

염색폐수 처리공정에서 COD fraction의 변화와 색도처리

하준수[†] · 박후원 · 김성원 · 윤예진 · 유성환* · 이상협**

(주)그린텍환경컨설팅

*관동대학교 보건환경위생과

**KIST 환경기술연구단

Evaluating the Potential Decolorization by Testing COD Fractions in Textile Wastewater Treatment Processes

Junsoo Ha[†] · Hoowon Park · Sungwon Kim · Yejin Yun · Sungwhan Yu* · Sanghyup Lee**

Greentech Environment Consulting CO., Ltd.

*Department of Health and Environmental Hygiene, Kwandong University

**Center for Environmental Technology Research, KIST

(Received 3 April 2008, Accepted 1 August 2008)

Abstract

Textile industry has been recognized as an important pollution source due to its consumption of large volumes of water and chemicals. Textile wastewater contains very diverse chemicals in types and composition, among them the presence of dyes is highly visible and undesirable. In spite of these problems, there has not been a proper control for the wastewater because many dyes are difficult to be degraded or decolorized due to their complex structure and synthetic characteristics. This study has been progressed to evaluate more easily the potential decolorization of advanced treatment processes. It has been surveyed with the Y textile complex wastewater treatment plant, the raw wastewater has appeared very difficult biodegradability by 4.7 of CODcr/BOD₅ and 1,158.9 degree of color. In view of CODcr fractions, biodegradable COD portion was 46.4%, colloidal COD and real soluble COD was 45.3% and 31.5% each others. From research on unit processes, the degradable coefficient (k) became from 0.065 to 0.125 d⁻¹ by the processes, the decolorization appeared best efficiency by 30.1% (458.4 degree) in pre-ozone process. On the effluent from the biological process, the filterable CODcr became 129.3 mg/L, the biodegradable portion appeared 64.7% (83.6 mg/L), and the fixed dissolved solid (FDS), non-reactivity (NR), appeared very heavy portion by 80.5% (1,659.0 mg/L).

keywords : Biodegradable coefficient, COD fraction, Color, Textile industry, Ultimate BOD

1. 서론

염색산업은 용수요구량이 큰 산업의 특성상 폐수발생량이 기여도가 높은 전형적인 오염 유발 산업이나, 그 오염 특성은 자체의 위해도가 높기보다는 다양한 난분해성 염료의 사용으로 인한 처리의 어려움이나 잔류색도로 인한 심미적인 문제와 연관되어 있다. 이러한 염색폐수 또는 색도 제거가 가능한 보편타당한 방법론이 제시되지 못하고 있으며 최근 전기분해법 등(박규홍, 1999; 유재정, 2003)과 같은 다양한 방법이 실험적 또는 제한적으로 현장에 적용되고 있으나, 일부는 효율측면에서 일부는 비용측면에서 요건을 충족하지는 못하고 있는 실정이다. 한편, Robinson 등(2001)은 다양한 색도제거공정에 대한 검토 결과 limiting factor로 비용요소를 제시하면서 가장 경제적인 공정으로 생물학적 처리공정이 가능하나 느린 분해속도로 인한 문제

를 지적하고 있다. 국내의 염색산업은 산업공단에 다수의 염색산업체가 입주되어 있어 혼합된 상태의 염료가 포함된 폐수가 배출되고 있어, 특정 염료나 특정 성분에 대한 단독처리공정만으로 수질 기준을 충족하기는 거의 불가능한 실정이다. 따라서 혼합된 상태의 처리특성을 평가할 수 있는 포괄적인 기준이 필요한데, 일례로 강명근(2002)이 제시하고 있는 분자량의 분포와 같은 지표이다. 강명근(2002)에 따르면 유입 CODcr의 60~80%가 분자량 500 dalton 이하이며, 처리수의 CODcr 100 mg/L 내외의 90% 이상이 이 영역의 분자량에 해당되는 것으로 나타나 후속처리공정의 선택 범위를 제한해 주고 있다. 그 외에 생분해도를 기준으로 COD fraction을 분석하는 방법(Henze, 1992) 등이 있으나, 이러한 방법들은 고가의 장비나 장시간을 필요로 하는 방법으로 쉽게 적용하는데 어려움이 있다. 따라서 본 연구에서는 일반적으로 수행되는 고품질과 CODcr과 같은 포괄적인 측정항목을 이용한 fraction 분석을 통해 색도를 포함한 난분해성 폐수의 고도처리공정의 적용성 평가를 위한 간편법을 모색하였다.

