

기술노트

한국과 유럽연합의 최적가용기법 기준서 비교 및 발전 방향 연구

한수연* · 김가희** · 김은석** · 김선정** · 유소정*** · 모소연** · 서경애**** · 윤조희***** · 안향식***** · 박재홍***** · 강필규*****†

*국립환경과학원 환경자원연구부 토양지하수연구과 전문연구원, **국립환경과학원 기후탄소연구부 통합환경관리연구과 전문연구원,

에스이엔씨 YES환경R&D센터 연구원, *한강유역환경청 환경감시단 환경연구사,

*****국립환경과학원 기후탄소연구부 통합환경관리연구과 환경연구사, *****국립환경과학원 기후탄소연구부 기후국토환경연구과 환경연구사,

*****국립환경과학원 기후탄소연구부 통합환경관리연구과 환경연구관

A comparative study on development directions of Best Available Techniques reference documents between Korea and the European Union

Han, Su Yeon* · Kim, Ga Hee** · Kim, Eun Seok** · Kim, Sun Jung** · Yu, So Jeong*** · Mo, So Yeon** · Seo, Kyung Ae**** · Yoon, Jo Hee***** · Ahn, Hyang Sig***** · Park, Jae Hong***** and Kang, Phil Goo*****†

*Researcher, Soil and Groundwater Research Division, Environmental Resources Research Department,

National Institute of Environmental Research, Incheon, Korea

**Researcher, Integrated Environmental Management Research Division, Climate Change and Carbon Research Department,

National Institute of Environmental Research, Incheon, Korea

***Researcher, YES Environmental R&D Center, YES E&C, Gwangmyeong, Korea

****Junior Researcher, Environmental Inspection and Investigation Team, Hanriver Basin Environmental Office, Hanam, Korea

*****Junior Researcher, Integrated Environmental Management Research Division, Climate Change and Carbon Research

Department, National Institute of Environmental Research, Incheon, Korea

*****Junior Researcher, Climate, Land, Environmental Research Division, Climate Change and Carbon Research Department,

National Institute of Environmental Research, Incheon, Korea

*****Senior Researcher, Integrated Environmental Management Research Division, Climate Change and Carbon Research

Department, National Institute of Environmental Research, Incheon, Korea

ABSTRACT

The implementation of the “Act on the Integrated Control of Pollutant-Discharging Facilities” both simplifies the permitting process and improves environmental performance by managing pollutant discharge facilities of the business unit in industrial sectors. The best available techniques (BAT) reference documents (BREF), which play a pivotal role in the Act, include the state-of-the-art techniques that not only reduce pollutant emission, but also consider economic benefits. The concepts of BAT and BREF in the Act in Korea had been mostly derived from the European Union’s (EU’s) BAT system. Therefore, there are significant similarities between Korea and the EU in terms of both the publication procedures and the content of BREF. On the other hand, the types of sectors covered in the BREF vary due to differences in the major industrial characteristics between Korea and the EU. Additionally, there is a distinction in the legal role of applying BAT as a permitting condition for pollutant-discharging facilities. In Korea, the application of BAT is a recommendation, whereas the EU enforces BAT

†Corresponding author : philgkang@korea.kr (Integrated Environmental Management Research Division, Climate Change and Carbon Research Department, National Institute of Environmental Research, Incheon, 22689, Korea. Tel. +82-32-560-7694)

ORCID 한수연 0009-0008-8128-1575
김가희 0009-0003-4904-3298
김은석 0009-0002-6241-9782
김선정 0009-0003-4722-2508
유소정 0009-0009-3399-8229
모소연 0009-0002-0376-448X

서경애 0000-0002-3813-2944
윤조희 0000-0002-9677-7505
안향식 0000-0003-0651-6887
박재홍 0000-0001-9342-9890
강필규 0000-0002-2693-6697

Received: October 7, 2024 / Revised: October 30, 2024 1st, December 1, 2024 2nd / Accepted: February 10, 2025

Conclusions (BATC) as a legal requirement. Since the introduction of BATC, the EU has seen positive results from compulsory BAT application in terms of environmental performance and industrial competitiveness. The purpose of this study is to survey the current status and implementation of BREF in the EU, and to compare BREF and relevant exemplary studies between Korea and the EU. Based on insights derived from these cases, this study suggests future directions for BREF research in Korea.

Key words : BAT, BATC, BREF, Joint Inspection, Integrated Environmental Permission System, Air Quality, Water Quality, Waste Management

1. 서론

우리나라는 2015년 「환경오염시설의 통합관리에 관한 법률(이하 환경오염시설법)」을 제정함으로써 환경오염물질의 인허가 및 배출시설을 매체별로 관리하던 개별 방식에서 사업장의 오염물질 배출시설을 사업장 단위로 관리하고, 환경 보호 수준도 효과적으로 달성할 수 있는 통합환경관리제도를 도입 및 시행하고 있다(ME, 2015). 이를 통하여 오염물질이 각각의 개별법에 따라 분산 관리되는 기존 체계의 인허가 중복 및 절차의 복잡성, 단속과 처벌 위주의 관리, 중복 점검이라는 문제점을 개선하고, 환경 개선 효과 역시 높일 수 있게 되었다(Park, 2016). 또한 다양한 경로를 통한 매체 간 상호작용으로 인한 ‘오염 전이 효과’를 고려하여 종합적인 저비용·고효율 배출 관리 체계를 찾게 되므로, 오염물질 최소화과 환경영향 저감 기능을 한다는 점이 특징이다(Han, 2017; Kim et al., 2017).

통합환경관리제도 운영에 핵심적인 요소 중 하나는 바로 최적가용기법이다. 최적가용기법(Best Available Techniques economically achievable, BAT)은 사업장에서 오염물질 등의 배출을 가장 효과적으로 줄일 수 있고 기술적·경제적으로 적용 가능한 환경관리기법이다. 원료 투입부터 생산·제조, 폐기 및 오염 배출에 이르는 전 과정에서 적용되는 배출 및 방지시설의 설계, 설치, 운영 및 관리 등에 관한 기법들로 구성되어 있으며(ME, 2015), 기준서 형태로 발간 및 공개되고 있다.

최적가용기법 기준서(BAT Reference documents, BREF)는 사업장에서 용이하게 활용할 수 있도록 산업 특성과 업종별 현황, 주요 오염물질 배출 현황 및 환경관리 기법, 최적가용기법과 이를 적용할 때의 오염물질 배출 농도 범위, 신규 유망기법에 관한 내용이 포함된 기술서이다(ME, 2015). 이러한 BREF는 통합환경관리계획서 작성 시 활용되기도 하여 사업장 및 허가권자에게 산업별 생산 공정 및 필요한 환경관리기법에 대한 이해를 제공한다(Kim, Kim, Seo, Kang, et al., 2019). 또한 법적 인허가

기준과 통합환경관리법에 따른 오염물질의 배출기준 준수를 방법론적으로 지원하고, BAT 적용을 통한 환경 관리 기술 격차를 해소하는 역할을 한다(ME and NIER, 2022).

