한국환경과학회지 제14권(제7호), 683~689, 2005
*Journal of the Environmental Sciences*

# 염색폐수의 생물학적 전처리 조건변화에 의한 최적 펜톤시약 투입량 결정에 관한 연구

**배 준 삼 · 이 상 호**
**상명대학교 환경공학과**
**(*2005*년 *4*월 *1*일 접수; *2005*년 *7*월 *13*일 채택)**

# Optimum Dosage of Fenton's Reagent for the Dyeing Wastewater by the Different Conditions of Biological Treatment as the Pre-treatment Process

**Joon-Sam Bea and Sang-Ho Lee**
*Department of Environmental Engineering, Sangmyung University, Chonan 330-720, Korea*
*(Manuscript received 1 April, 2005; accepted 13 July, 2005)*

The consecutive combination process of a biological process as the pre-treatment and a chemical process as the post-treatment is applied for the dyeing wastewater. The poor efficiency of biological treatment using pure oxygen makes the chemical treatment cost high. It is necessary to improve the efficiency of biological treatment in order to reduce the cost of chemical treatment. The purpose of this paper is to find the minimum dose of chemical reagent to fit the Discharged Water Quality Standards for the different biological treatment effluents. Results revealed that the minimum dosage of Fenton's reagent lead to save the cost of chemical treatment based on the guideline dose in the treatment plant. The possible maximum saving reagents was up to 70% for the effluent of the pilot plant packed with the carrier imbedded microorganisms which were selected from the present treatment plant.

Key Words : Biological pre-treatment, Dosage reduction of Fenton's reagent, Dyeing wastewater

## 1. 서 론

다양한 의류 소재 개발과 패션산업이 활성화됨에 따라 여러 종류의 염료가 생산되었으며 섬유를 염색할 때 배출되는 오염원도 다원화되었다. 특히 염색공업은 시대별 유행 및 계절에 따라 사용되는 염료의 종류가 달라지기 때문에 발생되는 폐수의 성상도 바뀌게 되어 분해 및 제거가 상당히 어려운 상태로 배출된다[1]. 우리나라의 경우 전체 산업 폐수 발생량에서 볼 때 염색산업은 대표적인 용수산업형 업종으로서 다량의 물을 사용하고 있어[2,3] 폐수발생량 및 폐수의 특성 면에서 대표적인 오염산업으로 분류되고 있다.

염색폐수는 색소화합물과 조염제, 합성세제 등 난분해성 물질들이 함유되어 있어 불완전하게 처리되어 방류할 경우 색도에 의해 외관상 미관을 해치고 광합성 생물의 생육을 방해하여 생태계의 순환을 저해시켜 심각한 환경오염을 유발시킬 수 있다[4]. 염색폐수의 처리방법에는 물리적 방법, 화학적 방법, 생물학적 방법[5] 등이 있다. 생물학적 처리방법을 염색폐수에 개별적으로 적용하면 존재하고 있는 유기물질의 제거에는 유용할 수 있으나 색도에 관여되고 있는 물질들의 처리가 용이하지 못하고[6], 화학적 처리방법을 단독공정으로 적용하여 염색폐수를 처리하면 약품사용량이 증가하여 높은 처리비용이 소요되므로 각각의 처리공정을 단독공정으로 적용하는 것에는 한계가 있다. 최근에는 난분해성 및 색소화합물을 함유한 염색폐수의 효율적인 처리를 위해 주로 생물학적 처리공정 후 화학적 처리공정을 이용하여 배출허용기준을 만족시키고 있다[1,7]. 특히 생물학적 처리공정에서 유기물 및 난분해성 물질의 제거가 제대로 이루어지지 않으면 화학적 산화공정

Corresponding Author : Sang-Ho Lee, Department of Environmental Engineering, Sangmyung University, Chonan 330-720, Korea
Phone: +82-41-550-5308
E-mail: leesh@smu.ac.kr

은 다량의 산화제를 주입하여 처리해야 하기 때문에 단독공정으로 적용하여 처리하는 것과 마찬가지로 높은 처리비용이 소요된다[6].

