

〈研究論文(學術)〉

## Ozone을 이용한 염료용액의 탈색 처리

이수경 · 조 환 · 김삼수 · 정희천

영남대학교 공과대학 섬유학부  
(1996년 9월 25일 접수)

### The decolorization treatment of dye solutions by ozone

Soo-Kyung Lee, Hwan Cho, Sam-Soo Kim and Hee-Cheon Jeong

School of Textile Eng., Yeungnam University, Kyungsan, Korea

(Received September 25, 1996)

**Abstract**—Dye solutions were tested in order to find the optimal condition of ozonation and determine the progress of degradation, i.e., change of the parameters characterizing the dye solutions. From the results of our experiment we can conclude that almost all of the color was removed within a 10 minute time period. An ozone oxidation results in the effective removal of COD(60%), but the elimination of the total organic carbon(TOC) was not successful, only about 15~40% of TOC was removed from dyeing wastewater in 30 minutes. The color removal is much effective in using ozonation method.

#### 1. 서 론

Ozone 분자는, 3개의 산소원자로 구성되어 있으며, 1.278 Å의 원자결합(O-O 결합)을 한 공명하는 혼성체로 알려져 있다. ozone은 수중에서는 불안정하며, 중성염과 ·OH은 순수용액 중에서 ozone의 분해를 가속하는 것으로 알려져 있다.<sup>1)</sup> ozone 해리 반응에서 생기는 HO· free radical은 ozone 자체보다 더 큰 산화환원전위를 지니며, 금속과 유기물 같은 불순물과도 반응한다.

Miyada(宮田)등<sup>2)</sup>이 발표한 수중에서의 α, β-불포화산의 ozone에 의한 산화반응에 따르면, phenol류, 염료 등의 유기화합물의 ozone 처리시에, α, β-불포화산이 주된 중간체로서 얻어지고, α, β-불포화산의 희박용액에 ozone을 작용시키면 불포화산

은 분해를 시작하여, 저분자의 aldehyde (acetaldehyde), carboxylic acid (glyoxylic acid, acetic acid, formic acid, oxalic acid), H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 등이 생성되지만, 그 종류와 생성량은 불포화산의 종류에 따라 다르다고 한다.

ozone의 해리속도는 용액중의 염류, pH 값, 수온 등에 영향을 받고,<sup>3)</sup> 또, ozone의 해리는 일차반응으로 나타난다는 보고<sup>9)</sup>도 있다. HO· radical은 대체로 10<sup>-5</sup> sec 이내에서 소실되나, 분자상 ozone보다도 산화반응에의 기여율이 높다.<sup>5)</sup> 수도수 중에 극히 미량함유되어 있는 불활성 물질과의 반응은, 거의 모두가 HO· radical에 의한 반응이다.<sup>6), 10)</sup> 그러나, 살균, 탈색, 탈취효과는 분자상 ozone에 의한 직접산화이므로, 수도수의 ozone 처리에서는 직접산화도 중요하다.

ozone 의 물에 대한 용해도는 0.57 g/l (20°C)로, 산소의 약 10배이지만, 공기중의 ozone의 농도는 약 1% 정도로 묽기 때문에, ozone 이 물에 녹아들어 가는 흡수를 지배하는 농도차추진력이 적다. 따라서, ozone을 수처리(水處理)에 적용하는 경우, 어떻게 흡수효율을 좋게하고, 쉽게 수중에 흡수 용해시킬까하는 것이 중요한 문제가 된다. 그러므로, ozone 처리는 폭기와 같다고 할 수 있으므로, ozone이 물에 흡수용해되는 것은 二重障膜說의 적용이 가능하다. 이 이론은, 1924년 W. G. Whitman과 W. K. Lewis가 제창한 것인데, ozone의 용해 기구를 설명하는 데에 이용되고 있다.<sup>11)</sup>

