디지털 트윈 시뮬레이션 기반 의사결정 보고서

가상 공장 C 공기청정기 조립동 부품 창고 포화·생산 미달 진단과 개선안

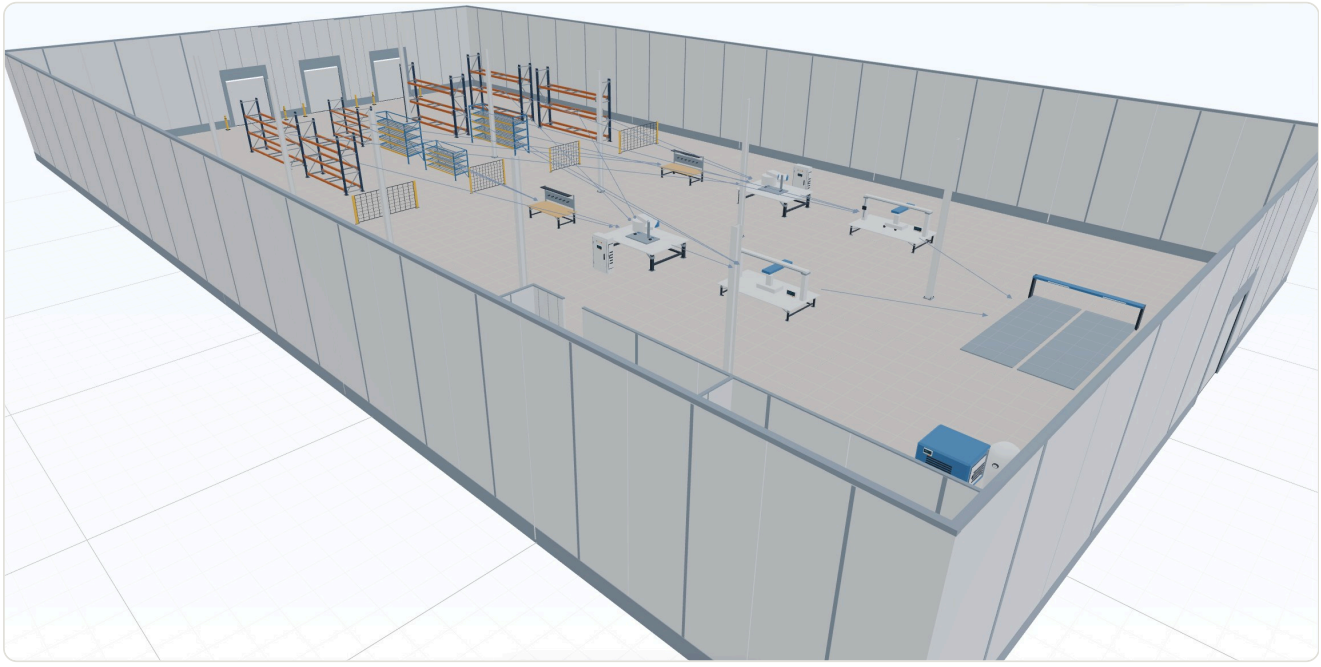
랙 증설·안전재고 확대안 검토와 창고 증설 없는 납품 일정 대안

수신 가상 공장 C 경영진, 생산·구매 책임자
작성 N-XI 디지털 트윈 분석
작성일 2026-10-12

계획 대비 양품 출하(권고안, 5회 평균)
100.1 / 100.4%
A라인 / B라인. 현재 87.8% / 88.2%

부품 창고 평균 재고(권고안)
−65.1%
12,512개 → 4,371개, 랙 증설 없이

랙 증설(용량 1.5배)의 생산 효과
0대
양품 출하·재고 모두 현재 상태와 같음



N-XI로 구축한 가상 공장 C 디지털 트윈(3D, 건물 72 m × 40 m). 왼쪽 부품 창고의 랙 9구역에서 오른쪽 두 조립 라인으로 부품이 바로 공급됩니다.

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

1. 요약

창고가 차는 것과 라인이 자재를 기다리는 것은 같은 원인에서 나옵니다. 9월 14일 B라인을 하루 600대로 늘릴 때 다른 부품의 납품 계약은 1,900개/일로 갱신됐지만, **팬 모터 계약만 6월 기준(1,600개/일)으로 남았습니다.** 그래서 모터가 매일 두 번(04:25경, 16:25경) 바닥나 두 라인이 약 1시간 30분씩 서고, 생산은 모터 입고량(1,600대/일)에 묶여 계획의 88%에 머뭅니다. 모터가 없어 쓰지 못한 케이스·PCB·필터·포장재는 매일 300개씩 랙에 쌓여 주말에 용량의 92%까지 찹니다.

따라서 **랙 증설은 생산을 1대도 늘리지 못하고**(현재 상태와 결과 동일), 현장안(랙 증설 + 안전재고 20%)은 계획은 맞추지만 평균 재고를 43.7% 늘리고 9개 구역 모두 현 용량을 6~28% 넘겨 공사를 전제로 합니다. **권고안은 납품 계약을 일 소요량 기준으로 바로잡고(모터 +17%, HEPA 필터 600→625 포함), 협력사가 허용하는 범위에서 납품을 나누어 받는 것입니다.** 그러면 랙 공사 없이 두 라인이 계획을 달성하고, 부품 창고 평균 재고는 65.1% 줄어듭니다.

계획 대비 양품 A / B
87.8/88.2 → 100.1/100.4
%, 현재 → 권고안(5회 평균)
현장안 100.1 / 100.3%

부품 창고 평균 재고
12,512 → 4,371
개, 9개 구역 합
−65.1% (현장안 +43.7%)

최대 구역 점유(현 용량 대비)
92.5 → 59.7
%, 현재 → 권고안
현장안 127.5%(초과)

본조립(병목) 가동 비율 A / B
87.1 → 99.4/99.2
%, 현재(A·B 같음) → 권고안
자재 대기 12.3% → 0.0 / 0.1%

시나리오별 라인 양품 출하의 계획 대비(%, 실행 시간 10,000분 × 5회 평균)

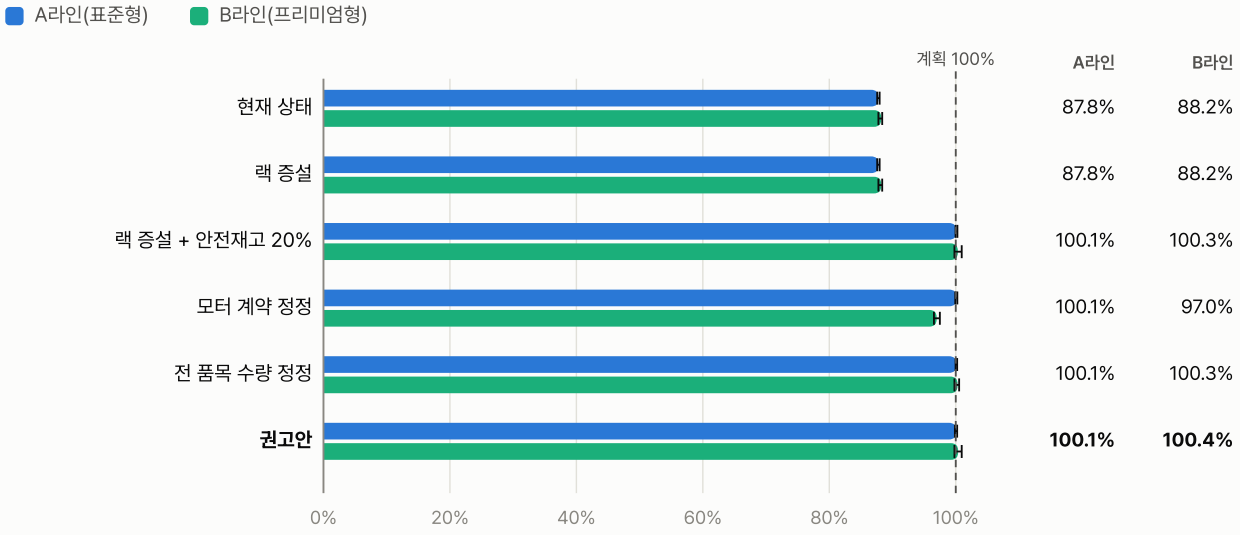


그림 1. 막대는 5회 평균, 가는 수염은 최소~최대 범위, 점선은 계획 100%입니다. 랙 증설만으로는 현재와 같고, 모터 계약만 고치면 B라인이 HEPA 필터 부족으로 97.0%에 그칩니다.

2. 요청 배경과 판단 기준

배경. 미세먼지 성수기에 대비해 9월 중순부터 B라인(프리미엄형)을 하루 600대로 늘리고 두 라인을 24시간 운영하고 있습니다. 부품 창고는 매주 후반에 가득 차 통로에 임시로 쌓고, 매주 월요일 05:00에 남는 부품을 외부 창고로 옮깁니다. 그런데도 라인은 자재 대기로 자주 서고 두 라인 모두 계획의 약 88%만 생산합니다. 현장은 랙 증설과 안전재고 20% 확대를 제안했습니다.

