

# 오존에 의한 廢水處理에 관한 研究

—染色廢水の COD 處理 및 脫色에 關하여—

A Study on the Ozonation of Dyeing Wastewaters

檀國大學校 文理科大學 化學科教授

金 德 默\*

康 富 夫 (助教)

## Abstract

This study concerns with the reduction of the COD and decoloration of dyeing wastewater from DAEGU city area by ozonation.

The COD reduction by ozonation follows near linear relationships versus ozonation time, temperature and concentration.

The color in dyeing wastewater and of dyes can be strikingly reduced as the water is quasi colorless after ozone treatment.

COD reduction rate of wastewater was found not to be dependent on pH, however, high temperature gave better results, although economically not feasible.

The ozonation of dyeing wastewater can give good results when dyes, scouring agent and sticking agents were pre-separated.

## 1. 序 論

현재 國內에서는 高度의 經濟成長에 따른 全國各處에 大規模의 産業工場의 建立 및 工業團地 등의 造成에 隨伴하여 이들 工場에서 나오는 廢水 또는 煤煙과 都市人口의 集中으로 인한 汚染排水의 排出 등으로 水質 및 大氣汚濁 등의 自然環境汚染問題가 深刻한 實情이다. 특히 水質汚染은 河川 湖水 農作物 및 上水道의 給水源은 물론 沿岸一帶까지 汚染시켜 自然環境을 破壞하

며 심지어 人體에 間接 및 直接的으로 威脅을 주고 있다. 따라서 重化學工業의 成長速度 못지 않게 이들 産業廢水處理解決이 더욱 要望되며 더 많은 研究가 必要不可缺하다.

지금 우리 나라에서는 各工場의 廢水處理는 凝集 沈澱 濾過 吸着 등의 1次, 2次 處理에 거의 依存하고 있는 實情으로서 이는 逆浸透 등의 第2次的 公害를 惹起할 것이 분명하여 진다. 그러므로 이에 따른 3次處理의 必要性이 認識되어 本人은 이것의 일환으로서 Screen法, 沈澱池法, 浮上法, 濾過法, 吸着法, 凝集法이온교환법, 산

\* 化工技術士(無機藥品)

\*\* 理學博士

화환원법, 濾床嫌氣性處理 등의 많은 物理的, 化學的, 生物學的方法中 強力한 산화력을 가진 오존에 의한 酸化法에 의하여 染色工場에서 나오는 廢水의 COD(Chemical Oxygen Demend) 處理 및 脫色에 關하여 研究하여 보았다.

특히 오존에 의한 폐수처리는 다음과 같은 利點이 있다고 報告되었다.<sup>1)2)3)</sup>

i) 強力한 酸化作用으로서 不飽和結合을 이룬 有機物이나 染料에서의 發色團과의 反應性이 매우 좋아 有機物의 廢水處理에 有效하며,

ii) 산화반응이 빨라서 어떠한 폐수처리과정에서도 完全酸化를 하여 1, 2次處理를 겸하는 3次處理에 有效하며,

iii) 발생기의 산소와 微生物과의 分解로서 殺菌도 겸하며,

iv) 副産物로 산소를 남겨 용존산소량(Dissolved Oxygen: DO)을 增加시켜 COD 및 BOD(Biological Oxygen demend)를 감소시켜 불결한 물질 및 有害한 物質을 生成하지 않으며,

v) 실박테리아의 성장, 바이러스(virus) 및 colloid 構造의 파괴로 殺菌 및 脫色에 더욱 有效하며,

vi) 1次유출물의 완전한 物理化學的 處理 등의 特徵을 갖고 있다.

더우기 美國 California의 E.P.A. (Environmental Protection Agency)에서는 水溶液의 消毒劑로 많이 使用하고 있는 Chloramine이 水草에 害毒을 끼친다고 報告하였다.<sup>4)</sup> France에서는 오존處理로서 상수도용물도 殺菌, 脫色, 脫臭를 行하고 있으며<sup>5)</sup> 美國의 Chicago, New York 등의 人口조밀지역에서도 음료수를 오존으로 살균 처리하고 있다.<sup>6)</sup> 이것은 음료수 처리에 있어서 鹽素消毒을 할 경우 殘溜鹽素가 未除去된 微量의 有機物과 反應하여 發癌物質이라고 알려진 Trihalomethane<sup>7)</sup>을 생성하기 때문이라고 報告하였다. 따라서 오존은 경제적 바탕에서 水質廢水의 殺菌을 겸하는 處理에 利點이 있다고 생각한다. 또한 Hugh, R. Eisenhauer<sup>8)</sup>는 오존에 의하여 Phenol이 Catechol, o-quinone, cis-mucronic acid, fumaric acid를 거쳐 oxalic acid가 되는 反應 Mechanism을 규명하고 반응속도에 대하여 研究報告하였고 그의로 오존에 의하여

