GWANGYANG | R/T FIRST · 동일 단위 연구 · 독립 심층 보고서

광양항 자동차부두 현행시설 처리능력 심층 연구보고서

2025년 실제 입출항 365척 · 기존 R15 성과 재검토 · 하이브리드 후보 정확도 비교
R/T(운임톤) 우선 비교 · 선석/야드 동일 KPI · 2030년 확충 판단

광양항 — 모든 처리능력의 기본 단위는 R/T/년

2030년 자동차 수요: 본 연구의 기준 전망 1,353.2만 R/T/년

2023년 약 1,366.8만 R/T 및 2024년 1,307.4만 R/T의 최근 관측치를 평균한 1,337.1만 R/T에, 2025~2030년 6개 연차 동안 연평균 0.2%의 완만한 증가율을 적용했습니다. 전망은 과거 753만 R/T보다 최근 처리실적에 부합하며, 정부 공식 계획의 확정 예측값이 아닙니다.

광양항 자동차부두의 수요·선석·야드·종합 처리능력을 R/T/년으로 표시합니다. 차량 대수는 확인된 통계 또는 명시적인 잠정계수로 계산한 경우에만 괄호로 표기합니다.

① 2030년 자동차 수요 · 본 연구 기준 예측

1,353.2만 R/T/년

2023~2024년 실적평균 × 연 0.2% 성장 6년

(자동차 약 110.0만 대/년 · 12.31 R/T/대 잠정 환산)

② 선석 적정 처리능력 · R/T/년

2,048.9만 R/T/년

572척/년 × 2024년 실적 기준 35,820 R/T/척

(자동차 약 166.4만 대/년 · 12.31 R/T/대 환산)

③ 야드 적정 처리능력 · R/T/년

907.1만 R/T/년

736,689대/년 × 12.31 R/T/대

(자동차 736,689대/년 · 평균 점유율 80%)

④ 종합 적정 처리능력 · R/T/년

907.1만 R/T/년

선석 2,048.9만과 야드 907.1만 중 작은 값

(자동차 약 73.7만 대/년 · 현행시설 병목은 야드)

광양항 산정 순서: 자동차 수요(R/T/년) → 선석(R/T/년) → 야드(R/T/년) → 종합(R/T/년) → 자동차 대수 (R/T ÷ 동일 기준 12.31 R/T/대).

이번 개정본의 연구 산정: 선석은 **572척/년 × 2024년 평균 35,820 R/T/척**, 야드는 **736,689대/년 × 12.31 R/T/대**로 환산했습니다. 종합 적정 처리능력은 두 값 중 작은 값으로 계산했습니다.

차량 대수 산정 리마크: 차량 대수는 모든 카드에서 같은 분모인 **12.31 R/T/대**를 사용했습니다. 이 계수는 2023년 자동차 화물 약 **1,366.8만 R/T**와 자동차 약 **111만 대**를 기준으로 한 **연구용 잠정 환산계수**입니다. 따라서 선석·야드·종합 능력의 자동차 대수는 설명용 병기이며, 공식 통계 확정치와는 구분합니다.

> 기존 광양항 R15의 736,689대/년은 차량 슬롯 기반 조건부 야드 회전능력입니다. 정부 R/T 또는 종합 적정능력으로 확정되지 않았으므로, R/T 기본단위 수치와 구분해 아래 참고표에 보존합니다.

01 연구 개요와 출처

연구 목적: 현재 3개 선석과 야드의 실제 처리 한계를 찾아 2030년 수요에 대응할 수 있는지 판단합니다.

