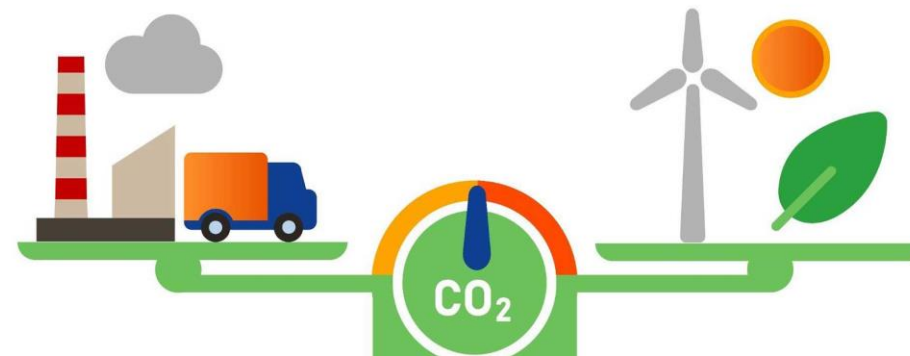
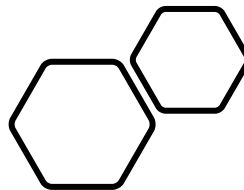




자원순환과 LCA (Life Cycle Assessment)

정승우
군산대학교 환경공학과

Contents



전과정평가 (LCA) 개론

전과정평가 수행체계

1. 목표 및 범위설정
 2. 전과정 목록 분석
 3. 전과정 영향 평가
 4. 전과정 해석
-

전과정평가 사례

- 쇼핑백 (종이백 vs 비닐백)
- 자동차 (전기자동차 vs 내연자동차)
- 발전 (석탄화력, 천연가스, 원자력, 수력, 태양, 풍력)

전과정평가 (LCA : Life Cycle Assessment)



어떤 제품, 공정 및 활동의 발생으로부터 소멸까지의 전과정에 걸쳐서 **사용되고 배출되는 에너지 및 물질의 양을** 정량화하고, 이들이 **환경에 미치는 영향**을 평가하며, 궁극적으로 지속적인 환경성을 이루는 개선방안을 모색하고자 하는 체계적인 환경영향평가의 한 방법

제품 생애=제품 전과정, Product Life Cycle Stages

원료채취 ➡ 제조 ➡ 포장/운송 ➡ 사용/운영 ➡ 재활용/처분



친환경적 포장지는 어느 것일까?

Paper



Plastic

친환경 자동차는 어느 것일까?

전기자동차



내연기관차

보다 친환경적 발전은 ?

풍력발전



태양열발전

LCA 활용



환경성 평가의 상대적 지표, 친환경 의사결정 수단



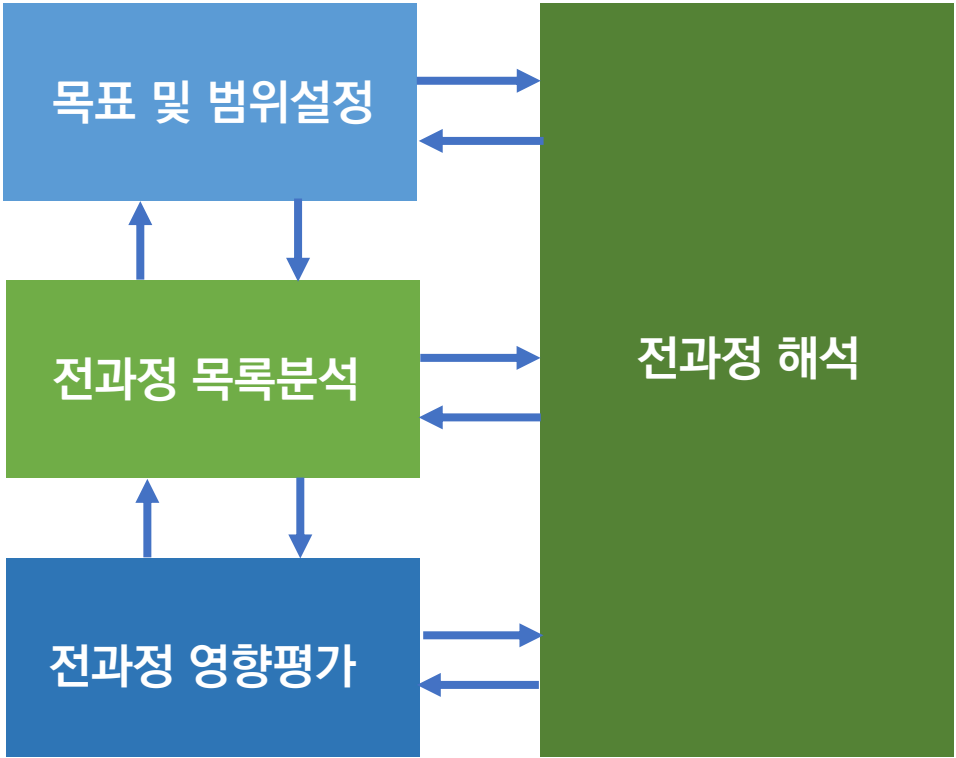
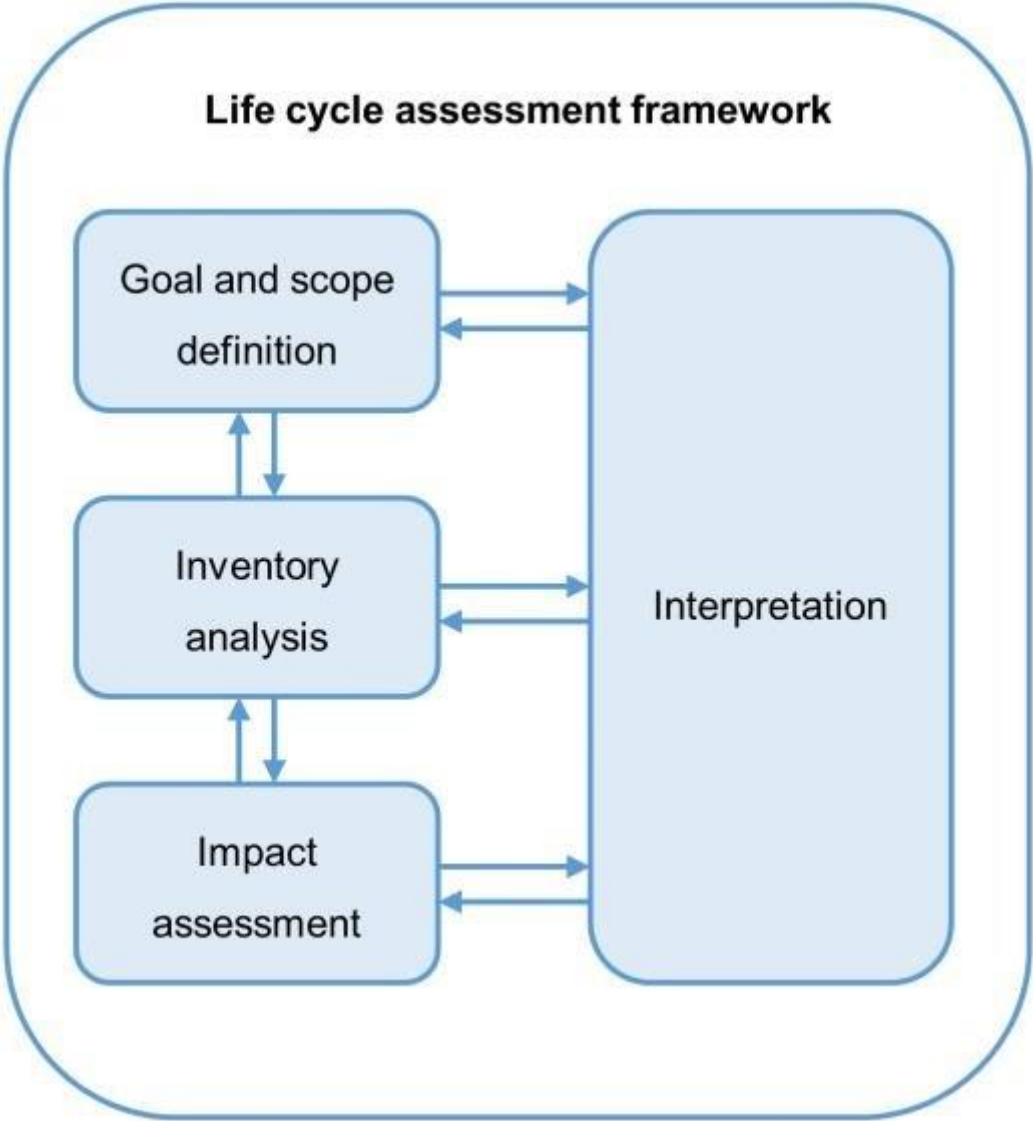
환경부하가 큰 공정, 원료를 알려준다. 친환경 공정 설계 가능



친환경 인증 및 환경적 무역 장벽에 대한 증빙

**지속가능
환경 실현**

LCA 수행체계



1. 목표 및 범위설정

1. 목표 및 범위설정



목표(Goal)

- LCA의 목적, 활용계획, 이해당사자 등에 대해 명시



범위(Scope)

- 제품 전과정 단계, 기능 및 **기능단위** 기술
- 시스템 분석범위 (System boundaries)
- 데이터 수집 범위 (Data category)
- LCA 영향평가 및 해석방법, 가정 및 제약점 등 명시

목표 및 범위설정

기능

제품이 제공하고 기능

기능단위 (Functional Unit, fu)

제품의 기능적 성능을 정량적으로 나타낸 단위

기준흐름 (Reference flow)

기능단위에 규정된 성능을 발휘하는 데 필요한 제품 또는 서비스의 양

사례

쇼핑백

483개 상품을
담아 이동

- 고밀도폴리에틸렌(HDPE) 백 82개
- 종이백 64개

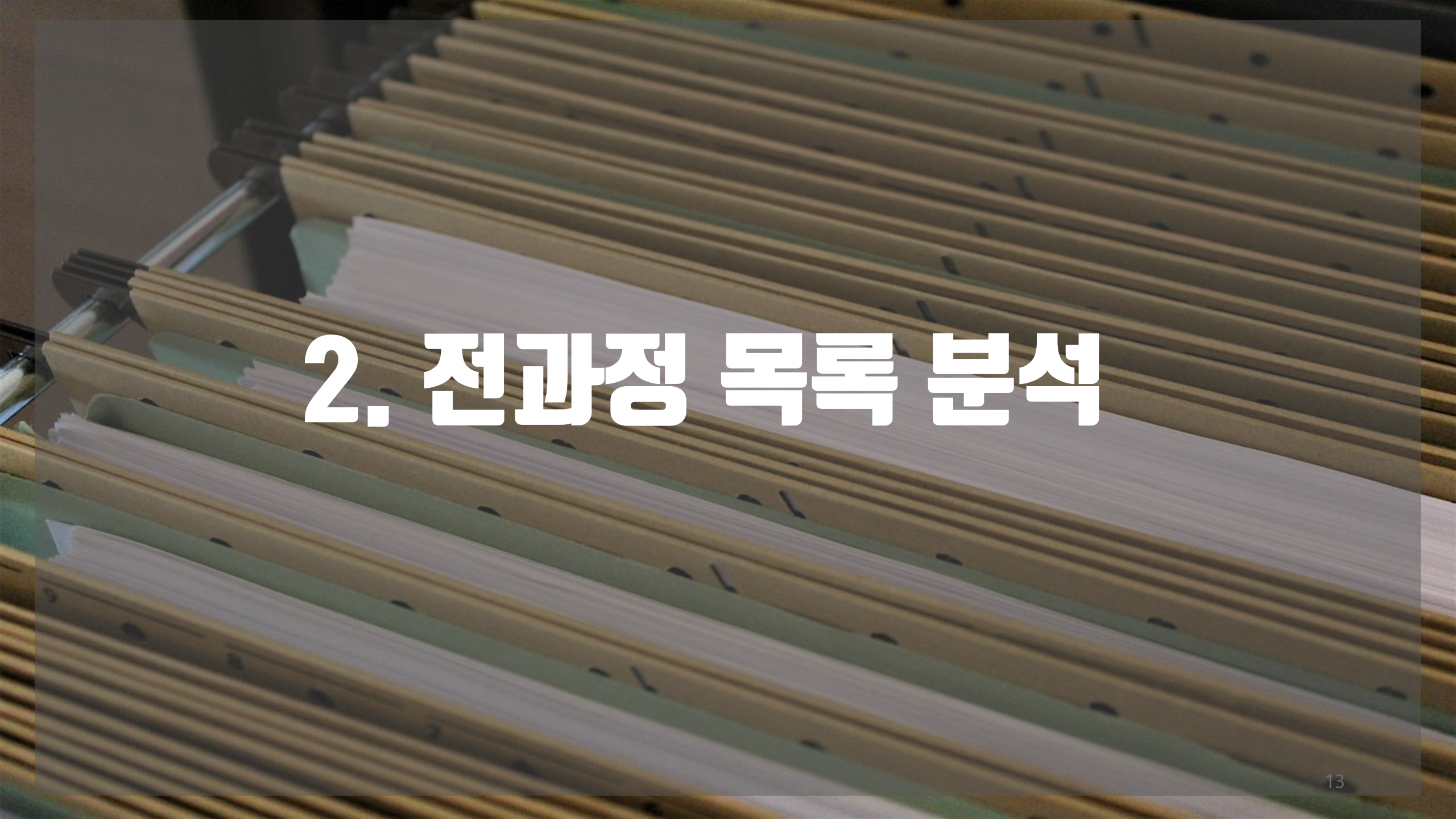
(UKEA, 2011)

자동차

150,000 km 운행

- 내연기관자동차 1대
- 전기자동차 1대

(Burchart-Korol et al., 2018)

A close-up, slightly angled view of a filing cabinet. The image shows multiple rows of light-colored, possibly wooden or cardboard, folders. Some folders have white paper inserts visible. The perspective is from a low angle, looking down the length of the cabinet, creating a sense of depth. The lighting is soft, and the overall tone is muted.

