

— HYDROXPAND · USER MANUAL

# HXB-V1

2 kW 수소 발생 시스템

## 사용자 매뉴얼



DOCUMENT CONTROL

문서 관리

문서 정보

|       |                         |
|-------|-------------------------|
| 문서번호  | HX-MAN-HXBV1-KR-001     |
| 판     | ver3.13                 |
| 발행일   | 2026-10-08              |
| 대상 제품 | HXB-V1 · 2 kW 수소 발생 시스템 |
| 언어    | 국문                      |

이 매뉴얼에 대하여

이 매뉴얼은 HydroXpand 웹 핸드북을 인쇄용으로 묶은 정식판입니다. 내용은 웹 핸드북과 같습니다.  
웹 핸드북이 먼저 갱신됩니다. 인쇄본과 웹 내용이 다르면 웹 핸드북이 최신입니다. 각 장 머리에 그 장의 갱신일이 있습니다.  
안전 장을 먼저 읽으십시오. 경고 표시(위험·경고·주의·알림)의 뜻은 안전 장 첫 절에 있습니다.

개정 이력

| 판    | 날짜         | 내용                                                                                                                                 |
|------|------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1.0  | 2025-12-02 | 최초 발행                                                                                                                              |
| 2.0  | 2026-01-16 | 전면 개정                                                                                                                              |
| 2.1  | 2026-03-11 | 제품 사진 개정                                                                                                                           |
| 2.2  | 2026-06-11 | 전면 개정                                                                                                                              |
| 2.3  | 2026-09-08 | 전해질 개정(0.3 M → 0.1 M KOH, 권장 온도 60 → 50 °C)                                                                                        |
| 3.0  | 2026-10-02 | 웹 핸드북 기반 전면 개정. 핸드북을 정본으로 삼아 그대로 뽑음                                                                                                |
| 3.1  | 2026-10-04 | Modbus TCP 지원 반영, 스택 전압 설정 46 V·운전 약 40 V 구분, 수동 비상정지는 제어 애플리케이션을 명시                                                               |
| 3.2  | 2026-10-04 | 전해질 교체 순서 추가, 해체 시 수소 압력을 전원 차단 전에 확인하도록 순서 정정                                                                                     |
| 3.3  | 2026-10-04 | 정비 전 정지를 작업별로 구분, DRAIN 연결(폐물 피팅·밸브 없음) 정정, 전해질 0.1~1 M(권장 0.1 M), 첫 기동 수소 누설 확인, 산소 중 수소 2 vol% 경고, 50 A 전압 실편 약 38 V·운전 중 약 40 V |
| 3.4  | 2026-10-04 | 경고문 정비: 위험·경고에 결과를 적고 등급 정정(주의 등급 사용), 산소 화재 경고, 산소 배관 기름·그리스 금지                                                                   |
| 3.5  | 2026-10-04 | 정전기 점화·고온 화상 경고 추가                                                                                                                 |
| 3.6  | 2026-10-04 | 주요 단계에 확인·안 되면 줄 추가                                                                                                                |
| 3.7  | 2026-10-04 | Modbus TCP 데이터 형식·레지스터 영역 추가                                                                                                       |
| 3.8  | 2026-10-04 | 상압 모드 폐지 반영: 수소 압력은 주문 때 릴리프 밸브로(0/10 barg, 30 barg 협의), 해체 전 감압은 Emergency STOP                                                   |
| 3.9  | 2026-10-04 | 가압 선택지 정정: 30 barg → 35 barg(검증 중·협의)                                                                                              |
| 3.10 | 2026-10-04 | 후단 구성 그림 8-1 추가                                                                                                                    |
| 3.11 | 2026-10-05 | 「전·후단 구성」 장(전단 절 추가, 그림 8-1 다시 그림), 그림 7-1 다시 그림, 현장 방문 문구 삭제, 국문 문장 다듬기                                                           |
| 3.12 | 2026-10-05 | 공급 경계 그림 3-1, 문제 해결 순서도 추가, 유지보수 그림 번호 7-1로 정정                                                                                     |
| 3.13 | 2026-10-08 | 수소 생산량 약 500 L/h · 시스템 소비전력 54 kWh/kg(4.8 kWh/Nm³)로 정정(261008 대표 결정)                                                               |

---

## CONTENTS

# 목차

---

|    |              |    |
|----|--------------|----|
| 01 | 안전           | 4  |
| 02 | 받기와 보관       | 10 |
| 03 | 설치 준비와 공급 경계 | 13 |
| 04 | 시작하기         | 17 |
| 05 | 운전과 제어       | 29 |
| 06 | 제어 앱         | 43 |
| 07 | 유지보수         | 49 |
| 08 | 전·후단 구성      | 57 |
| 09 | 해체와 보관       | 64 |
| 10 | 보증과 서비스      | 66 |
| 11 | 사양과 참고       | 72 |
|    | 문제 해결        | 79 |

# 01 안전

HXB-V1 · 갱신 2026-09-30

HXB-V1 은 수소와 산소를 만들고, 상용 전원과 큰 직류 전류를 쓰며, 부식성 전해질을 순환시킵니다. 세 가지가 한 장비 안에 있으므로 안전 규칙도 세 갈래입니다.

이 장은 즉시 취해야 할 안전 조치만 담습니다. 원인을 찾는 절차는 「문제 해결」 장에 있고, 그 작업은 현장이 안전해진 뒤 자격을 갖춘 사람이 합니다.

다루는 위험 수소 · 전기 · 전해질    보호구 작업마다 다릅니다    읽는 시점 설치 전에 한 번, 전부

이 장을 읽는 방법

**처음이신 분**

이 장은 건너뛰는 절이 없습니다. 설치 전에 한 번 통독하시고, 비상 대응 절은 장비 옆에 붙여 두십시오.

**해보신 분**

표시 규칙과 비상 대응만 다시 보십시오. 나머지는 현장 안전 규정과 대조하실 때 쓰십시오.

## 표시 규칙

이 핸드북과 매뉴얼은 같은 신호어를 씁니다. 강도가 다르므로 구분해서 읽으십시오.

표시                      뜻

|                                                                                               |                                                |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|
|  <b>위험</b> | 피하지 않으면 중상이나 사망에 이르는 상황입니다                     |
|  <b>경고</b> | 피하지 않으면 중상이나 사망에 이를 수 있는 상황입니다                 |
|  <b>주의</b> | 피하지 않으면 경상이나 중등도 부상을 입을 수 있는 상황입니다             |
|  <b>알림</b> | 사람이 다치는 것과는 직접 관련이 없지만 장비 손상이나 성능 저하를 막는 정보입니다 |

작업 해설

### 장비에 붙은 그림 표시도 같은 뜻입니다

- 전면 패널에 느낌표(일반 경고), 번개(감전), 폭발, 불꽃 금지, 흡연 금지, 벤트 앞 물건 금지, 보호구 착용 그림이 있습니다.
- 그림을 보시면 그 자리의 지시를 찾아 읽으십시오. 그림만으로 판단하지 마십시오.

## 수소

### 위험

#### 수소 폭발 위험

- HXB-V1 은 정상 운전 중에 수소를 만듭니다. 수소는 색도 냄새도 없고, 아주 잘 타며, 공기와 폭발성 혼합물을 만듭니다. 밀폐된 공간에서 특히 위험합니다.
- 탈 때 불꽃이 거의 보이지 않습니다. 불이 났는지 눈으로 판단하지 마십시오.
- 공기보다 가벼워 천장이나 높은 곳에 모입니다.
- 환기를 확보하고 장비 주변의 점화원을 치우십시오. 누설은 아래 방법으로 확인하십시오.
- 점화에 필요한 에너지가 아주 작아(약 0.02 mJ) 정전기 불꽃으로도 불이 붙습니다. 수소 배관과 설비를 접지하고, 누설이 의심되는 곳에서는 정전기가 잘 생기는 옷과 플라스틱 도구를 피하십시오.

## 환기와 감지

- 환기가 잘 되는 곳에서만 운전하거나, 벤트를 설계된 배기 계통에 연결하십시오.
- 밀폐되거나 환기가 나쁜 방에서 운전하지 마십시오.
- HXB-V1 은 방폭 인증 제품이 아닙니다. 폭발 위험 장소(방폭 구역)로 지정된 곳에 설치하지 마십시오. 장비는 환기로 폭발 위험이 없게 유지되는 일반 구역에 두어야 합니다.
- 실내 설치에는 안전 회로를 갖춘 수소 감지 설비를 강력히 권합니다.

## 점화원 관리

- 장비와 벤트 출구 근처에서는 흡연하거나 화기를 사용하지 마십시오. 용접, 연삭 등 불꽃이 나는 작업도 하지 마십시오.
- 수소가 있을 수 있는 구역에는 그 구역 등급에 맞는 전기 기기를 쓰십시오.

## 누설 점검

- 승인된 방법으로 점검하십시오. 수소 검지기나 누설 검지액을 씁니다.
- 불꽃으로 누설을 확인하지 마십시오.

### 경고

#### 산소 중 수소 농도가 2 vol% 를 넘으면 전기분해를 멈추고 연락하십시오.

- 막을 넘어난 수소가 산소 쪽에 쌓이면 산소 배관과 분리기 안에 폭발할 수 있는 혼합 기체가 생깁니다.
- 제어 앱에는 이 농도가 표시되지 않습니다. 측정하시려면 O2 OUT 뒤에 수소 분석기나 검지기를 다십시오.
- 안전 관리 기준이며 보증이나 무상 교체의 기준이 아닙니다.



위험

### 수소 누설이 의심되면 즉시 멈추십시오. 점화원이 닿으면 화재나 폭발이 일어납니다.

- 즉시 운전을 멈추고 아래 비상 대응 절차를 따르십시오.
- 주변 사람에게 알리고 점화원을 치우십시오.
- 현장 절차에 따라 환기를 강화하십시오.
- 자격을 갖춘 사람이 원인을 찾아 고치기 전에는 재가동하지 마십시오.

## 벤트 배관



위험

### 수소 벤트와 산소 벤트를 절대 합치지 마십시오.

- 두 기체가 한 배관에서 만나면 폭발성 혼합물이 됩니다. 서로 다른 안전한 방출 지점으로 따로 빼십시오.

- 벤트 배관은 항상 열려 있어야 합니다. 실수로 닫힐 수 있는 밸브나 장치를 닫지 마십시오.
- 배관을 좁히거나 배압이 생기게 하지 마십시오.
- 막힘, 꺾임, 이물질, 고인 액체가 없게 유지하십시오.
- 응축수가 고이면 얼 수 있습니다. 현장 조건에 따라 배관에 기울기를 주고, 배수점을 설치하고, 보온하거나 열선을 사용하십시오.
- 가장 낮은 지점에 배수점이나 물 트랩을 두어 액체가 배관을 막지 않게 하십시오.
- 벤트 출구는 점화원에서 멀리 두고 현장 법규와 안전 규정을 따르십시오.
- 벤트 출구 앞에 물건을 두지 마십시오.
- 수소 출구를 후단 설비나 저장 설비에 연결하실 때는 법규와 설계에 맞는 과압 보호 조치를 마련하십시오.



경고

### 산소 농도가 높은 곳에서는 불이 쉽게 붙고 크게 번집니다.

- O2 OUT 과 산소 벤트 끝 주변은 산소 농도가 높습니다. 천·종이·기름이 쉽게 타고, 옷에 불이 붙으면 화상을 입습니다.
- 방출 지점 근처에 가연물과 점화원을 두지 말고 환기하십시오. 산소 배관과 이음부에 기름이나 그리스를 쓰지 마십시오.

## 전기



위험

### 감전과 아크 위험

- 장비 안에 상용 교류 배선과 대전류 직류 회로가 있습니다. 활선에 닿으면 중상을 입거나 사망합니다.
- 덮개를 열거나 배선을 만지기 전에 상용 전원을 분리하십시오. 전기 작업은 자격을 갖춘 사람이 합니다.

- 전기 설치의 자격을 갖춘 사람이 해야 합니다.

- 법규에 맞는 과전류 보호 장치와 차단 장치를 두십시오.
- 장비와 연결된 설비를 올바르게 접지하십시오.
- 부하가 걸린 상태에서 전원 케이블을 꽂거나 빼지 마십시오.
- 정지 후에도 축적된 에너지 때문에 전압이 남아 있을 수 있습니다. 전원을 끄고 분리한 뒤 방전을 기다리고, 계측기로 단자 전압을 확인한 다음 만지십시오.
- 공구로 단자를 단락시키지 마십시오.
- 극성을 맞추고 단단히 조이십시오. 헐거운 접속은 과열과 아크의 원인입니다.
- 전기 부품을 마른 상태로 유지하고 전해질이 닿지 않게 하십시오.
- 전원이 들어온 상태에서 덮개를 열지 마십시오. 전원을 분리하고 무전압을 확인하기 전에는 단자와 배선을 만지지 마십시오.

## 전해질



경고

### 부식성 알칼리 용액

- KOH 용액은 부식성이고 피부와 눈에 심한 화상을 입힙니다. 알칼리 화상은 통증이 늦게 오므로 닿은 것을 모르고 지나치기 쉽습니다.
- 밀폐형 고글과 내알칼리 장갑을 끼고 다루십시오. 닿으면 바로 많은 물로 씻고 아래 비상 대응 절차를 따르십시오.



주의

### 운전 중 전해질과 배관, 스택은 최대 70 °C 까지 뜨거워집니다. 맨손으로 만지면 화상을 입습니다.

- 운전 중이거나 정지 직후에는 장갑을 끼고 만지십시오. 배관을 열거나 전해질을 뺄 때는 식은 것을 확인한 뒤에 하십시오.

- SDS 와 현장 절차에 따라 취급하십시오.
- KOH 에 견디는 재질만 쓰십시오. 용기, 튜빙, 피팅 모두입니다.
- 탱크나 호스, 필터를 채우고 비울 때 튀지 않게 하십시오.
- 흘렸을 때는 현장 절차에 따라 확산을 막고 닦은 뒤 규정에 따라 폐기하십시오.
- 닿았을 때는 즉시 물로 씻고 필요하면 의료 조치를 받으십시오.
- KOH 를 다루는 자리 가까이에 세안기와 비상 샤워가 있어야 합니다.

## 보호구



알림

**현장 규정이 이 문서의 기준보다 엄격하면 현장 규정을 따르십시오.**



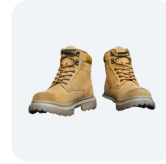
보안경



밀폐형 고글



내알칼리 장갑



발을 덮는 신발

일상 운전과 감시

보안경, 발을 덮는 신발, 작업복

전해질을 다룰 때

밀폐형 고글 또는 안면 보호구, 내알칼리 장갑, 화학용 앞치마나 실험복

스택을 직접 만질 때

보안경과 작업 장갑, 그리고 작업에 필요한 추가 보호구. 전원 케이블이나 단자 근처라면 전기 보호구를 더합니다

## 비상 정지와 대응

**⚠ 위험**

### 비상 정지를 미루지 마십시오.

- 이상하거나 위험한 상황에서는 사람의 안전이 우선입니다. 판단이 서지 않으면 멈추고 현장 절차에 따라 대피하십시오.

## 공통 절차

기체나 전해질이 새는 것이 보이거나, 이상한 소리, 연기, 근처의 불, 눈에 보이는 손상이 있을 때입니다.

**1**

다가가도 안전하다면 장비를 멈추고 꺼진 상태로 둡니다.

**2**

제어 앱의 Emergency STOP 을 누릅니다.

- 장비에는 비상정지 버튼이 없습니다. 전면의 빨간 버튼은 Reset 이며 운전을 멈추지 않습니다.
- 앱을 바로 조작할 수 없으면 다음 단계로 넘어가 외부 차단기로 전원을 분리합니다.

**3**

외부 차단기로 전원을 분리합니다.

**4**

주변에 알리고 불필요한 인원을 대피시키며 구역 출입을 통제합니다.

**5**

현장 비상 대응 계획을 따르고 안전 책임자에게 알립니다.

자격을 갖춘 사람이 원인을 찾아 고치기 전에는 재개하지 않습니다.

---

## 상황별로 더 해야 할 것

|                     |                                                                                                             |
|---------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 수소 누설이 의심될 때        | 그 구역에서 불꽃이 날 수 있는 스위치나 기기를 조작하지 마십시오. 점화원을 치우고 현장 절차에 따라 환기를 강화하십시오. 권한 있는 사람이 안전하다고 선언하기 전에는 다시 들어가지 마십시오. |
| 벤트가 막히거나 열었다고 의심될 때 | 벤트 방출 지점에서 사람들을 대피시키십시오. 배관을 완전히 감압하고 분리하기 전에는 막힌 것을 제거하려 하지 마십시오. 이 작업은 자격을 갖춘 사람만 합니다.                    |
| 전해질을 흘리거나 닿았을 때     | 흘린 전해질이 피부나 눈에 닿지 않게 하십시오. 현장 유출 대응 절차를 따르십시오. 전해질이 몸에 닿았으면 즉시 물로 씻고 SDS의 응급 처치 지침을 따르며 필요하면 의료 조치를 받으십시오.  |

## 02 받기와 보관

HXB-V1 · 갱신 2026-09-30

받은 날 포장과 본체를 검수하고, 설치 전까지 보관하는 순서입니다. 손상이나 누락을 발견하면 연결 전에 상태를 기록하십시오.

운반 리프팅 보조 도구 또는 2인 이상      보관 온도 5 °C 이상

이 장을 읽는 방법

**처음이신 분**

개봉과 검수를 순서대로 읽으십시오. 바로 설치하지 않으면 보관 조건도 확인하십시오.

**해보신 분**

검수 항목과 보관 조건으로 바로 가십시오.

### 개봉과 검수

#### 준비물

인수증과 주문 내역, 사진을 남길 기기, 리프팅 보조 도구 또는 운반 인원을 준비하십시오.

#### 작업 순서

 주의

**51.3 kg 입니다. 혼자 들면 허리를 다치거나 떨어뜨려 발을 다칠 수 있습니다.**

- 포장한 채로 옮기실 때는 팔레트 아래로 핸드 팔레트나 지게차를 넣으십시오. 포장을 벗긴 뒤에는 리프팅 보조 도구를 쓰거나 최소 2인이 듭니다.
- 전면 패널, 커넥터, 호스, 케이블을 잡고 들지 마십시오.

1

**겉포장을 먼저 봅니다.**

- 찌그러짐, 변형, 충격 흔적을 확인합니다.
- 손상이 있으면 인수증에 적고 사진을 남기십시오. 운송사 배상 청구에 필요합니다.

2

**상자를 조심해서 엽니다.**

- 칼을 깊이 넣지 마십시오. 포트 나사산이나 보호 캡이 상합니다.
- 상자가 본체에 꼭 맞게 짜여 있으므로 손으로 잡아 빼지 마십시오. 윗면과 옆면을 잘라 낸 뒤 완충재를 순서대로 빼십시오.

### 본체를 옮겨 놓습니다.

- 무게를 견디는 평평하고 안정된 자리에 놓으십시오.

### 눈으로 검수합니다.

- 함체에 찌그러짐, 균열, 변형이 없는지 봅니다.
- 전면의 유체 포트, 커넥터, 전원 인렛, 이더넷 포트에 기계적 손상이 없는지 봅니다.
- 포트와 피팅 주변에 누설 흔적이나 잔여물이 없는지, 운송 중 헐거워진 피팅이나 캡이 없는지 봅니다.
- 명판의 모델명과 일련번호를 확인합니다.

## 검수 완료 기준

모델명과 일련번호를 확인하고, 주문 내역과 대조하십시오. 함체·포트·커넥터에 손상이 없고, 피팅 주변에 누설 흔적이나 잔여물이 없어야 합니다.

## 이상이 있으면



경고

### 손상이나 누락이 있으면 전원과 배관을 연결하지 마십시오.

- 상태를 기록하고 사진을 남기십시오.
- 당사와 운송사에 즉시 알리고, 어떻게 할지 합의한 뒤에 운전하십시오.
- 운송 중 심한 충격이나 전도가 있었다면 결이 멀쩡해 보여도 설치·운전하지 마십시오.
- 운송 중 상한 장비를 돌리면 수소나 전해질이 새어 화재나 화상으로 이어질 수 있습니다.

#### 작업 해설

### 포장을 버리지 마십시오

- 나중에 장비를 옮기거나 정비를 위해 반송하실 때 같은 포장에 필요합니다. 스택 정비는 반송 방식이라 실제로 쓰게 됩니다.
- 상자는 500 × 710 × 330 mm, 열처리 목재 팔레트는 500 × 710 × 120 mm입니다. 보관 자리를 잡으실 때 참고하십시오.

## 공장에서 확인하고 보내는 것

장비마다 아래 항목을 공장에서 시험하고 결과를 출하 검사 성적서에 적어 보냅니다. 성적서에는 장비의 일련번호와 하드웨어·펌웨어·앱 버전도 적혀 있습니다. 문의하실 때 이 버전을 함께 알려 주시면 진단이 빠릅니다.

- 외관, 배선과 커넥터, 부품 표시, 전해질 배관 체결
- 전원 투입, 펌웨어, PC와의 통신과 기록 저장
- PC와의 연결이 끊겼을 때 장비가 안전하게 멈추는지

- 수위 스위치, 만수 스위치, 탱크 압력 스위치가 제대로 동작하고 비상정지를 거는지
- 급수 보충, 순환 펌프, 유량 제어, 히터와 냉각 팬, 온도 제어
- 정상시와 비상 시 밸브 동작
- 스택 전원의 정전류·정전압 운전, 압력 센서, 릴리프 밸브 설정
- 수소 누설 센서와 전해질 누설 센서
- 연속 운전 중 예기치 않은 정지, 알람, 누액, 부분 과열(열화상 점검)이 없는지

## 현장에서 다시 확인하실 것

- 성적서의 일련번호가 명판과 같은지
- 처음 켜올 때 앱이 연결되고 LED 가 STANDBY(노랑)인지
- 설치 뒤 순환 펌프를 켜기 전에 유량 표시가 0 가까이에서 가만히 있는지

첫 운전의 합격 판정은 「시작하기」장에 있습니다.

## 바로 설치하지 않으실 때



알림

**얼리지 마십시오. 5 °C 이상을 유지해야 합니다.**

- 출하 전에 전해질을 최대한 빼지만 스택 내부와 배관, 펌프, 밸브, 탱크, 열교환기에 잔액과 수분이 남습니다.
- 남은 액체가 얼면 막과 가스켓, 내부 부품이 상하고 설치한 뒤 누설이나 고장으로 나타납니다.

|       |                                                     |
|-------|-----------------------------------------------------|
| 온도    | 항상 5 °C 이상                                          |
| 방향    | 포장 표시대로 세워서 보관                                      |
| 포장    | 원래 포장 그대로 두십시오                                      |
| 포트 보호 | 출하 캡과 마개를 설치 직전까지 두십시오                              |
| 진동    | 지속적인 진동을 피하십시오. 피팅과 체결부, 전기 접속이 풀려 누설이나 고장으로 이어집니다. |
| 습도    | 건조하게, 결로가 생기지 않게 두십시오. 실내에 두고 직사광선을 피하십시오.          |
| 적재    | 포장 위에 무거운 물건을 쌓지 마십시오.                              |

## 검수 후 다음 단계

## 03 설치 준비와 공급 경계

HXB-V1 · 갱신 2026-09-30

장비를 받아 자리에 놓기까지 필요한 것을 정리했습니다. 어디까지가 당사 공급이고 어디부터 현장에서 준비하시는지도 이 장에 있습니다.

설치는 수소 안전, 전기 안전, 알칼리 전해질 취급에 익숙한 사람이 해야 합니다. 「안전」 장을 먼저 읽으십시오.

무게 51.3 kg · 2인 이상    이격 전면 300 mm · 후면 400 mm    지지 하중 100 kg 이상    주위 온도 5~45 °C

이 장을 읽는 방법

**처음이신 분**

받으신 날 개봉과 검수부터 하십시오. 설치 자리와 공급 경계는 장비가 오기 전에 미리 읽어 두시면 준비가 빨라집니다.

**해보신 분**

설치 자리 조건과 공급 경계 표만 보시면 됩니다.

### 함께 오는 것과 준비하실 것

#### 함께 옵니다



HXB-V1 본체



사용설명서 (전자 파일로 전달합니다)



출하 검사 성적서

#### 주문에 넣지 않으셨다면 따로 준비하십시오



전해질 (KOH 용액)



정제수



랜 케이블과 전원 케이블



수소 건조기. 노점을 낮추고 순도를 올리실 때 필요합니다

사진은 종류를 보여 드리는 예입니다. 정제수 통 사진 Safilol222299 (Wikimedia Commons, CC BY-SA 4.0, 배경 제거 등 수정). 수정본도 CC BY-SA 4.0 으로 공개합니다.

## 현장에서 준비하십시오



제어용 PC 또는 노트북



전해질과 화학적으로 적합한 재질의 용기



정제수 보충용 통



전해질을 받을 배출 용기



KOH 에 견디는 튜빙과 피팅



현장 설계에 필요한 밸브, 센서, 안전·릴리프 장치

사진은 종류를 보여 드리는 예입니다. 정제수 통 사진 Safilol222299, 튜빙 사진 Best Tech Nick 25 (Wikimedia Commons, CC BY-SA 4.0, 배경 제거 등 수정). 두 수정본도 CC BY-SA 4.0 으로 공개합니다.

### 알림

**현장에서 준비하시는 것은 설치 전에 HXB-V1 과 맞는지 확인하십시오.**

- 건조기, 유량계, 벤트·배수 배관 부품, 추가 센서와 밸브가 여기 해당합니다.

## 개봉과 검수

## 설치 자리

### 경고

**설치 조건이 맞지 않으면 심각한 위험이 생깁니다.**

- 환기가 부족하면 새어 나온 수소가 쌓여 폭발할 수 있고, 벤트가 잘못되면 수소와 산소가 실내로 나옵니다.
- 아래 설치 조건(환기, 이격, 벤트 경로, 주위 온도)을 모두 맞춘 뒤 설치하십시오.

|         |                                                                        |
|---------|------------------------------------------------------------------------|
| 바닥 또는 랙 | 평평하고 안정된 바닥이나 19인치 랙 6U. 본체와 배관·케이블의 무게에 여유 하중을 더해 100 kg 이상을 견뎌야 합니다. |
| 전면 이격   | 300 mm 이상. 배관을 꽃고 빼고, 전원과 랜을 연결하고, LED 를 보고 전원 스위치를 조작할 공간입니다.         |
| 후면 이격   | 400 mm 이상. 후면 배기를 막지 마십시오.                                             |
| 주위 온도   | 5~45 °C                                                                |
| 환기      | 환기가 잘 되는 실내. 밀폐된 방이나 환기가 없는 작은 함에 넣지 마십시오.                             |
| 천장      | 수소는 공기보다 가벼워 위에 모입니다. 기체가 갇히는 막힌 천장 아래는 피하십시오.                         |
| 방출 지점   | O2 OUT, H2 OUT, H2 VENT 를 각각 안전하게 뺄 곳을 먼저 정하십시오.                       |
| 수소 감지   | 현장 위험성 평가에서 요구하면 감지기를 설치하고 경보·대응 절차를 갖추십시오.                            |

## 바로 설치하지 않으실 때

### 공급 경계

장비 한 대에 포함되는 범위와 현장에서 준비해야 하는 범위를 구분합니다. 견적을 검토하실 때 이 경계를 먼저 확인하십시오.

|             |                                                                             |
|-------------|-----------------------------------------------------------------------------|
| 한 대 안에 있습니다 | 스택, 전해질 탱크와 순환 펌프, 열교환기, 히터, 전력 변환, 제어와 계측, 안전 인터록. 별도 BoP 를 꾸미지 않으셔도 됩니다.  |
| 전단은 현장 뒀습니다 | 정제수 공급, 전해질 제조와 보관, 전원 인입과 차단기, 접지.                                         |
| 후단도 현장 뒀습니다 | 벤트와 배기 배관, 건조기, 압축과 저장, 사용처 연결, 그리고 법규가 요구하는 과압 보호.                         |
| 수리 책임       | 현장 설비의 수리와 교체는 고객 책임입니다. 당사는 알람과 운전 추이를 해석해 장비 거동을 판단하고 공장 정비가 필요한지 알려드립니다. |

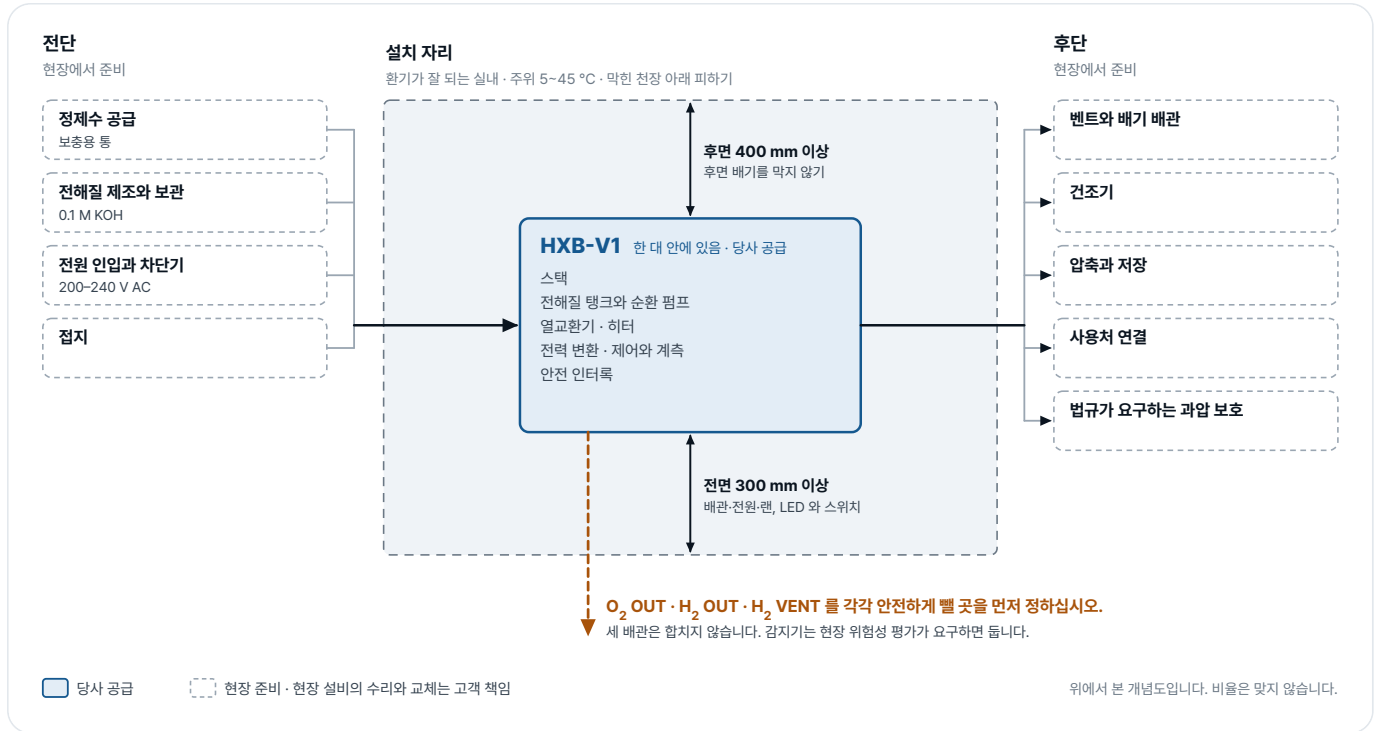


그림 3-1 공급 경계와 설치 자리. 파란 상자가 당사 공급, 점선이 현장 준비입니다. 위에서 본 개념도이며 비율은 맞지 않습니다.