[†] To whom correspondence should be addressed.

jsha@korea.ac.kr

2. 연구방법

본 연구는 Fig. 1에 제시된 유량조정조, 가압부상조(DAF), 전오존반응조 및 생물반응조로 구성된 시설용량 14,000 m³/d 규모의 Y염색단지 조합 폐수처리장의 단위공정 유출입수를 대상으로 수행되었다. 연구 당시의 단위공정별 운영은 가압부상조의 경우 표면부하율 6.0 m³/m²/hr, 가압수 순환율 35%, 전오존 접촉조는 체류시간 30분, 오존 주입량 23 mg/L as O₃로 운전되고 있었고, 생물반응조는 혐기조(An)와 SBR의 조합으로 체류시간 26시간, F/M비 0.8 kgBOD/kg MLSS/d로 운전되고 있었다.

COD_{Mn}은 수질오염 공정시험법(환경부, 2001)에 준하여 분석하였고 COD_{Mn}를 제외한 항목들은 Standard Method (APHA et al., 1992)에 준하여 측정하였다. 고형물 분석과 관련해 본 연구에서는 0.45 μm pore size의 여지를 통과한 시료의 COD_{Cr}를 기존의 soluble COD(SCOD) 대신 filtrable COD(FCOD)로 구분하였다. 또한, 고형물의 경우 기존의 fixed solid(FS) 함량은 화학적으로 거의 반응성이 없을 것으로 가정하고 비반응성(Non-Reactivity, NR)으로 분류하였으며, COD_{Cr}를 전량 volatile solid(VS)에 기인한 것으로 고려하였다. 따라서 COD fraction을 particulate COD(PCOD; 입자성COD)와 FCOD로 구분하고 FCOD를 콜로이드성 COD(colloidal COD, CCOD)와 real soluble COD(SCOD)로 세분화하였으며 이들의 생분해성분의 함량을 ultimate BOD(L) 값을 이용해 추정하였다. CCOD는 기존의 여지를 통과한 용액의 COD(FCOD)에서 Canziani 등(1999)이 제시한 방법에 따라 ZnSO₄로 응집처리된 시료의 COD를 SCOD로 분류하고 식 (1)에 나타난 바와 같이 FCOD와 SCOD의 차를 CCOD로 고려하였다. 이때, 식 (2)에 나타난 바와 같이 BDCOD(biodegradable COD)는 ultimate BOD(BOD_{Ult}; L)와 거의 동일한 것으로 가정하였으며 NBDCOD는 TCOD와 BDCOD의 차이로 표현하였다.

$$TCOD=FCOD+PCOD=(SCOD+CCOD)+PCOD \quad (1)$$

$$TCOD=BDCOD+NBDCOD=BOD_{Ult}+NBDCOD \quad (2)$$

3. 결과 및 고찰

3.1. 원수와 유입수의 생분해 특성과 COD fraction 분석 혼합계수 형태로 처리장으로 유입되는 염색단지폐수의

경우 가동시간과 시간별 주요 배출업종에 따라 원수의 특성이 급격하게 변화되는 반면 원수와 탈수여액이 혼합된 유입수의 경우 전단의 유량조정 기능에 의해 다소 개선된 변동성을 나타내었다. 유입수의 TSS가 평균 638.4 mg/L로 원수에 비해 8.3배로 높게 측정되었는데 이는 부유물 함량이 높은 탈수여액의 반송과 유량 조정조 혼합장치의 불량으로 기존 유량조정조에 축적된 고형물이 함께 유입된 영향인 것으로 파악된다. Table 1에 나타난 평균자료를 토대로 걸보기 생분해도를 비교하면 원수와 유입수의 COD_{Cr}/BOD₅ 비가 각각 약 4.7과 5.1로서 탈리액이 포함된 유입수보다는 원수의 생분해성이 다소 높다는 것을 알 수 있다. 이때 두 시료의 COD_{Cr}/COD_{Mn} 비는 각각 TCOD의 경우 3.9와 4.4, SCOD의 경우 3.7과 3.8로 측정되었는데 이는, 산화제인 중크롬산의 산화력이 망간에 비해 크다는 것을 고려하면 원수보다는 유입수가, 유입수의 경우 입자성 COD가 상대적으로 난분해성임을 의미한다. 이러한 원수의 수질 특성은 유재정 등(1999)이 제시한 낙동강 지역의 혼합 염색폐수와 비교하면 COD_{Cr}은 약 37% 수준으로 유기물 함량이 낮고, COD_{Cr}/BOD₅ 비는 약 2.6으로 생분해성도 상대적으로 낮은 반면 색도는 높은 특성을 보여 주고 있다. 한편, 원수와 유입수 시료의 평균 COD_{Cr}값을 기준으로 상하위 농도의 시료들을 대상으로 5일, 7일, 10일 및 20일 BOD를 측정하고 최소자승법과 시행착오법을 이용해 식 (3)의 형태로 계산된 시료들의 분해계수(k)와 ultimate BOD(L)값을 산정한 결과를 Fig. 2에서 각각 보여 주고 있다.