2. 전과정 목록 분석

2. 전과정 목록 분석

Life Cycle Inventory Analysis

- 전과정 목록분석(LCI analysis)은 연구대상 제품시스템과 관련한 **물질과 에너지의 투입 및 산출 데이터를 수집하고 이를 정량화** 하기 위한 계산과정



전과정 Data 수집 및 검증



Data 수집 기간

1년



순서

가장 중요한 현장 단위공정(unit process)로 부터 순차적으로



원료취득단계

- 원료물질 (iron, polypropylene 등)
- 에너지 (디젤, 전기 등)
- 기존 구축된 Database 사용



제조단계

각 개별 제조단계 On-site data 취득 (전기 및 물사용량, 오염 배출량 등)



사용/폐기 단계

- 소비자로부터 직접조사, 제조자 제시 Data 및 문헌 등
- 사용가능기간, 에너지소비량, 오염물질 배출부하
- 폐기관련 데이터 (재활용, 재사용, 소각, 매립 등)



검증

에너지 및 물질 수지 확인

한국- electricity 1kwh LCI DB (일부 발취)

투입물 및 산출물

INPUT

Product →

OUTPUT

번호	방향	그룹	환경	명칭	양	
				명칭	단위 기호/명칭	값
1	INPUT	Resource	Soil	Bauxite(Al2O3)	g	0.000549
2	INPUT	Resource	Soil	Biomass	g	0.00000111
3	INPUT	Resource	Soil	Caliche	g	0.00702
4	INPUT	Resource	Soil	Clay	g	0.000177949
5	INPUT	Resource	Soil	Coal	g	175.62522
6	INPUT	Resource	Soil	Crude oil	g	21.75201212
7	INPUT	Resource	Soil	Iron(Fe)	g	0.000010924
8	INPUT	Resource	Soil	Limestone	g	0.000454
9	INPUT	Resource	Soil	Natural gas	g	22.50037
10	INPUT	Resource	Soil	Sand	g	6.72874E-06
11	INPUT	Resource	Soil	Sodium chloride(NaCl)	g	0.014255
12	INPUT	Resource	Soil	Uranium(U)	g	0.012305965
13	INPUT	Resource	Soil	Wood	g	2.4971E-06
14	INPUT	Resource	Water	Water	g	20.749252
15	OUTPUT	Product	Technosphere	Electricity	kWh	1
16	OUTPUT	Emission	Air	Acetaldehyde	g	0.00015281
17	OUTPUT	Emission	Air	Ammonia(NH3)	g	0.00112
18	OUTPUT	Emission	Air	Aromatic matter	g	0.000000225
19	OUTPUT	Emission	Air	Benzene	g	6.09E-08
20	OUTPUT	Emission	Air	Cadmium(Cd)	g	3.48E-09
21	OUTPUT	Emission	Air	Carbon dioxide(CO2)	g	487.218
22	OUTPUT	Emission	Air	Carbon monoxide(CO)	g	0.0485
23	OUTPUT	Emission	Air	Chlorine(Cl2)	g	0.000000208
24	OUTPUT	Emission	Air	Dust	g	0.1083
25	OUTPUT	Emission	Air	Halogenated matter	g	1.42083E-11
26	OUTPUT	Emission	Air	Halon-1301	g	1.14E-09
27	OUTPUT	Emission	Air	Hydrocarbons	g	1.007
28	OUTPUT	Emission	Air	Hydrogen chloride(HCl)	g	0.00000475
29	OUTPUT	Emission	Air	Hydrogen fluoride(HF)	g	4.63653E-06
30	OUTPUT	Emission	Air	Lead(Pb)	g	8.43E-09
31	OUTPUT	Emission	Air	Manganese(Mn)	g	1.3E-09
32	OUTPUT	Emission	Air	Mercury(Hg)	g	5.77E-10
33	OUTPUT	Emission	Air	Metals	g	5.21E-08
34	OUTPUT	Emission	Air	Methane	g	0.3530674
35	OUTPUT	Emission	Air	Nickel(Ni)	g	8.46E-08
36	OUTPUT	Emission	Air	Nitrogen oxides(NOx)	g	1.193
37	OUTPUT	Emission	Air	Nitrous oxide(N2O)	g	0.001530002
38	OUTPUT	Emission	Air	PAH	g	5.53321E-10
39	OUTPUT	Emission	Air	Phenol	g	0.00000172
40	OUTPUT	Emission	Air	Sulfur oxides(SOX)	g	1.629
41	OUTPUT	Emission	Air	VOC	g	0.0174907
42	OUTPUT	Emission	Air	Zinc(Zn)	g	0.000106

LCI DB



Ecoinvent

- 스위스 EMPA 구축
- 상업 DB
- EcoSpold format



한국 LCI DB

- 환경부와 산업통상
자원부 구축
- 403개 DB, Excel
format



EU

- ELCD (European
reference Life
Cycle Database)
- Joint Research
Centre
- ILCD format



US

- US Life Cycle
Inventory
Database
- DOE 구축(NREL)
- Excel, XML

A공장 현장조사 DATA

 전기 사용량 1 kwh

 물 사용량 2 L

 HDPE원료 사용량 3 kg

•
•
•

단위공정 LCI DB

전기
LCI DB

물
LCI DB

HDPE
LCI DB

00
LCI DB

LCI 분석

**A공장 제조
HDPE 백 1kg
LCI DB 완성**

A high-quality photograph of a wooden gavel and its sound block. The gavel is made of dark wood with a visible grain, featuring a rounded head and a long handle. It is positioned diagonally across the frame, with the head resting on the sound block. The sound block is a flat, rectangular piece of wood. The background is a smooth, light grey surface, and the lighting creates soft shadows, emphasizing the texture of the wood.

3. 전과정 영향평가

3. 전과정영향평가

Life Cycle Impact Assessment



정의

전과정목록분석(LCI) 단계에서 도출된 투입/산출물 데이터를 바탕으로 제품시스템의 **잠재적인 환경영향**을 **평가**하는 과정

단계

분류화(Classification)
특성화(Characterization)
정규화(Normalization)
가중치부여(Weighting)

환경영향 범주 Impact Categories

- 산성비
- 지구온난화
- 자원고갈
- 생태독성
- 부영양화 야기
- 인체독성
- 이온화 방사선
- 토지사용
- 오존층 고갈
- 초미세먼지 발생
- 광화학산화물 생성
- 소음
- 악취
- 물발자국
- Acidification
- Climate change
- Depletion of abiotic resources
- Ecotoxicity (Aquatic, Sediment, Freshwater, Marine, Terrestrial)
- Eutrophication
- Human toxicity
- Ionising radiation
- Land use
- Ozone layer depletion
- Particulate matter
- Photochemical oxidation
- Noise
- Odor
- Water consumption

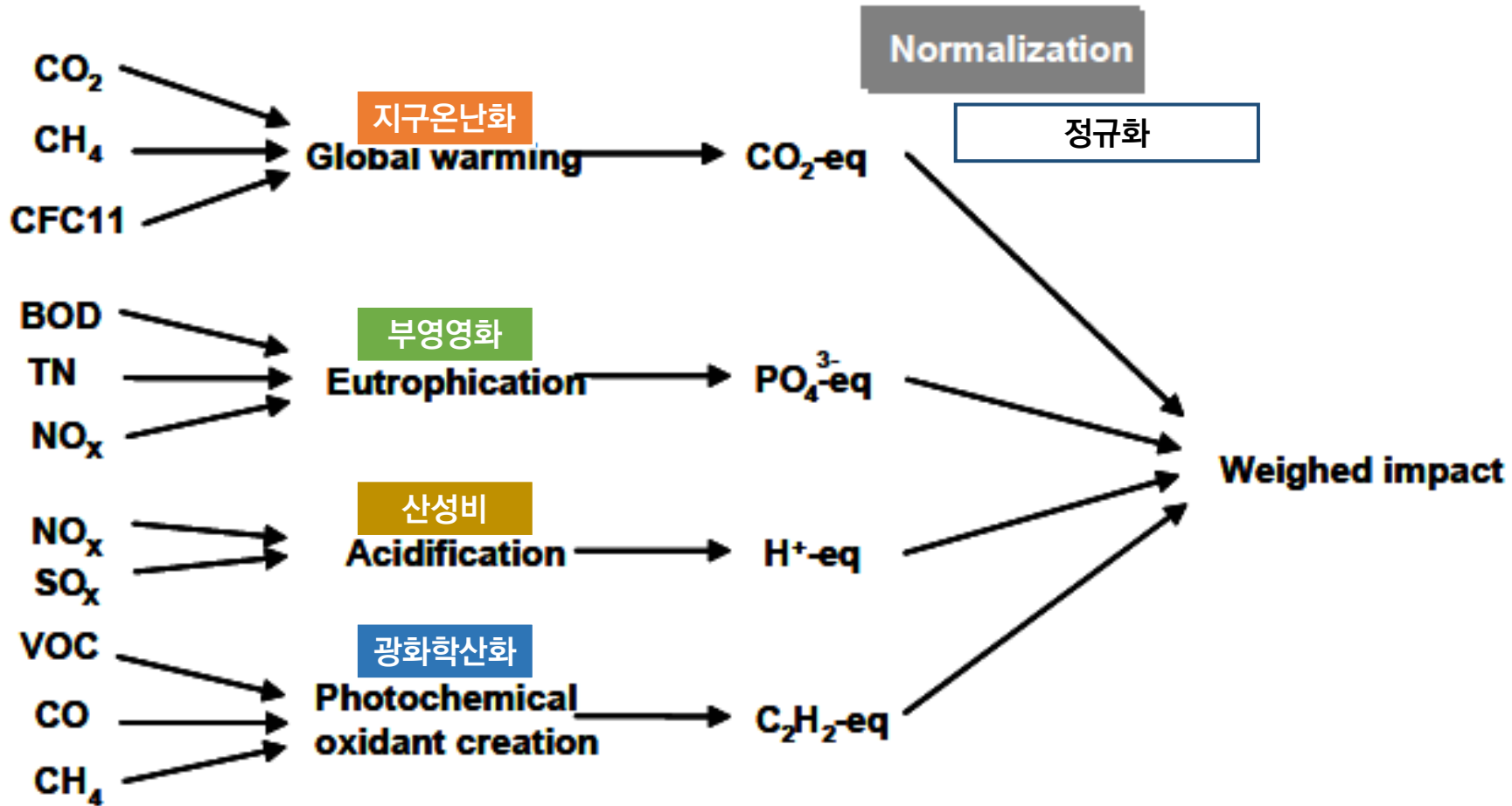
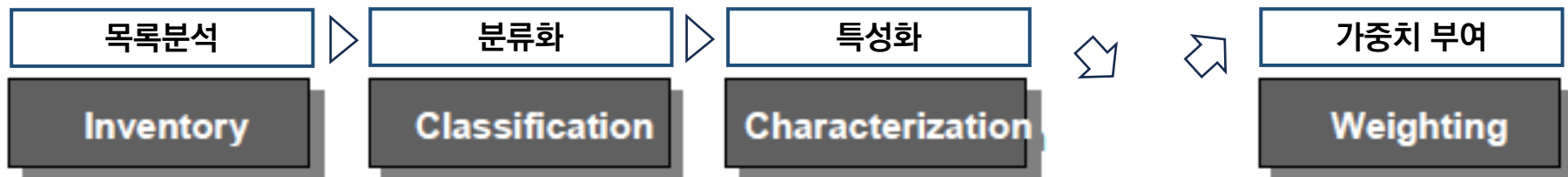


그림 4.1 요소들과 LCIA의 요소들간의 관계

1) 분류화 Classification

- 예상되는 환경영향의 유형을 토대로 목록분석 결과로 도출된 투입물/산출물들을 해당 영향범주에 연결시키는 과정

환경영향 범주

지구온난화 오존고갈 산성비 부영양화 광화학성 자원고갈

	<i>parameter</i>	<i>Characterization categories</i>					
		<i>GW</i>	<i>OD</i>	<i>AD</i>	<i>EU</i>	<i>POC</i>	<i>ARD</i>
INPUT	<i>Crude oil</i>						<i>v</i>
	<i>Coal</i>						<i>v</i>
	<i>Chromium</i>						<i>v</i>
	<i>Iron</i>						<i>v</i>
OUTPUT	<i>CO₂</i>	<i>v</i>					
	<i>Methane</i>	<i>v</i>				<i>v</i>	
	<i>CO</i>					<i>v</i>	
	<i>VOC</i>					<i>v</i>	
	<i>NO_x (Air)</i>			<i>v</i>	<i>v</i>	<i>v</i>	
	<i>SO_x (Air)</i>			<i>v</i>			

2) 특성화 Characterization

- 특성화계수를 이용하여 각 영향범주내에서 각 항목의 상대적인 기여도를 정량화하는 과정

영향항목: 지구온난화

항목	LCI결과	특성화 계수(CF) [g-CO ₂ eq/g]	지구온난화 영향 [g-CO ₂ eq]
CO ₂	23 g	1	23
CH ₄	1 g	23	23
			46

영향범주	표시	단위
지구온난화(Global warming)	GWP	g CO ₂ -eq/g
오존층고갈(Ozone layer depletion)	ODP	g CFC11-eq/g
산성화(Acidification)	AP	g SO ₂ -eq/g
부영양화(Eutrophication)	EP	g PO ₄ ³⁻ -eq/g
광화학적 산화물생성(Photochemical Oxidant)	POCP	g C ₂ H ₄ -eq/g
무생물자원고갈(Abiotic resource depletion)	ADP	U _j /D _j

주; U_j = j번째 자원의 전세계적 사용량, kg/yr

D_j = j번째 자원의 매장량, 경제적으로 채굴가능한 양, kg

$$\text{Characterized Impact (CI)} = \text{Load} \times \text{CF}$$

3) 정규화 Normalization

- 제품시스템의 영향범주 특성화 값을 동일 영향범주의 **정규화 기준값(계수)**으로 나누는 과정
 - 일정기간, 일정지역범위 내 주어진 영향범주에 대한 제품시스템의 부분적인 기여도를 나타냄

정규화 기준값

1년 단위 일정지역 내
환경영향 부하를 인구로
나눠 인구 당량 기준 으로
나타낸 값

	Impact Category	N_i		
		Geographical boundary	Value	Unit
지구온난화	GW	Global	5.66E+06	g CO ₂ eq/PE·yr
산성비	AD	Regional	5.64E+04	g SO ₂ eq/PE·yr
부영영화	EU	Regional	8.90E+03	g PO ₄ ³⁻ eq/PE·yr
광화학산화	POC	Regional	7.37E+03	g ethene eq/PE·yr
자원고갈	ARD	Global	1.87E+04	g/PE·yr ²

References

- Reference year = 1995
- World population = 5,675,675,676
- Regional population (certain region in Western Europe) = 45,093,000

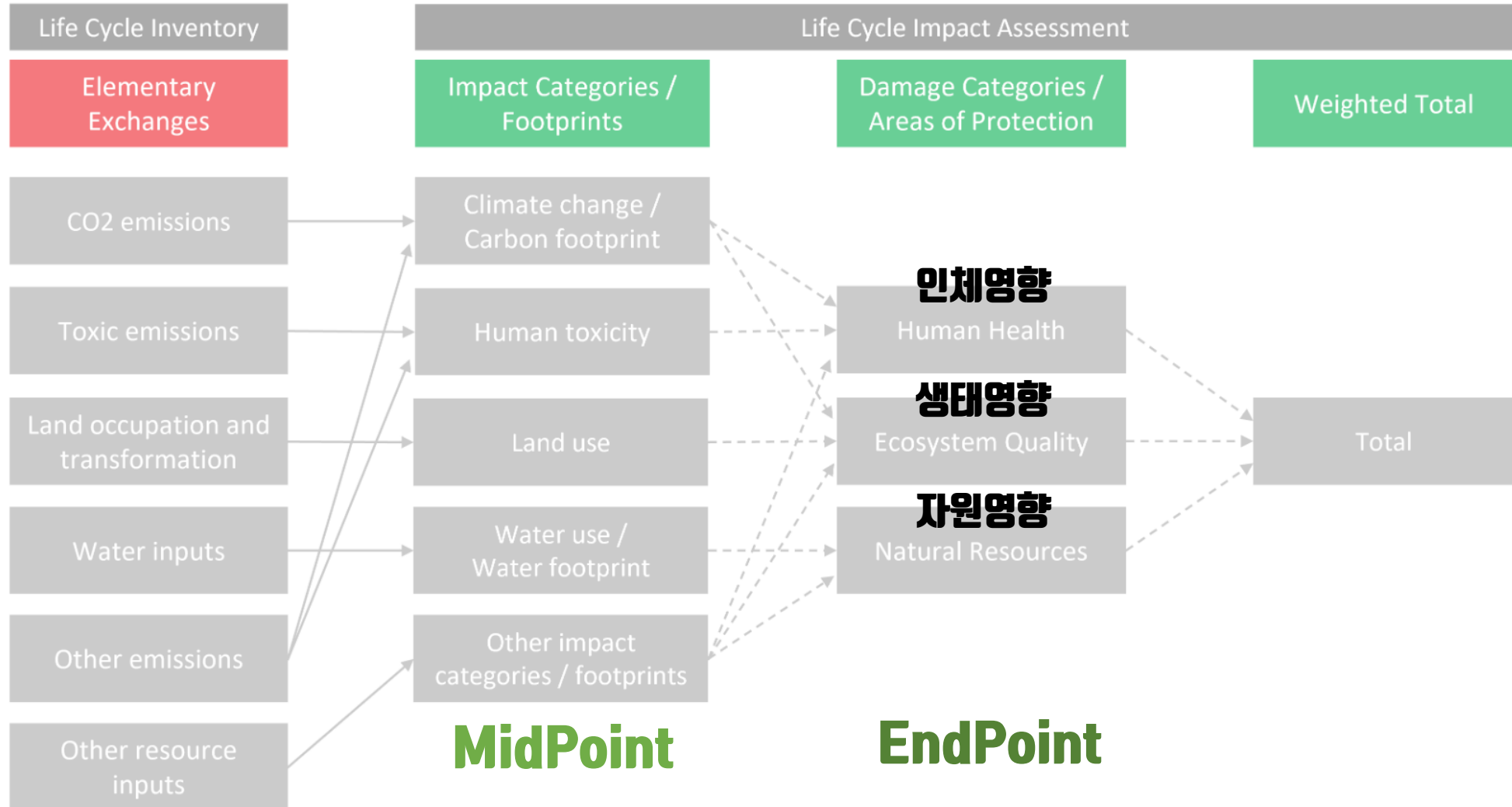
$$\text{Normalized Impact (NI)} = \text{CI} / \text{정규화기준값}$$



