

기후기술 스타트업 - BNEF 2023 Pioneers 중심으로

1. 배경	01
2. BNEF 2023 Pioneers	02
(1) 청정수소 보급 가속화 분야	03
(2) 전기화된 미래를 위한 금속·재료 분야	05
(3) 넷제로 식품 생산 시스템 구축 분야	07
(4) 와일드카드 분야	08
3. 정리 및 시사점	10
참고문헌	11



1. 배경













- 탈탄소화, 전기화, 순환경제 등 탄소중립 산업 대전환은 새로운 비즈니스의 수요와 新성장의 기회를 제공, 혁신 기술을 기반으로 新시장을 선도할 수 있는 기후기술 스타트업 육성의 필요성 대두
 - (에너지전환 시장 성장) 재생에너지, 전기차 및 충전 인프라를 중심으로 '22년 세계 에너지전환 투자는 전년 대비 31% 증가하여 1.11조 달러를 기록(BloombergNEF, 2023)
 - ▶ 기후기술 스타트업의 VC/PE 투자유치는 '16년 66억 달러에서 '22년 583억 달러로 확대(BloombergNEF, 2023)
 - (빅테크기업의 투자 확대) 아마존 20억 달러 규모의 벤처투자 기금 '기후서약펀드' 출범('20.6), 마이크로소프트 10억 달러 규모의 '기후혁신기금' 출시('20.1) 등 기후기술 분야 벤처·스타트업 투자 확대
 - ※ 아마존 창업자 제프 베이조스 100억 달러 규모의 'Bezos Earth Fund' 조성('20.2), 마이크로소프트 창업자 빌게이츠 10억달러 규모 기후기술 투자펀드 'Breakthrough Energy Ventures' 발표('16.12)
 - (혁신 스타트업의 필요성) 2050 탄소중립 실현을 위해 더 빠르고 과감한 기술혁신이 요구되는 상황*에서, 혁신기술을 보유한 기후기술 스타트업은 新시장 선도에 있어 중요한 역할을 차지
 - ▶ EV 배터리 분야의 Northvolt는 3년 내 118억 달러, PV 분야의 Aurora Solar는 7년 내 44억 달러 가치의 유니콘 기업으로 도약하였으며, '22년 6월 기준 55개의 기후기술 스타트업이 유니콘의 지위를 보유 (BloombergNEF, 2022)
- * 세계 에너지 부문 넷-제로 경로에서 2050년 배출량 감축의 46%는 시장 적용이 어려운 프로토 또는 실증단계 기술에 의존하고 있어 기술혁신이 요구되며, 기술개발주기도 역사적인 기술혁신 대비 약 20~40% 단축 필요(IEA, '21)
- 미국, 유럽, 일본 등 주요국들은 기후변화 등의 사회문제 해결과 국가 경쟁력 강화를 위해 기술혁신과 벤처·스타트업에 대한 투자와 정책적 지원 강화
 - (미국) 바이든 행정부는 과학기술 혁신·기후기술 개발에 역사적 투자*를 골자로 한 '24년도 예산안 발표('23.3)
 - * NSF 기술혁신파트너십국(TIP) \$12억, 기후변화대응 R&D \$165억, 지역기술 및 혁신 허브 프로그램 \$40억 등
 - (유럽) 녹색·디지털 전환을 위한 스타트업 육성을 위해 'A New European Innovation Agenda' 채택('22.7)
 - (일본) 기시다 내각부는 '22년 스타트업 창출 원년 선포 및 '스타트업 육성 5개년 계획' 발표('22.11)
 - (국내) 윤석열 정부는 '예비 창업부터 글로벌 유니콘까지 완결형 벤처생태계 구현'을 국정과제로 선정, 新산업 분야 경쟁우위 확보를 위해 '초격차 스타트업 1000+ 프로젝트' 신설 추진
 - ▶ 기후기술 관련 분야에서 친환경·에너지, 미래 모빌리티, 차세대원전 등이 10대 신산업 분야로 선정
 - BloombergNEF는 글로벌 탈탄소화를 가속화하고, 미래 산업의 판도를 바꿀 혁신 기술의 발굴을 위해 2010년부터 Pioneers 프로그램을 운영하며, 지금까지 141개의 Pioneers를 선정
 - (선정절차 및 기준) 기후위기 대응을 위해 시급히 해결해야할 주요 난제를 선정한 뒤, 지원자를 모집하여 잠재적인 영향력, 기술의 혁신성, 적용 가능성을 선정기준으로 파이널리스트와 우승자(Pioneers)를 선정
 - 본 브리프에서는 BNEF 2023 Pioneers 분석을 통해 기후변화대응 부문의 주요 난제와 기후기술 스타트업 키플레이어를 소개하고자 함

2. BNEF 2023 Pioneers

BloombergNEF는 기후기술 분야의 난제를 ① 청정수소 보급 가속화, ② 전기화된 미래를 위한 지속가능한 금속 및 재료, ③ 넷제로 식품 생산 시스템 구축으로 도출하고, 42개국 348개 기업의 신청자로부터 12개의 BNEF 2023 Pioneers를 최종 선정

