

## 섬유 형태에 따른 염색폐수 배출특성 연구

이수형<sup>†</sup> · 박정민 · 박상정 · 정제호

국립환경과학원

### Studies on the Effluent Characteristics of Dyeing Wastewater by Textile Classification

Soo-Hyung Lee<sup>†</sup> · Jung-Min Park · Sang-Jung Park · Je-Ho Jeong

National Institute of Environmental Research

(Received 10 July 2007, Accepted 1 November 2007)

#### Abstract

In order to investigate the characteristics of the non-biodegradable material, the BOD<sub>5</sub>/COD<sub>Cr</sub> ratio was used. The average ratio of industrial complex's influent wastewater was 2.29~2.96, the effluent ratio was 4.29~19.0. The removal efficiency of UV<sub>254</sub> by physicochemical treatment was 22.8~94.7% and 5.3~77.2% by biological treatment, respectively. Of the wastewater removal efficiency for each of the items, the BOD<sub>5</sub> treatment efficiency was the greatest at 97.3% and the color & TN treatment efficiency was 40~70%. The study of the economical assessment showed that the complex as well as the individual companies spent 722~1,298 won for each ton of treated wastewater. All of the wastewater treatment facilities spent the most money on chemicals needed to treat the wastewater. The total cost for Nylon manufacturing wastewater treatment plant was the greatest while the total cost for cotton manufacturing wastewater treatment plant turned out to be the lowest. As respects of removal efficiency and economical assessment, Polyester A and Cotton manufacturing wastewater treatment plants were better effective than a dyeing industrial complex wastewater treatment plant.

**keywords** : Dyeing wastewater, Economical assessment, Removal efficiency

## 1. 서론

과거 우리나라 경제성장의 원동력이었던 섬유업은 현재 하향산업으로 인식되고 있으나, 대구·경북을 중심으로 최근 섬유산업에 대한 적극적인 기술개발 및 투자를 통해 활력을 되찾고 있다. 특히 섬유업은 타 산업에 비해 물사용량 및 수질오염도가 매우 높은 편으로 전체 산업폐수 중 그 차지하는 비율이 매우 높아, Table 1에서와 같이 전체 산업폐수중 섬유업의 방류량은 327,400 m<sup>3</sup>/day이며, BOD 방류량은 전체 산업폐수 중 가장 많은 9,211 kg/day이다(환경부, 2007). 또한 현재 전국에 걸쳐 실시중인 오염총량관리제에 대비하기 위해서는 섬유염색 폐수와 같이 다량으로 발생하는 폐수 유발업종의 경우 폐수 재이용 등을 통한 오염배출부하를 최소화할 수 있는 대책이 선행되어야 한다.

산업별 물사용량 및 수질오염도와와의 상관관계를 Fig. 1에 나타내었는데, 섬유업종이 조사대상 타 업종에 비해 물사용량 및 수질오염도가 가장 큰 것으로 조사되었다(한국염색기술연구소, 1998).

섬유염색 공정에는 다양한 섬유조제 및 염료 등이 사용되고 있는데, 이들중 대부분은 난분해성 또는 독성물질이나 환경위해성에 대한 정보는 부족한 실정이다(김 등, 2004a).

따라서 섬유염색에 사용되는 각종 섬유조제중 일부 난분해성물질의 사용현황, 유출특성 및 환경독성을 파악하여 배출규제 항목의 추가에 대비한 대책을 마련하여야 하며, 이들 난분해성물질이 다량 함유된 폐수의 적정 관리를 위해서는 우선적으로 이들 물질의 성장파악을 위한 정밀분석과 배출특성을 파악하고, 수계로 방류시 발생할 수 있는 위해성 평가와 동시에 염색 폐수에 대한 고효율 폐수처리 공법개발이 이루어져야 한다(김 등, 2004b; 이 등, 2003).

또한 섬유염색공업은 소비자 요구조건의 다양성 및 염색가공 기술의 발달로 생산공정에 사용되는 섬유조제 또한 매우 다양한 종류가 사용되고 있어, 이로 인해 발생하는 폐수의 성상과 발생량의 변동 폭이 매우 커짐으로서 안정적인 수처리를 더욱 어렵게 하고 있다. 우리나라의 염색폐수 처리공법은 주로 활성슬러지법으로 운영하고 있는데, 이러한 처리공법은 폐수중 유기물질에 대한 처리효율은 높은 편이나, 난분해성물질에 대한 처리율이 저조하고, 염색폐수의 관심대상 항목인 색도의 제어가 어려운 것으로 조사되고 있다(김 등, 2000; Churchley, 1994).

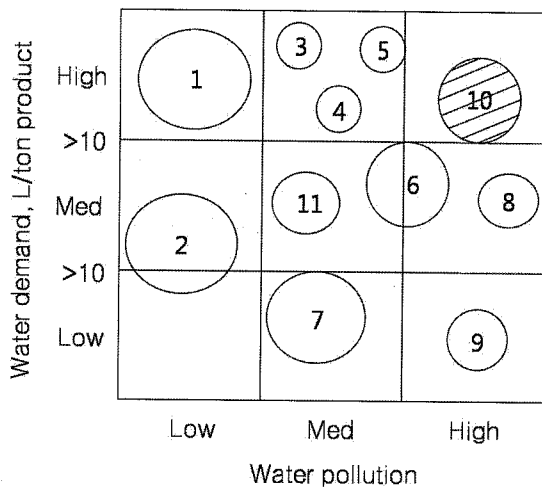
대부분 염색가공 업체들은 지역적으로 밀집되어 있고, 폐수처리 유형은 크게 지역에서 발생된 폐수를 합병하여 처리하거나 개별 업체에서 직접 처리 후 방류하는 두가지 형태가 있다. 효율적인 섬유 염색폐수 처리를 위해서는 개별 업체별로 폐수처리 효율성 및 경제적인 측면에서의 종합적인 검토 후 두가지 폐수처리 형태에 대한 적용성을 검토하여야

