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 '수소철도(트램) 공조장치 – KR – air conditioning unit, for hydrogen rail vehicle (tram)'

** 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**	수소철도(트램) 공조장치 1 kg
2	**지역**	Korea (KR)
3	**기간**	2026-01-01 to 2028-12-31 - Valid for the entire period
4	**참조 제품**	air conditioning unit, for hydrogen rail vehicle (tram) (1 kg)
5	**데이터 세트 유형**	Transforming activity
6	**기술 수준**	TRL(Technology Readiness Level 9)

지리적 위치를 나타낼 수 있는 사진 기입 (선택)

데이터의 지역적 범위: 대한민국(철기연 수소철도(트램) 부품 BOM 기반 기술 대표 데이터, 배경 데이터는 한국 공급 우선 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	air conditioning unit, for hydrogen rail vehicle (tram)		1 kg

	Inputs from technosphere	Amount
1	알루미늄 전신재 r212	2.70E-01 kg
2	알루미늄 판압연 r212	2.70E-01 kg
3	세라믹 절연체 r213	2.02E-03 kg
4	구리 r214	5.35E-02 kg
5	구리 판압연 r214	5.35E-02 kg
6	경질 PU r215	6.89E-02 kg
7	사출 성형 r215	6.93E-02 kg
8	PVC r216	9.42E-06 kg
9	압출 r216	9.42E-06 kg
10	PVC r217	1.30E-04 kg
11	압출 r217	1.30E-04 kg
12	실리콘 r218	4.74E-04 kg
13	시트·실 공압출 r218	4.74E-04 kg
14	스테인리스강 r219	5.24E-01 kg
15	스테인리스 평균 가공 r219	5.24E-01 kg
16	탄소강 r220	6.95E-02 kg
17	강 평균 가공 r220	6.95E-02 kg
18	저합금강 열연 r221	8.64E-03 kg
19	강 평균 가공 r221	8.64E-03 kg
20	합성고무 r222	2.70E-03 kg

4 일반사항

(1) 데이터 개요

본 LCI DB의 대상은 수소철도(트램)(5모듈 저상 노면전차, 1편성 공차 50.5 t)의 Level 2 부품 '공조장치'의 제조(원료채취와 부품 1차 성형 · 가공)이다. 객실 공조장치, 라이너(알루미늄), 히터(스테인리스 · 세라믹), 팬(PU), 유닛(구리 · 강), 패킹 등을 포함한다.
철기연(한국철도기술연구원)이 제공한 수소철도(트램) BOM 중 L2 'Air conditioning'(공조장치) 11행(수소철도(트램) 1편성 3,424.3 kg)의 재질 구성을 1 kg으로 정규화하였다. 기준흐름은 수소철도(트램) 공조장치 1 kg이며, 1편성 투입량 3,424.3 kg은 상위 Level 1 공정 '⑤ 공조'에서 정한다.
수소철도(트램)은 수소 연료전지를 동력원으로 하는 저상 노면전차이며, 본 데이터셋은 그 공통부품 중 '공조장치'에 해당한다.

(2) 시장조사 및 대상업체 선정

현재 수소철도(트램)은 국내에서 실증 · 도입 초기 단계이며, 차량 제작사의 부품별 BOM은 공개되지 않는다. 따라서 특정 제조업체의 시장 점유율이나 생산량을 기준으로 대표 기업을 선정하는 것은 현재 단계에서 불가능하다.
본 LCI 모듈은 과제 참여기관인 철기연이 제공한 「수소 기술 DB 트리 분석 양식(수소트램)」(2026-08-24 수신)의 수소철도(트램) 부품별 재질 · 질량을 사용하였다. 질량은 철기연 원자료와 철기연이 정한 중량 환산 규칙으로 산정한 수소철도(트램) 1편성 기준 값이다. 향후 수소철도(트램) 제작사 부품 자료가 확보되면 보완 · 개정될 기초 데이터베이스이다.
사용 범위: L2 'Air conditioning' 11행(수소철도(트램) 1편성 3,424.3 kg). 원자료의 행은 부품 1개가 아니라 같은 재질 코드로 묶인 질량이다.
환산식: 투입량(kg/kg) = 행 질량 ÷ L2 그룹 질량 합(수소철도(트램) 1편성 3,424.3 kg). 예: r219 Heater 외 1,794.3 kg ÷ 3,424.3 kg = 5.24E-01 kg. 행별 재질은 ecoinvent 재료 데이터셋과 형상별 1차 성형 · 가공 데이터셋(재료 질량과 1:1)으로 연결하였다.

