

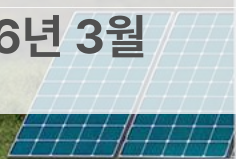
VON ARDENNE

물리 기상 증착(PVD) 연료전지·수전해 부품을 위한 기능성 코팅 기술

Alexander Wemme

에너지 전환·저장 부문 부사장

2026년 3월



H₂

Hydrogen H₂

H₂ HYDROGEN POWER
CLEAN ENERGY OF THE FUTURE

H₂ HYDROGEN POWER
CLEAN ENERGY OF THE FUTURE

CLASSIFIED: CONFIDENTIAL

VON ARDENNE 

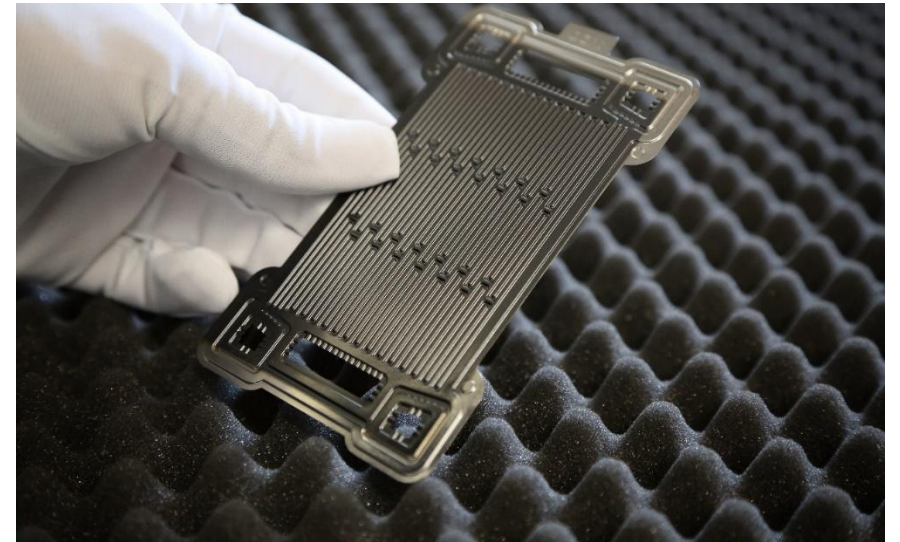
1. VON ARDENNE 소개

2. 바이폴라 플레이트용 PVD 코팅 설비

3. PEM 연료전지 다층막 개발과 시험

4. PEM 수전해 코팅 기술

5. VON ARDENNE의 샘플 제작 역량



VON ARDENNE의 발자취

1928년, 기술 여정의 시작



주요 연혁

현재

VON ARDENNE Group
(드레스덴)

1991

VON ARDENNE Anlagentechnik GmbH
(1991 - 2013)

1955

만프레트 폰 아르덴네 연구소
(드레스덴)

1945

산업용 동위원소 분리 연구소
(수후미)

1928

VON ARDENNE 전자물리 연구소
(베를린)

회사소개

오늘의 VON ARDENNE

세계로 이어지는 첨단 기술 기업

가족 경영

3대에 걸쳐 이어온 기업



기술을 개척하는 힘

600건 이상의 특허



1,300명 이상의 임직원

전 세계에서 함께합니다.



매출

2024년: 5억 5,900만 유로



오늘의 VON ARDENNE

세계 어디서나, 고객 가까이

9개국의 글로벌 거점

유럽·아시아·북미



설비 공급 실적

50개국 이상



공급망

글로벌 통합 네트워크



산업과 응용 분야

오늘의 기술로, 세계의 과제에 답합니다.

다양한 산업의 글로벌 선도 기업과 연구기관이
VON ARDENNE와 함께합니다. 주요 분야:

태양광

- 이종접합
- TOPCon
- 탠덤 페로브스카이트
- 유연 태양전지
- 박막 태양전지

반도체· 정밀 광학

- 반도체
후공정
- 산업용 전자기기
- 센서
- 정밀 광학

에너지 전환· 저장

- 배터리
- **연료전지**
- 초전도체
- **수전해·수소**

우주·항공

- 항공
- 위성 기술
- 망원경

라이프 사이언스

- 포장
- 섬유
- 재활용·
생애주기 솔루션

유리

- 건축용 유리
- 자동차용 유리
- 스마트 유리
- 디스플레이 유리

PVD 코팅을 개척하다.

수십 년간 축적한 진공 박막 코팅 기술

다양한 PVD 공정



고전류 레이저 아크
1997년부터



마그네트론 스퍼터링
1974년부터

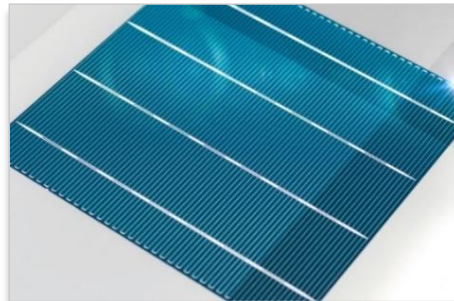
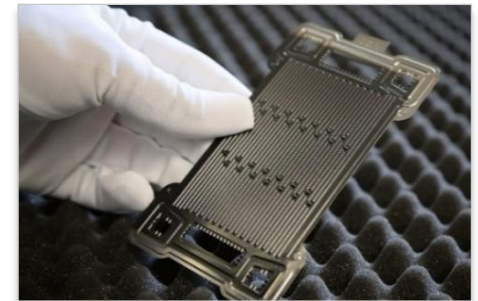


증발 기술
1961년부터



전자빔 기술
1959년부터

다양한 기판 소재

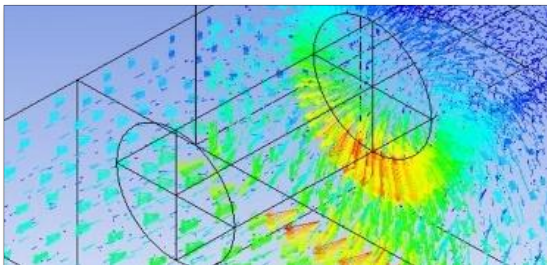


모든 생산 규모에 맞춘 설비

공정 구상과 연구개발부터 파일럿, 대량 생산까지

생산 단계에 맞춰 확장하는 설비

1



공정 구상

2



연구개발 설비

3



파일럿 설비

4

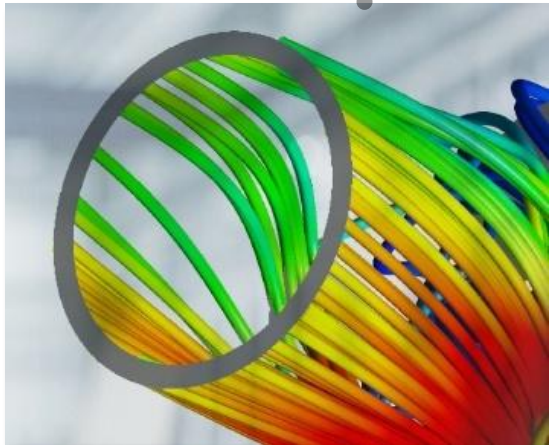


양산 설비

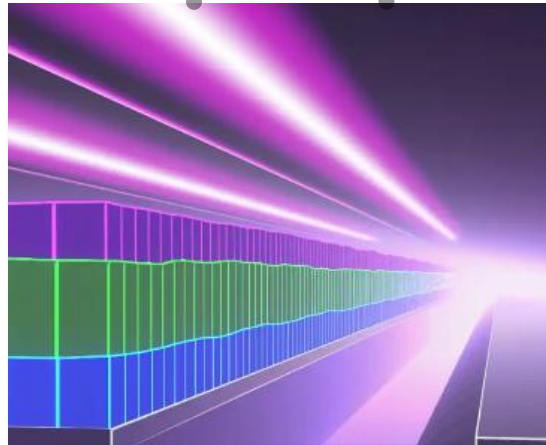
엔지니어링의 모든 단계를 한곳에서

고객의 아이디어를 현실로 이어갑니다.

기술 협력을 위한 서비스



시뮬레이션



다층막
개발



샘플 제작



파일럿 생산

회사소개

세계 우수 연구기관과 연결된 네트워크

미래 기술을 함께 준비합니다.

유럽·아시아·북미의 40개 이상 연구 파트너와 협력합니다.



