

가상 공장 A 하우징 라인 출하 개선 검토 보고서

AGV 추가 구매 타당성과 대안 비교

수신 가상 공장 A 경영진, 생산 책임자

작성 N-XI 디지털 트윈 분석

작성일 2026-10-08

일 출하량(권고안, 5회 평균)

3,592개

현재 2,770개 대비 +29.7%

목표 3,600개 달성률

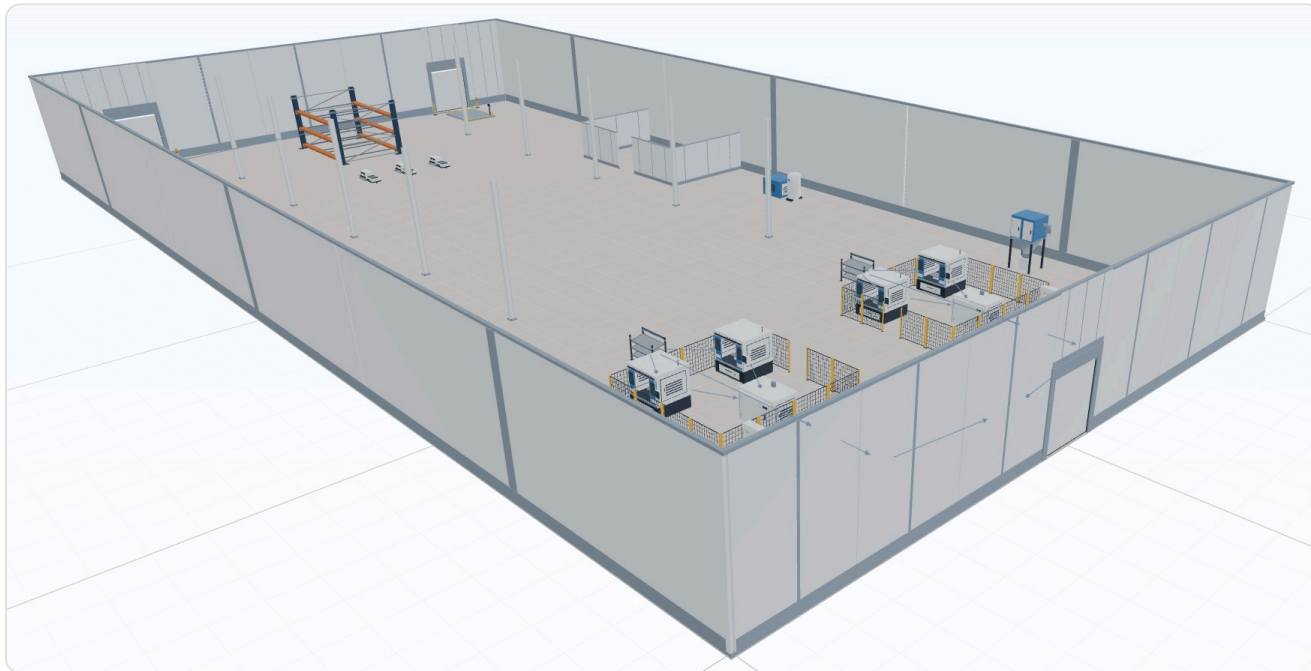
99.8%

AGV 1대 추가안은 92.7%

추가 설비 투자

없음

보충 기준만 최소 8 / 목표 16으로 변경

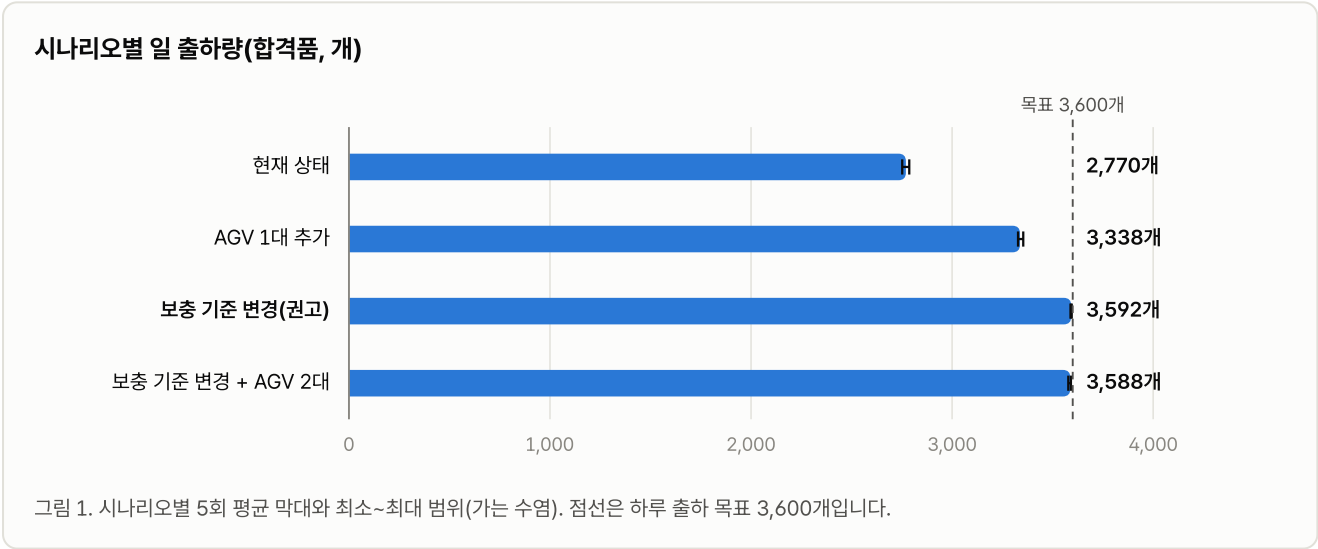


N-XI로 구축한 가상 공장 A 디지털 트윈(3D, 건물 80m × 40m)

1. 요약

AGV 추가 구매는 권고하지 않습니다. 출하 부족의 원인은 AGV 대수가 아니라 라인사이드 보충 기준(최소 3개 / 목표 6개)입니다. 이 기준 때문에 AGV는 8개를 실을 수 있는데도 한 번에 3개씩만 나르고, 3대가 하루 종일 쉬지 않고 달려도 두 라인이 쓸 자재를 대지 못합니다. 보충 기준을 **최소 8개 / 목표 16개**(1회 8개, AGV 만재)로 바꾸면 추가 투자 없이 일 출하가 2,770개에서 3,592개로 늘어 목표 3,600개의 99.8%에 이릅니다(빈 창고에서 시작해 랙이 처음 채워지기까지의 781초를 뺀 연속 운영 환산 약 3,625개). AGV를 1대 추가하는 방안은 3,338개(92.7%)에 그치며, 새 AGV까지 포함해 4대 모두 다시 쉴 틈 없이 운행됩니다. 보충 기준을 바꾼 뒤에는 AGV 2대만으로도 출하가 같아서(3,588개), 현재 보유한 3대 중 1대는 예비로 돌릴 수 있습니다.