(3) 기능단위 설정

	내용	
기능	수소철도(트램) 1편성 제작에 쓰이는 공조장치 공급	
기능단위	수소철도(트램) 공조장치 1 kg 생산	
기준흐름	air conditioning unit, for hydrogen rail vehicle (tram) 1 kg	수소철도(트램) 공조장치 재질 구성 1 kg(1편성 투입량 3,424.3 kg은 상위 Level 1에서 정함)

(4) 시스템 경계

	원료채취	물질/제품 제조		사용		폐기		재활용
	Raw material extraction	Transportation	Product manufacturing	Use	Maintenance	Transportation	Final disposal	Transportation
공정	●	×[1]	×	×	×	×	×	×

원료채취(원재료 생산)와 부품 1차 성형 · 가공(판압연 · 압출 · 신선 · 평균 금속가공 · 사출 등 ecoinvent 가공 서비스 데이터셋)을 포함한다. 부품 조립(제품 제조) 단계는 원자료(철기연 BOM)가 재질 · 질량만 제공하여 포함하지 않았다(×). 원료 수송은 각주 [1] 과 같이 부분 반영하였고(×[1]), 사용 · 폐기 단계는 부품 단위 cradle-to-gate 데이터셋이므로 제외하였다. 근로자 편의시설 · 사무공간 등 생산과 직접 관련 없는 활동은 제외하였다.

[1] A2(원료 수송): 원료의 수송은 ecoinvent 'market for' 데이터셋에 포함된 평균 수송으로 반영되며, 부품 공급사에서 차량 제작사까지의 수송은 공급처를 특정할 수 없어 반영하지 않았다.

(5) 제외 기준

원자료(철기연 수소철도(트램) BOM) L2 'Air conditioning'의 행 11개를 질량 · 영향 기여와 관계없이 모두 포함하였다(질량 기준 컷오프 미적용).
원자료가 제공하지 않은 부품 조립 에너지 · 보조물질 · 폐기물 · 배출물은 임의로 채우지 않았다(가정 및 제한사항 참조).
근로자 편의시설 · 사무공간 등 생산과 직접 관련 없는 활동은 제외하였다.

(6) 데이터 범주

	구분		물질명
투입	원료물질		알루미늄 전신재, 세라믹 절연체, 구리, 경질 PU, PVC, 실리콘, 스테인리스강, 탄소강, 저합금강 열연, 합성고무
	보조물질		가공 서비스: 알루미늄 판압연, 구리 판압연, 사출 성형, 압출, 시트 · 실 공압출, 스테인리스 평균 가공, 강 평균 가공 그 밖의 보조물질은 원자료에 자료 없음
	용수		전경 투입 없음(원자료에 자료 없음)
	에너지		1차 성형 · 가공 에너지는 가공 서비스 데이터셋에 포함, 부품 조립 에너지는 원자료에 자료 없음
산출	제품		air conditioning unit, for hydrogen rail vehicle (tram)
	부산물(할당)		해당 없음(단일 산출)
	잔여물	매립	원자료에 자료 없음
		소각	원자료에 자료 없음
		재활용	원자료에 자료 없음
	배출물	대기	원자료에 자료 없음
		수계	원자료에 자료 없음
		토양	원자료에 자료 없음

(7) 데이터 품질 평가 출처

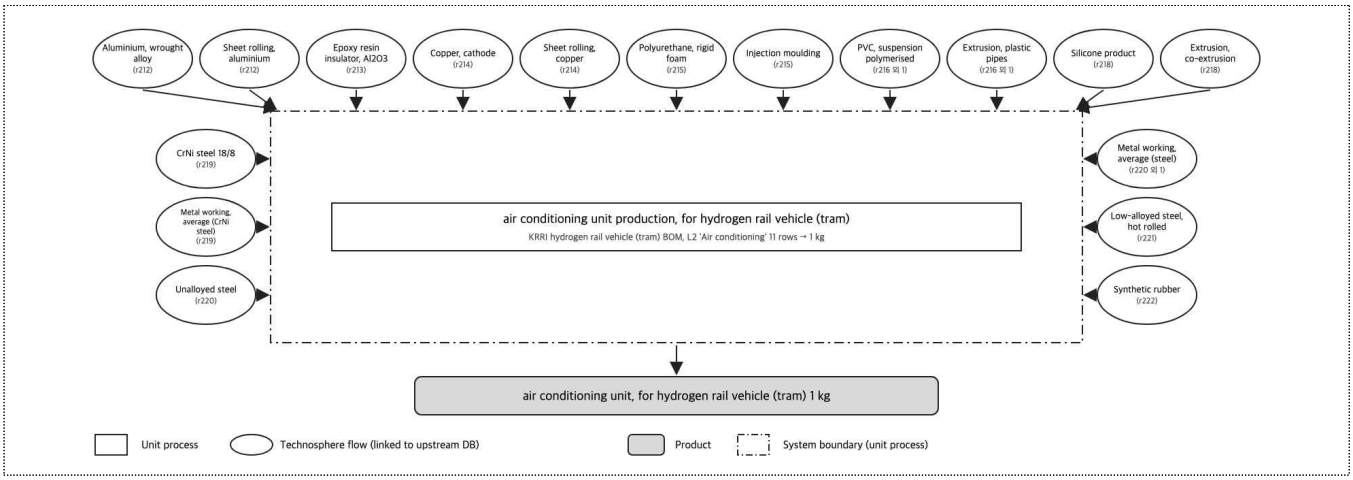
	특정데이터	일반데이터
정밀도(P)		
시간적 대표성(TiR)		4.01
지역적 대표성(GeR)		2.00
기술적 대표성(TeR)		2.91
Total DQR		2.97 (좋음)