본 연구에서는 현재 B공단 염색폐수 처리시설에서 적용하고 있는 순산소 포기공정을 거친 생물학적 처리수와 염색폐수의 난분해성 물질 분해가 가능한 선택된 미생물 균주를 식재한 생물학적 담체를 충진시킨 생물학적 처리수에 Fenton 공정을 적용하여 현행 처리수 수질기준을 만족할 수 있는 Fenton 시약의 적정 주입량을 도출하고 Fenton 시약 절감 가능성을 검토하고자 하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1. 대상시료

본 연구에서는 두가지 처리수를 대상으로 연구하였다. 생물학적 처리를 위하여 순산소를 이용한 포기공정을 거친 처리수가 첫번째 대상시료이며, 선택된 균주를 식재한 생물학적 담체를 이용하여 처리된 배출수가 두번째 대상시료이다. 순산소를 이용한 포기공정을 거친 처리수는 pH 7.4 정도를 유지하고 있으며 포기조의 충분한 미생물 확보 저하로 인해 유기물질 제거능이 저조하며 부유물질의 농도가 다소 높게 배출된다.

담체는 직경이 4mm이고 높이가 5mm인 원통형 모양으로 유기물질 제거용으로 개발된 활성탄이 도포되어 있으며 염색폐수 내 난분해성 물질에 적응된 미생물을 고정화하였다. 담체를 충진하여 처리한 생물학적 처리수는 체류시간을 다르게 하여 실험에 적용하였다.

### 2.2. 실험방법

본 연구에서 수행한 처리방법의 개략도를 Fig. 1에 나타내었다.

후처리 공정 A는 순산소를 이용한 생물학적 포기조 처리수에 Fenton 공정을 적용한 방법이고 후처리 공정 B는 생물학적 담체를 충진한 유효용적이 $2m^3$인 Pilot plant에서 1시간의 체류시간을 거친 생물학적 처리수에 Fenton 공정을 적용한 것이며, 후처리 공정 C는 담체로 충진된 Pilot plant에서 4시간 반응시간을 거친 처리수에 Fenton 공정을 적용한 것이다.

### 2.3. 실험조건

실험에 사용된 Fenton 시약은 액상 형태의 $FeCl_2$ (16%)와 $H_2O_2$(35%)를 사용하였고 각각의 대상시료의 수질을 분석한 다음 가장 적절한 Fenton 시약 주입량을 산정하였다. Fenton 시약 주입비율은 실험에 가장 중요한 부분으로 $H_2O_2$보다 과량의 $Fe^{2+}$가 주입되면 잔존하고 있는 $Fe^{2+}$가 유기물의 제거에 이용되어야 하는 OH radical의 scavenger로 작용하여 처리효율이 낮아지고[10], $H_2O_2$의 주입량이 $Fe^{2+}$에 비해 많을 경우 $H_2O_2$의 분해속도가 늦어져 반응시간이 길어지게 되며 침전에 방해를 주는 인자로 작용하여 슬러지 부상의 문제점을 가진다. 따라서 본 연구에서는 1:1 mol 비로 반응할 때 최적의 효과를 얻을 수 있는 논문[11,12]을 참고하여 주입비를 결정하였다. 후처리 공정 A에 해당하는 순산소 포기조로부터 배출된 처리수에 적용한 Fenton 시약 주입량으로 $FeCl_2$는 259.2mg/L, $H_2O_2$는 135.8mg/L이었다. 후처리 공정 B에 적용된 Fenton 시약 주입량으로 $FeCl_2$는 133.2mg/L, $H_2O_2$의 주입량은 78.2mg/L이었다. 후처리 공정 C에 적용된 Fenton 시약 주입량으로 $FeCl_2$는 105.5mg/L, $H_2O_2$는 64.6mg/L이다. Fenton 공정에서 주입하는 약품사용량을 절감하고 배출허용기준인 $COD_{Mn}$ 80mg/L, 색도 400 ADMI를 만족하는 가장 적은 양의 Fenton 시약 주입량을 알아보

