

Morium

ESP32 기반 UV-C 살균 이끼 가습기 — 설계 문서 모음

작성: 이경진 (unitexstudios@gmail.com · unitexstudios.github.io)

수록: 제품 요구사항 정의서(PRD) · 시스템 아키텍처 & 전력 예산 · 예비 BOM · 펌웨어 상태머신 & 안전 로직 ·

제작 치수 레퍼런스 · 상용 제품 위생 기술 벤치마크

상태: 진행 중인 개인 프로젝트의 설계 문서 스냅샷 (2026.08)

Morium — 이끼 탁상 가습기 제품 요구사항 정의서 (PRD)

- 문서 버전: v0.1 (Phase 0 착수판)
- 관련 문서: 02_Architecture.md, 03_BOM.md, 04_Firmware_StateMachine.md, cad/morium_shell.py

1. 제품 한 줄 정의

도시 생활자를 위한 가로형 커스텀 이끼 디오라마 겸 탁상 가습기. PC·침대 옆에서 (1) 이끼 식생을 저관리로 유지하고, (2) 미니어처·장난감 등 개인 오브제를 배치해 커스텀하며, (3) 계절에 따라 이끼 전용/실내 동시 가습을 자동 전환하고, (4) UV 물 살균으로 곰팡이·세균 걱정을 줄인다.

2. 문제 정의 & 차별점

항목	기존 이끼+가습기 제품	Morium
형태	대부분 세로형	가로형 (모니터 하단/침대 옆 시야에 맞춤)
커스텀	고정형, 커스텀 불가	모듈형 오브제 슬롯 (미니어처/토이 배치)
계절 대응	단일 모드	여름=이끼 전용 / 겨울=이끼+실내 자동 전환
위생	수동 세척 의존	UV-C 물 순환 살균 + 상시 통풍 + 건조 사이클

3. 타겟 사용자 & 사용 시나리오

- 1차 타겟: 20~30대 도시 1인 가구, 데스크테리어/플랜테리어 관심층.
- 시나리오 A (여름·PC): 실내 습도 충분 → 이끼 전용 가습만 저강도 유지, 오브제 감상.
- 시나리오 B (겨울·침대): 외기 건조 → 사용자가 실내 가습 ON → 이끼 가습 + 실내 미스트 동시.
- 시나리오 C (여행/부재): 저수위 알림, 자동 절전, 이끼 최소 유지 모드.

4. 핵심 설계 원칙 (팀장 검토 반영)

아래 4개는 재작업을 막기 위해 도면 단계부터 강제한다.

- 펠티어(TEC)는 MVP에서 제외. 이끼는 시원함·통풍을 선호하므로 이끼면 가온 금지. 응결 회수는 Phase 3의 소형 TEC "이슬 링" 프리미엄 옵션으로 분리.
- UV-C는 물 순환로 내부에 완전 밀폐. 이끼·사용자에게 UV 빛 노출 0. 물탱크 분리/뚜껑 개방 시 하드웨어 인터록으로 자동 소등.
- 곰팡이 방지를 코어로. 상시 저소음 통풍 + 고임물 없는 배수 + 착탈 세척 트레이 + 주기적 건조 사이클.
- 물·전자 완전 분리. 저수조·미스트 경로와 PCB·배터리 영역을 물리적으로 격벽 분리, IP 등급 고려.

5. 기능 요구사항 (FR)

5.1 가습

- FR-1: 초음파 압전 소자로 냉미스트 생성.
- FR-2: 미스트 라우팅 2경로 — (a) 이끼 트레이 내부 습도 공급, (b) 실내 방출.
- FR-3: 이끼 전용/실내 동시/off 3개 모드. 계절 자동 모드에서 온습도 센서로 전환.
- FR-4: 저수위에서 초음파 자동 차단(건조발진 보호), 100ms 이내.

5.2 식생(이끼) 유지

- FR-5: 착탈식 이끼 트레이(공구 없이 분리·세척·교체).
- FR-6: 배수 구조로 트레이 내 고임물 방지.
- FR-7: 상시 저소음 통풍(팬 또는 자연 대류 슬롯)으로 곰팡이 억제.
- FR-8: 주기적 건조 사이클(예: N시간마다 가습 정지 + 통풍 강화).

5.3 위생/살균

- FR-9: 저수조 물에 대한 UV-C 순환 살균, 밀폐 광원.
- FR-10: 물탱크 분리/뚜껑 개방 시 UV-C 자동 소등(리드/홀 센서 인터록).
- FR-11: 정수/증류수 사용 가이드 및 백색분진 저감 안내.

5.4 커스텀/UX

- FR-12: 표준화된 오브제 슬롯/자석 마운트로 미니어처·토이 배치.
- FR-13: 저소음(<30dB 목표), 한 손 급수, 물 부족·세척 시기 알림.
- FR-14: 앰비언트 조명(이끼 성장 보조광 겸 감성 조명, UV-A/식물광 아님 주의 — 저조도 식물광 검토).

5.5 스마트 (Phase 2)

- FR-15: ESP32 기반 앱 연동(모드/타이머/알림/계절 자동).
- FR-16: 온습도(SHT4x), 수위, 인터록 상태 원격 확인.

