

낙동강수계에서 섬유염색 및 가공 업체에 대한 공정별 원단위산정 및 분석 Unit Mass Estimation and Analysis from Fiber Dyeing and Finishing Facility Nearby Nakdong River Basin

구정은 · 나동훈 · 이승환 †
Jungeun Gu · Donghoon Nah · Seunghwan Lee †

금오공과대학교 토목환경공학부
School of Civil and Environmental Engineering, Kumoh National Institute of Technology

(2008년 10월 9일 접수, 2009년 8월 11일 채택)

ABSTRACT : Fiber Dyeing and Finishing facility has been recognized as an important pollution source due to its consumption of large volumes of water and chemicals. Unit mass discharge for the conventional water quality parameters such as flowrate, SS, BOD₅, COD_{Mn}, COD_{Cr}, TN, TP were estimated. To represent the respective industries, three companies were carefully selected based on its manufacturing goods, flowrate and location at various unit operations and processes. More than 90% of decrease in unit mass estimation between influent and effluent of BOD was observed. But the values themselves were similar to those of Fiber Manufacturing facility due to the high loadings of organic matter. Biodegradability of influent was almost three times higher than that of effluent. Unit mass discharge estimations of unit process (estimated in this study) based on space, products and raw material were similar to those of composite process (estimated by National Institute of Environmental Research), while big difference was observed in the other factors. Unit mass discharge factors calculated in this study can be used as the reference for the estimation of water pollution loading costs in Nakdong river basin. For the effective water pollution control and management, it is essential to characterize the various types of water quality parameters from the effluents of individual industrial wastewater treatment plants.

Key words : Unit mass discharge, Fiber dyeing/finishing facility, Industrial wastewater, Unit and composite processes, Wastewater characteristics

요약 : 섬유염색 및 가공산업은 용수요구량이 매우 높은 편이며 다양한 난분해성 염료의 사용으로 인해 폐수발생량의 기여도가 높은 전형적인 오염 유발 산업이다. 본 연구는 낙동강 수계에서 산업폐수 발생 업체 중 섬유염색 및 가공 산업시설을 중심으로 SS, BOD₅, COD_{Mn}, COD_{Cr}, TN 그리고 TP와 같은 수질 항목에 대해서 발생원 단위 오염물질 배출 특성을 파악하고 발생원단위 부하량을 산출하기 위해 수행되었다. 각 산업을 대표하는 오염원 발생원단위의 산정을 위해 낙동강 수계에 산재한 섬유염색 및 가공업체 중 세 개 업체를 선정하였다. BOD 기준 유입수와 유출수에서의 원단위 값은 90% 이상 감소하였지만 원수에서의 높은 유기물 부하량으로 인해 원단위값 자체는 섬유제조시설에서 얻어진 값과 유사하였다. 유입수의 생분해도는 유출수에 비해 세배 가량 높게 나타났다. 건평, 제품생산량 및 원료사용량을 기준으로 한 주요 수질 항목(SS, BOD₅, COD, TN and TP)에서 단위공정(본 연구에서 산정한 값)의 오염원 발생원단위 결과값이 통합공정(국립환경과학원에서 산정한 값)의 오염원 발생원단위 결과 값과 유사하였지만 다른 인자를 기준으로 한 경우에는 커다란 차이를 보여주었다. 섬유염색 및 가공업체에서 도출된 오염원 발생원단위 인자는 낙동강 수질 오염총량제 도입과 함께 수질오염 부하량 처리비용을 산정 할 때 유용한 자료로 활용될 수 있으리라 기대된다. 이러한 오염원 발생부하량 도출과 함께 낙동강 수계에서의 효과적인 수질오염제어와 관리를 위해서는 각 산업별 폐수처리시설의 유출수로부터 다양한 형태의 수질오염 항목을 특성화시킬 필요가 있다.

주제어 : 오염원 발생원단위, 섬유염색/가공업체, 섬유산업폐수, 단위공정 및 통합공정, 폐수특성

1. 서론

우리나라는 현재 폐·하수처리기술의 한계와 좁은 국토여건으로 인해 아직까지 각종 폐·하수의 자연수 수준까지의

처리가 부족하며 고밀도의 국토이용 상황에서 오염물질의 배출이 증가하면 이에 따른 수질오염을 피하기 어려운 특성을 지니고 있다.¹⁾ 과도기를 맞고 있는 지방자치제의 현실에서는 환경보전보다는 지역개발이 우선시되고 있는 여건으로

† Corresponding author : E-mail : dlee@kumoh.ac.kr Tel : 054-478-7632 Fax : 054-478-7829

경제와 환경이 동시에 고려될 수 있는 환경용량 범위내에서의 지역개발이 필요하다. 따라서 지역주도의 최적수자원관리로 지속가능한 지역발전 구현을 위해 수질 오염총량관리제의 도입이 필요하다. 기존농도규제에서의 수질관리 및 수처리 기술은 배출허용기준을 만족하기 위한 배출시설 관리에 제한되어 하천의 허용오염부하량을 고려하지 않아 오·폐수의 양적팽창에 따른 오염부하 증가를 통제할 수 없었으며, 폐수배출시설과 폐수처리기술의 특성을 제대로 반영시키지 못하고 있는 실정이다.²⁾ 하지만, 수질오염총량관리제도에서는 이를 포함하여 유역의 환경정보조사, 오염물질 유출에 대한 분석, 예측 및 저감기술은 물론 유량확보 등 총체적인 수질관리 수단이 유도되어 적용될 수 있으므로, 여러 환경선진국에서 총량관리를 병행하고 있다.³⁾ 환경부에서는 낙동강 유역의 오염 총량제관리제도의 시행에 따라 이제까지의 배출수 수질기준으로부터 총량수질기준을 통한 수질관리를 실시하고 있으며 지역별, 규모별로 배출허용기준을 차등화 하여 적용함으로써 총량규제의미도 어느 정도 도입하였다. 그러나 각 산업 형태별 배출폐수의 성상이 상이한 점을 감안할 때 기존의 획일적인 업종별 폐수배출허용기준 하에서는 효율적인 수계관리가 어렵기 때문에, 각 산업에 따라 대표성 있는 폐수발생 현황 및 부하량 산정자료 제시와 같은 새로운 제도의 도입이 긴급히 요청되고 있다.^{4~6)} 따라서 국내 정책 방향에 부합하는 조사 자료를 제공하기 위해서는 기존의 폐수 수질조사 방법과는 다르게 수질/유량 data에 기초한 성분별 오염 부하량, 주요 폐수배출 산업에 대한 다양한 오염물질 조사연구, 신규유해물질의 사용에 따라 기존에 적용되었던 수질규제 항목에서 검출되지 않은 유해 물질에 대한 자료들을 중점적으로 확보해야 한다.