ozone과 유기화합물과의 반응은, 1) 1, 3-addition reaction, 2) electrophilic reaction, 3) nucleophilic reaction, 4) CH 결합에 1, 3-addition, 5) electron transfer로 분류할 수 있다.<sup>12)</sup> 색소는 ozone에 의해 공역계가 절단되어 탈색되고, 간단한 구조의 phenol의 ozone 분해에서 조차도, formic acid를 시작으로 약 6종류의 생성물이 생긴다. 따라서, phenol보다 더 복잡한 구조를 가지는 색소와 ozone과의 반응을, 최후까지 추적하는 것이 어렵다는 것은 말할 필요도 없다. 최근, Warreds 와 Perkins 등<sup>3), 7)</sup> 은 염색 폐수를 pH와 온도를 달리하여 ozone 처리할 때, 각 조건에서 필요한 ozone량과 탈색정도를 이미 보고하였고, C. G. Namboodri, W. S. Perkins, W.K. Walsh 등<sup>15), 16)</sup> 은 염소처리와 ozone 처리를 병용하여 폐수를 처리할 때의 효과를 검토한 바 있다.

염색 폐수의 착색물질은 ethylene group, carbonyl group, nitro group 등의 불포화 2중결합을 가지고 있다. ozone의 탈색반응은 탈색성분의 완전분해가 아니고, 이중결합의 절단 만으로 효과가 얻어지는 경우가 많다. ozone은 이 이중결합과 선택적으로 반응하기 때문에, 활성탄흡착처리에 비해 탈색효과가 높고, 이 반응은 염소, 과산화수소 등의 탈색반응 보다 빠르게 진행하고, COD, TOC 제거효과도 있다.<sup>17)</sup>

이 연구에서는, 대구·경북염색공업협동조합의 통계자료를 토대로 하여, 현재 대구·경북 지역염색업체에서 가장 많이 사용하고 있는 분산염료 중의 삼원색인, C. I. Disperse Red 60과 C. I. Disperse Blue 56 및 C. I. Disperse Yellow 54들의 염료액을

ozone 처리하여, 색소물질의 탈색과 유해물질의 분해에 필요한 최적 조건을 찾아내어, 염색폐수처리 현장에 적용케하여, 염색공업 발전에 미약한 힘이나마 기여하고자 한다.

## II. 실험

### 1. 염료 및 시약

대구, 경북염색공업협동조합의 통계자료를 이용해, 대구·경북 지역 염색업체에 가장 많이 사용하고 있는 Disperse Yellow 54, Disperse Blue 56, Disperse Red 60을 선정하여 실험에 사용하였다. 시약으로는 KMnO<sub>4</sub> [德山藥品工業(株)], Na<sub>2</sub>C<sub>2</sub>O<sub>4</sub> [關東化學株式會社], H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> [OSAKA 株式會社(株)], KI [藥理化學工業株式會社, (日本)] NaOH[OSAKA 株式會社(株)] 등은 1급시약을 정제하지 않고 그대로 사용하였고, Ozone generator에 유입되는 O<sub>2</sub> gas (利得 酸素, 韓國)(순도 98%)와, TOC 측정시 carrier gas로 사용한 pure air(99.99%) 는 모두 공업용 식판품을 그대로 사용하였다.

Table 1. Chemical structure of used dyestuffs

Dyestuffs	Chemical structure
C.I. Disperse Red 60 (anthraquinone type)	
C.I. Disperse Blue 56 (anthraquinone type)	
C.I. Disperse Yellow 54 (quinoline type)	

### 2. 실험장치 및 분석

#### 2.1 Ozonizer

상온상압의 산소를 원료로 해, 농도 12g/m<sup>3</sup>의

ozone을 5g/h로 연속발생시킬수 있는 MO-5A형 Ozone Generator No.6523(Ozone Co., Ltd. Japan)를 사용하였다. 실험에서는 고농도의 ozone을 얻기 위해 전압을 100V, 산소유량을 100ℓ/h로 고정하여 발생시키면서 실험하였다.<sup>20)</sup>

## 2.2 Ozone reactor

ozone 탈색반응기는  $\phi 90\text{mm} \times (500\text{mm}, 1000\text{mm})$ 의 Pyrex glass로 만든 원통형 cylinder를 제작하여 실험에 사용하였고, 처리조 하부에 glass filter(WITEG 社製 P2型)을 장착해, ozone gas 주입시 보다 작은 크기의 bubble을 형성시켜, 색소성분과 ozone의 접촉 표면적을 넓히고저 시도하였다.

