

폐기물 소각시설 최적가용기법 연계배출수준 (BAT-AEL) 설정 BAT-AEL Calculation in Waste Incineration Facility

신수정 · 박재홍* · 이대균 · 김대곤¹⁾ · 배연정²⁾

국립환경과학원 통합환경관리체계 추진 TF, ¹⁾국립환경과학원 대기공학연구과

²⁾서울대학교

(2018년 1월 4일 접수, 2018년 1월 22일 수정, 2018년 2월 1일 채택)

Sujeong Shin, Jae-Hong Park*, DaeGyun Lee, Dai-Gon Kim¹⁾ and YeonJoung Bae²⁾

Integrated Pollution Prevention and Control Task Force,

National Institute of Environmental Research

¹⁾*Air Pollution Engineering Division, National Institute of Environmental Research*

²⁾*Seoul National University*

(Received 4 January 2018, revised 22 January 2018, accepted 1 February 2018)

Abstract

As the public interest in environmental issues increased, the “Act On The Integrated Control Of Pollutant-Discharging Facility” was enacted. Through the integrated environmental pollution prevention act in which 19 industries with large environmental impacts are sequentially applied, pollutants can be managed in a medium-integrated manner and integrated permission of the business unit is possible and BAT can be applied to enable a scientific and proactive environmental management system. In addition, if the facility with BAT works normally, the pollutant emission is offered with the range of lower limit to upper limit. This study analyzed the overview of Best Available Techniques-Associated Emission Levels (BAT-AEL), and its setting procedure and method, and then suggested the BAT-AEL of a waste incineration facility. In comparative analysis on Emission Limit Values (ELVs) of EU, this study tries to propose improvement matters and development directions if the relevant standard is revised.

Key words : BAT, BAT-AEL, Outlier, BREF

1. 서 론

국내 폐기물 소각시설의 최적가용기법 연계배출수준 (Best Available Techniques-Associated Emission

Level, BAT-AEL)은 단일 또는 여러 개의 최적가용기법 (Best Available Techniques, BAT)을 적용하여 정상 운영할 때 배출되는 배출수준의 범위를 의미하며, ‘하한값~상한값’ 형태로 규정한다 (MOE and NIER, 2017a).

최적가용기법 연계배출수준을 통해 국내 수질 및 대기 1종과 2종 사업장의 폐기물 소각시설 운영현황에

*Corresponding author.

Tel : +82-(0)32-560-7692, E-mail : jhong02@korea.kr

다른 환경성능을 파악할 수 있으며, 최적가용기법 선정의 참고자료로 활용할 수 있다.

EU 최적가용기법 기준서(BAT reference, BREF)는 국내와 다르게 최적가용기법 연계배출수준을 배출한계값(Emission Limit Values, ELVs)으로 명시한다. 국내는 원격배출모니터링(Tele-Monitoring System, TMS) 대상 오염물질만을 최적가용기법 연계배출수준 대상으로 설정하였지만 EU는 신규시설과 기존시설을 구분하고, 모니터링 주기(불연속 샘플, 1/2시간, 24시간)에 따른 배출한계값의 범위를 ‘하한값~상한값’ 형태로 규정한다(IPPC, 2006). 또한 배출한계값 대상 오염물질의 종류가 국내의 최적가용기법 연계배출수준의 대상 오염물질에 비해 다양하다.

본 연구에서는 폐기물 소각시설 최적가용기법 연계배출수준의 설정절차와 방법을 제시하고, EU의 사례와 비교하여 향후 기준서 개정시 발전방향을 제시하고자 한다.

2. 최적가용기법 연계배출수준(BAT-AEL) 개요

폐기물 소각시설의 EU 최적가용기법 기준서는 산업활동의 환경관리 지침(IPPCD & IED: Integrated Pollution Prevention and Control & Industrial Emission Directive)에 따라 최적가용기법 연계배출수준(BAT-AEL)을 배출한계값(Emission Limit Value, ELV)으로 명시하고 있으며, 최적가용기법을 적용하였을 때 오염물질의 배출 수준은 모니터링 주기(불연속 샘플, 1/2시간, 24시간 평균)에 따라 배출한계값으로 제시된다(IPPC, 2006).

국내 폐기물 소각시설 최적가용기법 기준서에서 명시하고 있는 최적가용기법 연계배출수준은 사업장의 배출시설 또는 제조 공정에서 단일 또는 여러 개의 최적가용기법을 적용하여 정상운전 하였을 때 발생할 수 있는 오염물질의 배출농도 수준을 의미하며, 하한값~상한값의 형태로 규정한다.

하한값은 사업장이 최적가용기법을 적용하여 기술적으로 달성할 수 있는 최소의 배출수준을 의미하며, 현재 상용 기술에 있어 비용 대비 환경편익 임계값을 나타낸다. 하한값의 결정기준은 소요비용 대비 경제성

을 고려하여 배출시설별 오염물질의 평균값이 낮으면서 배출 시설별 오염물질 배출자료의 평균값 중 가장 작은 값인 25%ile 수준을 만족하는 값이며, %ile은 백분위의 약자(Abbreviation of percentile)이다. 사업장의 허가배출기준은 피크값이 발생할 때도 배출허용기준을 준수하여야 하기 때문에 최적가용기법 연계배출수준의 하한값을 허가배출기준으로 적용하기에는 한계가 있다(MOE and NIER, 2016a, b).

상한값은 사업장이 최적가용기법을 적용하였을 때 최대 배출할 수 있는 오염물질의 최대 농도로 사업장별 허가배출기준의 가이드라인을 제시하는 임계값이다. 일반적으로 배출시설을 정상운전 하더라도 일정부분의 농도 변화의 폭은 지속적으로 존재하고, 법적 규제대상이 되는 원격배출모니터링 설치 시설은 30분 간격의 단위시간에 대한 피크값을 대상으로 하기 때문에 상한값은 자료의 평균이 아니라 이상치를 제외한 최대값으로 기준을 설정한다(MOE and NIER, 2016a, b).

3. 최적가용기법 연계배출수준(BAT-AEL) 설정

3.1 최적가용기법 연계배출수준(BAT-AEL) 설정 방법

EU는 최적가용기법 연계배출수준 산정을 위해 다양한 연구를 진행해 왔으며, 대표적인 예로는 Frost (2009), Polders *et al.* (2012) 등의 연구사례가 있다.