우리나라의 대표적인 오염산업으로 분류되는 염색공업관련업체는 총 폐수배출업체 중 약 5.02%이나 폐수배출량은 316,000 m³/day 로 총 배출량의 16.6%에 달하며 이는 전체 폐수 배출업종 중 두 번째로 많은 비율을 차지하고 있는데, 섬유산업의 염색공정에서 사용되는 염료의 종류는 8,000가지가 넘는 것으로 알려져 있다.^{7,8)} 산업별 물 사용량 및 수질오염도와와의 상관관계를 분석한 한국염색기술연구소 자료를 보면 섬유업종이 타 업종에 비해 물 사용량 및 수질오염도가 가장 큰 것으로 조사되었다.⁹⁾ 염색폐수는 취급하는 품목에 따라 염색법이 달라지고 또한 염색의 색조에 따라 사용되는 염료나 매염제 등의 종류가 전혀 다르기 때문에 그 조성 성분이 일반적으로 매우 복잡하고, 작업공정의 가동상황에 따라 수질의 변화가 심한 것이 특징으로, 각 공정에서 배출되는 염료, 보조 화학물질, PVA (polyvinyl alcohol),

CMC, 전분, wax 등이 포함되어 있으며 pH가 높고, 높은 색도로 인해 하천에 방류될 경우 확산성이 높아 미생물에 의한 자정작용을 방해하여 하천의 수중생태계를 파괴할 우려가 있다.¹⁰⁾ 대부분의 염색 가공 업체들은 지역적으로 밀집되어 있고, 폐수처리 유형은 크게 지역에서 발생된 폐수를 합병하여 처리하거나 개별 업체에서 직접 처리 후 방류하는 두 가지 형태가 있다.⁸⁾ 본 조사 연구에서는 낙동강 수계에서 섬유산업 중 염색 및 가공시설을 중심으로 업체별로 운영하고 있는 폐수처리장의 유입수 및 유출수를 채수하여 발생원단위 오염물질 배출 특성을 파악하고 발생원단위 부하량을 산출하였다. 이를 통해 폐수 발생 특성과 폐수처리 공정 운영 시 소요비용과 관련하여 발생원단위를 산출하여 비교 평가하였으며,^{11~13)} 동 산업체를 대상으로 중앙정부차원에서 국립환경과학원을 통해 실시된 발생원단위 값(통합공정)과 낙동강 수계에 있는 대표적인 업체를 선별하여 단위공정별 발생원단위 값을(단위공정) 비교 분석하였다. 또한 배출 폐수의 COD_{Cr}/BOD₅과 COD_{Cr}/COD_{Mn} 비를 분석하였으며 타 업종과의 발생원단위를 비교하였다. 본 연구에서는 섬유 염색 및 가공시설에 대해 낙동강 수계에서의 체계적이고 효율적인 섬유염색 폐수처리를 위한 기초자료와 오염 총량제 시행에 따른 산업 폐수 발생 부하 삭감 대책 수립 시 기초자료를 제공하고자 한다.

2. 조사연구 방법

2.1. 대상 업체의 선정

섬유산업체 관련 업종은 크게 방직 및 가공사제조업, 직물 제조 및 직물제품 제조업, 편조원단 및 편조제품 제조업, 섬유염색 및 마무리 가공업, 기타섬유제품 제조업 등으로 구분된다.¹⁴⁾ 업종별 대표성을 갖는 업체 선정에 위해 낙동강 수계를 3개 구역(상류, 중류, 하류)으로 구분하였으며, 그 중 업종 규모에 있어서 부하량이 낮은 4, 5종의 경우 업체수는 1~3종에 비해 많지만 유량이 작아 오염물질 부하량 산정 시 수계에 미치는 파급효과가 상대적으로 미미하기 때문에 본 연구에서는 섬유관련 업종 중 섬유염색 및 가공시설을 중심으로 부하량이 높은 1~3종의 업체를 선정하여 조사사업을 수행하였다. 업체선정은 타 업종과의 형평성을 고려하여 이루어졌는데 낙동강 수계에서 조사 대상인 섬유염색 및 가공시설을 비롯한 5개 업종, 1,410개의 업소 중 낙동강 수계 경상남북도에서 가장 많은 업종은 섬유 제조 업종으로서 665개로 나타났다. 조사 대상 업체로서 1~3종에 속한 업체는 총572개로 나타났는

데, 이중 섬유제조업이 395개로 가장 많은 비중을 차지하고 있었으며, 다음으로 제사방직, 섬유염색 및 가공시설, 화학약품제조, 제지 순으로 나타났다. 본 조사 연구에서는 대상 업체 572업소 중 24개의 대표업체를 식 (1)에서 보여주고 있는 바와 같이 환산비율 및 업종별 최소 2개의 업체가 참여되는 원칙에 기초하여 선정하였다.

$$\frac{\text{해당업체수}}{\text{전체업체수}} \times 24 = \text{환산비율} \quad (1)$$

시료의 채수는 집수된 원폐수의 유입부와 처리수의 유출부에서 뿐 아니라 섬유염색 및 가공시설의 단위공정에서도 실시하였다. 업체의 특성상 공정별/시기별/시간별 유량변동이 심하거나 세척수와 혼합하여 처리장으로 일괄 방류하는 경우 폐수처리장에 모아진 원수와 유출수 만을 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 12 L 이상 채수하였고 정도관리에 만전을 기하였을 뿐 아니라 항목에 따라 2~3회에 걸쳐 분석한 평균값을 최종적인 수질 값으로 채택하였다.

2.2. 오염원 발생원단위 산정 절차 및 수질분석방법

오염원 발생원단위 산정은 Fig. 1에서 보여주고 있는 바와 같이 발생원단위를 산정하고자 하는 산업체의 일반 현황(연간매출액, 건평, 종업원 수, 연간 원료사용량, 연간 제품생산량)을 년 단위의 통계로 조사 연구하였다. 다음에 산업체의

연평균 폐수배출량을 조사하는데, 본 연구에서는 각각 여름(8월), 가을(10월), 겨울(12월)에 한번 씩 폐수배출량을 측정하여 여름 3.5개월, 겨울 3.5개월, 봄/가을 5개월의 가중치로 연평균 폐수배출량을 산정하였다. 또한 산업체 배출시설의 종류별로 생산 공정을 파악하여 해당 시설별로 구분하여 계절별로 시료를 채취하고 일반항목의 농도를 측정하였다. 일반항목을 대상으로 측정된 평균 농도 값과 연평균 폐수배출량을 곱하여 수질 항목별 부하량을 산정하였으며 위에서 언급된 인자들로 나누어 발생원단위를 구하였다.¹⁵⁾ 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 자주하여 보다 정확한 수질자료를 획득할 수 있도록 하였다. 본 연구에서는 1년간에 걸쳐 총 3회를 채수하여 평균값으로 수질 항목별 농도를 파악하였다. 본 연구와 관련이 있는 섬유염색 및 가공시설에 대한 오염원 발생원단위에 대해 국립환경과학원에서 도출한 결과치(통합공정이라 칭함)와 본 연구에서 분석하여 얻은 결과치(단위공정이라 칭함)를 비교 평가하였다.^{16~18)} 본 연구에서는 채수된 시료는 10여개의 일반 수질항목에 대해 표준 공정 분석법을 기초로 수행되었으며¹⁹⁾, 오염원 발생원단위 산정을 위한 수질 분석 항목은 BOD₅, COD_{Mn}, COD_{Cr}, SS, TN, TP으로 수질오염공정시험법²⁰⁾과 Standard Method¹⁹⁾에 준하여 분석하였다.

