요선석 추정모형을 개발하여 부산항의 일반화물부두 하역능력을 산정하고 개발소요선석을 산출하고자 하였다.

이러한 연구들은 점유율이나 하역능력을 정성적 판단이 아닌 정량화된 기준으로 제시함으로써, 항만 개발 또는 재개발 시 정책적·경제적 판단 기준으로 활용할 수 있다는 데 있다. 또한 최근 벌크 및 액체터미널을 대상으로 한 연구가 축적되고 있는 점도 의미가 있다. 다만 여전히 컨테이너터미널에 비해 상대적으로 연구의 수가 부족한 편이다.

3) 운영 최적화 기반 연구

정해진 하역능력 또는 공간 내에서 운영상의 효율을 최대화하고 혼잡을 완화하기 위한 전략 도출을 위해 적정 점유율을 주요 변수로 활용한 연구들은 대개 이산 이벤트 시뮬레이션, 시스템 다이내믹스, 인공신경망(ANN), 하이브리드 최적화 기법 등을 통해 다양한 운영 시나리오를 모의실험하며, 실시간 운영 조건 변화에 대한 대응전략 수립에 기여한다.

Kia, Shayan, & Ghotb(2002)는 시뮬레이션 모델링을 통해 부두의 점유율 수준을 변경하여 운영성과 차이를 비교하였으며, 선박-철도 연결 및 물류센터 활용을 통한 운영방식의 효과를 분석하였다. Netto, Botter, & Medina(2015)는 이산 이벤트 시뮬레이션을 통해 서비스 수준에 따른 항만 하역능력 변화를 분석하고, 병목구간 제거와 자원 재배치를 위한 전략적 시나리오 제시 및 자원 투입 우선순위를 제시하였다. 김창곤(2007)과 김창곤·장성용(2008)은 시뮬레이션을 통해 제철소 원료부두의 대형선 배선 비율이 증가함에 따른 선석 점유율 변화와 항만 및 선사 비용 변화를 분석하고, 효율적인 부두 운영을 위해 선석 건설 등 장기적인 투자에 대한 검토 필요성을 제시하였다. 또한 Dinu et al.(2017)은 다양한 화물 유형을 처리하는 다기능 항만터미널에서 저장공간 점유율과 체류시간을 주요 지표로 활용하여 병목 위치를 분석하였으며, 설비 및 인력 자원 재배치의 정책적 효과를 제시하였다. Heuvel(2019)은 건벌크터미널의 화물별 물류 흐름을

대기 이론 기반으로 모델링하고, 공간 운영 시뮬세이션을 통해 터미널 저장용량을 산정하였다. Roy, Scheinhardt, & van Ommeren(2023)은 액체 터미널 자원 간 상호작용이 터미널 운영 효율성 및 선박 체류 시간에 미치는 영향을 평가하고, 운영 최적화를 위한 전략을 제시하기 위해 액체 터미널의 하역설비, 저장탱크, 부두자원 간 상호작용을 유체흐름 기반 대기 모형으로 정량화하였다. 이를 통해 점유율이 과하게 높아지는 경우 체류시간 급증 등 병목이 발생함을 수치적으로 입증하였다. 또한 Wu & Peng(2013)은 홍콩항만의 하역능력 저하에 따른 문제점 분석을 위해 시물레이션 분석을 통해 선박 대기 및 바지선 운용에 따른 서비스 수준 저하 원인을 규명하고자 하였다.

이러한 연구는 실제 운영 조건하에서 병목을 줄이고 자원을 재배치하여 효율성과 서비스 품질을 동시에 개선할 수 있는 실용적 대안을 제공한다는 강점을 지니지만, 시물레이션은 입력 조건과 가정에 따라 결과가 달라지므로 결과 해석에 주의가 필요하다. 특히 비컨테이너터미널에서의 화물 특성(점성, 부피, 위험물 등)을 모델링에 반영하는 데는 여전히 한계가 있다.

2. 선행연구와의 차별성

기존 연구들은 컨테이너터미널 중심의 점유율 분석이나 특정 산업에 특화된 비컨테이너 부두 사례에 국한되어 있으며, 실제 항만 현장에서 다양하게 운영되고 있는 일반 비컨테이너 부두 전반을 대상으로 한 통합적 기준 설정 연구는 부족한 실정이다. 또한 대부분의 연구가 선석 점유율에 집중되어 있어 장치장(야드) 점유율이나 저장용량 등 공간 활용 측면의 종합적 분석이 부족했다. 이에 비해 본 연구는 다음과 같은 차별적 특징을 지닌다.

1) 연구 대상 및 범위의 확장

본 연구는 컨테이너, 액체화물, 자동차(RORO) 등 비컨테이너 부두 전체를 포괄적 대상으로 삼는다. 단일 화물이나 특정 산업 부두에 집중한 기존 연구와 달리, 본 연구는 정기선·비정기선 운항 체계, 연속하역기·사일로·RORO 방식 등 운영상의 다양성을 반영하여 유형별 적정 점유율 기준을 도출하는 데 목적을 둔다. 이를 통해 단순히 '부두당 평균 점유율'을 제시하는 수준을 넘어, 항만 현장의 실제 운영 특성에 기초한 정밀한 운영 기준을 제공하고자 한다.

2) 점유율 분석의 공간 확장

기존 선행연구들은 대부분 선석 점유율에만 초점을 맞추어 체선(선박 대기) 문제를 중심으로 분석하였다. Debjit et al.(2023)과 Heuvel(2019) 등이 일부 저장용량과 체류시간 간의 관계를 분석하였으나, 이외에 장치장(야드) 점유율을 체계적으로 고려한 연구는 매우 드물다. 본 연구는 부두 안벽 뿐만 아니라 장치장의 점유율까지 별도로 분석함으로써, 실제 운영에서 체선과 체화가 상호 연계되어 발생하는 문제를 종합적으로 진단하고자 한다. 이를 통해 공간적 병목구간의 원인을 구조적으로 파악하고, 효과적인 대응 전략을 마련할 수 있는 기반을 제공한다. 특히 장치장 점유율은 야드 회전율, 장비 가동률, 화물 체류시간 등과 직접적으로 연결되므로, 이를 반영한 분석은 항만 서비스 수준 향상과 투자 효율성 확보를 동시에 달성하기 위한 필수 요소라 할 수 있다.

3) 다각적·복합적 연구 방법론 적용

기존 연구들 통계 분석, 시뮬레이션, 대기이론 중 하나만 활용하거나, 특

정 조건에서의 결과를 도출하는 데 그쳤다. 본 연구는 문헌 연구, 대기행렬 모델, 시뮬레이션 기법을 병행함으로써, 분석의 이론적 타당성과 현실 적용 가능성을 동시에 확보한다. 대기행렬 이론은 점유율과 서비스 지표 간 정량적 관계를 정립하는 데 유용하며, 시뮬레이션 기법은 다양한 운영 조건 변화에 따른 처리능력, 혼잡도, 대기시간을 예측할 수 있다. 이에 단순 이론적 기준이 아닌 현실 적용성이 높은 기준을 제시할 수 있다.

4) 정성적 요소와 정량적 분석의 통합

비컨테이너 부두는 다루는 화물의 점성·위험성·부피 등으로 인해 운용 방식이 천차만별이며, 선형적 모델로는 이질적인 운영 상황을 충분히 설명하기 어렵다. 본 연구는 정량적 분석(대기모형, 시뮬레이션 등)에 더해, 정성적 요소(운영방식, 장비 구성, 인력 활용 등)를 통합적으로 분석하여, 현장의 운영 현실과 제약 조건을 고려한 실질적 기준을 제시한다. 이를 통해 실제 정책 수립자나 운영자들이 직관적으로 이해하고 적용할 수 있는 결과를 도출할 수 있다.

5) 정책·계획 수립을 위한 실용 지표 제시

기존 연구는 학술적 분석에 그치는 경우가 많았으나, 본 연구는 단순한 학술연구를 넘어 정책 실효성 확보를 목적으로 하며, 실제 적용 가능한 실용 지표 제고를 목표로 한다. 본 연구에서 산정하는 적정 점유율 기준은 국가 항만기본계획 수립, 부두 개발 타당성 평가, 민간 투자 유도 및 항만 혼잡 관리 등에 활용될 수 있다. 특히 화물 특성별 운영 기준과 공간 단위별 점유율 기준은 정책 평가의 정량 지표로 활용될 수 있으며, 항만 재개발 및 신항만 설계 시 투자 우선순위 결정에도 직접 기여할 수 있다.

〈표 1-4〉 본 연구와 선행연구와의 차별성 요약

구분	기존 선행연구	본 연구
연구 대상	• 컨테이너터미널 중심 또는 특정 산업 별크 부두에 한정	• 비컨테이너 부두 전반(건·액체별 크, 자동차 등)을 포괄
분석 공간	• 선석(안벽) 점유율 중심	• 선석과 장치장(야드) 점유율을 구 분·통합 분석
운영상 특성 반영	• 일부 연구에서 장비 또는 정기선 반영	• 운영방식, 선종, 장비 형태 등 정성 적 요소 전반 반영
분석 방법	• 통계분석, 대기이론, 시뮬레이션 중 일부 적용	• 문헌연구 + 대기행렬모형 + 시뮬레 이션 병행 적용
실용성 및 활용성	• 이론적 모델 또는 사례 중심	• 정책계획, 투자 타당성 검토 등 정 책·계획 수립에 활용 가능한실용 지표 제시

자료: 저자 작성

02

항만 하역능력과 적정 점유율

제1절 항만 하역능력의 개념

1. 항만 하역능력의 정의

항만 하역능력은 일정 기간(통상 1년) 동안 항만 또는 특정 부두시설이 처리할 수 있는 화물의 최대량을 의미한다. 이는 항만이 보유한 선석, 장치장, 하역장비와 같은 물리적 인프라뿐 아니라, 운영체계(운영시간, 교대제, 장비 가동효율, 서비스 수준)와 같은 요인을 종합적으로 반영하여 산출된다. 따라서 항만 하역능력은 단순한 기술적 처리능력 지표가 아니라, 항만의 공급 능력을 대표하는 핵심 지표이며 항만계획·정책수립·운영관리에 다방면으로 활용된다.

국제적으로는 UNCTAD(1973, 1985)와 PIANC(2014) 등에서 하역능력을 크게 두 가지 유형으로 정의한다. 첫째는 고유하역능력으로, 항만 시스템이 중단 없이 가동될 때 달성 가능한 이론적 최대 처리량이다. 둘째는 적정하역능력으로, 현실적 운영조건과 목표 서비스 수준(예: 선박 대기 허용 수준, 장치장 체류 한계)을 고려하여 산정한 실질적 처리능력이다. 즉,

전자가 시설의 물리적 한계치를 보여준다면 후자는 서비스 품질과 사회·경제적 비용까지 고려한 현실적 한계치로 이해할 수 있다.

하역능력의 개념은 시간이 지남에 따라 발전해 왔다. 초기에는 경험적 방법에 의존하여 유사한 항만의 평균 생산성을 벤치마킹하는 방식으로 처리능력을 산정하였다. 이 방법은 신규 터미널 설계나 장래 항만개발 계획을 수립할 때, 자체 운영데이터가 부족한 상황에서 유용하게 쓰여 왔다. 그러나 경험적 방법은 항만의 개별적 특성과 운영조건을 반영하지 못하는 한계가 있었다.

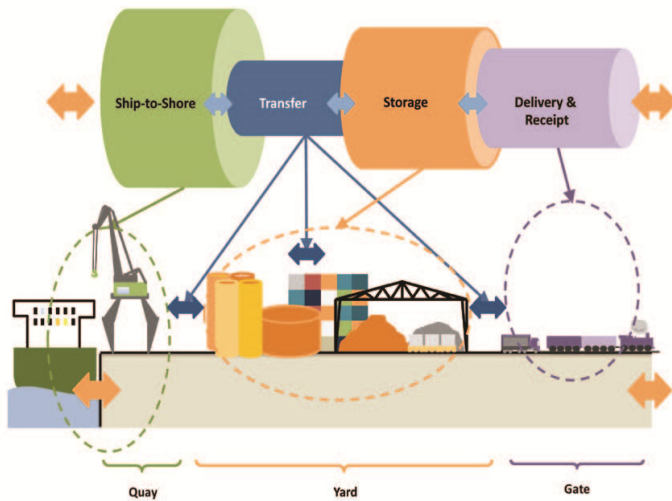
이후에는 분석적 방법이 도입되었다. 분석적 방법은 항만의 세부 프로세스를 수학적 공식과 개념으로 분석하는 접근으로, 대기이론(Queuing theory)이나 수리적 모델을 기반으로 한다(Agerschou et al., 1983; UNCTAD, 1985; Dragović, Park & Radmilović, 2006). 이 방법은 선박 접안, 화물 양적하, 장치장 적치, 화물 반출입 등 항만의 하위 시스템을 체계적으로 나누어 각 부분의 처리능력을 산출한 뒤, 가장 낮은 능력을 나타내는 하위 시스템을 전체 항만 하역능력으로 정의한다. 대표적인 하위 시스템은 다음과 같다(Fundación Valenciaport, 2012).

- 안벽(Berth, Ship-to-Shore): 선박 입출항 패턴, 선석 수, 선석 점유율, 크레인 투입 수와 효율성에 의해 결정되며, 보통 항만 하역능력의 핵심 제약 요인이다.
- 화물 이동(Transfer): 터미널 내부에서 화물을 이송하는 과정으로, 하역능력 산정 시에는 충분한 장비 가용성을 가정하여 제약으로 고려하지 않는다.
- 장치장(Storage): 해상·육상 간 속도 차이를 완충하는 공간으로, 장치장 면적, 적치높이, 화물의 평균 체류시간에 따라 용량이 달라지며,

이는 선석과 함께 항만 하역능력의 주요 제약 요인이다.

- 화물 인도(Delivery & Receipt): 게이트나 철송 장비를 통한 외부 반출입 단계로, 일반적으로 충분한 처리능력을 가정하여 항만 하역능력 산정에서 병목으로 간주하지 않는다.

〈그림 2-1〉 분석적 방법론 관점에서 항만 하위 시스템



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

즉, 분석적 방법론에 따르면 항만 하역능력은 안벽과 장치장이라는 두 핵심 하위 시스템 중 더 작은 값을 따라 결정된다. 실제로 UNCTAD (1985), Fundación Valenciaport(2012), 해양수산부 지침 등은 이러한 접근을 기반으로 정량적이고 체계적인 하역능력 산정을 추진하고 있다.

최근에는 시뮬레이션 기반 방법론이 확립되면서 하역능력 분석은 한층 고도화되었다. 시뮬레이션은 실제 운영 상황을 확률적으로 모의하여 경제적으로 최적화된 용량, 포화상태에서의 한계 용량, 서비스 수준 저하를 방

지할 수 있는 최소 허용 용량 등을 평가할 수 있도록 한다(Heneseey, 2006). 이를 통해 단순히 시설의 최대 한계를 산정하는 데 그치지 않고, 다양한 운영 시나리오에서 터미널이 어떻게 작동할지를 예측할 수 있게 되었다.

정리하면, 항만 하역능력은 초기의 경험적 산정에서 출발해 분석적 방법론, 그리고 시뮬레이션 기반의 확률적 접근으로 발전해 왔다. 오늘날에는 항만 운영의 현실성과 서비스 수준을 함께 반영하는 적정하역능력 개념을 중심으로, 안벽과 장치장을 주요 병목으로 삼아 산정하는 것이 일반적이다. 이러한 하역능력 지표는 단순한 기술적 계산치를 넘어, 항만 개발과 운영 효율성을 동시에 담보하는 전략적 도구로 활용되고 있다.

〈표 2-1〉 하역능력 산정 방법 정리

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 양적하 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)의 자료를 바탕으로 저자 작성

2. 고유하역능력과 적정하역능력의 차이

고유하역능력은 항만시설이 이론적으로 최대 가동될 경우 처리할 수 있는 물동량을 의미한다. 다시 말해, 항만의 모든 안벽과 장치장, 하역장비가

24시간 × 365일 동안 중단 없이 운영된다고 가정했을 때 달성 가능한 최대치로, 항만시설의 물리적 한계치를 나타낸다(해양수산부, 2020).

고유하역능력은 항만의 설계 단계에서 시설 규모를 결정하거나 신규 투자를 검토할 때 기초 지표로 활용된다. 산정 과정에서는 선석 수와 안벽 길이, 수심 및 접안능력, 하역장비(예: 크레인 대수와 생산성), 장치장 수용 능력, 그리고 화물 처리 시스템의 정격(Specification)을 기반으로 한다. 예를 들어, UNCTAD(1973)는 컨테이너 터미널의 고유하역능력을 제시하면서, 컨테이너 크레인의 시간당 처리능력, 하루 24시간 가동, 연간 365일 가용이라는 가정을 적용하였다. 이러한 방식은 항만이 최대치로 가동될 경우 도달 가능한 처리 수준을 수치화한 것이다.

그러나 고유하역능력은 현실적인 운영환경을 반영하지 않기 때문에 실제 처리능력과 차이가 발생한다. 기상 악화, 장비 고장, 인력 교대제, 선박의 도착 패턴과 같은 변동 요인은 전혀 고려되지 않으며, 선박 대기시간이나 장치장 혼잡 등 서비스 수준 요소도 배제된다. 따라서 고유하역능력은 항만의 설계적 상한치로는 의미가 있으나, 실제 운영 과정에서 항만이 지속적으로 달성할 수 있는 능력을 나타내지는 못한다는 한계를 지닌다.

이러한 한계에도 불구하고 고유하역능력은 항만정책과 계획 수립에서 중요한 출발점으로 기능한다. 실제 정책에서는 고유하역능력을 기준으로 하고, 여기에 선석 생산성, 운영 가능 시간 및 적정 점유율 수준 등을 반영하여 현실적 수치를 산정한 적정하역능력을 산출한다. 따라서 고유하역능력은 항만이 물리적으로 제공할 수 있는 최대 처리 능력의 범위를 제시하는 지표로서, 과소설계나 과도한 투자 결정을 예방하는 데 기여한다.

적정하역능력은 항만시설이 현실적인 운영 조건과 목표 서비스 수준을 고려하여 산출한 실질적 처리능력을 의미한다. 이는 고유하역능력을 기초로 하되, 실제 운영 과정에서 나타나는 다양한 제약 요인을 반영하여 항만

이 장기간 안정적으로 감당할 수 있는 경제적·정책적 의미의 능력치라 할 수 있다.

UNCTAD(1985)는 적정하역능력 개념을 공식적으로 도입하고, 항만 처리능력 산정공식을 제시하였다. 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} 은 연간 작업 시간, 실제로 가능한 안벽 작업 시간을 의미하며 P 는 선석생산성, Φ 는 선석점유율을 의미한다.

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

$$CG_{unctad} = S \times \frac{t_{year}}{t_d} \quad (II-2)$$

여기서 S 는 일시 저장 능력, 장치장에서 화물을 일시적으로 저장할 수 있는 최대 저장 능력, t_{year} 은 연간 작업시간, t_d 는 체류시간(Dwell time), 단위 화물이 장치장에서 체류하고 있는 시간을 의미한다.

UNCTAD(1985)는 생산성(P) 가정을 시간당 25단위에서 20단위로 낮추는 등 일부 전제조건을 현실화하여 하역능력 산출 결과를 약 11% 하향 조정하였다. 이러한 변화는 단순 설제치에 따른 과대평가를 방지하고, 실제 운영환경을 보다 정확히 반영하여 현실성 있는 계획을 수립하기 위한 조치였다. PIANC(2014)와 Fundación Valenciaport(2012) 등의 국제 연구 또한 고유하역능력과 적정하역능력의 괴리를 지적하며, 서비스 수준을 고려한 현실적 능력치 산정의 필요성을 강조한 바 있다. 적정하역능력은 일반적으로 고유하역능력에서 다음과 같은 요소들을 보정하여 산출한다.

- 선석 생산성: 투입 장비의 정비·대기시간, 인력 효율성 등을 감안하여 선석 혹은 장비의 생산성을 적용하여 산출
- 운영 가능 시간: 하루 24시간 × 연간 365일이 아닌 기상 악화, 휴일 등을 제외한 실제 운영 가능 시간 적용
- 적정 점유율: 선박 대기시간이 서비스시간의 일정 비율(W/S 비율)을 허용 가능한 대기율이 넘지 않는 경우의 선석 및 장치장 점유율
 - W/S 비율: 컨테이너 부두의 경우 약 0.1, 비컨테이너 부두의 경우 약 0.2 수준 적용(UNCTAD, 1985).

이러한 요소들이 적용되면 고유치 대비 낮아진 값이 산출되며, 이는 항만이 서비스 품질을 유지하면서도 안정적으로 처리할 수 있는 현실적 능력을 의미한다. 예컨대 고유하역능력이 연간 100만 TEU인 부두의 경우, 실제 선석 생산성(시간당 처리량), 운영 가능 시간 및 적정 점유율을 적용하면 실제 적정하역능력은 고유치보다 다소 낮은 값으로 산출된다.

우리나라 해양수산부도 이러한 국제 기준을 반영하여 항만 적정하역능력을 “선박의 대기 지연 없이 원활한 하역서비스를 제공할 수 있는 상태에서 부두시설이 1년간 처리할 수 있는 물동량”으로 정의하고 있다. 적정하역능력은 중장기 물동량 전망과 함께 신규 부두 개발 여부, 시설 확충 시기와 규모를 결정하는 기준자료로 활용된다.

적정하역능력 활용에 대한 정책적 의의는 다음과 같다. 첫째, 과도한 점유율 상승으로 인한 체선·체화와 서비스 저하를 예방한다. 둘째, 불필요한 과잉투자를 방지하고 필요한 시점과 규모에 맞는 시설 확충을 유도한다. 셋째, 항만 이용자의 요구 수준(정시성, 처리속도)을 만족시키며 안정적인 서비스 품질을 보장한다. 종합하면, 적정하역능력은 단순한 이론상 최대치가 아니라 서비스 수준과 운영 효율성을 균형 있게 반영한 현실적 처리한계이다.

따라서 항만 운영 및 정책 수립에서 고유하역능력보다 실질적 의미가 크며 국가 항만개발 전략과 투자 타당성 검토에서 핵심 지표로 기능한다.

3. 고유하역능력과 적정하역능력의 비교 및 관계

고유하역능력과 적정하역능력은 모두 항만의 처리능력을 나타내는 지표이지만, 산정 전제와 활용 목적에서 뚜렷한 차이가 있다. 고유하역능력은 항만 시설이 이론적으로 최대 가동될 경우의 처리한계치를 의미하는 반면, 적정하역능력은 현실적인 운영 조건과 서비스 수준을 반영한 실질적 처리능력이다. 즉, 고유하역능력이 항만의 설계적·물리적 상한치를 보여주는 지표라면, 적정하역능력은 항만이 실제로 안정적으로 달성할 수 있는 운영상의 균형치를 나타낸다고 할 수 있다. 두 개념의 차이를 구체적으로 비교하면 다음과 같다.

- 산정 전제: 고유하역능력은 24시간 × 365일 전면 가동, 장비·인력·기상 등 제약 없음이라는 이상적 조건을 가정하지만, 적정하역능력은 선석 및 크레인 생산성, 운영 가능 시간 및 적정 점유율 반영
- 결과: 고유하역능력은 현실보다 과대평가되는 경향이 있고, 적정하역능력은 고유치 대비 낮은 값으로 산출
- 활용 목적: 고유하역능력은 설계 단계의 상한치 제시, 투자 규모의 최대 범위 검토에 활용되지만, 적정하역능력은 정책·운영 관리에서 실제 처리능력과 투자 타당성을 평가하는 기준으로 사용

이와 같이 고유하역능력은 출발점, 적정하역능력은 정책적 활용치라는 상호보완적 관계를 가진다. 항만기본계획을 위한 하역능력산정에서는 고유

하역능력에 일정한 보정계수를 적용하여 적정하역능력을 산출한다. 보정계수는 선석 생산성, 운영 가능 시간, 적정 점유율 등으로 구성되며 항만·부두 유형에 따라 달라진다. 예컨대 컨테이너 부두의 선석 점유율은 선석 수에 따라 40~65% 수준이 적정치로 적용되는 사례가 많고, 벌크 부두는 화물 특성상 보다 높은 점유율을 허용하여 고유치 대비 적정치 비율이 다소 높게 설정되기도 한다(UNCTAD, 1985).

이러한 전환 과정은 단순한 기술적 조정이 아니라 서비스 품질과 비용 효율 간 균형을 찾기 위한 정책적 의미를 가진다. 예를 들어, 적정 점유율을 지나치게 낮게 설정하면 시설의 활용도가 낮아져 과잉투자 위험이 커지며, 반대로 적정 점유율을 높게 설정하면 체선·체화 등 사회경제적 비용이 증가한다. 따라서 고유하역능력과 적정하역능력의 연계는 이러한 트레이드 오프를 정량적으로 조정하는 과정으로 볼 수 있다.

결론적으로, 항만 하역능력 산정은 고유하역능력을 단순히 제시하는 데 그치지 않고, 이를 적정하역능력으로 전환하는 과정이 반드시 수반되어야 한다. 이는 항만의 과소·과잉투자를 방지하고, 서비스 수준을 유지하면서 효율적으로 자원을 배분하기 위한 필수 절차이며, 국가 항만정책의 합리성을 높이는 데 중요한 역할을 한다.

〈표 2-2〉 하역능력 개념 요약

구분	정의 / 특징	주요 산정 방법	한계 / 보정 요소
항만 하역능력	• 일정 기간(1년) 동안 항만 또는 특정 부두 시설이 처리할 수 있는 최대 화물량	• 경험적 방법: 유사 항만의 평균 생산성 적용 • 분석적 방법: 대기이론·수리적 모델, 안벽·장치장 중 작은 값 적용 • 시뮬레이션: 확률적 운영상황 모의	• 경험적 방법: 개별 조건 반영 부족 • 분석적 방법: 수리적 가정 필요 • 시뮬레이션: 데이터·모델링 복잡성

구분	정의 / 특징	주요 산정 방법	한계 / 보정 요소
고유하역 능력	항만 시스템이 24시간 × 365일 중단 없이 가동할 때 달성 가능한 이론적 최대 처리량	선석 수·안벽 길이·수심·접안능력·크레인 수와 생산성·장치장 수용능력 등 설계치 기반	- 기상, 장비 고장, 교대제, 도착패턴 등 현실적 제약 반영 불가 - 서비스 수준(대기시간 등) 미고려 → 과대평가 경향
적정하역 능력	현실적 운영조건과 서비스 수준을 고려해 지속적·안정적으로 처리 가능한 능력	- 고유하역능력에 보정 요소 적용 ① 선석·장비 생산성 ② 실제 운영 가능 시간 ③ 적정 점유율	- W/S 비율 반영 (컨테이너 약 0.1, 비컨테이너 약 0.2) - 운영제약 고려 → 고유치 대비 낮은 값 산출

자료: 한국해양수산개발원(2024)의 자료를 바탕으로 저자 작성

제2절 적정 점유율

1. 적정 점유율의 정의

적정 점유율은 항만의 주요 시설, 즉 안벽과 장치장이 어느 수준까지 활용되는 것이 바람직한지를 보여주는 지표이다. 이는 단순히 시설의 물리적 처리능력을 극대화하는 데 초점을 두지 않고, 서비스 수준을 유지하면서도 항만 혼잡과 유희를 동시에 최소화하려는 균형점을 의미한다. 다시 말해, 적정 점유율은 항만 운영이 효율적이면서도 안정적인 흐름을 유지하기 위해 설정되는 운영상의 목표라고 할 수 있다.

1) 적정 선석 점유율

적정 선석 점유율은 부두의 선석(접안시설)이 얼마나 바쁘게 사용되어야 적정한지를 나타낸다. 선석 점유율은 통상 선석 가동시간 대비 실제 선박

접안시간의 비율로 정의되며, 이 값이 높을수록 선석이 많이 사용됨을 의미한다. 그러나 너무 높은 점유율은 선박이 부두에 접안하기 위해 대기해야 하는 상황을 초래한다. 대기행렬 이론에 따르면, 선석 점유율(서버 이용률)이 일정 임계치를 넘어서면 선박 대기시간이 기하급수적으로 증가하여 서비스 수준이 급격히 저하된다. 따라서 허용 가능한 선박대기율 또는 W/S 비율에 근거해 선석 점유율의 상한을 설정하게 된다. 여기서 W/S 비율이란 선박의 대기시간(Waiting)을 서비스시간(Service)으로 나눈 비율로서, 선박이 정박하여 작업하는 시간 대비 얼마나 추가로 대기하는지를 나타내는 지표이다. 예를 들어, W/S 비율 0.1이라는 것은 작업 1시간당 0.1시간의 대기, 즉, 전체 서비스시간의 10% 정도를 대기로 보내는 것으로 해석되며, 흔히 이를 서비스 수준의 척도로 활용한다.

적정 선석 점유율은 이러한 W/S 비율 등을 고려하여 목표 서비스 수준을 달성하는 최대 점유율로 정의된다. 예를 들어, 단일 선석으로 운영되는 소규모 부두의 경우 선박대기율을 5% 이내로 유지하려면 선석 점유율을 약 50% 수준으로 억제해야 한다는 연구 결과가 있다(박상국·박남규, 2013). 반면, 복수의 선석을 갖춘 부두(예: 4선석 동시 운영)에서는 같은 서비스 수준(약 10%의 선박대기 확률)을 유지하면서 선석 점유율을 약 60%까지 높일 수 있는 것으로 보고된 바 있다. 다시 말해, 여러 선석이 있으면 한두 선석이 만석이어도 다른 선석이 대기 중인 선박을 처리할 여력이 생기므로, 전체 점유율 한계를 다소 높일 수 있다(Park, Yoon & Park, 2014).

UNCTAD의 지침에서도 통상 컨테이너 터미널에 대한 W/S 비율을 0.1 수준을 적정 서비스 기준으로 삼고, 이에 대응하는 선석 점유율을 대략 40~70% 범위(선석 수에 따라 상이)로 설정하고 있다. 예컨대 한국해양수산개발원(2024)에서 제시한 항만하역능력 산정 기준을 보면, 다선석 체계의 경우 W/S 비율이 0.1에 대응하는 적정 선석 점유율로 약 40~65% 내외

를 적용하고, 단일 선석의 경우 40% 수준을 적용하도록 차등을 두고 있다. 이처럼 설정된 적정 선석 점유율을 초과하여 부두를 운영하면 선박의 지연이 누적되어 체선(滯船) 현상이 심화되고 항만 서비스 수준이 떨어지게 된다(Park, Yoon & Park, 2014). 실제로 동해·묵호항 3부두 1선석 사례에서, 운영 실적상 선석 점유율이 약 70%에 달해 적정 기준(50%)을 크게 상회함으로써 선박 대기시간 증가와 연간 처리능력 저하가 발생한 것으로 분석되었다(박상국·박남규, 2013).

이러한 경우 이론상 산출된 고유하역능력과 실제 처리량 간에 괴리가 생기며, 적정 서비스 수준 기준으로 조정한 처리능력은 실제치보다 낮게 산정된다. 이렇듯 적정 선석 점유율은 대기행렬 해석과 시뮬레이션을 통해 산정되며, 궁극적으로는 어느 시점에 신규 선석을 확충해야 하는지를 판단하는 중요한 기준이 된다.

2) 적정 장치장 점유율

적정 장치장 점유율은 컨테이너 장치장이나 야적장 등 장치 공간의 효율적 사용수준을 의미한다. 장치장 점유율은 해당 공간에 적치된 화물(컨테이너)의 양을 수용능력 대비 화물 점유 비율로 나타낸 값으로, 이 비율이 높아질수록 장치 밀도가 높고 혼잡도가 커진다. 너무 낮은 장치장 점유율은 공간 활용이 미흡한 것이지만, 너무 높은 경우에는 장치장 내 작업 비효율과 병목현상을 유발한다. 예컨대 컨테이너 터미널에서 장치장 점유율이 과도하게 올라가면 컨테이너를 쌓고 내리는 리핸들링 작업에 추가 시간이 소요되고, 트럭이나 장비의 동선이 복잡해져 차량 회전율이 떨어지며, 심하면 장치 공간 부족으로 인한 운영 장애가 발생한다. 따라서 적정한 장치장 점유율을 유지하는 것이 원활한 항만 운영의 필수 요소이다. 일반적으로 장치장 적정 점유율은 약 60~70% 내외로 거론된다. 이는 평상시 야드 용량

의 2/3 수준까지만 사용하는 것이 최적의 흐름 유지와 신속한 화물 처리에 유리하다는 경험칙에 기반한다. 실제 연구에서도 외부 트럭의 평균 반출입 소요시간(예: 30분 이내)을 만족시키기 위해 장치장의 활용도를 60% 선에서 관리하는 사례가 보고된 바 있다(Park, Yoon & Park, 2014).

물론 적정 장치장 점유율은 터미널의 운영전략, 장비투입 수준, 보세장 체계 등에 따라 달라질 수 있다. 예를 들어, 자동화 장비 도입이나 운영 효율화로 동일한 70% 점유율에서도 과거보다 원활한 처리흐름을 달성할 수 있다면 그 점유율을 수용 가능한 수준으로 볼 수 있다. 그러나 국내외 항만 계획 지침은 대체로 70% 내외를 야적장 설계 한계로 간주하고 있으며, 이를 초과하면 포화 상태로 간주하여 추가 야드 확보나 장치 효율 개선이 필요하다고 본다(해양수산부, 2020).

결국 적정 장치장 점유율은 화물의 적체 없이 적정 체류기간을 유지할 수 있는 한계 활용도를 뜻하며, 이 값은 장치장의 회전율, 환적화물 비중, 장치기간 등에 대한 분석과 시뮬레이션을 통해 결정된다. 장치장 점유율이 지속적으로 적정 수준을 넘어서면 혼잡비용 증가와 서비스 저하를 야기하므로, 이 또한 시설 확충 시점 결정의 중요한 고려 요소가 된다.

정리하면, 적정 점유율은 선석이나 장치장과 같은 핵심 시설의 목표 활용수준을 나타내는 지표로서, 항만 운영상의 서비스 지표(대기율, 체류시간 등)와 직결된다. 적정 점유율을 산정하기 위해 대기행렬 해석, 시뮬레이션 기법, 장비가동률(OEE) 분석, 경제성 평가 등의 다양한 방법론이 활용되고 있다. 특히 한국해양수산개발원(2024)의 최근 연구에서는 W/S 비율 기반의 선석 점유율 분석, 경제적 비용-편익 분석을 통한 최적 점유율 도출, 시뮬레이션 모델을 활용한 장치장 혼잡도 평가 등을 종합하여 항만별 적정 점유율과 서비스 수준을 제시하고 있다. 이러한 연구들은 결국 적정하역능력의 산정 논리와 맥락을 같이하는데, 앞서 정의한 고유하역능력 대비 적

정하역능력의 차이는 곧 허용 가능한 점유율의 한계로 표현될 수 있기 때문이다. 다시 말해, 고유하역능력이 100% 시설가동을 가정한 값이라면, 적정하역능력은 적정 점유율(예: 선석 60%, 야드 70%)을 적용한 값이라고 할 수 있다. 이렇듯 적정 점유율 개념은 항만 하역능력 산정의 서비스 수준 측면을 구체화한 것으로, 항만 운영 효율과 투자 타이밍을 판단하는 과학적 기준을 제공한다. 이를 토대로 정책당국은 항만 혼잡과 유희시설을 최소화하는 최적의 균형점을 찾기 위해 노력해야 하며, 향후에도 변화하는 물동량 수요와 서비스 요구에 맞추어 적정 점유율 기준을 정교화해야 할 필요성이 있다.

2. W/S 비율에 따른 적정 점유율 산정 사례

적정 점유율 산정은 W/S 비율에 기반하여 이루어진다. W/S 비율은 선박이 접안 서비스를 받기 위해 기다린 평균 시간과 실제 서비스에 소요된 평균 시간의 비율을 의미하며, 항만 서비스 수준을 정량적으로 평가할 수 있는 핵심 지표로 활용된다. 일반적으로 이 값이 낮을수록 선박의 대기 지연이 적고, 항만 운영 효율성이 높음을 의미한다.

그러나 현재까지의 연구는 대부분 컨테이너 터미널을 중심으로 진행되어 왔으며, 비컨테이너 부두에 대한 적정 점유율 산정 방법과 사례는 매우 제한적이다. 이는 화물 특성과 운영 방식의 차이로 인해 컨테이너 이외의 터미널에 동일한 분석 틀을 적용하는 데 어려움이 있었기 때문이다. 예컨대 컨테이너선은 정시성이 중시되어 W/S 비율을 0.1 이하로 관리하는 엄격한 서비스 수준이 요구되지만, 벌크선이나 자동차선 등은 일정 수준의 대기를 허용할 수 있어 상대적으로 높은 점유율에서 운영되는 경우가 많다.

따라서 본 장에서는 비컨테이너 부두의 특성을 직접적으로 반영한 산정 방법이 충분히 축적되지 않았음을 전제하고, 컨테이너 터미널의 사례를 기반으로 W/S 비율에 따른 적정 점유율 산정 과정을 개념적으로 설명하고자 한다. 이를 통해 기존 컨테이너 중심의 분석 틀을 개념적으로 이해하고, 향후 비컨테이너 부두에 적용 가능성을 모색하는 데 기초를 마련하고자 한다.

1) UNCTAD(1985)

UNCTAD(1985)는 항만 하역능력 산정 시 서비스 수준을 결정하는 핵심 판단 기준으로 선석 점유율을 제시하였다. 적정 선석 점유율은 선박 지연에 따른 비용과 항만 시설 운영비용을 종합적으로 고려하여 결정되며, UNCTAD는 이러한 최적 수준을 찾기 위해 대기이론을 활용하였다. 구체적으로 선박의 도착 간격은 포아송(Poisson) 분포, 서비스 시간은 지수(Exponential) 분포를 가정하여 선박 대기시간을 추정하고 그에 따른 대기비용을 산출하였다. 이러한 분석을 바탕으로 UNCTAD(1985)는 선석 수에 따른 적정 선석 점유율 기준을 제시하였으며(〈표 2-3〉 참고), 이를 안벽(선석) 하역능력 산정에 적용하도록 하였다. 다만 UNCTAD는 장치장(야드) 하역능력 산정 시 장치장 점유율을 별도로 고려하지 않아 적정 장치장 점유율에 대해서는 제시하지 않았다.

〈표 2-3〉 UNCTAD(1985)의 적정 선석 점유율

단위: %

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

자료: UNCTAD(1985), p. 124의 자료를 바탕으로 저자 작성

2) Agerschou(2015)

Agerschou(2015)는 UNCTAD(1985)가 제안한 선석 점유율 기준이 충분한 이론적 근거를 갖추지 못했음을 지적하면서, 항만 서비스 수준을 평가하는 보다 효과적인 지표로 선박 대기시간 대 서비스시간의 비율 (Waiting time to Service time ratio, W/S 비율, 식 (II-3))을 사용할 것을 제안하였다. W/S 비율은 선박의 평균 대기시간을 평균 접안 서비스 시간으로 나눈 값으로서, 이 값이 낮을수록 선박의 대기로 인한 지연비용이 적고 선석 이용이 효율적임을 의미한다.

Agerschou(2015)는 경제성 분석을 통해 컨테이너 터미널의 경우 적정 W/S 비율을 약 0.1로, 비컨테이너 부두의 경우 약 0.2로 설정하는 것이 바람직하다고 주장하였다. 이는 컨테이너선의 시간 가치가 일반 화물선보다 높아 대기시간에 더욱 민감하므로, 컨테이너 터미널에서는 더 엄격한 서비스 수준(W/S 비율 낮음)을 적용해야 함을 반영한 결과이다. 한편 Agerschou(2015)는 컨테이너 터미널의 운영 특성을 모델링하기 위해, 선박 도착시간 분포는 포아송 분포를 따르고 서비스 시간 분포는 얼랑(Erlang) 분포를 따른다고 가정하였다. 얼랑 분포의 형태 모수(shape parameter)를 조정하면 서비스 시간의 무작위성 정도를 조절할 수 있는데, 모수 $k=1$ 인 경우 지수분포(완전 무작위, 기억 없음)에 해당하고 k 가 매우 큰 경우 모든 서비스가 동일하게 소요되는 결정론적 상황에 가까워진다. Agerschou(2015)는 컨테이너선의 정기적 입항과 무작위적 입항이 혼재된 현실을 반영하기 위해 적절한 중간 수준의 k 값을 사용할 것을 권장하였으며, 이러한 가정하에 W/S 목표치에 따른 선석 수별 적정 선석 점유율을 산출하여 제시하였다(〈표 2-4〉 참고). 다만 Agerschou(2015) 역시 장치장에 대해서는 별도의 적정 점유율 기준을 제시하지 않았다.

〈표 2-4〉 Agerschou(2015)의 적정 선석 점유율

단위: %

구분	선석 수					
	1	2	3	4	5	6 이상
$K = 4$	14	36	49	57	63	67
$K = \infty$	17	40	52	60	66	70

자료: Agerschou(2015), p. 14.

3) Fundación Valenciaport(2012)

Fundación Valenciaport(2012)는 항만 서비스 수준 개념을 도입하여 항만 하역능력을 평가할 때, 항만 사용자와 고객이 체감하는 서비스 품질을 중요한 요소로 고려해야 한다고 주장했다. 이들의 정의에 따르면 항만 사용자는 선박 운항사(선사)·육상 운송회사 등이고 고객은 화주·포워더 등으로, 각 주체별로 서비스 수준에 대한 인식이 다를 수 있다. 따라서 서비스 수준을 종합적으로 평가하기 위한 지표로 선박 비용(선박이 항만 이용 시 지불하는 비용)과 선박 재항시간(입항부터 출항까지의 총 체류시간), 선박 대기시간과 서비스시간, 그리고 서비스 품질 지표 등을 제시하였는데, 특히 서비스 품질은 W/S 비율과 선박 작업 생산성으로 나타낼 수 있다고 보았다.

Fundación Valenciaport(2012)는 터미널 운영에서 W/S 비율을 최소화하고 선박 생산성을 높이는 것이 서비스 수준을 최적화하는 핵심이라고 강조하면서, 이 두 가지 지표를 중점 관리해야 한다고 제안하였다. 나아가 안벽 하역능력을 산정할 때에는 목표로 하는 서비스 수준을 정하고 이에 대응하는 선석 점유율을 결정하는 과정이 필수적인데, 해당 연구에서는 선박 도착시간 분포(지수 혹은 열량)와 서비스 시간 분포(열량, 형태 모수 k) 및 접안 시설 규모를 고려하여 W/S 비율을 0.05, 0.1, 0.2로 구분한 시나리오별로 적정 선석 점유율을 계산하였다(〈그림 2-2〉 참조).

