

## 펜톤산화와 오존산화 조합에 따른 염색폐수의 유기물질 및 색도 처리효율 비교 평가에 관한 연구

### Evaluation of Comparable Removal Efficiency of Organics and Color for the Dyeing Wastewater by Fenton Oxidation and Ozonation

김선희 · 이상호\*

Kim, Sun Hee · Lee, Sang Ho\*

상명대학교 환경공학과

(2004년 9월 22일 논문접수; 2004년 12월 1일 최종수정논문 채택)

#### Abstract

Dyeing wastewater contains recalcitrant organics which can not be easily treated by conventional biological treatment. Therefore it has to be treated by other advanced oxidation process in order to remove COD and Color more efficiently.

Fenton oxidation process is one of the most commonly applied processes in removal of COD and color for the dyeing wastewater. However it increase the treatment cost and the production of sludge by the use of the excessive chemical reagent. Ozonation is not suitable in single treatment process because it is not effective in organics removal compared with Color removal. The purpose of this research in order to evaluate the comparable removal efficiency of COD and color by the combination of advanced oxidation processes for the dyeing wastewater. The sequential treatment processes of Fenton process and ozonation was more effective to remove organics and color than ozonation and Fenton process. The result of Fenton process for the pretreatment presented as the 81% removal of organics whereas ozonation process for the pretreatment presented as the 22.1% removal of organics. The removal of colour was higher as 81.3% for the ozonation as the pretreatment than 77.7% for the Fenton process as the pretreatment.

**Key words:** Fenton process, Ozonation, dyeing wastewater

**주제어:** 펜톤산화, 오존산화, 염색폐수

## 1. 서 론

우리나라는 고도성장 위주의 산업정책과 세계 섬유 1위국을 목표로 섬유산업을 발달시킨 결과 섬유산업은 선진국의 대열에 들어서는 큰 발전을 획득한 만큼 그에 못지않은 환경오염을 유발시켰다. 염색과 관련된 국내 섬유산업의 업소수는 1995년 기준으로 약 1,300개로 전국 폐수 배출업소의 4.6%에 불과하나 폐수배출량은 474,000m<sup>3</sup>/d로 전국에서 배출되는 폐수 배출량의 6.5%에 해당하고 있다.

염색폐수는 유기물 농도는 낮지만 탈색이 잘 되지 않는 염료가 다량 함유되어 있어 색소로 인한 시각적, 심미적인 영향이 강하며 강한 알칼리성을 띄는 경우가 대부분이다. 하천에 방류될 경우 확산성이 매우 높아 햇빛을 흡수하고 미생물에 의한 자연정화작용을 방해하여(박 등, 2001) 하천의 오염도를 증가시키며 하천의 생물에 적합하지 않은 수소이온농도의 유입으로 인해 하천의 생태계를 파괴할 수 있어 색도 문제와 pH가 중요한 인자로 대두되고 있다. 또한 염색폐수 중에는 각종 염료성분과 PVA 등의 조염제, 계면활성제 등의 난분해성 물질이 함유되어 있으며 시대별 유행에 따라 염색공정별로 폐수의 배출량이나 성상이 다르고 새로운 반응성 염료의 개발과 사용으로 인해 다량의 폐수가 배출되고 있으며 하절기에는 폐수의 온도가 40°C를 넘는 고온이므로 적정처리에 어려움을 겪고 있다(오 등, 1991).

폐수처리 분야에서 광범위하게 이용되고 있는 활성슬러지공법은 폐수에 있는 분해성 유기물의 제거에는 효과적이거나 난분해성 유기물과 Color의 제거에는 효과적이지 못하여 처리 후 Color 문제가 야기될 수 있다(오 등, 1991). 특히 염색산업에서 발생하는 폐수는 pH가 11인 강알칼리성으로 수온이 높아 산소전달률이 낮아져 용존산소의 유지문제와 Color 또한 높아 하천에 방류될 경우 일광을 흡수하여 미생물에 의한 자연자정작용을 저해시키고(이 등, 1997), 생분해도가 낮으며 난분해성 물질을 함유하고 있기 때문에 생물학적 처리방법만으로는 처리가 용이하지 않으므로 염색산업에서 배출되는 폐수를 처리할 수 있는 다른 방법의 적용이 필요하다(전 등, 2000). 난분해성 유기물을 함유한 폐수를 처리하기 위한 방법으로 전

기분해법, 오존산화법, 펜톤산화법 등의 고급산화공법을 적용시킬 수 있다(Tzitzzi et al., 1994).