LCIA methods

- CML-IA (Center of Environmental Science of Leiden University)
- Ecological footprint
- Ecosystem damage potential
- EDIP –Environmental Design of Industrial Products 2003
- ILCD
- TRACI
- USEtox
- Eco-indicator
- ReCipe Midpoint and Endpoint
- LIME
- IMPACT 2002+
- 산자부 특성화계수, 정규화참고치

Life Cycle Impact Assessment_ ReCiPe



Differences

Midpoint approach

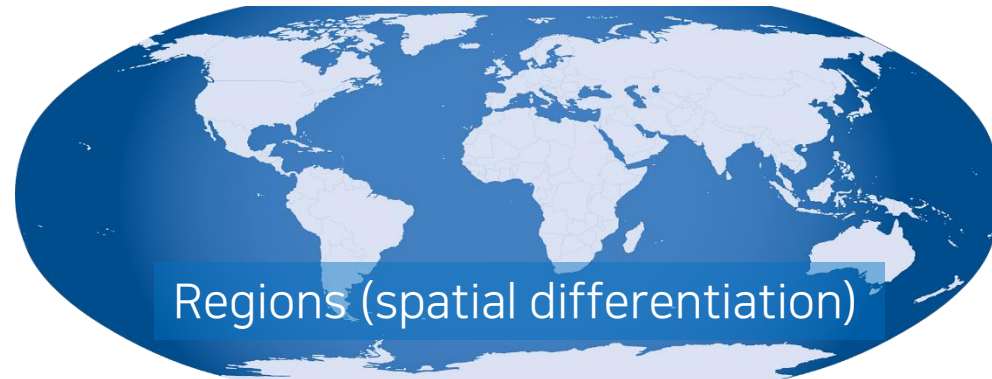
Single environmental problems

Endpoint approach

Damage to human health

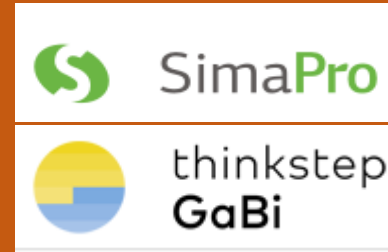
Damage to ecosystems

Damage to resource availability



LCA Software

- SimaPro
- GaBi
- Umberto
- CMLCA
- OpenLCA
- 환경성적표지 TOTAL
- MS-Excel 이용



umberto®



4. 전과정 해석



전과정 해석의 3가지 주요 요소

1) 주요인자 규명

제품시스템에서 환경적으로 큰 기여도를
갖는 주요인자를 규명

주요인자 – 공정, 물질, 활동, 전과정단계 등

2) 완전성, 민감도 및 일관성 검사를 통한 평가

전과정평가과정에 대한 완전성, 민감도,
일관성 등을 분석

completeness, sensitivity and consistency checks

3) 제안 및 결론

제품환경측면, 개선가능성 또는
소비자와 의사소통하기 위한
주요 환경성 정보를 제안

주요인자 규명



주요인자 정의

제품시스템의 총 환경영향 중에서 1% 이상의 기여도를 갖는 활동, 공정, 물질, 부품 또는 전과정 단계



주요인자 규명의 역할

- 제품시스템의 환경상 취약점을 규명
- 친환경제품설계를 통해 그 취약점을 개선하여 제품환경성을 높이고자 함

주요인자 규명에는 기여도분석(contribution analysis)을 이용
그리고 주로 특성화된 환경영향결과(CI)를 사용

- 표 5.1에서 제품시스템에 대한 지구온난화의 총 환경영향은 70,987 gCO₂-eq/fu
- 가장 높은 지구온난화 기여도를 보이는 공정은 알루미늄 제조 단계, 항목은 CFC11

알루미늄 제조 단위공정에서 배출되는
CFC11의 기여율은 **40.52%**
(계산: $28,800 / 70,987 \times 100 = 40.52\%$)

표5.1 가상의 제품시스템에 대한 지구온난화의 특성화된 환경영향(단위: g CO₂-eq/fu)

목록항목	단위공정(활동)						총합
	페인트 제조	알루미늄 제조	포장재 제조	배송	사용 단계	폐기 단계	
CO ₂	4	1,370	1,240	53	74	39	2,780
CH ₄	0.22	120.05	58.8	22.05	22.05	2.45	226
CFC11	31.5	28,800	27,450	450	11,250	0	67,981
합계	36	30,290	28,749	525	11,346	41	70,987

친환경적 포장지는 어느 것일까?

Paper



Plastic

Paper or Plastic ?

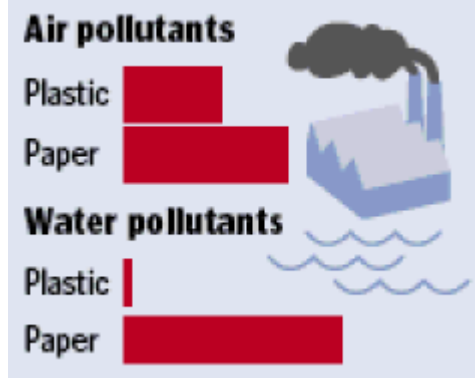
Energy to produce bags:

Plastic **594 BTUs***
Paper **2,511 BTUs**

Energy used to recycle bags:

Plastic **17 BTUs**
Paper **1,444 BTUs**

Recyclable?



Recycling Rates for Paper Bags	0-25%	25-50%	50-75%	75-100%
	Paper	Paper	Paper	Either
	Paper	Either	Plastic	Plastic
	Plastic	Plastic	Plastic	Plastic
Recycling Rates for Plastic Bags	0-25%	25-50%	50-75%	75-100%
	Plastic	Plastic	Plastic	Plastic
	Plastic	Plastic	Plastic	Plastic
	Plastic	Plastic	Plastic	Plastic



친환경 자동차는 어느 것일까?

전기자동차



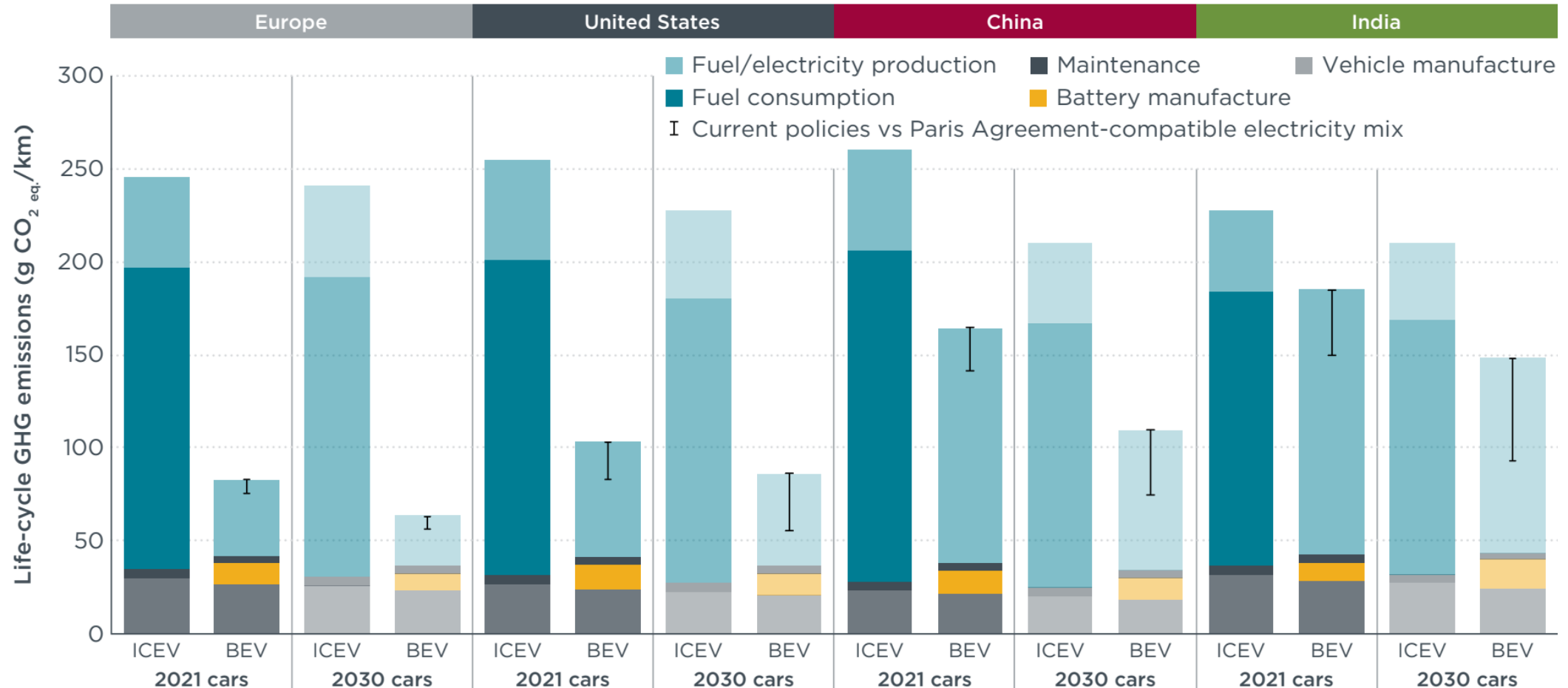
내연기관차

전과정 온실가스 배출량 비교

내연기관 자동차 vs 전기자동차

ICEV: Internal Combustion Engine Vehicle

BEV: Battery Electric Vehicle



Environmental life cycle assessment of electric vehicles in Poland and the Czech Republic

내연기관 자동차 (ICEV) vs 전기자동차 (EV)

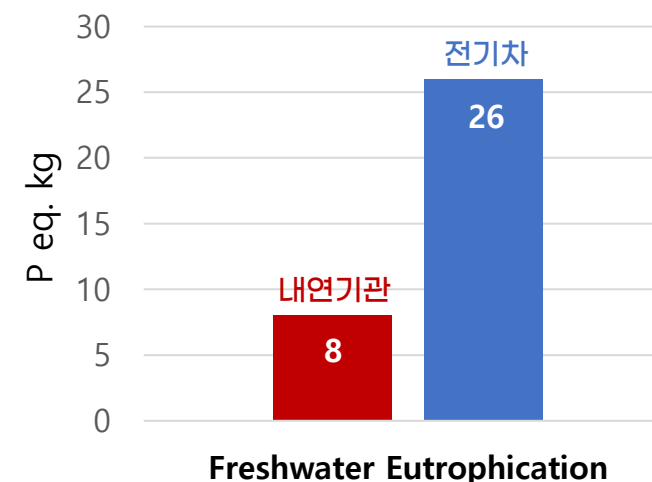
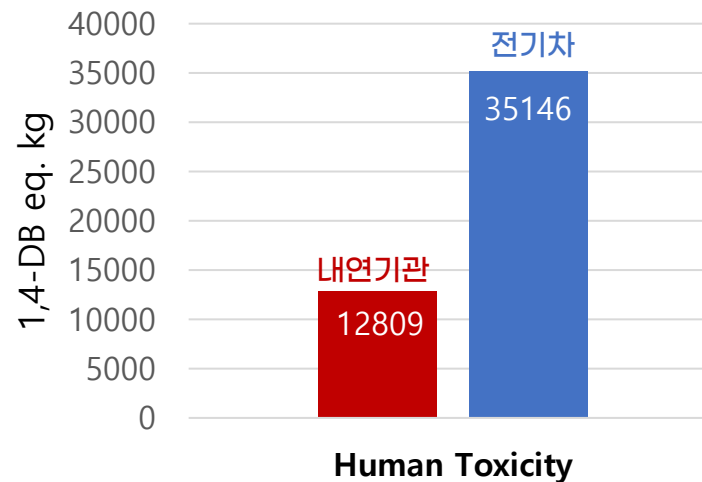
Burchart-Korol et al., 2018, *J. Cleaner Prod.*

Table 9

Comparative analysis of EV and ICEV.

Impact category	Unit	ICEV	EV PL 2015	EV PL 2050	EV CZ 2015	EV CZ 2050
Greenhouse gas emission	kg CO ₂ eq	42614	41453	25837	32100	21988
Fossil fuel depletion	kg oil eq	14166	11205	7536	7798	5991
Terrestrial acidification	kg SO ₂ eq	107	234	134	127	101
Freshwater eutrophication	kg P eq	8	49	26	46	26
Human toxicity	kg 1,4-DB eq	12809	49686	35146	45895	35056
Particulate matter formation	kg PM ₁₀ eq	51	90	64	58	54

FU : 150,000 km 주행



보다 친환경적 발전은 ?

풍력발전



태양열발전

“The generation and distribution of electricity comprises nearly 40% of U.S. CO₂ emissions”

Electricity in LCA



“Correctly accounting for these electricity-related environmental releases is of great importance in life cycle assessment of products and processes.”

2021

Life Cycle Assessment of Electricity Generation Options



Coal

Natural gas

Wind power

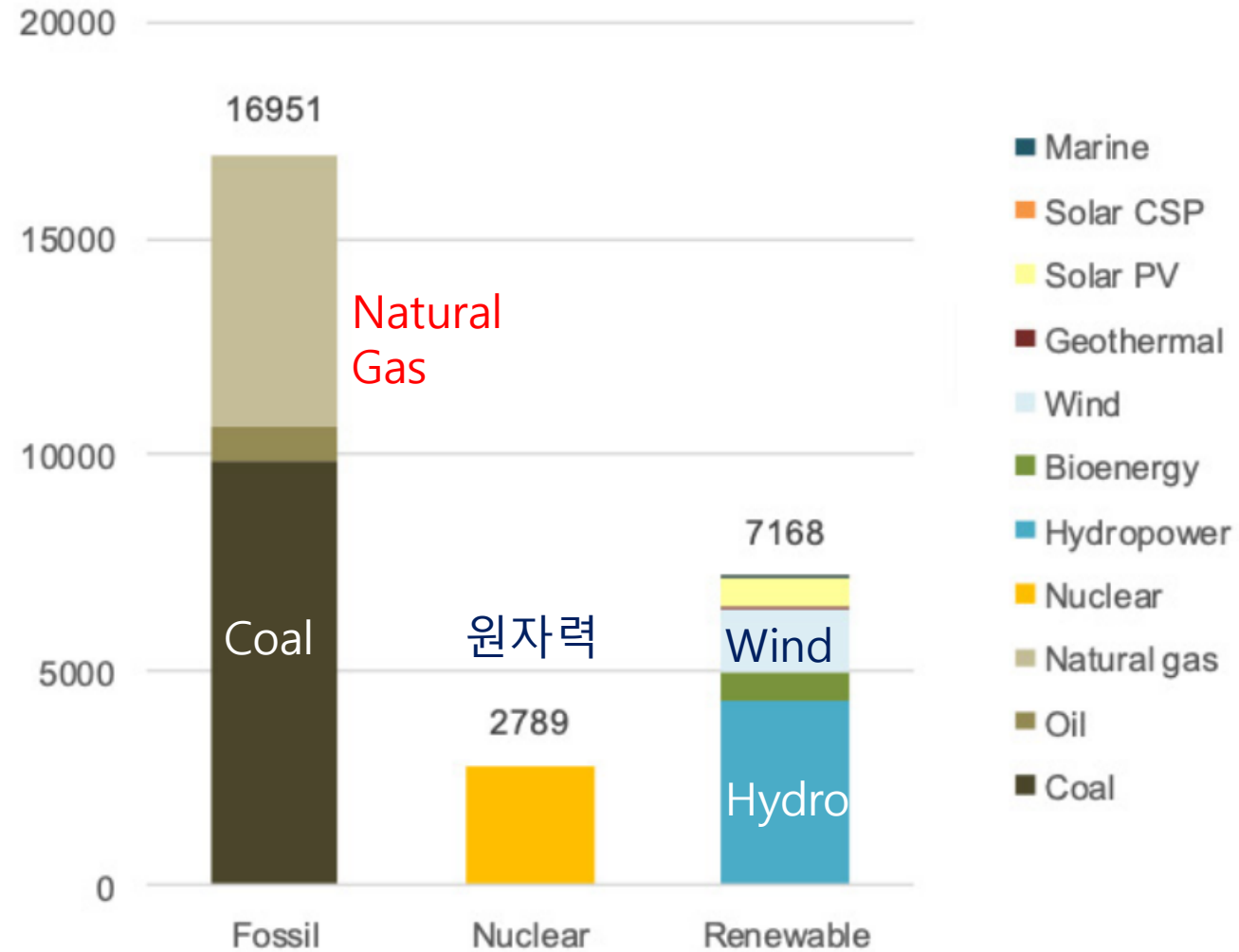
Solar power : Photovoltaics

Solar power : Concentrated solar

Hydropower

Nuclear power : conventional

Global electricity production, TWh, 2019



Source: International Energy Agency [4].

