KTR KOREA TESTING & RESEARCH INSTITUTE

2026 Critical Review Report

검토 의견서

■ 1차 ■ 2차 □ 3차

Final Critical Review Report

LCI DB 검토의견서

2026. 11. 11.

Korea Testing and Research Institute

작성기관 및 작성자		
작성기관:	㈜엔스타알앤씨	

Note 1: 이 문서는 2026년 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 지원으로 수행한 연구 결과물로서, 국토교통분야 수소 기술의 LCI DB에 대한 정보를 포함하고 있습니다.

Note 2: 해당 문서에 기재된 사항은 외부에 공개할 수 없으며, 정밀검토 후 해당 자료는 폐기하여야 합니다.

1. LCI DB 보고서

* Dataset Documentation 'electrolyzer balance of plant production, SOEC'

** 참고: 이 문서는 데이터세트 정보의 일부만 발췌하여 제공합니다. 교환 속성, 수학적 관계, 매개변수, 저자 및 검토자의 연락처 정보에 대한 추가 데이터는 별도 파일 형식으로 제공되어야 합니다.*

1 데이터 세트 식별 정보

	구분	내용
1	데이터 이름	electrolyzer balance of plant production, SOEC
2	지역	Korea (KR)
3	기간	2026-01-01 to 2028-12-31 - Valid for the entire period
4	참조 제품	balance of plant, solid oxide electrolysis (1 unit)
5	데이터 세트 유형	Transforming activity
6	기술 수준	TRL(Technology Readiness Level 7)

지리적 위치를 나타낼 수 있는 사진 기입 (선택)

데이터의 지역적 범위: 대한민국(기술 대표 데이터, 한국 공급 배경 데이터 연결)

2 데이터 세트 작성자 정보

	구분	내용
1	Data entry	인하대학교
2	Data generator	이광원, ㈜엔스타알앤씨
3	Review (1st)	이름, 소속
4	Review (2nd)	이름, 소속
5	Review (3rd)	이름, 소속

3 물질 흐름(요약)

	Reference product	By-product classification	Amount
1	balance of plant, solid oxide electrolysis		1 unit

	Inputs from technosphere	Amount
1	크롬강 18/8	5.57E-03 kg
2	크롬강 판압연 (가공 서비스)	5.57E-03 kg
3	강재	4.73E-03 kg
4	주철	1.05E-03 kg
5	알루미늄	1.32E-04 kg
6	구리	1.32E-04 kg
7	엘라스토머 튜브 단열재	5.31E-05 kg
8	글리콜	1.23E-05 kg
9	구리 인발 (가공 서비스)	1.32E-04 kg
10	강판 압연 (가공 서비스)	3.50E-03 kg
11	알루미늄 판압연 (가공 서비스)	2.63E-05 kg
12	제어 전자장치	2.63E-05 kg
13	**저합금강**	**6.57E-04 kg**
14	**아크릴로니트릴-부타디엔(원문 표기)**	**4.90E-07 kg**
15	**사출 성형 (가공 서비스)**	**4.90E-07 kg**
16	**저밀도 폴리에틸렌(LDPE)**	**1.40E-04 kg**
17	**플라스틱 파이프 압출 (가공 서비스)**	**1.40E-04 kg**
18	**콘크리트**	**4.02E-07 m3**
19	**추가 제조(조립) 전력**	**0.01782 kWh**

※ *위 목록은 BOP 집계 공정이 1 unit씩 받는 부품 단위공정 11개의 투입을 재료별로 펼친 것이며, openLCA 집계 공정 export(목록분석결과 엑셀 Inputs 시트)의 직접 투입은 부품 공정이다.*

4 일반사항

(1) 데이터 개요

본 LCI DB의 대상은 고체산화물 수전해(SOEC) 시스템에서 스택(STACK)을 제외한 주변설비(Balance of Plant, BOP)의 제조이다. BOP는 전력변환 · 펌프 · 기액분리 · 열교환 · 제어 · 구조물 등 스택의 운전을 뒷받침하는 설비군으로, 2차년도에 구축한 스택 부품 LCI DB와 결합하여 수전해 수소 생산 시스템을 구성한다.

BOP 설비는 수명 동안 생산하는 수소량으로 배분하여 수소 1 kg당 제조 부담으로 표현하였다. 즉 기준흐름 'SOEC BOP 1 unit'은 수소 1 kg 생산에 배분된 장비 서비스이며, 실제 장비 1대를 의미하지 않는다.

고체산화물 수전해(SOEC)는 700~850 ° C의 고온에서 수증기를 전기분해하는 기술로, 외부 열(증기)을 활용하면 전력 소비가 다른 기술보다 약 30% 낮다. 본 데이터셋은 산업단지의 외부 저압 폐열(스팀)을 이용하는 운전을 가정한다.

