

낙동강 수계에서 제사방적제조 업체에 대한 공정별 원단위산정 및 분석

Unit Mass Estimation and Analysis from Textile Spinning/Weaving Manufacturing Facility Nearby Nakdong River Basin

이흥신·손건태·구정은·콘분락사·이흥태·이승환*

Hongshin Lee · Gontae Son · Jungeun Gu · T. Konboonraksa · Hongtae Lee · Seunghwan Lee *

금오공과대학교 토목환경공학부 환경공학전공

(2008년 6월30일 접수; 2008년 9월5일 1차수정; 2008년 10월2일 2차수정; 2008년 10월8일 채택)

Abstract

In this investigative study, the unit mass discharge for the major water quality parameters such as flowrate, SS, BOD, CODmn, CODcr, TN, TP from textile spinning/weaving industry nearby Nakdong river basin was estimated. To represent the respective industries, three companies from hundreds of textile spinning/weaving industries located in Nakdong river basin was carefully selected based on its manufacturing goods, flowrate and location for the estimation of unit mass discharge based on unit operation and process. There was a drastic decrease of unit mass discharge estimation between influents and effluents of water quality parameters, which represents the removal capacity of wastewater treatment plant. With the advent of new regulation on the imposed payment proportional to the total amount of pollutants discharge into the water body, the concept of cleaner production technology should be employed in the unit operation/process in wastewater treatment plant as well as textile manufacturing procedure to minimize the levy on the pollutants discharge. Unit mass discharge estimations of unit process (estimated in this study) in major water quality parameters (SS, BOD, COD, TN and TP) based on land were similar to those of composite process (estimated by National Institute of Environmental Research). But the unit mass discharge estimations of unit process in BOD and CODmn based on total sale were much higher than those of composite one while in SS, TN and TP similar to each other. For the detailed estimation of the imposed payment, unit mass estimation based on unit process should be further emphasized.

Key words : Unit ass discharge, Textile Spinning/Weaving Industry, Industrial Wastewater, Unit and Composite Processes, Wastewater Characteristics

주 제 어 : 오염원 발생원단위, 섬유 산업, 섬유 산업폐수, 단위공정 및 통합공정, 폐수특성

1. 서론

우리나라는 1970년대 들어와서 산업의 발달로 업종의 다양화 및 전문화에 따른 산업계의 각종 오염원으로 인하여 오염 물질의 종류가 증가하고 새로운 물질의 발견 등으로 산업계 폐수처리 문제가 심각한 환경문제로 대두되고 있다. 현재 우리나라에서 사용하고 있는 물질의 종류는 약 36,000여종에 이르는 것으로 추정하고 있으며, 주요한 수질 유해물질도 수백 여 종에 이르는 것으로 추산하고 있다 (남궁완, 1988; 국립환경과학원, 2005a). 1963년 공해 방지법의 공해 안전기준에 의한 폐수의 수질기준이 제정된 이후 폐수관리를 위한 배출 허용기준은 현재 수질환경보전법상 82개 폐수 배출 시설에서 발생하는 오염물질 종류를 보면 특정 수질 유해물질 19종을 포함한 유기물(BOD) 등 수질 오염물질 41개 항목에 대해 배출 허용기준을 설정 관리하고 있다 (환경부, 2007). 유해물질 관리 선진국인 미국과 같은 나라가 126개 수질 유해물질을 우선 관리대상 수질 오염물질로 규정하고 국가 차원의 배출 한계량을 설정하고 있는 상황과 비교할 때, 우리나라 폐수배출 허용기준 항목 수는 배출 시설이 현장에서 사용하고 있는 물질 수에 비하여 현저히 적은 편으로 배출 허용기준을 통한 목표수질 달성에는 미흡한 점이 많다 (환경부, 2003a; 환경부, 2003b). 또한 지역별, 규모별로 배출 허용기준을 차등화 하여 적용함으로써 총량규제의 의미도 어느 정도 도입하였으나 업종별 배출 허용기준이 일률적으로 적용되고 있어, 폐수 배출시설과 폐수 처리 기술의 특성을 제대로 반영시키지 못하고 있는 실정이다(환경부, 2005). 국내에서 산업폐수를 수계로의 방류에 의한 수질오염을 예방하기 위해서 배출 시설 설치허가, 배출 허용기준 위주의 농도규제, 토지 이용규제, 폐수 종말처리시설 운영 등의 제도를 통해 관리하고 있으나, 신규 오염원의 증가, 물질사용 증가 등으로 인하여 산업폐수의 관리에 대한 국민의 우려가 증가하고 있는 실정이다. 특히 최근 들어 기존의 획일적 기준에 의존한 제도 정책 하에서 시행되었던 농도 중심 규제에서 총량규제로 전환함에 따라 폐수 배출시설에 대한 관리 방법의 변화가 요구되고 있는 실정이다(국토연구원, 2004; 경상북도, 2005; 환경부, 2005).

현행 산업 폐수의 관리체계는 4대강수계 수질오염총량제의 시행에 따라 배출규제가 농도규제에서 부하량 중심의 규제로 페르다임이 변화되고 있고, BAT(Best Available Technology)를 통한 오염부하 삭감 가능량의 산정 등이 요구되고 있는 시점에서 처리기술수준에 근거한 차등적 배출 허용기준을 적용하기 위해서는 최대한 폐수성상이 유사한 폐수 배출시설로 분류가 되어야한다. 폐수 배출시설의 세 분류는 향후 환경부에서 추진하는 업종별 폐수의 특성과 처리 기술수준을 고려한 '차등적 배출 허용기준 체계' 도입을 위