<sup>†</sup> To whom correspondence should be addressed.

lshnier@me.go.kr

**Table 1.** Wastewater quantity and BOD generation by industrial classification

	Wastewater quantity (Inflow), m <sup>3</sup> /day (%)	Wastewater quantity (Outflow), m <sup>3</sup> /day(%)	BOD Generation	
			Inflow, kg/day (%)	Outflow, kg/day (%)
Total	8,682,140	2,687,451	2,134,429	46,992
Food & drink	361,218(4)	298,025(11)	443,745(21)	8,698(19)
Textile	379,073(4)	327,200(12)	270,788(13)	9,211(20)
Chemical	272,325(3)	253,471(9)	211,485(10)	3,869(8)
Electricity	364,368(4)	327,352(12)	113,070(5)	3,085(7)
Metal fabrication	5,144,358(59)	206,328(8)	218,540(10)	2,132(5)
Paper & pulp	737,096(8)	386,617(14)	538,614(25)	7,955(17)
etc.	1,423,702(16)	888,458(33)	338,187(16)	12,040(26)



1.Electricity 2.Food and drink 3.Synthetic fibers 4.Rubber  
5.Paper and pulp 6.Metal manufacture 7.Oil refining 8.Leachur  
9.Electronics 10.Chemical & Textile 11.Metal fabrication

**Fig. 1.** Relationship of water demand and wastewater pollution rate.

한다. 따라서 본 연구를 통해 섬유염색폐수의 배출특성을 정밀 파악함으로써 난분해성물질의 생분해성물질로의 전환 및 재이용을 위한 기술 개발과 체계적이고 효율적인 섬유염색 폐수처리를 위한 기초자료로 제시하고자 한다.

## 2. 재료 및 방법

B염색공단 공동폐수처리장과 D광역시 섬유염색공단 개별업소인 Polyester 생산업체 2개소, Cotton 생산업체 1개소 및 Nylon 생산업체 1개소의 폐수처리장에 대해 수질분석을 통한 배출특성을 파악하였다. 시료의 채취는 4월, 6월 및 10월에 연 3회에 걸쳐 시료를 채취하였고, 매 3시간 간격으로 8회에 걸쳐 연속 시료를 채취한 후 수질항목 중 BOD<sub>5</sub> 등 10개 항목에 대해 분석하였다. 수질분석은 수질오염공정시험법(환경부, 2002)과 Standard Method(APHA, 1998)에 의거하여 분석하였다.

난분해성물질의 배출특성을 간접적으로 파악하기 위해 공단 및 섬유업종별 개별업소의 폐수 유입수와 방류수에 대한 COD<sub>Cr</sub>/BOD<sub>5</sub> 비를 조사하였으며, 폐수중의 총유기물질을 포함한 난분해성물질의 처리율을 간접 평가하기 위해

BOD<sub>5</sub> 및 UV<sub>254</sub>의 비교·분석을 실시하였다. 실험시에는 NOD (Nitrogenous Oxygen Demand)의 영향을 없애고자 NOD 방지 약품을 주입한 후 분석하였다. 또한 조사대상 공단 및 개별 섬유 생산업체의 수질분석 결과를 토대로 대상 폐수처리장의 처리공법인 1차 물리·화학적 처리와 2차 생물학적 처리에 대한 폐수처리 단계별 처리율을 비교·조사하였다.

조사대상 폐수처리장의 경제성 평가를 위해 폐수처리장에서 일년간 소요된 전력비, 폐수처리 약품비, 슬러지 처리비 및 인건비에 대한 자료를 수집하여 폐수 톤당 처리비용을 산정하였으며, 폐수처리율 및 경제성 평가 결과를 토대로 섬유업종별 개별 염색폐수에 대해 종합 폐수처리와의 비교·분석을 통한 효율성을 평가하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1. 섬유업종별 염색폐수의 수질특성

#### 3.1.1. 업종별 폐수 수질특성

조사대상 염색폐수의 총 3회에 걸친 유입수 및 방류수에 대한 수질분석을 통해 배출특성을 파악하였으며, 결과를 Table 2에 나타내었다.

Polyester B공장 유입수의 BOD<sub>5</sub> 평균농도는 2,055.3 mg/L로 가장 높은 것으로 조사되었으며, 다음은 Polyester A, B염색공단, Cotton 공장 순으로 각각 1,686.2, 957.2, 639.9 mg/L로 나타났다. 유출수에서는 B염색공단과 Nylon 공장이 15.3, 15.1 mg/L로, 유입수에서 높게 나타났던 Polyester A, B공장에 비해 높게 나타났는데, 이는 Polyester 공장에서는 반응성염료나 산성염료 등에 비해 분자구조가 간단하여 폐수처리효율이 높은 분산형 염료를 많이 사용하기 때문이라 판단된다. COD<sub>Cr</sub>의 경우도 Polyester B, A공장의 평균농도가 각각 3,143.0, 3,106.7 mg/L로 유입수 중 가장 높게 나타났으나 유출수에서는 각각 75.4, 48.1 mg/L로 다른 조사대상에 비해 낮은 농도인 것으로 조사되었으며, COD<sub>Cr</sub> 값이 SCOD<sub>Cr</sub>보다 항상 더 커야 하나, 4월 시료에 대한 SCOD<sub>Cr</sub> 분석이 이루어지지 못하여 반대 현상이 나타난 경우가 있었는데, 6월과 10월 분석결과에서는 COD<sub>Cr</sub>이 SCOD<sub>Cr</sub>보다 더 큰 것으로 조사되었다.

