디지털 트윈 시뮬레이션 기반 의사결정 보고서

가상 공장 E 무선 전동공구 조립동 증산 대응 라인 개선안 검토

S1에 사람을 더 넣으면 하루 6,800대가 나오는가 — 막힘 원인 진단과 투입이 가장 적은 대안

수신 가상 공장 E 경영진, 생산 책임자, 설비투자 책임자

작성 N-XI 디지털 트윈 분석

작성일 2026-10-16

계획대로 S1에 사람을 더 넣을 때 일 양품 출하

6,114대

목표 6,800대의 89.9% (현재 6,076대)

권고안 일 양품 출하

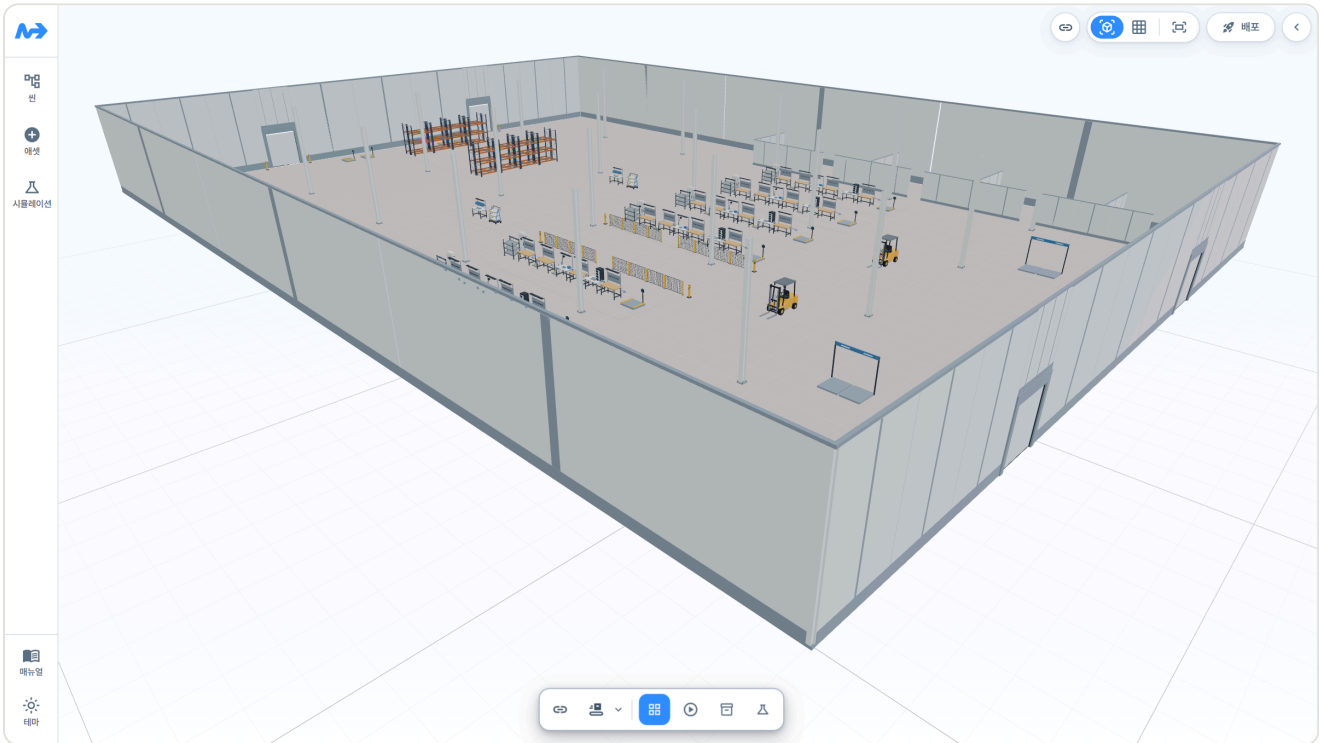
6,939대

목표의 102.0%, 5회 모두 목표 이상(최소 6,921대)

권고안 추가 작업자·작업대

0명·대

시험을 마친 지그·고정구 6대와 받침대 12개, 기존 작업대 이설



N-XI로 구축한 가상 공장 E 디지털 트윈(3D, 권고안 적용 상태, 건물 90 m × 64 m). 가운데에 드릴 4개 라인과 임팩트 드라이버 2개 라인, 왼쪽에 부품 창고 선반 랙, 오른쪽에 공용 출하 대기장과 지게차가 있습니다.

본 보고서는 실제 공장 데이터 형식을 본뜬 가상 공장 사례입니다. 실적은 가상 운영 데이터, 대안 비교 수치는 N-XI 시뮬레이션 결과입니다.

요약

라인마다 S1 작업대와 작업자를 한 명씩 더 넣는 계획(작업대 6대, 하루 작업자 12명)으로는 다음 분기 목표에 도달하지 못합니다. 디지털 트윈에서 계획대로 운전하면 공장 일 양품 출하는 6,114대로, 현재 상태 6,076대보다 38대(+0.6%) 늘어나는 데 그칩니다(목표 6,800대의 89.9%). 실적이 계산 능력의 80%대에 머무는 원인은 S1의 평균 시간이 아닙니다. 작업대가 붙어 있어 다음 작업대가 비어야 넘길 수 있는 라인에서, 사이클이 들쭉날쭉한 드릴 S3 나사 체결(변동계수 0.51)과 임팩트 S5 타격 토크 검사(0.45)가 앞 공정을 막고 뒤 공정을 비게 만드는 것이 원인입니다. 변동계수는 표준편차 ÷ 평균으로, 나머지 공정은 0.08~0.10입니다.

시제품 시험을 마친 드릴 S3 체결 지그 4대와 임팩트 S5 검사 고정구·자동 판정 2대를 양산 라인에 적용하고, 라인마다 WIP 받침대(공정 사이에 반제품 1대를 놓는 받침대)를 2개씩(공장 12개) 두면, 작업자와 작업대를 늘리지 않고 공장 일 양품 6,939대(목표 대비 102.0%)를 얻습니다. 받침대를 두려면 라인 구역 안에서 기존 작업대 30대를 650~1,300mm 옮겨야 합니다. 지그·고정구만 적용하거나(6,583대), 받침대만 공간 상한인 라인당 3개를 두거나(6,686대), 지그·고정구에 받침대 1개만 더하면(6,757대) 목표에 못 미칩니다. 받침대를 3개로 늘려도 공장 출하는 80대 더 느는 데 그쳐 2개가 목표를 채우는 가장 작은 수량이고, 같은 2개라도 편차가 큰 공정 바로 앞뒤에 두면 6,738대로 목표에 못 미칩니다. 받침대는 S1 바로 뒤와, 지그·고정구 적용 뒤에도 변동이 남은 공정 쪽(드릴 S5 앞, 임팩트 S2 뒤)에 두어야 합니다.

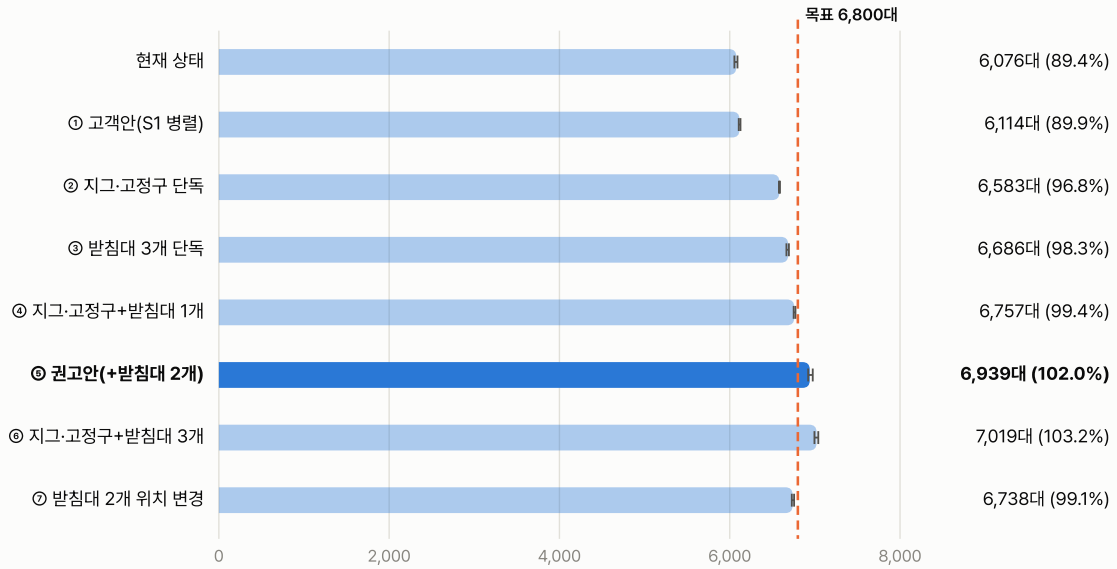
일 양품 출하
6,076 → 6,939
대, 현재 상태 → 권고안(5회 평균)
고객안은 6,114대

권고안 라인당 출하
1,225 · 1,020
대, 드릴 · 임팩트 드라이버
5회·모든 라인 목표 이상(최소 1,212 · 1,013)

권고안 추가 투입
작업자 0 · 작업대 0
지그 4 · 고정구 2 · 받침대 12 (기존 작업대 30대를 라인 구역 안에서 650~1,300mm 이설)
고객안은 작업대 6대 · 작업자 12명/일

유의점: 지그 효과
6,801대
변동이 시험보다 1.5배 클 때
임팩트 라인당 998대로 목표 미달

그림 1. 시나리오별 공장 일 양품 출하(대/일, 15시간 × 5회 평균, 수염은 최소~최대)



점선은 목표 6,800대. ⑥·⑦은 받침대 수와 배치 위치를 확인하려고 추가로 비교한 안입니다(5.5 추가 검증).

1. 요청 배경과 판단 기준

- 현재: 하루 2교대, 휴식을 뺀 실가동 15시간. 최근 2주 일평균 드릴 라인당 1,072대, 임팩트 드라이버 라인당 910대, 공장 6,107대를 출하합니다.
- 목표: 다음 분기부터 드릴 라인당 1,200대, 임팩트 드라이버 라인당 1,000대, 공장 6,800대(양품 출하 기준).
- 고객 계획: 라인 밸런싱표에서 가장 긴 S1(드릴 42.0초, 임팩트 50.5초)에 라인마다 작업대 1대·작업자 1명(교대당)을 더해 2인 병렬로 운영합니다. 최장 공정이 드릴 40.0초·임팩트 48.0초가 되어 계산 능력이 1,350·1,125대로 오르므로 목표를 채울 것으로 기대했습니다.

판단 기준

기준	내용
목표 달성	같은 조건의 15시간 시뮬레이션을 같은 난수 조건 5가지로 5회 반복해, 평균이 공장·제품·라인 목표 이상이고 라인별·실행별 최솟값도 목표 이상일 것
투자 최소	추가 작업자·작업대 수, 지그·고정구 수, 받침대 수를 수량으로 비교(설비 금액·투자비 자료가 없어 금액 비교는 하지 않음)
실행 가능성	자료에 있는 사양·시제품 시험·공간 검토 범위 안의 대안만 검토(라인 구역 17,200mm 고정, 공정 사이 받침대는 라인당 최대 3개, S1 추가 작업대는 라인 북쪽)

2. 데이터 분석 결과 — 운영 데이터로 본 현재 상태

2.1 생산 실적(2026-09-30~10-14, 생산일 10일)

표 1. 라인별 실적(일평균, 불합격률은 10일 합계 불합격 ÷ 검사)

라인	투입(S1 시작)	양품 출하 최소~최대	S5 불합격률	계산 능력 대비 최장 공정 기준
DR-L1	1,081.3	1,074.3 1,053~1,083	0.65%	83.6%
DR-L2	1,083.9	1,076.4 1,060~1,096	0.68%	83.7%
DR-L3	1,077.7	1,070.5 1,062~1,077	0.67%	83.3%
DR-L4	1,076.0	1,066.8 1,058~1,081	0.86%	83.0%
IM-L5	922.1	912.5 894~923	1.04%	85.3%
IM-L6	918.0	906.7 894~921	1.24%	84.8%

공장 합계 일평균 6,107.2대(최소 6,065~최대 6,133). 불합격률은 드릴 0.71%, 임팩트 드라이버 1.14%입니다(10일 합계). 계산 능력은 실가동 54,000초 ÷ 밸런싱표 최장 공정(드릴 42.0초 → 1,286대, 임팩트 50.5초 → 1,069대)입니다.