(2) 시장조사 및 대상업체 선정

현재 수전해 기술 시장은 상업화 초기 단계이며, 설비 제조사의 BOP 설비 목록(BOM)과 운전 데이터는 대부분 공개되지 않는다. 따라서 특정 제조업체의 시장 점유율이나 생산량을 기준으로 대표 기업을 선정하는 것은 현재 단계에서 불가능하다.
본 LCI 모듈은 특정 상용 제품이 아닌, 공개 학술 문헌 · 공공 보고서를 기반으로 한 '기술 대표' 목록을 구축하는 것을 목표로 하며, 향후 국내 설비 데이터가 확보되면 보완 · 개정될 기초 데이터베이스이다.
BOP 설비는 기술별로 재료 수준까지 분해된 인벤토리를 보고한 문헌 1건을 대표 문헌으로 선정하였다(여러 문헌의 설비를 섞으면 경계가 달라 이중계상 · 누락이 생기므로 혼합하지 않음).
선정 문헌: Gerloff 2021 (Journal of Energy Storage 43, 102759)
AEC · PEMEC · SOEC 3기술을 비교한 전과정평가로, SI Figs. 3–5에 SOEC BOP 11개 설비의 재료와 가공 공정(판압연 · 인발 · 사출 · 압출)을 ecoinvent 공정명으로 보고한다. 문헌 센서스에서 BOP 항목 수가 가장 많고 원저 공정명 대응이 11/11로 완전하여 단일 대표 문헌으로 채택하였다.

(3) 기능단위 설정

	내용	
기능	국가 에너지 공급을 위한 수소 생산	
기능단위	수소 1kg 생산을 위한 SOEC 기술의 BOP 생산	
기준흐름	수소 1kg 생산을 위한 SOEC 기술의 BOP 1 unit	BOP 1 unit = 수소 1 kg에 배분된 장비 서비스(실제 장비 1대 아님).

(4) 시스템 경계

	원료채취	물질/제품 제조		사용		폐기		재활용
	Raw material extraction	Transportation	Product manufacturing	Use	Maintenance	Transportation	Final disposal	Transportation
공정	●	×	●	×	×	×	×	×

원료채취 · 제품 제조를 포함한다. 원료 운송은 사용한 시장 데이터셋에 평균 운송이 포함되어 있어 전경에 별도로 추가하지 않았고(×), 제품 운송 · 설치는 설치 장소가 특정되지 않은 기술 대표 데이터이므로 제외하였다. 근로자 편의시설 · 사무공간 등 생산과 직접 관련 없는 활동은 제외하였다. 스택은 2차년도 LCI DB에서 별도로 구축하였으므로 본 모듈에서 제외하였다.

(5) 제외 기준

대표 문헌이 보고한 모든 투입물과 산출물을 질량 · 에너지 기여도와 관계없이 포함하는 것을 원칙으로 하였다. 대표 문헌이 보고하지 않은 항목은 임의로 채우지 않았다(가정 및 제한사항 참조).
스택은 2차년도 LCI DB에서 별도로 구축하였으므로 본 모듈에서 제외하였다.
근로자 편의시설 · 사무공간 등 생산과 직접 관련 없는 활동은 제외하였다.

(6) 데이터 범주

	구분		물질명
투입	원료물질		크롬강 18/8, 강재, 주철, 알루미늄, 구리, 엘라스토머 튜브 단열재, 글리콜, 제어 전자장치, 저합금강, 아크릴로니트릴-부타디엔(원문 표기), 저밀도 폴리에틸렌(LDPE), 콘크리트
	보조물질		크롬강 판압연 (가공 서비스), 구리 인발 (가공 서비스), 강판 압연 (가공 서비스), 알루미늄 판압연 (가공 서비스), 사출 성형 (가공 서비스), 플라스틱 파이프 압출 (가공 서비스)
	용수		
	에너지		추가 제조(조립) 전력 (가공 공정의 에너지는 가공 서비스 데이터셋에 포함)
산출	제품		balance of plant, solid oxide electrolysis
	부산물(할당)		
	잔여물	매립	
		소각	
		재활용	
	배출물	대기	
		수계	
		토양	

(7) 데이터 품질 평가 출처

	특정데이터	일반데이터
정밀도(P)		
시간적 대표성(TiR)		3.92
지역적 대표성(GeR)		1.95
기술적 대표성(TeR)		2.22
Total DQR		2.70 (좋음)