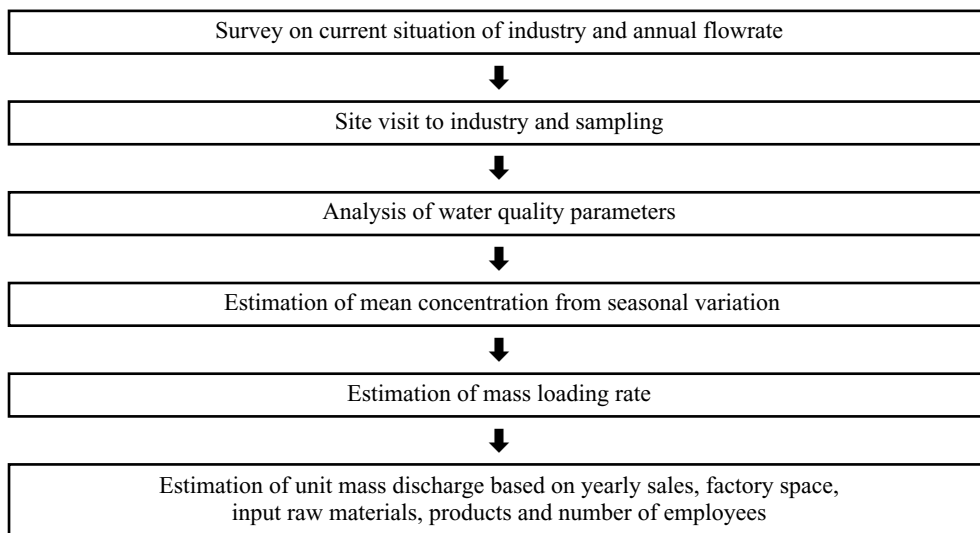


Fig. 1. Flow diagram of unit mass estimation.

3. 조사 연구결과 및 고찰

본 연구의 섬유염색 및 가공시설은 2종 업체로서 섬유제조시설과 유사한 특성을 보이고 있다. 염색하고자하는 원료는 정련 및 표백공정을 통해 불순물을 제거한 후 수세하고 감량과정을 통해 직물의 분량을 줄인 후 염료로서 염색된다. 염색 후 가공 공정을 통해 제품이 생산되는데, 여기서 감량 공정 폐수를 공정 1로 정하고 염색공정 폐수를 공정 2로 정하였다. 알칼리 감량공정의 경우 원사 내 CDP가 NaOH에 의하여 가수분해 되는 과정에서 고농도 악성폐수가 발생되며, 이때 발생하는 감량폐수를 H₂SO₄를 이용하여 pH 4로 중화시키게 되면 Terephthalic Acid로 석출되는 현상을 볼 수가 있다. 주요 사용원료는 폴리에스텔 직물이며 주요 생산품은 폴리에스텔 가공 직물이다. 이 업체에 대한 공정 및 폐수발생원은 Fig. 2에 나타나 있다. 주 폐수 발생원은 감량공정(공정 1)과 염색공정(공정 2)으로 나타나고 있으며 주로 NaOH와 NaCl 제거 시 발생된다. 또한 축소 및 정련과정에서도 폐수가 발생되고 있으며 여기에서도 주로 NaOH 제거용수에서 기인되고 있다. 폐수처리는 Fig. 2에서 보여주고 있는 바와 같이 화학적 처리와 생물학적 처리를 병용하고 있

다. 화학적인 처리는 색도제거 및 현탁 물질제거가 주목적이며, 부수적으로 난분해성 물질의 제거도 수반된다. 폐수처리장치는 실이나 천조각 등의 협잡물을 제거하기 위해 스크린이 설치되어 있으며 원수는 현탁 물질, 난분해성 물질 및 색도를 제거하기 위한 응집시설을 통과하게 된다. 염색 폐수는 BOD 농도가 높은 유기성 폐수이므로 최종적으로 폭기조에서 생물학적 처리 과정을 거치게 된다. 섬유염색 및 가공시설에서 폐수처리 과정은 일반폐수와 감량폐수로 구분되는데 이는 유입수의 오염물 부하량이 높아 감량폐수 처리 과정에서 1차 처리된 폐수를 재처리 하면서 탈수하는 과정을 거쳐 처리하고 있다.

3.1. 섬유염색 및 가공시설 폐수의 특성

섬유염색가공공정은 섬유제조공정 중 폐수배출량이 가장 많은데 오염물질의 농도도 높은 편에 속한다. 이들 공정들로부터 발생된 폐수 중에는 염료 등의 착색성분과 섬유찌꺼기, 유지류 등에 의한 현탁 부유물질, 계면활성제 등의 포말성분, 유연제 혹은 기계유 등의 유분, 염색조에서 발생된 용해염류, 표백제로 인한 잔류염소 등에 기인하여 BOD₅, COD, SS, n-Hexane 추출물질이 함유된 고온 알칼리성 폐수가

