

# 석유화학계 기초화합물 제조시설과 합성수지 및 기타 플라스틱물질 제조시설의 폐수처리시설 BAT평가

김영노<sup>\*</sup> · 임병진 · 권오상

국립환경과학원

## Assessment of Best Available Technology of Wastewater Treatment Facilities in Petrochemical Basic Compound Manufacturing and Plastics and Synthetic Resins Manufacturing

Youngnoh Kim<sup>\*</sup> · Byungjin Lim · Osang Kwon

National Institute of Environmental Research

(Received 17 August 2005, Accepted 17 October 2005)

### Abstract

The effluent limitations for individual industry based on the best available technology economically achievable (BAT) have been required to achieve effective regulation. BAT assessment criteria that are suitable for the circumstances of Korean industry were developed in the previous study. The criteria were applied to determine the BAT for petrochemical basic compound manufacturing (PBCM) and plastics and synthetic resins manufacturing (PSRM) industry. Wastewater discharged from the each category contains high concentration of COD and toluene. Eighteen sites were surveyed and wastewater qualities were analyzed. Six and two different technologies were applied to the PBCM and PSRM industry for the end-of-pipe treatment process, respectively. The technology candidates were evaluated in terms of environmental impacts, economically achievability, treatment performance and economical reasonability. As the result, the technology options: typical activated-sludge process + sand filtration + activated carbon adsorption (PBCM) and wet oxidation + chemical precipitation + typical activated-sludge process + chemical precipitation (PSRM) were selected as the BAT for each industry.

**keywords** : Best available technology economically achievable (BAT), Effluent limitations, Petrochemical basic compound, Synthetic resin, Wastewater treatment

## 1. 서론

BAT(Best Available Technology Economically Achievable) 평가는 오염물질 배출시설허가와 관련하여 배출시설의 배출허용기준이나 시설기준 등의 관리기준을 설정할 때 사용하는 기술평가방법으로 미국과 선진유리국가에서는 오염물질 삭감제도에 활용하고 있다(Hill et al., 1996; EC, 2001). 우리나라의 현행 배출허용기준은 배출시설별 폐수특성은 고려되어 있지 않고 폐수배출량과 배출지역 구분으로 차등화하여 적용되고 있다. 이러한 폐수배출시설 분류체계와 일관된 농도규제 위주의 규제기준 적용방법으로는 폐수처리 비용에 있어서 산업체간에 논란의 소지가 있으며, 신기술개발과 도입을 지연시키는 간접적인 원인이 되고 있다. 또한 신규물질에 대한 규제기준을 설정함에 있어 환경정책의 효율성이 제고되지 않는 등 수질개선에 한계가 있으며 국제적 변화 추세의 적절한 대응에 애로가 있다. 특히 오염총량관리제 추진과 관련하여 오염총량관리 기본계획 및 시행

계획에 따른 오염부하 삭감 가능량 산정 시 폐수배출시설별 폐수성상 및 처리효율 제고를 고려한 BAT 평가제도는 필수조건으로 고려되어야 한다.

석유화학산업은 원유를 정제하여 석유정제품 및 관련제품을 제조하는 석유정제업을 비롯하여 석유에 함유된 탄화수소를 분해·분리하여 기초화학제품과 그 유도체를 생산하는 기초화합물 제조업 등 그 범위가 매우 광범위한 산업이다. 한국표준산업분류(통계청, 2005)에서는 해당산업을 코크스, 석유정제품 및 핵연료 제조업(분류번호 23)과 화합물 및 화학제품 제조업(분류번호 24)으로 대분류하고 각각의 대분류 안에 Table 1과 같은 세분류를 두고 있다.

현행 수질환경보전법 상의 폐수배출시설분류(환경부)는 크게 석유정제품 제조시설(배출시설 구분번호 26)과 석유화학계 기초화합물 제조시설(27)로 대분류되어 있으며 이 외에 생산품의 종류에 따라 기타 기초유기화합물 제조시설(30), 합성염료 유연제 및 기타 착색제 제조시설(32), 합성고무 제조시설(35), 합성수지 및 기타 플라스틱물질 제조시설(36) 등으로 분류되어 있다. 석유정제품 제조시설은 석유정제와 전화, 저장, 운할유 제조시설 등이 해당되며 석유정

<sup>\*</sup> To whom correspondence should be addressed.  
ynkim@mg.go.kr

**Table 1.** Korean standards for classifying industries (PBCM and PSRM)

Code	Industrial classification
23210	Petroleum refineries
23221	Manufacture of lubricating oils and greases
23229	Reprocessing of other fractionated petroleum
24111	Manufacture of basic organic petrochemicals
24151	Manufacture of synthetic rubber
24152	Manufacture of synthetic resin and other plastic materials
24153	Manufacture of compounded and recycled plastic materials

