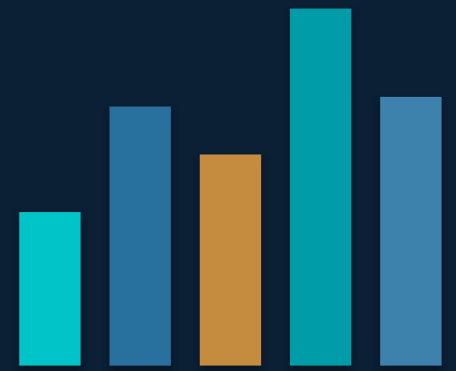
META CONTAINER CBM
적재 최적화 · 시뮬레이션

전문 운영 · 공학 교재 | 한국어 프리미엄 개정판



티투엘 (주) · LOGI AI 연구소 · 2026

핵심 개요

핵심은 단순히 얼마나 채우느냐가 아닙니다

실제로 얼마나 안전하게 적재 · 고박 · 운송 · 하역할 수 있으며 , 그 계획을 검증할 수 있는가가 중요합니다 .

적재 가능성

컨테이너 내부 형상 , 팔레트 · 상자 치수 , 허용 회전 방향 , 취급 여유 공간 .

안전성

적재중량 , 바닥 하중 , 무게중심 , 적층 강도 , 지지면 , 고박 및 화물 적합성 .

운영 실행성

적입 순서 , 접근성 , 양하 순서 , 재적재 , 작업 인력과 소요시간 .

3D 애니메이션은 적재 가능성 검사와 이벤트 이력을 재현할 때에만 검증 근거가 됩니다 .

적용 범위와 기능 검증

현재 서비스 카드로 확인된 범위와 실증에서 확인할 사항

공개 화면에는 ‘Container CBM · 적재 최적화’와 ‘컨테이너 ·ULD 적재 및 CBM 최적화’가 표시됩니다 .

화면에서 확인된 사항

해당 서비스 메뉴와 ‘서비스 열기’ 버튼이 존재합니다 .

공학적 설계 방법

다음 최적화 수식과 시뮬레이션 절차는 권장 분석 · 설계 모델입니다 .

추가 검증 필요

실제 API, 솔버 , 속도 , 데이터 , 적재 보장 및 화면 출력은 시스템 직접 검수가 필요합니다 .

본 자료는 전문 기술 · 도입 교재이며 모든 기술이 이미 구현되었다는 의미는 아닙니다 .

01

적재 문제의 이해

단위 , 화물 형상 , 적재 가능 공간과 운영 목적을 정의합니다 .

입력 데이터 규약

적재 단위부터 정확히 정의합니다 (1/2)

해상 컨테이너와 항공 ULD 는 운송 · 안전 기준이 다르므로 구분해야 합니다 .

해상 컨테이너 / CTU

승인된 내부 유효치수 , 출입문 개구부 , 최대 적재중량 , 바닥 강도 및 고박계획을 사용합니다 .

항공기 ULD

승인된 ULD 형식 · 외형 , 최대 총중량 , 탑재 위치와 항공사 · 항공기 제한을 적용합니다 .

원본 5 쪽 · 1/2 · 문장 가독성을 위해 분할 편집

입력 데이터 규약

적재 단위부터 정확히 정의합니다 (2/2)

해상 컨테이너와 항공 ULD 는 운송 · 안전 기준이 다르므로 구분해야 합니다 .

개별 화물

길이 · 너비 · 높이 · 총중량 · 품목번호 · 회전 허용 · 적층 가능 · 압축강도 · 위험물 등급 · 납품 순서 .

취급 단위

팔레트 · 상자 · 롤 · 목상자 · 드럼 · 비정형 화물의 경계 치수를 정의합니다 .

CTU Code 와 IATA ULDR 은 별도 기준입니다 . 해상 컨테이너 규칙을 항공 ULD 에 그대로 적용하면 안 됩니다 .

치수와 용적

기하학적 부피와 신고 CBM

$$V_i = (L_i \times W_i \times H_i) / 10^6 \ [m^3]$$

변수 · 단위

길이 · 너비 · 높이는 mm, V_i 는 m^3, n_i 는 수량입니다 .

운영상 의사결정

CBM 은 부피 정보일 뿐 , 문 통과와 내부 실제 적재 가능성을 보장하지 않습니다 .

예시 | 1,200 × 800 × 1,000 mm → 0.96 m^3 적용 경계 | 허용된 방향으로만 회전합니다 .

공간 활용률

명목 부피 활용률

$$U_V = \Sigma_i (n_i \times V_i) / V_{usable}$$

변수 · 단위

V_usable 은 공인된 실사용 내부 용적 [m^3] 이며 , 명목 CBM 과 다를 수 있습니다 .

운영상 의사결정

부피 활용률은 적재 가능성 검사를 통과한 후 평가하는 KPI 입니다 . 분모의 근거를 표시합니다 .

예시 | 49 m^3 / 58 m^3 = 84.5% 적용 경계 | 비정형 형상 , 빈 공간 , 고박 공간과 접근 여유를 반영해야 합니다 .

