



KEI 포커스

발행일 2025년 6월 30일 발행인 김홍균 발행처 한국환경연구원

주소 (30147) 세종특별자치시 시청대로 370 세종국책연구단지 B동

TEL 044-415-7777 홈페이지 www.kei.re.kr © 2025 한국환경연구원

Korea Environment Institute Focus

제13권 제3호
통권 제126호

디지털(DPP) 기반의 순환경제 정책 국제동향

조지혜 자원순환연구실 선임연구위원

요약

현안

최근 국제적으로 순환경제와 디지털 기술의 접목을 통해 전 주기 순환공급망을 추적·관리하고, 이를 제품 정책에 활용하여 무역규제를 강화해 나가고 있다. 특히, 자원흐름 및 재생원료 추적, 생산 프로세스 최적화, 공급망 구축 등 순환경제의 핵심 도구로 '디지털'을 활용하는 등 순환경제와 디지털경제의 통합 연계가 가속화되고 있다.

이러한 디지털 기반의 순환경제 플랫폼 구축은 '탄소중립'이라는 새로운 국제 규범하에 공급망 관리 및 스코프 3(Scope 3)으로 확장 중인 ESG 공시와도 직접적으로 연계된다. 대표적으로, 제품의 지속가능성(환경성 + 순환성) 정보를 디지털화하여 공개하는 도구인 EU 디지털 제품 여권(DPP: Digital Product Passport)을 들 수 있으며, 배터리 여권(Battery Passport)을 시작으로 섬유, 차량, 건물 등으로 확대되고 있다. 일본, 미국, 중국 또한 공급망 관리와 추적, 제품 환경정보의 투명한 제공을 목표로 관련 시스템을 디지털화해 나가고 있다. 특히, 일본은 EU와 전기차 배터리 핵심광물 정보를 공유하는 시스템을 통해 국가간 경계를 넘어 데이터를 연동하고 상호인증할 수 있는 기반을 구축하고 있다.

주요 내용

본고에서는 순환경제로의 전환에 있어 디지털화의 역할 및 중요성을 살펴보고, 국외 주요국의 디지털 및 DPP 기반 순환경제 정책동향을 살펴보았다. 이와 함께 배터리 분야를 대상으로 디지털화 적용 사례 및 주요 이슈를 도출하였으며, 이를 개선해 나가기 위한 중점과제를 도출하였다.

정책제언

앞으로 디지털 기술이 접목된 순환경제로의 전환을 위해서는 정부, 기업, 연구기관 등 다양한 주체가 유기적으로 협력하여 정책, 기술, 데이터 관리, 교육, 재정 등 전반적인 영역에서 통합적으로 접근할 필요가 있다. 이와 함께 ① 디지털 순환경제 플랫폼 구축을 위한 정책 프레임워크 마련 및 글로벌 표준화 강화, ② 디지털 전환을 지원하기 위한 기술 인프라 확충 및 데이터 통합관리, ③ 제품 전 주기 데이터 상호운용성 및 연결성 강화, 데이터 주권 및 신뢰성 제고, ④ 방법론 구축 및 표준화를 위한 거버넌스/국제협력 강화, ⑤ 혁신 기술 도입 및 T&T (Tracking & Tracing) 시스템 구축, ⑥ 에너지 효율적인 데이터센터 구축 및 최적화된 모델 학습 기법 도입, ⑦ 중소기업 지원 및 지속가능한 재정 모델 마련 측면에서 정책과제를 제시하였다.

I 순환경제에서 디지털화가 왜 중요한가?

- 최근 순환경제와 디지털 기술의 통합 연계가 강화되고 있음.¹ 순환경제는 제품 전 주기에 걸친 자원 효율성 및 순환성을 강조하는 경제시스템으로, 저탄소 원료를 확보하기 위한 순환공급망 관리의 투명성(transparency) 및 추적성(traceability)이 중요함. 디지털화는 이러한 순환경제를 보다 효율적으로 구현하고 확장하는 데 핵심적인 역할을 담당함
 - 순환경제로 전환하기 위해서는 시스템의 체계적 변화, 기술 혁신, 데이터 기반 의사결정이 필수적임. 하지만, 복잡하게 얽힌 가치사슬 구조와 자원 활용의 비효율성, 데이터 부족 등의 문제로 인해 순환경제로 나아가는 과정에서 많은 어려움을 겪고 있음. 디지털화는 이러한 문제를 해결하는 데 중요한 역할을 하며, 자원 효율성을 향상시키는 동시에 공급망을 최적화함으로써 순환경제로의 전환을 가속화하는 데 기여할 수 있음²
 - [정보 공유 및 추적성 개선] 디지털화를 통해 제품과 자원의 전 주기 데이터를 추적하고 기록할 수 있으며, 투입 원자재의 출처에서부터 물질자원의 사용 현황, 재활용 가능성 등을 투명하게 관리할 수 있음³
 - QR 코드, 바코드, RFID 등의 기술을 활용하면 제품의 전 주기 정보를 효과적으로 제공할 수 있음. 또한 블록체인⁴은 순환경제의 투명성을 강화하는 데 핵심적인 역할을 함. 제품의 원재료 출처, 제조 과정, 유통 경로, 재활용 가능성 등의 정보를 블록체인에 기록함으로써, 물질자원의 거래와 순환이 보다 투명하고 신뢰성 있게 이루어질 수 있음
 - [순환 비즈니스 모델 지원] 디지털 기술은 제품 소유 기반 모델에서 서비스 기반 모델로 전환(예: 구독형 서비스 또는 제품 공유 모델)을 가능하게 함으로써 새로운 유형의 순환 비즈니스 모델을 지원함
 - [설계·생산·유지보수 최적화] 인공지능(AI)⁵을 통한 제품 설계 및 생산 최적화, 3D 프린팅을 통해 생산 공정의 자원 낭비 최소화 및 부품의 지역 생산 지원, IoT(사물인터넷)⁶ 기반의 예측 유지·보수를 통해 제품 수명 연장 및 서비스 기반 비즈니스 모델(PaaS: Product-as-a-Service, 제품의 서비스화)을 지원함

1 (주요 개념 정의) ① 디지털화(Digitalization): 아날로그 기반의 정보와 활동을 디지털 기술을 통해 전환·자동화하는 과정을 의미하며, 사물인터넷(IoT), 인공지능(AI), 빅데이터, 블록체인 등 첨단 디지털 기술을 활용하여 정보 수집, 분석, 공유, 의사결정 등을 가능하게 함. ② 디지털 기반 순환경제(Digitally-enabled Circular Economy): 디지털 기술을 활용하여 자원의 효율적 사용, 재사용, 재제조, 재활용 등의 순환경제 활동을 최적화하는 경제 시스템을 의미함. 디지털화는 가치사슬 전반의 투명성과 추적성을 제고하고, 순환 비즈니스 모델 혁신, 공급망 최적화, 지속가능성 향상 등 순환경제 전환의 핵심 촉진 요소로 작용함. ③ 디지털 제품 여권(DPP: Digital Product Passport): 제품의 원료 조달부터 제조, 유통, 사용, 폐기 및 재활용에 이르는 전 주기에 걸쳐 제품 관련 데이터를 디지털 형태로 통합·관리하는 시스템임. EU의 '지속가능한 제품을 위한 에코디자인 규정(ESPR: Ecodesign for Sustainable Products Regulation)'의 일환으로 추진되고 있으며, 제품의 환경성과 순환성 관련 정보를 이해관계자에게 투명하게 제공함으로써 친환경 설계 및 소비를 지원함.

2 The Circular Coffee Break(2025.2.3), "The Role of AI in Accelerating the Circular Economy Transition", 검색일: 2025.2.25.

3 Annika and Stefan(2021). 이하 내용은 본 자료에 따름.

4 블록체인은 데이터의 보안성과 효율성에 기반하여 정보를 저장하고 공유할 수 있음. 즉, 기업의 기밀 정보를 보호하면서도 필요한 정보를 수신자에게 제공할 수 있음(European Policy Center, 2020, p.56).

5 AI는 데이터 분석을 통해 자원 사용의 최적화를 가능하게 함. 가령, 제조 과정에서 불필요한 자원 사용을 줄이고 재사용 가능한 자재를 자동으로 식별하는 시스템을 구축할 수 있음. 또한 공급망 관리에서 자원의 흐름을 모니터링하고, 재활용 가능한 자원을 신속하게 찾아내도록 지원함(European Policy Center, 2020, pp.56-57).

6 IoT 기술은 자원 및 제품의 흐름을 실시간으로 추적하고 모니터링 하는 데 사용됨. IoT 센서를 통해 제품의 사용 상태, 위치, 수명을 모니터링 하여 언제 어떻게 자원을 재사용하거나 재활용할 수 있을지 예측할 수 있음. 가령, 스마트 폐기물 관리 시스템은 쓰레기통의 상태를 모니터링하여 필요할 때만 수거하도록 함으로써 비용과 자원을 절감할 수 있음(European Policy Center, 2020, p.58).

- [친환경 소비 유도] 디지털 플랫폼⁷ 및 QR 코드와 같은 라벨링을 통해 소비자에게 제품의 순환성 등에 관한 정보를 공유하고, 친환경적인 소비 선택을 유도할 수 있음. 즉, 제품의 내구성, 재사용·재활용 용이성, 재생원료 함량, 탄소발자국 등 순환경제와 연계한 정보를 투명하게 제공함으로써 소비자의 인식을 제고하고 참여를 촉진할 수 있음
- [정책 설계 활용] AI 및 빅데이터를 활용하여 데이터 기반 정책의 우선순위 도출에 기여할 수 있음
- [시장 규모 확대] 글로벌 디지털 순환경제 시장 규모는 2023년 기준 22억 달러로 평가되었으며, 2024년 27.4억 달러에서 2032년까지 157.2억 달러 규모로 확대될 것으로 전망됨⁸
 - 2024년부터 2032년까지 연평균 성장률(CAGR) 24.42%로 성장할 것으로 예측

④ 디지털화는 정보 격차 해소 및 가치사슬 간 신뢰성 구축 등을 통해 자원 고갈, 폐기물 관리와 같은 글로벌 이슈를 해결하는 데 중요한 역할을 할 수 있음⁹

- [정보 격차 해소] 자원의 위치, 상태, 사용 이력을 투명하게 제공하여 낭비를 줄이고 재활용을 촉진함
- [이해관계자간 협력과 신뢰 강화] 가치사슬 전반에서 데이터 공유를 통해 기업, 정부, 소비자 간에 신뢰를 구축함

④ 디지털화는 순환 원칙에 부합하는 혁신적이고 지속가능한 제품 설계 이니셔티브 추진에 있어 중요한 역할을 담당함

- 대표적으로 EU의 디지털 제품 여권(DPP)은 “지속가능한 제품을 위한 에코디자인 규정(ESPR: Ecodesign for Sustainable Products Regulation)” 이니셔티브의 일환으로, 제품의 전 주기 전반에 걸쳐 상세한 제품 정보를 제공하는 것을 목표로 함
- 특히, 패션 및 소비자 전자제품과 같은 산업에서 순환경제를 촉진하는 데 DPP는 핵심적인 역할을 할 수 있음. 이를 통해 투명성과 신뢰성 증대, 공급망 관리 개선, 지속가능성 선도기업으로서의 경쟁 우위 확보 등의 이점을 가짐
- GS1 DPP 이니셔티브와 같은 업계 표준 기구들이 QR 코드, NFC 태그 등을 포함한 데이터 교환의 표준과 전달 매체를 정의하여 산업 간 DPP 데이터 교환을 원활하게 하고 있음
- 클라우드 컴퓨팅을 통한 협업 설계가 가능하며, 친환경소재 데이터베이스 활용을 통해 설계 단계에서 지속가능성을 고려할 수 있도록 함¹⁰

④ 엘렌 맥아더 재단(Ellen MacArthur Foundation)에 따르면, AI가 식품 산업에서 폐기물을 줄이는 데 기여할 경우 2030년까지 연간 최대 1,270억 달러의 경제적 가치를 창출할 수 있으며, 소비자 전자제품 산업에서는 최대 900억 달러의 가치 창출이 가능할 것으로 전망함¹¹

- [식품] AI는 식량 생산 및 관리에 혁신적인 변화를 가져올 수 있음. 특히, 재생 가능 농업과 식품 부산물 활용을 통해 지속가능한 식품 시스템으로의 전환을 가속화하는 데 기여함

7 디지털 플랫폼은 자원 공유 및 재사용을 촉진하는 협력 생태계 구축을 지원함.

8 John Smith(2024.10.17), “How Digital Innovation is Shaping the Future of Circular Economies”, 검색일: 2024.12.23. 이하 내용은 본 자료에 따름.

9 UNECE(2023).

10 Jensen(2023.12.11), “Global Ecodesign Legislation: Navigating the Digital Transformation for a Sustainable Future”, 검색일: 2024.12.19.

11 Ellen MacArthur Foundation(2019).

- 2030년까지 AI를 활용하면 식품 낭비를 줄이는 설계를 통해 매년 최대 1,270억 달러의 경제적 가치를 창출할 수 있음
 - AI는 과거 및 실시간 데이터를 분석하여 수요를 예측함으로써 공급망의 효율성을 높이고, 과잉 생산과 잘못된 수요 정보로 인해 발생하는 재고를 줄일 수 있음
 - 더 나아가 AI는 전 세계 식량 공급망의 현황을 매핑하고, 지역에서 재료를 조달하거나 생산지 근처에서 식품을 가공하는 최적의 방법을 제안할 수 있음. 이는 식량 공급과 수요의 적절한 매칭을 가능하게 하여 식량 시스템 전반의 효율성을 높이는 데 기여함¹²
- [전자제품] AI 기반 기술은 제품 수명 연장, 전자폐기물 회수, 물질 효율성 향상, 연구개발 최적화에 중요한 역할을 할 수 있음¹³
- 사용 기간 연장: 순환형 설계와 비즈니스 모델은 제품과 부품의 가치를 높이는 것을 지향하며, AI 기반 설계, 마케팅, 예측, 유지보수 등의 조치를 통해 500억 달러의 잠재 가치를 창출할 수 있음
 - 전자폐기물 회수: AI 솔루션을 활용한 최적화된 순환형 인프라는 재사용, 수리, 재제조 또는 재활용된 기기, 부품 및 재료에서 240억 달러의 추가 가치를 회수할 수 있음
 - 물질 효율성: AI는 생산 과정에서 물질 사용의 효율성을 높이고 폐기물을 줄이는 데 기여할 수 있으며, 이는 80억 달러의 잠재적 가치를 창출할 수 있음
 - 연구개발(R&D) 최적화: AI는 혁신 프로세스를 최적화하고 가속화하여 자원을 비용 효율적으로 배분함. 이는 약 80억 달러의 가치를 지닌 것으로 예측됨
- **스코프 3(Scope 3)에 기반한 글로벌 기후 공시화가 추진되고 있으며, 저탄소 순환원료 공급망 구축 여부가 산업 경쟁력의 중요한 척도가 되고 있음. 스코프 3은 기업의 공급망을 포함한 전 과정에서 발생하는 온실가스 배출을 의미하며, 이를 관리하고 줄이기 위한 주요 전략 중 하나가 디지털 기반 순환경제 모델임**
- 국가별 공시 기준을 살펴보면 EU, 미국(캘리포니아주), 일본, 캐나다, 싱가포르 등에서는 스코프 3 배출량의 공개를 요구하며, 이를 기후 전략의 핵심 요소로 강조하고 있음¹⁴
 - 미국 캘리포니아주에서는 2023년 10월 「SB-253 기후 기업 데이터 책임법(CCDAA)」에 서명함으로써, 연간 매출 10억 달러 이상인 캘리포니아 내 상장 및 비상장 기업을 대상으로 스코프 3을 포함한 온실가스 배출량을 사업보고서에 공시하도록 의무화함
 - 디지털 기반의 순환경제는 공급망 전반에 걸쳐 자원의 흐름을 추적하고 최적화할 수 있는 기술을 제공함. 이를 통해 각 기업은 스코프 3 배출량을 더 정확하게 측정할 수 있으며, 자원 사용을 최소화하는 동시에 재사용 및 재활용을 극대화하는 방식으로 배출량을 줄일 수 있음¹⁵

12 Ellen MacArthur Foundation(2019), pp.19-20.

13 Ellen MacArthur Foundation(2019), pp.26-27.

14 EU 기업 지속가능성 보고 지침 2022/2464/EU(CSRD), 국제지속가능성기준위원회(ISSB) IFRS S1(지속가능성 관련 재무정보 공시 일반 요건) 및 IFRS S2(기후 관련 공시), 미국 캘리포니아주의 「기후 기업 데이터 책임법」(SB 253), 「기후 관련 재무리스크법」(SB 261)(통칭 캘리포니아 기후 책임 패키지) 및 「자발적 탄소 시장 공개법」(AB 1305) 등(한국개발연구원, 2024).