(8) 가정 및 제한사항

	내용
공통 사항	• 대상제품 생산 활동데이터는 현장데이터 수집이 불가하여 철기연이 제공한 수소철도(트램) 부품별 재질 · 질량(「수소 기술 DB 트리 분석 양식(수소트램)」)을 사용하였다. • 원자료의 수소철도(트램) 질량은 철기연 원자료와 철기연 중량 환산 규칙으로 산정한 값으로 제작사 실측 BOM이 아니며, 저상 대차 · 제동 방식 등 수소철도(트램) 고유 설계가 충분히 반영되지 않았을 수 있다. • 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 수송(A2)은 시스템 경계 표 각주 [1] 과 같이 부분 반영함. • 본 DB는 부품 단위의 cradle-to-gate DB로, 제품 수송(A4)과 설치(A5)는 이를 사용하는 상위 시스템(수소철도(트램) Level 1 · 차량 공정)에서 적용함. • 부품의 1차 성형 · 가공 에너지는 가공 서비스 데이터셋으로 반영하였으나, 부품 조립 단계의 에너지 · 폐기물은 원자료에 자료가 없어 반영하지 않았다. 본 DB를 단독으로 사용하면 조립 에너지가 포함되지 않음. • 전력 · 열 · 용수 등 유틸리티를 전경에서 직접 투입하지 않아 국가 LCI DB 유틸리티 데이터셋의 연결 대상이 없다(가공 서비스 데이터셋 내부의 전력은 ecoinvent 배경 데이터). • 원자료 재질 · 형상과 정확히 대응하는 데이터셋이 없는 투입은 데이터 수집표와 사용 LCI DB 목록에 '(proxy)'로 표시하고 근거를 아래에 적었다.
공조 장치	• 원자료에 재질 코드(LCIDB)가 없는 행은 같은 L2 그룹의 코드 정렬 순서와 부품명으로 재질 코드를 판정하였다(유일 판정 r213, r222; 추정 r214, r215, r219, r220, r221; 약한 추정 r212, r216, r217, r218). 행별 판정 근거는 목록분석결과 엑셀(openLCA process export) Inputs 시트 Description 열에 적었다. • (proxy) 관련 재료 · 등급 proxy(알루미늄 합금 조성 미지정 → 전신재 평균): 알루미늄 전신재 r212 • (proxy) 기능 · 재질 proxy(세라믹 절연체 → 에폭시-알루미나 절연체): 세라믹 절연체 r213 • (proxy) 관련 재료 · 등급 proxy(경질 PU 폼): 경질 PU r215 • (proxy) 관련 재료 · 등급 proxy(실리콘 제품 평균): 실리콘 r218 • (proxy) 관련 재료 · 등급 proxy(스테인리스 강종 미지정 → 18/8): 스테인리스강 r219 • (proxy) 공법 proxy(형상별 평균 금속가공, 실제 가공 공정 미상): 스테인리스 평균 가공 r219, 강 평균 가공 r220, 강 평균 가공 r221 • (proxy) 관련 재료 · 등급 proxy(고무 종류 미지정 → 합성고무 평균): 합성고무 r222 • 사출 성형 서비스는 제품 질량의 1/0.994배(성형 수율 99.4 %)로 연결하였다(수지 투입량은 제품 질량과 같음).