유럽연합(European Union, EU)은 환경 보호 강화를 위하여 통합환경관리제도와 BAT 결정문(BAT Conclusion, BATC)을 채택하여 산업배출오염물질의 규제를 의무화하고 있다. 반면 국내 BREF는 법적 구속력이 없는 BAT 기반의 권고 수준에 그친다는 점에서 규제 효력이 EU와 상이하다. EU 회원국뿐 아니라 미국, 러시아 등 다수 국가가 BATC를 채택하는 등 통합환경관리 이행에 있어서 법적 구속력이 있는 의무제를 도입하는 추세인 반면(NIER, 2019; OECD, 2019), 우리나라의 BREF는 직접적인 통합환경허가 기준으로 작용하지 않는다. 이러한 배경은 우리나라의 경우 아직 초기 과정이라 틀이 갖춰지지 않아, 의무화 도입보다는 기존 매체별 허가 체계에서 사업장 단위의 통합기반 허가 체계로 전환하는 기반 마련이 최우선 과제였기 때문이라 판단된다. 그러나 BREF 발간과 BAT 적용이 참고 수준에 그치기만 한다면, 국내 산업계와 전세계적 수준의 높은 환경 관리 기준 간 격차가 커질 가능성도 발생할 수 있다. 우리나라도 통합환경관리제도 2.0으로의 전환을 앞두고, 현재 국내 기준서의 역할과 BAT 적용에 있어서 부족한 부분을 파악하여, 궁극적으로는 EU의 BATC와 같은 강화된 제도 전환이 바람직할 것으로 보인다.

Kang and Oh (2022)는 환경정책 영역에서 유럽연합(European Union, EU)과 한국의 BAT 적용 접근법 연구를 통하여 기준서 작성 절차와 내용 측면을 상세히 비교하였으나, BAT 기반 배출기준 적용의 의무화 여부 및 BATC 도입에 관한 논의는 이루어지지 않았다. 따라서 BATC 전환으로 BAT가 통합 허가 조건의 필수 조건이 되도록 법적 구속력을 강화한 EU의 사례를 조사하고, 상호비교를 통하여 국내 실정을 살펴보고자 하였다.

본 연구에서는 우리나라와 EU BREF 간 주요 차이점을

비교하고, EU BATC의 개념 및 내용과 도입 배경, 이후 강화된 배출기준의 적용으로 나타난 효과를 확인하였다. 그리고 EU가 BATC 발효 이전과 개선 과정에서 문제점 파악 및 대안 마련의 도구 중 하나로 실시하는 합동점검(Joint inspection) 체계를 소개하고, 국내 현장 조사와 허가사업장 점검 체계의 개선 방안을 제안하였다. 장기적 관점에서 효율적인 환경 관리와 사업장의 경제적·기술적 발전 도모를 위하여, EU 사례를 기반으로 국내 BATC 전환 시 연구가 필요한 사항들을 4개 분야로 구분하여 제시하였다. 마지막으로 통합환경관리제도의 효율성 증대와 발전을 위하여 관련 법안의 연계성 확대, 오염물질 모니터링의 최신 기술 접목, 정보 시스템의 기능 확대와 같은 개선 방안을 논의하였다.

2. 연구 방법

2.1. 비교분석 및 방법

본 연구에서는 EU의 BREF 및 BATC 최신 발간 현황을 조사하고 우리나라의 기준서 특징과 상호비교를 통하여 기준서 이행 및 적용 측면의 제도 간 차이점을 확인하고자 하였다. 그리고 우리나라의 통합환경관리제도 참고 모델인 EU의 최근 동향 파악을 통하여 앞으로 국내 기준서 적용과 통합환경관리제도가 나아가야 할 방향성과 개선 과제들을 제시하였다.

먼저 EU의 BREF에서 BATC 도입 배경과 전환 과정 전반에 대하여 살펴봄으로써 도입 효과를 분석하였다. EU가 채택한 21개의 BATC 업종 중 1988년 최초로 지침이 발효된 대형연소시설(Large Combustion Plant, LCP)은 유럽에서 또한 기준서 역시 2006년 최초 발간 이후 2017년 개정되었고 2021년에 BATC도 채택되었기 때문에, 배출물질에 관한 자료가 상대적으로 풍부하고 BATC 사례를 분석하기에 적합하다 판단되었다. 따라서 BREF와 BATC의 구성과 내용을 더욱 상세히 비교·분석하기 위하여 LCP 업종 사례를 중심으로 검토하였고(NIER, 2021), EU의 BATC 개선 과정에 참고되는 합동점검 사례를 함께 살펴보았다. 이러한 EU의 사례조사를 바탕으로 향후 국내 BATC 적용 가능성 평가와 제도의 발전 방향성에 대하여 논의해 보고자 한다.

우리나라의 기준서(K-BREF)는 국립환경과학원이 운영·관리하는 최적가용기법 기준서 운영시스템(BAT Reference Document Operating System, BREFOS)의 자료

를 참고하였다(NIER, 2024b). EU 기준서(EU-BREF)는 유럽 통합환경관리(Integrated Pollution Prevention and Control, IPPC) 사무국 홈페이지 자료를 참고하였다(EU IPPC, 2024).

환경오염시설법에 따른 허가 절차 및 정보공개 등 관련된 내용은 국립환경과학원이 운영·관리하는 통합환경허가 시스템(Integrated Environmental Permission System, IEPS) 홈페이지의 자료를 참고하였다. 향후 환경오염시설법의 추진 방향과 스마트 통합환경관리체계 등 기준서 이외의 관련 자료는 환경부 보고서 및 연구 논문 자료와 EU, OECD 등 해당 단체의 공식 홈페이지에서 발간한 지침 등을 활용하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 국내와 EU 최적가용기법 기준서 주요 차이점

국내와 EU 기준서의 전반적인 특성을 먼저 비교하고자 한다. 우리나라는 환경오염시설법 제정(ME, 2015)과 함께 현재까지 업종별 1기 및 2기 기준서 29권과 공통 기준서(보일러) 1기 1권을 심의·발간하였다('24년 12월 기준 예상). 국내 환경오염시설법은 EU의 통합환경관리지침(IPP Directive)을 참고하여 체계를 마련하였기 때문에, 기준서의 구성 및 발간 절차 등에서 EU와 상당한 유사점을 찾아볼 수 있다(Michaelowa et al., 2021).