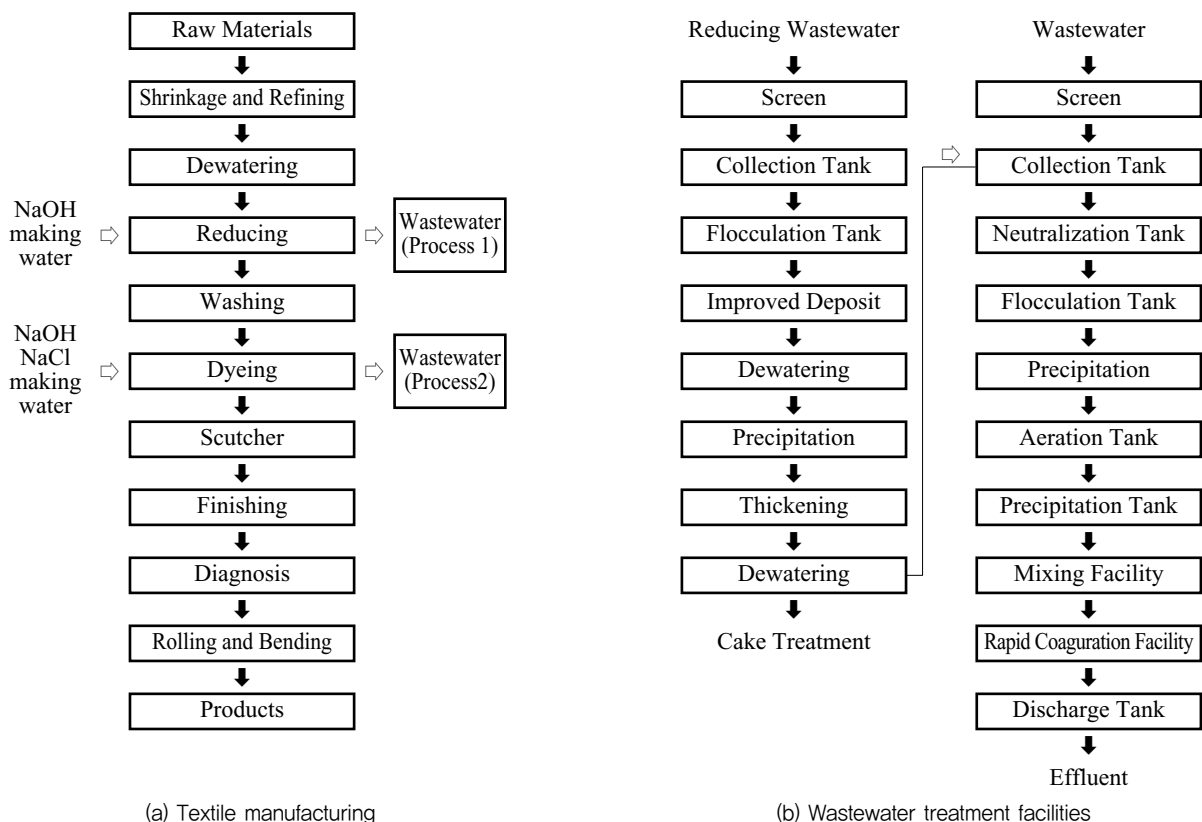


Fig. 2. Schematic diagram of fiber dyeing/finishing facility manufacturing and wastewater treatment facilities.

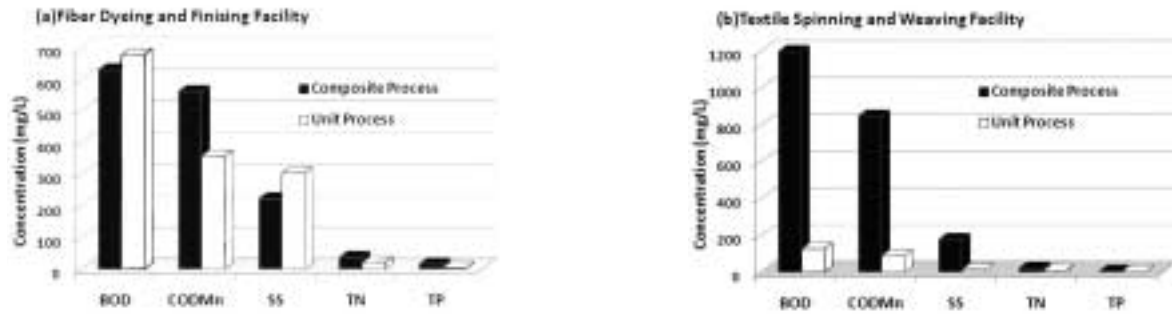


Fig. 3. Comparison of water quality parameters between composite and unit processes.

발생한다.¹⁰⁾ 섬유염색 및 가공시설에서 감량공정(공정 1)과 염색공정(공정 2)은 연속과정이지만 각각의 공정에서 발생된 폐수는 혼합되지 않고 최종 원폐수 집수조에 이르러 혼합이 이루어진 관계로 각각의 공정에서 채수하여 폐수의 특성을 파악하고 오염물 발생원단위를 산정할 수 있었다. 섬유염색 및 가공시설은 제사방적시설에 비해 폐수의 온도가 10~15℃ 가량 높고(23.7~37.3℃) 섬유제조시설에 비해서도 3~5℃ 가량 높은 것으로 조사 되었다. 특히 염색공정에서는 37.3℃로서 매우 높게 나타났으며 pH 역시 매우 높아 공정1과 유입수에서 pH 11.8까지 올라갔다. 염색폐수는 색도가 높고 난분해성 물질이 많아 생물학적 처리에 의해 잘 제거되지 않아 색도제거와 현탁 물질 제거, 난분해성 물질 제거를 위한 화학적 처리와 생물학적 처리를 병용하게 된다. 화학적 처리공정은 고농도의 유기물질과(유입수에서 BOD₅=668 mg/L)과 영양물질(유입수에서 TN=20.7 mg/L, TP=3.6 mg/L)을 처리한 후 활성슬러지 공정을 도입하여 2차로 처리하고 있다. 섬유염색 및 가공시설에서 배출되는 폐수의 평균 농도는 Table 1에 요약되어 있다. 감량공정 및 염색공정

에서 NO₂-N, NH₃-N, NO₃-N 항목의 경우 미량으로 검출되고 원단위 항목에서 제외되어 있어 분석을 하지 않은 관계로 평균값, 최소값, 최대값 및 표준편차값이 생략되었다. 수질항목에 대한 분석 결과는 감량공정에서 SS 75.7 mg/L, BOD₅ 229.7 mg/L, COD_{Mn} 218.9 mg/L, COD_{Cr} 557.8 mg/L, TN 12.1 mg/L, TP 13.5 mg/L이며, 염색공정에서는 SS 121.6 mg/L, BOD₅ 1,083 mg/L, COD_{Mn} 2,142.3 mg/L, COD_{Cr} 1,958 mg/L, TN 12.8 mg/L, TP 1.07 mg/L 로 나타났다. 감량공정에 비해 염색공정에서 TP를 제외한 오염물질 SS, BOD₅, COD_{Mn}, COD_{Cr}, TN 에서 높은 값을 나타냈으며 COD_{Mn}의 경우에는 10배가량 높은 값을 나타냈다.