연구기관

프라운호퍼, 헬름홀츠, 막스플랑크 등



종합대학·응용과학대학

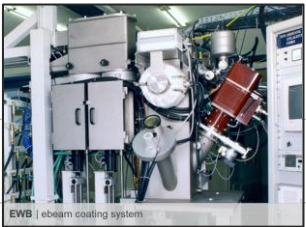
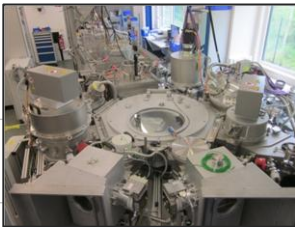
유럽·아시아·북미

고객에게 더하는 가치

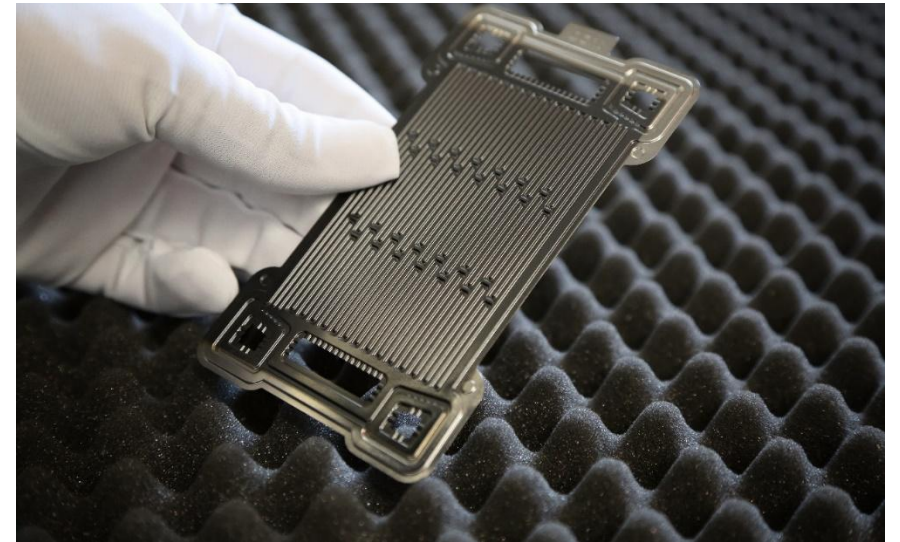
산업 현장에서 연구개발까지



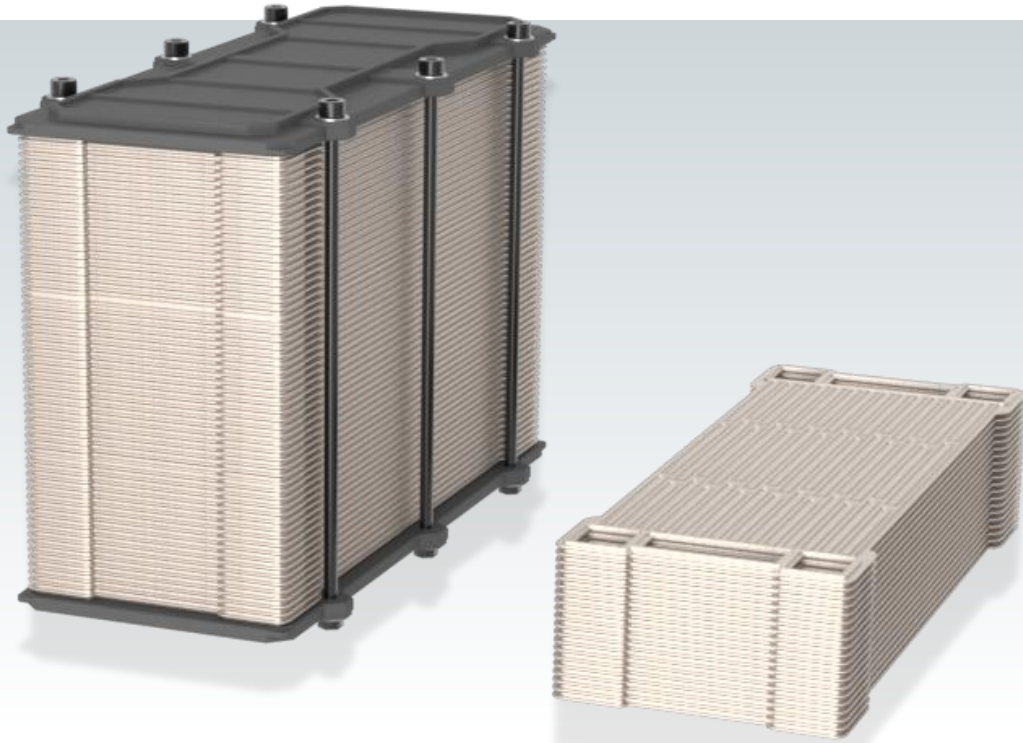
- 새로운 기술 접근법의
개발과 시험
(자체 개발 및 공동 연구)
- 구성품 시험
- 실험 수행과
설계를 위한 데이터 제공
- 샘플 제작과 개념 검증
- 기술의 양산 확대와 코팅 서비스
(회전 타깃을 활용한 귀금속 코팅 포함)



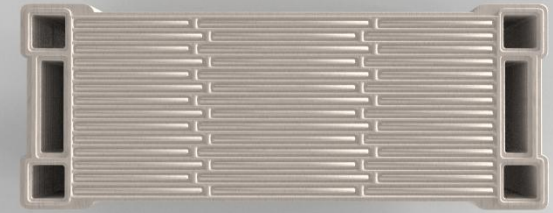
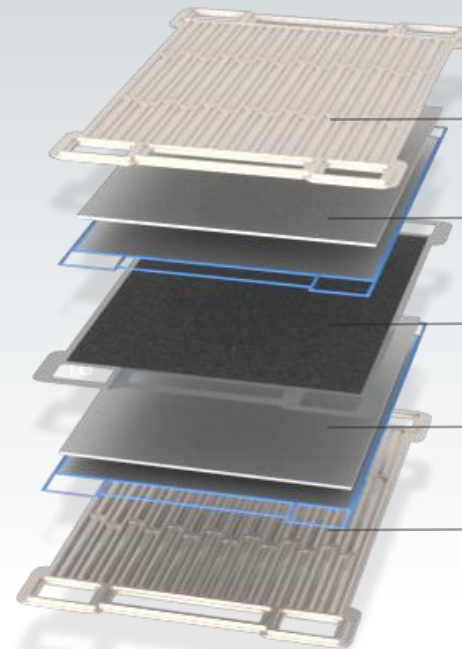
1. VON ARDENNE 소개
- 2. 바이폴라 플레이트용 PVD 코팅 설비**
3. PEM 연료전지 다층막 개발과 시험
4. PEM 수전해 코팅 기술
5. VON ARDENNE의 샘플 제작 역량



PEM 스택 / 셀



바이폴라 플레이트



가스 확산층

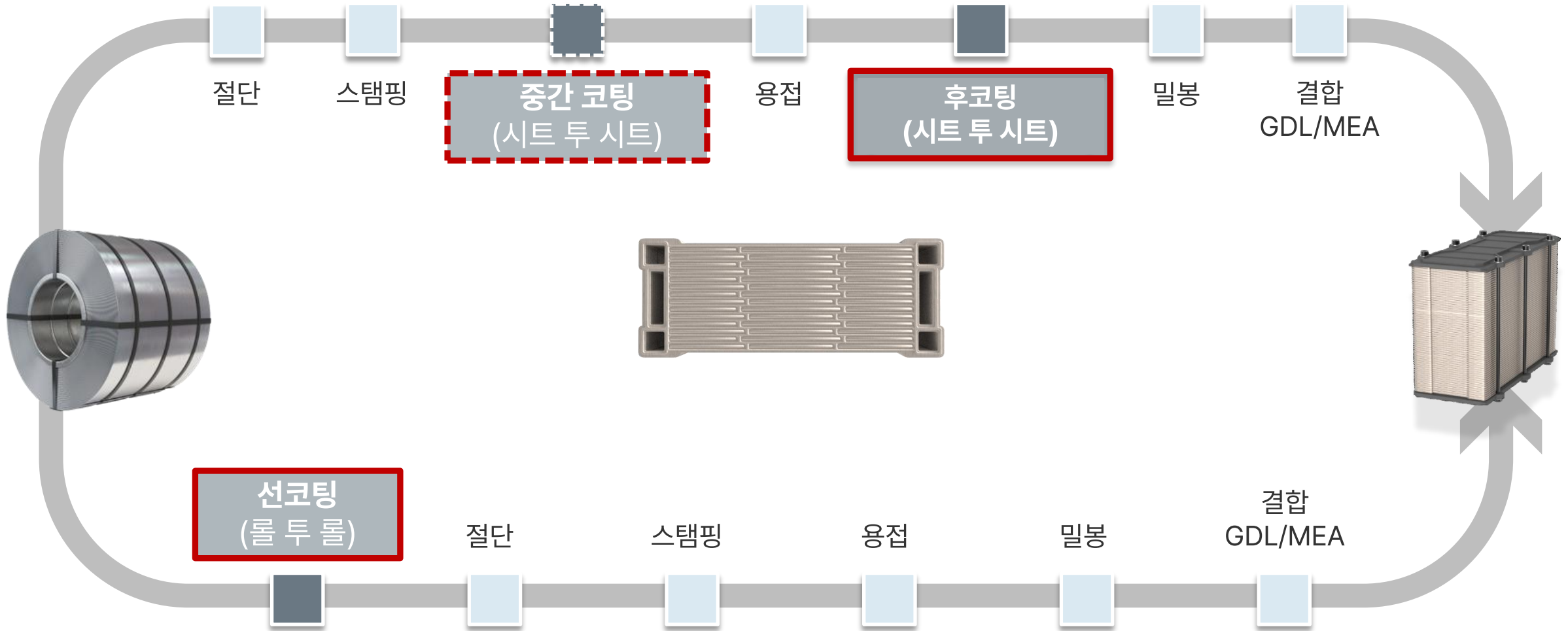
막전극
접합체(MEA)

가스 확산층

바이폴라 플레이트

가치사슬 속 VON ARDENNE의 역할

금속 스트립에서 연료전지·수전해 스택까지





참여 기업



VON ARDENNE

설립: 1991년

임직원: 전 세계 1,300명

본사: 드레스덴

해외 거점·계열사:

- Vacuum Equipment (Shanghai) Co., Ltd.
- North America, Inc., Perrysburg/ Ohio
- Japan Co., Ltd./ Tokyo
- Malaysia Sdn. Bhd./ Kulim
- Vietnam Co., Ltd./ Ho Chi Minh City
- India Pvt. Ltd./ Chennai

연료전지·수전해 분야의 전문성:

- 금속 바이폴라 플레이트와 다공성 수송층 등, 기능성 코팅을 위한 설비 개발·제조
- 성형된 바이폴라 플레이트(후코팅)와 스트립(선코팅)을 위한 연구개발·파일럿·양산 설비
- 공동 기술 개발과 샘플 제작



Weil Technology

설립: 1988년

임직원: 250

본사: 뮐하임

해외 거점·계열사:

- Schaal Technology GmbH
- Saalach
- Weil Technology North America
- LLC Novi/Michigan
- Weil Machinery (Shanghai) Co., Ltd.