최대 적재중량

중량 활용률

$$U_M = \Sigma_i (n_i \times m_i) / M_{payload}$$

변수 · 단위

m_i 는 개별 화물 총중량 [kg], M_payload 는 허용 적재중량 [kg] 입니다 .

운영상 의사결정

용적 여유가 있어도 최대 중량에 먼저 도달할 수 있습니다 .

적용 경계 | 장비 · 운송구간 · 운송사 · 법규 · 탑재 위치 제한 중 가장 엄격한 기준을 적용합니다 .

밀도 분석

화물 밀도 사전 검토

$$\rho_i = m_i / V_i \quad [kg/m^3]$$

변수 · 단위

m_i 는 kg, V_i 는 m^3 입니다 . 취급 검토에는 포장재를 포함한 값을 사용합니다 .

운영상 의사결정

부피 대비 무거운 화물을 우선 파악하여 중량 배분 제약을 점검합니다 .

적용 경계 | 밀도만으로 바닥 하중이나 적층 가능 여부를 판정할 수 없습니다 .

운영 절차

최적화 실행 전 점검 (1/2)

알고리즘을 선택하기 전에 입력 규약을 확정합니다 .

01 / 자료 수집

적하목록을 읽고 ID· 치수 · 중량 · 단위를 확인합니다 .

02 / 검증

중복 · 치수 0· 누락된 회전 제한을 확인합니다 .

03 / 분류

취급 단위와 제약별로 화물을 분류합니다 .

화물 중량 또는 안전정보가 없으면 보류하거나 추정으로 명확히 표시해야 하며 , 절대 0 으로 처리하지 않습니다 .

운영 절차

최적화 실행 전 점검 (2/2)

알고리즘을 선택하기 전에 입력 규약을 확정합니다 .

04 / 하한 검토

필요 장비 수의 하한과 물리적 가능성을 확인합니다 .

05 / 최적화

배치 후보를 생성하고 검증합니다 .

06 / 승인

근거를 검토한 뒤 감독하에 적재계획을 발행합니다 .

화물 중량 또는 안전정보가 없으면 보류하거나 추정으로 명확히 표시해야 하며 , 절대 0 으로 처리하지 않습니다 .

02

전문 운영 교재 · 11

배치 변수 , 목적함수와 필수 제약조건을 수식으로 정의합니다 .

수학적 모형

컨테이너 선택 변수

$$y_k \in \{0,1\};\ x_{ik} \in \{0,1\};\ \Sigma_k x_{ik} = 1$$

변수 · 단위

x_ik=1 은 화물 i 를 적재단위 k 에 배정 , y_k=1 은 해당 단위의 사용을 의미합니다 .

운영상 의사결정

복수 컨테이너 계획에서 화물 누락과 중복 배정을 방지합니다 .

적용 경계 | x_ik ≤ y_k 를 강제하며 부분 선적 규칙은 명시해야 합니다 .

수학적 모형

적재단위 수 · 비용 최소화

$$\text{Minimize} \quad \Sigma_k c_k \times y_k + \lambda \times \text{HandlingPenalty}$$

변수 · 단위

c_k 는 단위 k 의 총비용 , λ 는 작업상 페널티 가중치입니다 .

운영상 의사결정

컨테이너 대수만이 아니라 전체 적재계획 비용을 최적화합니다 .

적용 경계 | 페널티는 정규화하고 고객이 승인해야 합니다 .

수학적 모형

화물 방향 선택

$$r_{io} \in \{0,1\};\ \Sigma_o r_{io} = 1$$

변수 · 단위

o 는 허용된 방향을 나타내고 , 선택한 방향에 따라 치수를 변경합니다 .

운영상 의사결정

‘이 면 위로’ , 파손주의 , 액체화물 등 회전 제한을 적용합니다 .

적용 경계 | 모든 90 도 회전이 물리적 · 상업적으로 허용되는 것은 아닙니다 .

3 차원 배치

적재 가능 공간 경계

$$0 \le X_i \le L - l_i ; 0 \le Y_i \le W - w_i ; 0 \le Z_i \le H - h_i$$

변수 · 단위

(X_i,Y_i,Z_i) 는 화물 기준점 , l·w·h 는 회전 후 치수입니다 .

운영상 의사결정

모든 화물이 허용된 3 차원 경계 내부에 들어가야 합니다 .

적용 경계 | 직육면체 가정만 쓰지 말고 출입문 · 실제 윤곽 · 작업 여유를 반영합니다 .

3 차원 배치

화물 간 겹침 금지

화물 i 와 j 는 적어도 한 축에서 분리되어야 합니다 .

변수 · 단위

X·Y·Z 중 어느 한 방향에서 두 화물의 경계가 분리되는 조건입니다 .

운영상 의사결정

교차 배치를 금지합니다 . MILP 의 Big-M 이진변수 또는 CP-SAT 비중첩 제약을 사용할 수 있습니다 .

적용 경계 | 수치 오차와 최소 간격을 명시합니다 .

물리적 안전

허용 적재중량 제약

$$\Sigma_i m_i x_{ik} \le Payload_k \times y_k$$

변수 · 단위

모든 화물 중량과 제한값의 단위는 kg 입니다 .

운영상 의사결정

부피상 적재가 가능해도 과적 계획은 거부합니다 .

