국내IP 환경동향보고

화학산업의 전과정평가 사례 및 활용방안

환경부 KEITI 한국환경산업기술원

화학산업의 전과정평가 사례 및 활용방안

기초소재의 전과정평가 요구 확대

글로벌 화학기업의 전과정평가 사례

전과정평가 결과 활용 방안

화학산업의 전과정평가 사례 및 활용방안

스마트에코(주)
김 동 규

기초소재의 전과정평가 요구 확대

화학산업은 각종 기초소재를 공급하는 기간산업으로 전자, 자동차, 섬유, 건설 등 전방산업에 기초소재를 공급하고 있다. 전자제품 및 자동차 등 완제품의 원료로 사용되는 화학소재는 완제품의 제품 환경성 개선을 위해 더욱 친환경적인 소재 공급을 요구받고 있다. 그리고 완제품의 전과정평가 수행을 위해 원료로 사용된 소재의 전과정평가 결과에 대한 요구도 증가하고 있는 추세이다.

<그림 1> Apple 社의 기후변화 관련 비전
(출처: Apple 홈페이지)

스마트폰 및 노트북 등 전자기기를 생산하는 Apple 社의 경우 2030년까지 모든 제품에 순 탄소 배출량을 0으로 하는 탄소중립 실천계획을 보유하고 있다. 이를 달성하기 위해서는 사용하는 원재료의 온실가스 배출량을 관리할 필요가 있다.

2. Apple은 제품의 온실가스 라이프사이클 평가(LCA)를 어떻게 실시하고 있습니까?

Apple은 제품 라이프사이클 평가(LCA, Life Cycle Assessment)를 다음의 5단계에 걸쳐 수행합니다.

1. 제조 단계에 대한 평가 모델을 수립하기 위해 우리는 부품 생산에 대한 데이터와 함께, 완제품의 각 부품별 측정치를 사용합니다. 부품별 측정치를 통해 우리는 제품에 사용되는 부품 및 소재의 크기와 무게를 정확하게 파악할 수 있고, 제조 공정 및 생산 중 수율 손실에 대한 데이터를 통해 제조 공정이 끼치는 영향을 평가할 수 있습니다. LCA 대상에는 액세서리, 포장재는 물론 우리가 '청정에너지 프로그램(Clean Energy Program)'을 통해 저감한 탄소 배출량까지 포함됩니다. Apple의 전체 탄소 발자국을 계산할 때 우리는 AppleCare를 통해 수리 및 교체된 기기까지도 포함시킵니다.

<그림 2> Apple 社의 전과정평가 실시 현황
(출처: 애플 홈페이지)

애플은 완제품의 제조공정 뿐만 아니라 사용되는 부품 및 소재에 대한 생산데이터를 직접 활용하여 전과정평가를 수행하고 있다고 홈페이지에 공개하고 있다. 애플에서 모든 부품 및 소재를 직접 생산하지 않으므로 부품 및 소재를 납품하는 협력업체에 전과정 데이터를 요구할 수 있다.

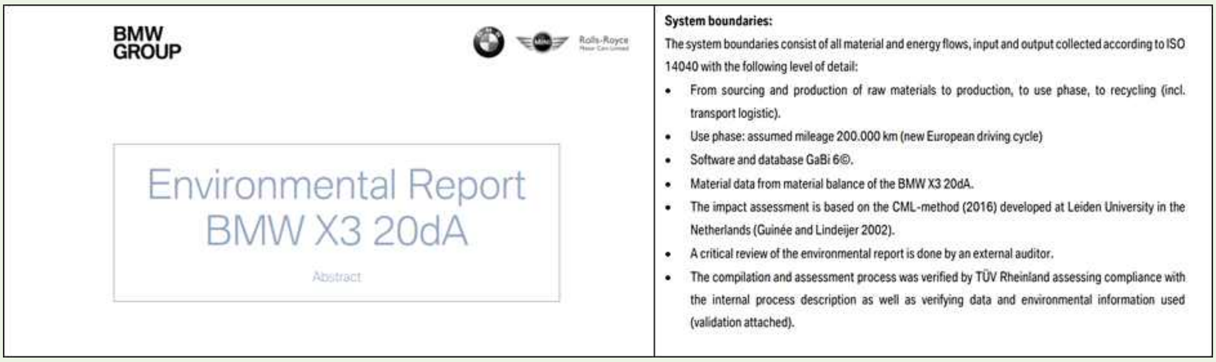
애플은 재활용 소재의 사용 비율을 점차 증가하고 있고 재활용 소재의 적용을 통한 온실가스 감축량 등을 자사 제품의 전과정평가 결과에 반영하기 위해서는 재활용 소재를 공급한 소재 기업의 전과정평가 결과가 필요할 수 있다.