연료전지·수전해 분야의 전문성:

- 시제품부터 양산까지, 바이폴라 플레이트의 레이저 절단과 용접



ZELTWANGER

설립: 1982년

임직원: 450

본사: 튀빙겐

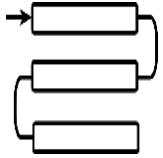
해외 거점·계열사:

- 독일 두슬링겐
- 체코 쿠르집
- 미국 노스찰스턴
- 중국 쟈예구

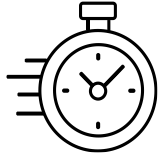
연료전지·수전해 분야의 전문성:

- 조립·검사 공정 자동화
- 누설 검사
- 레이저 응용 기술

전문성이 모여 만드는 차이



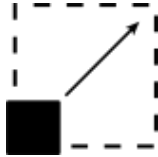
공정별 전문성을 하나로 모아
생산 전 단계의 신뢰성을 높입니다.



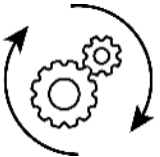
시장 진입은 더 빠르게.
표준화된 하드웨어·소프트웨어
인터페이스로
공정 구상과 견적 제안, 시운전까지
효율적으로 이어갑니다.



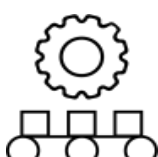
상위 통합 제어 시스템으로
생산 전 과정의 추적성 확보



요구 조건에 맞춰 유연하게
구성하고
확장하는 설비 기술

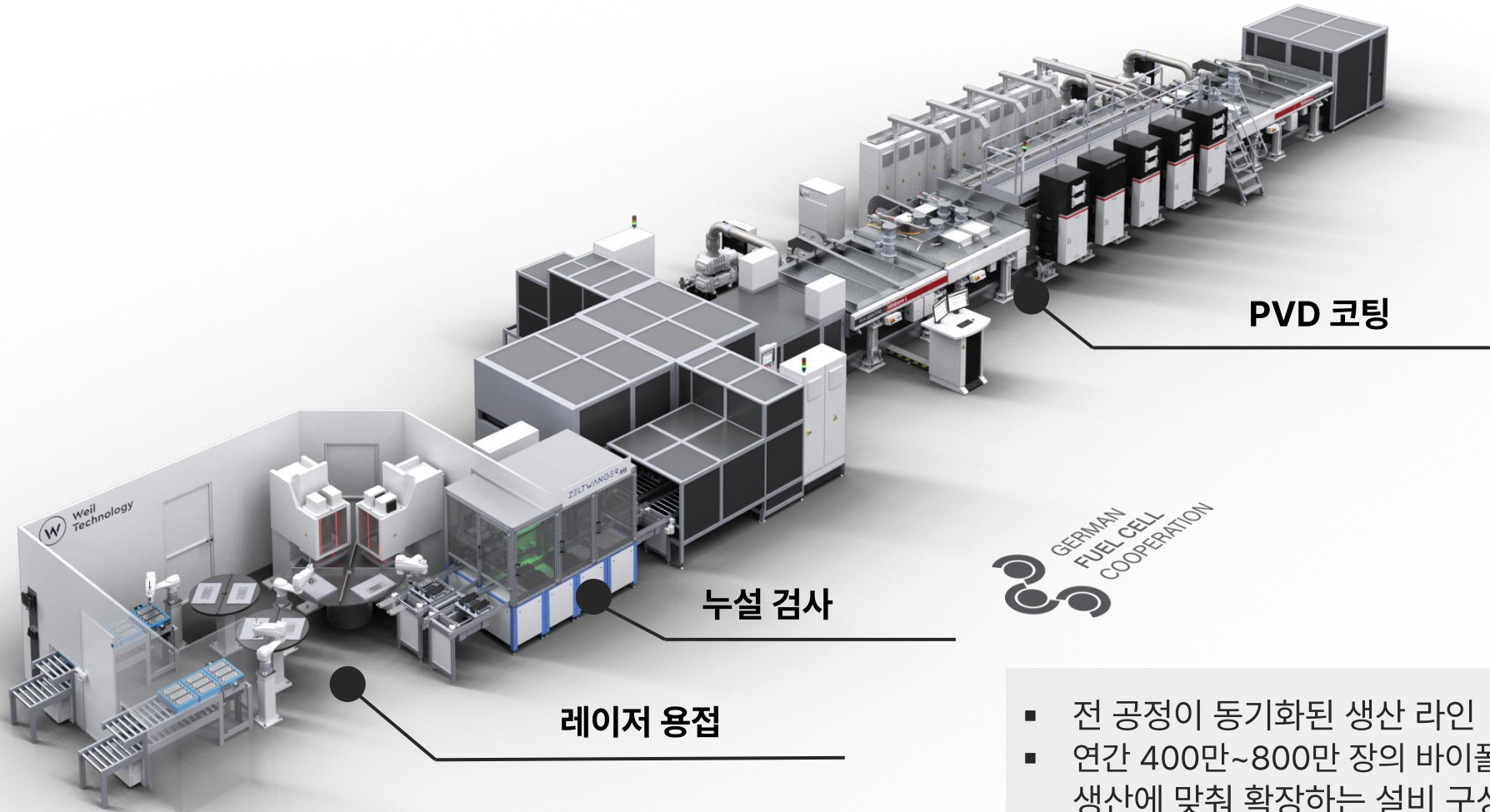


설비와 인터페이스가 정교하게
맞물리는 완전 자동화
통합 생산 라인



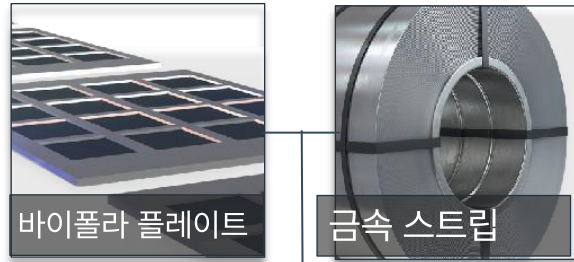
양산에 준하는 시제품 공정에서
사전 검증

바이폴라 플레이트 통합 생산 라인

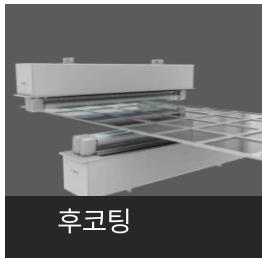
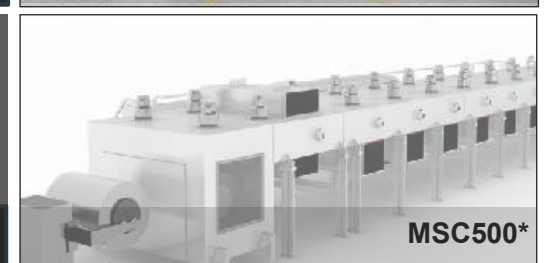


- 전 공정이 동기화된 생산 라인
- 연간 400만~800만 장의 바이폴라 플레이트 생산에 맞춰 확장하는 설비 구성

핵심 PVD 기술과 설비 구성



코팅 설비 구성 예시



생산 규모에 맞춰 확장하는 설비

확장성은 곧 생산성

연구개발



파일럿
생산



대량
생산



처리량:

