

# 업종별 산업폐수중 수질오염물질 배출 특성 및 개연성 평가 연구

## Study on Discharge Characteristics of Water Pollutants among Industrial Wastewater per Industrial Classification and the Probability Evaluation

안태웅 · 김원기 · 손대희\*<sup>†</sup> · 염익태\* · 김재훈\*\* · 유순주\*\*

Tae-ung Ahn · Won-ky Kim · Dae-hee Son\*<sup>†</sup>

Ick-tae Yeom\* · Jae-hoon Kim\*\* · Soon-ju Yu\*\*

(주)엔솔파트너스 · \*성균관대학교 무배출형환경설비지원센터 · \*\*국립환경과학원

Environment Solution Partners · \*SungKyunKwan University Zero Emission Center

\*\*National Institute of Environmental Research

(Received October 28, 2015; Revised January 5, 2016; Accepted January 25, 2016)

**Abstract :** Information on the lists of pollutants from industrial wastewater discharge are essential not only to specify the key pollutants to be managed in permission process but to design the treatment facilities by the dischargers. In this study, wastewater quality analysis was conducted for three industrial categories including the specified hazardous water pollutants. The general description of the wastewater occurrence, major sources, treatment facilities are also investigated to obtain integrated database on the pollutant inventories for the industrial categories. In addition Based on the analysis of raw wastewater and final effluent, the detected pollutant items are confirmed by analyzing their presence in the raw or supplement materials, the potential of formation as byproducts, and the possibility of inclusion as impurities. The three industrial categories include petrochemical basic compounds, basic organic compounds, and thermal power generation. The water pollutants emitted from petrochemical basic compound manufacturing facilities are 31 items including 16 specified hazardous water pollutants. Basic organic compound manufacturing facilities discharge 30 kinds of pollutants including 14 specified hazardous water pollutants. Thermal power generation facilities emit 20 pollutants, 8 specified hazardous water pollutants among them. These substances were decided as emission inventories of water pollutants finally through the probability evaluation. The compounds detected for each categories are screened through investigation on the possible causes of their occurrence and confirmed as the final water pollutant inventories.

**Key Words :** Industrial Wastewater, Water Pollutants, Specified Hazardous Water Pollutants, Discharge Inventories, Probability Evaluation

**요약 :** 업종별 수질오염물질 배출 목록은 산업폐수 배출시설을 인허가할 때, 해당 시설 또는 업종에서 관리해야 하는 배출 가능한 수질오염물질을 정확히 검토하기 위함은 물론이고, 오염방지시설의 설계에도 필수적인 가장 기초적인 자료이다. 본 연구에서는 우리나라 폐수배출시설 3개 업종을 대상으로 수질오염물질 배출목록을 작성하기 위하여 해당 사업장의 일반현황 및 처리시설 운영 등에 대한 기초자료 수집과 해당 사업장에서 배출하고 있는 산업폐수중 특정수질유해물질을 비롯한 수질오염물질에 대한 수질 분석을 수행하였다. 본 연구의 조사대상 업종별 수질오염물질 배출목록을 확정하기 위해서 정상적인 시설운영 과정에서 해당물질이 폐수중으로 실제 배출될 수 있는 개연성을 확인하였다. 이를 위해, 먼저 원폐수 및 최종 배출수의 시료 분석에서 검출된 모든 수질오염물질을 평가대상으로 하고, 검출되지 않은 물질은 대상에서 제외한다. 다음으로 이들 평가대상 수질오염물질에 대하여 제조공정상에서 사용하는 각종 원료, 부원료, 불순물 등에서 포함될 가능성을 확인하고, 여기에서 확인될 경우 수질오염물질 배출목록으로 확정한다. 본 연구에서는 3개 업종을 대상으로 하였으며, 석유화학계 기초화합물 제조시설은 조사대상 물질 42종 중 특정수질유해물질 16종을 포함한 31종, 기타 기초유기화합물 제조시설은 특정수질유해물질 14종을 포함한 30종, 화력발전시설은 특정수질유해물질 8종을 포함한 20종의 수질오염물질이 배출목록으로 확정되었다. 본 연구에서는 수질분석과 개연성 평가를 통해 보다 객관적이고 타당성 있는 업종별 수질오염물질 배출목록을 작성하였다.

**주제어 :** 산업폐수, 수질오염물질, 특정수질유해물질, 배출목록, 개연성 평가

### 1. 서론

시대의 흐름에 따라 산업 구조가 개편되고 산업 시설에서 배출하는 물질도 점차 다양화되어 가고 있다. 우리나라에서는 매년 400여종 이상의 화학물질이 신규 제조·수입되고 있고 현재 4만종 이상의 화학물질이 유통되고 있는 것으로 알려져 있다.<sup>1)</sup> 시대에 따라 변화하는 산업폐수 배출 실정에 맞는 관리를 위해서는 업종별, 지역별, 규모별 폐수

특성을 반영한 차등화 된 관리체계가 요구된다.<sup>2)</sup> 또한 김 등은 수질오염총량관리제도와 같이 변화하는 수질오염 관리체제와 병행함으로써, 다양하게 설정된 수질 관련 기준들이 수질목표 달성이라는 하나 된 목표 하에서 조화를 이루어 가야 한다고 하였다.<sup>3)</sup> 국내 수계의 수질오염 방지를 위한 법으로 수질 및 수생태계 보전에 관한 법률, 하수도법 등이 시행 중이며, 특히 산업폐수는 배출허용기준을 통하여 관리되고 있다.<sup>4)</sup>

<sup>†</sup> Corresponding author E-mail: dhson@skku.edu Tel: 031-299-6684 Fax: 031-299-6683

수질 및 수생태계 보전에 관한 법률에서 정한 배출허용 기준은 그 대상물질이 지속적으로 확대되어 왔고, 현재 수질오염물질은 53종, 특정수질유해물질은 28종의 물질이 관리되고 있다.<sup>5)</sup> 우리나라의 특정수질유해물질 항목은 2000년 이전의 17종에서 2014년 28종으로 증가하였지만, 미국의 우선관리대상 물질 126종, 유럽 33종 항목에 비추어 관리대상 물질의 확대가 필요하다.

최근 환경부는 폐수배출량이 2천 m<sup>3</sup>/일 이상인 업체 330개소 중 318개의 업체를 대상으로 특정수질유해물질 관리실태를 조사한 결과, 전체 조사대상 318개 업체 중 절반이 넘는 163개 업체(52%)에서 허가받지 않은 특정수질유해물질을 배출하였으며, 3개 업체(2개 업체는 163개에 포함)는 배출허용기준을 초과한 것으로 나타났다. 또한 특정수질유해물질 배출실태 조사결과, 전체 60개소 중 73% (44개소)에서 허가받지 않은 특정수질유해물질이 검출된 것으로 확인되었다.<sup>6)</sup> 이는 허가대상자의 고의적인 의도보다는 해당 시설 또는 업종에 대해 허가담당자가 참고할 수 있는 기초자료의 부족이 한 원인으로 여겨진다. 실제로 우리나라에서 업종별로 폐수 중으로 배출 가능한 수질오염물질을 확인할 수 있는 체계적인 자료가 미비하고, 일부 관련 연구 자료에 한정되어 있다. 따라서 정확한 배출시설관리와 수질오염물질 배출을 억제하기 위해서는 특정수질유해물질을 포함한 수질오염물질의 배출여부를 세밀히 파악하고 이를 관리현장에서 손쉽게 이용할 수 있도록 배출목록으로 제공하는 것이 필요하다.

미국의 경우, 폐수를 배출하고자 하는 배출시설은 배출하는 물질, 폐수의 처리기술, 최종적으로 배출하는 오염물질의 양을 신고하고 연방 정부와 주정부는 이용 가능한 오염물질 처리기술과 폐수를 받아들이는 수체의 용수 보호와 수질 유지를 고려하여 배출허용량을 결정해주는 시스템을 갖추고 있다.<sup>7,8)</sup> 미국의 배출허용기준은 철저하게 산업 중심에 맞추어져 있다. 업소의 소재 지역에 상관없이 동일 업종 내 오염물질 저감이 최적으로 이루어지는 기술에 근거하여 설정된다. 따라서 비슷한 종류의 배출시설은 같은 규제를 받게 되는 것이다. 미국의 업종별 배출허용기준 설정시 기술에 근거한 배출허용기준을 고려하는 경우에는 업종별 폐수특성의 차이와 기술성능 등을 반영하고 경제적 영향을 고려하여 설정하는 것이 원칙이다. 하지만 업종별 폐수특성을 파악하고 그 기술성능을 파악하기 위해서는 각 산업 업종의 개별 사업장에 대한 해당 오염물질이나 유해물질에 대한 다년간의 모니터링 결과가 충분해야 그 결과를 도출할 수 있다. 미국은 개별 사업장의 인·허가 단계 및 허가갱신제도에 의하여 해당 사업장에 대한 관련된 수질유해물질 전체에 대한 실측 데이터가 필수조건으로 수집되고 있기 때문에 배출허용기준에 대한 보다 합리적이고 과학적인 접근이 가능하였다.

