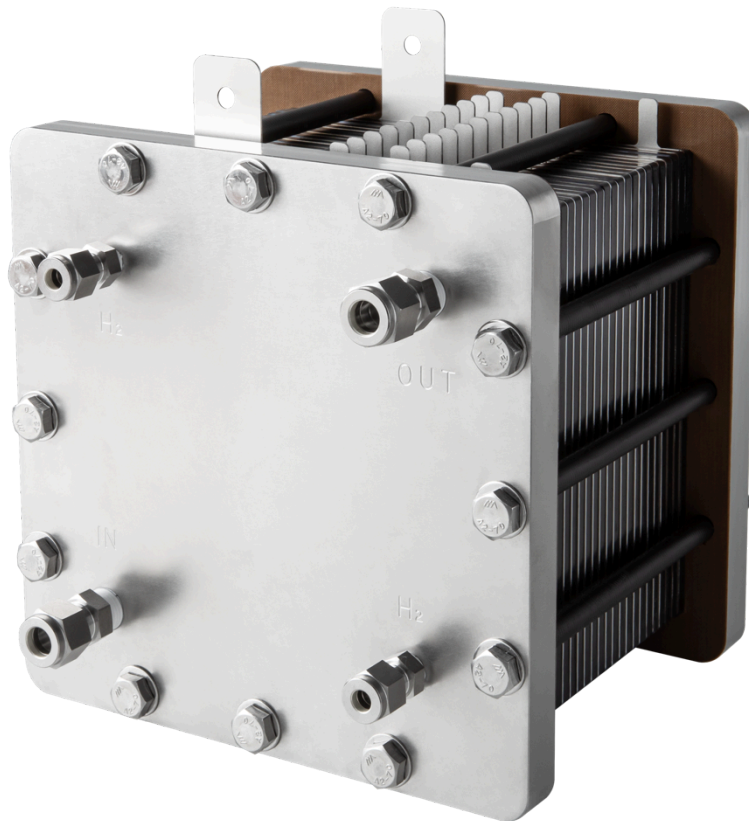


— HYDROXPAND · USER MANUAL

HXS-2

2 kW 스택

사용자 매뉴얼



DOCUMENT CONTROL

문서 관리

문서 정보

문서번호	HX-MAN-HXS2-KR-001
판	ver3.8
발행일	2026-10-08
대상 제품	HXS-2 · 2 kW 스택
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	2025-07-01	최초 발행
1.1	2025-12-05	유체 연결·보증 개정
2.0	2026-01-25	전면 개정
2.1	2026-03-11	제품 사진 개정
2.2	2026-08-23	전해질 교체 기준 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	80 A 운전 시 전원·케이블 기준 추가, 전원 상한에 걸린 경우를 셀 이상과 구분
3.2	2026-10-04	증상 A 원인 수·오타 정정, 50 A 전압 신품 약 38 V·운전 중 약 40 V, 본문 참조 링크
3.3	2026-10-04	경고문 정비: 위험·경고에 결과를 적고 장비 문제는 알림으로 정정
3.4	2026-10-04	경고를 해당 단계 앞으로 이동, 정전기 점화·고온 화상 경고 추가
3.5	2026-10-04	주요 단계에 확인·안 되면 줄 추가
3.6	2026-10-05	국문 문장 다듬기
3.7	2026-10-05	전압 추이 읽기 그림 5-2 추가
3.8	2026-10-08	수소 생산량 약 500 L/h 로 정정(261008 대표 결정)

CONTENTS

목차

01	안전	4
02	받기와 보관	10
03	시작하기	14
04	운전과 정지	22
05	유지보수	26
06	해체	34
07	사양과 참고	37
	문제 해결	40

01 안전

HXS-2 · 갱신 2026-09-30

HXS-2 는 수소와 산소를 생성하며, 내부에는 대전류의 직류가 흐르고 부식성 전해질이 통과합니다. 하나의 장비에 세 가지 위험 요인이 있으므로 안전 규칙도 세 범주로 나뉩니다.

완제품 시스템과 달리 스택에는 안전 기능이 내장돼 있지 않습니다. 감지와 인터록, 과압 보호, 비상 정지는 모두 고객이 구성한 계통이 맡습니다. 그 설계는 스택 통합 가이드가 다릅니다.

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

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

이 스택을 쓰는 범위

HXS-2 는 알칼리 전해질로 수소와 산소를 만드는 용도로만 씁니다. 이 핸드북과 데이터시트의 한계 안에서 운전하십시오.

하지 마실 것

- 다른 전해질로 운전하는 것

- 전류·전압·압력·온도 한계를 넘겨 운전하는 것
- 구조를 바꾸거나 승인 없이 분해·수리하는 것

이렇게 사용하면 사람이 다치고 설비와 환경에 피해가 발생할 수 있습니다.

다루는 사람

BoP 를 설계하는 통합 담당자, 실험실이나 파일럿 설비에서 스택을 돌리는 연구자, 계통 안에서 스택을 운전하는 교육받은 운전자를 위한 문서입니다. 다음 네 가지를 알고 계셔야 합니다.

- 수소 안전, 그리고 수소·산소 벤트와 환기, 배출 경로
- 대전류 DC 전원 장비와 전기 위험
- 알칼리 전해질 취급과 화학물질 안전 절차
- 수전해 계통의 기초

알림

현지 법규와 현장 안전 규정이 이 핸드북보다 우선합니다.

수소

위험

수소는 폭발 위험이 있습니다.

- 색도 냄새도 없고, 아주 잘 타며, 공기와 넓은 범위에서 폭발성 혼합물을 만듭니다. 밀폐된 공간에서 특히 위험하고 타는 불꽃이 거의 보이지 않습니다.
- 환기를 확보하고 점화원을 치우십시오. 누설은 누설 검지액이나 수소 검지기로 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.

- 환기가 확보된 곳에서만 운전하거나, 벤트를 설계된 배기 계통에 연결하십시오.
- 밀폐된 방이나 환기가 나쁜 좁은 공간에서 운전하지 마십시오.
- 점화원을 멀리 두십시오. 스택과 벤트 출구 근처에서 흡연, 화기 사용, 용접, 연마, 불꽃이 나는 작업을 하지 마십시오.
- 수소가 있을 수 있는 구역의 등급에 맞는 전기 기기를 쓰십시오.
- 누설 점검은 수소 감지기 사용 등 승인된 방법으로 하십시오. 불꽃으로 새는 곳을 찾지 마십시오.
- 수소는 천장과 높은 곳에 모입니다. 환기 계획을 세울 때 이 점을 고려하십시오.

벤트 배관

위험

수소 벤트와 산소 벤트를 절대 합치지 마십시오.

- 각각 별개의 안전한 배출점으로 빼십시오. 벤트 가스가 섞이면 폭발 위험입니다.

- 벤트 배관은 항상 열려 있어야 합니다. 실수로 닫힐 수 있는 밸브나 장치를 닫지 마십시오.
- 벤트를 좁히거나 배압을 만들지 마십시오.
- 벤트와 릴리프 배관에 막힘, 꺾임, 이물, 예상하지 않은 액체 고임이 없게 하십시오.
- 응축수가 쌓이면 벤트가 얼 수 있습니다. 현장 조건에 맞게 기울기, 드레인 지점, 보온이나 열선을 두십시오.
- 벤트 출구를 점화원에서 멀리 두고 법규와 현장 안전 규정을 따르십시오.
- 산소가 짙어진 공기는 화재 위험을 높입니다. 산소 배출 구역 주변에 가연물을 두지 말고 환기를 확보하십시오.

작업 해설

이 스택에서 산소는 전해질과 함께 나옵니다.

- 산소 전용 포트가 없습니다. OUT 으로 나온 산소는 전해질과 함께 탱크로 돌아가 거기서 분리됩니다. 그래서 산소 벤트는 스택이 아니라 탱크 쪽에 생깁니다. 그 벤트에도 위의 규칙이 그대로 적용됩니다.

전기

위험

감전과 아크 위험이 있습니다.

- HXS-2 는 대전류 직류 전원을 씁니다. 통전된 도체에 닿으면 중상을 입거나 사망할 수 있습니다.
- 활선에 닿으면 중상을 입거나 사망합니다.

- 전기 설치에 자격을 갖춘 사람이 합니다.
- 법규에 맞는 과전류 보호와 차단 장치를 두십시오.
- DC 전원과 연결된 모든 기기를 제대로 접지하십시오.
- 부하가 걸린 상태에서 전원 케이블을 연결하거나 분리하지 마십시오.
- 극성을 확인하고 단자를 확실히 조이십시오. 느슨한 접속은 과열과 아크 사고로 이어집니다.
- 전기 부품을 건조하게 유지하고 전해질이 닿지 않게 하십시오.

⚠ 경고

정지한 뒤에도 단자에 전압이 남아 있을 수 있습니다.

- DC 전원을 끄고 계통에서 분리한 다음, 방전될 시간을 두고 계측기로 단자 전압을 확인한 뒤에 케이블과 단자를 만지십시오.
- 공구로 단자를 단락시키지 마십시오.
- 전압이 남아 있는 부위에 닿으면 감전되고, 단자가 단락되면 아크로 화상을 입습니다.

전해질

⚠ 경고

KOH 수용액은 부식성이고 피부와 눈에 심한 화상을 입힐 수 있습니다.

- 보안경과 내알칼리 장갑을 끼고 다루십시오. 닿으면 바로 많은 물로 씻으십시오.

⚠ 주의

운전 중 전해질과 배관, 스택은 최대 80 °C 까지 뜨거워집니다. 맨손으로 만지면 화상을 입습니다.

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

- SDS와 현장 절차에 따라 취급하십시오.
- KOH에 견디는 재질만 쓰십시오. 용기, 배관, 피팅 모두입니다.
- 흘렸을 때는 확산을 막고 현장 절차로 처리한 뒤 법규에 맞게 폐기하십시오.
- 노출됐을 때는 즉시 물로 씻어 내고 필요하면 진료를 받으십시오.
- KOH를 다루는 자리 근처에 세안 설비와 안전 샤워를 갖추십시오.

보호구

i 알림

현장 규정이 이 표보다 엄하면 현장 규정을 따르십시오.



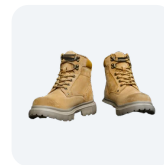
보안경



밀폐형 고글



내알칼리 장갑



발을 덮는 신발

작업

착용

일상 운전과 감시 보안경, 앞이 막힌 신발, 적절한 작업복

전해질 취급 밀폐형 고글이나 안면 보호구, 내알칼리 장갑, 화학용 앞치마나 실험복

스택에 직접 작업 보안경과 작업 장갑, 그리고 작업에 필요한 추가 보호구. 전원 케이블과 단자 근처 작업에는 전기 보호구를 더합니다

비상 정지와 대응

위험

비상 정지를 미루지 마십시오.

- 이상하거나 위험한 상황에서는 사람의 안전이 가장 중요합니다. 판단이 서지 않으면 즉시 멈추고 현장 절차에 따라 대피하십시오.

가스나 전해질 누설, 이상한 소리, 연기, 근처의 화재, 눈에 보이는 손상

1

접근이 안전하다면 스택으로 가는 DC 출력을 끄고 그대로 두십시오.

2

주변에 알리고 대응에 필요하지 않은 인원을 대피시키며 접근을 제한하십시오.

3

구역과 설비의 안전이 확보되기 전에는 단자, 케이블, 젖은 배관을 만지지 마십시오.