반면, 한국과 EU의 BAT 기준서 간 차이점도 상당수 존재한다. 우선 산업 특성 및 분류체계 차이로 인하여 EU와 국내 기준서의 대상 업종이 다르다. EU는 산업 코드에 따라 업종별 29개와 공통 5개로 현재까지 34개의 기준서를 발간하였다. 이는 K-BREF의 업종보다 13개 많은 것으로, 국내 대비 업종을 세분화한 것으로 보인다(Kang and Oh, 2022). 우리나라는 EU-BREF에 포함되지 않은 반도체·전자부품·자동차부품 제조업 기준서를 발간하는 선진적 성과를 달성하기도 하였다(Kim, Kim, Seo, Khan, et al., 2019). 한편 기준서 개정 주기 측면에서는 EU(8년)보다 한국(5년)이 더 짧기 때문에(ME, 2016a; OECD, 2019), K-BREF가 최신 기술이나 유망기법 정보를 발 빠르게 반영할 수 있다는 장점이 있다.

K-BREF와 EU-BREF의 또 다른 주요 차이점으로는 공통 기준서 발간 현황을 꼽을 수 있다. 우리나라는 현재까지 보일러에 관한 공통 기준서 1개만을 발간하였으나, EU는 총 5개의 공통 기준서를 발간하였다. 특히 '경제성 및

매체 통합적 환경영향(Economics and Cross-Media effects, ECM)'과 '허가 시설의 대기 및 수질 배출에 대한 모니터링(Monitoring of emissions to air and water from IED installations, ROM)' 부문을 주목할 필요가 있다. 경제성 및 매체 통합적 환경영향 부문은 대기, 수질, 토양, 폐기물 등 여러 매체에 대하여 통합적인 환경영향에 대한 BAT 결정 시 도움이 되는 방법론을 소개한다(EU IPPC, 2006). 매체통합 가이드라인은 (1) 대안 기술의 범위와 확인, (2) 배출 목록 작성, (3) 매체 통합적 환경영향 계산, (4) 매체 통합적 환경성 평가의 4단계로 구성된다. 또한 비용산출 방법론을 함께 소개하여, BAT의 경제성 평가에 관한 내용이 기준서에 포함된다. 허가 시설의 대기 및 수질 배출에 대한 모니터링 부문은 2003년에 앞서 발간한 모니터링 일반 원칙(General principles of monitoring)을 기반으로 2018년에 개정된 것으로, 배출시설의 오염물질 모니터링에 대한 목적, 접근방법, 품질 정확도, 측정 조건에 부합하는 작동조건 등의 내용을 다룬다(EU IPPC, 2018). 또한 특정 업종 기준이 아니라, 대기와 수질 배출 모니터링으로 구분하여 각 매체의 오염물질 예시와 구체적인 모니터링 방법, 직간접적 측정법, 독성 테스트, 비용 등을 자세히 기술하였다. 이러한 EU의 공통 기준서 부분과 구체적인 방법론, 기술, 기준사항이 K-BREF에는 포함되지 않았다. 국내 통합환경관리제도 운영에 있어서 BAT의 경제적 측면을 심도 있게 평가하고, 보일러 이외에도 실질적인 매체 통합적 환경 관리를 위한 세부적인 사항을 포함하는 공통 기준서 신규 발간 등을 고려할 필요가 있다.

3.2. EU BATC 적용과 시사점

국내 및 EU 기준서의 BAT 및 연계배출수준 등 내용적인 차이를 업종마다 자세히 비교·검토한 선행 연구들도 다수 존재한다(Seo, Kim, Kim, Khan, et al., 2020; Seo, Kim, Kim, Seok, et al., 2020; Shin et al., 2017). 이들 연구에서 도출된 차이 중 주목할 만한 것은 바로 오염물질 배출시설의 BAT 적용 의무화 여부이다. K-BREF는 BAT 기반의 배출기준 적용을 의무화하고 있지 않으나(Kang and Oh, 2022), EU는 BAT 기반 배출기준의 적용을 법적으로 의무화하여 시설 허가 시 BAT 채택을 기본 조건으로 하고 있다(Gong and Hong, 2013). 미국에서도 BAT 도입을 의무화하였고(Park, 2016), 관련 제도 시행 및 통합환경관리에 대한 중요성이 전 세계적으로 강조되고 있는 흐름이다.

3.2.1. EU BATC 전환 배경

EU는 기존의 개별법으로 다루지던 환경 매체를 통합적으로 관리하고 환경 보호를 위한 정책 및 규제를 강화하기 위하여 IPPC를 1996년 채택하였고, 그에 따라 산업 업종별로 최적가용기법 기준서를 발간하였다. 그러나 IPPC 시스템하에서는 개별 오염원 지침과 법령 용어나 배출한계기준(Emission Limit Values, ELV) 등이 상이하고 BREF의 법적 역할과 효력이 불분명하여, 회원국 간 BAT 적용 및 이행에 관한 일관성 부족으로 환경 관리 수준에 격차가 발생하였다. 환경 규제의 일관성을 높이고 더욱 엄격한 오염물질의 배출기준 적용을 위하여 2010년 산업 시설에서의 배출에 관한 지침(Industrial Emission Directive, IED)을 제정하였다. IED로의 전환을 통하여 당초 '환경 오염 예방 및 오염물 조절' 중심에서 '산업에 대한 배출 관리'라는 보다 포괄적인 목표를 설정하였고, 기존 IPPC 지침에 4개의 개별 오염원을 추가하여 환경 매체도 7개 지침으로 그 범위를 확대하였다. 무엇보다 BATC 적용을 통한 BAT 기반 허가의 의무화라는 주요 변화를 이루어 냈다.

EU의 IED 14조 3항에 따라 BATC는 허가 조건을 결정하는 기준으로 작용한다(EU, 2010). 2024년 11월 기준, 발간된 34개의 BREF 중 21개 업종에 대한 BATC가 채택되었으며, 향후 모든 업종에 대한 BATC가 만들어질 예정이다. 모든 BAT 후보 기법이 BATC로 채택되는 것은 아니며 일부 BAT 후보 기법은 기술작업반(Technical Working Group, TWG)의 검토에 따라 저조한 환경성과, 낮은 적용 가능성 및 경제성 부족 등의 이유로 제외될 수도 있다. 이러한 법적 구속력을 지닌 BATC 체계 도입으로 산업오염 배출시설의 BAT 기반 배출기준 적용을 의무화함으로써, EU 통합환경관리제도는 권고 수준에 그치던 기존 BREF의 한계를 넘어, 모든 EU 회원국이 일관된 환경 기준을 따를 수 있도록 강화되었다.

3.2.2. EU BATC 구성 및 내용

EU가 채택한 BATC 21개 업종 중 대형연소시설(Large Combustion Plant, LCP) 사례를 중심으로 BATC의 구성요소를 살펴보았다(EU, 2021).