5 물질 흐름(상세 정보)

(1) 공정흐름도 작성



(2) 데이터 수집 및 계산

본 데이터셋은 단위공정 1개이며, 투입물은 원자료(철기연 수소철도(트램) BOM) L2 'Air conditioning' 11행의 재료와 형상별 가공 서비스이다. 물질명은 원자료 표기(행 번호 · 대표 부품명 · 재질)이고, LCI DB 명칭은 연결한 데이터셋이다.

[1] 데이터 수집

구분		물질명	데이터 구분				LCI DB		
			실측	계산	추정	일반	명칭	출처	연도
투입	원료물질	r212 Liner 외(알루미늄 합금)		●			(proxy) market for aluminium, wrought alloy (GLO)	ecoinvent 3.12 Cutoff	2011-2025
	가공 서비스	r212 Liner 외(알루미늄 합금) 가공		●			market for sheet rolling, aluminium (GLO)	ecoinvent 3.12 Cutoff	2011-2025
	원료물질	r213 Heater(Ceramics)		●			(proxy) market for epoxy resin insulator, Al2O3 (GLO)	ecoinvent 3.12 Cutoff	2011-2025
	원료물질	r214 Unit 외(구리합금)		●			market for copper, cathode (GLO)	ecoinvent 3.12 Cutoff	2011-2025
	가공 서비스	r214 Unit 외(구리합금)		●			market for sheet rolling, copper	ecoinvent 3.12	2011-2025

구분		물질명	데이터 구분				LCI DB		
			실측	계산	추정	일반	명칭	출처	연도
		가공					(GLO)	Cutoff	
	원료물질	r215 Fan 외(플라스틱)		●			(proxy) market for polyurethane, rigid foam (RoW)	ecoinvent 3.12 Cutoff	2011-2025
	가공 서비스	r215 Fan 외(플라스틱) 가공		●			injection moulding (RoW)	ecoinvent 3.12 Cutoff	1993-2025
	원료물질	r216 Wire(플라스틱)		●			market for polyvinyl chloride, suspension polymerised (RAS without CN)	ecoinvent 3.12 Cutoff	2011-2025
	가공 서비스	r216 Wire(플라스틱) 가공		●			market for extrusion, plastic pipes (GLO)	ecoinvent 3.12 Cutoff	2011-2025
	원료물질	r217 Liner(플라스틱)		●			market for polyvinyl chloride, suspension polymerised (RAS without CN)	ecoinvent 3.12 Cutoff	2011-2025
	가공 서비스	r217 Liner(플라스틱) 가공		●			market for extrusion, plastic pipes (GLO)	ecoinvent 3.12 Cutoff	2011-2025
	원료물질	r218 Packing 외(플라스틱)		●			(proxy) market for silicone product (RoW)	ecoinvent 3.12 Cutoff	2011-2025
	가공 서비스	r218 Packing 외(플라스틱) 가공		●			market for extrusion, co-extrusion (GLO)	ecoinvent 3.12 Cutoff	2012-2025
	원료물질	r219 Heater 외(steel)		●			(proxy) market for steel, chromium steel 18/8 (GLO)	ecoinvent 3.12 Cutoff	2011-2025
	가공 서비스	r219 Heater 외(steel) 가공		●			(proxy) market for metal working, average for chromium steel product manufacturing	ecoinvent 3.12 Cutoff	2011-2025

구분		물질명	데이터 구분				LCI DB		
			실측	계산	추정	일반	명칭	출처	연도
							(GLO)		
	원료물질	r220 Unit 외(steel)		●			market for steel, unalloyed (GLO)	ecoinvent 3.12 Cutoff	2011-2025
	가공 서비스	r220 Unit 외(steel) 가공		●			(proxy) market for metal working, average for steel product manufacturing (GLO)	ecoinvent 3.12 Cutoff	2011-2025
	원료물질	r221 (Unit 외)(steel)		●			market for steel, low-alloyed, hot rolled (GLO)	ecoinvent 3.12 Cutoff	2011-2025
	가공 서비스	r221 (Unit 외)(steel) 가공		●			(proxy) market for metal working, average for steel product manufacturing (GLO)	ecoinvent 3.12 Cutoff	2011-2025
	원료물질	r222 Heater 외(합성고무)		●			(proxy) market for synthetic rubber (GLO)	ecoinvent 3.12 Cutoff	2011-2025
	에너지								
	용수								
	수송								
산출	제품	air conditioning unit, for hydrogen rail vehicle (tram)							
	부산물								
	폐기물 매립								
	폐기물 대기								
	폐기물 수계								

[2] 데이터 할당

구분		물질명	할당인자
1	대상 모듈공정	air conditioning unit, for hydrogen rail vehicle (tram)	100%
2	부산물		–

공정 중 다중 산출이 발생하지 않아 할당을 수행하지 않았다.