Frost (2009)는 사업장에서 발생하는 수질오염물질 관리를 위한 객관적이고 효율적인 허가배출기준 산정을 위해 최적가용기법 연계배출수준 설정 방법론을 제시하였다. 이 방법은 과거의 데이터들을 바탕으로 경험적으로 결정되기 때문에 대상 업종의 특성에 따라 오염물질의 배출농도 범위가 달라질 수 있다. 이 연구에서 원료의 특성, 사업장의 생산 수준 및 효율성의 변화, 방지시설의 성능 등은 발생하는 수질 오염물질의 농도에 영향을 주며, 최적가용기법 연계배출수준은 수질 오염물질의 평균적인 수질농도라고 가정하였다.

Polders *et al.* (2012)은 최적가용기법 연계배출수준 설정 시 사업장의 규모, 배출시설 및 방지시설 현황, 생산 수준 등 사업장과 관련된 정보를 고려하여 산업시

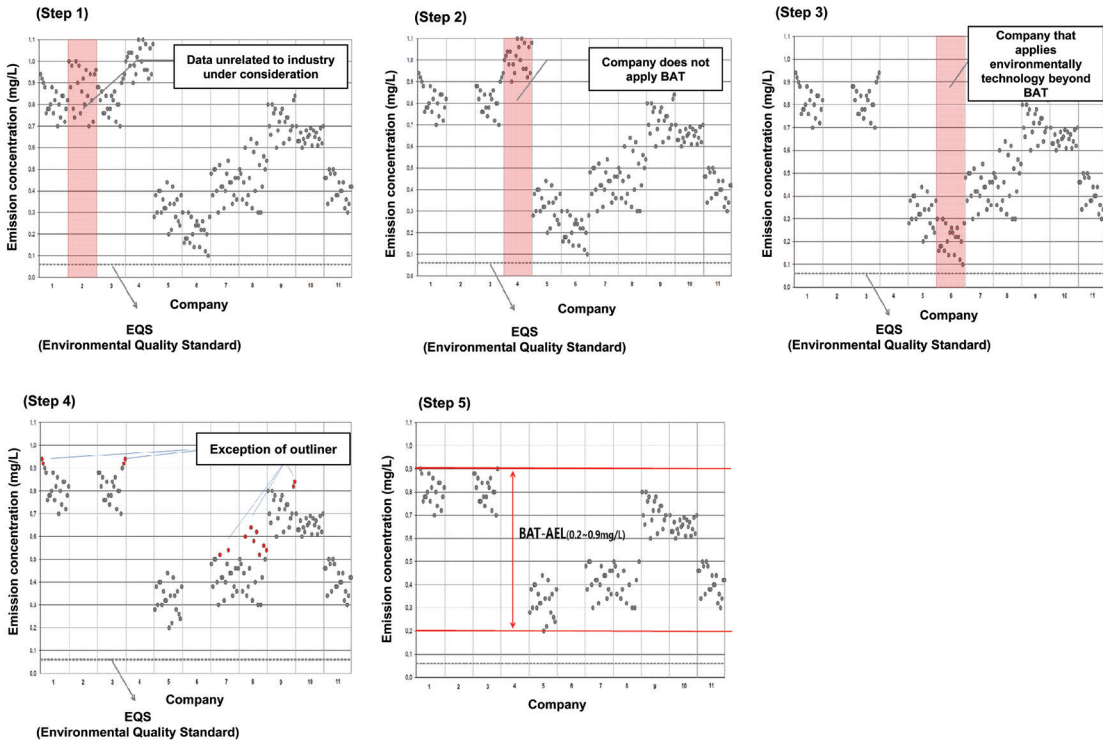


Fig. 1. Methodology for Determining BAT-AELs.

설을 선정 후 오염물질 배출현황 데이터 수집을 위해 모니터링 자료를 확보하고, 이상치 검증을 통해 배출 한계값으로 사용할 수 있는 데이터를 수집하여 범위를 산정한다.

국내 폐기물 소각시설은 최적가용기법 연계배출수준 설정을 위해 Polders *et al.* (2012)의 ELVs 산정 방법을 고려하였으며, 그림 1과 같이 5단계의 절차를 거친다(MOE and NIER, 2016b).

첫 번째 단계에서는 폐기물 소각시설의 배출현황 자료 수집을 통해 시설의 규모, 생산능력, 방지시설 및 배출시설 현황 등 사업장과 관련된 전반적인 정보를 수집 후 해당 산업분야와의 관련성을 확인하고 폐기물 소각시설과 무관한 사업장은 대상에서 제외한다.

두 번째 단계에서는 폐기물 소각시설에서 적용되는 최적가용기법을 확인하고, 세 번째 단계에서는 적용 가능한 최적가용기법 수준을 검토한다.

네 번째 단계에서는 통계적 기법을 활용한 이상값(Outlier) 검증을 통해 선정된 비정상 자료를 제외한다.

이상값(Outlier)은 모집단에 속하지 않거나, 모집단에 속할 확률이 일정 수준 이하에 있는 값을 나타내며, 그림 2와 같다(MOE and NIER, 2016b; Jeon and Cheo, 2012). 이상값(Outlier)을 검증하는 통계적 방법론으로 Grubb's 방법을 적용하였다(U.S. EPA, 2004). Grubb's 방법은 Modified Thompson Tau Method" 또는 "Maximum Normed Residual Test"라고 명해지며, 95% 신뢰구간에서 이상값(Outlier)을 제거한 후 산술평균을 기준으로 범위를 정한다(MOE and NIER, 2016b; Jeon and Cheo, 2012).

폐기물 소각시설의 오염물질 자료는 30분 간격으로 구축되어 있으며, 사업장 자료를 모두 취합할 경우 50,000건 이상의 자료가 구축되어 자료의 분포 특성 파악이 가능하므로 이상값(Outlier) 제거를 위해 Grubb's 방법을 사용한다. Grubb's 방법론은 95% 신뢰구간에서 이상값을 제거한 후 산술평균을 기준으로 설정하는 것을 원칙으로 하지만 최적가용기법 연계배출수준 산정 시에는 현재 사업장에서 달성 가능한 배

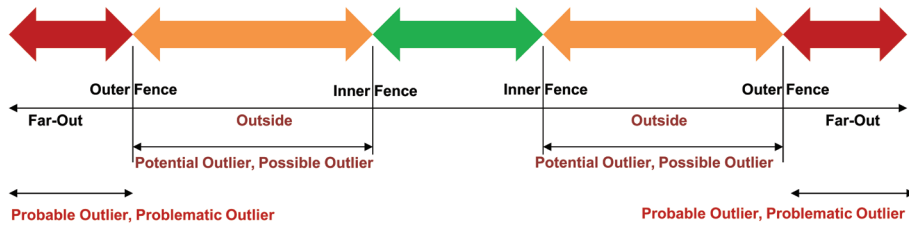


Fig. 2. Outlier range.