색도에 대한 조사결과, 난분해성이 강하며 용해성이 좋은 반응성염료를 주로 사용하는 Cotton 공장과 여러 업소의 폐수가 섞여서 유입되는 B염색공단, Nylon 공장이 1,000

Table 2. Concentrations of influent and effluent dyeing wastewater

			Concentrations (mg/L)									
			BOD	COD <sub>Mn</sub>	COD <sub>Cr</sub>	SCOD <sub>Cr</sub>	TOC	DOC	SS	Color	TN	TP
Complex	Inf.	Max.	1,645	933	3,768	2,884	2,204	1,952	141	1,630	322.8	9.003
		Min.	653	512	1860	1,696	848	1,742	34	849	34.0	4.189
		Avg.	957	671	2,515	2,240	1,364	1,847	84	1,105	98.7	6.201
	Eff.	Max.	36	68	153	127	90	56	33	596	28.8	6.819
		Min.	4	47	87	94	38	19	8	332	13.2	1.825
		Avg.	15	55	112	115	68	41	16	412	20.3	4.288
Poly A	Inf.	Max.	3,072	1,035	4,840	4,232	3,228	2,744	355	1,348	26.9	1.610
		Min.	1,253	532	2,536	2,088	1,316	1,998	45	167	6.1	0.227
		Avg.	1,686	636	3,107	2,787	1,898	2,371	133.6	357	13.2	0.581
	Eff.	Max.	7	272	71	73	108	78	30	144	19.2	1.684
		Min.	1	14	40	30	20	4	7	34	0.9	0.310
		Avg.	3	42	48	45	83	59	15	82	8.1	1.059
Poly B	Inf.	Max.	2,988	1,314	5,320	4,210	3,233	2,724	1,360	1,287	312.9	5.793
		Min.	1,223	460	2,064	2,120	913	2,653	220	573	14.6	1.133
		Avg.	2,055	884	3,143	3,260	1,748	2,688	751	912	57.5	3.184
	Eff.	Max.	12	266	97	76	61	57	25	157	29.6	0.632
		Min.	2	28	56	48	17	16	7	41	0.9	0.010
		Avg.	7	45	75	68	44	46	18	98	14.9	0.263
Cotton	Inf.	Max.	1,138	1,642	3,744	3152	2,166	1,584	1,020	2,051	46.0	10.160
		Min.	226	457	962	1,888	364	1,568	123	592	21.0	2.115
		Avg.	640	1,044	2,480	2,376	908	1,576	354	1,174	34.4	4.190
	Eff.	Max.	6	77	155	149	96	60	32	751	26.3	0.749
		Min.	0.4	289	65	54	54	34	6	154	3.5	0.201
		Avg.	2	38	82	78	71	52	13	277	10.4	0.341
Nylon	Inf.	Max.	796	372	2,097	1,776	1,126	958	128	1,637	185.8	22.832
		Min.	98	157	519	484	166	708	25	609	43.8	2.004
		Avg.	383	234	1,270	1,160	633	833	61	1,005	102.7	12.296
	Eff.	Max.	59	77	341	281	130	65	48	480	98.6	0.155
		Min.	5	38	85	84	10	34	23	189	61.4	0.029
		Avg.	15	52	149	134	61	47	34	330	79.5	0.078

unit PtCo 이상의 색도로 다른 조사대상에 비해 높게 나타났으며, 유출수에서도 사용량이 많고, 폐수 유입율이 다른 염료에 비해 높은 반응성염료를 사용하는 Cotton공장의 색도가 다른 공장에 비해 높게 나타났다.

질소에 대한 분석결과, Nylon 공장이 타 조사대상 업소에 비해 월등히 높은 43.8~185.86 mg/L로 유입되고 있었고, 처리율도 저조하였다. 이는 대부분 Nylon 공장의 제조공정에서 섬유표면의 염색을 균질하게 하기 위해 사용하는 균염제로 황산암모늄을 다량 사용하고 있어, 이에 의해 발생하는 폐수 또한 고농도의 질소가 함유되어 배출되고 있기 때문인 것으로 판단된다. 또한 방류수 중의 TN 농도도 61.4~98.6 mg/L의 범위를 나타내어, 타 개별 폐수처리장의 평균 농도인 8.1~14.9 mg/L에 비해 높은 값을 나타내었다.

조사대상 유입폐수에 대한 TOC 및 DOC에 대한 분석결과를 Fig. 2에 나타내었다.

B염색공단의 경우 TOC 및 DOC의 최대값은 2,204 mg/L, 1,952 mg/L이었고, 개별업체 폐수처리장의 경우도 1,126~3,233 mg/L(TOC) 및 958~2,744 mg/L(DOC)의 범

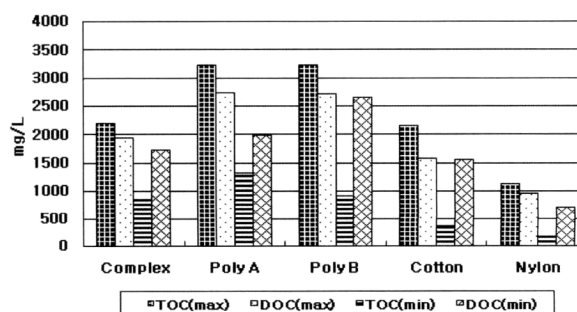


Fig. 2. Comparison of TOC and DOC concentration of influent.

위를 나타내어, 유입수중의 유기물질은 대부분 용존성임을 알 수 있었다. 또한 TOC 및 DOC의 최대치와 최소치 차이는 B염색공단의 경우, 1,356 mg/L(TOC), 210 mg/L(DOC)이었고, 개별업체 처리장의 경우는 960~2,320 mg/L(TOC), 17~746 mg/L(DOC)를 나타내어. TOC가 DOC에 비해 최대 및 최소값의 차이가 큰 것으로 조사되었다. 이는 유입수의 부유물질 중에 일부 염료 및 섬유조제중의 난분해성 물질이 함유되어 유입될 가능성이 있음을 나타내는 것이다.

3.1.2. 수질변화 분석

조사대상 폐수처리장의 유입수 및 방류수에 대한 수질변화를 4월과 6월 2회에 걸쳐 3시간 간격으로 파악하였으며, 결과를 Fig. 3 및 Fig. 4에 나타내었다.