해 반드시 필요하다. 현재 '오염총량관리계획수립지침(환경부 고시, 1999-143)' 등에서 사용되고 있는 폐수 배출시설의 오염원 발생원단위는 2001년 82개 업종의 폐수배출 시설로 개편되기 전의 폐수배출시설(139개 업종)별 오염원 발생원단위로는 현행 업종 코드와 일치하지 않아 산업폐수 오염부하 산정 시 매우 어려움이 있다 (국립환경과학원, 2006). 환경부에서는 낙동강 유역의 오염총량제 관리제도의 시행에 따라 지금까지의 배출구 수질기준으로부터 총량 수질기준을 통한 수질관리를 실시하고 있다. 최근 낙동강 수계의 경우 2005년부터 시 단위의 오염총량제 도입으로 인해 폐수 배출시설에 대한 관리에 커다란 변화가 일어나고 있는데, 그 동안 신규 유해물질의 사용에 따라 기존에 적용되었던 수질규제 항목에서 검출되지 않는 유해물질이 배출됨에 따라 이에 대한 특별한 관리체계가 필요하게 되었다. 각 산업 형태별 배출폐수의 성상이 상이한 점을 감안한다면 기존의 획일적 폐수 배출기준 하에서는 효율적인 수계 관리가 어렵기 때문에, 각 산업에 따라 대표성 있는 폐수발생 현황 및 부하량 산정자료 제시와 같은 새로운 제도의 도입에 따라 긴급히 요청되고 있다(낙동강물환경연구소, 2003; 환경부, 2003c; 환경부, 2003d; 국립환경과학원, 2004). 따라서 국내 정책방향에 부합하는 조사 자료를 제공하기 위해서는 기존의 폐수 수질조사 방법과는 다르게 1) 수질/유량 data에 기초한 성분별 오염부하량 2) 주요 폐수배출 산업에 대한 다양한 오염물질 조사, 3) 신규 유해물질의 사용에 따라 기존에 적용되었던 수질 규제 항목에서 검출되지 않는 유해물질에 대한 자료들을 중점적으로 확보해야 한다. 본 연구에서는 낙동강 수계에서 섬유산업 중 제사방적제조 업체를 중심으로 각 산업별 발생원 단위 오염물질 배출 특성을 조사하였는데, 지금까지 유입수와 유출 수에서만 수행된 모니터링의 한계를 넘어서서 각각의 단위 공정별로 발생하는 폐수를 분석하여 오염원 발생원단위를 산정하여 비교 평가하였다(환경부, 2001; 환경부, 2002; 환경부, 2007).

2. 연구 방법

2.1 대상 업체의 선정

섬유산업체 관련 업종은 크게 섬유제조 시설, 제사방적제조 시설, 섬유염색 및 가공 시설과 같이 세 가지로 구분된다 (산업자원부, 2004). 본 연구에서는 섬유업종 중 제사방적제조 업체를 중심으로 2종 규모로 3개의 업체를 선정하여 조사사업을 수행하였다. 시료의 채수는 집수된 원폐수의 유입부와 처리수의 유출부에서 뿐 아니라 제사방적제조 업체의 단위공정에서도 실시하였다. 업체의 특성상 공정별/시기별/시간별 유량변동이 심하거나 세척수와 혼합하여 처리장으로 일괄 방류하는 경우 폐수처리장에 모아진 원수와 방류

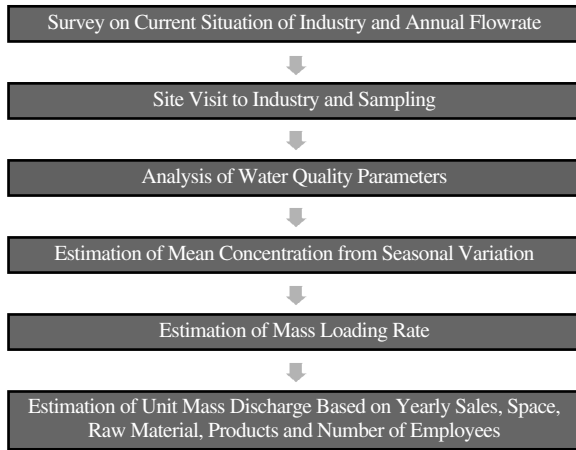


Fig. 1. Flow diagram of unit mass estimation.

수만을 채수하였다. 국내업체의 경우 대부분의 업체가 공정수와 세척수를 혼합하여 처리장으로 유입시키는 구조를 갖추고 있어 모든 업체에 대한 공정별 채수는 현실적인 한계가 있었다. 시료 당 채수량은 정도관리를 고려하여 12ℓ 이상 채수하였고 정도관리에 만전을 기하였을 뿐 아니라 항목에 따라 2~3회에 걸쳐 분석하였으며 이 중 평균값을 최종적인 수질 값으로 채택하였다.

2. 2 수질분석 및 오염원 발생원단위 산정 절차

본 연구에서는 채수된 시료 당 10여개의 일반 수질항목에 대해 다양한 분석 방법을 따라 표준 공정 분석법을 기초로 수행되었다(APHA et al., 1999). 오염원 발생원단위 산정은 Fig. 1에서 보여주고 있는 바와 같이 발생원단위를 산정하고자 하는 산업체의 일반현황(연간매출액, 건평, 종업원 수, 연간 원료사용량, 연간 제품생산량)을 년 단위의 통계로 조사하였다. 다음에 산업체의 연평균 폐수배출량을 조사하는데, 본 연구에서는 각각 여름(8월), 가을(10월), 겨울(12월)에 한번씩 폐수 배출량을 측정하여 여름 3.5개월, 겨울 3.5개월, 봄/가을 5개월의 가중치로 연평균 폐수 배출량을 산정하였다. 또한 산업체의 배출시설의 종류별로 생산 공정을 파악하여 해당 시설별로 구분하여 계절별로 (여름, 가을, 겨울) 시료를 채취하고 일반항목의 농도를 측정하였다. 일반항목을 대상으로 측정된 평균 농도 값과 연평균 폐수 배출량을 곱하여 수질 항목별 부하량을 산정하였으며 위에서 언급된 인자들로 나누어 발생원단위를 구하였다(국립환경연구원, 1999).

본 연구에서는 업체수가 다수로 존재하기 때문에 효율적인 인력관리와 정확한 부하량 산정을 하기 위하여 정도관리가 매우 중요하다. 따라서 시료 채취횟수는 폐수 방류량이 많은 업체에서는 오염물질의 배출 부하량이 크기 때문에 시료의 채취빈도를 자주 하여 보다 정확한 수질자료를 획득할 수 있도록 하였다. 본 연구에서는 1년간에 걸쳐서 총 3회를

채수하여 평균값으로 수질 항목별 농도를 파악하였다. 오염원 발생원단위 산정을 위한 수질 분석 항목은 BOD, COD_{mn}, COD_{cr}, SS, TN, TP이었으며 수질오염 공정시험법에 준하여 분석하였다(최재성, 2000). 본 연구와 관련이 있는 제사방직제조 업체에 대한 오염물질 원단위에 대해 국립환경연구원에서 도출한 결과 값(통합공정이라 칭함)과 본 연구에서 분석하여 얻은 결과 값(단위공정이라 칭함)을 비교 평가 하였다(국립환경과학원, 2005a; 국립환경과학원, 2005b; 국립환경과학원, 2005c). 통합공정에서는 제사방직제조 업체의 유입수를 기준으로 단위공정에서는 공정 I에서 채수된 폐수를 기준으로 오염원 발생원단위를 계산하여 비교 평가하였다.