살균의 Mechanism을 규명하는 데까지 研究되어지고 있다.<sup>9)</sup> Kawamoto,<sup>10)</sup> 李,<sup>11)</sup> 등은 染色廢水를 오존으로 處理하는 工程을 發表한 바 있다 또 C.G. Hewes와 R.R. Davison<sup>12)</sup>은 廢水中 有機物과 오존반응의 COD 處理에 대하여 報告하였다. 田草川 篤, 松村哲夫, 福塚敏夫<sup>13)</sup> 등은 오존의 酸化作用에 의한 有機物의 分解, 殺菌效果, 氣液接觸에 의한 浮上分離效果, 오존處理의 特性인 脫色 그리고 오존注入에 의한 DO의 增加에 대하여 研究報告하였다.

本 研究에 試料를 構成하는 染料에 대하여 記述하여 보면 1868년 Graube 및 Liebermann에 의한 發色團說<sup>14)</sup>에 따르면 모든 着色物質은 水素를 添加하면 無色이 되는 데서 發色の 原因은 不飽和 특히 酸素에 結合한 不飽和에 의한다고 했다. 1876년 Witt는 有機化合物이 색깔을 지니기 위해서 그 分子內에  $-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{N}}=\text{N}-$ ,  $\text{>C}=\text{O}$ ,  $\text{>C}=\text{N}-$ ,  $-\text{N}=\text{O}$ ,  $\text{>C}=\text{S}$ ,  $-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{N}}=\text{N}-$ ,  $\text{>C}=\text{C}<$ 와 같은 不飽和原子團인 發色團과 芳香族으로 된 色原體가 우선 必要條件이며, 이 色原體가 染料로 되려면 다시 深色性과 染着性을 부여하는  $-\text{OH}$ ,  $-\text{NH}_2$ ,  $-\text{SH}$ ,  $-\text{NHR}$ ,  $-\text{NR}_2$ ,  $-\text{SO}_3\text{H}$ ,  $-\text{COOH}$ , 등의 助色團이 필요하며 이들의 結合狀態가 發色效果에 큰 영향이 있다. 즉 發色團間에 짝이중결합이 연쇄적으로 길게 배열하고 있을 때 效果의이나  $-\text{CH}_2-$ ,  $-\text{O}-$ ,  $-\text{NH}-$ ,  $-\text{S}-$ ,  $-\text{SO}_2-$  등으로 중단되면 色の 效果는 減小 내지 消失된다고 하였다.

有機化合物의 可視部 및 近紫外部에 나타나는 흡수는 不飽和結合에 의하여 이는 分子 속의 電子들뜸을 일으켜 物質의 色을 정하는 결정적 요소가 된다. 특히 染料의 發色原因은 芳香族의 二重結合에 의해서 近紫外部 spectrum의 吸收까지 진행한 곳에 發色團의 二重結合에 加해져서 可視部の Spectrum을 흡수하므로 色을 나타내며, 또 助色團 및 다른 치환기의 참가로 인해 吸收曲線의 끝이 깊어져 色の 強度가 增加하여 染色의 性質이 부여된다고 하였다.<sup>15)</sup> 따라서 染色廢水에 오존을 注入하면 오존의 強力한 酸化力

에 의하여 分解가 일어나서 發色團의 二重結合이 파괴되며 동시에 짙이 중결합이 중단되어 색의 효과가 減小 내지 消失되고, 또 COD가 減小한다.

이상과 같은 이론적 배경을 바탕으로, 本研究는 染色廢水의 오존處理後의 COD 변화 및 脫色에 대하여 實驗하였으며 아울러 染色廢水中에는 一般의 染料, 精練劑, 固着劑 및 NaOH, Na<sub>2</sub>S, Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 등의 여러 가지 無機物 혼합 제가 포함되어 있어 이들 중 無機物은 거의 영향이 없으므로 염료, 정련제 및 고착제 별로 구분하여 오존처리시간, 온도 및 pH에 따라 COD 변화와 Spectro-Photometer를 利用하여 흡광도를 관찰하여 脫色の 過程에 대하여 實驗하였다.

## II. 實 驗

### A. 實驗裝置 및 器具

#### 1. 오존 發生裝置

本 研究에 使用한 오존발생장치는 국내조립품으로 Fig. 1과 같이 산소를 주입하여 고압(12,000V) 무성방전시키는 방법으로 발생되는 오존은 3,2gO<sub>3</sub>-hr 임을 확인하고 사용하였다.