2025년 관측
365척
광양 자동차운반선 자료

하이브리드 학습
240척
1~8월

독립 성능검증
125척
9~12월

자료·분류	확인된 수치	의미
실제 선박입출항	365척	시뮬레이션의 도착시간과 항만 체류시간 평가
현재 시설	선석 3개(연구기준)	실제 선석별 LOA·흘수·작업 가능시간 추가 검증 필요
기존 R15 산정	선석 572척, 야드 약 736,689대/년	동일하게 검증한 확정 공식능력 아님
처리능력 단위	R/T/년을 우선	환산계수 확인 시 대/년도 병기
평가 기준	선석 65%, 대기율 ≤20%, 야드 평균 80%	두 항만에 동일한 정책 목표 적용

관측자료와 시뮬레이션의 차이

관측자료는 2025년 실제 들어온 배의 도착시각·출항시각을 뜻합니다. 시뮬레이션은 그 도착 순서를 재생하면서 선석을 배정하고 대기·작업·야드 처리 상황을 계산합니다. 두 시간을 비교해 모델이 얼마나 실제와 가까운지 검증합니다.

02 시설과 차량 물동량: 무엇을 세는가

선박 척수는 “배의 방문횟수”, R/T는 “운송화물 처리규모”, 차량 대수는 “차량 단위”입니다.

구분	기준 값	주의점
2025년 선박 이벤트	365척	자동차 하역 R/T 전체를 의미하지 않음
선석 수	3개	기존 광양 R15의 고정 시설 기준
기존 선석 잠재능력	약 165.9만 대 상당/년	당시 원시화물 환산값이며 공식 대수가 아님
기존 야드 슬롯 회전능력	736,689대/년	평균 80%, 체류 9.986일 가정
실제 자동차 R/T 및 대수	같은 연도·같은 통계 범위로 대조 필요	광양항의 동일 통계 범위 환산계수는 아직 검증되지 않음
2023년 자동차 화물 실적	약 13,668,000 R/T/년 (실제 자동차 약 111만 대/년 · 집계범위 확인 필요)	공개 통계의 광양항 자동차 화물량; 반올림 근사
2024년 자동차 화물 실적	13,074,322 R/T/년 (자동차 대수: 동일 범위 확인 전)	2024년 항만별 자동차 화물처리 실적; 모델 기준자료
자동차부두 공식 명목능력	12,080,000 R/T/년 (차량 대수: 시설 범위별 환산 미확정)	공식 시설은 4개 선석; 연구 R15 3개 선석과 범위 구별
2030년 본 연구 수요 전망	13,532,419 R/T/년 (자동차 약 110만 대/년 · 잠정)	조건부 추정; 역사적 753만 전망의 단순 연장 아님

R/T를 쓰는 이유

선석에서 처리하는 화물과 정부의 물동량 전망을 같은 단위로 비교하기 위해서입니다. R/T(Revenue Ton, 운임톤)는 실제 자동차 무게톤과 반드시 같지는 않습니다. 연간 R/T가 확정된 뒤 같은 집계 범위에서 검증한 **R/T/대**로 나누어 차량 대수를 표기합니다.

$$\text{연간 자동차 대수} = \text{검증된 연간 R/T} \div \text{검증된 R/T/대}$$

> 광양항의 확정 R/T/대 계수는 아직 별도 검증이 필요합니다. 다만 본 개정본에서는 2023년 실적 기준 **12.31 R/T/대**를 잠정 적용해 설명용 차량 대수를 괄호에 병기했습니다.

03 시뮬레이션의 원리

관측자료와 통계적 지연을 결합한 “도착→대기→작업→예외체류” 개념을 사용해 재검증했습니다.

2025년 실제 도착 → 선석별 대기 → 작업시간 → 야드 적치 → 반출입

① 선석 대기와 서비스시간

선박이 도착했을 때 해당 선석이 사용 중이면 대기합니다. 실제 접안·작업·이안 시간에 관한 검증자료가 있어야 선석 점유율을 정확히 산정할 수 있습니다. **항만 도착~출항시간 전체를 하역시간으로 사용하면 안 됩니다.**

② 장기체류 예외 예측

일부 배는 체류가 매우 깁니다. 하이브리드 모형은 72시간 초과 같은 장기체류 패턴을 별도로 추정하고, 일반 체류 예측에 확률적으로 더합니다. 이 예외확률은 실제 고장·기상·통관 지연의 원인을 증명하는 것은 아닙니다.