Lee 등<sup>9-11)</sup>은 수질오염물질의 업종별 배출실태자료가 부족할 경우 인·허가 시 배출물질이 누락될 수 있어 수질오염물질 배출실태조사를 통하여 업종별 배출목록 도출이 필

요하다고 언급한 바 있다. 이는 수질오염의 사전예방·관리강화를 위해 폐수배출시설 인·허가 단계에서부터 폐수배출시설의 수질오염물질에 대한 배출관리가 필요하기 때문이다. 본 연구의 목적은 업종별로 폐수중의 수질오염물질을 조사하고, 검출된 수질오염물질에 대해 실제 배출가능성을 평가하여 최종적으로 업종별 수질오염물질 배출목록을 제시함으로써, 배출시설의 관리와 수질오염물질 배출억제를 위해 활용 가능한 기초자료를 마련하는데 있다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1. 조사대상 사업장 선정 및 분석방법

조사대상 사업장은 규모별과 방류형태별로 구분하였다. 규모별 선정기준은 폐수배출량에 따라 1~4종 사업장을 크게 분포시켰고 5종사업장은 제외하였다. 방류형태별 선정기준은 개별처리 후 직접방류, 개별처리(또는 원폐수) 후 산업단지(농공단지) 폐수종말처리시설 유입처리, 개별처리(또는 원폐수) 후 하수종말처리시설 유입처리로 구분하여 선정하였다. 대상 업종별로 석유화학계 기초화합물 제조시설 10개소, 기타 기초유기화합물 제조시설 9개소, 화력발전 시설 10개소를 선정하였다.

Table 1. Analysis methods for water pollutants

| Item  | Methods   |
|---|---|
| BOD   | 20°C 5days cultivation & check DO before incubation and after incubation DO                                 |
| COD   | KMnO <sub>4</sub> method at 100°C   |
| SS  | Vacuum Filtration (Glass Fiber Filters, GF/C)   |
| T-N   | Continuous Flow Analysis (CFA)  |
| T-P   |   |
| Cu, Cr, Mn, Fe, Ni, Zn, As, Se, Ba, Pb, Hg  | ICP (Inductively coupled plasma)/ OES (optical emission spectrometry), AAS (Atomic Absorption Spectrometry) |
| Cr <sup>+6</sup>  | Continuous Flow Analysis (CFA)  |
| TCE, PCE, Benzene, Dichloromethane, Carbon tetrachloride, 1,1-Dichloroethylene, 1,2-Dichloroethane, Chloroform, Vinyl chloride, Acrylonitrile, Bromoform, Naphthalene, Toluene, Xylene, 1,4-Dioxane | HS (Headspace)& GC/MS (Gas Chromatograph/ Mass Spectrometer)  |
| Formaldehyde  | HS&GC/MS (Derivatization)   |
| DEHP  | LLE (Liquid Liquid Extraction)-GC/MS  |
| Epichlorohydrin   |   |
| CN, Phenols, ABS  | Continuous Flow Analysis (CFA)  |
| Fluoride, Perchlorate   | Ion chromatography (IC), LC (Liquid chromatography)/ MS (mass spectrometry)                                 |
| Normal-hexane extract   | LLE (Liquid Liquid Extraction)  |

시료운반 방법은 「환경분야 시험·검사 등에 관한 법률」 제6조에 따라 수질오염공정시험기준(환경부고시 제2011-103호 및 제2012-99호)의 시료의 채취 및 보존방법(Collection and Preservation of Samples)에 준하였다.

수질오염물질 분석항목은 2014년 현재 53종의 수질오염물질 중에서 일반물질 4종(유기물질(BOD, COD), SS, T-N, T-P)과 수질유해물질 38종(노말핵산추출물질, 불소, 페놀, 시안, 구리, 카드뮴, 납 등)을 조사대상지점별로 2회(여름, 겨울) 분석하였다. 시료분석은 수질오염공정시험기준(환경부고시 제2011-103호 및 제2012-99호)에 따라 각 항목별로 분석하였다. 수질오염물질 항목별 분석 방법을 Table 1에 나타내었다.

## 2.2. 수질오염물질 배출목록 작성 방법

업종별 조사대상 사업장 현장조사 및 시료분석 결과를 토대로 산업폐수 업종별 수질오염물질 배출목록을 작성하였다. 현장조사에서는 조사대상 업종의 사업장별 폐수처리현황, 허가서, 사용원료, 폐수배출량, 폐수방류량, 생산품목 등의 자료를 수집하고 원폐수와 방류수를 채취하여 각 사업장의 원폐수 및 방류수 분석결과를 토대로 업종별 조사대상 사업장 중 1개소라도 검출되는 수질오염물질은 1차적으로 배출목록 작성대상에 모두 포함하였다.

## 2.3. 업종별 배출물질의 개연성 평가 절차

폐수배출시설에서 배출 가능성이 있는 수질오염물질은 일차적으로 수질분석을 통해 확인하는 것이 가장 일반적인 방법이다. 그러나 사업장내 비정상적인 상황에서 일시적으로 검출된 수질오염물질이 배출목록 작성 대상 물질로 분

류되는 오류를 피하고 정확한 업종별로 배출가능성이 높은 물질을 확인하기 위한 절차가 반드시 필요하다. 본 연구에서는 이를 위해 수질오염물질의 배출 개연성 평가 절차를 Fig. 1과 같이 제안하였다.

업종별 배출물질에 대한 개연성 평가는 우선 업종별 조사대상 사업장에서 검출된 수질오염물질 목록에서 시작된다. 업종별 각 사업장의 원폐수 및 최종 배출수 분석 결과를 토대로 수질오염물질이 검출된 모든 물질은 개연성 평가의 대상이 되고, 원폐수 및 배출수에서 검출되지 않은 물질은 업종별 수질오염물질 배출목록에서 제외한다. 작성된 배출목록에 포함된 수질오염물질에 대하여 원료, 부원료, 원료 불순물 등의 포함가능성 여부를 확인하고 확인된 물질은 수질오염물질 배출목록으로 확정한다. 두 번째로는 배출된 물질이 원료, 부원료 등에 포함 가능성이 낮은 경우와 배출물질에 대한 원인이 파악되지 않은 경우에는 조사대상 업종 외 시설을 확인하고 복수시설에 대한 영향, 중간반응물질 검토, 기존 연구자료 결과 검토, 사업장 자체분석 자료 확인한다. 이들 자료에도 포함되지 않은 물질에 대해서는 사용 증인 용수 등을 최종 확인하여 개연성을 검토한다. 개연성 평가 절차에 따라 분석 결과 및 연구자료 검토를 통해 개연성을 확인되면 수질오염물질 배출목록으로 확정한다. 이 때, 개연성 평가를 완료하고도 확인되지 않는 배출물질은 기타 요인인자를 추가적으로 검토하여 확인 후 현장 평가 등을 통해 개연성을 확인해야 한다. 마지막으로 수질오염물질에 대한 개연성 평가를 통해 배출목록이 확정되면 국외(미국, 유럽 등)의 조사대상 업종과 배출목록 비교 평가를 최종적으로 수행한다.

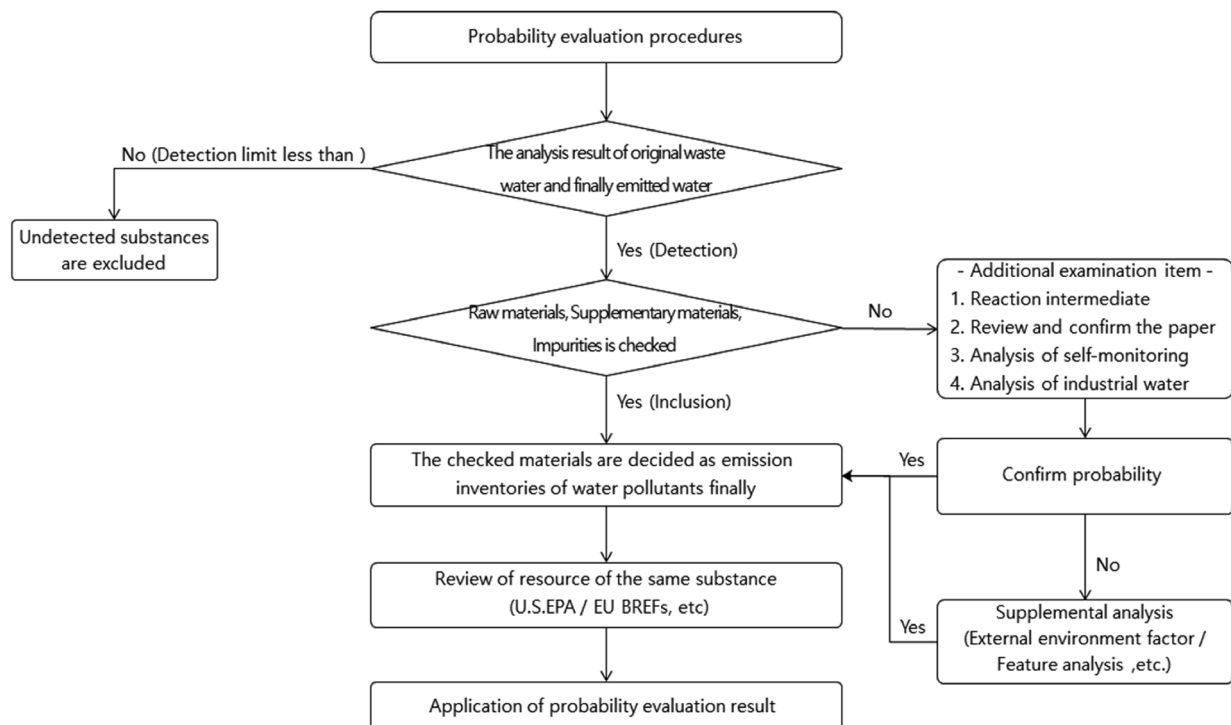


Fig 1. Probability evaluation procedures of water pollutants from industrial wastewater treatment.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1. 조사대상 업종별 특성 조사결과

