

총설

# 처리기술에 근거한 산업폐수 배출허용기준 국내 적용성 연구(III) : 국내 적용방안 및 사례 연구 (펄프·종이 및 종이제품 제조시설)

김경진·손대희\*·허진·김광인·김상훈\*\*·김재훈\*\*·염익태†

성균관대학교 사회환경시스템공학과

\*무배출형환경설비지원센터

\*\*국립환경과학원

## Assessment of Technology Based Industrial Wastewater Effluent Limitation and Standards for the Domestic Industry Category (III) : The Evaluation of TBEL's Applicability for Domestic Industry Categories (Case-study : Pulp, Paper, Paperboard Category)

Kyeongjin Kim · Daehee Son\* · Jin Heo · Kwangin Kim · Sanghun Kim\*\* · Jaehun Kim\*\* · Icktae 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 26 April 2010, Accepted 4 May 2010)

### Abstract

Introduction of TBELs into Korean environmental regulatory system for wastewater may require very careful considerations and appropriate modifications of the TBELs applied in US. The Korean regulations for wastewater are based on uniform regulatory criteria for wastewater effluent discharge and are quite different from the individual permit system in US. In addition, the toxic pollutants regulated in Korea are much less than those in US. Therefore, the effects of TBELs application on the pollutants reduction and the economic feasibility should be carefully assessed for different categories of wastewater sources. In this study, the applicability of TBELs for the industrial categories of Korea was discussed. The TBELs were derived for a sample category, the pulp·paper·paperboard manufacture, based on the previously reported analytical data from 52 facilities of the domestic pulp·paper·paperboard manufacture in Korea. It was suggested that the BAT effluent limitations were BOD 30 mg/L, COD<sub>Mn</sub> 40 mg/L, SS 40 mg/L, T-N 30 mg/L and T-P 4 mg/L and that the allowable effluent loads were 0.31~1.75 kgCOD<sub>Mn</sub>/ton-products. Due to the limitation of insufficient data, there were difficult to obtain the important factors to derive more systematic and accurate limitation standards for the pollutants such as the 'Long Term Average (LTA)', the 'Product Normalized Discharge Flow (PNDF)', and the 'Variability Factor (VF)'. However, as the first trial of TBELs determination based on the all available analytical data reported, the procedure and the outcome of the study may provide valuable insight on application of TBELs in Korea.

**keywords** : Long term average (LTA), Product Normalized Discharge Flow (PNDF), Pulp·paper·paperboard manufacture, Technology Based Effluent Limitation (TBELs), Variable Factor (VF)

## 1. 서론

국내 산업폐수 업종별 배출허용기준의 합리적 적용을 위한 '처리기술에 근거한 산업폐수 배출허용기준 국내 적용성 연구'(이하 '국내 적용성 연구'(I))에서는 미국의 업종별 기술근거 배출허용기준(Technology Based Effluents Limitations, TBELs) 산정 시 주요 고려사항과 단계별 적용과정들을 살펴보았다. '국내 적용성 연구(II)'에서는 수질오염물

질의 위해성 지표를 활용한 업종별 배출부하 기여도 분석을 통해 업종별 우선순위 선정 및 적용 시 고려사항들을 고찰하였다. 마지막으로 '국내 적용성 연구(III)'에서는 '국내 적용성 연구'(I), (II)에서 제시한 내용들을 토대로 국내 적용 시 고려사항 검토하고 '펄프·종이 및 종이제품 제조 시설 업종'의 적용사례 분석을 수행하였다(김경진 등, 2010a, 2010b).

국내 업종별 TBELs 적용을 위해서는 미국 등 이미 적용된 국가의 업종별 TBELs 적용사례를 검토하는 것도 필요하지만, 관련 제도의 배경과 도입목적이 다르므로 국내 실정에 맞는 기술근거 배출허용기준 설정 목표 및 범위를 결

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

정하고 한계와 미비점을 제도적으로 보완하는 것이 더욱 중요하다. 따라서 본 논문은 ‘국내 적용성 연구’에 대한 마지막 결론으로 국내 업종별 TBELs 적용성 검토 및 실제 사례분석을 통해 국내 도입 시 문제점들과 적용방안들을 검토하였다.

## 2. 국내 업종별 TBELs 적용성 검토

### 2.1. 국내 적용성 검토

USEPA는 70~80년대에 업종별 조사와 분석을 통해 TBELs 가이드라인과 기준을 설정하였고, 다양한 모니터링 경로를 통해 축적된 자료를 토대로 업종별 배출특성을 지속적으로 파악하여 TBELs 신규제정 및 개정작업을 지속적으로 수행하고 있다(USEPA, 2005). 국내에서도 2000년대에 들어와 TBELs 도입에 대한 필요성을 인식하고 외국제도 분석 및 적용성 연구가 진행되었으며, 환경부에서는 업종별, 수계별 합리적 배출허용기준체계 마련을 산업폐수 관리제도 선진화 계획의 주요 내용으로 추진 중에 있다(환경부, 2005~2008). 그동안 연구를 통해 제시되어 왔던 국내 TBELs의 도입의 필요성은 다음과 같다.

- 배출허용기준의 과학적/합리적 근거 마련 : 현재 배출특성과 처리가능성을 고려한 배출허용기준 선정 근거 마련
- 경제성 고려한 규제 : 배출허용기준 달성을 위한 처리기술 검토를 통한 경제성 분석 필요
- 오염물질 배출량 저감 : 처리기술 제시로 실질적인 오염물질 수계 배출량 저감 유도
- 규제유연성 확보 : 업종별, 규모별 차등적용으로 합리적인 규제 및 중소 배출시설에 대한 규제유연성 확보 필요

TBELs 기준설정을 위해서는 국내 업종별 배출시설들을 대상으로 생산공정, 처리기술, 오염물질의 장기간 배출특성에 대한 조사와 분석 작업들이 광범위하게 이루어져야 하므로 많은 시간과 비용이 필요하다. 또한, 현행 전 업종 일괄적용 방식을 업종별 개별적용 방식으로 전환하는 것은 사회적 합의가 필요하므로 국내 여건에 맞는 범위를 결정하여 제도적 보완을 통하여 단계적으로 TBELs을 적용하는 것이 필요할 것이다(환경부, 2002). 국내실정에 적합한 TBELs의 적용을 위한 고려해야 할 사항은 다음과 같다.

- TBELs의 설정 목표와 범위를 국내 실정에 맞게 결정해야 하며 한계와 미비점을 제도적으로 보완
- 배출시설들에 대한 수질 및 운영자료를 체계적으로 보고, 수집, 관리할 수 있는 시스템 마련
- 수계에 미치는 영향이 크고 인체 및 수생태계 위해성이 높은 업종들을 대상으로 우선 선정
- 공공폐수처리시설의 유입 및 배출특성 조사를 통해 별도의 기술근거 전처리 기준 마련 필요

TBELs 기준설정 근거는 현재의 업종별 배출특성과, 처리기술 특성을 기반으로 하고 있으므로 산업구조 및 기술 발전으로 인한 업종특성 변화에 대한 대응이 필요하다. 따라서 TBELs 제도를 국내에 적용하기 위해서는 기준설정과 함께 인허가 시 업종별, 규모별로 TBELs 적용 여부를 검

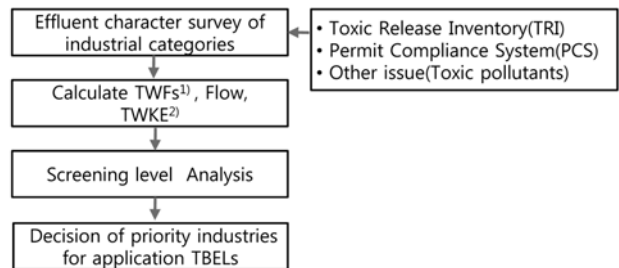
토하고 지도점검과정에서 확인 및 보완하는 과정이 인허가 제도에 포함되어야 한다. 그리고 지도점검 및 자가 측정 시 주요 배출업소들의 발생량 및 원폐수, 처리수 수질자료를 체계적으로 보고, 수집, 관리체계를 제도적으로 마련하여 지속적인 업종별 배출특성을 파악해야 할 것이다. USEPA의 경우 이러한 제도를 기반으로 지속적으로 TBELs을 보완하고 개정하는 작업을 2년마다 수행하고 있다(USEPA, 2006). 이러한 제도적 보완은 업종별, 규모별 차등적인 배출규제 제도 도입을 효과적으로 정착시킬 수 있으며 또한 산업폐수의 합리적 관리방안으로 제시되고 있다. TBELs 적용 시 소규모 배출시설에 대한 예외규정 마련과 처리기술의 경제성 검토 및 수계 배출량 저감에 따른 환경성 평가가 필수적이며, 마지막으로 국내 실정에 적합한 업종별 TBELs을 위한 매뉴얼 작업도 필요하다.