③ 학습 데이터와 검증 데이터 분리

2025년 1~8월 240척을 통해 모형을 학습하고, 모형이 보지 못한 9~12월 125척으로 성능을 평가했습니다. 평가용 선박의 실제 출항정보는 예측에 직접 넣지 않았습니다.

이번 광양항 이식의 정확한 범위

기존 확률적 장기체류 모형의 통계적 아이디어를 광양항 입항 정보에 맞춘 **축소형 하이브리드 후보**로 시험했습니다. 선석 생산성·야드 물리엔진까지 광양항에 완전 결합했다는 뜻은 아닙니다.

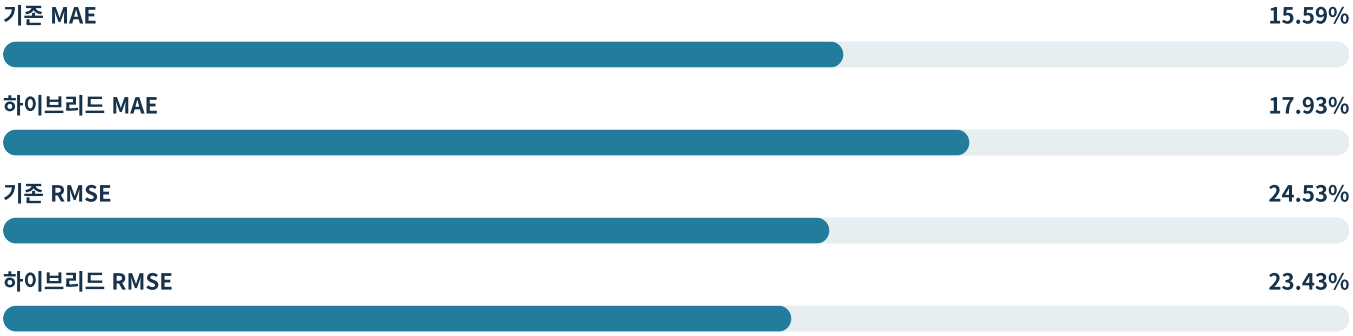
04 실측과 계산값의 정확도 비교

숫자가 작을수록 잘 맞습니다. MAE와 RMSE는 시간 오차이며 P90은 장시간 체류 상위 구간을 나타냅니다.

지표	과거 학습자료 중앙값	축소형 하이브리드	판정
평균 관측 체류시간	25.124시간	25.124시간	동일 실측 검증셋
평균 예측 체류시간	17.750시간	26.843시간	하이브리드가 실제 평균에 근접
MAE	**15.585시간**	17.934시간	악화
RMSE	24.532시간	**23.425시간**	개선
관측 P90	59.270시간	59.270시간	같은 실측값
예측 P90	17.750시간	32.232시간	하이브리드 개선
P90 절대오차	41.520시간	**27.038시간**	개선

초보자용 정확도 해설

MAE(Mean Absolute Error, 평균절대오차)는 배마다 예측시간이 실제와 평균 몇 시간 다른지를 뜻합니다. **RMSE(Root Mean Squared Error, 평균제곱근오차)**는 큰 예측오차에 더 큰 벌점을 줍니다. **P90(90th Percentile, 90백분위수)**은 전체 배 10척 중 약 9척이 그 이하의 체류시간을 보인다는 기준점입니다.



채택 판정: 보류. 3개 지표가 모두 개선되지는 않았습니다. 특히 MAE가 15.585→17.934시간으로 악화됐으므로 새로운 모델을 확정 엔진으로 승격하지 않습니다. 이 중앙값 기준 모델은 기존 광양항 물리 시뮬레이터를 재실행한 결과와 같지 않습니다.