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

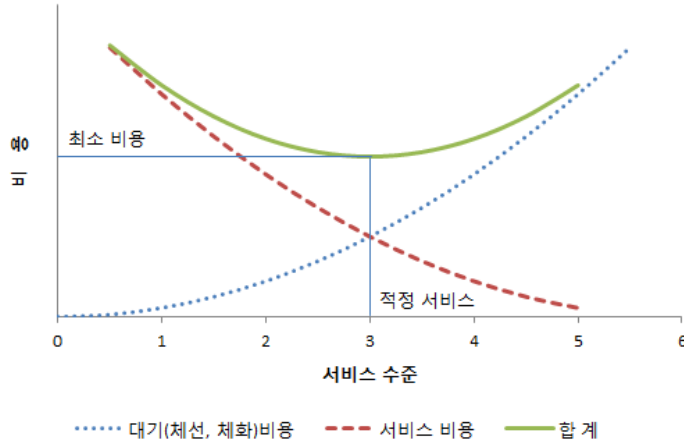
Number of berths (n)	Acceptable berth occupancy ratio Φ (%)								
	$T_w/T_s = 0.05$			$T_w/T_s = 0.10$			$T_w/T_s = 0.20$		
	$M/E_s/n$	$M/E_s/n$	$E_s/E_s/n$	$M/E_s/n$	$M/E_s/n$	$E_s/E_s/n$	$M/E_s/n$	$M/E_s/n$	$E_s/E_s/n$
1	< 5	7	22	12	14	31	21	24	43
2	25	27	43	33	36	53	47	49	63
3	38	39	53	49	49	63	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.

4) 해양수산부(2020)

해양수산부(2020)는 항만의 적정하역능력을 결정할 때 사회경제적 비용의 최소화를 최우선 고려 요소로 강조하고 있다. 이는 항만 서비스 수준을 결정함에 있어 선사와 화주 등 주요 이용자의 선박 대기비용(체선 비용)과 화물 대기비용(체화 비용), 그리고 터미널 운영사의 서비스 제공 비용을 모두 합한 사회적 총비용이 최소가 되는 지점을 찾아 그에 상응하는 서비스 수준을 설정해야 한다는 의미이다. 〈그림 2-3〉에서 개념적으로 서비스 수준을 1부터 5까지 단계로 구분하여 총비용 변화를 설명하고 있는데, 수준 1은 항만 시설에 여유가 많아 선박 대기가 거의 없는 최상의 서비스 수준이며, 수준 5는 시설 포화로 선박 대기시간이 극심하게 증가한 최저 수준을 나타낸다. 다만 실제 항만 하역능력 산정 시에는 이렇게 세분된 5단계 서비스를 모두 적용하기보다는 3단계 수준으로 단순화하여 활용하고 있다.

〈그림 2-3〉 사회적 비용을 고려한 적정 서비스 수준



자료: 안태훈(2015), p. 10.(해양수산부 제출자료)

해양수산부(2020)에 따르면 선석 수 및 목표 서비스 수준(Ⅲ~Ⅳ)에 따라 적정 선석 점유율은 대략 40%에서 60% 사이로 적용되며, 특히 대부분의 국내 항만은 중간 수준인 서비스 수준 Ⅲ에 해당하는 값을 사용한다. 예를 들어, 선석 수 1개인 터미널은 약 40%, 2개일 경우 50%, 3개일 경우 55%, 4개 이상일 경우 60% 정도의 선석 점유율을 적정치로 보고 있으며(〈표 2-5〉 참고), 일부 항만에서는 불분명한 기준으로 서비스 수준 Ⅳ를 적용해 약간 상향된 점유율을 쓰는 경우도 있다. 한편 장치장 점유율의 경우 해양수산부 기준 일률적으로 60%를 적용하도록 하고 있으며, 개별 항만의 특성에 따른 차등 없이 동일한 기준을 사용하는 것으로 나타났다.

〈표 2-5〉 W/S 방법론 기반 점유율 산출 결과 비교

단위: %

구분	선석 수			
	1	2	3	4 이상
선석 점유율	40	50	55	60
장치장 점유율	60			

자료: 해양수산부(2020), pp. 315-317의 자료를 바탕으로 저자 작성

3. 비컨테이너 부두 적정 점유율 적용 사례

공신력 있는 국제 기관이 비컨테이너 부두의 적정 점유율에 대해 직접적으로 수치를 제시한 사례는 드물지만, 주요 기관 및 전문가들은 비컨테이너 부두의 선석 점유율의 적정 범위를 선박 대기율, 즉 W/S 비율과 연계하여 제시하고 있다. UNCTAD(1985)는 W/S 비율을 활용한 이론적 접근을 통해, 비컨테이너 터미널의 권고 W/S 비율을 약 0.2 수준으로 제시했다. 또한 Agerschou(2015)는 UNCTAD(1985)의 W/S 개념을 인용하면서, 벌크 터미널에서는 경제적 최적 W/S 비율을 0.3~0.4라고 제안했다. Dragović, Park & Radmilović(2006) 같은 다른 연구들도 벌크 화물의 경우 더 높은 W/S를 허용한다는 점을 강조하였다.

PIANC(2019)는 벌크 터미널 설계 지침(WG184)에서 설비 및 선석의 “임계(utilization) 점유율” 개념을 강조했다. PIANC 지침에 따르면 장비나 선석 점유율이 임계치를 넘어서 지나치게 높아지면, 예기치 못한 지연에 대한 회복력이 떨어지고 유지보수 여력이 감소하여 운영상 문제가 발생한다고 지적했다. 따라서 일정 수준의 여유를 두는 것을 권고했다. 실제로 벌크 터미널의 경우 설비 운영률이 통상 60% 이하인 것이 일반적이며, 인도의 한 철광석 터미널의 사례에서도 최대 능력 대비 약 40~55% 수준의 처리율이 평균적으로 나타났다고 보고된다. 이는 장비정비, 교대시간, 간헐적 작업중단 등을 감안한 현실적인 가동 수준이다. 결국 국제기구들의 공통된 의견은 과도한 선석 점유율은 선박 지연과 서비스 저하를 초래하므로, 적정 수준(약 40~70%)을 유지해야 한다는 것으로 요약할 수 있다.

한편 UNCTAD(1987)에서 제시된 예를 보면, 3개 선석으로 운영되는 다목적 부두의 경우 85%의 높은 선석 점유율을 기록할 수도 있지만, 이때 실제 작업 중인 시간은 35%에 불과하고 나머지는 선석이 유휴상태이거나 작업불능(야간 미작업 등) 상태임을 지적한다. 이는 높은 점유율이 반드시

생산성으로 직결되지 않으며, 오히려 "작업 중인 점유율"을 파악해 효율을 따져야 한다는 취지이다. 또한 정기선 위주의 터미널(컨테이너, 여객 등)은 선석이 항상 대기 없이 즉시 제공되어야 하므로 매우 낮은 점유율(여유있는 설비)을 용인하는 반면, 벌크 전용 터미널은 일정 지연을 허용하여 점유율을 높이는 전략을 취할 수 있다고 언급된다. Fundación Valenciaport (2012)의 항만 개발 계획 지침에는 다목적부두의 W/S 비율을 0.25, 건화물 벌크부두는 0.5까지 용인할 수 있다고도 하며, 이는 벌크부두의 선박 대기 허용도가 컨테이너 터미널에 비해 높게 설정될 수 있다는 의미이다.

요약하면, 국제기구와 전문가들은 선석 대기율(W/S)을 서비스 수준 지표로 삼아 컨테이너 터미널은 W/S 0.1 이하(대기시간 10% 이하), 벌크 터미널은 0.2~0.5 수준까지도 용인하는 차등적인 접근을 취하며, 이에 따라 벌크 터미널의 적정 선석 점유율은 대체로 60~70% 선으로, 최대 허용치는 80% 전후로 보는 견해가 많았다.

〈표 2-6〉 주요 기관 및 연구에서 제시된 비컨테이너 적정 점유율 적용 사례 요약

구분	주요 내용	주요 시사점
UNCTAD (1985)	• W/S 비율을 서비스 수준 지표로 제시 • 비컨테이너 부두 권고 W/S $\approx$ 0.2 수준	• W/S를 활용한 이론적 접근 • 컨테이너 대비 다소 높은 대기 허용
UNCTAD (1986)	• 3선석 다목적 부두의 경우 선석 점유율 85% 기록 • 실제 작업시간은 35%, 나머지는 유휴/작업불능 상태 추정	• 높은 점유율 $\neq$ 생산성 • 작업 중 유휴 시간을 제외한 실제 점유율 검토 중요
Dragović, Park & Radmilović (2006)	• 비컨테이너 부두는 컨테이너 터미널보다 높은 W/S 허용 가능	• W/S 비율 차등 적용 논리 강화
Fundación Valenciaport (2012)	• 다목적부두의 허용 W/S 비율 0.25 적용 • 건화물 벌크부두는 0.50 용인	• 벌크부두의 선박 대기 허용도가 컨테이너 터미널에 비해 높게 설정

구분	주요 내용	주요 시사점
Agerschou (2015)	- UNCTAD의 개념을 인용 - 비컨테이너 부두의 경제적 최적 W/S = 0.3~0.4로 제시	- 벌크 터미널은 더 높은 대기 허용 - 경제성 중심 접근
PIANC(2019)	- 선석·설비의 “임계(utilization) 점유율” 개념 강조 - 과도한 점유율은 자연·정비여력 감소로 문제 발생 - 일정 여유 유지 권고	- 벌크 터미널은 일반적으로 설비 운영율 60% 이하에서 운용 - 인도 철광석 터미널 사례: 40~55% 처리율

자료: 저자 작성

제3절 소결 및 시사점

1. 소결

하역능력은 고유하역능력과 적정하역능력이라는 두 축으로 정리할 수 있다. 전자는 설계상 최대 처리한계를 뜻하는 이론치이고, 후자는 현실적 운영조건과 목표 서비스 수준을 반영한 실질치로서 정책·운영 의사결정의 실제 기준이 된다. 분석적 방법과 시뮬레이션 결과를 종합하면 전체 하역능력은 안벽과 장치장 가운데 더 작은 값에 의해 결정되며, 두 하위 시스템이 병목을 형성한다.

서비스 수준은 선박 대기시간을 서비스시간으로 나눈 W/S 비율로 정량화되는데, 컨테이너 터미널은 대체로 엄격한 기준(약 0.1)을 적용하고, 비컨테이너 부두는 상대적으로 완화된 수준(약 0.2, 일부 벌크 0.3~0.4까지 허용)도 가능한 것으로 파악된다. 이에 따라 적정 점유율은 ‘최대화’가 아니라 혼잡과 유틸의 균형점을 찾는 문제로 정의되며, 컨테이너의 경우 선

석은 선석 수에 따라 대략 40~60% 범위, 장치장은 약 60~70%가 일반적 관리 수준으로 제시된다. 비컨테이너는 화물 특성상 컨테이너보다 다소 높은 W/S 비율을 허용할 수 있으나, 임계치를 초과하면 회복력이 저하되어 지연과 비용 증가가 확대될 수 있으므로 주의가 필요하다.

항만 개발 계획 및 정책 수립을 위해서는 적정하역능력 중심의 산정 체계가 타당하다. 고유하역능력만을 기준으로 삼을 경우 기상, 교대제, 장비 고장, 도착 변동성 등 현실 제약을 반영하지 못해 과대평가 위험이 커진다. 반면 실제 운영 가능시간과 선석·장비 생산성, 그리고 적정 점유율을 반영한 적정치는 장기간 안정적으로 달성 가능한 처리한계를 제시하므로 투자 규모와 운영 정책의 판단 기준으로 적합할 것으로 판단된다.

적정 점유율 설정은 W/S 비율을 중심으로 일관된 틀을 갖추고 있다. 선석과 장치장 각각에 대해 목표 W/S를 먼저 정하고 대기행렬 해석과 시뮬레이션을 결합해, 이를 만족하는 상한 점유율을 역산하는 방식이 합리적일 것으로 판단된다. 이렇게 산정된 점유율 상한은 혼잡비용의 급증을 사전에 억제하는 운영 가이드라인으로 기능한다.

컨테이너와 비컨테이너 부두는 차별화된 적정 점유율 적용이 필요하다. 컨테이너는 정시성과 시간가치가 높아 보수적 점유율이 적정한 반면, 벌크 등의 비컨테이너 부두는 일정 수준의 대기를 전제로 다소 높은 점유율도 가능할 것으로 예상된다. 다만 임계를 넘어서면 지연 확대와 정비여력 저하로 회복력이 급격히 악화될 수 있으므로 운영상 여유를 반드시 확보해야 한다.

마지막으로, 전체 터미널의 하역능력은 선석과 장치장의 연계로 결정된다. 안벽의 길이를 확장하거나 장치장 면적만을 확장해도 상대 측의 제약을 넘지 못하면 적정하역능력은 개선되지 않는다. 두 시스템을 동시 최적화하는 접근이 필요하다.

2. 시사점

1) 컨테이너 터미널 기준의 획일적 적용 문제

비컨테이너 부두의 하역능력 산정에 있어 가장 큰 시사점은, 컨테이너 터미널을 기준으로 한 적정 점유율 기준을 획일적으로 적용한다는 점이다. 컨테이너 터미널의 선석 점유율과 장치장 점유율에 대한 기준은 오래 전부터 정립되어 왔으며, 항만 하역능력 산정 시 일반적인 서비스 수준 지표로 활용되고 있다.

그러나 이러한 컨테이너 터미널 중심의 점유율 기준을 비컨테이너 부두에 획일적으로 적용하는 것은 여러 한계를 지닌다. 우리나라 항만 정책 및 계획에서 관행적으로 잡화, 철강, 목재 등 일반화물을 처리하는 부두나 유류, 시멘트 및 양곡 등의 사일로 부두, 자동차 전용부두 등 비컨테이너 부두에도 컨테이너와 동일한 선석 점유율(약 40~60%) 및 장치장 점유율(약 60%) 기준이 일괄 적용되어 왔다. 이는 각 화물 종류와 부두 운영 방식의 차이를 간과한 것으로, 결과적으로 실제 운영 특성과 서비스 요구를 반영하지 못하는 문제가 발생할 수 있다. 예를 들어, 컨테이너선은 정시 항해일정이 중요하여 대기시간 최소화가 필수인 반면, 벌크선 등은 화주의 요구에 따라 일정 수준의 대기를 감내하더라도 운영상 큰 문제가 없는 경우가 많아 보다 높은 설비 가동률을 활용하는 것이 경제적·현실적으로 타당할 수 있다. 그럼에도 불구하고 컨테이너 부두에 맞춘 낮은 점유율 기준을 획일 적용하면, 비컨테이너 부두의 경우 불필요하게 낮은 용량 산정으로 시설 활용을 과소평가하거나 반대로 과도한 여유 용량을 계획하여 비효율적 투자가 이루어질 가능성이 제기된다. 다시 말해, 컨테이너 부두 기준의 일반화는 다양한 화물 특성을 반영하지 못함으로써 비컨테이너 분야에서는 서비스 수준 평가의 왜곡을 초래할 수 있다. 이러한 한계로 인해 비컨테이너 부두에 적합한 별도의 기준 마련 필요성이 대두된다.

2) 비컨테이너 부두 유형별 운영 및 하역 특성 고려 필요

비컨테이너 부두는 취급 화물의 종류에 따라 운영 방식과 하역 특성에 큰 차이가 나타나며, 이에 따라 선석 및 장치장 점유율의 적정 수준도 달라질 수 있다. 하지만 현재 비컨테이너 부두의 적정 점유율은 부두의 유형이나 품목 특성을 고려하지 않고 일괄적으로 적용되고 있다. 대표적인 비컨테이너 부두 유형별로 하역 특성을 정리하면 다음과 같다.

(1) 일반부두(잡화/목재/철재/고철/기타광석 등)

다양한 포장 형태의 잡화나 목재, 철재 등을 취급하는 부두로서, 선박 입항 패턴이 비정기적(트래프션)⁷⁾인 경향이 있다. 하역 작업은 크레인, 지게차, 벨트 컨베이어 등 화물 종류에 따라 혼합된 장비를 사용하며 단위 작업 속도가 비교적 낮고 하역 시간이 길어질 수 있다. 이러한 부두는 컨테이너처럼 정해진 스케줄보다는 수요에 따라 선박이 수시로 접안하므로, 일정 기간 동안 부두가 한가하다가도 특정 시기에 물동이 몰려 선박 대기가 발생하는 등 가변성이 크다. 그럼에도 불구하고 현재는 컨테이너 터미널과 동일한 선석 점유율 기준(40~60%)이 적용되고 있어, 한가한 기간을 포함한 연평균 점유율 지표만으로 용량을 판단할 경우 실제 피크 시 병목 현상을 간과하거나 또는 과소평가할 우려가 있다.

(2) 전용부두(석탄/모래/시멘트/양곡 등)

석탄, 모래, 시멘트, 양곡 등 산적화물을 대량으로 취급하는 부두이다. 대형 벌크선이 입항하여 한 척당 하역량이 매우 크고 하역에 여러 일수가 소요되는 경우가 많다. 예컨대 양곡이나 석탄의 경우 계절적 성수기(곡물

7) 정기적인 운항 스케줄이나 항로를 갖지 않고, 필요에 따라 화물을 싣고 목적지로 이동하는 선박

수확기, 겨울철 난방 수요 등)에 물량이 집중되고 평시에는 물동량이 감소하는 패턴을 보이며, 부두 운영도 이에 맞춰 계획 정박 또는 대기도 수반된다. 양곡이나 시멘트의 경우에는 저장시설(사일로 등) 용량이 한정되어 있어, 부두 점유율이 높아도 저장 한계로 인해 선박 하역을 중단하고 대기해야 하는 상황이 발생하기도 한다. 이처럼 건화물 부두는 연간 평균 점유율만으로 성능을 판단하기 어려운 특성이 있지만, 현재까지는 컨테이너 부두와 마찬가지로 40~60% 내외의 선석 점유율을 용량 산정에 사용해왔다. 이로 인해 성수기 체선이 발생함에도 서류상 용량이 충분한 것으로 오판되거나, 반대로 연평균 점유율이 낮다는 이유로 시설 여유가 과대평가되는 오류가 있을 수 있다.

(3) 액체부두(유류 및 화학공업생산물)

원유, 석유제품, LNG, 액체화학제품 등을 취급하는 탱크터미널로서 파이프라인을 통한 이송이 이루어지며, 안전 및 환경관리상 24시간 연속작업이 이루어지는 경우가 많다. 선박은 주로 대형 탱커로 일정량 이상을 한 번에 하역하며, 접안 일정은 정유공장 가동계획이나 수요에 맞춰 비교적 계획적으로 이루어진다. 이러한 액체화물 부두는 선박 한 척이 부두를 오래 점유하지만 입항 빈도가 낮아 평균 점유율은 낮게 나타나며 접안 시에는 부두를 전용하면서 장시간 사용하게 된다. 현재 액체화물 전용부두의 용량 평가도 컨테이너 부두와 비슷하게 선석 점유율 40~65% 수준을 적용하고 있으나, 실제로는 여유 선석이 거의 없이 운영되어도 선박 도착을 조절함으로써 대기시간을 최소화할 수 있는 사례가 있다. 반대로, 예기치 못한 수요 폭증이나 설비 점검으로 인한 처리능력 저하 시에는 비록 평균 점유율이 낮더라도 일시적 병목과 체선이 발생하기 때문에, 기존의 단순 점유율 지표만으로는 서비스 수준을 설명하기 어려운 측면이 있다.

(4) 자동차 전용부두

완성차(Ro-Ro 화물)를 전문적으로 취급하는 부두로, 대형 Car Carrier 선이 투입되어 차량을 직접 구률회행으로 싣고 내리는 하역 특성을 가진다. 주요 자동차 수출입 항만의 경우 선사가 정기노선을 운영하기도 하여 비교적 정례적인 입항패턴을 보이지만, 컨테이너선만큼 엄격한 정시성보다는 생산 및 판매 일정에 따른 유연한 선박 배정이 이루어진다. 자동차 전용 부두는 특성상 광범위한 야드가 필요하며, 차량 장치장은 수용 능력을 넘 어설 경우 장치 지연과 병목이 발생할 가능성이 있다.

〈표 2-7〉 부두별 적정 점유율 적용 기준 및 한계점

부두 유형 (취급 화물)	선석 점유율 적용	장치장 점유율 적용	적용상 한계 및 문제점
컨테이너 부두	40/50/55/60	60	• 정시성 확보 위해 낮은 점유율 유지 필요(기준 명확)
유류 외 부두			• 트램프선 위주로 가동률 변동 큼 • 피크 시 혼잡 반영 곤란 • 계절·설비제약 영향 큼 • 정기선/비정기선 운항 • 일정 유동적
유류 부두	40/50/55/60/65	-	• 계획 입항으로 높은 가동률도 가능하나 기준 미분화 • 저장용량 미반영

자료: 해양수산부(2020)의 자료를 바탕으로 저자 작성

3) 장치장 점유율의 활용 여부 검토 필요

국제기관 및 연구자들의 사전연구에서는 장치장 점유율의 경우 적용하지 않는 사례가 많았으며 일부 적용하는 연구에서도 경험적 수치를 적용하였다. 장치장의 경우 컨테이너 터미널의 통상 장치장 점유율은 70~80%를 넘지 않도록 관리하는 것이 업계의 경험적 수치인 것으로 파악된다. 실제로

컨테이너 야드의 혼잡도가 80%를 넘어가면 장치 및 반출입 작업이 크게 비효율화되어 터미널 전체 생산성이 저하되는 것으로 알려져 있다. 그러나 비컨테이너 화물의 경우, 장치장 점유율의 중요도가 사례별로 상이할 것으로 예상된다. 이에 장치장 점유율의 활용 여부에 대한 두 가지 논점을 살펴보면 다음과 같다.

첫째, 일부 벌크 화물은 장치장이 사실상 필요가 없을 가능성이 있다. 예를 들어, 액체 벌크 화물(유류, 액체화학품 등)의 경우 파이프라인을 통해 곧바로 인근 저장탱크나 수요처로 이송되며, 별도의 야적장 적치 없이도 작업이 이뤄진다. 이러한 부두에서는 하역능력의 제약이 선석 장비 용량과 반출입 속도 등으로 결정될 뿐, 장치장 면적이 병목이 되지 않는다. 마찬가지로 시멘트, 곡물 등도 전문 설비로 직접 이송되거나 사일로에 저장되는 경우가 많아 일반적인 야적장 개념과는 차이가 있다. 이러한 전용설비형 부두에서는 장치장 점유율을 고려한 산정이 불필요하거나 의미가 낮을 수 있다.

둘째, 대부분의 일반화물은 일시 적치 공간을 필요로 한다. 기타광석, 석탄, 철광석, 모래 등 건화물 벌크의 경우 선박에서 하역한 화물을 곧바로 최종 수요처로 이동시키기 어려워, 부두 야적장이나 저장시설에 임시 적치(Stockpiling)하는 과정이 필수적이다. 이런 화물들은 계절적·물량적 불규칙성이 크고 단위선적량이 방대하여, 항만 내 충분한 저장능력을 갖추지 않으면 하역이 중단될 수밖에 없다. 예를 들어, 석탄 부두에서 야적장 점유율이 100%에 달하면 더 이상 선박에서 화물을 내려놓을 공간이 없어 하역작업을 일시 중지해야 하며, 이는 곧 선석 체류시간 증가로 이어진다. 따라서 이 경우 장치장 점유율 상한을 설정하여 항상 여유 공간을 확보하는 것이 원활한 하역을 위해 필요하다. 자동차(Ro-Ro 화물)는 부두 내 야적장(오픈 파킹장)을 통해 선적/하선 차량을 임시 보관·대기시키는 것이 일반적이다. 마찬가지로 목재, 철강재, 고철 등의 일반 화물도 항만에서 한동안

보관되었다가 철도나 트럭으로 후속 운송이 이뤄지므로, 야적장 회전율과 포화도가 부두 처리능력에 영향을 미친다.

결론적으로, 장치장 점유율은 화물 특성과 운영 방식에 따라 선택적으로 적용되어야 한다. 즉, 화물이 부두에 머무르는 체류시간이 짧고 즉시 환적·이송되는 유형(예: 액체 벌크의 파이프라인 이송, 일부 공용부두의 직환적 등)에서는 장치장 용량보다 선석 생산성이 용량 결정요인이 된다. 반면 화물이 일정 기간 항만에 체류하며 공간을 점유하는 유형에서는 장치장 보관 능력이 곧 부두의 최대 처리능력을 제한하므로, 적정 점유율을 설정해 이를 용량 산식에 반영해야 한다. 이러한 판단은 각 품목별 물류 특성과 항만 운영 패턴에 근거해야 하며, 경우에 따라 장치장 확보 여부에 따른 이원화된 장치장 적정 점유율 산정을 고려해야 한다.

4) 적정 선석 및 장치장 점유율 산정 원칙 도출

기존 연구를 검토한 결과, 적정 선석 점유율은 W/S 비율을 기준으로 한 대기행렬이론을 통해 산출하는 것이 합리적일 것으로 판단된다. 이는 기존 연구들의 선석 점유율 산정이 대기행렬이론과 W/S 비율을 근거로 산정되었기 때문이다. 항만 서비스의 품질은 접안 대기 여부와 대기시간 길이에 의해 좌우되는데, W/S 비율은 이러한 혼잡 상황이 언제 본격적으로 발생하는지를 명확하게 보여준다. 따라서 먼저 터미널 유형별로 목표 W/S 수준을 설정한 뒤, 이를 만족할 수 있는 점유율 상한을 역산하여 제시하는 것이 서비스 안정성과 효율성을 동시에 고려하는 데 가장 타당하다고 판단된다.

장치장 점유율은 항만의 핵심 기능인 안벽 하역 흐름을 저해하지 않는 범위에서 허용 가능한 최대치로 산정해야 한다. 장치장은 선석에서의 하역 활동을 이어받는 공간이므로, 일정 수준을 넘어 과도하게 점유될 경우 안

벽에서 처리된 화물이 제때 이송되지 못해 결국 선석의 생산성을 떨어뜨리게 된다. 따라서 장치장 점유율 상한은 안벽 작업이 지연되지 않고 원활히 이어질 수 있는 수준을 기준으로 설정하는 것이 필요하다. 특히 비컨테이너 부두는 컨테이너에 비해 일정 수준의 대기 허용이 가능하다는 점에서 보다 완화된 기준 적용이 가능하다. 또한 모든 터미널에 동일한 보수적 기준을 적용하기보다 화물 유형별로 차등화된 점유율 기준을 제시하는 것이 바람직하다.

결국, 적정 선석 점유율은 W/S 비율을 통해 도출하고, 이를 전제로 안벽 활동을 지연시키지 않는 범위에서 장치장 점유율 상한을 설정해야 한다. 마지막으로, 두 지표는 독립적으로 작동하는 것이 아니라 상호 연계되어 있으므로, 안벽 하역 특성과 장치장 운영 특성을 함께 고려해 종합적으로 검토함으로써 최종적인 적정 선석 점유율과 장치장 점유율을 도출하는 것이 타당하다.

03

적정 선석 점유율 산정

제1절 적정 선석 점유율 산정 방법

1. 적정 선석 점유율 산정 개요

비컨테이너 부두의 적정 선석 점유율을 산정하기 위해 Port-MIS의 실제 운영 데이터를 기반으로 한 대기행렬 이론을 적용한다. 적정 선석 점유율 산정의 핵심은 선박이 부두에 접안하기 위해 기다리는 평균 대기 시간(W)이 실제 하역 작업에 소요되는 평균 하역 시간(S)의 일정 비율을 넘지 않도록 하는 수준, 즉 W/S 비율이 0.2가 되는 지점을 기준으로 혼잡 임계점으로 정의하고, 이를 선석 수별로 추정함으로써 각 부두의 적정 선석 점유율을 도출하는 것이다.

이는 국제 항만 계획 기준 및 컨테이너 부두와 비컨테이너 부두 간 서비스 수준 차이를 반영한 접근 방식이다. 컨테이너 터미널은 높은 정시성과 신속성을 요구하므로 일반적으로 W/S 비율이 0.1 이하로 유지되어야 하지만, 비컨테이너 부두는 화물 특성상 일정 수준의 대기를 용인할 수 있으므로 W/S 비율 0.2를 수용 가능한 서비스 수준으로 가정한다. 이러한 기준

에 따라 비컨테이너 부두의 W/S 비율이 0.2 수준일 때의 대기행렬이론에 기반한 선석 점유율을 제시한다. 이때 적용되는 대기행렬 모형은 M/G/s와 G/G/s 모형이다.

첫 번째 M/G/s 모형은 포아송 도착(랜덤 도착률, M)과 임의의 서비스시간 분포(G), 다수 서버(s) 조건을 가진 대기행렬 모델로, 항만 운영 시점에서 현실적인 대기행태와 서비스시간 변동성을 모두 반영할 수 있는 분석 수단이다. 특히 본 연구에서는 서비스시간이 지수분포(변동계수 $CV = 1$)를 따르는 기존 M/M/s 모델이 아닌, 서비스시간의 변동성을 반영하는 M/G/s 모형을 적용하여, 선석 혼잡 예측의 현실성과 정확도를 제고하였다. M/G/s 모형의 평균 대기시간은 Kingsman 근사식(수식 III-1)을 통해 추정할 수 있다.

$$W_q = \frac{\rho^2}{1-\rho} \cdot \frac{CV^2+1}{2\mu} \quad (\text{III-1})$$

여기서 ρ 는 선석 점유율, CV 는 서비스시간의 변동 계수, μ 는 서비스율(평균 접안시간의 역수)이다.

두 번째 G/G/s 모형은 일반적인 도착분포(G)와 일반적인 서비스시간 분포(G), 다수 서버(s)를 전제로 하는 대기행렬 모델로, 가장 포괄적이고 현실적인 대기행태를 반영할 수 있는 분석 모형이다. 선박 도착이 포아송 분포가 아닌 경우(즉, 도착 간격이 특정 시간대에 집중되거나 변동성이 큰 경우)에도 적용 가능하며, 서비스시간 역시 다양한 확률분포(정규, 감마, 로그 정규 등)를 반영할 수 있다. 따라서 G/G/s 모형은 실제 항만 운영에서 나타나는 불규칙적 도착패턴과 서비스시간의 이질성을 함께 고려할 수 있다는 장점이 있다.

다만, M/M/s나 M/G/s 모형과 달리 G/G/s 모형은 수리적으로 닫힌 형태의 해(closed-form solution)를 갖기 어려워, 일반적으로 근사식

(Allen-Cunneen 근사식 적용, 수식 III-2 참고)이나 시뮬레이션 기법을 활용하여 대기시간과 혼잡 수준을 추정한다. 본 연구에서는 이러한 G/G/s 접근을 통해, 포아송 도착 가정을 벗어난 터미널에서도 현실적인 선석 점유율과 대기행태를 분석할 수 있도록 하였다.

$$W_q = \frac{C_a^2 + C_s^2}{2} \cdot \frac{\rho^{\sqrt{2(s+1)}-1}}{s(1-\rho)} \cdot E[S] \quad (\text{III-2})$$

여기서 ρ 는 선석 점유율, C_a 는 선박 도착 간격의 변동 계수(CV), C_s 는 서비스시간의 변동 계수, s 는 선석 수, $E[S]$ 는 평균 서비스시간을 의미한다.

선석 점유율 산정을 위한 선박 도착 시간 및 서비스시간 분포에서 핵심적인 요소는 변동계수(Coefficient of Variation, CV)이다. CV는 표준편차(σ)를 평균(μ)으로 나눈 값으로 정의되며, 서비스시간이 얼마나 불규칙한지, 즉 작업 시간의 예측 가능성을 나타내는 중요한 지표이다. CV가 0에 가까울수록 서비스시간은 고정값에 가깝고, CV가 1에 가까우면 지수분포(완전 랜덤 서비스시간)에 해당한다. CV가 1보다 크면 일부 선박이 장시간 접안하여 전체 시스템에 큰 영향을 미치는 상황이 증가한다. 이처럼 CV가 커질수록 동일 점유율하에서도 대기시간이 더 길어지는 특성이 있으며, 따라서 M/G/s 모형에서는 CV를 반영하는 것이 혼잡도 예측의 정밀도를 결정짓는 핵심이다.

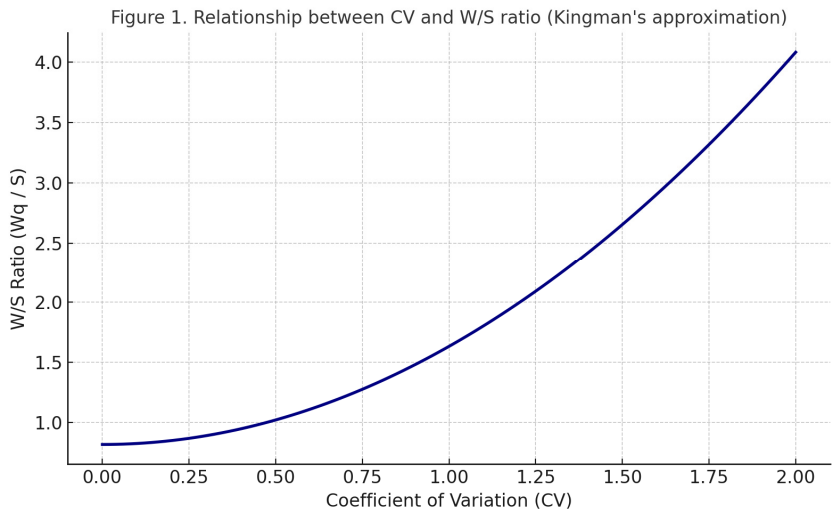
$$CV = \frac{\sigma}{\mu} \quad (\text{III-3})$$

여기서 σ 는 서비스시간의 표준편차, μ 는 평균을 의미한다.

〈그림 3-1〉은 Kingman(1961)의 근사식을 기반으로, 동일한 점유율 조건($\rho = 0.7$)에서 서비스시간의 변동계수(CV)가 커질수록 평균 대기시간이 서비스시간 대비 기하급수적으로 증가하는 현상을 보여준다. 이는 M/G/s

모델에서 서비스시간의 변동성이 시스템의 혼잡도에 미치는 영향을 정량적으로 설명하는 핵심 근거이다. 이 그래프는 M/G/1 모델에서 Kingman의 근사식(수식 Ⅲ-2)에 기반한 추정 곡선으로, CV가 서비스 품질에 미치는 영향을 직관적으로 설명한다.

〈그림 3-1〉 Kingman 근사식에 의한 CV와 W/S 비율의 관계



자료: Kingman(1961)의 자료를 바탕으로 저자 작성

2. 산정 절차

본 연구는 M/G/s와 G/G/s 모형을 기반으로 비컨테이너 전용부두의 적정 선석 점유율을 산정하기 위해 다음과 같은 5단계 분석 절차를 따른다. 각 단계는 순차적으로 연결되어 있으며, 실측 데이터를 수리적 모형으로 해석하고 정책적 시사점으로 확장할 수 있는 구조로 설계되었다.

1) 품목별 대상 부두 선정

적정 점유율 산정의 대상은 전국 비컨테이너 부두 중 다음 조건을 동시에 충족하는 부두로 한정한다.

- 물동량 기준: 최근 3개년간(2021~2023년) 연평균 물동량이 상위 10개 부두 중 선정하여 분석의 대표성과 통계적 신뢰성 확보
- 전용률 기준: 분석 대상 품목(예: 양곡, 유류, 시멘트 등)이 전체 부두 물동량의 절대다수(최소 60% 이상)를 차지하는, 이른바 ‘전용부두’ 성격이 강한 부두를 대상으로 하여 분석의 동질성 확보

이러한 기준을 통해 총 58개 주요 비컨테이너 대상 부두가 선정되었으며, 개별 부두에 대해 실제 입출항 이력 기반의 대기행렬 모형을 적용한 적정 선석 점유율 산정 분석을 수행한다.

2) 선박 도착시간 분포 추정

각 부두별 2021년부터 2023년까지 3년간의 선박 입항 기록 데이터를 활용하여 선박 도착시간(Inter-arrival Time, IAT) 분포를 추정하였다. 먼저 각 선박의 입항 시각(날짜 및 시간)을 기준으로 직전 선박과의 시간 차이를 계산하여 도착 간 시간을 도출하였으며, 이를 시간 단위로 변환하여 도착시간 시계열을 구성하였다. 이후 해당 시계열 자료를 바탕으로 평균 도착 간 시간과 표준편차를 산출하여 부두별 도착률을 추정하였다. 또한 도착 간 시간의 변동계수(CV)를 계산함으로써 선박 도착 패턴의 불규칙성을 진단하였으며, 이를 통해 각 부두별 도착 특성을 정량적으로 파악할 수 있도록 하였다.

3) 서비스시간(하역시간) 분포 추정

서비스시간은 선박이 접안하여 하역작업을 완료한 후 이안할 때까지 소요되는 총 시간으로, 부두 운영의 직접적인 처리용량을 결정짓는 핵심 변수이다. 각 선박의 접안 시각과 이안 시각을 활용하여 서비스시간을 시간 단위로 계산하였다. 이후 도출된 서비스시간 자료를 바탕으로 평균 서비스시간과 표준편차를 산출하여 부두별 서비스율을 추정하였으며, 더 나아가 서비스시간의 변동계수(CV)를 계산함으로써 해당 부두의 작업시간 일관성 수준을 정량적으로 진단하였다. 이를 통해 부두별 하역작업의 안정성과 효율성을 평가할 수 있도록 하였다.

4) M/G/s과 G/G/s 모형 적용을 통한 품목별 대기시간표 산출

앞서 도출한 도착률, 서비스율, 변동계수 값을 바탕으로 선석 수(s)에 따른 M/G/s 모형을 구성하였다. 각 선석 수에 대해 시스템 점유율(ρ)을 다양하게 가정하고, 이에 대응하는 평균 대기시간(W_q)을 계산하였다. 구체적으로는 선석 점유율의 범위를 0.05에서 0.95까지 0.05 간격으로 설정하여 시뮬레이션을 수행하였으며, 각 점유율 값에 대해 도착률과 서비스율을 조정하여 대응하는 시스템 입력 조건을 생성하였다. 이후 선석 수별로 평균 대기시간을 산출하고, 이를 평균 서비스시간으로 나누어 W/S 비율을 도출하였다. 최종적으로 각 선석 수에 대해 W/S 곡선을 작성하여, W/S 기준선과 교차하는 지점을 식별함으로써 적정 선석 점유율을 산정하였다.

또한 본 연구에서는 포아송 도착을 전제로 하는 M/G/s 모형과 더불어, 일반적인 도착분포와 서비스시간 분포를 모두 반영할 수 있는 G/G/s 모형을 적용하였다. G/G/s 모형은 도착과 서비스 모두에서 분포 형태의 제약을 두지 않기 때문에, 실제 항만 운영에서 나타나는 불규칙적 도착 패턴과

다양한 하역시간 특성을 동시에 고려할 수 있는 장점이 있다. 다만 수리적으로 닫힌 해법이 존재하지 않으므로 Allen-Cunneen 근사식이나 시뮬레이션 기법을 활용하여 대기시간과 W/S 비율을 추정하였다. 이를 통해 포아송 도착 가정에서 벗어나는 터미널에서도 현실적인 선석 혼잡 행태를 반영할 수 있도록 하였다.

5) W/S = 0.2 기준 적용 및 적정 점유율 산정

마지막 단계에서는 W/S = 0.2를 임계점으로 설정하고, 선석 수별로 해당 임계치에 도달하는 점유율(ρ)을 도출하였다. 이를 위해 각 선석 수별 W/S 곡선에서 W/S = 0.2와 교차하는 점유율 값을 수치적 보간법을 통해 추출하였으며, 해당 지점을 그 선석 수의 적정 점유율로 정의하였다. 예를 들어, 1선석 조건에서 W/S = 0.2에 도달하는 점유율이 $\rho = 0.60$ 로 나타난 경우, 해당 부두의 1선석 운영 한계는 60%로 간주하였다. 이와 같은 방식으로 각 선석 수별 W/S 곡선에서 임계선과 교차하는 지점을 탐색하여 적정 점유율을 산정하였다. 이러한 절차는 단순한 평균 활용률이 아닌, 서비스 성능을 기준으로 설정된 임계선을 활용함으로써 항만 운영의 실제 상황을 반영한 ‘적정’ 수준의 점유율을 정의한다는 점에서 의미가 있다.

3. 대상 부두 산정

앞서 설정한 선정 기준(물동량 규모, 전용률)에 따라, 총 13개 품목에 해당하는 주요 58개의 비컨테이너 부두가 분석 대상으로 선정되었다(부록 1 참고). 이들 부두는 각기 다른 화물 특성을 갖고 있으며, 평균적인 선석 운영행태, 서비스시간 분포, 대기 발생 특성 등이 상이한 것으로 분석되었다. <표 3-1>은 본 연구에서 선정된 대상 부두 중 일부 주요 부두의 물동량 규

모 및 전용률 정보를 요약한 것이다.

〈표 3-1〉은 주요 비컨테이너 대상부두의 품목별 입항 구조를 요약한 결과이다. 각 품목에 대해 운영 터미널 수, 총입항횟수, 그리고 적하·양하·양적하 비율을 산출하여 항만의 물동량 흐름과 특성을 종합적으로 분석하였다.

첫째, 양하 중심 품목은 고철, 석탄, 양곡, 철광석으로 나타났다. 고철(양하 93.7%), 석탄(91.9%), 양곡(95.2%), 철광석(95.0%)은 대부분 해외에서 국내로 반입되는 구조를 보이며, 국내 제조업 및 에너지·식량 수급과 밀접하게 연계되어 있다. 특히 이들 품목은 물동량 규모 및 전용률 기준에 부합하는 부두(1~4개 수준)가 많지 않아 총입항횟수가 높아 특정 항만에 물동량이 집중되는 특징을 보여준다.

둘째, 적하 중심 품목은 시멘트, 유류, 철재로 구분된다. 시멘트는 총 7,037회의 입항 가운데 적하 비중이 61.5%로, 국내에서 생산한 시멘트를 전국으로 배송하는 연안 출하적 특성을 가진다. 유류는 전체 18,214회의 입항 중 적하 비중이 86.8%로 가장 두드러지며, 이는 선정된 대상 부두의 울산항 비중이 높아 원유를 수입한 뒤 정제유를 수출 및 연안 출하하는 구조를 반영한다. 철재는 수출 및 연안 운송 위주인 광양항 제철부두가 대상 부두로 포함되어 적하가 58.1%로 높게 나타났다.

셋째, 양적하 혼합형 품목은 모래, 자동차, 잡화, 화공품이 대표적이다. 모래는 양하(48.7%)와 양적하(37.2%)가 병행되며, 자동차는 적하(57.7%)와 양적하(19.8%)가 함께 이루어진다. 모래의 경우 연안 및 EEZ에서 채취한 모래를 부두에서 처리하고 다시 연안 운송을 통해 전국 항만으로 운송하는 특성을 보여준다. 자동차의 경우 수입, 환적 및 연안 위주의 물동량 처리로 적하 및 양적하 비율이 높게 나타났다. 잡화는 적하(40.6%), 양하(38.3%), 양적하(38.0%)가 고르게 분포하여 균형적 성격을 보이고, 화공품은 적하(47.4%)와 양하(46.1%)가 유사한 수준으로 나타났다. 이들 품목은

특정 방향에 치우치지 않고 다양한 물류 패턴을 보여주는 것이 특징이다.