40%

recycled content in MacBook Air

The 13-inch MacBook Air with Retina display, introduced in July 2019, contains over 40 percent recycled content.

<그림 3> Apple 제품의 재활용 소재 사용 비율
(출처: Apple Environmental Progress Report)



BMW GROUP

Rolls-Royce

Environmental Report
BMW X3 20dA

Abstract

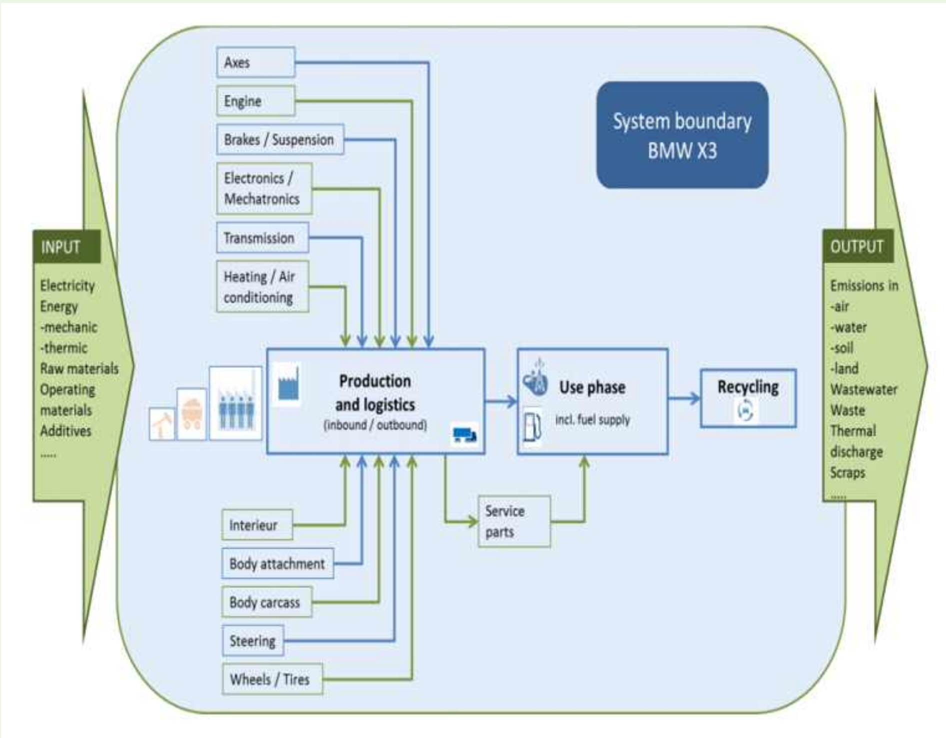
System boundaries:

The system boundaries consist of all material and energy flows, input and output collected according to ISO 14040 with the following level of detail:

- From sourcing and production of raw materials to production, to use phase, to recycling (incl. transport logistic).
- Use phase: assumed mileage 200.000 km (new European driving cycle)
- Software and database GaBi 6©.
- Material data from material balance of the BMW X3 20dA.
- The impact assessment is based on the CML-method (2016) developed at Leiden University in the Netherlands (Guinée and Lindeijer 2002).
- A critical review of the environmental report is done by an external auditor.
- The compilation and assessment process was verified by TÜV Rheinland assessing compliance with the internal process description as well as verifying data and environmental information used (validation attached).

<그림 4> BMW X3 차량의 전과정평가 보고서

완성차 제조사인 BMW에서도 자사 차량에 대해 전과정평가를 수행하고 있다. 위의 <그림 4>는 BMW X3 차량의 전과정평가 결과 보고서이며, BMW社의 홈페이지를 통해 공개되고 있다. 해당 보고서에 따르면 전과정평가를 수행한 시스템 경계는 원자재의 생산, 제품 생산과 사용 및 폐기까지를 포함하고 있음을 확인할 수 있다.