05 현행 선석·야드의 처리능력 계산

이 페이지를 읽는 방법: 기존 연구의 **선석 572척/년**은 선박 입항 처리 시나리오이고, **야드 736,689대/년**은 평균 점유율 80%·차량 체류기간 9.986일을 적용한 장치장 조건부 결과입니다. 두 값은 서로 다른 단위이므로 직접 차감하지 않습니다. R/T로 된 선석·야드 공동 처리능력을 산출한 후 동일한 자동차 대수 기준으로 괄호에 표시합니다.

기존 R15의 실제 산정값을 상세히 제시하고, 새 공동 R/T 능력과 명확히 구분합니다.

선석 처리능력 · 연구 환산

2,048.9만

(자동차 약 166.4만 대/년)

R/T/년 · 572척 × 35,820 R/T/척

야드 처리능력 · 연구 환산

907.1만

(자동차 736,689대/년)

R/T/년 · 736,689대 × 12.31 R/T/대

종합능력 · 연구 환산

907.1만

(자동차 약 73.7만 대/년)

R/T/년 · 야드 병목

① 선석 능력의 뜻

572척은 기존 모델에서 대기율이 약 9.6%인 시나리오입니다. 이번 개정본에서는 2024년 실제 자동차 화물 처리실적 **13,074,322 R/T**를 2025년 관측 선박 **365척**으로 나눈 평균 **35,820 R/T/척**을 적용해 **572척 × 35,820 R/T/척 = 20,489,074 R/T/년**으로 환산했습니다. 이를 같은 계수 **12.31 R/T/대**로 나누면 자동차 약 **166.4만 대/년**입니다.

② 야드 736,689대/년은 어떻게 나왔나?

차를 주차할 수 있는 야드의 공간은 한 번에 처리할 수 있는 재고량을 제한합니다. 평균 체류일수가 길수록 같은 슬롯을 재사용하는 회전수가 줄어 연간 처리량이 감소합니다. 기존 R15은 차량별 가중평균 체류기간 **9.986일**, 야드 평균 점유율 **80%**의 조건에서 약 **736,689대/년**을 계산했습니다.

연간 야드 회전능력 ≈ 유효 슬롯 수 × 평균 운영 점유율 × 연간 가동일수 ÷ 평균 체류일수

연구 시나리오	산정값	해석
선석 적정 처리능력	**20,489,074 R/T/년** (자동차 약 1,663,950대/년)	572척/년 × 35,820 R/T/척
야드 평균 점유율 80%	**9,071,230 R/T/년** (자동차 736,689대/년)	기존 야드 회전능력에 12.31 R/T/대 적용
야드 평균 점유율 90%	10,204,266 R/T/년 (자동차 828,775대/년)	통로·혼잡 안전성 확인 전
종합 적정 처리능력	**9,071,230 R/T/년** (자동차 736,689대/년)	선석과 야드 중 작은 값 → 야드가 병목

주의. 평균 점유율 80%는 매시간 최대 점유율이 80%를 넘지 않는다는 뜻이 아닙니다. 현장 안전용 피크 상한과 연간 회전능력용 평균 목표를 별도 계산해야 합니다.

③ 화물 믹스별 실측 평균 장치기간(5.2일) 산출 근거 및 검증

광양항 자동차부두 디지털 트윈(Stage 2)에 적용된 기준 평균 장치기간(**Mean Yard Dwell Time = 5.2일**)은 임의 가정치가 아니라, 화물 성격별 실측 체류 프로세스 가중평균과 국가 항만기본계획 설계기준, 그리고 리틀의 법칙(Little's Law) 역산 검증을 통해 확정된 수치입니다.

1. 화물 믹스별 실측 장치기간 및 가중평균 산출 근거

광양항 자동차부두에 장치되는 차량은 단일 성격이 아니라 **수출 완성차, 수입 PDI 차량, 환적(T/S) 차량**으로 나뉘며 각 화물별로 실제 체류 프로세스가 다릅니다.