- (청정수소 보급 가속화) 그린수소는 전기화가 어려운 부문에서 에너지 캐리어 및 연료로서 탈탄소화 잠재력이 우수하나, 그레이수소 대비 높은 비용과 미성숙한 공급망으로 투자 대비 시장 형성 미미
 - ▶ 청정수소 보급 촉진을 위한 2023 Pioneers로 △SungreenH2, △H2Pro, △Mainspring Energy 선정
- (지속가능한 금속·재료) 에너지전환과 난방, 수송 및 산업 부문의 전기화로 핵심광물(구리, 리튬, 코발트, 니켈 등)에 대한 수요는 급증할 전망이나, 특정국 편재성, 글로벌 공급망 재편 등으로 핵심광물의 공급 불확실성 증대
 - ▶ 전기화된 미래에 대응하여 필요한 금속 및 재료의 지속가능한 추출·가공·재사용 방법을 개발하는 혁신 기업 △Jetti Resources, △Li-Cycle, △Nth Cycle를 2023 Pioneers로 선정
- (넷제로 식품 생산) 농업부문은 세계 CO₂ 배출량의 약 23%를 차지함에 비해, 에너지·수송 부문과 달리 비용 효율적인 탈탄소화 솔루션이 부족한 분야로, 넷제로 전환을 위해 지속가능한 농업시스템 개발의 필요성 대두
 - ▶ 넷제로 식품 생산 분야의 2023 Pioneers로 △FutureFeed, △MicroHarvest, △Precision AI 발탁
- (와일드카드) 상기 난제 분야 외, 철강, 시멘트, 탄소제거 산업에서 전기화학 기반 신기술을 보유한 기업, △Electra(철강), △Sublime Systems(시멘트), △Travertine(탄소제거)를 2023 Pioneers 와일드카드로 선정

[2023 BloombergNEF Pioneers의 세부 정보(BloombergNEF, 2023)]

구분	회사명	본사	설립연도	펀딩 [백만 달러]	주요 기술
청정수소 보급 가속화	 sungreen H₂	싱가포르	2020	\$3.5 million	전해조용 나노구조 전극
	 H₂PRO	이스라엘	2019	> \$100 million	2단계 전기분해 공정(e-TAC*)
	 Mainspring	미국	2010	\$531 million	연료 다변화형(fuel-agnostic) 선형 발전시스템
지속가능한 금속·재료	 JETTI	미국	2014	\$205 million	광석으로부터 구리를 추출하기 위한 촉매
	 Li-Cycle	캐나다	2016	\$580 million 역인수합병**	습식제련 기반 Li-ion 배터리 리사이클링 기술
	 NTH CYCLE	미국	2019	\$19.3 million	전해추출 기반 Li-ion 배터리 리사이클링 기술
넷제로 식품 생산	 FutureFeed	호주	2020	\$19.4 million	반추동물의 메탄 배출량을 줄이기 위한 보충사료
	 Microharvest	독일	2021	\$9 million	단백질의 미생물 발효 기술
	 PRECISION AI	캐나다	2018	\$16 million	정밀한 제초제 살포를 위한 고정익 드론
와일드 카드	 electra	미국	2020	\$85 million	제강용 저탄소 제철 기술
	 Sublime Systems	미국	2020	\$50 million	시멘트 제조용 석회의 전기화학적 생산 기술
	 TRAVERTINE	미국	2022	\$3 million	전기화학적 탄소 제거 및 산(acid) 생산 기술

* e-TAC(electrochemical + thermally activated chemical) electrolysis: 전기화학적 및 열적 활성화 반응을 통한 수전해 기술

** Peridot Acquisition Corp. 와의 역인수합병(reverse merger)을 통해 모금된 금액

■ 청정수소 보급 가속화 분야

① SungreenH2  sungreen[®]

● (선정 배경) 2035년 이후, 전기는 균등화 수소원가(LCOH₂)의 70% 이상을 차지할 전망으로, 청정수소의 보급 확대를 위해서는 그린수소 생산을 위한 전해조의 효율 제고, 즉 전력소비 저감이 핵심

※ 2050년 그린수소 생산을 위한 전력 수요는 약 21,000 TWh(세계 전력 수요의 29%)에 이를 전망이며, 수전해 시스템의 효율은 현재 57.8 kWh/kg H₂ 수준

○ (주요 기술) 싱가포르의 SungreenH2는 수전해용 **고효율·고내구성·저비용***의 나노구조 전극 제조 기술 보유

* 3D 스폰지 형태의 나노구조와 희생촉매를 이용한 전극 설계기술에 의해, 전력소비 10% 저감, 수소생산량 2배 증대, 백금족 금속 이용량 30배 감소, 스택 Capex 50% 절감 등의 효과 창출

▶ SungreenH2의 전극제조 기술은 산업적으로 확립된 제조방법을 이용하며, 모든 전해조 기술에 적용 가능

○ (성숙도) SungreenH2의 기술은 제품 개발 초기단계(2022년 시제품 개발 완료)이며, 현재 2개의 특허 출원

▶ (기술 개발) 칠레의 금속 가공업 Molymet 등과 전극 개발 중이며, 스페인의 Naturgy Innovahub, 싱가포르 및 호주의 협력업체와 함께 상용 전해조 제품을 2023년 출시 예정

