디지털 트윈 시뮬레이션 기반 의사결정 보고서

가상 공장 B 음료 포장 라인 출하 정체 진단과 개선안

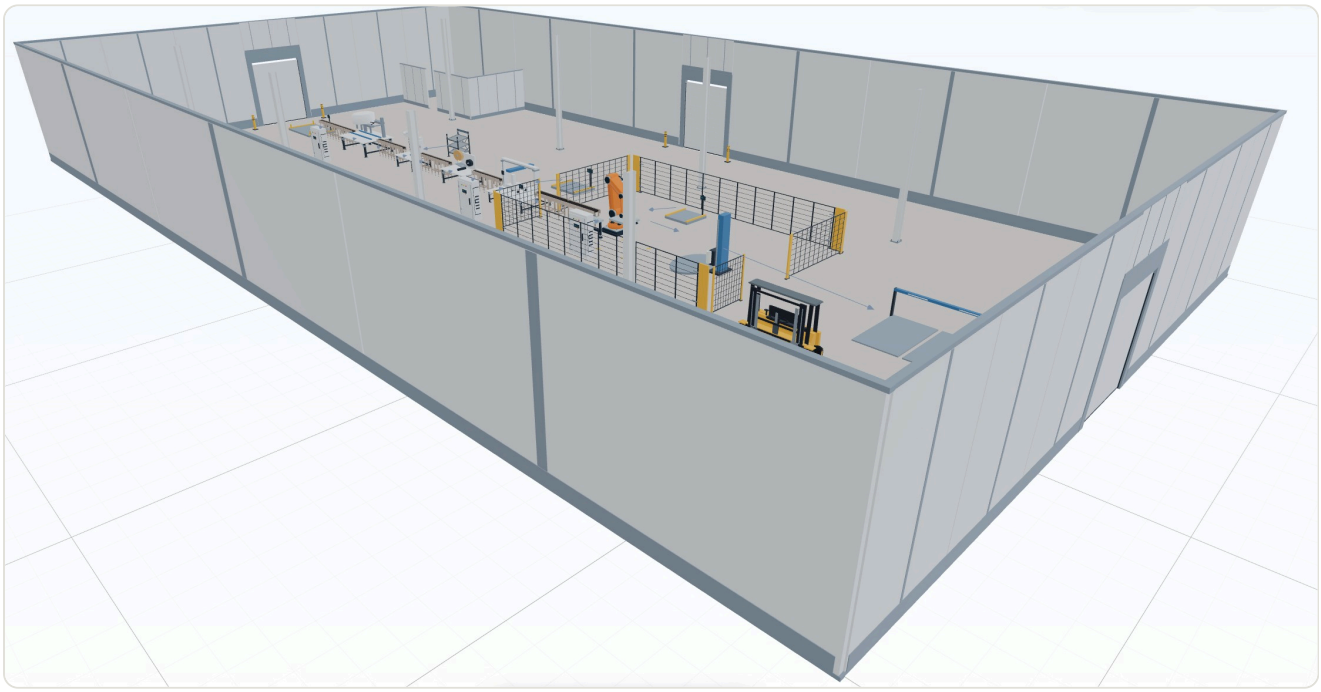
충전기 증설 타당성과 신규 설비 구매 없는 대안 비교

수신 가상 공장 B 경영진, 생산 책임자
작성 N-XI 디지털 트윈 분석
작성일 2026-10-08

일 출하량(권고안, 5회 평균)
7,256 케이스
현재 6,608케이스 대비 +9.8%

목표 7,200케이스 달성률
100.8 %
5회 모두 목표 초과(7,240~7,280케이스)

충전기 증설(능력 2배) 효과
0 케이스
출하 6,608케이스로 현재와 같음



N-XI로 구축한 가상 공장 B 디지털 트윈(3D, 건물 56 m × 30 m, 권고안 배치 상태)

본 보고서는 실제 공장 데이터 형식을 본뜬 가상 공장 사례이며, 수치는 N-XI 시뮬레이션 결과입니다.

1. 요약

충전기는 병목이 아닙니다. 충전기를 한 대 더 들여도 출하는 늘지 않으며, 신규 설비 구매 없이 케이스 포장기 앞뒤의 컨베이어 두 곳을 손보면 하루 7,200케이스 목표를 넘길 수 있습니다. 라인 속도를 정하는 설비는 케이스 포장기(PCK-01)입니다. 포장기는 하루의 약 14%를 멈춰 있는데, 약 10%는 케이스마다 인피드 컨베이어(CV-04)에서 병 12개를 당겨 올 때까지 기다리는 시간이고, 약 4%는 팔레타이저가 40케이스를 적재하는 90초 동안 길이 1.5 m(케이스 5개분)인 케이스 컨베이어(CV-05)가 가득 차서 생기는 배출 막힘입니다. 9월 28일의 충전기 18% 증속은 이 구간에 아무 영향을 주지 못했고, 늘어난 충전 능력은 상류 컨베이어 적체로만 바뀌었습니다. 디지털 트윈에서 충전 능력을 2배로 올려도 출하는 그대로였고(일 6,608케이스, 현재 6,608케이스), CV-04 속도를 600→1,200 mm/s로 올리고 팔레타이징 셀을 동쪽으로 3 m 옮겨 CV-05를 4.5 m로 늘리는 조합안은 일 7,256케이스(5회 범위 7,240~7,280케이스), 목표 달성률 100.8%를 기록했습니다.

일 출하량	목표 달성률	케이스 포장기 가공률	충전기 증설(능력 2배)
6,608 → 7,256	**91.8 → 100.8**	**86.0 → 94.5**	**6,608 → 6,608**
케이스, 현재 → 권고안	%, 현재 → 권고안	%, 현재 → 권고안	케이스, 현재 → 증설
+648케이스(+9.8%)	5회 범위 100.6~101.1%	배출 막힘 4.0% → 0.0%	충전기 막힘 21.4 → 60.2%

조건별 일 출하량(케이스, 24시간 5회 평균)

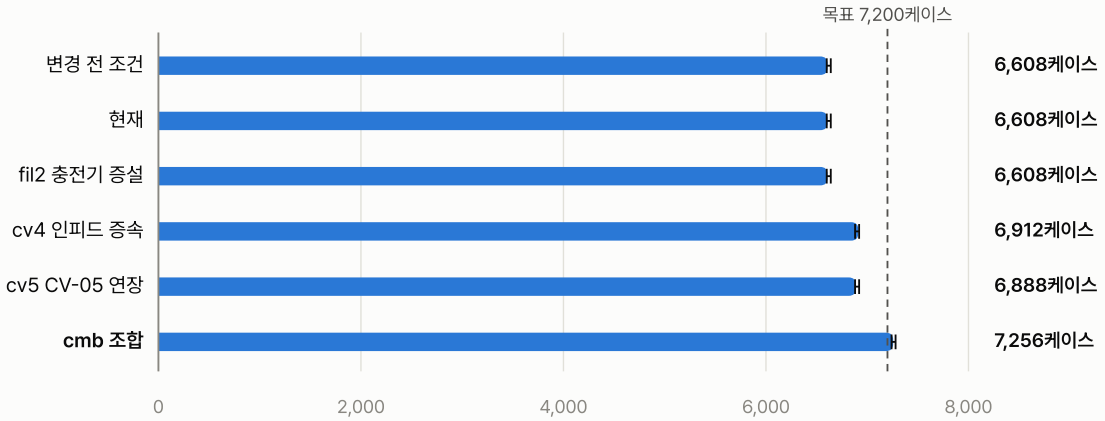


그림 1. 막대는 5회 평균, 가는 수염은 최소~최대 범위, 점선은 하루 출하 목표 7,200케이스입니다. cmb 조합이 권고안입니다.