6. 비기능 요구사항 (NFR)

- NFR-1 안전: 물-전자 분리, UV 광생물안전(IEC 62471) 밀폐, 전기 KC/EMC.
- NFR-2 소음: 정상 동작 <30dB(A) @ 0.5m.
- NFR-3 전력: MVP 코어 USB-C PD 20W 이내. 프리미엄(TEC) 별도 DC 어댑터.
- NFR-4 유지보수: 이끼 트레이·저수조 공구 없이 세척, 부품 교체 주기 명시.
- NFR-5 수명: UV 노출부 소재 500h 조사 후 균열·황변 없음.
- NFR-6 내구: 물 접촉부 방수/방청, 넘어짐 방지 무게중심 하부화.

7. 범위 밖 (Out of Scope, MVP 기준)

- 펄티어 응결 회수 (→ Phase 3)
- 앱/클라우드/음성비서 (→ Phase 2+)
- 아로마·향 디퓨저 결합 (초음파 위생 이슈로 별도 검토)

8. 성공 지표 (Phase 1 검증)

- 8주간 이끼 녹변/고사 없음, 육안 곰팡이 없음.
- 저수위 건조발진 보호 100% 동작.
- 사용자 세척 소요 <5분, 급수 한 손 가능.

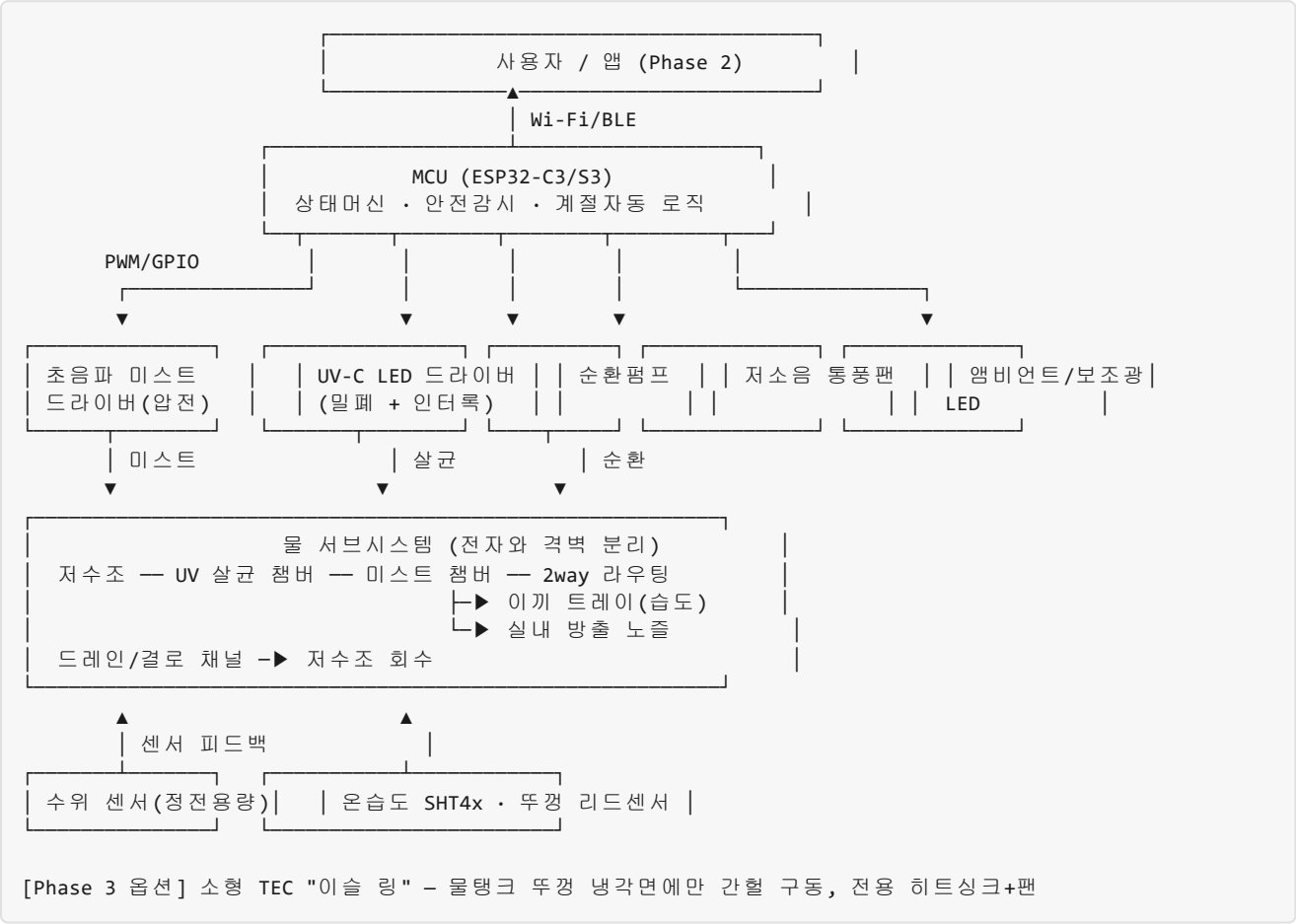
9. 오픈 이슈 / 결정 필요

- Q1: 이끼 종 선정(자바모스/서리이끼/쿠션모스 등) — 광·습도·온도 요구 확정 필요.
- Q2: 보조광 파장/조도 — 이끼 광합성 vs 저발열 LED 균형.
- Q3: 전원 아키텍처 — USB-C PD 단독 vs 12V 어댑터(프리미엄 겸용).
- Q4: 미스트 실내 방출 시 가구 결로/얼룩 방지 배출 각도·거리.