3.2. 오염물 발생원단위

본 연구의 조사 결과 공정 1은 감량 공정으로서 폐수발생량은 200 m³/day, 건평 500 m², 연간 원료사용량 4,138 ton/year이며, 종업원수는 4명으로 조사되었다. 공정 2는 염색 공정으로서 폐수발생량은 1,300 m³/day, 건평, 1,000

Table 1. Wastewater characteristics of fiber dyeing/finishing facility

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

Site	Temp.(°C)	pH	DO	SS	BOD ₅	COD _{Mn}	COD _{Cr}	TN	TP	NO ₂ -N	NH ₃ -N	NO ₃ -N	
Influent	Mean	29.33	11.80	3.15	303.10	677.73	357.07	1,163.90	20.70	3.60	2.00	20.06	9.48
	Maximum	34.00	12.01	5.75	360.30	1,078.20	399.90	1,375.80	43.10	5.40	3.60	24.81	9.93
	Minimum	26.00	11.69	0.30	274.30	339.60	273.80	857.10	0.00	2.20	0.00	14.67	9.00
	Standard Deviation	4.16	0.18	2.73	49.54	373.22	72.12	272.06	21.60	1.64	1.83	5.10	0.47
Reducing (Process 1)	Mean	23.67	11.81	6.37	75.67	229.68	218.90	557.83	12.13	13.50	-	-	-
	Maximum	26.00	11.93	7.26	76.70	414.55	354.30	1,258.00	17.70	20.90	-	-	-
	Minimum	20.00	11.69	5.77	75.00	133.20	94.10	207.70	9.10	4.60	-	-	-
	Standard Deviation	3.21	0.12	0.78	0.91	160.15	130.42	606.36	4.83	8.25	-	-	-
Dyeing (Process 2)	Mean	37.27	10.38	5.87	121.57	1,082.60	2,142.33	1,958.43	12.80	1.07	-	-	-
	Maximum	43.70	12.04	7.06	300.70	1,698.70	3,069.00	2,569.90	22.10	2.38	-	-	-
	Minimum	31.00	7.84	4.39	32.00	750.41	533.60	1,151.00	7.80	0.34	-	-	-
	Standard Deviation	6.35	2.24	1.36	155.13	534.10	1,398.56	729.47	8.06	1.14	-	-	-
Effluent	Mean	28.47	8.15	5.72	95.57	52.90	131.17	246.03	5.27	0.28	0.06	4.57	1.16
	Maximum	33.00	8.91	6.06	180.70	58.90	167.30	355.80	8.05	0.34	0.09	6.34	1.96
	Minimum	23.00	7.73	5.50	53.00	42.11	68.30	150.10	1.30	0.17	0.05	1.96	0.00
	Standard Deviation	5.06	0.66	0.30	73.73	9.37	54.65	103.55	3.53	0.10	0.02	2.31	1.03

Table 2. Unit mass estimation from fiber dyeing/finishing facility process

Factors	Parameter	Flowrate (m ³ /year)	BOD ₅ (kg/year)	COD _{Mn} (kg/year)	COD _{Cr} (kg/year)	SS (kg/year)	TN (kg/year)	TP (kg/year)
	Influent	Total Sales (million/year)	68	16,929.57	8,919.41	29,067.2	7,571.34	517.08
	Space (m ²)	137	92.8	48.9	159.3	41.5	2.83	0.49
	Raw Material (ton/year)	119	80.7	42.5	138.5	36.7	2.46	0.43
	Products(ton/year)	98.12	66.5	35.0	114.2	29.7	2.03	0.35
	Number of Employees (person)	7,110.4	4,818.9	2,538.9	8,273.9	2,155.2	147.2	25.6
Reducing (Process 1)	Total Sales (million/year)	59	23,437.35	46,379.51	42,398.25	2,631.8	277.11	23.09
	Space (m ²)	475	33.5	32.0	81.4	11.0	1.77	1.97
	Raw Material (ton/year)	105	4.05	3.86	9.84	1.22	0.21	0.24
	Products(ton/year)	85.04	3.00	2.86	7.30	1.0	0.16	0.18
	Number of Employees (person)	47,450.0	4,191.7	3,994.9	10,180.5	1,380.9	221.4	246.4
Dyeing (Process 2)	Total Sales (million/year)	9	764.99	729.07	1,857.932	52.02	40.41	44.96
	Space (m ²)	146	513.7	1,016.5	929.3	57.7	6.07	0.50
	Raw Material (ton/year)	18	113.6	224.7	205.5	12.8	1.34	0.11
	Products(ton/year)	13.08	92.0	182.2	166.5	10.3	1.09	0.09
	Number of Employees (person)	18,250.0	51,369.5	101,653.7	92,927.7	5,768.3	607.4	50.6
Effluent	Total Sales (million/year)	68	1,321.5	3,276.5	6,145.8	2,387.2	131.7	7.08
	Space (m ²)	137	7.24	18.0	33.7	13.1	0.72	0.04
	Raw Material (ton/year)	119	6.30	15.6	29.3	11.6	0.63	0.03
	Products(ton/year)	98.12	5.20	12.9	24.1	9.38	0.52	0.03
	Number of Employees (person)	7,110.4	376.1	932.6	1,749.4	679.5	37.5	2.01

m², 연간 원료사용량 4,523 ton/year이며, 종업원 수는 10 명으로 조사되었다. Table 2는 각각 원폐수, 감량공정(공정 1), 염색공정(공정 2) 및 처리수에 대해 유량, BOD₅, COD_{Mn}, COD_{Cr}, SS, TN, TP 항목을 대상으로 한 발생원단위 산정결과를 보여주고 있다. 연간매출액 대비 폐수발생량을 비교하면 공정 1과 공정 2에서 각각 59 m³/year · 백만원과 9 m³/year · 백만원으로 나타나고 있으며, 유입수와 유출수에서는 각각 68 m³/year · 백만원과 66 m³/year · 백만원으로 나타났다. 특히 유입수와 유출수에 있어서 폐수발생량에 대한 다섯 가지 발생원단위 항목은 비슷한 값을 보여주고 있는데, 이는 일반폐수와 감량폐수로 구분하여 처리하고 있는 폐수처리 공정의 특성을 반영하고 있다. 감량폐수 처리공정에서 처리된 처리수를 일반폐수 처리공정에서 재처리한 후 탈수 과정을 통해 최종처리한 관계로 유입수와 유출수에서의 폐수발생량은 거의 유사하게 나타나고 있다. 또한 공정 1에서 TP를 제외한 전항목 즉 폐수 발생량, BOD₅, COD, SS,

TN에서 공정 2에 비해 연간매출액 대비 매우 높게 나타나고 있으나, 원료사용량의 경우는 정반대의 현상이 나타나고 있다. 특히 SS의 경우 공정 2에서 원료사용량 대비 발생원단위 값은 공정 1에 비해 10배 가량 높은 것으로 나타나고 있다. 이는 감량공정인 공정 1에서 다량의 폐수가 발생되고 있으나 염색을 위한 주원료는 염색공정인 공정 2에서 집중적으로 사용되고 있는 제조공정의 특성을 반영하고 있는 것으로 보인다. BOD의 경우 유입수에서 연간매출액 및 건평기준으로 각각 16,930 kg/년 · 백만원 및 92.8 kg/년 · m² 인 반면 유출수에서는 연간매출액 및 건평기준으로 각각 10% 이하인 1,321 kg/년 · 백만원 및 7.2 kg/년 · m²로 상당량 감소하였다. 이는 섬유염색 및 가공시설에서 운영 중인 하수처리장의 처리현황을 그대로 대변해 주고 있다. 즉 처리효율은 다소 높은 편이나 유입수의 오염부하량이 매우 높은 관계로 유출수의 발생원단위 값은 다소 높은 값을 유지하고 있다. COD_{Mn}, COD_{Cr}, SS, TN에서도 비슷한 양상을 보이고 있다.