2017년에 개정된 LCP 업종의 BREF는 공통 공정과 기법, 연료별 공정과 기법, BATC, 유망기법으로 구성되어 있고 각 공정 및 기법에 대한 상세한 설명이 포함되어 있다(EU IPPC, 2017). BATC는 BREF의 일부이므로 BATC

에 명시된 모든 기법은 해당 업종별 BREF에도 포함되어 있다. LCP 업종의 BREF는 제10장에서 75개의 선정된 BAT를 설명하고 있다. BATC는 연료·설비 종류에 따라 8개로 구분되어 있는데 (1) 일반적 BATC, (2) 고체연료, (3) 액체연료, (4) 기체연료 연소에 대한 BATC, (5) 다중연료 사용 발전에 대한 BATC, (6) 폐기물 동시 소각에 대한 BATC, (7) 가스화에 대한 BATC, (8) 기술 설명 순으로 기술되었다.

개별 BATC는 크게 3가지 요소, 즉 개요, 기법 설명, 기법의 적용 가능성 평가를 위한 정보로 구성되며 표준 서식에 따라 작성된다. 해당 서식의 제목은 환경측면의 목표(예: 분진 배출 제어, 용수 사용 저감, 폐기물 생성 방지 등)와 적용 가능한 기법 및 기법들의 조합으로 정한다. 각 BATC는 관계 당국 및 작업자가 유용하게 이용할 수 있도록 기법별로 충분한 설명이 제공되며, 적용 가능성에 대한 평가 정보도 함께 작성된다. 이때 평가 정보는 ‘신규 또는 기존 사업장, 사업장 및 설비 규모, 사용되는 공정 유형, 사용된 원료 종류, 사용량 수준, 부하율, 생산성, 기후조건 등’과 같은 세부 사항을 나타낸다. 해당 공정(설비)의 환경성능 수준이 BAT와 연계되었는지에 따라 관련 내용을 포함하기도 한다. 반면, 공정에 대한 설명과 유망 기법에 관한 내용은 다루지 않고 있다.

3.2.3. EU BATC 전환 효과

EU는 IED 수립과 BATC 전환을 통하여 환경 매체 내 오염물질의 거동, 이동, 전환을 통합적으로 고려하여 관리함으로써 수질, 대기, 토양, 에너지 효율성, 폐기물 관리 등의 부문에서 전반적인 환경 보호 수준을 개선하였다(De Teran et al., 2014). 유럽환경청(European Environment Agency, EEA)의 자료에 따르면, IED가 제정된 2010년 이래로 유럽의 경제 성장은 점차 증가하는 반면 주요 대기 오염물질의 배출량은 꾸준히 감소하였다(Fig. 1). 이는 BATC 전환과 강화된 배출기준 적용이 유럽 산업계의 환경적·경제적 효과를 가져온 중요한 역할을 시사한다(EC, 2020; EEA, 2022).

다수 국가 연합인 EU의 관점에서, 모든 회원국에 대하여 BATC는 동일하게 적용된다는 것이 기본 원칙이기 때문에 EU 전역에서 일관성 있는 허가 기준 적용이 가능해졌다. 이 같은 일관성 확보는 환경 관련 규제에 대한 예측 가능성을 높여, 사업장이 관련 제도나 지침 준수에 필요한 투자를 계획하는 데 유리한 환경을 조성한다는 이점이 있다(NIER, 2021). 또한 강화된 기준을 만족하기 위한 기

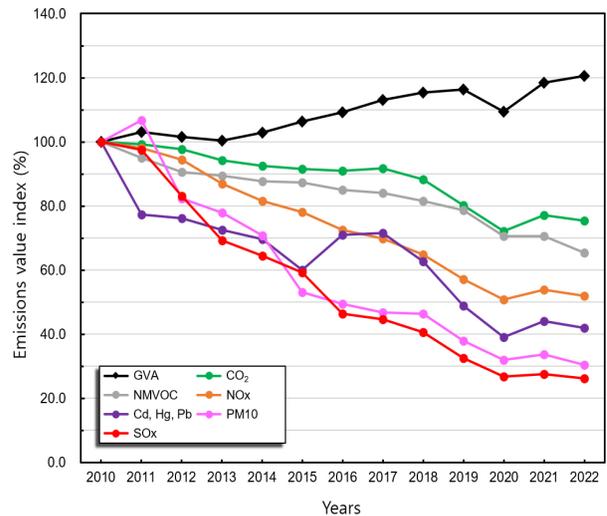


Fig. 1. The changes of industrial pollutant releases into air in the EU-27 from 2010 to 2022 by using 2010 releases values as reference. Index indicates the changes of the ‘gross value added (GVA)’ and pollutant starting from 2010 (modified from EEA, 2022).

업들의 적극적인 기술 개발을 기대할 수 있고 이는 곧 기업의 경쟁 우위로도 작용할 수 있으므로(EC, 2020), 장기적인 관점에서 BATC 체계 도입은 산업 경쟁력을 높이는 데에 기여할 것이다.

3.3. EU 허가사업장 합동점검과 시사점

환경법 이행 및 집행을 위한 유럽연합 네트워크(European Union Network for the Implementation and Enforcement of Environmental Law, IMPEL)는 IED의 효과적인 적용을 위한 다양한 프로젝트를 수행하는 비영리 단체이다. 이들은 현재 38개국의 모든 EU 회원국 및 다른 나라들로 구성되어 있으며, 전문 지식과 기술 및 모범 사례를 공유하고 관련 교육 자료를 개발하는 활동을 하고 있다.

합동점검은 IMPEL 프로젝트 중 하나로, 신규 혹은 개정 BATC 발효 이전에 BAT 이행의 주요 문제점을 분석하고 해결 방안 도출의 중요 역할을 한다. 해당 산업 부문의 실무자들이 모여 전문 지식을 공유하고 점검 ‘체크리스트’와 같은 방법론을 개발하며, 점검 시 사용 도구, 실질적인 BAT 적용 평가 등 구체적인 목표를 합의한다(Büther et al., 2020; Colonna et al., 2024).