15 Normative(2024.7.3), "The Circular Economy & Carbon Reduction Targets", 검색일: 2024.12.30.

표 1 스코프 3(Scope 3) 공시 의무화 보고 관련 글로벌 공시 주요 현황

구분	ISSB	CSRD	캘리포니아주
목적 및 배경	<ul style="list-style-type: none"> '23년 6월 지속가능성 보고를 위한 글로벌 기준의 자발적 기초 표준으로 발표됨 국제재무보고기준(IFRS) 재단의 국제지속가능성기준위원회(ISSB)에 의해 제정됨 기후 관련 재무 공시(TCFD: Task Force on Climate-related Financial Disclosures)와 지속가능성회계기준위원회(SASB) 등 국제적으로 인정받는 프레임워크를 기반으로 함 국제증권관리위원회기구(IOSCO)의 승인을 받음 영국, 캐나다, 일본, 홍콩, 싱가포르, 호주, 나이지리아, 칠레, 말레이시아, 브라질, 이집트, 케냐, 남아프리카 공화국이 각각 ISSB 표준 채택을 검토 중이며, 다양한 단계의 협의 및 시행 과정에 있음 	<ul style="list-style-type: none"> '22년 11월, 유럽 그린 딜의 일환으로 채택됨 비재무적 기업 보고의 범위를 확대하고, 공시가 일관성 있고 비교 가능하며 접근하기 쉽게 하는 것을 목표로 함 EU 회원국들이 이를 법률로 전환하도록 요구함 	<ul style="list-style-type: none"> '23년 10월 제정됨 SB 261은 TCFD를 광범위하게 기반으로 함 SB 253과 SB 261은 캘리포니아 대기자원위원회(California Air Resources Board)에 의해 시행 규정을 요구함
Scope 1, 2, 3 공시 여부	<ul style="list-style-type: none"> IFRS S2에 따라, 총 온실가스 배출량(포함되는 범위: Scope 1, Scope 2, Scope 3)을 측정 방법과 근거를 포함하여 공개해야 함 	<ul style="list-style-type: none"> Scope 1, Scope 2, 그리고 (점진적 도입 이후) Scope 3 배출량 데이터의 의무 공개 	<ul style="list-style-type: none"> Scope 1, 2, 3 배출량 데이터

자료 한국개발연구원(2024), p.52.

이미 여러 글로벌 기업들은 AI, 클라우드, 디지털 트윈 기술을 활용하여 폐기물 감축에서 더 나아가 지능형 자원 관리로 발전시켜 나가고 있음. 디지털 기반 순환경제 시스템을 구축하여 폐기물 발생 최소화, 제품 수명 연장 및 지속가능한 자원 사용을 촉진하는 솔루션 개발에 필수적인 기반을 마련 중임

- 마이크로소프트(MS)의 순환센터(Circular Center)는 데이터센터에서 사용하는 서버와 하드웨어를 AI 알고리즘을 통해 분류하고, 재사용 가능한 부품을 식별하여 폐기물 발생을 최소화하는 시스템임. 이를 통해 2025년까지 데이터센터 하드웨어의 90%를 재사용하는 것을 목표로 하고 있음¹⁶
- 지멘스(Siemens)의 마인드스피어(MindSphere)는 클라우드 기반의 개방형 사물인터넷(IoT) 운영 체제로, 다양한 산업 장비와 시스템에서 데이터를 수집·분석·시각화하여 운영 효율성을 높이고 재사용 및 재활용을 촉진하고 있음¹⁷
- TOMRA는 AI 기반의 센서를 활용하여 플라스틱 재활용 효율을 높이고 있음. 특히, GAINnext라는 딥러닝 기술을 적용한 AI 시스템을 통해 기존 방법으로는 분류하기 어려웠던 플라스틱을 정확하게 식별하고 분류할 수 있음. 이 시스템은 AUTOSORT와 결합하여 센서 데이터를 기반으로 재료를 분류하며, RGB 카메라를 사용하여 고순도의 재료를 높은 처리 속도로 분리함¹⁸
- IBM은 Sterling Supply Chain Intelligence Suite를 활용해 고도화된 AI 기능과 자동화를 적용함으로써 공급망의 관리 효율성 및 지속가능성을 높이고 있음¹⁹

16 이데일리(2025.2.8), "MS, 데이터센터 폐기물 90% 재사용... 해외 IT기업 자원순환 '활발'", 검색일: 2025.2.10.

17 SIEMENS, "Siemens Digital Industries Software", 검색일: 2025.2.10.

18 TOMRA(2024.4.24), "TOMRA to Feature Latest AI's Plastic and Sorting Solutions at NPE 2024", 검색일: 2025.2.25.

19 IBM(2023.2.29), "What is a circular economy?", 검색일: 2024.12.30.

- H&M 및 Zalando는 AI 기반 리세일(중고 판매) 플랫폼을 통해 재고 관리 및 가격을 최적화함으로써 제품 수명 연장 및 폐기물 감소에 기여함²⁰
- 롤스로이스(Rolls-Royce)는 AI 기반 유지보수 모델 TotalCare를 통해 항공기 엔진을 제품이 아닌 서비스로 제공(PaaS)함²¹
- 이와 같이 제품을 설계할 때 디지털과 접목하여 제품의 내구성, 수리 및 재활용 가능성을 고려할 수 있도록 지원하고, 제품-서비스 모델 등 제품을 대여하는 순환 비즈니스 모델을 통해 제품의 수명을 연장하는 데 기여함

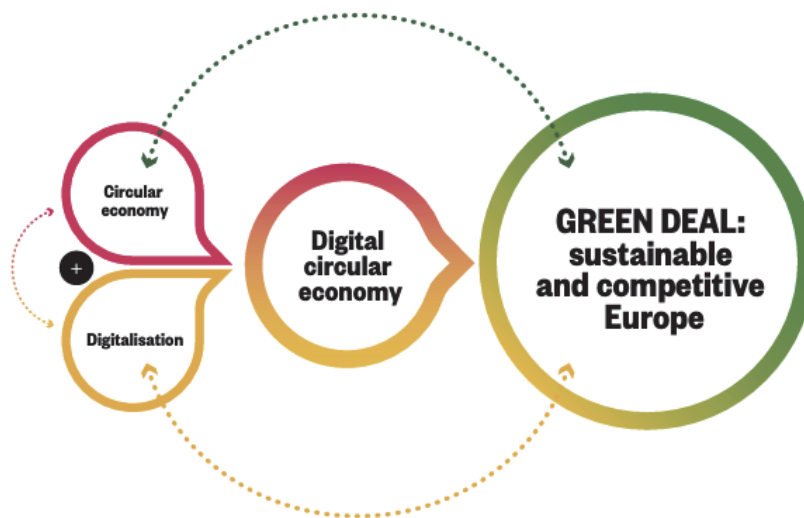
II

국외 디지털 추적과 DPP에 기반한 순환경제 정책 및 규제동향

01 • 유럽연합(EU)

- 유럽 그린 딜(European Green Deal)은 2050년까지 기후 중립을 목표로 하고 있으며, 이 비전을 뒷받침하는 두 가지 핵심 전략은 '순환경제'와 '디지털화'임

그림 1 EU 그린 딜 내 순환경제와 디지털 경제 간 연계성



자료 Annika and Stefan(2019), p.12.

²⁰ The Circular Coffee Break(2025.2.3), "The Role of AI in Accelerating the Circular Economy Transition", 검색일: 2025.2.25.

²¹ The Circular Coffee Break(2025.2.3), "The Role of AI in Accelerating the Circular Economy Transition", 검색일: 2025.2.25.

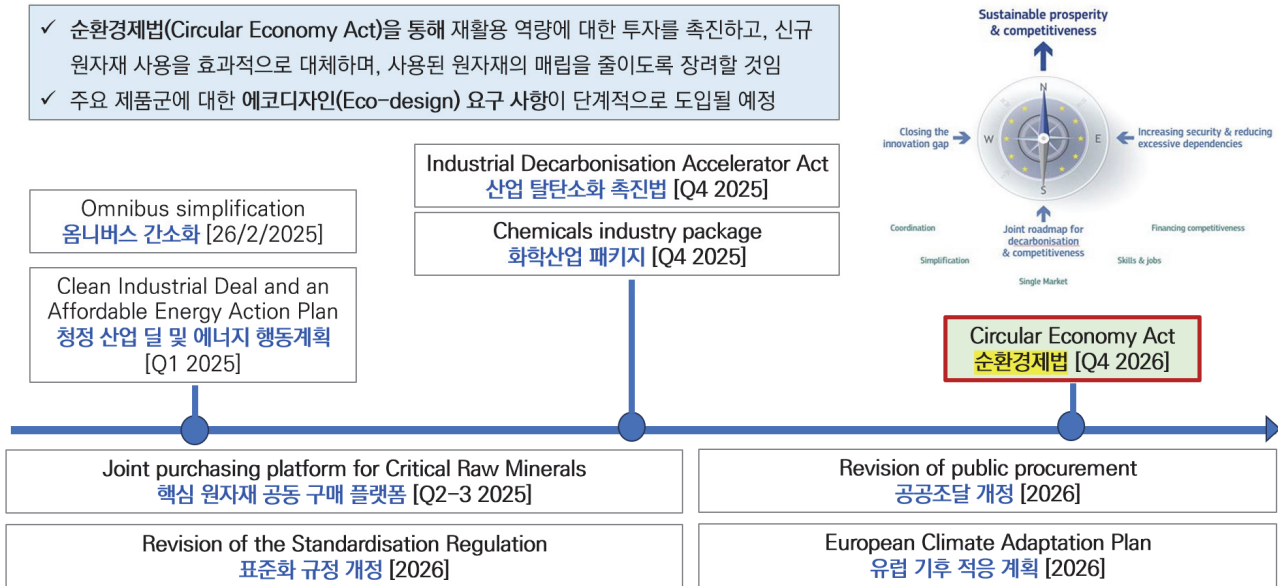
- 2024년 4월 18일, EU 정상회의에서는 새로운 '유럽 경쟁력 딜(European Competitiveness Deal)'을 제안함. 이는 유럽의 글로벌 경쟁력을 회복하기 위한 전략으로, 순환경제와 디지털화를 핵심 요소로 강조하고 있음²²
- 새로운 유럽 경쟁력 딜의 핵심 방향으로 EU 내 자본 장벽을 허물기 위한 자본시장동맹(Capital Market Union), 탈탄소 산업, 저렴한 청정에너지 확보 공급, 순환경제, 디지털 변혁 지원 및 5G·6G 등의 디지털 인프라 투자 촉진, 규제 혁신 등을 공동성명에 명기함
- 특정 서비스에 대한 단일시장 장벽 완화뿐만 아니라, 자본시장동맹의 진전, 산업 경쟁력을 갖춘 탈탄소화, 저렴한 청정에너지 확보를 위한 정책도 강조함. 특히 디지털 인프라 투자 확대, 인공지능 활용, 노동시장 참여 확대, 연구·혁신의 활성화 및 상업화 규모 확대를 촉진할 수 있는 환경 조성도 명시하고 있음
- EU는 순환경제 전환을 선도하고 있으며, 그 중심에는 투명성과 지속가능성, 자원 효율성을 높이기 위한 혁신적 수단인 디지털 제품 여권(DPP)이 있음
- DPP는 제품의 전 주기에 대한 종합적인 정보를 담은 디지털 기록에 해당하며, 지속가능한 제품 관리와 자원 효율성을 지원하는 데 필요한 데이터를 제공함. 여기에는 제품의 물질 구성, 원산지, 재활용 가능성, 환경영향 등에 대한 세부 정보가 포함됨. DPP의 주요 목적은 제품별 관련 정보에 대한 접근을 용이하게 하여 지속가능한 순환적 행동을 촉진하는 데 있음
- 이후 2024년 11월 8일, EU 정상회의에서는 부다페스트 선언을 채택하여 '새로운 유럽 경쟁력 딜(New Competitiveness Deal)'을 통한 산업 경쟁력 강화와 이를 위한 다양한 전략을 발표하였으며, 디지털 전환과 순환경제를 주요하게 다루고 있음
 - 디지털 전환: 2025년 6월까지 EU 기술 역량 강화 및 디지털 전환 가속화, 혁신을 촉진하기 위해 GDP의 3%를 R&D에 투자한다는 목표를 설정하고, 이를 통해 디지털 기술 개발을 촉진하고 있음
 - 순환경제: 자원 효율적인 경제 구축 및 핵심 원자재의 지속가능한 사용을 촉진하기 위한 「순환경제법(Circular Economy Act)」을 제정할 계획임
- EU 집행위원회는 2025년 1월 유럽의 역동성을 회복하고 경제 성장을 촉진하기 위한 새로운 로드맵인 '경쟁력 나침반(Competitiveness Compass)'을 발표함. 이를 통해 '혁신 격차 해소', '탈탄소화 및 경쟁력 강화 동시 추진', '공급망 다변화 및 보안 강화'를 핵심과제로 제시하고 있음
 - 특히, AI와 로봇틱스와 같은 혁신 기술을 적용할 수 있도록 'Apply AI' 이니셔티브를 추진하고, 원자재, 청정에너지, 지속가능한 연료 및 친환경 기술 공급망을 확보하기 위한 청정무역 및 투자를 증대할 계획임
- 이에 대한 후속조치로, EU는 기후중립 목표 달성과 함께 EU 산업 경쟁력 강화를 위해 2월 26일 '청정 산업 딜(Clean Industrial Deal)'을 발표함. 여기에는 '재활용 및 핵심원자재 관리'가 포함됨²³
 - EU는 안정적인 원자재 확보를 위해 주요 국가들과 협력 관계를 구축하고 있으며, 이를 통해 가치사슬의 안정성을 보장할 계획임. 이와 함께 미러 조항(mirror clauses)을 통해 상대국의 수출 제품이 EU의 엄격한 환경 및 생산 기준을 준수하도록 요구함으로써, 국제 무역에서 자국의 표준을 유지하는 동시에 글로벌 시장에서도 동등한 경쟁 환경을 조성해 나가고자 함

²² Reuters(2024.4.9), "EU Leaders to Demand Sweeping Competitiveness Drive at Summit", 검색일: 2025.1.25.

²³ Politico(2025.1.22), "EU's Clean Industrial Deal to Cover 6 Themes from Energy Prices to Trade", 검색일: 2025.1.28. 이하 청정 산업 딜 내용은 본 자료에 따름.

- '경쟁력 나침반'은 EU의 전체 산업 경쟁력과 기술 혁신, 글로벌 무역 전략에 초점을 맞춘 한편, '청정 산업 딜'은 친환경 산업 육성 및 탄소중립 실현을 목표로 함. 하지만 두 정책 모두 순환경제와 디지털 전환을 핵심 요소로 삼고 있음

그림 2 EU 경쟁력 나침반(Competitiveness Compass) 내 주요 일정



자료 EC(2025)를 기반으로 저자 작성.

표 2 경쟁력 나침반과 청정 산업 딜의 비교

구분	경쟁력 나침반 (Competitiveness Compass)	청정 산업 딜 (Clean Industrial Deal)
목표	• EU 전반의 산업 경쟁력 및 혁신 역량 강화	• 청정에너지 및 친환경 산업 경쟁력 강화
초점	• 글로벌 무역, 기술 혁신, 산업 자율성	• 탄소중립, 재생에너지, 친환경 제조업
핵심 전략	• 미국·중국 등과의 혁신 격차 해소 • 무역 정책 및 공급망 안정화 • 디지털 경제 및 기술 발전 촉진	• 신재생에너지 산업 지원 • 친환경 제조기술 개발 • 순환경제 및 자원 효율성 증대
적용 산업	• 전 산업(디지털, 제조, 서비스 등)	• 청정에너지, 배터리, 친환경 산업 중심
재정 지원	• R&D 투자, 기업 지원 정책 포함	• 기후펀드 및 보조금 지원 중심

자료 EC, "Clean Industrial Deal"; "Strengthening European Competitiveness", 검색일: 2025.3.1을 기반으로 저자 작성.