3. 연구결과 및 고찰

직조 시설로부터 실을 이용해 천을 제조하는 시설을 갖춘 제사방직제조 업체에 속한 업체 A의 폐수발생원과 폐수처리 공정도는 Fig. 2에서 보여주고 있는 바와 같다. 폐수는 제직공정에서 주로 배출되고 있는데 제직공정 I과 제직공정 II는 동일한 공정을 2개로 나누어 각각 다른 경로를 통해 집수조로 유입되었다. 제사방직제조 업체는 정경작업 과정에서 빔을 발생할 때 많은 분량의 용수를 필요로 하는데 이는 실의 종류에 따라 그에 상응하는 오염물질이 발생되기 때문이다. 또한 합성섬유, 견직, 모직, 면직과 같은 원사의 재질에 따라 오염물질의 농도에 차이를 보여주고 있다. 제사방직 공정은 단순 공정이며 폐수는 제직공정에서 배출된다. 즉, 정경작업으로 빔을 발생할 때 물이 많이 이용되는데 이는 실의 종류에 따라 오염 물질이 발생된다고 볼 수 있다(임재명 등, 2001a; 임재명 등, 2001b). 합성섬유를 사용하느냐 견직물, 모직물 및 면직물을 사용하느냐에 따라 폐수 오염의 정도 차이가 나타날 수 있다. 제직공정 I과 제직공정 II는 같은 공정을 I과 II로 나누어 각각 다른 경로를 통해서 집수조로 들어오는 폐수를 의미한다. 단지 앞서 말한 바와 같이 섬유 재질에 따라 오염물질과 농도가 차이를 보일 수 있다. 채수하여 분석하는 기간 동안은 두 공정의 오염농도 수치는 매우 유사하게 나타났다. 한편 폐수처리 방식은 물리·화학적 단위공정으로 구성되어 있는데 주요 단위공정으로는 집수조 → 화학 반응조 → 중화조 → 응집조 → 가압 부상조 → 방류조를 통해 처리수로 배출되며 본 업체가 소재해 있는 G공단의 정책에 따라 G공단 하수종말처리장으로 유입된 후 가정하수와 연계되어 최종 처리과정을 거쳐 낙동강 수계로 방류된다. 화학 반응조와 가압 부상조에서 발생된 슬러지는 탈수 과정을 거쳐 호퍼로 이송된 후 케이크는 위탁처리 되고 탈수공정에서 발생된 폐수는 폐수처리장의 집수조로 유입된다.

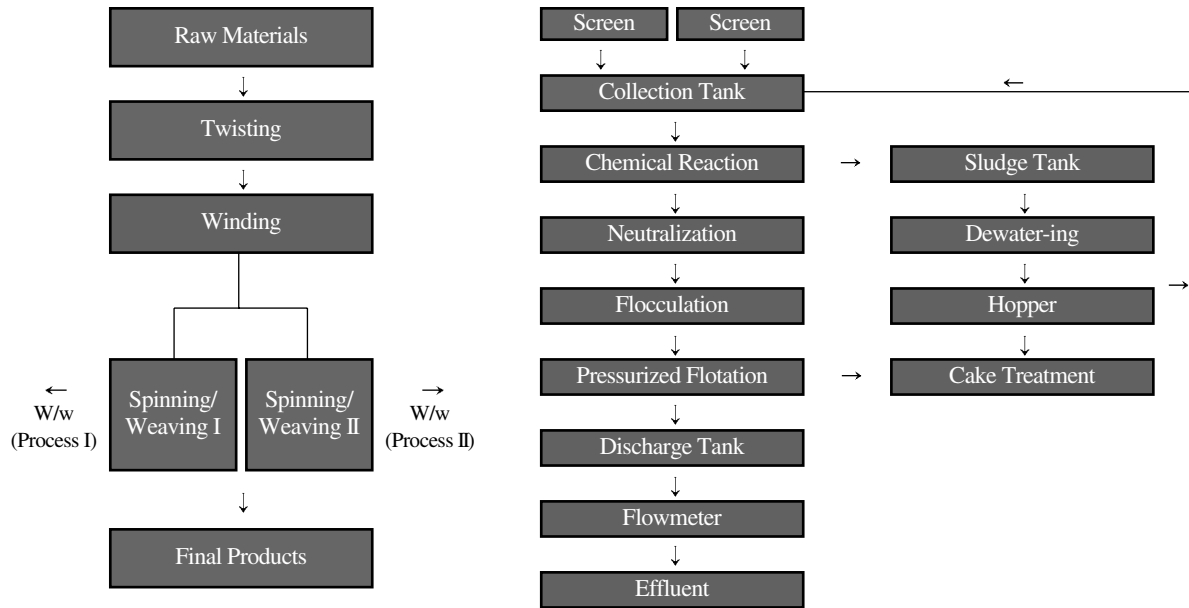


Fig. 2. Schematic diagram of textile spinning/weaving manufacturing and wastewater treatment facilities.

3.1 폐수의 특성

제사방적제조 업체에서 배출되는 폐수의 평균 농도는 Table 1에 요약되어 있는데, 주요 수질 항목에 대한 분석 결과는 다른 섬유산업 시설에 비해 비교적 낮은 농도 값을 나타내고 있음을 볼 수 있다. 제직공정 I의 평균농도는 BOD 109.4mg/L, CODmn 87.8mg/L, CODcr 145.7mg/L, SS 12.9mg/L, TN 0.81mg/L, TP 0.07mg/L로서 제직공정 II에 비해 대부분의 항목에서 비교적 낮은 값을 나타내고 있는데 여기서 평균값은 시기별로 세 차례에 걸쳐 동일한 지점에

서 채수하여 분석한 샘플의 평균값을 나타내주고 있다. 제직공정 I 과 제직공정 II가 제사방적 공정에서 비슷한 제조공정을 거치고 있고 설비 규모가 비슷하지만 원료 사용량이 다소 높은 관계로 발생 폐수 량이 낮음에도 불구하고 전반적인 수질항목이 높게 나타나는 특성을 보이고 있다. 또한 다른 수질 항목들에 비해 CODcr의 경우 표준 편차값이 높게 나타나고 있는데, 이는 최소값과 최대값의 변동폭이 타 항목들에 비해 매우 크게 나타나고 있는 특성을 반영한 것으로 보인다. 섬유산업에서 제사방적제조 업체의 경우 대부분 물