여러 가지 고도산화공법 중 펜톤산화법은 제일철염과 과산화수소를 이용하여(오 등, 1991) 라디칼을 생성시켜 산화하는 방법으로 제일철염과 과산화수소의 결합으로 발생된 ·OH 라디칼과 폐수 중에 있는 유기물이 탈수소 반응 및 산소를 첨가하는 반응을 계속적으로 일으켜 결국 유기물을 물과 탄산가스로 분해 시키는 라디칼 반응의 일종이다. 펜톤산화법은 생물학적으로 난분해성인 물질을 생분해 가능한 물질로 전환하거나 독성을 함유하고 있어 미생물에 악영향을 끼치는 폐수의 독성을 감소시키고 생물학적 처리 후 미생물에 의해 처리되지 않은 물질을 처리하는 등 난분해성 유기물질의 제거에 효율적이라고 보고 되고 있지만(Lin et al., 1997) 고가인 약품비와 처리 후 부산물인 철염 슬러지가 과량 발생한다는 단점이 있다.

오존의 강력한 산화력으로 물 속의 착색물질을 산화시켜 탈색하므로 Color 제거에 효율적인 오존산화법(Tuba et al., 2002)은 물 속에서 공명구조를 가지고 있어 이중결합으로 구성되어 있는 발색단, 조색단과 전기적으로 반응하기 쉬어 염소, 과산화수소 등의 탈색 및 표백반응보다 훨씬 빠르게 진행된다. 오존은 강한 산화제이지만 유기물의 물과 탄산가스로의 완전한 분해가 일어나지 않아 유기물을 무기물화 하거나 완전히 제거하는 데는 한계가 있고(황 등, 1991) 일부 유기물과는 반응이 느리거나 어떤 유기물과는 전혀 반응하지 않는 결점이 있어(Koyuncu et al., 1996) 유기물의 산화분해에는 효율적이지 못하여, 오존 처리 후의 Color 제거율은 높지만 COD의 제거율이 낮다는 연구가 보고 되고 있다(박 등, 2001).

따라서 본 연구에서는 염색산업에서 배출되는 폐수를 적정처리하고 경제적이며 효율적으로 처리할 수 있는 기술을 개발하기 위해 유기물과 Color의 제거효율은 비교적 좋으나 완전한 제거에는 한계가 있으며 과다한 약품이 사용되어 처리비용과 슬러지 증가가 문제점인 펜톤산화법과 펜톤산화 공정에 비하여 유기물의 제거는 효율적이지 못하나 Color 제거에는 효과적인 오존산화법의 조합을 통해 염색폐수를 처리하여 단독공정으로 적용시 생기는 단점을 보완하고 유해한 물질과 Color를 선택적으로 제거하여 염색폐수의 처리효율을 높이기 위해 염색폐수의 Color와 유기물제

거에 효율적인 고도산화방법 중에서 펜톤산화법과 오존산화법을 교차 적용하여 염색폐수의 처리 효율을 향상시킬 수 있는 적절한 조합공정을 알아보고자 한다.

## 2. 실험재료 및 방법

### 2.1. 대상시료

본 연구에서는 고도산화처리방법 중 펜톤산화법과 오존산화법을 병행하여 적용하되 각 처리공법의 장점을 최대한 활용하여 염색폐수의 처리효율을 높이고 COD와 Color 제거에 효율적인 적절한 조합공정을 알아보기 위해 다음과 같은 대상폐수를 이용하여 실험하였다.

실험에 사용된 대상폐수는 생물학적 방법과 화학적 방법을 연계시킨 염색폐수 정화처리장치가 설치되어 가동되고 있는 B공단 염색폐수 처리시설의 생물학적 처리인 순산소포기조를 거친 후 화학적 방법인 펜톤산화조로 유입되는 염색폐수를 대상폐수로 실험하였다. 대상 폐수의 pH는 7.5~8 정도이며 Alkalinity는 30mg/L as CaCO<sub>3</sub>이다.