Morium — 시스템 아키텍처 & 전력 예산

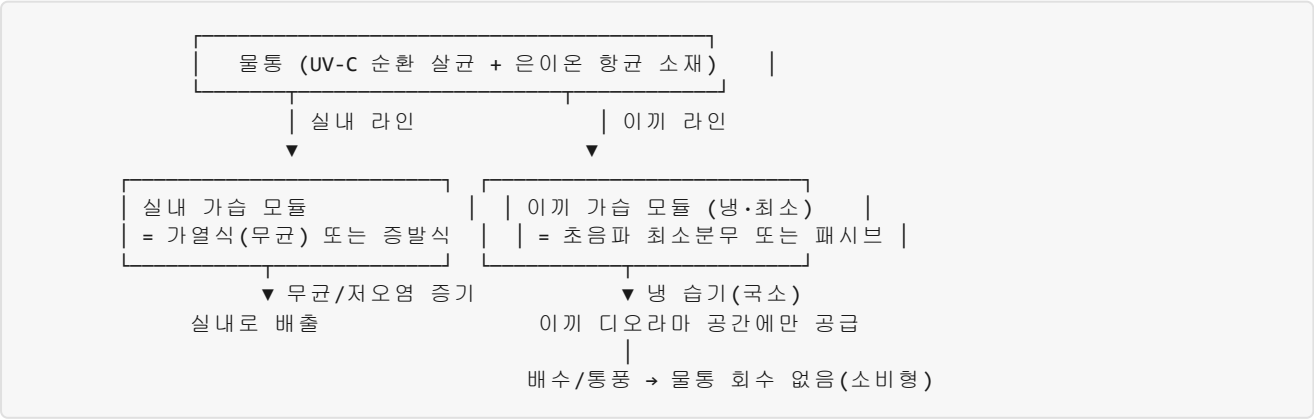
관련: 01_PRD.md, 03_BOM.md, 04_Firmware_StateMachine.md

1. 기능 블록 다이어그램



1-B. 물 경로 (확정 방향 — 2라인 완전 분리)

단일 물통(UV + 항균 플라스틱 관리)에서 두 개의 독립 라인이 나간다. 두 라인은 경로가 분리되며, 이끼로 간 습기는 물통으로 회수되지 않는다(유기물 역유입 차단).



- **실내 라인:** 물통에서 뽑아 실내로 배출. 물통 오염과 무관하게 배출 위생을 확보하려면 가열식(끓여 무균 증기) 또는 증발식(세균 잔류·증발만) 사용. 초음파는 물통 위생 엄격 관리 시만.
- **이끼 라인:** 이끼 공간에만 국소 공급, **최소 가습**으로 곰팡이 방지. 가열식 금지(이끼는 냉·통풍 선호). 공급된 습기는 배수/통풍으로 빠지고 **물통으로 회수하지 않음**.

실내 가습 방식 비교

방식	전력(출력 100mL/h 기준)	배출 위생	비고
초음파	2~5W	나쁨(세균·미네랄 에어로졸)	소형·저전력, 오염 그대로 분무
가열식(스팀)	80~120W	우수(무균 증기)	전용 12V/60~100W 어댑터·방열·디스케일·화상 주의
증발식(심지 + 팬)	1~3W	우수(세균 잔류)	저전력·안전, 출력 자기조절(겨울 약함)·심지 교체

물 증발 에너지 $\approx 2,600 \text{ J/g} \rightarrow 100\text{mL/h} \approx 72\text{W}$ (이론), 실사용 80~120W. 가열식 채택 시 USB-C PD 20W 예산 초과 $\rightarrow$ 전원 도메인 분리 필수.

방식 선정 가이드

- 위생 최우선 + 저전력: 실내=증발식, 이끼=패시브/증발.
- 겨울 강출력 필요: 실내=가열식(전용 전원), 이끼=초음파 최소분무 또는 패시브.
- 이끼는 어떤 경우에도 가열식 금지.

2. 서브시스템 책임

서브시스템	역할	안전/주의
MCU	상태머신, 계절 자동 전환, 안전 감시, 앱 통신	워치독, 이상시 안전정지
초음파 미스트	냉미스트 생성	저수위 시 100ms 내 차단(건조발진 보호)
미스트 라우팅	이끼/실내 2경로 밸브 또는 팬 유도	실내 노즐 결로 방지 각도
UV-C 살균	물 순환 중 세균/곰팡이 억제	물 순환로 내부 밀폐, 뚜껑 개방 시 소등
통풍팬	상시 미세 통풍(곰팡이 억제)	초저소음, 이끼 건조 과다 방지
센서	수위/온습도/인터록	인터록은 하드웨어 레벨 우선
보조광	이끼 저조도 보조 + 감성	발열 최소, UV-A 아님

3. 전원 아키텍처

- **MVP 코어:** USB-C PD, 목표 20W 이내. TEC 없음.

- **프리미엄(Phase 3):** 소형 TEC 추가 시 12V 전용 어댑터($\geq 60W$) 또는 PD 100W. 코어와 전원 도메인 분리.
- 물 접촉 회로 없음 — 모든 액추에이터는 격벽 밖에서 배관/도파로만 물에 작용.