Functional unit :

The delivery of 1kWh of electricity to a grid, on a global average, for the year 2020.

LCI modelling

- Regionalization is performed: MAgPIE-REMIND integrated assessment model: 10개 지역(국가) 구분
- 원자력만 global data 사용.
- 건설과정 포함, 해체 후 재활용 제외

10개 지역(국가) 대상

REMIND REGIONS	CODE
Canada, Australia & New Zealand	CAZ
China	CHA
European Union	EUR
Japan	JPN
Latin America	LAM
Non-EU member states	NEU
Other Asia	OAS
Reforming countries	REF
Sub Saharan Africa	SSA
United States	USA

LCIA

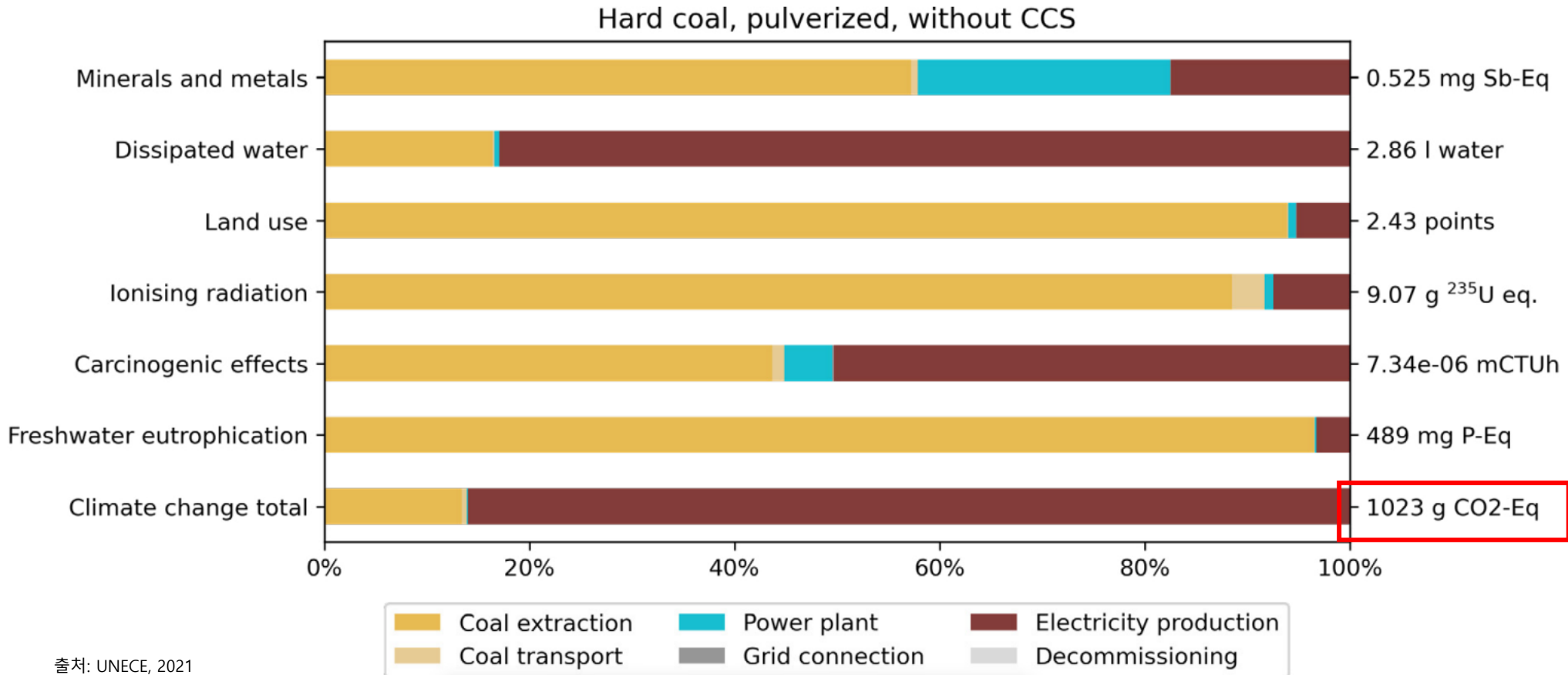
- Endpoint, ReCiPe, Human health DALY Ecosystem service species-year
- Normalization and weighting
- All indicator scores the footprint of a single individual

환경영향평가 범주

CATEGORY	UNIT	REFERENCE
Climate change	kg CO ₂ eq.	IPCC (2013)
Freshwater eutrophication	kg P eq.	EUTREND, Struijs, Beusen [16]
Ionising radiation	kBq ²³⁵ U eq	Frischknecht, Braunschweig [17]
Human toxicity	CTUh (comparative toxic units)	USEtox 2.1. model Rosenbaum, Bachmann [19]
Land use	points	LANCA model, Bos, Horn [20]
Water resource depletion	m ³	Swiss Ecoscarcity Frischknecht, Steiner [21]
Mineral, fossil and renewable re-source depletion	kg Sb eq.	Van Oers, De Koning [22]

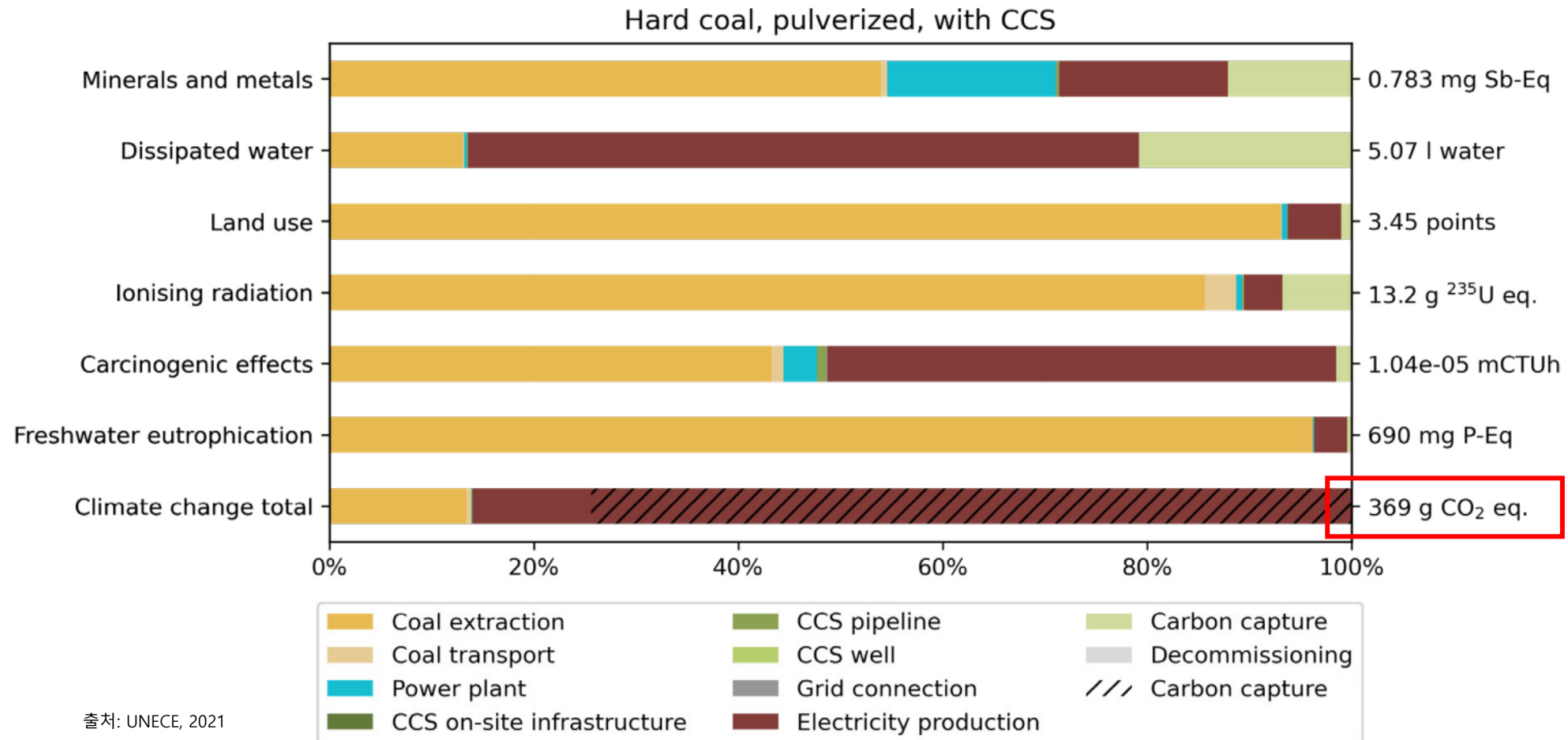
Environmental impacts of Coal power production

Figure 4 Life cycle impacts from 1 kWh of coal power production, pulverised coal, Europe, 2020



출처: UNECE, 2021

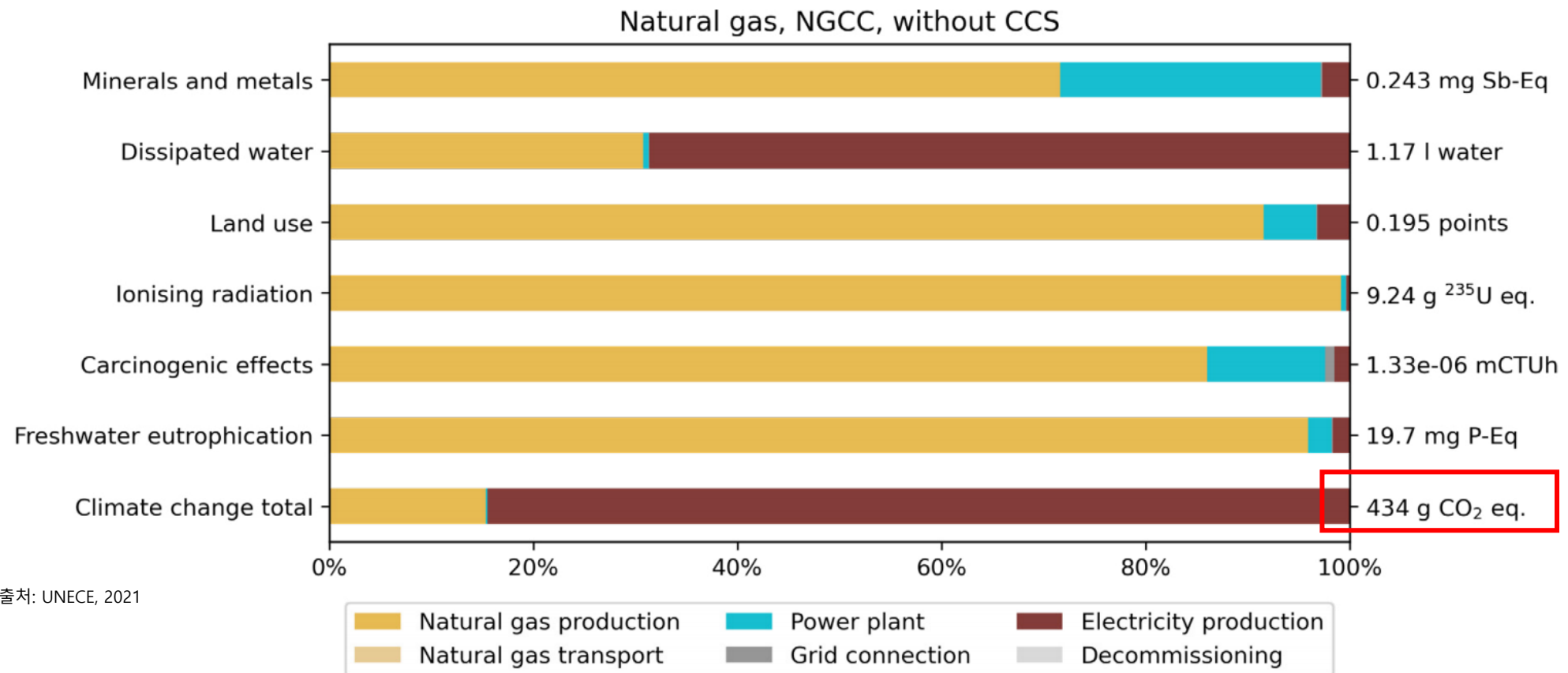
Figure 5 Life cycle impacts from 1 kWh of coal power production, pulverised coal with CCS , Europe, 2020
(Carbon dioxide capture and storage processes are shown in red when positive, in hatched lines)



A coal power plant can reduce its direct emissions significantly, which translates into a cut in lifecycle GHG emissions from 1020 to 367 g CO₂ eq./kWh, i.e. -64%. On the other hand, other environmental impacts rebound, from +41% (eutrophication) to 78% (water use) – due to an increase in hard coal consumption and use of chemicals for the capture process, as well as the downstream processes of transportation and storage of CO₂ storage in deep geological well

천연가스 발전

Figure 9 Life cycle impacts from 1 kWh of natural gas power production, NGCC without carbon dioxide capture and storage, Europe, 2020



출처: UNECE, 2021

육상풍력

Figure 12 Life cycle impacts from 1 kWh of onshore wind power production, Europe, 2020