권고 요지

1. **충전기 추가 구매는 보류합니다.** 충전 능력을 2배로 늘려도 출하는 변하지 않습니다.
2. **1단계(즉시, 설정 변경):** CV-04 인피드 컨베이어 속도를 1,200 mm/s로 올립니다. 단독으로 하루 +304케이스입니다.
3. **2단계(계획 정지일 공사):** 팔레타이징 셀을 동쪽으로 3 m 옮기고 CV-05를 4.5 m로 늘립니다. 1단계와 합쳐 하루 7,256케이스입니다.

2. 요청 배경과 판단 기준

2.1 배경

- 라인: 공병 투입 → 충전 → 캡핑 → 라벨링 → 케이스 포장(12병/케이스) → 팔레타이징(40케이스/팔레트) → 랩핑 → 출하, 24시간 운영.
- 목표: 하루 7,200케이스(180팔레트, 시간당 300케이스). 실적은 6,700케이스 안팎(달성률 93%).
- 9월 28일 충전기 속도를 1.00초/병(3,600병/h)에서 0.85초/병(4,235병/h)으로 18% 올렸으나 출하가 늘지 않았고, 현장은 충전기 추가 구매를 요청하고 있습니다.

2.2 이 보고서가 답하는 질문

1. 충전기가 출하를 제약하는 설비인가?
2. 충전기를 늘리면(또는 더 빠르게 하면) 출하가 늘어나는가?
3. 신규 설비 구매 없이 목표를 달성할 방법이 있는가?

2.3 판단 기준

기준	내용
목표 충족	24시간 일 출하(5회 평균)가 7,200케이스 이상
안정성	5회 반복의 최솟값까지 고려한 범위
투자 성격	신규 설비 구매 여부, 설정 변경·배치 변경 공사 규모
실현 가능성	설비팀 도면 공간 안에서 다른 설비·건축 요소와 겹침 없이 배치 가능

출하는 랩핑을 마친 팔레트 단위로 이뤄지므로 출하 케이스는 출하 팔레트 × 40으로 계산했습니다. 모든 조건은 같은 디지털 트윈에서 해당 조건만 바꿔 실행 시간 24시간으로 5회씩, 조건 사이에는 같은 난수 조건을 적용해 시뮬레이션했습니다.

3. 데이터 분석 결과

3.1 받은 자료와 활용

자료	주요 내용	활용
01 설비 배치도(도면)	건물 56×30 m, 설비 15대·컨베이어 5개 위치, 외벽·셔터 3·기둥 8·안전펜스·볼라드 6	트윈 배치 좌표
02 설비기준정보	설비 치수·기준 사이클, 컨베이어 길이·폭·속도	설비 크기, 컨베이어
03 공정정보	라우팅, 투입·산출 수량, 자재 공급 방식	공정 투입·산출, 연결
04 품목마스터 / 05 BOM	품목 9종 치수, 4단계 BOM	품목·BOM, 컨베이어 적재 개수
06 물류·운영기준	저장소 용량·입고량·입고 주기, 생산 목표	저장소, 판단 기준
07 운영 데이터	변경 전후 각 3일의 출하·시간대별 생산, 사이클 표본 6,503건, 정지 기록 4,899건, 컨베이어 만재 신호 24,365건	공정 시간 분포, 증상 분석, 모델 검증

3.2 설비 능력 비교 — 목표에 가장 가까운 설비는 케이스 포장기

설비	실측 사이클(평균±표준편차)	시간당 능력 (케이스 환산)	목표(300케이스/h) 대비
충전기 FIL-01	0.849±0.030초/병 (변경 전 1.00초)	353 (변경 전 300)	118% (변경 전 100%)
캡핑기 CAP-01	0.853±0.051초/병	352	117%
라벨러 LAB-01	0.848±0.078초/병	354	118%
케이스 포장기 PCK-01	**11.20±2.56초/케이스** (기준 11초)	**321**	**107%**
팔레타이저 PAL-01	90.55±9.62초/팔레트(40케이스)	1,590	530%
랩핑기 WRP-01	기준 45초/팔레트	3,200	1,067%

케이스 포장기의 여유는 7%뿐이고, 아래와 같이 포장기 앞뒤의 손실이 이 여유를 모두 소진하고 있습니다.

3.3 속도 변경 전후 비교

항목	변경 전 (9/22~24)	변경 후 (9/29~10/1)	판독
일 출하	168.3팔레트 / 6,733케이스 달성률 93.5%	167.7팔레트 / 6,707케이스 달성률 93.1%	변화 없음
충전기 생산	81,006병/일	80,620병/일	변화 없음
충전기 가공률(생산량×사이클)	93.8%	79.2%	빨라진 만큼 더 많이 쉼
충전기 배출 막힘(10초 이상 기록)	2.8%, 113회/일	4.8%, 177회/일	증가
CV-01·CV-02 만재 신호	4.5% (320회/일)	12.2% (1,122회/일)	상류 적체 증가
CV-03·CV-04 만재 신호	12.4% / 13.4%	12.6% / 13.7%	변화 없음
케이스 포장기 생산	6,747케이스/일 (281/h)	6,715케이스/일 (280/h)	변화 없음
케이스 포장기 배출 막힘	4.0%, 143회/일 회당 24.4초	4.1%, 141회/일 회당 25.0초	변화 없음
CV-05 만재 신호	6.5% (168회/일, 회당 34초)	6.6% (166회/일, 회당 34초)	팔레트당 1회
팔레타이저 자재 대기	82.4% (회당 422초)	82.3% (회당 424초)	변화 없음

3.4 운영 데이터에서 확인한 증상

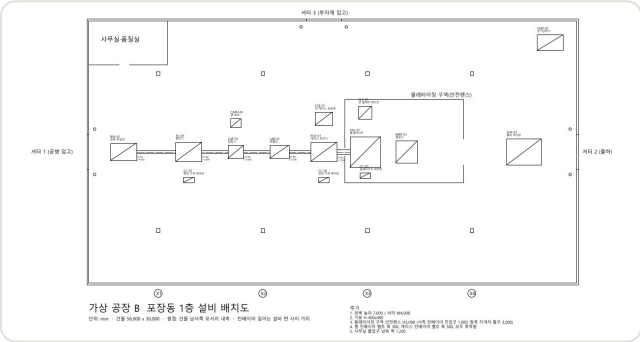
1. **충전기 증속분은 상류 적체로 흡수되었습니다.** 충전기는 더 빨리 채울 수 있게 되었지만 하류가 받아 주지 못해 배출 막힘과 CV-01·02 만재만 늘었습니다. 충전기 생산량과 출하량은 그대로입니다.
2. **라인 속도는 케이스 포장기가 정합니다.** 포장기는 변경 전후 모두 시간당 280~281케이스를 만들었습니다. 케이스 한 개에 평균 12.86초가 걸리는 셈인데 실측 가공 시간은 11.20초입니다. 차이 1.66초 중 0.53초는 기록된 배출 막힘이고, 나머지 약 1.1초는 10초 미만이라 정지 기록에 남지 않은 짧은 대기입니다.
3. **포장기 배출 막힘은 팔레타이저 적재 시간과 정확히 겹칩니다.** 포장기 배출 막힘 시간의 99.6%가 팔레타이저 자재 대기 사이의 적재 구간(평균 90초)에 발생했습니다. 적재 90초 동안 포장기는 약 8케이스를 만드는데 CV-05에는 5케이스만 쌓입니다. CV-05 만재 신호가 하루 166~168회로 출하 팔레트 수와 같은 것도 이 때문입니다.
4. **팔레타이저는 능력이 부족한 것이 아니라 케이스를 기다립니다.** 하루의 82%를 자재 대기로 보내며, 매 팔레트마다 40케이스가 모이기를 약 7분씩 기다립니다.

