

염색폐수 발생특성 및 처리방안

김미경[†] · 안재환* · 공동수

국립환경과학원 한강물환경연구소 · *한국건설기술연구원

Characteristics and Treatment Technologies of Textile Wastewater

Mee-Kyung Kim[†] · Jae-Hwan Ahn* · Dong-Soo Kong

Han-River Environment Research Center, National Institute of Environmental Research

*Korea Institute of Construction Technology

1. 서론

습식공정이 주를 이루는 섬유산업의 특성상 많은 양의 물과 화학물질이 사용되어, 우리나라에서 2006년 한해 발생된 섬유염색폐수는 379,073 m³/d에 이르며, 발생유기물 부하량은 2,134,429 kg/d로 집계되었다. 염색폐수의 일반적인 처리 방법은 대부분이 화학적 처리방법에 의존하고 있는 실정이며,¹⁾ 개별사업장 혹은 공동처리시설에서 처리된 폐수는 최종처리를 위하여 하수처리장으로 유입되어 생물학적 처리를 거쳐 최종 방류되고 있다.

염색폐수는 제품의 종류와 계절, 염색방법, 공정에 따라서 폐수의 성질을 일반화하기 어려울 정도로 그 특성이 다양하고 조성이 복잡하며, 하루 중에도 작업공정에 따라서 폐수의 수질변화가 매우 심하다는 것이 특징이다. 또한 사용되는 약품과 염료의 특성상 생물학적 분해 및 산화가 어려워 난분해성 폐수로 분류되어 있고, 염색업체의 규모가 영세하여 대부분의 경우 오염도가 심각한 공정의 폐수만을 분리하여 처리하는 것은 현실적으로 어려우며 개별처리장 단위에서 고도처리의 적용도 쉽지 않은 실정이다.

위와 같은 점들에도 불구하고 환경기준은 강화되는 추세이고, 하수처리장의 처리능력은 한계에 이르렀으며 따라서 염색폐수의 색도와 유기물 제거를 하수처리장에 기대하기 어려운 시점에 이르렀다. 게다가 강화되는 질소와 인 규제에 대비하여 하수처리장에 고도처리공정이 도입되어 분해성 유기물(탄소원)의 추가공급이 필요한 시점에서 배출허용기준을 준수하여 하수처리장으로 유입된 생분해도가 낮은 염색폐수는 현실적으로 하수처리장의 빈부하의 원인이 되고 있는 실정이다.

본 논문에서는 염색폐수의 발생특성, 폐수의 성상, 처리기술에 대해 간략히 알아보고 이를 통하여 당면한 폐수처리문제의 해결을 돕고자 하였다.

2. 국내 염색산업의 현황 및 염색폐수 발생특성

환경통계연감(2007)²⁾에서 제시하고 있는 업종별 산업생산지수를 보면 2000년도의 지수를 100으로 보았을 때, 전체 업종을 아우르는 총지수는 2002년 108.8, 2004년 126.2 그리고 2006년에 147.6으로 증가의 추세에 있다. 그러나 섬유제조업은 84.6, 70.8, 58.2로서 전체 업종에 비해 급격히 생산이 감소하는 경향을 보이고 있다. 섬유염색업체는 전국의 폐수배출업소의 4.2%인 1,638개소에 불과하지만 유기물부하량 측면에서 보면 전체 발생폐수의 유기물부하량의 12.7%, 방류부하량은 19.6%에 달하여 유기물만 보더라도 수계에 미치는 영향이 그 규모에 비해 큰 것을 알 수 있다.³⁾

Table 1. Industrial production index

Year	Index (All Items)	Mining and manufacturing	Manufacturing		
			Textiles	Radio, television and communication equipment	Motor vehicles and trailers Mfg.
Item	647	643	32	68	22
1997	73.7	73.3	104.2	37.1	86.7
1998	68.9	68.4	94.2	50.4	57.3
1999	85.6	85.4	100.1	74.0	87.8
2000	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
2001	100.7	100.3	90.1	102.4	98.9
2002	108.8	108.4	84.6	131.2	107.3
2003	114.5	114.1	76.5	161.4	114.3
2004	126.2	126.1	70.8	214.9	127.6
2005	134.1	133.9	63.5	258.1	138.3
2006	147.6	147.9	58.2	323.1	150.2