##### 3.1.1. 석유화학계 기초화합물 제조시설

석유화학계 기초화합물 제조시설은 석유 또는 석유부생 가스 중에 함유된 탄화수소를 분해·분리 또는 기타 화학 처리하여 석유화학계 기초제품과 그 유도체를 생산하는 산업 활동이다. 또한 석유화학공업은 석유계 탄화수소를 화학적 가공에 의해 기초원료(에틸렌, 프로필렌 등)나 화학공업용중간체(아세트알데하이드, 산화에틸렌, 벤젠 등), 특히 폴리에틸렌, 폴리스타이렌, 폴리염화비닐수지 등의 석유계 탄화수소로부터 유도되는 최종제품을 제조하는 공업을 말한다. 주요 생산품으로는 이들의 기초원료, 중간제품, 최종 제품 등은 모두 석유화학 제품이다.<sup>12)</sup>

석유화학계 기초화합물 제조시설은 2011년을 기준으로 50개소의 사업장이 가동 중에 있으며, 규모별로는 1종 34%, 2종 26%, 3종 18%, 4종 10%, 5종 12%로 확인되었다. 처리형태는 직접 배출은 24%, 간접 배출이 76%이며, 방류량은 1종이 104,373 m<sup>3</sup>/일로 가장 높은 것으로 나타났다. 폐수 배출 외에도 석유화학계 기초화합물 제조시설은 냉각수, 공정용수 등으로 많은 공업용수를 사용하고 있는 산업 업종이다.

석유화학계 기초화합물 제조시설의 조사대상 사업장은 10개소이며, 규모별로는 1종이 6개소, 2종이 2개소, 3종과 4종이 각각 1개소로 확인되었다. 처리형태는 개별처리 후 직접 방류가 3개소, 개별처리 후 산업단지 폐수종말처리시설 유입처리 3개소 등으로 나타났다. 처리방법별로 구분하면, 물리적 처리만 하는 사업장은 1개소였으며, 물리+화학+생물 처리방법이 6개소였다.

##### 3.1.2. 기타 기초유기화합물 제조시설

기타 기초유기화합물 제조시설은 석유화학계, 석탄화합물, 착색제 및 비료를 제외한 기타 기초유기화합물을 제조하는 산업 활동이다. 주요 생산품은 우레인, 효소, 무기산 에스테르, 알콜, 페놀, 유기 황화합물, 과산화알콜, 과산화에틸, 에폭시드아세탈 등이다.<sup>13)</sup> 기타 기초유기화합물 제조시설에서 배출되는 폐수는 주로 제품을 조제하는 과정 중 반응시설, 흡수, 여과, 저장, 혼합과정, 세척 등의 과정에서 배출되며 생산제품이나 원료에 따라 공정이 다양하고 폐수 배출과정이 다른 것으로 조사되었다.

기타 기초유기화합물 제조시설은 2011년을 기준으로 63개 업체가 가동 중에 있으며, 규모별로는 1종 11%, 2종 10%, 3종 13%, 4종 16%, 5종 51%로 조사되었다. 처리형태는 직접 배출은 19%, 간접 배출이 81%이며, 방류량은 1종이 45,427 m<sup>3</sup>/일로 가장 높고 5종이 241 m<sup>3</sup>/일로 가장 낮은 것으로 확인되었다.

기타 기초유기화합물 제조시설의 조사대상 사업장은 9개소이며, 규모별로는 1종이 1개소, 2종이 3개소, 3종이 2개소, 4종이 3개소였다. 처리형태는 개별처리 후 직접 방류가 5개소, 개별처리 후 산업단지 폐수종말처리시설 유입처리 4

개소로 나타났다. 처리방법별로 구분하면, 물리+화학적 처리하는 사업장은 4개소였으며, 물리+화학+생물 처리방법이 3개소였다.

##### 3.1.3. 화력발전시설

화력발전시설은 화력 발전은 석유·석탄·가스 등의 화석연료의 연소를 통해 생성된 열에너지를 원동기에 의하여 기계에너지로 바꾸고, 발전기를 회전시켜서 기계에너지를 전기에너지로 변환시키는 발전 시스템이며, 전기를 직접 생산하고 특정지역까지 송전하여 이용자에게 전기를 공급, 판매하는 전 과정의 산업 활동이다.<sup>14)</sup> 화력발전시설에서의 폐수 배출원은 발전시설과 산업시설의 폐가스·분진·세정·응축시설, 산업시설의 정수시설에서 배출되고 있다. 화력발전시설에 사용되는 주원료는 액화천연가스(LNG, liquefied natural gas)와 경유이며 용수는 정수시설에 많이 쓰인다. 폐수가 배출되는 과정은 발전시설, 세정집진시설, 정수시설이 있으며 그 중에서 세정폐수가 대부분을 차지한다.

화력발전시설의 조사대상 사업장은 9개소이며, 2011년을 기준으로 53개 업체가 가동 중에 있다. 사업장 규모별로는 1종 26%, 2종 32%, 3종 23%, 4종 13%, 5종 6%로 조사되었다. 처리형태는 직접 배출은 58%, 간접 배출이 42%이며, 방류량은 1종이 28,231 m<sup>3</sup>/일로 가장 높고 5종이 49 m<sup>3</sup>/일로 가장 낮은 것으로 조사되었다.

화력발전시설의 조사대상 사업장은 10개소이며, 규모별로는 1종이 2개소, 2종이 3개소, 3종이 3개소, 4종이 2개소였다. 처리형태는 개별처리 후 직접 방류가 4개소, 개별처리 후 하수종말처리시설 유입처리 5개소였다. 처리방법은 조사대상 사업장 모두 물리+화학적 처리를 하는 것으로 조사되었다.

#### 3.2. 산업폐수 업종별 수질오염물질 배출목록 조사결과

본 연구에서는 3개 업종을 대상으로 일반물질 4종과 수질유해물질 38종을 분석하였으며, 그 결과를 토대로 업종별 수질오염물질 배출목록을 작성하였다. 배출목록 구축 시 조사대상 사업장 중 1개소라도 검출되는 수질오염물질이 있으면 모두 포함하였다. 수질오염물질을 배출 및 미배출로 구분하여 나타내었다.

##### 3.2.1. 석유화학계 기초화합물 제조시설

석유화학계 기초화합물 제조시설의 수질오염물질 배출목록은 조사대상 물질 42종 중 특정수질유해물질 16종(구리, 납, 비소, 벤젠 등), 특정수질유해물질을 제외한 수질오염물질 15종(BOD, COD 등)으로 총 31종이 포함되었다.

석유화학계 기초화합물 제조시설의 수질오염물질 배출목록에 대한 검출사업장 및 제거효율을 Table 2에 나타내었다.

조사대상 사업장 10개소 중 수질오염물질이 10개소 모두 검출된 물질은 BOD, COD<sub>Mn</sub>, SS, T-N, T-P, Phenols, Fe, Zn, Formaldehyde로 9개의 항목으로 확인되었다.

조사대상 사업장에서 검출되지 않은 수질오염물질은 음이온계면활성제(ABS), 카드뮴(Cd), 트리클로로에틸렌(TCE),

**Table 2.** Analysis of water quality and evaluation of pollutant removal efficiency in Petrochemical Basic Compound Manufacturing Facilities