평균 입항 횟수와 터미널 수 측면에서 보면, 유류(평균 2,602회·7개 부두), 철재(2,346회·7개 부두), 화공품(1,761회·6개 부두), 자동차(1,915회·5개 부두), 시멘트(880회·8개 부두)가 상대적으로 두드러진다. 이는 3년간의 총입항횟수를 대상 부두 수로 나눈 평균값으로, 입항횟수가 많다는 것은 해당 품목의 선박 회전율이 높고 항만 혼잡도가 높을 가능성이 있다고 해석할 수 있다. 전체 품목별 대상 항만은 <부록 2>에 나타나 있다.

〈표 3-1〉 품목별 대상 부두 및 양적하 비율(요약)

단위: 개, 횟수

품목	대상 부두 수	평균 입항 횟수	적하(%)	양하(%)	양적하(%)	기타(%)
고철	2	575	5.6	93.7	0	0.7
기타광석	5	541	33.2	64.5	1.5	0.8
모래	4	1,524	17.5	48.7	37.2	1.5
목재	1	116	10.3	88.8	0	0.9
석탄	4	715	6.6	91.9	0.5	1
시멘트	8	880	61.5	29.8	1.4	0.3
양곡	3	408	3.9	95.2	0.1	0.8
유류	7	2,602	86.8	16.9	1.9	0.4
자동차	5	1,915	57.7	22.1	19.8	0.3
잡화	3	1,759	40.6	38.3	38	1.6
철광석	3	1,376	4.5	95	0	0.4
철재	7	2,346	58.1	36.2	5.5	1.9
화공품	6	1,761	47.4	46.1	1.1	0.7

자료: 해양수산부, 해운항만물류정보시스템(검색일: 2025.6.10.)의 자료를 바탕으로 저자 작성

〈표 3-2〉는 주요 대상 부두의 전용률 분석 결과를 보여준다. 양곡, 시멘트 등 건화물 부두는 비교적 높은 전용률을 보이며, 연간 물동량은 수백만

톤 규모로 운영되고 있다. 예를 들어, 삼척3부두는 시멘트 전용부두로서 92.2%의 전용률과 347만 9천 톤의 연간 물동량을 기록하였으며, 평택·당진 서부두(양곡 86.7%), 인천남항부두(모래 64.7%) 역시 해당 품목의 전용도가 높은 부두로 확인되었다. 이들 부두는 연속설비 기반의 하역 방식과 계절적 수요편차가 함께 작용하는 특징을 가진다.

한편 유류 및 자동차 전용부두는 품목 집중도가 100%에 근접할 정도로 높다. 광양 원유부두는 2023년 기준 4,677만 톤의 유류 물동량을 처리하면서 전용률 100%를 기록하였고, 울산 자동차부두(자동차 99.6%) 역시 대표적인 단일품목 중심 부두이다. 이러한 전용률 90% 이상의 부두는 사실상 특정 품목 전용 선석으로 기능하고 있는 것을 알 수 있다.

잡화 및 철재 부두의 경우 다양한 품목이 혼재되어 있지만, 감천부두(잡화 93.7%), 광양제철부두(철재 95.6%)처럼 특정 품목의 비중이 월등히 높은 부두도 존재한다. 특히 잡화부두는 트래프션 입항과 혼합하역이 빈번하여 서비스시간 변동성이 클 것으로 예상된다.

또한 일부 부두는 2순위, 3순위 품목의 비중이 일정 수준 이상으로 나타나 혼재 취급 가능성을 시사한다. 예컨대 평택·당진 양곡부두는 양곡(86.7%) 외에도 잡화(13.0%)를 처리하며, 이는 서비스시간 분포의 분산 증가 요인으로 작용할 수 있다. 인천남항 모래부두는 2023년 모래 처리 비중이 64.7%로 낮아졌지만, 이는 인천지역 바다모래 채취 중단 조치에 따른 일시적 현상으로, 2021~2022년에는 모래 비중이 90% 이상을 기록하였다. 따라서 전반적인 연도별 운영 특성과 물동량 규모를 종합 고려할 때, 해당 부두를 모래 품목 대표 부두로 선정하였다.

〈표 3-2〉 주요 품목별 전용률 분석 결과(대표부두 요약)

부두 기능	부두명	하역능력 (천톤)	1순위(%)		2순위(%)		3순위(%)		2023년 물동량 (천톤)
			품목	(비중)	품목	(비중)	품목	(비중)	
고철	인천현대 제철부두	3,100	고철	98.2	철재	1.7	유류	0.1	437
기타광석	평택·당진 송악부두	1,070	기타 광석	99.9	유류	0.1	-	0.0	2,677
모래	인천남항 부두	9,660	모래	64.7	자동차	28.0	잡화	5.7	606
목재	울산대한 통운부두	1,040	목재	100.0	-	0.0	-	0.0	1,071
석탄	태안화력 부두	17,940	석탄	99.5	유류	0.5	기타 광석	0.0	10,939
시멘트	삼척3부두	4,180	시멘트	92.2	기타 광석	7.7	유류	0.1	3,479
양곡	평택·당진 양곡부두	1,620	양곡	86.7	잡화	13.0	유류	0.3	2,034
유류	광양원유 부두	47,000	유류	100.0	-	0.0	-	0.0	46,776
자동차	울산자동 차부두	9,570	자동차	99.6	유류	0.4	-	0.0	11,597
잡화	부산감천 부두	1,460	잡화	93.7	철재	6.1	유류	0.2	689
철광석	평택·당진 철광석 부두	7,500	철광석	75.0	석탄	24.7	유류	0.3	12,310
철재	광양제품 부두	10,820	철재	95.6	유류	4.0	잡화	0.3	11,742
화공품	울산정일 부두	3,030	화공품	79.9	유류	9.7	기타 광석	5.2	3,130

자료: 해양수산부, 해운항만물류정보시스템(검색일: 2025.6.10.)의 자료를 바탕으로 저자 작성

제2절 주요 품목별 적정 선석 점유율 산정

1. 도착시간 및 하역시간 분포 추정

〈표 3-3〉은 주요 품목별 부두의 도착시간(Inter-arrival Time, IAT) 및 하역시간에 대한 기초 통계를 요약한 결과이다. 본 표에는 도착시간의 평균 범위와 변동계수(CV), 하역시간의 평균 범위와 CV가 함께 제시되어 있으며, 이는 각 품목별 입항 특성과 작업 특성을 종합적으로 보여준다.

우선, 도착시간 평균은 입항 빈도와 회전율을 반영한다. 예컨대 고철(43~48시간), 양곡(73~90시간), 시멘트(15~44시간) 등은 비교적 긴 간격을 보이며, 이는 해당 품목 선박의 입항이 일정한 주기를 두고 계획적으로 이루어지거나 계절적 요인에 따라 제한적으로 발생함을 시사한다. 반대로 유류(3~25시간), 자동차(7~28시간), 모래(5~81시간) 등은 도착 간격이 짧아 회전율이 높은 품목군으로 분류된다. 이는 다수 선박이 짧은 주기로 반복 입항하는 구조적 특성을 보여준다.

둘째, 도착시간의 CV는 입항 간격의 불규칙성을 나타낸다. 모래(1.2 이상), 잡화(1.2 이상)는 변동성이 매우 높아 예측이 어려운 반면, 시멘트(0.7~1.1), 화공품(0.8~1.2)은 비교적 안정적이다. 이 값은 G/G/s 모형 적용 시 도착 과정의 불확실성을 반영하는 중요한 계수로 활용된다.

셋째, 하역시간 평균과 CV는 작업 효율과 변동성을 의미한다. 목재(평균 122.4시간), 석탄(50.2~86.6시간), 철광석(38.6~50.4시간)은 장시간 작업이 요구되는 품목군인 반면, 유류(7.2~36.9시간), 자동차(10.0~16.3시간)는 비교적 짧고 반복적인 하역 작업 특성을 보인다. 또한 화공품(0.4~0.9), 유류(0.3~0.9)는 하역 변동성이 낮아 표준화·설비화가 잘 이루어진 반면,

잡화(0.9~1.5), 모래(0.9~1.2)는 변동성이 커서 운영계획 수립 시 여유 용량 확보가 필요하다. 결론적으로, <표 2-3>은 각 품목별 부두 운영이 도착 패턴(빈도·불규칙성)과 하역 특성(작업시간·변동성)에 따라 상이함을 보여 준다.

〈표 3-3〉 품목별 도착시간 및 하역시간 기초 통계(요약)

품목	도착시간 평균 범위 (시간)	도착시간 CV 범위	하역시간 평균 범위(시간)	하역시간 CV 범위	특징 요약
고철	43-48	1.1-1.7	23.9-36.5	0.5-1.0	• 도착 불규칙 • 하역 변동 큼
기타광석	26-155	0.9-1.6	19.9-89.5	0.8-1.3	• 대형선 위주 • 하역 변동 큼
모래	5-81	1.2-2.0	18.7-50.9	0.9-1.2	• 대량 반입 • 이레치 다수
목재	226	0.9	122.4	0.7	• 저빈도 • 장시간 작업
석탄	28-55	0.8-1.3	50.2-86.6	0.8-1.2	• 기상·설비영향 큼
시멘트	15-44	0.7-1.1	13.1-33.3	0.5-1.2	• 연속설비 • 변동 낮음
양곡	73-90	1.0-1.3	68.8-119.7	0.7-1.2	• 시즌성 강함
유류	3-25	0.9-1.5	7.2-36.9	0.3-0.9	• 회전율 높음 • 변동 보통
자동차	7-28	1.0-1.6	10.0-16.3	0.6-1.2	• 정기선 중심 • 양적·하 혼합
잡화	10-57	1.2-2.0	24.3-89.1	0.9-1.5	• 혼합하역 • 변동 매우 큼
철광석	15-25	0.9-1.3	38.6-50.4	0.9-1.3	• 대형벌크 • 장시간 작업
철재	2-40	1.1-1.7	17.9-47.7	0.8-1.2	• 고빈도 • 적하 중심
화공품	10-24	0.8-1.2	11.4-23.1	0.4-0.9	• 설비화·표준화 양호

자료: 저자 작성

〈표 3-4〉는 주요 비컨테이너 품목별로 도착시간과 하역시간에 대해 통계적으로 적합한 분포를 추정한 결과를 요약한 것이다. 본 표는 각 품목별 대표 분포와 그 해석을 함께 제시하여, 향후 M/G/s 및 G/G/s 모형 및 시뮬레이션 분석 시 활용할 수 있는 기초 자료로 기능한다.

먼저, 도착시간 분포는 품목별 입항 패턴의 불규칙성과 회전율을 반영한다. 고철은 지수형(expon)과 와이블형(weibull)으로 추정되어 도착 간격이 불규칙적임을 시사하며, 기타광석과 석탄은 와이블형·감마형으로 나타나 대형선 위주의 긴 주기 입항 특성을 보여준다. 모래와 잡화는 혼합형으로, 여러 분포가 동시에 적합하게 나타나 입항 간격의 변동성이 크고 이레치(outlier)가 다수 존재함을 의미한다. 반면 시멘트, 유류, 자동차 등은 상대적으로 안정된 분포군으로 나타나 계획 입항과 정기선 중심 운영의 특성을 반영한다.

둘째, 하역시간 분포는 선박당 처리작업의 시간 분포를 설명한다. 대부분의 품목에서 로그정규분포(lognorm)가 대표 분포로 나타났으며, 이는 하역시간이 비대칭적이고 꼬리가 두꺼운 분포 형태를 보임을 의미한다. 일부 품목은 보조적으로 와이블분포(weibull), 카이제곱분포(chi2), 감마분포(gamma) 등이 추정되어, 특정 부두나 운영방식에 따라 하역 변동성이 추가로 작용함을 보여준다. 예를 들어, 석탄과 양곡은 chi2+gamma 복합형이 적합하여 기상조건 및 계절 수요 변화에 따른 하역 불확실성이 큼을 시사한다.

셋째, 해석 요약은 분포 결과를 바탕으로 각 품목의 운영 특성을 설명한다. 고철은 도착 간격 불규칙성과 서비스시간 로그정규 특성을 동시에 지니며, 모래와 잡화는 혼합하역 및 변동성 극대 품목으로 분류된다. 반면 유류와 화공품은 설비화·표준화가 잘 이루어진 품목군으로, 비교적 안정된 하역 특성을 보인다. 자동차는 정기선 중심의 양적·혼합형, 철재는 빈번·

혼합형으로 나타나 선석 점유율 분석 시 별도의 고려가 필요하다.

결론적으로, <표 3-4>는 품목별 도착·하역시간의 확률분포 특성을 정리함으로써, 향후 대기행렬 모형 입력값 설정과 시뮬레이션 실험 설계의 기반을 제공한다. 특히 로그정규 분포의 빈번한 출현은 하역시간의 비대칭성과 변동성을 고려해야 함을 강조하며, 잡화·모래와 같이 분포가 혼합적으로 추정된 품목은 서비스시간 변동성(CV)이 높은 대표 사례군으로 활용될 수 있다.

<표 3-4> 품목별 도착시간 및 하역시간 분포 추정(요약)

품목	도착시간 대표분포	하역시간 대표분포	해석 요약
고철	• expon/weibull	• lognorm	• 도착 간격 지수형, 서비스 로그정규
기타광석	• weibull/gamma	• lognorm	• 꼬리 두꺼운 분포, 작업 변동성 큼
모래	• weibull/gamma/expon	• expon • lognorm	• 혼합형, 대량하역시 꼬리 큼
목재	• weibull	• expon	• 저빈도 도착, 비교적 단순
석탄	• weibull/gamma	• lognorm/chi2+gamma	• 설비 영향, 긴 작업 분포
시멘트	• rayleigh/chi2/gamma	• lognorm/weibull	• 연속설비, 안정적
양곡	• gamma	• lognorm/chi2+gamma	• 시준성 강, 서비스 산포 큼
유류	• expon/weibull/gamma	• lognorm	• 회전율 높고 로그정규 적합
자동차	• gamma/chi2/weibull	• lognorm	• 정기선·양적하 특성
잡화	• chi2/weibull/rayleigh	• gamma/weibull/lognorm	• 트램프형, 고변동
철광석	• weibull	• lognorm/chi2+gamma	• 대형벌크, 변동성 중간
철재	• chi2/weibull/gamma	• lognorm/chi2/weibull	• 빈번·혼합형
화공품	• weibull/gamma/expon	• lognorm/weibull	• 비교적 안정, 변동 보통

자료: 저자 작성

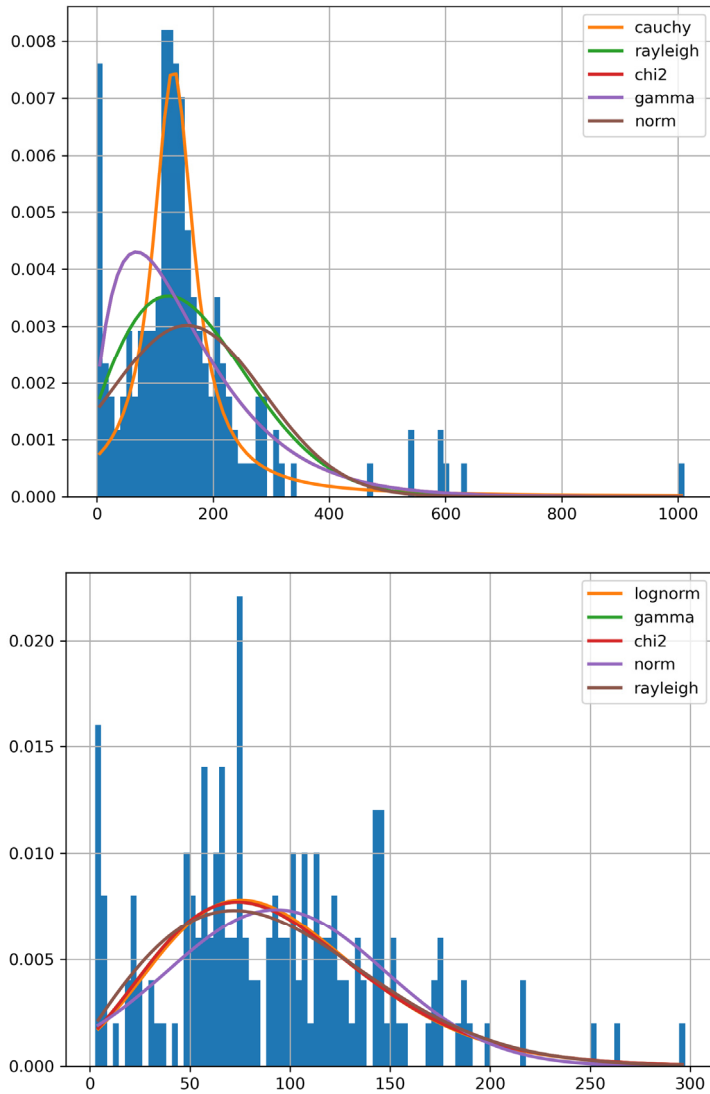
2. 품목별 대기시간표 산출

품목별 대기시간표 산출의 이해를 돕기 위하여 우선 평택·당진항 송악부두(기타광석 부두)를 대상으로 도착시간 및 하역시간 분포 추정 사례를 설명하고, 이를 기반으로 대기행렬 모형에 적용되는 기초 파라미터 산출 과정을 제시한다.

개별 부두별 상세한 대기시간표와 분포 피팅 결과(히스토그램 및 적합 분포곡선)는 본문에서는 지면 관계상 모두 수록하지 않고, 부록에 별도로 정리하였다. 따라서 본문에서는 대표적인 사례를 통해 절차와 주요 해석 포인트를 설명하며, 전체 항만의 결과는 부록의 표 및 그림을 참조하도록 하였다.

〈그림 3-3〉은 평택·당진항 송악부두(기타광석)의 도착시간과 하역시간에 대해 다양한 분포를 피팅한 예시를 제시한 것이다. 상단 그래프는 선박간 도착시간의 분포를 나타내며, 감마분포(gamma), 카이제곱분포(chi2), 레일리분포(rayleigh) 등이 상대적으로 우수한 적합도를 보였다. 하단 그래프는 하역시간 분포로, 로그정규분포(lognormal)와 감마분포가 대표적으로 적합하게 나타났으며, 이는 하역시간이 비대칭적이고 꼬리가 긴 분포 특성을 갖고 있음을 보여준다.

〈그림 3-2〉 기타광석 부두 도착 시간(상) 및 하역시간 분포 피팅(하)



자료: 저자 작성

〈표 3-5〉는 기타광석 부두에 대해 도출된 도착률(λ), 서비스율(μ), 서비스시간 변동계수(CV) 값을 기반으로, 시스템 점유율(ρ)과 선석 수(C)에 따른 선박 1척당 평균 대기시간(W_q)을 계산한 결과이다. 본 표는 M/G/s 대기모형을 적용하여 다양한 운영 조건 하에서의 혼잡 상황을 수치적으로 재현한 것이다.

해당 계산은 각 조합별로 도착률(λ), 서비스율(μ), 그리고 서비스시간의 변동계수(CV)를 입력값으로 하여 수행되었으며, 평균 대기시간 W_q 는 앞서 제시한 Allen-Cunneen 근사식(III-2)을 활용하여 산출하였다. 〈표 3-6〉의 결과는 다음과 같은 특징을 보여준다.

첫째, 단일 선석 체제에서는 점유율이 높아질수록 평균 대기시간이 기하급수적으로 증가한다. 점유율이 0.5를 초과하는 시점부터 W_q 는 두 자릿수 시간대를 넘어가며, $\rho=0.9$ 일 때는 569.2시간, $\rho=0.95$ 에서는 1,201.6시간으로 현실적으로 허용 가능한 체선 수준을 초과한다.

둘째, 선석 수가 2기 이상으로 확보될 경우 동일 점유율 조건에서도 대기시간은 현저히 감소한다. 예를 들어, 점유율 0.9에서 W_q 는 2선석 운영 시 271.4시간이지만, 3선석에서는 173.9시간, 4선석에서는 125.9시간, 10선석에서는 42.9시간까지 완화된다는 다중 선석이 대기 분산 효과를 제공하여 혼잡도를 효과적으로 제어함을 의미한다.

부두별 도착 시간 분포 적합 결과에 따라 대기모형을 구분하여 적용하였다. 도착 시간이 지수분포로 판정된 항만은 M/G/s 모형을 적용하였고, 지수형이 아닌 일반 분포(와이블, 감마 등)로 추정된 항만에는 G/G/s 모형을 적용하였다. G/G/s의 경우 도착 변동계수(CV_a)와 서비스 변동계수(CV_s)를 함께 반영하며, M/G/s는 $CV_a=1$ 가정을 따른다. 계산식은 앞서 제시한 수식 III-1 및 수식 III-2를 참조한다.

〈표 3-5〉 기타광석 부두의 대기시간표(W_q) 요약

단위: 시간

ρ	s									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0.05	3.3	0.4	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.1	7.0	1.3	0.4	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.15	11.2	2.4	0.8	0.3	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
0.2	15.8	3.8	1.4	0.6	0.3	0.2	0.1	0.1	0.0	0.0
0.25	21.1	5.7	2.2	1.1	0.6	0.3	0.2	0.1	0.1	0.1
0.3	27.1	7.9	3.3	1.7	0.9	0.6	0.4	0.2	0.2	0.1
0.35	34.1	10.6	4.8	2.5	1.5	0.9	0.6	0.4	0.3	0.2
0.4	42.2	14.0	6.6	3.6	2.2	1.4	1.0	0.7	0.5	0.4
0.45	51.7	18.1	8.9	5.1	3.2	2.2	1.5	1.1	0.8	0.6
0.5	63.2	23.2	11.9	7.1	4.6	3.2	2.3	1.7	1.3	1.0
0.55	77.3	29.5	15.7	9.7	6.4	4.6	3.3	2.5	2.0	1.6
0.6	94.9	37.7	20.7	13.1	9.0	6.5	4.9	3.8	3.0	2.4
0.65	117.5	48.4	27.4	17.8	12.5	9.2	7.1	5.6	4.5	3.7
0.7	147.6	62.9	36.6	24.4	17.5	13.2	10.3	8.3	6.8	5.7
0.75	189.7	83.4	49.8	34.0	24.9	19.2	15.3	12.4	10.4	8.8
0.8	253.0	114.4	70.1	48.8	36.5	28.6	23.1	19.2	16.2	13.9
0.85	358.4	166.6	104.4	74.2	56.5	45.0	37.0	31.1	26.6	23.1
0.9	569.2	271.4	173.9	125.9	97.6	79.0	65.9	56.2	48.7	42.9
0.95	1,201.6	587.1	383.9	283.0	222.9	183.2	154.9	133.9	117.6	104.7

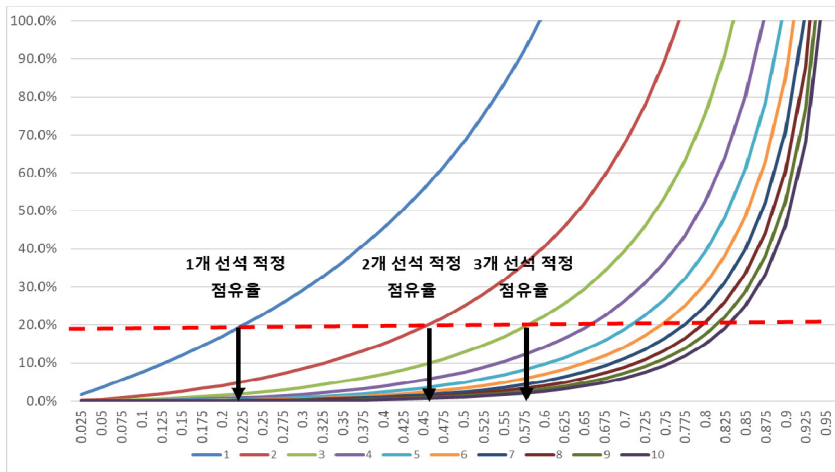
자료: 저자 작성

3. 대기행렬 기반 적정 선석 점유율 산정

〈그림 3-4〉는 기타광석 부두를 대상으로, 선석 수(s)별 시스템 점유율(ρ)과 W/S 비율 간의 관계를 시각화한 결과이다. 이 그래프는 앞서 제시한 M/G/s 모형 기반 대기시간 시뮬레이션 결과를 바탕으로, W/S = 0.2 기준선을 넘지 않는 최대 점유율을 선석 수별로 도출하고자 작성되었다.

수평의 붉은 점선은 $W/S = 0.2$ 기준선을 나타내며, 각 곡선은 선석 수($s = 1 \sim 10$)에 해당하는 W/S 곡선을 나타낸다. 즉, 동일한 점유율(ρ) 조건하에서도 선석 수가 많을수록 W/S 값은 완만하게 증가하며, 이는 혼잡 저항력이 증가함을 의미한다. 화살표로 표시된 교차점은 각각의 선석 수 체제에서 허용 가능한 최대 점유율(ρ)을 나타낸다.

〈그림 3-3〉 W/S 비율(0.2) 적용 기타광석 부두 적정 선석 점유율 산정



자료: 저자 작성

〈표 3-6〉은 〈그림 3-4〉에서 시각화된 시뮬레이션 결과의 원자료로, 기타광석 부두에 대해 시스템 점유율(ρ)과 선석 수(s)의 조합에 따라 산출된 평균 대기시간(W_q)과 평균 서비스시간($E[S] = 93.0$ 시간)의 비율인 W/S 값을 수치화하여 제시한 것이다.

본 표는 서비스 성능 기준으로 $W/S \leq 0.2$ 를 허용 가능한 운영 범위로 정의하고, 이를 만족하는 조건 내에서 선석 수별 최대 허용 점유율(ρ)을 도출하기 위한 분석 기반이 된다. 표 내 붉은색으로 표시된 값은 $W/S = 0.2$ 기준에 가장 근접한 값이다.

〈표 3-6〉 기타광석 부두의 W/S비(요약)

단위: %

ρ	s					
	1	2	3	4	5	6
0.05	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.15	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.2	0.3	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
0.25	0.4	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
0.3	0.6	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
0.35	0.7	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0
0.4	0.9	0.3	0.1	0.0	0.0	0.0
0.45	1.1	0.3	0.1	0.1	0.0	0.0
0.5	1.3	0.4	0.2	0.1	0.1	0.0
0.55	1.6	0.6	0.3	0.2	0.1	0.1
0.6	2.0	0.7	0.4	0.2	0.2	0.1
0.65	2.4	1.0	0.5	0.3	0.2	0.2
0.7	3.1	1.3	0.7	0.5	0.3	0.2
0.75	3.9	1.7	1.0	0.7	0.5	0.4
0.8	5.3	2.3	1.4	1.0	0.7	0.6
0.85	7.5	3.4	2.1	1.5	1.1	0.9
0.9	11.8	5.6	3.6	2.6	2.0	1.6
0.95	25.0	12.2	8.0	5.9	4.6	3.8

자료: 저자 작성

〈표 3-7〉은 각 품목별 부두를 대상으로, W/S 비율이 0.2를 초과하지 않는 범위 내에서 산정된 선석 수별 적정 점유율을 요약한 결과이다. 이 표는 M/G/s 모형 기반의 대기시간 분석을 통해 도출된 시뮬레이션 결과를 정리한 것으로, 선석 수(s)에 따라 시스템이 감당할 수 있는 최대 점유율(ρ)을 정량적으로 제시한다.

표에서 제시된 점유율은 평균 대기시간(w_q)이 평균 서비스시간($E[S]$)

의 20%를 초과하지 않는 조건($W/S \leq 0.2$)을 충족하는 구간 내에서 추출된 값이며, 이는 곧 해당 부두가 평균적으로 수용 가능한 서비스 성능 기준 기반의 선석 운영 한계점을 의미한다.

표에서 확인할 수 있는 가장 두드러진 특징은 선석 수가 증가함에 따라 시스템이 수용 가능한 점유율이 빠르게 완화된다는 점이다. 대부분의 품목에서 단일 선석 체제에서는 점유율이 20% 내외에 불과하나, 2선석으로 확대되는 순간 점유율이 35~45% 수준까지 상승하고, 3선석 이상부터는 50%를 상회하는 수준까지 허용되는 것으로 나타났다.

예를 들어 기타광석, 유류, 자동차, 화공품 등 상대적으로 서비스시간 변동계수가 낮고 안정적인 작업 패턴을 가진 품목의 경우, 3선석 체제에서 57.5%, 4선석 체제에서는 65~70%, 6선석 운영 시에는 최대 75% 수준의 점유율까지도 안정적인 운영이 가능함을 보여준다. 반면 모래, 잡화와 같이 서비스시간의 편차가 크고 일부 장기체류 사례가 존재하는 품목의 경우, 동일한 선석 수 체제에서도 상대적으로 낮은 점유율에서 W/S 기준을 초과하는 경향을 보였다.

이는 곧 품목의 하역 특성과 서비스시간 분포의 안정성 여부가 점유율 허용 범위 결정에 핵심적인 영향을 미친다는 점을 시사하며, 단일한 점유율 기준을 적용하기보다는 품목별·부두별 특성을 반영한 차등적 기준 마련의 필요성을 뒷받침한다.

〈표 3-7〉 W/S 비율 적용 적정 선석 점유율 산정 결과(대표부두 요약)

단위: %

품목	부두명	s					
		1	2	3	4	5	6
고철	인천현대제철부두	0.15	0.4	0.525	0.6	0.65	0.7
기타광석	평택·당진송악부두	0.125	0.35	0.475	0.575	0.625	0.65

품목	부두명	s					
		1	2	3	4	5	6
모래	인천남항부두	-	0.125	0.25	0.325	0.4	0.45
목재	울산대한통운부두	0.25	0.5	0.6	0.675	0.725	0.75
석탄	태안화력부두	0.1	0.325	0.45	0.55	0.6	0.65
시멘트	삼척3부두	0.175	0.425	0.55	0.625	0.675	0.7
양곡	평택·당진양곡부두	0.15	0.375	0.5	0.6	0.65	0.675
유류	광양원유부두	0.175	0.425	0.55	0.625	0.675	0.725
자동차	울산자동차부두	0.075	0.275	0.425	0.5	0.55	0.6
잡화	부산감천부두	0.075	0.275	0.4	0.5	0.55	0.6
철광석	평택·당진 철광석부두	0.27	0.52	0.635	0.705	0.75	0.78
철재	광양제품부두	0.075	0.3	0.425	0.5	0.575	0.625
화공품	울산정일부두	0.15	0.375	0.5	0.6	0.65	0.675

자료: 저자 작성

제3절 적정 선석 점유율 기준(안)

1. 컨테이너 터미널과의 비교

컨테이너 전용 터미널과 비컨테이너 터미널은 선석 점유율 산정에 있어 구조적으로 다른 특성을 보인다. 먼저, 선박 입항 패턴에서 차이가 분명하다. 컨테이너 터미널은 정기항로 기반으로 운영되어 평균 도착 시간이 약 7~9시간 수준으로 안정적(일부 유휴 컨테이너 터미널 제외)이며, 분포 역시 지수분포에 가까운 형태를 보인다. 반면 비컨테이너 터미널은 입항 수요가 계절적으로 집중되는 경우가 많아 평균 도착시간이 20~30시간 이상으로 길고, 분포는 와이불(Weibull)·감마(Gamma) 등 일반분포에 가까운 특성을 나타낸다(〈표 3-8〉 참고).

하역시간에서도 차이가 확인된다. 컨테이너 터미널의 하역시간은 크레인 생산성과 선박 규모에 의해 비교적 일정하게 유지되며, 감마분포나 로그정규분포로 추정되는 경우가 많다. 변동계수(CVs)는 0.3~0.5 수준으로 낮아 예측 가능성이 높은 것이 특징이다. 반면 비컨테이너 터미널은 품목별·선박별 편차가 크다. 곡물이나 석탄은 연속 하역으로 비교적 일정하게 처리되지만, 철광석·원목·철재류 등은 장비와 작업 방식에 따라 처리시간이 크게 달라진다. 실제 분석 결과, 비컨테이너 터미널의 서비스시간 변동계수는 0.6~1.0 이상으로 나타나 컨테이너에 비해 불확실성이 크게 높았다.

마지막으로, 점유율 기준에서도 차이가 존재한다. 컨테이너 터미널은 국내외 지침에서 이미 선석 수에 따른 권고 점유율을 제시하고 있으며, 일반적으로 1선석 터미널은 약 40%, 4선석 이상 대형 터미널은 60~70% 수준까지 허용된다. 이는 W/S 비율 0.1을 목표로 정시성과 공급망 연계성을 확보하기 위한 것이다. 반면 비컨테이너 터미널은 현재까지 컨테이너 기준을 그대로 준용하고 있으나, 실제 입항 패턴과 하역 특성의 불확실성을 고려할 때 동일 기준 적용은 과대·과소 산정의 위험이 크다.

〈표 3-8〉 품목별 도착시간 및 하역시간 분포 추정(요약)

구분	평균 IAT	IAT 분포	하역시간(CVs)	점유율 기준	시사점
컨테이너 터미널	7~9시간	• 지수분포에 근접	• 예측 가능 • (0.3~0.5)	• 1선석 약 40%, 4선석 이상 60~70% (W/S≈0.1 기준)	• 정시성과 공급망 연계성 확보 위해 낮은 점유율 유지
비컨테이너 부두	20~30시간	• 와이블·감마 등 일반 분포	• 품목별 편차 큼 • (0.6~1.0+)	• 현재 컨테이너 기준 준용 • 별도 표준 없음	• 입항 변동성·하역 불확실성 반영한 차등 기준 필요

자료: 한국해양수산개발원(2024)의 자료를 바탕으로 저자 작성

품목별 평균 선박 길이를 기준으로 그룹화한 결과, 비컨테이너 화물은 선박 크기에 따라 크게 네 가지 유형으로 구분할 수 있다. 모래·철재·고철과 같이 100m 미만의 소형 선박을 주로 사용하는 품목은 회전율이 빠르고 접안·이안 절차가 단순하여 상대적으로 높은 점유율을 허용해도 운영 효율성에 큰 문제가 발생하지 않는다. 반면, 자동차·컨테이너처럼 170m 이상의 초대형 선박을 주로 이용하는 품목은 접안과 하역 과정에서 시간이 많이 소요되고 변동성이 크기 때문에 낮은 점유율 수준에서 관리할 필요가 있다.

중형(100~140m) 및 대형(140~170m) 선박을 사용하는 품목군은 전체 비컨테이너 물동량에서 높은 비중을 차지하는데, 이 구간은 점유율 관리의 핵심 대상이다. 특히 유류·석탄·철광석·양곡 등 주요 전략자원은 단순 물량 외에도 국가적 중요성이 크기 때문에 점유율 기준을 설정할 때 사회적 비용까지 고려해야 한다.

이러한 분석은 적정 선석 점유율 산정 시 단순히 부두 전체 평균 점유율을 적용하는 것이 아니라, 품목별 선박 크기와 회전율 특성을 반영한 차등적 관리 기준이 필요함을 보여준다. 예를 들어, 소형 선박 위주의 부두는 W/S 비율 0.2 수준 혹은 그 이상까지 허용하더라도 운영 안정성이 유지될 수 있지만, 초대형 선박이 집중되는 비컨테이너 부두는 W/S 비율 0.2 이하를 목표로 보수적인 점유율을 설정하는 것이 바람직할 수도 있다.

〈표 3-9〉 품목별 평균 선박 길이

단위: m

구분	범위(평균 선박길이)	해당 품목
소형 선박	100m 미만	모래(43.4), 철재(79.0), 고철(81.0)
중형 선박	100~140m	화공품(102.6), 시멘트(109.9), 잡화(131.1)
대형 선박	140~170m	유류(143.9), 기타광석(144.4), 양곡(152.4), 석탄(157.1), 철광석(163.5), 목재(171.0)
초대형 선박	170m 이상	자동차(174.2), 컨테이너(187.2)

자료: 저자 작성

위 비교 결과를 통해 다음과 같은 시사점을 도출할 수 있다. 먼저, 컨테이너 터미널은 정시성과 공급망 연계성이 핵심 가치이므로 $W/S=0.1$ 수준을 유지할 수 있도록 낮은 점유율 기준을 적용하는 것이 합리적이다. 하지만 비컨테이너 터미널은 입항 패턴의 불규칙성, 하역시간의 높은 변동성, 그리고 선박 크기의 다양성으로 인해 컨테이너 기준을 그대로 적용하기 어렵다. 특히 소형 선박 위주의 품목은 높은 점유율을 허용해도 운영에 큰 문제가 없지만, 초대형 선박이 집중되는 품목은 낮은 점유율 관리가 필요하다.

2. 품목별 특성 분석

비컨테이너 화물은 품목별로 선박 입항 패턴, 하역 방식, 화물 가치와 전략적 중요성에서 큰 차이를 보인다. 이러한 차이를 고려하지 않고 일률적으로 선석 점유율을 적용할 경우, 실제 운영 특성과 괴리가 발생할 수 있으며, 이는 항만 혼잡이나 과잉투자 등의 문제로 이어질 수 있다. 따라서 본 장에서는 비컨테이너 화물을 하역특성(양적하)을 기준으로 일곱 개 카테고리로 구분하여 비교·분석하고자 한다.

첫째, 유류(원유·석유제품·가스)는 국가 에너지 안보와 직결되며, 펌프 이송 방식으로 연속 하역이 가능하다. 그러나 자연 시 사회적 비용과 환경 리스크가 매우 크므로 보수적인 점유율 관리가 필요하다.

둘째, 곡물은 식량 수급과 직결되는 전략자원으로, 계절적 수요 집중이 뚜렷하다. 컨베이어 시스템을 활용한 연속 하역이 가능하지만, 입항 패턴의 변동성이 커 점유율 관리가 요구된다.

셋째, 광석·석탄·광물류는 철강 및 발전 산업의 핵심 원료로, 대형선 중

십의 대량 운송이 특징이다. 기상조건과 장비 의존도가 높아 하역시간의 변동성이 크며, 체선 발생 시 산업 전반에 파급효과가 크다.

넷째, 건설·산업자재류에는 시멘트, 모래, 목재, 철재 등이 포함되며, 상대적으로 부가가치가 낮고 소형·중형 선박 위주로 입항한다. 일정한 대기를 허용할 수 있어 점유율을 완화적으로 설정할 수 있다.

다섯째, 잡화는 소비재·가공품 등 다양한 품목을 포함하며, 입항 패턴과 하역 방식이 이질적이다. 사회적 비용 민감도가 낮아 상대적으로 완화된 점유율 관리가 가능하다.

여섯째, 자동차 화물은 초대형 RORO선에 의해 운송되며, 완성차 수출입과 직결되어 있다. 지연 발생 시 산업 경쟁력에 직접적 타격을 주기 때문에 보수적 점유율 관리가 요구된다.

일곱째, 화공품은 석유화학 제품 및 위험물 화물을 포함하며, 환경·안전 리스크가 매우 크다. 전용부두에서 처리되며, 지연 시 사회적 피해가 막대하므로 보수적 점유율 관리가 필요하다.

이와 같이 비컨테이너 화물을 일곱 개 카테고리로 구분하면, 품목별 입항 패턴과 하역특성, 사회적 비용 민감도를 종합적으로 반영하여 보다 합리적인 적정 선석 점유율 기준을 제시할 수 있다.

1) 유류

유류는 원유, 석유제품, 가스와 같은 액체 화물을 의미한다. 이들 품목은 주로 전용부두에서 처리되며, 펌프 이송 방식을 통해 연속적인 하역이 가능하다는 특징을 갖는다. 일반적으로 하역 생산성이 안정적이고 기상 조건의 영향을 비교적 덜 받는다는 점에서 예측 가능성이 높은 편에 속한다.

그러나 국가 에너지 안보 및 환경·안전 리스크와 직결되기 때문에 선박 대기 발생 시 사회적 비용이 다른 품목에 비해 매우 크다. 유류의 주요 특성을 정리하면 다음 <표 3-10>과 같다.

유류는 하역 변동성이 상대적으로 낮음에도 불구하고 대형선 위주의 접안, 환경·안전 리스크, 사회적 비용 부담으로 인해 보수적인 점유율 관리가 필요하다. 따라서 W/S 비율을 0.2 수준으로 설정하는 것이 바람직하며, 단순한 시설 확충보다는 운영 스케줄의 효율화와 저장능력 확보를 통해 대기 가능성을 최소화하는 전략이 요구된다.

<표 3-10> 유류 특성 요약

구분	주요 특징
입항 패턴	• 정기적 입항 경향, 계절별(동절기 등) 수요 집중 발생
선박 크기	• 대형 유조선(VLCC 등), LNG/LPG선 등 초대형 선박 비중 높음
하역 방식	• 펌프 이송 방식 → 연속 하역 가능, 기상 영향 상대적으로 낮음
하역시간 특성	• 평균 접안시간 길어짐(대형선 영향), 변동계수(CVs) 낮아 예측 가능성 높음
사회적 비용	• 에너지 안보·환경·안전 리스크 큼 → 대기 허용도 매우 낮음
시사점	• 보수적 점유율 관리 필요(W/S≈0.2 수준) • 운영 스케줄 효율화 및 저장능력 확보 중요

자료: 저자 작성

2) 양곡

양곡은 밀, 옥수수, 대두 등 식량자원을 포함하며, 국가 식량안보와 직결되는 전략적 화물이다. 대형 곡물선에 의해 대량 운송되는 경우가 많으며, 주요 수출국의 수확기나 국내 수요기에 맞추어 입항이 집중되는 특성이 있다. 곡물은 컨베이어·벨트 시스템을 활용한 연속 하역이 가능하며 처리속도는 비교적 안정적이지만, 입항 시기의 변동성이 크다는 점에서 다른 품

목과 차별된다. 곡물의 주요 특성은 <표 3-11>과 같다. 곡물 부두는 연속 하역이 가능해 변동성이 크지 않지만, 입항이 계절적으로 집중되고 지연 발생 시 사회적 비용이 막대하다. 따라서 곡물 부두의 적정 선석 점유율은 W/S 비율 0.2 수준으로 설정하는 것이 바람직하다. 이는 평상시와 성수기를 불문하고 일정 수준의 여유 용량 확보를 전제로 한 보수적 관리가 필요함을 의미한다.

〈표 3-11〉 양곡 특성 요약

구분	주요 특징
입항 패턴	• 계절성 뚜렷, 수확기·수입 계약 시기에 집중 입항
선박 크기	• 대형 곡물선 위주, 평균 선박길이 150m 이상
하역 방식	• 컨베이어·벨트 시스템 활용 → 연속 하역 가능
하역시간 특성	• 변동계수(CVs) 중간 수준, 처리속도 비교적 안정적
사회적 비용	• 식량안보 직결 → 지연 발생 시 사회적 비용 매우 큼
시사점	• 점유율 관리 필요 (W/S ≈ 0.2 수준) • 계절 집중을 고려한 여유 용량 확보 필수

자료: 저자 작성

3) 광석·석탄·광물류

광석·석탄·광물류에는 철광석, 석탄, 기타 광석이 포함되며, 철강 및 발전 산업의 핵심 원료로 활용되는 전략적 자원이다. 이들 품목은 대형 선박을 통한 대량 운송이 일반적이며, 입항 간격이 길지만 변동성이 큰 특성을 보인다.