4. 디지털 트윈 구축 요약

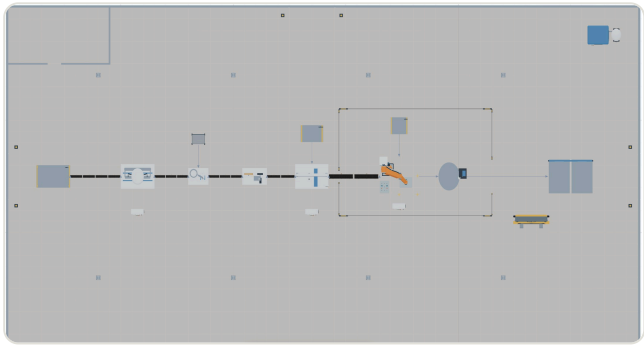
4.1 규모

구분	수량	내용
공정 설비	6	충전기, 캡핑기, 라벨러, 케이스 포장기, 팔레타이저, 랩핑기
저장 설비	5	공병 투입대, 캡 호퍼, 빈 케이스 공급대, 빈 팔레트 매거진, 출하 대기장
컨베이어	5	CV-01~CV-05 (축적형, 도면 길이·벨트 폭·속도 그대로)
부대설비	4	제어반 3, 공기압축기 1
건축·안전 요소	49	바닥 12, 외벽·셔터 상부 10, 셔터 3, 사무실·품질실 칸막이 3, 기둥 8, 볼라드 6, 안전펜스 6, 출하 지게차 1
합계	**69**	설비 간 연결 15(컨베이어 진입·진출 10, 직결 5), 품목 9, BOM 8행

구축 후 각 설비의 공정 시간, 투입·산출 수량, 컨베이어 길이·속도·폭, 품목 치수와 BOM을 다시 조회해 기준정보와 일치함을 확인했고, 하루 길이의 시험 재생으로 원자재 입고부터 출하까지 흐름이 끊기지 않음을 확인했습니다.



고객 도면(현재 배치)



N-XI 트윈 평면(권고안 배치)

그림 2. 설비팀 도면(왼쪽)과 같은 좌표·치수로 구축한 디지털 트윈 평면(오른쪽). 오른쪽은 권고안을 적용한 상태로, 팔레타이징 셀(팔레타이저·랩핑기·빈 팔레트 매거진·제어반)이 동쪽으로 3 m 옮겨지고 케이스 컨베이어 CV-05가 4.5 m로 늘어난 것 외에는 도면과 같습니다.

4.2 반영한 데이터

항목	반영 값
배치	도면의 설비 위치를 중심 좌표로, 설비기준정보의 폭×깊이×높이를 크기로 반영. 외벽 높이 7,000 mm, 셔터 폭 4,000 mm, 기둥 400×400 mm, 안전펜스 높이 2,000 mm(서측 진입구 1,000 mm, 동측 지게차 출구 3,000 mm), 바닥 판은 지면 아래에 배치
공정 시간	충전 0.85±0.03초, 캡핑 0.85±0.05초, 라벨링 0.85±0.08초, 케이스 포장 11.20±2.56초, 팔레타이징 90.55±9.62초, 랩핑 45±4.5초
투입·산출	캡핑 = 충전 병 1 + 캡 1, 케이스 포장 = 라벨 병 12 + 빈 케이스 1, 팔레타이징 = 케이스 40 + 빈 팔레트 1
컨베이어	CV-01 4,500 mm, CV-02·03 3,000 mm, CV-04 2,500 mm (폭 300 mm, 600 mm/s), CV-05 1,500 mm (폭 500 mm, 300 mm/s)
품목 치수	병 70×70×210~220 mm, 캡 30×30×20 mm, 케이스 300×220×230 mm, 팔레트 1,100×1,100 mm. 컨베이어 적재 개수는 진행 방향 길이로 결정(CV-04 병 35개, CV-05 케이스 5개)
저장소	용량 공병 6,000 / 캡 5,000 / 빈 케이스 600 / 빈 팔레트 30 / 출하 대기장 200, 입고는 시간당 공급률 공병 4,800병·캡 5,000개·케이스 440개·팔레트 24개
출하	랩핑 완료 팔레트를 출하 대기장에 넣는 즉시 반출

5. 현재 상태 진단

5.1 모델 재현성

지표 (일평균)	실적 변경 전	모델 변경 전 조건	실적 변경 후	모델 현재	차이 (모델 현재 − 실적 변경 후)
일 출하(케이스)	6,733	6,608	6,707	6,608	-1.5%
일 출하(팔레트)	168.3	165.2	167.7	165.2	-1.5%
케이스 포장기 생산(케이스/일)	6,747	6,644	6,715	6,640	-1.1%
충전기 생산(병/일)	81,006	79,846	80,620	79,810	-1.0%
충전기 가공률(%)	93.8	92.4	79.2	78.5	-0.9%
케이스 포장기 가공률(%)	87.5	86.0	87.1	86.0	-1.2%
케이스 포장기 배출 막힘(%)	4.0	4.0	4.1	4.0	-2.2%
팔레타이저 가공률(%)	17.6	17.3	17.6	17.3	-1.3%
팔레타이저 자재 대기(%)	82.4	82.7	82.3	82.7	+0.4%
팔레타이저 자재 대기 회당(초)	422	429	424	430	+1.3%

- 출하, 포장기 생산·가공률, 팔레타이저 대기 패턴이 실적과 1~2% 이내로 일치합니다. 모델의 포장기 배출 막힘은 짧은 막힘까지 포함한 값으로, 10초 이상만 기록된 실적과 같은 수준입니다.
- 모델은 실적보다 출하를 약 1.5% 낮게 계산합니다. 같은 모델로 비교한 해결안의 효과 추정도 보수적인 편입니다.
- **"속도를 올려도 출하가 그대로"인 현상을 재현합니다.** 변경 전 조건 6,608케이스, 현재 6,608케이스로 5회 평균이 같고 (차이 0케이스), 충전기 배출 막힘만 7.5% → 21.4%로 늘었습니다.