(8) 가정 및 제한사항

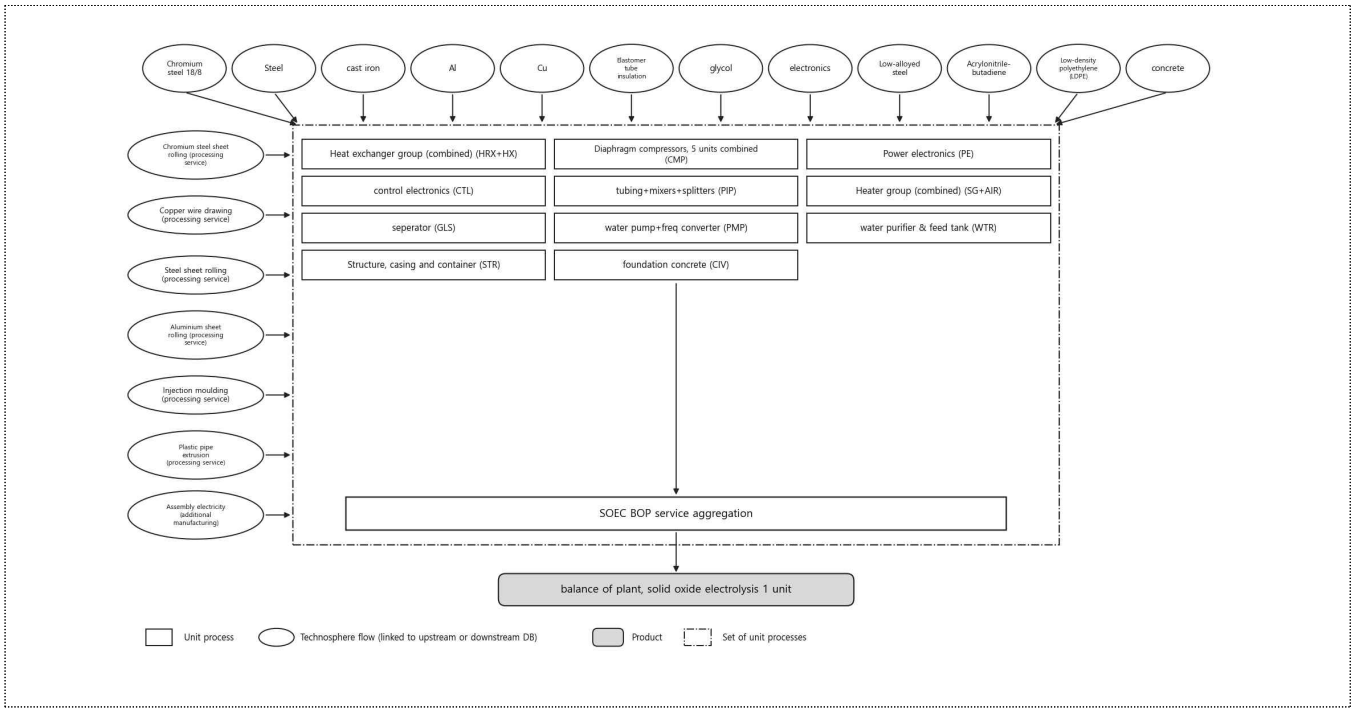
	내용

공통사항	• 대상제품 생산 활동데이터는 현장데이터 수집이 불가하여 공개 문헌데이터를 사용하였다. • 기술별로 단일 대표 문헌의 보고 범위를 따르며, 대표 문헌이 보고하지 않은 설비 · 투입물을 다른 문헌이나 다른 기술의 값으로 채우지 않았다. • 배경(상위흐름) 데이터는 ecoinvent 3.12 Cutoff System을 사용하고, 한국 공급 우선순위(KR → Asia → RoW → GLO)로 연결하였다. 한국 데이터셋이 없는 재료 · 가공은 GLO/RoW 시장 데이터셋을 사용하였다. • 원료 운송은 전경 공정에 별도로 추가하지 않았다. 사용한 ecoinvent 시장(market) 데이터셋에 평균 운송이 포함되어 있으며, 대표 문헌이 공급처 · 운송거리를 보고하지 않아 전경 운송을 추가하면 이중계상 또는 근거 없는 가정이 된다. KTR 「LCI DB 구축 가이드라인」 표 4는 자원/원료 수송을 필수 수집 범주로 두되, 데이터 수집이 어렵거나 영향이 미미한 경우 제외 물질과 사유를 보고서에 명시하도록 하므로(p.10~11) 이에 따라 제외 사유를 기재한다. • 제품 운송 · 설치는 설치 장소가 정해지지 않은 기술 대표 데이터셋이므로 제외하였다.