Table 3. COD_{Cr}/BOD₅ and COD_{Cr}/COD_{Mn} ratios in fiber dyeing/finishing facility

Factors	Parameter	BOD ₅ (mg/L)	COD _{Mn} (mg/L)	COD _{Cr} (mg/L)	COD _{Cr} /BOD ₅	COD _{Cr} /COD _{Mn}
Reducing (Process 1)		229.7	218.9	557.8	2.43	2.55
Dyeing (Process 2)		1,083	2,142.3	1958	1.81	0.91
Influent		677.7	357.1	1,164	1.72	3.26
Effluent		52.9	131.2	246	4.65	1.88
Average		-	-	-	2.65	2.15

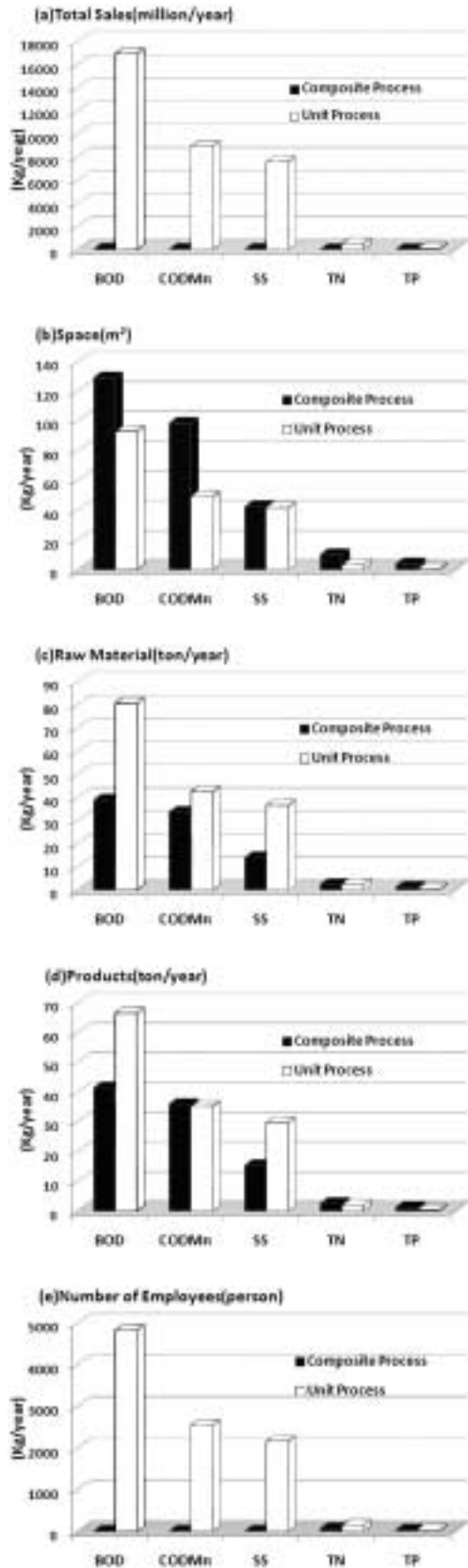


Fig. 4. Comparison of unit mass estimation based on composite process and unit process of fiber reducing/dyeing facility.

3.3. 통합공정 및 단위공정의 오염 항목별 농도 비교

섬유산업 관련업종인 섬유염색 및 가공시설과 방적 및 가공사제조업²¹⁾의 오염 항목별 농도를 통합공정과 단위공정으로 비교해 보면 Fig. 3에서 보여주고 있는 바와 같다. 섬유염색 및 가공 시설의 통합공정 값은 BOD₅, COD_{Mn}, SS, TN, TP가 631.0 mg/L, 563.0 mg/L, 223.1 mg/L, 37.8 mg/L, 16.44 mg/L이며, 단위공정의 값은 각각 677.7 mg/L, 357.1 mg/L, 303.1 mg/L, 20.7 mg/L, 3.6 mg/L로 통합공정에서 BOD₅, SS값이 높게 나왔으며, COD_{Mn}, TN, TP 값은 낮게 나타난 것을 알 수 있다. 통합공정과 단위공정의 BOD₅/COD_{Mn}의 비는 각각 1.12과 1.89로 BOD₅의 값이 COD_{Mn}의 값보다 높게 나타났다. 방적 및 가공사제조업²¹⁾에서도 이와 같은 현상이 나타나고 있으며 이러한 결과는 섬유염색 및 가공시설의 전처리와 가공 공정에서 발생하는 폐수에 유기성 물질을 많이 함유하고 있는 것으로 사료된다.

3.4. 통합공정 및 단위공정의 발생원단위 비교 평가

수질 항목별 데이터는 국립환경과학원의 폐수배출시설 표준 발생원단위 조사연구¹⁵⁾의 폐수 배출원 오염항목별 농도 및 발생원단위 산정표와 부가적인 설명 및 참고를 기초로 본 연구의 분석 데이터를 비교 하였다. 국립 환경과학원에서 조사한 내용 및 방법을 요약하면 조사대상 사업장의 규모는 수질 1종에서부터 4종사업장까지를 대상으로 하였으며 실질적으로 조사되어 정리된 배출시설의 종류는 이 중 35종에 속하는 시설로서 1,667개 제조업체의 배출시설을 조사하였다. 이 중 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.¹⁸⁾ 국립환경과학원과 본 연구는 배출시설과 세 분류에 따른 세 분류 별 배출 시설에 대하여 폐수 배출량, 매출액, 건평, 원료사용량, 제품생산량 및 종업원 수 등을 적용한 오염물질 발생원단위를 산정 하였으며, 국립환경과학원에서는 오염물질 발생원단위를 통합하여 산정 한 반면, 본 연구에서는 공정별로 세분하여 오염물질 발생원단위를 산정하였다. 본 연구에서는 섬유염색 및 가공시설에 대해 국립환경과학원에서 도출한 결과치(통합공정이라 칭함)와 본 연구에서 분석하여 얻은 결과치(단위공정이라 칭함)에 대해 비교 평가 하였다.¹⁷⁾ Fig. 4는 섬유염색 및 가공 시설을 대상으로 통합공정과 단위공정에서 폐수 배출량, 매출액, 건평, 원료사용량, 제품생산량 및 종업원 수 등을 적용하여 발생 오염원단위를 산정하여 비교한 결과치를 보여주고 있다. 섬유염색 및 가공 시설에서 발생 오염원단위는 업종별 배출 업체

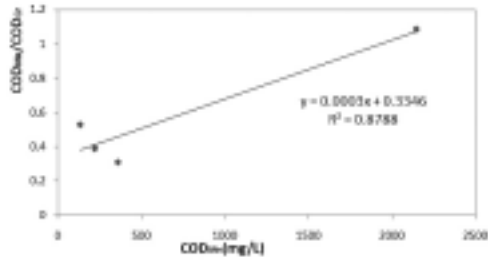


Fig. 5. Linear regression of COD_{Mn} and COD_{Cr} in fiber dyeing/finishing facility.