Table 1. An example of analysis of BATs implementation issues and proposals after the joint inspection of IRPP sector in Galicia, Spain (Data is modified from Büther et al., 2020). ‘BAT No.’ indicates the corresponding BAT number in the BATC

BATC	BAT No.	Main issues	Proposals (for consider)
Environmental Management System (EMS)	1, 2, 8, 9, 12, 29	<ul style="list-style-type: none"> Types of farms: Family farms vs. Industrial EMSs not in place in most countries 	<ul style="list-style-type: none"> Different standards by size Providing handbook Subsidize EMS implementation
Slurry management and manure landspreading	14, 15, 16, 18, 19, 20, 21, 22	<ul style="list-style-type: none"> Issue of slurry management (eg. storage leakage, cover of tanks) Feasibility of ‘in situ’ slurry and manure treatments Landspreading of manure and slurry, that is main source of pollution of soils and water Difficulty traceability from farms to lands Necessity of coordination between agricultural and environmental authorities 	<ul style="list-style-type: none"> Application of standardized quality or technology and leakage detection system in new installation Compulsory in treatment of slurry and manure in big-size farms Development of traceability systems for applying purines from the farm with GPS Strengthening cooperation among public administrations
Odours and NH ₃ emissions	3, 12, 13, 23, 24, 25, 26, 28, 30, 31, 32, 33, 34	<ul style="list-style-type: none"> Nitrogen reduced feeding Including in the permit a list of ammonia reduction in storage, slurry treatment, and air cleaning techniques Odour management plans if nuisance occur 	<ul style="list-style-type: none"> Justified feeding supply of the feed industry Emission reduction techniques and effectiveness verification of emission factors Minimum distances from sensitive receptors for new installations

EU의 LCP 업종에 관한 합동점검 체계를 조사·비교하고자 하였으나, 점검 사례 부재 및 자료 접근의 제한으로 가금류 및 돼지 사육 산업(Intensive Rearing of Poultry or Pigs, IRPP) 업종을 중심으로 사례를 검토하였다. IRPP 업종에 대한 합동점검에서 IMPEL은 경영 방식 차이, 환경관리 체계(Environmental Management System, EMS) 부재 등의 문제점을 진단하고, 농장 규모에 따라 다른 표준안 고려, 안내서 제공, EMS 이행을 위한 보조금 지원과 같은 대책안을 제시하였다(Table 1). IRPP 업종 특성으로 인하여, 가축 분뇨의 비료화로 발생하는 오염은 GPS 기반 추적 시스템 개발과 업종 특성을 고려한 환경부와 농림부 간 협력 강화 등 다각도의 해결 방안을 도출하였다. 이처럼 현장에서 장애요인을 진단함으로써 현실적인 해결책을 모색할 수 있으므로, 합동점검은 BATC 및 BREF 개정 과정에서 중요 역할을 할 수 있다(Büther et al., 2020).

우리나라도 IMPEL 사례와 같은 합동점검 체계를 환경오염시설법에 도입할 필요가 있다. 현재 국내 실태 조사는 사업장에서 실제 사용 중인 BAT 발굴 및 선정에 집중되어 있다(ME, 2015; Shin et al., 2017). 허가에 대한 사후 관리로 정기 및 수시 점검 체계가 있으나 관할 환경청에서 이행하고 있어, BAT 적용 시 발생 가능한 복합적인 문제를 분석하고 대책을 마련하기에는 한계가 있다. 이를

보완하기 위하여 국립환경과학원이 운영 중인 TWG의 역할 확대가 효과적인 대안이 될 것으로 생각된다. TWG 위원은 환경 분야 전문가, 해당 업종에 종사하는 관련 시설·공정 전문가 등으로 구성된다(ME, 2016b). 이들은 BREF 작성에 필요한 의견 제시, BAT 현장 적용 가능성 평가 및 후보 기술 스크리닝을 수행하는 등 여러 분야에서 전문성을 지닌다. TWG의 기능을 확대하여 업종별 BREF 개정 이전에 정기적 허가사업장 합동점검을 수행하고 실질적 대안을 반영한 BATC 전환을 이루어 낸다면, K-BREF 활용과 환경오염시설법 준수를 강화할 수 있을 것이다.

3.4. 통합환경관리제도 강화 및 연구 분야

우리나라와 EU의 BREF 비교와 EU BATC 및 제도운영 사례 검토를 통하여 BATC 도입의 필요성을 도출하였다. BAT 기반의 실효성 있는 허가를 위해서는 BATC 전환 연구와 함께 통합환경관리제도의 개선이 동반되어야 한다고 생각한다. 따라서 앞선 BREF 및 BATC 사례의 검토사항과 국내 관계기관들이 수행한 연계 과제의 결과를 바탕으로, 통합환경관리제도의 미비점을 진단하고 향후 보완이 필요한 분야에 대하여 논의하고자 한다(ME, 2024; NIER, 2024a).

3.4.1. BATC의 단계적 도입

우리나라는 환경오염시설법 제24조 제2항제5호에 따라 ‘최적가용기법을 배출시설 등 방지시설에 적용할 경우, 배출될 수 있는 오염물질 등의 배출농도의 범위’로 정의되는 최적가용기법 연계배출수준(BAT-Associated Emission Limit, BAT-AEL)을 기준서에 포함하고 있다(ME, 2015). 그리고 설정된 BAT-AEL의 상한값을 기반으로 환경오염시설법 시행규칙 [별표 15]의 최대배출기준이 제시되며(ME, 2016b), 이는 추후 정책 제안의 근거로 활용된다. 그러나 현재 국내에서는 통합 허가 시 BAT가 의무 적용이 아니며 법규상 강제하고 있지 않다. 이처럼 BAT에 대한 자발적 채택 방식만으로는 BAT 적용 활성화와 오염물질 저감에 한계가 있다. 또한 최소한의 규제만 충족하려는 기업들의 수동적인 태도를 야기할 수 있으며 이는 결국 새로운 기술개발과 산업계의 혁신 저해라는 부정적 영향을 초래할 수도 있다.

이러한 문제 개선과 환경 보호 수준을 높이기 위하여 우리나라도 EU의 사례처럼 BATC 도입과 점진적인 의무제 전환을 고려하고 BAT 기반 허가 체계를 강화할 필요가 있다. 지금까지 살펴본 EU BATC와 국내 BREF 적용 사항을 바탕으로 BATC 체계 확립을 위하여 다음과 같은 연구과제 수행의 필요성을 제시한다.

3.4.1.1. 제도 전환의 타당성 분석

국내 오염물질 배출 및 관리에 대한 관련 환경 법안은 오염 매체별 개별법과 환경오염시설법이 공존한다. 그러나 개별법, 환경오염시설법, BREF 간의 상호 연결성과 상충하는 지점을 구체적으로 검토한 사례가 부족하므로, 국내 제도의 현황을 먼저 분석할 필요가 있다. 또한 현행 허가제도의 현황 파악 및 문제점 도출과 이를 개선할 수 있는 BATC 제도 도입의 타당성을 우선 검토할 필요가 있다.