#### 2. 오존 吸收裝置

Fig. 2와 같이 250ml/ 4구 플라스크를 고정시

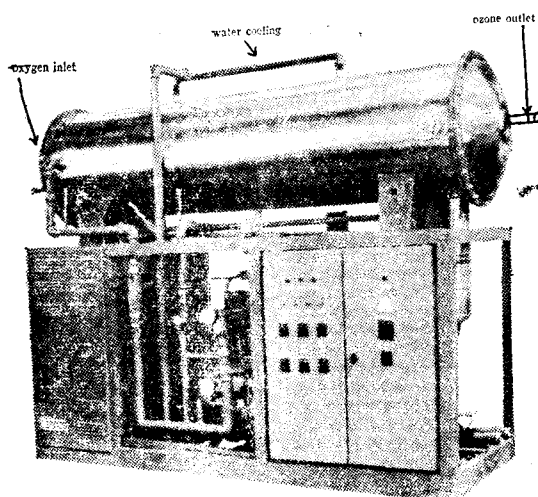


Fig. 1. Apparatus of the Ozone Generator.

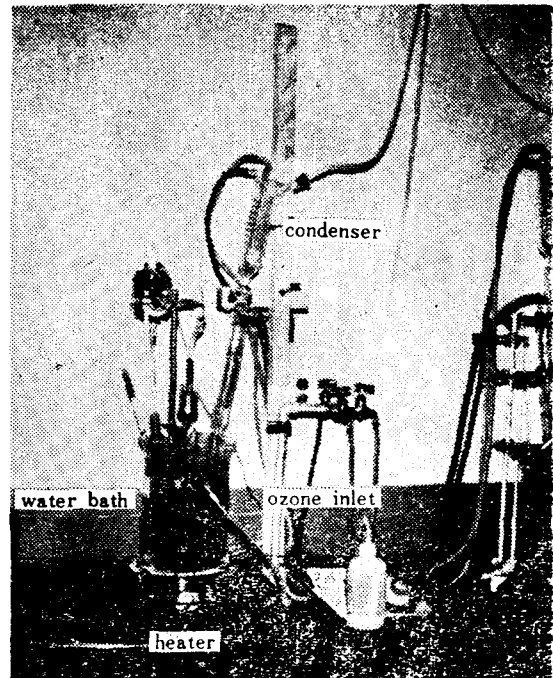


Fig. 2. Apparatus of the Ozone Treatment.

키고 바닥에 항온수조를 장치하여 일정 온도를 유지하게 하였으며 오존注入관을 통하여 오존을 注入하고 反應後 환류장치를 통하여 외부로 流出시켰다.

그밖에 Spectro-Photometer는 BAUSCH & Lomb Spectronic 20, pH-meter는 대만산 Jenco-Digital 602로 측정하였다.

### B. 試料 및 試藥

試料로 使用한 染色廢水는 大邱地方 染色工場에서 Sulfur-Black BX 染料로 染色時에 나오는 廢水며, 또한 各種染料, 精練劑 및 固着劑도 이들 工場에서 使用하는 시료였다. 이들중 본실험에 使用한 染料는 Sulfur Black BX, Acid Black, Chlorintine Blue GLL, 이며 고착제는 C. M.C.(Sodium Carboxy Methyl Cellulose: C<sub>6</sub>H<sub>9</sub>OCH<sub>2</sub>COONa)였고, 精練劑는 日本에서 收入한 것이었다.

COD 측정용 시약으로 Ag<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>外 각종시약은 모두 日産特級을 使用하였으며 Buffer Solution 으로서는 pH 4, 8, 10을 利用하였다.

### C. 實驗方法

#### 1. 오존 分析方法<sup>16)17)</sup>

KI 포화용액 400ml에 1N-H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 8ml를 가하고 오존흡입관에 연결하여 일정시간 오존을 흡수시킨후 다시 1N-H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 20ml 가하고 유리된 I<sub>2</sub>를 0.1N-Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>의 표준용액으로 적정하고 거의 황색이 없어질 때 전분용액을 지시약으로 하여 청색이 없어질 때까지 0.1N-Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 표준용액을 한 방울씩 서서히 가하여 종말점을 구하고 시간당 O<sub>3</sub> 발생량을 계산하였다.

$0.1NNa_2S_2O_3$  소비 ml 수  $\times f \times 0.0024g = O_3$ 의 g 수 / 측정시간.

#### 2. 染色廢水의 COD 定量方法<sup>18)19)20)21)</sup>

오존處理한 試料 일정량을 코니칼 비이커에 취하여 18N-H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 10ml를 가하고 폐액의 Cl<sup>-</sup>이온의 방해를 막기 위하여<sup>22)</sup> 여기에 Ag<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>분말을 소량가하여 흔들어준후 수분간 방치하였다가 0.025N-KMnO<sub>4</sub> 용액 10ml를 정확하게 가하고 온도를 70-80°C로 유지하면서 수욕상에서 加溫한 후 0.025N-Na<sub>2</sub>C<sub>2</sub>O<sub>4</sub> 표준용액 10ml를 정확하게 가하여 무색이 되면 다시 0.25N-KMnO<sub>4</sub> 표준용액으로 적정하고 또한 같은 방법으로 증류수를 사용하여 바탕시험을 행하여 COD를 구하였다.

