

총설

처리기술에 근거한 산업폐수 배출허용기준 국내 적용성 연구(I)  
: 미국 TBELs 적용사례 검토

김경진 · 손대희\* · 허진 · 김광인 · 권오상\*\* · 염익태†

성균관대학교 사회환경시스템공학과  
\*성균관대학교 무배출형환경설비지원센터  
\*\*국립환경과학원

Assessment of Technology-Based Industrial Wastewater Effluent Limitations and Standards for the Application in Domestic Industries (I)  
: Case-study, Applying TBELs in US

Kyeongjin Kim · Daehee Son\* · Jin Her · Kwangin Kim · Osang Kwon\*\* · Ictae Yeom†

Department of Civil & Environmental Engineering, Sungkyunkwan University  
\*Center for zero emission technology, Sungkyunkwan University  
\*\*National Institute of Environmental Research

(Received 15 December 2009, Revised 13 January 2010, Accepted 14 January 2010)

Abstract

Technology-Based Effluent Limitations (TBELs) is a permit limits for a pollutant that is based on the capability of a treatment technology to reduce the pollutant to a certain concentration. Widely practiced for regulations of industrial wastewater in US, TBELs has been accepted as an effective means that can achieve balanced goals between complete elimination of pollutants discharge and economic feasibility for industries. The review of TBELs application in US and the applicability of TBELs to the domestic industry categories was given in three papers. In the first paper, the development and practices of TBELs in US were reviewed including case studies. The developments of TBELs in US in the four major categories, the metal products & machinery, the petroleum refining, the porcelain enameling and the meat & poultry products were reviewed. The applicability of TBELs to the domestic industrial categories was also assessed. In the second paper, the pollution loads analysis for domestic industrial wastewater was conducted based on risk assessment indicator using Toxic Weighting Factors (TWFs). This is an essential part to determine the priority of TBELs application for the domestic industrial categories. In the last paper, the application of TBELs to the domestic industries was demonstrated through a case-study for the pulp/paper/paperboard category. Direct application of TBELs of US into the Korean regulation system may not be desirable because the specific goals and the environment for the regulations for the two countries may not be identical. For example, unlike US, Korea does not adopt the individual permit system for pollution sources. However, among the unproductive and exhaustive controversies over the uniform regulations regardless of the industrial categories in Korea, the introduction of the principles of TBELs are inevitable and more extensive study for applications of TBELs optimized for Korean regulation system will be necessary.

keywords : Effluent limitation, Risk assessment indicator, Technology Based Effluent Limitations (TBELs), TBELs optimized for Korean regulation, Toxic Weight Factors (TWFs)

1. 서론

산업구조의 고도화와 폐수배출 특성의 다변화에 따라 보다 합리적이고 과학적인 산업폐수 관리를 위해 국내에서도 수년전부터 차등적인 배출허용기준 도입방안에 대한 연구가 진행되어 왔다. 특히 업종별 발생특성과 배출시설의 처리기술수준에 근거한 차등적 기술근거 배출허용기준(Technology-Based Effluents Limitations, TBELs)을 적용은 효과

적인 오염물질 배출억제와 배출시설의 경제적 부담 최소화라는 두 가지 목표를 균형있게 추구해 나갈 수 있는 방안으로 주목을 받아왔다. TBELs은 오염물질 배출허용기준을 각 업종별 특성과 처리기술 능력에 따라서 차등적으로 결정하는 제도로서 미국에서는 개별 배출시설의 최초 인허가 및 갱신과정에서 이를 반영하여 배출허용기준을 결정하고 있다. 국내에 미국 TBELs 제도를 직접적으로 도입하기에는 많은 문제점을 가지고 있다. TBELs 제도 도입을 위한 전제가 되는 대상 오염물질 선정, 배출시설 인허가 제도, 모니터링 및 사후관리 방법 등 전반적인 산업폐수 관리제

† To whom correspondence should be addressed.  
yeom@skku.edu

도에 많은 차이점을 나타내고 있기 때문이다. 세부적으로 미국의 인허가 제도는 개별업종별 기준을 적용한 허가제와 갱신제도(5년)를 도입하고 있으나 국내의 경우 일괄기준을 적용한 인허가제이며 갱신제도는 도입되어 있지 않다. 또한 국내에는 아직 업종별 배출오염물질에 대한 체계적이고 지속적인 모니터링 체계가 구축되어 있지 않으며, 규제 대상 오염물질도 미국의 경우 지정된 우선독성오염물질이 120여종, 일반 및 비일반 오염물질이 70여종에 달하고 있는데 반해 국내의 경우 현재 환경부 지정 수질오염물질이 41종에 불과한 상황이다(국립환경과학원 2009; 환경부, 2005~2008). 따라서 미국 제도의 분석을 통해 국내실정에 적합한 합리적인 단계적인 TBELs 제도 도입이 필요하며 이를 위하여 미국 TBELs 적용 사례분석 및 국내 상황을 고려한 적용방안을 3편의 논문을 통해 제시하고자 한다. 본 연구인 ‘처리기술에 근거한 산업폐수 배출허용기준 국내 적용성 연구(이하 TBELs 국내 적용성 연구)’에서 ‘TBELs 국내 적용성 연구(I)’은 미국 EPA의 업종별 TBELs 선정 과정을 주요 4개업종의 TBELs 선정사례를 통해 단계적으로 검토하였으며, ‘TBELs 국내 적용성 연구(II)’에서는 국내 여건과 업종별 우선순위를 고려하여 단계적으로 TBELs 제도를 도입하기 위해 위해도 지표를 이용한 업종별 산업폐수 오염부하 기여도 분석을 실시하였다. 마지막으로 ‘TBELs 국내 적용성 연구(III)’에서는 국내 TBELs 적용방안 및 적용사례 분석을 수행하였다.

## 2. 미국 TBELs 제도 및 국내 도입 필요성

### 2.1. 미국 TBELs 제도

EPA는 1972년 Clean Water Act(CWA)가 제정되어진 이후 56개 주요 산업 대분류(450개 세분류)에 대해 TBELs를 기반으로 연방기준을 제정하여 규제하고 있다. TBELs은 처리기술을 기반으로 산업분류에 따라 오염물질별 종류와 방류형태에 따라 결정되고, 비용의 합리성과 이해당사자들의 의견을 고려하여 규정된 산업폐수 배출허용기준 국가 가이드라인이다(Table 1 참조; 이광일, 2008; US EPA, 2008, 2009).