SOEC BOP	• 원문 SI의 가공 공정 19행(판압연 · 인발 · 사출 · 압출)과, 원문이 이와 별도로 더한 BoP 추가 제조(조립 · 용접) 에너지 76,420.2 kWh/MW(SI Table 2 · 3)를 반영하였다. 원문이 부품별 합계만 제시하므로 BOP 집계 공정에 1행으로 넣고, 원문의 20년 수명 기준 값(0.0202 kWh/kg H_2) 대신 본 데이터셋의 BOP 유효수명(180,074 h)과 제조 SEC 42 kWh/kg H_2 로 환산하였다(0.0178 kWh/kg H_2 , 국가 LCI DB 태양광(LCI-2022-004, 0.1283 kg CO_2 -eq/kWh) 91.2 %와 풍력(LCI-2022-028, 0.0183 kg CO_2 -eq/kWh) 8.8 %를 EPSIS 2025 발전량 비중(91.18 % : 8.82 %)으로 합성한 재생 믹스(openLCA EF 3.1 산정 0.1185 kg CO_2 -eq/kWh). 계통 전력(LCI-2022-023, 0.530 kg CO_2 -eq/kWh)을 적용하면 본 데이터셋 GWP는 5.17E-02에서 5.90E-02 kg CO_2 -eq로 높아진다). 원문은 1 MW 값을 0.7 지수로 환산했다고 서술하지만 표의 값은 선형이므로 표의 값을 그대로 사용하였다. • 추가 제조 에너지의 원문 계수(강재 제품 5.3 kWh/kg 등)는 원출처의 품질이 낮다. 또 본 데이터셋에서 제외한 버퍼탱크 몫(약 182 kWh/MW, 합계의 0.24%)이 원문 합계에 포함되었을 수 있다. 가공 · 조립 과정의 스크랩 · 폐기물은 원문이 보고하지 않아 포함하지 않았다. • 제품 제조(가공 · 조립) 단계의 반영 수준은 대표 문헌의 보고 범위를 따르므로 기술마다 다르다. AWE · PEM은 재료만 반영하였고(제품 제조 ×), AEM은 NEWELY가 보고한 금속가공 · 성형과 변압기 proxy의 제조 전력 · 열을, SOEC는 가공 공정 19행과 추가 제조(조립) 전력을 반영하였다. 기술 간 BOP 결과를 비교할 때 이 차이에 유의해야 한다. • 공기 공급(AIR) · 가스 건조 · 탈산소 설비는 Gerloff 원문이 보고하지 않아 포함하지 않았다. 부품 '히터군(SG+AIR)'에 포함된 공기 가열기와의 관계는 원문 대조로 확인이 필요하다. • 원문 재료 'acrylonitrile-butadiene'은 ABS 공중합체 데이터셋을 proxy로 연결하였다(재질 정체성 미확인). • BOP 배분 분모의 SOEC 제조 비에너지소비(SEC) 42 kWh/kg H_2 는 Iyer et al. 2024(GREET)의 전력등가값(전력 39.8 kWh + 열 6.86 kWh를 33.33 %로 환산)이다. 대표 문헌 Gerloff 2021은 전력 42.3 kWh(열 5.24 kWh 별도)를 사용하였으며, 두 값은 크기는 비슷하나 정의가 다르다. 순전력 39.8 kWh를 분모로 쓰면 BOP 배분량이 약 5 % 줄어든다. 운영 데이터셋의 전력 38.26 kWh + 열 24.96 MJ와도 정의가 다르다. • 원문이 강종 · 재질을 명시하지 않았거나 해당 데이터셋이 없는 재료는 다음 데이터셋으로 대체하였다: 강재 → steel, low-alloyed / 글리콜 → ethylene glycol / 아크릴로니트릴-부타디엔(원문 표기) → acrylonitrile-butadiene-styrene copolymer. 원문 재료가 다른 행은 같은 데이터셋에 연결되어도 별도 행으로 기재하였다.

5 물질 흐름(상세 정보)

(1) 공정흐름도 작성



(2) 데이터 수집 및 계산

본 데이터셋은 BOP 집계 공정이 부품 단위공정 11개를 1 unit씩 받는 단위공정 집합이며, 5절의 투입물은 부품 단위공정의 투입을 합한 단위공정 집합 전체의 투입이다. 집계 공정에 직접 들어가는 추가 제조(조립) 전력도 포함한다.

[1] 데이터 수집

구분		물질명	데이터 구분				LCI DB		
			실측	계산	추정	일반	명칭	출처	연도
투입	원료물질	크롬강 18/8				●	market for steel, chromium steel 18/8 (GLO)	ecoinvent 3.12 Cutoff	2011-2025
	가공 서비스	크롬강 판압연 (가공 서비스)				●	market for sheet rolling, chromium steel (GLO)	ecoinvent 3.12 Cutoff	2011-2025
	원료물질	강재				●	market for steel, low-alloyed (GLO)	ecoinvent 3.12 Cutoff	2011-2025

	원료물질	주철				●	market for cast iron (GLO)	ecoinvent 3.12 Cutoff	2011-2025
	원료물질	알루미늄				●	market for aluminium, wrought alloy (GLO)	ecoinvent 3.12 Cutoff	2011-2025
	원료물질	구리				●	market for copper, cathode (GLO)	ecoinvent 3.12 Cutoff	2011-2025
	원료물질	엘라스토머 튜브 단열재				●	market for tube insulation, elastomere (GLO)	ecoinvent 3.12 Cutoff	2011-2025
	원료물질	글리콜				●	market for ethylene glycol (RoW)	ecoinvent 3.12 Cutoff	2011-2025
	가공 서비스	구리 인발 (가공 서비스)				●	market for wire drawing, copper (GLO)	ecoinvent 3.12 Cutoff	2011-2025
	가공 서비스	강판 압연 (가공 서비스)				●	market for sheet rolling, steel (GLO)	ecoinvent 3.12 Cutoff	2011-2025
	가공 서비스	알루미늄 판압연 (가공 서비스)				●	market for sheet rolling, aluminium (GLO)	ecoinvent 3.12 Cutoff	2011-2025
	원료물질	제어 전자장치				●	market for electronics, for control units (GLO)	ecoinvent 3.12 Cutoff	2011-2025
	원료물질	저합금강				●	market for steel, low-alloyed (GLO)	ecoinvent 3.12 Cutoff	2011-2025
	원료물질	아크릴로니트릴-부타디엔(원문 표기)				●	market for acrylonitrile-butadiene-styrene copolymer (GLO)	ecoinvent 3.12 Cutoff	2011-2025
	가공 서비스	사출 성형 (가공 서비스)				●	market for injection moulding (GLO)	ecoinvent 3.12 Cutoff	2011-2025
	원료물질	저밀도 폴리에틸렌(LDPE)				●	market for polyethylene, low density, granulate (KR)	ecoinvent 3.12 Cutoff	2011-2025
	가공 서비스	플라스틱 파이프 압출 (가공 서비스)				●	market for extrusion, plastic pipes (GLO)	ecoinvent 3.12 Cutoff	2011-2025
	원료물질	콘크리트				●	market for concrete, normal strength (RoW)	ecoinvent 3.12 Cutoff	2019-2025