$COD(mg/l) = 0.2 \times (0.025N-KMnO_4$  용액의 소비 ml 수 - 바탕 시험에 소비된 0.025NKMnO<sub>4</sub>의 소비 ml 수)  $\times 0.025N-KMnO_4$  용액의 역가  $\times 1,000$ /시료採取量(ml).

#### 3. 오존에 의한 염색폐수, 각종 염료, 정련제 및 고착제의 분해

염색폐수 일정량을 취하여 Fig. 2의 4구 플라스크에 넣고 오존발생관을 연결하여 pH와 온도를 변화시켜 10분간격으로 오존을 흡수시키고 각각의 시료를 채취하여 COD 변화를 측정하였다.

또한 온도는 상온에서, pH는 10으로 조절하여 위와 같은 방법으로 오존을 흡수시키고 이 시료를 채취하여 COD 변화를 측정하였다.

#### 4. 染色廢水 및 染料의 오존處理에 의한 脫色 實驗

Spectro-Photometer를 이용하여 이 염색폐수의 극대파장 660 nm에서 Fig. 2의 장치에서 오

존을 흡수시키면서 일정시간 마다 시료를 취하여 흡광도를 측정하여 시간에 따른 탈색율을 구하였다.

또한 이 染色廢水에 포함된 染料를 증류수에 용해시켜 같은 흡광도가 되게 한후 위와 같은 방법으로 탈색율을 구하였다.

### Ⅲ. 結果 및 考察

#### 1. pH에 따른 染色廢水의 오존반응에 의한 COD 감소율

일반적으로 2次處理水의 오존處理에 의한 COD 減少效果를 조사한 보고는 비교적 많이 研究되었다. 橋本雄三郎<sup>23)</sup>은 廢水處理의 COD는 pH가 높으면 減少率이 크다고 報告한 적이 있으며, 金<sup>24)</sup> 등은 여존處理에 의한 사진폐액의 COD는 pH에 거의 영향이 없다고 하였다.

本 研究에서 본인이 채취한 染色廢水를 시료로 하여 원폐수의 pH 12.4를 Buffer solution으로 4, 8, 10으로 조절하여 온도를 25°C와 60°C로 유지시키는 오존分解후 COD 변화율을 조사한 결과 Fig. 3, Fig. 4와 같이 나타났다.

Fig. 3과 Fig. 4를 비교하여 보면 각각의 pH에서 온도를 25°C때보다 60°C로 높여서 실험한 결과는 시간에 따라 COD 감소율이 약간 증가하였으나 경제성을 고려하면 상온에서 처리량이 더 좋은 것으로 생각된다.

또 Fig. 3에서 나타난 것과 같이 pH가 높아짐에 따라 COD의 감소율의 변화는 그렇게 크지 않았으며, pH가 높음에 따라 원폐수의 COD가 약간 감소함을 볼 수 있었다. 반응시 60분정도에서 색은 視覺적으로 완전 탈색되어 투명하게 되고 廢水의 슬러지가 거의 없어졌으나 COD값은 크게 감소하지 않았음을 알 수 있다. 이것은 오존에 의하여 분해된 Free radical, 탄소탄소결합 및 산화분해가 어려운 탄화수소화합물과 무기물 등에 기인된다고 생각되며, 시료 중의 유기물의 함량과 흡입되는 오존의 양이 지배적인 요인이 되는 것으로 생각된다. 즉 有機物이 많은 廢水에서는 有機物에 의해서 소비되는 오존의 양이 충분하여야 하며 이들 유기물이 CO<sub>2</sub>와

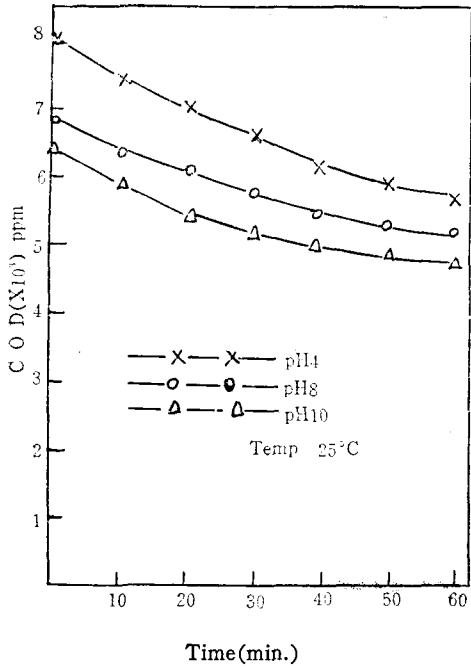


Fig. 3. Decomposition Ratio of Dyeing Wastewater as a Function of the Time at Various pH.