## 2.3 냉각수 순환장치

3°C 이하의 냉각수를 ozone generator에 2.1ℓ/min.로 순환 시키기 위해, magnet pump MDG-H2RA 100형 (IWAKI Co., Ltd. Japan)을 사용하였다.

## 2.4 UV-Visible spectrophotometer

ozone 발생기에서 발생된, ozone과의 반응에 의한 염료 분해시의 염료농도 변화를 관찰하기 위해, UV-Visible recording spectrophotometer Spectronic GENESYS 5형(UV MILTON ROY Co., U. S. A.)를 사용하여 실험하였다.

## 2.5 수질분석

ozone과 염료를 반응 시킨 후, 대상 시료의 수질 분석을 어떤 방법으로 하느냐가 중요한 요소가 된다. 그 이유는, 염료 폐액 중에 생물학적 분해가 가능한 물질과 난분해성 물질이 존재하기 때문에, 수질분석항목에 따라 자료의 해석이 달라질 수도 있다. ozone은 염료 분해시험수를 분석할 경우, BOD(생물학적 산소요구량)값을 측정하면 실제의 값보다 작게 나타낼 수 있으므로, 이 실험에서는 COD와 TOC값을 측정하여 단순분석의 오류를 최소화하고자 하였다.<sup>12)</sup>

### 2.5.1 COD<sub>Mn</sub> 측정

Standard Method에 따라<sup>21)</sup>, COD<sub>Mn</sub>(chemical oxygen demand)를 측정하여 계산하였다.

### 2.5.2 TOC 분석

ozone 처리후, 유기탄소량의 감소량을 알아보기 위해, Total Organic Carbon Analyzer TOC-5000A

형(Shimadzu Co., Ltd. Japan)을 사용하였다. 이 때, sampling수를 membrane filter에 통과시킨 후, 4°C의 저온으로 보관하여, 유기탄소가 휘발되지 않도록 하였다.

## 3. 실험방법

### 3.1 ozone 산화

삼원색인 3종의 분산염료를 각각 착색시료수로 만들어, 탈색처리조에 주입해서, 소정의 ozone 농도로 처리했다. 이 때 염료농도(50mg/l, 100mg/l, 200 mg/l), pH(2, 7, 10), 온도(2, 25, 40, 60°C)등, 조건을 달리해 반응시키면서, 시간경과에 따른 색소성분의 제거율을 관찰했다.

### 3.2 잔류염료농도의 계산

ozone 처리가 염료농도에 미치는 영향을 알아보기 위해, UV-Visible spectrophotometer 를 사용하여 흡광도를 얻은 후, Lambert-Beer's law에 따라 검량선을 작성하고, 염료농도를 환산하였다.

### 3.3 Ozone 산화시의 탈색속도상수 계산<sup>19)</sup>

염료의 수용액을 ozone으로 탈색하는 반응은, 염료와 산화제의 1mol : 1mol의 반응이 될 것이다. 그러나, 탈색반응에서 생성한 염료의 분해생성물도 다시 산화되기 때문에 탈색효율은 1 이하로 될 것이다. 염료의 반응 차수를 1차반응으로해서 계산할 경우의 탈색반응 속도는, 일반적으로 pH에 따라 변하지만, 그 의존성은 염료의 종류와 용액중에 존재하는 분해생성물이 생성되기 때문에 영향을 받을 것이다. ozone을 투입 했을 때, ozone과 그 분해산물을 포함해  $O_x$ 라고하면

$$-d(\text{Dye})/dt = k(\text{Dye}) \cdot (O_x) \quad (1)$$

라고 쓸수 있다. 반응 용액중의  $O_x$ 의 농도는 pH, 염료농도, 공존물의 농도, ozone 공급속도 등이 같은 조건하에서는 근사적으로 일정하다고 하면 탈색속도상수식은

$$\ln(\text{Dye})_0/(\text{Dye})_t = k(O_x) \cdot t \quad (2)$$

$$\ln(\text{Dye})_0/(\text{Dye})_t = k_r \cdot t \quad (3)$$

로 된다. 여기서,  $(\text{Dye})_0$ ,  $(\text{Dye})_t$ 는, 각각 염료의 초기농도와 반응시간  $t$ 후의 농도이다. 그리고 탈색반응시, 염료수용액 중의 염료농도가 반이 되는시간, 즉 반감기는  $t_{1/2} = \ln 2/k_r$ 로 나타낼 수 있다.