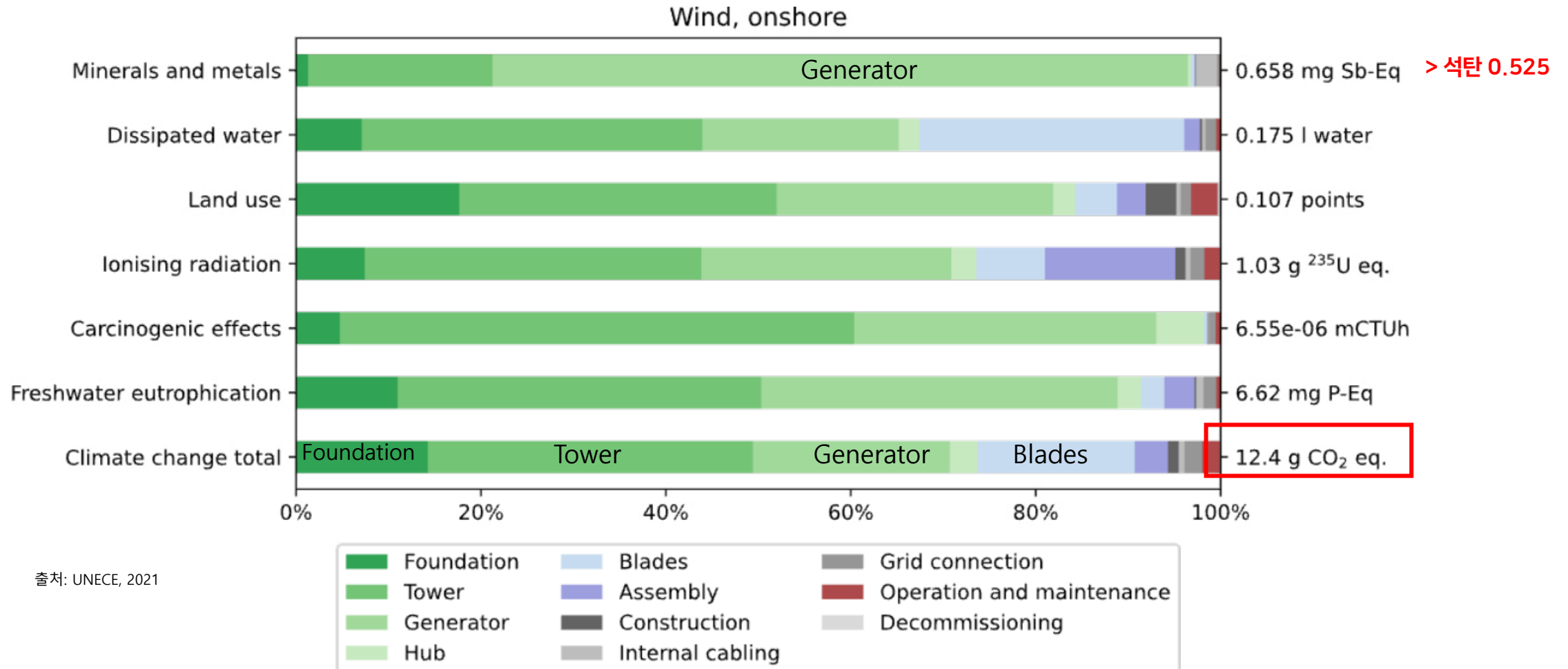
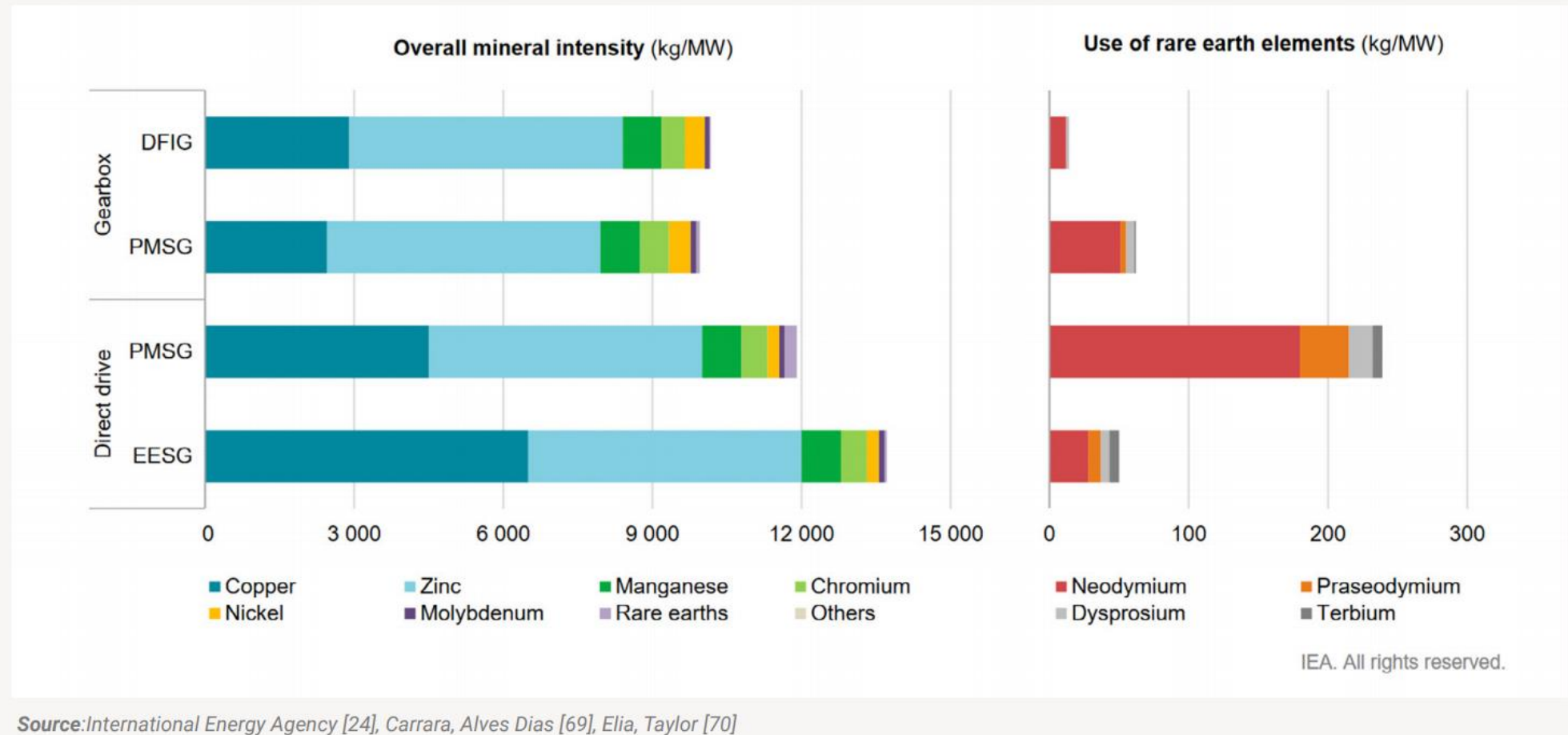


Figure 14 Mineral intensity for wind power by turbine type



Source: International Energy Agency [24], Carrara, Alves Dias [69], Elia, Taylor [70]

출처: UNECE, 2021

DFIG = double-fed induction generators;

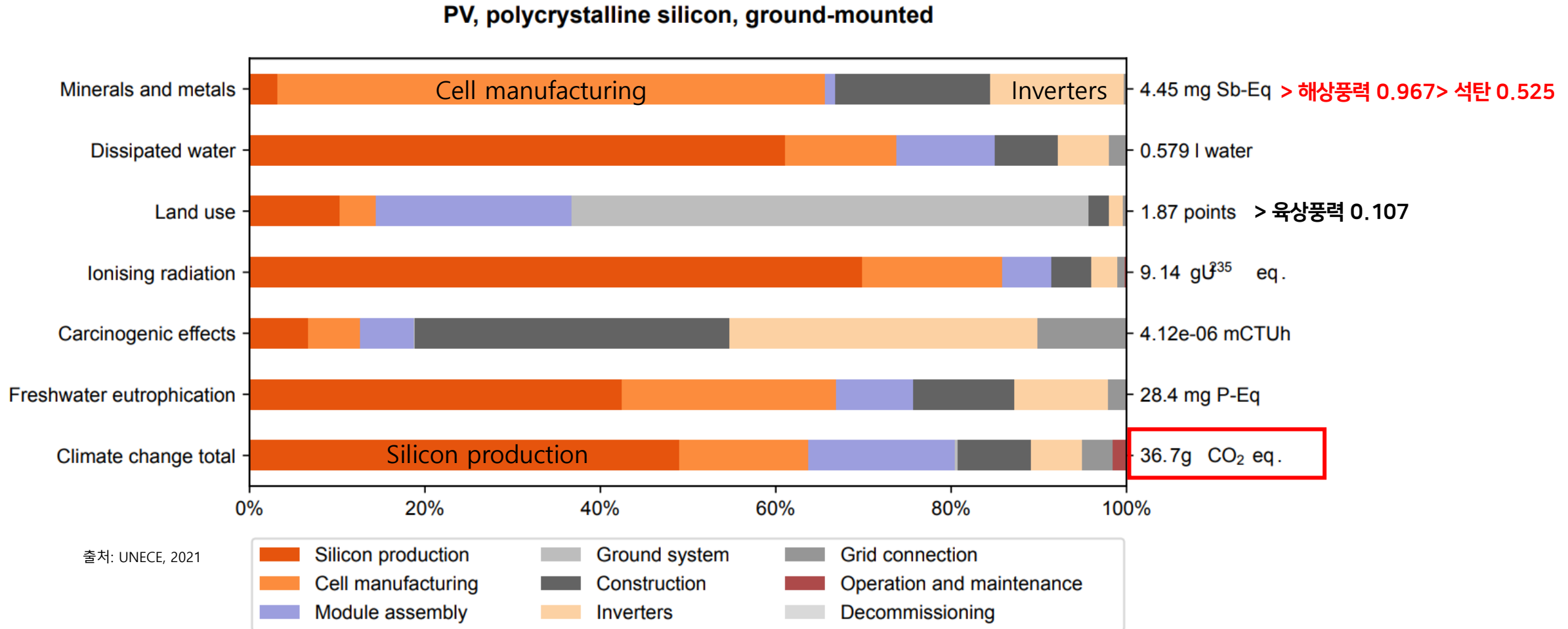
PMSG = permanent-magnet synchronous generator;

EESG = electrically excited synchronous generator.

*The intensity numbers are based on the onshore installation environment. More copper is needed in offshore applications due to much longer cabling requirements

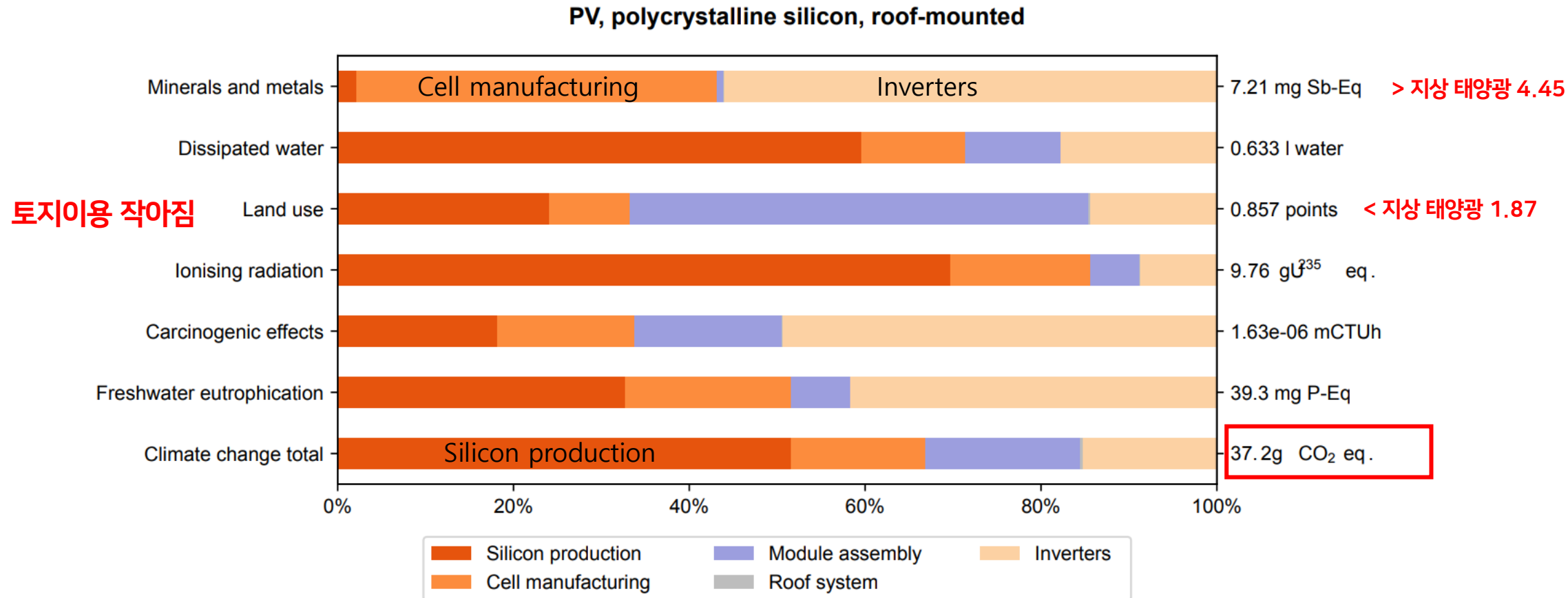
지상 태양광발전

Figure 22 Life cycle impacts from 1 kWh of poly-Si, ground-mounted, photovoltaic power production, Europe, 2020



옥상 태양광발전

Figure 23 Life cycle impacts from 1 kWh of poly-Si, roof-mounted, photovoltaic power production, Europe, 2020



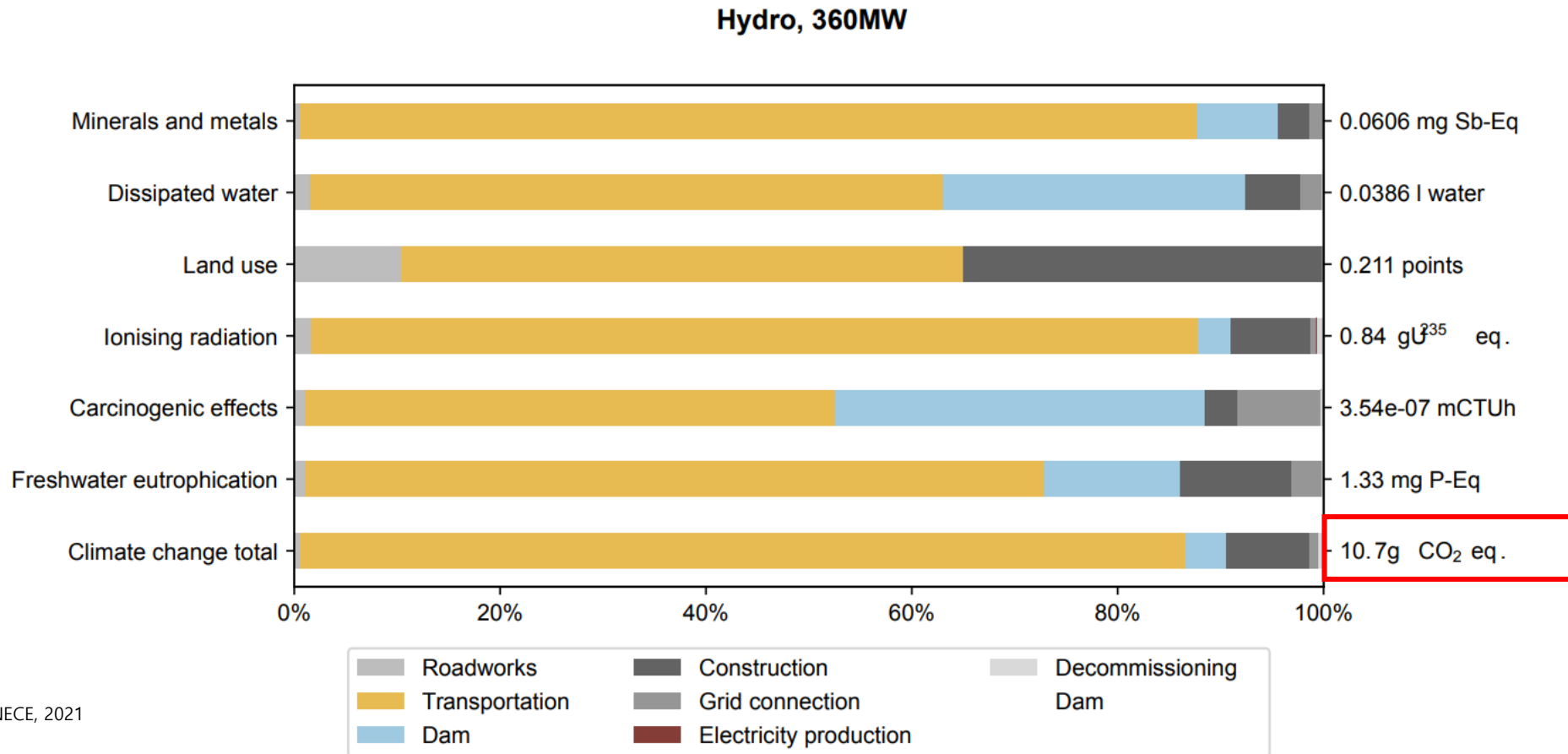
출처: UNECE, 2021

Under European conditions (region "EUR"), photovoltaic technologies show lifecycle GHG emissions of about 37 g CO₂ eq./kWh both for ground- and roof-mounted system – **the global average is 52/53 (ground-/roof-mounted).**

About 40% of this climate change impact is due to the electricity consumption for solar-grade silicon refining.