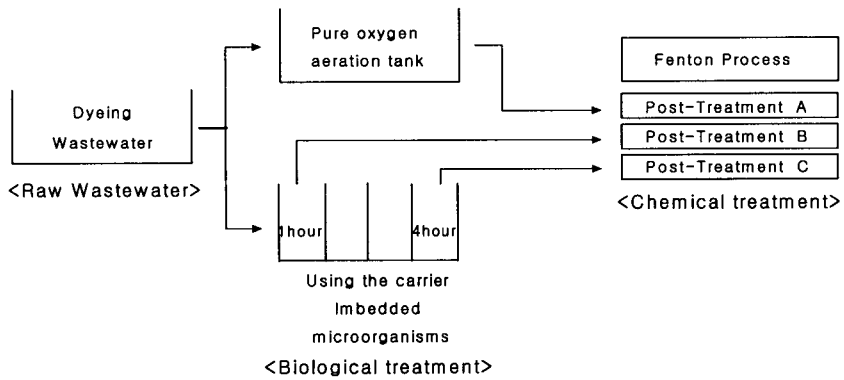


Fig. 1. Schematic diagram of process configuration on the aeration process with pure oxygen and carrier imbedded microorganisms as biological pre-treatment before chemical treatment by Fenton process.

기 위해 수질 및 운전효율의 변동을 고려하여 현장에서 적용하고 있는 안전율 10%를 고려하여 수질기준의 90%를 만족하는 Fenton 시약 적정 투입량을 산정하였다. 산정된 주입량을 기준으로 투입량을 줄여가면서 실험을 수행하였다. 위의 내용을 요약하여 나타내면 Table 1과 같다.

본 실험에 적용된 Fenton 시약의 주입시간 및 반응 pH를 Fig. 2에 나타내었다.

현장에서 적용하고 있는 Fenton 공정을 기준으로 전체 반응시간은 40분으로 하였으며, 반응 초기에 Fe(Ⅱ)에 의한 응집효과를 높이기 위해 $H_2SO_4$(97% vol)을 이용하여 pH를 5.5로 조정하였고 12분 후에는 $H_2O_2$를 전량 주입하고 최적 Fenton 산화 반응을 위해 pH를 3.5로 조정하였다. 29분에는 최종 침전의 효율 향상을 위해 NaOH(5.0N)를 이용하여 pH를 5.5로 조절하였고 효과적인 반응을 위해 Jar-Tester를 120rpm으로 조정하였다. 반응종료 후에는 침전시켜 상징액의 $COD_{Mn}$와 색도를 분석하였다. $COD_{Mn}$ 분석은 수질오염공정시험방법과 Reactor Digestion Method[13]를 비교하여 좀 더 정확하고 신속한 분석방법을 적용하였다. 여러 가지 농도의 시료를 이용하여 측정한 결과 두 시험방법을 적용한 측정값의 차이는 약 ±0.5mg/L 정도로 거의 차이가 없는 것으로 나타났다. 수질오염공정시험방법의 일정한 온도유지의 문제점과 적정에서의 오차를 줄이기 위해 Reactor Digestion Method에 준하여 $COD_{Mn}$ Vial을 COD reactor(Model 45600, Hach)에서 100℃에서 10분 동안 반응시킨 후 Spectrophotometer(DR/4000, Hach)로 측정하였고, 색도는 ADMI Weighted Ordinate Method[14]에 준하여 Spectrophotometer (DR/4000, Hach)로 측정하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1. 후처리 공정 A에 대한 적정 Fenton 시약 주입량 산정

순산소를 이용한 생물학적 처리수에 소요되는 적정 Fenton 시약 주입량을 결정하기 위하여 다음과 같은 실험을 수행하였다. 현행 배출허용기준을 만족시킬 수 있는 주입량을 도출하기 위하여 "B" 염색폐수 처리시설에서 적용하는 Fenton 시약 주입량을 기준으로 실험을 수행하였다. 주입량은 선행 실험의 결과[11,12]를 바탕으로 순차적으로 변화시켰다. Fenton 시약 주입량을 변화시켜 실험한 결과를 Fig. 3에 나타내었다.