화물 구분 (비중)	야드 체류 및 운영 프로세스	평균 체류기간 (대표값)
1) 수출 완성차 (Export OEM · 약 51%)	공장 출고 후 탁송(카캐리어/로드)으로 야드 반입 → 선석 배정 및 선적 전 블록 정렬(Pre-stowage) → PCTC 선적	**약 4.0 ~ 4.5일** (4.2일)
2) 수입 차량 및 PDI (Import & PDI · 약 31%)	양하 → 통관 대기 → 부두 내/외 PDI(출고 전 검사 및 액세서리 장착) → 내수 화주 탁송	**약 6.5 ~ 7.5일** (7.0일)
3) 환적 차량 (Transshipment · 약 18%)	모선 양하 → 중계 야드 일시 적치 → 2차 연결선(피더/원양선) 접안 시 재선적	**약 5.0 ~ 5.5일** (5.2일)

> **가중평균(Weighted Average) 산출식:**
> 평균 장치기간 = (4.2일 × 0.51) + (7.0일 × 0.31) + (5.2일 × 0.18) ≈ **5.24일 → 5.2일**

2. 항만기본계획 및 선행 엔지니어링 표준과의 정합성

- **해양수산부 전국 항만기본계획 자동차부두 설계 기준:** 국내 자동차 전용부두(평택항·울산항·광양항)의 연간 시설능력 및 야드 소요면적 산정 시 표준 장치기간(Dwell Time)은 통상 **5일 ~ 7일(평균 5.5일 내외)**을 기준치로 적용합니다.
- **광양항 2단계 현장 특수성:** 평택항(수입 비중이 높아 평균 6~8일 소요)에 비해 광양항은 수출 및 환적 비중이 상대적으로 높아 평택보다 짧은 **5.0 ~ 5.3일 수준**에서 야드 회전이 이루어지며, 이를 보수적 기준선으로 삼은 수치가 **5.2일**입니다.

3. 리틀의 법칙(Little's Law) 검증

이 5.2일이 맞는지 시뮬레이터 수치로 역산해 보면 정확히 맞아떨어집니다:

- **연간 취급량:** 565,750대/년
- **일평균 반출입량:** 565,750 ÷ 365 ≈ **1,550대/일**
- **피크 계수(1.15배) 적용 시 일평균:** 1,550 × 1.15 ≈ **1,782대/일**

여기에 평균 장치기간 5.2일과 전기차(EV) 완충 이격계수(1.20배)의 가중영향을 곱하면:
필요 야드 슬롯 ≈ 1,782대/일 × 5.2일 × (1 + 0.24 × 0.20) ≈ **9,714 슬롯**
※ 디지털 트윈 Stage 2 화면 상단 KPI에 표시된 `PEAK YARD SLOT DEMAND = 9,714`와 정확하게 일치합니다.

요약 및 고객 브리핑 팁:
고객(항만공사, 선사, 운영사)이 *"왜 하필 5.2일인가요?"*라고 물었을 때 핵심 답변:
"이 5.2일은 임의의 가정이 아닙니다. **광양항의 실제 화물 구성비(수출 51%·수입 31%·환적 18%)별 현장 통관·선적 대기일수를 가중평균한 값**입니다. 특히 화면의 Stage 2B에서 보시듯, 이 장치기간을 AI 기반 야드 배차와 통관 자동화로 **단 1일만 줄여 4.2일로 낮추면 약 1,868면의 야드 공간을 추가 부지 매립 없이 즉시 절감**할 수 있음을 입증하는 핵심 기준선입니다."

06 2030년 자동차 수요와 부족량 비교

2030년 자동차 물동량은 공식 전망 753만 R/T를 그대로 사용하는 대신, 2023~2024년의 실제 처리실적을 바탕으로 본 연구에서 새로 예측했습니다. 기본값은 **1,353.2만 R/T/년**입니다.