입항 패턴은 정기성이 낮고 특정 산업 수요에 따라 불규칙하게 집중되는 경우가 많다. 특히 철광석과 석탄은 대형 벌크선을 중심으로 운송되어, 입항할 경우 한 번에 매우 큰 물량이 처리된다.

하역시간 특성은 변동성이 크다. 크레인, 벨트, 호퍼 등 다양한 장비를 활용해야 하고 기상 조건에 따라 작업 지연이 빈번하게 발생한다. 이에 따라 서비스시간의 변동계수는 높게 나타나며 선박 회전율의 예측 가능성이 낮다.

사회적 비용 측면에서는 철강·발전 산업의 기초자원으로서 체선이 발생할 경우 공급망 차질이 국내 산업 전반으로 확산될 가능성이 높다. 따라서 이들 자원은 저부가가치 화물에 비해 훨씬 낮은 점유율에서 관리되어야 한다. 광석·석탄·광물류의 주요 특성은 <표 3-12>와 같다.

이처럼 광석·석탄·광물류는 대형선 중심, 하역 변동성 큼, 산업 전반 파급력 큼이라는 특징을 지니므로, 적정 선석 점유율은 W/S 비율 0.15 수준으로 관리하는 것이 필요하다. 이는 컨테이너나 유류와 유사한 보수적 관리 기준을 적용해야 함을 시사하며, 특히 기상 조건 및 장비 가동률의 영향을 반영한 운영 전략이 병행되어야 한다.

<표 3-12> 광석·석탄·광물류 특성 요약

구분	주요 특징
입항 패턴	• 정기성 낮음, 산업 수요에 따라 불규칙 집중 입항
선박 크기	• 초대형 벌크선 중심
하역 방식	• 크레인·벨트·호퍼 혼합, 기상 조건에 따라 지연 발생
하역시간 특성	• 변동계수(CVs) 높음, 회전율 예측 가능성 낮음
사회적 비용	• 철강·발전 산업 기초자원 → 체선 시 공급망 차질 심각
시사점	• 보수적 점유율 관리 필요 (W/S≈0.2 수준), 기상·장비 변수 고려한 운영 필수

자료: 저자 작성

4) 건설·산업자재류

건설·산업자재류에는 시멘트, 모래, 목재, 철재 및 고철이 포함된다. 이들 화물은 주로 건설과 제조업의 기초 투입재로 사용되며, 상대적으로 부가가치가 상대적으로 낮고 대량으로 처리되는 특징을 가진다. 전용부두(시멘트·모래)나 일반 부두(목재·철재)에서 주로 처리되며, 소형~중형 선박을 통해 빈번히 운송된다.

입항 패턴은 계절적 요인을 많이 받는다. 건설 성수기에 물동량이 집중되며, 철재와 목재는 국내 산업 수요에 따라 수입 시기가 달라지는 경향을 보인다. 따라서 전반적으로는 입항 빈도가 높지만 수요 변동성이 존재한다.

하역 방식은 품목별로 차이가 있다. 시멘트와 모래는 컨베이어·언로더 등 전용 장비를 활용하여 연속적으로 하역할 수 있어 비교적 안정적인 반면, 목재나 철재는 크레인 및 인력 투입이 병행되어 처리시간의 편차가 크다. 이에 따라 서비스시간의 변동계수(CVs)는 품목별로 다르지만 전반적으로 중간 이상으로 나타난다.

사회적 비용 측면에서는 유류·곡물·광물류와 같은 전략자원과 달리, 일정 수준의 대기 발생이 사회 전반에 미치는 영향이 상대적으로 제한적이다. 따라서 운영 효율성을 높이는 차원에서 다른 품목군에 비해 더 높은 점유율을 허용할 수 있다.

건설·산업자재류의 주요 특성은 <표 3-13>과 같다. 이와 같이 건설·산업자재류는 저부가가치·대량 화물로, 사회적 비용 민감도가 낮아 다른 전략자원에 비해 완화된 점유율($W/S \approx 0.25$ 이상)을 적용할 수 있다. 다만 건설 성수기에는 수요 집중으로 혼잡이 발생할 수 있으므로, 계절적 수요 변동을 반영한 탄력적 점유율 관리가 필요하다.

〈표 3-13〉 건설·산업자재류 특성 요약

구분	주요 특징
입항 패턴	• 소형·중형 선박 위주, 빈번한 입항, 건설 성수기에 집중
선박 크기	• 평균 100~150m급 선박 중심
하역 방식	• 시멘트·모래: 전용 장비 활용, 목재·철재: 크레인·인력 병행
하역시간 특성	• 변동계수(CVs) 중간~높음, 품목별 편차 큼
사회적 비용	• 저부가가치 화물 → 일정 대기 허용 가능
시사점	• 완화된 점유율 설정 가능 ($W/S \approx 0.25$ 수준), 계절적 수요 변동 반영 필요

자료: 저자 작성

5) 잡화

잡화는 항만 통계에서 매우 포괄적으로 분류되는 항목으로, 소비재·가공품·반제품 등 다양한 화물을 포함한다. 이 범주에는 산업재가 일부 포함되기도 하지만, 대부분은 최종소비재 또는 가공된 상품으로, 선박 크기·입항 패턴·하역 방식이 매우 이질적이라는 특징을 갖는다.

입항 패턴은 정기적이지 않고 특정 거래 계약이나 시장 수요에 따라 불규칙하게 이루어진다. 따라서 입항 간격은 예측이 어렵고 일부 항만에서는 계절성 물동량 변화가 반영되기도 한다.

하역 방식은 품목의 종류에 따라 크게 달라진다. 포장화물이 많아 크레인·포크리프트·인력 등이 병행되어야 하며 표준화된 하역체계가 부족하다. 그 결과 서비스시간의 변동계수(CVs)는 높게 나타나며 회전을 예측 가능성이 낮은 편이다.

사회적 비용 측면에서는 다른 전략자원에 비해 낮다. 잡화 지연은 국가 차원의 산업·안보에 큰 영향을 미치지 않으며 대체 수송수단을 활용할 여지가 상대적으로 크다. 따라서 점유율 관리에서도 다른 품목 대비 완화된 기준을 적용할 수 있다.

〈표 3-14〉 잡화 특성 요약

구분	주요 특징
입항 패턴	• 불규칙적, 시장 수요 및 계약에 따라 달라짐
선박 크기	• 중소형 일반화물선 위주, 다양성 큼
하역 방식	• 크레인·포크리프트·인력 병행, 표준화 부족
하역시간 특성	• 변동계수(CVs) 높음, 회전을 예측 어려움
사회적 비용	• 소비자·가공품 중심 → 사회적 비용 민감도 낮음
시사점	• 상대적으로 완화된 점유율 관리 가능 ($W/S \approx 0.25$ 수준), 변동성 대응 위해 운영 유연성 확보 필요

자료: 저자 작성

6) 자동차

자동차 화물은 국내 완성차 산업과 직결되는 대표적 수출입 화물이다. 대부분 초대형 자동차선(PCC·PCTC)에 의해 운송되며, 선박당 처리 물량이 크고 수출 스케줄과 직접 연결되어 있다는 점에서 항만 운영의 안정성이 특히 중요하다.

입항 패턴은 정기항로 기반으로 일정하게 유지되는 경향이 있다. 이는 선사와 완성차 기업 간의 장기 계약에 따라 스케줄이 정해지기 때문이다. 그러나 선박 규모가 크기 때문에 접안과 하역 지연이 발생할 경우, 대기시간이 길어질 가능성이 크다.

하역 방식은 롤온·롤오프(Ro-Ro) 시스템을 통해 이루어진다. 표준화가 잘 되어 있어 작업 효율성이 높은 편이지만, 차량의 이동 동선, 안전 점검 절차, 접안·이안 과정에 시간이 소요되어 총 접안시간은 상대적으로 긴 편이다.

사회적 비용 측면에서는 자동차 화물이 수출 경쟁력과 직결된다는 점이 가장 중요하다. 완성차 수출 지연은 단순한 물류비용 증가를 넘어 산업 전

반의 수출 신뢰도 저하로 이어질 수 있다. 따라서 자동차 화물은 다른 비컨테이너 품목보다 보수적인 점유율 관리가 필요하다.

〈표 3-15〉 자동차 특성 요약

구분	주요 특징
입항 패턴	• 정기항로 기반, 일정 스케줄
선박 크기	• 초대형 자동차선(180m 이상)
하역 방식	• 롤온·롤오프(Ro-Ro), 표준화 높음
하역시간 특성	• 접안·이안 및 차량 이동으로 접안시간 길어짐
사회적 비용	• 수출 지연 시 산업 경쟁력에 큰 타격
시사점	• 보수적 점유율 필요(W/S≈0.2 수준)

자료: 저자 작성

7) 화학공업생산물

화공품은 석유화학 제품, 화학 원료, 위험물 화물을 포함하며 대부분 전용부두에서 처리된다. 화공품은 안전 관리와 환경 규제가 엄격하게 적용되는 품목으로, 항만 운영에서 가장 높은 수준의 안정성이 요구된다.

입항 패턴은 자동차와 달리 일정하지 않으며, 개별 계약이나 수요 조건에 따라 불규칙하게 입항한다. 특정 산업의 생산계획이나 수출입 계약에 따라 입항이 집중되는 경우도 발생한다.

선박 크기는 중·대형 화학제품 운반선이나 유조선이 중심이다. 액체 벌크와 유사하게 펌프 이송 방식으로 하역이 가능하지만, 안전 규제 및 전용장비 사용으로 인해 실제 하역시간은 길어질 수 있다.

하역시간 특성은 평균적으로 안정적인 편이나, 안전 점검 절차와 규제 준수 과정에서 지연이 발생할 수 있어 변동성이 존재한다.

사회적 비용은 화공품에서 가장 큰 특징이다. 지연이 발생하면 단순한 물류 지연을 넘어 환경사고나 안전사고로 확산될 위험이 있으며, 이로 인한 사회적 피해는 막대하다. 따라서 화공품 부두는 보수적인 점유율 관리가 필수적이다.

〈표 3-16〉 화학공업생산물 특성 요약

구분	주요 특징
입항 패턴	• 계약·수요에 따른 불규칙 입항
선박 크기	• 중·대형 화학제품 운반선 중심
하역 방식	• 펌프 이송, 연속 하역 가능, 안전 규제에 추가 시간 소요
하역시간 특성	• 안전 규제 반영 시 변동성 존재
사회적 비용	• 환경·안전 리스크 큼, 지연 발생 시 피해 막대
시사점	• 보수적 점유율 필요(W/S≈0.2 수준)

자료: 저자 작성

3. 적정 선석 점유율 기준(안)

본 연구에서 도출한 〈표 3-17〉의 결과를 종합적으로 살펴보면, 모든 품목에서 선석 수가 증가할수록 적정 점유율이 점진적으로 상승하는 경향을 확인할 수 있다. 1선석의 경우 품목별로 0.09~0.33 수준에 머물러 매우 낮게 나타나지만, 6선석 규모에서는 대부분 0.65~0.80 수준까지 허용 가능한 것으로 분석되었다. 이는 선석 수가 늘어나면서 대기행렬이 분산되고, 이에 따라 혼잡 억제 효과가 강화되면서 점유율 상한이 높아지는, 이른바 규모의 경제 효과를 반영한 결과라 할 수 있다.

품목별로 살펴보면, 유류·곡물·광석·석탄·자동차·화공품은 $W/S = 0.20$ 기준을 적용받는 군으로, 1선석의 점유율은 0.1~0.2대에 머물렀으며 6선석에서는 0.65~0.72 범위에 도달하였다. 이는 전략자원이나 민감 화물군

의 특성을 고려하여 보수적인 관리가 필요함을 수치로 뒷받침하는 결과이다. 반면, 시멘트·목재·모래·철재는 $W/S = 0.25$ 기준을 적용받는 군으로, 1선석에서도 0.3 전후의 상대적으로 높은 점유율을 보였으며 6선석에서는 0.75~0.80 수준까지 상승하였다. 이는 사회적 비용 민감도가 낮고 일정 수준의 대기가 허용 가능한 화물군에 대해 완화된 기준을 적용한 결과로 이해된다. 한편 잡화는 $W/S = 0.20$ 기준에 속하나 1선석에서 0.12, 6선석에서 0.65 수준으로 분석되어, 소비재와 가공품 위주의 성격을 반영하여 운영 유연성이 상대적으로 크다는 점이 반영되었다.

다만 이번 분석에서 도출된 1선석 점유율은 전반적으로 0.1~0.3 수준으로 매우 낮게 나타나 실제 운영 현실과는 차이가 있었다. 일반적으로 국내 항만 운영에서는 1선석의 적정 점유율을 40% 전후로 관리하는 관행이 유지되고 있다. 따라서 본 연구에서는 분석값 그대로를 적용하기보다는 1선석의 적정 점유율을 약 0.4 수준으로 상향 보정하고, 이후 선석 수가 증가함에 따라 5% 단위로 점유율을 증가시키는 방식으로 현실화하는 보완이 필요하다고 판단하였다.

〈표 3-17〉 W/S 비율 적용에 따른 선석 점유율

단위: %

품목	1	2	3	4	5	6	W/S 적용 비율
고철	0.18	0.43	0.55	0.63	0.68	0.71	0.20
기타광석	0.16	0.39	0.52	0.60	0.66	0.69	0.20
모래	0.12	0.23	0.35	0.43	0.49	0.54	0.25
목재	0.30	0.55	0.64	0.71	0.76	0.78	0.25
석탄	0.12	0.35	0.48	0.56	0.62	0.66	0.20
시멘트	0.33	0.57	0.67	0.73	0.77	0.80	0.25
양곡	0.14	0.38	0.50	0.58	0.64	0.68	0.20
유류	0.22	0.46	0.58	0.65	0.70	0.74	0.20
자동차	0.09	0.31	0.44	0.53	0.58	0.63	0.20

품목	1	2	3	4	5	6	W/S 적용 비율
잡화	0.12	0.34	0.47	0.55	0.61	0.65	0.20
철광석	0.17	0.40	0.53	0.60	0.66	0.69	0.20
철재	0.15	0.38	0.50	0.58	0.64	0.68	0.25
화공품	0.18	0.43	0.55	0.63	0.68	0.72	0.20

자료: 저자 작성

〈표 3-18〉은 본 연구에서 제안하는 비컨테이너 부두의 적정 선석 점유율 기준(안)을 종합적으로 제시한 결과이다. 이번 기준은 단순히 기존의 관행적 수치나 일률적 지침을 재활용한 것이 아니라, W/S 비율 분석 결과를 바탕으로 한 대기행렬 모형 검토, 품목별 하역 특성, 사회적 비용 민감도 등을 종합적으로 반영하여 도출되었다.

우선, 모든 품목에 대하여 1선석 점유율은 0.40으로 설정하였다. 이는 실제 항만 운영에서 관행적으로 관리되는 수준을 반영한 것으로, 지나치게 낮게 산출되는 이론적 값과 현실 간의 괴리를 조정한 것이다. 이후 선석 수가 늘어날수록 점유율은 단계적으로 상승하도록 보정하였으며, 특히 0.05포인트 단위의 증가 규칙을 적용하여 정책적·실무적 활용성을 높였다.

〈표 3-18〉 비컨테이너 적정 선석 점유율(안)

단위: %

품목	1	2	3	4	5	6 이상
고철	40	45	55	65	70	75
기타광석	40	45	50	60	65	70
모래	40	45	50	55	60	65
목재	40	55	65	70	75	80
석탄	40	45	50	55	60	65
시멘트	40	55	65	75	80	85
양곡	40	45	50	60	65	70
유류	40	45	60	65	70	75

품목	1	2	3	4	5	6 이상
자동차	40	45	50	55	60	65
잡화	40	45	50	55	60	65
철광석	40	45	55	60	65	70
철재	40	45	50	60	65	70
화공품	40	45	55	65	70	75

자료: 저자 작성

품목별로 살펴보면, 시멘트(85%), 목재(80%)는 전용설비와 연속 하역체계가 발달되어 있고 사회적 비용 민감도가 낮아 상대적으로 높은 점유율까지 허용할 수 있는 것으로 설정되었다. 고철, 유류, 화공품(75%)은 안전성이나 작업 특성에 따른 제약을 고려하여 중상 수준에서 관리하는 것이 적정한 것으로 판단된다. 기타광석, 양곡, 철광석, 철재(70%)는 전략자원 및 기초산업 원자재로서, 공급망 안정성을 확보하기 위해 일정 수준의 여유를 확보하는 것이 필요하다. 마지막으로, 모래, 석탄, 자동차, 잡화(65%)는 입항 변동성이 크고 작업 효율성이 낮거나 경제적 중요도가 높아 상대적으로 낮은 점유율 상한을 유지하는 것이 합리적인 것으로 제시되었다.

이러한 차등적 관리 기준은 모든 품목을 동일한 점유율로 설정하는 기존의 획일적 지침과는 근본적으로 다르다. 본 연구에서는 각 품목의 성격과 사회적 비용 영향을 고려하여, 전략자원과 안전 민감 품목은 보수적으로, 건설·산업자재류는 완화적으로, 소비재·잡화류는 운영 유연성을 부여하는 방식으로 기준을 구분하였다.

따라서 본 연구에서 제시한 <표 3-18>의 적정 선석 점유율(안)은 향후 비컨테이너 부두의 하역능력 산정, 항만 개발계획 수립, 시설 투자 타당성 검토, 운영지표 관리 등 다양한 분야에서 현실적이고 차별화된 지표로 활용될 수 있다. 특히 이 기준은 단순한 추정치가 아니라 과학적 분석과 정책적 판단이 결합된 근거 기반 지표라는 점에서 의의가 크다.

04

적정 장치장 점유율 산정

제1절 적정 장치장 점유율 산정 방법

1. 적정 장치장 점유율 산정 개요

장치장은 안벽에서 처리된 화물이 내륙으로 원활히 이송되기 전까지 일시적으로 적치되는 공간으로, 항만 하역능력의 중요한 제약 요인 중 하나이다. 장치장 점유율은 일정 시점에서 장치장 전체 면적 또는 저장능력 대비 사용 중인 비율을 의미하며, 이 값이 일정 수준을 초과하면 안벽 하역 효율이 저하되거나 내륙 운송 흐름이 지연되는 문제가 발생한다. 따라서 적정 장치장 점유율을 산정하는 것은 항만 운영의 원활성과 서비스 수준 확보 차원에서 핵심적인 과제라 할 수 있다.

본 연구에서는 장치장 점유율을 단순히 최대 저장능력 대비 활용률로 산정하는 기존 방식에서 벗어나, 안벽-장치장-내륙운송 간의 연계성을 고려한 분석을 수행하였다. 즉, 안벽에서 처리되는 물동량이 지체 없이 장치장으로 이송되고, 장치장에서의 체류가 일정 수준을 넘지 않아 후속 운송 단계에 병목이 발생하지 않는 수준을 적정 점유율로 정의하였다.

이를 위해 첫째, 장치장의 유형별 특성을 반영하였다. 양곡·시멘트·석탄·유류 등은 사일로나 탱크를 통한 저장 중심 프로세스를 갖고 있으며, 자동차 부두는 Ro-Ro 방식에 따라 단위 화물(차량)의 점유면적이 직접적으로 하역능력을 제약한다. 반면, 잡화·철재 등은 일반 야적장을 사용하므로 화물 특성에 따른 체류일수와 공간 혼잡도가 직접적인 영향을 미친다. 이러한 차이를 반영하기 위해 본 연구는 장치장을 사일로·탱크형, Ro-Ro형, 일반 야적장형으로 구분하고 유형별 운영 데이터를 수집·분석하였다.

둘째, 장치장 점유율 산정에는 국제적 기준과 기존 연구 결과를 참고하였다. UNCTAD, PIANC 등 국제기구들은 일반적으로 벌크터미널의 장치장 점유율을 70~85% 이하에서 관리할 것을 권고하고 있으며, 국내외 연구에서도 장치장이 80%를 초과할 경우 장비 효율 저하와 병목 발생 가능성이 급격히 높아진다고 지적하고 있다. 이에 따라 본 연구는 국제 권고치와 국내 운영 실적을 종합적으로 검토하여 장치장 점유율의 상한 범위를 설정하였다.

셋째, 시뮬레이션 기반 분석을 통해 안벽 하역량과 장치장 점유율 간의 관계를 도출하였다. 선박 입항 패턴, 하역시간 분포, 화물 체류기간, 회전율 등 주요 변수를 반영하여 장치장 혼잡이 안벽 생산성에 미치는 영향을 모형화하였으며, 이를 통해 각 유형별 장치장이 수용 가능한 최대 점유율 수준을 산정하였다.

결국, 본 연구에서 제시하는 적정 장치장 점유율은 단순한 물리적 수용 능력에 기반한 것이 아니라, 서비스 수준을 유지하면서 항만 운영 효율성을 극대화할 수 있는 상한치를 의미한다. 이는 향후 항만시설 계획, 하역능력 산정, 운영기준 마련 등 다양한 분야에서 실질적으로 활용 가능한 기준으로 활용될 것으로 예상된다.

2. 적정 장치장 점유율 산정 방법

본 장은 안벽-장치장-내륙운송의 연계성을 고려하여, 실제 운영 데이터에 기반한 확률적 시뮬레이션을 통해 장치장의 적정 점유율 상한을 도출하였다. 단순히 장치장의 최대 수용능력 대비 활용률을 계산하는 기존 방식과 달리, 본 연구는 서비스 수준(선박 대기와 하역 효율)과 장치장 혼잡도(점유율의 안정성)를 동시에 관리할 수 있는 지점을 탐색하는 데 초점을 맞추었다.

적정 장치장 점유율 산정의 핵심은 선석 서비스 수준(W/S 비율)이 목표치 이내에서 유지되면서도, 장치장이 과도하게 혼잡해져 안벽-내륙운송 흐름에 병목을 유발하지 않는 균형점을 찾는 것이다. 다시 말해, 장치장의 적정 점유율은 안벽에서의 하역 효율을 저해하지 않으면서 내륙 운송으로의 원활한 이송이 가능한 최대 수준으로 정의된다.

이를 위해 산정 과정은 세 단계로 구분된다. 첫째, 입력 데이터 산출 및 적용 단계에서는 실제 운영자료를 토대로 도착간격, 서비스시간, 장치일수, 장치장 반출입 단위 물량 등 주요 변수를 추정하고, 불확실성을 반영할 수 있도록 확률분포를 적용한다. 둘째, 장치장 부하 실험 단계에서는 접안 능력을 고정한 상태에서 부하 수준을 점진적으로 증가시키며 W/S와 장치장 점유율의 변화를 시뮬레이션한다. 마지막으로, 적정 점유율 판단 단계에서는 선석 서비스 수준 목표(컨테이너·일반군 0.20, 완화군 0.25)와 장치장 점유율의 변동 추이를 종합적으로 고려하여 적정 상한을 도출한다.

이와 같은 접근법은 장치장을 단순한 적치 공간으로 보는 것이 아니라, 항만 운영 전체 흐름 속에서 핵심적인 연결고리로 파악하고, 운영 효율과 서비스 품질을 동시에 충족할 수 있는 합리적인 기준을 마련하는 데 의의가 있다.

1) 입력 데이터 산출 및 적용

장치장 점유율을 합리적으로 산정하기 위해서는 단순히 장치장 면적이나 저장능력만 파악하는 것이 아니라, 실제 운영 과정에서 나타나는 도착 패턴·하역 시간·체류 기간 등 여러 요소를 종합적으로 고려할 필요가 있다. 따라서 본 연구에서는 운영자료를 토대로 장치장 관련 주요 입력 데이터를 산출하고, 이를 시뮬레이션에 적용하였다.

우선, 기본 물리적 정보로서 비컨테이너 부두별 장치장 유형(사일로·탱크형, 일반 야적장형, Ro-Ro형), 장치장 면적, 일시 저장 가능 용량(RT 단위), 평균 장치일수 등을 수집하였다. 이러한 자료는 각 터미널이 확보한 장치장의 구조적 특성과 기본 수용능력을 반영하기 위해 필요하다. 예를 들어, 사일로나 탱크형 장치장은 체류일수가 비교적 안정적인 반면, 일반 야적장은 품목 특성에 따라 변동성이 크기 때문에 유형 구분 자체가 시뮬레이션 결과에 중요한 영향을 미친다.

다음으로, 운영 패턴을 설명하는 확률 변수를 구축하였다. 이를 위해 선박 도착간격과 하역시간에 대한 실제 통계값을 활용하여 평균과 표준편차를 산출하고 변동계수를 계산하였다.

또한 장치장 반출입 단위 물량을 추정하여 적용하였다. 장치장 반출입 단위 물량은 안벽에서 처리된 화물이 장치장으로 유입되는 단위 규모를 의미하며, 장치장의 점유율 변화를 직접적으로 결정하는 요소이다. 터미널별 회전 단위값이 확보되지 않은 경우에는 입항 선박의 양·적하량, 평균 체류일수, 서비스시간을 활용하여 반출입 물량을 근사적으로 추정하였다. 이는 실제 장치장의 운영 패턴을 현실적으로 반영하기 위한 조치이다.

정리하면, 입력 데이터는 물리적 기반(용량·면적·유형)과 확률적 기반(도착·하역 분포, 장치장 반출입 단위 물량)을 동시에 고려하여 산출되었으며,

이를 시뮬레이션에 직접 투입하였다. 이러한 접근은 단순한 정태적 계산을 넘어 운영의 불확실성과 터미널별 특성을 동시에 반영한 장치장 점유율 산정을 가능하게 한다.

〈표 4-1〉 적정 선석 점유율 산정을 위한 입력 데이터 산출 및 적용 개요

구분	주요 항목	산출 방법 및 적용 방식	필요성 및 의의
물리적 기반	• 장치장 유형(사일로·탱크형, 일반 야적장형, Ro-Ro형) • 장치장 면적 및 일시 저장 가능 용량(RT단위) • 평균 장치일수	• 사전 연구, 운영사 관계자 인터뷰 및 항만운영 세칙 등을 통해 직접 수집	• 각 터미널의 구조적 특성과 수용능력 반영유형별 특성이 시뮬레이션 결과에 직접적 영향
확률적 기반	• 도착시간 분포 • 하역시간 분포	• Port-MIS 자료 활용 • 평균·표준편차 및 변동계수 산출 • 자료 부족 시 품목군의 중앙값 대체	• 실제 운영 과정의 불확실성 반영데이터 공백 최소화 및 일관성 유지
장치장 화물 반출입	• 장치장 반출입 물량	• 장치장 반출입 데이터 미확보로 입항 선박 양 적하량, 평균 체류일수, 서비스시간을 활용하여 근사치 산출	• 장치장 점유율 변화를 직접 결정하는 핵심 지표운영 패턴을 현실적으로 반영

자료: 저자 작성

2) 장치장 부하 실험

장치장 부하 실험은 실제 항만 운영 상황을 모의하여, 장치장이 어느 수준까지 활용될 수 있는지를 알아보기 위한 과정이다. 기본 원리는 접안 능력(선석 수 또는 동시에 접안 가능한 선박 수)을 고정해 둔 상태에서 선박의 도착 빈도(λ)를 점차 높여가며 항만이 점점 더 부하가 걸리는 상황을 단계적으로 재현하는 것이다.

처음에는 낮은 부하 수준에서 시작하여 선박이 드물게 들어오는 환경을

가정하고, 이후 단계마다 도착률을 높여 점점 혼잡한 상황을 만들었다. 각 단계에서는 선박이 언제 도착하고 얼마나 오래 하역을 수행하며, 장치장에서 평균적으로 얼마 동안 체류하는지가 확률분포에 따라 생성되도록 설정하였다. 이렇게 함으로써 실제 운영에서 나타나는 불확실성과 변동성을 반영할 수 있다.

안벽에서 하역이 끝난 화물은 장치장으로 옮겨져 일정 기간 체류하다가 내륙으로 반출된다. 이 과정에서 장치장의 점유율은 시간에 따라 달라지며, 실험에서는 이러한 변화를 추적하여 장치장의 혼잡 수준을 평가하였다. 한편 항만의 운영 성능은 선박의 평균 대기시간과 서비스시간의 비율(W/S)로 측정하였다. 따라서 각 부하 단계에서 W/S 비율과 장치장 점유율을 함께 기록하여 부하가 커질수록 두 지표가 어떻게 변하는지를 살펴보았다.

이러한 과정을 통해 어느 시점부터 선박이 대기하게 되고, 동시에 장치장이 지나치게 붐비는가를 확인할 수 있다. 결국, 장치장 부하 실험은 항만 운영이 원활히 유지되면서도 병목이 발생하지 않는 범위를 찾아내고, 이를 근거로 허용 가능한 장치장 점유율의 상한선을 정하는 데 활용된다.

〈표 4-2〉 장치장 부하 실험 개요

구분	내용
실험 목적	• 부하 수준 변화에 따른 안벽·장치장 운영 성능 평가 및 적정 장치장 점유율 도출
실험 조건	• 접안 능력(선석 수 또는 동시 접안 수) 고정- 선박 도착 빈도(λ) 단계적 증가
실험 절차	① 낮은 부하 수준에서 시작 ② 도착률 점진적 확대 → 혼잡 상황 재현 ③ 선박 도착·하역·체류를 확률분포 기반으로 모의
관찰 항목	• 장치장 점유율의 시계열 변화 • 평균 대기시간 대비 서비스시간 비율(W/S)
분석 지표	• 장치장 혼잡 수준- W/S 비율(서비스 수준)
활용 의의	• 선박 대기 발생 및 장치장 과밀 시점을 규명하고, 허용 가능한 장치장 점유율 상한을 설정하는 근거로 활용

자료: 저자 작성

3) 적정 장치장 점유율 판단

장치장의 적정 점유율은 단순히 저장 능력의 최대치를 의미하는 것이 아니라, 서비스 수준과 운영 안정성을 동시에 충족할 수 있는 상한치로 정의된다. 이를 판단하기 위해 본 연구에서는 장치장 부하 실험 결과를 토대로 안벽 서비스 수준(W/S)과 장치장 점유율(혼잡 수준)의 변화를 종합적으로 고려하였다.

우선, 서비스 수준은 평균 대기시간과 서비스시간의 비율(W/S)을 기준으로 평가하였다. 여기서 W/S 목표치는 앞선 선석 점유율 분석에서 적용한 기준을 그대로 준용하였다. 즉, 유류·양곡·자동차 등 정시성이 요구되거나 가치가 높은 화물군은 $W/S \leq 0.20$ 을 목표로 설정하였다. 반면, 시멘트·잡화·철재·목재·모래 등 건설산업자재류는 상대적으로 대기 허용도가 높다고 보고, $W/S \leq 0.25$ 를 기준으로 하였다.

다음으로, 동일한 부하 수준에서 나타나는 장치장 점유율을 확인하였다. W/S값이 목표 기준에 최초로 도달하는 시점의 점유율을 해당 터미널의 적정 장치장 점유율 상한으로 정의하였다. 이때 장치장의 점유율이 지나치게 높아 단기간에 혼잡이 급증하는 경우에는 국제 권고치(UNCTAD, PIANC의 70~85% 수준)와 국내 실적을 참고하여 조정한다.

결과적으로 적정 점유율은 ① 서비스 수준 목표(W/S 기준)를 충족하고, ② 장치장 혼잡이 허용 가능한 범위에 머무르는 시점에서 도출된다. 이러한 방식은 단순한 평균 활용률에 근거한 산정과 달리, 실제 운영 환경에서 발생하는 변동성과 병목 가능성을 반영하여 보다 현실적인 기준을 제시한다.

제2절 주요 품목별 적정 장치장 점유율 산정

1. 유형별 장치장 특성 분석

비컨테이너 부두의 장치장 운영 형태별로 하역능력 산정에 필요한 주요 변수들을 조사·정리하였다. 장치장 운영방식에 따라 적용 가능한 하역능력 산정 기준이 상이하기 때문에 각각의 운영 형태를 고려한 변수를 고려하였으며, 운영 형태에 따른 대표적인 비컨테이너 부두의 장치장 현황 및 운영 데이터를 조사·분석한다.

1) 일반 장치장(창고·야적장) 특성

일반 장치장은 잡화, 철재, 목재, 기타광석 등과 같이 다양한 비컨테이너 화물을 취급하는 부두에서 주로 활용된다. 이러한 장치장은 개방된 야적장이나 밀폐형 창고 형태로 구성되며, 하역능력과 점유율 산정에 있어 가장 핵심적인 요소는 면적·적치 높이·공간 활용도·체류일수이다.

먼저, 장치장의 총면적은 단순히 물리적 크기를 의미하나, 실제로 화물을 적치할 수 있는 면적은 통로, 장비 이동공간, 안전거리 확보 등으로 인해 축소된다. 따라서 유효면적비(η)를 적용하여 실질적으로 활용 가능한 면적을 산정해야 한다. 일반적으로 야적장의 경우 65~85% 수준이 적용된다.

둘째, 화물의 적치 형태와 높이는 장치장의 수용능력을 결정한다. 목재나 철재처럼 중량 화물은 층적 높이가 제한적인 반면, 포장된 잡화류는 상대적으로 높은 층적이 가능하다. 따라서 품목별 특성을 반영한 적치 높이(h)와 적치 계수(α , $\text{톤}/\text{m}^2 \cdot \text{층}$)를 고려해야 한다.

셋째, 장치일수(평균 체류기간)는 장치장의 회전율을 결정하는 중요한 변

수이다. 예를 들어, 평균 장치일수가 15일이라면 연간 회전율은 약 24.3회 (365/15)로 산출된다. 즉, 같은 면적을 가진 장치장이라도 체류기간이 짧으면 더 많은 물량을 처리할 수 있으며, 장치일수가 길면 하역능력이 제한된다.

이러한 변수를 종합하면, 일반 장치장의 일시 저장 능력(톤)은 “장치장 총면적 × 유효면적비 × 적치 높이 × 적치 계수”로 계산된다. 이후 이를 연간 회전율(365 ÷ 평균 장치일수)과 곱하면 해당 장치장의 연간 하역능력을 도출할 수 있다.

결국, 일반 장치장은 화물 특성에 따라 공간 활용도가 크게 달라지고 평균 체류기간이 하역능력을 좌우한다는 점에서 단순한 물리적 면적만으로 처리능력을 평가하는 것은 적절치 않다. 따라서 장치장 하역능력 산정에는 반드시 공간 활용계수와 회전율을 함께 고려해야 한다.

〈표 4-3〉 일반 장치장 하역능력 산정 개요

구분	주요 변수	설명	비고
물리적 구분	• 총면적(A)	• 장치장의 전체 면적(㎡)	• 운영 세척, 실측자료 활용
	• 유효면적비(η)	• 실제 적치 가능한 면적 비율(%)	• 통로·안전거리 고려, 보통 65~85%
	• 적치 높이(h)	• 화물 적치 가능 층수 또는 높이	• 품목별 상이(철재< 집화)
	• 적치 계수(α)	• 면적·층당 적치 가능 중량 (톤/㎡·층)	• 품목별 상이
운영 구분	• 평균 장치일수(D)	• 화물의 평균 체류기간 (일)	• Port-MIS, 운행사 자료
	• 회전율(T)	• 연간 회전 가능 횟수 (365 ÷ D)	• 평균 장치일수에 따라 결정
산출식	• 유효 저장능력(C)	• $A \times \eta \times h \times \alpha$	• 톤 단위

자료: 운행사 관계자 인터뷰, 항만운영세척 활용으로 저자 작성

2) Ro-Ro 장치장 특성

Ro-Ro(Roll-on/Roll-off) 부두는 주로 자동차 전용 부두를 중심으로 운영되며, 차량이 직접 주행하여 선적·하역되는 방식이 특징이다. 이 방식은 크레인이나 컨테이너 장비와 달리, 화물이 자체 이동수단을 통해 처리되므로 단층 적재 구조를 전제로 한다. 따라서 Ro-Ro 장치장의 하역능력을 산정할 때는 차량 1대당 점유면적, 차량당 톤수 환산비율(RT/대), 장치장의 회전율이 핵심 지표가 된다.

첫째, 차량 1대당 점유면적은 차량 크기뿐 아니라 통로, 주행 공간, 회전 공간 등을 포함해야 한다. 1대당 점유면적은 최근 국내외 자동차의 대형화 추세를 반영하여 평균 약 16㎡/대를 적용한다(해양수산부, 2020).

둘째, 장치장 부하 실험을 위해 차량 1대당 RT 환산비율은 항만에서 처리된 자동차 대수와 총 항만물동량 간의 비율을 분석하여 도출된다. 최근 5년간 자료에 따르면 수출 차량은 승용차 위주로 평균 10.0RT/대, 수입 차량은 트럭·버스 등 대형 비중이 높아 평균 15.5RT/대 수준으로 나타났다. 본 연구에서는 수출입 평균값인 10.6RT/대를 적용한다.

셋째, 회전율은 무료 장치기간을 기준으로 산정하였다. 「항만법」 행정규칙에 따라 외항화물 자동차의 무료 장치기간은 6일로 규정되어 있으나 운영사 관계자 인터뷰를 통해 10일로 조정 적용한다. 이때 연간 회전율은 약 60.8회로 산출된다.

〈표 4-4〉 Ro-Ro 장치장 하역능력 산정 주요 변수

구분	1대당 점유면적(㎡/대)	차량당 톤수 환산비율 (RT/대)	회전율(회)
주요변수	16.0	10.6	36.5

자료: 운영사 관계자 인터뷰; 항만운영세칙 활용으로 저자 작성

이러한 요소를 종합하면, Ro-Ro 장치장의 하역능력은 “장치장 총면적 ÷ 차량 1대당 점유면적 × 차량 1대당 RT 환산비율 × 연간 회전율”로 정의할 수 있다. 즉, 부두의 물리적 수용능력(면적)과 운영 조건(회전율), 화물 특성(RT/대)이 결합하여 연간 처리 가능 물동량이 결정된다.

결과적으로 Ro-Ro 부두는 차량 크기 변화, 수출입 구조, 무료 장치기간에 따라 하역능력이 크게 달라질 수 있으며, 향후 장치장의 적정 점유율을 평가할 때 이러한 특성이 반드시 고려되어야 한다.

〈표 4-5〉 자동차 RT 환산 비율

단위: 천 대, 천 RT

구분	수입			수출			합계		
	대수	항만 물동량	환산비	대수	항만 물동량	환산비	대수	항만 물동량	환산비
2020	311	5,615	18.1	2,420	25,101	10.4	2,731	30,716	11.2
2021	320	5,942	18.6	2,657	29,283	11.0	2,977	35,225	11.8
2022	434	6,293	14.5	2,823	31,428	11.1	3,257	37,721	11.6
2023	681	5,615	8.2	4,215	34,465	8.2	4,897	40,081	8.2
2024	309	5,655	18.3	3,679	34,979	9.5	3,988	40,634	10.2
평균	-	-	15.5	-	-	10.0	-	-	10.6

주: 중고차와 신차 모두 Ro-Ro 방식으로 처리되었을 경우를 가정

자료: 무역협회(차량 대수), 통합 Port-Mis(항만물동량)

〈표 4-6〉 Ro-Ro 장치장 하역능력 산정 개요

구분	주요 변수	설명	비고
물리적 구분	• 장치장 면적(A)	• 자동차 전용 부두의 총 야적장 면적(m ²)	• 운영세척, 현장 실측자료
	• 차량 1대당 점유면적(a_car)	• 차량 크기, 간격, 통로·회전 공간 포함	• 평균 16m ² /대 수준
	• RT/대	• 차량 대수 대비 항만물동량 환산값	• 수출 10.0, 수입 15.5, 평균 10.6
	• 무료 장치기간(D)	• 자동차 외항화물 기준 10일	• 운행사 관계자 인터뷰

구분	주요 변수	설명	비고
운영 구분	• 회전율(T)	• $365 \div D = 36.5\text{회/년}$	• 무료 장치기간에 따라 산정
산출식	• 연간 하역능력(Q)	• $(A \div a_{\text{car}}) \times (RT/\text{대}) \times T$	• 단위: RT/년

자료: 저자 작성

3) 사일로 및 탱크형 장치장 특성

사일로 및 탱크형 장치장은 양곡, 시멘트, 석탄, 유류 및 화학공업제품 등과 같이 대량의 벌크 화물을 저장·처리하기 위해 운영되는 시설이다. 이 유형의 장치장은 개방형 야적장이나 Ro-Ro 장치장과 달리, 저장용량이 물리적으로 고정되어 있어 하역능력 산정 시 저장능력(톤)과 회전율(연간 저장 교체 횟수)이 가장 중요한 변수로 작용한다.

첫째, 저장능력은 사일로나 탱크의 설계·운영 상한치로, 해당 부두에서 처리 가능한 일시적 적치량을 의미한다. 이는 부두별 하역능력의 물리적 한계를 결정짓는 핵심 지표이다. 다만 저장능력 자료는 대부분 운영사의 내부 자료로 관리되며 외부 공개가 제한적이므로, 본 연구에서는 입수 가능한 범위 내 자료를 수집하고 분석을 진행하였다.

둘째, 회전율은 장치장에 적치된 화물이 얼마나 자주 교체되는지를 나타내며, 무료 장치기간을 기준으로 산출한다. 무료 장치기간이 길수록 회전율은 낮아지고, 짧을수록 회전율은 높아진다. 본 연구에서는 「항만법」 행정규칙과 ‘2025년 항만하역요금표’에 명시된 무료 장치기간을 적용하였다. 양곡·석탄의 무료 장치기간 15일로 연간 회전율 약 24.3회이며, 시멘트의 무료 장치기간 4일로 연간 회전율 약 91.3회 수준이다.

셋째, 사일로 및 탱크형 장치장의 하역능력은 “저장능력 × 연간 회전율” 정의된다. 예를 들어, 저장능력이 150,000톤이고 무료 장치기간이 15일이라면, 연간 회전율은 24.3회가 되어 연간 하역능력은 약 365만 톤 수준으

로 산정된다.

따라서 사일로 및 탱크형 장치장은 저장설비의 규모와 회전율(무료 장치 기간)에 따라 하역능력이 결정되며, 실제 운영에서는 이송 설비(컨베이어·펌프 등)의 처리능력, 내륙 운송체계, 화물의 수요 패턴에 의해 조정될 필요가 있다. 결과적으로, 이 유형의 장치장은 저장용량과 운영주기 관리가 곧 부두의 처리능력을 좌우한다는 특성을 갖는다.