### 2.2. 실험 조건

#### 2.2.1. 펜톤산화 후 오존산화

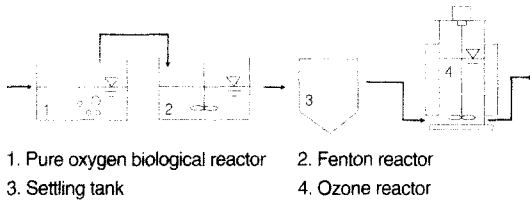
염색폐수를 적정처리하기 위한 경제적이고 효율적인 공정을 알아보기 위한 첫 번째 조합공정은 대상폐수에 펜톤산화법을 전처리로 적용하여 염색폐수 안에 들어있는 난분해성 유기물질과 Color를 일부 제거한 뒤 남아있는 유기물과 Color를 제거하기 위해 후처리 공정으로 오존산화법을 적용하였다. 오존 실험에 사용된 대상폐수는 펜톤처리를 거친 처리수로 폐수의 pH 7.5이고 Alkalinity는 10mg/L as CaCO<sub>3</sub>이다.

실험에 사용된 펜톤산화의 처리공정과 펜톤시약, 오존산화공정에서 사용된 오존주입량과 실험방법(이 등, 2003)은 다음과 같다. 실험에 사용된 펜톤산화공정은 반응 초기에 철염과 pH조정을 이용하여 응집을 통해 염색폐수의 유기물과 Color를 제거하기 위한 부분과 과산화수소를 투입한 뒤 생성되는 강한 산화력을 지닌 ·OH을 이용하여 염색폐수의 유기물 및 Color의 산화부산물로 나누어서 적용하였다.

Fenton 시약은 FeCl<sub>2</sub> (Fe<sup>2+</sup> 함량 16%)와 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>

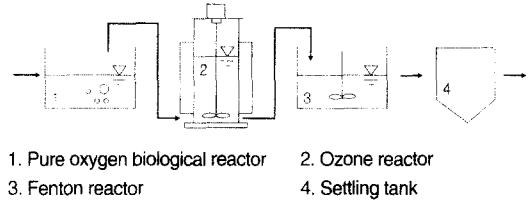
(35% vol.)을 사용하였고 철염과 과산화수소의 주입량은 현장의 시약 주입량과 대상폐수의 유입 COD를 토대로 하여 결정하였다. 철염과 과산화수소의 적정 주입비율은 1mol: 1mol로 반응할 때 최적의 효과를 낸다는(이 등, 2003) 연구와 펜톤시약 주입 몰비 (Fe<sup>2+</sup>/ H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> molar ration)에 의한 영향 실험 중 철염의 주입량을 1mM로 일정하게 고정하고 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>의 주입몰을 변화시키면서 실험 한 결과 1mM 이상에서의 거의 비슷한 처리효율을 보이고, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 주입몰을 일정하게 유지시킨 다음 Fe<sup>2+</sup>의 주입량을 변화시킨 결과도 1mM: 1mM이 가장 적당한 주입몰이라고 밝힌 논문(고, 2004)을 참고하여 주입량을 산정하였다. 실제 현장에서 적용되고 있는 펜톤시약의 주입조건을 기준으로 하여 처리수의 수질 조건을 분석하여 이에 적당한 펜톤시약 주입량을 산정하였다. 실험에 사용된 펜톤시약 주입량은 대상폐수의 초기 COD를 측정하여 FeCl<sub>2</sub>: H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> = 176.4mg/L: 105.8mg/L로 주입하였다. 반응초기에 철염을 전량 주입하고 최대로 응집의 효과를 내기 위해 pH를 5.5로 조정하였다. 12분 후에 과산화수소를 주입한 후에는 pH를 3.5로 조정하여 실험하였고 29분에는 pH를 5.5로 조정하였다. pH 조절용 시약으로는 황산(97% vol)과 수산화나트륨용액(5.0N)을 이용하였다. 실험은 Jar-tester를 이용하였으며 효과적인 반응을 위해 120rpm으로 반응시켰다.