검토 질문. ① 현장 제안(랙 증설, 안전재고 20%)이 문제를 푸는가, ② 창고를 넓히지 않고 재고를 줄이면서 생산 계획을 맞출 방법이 있는가.

분석 방법. 고객이 보낸 도면·기준정보·납품 계약·최근 2주(09/28~10/12) 운영 데이터로 N-XI 디지털 트윈을 구축해 현재 상태를 재현하고, 시나리오 6개를 각각 5회씩 시뮬레이션해 비교했습니다. 1회 실행 시간은 10,000분(약 7일)이며, 시나리오 사이의 차이가 설정 변경에서만 나오도록 모든 시나리오를 같은 난수 조건 5가지로 실행했습니다.

판단 기준. 시나리오는 다음 다섯 가지를 모두 만족해야 권고합니다.

1. **생산:** 두 라인 모두 5회 평균 계획(A 1,200대/일, B 600대/일 양품) 100% 이상, 병목 공정의 자재 대기 1% 미만
2. **공간:** 모든 랙 구역의 최대 재고가 **현 용량 이내**(랙 공사 불필요)
3. **재고:** 위 두 조건을 만족하는 안 중 부품 창고 평균 재고가 가장 적을 것
4. **협력사 조건:** 협력사 시트의 하루 최대 납품 횟수와 납품 단위를 지킬 것
5. **재현성:** 같은 난수 조건 5회 반복에서 결론이 바뀌지 않을 것

> 참고: 두 라인의 일 계획은 라인 정격과 같습니다(생산계획 시트 "라인 정격과 같음"). 정격에 여유가 없으므로 사이클 시간 변동만으로도 회차별 ±0.5% 안팎의 차이가 생깁니다. 이 차이는 1번 기준의 '5회 평균'으로 판단합니다.

3. 데이터 분석 결과 — 운영 데이터에서 확인한 증상

3.1 증상 요약

확인 항목	데이터	확인 내용
생산 미달	생산실적(14일)	계획 대비 A 87.15%, B 87.24%. 하루 투입 A 1,056대 + B 544대 = **1,600대로, 모터 입고량(1,600개/일)과 정확히 같음**
라인 정지	설비비가동	기록 168건이 **모두 '자재 대기'**. 6개 설비가 함께 매일 04:25경·16:25경 서서 06:00·18:00 입하 직후 재가동(1회 약 89분, 설비당 하루 약 2.98시간 = 하루의 약 12.4%)
모터 재고	재고실사	팬 모터 구역(R-03)은 **28회 실사 모두 0개**. 나머지 8개 구역은 0이었던 적 없음
다른 부품 누적	재고실사	케이스·PCB·포장재 하루 +300개, 센서 +106개, 표준 필터 +194개, HEPA 필터 +56개씩 쌓임. 일요일 06:00 입하 직후 케이스·PCB·포장재 구역 3,698개(용량 4,000개의 92%)
외부 이관	재고이동	매주 월 05:00에 12,985개(10/05), 12,978개(10/12)를 외부 창고로 이관
납품 이행	입고이력	협력사는 계약대로 납품(모터 800개×2회, 나머지 1회 06:00, 도착 06:02~06:13). **납품 지연이 원인이 아님**
설비 능력	사이클타임 샘플	평균 사이클이 기준 C/T와 일치(A 본조립 70.8초 / 기준 70.7초, B 본조립 137.3초 / 137.4초). **설비 성능 저하가 원인이 아님**

3.2 원인 — 납품 계약이 생산계획 변경을 따라가지 못함

납품계약 시트의 '계약 기준일'을 보면, 9월 14일 증산 때 다른 품목은 모두 1,900개/일 기준으로 갱신됐지만 **팬 모터는 2026-06-01 기준 (A 1,200 + B 400 = 1,600대)에 머물러 있습니다.** 또 HEPA 필터는 "고가 품목, 여유 없음"이라는 이유로 계획 대수 600개만 계약했는데, B라인은 최종검사에서 3.7%가 불량으로 빠지므로 **양품 600대를 만들려면 HEPA 필터가 하루 623개 필요합니다.**

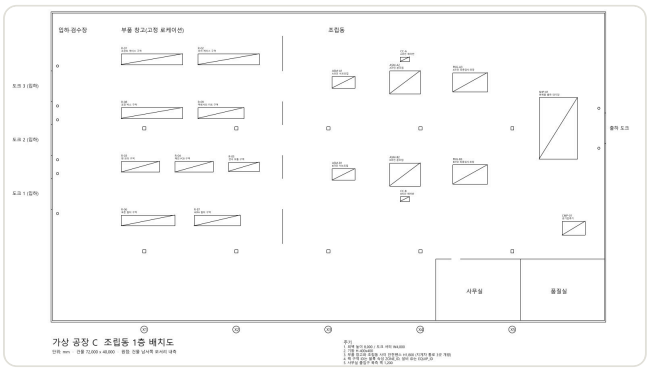
품목	일 소요량[1]	현 계약(개/일)	계약 − 소요	운영상 결과
AP-MTR 팬 모터	1,835	1,600	**−235**	매일 2회 결품 → 양 라인 정지
AP-FLH HEPA 필터	623	600	**−23**	지금은 모터에 가려 드러나지 않음(모터를 고치면 다음 제약)
케이스 2종, 메인 PCB, 박스·액세서리	1,835	1,900	+65	실제 소비 1,600 → 하루 +300 누적
AP-SNS 센서 모듈	623	650	+27	실제 소비 544 → 하루 +106 누적
AP-FLS 표준 필터	1,212	1,250	+38	실제 소비 1,056 → 하루 +194 누적

[1] 불량을 반영한 투입 기준: A라인 1,200 ÷ (1 − 0.99%) = 1,212대, B라인 600 ÷ (1 − 3.72%) = 623대. 불량률은 생산실적 14일 합계 기준입니다.

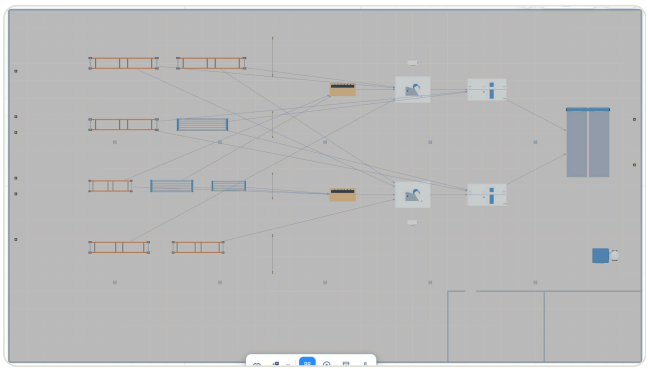
정리하면, 모터 하나가 두 라인의 속도를 정하고, 그 속도(1,600대/일)보다 많이 들어오는 나머지 8개 품목이 창고를 채웁니다. '창고가 꽉 찼는데 자재가 없어 라인이 서는' 현상은 재고의 **양이 아니라 품목 간 균형**의 문제입니다.

4. 디지털 트윈 구축 요약

구분	내용
디지털 트윈	N-XI 설계 트윈 "Intro-04 가상 공장 C"(상위 디지털 트윈 "N-XI Intro")
규모	리소스 95개(건축·안전 76, 공정 6, 랙 구역 9, 출하 대기장 1, 제어반·공기압축기 3), 흐름 연결 21개, 품목 15개, 부품 구성표(BOM) 19행(상위 품목 6개)
배치	도면 블록 중심 좌표와 설비기준정보 폭×깊이×높이를 그대로 반영. 외벽 8 m(도크 개구부 4곳 제외), 도크 셔터 4개, H형 기둥 10개, 사무실·품질실 칸막이, 부품 창고–조립동 안전펜스(지게차 통로 3곳 개방), 볼라드 8개, 바닥. 리소스 간 겹침 0건
설비 모델	수동 조립 작업대(서브조립), SCARA 조립 셀(본조립), 케이스 패커(검사·포장), 출하 대기장, 팔레트 랙 6구역·카톤 플로우 랙 3구역(랙 형식대로)
흐름	랙 구역 → 공정 직결(라인 직공급), 서브조립 → 본조립 → 검사·포장 → 출하 대기장(입고 즉시 출하)
시간	분 단위. 시뮬레이션 시작 시점은 월요일 06:00(주간 점검 직후), 1회 실행 10,000분 = 월 06:00 ~ 일 04:40



고객 도면(01_도면_layout.dxf)



N-XI 트윈 평면(2D)

그림 2. 설비팀 도면(왼쪽)과 같은 좌표·치수로 구축한 디지털 트윈 평면(오른쪽). 선은 랙 구역에서 공정으로, 공정에서 출하 대기장으로 이어지는 부품 흐름입니다. 모든 시나리오는 이 배치를 그대로 두고 납품 수량·시각과 랙 용량만 바꾸었습니다.