출허용기준을 제시하기 위하여 99% 신뢰구간에서 이상값(Outlier)을 제외하였다(MOE and NIER, 2016a, b).

이상치 검증을 위한 비교값 선정을 위해 전체 폐기물 소각시설 산업장에서 배출되는 오염물질의 원격배출모니터링 결과를 오름차순으로 나열한다. 이후 모든 자료의 평균값과 표준편차를 구한후 아래의 식을 이용하여 변환값을 구한다. 이때 변환값은 99% 신뢰구간을 가지며, G는 변환값, SD는 표준편차, \bar{x} 는 평균값, x_i 는 가장 작은 값 또는 가장 큰 값, n은 자료의 수 의미한다(MOE and NIER, 2016a).

$$G = \frac{x_i - \bar{x}}{SD} \quad \text{or} \quad G = \frac{\bar{x} - x_i}{SD}$$

$$G > \frac{n-1}{\sqrt{n}} \sqrt{\frac{t^2_{(\frac{\alpha}{2n}, n-2)}}{n-2 + t^2_{(\frac{\alpha}{2n}, n-2)}}$$

다섯 번째 단계에서는 BAT-AEL의 범위를 산정하기 위해 하한값과 상한값을 결정한다.

상한값 산정을 위하여 배출시설 분류체계상 동일한 배출시설에 대한 자료를 취합하고, 배출시설별로 비정상 운전 자료와 이상값(Outlier)을 제외한다. 단, 산정된 상한값이 현행 배출허용기준을 10% 미만 초과할 경우 현행 배출허용기준을 상한값으로 선정하고, 현행 배출허용기준을 10% 이상 초과할 경우는 최적가용기법이 적용되었다 하더라도 방지시설 또는 관리기법이 정상적으로 운영되지 않은 것으로 간주하여 최적가용기법 연계배출수준의 상한값에서 배제한다(MOE and NIER, 2017a, b).

하한값 산정방법 역시 상한값과 동일한 산정방법을 사용하며, 이상값(Outlier)을 제외한 자료를 취합 후 오

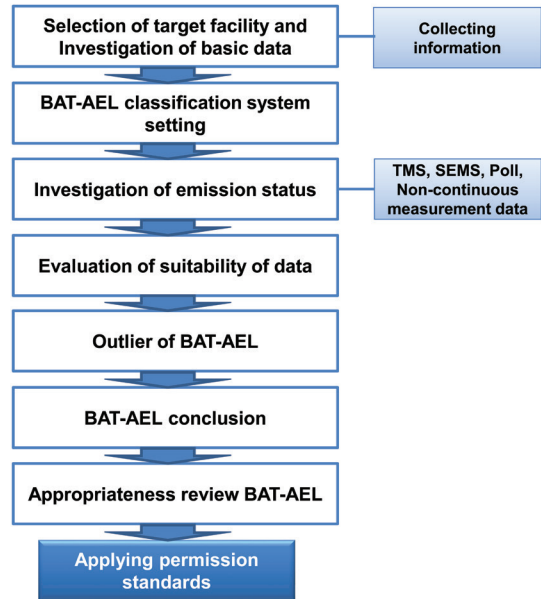


Fig. 3. BAT-AEL setup process.

염물질의 평균 농도가 가장 낮으면서 동시에 전체자료의 25%ile(%ile은 백분위의 약어) 이상인 값을 하한 임계값으로 정의한 후 중앙값을 계산한다. 만약 중앙값이 하한 임계값보다 큰 경우 하한 임계값을 하한값으로 설정하고, 중앙값이 하한 임계값보다 작은 경우 차 순위 배출시설을 선택하고 대상 배출시설의 중앙값과 하한 임계값을 비교하여 하한값이 결정될 때까지 이를 반복한다(MOE and NIER, 2017a, b).

3.2 최적가용기법 연계배출수준(BAT-AEL) 설정 절차

최적가용기법 연계배출수준은 폐기물 소각시설 기술작업반(Technical Working Group, TWG) 회의를 통

하여 초안이 설정되고, 중앙환경정책위원회 통합환경관리 분과위원회의 사전설명회와 심의를 거쳐 최종 결정된다. 최적가용기법 연계배출수준의 설정 절차는 그림 3과 같으며, 총 여섯 단계를 거친다.

첫 번째 단계는 대상사업장 선정을 위해 사업장의 규모, 생산능력 및 공정, 배출시설 및 방지시설 등에 관한 기초자료를 수집한다. 기초자료는 국립환경과학원에서 관리 및 운영하는 대기배출원관리시스템 및 전국 오염원조사시스템(Water Emission Management System, WEMS), 한국환경공단에서 운영하는 굴뚝원격감시체계(CleanSYS) 및 수질원격감시체계(SOOSIRO), 사업장 설문조사 및 정밀조사 자료 등이 사용된다.

대기배출원관리시스템의 자료를 통해 배출시설의 분류체계, 인벤토리 구성, 방지시설 현황 등을 파악하고, 사업장 설문조사 및 정밀조사 자료를 통해 방지시설의 운영 현황, 약품 사용량, 연료 투입량, 전기 및 증기 생산량 등을 파악한다. 또한 원격배출모니터링 자료를 통해 폐기물 소각시설의 연속 측정된 굴뚝별 인벤토리 정보를 수집하여 최적가용기법 연계배출수준을 산정하고 이 과정에서 오염물질의 배출특성이 상이한 사업장을 결정할 수 있다(MOE and NIER, 2016b; NLIC, 2016).

두 번째 단계에서는 폐기물 소각시설의 분류체계 구성을 위해 대기환경보전법 시행규칙 별표 3을 참고한다. 이 과정에서 투입원료 및 사용 연료, 오염물질의 배출 특성, 방지시설의 설치 특성, 시설별 모니터링 방안 등을 고려하여야 한다. 폐기물 소각시설의 경우 공통적으로 적용되는 공정도 있지만 발생폐기물의 특징에 따라 주요 공정이 다르게 나타난다. 예를 들어 생활폐기물, 사업장폐기물, 지정폐기물, 의료폐기물 소각시설은 대부분 화격자 소각로 및 회전로(로터리 킬른)가 사용되고, 폐슬러지는 유동층 소각로가 주로 이용된다. 이러한 이유로 폐기물 소각시설의 특성 및 공정을 고려하여 반입폐기물의 특성별로 구분 후 설치시기와 용량별로 구분하여 분류체계를 설정한다(MOE and NIER, 2016a; NLIC, 2016).