전체 반응시간은 40분 동안 반응시켰고 반응종료 후 침전시켜 상정액에 대하여 오존산화를 적용하였다. 실험에 사용된 오존은 99%의 순산소를 이용하여 오존을 발생시켰고 오존주입유량을 2L/min으로 고정시킨 후 지속적으로 염색폐수에 50mg/L의 오존을 주입시켜 주었으며 시료를 4L 취하여 실험하였다. 오존산화의 반응시간은 1시간으로 하였고 오존산화가 끝난 뒤 상정액을 취하여 COD 및 Color와 흡광도를 분석하였다. COD는 Reactor Digestion Method에 준하여 COD reactor(Model 45600, Hach)와 Spectrophotometer(DR/4000, Hach)로 측정하였고, Color는 ADMI Weighted Ordinate Method에 준하여 Spectrophotometer(DR/4000, Hach)로 측정하였다. 흡광도 분석은 UV-Visible Spectrophotometer(Cary100, VARIAN)로 측정하였다. 펜톤산화 후 오존산화를 적용한 흐름도는 Fig. 1과 같다.



1. Pure oxygen biological reactor    2. Fenton reactor  
3. Settling tank    4. Ozon reactor

**Fig. 1.** Schematic diagram for the combination of Fenton process and ozonation for the dyeing wastewater.



1. Pure oxygen biological reactor    2. Ozon reactor  
3. Fenton reactor    4. Settling tank

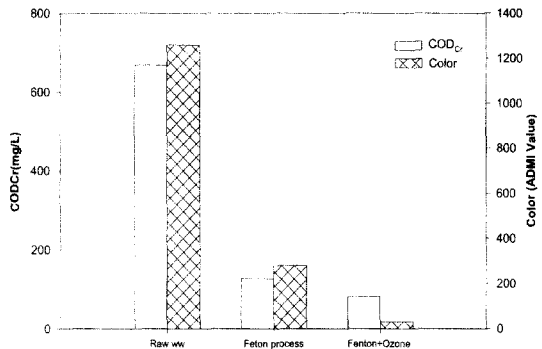
**Fig. 2.** Schematic diagram for the combination of ozonation and Fenton process for the dyeing wastewater.

2.2.2. 오존산화 후 펜톤산화

실험에 적용된 두 번째 조합공정은 오존의 강력한 산화력으로 Color 제거에 효율적인 오존산화법을 전처리공정으로 적용하고 후처리공정으로 펜톤산화법을 적용하여 염색폐수의 처리효율을 알아보았다. 오존처리 후 펜톤반응에 사용되는 처리수의 pH는 7.5 이고 Alkalinity는 8mg/L as CaCO<sub>3</sub>이다.

오존반응에 사용된 실험기구로는 오존반응조, UV Digital Ozone Monitor(OZ-UV60D, O<sub>3</sub>Tech), 오존발생기(Triogen LAB 2B Laboratory Ozone Generator, Ozonia) 등이 사용되었다. 반응조의 총 용량은 6.3L이고 아크릴 재질을 이용하여 반응기를 제작 설치하였다. 순산소포기조를 거친 시료를 4L 취하여 실험하였으며 99%의 순산소를 이용하여 오존을 발생시켰다. 반응시간 1시간동안 오존주입유량을 2L/min으로 고정시킨 후 지속적으로 염색폐수에 50mg/L의 오존을 주입시켜 주었다.

오존의 농도의 측정을 위해 UV Digital Ozone Monitor를 사용하였으며 오존의 농도 측정 시 공기흡입에 의한 폐수 등의 역류를 주의하면서 실험하였다. 반응종료 후 처리수에 대해 펜톤산화법을 적용하였다. 펜톤산화법의 전체적인 실험방법 및 처리조건은 앞에서 설명한 것과 동일하며 실험에 주입된 펜톤시약 주입량도 두 가지 실험방법의 처리효율과 적절성을 비교하기 위해 동일의 철염과 과산화수소를 주입하였다. 펜톤산화법을 적용한 처리수는 침전시켜 상정액에 대해 COD와 Color를 분석하였으며 처리수의 성상과 제거정도를 알아보기 위해 UV-VIS을 이용하여 흡광도를 측정하였다. 실험에 적용된 공정 흐름도는 Fig. 2와 같다.



**Fig. 3.** Removed of COD and Color treated by ozonation after Fenton process.

3. 결과 및 고찰

3.1. 펜톤산화 적용 후 오존산화

염색폐수의 COD와 Color의 처리효율을 높이기 위한 실험의 첫 번째 조합공정으로 펜톤산화법을 먼저 적용한 뒤 후처리공정으로 오존산화법을 적용한 실험의 결과는 다음과 같다.