[3] 데이터 계산

구분		내용
1	상·하위 흐름 연결을 위한 계산	openLCA 2.7.0에서 기준흐름으로 연결(본 공정 → 상위 Level 1 '⑤ 공조', 1편성 3,424.3 kg 투입). 배경 provider는 UUID로 직접 지정. 투입물별 기여(투입량 × 공급 공정 1단위당 상류 포함 영향)의 합이 openLCA 계산 총량과 일치함을 확인하였다(EF v3.1 25개 범주). 투입량 = 행 질량 ÷ L2 그룹 질량 합(수소철도(트램) 1편성 3,424.3 kg). 같은 데이터셋에 연결되는 행도 원자료 행별로 기재함.
2	물질수지/물수지 검증 및 조정	[원자료 BOM 기준 대조] 현장 공정자료 없이 원자료 BOM(재질 · 질량)으로 구축하여 공정 손실을 포함한 현장 물질수지는 산정할 수 없다. 기준흐름 1 kg의 질량은 투입 원료물질 질량의 합 1.000 kg과 같다(원자료 BOM 기준 일치, 투입/산출 100.0%). 원자료 11행의 질량 합 3,424.3 kg은 L2 그룹 질량(수소철도(트램) 1편성 3,424.3 kg)과 같다. 가공 서비스는 가공 대상 질량에 대한 서비스로 질량 합에서 제외한다.
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	r212 Liner 외(알루미늄 합금)		●			2.70E-01	kg
	가공 서비스	r212 Liner 외(알루미늄 합금) 가공		●			2.70E-01	kg
	원료물질	r213 Heater(Ceramics)		●			2.02E-03	kg
	원료물질	r214 Unit 외(구리합금)		●			5.35E-02	kg
	가공 서비스	r214 Unit 외(구리합금) 가공		●			5.35E-02	kg
	원료물질	r215 Fan 외(플라스틱)		●			6.89E-02	kg
	가공 서비스	r215 Fan 외(플라스틱) 가공		●			6.93E-02	kg
	원료물질	r216 Wire(플라스틱)		●			9.42E-06	kg
	가공 서비스	r216 Wire(플라스틱) 가공		●			9.42E-06	kg
	원료물질	r217 Liner(플라스틱)		●			1.30E-04	kg
	가공 서비스	r217 Liner(플라스틱) 가공		●			1.30E-04	kg
	원료물질	r218 Packing 외(플라스틱)		●			4.74E-04	kg
	가공 서비스	r218 Packing 외(플라스틱) 가공		●			4.74E-04	kg
	원료물질	r219 Heater 외(steel)		●			5.24E-01	kg
	가공 서비스	r219 Heater 외(steel) 가공		●			5.24E-01	kg
	원료물질	r220 Unit 외(steel)		●			6.95E-02	kg
	가공 서비스	r220 Unit 외(steel) 가공		●			6.95E-02	kg
	원료물질	r221 (Unit 외)(steel)		●			8.64E-03	kg
	가공 서비스	r221 (Unit 외)(steel) 가공		●			8.64E-03	kg
	원료물질	r222 Heater 외(합성고무)		●			2.70E-03	kg
	에너지							
	용수							
산출	제품	air conditioning unit, for hydrogen rail vehicle (tram)					1	kg
	폐기물							
	배출물							

※ 물질명의 r번호는 철기연 원자료 행 번호이며, 행별 원자료 부품명 · 재질과 재질 판정 근거는 목록분석결과 엑셀(openLCA process export) Inputs 시트 Description 열에 있다.

(4) 목록분석 결과

* 별도 엑셀파일 참조: 목록분석결과/09_공조장치_목록분석결과.xlsx

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)
4	계산 대상	openLCA 공정 air conditioning unit production, for hydrogen rail vehicle (tram) (폴더 '수소철도(트램)/제출용 L2 11종(DQR 상위)', 1 kg)