〈표 4-7〉 사일로 및 탱크형 장치장 하역능력 산정 주요 변수

구분	무료 장치 기간(일)	회전율(회)
양곡·석탄	15	24.3
시멘트	4	91.3

자료: 운영사 관계자 인터뷰; 항만운영세칙 활용으로 저자 작성

〈표 4-8〉 사일로 및 탱크형 장치장 하역능력 산정 개요

구분	주요 변수	설명	비고
물리적 구분	저장능력(C_store)	사일로 및 탱크의 총 저장용량 (톤)	• 운영사 내부자료, 실측자료 활용
운영 구분	무료 장치기간(D)	화물의 무료 체류 허용 기간(일)	• 「항만법」 행정규칙 및 항만하역요금표 기준
	회전율(T)	연간 저장 교체 횟수 ($365 \div D$)	• 양곡·석탄: 15일 → 24.3회 • 시멘트: 4일 → 91.3회
산출식	연간 하역능력(Q)	$C_store \times T$ (톤/년)	• 단위: 톤/연

자료: 저자 작성

2. 장치장 일시 저장 능력 산정

장치장의 적정 점유율을 산정하기 위해서는 먼저 장치장의 일시 저장 능력을 산정해야 한다. 일시 저장 능력 산정을 위해 적정 선석 점유율 산정

대상인 총 58개 부두를 조사하였으나, 이 중 장치장 면적과 유형(일반·Ro-Ro·사일로 및 탱크)이 명확히 파악 가능한 50개 부두를 적정 점유율 산정 대상으로 한정하였다. 본 연구에서는 장치장의 유형별 특성과 운영방식을 반영하여 일반 장치장(창고·야적장), Ro-Ro 장치장(자동차부두), 사일로 및 탱크형 장치장(유류 및 건화물 저장시설)으로 구분하고, 각 유형별 특성에 따라 일시 저장 능력을 산정하였다.

일반 장치장(창고·야적장)은 잡화, 철재, 목재, 광석류 등 다양한 비컨테이너 화물을 적치하는 시설로, 장치장 면적(m^2)에 품목별 설계하중(t/m^2)과 활용계수를 곱해 톤 단위 저장능력을 산출한 뒤, 평균 장치일수를 반영하여 RT 기준의 일시 저장 능력을 환산하였다.

Ro-Ro 장치장은 자동차 전용부두를 대상으로 하며, 차량 1대당 점유면적($\text{m}^2/\text{대}$)과 RT 환산계수($\text{RT}/\text{대}$), 무료 장치기간을 적용하여 차량 단위의 일시 저장 능력을 RT로 추정하였다.

사일로 및 탱크형 장치장은 양곡, 시멘트, 석탄, 유류, 화공품 등 대량 벌크화물을 저장·처리하는 시설로, 저장능력(톤)과 무료 장치기간을 바탕으로 연간 회전율을 산정하고, 이를 RT 단위 일시 저장 능력으로 환산하였다.

이와 같이 환산된 RT 단위 일시 저장 능력은 이후 장치장 점유율 산정과 시뮬레이션 실험의 기본 입력값으로 활용되며, 적정 장치장 점유율의 상한을 도출하는 근거가 된다.

1) 일반 장치장 일시 저장 능력 산정

일반 장치장은 잡화, 철재, 목재, 광석류 등 다양한 비컨테이너 화물을 취급하는 시설로 주로 개방된 야적장이나 창고 형태로 운영된다. 본 연구의 원자료는 면적(m^2) 단위로 조사되었기 때문에, 이를 실제 적치 가능 용

량으로 환산하기 위해서는 품목별 설계하중(t/m^2)과 활용계수를 적용하였다. 장치장의 총면적 전체가 화물 적치에 사용되는 것은 아니며, 실제 운영에서는 장비 이동을 위한 통로, 회전 공간, 안전거리, 배수 구역 등 비가용 면적이 반드시 고려되어야 한다. 이에 따라 전체 면적의 약 15%는 적치가 불가능하다고 가정하고, 나머지 85%만 실질적으로 사용할 수 있는 것으로 산정하였다. 이러한 활용계수는 국내 주요 항만 운영세척과 기존 연구에서 제시된 80~90% 범위를 참조하여 본 연구에서는 평균값인 0.85를 적용하였다.

품목별 설계하중은 운영사 자료와 항만 세척을 검토하여 설정하였다. 철재는 $2.2t/m^2$, 철광석은 $1.44t/m^2$, 그리고 고철, 잡화, 모래, 목재, 기타광석 등은 타 품목 기준을 참조하여 $3.0t/m^2$ 로 적용하였다. 이렇게 산출된 결과에 평균 장치일수를 반영하여 RT 단위의 일시 저장 능력을 도출하였으며, 이를 시뮬레이션에 필요한 입력값으로 활용하였다.

〈표 4-9〉 화물 장치 기준 적용

화물 종류	아적 기준(높이)	설계하중	출처
철재	2단 이하	$1.1\text{톤}/m^2 \times 2.0m = 2.2\text{톤}/m^2$	• 포항항 항만운영세척
철광석	1.2m 이하	$1.2\text{톤}/m^2 \times 1.2m = 1.44\text{톤}/m^2$	
모래	1.0m 이하	$3.0\text{톤}/m^2 \times 1.0m = 3.0\text{톤}/m^2$	
잡화/목재/ 기타광석	-	$3.0\text{톤}/m^2$	• 포항항 및 울산항 항만운영세척 검토

자료: 저자 작성

〈표 4-10〉은 일반 장치장의 품목별 일시 저장 능력을 평균값으로 요약한 것이다. 일반 장치장은 면적 단위로 조사가 이루어졌기 때문에, 이를 톤 단위 용량으로 환산하기 위해 품목별 설계하중과 활용계수를 적용하였다. 본 연구에서는 항만운영세척과 기존 연구를 참고하여 활용계수는 0.85로 설정하였으며, 평균 장치일수는 6일을 적용하였다.

아래 표에서 나타나듯이, 철재는 조사된 6개 부두에서 평균 40,500㎡의 면적을 확보하고 있으며, 설계하중 2.2t/㎡와 활용계수를 적용할 경우 평균 일시 저장 능력은 약 13만 3천 RT 수준으로 산정된다. 철광석은 평균 면적이 약 58만㎡로 가장 넓으며, 설계하중 1.44t/㎡를 적용할 때 평균 일시 저장 능력은 약 50만 3천 RT로 나타나 일반 장치장 중 가장 큰 규모를 보인다. 반면, 목재의 경우 평균 면적이 3만㎡ 수준으로 작아 평균 일시 저장 능력은 약 8만 RT에 불과하다. 고철, 잡화, 모래, 기타광석은 평균 면적이 4만~14만㎡ 사이이며, 일시 저장 능력은 각각 10만~45만 RT 수준으로 산정되었다.

〈표 4-10〉 일반 장치장 일시 저장 능력 산출(예시)

품목	조사 부두 수	평균 면적 (㎡)	설계하중 (t/㎡)	활용계수 (η)	평균 장치 일수 (일)	평균 일시 저장 능력 (RT)
철재	6	40,500	2.2	0.85	6	133,100
철광석	3	580,000	1.44			503,000
고철	2	48,600	3			124,000
잡화	2	141,800	3			446,600
모래	3	42,000	3			112,800
목재	1	31,421	3			80,100
기타광석	3	55,800	3			187,500

자료: 저자 작성

2) Ro-Ro 장치장 일시 저장 능력 산정

Ro-Ro 장치장은 자동차를 직접 주행시켜 선적·하역하는 방식으로 운영되는 전용 부두를 대상으로 한다. 이 유형은 컨테이너나 잡화와 달리 단층 적재 구조를 전제로 하므로, 장치장의 일시 저장 능력은 차량 1대당 점유면적(㎡/대), RT 환산계수(RT/대), 활용계수(η), 그리고 평균 장치일수를 고려하여 산정한다.

본 연구에서는 차량 1대당 점유면적을 16㎡로 적용하였고, 차량 대수 대비 항만물동량 환산계수는 수출입 평균치인 10.6RT/대를 반영하였다. 또한 장치장 전체 면적을 100% 활용하기 어려운 점을 감안하여, 통로·회전 공간 등 비가용 면적을 차감한 활용계수 0.85를 적용하였다. 평균 장치일수는 10일을 가정하였다.

〈표 4-11〉은 조사된 5개 Ro-Ro 부두의 일시 저장 능력을 정리한 것이다. 광양항자동차부두는 면적이 약 44만 5천㎡로 조사되어 약 2만 3천 600대 차량을 동시에 수용할 수 있으며, 일시 저장 능력은 약 25만 톤으로 산출되었다. 평택당진동부두4번은 59만㎡ 규모로 가장 큰 부두이며, 약 3만 1천 대 차량 수용, 33만 톤 이상의 일시 저장 능력을 보유한다. 반면, 마산가포부두와 목포신항외부두는 각각 약 11만㎡, 7만㎡ 규모로 수용 능력이 6천 대 이하, 일시 저장 능력은 4만~6만 톤 수준에 머무른다. 울산자동차부두는 16만㎡ 규모로 8천 800대 수준, 9만 3천 톤 규모의 일시 저장 능력을 기록한다.

이 결과는 Ro-Ro 장치장의 경우 부두별 장치장 면적 차이가 곧 일시 저장 능력의 격차로 이어진다는 점을 보여준다. 따라서 자동차 수출입 중심 항만의 경우 안정적인 서비스 제공을 위해 일정 규모 이상의 전용 장치장 확보가 필요하며, 향후 적정 점유율 산정 과정에서도 이러한 부두별 차이를 반영해야 한다.

〈표 4-11〉 Ro-Ro 장치장 일시 저장 능력 산출(예시)

부두명	면적(㎡)	활용계수 (n)	차량 1대 당 점유면 적(㎡)	수용 가능 차량(대)	RT 환산 계수 (RT/대)	평균 장치 일수(일)	일시 저장 능력(톤)
광양항 자동차 부두	445,000	0.85	16	23,641	10.6	10	250,595
마산 가포 부두	111,750			5,937			62,932

부두명	면적(㎡)	활용계수(η)	차량 1대 당 점유면적(㎡)	수용 가능 차량(대)	RT 환산 계수(RT/대)	평균 장치 일수(일)	일시 저장 능력(톤)
목포신항 외부두	71,504			3,799			45,584
울산 자동차 부두	166,000			8,819			93,481
평택·당진 동부두4번	590,080			31,348			332,289

자료: 저자 작성

3) 사일로 및 탱크형 장치장 일시 저장 능력 산정

사일로 및 탱크형 장치장은 양곡, 시멘트, 석탄, 유류, 화공품과 같은 대량 벌크화물을 저장·처리하는 전용 시설로, 일반 야적장이나 Ro-Ro 장치장과 달리 저장용량(톤)이 직접적으로 명시되어 있는 것이 특징이다. 따라서 이 유형의 장치장 일시 저장 능력은 주어진 저장용량에 활용계수(η)를 적용하여 실질적으로 사용 가능한 용량을 산출하는 방식으로 산정된다.

본 연구에서는 조사된 사일로·탱크형 부두의 자료를 종합하여 평균치를 도출하였다. 활용계수는 실제 운영에서 비가용 공간, 유지관리 여건 등을 고려하여 0.9를 적용하였다. 평균 장치일수는 품목별로 5~20일 수준으로 조사되었으며, 이를 반영하여 평균 일시 저장 능력을 톤 단위로 산출하였다.

〈표 4-12〉는 사일로 및 탱크형 장치장의 품목별 조사 결과를 요약한 것이다. 유류의 경우 조사된 6개 부두의 평균 저장용량은 약 665만 톤이며, 활용계수를 반영할 경우 평균 일시 저장 능력은 약 599만 톤으로 나타났다. 시멘트는 평균 490만 톤 규모로, 평균 일시 저장 능력은 약 441만 톤 수준이다. 석탄은 약 224만 톤 규모에 평균 202만 톤, 양곡은 약 67만 톤 규모에 평균 60만 톤, 화공품은 약 36만 톤 규모에 평균 32만 톤 수준으로 나타났다.

이러한 결과는 사일로 및 탱크형 장치장의 경우 품목별 특성과 저장설비 규모에 따라 장치능력 차이가 뚜렷하게 나타나며, 특히 유류와 시멘트는 대규모 저장시설을 기반으로 타 품목에 비해 월등히 큰 일시 저장 능력을 보유하고 있음을 보여준다. 이는 향후 적정 장치장 점유율 산정 시 품목별 특성과 시설 규모를 구분하여 반영할 필요가 있음을 시사한다.

〈표 4-12〉 사일로 및 탱크형 장치장 일시 저장 능력 산출(예시)

품목	조사 건수	활용계수	평균 장치 일수(일)	평균 사일로/탱크 저장용량 (톤)	평균 일시 저장 능력 (톤)
석탄	3	0.9	18	2,243,333	2,019,000
시멘트	6		5	4,903,833	4,413,450
양곡	3		20	666,667	600,000
유류	6		20	6,653,916	5,988,524
화공품	4		12	360,399	324,359

자료: 저자 작성

3. 시뮬레이션 기반 적정 장치장 점유율 산정

1) 시뮬레이션 설계

본 연구의 목적은 단순히 장치장의 물리적 수용능력 대비 활용률을 계산하는 것이 아니라, 실제 운영 과정에서 나타나는 혼잡도와 서비스 수준을 반영하여 적정 장치장 점유율 상한을 도출하는 데 있다. 장치장 점유율이 일정 수준을 초과할 경우 안벽에서의 하역 효율 저하, 선박 대기 증가, 내륙 반출입 지연 등 항만 운영 전반에 영향을 미칠 수 있다. 따라서 적정 점유율 산정은 안벽-장치장-내륙운송 간 연계성을 고려하여 항만 서비스 수준을 유지할 수 있는 실질적 상한을 규명하는 과정이라 할 수 있다.

이를 위해 본 연구는 시뮬레이션 기반 부하 실험(Ramp-up Simulation)을 설계하였다. 기본 모형은 다중 서버 대기행렬(M/G/s 및 G/G/s) 구조를 바탕으로 하였으며, 각 부두별 도착시간 및 서비스시간 분포 등 운영 특성을 확률변수로 반영하였다. 고정변수는 앞 장에서 산출된 RT 단위 일시 저장 능력, 품목별 평균 장치일수, 평균 장치장 반출입 화물량 등을 사용하였다.

시뮬레이션은 도착률(λ)을 단계적으로 증가시키는 방식으로 수행하였으며, 부하 수준($k=0.5\sim 2.0$ 배)을 점진적으로 높여가면서 장치장 점유율과 선석 서비스 수준(W/S 비율)을 동시에 관찰하였다. 초기 워밍업 기간을 제외하고 통계치를 집계하였다.

2) 적정 장치장 점유율 도출 기준

시뮬레이션 결과를 바탕으로 적정 장치장 점유율 상한을 도출하기 위해서는 서비스 수준과 혼잡도라는 두 가지 조건을 동시에 고려해야 한다.

첫째, 서비스 수준 조건은 선석에서의 대기시간과 서비스시간의 비율(W/S)을 기준으로 설정하였다. 이는 장치장 혼잡이 안벽 하역 효율과 선박 대기에 직결된다는 점에서 중요하다. 본 연구에서는 화물의 가치와 정시성 요구 수준을 반영하여 두 가지 목표 기준을 적용하였다.

〈표 4-13〉 품목별 적정 장치장 점유율 산정을 위한 W/S 적용 비율

품목	조사 건수	비고
유류, 양곡, 자동차, 화공품, 기타광석, 석탄	$W/S \leq 0.20$	• 적정 선석 점유율 검토 기준
시멘트, 잡화, 철재, 고철, 목재, 모래	$W/S \leq 0.25$	

자료: 저자 작성

둘째, 혼잡도 조건은 장치장 점유율의 시간가중 95퍼센타일(P95)을 활용하였다. P95란 시뮬레이션 기간 동안 관측된 점유율값 중 95% 구간에 해당하는 상위값을 의미하며, 운영 시간의 95% 동안 유지되는 혼잡 수준을 보여준다. 단순 평균 점유율은 단기간의 혼잡 상황을 충분히 반영하지 못하는 반면, P95는 실제 발생 가능한 최대 혼잡 수준에 근접한 지표로, 장치장이 과도하게 붐비기 전에 안정적으로 운영될 수 있는 한계를 판단하는 데 적합하다. 예를 들어, 어떤 부두의 평균 점유율이 60%라 하더라도 특정 시간대에는 85%까지 치솟을 수 있으며, 이때 P95가 82%라면 운영 시간의 대부분은 82% 이하로 유지되지만 나머지 5% 시간 동안은 그 이상으로 혼잡해졌음을 의미한다. 본 연구에서는 이와 같이 P95가 급격히 상승하기 시작하는 지점을 혼잡도의 임계점으로 정의하고, 이를 통해 장치장이 과밀화되기 전까지 허용 가능한 점유율 수준을 제시하였다.

마지막으로, 적정 점유율 상한은 위의 두 조건을 동시에 만족하는 지점으로 도출하였다. 즉, W/S가 기준치 이내에 있으면서 장치장 P95 점유율이 급격히 상승하지 않는 범위의 최대치가 해당 부두·품목의 적정 점유율이다.

이와 같은 기준을 적용함으로써 단순히 평균 활용률에 의존하던 기존 방식과 달리, 실제 항만 운영의 서비스 수준과 혼잡 리스크를 반영한 보다 현실적인 장치장 점유율 상한을 제시할 수 있다.

3) 적정 장치장 점유율 산정

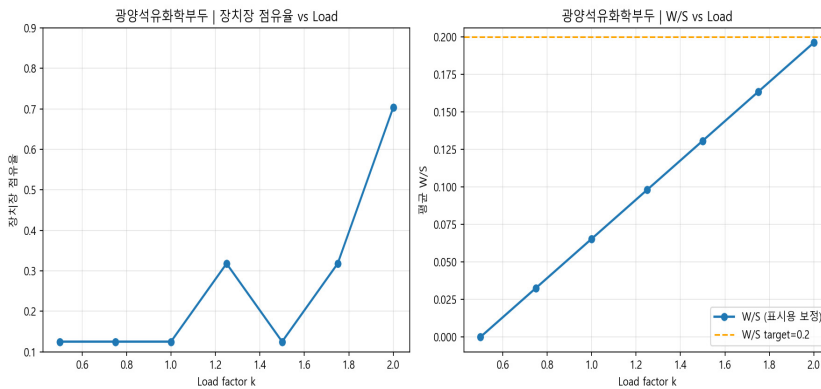
〈그림 4-1〉은 광양석유화학부두(사일로·탱크형, 화공품)를 대상으로 부하 수준(k)의 증가에 따른 장치장 점유율 변화와 W/S 비율 변화를 나타낸 것이다. 좌측 그래프는 Load factor가 증가함에 따라 장치장 점유율이 어떻게 변동하는지를 보여주며, 우측 그래프는 동일 조건에서의 W/S 추이를

나타낸다.

장치장 점유율 그래프를 보면, 부하 수준이 낮을 때는 점유율이 0.1~0.2 수준에서 안정적으로 유지되다가, $k=1.5$ 이후부터 급격히 상승하여 $k=2.0$ 에서 약 0.7에 도달하는 양상을 보인다. 이는 부하 증가가 일정 임계점을 넘어설 경우 장치장이 빠르게 혼잡해지며, 장치장 점유율이 급격히 상승하는 구간이 존재함을 의미한다.

한편 W/S 비율은 부하 수준이 증가함에 따라 선형적으로 상승하며, $k=2.0$ 시점에서 $W/S=0.20$ 에 근접하였다. 이는 본 연구에서 설정한 화공품(고부가가치·정시성 화물군)의 서비스 수준 목표치($W/S \leq 0.20$)와 거의 일치하는 지점으로, 서비스 기준과 혼잡도 조건이 동시에 작동하는 적정 점유율 상한 구간임을 보여준다.

〈그림 4-1〉 부하 증가에 따른 장치장 점유율 및 W/S 비율 변화



자료: 저자 작성

〈표 4-14〉는 시뮬레이션을 통해 도출된 품목별 적정 장치장 점유율을 정리한 것이다. 일반 야적장형에서는 철재(평균 59%), 철광석(41%), 모래(41%), 기타광석(39%) 등이 상대적으로 높은 수준을 보였으며, 목재(13%)

와 잡화(26%)는 낮은 점유율을 나타냈다. Ro-Ro형의 자동차는 평균 46%으로 조사되었는데, 이는 부두별 편차가 크다는 특징을 보여준다. 사일로·탱크형의 경우 유류(64%), 시멘트(56%), 석탄(51%), 화공품(51%), 양곡(45%) 순으로 높게 나타나 대규모 저장시설을 보유한 품목군이 혼잡 위험도 역시 크게 나타남을 확인할 수 있다.

특히 목재의 경우 평균값이 13%으로 지나치게 낮아, 이는 조사된 표본 부두 수가 1개에 불과한 데서 기인한 이상치(outlier)일 가능성이 있다. 따라서 향후 점유율 해석 시에는 표본의 대표성 여부를 함께 검토해야 한다.

〈표 4-14〉 시뮬레이션 기반 적정 장치장 점유율

장치장 유형	품목	평균 점유율	최소	최대
일반 야적장형	고철	21	13	29
	기타광석	39	13	70
	모래	41	13	68
	목재	13	13	13
	철광석	41	41	42
	철재	59	28	86
	잡화	26	13	40
Ro-Ro형	자동차	46	18	65
사일로·탱크형	석탄	51	31	76
	시멘트	56	24	72
	양곡	45	27	58
	유류	64	49	86
	화공품	51	39	70

자료: 저자 작성

제3절 적정 장치장 점유율 기준(안)

1. 정책 대안 검토

안벽과 장치장은 항만 운영에서 상호 보완적인 기능을 수행한다. 안벽은 선박이 접안하여 하역이 이루어지는 1차 처리 공간으로, 선석 점유율이 곧 선박 대기과 직결되므로 낮은 수준의 혼잡 허용 한계를 가진다. 반면, 장치장은 안벽에서 처리된 화물이 내륙으로 반출되기 전 일시적으로 머무르는 후속 저장 공간으로, 일정 수준의 혼잡은 허용될 수 있다. 그러나 장치장 점유율이 과도하게 상승하면 반출입 병목이 발생하여 결과적으로 안벽 하역 효율을 떨어뜨리게 된다.

따라서 장치장 점유율 기준은 단순히 장치장의 자체 효율만을 관리하기 위한 것이 아니라, 안벽의 원활한 하역과 선박 처리 능력을 지원하는 보조적 역할을 고려하여 설정되어야 한다. 본 연구에서 시뮬레이션을 통해 장치장의 최대 점유율을 검토한 것도 이러한 맥락에서 안벽의 처리 기능을 보조하면서도 과도한 혼잡을 방지할 수 있는 적정 상한을 찾기 위함이다.

시뮬레이션 결과와 현행 기준을 비교한 결과, 장치장 유형과 품목별로 혼잡 특성과 운영 특성이 상이하게 나타났다. 이에 따라 정책 대안은 세 가지 유형별로 구분하여 검토할 수 있다.

먼저, 사일로 및 탱크형의 경우 시멘트와 석탄, 화공품 등 대부분 품목에서 최대 점유율이 7% 이상으로 나타나 일반 야적장이나 Ro-Ro형에 비해 상대적으로 높은 혼잡 허용 수준을 보였다. 다만 양곡은 45~50% 수준으로 다른 품목에 비해 낮게 나타나 예외적인 특성을 보인다. 한편 유류는 일반적인 하역 방식이 아니라 배관을 통한 탱크 저장 구조를 가지고 있어 탱크

의 설계적 수용 한계 자체가 곧 하역능력으로 간주된다. 따라서 유류에 대해서는 기존과 같이 별도의 장치장 점유율 기준을 설정하지 않는 것이 타당하다.

자동차 부두는 차량이 직접 주행하여 선적·하역이 이루어진다. 이 때문에 컨테이너나 일반 화물과 달리 크레인 장비를 사용하지 않으며, 단층 적치 구조를 전제로 한다. 따라서 장치장의 일시 저장 능력은 부두 면적, 차량 1대당 점유면적, 차량 회전율 등에 의해 직접적으로 결정된다. 또한 자동차는 화물 단위가 곧바로 상품 단위와 연결되므로 정시성 확보와 품질 유지가 특히 중요하다. 대기 시간이 길어지면 선박 스케줄 차질은 물론 공급망 전반에 영향을 줄 수 있다. 이러한 이유로 자동차 부두는 다른 화물군에 비해 상대적으로 낮은 혼잡 허용 한계가 적용되며, 안정적인 서비스 수준을 확보하는 것이 정책적으로도 중요하다. 자동차 부두의 시뮬레이션 결과를 보면 최대 점유율은 약 65% 수준, 평균은 46% 전후로 확인되었다. 부두별 편차가 존재하지만, 자동차 화물의 높은 경제적 중요성과 정시성 확보의 필요성을 고려할 때 현행 관리 기준인 60%를 유지하는 것이 합리적인 선택으로 판단된다.

일반 야적장형은 철재, 철광석, 잡화, 고철, 모래, 목재 등 다양한 품목이 포함되어 있어 그 특성이 매우 이질적이다. 시뮬레이션 결과에서도 특정 품목군이 일관되게 높은 점유율을 보인다거나, 일정 수준 이하에서 안정적으로 관리되는 뚜렷한 패턴은 나타나지 않았다. 이는 첫째, 세부 품목별 하역 방식과 장치 방식이 크게 다르기 때문이다. 예를 들어, 철재나 철광석은 대량 단위로 장치되며 상대적으로 높은 적치하중을 허용하지만, 잡화나 목재는 개별 단위 적치가 많아 공간 활용도가 낮아진다. 둘째, 선박 입항의 주기와 물동량 변동성 역시 품목별로 크게 달라 단일 기준으로 점유율 경향을 설명하기 어렵다. 셋째, 항만별 시설 배치와 운영 효율의 차이도 영향을 주어 동일 품목이라도 부두별 점유율 편차가 크게 나타난다.

이와 같은 복합적인 요인으로 인해 일반 야적장형은 품목별 차등 기준을 설정하기 어렵고, 오히려 세분화된 기준은 현장의 혼란을 초래할 수 있다. 따라서 관리와 정책 집행 측면에서 단순성과 일관성을 확보하기 위해 현행의 일괄 기준인 60을 유지하는 것이 합리적이다. 다만 향후 장치장 운영 데이터가 축적되고, 품목별·항만별 특성을 더 면밀히 분석할 수 있는 기반이 마련된다면, 일부 대량 품목(예: 철재, 철광석 등)에 한정해 별도의 관리 기준을 검토해 볼 필요가 있다.

2. 적정 장치장 점유율 기준(안)

〈표 4-15〉는 시뮬레이션 결과와 현행 기준을 종합적으로 검토하여 도출한 장치장 유형별 적정 점유율 기준(안)을 제시한 것이다.

먼저 사일로 및 탱크형의 경우, 시멘트·석탄·화공품 등 대부분 품목에서 최대 점유율이 70% 이상으로 확인되었다. 이는 일반 야적장이나 Ro-Ro형에 비해 상대적으로 높은 혼잡 허용 특성을 보여주는 결과다. 따라서 현행 60%에서 다소 상향된 70%를 최종 기준으로 권고하였다. 다만 유류는 배관을 통한 탱크 저장 방식으로, 설비용량 자체가 곧 하역능력이므로 별도의 점유율 기준을 설정하지 않고 실제 운영 환경을 고려한 현실적인 점유율로 90%로 설정하였다.

Ro-Ro형은 자동차 부두를 대상으로 분석한 결과, 최대 점유율은 65%, 평균은 약 46% 수준으로 나타났다. 자동차 화물은 높은 경제적 중요성과 정시성 확보의 필요성이 크므로, 현행 관리 기준인 60%를 그대로 유지하는 것이 타당하다. 이는 시뮬레이션 결과와 정책적 필요성을 동시에 고려한 결정이다.

일반 야적장형은 철재, 철광석, 잡화, 고철, 모래, 목재 등 다양한 품목을 포함하지만, 시뮬레이션 결과에서 품목별로 뚜렷한 패턴이 나타나지 않았다. 이는 세부 품목 특성과 하역 방식, 선박 입항 특성 등 복합적 요인에 따른 것으로 판단된다. 따라서 관리의 단순성과 정책 집행의 일관성을 고려하여 현행 기준인 60%를 유지하는 것이 적절하다.

종합적으로 본 연구의 권고안은 기존 일괄 기준을 유지하되, 사일로 및 탱크형(유류 제외)은 혼잡 허용 수준이 높은 특성을 반영하여 상향 조정한 것이 핵심이다. 이를 통해 장치장 점유율 기준이 보다 합리적으로 조정되며, 향후 항만계획과 운영관리에서 정책적 활용성을 높일 수 있을 것으로 기대된다.

〈표 4-15〉 적정 장치장 점유율(안)

장치장 유형	품목	현행 기준	최종 권고안	비고
사일로 및 탱크형	시멘트, 석탄, 화공품, 양곡	0.6	0.7	• 최대 점유율이 상대적으로 높음
	유류	없음	0.9	• 탱크 설계용량이 곧 하역능력
Ro-Ro형	자동차	0.6	0.6	• 경제적 중요성과 정시성 고려, 현행 유지
일반 야적장형	철재, 철광석, 잡화, 고철, 모래, 목재 등	0.6	0.6	• 품목별 패턴 불분명, 일괄 기준 유지

자료: 저자 작성

05

결론 및 정책제언

제1절 결론

본 연구는 비컨테이너 항만의 적정 선석 점유율과 장치장 점유율 기준을 도출하고, 이를 정책적 지표로 제시하는 것을 목적으로 하였다. 최종적으로 <표 5-1>에 제시된 바와 같이, 품목별·선석 수별 적정 점유율과 장치장 점유율(안)을 정리하였다.

선석 점유율은 대기시간/서비스시간 비율(W/S)을 성능 지표로 활용하여 산출하였다. W/S=0.2를 임계치로 설정하고, 시뮬레이션을 통해 이 지점을 초과하면 선석 대기시간이 급격히 증가한다는 점을 확인하였다. 예컨대 부산 감천부두(철재 취급)의 경우 처리량이 125%까지 증가하면 W/S가 0.125에서 0.858로 폭등하였다. 이를 바탕으로 선석별 점유율은 선박의 정시성과 서비스 수준을 유지할 수 있는 한계치로 설정하였다.

장치장 점유율은 화물 유형별 시뮬레이션을 통해 약 60~70% 수준을 넘어서면 혼잡도가 급격히 높아지고 처리 효율이 저하된다는 사실을 확인하였다. 장치장 점유율이 높아질수록 장비 이동 동선이 복잡해지고 재작업 발생으로 효율성이 떨어지기 때문이다. 이를 반영하여 사일로·탱크형은 상

대적으로 높은 혼잡 허용 특성을 고려해 70% 및 90%를, Ro-Ro형은 경제적 중요성을 고려해 60%를 유지, 일반 야적장형은 품목별 패턴이 불분명해 현행 60%를 유지하는 권고안을 제시하였다.

〈표 5-1〉 비컨테이너 적정 선석 및 장치장 점유율(안)

단위: %

품목	선석별 점유율						장치장 점유율
	1	2	3	4	5	6 이상	
고철	40	45	55	65	70	75	60
기타광석	40	45	50	60	65	70	60
모래	40	45	50	55	60	65	60
목재	40	55	65	70	75	80	60
석탄	40	45	50	55	60	65	70
시멘트	40	55	65	75	80	85	70
양곡	40	45	50	60	65	70	70
유류	40	45	60	65	70	75	90
자동차	40	45	50	55	60	65	60
잡화	40	45	50	55	60	65	60
철광석	40	45	55	60	65	70	60
철재	40	45	50	60	65	70	60
화공품	40	45	55	65	70	75	70

자료: 저자 작성

본 결론의 도출 과정은 문헌 검토, 대기행렬 모형, 시뮬레이션 검증을 병행함으로써 이론적 타당성과 현실 적용성을 동시에 확보하였다. 대기행렬 이론은 점유율과 서비스 수준 간 정량적 관계를 정립하는 데 유용했고, 시뮬레이션은 실제 운영 조건을 반영하여 처리능력과 혼잡도 변화를 예측할 수 있게 했다. 또한 정성적 요소(운영 방식, 장비 구성, 인력 활용)를 함께 고려하여 현장의 제약 조건을 반영하였다.

결론적으로 본 연구의 성과는 단순 최대 처리능력이 아닌, 서비스 품질을 보장할 수 있는 운영 한계치를 제시했다는 점에 있다. 이는 항만 개발 및 운영 관리에서 적절한 용량을 산정할 수 있는 새로운 기준을 제공하며, 일정 점유율을 초과하면 서비스 저하와 비용 증가가 불가피하다는 정책적 함의를 포함한다.

본 연구는 비컨테이너 항만의 운영특성을 반영하여 적정 점유율 기준을 제시하였으나, 다음과 같은 보완 과제가 남아 있다. 첫 번째는 데이터 확충 및 기관 간 역할 분담 체계 구축이다. 분석에 활용된 자료는 주요 기초데이터에 한정되어 있으며, 구체적인 데이터 확충 계획 및 기관 간 협력 방안이 미비하다. 향후에는 해양수산부·항만공사·KMI 등 관련 기관 간 데이터 공유체계와 역할 분담을 명확히 설정하고, 지속적 갱신이 가능한 협력형 데이터 플랫폼을 구축할 필요가 있다.

두 번째는 장치장 자료 및 중소항만 특성 반영 강화이다. 일부 항만은 장치장 자료가 부족하여 장치장 점유율 분석의 신뢰도 확보에 한계가 있었다. 일부 항만은 장치장 관련 자료가 부족하여 장치장 점유율 분석의 신뢰도 확보에 한계가 있었다. 또한 본 연구의 적정 점유율 분석 대상은 물동량 규모가 크고 화물 전용률이 높은 항만을 중심으로 선정되었기 때문에, 중소항만의 세부적 운영 특성이나 지역별 여건이 충분히 반영되지 못했을 가능성이 있다. 이는 품목 대표성을 띠는 항만을 선정하여 결과의 일반화 가능성을 높이기 위한 연구 설계상의 의도였으나, 결과적으로 일부 지역·항만의 특수성이 충분히 고려되지 못한 한계로 볼 수 있다. 따라서 후속 연구에서는 중소항만의 운영 형태, 지역 물류 여건, 하역방식 등의 특성을 반영한 자료 보정과 표본 확대를 통해 분석의 균형성과 대표성을 강화할 필요가 있다.

세 번째는 Port-MIS 기반 자료의 한계 보완 및 실측데이터 확보이다.

Port-MIS 자료는 실제 선박 입항시간, 작업시간, 대기시간, 선박 재항시간 등을 충분히 반영하지 못하는 한계가 있다. 향후에는 AIS 및 현장 계측 시스템 등 실측 기반 데이터 수집체계를 구축하여 보다 정밀한 하역능력 분석이 가능하도록 개선해야 한다.

마지막으로 경제성 분석 병행을 통한 정책 실용성 제고이다. 본 연구는 기술적·운영적 분석에 중점을 두었으나, 비용·편익 비교를 포함한 경제성 평가가 병행될 경우 실용성이 더욱 높아질 것으로 예상된다. 이를 통해 항만별 투자 우선순위 도출 및 정책적 의사결정의 근거 강화가 가능할 것으로 판단된다.

종합적으로, 향후 연구는 실측 데이터 기반의 정밀 분석과 경제성 평가를 통합하여, 항만 하역능력 산정 및 점유율 기준의 정책 적용성과 현실 대응력을 한층 강화하는 방향으로 발전할 필요가 있다.

제2절 정책제언

항만 하역능력과 적정 점유율 산정 및 관리에 관한 다음과 같은 정책적 제언을 도출할 수 있다.

1. 장치장 운영 데이터 확충 및 관리 체계 구축

현재 항만의 하역능력을 산정하는 과정에서 장치장 관련 운영 데이터가 매우 부실하다는 문제가 발견되었다. 예컨대 장치장 면적이나 이론적 적치 능력은 파악되고 있으나, 실제 장치장 점유율, 적치율, 장치 일수와 같은

운영상 지표는 공식적으로 수집·관리되지 않는 경우가 많다. 이러한 데이터 부재는 장치장의 병목효과를 간과하게 만들어 항만능력을 과대 산정할 위험이 있다. 따라서 정확한 하역능력 평가를 위해서는 장치장 운영현황에 대한 데이터 수집이 선행되어야 한다.

최근 물류 환경 변화로 장치장의 정책적 중요성이 크게 부각되고 있는 만큼, 정부와 항만당국은 장치장 운영 관련 데이터를 주기적으로 수집·관리하는 체계를 마련할 필요가 있다. 구체적으로는 터미널 운영사로부터 장치장 일별 평균 점유율, 피크 시 점유율, 평균 장치일 등 핵심 지표를 정기적으로 공유 받고, 이를 중앙 데이터베이스로 구축하는 방안을 고려할 수 있다. 이러한 데이터 기반 관리체계를 갖추면 장치장 포화로 인한 운영상의 애로를 조기에 파악하고 대응할 수 있으며, 향후 시설 투자나 확충이 필요한 시점을 객관적 지표를 통해 결정할 수 있게 된다. 나아가 국가 차원에서 항만별 장치장 활용률 벤치마킹이나 예측도 가능해져 과학적이고 선제적인 정책 결정이 이루어질 것으로 기대된다.

2. 서비스 수준에 대한 사회적 합의 및 기준 정립

본 연구에서 제시한 W/S 비율 기준이나 장치장 점유율 60~70%라는 수치는 대기행렬 및 시뮬레이션 등 통계 전문가 판단에 기반한 것이다. 이를 정책에 반영하기 위해서는 서비스 수준에 대한 사회적 공감대 형성이 뒷받침되어야 한다. 즉, 선석 대기시간이나 장치장 혼잡도와 관련하여 어느 수준까지를 수용 가능한 서비스 수준으로 볼 것인지에 대해 업계 이해관계자와 전문가, 나아가 이용자의 의견을 수렴할 필요가 있다. 통계자료 분석이나 설문조사 등을 통해 허용 가능한 대기시간 비율, 장치장 적정 혼잡도에 대한 기준치를 사회적으로 합의한다면, 본 연구에서 제안한 W/S 비율 및

장치장 점유율 기준의 정당성과 실효성을 더욱 확보할 수 있을 것이다. 이는 곧 정책 수립 단계에서 관련 지표들을 공식 기준으로 삼는 것을 용이하게 하고, 정책 집행 과정에서도 이해관계자의 지지를 얻는 데 기여할 것으로 판단된다.

참고문헌

국내 문헌

- 고용기·조정구·여택동(2011), 부산항 일반화물부두의 개발소요선석 전망, 한국물류학회지, 21(5), pp. 49-75.
- 김창곤(2000), 컨테이너 터미널의 서비스 수준 평가지표에 대한 고찰, 해양정책연구, 15(1), pp. 39-57.
- 김창곤(2007), 선사비용과 항만비용을 동시에 고려한 선석점유율 비교 분석, 해운물류연구, (55), pp. 69-88.
- 김창곤·장성용(2008), Bulk 부두의 선박 대형화에 따른 선석별 점유율 비교 분석, 한국시물레이션학회 논문지, 17(3), pp. 63-73.
- 박병인·배종욱·박상준(2009), 선박당 평균대기비용에 의한 항만의 서비스 수준 평가, 한국항만경제학회지, 25(4), pp. 185-205.
- 박상국·박남규(2013), 항만에서 시물레이션 기반 적정하역능력 산정 모델에 관한 연구: 항만 화물 전용부두 중심으로, 한국정보통신학회논문지, 17(10), pp. 2454-2460.
- 박상국(2014), 벌크 전용부두의 최적 서비스 수준에 관한 연구(박사학위, 숭실대학교 대학원).
- 박상국(2016), 컨테이너 전용부두의 최적 서비스 수준에 관한 연구, 한국항만경제학회지, 32(2), pp. 137-156.
- 송용석, 남기찬, & 광규석. (2004). CFS 입지에 따른 경제적 효과 평가. Journal of Korean Navigation and Port Research, 28(1), pp. 69-74.

안태훈(2015), 항만 적정하역능력의 문제점과 개선과제, 사업평가현안분석 제57호, 국회예산정책처.

이기열 외(2015), 국내 항만의 서비스 지표 개발을 위한 항만 대기율 산정, 대한산업공학회 춘계공동학술대회 논문집, pp. 111-115.

한국해양수산개발원(2001), 컨테이너터미널 선석처리능력 추정방안에 관한 연구.

한국해양수산개발원(2024), 항만 하역능력의 서비스 수준 개선 연구.

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.

Bugari Ugljesa et al.(2011), Determining the capacity of unloading bulk cargo terminal using queuing theory, Journal of Mechanical Engineering 57(5), pp. 405-41.

Chang, Y. T. et al.(2012), Estimation of optimal handling capacity of a container port: an economic approach, Transport Reviews, 32(2), pp. 241-258.

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.

Dinu, O. et al.(2017), Assessing materials handling and storage capacities in port terminals, IOP Conference Series Materials Science and Engineering.

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).

- Heuvel, S(2019), Storage requirement of a dry bulk terminal(Doctoral dissertation ,University of Twente).
- 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.
- Kingman, J. F. (1961, July). A mathematical problem in population genetics. In *Mathematical Proceedings of the Cambridge Philosophical Society*, 57(3), pp. 574-582. (Cambridge University Press).
- Madueke, U.A. (2013), *Measuring and Benchmarking Efficiency and Productivity Levels of Liquid Bulk Terminal Operations Using a DEA AND OEE Approach* (Doctoral dissertation ,Erasmus University Rotterdam)
- 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)*, IEEE, pp. 3426-3437.
- Park, N. K., Yoon, D. G., & Park, S. K. (2014). Port capacity evaluation formula for general cargo. *The Asian journal of shipping and logistics*, 30(2), pp. 175-192.
- PIANC(2014), *Masterplans for the development of existing ports*.
- PIANC(2019), *Design Principles for Dry Bulk Marine Terminals*.
- Roy, D., Scheinhardt, W., & van Ommeren, J. K. (2023). A fluid flow queuing network model for performance analysis of bulk liquid terminals.
- UNCTAD(1973), *Berth throughput: systematic methods for improving general cargo operations*.
- UNCTAD(1985), *Port development: A handbook for planners in developing countries*.
- UNCTAD(1987), *Planning and Design of Ports and Marine Terminals*.
- 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*, IEEE, pp. 404-409.

인터넷 자료

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

지표누리 국가발전지표, 수출입비율(GDP 대비), <https://www.index.go.kr/unify/idx-info.do?idxCd=4207&clasCd=7>(검색일: 2024.4.21.)

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

산업통상자원부 보도자료(2023.12.13.), 공급망 안정품목 특정국 의존도 2030년까지 50% 이하로 낮춘다., <https://nsp.nanet.go.kr/plan/subject/detail.do?nationalPlanControlNo=PLAN0000042799>(검색일: 2025.6.8.)

