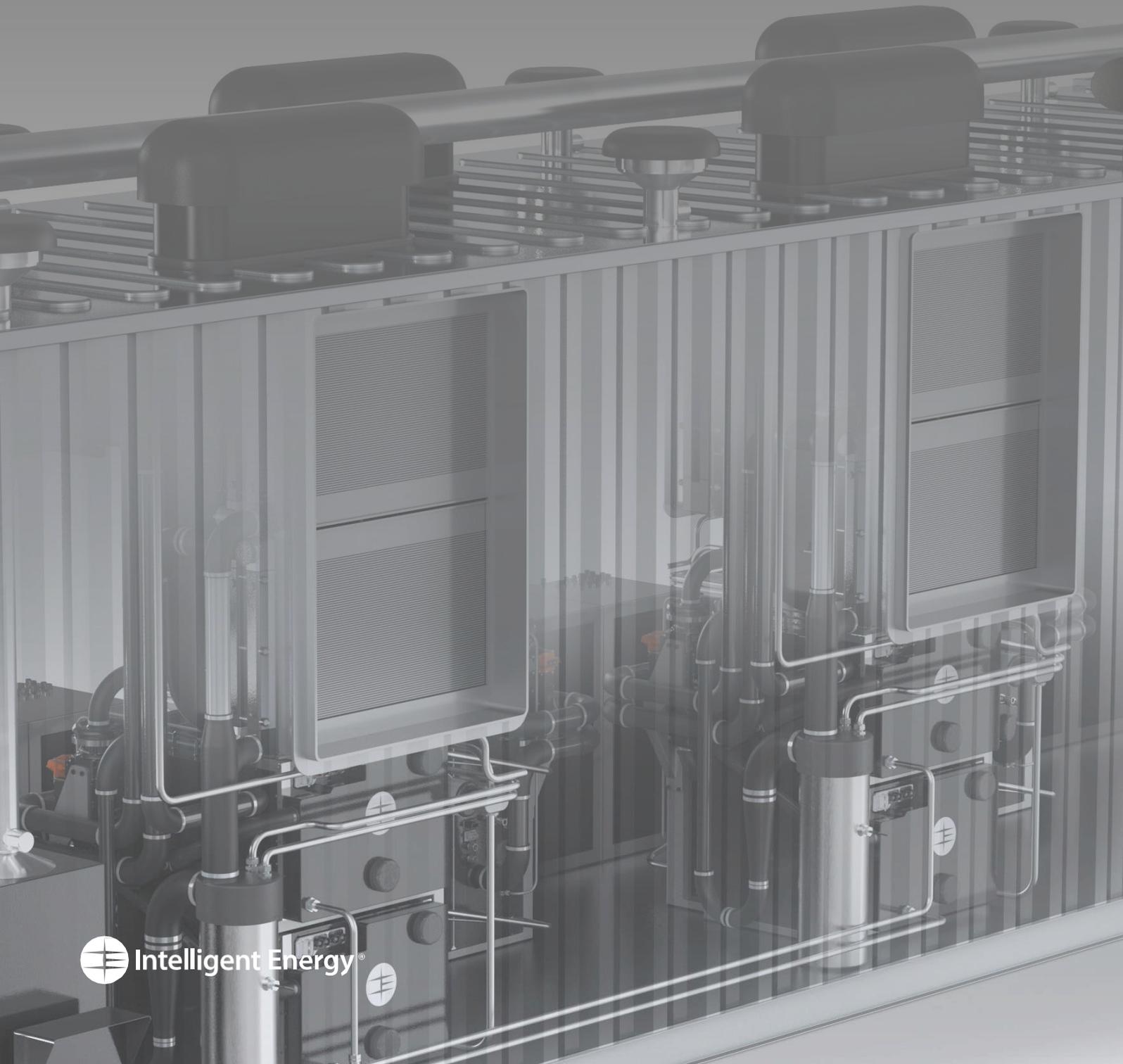




고정형 전력 응용 분야의 혁신적인 열 관리
기법을 통한 수소연료전지의 효율 극대화



1. 개요

이 백서는 고정형 전력 응용 분야에서 연료전지 사용의 이점과 Intelligent Energy의 증발 냉각 구조의 장점에 대해 자세히 설명합니다.

또한, 배기열을 활용한 CHP(Combined Heat and Power; 열병합발전) 시스템에서 제공하는 잠재적인 열적 이점을 강조합니다.

MATLAB Simulink를 사용하여 데이터 분석을 진행했으며, 이 과정에서 건조 공기 압축, 열역학 및 전기화학 방정식을 활용했고, 'Fuel Cell Systems Explained'¹; 연료전지 시스템 설명' 및 'Temperature regulation in an evaporatively cooled proton exchange membrane fuel cell stack'²; 증발 냉각형 양성자 교환막 연료전지 스택의 온도 제어'에서 상세히 설명된 내용을 참조했습니다.

이 계산은 Intelligent Energy의 연료전지 스택 기술에서 측정한 분극 데이터와 IE-DRIVE™ HD100 연료전지 시스템에서 측정한 압력 강하 데이터를 사용하여 보완되었습니다.

모든 효율 계산에는 수소의 저위발열량(LHV)인 33.3kWh/kg이 적용되었습니다.

작성자

Chris Dudfield 박사, 최고 기술 책임자

Chris Morrow, IE-DRIVE 제품 개발 책임자

Emily Foster, 마케팅 매니저

¹ Dicks, A.L. & Rand, D.A.J. (2018) 'Fuel Cell Systems Explained', 3rd edition, Wiley, ISBN 978-1118613528

² Fly, A. & Thring, R.H. (2015) 'Temperature regulation in an evaporatively cooled proton exchange membrane fuel cell stack', International Journal of Hydrogen Energy Volume 40, Issue 35, pp. 11976-11982

2. 연료전지 개요

수소연료전지는 수소와 산소의 전기화학 반응을 통해 화학 에너지를 전기 에너지로 변환합니다. 이 과정에서 생성되는 유일한 부산물은 수증기와 폐열뿐입니다.

수소연료전지는 탄소 배출이 없는 깨끗한 전력을 제공하며, 기존 내연기관이나 배터리를 대체할 수 있는 전력원으로 자동차, 항공우주, 고정형 전력, 철도, 해양 및 물류를 포함하는 다양한 분야에서 사용될 수 있습니다. 연료전지 기술은 질량, 작동 온도, 전력 밀도, 연료 유연성 등의 성능 특성에 따라 다양한 시장과 응용 분야에서 사용됩니다.

	양성자 교환막	고체산화물	알칼리	인산
전해질	고분자막	세라믹	수산화칼륨	인산
양극 촉매	Pt	Ni + YSZ (세라믹)	Ni, Pt, Pd	Pt
음극 촉매	Pt	LSM (세라믹)	Pt, Pd, Ag, MnO ₂	Pt
연료	수소	천연가스, 에탄올, 바이오가스	수소, 암모니아	수소, 메탄올
동작 온도	50 - 100°C	500 - 1000°C	40 - 75°C	150 - 200°C
전지 효율	50 - 60%	60%	60 - 70%	40 - 50%
적용 전력	1W to +1MW	10W to +1MW	500W to +200kW	100W to +400kW
전력 밀도/Wcm ²	2	1	1	0.3
장점	빠른 시동, 빠른 과도 응답. 작은 크기, 가벼움	연료 유연성, 효율성	빠른 시동, 효율성, 저비용, 저온 작동	운영 안정성, 성속도, 단순 구조, 불순물 내성
제한 사항	수소 순도, 습도 민감도, 촉매 비용	느린 시동, 느린 과도 응답, 고가의 원자재	CO ₂ 민감도, 액체 전해질 관리	전력 밀도, 부식성 액체 및 증기, 촉매 비용
응용 분야	자동차, 항공우주, UAV, MHE, 휴대용 전력, 고정형 전력	고정형 전력, 해양, 열병합발전	군사용, 고정형 전력	고정형 전력, 열병합발전

표 1 연료전지 비교

양성자 교환막(PEM; Proton Exchange Membrane) 연료전지는 중량 및 체적 전력 밀도가 높고 다른 연료전지에 비해 시동 및 부하 응답 시간이 빠릅니다. 이러한 장점으로 인해 다양한 응용 분야에 활용될 수 있습니다. 특히, 자동차 분야에서는 이러한 특성으로 인해 PEM 연료전지가 널리 사용되고 있으며, PEM 기술의 도입이 활발히 이루어지고 있습니다.