제로부터 생산된 경유 및 나프타를 분해·추출하여 에틸렌, 프로필렌계 등의 기초화학물질을 제조하는 시설이 석유화학계 기초화학물 제조시설이다. 합성수지 및 기타 플라스틱물질 제조시설은 석유화학계 기초화학물 제조시설에서 생산한 기초화학물질을 중합하여 합성수지 및 플라스틱을 만드는 시설로 수지 이외의 유기화학물 제조시설은 기타 기초유기화학물 제조시설에 해당된다. 이러한 배출시설 분류가 있음에도 불구하고 현재 배출시설 분류의 각 구분에 대한 명확한 설명 및 이해 부족과 표준산업분류와의 연계성 결여로 해당업체들이 석유화학계 기초화학물 제조시설과 합성수지 및 기타 플라스틱물질 제조시설을 혼동하여 허가·신고하고 있는 경우가 많다. 예를 들면 석유화학공업단지에 입주해 있는 합성수지제조시설들 중 많은 시설들이 석유화학계 기초화학물 제조시설로 등록되어 있다. 이들 시설들은 대부분 대규모시설로써 석유화학공업단지에 입주해 있으며 총 53개 시설이 있다. 현재 합성수지 및 기타 플라스틱물질 제조시설로 허가·신고 되어있는 시설 수는 917개로 대부분 4·5종의 소규모 시설들이다(환경부, 2002). 한편 실제의 석유화학계 기초화학물 제조시설(나프타분해시설을 보유) 수는 총 5개로 조사되어졌으며 이 중 1개 시설은 석유정제시설과 석유화학계 기초화학물 제조시설을 같이 운영하고 있는 것으로 나타났다.

이들 시설의 폐수는 일반적으로 에멀션을 형성한 유화유 등의 기름성분을 함유하고 있으며, 기름성분 외에도 각종 VOCs, 황화물, 중금속 등을 함유하는 경우가 있다. 또한 제조과정 중 첨가제로 들어가는 산, 알칼리에 의해 폐수가 강한 산이나 알칼리를 띌 수 있다. 이와 같은 기름성분과 고농도의 영양염, 강한 산·알칼리 등은 폐수처리시설의 효율을 저해하는 것으로 알려져 있다(임 등, 2003).

본 연구는 석유화학계 기초화학물 제조시설과 합성수지 및 기타 플라스틱물질 제조시설에 대한 국내의 폐수처리수준을 알아보기 위한 것으로, 대상시설의 폐수배출특성에 따른 세분류 방안을 검토하고, 기 발표한바 있는 BAT 평가방안(김 등, 2005)을 이용하여 처리시설에 대한 BAT 평가를 수행하였다.

## 2. 연구방법

조사대상은 위에서 살펴본 바와 같이 석유정제시설을 같

이 운영하는 시설을 제외한 4개의 석유화학계 기초화학물 제조시설과 석유화학공업단지에 입주해 있는 비교적 규모가 큰 53개의 합성수지 및 기타 플라스틱물질 제조시설 중 산업단지 폐수종말처리장에 연계처리하는 시설을 제외한 33개의 개별배출시설이다. 이 중 94%에 해당하는 31개 시설에 대하여 다음과 같은 항목에 대한 설문 조사를 실시하였다.

- 일반현황(부지, 종업원 수 등)
- 생산시설현황(가동일 수, 제품생산량, 매출, 원료 및 용수 사용량, 에너지사용량 등)
- 폐수처리시설현황(처리방법, 처리용량, 투자비용, 운전 및 유지비용, 수질 등)
- 기타(재이용 및 재활용, 청정기술 등)

설문조사를 실시한 업체 중 다시 지역과 규모 등을 고려하여 18개 업체(설문조사업체의 58%에 해당)를 선정하여 처리시설에 대한 상세조사와 수질분석을 실시하였다.

각 업체에서 채수한 원폐수 및 배출수(처리수)는 일반오염물질과 유해오염물질 등 총 43개 수질항목에 대해서 분석하였다. 분석방법은 전반적으로 수질오염공정시험법(환경부, 2000)에 준하였으나, PCBs와 VOCs 등 유해오염물질은 일본 환경청의 SPEED 98(일본환경청, 1998)과 미국 APHA의 Standard method (APHA, 1998)에 준하였다.

이상 조사결과로부터 폐수배출특성(생산공정, 사용원료, 제품종류, 폐수특성 등)을 고려하여 배출시설 세분류 방안을 검토하고 한국표준산업분류, 미국 EPA의 배출시설세분류, 일본의 배출시설분류와 비교·검토하여 타당성을 확인하였다. 배출시설별 처리기술의 BAT는 기 개발한 BAT평가방안(김 등, 2005)에 따라 도출하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1. 국내·외 배출시설분류 검토 및 세분류(안)

조사대상 배출시설에 대하여 미국은 Petroleum Refining Point Source Category와 Organic Chemicals Plastics, and Synthetic Fibers로 대분류 하고 각각의 대분류 안에 Table 2와 같이 세분류하고 있다(US EPA, 2005a, 2005b). 석유상압증류(Topping)시설에 부가적으로 어떠한 제조시설을 보유하고 있느냐에 따라 석유정제품 제조시설(Petroleum Refining)을 5개 시설로 세분류하고, 여기서 얻어지는 Petrochemical 제품을 이용하여 만들어지는 제품의 종류에 따라 총 8개의 Organic Chemicals Plastics, and Synthetic Fibers 제조시설로 세분류하고 있다.