반영한 공정 파라미터(사이클타임 샘플 설비별 800건의 평균·표준편차, 분)

공정	투입 → 산출	평균(분)	표준편차(분)	불량률
ASM-A1 A라인 서브조립	모터 + PCB → 구동 모듈(표준형)	0.999	0.051	–
ASM-A2 A라인 본조립(병목)	구동 모듈 + 케이스 2종 + 표준 필터 → 본체	1.179	0.060	–
PKG-A3 A라인 최종검사·포장	본체 + 박스 + 액세서리 → 표준형	1.101	0.054	0.994%
ASM-B1 B라인 서브조립	모터 + PCB + 센서 → 구동 모듈(프리미엄형)	1.997	0.100	–
ASM-B2 B라인 본조립(병목)	구동 모듈 + 케이스 2종 + HEPA 필터 → 본체	2.287	0.115	–
PKG-B3 B라인 최종검사·포장	본체 + 박스 + 액세서리 → 프리미엄형	2.146	0.106	3.718%

모델 검증 — 현재 상태 재현 결과(시뮬레이션 5회 평균 vs 운영 데이터)

항목	시뮬레이션	운영 데이터	판정
A라인 양품(일 환산)	1,053대	1,046대	차이 0.7%
B라인 양품(일 환산)	529대	523대	차이 1.1%
계획 대비 A / B	87.8% / 88.2%	87.15% / 87.24%	일치
모터 재고 0 시간 비율	12.5%	설비당 정지 2.98시간/일(12.4%)	일치
케이스·PCB·포장재 구역 주간 최대	3,698개	3,698개(일 06:00 실사 1,798 + 입하 1,900)	일치
실행 종료(일요일 새벽) 시점 랙 재고 합계	12,977개	월 05:00 외부 이관 12,985개 / 12,978개	일치

트윈이 운영 데이터의 생산량·정지 패턴·재고 누적을 1% 안팎으로 재현하므로, 같은 모델로 대안을 비교했습니다.

5. 현재 상태 진단

지표(5회 평균)	값	의미
계획 대비 양품 A / B	87.8% / 88.2%	모터 입고 속도에 묶임
본조립(병목) 시간 구성: 가동 / 자재 대기 / 막힘	A 87.1 / 12.3 / 0.5% B 87.1 / 12.3 / 0.6%	병목이 하루 약 3시간 자재를 기다림
최장 연속 자재 대기	A 본조립 95.4분 B 본조립 94.9분	하루 2회 약 1.5시간 정지와 같음
R-03 팬 모터 재고 0 시간 비율	12.5%	결품은 모터 한 품목에서만 발생
다른 8개 구역 재고 0 시간 비율	0.0%	나머지 부품은 늘 남음
부품 창고 평균 재고 / 구역 최대 합계	12,512개 / 23,921개	주말 92% 점유
케이스 구역 평균 체류 시간	1,458분(약 24시간)	들어온 부품이 하루 이상 머묾
공장 설비종합효율(OEE)	80.6%	손실의 대부분이 자재 대기

원인 정리

1. **직접 원인:** 팬 모터 계약 1,600개/일 < 소요 1,835개/일. 모터는 입하 후 약 10시간 25분이면 바닥나고(800개 ÷ 두 병목의 합산 속도 시간당 약 77대), 다음 입하까지 약 1시간 30분(운영 기록 평균 89분) 동안 두 라인이 모두 섭니다.
2. **창고 포화의 원인:** 라인 속도가 모터에 묶여 1,600대/일이 되므로, 1,900개/일씩 들어오는 케이스·PCB·포장재는 하루 300개씩 남습니다. 랙 용량이 부족한 것이 아니라 **소비되지 못한 부품**이 쌓이는 것입니다.
3. **숨은 두 번째 제약:** HEPA 필터 계약(600개/일)이 B라인 불량률을 반영하지 않았습니다. 지금은 모터 부족에 가려 보이지 않지만, 모터만 고치면 B라인이 HEPA 필터 때문에 다시 멈춥니다(6장 '모터 계약 정정' 결과).

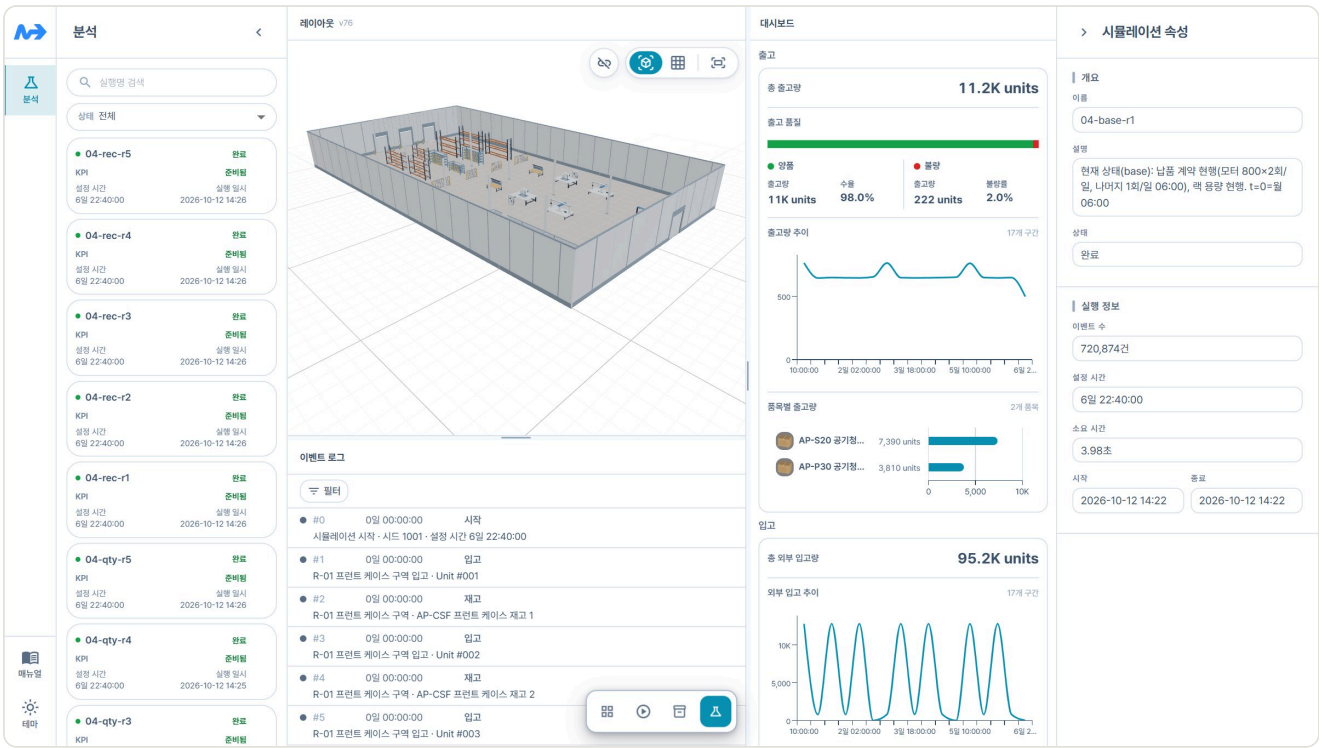


그림 3. N-XI 시뮬레이션 분석 화면(현재 상태, 1회차 실행). 왼쪽은 실행 목록, 가운데는 실행 시점의 공장 배치와 사건 기록, 오른쪽 대시보드는 10,000분 동안의 출고 11,200대(양품 10,978대, 불량 222대)와 입고 추이입니다.

6. 해결안 설계와 시뮬레이션 비교

6.1 비교 시나리오와 설정값

모든 시나리오는 같은 트윈에서 아래 설정만 바꾸었고, 각각 10,000분(약 7일)씩 같은 난수 조건 5회로 실행했습니다.