Table 1. Wastewater characteristics of textile spinning/weaving facility

(All units are in mg/L except Temperature and pH)

Site	Temp.(°C)	pH	DO	SS	BOD	CODmn	CODcr	TN	TP	NO ₂ -N	NH ₃ -N	NO ₃ -N	
Influent	Mean	17.30	6.70	3.82	14.10	125.13	88.03	177.02	2.40	0.05	0.05	1.84	0.41
	Max. a)	25.00	6.82	6.87	16.30	188.70	112.80	258.15	3.50	0.09	0.06	2.48	0.84
	Min. b)	12.50	6.60	0.10	10.70	89.49	69.00	134.70	1.25	0.02	0.04	1.08	0.00
	S/Dc)	6.74	0.11	3.44	2.99	55.19	22.46	70.29	1.20	0.04	0.01	0.71	0.42
Spinning/Weaving I	Mean	16.30	6.81	7.34	12.87	109.45	87.84	145.74	0.81	0.07	-d)	-	-
	Max.	21.60	7.10	8.50	17.30	147.40	120.31	183.90	1.90	0.08	-	-	-
	Min.	11.40	6.67	6.55	8.00	90.24	46.80	107.90	0.20	0.07	-	-	-
	S/D	5.11	0.25	1.02	4.67	32.87	37.50	38.00	0.94	0.01	-	-	-
Spinning/Weaving II	Mean	16.70	6.91	6.47	16.33	117.60	106.10	167.11	0.53	0.06	-	-	-
	Max.	22.70	7.06	8.39	17.70	155.80	142.20	175.33	1.10	0.11	-	-	-
	Min.	12.20	6.84	5.38	14.30	90.71	87.50	160.60	0.22	0.03	-	-	-
	S/D	5.41	0.13	1.67	1.80	33.99	31.27	7.51	0.49	0.04	-	-	-
Effluent	Mean	15.10	6.79	7.81	5.57	23.35	18.44	109.85	2.01	0.08	0.01	1.59	0.35
	Max.	21.00	6.85	9.10	8.70	27.50	33.20	174.15	3.25	0.11	0.02	2.37	0.71
	Min.	10.20	6.67	5.48	4.00	17.45	5.23	24.20	1.08	0.05	0.00	0.99	0.00
	S/D	5.47	0.10	2.02	2.71	5.25	14.05	77.22	1.14	0.03	0.01	0.72	0.36

a) : Maximum, b) : Minimum, c) : Standard Deviation, d) : No data

리·화학적 처리공정을 도입하여 발생 유입수를 처리하고 있는데 COD_{Cr}과 TN 및 NH₃-N에서 상대적으로 낮은 처리 효율을 나타내었다. 이와 같이 낮은 처리효율은 전형적인 화학적 처리시설에서 자주 나타나고 있는 현상으로 볼 수 있다.

3.2 오염원 발생원단위

Table 2는 각각 유입수, 제직공정 I, 제직공정 II 및 유출수에 대해 유량, BOD, COD_mn, COD_{Cr}, SS, TN, TP 항목을 대상으로 한 오염원 발생원단위 산정 결과를 보여주고 있다. 오염원 발생원단위 기준 항목으로는 연간매출액, 건평, 종업원 수, 연간 원료사용량, 연간 제품생산량을 설정하였다. TP의 경우 기준 단위를 g/year로 설정 했음에도 불구하고 타 항목에 비해 매우 낮은 오염원 발생원단위 값을 보여주고 있다. 제사방적 공정에서 발생하는 TP의 부하량은 매우 낮은 편이며 이는 오염원 발생원단위에 있어서도 전 항목에 걸쳐 매우 낮은 값으로 나타나고 있다. 현장 조사 결과 제직공정 I에서의 폐수 발생량은 600m³/d, 건평은 3,630m², 연간 원료사용량은 3,240톤, 종업원 수는 38명으로 조사되었다. 제직공정 II는 폐수 발생량이 400m³/d, 건평은 3,630m², 연간 원료사용량은 3,672톤, 종업원 수는 43명으로 조사되었다. 연간매출액 대비 유량을 비교하면 제직공정 I 과 제직공정 II에서 각각 11 m³/년·백만 원과 7 m³/년·백만 원으로 나타나고 있으며, 유입수와 유출 수에서는 각각 18 m³/년·백만 원과 17.5 m³/년·백만 원으로 나타났다. 이는 제직공정 I 과 제직공정 II 에서 모아진 폐수가 전량 유입수

로 작용하며, 처리장에서 커다란 유량의 변동이 없이 처리되고 있음을 시사해주고 있다. BOD의 경우 유입 수에서는 연간매출액 및 건평기준으로 각각 8.34 kg/년·백만 원 및 8.63 kg/년·m²인 반면 유출 수에서는 연간매출액 및 건평기준으로 각각 1.49 kg/년·백만 원 및 1.6 kg/년·m² 급격히 감소하고 있는데, 이는 제사방적제조 업체에서 운영 중인 하수처리장의 처리효율을 대변해 주고 있는 수치이며, 향후 수질 오염총량제 도입 시 부과금 산정 시 중요한 지표가 되고 있다. 하지만 COD_{Cr}의 경우 연간매출액 기준으로 각각 11.8 kg/년·백만 원 및 7.03 kg/년·백만 원으로 나타나고 있어 큰 차이가 없음을 알 수 있다. 수질 오염총량제 시행에 따른 오염물질 발생자 원칙에 의한 부과금제도가 정착될 경우 오염물질 저감을 위한 기업체의 각별한 노력이 요구되고 있으며, 이는 제직 공정별로 청정기술의 개념에 의한 오염물 저감대책을 마련하는데서 부터 시작되어야 할 것이다. 또한 처리장의 단위공정을 면밀히 조사하여 최적의 단위공정의 도입 및 최적의 운전조건을 활용한 처리효율의 극대화를 지향해야 할 것으로 판단된다.