<그림 5 > BMW X3 차량의 전과정평가 투입 산출 흐름도

<그림 5>는 BMW X3 차량의 전과정평가 수행을 위한 전과정 투입 산출 흐름도이다. 차량 생산에 필요한 원료로 엔진이나 브레이크, 서스펜션 등 금속류도 사용되며 대쉬보드 등 대부분의 내장재는 화학소재를 사용하고 있어 완성차의 전과정평가 수행을 위한 자료로 부품 제조사에 원재료에 대한 전과정평가 정보의 요청이 증가하고 있다.

이러한 추세는 재생 플라스틱의 사용을 늘려 제품의 온실가스 배출량을 줄이고자 하는 글로벌 트렌드에 따라서 소재의 온실가스 배출량 등 전과정평가 정보의 요구가 더욱 증가될 것으로 보인다.

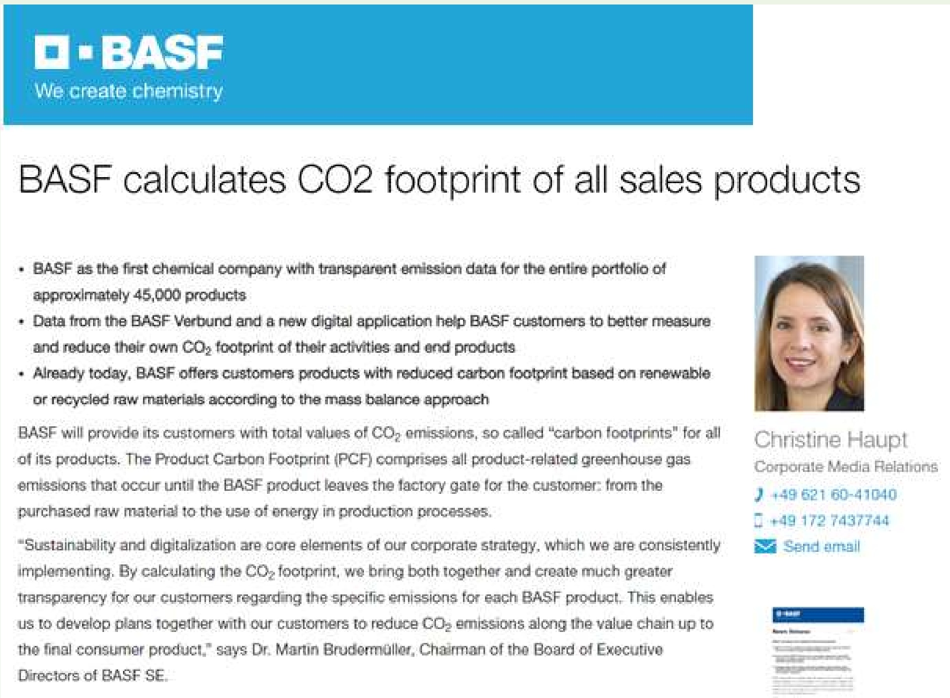
볼보자동차는 2025년부터 볼보 차량에 사용되는 플라스틱 중 최소 25%는 재활용 소재를 사용하겠다고 밝혔으며 이미 판매 중인 XC60 플러그인 하이브리드 차량은 이미 재활용 플라스틱을 사용하고 있다. 그리고 랜드로버는 1대의 차량마다 16kg의 재활용 플라스틱과 21kg의 재생 가능 소재 및 천연소재를 사용하고 있다.

폐플라스틱을 다시 원료화한 재생 플라스틱은 석유에서 나프타를 추출하여 플라스틱을 생산하는 것보다 온실가스 배출량을 낮출 수 있어서 전자제품 및 자동차 등 완제품의 온실가스 배출량을 저감하기 위한 수단으로 많이 활용되고 있다.

폐플라스틱을 파쇄하고 세척하여 다시 용융, 압출하여 펠렛형태로 재활용하는 물리적 재활용 방식은 물리적 강성확보, 이물질 혼입 등 위생 관리 등에서 취약하여 사용이 제한적이었다. 그러나 최근 화석 원료 대신 폐플라스틱을 활용하여 작은 분자(모노머)를 채취하여 화학적으로 재활용하는 방법이 상용화 되고 있어 높은 품질과 위생 기준이 필요한 재생 플라스틱의 공급도 증가할 것으로 보인다.