▶ (자금 조달) SGInnovate, SOSV, CAP Vista 등으로부터 총 350만 달러의 투자자금을 조달하였으며, 싱가포르의 에너지시장청(Energy Market Authority)과 Shell로부터 보조금(grant funding) 획득

② H2Pro 

● (선정 배경) BloombergNEF는 물의 전기분해에 의한 수소생산을 가장 저렴한 저탄소 수소 생산방식으로 전망하고, 전해조 설비의 비용절감이 그린수소의 비용 하락과 보급확대를 더욱 빠르게 견인할 것이라 예측

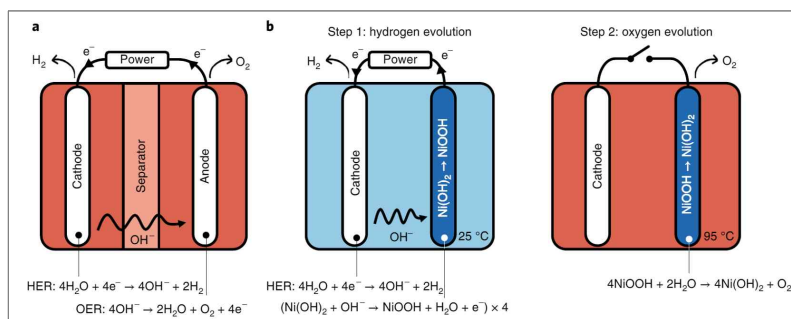
○ (주요 기술) 이스라엘의 H2Pro는 전기화학적 반응에 의한 수소발생반응(HER)과 열적 활성화 반응에 의한 산소발생반응(OER)의 조합, **2단계 전기분해 공정(e-TAC)으로 수소를 생산할 수 있는 전해조 제조 기술** 보유

▶ 2단계로 분리된 e-TAC 전기분해 공정은 비싼 멤브레인이 필요없어 고압(>45bar) 수소생산에 적합하며, 이에 후단의 압축공정 관련 Capex와 Opex의 절감이 가능

▶ 또한, 수소와 산소의 혼합에 의한 폭발 위험이 없고, 기존의 수전해 공정과 달리 산소를 열적으로 발생시켜 본질적인 전력손실을 최소화*

* 셀 에너지효율: e-TAC 공정(98.7% HHV, 실험실 효율) vs 기존 수전해 설비(68% HHV)

< (a)알칼리라인 수전해와 (b)H2Pro의 e-TAC 수소생산 공정의 모식도 >



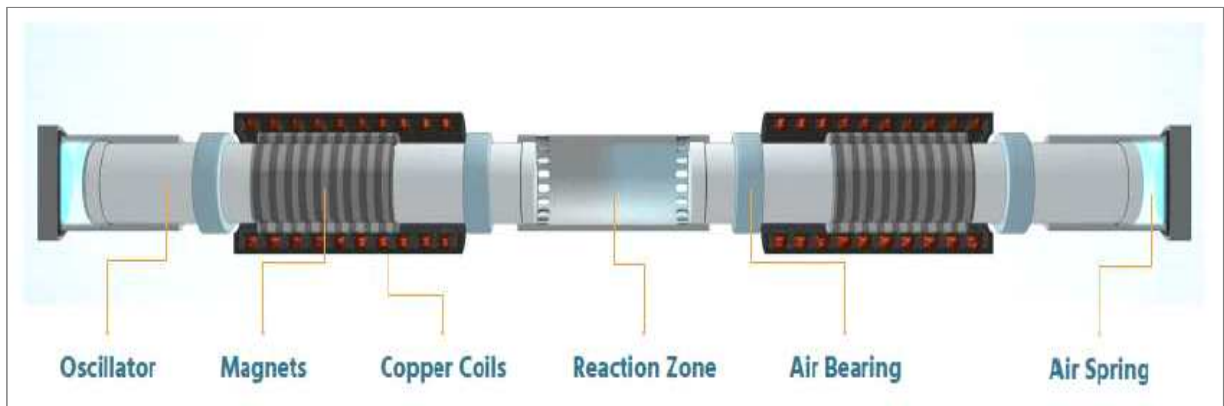
출처: H2Pro, Nature Energy 4, 786-795 (2019)

- (성숙도) 현재 연간생산 73톤 규모의 e-TAC 공정 기반 수소생산 실증플랜트를 건설 중이며, 2030년까지 전해조 시스템(스택+BOP) 비용 \$200/kW 달성 및 GW 규모의 제조능력 확보 목표
 - ▶ (기술 개발) e-TAC 공정 관련 5개의 특허와 Nature Energy 등 우수 논문 실적 보유
 - ▶ (자금 조달) Breakthrough Energy Ventures 등의 투자자로부터 1억 달러 이상의 자금 모금