연간 50만 m² 미만

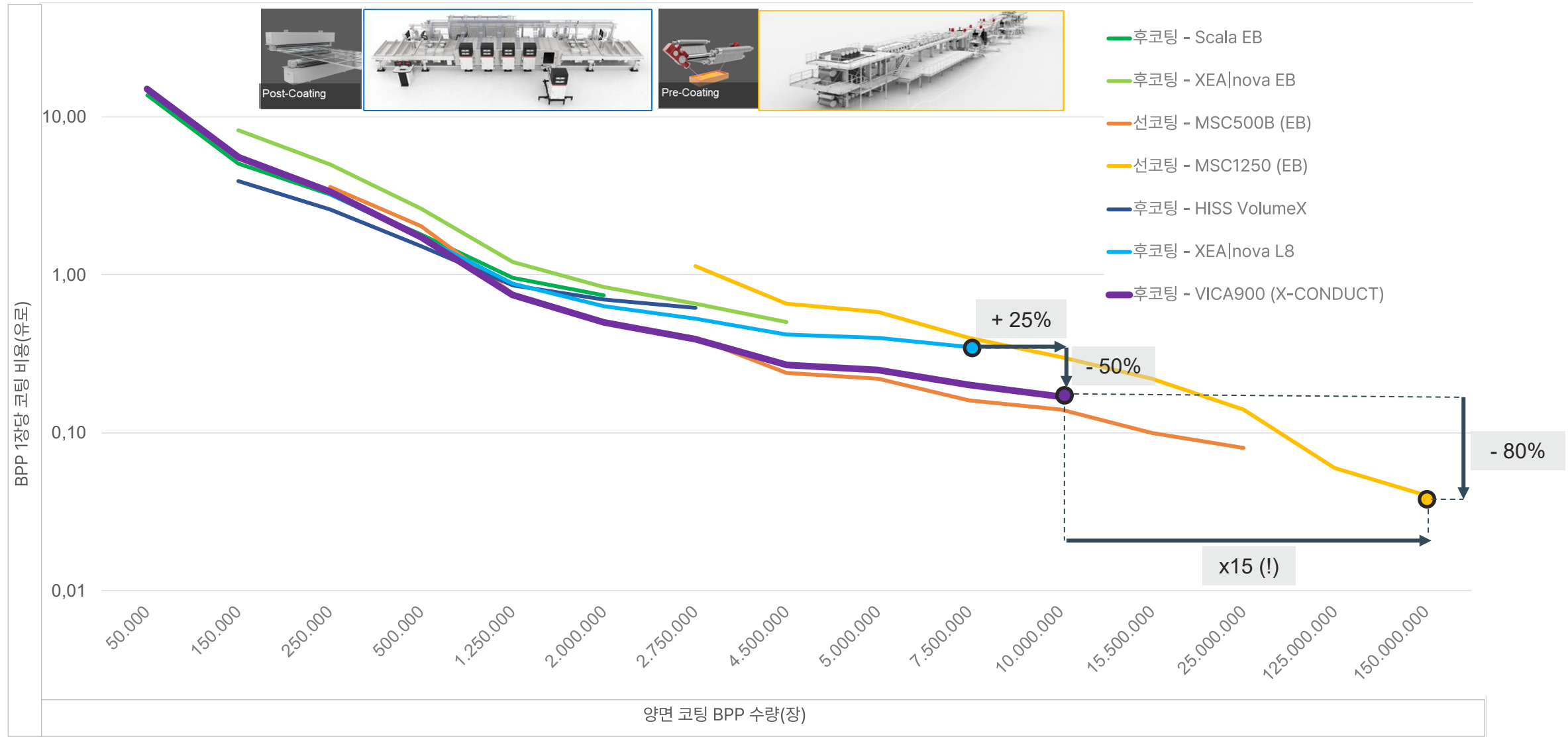
연간 1,500만 m² 초과

비용 수준:

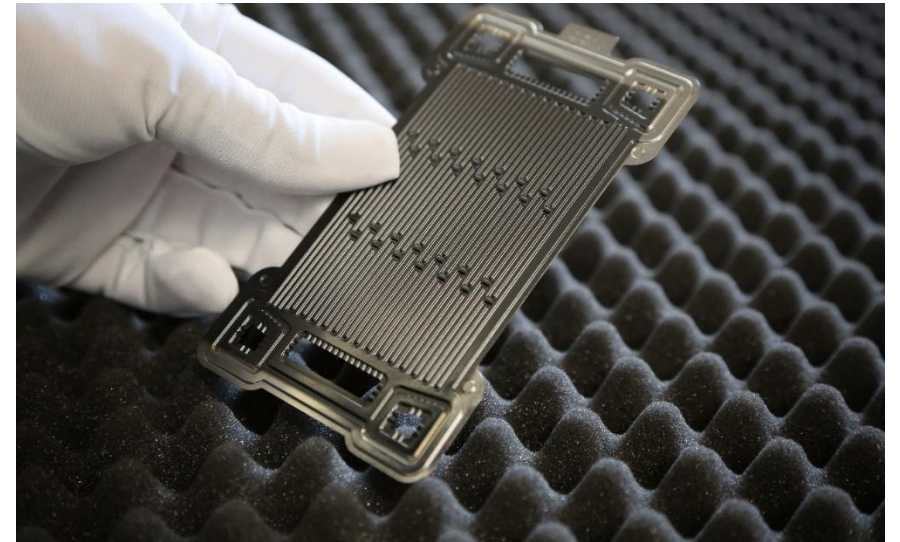
유로/BPP

센트/BPP

PVD 기술·설비별 소유비용(CoO) 비교



1. VON ARDENNE 소개
2. 바이폴라 플레이트용 PVD 코팅 설비
- 3. PEM 연료전지 다층막 개발과 시험**
4. PEM 수전해 코팅 기술
5. VON ARDENNE의 샘플 제작 역량



PEM 연료전지를 위한 기준 코팅

스테인리스강 바이폴라 플레이트용



탄소 기반 다층막은 낮은 계면 접촉 저항(ICR),
우수한 밀착력과 높은 내식성을
함께 구현하도록 설계되었습니다.

계면 접촉 저항과 내식성, 스택 성능은
**금 코팅에 견줄 수 있는
수준입니다.**

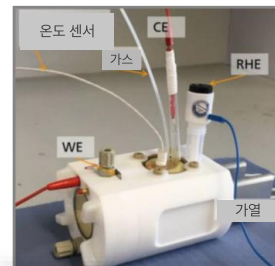
높은 증착률로 생산성을 높이고,
업계 최고 수준의 소유비용(CoO)
경쟁력을 구현합니다.

VON ARDENNE - PEM 연료전지 코팅 성능 평가

외부 기관 시험 결과



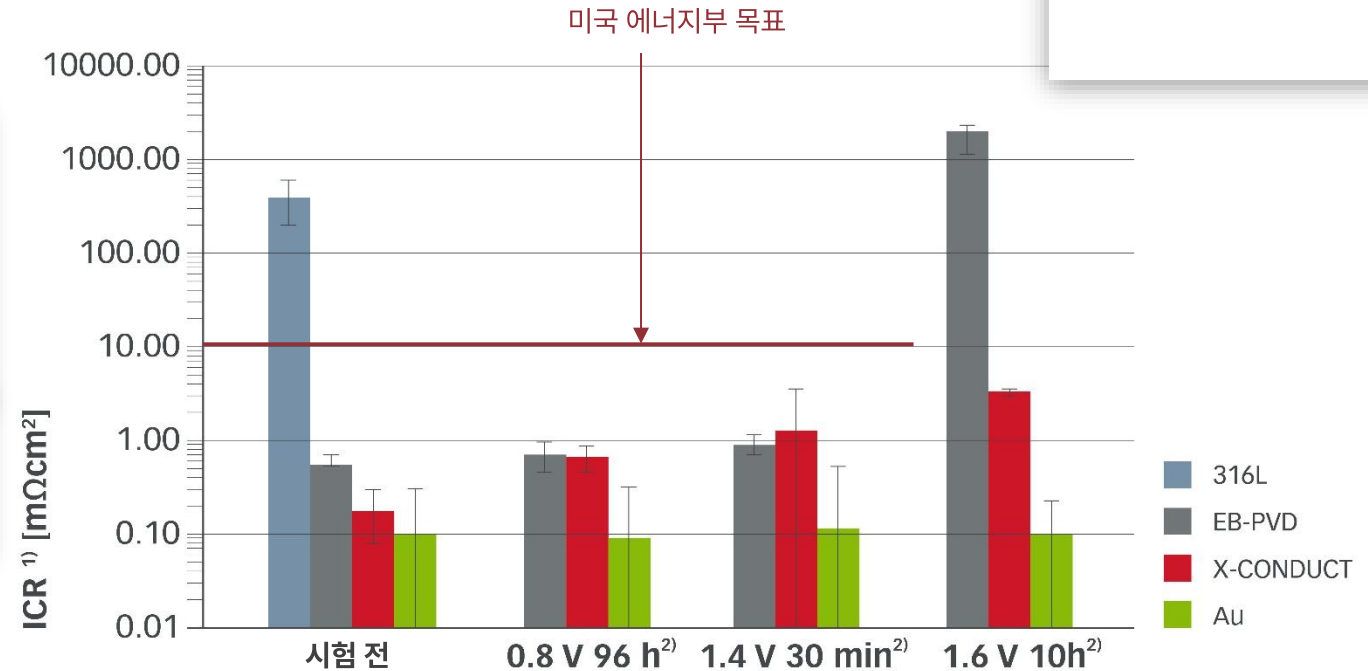
Fraunhofer
ISE
독일 프라이부르크



전기화학 시험 프라운호퍼 ISE 공동 수행

VON ARDENNE의 탄소 코팅은 연료전지 전위에서 내식성을 유지합니다. 더 높은 전위에 노출된 후에도 금 코팅과 유사한 낮은 접촉 저항을 보입니다.