국내의 경우 석유정제품 제조시설(26)과 석유화학계 기초화학물 제조시설(27)의 구분은 나프타분해공정의 유무에 따라 분류하고 있다. 따라서 미국의 Petroleum Refining시설 중 상압증류시설(A: Topping)은 국내분류상의 석유정제품 제조시설에 해당하나 나프타 분해공정을 보유하는 나머지 B에서 E시설은 석유화학계 기초화학물 제조시설에 해당된

**Table 2.** Subcategory of PBCM and PSRM (US EPA)

Petroleum refining (40 CFR part 419)	
A	Topping
B	Cracking
C	Petrochemical
D	Lube
E	Integrated
Organic chemicals plastics, and synthetic fibers (40 CFR part 414)	
A	General
B	Rayon fibers
C	Other fibers
D	Thermoplastic resins
E	Thermosetting resins
F	Commodity organic chemicals
G	Bulk organic chemicals
H	Specialty organic chemicals

다. 하지만 국내의 석유화학계 기초화학물 제조시설 중 미국의 경우와 같이 석유정제와 나프타분해공정을 같이 운영하는 시설(세분류 B, C)은 1개로, 대부분의 석유화학계 기초화학물 제조시설이 석유정제공정을 보유하지 않고 있는 것으로 조사되었다. 한편 국내의 합성수지 및 기타 플라스틱물질 제조시설은 하나의 업체에서 생산하는 제품종류가 다양하여 대부분 미국의 세분류A(General)에 해당하는 것으로 조사되어졌다.

일본은 우리나라의 현행 배출시설분류와 유사하여, 세분류 없이 100개의 대분류시설로 배출시설을 분류하고 각각의 시설별 폐수발생공정을 상세히 기술하고 있다. 석유화학 관련 배출시설분류는 석유정제업(분류번호 51)과 석유화학공업(37)으로 크게 나누고 그 밖에 제품에 따라 메탄유도품제조업(31), 유기안료 또는 합성염료 제조업(32), 합성수지 제조업(33), 합성고무제조업(34), 유기고무약품제조업(35), 합성세제 제조업(36) 및 12개의 유기화학 관련 제조업(28~30, 38~46)으로 분류하고 있다(일본 환경성, 2005).

국내의 석유화학계 기초화학물 제조시설과 합성수지 및 기타 플라스틱물질 제조시설의 폐수성상을 Table 3에 정리하였다. 원폐수의 수질조사가 spot 샘플에 의한 단기간 조사로 이루어져 두 배출시설 모두 모든 수질항목에서 편차가 크게 나타났으나 수질평균치로 보아 합성수지 및 기타 플라스틱물질 제조시설이 석유화학계 기초화학물 제조시설보다 다소 고농도의 폐수가 발생하는 것으로 나타났다. 합성수지 및 기타 플라스틱물질 제조시설의 경우 한 업체에서 여러 제품을 생산하는 곳이 많아 생산제품별 폐수성상을 조사하기는 곤란하였다.

배출시설의 효율적인 관리를 위해서는 미국의 경우와 같이 해당산업을 하나의 대분류로 하고 다시 배출특성에 따라 세분류하는 것이 바람직하다. 하지만 국내의 석유화학산업의 배출시설 분류는 일본과 유사하게 제품종류에 따라 분류되어 있어 업체가 배출시설 허가/신고 시 해당하는 분류를 파악하기 용이하지 않다. 이러한 이유로 한 업체가 두개 이상의 배출시설로 허가/신고 되어 있는 경우가 많아

**Table 3.** Raw water quality

	PBCM	PSRM
BOD	517 <sup>a</sup> ± 571 <sup>b</sup>	1,232 ± 1,415
COD <sub>Mn</sub>	328 ± 249	479 ± 401
COD <sub>Cr</sub>	1,300 ± 1,320	3,818 ± 3,966
SS	149 ± 64.7	271 ± 492
TN	44.7 ± 29.1	43 ± 55
TP	2.48 ± 2.03	4 ± 4

Unit: mg/L, <sup>a</sup>average, <sup>b</sup>standard deviation

**Table 4.** Subcategory of PBCM and PSRM

Proposed subcategory in this study	EPA	Japan <sup>a</sup>
27: Petrochemical basic compound manufacturing	419 B, C	37
36: Plastics and synthetic resins manufacturing	414 A~H	33

<sup>a</sup>37: Petrochemical industry, 33: Synthetic resins manufacturing

해당관청에서 배출시설 분류로 업체를 관리하는데 곤란함을 겪고 있다. 따라서 현재 6개 시설로 분류되어 있는 석유화학계 산업을 하나의 대분류로 묶고 배출특성에 따라 세분류하는 것이 바람직하다고 사료된다. 그러나 현재의 분류체계를 다시 재정립하는 것은 곤란하므로 현재의 분류체계는 유지하면서 각각의 분류(대분류)를 세분류하고 각각의 분류에 대하여 상세한 해설을 명기하여 운영하는 것이 타당할 것으로 판단된다.