3.3 통합공정 및 단위공정의 오염물질 항목별 농도 비교

오염물질 항목별 농도를 통합공정과 단위공정으로 비교해 보면 Fig. 3에서 보여주고 있는 바와 같다. 제사방적제조 업체의 통합공정 값은 BOD, COD_mn, SS, TN, TP가 1197.5mg/L, 847.5mg/L, 177.5mg/L, 21.0mg/L, 4.35mg/L이

Table 2. Unit mass estimation from textile spinning/weaving process

Site	Parameter	Flowrate (m ³ /year)	BOD (kg/year)	COD _m n (kg/year)	COD _{Cr} (kg/year)	SS (kg/year)	T-N (kg/year)	T-P (g/year)
	Factors							
Influent	Total Sales (million/year)	18	833.5	608.6	1179.1	93.9	15.99	330
	Space (m ²)	69	8.63	6.30	12.2	0.97	0.17	3
	Raw Material (ton/year)	51	6.34	4.63	8.97	0.71	0.12	3
	Products (ton/year)	60.8	7.6	5.5	10.8	0.86	0.15	3
	Number of Employees (person)	2433.3	3.05	222.3	430.7	34.3	5.84	120
Spinning/Weaving I	Total Sales (million/year)	11	437.4	351.0	582.4	51.4	3.29	290
	Space (m ²)	60	6.60	5.30	8.80	0.78	0.05	4
	Raw Material (ton/year)	68	7.40	5.94	9.90	0.87	0.06	5
	Products (ton/year)	36.50	3.99	3.20	5.32	0.47	0.03	3
	Number of Employees (person)	5763.2	630.8	506.2	840.0	72.15	4.69	420
Spinning/Weaving II	Total Sales (million/year)	7	313.3	282.7	455.2	43.5	1.41	170
	Space (m ²)	40	4.73	4.27	6.72	0.66	0.02	3
	Raw Material (ton/year)	40	5.30	4.78	7.53	0.74	0.02	3
	Products (ton/year)	24.3	2.86	2.58	4.06	0.40	0.01	2
	Number of Employees (person)	3395.3	451.8	407.6	642.0	62.8	2.03	240
Effluent	Total Sales (million/year)	17.5	149.3	117.9	702.5	35.6	12.9	530
	Space (m ²)	66.0	1.6	1.2	7.3	0.4	0.1	6
	Raw Material (ton/year)	49.0	1.1	0.9	5.4	0.3	0.1	4
	Products (ton/year)	58.4	1.4	1.1	6.4	0.3	0.1	5
	Number of Employees (person)	2336.0	54.5	43.1	256.6	13.0	4.7	200

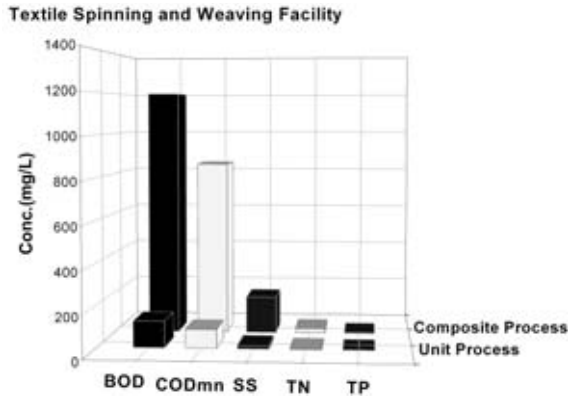


Fig. 3. Comparison of water quality parameters in composite and unit processes.

며, 단위공정의 값은 각각 125.1mg/L, 88.0mg/L, 14.1mg/L, 2.4mg/L, 0.05mg/L로 통합공정의 값이 10배가량 높게 나타났다. 통합공정과 단위공정의 BOD/CODmn의 비는 각각 1.41과 1.42로 BOD의 값이 CODcr의 값보다 높게 나타났는데 이와 같은 현상은 일부 섬유 업종에서만 나타나고 있으며 대부분의 산업폐수에서는 1.0이하의 값을 보여주고 있다(정동일 등, 2004).

3.4 통합공정 및 단위공정의 오염원 발생원단위 비교 평가

수질 항목별 데이터는 국립환경과학원의 폐수배출시설 표준원단위 연구(국립환경과학원, 2005a)의 폐수 배출원 오염 항목별 농도 및 원단위 산정 표와 추가적인 설명 및 참고를 기초로 본 연구의 분석 데이터를 비교하였다. 국립 환경과학원에서 조사한 내용 및 방법을 요약하면 조사대상 사업장의 규모는 수질 1종에서부터 4종 사업장까지를 대상으로 하였으며 실질적으로 조사되어 정리된 배출시설의 종류는 이중 3~5종에 속하는 시설로서 1,667개 제조업체의 배출시설을 조사하였으며, 이중 분류는 되어있으나 제4종에 속하는 소규모시설 및 아직 가동 중인 시설이 없어 미등록이 되었거나 기타의 사유 등으로 조사가 어려운 시설은 제외시켜 270여개 업체를 대상으로 분석 종합하였다(국립환경과학원, 2005a). 국립환경과학원과 본 연구의 유사점은 배출시설과 세 분류 별 배출시설에 대하여 폐수배출량, 매출액, 건

평, 원료사용량, 제품생산량 및 종업원 수 등을 적용한 오염물질 부하 원단위를 산정 한 점이고, 차이점은 국립환경과학원에서는 오염원 발생원단위를 통합하여 산정 한 반면, 본 연구에서는 공정별로 세분하여 오염원 발생원단위를 산정한 점이다. 따라서 본 절에서는 본 연구와 관련이 있는 제사방직제조 업체에 대해 국립환경과학원에서 도출한 결과 값(통합공정이라 칭함)과 본 연구에서 분석하여 얻은 결과 값(단위공정이라 칭함)에 대해 비교 평가하였다(국립환경과학원, 2005a). Fig. 4는 섬유제사방직제조 업체를 대상으로 통합공정과 단위공정에서 폐수 배출량, 매출액, 건평, 원료 사용량, 제품생산량 및 종업원 수 등을 적용하여 발생 오염원단위를 산정하여 비교한 결과 값을 보여주고 있다. 제사방직제조 업체에서 오염원 발생원단위는 업종별 배출 업체 별로 다양한 값을 나타내었다. 제사방직제조 업체에서 건평과 종업원 수를 기준으로 한 산업폐수 오염원 발생원단위 값은 다섯 개의 전 항목에 걸쳐 통합공정과 단위공정 값이 거의 일치 하였다. 반면에 연간매출액, 제품생산량 및 원료사용량을 기준으로 TP의 경우는 통합공정에서 얻어진 값이 단위공정에서 얻어진 값보다 매우 높게 나타났지만, BOD, CODmn 및 SS에서는 단위공정에서 얻어진 값이 통합공정에서 얻어진 값보다 높게 나타났다. 이는 제사방직제조 업체의 단위공정에서 유기물을 함유하는 물질을 다량으로 사용하고 있음을 시사해 주고 있고, 통합공정에서는 상대적으로 TP의 발생 원단위 값은 매우 높아 인을 발생시키는 원료가 많이 사용되고 있음을 보여주고 있다(Hardam et al., 1976; Nelson, 1978; 조수현 등, 2006).