전기화학적 부식 분석



1) 140 N/cm², 가스 확산층 사용

2) 정전위 시험, RE: RHE, 1 mM H₂SO₄(pH~2.7) + 0.1 mg/l HF, 80°C

VON ARDENNE - PEM 연료전지 코팅 성능 평가

외부 기관 시험 결과



수소·연료전지
연구센터(ZBT)
독일 뒤스부르크

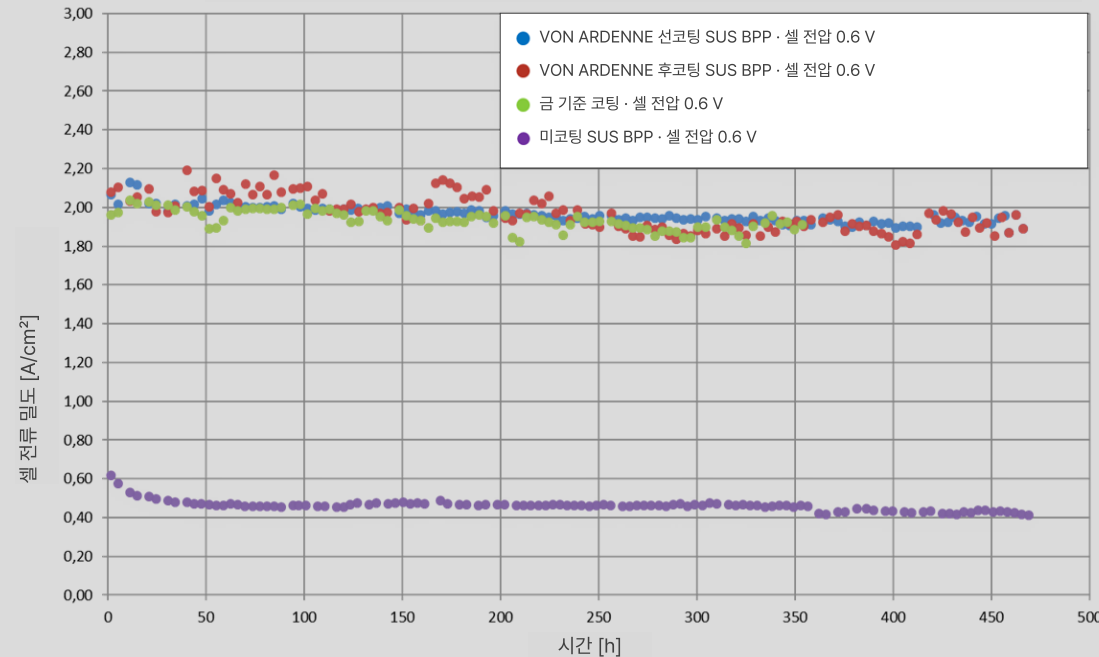


PEM 셀 시험



VON ARDENNE 선코팅·후코팅 시편의 가속 스트레스 시험

0.6 V에서의 전류 밀도 (ZBT 시험, AST-3)



시험 결과

VON ARDENNE의
선코팅·후코팅 시편 간 성능
차이는 없습니다.

선코팅·후코팅 모두 금 기준
코팅과 동등한 성능을 보이며,
ICR 수준 역시 유사합니다.

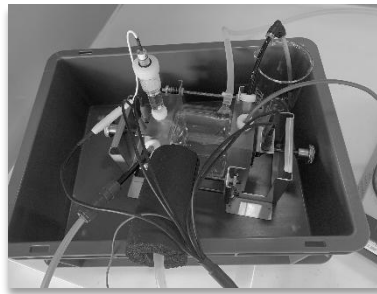
시간이 지나도 안정적인 전류
밀도를 유지합니다.

VON ARDENNE의 코팅 성능 검증 설비

전기화학적 부식 시험 셀과 개선된 ICR 측정 방식

전기화학적 부식 분석

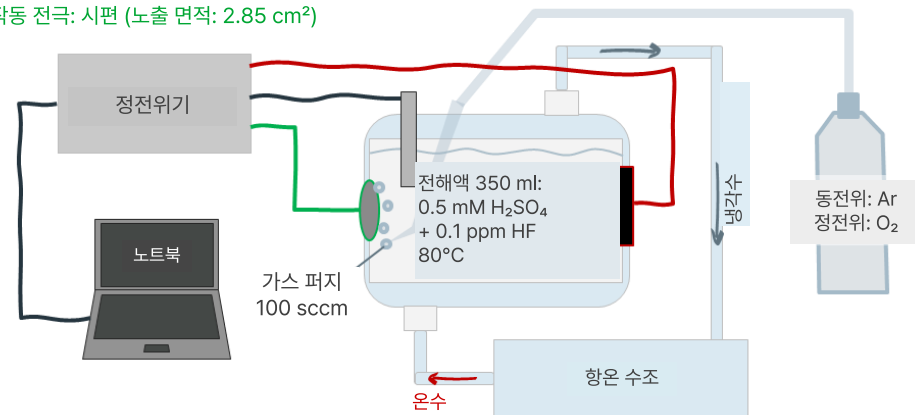
- 미국 에너지부 기준 시험과 고전위 시험 (1.2 V vs. Ag/AgCl)
- 동전위: OCV-0.2 V부터 1.2 V까지 주사 vs. Ag/AgCl, 0.1 mV/s
- 정전위: 0.6 및 1.2 V vs. Ag/AgCl



상대 전극: 흑연 블록

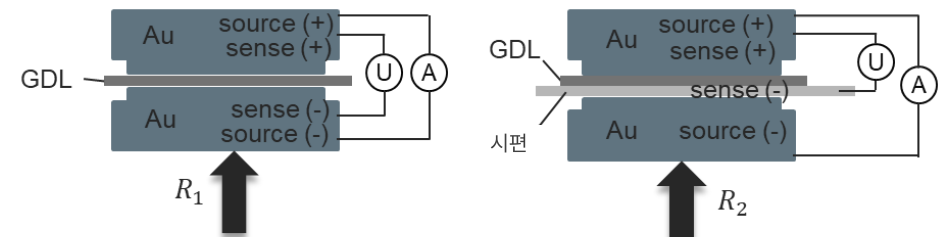
기준 전극: 포화 KCl의 Ag/AgCl (199 mV)

작동 전극: 시편 (노출 면적: 2.85 cm²)



ICR 측정

- 부식된 한쪽 면만의 ICR을 측정하도록 개선한 시험 구성
- GDL 두께를 달리한 R₁ 방식 측정으로 R_{GDL-Zyl}을 사전에 산출
- 단면적 1 cm²의 실린더

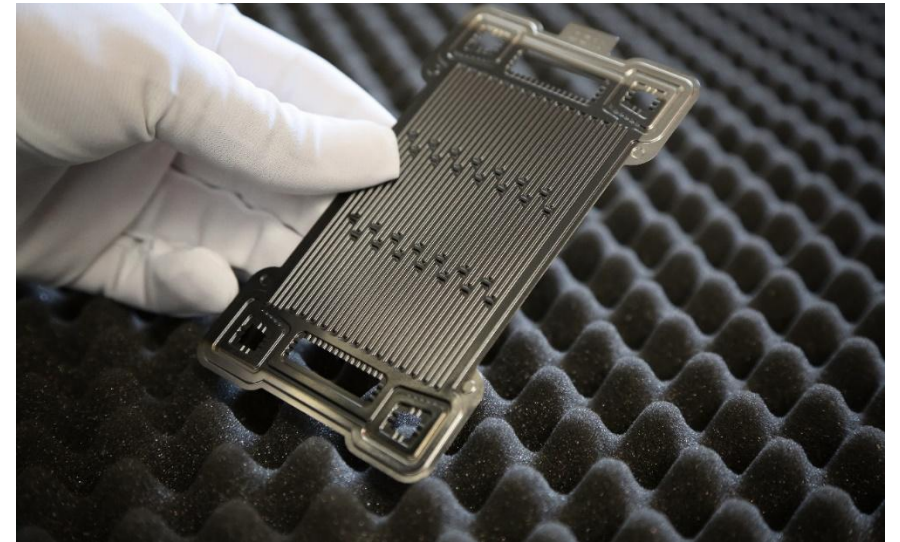


$$R_1 = 2 \cdot R_{GDL-Zyl} + R_{\Omega GDL} \quad R_2 = R_{sample-GDL} + R_{\Omega GDL} + R_{GDL-Zyl}$$