석유화학계 기초화학물 제조시설은 업체 수가 총 5개로 적어 석유정제와 나프타분해를 같이 하는 업체를 포함하여 하나의 시설로 분류하였다. 합성수지 및 기타 플라스틱물질 제조시설은 미국의 경우와 같이 단일제품을 생산하는 업체는 별도로 세분류하고 여러 제품을 생산하는 업체는 통합하여 세분류하는 것이 타당하다고 생각된다. 그러나 국내 해당시설의 대부분이 한 업체에서 여러 제품을 생산하고 생산품목별 생산량이 일정치 않으며 소규모 사업장 수가 매우 많은 점을 고려하여 기존과 동일하게 단일 분류하였다(Table 4).

### 3.2. BAT 평가

BAT 평가과정은 조사업체수가 많은 합성수지 및 기타 플라스틱물질 제조시설을 예시로 제시하였으며 석유화학계 기초화학물 제조시설에 대해서는 동일한 평가과정을 통해 선정된 BAT와 처리수질 수준만을 제시하였다.

#### 3.2.1. 오염원 특성

본 배출시설에서 발생하는 폐수의 일반오염물질(유기물 및 SS) 농도는 Table 3에 나타난 바와 같다. 질소와 인 농도는 일반적인 표준활성슬러지법과 응집침전처리로 충분히 제거될 수 있는 정도이었으며 유해오염물질 중 고농도로 배출되는 물질은 Toluene이었다. 따라서 본 연구에서는 대상배출시설의 주 처리대상오염물질을 일반오염물질의 COD<sub>Mn</sub>과 Toluene으로 선정하여 BAT를 평가하였다.

### 3.2.2. 후보기술

폐수처리공정을 기술별로 분류한 결과 Table 5와 같이 총 6개의 기술군으로 분류되었다.

**Table 5.** Technology options

Option	Treatment unit <sup>a</sup>
A	AP + SF
B	CP + AP
C	AP + SF + AC
D	CP + SF + AC
E	SF + RO + AP + SF
F	AD + AP

<sup>a</sup>AP: typical activated-sludge process, SF: sand filtration, CP: chemical precipitation, AC: activated carbon adsorption process, RO: reverse osmosis filtration, AD: anaerobic digestion process

각각의 기술들의 처리용량 평균으로부터 산정한 기준 처리용량은 1,000 m<sup>3</sup>/d로 이 값에 대응하는 각 기술들의 설치비용 및 운전비용 산출결과를 Table 6에 정리하였다. 표안의 계수  $k$ 는 기준 처리용량으로 환산하기 위한 설치용량 변환계수(김 등, 2005)로 처리용량변환식은 아래와 같으며 각 업체들의 해당 값을 식에 대입하여 산출하였다.

$$\frac{C_1}{C_2} = \left( \frac{V_1}{V_2} \right)^k \quad (1)$$

여기서,  $V_1$ 과  $V_2$ 는 처리용량을 나타내며,  $C_1$ 과  $C_2$ 는 각각의 설계처리용량에 대응하는 투자비용 또는 운전비용이다.

**Table 6.** Investment and O-M cost

Op-tion <sup>a</sup>	Invest-ment-cost <sup>b</sup>	O&M cost [1,000 WON/yr]				
		Sum	Chem-icals	Elec-trical	Sludge disposal	Others <sup>c</sup>
A	1,182,726	581,892	100,737	97,069	99,311	284,775
B	1,360,114	730,448	113,607	197,698	41,400	377,743
C	1,281,528	458,531	53,587	113,469	23,452	268,023
D	1,273,711	408,586	101,064	27,793	36,964	242,765
E	2,328,842	468,773	40,110	79,011	8,333	341,319
F	1,135,118	441,573	164,077	64,323	51,507	161,666
$k$	0.80	-	0.82	0.98	1	0.51

<sup>a</sup>Treatment capacity: 1,000 m<sup>3</sup>/d, <sup>b</sup>unit: 1,000 WON, <sup>c</sup>included with O&M labor cost

### 3.2.3. 법규 준용평가

법규 준용평가는 “나”지역 배출허용기준을 기준으로 평가하였다. 후보기술 모두 모든 수질항목을 배출기준 이내로 준수하고 있어 법규를 준용하는 수용 가능한 기술로 판단하였다.