미국 EPA에서는 70~80년대 대부분 업종별 TBELs을 설정하였다. 1970년대 당시는 미국이 산업화로 인한 공해문제로 몸살을 앓던 시기로 국가 수계의 원상태 복원유지라는 목표 아래 업종별 배출허용기준으로 당시 처리기술 수준을 근거로 하여 TBELs을 제정하고, 국가오염물삭감시스템(National Pollutant Discharge Elimination System, NPDES) 프로그램을 통해 적극적인 오염원 관리를 시작하였다. 현재 56개 업종 중 26개 업종은 70년대, 23개 업종은 80년대 TBELs이 제정되었고, 90년대이후 7개 업종이 새롭게 설정되었다. 1980년대로 들어와서는 기존 BPT 기술근거에서 강화된 BCT, BAT 기술근거로 배출허용기준을 설정하였다(US EPA, 2006, 2009).

### 2.2. 국내 TBELs 도입 필요성

우리나라 폐수 배출허용기준은 업종에 구분없이 동일한

Table 1. Summary of US TBELs

Section		Discription	
Object		· 56 major industrial categories (over 450 subcategories)	
Criteria for technology selection		· Pollutants control and removal capacity · Economical considerations-growth, affordability	
Characters		· National industrial regulation for technology-based effluent limitation guideline and standard. · Industry-by-industry basis, non-limited specific technology. · Technology option covered treatment and reuse. · Clean Water Act requires EPA to annually review and revise.	
Type	Discharge	Direct discharge	· Existing Source Direct Discharges · New Sources Direct Discharges
		Indirect discharge	· Pretreatment Standards for Existing Sources (PSES) · Pretreatment Standards for New Sources (PSNS)
	Pollutants	Conventional, Toxic, Non-conventional pollutants	· Best Practicable Technology Currently Available (BPT) · The average of the best performance of treatment technology · Designated in 1979
		Conventional pollutants	· Best Conventional Pollutant Control Technology (BCT) · Consider cost effectiveness of additional industrial treatment beyond BPT · BOD, TSS, oil & grease, fecal coliform bacteria, pH · Designated in 1986
		Toxic, Nonconventional pollutants	· Best Available Economically Achievable Technology (BAT) · The best existing performance of treatment technology · Economical achievable within an industrial existing source · 126 priority pollutants + Nonconventional (everythingelse) · Designated in 1989
	Sources	Existing sources	· BPT, BCT, BAT
New sources		· New Source Performance Standard (NSPS) · Based on the Best Available Demonstrated Control Technology (BADCT) · Represent of state-of-art treatment for new sources	

오염물질 항목을 동일한 농도로 규제하고 있다. 배출업체별로 폐수특성에 따른 별도의 기준을 설정하고 있지 않고 일률적인 오염물질의 농도로 규제하고 있으며, 폐수배출량(2,000 m<sup>3</sup>/일기준)과 배출지역(청정지역, 가지역, 나지역, 특별지역) 구분에 의해서만 차등화 적용하고 있다. 현재 배출허용기준은 1983년 환경보전법 개정으로 총 23개 항목의 수질오염물질이 현재 수준의 배출허용기준으로 설정되고 이후 특정수질오염물질들이 추가되어 현재 41개의 수질오염물질 항목이 선정, 이중 32개 항목에 대하여 배출허용기준이 설정되었다. 최초 설정된 배출허용기준 중 납, 비소만이 2008년도에 기준이 강화되었으나 나머지 18개 항목기준은 현재까지 개정없이 적용되고 있다(한국환경정책평가연구원, 2003; 환경부, 2005~2008).

배출시설의 업종, 생산품, 사용원료에 따라 폐수특성이 다르고 폐수 중 오염물질의 종류와 양, 적용된 폐수처리기술 수준이 다른데도 동일한 오염물질 항목 적용과 동일한 농도로 배출허용기준을 일괄적으로 적용하는 것은 오염부하량 저감측면에서 불합리하다. 즉 수질유해물질을 다량으로 배출하는 업종의 경우 강화된 배출허용기준 규제로 수계 배출량을 최소화시키고 폐수내 수질오염물질이 적고 배출부하도 많지 않은 업종의 경우 배출허용기준을 완화시켜 적용하는 것이 산업폐수 관리차원에서 효과적이다. 국내 배출허용기준은 현재 산업구조에 따른 배출 및 처리특성을 반영하지 못하고 외국 기준을 토대로 1980년대에 도입하였다(환경부, 2005~2008). 배출시설들의 효과적인 오염부하저감 노력을 유도하기 위해서는 각 업종별 처리기술수준을 고려하여 수용 가능한 합리적인 배출허용기준에 대한 논의가 필요하다. 또한 이를 효과적으로 수행하기 위해 인허가 제도의 보완, 모니터링 및 사후관리제도의 활성화, 법적 수질유해물질의 확대적용 등 제도적 보완책이 필요하며, 소규모 배출시설에 대한 제도적 적용의 유연성 확보가 필요하다.

국내에 TBELs 적용 필요성 및 목적은 1) 처리특성을 고려한 과학적이고 합리적인 업종별 배출허용기준 설정, 2) 수질오염물질 위해성을 반영한 배출허용기준을 수립, 3) 현재 처리수준 및 경제성을 고려하여 배출허용기준 수립, 4) 실질적인 수계 배출오염량을 저감하기 위해 부하기준 도입, 5) 제도 적용의 유연성 확보로 정리할 수 있다(환경부, 2005~2008).

TBELs 제도는 업종별 배출특성에 대한 모니터링을 기반으로 하기 때문에 업종별 특성에 맞는 합리적인 배출허용기준 도입 외에도 오염총량제 시행에 따른 오염부하 삭감가능량 산정, 신규오염물질에 대한 배출허용기준 산정 등 국가 산업폐수 관리정책 수립 및 오염부하량 저감 시 활용이 가능하므로 국내 도입을 적극 검토할 필요가 있다.

### 3. TBELs 도출과정 및 사례분석

본 연구에서는 미국 TBELs 산정 과정을 주요 4개업종(금속제품 및 기계제조업/ 석유정제업/ 범랑제품 제조업/ 육류제품 가공업)의 TBELs 산정사례를 토대로 살펴보고 도입과정을 업종 특성별로 비교하면서 국내 적용 가능성을 검토하였다.

#### 3.1. 업종별 TBELs 도출과정

TBELs 기준설정의 근거는 업종별 배출특성과 처리기술 특성을 기반으로 하고 있다. 따라서 철저한 자료 및 현장 조사를 통해 업종별 배출 및 처리특성을 정확히 파악하고 그룹화 하는 것이 TBELs 산정과정의 주요 내용이다. 업종별 TBELs 제안 과정을 다음과 같이 5단계로 구분하였다(Fig. 1 참조).