염색폐수를 펜톤산화와 오존산화를 순차적으로 연계처리 한 결과 대상폐수는 각각 COD와 Color의 높은 처리효율을 보이고 있다. 전처리공정으로 적용한 펜톤산화에서 염색폐수 안에 들어있는 대부분의 COD을 제거하고 오존산화에서 펜톤산화에서 제거되지 않은 Color 유발물질을 제거하여 전체적으로 처리효율이 높은 것으로 나타났고 원수와 처리수의 COD와 Color의 측정값을 Table 1과 Fig. 3에 나타내었다. 전처리로 적용한 펜톤산화법은 COD 제거는 81%였고 Color의 제거는 77.7%로 나타났고 후처리공정으로 적용한 오존산화의 COD 제거는 6.8%였고 Color의 제거율은 19.9%로 나타났다. 펜톤산화는

**Table 1.** Result of COD and Color removal by the ozonation after Fenton process for the dyeing wastewater.

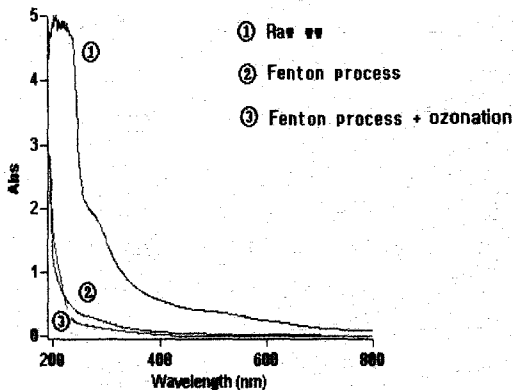
Analysis items Treatment process	CODCr(mg/L)		Color(ADMI Value)	
	measured value(mg/L)	treatment efficiency(%)	measured value(mg/L)	treatment efficiency(%)
Raw ww	668.5	-	1259	-
Fenton process	127	81	280	77.7
Fenton process + ozonation	81.5	87.8	30	97.6

**Table 2.** Result of COD and Color removed by ozonation and Fenton process for the dyeing wastewater.

Analysis items Treatment process	CODCr(mg/L)		Color(ADMI Value)	
	measured value(mg/L)	treatment efficiency(%)	measured value(mg/L)	treatment efficiency(%)
Raw ww	668.5	-	1259	-
Ozonation	520.5	22.1	235	81.3
Ozonation + Fenton process	165.4	75.3	183	85.5

Color의 제거율과 COD의 제거율이 높게 나타난 반면에 오존산화는 COD는 거의 제거가 잘되지 않는 것으로 나타났고 비교적 Color가 COD의 제거에 비해 효율적인 것으로 나타났다.

염색폐수에 펜톤산화와 오존산화를 적용한 후 상정액을 이용하여 UV-Spectrum으로 나타난 결과를 Fig. 4에 나타내었다. 처리되기 전의 염색폐수의 흡광도보다 처리된 후의 염색폐수를 측정할 흡광도의 그래프가 거의 원점에 가깝게 그려진 것을 알 수 있다. 처리된 후의 염색폐수의 흡광도는 처리되기 전의 염



**Fig. 4.** UV-Spectrum of dyeing wastewater treated by ozonation after Fenton process.

색폐수의 흡광도의 수치에 비해 많이 낮아졌지만 그 그래프는 비슷한 양상을 보이고 있다. 전체적으로 흡광도의 수치가 점점 낮아지고 있지만 280nm 파장 부근에서는 처리수의 그래프가 급격하게 원점에 가깝게 나타났으며 처리되기 전에 200nm~280nm 부근에서 흡수되었던 물질이 펜톤산화와 오존산화를 거치면서 흡광도가 약80~90% 정도 줄어들었음을 알 수 있다. 염색폐수에 전처리공정으로 염색폐수를 처리한 처리수의 흡광도 그래프와 전처리로 펜톤산화를 적용한 뒤 오존산화를 적용한 처리수의 흡광도 그래프는 전체적으로 그래프 양상이 비슷하고 마지막 측정지점인 190nm에서의 흡광도의 값은 유사하지만 파장 200nm~220nm와 220nm~400nm의 부근에서는 약간의 차이를 보이고 있다. 파장 200nm~220nm 부근에서는 펜톤산화를 적용한 처리수의 흡광도가 28%정도 낮게 측정되었고 파장 220nm~400nm부근에서는 펜톤산화와 오존산화를 적용한 처리수의 흡광도가 0.3 정도 낮게 측정되었다. 이는 혼합 염색폐수에 어떤 기능을 가진 유기물질이 함유되어 있다고 명확하게 본 논문에서 규명하기는 어렵지만 파장 250nm에서 나타날 수 있는 아조기(-N = N-)가 OH radical에 의하여 산화됨으로서 흡광도가 낮아졌으며, 파장 260nm에서 나타날 수 있는 Benzene 고리가 산화됨으로 인하여 흡광도가 현저히 낮아졌음을 알 수 있다.