3.5 배출 폐수의 BOD/CODmn 및 CODmn/CODcr 비율 분석

우리나라는 그동안 제조시설에서 배출되는 산업 폐수내의 오염물질을 측정하기 위하여 과망간산칼륨의 산화력을 이용한 화학적 산소요구량을 측정하여 왔다(CODmn). 그러나 산업폐수는 제조시설 공정에서 발생하는 다양한 종류의 화학물질을 함유하고 있어 K₂Cr₂O₇보다 산화력이 약한 KMnO₄에 의한 CODmn측정 보다는 일본을 제외한 여러 선진국에서 사용하고 있는 CODcr에 의한 산화력 측정에 대한 요구가 계속적으로 제기되어 왔다(Metcalf & Eddy,

Table 3. BOD/CODmn and CODmn/CODcr ratios in spinning/weaving industry

Site	Parameter	BOD(mg/L)	CODmn (mg/L)	CODcr(mg/L)	BOD/CODmn	CODmn/CODcr
Spinning and Weaving I		109.4	87.8	145.7	1.25	0.60
Spinning and Weaving II		117.6	106.1	167.1	1.11	0.63
	Influent	125.1	88.0	177.0	1.42	0.50
	Effluent	23.4	18.4	109.9	1.27	0.17
	Average	-	-	-	1.35	0.34

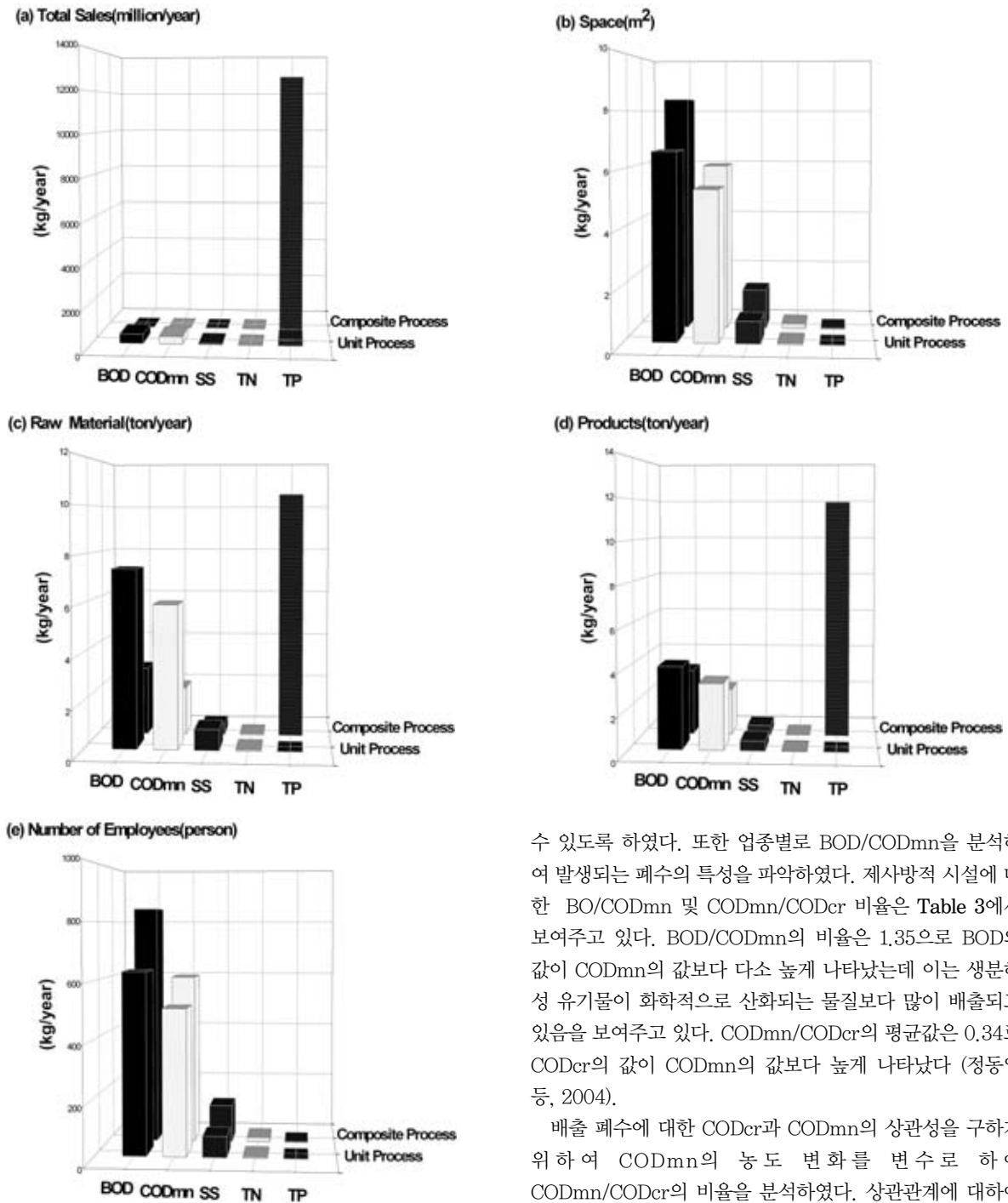


Fig. 4. Comparison of unit mass estimation in composite and unit processes of textile spinning/weaving facility.

1991; USEPA, 1998; 국립환경과학원, 2005b). 본 연구에서는 각 폐수배출 제조 업체별로 발생하는 폐수에 대한 CODcr과 CODmn의 상관관계를 분석하여 CODmn으로 측정된 데이터를 활용하여 CODcr 값을 추정하는데 참고 할

수 있도록 하였다. 또한 업종별로 BOD/CODmn을 분석하여 발생하는 폐수의 특성을 파악하였다. 제사방직 시설에 대한 BO/CODmn 및 CODmn/CODcr 비율은 Table 3에서 보여주고 있다. BOD/CODmn의 비율은 1.35으로 BOD의 값이 CODmn의 값보다 다소 높게 나타났는데 이는 생분해성 유기물이 화학적으로 산화되는 물질보다 많이 배출되고 있음을 보여주고 있다. CODmn/CODcr의 평균값은 0.34로 CODcr의 값이 CODmn의 값보다 높게 나타났다 (정동일 등, 2004).