$$BOD = L \cdot (1 - e^{-(t \cdot k)}), \quad t; \text{ 시간(d)}, \quad k \text{ 분해계수(d}^{-1}) \quad (3)$$

시료의 생분해도가 좋을수록 분해계수 k값이 크고 BOD_{Ult}(L)값이 적게 나타내는데, 원수의 경우 체수시간에 따라 시료의 k 값에도 큰 변동성을 보여 주고 있으나 유입수의 경우 TBOD에 대해 0.06~0.11 d⁻¹, FBOD(filterable BOD)에 대해 0.09~0.12 d⁻¹로 안정된 계수값을 나타내고 있다. 원수의 k값은 TBOD와 FBOD에 대해 각각 평균 0.134와 0.078 d⁻¹, 유입수의 경우 각각 평균 0.093과 0.103 d⁻¹로 하수에 대해 일반적으로 적용하고 있는 0.23 d⁻¹에 비해 상당히 낮은 수준의 분해속도가 관측되었다. 한편, Fig. 2(b)에 제시된 BOD_{Ult}(L: BDCOD)는 total과 filtrable 성분 모두 유입수의 변동폭이 크게 나타났는데, FBOD_{Ult}(BDFCOD)는 원수와 유입수 각각 315.8 mg/L와 447.4 mg/L였으며 FCOD의 44%와 64%, FBOD₅의 1.6과 2.7배로 난분해성분의 함량이 크게 나타나 Robinson 등(2001)이 서술한 바와 같이

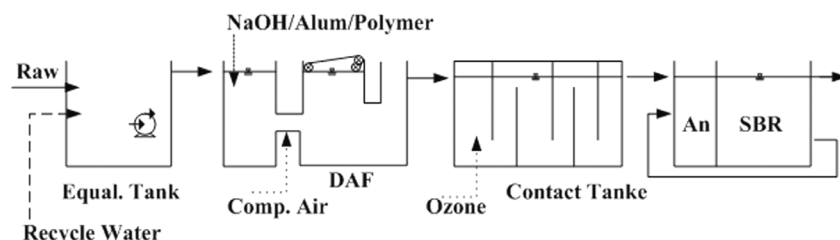


Fig. 1. Schematic diagram of the Y Textile wastewater treatment plant.

Table 1. Raw and inflow w/w characteristics in the Y textile industry complex (Unit: mg/L)

Types	Raw(R)			Inflow(I)		
	Avg.	Max	Min	Avg.	Max	Min
TCOD _{Cr}	937.6	2,592.0	475.2	1,301.4	3,352.3	907.2
FCOD _{Cr}	719.9	1,944.0	142.5	667.2	880.0	251.4
TBOD ₅	199.7	409.8	99.4	254.5	380.5	180.6
FBOD ₅	136.8	315.5	70.6	164.6	210.1	115.1
TCOD _{Mn}	238.7	450.0	128.0	298.0	420.0	136.0
FCOD _{Mn}	195.2	412.0	116.0	175.8	329.6	125.0
TS	2,321.6	5,460.0	760.0	2,004.5	3,325.0	1,460.0
VS	768.0	1,570.0	130.0	595.2	1,250.0	340.0
TSS	76.9	198.6	10.8	638.4	3,060.0	203.3
VSS	61.0	135.7	9.6	337.7	1,320.0	130.0
Color (degree)	1,158.9	3,070.0	350.0	775.6	2,110.0	265.0