World Bank Open Data, Trade(% of GDP), <https://data.worldbank.org/indicator/NE.TRD.GNFS.ZS>(검색일: 2025.6.8)

부 록

1. 품목별 대상 부두

〈부록 표 1-1〉 대상 부두의 양적하 비율

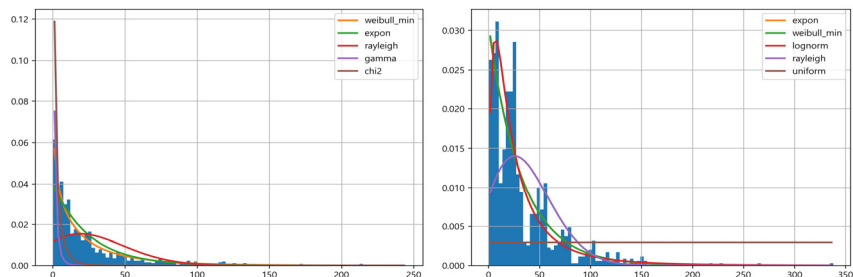
구분	부두명	적하(%)	양하(%)	양적하(%)	기타(%)
고철	인천북항현대제철부두	2.01	96.7	0	1.28
고철	평택당진송악부두9번선석	8.79	91.04	0	0.17
기타광석	광양여천일반부두	63.49	32.14	3.57	0.79
기타광석	동해묵호중앙부두	75.29	23.92	0	0.78
기타광석	울산엘에스엠앤신항부두	4.85	94.35	0.16	0.65
기타광석	울산온산3부두	4.15	94.16	0.61	1.08
기타광석	평택당진송악부두	4.71	94.71	0	0.59
모래	마산모래부두	0	98.59	0	1.41
모래	울산9부두	0.2	99.8	0	0
모래	인천남항부두	21.57	30.59	46.05	1.79
모래	평택당진모래부두	0.92	99.08	0	0
목재	울산대한통운신항부두	10.34	88.79	0	0.86
석탄	대산당진화력돌핀	0	99.71	0	0.29
석탄	동해묵호석탄부두	0.21	98.54	0	1.25
석탄	인천영흥화력돌핀	20.06	76.31	1.49	2.13
석탄	태안화력돌핀	0	100	0	0
시멘트	삼척2부두	83.89	15.74	0.06	0.31
시멘트	삼척3부두	82.08	11.24	6.24	0.44
시멘트	옥계1부두	90.35	9.41	0	0.24

구분	부두명	적하(%)	양하(%)	양적하(%)	기타(%)
시멘트	옥계2부두	80	17.84	0	2.16
시멘트	인천삼표시멘트돌핀	0	100	0	0
시멘트	인천쌍용돌핀	0	100	0	0
시멘트	인천한라시멘트돌핀	0	100	0	0
시멘트	포항송도부두2선석	0	100	0	0
양곡	부산북항5부두	11.64	86.99	0.34	1.03
양곡	인천내항7부두	0.56	98.89	0	0.56
양곡	평택당진양곡부두	2.1	97.03	0	0.87
유류	광양원유부두	25.46	74	0	0.55
유류	울산SK부두	97.21	2.4	0	0.4
유류	울산에스오일1부두	92.2	6.56	0.62	0.62
유류	울산에스오일2부두	91.55	7.6	0	0.85
유류	울산에스오일3부두	98.29	1.3	0	0.41
유류	인천송도가스공사돌핀	1.9	61.92	30.86	5.32
유류	인천연안항GS칼텍스돌핀	0	99.69	0	0.31
자동차	광양항자동차부두	24.69	40.3	34.32	0.68
자동차	마산가포부두	44.63	25.13	29.84	0.4
자동차	목포신항외부두	90.84	1.4	7.44	0.32
자동차	울산자동차부두	68.19	20.46	11.21	0.15
자동차	평택당진동부두4번	74.69	9.48	15.7	0.13
잡화	군산항6부두	0.22	99.56	0	0.22
잡화	마산항4부두	50.62	28.54	19.93	0.91
잡화	부산항감천3부두	30.66	37.06	29.23	3.06
잡화	부산항감천5부두	15.69	5	77.39	1.93
철광석	광양항원료부두	8.8	90.69	0.06	0.45
철광석	평택당진송악부두	2.41	97.01	0	0.58
철광석	포항항1부두	0.45	99.24	0.08	0.23
철재	고현한내부두	26.88	40.23	31.74	1.14
철재	광양제품부두	69.33	26.09	3.95	0.62
철재	부산감천중앙부두	17.05	76.26	4.6	2.09
철재	옥포하역부두	1.55	83.32	1.14	13.98
철재	인천북항동국제강부두	1.65	96.4	0.15	1.8

구분	부두명	적하(%)	양하(%)	양적하(%)	기타(%)
철재	평택당진송악부두11번선석	75.78	20.58	3.3	0.34
철재	포항7부두1	31.31	66.9	0.89	0.89
화공품	광양석유화학부두	62.47	36.53	0.27	0.73
화공품	광양중흥부두	37.98	60.24	0	1.78
화공품	광양항낙포부두	54.41	43.08	1.87	0.65
화공품	울산4부두	30.78	67.57	0.77	0.88

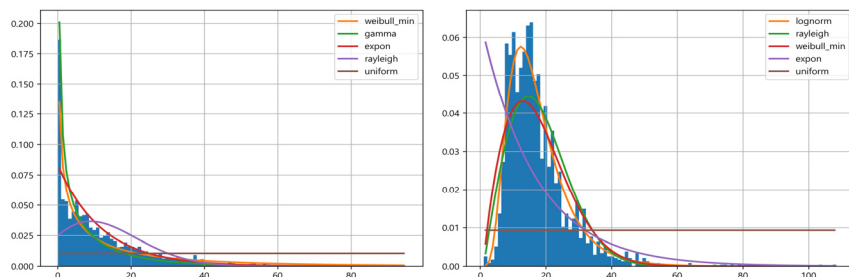
2. 대상부두별 최적 분포 추정 결과

〈부록 그림 1-1〉 고현한내부두 최적 분포 추정
[도착시간 분포] [서비스 시간]



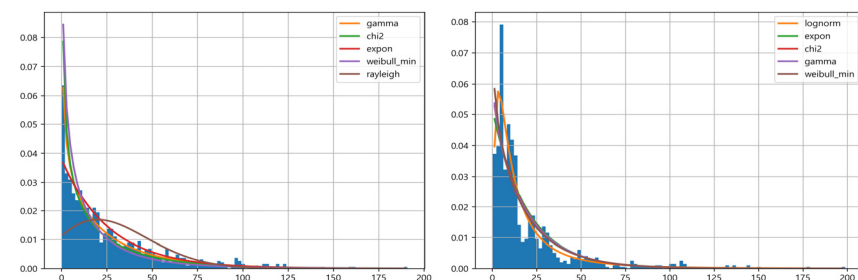
자료: 저자 작성

〈부록 그림 1-2〉 광양석유화학부두 최적 분포 추정
[도착시간 분포] [서비스 시간]



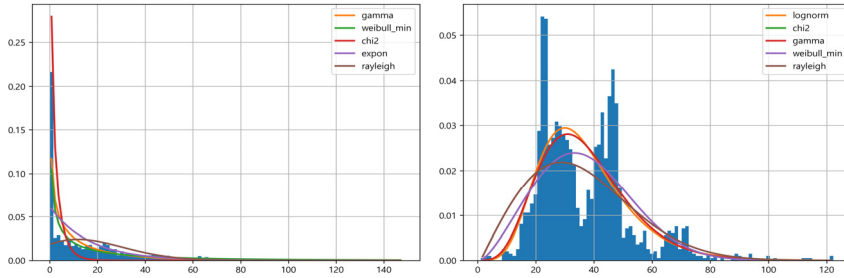
자료: 저자 작성

〈부록 그림 1-3〉 광양여천일반부두 최적 분포 추정
[도착시간 분포] [서비스 시간]



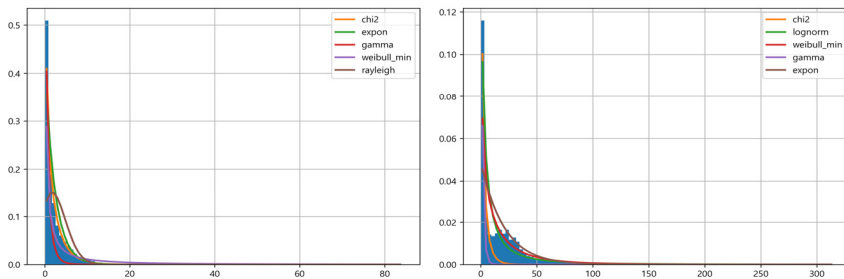
자료: 저자 작성

〈부록 그림 1-4〉 광양원유부두 최적 분포 추정
[도착시간 분포] [서비스 시간]



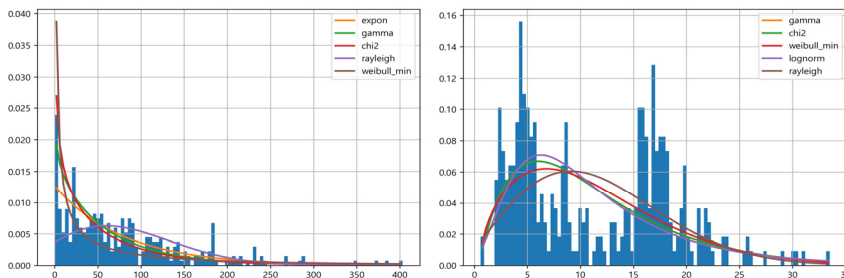
자료: 저자 작성

〈부록 그림 1-5〉 광양제품부두 최적 분포 추정
[도착시간 분포] [서비스 시간]



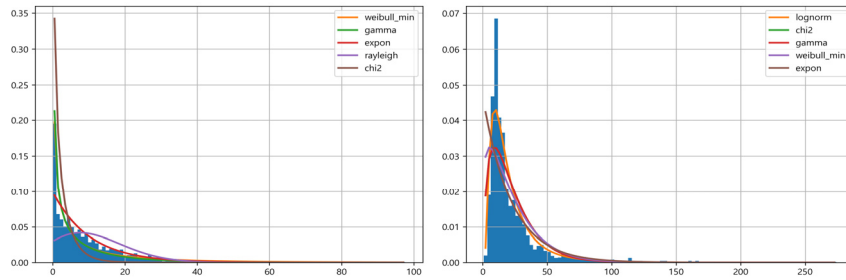
자료: 저자 작성

〈부록 그림 1-6〉 광양중흥부두 최적 분포 추정
[도착시간 분포] [서비스 시간]



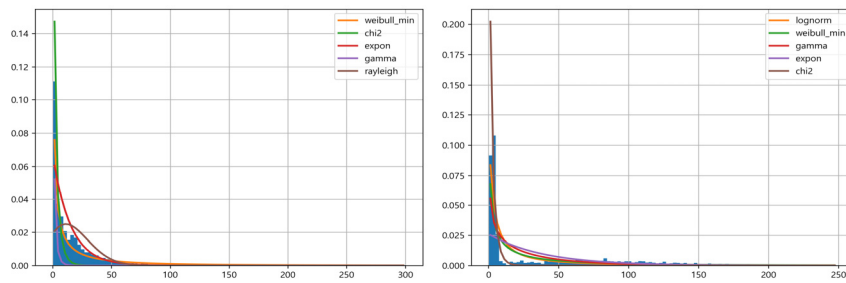
자료: 저자 작성

〈부록 그림 1-7〉 광양항낙포부두 최적 분포 추정
[도착시간 분포] [서비스 시간]



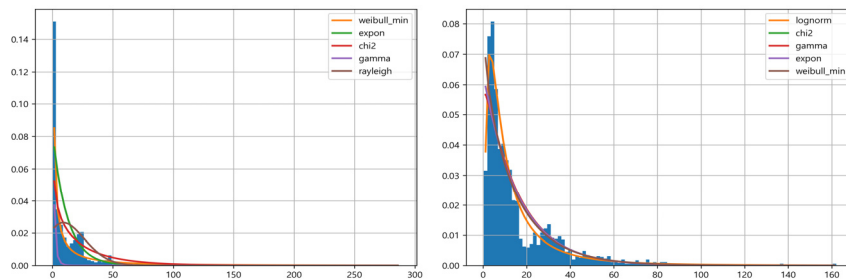
자료: 저자 작성

〈부록 그림 1-8〉 광양항원료부두 최적 분포 추정
[도착시간 분포] [서비스 시간]



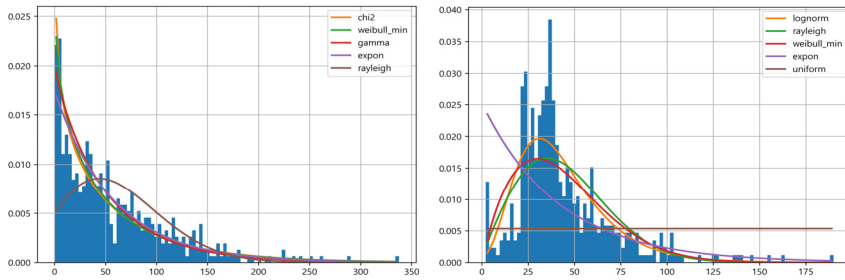
자료: 저자 작성

〈부록 그림 1-9〉 광양항자동차부두 최적 분포 추정
[도착시간 분포] [서비스 시간]



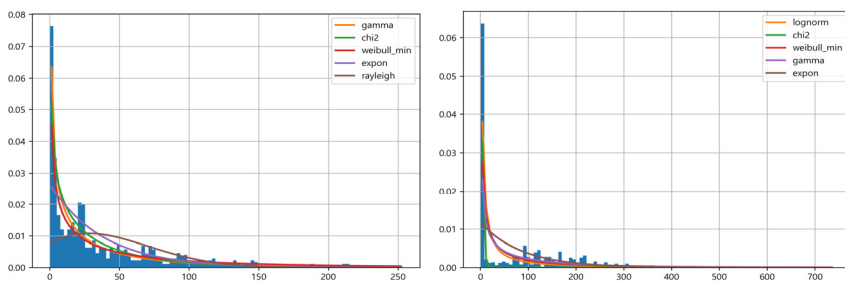
자료: 저자 작성

〈부록 그림 1-10〉 군산항6부두 최적 분포 추정
[도착시간 분포] [서비스 시간]



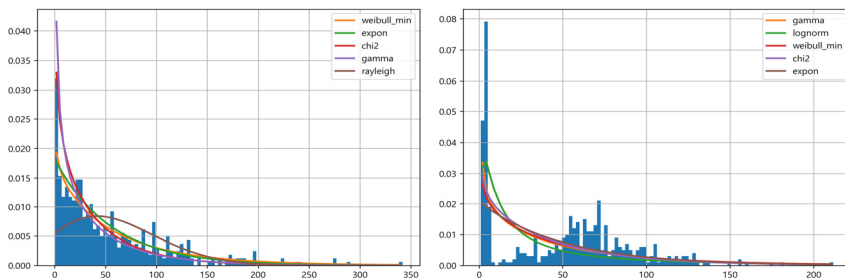
자료: 저자 작성

〈부록 그림 1-11〉 대산당진화력발전 최적 분포 추정
[도착시간 분포] [서비스 시간]



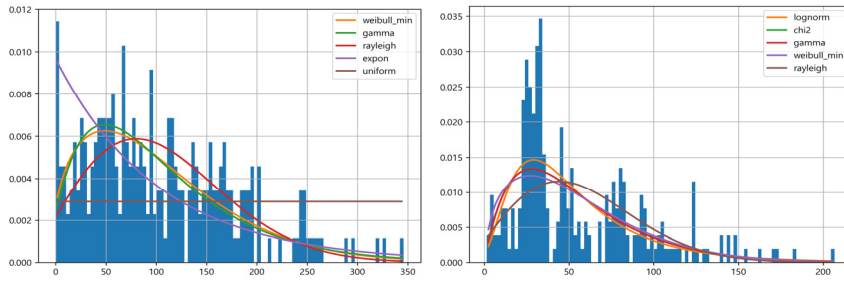
자료: 저자 작성

〈부록 그림 1-12〉 동해묵호석탄부두 최적 분포 추정
[도착시간 분포] [서비스 시간]



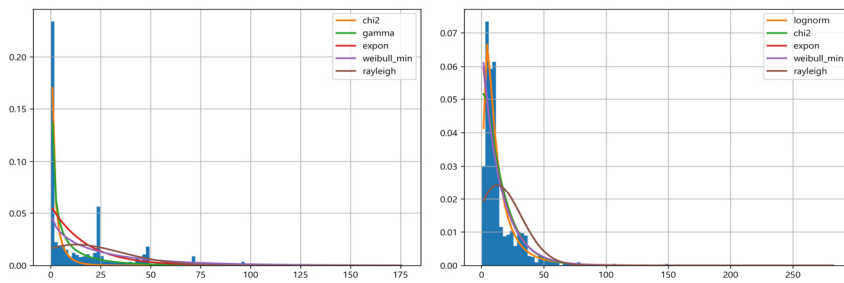
자료: 저자 작성

〈부록 그림 1-13〉 동해묵호중앙부두 최적 분포 추정
[도착시간 분포] [서비스 시간]



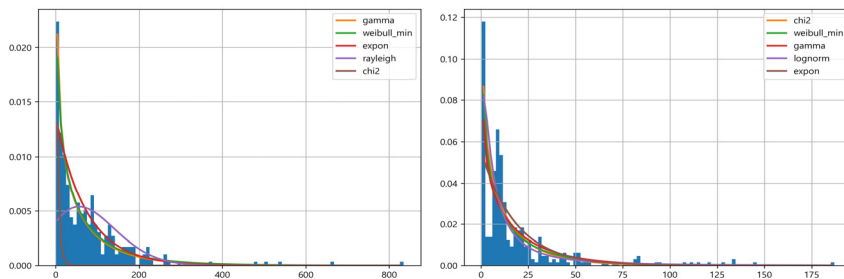
자료: 저자 작성

〈부록 그림 1-14〉 마산가포부두 최적 분포 추정
[도착시간 분포] [서비스 시간]



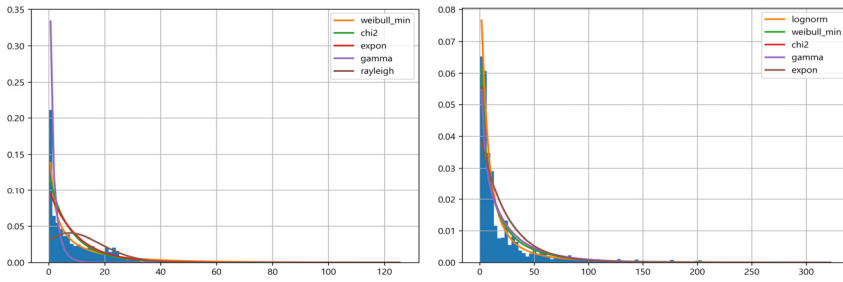
자료: 저자 작성

〈부록 그림 1-15〉 마산모래부두 최적 분포 추정
[도착시간 분포] [서비스 시간]



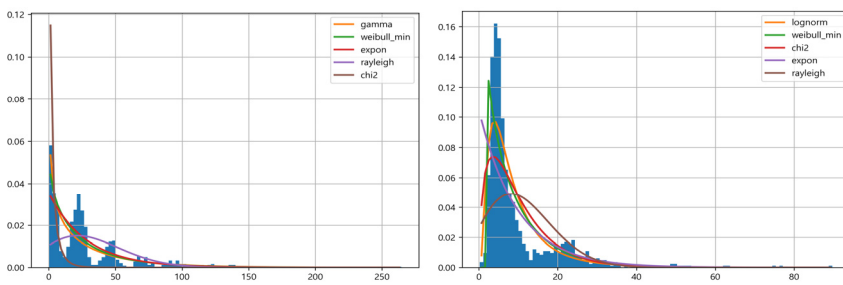
자료: 저자 작성

〈부록 그림 1-16〉 마산항4부두 최적 분포 추정
[도착시간 분포] [서비스 시간]



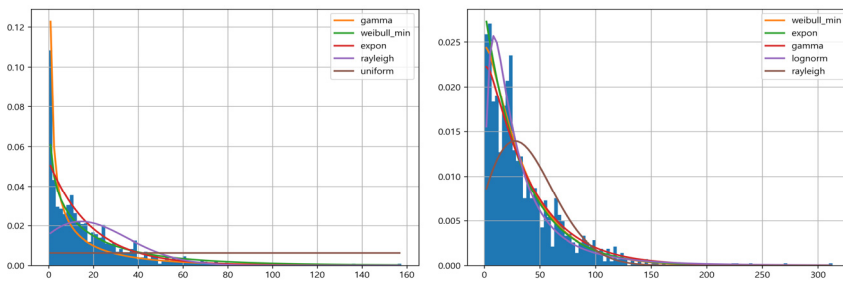
자료: 저자 작성

〈부록 그림 1-17〉 목포신항외부두 최적 분포 추정
[도착시간 분포] [서비스 시간]



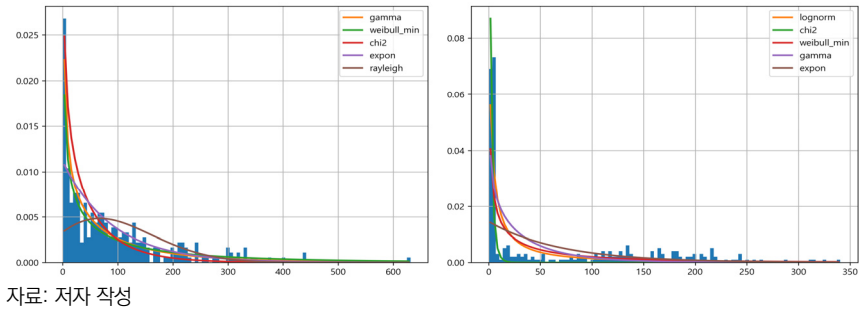
자료: 저자 작성

〈부록 그림 1-18〉 부산감천중앙부두 최적 분포 추정
[도착시간 분포] [서비스 시간]

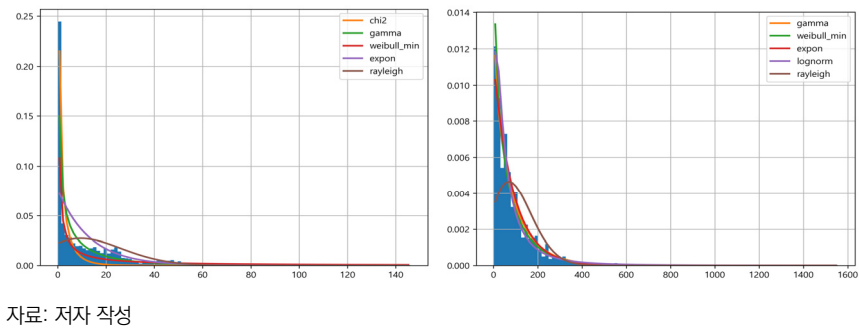


자료: 저자 작성

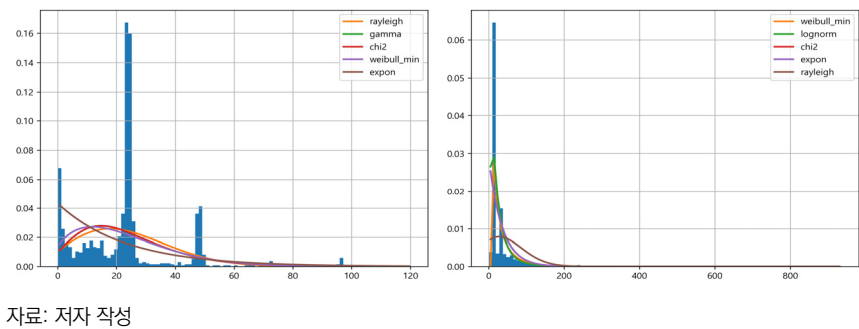
〈부록 그림 1-19〉 부산북항5부두 최적 분포 추정
 [도착시간 분포] [서비스 시간]



〈부록 그림 1-20〉 부산항감천3부두 최적 분포 추정
 [도착시간 분포] [서비스 시간]



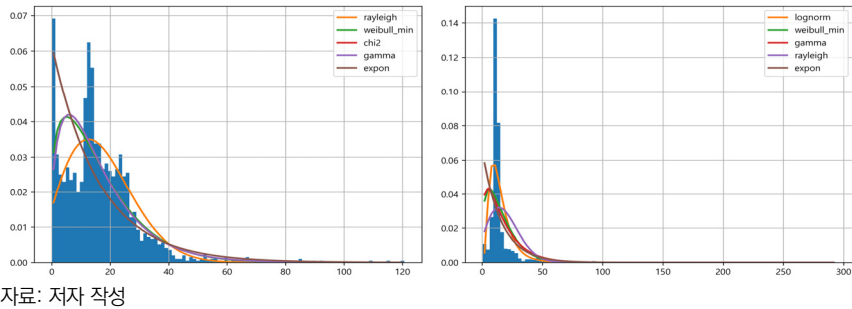
〈부록 그림 1-21〉 부산항감천5부두 최적 분포 추정
 [도착시간 분포] [서비스 시간]



〈부록 그림 1-22〉 삼척2부두 최적 분포 추정

[도착시간 분포]

[서비스 시간]

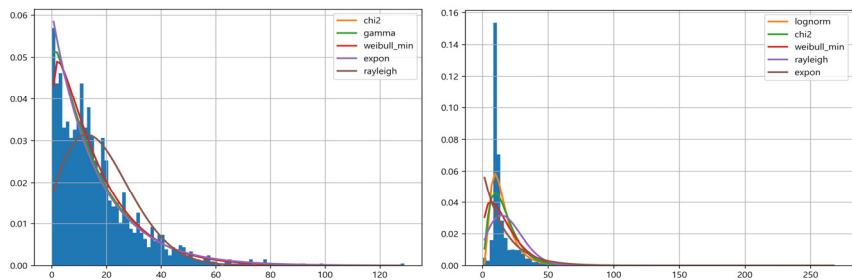


자료: 저자 작성

〈부록 그림 1-23〉 삼척3부두 최적 분포 추정

[도착시간 분포]

[서비스 시간]

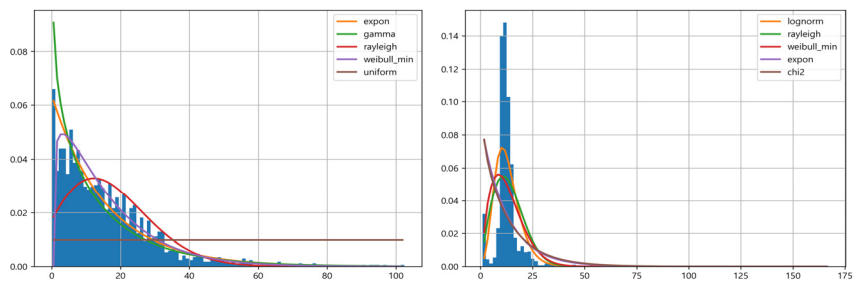


자료: 저자 작성

〈부록 그림 1-24〉 옥계1부두 최적 분포 추정

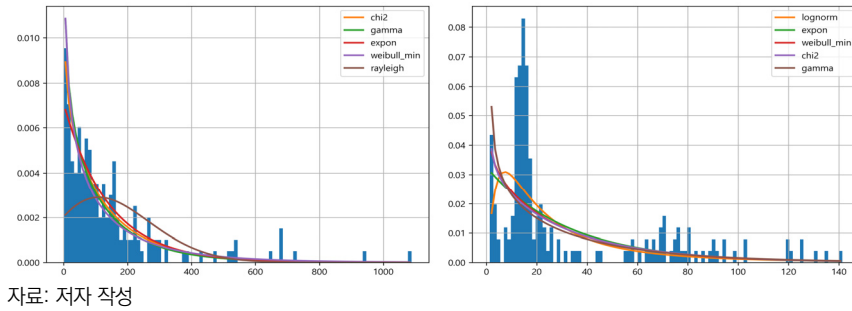
[도착시간 분포]

[서비스 시간]

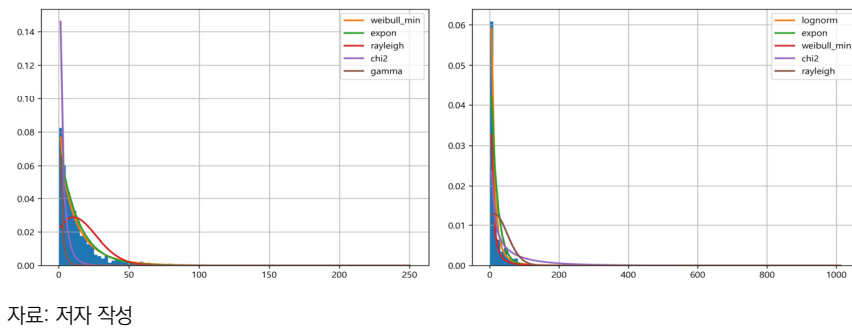


자료: 저자 작성

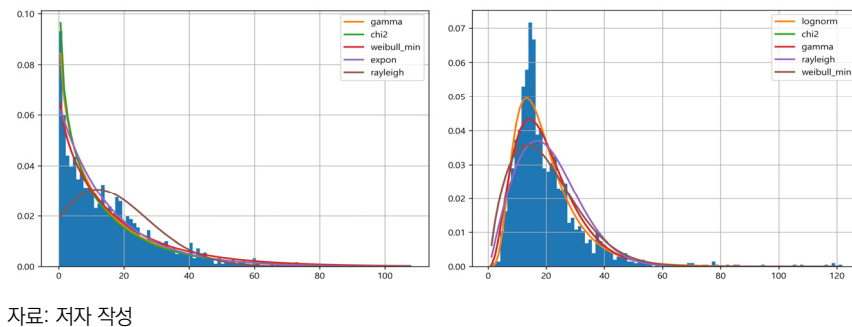
〈부록 그림 1-25〉 옥계2부두 최적 분포 추정
[도착시간 분포] [서비스 시간]



〈부록 그림 1-26〉 옥포하역부두 최적 분포 추정
[도착시간 분포] [서비스 시간]



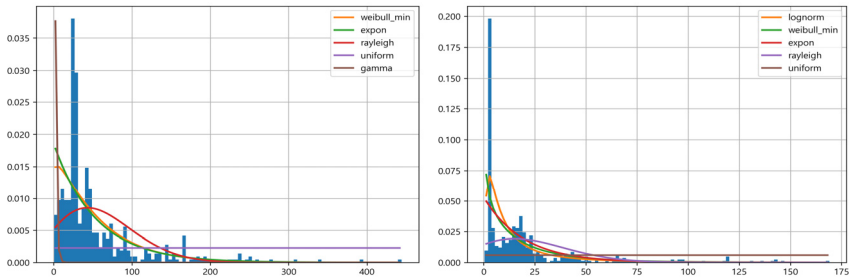
〈부록 그림 1-27〉 울산4부두 최적 분포 추정
[도착시간 분포] [서비스 시간]



〈부록 그림 1-28〉 울산9부두 최적 분포 추정

[도착시간 분포]

[서비스 시간]

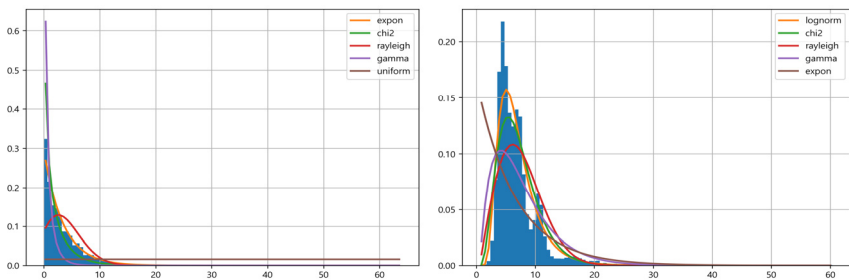


자료: 저자 작성

〈부록 그림 1-29〉 울산SK부두 최적 분포 추정

[도착시간 분포]

[서비스 시간]

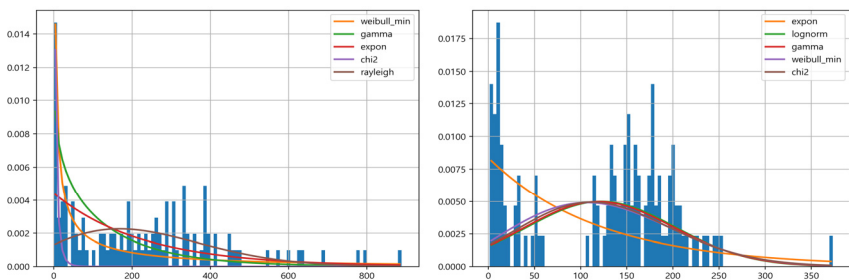


자료: 저자 작성

〈부록 그림 1-30〉 울산대한통운신항부두 최적 분포 추정

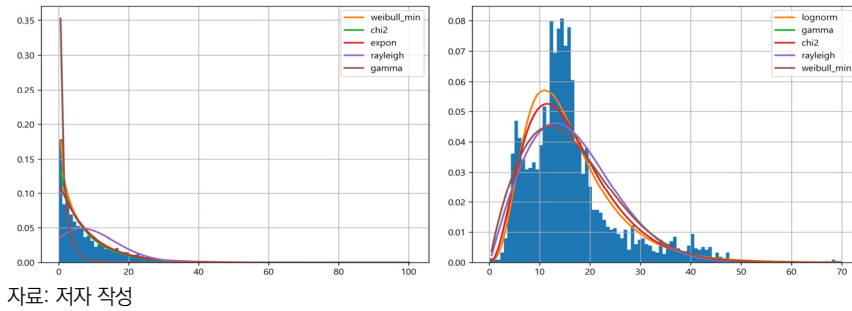
[도착시간 분포]

[서비스 시간]

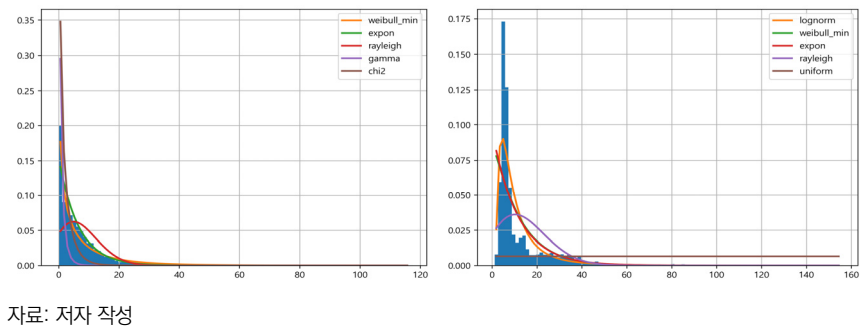


자료: 저자 작성

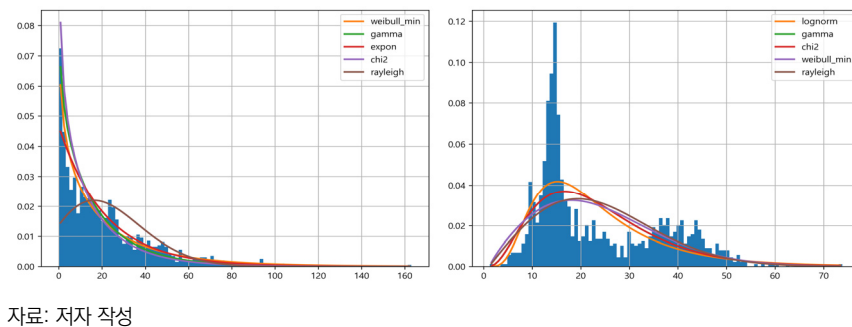
〈부록 그림 1-31〉 울산에스오일1부두 최적 분포 추정
[도착시간 분포] [서비스 시간]



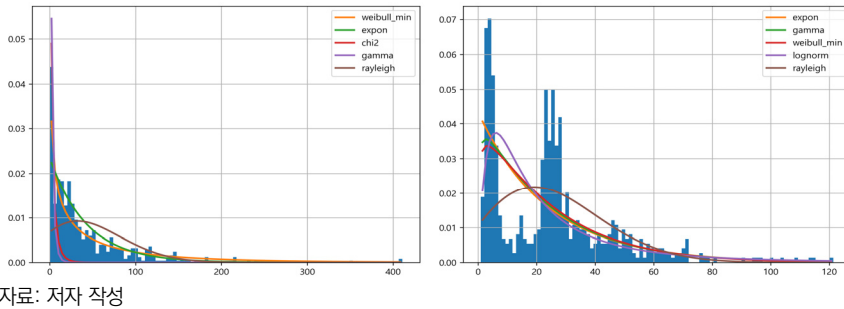
〈부록 그림 1-32〉 울산에스오일2부두 최적 분포 추정
[도착시간 분포] [서비스 시간]



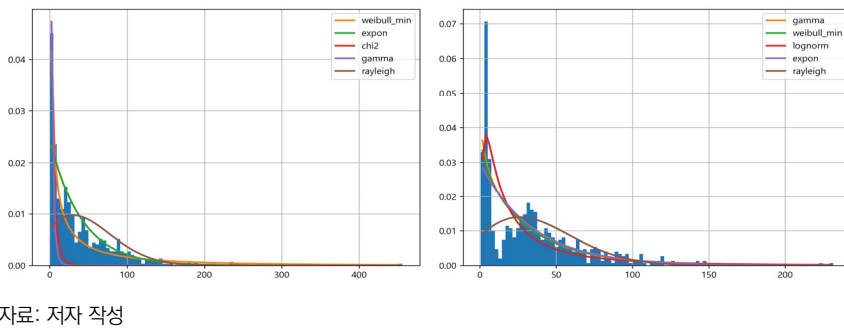
〈부록 그림 1-33〉 울산에스오일3부두 최적 분포 추정
[도착시간 분포] [서비스 시간]



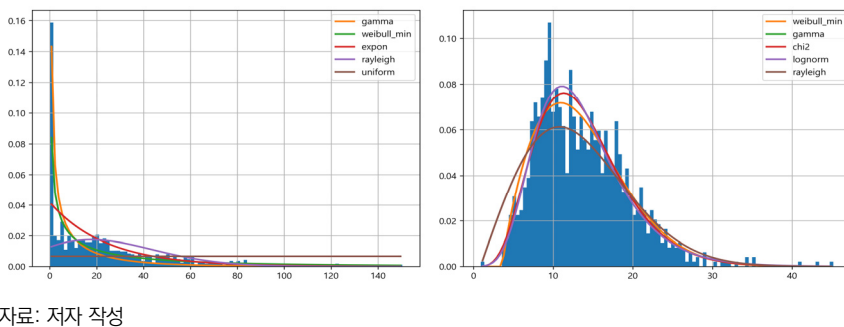
〈부록 그림 1-34〉 울산엘스엠엔신항부두 최적 분포 추정
[도착시간 분포] [서비스 시간]



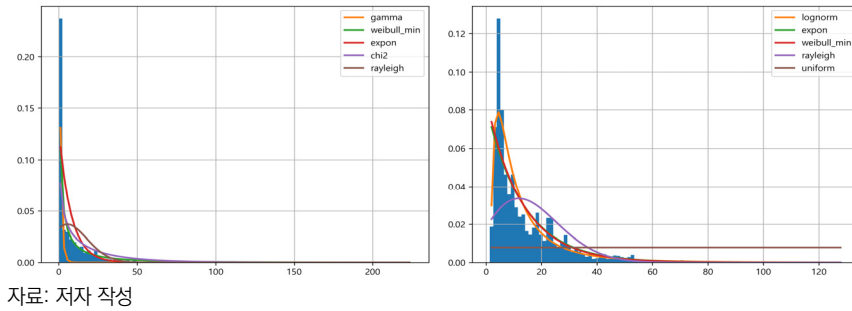
〈부록 그림 1-35〉 울산온산3부두 최적 분포 추정
[도착시간 분포] [서비스 시간]



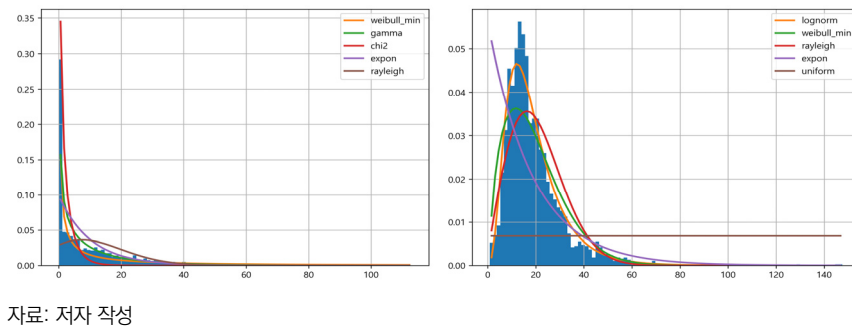
〈부록 그림 1-36〉 울산용잠부두 최적 분포 추정
[도착시간 분포] [서비스 시간]



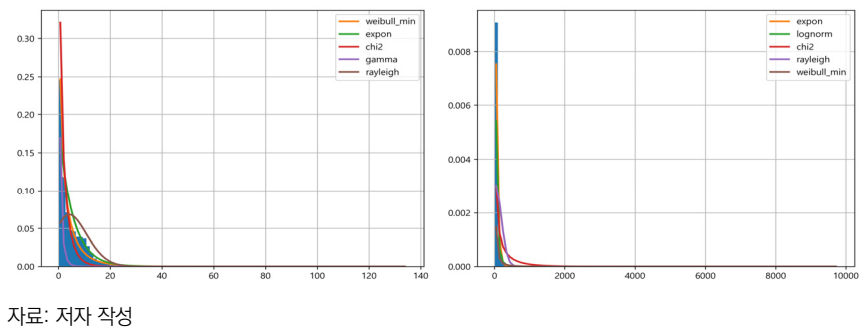
〈부록 그림 1-37〉 울산자동차부두 최적 분포 추정
[도착시간 분포] [서비스 시간]



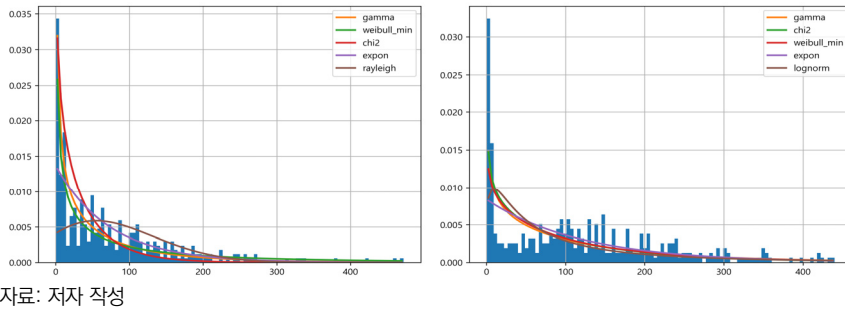
〈부록 그림 1-38〉 울산정일부두 최적 분포 추정
[도착시간 분포] [서비스 시간]



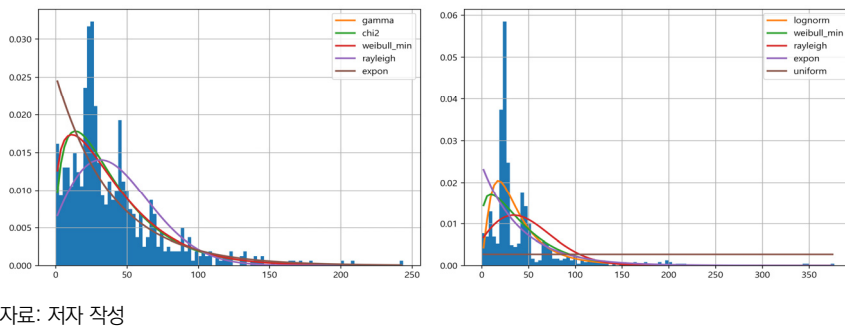
〈부록 그림 1-39〉 인천남항부두 최적 분포 추정
[도착시간 분포] [서비스 시간]