충전기 시간 구성(하루 24시간 = 100%, 5회 평균)

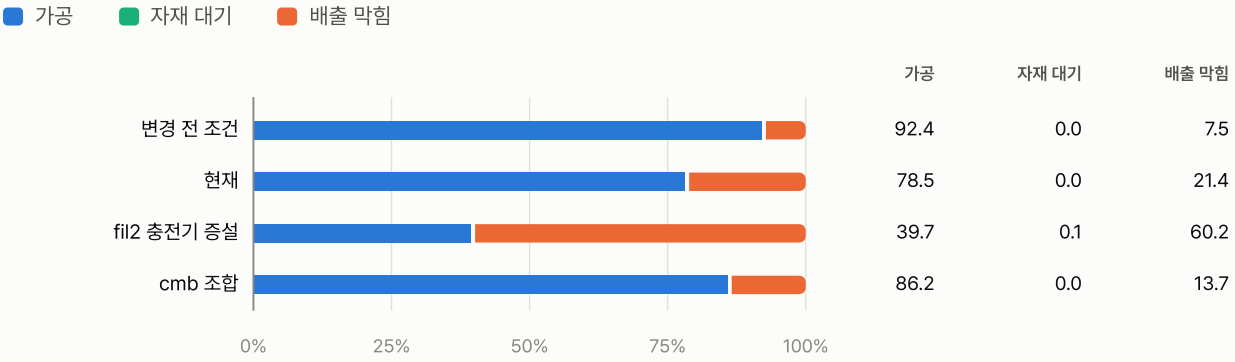


그림 3. 충전기를 빠르게 하거나(현재) 능력을 2배로 늘려도(fil2) 늘어나는 것은 배출 막힘뿐입니다. 자재 대기는 모든 조건에서 0.1% 이하입니다.

5.2 현재 지표와 원인

지표 (현재 상태 5회 평균)	값	의미
일 출하	6,608케이스 (165.2팔레트) 달성률 91.8%	목표(180팔레트)에 하루 약 15팔레트 부족
케이스 포장기 가공 / 자재 대기 / 배출 막힘	86.0% / 10.0% / 4.0%	라인에서 가공률이 가장 높은 설비 = 처리량 결정 지점
포장기 자재 대기 회당 시간	1.30초 (케이스마다 1회)	병 12개를 인피드에서 당겨 오는 시간
CV-04 평균 점유	31.0병 / 약 35병	병은 충분히 쌓여 있음 → 부족이 아니라 들어오는 속도 문제
포장기 배출 막힘	하루 161회, 회당 21.5초	팔레트당 1회, 팔레타이저 적재 중 CV-05 만재
CV-05 최대 점유	5케이스 / 5케이스	버퍼가 가득 차는 구간
팔레타이저 가공 / 자재 대기	17.3% / 82.7%	능력 여유 큼
충전기 가공 / 배출 막힘	78.5% / 21.4%	하류가 받아 주지 않아 멈춤
CV-01 공간 점유율	99.4%	충전기 앞은 항상 병이 가득

원인 정리

1. **인피드 대기(포장기 시간의 약 10%)**: 포장기는 한 케이스를 끝낼 때마다 인피드(CV-04)에서 병 12개를 받아야 시작합니다. 병이 줄지어 기다리고 있어도 한 병이 자기 길이(70 mm)만큼 움직여야 다음 병이 들어오므로, 600 mm/s에서는 11병 간격 이동에 약 1.3초가 걸립니다. 하루 6,600여 케이스 × 1.3초 ≈ 2.4시간입니다.
2. **배출 막힘(포장기 시간의 약 4%)**: 팔레타이저는 40케이스가 모여야 적재를 시작하고 적재 90초 동안은 케이스를 받지 않습니다. 그 사이 포장기가 만드는 약 8케이스 중 5케이스만 CV-05에 쌓이고 나머지는 포장기 안에서 대기합니다.
3. **충전기는 원인이 아닙니다**: 충전기·캡핑기·라벨러는 시간당 352~354케이스 분량을 처리할 수 있어 포장기(321케이스)보다 약 10% 빠릅니다. 충전기 앞 컨베이어는 항상 가득 차 있고 충전기는 하류가 막혀 멈춥니다.

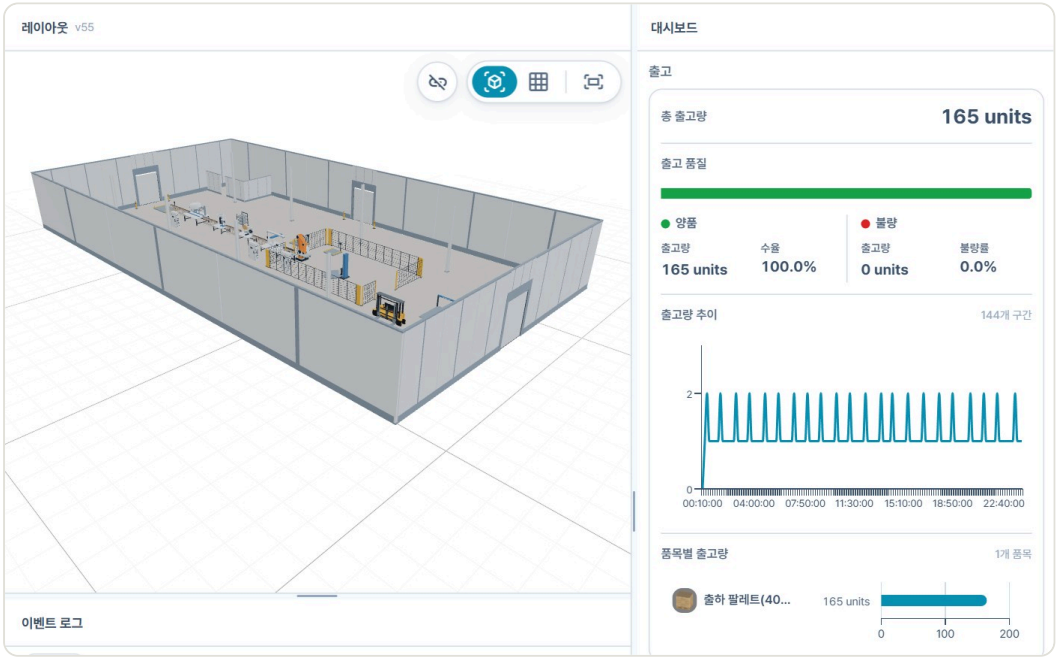


그림 4. N-XI 시뮬레이션 분석 화면(현재 상태, 1회차 실행 03-base-r1). 왼쪽은 실행 시점의 공장 배치, 오른쪽 대시보드는 하루 출하 165팔레트와 시간대별 출하 추이입니다.