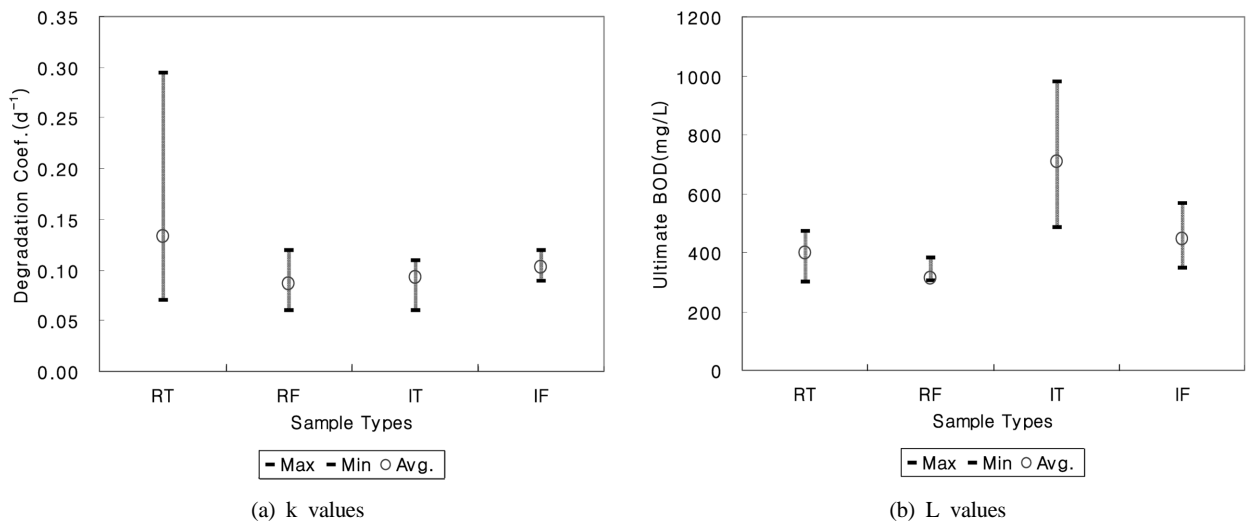


Fig. 2. Biodegradable characteristic values on raw and inflow wastewater (R: Raw W/W, I: Inflow W/W, T: Total, F: Filterable).

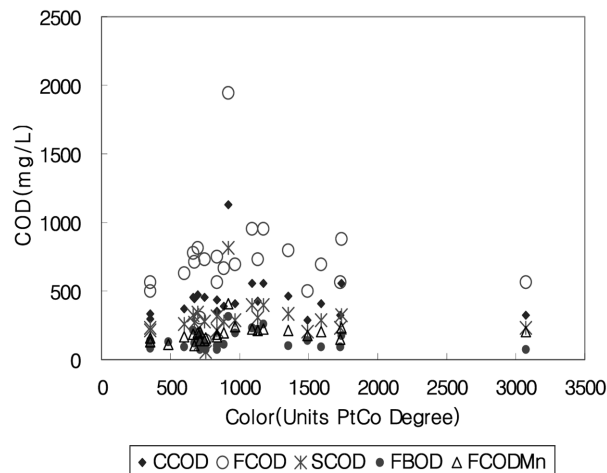


Fig. 3. COD fractions vs. color of raw W/W.

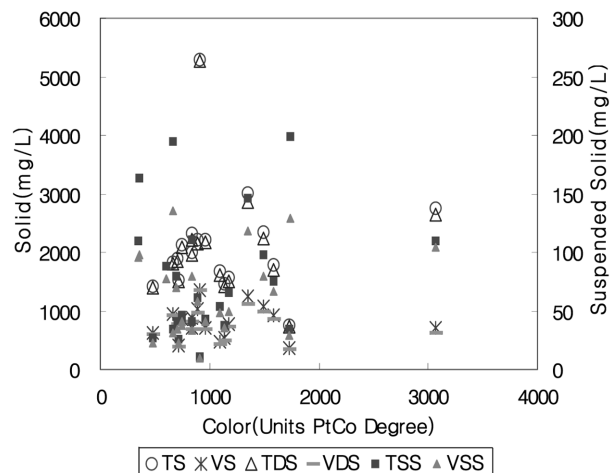


Fig. 4. Solid fractions vs. color of raw W/W.