(2) 영향평가 결과

[1] 영향범주별 평가 결과

	영향범주	지표	단위	평가결과	기여도(%)
1	Acidification	Accumulated Exceedance (AE)	mol H+-Eq	7.94E-02	구리 r214(37.5%), 알루미늄 전신재 r212(28.8%), 스테인리스강 r219(18.7%), 스테인리스 평균 가공 r219(8.1%), 경질 PU r215(2.2%), 기타(4.7%)
2	Climate change	Radiative forcing as Global Warming Potential (GWP100)	kg CO2-Eq	8.85E+00	알루미늄 전신재 r212(39.3%), 스테인리스강 r219(29.3%), 스테인리스 평균 가공 r219(15.8%), 경질 PU r215(4.5%), 구리 r214(4.0%), 기타(7.0%)
3	Climate change: biogenic	GWP100	kg CO2-Eq	6.22E-02	스테인리스 평균 가공 r219(71.1%), 강 평균 가공 r220(9.3%), 알루미늄 전신재 r212(6.7%), 스테인리스강 r219(5.8%), 알루미늄 판압연 r212(2.2%), 기타(4.8%)
4	Climate change: fossil	GWP100	kg CO2-Eq	8.77E+00	알루미늄 전신재 r212(39.6%), 스테인리스강 r219(29.5%), 스테인리스 평균 가공 r219(15.4%), 경질 PU r215(4.6%), 구리 r214(4.1%), 기타(6.9%)

	영향범주	지표	단위	평가결과	기여도(%)
5	Climate change: land use and land use change	GWP100	kg CO2-Eq	1.58E-02	알루미늄 전신재 r212(45.9%), 스테인리스강 r219(18.1%), 경질 PU r215(17.1%), 스테인리스 평균 가공 r219(10.0%), 구리 r214(4.3%), 기타(4.6%)
6	Ecotoxicity: freshwater	Comparative Toxic Unit for ecosystems (CTUe)	CTUe	1.06E+02	스테인리스강 r219(33.4%), 구리 r214(31.2%), 경질 PU r215(11.7%), 스테인리스 평균 가공 r219(11.7%), 알루미늄 전신재 r212(8.5%), 기타(3.6%)
7	Ecotoxicity: freshwater, inorganics	Comparative Toxic Unit for ecosystems (CTUe)	CTUe	1.03E+02	스테인리스강 r219(34.0%), 구리 r214(32.0%), 스테인리스 평균 가공 r219(11.8%), 경질 PU r215(10.1%), 알루미늄 전신재 r212(8.5%), 기타(3.6%)
8	Ecotoxicity: freshwater, organics	Comparative Toxic Unit for ecosystems (CTUe)	CTUe	2.88E+00	경질 PU r215(67.5%), 스테인리스강 r219(11.1%), 알루미늄 전신재 r212(10.5%), 스테인리스 평균 가공 r219(5.2%), 구리 r214(2.7%), 기타(3.1%)
9	Energy resources: non-renewable	Abiotic resource depletion - fossil fuels (ADP-fossil)	MJ, net calorific value	9.93E+01	알루미늄 전신재 r212(34.0%), 스테인리스강 r219(29.8%), 스테인리스 평균 가공 r219(17.1%), 경질 PU r215(6.9%), 구리 r214(4.5%), 기타(7.8%)
10	Eutrophication: freshwater	Fraction of nutrients reaching freshwater end compartment (P)	kg P-Eq	7.56E-03	스테인리스강 r219(34.7%), 구리 r214(31.5%), 알루미늄 전신재 r212(16.5%), 스테인리스 평균 가공 r219(11.6%), 경질 PU r215(1.4%), 기타(4.3%)
11	Eutrophication: marine	Fraction of nutrients reaching marine end compartment (N)	kg N-Eq	1.05E-02	알루미늄 전신재 r212(35.5%), 스테인리스강 r219(26.2%), 구리 r214(13.8%), 스테인리스 평균 가공 r219(13.1%), 경질 PU r215(5.6%), 기타(5.9%)
12	Eutrophication: terrestrial	Accumulated Exceedance (AE)	mol N-Eq	1.12E-01	알루미늄 전신재 r212(34.5%), 스테인리스강 r219(25.7%), 구리 r214(18.3%), 스테인리스 평균 가공 r219(11.9%), 경질 PU r215(3.8%), 기타(5.8%)