	에너지	추가 제조(조립) 전력				●	electricity production, renewable mix, photovoltaic 91.2% wind 8.8%, EPSIS 2025 (KR)	국가 LCI DB (LCI-2022-004, LCI-2022-028)	2022(데이터 2021)
	용수								
	수송								
산출	제품	balance of plant, solid oxide electrolysis							
	부산물								
	폐기물 매립								
	폐기물 대기								
	폐기물 수계								

[2] 데이터 할당

공정 중 다중 산출이 발생하지 않아 할당을 수행하지 않았다. 설비 수명에 따른 수소 1 kg당 배분(기능단위 환산)은 할당이 아니다.

구분		물질명	할당인자
1	대상 모듈공정	balance of plant, solid oxide electrolysis	100%
2	부산물		-

[3] 데이터 계산

구분		내용
1	상·하위 흐름 연결을 위한 계산	openLCA 2.7.0에서 기준흐름으로 연결(부품 공정 → BOP 집계 → 검토범위). 배경 provider는 UUID로 직접 지정. 물질별 기여(투입량 × 공급 공정 1단위당 상류 포함 영향)의 합이 openLCA 계산 총량과 일치함을 확인하였다.
2	물질수지/물수지 검증 및 조정	기준흐름 1 unit이 수소 1 kg 배분분으로 정의되어 활동데이터와 단위가 일치한다. 원문 질량을 기능단위로 환산한 값을 엑셀 수식과 독립 계산으로 대조하였다.
3	연료 연소에 따른 배출량 계산	[미해당] 본 공정은 전경에서 연료를 연소하지 않는다.

(3) 물질 투입·산출표

	구분	물질명	데이터 출처				양	단위
			실측	계산	추정	일반		
투입	원료물질	크롬강 18/8				●	5.57E-03	kg
	가공 서비스	크롬강 판압연 (가공 서비스)				●	5.57E-03	kg
	원료물질	강재				●	4.73E-03	kg
	원료물질	주철				●	1.05E-03	kg
	원료물질	알루미늄				●	1.32E-04	kg
	원료물질	구리				●	1.32E-04	kg
	원료물질	엘라스토머 튜브 단열재				●	5.31E-05	kg
	원료물질	글리콜				●	1.23E-05	kg
	가공 서비스	구리 인발 (가공 서비스)				●	1.32E-04	kg
	가공 서비스	강판 압연 (가공 서비스)				●	3.50E-03	kg
	가공 서비스	알루미늄 판압연 (가공 서비스)				●	2.63E-05	kg
	원료물질	제어 전자장치				●	2.63E-05	kg
	원료물질	저합금강				●	6.57E-04	kg
	원료물질	아크릴로니트릴-부타디엔(원문 표기)				●	4.90E-07	kg
	가공 서비스	사출 성형 (가공 서비스)				●	4.90E-07	kg
	원료물질	저밀도 폴리에틸렌(LDPE)				●	1.40E-04	kg
	가공 서비스	플라스틱 파이프 압출 (가공 서비스)				●	1.40E-04	kg
	원료물질	콘크리트				●	4.02E-07	m3
	에너지	추가 제조(조립) 전력				●	0.01782	kWh
	용수							
산출	제품	balance of plant, solid oxide electrolysis					1	unit
	폐기물							
	배출물							

(4) 목록분석 결과

** 별도 엑셀파일 참조*

6 환경영향평가 결과

(1) 영향평가 정보

	지표	내용
1	평가 소프트웨어	openLCA 2.7.0
2	평가 방법론	Environmental footprint 3.1 (EF v3.1, ecoinvent 3.12 Methods)
3	배경 데이터베이스	ecoinvent 3.12 Cutoff System (2026-04-14) + 국가 LCI DB
4	계산 대상	openLCA 공정 electrolyzer balance of plant production, SOEC (BOP 1 unit)

(2) 영향평가 결과

[1] 영향범주별 평가 결과

	영향범주	지표	단위	평가결과	기여도(%)
1	*Acidification*	Accumulated Exceedance (AE)	mol H+-Eq	3.50E-04	크롬강 18/8(45.1%), 구리(21.1%), 강재(11.3%), 크롬강 판압연(가공서비스)(5.5%), 추가 제조(조립) 전력(4.4%), 기타(12.8%)
2	*Climate change*	Radiative forcing as Global Warming Potential (GWP100)	kg CO2-Eq	5.17E-02	크롬강 18/8(53.4%), 강재(18.6%), 크롬강 판압연(가공서비스)(6.6%), 추가 제조(조립) 전력(4.1%), 주철(3.7%), 기타(13.6%)
3	*Climate change: biogenic*	GWP100	kg CO2-Eq	8.08E-05	크롬강 18/8(47.6%),