적용 경계 | ULD 제한은 위치별로 다를 수 있으며 장비 자체 중량도 일관되게 계산해야 합니다 .

물리적 안전

길이방향 무게중심

$$x_{CG} = [\Sigma_i m_i (X_i + l_i/2)] / \Sigma_i m_i$$

변수 · 단위

X_i 는 명시한 기준점에서 측정한 거리 [m], m_i 는 총중량입니다 .

운영상 의사결정

전후 중량 불균형을 확인합니다 . y_CG, z_CG 도 동일 원리로 계산합니다 .

적용 경계 | 허용 무게중심 범위는 장비 · 운송 지침에서 가져오며 임의로 설정하지 않습니다 .

물리적 안전

바닥 접촉 압력

$$p_i = (m_i \times g) / A_{contact,i} \quad [Pa]$$

변수 · 단위

g=9.81 m/s^2, A_contact 는 실제 하중 지지면적 [m^2] 입니다 .

운영상 의사결정

국부 집중하중을 확인하여 하중 분산재 적용 또는 계획 거부를 결정합니다 .

적용 경계 | 바닥 · 바퀴 · 점하중 제한은 장비마다 다르며 평균 압력만으로는 부족합니다 .

적층 안전

지지하중과 압축강도 검사

$$F_{supported,i} \le F_{allowable,i}$$

변수 · 단위

F_supported 는 해당 화물이 받는 상부하중 ,
F_allowable 은 강도 · 안전계수 기준 허용하중입니다 .

운영상 의사결정

취약하거나 지지가 불충분한 포장 위에 무거운 화물을 올리지 않습니다 .

적용 경계 | 실제 지지면적 · 하중 전달 경로 · 동적 영향을 반영해야 합니다 .

화물 고박

관성하중 간이 산정

$$F_d = m \times a_{design}$$

변수 · 단위

m 은 화물 중량 , a_design 은 운송수단 · 방향별 설계가속도 [m/s²] 입니다 .

운영상 의사결정

운송 중 관성력으로 고박 요구량을 사전 추정합니다 .

적용 경계 | 본 식만으로 고박설계를 완료할 수 없습니다 . 적용 CTU 기준과 전문 검증이 필요합니다 .

작업 순서

접근성 및 양하 순서 제약

$$t_{load,i} < t_{load,j} \Rightarrow \text{precedence constraints}$$

변수 · 단위

선착지 · 배송 순서 · 접근 통로에 따라 화물 간 선후행 관계가 발생합니다 .

운영상 의사결정

기하학적으로 들어가더라도 먼저 내릴 화물이 막히면 운영 불가입니다 .

적용 경계 | 후면 출입문 · 측면 출입문 ·ULD 별 선후행 규칙이 다릅니다 .

03

실행 전 시뮬레이션

정적 배치를 적입 · 취급 · 하역 과정의 재현 가능한 실험으로 전환합니다 .

디지털 시뮬레이션

적재계획의 이벤트 기반 모형 (1/2)

시뮬레이션은 예쁜 3D 화면뿐 아니라 행동 · 선행관계 · 작업 중단을 검증합니다 .

01 / 화물 선택

다음 화물과 예정 위치를 읽습니다 .

02 / 제약 검사

통로 · 방향 · 지지 가능성을 확인합니다 .

03 / 이동

장비와 이동 경로를 예약합니다 .

실행 ID, 데이터 · 모델 버전 , 적재단위 , 이벤트 시각과 필요한 난수 시드를 보존합니다 .

디지털 시뮬레이션

적재계획의 이벤트 기반 모형 (2/2)

시뮬레이션은 예쁜 3D 화면뿐 아니라 행동 · 선행관계 · 작업 중단을 검증합니다 .

04 / 배치

잔여 공간과 무게중심을 갱신합니다 .

05 / 고박

결박과 검사 이벤트를 추가합니다 .

06 / 이력 기록

시각 · 작업 · 장비 · 결과 · 사유를 저장합니다 .

실행 ID, 데이터 · 모델 버전 , 적재단위 , 이벤트 시각과 필요한 난수 시드를 보존합니다 .

시뮬레이션 상태

이산사건 상태 전이

$$S(t^{+}) = F[S(t^{-}), event, rules, resources]$$

변수 · 단위

S 는 점유 공간 · 중량 / 무게중심 · 자원 · 대기열 · 작업 순서 · 고박 상태를 포함합니다 .

운영상 의사결정

한 화물의 배치가 이후 잔여 공간과 작업 가능성에 영향을 미쳐야 합니다 .

적용 경계 | 실제 시뮬레이션의 증거는 녹화된 애니메이션이 아니라 이벤트 로그입니다 .

시뮬레이션 시계

이벤트 발생 시점

$$t_{(k+1)} = \min \{ t_e : \text{event } e \text{ is admissible} \}$$

변수 · 단위

이벤트 큐에는 작업 시작 · 종료 , 이동 , 적치 , 검사 , 거부 및 하역이 포함됩니다 .

운영상 의사결정

장비 · 인원 변경에 따른 총 적재시간 , 대기 및 재작업을 비교합니다 .

적용 경계 | 이벤트 간 시간 간격은 일정하지 않을 수 있으며 영상 프레임 수가 시뮬레이션 시각은 아닙니다 .