#### 기술 배경

### 후단을 어떻게 꾸릴지 고민 중이시라면

- 건조기 없이 0 barg 장비는 수소 순도가 98~99% 이고, 건조기를 붙이면 99.999% 이상입니다. 10 barg 장비는 건조기 없이 99% 입니다.
- 필요한 순도가 사용처에서 정해지므로 건조기가 필요한지부터 정하시는 편이 순서가 맞습니다. 부품 페이지에 건조기와 압축·저장 선택지를 정리해 두었습니다.

## 04 시작하기

HXB-V1 · 갱신 2026-09-30

장비를 받은 뒤 첫 수소를 뽑고, 정상인지 판정하기까지의 순서입니다. 준비물이 갖춰져 있으면 반나절 안에 끝납니다.

설치 전에 「설치 준비와 공급 경계」 장에서 설치 공간, 환기와 유틸리티 조건을 확인하십시오.

예상 소요 반나절    필요한 사람 1명 (전해질 취급은 2명 권장)    보호구 보안경 · 내알칼리 장갑

사전 지식 수전해 경험 불필요 · 수소·전기·알칼리 안전 기본은 필요    합격 판정 누설 없음 · 유량과 수위 안정

### 이 장을 읽는 방법

#### 처음이신 분

위에서부터 순서대로 따라 하십시오. 작업 해설에는 각 단계의 이유와 자주 나오는 실수를 정리했고, 마지막 두 절에 합격 판정 기준과 남겨 두실 기록이 있습니다.

#### 해보신 분

합격 판정과 기록해 두실 것만 보시면 됩니다. 권장 설정값과 운전 범위는 「운전과 제어」 장에 있습니다.

## 1. 준비물



### PC 1대

제어 앱(HXB HMI)을 설치합니다. 앱은 장비와 함께 전달하며 최신 버전이 필요하시면 문의해 주십시오.



### 랜 케이블 1본

PC 와 장비를 직접 연결합니다.



### 전원 케이블 1본

C19 플러그. 장비 쪽 인렛이 C20 입니다.



### 튜브

전해질·급수 입구 1본, 전해질 배출 1본, 수소 출구 2본, 산소 출구 1본.



### 전해질

초기 충전용 0.1 M KOH 수용액 약 5 L. KOH 순도 95% 이상, 정제수로 만듭니다. 0.1~1 M 범위에서 쓸 수 있고 권장은 0.1 M 입니다. 이 핸드북의 기준값(전도도·전압)은 0.1 M 기준입니다.



### 정제수

운전 중 자동 보충용. 권장 ASTM D1193 Type II (25 °C 에서 1.0  $\mu$ S/cm 이하), 허용 상한 30  $\mu$ S/cm 이하.

사진은 종류를 보여 드리는 예입니다. 튜빙 사진 Best Tech Nick 25, 정제수 통 사진 Safilol222299 (Wikimedia Commons, CC BY-SA 4.0, 배경 제거 등 수정). 두 수정보도 CC BY-SA 4.0 으로 공개합니다.

## 전해질 직접 제조

0.1 M KOH 는 최종 용액 1 L 에 순수 KOH 기준 약 5.6 g 이 들어 있는 농도입니다. 시약의 순도에 맞춰 칭량량을 보정하고, 정제수에 녹인 뒤 상온으로 식혀 최종 부피를 1 L 로 맞추십시오.

### 01 보호구 착용

보안경과 내알칼리 장갑을 착용하십시오. 피부에 닿으면 즉시 흐르는 물로 씻으십시오. 알칼리 화상은 통증이 늦게 나타납니다.

### 02 물에 KOH 투입

반드시 물에 KOH 를 넣으십시오. 순서를 바꾸면 국부적으로 심하게 발열해 될 수 있습니다. 천천히 나누어 넣고 저어 주십시오.

### 03 상온까지 냉각

녹는 동안 용액이 뜨거워집니다. 상온까지 식힌 뒤 장비에 넣으십시오.

## 물·전해질 관리 기준

### 급수 품질

급수는 안정적으로 관리되는 정제 설비에서 받으십시오. 유기물이나 실리카, 입자가 많은 수원은 피해야 합니다. Type III·IV 물도 단기 시험에는 쓸 수 있지만 정비 주기가 짧아지고 열화가 빨라집니다.

### 전해질 교체 시점

전해질은 고정 주기가 아니라 상태와 성능 추이를 보고 교체합니다. KOH 는 물처럼 운전 중에 소모되지 않습니다. 변색이나 고형물이 보이거나 같은 조건에서 전압 추이가 달라지면 교체하십시오.

## 시작하기 전에



위험

**설치가 끝나고 「안전」 장을 이해하신 뒤에만 진행하십시오.**

- 환기와 안전한 방출 경로가 갖춰져 있어야 합니다. 이 둘이 없으면 시운전을 시작하지 마십시오.
- 환기와 방출 경로 없이 돌리면 새어 나온 수소가 실내에 쌓여 폭발할 수 있습니다.

- 배관 다섯 개가 연결되고 각각 안전한 곳으로 나갑니다.
- 전원과 랜이 연결되고 제어 앱이 장비를 찾습니다.
- 초기 충전용 전해질과 보충용 정제수가 준비돼 있습니다.

- 보안경과 내알칼리 장갑을 착용했습니다.

## 2. 전면 포트 확인

전면 패널의 라벨을 먼저 확인하십시오. 유체 포트는 모두 1/4인치 더블 페룰 피팅입니다. 개정에 따라 표기가 다를 수 있으니 실제 장비의 라벨을 따르십시오.

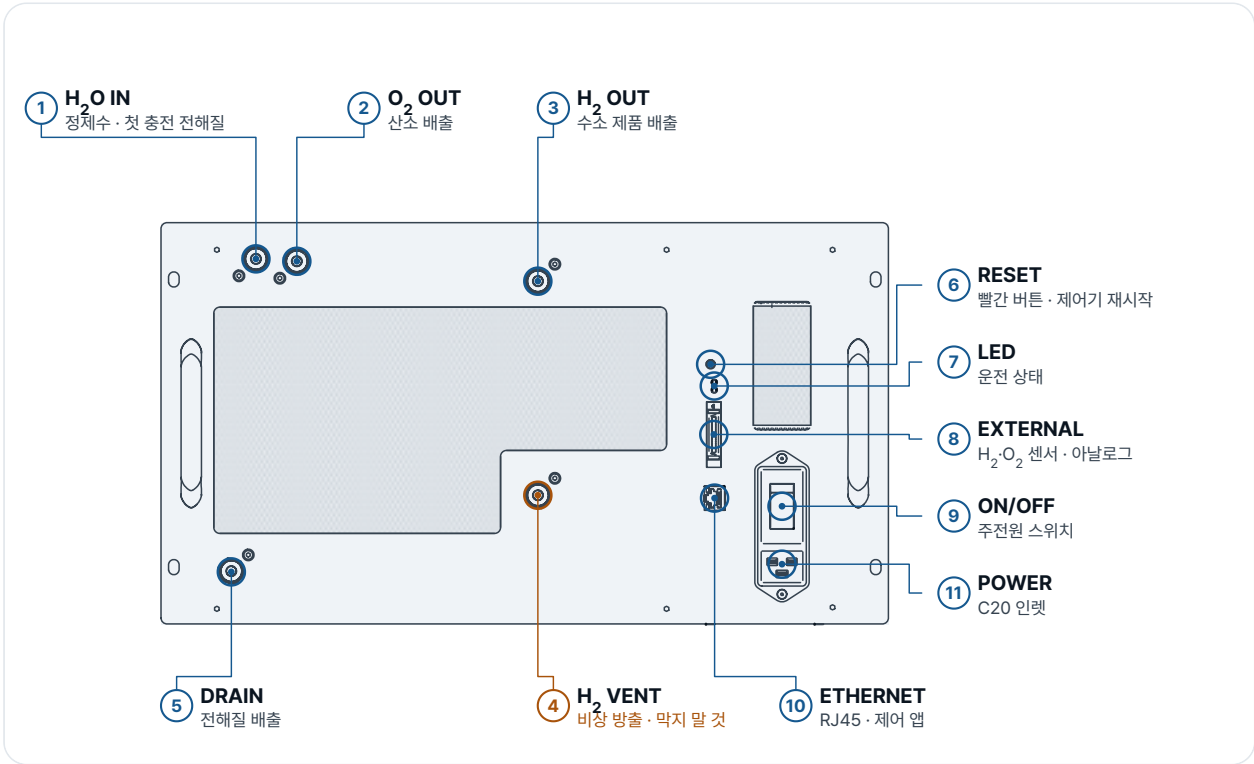


그림 4-1 HXB-V1 전면 패널 · 포트 배치. 패널의 라벨은 영문으로 새겨져 있습니다. 배치는 개정에 따라 다를 수 있으니 실제 장비의 라벨을 따르십시오.

| 번호 | 라벨      | 무엇이 지나가나                                                                     | 연결          |
|----|---------|------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| 1  | H2O IN  | 정제수가 들어갑니다. 첫 충전 때는 전해질도 이 포트에 넣습니다                                          | 1/4인치 더블 페룰 |
| 2  | O2 OUT  | 산소가 나옵니다                                                                     | 1/4인치 더블 페룰 |
| 3  | H2 OUT  | 수소가 나옵니다. 쓰시는 곳으로 보내는 제품 배관입니다                                               | 1/4인치 더블 페룰 |
| 4  | H2 VENT | 비상 시 수소가 나갑니다. 밸브를 달거나 막으면 안 됩니다                                             | 1/4인치 더블 페룰 |
| 5  | DRAIN   | 전해질을 뺍니다                                                                     | 1/4인치 더블 페룰 |
| 6  | Reset   | 빨간 버튼. 제어기를 다시 시작해 대기(STANDBY) 상태로 전환합니다. 비상정지를 해제할 때 누릅니다. 운전을 멈추는 버튼이 아닙니다 | —           |

| 번호 | 라벨       | 무엇이 지나가나                          | 연결      |
|----|----------|-----------------------------------|---------|
| 7  | LED      | 운전 상태를 알립니다. 읽는 법은 운전과 제어 장에 있습니다 | —       |
| 8  | External | 외부 수소·산소 센서를 담니다                  | 아날로그 신호 |
| 9  | ON/OFF   | 주전원을 넣고 끕니다                       | —       |
| 10 | Ethernet | 제어 앱이 장비를 찾는 통로입니다                | RJ45    |
| 11 | Power    | 전원 코드를 꽂습니다                       | C20 인렛  |

작업 해설

더블 페룰 피팅이 처음이시라면

- 너트 안에 금속 링(페룰)이 두 개 들어 있습니다. 너트를 조이면 이 링들이 튜브 표면을 물어 밀봉합니다. 나사산에 실테이프를 감는 방식이 아닙니다.
- 튜브를 끝까지 밀어 넣은 상태에서 조여야 합니다. 덜 넣고 조이면 페룰이 헛물려 새고, 그 튜브 끝은 다시 쓸 수 없습니다.
- 조임 회전수는 피팅 제조사 지침을 따르십시오. 과도하게 조이면 페룰과 몸체가 손상됩니다. 새면 더 조이기 전에 튜브가 끝까지 들어갔는지 먼저 확인하십시오.

| 포트            | 용도                            |
|---------------|-------------------------------|
| H2O IN        | 전해질 초기 충전, 이후 급수 보충 입구        |
| H2 OUT        | 수소 출구                         |
| O2 OUT        | 산소 출구                         |
| H2 VENT       | 수소 벤트·릴리프 출구 (비상 방출)          |
| DRAIN         | 전해질 배출구. 배출 작업 때만 호스를 연결합니다   |
| Ethernet      | 제어 앱용 RJ45. PC 와 연결합니다        |
| Power         | AC 입력 C20 인렛                  |
| Power Switch  | 장비 주전원                        |
| LED           | 장비 상태 표시. 뜻은 「운전과 제어」 장에 있습니다 |
| External Port | 선택 사양. 외부 수소·산소 센서 아날로그 입력    |
| Reset         | 빨간 버튼. 제어기 재시작, 비상정지 해제       |

### 3. 튜빙 연결

운전 전에 필요한 배관을 모두 연결하십시오.

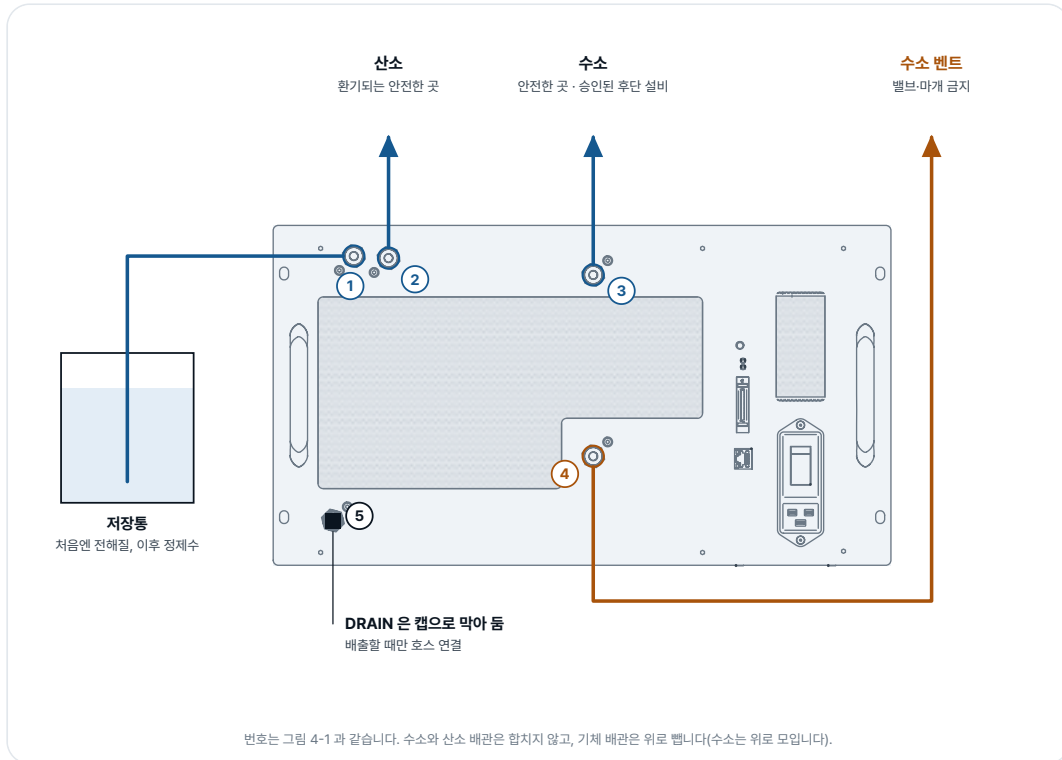


그림 4-2 튜빙 연결 경로. 번호는 그림 4-1 과 같습니다. 수소와 산소 배관은 따로 두고, 기체 배관은 위로 뺍니다.

#### 1 전해질·급수 입구

- H<sub>2</sub>O IN 에 튜빙을 연결합니다.
- 반대쪽 끝은 저장통에 넣을 수 있게 둡니다. 처음에는 전해질 통, 이후에는 정제수 통입니다.

#### 2 수소 출구

- H<sub>2</sub> OUT 을 환기가 확보된 안전한 곳으로 빼거나 승인된 후단 설비에 연결합니다. 현장 규정을 따르십시오.
- H<sub>2</sub> VENT 도 환기가 확보된 안전한 곳으로 빼십시오.

#### 3 산소 출구

- O<sub>2</sub> OUT 을 환기가 확보된 안전한 곳으로 빼십시오. 수소와 산소가 섞이지 않게 배관을 따로 둡니다.

#### 4 전해질 배출

- 정상 운전 중에는 DRAIN 을 막아 둡니다.
- 배출 작업을 할 때만 배출 튜빙을 연결하십시오. 밸브가 없어 캡을 푸는 순간 흐릅니다.

## 배관을 어디로 뺄지 고르는 기준

- 수소는 공기보다 훨씬 가벼워 위로 모입니다. 그래서 벤트와 수소 배관은 아래로 늘어뜨리지 않고 위로, 환기가 되는 쪽으로 뺍니다.
- 막다른 천장이나 밀폐된 함, 사람이 서 있는 높이의 좁은 공간으로 보내지 마십시오. 새어 나온 수소가 고이는 자리가 됩니다.
- 수소와 산소 배관은 따로 뺍니다. 두 기체가 한 배관이나 한 통에서 만나지 않게 하는 것이 이 단계의 핵심입니다.

### ⚠ 위험

#### H2 VENT 를 막으면 수소가 갇혀 터지거나 새어 폭발할 수 있습니다.

- H2 VENT 는 비상 방출 경로입니다. 막히면 압력이 해소되지 않습니다.
- 막히면 압력이 빠지지 못해 배관이 파열되거나 수소가 장비 안이나 실내로 새어 화재·폭발로 이어집니다.
- 벤트 배관에 밸브·마개·필터를 달지 말고, 끝은 사람이 없는 안전한 곳으로 빼십시오.

## 4. 전원과 PC 연결

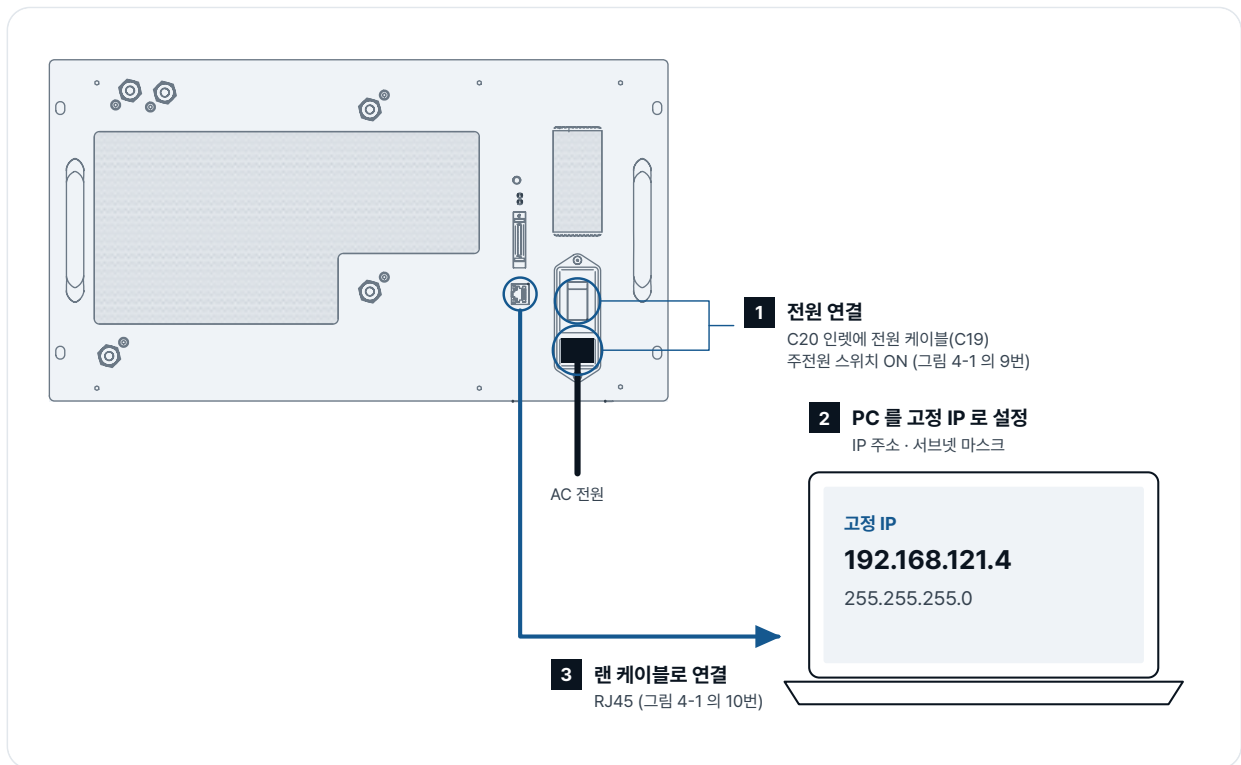


그림 4-3 전원과 PC 연결. 네모 안 숫자는 아래 단계 번호입니다.

### 1

#### 전원을 연결합니다.

- AC 전원 케이블을 C20 인렛에 꽂습니다.
- 주전원 스위치를 켭니다.
- 확인** 전면 LED 가 켜집니다.
- 안 되면** LED 가 꺼져 있으면 전원 케이블, 콘센트 차단기, 주전원 스위치를 확인하십시오.

2

PC 네트워크를 고정 IP 로 설정합니다.

- IP 주소 192.168.121.4
- 서브넷 마스크 255.255.255.0
- 이 주소는 모든 HXB-V1 에서 동일합니다. 장비는 뒷면 라벨의 Device ID 로 구분합니다.
- 여러 대를 PC 한 대로 쓰시려면 주문할 때 알려 주십시오. 장비마다 서로 다른 고정 IP 를 넣어 출고하고, 그 주소 목록을 드립니다.

3

랜 케이블로 PC 와 장비를 연결합니다.

## 5. 프로젝트 만들기

1

제어 앱을 실행하면 Project Manager 가 열립니다.

2

New Project 를 누릅니다.

3

프로젝트 정보를 입력합니다.

- 프로젝트 이름
- 설명 (선택)
- Device ID — 장비 후면 라벨에 인쇄된 값을 그대로 넣습니다.

4

Create 를 누르고, 목록에서 그 프로젝트의 Start 를 누릅니다.

5

상단 바에서 두 가지를 확인합니다.

- Connection = ONLINE
- Logging = ON
- **확인** 두 값이 맞고 전면 LED 가 노랑(STANDBY)으로 바뀝니다.
- **안 되면** OFFLINE 이면 랜 케이블과 PC 고정 IP(192.168.121.4, 255.255.255.0)를 다시 확인하고 앱을 다시 실행하십시오. LED 가 노랑으로 돌아오지 않으면 빨간 Reset 버튼을 한 번 누르십시오.

작업 해설

고정 IP 로 바꾸는 것이 무엇인지

- 보통은 공유기가 PC 에 주소를 나눠 줍니다. 이 장비는 그 역할을 하지 않으므로 PC 쪽 주소를 사람이 직접 정해 줘야 서로를 찾습니다. 앞 단계의 주소가 그 값입니다.
- 그 랜 포트는 장비 전용이 됩니다. 같은 포트로 사내망이나 인터넷은 안 됩니다. 둘을 같이 쓰셔야 하면 USB 이더넷 어댑터를 하나 더 꽂아 포트를 두 개로 만드십시오.
- 설정을 되돌리려면 같은 화면에서 자동 할당으로 바꾸면 됩니다.

## 6. 전해질 충전과 프라이밍

제어 앱의 P&ID 화면에서 진행합니다. 처음 기동할 때와 전해질을 교체할 때 같은 순서로 합니다.

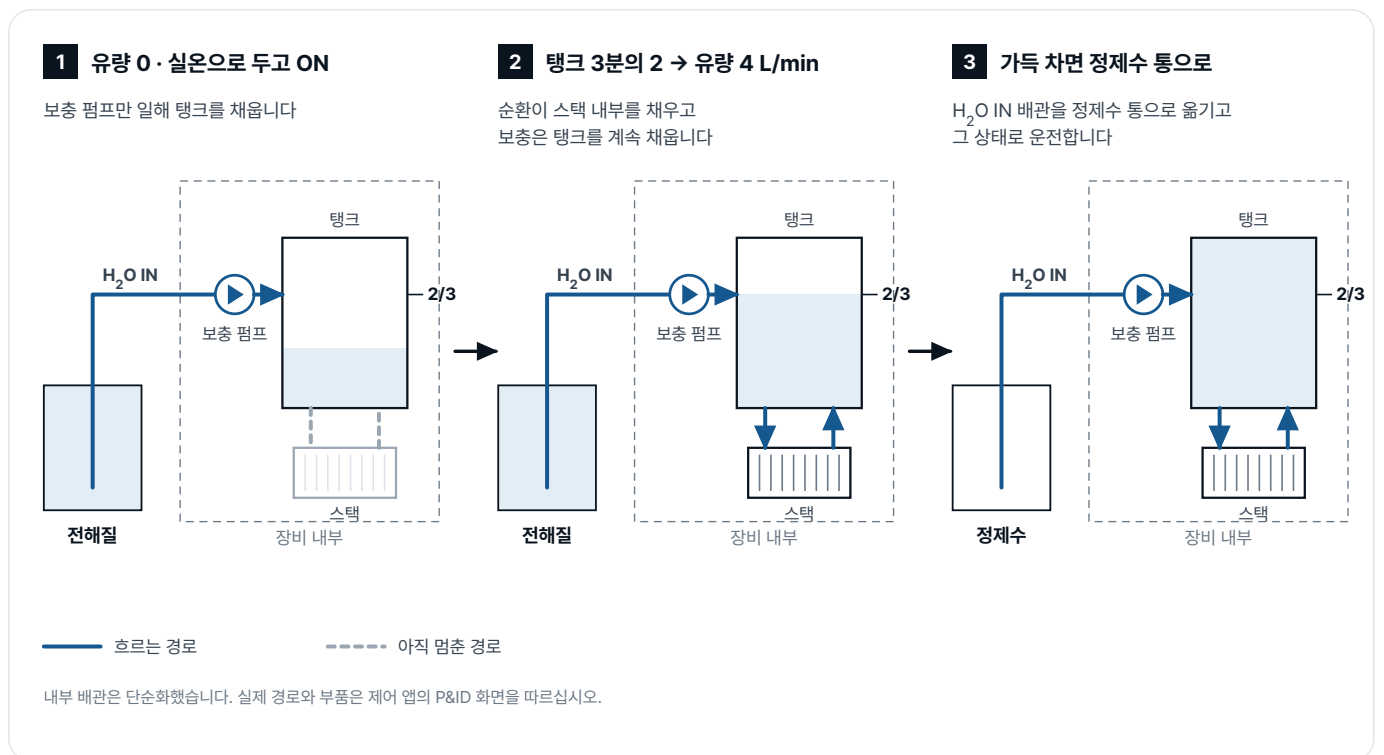


그림 4-4 전해질 충전과 프라이밍 순서. 내부 배관은 단순화한 개념도이며 실제 경로는 제어 앱의 P&ID 화면을 따르십시오.