일 출하량 2,770 → 3,592 개, 현재 → 권고안 +822개(+29.7%)	목표 달성률 77.0 → 99.8 %, 현재 → 권고안 AGV 1대 추가 92.7%	AGV 1회 운반량 3.36 → 8.00 개, 적재 용량 8개 적재율 100.0%	AGV 유휴 비율 0.8 → 46.1 %, 현재 → 권고안 AGV 2대 운용 시 출하 3,588개
--	---	--	---



핵심 지표(5회 평균)	현재 상태	AGV 1대 추가	보충 기준 변경(권고)
일 출하량(합격품)	2,770개	3,338개	3,592개
목표 3,600개 달성률	77.0%	92.7%	99.8%
AGV 1회 운반량(최대 8개)	3.36개	3.01개	8.00개
AGV 유휴 비율	0.8%	0.8%	46.1%
추가 설비 투자	-	AGV 1대 + 충전 도크 1기	없음(운영 기준 변경)

2. 요청 배경과 판단 기준

2.1 요청 배경

- 하루 출하 목표는 3,600개이지만 최근 3일 실적은 하루 평균 2,904개(2,898~2,910개)로 목표의 80.7%입니다.
- 현장은 AGV가 부족하다고 보고 1대 추가 구매를 요청했습니다.
- 고객사는 AGV를 더 사야 하는지, 다른 방법이 있는지 데이터로 판단해 달라고 요청했습니다.

2.2 판단 기준

기준	내용
1차 기준	하루 출하량(기밀 검사 합격품) 3,600개 달성 여부. 5회 반복의 평균과 최저값을 함께 봅니다.
2차 기준	추가 투자 규모(설비 구매·공사 필요 여부)
3차 기준	운영 여유(AGV 유휴, 라인사이드 결품)와 다음 병목의 위치
비교 방법	같은 디지털 트윈에서 조건만 바꿔 24시간(86,400초)을 5회씩 실행하고, 조건 간에는 같은 반복 번호에 같은 무작위 변동 조건(시드 11~15)을 적용해 같은 반복끼리 비교했습니다.

3. 데이터 분석 결과(운영 데이터에서 확인한 증상)

3.1 설비 능력은 목표보다 큼니다

기준정보와 가공 이력 35,284건으로 확인한 설비 능력은 다음과 같습니다(24시간 기준).

공정	실측 공정 시간(평균±표준편차)	라인당 일 능력	비고
CNC 가공(머시닝센터 2대 병렬)	90.0±8.1초	1,920개	라인 내 가장 느린 공정
세척	39.9±4.0초	2,165개	
체결 조립	42.0±5.0초	2,057개	가공 하우징 1 + 키트 1 투입
기밀 검사	35.1±3.0초	2,462개	불량률 1.22%

두 라인의 머시닝 능력은 하루 3,840개이고, 불량률 빼도 약 3,790개로 목표 3,600개보다 많습니다. 설비 능력은 출하 부족의 원인이 아닙니다.

3.2 설비는 자재를 기다리며 멈춰 있습니다

설비 비가동 기록(30초 이상 정지)을 사유별로 집계했습니다.

설비	주요 정지 사유	정지 시간 비율(3일)	해석
머시닝센터 4대	자재 대기	평균 21.4%(20.8~21.8%)	블랭크가 랙에 없어 대기
체결 조립기 2대	자재 대기	평균 17.9%(17.1~18.6%)	체결 부품 키트·가공품 대기
세척기 2대	배출 막힘	평균 13.4%(12.5~14.3%)	조립기가 키트를 기다려 세척품을 받지 못함
머시닝센터 4대	배출 막힘	최대 0.5%	영향 작음

정지는 모두 **자재 대기**와 그 여파인 **배출 막힘**이며, 설비 고장 정지는 기록되지 않았습니다. 라인에 자재가 제때 들어오지 않는 것이 문제입니다.

3.3 AGV는 쉬지 않고 달리지만 3개씩만 나릅니다

AGV 운반 이력 5,059건을 분석했습니다.

항목	실측	의미
일 운반 작업 수	1,686회	3대 합계
AGV 운반 중 비율	99.9%	사실상 쉬는 시간이 없음
1회 운반량	평균 3.49개(적재 능력 8개)	적재율 43.6%
3개만 실은 작업 비중	84%	나머지는 요청 2건이 합쳐진 6개 운반
작업당 소요 시간	154초	창고 이동·적재 77초 + 라인 이동·하역 77초
보충 요청 대기	평균 107초(95% 구간 169초)	요청의 99.8%가 AGV를 기다림

AGV 3대가 하루에 나르는 자재는 5,885개이고, 완제품 1개에 블랭크 1개와 키트 1개가 필요하므로 **하루 2,942세트**분입니다. 이 값은 실제 하루 기밀 검사 수량 2,940개와 거의 같습니다. **출하량의 상한을 AGV 운반량이 정하고 있습니다.**

3.4 1회 운반량이 3개인 이유는 보충 기준입니다

물류 기준은 "재고(운반 중 포함)가 최소 수량(3개) 이하이면 목표 수량(6개)까지 보충 요청"입니다. 따라서 요청 1건의 수량은 거의 항상 $6 - 3 = 3$ 개가 됩니다. AGV는 카트 1대에 8개까지 실을 수 있지만, 이 규칙 때문에 적재 능력의 절반 이상을 비운 채로 왕복합니다. 또 최소 수량 3개는 머시닝센터 2대가 약 2분 15초면 다 쓰는 양이어서, AGV 한 번 왕복(154초)과 요청 대기(평균 107초) 동안 랙이 비게 됩니다.

3.5 자재 공급은 충분합니다

입고 이력에서 원자재는 하루 5,716개, 구매품 키트는 하루 5,781개가 약 604초 간격(1회 40개 안팎)으로 들어옵니다. 하루 소요량(목표 기준 각 약 3,650개)보다 많아서 중앙 창고 재고는 부족하지 않습니다.