- 1단계 : 자료조사 단계(Survey) - 설문조사, 통계자료, 과거조사자료, 현장 기초조사
- 2단계 : 대상시설 선정, 시료채취, 분석단계(Select Plants, Sampling, Analysis)
- 3단계 : 평가 및 그룹화 단계(Assessment & Grouping) - 세분류, 관심 오염물질 선정, 처리기술 및 재이용기술 선정
- 4단계 : 배출허용기준 설정 단계(Regulation) - 배출특성별 배출허용기준 산정
- 5단계 : 검토단계(Comments) - 배출허용기준에 의한 영향 검토, 전문가 및 관계자 의견수렴

세부적으로 1) 업종별 기초조사 및 폐수발생 특성조사, 2) 업종별 폐수특성에 따른 세분류 구분, 3) 세분류별 폐수특성에 따른 규제항목 결정, 4) TBELs 선정을 위한 공정(관리) 기술 및 처리기술 선정(Technology Option), 5) 오염물질 종류 및 특성(BPT, BAT, BCT), 신규오염원(NSPS), 간접배출(PSES, PSNS)여부에 따라 세부 실행기준 설정, 6) 경제성 및 환경성검토 7) 전문가 및 이해관계자 의견반영 과정을 거쳐 결정된다(국립환경과학원, 2008).

##### 3.1.1. 1단계 : 자료조사 단계(Survey)

TBELs 선정을 위해서는 해당 업종의 현황을 정확히 파악하는 것이 가장 중요하다. 따라서 충분한 사전조사(설문조사, 현장방문, 기초샘플링)가 필수적이며 협회나 해당업종의 전문가들의 의견과 자문을 통하여 조사 작업을 실시하여야 한다.

- 기초조사 : 인허가 자료, 설문조사, 협회, 산업체 관계자 면담 (조사대상 선정)
- 업종 대표성 확보 : 생산공정(생산품), 폐수발생량, 폐수특성 등 고려
- 현장 방문조사 : 설문조사 결과 생산공정별, 배출특성별, 규모별로 배출시설들을 직접방문조사
- 현장조사 : 대표시설 방문조사, 생산공정 및 폐수처리공정 분석, 데이터 수집(기초 데이터 확보)

해당 업종이 복잡하고 매우 다양하게 구성되어 있고 업체수가 많은 경우에는 세분류 별로 나누어 별도 조사를 수행하기도 한다. 예를 들어 금속제품 및 기계제조업의 경우 미국에 5만 7천여개의 공장들이 있으므로 1989년, 1996년, 1997년에 3회에 걸쳐 총 2회 기초 설문조사와 6회의 예비 및 세부 조사를 실시하였다. 1997년도 설문조사는 8,000개소 배출업소를 대상으로 이루어졌으며 이중 1,020개소를 선정하여 예비 및 세부조사를 실시하고 이 결과를 바탕으로 353개소를 정밀조사 하였으며, 이중 234개소를 방문하여 현장 방문조사를 진행하였다(US EPA, 2003; Table 2 참조).

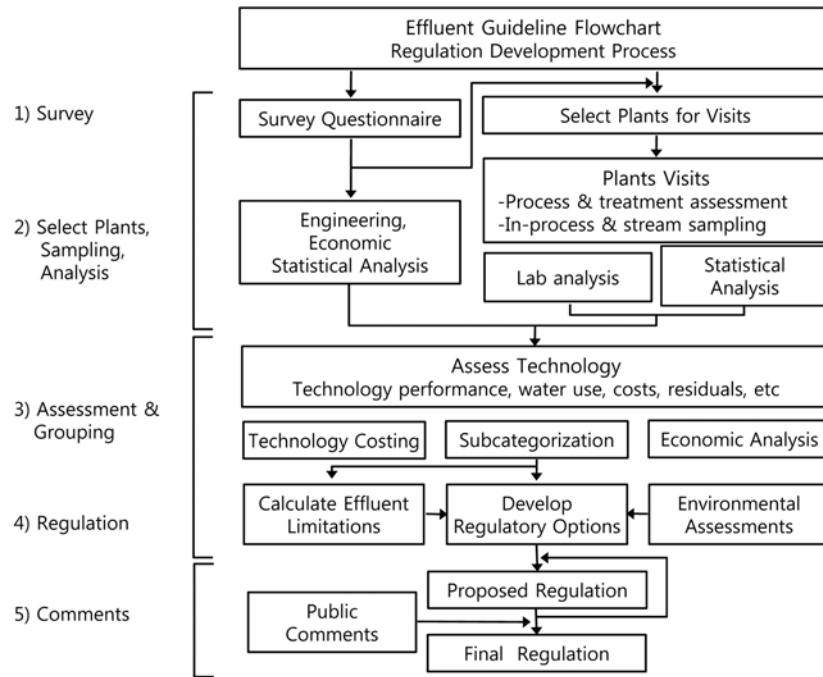


Fig. 1. Diagram of TBELs regulation developing process (US EPA, 2006).

Table 2. Investigation of US industrial categories case-study

Industrial categories	Preview survey	Field survey
Metal products & machinery	<ul style="list-style-type: none"> <li>Conduct Questionnaire to 8,000 facilities.</li> <li>Preview survey 1,020 facilities.</li> <li>Detail survey 353 facilities.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Visit 234 facilities.</li> <li>Subdivide 16 subcategories &amp; assess the process.</li> <li>Survey best performance facilities.</li> </ul>
Petroleum refining	<ul style="list-style-type: none"> <li>National Petroleum refining wastewater characterization in 1972.</li> <li>Survey of EPA permit Data. (approval or not)</li> <li>Cooperate with the America Petroleum Institute.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Survey of process design &amp; maintenance.</li> <li>Control of wastewater process.</li> </ul>
Porcelain enameling	<ul style="list-style-type: none"> <li>Conduct Questionnaire to 250 facilities.</li> <li>Cooperate with the Porcelain Enameling Institute.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Exist of toxic pollutants.</li> <li>Facilities using the main metal materials.</li> </ul>
Meat and poultry products	<ul style="list-style-type: none"> <li>Preview survey 1,650 facilities.</li> <li>Detail survey 350 facilities.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Detail survey to 17 facilities.</li> <li>Survey wastewater process &amp; character.</li> </ul>

(NIER, 2008; US EPA, 1982a, 1982b, 2003, 2004)

3.1.2. 2단계: 대상시설 선정, 시료채취, 분석단계(Select Plants, Sampling, Analysis)

표본 대상시설이 선정되면 시설비용, 운영비용, 생산원료 물질, 첨가화학물질, 생산품, 생산공정, 처리공정들에 대한 광범위한 자료를 수집한다. 따라서 해당 업종에 대한 전문가들의 의견과 표본 대상 시설들의 적극적인 협조가 필수적이다. 미국에서는 법적(Clean Water Acts, CWA)으로 EPA에게 배출허용기준 등 법령제정이 필요할 때 기업에게 필요한 정보제공을 요구할 권한을 주고 있으며, 또한 기업의 기밀정보 취급 권한과 함께 기밀유지 의무를 요구하고 있다(US EPA, 2006).