- 특히, 청정 산업 딜의 경우 유럽의 산업 경쟁력을 강화하는 동시에 녹색 및 디지털 전환을 가속화하는 데 목적을 두고 있음. 이는 현재 개발 중인 여러 상호보완적인 이니셔티브를 기반으로 진행됨²⁴
 - 「산업 탈탄소화 촉진법(IDAA: Industrial Decarbonization Accelerator Act)」(2025년 4분기 발표 예정): 산업 배출 기준을 강화하고 맞춤형 지원 메커니즘을 도입
 - 「공공조달법」 개혁: 친환경 및 디지털 전환을 선도하는 기업을 우대
 - 탄소 유출 보호 강화: 탄소국경조정제도(CBAM) 및 환경세를 통해 수입 제품의 탄소 배출 규제 강화
 - 청정 무역을 위한 전략적 파트너십 구축: 안정적인 공급망 확보 및 유럽 산업 가치사슬 발전 촉진
- 또한 EU는 2024년 10월 「사이버복원력법(CRA: Cyber Resilience Act)」을 승인하고 11월 20일 공식 저널에 게재함. 이 법은 2024년 12월 10일 발효되었으며, 2027년 12월 11일부터 적용될 예정임
 - 이는 디지털 요소를 포함한 하드웨어 및 소프트웨어 제품의 사이버 보안 요구사항을 규제하기 위해 제정한 법률로, 제품의 설계 단계부터 전 주기 동안 보안을 고려하도록 의무화하고 있음

● EU 집행위원회는 DPP 도입을 위한 포괄적인 프레임워크를 여러 주요 규정을 통해 제시하고 있음

- 지속가능한 제품을 위한 에코디자인 규정(ESPR: Ecodesign for Sustainable Products Regulation)
- 폐전기전자제품(WEEE: Waste from Electrical and Electronic Equipment) 지침 및 이에 대한 EC 권고(Directive and its EC Recommendation for National Authorities)
- 기업 지속가능성 보고 지침(CSRD: Corporate Sustainability Reporting Directive)
- 배터리 규정(Batteries Regulation), 장난감 규정(Toys Regulation), 세제 규정(Detergents Regulations), 건설 제품 규정(Construction Products Regulation), 핵심 원자재법(CRMA: Critical Raw Material Act), 포장재 및 포장폐기물 규정(PPWR: Packaging and Packaging Waste Regulation)
- 제품 수리 촉진을 위한 공통 규칙에 관한 지침(Directive on Repair of Goods), EU 폐기물기본지침의 목표 개정 (Targeted Revision of the EU Waste Framework Directive), 기업 지속가능성 실사 지침(CS3D: Corporate Sustainability Due Diligence Directive), 폐기물 운송 규정(Regulation for Waste Shipment)에 해당함

● [지속가능한 제품을 위한 에코디자인 규정(ESPR)] 2024년 7월, EU 집행위원회는 ESPR을 최종 채택하여 발효함. 초기에는 에너지 효율성만을 대상으로 에너지 관련 제품에 한정하여 지침을 마련하였으나, 이번 규정에서는 일부 의약품 등을 제외하고 전 제품으로 적용 대상을 확대함

- 본 규정에서는 제품의 환경 성능, 수리 가능성, 재활용 가능성, 재생원료 사용 등에 대한 자세한 정보를 제공하기 위해 DPP 포함을 의무화함. 에코디자인 규정은 온라인에서 판매되는 제품과 관련한 디지털 서비스법과 일치할 것임.²⁵ 기업들은 이 규정에 따라 제품 시스템에 관여하는 모든 이해관계자들에게 제품의 출처 등에 대한 정확한 데이터를 제공하고 공유해야 함
- ESPR은 단계적으로 역내 출시되는 모든 제품에 에코디자인 요건을 도입하는 것을 목적으로 하며, 이를 위한 포괄적이고

²⁴ Mathieu Gitton(2025.2.26), "European Faces Industrial Challenges: The Clean Industrial Deal and the Second Omnibus Package in Preparation", 검색일: 2025.2.28.

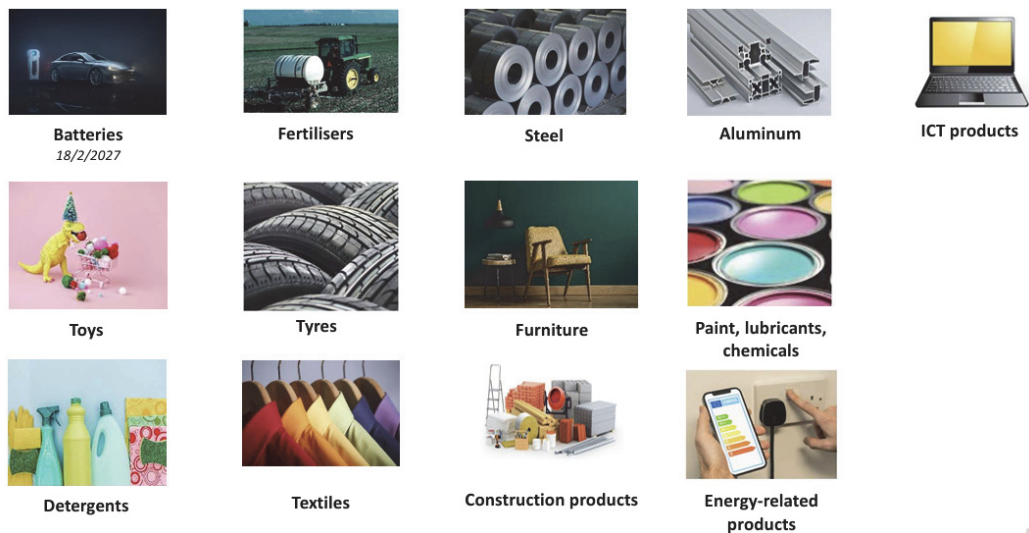
²⁵ European Council(2024.5), "Green Transition: Council Gives its Final Approval to the Ecodesign Regulation", 검색일: 2024.12.20.

전체적인 틀을 제시하고 있음. 세부 요건은 추후 채택할 위임법과 시행법을 통해 구체화할 예정임. 여기에는 에코디자인 규정의 틀 안에서 각 제품군에 적합하게 세부 규제 사항을 담은 내용을 포함할 예정임

● [디지털 제품 여권(DPP)] DPP는 디지털 기술을 활용한 순환경제 촉진의 대표적인 사례로, 제품의 원재료, 부품, 재활용 가능성, 재생원료 함량, 폐기 방법 등의 포괄적인 정보를 QR 코드나 바코드와 같은 데이터 캐리어를 통해 접근할 수 있는 도구임

- DPP는 제품 전 주기 전반에 걸친 정보를 투명하게 관리할 수 있는 수단으로, 이를 통해 자원 효율성을 높이고 천연자원 소비를 줄일 수 있을 것으로 전망됨
- 또한 제품 관련 정보를 전자적으로 등록·처리·공유함으로써 기업과 당국 간 제품 공급망 전반에 걸친 정보 수집과 공유가 간소화될 것으로 예상됨
- DPP를 통해 소비자는 정보에 기반한 선택을 할 수 있어 투명성이 제고되고, 제조업체는 생산 공정의 최적화를 통해 지속가능성을 강화할 수 있음²⁶
- DPP는 제품 관련 데이터를 실제 서비스와 유통망 내에서 활용할 수 있도록 지원하는 구체적인 도구로, 제품의 환경 정보를 공개함으로써 수리 및 재사용을 촉진하고, 유해물질의 사용을 제한하는 것을 목표로 함
- 완제품뿐만 아니라 철강 등 중간재 및 부품도 DPP 적용 대상에 포함되며, 생산·유통·판매·사용·재활용에 이르는 전 주기 정보를 디지털 방식으로 수집·저장하여야 함. 또한 소비자에게 제품의 환경성 및 순환성 정보를 제공함으로써 친환경 소비를 유도할 수 있음
- 기존의 EU Ecolabel(환경 마크)에 순환성 정보를 추가하고, QR 코드를 통해 이를 쉽게 확인할 수 있도록 할 예정임

그림 3 EU 디지털 제품 여권(DPP) 적용대상 품목 확대



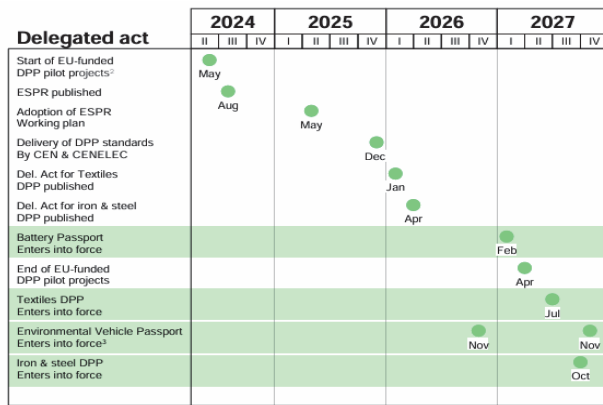
자료 EC 발표자료(2024).

²⁶ Indeed(2024.6.17), "Digital Product Passports on the Rise", 검색일: 2024.12.20.

- DPP의 도입은 다음과 같이 단계적으로 이루어질 예정임

- 2025년 말까지: CEN/CENELEC JTC24는 DPP 시스템의 유럽 표준을 개발하고 있음. 2025년 12월까지 모든 모듈의 조화 단계가 완료되고 공식 투표 준비가 완료될 것으로 예상됨. 또한 최종 표준 발표는 2026년 3월 말에 이루어질 예정임
- 2026년까지: 특정 제품군에서 DPP를 의무화할 예정임
- 2030년까지: 모든 제품군에 DPP를 적용할 것으로 예상

그림 4 EU 디지털 제품 여권(DPP) 위임법률 일정



자료 Battery Pass(2024b), p.21.

그림 5 EU DPP 표준 작업 목록

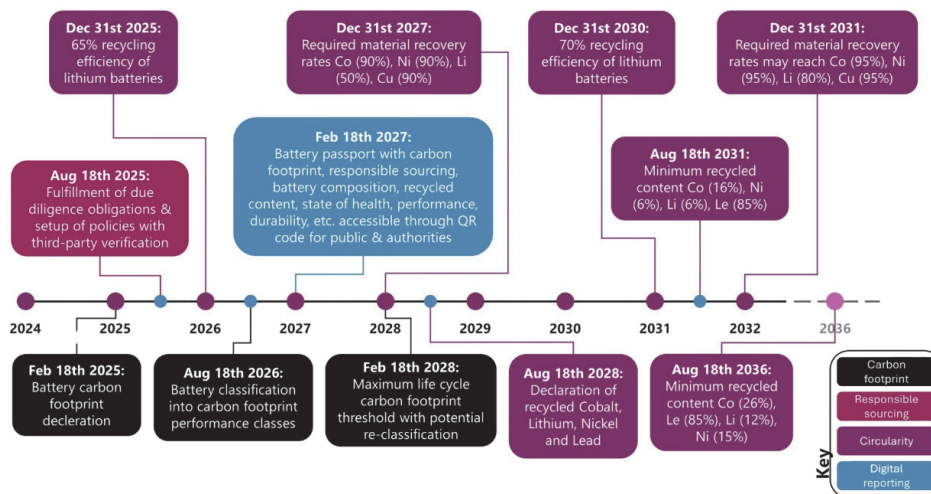
List of European standards to be drafted and deadlines for their adoption as referred to in Article 1

Reference information	Deadline for the adoption by the ESOs
1. European standard(s) on unique identifiers	31 December 2025
2. European standard(s) on data carriers and links between physical product and digital representation	31 December 2025
3. European standard(s) on access rights management, information, system security, and business confidentiality	31 December 2025
4. European standard(s) on interoperability (technical, semantic, organisation)	31 December 2025
5. European standard(s) on data processing, data exchange protocols and data formats	31 December 2025
6. European standard(s) on data storage, archiving, and data persistence	31 December 2025
7. European standard(s) on data authentication, reliability, integrity	31 December 2025
8. European standards on Application Programming Interfaces (APIs) for the product passport lifecycle management and searchability	31 December 2025

자료 CEN-CENELEC(2024), p.8.

④ [디지털 배터리 여권(DBP)] 이는 EU가 지속가능한 배터리 사용을 촉진하기 위해 도입한 디지털 시스템임. 배터리의 전 주기 동안 데이터를 디지털화하여 제조, 사용, 재활용에 이르는 과정을 투명하게 관리하고 추적할 수 있도록 설계됨. 2023년 12월 EU 배터리 규정(Battery Regulation)에 공식적으로 포함되었으며, 2027년 2월부터 본격적으로 시행될 예정임

그림 6 EU 디지털 배터리 여권 시기별 의무사항



자료 Engineering Industries eXcellence(2024), p.8.

- DBP의 도입 목적은 지속가능성과 투명성, 그리고 디지털 전환을 통해 배터리 산업의 환경적 영향을 줄이고 순환경제를 촉진하는 데 있음. 이를 통해 배터리 생산 과정에서 사용된 원자재의 출처를 추적하고, 윤리적이고 환경 친화적인 공급망을 구축할 수 있음
- 또한 배터리의 사용 효율성, 재활용 가능성, 탄소발자국 등 환경영향을 데이터화하여 관리함으로써, 기업과 소비자 모두가 지속가능한 선택을 할 수 있는 기반을 제공함
- DBP에는 배터리의 생산 과정, 사용 성능, 환경영향을 포함한 다양한 정보가 포함됨. 가령, 배터리에 사용된 원자재의 출처, 재활용 가능한 재료의 비율, CO₂ 배출량 데이터 등이 포함되며, QR 코드나 NFC 태그와 같은 디지털 방식으로 이들 정보에 접근할 수 있음. 이러한 디지털 플랫폼은 배터리의 투명한 관리뿐만 아니라 이해관계자 간의 정보 공유를 간소화하여 효율성을 높일 수 있음
- DBP는 산업용 배터리, 소비자용 전자기기 배터리, 전기차 배터리 등 다양한 분야에 적용됨. 이를 통해 소비자는 배터리의 품질과 지속가능성에 대한 정보를 쉽게 확인할 수 있으며, 기업은 윤리적 책임을 입증할 수 있음. 또한 DBP는 핵심광물의 추적성과 회수율을 높여 자원 안보를 강화하고, 배터리 산업 전반의 지속가능성을 높이는 데 기여함

📌 **[포장재 및 포장폐기물 규정(PPWR: Packaging and Packaging Waste Regulation)] EU는 포장재의 효율적인 관리와 재활용 강화를 위해 디지털화된 통합 접근 방식의 도입을 요구함²⁷**

- 데이터 분석을 통한 규제 준수 및 보고 체계 구축: 제조업체는 데이터 분석 시스템을 활용하여 포장재 사용 현황을 체계적으로 관리해야 함
 - 재활용 가능성과 재활용 함량 기준 준수 여부 실시간 모니터링
 - 환경영향 지표를 분석하고 보고하여 지속가능성의 투명성 확보
- 디지털 설계 도구를 활용한 혁신적인 포장재 개발: 재사용과 재활용이 용이하며, 자원의 불필요한 소비를 줄일 수 있는 설계가 필요함
 - 새로운 포장재와 디자인을 시뮬레이션 및 테스트하여 혁신적인 솔루션 개발
 - 친환경 설계(Ecodesign) 원칙을 적용하여 지속가능성 강화
- 공급망 최적화 및 자원 추적 시스템 구축: IoT 및 블록체인 기반 데이터 시스템을 활용해 공급망 전체를 실시간으로 모니터링함
 - 포장재의 원산지 및 재활용 과정 추적 가능
 - 원료 공급업체, 제조업체, 재활용업체 간의 협력 강화 및 자원 낭비 최소화
- 포장폐기물 관리 및 규제 준수 문서화 시스템 구축: 기술 문서 및 적합성 선언(Declarations of Conformity) 관리시스템을 도입함
 - 규제 변경 사항을 실시간으로 추적하고 관련 문서를 안전하게 저장 및 검색 가능하도록 구축
 - 규제 보고 및 감사 시 필요한 데이터 접근성 향상

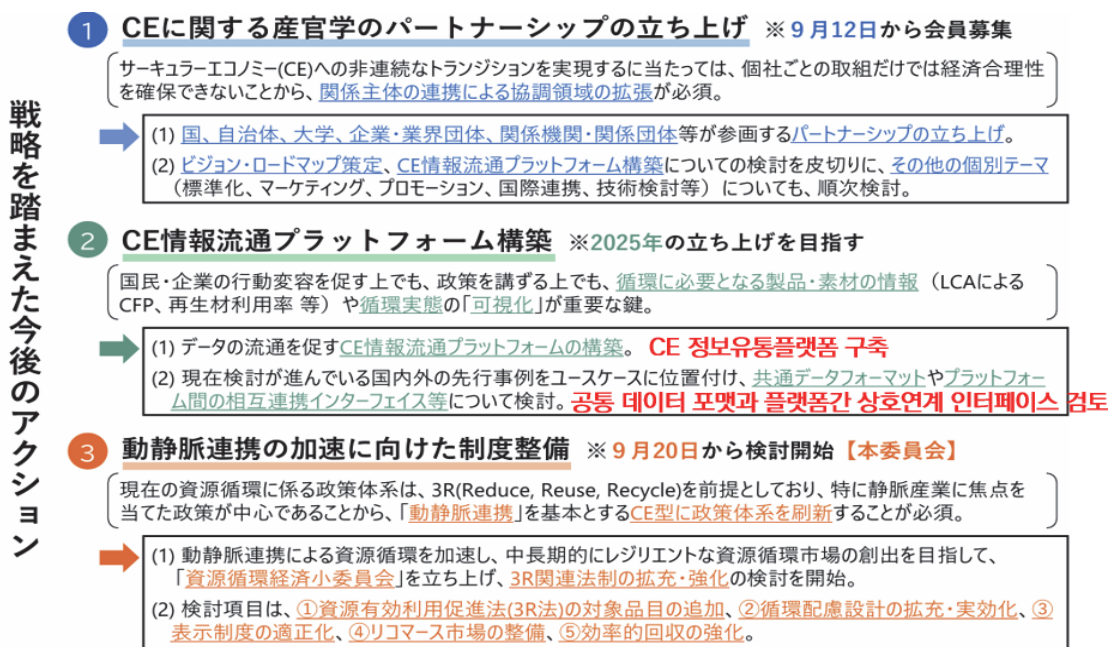
²⁷ Jensen, H.H.(2023.12.11), Digitizing Sustainability: Navigating the New Era of EU's Packaging and Packaging Waste Regulation, 검색일: 2024.12.19.