4

현장 비상 대응 계획을 따르고 안전 담당자에게 알리십시오.

5

자격을 갖춘 사람이 원인을 찾아 고치기 전에는 운전을 재개하지 마십시오.

수소 누설이 있거나 의심될 때

위험

그 자리에서 불꽃을 낼 수 있는 스위치나 기기를 조작하지 마십시오.

- 점화원을 모두 멀리 두십시오.
- 현장 절차에 따라 환기를 늘리십시오. 배기 설비가 있으면 가동하십시오.
- 권한 있는 사람이 안전하다고 선언하기 전에는 그 구역에 다시 들어가지 마십시오.

벤트가 막혔거나 얼었다고 의심될 때

위험

과압과 위험한 배출이 생길 수 있습니다.

- 사람들이 벤트 배출 위치에서 떨어져 있도록 하십시오.
- 배관을 완전히 감압하고 분리하기 전에는 막힌 것을 제거하려 하지 마십시오.
- 이 작업은 자격을 갖춘 사람이 현장 안전 절차에 따라 합니다.
- 막힌 배관을 함부로 풀면 갇힌 수소와 전해질이 뿔어져 나와 다칩니다.

전해질을 흘렸거나 노출됐을 때

경고

흘린 전해질이 피부나 눈에 닿지 않게 하십시오.

- 현장 누출 대응 절차를 따르십시오. 화학용 보호구를 착용하고 확산을 막아 처리한 뒤 법규에 맞게 폐기합니다.
- 사람이 노출됐으면 즉시 물로 씻고 SDS의 응급 처치를 따르십시오. 필요하면 진료를 받으십시오.

02 받기와 보관

HXS-2 · 갱신 2026-09-30

스택을 받아 자리에 놓기까지입니다. 운송과 취급, 보관 조건, 개봉과 검수, 그리고 인도품과 공급 경계를 다룹니다.

연결 절차는 「시작하기」장에 있습니다. 이 장은 그 전까지입니다.

무게 **사람 한 명이 옮길 수 있습니다** 보관 온도 **항상 5 °C 이상** 보관 자세 **포장 표시대로 세워서**

이 장을 읽는 방법

처음이신 분

받으신 날 개봉과 검수 절차를 먼저 하십시오. 손상이 있으면 연결하기 전에 알려 주셔야 처리가 됩니다.

해보신 분

바로 설치하지 않으실 때의 보관 조건만 보십시오. 결빙과 포트 보호가 핵심입니다.

운송과 취급

 주의

떨어뜨리면 발을 다치고 포트와 가스켓이 상합니다.

- 포트와 나사, 가스켓, 외부 피팅은 손상되기 쉬운 부위입니다. 이동과 운송은 항상 통제된 방식으로 하십시오.

- 운송할 때는 가능한 한 원래 포장을 그대로 쓰십시오.
- 포장에 표시된 취급 기호를 모두 따르십시오. 파손 주의, 건조 유지, 취급 주의, 위쪽 표시 같은 것들입니다.
- 포장된 상태로 옮길 때는 가능하면 카트를 쓰고 상자를 세워 수평으로 유지하십시오. 짧은 거리는 두 손으로 드십시오.
- 포장을 벗긴 스택은 엔드플레이트나 프레임처럼 단단한 구조부만 잡고 드십시오.
- 포트, 보호 캡과 플러그, 피팅, 전기 단자나 케이블을 잡고 들거나 받치지 마십시오.

피하실 것

- 떨어뜨리거나 심하게 부딪히는 것
- 상자에 눌리는 하중을 주는 것과 위에 무거운 물건을 쌓는 것
- 포트와 피팅이 노출된 채로 운송하는 것
- 비, 고인 물, 높은 습도에 노출하는 것



경고

운송 중에 심한 충격이나 기울어짐, 사고가 있었으면 설치하거나 운전하지 마십시오.

- 아래 개봉과 검수 절차를 먼저 하고 결과를 알려 주십시오.
- 운송 중 상한 스택을 돌리면 수소나 전해질이 새어 화재나 화상으로 이어질 수 있습니다.

바로 설치하지 않으실 때



알림

얼지 않게 하십시오. 항상 5 °C 이상으로 보관하십시오.

- 출하 전에 공장 검수를 하고 전해질을 최대한 뺐지만, 막과 전극이 젖어 있고 내부 유로에 잔액과 수분이 남습니다. 그것이 얼면 막과 가스켓, 내부 부품이 상합니다.

반드시 지키실 것

- 온도를 항상 5 °C 이상으로 유지하십시오.
- 포장 표시대로 세워서 보관하십시오.
- 보관 중에는 원래 포장을 그대로 두십시오.
- 모든 포트의 캡과 플러그를 끼운 채로 두십시오.
- 심한 진동을 피하십시오. 시간이 지나면서 피팅과 캡이 풀립니다.

권장하는 것

- 실내의 건조한 곳, 직사광선이 닿지 않는 곳에 두십시오.
- 이슬이 맺히는 조건을 피하십시오. 야외 보관이나 급격한 온도 변화가 그렇습니다.
- 먼지가 많은 곳과 부식성 가스가 있는 곳을 피하십시오.
- 포장된 스택 위에 무거운 물건을 쌓지 마십시오.

개봉과 검수

표준 포장은 골판지 상자와 PE 폼 완충재입니다. 받으신 상자가 아래와 같은지 먼저 보십시오.

항목	표준 포장
겉상자	260 × 260 × 260 mm (가로 × 세로 × 높이)
완충재	두께 30 mm PE 폼. 스택을 둘러싸 중앙에 고정합니다
포트 보호	모든 포트에 캡이나 플러그가 끼워져 있습니다

방향

포장 표시대로 세워서 운송하고 보관합니다

i 알림**주문 구성과 목적지, 물류 조건에 따라 포장 치수와 완충재 배치가 다를 수 있습니다.****i** 알림**칼날을 깊게 넣지 마십시오.**

- 포트 나사와 보호 캡, 플러그가 상하기 쉽습니다. 상자를 조심해서 여십시오.

1**겉포장을 먼저 보십시오.**

- 눈에 보이는 손상, 변형, 충격 흔적을 확인하십시오. 있으면 인도 서류에 적고 필요하면 사진을 찍어 두십시오. 운송사 클레임에 씁니다.

2**봉합 테이프를 위쪽 이음선만 따라 자르고 상자를 엽니다.****3****스택을 꺼내 깨끗하고 안정된 자리에 놓습니다.**

- 엔드플레이트처럼 단단한 구조부만 잡으십시오. 포트, 피팅, 캡과 플러그, 단자와 케이블을 잡지 마십시오.

4**스택을 눈으로 검수합니다.**

- 몸체에 눌린 곳, 균열, 변형이 없는지 봅니다.
- IN, OUT, H2 포트와 보호 캡·플러그에 기계적 손상이 없는지, 보호 캡·플러그가 확실히 끼워져 있는지 봅니다.
- 포트와 피팅 주변에 누설 흔적이나 잔류물이 없는지 봅니다.
- 운송 중에 풀린 피팅이나 캡이 없는지 봅니다.
- 제품 라벨의 모델과 시리얼 번호, 개정 표기를 확인하십시오. 나중에 문의하실 때 필요합니다.

⚠ 경고**손상이나 누락, 이상이 있으면 연결하지 마십시오.**

- BoP 나 전원에 연결하지 마시고, 상태를 기록하고 사진을 찍어 두십시오. 당사와 운송사에 즉시 알리고 다음 조치를 합의한 뒤에 운전하십시오.
- 원래 포장은 가능한 한 보관하십시오. 옮기거나 반송하거나 정비를 보낼 때 필요합니다.
- 상한 스택을 연결해 돌리면 수소나 전해질이 새어 화재나 화상으로 이어질 수 있습니다.

인도품과 공급 경계

함께 옵니다	HXS-2 스택, 그리고 전자문서로 드리는 사용자 매뉴얼.
출하 검사	출하 전에 스택마다 공장 검사(FAT)를 합니다. 해당되는 경우 인도 때 그 결과와 인도 서류를 함께 드립니다.
주문에 명시되지 않으면 오지 않습니다	전해질(KOH 수용액)과 정제수.
고객이 갖추십니다	DC 전원, 전해질 탱크, 순환 펌프, 열교환기, KOH 에 견디는 배관과 피팅, 그리고 현장과 계통 설계가 요구하는 밸브·센서·안전 장치.
수리 책임	외부 BoP 부품의 수리와 교체는 고객 책임입니다. 펌프, 히터, 열교환기, 센서, 전원이 여기 해당합니다. 당사는 스택 거동을 해석해 스택 정비가 필요한지 판단해 드립니다.

알림

HXS-2 는 스택 단품입니다.

- 외부 설비와 유틸리티, 소모품은 고객이 준비하시고, 설치와 운전 전에 이 핸드북에 맞게 갖추어져 있어야 합니다.

03 시작하기

HXS-2 · 갱신 2026-09-30

스택을 받은 뒤 첫 수소를 뽑기까지의 순서입니다. 아홉 단계이고, 외부 BoP 가 준비돼 있으면 반나절 안에 끝납니다.

HXS-2 는 스택입니다. 전원과 전해질 순환, 가스 처리, 계측과 인터록은 고객이 구성합니다. 그 설계에 필요한 사이징 근거는 스택 통합 가이드에 있습니다.

예상 소요 BoP 가 준비돼 있으면 반나절 먼저 있어야 할 것 외부 BoP 와 DC 전원 보호구 보안경 · 내알칼리 장갑

사전 지식 수소 안전과 DC 전원 취급

이 장을 읽는 방법

처음이신 분

아홉 단계를 순서대로 따라 하십시오. 다만 이 제품은 스택 단품이라 BoP 가 먼저 있어야 합니다. 무엇을 갖춰야 하는지는 1단계에 있고, 왜 그 값인지는 스택 통합 가이드에 있습니다.

해보신 분

포트 확인과 루프 연결만 다시 보고 첫 운전으로 넘어가십시오. 운전 범위와 정지 순서는 「운전과 정지」 장에 있습니다.

1. 갖춰야 할 것



DC 전원 1대

정격 50 A 로 운전하시면 0~45 V · 0~50 A 로 충분합니다. 스택 최대(80 A · 50.6 V)까지 쓰실 계획이면 0~51 V · 0~80 A 이상을 고르십시오. 정전류 모드가 있어야 합니다.



전해질 순환 루프 1식

탱크, 순환 펌프, 열교환기. 재질은 KOH 에 견디는 것이어야 합니다. 탱크 히터는 선택인데 저전류로 길게 돌리실 계획이면 필요합니다.



배관 3종

전해질 입구, 수소 출구, 그리고 산소와 전해질이 함께 나오는 출구. 세 번째가 이 제품의 특징입니다.



전해질과 정제수

첫 충전은 정제수에 KOH 를 녹인 0.1 M 전해질, 이후 운전 중 보충은 정제수입니다. 정제수는 별도 통에 준비하십시오.



밸브와 센서, 안전 장치

현장과 계통 설계가 요구하는 것을 고객이 갖추니다. 무엇을 어디에 두는지는 스택 통합 가이드에 있습니다.

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

스택만 옵니다.

- 표준 인도품은 스택 한 대와 전자문서로 드리는 사용자 매뉴얼입니다. 전해질과 정제수는 주문에 명시되지 않으면 포함되지 않고, 위의 BoP 와 유틸리티는 모두 고객 준비입니다.