### III. 결과 및 고찰

#### 1. 염액 농도 변화

Fig. 1은, C. I. Disperse Blue 56을 ozone 산화 탈색 시, 염액중의 농도 차에 따른 ozone 탈색효율을 알아보기 위해, 증류수 2000ml에 염액농도를 각각 50mg/ℓ, 100mg/ℓ, 200mg/ℓ로 하고, pH를 7, 온도를 25℃로 고정하여 산화 분해하여 탈색시킨 후, UV Spectrophotometer로 측정된 absorbance 값을 시간에 대하여 plot 한 것이다.

이 때, Blue 56의 흡광도가 반으로 내려 갈 때까지의 시간은, 염액의 농도가 50mg/ℓ일 때는 2분 정도이고, 농도가 100mg/ℓ일 때에는 4분, 농도가 200mg/ℓ일 때에는 5분 정도이다. Table 2에서도 볼 수 있듯이, 전체적으로 4~6분 동안에 ozone이 염료와 가장 활발하게 반응하여, 10분 이내에 흡광도가 줄어들어, 색도가 거의 제거됨을 알 수 있다. 한편, 색가지 염료들을 비교해 보면, Disperse Blue 56이 가장 빨리 흡광도가 감소하고, 그 다음으로 Disperse Red 60, Disperse Yellow 54의 순임을 알 수 있다. 보충실험으로, 이 염료들을 혼합한 염액을 ozone 탈색 실험을 해 보니, 앞의 실험결과와 동일한 탈색 시간 차이를 나타내었다. 이 결과에서, 염료와 ozone이 반응을 할 때, 선택적으로 반응한다는 것을 알 수 있다. 시간이 지남에 따라 탈색효율이 낮아진 이유는, 염료의 분해생성물에 의한 ozone의 소비, 또는 ozone의 자기 분해 때문일 것이다. 탈색이 진행되어, 남은 염료농도가 일정농도 이하가 되면 탈색효율이 저하하고 있다. 이는 염료의 분해생성물에 의한 ozone의 소비비율이 상대적으로 증가하기 때문이라고 여겨진다.

Fig. 2는, 위와 같은 조건으로 실험을 행하여, COD값을 측정하여 나타낸 것이다. 10 min. 정도에서, ozone이 염료를 분해할 수 있는 한계에 이르러, 그 후 부터는 COD값이 저하하지 않음을 볼 수 있다.

Table 2를 보면, Disperse Yellow 54는 염액의 농도가 50mg/ℓ일 때는 처리전 COD값이 64.64ppm이고, ozone 처리 후에는 1.86ppm으로 저하하고, 염액의 농도가 100mg/ℓ일 때는 75.43ppm에서 12.12ppm으로, 200mg/ℓ일 때는 96.96ppm에서 44.44ppm으로 저하하고 있음을 알 수 있다. 그러므로, COD 제거율은 60% 이상임을 알 수 있다. 그러나, TOC 제거율은 각각 54.3%, 43.5%, 17.6%로 50%가 넘

지않는 제거율을 나타내 보이고 있고, Disperse Red 60의 TOC 제거율도 각각 49.3%, 31.1%, 18.0%에 지나지 않는다. 이 결과로 보아, TOC 제거율은 농도가 짙어짐에 따라 제거효율이 낮아짐을 알 수 있고, 염료가 ozone에 의해 탈색될 때는 완전분해가 아니라, 단지 이중결합의 절단에 의한 반응으로, 색도 저하는 일어나지만, 유기탄소의 완전제거에는 이르지 못함을 알 수 있다.