- 1 초기 충전용 전해질을 약 5 L 준비합니다.

- 2 H<sub>2</sub>O IN 배관의 끝을 전해질 통에 완전히 담급니다.

- 3 Electrolyte Control 에서 목표값을 넣고 Apply 를 누릅니다.

- 온도는 실온으로 둡니다. 가열하지 않습니다.
- 유량은 0 으로 둡니다. 아직 순환시키지 않습니다.

- 4 Electrolyte Control 을 ON 으로 바꿉니다.

- 보충 펌프가 내부 탱크를 자동으로 채웁니다. P&ID 의 탱크 그림이 파랗게 차오릅니다.
- 확인** LED 가 파랑(EL\_CTRL)이 되고 P&ID 탱크 그림이 파랗게 차오릅니다.

- **안 되면** 탱크가 차오르지 않으면 H2O IN 배관 끝이 전해질에 완전히 잠겼는지, 배관이 꺾이지 않았는지 보십시오. LS101 알람이 뜨면 급수 보충 절차를 따르십시오.

5

**탱크가 3분의 2 까지 차면 순환을 시작해 스택 내부를 채웁니다.**

- Electrolyte Control 은 ON 으로 두고 유량을 4 L/min 으로 넣은 뒤 Apply 를 누릅니다.
- **확인** 유량이 4 L/min 근처에서 안정됩니다. 처음에는 공기가 빠지면서 잠시 흔들리는 것이 정상입니다.
- **안 되면** 계속 흔들리거나 오르지 않으면 증상 D를 보십시오.

6

**탱크가 가득 찰 때까지 계속합니다.**

- 전해질이 순환하면서 스택을 채우는 동안 보충 펌프가 탱크를 계속 채웁니다.

7

**H2O IN 배관을 정제수 통으로 옮깁니다.**

- 이후 운전 중에는 이 상태를 유지합니다. 전해질이 아니라 물을 보충하는 것이 정상 운전 구성입니다.

작업 해설

## 왜 유량을 0 으로 두고 시작하는지

- 탱크가 비어 있는 상태에서 순환 펌프를 돌리면 액체 대신 공기를 빨아들입니다. 그러면 유량이 잡히지 않고 펌프도 상합니다.
- 그래서 탱크를 먼저 채우고, 3분의 2 쯤 찬 뒤에 순환을 켜서 스택 내부까지 액체를 밀어 넣습니다. 이 과정을 프라이밍이라고 합니다.
- 가장 흔한 실수는 배관 끝이 액면 위로 떠오르는 것입니다. 통이 얇거나 배관이 뺏뺏하면 채우는 동안 끝이 올라옵니다. 끝을 눌러 두거나 깊은 통을 쓰십시오.

## 전해질 제어가 하는 일

이 스위치의 기능을 이해하면 충전 절차가 왜 그렇게 구성되어 있는지 알 수 있습니다.

작업 해설

## 스위치 하나가 기능 셋을 함께 켭니다

- 전해질 제어를 켜면 보충, 순환, 온도 제어가 한꺼번에 활성화됩니다. 따로 켜는 스위치가 없습니다.
- 그래서 충전할 때는 유량을 0, 온도를 실온으로 두어 순환과 가열이 작동하지 않게 합니다. 그 상태에서 켜면 보충 기능만 작동합니다.
- 탱크가 비어 있으면 수위 센서가 낮은 수위를 감지하고, 장비가 보충 펌프를 돌려 H2O IN 쪽 통에서 전해질을 끌어옵니다. 탱크가 찰 때까지 자동으로 계속 합니다.

탱크가 3분의 2 찬 뒤에 유량을 4 L/min 으로 올리는 이유도 같습니다. 그때부터 순환 펌프가 스택 내부까지 액체를 밀어 넣고, 보충 펌프는 그동안 탱크를 계속 채웁니다.

## 7. 승온

1

Electrolyte Control 을 ON 으로 유지합니다.

2

온도에 50 °C 를 넣고 Apply 를 누릅니다.

- 권장값입니다.

3

P&ID 에서 카트리지 히터가 켜지고 가열이 시작되는 것을 확인합니다.

- **확인** 전해질 온도가 설정값(50 °C)을 향해 오르기 시작합니다.
- **안 되면** 온도가 오르지 않으면 Alarms & Events 에서 히터 알람(CH 101)을 확인하십시오.

## 8. 전기분해 시작

1

전원을 넣을 준비가 됐는지 확인합니다.

- 전해질 수위가 정상 범위에 있습니다.
- 유량이 설정값 4 L/min 에서 안정적입니다.

2

Power Control 에 전압과 전류를 넣고 Apply 를 누릅니다.

- 전압 46 V, 전류 50 A 가 권장값입니다. 반드시 이 값이어야 하는 것은 아닙니다.

3

Power Control 을 ON 으로 바꿉니다.

- **확인** LED 가 초록(H2 RUN)이 되고 전류가 오르기 시작합니다. 처음에는 전압 한계(46 V)에 먼저 걸리는 것이 정상입니다.
- **안 되면** 전류가 오르지 않거나 알람이 뜨면 Power Control 을 끄고 알람 표를 확인하십시오.

 알림

**50 °C 에 도달할 때까지 기다리지 않아도 됩니다.**

- 스택에 전기가 들어가지 않은 상태에서 탱크 히터만으로 온도를 올리면 시간이 더 걸립니다. 전기분해를 시작하면 순환 중 온도가 더 빠르게 올라갑니다.

## 9. 확인

P&ID 또는 Dashboard 에서 봅니다.

- 스택 전압과 전류가 설정값에 반응합니다.
- 전해질 수위가 정상 범위에 머무릅니다.
- 유량이 설정값 근처에서 안정적입니다.
- 온도가 설정값을 향해 올라갑니다.

## 승온 중 정상 거동

전압 46 V, 전류 50 A 로 설정한 경우입니다.

- 초기에는 전해질 온도가 낮아 전압 한계에 먼저 걸립니다. 전압이 46 V 에 붙고 전류는 50 A 보다 낮습니다.
- 온도가 오르면 전류 목표에 도달합니다. 전류가 50 A 가 되고 전압은 46 V 보다 낮아집니다.

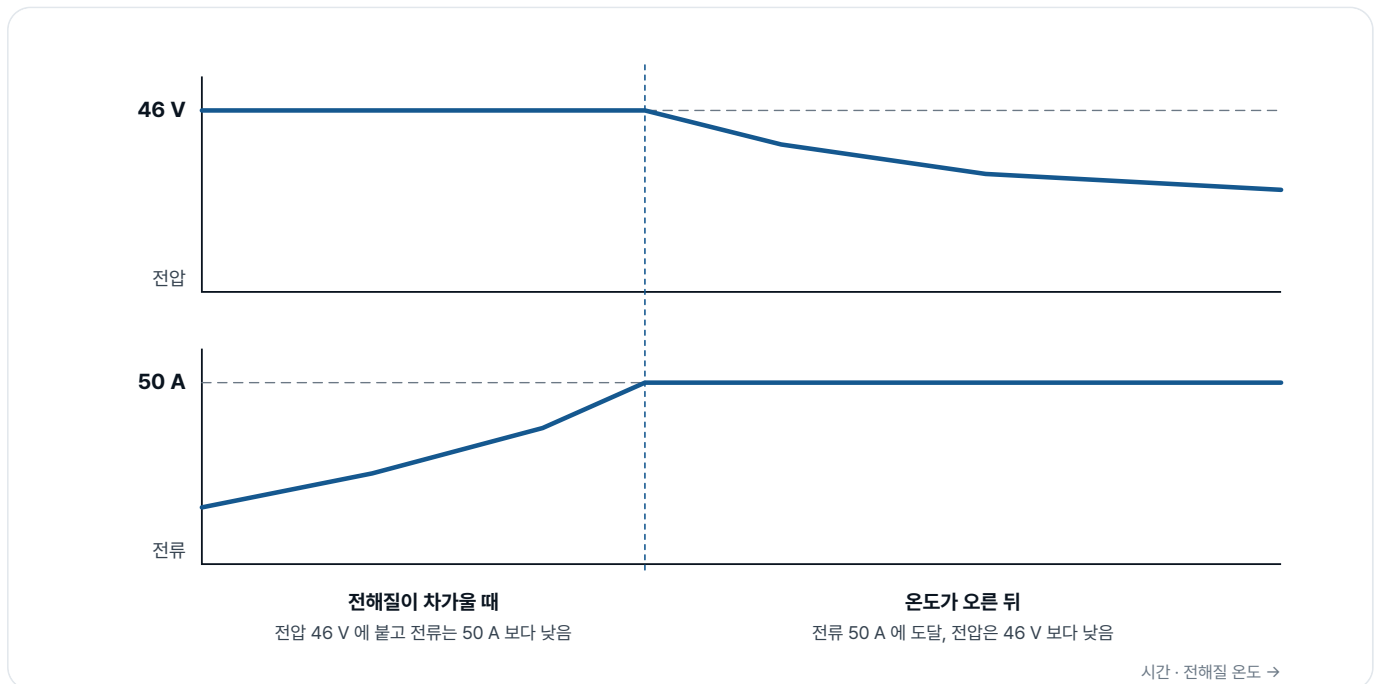


그림 4-5 승온 중 정상 거동. 모양만 보여 주는 개념도이고 실측 곡선이 아닙니다. 걸리는 시간은 설치 조건에 따라 다릅니다.

### 기술 배경

#### 가압 운전을 쓰실 경우

- 수소 출구 압력은 주문하실 때 0 barg 와 10 barg 중에서 고르시면, 그에 맞는 릴리프 밸브를 달아 출고합니다. 10 barg 장비는 운전하면 항상 10 barg 까지 올라갑니다. 35 barg 는 검증 중이며 협의 후 공급합니다. 가압하면 후단 압축기를 줄일 수 있지만 기체 크로스오버와 밀봉 설계 부담이 함께 커집니다.
- 10 barg 연속 운전은 검증을 마쳤고, 정전류 제어이므로 압력이 올라가도 전류는 설정값을 유지합니다. 검증 시험에서 확인한 전압 상승은 1% 미만입니다.
- 10 barg 장비는 첫 기동부터 10 barg 까지 올라갑니다. 기동 전에 H2 OUT 부터 후단 끝까지 모든 부품이 10 barg 에 맞는지 확인하고, 압력이 오르는 동안 이음부마다 누설을 확인하십시오.

## 합격 판정

전기분해를 시작한 뒤 아래를 확인하십시오. 넷 다 맞으면 시운전 합격으로 봅니다.

**누설**                      피팅과 포트에 눈에 보이는 전해질 누설이 없습니다.

|        |                                                                                                           |
|--------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 수소 누설  | 수소 압력이 오른 뒤 H2 OUT · H2 VENT 피팅과 후단 이음부에 누설 검지액을 바르거나 수소 검지기를 대어 보았을 때 기포나 반응이 없습니다. 검지액과 검지기는 고객이 준비합니다. |
| 유량과 수위 | 유량이 설정값에서 안정적이고 전해질 수위가 정상 범위를 지킵니다.                                                                      |
| 전압과 전류 | 설정한 목표에 반응합니다.                                                                                            |

## 승온 중에는 이렇게 움직입니다

전압 46 V, 전류 50 A 로 두신 경우입니다. 아래대로 움직이면 정상입니다.

- 처음에는 전해질이 차가워 전압 한계에 먼저 걸립니다. 전압이 46 V 에 붙고 전류는 50 A 보다 낮습니다.
- 온도가 오르면 전류 목표에 도달합니다. 전류가 50 A 가 되고 전압은 46 V 보다 낮아집니다.



경고

### 합격 기준을 못 맞추면 다음 단계로 넘어가지 마십시오.

- 부하를 낮추거나 전원 제어를 끄고, 전해질 제어는 잠시 켜 채로 식히십시오.
- 그다음 알람과 이벤트를 열어 「문제 해결」 장의 순서를 따르십시오.
- 누설이나 비정상 상태로 계속 돌리면 수소 누설이나 과열로 이어질 수 있습니다.

## 기록해 두실 것

이때 남긴 값이 나중에 성능이 변했는지 판단하는 기준선이 됩니다. 비교할 기준선이 없으면 몇 달 뒤 전압이 올랐는지 알 수 없습니다.

- 시운전 날짜와 담당자
- 전해질 규격과 제조한 날짜
- 안정된 뒤의 스택 전압과 전류, 그때의 전해질 온도와 유량
- 출하 검사 성적서의 값과 비교한 결과
- 시운전 중 뜬 알람이 있으면 그 내용

작업 해설

### 기록을 자동으로 남기실 수 있습니다

- PC 가 연결되고 기록이 켜져 있으면 운전 데이터가 계속 쌓입니다. Project Manager 에서 csv 로 내보내 보관하십시오.
- 시운전 구간을 따로 프로젝트로 만들어 두시면 나중에 찾기 쉽습니다.

# 05 운전과 제어

HXB-V1 · 갱신 2026-09-30

시운전을 마친 장비를 매일 돌리는 방법입니다. 전면 LED 여섯 상태의 뜻, 기동과 정지 순서, 권장 설정값과 운전 범위, 급수 보충량, 알람 읽는 법을 담았습니다.

권장 운전점 50 A · 50 °C · 4 L/min      급수 소비 약 0.55 L/h      LED 상태 여섯 가지

### 이 장을 읽는 방법

#### 처음이신 분

전면 LED 상태와 일상 기동, 두 절만 먼저 읽으십시오. 그 두 개로 매일 돌릴 수 있습니다. 나머지는 필요할 때 찾아보는 참조입니다.

#### 해보신 분

권장 설정값과 운전 범위, 급수 보충으로 바로 가십시오. 설정한 운전점이 안 나오는 경우 절에 평가 장비로 쓸 때의 제약을 적었습니다.

## 제어 앱 구성

장비는 데스크톱 앱으로 운전합니다. 탭은 왼쪽부터 순서대로 놓여 있고, 실제 조작은 P&ID 에서 합니다.

|                 |                        |
|-----------------|------------------------|
| Home            | 세션 요약과 안전 상태           |
| Dashboard       | 추이와 지표. 안정성·성능을 봅니다    |
| P&ID            | 주 조작 화면. 설정값을 넣고 운전합니다 |
| Alarms & Events | 알람, 이벤트, 명령 이력         |
| Protocols       | 반복 시험용 자동 시퀀스          |



| 상태                                                                                                | 색  | 뜻                           | 조치                                                 |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|----|-----------------------------|----------------------------------------------------|
|  <b>EL_CTRL</b>  | 파랑 | 전해질 제어만 켜짐.<br>수소를 만들지 않음   | 승온·냉각·순환 중                                         |
|  <b>PWR_CTRL</b> | 보라 | 전해질 제어가 꺼진 채<br>스택에 전기가 들어감 | 권장하지 않는 상태입니다. Power Control 을 끄고 정상 순서로<br>돌아가십시오 |
|  <b>H2 RUN</b>   | 초록 | 정상 수소 생산                    | 정상 운전. 앱에서 계속 확인                                   |



권장 흐름은 STANDBY 에서 EL\_CTRL 로, 다시 H2 RUN 으로 가는 순서입니다.

#### 작업 해설

### 왜 이 순서를 지켜야 하는지

- 전해질이 돌기 시작해야 스택이 식고, 만들어진 기체가 밖으로 실려 나갑니다. 순환이 그 두 가지를 같이 합니다.
- 그래서 전기를 먼저 넣으면(보라색 상태) 열이 갈 곳이 없습니다. 짧게 지나가도 스택에 좋지 않습니다.
- 정지할 때는 반대로 갑니다. 전기를 먼저 끄고 순환은 잠시 더 돌려 식힌 뒤 끕니다.

#### 알림

**LED 가 EMERGENCY 이거나 예상과 다른 상태라면 Alarms & Events 를 먼저 확인하십시오.**

## 일상 기동

### 시작 전 확인

- LED 가 STANDBY 이거나 장비가 안전하게 정지된 상태입니다.
- Alarms & Events 에 심각한 알람이 없습니다.
- 전해질 수위가 정상 범위에 있습니다.
- H2O IN 배관이 정제수 통에 잠겨 있습니다.
- H2 OUT·O2 OUT·H2 VENT 가 안전한 방출 지점으로 이어지고 막힌 곳이 없습니다.
- 계획한 운전 시간을 감당할 만큼 정제수가 채워져 있습니다.

### 순서

**1**

Home 에서 안전 상태가 정상인지 확인합니다.

Dashboard 에서 온도·전류·전압 추이가 타당한지 확인합니다.

### P&ID 의 Electrolyte Control

- 온도와 유량 목표를 넣고 Apply 를 누릅니다.
- Electrolyte Control 을 ON 으로 바꿉니다.
- LED 가 EL\_CTRL 로 바뀌는지 확인합니다.
- 안 되면** LED 가 EL\_CTRL 로 바뀌지 않거나 유량이 오르지 않으면 Electrolyte Control 을 끄고 Alarms & Events 를 확인하십시오.

### P&ID 의 Power Control

- 전압과 전류 목표를 넣고 Apply 를 누릅니다.
- Power Control 을 ON 으로 바꿉니다.
- LED 가 H2 RUN 으로 바뀌는지 확인합니다.
- 안 되면** LED 가 H2 RUN 이 아니거나 알람이 뜨면 Power Control 을 끄고 알람 표를 확인하십시오.

Alarms & Events 에서 상승 구간에 알람이 없고 명령이 기록됐는지 확인합니다.



경고

**전해질이 들지 않는 스택에 전기를 넣으면 막이 상해 수소와 산소가 섞일 수 있습니다.**

- 순환 없이 전류가 흐르면 스택이 마르고 과열됩니다. 손상된 막을 통해 수소가 산소 쪽으로 넘어가 화재 위험이 생기고, 스택은 영구적으로 손상됩니다.
- Electrolyte Control 을 켜고 유량이 안정된 것을 확인한 뒤 Power Control 을 켜십시오.

## 권장 설정값과 운전 범위

| 항목     | 권장값                                                          | 운전 범위    |
|--------|--------------------------------------------------------------|----------|
| 스택 전류  | 50 A                                                         | 15~67 A  |
| 스택 전압  | 설정 46 V · 50 A 에서 신품 약 38 V(데이터시트 37.8 V), 운전하며 올라 보통 약 40 V | 24~48 V  |
| 전해질 온도 | 50 °C                                                        | 상온~70 °C |

| 항목        | 권장값     | 운전 범위                                  |
|-----------|---------|----------------------------------------|
| 전해질<br>유량 | 4 L/min | 2~5 L/min                              |
| 수소 압력     | 주문 사양대로 | 0 또는 10 barg(주문 때 선택, 35 barg 는<br>협의) |

#### 작업 해설

### 권장값과 운전 범위는 다른 말입니다

- 운전 범위는 「여기까지는 장비가 견딘다」는 뜻입니다. 권장값은 「오래 안정적으로 쓰기에 좋다」는 뜻입니다.
- 처음 돌리실 때는 권장값 그대로 두시면 됩니다. 표의 오른쪽 열은 시험 목적으로 조건을 바꿔야 할 때 참고하는 값입니다.

#### 알림

### 운전 범위는 허용 한계이고 성능을 보장하는 조건이 아닙니다.

- 안정적인 운전과 수명을 위해서는 권장값 근처에서 쓰고 범위 양 끝에서 계속 돌리지 마십시오.

## 설정한 운전점이 안 나오는 경우

정격 운전 구간에서 정전류로 돌릴 때는 문제가 되지 않습니다. 다만 전압 설정값과 전류 설정값을 함께 넣는 구조이고 두 값의 조합에 제약이 있어서, 아래 같은 시험에서는 요청한 운전점이 그대로 나오지 않을 수 있습니다.

- IV 곡선 측정처럼 운전 전압이 넓게 변하는 시험
- 짧은 스택이나 타사 스택의 저전류 평가
- 권장 구간을 벗어난 저전류·고전류 운전

#### 기술 배경

### 평가 장비로 쓰실 때 미리 아셔야 할 것

- 이 장비는 완제품 수소 발생기이면서 스택 시험대이기도 합니다. 스택 모듈을 분리·해체·교체할 수 있어 다른 스택 설계를 같은 BoP 와 제어판으로 시험할 수 있습니다.
- 다만 정격 구간을 벗어난 운전점은 전원 설정의 제약을 받습니다. 정격 스택을 정전류로 돌리는 범위에서는 문제가 없습니다.
- IV 곡선을 넓은 전압 구간에서 스윕하거나 짧은 스택을 저전류로 평가하실 계획이라면 주문 전에 목표 운전점을 알려주십시오. 가능한지 먼저 확인해 드립니다.

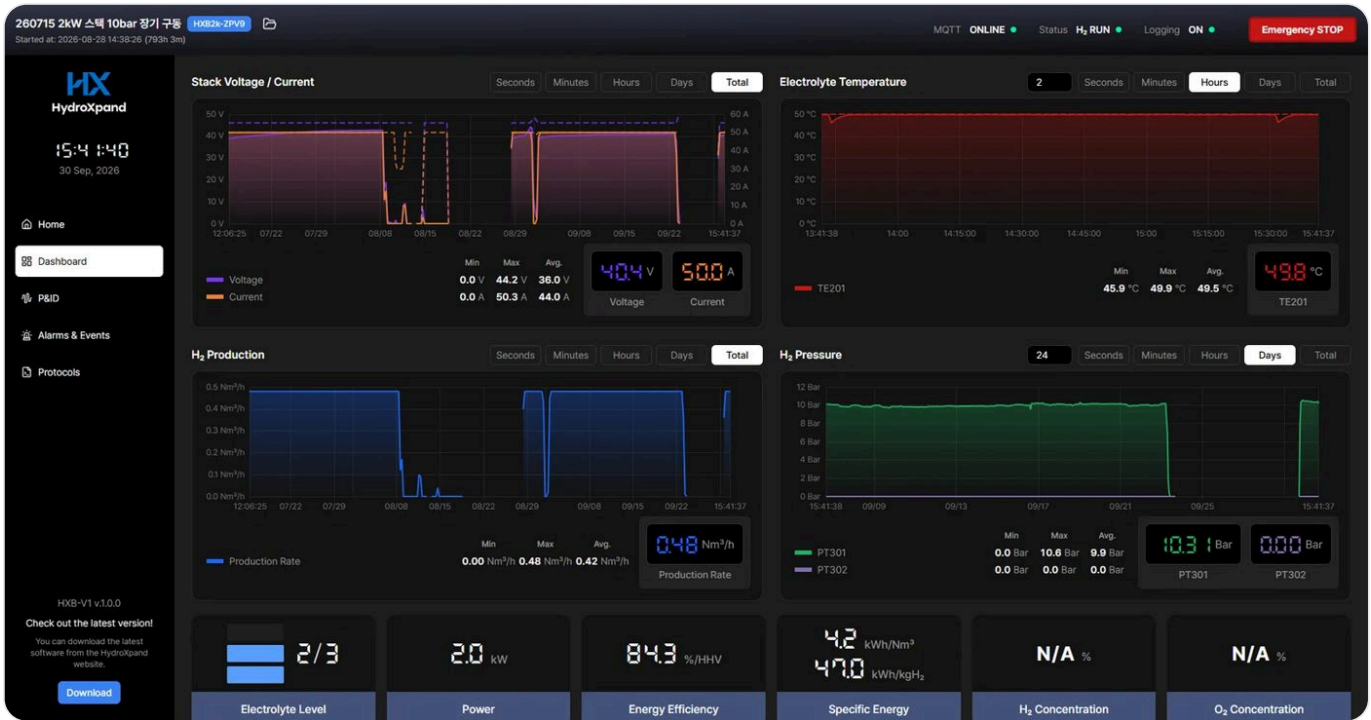
HXB-V1 을 평가 장비로 쓰실 계획이라면 목표 운전점과 시험 계획을 보내주십시오. 담당 엔지니어가 가능한 범위와 설정 방법을 확인해 회신합니다.

# 운전 중 감시



## 산소 중 수소 농도가 2 vol% 를 넘으면 전기분해를 멈추고 연락하십시오.

- 막을 넘은 수소가 산소 쪽에 쌓이면 산소 배관과 분리기 안에 폭발할 수 있는 혼합 기체가 생깁니다.
- 제어 앱에는 이 농도가 표시되지 않습니다. 측정하시려면 O2 OUT 뒤에 수소 분석기나 검지기를 다십시오.
- 안전 관리 기준이며 보증이나 무상 교체의 기준이 아닙니다.



대시보드, 값 하나가 아니라 추이를 보는 화면입니다. 아래 항목을 이 화면에서 확인하십시오. 앱의 비에너지와 효율은 스택 전력 기준이고, 시스템 기준 값은 사양표에 있습니다.

### 스택 전압·전류

설정값에 반응하고 안정적인지 봅니다. 정전류인데 전압이 갑자기 튀거나 크게 흔들리면 멈추고 원인을 찾으십시오.

### 전해질 수위

정상 범위에 머물러야 합니다. 계속 내려가거나 불안정하면 멈추고 보충 조건을 바로잡으십시오.

### 전해질 유량

설정값 근처에서 안정적이어야 합니다. 온도 제어와 안전 운전은 유량에 달려 있습니다.

### 전해질 온도

설정값을 향해 가다가 안정되어야 합니다. 순환·냉각이 되는데도 계속 오르면 멈추고 원인을 찾으십시오.

### 알람

반복되는 알람을 넘기지 마십시오. 바로 확인하십시오.

## 급수 보충

운전 중에는 물이 소모되므로 수위와 농도를 유지하기 위해 보충이 필요합니다. H<sub>2</sub>O IN 배관을 정제수 통에 잠긴 상태로 두면 장비가 자동으로 보충합니다.

**보충수가 부족하면 급격한 과열로 스택이 영구 손상될 수 있습니다.**

- 통이 비거나 흡입이 막히거나 공기가 물리면 수위가 떨어지고 전해질 농도가 올라갑니다. 그러면 냉각 능력이 줄고 스택 온도가 급히 오르며 막 열화가 가속됩니다. 심하면 스택이 회복 불가능하게 망가집니다.
- 수위가 내려가거나 유량이 불안정해지거나 온도가 비정상적으로 오르면 즉시 부하를 낮추거나 전기분해를 멈추고, 보충과 순환을 정상으로 되돌린 뒤 계속 하십시오.

**실측 보충량**

23셀 2 kW 스택을 50 A, 60 °C 로 돌린 당사 시험 기준입니다.

|           |                                                        |
|-----------|--------------------------------------------------------|
| 이론 소비량    | 50 A 에서 약 0.39 L/h                                     |
| 실측 소비량    | 50 A 에서 약 0.53~0.55 L/h                                |
| 차이가 나는 이유 | 물이 증발해 생성 기체에 실려 나갑니다. 수분은 수소 출구와 산소 출구 양쪽으로 빠집니다.     |
| 보충 간격     | 같은 조건에서 대개 1.5시간에 한 번 정도 작동합니다                         |
| 통 용량 계획   | 자체 실측치가 따로 없다면 0.5~0.6 L/h 로 잡으십시오. 운전 중에 통을 비우지 마십시오. |

**수위 표시 읽는 법**

- 제어 앱의 탱크 그림은 세 칸입니다. 1칸에서 3칸 사이가 정상입니다.
- 수위 스위치(LS 101)가 낮은 수위를 감지하면 보충 펌프가 돌고, 수위가 상한에 도달하면 멈춥니다. 수위가 1칸과 3칸 사이를 오가는 것이 정상 동작입니다.
- 그보다 위에 만수 스위치(LS 102)가 따로 있습니다. 이것이 작동하면 비상정지가 걸립니다. 전해질을 너무 많이 넣었거나 물이 멈추지 않고 들어가는 경우입니다.
- 보충이 오래 실패하면 장비가 고장정지로 멈춥니다. 정제수 통이 비면 결국 운전이 멈춘다는 뜻입니다.

**보충이 안 되기 시작할 때**

보충은 갑자기 멈추기보다 조금씩 나빠지다가 멈추는 경우가 많습니다. 당사 장기 시험에서는 보충 한 번에 걸리는 시간이 평소의 몇 배로 늘어난 뒤 보충이 멈췄습니다. 아래가 보이면 그때 점검하십시오.

- 보충 한 번에 걸리는 시간이 평소보다 길어집니다.
- 수위 표시가 1칸에 머무는 시간이 길어집니다.
- 같은 운전 조건인데 보충 간격이 평소와 달라집니다.