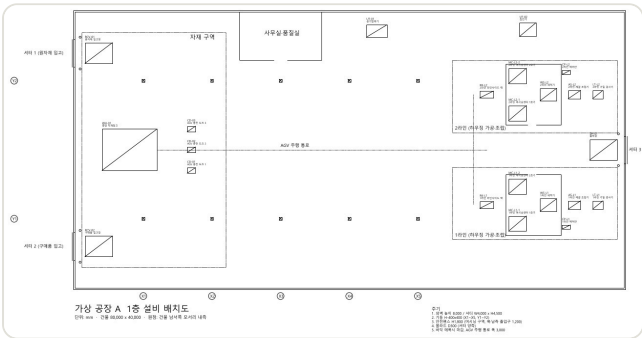
3.6 데이터 분석 결론

가설	판정	근거
설비 능력 부족	아님	머시닝 능력 3,840개/일 > 목표
자재 입고 부족	아님	입고량이 소요량의 1.5배 이상
AGV 대수 부족	겉으로 보이는 증상	AGV는 100% 가깝게 바쁘지만 적재율이 43.6%
보충 기준(최소 3/목표 6)	근본 원인	1회 3개 운반으로 AGV 운반 능력의 절반 이상이 사라짐

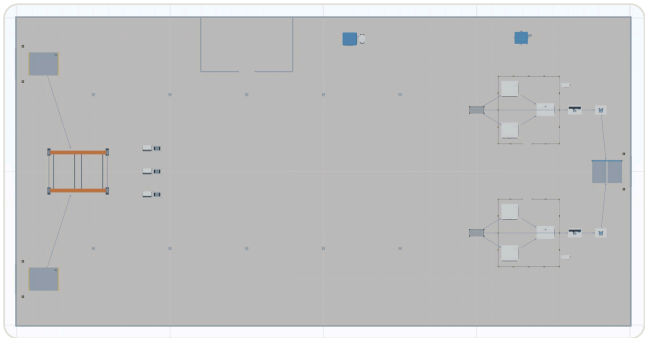
4. 디지털 트윈 구축 요약

4.1 구축 규모

구분	수량	내용
디지털 트윈	1	"Intro-02 가상 공장 A"(건물 80m × 40m)
시뮬레이션 대상 설비·저장소·AGV	19	저장소 6(입고장 2, 중앙 창고, 라인사이드 랙 2, 출하장), 공정 10(머시닝 4, 세척 2, 조립 2, 검사 2), AGV 3
건축·안전·부대 요소	73	바닥, 외벽 10구간(셔터 상부 인방 포함), 셔터 3, 기둥 10, 사무실·품질실 칸막이 4, 안전펜스 32모듈, 볼라드 6, 제어반 2, 공기압축기, 집진기, AGV 충전 도크 3
배치 요소 합계	92	도면 좌표(원점: 건물 남서쪽 모서리 내측)대로 배치
흐름 연결	18	입고장→창고, 랙→머시닝·조립, 머시닝→세척→조립→검사→출하
품목 / BOM	4종 / 2건	하우징 블랭크, 체결 부품 키트, 가공 하우징, 하우징 어셈블리



고객 도면(01_도면_layout.dxf)



N-XI 디지털 트윈 평면 보기

그림 2. 고객 도면과 디지털 트윈 비교. 도면 좌표(원점: 건물 남서쪽 모서리 내측)대로 설비·랙·AGV·건축 요소를 배치했습니다.

4.2 반영한 데이터

데이터	모델 반영 내용
도면(DXF)	설비 23개 블록의 중심 좌표·크기, 외벽·셔터(W4,000×H4,500)·기둥(400×400)·안전펜스(H1,800, 출입구 1,200)·볼라드·칸막이 위치
설비 기준정보	설비별 크기와 유형(머시닝센터, 스프레이 세척기, 자동 체결 스테이션, 기밀 검사기, 팔레트 랙, 라인사이드 랙, 저장 리프트 AGV 등)
공정 정보-BOM	라우팅(가공 2대 병렬 → 세척 → 조립 → 검사), 투입·산출 품목, 조립 시 가공 하우징 1 + 키트 1
운영 데이터(사이클타임)	설비 유형별 공정 시간 평균·표준편차(가공 시간 변동 반영)
운영 데이터(검사실적)	기밀 검사 불량률 1.22%
운영 데이터(입고이력)	원자재·키트 각 600초 간격 40개 입고
물류 기준	AGV 적재 8개, 적재·하역 각 20초, 저장소 용량(입고장 400, 창고 4,000, 랙 40, 출하장 500), 보충 기준(최소 3/목표 6)
운영 데이터(운반이력)	AGV 작업당 소요 시간 154초를 재현하도록 유효 주행속도를 840mm/s로 보정

4.3 AGV 주행 보정

AGV 사양 속도(1,000mm/s)로 먼저 실행한 결과, 모델의 AGV 작업당 소요 시간은 135.4초로 실측 154초보다 짧았고 일 출하가 3,141개로 실측보다 많았습니다(보정용 사전 실행, 부록 A). 현장 AGV는 유도 통로를 따라 꺾어 가며(편도 약 54m) 주행합니다. 그래서 운반 이력의 실측 편도 주행 시간 57초를 재현하도록 유효 주행속도를 840mm/s로 보정했고, 이후 모든 실행은 이 값을 씁니다. 운영 데이터로 모델을 보정한 뒤 비교했기 때문에, 시나리오 간 차이를 현장 조건에 가깝게 볼 수 있습니다.

5. 현재 상태 진단

5.1 모델이 현실을 재현하는지 확인

현재 운영 조건(AGV 3대, 보충 기준 최소 3/목표 6)으로 24시간을 5회 실행했습니다(02-base-r1~r5).

지표	실측(3일 평균)	모델(5회 평균, 범위)	판단
일 출하량(합격품)	2,904개	2,770개 (2,752~2,787개)	오차 -4.6%
AGV 운반 작업 수	1,686회/일	1,674회/일 (1,674~1,674회/일)	오차 -0.7%
AGV 작업당 소요 시간	154초	150.0초 (149.4~150.8초)	근접
AGV 1회 운반량	3.49개	3.36개 (3.35~3.39개)	요청 합침이 실측보다 적음
AGV 작업 중 비율	99.9%	99.2% (99.2~99.2%)	일치(사실상 포화)
머시닝센터 자재 대기	21.4%(30초 이상 정지)	19.7% (18.8~20.4%)	근접
체결 조립기 자재 대기	17.9%(30초 이상 정지)	31.4% (31.0~32.0%)	모델이 30초 미만 짧은 대기까지 포함

모델은 출하량을 실측 대비 -4.6%, AGV 운반 횟수를 -0.7% 차이로 재현하고, AGV가 쉬지 않는 상태와 머시닝센터의 자재 대기 비율도 같은 수준으로 보여 줍니다. 조립기 자재 대기는 모델 값이 더 큰데, 실측 비가동 기록이 30초 이상 정지만 담고 있어 짧은 대기가 빠져 있기 때문입니다. 모델 출하량이 실측보다 조금 적은 것은 모델의 1회 운반량이 조금 작고(요청 합침이 적음), 창고가 비어 있는 상태에서 하루를 시작하기 때문입니다. 따라서 모델은 개선 효과를 약간 보수적으로 봅니다.