* Source : 2007 Environmental Statistics Yearbook, Korea National Statistical Office(2007)

E-mail: mkkim@me.go.kr

Tel: 031-770-7287

Fax: 031-772-1468

Table 2. Organic loading and wastewater production in textile industries

구분	업소수 (개소)	폐수발생량 (m ³ /d)	폐수방류량 (m ³ /d)	유기물질부하량	
				발생(kg/d)	방류(kg/d)
계	39,012	8,682,140	2,687,451	2,134,429	46,992
출판인쇄사진	2,564	9,210	2,601	3,299	15
운수장비	15,755	94,813	73,213	15,385	1,985
음식료품	4,269	361,218	298,025	443,745	8,698
비금속	2,903	302,955	134,184	22,669	1,203
조립금속	1,813	138,052	85,033	122,097	1,128
섬유	1,638	379,073	327,200	270,788	9,211
화학	1,194	272,325	253,471	211,485	3,869
기타	1,733	102,267	131,188	14,422	2,099
도금시설	1,057	16,104	12,850	1,722	216
병원시설	641	36,012	13,415	5,876	224
전기전자	530	364,368	327,352	113,070	3,085
고무플라스틱	1,503	104,065	72,637	55,310	1,426
가공금속	918	5,144,358	206,328	218,540	2,132
시험시설	578	33,135	11,255	3,355	1,276
담배제지목재	410	737,096	386,617	538,614	7,955
발전수도	300	260,617	155,531	15,364	506
세탁시설	299	8,826	8,277	1,941	308
피혁신발	113	18,269	19,218	22,148	379
광업시설	211	58,347	42,543	12,492	235
세정응축시설	188	3,849	2,039	1,086	27
폐수처리업	97	1,952	1,616	7,223	35
정수시설	143	150,444	49,850	4,284	241
석유정제	120	78,467	67,239	27,511	644
수산물판매	35	6,319	5,769	2,003	93

* Source : Production and treatment of industrial wastewaters, Ministry of Environment(2006)

최근 들어 섬유가공 및 염색업체에서 직면하고 있는 문제는 염색폐수의 처리와 관련하여 배출폐수가 수계 환경에 미치는 영향에 관한 것이다. 염색폐수의 성상은 제조 공정, 제품의 종류, 사용 염료의 종류 등 다양한 영향에 따라 그 성질이 매우 다르게 나타나는 특징이 있으므로 실제 염색공장에서 사용되는 많은 종류의 염료, 계면활성제 등을 포함하는 화학물질이 수계에 미치는 영향을 개별적으로 파악하기란 현실적으로 쉽지 않다. 실제로 업체에서 사용되는 모든 화학물질의 리스트와 그 양을 확보한다 하더라도 폐수처리방법과 처리된 후 배출되는 하·폐수 처리시설의 공정과 처리효율, 그리고 최종 방류되는 수계의 상황 등을 종합적으로 고려하여 개별염색업체에서 배출되는 폐수의 영향을 평가하기란 사실상 불가능하다고 사료된다.