4. 전력 예산 (추정, 부품 확정 전)

서브시스템	대표 부품	전압	전류(A)	전력(W)	비고
MCU + 센서	ESP32-C3 + SHT4x	3.3	~0.24	0.8	Wi-Fi 피크 시 순간 상승
초음파 미스트	20mm 113kHz 압전	5	~0.5	2.5	듀티 제어
통풍팬	저소음 블로어	5	~0.2	1.0	상시 저속
UV-C LED	265~275nm 밀폐	5	~0.3	1.5	순환 시만
순환펌프	소형 다이어프램	5	~0.3	1.5	간헐
앰비언트/보조광	LED 스트립	5	~0.4	2.0	밝기 가변
코어 합계				≈9.3	PD 20W 여유
TEC(옵션)	TEC1-12703 + 방열팬	12	~1.3	~15	Phase 3만
TEC(과대)	TEC1-12706	12	~4.3	~52	비권장

결론: 코어는 20W PD로 충분. TEC1-12706($\approx 52W$)은 데스크 오브제에 부적합 → 필요 시 TEC1-12703급을 "이슬 링"에만 간헐 사용.

5. 열/유체 설계 노트

- 초음파 미스트는 냉미스트(발열 거의 없음). 주 발열원은 (선택 시) TEC뿐.
- 응결 회수 루프는 "안개화→재응결"로 에너지 상쇄가 큼 → MVP에서 제외 타당.
- 곰팡이 억제 3요소: **통풍(상시)** + **배수(고임 방지)** + **건조 사이클(주기)**.

6. 기구-전자 인터페이스

- 격벽: 물 챔버와 PCB 챔버를 별도 몰드/가스켓으로 분리, 케이블은 방수 그로밋 통과.
- 착탈부: 저수조, 이끼 트레이는 슬라이드/자석 마운트. 뚜껑 리드센서로 UV 인터록.
- 서비스성: 이끼 트레이 → 저수조 → PCB 순으로 접근성 우선순위.

Morium — 예비 BOM (부품 목록) & 대안

관련: 02_Architecture.md. 가격/부품은 확정 전 후보이며, DFM·인증 단계에서 갱신.

1. 코어 전자 (MVP)

구분	후보 부품	수량	선정 이유	대안
MCU	ESP32-C3-MINI (Wi-Fi/BLE)	1	앱 연동·저가·풍부한 생태계	ESP32-S3(연산 여유), RP2040(무선 없음)
온습도 센서	Sensirion SHT40	1	정확·저전력 I2C	AHT20, SHT31
수위 센서	정전용량식 비접촉	1	전극 부식 없음	플로트 스위치(기계식)
뚜껑 인터록	홀 센서 + 자석 / 리드 스위치	1	UV 안전 하드웨어 인터록	마이크로 스위치
초음파 모듈	20mm 113kHz 압전 + 드라이버	1	표준 냉미스트	초음파 무화 디스크 세트
UV-C 광원	265~275nm UV-C LED(밀폐)	1~2	물 살균, 수은 없음	저압 수은램프(폐기·안전 불리)
순환 펌프	소형 다이어프램/기어 펌프 5V	1	UV 챔버 순환	브러시리스 워터펌프
통풍팬	초저소음 블로어/축류 5V	1	상시 통풍(곰팡이 억제)	자연대류 슬롯(팬리스)
보조/앰비언트 광	저발열 LED(식물 저조도 스펙트럼 검토)	1 세트	이끼 보조광 + 감성	일반 워م/쿨 화이트
전원	USB-C PD 트리거(9V/12V) → DC-DC	1	코어 20W 이내	12V 배럴 어댑터
MOSFET 드라이버	로직레벨 N-ch × 부하 수	4~5	펌프/팬/UV/미스트 스위칭	모터/LED 전용 드라이버 IC
보호	퓨즈, TVS, 역전압 보호	1 세트	안전·EMC	PPTC 리셋터블

2. 기구/식생

구분	후보	비고
외부 쉘	ABS/PC 사출 (불투명 본체)	무게중심 하부화
투명 커버	PMMA(아크릴) 또는 PETG	디오라마 감상창, UV 노출부 아님
이끼 트레이	식품등급 PP, 착탈·세척	배수 슬릿 포함

구분	후보	비고
저수조	투명 트라이탄/PP, 착탈	한 손 급수 캡
가스켓/실링	실리콘 O-링/가스켓	물-전자 격벽
UV 슬리브	석영(쿼츠)	UV-C 내성, 광원 보호
오브제 마운트	자석 + 표준 슬롯	미니어처/토이 커스텀
이끼(소모품)	자바모스/서리이끼/쿠션모스(후보)	Q: 종 확정 필요

3. UV 소재 적합성 (필수 확인)

UV-C에 노출되는 부위만 해당. 아래는 500h 조사 테스트 대상.

소재	UV-C 내성	용도
석영(쿼츠)	우수	광원 슬리브
PTFE	우수	챔버 라이닝
316 스테인리스	우수	배관/브래킷
ABS/PC	취약(황변·취화)	UV 비노출부만
실리콘	등급별 상이	UV 등급품 확인

4. Phase 3 옵션 (프리미엄 TEC "이슬 링")

구분	후보	비고
TEC	TEC1-12703 (~15W)	뚜껑 냉각 링에만 간헐 구동
방열	알루미늄 히트싱크 + 저소음 팬	온측 방열 필수
드라이버	PWM MOSFET / H-브리지	과열 셧다운
전원	12V ≥60W 전용 어댑터	코어와 도메인 분리