현장 시료 샘플링과 분석에서는 각 배출시설별로 샘플링 지점 및 시간에 따라 분석방법 및 분석시점, 보관 방법 등에 따라 오염물질별로 농도 차이가 발생하므로 사전에 세부적인 샘플링 및 분석계획을 수립하고 기록으로 남겨서 기술 평가 시 이를 고려해야 한다. 데이터는 현장 샘플링

측정 데이터와 업체 자체 모니터링 측정 데이터를 모두 이용한다. 일반적으로 원수 및 배출수질에 대한 장기간 평균치와 변동계수를 산정하기 위하여 수개월 간의 연속 샘플링을 수행하고 배출시설 자체 측정 데이터는 현장 동시 측정데이터 분석결과를 비교하여 검증 후 평가 데이터로 사용하게 된다(US EPA, 2003).

배출허용기준은 설계와 운영이 잘되고 있는 폐수처리시설이 달성할 수 있는 평균적 달성수준으로 결정하고 있다. 따라서 현장 조사에서는 근거 처리기술을 가지고 장기간 평균적으로 달성할 수 있는 수질수준과 변동폭을 파악하고, 또한 공정상에 적용 가능한 물질회수기술 및 재활용, 재이용 기술을 조사한다. 기본적으로 이러한 내용을 파악하기 위해서는 업종별, 세분류별 생산공정 및 처리공정의 특성이 기초조사에서 선행 조사되어야 한다. 수집된 데이터는 신뢰성 검토, 통계분석 등을 통해 TBELs 산정을 위한 기술평가 시 이용된다.

3.1.3. 3단계: 평가 및 그룹화 단계(Assessment & Grouping)

3.1.3.1. 세분류 구분

업종별 세분류는 수집된 폐수데이터와 공정에 대한 분석 자료를 기반으로 구분한다. 보다 합리적이고 세부적인 배출 허용기준을 적용하기 위해 세분류내에서도 조업형태, 폐수 특성, 공동처리 가능성을 고려하여 하위분류체계를 결정하고 각각 별도 기준을 적용한다. 각 업종특성에 따라 폐수 특성, 생산품, 사용원료, 생산공정에 따라 세분류가 정해지는데, 주요하게 고려되는 인자는 원료물질과, 제조공정, 특히 이에 따라 달라지는 폐수특성을 기준으로 한다. 또한 업종별로 유사업종(예, 금속제품 및 기계제조업, 철강제조업, 금속 표면처리업)과 중복되지 않도록 세분류 기준을 설정해야 한다(US EPA, 2003).

금속제품 및 기계제조업(Metal Products & Machinery)은 최초로 금속성형/표면처리/금속침전/유기물질 침전/조립/Dry dock/특정 인쇄배선기판 공정으로 세분류가 제안되었으나 이 중에서 유사업종과의 중복규제 여부와 폐수발생특성을 고려하여 유분폐수 발생공정(Oily wastes)만을 세분류로 선정하였다. 석유정제업(Petroleum Refining)의 경우 세부조사 결과 발생폐수 특성이 생산공정과 석유제품 종류와 관련되어 있으므로 생산품 기준으로 5개 세분류를 구분하였다. 또한 범랑제품 제조업(Porcelain Enameling)은 폐수특성이 주요 사용원료인 철/강철/알루미늄/구리에 따라 차이가 발생하므로 사용원료별로 4가지 세분류로 구분하였다. 육류제품 가공업(Meat and Poultry Products)은 도축과정과 규모별로 폐수발생특성이 차이가 발생되어 이에 따라 12개 세분류로 구분하였고 연간 50 million pounds 생산량을 기준으로 배출허용기준을 차별화 하였다(Table 3 참조).

3.1.3.2. 세분류별 오염물질 선정 및 적용

세분류별 오염물질은 해당업종의 특성을 반영하여 공통적으로 주요하게 발생이 예상되는 오염물질을 업종특성에 맞는 기준(예, 원료투입량, 코팅면적당, 처리량당 오염물질 발생량등)으로 규제하고 있다. TBELs은 각 업종별, 세분류별 연방 배출허용기준 가이드라인이므로 중복업종에서 규제하거나 일부에서만 검출되는 물질, 주기적 미발견 물질, 경제성 고려한 처리기술로 처리가 곤란한 물질의 경우에는

기준 오염물질에서 제외하고 있다. 미선정 오염물질은 개별 배출시설별 인허가 과정에서 수질근거 배출허용기준(Water Quality-Based Effluents Limitations, WQBELs)에 의해 다시 검토되어진다(이광일, 2008)

세분류별 배출허용기준 대상 오염물질 선정을 위하여 우선 관심 오염물질(Pollutants of Concern, POCs)을 결정한다. 원폐수에서 기준값(Baseline Value)의 10배 이상 검출되는 오염물질들을 대상으로 공정수내 기본 포함 농도이상 오염물질들, 적용기술로 처리 가능한 오염물질들, 휘발성 오염물질 여부, 타 오염물질 제어로 인한 제거 여부를 고려하여 관심오염물질을 선정하게 된다. 기준값(Baseline Value)은 업종특성에 따라 변경될 수 있으나 일반적으로 배출수역에서 검출되는 농도로 결정된다(국립환경과학원, 2008; US EPA 2004; Fig. 2 참조).

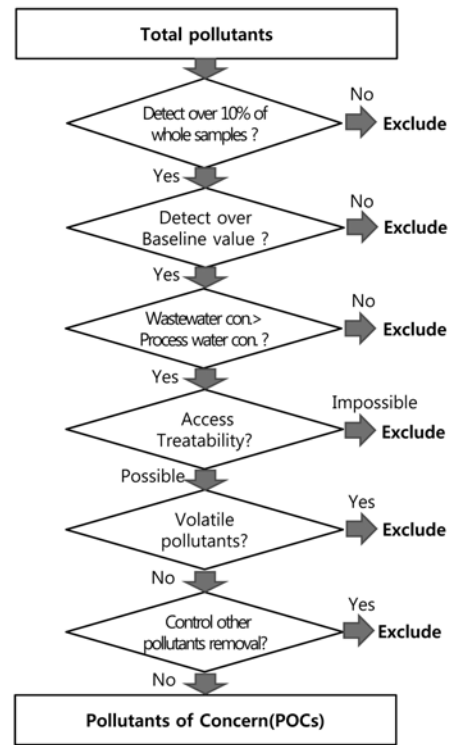


Fig. 2. Flow chart for POCs selection.