화학산업에서 생산하는 재생 플라스틱이 기존의 석유 원료를 사용한 것보다 온실가스 배출량을 얼마나 낮추었는지 평가하고 그 결과를 고객사인 완제품 제조사에서 활용하게 하기 위해서는 전과정평가 기법의 적용이 필요하다.

글로벌 화학기업의 전과정평가 사례



BASF
We create chemistry

BASF calculates CO2 footprint of all sales products

- BASF as the first chemical company with transparent emission data for the entire portfolio of approximately 45,000 products
- Data from the BASF Verbund and a new digital application help BASF customers to better measure and reduce their own CO_2 footprint of their activities and end products
- Already today, BASF offers customers products with reduced carbon footprint based on renewable or recycled raw materials according to the mass balance approach

BASF will provide its customers with total values of CO_2 emissions, so called "carbon footprints" for all of its products. The Product Carbon Footprint (PCF) comprises all product-related greenhouse gas emissions that occur until the BASF product leaves the factory gate for the customer: from the purchased raw material to the use of energy in production processes.

"Sustainability and digitalization are core elements of our corporate strategy, which we are consistently implementing. By calculating the CO_2 footprint, we bring both together and create much greater transparency for our customers regarding the specific emissions for each BASF product. This enables us to develop plans together with our customers to reduce CO_2 emissions along the value chain up to the final consumer product," says Dr. Martin Brudermüller, Chairman of the Board of Executive Directors of BASF SE.

Christine Haupt
Corporate Media Relations
+49 621 60-41040
+49 172 7437744
Send email

<그림 6> BASF 社의 제품 전과정평가 계획

독일에 본사를 둔 글로벌 화학기업인 BASF에서 2020년 7월에 공개한 자료에 따르면 자사에서 생산하는 4만5천여 종의 모든 제품에 대해 원료채취부터 제품 출고까지 전과정에 온실가스 배출량을 계산하여 2021년까지 공개하겠다고 밝혔다. BASF에서 소재를 구매하여 원재료로 사용하는 기업들이 온실가스 배출량을 산정하고 고객들이 온실가스 감축목표를 수립하는데 도움을 주기 위해서라고 명시하고 있다. 완제품의 온실가스 배출량을 평가하고 점차 저감하기 위한 고객들의 니즈를 파악하여 선제적으로 공개를 발표하였다.

BASF는 이미 2007년부터 개별제품에 대한 전과정 온실가스 배출량을 평가하였다. 자체적으로 개발된 디지털 솔루션을 활용하여 전 제품의 온실가스 배출량을 평가할 계획이라고 한다. 특히 화학적 재활용 기법을 적용하여 순수 화석원료를 기반으로 한 제품과 동일한 특성을 갖지만 온실가스 배출량이 더욱 낮은 제품을 전략적으로 공개하고 있다.

White Paper:

BETAFIN® NATURAL BETAINE
SUSTAINABLE AND SUBSTANTIATED

Table 1: Product impact categories

	Units	Betafin® natural betaine	Synthetic anhydrous betaine	Synthetic betaine HCl
Product impact categories	kg	1.0	1.0	1.3
Fossil depletion	kg oil equivalent	1.07E+00	2.52E+00	2.57E+00
Metal depletion	kg Fe equivalent	5.07E-02	2.86E-01	3.61E-01
Water depletion	m_3	2.03E-02	3.06E-02	1.77E-02
Urban land occupation	m_2a	3.54E-02	3.13E-02	2.77E-02
Agricultural land occupation	m_2a	2.97E+00	1.12E-01	9.37E-02
Marine eutrophication	kg N equivalent	2.55E-03	4.15E-03	6.45E-03
Freshwater eutrophication	kg P equivalent	7.12E-04	1.55E-03	8.42E-04
Terrestrial acidification	kg SO_2 equivalent	6.31E-03	2.81E-02	2.13E-02
Ionizing radiation	kg U235 equivalent	3.80E-01	4.10E-01	1.28E-01
Particulate matter formation	kg PM10 equivalent	1.74E-03	8.79E-03	6.70E-03
Photochemical oxidant formation	kg NMVOC	4.78E-03	1.73E-02	1.48E-02
Ozone depletion	kg CFC-11 equivalent	9.34E-08	1.52E-06	1.80E-06
Climate change	kg CO_2 equivalent	1.1	5.59	4.65