작업 해설

저전류로 길게 돌리실 계획이면 히터를 넣으십시오.

- 높은 전류에서는 스택이 스스로 열을 내서 전해질 온도가 자연히 올라갑니다. 낮은 전류에서는 그 열이 부족해 권장 온도까지 안 올라갑니다.
- 탱크에 히터를 달고 온도 감시와 과열 보호를 외부 BoP 에 함께 넣으십시오. 히터도 KOH 에 견디는 것이어야 합니다.

2. 포트 확인

스택에 붙은 라벨을 보고 세 종류를 확인하십시오. 개정에 따라 표기가 다를 수 있으니 받으신 물건의 라벨을 따르십시오.

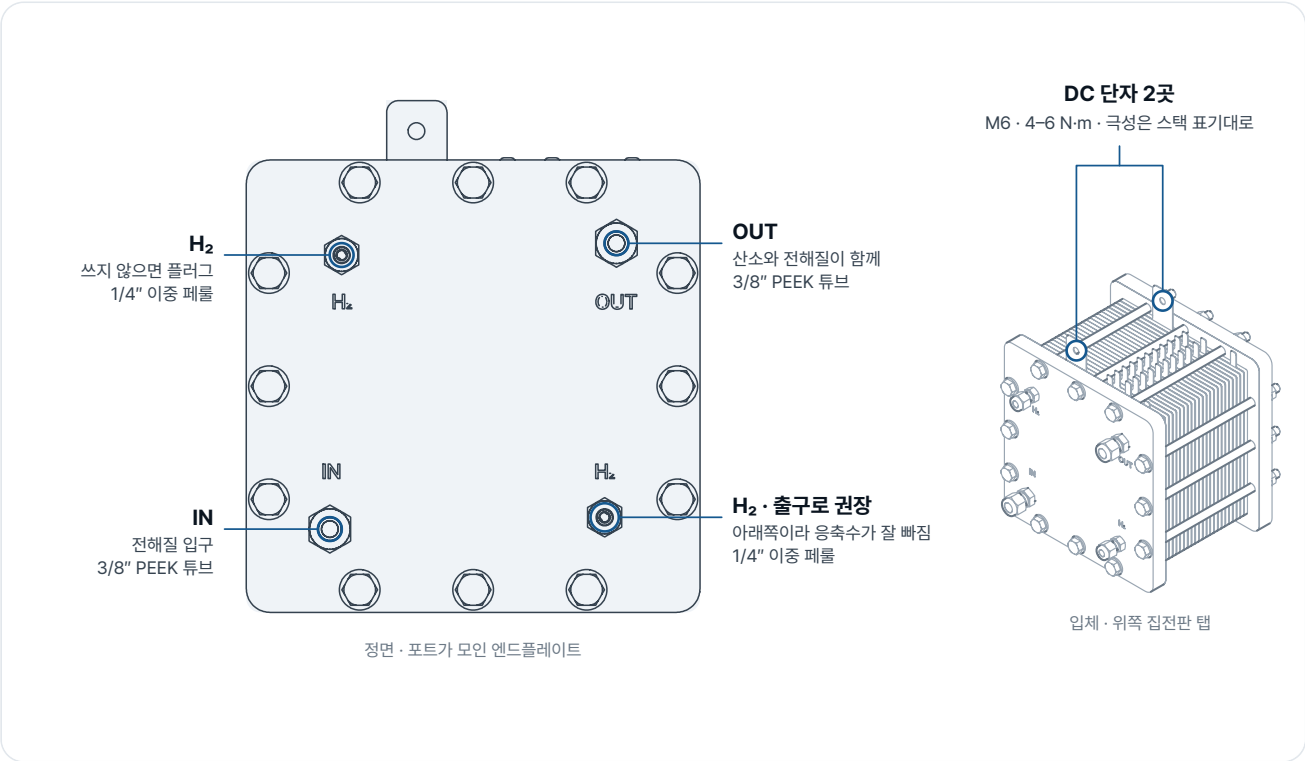


그림 3-1 HXS-2 포트와 DC 단자. 3D 모델에서 뽑은 선도이며 포트 좌표는 외형 치수도 정면도와 같습니다. 개정에 따라 다를 수 있으니 받으신 스택의 표기를 따르십시오.

포트	수	정면 위치	무엇이 지나가나	연결
IN	1	왼쪽 아래	전해질이 들어갑니다	3/8인치 PEEK 튜브
OUT	1	오른쪽 위	산소와 전해질이 함께 나옵니다	3/8인치 PEEK 튜브
H2	2	왼쪽 위 · 오른쪽 아래	수소가 나옵니다. 한 곳만 쓰고 나머지는 막습니다	1/4인치 이중 패룰

i 알림

피팅은 두 규격으로 준비하십시오.

- IN 과 OUT 은 3/8인치, H2 는 1/4인치입니다. 전부 1/4인치로 발주하시면 전해질 쪽이 맞지 않습니다.
- H2 쪽은 표준 이중 폐물 방식이라 시중의 1/4인치 이중 폐물 피팅과 튜브를 그대로 쓸 수 있습니다.
- 포트 좌표는 외형 치수도 정면도에 있습니다. 정면은 포트가 모인 엔드플레이트 쪽입니다.

작업 해설

OUT 은 기체와 액체가 같이 나오는 젖은 출구입니다.

- 산소를 따로 빼는 포트가 없습니다. 산소는 전해질과 함께 OUT 으로 나와 탱크로 돌아가고, 탱크에서 기체가 분리됩니다. 그래서 탱크 쪽 벤트를 어떻게 잡느냐가 계통 설계의 일부가 됩니다.
- OUT 배관이 막히거나 꺾이면 되돌림이 불안정해집니다. 운전 중에 확인하는 항목이기도 합니다.

3. 전해질 루프 연결

전형적인 배치에서는 전해질이 탱크에서 나와 탱크로 돌아옵니다.

- 탱크 → 펌프 → 열교환기 → 스택 IN → 스택 OUT → 탱크

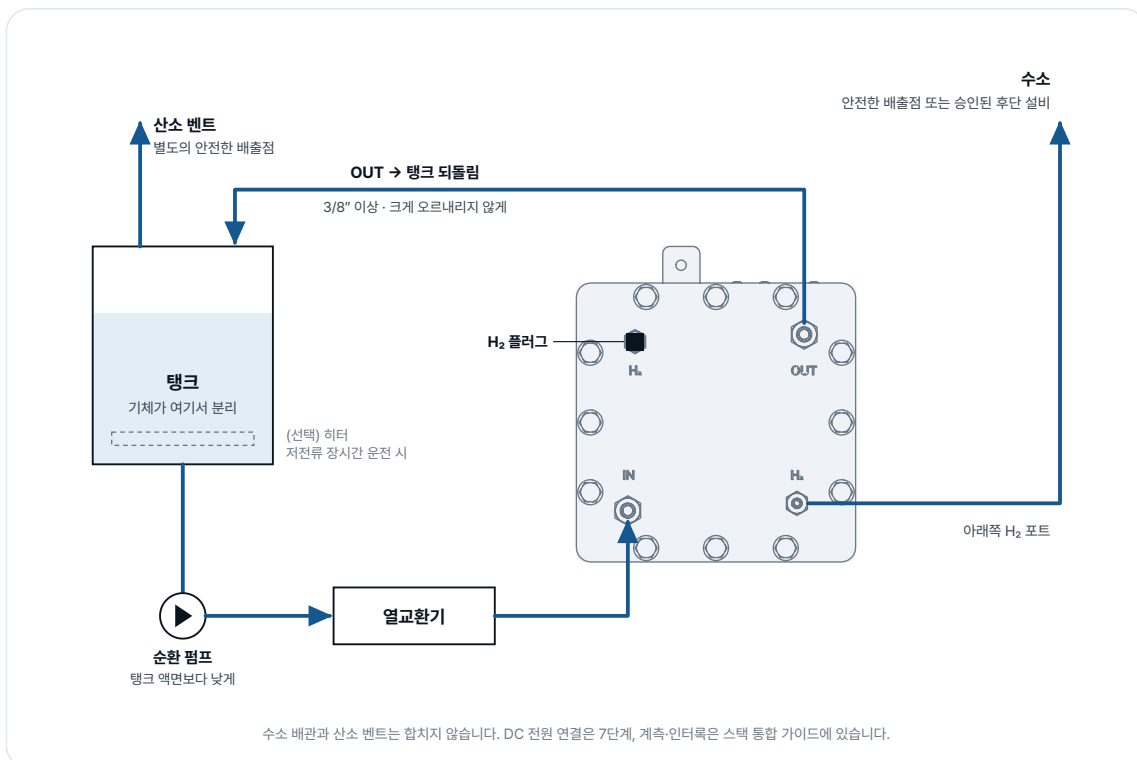


그림 3-2 최소 전해질 루프와 수소 배관. 스택은 그림 3-1 의 정면이고 포트 자리가 실제와 같습니다. 밸브·계측기·인터록은 스택 통합 가이드에 있습니다.



경고

배관이 스택 포트에 힘을 걸지 않게 하십시오.

- 배관과 클램프를 따로 받쳐 두십시오. 포트가 배관 무게를 받으면 가스켓에서 누설이 발생하기 시작합니다. 주간 점검 항목에도 들어 있습니다.
- 새어 나온 전해질에 닿으면 화학 화상을 입습니다.

1

탱크 출구를 순환 펌프 입구에 연결합니다.

- 펌프는 탱크 액면보다 낮게 두십시오. 흡입 쪽이 늘 액체로 차 있어야 공기를 빨아들이지 않습니다.
- 펌프로 양극 루프를 가압하지 마십시오. 순환만 맡깁니다.

2

펌프 출구를 열교환기 입구에 연결합니다.

3

열교환기 출구를 스택 IN 에 연결합니다.

4

스택 OUT 을 탱크로 되돌립니다.

- 되돌림 경로에서 전해질이 원활하게 흘러야 합니다. 위로 크게 올렸다 내리는 배관에는 기체가 갇혀 전해질의 복귀 흐름이 끊깁니다.
- 되돌림 배관은 3/8인치 이상으로 두십시오. 포트 규격보다 가늘게 줄이지 마십시오.



알림

스택 뒤쪽 배관의 저항이 양극 출구 압력을 올립니다.

- 그 압력이 일정 수준을 넘으면 전해질이 막을 넘어 수소 쪽으로 밀려갑니다. 그래서 OUT 에서 탱크로 가는 배관이 가장 중요합니다.
- 1/4인치 배관이 꼭 필요하면 펌프와 스택 사이 상류에 짧게 두십시오. 상류 저항은 셀이 아니라 펌프가 받습니다.
- 양극 압력은 스택 출구 가까이에서 재십시오. 시운전 때 그 값을 직접 확인할 수 있습니다. 계측 위치는 스택 통합 가이드에 있습니다.

4. 수소 배관 연결



위험

수소 배관과 산소 배출 배관을 절대 합치지 마십시오.

- 각각 별개의 승인된 배출점으로 빼십시오. 섞이면 폭발 위험입니다.
- 불이 붙으면 배관 안에서 폭발해 주변 사람이 크게 다칩니다.

1

두 H2 포트 중 아래쪽을 출구로 쓰십시오.

- 응축된 수분이 빠져나가기 쉬워서 아래쪽을 권합니다.

2

쓰지 않는 H2 포트에 플러그를 끼웁니다.