					추가 제조(조립) 전력(18.6%), 강재(9.1%), 크롬강 판압연(가공 서비스)(8.8%), 구리(2.9%), 기타(13.1%)
4	*Climate change: fossil*	GWP100	kg CO2-Eq	5.15E-02	크롬강 18/8(53.4%), 강재(18.6%), 크롬강 판압연(가공 서비스)(6.6%), 추가 제조(조립) 전력(4.1%), 주철(3.7%), 기타(13.6%)
5	*Climate change: land use and land use change*	GWP100	kg CO2-Eq	5.83E-05	크롬강 18/8(52.3%), 강재(10.3%), 추가 제조(조립) 전력(9.3%), 크롬강 판압연(가공 서비스)(8.8%), 알루미늄(6.1%), 기타(13.2%)
6	*Ecotoxicity: freshwater*	Comparative Toxic Unit for ecosystems (CTUe)	CTUe	6.66E-01	크롬강 18/8(56.6%), 구리(12.3%), 강재(10.5%), 크롬강 판압연(가공 서비스)(9.1%), 제어 전자장치(3.6%), 기타(7.8%)
7	*Ecotoxicity: freshwater, inorganics*	Comparative Toxic Unit for ecosystems (CTUe)	CTUe	6.59E-01	크롬강 18/8(56.8%), 구리(12.4%), 강재(10.4%), 크롬강 판압연(가공 서비스)(9.2%), 제어

					전자장치(3.6%), 기타(7.6%)
8	*Ecotoxicity: freshwater, organics*	Comparative Toxic Unit for ecosystems (CTUe)	CTUe	7.52E-03	크롬강 18/8(45.0%), 강재(22.8%), 추가 제조(조립) 전력(9.1%), 크롬강 판압연 (가공 서비스)(4.7%), 저합금강(3.2%), 기타(15.2%)
9	*Energy resources: non-renewable*	Abiotic resource depletion - fossil fuels (ADP-fossil)	MJ, net calorific value	6.02E-01	크롬강 18/8(52.2%), 강재(16.8%), 크롬강 판압연 (가공 서비스)(7.5%), 추가 제조(조립) 전력(5.0%), 주철(3.6%), 기타(14.9%)
10	*Eutrophication: freshwater*	Fraction of nutrients reaching freshwater end compartment (P)	kg P-Eq	4.70E-05	크롬강 18/8(59.4%), 구리(12.6%), 강재(12.0%), 크롬강 판압연 (가공 서비스)(5.1%), 제어 전자장치(2.5%), 기타(8.5%)
11	*Eutrophication: marine*	Fraction of nutrients reaching marine end compartment (N)	kg N-Eq	5.68E-05	크롬강 18/8(51.5%), 강재(16.6%), 크롬강 판압연 (가공 서비스)(6.5%), 구리(6.3%), 추가 제조(조립) 전력(4.1%), 기타(14.9%)
12	*Eutrophication: terrestrial*	Accumulated Exceedance (AE)	mol N-Eq	6.24E-04	크롬강 18/8(48.9%), 강재(15.4%), 구리(8.1%), 추가

					제조(조립) 전력(6.9%), 크롬강 판압연 (가공 서비스)(6.3%), 기타(14.3%)
13	*Human toxicity: carcinogenic*	Comparative Toxic Unit for humans (CTUh)	CTUh	5.74E-11	크롬강 18/8(45.7%), 강재(18.1%), 구리(13.3%), 주철(8.1%), 크롬강 판압연 (가공 서비스)(3.4%), 기타(11.5%)
14	*Human toxicity: carcinogenic, inorganics*	Comparative Toxic Unit for humans (CTUh)	CTUh	3.45E-11	크롬강 18/8(51.9%), 구리(21.5%), 주철(7.9%), 강재(6.6%), 크롬강 판압연 (가공 서비스)(4.0%), 기타(8.1%)
15	*Human toxicity: carcinogenic, organics*	Comparative Toxic Unit for humans (CTUh)	CTUh	2.30E-11	크롬강 18/8(36.3%), 강재(35.4%), 주철(8.5%), 저합금강(4.9%), 알루미늄(3.7%), 기타(11.1%)
16	*Human toxicity: non-carcinogenic*	Comparative Toxic Unit for humans (CTUh)	CTUh	2.10E-09	구리(37.0%), 크롬강 18/8(27.8%), 주철(15.0%), 강재(9.0%), 추가 제조(조립) 전력(3.0%), 기타(8.3%)
17	*Human toxicity: non-carcinogenic, inorganics*	Comparative Toxic Unit for humans (CTUh)	CTUh	2.03E-09	구리(35.9%), 크롬강 18/8(28.3%), 주철(15.5%), 강재(9.0%), 추가 제조(조립) 전력(3.0%),