**통이 비었다**                      정제수를 채우십시오. 운전 시간에 맞춰 통 용량을 잡으십시오.

|                   |                                                                 |
|-------------------|-----------------------------------------------------------------|
| 흡입 호스가 물에 잠기지 않았다 | H2O IN 호스 끝이 통 바닥 가까이 잠겨 있는지, 꺾이거나 눌리지 않았는지 보십시오.               |
| 통이 장비보다 너무 낮다     | 보충 펌프가 물을 빨아올려야 하는 높이가 커지면 물을 못 올릴 수 있습니다. 통은 장비와 비슷한 높이에 두십시오. |
| 호스에 공기가 찼다        | 호스 안에 기포가 길게 이어져 있으면 흡입이 끊깁니다. 호스를 물로 채운 뒤 다시 연결하십시오.           |



경고

### 순환 유량 저하나 보충 실패 알람이 뜨면 장비가 스스로 멈출 때까지 기다리지 말고 바로 전기분해를 멈추십시오(Power Control OFF).

- 알람이 뜬 뒤 장비가 멈출 때까지는 시간이 걸립니다. 그동안 스택에 전기가 계속 들어가면 순환이 부족한 채로 열이 쌓여 스택이 영구 손상될 수 있습니다.
- 막이 상하면 수소와 산소가 섞여 화재 위험이 생깁니다.

## 정상 정지



경고

### 정상 정지 시에는 주전원 스위치를 먼저 끄지 마십시오.

1

#### 전기분해를 멈춥니다.

- P&ID 에서 Power Control 을 OFF 로 바꿉니다.
- 전류가 0 A 로 떨어지고 LED 가 H2 RUN 에서 EL\_CTRL 로 바뀌는지 확인합니다.

2

#### 스택과 전해질을 냉각합니다.

- Electrolyte Control 을 잠시 ON 으로 유지합니다. LED 는 EL\_CTRL 입니다.

3

#### 순환을 멈춥니다.

- Electrolyte Control 을 OFF 로 바꾸고 LED 가 STANDBY 로 바뀌는지 확인합니다.

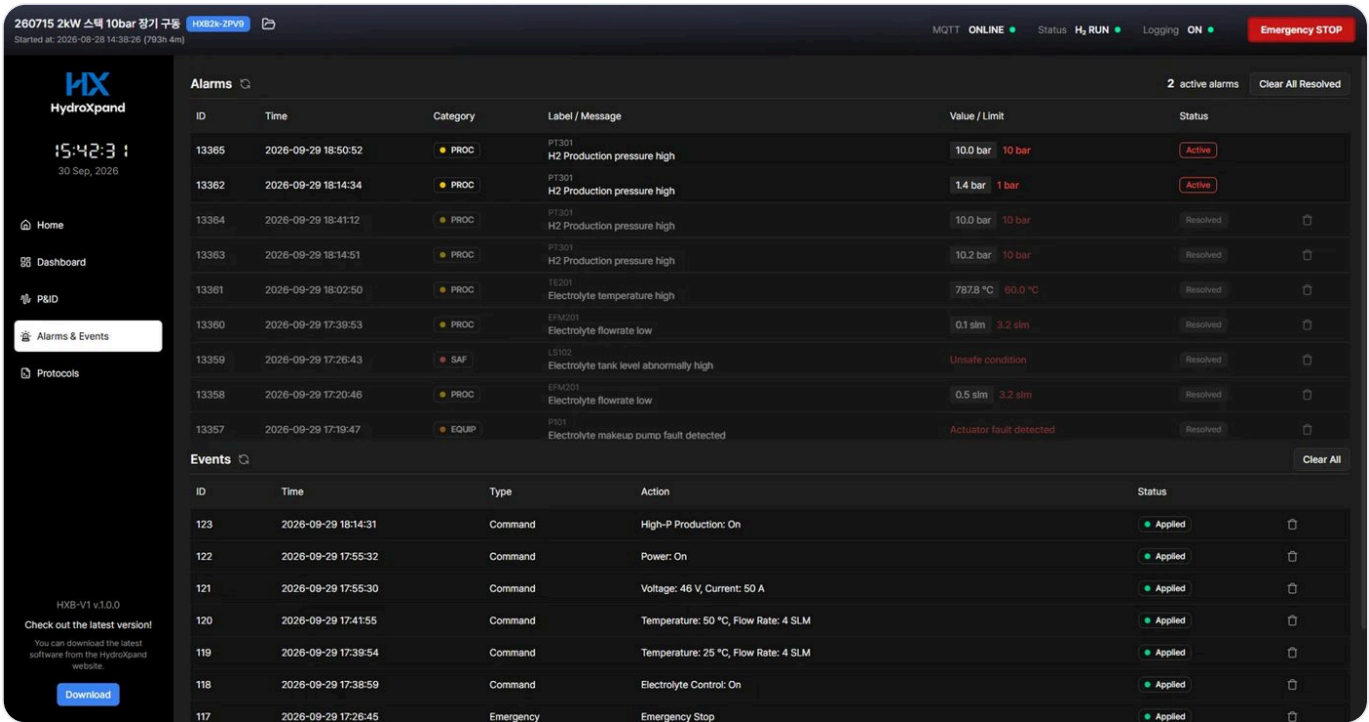
4

#### 정지 후 확인

- Alarms & Events 에 활성 알람이 남아 있지 않은지 봅니다.
- 전면 포트와 외부 배관·피팅 주변을 눈으로 훑어 누설을 확인합니다.

## 알람과 이벤트

Alarms & Events 화면에 표가 둘 있습니다. Alarms 는 조치가 필요한 비정상 상태이고, Events 는 명령과 동작 이력입니다. Clear All 은 원인이 해소된 뒤에만 쓰십시오.



알람·이벤트 화면. 위가 알람, 아래가 명령 이력입니다.

## 알람 세 단계

알람은 장비가 무엇을 하느냐에 따라 세 단계로 나뉩니다. 알람이 뜨면 먼저 어느 단계인지 보십시오. 다시 돌리는 방법이 단계마다 다릅니다.

| 단계                    | 장비가 하는 일                                                                           | 다시 돌리려면                                                                                  | 대표 원인                                                                 |
|-----------------------|------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|
| 경고 (Warning)          | 화면에 표시하고 기록만 합니다.<br>운전은 계속됩니다.                                                    | 멈출 필요는 없지만 원인을<br>점검하십시오. 같은 경고가<br>반복되면 문의해 주십시오.                                       | 온도나 유량이<br>설정값에서 벗어나기<br>시작함, 팬·펌프·히터 동작<br>이상                        |
| 고장정지 (Fault stop)     | 스택 전원을 먼저 끄고, 잠시 뒤<br>전해질 제어를 끈 다음 대기<br>(STANDBY)로 갑니다. 전해질<br>제어가 켜져 있을 때만 걸립니다. | 원인을 없앴 뒤 대기 상태에서 정상<br>순서로 다시 기동합니다.                                                     | 급수 보충 실패, 순환 유량<br>부족, 과열, 센서 고장,<br>밸브·접촉기 이상                        |
| 비상정지 (Emergency stop) | 장비가 스스로 즉시 모든 제어를<br>끄고 H2 VENT 밸브를 엽니다.<br>LED 가 빨강으로 켜집니다.                       | 원인을 없앴 뒤 전면의 빨간 Reset<br>버튼이나 앱의 Emergency STOP<br>을 한 번 누릅니다. 원인이 사라져도<br>저절로 풀리지 않습니다. | 수소 누설 감지, 전해질<br>누설 감지, 탱크 과압,<br>탱크 만수, 수소 압력<br>과다, 제어 앱과의 연결<br>끊김 |



경고

### 비상정지 때 H2 VENT 로 수소가 한꺼번에 나옵니다.

- 벤트 끝 가까이에 사람이나 점화원이 있으면 불이 붙어 화상을 입거나 폭발할 수 있습니다.
- 벤트 끝은 사람이 없는 안전한 곳에 두고 절대 막지 마십시오.

## 비상정지 해제

1

원인이 없어졌는지 직접 확인합니다.

- 해제한 뒤에는 원인이 남아 있어도 장비가 비상정지를 다시 걸지 않습니다. 해제하기 전에 확인하십시오.

2

전면의 빨간 Reset 버튼이나 제어 앱의 Emergency STOP 버튼 중 하나를 한 번 누릅니다.

- Reset 은 제어기를 다시 시작해 대기 상태로 전환합니다. 몇 초 걸립니다.
- 앱의 Emergency STOP 은 한 번만 누르십시오. 해제된 상태에서 다시 누르면 비상정지가 다시 걸립니다.

3

전면 LED 가 노랑(STANDBY)으로 바뀌었는지 확인합니다.

4

정상 순서로 다시 기동합니다.

- 해제한 뒤 전해질 제어와 전원 제어는 꺼져 있습니다. 전해질 제어를 먼저 켜고, 순환과 온도가 안정된 뒤 전원 제어를 켜십시오.
- 원인이 해소된 알람만 Clear All 로 정리하십시오.

## 분류 열

앱 버전에 따라 알람 표의 분류 열에 아래 네 가지가 보입니다. 분류는 알람이 어디서 왔는지를 뜻합니다. 장비가 무엇을 했는지는 위 세 단계로 판단하십시오.

|       |            |
|-------|------------|
| SAF   | 안전 관련 상태   |
| PROC  | 공정 상태      |
| EQUIP | 설비·구동부 이상  |
| COMM  | 통신·네트워크 문제 |

## 알람에 적히는 항목

ID, 발생 시각, 분류, 라벨, 메시지, 실측값과 한계값, 현재 상태입니다. 문의하실 때 이 값을 그대로 보내주시면 진단이 빠릅니다.

## 라벨 읽는 법

라벨은 알람을 낸 센서나 부품의 이름표입니다. 제어 앱 P&ID 화면의 같은 이름표와 짝이 맞습니다. 장비 버전에 따라 없는 이름표도 있습니다.

| 라벨              | 무엇                                  |
|-----------------|-------------------------------------|
| TE 101          | 전해질 탱크 온도                           |
| TE 201 · TE 202 | 스택 입구 · 출구 전해질 온도                   |
| LS 101          | 탱크 수위 스위치. 급수 보충을 켜고 끕니다            |
| LS 102          | 탱크 만수 스위치                           |
| PSH 101         | 탱크 압력 스위치                           |
| EFM 201         | 전해질 유량계                             |
| P 101           | 급수 보충 펌프                            |
| P 201           | 전해질 순환 펌프                           |
| CH 101          | 전해질 히터                              |
| F 201 · F 401   | 냉각 팬 · 축류 팬                         |
| PT 301 · PT 302 | 수소 생산 압력 · 수소 출구 압력                 |
| GSV 301 – 303   | 수소 솔레노이드 밸브. 303 이 비상 시 여는 벤트 밸브입니다 |
| HLS 301         | 수소 누설 센서                            |
| ELS 201         | 전해질 누설 센서                           |
| CT 201          | 스택 전류 측정                            |
| MC 401          | 스택 전원 접촉기                           |



경고

### 알람에 즉시 대응하고 안전 기능을 우회하지 마십시오.

- 안전 기능을 끄면 수소 누설, 과압, 과열이 생겨도 장비가 멈추지 않아 화재나 폭발로 이어질 수 있습니다.

## PLC·SCADA 연동 (Modbus TCP)

장비는 이더넷으로 Modbus TCP 를 지원합니다. 제어 앱 없이 PLC 나 SCADA 에서 운전 데이터를 읽고, 제어권을 넘겨받으면 설정값과 운전 지령도 쓸 수 있습니다. 레지스터 맵은 요청하시면 최신판을 보내 드립니다.

|           |                                                                                |
|-----------|--------------------------------------------------------------------------------|
| 역할        | Modbus TCP 서버(슬레이브)                                                            |
| 주소        | 장비 랜 포트 · 192.168.121.2 · 포트 502 · Unit ID 1 (여러 대로 출고한 장비는 함께 드린 주소 목록을 따릅니다) |
| 동시 연결     | 5개까지                                                                           |
| 갱신 주기     | 계측값은 1초마다 갱신됩니다. 1초 간격으로 읽으시면 됩니다.                                             |
| 읽을 수 있는 것 | 운전 상태와 인터록·비상정지 상태, 온도·압력·유량·전류·전압 같은 계측값, 현재 설정값                              |
| 쓸 수 있는 것  | 스택 전압·전류, 전해질 온도·유량 설정값과 운전 지령. 제어권을 넘겨받은 뒤에만 적용됩니다.                           |

## 데이터 형식과 레지스터 영역

| 영역      | 기능 코드              | 접근    | 담는 것                                    |
|---------|--------------------|-------|-----------------------------------------|
| 코일      | FC01 · FC05 · FC15 | 읽기·쓰기 | 운전 지령(전원 제어, 전해질 제어 등)                  |
| 이산입력    | FC02               | 읽기    | 실제 운전 상태 17점(레벨 스위치, 히터, 밸브, 비상정지 상태 등) |
| 입력 레지스터 | FC04               | 읽기    | 계측값 32채널과 현재 설정값, 장비 상태                 |
| 보유 레지스터 | FC03 · FC06 · FC16 | 읽기·쓰기 | 설정값, 제어권, 위치독                           |

- 실수는 IEEE-754 32비트 형식으로 레지스터 두 개를 사용해 표현합니다. 출하 때는 상위 워드가 먼저(ABCD)이고, PLC 가 하위 워드를 먼저 사용하는 방식이면 현장에서 바꿀 수 있습니다.
- 주소는 0 부터 세는 프로토콜 주소와 4xxxx 같은 전통 표기를 함께 드립니다.
- RTU 와 ASCII 는 지원하지 않습니다. 이더넷(Modbus TCP)만 씁니다.

주소가 모두 담긴 레지스터 맵은 확정판이 나오면 이 절에 공개합니다. 그 전에는 [기술 문의](#)로 요청하시면 최신본을 드립니다.

## 읽기만 하실 때

따로 설정할 것이 없습니다. 연결해서 읽으시면 됩니다. 제어권을 넘겨받지 않은 상태에서는 쓰기가 적용되지 않습니다.

## PLC 로 통합하실 때

PLC 로 설비에 통합하시면 제어 앱은 쓰지 않습니다. 장비의 랜 포트는 하나이고, 그 자리를 PLC 가 씁니다.

|            |                                                              |
|------------|--------------------------------------------------------------|
| 그대로 동작하는 것 | 알람 판정과 경고, 고장정지, 비상정지. 모두 장비 펌웨어가 판단하고 실행하므로 제어 앱이 없어도 같습니다. |
|------------|--------------------------------------------------------------|

|                        |                                                                                       |
|------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| PLC-SCADA 쪽에서 하셔야 하는 것 | 화면 표시와 데이터 기록. 제어 앱의 csv 기록이 없어지므로 필요한 값을 SCADA 에 남기십시오. 문의하실 때 이 기록이 있어야 진단할 수 있습니다. |
|------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|

|       |                                               |
|-------|-----------------------------------------------|
| 연결 감시 | 제어 앱과의 연결 확인 대신 Modbus 위치독이 PLC 와의 연결을 감시합니다. |
|-------|-----------------------------------------------|

## 제어권 넘기기

- 출하 상태에서는 제어 앱이 제어권을 가집니다. PLC 가 제어하려면 시운전 때 제어권을 PLC 로 넘기고 그 설정을 장비에 저장합니다. 방법은 레지스터 맵에 있습니다.
- 제어권을 가져가려면 위치독을 반드시 켜야 합니다. PLC 가 정해진 시간 안에 신호를 보내지 않으면 장비가 운전 지령을 모두 풀어 운전을 멈추고 제어권을 내려놓습니다. PLC 가 제어권을 다시 가져오면 이어서 운전할 수 있습니다.
- 위치독이 만료되면 장비는 따로 알리지 않고 제어권을 해제합니다. 제어권 설정을 저장하지 않았다면 장비를 재시작할 때도 그렇습니다. PLC 에서 매 주기 제어권을 계속 보유하고 있는지 확인하십시오.
- 쓴 값이 거부되어도 오류 응답이 오지 않습니다. 쓴 뒤에는 반드시 다시 읽어 적용됐는지 확인하십시오.



경고

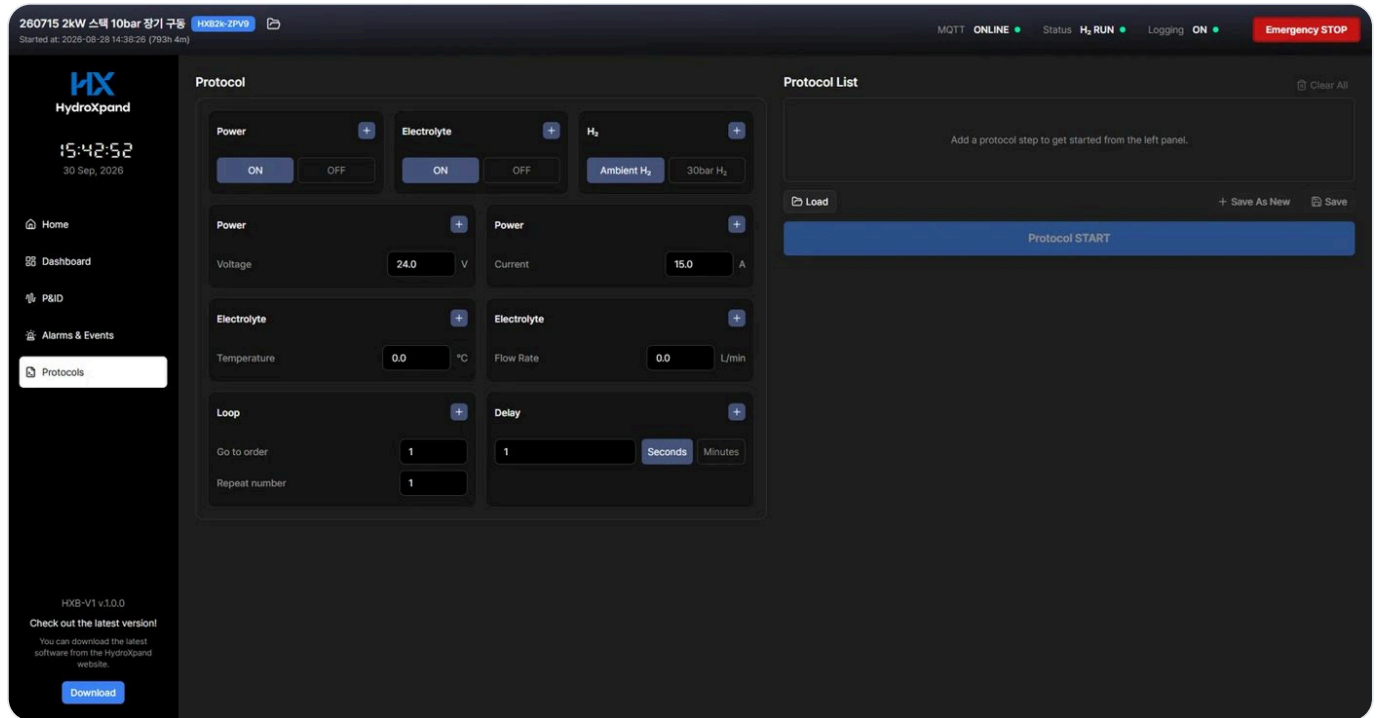
### 비상정지를 Modbus 명령으로 구성하지 마십시오.

- 네트워크를 거치는 명령은 케이블 단선이나 스위치 고장 때 전달을 보장할 수 없습니다. 장비에는 비상정지 버튼이나 외부 비상정지 입력 단자가 없고, 수동 비상정지는 제어 앱의 Emergency STOP 뿐입니다. 현장 비상정지는 장비 전원을 끄는 외부 차단 회로로 구성하시고, Modbus 로는 비상정지 상태를 읽기만 하십시오.
- Modbus 에는 인증이 없습니다. 제어 계통은 사무용 네트워크와 분리된 별도 네트워크에 두십시오.

## 프로토콜과 데이터 기록

### 프로토콜

상승·유지 시험이나 장시간 운전처럼 반복되는 시퀀스에 씁니다. 위에서 아래로 실행되는 순서 목록이고, 전해질 제어와 전원 제어의 켜기·끄기와 설정값, 대기 시간, 구간 반복을 넣을 수 있습니다.



프로토콜 화면. 위에서 아래로 실행되는 단계 목록입니다.

#### 알림

**프로토콜은 장비 상태를 자동으로 바꿉니다. 실행 중에는 장비를 지켜보십시오.**

## 자동 기록과 내보내기

- PC 가 연결되어 있고 Logging 이 ON 이면 운전 데이터가 계속 기록됩니다.
- Project Manager 에서 운전 건을 정리하고 기록을 내보냅니다.
- 내보내기는 대상 프로젝트를 고른 뒤 프로젝트 옵션 메뉴에서 실행하며 csv 로 받습니다.

## 06 제어 앱

HXB-V1 · 갱신 2026-09-30

HXB-V1은 데스크톱 앱 HXB HMI로 운전합니다. 이 장은 앱을 화면별로 정리한 참고 자료입니다. 설치와 연결, 프로젝트, 각 화면에서 확인하고 조작할 사항, 알람과 이벤트 표를 읽는 법, 프로토콜, 그리고 기록을 내보내는 법을 다룹니다.

기동과 정지 순서는 「운전과 제어」장에, 알람 하나하나의 뜻과 조치는 「문제 해결」장에 있습니다. 이 장에는 해당 절로 이동하는 링크도 있습니다.

앱 데스크톱 앱 HXB HMI    연결 랜 케이블로 PC와 직접    기록 자동 기록 · csv로 내보내기

이 장을 읽는 방법

### 처음이신 분

설치와 연결, 프로젝트 절의 절차를 먼저 수행하십시오. 두 절의 절차가 끝나야 장비가 앱에 보입니다. 나머지는 화면을 보면서 찾아보는 참고 자료입니다.

### 해보신 분

화면 구성 표에서 지금 보고 계신 화면을 찾으십시오. 알람이 떠 있다면 알람과 이벤트 절로 가십시오.

## 설치와 연결

앱    장비와 함께 전달합니다. 최신 버전이 필요하시면 문의해 주십시오.

PC 네트워크    고정 IP로 설정합니다. IP 주소 192.168.121.4, 서브넷 마스크 255.255.255.0입니다. 모든 HXB-V1에 같은 주소이고, 여러 대를 PC 한 대로 쓰시려면 주문할 때 알려 주십시오. 장비마다 다른 고정 IP를 넣어 출고하고 주소 목록을 드립니다.

케이블    랜 케이블로 PC와 장비를 직접 연결합니다.

작업 해설

### 그 랜 포트는 장비 전용이 됩니다.

- 같은 포트에 사내망이나 인터넷은 안 됩니다. 둘을 같이 쓰셔야 하면 USB 이더넷 어댑터를 하나 더 꽂아 포트를 두 개로 만드십시오.

 알림

### PLC나 SCADA로 통합하시면 제어 앱은 쓰지 않습니다.

- 장비의 랜 포트는 하나이고 그 자리를 PLC가 씁니다. 화면 표시와 기록은 SCADA 쪽에서 하셔야 합니다.

## 프로젝트

앱을 열면 Project Manager 가 먼저 나옵니다. 운전 기록은 프로젝트 단위로 쌓이고, 내보내기도 프로젝트 단위로 합니다. 시험이나 운전 건마다 프로젝트를 나눠 두시면 나중에 찾기 쉽습니다.

1

New Project 를 누릅니다.

2

프로젝트 정보를 입력합니다.

- 프로젝트 이름과 설명(선택)
- Device ID. 장비 후면 라벨에 인쇄된 값을 그대로 넣습니다

3

Create 를 누르고, 목록에서 그 프로젝트의 Start 를 누릅니다.

4

상단 바에서 연결과 기록을 확인합니다.

- MQTT 가 ONLINE 이면 앱이 장비에 연결된 것입니다.
- Logging 이 ON 이어야 운전 데이터가 기록됩니다.

 알림

**Logging 이 OFF 인 채로 운전하지 마십시오.**

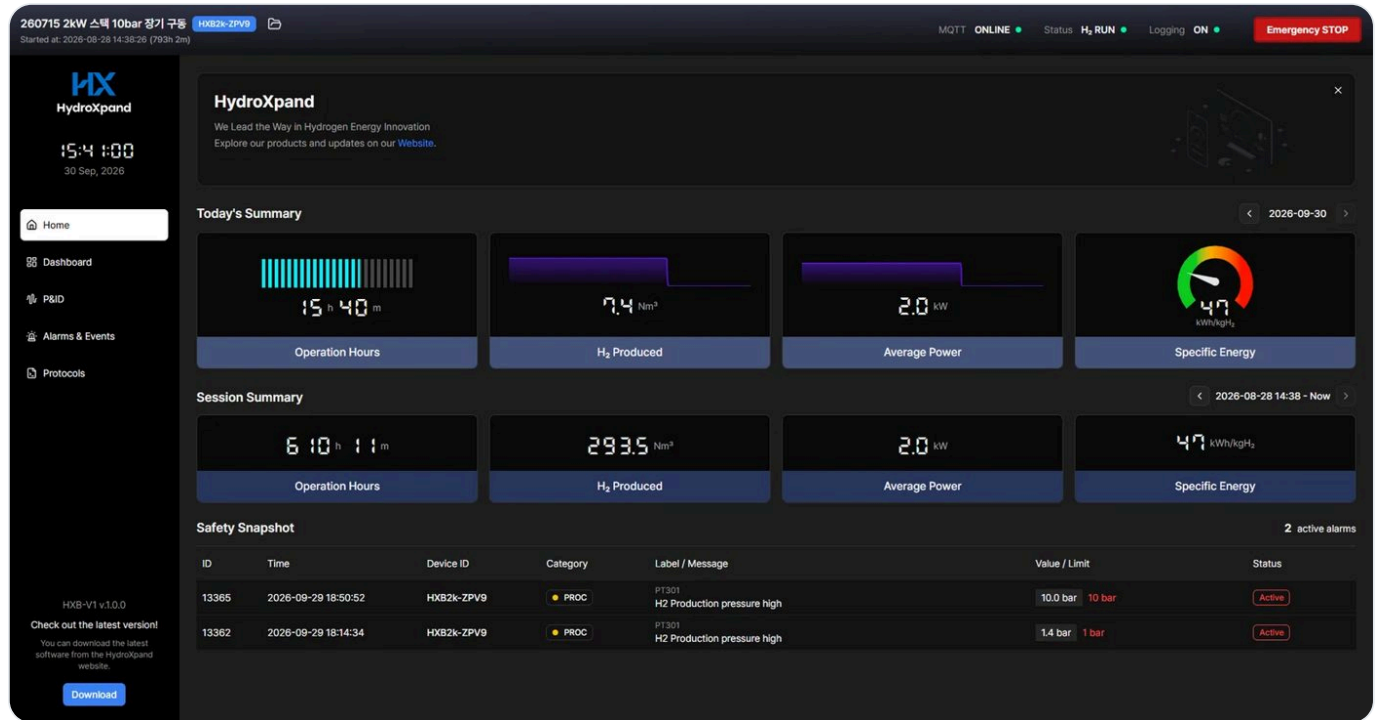
- 기록이 없으면 문제가 생겼을 때 원인을 되짚을 수 없습니다. 문의하실 때도 저희가 가장 먼저 요청드리는 것이 이 기록입니다.

## 화면 구성

탭은 왼쪽 메뉴에 작업 순서대로 배치되어 있습니다. 실제 조작은 P&ID 화면에서 하고, 나머지 화면에서는 정보를 확인합니다.

| 화면        | 무엇이 있나                                                                       | 언제 보나              |
|-----------|------------------------------------------------------------------------------|--------------------|
| Home      | 그날과 이번 세션의 요약(운전 시간, 수소 생산량, 평균 전력, 비에너지)과 Safety Snapshot(최근 알람 목록)         | 기동 전에 안전 상태를 확인할 때 |
| Dashboard | 스택 전압·전류, 전해질 온도, 수소 생산량, 수소 압력의 추이 그래프. 표시 구간을 초·분·시간·일로 바꿀 수 있습니다          | 운전 중 안정성과 성능을 볼 때  |
| P&ID      | 탱크와 순환 경로, 스택 그림 위에 센서 값이 표시되고, Electrolyte Control 과 Power Control 패널이 있습니다 | 설정값을 넣고 기동·정지할 때   |

|                 |                    |                           |
|-----------------|--------------------|---------------------------|
| 화면              | 무엇이 있나             | 언제 보나                     |
| Alarms & Events | 알람 표와 이벤트(명령 이력) 표 | 알람이 떴을 때, 명령이 들어갔는지 확인할 때 |
| Protocols       | 반복 시험용 자동 시퀀스      | 같은 시험을 되풀이할 때             |



홈 화면. 사내 장기 운전 장비에서 2026-09-30 에 캡처했습니다. 앱의 비에너지는 스택 전력 기준입니다.