색도에 대한 조사결과, B염색공단 원수의 경우 평균 984~1,215 unit PtCo를 나타내어 매우 높은 값을 나타내었고, 방류수의 경우도 337~398 unit PtCo의 분포를 나타내어 현 처리공법에 의한 색도처리에는 한계가 있었다. TN의 경우 유입수는 변화폭이 41~132 mg/L로 경시적 변화가

큰 편이었으며, 방류수의 경우도 변화폭이 14.7~28.1 mg/L로 방류되어 경시적 변동폭은 크지 않았으나 처리율이 비교적 낮은 것으로 나타났다. Cotton 공장의 유입수에 대한 색도는 타 조사대상 유입수에 비해 높은 농도로 유입되고 있었으며, 경시적 수질변동도 매우 커 최소 592 unit PtCo에서 최대 2,051 unit PtCo로 시간별 변화가 큰 것으로 조사되었다. 또한 방류수의 경우도 비교적 높은 농도로 방류되어 색도처리에 어려움이 있는 것으로 나타났는데, 이는 Cotton 공장에서 난분해성인 반응성 염료를 주로 많이 사

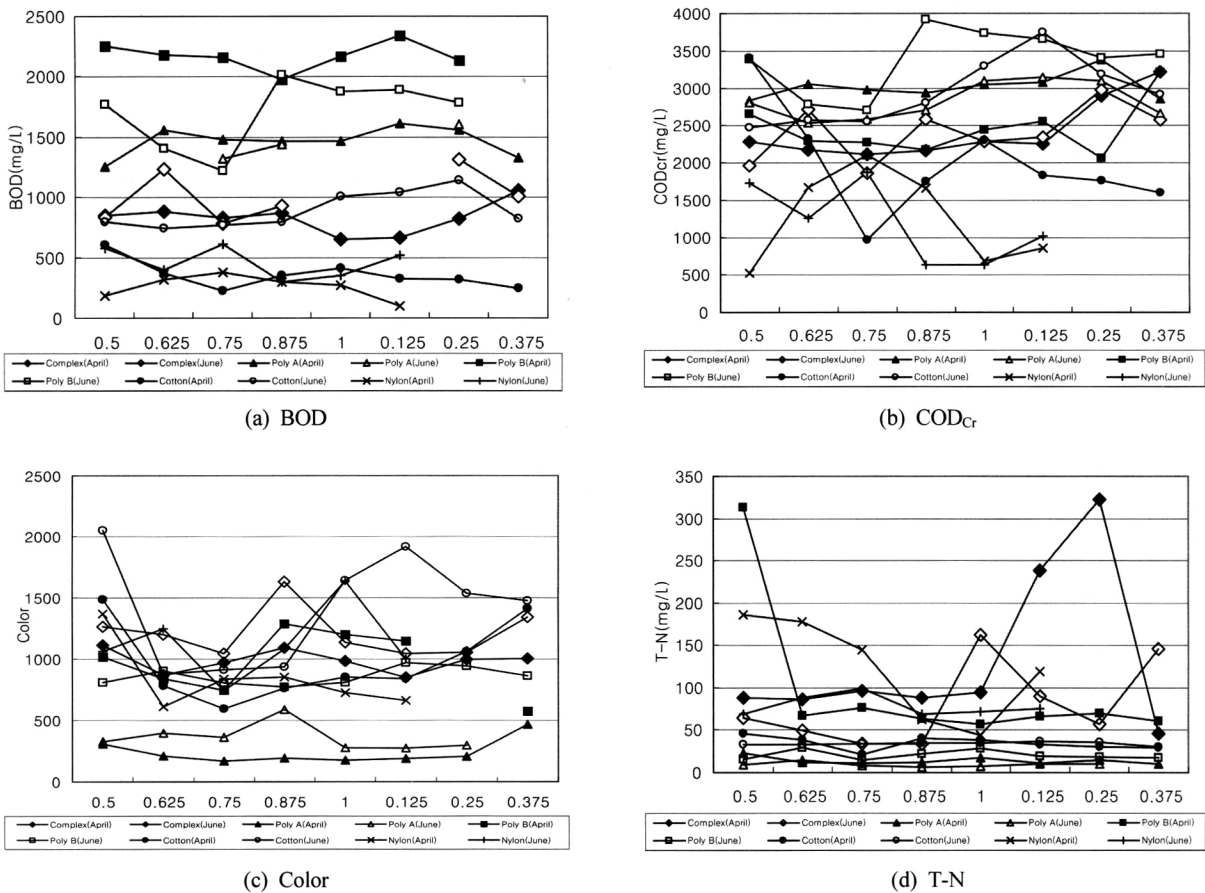


Fig. 3. Daily variation of BOD, COD<sub>Cr</sub>, Color and T-N concentration in influent.

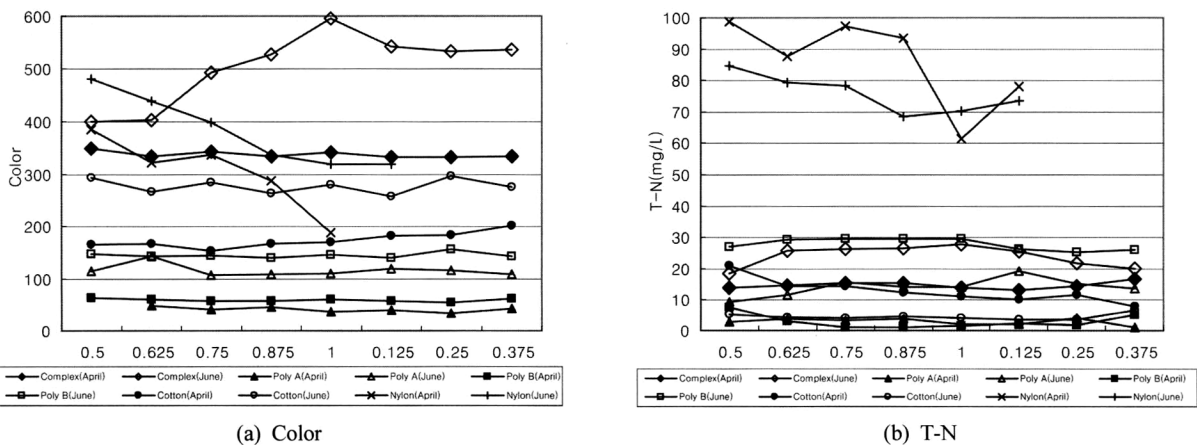


Fig. 4. Daily variation of Color and T-N concentration in effluent.