인력 · 장비 운영

총 적재 소요시간

$$T_{total} = T_{setup} + \Sigma_i T_{handle,i} + T_{wait} + T_{secure} + T_{inspect}$$

변수 · 단위

단위는 분 또는 시간이며 각 항목의 이벤트 시작 · 종료 경계를 정의해야 합니다 .

운영상 의사결정

빠르지만 불안정한 계획과 작업 간섭을 줄이는 계획을 비교합니다 .

적용 경계 | 병렬 작업은 중복 합산하지 않고 이벤트 기반 완료시간을 사용합니다 .

확률적 평가

반복실험별 KPI 평균

$$\hat{\mu}_{KPI} = (1/R)\ \Sigma_{r=1}^{R}\ KPI_r$$

변수 · 단위

R 은 기록된 난수 시드를 이용한 독립 반복실험 횟수입니다 .

운영상 의사결정

취급시간 · 불량 · 혼잡 · 지연이 변동하는 경우 반복 시뮬레이션으로 평가합니다 .

적용 경계 | 대안을 비교할 때 입력 조건과 가정은 동일해야 합니다 .

통계적 검증

근사 신뢰구간

$$CI_{95\%} \approx \hat{\mu} \pm t_{(R-1,0.975)} \times s / \sqrt{R}$$

변수 · 단위

s 는 반복실험 표준편차이며 , 유한 R 에서는 t 분포 임계값을 사용합니다 .

운영상 의사결정

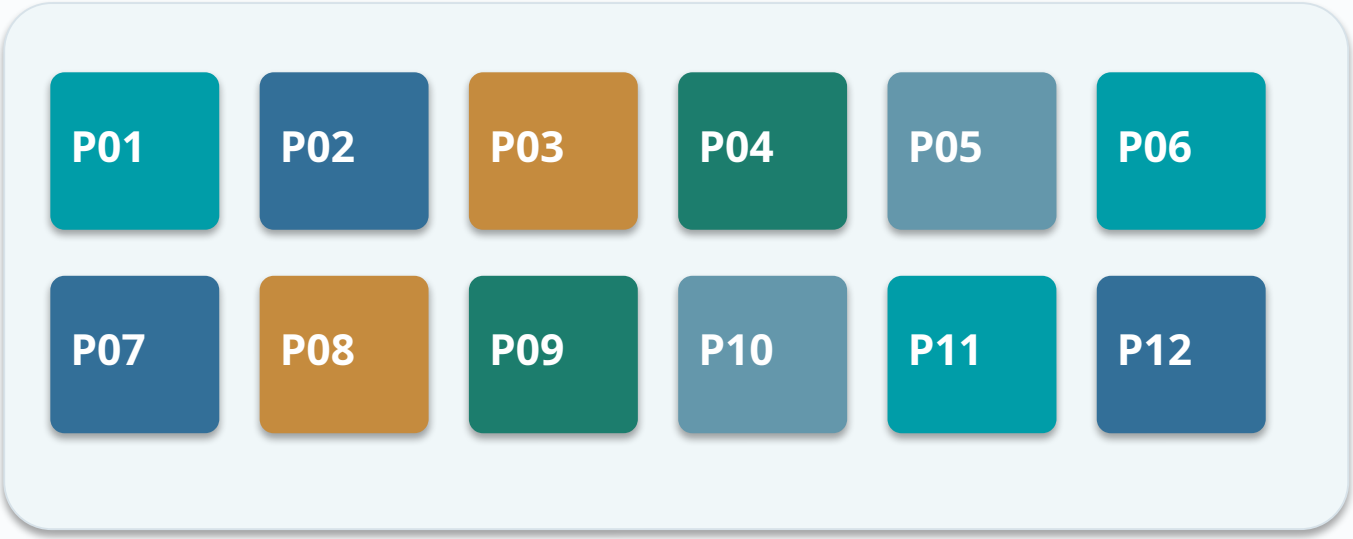
최선의 결과 한 개가 아닌 불확실성을 함께 제시합니다 .

적용 경계 | 독립적인 반복실험과 적절한 표본 구성이 필요합니다 .

시뮬레이션 시각화

배치 후보에서 실행 가능한 적재계획까지

3D 배치도는 제약 검사와 이벤트 기록을 함께 보여줄 때 의미가 있습니다 .



배치 후보 검증

✓ 허용 공간과 문 개구부

✓ 충돌 · 회전 방향

✓ 중량 · 바닥지지 · 고박

✓ 하역 순서와 접근성

개념 예시 · 실제 시스템 구현 · 성능은 검증 기록이 확보된 뒤 별도 판단

시나리오 비교

최대 CBM 만 높다고 좋은 계획은 아닙니다

설명용 가상 대안입니다 . 실제 소프트웨어 측정 결과가 아닙니다 .

A 고밀도 우선 — 92% 활용



거부 : 안전 · 접근 조건 위반 예

B 중량 안전 — 84% 활용



통과 : 가정한 제약조건

C 양하 순서 — 79% 활용



통과 : 가정한 제약조건

우선순위 : 안전 · 실행 가능성 통과 → 승인된 목적함수로 최적 대안 선택

알고리즘 설계

모든 화물에 하나의 최적화 알고리즘만 적용할 수는 없습니다 (1/3)

견고한 시스템은 빠른 가능성 검사 , 초기 배치 , 반복 개선 탐색을 결합합니다 .