| Emission inventories of water pollutants            | Industrial wastewater (mg/L) | Removal efficiency (%) | Detection rate (Detection / Total) |
|---|------------------------------|------------------------|------------------------------------|
| BOD   | 523.1 (1.3~1,467.0)          | 90.2 (49.8~99.0)       | 100% (10/10)                       |
| COD   | 767.5 (3.0~1,679.1)          | 78.0 (13.3~98.1)       | 100% (10/10)                       |
| SS  | 436.3 (9.0~3,440.0)          | 76.3 (8.9~98.1)        | 100% (10/10)                       |
| T-N   | 26.98 (0.44~102.50)          | 73.2 (31.5~91.2)       | 100% (10/10)                       |
| T-P   | 63.419 (0.244~575.0)         | 65.4 (2.7~99.9)        | 100% (10/10)                       |
| Water pollutants (mineral oil)                      |                              |                        |                                    |
| normal-hexane extract                               | 0.930 (N,D~6,650)            | 100.0 (100.0)          | 30% (3/10)                         |
| Water pollutants (exclude specific toxic substance) |                              |                        |                                    |
| normal-hexane extract (animals and plants)          | 7.719 (N,D~46,650)           | 98.7 (92.0~100.0)      | 60% (6/10)                         |
| F   | 0.0402 (N,D~0.3336)          | 63.0 (59.3~66.7)       | 20% (2/10)                         |
| Cr  | 0.047 (N,D~0.274)            | 66.7 (0.0~100.0)       | 60% (6/10)                         |
| Fe  | 10.871 (0.350~61.449)        | 78.5 (44.9~100.0)      | 100% (10/10)                       |
| Zn  | 0.384 (0.064~1.387)          | 80.0 (21.7~100.0)      | 100% (10/10)                       |
| Mn  | 0.0512 (N,D~2.982)           | 61.8 (0.0~100.0)       | 90% (9/10)                         |
| Ni  | 0.035 (N,D~0.250)            | 96.0 (88.0~100.0)      | 30% (3/10)                         |
| Ba  | 0.021 (N,D~0.084)            | 48.2 (0.0~100.0)       | 80% (8/10)                         |
| Toluene   | 1.1753 (N,D~9.4831)          | 100.0 (100.0)          | 50% (5/10)                         |
| Xylene  | 0.0802 (N,D~0.4929)          | 100.0 (100.0)          | 30% (3/10)                         |
| Specific toxic substance                            |                              |                        |                                    |
| Phenols   | 1.8654 (0.0096~6.1090)       | 93.1 (31.3~100.0)      | 100% (10/10)                       |
| CN  | 0.0106 (N,D~0.0590)          | 53.1 (0.0~100.0)       | 40% (4/10)                         |
| Cr <sup>6+</sup>                                    | 0.003 (N,D~0.0210)           | 100.0 (100.0)          | 20% (2/10)                         |
| Hg  | 0.0004 (N,D~0.0016)          | 100.0 (100.0)          | 30% (3/10)                         |
| As  | 0.0121 (N,D~0.0894)          | 91.6 (58.3~100.0)      | 90% (9/10)                         |
| Cu  | 0.275 (N,D~2.572)            | 86.3 (4.2~100.0)       | 70% (7/10)                         |
| Pb  | 0.0024 (N,D~0.235)           | 100.0 (100.0)          | 10% (1/10)                         |
| Se  | 0.0086 (N,D~0.0232)          | 35.9 (0.0~80.2)        | 90% (9/10)                         |
| PCE   | 0.0015 (N,D~0.0146)          | 100.0 (100.0)          | 10% (1/10)                         |
| Benzene   | 0.4129 (N,D~2.1539)          | 99.5 (96.8~100.0)      | 70% (7/10)                         |
| Carbon tetrachloride                                | 0.009 (N,D~0.089)            | 100.0 (100.0)          | 10% (1/10)                         |
| 1,4-Dioxane   | 0.166 (N,D~1.3539)           | 26.3 (0.0~39.6)        | 30% (3/10)                         |
| DEHP  | 0.019 (N,D~0.0715)           | 79.5 (0.0~100.0)       | 90% (9/10)                         |
| Naphthalene   | 0.0359 (N,D~0.2652)          | 100.0 (100.0)          | 40% (4/10)                         |
| Formaldehyde  | 0.6824 (0.0046~5.1805)       | 80.9 (0.0~100.0)       | 100% (10/10)                       |
| Epichlorohydrin                                     | 0.0042 (N,D~0.0295)          | 100.0 (100.0)          | 30% (3/10)                         |

\* N,D (Not Detected) = Detection limit less than

디클로로메탄(Dichloromethane), 1,1-디클로로에틸렌(1,1-Dichloroethylene), 1,2-디클로로에탄(1,2-Dichloroethane), 클로로포름(Chloroform), 염화비닐(Vinylchloride), 아크릴로니트릴(Acrylonitrile), 브로모포름(Bromoform), 유기인 등 11종이었다.

### 3.2.2. 기타 기초유기화합물 제조시설

기타 기초유기화합물 제조시설의 수질오염물질 배출목록은 조사대상 물질 42종 중 특정수질유해물질 14종(구리, 납, 비소, 벤젠 등), 특정수질유해물질을 제외한 수질오염물질 16종(BOD, COD 등)으로 총 30종이 포함되었다. 기타 기초유기화합물 제조시설의 수질오염물질 배출목록에 대한 검출사업장 및 제거효율을 Table 3에 나타내었다.

조사대상 사업장에서 검출되지 않은 수질오염물질은 카드뮴(Cd), 테트라클로로에틸렌(PCE), 사염화탄소(Carbon-tetrachloride), 트리클로로에틸렌(TCE), 1,1-디클로로에틸렌(1,1-Dichloroethylene), 1,2-디클로로에탄(1,2-Dichloroethane),

**Table 3.** Analysis of water quality and evaluation of pollutant removal efficiency in Basic Organic Compound Manufacturing Facilities

| Emission inventories of water pollutants            | Industrial wastewater (mg/L) | Removal efficiency(%) | Detection rate (Detection / Total) |
|---|------------------------------|-----------------------|------------------------------------|
| BOD   | 9,711.8 (5.1~83,250.0)       | 70.9 (230.5~99.9)     | 100% (9/9)                         |
| COD   | 16,623.8 (9.5~143,280.0)     | 68.1 (3.20~98.9)      | 100% (9/9)                         |
| SS  | 329.1 (8.4~800.0)            | 80.1 (44.4~99.6)      | 100% (9/9)                         |
| T-N   | 127.9 (3.29~660.0)           | 46.6 (4.0~97.5)       | 100% (9/9)                         |
| T-P   | 2.59 (0.075~11.380)          | 57.0 (3.1~99.5)       | 100% (9/9)                         |
| Water pollutants (exclude specific toxic substance) |                              |                       |                                    |
| normal-hexane extract (mineral oil)                 | 2,822 (N,D~18,300)           | 100.0 (100.0)         | 33.3% (3/9)                        |
| Water pollutants (exclude specific toxic substance) |                              |                       |                                    |
| normal-hexane extract (animals and plants)          | 21,644 (N,D~79,800)          | 89.9 (20.5~100.0)     | 88.8% (8/9)                        |
| F   | 0.0107 (N,D~0.0962)          | 75.2 (75.2)           | 11.1% (1/9)                        |
| ABS   | 1,7694 (N,D~15,6650)         | 84.6 (69.2~100.0)     | 22.2% (2/9)                        |
| Cr  | 0.544 (N,D~4.385)            | 99.0 (95.0~100.0)     | 66.6% (6/9)                        |
| Fe  | 7.25 (0.156~46.835)          | 85.4 (55.4~99.0)      | 100% (9/9)                         |
| Zn  | 0.251 (0.012~0.490)          | 59.5 (0.0~100.0)      | 100% (9/9)                         |
| Mn  | 2.022 (N,D~16.704)           | 61.5 (0.0~100.0)      | 77.7% (7/9)                        |
| Ni  | 2.301 (N,D~20.103)           | 74.3 (0.0~100.0)      | 44.4% (4/9)                        |
| Ba  | 3.668 (N,D~27.826)           | 38.7 (0.0~97.7)       | 88.8% (8/9)                        |
| Toluene   | 0.0311 (N,D~0.2035)          | 100.0 (100.0)         | 44.4% (4/9)                        |
| Xylene  | 0.009 (N,D~0.0085)           | 100.0 (100.0)         | 11.1% (1/9)                        |
| Specific toxic substance                            |                              |                       |                                    |
| Phenols   | 1,9208 (N,D~16.4100)         | 94.5 (73.1~100.0)     | 66.6% (6/9)                        |
| CN  | 0.0004 (N,D~0.0035)          | 100.0 (100.0)         | 11.1% (1/9)                        |
| Cr <sup>6+</sup>                                    | 0.0702 (N,D~0.6235)          | 99.7 (99.3~100.0)     | 22.2% (2/9)                        |
| Hg  | 0.001 (N,D~0.0022)           | 100.0 (100.0)         | 55.5% (5/9)                        |
| As  | 0.007 (N,D~0.0435)           | 67.8 (4.2~100.0)      | 55.5% (5/9)                        |
| Cu  | 1,561 (N,D~6.902)            | 87.0 (36.4~100.0)     | 88.8% (8/9)                        |
| Pb  | 2,320 (N,D~20.878)           | 100.0 (100.0)         | 11.1% (1/9)                        |
| Se  | 0.0029 (N,D~0.0084)          | 37.9 (6.3~100.0)      | 66.6% (6/9)                        |
| Benzene   | 0.0051 (N,D~0.0322)          | 81.6 (63.3~100.0)     | 22.2% (2/9)                        |
| Dichloromethane                                     | 0.0012 (N,D~0.0106)          | 100.0 (100.0)         | 11.1% (1/9)                        |
| 1,4-Dioxane   | 0.0033 (N,D~0.0296)          | 11.8 (11.8)           | 11.1% (1/9)                        |
| DEHP  | 0.0324 (N,D~0.2594)          | 76.9 (31.4~100.0)     | 33.3% (3/9)                        |
| Formaldehyde  | 0.189 (0.0031~1.4419)        | 69.6 (16.5~100.0)     | 100% (9/9)                         |
| Epichlorohydrin                                     | 0.2141 (N,D~1.9000)          | 96.9 (87.6~100.0)     | 44.4% (4/9)                        |

\* N,D (Not Detected) = Detection limit less than

클로로포름(Chloroform), 염화비닐(Vinylchloride), 아크릴로 니트릴(Acrylonitrile), 브로모포름(Bromoform), 나프탈렌(Naphthalene), 유기인 등 12종이었다.

### 3.2.3. 화력발전시설

화력발전시설의 수질오염물질 배출목록은 조사대상 물질 42종 중 특정수질유해물질 8종(구리, 비소, 수은 등), 특정 수질유해물질을 제외한 수질오염물질 12종(BOD, COD 등) 으로 총 20종이 포함되었다.

화력발전시설의 수질오염물질 배출목록에 대한 검출사업 장 및 제거효율을 Table 4에 나타내었다.