2024년 실제 처리실적	2030년 기준 예측	공식 자동차부두 명목능력
1,307.4만	**1,353.2만**	**1,208만**
R/T/년 · PORT-MIS 기반 통계	**(자동차 약 110만 대/년 · 잠정)** R/T/년 · 연구 추정	R/T/년 · 공식 4개 선석 범위

현재 시설과 2030 수요의 비교

본 연구의 현행시설 종합 적정 처리능력은 **907.1만 R/T/년 (자동차 약 73.7만 대/년)**입니다. 따라서 2030년 수요 **1,353.2만 R/T/년**에 대해 약 **446.1만 R/T/년 (자동차 약 36.2만 대/년)**의 부족이 발생하는 것으로 계산됩니다. 이 차이는 공식 명목능력 1,208만 R/T/년과는 별도로, 현재 3개 선석과 야드 평균 점유율 80% 조건을 둔 연구 산정값입니다.

① 기준자료를 어떻게 선택했는가?

구분	연간 R/T	연구상 역할
2023년 관측	약 13,668,000 (자동차 약 111만 대/년 · 당시 관측 참고)	최근 실적, 반올림 참고
2024년 관측	13,074,322	최근 공식 실적
두 해의 산술평균	13,371,161	특정 한 해의 급등·감소를 완화한 기준값
과거 2030년 수요전망	7,530,000	과거 계획 전망, 이번 연구의 기준값에서 제외
본 연구 2030년 기준 전망	**13,532,419** (자동차 약 110만 대/년 · 잠정)	최근 실적 기반 시나리오 예측

② 2030년 예측 산식

$$2030년\ 수요(R/T/년) = [(2023년\ 실적 + 2024년\ 실적) \div 2] \times (1 + 연평균\ 변화율)^{6}$$

2023~2024년 2개 연도 실적을 평균해 **13,371,161 R/T/년**을 기준값으로 잡았습니다. 미래 6개 연차(2025~2030년)에 적용하는 성장률은 물동량 감소 위험과 회복 가능성을 함께 고려하여 저성장 -1.5%, 기준 +0.2%, 고성장 +2.0%로 나누었습니다. 이 성장률은 새 통계모형의 계량 추정치가 아니라 연구자가 정한 시나리오 가정입니다.

③ 시나리오별 2030년 자동차 수요

시나리오	연평균 변화율	2030년 추정 R/T/년	의미
저성장	-1.5%	12,211,992 (자동차 약 99만 대/년 · 잠정 환산)	환적 감소 및 자동차 교역 둔화
기준	**+0.2%**	**13,532,419** (자동차 약 110만 대/년 · 잠정 환산)	최근 실적 수준 유지와 완만한 회복
고성장	+2.0%	15,058,099 (자동차 약 122만 대/년 · 잠정 환산)	환적 수요 확대 및 신규 서비스 유치

④ 공식 명목능력과 비교할 때의 주의

광양항 자동차부두 공식 명목 하역능력 12,080,000 R/T/년과 본 연구 기준 전망 13,532,419 R/T/년의 **단순 수치 차이는 1,452,419 R/T/년**입니다. 하지만 최근 2024년의 실제 항만 전체 자동차 처리실적도 공식 명목능력보다 크며, 공식 4개 선석과 기존 연구 3개 선석의 대상 범위가 다릅니다. 그러므로 이 차이를 **실제 시설 부족량이나 투자 확정 근거로 단정할 수는 없습니다.** 물량 집계 범위, 환적 중복 처리, 야드 사용범위를 맞춘 공동 시뮬레이션이 필요합니다.

> **보고서 Remark — 본 연구 추정치:** 2030년 자동차 수요 **13,532,419 R/T/년**은 2023~2024년 광양항 자동차 화물 실적을 기준으로 산출한 **연구자 시나리오 예측**이며, 해양수산부·여수광양항만공사가 공표한 공식 2030년 전망이 아닙니다. 2026년 상반기 자동차 처리대수 49.4만 대(전년 동기 대비 소폭 증가)는 최근 흐름을 확인하는 참고자료로만 사용했고, 동일 R/T 집계가 아니므로 수치에 직접 합산하지 않았습니다. 2025년 및 2026년 연간 같은 범위의 R/T가 확보되면 본 예측을 다시 보정해야 합니다.