Table 3. Categorization of US Industries case-study

Industrial categories	Subcategories	Type
Metal products & machinery	Oily Wastes Subcategory(1)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Character of wastewater</li> <li>Overlap other categories</li> </ul>
Petroleum refining	Topping / Cracking / Petrochemica / Lube / Integrated Subcategory(5)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Product &amp; manufacturing process</li> </ul>
Porcelain enameling	Steel Based / Cast Iron Based / Aluminum Based / Copper Based Material Subcategory(4)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Main materials</li> </ul>
Meat and poultry products	Simple Slaughterhouses / Complex Slaughterhouses/ Low-processing packinghouses / High-Processing packinghouses / Small processors / Meat cutters/ Sausage and luncheon meats processors / Ham processors/ Canned meats processors, / Renderers / Poultry first processing/ Poultry further processing (12)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Manufacturing process</li> <li>Main materials</li> <li>Manufacture scale</li> </ul>

(NIER, 2008; US EPA, 1982a, 1982b, 2003, 2004)

금속제품 및 기계제조업은 유사업종인 철강제조업과 금속 표면처리업에서 이미 중금속, 황화물, 총인에 대한 규제가 이루어지고 있고 유기물은 유분 및 TSS 제거 시 동시 제거가 가능하므로 규제대상 오염물질은 일반오염물질인 Oil & Grease(O&G), TSS로 제한하였다. 석유 정제업은 일반오염물질은 유기물과 O&G, TSS를 규제하고 비일반오염물질은 암모니아, 독성오염물질은 페놀과 황화물, 크롬을 제한하고 있다. 투입 원유 1,000 m<sup>3</sup>당 발생량을 기준으로 부하단위로 적용하고 있으며, 기타 시안, 금속이온 등은 업종 공통적으로 발생하는 오염물질이 아니므로 TBELs에는 제외되었다. 범랑제품 제조업은 카드뮴, 납 등이 규제대상이며 코팅대상 면적당 발생량으로 규제하고 있다. 기타 독성유기오염물질은 주기적으로 발견되지 않았으므로 제외되었다. 육류제품 가공업은 도축량 당 오염물질 발생량을 기준으로 산정하였다(Table 4 참조).

### 3.1.3.3. 처리기술 및 재이용 기술 선정(Treatment and reuse, recycling Technology Option)

적용가능기술은 사후처리(end-of-pipe) 기술뿐만 아니라 폐수발생량 저감을 위한 공정폐수의 재이용, 오염물질 저감을 위한 물질회수(중금속 회수 등)와 같은 생산공정내(in-plant) 제어기술과 공정개선 등을 포함하고 있다. 배출허용기준 근거 처리기술은 처리대상 물질별로 나뉘어져 있다. 일반오염물질은 BPT와 BCT 기술근거로 배출허용기준

을 설정하고 있으며, 비일반오염물질과 독성오염물질의 경우 BAT 기술근거로 배출허용기준을 정하고 있다. 또한 신규오염원의 경우는 최적의 활용 가능한 검증된 제어기술(Best Available Demonstrated Control Technology, BADCT)을 근거로 달성 가능한 배출허용기준을 설정한다(US EPA, 2003).

근거 처리기술은 업종별 발생 오염물질 특징에 따라 결정된다. 금속제품 및 기계제조업의 경우는 유사 업종(철강제조업과 금속 표면처리업)과 중복을 피하기 위해 O&G, TSS 제거를 주목적으로 하는 근거 처리기술을 선정하였으며 육류제품 가공업의 경우는 유기물질과 질소, 인 처리를 주목적으로 하는 처리기술을 선정하였다(Table 5 참조). 처리기술 외에도 각 업종의 생산시설 공정상의 특징을 고려하여 원천적으로 오염물질 배출을 방지하기 위한 공정기술과 재이용 기술도 강조되고 있다. 석유정제업의 경우 Sour water stripper bottom 배출수 원유 탈염공정에서 재이용기술, 일회사용 냉각수 정수처리시설 보충수로 재사용등 공정기술 및 재이용 기술을 적용하여 오염물질을 제어하고 있다(Table 6 참조).

EPA가 다양한 공정기술과 처리기술을 제시하기는 하지만 이 기술 이용이 강제조항은 아니다. 해당업종 세분류별 배출허용기준 결정 근거와 가이드라인으로 제시된 기술일 뿐이며 처리기술의 개발과 신규오염물질의 발견에 의해 처리기술들은 계속 변하고, 공정기술 역시 생산시스템에 따라

**Table 4.** Pollutants in US categories case-study

Industrial categories	POCs		Non POCs	
	Pollutants	Units	Pollutants	Cause
Metal products & machinery	· <sup>1)</sup> O&G, TSS	· mg/L	· Organics · Heavy metal, Sulfides, Phosphorus	· Simultaneous removal with O&G, TSS · Overlap other categories.
Petroleum refining	· <sup>1)</sup> BOD, COD, TOC, O&G, TSS · <sup>2)</sup> Ammonia-N · <sup>3)</sup> Phenols, Sulfate, Chromium	· kg/(feedstock) 1000m <sup>3</sup>	· Cyanide, Zinc, Chlorine, Fluorine, Phosphorus	· Detected only few samples
Porcelain enameling	· <sup>1)</sup> TSS, pH, O&G · <sup>2)</sup> Aluminum, Iron · <sup>3)</sup> Cadmium, Lead, Nickel, Zinc	· mg/(area processes or coated)m <sup>2</sup>	· Toxic organic pollutants	· Undiscovered pollutants periodically
Meat and poultry products	· <sup>1)</sup> BOD, TSS, O&G Fecal Coliform · <sup>2)</sup> Ammonia-N, T-N	· g/(products)kg · mg/L	· Phosphorus, Chlorine, metal ions, Insecticide	· Economic feasibility not achieve

<sup>1)</sup>Conventional pollutants, <sup>2)</sup>Nonconventional pollutants, <sup>3)</sup>Toxic pollutants (NIER, 2008; US EPA, 1982a, 1982b, 2003, 2004)