5.2 현재 상태 핵심 지표

구분	지표	5회 평균(범위)
출하	일 출하량	2,770개 (2,752~2,787개)
출하	목표 달성률	77.0% (76.4~77.4%)
공정	공정 전체 자재 대기 비율	28.2% (27.5~28.8%)
공정	머시닝센터 가공 비율	73.3% (72.3~74.0%)
라인사이드	랙 결품(빈 상태) 시간 비율	21.4% (20.3~21.9%)
라인사이드	랙 결품 횟수(랙당)	298.9회/일 (286.0~319.5회/일)
라인사이드	랙 평균 재고	2.6개 (2.5~2.6개)
AGV	작업 중 비율 / 유휴 비율	99.2% / 0.8%
AGV	1회 운반량(적재율)	3.36개(42.0%)

5.3 원인

- AGV 운반 능력이 출하를 제한합니다.** AGV 유휴 비율이 0.8%로 AGV에 여유가 전혀 없고, 랙은 하루 21.4%의 시간 동안 비어 있습니다. 랙이 빌 때마다 머시닝센터와 조립기가 멈춥니다.
- AGV가 바쁜 이유는 일이 많아서가 아니라 한 번에 적게 싣기 때문입니다.** AGV 시간의 대부분은 창고와 라인 사이 이동(공급지 이동 35.4%, 적재 이동 35.8%)에 쓰이고, 그때 싣는 양은 3.36개(적재율 42.0%)뿐입니다.
- 원인은 보충 기준입니다.** 최소 3/목표 6 규칙이 1회 요청량을 3개로 고정합니다. 같은 이동 시간으로 8개를 나를 수 있는데 3개만 나르는 셈입니다.

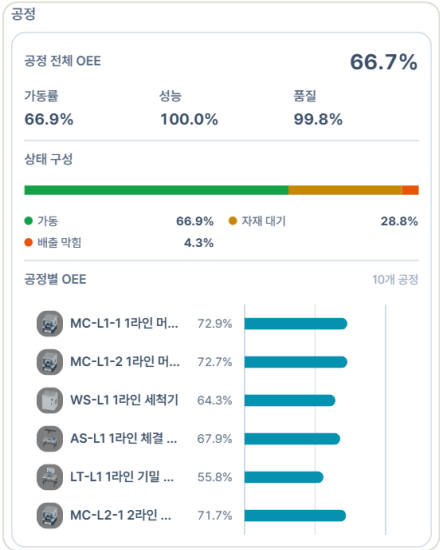


그림 3. 02-base-r1 공정 카드. 공정 전체 상태 구성에서 자재 대기가 28.8%를 차지합니다.

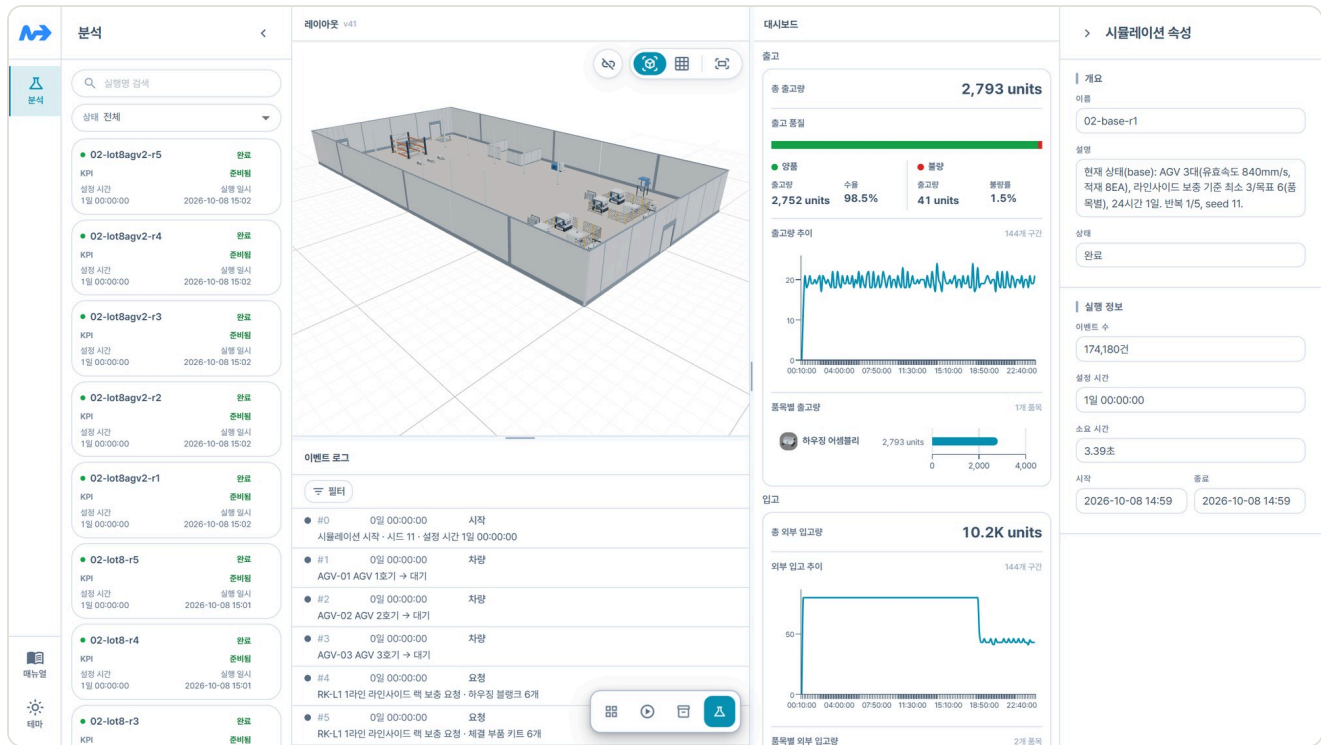


그림 4. N-XI 시뮬레이션 분석 화면(02-base-r1). 실행 목록, 3D 레이아웃, 출고·입고 대시보드를 한 화면에서 확인합니다.