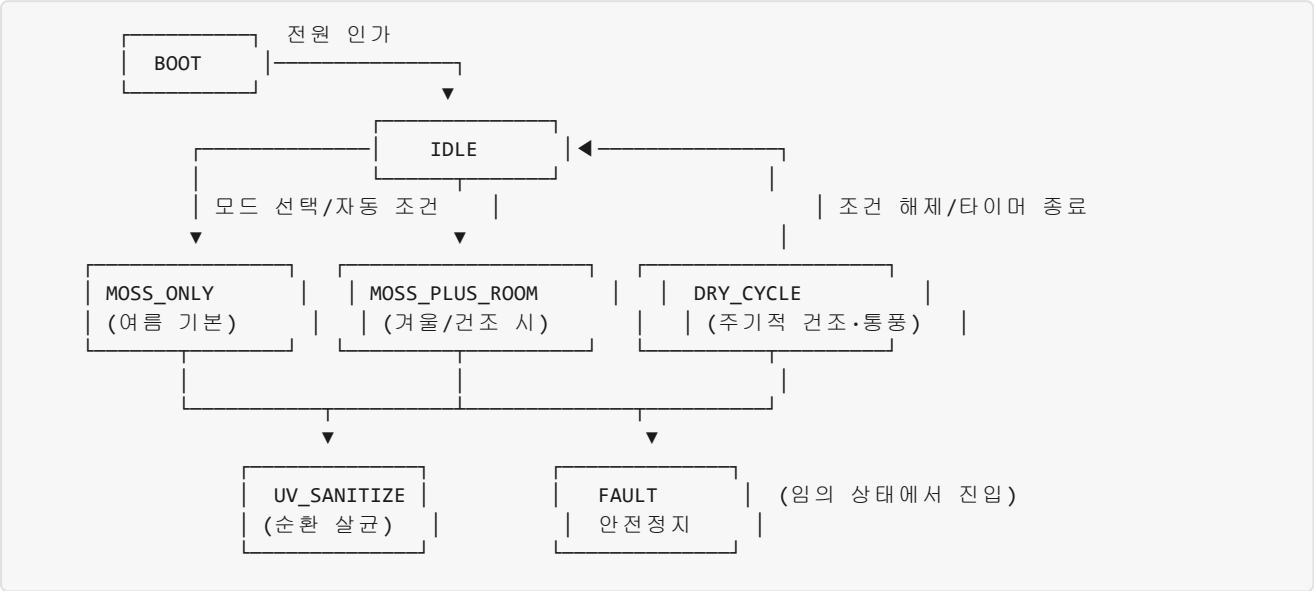
5. 비용/공급 리스크 노트

- UV-C LED와 압전 소자는 품질 편차가 큼 → 2개 이상 벤더 샘플링.
- 인증(KC/EMC/IEC 62471) 비용·기간을 Phase 3 일정에 선반영.
- 소모품(이끼) 공급/재구매 모델 = 부가 매출 & 잠금 요소.

Morium — 펌웨어 상태머신 & 안전 로직

관련: 02_Architecture.md. MCU: ESP32-C3/S3.

1. 최상위 상태



2. 상태 정의

상태	액추에이터	진입 조건	이탈 조건
BOOT	전체 off, 셀프테스트	전원 인가	셀프테스트 통과 → IDLE
IDLE	통풍팬 저속, 센서 폴링	기본	사용자/자동 모드 선택
MOSS_ONLY	미스트→이끼경로 저강도, 통풍	여름/실내습도 충분	겨울 조건·사용자 전환
MOSS_PLUS_ROOM	미스트→이끼+실내, 통풍	사용자 ON & 외기 건조	목표습도 도달/사용자 off
DRY_CYCLE	미스트 off, 통풍 강화	N시간 주기/습도 과다	사이클 시간 경과
UV_SANITIZE	펌프 on, UV-C on	주기 도래 & 뚜껑 닫힘	살균시간 경과/인터록 해제
FAULT	안전 관련 전부 off	아래 안전 이벤트	원인 해소 + 리셋

3. 계절 자동 전환 로직 (의사코드)

```
def auto_mode(temp, rh, season_hint, user_room_request):
    # rh: 실내 상대습도(%), temp: 실내온도(℃)
    if user_room_request and rh < RH_DRY_THRESHOLD: # 예: 40%
        return "MOSS_PLUS_ROOM"
    if rh > RH_HUMID_THRESHOLD: # 예: 60%
        return "DRY_CYCLE" # 과습 → 곰팡이 방지 건조
    return "MOSS_ONLY" # 기본: 이끼만 저장도 유지
```

4. 안전 인터록 (하드웨어 우선)

이벤트	감지	즉시 동작	복구
저수위 (건조발진)	정전용량 수위센서	초음파 100ms 내 차단	급수 후 자동
뚜껑/탱크 개방	홀/리드 센서	UV-C 즉시 소등(HW 인터록)	닫힘 감지 후
과습	SHT4x RH	DRY_CYCLE 강제	습도 하강 후
과열(TEC, 옵션)	NTC	TEC off + 팬 최대	냉각 후
워치독 타임아웃	MCU WDT	안전정지→BOOT	재기동
물감지(누수)	격벽부 누수패드(옵션)	전 부하 off, 알림	점검 후 수동

5. 곰팡이 방지 운영 규칙

- 통풍팬은 IDLE 포함 상시 저속 유지(완전 정지 금지).
- N시간(예: 12h)마다 DRY_CYCLE 자동 삽입.
- UV_SANITIZE는 하루 M회 순환(뚜껑 닫힘 시에만).
- 이끼 트레이 세척 알림: 누적 가동시간/습도 이력 기반.