연료전지는 고정형 전력 응용 분야에서 안정적이고 깨끗한 전력을 제공할 뿐만 아니라, 기존 전력망에 대한 의존성을 줄여 다양한 응용 분야에서 지속 가능한 마이크로그리드로 사용할 수 있습니다. 또한, 높은 전력 밀도와 확장성을 통해 공간 제약 없이 메가와트 규모의 전력을 공급할 수 있습니다.

3. 고정형 전력 응용 분야의 연료전지

CHP 시스템 구조는 전기 생성 과정에서 발생하는 열에너지를 포착하고 활용할 수 있게 해줍니다. 이 열을 활용함으로써 CHP 시스템은 보다 더 효율적인 시스템 구성이 가능합니다.

마이크로그리드는 하나 이상의 분산 전력원으로 구성할 수 있는 독립적인 에너지 시스템입니다. 이러한 마이크로그리드는 태양광, 풍력과 같은 재생에너지원과 배터리, 수소 등의 에너지 저장 기술을 결합하여 사용자에게 지속 가능한 친환경 전력을 제공합니다.

마이크로그리드는 전력망과 독립적으로 작동하므로 전력 공급이 어려운 지역 또는 간헐적 끊임 없이 지속적인 전력 공급이 필요한 응용 분야에 적합합니다. 또한, 전력망 네트워크의 전력 공급을 증강하고 균형을 맞출 수 있습니다. (그림 1 참조)

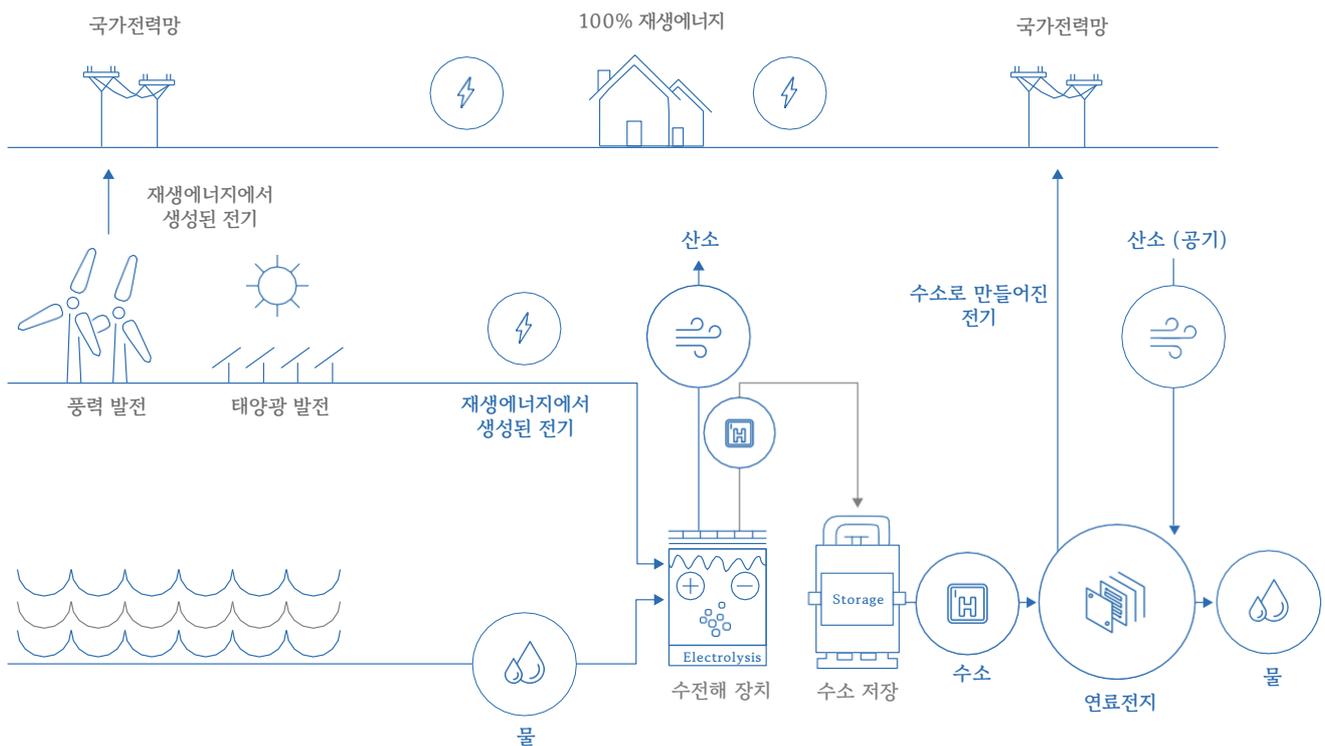


그림 1 전형적인 마이크로그리드

PEM 연료전지는 자동차 분야에서 선호되는 연료전지 기술로 채택되면서 생산 비용을 크게 절감하고 대량 제조할 수 있는 기회가 마련되었습니다. 예시로, 캘리포니아 연료전지 파트너십은 2030년까지 100만 대의 연료전지 전기차를 목표로 하고 있어 승용차 시장에서 큰 기회로 보고 있습니다³. 인프라는 증가하는 수요를 위해 지속적으로 발전해 나가야 하며, 이에 따른 제조공정은 비용과 품질에 긍정적인 영향을 미칠 것입니다.

결과적으로 PEM 기술에 대한 비용이 감소하여 고정형 전력과 같은 다른 응용 분야의 목표 비용을 달성할 수 있을 것입니다. 미국 에너지부⁴와 영국 첨단 추진 센터⁵가 발표한 최신 PEM 연료전지 시스템의 목표 비용은 각각 2030년과 2035년에 \$80/kW입니다.

비용 절감 목표 달성은 공급망 성장과 대량 생산을 촉진하기 위한 국가 보조금과 지원 등을 통해 실현될 것으로 예상됩니다. 이에 대한 예시로, 미국 에너지부는 최대 70억 달러의 공공자금을 투입하여 지역 청정 수소 허브 프로그램(H2Hubs)을 출범하였습니다⁶. 이 프로그램은 미국 전역에 7개의 지역 청정 수소 허브를 설립하여 국가 청정 수소 네트워크의 기초를 마련하고, 이를 통해 여러 경제 부문의 탈탄소화에 크게 기여할 것입니다. 이 허브들은 제조 및 인프라를 구축하여 규모의 경제를 촉진하는 것을 목표로 하고 있습니다.

미국의 인플레이션 감축법(IRA)도 수소 생산 비용 절감을 지원하고 있으며, 이는 연료전지 기술의 확대 및 배치에 중요한 역할을 합니다.

수소의 비용은 고정형 전력 응용 분야의 총 운영 비용(TCO)에 주요 영향을 미치는 요인 중 하나입니다. 주된 생산 공정이 증기 메탄 개질에서 저비용 재생에너지로 전환됨에 따라 수소의 kg당 비용은 시간이 지남에 따라 감소할 것으로 예상됩니다.

2021년 재생에너지로 생산된 수소 비용은 약 \$5/kg였습니다⁷. 국제 청정 교통 위원회(ICCT)는 2030년까지 이 비용이 미국에서 \$3.5/kg로 하락할 것으로 예상하고 있습니다⁸.

PwC는 2050년까지 중동, 아프리카, 러시아, 중국, 미국 및 호주의 일부 지역에서 그린수소의 생산 비용이 \$1에서 \$1.62/kg 사이에 이를 것으로 전망하고 있습니다⁹.

소비자 가격에는 압축, 운송 및 배송 비용이 포함되므로 생산 비용에 상당한 영향을 미칠 것입니다.