3. 염색폐수의 특성

염색폐수는 가공원료 및 생산공정에 따라 큰 차이가 있으나, 일반적으로 강알칼리성이고 생물학적 처리에 필요

Table 3. Environmental characteristics of dyeing processes

process	unit(U)	Water (m ³ /U)	BOD (kg/U)	TSS (kg/U)	Others (kg/U)
Wool Processing (metric ton of wool)					
raw wool average		544	314	196	oil 191 Cr 1.33
wool fabric/woven average		537	87	43	phenol 0.17 Cr 1.33 phenol 0.17
scouring		17	227	153	Cr 1.33 phenol 0.17
dyeing		25	27		
washing		362	63		
carbonizing		138	2	44	oil 191 Cr 1.33
bleaching		12.5	1.4		phenol 0.17
Cotton Processing (metric ton of cotton)					
mean		265	115	70	
yarn sizing		4.2	2.8		
desizing		22	58	30	
scouring		100	53	22	
bleaching		100	8	5	
mercerizing		35	8	2.5	
dyeing		50	60	25	
printing		14	54	12	
Others(metric ton of product)					
Rayon Processing		42	20	55	
Acetate Processing		75	45	40	
Nylon Processing		125	45	30	
Acrylic Processing		210	125	87	
Polyester Processing		100	185	95	

한 영양염류가 부족하며 상대적으로 COD와 색도가 높다. 특히 생물학적 난분해성물질이 다량 함유되어 있으며 중금속 등 미생물의 성장에 영향을 미치는 독성물질이 함유되어 있는 특성을 가지고 있다. 염색폐수의 불규칙적인 발생 특성과 함께 이러한 폐수 수질때문에 단일 처리공정으로서 염색폐수의 생물학적 처리가 어렵다는 것은 널리 알려져 있다.

염색가공 공정은 호발공정(Desizing), 정련 및 표백공정(Scouring and Bleaching), 광택공정(Mercerizing), 염색공정(Dyeing)으로 이루어진다. 이들 공정에서 사용되는 염료들은 면, 견 및 합성섬유 등 섬유의 종류에 따라 다르고, 공정도 달라지므로 이에 따라 발생하는 폐수의 성상도 달라진다.

염색가공 공정에서 원자재(섬유) 별로 평균 용수 사용량, BOD, TSS 및 기타 오염물질의 발생정도를 Table 3에 나타내었다.⁴⁾ 원자재별로는 천연섬유인 양모와 면에서 용수 사용량이 많고, 수질의 오염도는 양모, 면, 아크릴, 폴리에스테르에서 높게 나타남을 볼 수 있다. 특히 면을 기준으로 공정별 물 사용량 및 오염발생 정도를 분석한 Table 4를 보면 물 사용량은 정련 및 표백 공정이 전체의 77%를 차지하며, 오염물질의 발생은 호발 및 정련공정이 83%를 보이고 있어서 전체적으로 염색가공 공정의 준비공정인 호발, 정련, 표백공정에서 물 사용량과 오염발생이 대부분 나타나는 것으로 보여진다.

Table 4. Distribution of environmental loadings in dyeing processes(cotton)

Process	Water consumed (% of total)	BOD (% of total)	Loading (% of total)	Others
desizing	5	22	> 50	high COD/BOD
scouring	31	61	15~30	high BOD
bleaching/washing	46	5	3	AOX by NaOCl
mercerizing	2		< 4	high alkali
dyeing	8	5	10~20	colored effluent
printing	7	6	10~20	high COD/BOD
finishing	1	7	15	formaldehyde in DP AOX in wool shrink proofing

가시광선을 선택적으로 흡수하여 고유한 색을 갖는 물질을 색소라고 하며, 색소 중에서 섬유 혹은 그 외의 물질에 친화성을 갖고 물이나 다른 매체로부터 선택적으로 흡수되어 염착하는 성질을 갖는 물질을 염료라고 한다. 대부분의 염료는 이온성으로 물에 용해되지만, 비이온성으로 물에 거의 용해되지 않는 것도 있다. 즉, 염료란 수용액 상태에서 섬유에 친화성을 나타내는 색소라고 할 수 있으며, 이에 대하여 물에 완전히 용해되지 않는 색소는 유기안료라고 한다. 염료는 발색단 또는 색원체를 기초로 화학구조에 따른 분류와 물성 또는 염색성을 기초로 한 분류가 있다. 염색성에 따른 분류로 직접염료, 산성염료, 염기성염료, 매염염료, 황화염료, 배트염료, 아조염료, 분산염료, 반응성염료 등의 염료 종류가 있다.