- 6개 라인 모두 계산 능력의 83~85%를 출하하고, 날짜·라인별 편차는 평균 대비 약 ±2%로 안정적입니다. 같은 제품 라인끼리 실적·사이클이 거의 같아 한 라인 모형을 복제해 써도 됩니다.
- 설비 이상 정지는 2주 동안 4건, 합계 920초(라인·공정당 하루 평균 3초 미만)로 출하 손실의 원인이 되지 못합니다.

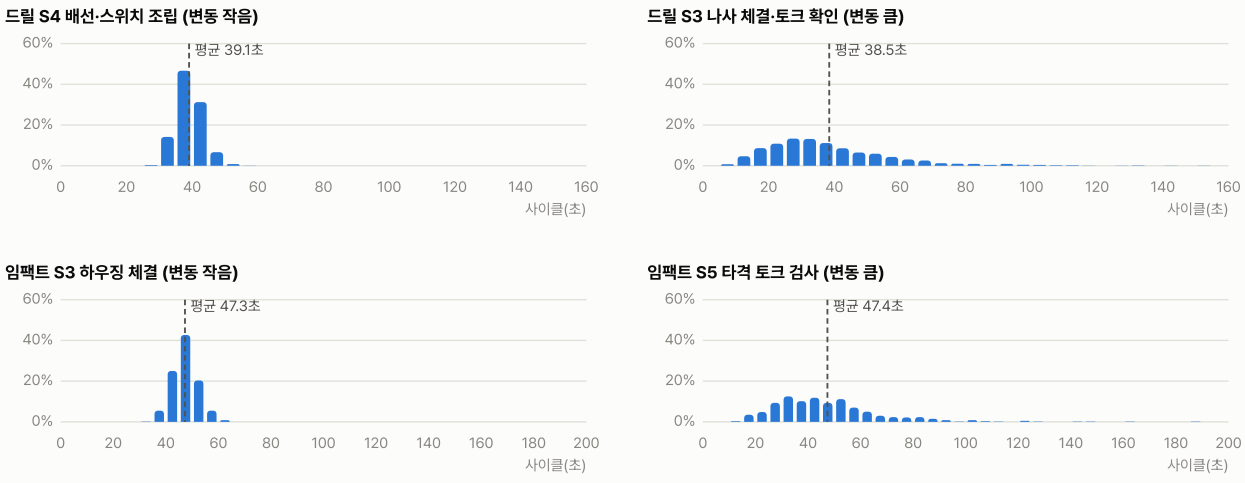
- 키트 랙은 30분마다 드릴 45세트·임팩트 40세트를 받아 하루 공급 상한이 드릴 1,350·임팩트 1,200세트이고 결품 기록이 없습니다. 목표(1,200·1,000대)보다 높아 키트 공급은 제약이 아닙니다.

2.2 공정 사이클과 작업 상태

표 2. 공정별 사이클 실측(최근 1주, 제품·공정별 라인 합산, 초)과 현장 관찰(%) — 모델 입력값

공정	표준시간	실측 평균	표준편차	변동계수	5~95% 구간	관찰: 작업/다음 대기/앞 대기
드릴 S1 모터·기어 조립	42	41.90	4.00	0.10	35.6~49.0	84.9/15.1/0.0
드릴 S2 하우징 결합	40	39.97	4.14	0.10	33.5~47.3	80.7/16.8/2.5
드릴 S3 나사 체결·토크 확인	39	38.46	19.62	**0.51**	14.8~75.4	76.2/19.8/4.1
드릴 S4 배선·스위치 조립	39	39.08	3.99	0.10	33.1~46.0	78.3/7.3/14.3
드릴 S5 기능 검사	40	39.96	10.01	**0.25**	26.2~58.5	79.6/3.8/16.6
드릴 S6 포장	38	38.04	3.02	0.08	33.5~43.1	76.6/0.0/23.4
임팩트 S1 모터 조립	50.5	50.43	4.51	0.09	43.0~58.1	85.0/15.0/0.0
임팩트 S2 해머·앤빌 조립	48	47.81	11.64	**0.24**	31.8~69.0	82.3/15.2/2.5
임팩트 S3 하우징 체결	47	47.29	4.78	0.10	39.7~55.7	77.5/13.5/9.0
임팩트 S4 배선·스위치 조립	48	47.91	4.56	0.10	40.5~55.4	81.2/10.8/8.0
임팩트 S5 타격 토크 검사	47	47.39	21.36	**0.45**	21.8~85.1	83.8/7.5/8.7
임팩트 S6 포장	45.5	45.62	3.66	0.08	39.5~51.6	74.0/0.0/26.0

그림 2. 평균은 비슷하지만 퍼짐이 다른 공정의 사이클 분포(최근 1주 실측, 막대 = 구간별 사이클 비율)



드릴 S4(평균 39.1초)와 S3(평균 38.5초), 임팩트 S3(평균 47.3초)와 S5(평균 47.4초)는 평균이 거의 같지만, S3·S5는 짧게 끝나는 사이클과 아주 길게 걸리는 사이클이 섞여 있습니다. 데이터: 07_운영데이터/사이클타임.csv(제품·공정별 라인 합산 1,200건·600건).

- 공정 평균은 모두 밸런싱표 표준시간과 0.6초 이내로 일치합니다. 표준시간 배분 자체는 맞게 되어 있습니다.
- 차이는 변동입니다. 드릴 S3(표준편차 19.6초)와 임팩트 S5(21.4초)는 사이클 7~9건에 1건꼴로 평균의 1.5배를 넘고(드릴 S3 13.9%, 임팩트 S5 11.3%), 길게는 151초·190초까지 걸립니다(평균의 2배 초과는 각각 4.9%, 2.8%). 드릴 S5·임팩트 S2도 변동계수 0.24~0.25입니다.
- 작업대가 붙어 있어 다음 작업대가 비어야 넘길 수 있으므로, 변동 큰 공정이 길게 걸리면 앞 공정은 완성품을 든 채 기다리고(드릴 S1~S3·임팩트 S1~S2의 '다음 작업대 대기' 15~20%) 뒤 공정은 작업물 없이 기다립니다(S6 '앞 작업대 대기'

23~26%). S1은 앞 대기가 0%로 키트는 늘 있었고, 자기 시간이 아니라 뒤가 막혀서 쉬고 있습니다. 실적이 계산 능력의 80%대에 머무는 직접 원인이 이 막힘·대기 손실(공정당 15~26%)입니다.

2.3 시제품 시험과 공간 검토

표 3. 시제품 시험(3일·300건)과 현재 공정 비교(초)

대상	현재 평균±표준편차 (변동계수)	시험 평균±표준편차 (변동계수)	시험 5~95% 구간	일별 평균
드릴 S3 체결 지그(DR-L2)	38.46±19.62 (0.51)	38.12±6.16 (0.16)	28.6~49.4	37.86, 38.27, 38.23
임팩트 S5 검사 고정구·자동 판정(IM-L6)	47.39±21.36 (0.45)	46.14±7.18 (0.16)	35.0~59.2	45.83, 46.32, 46.27

- 두 시제품 모두 품질 목적(체결 위치 고정, 측정 반복성)으로 만들었지만, 사이클 평균은 거의 그대로 두고 표준편차를 약 3분의 1로 줄였습니다. 3일 동안 일별 평균 차이가 0.5초 이내로 안정적입니다. 변동이 원인이라는 진단에 직접 대응하는 수단이 이미 시험을 마친 상태입니다.
- 공간 검토(08 증산계획서): 라인 구역 길이는 17,200mm로 고정이고 S6와 팔레트 존 사이 2,200mm가 남습니다. 공정 사이에 받침대(600×400mm, 반제품 1대)를 두려면 하류 작업대를 650mm 옮겨야 하므로 라인당 최대 3개까지 둘 수 있습니다. S1 추가 작업대는 라인 북쪽(Y+1,300)에 둬 라인 길이에 영향이 없습니다.

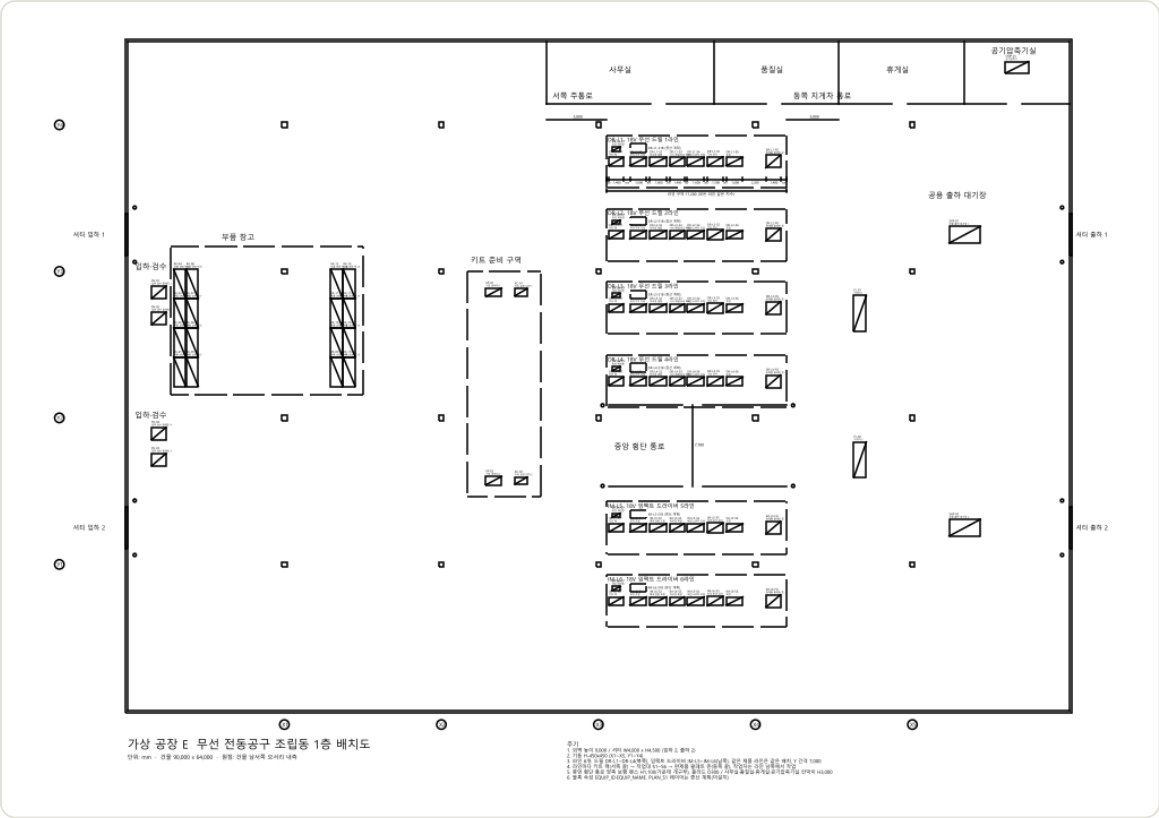
3. 디지털 트윈 구축 요약

트윈 구성(권고안 적용 후)