시나리오	바꾼 설정값(그 외는 현재 상태와 같음)
현재 상태	납품: 케이스 2종·PCB·박스·액세서리 1,900개×1회(06:00), 모터 800개×2회(06:00·18:00), 센서 650·표준 필터 1,250·HEPA 600개×1회(06:00). 랙 용량: R-01·02·04·08·09 4,000, R-03 1,600, R-05 1,450, R-06 2,700, R-07 1,050
랙 증설(고객 가설 1)	9개 구역 용량 ×1.5(R-01·02·04·08·09 6,000, R-03 2,400, R-05 2,175, R-06 4,050, R-07 1,575). 납품은 현행
랙 증설 + 안전재고 20%(고객 가설 2, 현장안)	랙 증설 용량 + 전 품목 일 납품량 20% 상향(납품 단위로 올림): 케이스 2종 2,280, 모터 975×2회, PCB 2,300, 센서 800, 표준 필터 1,500, HEPA 725, 박스·액세서리 2,300
모터 계약 정정	모터만 925개×2회(06:00·18:00, 1,850개/일)
전 품목 수량 정정(1일 1회 유지)	일 소요량(불량 반영) 기준, 납품 단위 배수: 케이스 2종 1,840, 모터 925×2회, PCB 1,850, 센서 650, 표준 필터 1,225, HEPA 625, 박스·액세서리 1,850. 납품 시각은 현행
권고안: 수량 정정 + 분할 납품	케이스 2종 460×4회(06·12·18·24시), 모터 625×3회(06·14·22시), PCB 950×2회(06·18시), 센서 650×1회(06시), 표준 필터 1,225·HEPA 625×1회(06시), 박스·액세서리 950×2회(06·18시). 랙 용량 현행

권고안 납품 조합을 정한 방식. 하루 납품량은 '소요량 이상, 두 라인이 실제로 소비할 수 있는 양(약 1,850개/일)에 가깝게'를 목표로, 협력사 납품 단위의 배수로 맞췄습니다. 횟수를 늘릴수록 1회 수량이 줄어 재고가 줄지만, 납품 단위로 올림하면서 생기는 하루 잉여가 커질 수 있습니다. 그래서 모터는 4회(475×4 = 1,900)보다 잉여가 작은 3회(625×3 = 1,875), 포장재는 3회(650×3 = 1,950)보다 잉여가 작은 2회(950×2 = 1,900)를 택했습니다. 필터(S4)는 하루 1회(06:00)만 가능해 수량만 정정했습니다.

6.2 라인별 양품 출하

시나리오	A라인 양품(대)	A 계획 대비	B라인 양품(대)	B 계획 대비	일 환산 A / B(대)
현재 상태	7,315 7,298~7,330	87.8% 87.6~88.0	3,676 3,657~3,682	88.2% 87.8~88.4	1,053 / 529
랙 증설	7,315 7,298~7,330	87.8% 87.6~88.0	3,676 3,657~3,682	88.2% 87.8~88.4	1,053 / 529
랙 증설 + 안전재고 20%	8,340 8,331~8,355	100.1% 100.0~100.3	4,180 4,158~4,206	100.3% 99.8~100.9	1,201 / 602
모터 계약 정정	8,343 8,327~8,354	100.1% 99.9~100.2	4,041 4,023~4,062	97.0% 96.6~97.5	1,201 / 582
전 품목 수량 정정	8,340 8,331~8,352	100.1% 100.0~100.2	4,179 4,158~4,189	100.3% 99.8~100.5	1,201 / 602
권고안	**8,339** 8,322~8,352	**100.1%** 99.9~100.2	**4,182** 4,158~4,206	**100.4%** 99.8~100.9	**1,201 / 602**

10,000분 기준 계획: A 8,333대, B 4,167대. 큰 숫자는 5회 평균, 아래 작은 숫자는 최소~최대입니다. 2회차에서는 현장안·수량 정정·권고안의 B라인이 모두 4,158대(99.8%)로 같습니다. 자재가 넉넉한 현장안도 같은 값이므로, 이는 정격과 계획이 같은 라인의 사이클 변동이며 납품 방식의 차이가 아닙니다. 시나리오별 비교는 그림 1(요약)에 있습니다.

6.3 부품 창고 재고

시나리오	평균 재고 합계(개)	구역별 최대 재고 합계(개)	실행 종료 시점 재고(개)	10,000분 입고 합계(개)
현재 상태	12,512 12,510~12,513	23,921 23,920~23,923	12,977	95,200
랙 증설	12,512 12,510~12,513	23,921 23,920~23,923	12,977	95,200
랙 증설 + 안전재고 20%	17,977 17,953~18,016	33,129 33,093~33,177	21,301	115,045
모터 계약 정정	8,332 8,323~8,345	16,245 16,226~16,263	4,420	96,950
전 품목 수량 정정	6,663 6,647~6,690	13,165 13,145~13,192	1,331	95,060
권고안	**4,371** 4,357~4,394	**8,571** 8,555~8,601	**2,563**	**96,285**

시나리오별 부품 창고 평균 재고(9개 랙 구역 합, 개, 5회 평균)

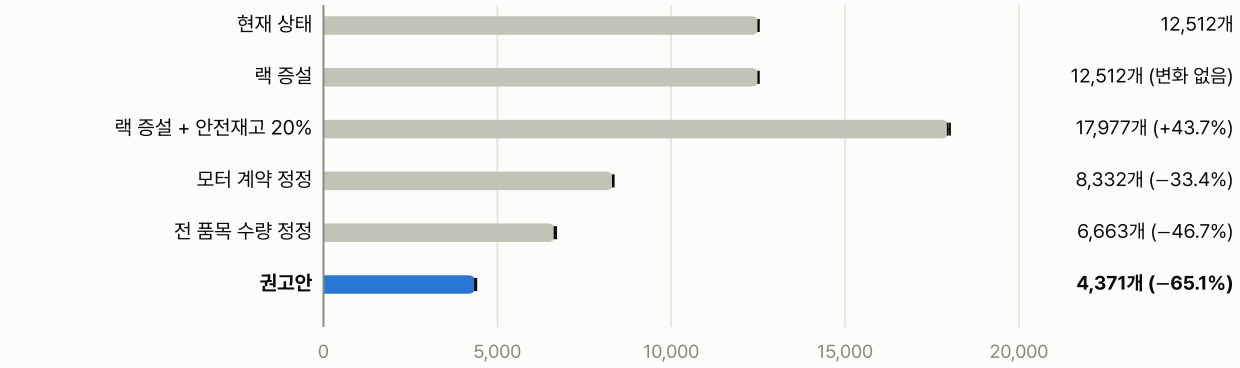


그림 4. 막대는 5회 평균, 가는 수염은 최소~최대 범위(5회 차이가 작아 짧게 보입니다), 괄호는 현재 상태 대비 증감입니다. 권고안만 강조했습니다.

랙 구역별 평균 / 최대 재고(개)와 최대 재고의 현 용량 대비(%) — 5회 평균

구역(현 용량)	현재 상태	랙 증설	랙 증설 + 안전재고 20%	모터 계약 정정	전 품목 수량 정정	권고안
R-01 프런트 케이스 (4,000)	1,947/3,698 (92%)	1,947/3,698 (92%)	2,679/4,925 **(123%)**	1,244/2,417 (60%)	931/1,848 (46%)	**236/470** (12%)
R-02 리어 케이스 (4,000)	1,947/3,698 (92%)	1,947/3,698 (92%)	2,679/4,925 **(123%)**	1,244/2,417 (60%)	931/1,848 (46%)	**236/470** (12%)
R-03 팬 모터 (1,600)	350/800 (50%)	350/800 (50%)	873/1,694 **(106%)**	577/1,146 (72%)	503/996 (62%)	**439/865** (54%)
R-04 메인 PCB (4,000)	1,945/3,698 (92%)	1,945/3,698 (92%)	2,756/5,063 **(127%)**	1,242/2,415 (60%)	969/1,916 (48%)	**689/1,346** (34%)
R-05 센서 모듈 (1,450)	676/1,283 (89%)	676/1,283 (89%)	1,010/1,849 **(128%)**	488/948 (65%)	414/800 (55%)	**414/801** (55%)
R-06 표준 필터 (2,700)	1,270/2,415 (89%)	1,270/2,415 (89%)	1,748/3,214 **(119%)**	755/1,468 (54%)	655/1,291 (48%)	**656/1,291** (48%)
R-07 HEPA 필터 (1,050)	478/933 (89%)	478/933 (89%)	713/1,325 **(126%)**	290/600 (57%)	315/626 (60%)	**316/627** (60%)
R-08 포장 박스 (4,000)	1,949/3,698 (92%)	1,949/3,698 (92%)	2,760/5,067 **(127%)**	1,246/2,418 (60%)	973/1,920 (48%)	**693/1,350** (34%)
R-09 액세서리 키트 (4,000)	1,949/3,698 (92%)	1,949/3,698 (92%)	2,760/5,067 **(127%)**	1,246/2,418 (60%)	973/1,920 (48%)	**693/1,350** (34%)

현장안은 늘린 용량(1.5배) 안에는 들어가지만(최대 85%), **현 용량 기준으로는 9개 구역 모두 초과**합니다. 즉 랙 공사 없이는 실행할 수 없는 안입니다.