- 포장재 수거 및 역물류(reverse logistics) 시스템 최적화: 디지털 기술을 활용하여 포장폐기물 수거 절차를 효율화함
 - 소비자가 사용한 포장재를 쉽게 반납할 수 있도록 프로세스 간소화
 - 반환된 포장재의 재사용 및 재활용 경로를 실시간으로 추적
- 디지털 플랫폼을 활용한 소비자 참여 확대: 소비자들이 재사용 및 재활용 프로그램에 더욱 적극적으로 참여하도록 유도함
 - 소비자가 포장재를 반납하면 인센티브 제공
 - 소셜 미디어, 모바일 앱, 참여형 웹사이트를 활용한 재활용 캠페인 진행

02 • 일본

- 일본은 2025년 출범 목표로 순환경제(CE) 정보 유통 플랫폼을 구축하고 있음. 산학연 파트너십을 통해 비전 및 로드맵 수립, CE 정보 유통 플랫폼 구축을 시작으로 표준화, 마케팅, 홍보, 국제협력, 기술 검토 등 개별 주제에 대해 순차적으로 추진 중임
 - 순환에 필요한 제품 및 소재 정보(LCA를 활용한 탄소발자국, 재생원료 이용률 등)와 순환 실태의 '시각화'가 중요함
 - 데이터 유통을 촉진하기 위한 CE 정보 유통 플랫폼 구축
 - 현재 진행 중인 국내외 선도사례를 유스케이스(use case)로 설정하고, 공통 데이터 포맷 및 플랫폼 간 상호 연계 인터페이스 등을 검토

그림 7 일본 순환경제 정보 유통 플랫폼 구축



자료 経済産業省(2023), "資源循環経済政策の現状と課題について(자원 순환경제 정책의 현황과 과제)", p.34.

- 공급망의 투명성과 추적성을 제공하는 블록체인 플랫폼인 Circularise는 일본 순환경제 파트너십(J-CEP), AMITA 주식회사, 마루베니(Marubeni) 주식회사와 협력하여 플라스틱 오염 문제 해결을 위한 새로운 기준을 마련하는 시범 프로젝트를 성공적으로 완료함.²⁸ 또한 아사히 카세이(Asahi Kasei)는 IBM Japan과 협력하여 Blue Plastics라는 프로젝트를 통해 재활용 플라스틱을 추적하는 블록체인 기반 플랫폼을 개발함. 이 플랫폼은 소비자들이 QR 코드를 스캔해 재활용 과정에 대한 정보를 확인할 수 있게 하며, 순환경제를 구현하는 데 기여하고 있음

 - 디지털 제품 여권(DPP)을 활용하여 플라스틱 병뚜껑의 수거부터 고품질 재활용 제품으로 변환되는 전 과정을 추적하고 검증할 수 있게 됨
 - J-CEP의 'PET 병뚜껑 수거 및 재활용 프로젝트'는 2022년 10월에 시작되었으며, Circularise의 최첨단 추적 기술을 활용하여 폐기물을 가치 있는 소비자 제품으로 전환하는 것을 목표로 하고 있음
 - 본 시범 프로젝트를 통해 일본 고베시에서 수거한 플라스틱 병뚜껑을 추적하는 두 종류의 DPP가 생성됨. 해당 병뚜껑은 폴리에틸렌(PE)과 폴리프로필렌(PP)으로 분류된 후, 성공적으로 고품질 소비재로 재활용됨
- EU 집행위원회와 산업 협력을 위한 센터를 1987년 설립하여 세미나 및 회의를 통해 EU 배터리 규정과 관련하여 정보를 공유하고 의견을 개진해 옴. 이 센터를 통해 EU와 일본 간의 산업, 무역 및 투자 협력을 해 나가고 있음²⁹

 - 배터리에 사용하는 광물의 채취지역과 거래처 등의 정보를 공유하는 체제를 2026년까지 구축, 각각 전기차 배터리 정보를 관리하는 전자 플랫폼을 정비하여 이를 연동할 계획임. 이와 함께 순환경제 정보 유통 플랫폼을 비롯하여 도요타자동차, 닛산자동차, 혼다, 덴소 등 50여 개 기업이 참가하는 '우라노스 에코시스템'을 만들고 있음³⁰

그림 8 일본 우라노스 에코시스템



자료 經濟産業省, "Ouranos Ecosystem", 검색일: 2024.12.30.

그림 9 일본 배터리 산업전략 방향



자료 經濟産業省(2022) 발표자료, p.7.

²⁸ Circularise(2024.1.9), "Circularise's digital product passports prove successful in Japan's plastic recycling trials", 검색일: 2024.12.8.
²⁹ EU-Japan Centre for Industrial Cooperation(2024.1.31), "EU Regulation on Batteries for European and Japanese Business", 검색일: 2024.12.30.
³⁰ 뉴데일리(2024.4.23), "일본·EU, 전기차 배터리 재활용 협력 ... 中 의존도 낮춘다", 검색일: 2024.12.30.

- 우라노스 에코시스템은 일본 경제산업성(METI)이 주도하고 정보처리추진기구(IPA)의 아키텍처·디자인센터와 신에너지 산업기술종합개발기구(NEDO) 등이 참여하는 이니셔티브로, 산업 간 및 국가 간 데이터 공유 인프라를 구축하기 위한 프로젝트임. 이는 전 과정을 디지털화하는 공급망 데이터 협업 인프라를 포함함³¹
- 이를 통해 글로벌 공급망을 최적화하고 탄소중립 및 자원 효율성을 지원하고 있음. 이 시스템은 데이터 주권을 유지한 상태에서 안전하고 투명한 데이터 교환을 가능하게 하며, 다양한 이해관계자 간 협업을 촉진하여 새로운 비즈니스 기회를 창출하는 것을 목표로 하고 있음
- 일본은 독일과 함께 자동차 및 배터리 분야에서 먼저 개발에 착수한 '카테나X-우라노스 연합' 플랫폼을 타 제조업 분야로 확장할 계획임

● 일본은 「GX법(Green Transformation Act)」을 통해 친환경 및 탄소중립 사회로 전환하려는 노력을 강화하고 있음

- 「GX법」은 일본 기업들이 친환경 기술 및 솔루션을 도입하도록 유도하는 정책으로, 기업이 정보 공유 플랫폼을 활용하여 탄소 배출량 및 지속가능성 데이터를 관리하도록 지원함³²
- Circularise는 일본 자회사(Circularise K.K.)를 설립하여, 일본 기업들이 재료의 출처를 추적하고, 공급망 데이터를 투명하게 공유하도록 지원하고 있음. 또한 일본 기업들의 니즈에 맞춘 블록체인 기반 추적 가능성 솔루션을 제공하고 있음. 아사히 카세이(Asahi Kasei), 세키스이화학(Sekisui Chemical), 테이진(Tejin Limited) 등 주요 일본 기업들이 이에 투자 중임³³

03 · 중국

● 『14차 5개년 순환경제발전계획(“十四五”循环经济发展规划)』(2021년 7월 발표)에서는 산업의 지능형 전환과 디지털화의 결합을 강조하며, 산업 장비의 재제조(remanufacturing)를 촉진하고 재제조 제품의 거래 플랫폼 구축을 지원할 것을 권장하고 있음³⁴

- 이는 자원 순환형 산업체계와 폐기물 순환이용 구조의 구축을 통해 국가 자원 안보를 확보하고, 탄소피크 및 탄소중립 목표 실현을 뒷받침하는 데 목적이 있음
- 주요 품목의 자원 회수·활용 수준을 높이고, 산업 전반의 자원 효율성을 개선함으로써 자원의 안정적 공급 기반을 강화하고자 함
- 2025년까지 순환형 생산 방식의 전면 도입, 녹색 설계 및 청정 생산의 확산, 자원 이용 역량 강화를 통해 자원 순환형 산업 체계를 구축할 계획임. 또한 폐기물 회수율 정비와 재생자원 활용 강화, 자원 효율성 향상 및 원자재 대체 확대를 통해 순환경제가 자원 안보의 핵심 역할을 하도록 추진 중임
- 또한 기업들이 디지털 기술과 친환경 기술을 결합하여 전통 산업을 개선하도록 장려하고 있음

31 서울대학교 해동일본기술정보센터(2024.5.30), “우라노스 에코시스템”, 검색일: 2024.12.30, 이하 내용은 본 출처를 따름.

32 Circularise(2025), “Circularise Japan K.K.”, 검색일: 2025.3.1.

33 Circularise(2025), “Circularise Japan K.K.”, 검색일: 2025.3.1.

34 중국 국가발전개혁위원회(2021), 이하 내용은 본 출처를 따름.

표 3 중국 『14차 5개년 순환경제발전계획(“十四五”循环经济发展规划)』 내 주요 내용

구분	중점과제
주요 제품의 녹색 설계 도입	<ul style="list-style-type: none"> • 녹색 설계 정책 및 제도 개선 추진 • 환경 친화적인 원료(무독·저독성, 저휘발성 유기화합물 포함) 사용을 장려 • 해체·분류·회수가 용이한 제품 설계를 보급하여 재생원료의 사용 비율을 제고 • 포장재 및 포장 인쇄의 감량화(경량화)를 추진 • 주요 제품의 녹색 설계 평가 기술 규범을 신속하게 개선 • 산업 협회를 통해 제품 녹색 설계 가이드라인을 발표하고, 우수 사례를 확산
주요 산업의 청정 생산 강화	<ul style="list-style-type: none"> • 고에너지 소비·고오염 산업에 대해 청정 생산 심사를 도입 • 기타 산업에서도 자발적으로 청정 생산 심사를 진행하도록 유도 • 청정 생산 심사 절차를 더욱 표준화하고, 심사의 질을 향상 • 주요 산업별(석유화학, 철강, 시멘트, 비철금속, 도금, 인쇄·염색, 포장 인쇄 등) 청정 생산 개선 계획을 수립 • 청정 생산 기술 혁신, 기술 상용화 및 표준 체계 구축 가속화 • 차별화된 인센티브 및 벌칙 제도를 마련 • 산업 단지 및 특정 산업을 대상으로 한 청정 생산 심사 시범 사업을 추진
자원순환형 산업 체계 구축 및 자원 이용 효율 향상	<ul style="list-style-type: none"> • 기업 간 폐기물·에너지·수자원의 순환 이용을 촉진 • 산업단지 내 산업 간 시너지 창출을 유도하고, 공장 내 무해한 원자재 사용·청정 생산·폐기물 자원화·저탄소 에너지 이용·친환경 건축자재 사용을 확대 • 녹색 공장 구축을 장려하고, 산업단지의 순환경제 발전 모델을 정립 • 국가 생태산업 시범 단지 조성을 장려
자원 종합 이용 강화	<ul style="list-style-type: none"> • 저품위 광석, 동반 광물, 난채굴 광물 등의 종합 이용을 촉진하여 유가물의 효율적인 추출 및 활용을 추진 • 석탄 재, 석탄 갱석, 제철 슬래그, 산업 부산물 석고, 건설 폐기물 등 대량 고품 폐기물의 종합 이용 경로를 확대 • 생태 복원, 친환경 채굴, 녹색 건설 자재, 교통 공학 등 다양한 분야에서의 활용을 장려 • 적토(赤泥), 인산석고, 전해 망간 슬래그, 제강 슬래그 등 복잡한 산업 폐기물의 대규모 활용 기술 연구를 강화 • 광산 폐수를 광산 지역 및 인근 지역의 산업 및 생태용수로 활용하는 방안을 마련 • 준설 토사 및 준설 모래의 종합 이용을 강화
도시 폐기물의 통합 처리 촉진	<ul style="list-style-type: none"> • 관련 정책 및 표준 체계를 개선하여 도시 폐기물의 지속 가능하고 안정적인 처리를 보장 • 시장 기반 요금 부과 체계를 구축하여 도시 폐기물 처리 비용을 합리적으로 책정 • 시멘트 소성로 및 제련로를 활용하여 의료폐기물, 유해폐기물, 생활폐기물을 안전하게 처리하는 방안을 추진 • 생활폐기물 소각로를 활용한 의료폐기물 응급 처리 시스템을 구축 • 음식물 폐기물, 정원 폐기물, 하수 슬러지 등 저가 유기성 폐기물의 통합적·협력적 처리 방안을 마련

구분	중점과제
폐기물 회수 네트워크 개선	<ul style="list-style-type: none"> • 폐기물 회수 관련 시설을 국토 공간 종합계획에 포함시켜 부지 확보와 함께 관련 법령에 기반한 건설을 추진 • 생활폐기물 분리수거망과 폐기물 회수망을 '이중 네트워크 통합(两网融合)' 방식으로 조정하여 효율적인 운영을 도모 • 폐기물 회수 차량의 도심 및 주거지역 진입 제한을 완화하고, 합리적인 통행권을 보장하며 관리 체계를 마련 • '인터넷+회수' 모델을 적극 추진하여 온라인과 오프라인이 협력하는 회수 시스템을 구축 • 제도적 기반을 갖춘 회수 기업이 개별 운영자들을 통합하도록 지원함으로써 회수 서비스의 품질 표준화를 추진 • 주민들의 폐기물 배출 및 회수 편의성을 증대하고, 폐기물 회수 산업의 관리 수준을 향상 • 지역 특성에 맞춘 농촌 폐기물 회수 네트워크를 구축하고, 도시와 농촌에서 통합된 폐기물 회수 및 처리 체계를 조성 • 공급·판매 협동조합 시스템을 활용하여 폐기물 회수 사업 확대 지원
폐기물 순환 이용 체계 구축 및 자원 순환형 사회 건설	<ul style="list-style-type: none"> • 재생자원의 규모화 및 표준화를 추진하여 산업 집적화를 촉진하고, 현대적 '도시 광산(城市矿产)' 기지 조성 • 페플라스틱, 폐지, 폐타이어, 폐휴대폰, 폐배터리 등의再生资源 산업을 규범화하여 관리 수준을 높이고, 강소(强小) 기업 중심의 집적 발전을 촉진 • 폐가전제품, 폐자동차, 폐선박, 폐납축전지 등의 해체 및 이용 업체에 대한 표준 관리 및 환경 감시를 강화 • 불법 운영 기업에 대한 단속을 강화하여 공정한 시장 경쟁 환경을 조성 •再生资源 사용 촉진 제도를 조속히 구축하고,再生资源의 시장 활용 경로를 확대 • 전략적 광물 자원 공급을 위한再生资源의 역할을 강화
중고제품 시장의 규범적 발전	<ul style="list-style-type: none"> • 차량·가전·휴대폰 등 중고제품의 감정·평가·등급 분류 표준을 마련하여 유통 질서를 정비 • '인터넷+중고제품' 모델을 장려하고, 온라인 거래 플랫폼의 관리 책임을 강화하여 거래 규정을 준수하도록 함 • 중고제품 거래에 대한 표준화·규범화된 서비스 제공을 지원하고, 플랫폼 기업이 전문 중고제품 유통 업체와 협력하도록 유도 • 오프라인 중고 시장의 규범적인 조성 과 운영을 촉진 • 학교 내 헌책 공유 코너 및 공유의 날을 운영하여 학생 및 교직원의 헌책 교환을 촉진 • 지역사회에서 정기적으로 중고 거래 행사를 개최하여 주민 간 가정 내 유휴 자원의 거래 및 유통을 촉진
재제조 산업의 고품질 발전 촉진	<ul style="list-style-type: none"> • 자동차 부품, 건설기계, 공작기계, 사무기기 등의 재제조 수준을 향상 • 쉘드 머신(터널 굴착기), 항공 엔진, 산업용 로봇 등 신형 산업의 재제조를 촉진 • 비파괴 검사, 적층 제조(3D 프린팅), 유연 가공 등의 공통 핵심 기술을 적용하여 재제조 기술을 확산 • 전문적인 재제조 부품 회수 기업을 육성하고, 재제조 제품 거래 플랫폼을 구축 • 기업이 애프터서비스 시스템에서 재제조 제품을 적극 활용하도록 지원하고, 소비자에게 이를 사전 고지하도록 함 • 재제조 기술과 장비의 디지털 전환을 추진하여 대형 기계·전기 설비에 맞춤형 재제조 서비스를 제공 • 자유무역 시험구(自贸试验区)에서 항공기, CNC 공작기계, 통신 장비 등의 수리 및 재제조를 시범적으로 운영 • 재제조 제품의 평가 및 보급을 강화

구분	중점과제
농림 폐기물의 자원화 및 이용 강화	<ul style="list-style-type: none"> • 농작물 볏짚, 축산 폐기물, 임업 폐기물, 농산물 가공 부산물 등의 고효율 자원화를 추진 • 농업 우선 활용 원칙을 견지하고, 토양 비옥도 개선을 위해 볏짚을 토양에 환원하는 정책을 강화 • 볏짚의 산업적 활용을 촉진하여 신소재·신제품 개발을 확대하고, 사료·연료·원료로 부가가치 증대 • 축산 폐기물 처리 시설을 확충하고, 농업과 축산의 연계를 강화하여 유기 비료를 농경지에 재활용하도록 유도 • 임업 부산물을 활용한 합판 제조, 식용버섯 재배, 에너지화 기술을 촉진 • 농산물 가공 부산물의 자원화를 확대
농업 순환경제 발전 심화 및 순환형 농업 생산 방식 구축	<p>폐농자재 회수 및 이용 강화</p> <ul style="list-style-type: none"> • 대형 농가, 협동조합, 가족농장, 농자재 기업, 폐자재 회수 기업 등이 회수 체계에 적극 참여하도록 유도 • 농촌 지역의 집중적인 회수 시설 건설을 지원 • 비닐하우스 필름, 비료 및 농약 포장재, 관개 장비, 농기계 등 폐농자재의 회수 체계를 개선 • 지역별 폐농자재 집중 처리 시설을 구축하여 대규모 자원화 이용 수준을 제고 <p>순환형 농업 발전 모델 추진</p> <ul style="list-style-type: none"> • 농업과 축산업의 연계, 양식업과 농업의 통합 발전을 추진 • 축산, 어업, 곡물, 채소, 과일, 차(茶) 등 다원적 순환 발전 모델을 보급 • 생태농장 및 생태순환 농업 산업 클러스터를 구축하고, 지속가능한 경영 모델을 탐색 • 농촌 지역의 바이오매스 에너지 개발을 추진하여 청정 에너지 공급 및 환경 개선 효과를 증대 • 임업 순환경제 산업 체인을 구축하고, 임업 기반의 다층적 개발을 촉진 • 농업, 축산업, 농산물 가공, 바이오매스 에너지, 관광·건강 산업의 연계 발전을 장려

자료 중국 국가발전개혁위원회(2021), pp.5-9를 바탕으로 저자 재작성.