6. 해결안 설계와 시뮬레이션 비교

6.1 시나리오

약어	시나리오	바꾼 내용	실행
base	현재 상태	변경 없음: AGV 3대, 보충 기준 최소 3/목표 6	02-base-r1~r5
agv4	AGV 1대 추가(고객 가설)	AGV-04와 충전 도크 CD-04를 기존 도크 열($x=17,000$, $y=26,000$)에 추가. 보충 기준은 현행 유지	02-agv4-r1~r5
lot8	보충 기준 변경(진단 대안)	라인사이드 랙 RK-L1-RK-L2의 불량크·키트 보충 기준을 최소 8/목표 16으로 변경(1회 요청 8개 = AGV 만재). AGV 3대 유지	02-lot8-r1~r5
lot8agv2	보충 기준 변경 + AGV 2대 운용(강건성 확인)	lot8 조건에서 AGV-03을 운반에서 제외(정비·고장 상황 가정)	02-lot8agv2-r1~r5

보충 기준 최소 8/목표 16은 다음과 같이 정했습니다.

- 1회 요청량(목표 - 최소)을 AGV 적재량 8개에 맞춰 빈 적재를 없앱니다.
- 최소 8개는 머시닝센터 2대가 약 6분 동안 쓰는 양이라서, AGV 한 번 왕복(약 2분 30초)과 대기 시간을 뺏습니다.
- 랙 최대 재고는 품목당 16개, 두 품목 합계 32개로 랙 용량 40개 안에 들어옵니다.

AGV 1대 추가와 보충 기준 변경을 함께 적용하는 조합안은 실행하지 않았습니다. 보충 기준만 바뀌도 AGV가 46.1% 쉬고, AGV를 2대로 줄여도 출하가 같아서 AGV를 늘리는 효과가 없다는 것이 이미 확인되기 때문입니다.

6.2 핵심 지표 비교(시나리오별 5회 평균, 괄호는 최소~최대)

구분	지표	현재 상태 (base)	AGV 1대 추가 (agv4)	보충 기준 변경 (lot8)	보충 기준 변경 + AGV 2대 (lot8agv2)
출하	일 출하량(합격품, 개)	2,770 (2,752~2,787)	3,338 (3,328~3,354)	3,592 (3,589~3,595)	3,588 (3,578~3,591)
출하	목표 달성률(%)	77.0 (76.4~77.4)	92.7 (92.4~93.2)	99.8 (99.7~99.9)	99.7 (99.4~99.8)
출하	현재 대비 증감(개)	-	+567 (+20.5%)	+822 (+29.7%)	+818 (+29.5%)
공정	공정 전체 자재 대기 (%)	28.2 (27.5~28.8)	15.3 (15.2~15.4)	10.0 (10.0~10.2)	10.1 (9.9~10.2)
공정	머시닝센터 자재 대기 (%)	19.7 (18.8~20.4)	6.5 (6.4~6.6)	0.9 (0.9~0.9)	1.0 (1.0~1.0)
공정	머시닝센터 가공 비율 (%)	73.3 (72.3~74.0)	88.3 (88.0~88.4)	95.0 (94.7~95.2)	94.8 (94.7~94.9)
공정	체결 조립기 자재 대기(%)	31.4 (31.0~32.0)	17.4 (17.2~17.7)	11.4 (11.1~11.6)	11.2 (10.9~11.5)
라인사이드 랙	결품 시간 비율(%)	21.4 (20.3~21.9)	26.3 (23.5~27.5)	0.9 (0.9~0.9)	1.0 (1.0~1.0)
라인사이드 랙	결품 횟수(회/일·랙)	298.9 (286.0~319.5)	538.7 (508.0~559.0)	1.0 (1.0~1.0)	1.0 (1.0~1.0)
라인사이드 랙	평균 재고(개)	2.6 (2.5~2.6)	1.8 (1.8~1.9)	20.4 (20.4~20.4)	19.9 (19.9~20.1)
라인사이드 랙	최대 재고(개, 용량 40)	11	11	27	27
AGV	운용 대수(대)	3	4	3	2
AGV	운반 작업 수(회/일)	1,674 (1,674~1,674)	2,255 (2,254~2,256)	915 (914~917)	915 (914~916)
AGV	1회 운반량(개)	3.36 (3.35~3.39)	3.01 (3.01~3.01)	8.00 (8.00~8.00)	8.00 (8.00~8.00)
AGV	적재율(%)	42.0 (41.8~42.3)	37.6 (37.6~37.6)	100.0 (100.0~100.0)	100.0 (100.0~100.0)
AGV	작업 중 비율(%)	99.2 (99.2~99.2)	99.2 (99.2~99.2)	53.9 (53.8~54.1)	81.2 (81.1~81.3)
AGV	유휴 비율(%)	0.8 (0.8~0.8)	0.8 (0.8~0.8)	46.1 (45.9~46.2)	18.8 (18.7~18.9)

머시닝센터 자재 대기과 라인사이드 랙 결품 시간 비율

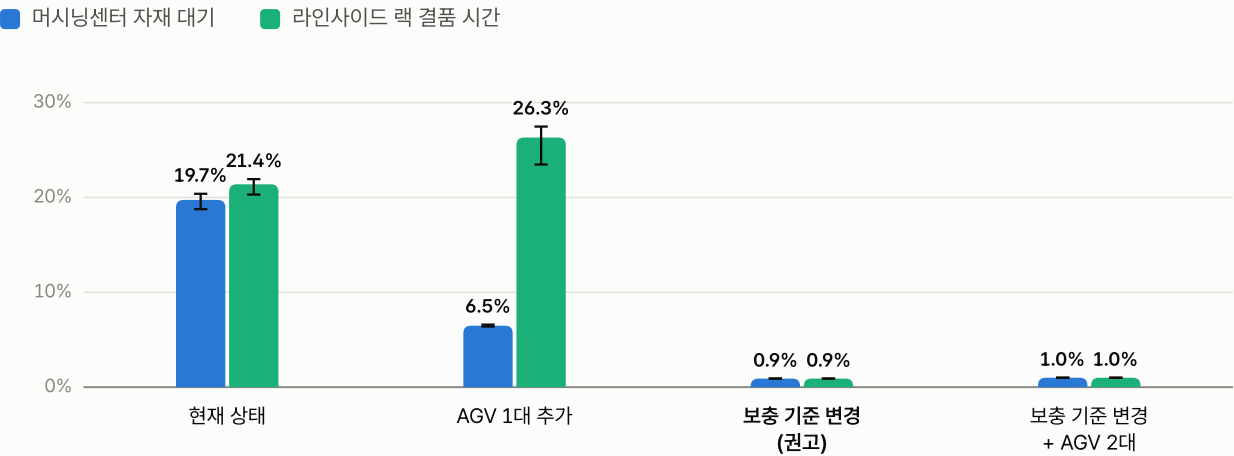


그림 5. 시나리오별 5회 평균 막대와 최소~최대 범위(가는 수염). 머시닝센터는 MC-L1-1·MC-L2-1, 랙은 RK-L1·RK-L2 평균입니다.