### 3.2.4. 환경인자(비수질) 평가

처리시설에서 발생하는 악취 원인물질은 대부분 원폐수

에 함유되어 있는 VOCs로 대부분은 집수조 또는 처리공정에서 폭기 등에 의해 휘발된다고 가정할 수 있다(US EPA, 2000a, 2000b). 후보기술 모두 저류용량 1일 이상의 대용량의 집수조를 보유하고 있어 휘발되는 VOCs량의 기술간 차이는 적다고 판단된다. 기술F가 혐기성소화조에서 메탄, 황화수소 등의 악취가 발생하나 대기방지시설이 설치되어 있어 대기오염물질 배출은 없는 것으로 조사되어졌다. 한편 슬러지 발생량 및 에너지 사용량에 대해서도 기술 간에 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 따라서 후보기술 중 비수질 환경에 상대적으로 영향이 큰 기술은 없고 모든 기술이 수용 가능한 것으로 판단되었다.

### 3.2.5. 경제적 수용가능성 평가

경제적 수용가능성 평가는 식 (2)와 같이 대상기술 도입이 업체의 경상이익보다 큰 경우(AL 값이 0 이하가 됨) 업체가 폐쇄된다고 보고 업체 폐쇄로 인한 경제 파급효과를 검토하였다(김 등, 2005). 대상기술을 기존기술에 도입함으로써 발생하는 비용 증가분(IC) 산정 시 ‘기존기술’은 국내에 BAT 기준이 적용된 사례가 없어 정해진 기존기술이 없으므로 조사된 기술 중 가장 간단한 기술인 기술A를 기존기술로 가정하였다. 폐수배출시설 운영상의 손실보전분(CP)은 0으로 가정하였다. 구하여진 변수를 이용하여 각각의 후보기술의 AL 값을 산정한 결과 0 이하의 값을 갖는 업체는 없는 것으로 나타났다. 따라서 각 후보기술도입으로 인해 폐쇄되는 업체는 없으며 모든 후보기술이 경제적으로 수용 가능한 것으로 판단되었다.

$$AL = FE - IC/(1-CP) \quad (2)$$

여기서, AL은 수용한계치(Acceptable Limit), FE는 투자비용 상환기간 동안의 경상이익(Future Earning), IC는 대상기술을 기존기술에 도입함으로써 발생하는 비용증가분(Incremental Cost), CP는 폐수배출시설 운영상의 손실보전분(Percent Cost Pass-through)이다.

### 3.2.6. 기술적 인자 평가

각 후보기술별 처리수 수질을 Table 7에 정리하였으며, BAT 평가방안(김 등, 2005)에 따른 본 세분류배출시설의 COD<sub>Mn</sub>의 가치인자 척도와 기술별 가증가치인자 평가결과를 Table 8과 Table 9에 각각 나타내었다. 가증인자(WF)는 각 분야 전문가의 검증을 거쳐 선정된 값을 적용하였으며 처리효율은 Table 6에 근거하여 평가하였다. 그 외의 정성적 평가항목인 운전 및 유지관리용이성, 기존공정에의 도입 용이성, 처리성능의 안정성에 대해서는 전문가 평가결과 중 최고 및 최저 값을 제외한 나머지 값의 평균을 평가결과로 하였다.

기술A의 정성적 평가항목 점수는 기술A를 기존기술로 보고 운전 및 유지관리용이성과 처리성능의 안정성을 “보통”인 5점으로 하였으며 기존공정에의 도입 용이성은 기술A를 기존기술로 가정하였으므로 별다른 기술도입이 필요 없다고 판단하여 10점으로 하였다.

**Table 7.** Effluent qualities

Option	BOD [mg/L]	COD <sub>Mn</sub> [mg/L]	COD <sub>Cr</sub>		SS [mg/L]	TN [mg/L]	TP [mg/L]	Toluene		T-Toxicity [eq. mg/L]
			[mg/L]	[%] <sup>c</sup>				[μg/L]	[%] <sup>c</sup>	
A	16.4 <sup>a</sup> ± 15.4 <sup>b</sup>	47.7 ± 6.83	150.0 ± 172	96.9	16.1 ± 6.25	14.3 ± 14.3	1.92 ± 1.10	1.35 ± 0.212	98.1	1.017 ± 1.38
B	5.7 ± 4.60	20.1 ± 4.44	70.6 ± 27.2	98.5	21.3 ± 5.37	23.8 ± 18.4	1.01 ± 1.45	1.25	98.2	1.710 ± 2.09
C	5.4 ± 1.71	17.2 ± 5.13	49.8 -	99.0	10.9 ± 13.5	3.8 ± 3.47	0.88 ± 1.19	1.8 -	97.5	0.041 -
D	36.8 ± 17.8	30.7 ± 15.0	127 -	97.4	16.4 ± 5.34	10.9 -	0.02 -	2.0 -	97.2	0.070 -
E	21.3 ± 21.3	25.3 ± 10.5	22.6 -	98.0	10.8 ± 4.56	40.9 ± 14.8	0.49 ± 0.295	1.5 -	97.9	0.035 -
F	15.7 ± 7.94	22.9 ± 7.47	34.2 ± 12.6	99.3	18.2 ± 7.47	4.7 ± 3.09	2.35 ± 1.57	1.4 ± 0.499	98.0	3.579 ± 5.60