수력발전

Figure 32 Life cycle impacts from 1 kWh of hydropower production, based on a 360-MW plant design, Europe, 2020

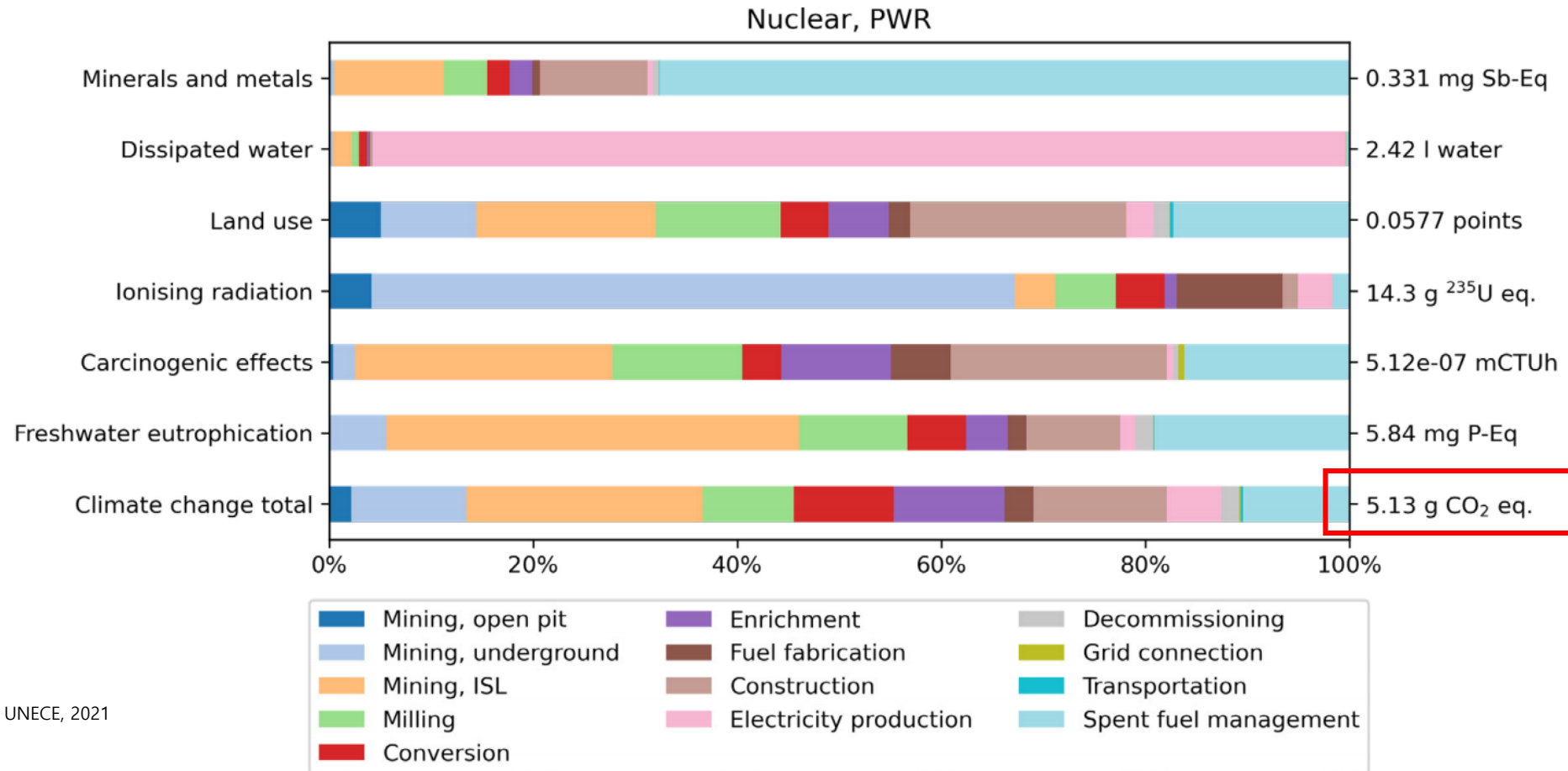


출처: UNECE, 2021

The main contribution to lifecycle GHG emissions are from transportation during construction.
 Overall, impacts are generally low in absolute terms, due to **the long lifetime** assumed for the dam, of 80 years.

원자력발전

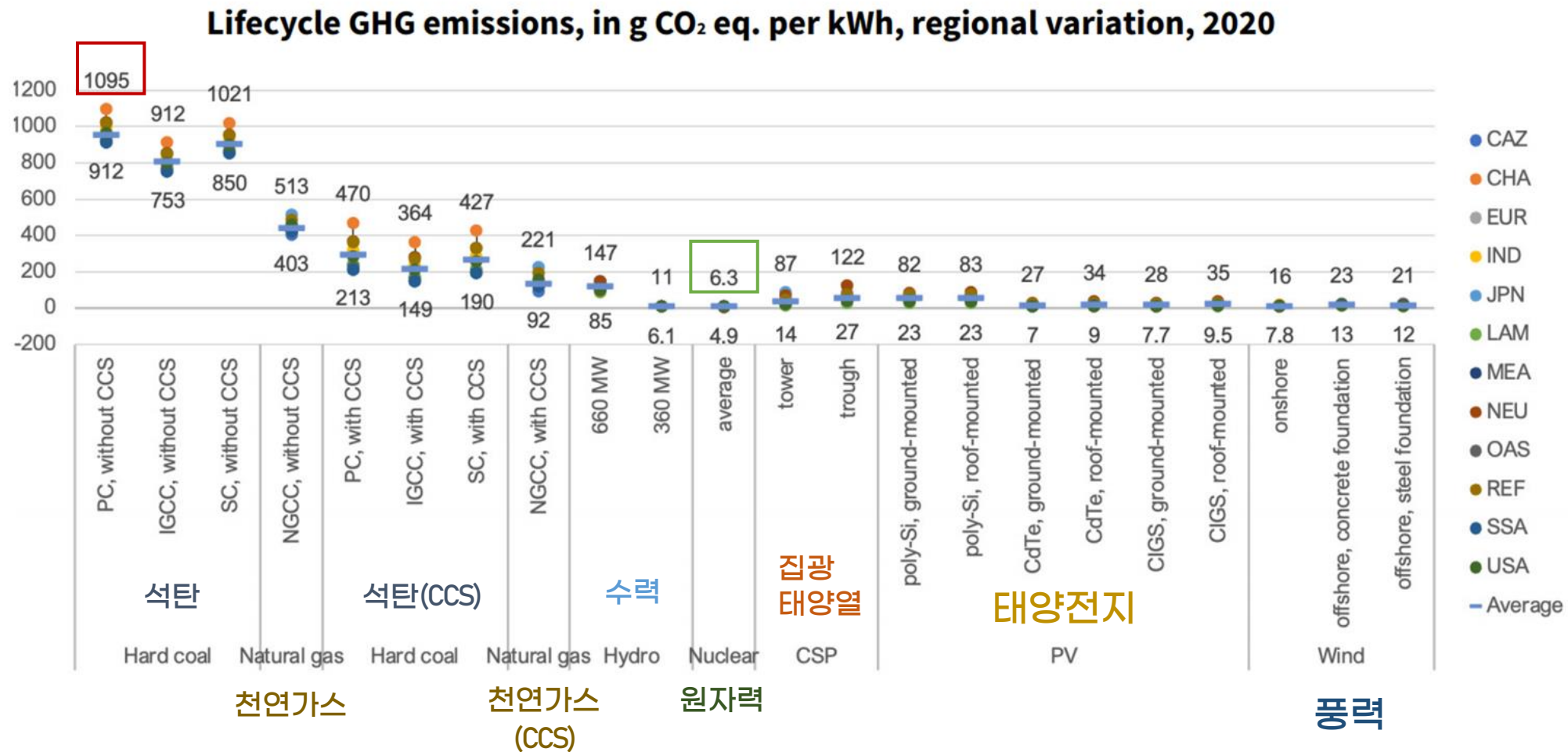
Figure 35 Lifecycle impacts of nuclear power, global average reactor, per kWh and activity



출처: UNECE, 2021

Life cycle GHG emissions of 1kWh Generation

Figure 37 Lifecycle greenhouse gas emissions' regional variations for year 2020. Variability is explained by several factors: electricity mix (all regions), methane leakage rates (fossil fuels), load factors (renewables). Nuclear power is modelled as a global average except for back-end.

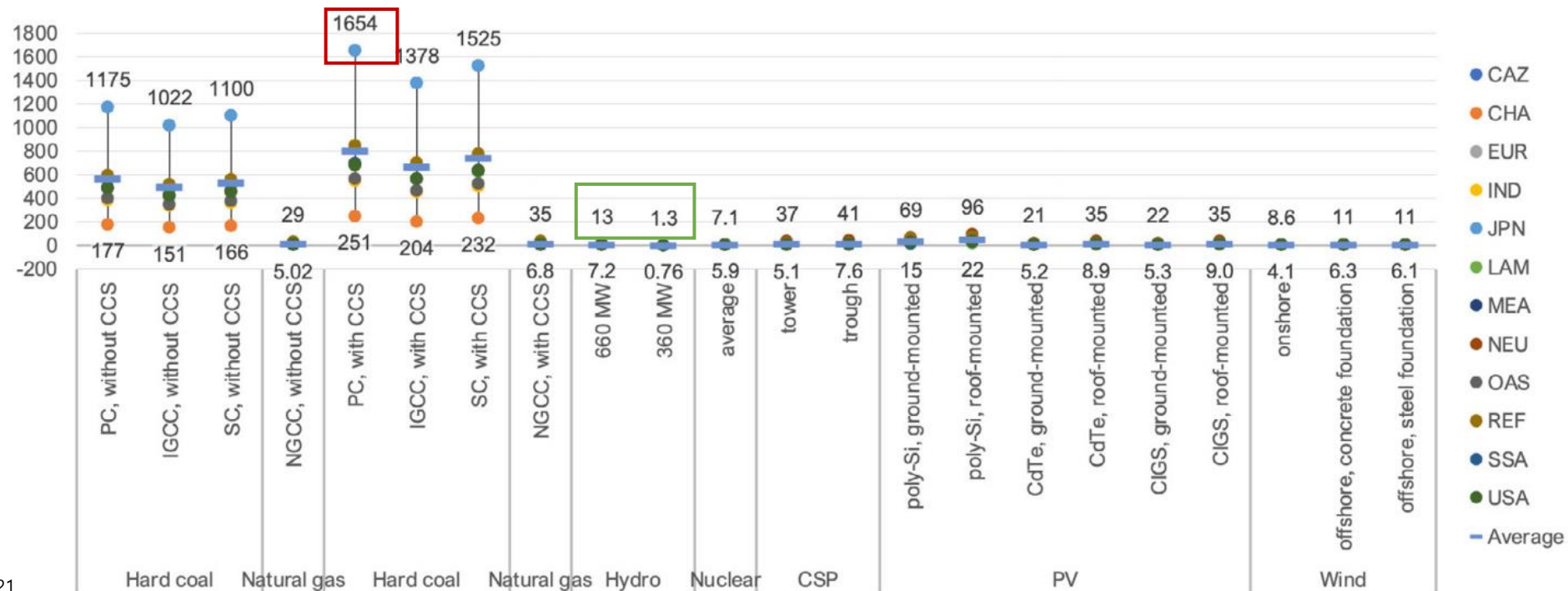


출처: UNECE, 2021

Life cycle **eutrophying** emissions of 1MWh Generation

Figure 39 Lifecycle eutrophying emissions' regional variations for year 2020. Variability is explained by several factors: electricity mix (all regions), methane leakage rates (fossil fuels), load factors (renewables). Nuclear power is modelled as a global average except for back-end.

Lifecycle eutrophying emissions, in g P eq. per MWh, regional variation, 2020



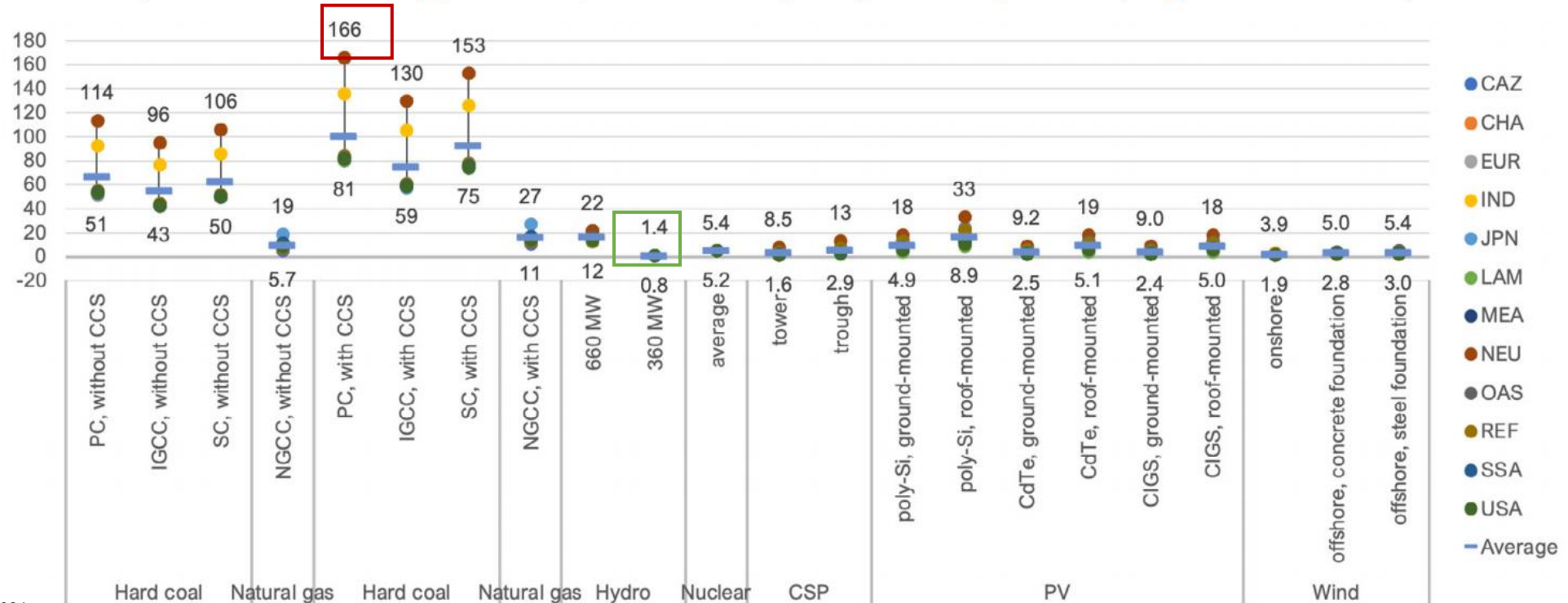
출처: UNECE, 2021

광산폐기물처리 : 15kg 폐기물/1kg 채취 : 호주; 5kg 세계평균; Ecoinvent에 중국은 P배출 없는 것으로 산정됨
석탄 with CCS 있는 경우 더 높음

Life cycle human toxicity potential(non-carcinogenic) of 1TWh Generation

Figure 41 Lifecycle human toxicity (non-carcinogenic)' regional variations for year 2020. Variability is explained by several factors: electricity mix (all regions), region of extraction rates (fossil fuels), load factors (renewables). Nuclear power is modelled as a global average except for back-end.

Lifecycle human toxicity potential, non-carcinogenic, in CTUh per TWh, regional variation, 2020



출처: UNECE, 2021

주요인: 석탄발전-석탄채취 및 석탄재매립-지표수 및 지하수로 유출되는 비소

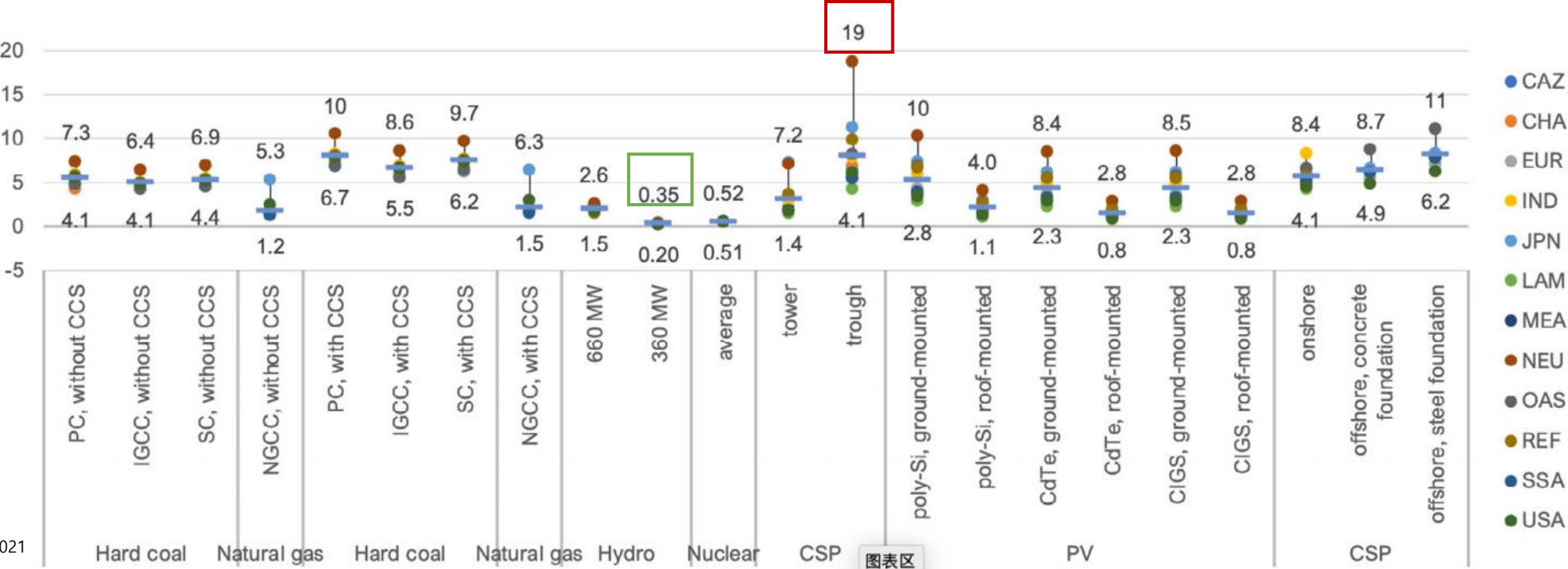
Poly-Si-roof-태양광-Copper slag에서 유출된 비소

South Africa and African countries에서 유난히 높은 비소 유출 경향, 지역 hard coal수입 국가도 영향

Life cycle human toxicity potential(carcinogenic) of 1TWh Generation

Figure 42 Lifecycle human toxicity (carcinogenic)' regional variations for year 2020. Variability is explained by several factors: electricity mix (all regions), region of extraction (fossil fuels), load factors (renewables). Nuclear power is modelled as a global average except for front-end.

