디지털 트윈 시뮬레이션 기반 의사결정 보고서

# 가상 공장 D 배터리 팩 조립동 2라인 증설 검토와 최소 투자 구성

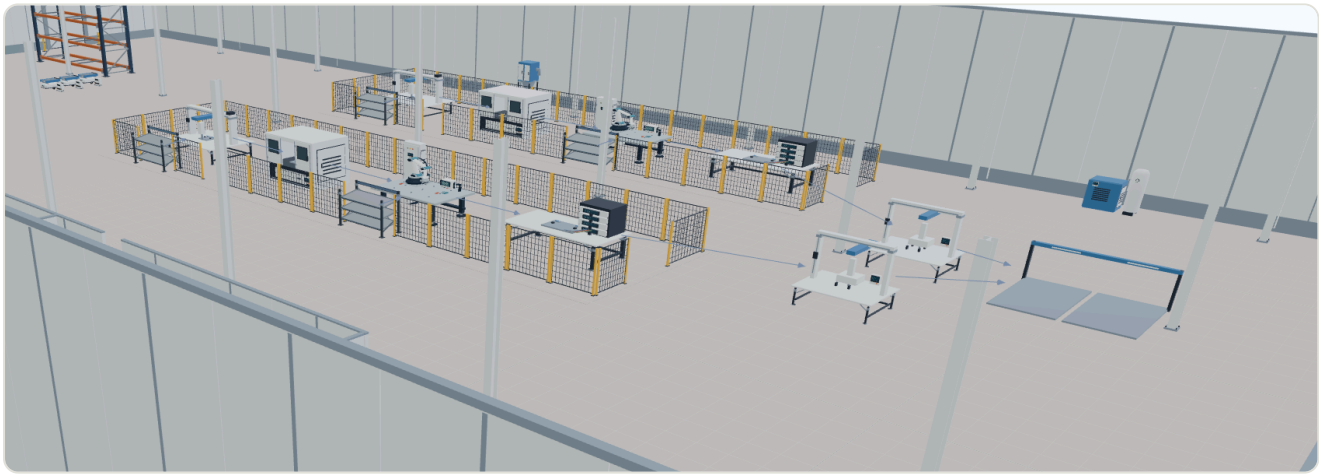
2라인만 지으면 하루 2,100팩이 나오는가 — 공용 자원 부하 진단과 대안 비교

수신 가상 공장 D 경영진, 생산 책임자, 설비투자 책임자
작성 N-XI 디지털 트윈 분석
작성일 2026-10-15

계획대로 2라인만 신설할 때 일 양품 출하
**1,573팩**
목표 2,100팩의 75% (5회 평균)

권고안 일 양품 출하
**2,245팩**
목표의 106.9%, 5회 모두 2,100팩 이상 (최소 2,236팩)

계획 대비 추가 설비
**+2대**
포장 셀 1대 + AGV 1대(지금과 같은 모델). AGV는 예비 충전 도크 사용



N-XI로 구축한 가상 공장 D 디지털 트윈(3D, 권고안 상태, 건물 90 m × 50 m). 안전펜스 안의 두 조립 라인(1라인과, 1라인을 복제해 만든 2라인)에서 나온 팩이 오른쪽 포장 셀 2대를 거쳐 출하 대기장으로 갑니다. 왼쪽 위는 중앙 자재창고와 AGV입니다.

# 1. 요약

**계획대로 2라인만 신설하면 하루 양품 출하는 1,573팩으로 목표 2,100팩의 75%에 그칩니다.** 두 라인이 함께 쓰기로 한 최종 포장 셀과 AGV 2대가 두 라인을 합친 물량을 처리하지 못하기 때문입니다. 지금의 가동률(포장 셀 72%, AGV 60%)은 1라인 하나의 부하이고, 2라인이 생기면 이 부하가 두 배가 됩니다.

2라인 신설에 더해 **최종 포장 셀 1대와 AGV 1대를 지금과 같은 모델로 추가하면 하루 양품 출하가 2,245팩(목표 대비 106.9%)이 되고, 5회 반복 모두 목표를 넘습니다(최소 2,236팩).** 포장 셀만 늘리거나 AGV만 늘리는 안은 둘 다 목표에 못 미칩니다. 따라서 2라인 + 포장 셀 1대 + AGV 1대가 목표를 채우는 가장 작은 구성입니다. 추가 AGV는 이미 설치된 예비 충전 도크(CD-03)를 쓰므로 충전 설비를 따로 늘리지 않아도 됩니다.

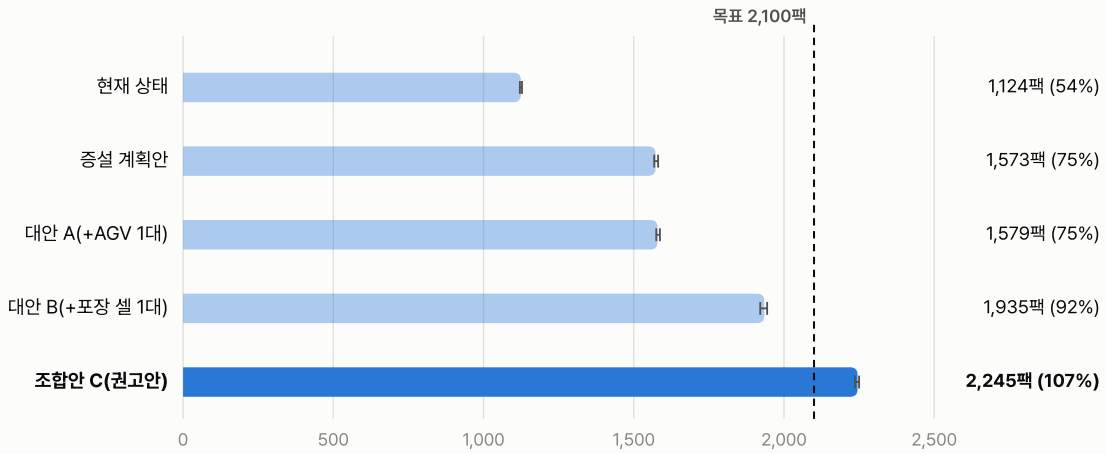
일 양품 출하
**1,124 → 2,245**
팩, 현재 상태 → 권고안(5회 평균)
증설 계획안 그대로는 1,573팩

계획안의 포장 셀 가동
**98.8%**
포장 셀 1대로 두 라인을 받을 때
두 라인 공정이 시간의 35% 동안 배출 막힘

포장 셀만 늘릴 때 AGV 운행
**100%**
AGV 2대, 쉬는 시간 없음
라인사이드 랙이 시간의 13.0% 동안 빔 → 1,935팩

권고안 추가 설비
**포장 셀 1 · AGV 1**
대, 계획서 예산 항목에 더해
AGV만 늘리면 1,579팩 (목표의 75%)

**그림 1. 시나리오별 일 양품 출하(팩/일, 24시간 × 5회 평균, 수염은 최소~최대)**




권고안(조합안 C)만 5회 모두 목표선(2,100팩)을 넘습니다. AGV만 더한 대안 A는 계획안과 거의 같고, 포장 셀만 더한 대안 B는 목표의 92%에서 멈춥니다.

# 2. 요청 배경과 판단 기준

## 2.1 요청 배경

가상 공장 D는 1라인을 24시간 가동해 전기자전거 배터리 팩(48V 17.5Ah)을 하루 약 1,130팩 출하하고 있습니다. 다음 분기 신규 공급 계약으로 하루 2,100팩(양품)이 필요해져, 1라인과 같은 설비로 2라인을 남쪽 예비 구역에 신설할 계획입니다. 증설 계획서는 중앙 자재창고, AGV 2대, 최종 포장 셀, 출하 대기장을 지금 가동률에 여유가 있다는 이유로 두 라인이 함께 쓰도록 했고, 자재 입고 계약만 2라인 기준으로 늘리도록 했습니다.

이 보고서는 다음 세 질문에 답합니다.

1. 계획대로 2라인만 지으면 하루 2,100팩이 나오는가?
2. 부족하다면 무엇을 얼마나 더 갖춰야 하는가?
3. 투자가 가장 적은 구성은 무엇인가?