<그림 7> 듀폰 社의 전과정평가를 활용한 자사 제품 환경성 비교 결과

미국의 화학기업인 듀폰에서도 제품의 전과정평가를 활용하고 그 결과를 공개하고 있다. 위의 <그림 7>은 듀폰의 백서에 공개된 자사 제품의 전과정평가 결과이다. 전과정평가를 통해 화석자원고갈, 금속자원고갈, 수자원고갈, 해수 부영양화, 담수 부영양화, 광화학적 산화물 생성, 오존층 파괴, 기후변화 등 13개의 영향 범주에 대해 평가하고 비교하고 있다. 천연 원료를 사용한 제품과 합성 제품을 비교하기 위해 전과정평가를 활용하였으며 13가지 영향 범주 중 9가지 영향범주(자원고갈, 부영양화, 산성화, 입자상 오염물질 생성, 광화학적 산화물 생성, 오존층 파괴, 기후변화 등)에서 천연 원료를 사용한 제품의 환경성이 더욱 우수한 것으로 보인다. 단순히 자사 제품의 환경성 결과를 공개하는 것을 넘어서 더욱 우수한 제품을 고객이 선택할 수 있는 기반자료도 제공하고 있음을 알 수 있다.

전과정평가 결과 활용 방안

화학기업은 고객사의 요청으로 전과정평가를 수행하고 제출하기도 하지만 전과정평가 결과를 분석해 자사 제품의 개선 방안 및 다양한 전략을 수립할 수 있다.

에너지원	ADP (kg/yr)	GWP (kg CO2 eq.) 제조+사용	ODP (kg CFC-11 eq)	AP (kg SO2 eq.)	EP (kg PO4-3 eq.)	POCP (kg C2H4 eq.)	HTP (kg 1,4DCB eq.)
유연탄	4.66E-03	2.41E+00	2.23E-09	4.24E-03	7.56E-07	2.06E-04	3.40E-03
BC유	2.66E-02	3.49E+00	9.86E-07	3.45E-03	1.04E-05	2.21E-04	1.38E+00
LNG	1.95E-02	3.31E+00	3.48E-09	2.23E-03	4.22E-08	1.20E-04	5.10E-03
Wood chip	3.51E-08	5.12E-02	2.22E-09	5.16E-05	1.53E-06	7.14E-06	2.69E-03
전기(kWh)	1.73E-03	4.95E-01	3.44E-10	2.12E-06	6.40E-07	3.53E-06	9.41E-05

Sample

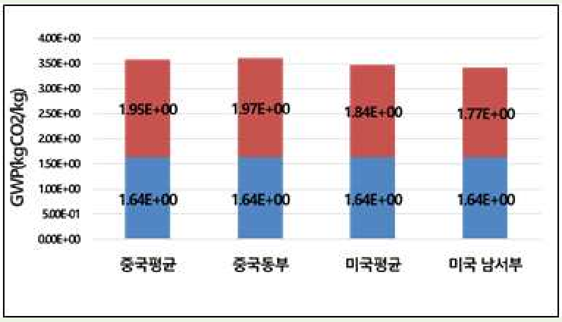
원료명(kg)	ADP (kg/yr)	GWP (kg CO2 eq.)	ODP (kg CFC-11 eq)	AP (kg SO2 eq.)	EP (kg PO4-3 eq.)	POCP (kg C2H4 eq.)	HTP (kg 1,4DCB eq.)
원료 A	**3.18E-02**	1.87E+00	2.58E-06	3.32E-03	6.50E-05	5.15E-04	**1.54E+00**
원료 B	1.28E-02	1.35E+00	1.79E-07	4.79E-03	**6.55E-03**	4.46E-04	2.43E-01
원료 C	2.61E-02	1.64E+00	3.98E-06	7.54E-05	4.62E-05	7.15E-04	**1.83E+00**
원료 D	1.68E-02	1.60E+00	2.23E-07	5.61E-03	2.73E-05	5.52E-04	3.13E-01
원료 E	2.49E-02	**3.86E+00**	**4.18E-03**	**1.40E-02**	2.92E-03	**2.50E-03**	2.41E-01

<그림 8> 연료교체 및 원료개선에 따른 비교 전과정평가

기존에 사용하고 있던 연료원을 변경하고자 할 때 온실가스 배출 저감량 등 환경 개선효과를 산출할 수 있다. 현재 사용하는 연료원의 연간 소비 열량 또는 제품 원단위 열량을 토대로 타 연료원의 예상 소비량을 산정하여 전과정평가를 수행하면 그 환경영향의 증감 등을 비교할 수 있다. 또한, 온실가스 배출량을 낮추기 위해 연료원을 교체하였을 때 그로 인해 자원고갈이나 오존층파괴 등 다른 영향 범주가 오히려 증가하지는 않는지 등을 다각적으로 분석할 수 있다.