④ 또한 디지털 기술이 에너지 시스템과 산업을 보다 효율적이고 통합적으로 만들 수 있음을 일찍이 인식하고, 이를 관련 정책에 반영하고 있음³⁵

- 데이터 기반 거버넌스를 통한 자원 효율성 향상을 이미 2006년 국가 정보화 발전 전략(National Informatisation Development Strategy)에서 주요 목표로 설정하였음

④ 디지털화 전략 개요(Outline of the National Digitalization Strategy)는 디지털화와 녹색 전환을 통합적으로 다루고 있으며, 다음과 같은 두 가지 주요 과제를 포함함

- 자원 데이터 등록 시스템 구축(관리 측면)
- 정보 공개를 통한 거버넌스 개선(예: 오염 규제 및 순환경제 촉진)

④ 중국의 '신에너지 자동차 국가 모니터링 및 동력 배터리 회수 이용 추적 종합 관리 플랫폼(EVMAM-TBRAT) - 차량 관리 모듈'(이하 '차량 관리 모듈')³⁶은 정책 요구사항 및 국가 표준 코딩을 기반으로 배터리 목록을 정리하고, 표준화된 동력 배터리 제품 코드 체계, 추적 정보 시스템 및 관련 정보 공유 메커니즘을 구축하는 것을 목표로 함³⁷

- 중국의 EVMAM-TBRAT 플랫폼은 전기차 배터리의 전 주기 정보를 추적·관리하기 위해 구축된 국가 주도의 통합 시스템임³⁸

35 Digital Power China(2024), p.186. 이하 내용은 본 출처를 따름.

36 신에너지 자동차 국가 모니터링 및 동력 배터리 회수 이용 추적 종합 관리 플랫폼의 공식 웹사이트 주소: www.evmam-tbrat.com.

37 국가 동력 배터리 추적 관리 센터(2024), p.2, pp.6-9. 이하 내용은 본 출처를 따름.

38 Battery Recycling Management Module, "On-Board Management Module For New Energy Vehicles", 검색일: 2024.12.30.

- 본 시스템은 2018년부터 운영되고 있으며, 배터리 전 주기(생산, 판매, 수리, 회수, 폐기, 배터리 교환)를 관리하고 추적하여 배터리 정보의 체계적인 관리를 도모함. 이를 통해 배터리의 출처를 확인하고, 이동 경로를 추적하는 동시에 각 단계에서 제어가 가능하도록 보장함
- 자동차 제조업체가 차량 관리 모듈에 로그인하여 동력 배터리 추적 정보를 보고하려면, 우선 차량 관리 모듈 (console.evmam-tbrat.com)에 계정을 등록해야 함. 계정 등록이 완료되면, 등록된 계정과 비밀번호를 사용하여 차량 관리 모듈에 로그인한 후 정보를 보고할 수 있음
- 자동차 제조업체(주요 완성차 기업)의 배터리 추적 정보는 7가지 주요 단계로 구성: 차량 정보/ 회수 네트워크 지점 정보/ 배터리 제조사의 폐기 정보/ 차량 배터리 교환 정보/ 차종별 배터리 규격 정보/ 시험 차량 폐기 정보/ 공급업체 관리
- 자동차 제조업체는 배터리 제조업체로부터 동력 배터리 코드 정보를 수집한 후, 차량의 VIN(Vehicle Identification Number)과 배터리 목록을 연결해야 함. 이후 연결된 차량 생산 정보를 차량 관리 모듈에 업로드해야 함
- 차량 관리 모듈에서 차량 생산 정보를 연계하는 방식은 두 가지에 해당: API 인터페이스 연계/Excel 템플릿을 이용한 대량 업로드
 - API 인터페이스 연계: 완성차 업체 시스템과 차량 관리 모듈을 연계하여 API 인터페이스를 통해 차량의 VIN, 모델, 차량명 등 차량 생산 정보를 업로드할 수 있음. 연계된 데이터는 '차량 생산 정보' 페이지에서 확인이 가능함
 - Excel 템플릿을 이용한 대량 업로드: 기업은 차량에 포함된 배터리 정보를 기반으로 적절한 템플릿을 다운로드한 후 데이터를 입력해야 함
- 'GB/T 34014-2017 전기차용 동력 배터리 코드 및 규정'은 중국 국가 표준으로, 전기차용 동력 배터리의 추적성을 위한 코딩 규정을 명시하고 있음. 이 표준은 배터리 제조사 및 관련 기업이 배터리의 생산, 사용, 재활용 전 과정에서 일관된 코드를 사용하여 관리하도록 규정하고 있음³⁹

04 • 미국

- **캘리포니아 대기자원위원회(CARB)가 채택한 'Advanced Clean Cars II(ACC II)' 규정은 2026년부터 2035년까지 단계적으로 경형 및 중형 차량의 배출가스를 감소시키기 위한 포괄적인 프로그램임. ACC II 규정은 차량 제조업체가 배터리 구성 정보 및 폐기 지침을 디지털 식별자를 통해 공유하도록 의무화하고 있음⁴⁰**
 - 이를 통해 배터리의 재사용, 재활용 및 안전한 처리를 촉진하고, 순환경제를 강화하여 환경영향을 최소화하고자 함
 - 디지털 식별자는 배터리의 구성 요소, 원산지, 제조일자, 사용 이력 등의 정보를 포함하여 배터리의 전 주기에 대한 투명성을 제공함
 - 이 조치는 ACC II 규정의 '배터리 라벨링' 항목에 따라 시행되며, 전기차의 사이드도어 등 소비자가 쉽게 확인할 수 있는 위치에 라벨을 부착해야 함. 이를 통해 소비자들은 배터리의 구성 정보와 폐기 지침을 쉽게 확인할 수 있음⁴¹

³⁹ Chinesestandard(2017), "GB/T 34014-2017", 검색일: 2024.12.30.

⁴⁰ California Air Resources Board, "Advanced Clean Cars II", 검색일: 2024.12.30.

⁴¹ Kita(2024.8.8), "한국선 전기차 배터리 제조사 '깜깜이'...해오는 공개 의무화 추진", 검색일: 2024.12.30.

● 미국 국립재생에너지연구소(NREL)의 NAATBatt 리튬이온배터리 공급망 데이터베이스는 북미 전역에서 리튬이온배터리 공급망에 관여하는 기업들을 포함하고 있으며, 채굴, 원자재 생산부터 배터리 제조, 재활용, 관련 서비스에 이르기까지 다양한 단계를 다룸

- 이 데이터베이스는 북미의 리튬이온배터리 산업공급망 내의 격차와 기회를 식별하고, 협업을 촉진할 수 있도록 돕는 것을 목표로 함. 각국별로 공급망 관리와 추적, 환경정보의 투명한 정보 등의 목적으로 관련 정보를 디지털화해 나가고 있음
- 이는 온라인 버전과 엑셀 파일 형태로 제공되며, 상호작용형 지도와 표를 통해 기업을 검색하거나 위치, 공급망 구성요소, 제품 유형, 상태 등의 필터를 적용하여 원하는 정보를 찾을 수 있음. 이러한 기능을 통해 북미 지역의 리튬이온배터리 공급망에 참여하는 기업들의 상세한 정보를 확인할 수 있음

그림 10 미국 NREL NAATBatt 리튬이온배터리 공급망 데이터베이스

Online NAATBatt Lithium-Ion Battery Supply Chain Database

SEARCH BY KEY WORD:

Example: coa, nic, cat, Asc

Enter first few letters



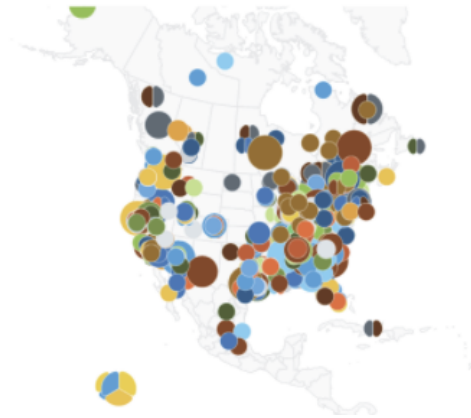
CLEAR SEARCH

FILTER BY:

No filter

To use the online database, search by a keyword or company name, or select a filter by location or supply chain segment, subsegments, or product. Based on the search or filtering, facility locations will appear on the map along with a list of companies and facilities in the table.

Last updated on Feb. 17, 2025. Please contact LIB.SupplyChain@nrel.gov with any questions or comments. To add or update company information, [complete this questionnaire](#).



자료 NREL(2025.2.17), "NAATBatt Lithium-Ion Battery Supply Chain Database", 검색일: 2025.2.20.

● 디지털 추적 시스템, 법적 강제성, 공급망 투명성, 데이터 인프라 구축 측면에서 각 국가별 특성을 비교하면 다음과 같음

- (EU) 체계적이고 엄격한 규제에 기반한 순환경제 디지털화를 추진하고 있으며, 산업 전반에 걸쳐 데이터 기반의 순환 모델을 내재화해 나가고 있음
- (일본) 기업 중심의 자율적 생태계 구축이 핵심임. 정부는 플랫폼 구축, 표준화, 국제협력 등 조정자로서 역할을 수행하며, 기업 간 데이터 연계를 통한 실증사업이 활발히 이루어지고 있음
- (중국) 디지털화와 녹색 전환을 결합하여 추진하고 있음. 배터리 산업 등 주요 분야에 전 주기 추적 시스템을 구축함으로써 국가 자원안보 및 탄소중립 목표 달성을 병행하고자 함
- (미국) 주정부(캘리포니아) 규제와 연방기관의 디지털 인프라 구축을 병행하는 구조임. ACC II는 배터리 정보 공개를 의무화하고, NREL은 공급망 데이터를 체계화하여 민간의 활용을 장려하고 있음

표 4 국가별 디지털 기반 순환경제 추진동향 비교

구분	EU	일본	중국	미국 (캘리포니아주 및 연방기관을 중심으로)
정책 기조	<ul style="list-style-type: none"> 규제 기반, 법적 의무화 중심 	<ul style="list-style-type: none"> 산업계 자율, 민관 협력 모델 	<ul style="list-style-type: none"> 중앙정부 계획 중심, 지시·권장형 정책 	<ul style="list-style-type: none"> 주정부 선도(캘리포니아), 규제와 데이터 인프라 병행
주요 제도	<ul style="list-style-type: none"> ESPR, DPP, DBP, PPWR 등 	<ul style="list-style-type: none"> CE 정보 유통 플랫폼, 우라노스 에코시스템 	<ul style="list-style-type: none"> 14차 5개년 순환경제 계획, 배터리 추적 플랫폼 	<ul style="list-style-type: none"> ACC II 규정, NREL NAATBatt 공급망 DB
디지털 기술 활용	<ul style="list-style-type: none"> DPP/DBP (QR, NFC), 블록체인, AI, 클라우드 	<ul style="list-style-type: none"> 블록체인 기반 추적, 플랫폼 간 연계, 시범사업 중심 	<ul style="list-style-type: none"> 배터리 코드 표준(GB/T), 플랫폼 기반 전 주기 추적 	<ul style="list-style-type: none"> 디지털 식별자, 상호작용형 공급망 DB, 배터리 라벨링 시스템
이행 강제성	<ul style="list-style-type: none"> 의무화(법적) 제품군별 단계적 적용 	<ul style="list-style-type: none"> 자율성 기반 민간 참여 중심 확대 	<ul style="list-style-type: none"> 정부 계획 및 표준화 연계 	<ul style="list-style-type: none"> 주별 의무화 조치+연방 인프라 구축 (ACC II 등)
배터리 추적	<ul style="list-style-type: none"> DBP(2027년 시행) 	<ul style="list-style-type: none"> 일부 시범사업에서 DPP 기반 추적 적용 	<ul style="list-style-type: none"> 배터리 관리 플랫폼 구축(생산~재활용 전 과정 추적) 	<ul style="list-style-type: none"> ACC II: 배터리 라벨링 의무화 디지털 식별자 포함
공급망 정보 관리	<ul style="list-style-type: none"> 제품 전 주기 정보 관리 (환경성, 순환성 등) 	<ul style="list-style-type: none"> 기반 수거~재활용 추적 실증 	<ul style="list-style-type: none"> 배터리 정보 등록·코딩 시스템 구축 	<ul style="list-style-type: none"> 공급망 격차 분석 및 협업 유도
대표 기술 및 플랫폼	<ul style="list-style-type: none"> Battery Pass, GS1 DPP 표준, ESPR 위임법 	<ul style="list-style-type: none"> Circularise, PET 병뚜껑 프로젝트, 우라노스 플랫폼 	<ul style="list-style-type: none"> evmam-tbrat 플랫폼, 국가 배터리 코드 표준 (GB/T 34014-2017) 	<ul style="list-style-type: none"> NAATBatt DB, ACC II 배터리 정보 라벨링

자료 저자 작성.

III

디지털(DPP) 기반 순환경제 관련 주요 고려사항: 배터리 분야를 중심으로

01 • 산업계에 미치는 영향과 관련한 연구 사례

- 본고에서는 EU 디지털 제품 여권(DPP)을 포함하여, 국내에서도 전주기 이력관리 시스템을 구축하는 등 디지털 기반 순환 경제가 가장 먼저 적용되고 있는 핵심 품목인 배터리 산업을 중심으로 중점적으로 분석하고자 함
- (Battery Pass) EU 배터리 여권 구현을 촉진하기 위해 산업, 과학, 기술 분야의 11개 파트너로 구성된 컨소시엄으로, 배터리 여권의 콘텐츠 요구사항, 기술 표준, 소프트웨어 구현, 영향 평가 등을 연구하고 있음
 - [배터리 여권 콘텐츠 가이드(Content Guidance)] EU 배터리 규정에 따른 배터리 여권의 콘텐츠 요구사항을 상세히 설명하여 이행 주체와 배터리 가치사슬 참여자들이 준비할 수 있도록 지원함. 배터리의 환경발자국, 사회적 책임, 수리 가능성, 재활용 가능성 등 지속가능성 지표에 대한 정보를 제공함⁴²
 - [기술 가이드 및 소프트웨어 데모(Technical Guidance and Software Demonstrator)] 배터리 여권의 기술적 구현을 위한 프레임워크와 권장사항을 제공하고, 이를 검증하기 위한 소프트웨어 데모를 개발함. 배터리 여권 시스템의 상호 운용성 및 보안을 보장하는 시스템 아키텍처를 제시함. 또한 EU 배터리 규정의 요구사항을 충족하기 위한 기술적 접근법을 제안함⁴³
 - [배터리 여권의 가치 평가(Value Assessment)] 배터리 여권이 경제적, 환경적, 사회적 측면에서 가치사슬에 미치는 영향을 정성적·정량적으로 분석함. 배터리 여권의 도입으로 인한 비용 절감 및 효율성 향상 효과 평가, 탄소발자국 감소 및 자원 효율성 향상 등 환경적 이점을 분석하며, 사회적 책임 강화 및 공급망 투명성 향상에 미치는 영향을 평가함⁴⁴
 - 배터리 여권을 통해 불법 수출 및 처리 과정을 식별하고 이를 줄여나감으로써, 공급 안전성 향상, 재활용 수익 증가, 온실가스 배출량 감소와 같은 이점을 가져올 수 있음을 명시하고 있음
 - 즉, 배터리 여권을 통해 배터리의 누출이 줄어들면 2045년까지 유럽 전기차(EV) 수요의 약 5~20%를 충족시킬 수 있는 재생원료를 더 많이 확보할 수 있을 것으로 전망함. 또한 원자재 추출과 관련된 탄소 배출을 약 210% 줄일 수 있을 것으로 예측하고 있음
 - 배터리 여권은 (전방산업 측면) 공급망의 투명성을 강화하여 최적화를 돕고 환경적·사회적 책임을 촉진할 수 있으며, (후방산업 측면) 전 과정의 생산성을 향상시키는 동시에 경제적, 환경적, 사회적으로 중요한 영향을 미칠 것으로 평가함

⁴² Battery Pass(2023).