세 번째 단계에서는 오염물질의 배출현황을 파악하기 위해 연속측정 자료인 원격배출모니터링 자료와 비연속 측정자료인 사업장 자가측정 자료, 설문조사 자료 등을 사용한다.

대기의 경우 30분 간격으로 굴뚝원격감시체계에 자

동 입력된 자료를 참고하고, 수질의 경우 3시간 간격으로 수질원격감시체계에 입력된 자료를 참고한다. 최적가용기법 연계배출수준 산정시 연속 모니터링 자료를 사용할 경우 통계처리 가능한 시료의 수가 증가하기 때문에 불확도가 감소될 수 있다. 이때 오염물질 배출현황 및 운영현황 등의 파악은 비연속 측정자료인 대기배출원관리시스템과 전국오염원조사시스템의 자료 및 설문조사 자료 등을 사용할 수 있다(MOE and NIER, 2016a).

네 번째로는 자료의 신뢰성을 향상시키기 위해 수집된 자료의 적합성을 평가한다. 최적가용기법 연계배출수준은 정상운전 상태의 배출자료를 기반으로 구축되므로 측정값이 관측기기의 측정범위 밖에 있거나 농도 범위에 비해 너무 크거나 작은 경우 제외한다. 또한 예외적으로 완화되거나 강화된 배출허용기준(수도권대기환경개선에 관한 특별법 적용 대상 사업장)을 적용받는 사업장의 경우에도 그 값을 제외한다. 이는 지나치게 완화되거나 강화된 배출허용기준을 적용받는 사업장을 포함할 경우 최적가용기법 연계배출수준의 상한값이 높아지거나 하한값이 낮아질 수 있기 때문이다(MOE and NIER, 2016a).

다섯 번째 단계는 비정상 운전상태의 배출현황 자료를 필터링 한다. 또한 이상값(Outliner) 검증을 통해 배출시설이 정상가동 하였음에도 불구하고 일반적인 배출농도 범위로 판단할 수 없는 자료 선별을 통해 자료의 적합성을 평가한다.

비정상 운전 상태의 배출현황 자료를 필터링 하기 위해 원격배출모니터링으로 측정된 자료 중 대체코드에 해당하는 배출현황 정보는 제외한다. 예를 들어 대체코드 21은 가동중지 기간을 표시하므로 원격배출모니터링결과가 0으로 표현되므로 이를 최적가용기법 연계배출수준 산정을 위한 자료에 포함시킬 경우 오염물질 배출량의 통계자료(평균 및 표준편차 등)에 영향을 줄 수 있다(MOE and NIER, 2016c).

여섯 번째 단계에서는 산정된 오염물질의 농도 범위를 대기환경보전법의 현행배출오염기준과 비교·분석하여 최적가용기법 연계배출 수준(안)을 제시하고, 산정된 최적가용기법 연계배출수준을 기술작업반 회의를 통한 의견 수렴 후 중앙환경정책위원회 통합환경관리분과위원회의 사전설명회와 본심의를 거쳐 최종 확정한다.

3.3 최적가용기법 연계배출수준(BAT-AEL)

설정시 고려사항

최적가용기법 연계배출수준은 사업장의 통합허가 및 사전허가시 허가배출기준을 결정하는 중요한 근거 자료가 될 수 있기 때문에 다방면으로 여러 조건들을 고려하여야 한다.

첫째, 폐기물 소각 사업장의 경우 배출시설별로 오염물질이 환경에 미치는 영향이 다르고 지역적 및 환경적 특수성으로 인해 강화된 배출허용기준을 적용받는 사업장이 존재할 수 있기 때문에 오염물질의 배출 특성이 잘 반영될 수 있도록 배출시설 분류체계를 고려하여야 한다. 예를 들어 수도권대기환경개선 특별법을 적용받는 사업장의 경우 대기환경보전법의 배출허용기준을 적용받는 사업장에 비해 강화된 배출허용기준을 적용받을 수 있기 때문에 사업장별 허가기준에 따라 배출시설을 분류하고, 이에 따른 배출량 데이터를 검토하여 최적가용기법 연계배출수준의 기초 데이터로의 사용 여부를 결정한다.

둘째, 최적가용기법 연계배출수준은 단일 또는 여러 개의 최적가용기법을 적용하여 정상운전할 때의 오염물질 배출수준을 나타내는 범위이기 때문에 대상사업장 선정 방안과 대상시설, 운전 조건, 사업장 운영특성, 배출량 자료의 검증방법 등의 관련 자료 수집 범위를 설정하여야 한다.

셋째, 폐기물 소각시설의 최적가용기법 연계배출수준 범위는 사업장별 모니터링 자료를 바탕으로 오염물질의 농도가 산정되기 때문에 모니터링 자료의 활용방안에 대한 고려가 필요하다. 대기배출원관리시스템을 통해 통합허가 대상 사업장의 굴뚝정보, 방지시설 및 배출시설 정보, 연료 및 원료 사용량 등을 파악할 수 있고, 전국수질오염원조사를 통해 폐수배출업소 현황, 위탁처리현황 등을 알 수 있다. 또한 원격배출모니터링 자료를 통해 7개 오염물질(먼지, 황산화물, 질소산화물, 염화수소, 불소화합물, 암모니아, 일산화탄소)을 5분 간격으로 측정한 30분 평균 데이터를 확보할 수 있으며, 이 자료는 폐기물 소각시설의 최적가용기법 연계배출수준 범위를 산정하기 위해 사용될 수 있다.