③ Mainspring Energy  Mainspring

- (선정 배경) 재생에너지 확대로 수소의 에너지캐리어로서의 활용이 확대될 전망임에 따라, 에너지 변환 손실이 적고 기존 수소발전 방식(엔진, 터빈, 연료전지) 대비 저렴한 새로운 방식의 수소 발전기 개발에 주목
- (주요 기술) 미국의 Mainspring Energy는 수소, 암모니아, 바이오가스 등 다양한 연료를 별도의 하드웨어 변경 없이 사용할 수 있는 연료 다변화형(fuel-agnostic) 선형 발전시스템 기술 개발
 - ▶ 연료와 공기의 무화염 연소반응에 의해 생성된 기체의 압축 및 팽창 선형운동을 전기로 직접 전환시키는 원리에 의해 전기를 생성
 - ▶ 혁신적인 설계와 적응형 제어 소프트웨어로 연료 선택의 유연성이 높고, 모든 전력 출력 범위에서 43~50%의 고효율* 작동이 가능
- * 연료전지: 40~60%, 일반 가스터빈: 30~40%
 - ▶ 또한, 부하추종 운전이 가능하여 가변적인 재생에너지 발전의 우수한 보완수단이며, 연료전지의 값비싼 촉매나 복잡한 엔진 시스템이 필요 없어 낮은 Capex와 Opex 실현 가능, 디젤발전기 대비 NOx 배출도 현저히 적음
- (성숙도) Mainspring Energy 제품은 230kW급 출력의 발전기를 툰키 패키징 제품으로 상용 판매 중
 - ▶ (제품 개발) 2014~2016년 파일럿 프로젝트, 2020년 첫 상업 프로젝트를 시작하여 현재 Lineage Logistics, Kroger 등의 고객 현장에 수십 대의 발전기 보급
 - ▶ (자금 조달) 2010년에 설립되어 빌게이츠, Khosla Ventures, American Electric Power, NextEra Energy, Equinor Ventures 등 다수의 투자자로부터 5억 3,100만 달러의 투자 유치

< Mainspring Energy의 선형 발전기 모식도 >



출처: BloombergNEF 2023

■ 전기화된 미래를 위한 금속·재료 분야

① Jetti Resources

● (선정 배경) 수송부문의 전기화와 전력시스템의 성장으로 세계 구리 수요는 대폭 증가할 전망임에 반해 생산량은 더디게 증가하여, 구리의 공급 부족, 이로 인한 가격 상승, 청정 기술*의 보급 지연이 우려되는 상황

※ 정제된 구리에 대한 전 세계 수요는 2022년 대비 58% 증가하여 2040년 4,000만 톤/년에 이를 전망이며, 정제된 구리의 세계 공급량은 2022년 대비 16% 증가하여 2040년 2,500만 톤/년으로 예측(BloombergNEF, 2022)

* 구리는 전력 인프라, 전기차·배터리, 풍력터빈 등 청정에너지 기술의 핵심광물

○ (주요 기술) 미국의 Jetti Resources는 폐기물로 버려질 수 있는 저급 황동석(chalcopyrite)으로부터 정제된 구리를 생산하기 위한 습식제련공정용 구리추출 촉매 개발

※ 구리 추출·정제 공정은 ①습식제련공정(Hydrometallurgy process)과 ②건식야금공정(Pyrometallurgy process)으로 분류, 현재 대부분의 구리는 더 비싸고 에너지·배출 집약적인 고온 건식야금공정으로부터 생산되며, 저급 황동석은 광석 표면의 패시베이션(Passivation) 층으로 인해 침출이 어려워 활용이 어려웠던 상황

▶ Jetti Resources의 촉매는 습식제련공정을 통한 저급 황동석의 정제·가공을 보다 경제적·친환경적으로 가능케 함

▶ 새로운 광산 개발이 10년 이상 소요됨을 감안할 때, 저급 황동석의 이용은 기존 구리 광산의 생산용량을 증대시킬 수 있어 구리의 공급 부족 문제 해결 측면에서 최적의 방법

○ (성숙도) 상업적으로 입증된 구리 추출 촉매 기술을 보유하고 Acta Materialia(2022) 등 논문 실적 보유

▶ (제품 개발) 브리티시 컬럼비아 대학교와 연구 협력 및 3개의 상업계약* 체결

* 미국 애리조나 지역 Capstone Copper의 Pinto Valley 광산(2019년)과 Freeport-McMoRan의 Bagdad 광산(2022년 3Q)에서 구리의 상업 생산 개시 및 Freeport-McMoRan의 칠레 티 Abra 광산에 건설 중

▶ (자금 조달) Mitsubishi, BHP, Teck, BMW와 세계 주요 구리 광산기업 Freeport-McMoRan 등의 투자자로부터 2억 500만 달러를 모금

② Li-Cycle Li-Cycle

● (선정 배경) 리튬 시장은 에너지전환으로 인한 수요 증가*로 향후 30년 동안 공급이 부족하거나 타이트할 전망, 리튬이온배터리의 재활용은 핵심광물의 공급안보 확보 및 환경영향 최소화 측면에서 리튬의 유망한 공급원