3

수소 출구 배관을 환기가 확보된 안전한 배출점으로 빼거나 승인된 후단 설비에 연결합니다.

5. 전해질 충전

충전 전에 루프 연결과 피팅 체결을 다시 확인하십시오.

⚠ 경고

KOH 는 부식성입니다. 피부와 눈에 닿으면 심한 화상을 입습니다.

- 물에 KOH 를 넣으십시오. 반대로 하면 됩니다. 섞을 때와 다룰 때는 보안경이나 안면 보호구, 내알칼리 장갑, 화학용 앞치마를 착용하고 SDS 와 현장 절차를 따르십시오.
- 눈에 튀면 시력을 잃을 수 있습니다.

1

정제수에 KOH 를 녹여 0.1 M 전해질을 만듭니다.

- KOH 순도는 95% 이상, 물은 ASTM D1193 Type II(25 °C 에서 1.0 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 이하)를 권합니다. 허용 상한은 30 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 입니다.

2

순환 루프에 맞는 수위까지 탱크를 채웁니다.

- **확인** 피팅과 포트 주변에 누설이 없습니다.
- **안 되면** 새면 순환을 멈추고 그 피팅을 다시 조이십시오.

6. 유량과 온도 설정

1

순환을 시작하고 유량을 4 L/min 으로 맞춥니다.

- **확인** 유량이 4 L/min 근처에서 안정됩니다. 처음에는 공기가 빠지면서 잠시 흔들리는 것이 정상입니다.
- **안 되면** 계속 흔들리거나 오르지 않으면 펌프 흡입 쪽이 액체로 차 있는지, 되돌림 배관에 기체가 갇히지 않았는지 보십시오.

2

전해질 온도를 50 °C 로 제어합니다.

- 높은 전류에서는 스택 발열로 자연히 올라갑니다. 낮은 전류에서는 탱크 히터가 필요합니다.

두 값 모두 권장값이고 강제는 아닙니다.

- 운전 한계는 더 넓습니다. 유량 1~10 L/min, 전해질 온도는 실온부터 80 °C 까지입니다. 다만 80 °C 운전은 열화를 빠르게 만들어 수명을 줄입니다.
- 표준보다 높은 유량을 검토하시는 경우와 내부 유로 변경 요청은 스택 통합 가이드가 별도로 다룹니다.

7. DC 전원 연결

⚠ 위험

감전과 아크 위험이 있습니다.

- 전기 작업은 자격을 갖춘 사람이 합니다. 연결 전에 DC 전원을 끄고 계통에서 분리하십시오.
- 활선에 닿으면 중상을 입거나 사망합니다.

⚠ 경고

느슨한 단자는 과열과 아크로 이어집니다.

- 부하가 걸린 상태에서 케이블을 연결하거나 분리하지 마십시오. 단자 주변을 건조하게 유지하고 전해질이 닿지 않게 하십시오.
- 과열과 아크는 화상과 화재로 이어집니다.

1

전원 + 를 스택 + 에, 전원 - 를 스택 - 에 연결합니다.

- 케이블은 50 A 연속 통전을 기준으로 고르십시오. 80 A 까지 쓰실 계획이면 80 A 연속 기준으로 고르십시오.

2

M6 단자를 4~6 N·m 로 체결합니다.

- 6 N·m 를 넘기지 마십시오. 과도한 체결 토크는 단자를 손상시킵니다.

3

전원을 켜기 전에 극성을 다시 확인합니다.

- **안 되면** 반대로 연결됐으면 전류를 걸지 말고 다시 연결하십시오.

8. 첫 운전

1

전류를 걸기 전에 전해질이 순환하고 있고 유량이 안정된 것을 확인합니다.

2

DC 전원을 정전류 모드로 둡니다.

전류를 단계적으로 올립니다.

- 0 A 에서 10 A 로 올려 2분, 20 A 로 2분, 30 A 로 2분, 40 A 로 2분, 그다음 정격 50 A 입니다.
- 첫 운전에서 전류를 단계적으로 올리는 이유는 유량과 온도 제어, 전압 응답이 정상인지 구간마다 확인하기 위해서입니다.
- **확인** 단계마다 전압이 오르다 안정되고 유량과 온도가 유지됩니다. 신품은 50 A 에서 약 38 V 입니다.
- **안 되면** 전압이 계속 오르거나 누설·온도 이상이 보이면 전류를 0 A 로 내리고 「문제 해결」 장의 증상 A 를 보십시오.

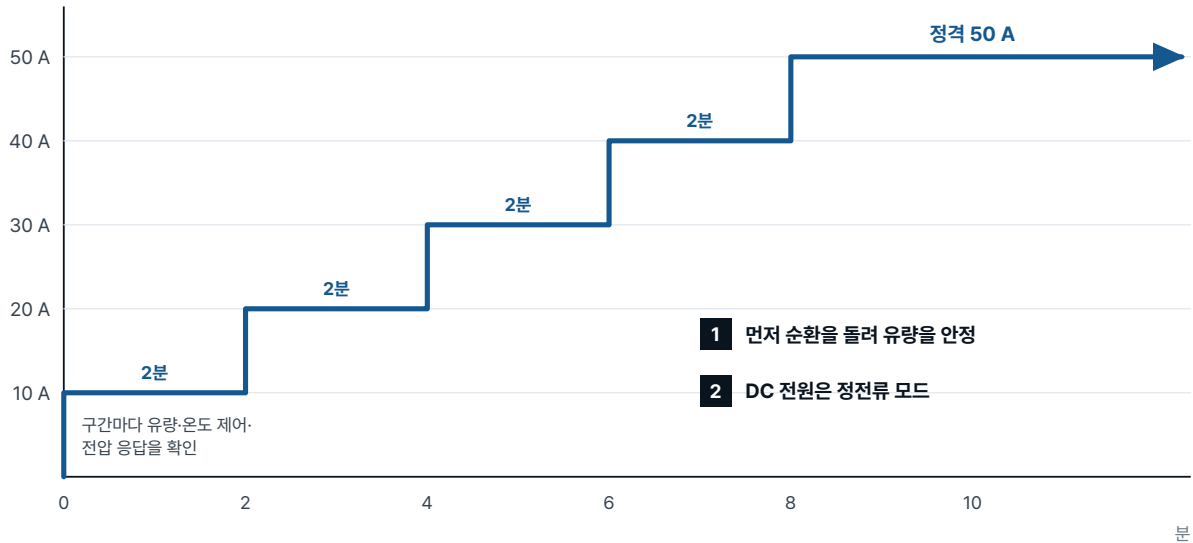


그림 3-3 첫 운전 전류 단계. 램프가 끝나면 잠시 유지한 뒤 9단계의 세 가지를 확인합니다.

9. 첫 운전 확인

램프를 끝내고 잠시 유지한 뒤 세 가지를 확인하십시오.

- 스택 포트와 피팅에서 전해질이 새지 않는지 눈으로 확인합니다.
- 전해질 유량이 안정적인지 확인합니다.
- 전류에 따라 스택 전압이 합리적으로 올라가는지 확인합니다. 신품은 50 A 에서 약 38 V(데이터시트 37.8 V)이고, 운전하며 조금씩 올라 보통 약 40 V 가 됩니다.



경고

이상이 보이면 전류를 낮추거나 즉시 멈추십시오.

- 필요하면 순환은 잠시 더 돌려 식힙니다. 외부 루프 배관과 피팅, 운전 조건을 점검한 뒤에 다시 시작하십시오.
- 이상 상태로 계속 돌리면 누설, 과열, 수소·산소 혼합으로 이어질 수 있습니다.

기록해 두실 것

첫 운전이 안정되면 그날의 값을 한 번 적어 두십시오. 나중에 전압 추이를 읽을 때 이 기록이 출발점이 됩니다.

항목	적을 것
식별	모델과 시리얼 번호, 개정 표기. 라벨에 있습니다
운전점	정해 둔 운전점에서의 스택 전류와 전압, 전해질 유량과 온도
계측기가 있으면	수소 유량과 압력, 수소 순도, 산소 순도
전해질과 물	제조 날짜와 농도, 급수 수질
루프 구성	탱크·펌프·열교환기 배치, IN·OUT·H2 배관 경로와 벤트 경로

작업 해설

운전점은 하나로 정해 두고 매번 같은 조건에서 재삽시오.

- 조건이 매번 다르면 추이가 아니라 잡음이 됩니다. 권장 운전점인 50 A · 50 °C · 4 L/min 을 쓰시면 데이터시트와 나란히 놓고 볼 수 있습니다.
- 출하 전에 스택마다 공장 검사(FAT)를 합니다. 인도 때 그 결과를 받으셨으면 이 기록과 함께 보관하십시오.
- 이 표의 항목은 문의하실 때 저희가 요청드리는 것과 같습니다. 미리 적어 두시면 회신이 빨라집니다.

04 운전과 정지

HXS-2 · 갱신 2026-09-30

매일 돌리는 방법입니다. 정상 운전에서 무엇을 보는지, 수위와 물 보충을 어떻게 관리하는지, 운전 범위가 어디까지인지, 낮은 전류와 잦은 기동·정지에서 무엇이 달라지는지, 그리고 정상 정지 순서입니다.

처음 기동은 「시작하기」장에 있습니다. 이 장은 그 뒤부터입니다.

권장 운전점 50 A · 50 °C · 4 L/min 물 소비 50 A 에서 420 mL/h 보충은 외부 BoP 절차로 고객이 합니다

이 장을 읽는 방법

처음하신 분

네 절을 순서대로 보십시오. 첫 절이 매일 보는 것이고, 두 번째 절이 이 제품에서 가장 자주 놓치는 것입니다.

해보신 분

운전 한계 표와 정상 정지 절만 보십시오.

정상 운전에서 보는 것

순환을 안정하게 유지하고 네 가지를 봅니다.

유량과 온도	유량이 안정한지(권장 4 L/min), 온도가 목표 근처에 있는지(권장 50 °C) 확인하십시오. 냉각 능력이 있는 데도 온도가 계속 올라가면 전류를 낮추거나 멈추십시오.
전압	스택 전압을 계속 감시하십시오. 전류가 일정한데 전압이 갑자기 튀거나 비정상적으로 흔들리면 전류를 낮추거나 멈추고 루프와 운전 조건을 점검하십시오.
누설	IN, OUT, H2 포트와 외부 피팅 주변을 주기적으로 눈으로 보십시오. 젖어 있거나 흰 결정이 보이면 멈추고 원인을 고친 뒤에 재개하십시오.
젖은 출구 되돌림	OUT 되돌림 경로가 막히지 않고 전해질이 탱크로 원활하게 돌아가는지 보십시오. 기체가 갇히거나 꾸르륵 거리거나 되돌림이 끊기면 배관과 배압을 점검하고 고친 뒤에 계속하십시오.



경고

이상이 보이면 먼저 낮추거나 멈추고 그다음에 알아보십시오.

- 유량이 불안정하거나, 누설이 있거나, 온도가 제어되지 않고 올라가거나, 전압 거동이 비정상이면 전류를 낮추거나 즉시 멈추십시오. 운전 중에 원인을 찾지 마십시오.
- 이상 상태로 계속 돌리면 누설, 과열, 수소·산소 혼합으로 이어질 수 있습니다.

수위와 물 보충

이 제품에서 가장 자주 놓치는 항목입니다. 완제품 시스템과 달리 자동 보충 장치가 없어서 보충이 고객 절차에 달려 있습니다.

1

전기분해가 물을 소모합니다.