또한, 원료를 재생 원료로 교체하거나 유리나 금속을 플라스틱으로 대체하는 등의 경우에도 위의 <그림 8>과 같이 각 원료별 환경영향이 우수한 영향범주를 파악하거나 주요 이슈인 온실가스 배출량 등을 비교 평가할 수 있다. 마찬가지로 온실가스 배출량을 줄이기 위해서 원료를 변경하였으나 다른 영향범주의 환경부하가 증가하는 상충관계를 파악하기 위해 활용이 가능하다.

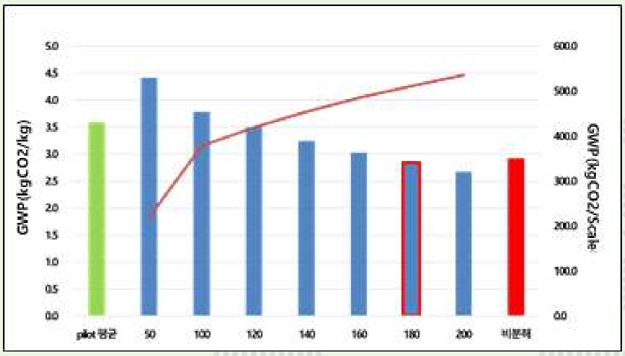
향후 생산 계획을 가지고 있는 신제품 또는 파일럿 규모로 생산하고 있는 제품에 대해서도 평가를 할 수 있다. 상용화를 위한 신규 플랜트 설립 시 위치를 어디로 하느냐에 따라서도 제품의 전과정 환경부하가 다를 수 있다. 전력의 경우 국가별 · 지역별로 원자력 발전 비율 및 신재생에너지 보급 비율 등이 다르기 때문에 차이가 발생한다. 중국이나 미국은 국가 내 전력회사가 다수이고 고객이 선택할 수 있으며 지역별 전력회사별 발전원 비율도 모두 다르다. 또한, 해외에서 원자재를 수급하는 경우 원자재의 수송에 따른 환경부하도 고려해야하므로 플랜트의 위치를 사전에 검토할 필요가 있다.



	지역 A	지역 B	(a/b)X100
Global Warming (kgCO2/kg)	12,114.6	8044.1	150.6%
Resource Depletion (kgSb/kg)	126.9	104.7	121.2%
Acidification (kgSO2/kg)	158.0	46.4	340.4%
Eutrophication (kgPO4/kg)	243.7	198.1	123.0%
Land use (m2a)	3,885.0	3,681.6	105.5%

<그림 9> 사업장 입지 선정을 위한 사업장 위치별 비교 전과정평가

파일럿 플랜트를 실증화할 경우 생산 규모에 따른 환경영향도 사전에 비교 분석이 가능하다. 파일럿 공정에서는 생산 수율이 낮고 효율이 떨어져 제품 단위 생산 당 환경영향이 높을 수 있지만, 실증 공정의 생산 규모별 가상의 데이터를 활용해 전과정평가를 수행할 경우 최적의 생산규모를 추정할 수 있다.



<그림 10> 생산 규모별 비교 전과정평가

이처럼 생산 플랜트의 규모 설정 및 입지 선정을 위해서도 전과정평가를 통해 최적화를 할 수 있으며, 현재의 생산 공정을 개선하기 위한 시뮬레이션도 가능하다.

<참고문헌>

1. Apple, Environmental Progress Report
2. https://www.apple.com/kr/environment/
3. BMW, Environmental Report BMW X3 20dA
4. https://www.basf.com/
5. DUPONT, White Paper: BETAFIN Natural Betaine Sustainable and Substantiated

국내IP

환경동향보고

환경부 KEITI 한국환경산업기술원