용하는데 이는 물에 대한 용해도가 높고, 응집 처리효율이 낮기 때문인 것으로 판단된다. Nylon 공장에 대한 TN의 경우 타 조사대상 업소에 비해 높은 농도로 유입되고 있었고, 폐수처리 후 방류수도 매우 높은 농도로 방류되고 있었는데, 이는 업종별 폐수 수질특성에서도 언급하였듯이 Nylon 제조 공정에서 사용하는 향산암모늄 때문인 것으로 판단된다.

3.1.3. 수질항목간 상관도 분석

종합폐수인 B염색공단 폐수처리장의 원수 및 방류수에 대한 수질항목간 상관도 분석 결과, 유기물과 색도와 상관성은 0.063~0.489로 낮은 것으로 나타났고, 색도는 전 항목에 대해 상관성이 낮은 것으로 조사되었는데, 이는 색도 유발물질인 염료 성분이 미량으로 존재하고 있어 타 조사 항목에 미치는 영향이 적기 때문으로 판단된다.

방류수는 유기물 항목간의 상관성이 높을 뿐만 아니라 영양물질 및 색도와 상관성도 높은 것으로 분석되었는데, 이는 폐수 처리 후 수질특성이 변화하였거나 또는 유입수에 비해 방류수의 수질이 매우 낮기 때문으로 저농도에서의 상관계수 분석은 큰 의미가 없는 것으로 판단된다.

3.1.4. 염색폐수중 난분해성물질 배출특성

3.1.4.1. COD<sub>Cr</sub>/BOD<sub>5</sub> 비에 의한 난분해성물질 배출특성

섬유염색업의 경우 타 산업에 비해 계절별로 유행의 변화에 따른 생산품 및 제조공정에 대한 변화가 큰 편이며, 제조공정도 다양하여 일간 발생하는 폐수성상의 변화가 심해 폐수처리에 많은 어려움이 있다.

염색폐수 처리공정은 대부분 물리화학적 1차 처리 후 생물학적 처리인 2차 처리를 병행하는 것이 일반적이며, 이때 폐수처리 과정에서 난분해성물질의 배출특성을 간접적

으로 파악하기 위해 공단 및 섬유 업종별 개별업소의 폐수 유입수 및 방류수에 대한 COD<sub>Cr</sub>/BOD<sub>5</sub> 비를 조사하였다.

종합폐수인 B염색공단 유입 폐수의 평균 COD<sub>Cr</sub>/BOD<sub>5</sub> 비는 2.29~2.96이었고, 방류수의 경우는 평균 4.29~19.0로 유입수에 비해 방류수의 COD<sub>Cr</sub>/BOD<sub>5</sub> 비가 매우 큰 것으로 조사되었는데, 이는 섬유염색 폐수가 타 산업폐수와는 다른 특징을 가지는 것으로 판단된다. Polyester를 포함한 개별업소 모두 공단 폐수처리장과 유사한 결과를 나타내어 유입수의 경우 평균 1.08~5.55, 방류수는 6.84~236.43의 범위를 나타내었는데, 대부분 폐수처리장의 처리공법은 활성슬러지법으로 분해 가능한 생분해성물질은 대부분 처리되나, 유입수 중의 섬유제조 공정에서 사용하는 섬유조제 중 분자량이 큰 난분해성물질은 폐수 처리 과정을 통해 미생물에 의해 일부만이 분해되어 산화 가능한 물질로 바뀌었기 때문으로 판단된다. 또한 섬유산업의 특성상 섬유폐수의 계절별·일별 변화가 크다는 것을 COD<sub>Cr</sub>/BOD<sub>5</sub>비의 분석을 통해 재확인할 수 있었다.

3.1.4.2. 폐수처리 공정에서의 UV<sub>254</sub> 흡광물질 제거율

UV를 흡수하는 물질은 벤젠류의 물질들과 불포화지방족 물질들인데, 이 중 방향족 탄소화합물이 많이 포함되어 있으면 자외선 흡광도도 커지는 양의 상관관계를 가진다. UV<sub>254</sub>의 측정은 미생물에 의해 비교적 분해가 어려운 방향족 및 불포화 지방족 물질을 정량화하는 방법으로 사용되고 있는데, 폐수처리 공정에서의 BOD<sub>5</sub>제거율 및 UV<sub>254</sub> 흡광물질 제거율을 비교·분석한 결과, BOD<sub>5</sub>의 경우는 1차 처리인 물리화학적 처리 후 7.2~36.4%, 2차 처리인 생물학적 처리 후 63.6~92.8%를 나타내었고, UV<sub>254</sub>의 경우는 물리화학적 처리 후 22.8~94.7%, 생물학적 처리 후 5.3~77.2%를 나타내었다.