3.4.1.2. 경제성 평가 연구

BAT 선정 시 핵심적 요소는 환경성과 경제성이기 때문에, 의무제인 BATC 전환과 기업들의 참여를 도모하기 위해서는 경제성 평가 연구가 필수적이다. 유럽 국가들에서는 업종별로 BATC를 충족하면서도 환경·기술·비용 기준을 고려한 BAT 비교·평가, 최적의 BAT 선정을 위한 시나리오 개발 등의 연구들이 수행되었다(Daddi et al., 2014; Hitchens et al., 2001; Telenga-Kopczyńska and Jonek-Kowalska, 2021). 국내에서도 유기성 폐기물 처리

기법, 휘발성유기화합물질 배출 저감 기법 등 오염물질별 여러 기법의 적용성 및 경제성에 관한 평가 연구가 수행되었으나(NIER, 2001, 2005), EU에 비하여 우리나라는 최신 동향의 경제성 평가 연구가 여전히 부족하다. 따라서 향후 제도 개선을 통하여 신규기법 출현, 22개의 산업종류, 환경오염시설법 시행 및 관련 정책과 같은 요소를 반영하여 연구를 수행할 필요가 있다. 한편, EU는 ‘경제성 및 매체 통합적 환경영향’에 대한 연구를 수행하였으나(EU IPPC, 2006), 참고 문서(Reference documents, REF) 형태로만 되어 BAT 기준서로서의 역할은 비교적 미약하다. 그러므로 BATC 마련을 위하여 EU의 사례를 참고하더라도, 이를 기반으로 국내 실정에 맞는 BAT 선정 및 경제성 평가 접근법이 필요하다고 사료된다.

3.4.1.3. BATC 작성 표준안 마련

국내 BREF의 BAT 선정 시 고려 사항은 환경성·기술성·적용성·경제성 4가지로 규정되어 있다(NIER, 2020). 하지만 BATC 작성에 필요한 자료 조사 및 수집 방안은 부족한 실정이므로, EU 사례를 참고하여 BAT 선정 방안 개선을 검토할 필요가 있다. 예를 들어, 업종별 사업장의 현장 조사 절차와 작성 서식을 검토하여 미비점을 보완하고, BATC 작성을 위한 허가사업장 조사 표준안을 수립하는 것이다. 이에 더하여, EU 사례 등 조사 데이터를 기반으로 국내 BATC의 내용 구성과 작성 지침을 마련하는 연구가 함께 수행되어야 할 것이다.

3.4.1.4. BATC 기반 허가·이행 방안 수립

BAT 적용 의무화 전환을 위하여 BATC를 도입하더라도 사업장의 능동적 이행을 이끌어내기 위해서는 허가 단계에서의 연계가 필요하나, BATC 기반의 허가·이행을 위한 국내 연구는 부족하다. 그러므로 이미 BAT를 법적으로 의무화하며 통합 허가를 이행하고 있는 국외의 사례연구가 우선 수행되어야 한다. BAT 적용을 필수 조건으로 통합환경관리에 대한 법적 허가를 발급하는 해외 국가의 허가 서류, 관련 법률 조항, 행정자료 등을 비교·검토하여 국내 BATC를 기반으로 하는 허가·이행 방안을 모색할 필요가 있다.

3.4.2. 녹색 전환, 매체법 연계 확대

지속 가능한 산업의 미래와 유럽 등 세계 시장으로의 성공적 진출을 위해서는 세계적 흐름인 환경친화적 경영

방식의 적극적인 도입이 우선되어야 한다. 통합허가의 경우 국내 허가시스템과 기준에 중점을 두어, 해외 산업규제 및 정책에 대응할 수 있는 체계가 마련되어 있지 않다. 따라서 국내 통합허가사업장의 경쟁력 강화를 위한 제도적 지원이 필요하다. 전 세계 산업 시장에서 환경 관련 규제의 추이를 분석하고 그에 대한 대응 전략 마련 연구를 수행하고, 국내 기업들의 녹색 전환 및 탄소중립 실현에 기반이 될 ESG 경영 지원을 위한 정책 개선도 동반되어야 한다.

현재 환경오염시설법은 대기·수질오염 위주의 배출시설 관리가 이루어지고 있다. 이에 따라 온실가스나 화학물질로의 이동 및 오염물질이 증가하는 풍선효과가 발생하고 있다. 그럼에도 온실가스 배출 저감, 유해화학물질의 관리 및 저감 등의 사항은 통합환경관리 대상에서 제외되어 있다. 이러한 제도적 차원의 한계를 개선하기 위하여 온실가스와 화학물질 등의 오염물질 배출 관리 사항을 포함하고, 타 매체법과 통합허가제도와의 연계를 검토할 필요가 있다.

통합환경관리 대상이 되는 허가사업장이 배출하는 온실가스, 화학물질 등을 관리할 수 있는 근거 마련을 위하여 법률 개정을 고려해야 한다. 또한 업종별 온실가스 저감을 위한 BAT 발굴과 BREF 개정 및 보급으로, 허가사업장 전반에 걸쳐 적극적인 온실가스 관리를 유도할 수 있다. 이러한 현행 허가제도의 보완으로 오염물질에 대한 보다 완전한 통합환경관리 실현을 기대해 볼 수 있다.

3.4.3. 정보통신기술 기반 오염관리 강화

최신 기술 기반의 업무 디지털 전환으로 오염물질 데이터 관리의 효율성을 높여야 한다. Park et al. (2021)의 연구에서 사물인터넷(Internet of Things, IoT)과 인공지능(Artificial intelligence, AI) 모델의 예측 기술을 기반으로 한 스마트 환경관리체계는 배출 및 방지시설에 설치한 무선 센서로 운영 요소의 실시간 모니터링이 가능하다.

현행 대기배출원관리시스템(Stack Emission Management System, SEMS) 굴뚝 자료는 실시간 자료 확보가 어렵고, 수기 기록 자료를 보관해야 한다는 불편함도 존재한다. 따라서, 정보통신기술 기반의 통합환경관리 체계를 도입한다면 자가측정 방식의 한계점을 보완할 수 있을 것이다. IoT 예측시스템은 사업장 시설 운영 자료 등의 실시간 수집이 가능하다. 방대한 양의 데이터를 처리할 수 있는 AI 모델은 기존 사업장 정보와 측정값을 활용하여, 오염물질 예측과 배출 특성 분석을 가능하게 할 것이다. 스마트 통합환경관

리체계는 사업장의 인적·경제적 자원 효율화에 기여할 수 있으며, 검증된 데이터의 허가 시 활용으로 향후 사업장별 자율 관리 체계의 정착을 기대해 볼 수 있다.

3.4.4. 통합환경허가시스템(IEPS) 기능 강화

통합환경허가시스템(IEPS)은 허가 신청부터 사후관리에 이르기까지 통합환경허가 과정에서 발생하는 법적 업무를 전자적으로 처리할 수 있도록 지원하는 정보 시스템이다(ME, 2016a; Park et al., 2018). 2024년 12월 자료 통합환경허가 대상 업종에 대한 허가가 마무리되고, 이후 허가 재검토가 이행될 예정이다. 이에 따라 통합허가 완료 이후 사후관리 및 허가 재검토 중심의 통합환경관리제도 전환에 발맞추어 IEPS의 기능적인 역할을 확대할 필요가 있다.