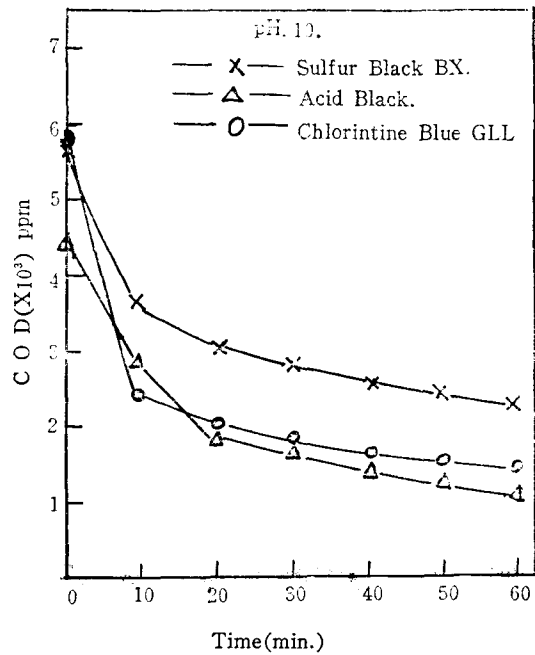


Fig. 5. Decomposition Ratio of the Various Dyes as a Function of the Time at 25°C (15g/100ml).

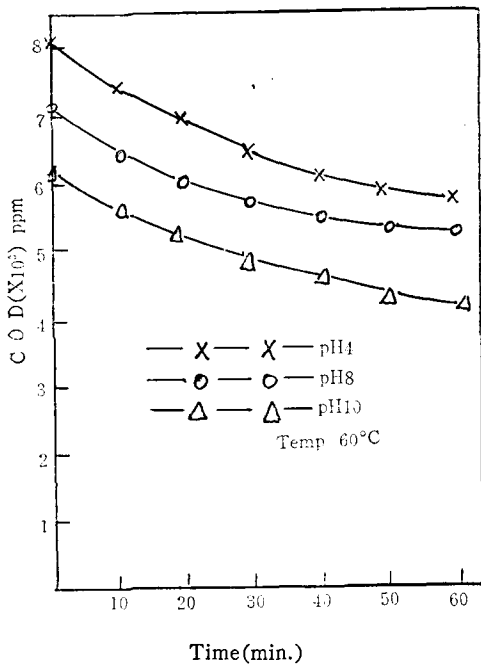


Fig. 4. Decomposition Ratio of Dyeing Wastewater as a Function of the Time at Various pH.

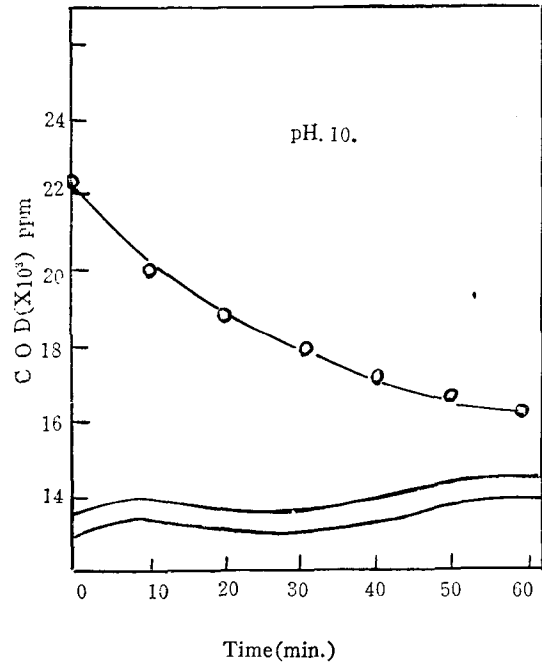


Fig. 6. Decomposition Ratio of the Scouring Agent (15g/100ml) as a Function of the Time at 25°C.

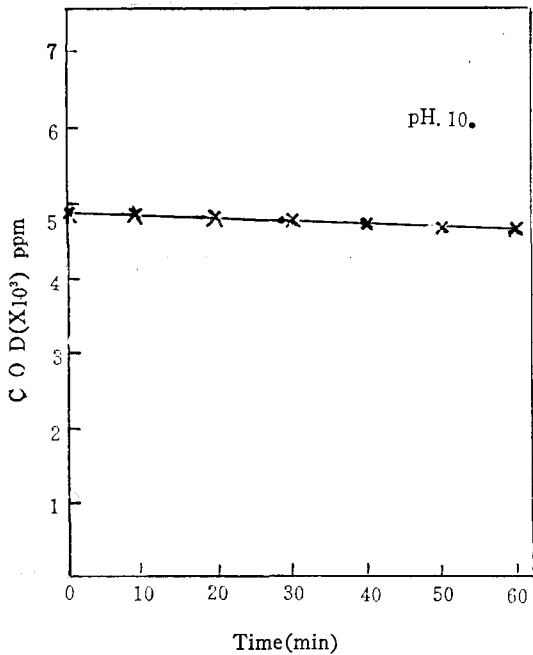


Fig. 7. Decomposition Ratio of the Sticking Agent (15gr/100ml) as a Function the Time at 25°C.