6. 해결안 설계와 시뮬레이션 비교

6.1 시나리오

약어	시나리오	바꾼 것 (현재 대비)	투자 성격
fil2	고객 가설: 충전기 증설	충전기 공정 시간 0.85 → 0.43초/병(표준편차 0.02초). 2대 병렬 운전과 같은 충전 능력(약 8,400병/h). 배치 불변	충전기 1대 구매·설치
cv4	인피드 증속	CV-04 속도 600 → 1,200 mm/s. 배치 불변	설정 변경 (인버터)
cv5	CV-05 연장	팔레타이저 PAL-01 (31,750, 15,000) → (34,750, 15,000), 랩핑기 WRP-01 (36,500, 15,000) → (39,500, 15,000), 빈 팔레트 매거진 PLT-01 (31,750, 19,500) → (34,750, 19,500), 제어반 CC-03 (31,750, 12,300) → (34,750, 12,300). CV-05 x 28,500~30,000(1,500 mm) → 28,500~33,000(4,500 mm, 케이스 15개). 좌표 단위 mm	셀 이전 + 컨베이어 3 m 추가
cmb	**조합안 (권고)**	cv4 + cv5	설정 변경 + 셀 이전

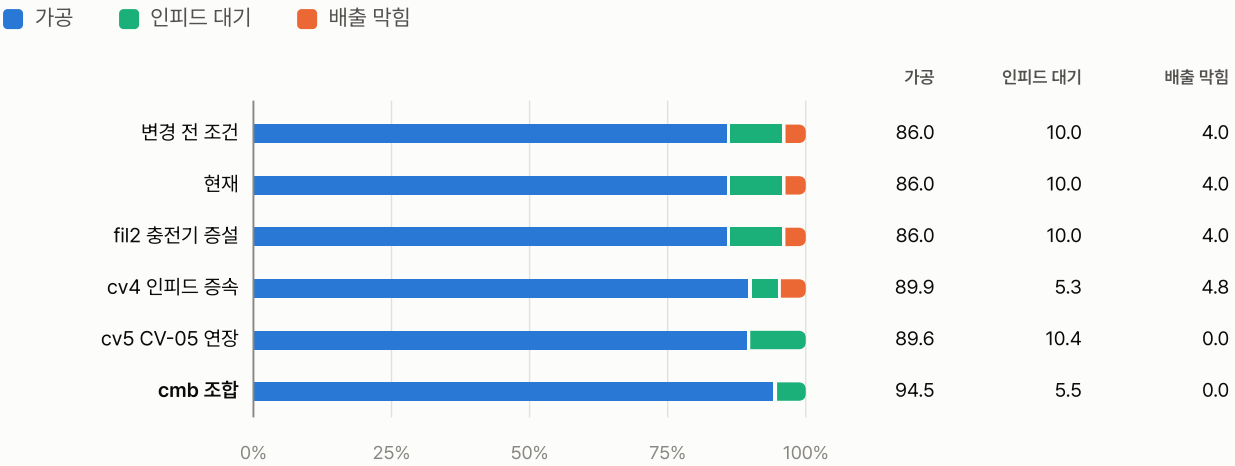
모든 시나리오는 현재 상태(충전기 0.85초/병)를 기준으로 표에 적은 것만 바꿨고, 같은 난수 조건 5가지로 24시간씩 실행했습니다.

6.2 지표 비교표

5회 평균이며, 작은 글씨는 5회 최소~최대 범위입니다. 케이스 포장기의 자재 대기는 인피드(CV-04)에서 병 12개를 받는 대기입니다.

지표 (5회 평균)	현재	fil2 충전기 증설	cv4 인피드 증속	cv5 CV-05 연장	cmb 조합
일 출하(케이스)	6,608 6,600~6,640	6,608 6,600~6,640	6,912 6,880~6,920	6,888 6,880~6,920	**7,256** **7,240~7,280**
일 출하(팔레트)	165.2 165.0~166.0	165.2 165.0~166.0	172.8 172.0~173.0	172.2 172.0~173.0	**181.4** **181.0~182.0**
목표 달성률(%)	91.8 91.7~92.2	91.8 91.7~92.2	96.0 95.6~96.1	95.7 95.6~96.1	**100.8** **100.6~101.1**
케이스 포장기 생산(케이스)	6,640 6,629~6,652	6,635 6,627~6,656	6,938 6,908~6,963	6,916 6,904~6,935	**7,293** **7,283~7,307**
충전기 가공 / 자재 대기 / 배출 막힘(%)	78.5 / 0.0 / 21.4	39.7 / 0.1 / 60.2	82.0 / 0.0 / 17.9	81.8 / 0.0 / 18.2	**86.2 / 0.0 / 13.7**
케이스 포장기 가공 / 자재 대기 / 배출 막힘(%)	86.0 / 10.0 / 4.0	86.0 / 10.0 / 4.0	89.9 / 5.3 / 4.8	89.6 / 10.4 / 0.0	**94.5 / 5.5 / 0.0**
팔레타이저 가공 / 자재 대기 / 배출 막힘(%)	17.3 / 82.7 / 0.0	17.3 / 82.7 / 0.0	18.1 / 81.9 / 0.0	18.0 / 82.0 / 0.0	**19.2 / 80.8 / 0.0**
포장기 자재 대기 회당(초)	1.30	1.30	0.65	1.30	**0.65**
포장기 배출 막힘 횟수(회/일)	161	160	170	0	**0**
CV-01 공병 컨베이어 공간 점유율(%)	99.4	99.3	99.4	99.4	**99.4**
CV-04 인피드 평균 점유(병)	31.0	31.0	30.2	30.8	**29.9**
CV-05 케이스 컨베이어 평균 / 최대 점유(케이스)	0.91 / 5	0.91 / 5	0.97 / 5	1.82 / 12	**1.98 / 12**

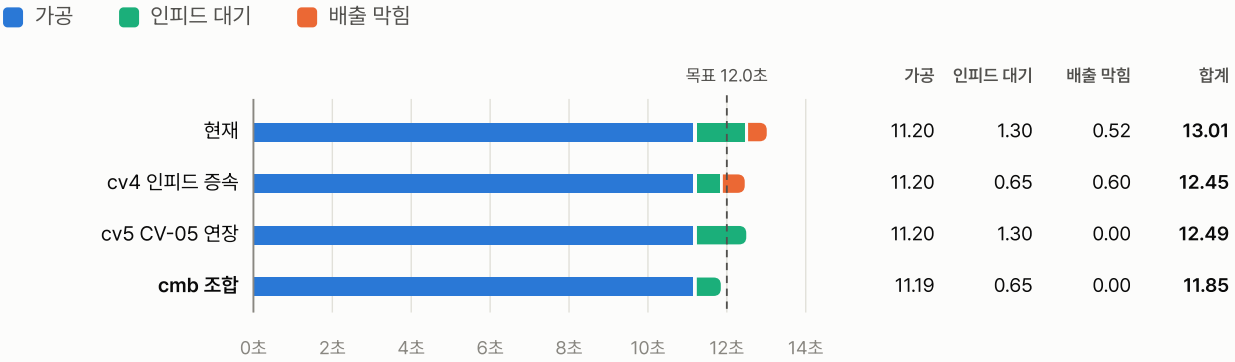
케이스 포장기 시간 구성(하루 24시간 = 100%, 5회 평균)



	가공	인피드 대기	배출 막힘
변경 전 조건	86.0	10.0	4.0
현재	86.0	10.0	4.0
fil2 충전기 증설	86.0	10.0	4.0
cv4 인피드 증속	89.9	5.3	4.8
cv5 CV-05 연장	89.6	10.4	0.0
cmb 조합	94.5	5.5	0.0

그림 5. 충전기를 바꾸는 조건(변경 전 조건·현재·fil2)은 포장기 시간 구성이 같습니다. cv4는 인피드 대기를, cv5는 배출 막힘을 줄이고, cmb는 둘 다 줄여 가공 비율이 94.5%가 됩니다.