### 2.2. TBELs 적용과정

국내에는 배출시설들의 수질 및 운영자료들에 대한 기존 조사자료가 거의 없으며 지속적으로 체계적으로 자료 수집을 위한 제도적 장치가 마련되어 있지 않기 때문에 단시간에 일회적인 조사를 통해 수질유해물질 배출업종들에 대한 TBELs을 마련하는 것은 매우 어려운 일이다. 동일 업종내에서도 세분류별로 다양한 배출특성을 나타내고 있으므로 이에 대한 장기적인 모니터링과 적절한 처리 근거기술 선정 및 경제성 평가가 필수적인 TBELs은 합리적 산업폐수 관리를 위한 단계적 접근방식을 통해 진행되어야 할 것이다.

따라서 우선적으로 수질 유해성을 기반으로 한 산업폐수 업종별 오염부하량 기여도 분석을 통해 ‘국내 적용성 연구(II)’에서 제시된 것과 같이 위해성 평가를 통한 산업폐수 배출특성 분석을 통해 업종별 오염부하량 기여도 분석을 실시하여 개략적인 업종 우선순위와 업종의 발생특성(방류량, 배출오염물질 위해도)를 우선적으로 파악하는 것이 필요하다(Fig. 1 참조). 이러한 업종별 오염부하량 기여도 분석결과는 산업폐수 관리방안과 수질유해물질 배출량 저감을 위한 계획수립 시 중요한 자료로 활용될 수 있다(김경진 등, 2010b).

오염 부하 기여도 분석을 통해 해당업종의 오염부하 배출특성을 파악하여 수계배출량 및 수질유해물질들의 영향을 파악하고 우선순위 업종을 결정하고 TBELs 적용성을 검토해야 한다(Fig. 2 참조). 동일 업종내에서도 원료물질, 생산품, 제조공정, 첨가제 등에 따라 폐수성상이 다르고 또한 생산시설 규모별로도 많은 차이를 나타내고 있다. 따라



<sup>1)</sup>TWFs : Toxic Weight Factors, <sup>2)</sup>TWKE : Toxic Weight Kilograms Equivalent  
**Fig. 1.** Flow chart for screening-level analysis.

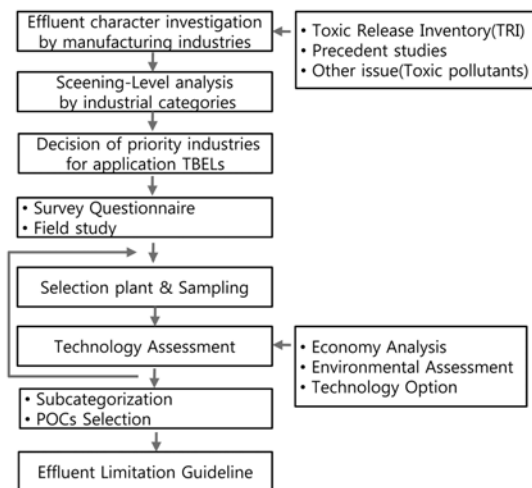


Fig. 2. Flow chart for developing TBELs.

서 업종분류를 재조정하고 동일 업종내에서 배출특성에 따라 별도 세분류를 구분하는 작업을 진행해야 한다. 충분한 사전조사(설문조사, 현장방문, 기초샘플링)가 필수적이며 협회나 해당업종의 전문가들의 의견과 자문을 통하여 조사작업을 실시하여야 한다(USEPA, 2008). 조사작업을 통하여 해당업종 현황을 정확히 파악하고 배출특성별 대표성을 확보하는 표본 대상시설들을 선정해야 한다. 이 과정은 TBELs 결정을 위한 첫 단계로 매우 중요하다. 표본 대상시설들이 선정되면 시설비용, 운영비용, 생산원료물질, 첨가화학물질, 생산품, 생산공정, 처리공정들에 대한 자료들을 수집해야 하며 이때 배출시설들의 적극적인 협조가 필수적이다. 미국은 청수법(Clean Water Acts, CWA)을 통해 환경규제에 관련 법령 및 가이드라인 제정하기 위해 기업 기밀자료가 필요할 경우 해당 기업은 필요한 정보를 제공할 의무가 있다고 규정하고 있으며, 동시에 EPA 등 자료수집 기관은 기업 기밀정보 취급 권한과 함께 기밀유지와 비공개 의무도 규정하고 있다(USEPA, 2008). 국내 경우도 연간 생산량, 제조공정들, 투입 약품, 비용관련 자료 등은 기업 기밀에 속하는 경우가 많아 외부로 노출을 극히 꺼리고 있다.

현장 시료 샘플링과 분석에서는 각 배출시설별로 샘플링 지점 및 시간에 따라 분석방법 및 분석지점, 보관 방법에 따라 오염물질별로 농도에 차이가 발생하므로 사전에 세부적인 샘플링 및 분석계획을 수립하고 기록으로 남겨서 기술 평가 시 이를 고려해야 한다.

TBELs 선정과정에서 실시되는 기술평가는 각 표본 대상 시설에서 수집된 자료의 정상상태 여부 및 측정 데이터 유효성 평가를 통한 장기간 평균농도(Long-term Average, LTA), 생산품당 표준 방류량(Product Normalized Discharge Flow, PNDF), 수질 변동율(Variability Factor, VF)산정과 생산공정 및 폐수처리공정 기술평가를 통한 처리기술 선정, 경제성 평가를 위한 실제 배출시설의 설치비용 및 운전비용 평가를 통한 비용모델 선정, 배출 부하질감을 공정상 오염원 저감 및 공정개선, 재활용 기술, 에너지 소요비용, 폐기물 발생, 대기오염 발생영향 검토 등을 수행하게 된다(USEPA, 2005).

이러한 과정을 거쳐서 세분류 및 관심오염물질이 선정되고 배출허용기준 안이 제시되면 전문가 검토 및 해당업종 이해관계자들의 의견을 반영하고 공청회 등을 통한 의견수렴과정을 거친 후 최종 배출허용기준과 처리 근거기술 및 가이드라인들이 설정되어진다.

### 3. 펄프, 종이 및 종이제품 제조시설에 대한 TBEL 선정 사례

국내 펄프 및 종이 제조시설은 2005년 현재 332개 배출 시설이 신고 되어 있으며 폐수 방류량은 일일 376,460 m<sup>3</sup>으로 용수 사용량이 많은 업종이다(환경부, 2005). 본 연구에서는 기존에 조사된 펄프 및 종이 제조시설 배출시설 자료를 토대로 업종별 TBEL 선정을 위한 기술 평가 및 단계별 분석을 실시하였다.