사전 처리

단위 정규화 , 불가능한 회전 제거 , 단품 과중량 탐지 .

초기 배치 휴리스틱

크기 내림차순 , 최대 빈 공간 , 층별 적층 방식 .

원본 32 쪽 · 1/3 · 문장 가독성을 위해 분할 편집

알고리즘 설계

모든 화물에 하나의 최적화 알고리즘만 적용할 수는 없습니다 (2/3)

견고한 시스템은 빠른 가능성 검사 , 초기 배치 , 반복 개선 탐색을 결합합니다 .

제약조건 솔버

고제약 소규모 문제 및 핵심 부분문제에 CP-SAT·MILP 적용 .

국소 탐색

필수 제약을 지키면서 교환 · 재배치 · 회전 · 순서 변경 .

원본 32 쪽 · 2/3 · 문장 가독성을 위해 분할 편집

알고리즘 설계

모든 화물에 하나의 최적화 알고리즘만 적용할 수는 없습니다 (3/3)

견고한 시스템은 빠른 가능성 검사 , 초기 배치 , 반복 개선 탐색을 결합합니다 .

시뮬레이션 평가

적입 · 취급 · 하역을 재현하고 불가능한 계획을 거부 .

설명 가능성

용적 · 중량 · 무게중심 · 지지 · 통로 · 순서 위반 사유를 제시 .

본 알고리즘은 공학적 선택지이며 현재 서비스의 실제 솔버는 아직 확인되지 않았습니다 .

필요 수량 하한

용적 · 중량에 따른 컨테이너 수 하한

$$K_{LB} \geq \max(\text{ceil}(V_{total} / V_{unit}), \text{ceil}(M_{total} / M_{payload}))$$

변수 · 단위

동일 규격의 적재단위와 완전한 공간 활용을 가정한 기초 하한입니다 .

운영상 의사결정

기본 용적 · 중량 한계상 더 적은 대수가 불가능함을 보인 뒤 배치 · 안전 제약을 적용합니다 .

적용 경계 | 실제 필요 대수는 형상 · 화물 적합성 · 취급 제약으로 증가할 수 있습니다 .

KPI 체계

명목 점유율과 검증 완료 활용률의 차이

$$U_{feasible} = V_{loaded,approved} / V_{usable}$$

변수 · 단위

분자는 모든 필수 제약을 통과한 승인 적재계획의 화물 부피만 포함합니다 .

운영상 의사결정

안전 · 접근 · 적재 불가능성을 숨기는 높은 활용률을 방지합니다 .

적용 경계 | 운영 정의와 허용 오차를 성능 비교 전에 합의해야 합니다 .

04

공학적 계산 사례

운영자가 단계별로 검산할 수 있는 설명용 수치 예제입니다 .

계산 예제

설명용 화물 목록 — 실제 고객 데이터 아님

아래 수치는 계산 방법을 설명하기 위해 임의로 설정한 값입니다 .

화물 A

상자 40 개 , 1.0 × 0.8 × 0.6m, 개당 180kg, 세워서 적재 .

화물 B

목상자 20 개 , 1.2 × 1.0 × 0.8m, 개당 400kg, 상부 적층 금지 .

화물 C

상자 16 개 , 1.0 × 1.0 × 1.0m, 개당 250kg, 적층강도 검증 필요 .

실제 최적화에 앞서 총중량 · 치수 · 포장 제한에 대한 고객 확인이 필요합니다 .

계산 예제

총 화물 부피 및 적재중량

$$V = 40(0.48) + 20(0.96) + 16(1.00) = 54.4\ m^3$$

변수 · 단위

단위 부피 : A=0.48m³, B=0.96m³, C=1.00m³ 입니다 .

운영상 의사결정

명목 부피가 충분해도 화물 형상 , 적층금지 , 출입문 개구부 때문에 배치가 불가능할 수 있습니다 .

적용 경계 | 모든 수치는 설명용입니다 .

계산 예제

화물 총중량

$$M = 40(180) + 20(400) + 16(250) = 19{,}200\ kg$$

변수 · 단위

화물 A 40 개 , B 20 개 , C 16 개이며 총중량 단위는 kg 입니다 .

운영상 의사결정

선택한 실제 장비와 운송 경로 제한을 대조합니다 . 40 피트 컨테이너에 공통된 단일 중량 한도가 있다고 가정하지 않습니다 .

적용 경계 | 최대 적재중량은 첫 번째 안전 검증 관문일 뿐입니다 .

계산 예제

가정한 장비의 부피 활용 결과

54.4 m^3 / 58.0 m^3 = 93.8% nominal volume

변수 · 단위

교육 목적의 가정상 유효 내부 용적은 58.0m^3 입니다 .

운영상 의사결정

공간 활용률이 높아도 각 화물의 실제 배치 · 지지 · 적층 · 무게중심 · 하역 가능성을 모두 검증해야 합니다 .

적용 경계 | 58m^3 는 설명용 가정이며 제조사 제원이 아닙니다 .