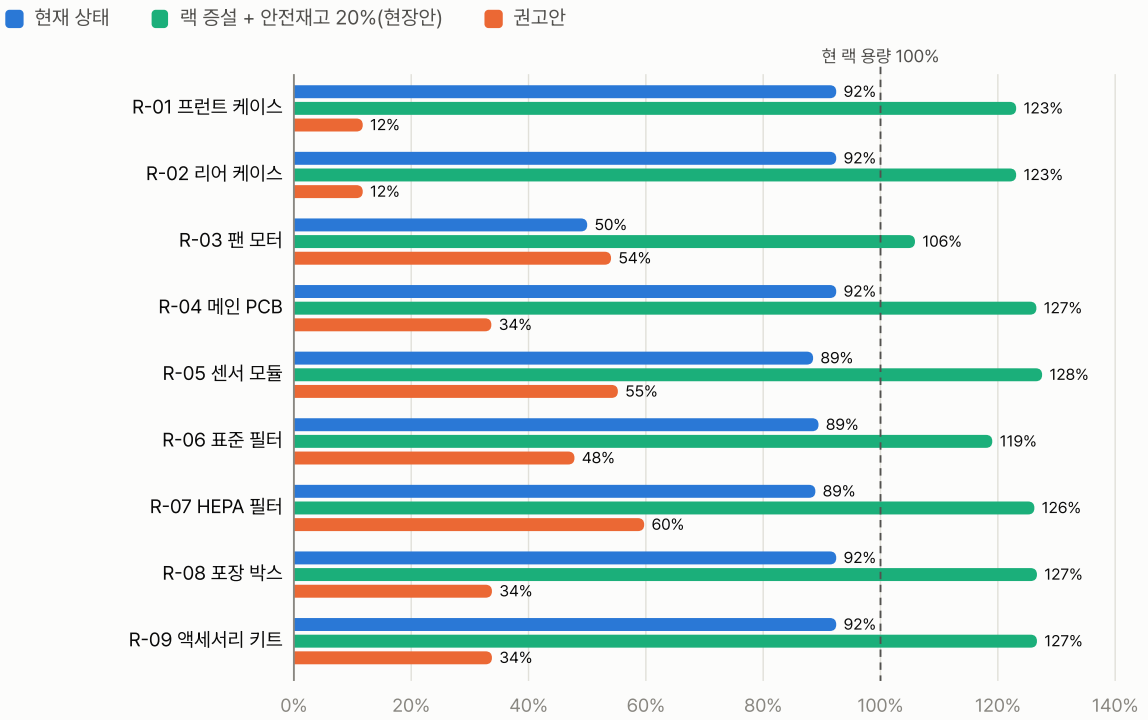
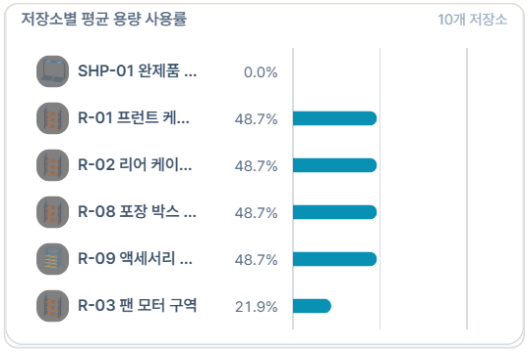
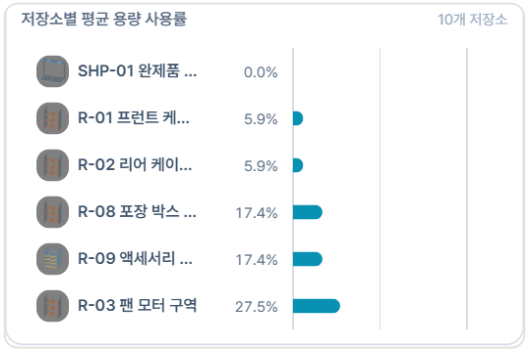


그림 5. 현장안(청록)은 모든 구역에서 현 용량(점선)을 넘고, 권고안(주황)은 가장 붐비는 HEPA 필터 구역도 60%에 그칩니다. 팬 모터 구역은 하루 입고량이 늘어 현재보다 조금 높아집니다.



현재 상태(1회차)



권고안(1회차)

그림 6. N-XI 대시보드 저장소 카드의 구역별 평균 용량 사용률(카드 상단 6개 저장소). 케이스 구역(R-01)은 48.7% → 5.9%로 낮아지고, 팬 모터 구역(R-03)은 하루 입고량이 늘어 21.9% → 27.5%로 높아집니다. 출하 대기장(SHP-01)은 입고 즉시 출하되어 0%입니다.

6.4 재고가 0이었던 시간 비율(%) — 5회 평균(범위)

구역	현재 상태	랙 증설	랙 증설 + 안전재고 20%	모터 계약 정정	전 품목 수량 정정	권고안
R-03 팬 모터	12.5 12.5~12.5	12.5 12.5~12.5	0.0	0.0	0.0	**0.0**
R-07 HEPA 필터	0.0	0.0	0.0	3.6 3.5~3.6	0.1 0.0~0.2	**0.1** 0.0~0.2
나머지 7개 구역	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	**0.0**

6.5 공정 시간 구성(%) — 가동 / 자재 대기 / 후공정 막힘, 5회 평균

공정	현재 상태	랙 증설	랙 증설 + 안전재고 20%	모터 계약 정정	전 품목 수량 정정	권고안
ASM-A1 서브조립	73.8/12.4/13.8	73.8/12.4/13.8	84.2/0.0/15.8	84.2/0.0/15.8	84.2/0.0/15.8	84.2/0.0/15.8
ASM-A2 본조립(병목)	87.1/12.3/0.5	87.1/12.3/0.5	99.4/0.0/0.6	99.4/0.0/0.6	99.4/0.0/0.6	**99.4/0.0/0.6**
PKG-A3 검사·포장	81.3/18.7/0.0	81.3/18.7/0.0	92.8/7.2/0.0	92.8/7.2/0.0	92.8/7.2/0.0	92.8/7.2/0.0
ASM-B1 서브조립	76.1/12.3/11.6	76.1/12.3/11.6	86.7/0.0/13.3	83.7/0.0/16.3	86.7/0.0/13.3	86.7/0.0/13.3
ASM-B2 본조립(병목)	87.1/12.3/0.6	87.1/12.3/0.6	99.3/0.1/0.7	95.8/3.5/0.7	99.2/0.1/0.7	**99.2/0.1/0.7**
PKG-B3 검사·포장	81.8/18.2/0.0	81.8/18.2/0.0	93.1/6.9/0.0	89.9/10.1/0.0	93.1/6.9/0.0	93.1/6.9/0.0

서브조립의 '막힘'과 검사·포장의 '자재 대기'는 병목보다 빠른 앞뒤 공정이 병목을 기다리는 정상적인 대기입니다. 판단에 쓰는 값은 병목(본조립)의 자재 대기입니다. B라인 본조립의 최장 연속 자재 대기는 현재 상태 94.9분, 모터 계약 정정 61.3분, 권고안 3.1분입니다.