<sup>a</sup>Average, <sup>b</sup>Standard deviation, <sup>c</sup>Removal ratio

**Table 8.** Criteria for establishing value factors of treatment efficiency

	Value factor										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
COD <sub>Mn</sub> [mg/L]	≥ 71	71>, ≥ 61	61>, ≥ 51	51>, ≥ 41	41>, ≥ 31	31>, ≥ 21	21>, ≥ 16	16>, ≥ 11	11>, ≥ 6	6>, ≥ 1	1>

Note: Average concentrations (M) of the effluent COD<sub>Mn</sub> was 26 mg/L.

**Table 9.** Technical performance comparison results

Technology issues	Option A		Option B		Option C		Option D		Option E		Option F		
	WF	VF	WVF	VF	WVF	VF	WVF	VF	WVF	VF	WVF	VF	WVF
Treatment efficiency	60	3	180	6	360	6	360	5	300	5	300	5	300
Simplicity of O & M	15	5	75	4	60	5	75	5	75	4	60	5	75
Applicability to the existing facilities	10	10	100	8	80	9	90	7	70	5	50	6	60
Stability of performance	15	5	75	7	105	6	90	4	60	10	150	7	105
TWVF	430			605		615		505		560		540	

VF : value factor, WVF : weighted value factor = WF×VF

WF : weight factor, TWVF : sum of issue WVFs for an option (ΣWVFs)

기술B는 기술A에 비해 약품주입 등의 유지관리가 필요한 응집침전 처리공정이 있어 유지관리에 4점이 주어졌으며 응집침전 처리공정은 비교적 소규모이고 간단한 시설이므로 기존공정에의 도입 용이성은 8점이 주어졌다. 원수의 부하변동으로 인한 고부하유입 시에 대한 처리성능의 안정성은 응집침전처리공정의 유기물 제거효율을 고려하여 7점이 주어졌다.

기술C는 기술A에 활성탄 흡착처리 공정이 추가되어 있는 공정으로 유지관리 용이성은 기술A와 큰 차이가 없다고 판단하여 5점이 주어졌으며 활성탄 흡착처리 공정은 콤팩트하며 시공이 간단하므로 기존공정에의 도입 용이성에 9점이 주어졌다. 처리성능의 안정성은 기술A에 마무리 공정으로 활성탄 흡착처리 공정이 한 단계 더 추가되어 있는 점을 고려하여 6점이 주어졌다.

기술D는 SRT 관리 등이 필요한 생물학적 처리공정이 없는 대신 약품주입량관리가 필요한 응집침전 처리공정이 있어 운전 및 유지관리 용이성은 기술A와 같다고 판단하여 5점이 주어졌다. 기존공정에의 도입 용이성은 기술D의 단위공정들이 전부 소규모인데다 비교적 시공이 용이한 공정들이어서 기존공정에의 도입이 용이하다고 판단하여 7점이

주어졌다. 처리성능의 안정성은 체류시간이 긴 생물학적 처리공정이 없는 관계로 급격한 부하 변동 시 대응이 곤란하다고 판단하여 기술A보다 한 단계 낮은 4점이 주어졌다.

기술E는 기술A에 RO(Reverse Osmosis)가 추가되어 있는 기술로 RO의 유지관리를 고려하여 운전 및 유지관리 용이성에 기술A보다 한 단계 낮은 4점이 주어졌다. 기존공정에의 도입 용이성은 RO가 소규모에 시공이 간편하지만 고가인 점을 고려하여 타 후보기술보다 낮은 5점이 주어졌으며 처리성능의 안정성에는 부하변동의 영향이 작은 RO의 처리특성을 고려하여 10점이 주어졌다.

기술F는 생물학적 처리공정으로만 구성되어 있는 기술로 혐기성 소화조의 유지관리가 비교적 용이하다고 판단하여 운전 및 유지관리 용이성이 기술A와 유사하다고 판단하여 같은 5점이 주어졌다. 기존공정에의 도입 용이성은 혐기성 소화조가 비교적 규모가 큰 시설이므로 부지확보 등이 용이하지 않다고 판단하여 6점이 주어졌다. 처리성능의 안정성은 체류시간이 긴 두개의 생물학적 처리공정이 있어 부하변동에 강하나 마무리공정이 없는 점을 고려하여 7점이 주어졌다.