BDCOD의 전량을 통상적인 생물학적공정의 체류시간으로 처리하기에는 어려움이 있다는 것을 보여 주고 있다.

Table 1에 제시된 분석항목들과 염색폐수 처리과정에서 가장 문제시 되고 있는 색도성분의 관계를 조사하기 위해 COD_{Cr} fraction들과 고형물의 상관성을 검토하였다. 조사결

과 Fig. 3(a)에 나타난 바와 같이 색도 1000도 이하의 영역에서는 색도와 FCOD 및 CCOD와는 유사한 경향을 나타내고 있으나 FBOD의 농도와는 다소 무관한 특성을 보여주고 있다. 따라서 색도제거를 위해서는 FBOD보다는 FCOD 또는 CCOD의 제거를 고려한 공정이 보다 효과적일 수 있

는 것으로 사료된다. 이는 강명근(2002)이 서술한 바와 같이 색도성분에서 약 50% 내외가 CCOD 분자량에 해당되는 10 Kdalton에 해당되고 약 30~50% 내외가 500 dalton 이하의 분획 분자량에 해당된다는 내용과도 유사한 결과를 의미한다. 한편, Fig. 4에 제시된 고형물과 색도관계에서는 색도 1500도 이내까지 색도와 VDS(volatle dissolved solid)가 상대적으로 양호한 관련성을 보여 주고 있어 색도처리를 위해서는 CCOD 또는 FCOD나 VDS의 제거가 가능한 공정의 선택이 유용할 것으로 판단된다.

염색폐수의 처리특성 평가를 위해 생분해성 연구결과와 Table 1에 제시된 원수의 COD와 TS의 평균값을 이용해 유기물 fraction을 BD(Biodegradable)와 NBD(Non-Biodegradable) 및 NR(Non-Reactivity) 성분으로 구분하였다. Fig. 5는 원수의 COD fraction을 보여주고 있는데 생물학적 처리가 가능한 BD 성분의 함량은 약 46.4% 정도이므로 수질기준을 달성하기 위해서는 물리화학적 공정과 같은 추가공정에 의한 의존도가 최소 53.6%에 상당하는 것을 알 수 있다. 또한, 이러한 생분해 성분도 전자에 서술한 BDCOD/BOD₅에서 알 수 있는 바와 같이 k값이 낮아 통상적인 생물학적공정으로 처리를 달성하기 위해서는 상당히 긴 체류시간이 요구되고 있다.

3.2. 단위공정별 유출수의 생분해 특성 변화

원수 및 유입수와 동일한 방법으로 염색단지 폐수처리장의 단위공정별 유출수에 대해 분해계수 k와 BOD_{Ult}(L)에 대한 조사를 수행하였다. 조사결과 Table 2에 나타난 바와 같이 CODcr의 경우 부상분리(DAF)공정에서 TCOD가 65% 제거되어 가장 높은 효율을 보여 주고 있고 FCOD와 TBOD는 단위공정별로 고른 제거 특성을 보여 주고 있다. SBR 반응조 유출수의 TS가 증가된 것으로 나타났는데 이는 생물반응조 효율 개선을 위해 주기적으로 투입되고 있는 인산이나 요소와 같은 영양염류와 그 불순물이 잔류한 영향으로 사료된다.

그러나 FBOD의 경우 생물반응조의 제거율이 유입수 FBOD의 약 60%이상을 처리하고 있는 것으로 나타나 단위공정의 기여도에서 상당한 부분을 차지하고 있다. 색도의 경우 오존접촉 단계에서 DAF 유출수 대비 30.2%의 가장 높은 제거효율을 보여 주고 있어 원수의 COD fraction으로

Table 2. Effluent characteristics of unit processes (Unit: mg/L)

Items	Inflow	DAF	Ozone	SBR
TCOD _{Cr}	1301.4	488.4	375.5	170.6
FCOD _{Cr}	667.2	296.9	264.9	129.3
TBOD ₅	254.5	160.5	125.0	35.5
FBOD ₅	164.6	113.0	95.8	11.7
TCOD _{Mn}	298.0	160.6	121.7	64.4
FCOD _{Mn}	175.8	112.4	103.0	48.9
TS	2004.5	1611.3	1759.3	2060.0
VS	595.2	225.6	213.8	395.0
Color (degree)	775.6	656.6	458.4	371.7
Tot k (d ⁻¹)	0.093	0.125	0.116	0.065
Sol k (d ⁻¹)	0.103	0.145	0.129	0.042
Tot L	710.3	333.8	259.8	117.2
Sol L	447.4	255.8	197.8	83.6

부터의 추정과는 달리 색도제거는 CCOD제거 기능에 의해 영향을 받기는 하지만 크지는 않으며 상당 부분이 오존에 의한 직접산화를 통해 제거되는 것으로 나타났다.