넷째, 최적가용기법 연계배출수준은 정상운전 시 오염물질의 평균 배출농도 범위를 의미하기 때문에 비정상 상태의 자료는 제외되어야 하며, 정상상태임에도 불구하고 다른 배출시설에 비해 오염물질 배출 농도가

심하게 높거나 낮은 이상값(Outliner)에 대해서는 자료의 포함여부를 결정할 수 있는 기준이 필요하다. EU의 경우 IPPC의 모니터링 일반원칙에 따라 95%의 통계학적 신뢰도를 가지는 측정치를 바탕으로 외적분산(external dispersion)과 내적분산(internal dispersion)을 이용하여 불확도를 평가한다. 외적분산을 통해 오염물질의 모니터링 시 동일한 측정 방법을 사용하였을 때 표출되는 결과의 차이를 보여줌으로써 재현 가능성을 알 수 있고, 내적분산을 통해 오염물질의 모니터링 시 동일한 측정 방법을 사용하였을 때 표출되는 결과의 동일성을 확인함으로써 반복 가능성을 확인할 수 있다(IPPC, 2003).

일반적으로 외적분산은 표준 측정 방식에 대한 불확도로 볼 수 있으며, 국내의 경우 99%의 통계학적 신뢰도를 가지는 측정치를 바탕으로 Grubb's test를 통해 이상자료를 필터링 하여 최적가용기법 연계배출수준을 산정하며, 불확도 분석을 위해 내적분산과 외적분산을 사용한다.

4. 폐기물 유형별 최적가용기법 연계배출수준(BAT-AEL)

4.1 국내 폐기물 소각시설의 분류체계

국내 『폐기물관리법』상의 폐기물 분류체계는 발생원에 따른 1차 분류와 발생특성 및 유해성에 따른 2차 분류, 그리고 성상에 따른 3차 분류로 구분된다. 발생원에 따른 1차 분류는 생활폐기물과 사업장 폐기물로 구분되며, 사업장 폐기물은 발생특성 및 유해성에 따라 사업장일반폐기물, 건설폐기물, 지정폐기물로 구분된다. 이후 성상에 따라 사업장일반폐기물은 사업장생활폐기물과 사업장 배출계폐기물로 구분되고, 지정폐기물은 의료폐기물로 구분된다.

폐기물 소각시설 최적가용기법 기준서 역시 『폐기물관리법』상의 분류체계를 바탕으로 폐기물을 분류하여 BAT-AEL을 제시한다. 다만 건설폐기물의 경우 재활용 물질 및 매립용 물질의 선별 후 소각장으로 반입되기 때문에 사업장일반폐기물과 같은 성상을 하고 있어 사업장 폐기물로 구분되며, 의료폐기물의 경우 폐기물 반입 및 전처리 과정에서 별도 기술이 도입되어야 하기 때문에 사업장 배출시설계 폐기물에서 별도로 분리

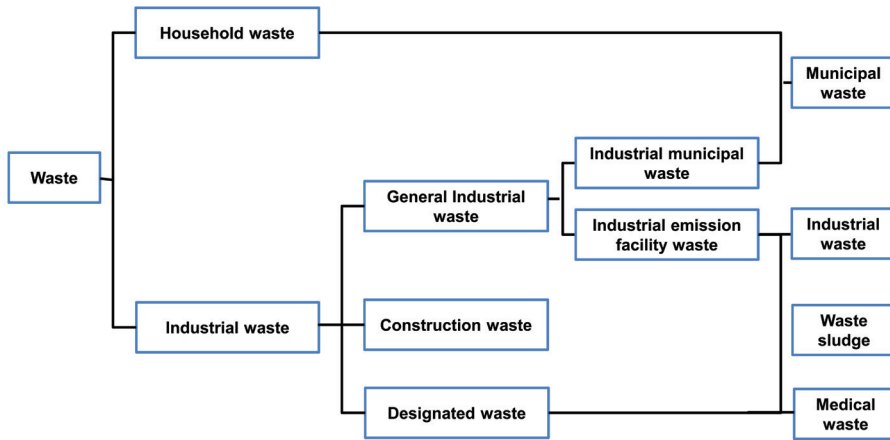


Fig. 4. Classification of Waste Incineration Facilities for the BAT-AEL.

한다. 또한 폐슬러지 폐기물의 경우 성상 및 소각 형태가 다르므로 따로 구분하였다. 그 결과 최적가용기법 기준서는 폐기물의 종류를 생활폐기물(사업장 생활계 폐기물 포함), 사업장폐기물(사업장 배출시설계 폐기물 포함), 지정폐기물, 의료폐기물, 폐슬러지(하·폐수 슬러지를 포함한 모든 소각 대상 슬러지)로 분류한다(MOE and NIER, 2016a). 그림 4는 국내 『폐기물관리법』과 최적가용기법의 폐기물 분류체계를 보여준다.

4.2 폐기물 소각시설의 유형별 최적가용기법 연계배출수준(BAT-AEL)

표 1은 폐기물 소각시설별 최적가용기법 연계배출수준을 나타낸다. 오염물질별 최적가용기법 연계배출수준 산정을 위해 조사된 사업장 수는 먼지 138개소(굴뚝 수 199개), 황산화물 79개소(굴뚝 수 105개), 질소산화물 91개소(굴뚝 수 120개), 일산화탄소 139개소(굴뚝 수 201개), 염화수소 139개소이며(굴뚝 수 200개), 배출되는 오염물질별 모니터링 데이터는 먼지 2,865,317개, 황산화물 1,483,214개, 질소산화물 1,680,886개, 일산화탄소 2,898,047개, 염화수소 2,760,252개이다. 소각용량과 설치시기는 대기환경보전법 시행규칙 별표 8의 대기오염물질의 배출허용기준을 따른다(NLIC, 2017).

대기환경보전법의 배출허용기준과 다르게 최적가용기법 연계배출수준은 배출시설의 소각 용량에 따라 상한값과 하한값의 범위로 구분되며, 일반적으로 배출시

설의 용량이 클수록 상한값과 하한값 모두 증가하는 경향을 보인다. 단, 먼지의 경우 배출시설의 크기뿐만 아니라 설치시기에도 영향을 받는다. 현행 배출허용기준과 최적가용기법 연계배출수준을 비교해 보았을 때 황산화물은 사업장 폐기물을 제외하고 최적가용기법 연계배출수준이 현행 배출허용기준보다 낮게 산정되었으며, 먼지의 경우 지정폐기물, 하수슬러지, 의료폐기물의 최적가용기법 연계배출수준이 현행 배출허용기준보다 낮게 산정되었다(NLIC, 2017; MOE and NIER, 2016a).