³ California Air Resources Board, https://ww2.arb.ca.gov/sites/default/files/2019-07/AB8_report_2019_Final.pdf

⁴ US DoE, U.S. National Clean Hydrogen Strategy and Roadmap (2023)

⁵ Advanced Propulsion Centre UK, Fuel Cell Roadmap 2020 (2021)

⁶ US DoE, <https://www.energy.gov/articles/biden-harris-administration-announces-7-billion-americas-first-clean-hydrogen-hubs-driving>

⁷ US DoE, <https://www.energy.gov/eere/fuelcells/hydrogen-shot>

⁸ The International Council on Clean Transportation, <https://theicct.org/the-price-of-green-hydrogen-estimate-future-production-costs-may24/#:~:text=The%20ICCT's%20central%20estimates%20of,compared%20with%20other%20published%20values>

⁹ PwC, <https://www.pwc.com/gx/en/industries/energy-utilities-resources/future-energy/green-hydrogen-cost.html>

4. 연료전지 열 관리

연료전지에서 전력이 생산될 때 열이 발생되며, 이를 방출해야 합니다. 전력 출력이 높을수록 더 많은 열 에너지를 방출해야 합니다. 다양한 연료전지 기술과 응용 분야에 따라 연료전지 시스템의 냉각 요구사항과 구성이 달라집니다. PEM 연료전지는 응용 분야 및 BOP(Balance of Plant; 보조 기기) 요구사항에 따라 다음 세 가지 열 관리 방법이 있습니다.

- 공랭식
- 수랭식
- 증발 냉각식

공랭식 연료전지는 가장 단순한 시스템을 가지고 있으며, 음극에 산화제로 공급되는 공기가 반응 중 발생하는 열을 제거하는 역할을 합니다. 이 시스템은 일반적으로 수 W ~ 20kW 범위 내에서 효율적으로 작동합니다. 그러나 이 범위를 초과하면 공기 흐름 요구 사항이 더 까다로워지며, 특히 패키징에 대한 제약이 있는 경우 더욱 어려워집니다.

수랭 및 증발 냉각 시스템은 냉각 과정의 특성상 공랭식 연료전지보다 훨씬 복잡한 시스템 구조를 가지고 있습니다. 이로 인해 저전력 응용 분야에서는 전력 출력 대비 BOP의 질량, 부피, 비용의 부담이 크기 때문에 적용하기 어렵습니다. 그러나 20kW 이상의 출력에는 매우 적합합니다.

더 높은 스택 전력 밀도를 활용하고 열관리의 여러 이점을 얻기 위해서는 공기와 물을 모두 수용하는 음극 설계가 필요하고, 이로 인해 필요한 압력 비율이 증가하여 컴프레서 부하 또한 높아져 전체 시스템 효율이 최대 2% 감소할 수 있습니다.

수랭식 연료전지의 값을 산출할 때 몇 가지 가정을 했으며, 특히 일관된 스택 분광 데이터를 사용했다는 점을 주목할 필요가 있습니다. 이를 사용함으로써 전체 시스템 성능을 비교할 수 있게 되었습니다.

그러나 증발 냉각 연료전지 스택은 스택 전용 냉각 채널이나 가습기가 필요 없기 때문에 전력 밀도가 증가하고 열교환기보다 작아진 응축기 덕분에 효율 손실이 상쇄되어 IE-DRIVE 및 IE-GRID 시스템의 실제 사용성이 크게 향상되었습니다.

5. 증발 냉각 연료전지 기술

증발 냉각(EC; Evaporatively Cooled) 기술은 연료전지의 각 활성 셀에 물을 직접 주입하는 방식을 사용합니다. 이 물이 증발하면서 전기화학 반응에서 발생한 열에너지가 물의 상변화 과정에서 흡수됩니다. 증발된 물과 산소가 소모된 반응 공기는 연료전지의 음극에서 배출됩니다.

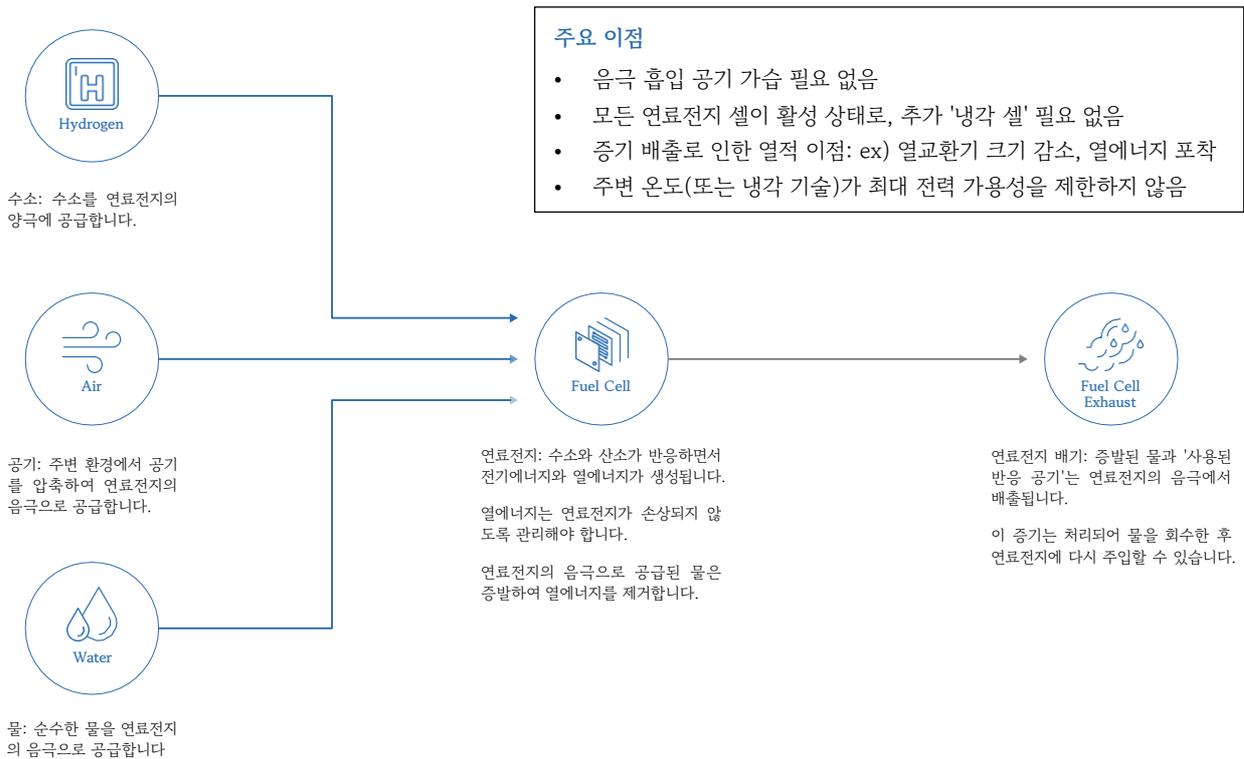


그림 2 증발 냉각 연료전지

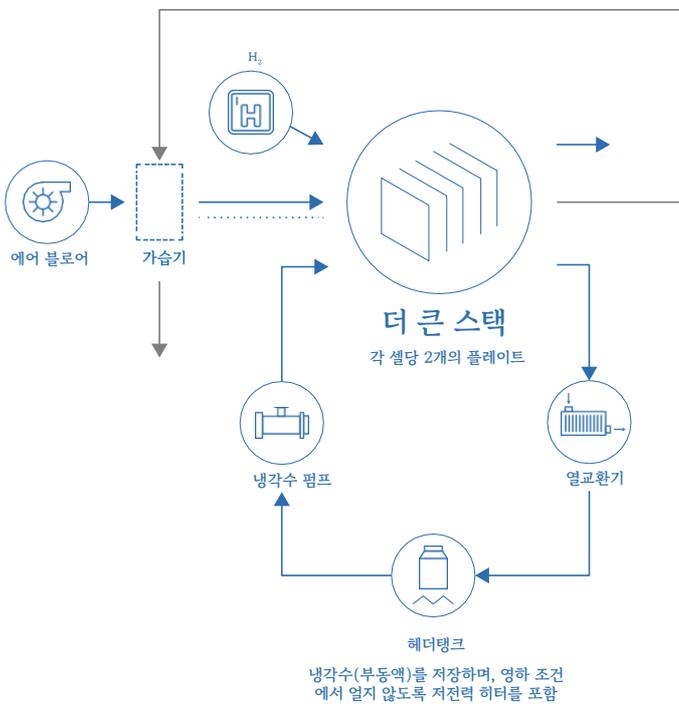
증발 냉각 연료전지에서 사용되는 셀 냉각 메커니즘 덕분에 연료전지와 함께 필요한 시스템의 BOP는 기존 수랭식(LC; Liquid Cooled) 연료전지보다 더 간단하게 구성할 수 있으며, 도식화된 개요는 그림 3에 설명되어 있습니다. 증발 냉각 연료전지 시스템의 핵심 유체 요소는 다음과 같이 요약할 수 있습니다:

- **증발 냉각 연료전지 스택:** 화학 에너지를 전기 및 열에너지로 변환하는 시스템의 핵심
- **컴프레서:** 연료전지 스택의 음극에 공기를 공급하여 산화제로 사용

- **수소 조절 장치:** 연료전지 스택의 양극에 수소 연료를 공급
- **물탱크 및 펌프:** 물을 저장하는 버퍼 탱크와 연료전지 스택에 물을 공급하여 증발 냉각을 수행하는 펌프
- **응축기 및 수분 분리기:** 음극 공기 배출구의 증기를 액체로 응축하고 포집 후 물탱크로 반환. 이를 연료전지에 재공급하는 열교환기

수랭식 기술

냉각수와 산화제 채널 분리



증발 냉각 기술

냉각수와 산화제 채널 결합

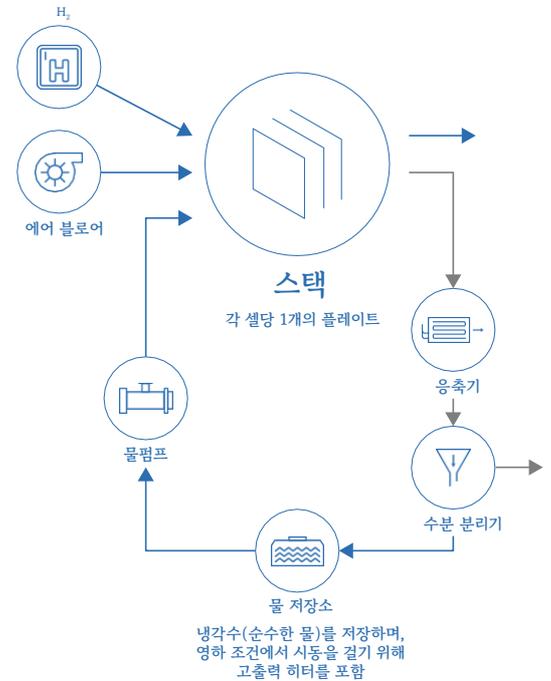


그림 3 수랭식 연료전지와 증발 냉각 연료전지 기술의 비교

그림 4는 IE-GRID 표준 시스템의 기본 구조를 보여주며 특히, 음극 유체 요소(공기 및 물)에 초점을 두고 있습니다. 주요 시스템 구성 요소를 식별하기 위한 용어집은 부록 1에 설명되어 있습니다.

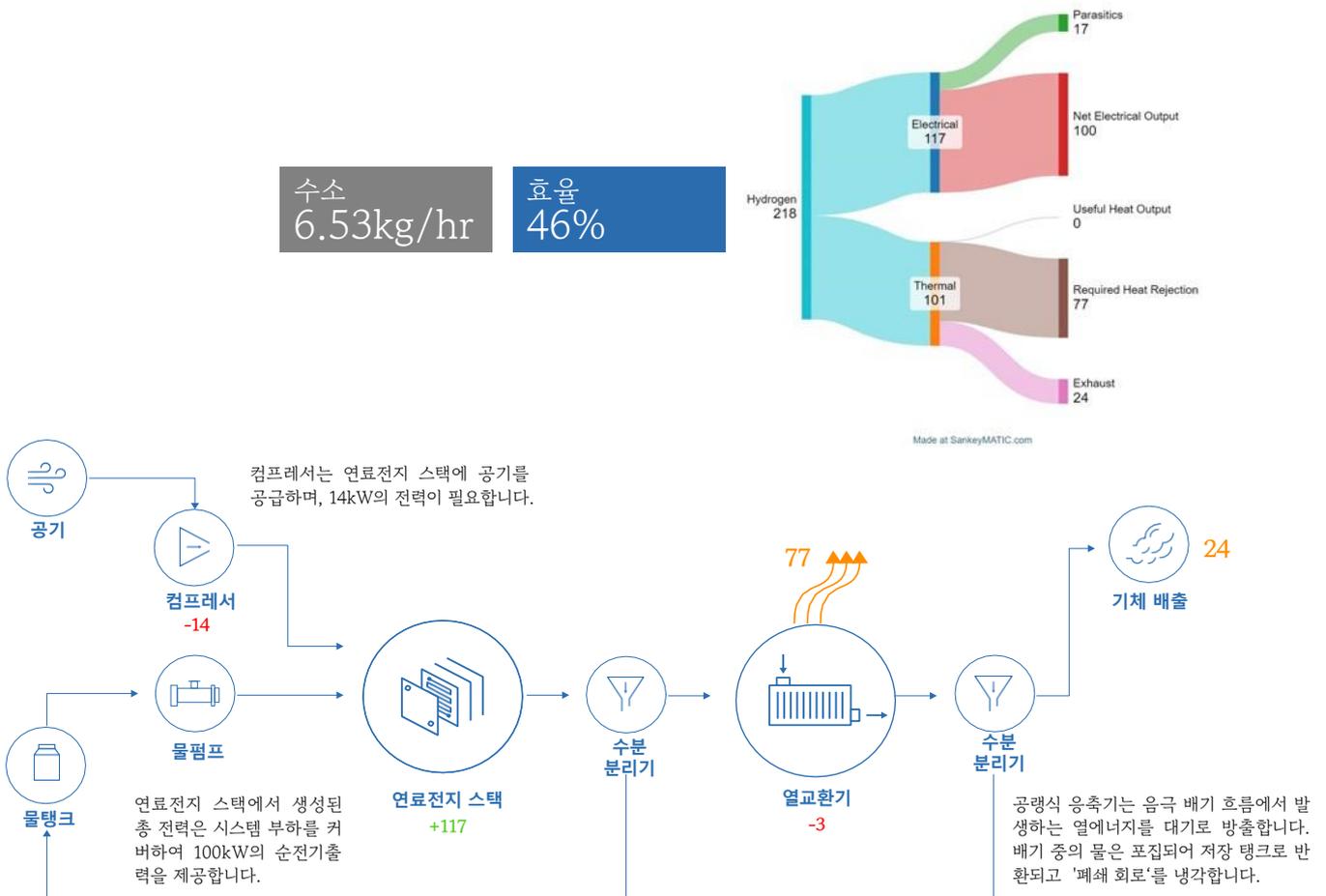
이 표준 구성은 IE-DRIVE HD100 시스템을 활용하며, 강조된 숫자는 다음과 같습니다:

- 전력 소비, 즉 기생 손실은 음수(빨간 텍스트)로 표시됨
- 전력 생성은 양수(녹색 텍스트)로 표시됨
- 생성된 열에너지는 황색 텍스트로 표시됨

옵션 구성과의 비교를 위해 시뮬레이션은 100kW의 순전기출력을 충족하도록 설정되었습니다.

그림 4에 설명된 바와 같이 표준 시스템은 연료전지 스택에서 총 117kW의 전력을 생산하며, 이 중 14kW는 컴프레서, 3kW는 응축 열교환기 팬을 구동하는데 사용되어 최종적으로 100kW의 순전기출력을 제공합니다.