⁴³ Battery Pass(2024a).

⁴⁴ Battery Pass(2024b), pp.105-107, pp.199-200, 이하 내용은 본 출처를 따름.

표 5 Battery Pass의 배터리 여권이 전방산업 및 후방산업에 미치는 영향 분석

구분	영향 클러스터(Impact clusters)	배터리 여권의 영향	
전방산업 (Upstream)	경제 (Economy)	<ul style="list-style-type: none"> - 매출 및 투자 증가 - 비용 최적화 - 공정한 경쟁 환경 조성 	<ul style="list-style-type: none"> • ESG 프로파일링은 기업의 차별화된 이미지를 구축하는 데 기여하며, 이를 통해 브랜드 평판을 높이고 신뢰성을 강화할 수 있음 • 데이터 보고 및 교환 시스템을 통해 보고 비용을 절감할 수 있으며, 데이터 생태계 및 전방산업의 공급망 추적 시스템을 통해 공급업체 참여를 최적화하고 데이터 품질과 무결성을 향상시킬 수 있음 • 모든 시장 참여자가 동일한 규제적, 사회적, 환경적 요구사항에 대한 투명성을 확보함으로써, 공정하고 형평성 있는 비즈니스 환경을 조성함
	환경 (Environment)	<ul style="list-style-type: none"> - 지속가능성 촉진 - 지속가능한 공급망 구현 	<ul style="list-style-type: none"> • 탄소발자국, 재생원료 함량 등 주요 지표의 투명성이 높아지면서, 기업들이 지속가능한 경영을 실천하도록 유도함 • 기업별 ESG 정보가 디지털 및 상호 운용 가능한 방식으로 제공되면서, 업계 벤치마킹과 시장 전반에 대한 보다 정교한 분석이 가능해지고 있음 • 이는 기업이 환경 기준을 기반으로 적합한 공급업체를 선택하거나 협업을 유도하는 데 실질적인 의사결정 도구로 활용됨
	사회 (Society)	<ul style="list-style-type: none"> - 사회적 리스크 완화 	<ul style="list-style-type: none"> • 추적 시스템(예: 공급망 인증 시스템) 및 실사 보고서의 투명성 향상을 통해 공급망 내 인권 침해 등의 사회적 리스크를 완화하도록 유도함
	경제 (Economy)	<ul style="list-style-type: none"> - 비용 절감 - 매출 증가 	<ul style="list-style-type: none"> • 배터리 성능 및 구성에 대한 정보를 통해 다양한 비용(유지보수/ 가치 평가/ 시장 거래/ 보관 및 운송/ 샘플링, 해체, 원자재 투입 등)을 절감할 수 있음 • 정확한 가치 평가를 통해 중고 배터리의 재판매 매출이 증가하고 있음 • 재활용량이 늘어나고 처리 효율이 개선되면서, 지역 내 원료 공급이 원활해지고 재활용업체의 수익성도 향상됨
	경제 (Economy)	<ul style="list-style-type: none"> - 공급망 보안 	<ul style="list-style-type: none"> • 재생원료 확보로 인해 핵심 원자재 공급망 리스크가 감소함
	후방산업 (Down stream)	환경 (Environment)	<ul style="list-style-type: none"> - 순환경제 활성화 및 온실가스 배출 감소 - 직접적인 오염 발생 감소
사회 (Society)		<ul style="list-style-type: none"> - 고용 증가 - 건강 및 안전 개선 	<ul style="list-style-type: none"> • 운송 과정에서의 환경사고 발생이 감소함 • 불법 폐기물 수출 감소로 인해 잠재적인 오염 위험도 감소함 • 순환 비즈니스 모델은 제품 사용 종료 이후에도 새로운 일자리를 창출하는 데 기여함 • 재활용 활동이 증가하고, 분산형 수리업체가 확대됨 • 운송 과정에서의 위험이 감소함 • 불법적이고 위험한 폐기 방식이 줄어들고 있음

- 하지만 앞으로 배터리 여권 시스템을 성공적으로 구현하기 위해서는 경제 운영자들이 배터리의 생산, 사용, 재활용과 관련된 데이터를 수집하고 이를 관리하는 역할을 담당해야 함. 이 과정에는 데이터 추적, 관리, 공유 등 복잡한 작업이 포함되며, 이러한 작업을 원활히 수행하기 위한 적절한 시스템과 인프라가 필요함
- 구현 작업의 난이도는 배터리의 유형, 조직의 규모, 그리고 해당 기업이 수행해야 할 작업의 복잡도에 따라 달라짐. 특히 산업용 배터리와 경량운송수단(LMT) 배터리 간의 요구사항은 상이할 수 있으며, 각 배터리 유형에 맞는 데이터 관리 시스템이 필요함
- 특히, 중소기업의 경우 이러한 요구사항을 충족하기 위해 더 많은 시간과 지원이 필요할 수 있음. 기술적 역량이 부족한 중소기업들은 대기업에 비해 상대적으로 더 많은 어려움을 겪을 가능성이 높음
- 산업 간 표준화가 부족하고 기술적 요구사항이 복잡하기 때문에 DPP는 기업들에게 큰 도전 과제가 되고 있으며, 행정 비용과 규정 미준수의 리스크를 증가시킬 수 있음. 이를 해결하기 위해서는 명확한 지침과 표준화된 기술 프레임워크가 필요함
- 이에, 독일 표준화 연구소(DIN)와 독일 전기·전자·정보기술 위원회(DKE)는 독일 표준(DIN DKE SPEC 99100, '배터리 여권의 데이터 속성에 대한 요구사항')을 발표함. 이는 기업이 배터리 여권을 구현하는 데 도움이 되는 실질적인 지침을 제공함. 또한 EU 배터리 규정의 요구사항과 자발적 추가 요소에 따라 디지털 배터리 여권에 포함되어야 할 데이터 속성을 규정하고 있음. 여기에는 △배터리 및 제조업체에 대한 기본 정보, △배터리 재료 및 구성·성능 및 내구성, △원자재 추출의 작업 조건, △배터리 탄소발자국 등이 포함됨

● (GBA) Global Business Alliance는 2023년 1월 스위스 다보스에서 열린 세계경제포럼(WEF) 연차총회에서 세계 최초로 배터리 여권의 개념을 발표함. 이후 2023년 성공적인 출시를 기반으로 7개 디지털 솔루션 제공업체와 협력하여 리튬, 흑연, 알루미늄, 코발트, 구리, 인산철, 니켈 등 7가지 주요 원자재의 출처와 흐름을 파악함. 또한 기존 규정 및 자발적 표준을 바탕으로 다중 이해관계자 프로세스를 통해 온실가스 배출, 생물 다양성, 순환설계 등 7가지 규정집을 개발함. 2024년부터 2027년까지 GBA 배터리 여권의 단계별 로드맵은 다음과 같음⁴⁵

- (2024년) △GBA 디지털 배터리 여권(DBP)의 비전 업데이트 및 발표: 견고한 지표 프레임워크, 신뢰할 수 있는 ESG 점수, 신뢰성 있는 데이터 보증을 3대 기반으로 구축, △배터리 여권 내용: 새로운 규칙서 시범 운영(2차 시범 사업), ESG 점수 프레임워크 개발, 지표 프레임워크 범위 확정, 지표 프레임워크·ESG 점수·데이터 보증 지침 발표(EU 배터리 규정의 실사 요구사항 준수 도구로 활용 가능), △배터리 여권 시스템 및 출시: 2차 시범 사업 발표 및 최소 실행 제품(MVP) 도입, 데이터 보증 지침 초안 발표, GBA 플랫폼 개발 착수, △배터리 여권 이해관계자: 이해관계자 참여 전략 수립 및 주요 표준 제정 기관과의 협력 강화
- (2025년) △GBA DBP의 영향 평가 프레임워크 마련: 전략적 목표에 따른 DBP 영향 측정, △지표 프레임워크·ESG 점수·데이터 보증 지침 최종 발표: 배터리 가치사슬의 다른 주요 관할권 규제 요건 포함, △배터리 여권 시스템 및 출시: 배터리 여권 구현 전략 개발 및 출시, 제품 수준의 ESG 점수 제공 가능, △배터리 여권 이해관계자: 전략적 파트너와의 협력 가속화

⁴⁵ GBA(2024), pp.25-27.

- (2026년) △2030년 이후 로드맵 수립: GBA의 DBP는 배터리 지속가능성 기준을 조화시키기 위한 주요 글로벌 도구로 활용, △정기적으로 업데이트 모델 마련: 문제의 구조적 원인 파악 및 모범 사례 통합, 배터리 여권 시스템 개발 및 출시, △GBA 플랫폼과 연동된 여권: 배터리 지속가능성 성과에 대한 통찰 제공, △배터리 여권 이해관계자: 금융 커뮤니티의 적극적 참여 유도
- (2027년) △DBP의 독창적 가치 제안: 신뢰성 있는 정보 제공, 공급망 내 책임성 강화, 국가 간 비교 가능성 확보 및 지속적인 개선, △배터리 여권 내용: 기존 표준을 기반으로 한 최적의 방식 적용, △배터리 여권 시스템 및 출시, △DBP 생태계 확장: 데이터 솔루션 제공업체 포함, △배터리 여권 이해관계자: GBA가 주요 이해관계자 그룹과 DBP 활용을 중심으로 적극적 논의 주도
- (영향 평가) 2024년 시범 운영을 통해 기업들이 보고해야 할 내용과 방식에 대한 명확한 기준이 필요하다는 점이 확인됨. 현재의 보고 방식은 기업들에게 상당한 부담이 되고 있으며, 이에 따라 △보고 방식 간소화 및 실사 접근 방식 개선, △디지털 배터리 여권 시스템의 자동화 및 효율성 강화, △데이터 검증 및 공개 기준 마련을 통한 신뢰성 확보, △중소기업이 쉽게 참여할 수 있는 환경 조성 측면에서 개선 방향이 도출됨

표 6 2024년 GBA의 배터리 여권의 시범운영 결과로 도출된 개선사항

구분	개선사항	
보고 방식 간소화 및 실사 접근 방식 개선	- 성과 목표의 단순화	• 세부적인 성과 기대치를 보다 상위 수준의 목표로 체계화하여, 기업들이 보다 쉽게 이해하고 적용할 수 있도록 해야 함
	- 리스크 기반 접근 방식 강화	• 공급망 실사 과정에서 리스크가 높은 요소를 우선적으로 점검하는 방식을 정착시킬 필요가 있음
	- 기존 지속가능성 인증 활용	• 기업들이 이미 보유한 지속가능성 인증을 적극 활용함으로써, 불필요한 중복 보고를 방지하고 효율성을 높여야 함
	- 온실가스 보고 기준 재검토	• 현재 사용되고 있는 두 가지 온실가스 보고 방식(물리적 모델링 접근법과 조화된 시장 접근법)에 대한 검토가 필요하며, 보고 기준을 보다 합리적으로 개선해야 함
디지털 배터리 여권 시스템의 자동화 및 효율성 강화	- 데이터 교환 시스템 자동화	• 기업들이 데이터를 보다 신속하고 정확하게 공유할 수 있도록 자동화된 데이터 교환 시스템을 구축해야 함
	- 데이터 보안 및 익명성 보장	• 공급망 데이터를 체계적으로 관리하고 상호운용성을 극대화할 수 있도록 배터리 여권을 개선해야 함
	- 디지털 배터리 여권 개선	• 민감한 기업 정보 보호를 위해 신뢰할 수 있는 데이터 관리 시스템을 마련하여, 기업들이 안심하고 데이터를 공유할 수 있도록 해야 함
데이터 검증 및 공개 기준 마련을 통한 신뢰성 확보	- 데이터 공개 가이드라인 개발	• 어떤 데이터를 어떻게 공개할 것인지에 대한 명확한 지침을 마련하여 기업들의 혼선을 방지해야 함
	- 지속가능성 데이터 검증 시스템 구축	• 보고된 데이터의 정확성을 보증할 수 있는 프레임워크를 개발하여 신뢰성을 확보해야 함
	- 기업과 이해관계자 간 조율	• 기업들이 배터리 여권 참여를 통해 얻을 수 있는 이점과 도전 과제를 명확히 이해할 수 있도록 지원해야 함
중소기업이 쉽게 참여할 수 있는 환경 조성	- 중소기업 맞춤형 보고 및 평가 기준 개발	• 중소기업의 역량을 고려한 맞춤형 보고 및 평가 프레임워크를 마련하여 부담을 줄이고 실효성을 높여야 함
	- 배터리 여권 접근성 개선	• 배터리 여권이 중소기업 및 소규모 사업자에게 시장 진입 장벽이 되지 않도록, 참여를 유도할 수 있는 지원 방안을 마련해야 함

자료 GBA(2024), p.25를 바탕으로 저자 재작성.

- (SITRA) 핀란드의 혁신 기금 기관인 시트라(SITRA)는 배터리 여권과 관련하여 다양한 연구와 프로젝트를 진행하고 있음. 이러한 노력은 배터리 산업의 지속가능성과 투명성을 높이고, 순환경제를 촉진하는 데 중점을 두고 있음. 시트라는 배터리 여권을 통해 배터리의 전 주기 동안의 데이터를 추적하고 관리함으로써 자원 효율성을 높이고 폐기물을 줄이는 순환경제 모델을 지원하고 있음⁴⁶
 - 디지털 제품 여권(Digital Product Passport) 개발: 배터리 여권은 디지털 제품 여권의 일환으로, 제품의 생산, 사용, 재활용에 관한 정보를 디지털화하여 공급망의 투명성을 강화하고 있음
 - 국제협력 및 표준화: 시트라는 국제 협력을 통해 배터리 여권의 표준화를 추진하고 있으며, 이를 통해 글로벌 배터리 산업의 지속가능성을 높이고자 함
 - SITRA 시범 운영 결과, 제품의 전 주기에 대한 포괄적인 데이터를 확보하는 것이 어렵다는 점이 확인됨. 이는 기업 및 산업 간 데이터 공유가 원활하지 않기 때문이며, 현재 많은 조직들이 데이터를 체계적으로 공유할 수 있는 소프트웨어나 API 기능을 보유하고 있지 않음⁴⁷
 - 수작업으로 데이터를 공유하는 방식은 높은 비용을 초래할 수 있으며, 이로 인해 데이터 제공의 이점보다 부담이 더 커질 수 있음. 또한 제품 데이터를 신뢰성 있게 제공할 주체와 가치사슬 내 데이터 소유권을 명확히 할 필요가 있으며, 이를 위해서는 중립적인 데이터 공유 모델과 중개 서비스의 도입이 요구됨
 - DPP를 효과적으로 구현하기 위해서는 어떤 데이터가 누구에게 중요한지를 명확히 정의할 필요가 있음. 또한 DPP를 통해 제공되는 데이터는 사람이 이해하기 쉬우면서도 기계적으로도 판독 가능한 표준화된 구조를 갖춰야 함

- (CIRPASS) EU의 DPP 도입을 준비하기 위해 설립된 협력 프로젝트임. CIRPASS 프로젝트는 전자제품, 배터리, 섬유 산업을 중심으로 DPP의 프로토타입 개발과 로드맵 수립을 목표로 하였으며, 2024년 3월 종료됨.⁴⁸ 이후 CIRPASS-2 프로젝트가 2024년 5월 시작되어 2027년 4월까지 진행될 예정이며, 이전 프로젝트의 성과를 바탕으로 DPP의 실제 적용과 확산을 목표로 하고 있음⁴⁹
 - 여기에는 △DPP의 정의 및 설명, △제품 데이터 모델 개발, △제품 식별 요구사항의 명확화, △데이터 교환 프로토콜 제안, △순환경제를 위한 핵심 데이터 합의, △파일럿 및 배포를 위한 로드맵 개발 등이 포함됨. 이를 통해 CIRPASS는 DPP의 효과적인 도입과 운영을 위한 기반을 마련하고 있음
 - CIRPASS 프로젝트 적용 결과, 배터리 여권을 활용할 경우 배터리 재활용 공정에서 기대할 수 있는 잠재적 개선 효과는 다음과 같음. 특히 이러한 개선은 주로 전처리(pre-treatment) 단계에서 정보가 원활하게 제공될 때 가능하다는 점이 강조됨