화력발전시설에서 수질오염물질 중 원폐수에서 검출되지 않은 물질은 노말핵산추출물질(광유류, 동식물성유지류), 시안(CN), 음이온계면활성제(ABS), 6가 크롬(Cr<sup>6+</sup>), 카드뮴(Cd), 납(Pb), 트리클로로에틸렌(TCE), 테트라클로로에틸렌(PCE), 벤젠(Benzene), 디클로로메탄(Dichloromethane), 아크릴로니트릴(Acrylonitrile), 사염화탄소(Carbontetrachloride), 1,1-디클로로에틸렌(1,1-Dichloroethylene), 1,2-디클로로에탄(1,2-Dichloroethane), 클로로포름(Chloroform), 1,4-다이옥산(1,4-Dioxane), 염화비닐(Vinylchloride), 브로모포름(Bromoform), 나프탈렌(Naphthalene), 톨루엔(Toluene), 자일렌(Xylene), 유기인 등 22종이었다.

### 3.3. 조사대상 업종별 배출목록과 폐수배출시설 허가서 상 배출목록 비교분석 결과

조사대상 업종별 수질오염물질을 분석한 결과를 토대로

**Table 4.** Analysis of water quality and evaluation of pollutant removal efficiency in Thermal Power Generation Facilities

| Emission inventories of water pollutants            | Industrial wastewater (mg/L)        | Removal efficiency (%) | Detection rate (Detection / Total) |
|---|-------------------------------------|------------------------|------------------------------------|
| BOD   | 8.5 (0.7~35.8)                      | 57.0 (22.5~97.6)       | 100% (10/10)                       |
| COD   | 26.15 (5.4~139.3)                   | 45.5 (3.7~86.8)        | 100% (10/10)                       |
| SS  | 195.45 (1.4~1,054.0)                | 74.0 (12.0~99.5)       | 100% (10/10)                       |
| Water pollutants (exclude specific toxic substance) | T-N 10.265 (2.45~27.50)             | 27.1 (0.6~69.3)        | 100% (10/10)                       |
|   | T-P 0.6675 (0.036~2.620)            | 56.0 (3.8~95.7)        | 100% (10/10)                       |
|   | F 0.04285 (N,D~0.1756)              | 62.3 (23.1~100.0)      | 50% (5/10)                         |
|   | Cr 0.0055 (N,D~0.033)               | 100.0 (100.0)          | 20% (2/10)                         |
|   | Fe 2,6095 (0.249~14.497)            | 81.4 (43.3~100.0)      | 100% (10/10)                       |
|   | Zn 0.2095 (N,D~0.773)               | 73.2 (0.0~100.0)       | 90% (9/10)                         |
|   | Mn 0.6995 (N,D~5.083)               | 73.9 (0.0~100.0)       | 70% (7/10)                         |
|   | Ni 0.0455 (N,D~0.449)               | 100.0 (100.0)          | 10% (1/10)                         |
|   | Ba 0.0635 (0.008~0.256)             | 44.2 (0.0~85.1)        | 100% (10/10)                       |
| Specific toxic substance                            | Phenols 0.009 (N,D~0.053)           | 90.5 (33.3~100.0)      | 70% (7/10)                         |
|   | Hg 0.0002 (N,D~0.0019)              | 100.0 (100.0)          | 10% (1/10)                         |
|   | As 0.0049 (0.0008~0.0254)           | 69.7 (7.7~100.0)       | 100% (10/10)                       |
|   | Cu 0.042 (N,D~0.314)                | 95.7 (82.8~100.0)      | 40% (4/10)                         |
|   | Se 0.0033 (N,D~0.0250)              | 63.8 (29.2~100.0)      | 60% (6/10)                         |
|   | DEHP 0.0021 (N,D~0.0149)            | 100.0 (100.0)          | 20% (2/10)                         |
|   | Formaldehyde 0.0031 (0.0010~0.0091) | 29.8 (5.3~60.3)        | 100% (10/10)                       |
|   | Epichlorohydrin 0.0016 (N,D~0.0115) | 70.0 (54.2~85.7)       | 20% (2/10)                         |

\* N,D (Not Detected) = Detection limit less than

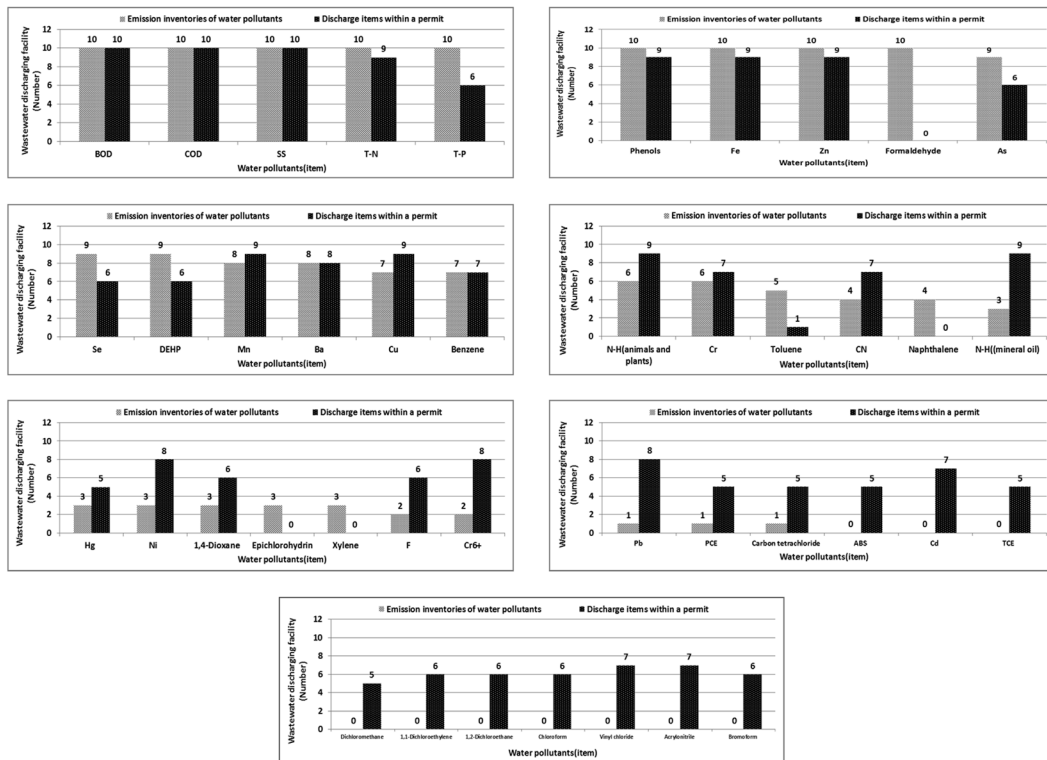


Fig. 2. Comparison analysis of emission inventories of water pollutants in Petrochemical Basic Compound Manufacturing Facilities.

배출목록을 우선 작성한 후 현재 업종별 폐수배출시설의 허가서상 배출물질을 비교분석 하였다.

석유화학계 기초화합물 제조시설의 조사대상 사업장별 시범조사 결과와 각 사업장의 허가서상 등록된 배출물질을 비교 분석한 결과를 Fig. 2에 나타내었다.

배출물질을 비교분석한 결과, 원폐수에 검출된 물질 중 BOD, COD, SS, 바륨(Ba), 벤젠(Benzene)이 일치하는 것으로 확인되었다. 그 외 항목 중 T-N, T-P, 페놀(Phenols), 철(Fe), 아연(Zn), 포름알데히드(Formaldehyde)는 시범조사 결과에서 모든 사업장의 원폐수에서 검출되는 것으로 확인되었지만, 허가서상에는 10개의 사업장 중 T-N이 9개소, T-P가 6개소, 페놀(Phenols), 철(Fe), 아연(Zn)이 9개소로 확인되었고 포름알데히드(Formaldehyde)는 배출물질로 등록된 사업장은 없는 것으로 조사되었다. 또한 원폐수에서는 검출되었지만, 조사당시 허가서에 기재되어 있지 않은 물질은 나프탈렌(Naphthalene), 에피클로로하이드린(Epichlorohydrin), 자일렌(Xylene)으로 확인되었는데, 이 물질들은 2016년 1월 1일부터 배출허용기준이 적용되기 때문이다.

기타 기초유기화합물 제조시설의 조사대상 사업장별 시범조사 결과와 각 사업장의 허가서상 기재된 배출물질을 비교 분석한 결과를 Fig. 3에 나타내었다.

배출물질을 비교분석한 결과, 원폐수에 검출된 물질 중 벤젠(Benzene), 불소(F)가 모든 사업장의 허가서와 일치하는 것으로 조사되었으며, 그 외 항목 중 BOD, COD, SS, T-N, T-P, 철(Fe), 아연(Zn), 포름알데히드(Formaldehyde)는

모든 사업장의 원폐수에서 검출되는 것으로 확인되었지만, 허가서상에는 9개의 사업장 중 BOD가 6개소, COD와 SS는 7개소, T-N은 6개소, T-P는 5개소, 철(Fe)은 3개소, 아연(Zn)은 5개소로 조사되었으며 포름알데히드(Formaldehyde)를 배출물질로 등록한 사업장은 없는 것으로 확인되었다. 또한, 조사 결과에서 원폐수에서는 검출되었지만, 조사당시 허가서에 기재되어 있지 않은 물질은 포름알데히드(Formaldehyde), 에피클로로하이드린(Epichlorohydrin), 톨루엔(Toluene), 음이온계면활성제(ABS), 자일렌(Xylene) 등이었고 이 중 에피클로로하이드린(Epichlorohydrin), 톨루엔(Toluene), 자일렌(Xylene) 등은 2016년 1월 1일부터 배출허용기준 적용되기 때문인 것으로 조사되었다.