또한, 연료전지는 101kW의 열에너지를 생성하며, 이 중 77kW는 증기를 액체로 응축하기 위해 방출되어야 합니다. 응축된 액체는 연료전지 스택에 다시 주입하여 셀을 냉각시키고 지속적으로 작동할 수 있도록 하며, 나머지 24kW는 배기구로 배출됩니다. 결과적으로 시스템 효율은 46%로, 이는 소비된 수소에 대해 시스템의 전력 출력을 단순히 계산한 값입니다.



참고: 표시된 값은 kW 단위입니다

그림 4 IE-GRID 표준 (100kW)

증발 냉각 연료전지 설계의 장점은 다음과 같습니다.

- 각 셀에 액체 물이 주입되어 완전히 가습되며, 외부 대형 가습기나 복잡한 셀 구성 요소 설계 없이 셀 사이의 가습이 가능합니다.
- '냉각 셀'을 제거하여 연료전지 스택 단에서 전력 밀도(kW/kg 및 kW/L)를 증가시킬 수 있습니다. 모든 셀이 전기를 생산하며, 모든 플레이트는 완전한 양극판입니다.
- 응축 열교환기의 전면적은 동등한 전기 출력을 보유하고 있는 기존 수랭식 시스템보다 27% 작게 만들 수 있습니다.
- 더 낮은 열 관성으로, 과도 부하에 더 나은 내구성을 보유하며, 직접적인 물 주입으로 인해 즉각적이고 동적인 수화(hydration)가 가능합니다.

증발 냉각 구조의 두 가지 독특한 장점은 다음 문서에서 더 자세히 다룰 예정입니다:

- 주변 온도에 대한 독립성
- 더 높은 등급의 열 제공

Intelligent Energy는 EC 기술과 관련하여 400개의 특허를 보유하고 있습니다.

6. 주변 온도에 대한 독립성

기존의 수랭식 연료전지는 순환되는 냉각수(예: 글리콜)를 사용하여 전기화학 반응에서 생성된 열에너지를 제거합니다. 냉각수가 연료전지로 재순환되기 전에 적정 온도로 냉각되어야 하며, 냉각수의 온도는 연료전지가 출력할 수 있는 전력에 영향을 미치는 중요한 제약 요소입니다.

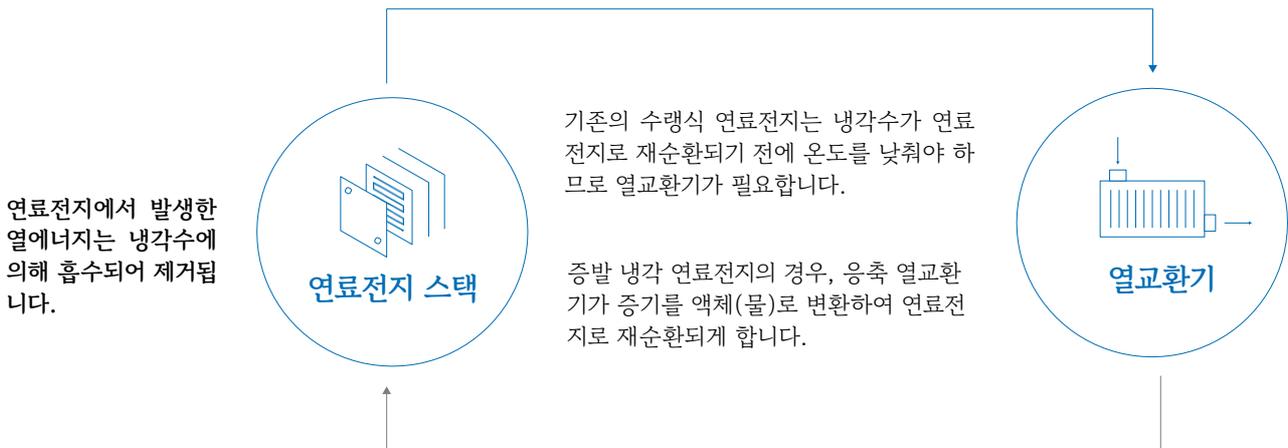


그림 5 연료전지 관리 루프

증발 냉각 연료전지는 냉각수가 어떤 온도에서도 액체 상태(즉, 증기가 아닌)로만 존재하면 됩니다. 이러한 조건은 냉각수의 온도와 연료전지의 가용 출력 간의 상관관계를 끊습니다. 자동차 분야에서는 이를 통해 "정격" 출력보다 훨씬 높은 최대 출력을 얻을 수 있습니다. 또한, 고정형 전력 분야에서는 소량의 '보충' 수류를 통해 열교환기를 완전히 제거할 수 있습니다.

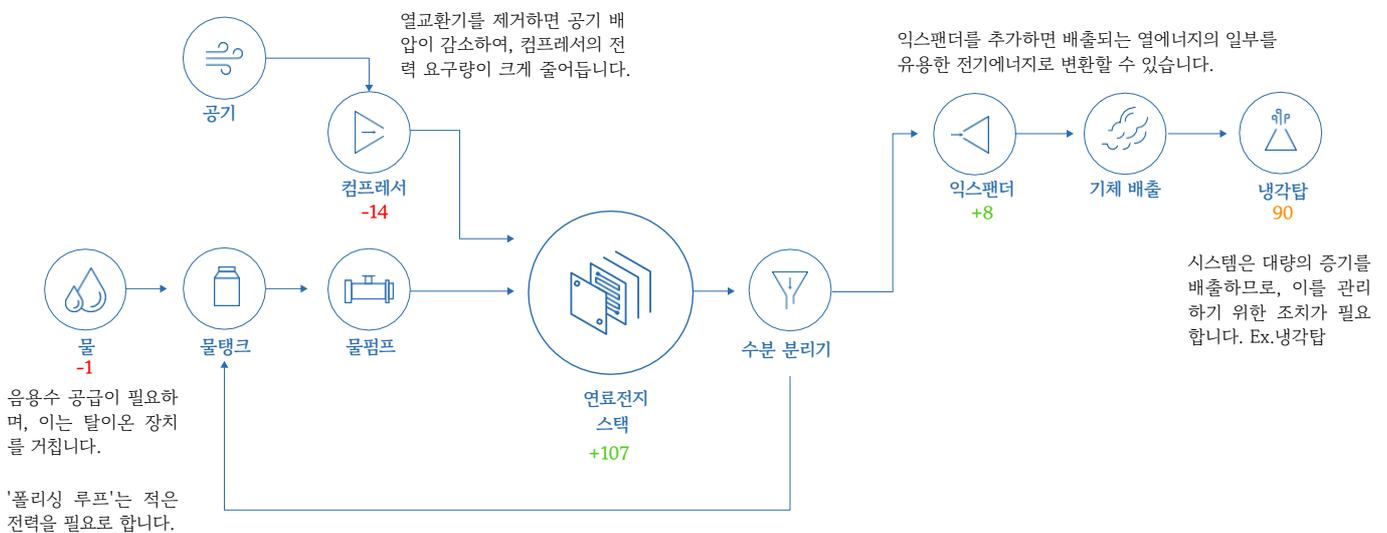
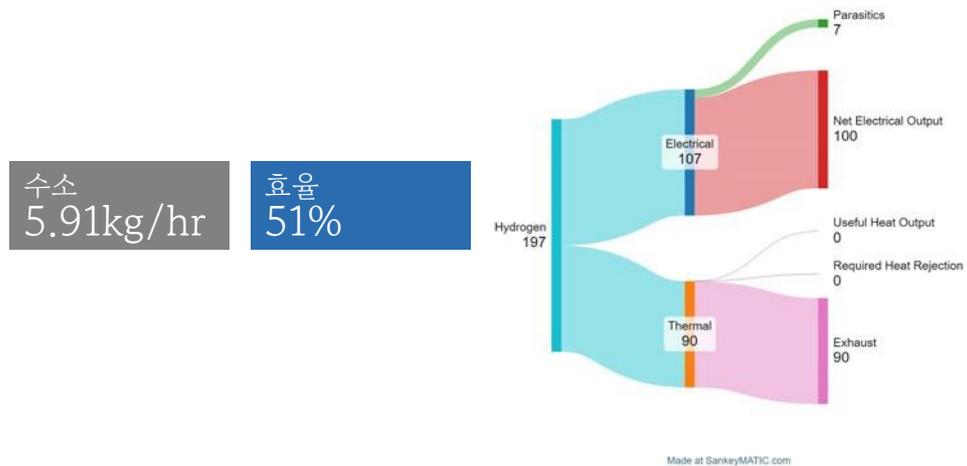
열교환기의 제거

앞서 언급한 바와 같이, 연료전지에 필요한 유량으로 물을 공급받는 한, 발생하는 열에너지는 연료전지 스택 및 시스템에서 발산되어 제거될 수 있으며, 이를 통해 연료전지 시스템에서 열교환기를 제거할 수 있습니다. 이를 위해 연료전지 시스템에는 냉각용으로 일정량의 물이 공급되어야 합니다. 예를 들어 100kW의 순전기출력을 위해 약 125kg/hr(2L/min)의 물이 필요합니다(그림 2 참조).