## 2.2 판단 기준

| 기준 | 내용 |
|---|---|
| 생산 목표 | 하루 **양품 출하** 2,100팩 이상. 충방전 검사 불합격 팩(NG 상자 포장 후 출하 대기장 NG 칸)은 출하 실적에서 뺀다 |
| 판정 방식 | 같은 조건으로 24시간 시뮬레이션을 같은 난수 조건 5가지로 5회 반복해, **5회 중 가장 낮은 값도 2,100팩 이상**이면 충족으로 본다 |
| 투자 비교 | 설비 금액·투자비 자료가 없으므로 **추가 설비 대수**로 비교한다 |
| 추가 설비 범위 | 제공 자료에 있는 설비 사양(같은 모델 추가)만 검토한다 |
| 운영 조건 | 현행 운영을 유지한다: 24시간 3교대(교대 시 정지 없음), 라인사이드 보충 규칙(8트레이 이하 → 16트레이까지), 증설 후 입고 계약(2시간마다 216트레이) |

# 3. 데이터 분석 결과 — 운영 데이터로 본 현재 상태

## 3.1 생산 실적(2026-09-30~10-13, 14일)

| 항목 | 일 평균 | 일 범위 |
|---|---|---|
| 투입(셀 모듈 적층 시작) | 1,144.7팩 | 1,141~1,149 |
| 충방전 검사 합격 | 1,134.2팩 | 1,129~1,139 |
| 충방전 검사 불합격 | 10.5팩(불합격률 0.917%) | 7~18 |
| 최종 포장(PK-01) | 1,144.6팩 | 1,140~1,149 |
| **출하(양품)** | **1,134.1팩** | 1,129~1,140 |

현재 일 필요량 1,100팩 대비 103% 수준으로 안정적이며, 일별 변동은 ±0.5% 안팎입니다. 설비 비가동 기록(5분 이상 정지)은 2주 동안 한 건도 없습니다.

### 3.2 공정 사이클(설비별 무작위 400건, 최근 1주)

| 설비 | 기준 C/T | 실측 평균 | 표준편차 | 95% 값 | 하루 최대 처리량<br>86,400초 ÷ 평균 |
|---|---|---|---|---|---|
| L1-01 셀 모듈 적층기 | 70초 | 70.06초 | 5.01초 | 78.5초 | 1,233팩 |
| L1-02 레이저 용접기 | 66초 | 66.25초 | 4.00초 | 73.1초 | 1,304팩 |
| **L1-03 BMS·하우징 조립 셀** | 74초 | **74.31초** | 6.45초 | 85.8초 | **1,163팩** |
| L1-04 충방전 검사기 | 68초 | 67.93초 | 4.64초 | 75.9초 | 1,272팩 |
| PK-01 최종 포장 셀 | 54초 | 53.83초 | 4.03초 | 60.9초 | 1,605팩 |

- 라인 속도는 가장 느린 BMS·하우징 조립 셀(L1-03)이 정합니다. 실제 투입 1,145팩은 L1-03 한계(1,163팩)의 98%로, 1라인은 이미 최대 능력에 가깝게 돌고 있습니다.
- 라인 안 설비 사이에는 대기 공간이 없어(앞 설비가 비어야 넘김) 사이클 편차가 그대로 앞 설비의 대기 시간이 됩니다.

### 3.3 최종 포장 셀(PK-01) 가동 기록

하루 포장 가동 1,030분(가동률 71.5%), 투입 대기 410분, 배출 대기 0분입니다. 포장 1팩당 가동 시간은 54.0초로 사이클 실측과 같습니다. 포장 셀은 하루 최대 약 1,605팩을 처리할 수 있고, 불합격 팩도 포장 셀을 거치므로 양품과 불합격 팩을 합친 검사 완료 수량을 처리해야 합니다.

### 3.4 AGV 보충 운반 이력(14일, 8,012회)

| 항목 | 값 |
|---|---|
| 운반 1회 수량 | 모두 4트레이(롤러 4칸 만재) |
| 보충 요청 | 4,006건, 모두 8트레이(랙 8트레이 이하 → 16트레이까지). AGV 2대가 4트레이씩 나눠 동시에 운반 |
| 요청 대기 | 모든 요청이 0초에 배차(AGV를 기다린 요청 없음) |
| 대당 하루 운반 | 285~288회 |
| 대당 운행 시간 비율 | 59.0~60.2%(배차~복귀 기준) |
| 배차~하역 완료 | 셀 키트 123~125초, 하우징·BMS 키트 145~171초, 전체 평균 139.1초 |

### 3.5 증설 후 공용 자원 부하 — 계획서 판단의 재검토

증설 계획서는 포장 셀 72%, AGV 60%라는 **지금의 1라인 부하**를 보고 여유가 있다고 판단했습니다. 2라인이 같은 속도로 돌면 두 자원의 일은 두 배가 됩니다.

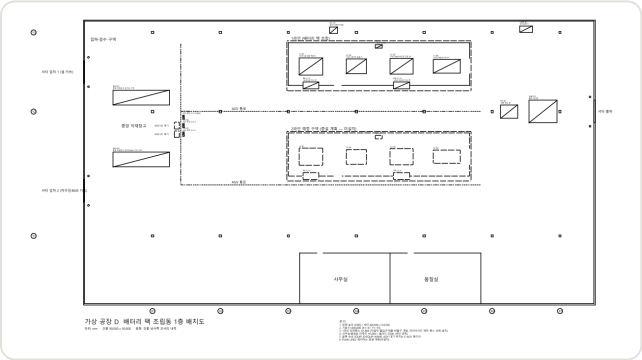
| 공용 자원 | 지금(1라인) | 2라인 합산 부하(단순 2배) | 판단 |
|---|---|---|---|
| 최종 포장 셀 PK-01 | 하루 약 1,145팩 × 53.8초 = 가동 약 71%(실측 71.5%) | 약 2,290팩 × 53.8초 = 하루 시간의 **143%** | 1대로는 처리 불가 |
| AGV 2대 | 운행 합계 약 102,800초/일(대당 60%) | 약 205,700초/일 → 2대 기준 **119%**, 3대 기준 79% | 2대로는 처리 불가 |
| 자재 입고 | 일 1,296트레이(소비의 113%) | 증설 후 일 2,592트레이(2라인 소비 약 2,290의 113%) | 충분 |
| 중앙 자재창고 | 구역별 3,000트레이 | 입고분 즉시 출고 가능 | 충분 |

단순 계산만으로도 포장 셀과 AGV가 모자랍니다. 다만 두 자원은 서로 영향을 주고(포장 셀이 막히면 라인이 멈춰 AGV 수요도 줄어듦), AGV 운반 시간은 경로와 배차 순서에 따라 달라집니다. 실제로 얼마가 나오고 무엇을 몇 대 더해야 하는지는 디지털 트윈 시뮬레이션으로 확인했습니다.

# 4. 디지털 트윈 구축 요약

## 4.1 규모

| 구분 | 내용 |
|---|---|
| 디지털 트윈 | N-XI 설계 트윈 “Intro-05 가상 공장 D”(상위 디지털 트윈 “N-XI Intro”, 식별자는 부록 A) |
| 리소스 | 161개(권고안 적용 상태). 건축·안전 요소 66(바닥, 외벽 26패널, 셔터 3과 상부 벽 3, 기둥 21, 사무실·품질실 칸막이 6, 볼라드 6), 1라인 그룹 41, 2라인 그룹 41, 공용 설비·창고·부대설비·AGV 11, 권고안 추가 2(포장 셀 PK-02, AGV-03) |
| 시뮬레이션 역할 | 공정 10, 저장소 7, 운반 3. 나머지는 시뮬레이션에 참여하지 않는 건축·부대 요소 |
| 품목·BOM | 품목 7종(셀 키트, 하우징·BMS 키트, 셀 모듈 스택, 용접 모듈, 배터리 팩(조립), 검사 완료 팩, 완제품 배터리 팩), BOM 6행 |
| 흐름 연결 | 14개(권고안 기준). 라인마다 랙 → 적층 → 용접 → 조립 ← 랙, 조립 → 검사 → 포장 셀 → 출하 대기장 |



고객 배치 도면(01_도면_layout.dxf)



N-XI 트윈 평면(권고안 상태)

그림 2. 설비팀 도면(왼쪽)과 같은 좌표·치수로 구축한 디지털 트윈 평면(오른쪽). 도면에서 점선으로 그려진 2라인 예정 구역에 1라인을 복제한 2라인이 들어섰고, 오른쪽에 포장 셀 2대(기존 PK-01, 추가 PK-02)와 출하 대기장이 있습니다. 선은 랙 → 공정 → 포장 셀 → 출하 대기장으로 이어지는 흐름입니다.