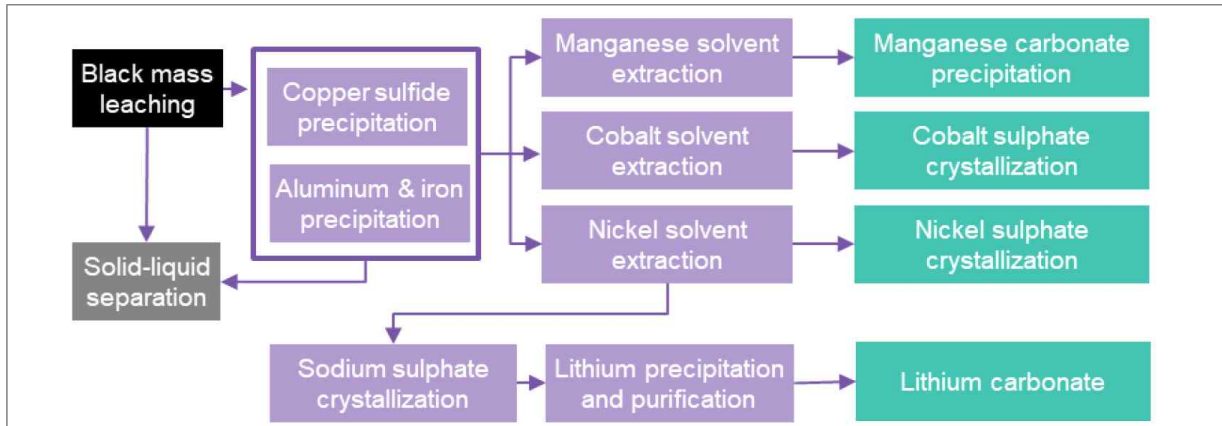
* 오늘날 채굴된 리튬의 3/4 이상이 에너지 전환 기술, 특히 배터리에 사용되는 상황

○ (주요 기술) 캐나다의 Li-Cycle은 안전한 기계적 축소 공정(Spoke)과 습식제련공정(Hub)의 조합으로 이루어진 독점적인 리튬이온재활용 기술, Spoke & Hub* 네트워크 개발

* 집하장 개념의 Spoke 에서는 독점적인 수증파쇄공정을 통해 리튬이온배터리를 안전하게 축소하여 플라스틱, 구리, 알루미늄 및 블랙매스(black mass)로 해체하고, 중앙처리장 개념의 Hub 단계에서는 습식제련공정을 통해 블랙매스로부터 고순도 배터리 등급의 재료를 추출

▶ 최대 95%의 재활용률로 배터리 금속(Li, Ni, Co)의 회수가 가능하며, 광물 채굴이나 타 경쟁회사의 열처리 공정 대비 에너지 및 배출 집약도가 낮고 물 사용량을 채굴 공정 대비 최대 97%(200만m³) 절감 가능

< Li-Cycle의 Hub에서 블랙매스 처리공정 개념도 >



출처: BloombergNEF 2023

- (성숙도) 2016년 설립, 2021년 상장한 회사로 글로벌 자동차·배터리 제조업체* 등과 200개 이상의 상업계약 체결

* LG화학, LG에너지솔루션, Glencore, KION 등

- ▶ (제품 개발) 북미지역에 4개의 Spoke 시설(총 처리용량 51,000톤/년 규모) 운영 중, 2023년 독일로 Spoke 시설 확장 및 미국 뉴욕의 첫 상업 Hub 시설(블랙매스의 처리용량: 35,000톤/년) 시운전 개시 목표
- ▶ (자금 조달) Peridot Acquisition Corp.와의 역합병을 통해 5억 8,000만 달러 규모를 모금 및 미국 에너지부(DOE)의 ATVM* 대출 프로그램을 통해 3억 7500만 달러 규모의 조건부 대출 약정 체결

* Advanced Technology Vehicles Manufacturing Loan Program

③ Nth Cycle NTH CYCLE

- (선정 배경) 전기차·배터리 산업의 폭발적 성장으로 폐배터리의 급격한 발생*이 예상됨에 따라 배터리 재활용은 배터리 금속의 안정적인 공급망 확보 방안으로 부상, 보다 친환경적이고 경제적인 배터리 금속 회수·정제 방법 필요

※ 수명이 다한 폐배터리는 2030년 이후 급증하여 2035년 1,117GWh 규모로 확대, 2035년까지 재활용 가능한 배터리는 500만 톤 이상일 것으로 예측(BloombergNEF, 2021)

- (주요 기술) 미국의 Nth Cycle은 배터리 양극재의 전구체인 니켈 중간재* 생산을 위한 전해추출(electroextraction) 기반 블랙매스 처리공정 개발 및 전해추출의 핵심인 다공성 전극 소재 기술 보유

* Nickel mixed-hydroxide precipitate(Nickel MHP)