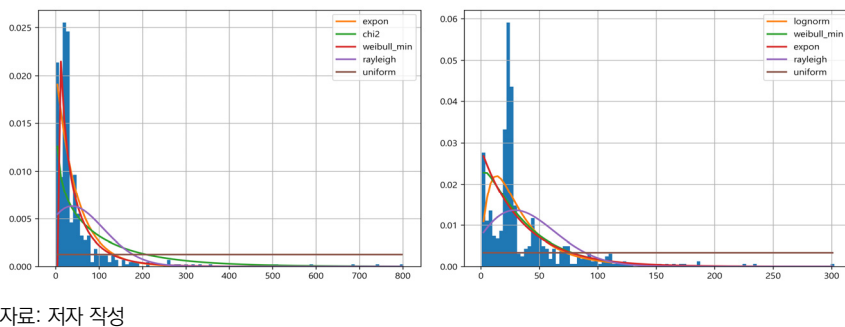
〈부록 그림 1-40〉 인천내항7부두 최적 분포 추정
[도착시간 분포] [서비스 시간]



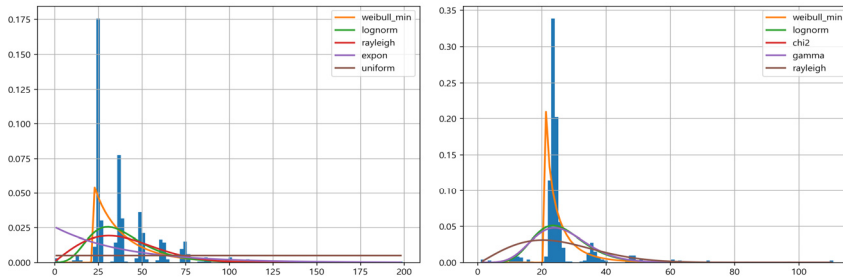
〈부록 그림 1-41〉 인천북항동국제강부두 최적 분포 추정
[도착시간 분포] [서비스 시간]



〈부록 그림 1-42〉 인천북항현대제철부두 최적 분포 추정
[도착시간 분포] [서비스 시간]

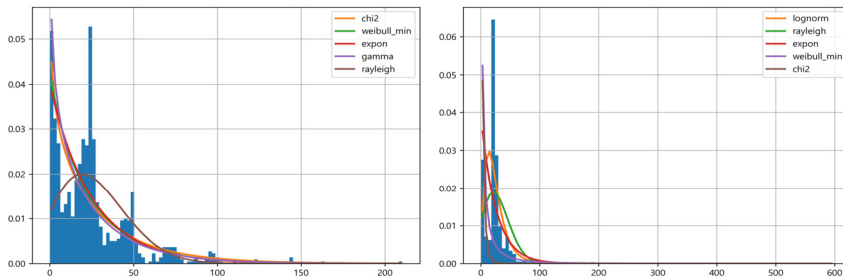


〈부록 그림 1-43〉 인천삼표시멘트돌핀 최적 분포 추정
[도착시간 분포] [서비스 시간]



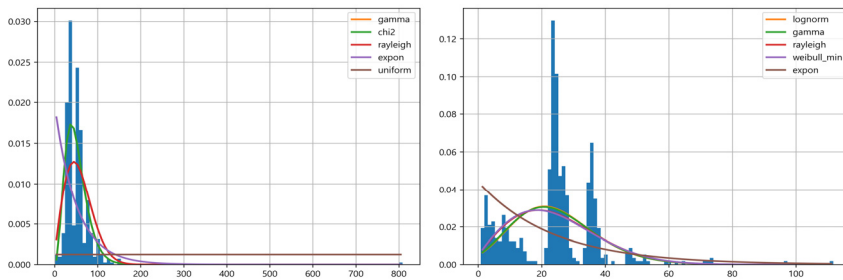
자료: 저자 작성

〈부록 그림 1-44〉 인천송도가스공사돌핀 최적 분포 추정
[도착시간 분포] [서비스 시간]



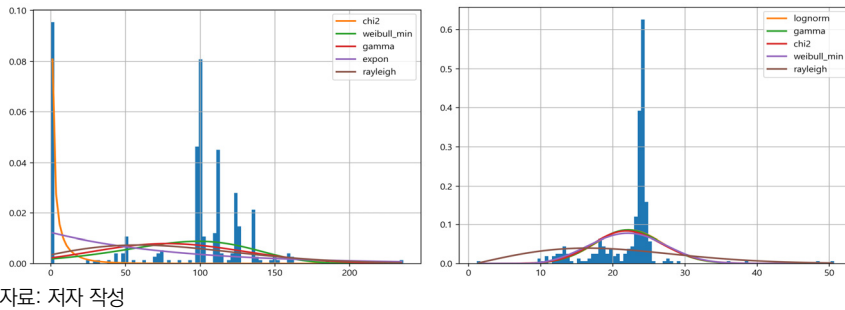
자료: 저자 작성

〈부록 그림 1-45〉 인천쌍용돌핀 최적 분포 추정
[도착시간 분포] [서비스 시간]

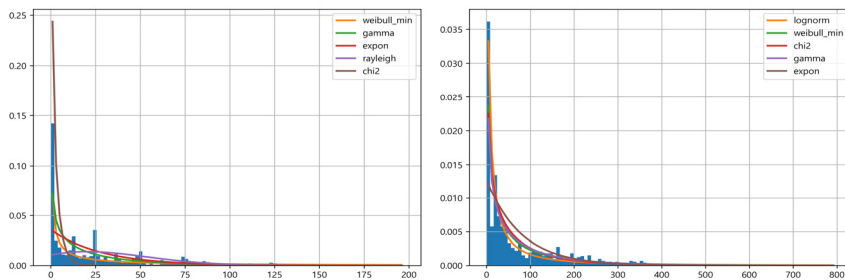


자료: 저자 작성

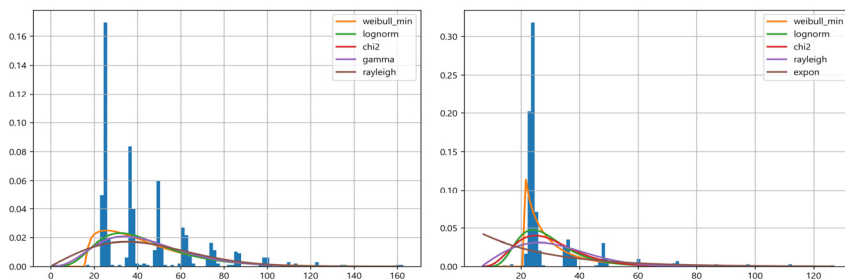
〈부록 그림 1-46〉 인천연안항GS칼텍스돌핀 최적 분포 추정
[도착시간 분포] [서비스 시간]



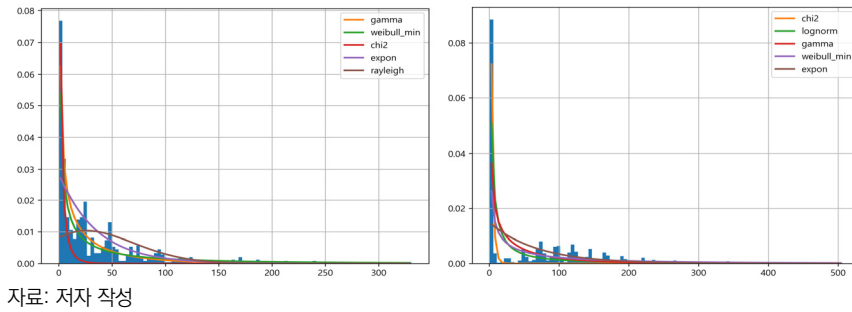
〈부록 그림 1-47〉 인천영흥화력돌핀 최적 분포 추정
[도착시간 분포] [서비스 시간]



〈부록 그림 1-48〉 인천한라시멘트돌핀 최적 분포 추정
[도착시간 분포] [서비스 시간]

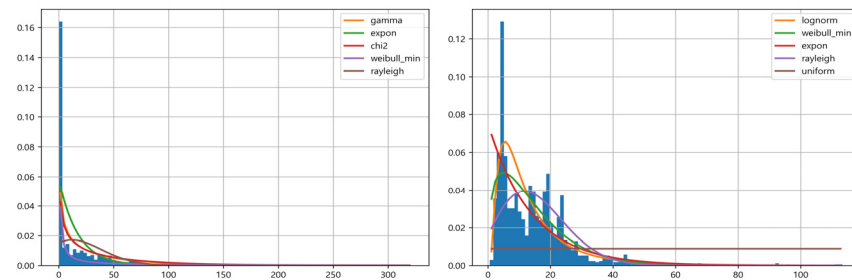


〈부록 그림 1-49〉 태안화력돌핀 최적 분포 추정
[도착시간 분포] [서비스 시간]



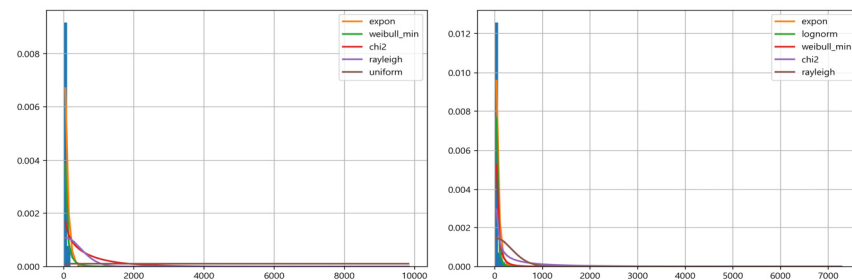
자료: 저자 작성

〈부록 그림 1-50〉 평택당진동부두4번 최적 분포 추정
[도착시간 분포] [서비스 시간]



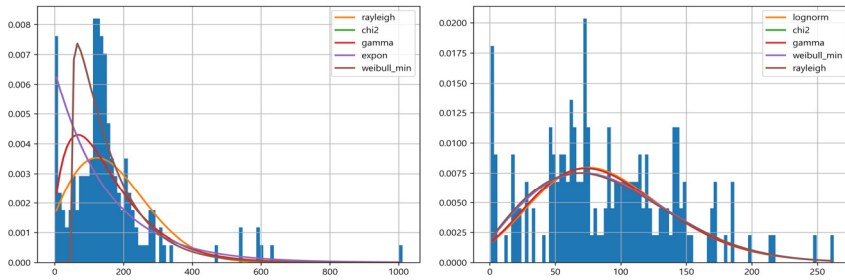
자료: 저자 작성

〈부록 그림 1-51〉 평택당진모래부두 최적 분포 추정
[도착시간 분포] [서비스 시간]



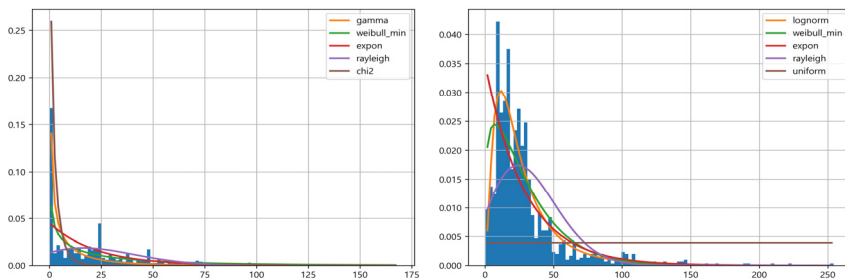
자료: 저자 작성

〈부록 그림 1-52〉 평택당진송악부두 최적 분포 추정
[도착시간 분포] [서비스 시간]



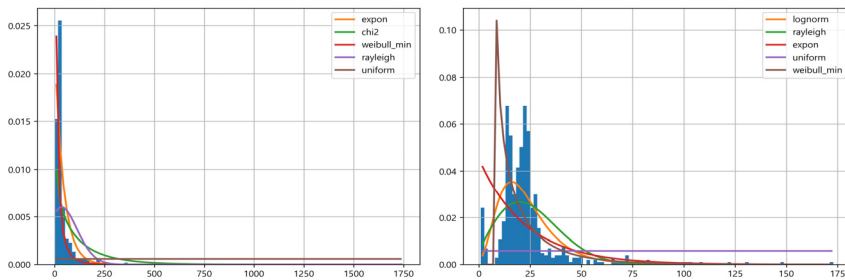
자료: 저자 작성

〈부록 그림 1-53〉 평택당진송악부두11번선석 최적 분포 추정
[도착시간 분포] [서비스 시간]



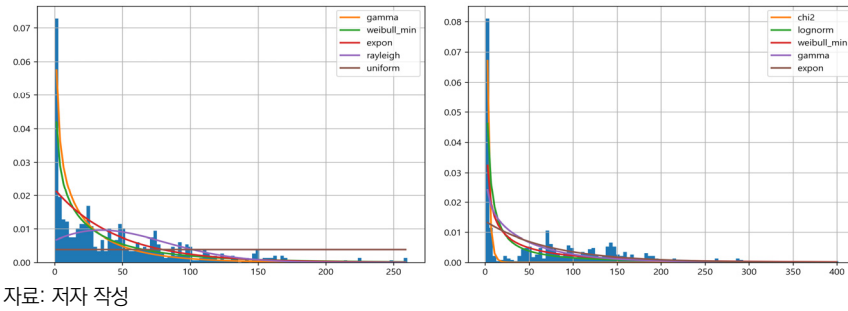
자료: 저자 작성

〈부록 그림 1-54〉 평택당진송악부두9번선석 분포 추정
[도착시간 분포] [서비스 시간]

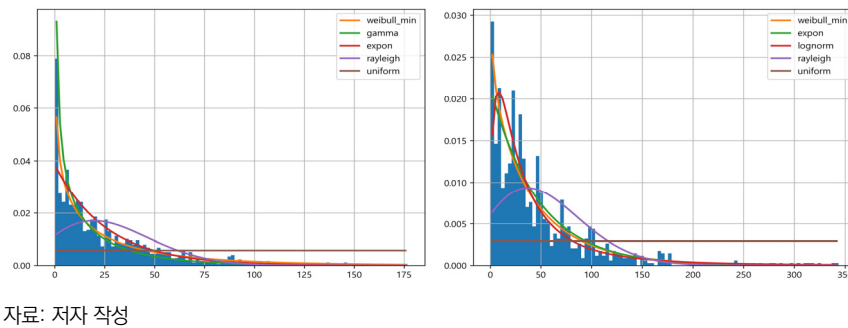


자료: 저자 작성

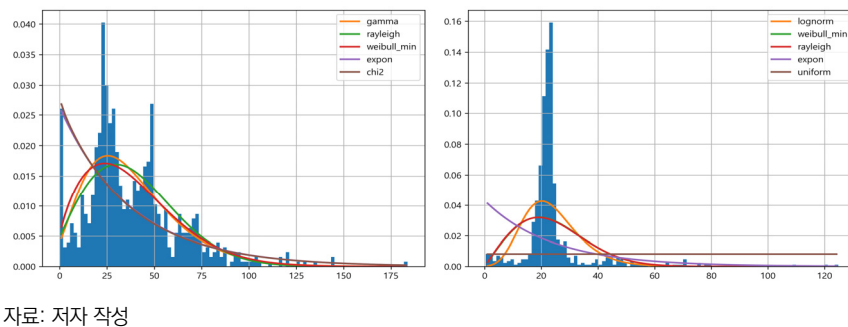
〈부록 그림 1-55〉 평택당진양곡부두 최적 분포 추정
[도착시간 분포] [서비스 시간]



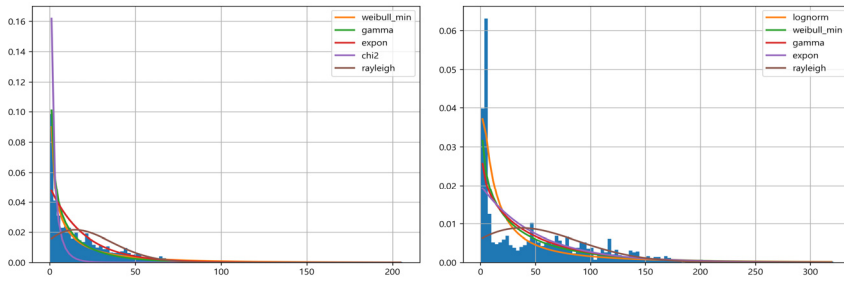
〈부록 그림 1-56〉 포항7부두1 분포 추정
[도착시간 분포] [서비스 시간]



〈부록 그림 1-57〉 포항송도부두2선석 분포 추정
[도착시간 분포] [서비스 시간]



〈부록 그림 1-58〉 포항항1부두 분포 추정
 [도착시간 분포] [서비스 시간]



자료: 저자 작성

3. 대상부두의 W/S비율표

〈부록 표 2-1〉 고현한내부두의 W/S비(요약)

ρ	s					
	1	2	3	4	5	6
0.05	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.1	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.15	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.2	0.3	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
0.25	0.5	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
0.3	0.6	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
0.35	0.7	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0
0.4	0.9	0.3	0.1	0.1	0.0	0.0
0.45	1.1	0.4	0.2	0.1	0.0	0.0
0.5	1.4	0.5	0.2	0.1	0.1	0.0
0.55	1.7	0.6	0.3	0.2	0.1	0.1
0.6	2.1	0.8	0.4	0.2	0.2	0.1
0.65	2.6	1.0	0.6	0.4	0.2	0.2
0.7	3.2	1.3	0.8	0.5	0.3	0.3
0.75	4.2	1.8	1.0	0.7	0.5	0.4
0.8	5.5	2.5	1.5	1.0	0.8	0.6
0.85	7.8	3.6	2.2	1.6	1.2	1.0
0.9	12.5	5.9	3.8	2.7	2.1	1.7
0.95	26.3	12.8	8.4	6.2	4.9	4.0

자료: 저자 작성

〈부록 표 2-2〉 광양석유화학부두의 W/S비(요약)

ρ	s					
	1	2	3	4	5	6
0.05	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.15	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.2	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.25	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.3	0.3	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
0.35	0.4	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
0.4	0.5	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0
0.45	0.6	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0
0.5	0.7	0.2	0.1	0.1	0.0	0.0
0.55	0.9	0.3	0.2	0.1	0.1	0.0
0.6	1.1	0.4	0.2	0.1	0.1	0.1
0.65	1.4	0.5	0.3	0.2	0.1	0.1
0.7	1.7	0.7	0.4	0.3	0.2	0.1
0.75	2.2	1.0	0.6	0.4	0.3	0.2
0.8	3.0	1.3	0.8	0.6	0.4	0.3
0.85	4.2	1.9	1.2	0.9	0.6	0.5
0.9	6.7	3.2	2.0	1.5	1.1	0.9
0.95	14.1	6.9	4.5	3.3	2.6	2.1

자료: 저자 작성

〈부록 표 2-3〉 광양여천일반부두의 W/S비(요약)

ρ	s					
	1	2	3	4	5	6
0.05	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.1	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.15	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.2	0.3	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
0.25	0.5	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
0.3	0.6	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
0.35	0.7	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0
0.4	0.9	0.3	0.1	0.1	0.0	0.0
0.45	1.1	0.3	0.2	0.1	0.0	0.0
0.5	1.4	0.5	0.2	0.1	0.1	0.0
0.55	1.7	0.6	0.3	0.2	0.1	0.1
0.6	2.0	0.8	0.4	0.2	0.2	0.1
0.65	2.5	1.0	0.5	0.3	0.2	0.2
0.7	3.2	1.3	0.7	0.5	0.3	0.3
0.75	4.1	1.7	1.0	0.7	0.5	0.4
0.8	5.4	2.4	1.5	1.0	0.8	0.6
0.85	7.7	3.5	2.2	1.6	1.2	0.9
0.9	12.2	5.8	3.7	2.7	2.1	1.7
0.95	25.7	12.5	8.2	6.0	4.8	3.9

자료: 저자 작성

〈부록 표 2-4〉 광양원유부두의 W/S비(요약)

ρ	s					
	1	2	3	4	5	6
0.05	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.15	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.2	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.25	0.3	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
0.3	0.4	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
0.35	0.5	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
0.4	0.6	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0
0.45	0.7	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0
0.5	0.8	0.3	0.1	0.1	0.0	0.0
0.55	1.0	0.4	0.2	0.1	0.1	0.0
0.6	1.3	0.5	0.2	0.2	0.1	0.1
0.65	1.6	0.6	0.3	0.2	0.1	0.1
0.7	2.0	0.8	0.5	0.3	0.2	0.2
0.75	2.5	1.1	0.6	0.4	0.3	0.2
0.8	3.4	1.5	0.9	0.6	0.5	0.4
0.85	4.8	2.2	1.4	1.0	0.7	0.6
0.9	7.6	3.6	2.3	1.7	1.3	1.0
0.95	16.0	7.8	5.1	3.7	3.0	2.4

자료: 저자 작성

〈부록 표 2-5〉 광양제품부두의 W/S비(요약)

ρ	s					
	1	2	3	4	5	6
0.05	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.1	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.15	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.2	0.5	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
0.25	0.6	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
0.3	0.8	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0
0.35	1.0	0.3	0.1	0.0	0.0	0.0
0.4	1.3	0.4	0.2	0.1	0.0	0.0
0.45	1.6	0.5	0.2	0.1	0.1	0.0
0.5	1.9	0.6	0.3	0.2	0.1	0.1
0.55	2.4	0.8	0.4	0.2	0.2	0.1
0.6	2.9	1.1	0.6	0.3	0.2	0.2
0.65	3.6	1.4	0.8	0.5	0.3	0.2
0.7	4.5	1.9	1.1	0.7	0.5	0.4
0.75	5.8	2.5	1.5	1.0	0.7	0.5
0.8	7.7	3.4	2.1	1.4	1.1	0.8
0.85	10.9	5.0	3.1	2.2	1.7	1.3
0.9	17.3	8.2	5.2	3.8	2.9	2.4
0.95	36.6	17.8	11.6	8.6	6.8	5.6

자료: 저자 작성

〈부록 표 2-6〉 광양중흥부두의 W/S비(요약)

ρ	s					
	1	2	3	4	5	6
0.05	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.15	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.2	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.25	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.3	0.3	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
0.35	0.4	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
0.4	0.5	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0
0.45	0.6	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0
0.5	0.7	0.2	0.1	0.1	0.0	0.0
0.55	0.8	0.3	0.1	0.1	0.1	0.0
0.6	1.0	0.4	0.2	0.1	0.1	0.1
0.65	1.3	0.5	0.3	0.2	0.1	0.1
0.7	1.6	0.7	0.4	0.2	0.2	0.1
0.75	2.1	0.9	0.5	0.4	0.3	0.2
0.8	2.8	1.2	0.7	0.5	0.4	0.3
0.85	3.9	1.8	1.1	0.8	0.6	0.5
0.9	6.2	2.9	1.9	1.4	1.1	0.9
0.95	13.1	6.4	4.2	3.1	2.4	2.0

자료: 저자 작성

〈부록 표 2-7〉 광양항낙포부두의 W/S비(요약)

ρ	s					
	1	2	3	4	5	6
0.05	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.15	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.2	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.25	0.4	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
0.3	0.5	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
0.35	0.6	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0
0.4	0.8	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0
0.45	1.0	0.3	0.1	0.1	0.0	0.0
0.5	1.2	0.4	0.2	0.1	0.1	0.0
0.55	1.5	0.5	0.3	0.1	0.1	0.1
0.6	1.8	0.7	0.4	0.2	0.1	0.1
0.65	2.2	0.9	0.5	0.3	0.2	0.1
0.7	2.8	1.1	0.7	0.4	0.3	0.2
0.75	3.6	1.5	0.9	0.6	0.4	0.3
0.8	4.8	2.1	1.3	0.9	0.7	0.5
0.85	6.7	3.1	1.9	1.4	1.0	0.8
0.9	10.7	5.1	3.2	2.3	1.8	1.5
0.95	22.6	11.0	7.2	5.3	4.2	3.4

자료: 저자 작성

〈부록 표 2-8〉 광양항원료부두의 W/S비(요약)

ρ	s					
	1	2	3	4	5	6
0.05	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.1	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.15	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.2	0.4	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
0.25	0.6	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
0.3	0.7	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0
0.35	0.9	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0
0.4	1.2	0.3	0.1	0.1	0.0	0.0
0.45	1.4	0.4	0.2	0.1	0.1	0.0
0.5	1.7	0.6	0.3	0.2	0.1	0.1
0.55	2.1	0.7	0.4	0.2	0.1	0.1
0.6	2.6	1.0	0.5	0.3	0.2	0.1
0.65	3.2	1.3	0.7	0.4	0.3	0.2
0.7	4.0	1.7	0.9	0.6	0.4	0.3
0.75	5.2	2.2	1.3	0.9	0.6	0.5
0.8	6.9	3.1	1.9	1.3	1.0	0.7
0.85	9.8	4.5	2.8	2.0	1.5	1.2
0.9	15.5	7.4	4.7	3.4	2.6	2.1
0.95	32.8	16.0	10.4	7.7	6.1	5.0

자료: 저자 작성

〈부록 표 2-9〉 광양항자동차부두의 W/S비(요약)

ρ	s					
	1	2	3	4	5	6
0.05	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.1	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.15	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.2	0.5	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
0.25	0.6	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
0.3	0.8	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0
0.35	1.0	0.3	0.1	0.0	0.0	0.0
0.4	1.3	0.4	0.1	0.1	0.0	0.0
0.45	1.6	0.5	0.2	0.1	0.1	0.0
0.5	1.9	0.6	0.3	0.2	0.1	0.1
0.55	2.3	0.8	0.4	0.2	0.2	0.1
0.6	2.8	1.1	0.6	0.3	0.2	0.2
0.65	3.5	1.4	0.8	0.5	0.3	0.2
0.7	4.4	1.8	1.0	0.7	0.5	0.4
0.75	5.7	2.4	1.4	1.0	0.7	0.5
0.8	7.6	3.4	2.0	1.4	1.1	0.8
0.85	10.8	4.9	3.1	2.2	1.7	1.3
0.9	17.1	8.1	5.2	3.7	2.9	2.3
0.95	36.0	17.6	11.5	8.5	6.7	5.5

자료: 저자 작성

〈부록 표 2-10〉 군산항6부두의 W/S비(요약)

ρ	s					
	1	2	3	4	5	6
0.05	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.15	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.2	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.25	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.3	0.3	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
0.35	0.3	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
0.4	0.4	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
0.45	0.5	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0
0.5	0.6	0.2	0.1	0.1	0.0	0.0
0.55	0.8	0.3	0.1	0.1	0.0	0.0
0.6	0.9	0.3	0.2	0.1	0.1	0.1
0.65	1.1	0.5	0.2	0.2	0.1	0.1
0.7	1.4	0.6	0.3	0.2	0.2	0.1
0.75	1.9	0.8	0.5	0.3	0.2	0.2
0.8	2.5	1.1	0.7	0.5	0.3	0.3
0.85	3.5	1.6	1.0	0.7	0.5	0.4
0.9	5.6	2.6	1.7	1.2	0.9	0.8
0.95	11.8	5.7	3.7	2.8	2.2	1.8

자료: 저자 작성

〈부록 표 2-11〉 대산당진화력발전의 W/S비(요약)

ρ	s					
	1	2	3	4	5	6
0.05	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.1	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.15	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.2	0.4	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
0.25	0.5	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
0.3	0.6	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0
0.35	0.8	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0
0.4	1.0	0.3	0.1	0.1	0.0	0.0
0.45	1.2	0.4	0.2	0.1	0.0	0.0
0.5	1.5	0.5	0.2	0.1	0.1	0.0
0.55	1.8	0.7	0.3	0.2	0.1	0.1
0.6	2.3	0.8	0.4	0.3	0.2	0.1
0.65	2.8	1.1	0.6	0.4	0.3	0.2
0.7	3.5	1.4	0.8	0.5	0.4	0.3
0.75	4.5	1.9	1.1	0.8	0.6	0.4
0.8	6.0	2.7	1.6	1.1	0.8	0.7
0.85	8.5	3.9	2.4	1.7	1.3	1.0
0.9	13.6	6.4	4.1	3.0	2.3	1.9
0.95	28.6	14.0	9.1	6.7	5.3	4.3

자료: 저자 작성

〈부록 표 2-12〉 동해묵호석탄부두의 W/S비(요약)

ρ	s					
	1	2	3	4	5	6
0.05	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.15	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.2	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.25	0.3	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
0.3	0.4	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
0.35	0.5	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
0.4	0.6	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0
0.45	0.7	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0
0.5	0.8	0.3	0.1	0.1	0.0	0.0
0.55	1.0	0.4	0.2	0.1	0.1	0.0
0.6	1.3	0.5	0.2	0.2	0.1	0.1
0.65	1.6	0.6	0.3	0.2	0.1	0.1
0.7	2.0	0.8	0.5	0.3	0.2	0.2
0.75	2.5	1.1	0.6	0.4	0.3	0.2
0.8	3.3	1.5	0.9	0.6	0.5	0.4
0.85	4.7	2.2	1.4	1.0	0.7	0.6
0.9	7.5	3.6	2.3	1.6	1.3	1.0
0.95	15.9	7.7	5.1	3.7	2.9	2.4

자료: 저자 작성

〈부록 표 2-13〉 동해묵호중앙부두의 W/S비(요약)

ρ	s					
	1	2	3	4	5	6
0.05	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.15	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.25	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.3	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.35	0.3	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
0.4	0.3	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
0.45	0.4	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0
0.5	0.5	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0
0.55	0.6	0.2	0.1	0.1	0.0	0.0
0.6	0.7	0.3	0.1	0.1	0.1	0.0
0.65	0.9	0.4	0.2	0.1	0.1	0.1
0.7	1.2	0.5	0.3	0.2	0.1	0.1
0.75	1.5	0.6	0.4	0.3	0.2	0.1
0.8	2.0	0.9	0.5	0.4	0.3	0.2
0.85	2.8	1.3	0.8	0.6	0.4	0.3
0.9	4.5	2.1	1.3	1.0	0.8	0.6
0.95	9.4	4.6	3.0	2.2	1.7	1.4

자료: 저자 작성

〈부록 표 2-14〉 마산가포부두의 W/S비(요약)

ρ	s					
	1	2	3	4	5	6
0.05	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.1	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.15	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.2	0.5	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
0.25	0.6	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
0.3	0.8	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0
0.35	1.0	0.3	0.1	0.0	0.0	0.0
0.4	1.3	0.4	0.2	0.1	0.0	0.0
0.45	1.6	0.5	0.2	0.1	0.1	0.0
0.5	1.9	0.6	0.3	0.2	0.1	0.1
0.55	2.4	0.8	0.4	0.2	0.2	0.1
0.6	2.9	1.1	0.6	0.3	0.2	0.2
0.65	3.6	1.4	0.8	0.5	0.3	0.2
0.7	4.5	1.9	1.1	0.7	0.5	0.4
0.75	5.8	2.5	1.5	1.0	0.7	0.5
0.8	7.7	3.4	2.1	1.4	1.1	0.8
0.85	10.9	5.0	3.1	2.2	1.7	1.3
0.9	17.4	8.2	5.3	3.8	2.9	2.4
0.95	36.7	17.9	11.7	8.6	6.8	5.6

자료: 저자 작성

〈부록 표 2-15〉 마산모래부두의 W/S비(요약)

ρ	s					
	1	2	3	4	5	6
0.05	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.1	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.15	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.2	0.4	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
0.25	0.6	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
0.3	0.7	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0
0.35	0.9	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0
0.4	1.2	0.3	0.1	0.1	0.0	0.0
0.45	1.4	0.4	0.2	0.1	0.1	0.0
0.5	1.7	0.6	0.3	0.2	0.1	0.1
0.55	2.1	0.8	0.4	0.2	0.1	0.1
0.6	2.6	1.0	0.5	0.3	0.2	0.1
0.65	3.2	1.3	0.7	0.4	0.3	0.2
0.7	4.0	1.7	0.9	0.6	0.4	0.3
0.75	5.2	2.2	1.3	0.9	0.6	0.5
0.8	6.9	3.1	1.9	1.3	1.0	0.7
0.85	9.8	4.5	2.8	2.0	1.5	1.2
0.9	15.6	7.4	4.7	3.4	2.6	2.1
0.95	32.9	16.0	10.5	7.7	6.1	5.0

자료: 저자 작성

〈부록 표 2-16〉 마산항4부두의 W/S비(요약)

ρ	s					
	1	2	3	4	5	6
0.05	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.1	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.15	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.2	0.5	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
0.25	0.7	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
0.3	0.8	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0
0.35	1.1	0.3	0.1	0.0	0.0	0.0
0.4	1.3	0.4	0.2	0.1	0.0	0.0
0.45	1.6	0.5	0.2	0.1	0.1	0.0
0.5	2.0	0.7	0.3	0.2	0.1	0.1
0.55	2.4	0.9	0.4	0.2	0.2	0.1
0.6	2.9	1.1	0.6	0.4	0.2	0.2
0.65	3.6	1.4	0.8	0.5	0.3	0.2
0.7	4.6	1.9	1.1	0.7	0.5	0.4
0.75	5.9	2.5	1.5	1.0	0.7	0.6
0.8	7.8	3.5	2.1	1.5	1.1	0.8
0.85	11.1	5.1	3.2	2.3	1.7	1.4
0.9	17.6	8.4	5.3	3.9	3.0	2.4
0.95	37.2	18.1	11.9	8.7	6.9	5.7

자료: 저자 작성

〈부록 표 2-17〉 목포신항외부두의 W/S비(요약)

ρ	s					
	1	2	3	4	5	6
0.05	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.15	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.2	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.25	0.4	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
0.3	0.5	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
0.35	0.6	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0
0.4	0.8	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0
0.45	1.0	0.3	0.1	0.1	0.0	0.0
0.5	1.2	0.4	0.2	0.1	0.1	0.0
0.55	1.4	0.5	0.3	0.1	0.1	0.1
0.6	1.8	0.7	0.3	0.2	0.1	0.1
0.65	2.2	0.9	0.5	0.3	0.2	0.1
0.7	2.7	1.1	0.6	0.4	0.3	0.2
0.75	3.5	1.5	0.9	0.6	0.4	0.3
0.8	4.7	2.1	1.3	0.9	0.7	0.5
0.85	6.7	3.1	1.9	1.4	1.0	0.8
0.9	10.6	5.0	3.2	2.3	1.8	1.4
0.95	22.3	10.9	7.1	5.2	4.1	3.4

자료: 저자 작성

〈부록 표 2-18〉 부산감천중앙부두의 W/S비(요약)

ρ	s					
	1	2	3	4	5	6
0.05	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.15	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.2	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.25	0.4	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
0.3	0.5	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
0.35	0.6	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0
0.4	0.7	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0
0.45	0.9	0.3	0.1	0.1	0.0	0.0
0.5	1.1	0.4	0.2	0.1	0.1	0.0
0.55	1.4	0.5	0.2	0.1	0.1	0.1
0.6	1.7	0.6	0.3	0.2	0.1	0.1
0.65	2.1	0.8	0.4	0.3	0.2	0.1
0.7	2.6	1.1	0.6	0.4	0.3	0.2
0.75	3.4	1.4	0.8	0.6	0.4	0.3
0.8	4.5	2.0	1.2	0.8	0.6	0.5
0.85	6.3	2.9	1.8	1.3	1.0	0.8
0.9	10.1	4.8	3.0	2.2	1.7	1.4
0.95	21.2	10.3	6.8	5.0	3.9	3.2

자료: 저자 작성

〈부록 표 2-19〉 부산북항5부두의 W/S비(요약)

ρ	s					
	1	2	3	4	5	6
0.05	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.15	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.2	0.3	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
0.25	0.4	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
0.3	0.6	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
0.35	0.7	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0
0.4	0.9	0.3	0.1	0.1	0.0	0.0
0.45	1.1	0.3	0.2	0.1	0.0	0.0
0.5	1.3	0.4	0.2	0.1	0.1	0.0
0.55	1.6	0.6	0.3	0.2	0.1	0.1
0.6	2.0	0.8	0.4	0.2	0.2	0.1
0.65	2.5	1.0	0.5	0.3	0.2	0.2
0.7	3.1	1.3	0.7	0.5	0.3	0.3
0.75	4.0	1.7	1.0	0.7	0.5	0.4
0.8	5.4	2.4	1.5	1.0	0.7	0.6
0.85	7.6	3.5	2.2	1.5	1.2	0.9
0.9	12.1	5.7	3.7	2.7	2.1	1.7
0.95	25.6	12.5	8.1	6.0	4.7	3.9

자료: 저자 작성

〈부록 표 2-20〉 부산항감천3부두의 W/S비(요약)

ρ	s					
	1	2	3	4	5	6
0.05	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.1	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.15	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.2	0.4	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
0.25	0.6	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
0.3	0.7	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0
0.35	0.9	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0
0.4	1.1	0.3	0.1	0.1	0.0	0.0
0.45	1.4	0.4	0.2	0.1	0.1	0.0
0.5	1.7	0.6	0.3	0.1	0.1	0.1
0.55	2.0	0.7	0.4	0.2	0.1	0.1
0.6	2.5	0.9	0.5	0.3	0.2	0.1
0.65	3.1	1.2	0.7	0.4	0.3	0.2
0.7	3.9	1.6	0.9	0.6	0.4	0.3
0.75	5.0	2.1	1.3	0.8	0.6	0.5
0.8	6.6	2.9	1.8	1.2	0.9	0.7
0.85	9.4	4.3	2.7	1.9	1.4	1.1
0.9	14.9	7.1	4.5	3.3	2.5	2.0
0.95	31.5	15.3	10.0	7.4	5.8	4.8

자료: 저자 작성

〈부록 표 2-21〉 부산항감천5부두의 W/S비(요약)

ρ	s					
	1	2	3	4	5	6
0.05	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.1	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.15	0.4	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
0.2	0.6	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
0.25	0.8	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0
0.3	1.0	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0
0.35	1.2	0.3	0.1	0.1	0.0	0.0
0.4	1.5	0.4	0.2	0.1	0.0	0.0
0.45	1.8	0.6	0.3	0.1	0.1	0.0
0.5	2.3	0.8	0.4	0.2	0.1	0.1
0.55	2.8	1.0	0.5	0.3	0.2	0.1
0.6	3.4	1.3	0.7	0.4	0.3	0.2
0.65	4.2	1.7	0.9	0.6	0.4	0.3
0.7	5.3	2.2	1.2	0.8	0.6	0.4
0.75	6.8	2.9	1.7	1.2	0.8	0.6
0.8	9.0	4.0	2.4	1.7	1.3	1.0
0.85	12.8	5.9	3.7	2.6	2.0	1.6
0.9	20.3	9.6	6.2	4.5	3.4	2.8
0.95	43.0	20.9	13.7	10.1	7.9	6.5

자료: 저자 작성

〈부록 표 2-22〉 삼척2부두의 W/S비(요약)

ρ	s					
	1	2	3	4	5	6
0.05	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.15	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.2	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.25	0.3	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
0.3	0.4	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
0.35	0.4	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
0.4	0.6	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0
0.45	0.7	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0
0.5	0.8	0.3	0.1	0.1	0.0	0.0
0.55	1.0	0.4	0.2	0.1	0.1	0.0
0.6	1.2	0.5	0.2	0.1	0.1	0.1
0.65	1.5	0.6	0.3	0.2	0.1	0.1
0.7	1.9	0.8	0.5	0.3	0.2	0.2
0.75	2.5	1.1	0.6	0.4	0.3	0.2
0.8	3.3	1.5	0.9	0.6	0.5	0.4
0.85	4.7	2.2	1.3	1.0	0.7	0.6
0.9	7.5	3.5	2.3	1.6	1.3	1.0
0.95	15.8	7.7	5.0	3.7	2.9	2.4

자료: 저자 작성

〈부록 표 2-23〉 삼척3부두의 W/S비(요약)

ρ	s					
	1	2	3	4	5	6
0.05	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.15	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.2	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.25	0.3	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
0.3	0.4	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
0.35	0.5	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
0.4	0.6	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0
0.45	0.7	0.2	0.1	0.1	0.0	0.0
0.5	0.9	0.3	0.1	0.1	0.0	0.0
0.55	1.1	0.4	0.2	0.1	0.1	0.0
0.6	1.3	0.5	0.3	0.2	0.1	0.1
0.65	1.7	0.7	0.4	0.2	0.2	0.1
0.7	2.1	0.9	0.5	0.3	0.2	0.2
0.75	2.7	1.2	0.7	0.5	0.3	0.3
0.8	3.6	1.6	1.0	0.7	0.5	0.4
0.85	5.1	2.3	1.5	1.0	0.8	0.6
0.9	8.1	3.8	2.4	1.8	1.4	1.1
0.95	17.0	8.3	5.4	4.0	3.1	2.6

자료: 저자 작성

〈부록 표 2-24〉 옥계1부두의 W/S비(요약)

ρ	s					
	1	2	3	4	5	6
0.05	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.15	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.2	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.25	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.3	0.3	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
0.35	0.4	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
0.4	0.5	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0
0.45	0.6	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0
0.5	0.7	0.2	0.1	0.1	0.0	0.0
0.55	0.9	0.3	0.2	0.1	0.1	0.0
0.6	1.0	0.4	0.2	0.1	0.1	0.1
0.65	1.3	0.5	0.3	0.2	0.1	0.1
0.7	1.6	0.7	0.4	0.2	0.2	0.1
0.75	2.1	0.9	0.5	0.4	0.3	0.2
0.8	2.8	1.2	0.8	0.5	0.4	0.3
0.85	3.9	1.8	1.1	0.8	0.6	0.5
0.9	6.3	3.0	1.9	1.4	1.1	0.9
0.95	13.2	6.4	4.2	3.1	2.4	2.0

자료: 저자 작성

〈부록 표 2-25〉 옥계2부두의 W/S비(요약)

ρ	s					
	1	2	3	4	5	6
0.05	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.15	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.2	0.3	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
0.25	0.4	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
0.3	0.5	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
0.35	0.7	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0
0.4	0.8	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0
0.45	1.0	0.3	0.1	0.1	0.0	0.0
0.5	1.2	0.4	0.2	0.1	0.1	0.0
0.55	1.5	0.5	0.3	0.2	0.1	0.1
0.6	1.9	0.7	0.4	0.2	0.1	0.1
0.65	2.3	0.9	0.5	0.3	0.2	0.2
0.7	2.9	1.2	0.7	0.4	0.3	0.2
0.75	3.7	1.6	0.9	0.6	0.5	0.3
0.8	5.0	2.2	1.3	0.9	0.7	0.5
0.85	7.0	3.2	2.0	1.4	1.1	0.9
0.9	11.2	5.3	3.4	2.4	1.9	1.5
0.95	23.6	11.5	7.5	5.5	4.4	3.6

자료: 저자 작성

〈부록 표 2-26〉 옥포하역부두의 W/S비(요약)

ρ	s					
	1	2	3	4	5	6
0.05	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.1	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.15	0.6	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
0.2	0.9	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0
0.25	1.2	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0
0.3	1.6	0.4	0.1	0.0	0.0	0.0
0.35	2.0	0.5	0.2	0.1	0.0	0.0
0.4	2.5	0.7	0.3	0.1	0.1	0.0
0.45	3.0	0.9	0.4	0.2	0.1	0.1
0.5	3.7	1.2	0.6	0.3	0.2	0.1
0.55	4.5	1.6	0.8	0.5	0.3	0.2
0.6	5.5	2.1	1.1	0.7	0.4	0.3
0.65	6.8	2.7	1.5	0.9	0.6	0.5
0.7	8.6	3.5	2.0	1.3	0.9	0.7
0.75	11.0	4.7	2.8	1.9	1.4	1.0
0.8	14.7	6.5	4.0	2.7	2.0	1.6
0.85	20.8	9.6	6.0	4.2	3.2	2.5
0.9	33.1	15.7	10.0	7.2	5.6	4.5
0.95	69.8	34.0	22.2	16.4	12.9	10.6