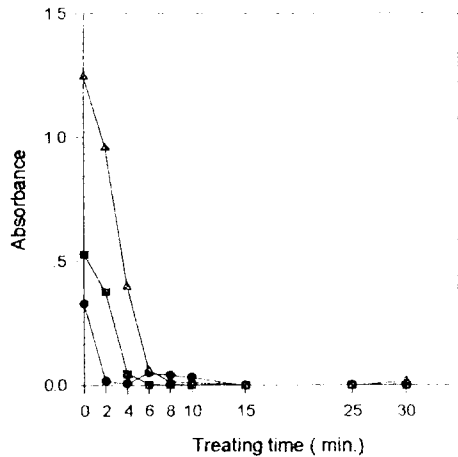


Fig. 1 Relationship between treating time and absorbance of Disperse Blue 56 soln. at pH 7(25°C)

● : 50mg/ℓ ■ : 100mg/ℓ ▲ : 200mg/ℓ

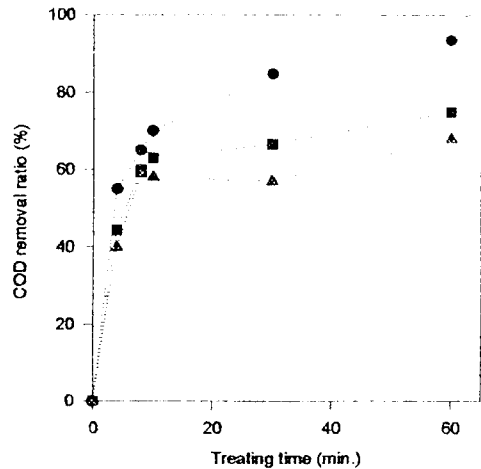


Fig. 2 Relationship between treating time and COD removal ratio of Disperse Blue 56 soln. at pH 7(25°C)

● : 50mg/ℓ ■ : 100mg/ℓ ▲ : 200mg/ℓ

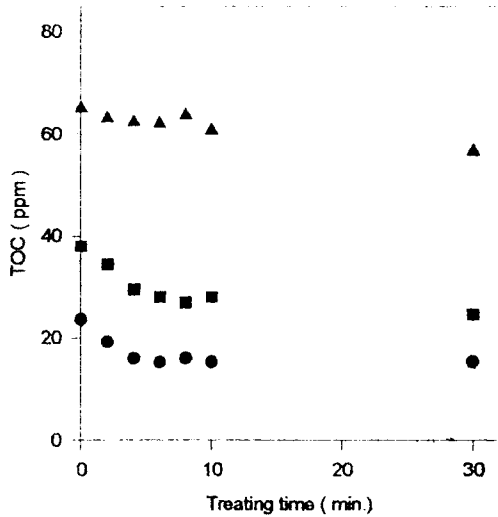


Fig. 3 Relationship between treating time and TOC of Disperse Blue 56 soln. at pH 7(25°C)

● : 50mg/l ■ : 100mg/l ▲ : 200mg/l

2. 처리온도 변화

Fig. 4는, Disperse Red 60을 ozone 산화 탈색

시, 염액의 처리온도를 변화시킬 때의 탈색효율을 알아보기 위해, pH와 농도를 고정하고, 온도를 각각 2°C, 25°C, 40°C, 60°C로 하여 처리한 후, absorbance를 처리시간에 대해 plot한 것이다. Fig. 4에서, 처리온도 60°C 일 때 흡광도가 가장 높고, 분해율이 낮음을 알 수 있다. 이러한 결과는, 온도가 60°C로 되면, ozone의 자기 분해가 촉진되고, 용액중에 ozone의 체류시간이 짧아져, 염료와 반응할 수 있는 시간이 줄어들기 때문이라고 추측된다.

Fig. 5는, Disperse Red 60을 위와같은 조건으로 실험하여, TOC값을 측정해 처리시간에 대해 plot한 것이다. 온도가 올라갈수록 ozone의 자기분해로 인해 색도저하율이 떨어지나, TOC의 제거율은 증가한다. 이 결과는, 염료와 ozone이 반응할 때, 온도가 높아짐에 따라, 반응시 생성되는 휘발성 물질인 CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> 등의 반응 생성물이 휘발되어 얻어진 결과라고 추측된다.

Table 3에서 Yellow 54의 경우도 TOC 제거율은 역시, 온도가 각각 2°C, 25°C, 40°C, 60°C 일 때, 26.3%, 23.0%, 49.6%, 57.3%의 제거율을 나타내어 Red 60의 경우와 같은 경향을 보이고 있다.