$$R_{\Omega GDL} = R_1 - 2 \cdot R_{GDL-Zyl}$$

$$ICR = R_{sample-GDL} = R_2 - R_{\Omega GDL} - R_{GDL-Zyl}$$

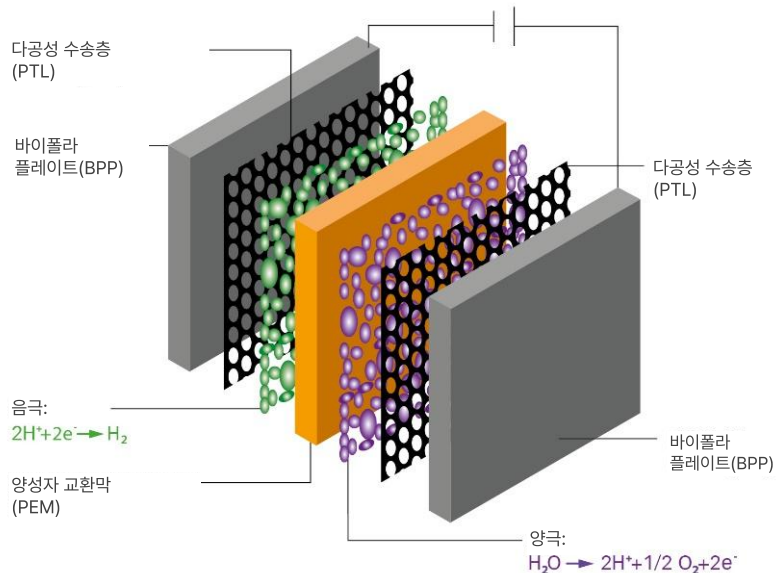
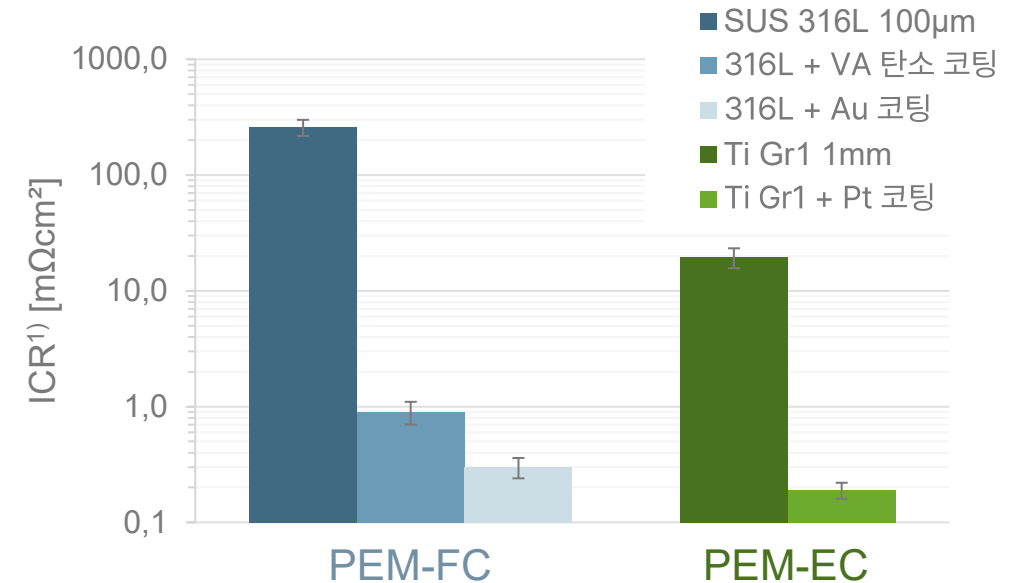
1. VON ARDENNE 소개
2. 바이폴라 플레이트용 PVD 코팅 설비
3. PEM 연료전지 다층막 개발과 시험
- 4. PEM 수전해 코팅 기술**
5. VON ARDENNE의 샘플 제작 역량



PEM 수전해를 위한 코팅 솔루션

BPP·PTL용 귀금속 코팅

- VON ARDENNE는 PEM 수전해용 귀금속 코팅의 솔루션 제공부터 샘플 제작까지 지원합니다.
- 표면 기능화의 주요 대상은 바이폴라 플레이트와 양극 측 다공성 수송층입니다.



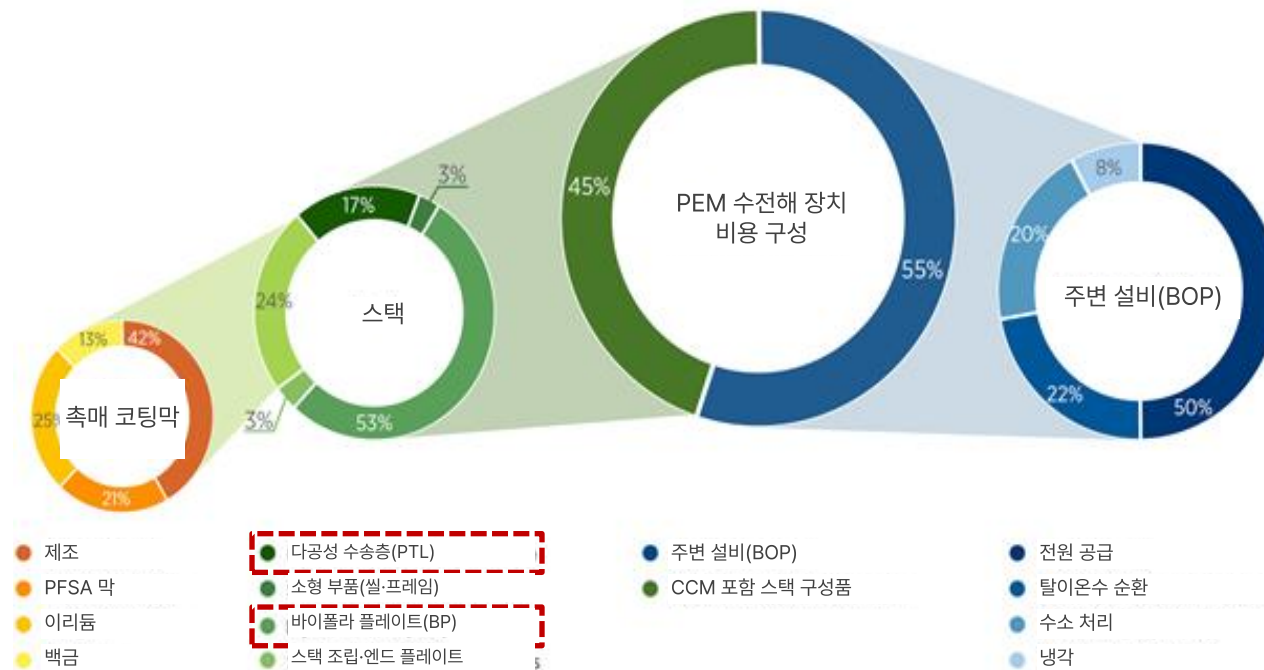
1) 60 N/cm², 탄소 가스 확산층 사용

티타늄 바이폴라 플레이트에 귀금속을 코팅하면
계면 접촉 저항을 20에서 0.2 mΩcm²로 낮출 수 있습니다.
귀금속은 수전해 전위에서 내식성을 유지합니다.

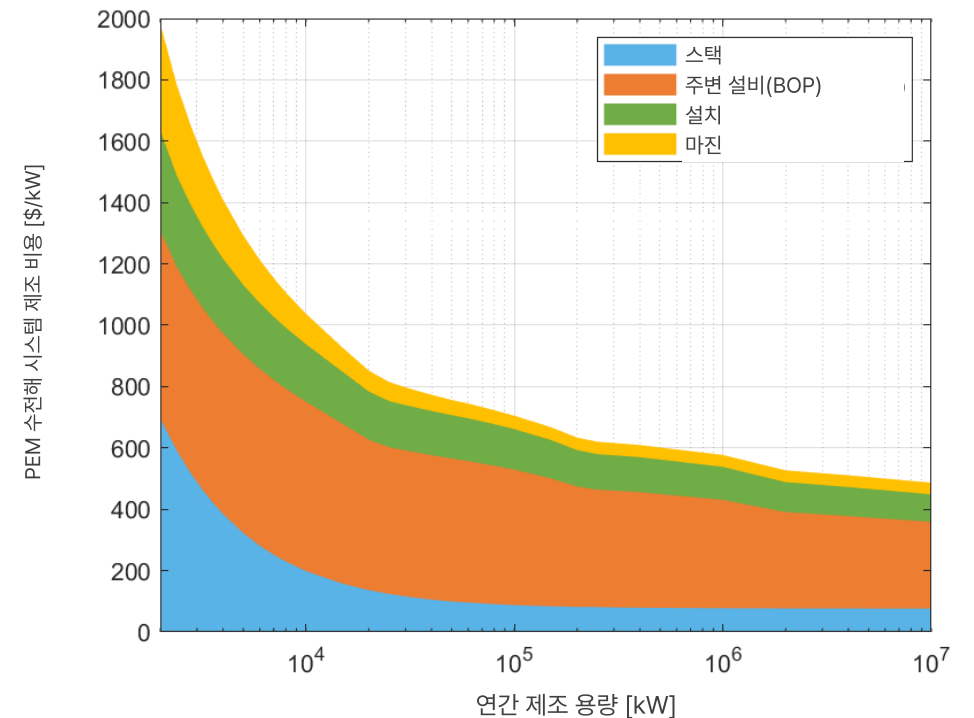
PEM 수전해

비용 구조와 전망

- 수전해 시스템 가격과 설비투자비(CAPEX)를 낮추려면 스택 비용 절감이 필수입니다.
- 기능성 코팅을 포함한 바이폴라 플레이트(BPP)는 PEM 수전해 스택의 주요 비용 요소입니다.