AGV 1회 운반량(개)

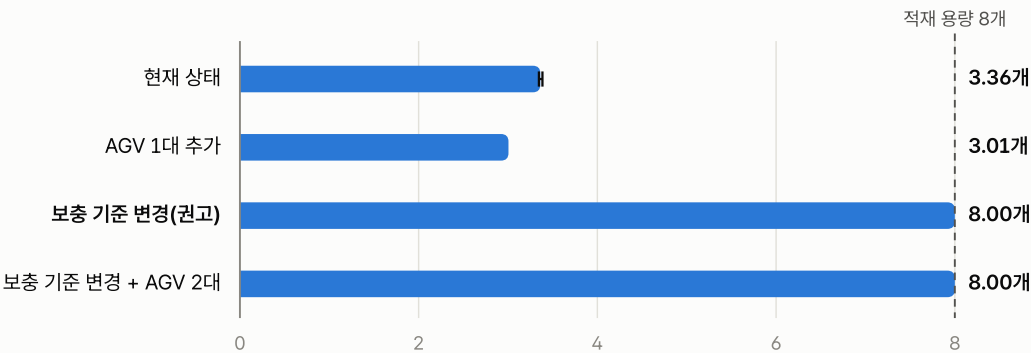


그림 6. 시나리오별 5회 평균. 점선은 AGV 적재 용량 8개입니다.

AGV 상태 구성(대당 시간 비율, 5회 평균, %)

AGV 상태	현재 상태	AGV 1대 추가	보충 기준 변경	보충 기준 변경 + AGV 2대
공급지(창고)로 이동	35.4	36.8	3.4	9.5
적재	12.9	13.1	7.1	10.6
라인으로 적재 이동	35.8	36.0	19.6	29.8
하역	12.9	13.0	7.1	10.6
대기 위치로 복귀	2.2	0.2	16.9	20.7
유휴	0.8	0.8	46.1	18.8

AGV 시간 구성(대당 평균, 5회 평균)

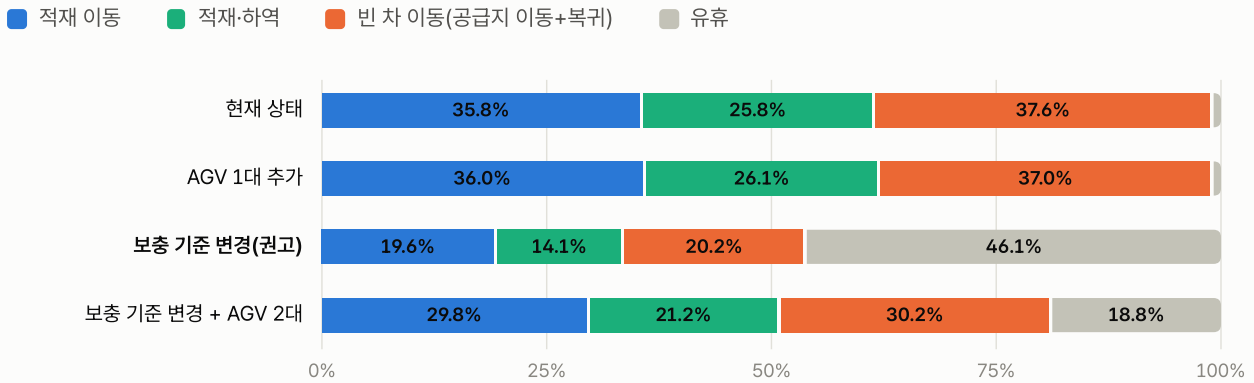


그림 7. 빈 차 이동은 공급지(창고)로 이동과 대기 위치로 복귀를 합친 값이며, 유휴는 회색입니다.

6.3 해석

AGV 1대 추가(agv4). 출하가 +567개(+20.5%) 늘지만 목표의 92.7%에 그칩니다(5회 중 최고 3,354개). 1회 운반량은 3.01개로 오히려 줄고(요청이 합쳐지기 전에 바로 배차되므로), 늘어난 AGV 4대도 유휴 0.8%로 다시 포화됩니다. 소비가 빨라진 만큼 랙은 더 자주 비어, 결품 횟수가 랙당 하루 298.9회에서 538.7회로 늘고 결품 시간 비율도 26.3%입니다. 비효율적인 운반 방식을 그대로 둔 채 차량만 늘리는 방안이어서 투자 대비 효과가 제한적이고, 목표를 채우려면 AGV를 더 사야 합니다.

보충 기준 변경(lot8). 1회 운반량이 8.00개로 늘면서 운반 작업 수는 오히려 915회로 줄었는데도 출하는 3,592개(3,589~3,595개)로 늘었습니다. 랙 결품은 하루를 시작할 때 창고에 첫 입고가 들어오기 전 한 번뿐이고(결품 시간 비율 0.9%), 머시닝센터 자재 대기는 0.9%로 거의 사라졌습니다(남은 대기는 하루 시작 구간). 이제 출하를 정하는 것은 머시닝센터(가공 비율 95.0%)이고, AGV는 46.1%의 시간을 쉬고 있습니다.