- ▶ 다수의 별개 공정(전해채취, 화학적 침전, 여과)을 하나의 모듈식 장치로 결합하여 현장 설치에 용이하며, 다공성 전극재료를 이용하여 단위 시간·면적당 블랙매스 처리량을 증대시켜 자본비용 절감 가능
- ▶ 폐배터리, 금속 광석, 철강 슬래그 등의 광범위한 공급원료 사용 가능
- ▶ Nth Cycle의 공정은 전통적인 금속 채굴·정제 공정 대비 92%, 성숙한 재활용 기술 대비 44% 배출량 감축 가능

- (성숙도) 미국의 Nth Cycle은 2019년에 설립되어 현재 상용급 규모의 공정 개발 중

- ▶ (제품 개발) 제3자에 의해 감축 잠재량을 검증받은 금속회수·정제 기술 보유
- ▶ (자금 조달) 2021년 1,250만 달러 규모의 시리즈 A 투자 유치를 포함하여, 누적 총 1,930만 달러의 자금 조달

■ 넷제로 식품 생산 분야

① FutureFeed

● (선정 배경) 반추동물의 장내 발효로 인한 메탄배출은 농축산 부문의 주요 배출원*으로, 반추동물의 메탄배출 저감 기술은 식품의 소비 패턴을 크게 바꾸지 않고 농업부문 배출량을 감축시킬 수 있는 유망한 수단

* 반추동물(소, 양, 염소, 버팔로 등) 소화기관에서의 장내 발효(enteric fermentation)로 인한 연간 메탄 배출량은 약 2.8Gt CO₂eq.로 농업부문 배출량의 39%를 차지(FAO, 2022)

○ (주요 기술) 호주의 FutureFeed는 장내 메탄 배출량의 80% 이상 감축이 가능한 해조류 *Asparagopsis* 기반 사료 보충제 개발

▶ 해조류 *Asparagopsis*는 메탄(CH₄)과 구조가 유사한 bromoform(CHBr₃)을 생성하여 장내 메탄 생성을 억제

※ 젖소사료 첨가제의 메탄배출 저감 효과: bromoform 45-99%, 3-NOP 25-90%, 탄닌 13-30% 등

○ (성숙도) *Asparagopsis* 기반 사료 보충제의 글로벌 특허권을 보유하여, 호주, 미국, 유럽 등 9개의 해조류 재배 기업에 라이선스를 부여하였으며, 라이선스 중 하나인 CH₄ Global은 2022년 6월 첫 상업 판매 완료

▶ (제품 개발) 2016년 이후 10건의 Peer-review 논문 발표 및 'Farmed to Lower Methane' 상표 프로젝트 진행

▶ (자금 조달) 2020년 호주 CSIRO의 스피노프 기업으로 설립되어, 총 1,940만 달러의 투자 유치

② MicroHarvest **Microharvest**

● (선정 배경) 대체 단백질은 배출량뿐만 아니라 토지 및 물 사용량도 적어 축산부문 배출량 감축 수단이자, 저탄소 식품 시스템전환 과정에서 유망기술로 부상

○ (주요 기술) 독일의 Microharvest는 미생물 발효 기반 고품질(단백질 함량 60~79%) 단백질 생산 기술 개발

▶ 자체 박테리아 균주와 농식품 부산물 유래 당으로 구성된 성장배지를 이용하여 박테리아를 고속 배양

▶ 소고기 기반 단백질 대비, 토지 이용 99% 및 CO₂ 배출량 70% 이상 감축 가능

▶ 호기성 생산 공정으로 혐기성 생산 공정 대비 효율적이고, CO₂ 또는 CH₄를 공급원료로 사용하는 다른 대체단백질 생산 기술 대비 에너지 집약도가 낮음

○ (성숙도) Microharvest의 추출물 2023년 4Q 첫 상업화 전망, 동물 사료용 단백질에서 인간 식품용으로 확대 추진

▶ (제품 개발) 벤치·파일럿 규모 실증('21~'22), 300 kg/일급 생산을 확보 및 새우 사료 적용 성공('23)

▶ (자금 조달) 2021년에 설립되어 900만 달러 규모 투자 유치

③ Precision AI

● (선정 배경) 살충제의 사용은 농업 부문의 배출량뿐만 아니라, 생물다양성 손실, 질소 및 인 오염의 주요 원인
※ 제초제의 약 95%는 잡초가 아닌 곳에 과잉 살포되며 수분 활동을 하는 곤충의 멸종을 초래, 환경에 악영향

○ (주요 기술) 자율 비행·잡초 식별·정밀 살포를 가능하게 하는 소프트웨어 개발 및 제초제 살포용 고정익 드론 판매

▶ Precision AI의 드론에 의한 제초제 살포는 제초제 사용을 최대 95% 줄일 수 있을 뿐만 아니라, 농기계 지상 차량 대비 토양 다짐을 감소시켜 작물수확량을 증대

* 살충제 사용 95% 감소 및 작물 수확량 6% 증가는 약 7,000만tCO₂e/년의 감축효과에 해당(BloombergNEF, 2023)