H<sub>2</sub>O로 완전분해하려면 적당한 반응온도와 시간이 필요하다고 생각된다. 그러나 C.G. Hewes, etal<sup>12)</sup>은 廢水中의 Free-radical 및 기타 有機物이 害를 주지 않는 한 경제적인 면에서 모든 COD를 감소시킬 필요가 없다고 했다.

## 2. 오존분해에 의한 染料別, 정련제 및 고착제의 COD 감소율

황화염료는 Na<sub>2</sub>S에 용해하며 染着性이 있는 류우코 화합물이 되어 공기산화에 의하여 염료를 재생하여 만든다. 따라서 Sulfur 염색폐수 중에는 Na<sub>2</sub>S 및 NaOH가 함유되어 있으며, 또한 매염제인 Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, 표백제인 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>인 무기물과 C.M.C.(Carboxy Methyl Cellulose), 大豆 카제인, 알킨산염 따위의 고착제 및 단백질, 목납, 따위의 정련제가 함께 존재할 것으로 생각하여 이들을 몇 종류의 染料와 정련제 및 고착제로 분리하여 이들 각각에 대하여 오존과 반응 후 COD의 변화를 관찰해 보았다.

그 결과는 Fig. 5, 6, 7에 각각 나타내었다.

위의 Fig. 3에서와 Fig. 5에서 보면 Fig. 3의

동일 pH 10에서 染色廢水는 60분간 오존으로 分解한 減小率이 27% 정도였으나 Sulfur Black BX, 염료와 Acid Black, Chlorintine Blue GLL의 염료만의 60분간 오존으로 分解한 COD 감소율은 각각 59%, 73%, 74%로서 상당히 높은 것을 볼 수 있었다.

반면 같은 pH 10에서 Fig. 6의 정련제는 COD 減小率이 30%, Fig. 7의 고착제는 2.5%정도로서 정련제는 분해가 어느 정도 일어나나 고착제는 거의 분해가 되지 않음을 알 수 있다. 이와 같이 染色廢水中에는 정련제 및 고착제와 같은 오존에 의한 分解가 어려운 물질이 들어 있으므로 COD 處理를 완전히 수행할 수 없고 가능하다면 염료와 정련제, 고착제 등의 廢水를 分離 處理함으로써 좋은 결과를 얻을 수 있었다.

## 3. 온도에 따른 染料의 오존분해에 의한 COD 감소율

Hewes<sup>12)</sup>는 反應溫度에 따라 COD 감소율을 조사한 결과 온도가 상승하면 COD 減小速度가 크게 되고 50°C에서 대체로 모든 COD에 關係하는 物質이 제거된다고 보고하였다.

따라서 본 研究에서는 pH는 10으로 조절하고 染色廢水를 온도에 따라 오존으로 分解한 결과는 Fig. 8과 같고 染色廢水의 主構成染料인 Sulfur Black BX 染料를 溫度에 따라 COD 減小率을 실험한 결과는 Fig. 9와 같이 나타났다. 정련제 및 고착제는 온도에 影響에 대한 감소율은 거의 적은 것으로 생각하여 실험은 생략하였다.

Fig. 8에서 나타난 것 같이 染色廢水의 分解는 溫度에 따라 큰 변화는 없으나 염료 자체의 分解는 Fig. 9에서 나타난 것과 같이 25°C에서는 오존에 의해 60분간 분해한 COD 감소율이 59%정도이며 40°C에서는 같은시간에 COD 감소율이 73%이고 60°C에서는 85%가 되었다. 따라서 온도를 높이는 것이 어느 정도 효과적이겠으나 경제적인 면으로 생각한다면 상온에서 처리하는 것이 유리하겠고 반면에 오존발생량을 올려주는 것이 좋을 것으로 생각된다. 鈴木<sup>25)</sup>은 下水系의 廢水處理에서 殺菌에까지 必要한 오존의 소비비량은 6.9mg/l이라고 報告하였다.