이는 색도제거는 오염물의 물리화학적 분포특성 뿐 아니라 관련된 염료의 반응성 또는 비반응성과 같은 특성에 의한 영향도 고려되어야 하는 것을 의미한다. 오존접촉조에서는 TCOD_{Cr} 112.9 mg/L, TBOD₅ 35.5 mg/L 및 색도 198.2 도가 제거되어 오존 주입에 따른 제거량은 각각 4.9 mg COD/mg O_{3 add}, 8.6도/mg O_{3 add}으로 나타났다. 이러한 제거효율은 Ciardelli 등(2001)이 염색폐수의 활성슬러지 유출수에 대해 접촉시간 30분, 40 mg/L의 오존주입으로 COD_{Cr} 67%를 제거한 것에 비하면 낮은 처리특성을 보여 주고 있다. 한편, Fig. 6에 제시된 단위공정별 처리수의 분해계수 k와 L에 대한 평가결과 DAF 처리수의 분해계수가 가장 개선된 값을 보여주고 있는데, 이는 DAF 처리과정에서 난분해성 COD의 제거와 함께 DAF의 순환수에서 공급된 압축 공기 bubble에 의해 유입수에 포함된 상당수의 휘발성 독성물질이 제거된 영향으로 사료된다. 오존 접촉조의 경우 일부의 COD가 BOD로 전환되었겠지만, 일부는 오존에 의해 직접 산화되고 전환된 COD도 고은택 등(2005)의 논문에 나타난 바와 같이 상대적으로 생물학적 분해성이 낮은 생분해성 기질로 전환되어 분해계수 k값이 다소 낮게 측정된 것으로 사료된다. 본 연구에서 NBDCOD를 COD_{Cr}와 L값의 차이로 가정하였는데, DAF 유출수의 경우 filterable NBDCOD가 약 41.1 mg/L이었고 SBR반응조 유출수의 NBDCOD는 약 37.8 mg/L로 예측되어 거의 근접한 결과를 보여주고 있다. 오존접촉조 유출수의 경우 filterable NBDCOD는 다소 높은 67.1 mg/L로 계산되었는데 이는 고은택 등(2005)의 논문에 제시된 바와 같이 오존에 의해 전환된 BOD가 다소 생분해가 어려운 refractory한 특성이 반영된 영향으로 추정된다.

SBR공정 처리수의 FCOD_{Cr}는 129.3 mg/L로 FCOD_{Mn}와의 비는 2.6이며 FCOD_{Cr}은 BDCOD(L) 83.6 mg/L와 NBDCOD 45.7 mg/L로 구성되어 있다. 비록 생물학적 처리공정에서 미처리되었지만 FCOD_{Cr}의 약 69%에 달하는

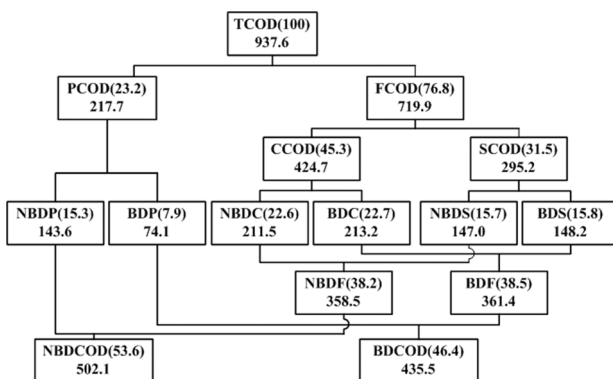


Fig. 5. CODcr fraction of raw W/W.