연구에 사용된 기초 자료는 ‘폐수처리 공정별 BAT 평가 및 원단위 산정연구(이하 ‘원단위 산정연구’; 환경부, 2001~2004)’에서 수집된 펄프 및 종이제품 제조업종 52개 배출 시설 조사 자료를 활용하였다. ‘원단위 산정연구’에서는 펄프 및 종이제조업종에 대한 세분류안을 제시하고 이에 따라 대상배출시설을 선정하여 발생폐수와 처리수 수질을 조사하였다. TBELs 설정 시 사용하는 수질자료는 장기간 샘플링 및 분석을 통해 장기간 평균농도, 생산량 당 방류량, 수질 변동율을 구해야 하지만 ‘원단위 산정연구’ 자료는 배출시설에서의 1회 수질분석자료만을 제시하고 있으므로 장기간 평균농도는 세분류 내 시설들의 평균농도, 수질 변동율은 세분류 내 시설들의 최대농도/평균농도로 약식 산정하였다. 따라서 배출시설의 정상운전여부, 샘플링 시점, 다양한 처리공정의 적용에 따라 수질의 변동성이 클 것으로 판단되므로 ‘원단위 산정연구’ 자료만으로 해당업종의 배출 특성을 대표하여 배출허용기준을 제시할 수는 없으며 추가 조사 작업 및 연구가 필요할 것이다(환경부, 2001~2004).

‘원단위 산정연구’에서 조사한 52개 배출시설에 대한 수질자료와 ‘국내 적용성 연구(I), (II)’에서 연구된 내용을 활용하여 국내 ‘펄프 및 종이제조업종’을 대상으로 업종특성 파악, 세분류 구분, 오염물질 선정, 처리기술 선정 및 TBELs의 기술평가 과정을 제시하였다.

#### 3.1. 펄프, 종이 및 종이제품 제조시설 업종특성

업종특성 파악은 기술근거 배출허용기준 설정의 첫 단계로 오염물질 배출특성(직접, 간접배출 여부 포함)과 주요 생산공정, 제품의 종류 및 생산량, 원료물질과 업종의 배출 특성들을 파악하여 업종별 세분류와 예상 오염물질의 특성들을 사전에 파악하는 것이다. 일반적으로 설문조사와 협회 자료, 문헌조사, 통계자료 등을 통해 업종특성을 파악한다.

‘펄프 및 종이제품 제조시설’은 2005년 현재 332개 배출 시설 중 자체 처리 후 종말처리장으로 간접방류 하거나 하천에 직접방류 하는 배출시설은 181개소이다. 나머지는 위탁처리나 처리면제 또는 휴업상태이다. 이중 1종 사업장은 53개소(직접방류 33개소, 간접방류 20개소), 2종 사업장은

29개소(직접방류 13개소, 간접방류 16개소), 3종 사업장은 15개소(직접방류 9개소, 간접방류 6개소), 4종 사업장은 19개소(직접방류 9개소, 간접방류 10개소), 5종 사업장은 65개소(직접방류 46개소, 간접방류 19개소)이다. 일일 폐수방류량 376,460 m<sup>3</sup> 중 91.5%인 344,804 m<sup>3</sup>을 1종 사업장에서 방류하고 2종사업장은 6.4%인 24,194 m<sup>3</sup>을 방류하여 대부분을 1종 사업장에서 차지하고 있다. 펄프 및 종이제품 제조시설은 전체 사업장의 0.75%에 불과하지만 폐수방류량은 전체 방류량의 10.8%를 차지하고 있을 정도로 용수사용량이 많은 업종이다(환경부, 2005).

위해성을 고려한 업종별 오염부하량 기여도 순위에서 ‘펄프·종이 및 종이제품 제조시설’의 경우 평균 배출 오염부하량 순위는 전체 82개 업종중 8위를 차지하고 있다(Table 1 참조). 방류량으로는 배출 오염부하량 1위인 ‘제1차 철강산업시설’의 2배 이상으로 용수사용량이 매우 많은 업종이며 배출 오염부하량 역시 평균과 최대값 편차가 3배 이상 발생하여 부하변동성이 큰 업종을 알 수 있다(김경진 등, 2010b, ‘국내 적용성 연구(II)’ 참조).

**3.2. 펄프·종이 및 종이제품 제조시설 업종 세분류**

**3.2.1. 세분류 구분 기준**

업종 세분류는 설문조사나 기존 조사자료를 기초로 현장 방문조사, 샘플링 자료를 기초로 배출특성별 그룹화 과정을 거쳐 결정된다. 주로 생산품, 투입원료, 생산 공정, 규모 등을 기준으로 한 폐수배출 특성차이를 통하여 구분된다. 업종 세분류를 많이 나누면 보다 정밀하게 폐수배출특성을 구분하게 각각 최적의 배출허용기준을 설정할 수 있으나 배출허용기준 설정과정이 복잡하고 세분류별 중복 업체들

이 발생될 수 있어 기준에 혼란이 생길 수 있으므로 업종별로 적절한 세분류 수를 결정해야 할 것이다.

펄프 및 종이제품 제조시설에 대한 표준산업분류는 펄프, 신문용지, 필기용지, 골판지 등 생산품기준으로 이루어져 있다. 환경부 업종분류는 오염물질 배출특성에 영향을 주는 인자를 중심으로 결정되므로 업종별 세분류 구분 시 원료물질과, 제조공정 따라 결정된다. 펄프 및 종이 제품제조시설 업종에 대한 배출시설 국, 내외 세분류는 다음과 Table 2와 같다(환경부, 2006).

펄프 및 종이제품 제조시설은 세분류는 사용원료(펄프원료, 고지원료)와 생산제품(펄프, 크라프트지, 판지등)에 따라 제조공정의 차이(표백여부, 광택여부, 탈묵처리여부, 아황산처리)로 구분된다. 고지(폐지)를 원료로 할 경우에는 탈묵(잉크제거)공정과 표백공정이 포함되며 이때 다량의 용수가 사용된다. 펄프 제조공정은 아황산으로 증해하여 리그닌등 비섬유소를 제거함으로 섬유소의 순도를 높이는 아황산 펄프 공정에서도 공정상 약품이 추가된다. 표백하지 않은 펄프는 포장지, 신문용지 등에, 표백펄프는 고급인쇄용지, 필기용지 등으로 사용하고, 질이 좋은 용해펄프는 인조 섬유를 제조하는데 사용된다. ‘원단위 산정연구’에서는 사용원료에 따른 탈묵, 표백공정의 유무가 폐수 성상에 큰 차이를 나타낸다고 밝히고 있으며, 투입 원료 물질에 따라 세분류 1: 펄프제조시설, 세분류 2: 펄프원료를 사용하는 종이제품 제조시설, 제조공정에 따라 세분류 3: 펄프, 고지원료를 사용하는 탈묵, 표백 종이제품 제조시설, 세분류 4: 펄프, 고지원료를 사용하는 비탈묵, 비표백 종이제품 제조시설, 원료물질, 제조공정, 생산품에 따라 세분류 5: 고지원료를 사용하는 비탈묵, 비표백 종이제품 제조시설, 세분류

**Table 1.** Discharge contribution analysis (TWKE ranking)

Rank	Industrial categories	Effluent TWKE (equ-kg/yr)		TWFs sum of effluent (equ-mg/L)		Flow rate m <sup>3</sup> /d
		Avg.	Max.	Avg.	Max.	
1	Primary steel industry	291	337	4.53	5.24	176,056
2	Petroleum refining	215	222	8.97	9.29	65,610
3	Petrochemical basic compounds manufacturing	177	193	5.65	6.16	85,669
<b>8</b>	<b>Pulp, Paper and Paper products manufacturing</b>	<b>58</b>	<b>188</b>	<b>0.42</b>	<b>1.37</b>	<b>376,460</b>