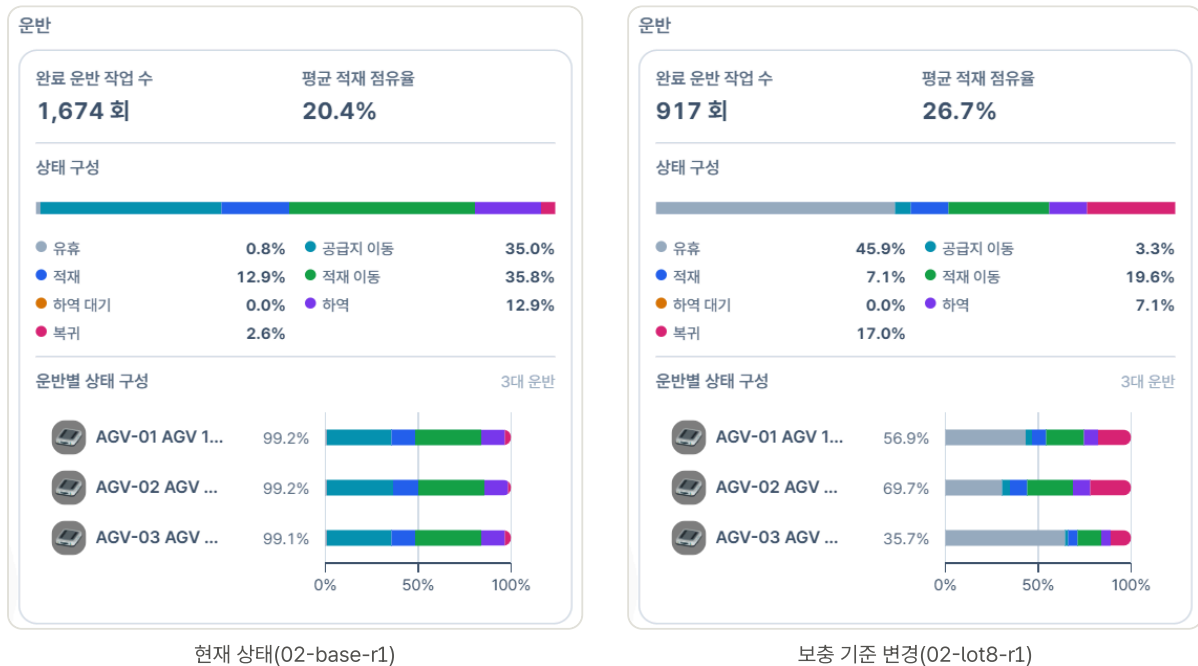


그림 8. N-XI 대시보드 운반 카드 비교(각 r1 실행). 현재 상태는 AGV 유휴가 0.8%로 쉴 틈이 없고, 권고안은 운반 작업 수가 1,674회에서 917회로 줄며 유휴가 45.9%로 늘어납니다.

보충 기준 변경 + AGV 2대(lot8agv2). AGV 1대를 빼도 출하가 3,588개 (3,578~3,591개)로 lot8과 같습니다. AGV 유휴는 18.8%로 줄지만 여전히 여유가 있습니다. 보충 기준을 바꾸면 **AGV 1대가 정비·고장으로 빠져도 출하가 유지된다는** 뜻입니다.

목표 3,600개와의 차이. lot8의 출하 평균 3,592개는 목표의 99.8%입니다(5회 범위 3,589~3,595개). 모든 실행은 창고와 랙이 빈 상태에서 시작해, 첫 입고(600초)와 첫 보충까지 랙이 비어 있는 시작 구간(랙당 약 781초)이 하루에 포함됩니다. 연속 운영하는 실제 공장에는 이 구간이 없으므로, 이 시간을 빼고 같은 속도로 환산하면 하루 약 3,625개로 목표를 넘는 것으로 추정합니다. 다만 이후의 병목인 머시닝센터 가동 비율이 이미 95.0%여서 목표 대비 여유가 크지는 않습니다.

7. 권고안과 기대 효과, 적용 시 고려 사항

7.1 권고안

- 1. AGV 추가 구매를 보류합니다.** AGV 1대를 늘려도 목표에 못 미치고, 보충 기준을 바꾸면 현재 3대로 충분합니다.
- 2. 라인사이드 보충 기준을 최소 8개 / 목표 16개로 바꿉니다.** 대상은 1·2라인 랙의 하우징 블랭크와 체결 부품 키트 4개 항목이며, 보충 요청 규칙(운반 중 재고 포함, 최소 수량 이하 시 목표까지 요청)은 그대로 둡니다.
- 3. AGV 3대 중 1대는 예비 운용 여력으로 활용합니다.** 충전·정비를 순환해도 출하가 유지됩니다.

7.2 기대 효과(5회 평균 기준)

항목	현재	권고안 적용 후	변화
일 출하량	2,770개	3,592개	+822개(+29.7%)
목표 달성률	77.0%	99.8%	
머시닝센터 자재 대기	19.7%	0.9%	
랙 결품 시간 비율	21.4%	0.9%	
AGV 운반 작업 수	1,674회/일	915회/일	-759회
AGV 유휴 비율	0.8%	46.1%	
추가 투자	-	없음	AGV·충전 도크 구매 회피

7.3 적용 시 고려 사항

- 랙 적치 공간:** 랙 재고가 평균 20.4개, 최대 32개(품목당 16개)로 늘어납니다(시뮬레이션 최대 27개). 랙 용량 40개 안이지만 랙 칸 배정(블랭크·키트 구획)을 먼저 정리하십시오.
- AGV 관제(ACS) 설정:** 보충 요청 설정값(최소·목표 수량)만 바꾸면 됩니다. 1회 8개를 카트 1대에 싣도록 창고 피킹 단위를 8개로 맞추십시오.
- 전환 순서:** 랙을 목표 수량(16개)까지 채운 상태에서 전환하고, 1라인에서 1주 시범 운영으로 1회 운반량·랙 결품 횟수·머시닝 자재 대기를 확인한 뒤 2라인에 적용하십시오.
- 다음 병목은 머시닝센터입니다:** 권고안 적용 후 머시닝센터 가공 비율이 95.0%에 이르므로, 공구 교환·설비 정지가 늘면 출하가 바로 줄어듭니다. 머시닝센터 예방 보전과 정지 관리가 목표 유지의 핵심이며, 3,600개를 넘는 증산은 AGV가 아니라 머시닝 능력(사이클타임 단축 또는 설비 증설)으로 검토해야 합니다.
- 모니터링 지표:** AGV 1회 운반량(목표 8개), 랙 결품 횟수, 머시닝센터 자재 대기 비율을 일 단위로 관리하십시오.