## 4.2 반영한 데이터

| 자료 | 트윈에 반영한 내용 |
|---|---|
| 01 도면(DXF) | 설비 중심 좌표 그대로 배치. 외벽·셔터·기둥 격자(X1~X7 × Y1~Y3)·칸막이·안전펜스(H1,800, 진입구·랙 자리·반출구 개방)·볼라드, AGV 대기 위치 |
| 02 설비기준정보 | 설비·저장소 크기, 유형에 맞는 설비 모델(갠트리 적층 셀, 레이저 용접 캐비닛, 협동로봇 조립 셀, 충방전·기능검사기, 케이스 포장기, 라인사이드 부품 랙, 팔레트 랙, 출하 대기장, 롤러 탑재형 AMR), 랙 용량 24트레이, 창고 용량 3,000트레이 |
| 03 공정정보 | 라우팅과 투입·산출 품목, 설비 간 직접 이송(대기 공간 없음), 불합격 팩도 포장 후 출하 대기장 |
| 04 품목마스터·05 BOM | 품목 코드·치수·중량, BOM 구조 |
| 06 물류기준 | AGV 속도 800 mm/s·4트레이·적재/하역 43초·대기 위치, 보충 규칙 8→16트레이, 창고 구역, 입고 계약(현행 108트레이·증설 후 216트레이, 2시간 간격) |
| 07 운영데이터 | 공정 시간(평균·표준편차), 불합격률 0.917%, 모델 검증 기준값(출하·포장 가동·AGV 운반) |
| 08 증설계획서 | 2라인 배치(1라인을 Y −16,000 mm 평행 이동), 공용 자원 구성, 입고 계약 변경 |

## 4.3 2라인 증설안을 트윈에서 만든 방법 — 1라인 그룹 복제

1. 1라인의 설비 4대, 라인사이드 랙 2개, 제어반, 안전펜스 33모듈을 바닥 구획판 “1라인 구역” 아래 하나의 그룹으로 묶었습니다. 구획판은 바닥면보다 낮게 깔아 AGV 경로를 막지 않습니다.
2. 이 그룹을 Y 방향 −16,000 mm로 한 번에 복제해 2라인을 만들었습니다. 설비·랙·펜스 41개와 라인 안 흐름 연결 5개가 함께 복제되었고, 위치는 도면의 2라인 예정 윤곽·증설 계획서의 배치 좌표와 일치합니다.
3. 라인 밖 공용 설비로 이어지는 연결(검사기 → 포장 셀)은 복제 대상 밖이므로 직접 연결했고, 입고 계약을 2시간마다 216트레이로 바꿨습니다.
4. 대안은 같은 모델의 포장 셀(PK-02)과 AGV(AGV-03)를 더하고 빼는 방식으로 만들었습니다. 각 실행은 시작 시점의 트윈을 그대로 저장하므로, 시나리오 간 차이는 6.1의 표에 적은 변경뿐입니다.

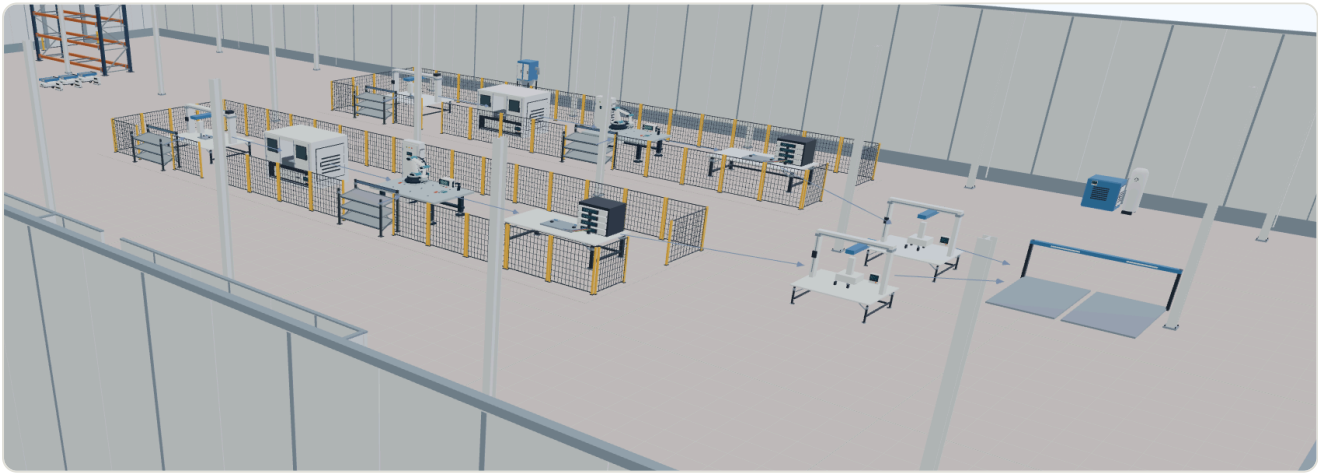


그림 3. 트윈 3D 화면(권고안 상태). 설비·라인사이드 랙·제어반·안전펜스로 이루어진 1라인 묶음을 그대로 복제해, 같은 구성의 2라인을 도면의 예정 구역에 놓았습니다. 두 라인의 검사기는 각각 포장 셀(PK-01, PK-02)로 이어집니다.

### 4.4 모델 검증 — 현재 상태 재현

현재 상태(1라인) 트윈을 24시간 × 5회 실행해 운영 실적과 비교했습니다.

| 지표 | 운영 실적(14일) | 트윈(5회 평균, 범위) | 차이 |
|---|---|---|---|
| 투입(셀 모듈 적층 시작) | 1,144.7팩 | 1,136.6(1,135.0~1,139.0) | −0.7% |
| 충방전 검사 완료 | 1,144.7팩 | 1,132.6(1,131.0~1,135.0) | −1.1% |
| 양품 출하 | 1,134.1팩 | 1,124.4(1,121.0~1,128.0) | −0.9% |
| 불합격 | 10.5팩(7~18) | 7.6(2.0~11.0) | 평균이 실적 일 범위 안 (회차별 편차 큼) |
| 포장 셀 가동률 | 71.5% | 70.7%(70.3~71.0) | −0.8%p |
| AGV 대당 운반(회/일) | 286회 | 286.2(286.0~287.0) | 일치 |
| AGV 운행 시간 비율 | 59.5% | 59.2%(59.1~59.4) | −0.3%p |
| AGV 운반 1건 평균 시간 | 139.1초(배차~하역 완료) | 138.8(138.4~138.9)초 | 일치 |
| 라인사이드 랙 보충 | 요청당 8트레이, 2대 동시 배차 | 요청당 8트레이(4+4) | 일치 |

트윈은 현재 공장의 출하량, 포장 셀 가동, AGV 운반 패턴을 1% 안쪽으로 재현합니다. 출하가 실적보다 약 10팩 적은 것은 트윈이 빈 공장에서 시작해 처음 2~7분은 랙을 채우고 처음 5분 남짓은 라인을 채우기 때문입니다(실제 공장은 전날 재공을 안고 06:00을 맞음). 이 차이는 모든 시나리오에 똑같이 들어가므로 시나리오 비교에는 영향이 없습니다.