염색폐수 색도의 제거는 산업폐수 배출부하량에 대한 부과금의 부과와 환경규제의 강화 등 최근 들어 중요한 이슈로 떠오르고 있다.⁵⁾ 이와 관련하여 많은 물리·화학적 색도제거 기술이 보고되었으나 실제로 적용한 기술은 많지 않다. 이는 고비용, 저효율, 다양한 종류의 염료에 적용 불가능한 점들 때문이다. 염료는 합성물이고 주로 복잡한 aromatic 분자구조이므로 일반적으로 처리하기가 어렵다. 염료의 이러한 구조는 땀, 비누, 물, 빛, 산화제 등에 노출되었을 때 탈색을 방지하기 위하여 만들어진 것이며, 이 때문에 더욱 안정하고 생분해되기 어려운 특징을 갖는 것이다.^{6,7)}

4. 염색폐수 처리기술

일반적으로 염색폐수의 처리기술은 물리적 처리, 화학적 처리, 생물학적 처리로 대별되며 현재 가장 널리 사용되는 기술은 물리·화학적 전처리와 생물학적 처리의 조합에 의한 공정이다.

4.1. 물리·화학적 처리기술

염색폐수의 전처리로서 물리적 처리기술은 일반적으로 후단의 생물학적 처리를 위해 폐수내의 색도와 부유물질을 제거하기 위해서 이루어진다. 화학적 응집은 biomass

나 floc에 흡착을 유도하여 생분해되기 어려운 유기성 염료, 색소 등을 효과적으로 처리할 수 있다. 즉 염색폐수에 석회, alum, ferric salt, polyelectrolyte 등의 화합물을 사용하여 응집시킨 후에 침전이나 Dissolved Air Flotation(DAF)을 이용하여 분리해낸다. 응집 공정의 단점은 슬러지 발생량이 많다는 것이므로 색도 제거에 필요한 응집제 사용량은 응집 공정을 평가하는 중요한 사항이다.

American Dye Manufacturers Institute에 의해 수행된 연구에서는 다양한 종류의 염료와 20 종류의 염육의 응집 처리방안이 연구되었는데, 연구 결과에 의하면 100 ADMI unit 이하로 색도를 제거하기 위하여 400~2,500 mg/L의 Poly Aluminium Chloride(PAC)가 사용되며, 염료의 색도는 평균 94% 제거되었고, alum은 주입량 8~80 mg/L에서 82%의 색도를 제거하는 것으로 나타났다. Abo-Elela 등⁸⁾은 lime과 ferrous sulfate가 염색폐수에서 유기물을 제거하는데 효과적이라고 보고하였다. 750~2,500 mg/L의 lime을 주입하여 80~82%의 COD를 제거하였으며, BOD는 80~92%가 제거되었다. 또한 ferrous sulfate는 200~450 mg/L를 주입하여 COD 78~79%, BOD 67~84%의 제거효율을 얻었으며, lime과 ferrous sulfate의 혼합액을 이용하여 단독 주입시보다 더 높은 처리효율을 얻었다고 보고하였다.

과산화수소와 철염을 이용한 Fenton 처리공법은 생물학적으로 난분해성 물질을 생분해 가능한 물질로 전환하거나 폐수의 독성을 감소시키는 것으로 알려져 있다. 과산화수소는 산화, 분해, 표백작용을 가지고 있으며, 과산화수소가 철 이온과 반응하여 OH Radical을 발생시키고, 발생된 OH Radical은 폐수 중에 존재하는 유기물과 색도 유발물질을 공격하여 유기물의 결합을 파괴시켜 최종적으로 양호한 처리수를 얻게 되는 원리이다.⁹⁾

염색폐수의 처리에 이용되는 화학적 산화제로서 염소는 전처리로서 폐수의 색도제거에 종종 이용되는데 염화유기물을 생성시키는 치명적인 단점이 있어서 그 사용에 주의가 요구된다.