46 SITRA(2024).

47 SITRA(2024), pp.29-32.

48 CIRPASS, "Project Results", 검색일: 2024.12.30.

49 CIRPASS2, "About CIRPASS-2", 검색일: 2024.12.30.

표 7 CIRPASS 프로젝트 결과로 도출된 잠재적 개선사항

DPP 데이터 속성	잠재적 개선사항
고유 식별 및 QR 코드	<ul style="list-style-type: none"> • 배터리의 추적 가능성을 확보하여 내부 식별 시스템을 구축할 필요가 없음
배터리 구성 정보 - 배터리 화학 조성(Battery Chemistry) - 배터리 중량(Battery Weight) - 양극, 음극 및 전해질 구성 요소 및 중량(Name and Weight of Cathode, Anode, and Electrolyte Materials)	<ul style="list-style-type: none"> • 샘플링, 사전 분석 또는 수작업 정보 교환이 필요하지 않음 • 효율적인 선별(Sorting)을 통해 공정 안정성(Process Stability)이 향상됨 • 이를 통해 균질한 재생원료(Feed Input) 확보가 가능하며, 물질 회수율 증가 및 손실 감소 효과를 기대할 수 있음 • 중간 산출물(Black Mass)의 사양(Specification)과 매스 밸런스 측정(Mass Balance Measurement) 용이성이 증가함
배터리 분해 정보 - 배터리 시스템/팩의 분해도(Exploded Diagrams) (배터리 셀 위치 포함) - 분해 순서(Disassembly Sequences) - 해제해야 할 고정 기술 유형 및 개수(Type and Number of Fastening Techniques to be Unlocked) - 분해에 필요한 도구(Tools Required for Disassembly) - 부품 손상 위험 경고(Warnings if Risk of Damaging Parts Exists) - 배터리 셀 개수 및 배치(Number of Cells Used and Layout)	<ul style="list-style-type: none"> • 배터리 분해 프로세스를 최적화할 수 있음 • 재활용업체(Recyclers) 관점에서 모델별 분해 지침이 충분하며, 시각적으로 제공될수록 현장 작업자 교육에 효과적임 • 배터리 분해 공정의 자동화 가능성이 확대됨 • 기계 판독이 가능한 형식(Machine-Readable Format)과 표준화된 문서화 방법(Standardized Methods)이 필요함 • 자동화된 배터리 분해 장비(Automated Dismantling Equipment) 구축이 가능함 • 분해 순서는 적용되는 기술(수작업 vs. 자동화)에 따라 다를 수 있음 • 수작업(Manual Operation)과 로봇 자동화(Robotic Cell) 공정에서는 분해 순서가 달라질 수 있음 • 분해도(Exploded Diagram) 및 고정 기술(Fastening Technique) 정보는 적용 기술에 맞는 최적의 분해 순서를 설계하는 데 활용됨
배터리 방전 상태(비활성화 상태 포함) 및 충전 상태(SOC: State of Charge)	<ul style="list-style-type: none"> • 배터리 보관 및 사전 처리 작업자의 안전성을 높일 수 있음 • 예: 배터리 비활성화가 필요 없는 경우, 사전 선별을 통해 프로세스 효율성을 개선할 수 있음

자료 CIRPASS(2024), p.33.

02 • 배터리 부문 디지털화 관련 주요 이슈

● (주요 쟁점) 배터리 여권의 성공적인 도입을 위해 해결해야 할 과제가 다수 존재함

- 방대한 데이터를 효과적으로 저장하고 관리하는 방법, 글로벌 차원의 데이터 구조 표준화, 그리고 기업이 시스템을 도입하는 데 드는 시간과 비용 등이 주요 도전 과제임. 즉, 공급망 복잡성, 기술적·비용적 부담, 규제 준수의 어려움, 정보 보안 리스크 등이 저해 요인에 해당함

● (이슈 1: 데이터 관리 및 추적성 확보의 어려움) 배터리 생산은 글로벌 공급망을 기반으로 하며, 다양한 국가에서 원자재를 채굴하고 가공함. 윤리적 채굴과 환경 기준을 충족하지 못하는 국가는 공급망 투명성을 확보하기가 어려움. 또한 배터리 여권의 경우 생산, 사용, 재활용에 이르는 모든 데이터를 추적해야 함

- 특히 원자재의 출처와 생산 과정에 대한 세부 데이터가 필요함. 배터리 생산 기업은 공급망에서 사용되는 원자재(리튬, 코발트 등)의 윤리적 채굴 여부를 증명해야 하며, 이를 위해서는 정확하고 신뢰할 수 있는 데이터를 제공해야 함

● (이슈 2: 국가별로 상이한 기준 및 방법 적용) 각국의 상이한 데이터 표준, 추적 방식, 보고 요구사항을 국제적으로 조화시켜 나갈 필요가 있음

- 국제적으로 표준화되지 않을 경우 데이터 교환과 검증 과정에서 비효율성이 발생할 수 있음. 각국의 배터리 제조사들이 서로 다른 방식으로 데이터를 관리하는 상황으로, 글로벌 표준화가 진행되지 않으면 국가 간 협력이나 배터리 수출 시 비효율성을 초래할 가능성이 있음
- 지리적 차단(geo-blocking), 조달 규정, 표준 및 서비스·제품의 요금 차이 등이 국가별 장벽으로 작용하여 디지털 서비스 발전을 방해할 수 있음. 이는 서비스 기반 순환경제 모델(예: 서비스화)에도 부정적인 영향을 미칠 수 있음⁵⁰

● (이슈 3: 디지털 기술 도입 비용 및 전문 기술 필요) 배터리 여권은 QR 코드, 블록체인, 클라우드 데이터베이스 등 최신 디지털 기술의 활용이 필수적임. 하지만 새로운 기술 도입에 따른 비용과 전문 기술 부족 문제가 발생할 수 있음

- 디지털 기술 도입에 따른 초기 비용에 대한 재정 지원과 함께, 디지털 역량 강화를 위한 교육 및 기술 컨설팅이 필요함

● (이슈 4: 환경적 목표 충족 필요) 배터리 여권은 배터리의 탄소발자국 저감, 재활용 가능성 향상, 자원 사용량 절감을 목표로 하고 있음

- 기업은 생산 공정에서 탄소 배출량 감축, 자원 효율성 증대 등 환경적 목표를 달성하기 위해 추가로 투자할 필요가 있음

● (이슈 5: 법적, 규제적 요구) 배터리 여권은 각국의 법적 규제 및 윤리적 프레임워크(Ethical Frameworks) 요구사항을 충족해야 하며, 이는 업계 전반에 규제 준수에 따른 큰 부담으로 작용할 수 있음

- 특히, 중소기업(SMEs)은 대기업에 비해 이러한 규제 준수에 더 큰 어려움을 겪을 가능성이 있음

⁵⁰ European Policy Center(2020), p.55.

- **(이슈 6: 정보 보안 및 프라이버시 문제) 투명성과 데이터 프라이버시 간의 균형을 유지하는 것이 중요하며, 이를 위해서는 안전한 데이터 처리방식이 필수적임**

 - 사이버 보안의 취약성은 디지털 경제로의 전환을 가로막는 가장 큰 장애물로 자주 언급되며, 이는 디지털 기술 발전에 대한 신뢰를 약화시킴. 사이버 보안과 안전한 디지털 환경이 보장되지 않으면 디지털 전환에 필요한 이행 주체들의 참여를 유도하기 어려울 수 있음⁵¹
 - 제품 및 공급망 구성에 관한 정보가 공개될 경우, 기업의 내부 전략이나 기밀사항이 경쟁사에 노출될 위험이 있음. 이는 경쟁 우위(competitive advantage)에도 영향을 미칠 수 있으므로, 기업은 투명성의 수준과 전략적 이점을 신중히 검토할 필요가 있음

- **(이슈 7: 상호운용성 부족) 데이터 및 시스템 간 연결 부족은 데이터 흐름과 분석을 방해할 수 있음⁵²**

 - 데이터가 여러 개별적인 공공 및 민간 데이터베이스에 분산되어 있는 경우, 데이터 공유뿐 아니라 유의미한 정보와 지식 창출이 어려워짐. 또한 새로운 소프트웨어가 기존 하드웨어와 호환되지 않으면, 상호운용성이 낮아지고 하드웨어의 조기 교체가 필요해져 전자 폐기물(e-waste)이 증가할 우려가 있음

- **(이슈 8: 에너지 소비 집약적) AI 모델(특히, 대규모 머신러닝 모델)의 높은 연산량은 상당한 자원 소비 및 환경 부담을 초래함. 이에 '지속가능한 AI' 구현을 위한 에너지 효율적인 데이터센터 구축과 최적화된 모델 학습 기법 도입이 요구됨⁵³**

⁵¹ European Policy Center(2020), p.54.

⁵² European Policy Center(2020), p.54.

⁵³ The Circular Coffee Break(2025.2.3), "The Role of AI in Accelerating the Circular Economy Transition", 검색일: 2025.2.25.

IV 향후 추진방향 및 중점과제

- **디지털 혁신은 순환경제 전환의 핵심 요소로, 데이터 흐름을 촉진하고 협업과 자원 공유를 통해 가치사슬 간 연계를 강화함⁵⁴**
 - 디지털 플랫폼은 새로운 비즈니스 기회를 창출하고, 지속가능한 산업 생태계의 성장을 지원함
- **국내에서도 순환경제 분야의 디지털화와 관련하여 ‘배터리 전주기 이력관리 시스템’과 함께 중소벤처기업부의 ‘VCP-X’ 및 산업통상자원부의 ‘한국형 산업 공급망 (탄소) 데이터 플랫폼’을 대표적으로 들 수 있음**
 - [배터리 전주기 이력관리 시스템] 배터리 제조에서부터 전기차 운행·폐차, 사용후 배터리 거래·유통, 재제조·재사용·재활용 등 전 주기 정보 관리 및 공유 시스템으로, 배터리 공급망 관리 및 거래활성화, 통상규제 대응을 위한 정보 공유 및 활용을 지원하는 데 목적이 있음⁵⁵
 - [국토부 ‘전기차 배터리 안전인증관리 시스템’] 배터리 안전성 인증 및 등록, 전기차 운행(정비·검사·리콜), 성능평가, 폐차, 재제조 등 운행과 안전에 필요한 이력 정보를 제공함⁵⁶
 - [산업부 ‘배터리 공급망 데이터 플랫폼’ 및 ‘거래정보 시스템’] 배터리 제조 공급망 및 제품 성능 관련 정보, 사용후 배터리 유통 및 재사용 이력 정보를 제공함⁵⁷
 - [환경부 ‘전기차 전주기 통합환경정보 시스템’] 전기차 인증·보조금 산정, 전기차 충전, 배터리 재활용 관련 정보를 제공함⁵⁸
 - 1단계에서는 부처별 소관에 따른 개별 시스템 구축(‘24~’26년) 후 2단계에서는 개별 시스템을 연계한 통합 포털을 개설(‘27년)할 계획임⁵⁹
 - [중소벤처기업부의 ‘VCP-X (Value Chain Platform for X-Industries)’] 중소기업들이 디지털 전환을 통해 가치사슬을 최적화할 수 있도록 지원하는 산업 데이터 플랫폼으로, 다양한 산업의 공급망 데이터를 통합하여 기업 간 협업과 정보 공유를 활성화하는 데 목적이 있음
 - 공급망 데이터 통합: 원자재 조달부터 제품 판매까지의 데이터를 연결하여 공급망을 최적화
 - AI 기반 예측 분석: 생산 계획, 물류 최적화, 재고 관리 등을 AI 기반으로 분석
 - 클라우드 기반 협업 플랫폼: 중소기업들이 데이터를 쉽게 공유하고 협력할 수 있도록 지원

⁵⁴ Zutshi and Grilo(2019, pp.546-555); Hong Nham and Ha(2022); Mäkitie et al.(2023), Dabić et al.(2024, pp.1089-1103).

⁵⁵ 관계부처합동(2024), p.6.

⁵⁶ 관계부처합동(2024), p.7.

⁵⁷ 관계부처합동(2024), p.7.

⁵⁸ 관계부처합동(2024), p.7.

⁵⁹ 관계부처합동(2024), p.6.

- [산업통상자원부의 '한국형 산업 공급망 (탄소) 데이터 플랫폼'] 국내 산업 공급망 내 탄소 배출량 데이터를 추적·분석하여 기업들이 탄소중립 목표를 효과적으로 달성할 수 있도록 지원하는 플랫폼임. 이는 탄소 배출량 데이터를 디지털화하여 기업들이 실시간으로 탄소 배출 현황을 파악하고 감축 전략을 수립할 수 있도록 도움을 주는 데 목적이 있음

- 탄소 배출량 모니터링: 제품 생산 과정에서 발생하는 탄소 배출량을 실시간으로 측정하고 분석
- 기업 간 데이터 공유: 공급망 내 탄소 배출 데이터를 투명하게 공유하여 탄소 저감 협력을 촉진
- AI·빅데이터 분석: 탄소 감축을 위한 최적의 솔루션을 제시

④ 앞으로 디지털 기반의 보다 효율적인 순환경제로 전환하기 위해서는 정부, 기업, 연구기관 등 다양한 주체가 유기적으로 협력하여 정책, 기술, 데이터 관리, 교육, 재정 등 전반적인 영역에서 통합적으로 접근할 필요가 있음

- 정책 프레임워크 수립과 글로벌 표준화를 통해 제도적 명확성과 국제 경쟁력을 확보할 필요가 있음
- 기술 인프라 구축과 데이터 통합 관리를 통해 데이터의 신뢰성과 상호운용성을 높여 나가는 것이 중요함
- 데이터 공유와 개인정보 보호 간의 균형을 맞추어 투명한 정보 흐름을 확보해야 함
- 기업과 정책 입안자의 협력을 통해 제도의 현장 적용을 실질적으로 촉진할 필요가 있음
- 혁신 기술과 T&T (Tracking & Tracing) 시스템 도입을 통해 기업이 제품의 전 주기를 효율적으로 관리하고 지속가능성을 높일 수 있도록 지원할 필요가 있음
- 중소기업 지원, 사용자 교육, 재정 모델 마련을 통해 디지털 전환 과정에서의 부담을 줄이고, 산업 전반의 경쟁력을 제고해 나가야 함

④ (과제 1) 디지털 순환경제 플랫폼 구축을 위한 정책 프레임워크 마련 및 글로벌 표준화 강화

- [정책 프레임워크 구축] 디지털 순환경제 전환은 정부, 기업, 연구기관 등 여러 주체가 협력하여 추진해야 하는 복합적인 과제임. 우선 정부 차원에서 디지털 플랫폼 및 DPP 관련 규제와 가이드라인을 명확히 설정하는 정책 프레임워크가 마련되어야 함. 가령, 『디지털플랫폼정부 실현계획(‘23.4.)』과 『데이터기반행정 활성화 기본계획(‘24-’26)』에서 제시한 바와 같이, 개인정보가 포함된 데이터를 가명 또는 익명 처리하여 안전하게 공유·활용할 수 있는 규정 마련이 필수적임
- [글로벌 표준화 추진] 국내뿐만 아니라 국제적으로 인정받는 ISO, EU 규정 등 글로벌 표준에 부합하는 데이터 형식, 교환 프로토콜, 감사 절차 등을 구축함으로써 다국적 기업과 여러 지역 간의 상호운용성을 확보해야 함. 이를 위해 정부와 산업계는 글로벌 협의체 및 표준화 기구와 긴밀히 협력하여 기술 표준을 개발하고, 구체적 일정과 목표를 설정할 필요가 있음
 - 최근 디지털 무역 분야에서 협력을 강화하기로 합의한 ‘한-EU 디지털 통상협정(DTA: Digital Trade Agreement)’을 대표적인 사례로 들 수 있음. 이 협정은 한-EU 간 디지털경제 연결성을 강화하고, 기업과 소비자가 신뢰할 수 있는 개방적이고 공정한 디지털 무역 환경을 조성해 나가는 데 기여⁶⁰할 것으로 기대됨
 - 이는 디지털 기술을 활용하여 지속가능성을 강화한다는 측면에서 순환경제와 공통의 목표를 지니고 있으며, 앞으로 DPP를 포함하여 제품의 추적 및 전 주기 관리, 순환공급망 최적화, 디지털 플랫폼을 통한 거래 활성화 등 한-EU 간 디지털 기술 기반 순환경제 비즈니스 모델 개발의 기회가 확대될 수 있음

60 산업통상자원부 보도자료(2023.10.31), p.3.