별로 다양한 값을 나타내었다. 섬유염색 및 가공 시설에서 건평, 제품생산량, 원료를 기준으로 한 산업폐수 발생 오염원단위 값은 전 항목에 걸쳐 통합공정과 단위공정 값이 유사한 분포를 보이고 있다. 반면에 연간매출액과 종업원수를 기준으로 한 오염원단위 값은 TN, TP는 유사한 값을 나타냈으나 그 외에는 단위공정에서 얻어진 값이 통합공정에서 얻어진 값보다 매우 높게 나타났다.

3.5. 유입수와 유출수의 COD_{Cr}/BOD₅ 및 COD_{Cr}/COD_{Mn} 비율 분석

우리나라는 그 동안 제조 시설에서 배출되는 산업 폐수내 오염 물질을 측정하기 위하여 과망간산칼륨의 산화력을 이용한 화학적 산소요구량(COD_{Mn})을 측정하여 왔다. 그러나 산업 폐수는 제조 시설 공정에서 발생하는 다양한 종류의 화학 물질을 함유하고 있어 K₂Cr₂O₇보다 산화력이 약한 KMnO₄에 의한 COD_{Mn} 측정보다는 일본을 제외한 여러 선진국에서 사용하고 있는 COD_{Cr}에 의한 산화력 측정에 대한 요구가 계속적으로 제기 되어 왔다.^{17,22,23} 본 연구에서는 각 폐수 배출 제조 시설별로 발생하는 폐수에 대한 COD_{Cr}과 COD_{Mn}의 상관관계를 분석하여 COD_{Mn}으로 측정된 데이터를 활용하여 COD_{Cr} 값을 추정하는데 참고 할 수 있도록 하였다. 또한 섬유염색 공정에는 여러 성상의 조제 및 염료 등이 다량으로 사용되고 있으며, 이들 조제의 일부 또는 상당 부분이 폐수의 형태로 배출되어 폐수처리장으로 유입되고 있다. 그러나 우리나라 대부분 섬유염색 폐수처리장은 물리

화학적 처리 후 생물학적 활성슬러지법에 의한 처리방법에만 의존하고 있으며, 난분해성 물질의 유입시에는 처리효율을 떨어뜨릴 뿐만 아니라 폭기조 미생물의 활성저하를 초래할 수 있기 때문에 난분해성 물질에 대한 배출특성 파악이 중요시 되고 있다.²⁴ 폐수중의 난분해성물질 배출특성을 간접적으로 파악하기 위해 공단 및 생산품목별 개별업소의 폐수 유입수 및 유출수에 대한 BOD₅/COD_{Cr} 비를 조사하였다. 섬유염색 및 가공시설에 대한 COD_{Cr}/BOD₅ 및 COD_{Cr}/COD_{Mn} 비를 Table 3에서 보여주고 있다. COD_{Cr}/BOD₅의 비는 유입수의 경우 1.72이고 유출수의 경우 4.65로 유입수에 비해 유출수의 COD_{Cr}/BOD₅ 비가 매우 큰 것으로 조사되었다. 이는 섬유염색 및 가공업체의 폐수가 타 산업폐수와 다른 특징을 가지는 것으로 유출수보다 유입수의 생분해도가 높다는 것을 나타낸다. 대부분 폐수처리장의 처리공법은 활성슬러지법으로 분해 가능한 생분해성 물질은 대부분 처리되나, 유입수 중의 섬유염색 및 가공 공정에서 사용하는 섬유조제 중 분자량이 큰 난분해성물질은 폐수 처리과정을 통해 일부만이 미생물에 의해 산화 가능한 물질로 분해되었기 때문으로 판단된다. COD_{Cr}/COD_{Mn} 비는 유입수의 경우 3.26이고 유출수의 경우 1.88로 나타났으며 이는 산화제인 중크롬산의 산화력이 망간에 비해 크다는 것을 고려할 때 유입수가 유출수에 비해 상대적으로 난분해성을 나타내고 있다.

폐수배출 제조시설별 발생폐수에 대한 COD_{Cr}과 COD_{Mn}의 상관성을 구하기 위하여 COD_{Mn}의 농도 변화를 변수로 하여 COD_{Mn}/COD_{Cr}의 상관도를 분석하였다. 상관관계에 대하여 Linear regression기법을 사용하여 구한 결과 상관계수가 0.0003로 나타났다. 상관 계수가 0에 가까울수록 대상 폐수내의 COD_{Mn}값과 COD_{Cr}값은 농도 범위에 상관없이 증가율이 변함이 없으며 이 경우에는 항상 일정한 비율로 나타남을 의미한다.^{25,26} Fig. 5는 상관성을 구하기 위하여 COD_{Mn}의 농도변화를 변수로 하여 COD_{Mn}/COD_{Cr}의 상관도를 linear regression기법으로 최적화한 분석결과를 그래프로 도시한 것이다.

Table 4. Comparison of other industrial facility with fiber dyeing/finishing one

Constituents	Reference Source of Unit Mass Loadings in kg/m ³ · yr		
	Weaving of Textiles and Manufacture of Textile Facility	Spinning of Textiles and Processing of Threads and Yarns Facility	This Study Fiber Dyeing/Finishing Facility
BOD ₅	2.08 ~ 18.40	1.55 ~ 8.63	7.24 ~ 92.80
COD _{Cr}	4.64 ~ 28.60	7.28 ~ 12.20	33.70 ~ 159.30
SS	1.77 ~ 3.76	0.37 ~ 0.97	13.10 ~ 41.50
TN	0.43 ~ 2.84	0.13 ~ 0.17	0.72 ~ 2.83
TP	0.05 ~ 0.11	0.003 ~ 0.006	0.04 ~ 0.49

3.6. 타업종과의 발생원단위 비교

본 연구에서는 섬유관련 업종인 직물직조 직물제품 제조시설, 방직 및 가공사 제조시설 및 섬유염색/가공시설의 유입수, 유출수를 대상으로 건평 당 오염부하량을 산정하여 Table 4에서 비교하였다. 섬유염색 및 가공시설의 오염부하량을 타 업종과 비교해보면 COD_{Cr}의 값이 6배, 10배가량 높았으며 다른 수질항목에 대해서도 타 업종에 비해 매우 높은 것으로 나타났다. 이는 섬유염색 및 가공업이 타 업종에 비해 고농도의 유기물을 많이 포함하며 다량의 폐수를 유발하는 업종임을 뒷받침하고 있다.