3.2.7. 총괄평가 및 BAT 선정

COD<sub>Mn</sub>에 대한 경제성 검토결과를 Table 10에 나타내었다. COD<sub>Mn</sub>에 대한 총가증가치인자(TWVF)값은 기술C가 가장 높았으나 연간 오염물질 제거량으로 보면 기술 간에 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 연간처리비용은 기술B만 기술A보다 높고 나머지 기술들은 기술A보다 낮은 것으로 나타났다. 특히 기술E는 Table 4에서 나타낸바와 같이 초기투자비용이 크지만 약품비 및 슬러지 처리비용 등의 운전비용이 작아 초기투자비용을 감가상각 년수로 나눠서 연간처리비용을 산정할 경우 오히려 타 기술보다 낮은 값을 갖는 것으로 나타났다.

Toluene 제거율은 모든 기술들이 97% 이상의 높은 제거 효율을 보이고 있으며 기술 간에 차이가 없는 것으로 나타났다. 연간 총독성치 배출량은 기술F와 기술B가 다소 높은 값을 보이고 있으나 타 후보기술과 비교하여 큰 차이가 없는 것으로 나타났다.

이상의 결과를 종합하여 판단한 결과 COD<sub>Mn</sub>에 대한 기술적 인자평가에서 상위에 있는 기술인 기술C, 기술B, 기술E 중 기술B는 경제성 및 총독성치 제거효율에서 뒤떨어지는 기술로 판단하여 제외하였다. 기술C와 기술E 중 가장 우수한 기술인 기술C가 기술E에 비해 경제성에서 큰 차이가 없으며 기술E는 초기투자비용이 커 기존기술에의 도입이 용이하지 않다고 판단하여 기술C를 최종 BAT로 선정하였다.

석유화학계 기초화합물 제조시설에 대해서도 동일한 평가과정을 거쳐 BAT를 도출하였다. 결과, 습식산화 + 응집침전처리 + 생물학적처리(폭기조) + 응집침전처리 조합의 기술이 BAT로 선정되었다.

Table 10. Cost effect evaluation for BAT selection

Option	TWVF	Removed COD a year [ton/yr]	Costs a year <sup>a</sup> [1,000 Won/yr]	Figure of merit <sup>b</sup> [1,000 Won/ton]
C	615	316.7	233,226	-
B	605	315.7	398,042	6,089
E	560	313.8	205,082	-
F	540	314.7	317,744	-
D	505	311.8	208,278	-
A	430	305.6	336,541	-

<sup>a</sup>The Cost includes annualized investment cost and O&M cost

<sup>b</sup>Each of values was compared with option A

3.2.8. BAT 기준

이상 도출된 각 배출시설의 BAT 처리수준을 Table 11에 정리하였다. 두 배출시설 모두 일반오염물질에서는 현행 배출허용기준보다 크게 낮은 처리수준을 보였으며 유해오염물질에서는 VOCs 중 Toluene과 증류수 등이 미량 검출되었을 뿐 POPs 물질은 검출되지 않았다.

4. 결론

석유화학관련 폐수배출시설 중 석유화학계 기초화합물

Table 11. BAT Effluent qualities

Pollutant	Unit	Category	
		27 <sup>a</sup>	36 <sup>b</sup>
BOD	[mg/L]	10.4	5.4±1.71
CODMn	[mg/L]	32.0	17.2±5.13
CODCr	[mg/L]	82.0	49.8
SS	[mg/L]	45.4	10.9±13.5
TN	[mg/L]	3.1	3.8±3.47
TP	[mg/L]	0.25	0.88±1.19
Cr	[mg/L]	N.D.	0.023
Cu	[mg/L]	N.D.	0.030
Pb	[mg/L]	N.D.	N.D.
Cd	[mg/L]	N.D.	0.03
Hg	[mg/L]	N.D.	N.D.
As	[mg/L]	N.D.	N.D.
PCBs	[ng/mL]	N.D.	N.D.
Benzene	[ng/mL]	84.1	N.D.
Chloroform	[ng/mL]	N.D.	N.D.
1,2-dichloroethane	[ng/mL]	1.2	N.D.
1,1,1-trichloroethane	[ng/mL]	N.D.	N.D.
Trichloroethylene	[ng/mL]	N.D.	N.D.
Toluene	[ng/mL]	30.7	1.50
Tetrachloroethylene	[ng/mL]	N.D.	N.D.
Ethylbenzene	[ng/mL]	1.7	N.D.
m,p-xylene	[ng/mL]	5.0	N.D.
Styrene	[ng/mL]	17.8	N.D.
1,4-dichlorobenzene	[ng/mL]	N.D.	N.D.
1,2,4-trichlorobenzene	[ng/mL]	N.D.	N.D.
Naphthalene	[ng/mL]	N.D.	N.D.
Benzo(a)pyrene	[ng/mL]	N.D.	N.D.
Pyrene	[ng/mL]	0.08	N.D.
4-chloro-3-methylphenol	[ng/mL]	N.D.	N.D.
2,4,6-trichlorophenol	[ng/mL]	N.D.	N.D.
2,4,5-trichlorophenol	[ng/mL]	N.D.	N.D.
2,3,4,6-tetrachlorophenol	[ng/mL]	N.D.	N.D.
pentachlorophenol	[ng/mL]	N.D.	N.D.
Hexachlorobenzene	[ng/mL]	N.D.	N.D.
Heptachlor	[ng/mL]	N.D.	N.D.
Aldrin	[ng/mL]	N.D.	N.D.
trans-chlordane	[ng/mL]	N.D.	N.D.
cis-chlordane	[ng/mL]	N.D.	N.D.
Dieldrin	[ng/mL]	N.D.	N.D.
Endrin	[ng/mL]	N.D.	N.D.
o,p'-DDT	[ng/mL]	N.D.	N.D.
p,p'-DDT	[ng/mL]	N.D.	N.D.
Mirex	[ng/mL]	N.D.	N.D.