**Table 5.** Technology option for wastewater treatment in US categories case-study

Industrial categories	Treatment technical options	
Metal products & machinery	Oil Separation (Oil Skimming) → Emulsion Chemical treatment (Outsourcing of Organic solvent)	· BPT
Petroleum refining	Flow regulation/Oil Separation → First oil & solids removal → Second oil & solids removal → Biological organic removal → Filtration → Activated carbon adsorption	· BAT
Porcelain enameling	Chromium reduction → Mixing treatment coating & metal process wastewater → Chemical precipitation → Sludge treatment	· BAT
Meat and poultry products	Nitrification → Denitrification (Using external carbon source) → Chemical phosphorus removal → Disinfection	· BAT (over 50 M lb/ year)

(NIER, 2008; US EPA, 1982a, 1982b, 2003, 2004)

**Table 6.** Technology option for recycling and reuse in US categories case-study

Industrial categories	Recycling & reuse technology options
Metal products & machinery	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Two stage backwash cascade washing</li> <li>• Adopt centrifugal separation &amp; reuse in Painting washing process</li> <li>• Cooling water centrifugal separation &amp; reuse</li> </ul>
Petroleum refining	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reuse Sour water stripper bottom water in crude oil desalination process</li> <li>• Once use cooling water reuse for supplement water</li> <li>• Reuse effluent for cooling and scrubber water</li> </ul>
Porcelain enameling	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reuse process water in coating process</li> </ul>

(NIER, 2008; US EPA, 1982a, 1982b, 2003, 2004)

계속 발전되기 때문이다(이광일, 2008; US EPA, 2004). 배출허용기준은 동일 업종내에서도 직접방류(Direct discharge)/간접방류(Indirect discharge), 기존오염원(Existing source)/신규오염원(New source)여부와 일반오염물질(Conventional)/독성오염물질(Toxic), 비일반오염물질(Nonconventional)에 따라 달라지므로 기술적용 역시 이에 따라 차등적으로 적용된다.

**3.1.4. 4단계 : 배출허용기준 설정 단계(Regulation)**

기술근거 배출허용기준 설정하기 위해 이용되는 데이터는 업종별 각 세분류에서 대표적으로 선정된 모델 배출시설들을 대상으로 직접 현장 샘플링을 수행하고 분석한 데이터와 업체에서 측정된 데이터를 이용하여 설정된다. 배출허용기준을 계산하기 위한 데이터는 장기간 평균값(Long Term Average, LTA), 업종별 표준유량(보통 원료투입(처리)량당 용수사용량) (Product Normalized Flows, PNF)과 변동계수(Variability Factor, VF)를 이용하여 계산한다(US EPA, 2004). 업종별로 VF에 따라 일최대(Daily Maximum)와 월평균(Monthly Average)을 적용하여 부하 및 농도단위로 다음식 (1)과 (2)와 같이 제시된다.

$$\text{Limits (kg-pollutants/kg-products} \cdot \text{day)} = \text{LTA} \times \text{PNF} \times \text{VF} \tag{1}$$

$$\text{Limits (mg/L)} = \text{LTA} \times \text{VF} \tag{2}$$

- LTA : 장기간 평균값(Long Term Average, mg/L)
- PNF : 표준 생산품당 용수사용량(Product Normalized Flows, m<sup>3</sup>/kg-products · day)
- VF : 변동계수(Variability Factor)

EPA에서 일최대 배출허용기준을 설정한 목적은 처리 목표를 달성 가능한 수준의 일일 배출량으로 제한하는데 있다. LTA와 VF를 구분한 이유는 정상 운전조건에서 LTA보다 낮거나 높게 배출할 가능성이 인정하고 있다는 것을 의미하고 일일 배출량 초과가능성을 고려하여 일최대 배출허용기준을 설정한 것이다. LTA 기준은 설계와 운전이 잘되어 있는 폐수처리시설이 달성할 수 있는 평균적 달성수준으로 결정하고 있다. VF는 이러한 시설들에서 일반적으로 일일 측정치들의 99% 이내로 허용가능 범위를 기준으로 하고 합리적으로 예상되는 변동성을 고려한 것이다. 월평균

허용기준은 해당시설의 해당 오염물질이 월 1회 이상의 주기적인 감시가 필요하다는 가정을 기반으로 설정한 것이다. 처리규모에 따라 오염물질 종류, 발생량 차이가 발생하는 업종(육류제품 가공업)은 처리규모에 따른 조건을 반영하고 (50 M lb/ year 이상만 BAT적용), 처리량과 생산공정에 따라 발생특성이 달라지는 업종(석유정제업)의 경우는 규모와 공정에 대한 별도 인자들을 반영하여 산정된다(국립환경과학원, 2008; US EPA, 1982a, 1982b, 2003, 2004).

**3.1.5. 5단계: 검토단계(Comments)**

TBELs 설정을 위해서는 근거 기술적용에 따른 시설투자와 유지관리비 증가분에 대한 비용모델을 설정하여 경제성을 평가한다. 또한 근거 기술 적용에 따른 오염물 감소여부를 기존 오염부하와 비교하여 오염물질 감소량을 산정하여 수계 오염부하량 저감정도를 평가하게 된다. TBELs 산정 시 해당 전문가가 데이터 유효성, 적용근거 실효성 등을 검토하고 추가 보완작업을 거치게 된다. TBELs은 해당 업종별 처리기술과 재이용기술 수준을 근거로 설정되기 때문에 해당 기업 관계자들의 의견과 의사반영과정을 반드시 거치게 되며 실질적으로 많은 오염물질들의 배출허용기준들이 검토과정에서 기업들의 요구로 완화되거나 보류되기도 된다(US EPA, 2008).

**3.2. TBELs의 보완 및 개정**

기존 설정의 근거인 업종별 배출특성과 처리기술의 변화에 따라 배출오염부하를 지속적으로 모니터링을 해야 하고 이에 따라 TBELs은 주기적으로 보완 및 개정작업이 이루어진다. EPA는 격년별로 ‘Effluent Guidelines Program Plan’을 통해 업종별 기여도분석(Screening Level)을 검토하여 주요업종들의 TBELs을 보완, 개정을 하고 있다(US EPA, 2006).