	영향범주	지표	단위	평가결과	기여도(%)
13	Human toxicity: carcinogenic	Comparative Toxic Unit for humans (CTUh)	CTUh	9.71E-09	구리 r214(31.7%), 스테인리스강 r219(25.4%), 알루미늄 전신재 r212(22.8%), 스테인리스 평균 가공 r219(9.6%), 경질 PU r215(5.8%), 기타(4.8%)
14	Human toxicity: carcinogenic, inorganics	Comparative Toxic Unit for humans (CTUh)	CTUh	5.84E-09	구리 r214(51.3%), 스테인리스강 r219(28.8%), 스테인리스 평균 가공 r219(8.3%), 알루미늄 전신재 r212(7.6%), 구리 판압연 r214(2.1%), 기타(1.9%)
15	Human toxicity: carcinogenic, organics	Comparative Toxic Unit for humans (CTUh)	CTUh	3.87E-09	알루미늄 전신재 r212(45.5%), 스테인리스강 r219(20.3%), 경질 PU r215(13.3%), 스테인리스 평균 가공 r219(11.6%), 탄소강 r220(3.5%), 기타(5.8%)
16	Human toxicity: non-carcinogenic	Comparative Toxic Unit for humans (CTUh)	CTUh	4.39E-07	구리 r214(71.3%), 스테인리스강 r219(12.5%), 알루미늄 전신재 r212(7.0%), 스테인리스 평균 가공 r219(4.4%), 구리 판압연 r214(2.8%), 기타(2.0%)
17	Human toxicity: non-carcinogenic, inorganics	Comparative Toxic Unit for humans (CTUh)	CTUh	4.16E-07	구리 r214(70.7%), 스테인리스강 r219(13.0%), 알루미늄 전신재 r212(7.2%), 스테인리스 평균 가공 r219(4.5%), 구리 판압연 r214(2.8%), 기타(1.9%)
18	Human toxicity: non-carcinogenic, organics	Comparative Toxic Unit for humans (CTUh)	CTUh	2.34E-08	구리 r214(82.4%), 알루미늄 전신재 r212(4.2%), 스테인리스강 r219(4.0%), 구리 판압연 r214(3.3%), 스테인리스 평균 가공 r219(2.6%), 기타(3.5%)
19	Ionising radiation: human health	Human exposure efficiency relative to U	kBq U235-Eq	4.18E-01	스테인리스강 r219(39.1%), 스테인리스 평균 가공 r219(27.4%), 알루미늄 전신재 r212(11.6%), 구리 r214(8.5%), 경질 PU r215(3.6%), 기타(9.8%)
20	Land use	Soil quality index	dimensionless	4.37E+01	스테인리스강 r219(32.7%), 구리 r214(21.7%), 알루미늄 전신재 r212(18.0%), 스테인리스 평균 가공 r219(17.4%), 경질 PU r215(4.0%), 기타(6.2%)

	영향범주	지표	단위	평가결과	기여도(%)
21	Material resources: metals/minerals	Abiotic resource depletion (ADP ultimate reserves)	kg Sb-Eq	5.09E-04	구리 r214(75.3%), 스테인리스강 r219(14.2%), 스테인리스 평균 가공 r219(4.0%), 구리 판압연 r214(3.0%), 알루미늄 전신재 r212(2.3%), 기타(1.2%)
22	Ozone depletion	Ozone Depletion Potential (ODP)	kg CFC-11 -Eq	1.13E-07	실리콘 r218(30.4%), 알루미늄 전신재 r212(17.2%), 스테인리스강 r219(16.6%), 스테인리스 평균 가공 r219(13.5%), 경질 PU r215(11.1%), 기타(11.3%)
23	Particulate matter formation	Human health effects associated with exposure to PM2.5.	disease incidence	7.62E-07	알루미늄 전신재 r212(39.5%), 스테인리스강 r219(30.3%), 스테인리스 평균 가공 r219(12.8%), 구리 r214(9.0%), 경질 PU r215(2.7%), 기타(5.7%)
24	Photochemical oxidant formation: human health	Tropospheric ozone concentration increase	kg NMVOC-Eq	3.41E-02	알루미늄 전신재 r212(33.2%), 스테인리스강 r219(25.9%), 구리 r214(16.8%), 스테인리스 평균 가공 r219(12.5%), 경질 PU r215(4.8%), 기타(6.7%)
25	Water use	User deprivation potential (deprivationweighted water consumption)	m3 world Eq deprived	3.03E+00	스테인리스강 r219(33.3%), 알루미늄 전신재 r212(29.0%), 스테인리스 평균 가공 r219(15.8%), 구리 r214(9.9%), 경질 PU r215(4.8%), 기타(7.2%)