## 상단 바

|                |                              |
|----------------|------------------------------|
| MQTT           | 앱이 장비에 연결됐는지. ONLINE 이어야 합니다 |
| Status         | 운전 중인지 정지 상태인지               |
| Logging        | 기록 상태. ON 이어야 합니다            |
| Emergency STOP | 즉시 정지. 해제할 때도 이 버튼을 한 번 누릅니다 |

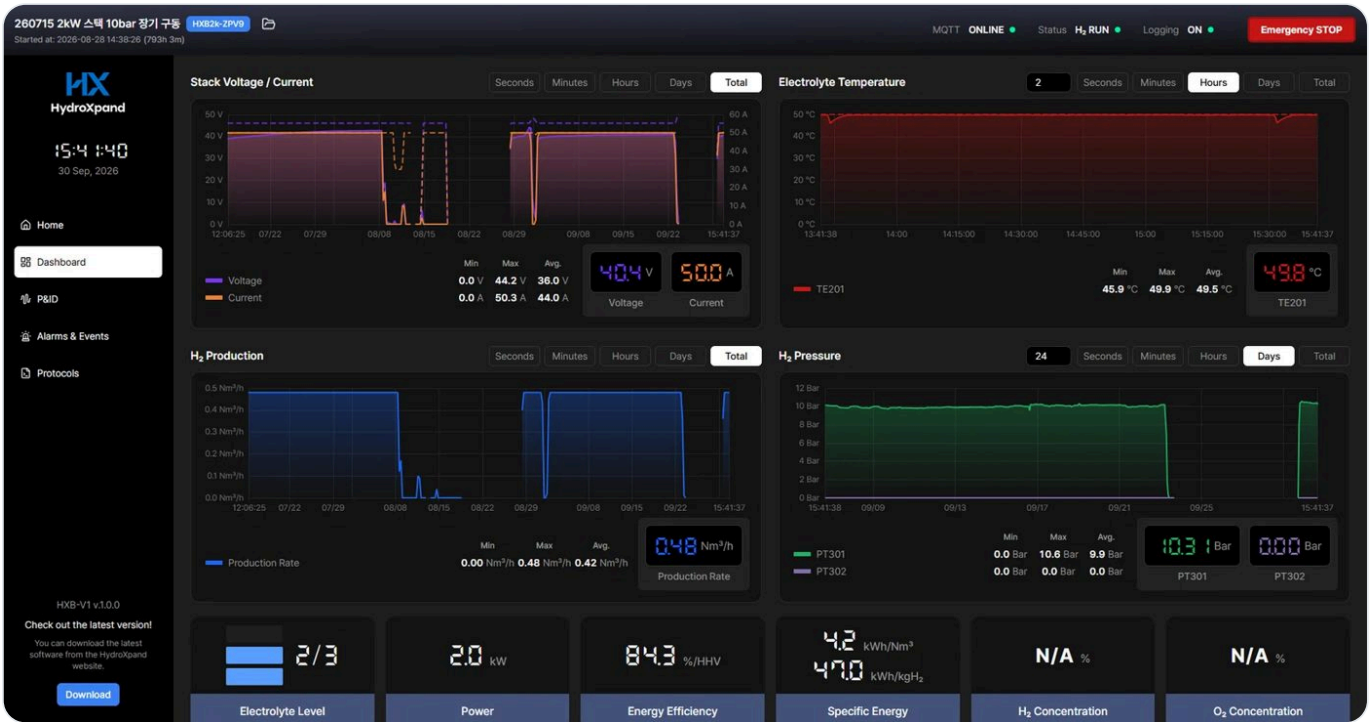
### 알림

앱 버전에 따라 메뉴 이름과 화면 배치가 조금 다를 수 있습니다.

- 앱 버전은 왼쪽 메뉴 아래에 표시됩니다. 문의하실 때 그 버전을 함께 알려 주십시오.

## 운전하는 곳: P&ID 와 Dashboard

기동은 P&ID 에서 Electrolyte Control 을 먼저 켜고, 순환과 온도가 안정된 뒤 Power Control 을 켜는 순서입니다. 정지는 그 반대입니다. 각 패널에서 목표값을 넣고 Apply 를 눌러야 적용됩니다.



대시보드. 값 하나가 아니라 추이를 보는 화면입니다. 압의 비에너지와 효율은 스택 전력 기준이고, 시스템 기준 값은 사양표에 있습니다.

- 스택 전압과 전류가 설정값에 반응하고 안정한지 봅니다.
- 전해질 수위가 정상 범위에 머무는지 봅니다.
- 전해질 유량이 설정값 근처에서 안정한지 봅니다.
- 전해질 온도가 설정값에 가까워지다가 안정되는지 봅니다.

작업 해설

### 표시 구간을 바꿔 가며 보십시오.

- 짧은 구간은 틱과 흔들림을, 긴 구간은 서서히 오르는 전압 같은 추이를 보여 줍니다. 같은 그래프라도 구간에 따라 보이는 것이 다릅니다.

## 알람과 이벤트 표 읽기

Alarms & Events 화면에 표가 둘 있습니다. Alarms 는 조치가 필요한 비정상 상태이고, Events 는 명령과 동작의 이력입니다. 새 로고침 아이콘으로 표를 갱신합니다.

| 알람 열 | 뜻        |
|------|----------|
| ID   | 알람 번호    |
| Time | 알람이 난 시각 |

| 알람 열          | 뜻                                              |
|---------------|------------------------------------------------|
| Category      | 어디서 왔나. SAF 안전, PROC 공정, EQUIP 설비·구동부, COMM 통신 |
| Label         | 알람을 낸 센서나 부품의 이름표. P&ID 화면의 이름표와 같습니다          |
| Message       | 무엇이 비정상인지                                      |
| Value / Limit | 실제 값과 알람 한계값                                   |
| Status        | 지금도 활성인지, 해소됐는지                                |

| 이벤트 열  | 뜻             |
|--------|---------------|
| ID     | 이벤트 번호        |
| Time   | 기록된 시각        |
| Type   | 이벤트 종류        |
| Action | 기록된 명령이나 동작   |
| Status | 그 명령이나 동작의 결과 |

#### 알림

**Clear All 은 원인이 해소된 뒤에만 쓰십시오.**

- 원인을 모른 채 지우면 같은 알람이 다시 났을 때 처음인지 반복인지 가리기 어렵습니다. 지우기 전에 알람 행을 그대로 적어 두십시오.

#### 작업 해설

**명령이 실행됐는지는 이벤트 표에서 확인합니다.**

- Apply 를 눌렀는데 값이 바뀌지 않은 것 같으면 이벤트 표에서 그 명령이 기록됐는지, 결과가 무엇인지 보십시오.

## 프로토콜

상승·유지 시험이나 장시간 운전처럼 반복되는 시퀀스에 씁니다. 위에서 아래로 실행되는 단계 목록이고, 넣을 수 있는 단계는 네 가지입니다.

|                     |                  |
|---------------------|------------------|
| Electrolyte Control | 켜기·끄기와 온도·유량 설정값 |
| Power Control       | 켜기·끄기와 전압·전류 설정값 |

---

Delay 대기 시간

---

Loop 구간 반복

**i** 알림

**프로토콜은 장비 상태를 자동으로 바꿉니다. 실행 중에는 장비를 지켜보십시오.**

- 프로토콜에서도 기동 순서를 지키십시오. 전해질 제어를 켜는 단계가 전원 제어를 켜는 단계보다 앞에 와야 합니다. 안전이 위협되면 Emergency STOP 을 누르십시오.

---

## 기록 내보내기

PC 가 연결돼 있고 Logging 이 ON 이면 운전 데이터가 계속 기록됩니다. 기록은 프로젝트에 쌓이고 csv 로 내보냅니다.

**1** Project Manager 를 엽니다.

---

**2** 내보낼 프로젝트를 고릅니다.

---

**3** 프로젝트 옵션 메뉴(...)에서 내보내기를 실행하고 csv 파일을 받습니다.

---

---

### 작업 해설

**문의하실 때는 csv 를 그대로 보내 주십시오.**

- 잘라 내거나 평균을 내지 마십시오. 사건 전후가 함께 있어야 원인을 찾을 수 있습니다. 알람 행과 앱 버전도 함께 보내 주시면 회신이 빨라집니다.

## 07 유지보수

HXB-V1 · 갱신 2026-09-30

무엇을 얼마나 자주 보는지, 전해질을 언제 갈아야 하는지, 전압이 오르는 것이 정상인지 아닌지를 다룹니다. 해체와 보관은 별도 장에서 다룹니다.

일상 점검 누설 · 소리 · 냄새 · 값 전해질 교체 고정 주기 없음 · 상태 기준 스택 정비 반송 후 MEA 만 교체

이 장을 읽는 방법

**처음이신 분**

일상·주간·월간 점검 세 목록만 먼저 보시고 현장 점검표로 옮기십시오. 성능 추이 읽기는 몇 달 뒤에 필요해집니다.

**해보신 분**

성능 추이 읽기와 전해질 교체 판단으로 바로 가십시오.

### 주기는 지침이지 규칙이 아닙니다

**i** 알림

**실제 주기는 현장마다 다릅니다.**

- 운전 시간, 부하 패턴, 주위 조건, 전해질 품질, 시험 계획에 따라 달라집니다. 연구용으로 가혹하게 운전하신다면 더 자주 점검하셔야 합니다.
- 아래 목록은 출발점입니다. 몇 달 돌려 보시고 현장에 맞게 조정하십시오.

**⚠ 경고**

**정비 전에는 작업에 맞게 멈추십시오.**

- 배선·덮개·전기부를 만질 때: 전기분해를 멈추고(전류 0 A, Power Control OFF) 상용 전원에서 분리한 뒤 만지십시오.
- 전해질을 빼고 넣을 때: 주전원은 그대로 두고 Electrolyte Control 만 끈 뒤 「교체 순서」를 따르십시오. 전해질이 약 50 °C 일 수 있습니다.
- 수소 쪽 배관을 열 때: 제어 앱에서 수소 압력(PT301-PT302)이 0 인 것을 확인한 뒤 여십시오.

### 점검 목록

#### 매일 또는 교대마다

- 배관과 피팅, 전면 연결부에 새거나 젖은 자국이 없는지 봅니다.
- 장비 바닥과 아래쪽이 젖어 있거나 흰 결정이 생기지 않았는지 봅니다. 보이면 운전을 멈추고 새는 곳을 찾으십시오. 새어 나온 전해질이 마르면 남은 KOH 가 전기가 흐르는 길이 되어 주변 부품을 녹일 수 있습니다.
- 평소와 다른 소리, 진동, 냄새가 없는지 봅니다. 팬이 돌기 때문에 운전 중 소리와 진동은 늘 있습니다. 평소와 달라졌는지를 보십시오.

- 전면 LED 와 제어 앱이 정상이고 심각한 알람이 없는지 봅니다.
- 스택 전류와 전압이 설정값에 맞는지 봅니다.
- 전해질 수위와 유량, 온도가 정상 범위인지 봅니다.
- 방출 구역이 비어 있고 환기가 되는지, 근처에 점화원이 없는지 봅니다.

### 매주

- 같은 운전점에서 스택 전압이 어떻게 변해 왔는지 기록을 봅니다.
- 전해질 수위와 유량, 온도가 안정적이었는지 봅니다.
- 반복해서 뜨는 알람이 있는지, 어떤 패턴인지 봅니다.
- 호스와 피팅의 마모, 변색, 결정 잔여물, 미세한 누액을 살핍니다.
- 케이블 배선과 커넥터의 쓸림, 헐거움, 과열 흔적을 살핍니다.
- 배관 지지대가 피팅과 포트에 하중을 주지 않는지 확인합니다.

### 매월

- 전해질의 변색이나 고형물을 확인합니다.
- 벤트와 배수 경로에 막힘, 부식, 염 석출이 없는지 보고 필요하면 청소합니다.
- 환기구와 주변을 청소해 먼지가 쌓이지 않게 합니다.
- 정비 기록을 갱신합니다. 운전 시간, 전해질 교체 날짜, 알람, 관찰 내용, 조치입니다.

### 정비 기록표

운전 데이터는 장비가 남기지만, 전해질 농도와 교체, 사용한 물, 누액, 직접 취한 조치는 남지 않습니다. 아래 칸에 적어 두시면 문제가 생겼을 때 원인의 범위를 빨리 좁힐 수 있습니다. 점검할 때마다 한 줄씩 쓰십시오.

| 칸        | 적을 것                         | 예                        |
|----------|------------------------------|--------------------------|
| 날짜       | 점검한 날                        | 2026-10-05               |
| 누적 운전 시간 | 제어 앱 Home 의 값                | 312 h                    |
| 운전 조건    | 전류, 전해질 온도, 압력               | 50 A · 50 °C · 10 barg   |
| 스택 전압    | 같은 운전 조건에서 잔 값. 추이를 보려는 칸입니다 | 41.2 V                   |
| 전해질      | 교체했는지, 전도도(25 °C), 색과 거품     | 교체 안 함 · 21.4 mS/cm · 맑음 |
| 급수       | 수질(전도도)과 통을 채운 날             | 0.8 µS/cm · 보충함          |

| 칸     | 적을 것                       | 예                           |
|-------|----------------------------|-----------------------------|
| 누액·결정 | 장비 바닥, 포트와 피팅, 벤트 끝        | 없음                          |
| 알람    | 지난 점검 뒤에 뜬 알람과 횟수          | Electrolyte flowrate low 1회 |
| 조치    | 청소, 부품 교체, 설정 변경처럼 손으로 한 일 | 팬 필터 청소                     |
| 확인자   | 점검한 사람                     | (서명)                        |

작업 해설

## 문의하실 때 이 기록을 함께 보내 주십시오

- 특히 전해질 농도와 교체 날짜, 급수 수질은 장비 기록에 없어서 저희가 따로 알 방법이 없습니다.

## 전해질 교체

**i** 알림

### 고정 교체 주기를 두지 않습니다.

- 운전 중 소모되는 것은 물이고 KOH 자체는 소모되지 않습니다. 그래서 달력이 아니라 상태와 성능 추이를 보고 교체합니다.
- 변색이나 고형물이 보일 때, 같은 조건에서 전압 추이가 달라졌을 때, 희석이나 농축이 의심될 때가 교체 시점입니다.

## 가장 좋은 방법: 전도도를 주기적으로 재기

KOH 농도가 떨어지면 전해질 전도도도 함께 떨어집니다. 그래서 전도도를 주기적으로 재면 전압이 오르기 전에 전해질 상태를 알 수 있습니다. 전도도계 하나면 됩니다.

**언제 재나** 새 전해질을 넣은 직후 한 번 재서 기준값으로 적어 두십시오. 그 뒤로는 매월 한 번, 늘 같은 때 잽니다. 급수 보충이 막 끝난 직후가 좋습니다. 보충과 보충 사이에는 물이 줄면서 전해질이 진해지므로, 아무 때나 재면 같은 전해질도 값이 크게 달라집니다.

**어떻게 재나** 전기분해를 멈추고 식힌 뒤, 보호구를 갖추고 DRAIN 포트에서 소량을 알칼리에 견디는 용기로 받습니다. 온도 보상 기능이 있는 전도도계로 25 °C 기준값을 읽으십시오. 온도가 다르면 같은 전해질도 다른 값이 나옵니다.

**참고값** 0.1 M KOH 는 25 °C 에서 약 20–23 mS/cm 입니다. 절대값으로 판단하기보다 처음 잰 기준값과 비교하는 것이 정확합니다.

## 기준값의 절반 아래로 떨어졌다

전해질을 교체하고 원인을 찾으십시오. 가장 흔한 원인은 전해질이 막을 통과해 수소 쪽으로 넘어가는 것입니다. H2 OUT 물방울에 pH 시험지를 대 보아 알칼리성을 나타내면 이 경우입니다. 장비 바닥이나 스택 둘레가 젖었거나 흰 결정이 있으면 밖으로 새는 것입니다. 자세한 것은 아래 「전해질이 빠져나가는 길」을 보십시오. 원인을 그대로 두면 새 전해질도 같은 길로 빠집니다. 사내 농도 시험(2 kW 스택, 50 A)에서는 농도가 절반이 되면 스택 전압이 약 1 V(약 2.5%) 올랐습니다.

## 그보다 위

그대로 운전하고 다음 달에 다시 잹니다. 다만 달마다 계속 내려간다면 KOH 가 어딘가로 빠져나가고 있는 것입니다. 절반에 이르기 전이라도 아래 「전해질이 빠져나가는 길」을 점검하십시오.

## 물 보충이 평소보다 잦아졌다

전해질이 빠져나가기 시작했다는 신호입니다. 빠진 만큼 보충 펌프가 물로 채우기 때문에 보충이 잦아지고, 그 결과 전도도가 조금씩 내려갑니다. 전도도가 절반까지 떨어지기 전에 먼저 보이므로, 이때 바로 H2 OUT 물방울의 pH 와 장비 바닥·스택 둘레를 확인하고 문의해 주십시오.

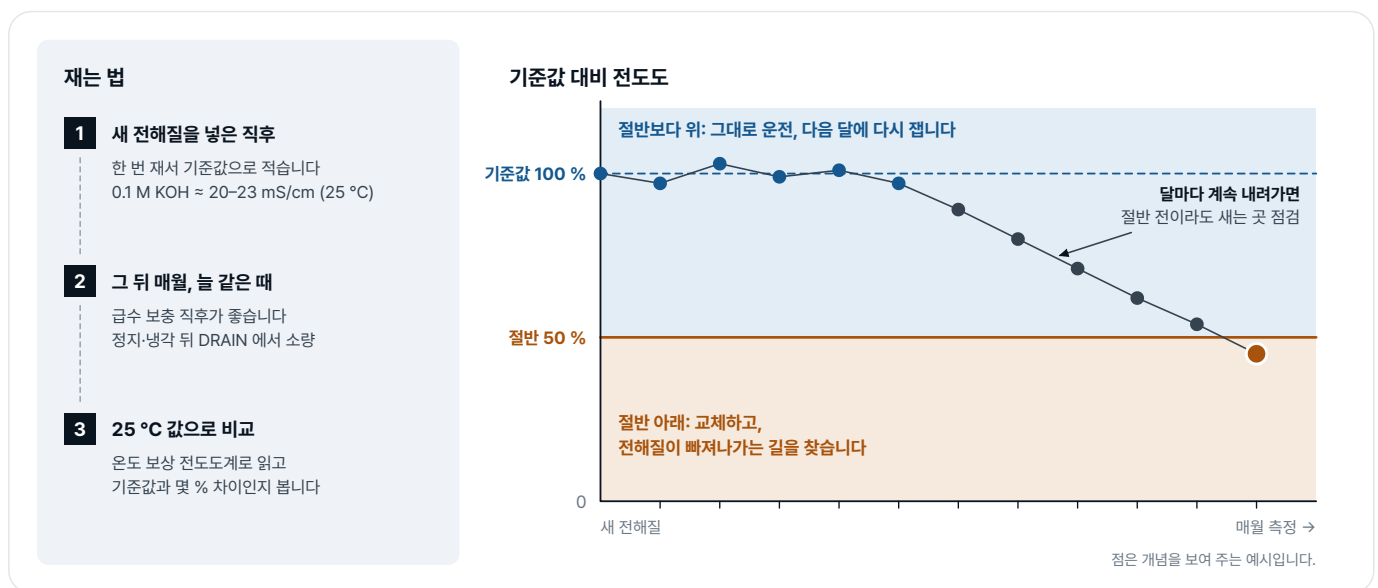


그림 7-1 전도도로 교체 시점 판단. 절대값보다 처음 잹 기준값과의 차이를 봅니다. 그래프의 점은 예시입니다.

## 전도도를 잹 수 없을 때

아래 중 하나라도 보이면 교체하십시오. 전도도를 재는 것보다 늦게 알게 되므로, 가능하면 전도도계를 갖추시기를 권합니다.

### 같은 조건인데 전압이 서서히 오른다

전해질 농도가 떨어졌을 수 있습니다. 스택이 나빠진 것처럼 보이지만 전해질만 바뀌도 전압이 돌아오는 경우가 많습니다. 스택을 의심하기 전에 농도부터 재십시오.

### 보충 간격이나 수위가 평소와 다르다

같은 운전 조건인데 보충이 평소보다 잦거나 드물어졌다면, 전해질이 어딘가로 빠져나가고 있거나 물이 모자란 것입니다. 정비 기록표의 보충 기록과 비교하십시오.

### H2 OUT 물기의 알칼리성 반응

안정된 운전 중에 H2 OUT 에서 나오는 물기에 pH 시험지를 대 보십시오. 알칼리성을 나타내면 전해질이 수소 쪽으로 넘어가고 있습니다. 교체하고 문의해 주십시오.

### 오래 쉬었다가 다시 돌린다

쉬는 동안 공기 중 이산화탄소가 녹아 들어 전해질이 약해질 수 있습니다. 잹 수 없다면 다시 돌리기 전에 교체하십시오.

|                    |                                                                                       |
|--------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| 거품이 많이 생긴다         | 거품과 함께 전해질이 O2 OUT 으로 실려 나가 농도와 수위가 함께 흔들립니다. 교체하고 거품이 다시 생기는지 지켜보십시오. 계속되면 문의해 주십시오. |
| 변색되거나 고형물이 보인다     | 오염되었거나 부품이 녹아 나온 것입니다. 교체하고, 뺀 전해질의 사진을 남겨 문의해 주십시오.                                  |
| 누액을 고친 뒤, 부품을 바꾼 뒤 | 새는 동안 KOH 가 빠져나가고 그 자리를 보충수가 채워 농도가 낮아져 있습니다. 수리가 끝나면 전량 교체하십시오.                      |

## 교체 순서

새 0.1 M KOH 수용액 약 5 L(시작하기 장과 같은 방법으로 만듭니다), 뺀 전해질을 받을 내알칼리 용기, DRAIN 에 끼울 1/4" 튜빙, 보안경과 내알칼리 장갑을 준비합니다.



**경고**

**운전 직후의 전해질은 약 50 °C 의 뜨거운 알칼리액이라 닿으면 화상을 입습니다.**

- 보호구를 갖추고, DRAIN 아래에 받는 용기를 먼저 받쳐 둔 뒤에 캡을 푸십시오. 캡을 푸는 순간 흘러나옵니다.
- 급하지 않으면 식힌 뒤에 빼십시오. 전원 제어만 끄고 전해질 제어를 켜 둔 채 순환시키면 빨리 식습니다.

**1**

**전기분해를 멈춥니다.**

- Power Control 을 OFF 로 하고 전류가 0 A 로 떨어진 것을 확인합니다.

**2**

**Electrolyte Control 을 OFF 로 합니다.**

- 켜 둔 채 빼면 수위가 내려가는 대로 보충 펌프가 H2O IN 쪽에서 물을 다시 끌어옵니다.
- 주전원은 그대로 두어도 됩니다. DRAIN 은 전해질 루프에만 이어져 있습니다.

**3**

**DRAIN 아래에 용기를 받치고 캡을 푼 뒤, 1/4" 튜빙을 끝까지 넣고 너트를 조여 용기로 이어 줍니다.**

- DRAIN 은 다른 포트와 같은 1/4" 더블 페룰 피팅이고 밸브가 없습니다. 캡을 푸는 순간 바로 흐르므로 튜빙과 너트를 손에 들고 시작하십시오.

**4**

**흐름이 멎을 때까지 뺍니다.**

- 스택과 배관에 잔액이 조금 남는 것은 정상입니다.
- **안 되면** 흐름이 중간에 끊기면 튜빙이 꺾였는지, 끝까지 들어갔는지 보십시오.

5

튜브를 풀어 빼고 DRAIN 캡을 다시 조입니다.

6

새 전해질을 채우고 프라이밍합니다. 시작하기 장 「전해질 충전과 프라이밍」과 같습니다.

- H<sub>2</sub>O IN 배관 끝을 새 전해질 통에 담그고, 유량 0·실온으로 Electrolyte Control 을 ON 으로 합니다. 탱크가 3분의 2 까지 차면 유량을 4 L/min 으로 넣고, 가득 차면 H<sub>2</sub>O IN 배관을 정제수 통으로 옮깁니다.
- 빼낸 전해질을 다시 넣거나 새 것과 섞지 마십시오.

7

DRAIN 과 전면 포트 주변에 누설이 없는지 봅니다.

- **확인** 포트와 피팅 주변이 말라 있습니다.
- **안 되면** 새면 Electrolyte Control 을 끄고 그 피팅을 다시 조인 뒤 다시 확인하십시오.

8

새 기준값을 잽니다.

- 새 전해질을 넣은 직후의 전도도가 다음 교체를 판단할 기준값입니다(위 그림 7-1 의 1).

9

기록합니다.

- 교체 날짜, 빼낸 전해질의 상태(색, 고형물), 새 기준값을 전해질 기록지에 적습니다.

빼낸 전해질은 하수구에 버리지 말고 현장의 화학 폐기물 절차에 따라 처리하십시오.

## 전해질이 빠져나가는 길

정상이라면 KOH 는 줄지 않습니다. 그런데도 농도가 떨어진다면 KOH 가 어딘가로 빠져나가고, 줄어든 만큼을 보충 펌프가 순수한 물로 채우고 있는 것입니다. 빠져나가는 길은 셋입니다.

어디로

어떻게 알 수 있나

스택에서 밖으로

셀 사이 실링이 샐니다. 스택 둘레나 장비 바닥이 젖거나 흰 결정이 생깁니다. 누설이 작으면 누액 센서에 걸리지 않고 농도만 조금씩 떨어질 수 있습니다.

스택 안에서 수소 쪽으로

전해질이 막을 넘어 산소 쪽(애노드)에서 수소 쪽(캐소드)으로 건너가 수소와 함께 나옵니다. H<sub>2</sub> OUT 에서 나오는 물기에 pH 시험지를 대 보면 알칼리성을 나타냅니다. 가압 운전 뒤 압력을 급히 빼면 잠시 알칼리가 나올 수 있으므로 안정된 운전 중에 확인하십시오.

전해질 탱크에서

탱크 가스켓이나 접합부, 연결 피팅이 샐니다. 장비 바닥이 젖거나 전해질 누설 알람이 뜹니다. 탱크는 함체 안에 있으므로 자격을 갖추지 않았다면 함체를 열지 말고 문의해 주십시오.

어느 경우든 교체만 반복하지 말고 문의해 주십시오. 스택에서 새는 경우는 스택 서비스 대상입니다.

#### 경고

#### 화학 화상과 부식 위험이 있습니다.

- 「안전」 장의 전해질 절과 보호구 절, 그리고 SDS 를 따르십시오. 밀폐형 고글과 내알칼리 장갑이 필요합니다.
- 받아 낸 전해질은 전해질과 화학적으로 적합한 재질의 용기에 담고 규정에 따라 폐기하십시오.
- 눈에 튀면 시력을 잃을 수 있습니다.

## 세척

### 바깥면

- 깨끗한 물을 적신 천으로 닦습니다. 액체를 장비에 직접 뿌리지 마십시오.
- 필요하면 도장면과 금속면에만 에탄올을 쓰되 천에 묻혀 쓰고 라벨과 이음매는 피하십시오.
- 흰 결정으로 보이는 KOH 잔여물은 물을 적신 천으로 녹여 닦고 다시 물로 닦습니다.
- 운전 중에는 청소하지 마십시오. 환기구, 커넥터, 전면 유체 연결부 근처를 닦으실 때는 반드시 먼저 멈추십시오.

### 안쪽

#### 위험

#### 덮개 안에는 상용 교류와 대전류 직류가 흐르므로 감전되면 사망할 수 있습니다.

- 정상 정지 후 상용 전원을 분리하고, 식은 것을 확인한 뒤에 덮개를 여십시오.
- 안쪽에서 누설, 부식, 전기 부품 오염이 심하게 보이면 재기동하지 말고 문의해 주십시오.
- 안쪽 청소는 자격을 갖춘 사람이, 완전히 무전압인 상태에서만 합니다.

## 성능 추이 읽기

스택 전압은 시간이 지나면 조금씩 오릅니다. 전극과 막의 열화, 그리고 운전 이력 때문입니다. 문제는 오르는 것 자체가 아니라 어떻게 오르느냐입니다.

#### 작업 해설

#### 같은 조건끼리만 비교하십시오

- 전류 설정값이 같고 온도와 압력이 비슷한 시점끼리 비교해야 의미가 있습니다. 조건이 다르면 같은 스택도 전압이 달라집니다.
- 그래서 고정 운전점 한두 개를 정해 두고 주기적으로 그 점의 전압만 기록하시는 편이 좋습니다.

정상일 수 있는 것

오랜 시간에 걸쳐 천천히, 꾸준히 오르는 것

---

## 확인이 필요한 것

정전류인데 전압이 계단처럼 뛰는 것, 짧은 시간에 크게 오르거나 내리는 것, 특히 스택이나 전해질 온도가 함께 오르는 경우, 정전류인데 전압이 크게 흔들리는 것

## 이상해 보이면 바깥부터 봅니다

- 전해질 상태와 농도가 변했는지
- 정제수 수질과 오염원
- 전해질 유량과 온도가 안정적인지, 냉각이 되고 있는지
- 수소와 산소 배관의 경로, 배압, 기체가 갇히는 곳
- 센서와 분석기, 배선과 접속 상태

여기까지 확인하고도 계속되면 운전 이력과 기록한 추이를 함께 보내 문의해 주십시오.