가장 단순한 형태의 응축 열교환기는 공랭식 디자인으로, 공기를 열교환기(냉축)위로 통과시켜 연료전지의 배출 흐름(열축)에서 열을 흡수하는 방식으로 작동합니다. 따라서 (주변)공기의 온도는 열교환기의 성능에 중요한 역할을 합니다. 이 열교환기가 필요성을 없애면 주변 온도와 무관하게 작동할 수 있게 됩니다.

연료전지가 열교환기에 의존하지 않게 되면 주변 환경 조건에 대한 독립성을 얻을 뿐만 아니라 시스템 효율성도 크게 향상됩니다. 연료전지 반응에 필요한 공기를 공급하는 컴프레서는 더 이상 열교환기로 인한 연료전지 음극의 배압 제한을 극복할 필요가 없습니다. 컴프레서는 연료전지 시스템에서 음극 반응에 필요한 산소를 공급하는 가장 큰 기생 부하이므로, 컴프레서에서 소비되는 전력이 감소하면 전반적인 연료전지 시스템 효율이 크게 향상되며, 수소 소비량이 줄어들어 운영 비용이 크게 개선됩니다.

또한, 증발 냉각 연료전지가 반응 중에 발생된 모든 열에너지를 가열된 공기와 증기를 통해 “배출”하므로 에너지 회수가 가능합니다. 이는 터보 익스팬더를 사용하여 실현할 수 있으며, 컴프레서의 전력 수요를 약 40% 감소시킬 수 있습니다.



참고: 표시된 값은 kW 단위입니다.

그림 6 IE-GRID 응축기 제거 (100kW)

7. 더 높은 등급의 열 제공

PEM 연료전지의 셀 온도는 일반적으로 $75^{\circ}\text{C}(\pm 10^{\circ}\text{C})$ 로, 반응에서 발생하는 폐열은 저온에 해당합니다. 이는 공정열 요구사항에 비해 온도 차이가 적기 때문에 재사용이 어렵습니다. 참고로, 화석 연료의 연소로 얻을 수 있는 고온열은 일반적으로 400°C 이상입니다. PEM 연료전지의 폐열을 활용하려면 공정열 수요를 충족할 수 있도록 온도를 높여야 합니다.

셀 온도를 높이는 방법 중 하나는 음극의 배압을 증가시키는 것입니다. 이 방법의 한계는 음극 컴프레서에 대한 필요 압력 증가와 연료전지 소재의 온도를 고려해야 한다는 점입니다. 증가된 컴프레서의 필요 전력은 터보 익스팬더를 통해 에너지를 회수함으로써 일부 상쇄됩니다. 폐열을 공정열에 활용함으로써 이를 추가적인 유용한 출력 에너지로 간주할 수 있으며, 그림 7에 나와 있듯이 전체 시스템 효율성을 크게 향상시킵니다.

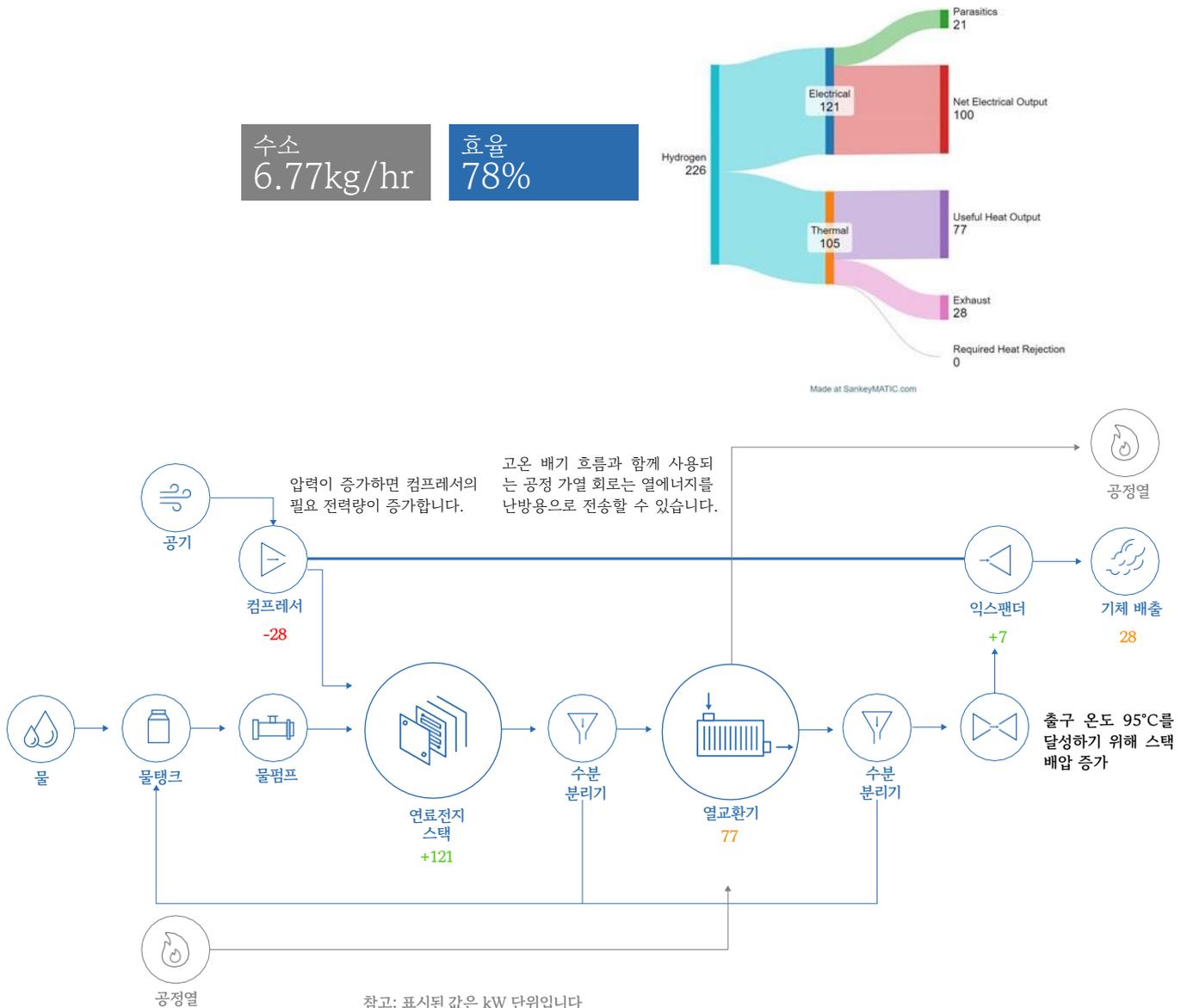


그림 7 IE-GRID 음극 배압 (100kW)

8. IE-GRID의 모듈성

전 세계적으로 연료전지 기반 컨테이너 솔루션에 대한 수요가 크게 증가하고 있으며, 이는 백업 전력 시스템, 전력망 균형 조정, 또는 상시 전력 공급원으로 사용됩니다. 현재 미국에서는 550MW 이상의 고정형 연료전지가 설치되어 깨끗한 분산 전력을 제공하고 있습니다.