Source: IRENA (2020), Green Hydrogen Cost Reduction



Source: www.researchgate.net/publication/367891162

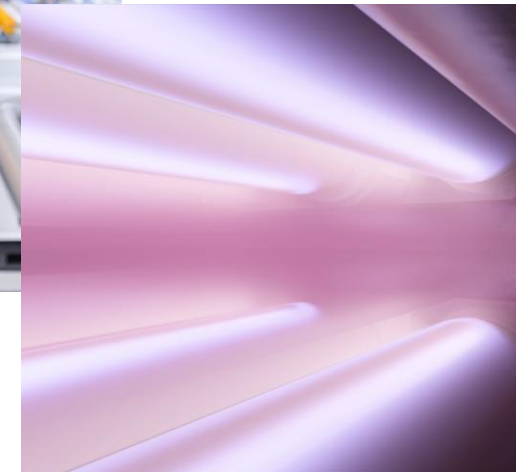
수소 경제를 위한 코팅 솔루션

PEM 수전해

귀금속 코팅이 비용에 미치는 영향

	전기도금	PVD 코팅
BPP 크기	850 x 600 mm ²	
메시 / PTL 크기	600 x 450 mm ²	
BPP 코팅	한쪽 면 Au 500 nm 한쪽 면 Pt 500 nm	한쪽 면 Au 50 nm 한쪽 면 Pt 50 nm
메시 코팅	양면 Pt 500 nm*	양면 Pt 50 nm
PTL 코팅	양면 Pt 500 nm*	양면 Pt 50 nm
스택 크기	350셀	
귀금속 원재료 가치	438,300 USD	31,300 USD

* 다공성 PTL과 메시를 전기도금하면 유효 표면적 기준보다 더 많은 소재가 사용됩니다.



마그네트론 스퍼터링 공정

PEM 수전해 부품용 코팅 설비

2024년 가동. 실물 크기 PEM 수전해 부품을 위한 첫 양산 코팅 시스템

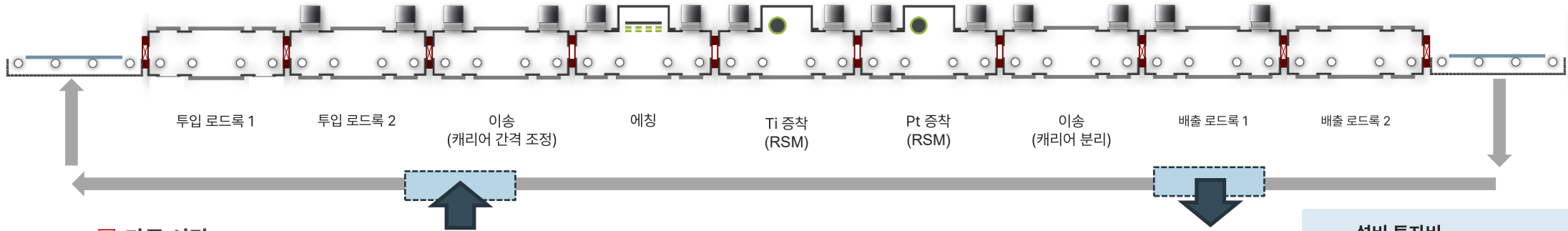
HISS600 VolumeX - 세계 최초의 GW급 24시간 연속 생산 PVD 설비

- 이 시장 최초의 PVD 기반 24시간 연속 생산 시스템
- 소재 이용률이 높은 회전 타깃과 마그네트론 스퍼터링을 활용한 귀금속 코팅
- 도전적인 일정과 높은 유연성 요구에 대응한 프로젝트
- 인더스트리 4.0 스마트 제조 표준에 대응



PEM 수전해 부품 코팅 설비의 총소유비용(TCO)

HISS600 VolumeX: PTL의 Pt 코팅을 위한 구성·생산성·TCO



가동 시간

- 생산 기간: 8,520 h (연간 355일, 24시간 연속 가동)
- OEE: 약 90% (타겟 수명·정비 계획 등에 따라 달라짐)

생산량

- 연간 생산량: 약 600,000캐리어 (약 350,000 m²)
- 대응 택트 타임: 약 45초

TCO 산정 조건

- 감가상각 기간: 10년
- 인건비: 45 USD/h
- 에너지 비용: 0.22 USD/kWh
- **Pt 코팅 두께**: **50 nm, Pt 한쪽 면 코팅**
- 기판 크기: 캐리어당 2장, 450 × 600 mm, 긴 변 선행
- Pt 타겟당 가격: 약 260만 유로

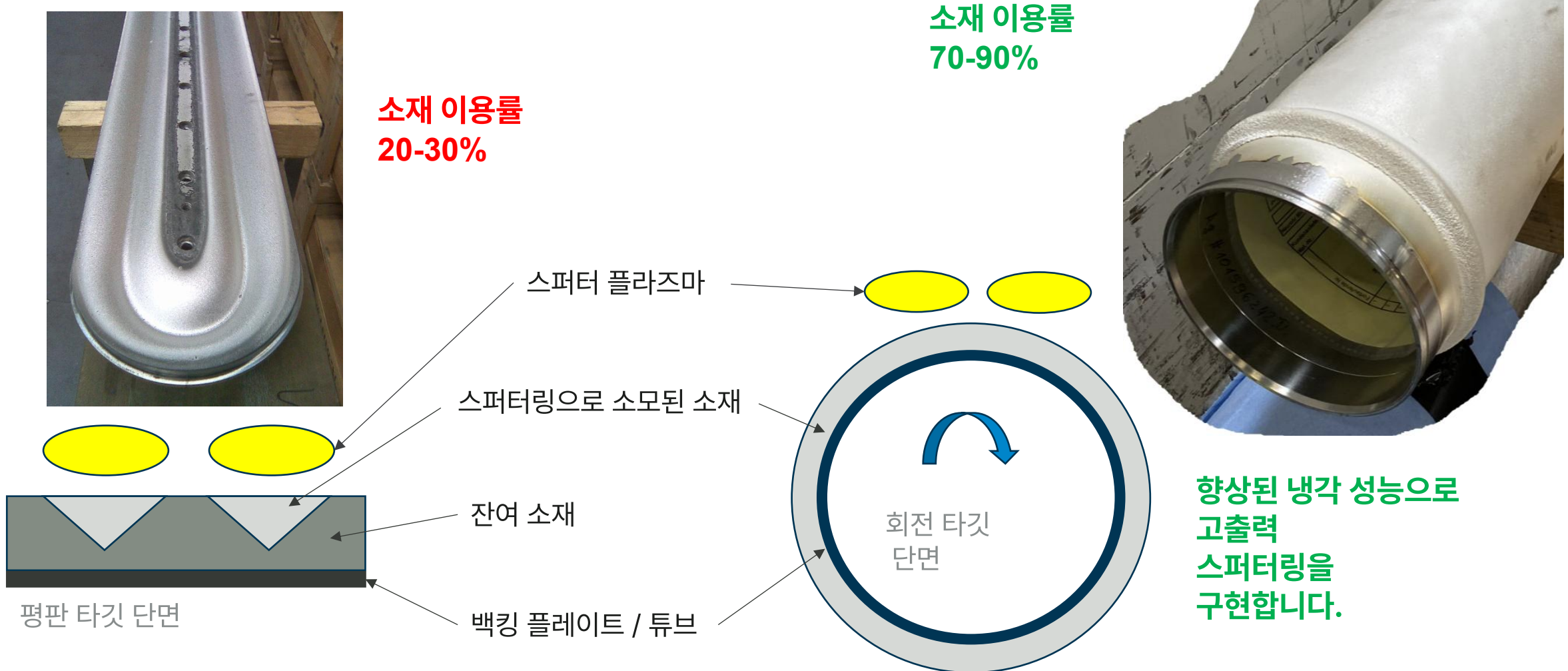
설비 투자비
인건비
에너지 비용



96%

귀금속 타킷

평판 타킷과 회전 타킷 비교



Materion의 귀금속 회전 타깃 제조

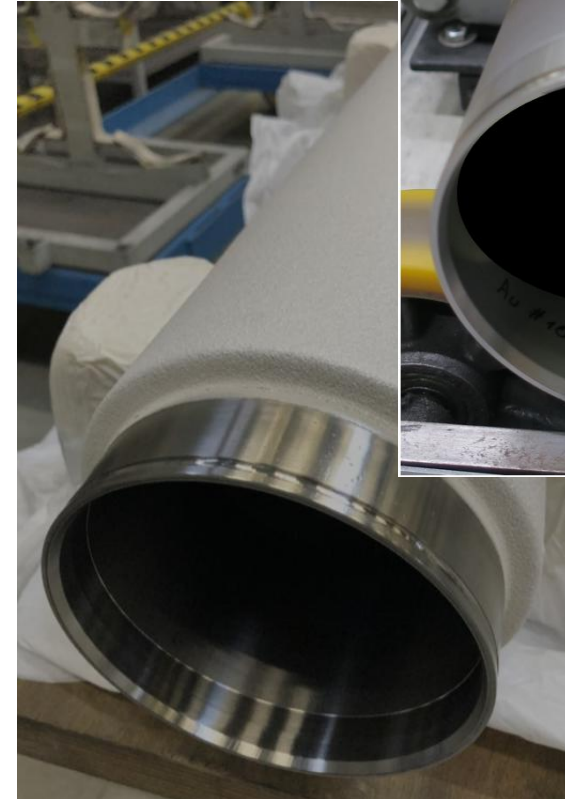
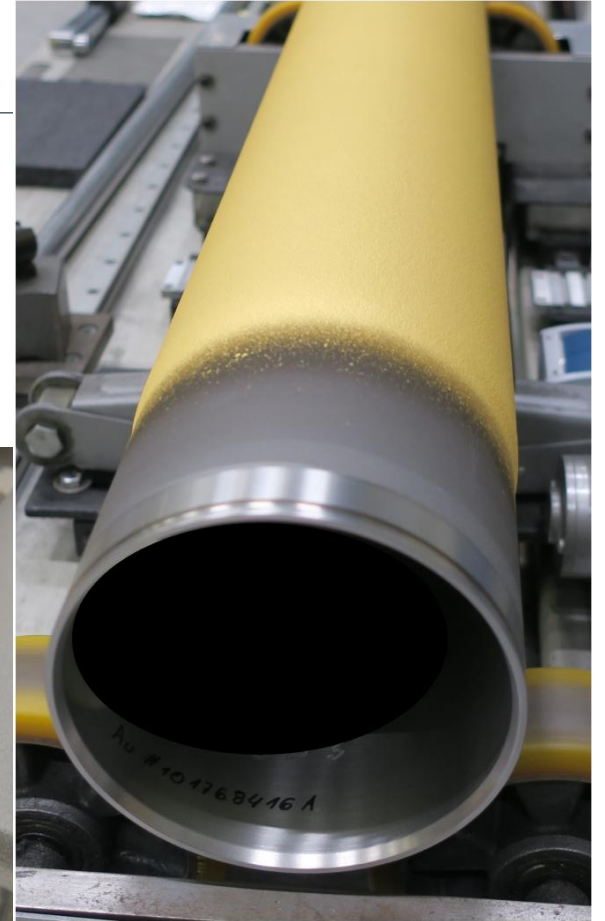
은(Ag) 회전 타깃의 오랜 제조 경험을 금(Au)·백금(Pt)으로 확장합니다.