**Table 2.** Subcategory cases for pulp·paper·paperboard category

Japan (12)	U.S. (12)	M.E. (6) <sup>1)</sup>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Raw material deposit facilities</li> <li>Wet peeling facilities</li> <li>Grinder (Crush)</li> <li>Cooking facilities</li> <li>Cooking waste thickening facilities</li> <li>Chip &amp; pulp washing facilities</li> <li>Bleaching facilities</li> <li>Cylindering facilities</li> <li>Cellphane unvelving facilities</li> <li>Wet fiberboard molding facilities</li> <li>Waste gas washing facilities</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Dissolving kraft</li> <li>Bleached papergrade kraft and soda</li> <li>Unbleached kraft</li> <li>Dissolving sulfite</li> <li>Papergrade sulfite</li> <li>Semi-Chemical</li> <li>Mechanical pulp</li> <li>Non-Wood chemical pulp</li> <li>Secondary fiber deink</li> <li>Secondary fiber Non-Deink</li> <li>Fine and lightweight papers from purchased pulp</li> <li>Tissue, Filter, Non-woven, and Paperboard from Purchased pulp</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Pulp manufacturing</li> <li>Paper products manufacturing with pulp material</li> <li>De-inking and bleaching manufacturing with pulp &amp; old paper</li> <li>Non-de-inking and nonbleaching with pulp &amp; old paper</li> <li>Non-de-inking and nonbleaching with old paper</li> <li>Box manufacturing in Non-de-inking and nonbleaching with old paper</li> </ul>

1) ME, 2006 ; ‘Study of industrial wastewater sources subcategorization and basic units of pollutant loads’

6: 고지원료를 사용하는 비탈목, 비표백 종이제품중 상자제조시설로 6개의 세분류로 구분하였다(환경부, 2006).

3.2.2. 세분류별 폐수 발생특성

‘원단위 산정연구’에서는 폐수배출특성에 따라 펄프 및 종이제조 업종을 6개의 세분류로 구분하고 세분류별 발생 폐수 특성을 조사하였다. 세분류 ‘a’, ‘b’의 경우는 BOD 농도가 일반하수 수준으로 낮으며 포함된 수질유해물질 농도

도 낮은 것으로 나타났으며, 세분류 ‘c’, ‘d’는 SS 농도가 매우 높으며, BOD농도는 평균 300~800 mg/L 정도를 나타냈고 세분류 ‘e’, ‘f’는 SS 및 BOD 농도가 매우 높으며 수질 유해물질 농도도 상대적으로 높게 나타났다(Table 3 참조).

3.2.3. 발생특성을 고려한 세분류 구분

‘국내 적용성 연구(II)’에서 산정한 수질 유해물질별 독성가중치 인자(Toxic Weight Factors, TWF)로 환산하여 비교

Table 3. Subcategories's characteristics for pulp·paper·paperboard category

Subcategory Pollutants	Subcategory 'a' (1)		Subcategory 'b' (14)		Subcategory 'c' (16)	
	Avg.	Max.	Avg.	Max.	Avg.	Max.
BOD	116.5	-	190	372	820.9	2,011
CODmn	200	-	469	1,502	763	1,962
SS	640	-	539	1,340	1,536	6,330
T-P	8.16	-	0.53	1.435	0.76	2.45
T-N	14.4	-	17.6	46.3	15.7	49.9
Cadmium	-	-	-	-	-	-
Copper	0.350	-	0.0007	0.010	0.052	0.128
Chrome	-	-	0.063	0.249	0.068	0.214
Lead	-	-	0.25	1.89	0.210	0.981
Aluminum	0.865	-	0.788	4.775	3.43	13.59
Mercury	-	-	0.0002	0.002	0.0008	0.004
Arsenic	0.002	-	0.0051	0.025	0.0075	0.044
PCBs	-	-	-	-	-	-
Chloroform	0.678	-	0.0072	0.0526	0.066	0.602
PCE	0.00065	-	0.00074	0.0084	0.0031	0.0463
TCE	0.0072	-	0.0030	0.0303	0.0039	0.0446
Pentachlorophenol	0.0065	-	0.0001	0.0013	-	-
Trichlorophenol	-	-	0.00036	0.0024	0.00045	0.00139

Subcategory Pollutants	Subcategory 'd' (9)		Subcategory 'e' (8)		Subcategory 'f' (4)	
	Avg.	Max.	Avg.	Max.	Avg.	Max.
BOD	377.6	708.3	1,834	3,145	1,494	3,031
CODmn	681.3	1,326	1,165	1,790	1,314	2,184
SS	783.4	2,000	1,206	3,450	891.3	1,810
T-P	1.2	6.74	2.5	6.74	1.6	4.85
T-N	12.9	30.1	22.0	64.6	12.9	14.1
Cadmium	-	-	0.0048	0.022	0.048	0.19
Copper	0.033	0.111	0.260	0.752	14.0	30.05
Chrome	0.160	0.677	0.110	0.496	0.0665	0.093
Lead	0.158	0.334	0.231	0.539	0.402	0.812
Aluminum	3.10	10.51	18.72	72.75	6.86	11.41
Mercury	0.0009	0.008	0.0003	0.002	-	-
Arsenic	0.120	1.058	0.0064	0.025	0.0238	0.055
PCBs	-	-	-	-	0.00493	0.0126
Chloroform	0.0027	0.0176	0.0081	0.0268	0.0068	0.0237
PCE	0.0001	0.0009	-	-	-	-
TCE	0.018	0.134	0.0035	0.0086	0.0024	0.0070
Pentachlorophenol	-	-	0.00016	0.00126	0.00033	0.00131
Trichlorophenol	0.000358	0.00276	0.00004	0.00031	-	-

- a : Pulp manufacturing
- b : Paper products manufacturing with pulp material
- c : De-inking and bleaching manufacturing with pulp & old paper
- d : Non-de-inking and nonbleaching with pulp & old paper
- e : Non-de-inking and nonbleaching with old paper
- f : Box manufacturing in Non-de-inking and nonbleaching with old paper

해본 결과 각 세분류별 특성을 다음과 같이 정리할 수 있다.

- 세분류 a (펄프제조시설) : 위해성 ‘낮음’
- 세분류 b (펄프원료를 사용하는 종이제품 제조시설) : 위해성 ‘낮음’
- 세분류 c (펄프, 고지원료 사용하는 탈묵, 표백 종이제품 제조시설) : 위해성 ‘중간’
- 세분류 d (펄프, 고지원료를 사용하는 비탈묵, 비표백 종이제품 제조시설) : 위해성 ‘중간’, 비소가 비교적 높은 농도로 폐수에 포함.
- 세분류 e (고지원료를 사용하는 비탈묵, 비표백 종이제품 제조시설) 위해성 ‘중간’ 알루미늄 농도가 비교적 높게 나타남
- 세분류 f (고지원료를 사용하는 비탈묵, 비표백 종이제품중 상자 제조시설) 위해성 ‘높음’ 구리, 카드뮴, 알루미늄, PCB농도가 비교적 높게 검출됨.

펄프 및 종이제조 제조업종의 세분류를 폐수 TWFs함에 의한 위해도 특성에 따라 검토하면 원료측면으로는 펄프원료, 생산품으로는 종이제품이 낮게 나타났으며, 공정상으로는 비탈묵, 비표백 공정의 유무에 의해서는 폐수특성차이가 크게 나타나지 않았다. 원료로 고지원료, 생산품으로는 상자제조시설에서 비교적 오염물질 농도가 높고 위해도도 높은 것으로 나타나고 있다. 특히 고지원료를 사용하는 ‘비탈묵, 비표백 종이제품중 상자제조시설’에서 구리, 카드뮴, PCB가 비교적 높은 농도로 포함된 폐수가 발생 되고 있는 것을 알 수 있다. 배출시설별로 원료, 생산공정, 폐수특성, 위해도를 고려하여 다시 분석해본 결과 ‘폐수배출시설 세분류 및 오염부하 원단위 연구(환경부, 2006)’에 의한 6가지 세분류중 일부를 통합하여 4개의 세분류로 재구분하였다(Table 4 참조).