항목	내용
설계 트윈	Intro-06 가상 공장 E(N-XI Intro 디지털 트윈 아래, 식별자는 부록 A)
규모	리소스 177개, 흐름 연결 54개, 품목 34개, BOM 32행
건축·부대 요소	외벽 12구간(셔터 개구부 위 상부벽 포함, 높이 9,000mm), 셔터 4(폭 4,000×높이 4,500mm), 기둥 20(H-450), 사무실·품질실·휴게실·공기압축기실 칸막이 9(높이 3,000mm), 중앙 횡단 통로 보행 펜스 16모듈(높이 1,100mm), 볼라드 12, 공기압축기 1, 공용 출하 대기장 2, 지게차 2, 입하 검수 팔레트 4, 부품 창고 선반 랙 16, 키트 준비대 2·운반대차 2, 라인 제어반 6 — 모두 시뮬레이션에 참여하지 않는 배치 요소
바닥	조립동 바닥과 부품 창고·키트 준비·라인 6개 구역 바닥 구획판(모두 바닥면보다 낮게 깔아 설비와 겹치지 않음)
시뮬레이션 요소	현재 상태: 라인당 키트 랙(30분마다 입고) 1 + 작업대 6 + 완제품 팔레트 존(출하) 1 = 48개. 권고안: 여기에 받침대 12개를 더해 60개

한 라인을 그룹으로 지어 복제로 6개 라인을 만들었습니다. 도면 좌표대로 DR-L1 한 라인을 먼저 지었습니다. 라인 구역 바닥 구획판(DR-L1 구역)을 그룹으로 삼고, 그 아래에 키트 랙 1·작업대 6·완제품 팔레트 존 1·제어반 1, 모두 9개를 두었습니다(구역 판 포함 10개). 여기에 품목·공정 시간·불량률·입고·출하 조건과 라인 안 흐름 연결 7개를 설정한 뒤, 그룹을 통째로 복제해 7,000mm 간격으로 DR-L2~L4를 만들고 이름의 L1을 L2·L3·L4로 한 번에 바꿨습니다. 임팩트 드라이버 라인은 같은 그룹을 IM-L5 자리로 복제해 품목과 공정 시간만 바꾼 뒤 다시 IM-L6로 복제했습니다. 이후 같은 제품 라인 전체에 적용하는 변경(지그 적용, 받침대 설정, 작업대 이동)은 같은 제품 라인의 같은 공정을 한 번에 고치는 방식으로 적용했습니다.

그림 3. 고객 도면(01_도면_layout.dxf 렌더링)



도면 블록의 중심 좌표·치수(mm)를 그대로 트윈에 옮겼습니다. 북쪽 4개 라인이 드릴, 중앙 횡단 통로 남쪽 2개 라인이 임팩트 드라이버입니다.

그림 4. N-XI 트윈 평면 보기(권고안 적용 상태, 건물 부분)

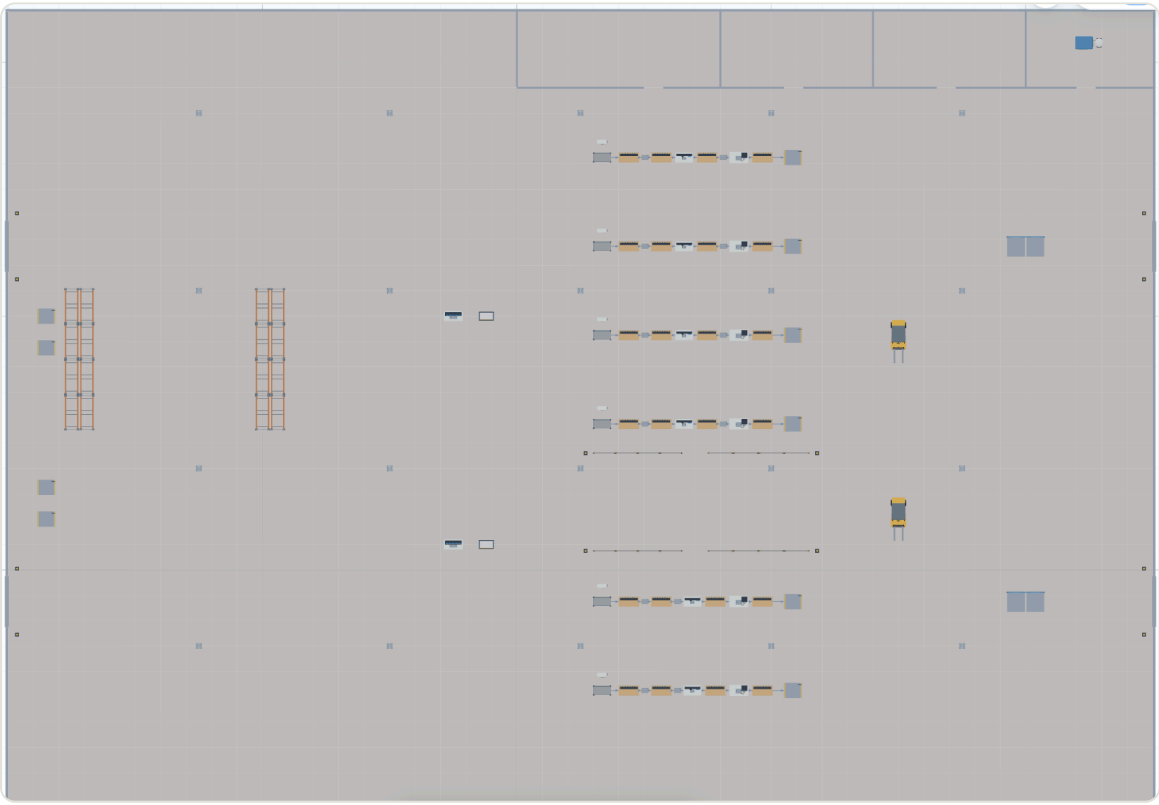


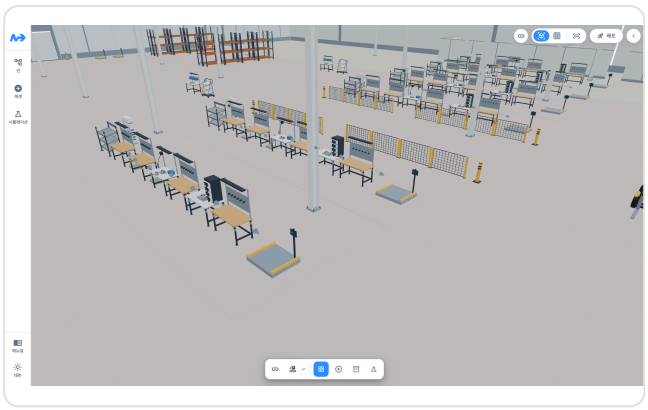
그림 3의 도면과 같은 배치입니다. 왼쪽 부품 창고 선반 랙, 가운데 키트 준비 구역, 오른쪽 6개 라인과 공용 출하 대기장·지게차, 위쪽 사무실·품질실·휴게실·공기압축기실 칸막이가 도면 위치 그대로 놓였습니다.

구축 뒤 복제한 라인의 설정이 기준정보와 같은지 하나씩 조회해 확인했고, 15시간 흐름 점검 실행으로 6개 라인이 모두 끝까지 흐르는 것을 확인한 다음 비교용 시뮬레이션을 실행했습니다.

그림 5. 트윈 3D 전체와 라인 근접 보기



트윈 3D 전체(건물 90 m × 64 m)



라인 근접: 앞쪽 임팩트 드라이버 2개 라인

외벽·셔터·기둥·칸막이·보행 펜스·볼라드와 부품 창고·출하 대기장·지게차까지 도면대로 배치했습니다. 라인 근접 보기에서 앞쪽은 임팩트 드라이버 2개 라인, 보행 펜스 너머가 드릴 4개 라인이며, 각 라인은 키트 랙 → S1~S6 작업대 → 완제품 팔레트 존 순서이고 권고안의 받침대가 작업대 사이에 놓여 있습니다.

표 4. 모델에 반영한 데이터

구분	모델에 반영한 값	근거
공정 시간	표 2의 제품·공정별 실측 평균·표준편차(초). 매 사이클 시간은 이 평균·표준편차를 갖는 로그정규 분포(오래 걸리는 쪽으로 꼬리가 긴 분포)로 뽑음	07 사이클타임(라인·공정별 300건)
불량	S5 불합격률 드릴 0.71%, 임팩트 1.14%. 불합격품은 포장을 거쳐 팔레트 존 불량 칸으로 나감	07 생산실적 10일 합계
키트 공급	첫 입고 0초, 1,800초 간격, 드릴 45세트·임팩트 40세트, 랙 용량 200세트	02 설비기준정보(저장소)
라인 안 흐름	키트 랙 → S1 → … → S6 → 팔레트 존을 작업대끼리 직접 연결(다음 작업대가 비어야 넘김)	03 공정정보(자재 흐름)
라인 출하	팔레트 존에 들어온 양품 수량	02·03 라인 출하 실적 정의
배치	도면 블록 중심 좌표·치수(mm), S1 추가 작업대 위치(Y+1,300), 받침대 600×400mm와 하류 작업대 650mm 이동	01 도면, 08 공간 검토

4. 현재 상태 진단과 고객안 검증

4.1 현재 상태 모델이 실적을 재현하는가

표 5. 현재 상태 모델(5회 평균) 대 실적

항목	실적(최근 2주)	모델	차이
드릴 라인당 양품(대/일)	1,072.0	1,070.3	-0.2%
임팩트 라인당 양품(대/일)	909.6	897.6	-1.3%
공장 양품(대/일)	6,107.2	6,076.4	-0.5%

표 6. 공정 상태 구성: 현장 관찰 대 모델(%)

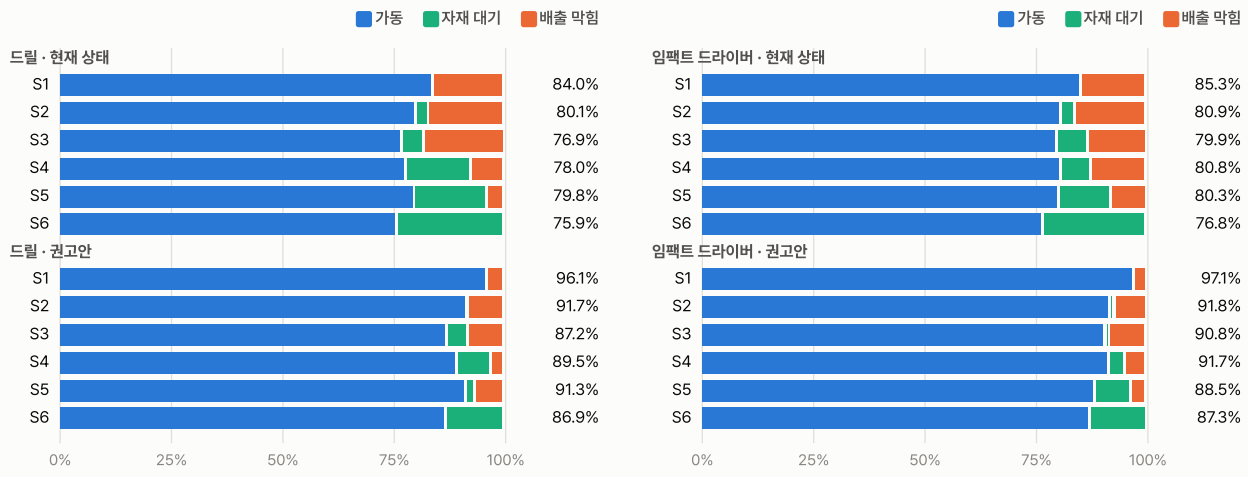
공정	관찰 작업/다음 대기/앞 대기	모델 가동/배출 막힘/자재 대기
드릴 S1	84.9/15.1/0.0	84.0/16.0/0.0
드릴 S2	80.7/16.8/2.5	80.1/17.0/2.9
드릴 S3	76.2/19.8/4.1	76.9/18.1/4.9
드릴 S4	78.3/7.3/14.3	78.0/7.4/14.6
드릴 S5	79.6/3.8/16.6	79.8/3.9/16.3
드릴 S6	76.6/0.0/23.4	75.9/0.0/24.1
임팩트 S1	85.0/15.0/0.0	85.3/14.7/0.0
임팩트 S2	82.3/15.2/2.5	80.9/16.1/3.1
임팩트 S3	77.5/13.5/9.0	79.9/13.2/6.9
임팩트 S4	81.2/10.8/8.0	80.8/12.4/6.8
임팩트 S5	83.8/7.5/8.7	80.3/8.0/11.7
임팩트 S6	74.0/0.0/26.0	76.8/0.0/23.2