5-B. 회전율 인식 물교체 알림 (turnover-aware)

용량 350mL급에서 계절별 물 회전율이 극단적으로 다르다는 점을 이용:

- 여름/이끼 전용(저회전, 2~4주 정체): 위생 위험 핵심 구간 → 시간 기준 강제 알림.
- 겨울/실내 가습(고회전, 3~4h 소진): 물이 자주 새로 채워짐 → 알림 거의 안 뜸.

```
def water_change_due(days_since_fill, consumed_ml, tank_ml, tds_ppm):
    # 1) 여름 정체: 소비 적어도 시간 지나면 교체 (정체수 리셋)
    if days_since_fill >= WATER_MAX_AGE_DAYS: # 예: 5~7일
        return True
    # 2) 수질 프록시: 증발 농축으로 TDS 급상승 시
    if tds_ppm >= TDS_ALERT_PPM: # 예: 초기 대비 +50%
        return True
    # 3) 고회전(겨울)은 위 조건 전에 대부분 소진 → 자연 리셋
    return False

def summer_stagnation_guard(mode, hours_idle):
    # 가습을 안 해도 주기적으로 UV 순환을 돌려 물을 움직이고 살균
    if mode == "MOSS_ONLY" and hours_idle >= UV_RECIRC_IDLE_H:
        run_uv_recirculation(UV_RECIRC_LEN)
```

- UV-C는 **사용 직전 유로(반사관 다중통과)** 에 배치. 위 가드는 저회전 시에도 탱크 물을 유로로 순환시켜 조사 → 정체수 살균.
- 여름 "절반만 급수" 유도: 앱/표시로 권장, 알림 기준일은 급수량 반영.

6. 알림/텔레메트리 (Phase 2)

- 물 부족, **물교체(회전을 인식)**, 세척 시기, 필터/이끼 교체, 인터록 열림, FAULT 코드.
- 알림 무시 방지: 색상 링 + 앱 푸시 + 기준 초과 시 가습 자동 감속.
- 앱: 모드/타이머/밝기/목표습도 설정, 계절 자동 on/off.

7. 임계값 파라미터(초기값, 튜닝 대상)

파라미터	초기값	설명
RH_DRY_THRESHOLD	40%	이 아래면 실내 가습 허용
RH_HUMID_THRESHOLD	60%	이 위면 건조 사이클
DRY_CYCLE_PERIOD	12h	건조 사이클 주기
DRY_CYCLE_LEN	30min	건조 사이클 길이
UV_PERIOD	6h	살균 주기
UV_LEN	15min	살균 길이
LOWWATER_CUTOFF	100ms	초음파 차단 지연 상한
WATER_MAX_AGE_DAYS	5~7일	여름 정체수 강제 교체 알림 기준
TDS_ALERT_PPM	초기 대비 +50%	수질 프록시 교체 알림
UV_RECIRC_IDLE_H	6h	저회전 시 UV 순환 가드 주기
UV_RECIRC_LEN	5min	UV 순환 가드 길이

Morium — 제작용 재료 목록 & 치수 (모델링 참고본)

- 본체 외형 기준: **250(W) × 100(D) × 90(H) mm** (납힌 직사각형), 커버 포함 전체 높이 124mm
- 구획(길이방향): [PCB 45 | 이끼 트레이 135 | 저수조 70] mm
- 외벽/격벽 살두께 2.4mm, 베이스 두께 28mm, 외곽 라운드 R8
- 단위 mm. ▲ 표시는 확정 전 후보값 → 실측/부품 확정 후 갱신

이 문서는 "직접 모델링"을 위한 치수·재료 레퍼런스다. 위생(살균) 판단은 아래 8장과 docs/01_PRD.md, 02_Architecture.md 참고.

1. 구조/외장 부품 치수

부품	외형 치수 (L×D×H)	살두께	소재 후보	비고
Body(본체 쉘)	250 × 100 × 90	벽 2.4 / 베이스 28	ABS 또는 PC/ABS, UV 비노출부	무게중심 하부화 (베이스 두껍게)
DioramaCover(감상창)	135 × 95 × 34	2.0	PMMA(아크릴) 또는 PETG	투명, 아래 열림/위 닫힘
TankLid(물통 리드)	66 × 95 × 3 (+노즐 8)	3.0	PP 또는 PC	노즐 보스 Ø16, 관통홀 Ø10
격벽 2매	두께 2.4, 높이 62	—	본체와 일체	PCB 트레이, 트레이 물통

2. 이끼 트레이 (착탈·세척)

항목	치수	소재 후보	비고
트레이 내부	약 123 × 76, 깊이 22	식품등급 PP (항균 마스터배치 권장)	공구 없이 분리
배수 슬릿	폭 2, 3줄	—	고임물 방지 (곰팡이 대책 핵심)
트레이 여유 (마진)	가장자리 6	—	셸과 간섭 방지

3. 저수조 (물 접촉 = 위생 최우선)

항목	치수	소재 후보	비고
외형	약 64 × 93 × 61	Tritan(트라이탄) 또는 식품등급 PP	착탈, 한 손 급수
내부 용적 (목표)	사용 ≈ 300~400 ml (확정)	—	근거리 개인 가습 스케일

용량 판단(회전을 관점):

- 겨울 실내 가습 ON: 출력 100 mL/h 기준 350 mL ≈ 3~4시간(300 mL/h면 ~1h) → 자주 급수 = 물 늘 신선.
- 여름 이끼 전용: 소비 ≈ ~~1030 mL/day~~ → 350 mL ≈ 24주 정체 = **세균 위험의 핵심 구간**.
- 결론: 위생 시스템의 진짜 부담은 **여름(저회전)**. 겨울(고회전)은 자연적으로 안전.
- 350 mL는 방 전체용이 아닌 **책상·침대 근거리 개인 가습** 스케일임을 마케팅에 명확히.
- 여름엔 "절반만 급수" 가이드 권장(가득 채우면 대부분 정체수). | 리드 가스켓 홈 | 폭 2 × 깊이 1.5 (둘레 링) | 실리콘 O-링/가스켓 | 누수·증발 방지 || 급수구 | ▲ Ø40 이상 | — | 손·솔 진입 가능해야 세척 쉬움 |

물 접촉부(저수조·트레이·튜브)는 **은이온계 항균 마스터배치**(Microban/BioCote 등) 포함 소재를 강력 권장. UV 잔류 효과가 없는 부분을 상시 억제.