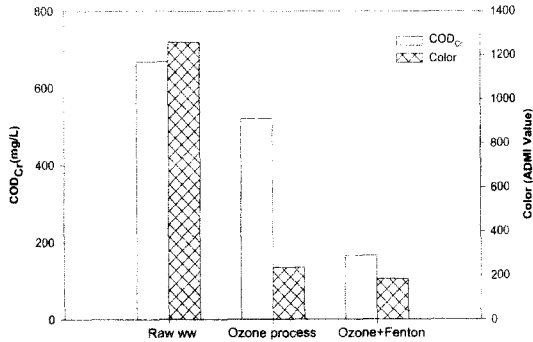


Fig. 5. Removal of COD and Color treated by Fenton process after ozonation.

3.2. 오존산화 적용 후 펜톤산화

오존의 강력한 산화력과 펜톤산화의 응집 및 산화에 의해 염색폐수의 제거효율을 높이기 위해 오존산화를 전처리공정으로 적용하고 펜톤산화를 후처리공정으로 적용한 두 번째 조합공정에 대한 실험결과는 다음과 같다.

오존산화와 펜톤산화를 순차적으로 연계처리한 결과 처리수의 COD와 Color의 처리효율은 다소 낮은 결과를 보이고 있다. 전처리 공정으로 적용한 오존처리는 COD의 제거효율은 22%였고 Color의 제거효율은 81%로 높은 제거효율을 보이고 있으며 후처리공정인 펜톤산화에 의한 유기물의 제거효율은 53.2%였고 Color의 제거효율은 4.2%였다. 실험결과 앞에서 언급한 것과 마찬가지로 오존에 의한 COD 제거는 매우 저조했으며 그에 반해 Color의 제거는 매우 높은 것으로 나타났다. 염색폐수에 오존산화와 펜톤산화를 순차적으로 적용한 후 처리수의 상징액을 분석한 결과를 Table 2와 Fig. 5에 나타내었고 UV-Spectrum을 통해 분석한 흡광도를 Fig. 6에 나타내었다.

처리되기 전의 원수의 흡광도 그래프와 처리되고 난 후의 오존산화를 단독공정으로 적용한 처리수의 흡광도의 그래프와 오존산화 및 펜톤산화를 연계처리한 흡광도의 그래프는 전체적으로 비슷한 양상을 나타내고 오존산화를 단독으로 처리한 처리수의 흡광도 는 오존산화와 펜톤산화를 연계처리한 처리수의 흡광도 보다 높게 나타나 왔다. 원수의 흡광도 그래프 중 파장 280nm~320nm 부근에서 관찰된 변곡점은 오존

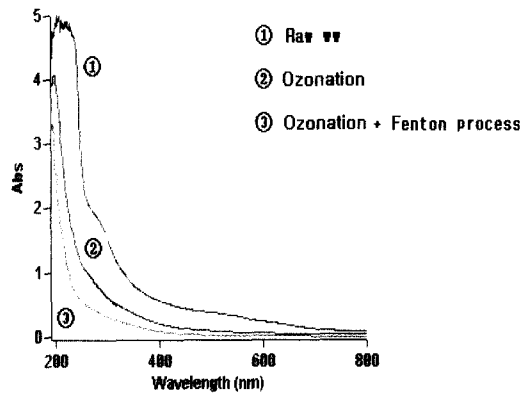


Fig. 6. UV-Spectrum of dyeing wastewater treated by Fenton oxidation after ozonation.

산화 및 펜톤산화를 적용한 처리수의 흡광도 그래프에서 관찰되지 않기 때문에 280nm~320nm의 파장에서 빛을 흡수하는 물질이 제거 및 분해가 되었음을 알 수 있다.