Lifecycle human toxicity potential, carcinogenic, in CTUh per TWh, regional variation, 2020



출처: UNECE, 2021

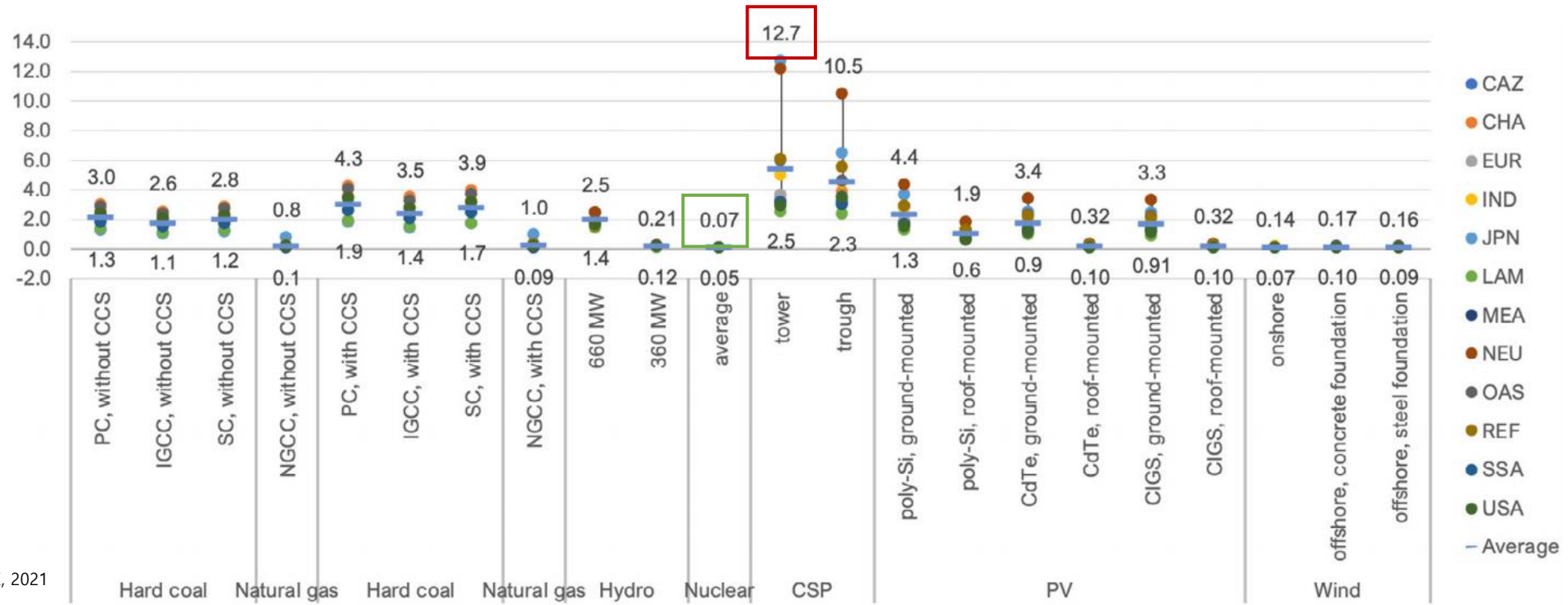
Cr(VI)-alloyed steel, slag 유출

태양광, 발암독성 증가

Life cycle land use of 1kWh Generation

Figure 43 Lifecycle land use regional variations for year 2020. Variability is explained by several factors: electricity mix (all regions), methane leakage rates (fossil fuels), load factors (renewables). Nuclear power is modelled as a global average except for back-end.

Lifecycle land use, in points per kWh, regional variation, 2020

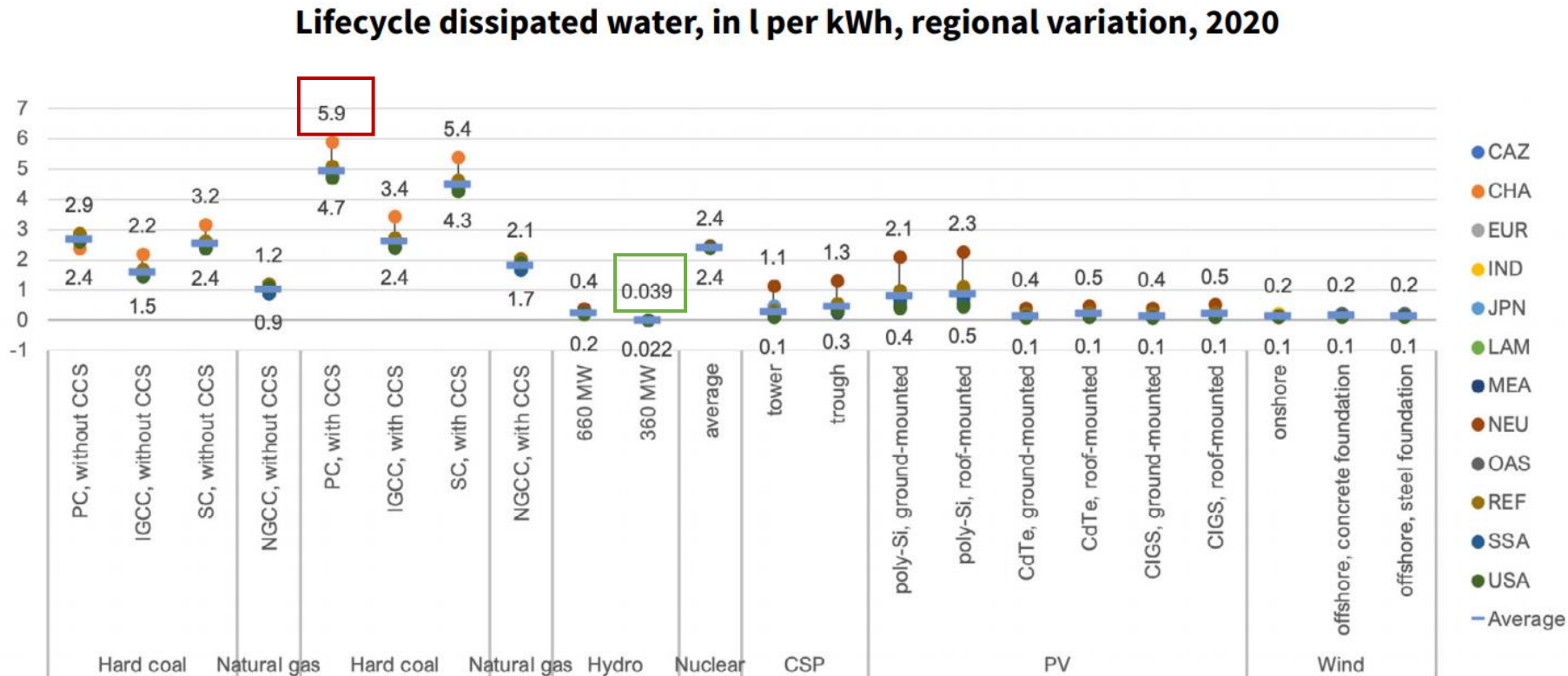


출처: UNECE, 2021

Land occupation (or use) includes both agricultural and urban land occupation, direct and indirect.

Life cycle water requirement of 1kWh Generation

Figure 44 Lifecycle water requirement regional variations for year 2020. Variability is explained by several factors: electricity mix (all regions), methane leakage rates (fossil fuels), load factors (renewables). Nuclear power is modelled as a global average except for back-end.



출처: UNECE, 2021

This indicator indicates scarcity of the water resource.

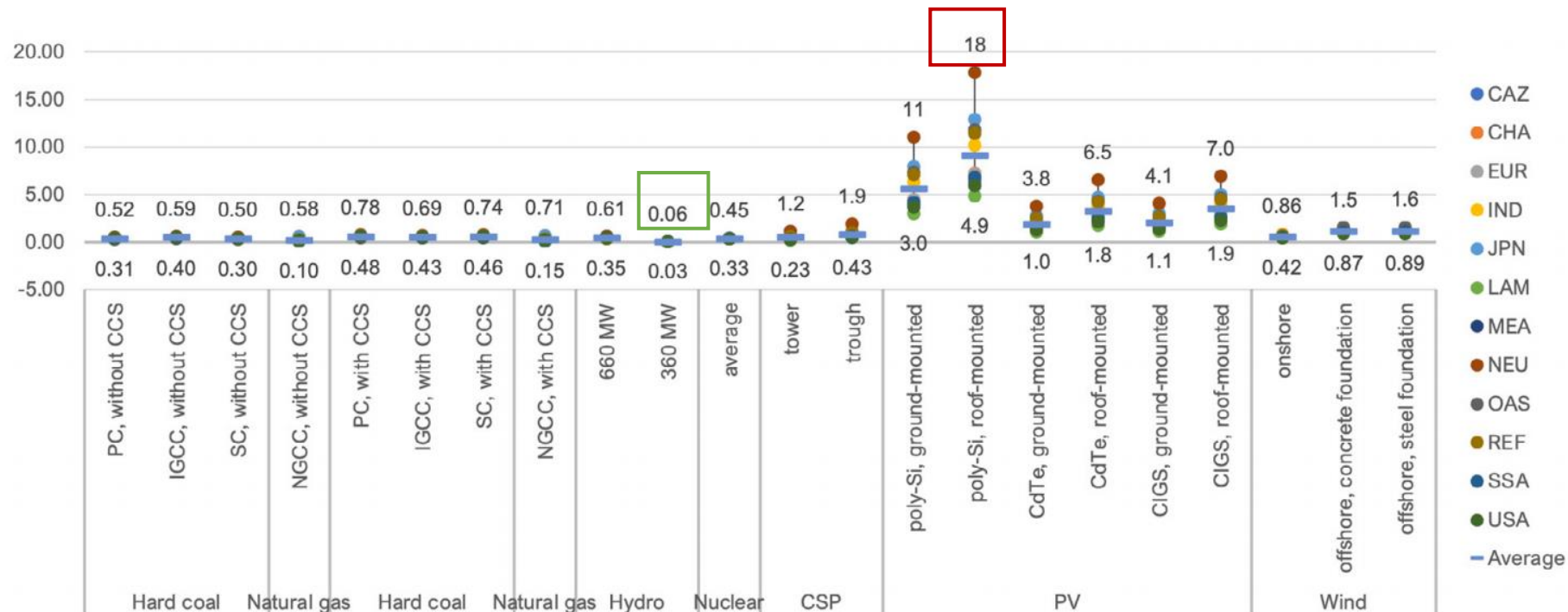
For renewables, solar technologies have a moderate water footprint, which is mostly due to the use of electricity as backup (CSP) or the manufacturing of silicon cells (PV).

Thermal power plants show high requirements of dissipated water as they deprive their immediate environment of readily available water for cooling

Life cycle **resource depletion** of 1MWh Generation

Figure 45 Lifecycle water requirement regional variations for year 2020. Variability is explained by several factors: electricity mix (all regions), methane leakage rates (fossil fuels), load factors (renewables). Nuclear power is modelled as a global average except for back-end.

Lifecycle mineral and metal requirement, in g Sb eq. per MWh, regional variation, 2020

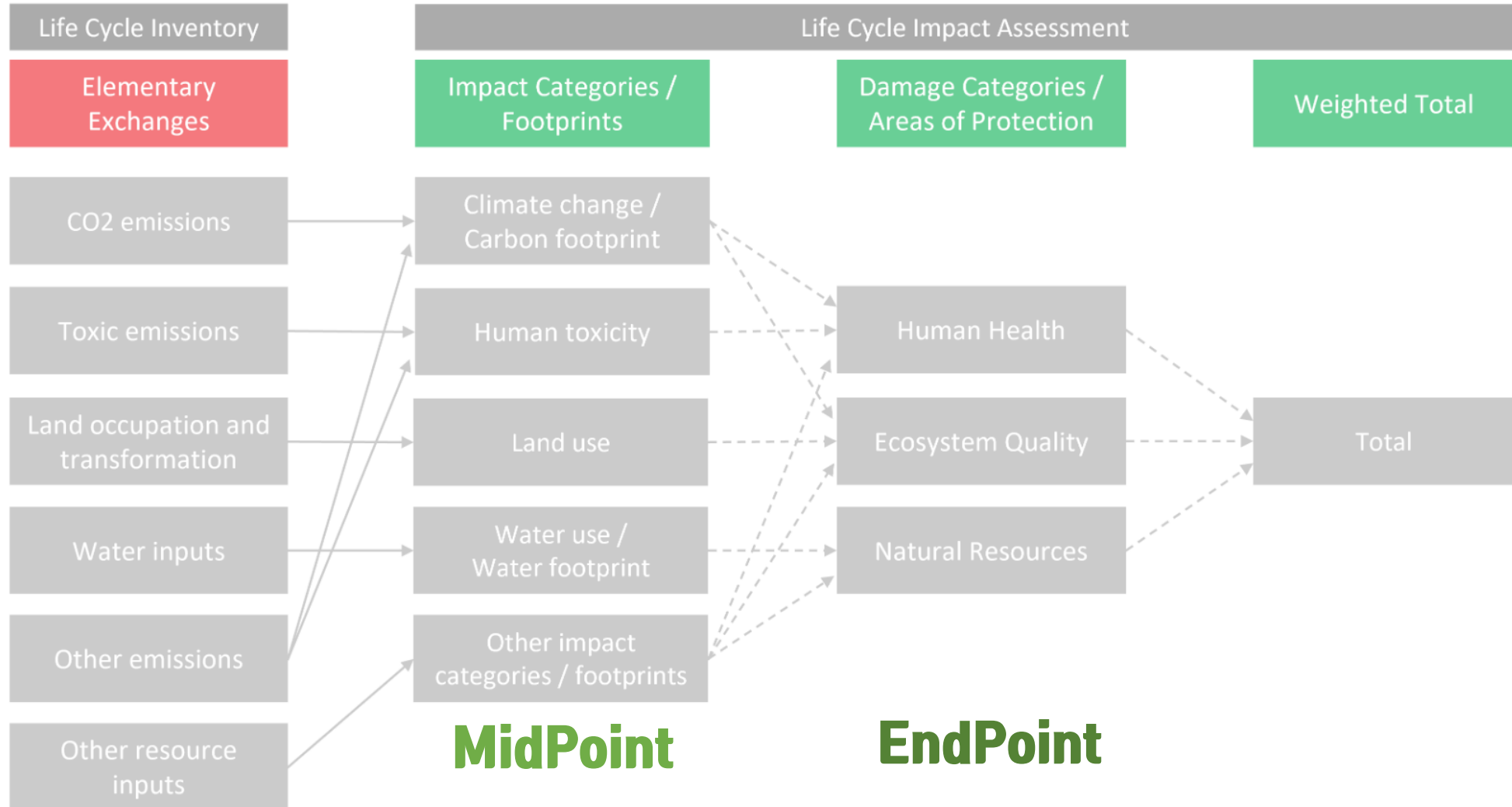


출처: UNECE, 2021

Photovoltaics appear as the most **copper-intensive technology** of the portfolio, because of electric equipment (general installation, inverter).