연료전지 기술과 Intelligent Energy의 PEM 연료전지 제품의 주요 장점은 모듈식 설계를 통한 확장성입니다. 특히, IE-GRID™는 IE-DRIVE HD100 제품(그림 9)을 기반으로 하며, 두 개의 시스템을 전력 생산에 적합하게 만들어 200kW 모듈(그림 10)을 형성합니다. 이를 통해 Intelligent Energy는 다양한 산업군에 전력을 공급할 수 있으며, 컨테이너형 솔루션으로 다양한 요구사항에 맞춰 메가와트 규모까지 확장 가능하고, 필요에 따라 컨테이너를 추가로 배치하여 확장할 수 있습니다. 또한, 중형 상용차 부문에서 PEM 연료전지의 사용은 지속적인 고출력 운전과 같은 특성을 이끌어냈으며, 이는 고정형 전력 응용 분야에 매우 적합합니다.



그림 9 IE-DRIVE HD100

이 200kW 기본 모듈은 공통적인 BOP 구성 요소를 사용하여 필요에 따라 더 높은 출력을 달성할 수 있도록 확장될 수 있습니다. 예를 들어, 표준 10피트 컨테이너에 400kW를 설치하거나(그림 11), 표준 30피트 컨테이너에 1MW를 설치할 수 있습니다(그림 12).

확장은 200kW 모듈을 반복적으로 배치하여 간단하게 이루어질 수 있으며, 출력 전력 구성에서 유연성을 제공합니다. 각 200kW 유닛은 전체 시스템 중의 일부지만, 필요에 따라 가변 부하를 생산할 수 있으며 다른 유닛들과 독립적으로 작동하여 유지보수 시에도 편의성을 제공합니다. 또한 적절한 크기의 구성 요소를 선택함으로써 추가적인 효율 향상 및 비용 절감(CAPEX와 OPEX)을 달성할 수 있습니다. 예를 들어, 다수의 200kW 유닛에 공통 유체 관리 시스템을 사용하고, 반응 공기를 효율적으로 공급할 수 있는 트윈 스크류 컴프레서를 사용할 수 있습니다.

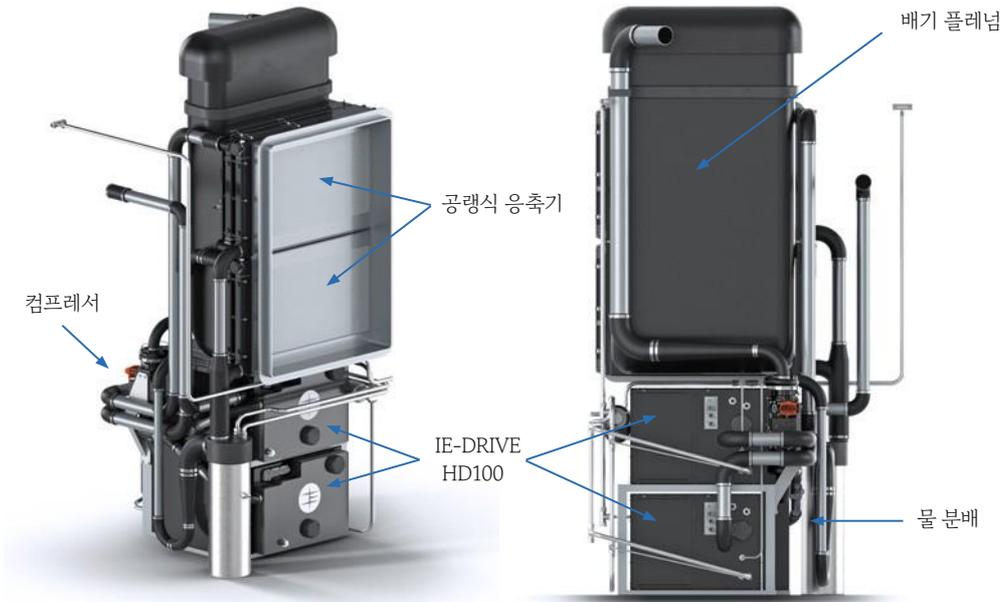


그림 10 IE-GRID 200kW 모듈



그림 11 IE-GRID 400kW 10피트 컨테이너 콘셉트

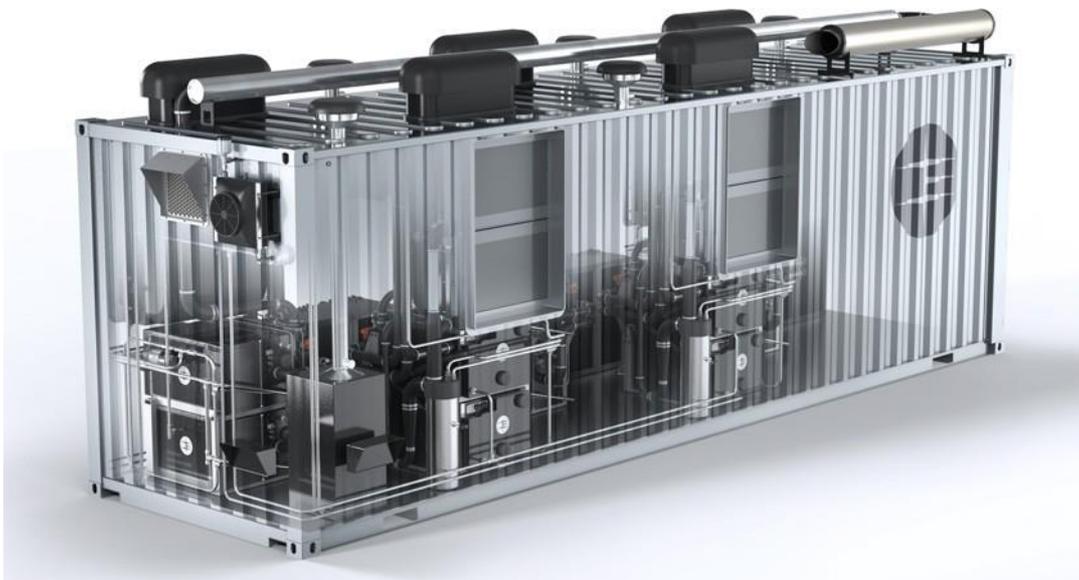


그림 12 IE-GRID 1MW 30피트 컨테이너 콘셉트

9. 결론

고정형 전력 응용 분야에서는 확장 가능하고, 빠르게 반응하며, 신뢰할 수 있는 에너지원이 분명히 필요합니다. 연료전지는 이러한 요구를 충족함과 동시에 탈탄소화를 달성하는데 중요한 역할을 합니다.

PEM 연료전지는 다른 연료전지에 비해 명확한 장점을 가지고 있습니다.

- **컴팩트한 설치 면적과 유연한 모듈성**

이를 통해 특정 전력 수요와 작업 주기에 맞는 적절한 크기의 유닛을 사용할 수 있게 하며, 발전기의 이동을 확보합니다.

- **자동차 산업에서 발생하는 규모의 경제 활용**

PEM 연료전지는 자동차의 대량 생산 덕분에 제조 비용 절감과 품질 향상의 혜택을 볼 수 있으며, 이를 고정형 전력 부문에서도 활용할 수 있습니다.

- **빠른 시동 시간과 반응 속도**

연료전지를 마이크로그리드와 결합하여 필요에 따라 빠르게 가동 및 중단할 수 있으며, 이를 통해 신뢰성이 낮은 재생에너지를 활용할 수 있고, 깨끗한 전력 공급을 유지할 수 있습니다.