8. 분석 가정

- 공정 시간은 2026-09-21~23 가공 이력에서 설비 유형별로 구한 평균과 표준편차(머시닝 90.0 ± 8.1 초, 세척 39.9 ± 4.0 초, 조립 42.0 ± 5.0 초, 검사 35.1 ± 3.0 초)를 반영해 가공 시간 변동을 재현했다.
- 기밀 검사 불량률은 3일 실적(108/8,819)의 1.22%를 반영했고, 출하량은 불량을 뺀 합격품 출하량으로 집계했다.
- 입고는 원자재·키트 각각 600초마다 40개씩 들어오는 것으로 반영했고, 입고품은 바로 중앙 창고로 옮겨진다.
- 저장소 용량은 물류 기준(입고장 400, 중앙 창고 4,000, 라인사이드 랙 40, 출하장 500)을 반영했고, 출하장에 들어온 합격품은 바로 출하된다.
- 라인사이드 보충은 품목별로 "재고(운반 중 포함)가 최소 수량 이하이면 목표 수량까지 요청" 규칙을 반영했고, AGV는 요청이 생기면 중앙 창고에서 실어 랙으로 운반한 뒤 대기 위치로 돌아간다.
- AGV는 적재 8개, 적재·하역 각 20초, 유효 주행속도 840mm/s(실측 작업당 154초 재현)를 반영했고, 벽·기둥·펜스·충전 도크 같은 구조물을 피해 경로를 찾는다.
- 운반 이력에 충전으로 인한 공백이 없어 AGV는 24시간 연속 운행으로 반영했다.
- 설비 정지는 운영 데이터의 정지 사유(자재 대기·배출 막힘)에 맞춰 공정 간 자재 흐름의 상호작용으로 재현했다.
- 공정 사이에는 설비 1대가 1개를 들고 있는 흐름(별도 중간 버퍼 없음)을 반영했다.
- 각 실행은 24시간(86,400초)이며, 창고와 랙이 빈 상태에서 시작한다. 이 시작 구간은 모든 시나리오에 똑같이 들어간다.
- 시나리오마다 5회 반복했고, 같은 반복 번호에는 같은 무작위 변동 조건(시드 11~15)을 적용해 조건 차이만 비교되도록 했다.
- 체결 부품 키트(SET)는 1세트를 1개(ea)로 반영했다.

부록 A. 근거 실행 목록

분석에 쓴 디지털 트윈: Intro-02 가상 공장 A(ID d009f8ac-315d-4c5f-a454-a834d4f2f6a6). 모든 실행은 실행 시간 24시간(86,400초)이며 모두 정상 완료되었습니다.

실행 이름	실행 ID	시나리오	조건	반복 (시드)
02-base-r1	48b34237-7958-4c60-9cfc-dbd465af3ebe	현재 상태	AGV 3대, 보충 최소 3/목표 6	11
02-base-r2	48372d16-6548-4d2c-b869-0fc364590a22	현재 상태	AGV 3대, 보충 최소 3/목표 6	12
02-base-r3	7fb9def7-d64f-4b24-b483-4b21a5c04413	현재 상태	AGV 3대, 보충 최소 3/목표 6	13
02-base-r4	8b272576-f8c7-4c0e-a3c1-cf4c04f6d56a	현재 상태	AGV 3대, 보충 최소 3/목표 6	14
02-base-r5	f33447ba-b68e-4187-856f-53d92a0c5eda	현재 상태	AGV 3대, 보충 최소 3/목표 6	15
02-agv4-r1	2d8c0be1-297f-46fa-b734-807487f9be7f	AGV 1대 추가	AGV 4대(+AGV-04, CD-04), 보충 최소 3/목표 6	11
02-agv4-r2	634a9870-6762-41bf-816c-4fcf1221b53c	AGV 1대 추가	AGV 4대(+AGV-04, CD-04), 보충 최소 3/목표 6	12
02-agv4-r3	8b2d896d-840a-4f08-bc67-bbd037fca8b	AGV 1대 추가	AGV 4대(+AGV-04, CD-04), 보충 최소 3/목표 6	13
02-agv4-r4	465ac5be-5622-4436-bece-98793636daaa	AGV 1대 추가	AGV 4대(+AGV-04, CD-04), 보충 최소 3/목표 6	14
02-agv4-r5	3fd0d2c9-6c3e-4cdf-97b3-fb90c873ccec	AGV 1대 추가	AGV 4대(+AGV-04, CD-04), 보충 최소 3/목표 6	15
02-lot8-r1	6c30fb72-90bd-4c39-ade4-28a7fb3c8db4	보충 기준 변경	AGV 3대, 보충 최소 8/목표 16	11
02-lot8-r2	1d0443e9-185e-416c-b68f-bc26f79a5a01	보충 기준 변경	AGV 3대, 보충 최소 8/목표 16	12
02-lot8-r3	bbacd431-c64f-4921-a083-c029f16a05b2	보충 기준 변경	AGV 3대, 보충 최소 8/목표 16	13
02-lot8-r4	56d17de8-f01a-46fb-8e3f-4bd3c75c30da	보충 기준 변경	AGV 3대, 보충 최소 8/목표 16	14
02-lot8-r5	a74d7e94-c32f-475a-9e65-4b5c3d319080	보충 기준 변경	AGV 3대, 보충 최소 8/목표 16	15
02-lot8agv2-r1	33618766-da3d-4f0f-84d7-6c3eb758c9b9	보충 기준 변경 + AGV 2대	AGV 2대(AGV-03 제외), 보충 최소 8/목표 16	11
02-lot8agv2-r2	df591875-dee0-4f30-abc1-c97f43beddc7	보충 기준 변경 + AGV 2대	AGV 2대(AGV-03 제외), 보충 최소 8/목표 16	12
02-lot8agv2-r3	d978a045-df26-4f42-9729-a7e5a149b2e2	보충 기준 변경 + AGV 2대	AGV 2대(AGV-03 제외), 보충 최소 8/목표 16	13
02-lot8agv2-r4	4861e805-8653-4043-b2db-3048390a101c	보충 기준 변경 + AGV 2대	AGV 2대(AGV-03 제외), 보충 최소 8/목표 16	14
02-lot8agv2-r5	045035e2-6c59-40a9-b7cc-7c3fb2c7a537	보충 기준 변경 + AGV 2대	AGV 2대(AGV-03 제외), 보충 최소 8/목표 16	15

보정 실행(모델 보정 근거, 비교표에는 쓰지 않음)

실행 이름	실행 ID	조건	결과
02-smoke-2	32d6cf5b-c943-420e-8ca7-f178522d8b47	AGV 사양 속도 1,000mm/s, 시드 2	출하 3,141개, AGV 작업 1,897회, 작업당 135.4초
02-smoke-3	d96aa68b-58b2-4b02-b103-f565f665c910	유효 속도 840mm/s 확인, 시드 3	보정값 확인용