계산 예제

배치 후보 검증 (1/2)

항상 동일한 순서로 여섯 가지 관문을 확인합니다 .

01 / 기하학적 적합성

내부 경계 · 겹침 · 문 통과 .

02 / 중량

허용 중량과 총중량 제한 .

03 / 균형

무게중심과 하중 배분 .

명목 CBM 활용률이 높더라도 필수 제약 하나라도 실패하면 해당 후보는 거부합니다 .

계산 예제

배치 후보 검증 (2/2)

항상 동일한 순서로 여섯 가지 관문을 확인합니다 .

04 / 지지

바닥 및 하부 화물 하중 .

05 / 순서

적입 · 양하 접근성 .

06 / 증빙

재현 가능한 로그 및 승인 .

명목 CBM 활용률이 높더라도 필수 제약 하나라도 실패하면 해당 후보는 거부합니다 .

대안 의사결정

관리자 보고서에 필요한 항목 (1/2)

단순 적재율 하나로 의사결정 수준의 적재계획을 대신해서는 안 됩니다 .

승인된 배치

적재단위 ID, 배정 화물 , 위치 · 방향 , 활용률 및 총중량 .

거부된 배치

화물 ID, 위반 규칙 , 임계값 , 영향과 시정 방안 .

원본 41 쪽 · 1/2 · 문장 가독성을 위해 분할 편집

대안 의사결정

관리자 보고서에 필요한 항목 (2/2)

단순 적재율 하나로 의사결정 수준의 적재계획을 대신해서는 안 됩니다 .

운영 계획

적입 순서 , 취급 경로 , 반출 가능 출구 , 장비 수요 및 작업시간 .

감사 이력

적하목록 해시 , 솔버 버전 , 시나리오 ID, 입력변수 , 시드 , 승인 · 출력 시각 .

설명용 보고서 구성입니다 . 실제 앱에서 제공하는 필드는 별도 확인해야 합니다 .

05

운영 절차와 관리체계

반복 가능하고 감사 가능한 적재계획을 위한 표준 운영 원칙입니다 .

표준 운영 절차

일일 적재계획 업무 (1/2)

최적화 실행과 최종 출고 승인은 역할별로 구분합니다 .

01 / 접수

적하목록 · 장비목록 접수 및 원본 버전 확정 .

02 / 대조

화물 수량 · 중복 · 예외 점검 .

03 / 설정

CTU·ULD 및 안전 규칙 적용 .

최종 승인권한은 자격 있는 운영자에게 있으며 , 시뮬레이터가 법적 · 안전 책임을 대신하지 않습니다 .

표준 운영 절차

일일 적재계획 업무 (2/2)

최적화 실행과 최종 출고 승인은 역할별로 구분합니다 .

04 / 시뮬레이션

배치 후보 실행 및 거부 사유 기록 .

05 / 검토

중량 균형 · 지지 · 고박 검증 .

06 / 승인 · 배포

승인 계획 출력 및 근거 보관 .

최종 승인권한은 자격 있는 운영자에게 있으며 , 시뮬레이터가 법적 · 안전 책임을 대신하지 않습니다 .

검수 기준

모델 검증 및 인수시험 매트릭스 (1/2)

의도적으로 위반하는 시험 데이터와 예상 거부 메시지를 준비합니다 .

시험	기대 규칙	합격 증거
치수 초과 화물	외형 · 출입문 위반 금지	형상 위반 사유로 거부
초과 중량	총중량 · 적재중량 제한	중량 위반 사유로 거부
무게중심 이탈	허용 균형 범위	규칙별 경고 또는 거부
지지 불충분	지지 · 압축강도 제약	지지 위반으로 거부

재현성

검수 기준

모델 검증 및 인수시험 매트릭스 (2/2)

의도적으로 위반하는 시험 데이터와 예상 거부 메시지를 준비합니다 .

시험	기대 규칙	합격 증거
양하 순서 차단	목적지 선후행 유지	순서 충돌 사유 기록
재현성	동일 입력 · 시드 · 버전	동일 결과 · 이벤트 해시

재현성

KPI 대시보드

관리자가 매일 확인할 지표 (1/6)

효율 · 안전 · 실행 신뢰성을 구분해 평가합니다 .

KPI

CBM 활용률

정의

승인 적재 부피 / 유효 용적

원본 45 쪽 · 1/6 · 문장 가독성을 위해 분할 편집

KPI 대시보드

관리자가 매일 확인할 지표 (2/6)

효율 · 안전 · 실행 신뢰성을 구분해 평가합니다 .

관리 목적

공간 활용 효율

거부 화물 수

적재 완료시간

원본 45 쪽 · 2/6 · 문장 가독성을 위해 분할 편집

KPI 대시보드

관리자가 매일 확인할 지표 (3/6)

효율 · 안전 · 실행 신뢰성을 구분해 평가합니다 .

제약 위반 원인별 건수

최종 완료 – 최초 시작

데이터 · 계획 품질

인력 · 장비 생산성

원본 45 쪽 · 3/6 · 문장 가독성을 위해 분할 편집

KPI 대시보드

관리자가 매일 확인할 지표 (4/6)

효율 · 안전 · 실행 신뢰성을 구분해 평가합니다 .