Table 2. The variation of absorbance, COD removal ratio and TOC of various dye concentration at pH 7, 25°C

Dye	Time (min.)	ABS(%)			COD removal ratio			TOC(ppm)		
		50mg/l	100mg/l	200mg/l	50mg/l	100mg/l	200mg/l	50mg/l	100mg/l	200mg/l
Yellow 54	0	1.200	1.938	3.700	0	0	0	37.19	49.00	62.40
	2	0.819	1.735	3.500	—	—	—	25.00	34.56	56.20
	4	0.564	1.096	2.700	62.5	10	8.33	19.00	32.00	
	6	0.194	0.796	2.200	—	—	—	16.47		55.28
	8	0.112	0.511	2.000	87.5	21	20.83	16.52	32.03	53.88
	10	0.030	0.355	1.500	93.75	41.05	—	17.21	30.03	56.47
	30	0.020	0.141	0.389	97.13	69.82	54.17	17.00	27.67	51.40
Red 60	0	0.595	1.182	2.394	0	0	0	24.50	49.00	76.20
	2	0.327	0.976	2.331	25	—	12.12	22.41	48.00	74.90
	4	0.020	0.265	1.657	—	40.91	—	17.71	49.32	75.50
	6	0.019	0.020	0.594	75	—	21.16	17.55	43.76	73.30
	8	0.009	0.008	0.122	—	50.00	—	16.52	36.14	71.66
	10	0.005	0.004	0.007	75	63.64	33.33	17.21	33.01	69.40
	30	0.001	0.002	0.001	85.42	63.97	50.00	17.00	31.03	62.50

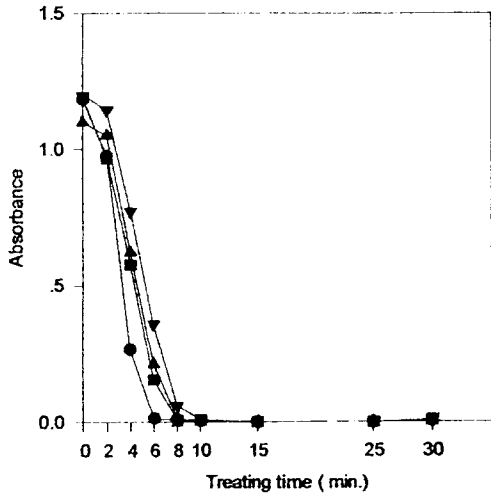


Fig. 4 Relationship between treating time and absorbance of Disperse Red 60 soln. at 100mg/l, pH 7  
 ● : 2°C ■ : 25°C ▲ : 40°C ▼ : 60°C

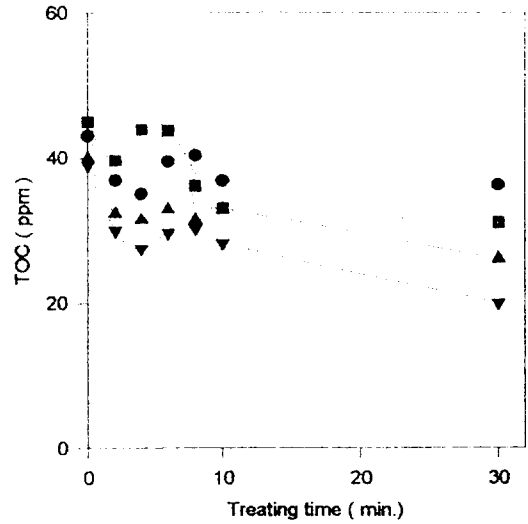


Fig. 5 Relationship between treating time and TOC of Disperse Red 60 soln. at 100mg/l, pH 7  
 ● : 2°C ■ : 25°C ▲ : 40°C ▼ : 60°C

Table 3. The Variation of absorbance and TOC of dye solutions under various temp., pH (Yellow 54, Blue 56)