배출 폐수에 대한 CODcr과 CODmn의 상관성을 구하기 위하여 CODmn의 농도 변화를 변수로 하여 CODmn/CODcr의 비율을 분석하였다. 상관관계에 대하여 linear regression기법을 사용하여 구한 결과계수가 0.0054로 나타났다. 상관계수가 0에 가까울수록 대상 폐수 내의 CODmn값과 CODcr값은 농도범위에 상관없이 증가율이 변함이 없으며 이 경우에는 항상 일정한 비율로 나타남을 의미 한다 (김남진 등, 2003; 김이형 등, 2004). Fig. 5는 상관성을 구하기 위하여 CODmn의 농도변화를 변수로 하여 CODmn/CODcr의 상관도를 linear regression기법을

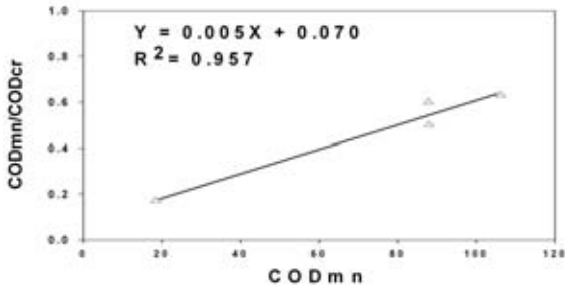


Fig. 5. Linear regression of CODm n and COD Cr in textile spinning/weaving industry.

로 최적화한 분석결과를 그래프로 도시한 것이다.

3.6 강우 시 산업단지에서의 유출 오염부하량 원단위의 비교

최근 국내에서 산업단지 내 공구별 배수유역을 설정하여 우수토구에서 강우 시 유량 및 오염물질 유출특성을 분석한 결과에 의하면 철강, 전자제품 생산 공장 유역에서는 중금속 성분이, 식품, 섬유, 화학공장 지역에서는 유기물질 성분이 강우 시 높은 농도로 검출된다고 보고하였다. 또한, 식품공장 유역에서는 BOD, COD, TKN, TP성분이 많이 배출하며, 철강공장에서는 중금속이 많이 유출할 것으로 예상하였지만 조사 분석결과는 상이한 차이를 나타내었다 (신용배 등, 1997). 이는 조사 대상인 산업단지에서는 제품생산 및 저장을 주로 옥내에서 실시하기 때문인 것으로 판단된다. 본 연구에서 산정한 유출원단위의 범위 값을 타 연구자들에 의해 보고된 값과 비교한 결과를 Table 4에 나타내었다. 본 연구에서는 고속도로, 산업단지 및 도시유역에서 타 연구자들과는 달리 제사방적제조 업체의 건평을 기준으로 유입수와 유출 수에서의 오염원 발생원단위 값을 산정하였다. Table 4에 제시된 자료들은 본 연구의 조사대상 조건 및 지역과는 차이가 있고 더욱이 산업단지를 대상으로 한 조사 자료이기 에 차이점이 큰 것으로 나타났다. 전 항목에 걸쳐 고속도로를 대상으로 한 조사결과 (Novotny et al., 1993), 산업단지를 대상으로 한 조사결과 (Browne, 1979), 도시 유역을 대상으로 한 조사결과 (이준호 등, 2000) 보다는 매우 높게 나타났다. 특히 상대적으로 비교하여 고속도로나 산업단지에

서의 원 단위 값에 비해 SS와 TN의 경우 수십 배에서 수백 배까지 차이가 나는 것으로 나타났다. 이는 점오염원의 특성을 반영하고 있는 것으로 비점오염원에 비해 단위면적당 발생하는 오염물질의 농도가 매우 높은 것으로 나타나고 있다.

4. 결론

1. 제사방적제조 업체에서 배출되는 폐수의 평균농도는 섬유제조 업체나 섬유염색 및 가공 업체에 비해서 비교적 낮은 농도 값을 나타내고 있다. 폐수처리는 물리·화학적 처리공정을 도입하고 있는데 COD_{Cr}과 TN 및 NH₃-N에서 상대적으로 낮은 처리 효율을 보이고 있으며 중금속 항목으로는 폐놀만이 기준치에 근접한 미량으로 검출되었다.
2. BOD의 경우 유입 수에서 연간매출액 및 건평 기준으로 각각 8.34 kg/년·백만 원 및 8.63 kg/년·m² 인 반면 유출 수에서는 연간매출액 및 건평 기준으로 각각 1.49 kg/년·백만 원 및 1.6 kg/년·m² 급격히 감소하고 있는데, 이는 제사방적제조 업체에서 운영 중인 하수처리장의 처리효율을 반영해 주고 있는 수치이며, 수질 오염총량제 도입 시 부과금 산정 시 중요한 지표가 되고 있다. 향후 수질 오염총량제 시행에 따른 오염물질 발생자 원칙에 의한 부과금 제도가 정착될 경우 오염물질 저감을 위한 기업체의 각별한 노력이 요구되고 있으며, 이는 제직 공정별로 청정기술의 개념에 의한 오염물 저감 대책을 마련할 뿐 아니라 단위공정을 면밀히 조사하여 최적의 공정도입 및 운전조건을 활용한 처리효율의 극대화를 지향해야 할 것으로 보인다.
3. 건평과 종업원 수를 기준으로 한 산업폐수 오염원 발생원단위 값은 다섯 개의 전 항목에 걸쳐 통합공정과 단위공정 값이 거의 일치 하였다. 반면에 연간매출액, 제품생산량 및 원료사용량을 기준으로 TP의 경우는 통합공정에서 얻어진 값이 단위공정에서 얻어진 값보다 매우 높게 나타났지만, BOD, CODm n 및 SS에서는 단위공정에서 얻어진 값이 통합공정에서 얻어진 값보다 높게 나타났다. 동일한 제품을 생산하는 같은 업종의 산

Table 4. Comparison of annual pollutant loading rates in industrial complex with textile spinning/weaving

Constituents	Reference Source of Unit Mass Loadings in kg/ha · yr			
	Novotny(1993) Highways	Browne(1979) Industrial Site	Lee(2000) Urban Area	This Study Textile Spinning/Weaving Industry
BOD	-	-	122~667	16,000~86,000
COD	-	1055~1086	348~1,856	12,000~63,000
SS	450~1,700	400~1,700	506~2,205	4,000~10,000
TN	1.9~14	1.9~14	9.7~151.3	1,000~3,000
TP	0.9~14	0.9~4.1	6.9~28.7	60~300

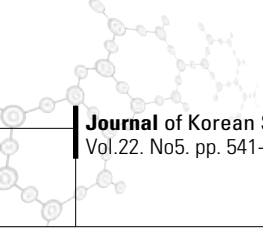
업체 일지라도 운영되는 단위공정의 특성에 따라 발생 원단위 값은 커다란 차이점을 보일 수밖에 없으나, 향후 제품생산을 위한 단위공정이 세분화되는 추세에 맞추어 단위 공정별 발생원단위를 산정할 필요성이 제기되고 있다.