# 5. 현재 상태와 증설 계획 검증

## 5.1 현재 상태(1라인)

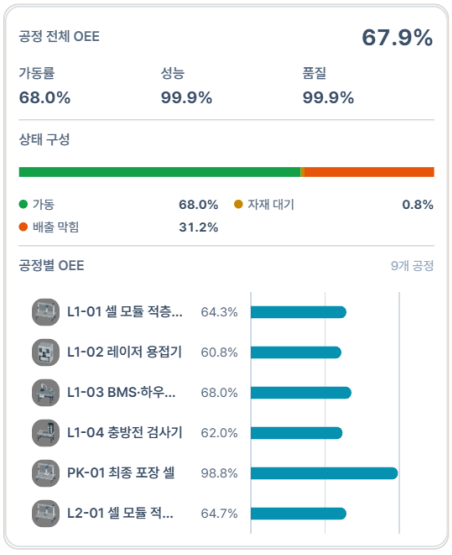
- 하루 양품 출하 1,124팩. BMS·하우징 조립 셀(L1-03)이 시간의 97.6%를 가동하며 라인 속도를 정합니다. 앞 공정인 셀 모듈 적층기(L1-01)는 7.6%의 시간 동안 뒤 공정을 기다리며 막혀 있습니다.
- 포장 셀은 70.7% 가동하고 29.3%는 검사 완료 팩을 기다립니다. AGV는 대당 59.2% 운행합니다. 라인사이드 랙이 빈 시간은 시작 직후 첫 채움 1회뿐입니다.

## 5.2 증설 계획안(2라인 신설, 공용 자원 그대로)

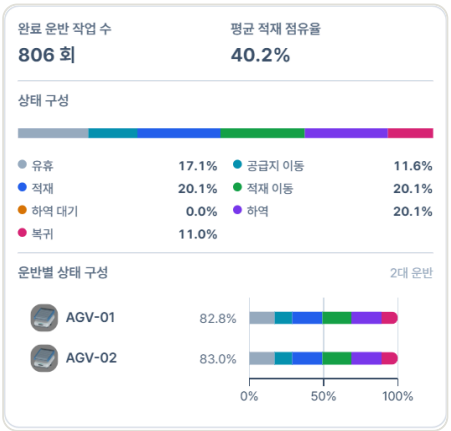
| 지표(5회 평균, 범위) | 현재 상태 | 증설 계획안 |
|---|---|---|
| 일 양품 출하 | 1,124(1,121~1,128) | **1,573(1,568~1,581)** · 목표의 74.9% |
| 1라인 검사 완료 | 1,133(1,131~1,135) | 791(789~792) |
| 2라인 검사 완료 | – | 796(795~797) |
| 포장 셀 PK-01 가동 | 70.7% | **98.8%** |
| 라인 공정 배출 막힘(4대 평균) | 1라인 5.0% | 1라인 35.2% · 2라인 35.2% |
| AGV 운행 시간 비율 | 59.2% | 83.8% |

**원인 1 — 최종 포장 셀이 첫 번째 병목입니다.** 포장 셀은 하루 시간의 98.8%를 쉬지 않고 포장해도 약 1,600팩이 한계이고, 그 안에는 불합격 팩도 들어 있습니다. 두 라인의 검사기는 포장 셀이 빌 때까지 다음 팩을 넘기지 못하고, 라인 안에 대기 공간이 없으므로 이 대기가 조립·용접·적층기까지 거슬러 올라가 두 라인 공정이 평균 약 35%의 시간 동안 멈춥니다. 그 결과 라인당 출력이 약 790~800팩으로 현재 1라인 단독(1,133팩)보다 30% 줄고, 2라인 신설로 늘어나는 출하는 약 448팩에 그칩니다.

**원인 2 — AGV는 겉으로 여유가 있어 보이지만 숨은 병목입니다.** 계획안에서 AGV 운행은 84%로 아직 한계에 이르지 않았습니다. 포장 셀 때문에 두 라인이 원래 속도의 70%로만 돌아 자재 수요가 줄었기 때문입니다. 포장 셀을 풀어 두 라인이 제 속도를 내면 AGV 2대가 포화됩니다(6장 대안 B).




공정 카드




운반(AGV) 카드

그림 4. 증설 계획안 1회차 실행의 N-XI 분석 화면. 공정 카드(왼쪽)에서 공정 9대를 합친 시간의 31.2%가 배출 막힘(주황)이고, 포장 셀 PK-01의 설비종합효율은 98.8%로 포화 상태입니다. 운반 카드(오른쪽)에서 AGV 2대는 하루 806회를 운반하며 유휴가 17.1%입니다.

# 6. 대안 설계와 시뮬레이션 비교

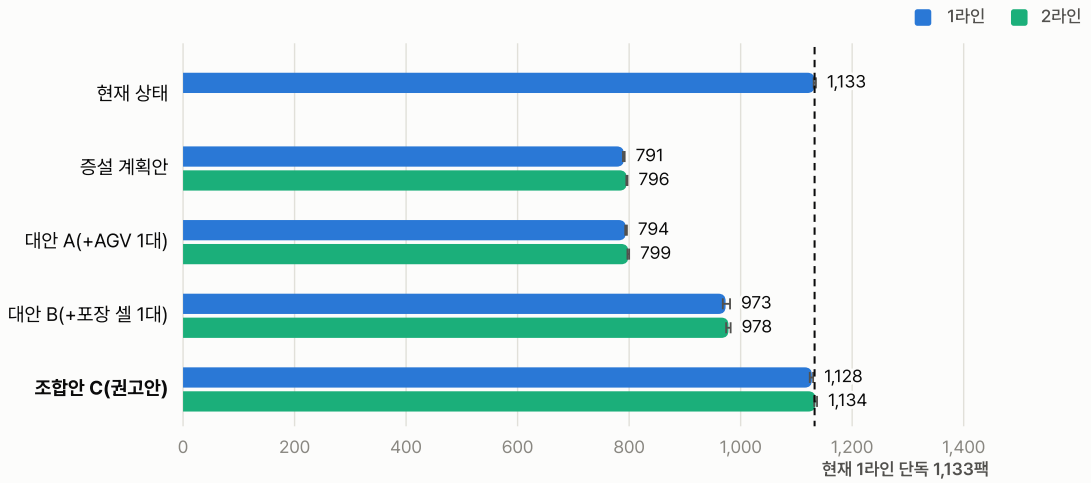
## 6.1 시나리오

진단 결과 병목이 두 개(포장 셀 → AGV) 겹쳐 있어, 각각을 풀었을 때와 함께 풀었을 때를 비교했습니다. 모든 시나리오는 같은 난수 조건 5가지로 24시간씩 5회 실행했습니다.

| 시나리오(실행 이름) | 바꾼 내용(대안은 증설 계획안에 더한 것) | 추가 설비 |
|---|---|---|
| 현재 상태(05-base) | 1라인, AGV 2대, 포장 셀 1대, 입고 2시간마다 108트레이 | – |
| 증설 계획안(05-plan) | 2라인 신설(1라인 그룹 복제, Y −16,000 mm), 2라인 검사기 → PK-01 연결, 입고 2시간마다 216트레이 | 2라인 설비 일체 |
| 대안 A(05-agv3) | AGV-03 추가(롤러 탑재형 AMR, 800 mm/s·4트레이·적재/하역 43초, 예비 충전 도크 CD-03 앞 대기) | AGV 1대 |
| 대안 B(05-pk2) | PK-02 추가(케이스 포장기, PK-01과 같은 사이클 53.83±4.03초, 2라인 반출구 동쪽). 2라인 검사기 → PK-02 → 출하 대기장으로 연결 변경 | 포장 셀 1대 |
| **조합안 C(05-pk2agv3)** | PK-02 + AGV-03 | **포장 셀 1대, AGV 1대** |

## 6.2 KPI 비교

**그림 5. 시나리오별 라인 출력(충방전 검사 완료, 팩/일, 5회 평균, 수염은 최소~최대)**

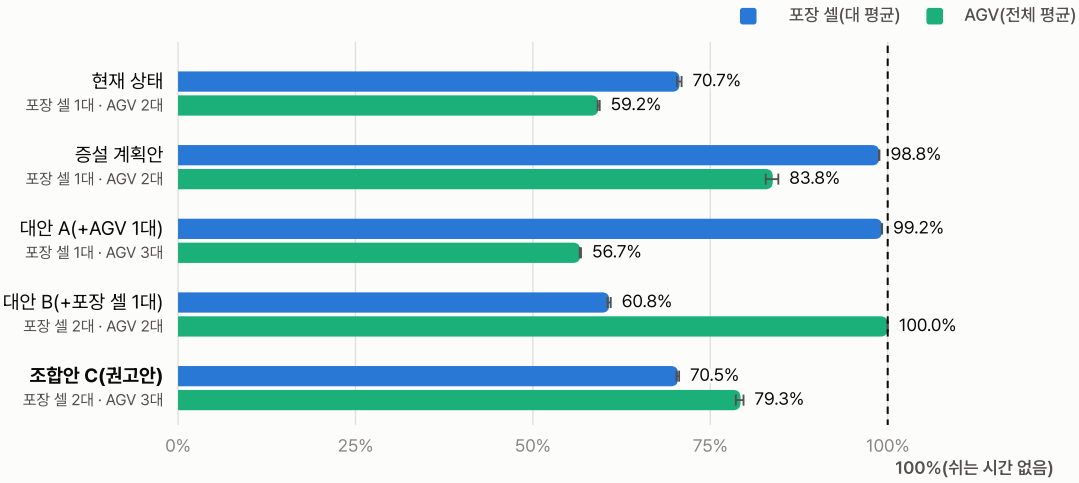



포장 셀이 1대인 계획안·대안 A에서는 두 라인 모두 약 790~800팩에 묶이고, 대안 B는 약 970~980팩, 조합안 C에서 비로소 두 라인이 현재 1라인 단독 수준(점선)을 냅니다.