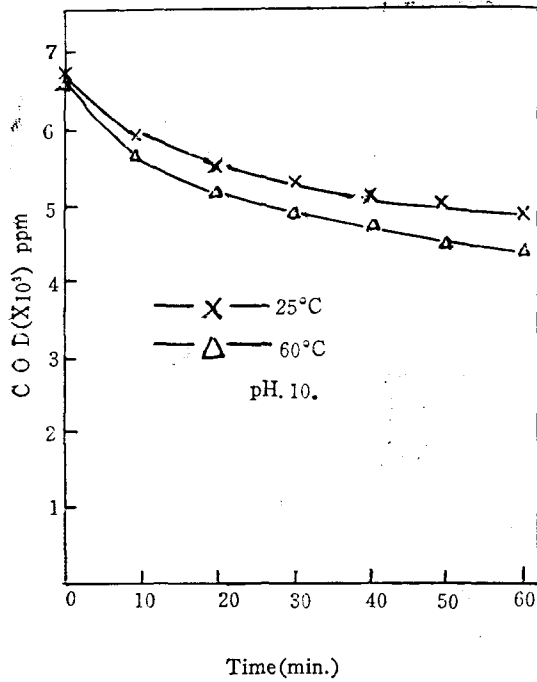


Fig. 8. Decomposition Ratio of the Dyeing Wastewater as a Function of the Time at Various Temperature.

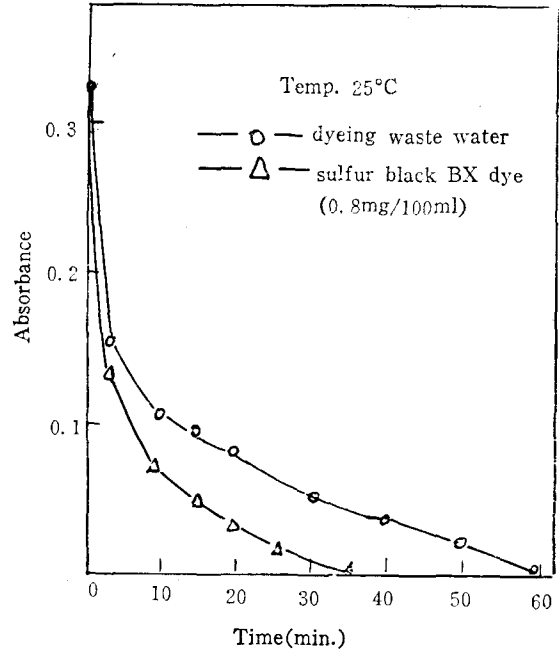


Fig. 10. Variation of the Absorbance by the Decomposition of Dyeing Wastewater and Sulfur Black BX Dye as a Function of the Time.

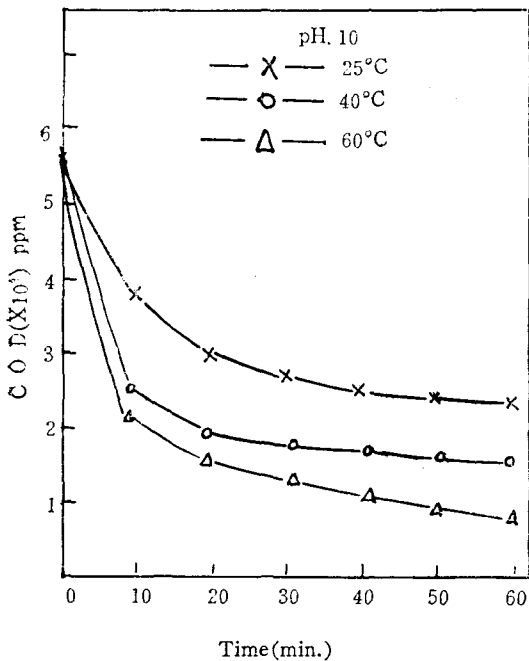


Fig. 9. Decomposition Ratio of the Sulfur Black BX Dye as a Function of the Time at Various Temperature.

#### 4. 오존분해에 의한 染色廢水의 脫色效果<sup>26)</sup>

오존에 의한 廢水處理의 特性으로 脫色效果를 들 수 있다. 따라서 오존분해에 의한 染色廢水와 染料의 脫色效果를 Spectro-Photometer을 利用하여 파장 660 nm 부근에서 흡광도의 變化를 측정한 결과 Fig. 10과 같다.

染色廢水의 오존處理前에는 진한 감청색으로 着色되어 있었으나 이것을 적당한 농도로 조절하여 시간에 따라 오존處理한 결과 약 60분에서 거의 투명하게 되었다. 이것을 Fig. 10과 같이 Spectro-Photometer로서 흡광도를 측정한 결과는 오존處理前에는 0.33이었으나 60분간 오존통과후는 거의 0이 되었음을 볼 수 있다.

그리고 Sulfur-Black BX 염료자체의 흡광도는 약 35분 정도에서 거의 0이 되었다.

#### IV. 結 論

본 研究에서 본인이 채취한 染色廢水를 오존 통과에 의한 COD 處理와 脫色에 관한 結果는 다

음과 같다.