○ (성숙도) 캐나다 Precision AI는 '24년까지 24,000 acres, '25년까지 100,000 acres 농지 관리 목표

▶ (자금 조달) 2018년에 설립, At One Ventures 등의 투자자로부터 '21년까지 1,600만 달러를 모금

■ 와일드카드 부문

① Electra 

● (선정 배경) 단일 산업 최대 배출업종*인 철강 산업은 인도 등 동남아 신흥국으로부터 탈탄소화에 대한 수요가 지속적으로 증가될 것으로 예상, 탈탄소화 비용**을 낮춰 업계에서 쉽게 채택할 수 있는 철강 탈탄소화 혁신기술 개발 필요

* 철강 산업 부문은 전 세계 배출량의 8%, 산업부문 배출량의 약 30%를 차지하며, DR-EAF 기반 철강 제조 공정에서 제선 단계는 전체 에너지 소비의 41%, CO₂ 배출량의 약 90%를 차지(BloombergNEF, 2023)

** 2050년까지 철강부문 탈탄소화를 위해 2,780억 달러의 추가 자본 지출 필요(BloombergNEF, 2023)

○ (주요 기술) 잉여 재생전력을 사용하여 60°C의 저온에서 저품질 철광석을 고순도 철로 정제할 수 있는 **新공정** 개발

▶ 철강 탈탄소화 유망 기술인 수소환원제철 기술 대비 풍부한 저급 철광석 활용이 가능한 이점 有

○ (성숙도) 미국 Electra는 실험실 규모(400cm²)의 철판 생산 공정 입증 이후, '23년 파일럿 규모 확장 추진 중

▶ (제품 개발) '23년 철판(1m²) 생산 파일럿 플랜트 건설, '25년 재생에너지 기반 실증 공장 건설, '27년 상용 규모 설비에서 시운전 개시 목표 수립

▶ (자금 조달) Amazon, Breakthrough Energy Ventures, BHP 등으로부터 8,500만 달러 펀딩 수주

② Sublime Systems 

● (선정 배경) 시멘트 생산은 주원료인 석회석 분해에서 기인한 CO₂ 배출과 고온 가열을 위한 연료(석탄, 가스 등) 소비 등에 의해 전 세계 배출량의 8%를 차지, 수요는 **지속 증가***할 전망으로 혁신적인 탄소저감 기술 필요

* 글로벌 시멘트 수요 현재 40억 톤 수준에서 2050년 약 60억 톤 수준으로 증가 전망(BloombergNEF, 2023)

○ (주요 기술) 무탄소 전력 기반 **전기화학** 공정을 통해 비석회석 기반 재료에서 석회(calcium hydroxide)를 생산할 수 있는 새로운 시멘트 제조 기술 개발

▶ 1400°C 이상의 고온이 요구되는 열 공정을 무탄소 전력을 이용하는 상온의 전기화학공정으로 대체하여 시멘트 제조공정에서 가장 에너지 집약적인 킬른이 불필요하며, CO₂ 공정 배출과 가열 배출 모두 억제 가능

▶ 상용 시멘트 제품과 화학적으로 동일한 Drop-in 시멘트 제품 생산할 수 있으며, 규산 칼슘 암석(calcium-silicate rocks) 등 다양한 공급원료 이용 가능

○ (성숙도) 미국의 Sublime systems는 MIT의 배터리 분야 선구자 Yet-Ming Chiang 교수가 설립한 스타트업 회사로 현재 100톤/년 규모의 시멘트 생산 파일럿 플랜트 운영 중

▶ (제품 개발) 실증(40,000톤/년) 규모의 시멘트 생산 공장을 건설하여 2025년 시운전 개시 목표

▶ (자금 조달) Lowercarbon Capital, Energy Impact Partners, Prime Impact Fund, The Engine 등의 기후 투자자로부터 총 5,000만 달러 투자 유치

③ Travertine TRAVERTINE

- (선정 배경) 불가피하게 배출되는 CO₂를 포집하기 위해 다양한 탄소 제거(carbon removal) 기술이 개발되고 있으나, 대규모 상용화된 기술은 부재
 - (주요 기술) 황산염 폐기물을 이용하여 탄소제거를 위한 수산화물과 황산을 생산하는 전기분해 新공정 개발
 - ▶ 수산화물은 공기 중의 CO₂와 반응하여 탄산염 용액을 형성시키고, 용액은 황산염 폐기물과 반응하여 고체 탄산염 광물로 CO₂를 영구적으로 격리
 - ▶ 부산물로 광업, 유용금속 추출 및 비료생산에서 필수적인 황산을 생산하여, 공기 중에서 제거된 tCO₂ 당 황산 판매를 통해 \$160~490의 수익 창출
 - ▶ 아민계 흡수제를 사용하는 DAC 기술 대비 저렴한 수산화물을 사용하여 흡수제의 재생이 필요 없으며, CO₂를 고체 상태로 제거하여 비용 집약적인 초임계 CO₂의 저장·운반이 불필요
 - (성숙도) 2022년 미국 UC Berkeley에서 스피노프 설립된 초기 단계(early-stage) 스타트업
 - ▶ (제품 개발) 2023년 파일럿 규모 기술 구현, 2028년 상업적 수준 도달, 2030년 4개 공장 배치 목표
 - ▶ (자금 조달) ARPA-E, Bidra VC 등으로부터 자금 지원을 받았으며, Grantham Environmental Trust와 Clean Energy Ventures Fund로부터 300만 달러의 시드 단계 투자 유치