Table 3. Relation coefficient of wastewater quality in complex industry

Influent	BOD	COD <sub>Mn</sub>	COD <sub>Cr</sub>	SCOD <sub>Cr</sub>	TOC	SS	Color	TN	TP
BOD	1	0.576	0.813	0.851	0.817	0.452	0.256	0.403	0.001
COD <sub>Mn</sub>	-	1	0.685	0.909	0.349	0.701	0.063	0.173	0.133
COD <sub>Cr</sub>	-	-	1	0.780	0.776	0.365	0.133	0.080	0.251
SCOD <sub>Cr</sub>	-	-	-	1	1.000	0.545	0.132	0.113	0.137
TOC	-	-	-	-	1	0.345	0.489	0.276	0.495
SS	-	-	-	-	-	1	0.019	0.075	0.048
Color	-	-	-	-	-	-	1	0.339	0.178
TN	-	-	-	-	-	-	-	1	0.217
TP	-	-	-	-	-	-	-	-	1
Effluent	BOD	COD <sub>Mn</sub>	COD <sub>Cr</sub>	SCOD <sub>Cr</sub>	TOC	SS	Color	TN	TP
BOD	1	0.969	0.688	0.865	0.754	0.566	0.979	0.626	0.903
COD <sub>Mn</sub>	-	1	0.704	0.862	0.693	0.603	0.970	0.669	0.900
COD <sub>Cr</sub>	-	-	1	0.178	0.104	0.870	0.645	0.952	0.779
SCOD <sub>Cr</sub>	-	-	-	1	0.857	0.602	0.852	0.278	0.892
TOC	-	-	-	-	1	0.018	0.740	0.049	0.556
SS	-	-	-	-	-	1	0.526	0.902	0.706
Color	-	-	-	-	-	-	1	0.608	0.882
TN	-	-	-	-	-	-	-	1	0.758
TP	-	-	-	-	-	-	-	-	1

**Table 4.** COD<sub>C</sub>/BOD<sub>5</sub> ratio of raw and treated wastewater

			Complex	Poly A	Poly B	Cotton	Nylon
Influent	April	Max.	3.53	2.27	1.17	6.44	8.71
		Min.	2.46	1.91	0.97	4.25	2.54
		Avg.	2.96	2.07	1.08	5.55	5.07
	June	Max.	2.79	1.96	2.21	3.60	3.14
		Min.	2.20	1.87	1.91	2.80	1.82
		Avg.	2.42	1.92	1.98	3.33	2.51
	October	Max.	2.29	1.58	1.78	3.39	6.64
		Min.	2.29	1.56	1.68	3.24	1.74
		Avg.	2.29	1.57	1.73	3.31	4.19
Effluent			Complex	Poly A	Poly B	Cotton	Nylon
	April	Max.	24.49	37.42	28.00	103.00	17.62
		Min.	15.41	13.55	7.58	19.26	12.10
		Avg.	19.00	21.49	17.39	54.30	15.21
	June	Max.	8.29	22.14	10.61	164.76	15.60
		Min.	0.29	6.77	7.25	12.72	7.81
		Avg.	4.29	13.31	8.67	54.83	12.06
	October	Max.	20.83	13.88	13.85	387.00	7.88
		Min.	14.55	12.61	8.04	85.87	5.79
		Avg.	17.69	13.25	10.95	236.43	6.84

BOD<sub>5</sub>의 경우는 대부분 2차 처리인 생물학적 처리에 의해 제거되는 것으로 나타났으나, UV<sub>254</sub>의 경우는 1차 처리인 물리화학적 처리에 의한 처리율이 높은 것으로 조사되었다. 이는 섬유염색을 위해 사용중인 염료가 퇴색 및 탈색의 가능성을 줄이기 위해 매우 안정한 화학적 구조를 보유하도록 제조되기 때문에 생물학적 공정을 중심으로 한 현 폐수처리 공정으로는 제거효율이 낮기 때문인 것으로 판단된다.

**3.2. 섬유염색 폐수의 개별처리 및 종합처리에 대한 효율성 비교**

**3.2.1. 폐수처리 효율 평가**

섬유 업종별 염색폐수의 개별처리와 공단처리장을 통한 종합처리와의 폐수처리 효율을 비교·분석하였다. 조사대상 처리장의 처리공법은 일반적 처리공법인 표준 활성슬러지법에 의해 처리하고 있었으며, 1차 물리·화학적 처리와 2차 생물학적 처리의 단계별 처리율을 8개 수질항목에 대해 평가하였다. BOD<sub>5</sub>에 대한 1차 물리·화학적 처리율은 개별 처리의 경우 평균 4.7~59.1%, 공단폐수 19.3%이었고, 2차 생물학적 처리율은 개별처리 84.4~99.8% 및 공단폐수 99.4%로 개별폐수 및 공단폐수 모두 2차 생물학적 처리에 의해 처리되는 것으로 나타났다.

색도는 개별처리의 1차 처리율 52.9~71.0%, 2차 50.3~95.5%이었고, 공단폐수의 경우 1차 처리율 57.4%, 2차 65.4%로 개별 폐수처리 및 공단폐수 모두 1차 및 2차 처리율의 차이가 크지 않았는데, 기존의 폐수처리 공법으로는 색도의 제어가 어려움을 알 수 있었다. 영양물질 항목인 총질소의 경우 1차 처리율 -40.5~60.9%, 2차 13.6~69.1%를 나타내었고, 총인은 1차 14.1~98.9%, 2차 32.8~99.6%를 나타내었다. Poly B 공장에 대한 총질소의 분석결과, 1차 처리 후 오히려 농도가 더 증가하였다. 일반적으로 활성슬러지법에 의한 폐수처리로는 영양물질에 대한 처리율이 비교적 낮은 것으로 알려져 있으나, 섬유염색 폐수의 경우는 분석결과에서와 같이 처리율이 높은 경우도 있어 이에 대한 원인 규명을 위해서는 섬유 제조공정에서 발생되는 물질들에 대한 정밀분석이 뒷받침되어야 할 것으로 판단된다. 그러나 균염제로 질소를 다량 사용하는 Nylon 공장의 질소 처리율은 1차 18.7%, 2차 13.6%로 매우 낮아 질소처리를 위해서는 고도 폐수처리가 병행되어야 할 것으로 판단된다.