오존은 염소보다 매우 강력한 산화제이며 염화유기물의 생성없이 염색폐수를 산화시킨다. American Dye Manufacturers Institute 연구에서 산화제로서의 오존을 평가하였으며 오존을 1 g/L 사용하였을 때 반응성 염료와 염기성 염료를 함유한 염색폐수의 색도제거에는 효과적이었으나 분산 염료를 함유한 폐수에는 효과적이지 않음을 보고하였다.

Powell¹⁰⁾은 염색폐수와 염육에 대한 오존과 Fenton 시약의 영향을 평가하였는데, 오존과 Fenton 시약의 전처리의 결과, 모두 색도제거에 효과적임을 나타냈다. 특히 Fenton 시약의 제거효율은 폐수의 초기 Dissolved Organic Carbon(DOC)에 좌우되며 DOC의 농도가 높으면 색도제거효율이 감소하였으며, 대조군과 비교하여 화학적 산화 전처리 공정(오존처리와 Fenton 처리)이 후단의 생물학적 처리에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 평가하였다.

화학적 처리기술로서 환원반응을 이용한 처리기술은 환원조건에서는 azo dye내의 azo 결합이 파괴되어 중간생성물인 aromatic amines으로 전환되어 색도가 제거되며, 생성

된 amines은 후단의 호기성 생물학적 처리에 의해 제거가 가능한 것으로 알려져 있다. 생물학적 환원(혐기)-호기조건을 이용한 염색폐수의 처리에 대해서는 뒷부분에 자세히 다루겠지만, 특히 염료의 화학적 구조상 azo dye가 다른 염료에 비하여 환원에 의한 색도제거에 효과적인 것으로 알려져있다. 가장 널리 쓰리는 환원제는 sodium hydrosulfite이며 thiourea dioxide(formamidine sulfinic(FAS) acid), sodium borohydride, sodium formaldehydesulfoxylate, tin(II) chloride 등도 이에 포함된다.

4.2. 생물학적 처리기술

4.2.1. 호기성 생물학적 처리

호기성 처리는 염색 공정에서 발생된 폐수의 처리에 그동안 가장 보편적으로 이용되었던 생물학적 처리법이며, 일반적으로 염료의 생분해보다는 활성슬러지에의 흡착에 의해 색도제거가 일어나는 것으로 알려져 있다. 색도제거에 대한 생물학적 호기성 처리의 비효율성은 산화조건 하에서 염료의 생분해에 대한 내성과 미생물의 기질 순응이 어려운 점에 기인한다.

U. S. EPA의 Water Engineering Research Laboratory¹¹⁾의 연구자들은 활성슬러지 공정에서 수용성 acid dye와 direct azo dye의 거동을 연구하였다. 이 연구에서 얻어진 data에서 pilot scale의 활성슬러지 공정에 적용된 18종의 염료 중 11종류는 처리되지 않았고, 4종류는 활성 슬러지에 흡착되었으며, 3종류는 생분해되었다고 보고하였다. 이에 대해 Shaul¹²⁾은 생물학적 처리공정에서 염료의 미생물 흡착이 제거 기전의 첫 번째 단계이며 수용성이거나 분자량이 큰 염료는 미생물 세포막으로 염료의 투과가 용이하지 않아 생분해 효율이 낮다고 하였다. 이는 수용성이 큰 염료를 함유한 폐수는 일반적으로 활성슬러지 공정에 의해 효과적으로 색도제거가 되지 않는다는 EPA 연구의 결과를 뒷받침하였으며, 앞선 연구에서의 sludge에 흡착되어 제거된 4종류의 염료는 sulfonic acid group을 적게 함유하고 있고 분자량이 높으

며 수용성이 낮은 특징을 갖고 있는 것으로 밝혀졌다.

4.2.2. 혐기-호기성 생물학적 처리

Fig. 1과 같이 azo dye는 화학적 혹은 생물학적 환원성 환경 하에서 파괴된다. 비록 혐기성 생물학적 처리 단독으로는 폐수 내에 존재하는 유기성 염료를 완전히 분해할 수는 없으나 혐기성 분해에 의해 생성되는 aromatic amines은 호기성 생물학적 처리를 이용하여 완전히 제거할 수 있다고 알려져 있다.