현재 폐기물 소각시설의 최적가용기법 연계배출수준 산정을 위한 모니터링 자료들은 2013년~2015년도에 사용되었기 때문에 2015년 이후에 설치된 시설에 대한 최적가용기법 연계배출수준은 산정되지 않았다. 하지만 최적가용기법 기준서는 과학기술의 발전에 근거하여 5년마다 개정되어야 하므로 다음번 개정판 기준서는 2015년 이후에 설치된 시설에 대한 최적가용기법 연계배출수준도 산정될 것으로 사료된다.

EU의 최적가용기법 기준서는 국내 폐기물 소각시설의 최적가용기법 기준서와 다르게 대기과 수질 오염물질의 최적가용기법 연계배출수준을 모두 제시하고 있다. EU 최적가용기법 기준서의 대기 오염물질 최적가용기법 연계배출수준의 항목은 총먼지, 염화수소(HCl), 불화수소(HF), 이산화황(SO₂), 질소산화물(NO와 NO₂), 총 유기탄소(TOC), 일산화탄소(CO), 수은 및 그 화합물(Hg), 총 카드뮴과 탈륨(Cd, Ti), ∑ 기타금

Table 1. BAT-AEL of the Waste Incineration.

Category	Pollutant	Facilities	When to install	Unit	BAT-AEL	Emission standards	
Municipal waste	Dust	More than 2 ton/hr	Before 2014 Since 2015	mg/Sm ³	2~20 (12)	20 (12) 10 (12)	
		200 kg/hr~2 ton/hr	Before 2014 Since 2015		2~30 (12)	30 (12) 20 (12)	
		Less than 200 kg/hr	Before 2014 Since 2015			40 (12) 20 (12)	
	Sulfuric acid	More than 2 ton/hr 200 kg/hr~2 ton/hr Less than 200 kg/hr		ppm	3~30 (12) 3~30 (12)	30 (12) 40 (12) 50 (12)	
		Nitrogen oxide	More than 2 ton/hr Less than 2 ton/hr	ppm	19~70 (12) 33~90 (12)	70 (12) 90 (12)	
	Carbon monoxide	More than 2 ton/hr Less than 2 ton/hr		ppm	4~50 (12) 10~200 (12)	50 (12) 200 (12)	
	Hydrogen chloride	More than 2 ton/hr Less than 2 ton/hr		ppm	1~15 (12) 1~20 (12)	15 (12) 20 (12)	
		Industrial waste	Dust	More than 2 ton/hr	Before 2014 Since 2015	mg/Sm ³	2~20 (12)
	200 kg/hr~2 ton/hr			Before 2014 Since 2015	2~30 (12)		30 20
	Less than 200 kg/hr			Before 2014 Since 2015			40 20
Sulfuric acid	More than 2 ton/hr 200 kg/hr~2 ton/hr Less than 200 kg/hr			ppm	2~30 (12) 2~40 (12)	30 (12) 40 (12) 50 (12)	
	Nitrogen oxide		More than 2 ton/hr Less than 2 ton/hr	ppm	36~70 (12) 47~90 (12)	70 (12) 90 (12)	
Carbon monoxide	More than 2 ton/hr Less than 2 ton/hr			ppm	4~50 (12) 14~200 (12)	50 (12) 200 (12)	
Hydrogen chloride	More than 2 ton/hr Less than 2 ton/hr			ppm	2~15 (12) 2~20 (12)	15 (12) 20 (12)	
	Designated waste		Dust	More than 2 ton/hr	Before 2014 Since 2015	mg/Sm ³	2~20 (12)
200 kg/hr~2 ton/hr				Before 2014 Since 2015	2~30 (12)		30 20
Less than 200 kg/hr				Before 2014 Since 2015			40 20
Sulfuric acid		More than 2 ton/hr 200 kg/hr~2 ton/hr Less than 200 kg/hr		ppm	2~30 (12) 2~30 (12)	30 (12) 40 (12) 50 (12)	
		Nitrogen oxide	More than 2 ton/hr Less than 2 ton/hr	ppm	26~70 (12) 53~90 (12)	70 (12) 90 (12)	
Carbon monoxide		More than 2 ton/hr Less than 2 ton/hr		ppm	4~50 (12) 20~200 (12)	50 (12) 200 (12)	
Hydrogen chloride		More than 2 ton/hr Less than 2 ton/hr		ppm	1~15 (12) 1~20 (12)	15 (12) 20 (12)	

Table 1. Continued.

Category	Pollutant	Facilities	When to install	Unit	BAT-AEL	Emission standards
Waste sludge	Dust	More than 2 ton/hr	Before 2014 Since 2015	mg/Sm ³	2~9 (12)	20 10
		200 kg/hr~2 ton/hr	Before 2014 Since 2015		2~21 (12)	30 20
		Less than 200 kg/hr	Before 2014 Since 2015			40 20
	Sulfuric acid	More than 2 ton/hr 200 kg/hr~2 ton/hr Less than 200 kg/hr		ppm	2~9 (12) 8~21 (12)	30 (12) 40 (12) 50 (12)
		Nitrogen oxide	More than 2 ton/hr Less than 2 ton/hr	ppm	20~60 (12) 9~60 (12)	70 (12) 90 (12)
	Carbon monoxide	More than 2 ton/hr Less than 2 ton/hr		ppm	4~50 (12) 6~200 (12)	50 (12) 200 (12)
	Hydrogen chloride	More than 2 ton/hr Less than 2 ton/hr		ppm	1~13 (12) 3~16 (12)	15 (12) 20 (12)
		Dust	More than 200 kg/hr	Before 2014 Since 2015	mg/Sm ³	2~20 (12)
	Less than 200 kg/hr		Before 2014 Since 2015	2~20 (12)		
	Medical waste	Sulfuric acid	More than 200 kg/hr Less than 200 kg/hr		ppm	2~9 (12)
Nitrogen oxide		More than 200 kg/hr Less than 200 kg/hr		ppm	33~70 (12) 50~90 (12)	70 (12) 90 (12)
Carbon monoxide		More than 200 kg/hr Less than 200 kg/hr		ppm	18~50 (12) 18~100 (12)	50 (12) 200 (12)
Hydrogen chloride		More than 200 kg/hr Less than 200 kg/hr		ppm	2~15 (12) 2~20 (12)	15 (12) 20 (12)

속(Sb, As, Pb, Cr, Co, Cu, Mn, Ni, V 및 그 화합물), 다이옥신과 퓨란(PCDD/Fs), 암모니아(NH₃), 벤조피렌, PCBs, PAHs, 이산화질소(N₂O)이다(IPPC, 2006).