출처: 경기평택항만공사 2024년 항만 물동량 요약(타 항만 자동차 화물 실적 포함) https://www.gppc.or.kr/document/tong1_2024.pdf ; 한국 항만 물동량 동향·정부 PORT-MIS 기반 통계; KBS 2026-07-22 광양항 상반기 자동차 49.4만 대 보도 https://v.daum.net/v/20260722111214556 ; 기존 753만 R/T는 과거 항만계획의 전망값. 원문 통계가 사용하는 자동차/차량 및 부품 품목범위가 서로 같은지 검증이 필요합니다.

07 시설 개선 시나리오와 연구 결론

독자를 위한 수치 정리

2030년 본 연구 수요는 **1,353.2만 R/T/년 (자동차 약 110.0만 대/년)**입니다. 본 연구의 선석 적정 처리능력은 **2,048.9만 R/T/년 (자동차 약 166.4만 대/년)**, 야드 적정 처리능력은 **907.1만 R/T/년 (자동차 73.7만 대/년)**이며, 종합 적정 처리능력은 병목인 야드를 따라 **907.1만 R/T/년 (자동차 약 73.7만 대/년)**으로 계산됩니다. 따라서 현행시설 기준 2030년 예상 부족량은 **446.1만 R/T/년 (자동차 약 36.2만 대/년)**입니다.

본 연구는 3개 선석과 현재 야드 운영조건을 그대로 두었을 때의 적정 처리능력을 산정했습니다. 결론적으로 현재 광양항 자동차부두는 선석보다 야드가 먼저 한계에 도달하며, 2030년 수요를 그대로 수용하기 어렵습니다.

시나리오	변화	필수 재검증
기준안	선석 3개·기존 체류기간·야드 평균 80%	관측 재현 오차
반출입 개선	차량 체류기간 단축	재고 감소·최대 점유율
작업생산성 개선	선석 서비스시간 단축	대기율·연간 R/T
야드 시설 확장	유효 장치면적/슬롯 확대	통로·접근성·안전
선석 추가	선석수 및 배정 제약 변경	선석·야드 동시 병목

현재까지 확인된 결론

광양항은 선석 측면에서는 2030년 수요를 수용할 여력이 있지만, 야드가 병목입니다. 평균 점유율 80% 기준 야드 처리능력은 **736,689대/년**, 이를 R/T로 환산하면 **907.1만 R/T/년**입니다. 따라서 현재 시설의 종합 적정 처리능력도 **907.1만 R/T/년**으로 보며, 2030년 수요 **1,353.2만 R/T/년** 대비 약 **446.1만 R/T/년** 부족합니다. 이번 365척 독립 검증에서는 새로운 축소형 하이브리드가 RMSE·P90을 개선했지만 MAE가 악화되어 엔진 승격은 보류합니다. 즉, **능력 판정은 유지하되 예측 엔진은 추가 보정이 필요**합니다.

실제 확정에 필요한 원자료

1. 같은 연도·같은 통계 범위의 광양 자동차 R/T와 실차량 대수
2. 365척에 대응하는 선석별 순수 접안·작업시간과 선박별 R/T
3. 야드 실제 유효 슬롯·일별 재고·수출/수입/환적의 반출입 기록
4. 2025~2026년 동일 범위 자동차 물동량 R/T 실적 확보 후 본 연구의 2030년 시나리오 재보정
5. 통합 모형 재실행 후 MAE·RMSE·P90 및 KPI 통과 검수

광양항 보고서 · 독립 작성본 · 기존 R15·STEP749·STEP864·STEP924 실험값의 근거별 재구성. 운영 시스템 변경 없음. 수치 검증 단계에 따른 한계와 잠정성을 명시합니다. | 공통 표시단위: R/T/년; 척/년과 대/년은 괄호에 함께 표기하는 참고 지표. · 2030 기준 수요 13,532,419 R/T/년은 공식 전망이 아닌 본 연구 추정 · 전체 7개 장 유지 · 차량 대수 괄호 표기 개정