중량 활용률

거부 화물 수

승인 화물 총중량 / 허용 중량

제약 위반 원인별 건수

원본 45 쪽 · 4/6 · 문장 가독성을 위해 분할 편집

KPI 대시보드

관리자가 매일 확인할 지표 (5/6)

효율 · 안전 · 실행 신뢰성을 구분해 평가합니다 .

중량 한도

데이터 · 계획 품질

적재 완료시간

재작업률

원본 45 쪽 · 5/6 · 문장 가독성을 위해 분할 편집

KPI 대시보드

관리자가 매일 확인할 지표 (6/6)

효율 · 안전 · 실행 신뢰성을 구분해 평가합니다 .

최종 완료 – 최초 시작

재적재 · 재이동 / 전체 적재 단위

인력 · 장비 생산성

계획 실행성

시뮬레이션 유효성

예외 관리

자동 계획을 멈춰야 하는 다섯 가지 이유 (1/3)

소프트웨어는 안전하게 중단하고 원인을 명확히 알려야 합니다 .

입력 자료 부족

단위 · 총중량 · 치수 · 포장 제한 · 장비 정보 누락 .

물리적 불가

3D 배치 · 문 통과 불가 , 충돌 또는 돌출 .

원본 46 쪽 · 1/3 · 문장 가독성을 위해 분할 편집

예외 관리

자동 계획을 멈춰야 하는 다섯 가지 이유 (2/3)

소프트웨어는 안전하게 중단하고 원인을 명확히 알려야 합니다 .

적재중량 · 바닥 압력 · 지지 · 중량 배분 · 고박 미검증 .
증빙 불일치

안전 제약 실패

적재중량 · 바닥 압력 · 지지 · 중량 배분 · 고박 미검증 .

원본 46 쪽 · 2/3 · 문장 가독성을 위해 분할 편집

예외 관리

자동 계획을 멈춰야 하는 다섯 가지 이유 (3/3)

소프트웨어는 안전하게 중단하고 원인을 명확히 알려야 합니다 .

운영 제약 실패

필수 상하역 순서 또는 취급 장비 실행 불가 .

증빙 불일치

적하목록 · 최적화 결과 · 시각화 · 출력 계획이 서로 다름 .

NOT_AVAILABLE·ESTIMATED·FAILED·APPROVED 를 구분하며 미확보 정보를 임의로 PASS 처리하지 않습니다 .

고객 파일럿

6 단계 실증 프로젝트 (1/2)

기술 검증이 가능하면서 운영 가치를 확인할 수 있는 범위를 선정합니다 .

01 / 범위 설정

해상 CTU 또는 항공 ULD, 인수 기준 결정 .

02 / 자료 확보

일반 적하목록 2 건과 고난도 1 건 수집 .

03 / 기준선

수작업 계획과 실제 취급 실적 측정 .

파일럿 성과는 향후 검증할 목표이며 이미 달성된 제품 실적으로 주장하지 않습니다 .

고객 파일럿

6 단계 실증 프로젝트 (2/2)

기술 검증이 가능하면서 운영 가치를 확인할 수 있는 범위를 선정합니다 .

04 / 보정

장비 · 솔버 제약과 시간 모형 검증 .

05 / 대안 비교

동일 물량에서 실행 가능한 대안 비교 .

06 / 결과 보고

운영 근거 , 경제성 및 확대 여부 판단 .

파일럿 성과는 향후 검증할 목표이며 이미 달성된 제품 실적으로 주장하지 않습니다 .

사업적 가치

건당 총비용 절감액

$$\Delta C = C_{baseline} - C_{proposed} - C_{implementation}$$

변수 · 단위

비용에는 장비대수 · 운임 · 인건비 · 재작업 · 파손 · 체선료 · 시스템 연계비 등이 포함될 수 있습니다 .

운영상 의사결정

물량 · 요율의 민감도를 고려하여 시뮬레이션 결과를 도입 타당성으로 연결합니다 .

적용 경계 | 고객의 실측 데이터와 비교 기준선 없이는 투자수익률을 주장하지 않습니다 .

투자수익 분석

검증된 도입안의 순현재가치

$$NPV = -I_0 + \Sigma_{t=1}^{T} [(Benefits_t - Costs_t)/(1+r)^t]$$

변수 · 단위

I_0 는 초기 투자비 , r 은 할인율 , T 는 편익 분석 기간입니다 .

운영상 의사결정

동일한 재무 가정하에 도입안을 비교하고 불확실성 · 위험을 보고합니다 .

적용 경계 | 재무 평가 방법의 예시이며 수익을 보장하는 것이 아닙니다 .

20 분 실시간 시연

기술 신뢰를 얻는 고객 시연 (1/3)

고객의 까다로운 화물 조합 하나로 고밀도와 실행 가능성을 동시에 검증합니다 .

00–03 분 · 문제 정의

적하목록 · 제약 · 단위 · 기존 수작업 계획을 제시합니다 .

03–07 분 · 최적화

후보 생성과 필수 제약을 설명하고 대안을 계산합니다 .