- KOH 수용액을 양극 루프로 보내는 건식 음극 구성에서, 소모되는 것은 물이고 KOH 는 소모되지 않습니다. 50 A 에서 420 mL/h 입니다.

2

그래서 탱크 수위가 시간이 지나면서 내려갑니다.

- 순환과 냉각에 충분한 수위를 유지하십시오.

3

외부 BoP 절차에 따라 정제수를 탱크에 보충하십시오.

- 수위가 낮은 상태로 운전하면 펌프 캐비테이션과 유량 불안정이 생깁니다.

4

수위가 너무 낮아지거나 순환이 불안정해지면 멈추고 수위를 바로잡은 뒤에 계속하십시오.

i 알림

보충이 부족하면 전해질이 진해집니다.

- 물만 빠져나가므로 농도가 올라갑니다. 진해진 전해질은 열화를 빠르게 만들어 수명을 줄입니다.
- 수위가 낮으면 냉각에 쓸 수 있는 양도 줄어 온도 제어가 어려워집니다. 두 문제가 함께 옵니다.

작업 해설

농도가 어느 쪽으로 틀어졌는지는 전압이 알려 줍니다.

- 같은 전류에서 전압이 비정상적으로 높아지면 전해질이 묽어졌는지, 비정상적으로 낮아지면 진해졌는지 먼저 확인하십시오. 「문제 해결」 장의 두 가지 증상은 이 구분에 해당합니다.

i 알림

보충수도 첫 충전과 같은 수질 기준을 따릅니다.

- 관리가 되는 정수 설비에서 나온 정제수를 쓰십시오. 유기물이나 실리카, 입자가 많은 원수는 피하십시오.
- 수질 기준값은 「시작하기」 장의 전해질 충전 절에 있습니다.

운전 한계와 권장값

항목	권장	한계
전류	50 A	최대 80 A
스택 전압	약 38 V (신품 · 50 A), 운전 중 보통 약 40 V	최대 50.6 V (셀당 2.2 V · 23셀)
전해질 온도	50 °C	실온부터 최대 80 °C
전해질 유량	4 L/min	1~10 L/min
수소 압력	0 barg	최대 10 barg

알림

데이터시트나 계약 사양에 더 낮은 상한이 적혀 있으면 그 값이 우선합니다.

작업 해설

스택 온도는 전해질 온도로 제어합니다.

- 엔드플레이트나 셀을 따로 가열하거나 냉각하는 기능은 없습니다. 온도를 바꾸시려면 탱크 히터와 열교환기로 전해질 온도를 바꾸십시오.

알림

80 °C 까지 운전할 수는 있지만 수명이 단축됩니다.

- 온도를 올리면 열화가 빨라집니다. 시험 목적으로 높은 온도가 필요하시면 그 조건을 알려 주십시오. 어느 정도를 예상해야 하는지 함께 봅시다.

기술 배경

표준을 벗어난 운전을 계획하신다면

- 표준보다 높은 유량, 내부 유로 변경, 가압 운전은 스택 통합 가이드가 따로 다룹니다. 단품 스택의 차압 한계와 트립 설정값은 아직 확정되지 않았습니다. 가압 풀스택 검증이 진행 중입니다.
- 그 조건으로 가시려면 미리 알려 주십시오. 안전 한계와 권장 방법을 확인해 드립니다.

저전류·부분부하 운전

전류를 정격보다 낮추면 두 가지가 달라집니다. 전해질이 덜 데워지고, 산소 중 수소 비율이 올라갑니다.

무엇이	왜	대응
전해질 온도	발열이 줄어 권장 온도까지 오르지 않습니다	탱크 히터를 달고 온도 감시와 과열 보호를 외부 BoP 에 넣습니다

무엇이	왜	대응
산소 중 수소 (H ₂ -in-O ₂)	막을 넘어오는 수소는 전류와 거의 무관한데 산소는 전류에 비례해 나옵니다. 부하를 낮추면 같은 수소가 더 적은 산소에 섞입니다	정격의 40~50% 아래에서는 관리 기준 2 vol% 가 실질 설계 한계가 됩니다. 최소 부하 제한, 저부하에서 감압, 2 vol% 인터록 중 하나 이상을 넣습니다

작업 해설

여러 대를 돌리신다면 전부를 낮추지 말고 일부를 멈추십시오.

- 필요한 수소가 줄면 모든 스택을 저전류로 내리는 대신 스택 단위로 차례로 정지하십시오. 돌고 있는 스택은 정격 가까이 두는 편이 산소 중 수소 관리에 유리합니다.

정상 정지

1

전류를 단계적으로 0 A 까지 내립니다.

2

DC 출력을 끕니다.

3

필요한 만큼 순환을 더 돌려 식힙니다.

4

식은 뒤에 순환을 멈춥니다.

5

탱크 히터를 쓰셨으면 끄고, 현장 절차에 따라 계통의 안전을 확보합니다.

6

포트와 피팅 주변을 눈으로 훑어 누설을 확인합니다.

작업 해설

순환을 먼저 끄지 마십시오.

- 전류가 0 이 되어도 스택에는 열이 남아 있습니다. 순환이 그 열을 가져갑니다. 순서를 뒤집으면 국부 과열이 생길 수 있습니다.

05 유지보수

HXS-2 · 갱신 2026-09-30

일상과 주간, 월간 점검 목록, 전해질을 언제 바꾸는지, 세척 방법, 그리고 스택 전압 추이를 읽는 법입니다.

여기 적은 주기는 지침입니다. 실제 빈도는 운전 시간과 부하 패턴, 주변 조건, 전해질 상태, 그리고 시험 계획에 따라 달라 집니다.

전해질 교체 고정 주기 없음. 상태로 판단합니다 최소 기록 항목 전압 · 전류 · 유량 · 온도 작업 전 전류 0 A · DC 전원 분리

이 장을 읽는 방법

처음으신 분

점검 목록 절을 인쇄해 두시고, 전해질 교체 절의 판단 기준 세 가지를 기억하십시오. 그 셋이 이 장의 핵심입니다.

해보신 분

성능 추이 읽기 절을 보십시오. 정상 열화와 비정상 변화를 구분하는 기준이 거기 있습니다.

주기는 지침이지 규칙이 아닙니다

 경고

어떤 정비든 전기분해를 멈추고 전류를 0 A 로 내리고 DC 전원을 분리한 뒤에 하십시오.

- 연결부에 손을 대는 모든 작업에 해당합니다. 안전 지침은 「안전」 장에, 화학물질 취급은 현장 절차에 있습니다.
- 통전 중에 연결부를 만지면 감전되거나 아크로 화상을 입습니다.

점검 일상 또는 교대마다, 주간, 월간 세 층으로 나눠 두었습니다.

전해질 정해진 주기가 아니라 상태로 판단해 교체합니다. 판단 기준은 아래에 있습니다.

기록 최소한 스택 전압과 전류, 전해질 유량과 온도를 남기십시오. 계측기가 있으면 수소 순도와 유량, 압력, 산소 순도도 함께 남기십시오.

 알림

연구 목적으로 강하게 쓰시면 점검과 교체가 더 자주 필요합니다.

고객이 MEA 를 교체하시려면 스택을 열어야 합니다.

- 스택은 압축 조립식이라 분해와 재조립이 가능합니다. 조립 가이드를 드립니다. 다만 분해 후의 성능과 누설 여부는 재조립 품질에 따라 달라집니다.
- 직접 여시려면 유압 프레스가 필요합니다. 다시 닫을 때 프레스로 압축한 뒤 볼트를 조입니다. 프레스 없이 여시면 제대로 닫지 못합니다. 압축과 볼팅 순서는 조립 가이드에 있습니다.
- 엔드플레이트 돌레의 볼트가 스택 압축 볼트입니다. 배관이나 케이블 작업 중에 이 볼트를 풀지 마십시오. 풀면 스택이 열립니다.
- 스택을 보내 주시면 저희가 열어 MEA 만 갖고 하드웨어는 재사용해 돌려드립니다. 조건은 문의해 주십시오.

점검 목록

일상 또는 교대마다

- 스택과 외부 루프를 눈으로 훑습니다. IN, OUT, H2 포트와 피팅에서 전해질이나 물, 가스가 새지 않는지 봅니다.
- 포트와 피팅 주변에 흰 결정이 없는지 봅니다. 마른 KOH 일 수 있습니다.
- 안개나 젖은 흔적, 튼 자리가 없는지 봅니다.
- 전해질 유량이 안정적인지 확인합니다. 권장은 약 4 L/min 입니다.
- 전해질 온도가 목표 근처에서 제어되는지 확인합니다. 권장은 약 50 °C 입니다.
- 설정한 전류에서 스택 전압이 안정적인지 확인합니다. 갑작스러운 튜이 없어야 합니다.
- 수소 출구 배관과 OUT 되돌림 배관이 제대로 배치돼 있고 막히지 않았는지 확인합니다.
- 수소 경로와 산소 경로가 섞이지 않았고 배출점이 막히지 않았는지 확인합니다.

주간

- 운전 기록과 추이를 봅니다. 전류에 대한 스택 전압, 유량과 온도의 안정성, 반복되는 이상 사건이 있는지.
- 계측기가 있으면 수소 순도와 유량, 압력, 산소 순도의 추이도 함께 봅니다.
- 배관과 피팅을 봅니다. 마모, 변색, 결정 잔류물, 스며 나오는 누설이 있는지.
- 배관 지지대와 클램프를 봅니다. 스택 포트에 기계적 하중이 걸리지 않아야 합니다.
- DC 케이블 배치와 단자 주변을 봅니다. 기계적 손상, 느슨함, 부식이 있는지.

월간

- 전해질 상태를 봅니다. 심한 변색이나 눈에 보이는 고형물이 있는지. 다음 절의 기준에 해당하면 교체하십시오.
- 젖은 출구 되돌림의 안정성을 봅니다. OUT 경로가 막히지 않고 전해질이 원활하게 탱크로 돌아가야 합니다.
- 정비와 운전 기록을 정리하고 갱신합니다. 운전 시간, 운전 이력, 전해질 교체 날짜, 관찰한 것과 취한 조치입니다.

기록 양식 예

한 번 켈 때마다 한 줄을 남기십시오. 전류·전압과 유량·온도는 반드시 적고, 나머지는 해당될 때 채웁니다.

칸	적는 것
전류·전압	정해 둔 운전점에서의 스택 전류와 전압
유량·온도	전해질 유량과 온도
운전 시간	누적 운전 시간과 그 사이 기동·정지 횟수
전해질	마지막 교체 날짜, 보충한 정제수 양
가스	계측기가 있으면 수소 유량·압력·순도, 산소 순도
관찰·조치	본 것과 바꾼 것. 누설, 결정, 꾸르륵거림, 교체한 부품

전해질 교체



경고

화학 화상과 부식 위험이 있습니다.

- 「안전」 장의 전해질 절차 보호구 절, 그리고 SDS 를 따르십시오. 배관을 열기 전에 전기분해를 멈추고 필요한 만큼 식히고 외부 루프를 감압해 안전을 확보하십시오.
- 눈에 튀면 시력을 잃을 수 있습니다.

언제 바꾸나

KOH 는 전기분해로 소모되지 않습니다. 소모되는 것은 물이고, 그것은 운전 중에 보충합니다. 그래서 전해질은 고정 주기로 바꾸는 것이 아니라 상태와 성능 추이를 보고 바꿉니다. 다음 중 하나가 보이면 교체를 검토하십시오.