4. 결론

- 1) 낙동강수계에서 섬유염색 및 가공산업 시설에 대한 공정별 연간매출액 대비 폐수발생량을 비교하면 감량공정과 염색공정에서 각각 59 m³/year · 백만원과 9 m³/year · 백만원으로 나타나고 있으며, 유입수와 유출수에서는 각각 68 m³/year · 백만원과 66 m³/year · 백만원으로 나타났다. 유입수와 유출수에 있어서 폐수발생량에 대한 다섯 가지 발생원단위 항목은 비슷한 값을 보여주고 있는데, 이는 일반폐수와 감량폐수로 구분하여 처리하고 있는 폐수처리 공정의 특성을 반영하고 있다.
- 2) BOD의 경우 유입수에서 연간매출액 및 건평기준으로 각각 16,930 kg/year · 백만원 및 92.8 kg/year · m² 인 반면 유출수에서는 연간매출액 및 건평기준으로 각각 1,321 kg/year · 백만원 및 7.2 kg/year · m²로서 10% 이하로 급격히 감소하고 있다. 이는 처리효율은 높은 편이나 유입수의 오염부하량이 매우 높은 관계로 유출수의 발생원단위 값은 섬유제조시설과 유사하게 다소 높은 값을 유지하고 있음을 볼 수 있다.
- 3) 섬유염색 및 가공시설에 대한 COD_{Cr}/BOD₅의 비는 유입수의 경우 1.72 이고 유출수의 경우 4.65로 유입수에 비해 유출수의 COD_{Cr}/BOD₅ 비가 매우 큰 것으로 조사되었으며 이는 유출수보다 유입수의 생분해도가 높다는 것을 나타내고 있다. 또한 COD_{Cr}/COD_{Mn}의 비는 유입수에서 3.26이고 유출수에서 1.88로 유입수가 유출수에 비해 상대적으로 난분해성임을 나타내고 있다.
- 4) 위와 같은 연구 결과로부터 현행 분류체계에 따른 낙동강 유역의 배출시설별 오염원 발생원단위를 확보할 수 있었고, 섬유염색 및 가공시설의 폐수처리공정 및 폐수 특성에 근거한 연간매출액, 건평, 원료사용량, 제품생산

량 대비 오염물질 발생원단위자료를 확보할 수 있었다. 이러한 연구 결과는 오염총량관리제 실시에 따른 적용지역내에 정확한 오염원 발생원단위 산정과 함께 배출허용기준 항목 및 기준치의 설정이 용이해질 수 있고, 이에 따른 폐수배출시설의 오염물질 발생부하량의 처리기술 수준평가 등에 활용 될 수 있을 것으로 기대된다.

KSEE

사 사

본 과제는 금오공과대학교 교내학술연구비(과제번호: 2008-104-071)의 지원에 의해 수행되었으며 지원기관에 감사드립니다.

참고문헌

1. 낙동강유역환경청, ndg.me.go.kr.
2. 환경부, 수질 유해 물질의 통합독성 관리제도 도입 방안 연구: 최종 보고서 (2005).
3. 국립환경과학원, 개발과 보전을 함께하는 선진 "수질오염총량관리제도" (2006).
4. 환경부, 산업폐수 관리 체계 개선 연구(2003a).
5. 낙동강물환경연구소, 낙동강수계 환경기초조사사업 기본계획 (2003).
6. 국립환경과학원, 수질오염총량관리제도(2004).
7. 원태준, 강용태, 송근관, 조용현, 한상윤, 고속침전여과와 혐기-호기 공정을 이용한 염색폐수처리의 비교연구, 한국수처리학회지, **17**(1), 3~9 (2009).
8. 이수형, 박정민, 박상정, 정제호, "섬유 형태에 따른 염색폐수 배출특성 연구", 한국물환경학회지, **23**(6), 881~888 (2007).
9. 한국염색기술연구소, '98 염색가공기술 세미나 자료집(1998).
10. 손은중, 신현철, 신동훈, 섬유산업의 수처리기술 현황, 섬유기술과 산업, **12**(3), (2008).
11. 환경부, 폐수배출허용기준 적용대상물질 확대지정을 위한 연구 (2001).
12. 환경부, 수질유해물질통합독성 관리제도 도입방안 연구(2002a).
13. 환경부, 수질환경보전법, www.me.go.kr (2002b).
14. 통계표준분류, www.nso.go.kr, 제9차 한국표준산업 분류(2008).
15. 국립환경과학원, 폐수배출시설 표준원단위 조사연구(1998).
16. 국립환경과학원, 한강물환경연구소, 폐수배출시설 세분류 및 오염부하 원단위 I (2005a).

17. 국립환경과학원, 한강물환경연구소, 폐수배출시설 세분류 및 오염부하 원단위Ⅱ (2005b).
18. 국립환경과학원, 한강물환경연구소, 폐수배출시설 세분류 및 오염부하 원단위Ⅲ (2005c).
19. APHA, AMMA, WPCF, *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, **20th ed.**, New York, USA(1999).
20. 환경부, 수질오염공정시험방법(2002).
21. 이흥신, 손건태, 구정은, 콘분락사, 이흥태, 이승환, “낙동강 수계에서 제사방적제조 업체에 대한 공정별 원단위산정 및 분석”, 상하수도학회지, **22**(5), 541~550(2008).
22. Metcalf & Eddy, *Wastewater Eng.*, McGraw-Hill Book Co., **3rd**, New York (1991).
23. USEPA, Method for wastewater analysis, www.epa.org (1998).
24. 국립환경연구원 낙동강수질검사소 “염색폐수중의 난분해성물질 배출특성 및 처리에 관한 연구 I”(1999).
25. 김남진, 최성현, 방규철, 천세억, 정동일, “폐수배출시설의 오염물부하 원단위산정에 관한연구”, 한국물환경학회/대한상하수도학회 공동춘계학술발표회 논문집, pp. 139~142(2003).
26. 김이형, 강주현, “고속도로 강우 유출수내 오염물질의 EMC 및 부하량 원단위산정”, 한국물환경학회지, **20**(6), 631~640(2004).