4. 결론

고도산화처리방법 중 펜톤산화법과 오존산화법을 병행하여 연계처리 한 결과 펜톤산화법에 오존산화법을 전처리로 적용한 조합공정이 오존산화법을 펜톤산화법 후처리로 조합한 처리공정보다 염색폐수에 들어 있는 COD와 Color의 제거효율이 높게 나타났다. 이는 펜톤산화반응 중 유출수의 철 성분을 제거하는 부수적인 공정으로 인식되었던 응집반응에 의해 우선적으로 COD가 제거되고 펜톤산화반응 중 산화작용에 의해 생성된 Fe<sup>3+</sup> ion이 수산화이온을 가진 착화합물을 형성하고 형성된 착화합물은 OH radical의 산화반응으로 색도가 제거된 염료 분자 또는 그 외의 콜로이드성 물질들과 결합하여 침전 제거(고, 2004)되기 때문에 펜톤산화공정에 의해 분해 되지 못한 유기물이 제거가 이루어져 전체적으로 처리효율이 높아졌다. 후처리공정으로 적용되어진 오존에 의한 강력한 산화제가 펜톤산화로부터 COD가 거의 제거가 된 효과로 인해 남은 Color 유발물질을 제거하는데 집중적으로 관여하여 전체적인 처리효율이 높게 나타났다.

오존산화를 전처리공정으로 적용한 결과 오존산화에 의한 Color의 제거는 탁월했지만 전체적인 처리효

율은 낮게 도출된 이유는 오존산화에 의해 난분해성 유기물질의 산화가 제대로 이루어지지 않아 후처리공인 펜톤산화에 의한 응집 및 산화 반응이 COD 제거에 중점적으로 적용되고 OH radical이 소비되어 전체적으로 제거효율이 낮게 도출되었다.

COD와 Color를 제거하기 위한 방법으로 펜톤산화물 전처리 공정으로 적용하고 COD의 제거보다는 색도제거에 더 효율적인 오존처리 공정을 후처리로 둔 조합공정이 염색폐수의 COD와 Color를 제거하는데 효율적이었다.

### 사사

본 연구는 상명대학교 교내연구비의 지원 아래 수행되었으며 이에 감사드립니다.

### 참고문헌

고광범(2004) 펜톤산화를 이용한 난분해성 염색폐수의 처리에서 산화반응과 응집반응의 기여도 평가, 한양대학교 토목환경공학과, 박사학위논문.

박영식, 안갑환(2001) 응집, 오존 및 UV 후처리가 염색폐수의COD와 색도제거에 미치는 영향, 한국환경위생학회지, 27(4), pp. 93-98.

오동규, 윤태일 (1991) Fenton's Reagent를 이용한 염색폐수의 처리, 대한환경공학회지, 13(2), pp. 123-129.

이병진, 조순행(1997) 응집 및 화학적 산화공정을 적용한 염색폐수 처리, 대한환경공학회지, 19(9), pp. 1219-1232.

이상호, 문혜진, 김유미(2003) 펜톤시약 투입 변화에 따른 염색폐수의 처리효율 향상에 관한 연구, 상하수도학회지, 17(1), pp. 87-92.

전세진, 김미정 (2000) 생물난분해성 유기물질 함유 폐수처리를 위한 Fenton 산화법의 효율적 적용방안에 관한 연구, 상하수도학회지, 14(1), pp. 76-83.

황상용, 이규성, 김병석(1991) 오존을 이용한 오·폐수처리에 관한 연구, 대한위생학회지, 6(1), pp. 103-108.

Koyuncu, I., and Afsar, H. (1996) Decomposition of dyes in textile wastewater with ozone, *J. Sch. Health A*, 31, pp. 1035-1041.

Lin, S. H., Chen, M. L. (1997) Purification of textile wastewater effluents by a combined Fenton process and ion exchange, *ELSEVIER*, 109, pp.121-130.

Tuba Turan-Ertas and Gurol, M.D. (2002) Oxidation of diethylene glycol with ozone and modified Fenton processes, *ELSEVIER*, 47, pp.293-301.

Tzitzzi, M., Vayenas, D.V., and Lyberatos, G. (1994) Pretreatment of textile industry wastewater with ozone, *Water Sci. Technol*, 29, pp. 151-160.