현재 상태 모델은 공장 출하를 실적 대비 -0.5% 차이로 재현하고, 공정별 가동·막힘·대기 구성도 현장 순회 관찰과 드릴은 2%p, 임팩트는 4%p 안에서 맞습니다. 모델은 15시간을 연속 운전하고 첫 키트가 0초에 들어와 라인을 처음 채우는 구간을 포함하는데도 실적과 일치하므로, 대안 비교의 기준으로 씁니다.

4.2 원인 진단

- S1은 자재 대기 0%, 가동 84.0%(드릴)·85.3%(임팩트)이고, 나머지 16.0%·14.7%는 다음 작업대가 차 있어 기다리는 시간입니다. S1이 더 빨라져도 넘길 곳이 없으면 출하는 늘지 않습니다.
- 배출 막힘은 드릴 S1~S3(16~18%), 임팩트 S1~S4(12~16%)에 몰리고, 자재 대기는 하류(드릴 S4~S6 15~24%, 임팩트 S5·S6 12~23%)에 몰립니다. 그 경계에 있는 공정이 변동이 큰 드릴 S3·임팩트 S5(그리고 드릴 S5·임팩트 S2)입니다.
- 결론: 병목은 평균이 가장 긴 공정 하나가 아니라 "대기 자리 없는 직결 + 큰 변동"이 만드는 막힘·대기 손실입니다. 대안은 변동을 줄이거나(시험 마친 지그·고정구), 변동을 흡수할 자리를 두는(받침대) 두 방향이어야 합니다.

그림 6. 공정 상태 구성(같은 제품 라인·5회 평균, 시간 비율) — 현재 상태와 권고안

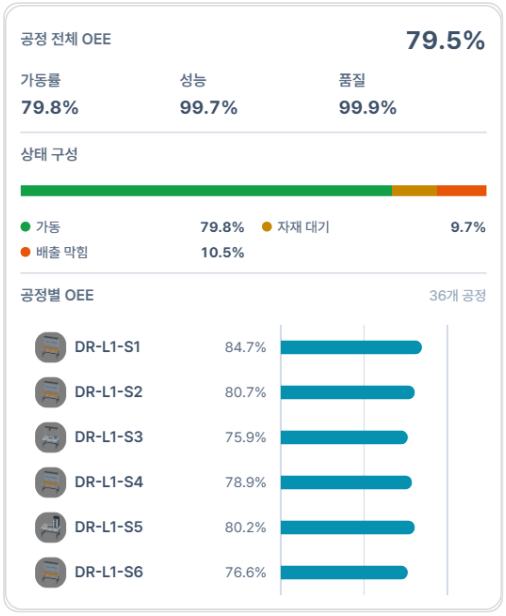


현재 상태에서는 앞쪽 공정의 배출 막힘과 뒤쪽 공정의 자재 대기가 공정당 15~24%를 차지합니다. 권고안에서는 S1 가동이 96~97%로 오르고 막힘·대기가 크게 줄어듭니다. 오른쪽 숫자는 가동 비율입니다.

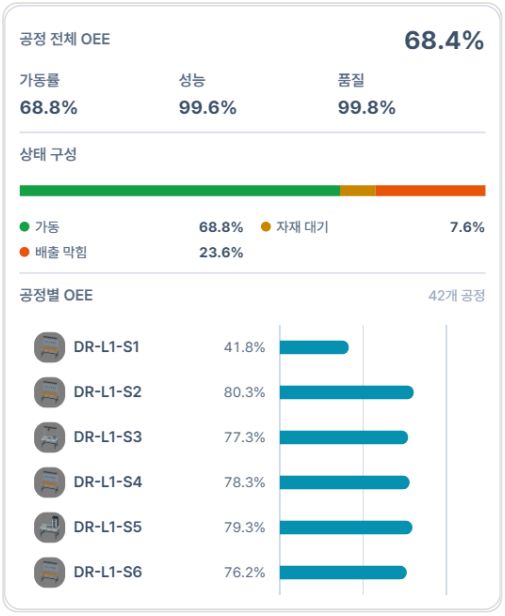
4.3 고객안(S1 2인 병렬) 검증

고객안은 라인마다 S1B 작업대를 기존 S1 맞은편(Y+1,300)에 두고 키트 랙에서 S1·S1B로 키트를 받아 S2로 넘기게 했습니다(작업대 6대, 같은 사양·같은 공정 시간). 결과 공장 일 양품은 6,114대(6,106~6,126), 드릴 라인당 1,075대, 임팩트 라인당 908대로 현재와 거의 같습니다. S1과 S1B는 각각 가동 약 42%·배출 막힘 약 58%(드릴), 가동 약 43%·막힘 약 57%(임팩트)로 두 사람이 일을 나눠 가질 뿐이고, 하류 S2~S6의 막힘·대기 구성은 그대로입니다(표 C). 작업자 12명/일과 작업대 6대를 더 넣어도 공장 출하는 38대(+0.6%) 느는 데 그치므로, 계획을 그대로 실행하는 것은 권하지 않습니다.

그림 7. N-XI 공정 카드 비교 — 현재 상태 대 고객안(각 1회 실행 화면)



현재 상태(06-base-r1): 공정 평균 가동 79.8%



고객안(06-cust-r1): 공정 평균 가동 68.8%

고객안에서는 S1·S1B가 각각 40%대 가동에 머물러 공정 평균 가동률이 오히려 낮아지고(배출 막힘 10.5% → 23.6%), 출하는 거의 그대로입니다. 카드 아래 목록은 화면 높이 때문에 DR-L1 공정만 보입니다.

5. 대안 설계와 시뮬레이션 비교

5.1 시나리오 구성

표 7. 비교한 시나리오(모두 6개 라인 전체에 적용, 같은 난수 조건 5가지로 5회씩 실행)

시나리오	바꾼 설정	추가 리소스(라인당 / 공장)	배치 변경
① 고객안	S1B 작업대 추가, S1과 같은 공정 시간	S1B 작업대 1 / 6, 작업자 교대당 1 / 하루 12명	S1B를 S1 북쪽 Y+1,300에 배치
② 지그·고정구 단독	드릴 S3 38.46±19.62 → 38.12±6.16초, 임팩트 S5 47.39±21.36 → 46.14±7.18초 (시험값)	체결 지그 1 / 4, 검사 고정구·자동 판정 1 / 2	없음
③ 받침대 3개 단독	공정 시간 현재값	받침대 3 / 18 — 드릴 S2-S3·S3-S4·S4-S5, 임팩트 S2-S3·S4-S5·S5-S6	받침대 1개당 하류 작업대 650mm 이동
④ 지그·고정구 + 받침대 1개	②와 같음	② + 받침대 1 / 6 — 드릴 S4-S5, 임팩트 S1-S2	하류 작업대 650mm 이동

시나리오	바꾼 설정	추가 리소스(라인당 / 공장)	배치 변경
⑤ 권고안: 지그·고정구 + 받침대 2개	②와 같음	② + 받침대 2 / 12 — 드릴 S1-S2·S4-S5, 임팩트 S1-S2·S2-S3	드릴 S2~S4 +650mm, S5·S6 +1,300mm / 임팩트 S2 +650mm, S3~S6 +1,300mm
⑥ 지그·고정구 + 받침대 3개 (추가 검증)	②와 같음	⑤ + 받침대 1 / 6(합계 3 / 18) — 드릴 S3-S4, 임팩트 S4-S5 추가	⑤에서 해당 하류 작업대 650mm 추가 이동
⑦ 지그·고정구 + 받침대 2개, 편차 큰 공정 앞뒤(추가 검증)	②와 같음	② + 받침대 2 / 12 — 드릴 S2-S3·S3-S4, 임팩트 S4-S5·S5-S6	드릴 S3 +650mm, S4~S6 +1,300mm / 임팩트 S5 +650mm, S6 +1,300mm

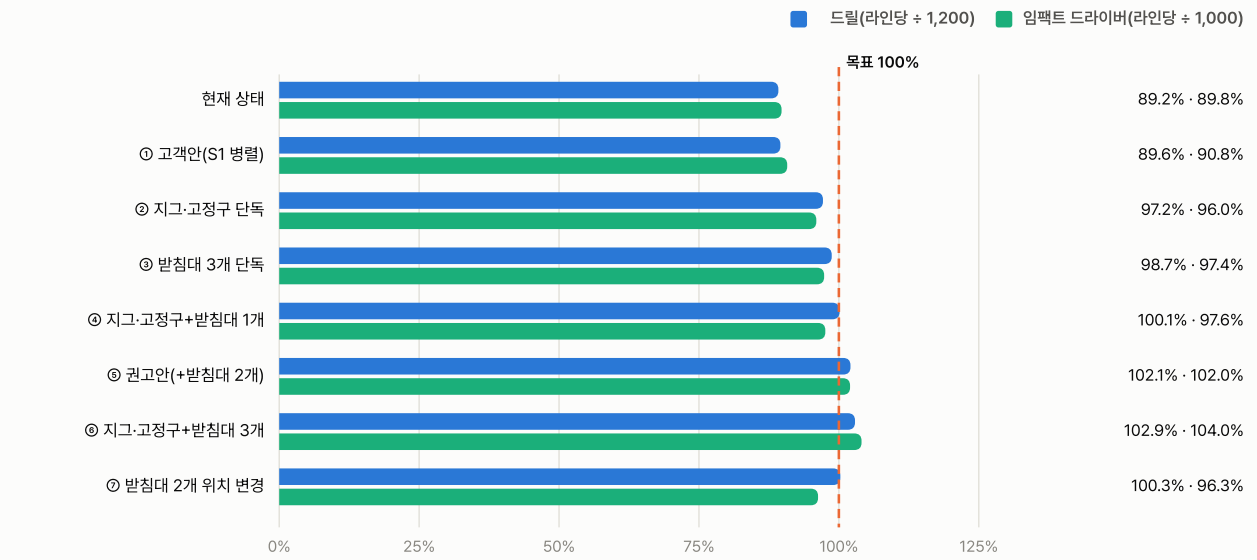
받침대 위치 후보는 간이 계산(직렬 라인 대기열 계산)으로 좁히고, 주요 후보는 N-XI 시뮬레이션으로 비교했습니다. 지그가 없을 때(③)는 변동이 큰 공정 주변에, 지그·고정구를 적용한 뒤(④·⑤)는 평균이 가장 긴 S1 바로 뒤와 남은 변동 공정(드릴 S5 앞, 임팩트 S2 앞뒤)에 두었습니다. 직관적인 대안인 "편차 큰 공정 바로 앞뒤" 배치(⑦)는 5.5에서 N-XI 결과로 비교합니다.