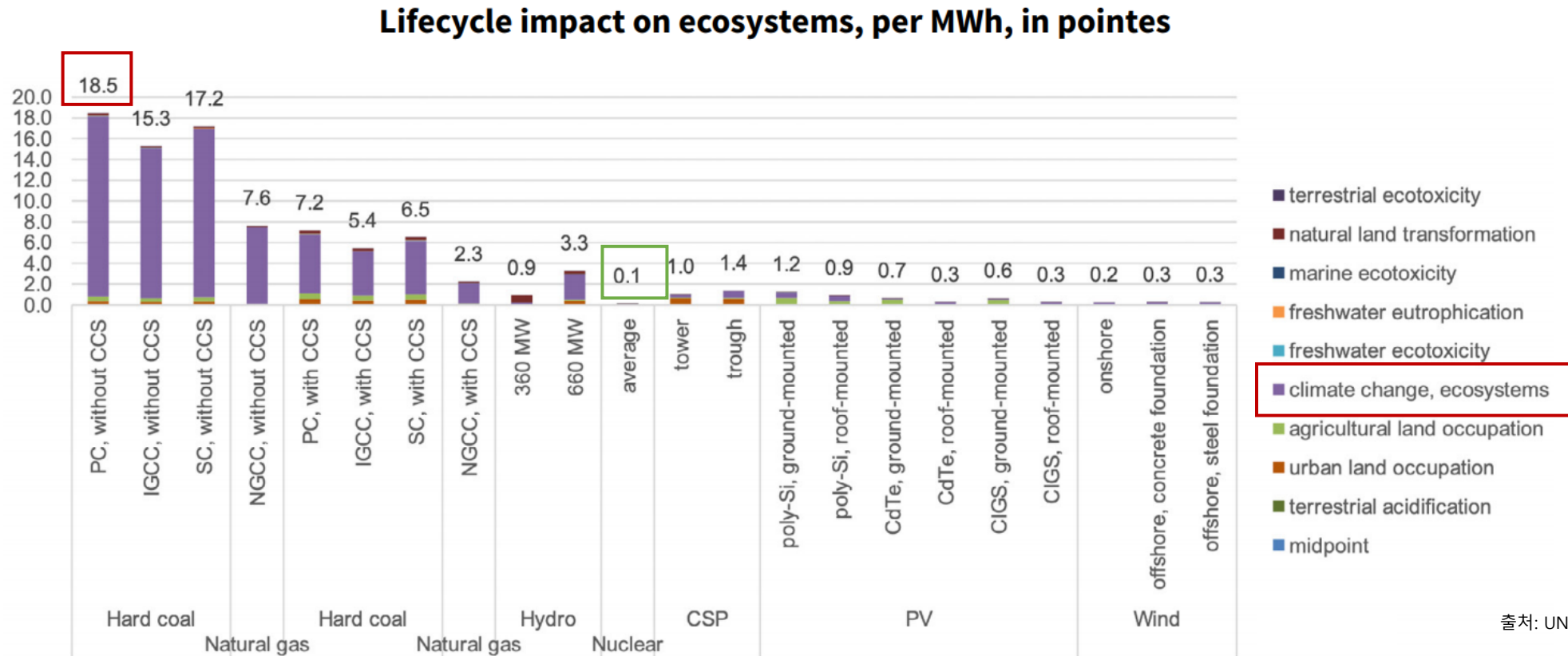
Wind turbines are relatively steel-intensive and show a demand of 60-70 g of chromium per MWh.

Life Cycle Impact Assessment_ ReCiPe



ENDPOINT Life cycle impact on **ecosystems** of 1MWh Generation

Figure 48 Lifecycle impacts on ecosystems, in points, including climate change.
Note on unit: 1 point is equivalent to the impacts (in species-year) of 1 person (globally) over one year.

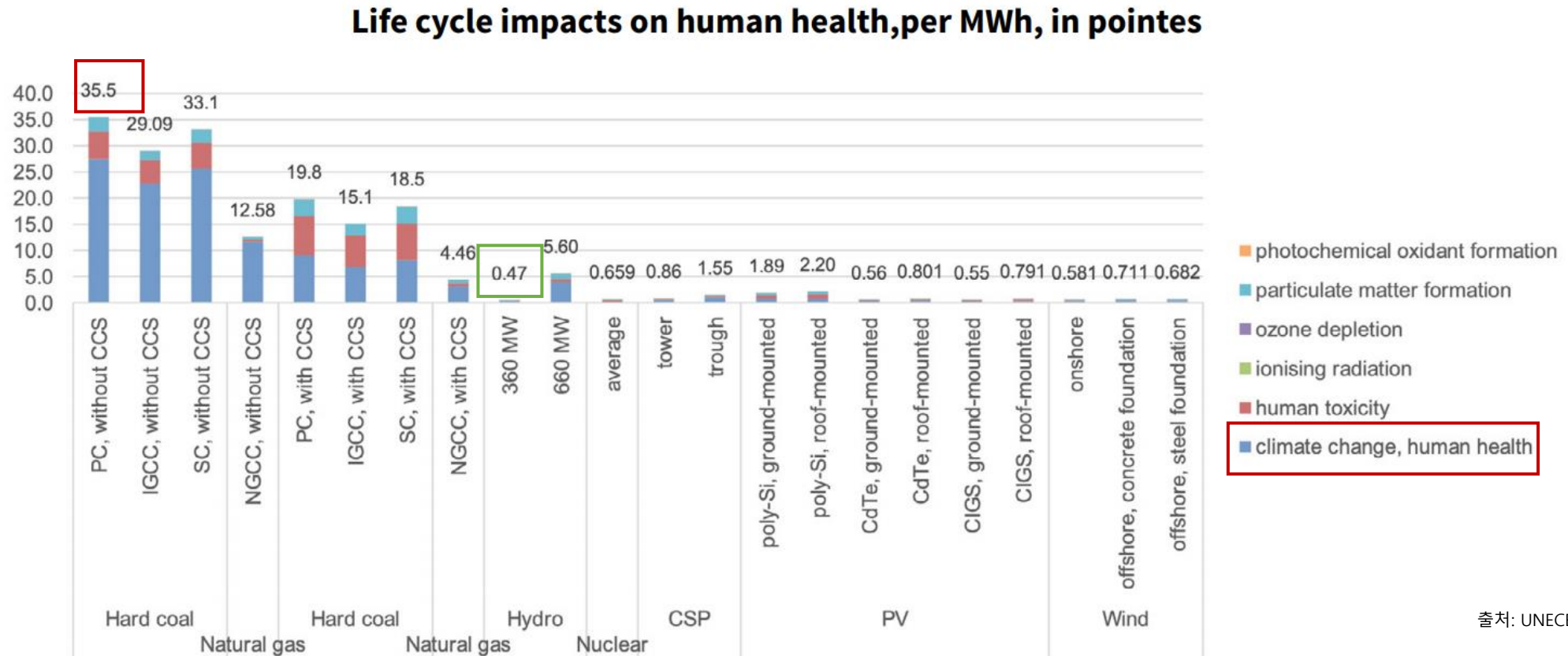


Normalized, weighted : 석탄발전 > 천연가스발전 > 석탄발전(CCS) > 수력발전 > 천연가스(CCS) > 신재생에너지 (태양광, 풍력)

Climate change, ecosystem 영향이 지배적

ENDPOINT Life cycle impact on human health of 1MWh Generation

Figure 50 Life cycle impacts on human health, in points, including climate change.
Note on unit: 1 point is equivalent to the impacts (in disability-adjusted life years, DALY) of 1 person (globally) over one year.



출처: UNECE, 2021

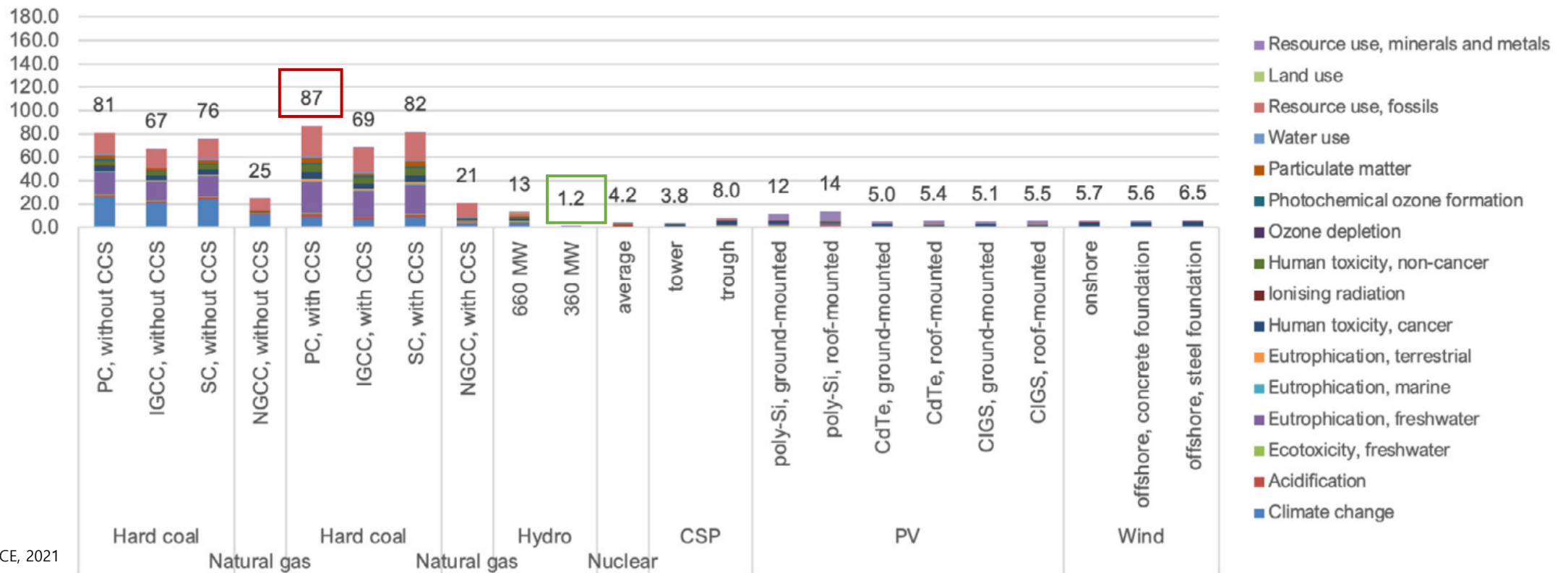
Coal-Human toxicity, particulate formation 영향

Climate change에 의한 인체건강 영향이 여전히 지배적 (>75% for all technologies)

Environmental impacts of 1TWh Generation

Figure 53 Normalised, weighted, environmental impacts of the generation of 1 TWh of electricity

Normalised lifecycle impacts, weighted, of the production of 1 TWh, per technology, Europe, 2020



출처: UNECE, 2021

종합적 환경영향측면에서 CCS 부정적, 인간/환경을 위한 화석연료 → 신재생에너지로의 전환 필요

LCIA of Electricity Generation Options



Regarding GHG emissions, coal power shows the highest scores, with a minimum of 751 g CO₂ eq./kWh (IGCC, USA) and a maximum of 1095 g CO₂ eq./kWh (pulverised coal, China).

문헌상 석탄발전의 경우 911 g CO₂/kwh 보고. IPCC는 910 g eq./kwh



신재생에너지 GHG배출의 대부분은 인프라구축에서 발생, 원료취득, 제품생산에 소요되는 전기mix, 이동 수단 등에 의해 결정



지표수 부영양화: 석탄 이외 대부분 전력생산방법에서 낮은 영향



인체독성, 비발암독성 : 석탄발전, 비소 유출 관련 야기
발암독성 : 인프라 구축 스테인레스 스틸 제조시 발생하는 6가 크롬 유출관련 야기

LCIA of Electricity Generation



토지점령 : 집광형 태양광발전-석탄발전-지상 태양광발전 순 영향



물 소비 : 발열발전방식 (석탄, 천연가스, 원자력) 냉각



자원고갈 : 태양광발전에 의한 소비 최고



출처: EBS 비즈니스 리뷰

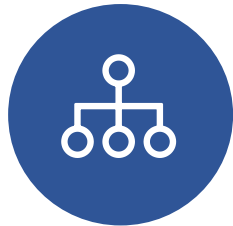
ESG 개념



Environment 친환경/환경보호



Social 사회적 기여/사회공헌



Governance 투명한 지배구조/윤리경영

[네이버 지식백과] ESG

“ 기업의 사회·환경적 활동까지 고려하여 기업의 성과를 측정하는 기업성과지표를 뜻한다. ESG가 확산되면서 비재무적 요소를 고려하는 ESG 투자를 비롯해 물건을 구입할 때 환경과 기업의 사회적 책임까지 생각하는 책임 소비를 하는 경향도 커졌다. ”

ESG 중요성

ESG는 전 세계적 트렌드로 확산, 소비자, 투자자, 정부 등 관심이 고조되면서 선택이 아닌 기업 생존과 성장의 핵심적 요소로 부상

기업목적측면

미래사회 기업가치를 제고하기
위한 기업목적의 필수적 요소

자본조달측면

투자자들의 핵심 가치로 부각되면서
자본조달의 필수적 요소

지속가능측면

기업들의 지속가능한 성장을 위한
리스크 관리 수단으로 필수적



기업들은 제시된 기준에 따라 제품의 원료조달에서부터 생산·유통·폐기에 이르는 모든 과정에서 사회적·환경적 영향까지 종합적으로 고려하여 제품을 생산



이러한 기업들의 변화조짐은 투자자나 소비자들에게도 확산되어, 특히 물건을 구입할 때 환경이나 기업의 사회적 책임까지 생각하는 이른바 '책임 소비'를 하는 경향

기업 ESG 등급 실례



회사명	KCGS				MSCI	연도	지속가능경영보고서 공시여부
	종합등급	환경	사회	지배구조	종합등급		
기아	A+	A+	A+	A	B	2022	YES

ESG 보고서
= 지속가능경영보고서

출처: 기아, 지속가능 경영보고서, 2022

LCA 종합 결과

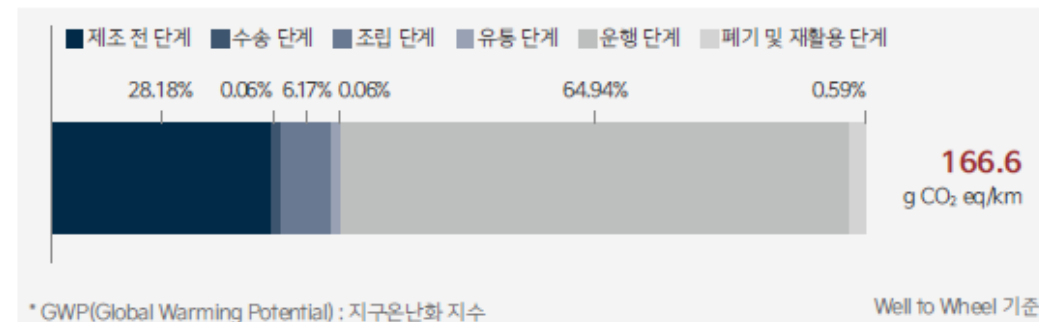
기아는 전과정평가 국제 표준에 따라 2021년 EV6에 대한 LCA 수행을 완료하였으며, 향후 대상 차종을 확대해 나갈 계획입니다. 기아는 2022년 니로 하이브리드 및 EV 차량들에 대해 LCA 수행 예정이며, 수행 차종을 지속 확대해 차량 전 생애주기에 걸친 환경영향 개선에 힘쓸 예정입니다.



EV6 전과정 단계별 지구온난화(탄소 배출) 영향

EV6 LCA 수행 결과, 전과정 중 운행 단계(64.9%) - 제조 전 단계(28.2%) - 조립 단계(6.2%) 순으로 지구온난화에 영향을 주는 것으로 나타났습니다. 운행 단계의 경우 전기가 생산되는 발전 과정에서의 재생에너지 사용 증가를 통해 지구온난화 영향을 줄일 수 있습니다.

생애주기별 GWP* 영향



제조 전 단계 LCA 결과 - 주요 부품별 GWP 영향



Life Cycle 단계별 지구온난화(탄소 배출) 영향

(단위: g CO₂ eq/km)

제조 전 단계(28.18%)	수송 단계(0.06%)	조립 단계(6.17%)	유통 단계(0.06%)	운행 단계(64.94%)	폐기 및 재활용 단계(0.59%)
46.9	0.1	10.3	0.1	108.2	1.0

*전기 생산과정 포함

Importance of Life Cycle Thinking



기업들은 제시된 기준에 따라 제품의 원료조달에서부터 생산·유통·폐기에 이르는 모든 과정에서 사회적·환경적 영향까지 종합적으로 고려하여 제품을 생산



투자자나 소비자는 투자나 물건을 구입할 때 환경이나 기업의 사회적 책임까지 생각하는 이른바 '책임 소비' 경향

THANK YOU

환경복원연구실
Zeroppm.org