**3.2.2. 경제성 평가**

조사대상 폐수처리장의 경제성 평가를 위해 폐수 처리시에 소요되는 전력비, 폐수처리약품비, 슬러지 처리비 및 인

**Table 5.** Comparison of BOD<sub>5</sub> and UV<sub>254</sub> removal efficiency after 1st and 2nd treatment stage

	BOD removal efficiency (%)		UV <sub>254</sub> removal efficiency (%)	
	Physicochemical treatment	Biological treatment	Physicochemical treatment	Biological treatment
Complex	15.1	84.9	22.8	77.2
Poly A	23.2	76.8	45.1	54.9
Poly B	7.2	92.8	74.4	25.6
Cotton	36.4	63.6	87.5	12.5
Nylon	33.3	66.7	94.7	5.3

Table 6. Average removal efficiency of treatment steps

		Average removal efficiency (%)							
		BOD	COD <sub>Mn</sub>	COD <sub>Cr</sub>	TOC	SS	Color	TN	TP
1st <sup>*</sup> Stage	Complex	19.3	57.4	33.8	43.8	47.9	57.4	60.9	14.1
	Poly A	14.5	38.9	27.7	48.8	55.4	52.9	-40.5	65.3
	Poly B	47.7	36.1	60.5	75.3	77.5	55.7	67.4	95.6
	Cotton	4.7	25.6	27.7	12.6	-87.1	-37.3	5.4	41.2
	Nylon	59.1	73.3	46.4	70.0	47.0	71.0	18.7	98.9
2nd <sup>**</sup> Stage	Complex	99.4	91.9	95.9	98.1	76.1	65.4	59.1	37.4
	Poly A	99.7	97.3	98.7	99.3	76.5	74.4	18.8	32.8
	Poly B	99.6	89.7	98.5	99.4	95.5	89.0	69.1	92.0
	Cotton	99.8	94.6	96.1	95.5	91.1	50.3	61.5	88.1
	Nylon	84.4	79.1	74.1	69.0	35.2	76.6	13.6	99.6

(<sup>\*</sup>: Physicochemical treatment; <sup>\*\*</sup>: Biological treatment)

건비를 기준으로 처리비용을 산정하였으며, 결과를 Table 7에 나타내었다. 처리비용중 약품비의 소요액이 가장 많아, 전체 소요액의 36~44%를 차지하였다. Cotton 공장 폐수처리장의 폐수 1톤당 처리비용이 가장 낮은 722원으로 조사대상 폐수처리장중 가장 경제적으로 폐수를 처리하고 있었다. Nylon 공장의 경우는 가장 처리비용이 많은 폐수 1톤당 약 1,298원의 비용이 소모되고 있어, B염색공단 폐수처리장의 처리비용인 794원보다 훨씬 많은 것으로 조사되었다.

정확한 경제성 평가를 위해서는 각 분석대상 항목별 및 폐수처리 규모에 따라 폐수처리장 건설비용과 항목별 처리 효율 등을 포함하여 평가가 이루어져야 하나, 본 연구의 섬유폐수에 대한 분석회수 및 경제성 평가 자료가 충분치 못해 정밀한 경제성 평가가 이루어지지 않는 못하였다. 하지만

조사대상 폐수처리장의 방류수에 대한 분석결과가 모두 법적인 환경기준 이내로 처리되고 있는 상태에서 섬유 업종별 개별처리 및 공동처리에 대한 객관적인 비교를 할 수 있는 간접적인 기준을 마련하는데 도움이 될 것으로 판단된다.

3.2.3. 폐수처리율 및 경제성 비교를 통한 종합평가

폐수처리 효율성 및 경제성 평가를 토대로 염색공단으로 종합하여 공동 처리하는 경우와 개별 폐수처리하는 경우에 대해 수질항목별로 종합평가한 결과를 Table 8에 나타내었다. 조사대상 개별 섬유 염색업체에 대한 섬유 업종별 폐수처리율 및 폐수 톤당 처리비용을 기준으로 한 경제성 평가 결과를 B염색공단 폐수처리장과 비교한 결과, Polyester

Table 7. Economical assessment

Variables		Complex	Poly A	Poly B	Cotton	Nylon
Wastewater quantity, 10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> /month		3,494	171	402	221	44
Power rates	Consumption, 10 <sup>3</sup> kW	9,713	672	1,745	661	227
	Cost, thousand won	486,954 (18%)	30,911 (23%)	78,526 (22%)	34,094 (21%)	13,498 (24%)
Chemical dosage cost	Quantity Consumed, m <sup>3</sup>	11,508	98	2,372	860	209
	Cost, thousand won	1,064,114 (38%)	57,505 (44%)	159,555 (44%)	57,139 (36%)	22,315 (39%)
Sludge disposal cost	Quantity Generated, m <sup>3</sup>	28,554	697	3,745	671	345
	Cost, thousand won	671,017 (24%)	19,512 (15%)	67,417 (19%)	18,788 (12%)	6,903 (12%)
Personnel expense	Persons	23	2	4	3	1
	Cost, thousand won	552,000 (20%)	23,784 (18%)	52,800 (15%)	49,680 (31%)	14,400 (25%)
Total cost, million won		2,774	132	358	160	57
Unit Cost, ₩/m <sup>3</sup>		794	772	890	722	1,298

Table 8. Result of overall assessment

	BOD	COD <sub>Mn</sub>	COD <sub>Cr</sub>	SCOD <sub>Cr</sub>	TOC	DOC	SS	Color	TN	TP	Total
Poly A	HELC	LELC	HELC	HELC	HELC	HELC	HELC	HELC	HELC	HELC	HELC
Poly B	HEHC	HEHC	HEHC	HEHC	HEHC	HEHC	HEHC	HEHC	HEHC	HEHC	HEHC
Cotton	HELC	HELC	HELC	HELC	LELC	LELC	HELC	LELC	HELC	HELC	HELC
Nylon	LEHC	LEHC	LEHC	LEHC	LEHC	LEHC	LEHC	LEHC	LEHC	HEHC	LEHC