---

### 기술 배경

## 전압이 오르는 이유는 여러 갈래입니다

- 저항이 커지는 쪽입니다. 막과 이오노머의 전도도 저하, 전극 전도도 저하, 계면 접촉저항 증가입니다.
- 반응이 느려지는 쪽입니다. 촉매 활성 저하, 촉매 탈리나 응집, 표면 산화와 재구성입니다.
- 물질 전달이 막히는 쪽입니다. 기체·액체 전달 제한, 막힘이나 젖음 불량, 기포 배출 문제입니다.
- 전해질 쪽 원인입니다. 급수 보충 불균형으로 농도가 변하거나, 이산화탄소가 들어와 탄산염이 생기거나, 불순물이 섞이는 경우입니다.
- 추이를 계속 보시는 이유가 이것입니다. 정상적인 완만한 열화와 조건이 어긋나서 생긴 이상을 구분할 수 있습니다.

---

## 해체와 보관

## 08 전·후단 구성

HXB-V1 · 갱신 2026-09-30

장비로 들어가는 것(전단)과 수소가 H2 OUT 을 나온 뒤(후단)가 이 장입니다. 전단은 정제수·전해질·전원·제어 PC 이고, 후단은 출구에서 무엇이 어떤 상태로 나오는지, 사용처에 맞춰 무엇을 쌓는지, 그리고 붙이실 때 장비 쪽에서 반드시 지켜야 하는 것을 다룹니다.

건조와 정제에 어떤 층이 있고 각 층이 무엇을 하는지, 지금 조달할 수 있는 모델이 무엇인지는 부품 페이지에 정리해 두었습니다. 이 장은 HXB-V1 쪽 조건과 결정 순서만 다룹니다.

다루는 범위 장비로 들어가는 것, 그리고 H2 OUT 에서 사용처까지 읽는 시점 발주 전, 늦어도 설치 전

먼저 정할 것 사용처가 요구하는 노점·순도·압력

이 장을 읽는 방법

처음이신 분

사용처가 요구하는 조건을 숫자로 적어 두고 첫 절부터 읽으십시오. 무엇이 나오는지 먼저 보고, 그다음에 무엇을 붙일지 정하는 순서입니다.

해보신 분

「배압을 만들지 마십시오」와 「무엇을 어디서 재는가」 두 절만 확인하십시오. 후단을 바꾸실 때 걸리는 것이 대개 그 둘입니다.

### 장비로 들어가는 것

전단은 네 가지입니다. 모두 현장에서 준비하시고, 그 밖의 전해질 순환·열 관리·전력 변환은 장비 안에 있습니다. 어디까지가 당사 공급인지는 「공급 경계」에 있습니다.

|       |                                                                                                                                    |
|-------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 정제수   | 운전 중 H2O IN 으로 자동 보충됩니다. 권장 ASTM D1193 Type II (25 °C 에서 1.0 $\mu$ S/cm 이하), 허용 상한 30 $\mu$ S/cm 이하. 실측치가 없으면 0.5–0.6 L/h 로 잡으십시오. |
| 전해질   | 첫 충전에 0.1 M KOH 약 5 L. 그 뒤로는 물만 보충하고, 교체는 전도도로 판단합니다.                                                                              |
| 전원    | 200–240 V AC · 50/60 Hz · 단상 · 2.4 kW. IEC 60320 C20 인렛(16 A)에 C19 케이블로 연결하고, 외부 차단기와 접지를 갖추십시오.                                   |
| 제어 PC | 랜 케이블로 연결해 데스크톱 앱으로 운전합니다. PLC 로 묶으실 때는 Modbus TCP를 씁니다.                                                                           |

### 출구에서 나오는 것

후단 설계는 이 값에서 시작합니다. 모두 건조기를 붙이지 않은 상태의 값입니다.

| 항목 | 값                                 | 후단에서 뜻하는 것                                                                                                                      |
|----|-----------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 유량 | 최대 500 NL/h                       | 0.5 Nm <sup>3</sup> /h, 분당 약 8.3 NL 입니다. 후단 장비 사양이 대개 이 단위로 적혀 있습니다.                                                            |
| 압력 | 0 barg 또는 10 barg                 | 주문하실 때 고르시면 그에 맞는 릴리프 밸브를 달아 출고합니다. 10 barg 장비는 운전하면 항상 10 barg 까지 올라갑니다. 35 barg 는 검증 중이며 협의 후 공급합니다. 그 위로 올리는 것은 후단 압축기 몫입니다. |
| 순도 | 0 barg 에서 98~99% · 10 barg 에서 99% | 나머지의 대부분이 수분입니다. 건조기를 붙이면 99.999% 이상입니다.                                                                                        |
| 수분 | 포화 상태                             | 식으면 배관과 저장 용기 안에서 물로 떨어집니다. 저점에 물이 고이는 것이 이 때문입니다.                                                                              |
| 포트 | 1/4인치 이중 펄스                       | H2O IN · H2 OUT · O2 OUT · H2 VENT · DRAIN 다섯 포트가 같은 규격입니다.                                                                     |

#### 작업 해설

#### 불순물의 대부분은 수분입니다.

- 스택에서 나오는 불순물은 수분과 미량 산소입니다. 질소는 스택이 만드는 것이 아니라 퍼지 가스와 배관에 남아 있던 공기에서 들어옵니다. 기동 직후와 정비 직후에 나타나고 운전 중에 늘지 않습니다.
- 그래서 98%를 99.999%로 올리는 일의 대부분이 수분을 빼는 일입니다. 산소 제거는 그 뒤에 붙는 층입니다.

#### ⚠ 경고

#### H2 VENT 와 O2 OUT 은 제품 라인이 아닙니다. 여기에 후단 설비를 달지 마십시오.

- H2 VENT 는 이상 상황에서 압력을 빼는 안전 벤트입니다. 항상 열려 있어야 하고, 밸브나 막힐 수 있는 장치를 달면 안 됩니다.
- 제품 수소는 H2 OUT 한 곳으로만 나옵니다. 세 배관을 절대 합치지 마십시오. 수소 라인과 산소 라인을 합치면 폭발 위험이 있습니다.

## 무엇부터 정하는가

후단은 몇 가지 방식 중에서 하나를 고르는 것이 아니라 요구 조건에 맞춰 층을 쌓는 것입니다. 그래서 사용처가 요구하는 것을 숫자로 먼저 정해야 몇 층까지 쌓을지가 정해집니다.

1

사용처가 요구하는 노점과 순도를 숫자로 적습니다.

- 규격서가 있으면 그 값을, 없으면 무엇에 쓰실지를 알려 주십시오. 용도만 알아도 필요한 조건을 함께 정할 수 있습니다.

2

필요한 압력을 적습니다.

- 사용점 압력과 저장 압력이 다르면 둘 다 적습니다. 이 값이 압축기가 필요한지, 그리고 장비를 0 barg 로 주문할지 10 barg 로 주문할지를 정합니다.

3

**저장할지, 만드는 대로 쓸지 정합니다.**

- 저장하시면 압축과 용기, 그리고 법규가 요구하는 과압 보호와 인허가가 따라옵니다. 만드는 대로 쓰시면 사용처가 유량 변동을 받아 줄 수 있는지를 보게 됩니다.

4

**몇 대를 붙일지 정하고 유량을 합산합니다.**

- 후단 장비는 합산 유량으로 고릅니다. 한 대는 0.5 Nm<sup>3</sup>/h 이고, 나중에 대수를 늘리실 계획이면 처음부터 그 값으로 보시는 편이 낫습니다.

5

**그다음에 층을 쌓습니다.**

- 노점만 낮추면 되는 용도는 앞쪽 한두 층에서 끝납니다. 순도를 요구하는 용도는 뒤쪽 층이 붙습니다.

| 사용처           | 대개 요구하는 것     | 붙는 구성            |
|---------------|---------------|------------------|
| 배관과 저장의 응축 방지 | 노점만           | 수분만 낮추는 앞쪽 한두 층  |
| 공정 공급과 분석용    | 수분을 ppm 수준까지  | 건조               |
| 연료전지와 수소 충전   | 수분과 미량 산소 둘 다 | 건조에 산소 제거를 더한 구성 |

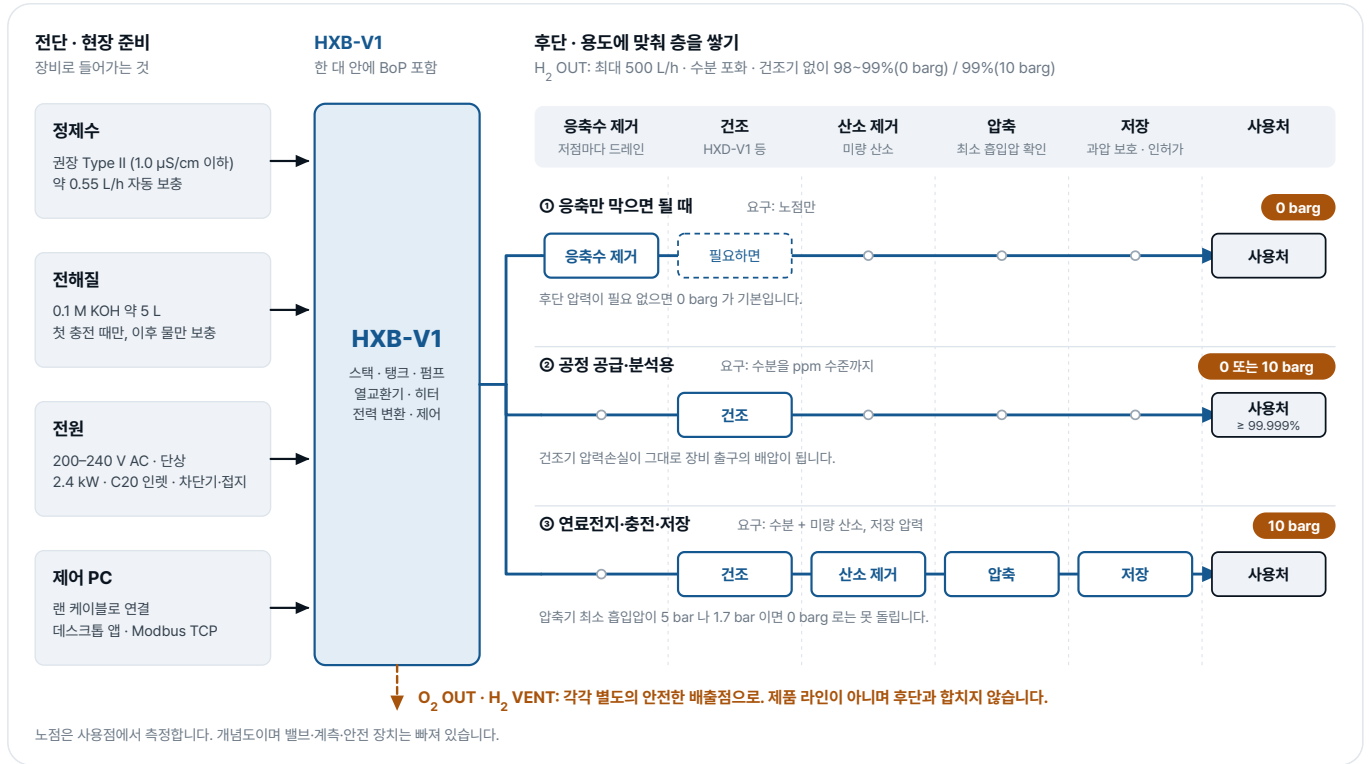


그림 8-1 전·후단 구성. 왼쪽은 장비로 들어가는 것, 오른쪽은 용도별 후단입니다. 출구 압력은 주문 때 고릅니다. 개념도이며 밸브·계측·안전 장치는 빠져 있습니다. 각 층의 조달 가능한 모델은 부품 페이지에 있습니다.

#### 알림

#### 노점과 순도를 바꿔 쓰면 규격을 잘못 잡습니다.

- 99.999%는 수분과 산소, 질소를 합친 총 불순물이 10 ppmv 이하라는 뜻입니다. 노점은 그중 수분만 말합니다.
- 대기압 기준으로 노점 -60 °C 는 수분만으로 이미 10 ppmv 를 넘습니다. 산소를 완전히 없애도 99.999%에 닿지 않습니다. 그 순도가 필요하시면 노점을 더 내려야 합니다.
- 노점은 압력과 함께 말합니다. 같은 -40 °C 라도 대기압 기준과 10 barg 기준은 전혀 다른 조건입니다.

## 건조와 정제를 붙이실 때

먼저 처리 유량이 문제가 됩니다. HXB-V1 한 대는 0.5 Nm<sup>3</sup>/h 입니다. 범용 산업용 수소 건조기는 대개 처리 유량이 5 Nm<sup>3</sup>/h 안팎 부터이고, 수전해 전용으로 나온 소형기도 1 Nm<sup>3</sup>/h 대 수준입니다. 이 구간에 맞는 제품이 드물어 저희가 모듈형 건조기 HXD-V1 을 만들고 있습니다.

## 확인하실 것

- 이 규모의 유량을 처리할 수 있는지. 최소 유량이 정해진 모델은 0.5 Nm<sup>3</sup>/h 에서 제대로 돌지 않습니다.
- 요구하는 흡입 압력. 0 barg 에서 도는 건조기와 가압을 전제하는 건조기가 다릅니다.
- 압력손실. 이 값이 그대로 장비 출구의 배압이 됩니다.
- 재생 방식. 압력 변동 재생 중에는 제품 가스 일부를 함께 내보냅니다. 유량이 작으면 그 손실 비중이 커집니다.
- 소모품과 교체 주기. 흡착제와 게터는 수명이 다하면 교체하는 부품입니다.
- 설치 국가의 인증 요건. 방폭 사양이 필요한 자리인지 먼저 확인하십시오.

**i** 알림

**건조기의 압력손실이 배압으로 돌아옵니다.**

- 0 barg 장비에 압력손실이 큰 건조기를 달면 장비 출구에 배압이 걸립니다. 0 barg 로 주문하실 계획이면 건조기 압력손실을 사양으로 받아 확인하십시오.

기술 배경

**여러 대를 함께 쓰실 계획이라면**

- 건조기는 대개 한 대분보다 큰 유량에서 선택지가 넓어집니다. 대수를 늘리실 계획이 있으면 합산 유량으로 고르시는 편이 낫습니다. 나중에 한 대분 건조기를 여러 개 사는 것보다 대개 싸고 관리가 쉽습니다.
- 다만 합쳐서 받으실 때는 어느 대가 멈춰도 나머지가 돌 수 있게 배관을 꾸며야 합니다. 그 설계까지 함께 보실 수 있도록 조건을 알려 주십시오.

**압축과 저장**

압축기에 따라 앞단의 조건이 정해집니다. 압축기마다 최소 흡입압이 있고, 앞단에서 그 압력을 공급하지 못하면 그 압축기는 작동하지 않습니다. 이것이 장비를 0 barg 로 주문할지 10 barg 로 주문할지를 정하는 실제 근거입니다.

| 예               | 최소 흡입압  | 장비 쪽 조건                                                           |
|-----------------|---------|-------------------------------------------------------------------|
| 공압 구동 2단<br>복동식 | 5 bar   | 0 barg 장비로는 못 돌립니다. 10 barg 로 주문하셔야 합니다.                          |
| 공압 구동 1단<br>복동식 | 1.7 bar | 0 barg 장비의 압력도 최소 흡입압에 못 미칩니다. 앞단에서 승압하지 않으면 10 barg 로 주문하셔야 합니다. |

**i** 알림

**두 값 모두 게이지압입니다.**

- 최소 흡입압은 장비 출구 압력과, 최대 토출압은 목표 저장 압력과 견주시면 됩니다. 위 두 줄은 저희가 견적을 받아 둔 모델의 값이고 후보는 부품 페이지에 더 있습니다.

작업 해설

**10 barg 로 주문하면 후단이 쉬워지지만 스택 쪽 부담이 늘어납니다.**

- 출구 압력을 올리면 압축기 단수를 줄이거나 압축기를 아예 빼기도 합니다. 대신 기체 크로스오버와 밀봉 설계 부담이 함께 커집니다.
- 저장이 목적이 아니라면 0 barg 가 기본입니다. 일반적인 시험 운전엔 권장하는 사양도 0 barg 입니다.

**저장 쪽에서 정해지는 것**

|         |                                                                                            |
|---------|--------------------------------------------------------------------------------------------|
| 과압 보호   | 수소 출구를 후단 설비나 저장 설비에 연결하실 때는 법규와 설계에 맞는 과압 보호 조치를 마련하십시오. 장비 안의 보호 기능이 후단 설비를 지켜 주지는 않습니다. |
| 인허가와 설치 | 고압가스 인허가와 현장 설치는 설치 주체 몫입니다. 저장 압력과 용량에 따라 저희 취급 범위도 달라집니다.                                |

**제조사 보증** 저희가 조달해 공급하는 압축기와 용기에는 제조사 보증이 그대로 적용됩니다. 해외 제조사와의 거래와 통관도 저희가 책임집니다.

## 배압을 만들지 마십시오

후단을 붙이면서 가장 자주 생기는 문제입니다. 가스가 빠져나갈 길이 좁아지거나 막히면 압력이 앞으로 밀려 장비 안에 걸립니다.

- 벤트와 릴리프 배관에 밸브나 막힐 수 있는 장치를 달지 마십시오. 항상 열려 있어야 합니다.
- 후단 밸브를 닫은 채로 운전하지 마십시오. 기동 전에 경로가 열려 있는지 확인하십시오.
- 배관을 꺾거나 눌러 두지 마십시오. 이물과 잔류물이 쌓이지 않게 하십시오.
- 저점에 드레인이나 워터트랩을 두십시오. 출구 가스가 포화 상태라 물이 고여 길을 막습니다.
- 결빙 여부를 확인하십시오. 응축수가 남은 벤트와 릴리프 배관은 얼어서 막힐 수 있습니다. 현장 조건에 맞게 배관에 기울기를 주고, 드레인 지점을 마련하고, 보온하거나 열선을 설치하십시오.
- 벤트 출구 앞에 물건을 두지 마십시오.

### 알림

#### 비정상 배압으로 생긴 문제는 보증에서 제외됩니다.

- 벤트와 릴리프 배관을 잘못 꾸민 경우, 벤트를 막거나 닫은 경우, 그리고 이 핸드북에 어긋나는 후단 배압이 걸린 경우가 여기 해당합니다.

## 무엇을 어디서 재는가

장비 안에는 수소 순도계가 들어 있지 않습니다. 후단 품질은 후단에서 재셔야 하고, 어디서 재느냐가 값을 정합니다.

| 재는 값    | 어디서              | 왜 그 자리인가                                                                                                 |
|---------|------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 노점      | 사용점에서            | 건조기 출구 노점이 사용점 노점이 되지 않습니다. 배관 내벽에 붙어 있던 수분이 하류에서 빠져나와 사용점에서는 더 높게 나옵니다. 배관이 길거나 오래 세워 뒀던 설비일수록 차이가 큼니다. |
| 수소 중 산소 | 사용점 규격이 걸리는 자리에서 | 목표값의 자릿수에 따라 계측기를 선택합니다. ppm 단위로 관리하실 것인지, 순도 확인을 위해 % 단위면 되는지를 먼저 정하십시오.                                |
| 압력      | 장비 출구와 사용점 양쪽    | 두 값의 차이가 후단 압력손실입니다. 배압이 생겼는지 이 차이로 알게 됩니다.                                                              |
| 유량      | 장비 출구에서          | 생산량 판단의 기준 자리입니다. 건조기 뒤에서 재면 재생 손실이 빠진 값이 나옵니다.                                                          |

## 외부 센서 신호는 장비가 받아 함께 기록할 수 있습니다.

- 후면 External Port 로 외부 수소·산소 센서의 아날로그 신호를 받습니다. 후단 계측값을 운전 데이터와 같은 시간축에서 보시려면 이 경로를 쓰십시오.
- 노점은 압력과 함께 적어 두십시오. 기준 압력이 없는 노점 값은 다음 사람이 읽을 수 없습니다.

## 산소 출구

후단을 꾸미실 때 잊기 쉬운 쪽입니다. 물을 분해했으니 산소도 같이 나옵니다. 부피로 수소의 절반입니다.

- O2 OUT 을 환기가 확보된 별도의 안전한 배출점으로 빼십시오.
- 수소 라인이나 벤트와 절대 합치지 마십시오. 별개의 배출점이어야 합니다.
- 산소 농도가 높아진 공기는 화재 위험을 높입니다. 배출 구역 주변에 가연물을 두지 마십시오.
- 산소 쪽도 수분으로 포화되어 있습니다. 저점에 물이 고이지 않게 하십시오.

### 알림

#### 산소를 쓰실 계획이면 따로 알려 주십시오.

- 표준 구성은 안전한 배출을 전제로 합니다. 산소를 회수해 쓰시려면 순도와 압력, 배관 재질과 청정도를 함께 검토해야 합니다.

## 경계 다시 확인

이 장에서 다룬 것은 전부 현장 몫입니다. 저희가 조달을 대신할 수는 있지만 설계 책임과 인허가는 설치 주체에 있습니다.

|               |                                                                    |
|---------------|--------------------------------------------------------------------|
| 장비가 하는 것      | H2 OUT 까지 정해진 압력과 유량으로 수소를 냅니다. 이상 상황에서는 H2 VENT 로 압력을 뺍니다.        |
| 현장이 하는 것      | 벤트와 배기 배관, 건조와 정제, 압축과 저장, 사용처 연결, 후단 계측, 그리고 법규가 요구하는 과압 보호와 인허가. |
| 저희가 도울 수 있는 것 | 조건을 알려 주시면 구성을 함께 정하고 조달까지 합니다. 해외 제조사와의 거래와 통관도 저희가 책임집니다.        |

## 09 해체와 보관

HXB-V1 · 갱신 2026-09-30

설비를 옮기거나 보관하기 위해 운전을 끝내고 외부 연결을 분리하는 절차입니다. 스택 내부를 분해하는 절차가 아닙니다.

작업자 자격을 갖춘 담당자    준비물 화학용 보호구 · 배출 용기 · 포트 마개

이 장을 읽는 방법

**처음인 분**

정지와 전원 분리, 감압을 확인한 뒤 배출과 분리를 진행하십시오.

**해보신 분**

작업 순서와 보관 조건을 확인하십시오.

### 해체와 보관

 위험

**전원이 살아 있거나 압력이 남은 상태로 해체하지 마십시오.**

- 자격을 갖춘 사람만 합니다. 환기를 확보하고 작업 구역에서 점화원을 치우십시오.
- 전원이 살아 있으면 감전되고, 압력이 남아 있으면 배관을 풀 때 수소와 전해질이 뿜어져 나와 화재나 화상으로 이어집니다.

1

**정상 정지로 대기 상태까지 갑니다.**

- 전원 제어를 끄고 전류가 0 A 로 떨어지는 것을 확인합니다.
- 전해질 제어를 잠시 켜 채로 식힙니다.
- 전해질 제어를 끄고 상온까지 식기를 기다립니다.

2

**전원을 내리기 전에 수소 압력이 빠졌는지 앱에서 확인합니다.**

- 10 barg 장비라면 제어 앱의 Emergency STOP 을 눌러 H2 VENT 로 압력을 뱉니다.
- 대시보드의 수소 압력(PT301·PT302)이 0 으로 내려간 것을 본 뒤 다음 단계로 갑니다.

3

**완전히 전원을 내립니다.**

- 주전원 스위치를 끄고 전원 케이블을 뺍습니다.

4

**전해질을 뱉니다.**

- 화학용 보호구를 착용하고 맞는 용기를 준비합니다.
- DRAIN 아래에 용기를 받치고 캡을 풀 뒤 1/4" 튜빙을 넣고 너트를 조여 용기로 이어 줍니다. 밸브가 없어 캡을 푸는 순간 흐릅니다. 흐름이 멎을 때까지 뿡니다.
- 다 뿡 뒤 튜빙을 조심해서 풀고 캡을 다시 조입니다.

## 5

### 배관을 분리합니다.

- 기체를 빼려고 피팅을 느슨하게 풀지 마십시오. 정지·감압·배출이 끝난 뒤에만 분리합니다.
- 분리한 포트는 바로 막아 이물질과 습기가 들어가지 않게 하고 남은 액체가 새지 않게 합니다.
- 마지막으로 전면 포트와 피팅 주변을 눈으로 살펴 누설이 없는지 확인하고, 이상한 냄새가 없는지도 확인합니다.

## i 알림

### 보관할 때도 열리지 마십시오. 5 °C 이상을 유지해야 합니다.

- 전해질을 뺏어도 스택과 배관에 잔액과 수분이 남습니다. 열면 막과 가스켓이 상합니다.

## 폐기할 때

- 빼낸 전해질은 강알칼리 폐액입니다. 하수구나 빗물관에 버리지 말고, 내용물과 농도를 적은 용기에 담아 지정 폐기물 처리 업체에 맡기십시오.
- 전해질을 닦아 낸 걸레와 장갑도 같은 폐기물로 처리하십시오.
- 장비나 스택을 폐기하실 때는 먼저 연락해 주십시오. 스택과 전극의 처리 방법을 안내해 드립니다.

## 분리 후 확인

전원 케이블이 분리되고, 분리한 포트가 막혀 있으며, 포트와 피팅 주변에 누설이 없는지 확인하십시오. 잔액이 남으므로 보관 중에도 결빙을 피해야 합니다.

## 10 보증과 서비스

HXB-V1 · 갱신 2026-09-30

이 장은 HXB-V1 시스템 한 대의 보증과 서비스를 다룹니다. 스택이나 전극을 단품으로 구매하신 경우는 조건이 다르므로 문의해 주십시오.

보증은 두 갈래로 나뉩니다. 인도 시점의 하자를 대상으로 하는 하자 보증과, 운전으로 저하된 성능을 회복하는 스택 서비스입니다. 성능 저하는 하자가 아니므로 두 갈래를 구분해서 읽으셔야 합니다.

대상 HXB-V1 시스템    기간 출하일부터 12개월    방식 Return-to-Base    문의 응답 24~48시간

이 장을 읽는 방법

처음하신 분

「무엇이 보증되는가」와 「제외되는 것」 두 절을 읽으시면 범위가 잡힙니다. 나머지는 실제로 문제가 생겼을 때 보시면 됩니다.

해보신 분

「분해에 대한 기준」과 「스택 서비스」를 보십시오. 정비를 계획하실 때 걸리는 것이 그 둘입니다.

### 무엇이 보증되는가

|         |                                                                                                  |
|---------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 기간      | 출하일부터 12개월입니다. 검수 절차가 있으면 검수 합격일부터 셉니다.                                                          |
| 대상      | HXB-V1 시스템입니다. 그 안의 스택도 시스템의 일부로 함께 봅니다.                                                         |
| 보증 내용   | 제품 사양서에 적합하고 통상의 사용 목적에 부합함을 보증합니다. 인도 시점의 재료와 제작 하자가 대상입니다.                                     |
| 조치      | 당사 귀책 하자는 무상 수리하고, 수리가 곤란하면 동등 이상 제품이나 부품으로 교체합니다. 교체품은 새것이거나 재정부품일 수 있고 원래 보증기간의 남은 기간을 이어받습니다. |
| 수리 방식   | Return-to-Base 입니다. 당사 사업장 입고 기준입니다.                                                             |
| 운송비     | 보내실 때는 고객 부담, 돌려보낼 때는 당사 부담입니다.                                                                  |
| 출하 전 시험 | 출하 전에 공장 검수(FAT)를 하고, 인도할 때 그 결과와 인도 서류를 함께 드립니다. 나중에 보증 판정을 할 때 이 기록이 기준선이 됩니다.                 |

 알림

**개별 계약이 이 장보다 우선합니다.**

- 이 장은 안내용입니다. 계약서나 견적서, 발주서에 다른 조건이 적혀 있으면 그쪽이 적용됩니다.

## 시스템 부속은 보증 범위가 조금 다릅니다.

- HXB-V1에는 펌프, 밸브, 센서, 제어기, 전력 변환, 열교환기, 배선과 피팅이 들어 있습니다. 이 부속들은 인도 시점의 재료와 제작 하자에 대해서만 보증합니다.
- 설치, 유틸리티, 오염, 부식, 오사용, 정상 마모에서 비롯한 것은 제외되고 유상 서비스로 처리합니다.

## 보증이 유지되는 조건

네 가지가 모두 유지되어야 합니다. 기간이 남아 있어도 이 중 하나가 어긋나면 그 사안은 보증으로 처리되지 않습니다.

- 이 핸드북과 당사 지침에 따라 설치하고 운전하고 정비하셔야 합니다.
- 급수와 전해질 수질이 사양을 충족해야 합니다.
- 보호 기능과 안전 기능이 그대로 유지되고 작동해야 합니다. 서면으로 합의한 연구 조건은 예외입니다.
- 진단에 필요한 기록과 데이터를 요청 시 제공해 주셔야 합니다.