3. 정리 및 시사점

- 기후위기 대응을 위해 글로벌 탄소중립 기술 확보 경쟁이 치열해지는 가운데, 탈탄소화 전환을 가속화하고 미래 시장을 주도할 수 있는 혁신기술을 보유한 기후기술 스타트업의 중요성 확대
 - **(패러다임 전환)** 탈탄소화를 위해 수소화, 전기화, 자원순환 및 지속가능한 식품이 기후변화대응 트렌드로 부상
 - **(기후변화대응 난제)** ①청정수소 보급 가속화, ②전기화된 미래를 위한 금속·재료, ③넷제로 식품 생산 시스템 구축 분야가 탈탄소화 전환을 위해 기술혁신이 시급히 필요한 주요 난제(challenge)로 도출
 - ▶ 다배출 업종인 철강·시멘트 산업의 탈탄소화와 탄소제거 분야도 탈탄소화 혁신기술 개발이 시급하여, 와일드카드로 Pioneers 선정
 - **(BNEF Pioneers)** 주요 난제와 와일드카드 부문에서 선정된 12개의 BNEF 2023 Pioneers*는 총 16억 2,120만 달러(약 2.14조 원) 규모 이상의 투자자금 유치, 혁신기술 기반 기후기술 新시장을 선도하는 新성장동력임을 확인
- * **(청정수소)** △SungreenH2, △H2Pro, △Mainspring Energy, **(금속·재료)** △Jetti Resources, △Li-Cycle, △Nth Cycle, **(넷제로 식품)** △FutureFeed, △MicroHarvest, △Precision AI **(와일드카드)** △Electra, △Sublime Systems, △Travertine

- BNEF Pioneers를 다수 배출한 미국, 캐나다 등과 같이, 혁신기술을 보유한 국내 기후기술 스타트업이 기후기술 미래 新시장을 선점하고, 기술패권 경쟁에도 대응할 수 있도록 역동적인 기후기술 스타트업 생태계 구축 방안 마련 필요
 - **(기술사업화 R&D 확대)** FutureFeed, Sublime Systems 등과 같이 대학·출연연의 스피노프(Spin-off) 창업을 지원하고, 혁신적 기후기술의 조속한 사업화를 위해 R&D·실증·규제개선·사업화가 통합적으로 연계되는 대 규모 기술사업화 R&D 확대
 - **(민간 투자 유인)** 정부 매칭 투자, 공공판로 확대, M&A 규제개선·활성화, 투자촉진 연계 인센티브 마련 등 국내 민간자본 유인체계를 구축하여 민간 자본 유입 활성화
 - **(해외 진출 촉진)** 국내 유망한 기후기술 스타트업의 해외 VC 투자 유치 및 글로벌 진출을 지원하는 글로벌펀드 조성 확대, 기술개발자·투자자 간 글로벌 멘토링·네트워킹 강화, 기업 IR(Investor Relations) 지원 등 글로벌 벤처투자 시장 환경 조성

[참고문헌]

1. BloombergNEF, Climate-Tech Startups to Watch in 2023: BNEF Pioneers, 2023.4.17
2. BloombergNEF, Energy Transition Investment Trends 2023, 2023. 1.
3. BloombergNEF, Climate-Tech VC/PE Investment: Funding Continues to Grow, 2023.1.11.
4. BloombergNEF, More Climate Unicorns Are Set to Join the Herd in 2022, 2022.6.28.
5. KISTEP, 일본, 스타트업 육성 5개년 계획(안) 발표, 2022.12.30
6. <https://www.bezosearthfund.org/our-journey>
7. <https://www.sungreenh2.com/#technology>
8. <https://techcrunch.com/2022/08/11/sungreenh2s-nano-scale-engineering-could-double-green-hydrogen-production/>
9. <https://www.mainspringenergy.com/technology/>
10. <https://www.jettiresources.com/our-technology/>
11. BloombergNEF, Global Copper Outlook 2022-2040, 2022.10.11.
12. Zihe Ren et al., The overlooked mechanism of chalcopyrite passivation, Acta Materialia, 236, 118111, 2022
13. <https://li-cycle.com/technology/>
14. <https://nthcycle.com/technology/>
15. BloombergNEF, Lithium-Ion Battery Recycling Market Outlook, 2021.7.21.
16. FAO, FAO Statistical Yearbook World Food and Agriculture 2022, 2022.12.13.
17. <https://www.electra.earth/technology/>
18. <https://sublime-systems.com/team/>

[저자]

한국에너지기술연구원 정책연구실 서정윤 / Tel. 042-860-3464 / E-mail. jyseo@kier.re.kr

※ 본 “CT Brief”에 게재된 내용은 필자 개인(연구진)의 견해이며, 기관의 공식적인 의견이 아님을 알려드립니다.
또한 본지의 내용을 인용할 때는 출처를 밝혀야 합니다.