구성	IE 수정 사항	사용 가능한 유용한 열이 있는가?	수소 소비량 [kg/hr]	시스템 효율 [%]	비용[\$/kWh]	
					\$12/kg H ₂ Typical target H ₂ cost	\$7/kg H ₂ ¹²
IE-GRID 표준	n/a	없음, 온도가 너무 낮음	6.5	46	0.78	0.46
IE-GRID 응축기 제거	익스팬더 배기구를 통해 배출	없음, 배기배출	5.9	51	0.71	0.41
IE-GRID 음극 배압	스택에 배압 적용 수랭식 열교환기 배기구를 통해 배출	있음, 80kW 95°C	6.8	78	0.46	0.27
IE-GRID 배기 압축	컴프레서 추가 (스택 후단) 수랭식 열교환기	있음, 90kW 105°C	7.5	75	0.48	0.28
일반적인 수랭식 연료전지	n/a	없음, 온도가 너무 낮음	6.4	최대 2% 차이	0.77	0.45

표 2 IE-GRID 구성 요약 (100kW당 데이터)

¹² US DoE, Hydrogen and Fuel Cell Technologies Office Multi-Year Program Plan (2024)

모든 연료전지 시스템은 연료전지 스택의 크기 조정과 같은 요소들을 통해 최적의 작동 지점과 구성 요소 선택에 맞게 최적화될 수 있습니다. 그러나 Intelligent Energy의 IE-GRID 제품은 독특한 증발 냉각 연료전지 배기 시스템을 통해 기존 수랭식 PEM 연료전지와 차별화되는 중요한 특징점을 제공합니다. 이는 표 2에 요약되어 있습니다.

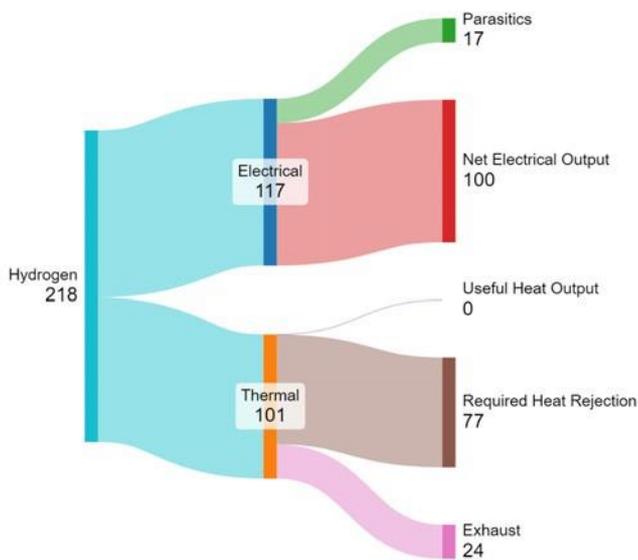
- **고열 달성 가능**

IE-GRID는 더 효과적인 열병합발전(CHP) 시스템을 제공하며, 수소를 유용한 에너지(전기 및 열)로 변환하는 효율을 크게 향상시킵니다. 1MW 전기 발전기는 시간당 4kg의 수소 추가 비용으로 최대 800kW의 열에너지를 제공할 수 있으며(기존의 수랭식 연료전지는 전기만 제공), 연간 \$150,000의 가스 비용을 절감할 수 있습니다(\$0.05/kWh로 가정).

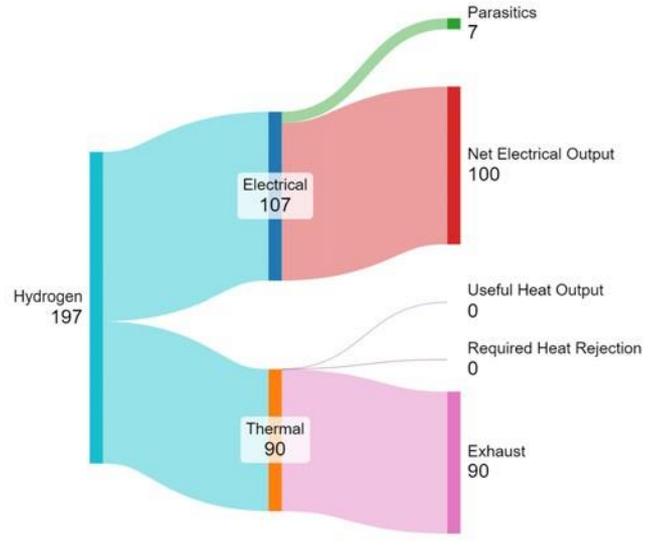
- **주변 환경에 대한 독립성**

IE-GRID는 연료전지 냉각수를 조절할 필요가 없기 때문에 다양한 주변 환경 조건에서도 전력 제한 없이 사용할 수 있으며, 효율성도 크게 향상됩니다. 1MW 발전기의 경우, IE-GRID는 기존의 수랭식 연료전지 시스템에 비해 수소 소비량을 시간당 5kg 줄일 수 있으며, 연간 \$300,000 이상의 비용을 절감할 수 있습니다.

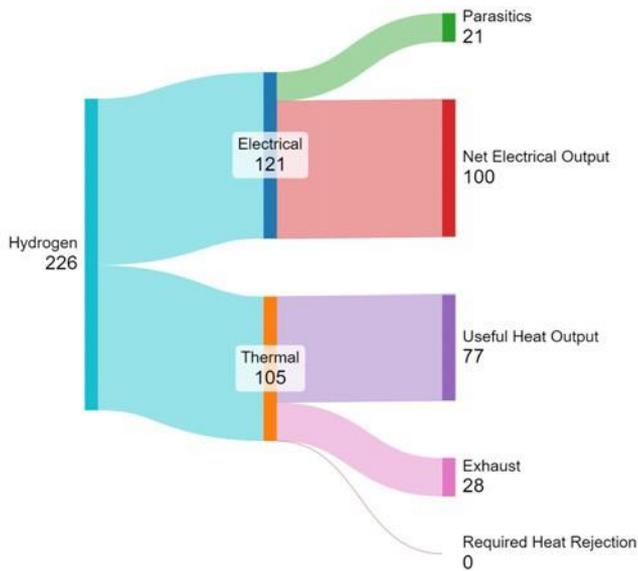
10. 부록



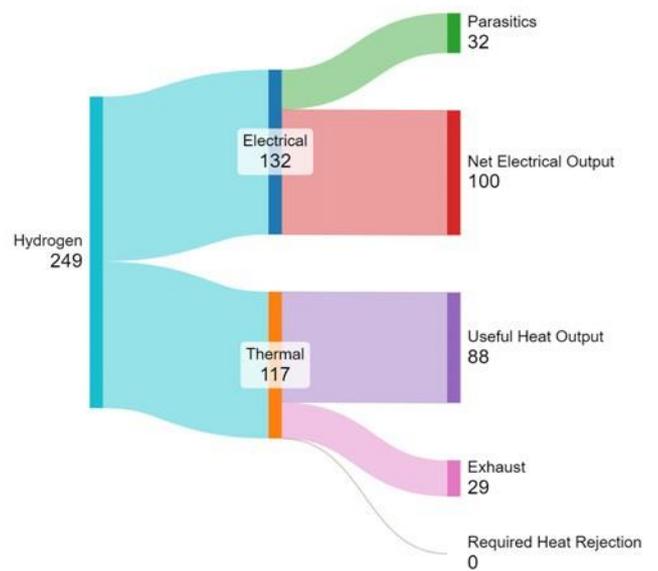
IE-GRID 표준



IE-GRID 효율



IE-GRID 최적



IE-GRID 고열

그림 13 에너지 밸런스 (단위 kW)



연료전지 스택

수소와 산소(공기 중)를 결합하여 화학 에너지를 전기 및 열에너지로 변환하는 장치



컴프레서

산소 공급원으로 사용될 공기를 연료전지 스택에 공급하는 장치



컴프레서/익스팬더

컴프레서(위 참조)와 동일하나, 배기가스에 의해 구동되어 에너지를 회수하는 터보차저처럼 작동하는 익스팬더가 있는 장치



물펌프

저장 탱크에서 물을 연료전지 스택으로 이동시켜 연료전지를 냉각하는 장치



열교환기

연료전지 배기가스인 수증기를 물로 응축하는데 사용되는 장치. 일반적으로 공기를 냉각제로 사용



냉각탑

위의 열교환기와 동일하나, 증발을 사용하여 냉각하는 장치



수분 분리기

배기에서 수분을 제거하고 이를 물탱크로 반환하는 장치



물탱크

연료전지 스택을 냉각하는 데 사용되는 물의 버퍼 탱크



Charnwood Building, Holywell Park, Ashby Road,
Loughborough, Leicestershire, LE1 3GB, UK
+44 (0) 1509 271 271
intelligent-energy.com