- 세분류 1: 펄프 제조시설 및 펄프원료를 사용하는 종이제품 제조시설(세분류 a, b)
- 세분류 2: 탈묵, 표백공정이 포함된 종이제품 제조시설 (세분류 c)

- 세분류 3: 펄프, 고지원료를 사용하는 비탈묵, 비표백 종이제품 제조시설(세분류 d, e)
- 세분류 4: 고지원료를 사용하는 비탈묵, 비표백 종이제품중 상자제조시설(세분류 f)

3.2.4. 오염물질의 선정

USEPA의 관심오염물질 선정과정을 참조하여 국내 ‘펄프·종이 및 종이제품 제조업종’ 중, 세분류 3(펄프, 고지원료를 사용하는 비탈묵, 비표백 종이제품 제조시설)의 관심오염물질(Pollutants of Concern, POCs)을 선정하였다(Fig. 3 참조). 세분류별 배출허용기준 대상 오염물질 선정을 위하여 업종 관심오염물질(POCs)을 먼저 선정하여야 한다. 관심오염물질(POCs) 선정을 위한 검토대상 오염물질들은 국내 업종별 조사자료 ‘원단위 산정연구’에서 조사한 오염물질과 해당업종 수계배출 화학물질자료(환경부, 2007)와 미국내 펄프, 종이 제조업종의 TBELs에서 규제받고 있는 대상 오염물질들을 포함시켰다. 미국 펄프, 종이제조 업종의 TBELs 규제대상 오염물질들은 일반오염물질로서 BOD, TSS, pH이며, 독성 및 비일반오염물질로는 PCE, TCE 등 총 17개종이다(USEPA, 1976, 1998).

USEPA의 경우는 원폐수를 대상으로 기준값(Baseline Value)과 비교하여 10배 이상 검출되는 모든 물질들을 검토대상 물질로서 조사한다(국립환경과학원, 2009). 일반적으로 기준값은 공정수 수질, 배출수역 하천수질 등을 대상으로 하고 있으나 본 연구에서는 기준값으로 국내 수질환경기준 중 사람의 건강보호항목(하천) 기준치와, 건강보호항목(하천)에 없는 오염물질은 청정지역 수질유해물질 배출허용기준치를 기준값(Baseline value)으로 적용하였다.

검토대상 오염물질중 원폐수에서 검출되지 않았거나 전체의 10% 미만의 샘플들에서만 검출된 오염물질인 수은, PCE 등은 대상에서 제외하였고 원폐수에서 기준값의 10배 미만으로 검출된 오염물질은 T-P, T-N, 크롬 등 8개 물질들 역시 제외하였다. 기타 검토 항목으로 폐수내 농도가

Table 4. Characteristics of pulp-paper-paperboard subcategories considering TWFs

Pollutants	TWF	Subcategory 1		Subcategory 2	Subcategory 3		Subcategory 4	Avg.
		a	b	c	d	e	f	
T-N	0.00006	0.0009	0.0011	0.0009	0.0008	0.0013	0.0008	0.0010
Cadmium	2.61	N.D	N.D	N.D	N.D	0.0125	0.1253	0.0230
Copper	0.62222	0.2178	0.0004	0.0324	0.0205	0.1618	8.7111	1.5240
Chrome	0.50909	N.D	0.0321	0.0346	0.0815	0.0560	0.0339	0.0397
Lead	2.24	N.D	0.5600	0.4704	0.3539	0.5174	0.9005	0.4670
Aluminum	0.6437	0.5568	0.5072	2.2079	1.9955	12.050	4.4158	3.6222
Mercury	117	N.D	0.0234	0.0936	0.1053	0.0351	N.D	0.0429
Arsenic	3.469	0.0069	0.0177	0.0260	0.4163	0.0222	0.0826	0.0953
PCB	13829.5	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	68.179	11.363
Chloroform	0.01191	0.0081	0.00008	0.00079	0.00003	0.00009	0.0001	0.0015
PCE	1.69697	0.0011	0.0013	0.0053	0.0002	N.D	N.D	0.0013
TCE	0.18667	0.0013	0.0006	0.0007	0.0034	0.0007	0.0004	0.0012
Pentachlorophenol	2.24	0.0146	0.0002	N.D	N.D	0.0004	0.0007	0.0026
Trichlorophenol	2.23	N.D	0.0008	0.0010	0.0008	0.0001	N.D	0.0004
Sum	-	0.8075	1.1448	2.8736	2.9781	12.8576	82.450	17.185

공정수내 농도보다 낮은 경우, 현재 처리기술로 처리가 불가능한 경우, 다른 오염물질들이 제거되면 동시에 제거되는 물질들은 관심오염물질(POCs)에서 제외하였다(USEPA, 2009a). 최종 관심오염물질들(POCs)은 BOD, COD<sub>Mn</sub>, SS, T-P, T-N, 크롬, 납, 알루미늄, 비소 9종이 선정되었다. USEPA의 경우 미국내 펄프제지 업종의 TBELs 규제 대상물질에서 COD, TKN, TOC 등과 같은 벌크(Bulk) 오염물질(특정 오염물질을 지칭하지 않고 다양한 해당 오염물질들의 합)은 다른 오염물질을 제거와 동시에 제거되는 물질로 판단하여 관심오염물질에서 제외시켰으나 본 연구에서는 COD<sub>Mn</sub>이 아직 국내 유기물 제거 지표로 주로 사용되는 점을 고려하여 포함시켰다(국립환경과학원 2008; USEPA, 1976, 1998).

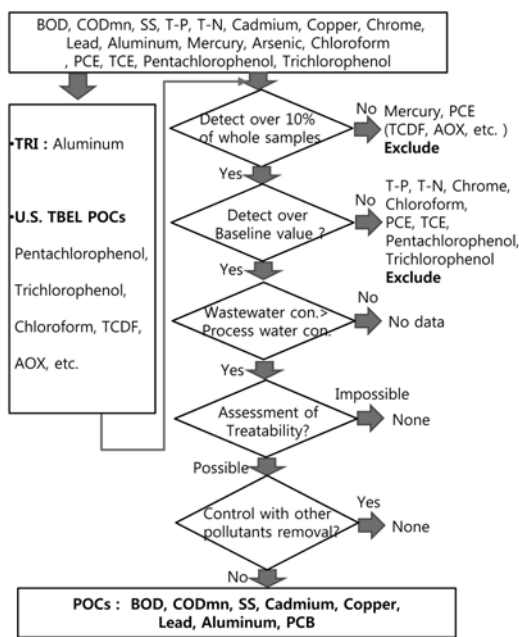


Fig. 3. Flow chart for POCs selection on pulp·paper·paperboard subcategory #3.