### 시나리오별 핵심 지표(5회 평균, 아래는 최소~최대)

| 지표(5회 평균, 아래는 최소~최대) | 현재 상태 | 증설 계획안 | 대안 A<br>+AGV 1대 | 대안 B<br>+포장 셀 1대 | 조합안 C<br>권고안 |
|---|---|---|---|---|---|
| 일 양품 출하(팩) | **1,124**<br>1,121~1,128 | **1,573**<br>1,568~1,581 | **1,579**<br>1,575~1,587 | **1,935**<br>1,921~1,944 | **2,245**<br>2,236~2,250 |
| 목표 2,100팩 대비 | **53.5%**<br>53.4~53.7 | **74.9%**<br>74.7~75.3 | **75.2%**<br>75.0~75.6 | **92.1%**<br>91.5~92.6 | **106.9%**<br>106.5~107.1 |
| 불합격 출하(팩) | 7.6<br>2.0~11.0 | 11.4<br>4.0~14.0 | 11.4<br>4.0~14.0 | 16.0<br>9.0~27.0 | 16.2<br>13.0~19.0 |
| 1라인 검사 완료(팩) | 1,133<br>1,131~1,135 | 791<br>789~792 | 794<br>793~796 | 973<br>968~981 | 1,128<br>1,124~1,130 |
| 2라인 검사 완료(팩) | – | 796<br>795~797 | 799<br>797~800 | 978<br>974~982 | 1,134<br>1,132~1,137 |
| 포장 셀 PK-01 가동 | 70.7%<br>70.3~71.0 | 98.8%<br>98.8~98.8 | 99.2%<br>99.2~99.2 | 60.6%<br>60.3~60.9 | 70.3%<br>70.0~70.6 |
| 포장 셀 PK-02 가동 | – | – | – | 60.9%<br>60.6~61.1 | 70.6%<br>70.4~71.0 |
| AGV 대수 | 2대 | 2대 | 3대 | 2대 | 3대 |
| AGV 운반 작업(회/일, 합계) | 572<br>572~574 | 806<br>806~808 | 810<br>809~812 | 984 | 1,144<br>1,140~1,146 |
| AGV 운행 시간 비율(대 평균) | 59.2%<br>59.1~59.4 | 83.8%<br>82.8~84.6 | 56.7%<br>56.6~56.8 | 100.0% | 79.3%<br>78.6~79.7 |
| AGV 운반 1건 평균 시간(초, 작업 수 가중) | 138.8<br>138.4~138.9 | 148.0<br>143.8~154.1 | 139.2<br>139.2~139.3 | 175.4<br>175.4~175.5 | 147.7<br>145.6~152.2 |
| 라인사이드 랙 재고 0 시간 비율(4개 평균) | 0.33% | 0.74% | 0.49% | 12.98%<br>12.68~13.43 | 0.49% |
| 라인사이드 랙 재고 0 시간 비율(최대 랙) | 0.51% | 1.35% | 0.93% | 14.33%<br>13.42~15.17 | 0.93% |
| 중앙창고 종료 재고(트레이, WH-01) | 257<br>252~260 | 1,190<br>1,184~1,192 | 1,184 | 836<br>832~840 | 516<br>512~528 |
| 중앙창고 종료 재고(트레이, WH-02) | 258<br>252~260 | 1,195<br>1,192~1,200 | 1,187<br>1,184~1,192 | 840 | 521<br>516~528 |

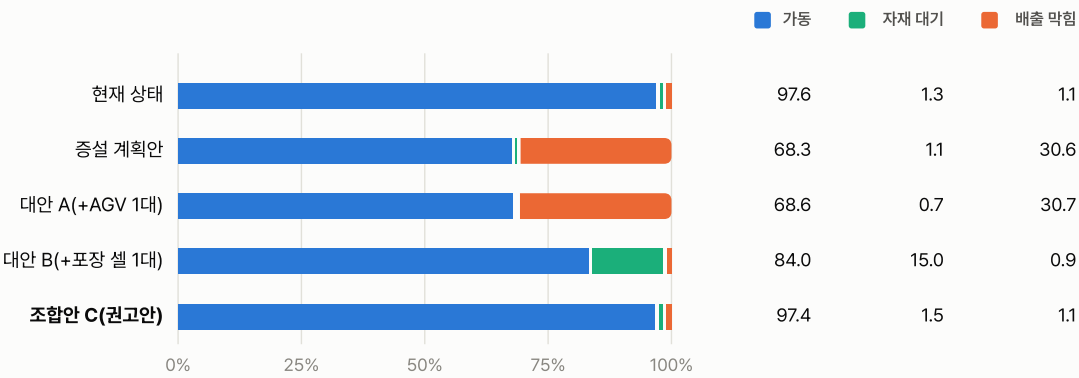
### 그림 6. 시나리오별 공용 자원 가동률(%, 5회 평균, 수염은 최소~최대)




포장 셀은 1대일 때 PK-01, 2대일 때 두 대의 평균 가동률이고, AGV는 전체 대수의 평균 운행 시간 비율(유휴 외)입니다. 계획안·대안 A는 포장 셀이, 대안 B는 AGV가 100% 선에 붙어 출하를 묶습니다.

## 6.3 공정·AGV 상태

### 그림 7. 라인 병목 공정(BMS·하우징 조립 셀)의 상태 구성(%, 1·2라인 평균, 5회 평균)

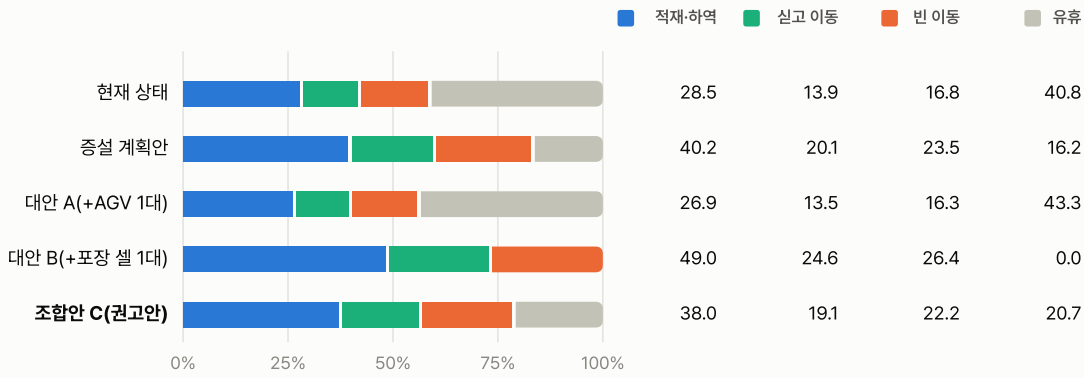



계획안·대안 A에서는 조립 셀이 시간의 약 31%를 포장 셀 대기로 막히고(배출 막힘), 대안 B에서는 약 15%를 AGV가 늦게 채우는 키트를 기다립니다(자재 대기). 조합안 C는 현재 상태와 같은 약 97% 가동으로 돌아옵니다.