케이스 1개당 포장기 시간(초, 5회 평균)

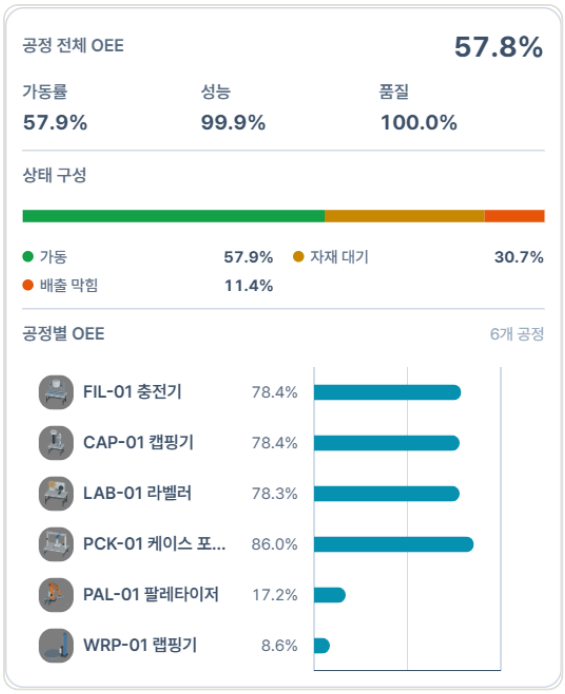


	가공	인피드 대기	배출 막힘	합계
현재	11.20	1.30	0.52	**13.01**
cv4 인피드 증속	11.20	0.65	0.60	**12.45**
cv5 CV-05 연장	11.20	1.30	0.00	**12.49**
cmb 조합	11.19	0.65	0.00	**11.85**

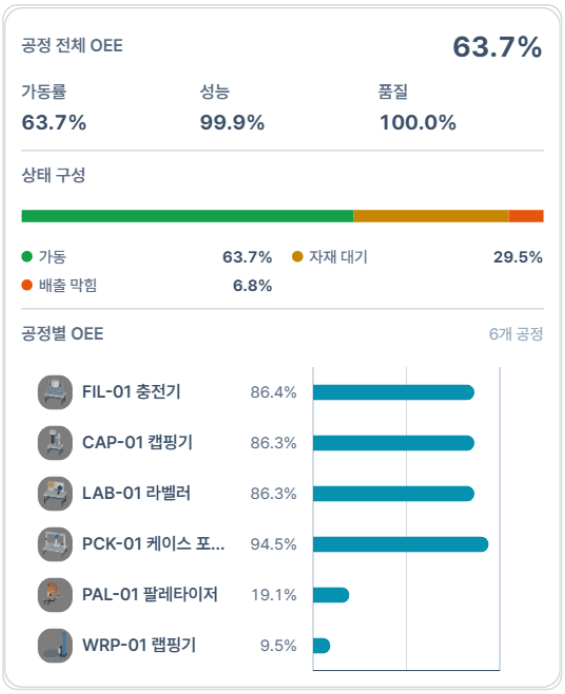
그림 6. 하루 24시간을 포장기 생산 케이스 수로 나눠 케이스 한 개에 드는 시간을 가공·인피드 대기·배출 막힘으로 나눈 값입니다. 점선은 목표 7,200케이스/일에 필요한 속도(케이스당 12.0초)이며, cmb만 이 선 안쪽(11.85초)에 들어옵니다.

6.3 해석

- **fil2 — 충전기 증설은 효과가 없습니다.** 출하 6,608케이스로 현재와 같고(차이 0케이스), 충전기는 하루의 60.2%를 막혀서 멈춥니다. 늘린 능력은 그대로 대기 시간이 됩니다.
- **cv4 — 인피드 증속은 투자 없이 출하를 늘립니다.** 포장기 자재 대기가 회당 1.30초 → 0.65초로 줄어 출하가 6,912케이스(+304케이스)로 늘었습니다. 다만 포장기가 빨라진 만큼 배출 막힘은 4.8%로 남습니다.
- **cv5 — CV-05 연장은 배출 막힘을 없앱니다.** 포장기 배출 막힘이 4.0% → 0.0%가 되고, 팔레타이저 적재 중 CV-05에 최대 12케이스까지 쌓였다가 해소됩니다(용량 15케이스 대비 여유). 출하 6,888케이스(+280케이스).
- **cmb — 두 손실을 함께 줄여야 목표를 넘습니다.** 포장기 가공률이 94.5%까지 올라가 출하 7,256케이스(5회 범위 7,240~7,280), 목표 달성률 100.8%입니다. 두 대책을 합친 효과(+648케이스)는 각각의 효과(+304, +280)를 더한 것보다 큽니다. 인피드가 빨라지면 포장기가 CV-05를 더 빨리 채워 배출 막힘이 늘어나므로(cv4에서 4.8%), CV-05 연장의 효과가 함께 커지기 때문입니다. 5회 모두 7,200케이스를 넘었습니다.

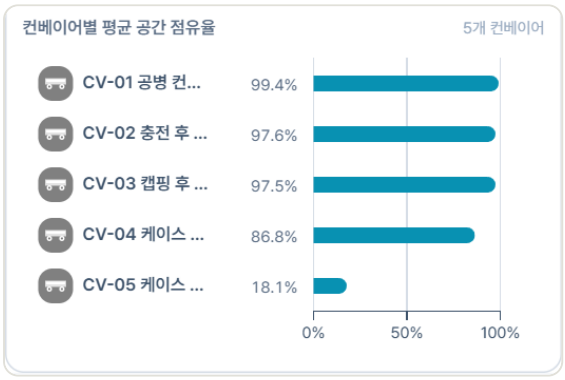


현재 상태(03-base-r1)

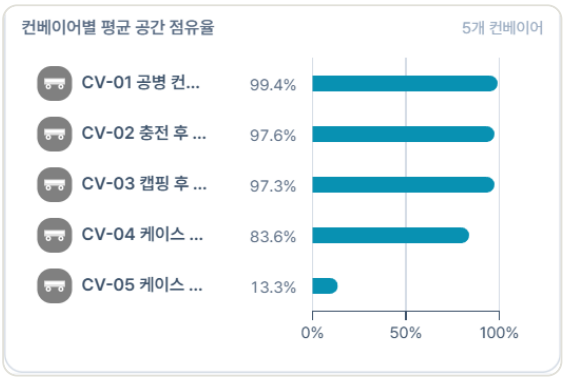


권고안(03-cmb-r1)

그림 7. N-XI 대시보드 공정 카드. 공정별 막대 중 케이스 포장기가 가장 길어 처리량을 정하는 설비임을 보여 주며, 권고안에서 케이스 포장기 94.5% 수준으로 올라가고 공정 전체의 배출 막힘 비중이 줄어듭니다.



현재 상태(03-base-r1)



권고안(03-cmb-r1)

그림 8. 컨베이어별 평균 공간 점유율. 포장기 앞 병 컨베이어(CV-01~04)는 두 경우 모두 대부분 차 있어 병 공급은 충분하고, 길어진 CV-05는 평균 점유율이 낮아져(현재 18.2% → 권고안 13.2%, 5회 평균) 적재 중 케이스를 받아 둘 여유가 생깁니다.