- 같은 전류에서 셀 전압이 이전 운전보다 계속 올라갑니다.
- 셀별 전압을 재고 계신 경우, 셀 사이의 편차가 시간이 갈수록 벌어집니다.
- 전해질 색이나 투명도가 변하거나, 탱크나 루프에 침전물이 보입니다.



경고

산소 중 수소가 2%를 넘으면 멈추고 점검하십시오.

- 이것은 교체 기준이 아니라 정지와 점검 조건입니다. 전기분해를 멈추고 정상 정지를 하신 뒤에 원인을 확인하고, 확인되기 전에 재시작하지 마십시오.
- 산소 쪽에 수소가 쌓이면 배관과 분리기 안에서 폭발할 수 있습니다.

교체 간격은 운전 조건에 따라 크게 달라집니다.

- 온도와 농도, 전류가 올라가면 짧아집니다. 고객 운전 조건에 맞는 권장 범위가 필요하시면 그 조건을 알려 주십시오.

농도부터 재십시오

같은 전류에서 전압이 서서히 오르면 스택이 나빠진 것처럼 보이지만, 전해질 농도가 떨어진 경우가 많습니다. 전도도계나 적정으로 농도를 재 보고, 처음 넣은 농도에서 눈에 띄게 벗어났다면 교체하십시오. 누액을 고치거나 부품을 바꾼 뒤에도 전량 교체하십시오. 새는 동안 KOH 가 빠져나가고 그 자리를 보충수가 채워 농도가 낮아져 있습니다.

전해질이 빠져나가는 길

정상이라면 KOH 는 줄지 않습니다. 그런데도 농도가 떨어진다면 KOH 가 어딘가로 빠져나가고 줄어든 만큼을 순수한 물이 채우고 있는 것입니다. 원인을 그대로 두면 새 전해질도 같은 길로 빠집니다.

어디로

어떻게 알 수 있나

스택에서 밖으로

셀 사이 실링 부위에서 누설이 발생합니다. 스택 둘레가 젖거나 흰 결정이 생깁니다. 누설량이 적으면 누액이 감지되지 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. H₂ 포트에서 나오는 물기를 pH 시험지에 대 보면 알칼리로 나옵니다. 가압 운전 뒤 압력을 급히 빼면 잠시 알칼리가 나올 수 있으므로 안정된 운전 중에 확인하십시오.

탱크와 외부 루프에서

탱크 가스켓이나 접합부, 피팅이 샅니다. 탱크와 배관 아래가 젖습니다.

스택에서 새는 경우라면 교체만 반복하지 말고 문의해 주십시오.

교체 절차



그림 5-1 전해질 교체 순서. 번호는 아래 단계 번호와 같습니다.

1

정상 정지를 합니다. 전류를 0 A 로 내리고 DC 출력을 끕니다.

2

현장 기준에 맞는 안전한 온도까지 식힙니다.

3

폐전해질을 받을 용기를 준비합니다. 알칼리에 견디는 재질이어야 하고 라벨을 붙이십시오.

4

외부 BoP 절차에 따라 루프와 탱크에서 전해질을 배출합니다.

5

폐전해질을 법규와 현장 절차에 맞게 폐기합니다.

6

새 전해질을 만듭니다. 요구 수질을 충족하는 정제수에 KOH 를 녹여 농도를 0.1 M 로 맞춥니다.

7

탱크를 채우고 필요하면 순환 루프를 다시 프라이밍합니다.

8

순환을 다시 시작하고 모든 피팅과 스택 포트에서 누설을 확인한 뒤에 전기분해를 재개합니다.



알림

묵은 전해질과 새 전해질을 섞지 마십시오.

- 내부 절차가 따로 정하고 있는 경우가 아니면 섞지 않습니다. 알칼리에 맞는 용기와 도구만 쓰시고 모든 용기에 내용물과 농도, 날짜를 적어 두십시오.

세척



알림

강한 용제나 고압 분사를 쓰지 마십시오.

- KOH 와 설치에 쓴 재질에 맞는 방법만 쓰십시오.

겉면

- 일회용 종이 타월이나 부드러운 천에 깨끗한 물을 적셔 닦습니다.
- 흰 결정이 보이면 물에 적신 천으로 닦아 냅니다. KOH 는 물에 녹습니다. 그다음 깨끗한 물로 한 번 더 닦습니다.
- 닦은 뒤에는 충분히 건조시킵니다.

전해질을 흘렸을 때

- 안전하게 할 수 있으면 누출원을 먼저 막고 환기를 확보합니다.
- 현장 누출 대응 절차를 따릅니다. 확산 차단, 중화나 흡수, 폐기물 처리입니다.
- 정리한 뒤 닿은 면을 깨끗한 물로 닦고 충분히 건조시킵니다.



알림

스택 포트에서 심한 누설이 있거나, 피팅을 조이고 교체했는데도 누설이 되풀이되면 멈추고 연락해 주십시오.

성능 추이 읽기

스택 전압은 시간이 지나면서 서서히 올라갑니다. 전극과 막의 열화, 그리고 운전 이력이 함께 만드는 결과입니다. 추이를 보는 목적은 정상적인 완만한 열화와 조건이 틀어져 생긴 비정상 변화를 구분하는 것입니다.

무엇이 전압을 올리나

저항이 늘어난다 막과 이오노머의 전도도 손실, 전극 전도도 손실, 계면 접촉 저항 증가.

반응 과전압이 늘어난다 촉매 활성 저하, 촉매 탈리와 응집, 표면 산화와 재구성.

물질 전달이 막힌다 기체와 액체의 전달 제한, 막힘과 젖음 불량, 기포 관리 문제.

전해질이 변한다

물 보충 불균형에 따른 농도 변화, 이산화탄소 노출에 따른 탄산염 형성과 침전, 오염과 불순물.

어떻게 재나

- 하나 이상의 고정된 운전점에서 스택 전압을 주기적으로 기록하십시오. 조건이 매번 다르면 추이가 아니라 잡음이 됩니다.
- 운전 관련 정보를 함께 기록하십시오. 운전 시간, 기동과 정지 횟수, 설정값, 그리고 이상 발생 내역입니다.

어떻게 읽나

보이는 것

읽는 법

느리고 완만한 전압 상승

정상적인 열화와 부합합니다.

전류가 일정한데 전압이 계단처럼 튼

비정상입니다. 아래 확인 항목부터 보십시오.

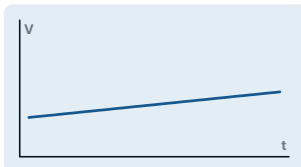
짧은 기간에 빠른 전압 변화

올라가든 내려가든 비정상입니다. 스택이나 전해질 온도가 함께 올라가면 물 보충 부족, 농도 변화, 냉각 능력 저하를 의심하십시오.

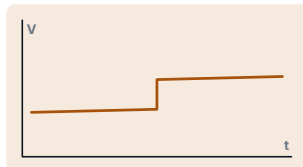
전류가 일정한데 전압이 크게 흔들림

비정상입니다.

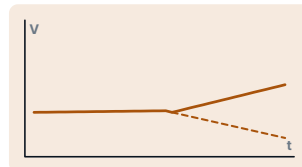
같은 운전점(같은 전류·온도·유량)에서 전 스택 전압의 추이



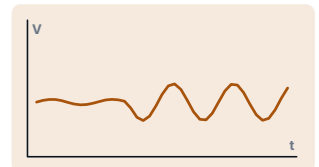
느리고 완만한 상승
정상적인 열화와 부합합니다.



전류가 일정한데 계단처럼 튼
비정상입니다.



짧은 기간에 빠른 변화
올라가든 내려가든 비정상.
온도도 오르면 물 보충 부족,
농도 변화, 냉각 저하 의심



전류가 일정한데 크게 흔들림
비정상입니다.

비정상일 때 먼저 볼 것: 전해질 상태와 농도 · 정제수 수질 · 유량·온도와 냉각 · 젖은 출구 배관과 배압 · 센서와 배선

그림 5-2 전압 추이 읽기. 위 표의 줄을 모양으로 보인 개념도이며 축에 수치는 없습니다.

비정상일 때 먼저 볼 것

- 전해질 상태와 농도 변화
- 정제수 수질과 오염원
- 유량과 온도의 안정성, 그리고 냉각 능력
- 젖은 출구 배관과 배압, 기체 갇힘
- 센서와 분석기 문제, 배선과 접속 상태

이 핸드북은 별도의 컨디셔닝 절차를 제공하지 않습니다.

- 컨디셔닝은 고객의 시험 계획에 따라 수행하거나 당사 안내를 받아 수행하시고, 모든 운전 한계를 준수하십시오. 이상 거동이 나타나면 전류를 낮추거나 멈추고 필요하면 정상 정지를 하십시오.

06 해체

HXS-2 · 갱신 2026-09-30

스택을 계통에서 떼어 낼 때의 순서입니다. 길게 세워 두실 때, 자리를 옮기실 때, 정비를 위해 보내실 때 모두 이 절차를 씁니다.

해체가 끝난 뒤의 보관은 「받기와 보관」 장의 보관 조건과 같습니다. 결빙을 막는 것이 가장 중요합니다.

누가 자격을 갖춘 사람만 순서 정지 → 감압 → 배액 → 마감 보관 온도 항상 5 °C 이상

이 장을 읽는 방법

처음하신 분

세 절의 절차를 순서대로 수행하십시오. 순서를 바꾸면 위험합니다. 전기가 남아 있는 상태나 압력이 남아 있는 상태에서 배관을 열지 마십시오.

해보신 분

배액 절차만 보십시오. 펌프 입구를 대기에 열어 두는 단계가 핵심입니다.

안전 정지와 전기 분리

⚠ 위험

통전 중이거나 압력이 남아 있는 스택을 해체하지 마십시오.

- 분해나 분리를 시작하기 전에 안전하게 정지했고 수소와 산소를 더 만들지 않는 상태임을 확인하십시오.
- 전원이 살아 있으면 감전되고, 압력이 남아 있으면 배관을 풀 때 수소와 전해질이 뿜어져 나와 화재나 화상으로 이어집니다.

1

스택 전류를 0 A 로 내리고 전기분해를 멈춥니다.

2

DC 출력을 끄고, 그다음 외부 차단기를 끕니다.

3

바로 DC 케이블을 빼지 마십시오.

- 전류가 0 A 가 되어도 DC 회로에 전하가 남아 있을 수 있습니다. 전원, 케이블, 스택 모두입니다.
- DC 전원이 완전히 꺼지고 전하가 빠질 시간을 둔 뒤에 공구로 케이블을 분리하십시오.

4

전해질 순환 펌프와 온도 제어 장치를 끕니다.

가스 경로 감압



경고

연결된 배관에 가연성 가스가 남아 있을 수 있습니다.

- 지정된 배출 경로로 감압하십시오. 피팅을 풀어서 가스를 빼지 마십시오.
- 피팅을 풀면 남은 수소가 새어 나와 불이 붙을 수 있습니다.

- 연결된 수소와 산소 배출 경로를 대기압까지 감압하십시오. 운전 중에 쓰던 정상 벤트 경로를 그대로 쓰십시오.
- 압력 표시가 있으면 잔압이 없는 것을 확인하십시오.

전해질 배출과 마감



경고

스택과 배관에 전해질이 남아 있습니다.