즉, 염색폐수의 생물학적 처리의 경우, 전통적인 호기성 폐수처리시스템으로 폐수의 색도를 효과적으로 제거할 수 없다고 알려져 있으며, 많은 연구에서 혐기성-호기성 색도제거의 효능을 보고하였다.¹³⁻¹⁵⁾

색도의 분해과정은 혐기성 조건에서 염료의 azo 결합이 파괴되어 상대적으로 색도가 낮거나 아니면 색도가 없는 aromatic amines 중간체를 형성한다.¹⁶⁾ 이러한 aromatic amines은 발암성이거나 돌연변이 유발 물질이지만 호기성 조건에서 분해가능하다고 알려져 있다.¹⁷⁾ 또한 다양한 염료의 생분해 연구에서, 혐기성 공정은 염색폐수의 색도를 제거하며 후단의 호기성 처리를 위해 염색폐수의 생분해도를 증가시키는 것으로 보고되었다.¹⁸⁾

김 등¹⁹⁾의 연구에서는 염색폐수의 색도제거 기전을 미생물 floc에의 물리·화학적 흡착과 미생물의 대사에 의한 생물학적 제거의 두 가지로 분류하였는데, 염색폐수의 색도는 호기조건과 혐기조건에서 각각 102 Δunit/g MLSS, 123 Δunit/g MLSS가 제거되어 혐기조건에서의 제거율이 높았으며, 유기물은 호기조건에서 제거율이 더 높게 나타났다. 또한 활성슬러지와 멸균된 비활성슬러지를 이용한 색도제거 실험 결과, 비활성슬러지의 색도제거량은 20.3 ~ 37.3 Δunit/g MLSS, 활성슬러지는 102.0 ~ 159.0 Δunit/g MLSS로 나타났으며, 실험 초기에는 물리·화학적 흡착이 우세하였으나 시간이 지나면서 생물대사 작용에 의한 제거가 증가하는 경향을 나타내었다.

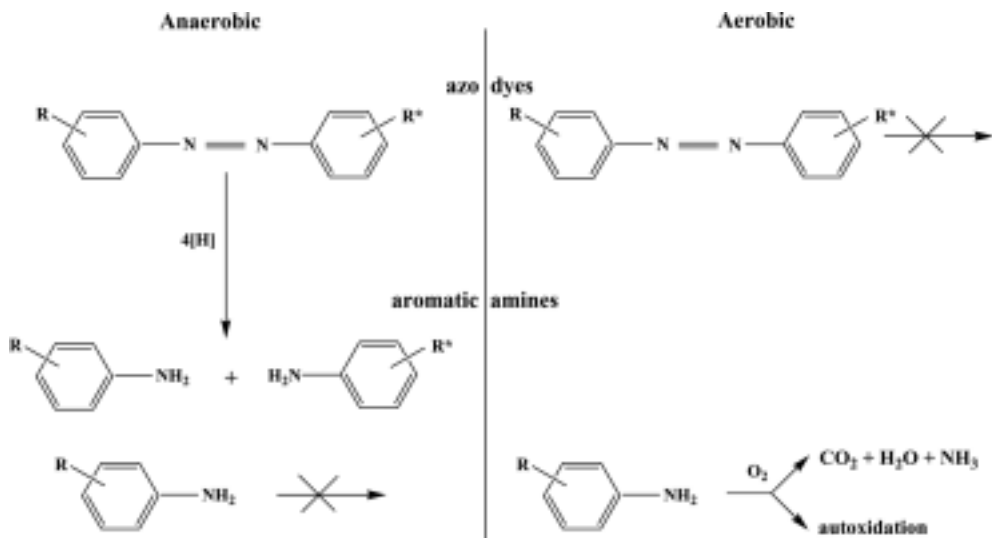


Fig. 1. General overview of the fate of azo dyes and aromatic amines during anaerobic-aerobic treatment.