### 3.2.5. TBELs 산정

#### 3.2.5.1. TBELs 산정 시 고려사항

USEPA에서는 선정된 관심오염물질에 대한 TBELs를 설정하기 위해 각 업종별 세분류에 대표시설로 선정된 배출시설에서 직접 샘플링을 수행하여 분석한 데이터와 업체의 자가측정 데이터를 이용하고 있다. 세분류별 특성을 반영하고 선정된 근거처리기술을 적용한 배출시설들의 실제 측정 자료를 기준으로 배출허용기준이 산정된다. 기본적으로 처리수 수질은 장기간 평균농도(Long-term Average, LTA)를 이용하고, 생산품당 표준유량(Product Normalized Flow, PNF) 및 일반적으로 발생농도의 99% 빈도까지 포함하는 수질 변동율(Variability Factor, VF)을 활용하고 있다. TBELs은 일최대 배출허용기준과 월평균 배출허용기준 2가지를 모두 사용하고 있으므로 정상상태에서 오염물질별 일최대 변동율과 월 변동율 그리고 생산품당 표준유량(PNF)을 산정하여 식 (1)과 같이 장기간 평균값(LTA)에 변동율(VF)과 생산품당 표준유량(PNF)를 곱해 오염물질별 부하단위로 배

출허용기준을 산정하고 있다(USEPA, 2006, 2008).

$$\text{Daily Maximum Limitation} = \text{LTA} \times \text{PNF} \times \text{VF} \quad (1)$$

(kg-pollutant/kg-product) 또는 LTA×VF (mg/L)

LTA : 장기간 평균값(Long Term Average, mg/L)

PNF : 표준 생산품당 용수사용량(Product Normalized Flows, m<sup>3</sup>/kg-products·day)

VF : 변동율(Variability Factor)

USEPA에서 일최대 배출허용기준을 설정한 목적은 처리시설의 근거기술로 달성 가능한 수준을 기반으로 일일 배출량을 제한하는데 있다. 장기간 평균값(LTA)와 변동율(VF)을 구분한 이유는 배출시설들이 정상 운전조건에서 장기간 평균값(LTA)보다 낮거나 높게 배출할 가능성이 인정하고 있다는 것을 의미하고 있다. 즉 정상적인 운전조건에서도 평균값을 초과하는 배출수가 발생할 수 있으며 이를 TBELs 설정 시 반영한 것이다. 장기간 평균값(LTA) 기준은 설계와 운전이 잘되어 있는 폐수처리시설이 달성할 수 있는 평균적 달성수준으로 나타내고 있다. 따라서 폐수처리시설 설계 및 운전 시에는 일 최대 배출허용기준이 아닌 장기간 평균값(LTA)을 기준으로 삼아야 한다. 변동율(VF)은 이러한 시설들에서 일일 측정치들의 99% 이내로 허용 가능 범위를 기준으로 하며 합리적으로 예상되는 변동성을 고려한 것이다. 또한 월평균 배출허용기준은 해당시설의 해당오염물질이 월 1회 이상의 주기적인 감시가 필요하다는 가정을 기반으로 설정한 것으로 일최대 배출허용기준보다는 낮은 값을 나타내고 있다.

국내 배출허용기준은 수질 변동 가능성을 고려하지 않은 장기간 평균값(LTA) 개념으로 적용되고 있다. 따라서 국내 업종별 TBELs 적용을 위한 현장 연구에서는 배출허용기준 뿐만 아니라 장기간 평균값(LTA)와 변동율(VF)자료를 조사하고 주기적인 감시가 필요한 오염물질에 대해서는 오염물질별 월 평균 배출허용기준 개념을 도입하여 업체 자체 분석을 통한 모니터링을 유도해야 할 것이다. 국내에서 제품 생산품당 표준 용수사용량(PNF)를 도입할 경우 업체별로 상수, 지하수, 하천수, 재활용수 등 다양하게 사용하고 있는 용수사용량을 파악하기 어려운 문제점이 있다. 따라서 본 논문에서는 법적으로 계측이 의무화된 방류량을 기준으로 생산품당 표준방류량(Product Normalized Discharge Flow, PPDF)을 적용하였다. 그러나 업종에 따라 제품생산량과 방류량이 비례하지 않는 경우도 있을 수 있으므로 부하규제를 위한 생산품 당 표준방류량(PPDF)의 도입은 1) 용수사용량이 타 업종에 비해 상대적으로 많은 업종, 2) 농도 규제만으로 오염물질 부하량 감소를 유도하기 어려운 업종, 3) 제품 생산량과 방류량이 비례하여 증가되는 업종들만을 대상으로 선택적으로 적용해야 할 것이다. 또한 USEPA TBELs의 경우에서도 모든 업종에 부하기준을 적용하지 않으며(금속제품 및 기계제조업: 농도규제), 부하기준 선택 시에도 제품 생산량 기준만이 아니라 업종 특성에 따라 원료투입량 기준(석유정제업 : 원유 1,000 m<sup>3</sup> 당 발생량), 가공형태 구분(범랑

제품 제조업 : 코팅면적당 발생량)등으로 업종특성에 맞는 부하기준을 선택할 필요가 있다(국립환경과학원, 2008; 김경진 등, 2010a). 본 연구에서는 펄프·종이 업종특성을 반영하여 배출농도 허용기준과 배출부하 허용기준을 설정하는 것으로 제안하였다. 배출농도 허용기준은 현재 배출되는 배출시설들의 평균적인 배출농도(LTA)에 정상상태 운전을 고려한 변동율(VF)을 고려하여 결정하였다. 또한 펄프·종이 업종 등 다량의 용수를 사용하는 업종에는 배출부하 허용기준을 도입하여 평균적인 배출농도(LTA)에 생산품당 표준방류량(PNDF)를 곱한 값으로 산정하였다. USEPA의 경우 TBELs의 배출부하 허용기준 결정할 경우에도 변동율(VF)값을 반영하였으나 국내의 경우는 변동율(VF)를 제외하는 것이 합리적이라고 판단되어 평균배출농도와 생산품당 표준방류량(PNDF)의 곱으로 산정하였다. 그 이유로는 USEPA의 표본시설들을 장기간 측정된 평균농도(LTA)를 적용하는데 반면 국내에서는 아직 데이터 축적이 힘든 상황이므로 기존 조사자료 중 배출시설들의 평균 배출농도를 LTA로 간주하여 계산하였으며, 또한 USEPA TBELs은 국가 가이드라인 개념으로 설계되어 개별 배출시설별로 인허가 시 재검토하여 보다 강화된 기준을 제시하고 하고 있으나 국내의 경우는 배출시설별로 추가적인 검토없이 해당업종 전 업체에 일괄 적용될 수밖에 없으므로 USEPA의 산정방식보다 다소 강화시키는 것이 합당하다고 판단되기 때문이다(USEPA, 2009b).

원 폐수에서 기준값의 10배이상 함유되어 있는 오염물질이 처리수에서 검출되지 않거나 미량으로 검출되었을 경우에도 오염물질을 기준에서 제외하지 않고 현재 청정지역 기준치를 적용하여 배출농도 허용기준을 산정하였다. 이는 확보된 데이터가 충분히 신뢰할 수 있을 표본조사를 통해 수집되지 않은 점을 고려하고 원폐수내 포함되어 있는 오염물질의 잠재적 배출가능성을 고려한 것이다. 또한 배출부하허용기준 설정은 공정수를 다량으로 사용하고 있는 업종을 대

상으로 공정수 절감 및 재이용 확대를 유도하기 위한 것이므로 일반오염물질(BOD, COD<sub>Mn</sub>, SS)만을 대상으로 하였으며 업종 특성에 따라 일반오염물질 중 한 종류만 규제해도 무관하다고 판단된다. EPA 배출허용치 산정과정을 국내 실정에 적합하도록 보완하여 Fig. 4와 같이 제시하였다.

3.2.5.2. 펄프·종이, 종이제품 제조시설의 처리근거기술 및 TBELs 산정

국내에서는 오염물질 농도단위로 배출허용기준을 설정하고 있으나 ‘펄프·종이, 종이제품 제조시설’과 같이 다량의 용수를 사용하고 있는 업종의 경우는 농도규제만으로 한계가 있으며 부하기준 규제가 별도로 필요하다고 판단된다. 본 연구에서는 ‘펄프·종이, 종이제품 제조시설’의 TBELs 설정을 전체 오염물질을 대상으로 한 배출농도 허용기준과 일반오염물질을 대상으로 한 배출부하 허용기준을 2가지로 제시하였다. 부하허용기준에 사용되는 표준방류량 산정 시 업체별, 규모별로 폐수 재활용율 차이가 크게 나타나기 때문에 재활용율이 큰 업체는 제외하였고 표준방류량 변화와 일치되는 연간 생산량을 기준으로 1)연간 생산품 10만톤이상, 2)연간 생산품 1만톤~10만톤, 3)연간 생산품 1만톤미만으로 구분하여 PNDF를 각각 산정하였다. 분석 대상자료가 ‘원단위 산정연구’에서 실시한 조사자료를 기초로 하였기 때문에 표본 대상 업체가 달라지면 PNDF값과 생산량 구분은 달라져야 할 것이다(환경부, 2005).