5.2 출하 비교

표 A. 시나리오별 일 양품 출하(5회 평균, 아래 줄은 최소~최대 또는 목표 대비)

시나리오	공장 합계	목표 6,800 대비	드릴 4개 라인 합계	드릴 라인당 목표 1,200 대비	임팩트 2개 라인 합계	임팩트 라인당 목표 1,000 대비
현재 상태	6,076 6,055~6,091	89.4%	4,281 4,263~4,293	1,070.3 89.2%	1,795 1,785~1,806	897.6 89.8%
① 고객안(S1 2인 병렬)	6,114 6,106~6,126	89.9%	4,299 4,280~4,331	1,074.7 89.6%	1,815 1,795~1,833	907.7 90.8%
② 지그·고정구 단독	6,583 6,578~6,590	96.8%	4,664 4,661~4,666	1,165.9 97.2%	1,919 1,912~1,924	959.7 96.0%
③ 받침대 3개 단독	6,686 6,666~6,695	98.3%	4,739 4,725~4,750	1,184.7 98.7%	1,947 1,941~1,952	973.7 97.4%
④ 지그·고정구 + 받침대 1개	6,757 6,751~6,772	99.4%	4,806 4,796~4,811	1,201.5 100.1%	1,952 1,944~1,961	975.8 97.6%
⑤ 권고안: 지그·고정구 + 받침대 2개	6,939 6,921~6,975	102.0%	4,899 4,884~4,924	1,224.8 102.1%	2,040 2,035~2,051	1,020.0 102.0%
⑥ 지그·고정구 + 받침대 3개	7,019 6,995~7,040	103.2%	4,938 4,920~4,959	1,234.6 102.9%	2,081 2,075~2,085	1,040.5 104.0%
⑦ 지그·고정구 + 받침대 2개(편차 큰 공정 앞뒤)	6,738 6,729~6,756	99.1%	4,813 4,805~4,825	1,203.2 100.3%	1,926 1,918~1,931	962.8 96.3%

그림 8. 시나리오별 제품별 목표 대비 달성률(라인당 평균 ÷ 라인 목표, 5회 평균)



점선이 100%(목표)입니다. 드릴·임팩트 드라이버 모두 100%를 넘는 안은 ⑤ 권고안과 ⑥(받침대 3개)뿐입니다.

표 B. 라인별 일 양품 출하(5회 평균, 아래 줄은 최소~최대)

시나리오	DR-L1	DR-L2	DR-L3	DR-L4	IM-L5	IM-L6	목표 미달 라인×실행
현재 상태	1,069 1,060~1,083	1,071 1,063~1,083	1,067 1,056~1,074	1,075 1,065~1,084	898 890~902	898 890~907	드릴 20/20 임팩트 10/10
① 고객안(S1 2인 병렬)	1,076 1,056~1,096	1,079 1,075~1,084	1,077 1,068~1,080	1,066 1,056~1,076	905 884~915	910 890~926	드릴 20/20 임팩트 10/10
② 지그·고정구 단독	1,163 1,161~1,166	1,166 1,156~1,174	1,166 1,162~1,170	1,168 1,163~1,175	961 955~965	959 950~965	드릴 20/20 임팩트 10/10
③ 받침대 3개 단독	1,181 1,171~1,190	1,191 1,187~1,195	1,180 1,175~1,185	1,187 1,173~1,192	973 959~981	975 965~982	드릴 20/20 임팩트 10/10
④ 지그·고정구 + 받침대 1개	1,205 1,200~1,210	1,200 1,199~1,203	1,199 1,198~1,202	1,201 1,195~1,205	977 970~986	975 965~981	드릴 7/20 임팩트 10/10
⑤ 권고안: 지그·고정구 + 받침대 2개	1,227 1,218~1,236	1,223 1,216~1,229	1,225 1,221~1,227	1,224 1,212~1,232	1,018 1,013~1,025	1,022 1,018~1,026	드릴 0/20 임팩트 0/10
⑥ 지그·고정구 + 받침대 3개	1,235 1,225~1,244	1,236 1,230~1,249	1,238 1,233~1,243	1,230 1,217~1,238	1,041 1,031~1,048	1,040 1,036~1,044	드릴 0/20 임팩트 0/10
⑦ 지그·고정구 + 받침대 2개(편차 큰 공정 앞뒤)	1,204 1,200~1,216	1,202 1,200~1,205	1,202 1,197~1,209	1,206 1,202~1,208	966 960~973	960 954~964	드릴 3/20 임팩트 10/10

- ② 지그·고정구만으로 공장 6,583대(+507), ③ 받침대만 공간 상한까지 두면 6,686대(+610)로, 둘 다 효과는 크지만 단독으로는 목표에 닿지 않습니다.
- ④ 지그·고정구 + 받침대 1개는 드릴 라인이 목표선(라인당 1,201대, 라인×실행 20건 중 7건 미달)에 걸리고 임팩트는 976대로 미달합니다.
- ⑤ 지그·고정구 + 받침대 2개는 공장 6,939대, 드릴 라인당 1,225대, 임팩트 라인당 1,020대로 5회 모두, 모든 라인이 목표를 넘습니다(라인별 최솟값 드릴 1,212, 임팩트 1,013).

5.3 공정 상태와 사이클

표 C-DR. 드릴 공정 상태 구성(가동/배출 막힘/자재 대기 %)과 평균 사이클(같은 제품 라인·5회 평균)

공정	현재	①	②	③	④	⑤ 권고	⑥	⑦
S1	84.0/16.0/0.0 41.9초	42.2/57.8/0.0 41.9초	91.5/8.5/0.0 41.9초	93.0/7.0/0.0 41.9초	94.2/5.8/0.0 41.9초	96.1/3.9/0.0 41.9초	97.1/2.9/0.0 41.9초	94.7/5.3/0.0 41.9초
S1B	-	42.3/57.7/0.0 41.9초	-	-	-	-	-	-
S2	80.1/17.0/2.9 40.0초	80.6/19.3/0.1 40.0초	87.3/9.1/3.6 40.0초	88.7/4.6/6.7 40.0초	90.0/5.1/4.9 40.0초	91.7/8.2/0.2 40.0초	92.6/7.0/0.4 40.0초	90.3/3.4/6.3 40.0초
S3	76.9/18.1/4.9 38.5초	77.9/19.1/3.1 38.7초	83.2/11.6/5.3 38.1초	86.0/3.9/10.1 38.8초	85.6/5.6/8.7 38.1초	87.2/8.2/4.7 38.1초	88.1/4.3/7.5 38.1초	86.0/11.3/2.6 38.2초
S4	78.0/7.4/14.6 39.0초	78.5/7.6/14.0 39.0초	85.1/9.0/5.9 39.1초	86.5/3.6/9.9 39.1초	87.7/1.3/11.0 39.1초	89.5/2.9/7.7 39.1초	90.3/7.7/2.0 39.1초	87.9/11.6/0.5 39.0초
S5	79.8/3.9/16.3 40.0초	80.3/3.8/15.9 40.0초	87.0/4.8/8.2 40.0초	88.7/6.1/5.2 40.1초	89.5/6.1/4.4 39.9초	91.3/6.6/2.1 40.0초	92.2/7.1/0.7 40.0초	89.9/5.7/4.4 40.0초
S6	75.9/0.0/24.1 38.1초	76.3/0.0/23.7 38.0초	82.8/0.0/17.2 38.1초	84.0/0.0/16.0 38.0초	85.2/0.0/14.8 38.0초	86.9/0.0/13.1 38.0초	87.7/0.0/12.3 38.1초	85.5/0.0/14.5 38.0초

표 C-IM. 임팩트 드라이버 공정 상태 구성(가동/배출 막힘/자재 대기 %)과 평균 사이클(같은 제품 라인·5회 평균)

공정	현재	①	②	③	④	⑤ 권고	⑥	⑦
S1	85.3/14.7/0.0 50.5초	43.2/56.8/0.0 50.4초	91.3/8.7/0.0 50.5초	92.6/7.4/0.0 50.5초	93.0/7.0/0.0 50.5초	97.1/2.9/0.0 50.5초	98.8/1.2/0.0 50.4초	91.7/8.3/0.0 50.5초
S1B	-	43.2/56.8/0.0 50.4초	-	-	-	-	-	-
S2	80.9/16.1/3.1 47.9초	81.8/18.1/0.1 47.9초	86.2/9.1/4.7 47.7초	87.4/1.1/11.5 47.7초	88.4/11.5/0.1 48.1초	91.8/7.2/1.0 47.8초	93.9/3.0/3.1 48.0초	86.7/8.0/5.2 47.8초
S3	79.9/13.2/6.9 47.3초	80.8/13.5/5.7 47.4초	85.4/4.9/9.7 47.3초	86.4/6.3/7.3 47.3초	86.7/5.7/7.6 47.2초	90.8/8.4/0.8 47.4초	92.3/5.5/2.2 47.3초	85.8/3.3/10.8 47.4초
S4	80.8/12.4/6.8 47.9초	81.8/12.3/6.0 48.0초	86.3/3.3/10.3 47.9초	87.4/2.9/9.7 47.8초	87.8/3.6/8.5 47.9초	91.7/4.8/3.5 47.9초	93.6/0.1/6.3 47.9초	86.9/0.0/13.1 48.0초
S5	80.3/8.0/11.7 47.7초	80.1/8.7/11.2 47.0초	83.1/2.5/14.4 46.2초	86.1/0.4/13.5 47.2초	84.4/2.9/12.7 46.1초	88.5/3.4/8.0 46.3초	90.1/4.3/5.6 46.2초	83.4/0.0/16.6 46.1초
S6	76.8/0.0/23.2 45.7초	77.7/0.0/22.3 45.7초	82.0/0.0/18.0 45.6초	83.2/0.0/16.8 45.6초	83.6/0.0/16.4 45.6초	87.3/0.0/12.7 45.7초	88.9/0.0/11.1 45.6초	82.4/0.0/17.6 45.6초

평균 사이클은 지그·고정구를 적용한 드릴 S3·임팩트 S5에서만 조금 줄고(시험 평균 반영) 나머지 공정은 시나리오와 관계없이 같습니다. 출하 차이는 공정 속도가 아니라 막힘·대기 시간에서 나옵니다. 권고안에서 S1 가동률은 드릴 96.1%·임팩트 97.1%로 올라가고, S6 자재 대기는 드릴 13.1%·임팩트 12.7%로 줄었습니다(현재 24.1%·23.2%).