					기타(8.3%)
18	*Human toxicity: non-carcinogenic, organics*	Comparative Toxic Unit for humans (CTUh)	CTUh	7.14E-11	구리(66.8%), 크롬강 18/8(13.9%), 강재(6.6%), 구리 인발 (가공 서비스)(2.7%), 제어 전자장치(2.5%), 기타(7.4%)
19	*Ionising radiation: human health*	Human exposure efficiency relative to U	kBq U235-Eq	3.15E-03	크롬강 18/8(55.2%), 크롬강 판압연 (가공 서비스)(12.7%), 강재(9.2%), 추가 제조(조립) 전력(7.7%), 강판 압연 (가공 서비스)(3.0%), 기타(12.2%)
20	*Land use*	Soil quality index	dimensionless	2.59E-01	크롬강 18/8(58.8%), 강재(13.2%), 구리(9.1%), 크롬강 판압연 (가공 서비스)(5.1%), 추가 제조(조립) 전력(2.9%), 기타(10.9%)
21	*Material resources: metals/minerals*	Abiotic resource depletion (ADP ultimate reserves)	kg Sb-Eq	2.30E-06	구리(41.2%), 크롬강 18/8(33.5%), 제어 전자장치(13.0%), 추가 제조(조립) 전력(4.3%), 강재(3.2%), 기타(4.8%)
22	*Ozone depletion*	Ozone Depletion Potential (ODP)	kg CFC-11 -Eq	5.51E-10	크롬강 18/8(36.4%), 추가 제조(조립) 전력(24.5%), 강재(9.8%), 제어 전자장치(7.7%),

					크롬강 판압연 (가공 서비스)(5.5%), 기타(16.2%)
23	*Particulate matter formation*	Human health effects associated with exposure to PM2.5.	disease incidence	4.69E-09	크롬강 18/8(52.4%), 강재(20.2%), 크롬강 판압연 (가공 서비스)(5.0%), 주철(4.6%), 추가 제조(조립) 전력(3.9%), 기타(13.9%)
24	*Photochemical oxidant formation: human health*	Tropospheric ozone concentration increase	kg NMVOC-Eq	1.92E-04	크롬강 18/8(49.0%), 강재(16.7%), 구리(7.4%), 크롬강 판압연 (가공 서비스)(6.7%), 추가 제조(조립) 전력(4.2%), 기타(15.9%)
25	*Water use*	*User deprivation potential (deprivationweighted water consumption)*	*m3 world Eq deprived*	*2.33E-02*	*크롬강 18/8(45.9%), 강재(14.8%), 추가 제조(조립) 전력(11.8%), 크롬강 판압연 (가공 서비스)(10.9%), 강판 압연 (가공 서비스)(4.8%), 기타(11.8%)*

[2] 물질별 영향평가 결과

	구분	흐름	물질명	목록		평가결과 (kg CO_2 eq.)	기여도(%)
				양	단위		
1	투입	중간	크롬강 18/8	5.57E-03	kg	2.76E-02	53.39
2	투입	중간	크롬강 판압연 (가공 서비스)	5.57E-03	kg	3.43E-03	6.63
3	투입	중간	강재	4.73E-03	kg	9.59E-03	18.56
4	투입	중간	주철	1.05E-03	kg	1.92E-03	3.71
5	투입	중간	알루미늄	1.32E-04	kg	1.70E-03	3.28
6	투입	중간	구리	1.32E-04	kg	8.84E-04	1.71
7	투입	중간	엘라스토머 튜브 단열재	5.31E-05	kg	2.72E-04	0.53
8	투입	중간	글리콜	1.23E-05	kg	3.11E-05	0.06
9	투입	중간	구리 인발 (가공 서비스)	1.32E-04	kg	9.08E-05	0.18
10	투입	중간	강판 압연 (가공 서비스)	3.50E-03	kg	1.29E-03	2.50
11	투입	중간	알루미늄 판압연 (가공 서비스)	2.63E-05	kg	1.64E-05	0.03
12	투입	중간	제어 전자장치	2.63E-05	kg	8.81E-04	1.71
13	투입	중간	저합금강	6.57E-04	kg	1.33E-03	2.58
14	투입	중간	아크릴로니트릴-부타디엔(원문 표기)	4.90E-07	kg	2.28E-06	0.00
15	투입	중간	사출 성형 (가공 서비스)	4.90E-07	kg	6.11E-07	0.00
16	투입	중간	저밀도 폴리에틸렌(LDPE)	1.40E-04	kg	3.59E-04	0.69
17	투입	중간	플라스틱 파이프 압출 (가공 서비스)	1.40E-04	kg	5.73E-05	0.11
18	투입	중간	콘크리트	4.02E-07	m3	1.23E-04	0.24
19	투입	중간	추가 제조(조립) 전력	0.01782	kWh	2.11E-03	4.09
20	산출	중간	balance of plant, solid oxide electrolysis	1	unit	합계 5.17E-02	100.00

8 참고자료

1) *Gerloff, N. Comparative Life-Cycle-Assessment analysis of three major water electrolysis technologies while applying various energy scenarios for a greener hydrogen production. Journal of Energy Storage 43 (2021) 102759. https://doi.org/10.1016/j.est.2021.102759*