연간보고서 작성의 자동 생성 시스템 구축은 사업장과 허가기관 모두의 행정비용을 최소화할 수 있다. 보고서 공통 서식에 맞추어 문항별 측정값이 자동 작성된다면, 현재까지 축적된 사업장의 제출 자료와 기존 정보의 적극적인 활용을 기대해 볼 수 있다. 또한 AI 챗봇을 활용한 민원 처리 서비스, 관련 타 시스템과의 자동 연계 등 IEPS의 편리성을 강화한다면 효율적인 허가 업무 수행이 가능할 것이다.

통합허가를 받은 사업장은 환경오염시설법 제27조에 따라 허가에 관련된 정보를 공개해야 하지만(ME, 2015), 기업의 영업비밀 노출이 우려되는 경우 정보공개심의로 보호를 받을 수 있다. 이 과정에서 중요한 환경정보가 오히려 공개되지 않거나, 모든 허가 관련 서류의 블라인드 처리로 인한 과도한 행정 낭비가 발생하기도 한다. 이러한 부작용 해소를 위하여 정보보호에 해당하는 사업 정보 항목을 명확히 규정하고, 허가 관련 제출 서류에서 해당 항목만을 블라인드 처리하는 자동 마스킹 작업 등 IEPS의 기능 향상을 검토해야 한다.

4. 결론

전 세계적으로 환경 관리에 대한 필요성이 점차 강조되면서 해외 국가들의 적극적인 통합환경관리 도입과 BAT 이행을 위한 법적 의무화에 대한 논의가 활발히 진행되고 있으나, 국내 BREF의 역할과 통합허가제도와의 연계에 관한 연구는 아직 부족하다. 따라서 본 연구에서는 한국과 EU의 BREF 사이의 주요 차이점을 비교하고 EU의 BATC 전환 사례를 살펴봄으로써, 향후 국내 BATC 적용

필요성 및 이와 연계한 현행 통합환경관리제도의 개선 방안을 도출하였다.

한국과 EU의 기준서는 대상 업종, 개정 주기, 공통 기준서 현황 등에서 일부 다른 양상을 보이며, 특히 오염물질 배출시설의 BAT 적용 측면에서 K-BREF는 권고제인 반면 EU-BREF는 시설 허가를 위한 필수 조건으로 적용되는 의무제라는 큰 차이점을 가진다. EU는 당초 법적 역할이 모호했던 BREF를 BATC 체계 도입을 통하여 법적 효력을 부여하였다. BATC 전환은 엄격해진 배출기준 적용과 환경 관리를 통하여 유럽 산업계에 환경적·경제적 이익과 신기술 발전 도모라는 긍정적 효과를 가져왔다.

EU의 효과적인 IED 이행을 위한 프로젝트 중 IMPEL의 허가사업장 합동점검은 BATC 발효 이전에 실제 현장에서 파악되는 BAT 이행의 문제점을 분석하고 해결 방안을 모색하는 데 기여하였다. 그러므로 IMPEL의 합동점검은 환경·운영·행정 등 다각도에서 전문적인 대안을 공유하고 이를 BATC 개정 단계에 반영되도록 하는 기능을 수행할 수 있다. 우리나라도 현재 운영 중인 업종별 전문가 그룹인 TWG의 기능 확대로 합동점검 체계를 도입하여, 실질적인 BATC를 확립함으로써 사업장의 K-BREF 활용과 환경오염시설법 준수 강화에 기여할 것으로 판단된다.

EU의 BATC 적용 과정 및 합동점검 등의 사례를 통하여 우리나라의 단계적 BATC 도입을 위하여 필요한 연구 과제를 다음과 같이 제안한다.

1) 국내의 환경 관련 법안 및 제도를 조사하고 법률 간 연결성을 파악하여, 현행 문제점을 개선할 수 있는 BATC 제도 도입의 타당성을 분석한다.

2) BAT 적용 의무화와 기업들의 자발적 참여를 유도할 수 있도록, BATC 전환에 따른 BAT 선정 시 국내 실정에 맞는 경제성 평가 연구를 수행한다.

3) EU 및 해외 사례를 참고하여 허가사업장 조사 표준안을 마련하고, 이를 바탕으로 BATC 내용 구성과 작성 지침을 수립한다.

4) 실제 허가 단계에서 BATC 적용과의 연계성을 높일 수 있도록, 국외 허가 서류의 비교·검토 작업과 이에 착안하여 국내 맞춤형 BATC 허가·이행 방안을 마련한다.

국내 BATC의 단계적인 전환과 함께 BAT를 기반으로 하는 허가 제도의 강화와 산업계의 효율적인 환경성과 달성을 위하여 (1) 국내 기업의 녹색 전환과 매체법 연계 확대, (2) 최신 정보통신기술 적용을 통한 오염관리 강화 (Choi et al., 2024), (3) 통합환경허가시스템의 기능 개선 및 강화 방안 마련도 필요한 실정이다.

사사

본 연구는 국립환경과학원 2021년 연구과제 「해외 최적가용기법 의무제 사례조사 및 적용성 연구(연소시설 중심) (NIER-2021-04-02-001)」의 지원으로 수행된 연구보고서의 내용을 토대로 작성되었으며, 일부 내용 등은 환경부의 통합환경관리제도 정책 방향과 다를 수 있음을 밝힙니다.

References

- Büther H, Shears T, Seager J. 2020. Supporting the industrial emissions directive (2010/75/EU) implementation. Brussels, Belgium: IMPEL (European Union Network for the Implementation and Enforcement of Environmental Law). Report 2019-01.
- Choi SH, Lee KH, Park JH, Jeon SJ, Lee HJ, Kang PG, Kam JH. 2024. Reliable AI models can reveal key processes of heat recovery steam generator operation in air pollutant emission. *J Clean Prod* 438: 140806. doi: 10.1016/j.jclepro.2024.140806
- Colonna F, Ruggeri R, Freeman B. 2024. Waste incineration BATC survey report: Result of survey on waste incineration BAT conclusions application within IMPEL members. Brussels, Belgium: IMPEL (European Union Network for the Implementation and Enforcement of Environmental Law). Report 2022(III)WG5.
- Daddi T, Giacomo MRD, Testa F, Frey M, Iraldo F. 2014. The effects of Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC) regulation on company management and competitiveness. *Bus Strat Env* 23(8): 520-533. doi: 10.1002/bse.1797
- De Teran CMG, Ceci P, Faradelli A. 2014. A national integrated approach to regulate some specific industrial activities on the basis of the application of Best Available Techniques (BAT) and future perspective under the 2010/75/UE directive. *WIT Trans Ecol Environ* 183: 273-282. doi: 10.2495/AIR140231
- EC (European Commission). 2020. Commission staff working document evaluation of the Industrial