국내 폐기물 소각시설의 최적가용기법 연계배출수준은 원격배출모니터링시스템의 모니터링 자료를 기준으로 산정되었기 때문에 30분 단위의 평균데이터만이 존재하므로 모니터링 주기에 따른 최적가용기법 연계배출수준 범위를 제시하지 않은 반면 EU의 최적가용기법 기준서는 모니터링 기간을 불연속 샘플, 1/2시간 평균, 24시간 평균 데이터로 구분하여 제시하고 있으며 비고를 통해 오염물질별 배출특성을 함께 설명한다. 단, 벤조피렌, PCBs, PAHs, 이산화질소(N₂O)에 대해서는 오염물질로는 규정하고 있지만 데이터가 충분

하지 않은 관계로 BAT-AEL 값을 제시하고 있지는 않다(IPPC, 2006).

EU 최적가용기법 기준서의 수질 오염물질 최적가용기법 연계배출수준 항목은 총 부유 고형물, 화학적 산소 요구량(BOD), pH, 수은 및 그 화합물(Hg), 카드뮴 및 그 화합물(Cd), 탈륨 및 그 화합물(Ti), 비소 및 그 화합물(As), 납 및 그 화합물(Pb), 크롬 및 그 화합물(Cr), 구리 및 그 화합물(Cu), 니켈 및 그 화합물(Ni), 아연 및 그 화합물(Zn), 안티몬 및 그 화합물(Sb), 코발트 및 그 화합물(Co), 망간 및 그 화합물(Mn), 바나듐 및 그 화합물(V), 주석 및 그 화합물(Sn), 다이옥신과 퓨란(PCDD/Fs)이다. 국내 폐기물 소각시설은 수질오염물질은 대부분 사업장에서 폐수종말처리장을 거쳐

Table 2. Items influencing the likelihood of exceeding the ELV and the consequences of exceeding the ELV.

Items to consider and corresponding risk scoring level	Low level 1	Medium level 2~3	High level 4
Items influencing the likelihood of exceeding the ELV			
(a) Number of individual sources contributing to the emission	Single	Several (1~5)	Numerous (> 5)
(b) Stability of operating process conditions	Stable	Stable	Unstable
(c) Buffer capacity of effluent treatment	Sufficient to cope with upsets	Limited	None
(d) Treatment capacity of the source for excess emissions	Able to cope with peaks (by dilution, stoichiometric reaction, oversize, spare treatment)	Limited capabilities	No capabilities
(e) Potential for mechanical failure caused by corrosion	No or limited corrosion	Normal corrosion, covered by design	Corrosion conditions still present
(f) Flexibility in product output	Single dedicated production unit	Limited number of grades	Many grades, multipurpose plant
(g) Inventory of hazardous substance	Not present or production dependent	Significant (compared to ELV limits)	Large inventory
(h) Maximum possible emission load (concentration × flow rate)	Significantly below the ELV	Around the ELV	Significantly above the ELV
Items for assessing the consequences of exceeding the ELV			
(i) Duration of potential failure	Short (< 1hour)	Medium (1hour to 1 day)	Long (> 1 day)
(j) Acute effect of the substance	No	Potential	Likely
(k) Location of the installation	Industrial area	Safe distance between residential area	Residential area nearby
(l) Dilution ratio in the receiving media	High (e.g. above 1000)	Normal	Low (e.g. less than 10)

간접방류 하므로 최적가용기법 연계배출수준을 제시하지 않는다(MOE and NIER, 2016a; IPPC, 2006).

4.3 국내와 EU의 모니터링 방법

국내의 경우 사업장에서 배출되는 오염물질 배출현황 모니터링을 위해 원격배출모니터링과 굴뚝배출원 관리시스템의 모니터링이 시행되고 있다. 굴뚝배출원 관리시스템의 모니터링 대상 오염물질은 암모니아, 일산화탄소, 염화수소, 황산화물, 질소산화물, 이황화탄소, 포름알데히드, 황화수소, 불소화합물, 시안화수소, 브롬화합물, 벤젠, 페톨화합물, 수은화합물, 비소화합물, 염화비닐, 탄화수소, 디클로로메탄, 먼지, 카드뮴, 납, 크롬, 구리, 니켈, 아연으로 원격배출모니터링으로 측정하는 오염물질 항목에 비해 종류가 다양하다. 하지만 비연속 측정데이터이며, 사업장이 직접 그 데이

터를 입력하기 때문에 오염물질 배출 상황을 24시간 원격 감시하는 원격배출모니터링의 자료에 비하여 데이터 신뢰성이 낮으므로 국내 폐기물 소각시설 최적가용기법 연계배출수준 대상 오염물질 항목은 원격배출 모니터링 물질만을 대상으로 한다.

EU는 General Principles of Monitoring BREF를 통하여 오염물질의 모니터링 방안에 관하여 설명한다. General Principles of Monitoring BREF에 따르면 모니터링 시 직접측정, 대체 매개변수, 물질수지, 기타계산, 배출계수 중 한 가지 접근방법이 선택적으로 사용되며, 이 과정에서 방법의 가용성, 신뢰성, 신빙성, 비용 및 환경편의 고려된다. 현재 이러한 모니터링 조건을 만족시키는 국내의 대상 오염물질은 원격배출모니터링 대상 오염물질인 황산화물, 질소산화물, 암모니아, 일산화탄소, 염화수소, 먼지이다.

또한 국내 폐기물 소각시설의 최적가용기법 연계배출수준의 경우 상한값과 하한값의 범위만을 제시하고 있는데 반해 EU의 General Principles of Monitoring BREF는 표 2와 같이 허가배출기준을 초과할 위험에 영향을 미치는 주요 요소를 제시하고 있으며, 낮은 수준부터 높은 위험수준까지 분류하고 있다.

EU는 허가배출기준 초과 확률 평가를 위해 배출에 기여하는 배출원의 수, 공정 조건의 안정성, 유출 처리 가능 버퍼 용량, 부식에 의한 기계적 결함 가능성, 제품 출력 유연성, 결함 발생 시 산업 운영자의 대처 능력, 장비의 사용 수명, 작동 방식, 정상 또는 비정상 조건에서 배출될 수 있는 유해 물질 목록, 농도와 유입유량, 유출물 조성의 변동 등을 고려하며, 허가배출기준 초과 결과 평가를 위해 잠재적 불량률의 지속기간, 오염물질의 유해성, 배출시설의 위치, 수용 매체의 희석율, 기상 조건 등을 고려한다(IPPC, 2003).