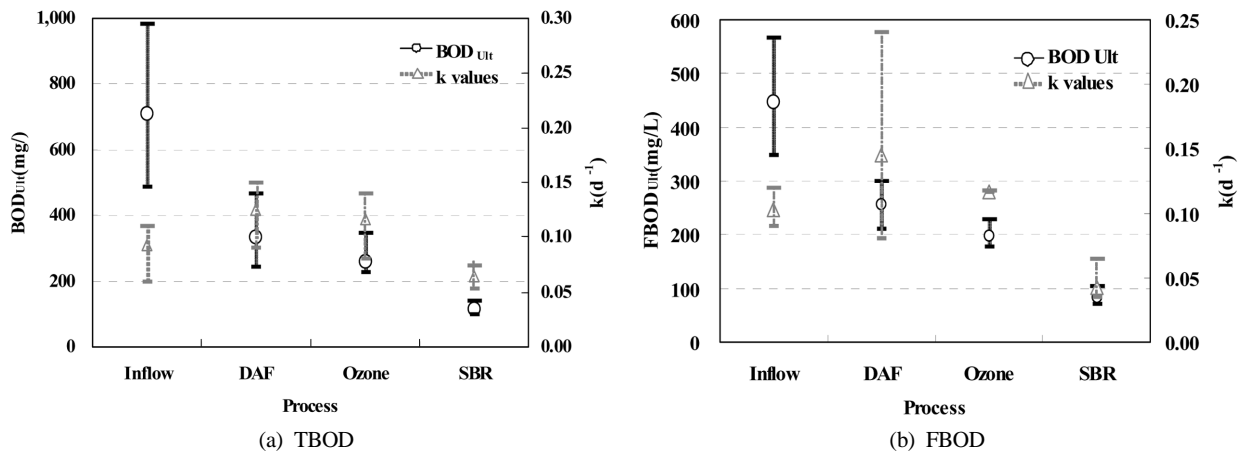


Fig. 6. Ultimate BOD and k values of the effluent from unit processes.

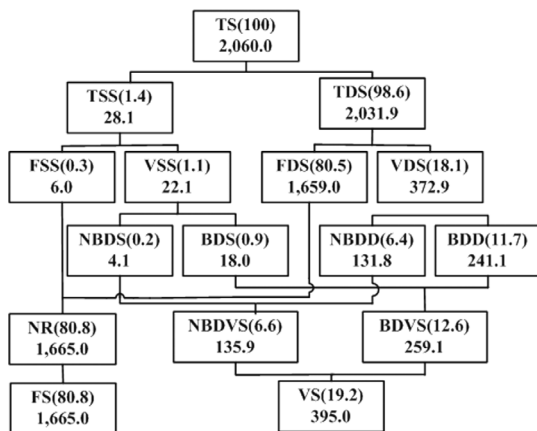


Fig. 7. Solid fraction of the effluent from the biological process.

BDCOD는 산화공정에 의해 쉽게 처리가 가능할 것으로 추정되므로 여과공정에 의한 잔류 TSS의 제거와 후속된 오존 등의 화학적 산화공정에 의해 COD_{Mn} 40 mg/L까지 충분히 달성 가능할 것으로 사료된다. 특히 잔류색도의 경우 평균 371.7도를 나타내고 있는데 Robinson 등(2001)과 Krull and Hempel(2001)의 문헌에 나타난 바와 같이 생물학적 처리과정의 혐기-호기공정에 의해 아조계 염료는 생물학적 처리과정에서, 방향족 염료의 경우 DAF와 호기공정의 폭기 단계에서 상당 부분 휘발 제거된 상태이므로 잔류한 색도 성분의 대부분은 반응성(reactivity) 또는 산성(acid)염료로 추정되므로 화학적 산화공정이 또한 효율적일 것임을 알 수 있다. 한편, 색도제거에 가장 폭넓은 제거효과를 나타내는 것으로 알려진 활성탄의 경우 흡착 메커니즘의 특성상 폐수내의 고형물을 선택적으로 제거하기는 불가능한 공정이다. Fig. 7에 제시된 처리수의 고형물 fraction에 나타난 바와 같이 생물반응조 처리수의 경우 TS 2,060 mg/L의 약 81%가 측정성 오염성분으로의 기여가 거의 없어 화학적으로 비반응성으로 가정할 수 있는 FS 성분으로 구성되어 있어, 활성탄 흡착 공정을 운영하는 경우 이러한 비반응성 물질과의 경쟁으로 인해 처리의 경제성이 상대적으로 낮을 수밖에 없을 것으로 사료된다.