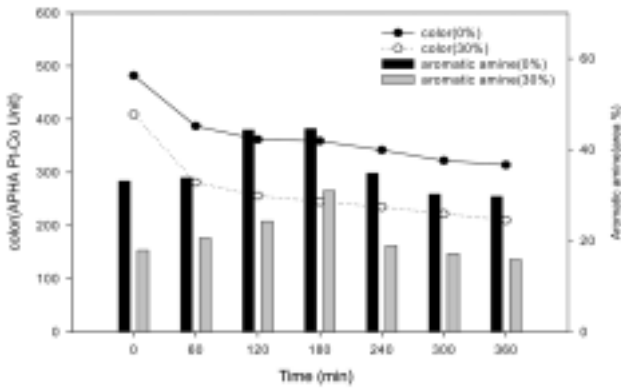


Fig. 2. Behavior of color and aromatic amines in dye wastewater with or without cosubstrate.

또한 김 등²⁰⁾은 cosubstrate로서 가정하수를 주입하여 염색폐수를 연속적인 혐기(180분) - 호기(180분) 조건에서 색도와 aromatic amines의 생성과 분해되는 경향을 HPLC로 분석하였다. 연구 결과, 전술한 바와 같이 혐기조건에서의 aromatic amines의 생성과 호기조건에서의 aromatic amines의 분해를 Fig. 2에서와 같이 확인하였다.

5. 결론

현재 염색폐수의 처리 현장에서 당면한 문제는 두 가지로 요약될 수 있다. 하나는 강화되는 배출수질기준과 그에 따른 배출부과금 문제, 다른 하나는 폐수처리 과정 중 발생하는 슬러지의 최종처리 문제이다.

배출허용기준에 따라서 발생된 염색폐수를 자체처리 한 후 배출된 염색폐수를 최종처리하는 하수처리장의 경우, 수계에 따라 다르지만 2~5 mg/L의 BOD 방류수질을 맞추기 위하여 초고도처리 공정을 도입하거나 계획하는 현 시점에서 하수처리장에 유입되는 생분해도가 낮은 염색폐수를 처리하기위한 처리능력이 부족한 것이 현실이다. 게다가 배출수질기준에 맞추어 하수처리장으로 유입된 염색폐수는 질소·인 고도처리를 위한 탄소원 빈부하의 직접적인 원인이 되고 있기도 하다. 따라서 섬유염색업체(발생원)-염색폐수 개별처리시설(개별처리)-하수처리장(최종처리)으로 이어지는 폐수의 발생과 처리, 최종방류의 전체를 통틀어 이를 해결할 통합적 대안의 마련이 시급하다.

원론적으로 배출원에서 물사용량 절감을 통한 배출폐수량의 감소와 오염도가 높은 폐수의 분리배출 및 분리처리를 적극적으로 검토해야 할 시점에 이르렀으며, 사용되는 염료, 조제 등의 약품도 폐수처리 부하량을 감소시키고, 슬러지 발생량을 감소시키며, 화학적·생물학적 처리에 도움이 되는 약품으로 교체 혹은 개발되어야 할 것이다. 또한 하수처리장에서 색도제거를 위한 처리시스템을 별도로 마련하는 것은 경제적으로 기술적으로 무리가 따르는데, 하수처리장 유입 전에 이를 배출허용기준 이내로 처리하는 기술의 개발과 적용이 시급하다. 마지막으로 염색폐수의 발생에서 개별처리, 하수처리장을 거쳐 최종 방류되는 전

체 시스템을 최적화하는 통합시스템의 개발이 요구된다.