5.4 추가한 리소스의 사용 지표

표 D. 추가 리소스 사용 지표(5회·같은 제품 라인 평균)

시나리오	추가 리소스	지표
① 고객안(S1 2인 병렬)	드릴 S1B 추가 작업대	가동 42.3% · 배출 막힘 57.7% · 처리 544대/일 (기존 S1 가동 42.2% · 처리 544대/일)
① 고객안(S1 2인 병렬)	임팩트 S1B 추가 작업대	가동 43.2% · 배출 막힘 56.8% · 처리 462대/일 (기존 S1 가동 43.2% · 처리 462대/일)
③ 받침대 3개 단독	드릴 S2-S3 받침대	평균 0.36대 · 차 있는 시간 35.6% · 빈 시간 64.4%
③ 받침대 3개 단독	드릴 S3-S4 받침대	평균 0.42대 · 차 있는 시간 41.9% · 빈 시간 58.1%
③ 받침대 3개 단독	드릴 S4-S5 받침대	평균 0.53대 · 차 있는 시간 53.5% · 빈 시간 46.5%

시나리오	추가 리소스	지표
③ 받침대 3개 단독	임팩트 S2-S3 받침대	평균 0.24대 · 차 있는 시간 24.0% · 빈 시간 76.0%
③ 받침대 3개 단독	임팩트 S4-S5 받침대	평균 0.29대 · 차 있는 시간 28.9% · 빈 시간 71.1%
③ 받침대 3개 단독	임팩트 S5-S6 받침대	평균 0.20대 · 차 있는 시간 19.7% · 빈 시간 80.3%
④ 지그·고정구 + 받침대 1개	드릴 S4-S5 받침대	평균 0.36대 · 차 있는 시간 36.3% · 빈 시간 63.7%
④ 지그·고정구 + 받침대 1개	임팩트 S1-S2 받침대	평균 0.91대 · 차 있는 시간 91.3% · 빈 시간 8.7%
⑤ 권고안: 지그·고정구 + 받침대 2개	드릴 S1-S2 받침대	평균 0.82대 · 차 있는 시간 82.2% · 빈 시간 17.8%
⑤ 권고안: 지그·고정구 + 받침대 2개	드릴 S4-S5 받침대	평균 0.55대 · 차 있는 시간 54.6% · 빈 시간 45.4%
⑤ 권고안: 지그·고정구 + 받침대 2개	임팩트 S1-S2 받침대	평균 0.63대 · 차 있는 시간 62.6% · 빈 시간 37.4%
⑤ 권고안: 지그·고정구 + 받침대 2개	임팩트 S2-S3 받침대	평균 0.75대 · 차 있는 시간 75.1% · 빈 시간 24.9%
⑥ 지그·고정구 + 받침대 3개	드릴 S1-S2 받침대	평균 0.71대 · 차 있는 시간 70.7% · 빈 시간 29.3%
⑥ 지그·고정구 + 받침대 3개	드릴 S3-S4 받침대	평균 0.57대 · 차 있는 시간 57.4% · 빈 시간 42.6%
⑥ 지그·고정구 + 받침대 3개	드릴 S4-S5 받침대	평균 0.83대 · 차 있는 시간 83.4% · 빈 시간 16.6%
⑥ 지그·고정구 + 받침대 3개	임팩트 S1-S2 받침대	평균 0.40대 · 차 있는 시간 39.8% · 빈 시간 60.2%
⑥ 지그·고정구 + 받침대 3개	임팩트 S2-S3 받침대	평균 0.55대 · 차 있는 시간 54.6% · 빈 시간 45.4%
⑥ 지그·고정구 + 받침대 3개	임팩트 S4-S5 받침대	평균 0.19대 · 차 있는 시간 19.2% · 빈 시간 80.8%
⑦ 지그·고정구 + 받침대 2개(편차 큰 공정 앞뒤)	드릴 S2-S3 받침대	평균 0.57대 · 차 있는 시간 56.9% · 빈 시간 43.1%
⑦ 지그·고정구 + 받침대 2개(편차 큰 공정 앞뒤)	드릴 S3-S4 받침대	평균 0.86대 · 차 있는 시간 85.6% · 빈 시간 14.4%
⑦ 지그·고정구 + 받침대 2개(편차 큰 공정 앞뒤)	임팩트 S4-S5 받침대	평균 0.04대 · 차 있는 시간 4.0% · 빈 시간 96.0%
⑦ 지그·고정구 + 받침대 2개(편차 큰 공정 앞뒤)	임팩트 S5-S6 받침대	평균 0.03대 · 차 있는 시간 3.1% · 빈 시간 96.9%

고객안의 S1B는 처리량을 S1과 반씩 나눌 뿐 막힘이 절반 넘게 남습니다. 권고안의 받침대는 S1 직후(드릴·임팩트)와 임팩트 S2 직후가 절반 넘는 시간 동안 차 있어, 하류가 잠시 막혀도 S1이 다음 작업을 시작할 수 있게 해 줍니다. 받침대에 놓이는 반제품은 라인당 평균 1.4대(드릴)·1.4대(임팩트)입니다.

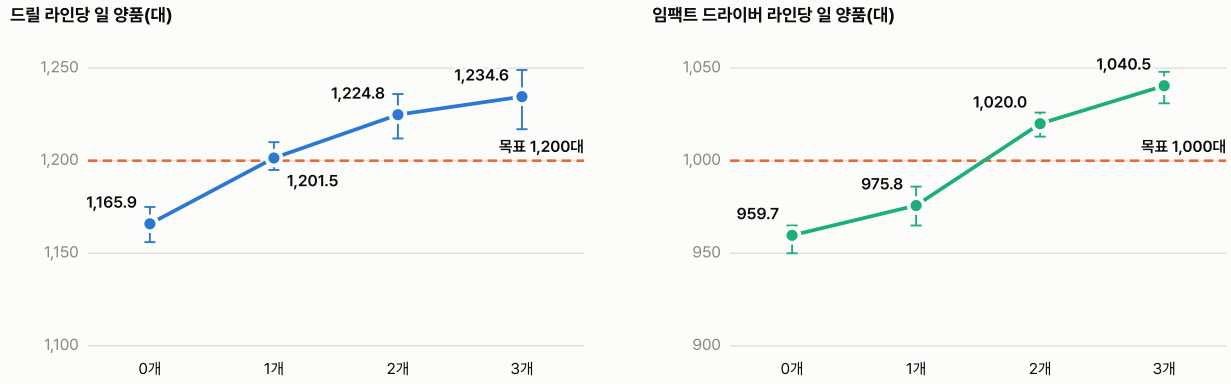
5.5 추가 검증 — 받침대 3개와 배치 위치

확인 1. 공간 상한인 라인당 3개를 다 쓰면 얼마나 더 나오는가, 2개로 충분한가? 지그·고정구를 적용한 상태에서 받침대를 0·1·2·3개로 늘려 가며 비교했습니다(②·④·⑤·⑥). 세 번째 받침대는 권고안에서 막힘과 대기가 함께 남은 지점(드릴 S3 배출 막힘 8.2%와 S4 자재 대기 7.7% 사이인 S3-S4, 임팩트 S4 배출 막힘 4.8%와 S5 자재 대기 8.0% 사이인 S4-S5)에 두었습니다.

표 F. 지그·고정구 적용 상태에서 받침대 수(라인당)에 따른 출하(5회 평균, 아래 줄은 최소~최대)

받침대 수	공장 합계	드릴 라인당	임팩트 라인당	목표 미달 라인×실행
0개 (②)	6,583 6,578~6,590	1,165.9 1,156~1,175	959.7 950~965	드릴 20/20 · 임팩트 10/10
1개 (④)	6,757 6,751~6,772	1,201.5 1,195~1,210	975.8 965~986	드릴 7/20 · 임팩트 10/10
2개 (⑤)	6,939 6,921~6,975	1,224.8 1,212~1,236	1,020.0 1,013~1,026	드릴 0/20 · 임팩트 0/10
3개 (⑥)	7,019 6,995~7,040	1,234.6 1,217~1,249	1,040.5 1,031~1,048	드릴 0/20 · 임팩트 0/10

그림 9. 받침대 수에 따른 라인당 출하(지그·고정구 적용, 5회 평균, 수염은 라인·실행 최소~최대)



0개는 ② 지그·고정구 단독, 1개는 ④, 2개는 ⑤ 권고안, 3개는 ⑥입니다. 점선은 라인 목표입니다.

받침대 1개 → 2개에서 드릴 라인당 +23.4대, 임팩트 +44.2대로 크게 늘지만, 2개 → 3개에서는 드릴 +9.8대, 임팩트 +20.5대(공장 +80대)에 그칩니다. 2개로 5회·모든 라인이 목표를 넘으므로(표 B), 세 번째 받침대는 목표 달성에 필요하지 않습니다. 다만 임팩트 라인의 여유를 2%에서 4.0%로 늘리는 효과가 있어, 지그·고정구 효과가 시험보다 약할 때의 보완 수단 후보가 됩니다(이 조합은 민감도 조건에서 따로 실행하지 않았습니다).

확인 2. 받침대를 편차가 큰 공정 바로 앞뒤에 두면 어떤가? 같은 2개를 주원인 공정 앞뒤(드릴 S2-S3·S3-S4, 임팩트 S4-S5·S5-S6)에 둔 ⑦을 실행했습니다. 결과 공장 6,738대(목표 대비 99.1%)로, 권고안보다 201대 적고 목표에 못 미칩니다. 드릴 라인당 1,203대(-21.6), 임팩트 라인당 963대(-57.2)입니다.

표 G. 받침대 위치 비교: 공정 상태(가동/배출 막힘/자재 대기 %)와 라인당 출하(5회 평균)

배치 · 제품	S1	S2	S3	S4	S5	S6	라인당 출하
⑤ 권고안 · 드릴	96.1/3.9/0.0	91.7/8.2/0.2	87.2/8.2/4.7	89.5/2.9/7.7	91.3/6.6/2.1	86.9/0.0/13.1	1,225
⑤ 권고안 · 임팩트	97.1/2.9/0.0	91.8/7.2/1.0	90.8/8.4/0.8	91.7/4.8/3.5	88.5/3.4/8.0	87.3/0.0/12.7	1,020
⑦ 앞뒤 배치 · 드릴	94.7/5.3/0.0	90.3/3.4/6.3	86.0/11.3/2.6	87.9/11.6/0.5	89.9/5.7/4.4	85.5/0.0/14.5	1,203
⑦ 앞뒤 배치 · 임팩트	91.7/8.3/0.0	86.7/8.0/5.2	85.8/3.3/10.8	86.9/0.0/13.1	83.4/0.0/16.6	82.4/0.0/17.6	963

지그·고정구를 적용하면 S3·S5의 변동은 이미 3분의 1로 줄어, 그 앞뒤 받침대가 흡수할 몫이 작습니다. 반면 라인 전체의 속도를 정하는 S1(평균이 가장 긴 공정)은 ⑦에서 바로 뒤가 막혀 쉬는 시간이 남습니다(S1 배출 막힘 드릴 5.3%, 임팩트 8.3% — 권고안은 3.9%·2.9%). 특히 임팩트 S4-S5·S5-S6 받침대는 시간의 96~97% 동안 비어 있어 거의 쓰이지 않습니다. 임팩트 라인은 변동이 남은 S2(변동계수 0.24)가 S1을 직접 막기 때문에 S1-S2·S2-S3에 두는 것이 효과가 큽니다. 따라서 받침대는 원래 편차가 큰 공정 옆이 아니라, 지그·고정구로 변동을 줄인 뒤 S1 바로 뒤와 변동이 남은 공정 쪽(드릴 S5 앞, 임팩트 S2 뒤)에 두는 것이 맞으며, 이 판단을 N-XI 결과가 뒷받침합니다.