처리 근거기술 기술들은 ‘원단위 산정연구’에서 실시한 세분류 배출시설 조사결과 다음 5개 기술로 정리되었다(환경부, 2001~2004).

- 기술 A : 응집처리 + 생물학적처리(활성슬러지)
- 기술 B : 생물학적처리(활성슬러지) + 급속여과(사여과)
- 기술 C : 1차응집처리 + 생물학적처리(활성슬러지) + 2차 응집처리
- 기술 D : 응집처리 + 생물학적처리(활성슬러지) + Fenton 처리 + 급속여과(사여과)
- 기술 E : 1차응집처리 + 생물학적처리(활성슬러지) + 2차 응집처리 + 급속여과(사여과)

후보기술 중 현재 해당업종에서 가장 많이 사용하고 있는 처리기술은 기술 A : 응집처리 + 생물학적처리(활성슬러지)로 나타났으며 경제적 수용성, 기술별 가중가치 평가 결과에서는 기술 C : 1차 응집처리 + 생물학적처리(활성슬러지) + 2차 응집처리가 우수한 평가를 받은 것으로 나타났다. 따라서 ‘원단위 산정연구’에서 구분했던 방식과 같이 최적실용기술(Best Practical Technology, BPT)로는 기술 A를 선정하였고, 경제적으로 활용 가능한 최적기술(Best Available Technology, BAT)로는 기술 C를 선정하여 세분류3(펄프, 고지원료를 사용하는 비탈목, 비표백 종이제품 제조시설)에 대한 처리 근거기술별 배출허용기준을 산정하였다. 참고로 USEPA에서 제시하는 BPT는 1979년도에 제시된 개념으로 모든 오염물질들을 대상으로 평균적인 수준의 처리기술에서 달성 가능한 배출허용기준을 의미하고, BAT는 1989년도에 제시된 경제성을 고려한 우선독성오염물질, 비일반 오염물질들을 대상으로 최적 처리기술 수준에서 달성

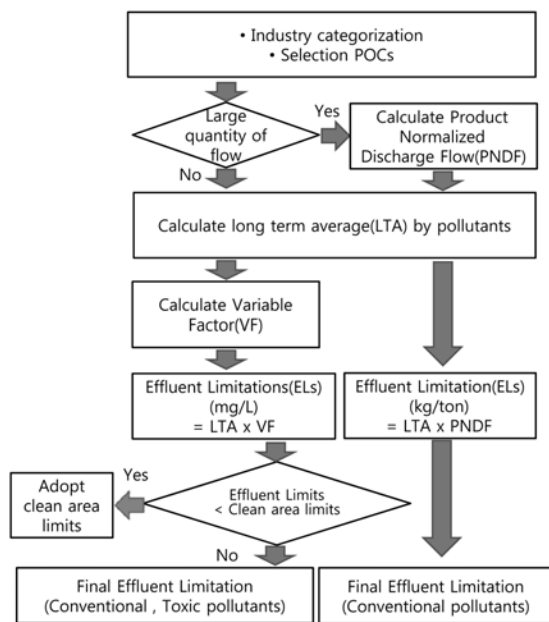


Fig. 4. Flow chart for domestic TBELs developing process.



**Table 5.** TBELs (BPT) for pulp·paper·paperboard subcategory #3

Subcategory	Pollutants	LTA (mg/L)	PNDF (m <sup>3</sup> /ton)	VF	Limits (mg/L)	Limits (kg/ton-product)
Subcategory #3 : Paper products manufacturing Non-de-inking and nonbleaching with pulp & old paper	BOD	17.5	13.9 <sup>a</sup>	2.5	50	0.24 kgBOD/ton-product
			38.3 <sup>b</sup>			0.67 kgBOD/ton-product
			77.6 <sup>c</sup>			1.36 kgBOD/ton-product
	COD <sub>Mn</sub>	65.1	13.9 <sup>a</sup>	1.3	90	0.90 kgCOD <sub>Mn</sub> /ton-product
			38.3 <sup>b</sup>			2.49 kgCOD <sub>Mn</sub> /ton-product
			77.6 <sup>c</sup>			5.05 kgCOD <sub>Mn</sub> /ton-product
	SS	26.9	13.9 <sup>a</sup>	2.5	70	0.37 kgSS/ton-product
			38.3 <sup>b</sup>			1.03 kgSS/ton-product
			77.6 <sup>c</sup>			2.09 kgSS/ton-product
	T-N	14.9	-	2.5	40	-
T-P	0.9	-	2.5	(4.0)	-	
Chrome	0.048	-	2.5	(0.5)	-	
Lead	0.117	-	2.5	0.3	-	
Arsenic	0.007	-	2.5	(0.05)	-	

a) >100,000 ton-product/year, b) 10,000~100,000 ton-product/year, c) <100,000 ton-product/year ('Pollutants unit mass from an Industrial wastewater discharging facility and Best available technology assesment on the wastewater treatment processes' (ME, 2001~2004)')  
( ) : If Effluent limits (LTA × VF) is small than Clean water limits adopt the Clean water limits

**Table 6.** TBELs (BAT) for pulp·paper·paperboard Subcategory #3

Subcategory	Pollutants	LTA (mg/L)	PNDF (m <sup>3</sup> /ton)	VF	Limits (mg/L)	Limits (kg/ton-product)
Subcategory #3 : Paper products manufacturing Non-de-inking and nonbleaching with pulp & old paper	BOD	16.8	13.9 <sup>a</sup>	1.5	30	equal to BPT
			38.3 <sup>b</sup>			
			77.6 <sup>c</sup>			
	COD <sub>Mn</sub>	22.6	13.9 <sup>a</sup>	1.5	40	0.31 kgCOD <sub>Mn</sub> /ton-product
			38.3 <sup>b</sup>			0.87 kgCOD <sub>Mn</sub> /ton-product
			77.6 <sup>c</sup>			1.75 kgCOD <sub>Mn</sub> /ton-product
	SS	24	13.9 <sup>a</sup>	1.5	40	equal to BPT
			38.3 <sup>b</sup>			
			77.6 <sup>c</sup>			
	T-N	7.1	-	1.5	(30)	-
T-P	0.002	-	1.5	(4)	-	
Chrome	0.008	-	1.5	(0.5)	-	
Lead	0.101	-	1.5	0.2	-	
Arsenic	-	-	1.5	(0.05)	-	

a) >100,000 ton-product/year, b) 10,000~100,000 ton-product/year, c) <100,000 ton-product/year ('Pollutants unit mass from an Industrial wastewater discharging facility and Best available technology assesment on the wastewater treatment processes' (ME, 2001~2004)')  
( ) : If Effluent limits (LTA × VF) is small than Clean water limits adopt the Clean water limits

가능한 배출허용기준(BOD 등 일반오염물질 해당없음; 김경진 등, 2010a)을 의미하고 있다. 그러나 국내에서는 BPT는 평균수준으로 처리 가능한 배출허용기준, BAT는 경제성을 고려하여 처리 가능한 최적의 배출허용기준으로 이해하고 있다(예, BPT는 처리수준을 기반으로 상위 50%정도 수준, BAT는 상위 10%정도 수준). 즉, USEPA는 대상물질과 처리기술(Technology)을 강조하고 있으나, 국내는 처리능력(Treatability)으로 받아들이고 있다. 따라서 이번 연구에서도 국내에서 통용되는 BPT, BAT 개념으로 접근하였다.