- Emissions Directive (IED) Directive 2010/75/EU of the European parliament and of the council of 24 November 2010 on industrial emissions (integrated pollution prevention and control).
- EEA (European Environment Agency). 2022. EEA's home page. <https://www.eea.europa.eu/en>
- EU (European Union). 2010. Directive 2010/75/EU of the European parliament and of the council of 24 November 2010 on industrial emissions (integrated pollution prevention and control). Off J Eur Union L 334: 17-119.
- EU (European Union). 2021. Decisions: Commission implementing decision (EU) 2021/2326 of 30 November 2021 establishing Best Available Techniques (BAT) conclusions, under directive 2010/75/EU of the European parliament and of the council, for large combustion plants. Off J Eur Union L 469: 1-81.
- EU IPPC (European Integrated Pollution Prevention and Control Bureau). 2006. Reference document (REF) on economics and cross-media effects.
- EU IPPC (European Integrated Pollution Prevention and Control Bureau). 2017. Best Available Techniques (BAT) reference document for the large combustion plants.
- EU IPPC (European Integrated Pollution Prevention and Control Bureau). 2018. JRC reference report on monitoring of emissions to air and water from IED installations.
- EU IPPC (European Integrated Pollution Prevention and Control Bureau). 2024. BAT reference documents. <https://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference>
- Gong SY, Hong SP. 2013. Comparative analysis of domestic environmental technology levels and EU BREFs and cost case study of BAT implementation. Sejong, Korea: KEI (Korea Environment Institute). Policy Report 2013-20.
- Han DH. 2017. Current status and future prospects of the integrated environmental management system. Seoul, Korea: KEITI (Korea Environmental Industry & Technology Institute). KONETIC Report.
- Hitchens D, Farrell F, Lindblom J, Triebswetter U. 2001. The impact of Best Available Techniques (BAT) on the competitiveness of European industry. Seville, Spain: EC JRC (European Commission Joint Research Centre). Report EUR 20133.
- Kang MJ, Oh CW. 2022. Comparison of European Union and Korean applications of the best available technology (BAT) concept to environmental policy areas in consideration of BAT baseline methodology in the carbon market (in Korean with English abstract). J Clim Change Res 13(1): 47-73. doi: 10.15531/KSCCR.2022.13.1.047
- Kim ES, Kim GH, Seo KA, Khan JB, Seok HJ, Kim YG, Kang PG. 2019. Introduction on best available techniques reference document for the display manufacturing industry in Korea (in Korean with English abstract). Korean J Hazard Mater 7(2): 42-49. doi: 10.31333/kihm.2019.7.2.42
- Kim GH, Kim ES, Seo KA, Kang KY, Khan JB, Seok HJ, Kang PG. 2019. Application of best available techniques reference document for the paint manufacturing industry (in Korean with English abstract). Korean J Hazard Mater 7(2): 36-41. doi: 10.31333/kihm.2019.7.2.36
- Kim KY, Shin SJ, Moon HS, Jeon TW, Shin SK. 2017. Integrated approach for environmental permits and understanding BAT references of EU (in Korean with English abstract). J Korean Soc Urban Environ 17(1): 109-117.
- ME (Ministry of Environment). 2015. Act on the integrated control of pollutant-discharging facilities. Act No. 13603.
- ME (Ministry of Environment). 2016a. Enforcement decree of the act on the integrated control of pollutant-discharging facilities. Presidential Decree No. 27737.
- ME (Ministry of Environment). 2016b. Enforcement rule of the act on the integrated control of pollutant-discharging facilities. Ordinance of the ME No. 634.
- ME (Ministry of Environment). 2024. A study on the

- operation plan of integrated permit system and total air quality system [Utilizing unpublished internal data]. ME (Ministry of Environment), NIER (National Institute of Environmental Research). 2022. Best available techniques reference on electricity and steam production facilities II.
- Michaelowa A, Kessler J, Espelage A, Ahonen H-M. 2021. Best available technology and benchmark baseline setting under the Article 6.4 mechanism. Freiburg, Germany: Perspectives Climate Group. Discussion Paper.
- NIER (National Institute of Environmental Research). 2001. A study on the emerging technologies for the reduction of Volatile Organic Compounds (VOCs): Evaluation of field applicability for small and mid-sized VOCs emission sources.
- NIER (National Institute of Environmental Research). 2005. Development of comprehensive management technology for organic waste (II): Environmental and economic evaluation of organic waste treatment methods.
- NIER (National Institute of Environmental Research). 2019. A study of long-term research strategies for integrated environmental permit.
- NIER (National Institute of Environmental Research). 2020. Operational rules for the preparation of Best Available Techniques (BAT) guidelines.
- NIER (National Institute of Environmental Research). 2021. Studies on the international case and applicability of best available technique conclusion (large combustion plant).
- NIER (National Institute of Environmental Research). 2024a. A study on the improvement of annual report of facilities with integrated environmental permit [Utilizing unpublished internal data].
- NIER (National Institute of Environmental Research). 2024b. BREFOS (Best Available Techniques Reference Document Operating System). <https://ieps.nier.go.kr/brefos>
- OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development). 2019. Best Available Techniques (BAT) for preventing and controlling industrial pollution - Activity 3: Measuring the effectiveness of BAT policies, policies, environment, health and safety, environment directorate.
- Park BS. 2016. Act on the integration of environmental pollution management. *Mon Packag World* 280: 68-76.
- Park JH, Kang PG, Kim ES, Kim TW, Kim GH, Seok HJ, Seo JW. 2021. Introduction of IoT-based surrogate parameters in the ex-post countermeasure of industrial sectors in integrated permit policy. *Sustainability* 13(23): 13466. doi: 10.3390/su132313466
- Park JH, Shin SJ, Lee DG. 2018. Enhancing the applicability and improvement direction of integrated environmental permit system (in Korean with English abstract). *J Korean Soc Water Environ* 34(2): 339-345. doi: 10.15681/KSWE.2018.34.3.339
- Seo KA, Kim ES, Kim GH, Khan JB, Hong SY, Kang PG. 2020. Understanding and improvement of the K-BREF (Korea BAT reference documents) for the corrugated cardboard manufacturing industry (in Korean with English abstract). *J Environ Sci Int* 29(5): 559-573. doi: 10.5322/JESI.2020.29.5.559
- Seo KA, Kim GH, Kim ES, Seok HJ, Shin SJ, Kim YL, Kang PG. 2020. Comparative analysis of best available techniques reference documents on the fertilizer manufacture between Korea and European Union (in Korean with English abstract). *J Environ Sci Int* 29(3): 307-318. doi: 10.5322/JESI.2020.29.3.307
- Shin SJ, Park JH, Park SA, Lee DG, Kim DG. 2017. Understanding and improvement of best available techniques for waste incineration facility (in Korean with English abstract). *J Korean Soc Atmos Environ* 33(6): 533-543. doi: 10.5572/KOSAE.2017.33.6.533
- Telenga-Kopyczyńska J, Jonek-Kowalska I. 2021. Algorithm for selecting best available techniques in Polish coking plants supporting multi-criteria investment decisions in European environmental conditions. *Energies* 14(19): 2631. doi: 10.3390/en14092631