기타 기초유기화합물 제조시설의 배출목록 결과 및 허가서 비교 결과를 보면, 조사대상 사업장에서 배출되지 않는 물질인 카드뮴(Cd), 테트라클로로에틸렌(PCE), 사업화탄소(Carbondetrachloride), 트리클로로에틸렌(TCE), 1,1-디클로로에틸렌(1,1-Dichloroethylene), 1,2-디클로로에탄(1,2-Dichloroethane), 클로로포름(Chloroform), 염화비닐(Vinylchloride), 아크릴로니트릴(Acrylonitrile), 브로모포름(Bromoform) 등의 물질을 허가 받은 것으로 조사되었다. 이는 환경부(2012. 11)에서 실시한 특정수질유해물질 배출 실태 조사 이후, 조사대상 사업장에서 배출되지 않는 수질오염물질까지도 모두 허가를 받았기 때문이다.

화력발전시설의 조사대상 사업장별 시범조사 결과와 각 사업장의 허가서상 등록된 배출물질을 비교 분석한 결과를

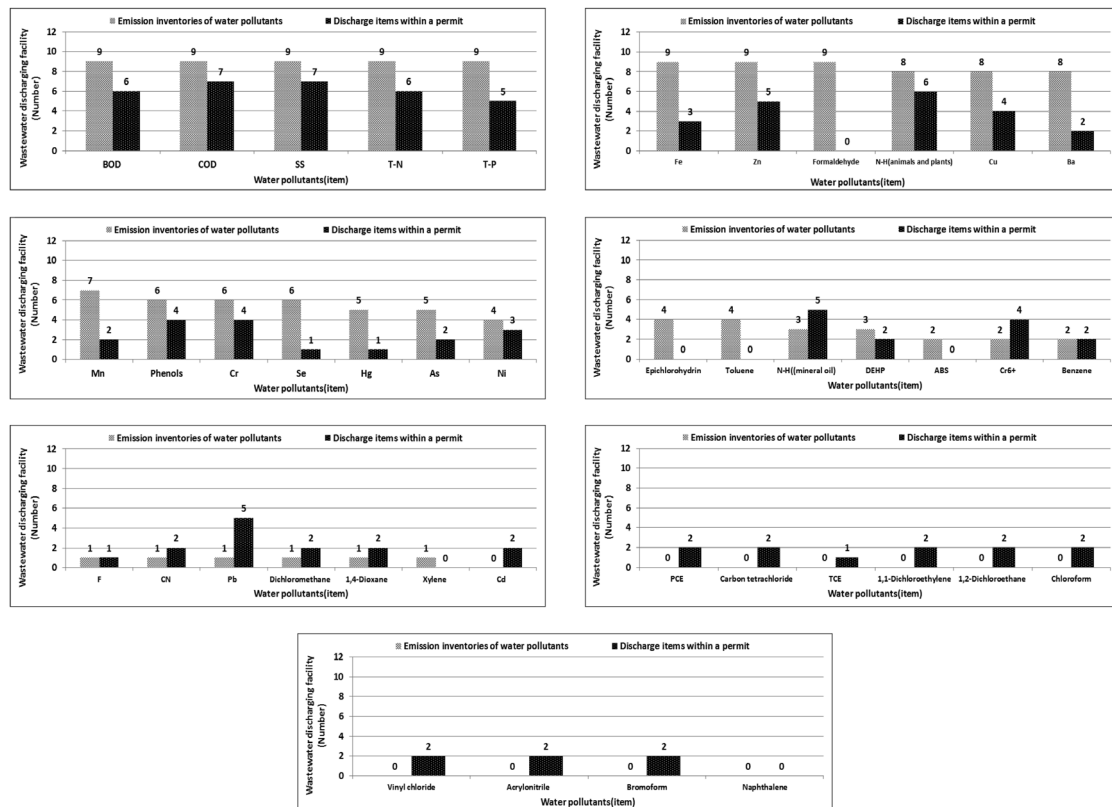


Fig. 3. Comparison analysis of emission inventories of water pollutants in Basic Organic Compound Manufacturing Facilities.

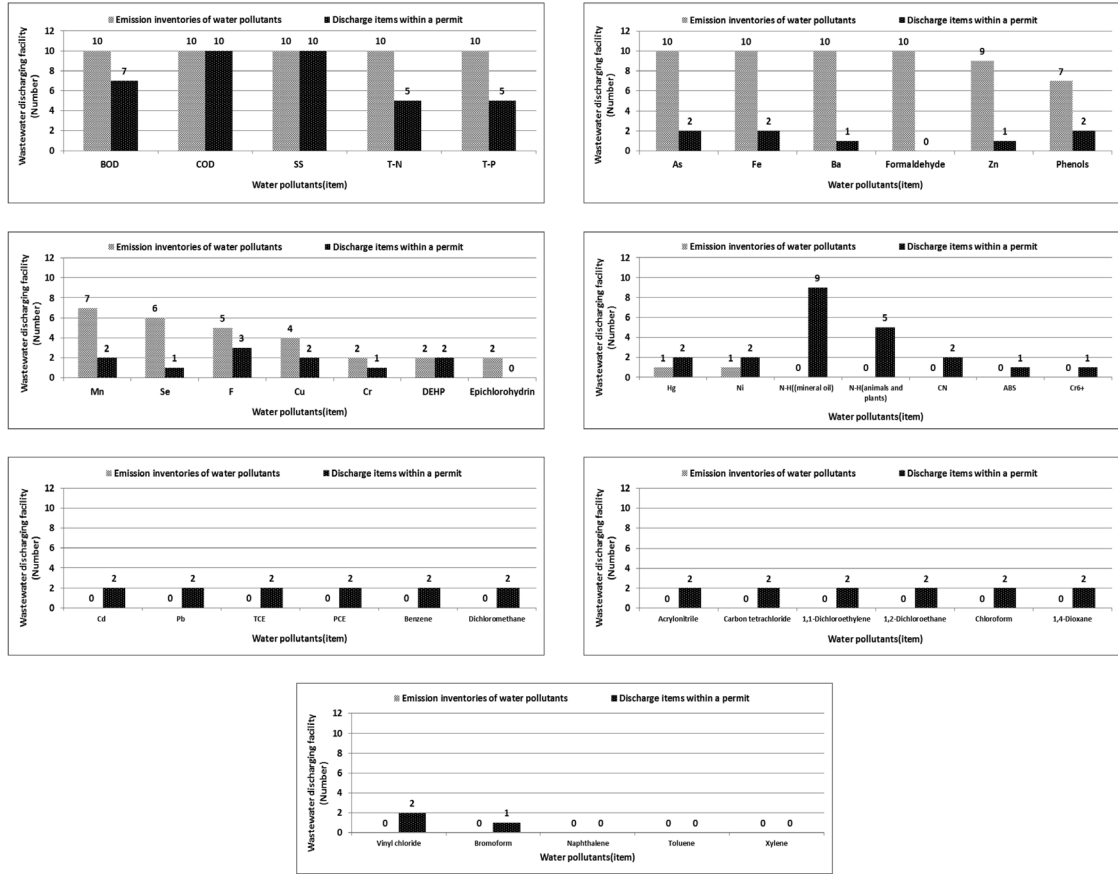


Fig. 4. Comparison analysis of emission inventories of water pollutants in Thermal Power Generation Facilities.

Fig. 4에 나타내었다.

배출물질을 비교분석한 결과, 원폐수에 검출된 물질 중 COD, SS가 모든 사업장의 허가서와 일치하였으며, 그 외 항목 중 BOD, T-N, T-P, 비소(As), 철(Fe), 바륨(Ba), 포름알데히드(Formaldehyde)는 시범조사 결과에서 모든 사업장의 원폐수에서 검출되는 것으로 확인되었지만, 허가서상에는 10개의 사업장 중 BOD가 7개소, T-N이 5개소, T-P가 5개소, 비소(As)와 철(Fe)은 2개소, 바륨(Ba)은 1개소에 포함되었으며, 포름알데히드(Formaldehyde)는 배출물질로 등록된 사업장은 없는 것으로 조사되었다.

화력발전시설의 배출목록 결과와 허가서를 비교한 결과 조사대상 사업장에서 배출되지 않는 물질인 노말헥산추출물질(광유류, 동식물성유지류), 시안(CN), 음이온계면활성제(ABS), 6가 크롬(Cr<sup>6+</sup>), 카드뮴(Cd), 납(Pb), 트리클로로에틸렌(TCE), 테트라클로로에틸렌(PCE), 벤젠(Benzene), 디클로로메탄(Dichloromethane), 아크릴로니트릴(Acrylonitrile), 사염화탄소(Carbon tetrachloride), 1,1-디클로로에틸렌(1,1-Dichloroethylene), 1,2-디클로로에탄(1,2-Dichloroethane), 클로로포름(Chloroform), 1,4-다이옥산(1,4-Dioxane), 염화비닐(Vinylchloride), 아크릴로니트릴(Acrylonitrile), 브로모포름(Bromoform) 등의 물질에 대해서도 허가를 받은 것으로 조사되었다. 환경부(2012. 11)에서 실시한 특정수질유해물질 배출 실태 조사 이후, 사업장에서 배출되지 않는 물질까지도

모두 허가를 받았기 때문이다.