배출허용기준 중 BOD, COD<sub>Mn</sub>, SS의 경우는 용수 사용량 감소 및 배출수 재이용을 유도하기 위해 배출부하 허용기준을 별도로 제시하였고, '원단위 산정연구'에서 조사한 연간 제품생산량을 기준으로 3가지로 생산품 당 표준 방류

량(PNDF)를 산정하였다(Table 5, 6 각주 참조). 대상오염물질들 중 배출농도 허용기준이 현 청정지역기준에 못 미치는 경우(T-N, T-P, Chrom, Arsenic)는 현재 청정지역 기준을 적용하였다. 변동계수(VF)는 대상 처리장의 오염물질별 장기간 분석 데이터가 없으므로 USEPA의 펄프, 종이제조업종에 대한 TBEL 개발보고서의 VF값과 선정된 기술 A, 기술 C의 처리특성을 고려하여 BPT 기술근거는 2.5, BAT 기술근거는 1.5로 적용하였다(USEPA, 1976, 1998). 다만 BPT 기술근거 기준중 COD<sub>Mn</sub>에 적용 VF값은 2.5를 적용할 경우 배출허용기준이 162 mg/L로 산정되어 현재 배출허용기준을 초과하게 되므로 나지역 기준인 90 mg/L를 적용하여 VF값을 1.3으로 산정하였다. BAT 배출부하 허용기준들 중 BOD와 SS는 LTA가 BPT 기준과 큰 차이가 없

므로 BPT 기준과 동일하게 적용하였다(Table 5, 6 참조).

미국 EPA의 경우 개별 배출시설 배출허용기준 설정 시 TBELs과 함께 수생태계 및 인체 위해성을 근거로 한 수질 근거 배출허용기준(Water Quality Based Effluent Limits, WQBELs)을 지역별, 수계별, 업체별로 동시에 검토하여 이중 강한 규제를 인허가 시 반영하고 TBELs은 국가의 전체적인 가이드라인으로 적용하고 있으므로 국내 TBELs 도입 시 이러한 점을 충분히 고려해야 할 것이다.

#### 4. 결론

USEPA의 업종별 TBELs 산정과정에 대한 ‘국내 적용성 연구(I)’와 위해성을 고려한 업종별 오염부하 기여도 분석에 대한 ‘국내 적용성 연구(II)’의 내용을 토대로 ‘국내 적용성 연구(III)’에서는 기존 국내 여건을 고려한 TBELs 적용방안을 제안하고 적용사례로 펄프·종이 및 종이제품 제조시설 업종의 TBELs을 산정하였다.

- 1) 국내 TBELs 도입은 배출허용기준의 과학적, 합리적 근거 마련과 수질유해물질의 위해성 고려한 수계 배출량 저감, 규제 유연성과 경제성을 고려한 배출허용기준 마련을 목적으로 하였다.
- 2) 국내 TBELs 적용시에는 인체 및 수생태계 위해성 고려하여 오염부하 기여도가 큰 업종들을 우선 적용하며 현재 적용대상 수질유해물질들의 확대가 필요하며 또한 공공폐수처리시설에 대한 배출특성 평가를 통해 간접방류에 대한 별도 기준마련이 필요하다.
- 3) TBELs 기준은 업종별 배출특성과 처리기술 특성을 기반으로 하고 있으므로 국내 적용을 위해서는 인허가 및 지도점검 제도의 보완과 함께 업체별 수질자료의 체계적인 보고, 수집, 관리체계의 제도적 마련이 필요하다.
- 4) 국내 TBELs 적용과정은 위해성을 고려한 업종별 배출특성에 맞는 규제(농도규제와 부하규제 여부)를 결정하고 기초조사 및 현장조사, 기술평가 시 데이터의 유효성 파악을 통한 장기간 평균농도(LTA), 생산품당 표준방류량(PNDF), 수질변동율(VF)등 배출특성 파악, 후보기술 선정, 경제성, 환경성 평가를 수행해야 한다.
- 5) 국내 TBELs 기준은 배출농도허용기준 =  $LTA \times VF$ , 배출부하허용기준 =  $LTA \times PNDF$ 로 제시하였다.
- 6) 적용사례로 ‘펄프 종이 및 종이제품 제조시설’에 대한 TBELs 배출허용기준을 다음과 같이 산정하였다.
  - 가) 업종특성상 용수사용량이 매우 많고 부하변동성이 큰 업종이므로 농도기준과 함께 부하기준을 제시하였다.
  - 나) 투입원료물질, 제조공정, 생산품과 수질유해물질별 위해성을 포함하여 세분류를 한 결과 4개의 세분류로 구분되었으며, 이중 펄프, 고지원료를 사용하는 비탈목, 비표백 종이제품 제조시설에 대한 TBELs을 산정한 결과는 다음과 같다.
    - 관심오염물질(POCs)은 BOD,  $COD_{Mn}$ , SS, T-P, T-N, 크롬, 납, 알루미늄 비소로 선정되었으며, 연간 제품 생산량

에 따라 10만톤이상/1만톤~10만톤/1만톤 이하로 구분하여 생산품당 표준방류량(PNDF)를 각각 적용하였다.

- 기존 연구결과를 반영하여 일반적인 실용화기술(BPT)은 응집처리+생물학적처리(활성슬러지), 최적처리기술(BAT)은 1차 응집처리+생물학적처리(활성슬러지)+2차 응집처리로 선정되었다.
- BAT 농도기준 배출허용기준은 일반오염물질로서 BOD 30 mg/L,  $COD_{Mn}$  40 mg/L, SS 40 mg/L, T-N 30 mg/L, T-P 4 mg/L로 각각 산정되었고, 부하기준 배출허용기준은 0.31~1.75 kg $COD_{Mn}$ /ton-products, 기타 수질유해물질로는 크롬 0.5 mg/L, 납 0.2 mg/L, 비소 0.05 mg/L로 각각 산정되었다.

#### 사 사

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

#### 참고문헌

- 김경진, 손대희, 허진, 김광인, 권오상, 염익태(2010a). 처리기술에 근거한 산업폐수 배출허용기준 국내 적용성 연구(I) : 미국 TBELs 적용사례 검토. 수질보전 한국물환경학회지, 26(1), pp. 1-9.
- 김경진, 김원기, 정상구, 정진영, 김재훈, 김상훈, 염익태(2010b). 처리기술에 근거한 산업폐수 배출허용기준 국내 적용성 연구(II) : 산업폐수 위해성 지표를 이용한 오염부하 기여도 분석. 수질보전 한국물환경학회지, 26(2), pp. 191-199.
- 국립환경과학원(2008). 배출원 특성조사를 통한 업종별 최적처리 기술 도출연구(I). KIST, 성균관대.
- 국립환경과학원(2009). 기술에 근거한 폐수배출허용기준 및 근거자료 조사연구(II). KIST, 성균관대.
- 환경부(2001~2004). 폐수처리공정별 BAT 평가 및 원단위 산정. 국립환경과학원.
- 환경부(2002). 21세기 산업폐수관리 정책방향에 관한 연구.
- 환경부(2005). 전국 폐수배출시설 조사자료.
- 환경부(2005~2008). 산업폐수 관리체계 개선방안 연구. KIST, 성균관대.
- 환경부(2006). 폐수배출시설 세분류 및 오염부하 원단위 연구. 국립환경과학원.
- 환경부(2007). 화학물질 배출량 조사자료.
- USEPA(2005). Annual Screening-Level Analysis.
- USEPA(2006). Technical Support Document for the 2006 Effluent Guidelines Program Plan.
- USEPA(2008). Technical Support Document for the 2008 Effluent Guidelines Program Plan.
- USEPA(1976,1998). Development Document for Effluent Limitation Guideline and Standards for Pulp, Paper and Paperboard.
- USEPA(2009a). Treatability Database Version 5.0' Database.
- USEPA(2009b). www.epa.gov/waterscience/guide/.