■ 주조·본딩 방식

- + 귀금속 손실 최소화
- + 높은 밀도, 낮은 산소 함량
- 많은 투입 소재에 대한 초기 자금 부담
- 추가 본딩 공정 필요 → 스퍼터링 출력 제한
- 얇은 타깃에는 경제성이 낮음

■ 용사 방식

- + 얇은 타깃과 '도그본' 형상에 적합
- + 초기 자금 부담 최소화
- + 직접 재충전 가능
- + 고출력 부하에 대응
- 오버스프레이로 인한 소재 손실
- 기공과 산소 함량 고려 필요



귀금속 타킷의 생애주기

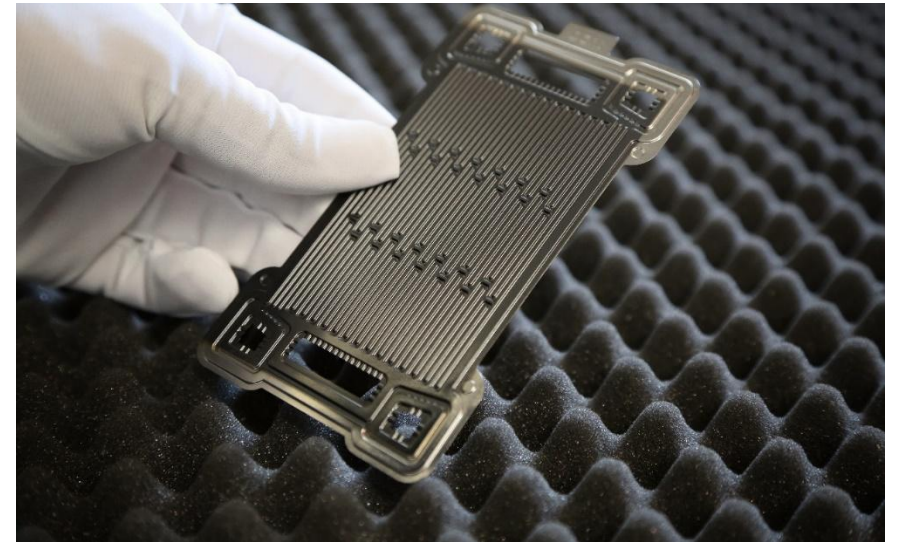
재활용·회수·실드 세척으로 비용 최적화

전문성을 모아 귀금속 활용의 전 과정을 최적화합니다.

- 백킹 튜브를 재활용해 반복 사용
- 사용한 타킷 소재의 재활용과 회수로
귀금속 비용을 크게 절감
- 소모된 타킷에 직접 소재를 재충전
- VON ARDENNE의 최적화된 실드·캐리어 설계
- 실드·캐리어 전처리 및 세척 옵션
- MATERION의 귀금속 관리 시스템을 통해
재활용·회수된 귀금속을 고객 계정에
직접 반영



1. VON ARDENNE 소개
2. 바이폴라 플레이트용 PVD 코팅 설비
3. PEM 연료전지 다층막 개발과 시험
4. PEM 수전해 코팅 기술
5. VON ARDENNE의 샘플 제작 역량



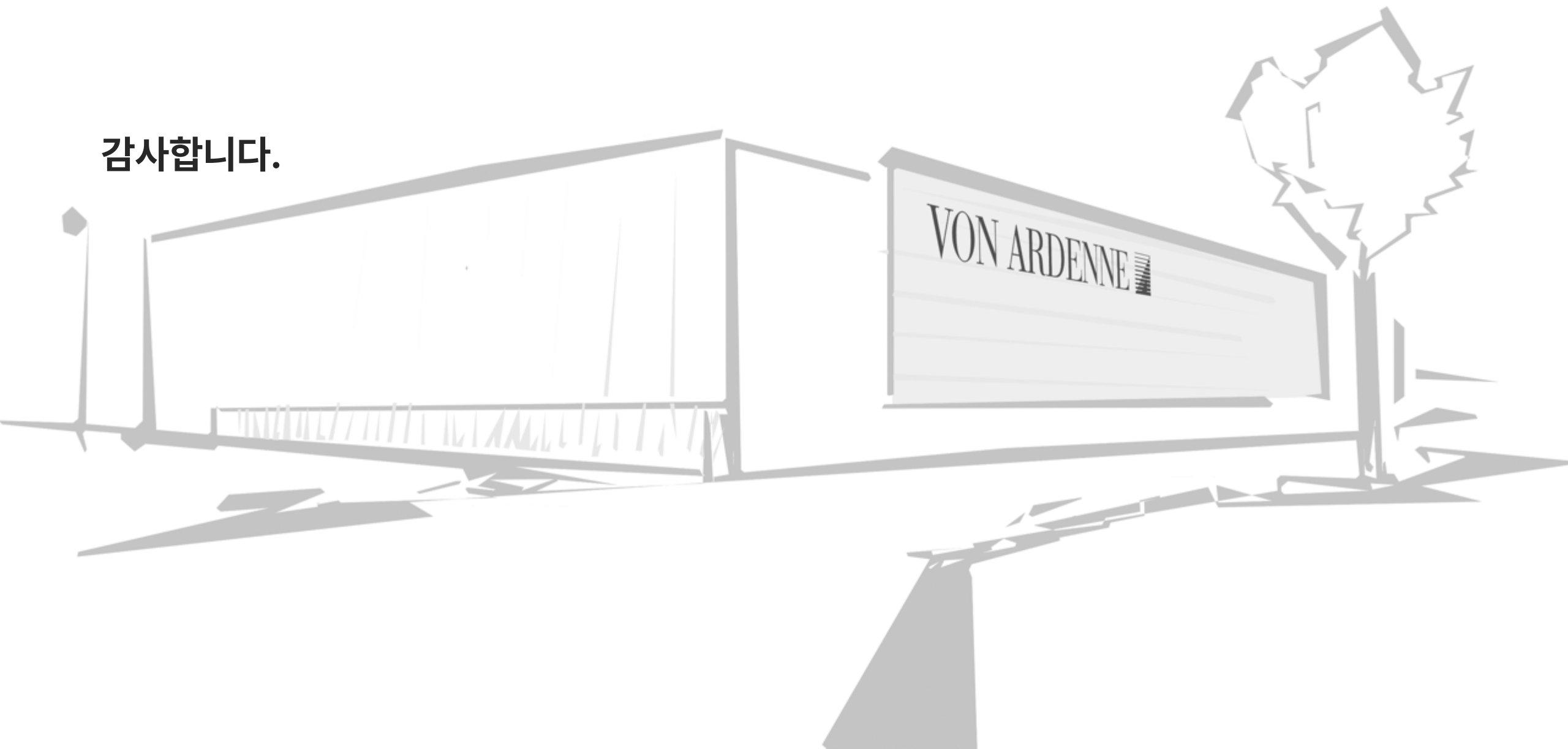
고객에게 더하는 가치

산업 현장에서 연구개발까지



- 새로운 기술 접근법의
개발과 시험
(자체 개발 및 공동 연구)
- 구성품 시험
- 실험 수행과
설계를 위한 데이터 제공
- 샘플 제작과 개념 검증
- 기술의 양산 확대와 코팅 서비스
(회전 타깃을 활용한 귀금속 코팅 포함)

감사합니다.



□ 모듈화의 가능성: HISS 코팅 시스템

- <https://www.youtube.com/watch?v=eKkPNvDgsyU>

□ 전자빔 코팅의 원리

- <https://www.youtube.com/watch?v=qsyLBz3lia4>

□ PVD 스퍼터링 공정의 원리

- <https://www.youtube.com/watch?v=8mVK5dwyoEY>

□ 독일 연료전지 협력체: VON ARDENNE 소개(1:32~2:35)

- https://www.youtube.com/watch?v=pEKio0DEX_s

□ 더 많은 영상: [VON ARDENNE - YouTube](#)