### 공정 상태 구성(5회 평균)

| 시나리오 | 대상 | 가동 | 배출 막힘<br>뒤 공정 대기 | 자재 대기<br>자재·앞 공정 대기 |
|---|---|---|---|---|
| **현재 상태** | 1라인 공정 4대 평균 | 91.5% | 5.0% | 3.6% |
| | 포장 셀 PK-01 | 70.7% | 0.0% | 29.3% |
| **증설 계획안** | 1라인 공정 4대 평균 | 63.9% | 35.2% | 1.0% |
| | 2라인 공정 4대 평균 | 64.3% | 35.2% | 0.6% |
| | 포장 셀 PK-01 | 98.8% | 0.0% | 1.2% |
| **대안 A(+AGV 1대)** | 1라인 공정 4대 평균 | 64.1% | 35.2% | 0.7% |
| | 2라인 공정 4대 평균 | 64.5% | 35.1% | 0.4% |
| | 포장 셀 PK-01 | 99.2% | 0.0% | 0.8% |
| **대안 B(+포장 셀 1대)** | 1라인 공정 4대 평균 | 78.5% | 6.6% | 14.9% |
| | 2라인 공정 4대 평균 | 79.0% | 6.7% | 14.4% |
| | 포장 셀 PK-01 | 60.6% | 0.0% | 39.4% |
| | 포장 셀 PK-02 | 60.9% | 0.0% | 39.1% |
| **조합안 C(권고안)** | 1라인 공정 4대 평균 | 91.1% | 5.0% | 3.8% |
| | 2라인 공정 4대 평균 | 91.5% | 5.0% | 3.6% |
| | 포장 셀 PK-01 | 70.3% | 0.0% | 29.7% |
| | 포장 셀 PK-02 | 70.6% | 0.0% | 29.4% |

**그림 8. AGV 상태 구성(%, 대당 평균, 5회 평균)**




빈 이동은 공급처(창고)로 가는 이동과 대기 위치 복귀를 합친 것입니다. 대안 B의 AGV 2대는 유휴 0%로, 대기 위치로 돌아갈 틈 없이 창고와 랙을 오갑니다.

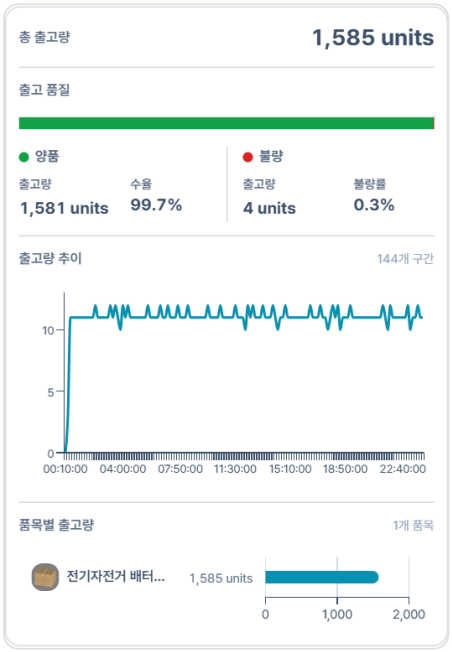
### AGV 상태 구성 세부(대당 평균, 5회 평균)

| 시나리오 | 공급처로 빈 이동 | 적재 | 싣고 이동 | 하역 | 대기 위치 복귀 | 유휴 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 현재 상태 | 3.6% | 14.3% | 13.9% | 14.3% | 13.2% | 40.8% |
| 증설 계획안 | 8.8% | 20.1% | 20.1% | 20.1% | 14.7% | 16.2% |
| 대안 A(+AGV 1대) | 3.2% | 13.5% | 13.5% | 13.4% | 13.1% | 43.3% |
| 대안 B(+포장 셀 1대) | 26.4% | 24.5% | 24.6% | 24.5% | 0.0% | 0.0% |
| 조합안 C(권고안) | 8.2% | 19.0% | 19.1% | 19.0% | 14.0% | 20.7% |

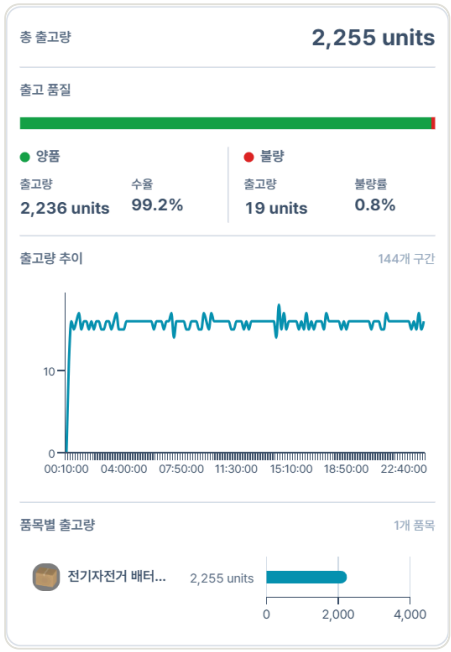
**라인사이드 랙 재고가 0이었던 시간 비율(5회 평균, 아래는 범위와 재고 0 구간 횟수)**

| 시나리오 | RK-L1-C<br>1라인 셀 키트 | RK-L1-H<br>1라인 하우징 키트 | RK-L2-C<br>2라인 셀 키트 | RK-L2-H<br>2라인 하우징 키트 |
|---|---|---|---|---|
| 현재 상태 | 0.14%<br>구간 1.0회 | 0.51%<br>구간 1.0회 | – | – |
| 증설 계획안 | 0.54%<br>구간 1.0회 | 1.35%<br>구간 1.0회 | 0.15%<br>구간 1.0회 | 0.90%<br>구간 1.0회 |
| 대안 A(+AGV 1대) | 0.34%<br>구간 1.0회 | 0.93%<br>구간 1.0회 | 0.15%<br>구간 1.0회 | 0.54%<br>구간 1.0회 |
| 대안 B(+포장 셀 1대) | 12.69%<br>(11.40~13.83) 구간 41.6회 | 13.69%<br>(12.26~15.17) 구간 66.0회 | 12.43%<br>(11.75~12.92) 구간 42.6회 | 13.09%<br>(11.19~14.88) 구간 67.0회 |
| 조합안 C(권고안) | 0.34%<br>구간 1.0회 | 0.93%<br>구간 1.0회 | 0.15%<br>구간 1.0회 | 0.54%<br>구간 1.0회 |

모든 시나리오에 시작 직후 첫 채움 구간이 1회 들어 있습니다(현재 상태 약 2~7분, 두 라인 시나리오는 길게는 약 13~20분). 대안 B만 하루 40~70회씩 랙이 비었습니다.

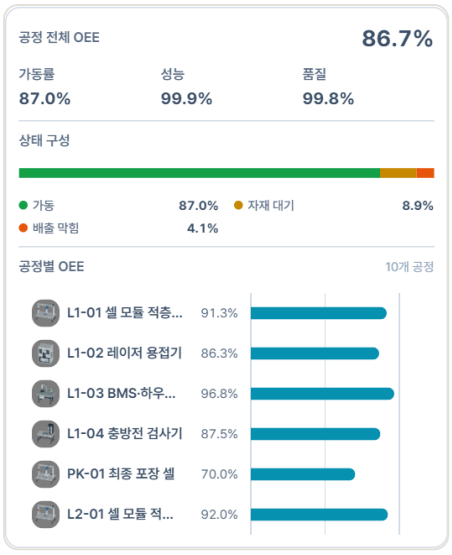



증설 계획안

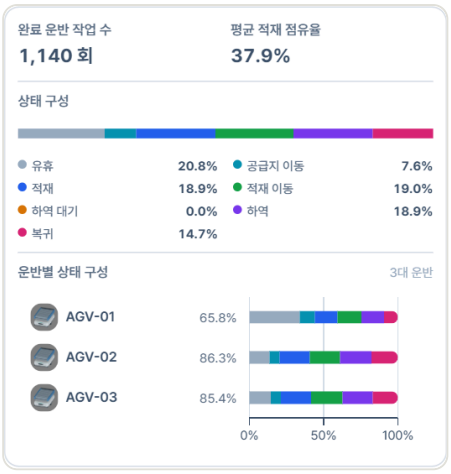



조합안 C(권고안)

그림 9. 출하 카드 비교(각 1회차 실행). 양품 출하가 증설 계획안 1,581팩에서 권고안 2,236팩으로 늘어납니다. 출하량 추이 그래프(10분 구간)도 권고안에서 한 단계 높은 수준으로 유지됩니다. 불합격 출하는 각각 4팩, 19팩입니다.