2) *환경부 · 한국환경산업기술원. 국가 LCI 데이터베이스(LCI-2022-004 태양광, LCI-2022-028 풍력, LCI-2022-023 계통 전력(비교용)).*

3) *Ciroth, A. (GreenDelta) Refining the pedigree matrix approach in ecoinvent, 2013.*

9 사용 LCI DB 목록

	물질명	LCI DB 명	국가명	출처	년도	유효기간
1	크롬강 18/8	market for steel, chromium steel 18/8	GLO	ecoinvent 3.12 Cutoff	2011	2025
2	크롬강 판압연 (가공 서비스)	market for sheet rolling, chromium steel	GLO	ecoinvent 3.12 Cutoff	2011	2025
3	강재	market for steel, low-alloyed	GLO	ecoinvent 3.12 Cutoff	2011	2025
4	주철	market for cast iron	GLO	ecoinvent 3.12 Cutoff	2011	2025
5	알루미늄	market for aluminium, wrought alloy	GLO	ecoinvent 3.12 Cutoff	2011	2025
6	구리	market for copper, cathode	GLO	ecoinvent 3.12 Cutoff	2011	2025
7	엘라스토머 튜브 단열재	market for tube insulation, elastomere	GLO	ecoinvent 3.12 Cutoff	2011	2025
8	글리콜	market for ethylene glycol	RoW	ecoinvent 3.12 Cutoff	2011	2025
9	구리 인발 (가공 서비스)	market for wire drawing, copper	GLO	ecoinvent 3.12 Cutoff	2011	2025
10	강판 압연 (가공 서비스)	market for sheet rolling, steel	GLO	ecoinvent 3.12 Cutoff	2011	2025
11	알루미늄 판압연 (가공 서비스)	market for sheet rolling, aluminium	GLO	ecoinvent 3.12 Cutoff	2011	2025
12	제어 전자장치	market for electronics, for control units	GLO	ecoinvent 3.12 Cutoff	2011	2025

13	저합금강	market for steel, low-alloyed	GLO	ecoinvent 3.12 Cutoff	2011	2025
14	아크릴로니트릴-부타디엔(원문 표기)	market for acrylonitrile-butadiene-styrene copolymer	GLO	ecoinvent 3.12 Cutoff	2011	2025
15	사출 성형 (가공 서비스)	market for injection moulding	GLO	ecoinvent 3.12 Cutoff	2011	2025
16	저밀도 폴리에틸렌(LDPE)	market for polyethylene, low density, granulate	KR	ecoinvent 3.12 Cutoff	2011	2025
17	플라스틱 파이프 압출 (가공 서비스)	market for extrusion, plastic pipes	GLO	ecoinvent 3.12 Cutoff	2011	2025
18	콘크리트	market for concrete, normal strength	RoW	ecoinvent 3.12 Cutoff	2019	2025
19	추가 제조(조립) 전력	electricity production, renewable mix, photovoltaic 91.2% wind 8.8%, EPSIS 2025	KR	국가 LCI DB (LCI-2022-004, LCI-2022-028)	2022(데이터 2021)	2024

KTR 검토 반영내역

No	구분	검토의견	반영내용
1	공통	사용 LCI DB 목록: 같은 물질을 합친 행 분리	물질마다 1행으로 나눴습니다.
2	공통	5쪽 물질 흐름(요약)과 본문 목록 불일치	요약 목록을 본문과 같은 이름 · 순서 · 양으로 맞췄습니다. BOP는 부품별 투입을 재료로 펼친 목록임을 표 아래 적었습니다.
3	공통	영향평가 값 차이(0.0073 kg CO_2 e)	전력 데이터셋 차이입니다. 본 DB는 재생 믹스(태양광 91.2 % + 풍력 8.8 %, 0.1185 kg CO_2 e/kWh)를 썼고, 검토값은 계통 전력(0.530)으로 다시 계산한 값과 0.3 % 안에서 같습니다. 결과표 정정을 요청드립니다: 0.059 → 0.0517 kg CO_2 e. 보고서에 전력 데이터셋 · 계수와 계통 전력 적용 시 값을 적었습니다.
4	공통	태양광 20년 · 30년 중 무엇인지	국가 LCI DB 태양광(LCI-2022-004) 원 데이터를 그대로 썼고, 수명은 따로 가정하지 않았습니다.
5	자체 정정	–	제출한 목록분석결과 엑셀에 추가 제조(조립) 전력 1행이 빠져 있어 교체본을 보냅니다. 보고서와 결과값(0.0517)은 그대로입니다.
6	개별	SEC 42 kWh/kg H_2 근거	출처를 보충했습니다: Iyer et al. 2024(GREET)의 전력등가값(열 포함 환산)입니다. 대표 문헌 Gerloff 2021의 42.3은 전력만의 값이라 정의가 다르며, 순전력으로 쓰면 배분량이 약 5 % 줄어든다고 적었습니다.
7	공통	검토 DQR은 참고용	참고하겠습니다.