원본 50 쪽 · 1/3 · 문장 가독성을 위해 분할 편집

20 분 실시간 시연

기술 신뢰를 얻는 고객 시연 (2/3)

고객의 까다로운 화물 조합 하나로 고밀도와 실행 가능성을 동시에 검증합니다 .

취급 · 적입 · 접근 · 하역 이벤트를 재현하고 거부 사유를 보여줍니다 .
16–20 분 · 도입 제안

07–12 분 · 시뮬레이션

취급 · 적입 · 접근 · 하역 이벤트를 재현하고 거부 사유를 보여줍니다 .

원본 50 쪽 · 2/3 · 문장 가독성을 위해 분할 편집

20 분 실시간 시연

기술 신뢰를 얻는 고객 시연 (3/3)

고객의 까다로운 화물 조합 하나로 고밀도와 실행 가능성을 동시에 검증합니다 .

12–16 분 · 정량 비교

승인 부피 · 중량 · 작업 완료시간 · 재작업 · 비용을 비교합니다 .

16–20 분 · 도입 제안

공동으로 합의한 합격 기준을 갖춘 파일럿을 제안합니다 .

실제 설치 환경에서 전주기 시험이 통과되기 전에는 실시간 솔버 · 측정 이점을 주장하지 않습니다 .

06

전문 운영 교재 · 51

멋진 적재 그림을 넘어 감사 가능한 적재 의사결정 체계로 발전합니다 .

도입 효과

신뢰할 수 있는 시스템의 세 가지 조건

고객은 화려한 배치도가 아니라 재현성 · 오류 감소 · 설명 가능한 결정을 구매합니다 .

계획 설명

변수 · 수식 · 안전 관문 및 승인 · 거부 사유를 공개합니다 .

실행 시뮬레이션

시간 순서에 따른 적치 · 인력 · 취급 제한 · 하역 가능성을 검증합니다 .

경제성 증명

기준선 대비 대안 , 불확실성 , 운영 승인 및 추적 가능한 출력을 비교합니다 .

사업적 제안 : 확대 도입 전에 실제 화물 1 건의 효과부터 함께 검증합니다 .

구축 성숙도

확인된 기능과 설계 · 검증이 필요한 기능 (1/2)

성숙도를 명확히 표시하면 고객의 기술적 신뢰를 높일 수 있습니다 .

항목	이 자료의 상태	필요한 검증 근거
서비스 카드	제공된 화면에서 확인	연결 주소 · 화면 캡처
공식 · 제약조건	공학적 참조 모델	설계 검토 · 규칙 매핑
최적화 엔진	구현 미확인	코드 ·API 점검
3D· 이벤트 시뮬레이션	구현 미확인	이벤트 로그 · 영상 동기화

구축 범위와 성숙도를 구분하여 미검증 기능을 과장하지 않습니다 .

구축 성숙도

확인된 기능과 설계 · 검증이 필요한 기능 (2/2)

성숙도를 명확히 표시하면 고객의 기술적 신뢰를 높일 수 있습니다 .

항목	이 자료의 상태	필요한 검증 근거
고객 편익 실적	자료 미제공	파일럿 벤치마크 · 비용 모델

구축 범위와 성숙도를 구분하여 미검증 기능을 과장하지 않습니다 .

출처 및 기준

전문 엔지니어링 참조 체계 (1/2)

운영 적용 전 기준의 유효성 , 개정판 및 고객별 요건을 확인합니다 .

IMO / ILO / UNECE CTU CODE

복합운송 화물운송단위의 적입 · 고박에 관한 비강제 실무지침 . imo.org / unece.org

IATA ULD 규정

ULD 기술 · 운영 · 형상 · 중량 · 항공기 적합성 규정 . iata.org

원본 54 쪽 · 1/2 · 문장 가독성을 위해 분할 편집

출처 및 기준

전문 엔지니어링 참조 체계 (2/2)

운영 적용 전 기준의 유효성 , 개정판 및 고객별 요건을 확인합니다 .

고객 제공 자료

컨테이너 ·ULD 제작사 자료 , 포장 하중 한도 , 운송사 승인 및 노선 제한 .

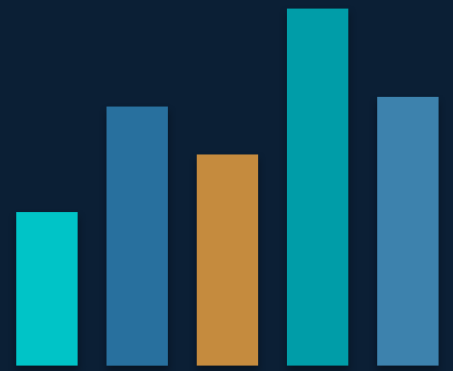
모델 검증 근거

원본 적하목록 · 형상모델 · 규칙 설정 · 시나리오 ID· 이벤트 로그 · 승인 기록 .

이 자료는 분석 · 설계 방법을 제시하며 인증된 고박설계나 승인된 운영지침을 대체하지 않습니다 .

실제 화물로 입증하는 적재 의사결정

안전한 적재 → 재현 가능한 시뮬레이션 → 승인된 실행계획



실제 화물 · 검증된 제약조건 · 재현 가능한 이벤트로 도입 가치를 입증합니다 .