6.4 배치 변경의 공간 타당성 (cv5·cmb)

- 이전 후 팔레타이저는 x 33,000~36,500, 랩핑기는 x 38,250~40,750, 빈 팔레트 매거진은 x 34,000~35,500, 제어반은 x 34,150~35,350(mm)으로 모두 팔레타이징 구역 안전펜스(x 29,400~43,000, y 11,500~21,000) 안에 있습니다.
- CV-05는 기존 서측 펜스 진입구(y 14,500~15,500)를 그대로 지나며, 기둥 열 X3(x 32,000)은 y 6,000·24,000에 있어 간섭이 없습니다.
- 설비·컨베이어·외벽·셔터·기둥·펜스·볼라드 등 바닥을 제외한 57개 요소의 바닥 면적과 높이를 3차원으로 대조한 결과, 현재 배치와 이전 배치 모두 겹침이 0건입니다.

7. 권고안과 기대 효과, 적용 시 고려 사항

7.1 권고

1. **충전기 추가 구매는 보류합니다.** 충전 능력을 2배로 늘려도 출하는 변하지 않습니다.
2. **1단계(즉시, 설정 변경): CV-04 인피드 컨베이어 속도를 1,200 mm/s로 올립니다.** 단독으로 하루 +304케이스를 얻습니다.
3. **2단계(계획 정지일 공사): 팔레타이징 셀(팔레타이저·랩핑기·빈 팔레트 매거진·제어반)을 동쪽으로 3 m 옮기고 CV-05를 4.5 m로 늘립니다.** 1단계와 합쳐 하루 7,256케이스로 목표를 넘깁니다.

7.2 기대 효과

항목	현재	권고안 적용 후	변화
일 출하	6,608케이스 (165.2팔레트)	**7,256케이스 (181.4팔레트)**	+648케이스 (+9.8%)
목표 달성률	91.8%	**100.8%**	+9.0%p
케이스 포장기 가공률	86.0%	**94.5%**	+8.4%p
포장기 배출 막힘	4.0% (하루 161회)	**0.0%**	해소
포장기 인피드 대기(회당)	1.30초	**0.65초**	절반
충전기 배출 막힘	21.4%	**13.7%**	감소

하루 출하가 약 16팔레트 늘어나며, 30일이면 약 19,440케이스를 더 출하합니다. 충전기 구매비와 설치 공간이 필요 없습니다.

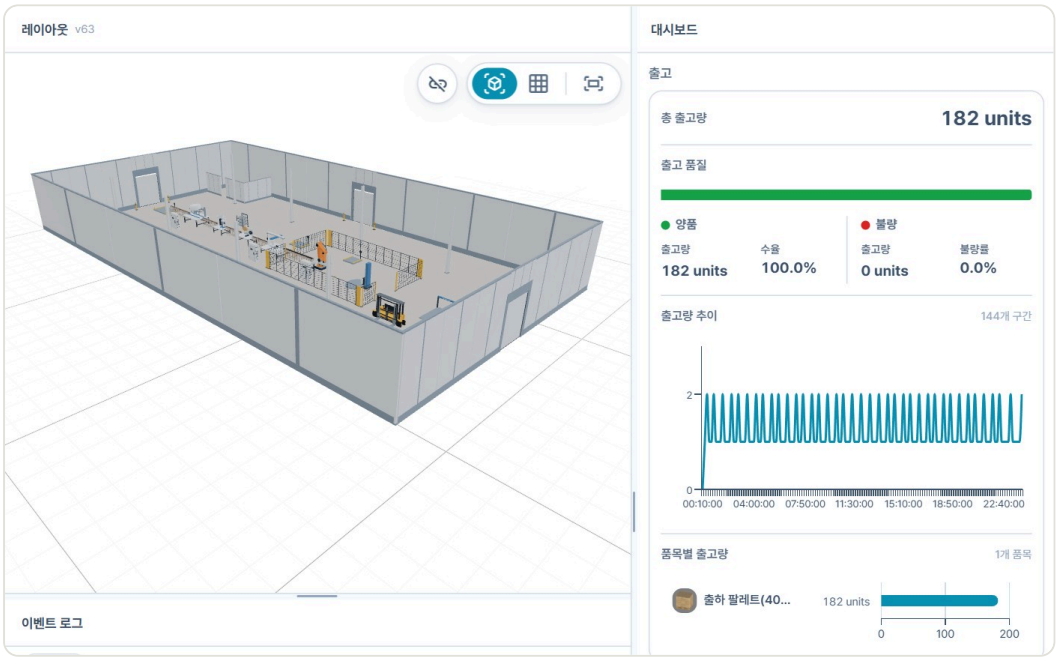


그림 9. N-XI 시뮬레이션 분석 화면(권고안, 1회차 실행 03-cmb-r1). 하루 출하 182팔레트로, 같은 난수 조건의 현재 상태 165팔레트(그림 4)보다 늘었습니다.

7.3 적용 시 고려 사항

- **충전기 0.85초/병은 유지해야 합니다.** 권고안에서 포장기는 케이스당 약 11.9초(병당 약 0.99초)로 병을 소비합니다. 충전기를 1.00초/병(시간당 300케이스 분량)으로 되돌리면 충전기 능력이 목표와 같아져 여유가 사라집니다. 9월의 증속은 지금은 효과가 없지만 권고안 적용 후에는 필요한 여유가 됩니다.
- **CV-04 증속은 단계적으로 확인합니다.** 1,200 mm/s(72 m/min)에서 병 넘어짐·충돌, 가이드레일 간격, 축적 압력을 시운전으로 확인하고 900 → 1,200 mm/s로 올리기를 권합니다.
- **셀 이전 공사 계획**: 팔레타이저·랩핑기·매거진·제어반 이전, 케이스 컨베이어 3 m 추가, 전원·공압 배관과 안전 인터록 재설정이 필요합니다. 공사 중 생산 손실을 줄이도록 계획 정지일에 진행합니다.
- **지게차 동선**: 랩핑기 동쪽 면과 동측 펜스 사이가 5.25 m에서 2.25 m로 줄어듭니다. 랩핑 완료 팔레트는 동측 지게차 출구(폭 3 m, y 13,500~16,500, 랩핑기와 같은 열)로 진입해 집게 되므로, 출구 앞 통로를 비워 두는 운영 규칙을 정합니다.
- **목표 대비 여유가 크지 않습니다.** 권고안의 목표 대비 여유는 하루 56케이스(5회 최솟값 기준 40케이스)입니다. 이후 처리량을 정하는 설비는 여전히 케이스 포장기(가공률 94.5%)이므로, 포장기 실측 사이클(11.20초)을 기준 11초로 되돌리고 사이클 편차(표준편차 2.56초)를 줄이는 개선을 다음 과제로 권합니다.
- **효과 확인 지표**: 포장기 시간당 생산(목표 300케이스 이상), 포장기 배출 막힘 기록(0에 가까워야 함), CV-05 만재 신호(팔레트당 1회 → 거의 없음).