- 보호구를 착용하고 「안전」 장의 전해질 절을 따르십시오.
- 닿으면 화학 화상을 입습니다.

1

배출 준비를 합니다.

- 알칼리에 견디는 용기에 라벨을 붙여 배출점 아래에 놓고 2차 방호를 두십시오.
- 젖은 출구 경로를 그 용기로 안전하게 뺍니다.

2

펌프가 탱크에서 빨아들이지 않게 배관을 바꿉니다.

- 전해질 탱크와 펌프 입구 사이 연결을 분리합니다.
- 펌프 입구를 대기에 열어 두어 공기가 들어오게 하십시오. 그래야 탱크에서 전해질을 다시 끌어오지 않습니다.

3

IN 쪽에 공기가 들어올 길을 만듭니다.

- IN 배관을 액체 공급에서 분리하고 대기에 열어 두십시오. OUT 으로 액체가 빠져나가는 만큼 공기가 들어와야 합니다.

4

펌프로 스택 안의 전해질을 뿔아냅니다.

- 펌프를 켜고 스택 OUT 배출 배관에서 더 이상 액체가 나오지 않을 때까지 배출하십시오.

5

스택을 기울여 남은 전해질을 뺍니다.

- 펌프를 끄고, OUT 포트가 아래를 향하게 스택을 기울여 남은 전해질을 용기로 받으십시오.

6

분리하고 막습니다.

- OUT 배관을 분리하고 OUT 포트를 캡이나 플러그로 막습니다. IN 포트도 막습니다.
- H2 포트에서 외부 배관을 분리하고 필요한 만큼 막습니다.
- 스택 단자에서 DC 케이블을 분리합니다. 공구가 닿아 불꽃이 나지 않게 주의하십시오.
- 단자에 의도치 않게 접촉하거나 수분이 닿지 않도록 보호하십시오.

7

모든 포트가 확실히 막혔고 누설이 없는 것을 확인합니다.

i 알림

배액한 뒤에도 얼지 않게 하십시오.

- 막과 전극이 젖어 있고 내부 유로에 잔액과 수분이 남습니다. 항상 5 °C 이상으로, 세워서, 포트를 막은 채로 보관하십시오.

i 알림

정비를 위해 보내실 때는 사전 확인이 필요합니다.

- 먼저 연락해 반송 승인과 포장 안내를 받으십시오. 누설 상태로 도착한 것은 안전상 수령을 거절할 수 있습니다.
- 받으실 때의 원래 포장을 남겨 두셨다면 그것을 쓰십시오. 모든 포트를 막고 세워서 넣습니다.

07 사양과 참고

HXS-2 · 갱신 2026-09-30

HXS-2 가 무엇에 쓰는 스택인지, 겉모습, 사양, 이 핸드북에 나오는 용어를 정리했습니다.

용도

HXS-2 는 23셀 2 kW AEM 수전해 스택 단품입니다. 고객의 직류 전원, 전해질 순환, 기액 분리, 안전 계통에 통합해 수소를 만듭니다. 스택 앞뒤의 설비는 고객 설계 범위입니다.

⚠ 경고

이렇게 쓰지 마십시오.

- 전해질 순환 없이 전류를 흘리는 것
- 권장 조건 밖(전해질·온도·전류·압력)에서 미리 확인 없이 운전하는 것
- 수소 배관과 산소 벤트를 하나의 배관이나 용기에 함께 연결하는 것
- 허가 없이 스택을 분해하는 것(분해한 뒤의 성능과 누설은 보증하지 않습니다)
- 이렇게 쓰면 화재·폭발·감전·화학 화상으로 이어지거나 장비가 손상될 수 있습니다.

외관

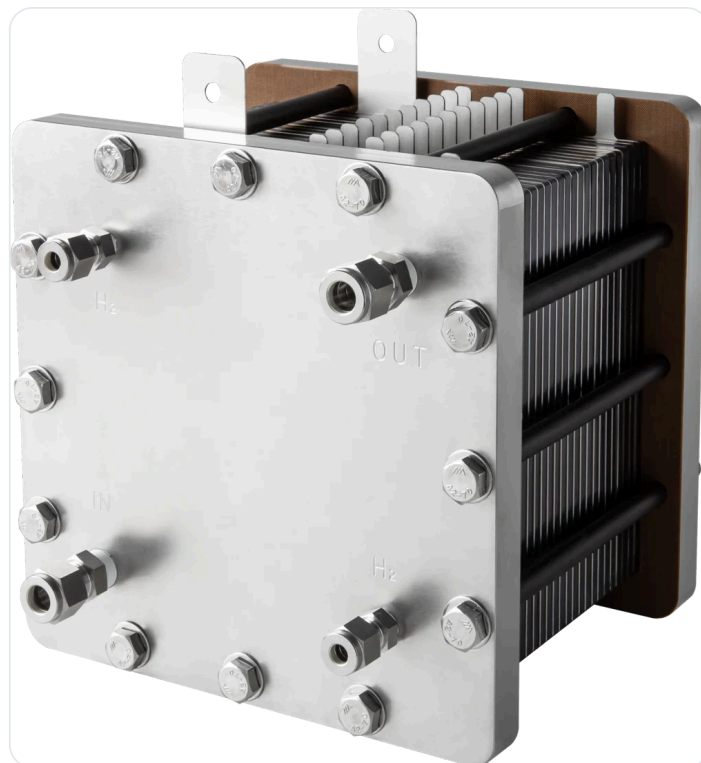


그림 7-1 HXS-2. 포트와 DC 단자 위치는 「시작하기」 장 그림 3-1 을 보십시오.

사양

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

수소 생산량	500 L/h · 1 kg/일 (50 A 정격)
효율 (HHV)	90.0% (개시 · 0.1 M KOH · 50 °C · 상압) · 44 kWh/kg-H ₂
장기 운전 검증	누적 3,000시간 이상 (23셀) · 장기 운전 데이터와 시험 조건은 내구 기술노트에 공개
정격 운전 조건	0.1 M KOH · 50 °C (변경 가능)
운전 온도	최대 80 °C
소비전력	2 kW (50 A)
물 소비	420 mL/h (50 A)
셀 수	23
활성면적	100 cm ² (양극) / 79 cm ² (음극)
크기	190 × 198 × 215 mm
무게	19 kg
구조	NiFe 양극 · Pt/C 또는 PtRu/C 음극 · AEM
유체 포트	KOH IN 3/8" PEEK 튜브 · O ₂ +전해질 OUT 3/8" PEEK 튜브 · H ₂ 2포트 1/4" double-ferrule
DC 단자	M6 · 체결 토크 4–6 N·m
외부 순환	4 L/min (표준)
측정 장비 교정	유량·가스 측정기 KOLAS 교정
엔드플레이트	SUS316L
분리판	니켈계 금속판
재질 변경	가능 · 적용 조건과 검증 범위를 함께 확인합니다

용어

용어	뜻
AEM	음이온 교환막(Anion Exchange Membrane). 수산화 이온(OH ⁻)만 통과시키는 막입니다.
KOH	수산화칼륨. 전해질로 0.1 M 수용액을 씁니다.
정제수	이온을 걸러 낸 물. 전도도로 수질을 봅니다(25 °C 기준 $\mu\text{S}/\text{cm}$).
MEA	막-전극 접합체. 전극과 막을 겹친 셀의 핵심 부품입니다.
BoP	스택 밖의 주변 설비. 전원, 펌프, 탱크, 열교환기, 배관, 센서, 제어입니다.
barg	대기압 기준 게이지 압력(bar).
NL/h	표준 상태(0 °C, 1 atm)로 환산한 시간당 기체 부피(L).
개시(BOL)	운전을 시작할 때의 성능. 별도로 명시하지 않으면 사양은 개시 값입니다.
SDS	물질안전보건자료. KOH 를 다루기 전에 확인합니다.

제조사

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

문제 해결

HXS-2 · 갱신 2026-09-30

스택 전압이 이상하게 움직일 때 무엇부터 확인하는지입니다. 전압 증상은 두 갈래이고, 원인은 대개 스택이 아니라 외부 루프에 있습니다. 누설이나 되돌림, 수위처럼 눈에 보이는 증상은 표 하나로 모았습니다.

외부 BoP 부품의 수리와 교체는 고객 책임입니다. 당사는 스택 거동을 해석해 스택 정비가 필요한지 판단해 드립니다.

먼저 할 것 위험 수준 판단, 그다음 안전 확보 한 번에 조치 하나씩 하고 다시 확인 재시작 저전류부터

이 장을 읽는 방법

처음하신 분

「확인 순서」 절을 먼저 보십시오. 증상 절로 바로 뛰어들면 안전 확보를 건너뛰게 됩니다.

해보신 분

「증상으로 찾기」 표에서 보이는 증상의 줄을 찾으십시오. 전압 증상이면 올라갔는지 내려갔는지에 따라 증상 A 와 B 로 갑니다.

확인 순서

 경고

이 작업 중에는 통전 부위와 수소, 부식성 전해질에 노출될 수 있습니다.

- 「안전」 장을 따르시고, 해당되면 현장의 에너지 차단과 재통전 방지 절차, 화학물질 취급 절차를 먼저 적용하십시오.
- 감전, 화재, 화학 화상으로 이어질 수 있습니다.

1

멈추고 위험 수준을 판단합니다.

- 수소 누설 징후, 화재, 아크, 타는 냄새, 심한 과열, 통제되지 않는 전해질 누설이 있으면 즉시 멈추고 「안전」 장의 비상 정지와 대응을 따르십시오.

2

만지기 전에 안전하게 만듭니다.

- 스택 전류를 0 A 까지 내리고 DC 출력을 끕니다.
- DC 전원을 스택에서 전기적으로 분리하고, 실수로 다시 통전되지 않게 현장 절차를 적용하십시오.
- 외부 루프의 안전을 확보합니다. 벤트와 릴리프 배관이 안전하고 막히지 않았는지 확인하고, 남은 압력과 잔류 전해질을 현장 절차에 따라 처리하십시오.

3

발견 당시의 상태를 기록합니다.

- 반드시 남기실 것은 스택 전류와 전압, 전해질 유량과 온도입니다.

- 재신 값이 있으면 수소 유량과 압력, 수소 순도, 산소 순도도 남기십시오.
- 보신 것도 적으십시오. 펌프 소리나 캐비테이션, 꾸르륵거림, 젖은 출구 되돌림 불안정, 이상한 벤트 거동, 눈에 보이는 누설입니다.

4

가능성이 큰 외부 원인부터 봅니다.

- 유량과 열: 밸브가 열려 있는지, 배관이 꺾이거나 막히지 않았는지, 공기가 갇히지 않았는지, 탱크 수위가 충분한지. 필터를 쓰신다면 막히지 않았는지, 열교환기 냉각이 가능한지.
- 젖은 출구와 배압: OUT 배관에 제한이나 막힘이 없는지, 꺾이거나 눌리지 않았는지, 탱크로 되돌림이 안정적인지.
- 전기: DC 케이블이 조여져 있는지, 변색이나 과열 흔적이 없는지, 극성이 맞고 단자 접촉면이 깨끗한지.
- 벤트와 릴리프: 배출구가 막히거나 열거나 덮이지 않았는지, 앞에 물건이 놓이지 않았는지.

5

조치를 한 번에 하나만 합니다.

- 하나 바꾸고 증상이 나아지는지 확인한 뒤에 다음 것을 바꾸십시오. 둘을 같이 바꾸면 무엇이 원인이었는지 모르게 됩니다.
- 다시 시작하실 때는 저전류에서 출발해 유량과 전압 추이가 안정한 것을 확인한 뒤에 올리십시오.