[2] 물질별 영향평가 결과

	구분	흐름	물질명	목록		평가결과 (kg CO_2 eq.)	기여도(%)
				양	단위		
1	투입	중간	알루미늄 전신재 r212	2.70E-01	kg	3.48E+00	39.34
2	투입	중간	알루미늄 판압연 r212	2.70E-01	kg	1.69E-01	1.91
3	투입	중간	세라믹 절연체 r213	2.02E-03	kg	6.12E-03	0.07
4	투입	중간	구리 r214	5.35E-02	kg	3.57E-01	4.03
5	투입	중간	구리 판압연 r214	5.35E-02	kg	2.83E-02	0.32
6	투입	중간	경질 PU r215	6.89E-02	kg	4.02E-01	4.55
7	투입	중간	사출 성형 r215	6.93E-02	kg	9.87E-02	1.12
8	투입	중간	PVC r216	9.42E-06	kg	2.48E-05	0.00
9	투입	중간	압출 r216	9.42E-06	kg	3.85E-06	0.00
10	투입	중간	PVC r217	1.30E-04	kg	3.41E-04	0.00
11	투입	중간	압출 r217	1.30E-04	kg	5.30E-05	0.00
12	투입	중간	실리콘 r218	4.74E-04	kg	1.66E-03	0.02
13	투입	중간	시트 · 실 공압출 r218	4.74E-04	kg	2.45E-04	0.00
14	투입	중간	스테인리스강 r219	5.24E-01	kg	2.59E+00	29.31
15	투입	중간	스테인리스 평균 가공 r219	5.24E-01	kg	1.40E+00	15.78
16	투입	중간	탄소강 r220	6.95E-02	kg	1.29E-01	1.46
17	투입	중간	강 평균 가공 r220	6.95E-02	kg	1.39E-01	1.57
18	투입	중간	저합금강 열연 r221	8.64E-03	kg	1.97E-02	0.22
19	투입	중간	강 평균 가공 r221	8.64E-03	kg	1.73E-02	0.20
20	투입	중간	합성고무 r222	2.70E-03	kg	8.57E-03	0.10
21	산출	중간	air conditioning unit, for hydrogen rail vehicle (tram)	1	kg	합계 8.85E+00	100.00

8 참고자료

1) 한국철도기술연구원(철기연). 「4. (250905) 수소 기술 DB 트리 분석 양식_엔스타 송부용.xlsx」 및 「제외 및 수량보정 부품_26.08.24.pptx」, 2026-08-24 수신.

9 사용 LCI DB 목록

	물질명	LCI DB 명	국가명	출처	년도	유효기간
1	알루미늄 전신재 r212	(proxy) market for aluminium, wrought alloy	GLO	ecoinvent 3.12 Cutoff	2011	2025
2	알루미늄 판압연 r212	market for sheet rolling, aluminium	GLO	ecoinvent 3.12 Cutoff	2011	2025
3	세라믹 절연체 r213	(proxy) market for epoxy resin insulator, Al2O3	GLO	ecoinvent 3.12 Cutoff	2011	2025
4	구리 r214	market for copper, cathode	GLO	ecoinvent 3.12 Cutoff	2011	2025
5	구리 판압연 r214	market for sheet rolling, copper	GLO	ecoinvent 3.12 Cutoff	2011	2025
6	경질 PU r215	(proxy) market for polyurethane, rigid foam	RoW	ecoinvent 3.12 Cutoff	2011	2025
7	사출 성형 r215	injection moulding	RoW	ecoinvent 3.12 Cutoff	1993	2025
8	PVC r216	market for polyvinyl chloride, suspension polymerised	RAS without CN	ecoinvent 3.12 Cutoff	2011	2025
9	압출 r216	market for extrusion, plastic pipes	GLO	ecoinvent 3.12 Cutoff	2011	2025
10	PVC r217	market for polyvinyl chloride, suspension polymerised	RAS without CN	ecoinvent 3.12 Cutoff	2011	2025
11	압출 r217	market for extrusion, plastic pipes	GLO	ecoinvent 3.12 Cutoff	2011	2025
12	실리콘 r218	(proxy) market for silicone product	RoW	ecoinvent 3.12 Cutoff	2011	2025
13	시트 · 실 공압출 r218	market for extrusion, co-extrusion	GLO	ecoinvent 3.12 Cutoff	2012	2025
14	스테인리스강 r219	(proxy) market for steel, chromium steel 18/8	GLO	ecoinvent 3.12 Cutoff	2011	2025
15	스테인리스 평균 가공 r219	(proxy) market for metal working, average for chromium steel product manufacturing	GLO	ecoinvent 3.12 Cutoff	2011	2025
16	탄소강 r220	market for steel, unalloyed	GLO	ecoinvent 3.12 Cutoff	2011	2025
17	강 평균 가공 r220	(proxy) market for metal working, average for steel product manufacturing	GLO	ecoinvent 3.12 Cutoff	2011	2025
18	저합금강 열연 r221	market for steel, low-alloyed, hot rolled	GLO	ecoinvent 3.12 Cutoff	2011	2025
19	강 평균 가공 r221	(proxy) market for metal working, average for steel product manufacturing	GLO	ecoinvent 3.12 Cutoff	2011	2025
20	합성고무 r222	(proxy) market for synthetic rubber	GLO	ecoinvent 3.12 Cutoff	2011	2025

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	검토 DQR은 참고용	참고하겠습니다.