(HEHC : High Efficiency High Cost, HELC : High Efficiency Low Cost, LEHC : Low Efficiency High Cost, LELC : Low Efficiency Low Cost)

A 공장 및 Cotton 생산업체 폐수처리장의 경우는 대부분 조사항목에서 고효율·저비용인 것으로 나타나, 개별처리가 염색공단으로 유입하여 종합 처리하는 경우보다 더 효과적이었고, 반면 Nylon 생산업체의 경우는 저효율·고비용인 것으로 나타나 개별처리보다는 종합처리가 더 효과적인 것으로 조사되었다. 또한 Polyester B 공장은 B염색공단 폐수처리장에 비해 고효율·고비용으로 폐수처리 효율성 및 경제성 평가에 대한 정밀 검토 후 종합 평가하여야 할 것으로 판단된다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 섬유 염색폐수의 효율적 처리방안 마련을 위해 섬유 형태별 개별 염색폐수와 공단 폐수처리장을 통해 처리하는 종합폐수에 대한 배출특성을 파악하였으며, 이를 위해 염색공단 공동폐수처리장 1개소와 섬유 형태별 개별 염색업체 폐수처리장 4개소를 대상으로 수질, 폐수처리율 및 경제성 등을 비교·분석하였다. 본 연구를 통해 아래와 같은 연구결과를 얻었다.

- 1) 염색폐수는 섬유업종별로 수질의 변화가 심하였고, 정시적 변동 폭도 큰 편이었다. 유입수에 대한 TOC 및 DOC의 최대·최소값은 1,126~3,233 mg/L, 958~2,744 mg/L로 염색폐수 유입수 중의 유기물은 대부분 용존성을 알 수 있다.
- 2) 난분해성물질 배출특성의 간접평가를 위해 COD<sub>Cr</sub>/BOD<sub>5</sub>의 비를 조사하였으며, 방류수에 대한 COD<sub>Cr</sub>/BOD<sub>5</sub>의 비가 유입수에 비해 훨씬 큰 것으로 조사되었는데, 이는 유입수 중의 난분해성물질이 활성슬러지법에 의해 생분해 가능한 물질은 대부분 분해되고, 폐수처리 후 생분해가 어려운 난분해성물질만 남았기 때문으로 판단되며, UV<sub>254</sub> 흡광물질 제거율은 1차 처리인 물리화학적 처리 후 22.8~94.7%, 2차 처리인 생물학적 처리 후 5.3~77.2%를 나타내어, UV<sub>254</sub>는 물리화학적 처리에 의한 제거율이 더 높은 것으로 나타났다.
- 3) 섬유 업종별 개별폐수 처리의 경우와 공단처리장을 통한 종합폐수 처리와의 효율에 대한 비교결과, 유기물질에 대한 처리율은 높은 편이었으며, 대부분 2차 생물학적 처리에 기인하고 있었으며, 색도와 영양물질 항목은 처리율이 낮은 편이었는데, 특히 균염제로 황산암모늄을 다량 사용하는 Nylon 공장의 경우 TN의 유입수 및 방

류수 농도가 모두 높았다.

- 4) 공단 및 개별업소에 대한 경제성 평가 결과, 폐수 1톤당 722~1,298원이 소요되는 것으로 조사되었고, Cotton 공장 폐수처리장의 처리비용이 가장 낮아 경제적으로 폐수를 처리하고 있었으며, 반면 Nylon 공장은 가장 많은 1,298원의 비용이 소요되었다. 조사대상 폐수처리장 모두 약품비의 소요액이 가장 많았다.
- 5) 폐수처리율 및 경제성 평가 결과를 토대로 종합평가한 결과 Polyester A 공장과 Cotton 생산업체의 폐수처리장은 조사대상 수질항목에서 고효율·저비용인 것으로 나타나 개별처리가 더 효과적이었고, 반면 Nylon 생산업체는 저효율·고비용으로 개별처리보다는 염색공단으로 유입하여 종합처리하는 것이 더 효과적인 것으로 조사되었다.
- 6) 분석회수 및 경제성 평가 자료가 불충분하여 정밀한 경제성 평가가 이루어지지 못하는 못하였으나, 정확한 경제성 평가를 위해서는 각 분석 항목별, 폐수처리 규모에 따른 폐수처리장 건설비용과 항목별 처리효율 및 유지관리 비용 등을 전부 포함하여야 보다 정확한 평가가 이루어질 수 있을 것으로 판단된다.

#### 참고문헌

- 김영희, 이민정, 최경호, 어수미, 이흥근, 염색폐수의 수질특성시험을 이용한 한국의 수질배출허용기준 평가연구, *한국환경보건학회지*, **30**(3), pp. 195-190 (2004a).
- 김종규, 정호진, TiO<sub>2</sub>/UV 산화기술을 이용한 염색폐수처리에 관한 연구, *상하수도학회지*, **18**(3), pp. 392-400 (2004b).
- 김종향, 변종환, 광화학적방법을 이용한 염색폐수의 색도제거, *한국물환경학회지*, **16**(2), pp. 159-167 (2000).
- 이상호, 문혜진, 김유미, 펜톤 산화 방법에 따른 염색폐수 처리 효율 향상에 관한 연구, *대한환경공학회지*, **25**(1), pp. 87-93 (2003).
- 한국염색기술연구소, '98염색가공기술 세미나 자료집 (1998).
- 환경부, *공장폐수의 발생과 처리* (2007).
- 환경부, *수질오염공정시험방법* (2002).
- APHA, *Standard Methods for the Examination of water and wastewater*, 20th ed., Washington DC, USA (1998).
- Churchley, J. H., Removal of dyewaste colour from sewage effluent the use of a full scale ozone plant, *Water Sci. Technol.*, **30**(3), pp. 275-284 (1994).