자료: 저자 작성

〈부록 표 2-27〉 울산4부두의 W/S비(요약)

ρ	s					
	1	2	3	4	5	6
0.05	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.15	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.2	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.25	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.3	0.3	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
0.35	0.4	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
0.4	0.5	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0
0.45	0.6	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0
0.5	0.7	0.2	0.1	0.1	0.0	0.0
0.55	0.8	0.3	0.1	0.1	0.1	0.0
0.6	1.0	0.4	0.2	0.1	0.1	0.1
0.65	1.3	0.5	0.3	0.2	0.1	0.1
0.7	1.6	0.6	0.4	0.2	0.2	0.1
0.75	2.0	0.9	0.5	0.3	0.2	0.2
0.8	2.7	1.2	0.7	0.5	0.4	0.3
0.85	3.8	1.8	1.1	0.8	0.6	0.5
0.9	6.1	2.9	1.8	1.3	1.0	0.8
0.95	12.8	6.3	4.1	3.0	2.4	1.9

자료: 저자 작성

〈부록 표 2-28〉 울산9부두의 W/S비(요약)

ρ	s					
	1	2	3	4	5	6
0.05	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.1	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.15	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.2	0.4	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
0.25	0.5	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
0.3	0.6	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
0.35	0.8	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0
0.4	1.0	0.3	0.1	0.1	0.0	0.0
0.45	1.2	0.4	0.2	0.1	0.0	0.0
0.5	1.5	0.5	0.2	0.1	0.1	0.0
0.55	1.8	0.6	0.3	0.2	0.1	0.1
0.6	2.2	0.8	0.4	0.3	0.2	0.1
0.65	2.7	1.1	0.6	0.4	0.3	0.2
0.7	3.5	1.4	0.8	0.5	0.4	0.3
0.75	4.4	1.9	1.1	0.8	0.5	0.4
0.8	5.9	2.6	1.6	1.1	0.8	0.6
0.85	8.4	3.8	2.4	1.7	1.3	1.0
0.9	13.3	6.3	4.0	2.9	2.3	1.8
0.95	28.1	13.7	8.9	6.6	5.2	4.3

자료: 저자 작성

〈부록 표 2-29〉 울산SK부두의 W/S비(요약)

ρ	s					
	1	2	3	4	5	6
0.05	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.15	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.2	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.25	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.3	0.3	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
0.35	0.4	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
0.4	0.5	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0
0.45	0.6	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0
0.5	0.7	0.2	0.1	0.1	0.0	0.0
0.55	0.8	0.3	0.1	0.1	0.1	0.0
0.6	1.0	0.4	0.2	0.1	0.1	0.1
0.65	1.3	0.5	0.3	0.2	0.1	0.1
0.7	1.6	0.7	0.4	0.2	0.2	0.1
0.75	2.1	0.9	0.5	0.4	0.3	0.2
0.8	2.8	1.2	0.7	0.5	0.4	0.3
0.85	3.9	1.8	1.1	0.8	0.6	0.5
0.9	6.2	2.9	1.9	1.4	1.1	0.8
0.95	13.1	6.4	4.2	3.1	2.4	2.0

자료: 저자 작성

〈부록 표 2-30〉 울산대한통운신항부두의 W/S비(요약)

ρ	s					
	1	2	3	4	5	6
0.05	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.15	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.25	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.3	0.3	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
0.35	0.3	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
0.4	0.4	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
0.45	0.5	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0
0.5	0.6	0.2	0.1	0.1	0.0	0.0
0.55	0.7	0.3	0.1	0.1	0.0	0.0
0.6	0.9	0.3	0.2	0.1	0.1	0.0
0.65	1.1	0.4	0.2	0.1	0.1	0.1
0.7	1.4	0.6	0.3	0.2	0.1	0.1
0.75	1.8	0.8	0.4	0.3	0.2	0.2
0.8	2.4	1.0	0.6	0.4	0.3	0.3
0.85	3.3	1.5	1.0	0.7	0.5	0.4
0.9	5.3	2.5	1.6	1.2	0.9	0.7
0.95	11.2	5.5	3.6	2.6	2.1	1.7

자료: 저자 작성

〈부록 표 2-31〉 울산에스오일1부두의 W/S비(요약)

ρ	s					
	1	2	3	4	5	6
0.05	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.15	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.2	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.25	0.3	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
0.3	0.4	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
0.35	0.4	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
0.4	0.6	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0
0.45	0.7	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0
0.5	0.8	0.3	0.1	0.1	0.0	0.0
0.55	1.0	0.4	0.2	0.1	0.1	0.0
0.6	1.2	0.5	0.2	0.1	0.1	0.1
0.65	1.5	0.6	0.3	0.2	0.1	0.1
0.7	1.9	0.8	0.5	0.3	0.2	0.2
0.75	2.5	1.1	0.6	0.4	0.3	0.2
0.8	3.3	1.5	0.9	0.6	0.5	0.4
0.85	4.7	2.2	1.3	0.9	0.7	0.6
0.9	7.4	3.5	2.3	1.6	1.3	1.0
0.95	15.7	7.6	5.0	3.7	2.9	2.4

자료: 저자 작성

〈부록 표 2-32〉 울산에스오일2부두의 W/S비(요약)

ρ	s					
	1	2	3	4	5	6
0.05	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.1	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.15	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.2	0.3	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
0.25	0.5	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
0.3	0.6	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
0.35	0.7	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0
0.4	0.9	0.3	0.1	0.1	0.0	0.0
0.45	1.1	0.3	0.2	0.1	0.0	0.0
0.5	1.4	0.5	0.2	0.1	0.1	0.0
0.55	1.7	0.6	0.3	0.2	0.1	0.1
0.6	2.1	0.8	0.4	0.2	0.2	0.1
0.65	2.6	1.0	0.6	0.3	0.2	0.2
0.7	3.2	1.3	0.8	0.5	0.3	0.3
0.75	4.1	1.8	1.0	0.7	0.5	0.4
0.8	5.5	2.4	1.5	1.0	0.8	0.6
0.85	7.8	3.6	2.2	1.6	1.2	1.0
0.9	12.4	5.9	3.7	2.7	2.1	1.7
0.95	26.1	12.7	8.3	6.1	4.8	4.0

자료: 저자 작성

〈부록 표 2-33〉 울산에스오일3부두의 W/S비(요약)

ρ	s					
	1	2	3	4	5	6
0.05	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.15	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.2	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.25	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.3	0.3	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
0.35	0.3	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
0.4	0.4	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
0.45	0.5	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0
0.5	0.6	0.2	0.1	0.1	0.0	0.0
0.55	0.8	0.3	0.1	0.1	0.1	0.0
0.6	1.0	0.4	0.2	0.1	0.1	0.1
0.65	1.2	0.5	0.3	0.2	0.1	0.1
0.7	1.5	0.6	0.3	0.2	0.2	0.1
0.75	1.9	0.8	0.5	0.3	0.2	0.2
0.8	2.5	1.1	0.7	0.5	0.4	0.3
0.85	3.6	1.7	1.0	0.7	0.6	0.4
0.9	5.7	2.7	1.7	1.3	1.0	0.8
0.95	12.1	5.9	3.8	2.8	2.2	1.8

자료: 저자 작성

〈부록 표 2-34〉 울산엘에스엠엔신항부두의 W/S비(요약)

ρ	s					
	1	2	3	4	5	6
0.05	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.15	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.2	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.25	0.4	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
0.3	0.5	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
0.35	0.6	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0
0.4	0.8	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0
0.45	0.9	0.3	0.1	0.1	0.0	0.0
0.5	1.1	0.4	0.2	0.1	0.1	0.0
0.55	1.4	0.5	0.2	0.1	0.1	0.1
0.6	1.7	0.6	0.3	0.2	0.1	0.1
0.65	2.1	0.8	0.5	0.3	0.2	0.1
0.7	2.6	1.1	0.6	0.4	0.3	0.2
0.75	3.4	1.5	0.9	0.6	0.4	0.3
0.8	4.5	2.0	1.2	0.8	0.6	0.5
0.85	6.4	2.9	1.8	1.3	1.0	0.8
0.9	10.2	4.8	3.1	2.2	1.7	1.4
0.95	21.4	10.4	6.8	5.0	4.0	3.3

자료: 저자 작성

〈부록 표 2-35〉 울산온산3부두의 W/S비(요약)

ρ	s					
	1	2	3	4	5	6
0.05	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.15	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.2	0.3	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
0.25	0.4	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
0.3	0.5	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
0.35	0.7	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0
0.4	0.8	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0
0.45	1.0	0.3	0.1	0.1	0.0	0.0
0.5	1.2	0.4	0.2	0.1	0.1	0.0
0.55	1.5	0.5	0.3	0.2	0.1	0.1
0.6	1.8	0.7	0.4	0.2	0.1	0.1
0.65	2.3	0.9	0.5	0.3	0.2	0.2
0.7	2.9	1.2	0.7	0.4	0.3	0.2
0.75	3.7	1.6	0.9	0.6	0.5	0.3
0.8	4.9	2.2	1.3	0.9	0.7	0.5
0.85	6.9	3.2	2.0	1.4	1.1	0.8
0.9	11.0	5.2	3.3	2.4	1.9	1.5
0.95	23.3	11.3	7.4	5.5	4.3	3.5

자료: 저자 작성

〈부록 표 2-36〉 울산용잠부두의 W/S비(요약)

ρ	s					
	1	2	3	4	5	6
0.05	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.15	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.2	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.25	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.3	0.3	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
0.35	0.4	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
0.4	0.5	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0
0.45	0.6	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0
0.5	0.7	0.2	0.1	0.1	0.0	0.0
0.55	0.9	0.3	0.2	0.1	0.1	0.0
0.6	1.1	0.4	0.2	0.1	0.1	0.1
0.65	1.4	0.5	0.3	0.2	0.1	0.1
0.7	1.7	0.7	0.4	0.3	0.2	0.1
0.75	2.2	0.9	0.6	0.4	0.3	0.2
0.8	2.9	1.3	0.8	0.5	0.4	0.3
0.85	4.2	1.9	1.2	0.8	0.6	0.5
0.9	6.6	3.1	2.0	1.4	1.1	0.9
0.95	13.9	6.8	4.4	3.3	2.6	2.1

자료: 저자 작성

〈부록 표 2-37〉 울산자동차부두의 W/S비(요약)

ρ	s					
	1	2	3	4	5	6
0.05	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.1	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.15	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.2	0.5	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
0.25	0.7	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
0.3	0.9	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0
0.35	1.1	0.3	0.1	0.0	0.0	0.0
0.4	1.4	0.4	0.2	0.1	0.0	0.0
0.45	1.7	0.5	0.2	0.1	0.1	0.0
0.5	2.1	0.7	0.3	0.2	0.1	0.1
0.55	2.6	0.9	0.5	0.3	0.2	0.1
0.6	3.1	1.2	0.6	0.4	0.2	0.2
0.65	3.9	1.5	0.8	0.5	0.4	0.3
0.7	4.9	2.0	1.1	0.7	0.5	0.4
0.75	6.3	2.7	1.6	1.1	0.8	0.6
0.8	8.3	3.7	2.3	1.6	1.2	0.9
0.85	11.8	5.4	3.4	2.4	1.8	1.4
0.9	18.8	8.9	5.7	4.1	3.2	2.6
0.95	39.7	19.3	12.6	9.3	7.3	6.0

자료: 저자 작성

〈부록 표 2-38〉 울산정일부두의 W/S비(요약)

ρ	s					
	1	2	3	4	5	6
0.05	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.15	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.2	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.25	0.4	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
0.3	0.5	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
0.35	0.6	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0
0.4	0.7	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0
0.45	0.9	0.3	0.1	0.1	0.0	0.0
0.5	1.1	0.4	0.2	0.1	0.1	0.0
0.55	1.4	0.5	0.2	0.1	0.1	0.1
0.6	1.7	0.6	0.3	0.2	0.1	0.1
0.65	2.1	0.8	0.4	0.3	0.2	0.1
0.7	2.6	1.1	0.6	0.4	0.3	0.2
0.75	3.3	1.4	0.8	0.6	0.4	0.3
0.8	4.4	2.0	1.2	0.8	0.6	0.5
0.85	6.3	2.9	1.8	1.3	1.0	0.8
0.9	10.0	4.7	3.0	2.2	1.7	1.4
0.95	21.1	10.3	6.7	5.0	3.9	3.2

자료: 저자 작성

〈부록 표 2-39〉 인천남향부두의 W/S비(요약)

ρ	s					
	1	2	3	4	5	6
0.05	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.1	1.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
0.15	1.6	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0
0.2	2.3	0.4	0.1	0.0	0.0	0.0
0.25	3.1	0.6	0.2	0.1	0.0	0.0
0.3	3.9	0.9	0.3	0.1	0.1	0.0
0.35	4.9	1.3	0.5	0.2	0.1	0.1
0.4	6.1	1.7	0.7	0.3	0.2	0.1
0.45	7.5	2.3	1.0	0.5	0.3	0.2
0.5	9.2	3.1	1.4	0.8	0.5	0.3
0.55	11.2	4.0	2.0	1.2	0.7	0.5
0.6	13.8	5.2	2.7	1.6	1.1	0.8
0.65	17.0	6.7	3.7	2.3	1.6	1.1
0.7	21.4	8.8	5.0	3.3	2.3	1.7
0.75	27.5	11.8	6.9	4.7	3.4	2.6
0.8	36.7	16.3	9.9	6.8	5.1	4.0
0.85	52.0	23.9	14.9	10.5	8.0	6.4
0.9	82.5	39.1	25.0	18.1	14.0	11.3
0.95	174.3	84.9	55.5	40.9	32.2	26.5

자료: 저자 작성

〈부록 표 2-40〉 인천내항7부두의 W/S비(요약)

ρ	s					
	1	2	3	4	5	6
0.05	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.15	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.2	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.25	0.3	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
0.3	0.4	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
0.35	0.5	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0
0.4	0.7	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0
0.45	0.8	0.3	0.1	0.1	0.0	0.0
0.5	1.0	0.3	0.2	0.1	0.1	0.0
0.55	1.2	0.4	0.2	0.1	0.1	0.1
0.6	1.5	0.6	0.3	0.2	0.1	0.1
0.65	1.8	0.7	0.4	0.3	0.2	0.1
0.7	2.3	1.0	0.5	0.4	0.2	0.2
0.75	3.0	1.3	0.8	0.5	0.4	0.3
0.8	4.0	1.8	1.1	0.7	0.5	0.4
0.85	5.6	2.6	1.6	1.1	0.9	0.7
0.9	8.9	4.2	2.7	2.0	1.5	1.2
0.95	18.8	9.2	6.0	4.4	3.5	2.9

자료: 저자 작성

〈부록 표 2-41〉 인천북항동국제강부두의 W/S비(요약)

ρ	s					
	1	2	3	4	5	6
0.05	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.15	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.2	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.25	0.3	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
0.3	0.4	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
0.35	0.5	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
0.4	0.6	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0
0.45	0.7	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0
0.5	0.9	0.3	0.1	0.1	0.0	0.0
0.55	1.0	0.4	0.2	0.1	0.1	0.0
0.6	1.3	0.5	0.3	0.2	0.1	0.1
0.65	1.6	0.6	0.3	0.2	0.1	0.1
0.7	2.0	0.8	0.5	0.3	0.2	0.2
0.75	2.6	1.1	0.6	0.4	0.3	0.2
0.8	3.4	1.5	0.9	0.6	0.5	0.4
0.85	4.8	2.2	1.4	1.0	0.7	0.6
0.9	7.7	3.6	2.3	1.7	1.3	1.1
0.95	16.2	7.9	5.2	3.8	3.0	2.5

자료: 저자 작성

〈부록 표 2-42〉 인천북항현대제철부두의 W/S비(요약)

ρ	s					
	1	2	3	4	5	6
0.05	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.15	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.2	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.25	0.3	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
0.3	0.4	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
0.35	0.5	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0
0.4	0.7	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0
0.45	0.8	0.2	0.1	0.1	0.0	0.0
0.5	1.0	0.3	0.2	0.1	0.1	0.0
0.55	1.2	0.4	0.2	0.1	0.1	0.1
0.6	1.5	0.6	0.3	0.2	0.1	0.1
0.65	1.8	0.7	0.4	0.2	0.2	0.1
0.7	2.3	0.9	0.5	0.4	0.2	0.2
0.75	2.9	1.3	0.7	0.5	0.4	0.3
0.8	3.9	1.7	1.1	0.7	0.5	0.4
0.85	5.6	2.6	1.6	1.1	0.9	0.7
0.9	8.8	4.2	2.7	1.9	1.5	1.2
0.95	18.7	9.1	5.9	4.4	3.4	2.8

자료: 저자 작성

〈부록 표 2-43〉 인천삼표시멘트돌핀의 W/S비(요약)

ρ	s					
	1	2	3	4	5	6
0.05	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.15	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.25	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.3	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.35	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.4	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.45	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
0.5	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
0.55	0.3	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
0.6	0.3	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0
0.65	0.4	0.2	0.1	0.1	0.0	0.0
0.7	0.5	0.2	0.1	0.1	0.1	0.0
0.75	0.6	0.3	0.2	0.1	0.1	0.1
0.8	0.8	0.4	0.2	0.2	0.1	0.1
0.85	1.2	0.5	0.3	0.2	0.2	0.1
0.9	1.9	0.9	0.6	0.4	0.3	0.3
0.95	3.9	1.9	1.3	0.9	0.7	0.6

자료: 저자 작성

〈부록 표 2-44〉 인천송도가스공사돌핀의 W/S비(요약)

ρ	s					
	1	2	3	4	5	6
0.05	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.15	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.2	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.25	0.3	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
0.3	0.4	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
0.35	0.5	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0
0.4	0.7	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0
0.45	0.8	0.3	0.1	0.1	0.0	0.0
0.5	1.0	0.3	0.2	0.1	0.1	0.0
0.55	1.2	0.4	0.2	0.1	0.1	0.1
0.6	1.5	0.6	0.3	0.2	0.1	0.1
0.65	1.9	0.7	0.4	0.3	0.2	0.1
0.7	2.3	1.0	0.5	0.4	0.3	0.2
0.75	3.0	1.3	0.8	0.5	0.4	0.3
0.8	4.0	1.8	1.1	0.7	0.6	0.4
0.85	5.7	2.6	1.6	1.2	0.9	0.7
0.9	9.0	4.3	2.7	2.0	1.5	1.2
0.95	19.1	9.3	6.1	4.5	3.5	2.9

자료: 저자 작성

〈부록 표 2-45〉 인천쌍용돌핀의 W/S비(요약)

ρ	s					
	1	2	3	4	5	6
0.05	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.15	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.25	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.3	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.35	0.3	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
0.4	0.3	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
0.45	0.4	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0
0.5	0.5	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0
0.55	0.6	0.2	0.1	0.1	0.0	0.0
0.6	0.7	0.3	0.1	0.1	0.1	0.0
0.65	0.9	0.3	0.2	0.1	0.1	0.1
0.7	1.1	0.5	0.3	0.2	0.1	0.1
0.75	1.4	0.6	0.4	0.2	0.2	0.1
0.8	1.9	0.8	0.5	0.4	0.3	0.2
0.85	2.7	1.2	0.8	0.5	0.4	0.3
0.9	4.3	2.0	1.3	0.9	0.7	0.6
0.95	9.1	4.4	2.9	2.1	1.7	1.4

자료: 저자 작성

〈부록 표 2-46〉 인천연안항GS칼텍스돌핀의 W/S비(요약)

ρ	s					
	1	2	3	4	5	6
0.05	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.15	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.25	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.3	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.35	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.4	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.45	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
0.5	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
0.55	0.3	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
0.6	0.3	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0
0.65	0.4	0.2	0.1	0.1	0.0	0.0
0.7	0.5	0.2	0.1	0.1	0.1	0.0
0.75	0.6	0.3	0.2	0.1	0.1	0.1
0.8	0.8	0.4	0.2	0.2	0.1	0.1
0.85	1.2	0.5	0.3	0.2	0.2	0.1
0.9	1.9	0.9	0.6	0.4	0.3	0.3
0.95	3.9	1.9	1.2	0.9	0.7	0.6

자료: 저자 작성

〈부록 표 2-47〉 인천영흥화력돌핀의 W/S비(요약)

ρ	s					
	1	2	3	4	5	6
0.05	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.1	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.15	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.2	0.4	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
0.25	0.5	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
0.3	0.7	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0
0.35	0.9	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0
0.4	1.1	0.3	0.1	0.1	0.0	0.0
0.45	1.3	0.4	0.2	0.1	0.1	0.0
0.5	1.6	0.5	0.3	0.1	0.1	0.1
0.55	2.0	0.7	0.4	0.2	0.1	0.1
0.6	2.4	0.9	0.5	0.3	0.2	0.1
0.65	3.0	1.2	0.6	0.4	0.3	0.2
0.7	3.8	1.6	0.9	0.6	0.4	0.3
0.75	4.9	2.1	1.2	0.8	0.6	0.5
0.8	6.5	2.9	1.7	1.2	0.9	0.7
0.85	9.2	4.2	2.6	1.9	1.4	1.1
0.9	14.6	6.9	4.4	3.2	2.5	2.0
0.95	30.8	15.0	9.8	7.2	5.7	4.7

자료: 저자 작성

〈부록 표 2-48〉 인천한라시멘트돌핀의 W/S비(요약)

ρ	s					
	1	2	3	4	5	6
0.05	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.15	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.25	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.3	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.35	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.4	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.45	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
0.5	0.3	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
0.55	0.3	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0
0.6	0.4	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0
0.65	0.5	0.2	0.1	0.1	0.0	0.0
0.7	0.6	0.2	0.1	0.1	0.1	0.0
0.75	0.8	0.3	0.2	0.1	0.1	0.1
0.8	1.0	0.5	0.3	0.2	0.1	0.1
0.85	1.5	0.7	0.4	0.3	0.2	0.2
0.9	2.3	1.1	0.7	0.5	0.4	0.3
0.95	4.9	2.4	1.6	1.2	0.9	0.7

자료: 저자 작성

〈부록 표 2-49〉 태안화력돌핀의 W/S비(요약)

ρ	s					
	1	2	3	4	5	6
0.05	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.1	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.15	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.2	0.4	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
0.25	0.6	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
0.3	0.7	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0
0.35	0.9	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0
0.4	1.1	0.3	0.1	0.1	0.0	0.0
0.45	1.4	0.4	0.2	0.1	0.1	0.0
0.5	1.7	0.6	0.3	0.1	0.1	0.1
0.55	2.0	0.7	0.4	0.2	0.1	0.1
0.6	2.5	0.9	0.5	0.3	0.2	0.1
0.65	3.1	1.2	0.7	0.4	0.3	0.2
0.7	3.9	1.6	0.9	0.6	0.4	0.3
0.75	5.0	2.1	1.3	0.8	0.6	0.5
0.8	6.6	2.9	1.8	1.2	0.9	0.7
0.85	9.4	4.3	2.7	1.9	1.4	1.1
0.9	14.9	7.0	4.5	3.3	2.5	2.0
0.95	31.4	15.3	10.0	7.4	5.8	4.8

자료: 저자 작성

〈부록 표 2-50〉 평택당진동부두4번의 W/S비(요약)

ρ	s					
	1	2	3	4	5	6
0.05	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.1	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.15	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.2	0.5	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
0.25	0.6	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
0.3	0.8	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0
0.35	1.0	0.3	0.1	0.0	0.0	0.0
0.4	1.2	0.3	0.1	0.1	0.0	0.0
0.45	1.5	0.5	0.2	0.1	0.1	0.0
0.5	1.8	0.6	0.3	0.2	0.1	0.1
0.55	2.2	0.8	0.4	0.2	0.1	0.1
0.6	2.7	1.0	0.5	0.3	0.2	0.1
0.65	3.4	1.3	0.7	0.5	0.3	0.2
0.7	4.2	1.7	1.0	0.6	0.5	0.3
0.75	5.4	2.3	1.4	0.9	0.7	0.5
0.8	7.2	3.2	2.0	1.3	1.0	0.8
0.85	10.3	4.7	2.9	2.1	1.6	1.3
0.9	16.3	7.7	4.9	3.6	2.8	2.2
0.95	34.4	16.7	10.9	8.1	6.4	5.2

자료: 저자 작성

〈부록 표 2-51〉 평택당진모래부두의 W/S비(요약)

ρ	s					
	1	2	3	4	5	6
0.05	1.7	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
0.1	3.6	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0
0.15	5.7	0.7	0.1	0.0	0.0	0.0
0.2	8.1	1.4	0.3	0.1	0.0	0.0
0.25	10.8	2.2	0.6	0.2	0.1	0.0
0.3	13.9	3.2	1.1	0.4	0.2	0.1
0.35	17.5	4.5	1.7	0.8	0.4	0.2
0.4	21.7	6.2	2.5	1.2	0.6	0.4
0.45	26.6	8.2	3.7	1.9	1.1	0.6
0.5	32.5	10.8	5.1	2.8	1.7	1.1
0.55	39.7	14.1	7.1	4.1	2.6	1.7
0.6	48.7	18.3	9.6	5.8	3.8	2.7
0.65	60.3	23.8	13.0	8.2	5.6	4.0
0.7	75.8	31.2	17.8	11.6	8.2	6.1
0.75	97.5	41.8	24.6	16.6	12.0	9.1
0.8	130.0	57.8	35.0	24.2	18.0	14.0
0.85	184.1	84.6	52.7	37.3	28.4	22.5
0.9	292.4	138.5	88.5	64.0	49.5	40.1
0.95	617.3	300.7	196.5	144.8	114.1	93.7

자료: 저자 작성

〈부록 표 2-52〉 평택당진송악부두의 W/S비(요약)

ρ	s					
	1	2	3	4	5	6
0.05	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.15	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.2	0.3	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
0.25	0.4	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
0.3	0.6	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
0.35	0.7	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0
0.4	0.9	0.3	0.1	0.0	0.0	0.0
0.45	1.1	0.3	0.1	0.1	0.0	0.0
0.5	1.3	0.4	0.2	0.1	0.1	0.0
0.55	1.6	0.6	0.3	0.2	0.1	0.1
0.6	2.0	0.7	0.4	0.2	0.2	0.1
0.65	2.4	1.0	0.5	0.3	0.2	0.2
0.7	3.1	1.3	0.7	0.5	0.3	0.2
0.75	3.9	1.7	1.0	0.7	0.5	0.4
0.8	5.3	2.3	1.4	1.0	0.7	0.6
0.85	7.5	3.4	2.1	1.5	1.1	0.9
0.9	11.8	5.6	3.6	2.6	2.0	1.6
0.95	25.0	12.2	8.0	5.9	4.6	3.8

자료: 저자 작성

〈부록 표 2-53〉 평택당진송악부두11번선석의 W/S비(요약)

ρ	s					
	1	2	3	4	5	6
0.05	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.15	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.2	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.25	0.4	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
0.3	0.5	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
0.35	0.6	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0
0.4	0.7	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0
0.45	0.9	0.3	0.1	0.1	0.0	0.0
0.5	1.1	0.4	0.2	0.1	0.1	0.0
0.55	1.4	0.5	0.2	0.1	0.1	0.1
0.6	1.7	0.6	0.3	0.2	0.1	0.1
0.65	2.1	0.8	0.4	0.3	0.2	0.1
0.7	2.6	1.1	0.6	0.4	0.3	0.2
0.75	3.4	1.4	0.8	0.6	0.4	0.3
0.8	4.5	2.0	1.2	0.8	0.6	0.5
0.85	6.3	2.9	1.8	1.3	1.0	0.8
0.9	10.1	4.8	3.0	2.2	1.7	1.4
0.95	21.3	10.4	6.8	5.0	3.9	3.2

자료: 저자 작성

〈부록 표 2-54〉 평택당진송악부두9번선석의 W/S비(요약)

ρ	s					
	1	2	3	4	5	6
0.05	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.15	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.2	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.25	0.3	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
0.3	0.3	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
0.35	0.4	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
0.4	0.5	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0
0.45	0.6	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0
0.5	0.8	0.3	0.1	0.1	0.0	0.0
0.55	1.0	0.3	0.2	0.1	0.1	0.0
0.6	1.2	0.4	0.2	0.1	0.1	0.1
0.65	1.4	0.6	0.3	0.2	0.1	0.1
0.7	1.8	0.7	0.4	0.3	0.2	0.1
0.75	2.3	1.0	0.6	0.4	0.3	0.2
0.8	3.1	1.4	0.8	0.6	0.4	0.3
0.85	4.4	2.0	1.3	0.9	0.7	0.5
0.9	7.0	3.3	2.1	1.5	1.2	1.0
0.95	14.8	7.2	4.7	3.5	2.7	2.2

자료: 저자 작성

〈부록 표 2-55〉 평택당진양곡부두의 W/S비(요약)

ρ	s					
	1	2	3	4	5	6
0.05	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.15	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.2	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.25	0.4	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
0.3	0.5	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
0.35	0.6	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0
0.4	0.7	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0
0.45	0.9	0.3	0.1	0.1	0.0	0.0
0.5	1.1	0.4	0.2	0.1	0.1	0.0
0.55	1.3	0.5	0.2	0.1	0.1	0.1
0.6	1.6	0.6	0.3	0.2	0.1	0.1
0.65	2.0	0.8	0.4	0.3	0.2	0.1
0.7	2.5	1.0	0.6	0.4	0.3	0.2
0.75	3.2	1.4	0.8	0.6	0.4	0.3
0.8	4.3	1.9	1.2	0.8	0.6	0.5
0.85	6.1	2.8	1.8	1.2	0.9	0.7
0.9	9.7	4.6	2.9	2.1	1.6	1.3
0.95	20.5	10.0	6.5	4.8	3.8	3.1

자료: 저자 작성

〈부록 표 2-56〉 포항7부두1의 W/S비(요약)

ρ	s					
	1	2	3	4	5	6
0.05	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.15	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.2	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.25	0.4	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
0.3	0.5	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
0.35	0.6	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0
0.4	0.8	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0
0.45	1.0	0.3	0.1	0.1	0.0	0.0
0.5	1.2	0.4	0.2	0.1	0.1	0.0
0.55	1.4	0.5	0.3	0.1	0.1	0.1
0.6	1.8	0.7	0.3	0.2	0.1	0.1
0.65	2.2	0.9	0.5	0.3	0.2	0.1
0.7	2.7	1.1	0.6	0.4	0.3	0.2
0.75	3.5	1.5	0.9	0.6	0.4	0.3
0.8	4.7	2.1	1.3	0.9	0.6	0.5
0.85	6.6	3.0	1.9	1.3	1.0	0.8
0.9	10.5	5.0	3.2	2.3	1.8	1.4
0.95	22.2	10.8	7.1	5.2	4.1	3.4

자료: 저자 작성

〈부록 표 2-57〉 포항송도부두2선석의 W/S비(요약)

ρ	s					
	1	2	3	4	5	6
0.05	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.15	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.25	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.3	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.35	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.4	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
0.45	0.3	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
0.5	0.3	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0
0.55	0.4	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0
0.6	0.5	0.2	0.1	0.1	0.0	0.0
0.65	0.6	0.2	0.1	0.1	0.1	0.0
0.7	0.8	0.3	0.2	0.1	0.1	0.1
0.75	1.0	0.4	0.3	0.2	0.1	0.1
0.8	1.4	0.6	0.4	0.3	0.2	0.1
0.85	1.9	0.9	0.6	0.4	0.3	0.2
0.9	3.1	1.5	0.9	0.7	0.5	0.4
0.95	6.5	3.2	2.1	1.5	1.2	1.0

자료: 저자 작성

〈부록 표 2-58〉 포항항1부두의 W/S비(요약)

ρ	s					
	1	2	3	4	5	6
0.05	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.15	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.2	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.25	0.4	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
0.3	0.5	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
0.35	0.6	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0
0.4	0.8	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0
0.45	0.9	0.3	0.1	0.1	0.0	0.0
0.5	1.1	0.4	0.2	0.1	0.1	0.0
0.55	1.4	0.5	0.2	0.1	0.1	0.1
0.6	1.7	0.6	0.3	0.2	0.1	0.1
0.65	2.1	0.8	0.5	0.3	0.2	0.1
0.7	2.6	1.1	0.6	0.4	0.3	0.2
0.75	3.4	1.5	0.9	0.6	0.4	0.3
0.8	4.5	2.0	1.2	0.8	0.6	0.5
0.85	6.4	3.0	1.8	1.3	1.0	0.8
0.9	10.2	4.8	3.1	2.2	1.7	1.4
0.95	21.6	10.5	6.9	5.1	4.0	3.3

자료: 저자 작성

4. 품목별 대상 부두

〈부록 표 3-1〉 W/S 0.2 적용 대상부두별 선석 점유율(%)

구분	부두명	선석 수					
		1	2	3	4	5	6
고철	인천북항현대제철부두	15	40	52.5	60	65	70
고철	평택당진송악부두9번선석	20	45	57.5	65	70	72.5
기타광석	광양여천일반부두	12.5	35	47.5	55	62.5	65
기타광석	동해묵호중앙부두	27.5	52.5	65	70	75	77.5
기타광석	울산엘에스엠앤신항부두	15	37.5	50	57.5	65	67.5
기타광석	울산온산3부두	12.5	35	50	57.5	62.5	67.5
기타광석	평택당진송악부두	12.5	35	47.5	57.5	62.5	65
모래	마산모래부두	10	30	45	52.5	57.5	62.5
모래	울산9부두	10	32.5	47.5	55	60	65
모래	인천남항부두	0	12.5	25	32.5	40	45
모래	평택당진모래부두	0	7.5	15	22.5	30	35
목재	울산대한통운신항부두	25	50	60	67.5	72.5	75
석탄	대산당진화력돌핀	10	32.5	45	55	60	65
석탄	동해묵호석탄부두	17.5	42.5	55	62.5	67.5	72.5
석탄	인천영흥화력돌핀	10	32.5	45	52.5	60	62.5
석탄	태안화력돌핀	10	32.5	45	52.5	60	62.5
시멘트	삼척2부두	17.5	42.5	55	62.5	67.5	72.5
시멘트	삼척3부두	17.5	42.5	55	62.5	67.5	70
시멘트	옥계1부두	20	45	57.5	65	70	75
시멘트	옥계2부두	12.5	35	50	57.5	62.5	67.5
시멘트	인천삼표시멘트돌핀	47.5	70	77.5	82.5	85	87.5
시멘트	인천쌍용돌핀	27.5	52.5	65	70	75	77.5
시멘트	인천한라시멘트돌핀	42.5	65	75	80	82.5	85
시멘트	포항송도부두2선석	35	60	70	75	80	82.5
양곡	부산북항5부두	12.5	35	47.5	55	62.5	65
양곡	인천내항7부두	15	40	52.5	60	65	70
양곡	평택당진양곡부두	15	37.5	50	60	65	67.5

구분	부두명	선석 수					
		1	2	3	4	5	6
유류	광양원유부두	17.5	42.5	55	62.5	67.5	72.5
유류	울산SK부두	20	45	57.5	65	70	75
유류	울산에스오일1부두	17.5	42.5	55	62.5	67.5	72.5
유류	울산에스오일2부두	12.5	35	47.5	55	62.5	65
유류	울산에스오일3부두	22.5	47.5	60	67.5	72.5	75
유류	인천송도가스공사돌핀	15	40	52.5	60	65	70
유류	인천연안항GS칼텍스돌핀	47.5	70	77.5	82.5	85	87.5
자동차	광양항자동차부두	7.5	30	42.5	52.5	57.5	62.5
자동차	마산가포부두	7.5	30	42.5	50	57.5	62.5
자동차	목포신항외부두	12.5	37.5	50	57.5	62.5	67.5
자동차	울산자동차부두	7.5	27.5	42.5	50	55	60
자동차	평택당진동부두4번	7.5	30	42.5	52.5	57.5	62.5
잡화	군산항6부두	22.5	47.5	60	67.5	72.5	75
잡화	마산항4부두	7.5	30	42.5	50	57.5	62.5
잡화	부산항감천3부두	10	32.5	45	52.5	60	62.5
잡화	부산항감천5부두	7.5	27.5	40	50	55	60
철광석	광양항원료부두	10	30	45	52.5	57.5	62.5
철광석	평택당진철광석부두	27	52	63.5	70.5	75	78
철광석	포항항1부두	12.5	37.5	50	57.5	65	67.5
철재	고현한내부두	12.5	35	47.5	55	62.5	65
철재	광양제품부두	7.5	30	42.5	50	57.5	62.5
철재	부산감천중앙부두	15	37.5	50	57.5	65	67.5
철재	옥포하역부두	5	22.5	35	42.5	50	55
철재	인천북항동국제강부두	17.5	42.5	55	62.5	67.5	72.5
철재	평택당진송악부두11번선석	15	37.5	50	57.5	65	67.5
철재	포항7부두1	12.5	37.5	50	57.5	62.5	67.5
화공품	광양석유화학부두	20	45	57.5	65	70	72.5
화공품	광양중흥부두	20	45	57.5	65	70	75
화공품	광양항낙포부두	12.5	37.5	50	57.5	62.5	67.5
화공품	울산4부두	22.5	47.5	60	65	70	75

기본연구보고서 발간목록

Ⅰ 2025년

01	청색경제 이행지표 개발 및 투자효과 분석	김주현
02	해양문화산업의 지역 경쟁력 진단과 발전전략 연구	이슬기
03	유해·교란 해양생물 지정 제도 개선방안 연구	정여진
04	해양보호구역의 효과적 관리 방안 연구	김미주
05	해양 복합위험의 실효적 대응 방안 연구	민영훈
06	해양 위성정보 활용 방안 연구	조성진
07	수산업 정책 전주기 연계성 강화 방안 연구	안지은
08	소비자 맞춤형 식품시장 성장에 따른 수산식품산업 대응 방안 연구	임경희
09	외국인 어선원 확보를 위한 제도 개선 연구	정명화
10	수산식품 물가 안정화 방안 연구	박혜진
11	수산물 업사이클링 생태계 조성 방안 연구	이남수
12	어촌과 연안의 통합적 발전을 위한 바다생활권 도입방안 연구	박상우
13	해운 얼라이언스 재편에 따른 영향분석과 대응방안 연구	김병주
14	연안대중교통의 운영 효율성 제고를 위한 정책 연구	류희영
15	그린 암모니아 선박 연료 전환 대응 방안 연구	전서연
16	스마트항만 기술 수용성 제고를 위한 법·제도 개선 방안 연구	이다예
17	탄소중립항만 전환을 위한 항만하역장비 관리체계 개선 방안 연구	이혜령
18	부산항 중장기 발전전략 연구	김근섭
19	재난·재해 대비 항만 위험물 컨테이너 물류공급망 대응 방안 연구	최나영환
20	국제물류시장 공정경쟁질서 확립 방안 연구	김동환

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	정치호
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

수시연구보고서 발간목록

Ⅰ 2025년

01	해양치유시설 조성·운영 제도 개선 연구	이정아
02	국제 해양질서 전환 대응 해양대외전략 기반 연구	박수진
03	유기수산물품 국제 동등성 확보 방안	오서연
04	선원 복지 개선방안 연구 - 선내 급식을 중심으로	허성례
05	항만재개발사업 추진 체계 재정립 연구 - 항만재개발사업 업무 매뉴얼 개선을 중심으로	김세원
06	군소도서국 해양수산 국제협력 방안 수립	전혜은
07	어촌발전특구 도입을 위한 법·제도 연구	박상우
08	해양생태계서비스 활용 방안 연구	정세미
09	해양에너지 산업 활성화 방안 연구	육근형
10	비관리청항만개발사업 정보화 정책 방향 연구	이종필
11	해양안보 위협지수 개발 및 활용방안 연구 - 선박 이상 행위를 중심으로	민영훈
12	지방관리무역항 보안관리체계 재정립 연구	김가현
13	부산항 터미널 위험물 컨테이너 장치 효율 개선 방안 연구 - 법·제도 측면 -	김우선
14	새만금호 수질관리 강화 방안 연구	장원근
15	미 상호주의 대응 수산분야 비관세장벽 영향 연구	이정미
16	수중레저 안전관리 체계 정비를 위한 제도개선 연구	이정아

2024년

01	해양정보산업 진흥을 위한 제도 개선 방안 연구	김찬웅
02	한-아프리카 국제수산협력 체계 개선 연구	이채령
03	해양안보 MDA 체계 구축·활용 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	어업선진화를 위한 어업관리체계 개편방안	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

일반연구보고서 발간목록

Ⅰ 2025년

01	해양수산 공공데이터 플랫폼 활용 제고 방안 연구	김성은
02	동아시아 해양플라스틱 오염 대응 자원 조성 방안	이윤정
03	한-아세안 해양협력 전략적 강화방안 연구	최지연
04	수산업 강제노동 규범화 대응체계 구축연구	박찬엽
05	해조류 활용 신산업 생태계 조성 방안 연구	조현주
06	미국 무역환경 변화와 해운·조선산업의 영향 분석 연구	김한나
07	해상운임에 대한 지정학적 리스크의 전이효과 분석	최영재
08	스마트항만 개발 효과 산정 방법론 연구	안승현
09	항만 수급분석 체계화 및 지침 마련 연구	신정훈
10	비컨테이너 부두 하역능력 산정을 위한 적정 점유율 기준 연구	이화섭
11	국가 스마트 콜드체인 물류거점센터 구축연구	조지성
12	해운항만물류 전문인력 중개 플랫폼 모델 개발	권보배
13	미국 이력 추적 의무화에 따른 수산물 수출기업 대응실태 분석 연구	박혜진
14	AI 활용 글로벌 수산인수 및 무역전망체계 고도화 연구	한기욱
15	섬어촌 디지털 정보격차 해소를 위한 정책연구	이상규

Ⅰ 2024년

01	한-북극권 청색경제 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 - 원양저연승어업을중심으로	조현주
05	수산물 공급망 관리 개선방안 연구(한태 무역을 중심으로)	한기욱
06	신통상규범 확대에 따른 수산분야 영향 및 대응방안	박혜진
07	탄소배출 규제 대응을 위한 컨테이너 선대 교체 수요 추정 연구	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,잡화중심으로	이나영
11	접안 대기시간 감소에 따른 탄소집약도지수(CII) 변화 분석	김보람

일반연구 2025-10

비컨테이너 부두 하역능력 산정을 위한 적정 점유율 기준 연구

인쇄 2025년 12월 29일

발행 2025년 12월 31일

발행인 조정희

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 애드원플러스 (070-4390-3850)

판매 및 보급: 정부간행물판매센터 Tel: 02-394-0337

정가 6,000원

비컨테이너 부두 하역능력 산정을 위한 적정 점유율 기준 연구

A Study on Appropriate Occupancy Rate Standards for Estimating
Cargo Handling Capacity at Non-Container Terminals



49111 부산광역시 영도구 해양로301번길 26 (동삼동)

TEL. 051-797-4800

FAX. 051-797-4810