8. 분석 가정

- 24시간 연속 운전을 하루 단위로 반영했고, 하루 시작 시점에 컨베이어와 설비가 비어 있는 상태에서 출발하도록 했다(운영 데이터의 일 시작 시점 팔레타이저 첫 대기와 같은 양상).
- 공정 시간은 운영 데이터의 사이클 표본(설비별 1,500건, 팔레타이저 503건)에서 구한 평균과 표준편차로 가공 시간의 변동을 반영했다. 랩핑기는 기준 사이클 45초와 팔레타이저 수준의 변동계수(10%)를 반영했다.
- 속도 변경 전 조건은 충전기 1.00초/병, 표준편차 0.04초(변경 후와 비슷한 변동계수)로 반영했다.
- 정지 기록의 사유가 자재 대기와 배출 막힘 두 가지뿐이어서, 라인 흐름에서 생기는 대기·막힘을 반영했다. 불량 기록이 없어 불량률은 0으로 반영했다.
- 저장소 입고는 물류·운영기준의 시간당 공급률(공병 4,800병, 캡 5,000개, 빈 케이스 440개, 빈 팔레트 24개)을 유지하도록 30~150초 간격의 소량 입고로 반영했고, 용량은 기준 그대로 반영했다. 이 조건에서 원자재가 끊긴 시간은 없었다(운영 데이터와 동일).
- 컨베이어는 축적형으로, 적재 개수는 품목의 진행 방향 길이(병 70 mm, 케이스 300 mm)로 반영했다.
- 랩핑기에서 출하 대기장까지의 지게차 이송은 흐름 연결로, 출하 대기장은 입고 즉시 반출로 반영했다.
- 충전기 증설은 충전 능력 2배(병당 0.43초)로 반영했다. 2대 병렬 운전의 합산 능력과 같으며, 늘린 능력이 출하에 반영되는 상한을 보는 조건이다.
- 각 조건은 같은 난수 조건 5가지로 반복해 시나리오 간 차이가 난수가 아닌 조건 차이에서 나오도록 했다.

부록. 근거 실행 목록

설계 트윈: Intro-03 가상 공장 B (06825675-8be7-4389-9541-88e01d39ee85). 모든 실행은 실행 시간 24시간, 정상 완료. 같은 반복 번호끼리는 같은 난수 조건입니다.

실행 이름	실행 GUID	조건	반복	출하(팔레트)
03-base-r1	6d22fde3-8f10-488b-91bc-ff6a7f8af322	현재(충전기 0.85초/병, CV-04 600 mm/s, CV-05 1.5 m)	1	165
03-base-r2	62b7acb4-0924-4526-9b1e-1841a5ab9566	현재(충전기 0.85초/병, CV-04 600 mm/s, CV-05 1.5 m)	2	165
03-base-r3	88f47b1d-b853-47af-bd02-d893b9b4a65d	현재(충전기 0.85초/병, CV-04 600 mm/s, CV-05 1.5 m)	3	166
03-base-r4	577e4fd3-2629-474c-ae5e-ff5e5616a927	현재(충전기 0.85초/병, CV-04 600 mm/s, CV-05 1.5 m)	4	165
03-base-r5	a9e97af0-2f79-49b1-9ade-fcdc6d7410e1	현재(충전기 0.85초/병, CV-04 600 mm/s, CV-05 1.5 m)	5	165
03-pre-r1	a49a56a2-2040-4bcf-83f1-a09f9a612663	변경 전 조건(충전기 1.00초/병)	1	165
03-pre-r2	bff68d23-8a90-4817-8799-b61ea2d97345	변경 전 조건(충전기 1.00초/병)	2	165
03-pre-r3	450f0ecc-4f13-4a34-8833-0e6b4d181661	변경 전 조건(충전기 1.00초/병)	3	165
03-pre-r4	32c08650-0c4f-49be-9a3d-fb065593cf47	변경 전 조건(충전기 1.00초/병)	4	166
03-pre-r5	57328e15-7bdc-44e2-b601-6af80dd93fb3	변경 전 조건(충전기 1.00초/병)	5	165
03-fil2-r1	4a66d934-4d1f-4780-888d-6038f6cc8f34	fil2 충전기 증설(충전기 0.43초/병(능력 2배))	1	165
03-fil2-r2	cd3b1b1d-2427-460e-82a5-d6d69e2886f1	fil2 충전기 증설(충전기 0.43초/병(능력 2배))	2	165
03-fil2-r3	270e0258-4bf1-44cc-9dd0-db8b96437e83	fil2 충전기 증설(충전기 0.43초/병(능력 2배))	3	166
03-fil2-r4	27a630fd-203c-48a3-8c46-5e80878cf700	fil2 충전기 증설(충전기 0.43초/병(능력 2배))	4	165
03-fil2-r5	d1a20b11-f744-4bcc-9ec5-b444fead4e5d	fil2 충전기 증설(충전기 0.43초/병(능력 2배))	5	165
03-cv4-r1	8b66099f-1cb0-4ae9-94cc-36277ba15394	cv4 인피드 증속(CV-04 1,200 mm/s)	1	173
03-cv4-r2	5921bb09-92b2-4bae-afa8-cc8c30a9dcb6	cv4 인피드 증속(CV-04 1,200 mm/s)	2	173
03-cv4-r3	5a79d0ec-0484-4ddb-b9c2-d5ce6232bbae	cv4 인피드 증속(CV-04 1,200 mm/s)	3	173
03-cv4-r4	386afae9-90a3-462f-8151-70ff4be4e2ba	cv4 인피드 증속(CV-04 1,200 mm/s)	4	172
03-cv4-r5	1cf4a430-707d-4a12-b95d-acd6eff5a999	cv4 인피드 증속(CV-04 1,200 mm/s)	5	173
03-cv5-r1	ce6ee424-bd03-4fb6-9a4d-8823012e6402	cv5 CV-05 연장(셀 동쪽 3 m 이전, CV-05 4.5 m)	1	172
03-cv5-r2	e6f1d453-fdac-4a15-bbf0-8b18e1ff50cb	cv5 CV-05 연장(셀 동쪽 3 m 이전, CV-05 4.5 m)	2	172
03-cv5-r3	d62cc20f-d71b-42c8-9c63-3d3910603d91	cv5 CV-05 연장(셀 동쪽 3 m 이전, CV-05 4.5 m)	3	173
03-cv5-r4	217a6624-4644-4643-98c6-627955c320a3	cv5 CV-05 연장(셀 동쪽 3 m 이전, CV-05 4.5 m)	4	172
03-cv5-r5	d376f1c8-d8a2-4d69-a1a2-31f27489cc20	cv5 CV-05 연장(셀 동쪽 3 m 이전, CV-05 4.5 m)	5	172
03-cmb-r1	cebed8d9-0989-43dc-80d1-8552098330ad	cmb 조합(cv4 + cv5 (권고안))	1	182
03-cmb-r2	b2100ab0-b511-4486-91b4-b318374a55bd	cmb 조합(cv4 + cv5 (권고안))	2	181
03-cmb-r3	661cfc77-a21f-450d-8aff-f6e178a3998b	cmb 조합(cv4 + cv5 (권고안))	3	181
03-cmb-r4	1ecb7546-7217-40f1-af87-874ccadecc3a	cmb 조합(cv4 + cv5 (권고안))	4	181
03-cmb-r5	9e79cc8b-1ecc-451d-9d00-a00c72269371	cmb 조합(cv4 + cv5 (권고안))	5	182