4. 전자부(PCB) 캐리어

항목	치수	소재	비고
캐리어 볼륨	약 39 × 93 × 61	ABS	물-전자 격벽 분리
케이블 노치	폭 10 (격벽 상단)	—	트레이/물통 쪽 배선

5. 위생/살균 부품

부품	사양 후보	치수/장착	비고
UV-C 광원	UV-C LED 265~280nm ▲	석영 슬리브 내부	물 순환로에 밀폐, 눈/이끼 노출 0
석영 슬리브	쿼츠, ▲ Ø8~12	UV 광원 보호	UV-C 내성
순환 펌프	5V 다이어프램/기어펌프	물통↔UV 챔버	UV 통과 회전을 확보
인터록	홀센서+자석 / 리드스위치	리드·물통 접합부	개방 시 UV 자동 소등
튜브	백금경화 실리콘 또는 PTFE	내경 ▲ Ø4~6	바이오필름 저항

6. 가습/통풍 부품

부품	사양 후보	비고
이끼 습도 공급	★ 심지 증발식(evaporative wick) 권장	초음파보다 위생적(에어로졸/바이오필름 ↓)
실내 가습(선택)	초음파 20mm 113kHz + 드라이버	출력 필요 시. 물은 UV+항균 회로로 관리
통풍팬	초저소음 5V 블로어/축류	상시 저속(곰팡이 억제)
통풍 슬롯	폭 3 × 높이 14, 6개(뒷벽)	자연 통풍 보조

7. 전자/제어 (요약, 상세는 03_BOM.md)

구분	후보	비고
MCU	ESP32-C3-MINI	Wi-Fi/BLE, 앱 연동
온습도	Sensirion SHT40	계절 자동 판단
수위	정전용량 비접촉	건조발진 보호
전원	USB-C PD(9/12V) → DC-DC, 코어 ≤20W	TEC 미사용
실링	실리콘 가스켓/O-링, 방수 그로밋	물-전자 분리
이끼(소모품)	자바모스/서리이끼/쿠션모스 ▲	종 확정 필요

8. 위생 설계 판정 (요약)

UV 단독으로는 곰팡이·세균 완전 예방 불가. 근거:

- UV는 통과하는 물만 소독(잔류 효과 없음) → 벗어나면 재오염.
- 바이오필름(통 벽·튜브·진동자 표면)은 UV 저항 강함 → 장기 고장 1순위.
- 곰팡이/포자는 세균보다 UV 저항 높고, 이끼·공기 쪽 곰팡이엔 물 UV가 무의미.
- 초음파는 세균·미네랄을 에어로졸화(별도 흡입 위험).

현실적 목표: "영구 무교체"가 아니라 "물 교체 없이 약 2주 억제".

다중 방벽(권장):

1. 항균 소재(은이온) — 상시 잔류 억제
2. 완전 배수·데드존 제거·매끈한 라운드 — 바이오필름 억제
3. 순환 + 충분한 UV 선량(10~40 mJ/cm² 이상)
4. 주기적 건조 사이클(물통 회로 한정)
5. 공구 없는 분해·세척 + 교체 알림
6. 정수/증류수 권장
7. 이끼 습도는 증발식, 실내 가습만 초음파(선택)
8. (프리미엄) 광촉매 TiO₂ + UV-A 상시 분해

9. 확정 필요 항목 (모델링/견적 전)

- 저수조 목표 사용 용량(→ 무교체 목표일수와 직결)
- 급수 방식(상단 개방 vs 캡) 및 급수구 지름
- 가습 방식(증발식/초음파/병용)에 따른 챔버·유로 형상
- 이끼 종(광·습도·온도 요구)
- UV-C LED 파장·선량·수명 스펙

Morium — 상용 가습기 위생 기술 벤치마크 & 우리 방식 판정

출처: Dyson, Xiaomi(Mi), 상용 OEM(Smillon 등), 특허 공개문헌. 조사일 2026-07.

1. 상용 제품은 이 문제를 어떻게 푸는가

핵심 결론: 어느 제품도 "물통을 계속 무균으로 유지"하는 방식으로 풀지 않는다. 대신 (A) 사용 직전 지점 살균(point-of-use), (B) 에어로졸을 안 만드는 배출 방식, (C) 항균 소재, (D) 쉬운 딥클린을 조합한다. 그리고 모두 "정기 세척은 필수"라고 명시.