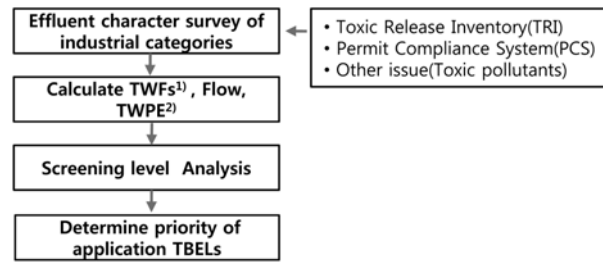
육류제품 가공업은 1974년에 TBELs이 제정되었으나 이후 수차례의 변경을 통해 2004년도에 현재의 TBELs가 결정되었으며, 금속제품 및 기계제조업은 기존에는 유사업종인 철강제조업과 금속 표면처리업에서 규제받았으나 2003년도 별도의 새롭게 업종을 구분하여 유분폐수 발생공정에 대한 새로운 배출허용기준을 신설하였다. 범랑 제품 제조업은 1982년도에 TBELs이 제정되었으나 미국내 관련업체수가 감소되면서 발생 오염물 부하가 줄어들어 현재까지 개정되지 않고 유지되고 있다(국립환경과학원, 2008; US EPA, 1982a, 1982b, 2003, 2004; Table 7 참조).

**Table 7.** Revision TBELs in US categories case-study

Industrial categories	First promulgated	Review	Limitations & Standards	Pollutants
Metal products & machinery	2003	2003	BPT, BCT, NSPS	TSS, O&G, PH
Petroleum refining	1974	1982	BPT, BCT, BAT, NSPS, PSES, PSNS	BOD, COD, Phenol, Chromium, Sulfides, NH <sub>3</sub> -N, etc.
Porcelain enameling	1982	1982	BPT, BAT, NSPS, PSES, PSNS	O&G, TSS, Chromium, Lead, Nickel, Zinc, etc.
Meat and poultry products	1974	2004	BPT, BCT, BAT, NSPS	BOD, Fecal coliform, TSS, O&G, NH <sub>3</sub> -N, T-N

(NIER, 2008; US EPA, 1982a, 1982b, 2003, 2004)

미국에서도 56개 업종에 대한 전체 TBELs 개정 작업을 주기적으로 수행하는 것은 매우 어려운 일이다. 따라서 EPA에서는 업종별 산업폐수 발생특성과 영향을 분석하기 위해 적년제로 기여도 분석(screening-level)을 수행하고 있다. 이는 1970년대와 1980년대 TBELs 설정을 위해 개별 업종별로 집중적으로 광범위한 조사 및 분석작업을 수행하였으나 현재에는 업종별 오염배출량의 기여도 분석 자료를 분석하여 선택적으로 TBELs 개정의 필요성이 있는 업종과 세분류들을 중심으로 조사와 개정작업을 진행하고 있다(US EPA, 2006; TBELs 국내 적용성 연구(II) 참조).



<sup>1)</sup> TWFs : Toxic Weight Factors,

<sup>2)</sup> TWPE : Toxic Weight Pounds Equivalent

**Fig. 3.** Diagram of screening-level analysis (US EPA, 2006)

## 4. 미국의 TBELs 제도 활용

### 4.1. 인허가시 활용

이상과 같은 과정을 거쳐 제정된 기술근거 배출허용기준 국가 가이드라인인 TBELs은 개별 배출시설의 인허가 시 활용된다. 배출시설에 대한 인허가 시 해당 업종(56개)과 세분류(450개)에 따라 제시된 TBELs 배출허용기준 준수여부를 검토하고, 해당 방류수역에 따라 각 주에서 설정된 WQBELs에 의한 배출허용기준을 동시에 검토하게 된다. 이중 강화된 기준을 해당 배출업소의 배출허용기준으로 정하게 된다. TBELs은 업종별로 차이가 있지만 보통 원료물질당 오염물질 배출부하 단위로 제시되고 WQBELs는 배출수역별 총량배출부하와 농도단위가 함께 제시되어진다. 배출수역이 청정지역일 경우 배출수역의 수질을 유지하기 위한 WQBELs의 수질기준이 주로 적용되지만, 실질적으로 배출업소의 오염부하량 저감에 대한 기술적인 근거는 TBELs를 따르게 되며 상호보완관계를 유지하고 있다. 미국은 국내와 달리 5년마다 배출시설 인허가 갱신제도가 있으므로, 신규 오염물질 배출여부와 생산공정 변경여부에 따

라 새로운 배출허용기준을 적용하고 있다(이광일, 2008).

### 4.2. 최선의 전문가 판단(Best Professional Judgement, BPJ)

업종별로 차별화하여 적용을 하지만 같은 업종내에서도 배출시설에 따라 TBELs을 그대로 적용하기가 어려운 경우가 있다. 이를 보완하는 제도가 최선의 전문가 판단(Best Professional Judgement, BPJ)에 근거한 배출허용기준 적용이다. TBELs 설정 시 명확하지 않는 업종분류나 세분류에 해당하는 배출시설에 대해서는 EPA 전문가들의 기술적 판단에 의한 TBELs 적용이 가능하다. 그러나 전문가가 일반적으로 이를 결정할 수 있는 것은 아니며 배출업소 인허가에 대한 시민단체나 주민들에 의한 공청회나 오염물질 피해에 대한 법률적 소송에 대비하여 객관적인 증빙자료를 갖추어 BPJ에 의해 TBELs을 결정한다(USEPA, 2006).

### 4.3. 지속적인 가이드라인 개정 및 신규업종 가이드라인 수립

TBELs 가이드라인의 개정과 새로운 TBELs 검증이 필요한 산업 분류를 결정하기 위해 EPA는 2년마다 년차 보고서를 제출하고 있다. 이 보고서에서는 산업업종별 재검토된 오염물질 배출량의 기여도 분석을 수행하고 최근자료와 환경이슈에 의한 쟁점들을 검증하게 된다. 이에 따라 신규 업종에 대한 가이드라인 제정 및 오염부하 기여도가 높은 업종중심으로 가이드라인 개정작업을 준비하고 추가 연구와 공청회를 통하여 최종 TBELs을 결정하게 된다. 실제로 2008년도 최종보고서에는 1982년 만들어졌던 Steam Electric Power Generation Point Category와 1985년에 만들어졌던 Coal Mining에 대한 가이드라인 개정을 위한 기술보고서를 신고 있다. 이 업종들은 보고서 내용을 토대로 공청회를 통해 이해관계자들과의 논의 후에 최종 가이드라인이 결정된다(USEPA, 2008).

## 5. TBELs 국내 적용성 검토

미국 TBELs은 1개 업종당 수년동안, 20~30년에 걸쳐 전 업종에 대한 광범위한 조사와 산업폐수관리제도의 보완(인허가 제도, 사후관리 및 모니터링제도), 지속적인 배출시설에 대한 모니터링을 기반으로 정착된 제도로써 국내에서 전반적인 산업폐수 관리제도의 정비 없이 단기간에 받아들이기에는 어렵다. 따라서 우리나라에서는 국내 산업폐수 배출특성을 고려하여 단계적으로 우선순위를 정해 인허가 제



도 및 사후관리제도등 제도적 보완과 함께 수행하는 것이 합당하다고 판단된다.