● (과제 2) 디지털 전환을 지원하기 위한 기술 인프라 확충 및 데이터 통합관리 구축

- [고도화된 기술 인프라 확충] 디지털 전환의 핵심 기반은 기술 인프라에 있음. 국제 데이터 스페이스 협회(IDSA), Gaia-X, Catena-X 등은 DPP 데이터 인프라 연구를 수행하고 있으며, 데이터 스페이스와 DPP를 위한 표준화된 데이터 아키텍처를 개발하고 있음.⁶¹ 정부와 민간은 클라우드 기반 플랫폼(예: 중소벤처기업부와 스마트제조혁신추진단이 2024년 4월 출시한 'VCP-X'와 같은 솔루션)을 통해 기업들이 민감한 데이터를 안전하게 관리하면서도 규제 대응에 필요한 정보를 효과적으로 공유할 수 있는 환경을 구축해야 함
- [데이터 통합 및 상호운용성 강화] 제품 전 주기에 걸친 다양한 데이터 소스를 통합 관리하기 위해서는 데이터 표준화와 통합 관리체계를 마련하는 것이 중요함. 이를 통해 기업 내부 시스템(예: ERP 시스템)과 외부 플랫폼 간 데이터 연동을 원활하게 하고, 산업군 및 지역 간 경계를 넘어 데이터 호환성을 확보함으로써 전체 가치사슬에서 발생하는 정보의 신뢰성을 높여 나가야 함

● (과제 3) 제품 전 주기 데이터 공유 및 연결성 강화, 데이터 주권 및 신뢰성 제고

- [데이터 공유와 정보 투명성] 순환경제의 핵심은 자원과 제품의 흐름을 투명하게 추적·관리하는 것임. 이를 위해 기업 간, 정부와 기업 간, 그리고 소비자와의 정보 공유가 필수적임. 배터리뿐만 아니라 섬유, 포장재, 차량 등 다양한 제품군의 데이터를 바탕으로 향후 산업군 간에 부품 및 소재 거래가 이루어질 수 있도록 투명성을 높여 나갈 필요가 있음
- [개인정보 보호와 데이터 신뢰성] 과도한 개인정보 보호 규제는 데이터 기반 혁신과 정책 개발에 장애가 될 수 있으므로, 데이터 정제와 사전처리를 통한 가명·익명화 등의 기술적·제도적 장치를 마련해야 함. 이를 위해 관련 검토 절차와 규정을 구체화하고, 국제 보안 표준(예: ISO 27001)을 준수하는 동시에 데이터 암호화 및 접근 제어 체계를 강화하여 개인정보 보호와 데이터 활용 간의 균형을 맞추는 것이 필요함

● (과제 4) 방법론 구축 및 표준화를 위한 거버넌스/국제협력 강화

- [기업의 역할 강화] 디지털 플랫폼 기반 솔루션의 성공적인 구현을 위해 기업은 생산, 사용, 재활용 등 전 과정에서 필요한 데이터를 체계적으로 수집·관리할 수 있는 내부 시스템을 우선적으로 구축해야 함. 특히, 배터리 유형, 조직 규모, 산업 특성에 따라 상이한 요구사항을 고려하여 자사 ERP 시스템과 연계한 맞춤형 데이터 관리 시스템을 도입하는 것이 중요함. 이를 통해 기업은 단순한 규제 준수를 넘어, 새로운 비즈니스 기회를 창출하고 경쟁력을 강화할 수 있음
- [정책입안자 및 정부의 지원 역할] 정책입안자는 기업이 겪는 기술적·행정적 부담을 완화하기 위해 명확한 지침과 표준화된 기술 프레임워크를 마련하고, 이를 기반으로 정부 지원 정책(예: 스마트팩토리 지원사업, 시범 테스트베드 제공 등)을 적극 추진해야 함. 또한 데이터를 시장 정보 및 정책 설계 자료로 활용하여, 글로벌 경쟁력을 강화할 수 있는 환경을 조성하는 것도 중요함
- [거버넌스 및 국제협력 강화] 현재 각 부처별로 개별 구축 중인 플랫폼 간 연계를 강화하고, 데이터 표준화 및 시스템 요구사항(예: 데이터 형식, 교환 프로토콜 등)을 세부적으로 명확화할 필요가 있음. 이를 위해서는 다양한 이해관계자(정부, 기업 등) 간 협력이 매우 중요함. 또한 향후 배터리, 플라스틱, 자동차 등 다양한 산업군에서 지속가능한 순환경제를

⁶¹ University of Cambridge Institute for Sustainability Leadership (CISL) and the Wuppertal Institute(2022), p.27.

촉진하기 위해서는, 국가 간 경계를 넘어再生资源 및 부품의 거래와 정보 공유를 활성화하는 순환공급망 구축이 필수적임. 산업 간·국가 간 데이터 연계 표준화를 통해 정보의 불균형을 해소하고, 투명성을 높여 나갈 필요가 있음

● **(과제 5) 혁신 기술 도입 및 T&T (Tracking & Tracing) 시스템 구축**

- [혁신 기술 도입] AI, IoT, 블록체인 등 혁신 기술을 적극 도입하여 제품의 전 주기에 걸쳐 실시간으로 데이터를 추적·관리할 수 있어야 함. 예를 들어, 디지털 트윈을 활용한 DPP는 제품의 생산, 사용, 재활용 단계에서 발생하는 환경적 영향을 정량적으로 평가하고, 이를 바탕으로 지속가능성 리포트를 발행할 수 있는 기반이 됨
- [추적(Tracking)과 추적(Tracing) 시스템 통합] ‘추적(Tracking)’은 제품이 제조된 순간부터 최종 폐기까지의 전 과정을, ‘추적(Tracing)’은 원자재가 생산부터 재활용까지 공급망을 따라 이동하는 과정을 의미함. 이 두 시스템을 통합한 T&T 체계를 구축함으로써 제품 및 자원의 흐름을 투명하게 관리하고, 그 과정에서 발생하는 환경적·사회적 영향을 정확히 평가할 수 있음. 이를 통해 그린워싱 방지와 함께 데이터 신뢰성 확보에 기여할 수 있음

● **(과제 6) 에너지 효율적인 데이터센터 구축 및 최적화된 모델 학습 기법 도입**

- 높은 에너지 소비로 인해 데이터센터의 환경적 지속가능성이 중요한 도전 과제가 되고 있음. 이를 해결하기 위한 방안으로 에너지 효율적인 AI 모델 개발, 친환경 데이터센터 구축, 재생에너지 활용 확대, 최적화된 AI 학습 기법 도입을 병행할 필요가 있음

● **(과제 7) 중소기업 지원 및 지속가능한 재정 모델 마련**

- [중소기업에 대한 지원 강화] 디지털 전환 과정에서 중소기업은 소프트웨어 개발, 데이터 구축, 시스템 통합 등에서 상대적으로 큰 부담을 겪을 수 있음. 이를 완화하기 위해 구독형 클라우드 서비스(예: VCP-X)와 같은 솔루션을 제공하여 초기 투자 비용을 낮추고, 정부 지원금이나 벤처 투자 등을 활용하는 방안을 마련해야 함
- [사용자 교육 및 기술 지원] 디지털 플랫폼 도입 후 실제 운영 과정에서 발생하는 문제를 해결하기 위해 직원을 대상으로 한 맞춤형 교육 프로그램과 실시간 기술 지원 체계를 구축할 필요가 있음. 이를 통해 사용자들이 새로운 시스템에 신속히 적응하고, 효율적으로 활용할 수 있도록 지원할 필요가 있음
- [지속가능한 재정 모델과 확장 전략] 초기 시스템 도입 및 유지에 따른 비용 부담을 장기적으로 극복하기 위해서는 프리미엄 서비스, 파트너십, 다양한 수익 모델을 함께 도입함으로써 재정적 지속가능성을 확보해야 함. 또한 기술 발전과 국제협력을 통해 글로벌 시장에서도 경쟁력을 갖출 수 있는 전략적 확장 방안을 마련할 필요가 있음

참고문헌



국내 문헌

- 관계부처합동(2024), “사용후 배터리 산업 육성을 위한 법·제도·인프라 구축방안”, pp.6~7.
- 산업통상자원부 보도자료(2023.10.31), “한-유럽연합(EU) 디지털 통상협정’ 협상 개시 선언”, p.3.
- 한국개발연구원(2024), 「2024~2028 국가재정운용계획 지원단 보고서」, p.52.

국외 문헌

- 중국 국가발전개혁위원회(2021), “十四五”循环经济发展规划(“제14차 5개년” 순환경제발전계획), pp.5-9.
- 국가 동력 배터리 추적 관리 센터(2024), 新能源汽车国家监测与动力蓄电池回收利用溯源综合管理平台 (车载管理模块) (신에너지 자동차 국가 모니터링 및 동력 배터리 회수 이용 추적 종합 관리 플랫폼(차량 관리 모듈)), p.2, pp.6-9.
- 經濟産業省(2022) 발표자료, “Battery Industry Strategy”, p.7.
- 經濟産業省(2023), “資源循環經濟政策の現状と課題について(자원 순환경제 정책의 현황과 과제)”, p.34.
- Annika H. and S. Stefan(2019), “The Circular Economy: Going Digital”, p.12.
- Annika H. and S. Stefan(2021), “Toward a Circular Economy: The Role of Digitalization”, One Earth 4.
- Battery Pass(2023), *Battery Passport Content Guidance*.
- Battery Pass(2024a), *Battery Passport Technical Guidance*.
- Battery Pass(2024b), *Unlocking the Value of the EU Battery Passport*, p.21, pp.105-107, pp.199-200.
- CEN-CENELEC(2024), *UNECE Task Force on Access to Information*, p.8.
- CIRPASS(2024), *D2.2 Exploring Possible Digital Product Passport (DPP) Use Cases in Battery, Electronics and Textile Value Chains*, p.33.
- Dabić, M. et al.(2024). *Driving the Circular Economy Through Digital Servitization*, R&D Management, Volume 54, pp.1089-1103
- Digital Power China(2024), *Making Europe’s Digital Technological Strengths Indispensable to China*, p.186.
- EC(2025). *A Competitiveness Compass for the EU*.
- Engineering Industries eXcellence(2024), *The EU Battery Passport: Everything You Need to Know*, p.8.
- Ellen MacArthur Foundation(2019), *Artificial intelligence and the circular economy: AI as a tool to accelerate the transition*, pp.19-20, pp.26-27.
- European Commission(EC) 발표자료(2024.10.1), “Policy Overview: Digital Product Passport Delegated Acts”.
- European Policy Center(2020), *The Circular Economy: Going digital*, pp.54-58.
- GBA(2024), *Battery Passport – an Overview*, pp.25-27.
- Hong Nham, N.T. and T.H. Le(2022), *Making the circular economy digital or the digital economy circular? Empirical evidence from the European region*, Technology in Society, Volume 70, Article 102023.
- Mäkitie, T. et al.(2023). Digital innovation's contribution to sustainability transitions, Technology in Society, 73, Article 102255.

- SITRA(2024), *Digital Product Passports: Catalysing Europe's Sustainable Growth*, pp.29-32.
- UNECE(2023), *Leveraging Digital Solutions for the Circular Economy*.
- University of Cambridge Institute for Sustainability Leadership(CISL) and the Wuppertal Institute(2022), *Digital Product Passport: The Ticket to Achieving a Climate Neutral and Circular European Economy?* Cambridge, UK: CLG Europe, p.27.
- Zutshi, A. and A. Grilo(2019). *The Emergence of Digital Platforms: A Conceptual Platform Architecture and impact on Industrial Engineering*, Computers & Industrial Engineering, Vol. 136, pp. 546-555.



온라인 자료

- 뉴데일리(2024.4.23), "일본·EU, 전기차 배터리 재활용 협력 ... 中 의존도 낮춘다", <https://www.newdaily.co.kr/site/data/html/2024/04/23/2024042300299.html>, 검색일: 2024.12.30.
- 서울대학교 해양일본기술정보센터(2024.5.30), "우라노스 에코시스템", <https://hjtic.snu.ac.kr/>, 검색일: 2024.12.30.
- 이데일리(2025.2.8), "MS, 데이터센터 폐기물 90% 재사용...해외 IT기업 자원순환 활발", https://www.edaily.co.kr/News/Read?mediaCodeNo=257&newsId=01295606639056200&utm_source=chatgpt.com, 검색일: 2025.2.10.
- Kita(2024.8.8), "한국선 전기차 배터리 제조사 '깜깜이'...해외는 공개 의무화 추진", <https://news.nate.com/view/20240808n15429>, 검색일: 2024.12.30.
- 經濟産業省, "Ouranos Ecosystem", https://www.meti.go.jp/policy/mono_info_service/digital_architecture/ouranos.html, 검색일: 2024.12.30.
- Battery recycling management module, "On-board Management Module for New Energy Vehicles", <https://www.evmam-tbrat.com/>, 검색일: 2024.12.30.
- Chinesestandard(2017), "GB/T 34014-2017", <https://std.samr.gov.cn/gb/search/gbDetailed?id=71F772D818B4D3A7E05397BE0A0AB82A>, 검색일: 2024.12.30.
- Circularise(2024.1.9), "Circularise's Digital Product Passports Prove Successful in Japan's Plastic Recycling Trials", <https://www.circularise.com/press-releases/circularises-digital-product-passports-prove-successful-in-japans-plastic-recycling-trials>, 검색일: 2024.12.8.
- Circularise(2025), "Circularise Japan K.K.", https://www.linkedin.com/posts/circularise_we-are-opening-a-new-office-in-tokyo-activity-7297570171903172609-HHTO/, 검색일: 2025.3.1.
- CIRPASS, "Project Results", <https://cirpassproject.eu/project-results/>, 검색일: 2024.12.30.
- CIRPASS2, "About CIRPASS-2", <https://cirpass2.eu/about/>, 검색일: 2024.12.30.
- European Commission(EC), "Clean Industrial Deal", https://commission.europa.eu/topics/eu-competitiveness/clean-industrial-deal_en#:~:text=The%20Clean%20Industrial%20Deal%20outlines%20concrete%20actions%20to,into%20a%20driver%20of%20growth%20for%20European%20industries., 검색일: 2025.3.1.
- European Commission(EC), "Strengthening European Competitiveness", https://commission.europa.eu/topics/eu-competitiveness_en, 검색일: 2025.3.1.
- EU-Japan Centre for Industrial Cooperation(2024.1.31), "EU Regulation on Batteries for European and Japanese Business", <https://www.eu-japan.eu/events/eu-regulation-batteries-european-and-japanese>

- businesses, 검색일: 2024.12.30.
- European Council(2024.5), "Green Transition: Council Gives its Final Approval to the Ecodesign Regulation", <https://www.consilium.europa.eu/en/press/press-releases/2024/05/27/green-transition-council-gives-its-final-approval-to-the-ecodesign-regulation/>, 검색일: 2024.12.20.
- IBM(2023.2.29), "What Is a Circular Economy?", <https://www.ibm.com/kr-ko/topics/circular-economy>, 검색일: 2024.12.30.
- Indeed(2024.6.17), "Digital Product Passports on the Rise", <https://www.indeed-innovation.com/the-mensch/the-rise-of-digital-product-passport/>, 검색일: 2024.12.20.
- Jensen, H. H.(2023.12.11), "Global Ecodesign Legislation: Navigating the Digital Transformation for a Sustainable Future", <https://www.linkedin.com/pulse/global-ecodesign-legislation-navigating-digital-future-jensen-qzo1f/>, 검색일: 2024.12.19.
- Jensen, H. H.(2023.12.11), "Digitizing Sustainability: Navigating the New Era of EU's Packaging and Packaging Waste Regulation", <https://www.linkedin.com/pulse/digitizing-sustainability-navigating-new-era-eus-packaging-jensen-dq2je/>, 검색일: 2024.12.19.
- John Smith(2024.10.17), "How Digital Innovation is Shaping the Future of Circular Economies", <https://straitresearch.com/report/digital-circular-economy-market/request-sample>, 검색일: 2024.12.23.
- Mathieu Gitton(2025.2.26), "European Faces Industrial Challenges: The Clean Industrial Deal and the Second Omnibus Package in Preparation", <https://www.linkedin.com/pulse/europe-faces-industrial-challenges-clean-deal-second-omnibus-gitton-3j8je/>, 검색일: 2025.2.28.
- Normative(2024.7.3), "The Circular Economy & Carbon Reduction Targets", <https://normative.io/insight/circular-economy/>, 검색일: 2024.12.30.
- NREL(2025.2.17), "NAATBatt Lithium-Ion Battery Supply Chain Database", <https://www.nrel.gov/transportation/li-ion-battery-supply-chain-database-online.html>, 검색일: 2025.2.20.
- Politico(2025.1.22.), "EU's Clean Industrial Deal to Cover 6 Themes from Energy Prices to Trade", <https://www.politico.eu/article/eu-clean-industrial-deal-to-cover-six-themes-from-energy-prices-to-trade/>, 검색일: 2025.1.28.
- Reuters(2024.4.9), "EU Leaders to Demand Sweeping Competitiveness Drive at Summit", <https://www.reuters.com/world/europe/eu-leaders-demand-sweeping-competitiveness-drive-summit-2024-04-09/>, 검색일: 2025.1.25.
- SIEMENS, "Siemens Digital Industries Software", <https://www.sw.siemens.com/en-US/>, 검색일: 2025.2.10.
- The Circular Coffee Break(2025.2.3), "The Role of AI in Accelerating the Circular Economy Transition", <https://circularcoffeebreak.com/f/the-role-of-ai-in-accelerating-the-circular-economy-transition>, 검색일: 2025.2.25.
- TOMRA(2024.4.24), "TOMRA to Feature Latest AI's Plastic and Sorting Solutions at NPE 2024", https://www.tomra.com/waste-metal-recycling/media-center/news/2024/tomra-to-feature-latest-ai-plastic-and-flake-sorting-at-npe-2024?utm_source=chatgpt.com, 검색일: 2025.2.25.
- California Air Resources Board, "Advanced Clean Cars II", <https://ww2.arb.ca.gov/our-work/programs/advanced-clean-cars-program/advanced-clean-cars-ii>, 2024.12.30.



(30147) 세종특별자치시 시청대로 370 세종국책연구단지 B동
TEL 044-415-7777 www.kei.re.kr