## 기록이 보증을 지킵니다.

- 운전 데이터는 장비가 자동으로 남깁니다. 남지 않는 것은 전해질 규격과 교체 날짜, 사용한 물의 수질, 배관이나 부품을 바꾼 이력입니다. 이 셋만 따로 적어 두시면 판정이 빠릅니다.

## 제외되는 것

- 권장 사양을 벗어난 운전. 전기, 온도, 압력, 전해질 농도, 유량과 냉각 조건이 여기 해당합니다.
- 규격을 벗어난 급수나 전해질, 오염, 부식, 스케일, 이물 유입, 잘못된 배수와 보관, 결빙, 당사가 지정하지 않은 화학 물질 접촉.
- 무단 개조, 임의 조작, 보호 기능 우회, 승인하지 않은 부품과 소모품 사용.
- 외부 요인. 전원 이상과 서지, 현장 유틸리티 정지, 설치 불량, 사고, 오사용, 인도 후의 운송 손상.
- 소모품의 정상 마모와 소모. MEA, 가스켓, 오링이 여기 해당합니다. 인도 시점의 재료나 제작 하자가 확인되면 그때는 보증입니다.
- 벤트와 릴리프 배관을 잘못 꾸민 경우, 벤트를 막거나 닫은 경우, 이 핸드북에 어긋나는 후단 배압.
- 취급 부주의로 생긴 하자과 천재지변.

### 알림

## 시스템 케이스를 여는 것은 개조입니다.

- 배선을 바꾸거나 제어와 펌웨어를 손대거나 안전 기능을 우회하시면 그 뒤로는 보증 대상이 아닙니다. HXB-V1은 저희가 CE 적합성을 자기선언한 완제품입니다.
- 스택을 시스템에서 떼어 내는 것과 스택 자체를 여는 것은 다른 작업입니다. 다음 절에서 구분합니다.

## 분해에 대한 기준

스택은 볼트로 묶어 둔 것이 아니라 눌러서 잡아 둔 조립체입니다. 그래서 어디까지가 정상 절차이고 어디부터가 분해인지가 여기서 정해집니다.

| 작업                              | 보증                                               |
|---------------------------------|--------------------------------------------------|
| 스택을 시스템에서 떼어 반송                 | 정상 절차입니다. 저희 안내에 따라 진행하십시오. 반송 전 확인이 필요합니다.      |
| 스택 압축 볼트를 풀어 스택을 여는 것           | 연 뒤의 성능과 누설은 보증하지 않습니다. 열기 전에 확인된 하자는 그대로 보증합니다. |
| 시스템 케이스를 열고 배선이나 제어, 펌웨어를 손대는 것 | 개조에 해당합니다. 보증 대상이 아닙니다.                          |

### 작업 해설

#### 엔드플레이트 둘레의 체결 볼트가 스택 압축 볼트입니다.

- 이것을 푸는 순간부터가 분해입니다. 스택을 시스템에서 떼어 밖으로 꺼내는 데까지는 스택을 연 것이 아닙니다.
- 재조립 품질이 성능과 누설을 좌우하기 때문에 이렇게 나눴습니다. 압축압이 값 자체인 조립체입니다.

### 알림

#### MEA 교체를 위해 스택을 여실 필요는 없습니다.

- 스택을 보내 주시면 저희가 열어 MEA 만 갖고 하드웨어는 재사용해 돌려드립니다. 다음 절의 스택 서비스가 그 절차입니다.

## 스택 서비스

스택의 성능과 수명은 운전 환경, 급수와 전해질 상태, 운전 패턴, 그리고 자연 노화에 따라 결정됩니다. 그래서 스택 문제의 상당수는 인도 시점의 제작 하자가 아닙니다. 그 경우를 위해 별도 서비스를 둡니다.

### 이런 증상일 때

- 셀 전압 거동이 계속 이상합니다.
- 크로스오버로 설명되는 증상이 나타납니다.
- 내부 누설이 의심됩니다.
- 성능이 떨어졌고 운전 조건으로 설명되지 않습니다.

|       |                                                   |
|-------|---------------------------------------------------|
| 원칙    | 유상입니다. 서면으로 달리 합의한 경우가 아니면 스택 서비스는 유상으로 제공합니다.    |
| 비용 범위 | MEA 교체 비용과 사전에 합의한 소모품 비용입니다. 금액은 문의해 주시면 안내드립니다. |

|       |                                                               |
|-------|---------------------------------------------------------------|
| 추가 작업 | 소모품이 아닌 부품 교체나 특수 작업이 필요하면 견적을 드리고 승인받은 뒤에 진행합니다.             |
| 교체 방식 | MEA 만 교체하고 엔드플레이트, 분리판, 셀프레임, 체결 부품은 재사용합니다. 교체 후 기능 확인을 합니다. |
| 교체 후  | 유상 교체한 뒤 6개월간 교체 작업과 교체 부품의 하자를 보증합니다. 정상적인 성능 저하는 포함하지 않습니다. |
| 운송비   | 계약이나 견적에 정한 대로 처리합니다. 관세와 세금, 물류 비용도 같습니다.                    |

#### 알림

### 산소 중 수소 농도가 2 vol% 를 넘으면 멈추고 연락해 주십시오.

- 안전 관리 기준입니다. 보증이나 무상 교체의 기준이 아닙니다. 측정 방법은 「안전」 장에 있습니다.

#### 알림

### 확인 없이 보내지 마십시오.

- 먼저 연락해 반송 승인과 포장 안내를 받으십시오. 원격으로 먼저 확인해 볼 것을 요청드릴 수도 있습니다.
- 보내실 때는 전해질을 빼고 운송 중 누설과 부식이 생기지 않게 포장하셔야 합니다. 누설 상태로 도착한 것은 안전상 수령을 거절할 수 있습니다.

## 판정은 무엇을 보고 하는가

하자 보증으로 처리할지 유상 서비스로 처리할지는 근거를 놓고 판단합니다. 판단에 쓰는 것은 넷입니다.

- 출하 전 공장 검수 데이터와 인도 기록. 기준선이 됩니다.
- 고객 측 운전 기록. 전류와 전압, 온도, 정비 이력, 급수와 전해질 취급 이력입니다.
- 상태와 설치 상황을 담은 사진이나 영상.
- 반송품이 있으면 그 검사 결과.

| 근거가 가리키는 것              | 처리                                       |
|-------------------------|------------------------------------------|
| 인도 시점에 당사 귀책 하자가 있었다    | 하자 보증으로 무상 수리나 교체                        |
| 열화나 운전 환경, 사용 조건에서 비롯했다 | 스택 서비스나 그 밖의 유상 서비스                      |
| 근거가 부족해 책임을 확정할 수 없다    | 스택 서비스나 그 밖의 유상 서비스                      |
| 고객이나 제3자가 스택을 열었다       | 스택 관련 사안은 하자 보증 대상이 아니고, 가능하면 유상으로 지원합니다 |

## 근거가 부족한 경우에는 유상으로 처리됩니다.

- 그래서 앞의 「보증이 유지되는 조건」에서 기록을 강조했습니다. 운전 데이터는 장비가 남기지만 전해질과 급수, 변경 이력은 적어 두지 않으면 남지 않습니다.

## 문제가 생겼을 때

1

### 연락

- 증상과 운전 기록을 보내주십시오. 24~48시간 안에 상세 회신을 드립니다.

2

### 원격 진단

- 장비를 PC로 운전하므로 같은 데이터를 함께 보며 원인을 짚습니다. 여기서 해결되는 경우가 많습니다.

3

### 반송 안내

- 해결되지 않으면 반송 방법과 포장 요령을 안내합니다. 스택은 열어서 재조립하도록 설계돼 있으며, 스택을 열고 재조립하는 것은 저희가 평소 하는 작업입니다.

4

### 진단과 수리

- 입고 후 진단 결과와 소요 일정을 먼저 알려드리고 진행합니다. 수리 기간은 증상에 따라 달라 미리 약속하지 않습니다.

## 연락하실 때 이것부터 적어 주십시오.

- 모델과 시리얼 번호, 문제가 난 시점의 스택 전류와 전압, 전해질 유량과 온도, 알람 코드, 그리고 증상이 언제 나타났는지입니다. 기동 중인지 승온 중인지 정상 운전 중인지 정지 중인지를 함께 적어 주십시오.
- 재신 값이 있으면 수소 유량과 압력, 수소 순도, 산소 순도도 도움이 됩니다. 없어도 괜찮습니다.

## 함께 드리는 지원

- 설치와 시동, 정비 교육. 한국에서 진행합니다.
- 원격 지원. 데스크톱 앱 화면을 함께 보며 운전 데이터를 확인합니다.
- 장기 운전 원자료 공유. 요청하시면 드립니다.
- 스택은 설계하고 제작한 엔지니어가 직접 정비합니다.

## 현장 설비의 수리와 교체는 고객 책임입니다.

- 정제수 공급 설비, 후단 수소 설비, H2 OUT 에 연결된 외부 배관과 밸브가 여기 해당합니다. 당사는 알람과 운전 추이를 해석해 장비의 거동을 판단하고, 공장 정비가 필요한지 알려드립니다.

# 11 사양과 참고

HXB-V1 · 갱신 2026-09-30

HXB-V1 이 무엇에 쓰는 장비인지, 겉모습과 안의 흐름, 사양과 전기 정격, 이 핸드북에 나오는 용어를 정리했습니다. 설치 전에 한 번 읽고, 필요할 때 찾아보는 장입니다.

## 용도

HXB-V1 은 정제수와 0.1 M KOH 전해질로 수소를 만드는 2 kW AEM 수전해 시스템입니다. 6U 19인치 랙 한 대에 스택(HXS-2), 전해질 탱크, 펌프, 열교환기, 전원과 제어를 넣었습니다.

- AEM 스택·전극·운전 방법을 시험하는 실험실 연구
- 소규모 수소 생산과 시스템 통합 시험대



경고

### 이렇게 쓰지 마십시오.

- 다른 전해질이나 오염된 액체를 넣는 것
- 전류·전압·온도·압력·유량 한계를 넘겨 운전하는 것
- 환기와 배출 경로가 부족한 곳, 수소와 산소가 섞일 수 있는 배관으로 운전하는 것
- 안전장치·인터록·센서를 우회하거나 끄는 것
- 허가 없이 스택이나 안전 관련 부품을 분해·수리하는 것
- 절연·접지·배선·과전류 보호의 기능을 저하시키는 개조
- 실외나 결로가 생기는 곳에 두는 것
- 이렇게 쓰면 화재·폭발·감전·화학 화상으로 이어지거나 장비가 손상될 수 있습니다.

설치·운전·정비는 수소 안전과 배출, 직류 대전류, 알칼리 전해질 취급에 관한 지식을 갖춘 사람이 수행합니다. 개조하거나 권장 조건 밖에서 쓰면 안전과 성능 확인은 사용자 책임이고 보증 조건이 달라질 수 있습니다(「보증과 서비스」 장).

## 외관



그림 11-1 HXB-V1. 실제 외관은 개정에 따라 다를 수 있습니다.

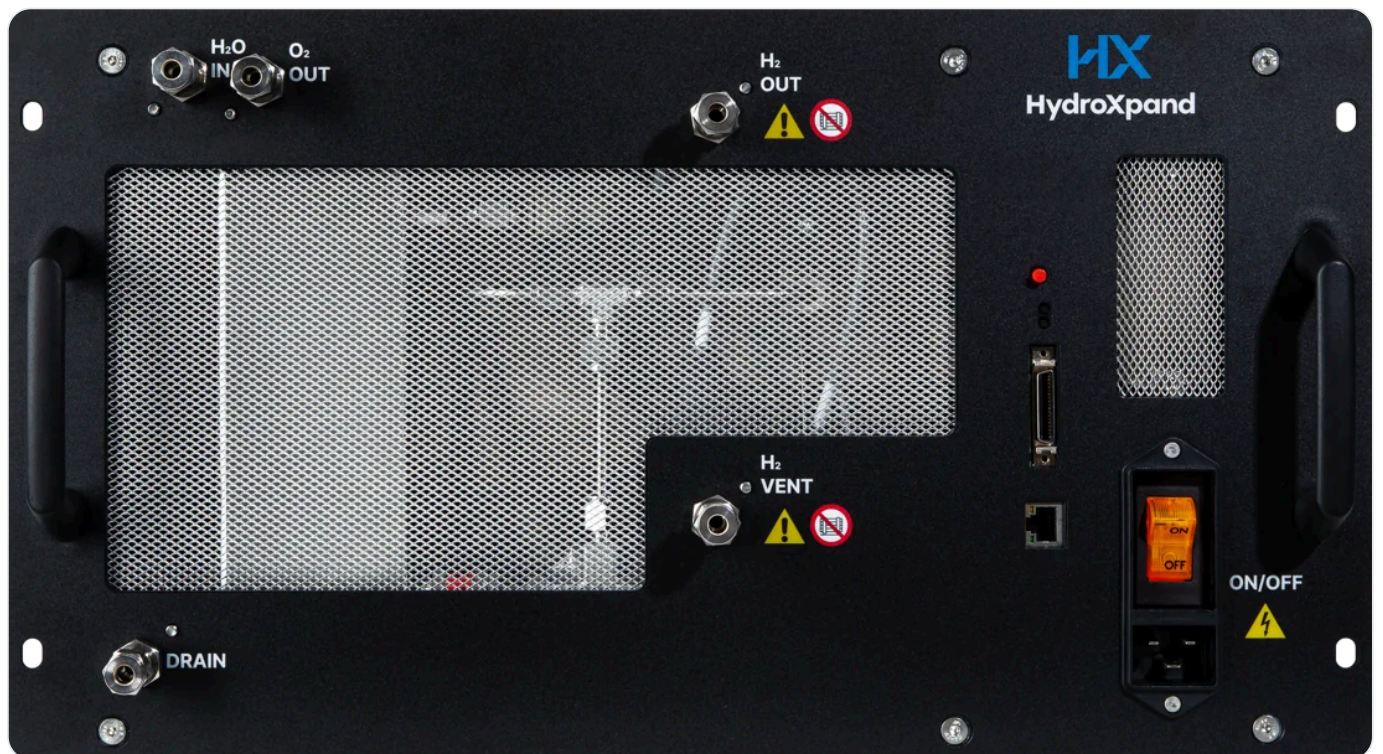


그림 11-2 정면. 포트 번호와 이름은 「시작하기」 장 그림 4-1 을 보십시오.

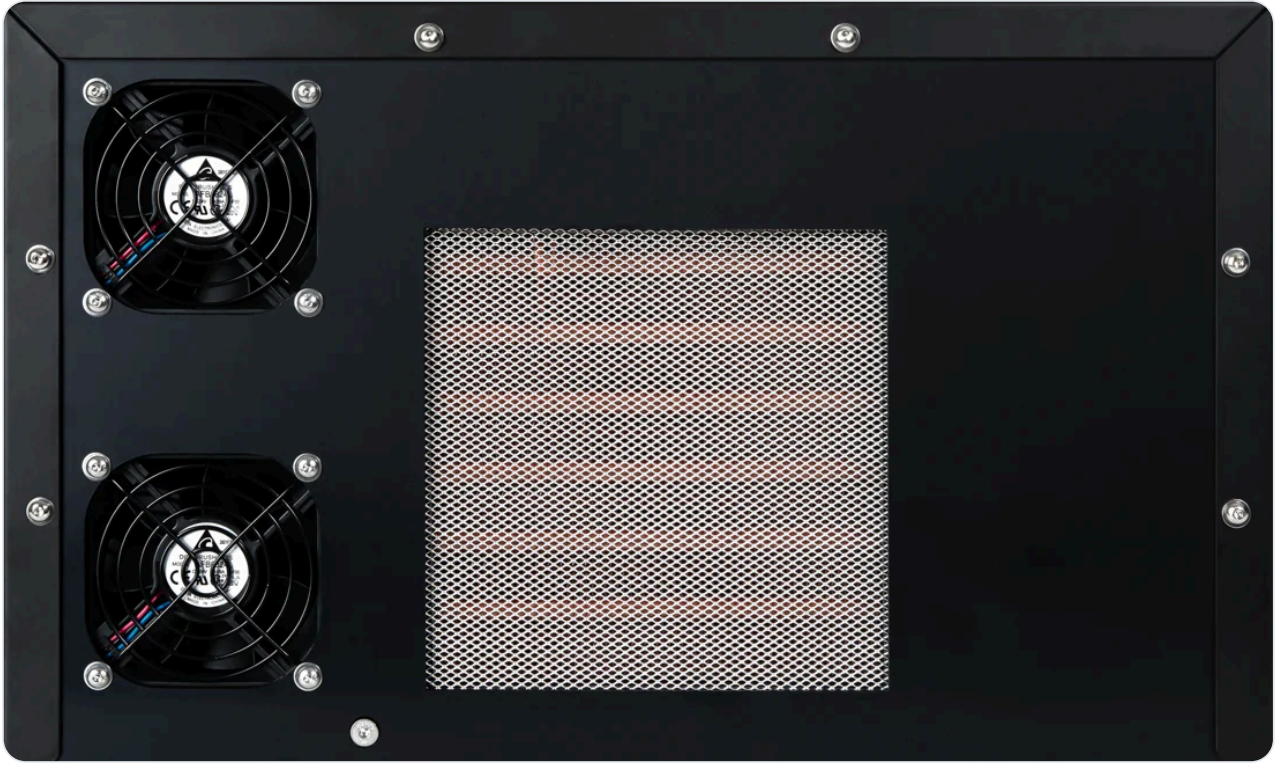


그림 11-3 뒷면. 장비 라벨의 Device ID 로 장비를 구분합니다.

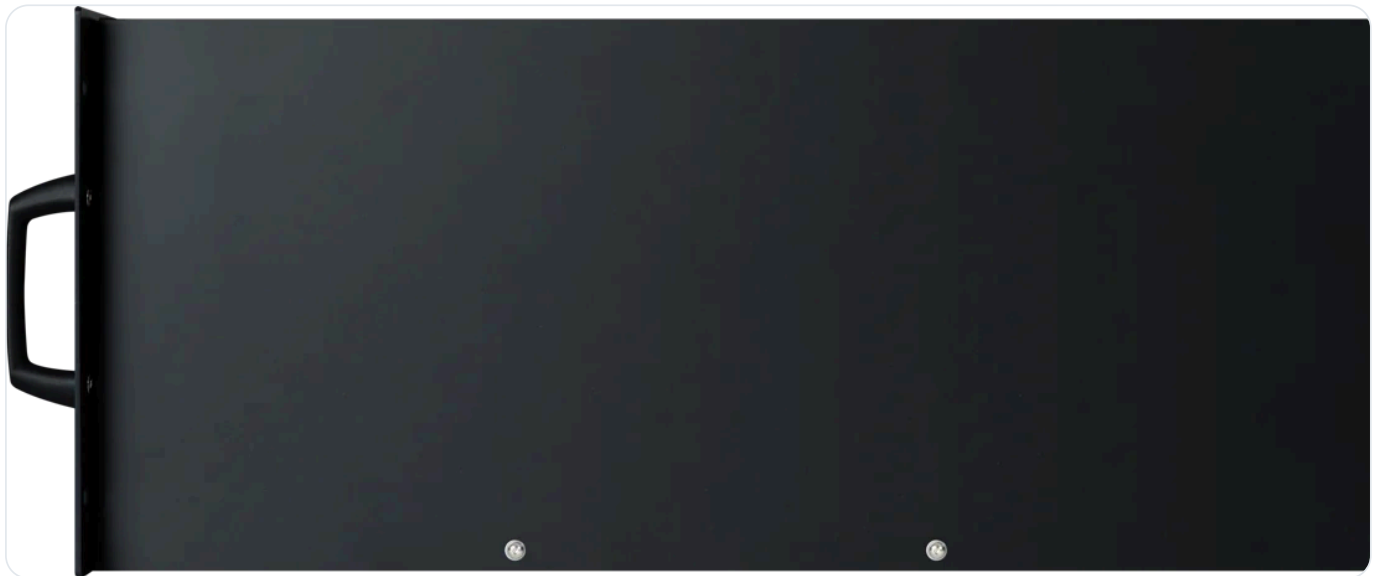


그림 11-4 측면

## 장비 안의 흐름

전해질은 탱크에서 순환 펌프와 열교환기를 거쳐 스택으로 들어가고, 스택에서 나온 산소와 전해질은 탱크로 돌아와 나뉩니다. 수소는 스택에서 따로 나와 H2 OUT 으로 나갑니다. 운전 중 줄어드는 물은 보충 펌프가 H2O IN 으로 채웁니다.

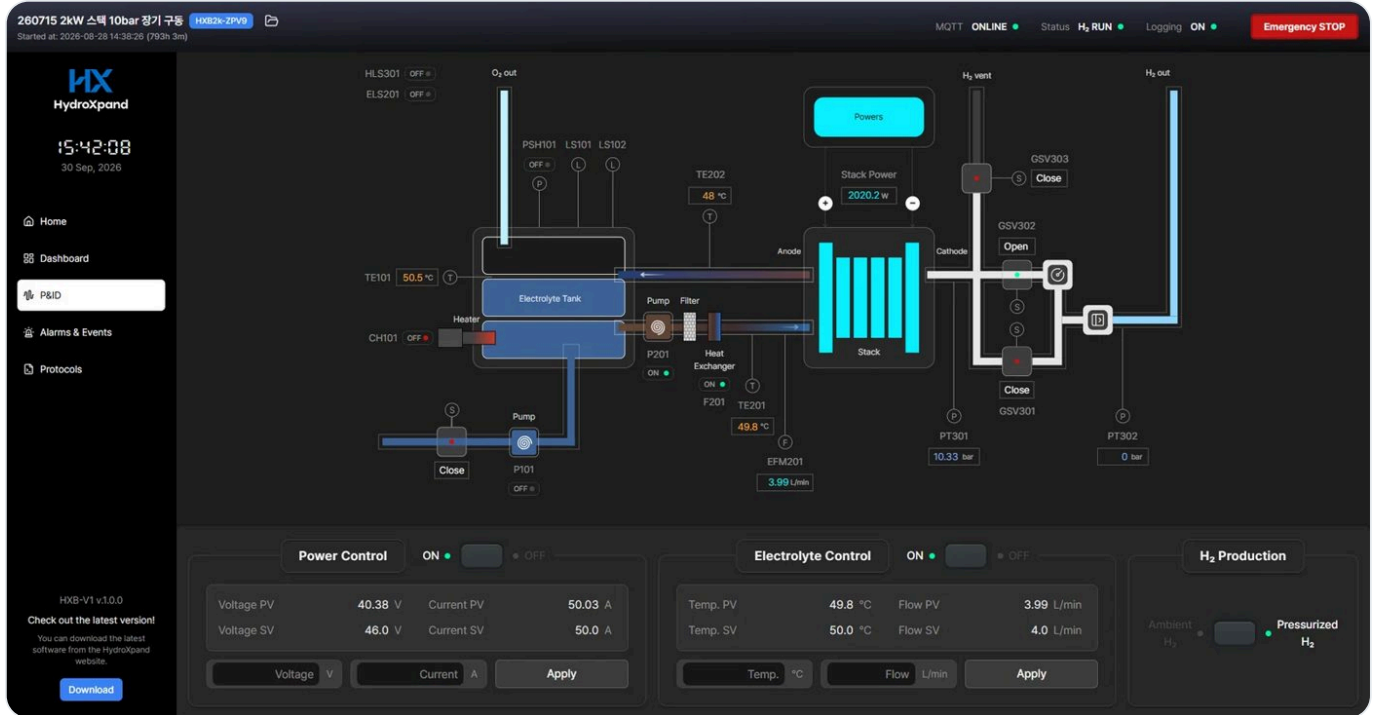


그림 11-5 제어 앱의 P&ID 화면. 운전 중 실측값이 각 지점에 표시됩니다.

## 사양

아래 사양은 제품 페이지·데이터시트와 같은 값입니다. 별도로 명시하지 않으면 개시(BOL) 값입니다.

### 생산 성능

|                               |                                         |
|-------------------------------|-----------------------------------------|
| 수소 생산량                        | 500 L/h (약 1 kg/일)                      |
| 소비전력 (kW)                     | 2.4 kW (개시 · 스택 2.0 + BoP 0.4)          |
| 소비전력 (kWh/Nm <sup>3</sup> )   | 4.8 (개시)                                |
| 소비전력 (kWh/kg-H <sub>2</sub> ) | 스택 44 · 시스템 54 (차이 약 10 kWh/kg 이 BoP 뺀) |
| 운전 전류                         | 15~67 A (권장 50 A)                       |

### 수소 순도 · 압력

|                 |                                              |
|-----------------|----------------------------------------------|
| 수소 순도 @ 0 barg  | 98~99% (건조기 미사용) · ≥ 99.999% (건조기)           |
| 수소 순도 @ 10 barg | 99% (건조기 미사용) · ≥ 99.999% (건조기)              |
| 수소 압력           | 0 또는 10 barg · 주문 때 선택(릴리프 밸브), 35 barg 는 협의 |

전원 · 급수

|        |                                                                                       |
|--------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| 전원     | 200–240 V AC · 50/60 Hz · 단상                                                          |
| 급수 수질  | 권장 ASTM D1193 Type II ( $\leq 1.0 \mu\text{S/cm}$ ) · 실운전 기준 $\leq 30 \mu\text{S/cm}$ |
| 급수 소비량 | 0.55 L/h (50 A · 60 °C)                                                               |
| 급수 보충  | 내장 기어펌프가 자동 보충                                                                        |
| 전해질    | KOH 0.1–1 M · 순환 2–5 L/min                                                            |

설치 조건

|       |                                                                                       |
|-------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| 작동 온도 | 5–45 °C (주위)                                                                          |
| 보호 등급 | IP 20                                                                                 |
| 크기    | 482 × 647 × 266 mm (6U)                                                               |
| 무게    | 51.3 kg                                                                               |
| 유체 연결 | H <sub>2</sub> O · H <sub>2</sub> · O <sub>2</sub> · VENT · DRAIN 1/4" double-ferrule |
| 전원 연결 | C20 AC 인렛 (C19 케이블)                                                                   |
| 설치 이격 | 전면 ≥ 300 mm · 후면 ≥ 400 mm                                                             |

제어 · 통신

|       |                                               |
|-------|-----------------------------------------------|
| 제어    | 데스크톱 앱 (MQTT/Ethernet)                        |
| 직접 제어 | 전압 · 전류 · 전해질 온도 · 전해질 유량                     |
| 스택 취급 | 분리 · 해체 · 교체 가능                               |
| 텔레메트리 | 1초 주기 · 외부 제어 변수 8종 · Modbus TCP 지원 (RTU 미지원) |

안전 · 보증

|    |                                                           |
|----|-----------------------------------------------------------|
| 안전 | H <sub>2</sub> 감지 · 비상정지(제어 앱) · 인터록 · 전해질 탱크 압력 스위치 자동정지 |
| 보증 | 출하일부터 12개월 · 검수 절차가 있으면 검수 합격일부터 (소모품 제외)                 |

## 전기 정격과 사용 환경

|              |                                                                                                                                |
|--------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 정격 전원        | 200–240 V AC · 50/60 Hz · 단상 · 2.4 kW                                                                                          |
| 전원 연결        | IEC 60320 C20 인렛(16 A) · C19 전원 케이블                                                                                            |
| 감전 보호        | Class I. 보호 접지가 된 콘센트에 꽂으십시오.                                                                                                  |
| 보호 등급        | IP20                                                                                                                           |
| 사용 장소        | 실내 전용, 결로 없음                                                                                                                   |
| 주위 온도        | 5–45 °C                                                                                                                        |
| 고도           | 2,000 m 이하                                                                                                                     |
| 과전압 범주 · 오염도 | 과전압 범주 II · 오염도 2                                                                                                              |
| CE 적합성       | 저전압(2014/35/EU) · EMC(2014/30/EU) · RoHS(2011/65/EU) 자기선언. EN 61010-1, EN 61326-1, EN IEC 63000 적용. 선언서는 아래 「이 장의 근거」에서 받으십시오. |

## 장비에 붙은 표시



### 일반 경고

H2 OUT-H2 VENT 옆. 수소가 나오는 곳입니다. 「안전」 장의 수소 절을 따르십시오.



### 배출구 앞에 물건을 두지 마십시오

H2 OUT-H2 VENT 옆. 배출구를 막거나 앞에 물건을 쌓지 않습니다.



### 감전 위험

전원 스위치와 C20 인렛 옆. 덮개를 열기 전에 반드시 상용 전원에서 분리하십시오.