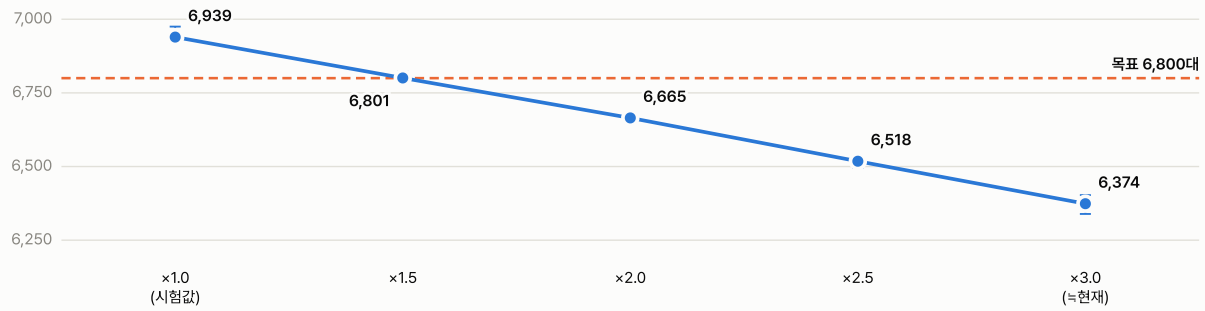
5.6 민감도 분석 — 지그·고정구 효과가 시험보다 약할 때

권고안의 출하 증가는 대부분 개선 공정의 변동 감소에서 나오고, 그 근거는 한 라인 3일 시험입니다. 그래서 권고안 구성(받침대 2개/라인)을 고정하고, 드릴 S3·임팩트 S5의 사이클 표준편차만 시험값의 1.0~3.0배로 바꿔 각 5회 실행했습니다(평균은 시험값 유지, 3.0배는 현재 변동과 비슷한 수준).

표 E. 민감도 — 개선 공정 사이클 표준편차 배수(권고안 구성 고정, 5회 평균)

단계	드릴 S3 표준편차 (초)	임팩트 S5 표준편차(초)	공장 양품 최소~최대	목표 대비	드릴 라인당	드릴 최소	임팩트 라인당	임팩트 최소
×1.0 (시험값, =⑤)	6.16	7.18	6,939 6,921~6,975	102.0%	1,224.8	1,212	1,020.0	1,013
×1.5	9.24	10.77	6,801 6,784~6,822	100.0%	1,201.1	1,188	998.1	988
×2.0	12.32	14.36	6,665 6,647~6,678	98.0%	1,176.8	1,164	978.9	965
×2.5	15.40	17.95	6,518 6,495~6,529	95.9%	1,152.5	1,140	954.0	945
×3.0 (≒현재)	18.48	21.54	6,374 6,339~6,403	93.7%	1,129.2	1,115	928.6	913

그림 10. 개선 공정 표준편차 배수별 공장 일 양품 출하(5회 평균, 수염은 최소~최대)



점선은 목표 6,800대. 1.5배에서 목표선에 걸리고 2.0배부터 목표 아래로 내려갑니다.

- 표준편차가 시험값의 1.5배가 되면 공장 출하는 6,801대로 목표선에 걸리고, 임팩트 라인당 998대(최소 988)로 목표 아래가 됩니다. 드릴은 라인당 1,201대로 목표선입니다.
- 3.0배(지그 효과가 거의 없는 경우)에는 공장 6,374대로, 받침대 2개만으로는 현재 대비 297대 늘어나는 데 그칩니다. 같은 3.0배 조건이 ③ 받침대 3개 단독(6,686대)보다 낮은 것은, 권고안의 받침대가 라인당 2개로 하나 적고 지그 적용을 전제로 S1 바로 뒤에 놓여 변동이 큰 드릴 S3·임팩트 S5 주변을 흡수하지 못하기 때문입니다. 받침대 위치는 지그·고정구 효과와 짝을 이루는 설계입니다.
- 따라서 권고안은 "시험 수준의 변동 감소가 양산 라인에서도 재현된다"는 조건에서 목표를 충족하며, 임팩트 라인이 먼저 영향을 받습니다. 지그·고정구 적용 후 라인별로 S3·S5 사이클 표준편차가 드릴 약 9초, 임팩트 약 11초(시험값의 1.5배) 아래인지 확인해야 합니다.

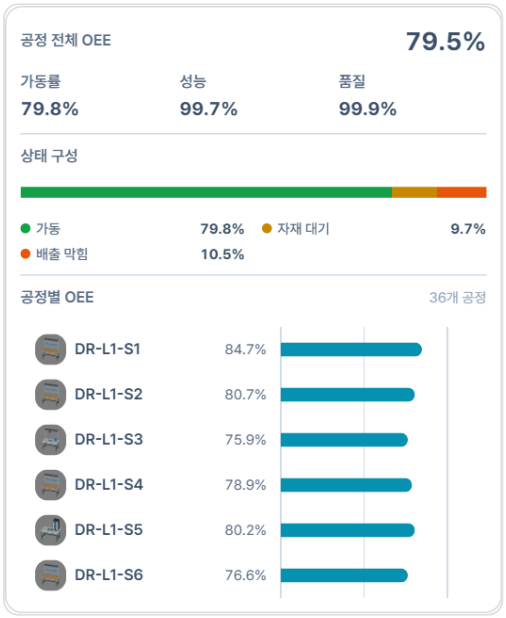
6. 권고안과 기대 효과

6.1 권고 구성

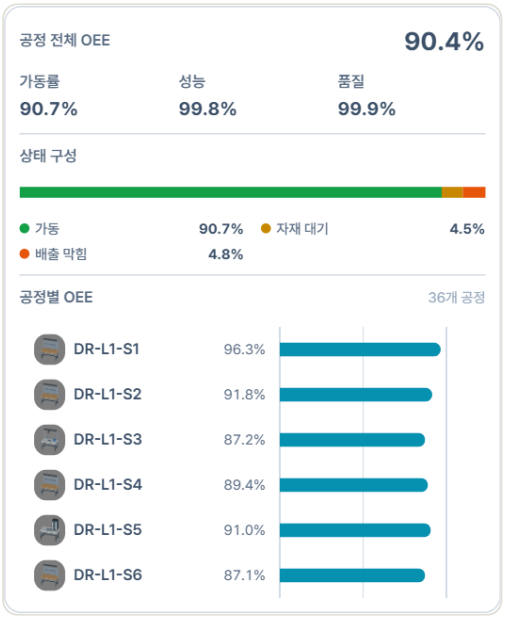
표 8. 권고 구성(추가·변경 항목과 수량)

항목	라인당	공장 전체	비고
드릴 S3 체결 지그(시제품 사양, 체결 위치 고정)	1 (드릴 라인)	4	DR-L2 시험 사양 그대로 양산 적용
임팩트 S5 검사 고정구·자동 판정(시제품 사양)	1 (임팩트 라인)	2	IM-L6 시험 사양 그대로 양산 적용
WIP 받침대 600×400mm(반제품 1대)	2	12	드릴 S1-S2·S4-S5, 임팩트 S1-S2·S2-S3
기존 작업대 이설	5대	30대	하류 작업대를 650~1,300mm 동쪽으로 이동(라인 구역 안, 팔레트 존·통로 그대로)
추가 작업자	0	0	공정당 1명(교대당 라인 6명) 유지
추가 작업대	0	0	-

그림 11. N-XI 공정 카드 비교 — 현재 상태 대 권고안(각 1회 실행 화면)



현재 상태(06-base-r1): 공정 평균 가동 79.8%



권고안(06-jb2-r1): 공정 평균 가동 90.7%

권고안에서는 공정 평균 가동률이 오르고 배출 막힘(10.5% → 4.8%)과 자재 대기(9.7% → 4.5%)가 함께 줄어듭니다. 카드 아래 목록은 화면 높이 때문에 DR-L1 공정만 보입니다.

6.2 기대 효과(5회 평균)

표 9. 현재 상태 대 권고안

지표	현재 상태	권고안	증감
공장 일 양품 출하	6,076	6,939	+863 (+14.2%)
드릴 4개 라인 합계	4,281	4,899	+618
임팩트 2개 라인 합계	1,795	2,040	+245
목표 대비(공장 / 드릴 라인 / 임팩트 라인)	89.4% / 89.2% / 89.8%	102.0% / 102.1% / 102.0%	-
받침대에 놓인 반제품 평균(라인당)	0대(받침대 없음)	드릴 1.4대 · 임팩트 1.4대	라인당 받침대 2자리 중 평균 사용

고객안과 비교하면, 권고안은 작업자 12명/일과 작업대 6대를 쓰지 않고 지그·고정구 6대와 받침대 12개, 작업대 이설로 공장 출하를 고객안보다 하루 825대 더 냅니다. 설비 금액·투자비 자료가 없어 금액으로 비교하지 않았으며, 위 수량을 기준으로 견적을 받아 확정할 것을 권합니다.

6.3 적용 시 고려 사항

1. **지그·고정구 효과 확인(승인 조건).** 민감도에서 보듯 여유가 2% 안팎입니다. 적용 첫 주 MES 사이클 기록으로 라인별 S3·S5 표준편차가 시험값의 1.5배(드릴 약 9초, 임팩트 약 11초) 아래인지 확인하고, 임팩트 라인을 먼저 점검합니다. 효과가 부족하면 공간 검토상 남는 받침대 자리(라인당 1개, 5.5의 ⑥)를 포함한 추가 대책을 같은 트윈에서 검증한 뒤 결정합니다.
2. **받침대 운영 규칙.** 이 분석은 받침대 하나에 반제품 1대를 놓는 기준으로 계산했습니다. 앞 공정 작업자가 다음 작업대가 차 있을 때만 받침대를 쓰도록 표준작업에 넣고, 반제품 손상을 막는 거치 받침을 사양에 포함합니다.
3. **작업대 이설.** 드릴·임팩트 라인 모두 하류 작업대 5대를 650~1,300mm 옮깁니다. 라인을 하나씩 순차 이설하면 공장 출하 손실을 한 라인 분으로 묶을 수 있습니다. S6와 팔레트 존 사이 간격은 2,200mm에서 900mm로 줄지만, 라인 구역 길이와 팔레트 존 동쪽 지게차 포크 진입 여유(600mm)는 그대로입니다.
4. **키트 공급.** 권고안에서 하루 키트 소비가 드릴 라인당 약 1,239세트, 임팩트 약 1,038세트로 늘어 공급 상한(1,350·1,200세트)에 가까워집니다. 시뮬레이션에서 키트 랙이 빈 시간은 0%였지만 랙 평균 재고가 드릴 77세트로 현재(135세트)보다 줄므로, 키트 준비 인원·대차 보충 주기를 함께 점검합니다.
5. **품질.** 두 시제품은 원래 품질 개선(체결 위치 고정, 측정 반복성) 목적이었으므로 양산 적용 후 S5 불합격률이 함께 낮아지면 양품 출하가 추가로 늘어납니다. 이번 분석은 불합격률을 현재값으로 유지해 보수적으로 계산했습니다.

7. 분석 가정

- 하루 실가동 15시간을 54,000초 연속 운전으로 반영했습니다. 휴식 시간에는 라인이 멈추고 재공이 그대로 남는다는 운영 기준(03 공정정보)에 맞춰, 휴식 구간을 뺀 작업 시간만 이어 붙인 형태로 모델링했습니다.
- 공정 시간은 최근 1주 사이클 실측(작업 시작~종료, 다음 작업대에 넘기기 전 대기 제외)의 제품·공정별 평균과 표준편차를 갖는 로그정규 분포로 반영했습니다. 같은 제품 라인은 같은 값을 씁니다.
- 작업대가 붙어 있어 다음 작업대가 비어야 넘기는 흐름을 작업대 사이 직접 연결로 반영했고, 공정 사이 받침대는 반제품 1대를 놓는 자리로 반영했습니다. 고객안의 S1·S1B는 비어 있는 작업대가 키트를 받는 방식으로 반영했습니다.
- 키트 랙은 0초에 첫 입고, 1,800초마다 드릴 45세트·임팩트 40세트, 용량 200세트로 반영했습니다. 랙과 라인이 비어 있는 상태에서 시작하므로 각 실행에는 라인을 처음 채우는 구간(첫 몇 분)이 포함되며, 모든 시나리오에 같게 적용됩니다.