국내 산업폐수 배출현황 2006년 현재 전체 배출시설 45,163 개소 중에 대규모 배출시설(1종, 2종)이 1.8%(1종 0.7%, 2종 1.1%)에 불과하고 대부분 소규모 배출시설인 5종 사업장이 전체의 91%를 차지하고 있으나, 폐수발생량은 대규모 배출 시설(1종, 2종) 사업장이 전체의 56%를 차지하고 있다. 또한 전체 배출 시설 중 수계 직접방류 형태가 29%를 차지하고 있으며 간접방류가 57%(연계처리 34%, 위탁처리 23%)를 차지하고 있다(환경부, 2008). 따라서 전체 배출업소수의 1.8%에 불과하지만 폐수발생량은 56%를 차지하는 대규모 배출시설에 대해서는 현재 배출특성(독성유해물질 배출 여부)과 처리기술을 기반으로 한 업종별 맞춤형 TBELs 설정작업이 필요하다. 그리고 전체 배출시설의 91%를 차지하는 소규모 배출시설에 대해서는 독성유해물질 배출특성을 가진 업종을 선별하여 보다 강화된 TBELs을 적용하고, 그 외 소규모 시설에 대해서는 유연한 TBELs을 적용하는 것이 효과적이라 판단된다. 또한 전체 방류량의 57%를 차지하는 간접방류에 대해서는 간접방류기준을 보다 세부적으로 설정하여 불필요한 전처리는 제외하고 독성물질은 강력히 규제하는 선별적 배출허용기준 도입이 필요하다. 연계처리 하·폐수종말처리시설 역시 독성유해물질 유입여부에 따라 세분류를 정하고 완화(BPT)되거나 강화(BAT 또는 BADCT)된 TBELs을 적용하는 것이 합리적이라 판단된다.

즉, 국내 산업폐수 배출특성을 고려한 TBELs은 1)소수의 대규모 배출시설(1종, 2종)은 업종별 배출폐수의 위해성을 고려한 맞춤형 TBELs 적용, 2)다수의 소규모 배출시설(5종)은 업종별 배출폐수의 위해성을 고려한 우선순위 결정 후, 독성유해물질 다량배출 업종들 TBELs 우선적용, 3)연계처리 하·폐수종말처리시설은 독성유해물질 유입여부에 따른 세분류를 통한 적합한 TBELs 적용과 이에 관련된 배출 시설들의 전처리 기준 마련으로 정리할 수 있다. 폐수 위해성을 판단할 수 있는 수질유해물질들의 위해성 지표와 이를 이용한 업종별 우선순위 결정내용은 ‘TBELs 국내 적용성 연구(II)’에서 그리고 국내 업종별 적용방안과 사례분석은 ‘TBELs 국내 적용성 연구(III)’ 다루어질 것이다.

## 6. 결론

‘TBELs 국내 적용성 연구(I)’에서 미국에서 업종별 TBELs 적용배경과 실제 업종별 적용형태를 분석하여 국내 업종별 TBELs 적용 시 고려해야 할 점들을 검토하였다. 미국 TBELs 적용과정은 자료조사-대상시설 선정, 시료채취, 분석-평가 및 그룹화-배출허용기준 설정-검토 단계를 거쳐 이루어지고 있다.

미국은 1970년대 오염수계 복원을 목적으로 NPDES 일환으로 TBELs을 도입하여 처리기술 수준을 반영한 산업폐

수 배출허용기준 국가 가이드라인을 제정하였다. 1970년대 26개업종, 1980년대 23개 업종, 90년대 이후 7개업종의 TBELs을 제정하여 현재와 같은 56개 업종에 대한 TBELs 모습을 갖추게 되었으며, 현재에도 지속적으로 업종 배출특성을 모니터링하여, 신규 업종 및 세분류를 지정하고 배출허용기준을 개정하고 있다. 국내의 경우는 현재 전체 업종에 동일한 배출허용기준을 적용하고 있으므로 업종별 배출특성을 배출허용기준에 반영하지 못하고 있다.

국내에 TBELs을 적용할 경우, 미국과는 도입목적 및 배경이 다르기 때문에 미국 TBELs 선정과정을 참고하여 국내에 적합한 형태로 단계적으로 적용할 필요가 있다. 특히 국내 산업폐수 배출시설 특징(소수의 대규모배출시설(1종, 2종), 다수의 소규모 배출시설(5종))에 따라 차등적으로 적용해야 하며, 82개 업종에 대해서 발생폐수의 위해성을 고려하여 우선순위를 결정하고 단계적으로 업종별 처리기술 수준을 반영한 합리적인 TBELs 도입을 준비해야 할 것이다.

## 사 사

본 연구는 환경부·국립환경과학원 용역과제인 ‘기술에 근거한 폐수배출허용기준 및 근거자료 조사연구’사업의 지원에 의해 수행되었습니다.

## 참고문헌

- 국립환경과학원(2008). 배출원 특성조사를 통한 업종별 최종처리기술 도출연구(I). KIST, 성균관대학교.
- 국립환경과학원(2009). 기술에 근거한 폐수배출허용기준 및 근거자료 조사연구(II). KIST, 성균관대학교.
- 이광일(2008). *How to Write National Pollutant Discharge Elimination System(NPDES) Permit*. 국립환경과학원 세미나.
- 한국환경정책평가연구원(2003). *BAT 평가기법 비교분석*.
- 환경부(2005~2008). *산업폐수 관리체계 개선방안 연구*. KIST, 성균관대학교.
- 환경부(2008). *공장폐수의 발생과 처리*.
- US EPA (1982a). *Development Document for Effluent Limitation Guideline and Standards for Porcelain Enameling*.
- US EPA (1982b). *Development Document for Effluent Limitation Guideline and Standards for Petroleum Refining*.
- US EPA (2003). *Development Document for Effluent Limitation Guideline and Standards for Metal Products and Machinery*.
- US EPA (2004). *Development Document for Effluent Limitation Guideline and Standards for Meat and Poultry Products*.
- US EPA (2006). *Technical Support Document for the 2006 Effluent Guidelines Program Plan*.
- US EPA (2008). *Technical Support Document for the 2008 Effluent Guidelines Program Plan*.
- US EPA (2009). <http://www.epa.gov/waterscience/guide/>.