1. 染色廢水の 오존처리에 의한 COD 감소효과는 pH의 영향이 거의 없었으며 이것은 廢水中의 난분해성물질의 濃度の 영향으로 생각되고 오존에 의해 분해된 Free radical, 탄소-탄소결합수의 영향에 의한 것 같다.

2. 온도에 따른 각 染料別 오존분해에 의한 COD 감소율을 조사한 결과 溫度가 높으면 COD 감소속도가 약간 증가되었다. 따라서 오존흡수 농도를 높이고 반응시간을 길게 하거나 반응온도를 경제적인 조건을 고려하여 높이는 것이 필요하였다.

3. 염색廢水の COD 處理는 직접 오존처리로 큰효과가 없으며 염료와 정련제 및 고착제로 분리하여 오존처리하면 가능할 것으로 생각된다.

4. 오존에 의한 염색폐수의 脫色효과는 매우 크며, 탈색은 비교적 소량의 오존으로도 단시간 내에서 완결된다. 이같은 점에서 탈색은 기타 용해성 유기고분자물에도 적용되리라 생각된다.

이상과 같은 여러 점에서 오존處理는 염색폐수 3차처리의 한 가지 방법으로서 발전 보급이 기대된다.

## REFERENCES

- 1) H.M. Rosen, *Ozone Generation and Its Economical Application to Wastewater Treatment*, Water Sewage Works, 119, 9, 114(1972).
- 2) C. Nebel, et al., *Ozone Disinfection of Industrial Municipal Secondary Effluents*, J. W.P.C.F., 45, 12, 2493-2507(1973).
- 3) H.M. Rosen, *Use of Ozone and Oxygen in Advanced Wastewater Treatment*, J. W.P.C.F., 45, 12, 2521-2536(1973).
- 4) L.A. Esvelt, et al., *Toxicity Assessment of Treated Municipal Wastewaters*, J.W. P.C.F., 45, 12, 1558(1973).
- 5) S. Farooq, et al., *Basic Concepts in Disinfection with Ozone*. J. W.P.C.F., 49, 1818-1831(1977).
- 6) O. Sproul and S. Majumdar, *Technical & Economical Aspects of Water and Wastewater Ozonation*, Water Research, 8, 253-260(1974).
- 7) V.Noel, et al., *The Use of Chloramine for Reduction of Trihalomethanes and Disinfection of*

*Drinking Water*, J. A. W.W.A, 71, 40-42 (1979).

- 8) H.R. Eisenhauer, *The Ozonization of Phenolic Wastes*, J. W.P.C.F., 40, 11, 1887-1899(1968).
- 9) C. Nebel, et al., *Ozone Provides Alternative for Secondary Effluent Disinfection*, Water Sewage Works, 123, 82-85(1976).
- 10) 川本喜美: オゾンによる排水處理, 電子材料, 438 (1980).
- 11) 李哲熙: 論文集 「嶺南大學校」, 14, 187-194 (1980).
- 12) C.G. Hewes, et al., *Kinetics of Ozone Decomposition and Reaction with Organics in Water*, J.A.I. Ch. E., 17, 1, 141-147(1971).
- 13) 田草川 篤等, オゾンによる都市下水處理, 下水道協會誌, 13, 140, 51-58(1976).
- 14) 金公朱外篇譯, 染料化學, 大光書林, pp.7-10 (1978).
- 15) Manchester City, *Ozone Treatment Links Color Problems*, Water Sewage Works, 122, 52-54 (1975).
- 16) C.M. Birdsall, et al., *Anal. Chem.*, 24, 662-664 (1952).
- 17) E.D. Boelter, et al., *Anal. Chem.*, 22, 1533-1535(1950).
- 18) *Standard Methods for the Examination of Wastewater*, Amer. P.H.A., pp.455-457(1976).
- 19) K.S.M. oill.
- 20) 日本藥學會編, 衛生試驗法注解, 金原出版社, p.830(1980).
- 21) 用水廢水便覽編集委員會, “用水廢水便覽”, 丸善, p.589(1973).
- 22) R.A. Dobbs, et al., *Elimination of Chlorides Interference in the COD test*, *Anal. Chem.*, 35, 1064(1963).
- 23) 橋本雄三郎等., 團地排水の三次處理 第11回下水道研究發表會講演集, pp. 177-179(1974).
- 24) 金德默, 李致鍾: 本誌, 14, 22-29(1981).
- 25) 鈴本靜夫等. 下水および尿脫離液のオゾン殺菌處理, 用水と廢水, 6, 10, 49-51(1964).
- 26) J.P. Legeron, *Comparative Study of Ozonation Conditions in Wastewater Tertiary Treatment*, Conference presented at the 86th National Meeting of the American Institute of Chem. Engineers, April, 1-5, 239, Houston(1979).