Time (min.)	Yellow 54								Blue 56							
	pH 7, 100mg/l						100mg/l, 25°C		pH 7, 100mg/l						100mg/l, 25°C	
	ABS(%)			TOC(ppm)			pH2	pH10	ABS(%)			TOC(ppm)			pH2	pH10
	2°C	40°C	60°C	2°C	40°C	60°C			2°C	40°C	60°C	2°C	40°C	60°C		
0	1.131	2.010	2.340	41.50	29.33	36.12	1.700	2.713	0.544	0.530	0.520	42.56	34.27	37.19	0.500	0.540
2	1.300	1.750	1.810	28.97	31.36	35.15	1.282	2.580	0.265	0.450	0.460	37.05	36.86	30.72	0.273	0.400
4	1.058	1.300	1.602	28.91	23.57	34.73	0.700	1.294	0.007	0.050	0.140	32.50	32.15	35.00	0.013	0.060
6	0.732	0.821	0.928	32.39	30.15	29.41	0.510	0.902	0.006	0.002	0.004	30.95	31.17	26.76	0.002	0.033
8	0.461	0.723	0.881	31.02	26.90	26.15	0.480	0.670	0.002	0.003	0.004	30.43	28.58	21.65	0.001	0.005
10	0.332	0.401	0.709	31.29	25.52	25.52	0.302	0.652	0.090	0.001	0.002	32.04	25.40	17.76	0.001	0.006
30	0.114	0.301	0.642	30.06	20.00	14.84	0.031	0.501	0.004	0.000	0.001	27.31	16.95	9.63	0.001	0.021

3. pH 변화

Fig. 6은 C. I. Disperse Yellow 54를 ozone 산화 탈색시, pH를 2, 7, 10으로 조절하여 처리한 후, absorbance를 처리시간에 대해 plot 한 것이다. Table을 보면, pH가 낮아질수록 absorbance 값이 더 낮게 나타나 있다. 이 결과는 산성으로 조정시 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

를 소량 넣었기 때문에, ozone의 용해도가 증가하여 나타난 결과라고 추측되며, Yellow 54보다 Blue 56, Red 60이 염료구조 자체가 친수성기를 많이 가지고 있어 쉽게 반응이 일어난 결과라고 생각된다.

4. 염료의 탈색속도상수

Table 4는, 반응 차수를 1로 가정 했을 때, 앞

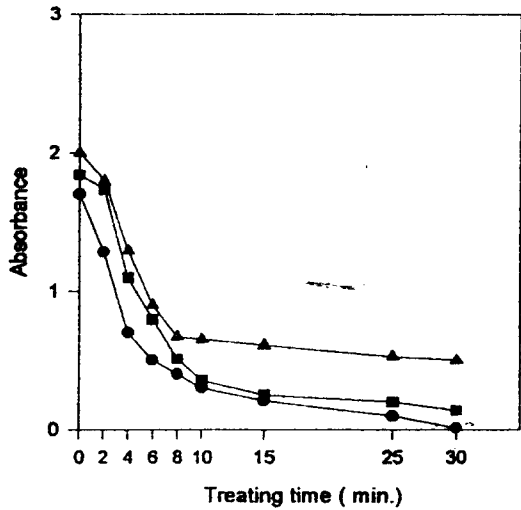


Fig. 6 Relationship between treating time and absorbance of Disperse Yellow 54 soln. at 100 mg/l, 25°C

● : pH2 ■ : pH7 ▲ : pH10

에 기술한 식 (1), (2), (3) 으로 계산한 염료 농도와 온도 및 pH의 차이에 따른, 탈색속도 상수와 염료 농도 반감기를 나타낸 표이다.

ozone과 염료의 반응차수를 1.5차, 2차로 가정하

여 계산하여 본 결과 1차일 때가 실제의 염료반감기와 유사한 것으로 보아, Disperse Yellow 54, Blue 56, Red 60의 ozone 반응은 1차 반응임을 알 수 있다.

계산으로 구한 반감기는, 실제의 실험치 보다 3분 정도의 차이를 보인다. 이것은 이 실험에서 사용한 ozone generator는 반응 스위치를 올린 후, ozone이 증류수에 포화될 때까지 2분 정도의 시간이 걸린 후 배출 ozone의 농도가 일정하게 유지되기 때문에 일어나는 실험적 오차인 것으로 생각된다.

Table 4를, 전체적으로 볼 때 Yellow 54의 탈색 속도상수가 Red 60보다 그 값이 적은 것을 알 수 있다. 이 결과는, Red 60이 Yellow 54보다 구조적으로, ozone과 결합이 용이하기 때문일 것이다.

#### IV. 결 론

ozone으로 분산염료액을 처리하였을 때의 탈색 거동과, COD, TOC, 반응속도에 대해 살펴본 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 시료로 사용한 분산염료의 탈색성은, Blue 56 > Red 60 > Yellow 54의 순이고, 모두 처리시간 3~8분 이내에 거의 무색으로 탈색된다.