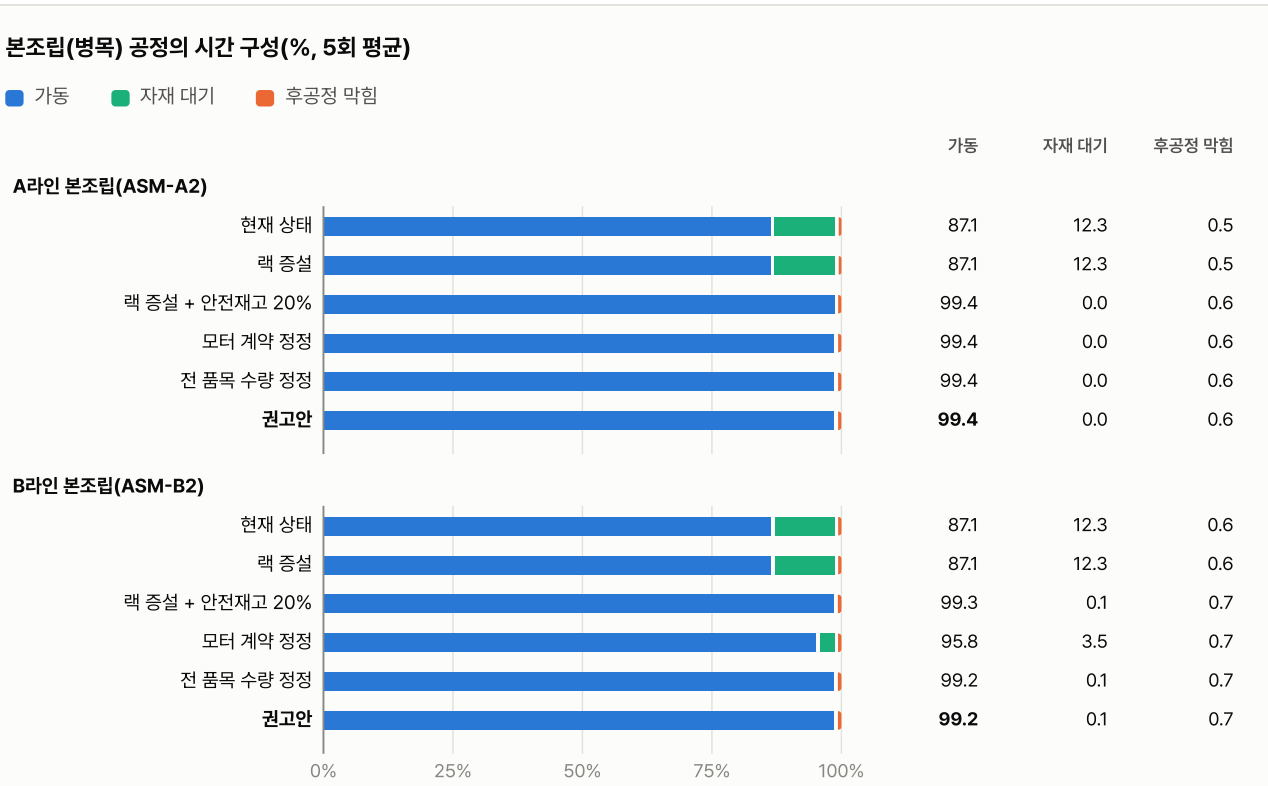
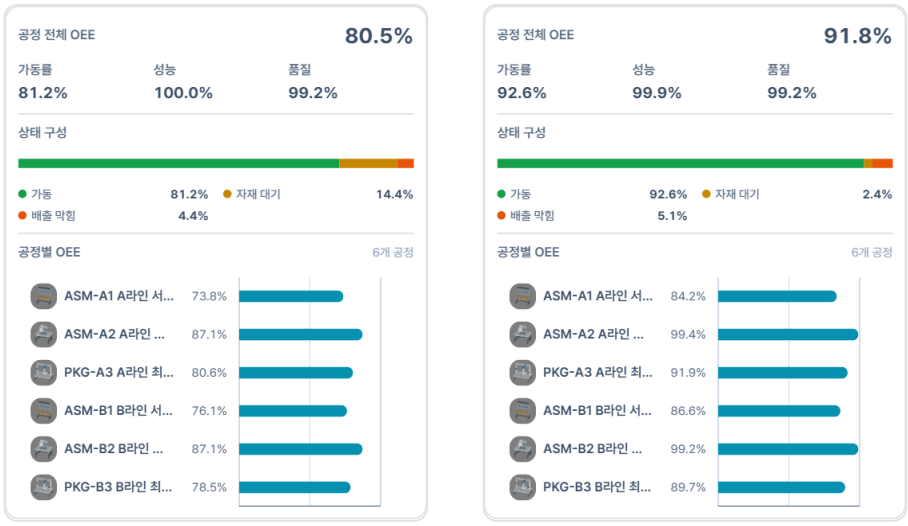


그림 7. 막대 전체가 실행 시간 100%입니다. 현재와 랙 증설은 자재 대기가 12.3%이고, 모터만 고치면 B라인에 HEPA 필터 대기 3.5%가 남습니다. 권고안은 자재 대기가 A 0.0%, B 0.1%입니다.



현재 상태(1회차) 권고안(1회차)

그림 8. N-XI 대시보드 공정 카드. 공정 전체 설비종합효율(OEE)이 80.5% → 91.8%로 오르고, 본조립 공정은 A 87.1% → 99.4%, B 87.1% → 99.2%가 됩니다(1회차 실행 값).

6.6 시나리오별 해석

- **랙 증설:** 생산·재고·정지 패턴이 현재 상태와 **완전히 같습니다**(같은 난수 조건 5회 모두 동일). 주중 최대 재고(92%)가 이미 용량 안에 있어 랙이 넓어져도 달라지는 것이 없습니다. 공간을 늘리면 월요일 이관을 미룰 수 있을 뿐, 남는 부품이 쌓이는 속도(하루 +300개)는 그대로입니다. **기각.**
- **랙 증설 + 안전재고 20%(현장안):** 모터도 20% 늘어(1,950개/일) 계획은 달성합니다. 그러나 나머지 품목도 함께 늘어 평균 재고가 17,977개(+43.7%)가 되고, 구역 최대 재고가 현 용량의 106~128%에 이릅니다. 실행 종료 시점 재고도 21,301개로 현재(12,977개)보다 많아 **주간 외부 이관이 오히려 커집니다.** 생산 회복의 실제 원인은 '재고를 더 쌓은 것'이 아니라 '모터가 소요량 이상 들어온 것'입니다. **기각(공사 필요, 재고 증가).**
- **모터 계약 정정:** A라인은 계획을 달성하지만 B라인은 97.0%에 그칩니다. HEPA 필터가 하루 600개만 들어와 B라인 본조립이 시간의 3.5% 동안 자재를 기다립니다(HEPA 재고 0 시간 3.6%). 모터 계약만 고치는 응급 조치로는 부족하며, **HEPA 계약도 함께 바꿔야 함**을 보여 줍니다.
- **전 품목 수량 정정(1일 1회 유지):** 두 라인 모두 계획을 달성하고 평균 재고가 6,663개(−46.7%)로 줄어듭니다. 협력사와 수량만 바꾸면 되므로 **즉시 적용할 수 있는 1단계 조치**입니다.
- **권고안(수량 정정 + 분할 납품):** 생산은 수량 정정과 같고, 평균 재고는 4,371개(−65.1%)로 수량 정정보다 34% 더 줄어듭니다. 가장 붐비는 구역도 60%(HEPA 필터)에 그쳐 **현 랙에 여유가 충분**합니다. 케이스 구역 평균 체류 시간은 1,458분에서 182분으로 짧아집니다.

7. 권고안과 기대 효과

7.1 권고 사항

1. **납품 계약을 일 소요량(불량 반영) 기준으로 바로잡는다.** 특히 팬 모터(1,600 → 1,875개/일)와 HEPA 필터(600 → 625개/일). 나머지 품목은 소요량 수준으로 맞춘다(케이스 1,900 → 1,840, 표준 필터 1,250 → 1,225).
2. **협력사 허용 범위 안에서 납품을 나누어 받는다.** 케이스(S1) 하루 4회, 모터(S2) 3회, PCB(S3)·포장재(S5) 2회.
3. **랙 증설 공사와 안전재고 20% 확대는 보류한다.** 생산 미달의 원인이 아니며, 재고와 공간 부담만 키운다.
4. **생산계획 변경 시 계약 갱신 절차를 고친다.** 계획이 바뀌면 BOM 전개로 전 품목 소요량을 다시 계산하고, 불량률을 반영해 한꺼번에 갱신한다. 이번 원인은 9월 14일 갱신에서 모터 한 품목이 빠진 것이다.

7.2 협력사별 새 납품 일정표(공장 입고 기준)

협력사(거리)	품목	현행	권고 회차 × 1회 수량	입하 시각	일 납품량 현행 → 권고	조건 확인[1]
S1 사출(12 km)	AP-CSF 프런트 케이스	1회 × 1,900	**4회 × 460**(대차 23개)	06·12·18·24시	1,900 → 1,840	4/4회, 20×23
S1 사출(12 km)	AP-CSR 리어 케이스	1회 × 1,900	**4회 × 460**(대차 23개)	06·12·18·24시	1,900 → 1,840	4/4회, 20×23
S2 모터(25 km)	AP-MTR 팬 모터	2회 × 800	**3회 × 625**	06·14·22시	1,600 → **1,875**	3/4회, 25×25
S3 전장(40 km)	AP-PCB 메인 PCB	1회 × 1,900	**2회 × 950**	06·18시	1,900 → 1,900	2/2회, 50×19
S3 전장(40 km)	AP-SNS 센서 모듈	1회 × 650	1회 × 650(06시 회차에 함께)	06시	650 → 650	50×13
S4 필터(220 km)	AP-FLS 표준 필터	1회 × 1,250	1회 × **1,225**	06시	1,250 → 1,225	1/1회(06시), 25×49
S4 필터(220 km)	AP-FLH HEPA 필터	1회 × 600	1회 × **625**	06시	600 → **625**	1/1회(06시), 25×25
S5 포장재(8 km)	AP-BOX 포장 박스	1회 × 1,900	**2회 × 950**	06·18시	1,900 → 1,900	2/3회, 50×19
S5 포장재(8 km)	AP-ACC 액세서리 키트	1회 × 1,900	**2회 × 950**	06·18시	1,900 → 1,900	2/3회, 50×19

[1] 하루 납품 횟수 / 협력사 시트의 하루 최대 횟수, 1회 수량 = 납품 단위 × 배수.