## 용어

|     |                                                                         |
|-----|-------------------------------------------------------------------------|
| 용어  | 뜻                                                                       |
| AEM | 음이온 교환막(Anion Exchange Membrane). 수산화 이온(OH <sup>-</sup> )만 통과시키는 막입니다. |
| KOH | 수산화칼륨. 전해질로 0.1 M 수용액을 씁니다.                                             |
| 정제수 | 이온을 걸러 낸 물. 전도도로 수질을 봅니다(25 °C 기준 µS/cm).                               |

| 용어              | 뜻                                               |
|-----------------|-------------------------------------------------|
| <b>MEA</b>      | 막-전극 접합체. 전극과 막을 겹친 셀의 핵심 부품입니다.                |
| <b>BoP</b>      | 스택 밖의 주변 설비. 전원, 펌프, 탱크, 열교환기, 배관, 센서, 제어입니다.   |
| <b>barg</b>     | 대기압 기준 게이지 압력(bar).                             |
| <b>NL/h</b>     | 표준 상태(0 °C, 1 atm)로 환산한 시간당 기체 부피(L).           |
| <b>개시(BOL)</b>  | 운전을 시작할 때의 성능. 별도로 명시하지 않으면 사양은 개시 값입니다.        |
| <b>SDS</b>      | 물질안전보건자료. KOH 를 다루기 전에 확인합니다.                   |
| <b>P&amp;ID</b> | 배관·계장도. 제어 앱의 P&ID 화면이 장비 안의 흐름과 측정 지점을 보여 줍니다. |
| <b>PSU</b>      | 스택에 직류를 공급하는 전원 공급기.                            |

## 제조사

|            |                                                         |
|------------|---------------------------------------------------------|
| <b>제조사</b> | 주식회사 하이드로엑스팬드 (HydroXpand Inc.)                         |
| <b>주소</b>  | 경기도 화성시 동탄산단6길 59, 3층 (우 18487), 대한민국                   |
| <b>연락처</b> | +82 70-4110-1201 · info@hydroxpand.com · hydroxpand.com |

일련번호는 HXB-V1-YYMM-#### 형식입니다(제조 연월과 순번). 문의하실 때 장비 라벨의 일련번호나 Device ID 를 함께 알려 주십시오.

# 문제 해결

HXB-V1 · 갱신 2026-09-30

이상이 생겼을 때 확인하는 순서와 증상 네 가지별 원인·조치입니다. 순서대로 하시면 정지 전에 필요한 정보를 남기고 그 다음 안전한 점검으로 넘어갈 수 있습니다.

증상 대부분은 원인이 스택 안이 아니라 전해질 상태와 유량, 급수 보충에 있습니다. 거기부터 확인하십시오.

가장 먼저 위험 판단 · 기록 · 정지      증상 네 가지      대부분의 원인 전해질 상태 · 유량 · 급수 보충

이 장을 읽는 방법

**처음으신 분**

확인 순서를 위에서부터 그대로 따라 하십시오. 증상 네 개 중에는 지금 겪고 있는 것만 보시면 됩니다.

**해보신 분**

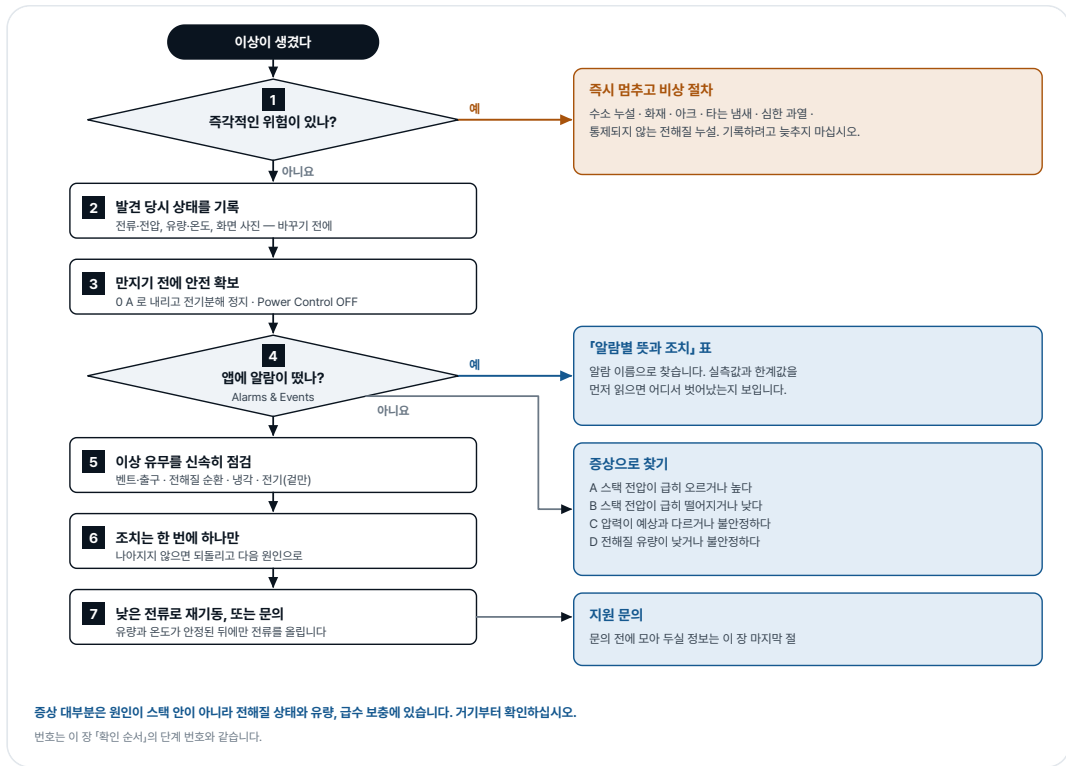
증상 절로 바로 가십시오. 마지막 절에 문의 전에 모아 두실 정보가 있습니다.

## 확인 순서

 위험

**수소 누설, 화재, 아크, 타는 냄새, 심한 과열, 통제되지 않는 전해질 누설 중 하나라도 있으면 즉시 운전을 멈추고 비상 절차를 따르십시오.**

- 즉각적인 위험이 의심되면 데이터를 모으려고 정지를 늦추지 마십시오.



문제 해결 순서도. 번호는 아래 단계와 같습니다. 즉각적인 위험이면 기록보다 정지가 먼저입니다.

#### 작업 해설

### 왜 고치기 전에 기록부터 하는지

- 장비를 정지하면 그 순간의 값이 사라집니다. 화면 사진 한 장이 나중에 원인을 찾는 시간을 며칠 줄입니다.
- 고친 뒤에 문의하시면 저희도 무엇이 달랐는지 알 수 없습니다. 조치는 기록한 다음에 하십시오.
- 다만 즉각적인 위험이 의심되면 기록을 포기하고 바로 정지하십시오. 그 판단이 먼저입니다.

#### 1

위험 수준을 먼저 판단합니다.

#### 2

발견 당시 상태를 기록합니다.

- 잠깐 지켜봐도 안전한 상황이라면 아무것도 바꾸기 전에 기록하십시오.
- 반드시 남길 것은 스택 전류·전압, 전해질 유량·온도입니다.
- 계측하고 있다면 수소 유량·압력·순도와 산소 순도도 함께 남기십시오.
- 눈과 귀로 관찰한 것도 적으십시오. 펌프 소음이나 캐비테이션, 꾸르륵거리는 소리, 출구가 불안정하게 젖는 것, 벤트의 이상한 거동, 눈에 보이는 누설.

#### 3

만지기 전에 안전을 확보합니다.

- 스택 전류를 0 A 까지 내리고 앱에서 전기분해를 멈춥니다.
- 전기 연결부를 만지기 전에 Power Control 을 OFF 로 두십시오.

#### 알람 기록을 읽습니다.

- Alarms & Events 에서 해당 항목을 열고 값을 그대로 적습니다.
- 한계값과 실측값을 먼저 보십시오. 어떤 한계에 걸렸고 얼마나 벗어났는지 알려 줍니다.
- 장비가 스스로 부하를 줄이거나 정지했다면 원인이 밝혀질 때까지 안전 관련 상태로 취급하십시오.

#### 이상 유무를 신속히 점검합니다.

- 벤트·출구 — H2 OUT, H2 VENT, O2 OUT 이 막히거나 꺾이거나 덮이지 않았는지, 후단 밸브가 실수로 닫히지 않았는지.
- 전해질 순환 — 배관 꺾임, 눈에 보이는 막힘, 공기가 물린 징후(기포·맥동), 펌프의 이상 거동. 유량이 낮거나 불안정했다면 이것을 가장 먼저 해결하십시오. 곧 온도와 전압 이상으로 번집니다.
- 냉각 — 팬과 열교환기 공기 흐름이 막히지 않았는지. 필요하면 청소하십시오.
- 전기 — 겉으로 보이는 것만 확인합니다. 느슨한 케이블·커넥터, 변색이나 과열 흔적, 이상한 냄새. 자격을 갖추지 않았다면 함체를 열지 마십시오.

#### 조치는 한 번에 하나만 합니다.

- 하나를 바꾸고 나아지는지 확인하십시오. 나아지지 않으면 되돌리고 다음 원인으로 갑니다. 설정이나 부품을 동시에 여러 개 바꾸지 마십시오.

#### 조심스럽게 재기동하거나 문의합니다.

- 재기동한다면 낮은 전류에서 시작하고, 유량과 온도가 안정된 뒤에만 올리십시오.

## 알람별 뜻과 조치

아래 표의 영문은 제어 앱 알람 표에 나오는 메시지 그대로이고, 앱 버전에 따라 문구가 조금 다를 수 있습니다. 세 단계가 무엇을 뜻하는지는 「운전과 제어」 장의 알람과 이벤트 절에 있습니다. 조치를 해도 같은 알람이 다시 뜨면 알람 기록을 그대로 보내 주십시오.

280715 2kW 스택 10bar 장기 구동

HXB-V1

Started at: 2026-08-28 14:38:26 (793h 4m)

MQTT ONLINE

Status H<sub>2</sub> RUN

Logging ON

Emergency STOP

HX

HydroXpand

15:42:31

30 Sep, 2026

Home

Dashboard

P&ID

Alarms & Events

Protocols

HXB-V1 v1.0.0

Check out the latest version!

You can download the latest software from the HydroXpand website.

Download

Alarms

2 active alarms

Clear All Resolved

| ID    | Time                | Category | Label / Message                                 | Value / Limit           | Status   |
|-------|---------------------|----------|-------------------------------------------------|-------------------------|----------|
| 13365 | 2026-09-29 18:50:52 | PROC     | PT301<br>H2 Production pressure high            | 10.0 bar 10 bar         | Active   |
| 13362 | 2026-09-29 18:14:34 | PROC     | PT301<br>H2 Production pressure high            | 1.4 bar 1 bar           | Active   |
| 13364 | 2026-09-29 18:41:12 | PROC     | PT301<br>H2 Production pressure high            | 10.0 bar 10 bar         | Resolved |
| 13363 | 2026-09-29 18:14:51 | PROC     | PT301<br>H2 Production pressure high            | 10.2 bar 10 bar         | Resolved |
| 13361 | 2026-09-29 18:02:50 | PROC     | TE201<br>Electrolyte temperature high           | 78.78 °C 80.0 °C        | Resolved |
| 13360 | 2026-09-29 17:39:53 | PROC     | EFM201<br>Electrolyte flowrate low              | 0.1 slm 3.2 slm         | Resolved |
| 13359 | 2026-09-29 17:26:43 | SAF      | LS102<br>Electrolyte tank level abnormally high | Unsafe condition        | Resolved |
| 13358 | 2026-09-29 17:20:46 | PROC     | EFM201<br>Electrolyte flowrate low              | 0.5 slm 3.2 slm         | Resolved |
| 13357 | 2026-09-29 17:19:47 | EQUIP    | PS01<br>Electrolyte makeup pump fault detected  | Actuator fault detected | Resolved |

Events

Clear All

| ID  | Time                | Type      | Action                               | Status  |
|-----|---------------------|-----------|--------------------------------------|---------|
| 123 | 2026-09-29 18:14:31 | Command   | High-P Production: On                | Applied |
| 122 | 2026-09-29 17:55:32 | Command   | Power: On                            | Applied |
| 121 | 2026-09-29 17:55:30 | Command   | Voltage: 46 V, Current: 50 A         | Applied |
| 120 | 2026-09-29 17:41:55 | Command   | Temperature: 50 °C, Flow Rate: 4 SLM | Applied |
| 119 | 2026-09-29 17:39:54 | Command   | Temperature: 25 °C, Flow Rate: 4 SLM | Applied |
| 118 | 2026-09-29 17:38:59 | Command   | Electrolyte Control: On              | Applied |
| 117 | 2026-09-29 17:26:45 | Emergency | Emergency Stop                       | Applied |

알람이 뜨면 이 화면에서 실측값과 한계값을 먼저 읽으십시오. 어느 한계에서 얼마나 벗어났는지 확인하면 가능한 원인을 좁힐 수 있습니다.

## ■ 비상정지

| 앱 표시                                         | 라벨     | 뜻                      | 조치                                                                                       |
|----------------------------------------------|--------|------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|
| Hydrogen leak detected                       | HLS301 | 장비 안에서 수소가 감지됐습니다.     | 가까이 가지 말고 환기하십시오. 주변 점화원을 치우고 「안전」 장의 비상 대응을 따르십시오. 원인을 찾기 전에는 다시 기동하지 마십시오.             |
| Electrolyte leak detected                    | ELS201 | 장비 바닥에서 전해질이 감지됐습니다.   | 보호구를 갖추고 전원을 끈 뒤 새는 곳을 찾으십시오. 새어 나온 전해질은 「안전」 장의 전해질 절에 따라 처리하십시오. 함체 안쪽에서 샌다면 문의해 주십시오. |
| Electrolyte tank pressure higher than 60 psi | PSH101 | 전해질 탱크 압력이 허용치를 넘었습니다. | O2 OUT 배관이 막히거나 꺾이거나 끝이 잠기지 않았는지 보십시오. 탱크의 기체는 이 길로 빠집니다.                                |
| Electrolyte tank level abnormally high       | LS102  | 탱크가 만수 스위치까지 찼습니다.     | 전해질을 너무 많이 넣었는지, 보충 펌프가 멈추지 않고 도는지 보십시오. 거품이 많아도 걸릴 수 있습니다. 넘친 만큼 빼서 정상 수위로 돌린 뒤 해제하십시오. |

| 앱 표시                                              | 라벨     | 뜻                                                                    | 조치                                                                                         |
|---------------------------------------------------|--------|----------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|
| Electrolyte flow critically low<br>(pump failure) | EFM201 | 순환 유량이 거의 없습니다.<br>순환 펌프가 멈췄을 가능성이<br>큽니다.                           | 배관이 막히거나 꺾이지 않았는지, 수위가<br>충분한지 보십시오. 이상이 없는데도<br>반복되면 문의해 주십시오. <u>증상 D</u> 를<br>보십시오.     |
| H2 production pressure<br>critical high           | PT301  | 수소 압력이 위험 수준까지<br>올랐습니다.                                             | 후단 밸브가 닫혔거나 배관이 막혔을<br>가능성이 큽니다. 압력이 빠진 것을 확인한<br>뒤 H2 OUT 부터 후단까지 점검하십시오.<br>증상 C 를 보십시오. |
| H2 outlet pressure critical<br>high               | PT302  |                                                                      |                                                                                            |
| (연결 끊김) DISCONNECTED                              | —      | 제어 앱과의 연결이 일정 시간<br>끊겼습니다. 알람 표가 아니라<br>전면 LED 가 빨강으로 깜박여<br>알려 줍니다. | 랜 케이블과 PC 를 확인하십시오. PC 가<br>절전이나 업데이트 재부팅으로 멈추지 않게<br>설정하고 앱을 다시 실행하십시오.                   |

## 고장정지

| 앱 표시                                        | 라벨                | 뜻                                           | 조치                                                                                                 |
|---------------------------------------------|-------------------|---------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Electrolyte refill failure                  | LS101             | 급수 보충이 오래 안 됐습니다.                           | 「운전과 제어」 장의 <u>급수 보충 절 「보충이 안<br/>되기 시작할 때」</u> 를 보십시오.                                            |
| Electrolyte circulation lost                | EFM201            | 전해질 순환 유량이 크게<br>떨어진 상태가 이어졌습니다.            | 먼저 전류를 0 A 로 내리십시오(Power<br>Control OFF). 그다음 배관 꺾임, 공기<br>물림, 펌프 이상을 보십시오. <u>증상 D</u> 를<br>보십시오. |
| Electrolyte tank temperature<br>high (stop) | TE101             | 전해질 온도가 설정값보다<br>크게 높은 상태가<br>이어졌습니다.       | 팬과 열교환기 공기 흐름이 막히지 않았는지,<br>주위 온도가 설치 조건 안인지, 순환 유량이<br>정상인지 보십시오. 식힌 뒤 원인을 없애고<br>기동하십시오.         |
| Stack inlet temperature high<br>(stop)      | TE201             |                                             |                                                                                                    |
| Stack outlet temperature high<br>(stop)     | TE202             |                                             |                                                                                                    |
| Unsafe operating temperature                | TE101/201/<br>202 | 정상 운전에서 나올 수 없는<br>온도입니다. 열었거나 끓는<br>수준입니다. | 열었을 가능성이 있으면 운전하지 말고<br>문의해 주십시오. 그 밖의 경우에도 문의해<br>주십시오.                                           |

| 앱 표시                                        | 라벨         | 뜻                                      | 조치                                                                        |
|---------------------------------------------|------------|----------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|
| Temperature sensor fail                     | TE         | 센서 값이 측정 가능한 범위를 벗어났습니다. 센서나 배선 고장입니다. | 알람 기록을 그대로 보내 주시고 문의해 주십시오. 함체를 열지 마십시오.                                  |
| Current sensor fail                         | CT201      |                                        |                                                                           |
| Voltage sensor fail                         | PSU48      |                                        |                                                                           |
| Pressure sensor fail                        | PT301/302  |                                        |                                                                           |
| Makeup pump fault                           | P101       | 보충 펌프에 명령을 냈는데 전류가 흐르지 않습니다.           | 문의해 주십시오. 보충이 안 되면 곧 수위가 내려갑니다.                                           |
| Circulation pump fault                      | P201       | 순환 펌프에 명령을 냈는데 전류가 흐르지 않습니다.           | 즉시 전류를 0 A 로 내리십시오(Power Control OFF). 순환 없이 통전하면 스택이 상합니다. 그다음 문의해 주십시오. |
| Hydrogen solenoid valve 1 / 2 falt detected | GSV301/302 | 밸브에 동작 명령을 냈는데 전류가 흐르지 않습니다.           | 문의해 주십시오. 압력 운전이나 비상 벤트에 쓰이는 밸브입니다.                                       |
| Solenoid valve 3 fault                      | GSV303     |                                        |                                                                           |
| Magnetic contactor falt detected            | MC401      | 스택 전원 접촉기가 명령대로 붙지 않습니다.               | 문의해 주십시오.                                                                 |

## ■ 경고

| 앱 표시                                                             | 라벨                      | 뜻                          | 조치                                                                 |
|------------------------------------------------------------------|-------------------------|----------------------------|--------------------------------------------------------------------|
| Electrolyte tank temperature high · Electrolyte temperature high | TE101<br>TE201<br>TE202 | 전해질 온도가 설정값보다 높아지기 시작했습니다. | 냉각 공기 흐름과 주위 온도를 보십시오. 계속 오르면 고장정지로 넘어갑니다.                         |
| Electrolyte flowrate low                                         | EFM201                  | 순환 유량이 설정값보다 낮습니다.         | 배관 꺾임과 공기 물림을 보십시오. 계속되면 <u>증상 D</u> 를 보십시오.                       |
| H2 Production pressure high                                      | PT301                   | 수소 압력이 정상 범위보다 높습니다.       | 후단에서 배압이 걸리지 않는지 보십시오. 「전·후단 구성」 장의 「 <u>배압을 만들지 마십시오</u> 」를 보십시오. |
| H2 Outlet pressure high                                          | PT302                   |                            |                                                                    |
| Electrolyte cooling fan fault detected                           | F201                    | 팬에 명령을 냈는데 돌지 않습니다.        | 팬 주변에 이물이나 막힘이 없는지 보십시오. 그대로 두면 과열로 번집니다. 계속되면 문의해 주십시오.           |
| Axial fan fault detected                                         | F401                    |                            |                                                                    |
| Cartridge heater falt detected                                   | CH101                   | 히터에 명령을 냈는데 전류가 흐르지 않습니다.  | 승온이 안 되거나 느립니다. 문의해 주십시오.                                          |

---

## 증상 A. 스택 전압이 급히 오르거나 비정상적으로 높다

### 전해질 온도가 낮다

앱에서 전해질 온도와 온도 설정값을 확인합니다. 설정값을 향해 올라가는 추세가 없거나 히터 상태가 이상하면 운전을 멈추고 문의해 주십시오.

---

### 전해질 농도가 낮다

전해질 규격이 0.1 M KOH 인지 확인하고 최근 급수 보충 이력을 살펴봅니다. 희석이 의심되면 운전을 멈추고 새 0.1 M KOH 로 교체하십시오. 낮은 전류에서 재기동해 전압 추이가 안정되는지 확인한 뒤 올리십시오. 새 전해질에서도 이상하면 문의해 주십시오.

---

### 내부 크로스오버나 막 손상이 의심된다

운전을 멈추십시오. 전해질 수위 추이, 급수 보충 발생 기록, 스택 전류·전압을 근거로 남기고 문의해 주십시오.

---

### 전해질 유량이 부족하거나 불안정하다

앱에서 유량 표시와 관련 알람을 확인합니다. 펌프가 켜져 있는데 유량이 없거나, 펌프가 제대로 기동하지 않거나, 거동이 이상하면 운전을 멈추고 문의해 주십시오.

---

### 설정을 바꾸지 않았는데 전류가 떨어진다

스택 전압이 전원 설정 상한에 닿으면 전원이 전류를 스스로 낮춥니다. 이때는 스택 안 셀 하나의 전압이 크게 오른 경우가 많습니다. 제어 앱은 스택 전체 전압만 보여 주므로 화면에는 전압이 상한에 붙고 전류가 떨어지는 모습으로 나타납니다. 당사 시험에서는 멈추기 10~24 시간 전부터 같은 전류에서 스택 전압이 조금씩 오르는 모습이 먼저 보였습니다. 운전을 멈추고 재기동을 반복하지 마십시오. 전류·전압 추이를 남겨 문의해 주십시오.

---

## 증상 B. 스택 전압이 급히 떨어지거나 비정상적으로 낮다

### 전해질 온도가 높다

앱에서 전해질 온도와 설정값을 확인합니다. 예상 범위로 내려가지 않거나 냉각 관련 상태가 이상하면 운전을 멈추고 문의해 주십시오.

---

### 전해질 농도가 높다

전해질 수위를 확인하고 급수 보충이 정상 작동하는지 봅니다. 현장 절차에 따라 전해질을 0.1 M KOH 규격으로 되돌리십시오. 낮은 전류에서 재기동해 전압 추이가 안정되는지 확인한 뒤 올리십시오.

---

### 전해질 유량이 부족하거나 불안정하다

전해질 수위를 확인하고, 급수 보충이 켜져 동작하는지, 수위가 예상대로 오르는지 봅니다. 보충이 작동하는데 수위가 회복되지 않으면 정제수 통이 비었거나 물이 공급되지 않는 것입니다. 보충 후에도 수위가 오르지 않으면 운전을 멈추고 문의해 주십시오.

---

### 스택 막 손상

온도와 농도, 유량을 정상으로 되돌린 뒤에도 전압이 비정상적으로 낮으면 운전을 멈추십시오. 스택 전류·전압 추이, 전해질 온도와 유량, 최근 정비 이력을 남기고 문의해 주십시오.

---

## 증상 C. 압력이 예상과 다르거나 불안정하다

### 압력이 주문 사양과 다르다

장비의 수소 압력은 주문하실 때 고른 릴리프 밸브로 정해집니다(0 barg 또는 10 barg). 10 barg 장비인데 그 값까지 오르지 않거나 불안정하면 운전을 멈추고 문의해 주십시오.

---

### 릴리프 밸브 이상이 의심된다

압력이 10 barg 까지 오르지 않거나 가압 운전 중 빠르게 떨어지면 릴리프 밸브 누설을 의심할 수 있습니다. 운전을 멈추고 문의해 주십시오.

---

### 압력 센서 이상이 의심된다

값이 갑자기 튀거나 한 값에 멈춰 있거나 현실적이지 않으면 센서 문제를 의심하십시오. 운전을 멈추고 문의해 주십시오.

---

### 수소 배출 경로가 막혔다

수소와 함께 나오는 물기에는 알칼리 성분이 섞여 있어, 마르면서 밸브 오리피스나 좁은 배관에 찌꺼기로 쌓일 수 있습니다. 설정을 바꾸지 않았는데 수소 압력이 서서히 오르거나 들쭉날쭉하면 이것을 의심하십시오. 운전을 멈추고 압력을 뺀 뒤 H2 OUT 부터 후단까지 배관과 밸브를 점검하십시오. 장비 안쪽 밸브는 직접 분해하지 말고 문의해 주십시오.

---

### 스택 막 손상

온도와 유량이 정상인데도 10 barg 장비에서 압력이 계속 불안정하거나 유지되지 않으면 스택 내부 문제를 의심하십시오. 운전을 멈추고 재기동을 반복하지 마십시오. 압력 추이, 전류·전압 추이, 해당 알람 기록을 남기고 문의해 주십시오.

---

## 증상 D. 전해질 유량이 낮거나 불안정하다

### 전해질 수위가 너무 낮다

안정적인 순환에 필요한 액량이 부족한 경우입니다. 앱에서 수위를 확인하고 급수 보충이 동작하는지, 정제수가 공급되고 있는지 보십시오. 수위가 예상대로 회복되지 않으면 운전을 멈추고 문의해 주십시오.

---

### 순환 펌프 이상이 의심된다

앱에서 유량 표시와 관련 알람을 확인합니다. 펌프가 켜져 있는데 유량이 없거나 불안정하거나 거동이 이상하면 운전을 멈추고 문의해 주십시오.

---

### 보충이 평소보다 오래 걸리거나 수위가 잘 안 오른다

보충 펌프가 물을 제대로 빨아올리지 못하는 경우입니다. 정제수 통이 비지 않았는지, H2O IN 호스가 물에 잠겨 있는지, 통이 장비보다 너무 낮지 않은지, 호스에 공기가 차지 않았는지 보십시오. 그대로 두면 보충이 멈추고 순환 유량이 떨어집니다. 원인을 찾는 동안에는 전기분해를 멈춰 두십시오.

## 보충이 평소보다 잦고 O2 OUT 으로 액체가 나온다

전해질에 거품이 생겨 O2 OUT 으로 실려 나가는 경우입니다. 빠진 만큼 보충 펌프가 자주 돌고 셀 전압도 함께 오를 수 있습니다. 전기분해를 멈추고 전해질을 전부 빼낸 뒤 새로 채우십시오(「유지보수」장 「전해질 교체」). 새로 채운 뒤에도 다시 생기면 문의해 주십시오.

## 보충할 때가 지났는데 보충 펌프가 한 번도 작동하지 않음

평소 보충 간격이 지났는데 보충 펌프가 한 번도 작동하지 않았다면 수위 감지 계통에 이상이 있을 수 있습니다. 알람이 아직 없어도 전기분해를 멈추고 문의해 주십시오. 그대로 두면 수위가 떨어지고 순환과 온도 제어가 정상적으로 이루어지지 않습니다.

## 스택 막 손상

유량이 계속 불안정하거나 유지되지 않으면 스택 내부 문제를 의심하십시오. 운전을 멈추고 재기동을 반복하지 마십시오. 압력 추이, 전류·전압 추이, 해당 알람 기록을 남기고 문의해 주십시오.

# 지원 문의

## 문의하실 때

- 수위·상태, 유량, 온도를 확인하고 조치했는데도 스택 전압 거동이 계속 이상합니다.
- 정상 운전 조건에서 같은 문제가 반복되고 위 증상 안내로 해결되지 않습니다.
- 표준을 벗어난 운전을 계획하고 있고 안전 한계와 권장 방법을 확인받고 싶습니다.
- 심각도가 높은 알람이 기본 점검 후에도 남거나 다시 뜹니다.
- 증상 안내로 설명되지 않는 거동을 보셨습니다. 값이 불규칙하거나 모드가 설명 없이 바뀌는 경우입니다.

## 함께 보내주시면 진단이 빠릅니다

- 해당 알람 기록 전체. 시각, 분류, 라벨, 메시지, 실측값과 한계값, 상태.
- 이상 구간의 스택 전류·전압, 전해질 유량·온도 추이.
- 전해질 규격과 마지막 교체 날짜.
- 최근 변경 사항. 스택 교체, 전해질 교체, 배관 변경, 부품 교체.
- 누적 운전 시간과 기동·정지 횟수.

### 알림

#### 현장 설비의 수리와 교체는 고객 책임입니다.

- 정제수 공급 설비, 후단 수소 설비, H2 OUT 에 연결된 외부 배관과 밸브가 여기 해당합니다. 당사는 알람과 운전 추이를 해석해 장비의 거동을 판단하고, 공장 정비나 교체가 필요한지 알려드립니다.
- 점검·정비 반응은 사전 확인 후에 진행합니다. 확인 없이 발송하지 마십시오.