6

작업을 중단해야 할 시점을 판단합니다.

- 문제가 계속되거나 반복되거나 하드웨어 손상이 의심되면 운전을 멈추고 연락해 주십시오.
- 벤트와 릴리프 배관, 배압, 안전 한계에 확신이 없으시면 계속하기 전에 문의해 주십시오.

7

결과를 기록합니다.

- 무엇을 바꿨고 결과가 어땠는지 남기십시오. 같은 오진을 반복하지 않게 하고, 문의하셨을 때 회신도 빨라집니다.

증상으로 찾기

보이는 증상의 줄을 찾아 첫 조치를 하고, 오른쪽 칸의 절로 가십시오. 심각한 증상부터 위에서 아래로 나열했습니다.

보이는 것	먼저 의심할 것	첫 조치	자세히
수소 누설 징후, 화재, 아크, 타는 냄새, 심한 과열	—	즉시 멈추고 현장 비상 절차를 따릅니다	안전 · 비상 정지
벤트가 막혔거나 열었다	벤트 배관의 응축수	사람들이 배출 위치에서 떨어져 있도록 합니다. 감압하고 분리하기 전에는 막힌 것을 건드리지 않습니다	안전 · 비상 정지

보이는 것	먼저 의심할 것	첫 조치	자세히
산소 중 수소가 2% 를 넘는다	막을 넘는 가스 이동	전기분해를 멈추고 정상 정지합니다. 원인을 확인하기 전에 재시작하지 않습니다	유지보수 · 전해질 교체
전류를 안 바꿨는데 스스로 떨어지고 전압이 전원 상한에 붙는다	셀 하나의 전압이 치솟음	멈춥니다. 재기동을 반복하지 않습니다	증상 A · 5
같은 전류에서 전압이 빠르게 오른다	온도가 낮음, 전해질이 묽음, 유량 부족	전류를 낮추거나 멈추고 온도·농도·유량을 봅니다	증상 A
같은 전류에서 전압이 빠르게 내려간다	온도가 높음, 전해질이 진함, 유량 부족	전류를 낮추거나 멈추고 온도·농도·유량을 봅니다	증상 B
냉각이 되는데 온도가 계속 오른다	순환 부족, 냉각 능력 부족	전류를 낮추거나 멈춥니다	운전 · 정상 운전
포트나 피팅 주변이 젖거나 흰 결정이 있다	풀린 피팅, 포트에 걸린 배관 하중	멈추고 원인을 고친 뒤 재개합니다. 결정은 물에 적신 천으로 닦습니다	유지보수 · 세척
OUT 되돌림이 꾸르륵거리거나 끊인다	배관 굴곡, 배압, 갇힌 기체	배관 경로와 배압을 고친 뒤 계속합니다	운전 · 정상 운전
펌프에서 캐비테이션 소리가 나거나 유량이 흔들린다	탱크 수위가 낮음, 루프에 공기	멈추고 수위를 바로잡은 뒤 공기를 뺍니다	운전 · 수위와 물 보충
H2 포트에서 나오는 물기를 pH 시험지로 확인하면 알칼리성을 나타냅니다	전해질이 막을 넘어 수소 쪽으로 이동	안정된 운전 중에 다시 확인합니다. 계속되면 기록과 함께 문의합니다	유지보수 · 전해질 교체
전해질 농도가 교체 뒤에도 다시 떨어진다	KOH 가 어딘가로 빠져나감	새는 길을 먼저 찾습니다. 교체만 반복하지 않습니다	유지보수 · 전해질 교체
유량을 올리면 펌프 소리가 커지거나 유량이 흔들린다	흡입·되돌림 배관이 좁거나 지름이 급히 바뀌는 구간	굵은 배관을 쓰고, 지름이 바뀌는 지점은 탱크 가까이 둡니다	시작하기 · 전해질 루프

증상 A: 전압이 빠르게 올라갑니다

같은 전류인데 스택 전압이 빠르게 올라가거나 비정상적으로 높습니다. 원인 다섯 가지를 위에서부터 보십시오.

1. 전해질 온도가 낮다

- 온도 표시값을 확인하고 히터가 작동하는지 봅니다. 히터의 전원, 상태, 설정값을 확인합니다.
- 정상 운전 범위로 온도를 되돌립니다. 통상 목표는 약 50 °C 입니다.

- 히터가 작동하지 않거나 온도를 회복할 수 없으면 멈추고 히터를 수리하거나 교체하십시오.
- 온도를 되돌렸는데도 전압이 비정상이면 연락해 주십시오.

2. 전해질이 묽다

- 전해질 규격이 0.1 M KOH 인지 확인하고, 최근 정제수 보충 여부와 보충 이력을 되짚어 보십시오.
- 묽어진 것이 의심되면 멈추고 새 0.1 M 전해질로 교체하십시오.
- 저전류에서 다시 시작해 전압 추이가 안정한 것을 확인한 뒤에 올리십시오.
- 새 전해질로도 비정상 전압이 남으면 연락해 주십시오.

3. 내부 크로스오버나 막 손상이 의심된다

- 운전을 멈추십시오.
- 근거를 기록하십시오. 전해질 수위 추이, 정제수 보충 이력, 스택 전류와 전압입니다.
- 그 기록과 함께 연락해 주십시오. 이 항목은 고객이 현장에서 해결할 수 있는 것이 아닙니다.

4. 전해질 유량이 부족하거나 불안정하다

- 펌프에 전원이 공급되고 펌프가 켜져 있는지 확인합니다. 표시등이나 제어기 상태를 확인하고, 해당되면 퓨즈와 차단기도 확인합니다.
- 펌프가 켜져 있는데 유량이 없거나, 기동이 불안정하거나, 이상 거동이 보이면 멈추고 펌프를 수리하거나 교체한 뒤에 재개하십시오.
- 관련 밸브가 모두 열려 있는지 확인합니다.
- 눈에 보이는 유동 방해 요인을 제거합니다. 꺾인 배관을 펴고 막힌 것을 치우고, 필터를 쓰신다면 확인하고 청소하십시오.
- 루프에서 공기를 빼고 펌프가 제대로 프라임되게 하십시오.
- 유량을 안정된 상태로 회복하십시오. 권장 유량은 4 L/min 입니다.

5. 셀 하나의 전압이 치솟는다

- 셀별 전압을 측정 중이라면 한 셀의 전압만 다른 셀보다 크게 높아지는 것을 확인할 수 있습니다. 측정하지 않는 경우에는 스택 전압이 전원 상한에 도달하고, 설정을 바꾸지 않았는데도 전류가 떨어지는 현상으로 나타납니다.
- 당사 시험에서는 멈추기 10-24시간 전부터 같은 전류에서 스택 전압이 조금씩 오르는 모습이 먼저 보였습니다.
- 셀별 전압이 고르다면 셀 이상이 아니라 전원 상한일 수 있습니다. 45 V 전원은 셀당 약 1.96 V 에서 상한에 닿으므로, 스택이 서서히 열화되면 같은 모습이 됩니다. 전원 출력이 정전압으로 넘어갔는지 먼저 보십시오.
- 운전을 멈추고 재기동을 반복하지 마십시오. 전류·전압 추이와 셀별 전압 기록이 있으면 함께 보내 주십시오.

증상 B: 전압이 빠르게 내려갑니다

같은 전류인데 스택 전압이 빠르게 내려가거나 비정상적으로 낮습니다. 원인이 되는 조건의 변화 방향은 증상 A 와 반대입니다.

1. 전해질 온도가 높다

- 온도 표시값을 확인합니다.
- 온도 제어를 정상 상태로 회복합니다. 열교환기 냉각이 가능한지, 순환이 정상인지 확인하십시오.
- 온도를 제어할 수 없으면 멈추고 외부 냉각과 순환 설비를 정비하거나 수리하십시오.

2. 전해질이 진하다

- 탱크 수위를 확인하고 정제수 보충이 정상인지 봅니다.
- 현장 절차에 따라 전해질을 규격인 0.1 M KOH 로 되돌립니다.
- 저전류에서 다시 시작해 전압 추이가 안정한 것을 확인한 뒤에 올리십시오.

3. 전해질 유량이 부족하거나 불안정하다

- 증상 A 의 네 번째 원인과 같은 순서로 확인하십시오. 펌프, 밸브, 유동 방해 요인, 공기, 유량 회복입니다.

4. 스택 상태 이상이 의심된다

- 온도와 농도, 유량을 모두 되돌렸는데도 전압이 비정상적으로 낮으면 운전을 멈추십시오.
- 근거를 기록해 연락해 주십시오. 스택 전류와 전압 추이, 전해질 온도, 유량, 최근 정비 이력입니다.

작업 해설

드물지만 중요한 항목입니다.

- 세 가지 외부 원인을 모두 배제한 뒤에 검토하는 항목이므로 순서대로 원인을 확인하고 배제하는 것이 중요합니다. 앞의 세 가지를 확인하지 않고 이 항목을 검토하시면 원인을 찾을 수 없습니다.

문의하실 때

- 전해질 유량과 온도 제어, 전해질 상태를 회복했는데도 비정상 전압 거동이 남습니다.
- 피팅과 배관을 고치고 재질 적합성을 확인했는데도 누설이 되풀이됩니다.
- 스택 하드웨어 손상이 의심됩니다. 포트, 엔드플레이트, 체결 부품, 단자입니다.
- 정상 운전 조건에서 같은 문제가 계속되거나 되풀이되고 증상 안내로 해결되지 않습니다.
- 표준을 벗어난 운전을 계획하고 있고 안전 한계와 권장 방법을 확인받고 싶습니다.

보내 주실 것

아래를 갖춰 연락해 주시면 진단이 빨라집니다. 「시작하기」 장 끝의 기록을 남겨 두셨다면 절반은 이미 있습니다.

목록	내용
식별	모델(HXS-2)과 시리얼 번호
그때의 운전 조건	스택 전류와 전압, 전해질 유량과 온도. 잦다면 수소 유량·압력·순도와 산소 순도
증상	무엇이 보였는지, 그리고 언제였는지. 기동 중, 전류를 올리는 중, 정상 운전 중, 정지 중 가운데 어느 때인지
설치	외부 루프 구성(탱크·펌프·열교환기 배치), IN·OUT·H2 배관 경로(젖은 출구 되돌림 포함), 벤트와 릴리프 경로
이력과 변경	전해질 규격과 교체 날짜, 쓰신 물의 수질, 최근에 바꾼 것(새 스택, 새 전해질, 배관 변경, 부품 교체)
증거	단자와 누설 지점, 배관 전체의 사진. 사건 전후의 전류·전압·온도·유량 기록이나 화면 캡처

반송을 확정하기 전에 자료를 더 요청하거나 원격으로 먼저 확인할 수 있습니다. 반송이 확정되면 포장과 발송 안내를 드립니다. 운송 중 누설과 부식이 없도록 전해질을 빼고 포장하는 것은 고객 몫입니다.

 알림

외부 BoP 부품의 수리와 교체는 고객 책임입니다.

- 펌프, 히터, 열교환기, 센서, 전원이 여기 해당합니다. 당사는 스택 거동을 해석해 스택 정비가 필요한지 판단해 드립니다.
- 점검이나 정비 반송은 사전 확인 후에 진행합니다. 확인 없이 발송하지 마십시오.