공정 카드




운반(AGV) 카드

그림 10. 조합안 C(권고안) 1회차 실행의 분석 화면(그림 4의 증설 계획안과 비교). 공정 10대를 합친 배출 막힘이 31.2%에서 4.1%로 줄고, 포장 셀 PK-01의 설비종합효율은 70.0%입니다(공정 카드의 자재 대기에는 포장 셀이 검사 완료 팩을 기다리는 시간이 포함됩니다). AGV 3대는 하루 1,140회를 운반하고 유휴가 20.8%입니다.

## 6.4 해석

- **대안 A(AGV만 추가)는 효과가 없습니다.** 일 양품 출하 1,579팩으로 계획안(1,573팩)과 거의 같습니다. 포장 셀이 여전히 99.2% 가동하며 막혀 있어 AGV를 늘려도 라인이 더 만들 수 없고, AGV 대당 운행만 57%로 내려갑니다.
- **대안 B(포장 셀만 추가)는 목표의 92%까지 다가가지만 미달입니다.** 포장 셀 두 대는 각각 약 61%만 가동해 충분합니다. 반면 AGV 2대는 유휴 없이(100.0%) 운행하면서도 하루 984회(약 3,940트레이, 팩 약 1,970개 분)가 운반 한계입니다. 대기 위치로 돌아갈 틈 없이 다음 작업으로 가므로 공급처로 가는 빈 이동이 26%까지 늘고, 운반 1건 시간이 175초로 길어집니다. 그 결과 라인사이드 랙이 평균 13.0%의 시간 동안 비어, 두 라인 공정이 평균 15% 안팎의 시간을 자재를 기다리며 보냅니다.
- **조합안 C(포장 셀 1대 + AGV 1대)는 5회 모두 목표를 넘습니다.** 일 양품 출하 2,245팩(5회 범위 2,236~2,250), 목표 대비 106.9%입니다. 1라인 1,128팩, 2라인 1,134팩으로 두 라인이 각각 현재 1라인(1,133팩)과 같은 출력을 냅니다. 포장 셀은 각각 약 70%, AGV는 대당 79% 운행해 지금의 1라인 운영과 비슷한 여유를 유지하고, 라인사이드 랙은 시작 채움 외에는 비지 않습니다.
- **더 적은 구성은 없습니다.** 포장 셀과 AGV는 차례로 이어진 두 병목이라 하나만 풀면 다른 하나가 출하를 묶습니다(대안 A 75%, 대안 B 92%). 라인사이드 보충 기준(8→16트레이)을 바꾸는 운영 조정은 AGV 1회 운반량(4트레이)과 필요한 운반 횟수(하루 트레이 수 ÷ 4)를 줄이지 못하므로, AGV 2대가 포화된 대안 B의 운반 능력을 늘리는 수단이 되지 않습니다.

# 7. 권고안과 기대 효과

## 7.1 권고안: 2라인 신설 + 최종 포장 셀 1대 + AGV 1대

| 구분 | 설비 | 대수 | 비고 |
|---|---|---|---|
| 계획대로 | 셀 모듈 적층기, 레이저 용접기, BMS·하우징 조립 셀, 충방전 검사기 | 각 1대 | 2라인(L2-01~04), 1라인과 같은 사양 |
| 계획대로 | 라인사이드 부품 랙 / 라인 제어반 / 안전펜스 | 2개 / 1대 / 1식 | RK-L2-C·RK-L2-H, CP-L2 |
| **추가** | **최종 포장 셀(케이스 포장기)** | **1대** | PK-01과 같은 모델. 2라인 전용(L2-04 → PK-02 → 출하 대기장) |
| **추가** | **AGV(롤러 탑재형 AMR)** | **1대** | AGV-01·02와 같은 모델. 예비 충전 도크 CD-03 사용(충전 도크 추가 없음) |
| 변경 없음 | 중앙 자재창고 WH-01·02, 출하 대기장 SHP-01, 증설 후 입고 계약 | – | 용량·입고량 충분 |

설비 금액·투자비는 제공 자료에 없어 대수로만 비교했습니다. 권고안은 계획서 예산 항목에 포장 셀 1대와 AGV 1대를 더한 것이며, 목표를 충족하는 구성 가운데 추가 대수가 가장 적습니다.

## 7.2 기대 효과(5회 평균)

| 지표 | 현재 상태 | 증설 계획안 | 권고안 |
|---|---|---|---|
| 일 양품 출하 | 1,124팩 | 1,573팩 | **2,245팩** |
| 목표 2,100팩 대비 | 54% | 75% | **106.9%**<br>최소 2,236팩 |
| 라인 공정 가동(4대 평균) | 91% | 1라인 64% · 2라인 64% | 1라인 91% · 2라인 91% |
| 포장 셀 가동 | 71% | 99% | PK-01 70% · PK-02 71% |
| AGV 운행(대당) | 59% | 84% | 79% |

권고안은 계획안보다 하루 약 672팩을 더 출하하고, 목표보다 평균 145팩(5회 중 최소인 날도 136팩) 많습니다.

## 7.3 적용 시 고려 사항

1. **AGV 운행률 약 79%의 의미.** 3대 중 1대가 정비 등으로 빠지면 2대 운전(대안 B와 같은 조건)이 되어 출하가 하루 약 1,935팩 수준으로 떨어집니다. AGV 정비는 계획된 시간에 1대씩 짧게 하고, 고장 시 복구 절차를 미리 정해 두는 것이 좋습니다. 예비 대수를 더 두려면 충전 도크도 함께 늘려야 합니다.
2. **포장 셀 2대의 배치.** 트윈에서는 PK-02를 2라인 반출구 동쪽 (75,000, 28,000)에 두어 2라인 전용으로 썼습니다. 포장재 상시 비치 공간, NG 전용 상자 운영, 출하 대기장까지의 이송 동선을 PK-01과 같게 갖추면 됩니다. 각 포장 셀은 약 70%만 가동하므로, 한 대가 멈췄을 때 다른 한 대가 두 라인을 잠시 받는 운영(검사기 → 다른 포장 셀 경로)도 검토할 수 있습니다.
3. **입고량과 창고 재고.** 증설 후 입고 계약(일 2,592트레이)은 권고안의 하루 출고(구역별 약 2,291트레이)보다 약 300트레이 많습니다. 빈 창고에서 시작한 24시간 끝에 구역별 재고가 약 516트레이 남았고, 이 차이가 이어지면 하루 약 300트레이씩 쌓여 구역 용량 3,000트레이에 약 9~10일 만에 닿습니다. 현행 계약도 소비의 113%를 들이는 같은 구조이므로, 지금의 재고 운영 방식대로 입고 일정을 관리하면 됩니다.

4. **2라인 가동 초기.** 시뮬레이션은 2라인이 1라인과 같은 사이클·불합격률로 도는 상태를 전제로 합니다. 2라인 초기 안정화 기간에는 출하 여유가 줄 수 있으므로, 공급 계약 개시 전에 2라인 시운전 기간을 두는 것이 좋습니다.