Table 4. Calculated decolorization rate constant and half time under various conc. at pH 7, 25°C

Condition		Dyestuff	Decolorization rate constant		a half time(min.)	
			Yellow 54	Red 60	Yellow 54	Red 60
conc.	50mg/l		0.4530	0.8517	1.5301	0.8138
	100mg/l		0.1971	0.5803	3.5167	1.1945
	200mg/l		0.0839	0.5780	8.6643	1.1992
temp. (°C)	2°C		0.1651	0.5908	3.1983	1.173
	25°C		0.1971	0.5803	3.5167	1.1945
	40°C		0.1792	0.4926	3.8680	1.4070
	60°C		0.1293	0.4378	5.3608	1.5833
pH	2		0.2847	0.5693	2.4247	1.0175
	7		0.1971	0.5803	3.5167	1.1945
	10		0.1144	0.5422	6.0590	1.2783

2. 염액농도를 배로 증가함에 따라, 탈색속도상수는 Yellow 54는 2.3배, Red 60은 1.2배로 증가하고, COD는 30분 처리후 60% 이상 제거되나, TOC는 40% 미만의 제거율을 나타낸다.
3. 염액온도와 pH 를 변화시킬 때, 시료로 사용한 분산염료는 거의 같은 탈색 거동을 보이며, 2°C, pH2 일 때 가장 속도가 빠르다.

## V. 참 고 문 헌

1. 杉光英俊, “오존의 基礎와 應用”, pp. 3~22 (1996)
2. 宮田定次郎外, 水處理技術, 21(2), pp. 129~137. (1980)
3. Warren S. Perkins, Joseph F. Judkins J R, and William D. Perry, Textile Chemist and Colorist, 12(8), pp. 27~32(1980)
4. 北尾高嶺, 寺田正也, 下水道協會誌, 13(148), pp. 25~30(1976)
5. 出口富雄, “오존을 中心とした 高度淨水處理 技術” pp. 49~51(1990)
6. 出口富雄, “오존을 中心とした 高度淨水處理 技術” pp. 218~224(1990)
7. S. Sheffer, G. L. Esterson, Water Research, 16 pp. 383~389(1982)
8. 公害對策技術同友會, “오존利用水處理技術”, pp. 45~58 (1989)
9. 杉光英俊, “오존의 基礎와 應用”, pp. 246~266 (1996)
10. 高橋 信行, 加工技術, 31(2), pp. 97~100(1996)
11. 出口富雄, “오존을 中心とした 高度淨水處理 技術” pp. 128~129(1990)
12. 長 祥隆, “水處理” pp. 146~147(1992)
13. 出口富雄, “오존을 中心とした 高度淨水處理 技術” pp. 239~251(1990)
14. 松居正樹, 染色工業, 41(5), pp. 239~250
15. C. G. Namboodri, W. S. Perkins and W.K. Walsh, American Dyestuff Reporter, pp. 17~22, March (1994)
16. C. G. Namboodri, W. S. Perkins and W. K. Walsh, American Dyestuff Reporter, pp. 17~26, April 1994
17. 杉光英俊, “오존의 基礎와 應用”, pp. 193~206 (1996)
18. 出口富雄, “오존을 中心とした 高度淨水處理 技術” pp. 14~15(1990)
19. C. G. Namboodri, W. K. Walsh, American Dyestuff Reporter, pp. 86~95, September. 1995
20. 崔正植, 碩士學位論文, p 27(1994)
21. Approved by Standard Methods Committee (1990)
22. 杉光英俊, “오존의 基礎와 應用”, pp. 94~108 (1996)
23. 杉光英俊, “오존의 基礎와 應用”, pp. 33~41 (1996)
24. 米内伸一, “오존 分解技術”, pp. 24~36(1990)
25. 米内伸一, 石井啓夫, “오존 利用의 新技術” pp. 31~41(1986)
26. 한국수자원공사, “고도정수처리공정에 관한 연구”, pp. 60~66(1991.12)
27. 海賀信好, 高瀬 治, 藤堂洋子, 水質汚濁研究, pp. 45~51(1990)