- 하루 입하 횟수(협력사 차량 기준)는 6회에서 12회로 늘어납니다(S1 1→4, S2 2→3, S3 1→2, S4 1, S5 1→2). 06:00에는 지금처럼 5개 협력사가 모두 도착하고, 나머지 회차는 12:00·14:00·18:00·22:00·24:00로 흩어져 입하 도크 3곳으로 소화할 수 있는 수준입니다.
- S2·S5는 최대 횟수(4회·3회)까지 쓰지 않았습니다. 납품 단위 올림으로 생기는 하루 잉여가 오히려 커지기 때문이며, 남은 1회는 증산·긴급 보충용 여유로 둡니다.
- **이번 검토는 공장 입고 측면(수량·시각·횟수)만 다룹니다. 협력사 운송 경로와 차량 운영비는 분석 범위 밖이며, 분할 납품에 따른 물류비 조정은 구매팀이 협력사와 별도로 협의해야 합니다.**

협력사별 하루 납품 일정(현행과 권고, 1회 수량)

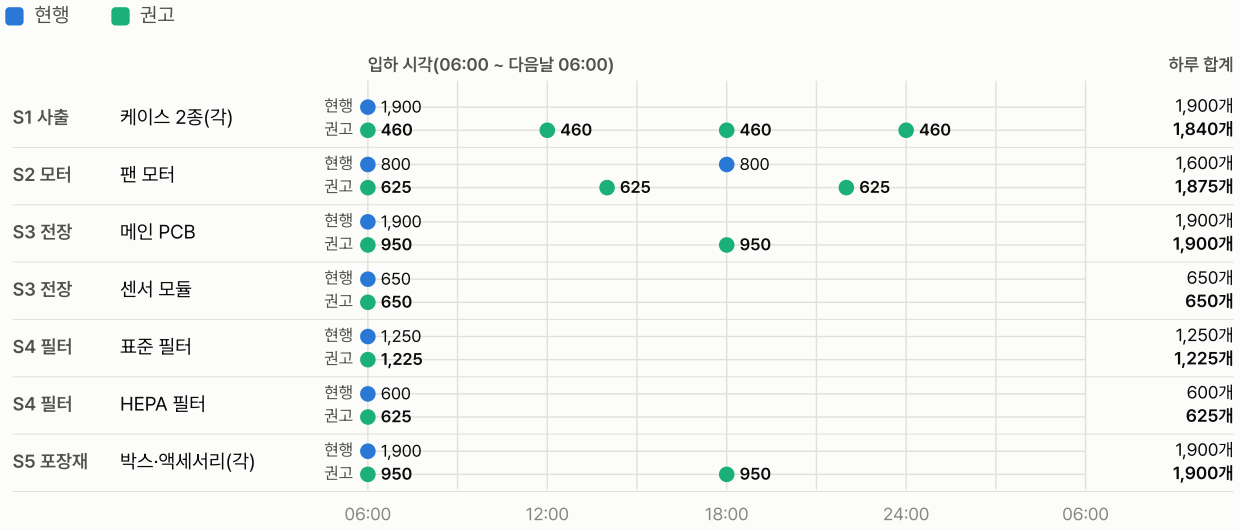


그림 9. 시뮬레이션 결과가 아니라 시뮬레이션에 넣은 입력 일정(계약 조건)입니다. 점은 입하 회차, 숫자는 1회 수량, 오른쪽은 하루 합계입니다. 케이스와 박스·액세서리는 품목별로 같은 일정을 따로 받습니다.

7.3 기대 효과(10,000분 ≈ 약 7일, 5회 평균, 현재 상태 대비)

항목	현재 상태	권고안	변화
A라인 양품	7,315대(1,053대/일)	**8,339대(1,201대/일)**	+14.0%
B라인 양품	3,676대(529대/일)	**4,182대(602대/일)**	+13.8%
본조립 자재 대기 A / B	12.3% / 12.3%	**0.0% / 0.1%**	사실상 해소
공장 설비종합효율(OEE)	80.6%	**91.8%**	+11.2%p
부품 창고 평균 재고	12,512개	**4,371개**	−65.1%
구역 최대 재고 합계	23,921개	**8,571개**	−64.2%
가장 붐비는 구역의 최대 재고 ÷ 현 용량	92.5%	**59.7%**	랙 증설 불필요
케이스 구역 평균 체류 시간	1,458분	**182분**	−87.5%

통로 임시 적치와 매주 월요일 외부 창고 이관(주당 약 13,000개)은 남는 부품이 쌓여서 생기던 일이므로, 권고안에서는 필요가 없어집니다.

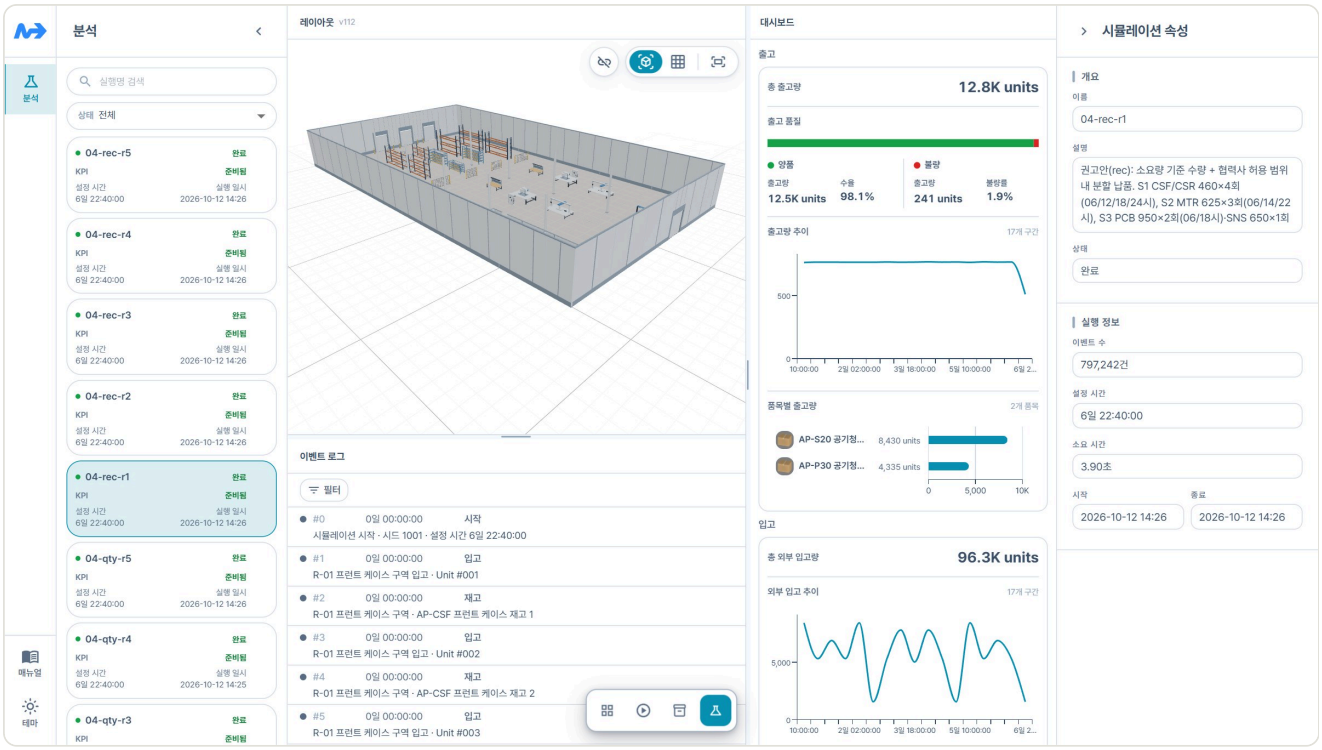


그림 10. N-XI 시뮬레이션 분석 화면(권고안, 1회차 실행). 같은 난수 조건의 현재 상태(그림 3, 출고 11,200대)보다 출고가 12,765대(양품 12,524대, 불량 241대)로 늘었습니다.