## 8. 분석 가정

- 24시간 연속 3교대로 가동하며 교대 시 설비는 멈추지 않는다. 설비 비가동 기록(5분 이상)이 없어 정지 없이 운영하는 것으로 반영했다.
- 공정 시간은 최근 1주 설비별 사이클 400건의 평균과 표준편차를 그대로 넣었다(N-XI는 표준편차가 있으면 그 평균·표준편차를 갖는 로그정규분포로 매 사이클 시간을 생성한다). 2라인은 1라인과 같은 값, 추가 포장 셀은 PK-01과 같은 값이다.
- 충방전 검사 불합격률 0.917%(2주 불합격 147팩 / 검사 16,026팩)를 검사기에 반영했다. 불합격 팩은 포장 셀에서 NG 상자로 포장되어 출하 대기장으로 가며, 출하 실적은 양품 출하로 집계했다.
- 라인 안 설비 사이에는 대기 공간이 없어 다음 설비가 비어야 넘기는 직접 이송으로 반영했다. 라인사이드 랙에서 적층기·조립 셀로는 작업자·설비가 바로 투입한다.
- 라인사이드 랙 보충은 "랙 재고 + 운반 중 수량이 8트레이 이하이면 16트레이까지 요청, AGV는 요청 순서대로 배차, 1회 최대 4트레이"로 반영했다. 운반이력의 요청당 8트레이·2대 동시 배차 패턴이 트윈에서도 그대로 나온다.
- AGV는 800 mm/s, 4트레이, 적재·하역 각 43초로 벽·기둥·펜스·설비를 피해 최단 경로로 주행하고, 일이 없으면 충전 도크 앞 대기 위치로 돌아간다. 운반이력에 나타난 운행 패턴(충전으로 인한 정지 기록 없음)을 그대로 반영했다.
- 자재는 06:00(시뮬레이션 0초)에 첫 입고 후 2시간마다 입고되고, 입고 즉시 출고할 수 있다. 창고 구역은 품목별로 하나씩, 구역당 3,000트레이다.
- 시뮬레이션은 창고·랙·라인이 빈 상태에서 시작하며, 0초 첫 입고와 함께 랙 채움(현재 상태 약 2~7분, 두 라인 시나리오는 길게는 약 13~20분)과 라인 채움(약 5분)이 일어난다. 출하량에는 이 시작 구간이 포함되며(현재 상태 기준 하루 약 10팩), 라인사이드 랙 재고 0 시간 비율에도 시작 채움 1회가 포함된다.
- 출하 대기장은 포장 완료 즉시 출하(상차)하는 것으로 반영했고, 포장재는 포장 셀 옆에 상시 비치되어 운반 대상이 아니다.
- 시나리오마다 같은 난수 조건 5가지로 24시간(86,400초)씩 5회 실행해 평균과 범위를 비교했다.

# 부록 A. 근거 실행 목록

공통 조건: N-XI 설계 트윈 "Intro-05 가상 공장 D"(5ca65779-c997-460b-b8ee-e70618525002), 실행 시간 24시간(86,400초), 25회 모두 정상 종료(설정 시간 도달). 같은 난수 조건 번호(시드)끼리는 시나리오가 달라도 같은 무작위 흐름을 씁니다. 실행별 KPI 원자료(N-XI 조회 결과 그대로)는 work/kpi/<실행 이름>.json에 있습니다.

| 실행 이름 | 실행 ID | 시나리오 | 조건 | 난수 조건(시드) | 양품 출하 |
|---|---|---|---|---|---|
| 05-base-r1 | 6336d5bc-49c3-4043-ad4c-d43d87f37ff9 | 현재 상태 | 1라인·AGV 2·포장 셀 1·입고 108/2시간 | 1001 | 1,128 |
| 05-base-r2 | 49643cd8-3870-41d7-8d4b-efb39e0ad6d7 | 현재 상태 | 1라인·AGV 2·포장 셀 1·입고 108/2시간 | 1002 | 1,121 |
| 05-base-r3 | 06b320d2-845b-46c7-8602-b62841bc14d8 | 현재 상태 | 1라인·AGV 2·포장 셀 1·입고 108/2시간 | 1003 | 1,123 |
| 05-base-r4 | be513fe7-8059-4175-ab3d-cfcd48735f2a | 현재 상태 | 1라인·AGV 2·포장 셀 1·입고 108/2시간 | 1004 | 1,125 |
| 05-base-r5 | ea4d6f3b-f70f-4ecc-9750-3fde7732924d | 현재 상태 | 1라인·AGV 2·포장 셀 1·입고 108/2시간 | 1005 | 1,125 |
| 05-plan-r1 | 9f87a23b-69e0-460c-a6d3-a291a5967fdf | 증설 계획안 | 1·2라인·AGV 2·포장 셀 1·입고 216/2시간 | 1001 | 1,581 |
| 05-plan-r2 | dbc32258-01f8-4440-a1bf-4c9ada0d22d1 | 증설 계획안 | 1·2라인·AGV 2·포장 셀 1·입고 216/2시간 | 1002 | 1,568 |
| 05-plan-r3 | e58e76ff-9b39-4f33-9938-f995dbcb43f2 | 증설 계획안 | 1·2라인·AGV 2·포장 셀 1·입고 216/2시간 | 1003 | 1,571 |
| 05-plan-r4 | 439acf32-3d37-4357-a86c-84f9f56f0900 | 증설 계획안 | 1·2라인·AGV 2·포장 셀 1·입고 216/2시간 | 1004 | 1,570 |
| 05-plan-r5 | e8cc616d-0f52-4c88-ad77-c3769b616d02 | 증설 계획안 | 1·2라인·AGV 2·포장 셀 1·입고 216/2시간 | 1005 | 1,574 |
| 05-agv3-r1 | 7a1ae2eb-9524-4ed6-96a2-fb373c7a381f | 대안 A | 증설안 + AGV-03 | 1001 | 1,587 |
| 05-agv3-r2 | 40ba7efd-2a85-433b-8f69-4c0a0574ac54 | 대안 A | 증설안 + AGV-03 | 1002 | 1,575 |
| 05-agv3-r3 | fb5d29b5-4f48-49ca-a2c6-628b6003d442 | 대안 A | 증설안 + AGV-03 | 1003 | 1,578 |
| 05-agv3-r4 | 5c4d500b-4686-4d92-85eb-2644273bc0e4 | 대안 A | 증설안 + AGV-03 | 1004 | 1,575 |
| 05-agv3-r5 | 17e0149c-9228-48fc-b521-5bc9bb6b6048 | 대안 A | 증설안 + AGV-03 | 1005 | 1,581 |
| 05-pk2-r1 | b9670648-5145-45cd-85dc-a848b6dd8615 | 대안 B | 증설안 + PK-02 | 1001 | 1,944 |
| 05-pk2-r2 | aaa7a384-f9a7-45e0-adb3-f585fb37ce6e | 대안 B | 증설안 + PK-02 | 1002 | 1,921 |
| 05-pk2-r3 | 756cc8a6-6cca-403f-ab1a-79e7738e333b | 대안 B | 증설안 + PK-02 | 1003 | 1,935 |
| 05-pk2-r4 | 2e098a2b-64d9-42c7-918d-d90c296cebec | 대안 B | 증설안 + PK-02 | 1004 | 1,933 |
| 05-pk2-r5 | c4d1da28-7921-4485-8441-71200bb14257 | 대안 B | 증설안 + PK-02 | 1005 | 1,940 |
| 05-pk2agv3-r1 | 41752281-9924-4cbc-a242-99bee5eb04c8 | 조합안 C(권고안) | 증설안 + PK-02 + AGV-03 | 1001 | 2,236 |
| 05-pk2agv3-r2 | cb460d11-6d8d-4ab2-a31d-faf5be15dde7 | 조합안 C(권고안) | 증설안 + PK-02 + AGV-03 | 1002 | 2,244 |
| 05-pk2agv3-r3 | 5d6464dc-0340-4f7e-8084-6601cd52ed70 | 조합안 C(권고안) | 증설안 + PK-02 + AGV-03 | 1003 | 2,250 |
| 05-pk2agv3-r4 | fe176da8-0d12-492b-8340-68c309876008 | 조합안 C(권고안) | 증설안 + PK-02 + AGV-03 | 1004 | 2,248 |
| 05-pk2agv3-r5 | 2c8c1e8a-c8dd-4ae6-add3-5094ffbc9905 | 조합안 C(권고안) | 증설안 + PK-02 + AGV-03 | 1005 | 2,246 |

# 부록 B. 산출물

| 파일 | 내용 |
|---|---|
| kpi/*.json | 실행 25개의 실행 상세·공장 KPI·리소스 KPI 원자료(N-XI 조회 결과 그대로) |
| summary.json | 실행별 지표와 시나리오별 5회 평균·최소·최대 |
| report-figures.json | 보고서의 핵심 수치(지표, 시나리오, 값, 출처 실행) |
| report/charts/*.svg | 그림 1, 5~8의 차트 원본 |
| runs_registry.json | 실행 ID·난수 조건·시나리오 변경 내용·리소스 식별자 |
| worklog.md | 작업 로그(단계별 시각·판단·도구 이슈) |