4. 결론

- 1) 염색폐수의 원수 특성은 시료에 따라 급격한 편차를 나타내고 있으며 평균 COD_{Cr}/COD_{Mn} 비가 3.9, COD_{Cr}/BOD₅ 비가 4.7이었고, BOD 실험을 통해 조사된 분해계수 k 값은 0.070~0.294 d⁻¹(평균 0.134 d⁻¹)로 난분해 특성을 보여 주고 있으며 생물학적으로 처리 가능한 최대값인 BOD_{Ult}(L) 함량이 약 46.4%에 불과한 것으로 나타났다.
- 2) 원수의 색도와 COD 및 고형물의 관계는 1,000도 이내의 범위에서는 색도는 FCOD(Filterable COD) 또는 CCOD(Colloidal COD)에 상관성을 나타내고 있고 고형물의 경우 DS(Dissolved Solid)중에서도 VDS에 상관성을 보여 주고 있다.
- 3) 단위공정별 처리수의 분해계수(k) 평균값은 총괄과 용해성분 모두 DAF 처리수가 가장 양호하게 나타났으나 변위가 후속의 전오존 처리수에 비해 높게 나타나 측정된 분해계수가 생물학적 독성물질의 잔류 여부에 의한 영향도 다소 반영된 것으로 추정된다.
- 4) 혐기-호기공정으로 운영된 생물학적 처리수의 TCOD_{Mn}과 색도는 64.4 mg/L과 371.7도로 방류기준을 초과하고 있으며, COD fraction과 고형물 fraction을 고려하는 경우 활성탄 공정보다는 오존 등의 산화처리공정이 보다 비용 효율적일 것으로 사료된다.

사 사

본 연구는 경기개발연구원의 “색도 유발 시설물에 대한 시설별 기술진단”의 일환으로 수행되었습니다.

참고문헌

강명근(2002). 염색폐수의 처리공정별 분자량 분포특성. 석사학위 논문, 한양대학교.
고은택, 조진우, 박은영, 안규홍(2005). 잉여슬러지의 오존분해에 따른 VFA 생성 및 인방출을 위한 탄소원으로서의

- 재이용 가능성에 대한 연구. *대한환경공학회지*, **27**(10), pp. 1052-1057.
- 박규홍(1999). 오존을 이용한 염색폐수처리에 관한 연구. *중앙대학교 보건환경연구소*, **9**(2) pp. 205-226.
- 유재정(2003). 염색폐수 중 난분해성 물질의 전기분해 특성. *대한환경공학회지*, **25**(10), pp. 1277-1282.
- 유재정, 양상연, 김정현, 이수형, 박상정, 임태효, 박정민, 정제호, 이준배, 유승화, 김수진, 이재원, 김중곤, 김민천, 이근식, 전성환(1999). 염색폐수중의 난분해성 물질 배출 특성 및 처리에 관한 연구. *국립환경연구원보*, **21**, pp. 435-448.
- 환경부(2001). *수질오염공정시험법*, 동화기술.
- APHA, AWWA, WEF (1992). *Standard Methods 18th*, Printed in USA.
- Canziani, R., Vismara, R., Basilco, D., and Zinni, L. (1999). Nitrogen removal in fixed-bed submerged biofilters without backwash. *Water Sci. & Tech.*, **40**(4/5), pp. 145-152.
- Ciardelli, G., Capannemlli, G., and Bottino, A. (2001). Ozone treatment of textile wastewater for reuse. *Water Sci. & Tech.*, **44**(5), pp. 61-67.
- Henze, M. (1992). Characterization of wasterwater for modeling of activated sludge processes. *Wat. Sci. & Tech.*, **25**(6), pp. 1-25.
- Krull, R. and Hempel, D. C. (2001). Treatment of dyehouse liquors in a biological sequencing batch reactor with recursive chemical oxidation. *Water Sci. & Tech.*, **44**(5), pp. 85-92.
- Robinson, T., McMullan, G., Marchant, R., and Nigam, P. (2001). Remediation of dyes in textile effluent: a critical review on current treatment technologies with proposed alternative. *Bioresource Technology*, **77**, pp. 247-255.