7.4 적용 시 고려 사항

1. **단계적 적용.** 1단계로 수량만 정정(전 품목 수량 정정 시나리오: 계획 달성, 평균 재고 −46.7%)하고, 협력사 협의가 끝나는 대로 2단계 분할 납품(권고안)으로 넘어가면 위험이 작습니다. 모터·HEPA 필터 계약 변경은 1단계에서 바로 해야 합니다.
2. **주간 정산 규칙.** 권고 수량은 납품 단위 때문에 소비량보다 조금 많습니다. 시뮬레이션의 일 라인 투입(A 1,214대, B 625대) 기준으로 주간 잉여는 PCB·박스·액세서리 각 약 431개, 모터 약 256개, 센서 약 178개, 표준 필터 약 78개, 케이스 약 11개, HEPA 필터 약 3개입니다. 여기에 월요일 05:00~06:00 점검 1시간 동안 소비되지 않는 양(두 라인 합 약 77대분)이 더해집니다. 기존 월요일 05:00 점검 때 구역별 재고를 확인해 **월요일 06:00 회차 수량을 잉여만큼 납품 단위로 줄이는** 규칙을 두면 재고가 주마다 쌓이지 않습니다(외부 창고 이관을 대체).
3. **정격 = 계획인 라인.** 두 라인 모두 계획이 정격과 같아 자재가 충분해도 회차별로 ±0.5% 정도 오르내립니다(6.2절). 성수기 추가 증산이 필요하면 납품이 아니라 본조립 능력(사이클 단축·보조 작업자 등)을 먼저 검토해야 합니다.
4. **HEPA 필터 계약.** 고가 품목이라도 B라인 불량률(3.7%)만큼은 계약에 넣어야 합니다(600 → 625개/일, +4.2%). 불량률이 바뀌면 함께 갱신합니다.
5. **전환기 재고.** 외부 창고에 이관해 둔 부품은 새 계약 첫 주에 해당 품목 납품을 줄여 먼저 소진합니다.
6. **입하 작업.** 하루 입하 횟수가 두 배가 되므로 검수·적치 인력의 시간대 배치를 회차 시각(12·14·18·22·24시)에 맞춥니다.

8. 분석 가정

- 시뮬레이션 시간 단위는 분이며, 시뮬레이션 시작 시점을 월요일 06:00(주간 점검 직후, 재고실사상 전 구역 0개)으로 두었다. 10,000분(약 6.9일)은 월 06:00 ~ 일 04:40으로, 월요일 05:00 점검·외부 이관 직전까지의 한 주를 그대로 반영했다.
- 첫 입하를 시작 시점(06:00)으로 두어 실행 시작과 동시에 첫 납품이 들어오게 했고, 이후 입하는 계약 시각(정시)과 간격(1,440분 / 720분 / 480분 / 360분)대로 반영했다.
- 랙 구역 1개를 저장소 1개로, 구역마다 한 품목(고정 로케이션)과 기준정보의 최대 적재를 용량으로 반영했다. 랙 증설 시나리오는 공사 규모를 9개 구역 일괄 50% 증설로 설정했다.
- 자재 공급은 라인 직공급으로, 랙 구역에서 공정으로 직접 연결했다(작업자가 꺼내 쓰는 시간은 공정 사이클에 포함).

- 공정 시간은 운영 데이터 사이클 샘플(설비별 800건)의 평균·표준편차로 반영했다(N-XI는 표준편차가 있으면 로그정규분포로 사이클을 생성한다).
- 불량은 최종검사·포장 공정에서 판정하는 것으로 반영했고(A 0.994%, B 3.718%), 불량품도 박스·액세서리를 소비하는 것으로 반영했다(운영 데이터상 포장재 소비량 = 투입 대수).
- 공정 사이 반제품은 다음 공정이 받을 때까지 앞 공정에 머무르는 것으로 반영했다.
- 안전재고 20% 확대는 전 품목의 일 납품량을 20% 늘리는 것(납품 단위로 올림)으로 반영했다.
- 모든 시나리오를 같은 난수 조건 5가지로 실행해, 시나리오 간 차이가 설정 변경에서만 나오도록 했다.
- 보고서의 시뮬레이션 수치는 모두 N-XI 시뮬레이션 실행 결과에서, 운영 수치는 고객 제공 운영 데이터(07_운영데이터)에서 계산했으며, 근거 실행은 부록에 정리했다.

부록. 근거 실행 목록

공통 조건: N-XI 설계 트윈 "Intro-04 가상 공장 C"(ee10dc4f-5e69-478f-a540-62b9469e7312), 실행 시간 10,000분(약 7일), 30회 모두 정상 종료(설정 시간 도달). 같은 난수 조건 번호끼리는 시나리오가 달라도 같은 무작위 흐름을 씁니다.

실행 이름	실행 GUID	시나리오	조건
04-base-r1	5acf4b87-79e5-434c-bd63-f1e79a4f8d1b	현재 상태	현행 납품·현 랙 용량, 난수 조건 1
04-base-r2	bbf6977b-ac98-444c-8c44-96efff56c3bf	현재 상태	현행 납품·현 랙 용량, 난수 조건 2
04-base-r3	99a2339b-2656-4b44-96ec-c96d75eae2aa	현재 상태	현행 납품·현 랙 용량, 난수 조건 3
04-base-r4	b5c77681-9c7e-454c-a9cb-2d627b850ca1	현재 상태	현행 납품·현 랙 용량, 난수 조건 4
04-base-r5	e3a8dc1d-7345-4c7e-8390-5e7c786e8fa0	현재 상태	현행 납품·현 랙 용량, 난수 조건 5
04-rack-r1	a49873f6-b379-48b0-8d0b-be6cdac54985	랙 증설	랙 용량 1.5배, 난수 조건 1
04-rack-r2	2525101f-78e6-449e-be31-798ba8b0399e	랙 증설	랙 용량 1.5배, 난수 조건 2
04-rack-r3	169a590b-f66f-45ee-924f-4f08d1ef53ee	랙 증설	랙 용량 1.5배, 난수 조건 3
04-rack-r4	e49c77d3-bc68-4ac9-8241-965fff4ad7e4	랙 증설	랙 용량 1.5배, 난수 조건 4
04-rack-r5	61996f0a-c392-44ed-9fbc-7e5873a7a94a	랙 증설	랙 용량 1.5배, 난수 조건 5
04-ss20-r1	c0f36caf-35bf-4563-bd43-bf3407274b8a	랙 증설 + 안전재고 20%	랙 1.5배 + 납품 +20%, 난수 조건 1
04-ss20-r2	6aab5d98-1ac9-4edd-bc02-8c3de8b546e2	랙 증설 + 안전재고 20%	랙 1.5배 + 납품 +20%, 난수 조건 2
04-ss20-r3	c2c5973a-904d-4cf8-aff5-698d04220fd1	랙 증설 + 안전재고 20%	랙 1.5배 + 납품 +20%, 난수 조건 3
04-ss20-r4	80223c76-5540-49a4-b82b-c91bba0f8941	랙 증설 + 안전재고 20%	랙 1.5배 + 납품 +20%, 난수 조건 4
04-ss20-r5	78ca507b-2003-4959-aac9-04230ed98ef9	랙 증설 + 안전재고 20%	랙 1.5배 + 납품 +20%, 난수 조건 5
04-mtr-r1	16350dbe-5531-474a-bc66-dc3f41a8fbe9	모터 계약 정정	모터 925×2회, 난수 조건 1
04-mtr-r2	14aba1f1-c17a-413f-a36f-6a630a50bbe9	모터 계약 정정	모터 925×2회, 난수 조건 2
04-mtr-r3	83a956c2-25b1-4703-b9ae-143308fbe4a0	모터 계약 정정	모터 925×2회, 난수 조건 3
04-mtr-r4	920b054b-ba2d-4a86-b3b6-f1d78042c4b7	모터 계약 정정	모터 925×2회, 난수 조건 4
04-mtr-r5	bdfc5258-6e6f-48dd-a984-5989207decd1	모터 계약 정정	모터 925×2회, 난수 조건 5
04-qty-r1	bff2f38b-9ea8-40de-a74f-e2a9def3f0aa	전 품목 수량 정정	소요량 기준 1일 1회, 난수 조건 1
04-qty-r2	9eb6f0fe-a1da-4615-b944-d1f636040a82	전 품목 수량 정정	소요량 기준 1일 1회, 난수 조건 2
04-qty-r3	80ae3ad3-03b2-47ad-ae5c-0fa957b10360	전 품목 수량 정정	소요량 기준 1일 1회, 난수 조건 3
04-qty-r4	3c797be3-a0a4-4081-9478-1a9a6e3c3c6d	전 품목 수량 정정	소요량 기준 1일 1회, 난수 조건 4
04-qty-r5	a3bb8273-4c8c-430d-a6e5-980d7ef1b99a	전 품목 수량 정정	소요량 기준 1일 1회, 난수 조건 5
04-rec-r1	d5c34534-4721-4907-a86d-e539b0eea3a3	권고안	수량 정정 + 분할 납품, 난수 조건 1
04-rec-r2	cae8a4a2-4338-47fd-86a7-caff0f1ac80a	권고안	수량 정정 + 분할 납품, 난수 조건 2
04-rec-r3	e12dd6c7-5d23-4fc3-afc5-f61903d3035e	권고안	수량 정정 + 분할 납품, 난수 조건 3
04-rec-r4	a5584fd9-67e5-41db-b3cd-85def48d549a	권고안	수량 정정 + 분할 납품, 난수 조건 4
04-rec-r5	b24cb111-e059-431f-96ab-a502fa8be1b6	권고안	수량 정정 + 분할 납품, 난수 조건 5