### 3.4. 산업폐수 업종별 배출물질의 개연성 평가 결과

#### 3.4.1. 석유화학계 기초화학물 제조시설

석유화학계 기초화학물 제조시설의 조사대상 사업장 중 A 사업장의 수질오염물질 개연성 평가 결과를 Table 5에 나타내었다.

A 사업장에서 사용중인 원료는 납사(Naphtha), 혼합유분(Mixed-C4), 열분해가솔린(PG, Pyrolysis Gasoline), 에틸렌(ethylene), 벤젠(Benzene), 메탄(methane), 수소(H)이며, 부원료는 디메틸설파이드(Dimethyle Disulfide), Nalco-365(석유화학 공정 처리제), Injection Oil(윤활유), 수산화나트륨(NaOH), 디메틸푸마레이트(DMF, Dimethyl Fumarate), 푸르푸랄(furfural), 톨루엔(Toluene), 아질산나트륨(Sodium Nitrite), t-부틸클로라이드(t-butyl chloride), n-포름릴 모르폴린(NFM, N-Formyl-Morpholin), 합성제올라이트(ZSM-5, Zeolite Socony Mobil-5), 제3인산나트륨(trisodium phosphate crystal)로 조사되었다.

A 사업장에서 검출된 물질은 BOD, COD<sub>Mn</sub>, SS, T-N, T-P, 페놀, 철, 아연, 포름알데히드, 비소, 셀레늄, 디에틸헥실프탈레이트, 망간, 바륨, 구리, 벤젠, 톨루엔, 나프탈렌, 수은, 1,4-다이옥산 등이었다.



**Table 5.** Probability evaluation Result in Petrochemical Basic Compound Manufacturing Facilities (Case A)

| Emission inventories of water pollutants   | Examination item Probability evaluation (Inclusion : ●) |                        |  |            |                             |
|--|---|------------------------|--|------------|-----------------------------|
|  | Original waste water (mg/L)                             | Self-monitoring (mg/L) | Raw materials/ Supplementary materials | Impurities | Additional examination item |
| BOD  | 287.4   | 127.3                  | ●                                      | -          | self-monitoring             |
| COD  | 342.3   | 194.9                  | ●                                      | -          | self-monitoring             |
| SS   | 92.0  | 96.7                   | ●                                      | -          | self-monitoring             |
| T-N  | 11.78   | 18.60                  | ●                                      | -          | self-monitoring             |
| T-P  | 1.005   | 1.500                  | ●                                      | -          | self-monitoring             |
| Phenols                                    | 0.8110  | 0.5300                 | ●                                      | -          | self-monitoring             |
| Fe   | 1.315   | 0.760                  | -                                      | ●          | self-monitoring             |
| Zn   | 0.205   | 0.500                  | -                                      | ●          | self-monitoring             |
| Formaldehyde                               | 0.0381  | -                      | ●                                      | -          | confirm the paper           |
| As   | 0.0009  | 0.0100                 | -                                      | ●          | self-monitoring             |
| Se   | 0.0029  | -                      | -                                      | ●          | confirm the paper           |
| DEHP                                       | 0.0129  | 0.0100                 | ●                                      | -          | self-monitoring             |
| Mn   | 0.128   | 0.240                  | -                                      | ●          | self-monitoring             |
| Ba   | 0.006   | -                      | -                                      | ●          | confirm the paper           |
| Cu   | 0.026   | 1.100                  | -                                      | ●          | self-monitoring             |
| Benzene                                    | 0.0919  | -                      | ●                                      | -          | confirm the paper           |
| normal-hexane extract (animals and plants) | N,D   | 2.0                    | -                                      | -          | N/A                         |
| Cr   | N,D   | 0.020                  | -                                      | -          | N/A                         |
| Toluene                                    | 0.0176  | -                      | ●                                      | -          | confirm the paper           |
| CN   | N,D   | 0.03                   | -                                      | -          | N/A                         |
| Naphthalene                                | 0.0079  | -                      | ●                                      | -          | confirm the paper           |
| normal-hexane extract (mineral oil)        | N,D   | 0.6                    | -                                      | -          | N/A                         |
| Hg   | 0.0016  | 0.0800                 | ●                                      | -          | self-monitoring             |
| Ni   | N,D   | N,D                    | -                                      | -          | N/A                         |
| 1,4-Dioxane                                | 0.1309  | 1.0700                 | ●                                      | -          | self-monitoring             |
| Epichlorohydrin                            | N,D   | -                      | -                                      | -          | N/A                         |
| Xylene                                     | N,D   | -                      | -                                      | -          | N/A                         |
| F  | N,D   | 0.900                  | -                                      | -          | N/A                         |
| Cr <sup>6+</sup>                           | N,D   | N,D                    | -                                      | -          | N/A                         |
| Pb   | N,D   | 0.100                  | -                                      | -          | N/A                         |
| TCE  | N,D   | N,D                    | -                                      | -          | N/A                         |
| Carbon tetrachloride                       | N,D   | N,D                    | -                                      | -          | N/A                         |

※ N/A = not applicable

**3.4.2. 기타 기초유기화합물 제조시설**

기타 기초유기화합물 제조시설의 조사대상 사업장 중 B 사업장의 수질오염물질 개연성 평가 결과를 Table 6에 나타내었다.

**Table 6.** Probability evaluation Result in Basic Organic Compound Manufacturing Facilities (Case B)

| Emission inventories of water pollutants   | Examination item Probability evaluation (Inclusion : ●) |                        |  |            |                             |
|--|---|------------------------|--|------------|-----------------------------|
|  | Original waste water (mg/L)                             | Self-monitoring (mg/L) | Raw materials/ Supplementary materials | Impurities | Additional examination item |
| BOD  | 1,054.3   | 1,200.0                | ●                                      | -          | self-monitoring             |
| COD  | 1,592.0   | 1,200.0                | ●                                      | -          | self-monitoring             |
| SS   | 195.0   | 100.0                  | ●                                      | -          | self-monitoring             |
| T-N  | 24.35   | 40.00                  | ●                                      | -          | self-monitoring             |
| T-P  | 4.365   | 2,000                  | ●                                      | -          | self-monitoring             |
| Fe   | 4.307   | 0.250                  | ●                                      | -          | self-monitoring             |
| Zn   | 0.176   | 0.060                  | ●                                      | -          | self-monitoring             |
| Formaldehyde                               | 1.4419  | 2,0900                 | ●                                      | -          | self-monitoring             |
| normal-hexane extract (animals and plants) | 78,800  | -                      | ●                                      | -          | confirm the paper           |
| Cu   | 1.243   | 0.010                  | -                                      | ●          | self-monitoring             |
| Ba   | 0.018   | 0.020                  | -                                      | ●          | self-monitoring             |
| Mn   | 0.149   | 0.070                  | -                                      | ●          | self-monitoring             |
| Phenols                                    | 0.2335  | 0.005                  | ●                                      | -          | self-monitoring             |
| Cr   | 0.395   | 0.010                  | -                                      | ●          | self-monitoring             |
| Se   | 0.0073  | 0.0030                 | -                                      | ●          | self-monitoring             |
| Hg   | 0.0022  | 0.0010                 | -                                      | ●          | self-monitoring             |
| As   | 0.0020  | 0.0060                 | -                                      | ●          | self-monitoring             |
| Ni   | 0.038   | 0.060                  | -                                      | ●          | self-monitoring             |
| Epichlorohydrin                            | N,D   | N,D                    | -                                      | -          | N/A                         |
| Toluene                                    | N,D   | N,D                    | -                                      | -          | N/A                         |
| normal-hexane extract (mineral oil)        | 3,150   | 2,090                  | ●                                      | -          | self-monitoring             |
| DEHP                                       | N,D   | N,D                    | -                                      | -          | N/A                         |
| ABS  | N,D   | 0.050                  | -                                      | -          | N/A                         |
| Cr <sup>6+</sup>                           | N,D   | 0.008                  | -                                      | -          | N/A                         |
| Benzene                                    | 0.0140  | -                      | ●                                      | -          | confirm the paper           |
| F  | N,D   | 0.020                  | -                                      | -          | N/A                         |
| CN   | N,D   | 0.150                  | -                                      | -          | N/A                         |
| Pb   | N,D   | 0.002                  | -                                      | -          | N/A                         |
| Dichloromethane                            | N,D   | -                      | -                                      | -          | N/A                         |
| 1,4-Dioxane                                | N,D   | 0.001                  | -                                      | -          | N/A                         |
| Xylene                                     | N,D   | N,D                    | -                                      | -          | N/A                         |

※ N/A = not applicable

B 사업장에서 사용중인 원료는 에틸렌, 프로필렌, C4 유분, 폴리비닐클로라이드(Poly Vinyl Chloride, PVC), 폴리 에틸렌수지(PE, polyethylene resin)로 확인되었다. 생산품은 합성수지, 합성섬유, 아크릴로나트릴, 카프로락탐, 합성고무, 에폭시, 페놀, 석유수지, 카본블랙으로 확인되었다. 조사 대상 업종 외 시설은 산업시설의 폐가스 분진, 세정 응축시설(77), 이화학 시험시설(79), 기타배출시설(82) 등 3개의 복수 시설이 운영되고 있는 것으로 조사되었다. B 사업장에서 검출된 물질은 BOD, COD<sub>Mn</sub>, SS, T-N, T-P, 철, 아연, 포름알데히드, 노말헥산추출물질(동식물성유지류), 구리, 바륨, 망간, 페놀, 크롬, 셀레늄, 수은, 비소, 니켈, 노말헥산추출물질(광유류), 벤젠 등이었다.