표 2에 따른 항목 평가 결과는 배출한계값 초과 결과에 대한 확률로 표시한 다이어그램으로 나타낼 수 있으며, 영향의 심각도와 확률을 낮음과 높음으로 구분 후 사례별로 판단한다. 이를 확인하기 위해 간헐적, 정기적, 집중적 주기로 모니터링이 시행된다(IPPC, 2003).

간헐적 모니터링(월 1회~연 1회)을 통해 사업장의 일반적인 운전 조건을 기준으로 실제 배출수준을 평가한다. 정기적 수시 모니터링(1일 1회~3회 또는 주 1회)을 통해 사업장이 비정상상태 시 신속한 유지보수 및 수리를 가능하도록 하며, 환경에 대한 유해성을 최소화할 수 있도록 한다. 또한 주기적인 모니터링으로 인해 모니터링의 정확성을 향상시키고 모니터링 절차의 불확도를 최소화할 수 있다. 집중적 모니터링(1일 3회~24회)은 사업장의 불안정한 운전으로 인해 배출한계값이 초과할 가능성이 있는 경우 연속적 또는 높은 빈도로 시료를 채취한다. 이러한 모니터링 방법을 바탕으로 사업장의 운전조건에 따른 배출수준을 파악할 수 있으며 배출한계값을 산정할 수 있다(IPPC, 2003).

5. 결 론

본 연구에서는 폐기물 소각시설의 최적가용기법 연계배출수준의 개요 및 설정방법을 이해하고, EU 기준

서와 비교하여 발전방향을 제시하는 것을 목표로 한다.

1. 국내 폐기물 소각시설 최적가용기법 기준서에서 명시하고 있는 최적가용기법 연계배출수준은 사업장이 단일 또는 여러 개의 최적가용기법을 적용하여 정상운전하였을 때 발생할 수 있는 오염물질의 배출농도 수준을 의미하며 하한값~상한값으로 규정한다.
2. 폐기물 소각시설의 최적가용기법 연계배출수준은 99% 신뢰구간에서 이상값(Outlier)과 비정상 운전 자료를 제외한 하한값~상한값의 범위로 기술작업반(TWG) 회의를 통한 의견 수렴 후 중앙환경정책위원회 통합환경관리분과위원회의 사전설명회 및 본 심의를 거쳐 최종 확정된다.
3. 최적가용기법 연계배출수준은 사업장의 통합허가 및 사전허가 시 허가배출기준을 결정하는 중요한 근거 자료가 될 수 있기 때문에 기존의 원격배출모니터링 물질뿐만 아니라 EU와 같이 다양한 오염물질에 대한 지속적인 모니터링이 필요하다.
4. EU의 경우 오염물질 모니터링을 위해 General Principles of Monitoring BREF를 발간하였고, 오염물질의 모니터링을 위해 직접측정, 대체 매개변수, 물질수지, 기타계산, 배출계수 중 한 가지 방법을 선택적으로 사용하고 있으며, 이 과정에서 방법의 가용성, 신뢰성, 신빙성, 비용 및 환경편의 고려한다. 현재 국내의 오염물질 모니터링은 원격배출모니터링 대상 오염물질만이 EU의 기준을 충족할 수 있다.
5. 현재 국내의 오염물질 모니터링은 원격배출모니터링 대상 오염물질만이 EU의 기준을 충족할 수 있지만 향후 굴뚝배출원관리시스템의 모니터링 대상 오염물질도 이러한 모니터링 기준을 충족할 수 있도록 데이터 신뢰도 향상 및 연속측정 모니터링 방안 강구가 필요하며, 국내의 오염물질 모니터링 수준 향상을 위하여 국내 실정에 적합한 모니터링 일반원칙에 관한 최적가용기법 기준서가 발간되어야 한다.
6. 또한 EU와 같이 허가배출 기준을 초과할 영향이 있는 오염물질을 구분할 필요가 있으며, 최적가용기법 연계배출수준 대상이 되는 오염물질의 경우 인체에 미치는 영향을 함께 고려하며 각 오염물질별 특성을 함께 제시할 필요가 있다.

감사의 글

이 논문은 2014년도 발전 및 소각분야 최상가용기법 기준서(BREF) 마련 용역의 연구결과이며, 폐기물 소각 최적가용기법기준서 2016의 내용을 포함하고 있습니다(This work is research result by 2014 prepare Reference Document on Best Available Techniques for the Large Combustion Plants and Waste Incineration and including Reference Document on Best Available Techniques for the Waste Incineration in Korea 2016).

References

- Frost, R.C. (2009) EU Practice in setting Wastewater Emission Limit Values, pp. 1-29.
- Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC) (2003) Reference Document on the General Principles of Monitoring, pp. 1-20.
- Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC) (2006) Reference Document on Best Available Techniques for the Waste Incineration.
- Jeon, B.H., Cheo, H.C. (2012) Examples of setting the reference value and fit range using Grubb's test in the self-management of work environment measurement, Korean Industrial Health Association, 295, 24-34.
- Ministry of Environment(MOE) and National Institute of Environmental Research (NIER) (2016a) Reference Document on Best Available Techniques for the Waste Incineration in Korea, pp. 647-651.
- Ministry of Environment (MOE) and National Institute of Environmental Research (NIER) (2016b) Reference Document on Best Available Techniques for the electricity and steam production facility in Korea, pp. 571-584.
- Ministry of Environment (MOE) and National Institute of Environmental Research (NIER) (2016c) International Seminar 2016 on Integrated Pollution Prevention and Control, pp. 69-89.
- Ministry of Environment (MOE) and National Institute of Environmental Research (NIER) (2017a) Reference Document on Best Available Techniques for the Production of Iron and Steel in Korea, pp. 711-723.
- Ministry of Environment (MOE) and National Institute of Environmental Research (NIER) (2017b) Reference Document on Best Available Techniques for the Organic Chemical Industry in Korea, pp. 543-555.
- National Law Information Center (NLIC) (2016) Clean Air Conservation Act, www.moleg.go.kr
- National Law Information Center (NLIC) (2017) Act on The Integrated Control of Pollutant-Discharging Facility, www.moleg.go.kr
- Polders, C., Abeele, L.V.D., Derden, A., Huybrechts, D. (2012) Methodology for determining emission levels associated with the best available techniques for industrial waste water, Journal of Cleaner Production 29-30, 113-121.