- 불량은 S5 검사 불합격률(드릴 0.71%, 임팩트 1.14%)로 반영했고, 불합격품은 포장을 거쳐 팔레트 존 불량 칸으로 나가므로 모든 비교는 양품 출하 기준입니다. 지그·고정구 적용 후에도 같은 불합격률을 썼습니다.
- 설비 이상 정지는 2주 4건·합계 920초로 라인·공정당 하루 3초 미만이어서, 정지 없이 운전하는 조건으로 반영했습니다.
- 지그·고정구의 양산 사이클은 시제품 시험 3일(각 300건)의 평균·표준편차로 반영했고, 그 불확실성은 5.6 민감도로 다뤘습니다.
- 팔레트 존에서 공용 출하 대기장까지의 지게차 운반, 부품 창고·키트 준비 작업은 분석 범위 밖으로 두고 배치 요소로만 반영했습니다.
- 시나리오 간 비교 잡음을 줄이기 위해 모든 시나리오에 같은 난수 조건 5가지를 썼습니다. 표의 범위는 5회 실행 사이의 최소~최대입니다.

부록 A. 근거 실행 목록

설계 트윈: Intro-06 가상 공장 E, 식별자 b4caa645-9263-479e-a2e7-a481cd0b871f(디지털 트윈 N-XI Intro 아래). 모든 실행은 15시간(54,000초)을 정상 종료했습니다. 민감도 ×1.0 단계는 권고안 실행(06-jb2-r1~r5)과 같은 설정이라 그 결과를 그대로 썼습니다.

시나리오별 실행

시나리오	실행 이름	조건
현재 상태	06-base-r1~r5	6개 라인, S1 단독, 공정 사이 받침대 없음
① 고객안	06-cust-r1~r5	라인마다 S1B 작업대 추가(6대)
② 지그·고정구 단독	06-jig-r1~r5	드릴 S3 38.12±6.16초, 임팩트 S5 46.14±7.18초
③ 받침대 3개 단독	06-buf3-r1~r5	받침대 18개, 현재 공정 시간
④ 지그·고정구 + 받침대 1개	06-jb1-r1~r5	② + 받침대 6개
⑤ 권고안	06-jb2-r1~r5	② + 받침대 12개
⑥ 지그·고정구 + 받침대 3개	06-jb3-r1~r5	⑤ + 받침대 6개(드릴 S3-S4, 임팩트 S4-S5)
⑦ 받침대 2개 위치 변경	06-jb2alt-r1~r5	② + 받침대 12개(드릴 S2-S3·S3-S4, 임팩트 S4-S5·S5-S6)
민감도 ×1.5/×2.0/×2.5/×3.0	06-sens-sd150/sd200/sd250/sd300-r1~r5	⑤ 구성에서 드릴 S3 표준편차 9.24/12.32/15.40/18.48초, 임팩트 S5 10.77/14.36/17.95/21.54초

실행 목록

실행 이름	실행 ID	난수 조건(시드)	상태	리소스/연결 수	이벤트 수
06-base-r1	35d8241a-0070-4180-9ac1-a251deeea0e6	1001	정상 종료(15시간)	165/42	274,089
06-base-r2	0928e675-5fdb-4277-a343-d132a363001d	1002	정상 종료(15시간)	165/42	273,611
06-base-r3	f44f33e0-bb57-41d8-aadc-9595b7fc3517	1003	정상 종료(15시간)	165/42	274,147
06-base-r4	1f45e791-7dae-40cf-b220-41840f407546	1004	정상 종료(15시간)	165/42	273,078
06-base-r5	191a2cf5-f194-4e77-868f-0fd3b561bffc	1005	정상 종료(15시간)	165/42	272,884
06-cust-r1	3e190814-f51b-4935-9bb7-93cabfb3e177	1001	정상 종료(15시간)	171/54	276,800
06-cust-r2	4e3d232f-fa1e-4c4c-8b4c-8f4dc7661049	1002	정상 종료(15시간)	171/54	276,691
06-cust-r3	bc645270-329a-440e-8ddb-8497897992d9	1003	정상 종료(15시간)	171/54	277,282
06-cust-r4	0073c0c6-d094-4c3d-a657-525575ad89c0	1004	정상 종료(15시간)	171/54	277,026
06-cust-r5	f6234b4d-26af-453d-9965-a622e887c905	1005	정상 종료(15시간)	171/54	276,955
06-jig-r1	8348f0d9-0340-4be8-992b-5d4588b6bb42	1001	정상 종료(15시간)	165/42	295,799
06-jig-r2	94293a73-4e07-4021-97e1-41f1f3cc19f9	1002	정상 종료(15시간)	165/42	296,048
06-jig-r3	8f7aae22-947f-4351-8155-ac74acba0ec4	1003	정상 종료(15시간)	165/42	295,966
06-jig-r4	d52604f9-5ca9-4701-885c-3c37e76123c3	1004	정상 종료(15시간)	165/42	296,254
06-jig-r5	6b0f33c2-eadc-4a89-9837-73e4889d8972	1005	정상 종료(15시간)	165/42	296,418
06-buf3-r1	7cf27c94-9dd3-4d65-8162-e5e2d34156cf	1001	정상 종료(15시간)	183/60	342,732
06-buf3-r2	245fb91f-a24d-4af9-b3cb-b34aa9463fa4	1002	정상 종료(15시간)	183/60	342,791
06-buf3-r3	03fc60cc-e67e-444d-bf44-e4d0b98303d7	1003	정상 종료(15시간)	183/60	342,277
06-buf3-r4	1c37fa0c-96b3-4d3c-89d2-8050894bc389	1004	정상 종료(15시간)	183/60	343,264
06-buf3-r5	95e52c5b-a93b-47dd-a481-df57f395167c	1005	정상 종료(15시간)	183/60	342,235

실행 이름	실행 ID	난수 조건(시드)	상태	리소스/연결 수	이벤트 수
06-jb1-r1	e7a28066-ef50-48f2-b9d5-d216d9d4bc6f	1001	정상 종료(15시간)	171/48	317,684
06-jb1-r2	a145f6e6-107e-4968-bd9f-896112ba3040	1002	정상 종료(15시간)	171/48	317,463
06-jb1-r3	bccec76f-01e7-4093-9a00-308eecf644bd	1003	정상 종료(15시간)	171/48	317,135
06-jb1-r4	bfdc43e1-2e8c-473d-b562-424003433e5a	1004	정상 종료(15시간)	171/48	317,871
06-jb1-r5	ce0564c5-a6af-437d-957a-a418f352d6a5	1005	정상 종료(15시간)	171/48	317,935
06-jb2-r1	86269339-17fc-42ea-9aa6-d9766505afe3	1001	정상 종료(15시간)	177/54	338,045
06-jb2-r2	c6a8da6a-3fbc-42c7-adf6-658f27c35aa3	1002	정상 종료(15시간)	177/54	339,035
06-jb2-r3	add26606-4217-487f-80bd-4feef6b45028	1003	정상 종료(15시간)	177/54	337,447
06-jb2-r4	7dfa4a14-a5a4-458e-aa25-4bf8f54e0d88	1004	정상 종료(15시간)	177/54	337,848
06-jb2-r5	e25e17bf-c91f-4496-abbe-1d4aeb2970a4	1005	정상 종료(15시간)	177/54	337,652
06-jb3-r1	36156c41-2d03-4872-9cf4-b0d5c90a9f14	1001	정상 종료(15시간)	183/60	355,762
06-jb3-r2	8f093f83-50ac-4afc-82e4-8412259a0c6c	1002	정상 종료(15시간)	183/60	356,360
06-jb3-r3	e689fbd1-c40a-4407-bdd2-45e7ad44258f	1003	정상 종료(15시간)	183/60	356,375
06-jb3-r4	9ab3f665-f88c-4750-b06b-e833916ff420	1004	정상 종료(15시간)	183/60	356,600
06-jb3-r5	a8b185b3-ae01-4401-9f48-ea4048049b74	1005	정상 종료(15시간)	183/60	356,237
06-jb2alt-r1	3057b2fc-ae41-4044-a0e0-dd3de22a88cf	1001	정상 종료(15시간)	177/54	334,839
06-jb2alt-r2	835bdc0a-781a-4106-b9b3-8594da48580d	1002	정상 종료(15시간)	177/54	335,079
06-jb2alt-r3	2ddb1086-d29d-46cf-8512-8e39dde569f3	1003	정상 종료(15시간)	177/54	334,716
06-jb2alt-r4	efcd19dc-e4df-457e-af8c-f6e2771408ac	1004	정상 종료(15시간)	177/54	335,086
06-jb2alt-r5	5ed2ab49-834c-4f2d-bbc5-04f148600cf5	1005	정상 종료(15시간)	177/54	334,391
06-sens-sd150-r1	9c17d996-a463-4910-b6af-dc243b20f017	1001	정상 종료(15시간)	177/54	333,328
06-sens-sd150-r2	11f0bd51-9402-4a0d-8adf-171e25c43365	1002	정상 종료(15시간)	177/54	333,582
06-sens-sd150-r3	56ab76e3-b19e-4211-863b-54b76e12d2d5	1003	정상 종료(15시간)	177/54	333,356
06-sens-sd150-r4	220d09f8-6f90-4487-998c-2db60fe420ff	1004	정상 종료(15시간)	177/54	332,879
06-sens-sd150-r5	836b959b-59d6-4459-967b-f4d3f31409ec	1005	정상 종료(15시간)	177/54	332,823
06-sens-sd200-r1	eb56c7c6-4bef-4f37-aee1-ecd04984e1cf	1001	정상 종료(15시간)	177/54	328,189
06-sens-sd200-r2	581a17eb-d905-41e8-93ad-b5bcadb65240	1002	정상 종료(15시간)	177/54	327,718
06-sens-sd200-r3	0db60534-1bad-42d8-b545-938077ed22b5	1003	정상 종료(15시간)	177/54	327,096
06-sens-sd200-r4	901aeb4b-d30a-4654-959a-a09d1c748ca9	1004	정상 종료(15시간)	177/54	327,980
06-sens-sd200-r5	99fbe058-4322-4de4-8c8c-d6ff997e00cb	1005	정상 종료(15시간)	177/54	326,528
06-sens-sd250-r1	c0c275b7-83bf-4ea3-bc47-800f8979419d	1001	정상 종료(15시간)	177/54	321,135
06-sens-sd250-r2	f1e3b2b2-dbaa-4fea-97ae-7e42bb1bcd0a	1002	정상 종료(15시간)	177/54	320,805
06-sens-sd250-r3	b9a1c0a0-5e49-490a-86d1-74392d1e15d3	1003	정상 종료(15시간)	177/54	320,298
06-sens-sd250-r4	38a46ffc-36c1-4499-8873-3a43c7f2d029	1004	정상 종료(15시간)	177/54	321,044
06-sens-sd250-r5	4619d0fb-80b9-4f57-89bc-23f4e791abfb	1005	정상 종료(15시간)	177/54	319,623
06-sens-sd300-r1	97d4b7ce-8257-4b13-825c-165209b96372	1001	정상 종료(15시간)	177/54	314,522
06-sens-sd300-r2	7fead748-7f22-470c-9a96-c64a9458b168	1002	정상 종료(15시간)	177/54	315,627
06-sens-sd300-r3	ba09fd3f-9053-4d4c-8c71-91892266f1e9	1003	정상 종료(15시간)	177/54	312,357
06-sens-sd300-r4	0032af27-adf4-4bd4-9d7b-a1c0949ab250	1004	정상 종료(15시간)	177/54	313,706
06-sens-sd300-r5	9bada78c-b889-4a2a-bfd7-eeff684284dd	1005	정상 종료(15시간)	177/54	314,391

실행별 KPI 원자료와 계산 근거는 요청 시 제공합니다.