4. 제사방적제조 업체에 대한 BOD/CODmn의 비율은 1.35로 생분해성 유기물이 화학적으로 산화되는 물질보다 많이 배출되고 있음을 보여주고 있으며 CODmn/CODcr의 평균값은 0.34로, linear regression기법을 이용한 상관계수는 0.0054로 나타났다. 비점오염원과의 오염원 발생원단위 비교 결과 전 항목에 걸쳐 고속도로, 산업단지 및 도시 유역을 대상으로 한 조사 결과에 비해 매우 높은 것으로 조사되었다.



참고 문헌

1. APHA, AMMA, WPCF(1999) *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 20th ed. New York, USA.
2. Browne, F. X.(1979) Nonpoint Pollutant Literature Review, *J. WPCF*, Vol. 51, No.6, pp.1428-1444.
3. Hardam S. Azad(1976) *Industrial Wastewater Management Handbook*, McGraw Hill Book Company.
4. Metcalf&Eddy(1991) *Wastewater Eng.*, 3rd Ed., McGraw-Hill Book Co., New York.
5. Nelson L. Nemerow(1978) *Industrial Water Pollution : Origins, Characteristics and Treatment*, Addison-Wesley Publishing Company.
6. Novotny, V. and Olem, H.(1993) *Water Quality Prevention, Identification, and Management of Diffuse Pollution*, Van Nostrand Reinhold, NY, pp.446-498.
7. USEPA(1998) *Method for Wastewater Analysis*, www.epa.org.
8. 강원도(2005) *낙동강수계 강원도 오염총량관리 기본계획*.
9. 경상남도(2005) *낙동강수계 경상남도 오염총량관리 기본계획*.
10. 경상북도(2005) *낙동강수계 경상북도 오염총량관리 기본계획*.
11. 국립환경연구원(1998) *폐수배출시설 표준원단위 조사연구*.
12. 국립환경과학원(2004) *수질오염총량관리제도*.
13. 국립환경과학원(2005a) *한강물환경연구소, 폐수배출시설 세분류 및 오염부하 원단위 I*.
14. 국립환경과학원(2005b) *한강물환경연구소, 폐수배출시설 세분류 및 오염부하 원단위 II*.
15. 국립환경과학원(2005c) *한강물환경연구소, 폐수배출시설 세분류 및 오염부하 원단위 III*.
16. 국립환경과학원(2006) *폐수배출시설 세분류 및 오염부하 원단위*.
17. 국토연구원(2004) *하천유역별 오염총량관리제도의 도입에 따른 지역경제 및 토지이용 변화전망과 정책과제*, 2004-15.
18. 김남진, 최성현, 방규철, 천세억, 정동일(2003) 폐수배출시설의 오염부하 원단위산정에 관한연구, *한국물환경학회·대한상하수도학회 공동추계학술발표회 논문집*, pp.139-142.
19. 김이형, 강주현(2004) 고속도로 강우 유출수내 오염물질의 EMC 및 부하량 원단위산정, *한국물환경학회지*, Vol.20, No.6, pp.631-640.
20. 낙동강물환경연구소(2003) *낙동강수계 환경기초조사사업 기본계획*.
21. 노동부(2004) *산업안전보건자료*.
22. 산업자원부(2004) *산업자원통계*, www.me.go.kr.
23. 신운배 외 5(1997) 산업공단에서의 초기강우 유출수 오염물질 특성 및 관리, *대한환경공학회 추계학술발표회*, pp.453-456.
24. 이준호 외 4(1998) 강우시 도시유역에서의 유출오염부하량 원단위 산정, *대한환경공학회 춘계학술논문발표회 논문집*, pp.615-619.
25. 임재명, 최승철, 김병욱, 원철희(2001a) 숙박시설과 음식접객업의 오수배출원단위 산정에 관한 연구, *대한상하수도학회·한국물환경학회 공동추계학술발표회 논문집*, pp.385-388
26. 임재명, 최승철, 김병욱, 권혁조, 김희조(2001b) 건축물의 용도별 오수배출 원단위 산정(숙박시설과 음식접객업을 중심으로), *대한환경공학회 공동추계학술연구발표회 논문집 I*, pp.165-166
27. 정동일, 천세억, 박지형, 방규철, 김삼훈(2004) 우리나라 산업폐수 배출시설 원단위산정, *대한상하수도학회/한국물환경학회 공동 추계학술발표회논문집*, pp.120-129.
28. 조수현, 강미아, 추용엽, 정교철, 정동희, 이준홍(2006) 유기물오염도 지표를 이용한 하천수질영향평가-산업폐수 방류수질을 기준으로, *대한지질공학회지*, Vol.16, No.4, pp.373-379.
29. 최재성(2000) *분석화학·기기분석, 동화기술*.
30. 환경부(2001) *폐수배출허용기준 적용대상물질 확대지정을 위한 연구*.
31. 환경부(2002) *수질유해물질통합독성 관리제도 도입방안 연구*.
32. 환경부(2003a) *산업폐수 관리 체계 개선 연구: 최종 보고서*.
33. 환경부(2003b) *특정수질유해 물질 확대 지정 및 배출허용기준 설정 연구: 2차년도*.
34. 환경부(2003c) *산업폐수관리체계개선 연구 최종보고서*.
35. 환경부(2003d) *지하수의 수질 보전등에 관한규칙개정령*, www.me.go.kr.



36. 환경부(2004) 수질오염공정시험방법.
37. 환경부(2005) 수질 유해 물질의 통합독성 관리제도 도입 방안 연구: 최종 보고서.
38. 환경부(2007) 2005년도 화학물질 배출량 조사결과.
39. 환경부(2008) 산업폐수 관리현황 및 환경부 정책 방향. www.me.go.kr.