Note: N.D. means not detected, <sup>a</sup>PBCM, <sup>b</sup>PSRM

제조시설과 합성수지 및 기타 플라스틱물질 제조시설에 대한 세분류 방안을 검토한 결과, 미국의 경우와 같이 석유화학산업을 하나의 대분류로 하고 그 안에 관련 산업을 폐수배출 특성과 생산제품에 따라 세분류하여 관리하는 것이 합리적이나 국내 배출분류상의 여건을 고려하여 세분류하지 않고 현행 분류를 유지하되 향후 합성수지 및 기타 플

라스틱물질 제조시설은 제품별로 세분류하여 관리하는 것이 타당한 것으로 조사되었다. 단 현재 두 시설의 구분을 혼동하여 등록되어 있는 경우가 많으므로 나프타분해 공정의 유무를 판단하여 두 시설의 구분을 명확히 하여 관리할 필요가 있다.

각 배출시설별 BAT를 선정하여 총 43개 수질항목에 대한 처리수준을 도출한 결과 두 시설 모두 현행 배출허용 기준보다 크게 낮은 수질을 보였으며 POPs 물질은 검출되지 않았다.

본 연구는 오염물질 처리공정에 대한 체계적 평가와 최적 처리공정 및 기술 도출에 적용할 수 있는 기틀을 제공하였으며 평가된 배출시설별 BAT 처리수준은 폐수배출시설별 처리기술 수준을 판단할 수 있는 평가자료 및 처리기술 수준에 근거한 업종별 폐수배출허용기준의 차등화 연구에 주요자료로 활용될 수 있을 것으로 사료된다. 이러한 BAT 평가는 향후 국내 업체들의 수처리 기술을 일층 향상시키는 견인차 역할과 환경부에서 추진하고 있는 산업폐수 관리체계 개선 및 21세기 산업폐수 관리정책 수립에 필요한 기초자료로 활용이 기대된다.

## 사 사

본 연구는 환경부 차세대핵심환경기술개발사업의 지원으로 수행되었습니다.

## 참고문헌

김영노, 임병진, 권오상, 처리기술수준 근거의 폐수배출허용

- 기준 설정을 위한 BAT평가 도입방안, 한국육수학회지, **38**(3), pp. 281-288 (2005).
- 일본 환경청, 수질오염방지법, <http://law.e-gov.go.jp/thmldata/s46/s45/s45ho138.html> (accessed Jun 2005).
- 일본 환경청, 내분비계장애물질에 대한 분석방법(Speed 98) (1998).
- 임재명, 이상호, 정재춘, 유태종, 이장훈, 원찬휘, 배해룡, 김동일, 산업폐수처리공학, 동화기술 pp. 382-399 (2003).
- 통계청, 한국표준산업분류, <http://www.nso.go.kr/newnso/standard/industry/industry.html> (accessed Jun 2005).
- 환경부, 수질오염공정시험방법 (2000).
- 환경부, 2001 폐수배출시설조사 (2002).
- APHA, *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 20th Edition*, American Public Health Association, Washington, D.C. (1998).
- European Commission (EC), *The Impact of Best Available Techniques (BAT) on the Competitiveness of European Industry* (2001).
- Hill, R., Lepow, S., Levine, M., Michaud, J., Neugeboren, S., Siciliano, C. and Witt, R., *Outline of Clean Water Act* (1996).
- US EPA, *Development Document for the Proposed Effluent Limitations Guidelines and Standards for the Iron and Steel Manufacturing Point Source Category* (2000a).
- US EPA, *Organic Chemicals, Plastics, and Synthetic Fibers Effluent Guidelines, 40 CFR part 414* (2005a).
- US EPA, *Petroleum Refining Point Source Category Effluent Guidelines, 40 CFR part 419* (2005b).
- US EPA, *Technical Development Document for the Final Action Regarding Pretreatment Standards for the Industrial Laundries Point Source Category* (2000b).