참고문헌

1. Lin, S. H., and Liu, W. Y., "Continuous treatment of textile wastewater by ozonation and coagulation," *J. Environmental Engineering*, **120**, 437~446(1994).
2. 환경부, 2007 환경통계연감 제20호(2007).
3. 환경부·국립환경과학원, 공장폐수의 발생과 처리(2005).
4. 산업자원부, 섬유염색산업의 청정생산기술개발 및 보급을 위한 중장기 비전 수립(최종보고서)(2000).
5. McCurdy, M. W., Boardman, G. D., Michelsen, D. L., and Woodby, B. M., "Chemical Reduction and Oxidation Combined with Biodegradation for the Treatment of a Textile Dye," In *46th Proc. Purdue Industrial Waste Conf.*, Lewis Publishers, MI, 229~234(1992).
6. Poots, V. J., McKay, G., and Heakt, J. J., "The Removal of Acid Dye from Effluent Using Natural Absorbents-II," *Water Res.*, **10**, 1067~1070(1976).
7. McKay, G., "Waste Colour Removal from Textile Effluents," *Am. Dyestuff. Reporter*, **68**, 29~36(1979).
8. Abo-Elela, S. I., El-Gohary, F. A., Ali, H. L., Wahaab, R. A., "Treatability Studies of Textile Wastewater," *Environ. Tech. Lett.*, **9**, 101~108(1988).
9. 윤영상, 원성욱, 최순범, 전유철, 한지혜, 한민희, 조철웅, "염색폐수처리를 위한 기술개발 현황 및 장단점 분석," *DICER Techno Part I*, **4**(5), 212~229(2005).
10. Powell, W. W., The Removal of Color and DOC from Segregated Dye Waste Streams Using Ozone and Fenton's Reagent Followed by Biotreatment, Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the M.S. Degree, VPI&SU(1992).
11. Shaul, G. M., Dempsey, C. R., and Dostal, K. A., Fate of Water Soluble Azo Dyes in the Activated Sludge Process, U.S.EPA Water Engineering Research Laboratory, Cincinnati, Ohio(1987).
12. Shaul, G. M., Holdworth, T. J., Dempsey, C. R., and Dostal, K. A., "Fate of Water Soluble Azo Dyes in the Activated Sludge Process," *Chemosphere*, **22**, 107~119(1991).
13. Banat, I. M., Nigam, P., Singh, D., and Marchant, R., "Microbial Decolorization of Textile-Dye-Containing Effluents : A Review," *Bioresour. Technol.*, **58**, 217~227(1996).
14. Bhattacharya, S. K., Wang, S., Angara Rao, V. R., Kawai, T., and Bishop Jr, D. F., "Fate and Effect of Azo Dye on an Anaerobic-Aerobic System," in Proceedings of the 44th Purdue Industrial Waste Conference, Indiana, 295~297(1989).
15. Carliell, C. M., Barclay, S. J., Naidoo, N., Burcley, C. A., Mulholland, D. A., and Senior, E., "Anaerobic Decolorisation of Reactive Dyes in Conventional Sewage

- Treatment Process,” *Water SA*, **20**(4), 341~344(1994).
16. Frank, P. Z. and Santiago, V., “Combined anaerobic-aerobic treatment of azo dyes-A short review of bio-reactor studies,” *Water Res.*, **39**, 1425~1440(2005).
 17. Flores, E. R., Luijten, M., Donlon, B. A., Lettinga, G., and Field, J. A., “Complete Biodegradation of the Azo Dye Azodisalicylate under Anaerobic Conditions,” *Environ. Sci. Technol.*, **31**, 2098~2103(1997).
 18. Seshadri, S., Bishop, P. L., Agha, A. M., “Anaerobic/Aerobic Treatment of Selected Azo Dyes in Wastewater,” *Waste Mgmt.*, **15**, 127~137(1994).
 19. 김미경, 서상준, 안재환, 신응배, “염색폐수의 생물학적 처리에 미치는 cosubstrates의 영향 및 색도제거기전 연구,” *대한환경공학회지*, **28**(7), 738~745(2006).
 20. 김미경, 서상준, 신응배, “염색폐수의 생물학적 색도제거 연구,” *한국물환경학회지*, **22**(2), 333~341(2006).