기술	대표 제품	원리	시사점
유수(流水) UV-C, 사용 직전 살균	Xiaomi Mi Antibacterial	저장수를 믿지 않고, 분무 직전 UV-C 구역을 통과시켜 즉시 살균	우리도 "탱크"보다 유로(사용 직전) 살균이 정답
다중 통과 UV-C(반사관) + 은 증발자	Dyson Humidify+Cool	275nm UV-C를 반사 PTFE 관에 통과시켜 물이 여러 번 조사되게 → 1패스 99.9% + 은사(silver-thread) 증발자	UV는 선량 확보(다중 통과)가 관건. 은이온 병행
물방울 아닌 증기(vapor) 배출	Dyson(증발식)	초음파 물방울이 아니라 증발 수증기로 가습 → 세균·미네랄 비산 없음	증발/가열식은 세균 비산 원천 차단
가열식(온미스트) = 끓여서 무균	Smillon 등 온미스트	물을 끓여 배출 → 증기 무균, "warm mist for killing bacteria"	사용자가 제안한 가열 = 무균 배출이 상용에서 검증됨
은이온(silver-ion) 항균	다수 OEM	물 접촉부에 은 방출 → 상시 잔류 억제	UV가 못하는 잔류 억제. 99.99% 주장(마케팅)
항균 필터 / 카트리리지	Webber 등	탱크 내 세균 증식 억제	소모품 교체형
탈미네랄 카트리리지 / 세라믹 진동자	Smillon	스케일·백색분진 저감, 진동자 수명 ↑	정수/증류수 요구와 같은 목적
딥클린 사이클(구연산)	Dyson	물 접촉부 자동 세척 안내	세척은 없앨 수 없음 → 쉽게 만든다
인터록·저수위 차단	대부분	탱크/뚜껑 분리 시 자동 정지	안전 표준

상용이 인정하는 한계

- Xiaomi 명시: "정수·증류수라도 탱크에 오래 두면 세균이 번식한다."
- 모든 제조사: 위생 기능은 예방 보조일 뿐, 정기 세척을 대체하지 않는다.
- 즉 상용도 "완전/영구 무균"을 주장하지 않는다. 목표는 배출 위생 + 증식 지연 + 쉬운 세척.

2. 우리가 정한 방식은 이 문제를 해결하는가

우리 방식(업데이트): 단일 물통(UV+은이온 항균) → 실내 라인=가열식(무균 증기) / 이끼 라인=냉·최소 , 정수 사용 조건, 유선 전원(무선 작동 포기).

항목	판정	근거 / 필요한 보완
실내 배출 위생	✅ 해결	가열식=끓여 무균 배출. 상용 온미스트와 동일 원리
전력 문제	✅ 해결	무선/배터리 포기 + 유선 어댑터 → 80~120W 확보 가능
스케일· 백색분진	✅ 대폭 완화	정수/증류수 조건 → 미네랄 ↓ (가열식 스케일 관리 부담 ↓)
물통 자체 청결	⚠ 부분	탱크 UV만으론 바이오필름 못 막음 → 유로(사용 직전) 살균 + 은이온 + 딥클린 필요
이끼 라인 위생	⚠ 관리 필요	초음파면 탱크 세균을 이끼실에 비산 → 이끼 라인도 사용직전 UV 또는 패시브 증발, 최소분무+배수+통풍
완전/영구 무균	❌ 불가 (정상)	상용도 불가. 목표는 "배출 무균 + 2주급 증식 지연 + 쉬운 세척"

결론

"실내 가열식 + 정수 + 유선전원"은 상용 최상위 수준의 위생을 달성할 수 있다. 단, 다음 한 가지를 반드시 반영:

UV는 '탱크'가 아니라 '사용 직전 유로'에 둔다. (Xiaomi/Dyson 방식) 물을 펌프로 뽑아 → 반사관 UV-C(다중 통과) → 가열/무화. "지나가는 모든 물"을 조사. 탱크에는 은이온 항균으로 상시 억제, 딥클린 사이클로 세척을 쉽게.

이렇게 하면 우리 설계는 상용 벤치마크와 동급 이상이 된다.

3. 확정된 설계 결정

- 무선/배터리 작동 포기 → 유선 전원 제품. 이동성은 실내 고정 사용이라 비목표.
- 전원: USB-C(C-to-C)는 전력 부족으로 부적합 → 외장 DC 어댑터 채택(권장 24V, 120~150W급). 가열부는 저전압 PTC 히터를 절연된 어댑터로 구동(물+상용전원 직접접촉 회피, 인증 유리).
- 폰 연동: 유선 전원 위에서 BLE/Wi-Fi 모듈로 앱 연결(무선 통신은 유지).
- 물: 정수/증류수 사용을 제품 조건으로 명시.
- 실내 가습: 가열식(온미스트) — 무균 배출.
- 이끼 가습: 냉·최소 (패시브 증발 또는 초음파 최소분무 + 사용직전 UV). 가열 금지.
- 살균 배치: UV-C를 사용 직전 유로에 배치(반사관 다중통과). 탱크는 은이온 항균 + 딥클린.

4. 가열식 실내 라인 — 전력/부품 개요

- 물 증발 에너지 $\approx 2,600 \text{ J/g} \rightarrow 100 \text{ mL/h} \approx 72\text{W}$ (이론), 실사용 80~120W.
- 히터: 저전압 PTC(예: 24V), 여유 포함 150~200W급 소자 $\rightarrow$ 어댑터 24V/8A($\approx 192\text{W}$) 권장.
- 부속: 소형 보일러 챔버(스테인리스 316), 과열 NTC + 온도퓨즈, 스팀 배출 노즐(화상방지 확산).
- 유지보수: 정수 사용으로 스케일 최소화 + 주기적 구연산 디스케일 안내.