### 3.4.3. 화력발전시설

화력발전시설의 조사대상 사업장 중 C 사업장의 수질오염물질 개연성 평가 결과를 Table 7에 나타내었다. C 사업장에서 사용중인 원료는 액화천연가스, 경유이었으며, 생산

Table 7. Probability evaluation Result in Thermal Power Generation Facilities (Case C)

| Emission inventories of water pollutants | Examination item            |                        | Probability evaluation (Inclusion : ●)  |            |  |
|--|-----------------------------|------------------------|---|------------|--|
|  | Original waste water (mg/L) | Self-monitoring (mg/L) | Raw materials / Supplementary materials | Impurities | Additional examination item                |
| BOD                                      | 1,5                         | 5,0                    | ●                                       | -          | self-monitoring                            |
| COD                                      | 5,4                         | 8,0                    | ●                                       | -          | self-monitoring                            |
| SS                                       | 13,0                        | 10,0                   | ●                                       | -          | self-monitoring                            |
| T-N                                      | 12,00                       | -                      | ●                                       | -          | confirm the paper                          |
| T-P                                      | 0,141                       | -                      | ●                                       | -          | confirm the paper                          |
| As                                       | 0,0019                      | -                      | -                                       | ●          | confirm the paper                          |
| Fe                                       | 0,363                       | 0,569                  | -                                       | ●          | self-monitoring                            |
| Ba                                       | 0,036                       | -                      | -                                       | ●          | confirm the paper                          |
| Formaldehyde                             | 0,0032                      | -                      | -                                       | ●          | confirm the paper                          |
| Zn                                       | 0,014                       | 0,139                  | -                                       | ●          | self-monitoring                            |
| Phenols                                  | N,D                         | -                      | -                                       | -          | N/A  |
| Mn                                       | 0,008                       | -                      | -                                       | ●          | confirm the paper                          |
| Se                                       | 0,0006                      | -                      | -                                       | ●          | confirm the paper                          |
| F  | 0,0249                      | -                      | ●                                       | -          | Analysis of industrial water (0,0188 mg/L) |
| Cu                                       | N,D                         | -                      | -                                       | -          | N/A  |
| Cr                                       | N,D                         | -                      | -                                       | -          | N/A  |
| DEHP                                     | N,D                         | -                      | -                                       | -          | N/A  |
| Epichlorohydrin                          | N,D                         | -                      | -                                       | -          | N/A  |
| Hg                                       | N,D                         | -                      | -                                       | -          | N/A  |
| Ni                                       | N,D                         | -                      | -                                       | -          | N/A  |

\* N/A = not applicable

품은 전기, 열이었다. 조사대상 업종 외 시설은 산업시설의 정수시설(78), 이화학 시험시설(79) 등 2개의 복수 시설이 운영되고 있는 것으로 조사되었다.

C 사업장에서 검출된 물질은 BOD, COD<sub>Mn</sub>, SS, T-N, T-P, 비소, 철, 바륨, 포름알데히드, 아연, 망간, 셀레늄, 불소 등이었다.

화력발전시설에서 불소의 경우에는 원료, 부원료, 원료불순물 등에서 개연성이 확인되지 않았기 때문에 기존 연구자료 및 조사대상 업종 외 시설에서의 포함가능성, 용수 분석 등을 검토하였다. 화력발전시설(C 사업장)의 용수를 채수하여 분석한 결과, 공업용수에서 불소(0.0188 mg/L)가 검출되는 것을 확인하였다.

## 4. 결론

본 연구에서는 3개 업종(석유화학계 기초화학물 제조시설, 기타 기초유기화학물 제조시설, 화력발전시설), 29개 사업장을 대상으로 원폐수 및 방류수 중의 수질오염물질을 분석하였고, 분석 결과를 토대로 개연성 평가를 수행 후 업종별 산업폐수중 수질오염물질 배출 목록을 작성하였다. 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 석유화학계 기초화학물 제조시설의 수질오염물질 배출 목록은 조사대상 물질 42종 중 특정수질유해물질 16종(구리, 납, 비소, 벤젠 등), 특정수질유해물질을 제외한 수질오염물질 15종(BOD, COD 등)으로 총 31종이 포함되었다.

2) 기타 기초유기화학물 제조시설의 수질오염물질 배출 목록은 조사대상 물질 42종 중 특정수질유해물질 14종(구리, 납, 비소, 벤젠 등), 특정수질유해물질을 제외한 수질오염물질 16종(BOD, COD 등)으로 총 30종이 포함되었다.

3) 화력발전시설의 수질오염물질 배출목록은 조사대상 물질 42종 중 특정수질유해물질 8종(구리, 비소, 수은 등), 특정수질유해물질을 제외한 수질오염물질 12종(BOD, COD 등)으로 총 20종이 포함되었다.

4) 업종별 산업폐수중 수질오염물질 배출물질의 개연성 평가 결과, 석유화학계 기초화학물 제조시설과 기타 기초유기화학물 제조시설은 원료 및 부원료, 원료 불순물에 수질오염물질이 포함될 가능성 때문에 그 개연성이 있는 것으로 확인되었다. 화력발전시설에서는 대부분의 물질이 원료, 부원료, 원료 불순물 등에 포함될 개연성이 있었으나, 불소는 원료, 부원료, 원료불순물 등에서 확인되지 않았다. 추가적으로 기존 연구사례 및 조사대상 업종 외 시설에서의 포함가능성, 용수 중 함유 여부 등을 조사하였고 사용 중인 공업용수 중에서 검출되는 것이 확인되어 배출목록으로 최종 확정하였다.

5) 본 연구에서는 현재 규제중인 수질오염물질에 대해 수질분석과 개연성 평가를 통해 관리현장에서 보다 체계적으

로 활용할 수 있는 수질오염물질 배출목록을 작성하기 위한 평가방법을 제시하였다.

## Acknowledgement

본 연구는 환경부 국립환경과학원의 지원을 받아 수행되었으며 이에 감사드립니다.

KSEE

## References

- National Institute of Environmental Research (NIER), "Monitoring of hazardous chemicals for wastewater discharge facilities in the Nakdong river basin(II)," p. 1(2011).
- Kwon, O. S., Jung, J. Y., Heo, T. Y., Jeon, H. B., Lee, Y. H. and Park, S. M., "Establishment of effluent limitation based on Wastewater Characteristics and treatment technology," *J. Korean Soc. Water Environ.*, **28**(6), 804~812(2012).
- Kim, M. I. and Kang, M. A., "Monitoring of Micro Noxious Chemicals Caused by Fiber and Chemistry Industrial Wastewater on the Nakdong River Water System," *J. Korean Soc. Eng. Geol.*, **16**(2), 145~152(2006).
- Ministry of Environment (MOE), "Improvement of Wastewater Management System for Industry, Ministry of Environment," pp. 3~19(2008).
- Ministry of Environment (MOE), "Status of the Priority Water Pollutant and Management in Korea," p. 1~3(2013).
- Ministry of Environment (MOE), "Survey of Specific Hazardous Substances from Wastewater by Industrial Wastewater Treatment Plants," p. 1~5(2012a).
- U. S. EPA, "NPDES Permit Writers' Manual," pp. 20~35 (2010).
- National Institute of Environmental Research (NIER), "Estimation on Pollutant Unit Mass from an Industrial Wastewater Discharging Facility," p. 2~14(2013).
- Lee, I. S., Sim, W. J., Oh, J. E., Kim, C. W., Jang, Y. S. and Yoon, Y. S., "Evaluation of Removal Efficiencies of Micro pollutants in Wastewater Treatment Plants," *Korean Soc. Environ. Eng.*, **29**(2), 214~219(2007).
- Ministry of Environment (MOE), "Water Quality and Ecosystem Conservation Act, Ministry of Environment," p. 246 (2010).
- Ha, D. H. and Jung, J. Y., "Evaluation of Organics and Inorganics Removal of Physicochemical Pre-treatment Processes for Reuse of Metal Industry Wastewater," *Korean Soc. Environ. Eng.*, **35**(3), 226~232(2013).
- European Commission., "Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC) Reference Document on Best Available Techniques in the Large Volume Organic Chemical Industry," p. 1~7(2003).
- European Commission., "Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC) Reference Document on Best Available Techniques for the Manufacture of Organic Fine Chemicals," pp. 1~14(2006a).
- European Commission, "Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC) Reference Document on Best Available Techniques for Large Combustion Plants," pp. 1~11(2006b).
- Ministry of Environment (MOE), "Effluent limitation Standard, Enforcement Regulation in Water Quality and Ecosystem Conservation Act,"(2012b).
- National Institute of Environmental Research (NIER), "BAT Assessment and Unit Load Counting for Wastewater Treatment Processes," pp. 5~19(2004).
- Kim, J. H., "Study on establishment of the industrial wastewater effluent limitations based on best practicable control technology currently available," *J. Korean Soc. Water Environ.*, **28**(4), 608~614(2012).
- Jung, Y. H., Kim, S. K., Shin, S. K., Kang, I. G., Lee, J. I., Lee, W. S. and Lee, J. B., "A Study on the Characteristic Trace Organic Pollutants in the Industrial Wastewater," *The Korean Soc. Anal. Sci.*, **11**(1), 62~72(1998).
- Ministry of Environment (MOE). "Analysis of environmental improvement effect of industrial wastewater management policies," pp. 16~20(2003).