Fenton 시약을 유입수 $COD_{Mn}$에 대한 투입비 100%로 투입하면 가장 높은 제거효율을 얻을 수 있지만 배출허용기준보다 매우 낮은 값을 나타내므로 배출허용기준에 근접하는 투입량을 도출하기 위하여 약품 주입량을 여러 차례 변경하여 주입하였다. 과다한 약품주입량은 처리수의 제거효율을 높일 수 있지만 높은 처리비용이 소요되고 슬러지가 많이 발생되기 때문에 배출허용기준을 만족할 수 있는 최소한의 주입량을 적용하여야 한다. $FeCl_2$와 $H_2O_2$의 투입량을 기준투입량 대비 80% 투입시켜 처리한 결과 $COD_{Mn}$ 제거와 색도의 제거는 100%를 주입해서 얻은 결과값 보다는 처리효율이 감소되었지만 여전히 배출허용기준보다 낮은 값을 나타내었다. Fenton 시약 투입량을 기준 투입량 대비 60%를 투

Table 1. Dosage guideline of Fenton's reagent for different $COD_{Mn}$ of wastewater in "B" wastewater treatment plant

| Post-Treatment | $COD_{Cr}$(mg/L) of wastewater | $COD_{Mn}$(mg/L) of wastewater | Temperature (℃) | $FeCl_2$ Dosage (mg/L) | $H_2O_2$ Dosage (mg/L) |
|---|---|---|---|---|---|
| A | 694 | 191 | 30 | 259.2 | 135.8 |
| B | 510 | 121 | 25 | 133.2 | 78.2 |
| C | 498 | 117 | 25 | 105.5 | 64.6 |

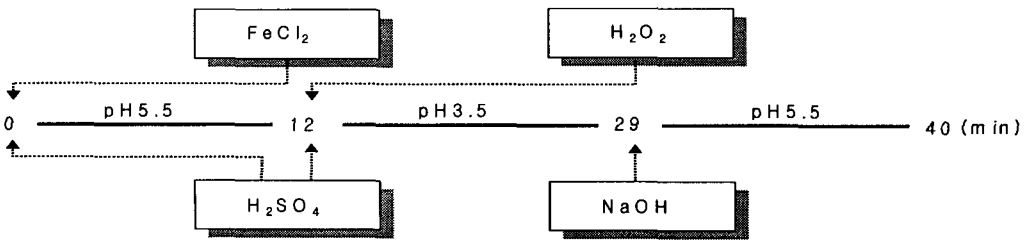


Fig. 2. Diagram of Time and pH conditions and reagent addition in Fenton reaction.

입하였을 때 처리수의 $COD_{Mn}$ 측정값은 67.5mg/L로써 배출허용기준에 매우 근접한 결과를 나타냈지만 색도의 측정결과는 259 ADMI로써 기준에 비해 다소 낮은 측정값을 보였다. 따라서 색도는 Fenton 반응 중 OH radical에 의한 산화반응으로 제거[15]되고 약품비는 대부분 $H_2O_2$에 의한 것이므로[16] 경제적인 면을 고려하여 과산화수소의 주입량을 줄여 실험을 수행하였다.

$H_2O_2$의 주입량을 변화시켜 실험을 수행한 결과 처리수의 $COD_{Mn}$ 측정값을 Fig. 3에서 살펴보면 비슷한 결과를 보이고 있지만, 색도의 경우는 $H_2O_2$를 적게 주입할수록 처리수의 색도값은 기준값이 400 ADMI를 초과하는 것으로 나타났다. 이는 염색폐수 안에 포함되어 있는 색도가 주로 $Fe^{2+}$와 $H_2O_2$의 반응에 의해 생성되는 OH radical에 의한 산화반응에 의해 제거된다는 선행연구[4,11]와 동일한 결과를 나타냈다.

Fenton 시약 주입량을 절감하여 주입할수록 처리수의 $COD_{Mn}$과 색도값은 높게 측정되었으며, 측정된 $COD_{Mn}$과 색도값은 동일한 비율로 주입량을 감소하여 적용하였지만 $COD_{Mn}$ 보다는 색도가 수치적으로 많이 차이를 보이고 있다.

주입량 절감에 따른 처리수의 측정값 증가는 적은 양의 Fenton 시약의 주입으로 인해 유기물과 색도를 제거하는 OH radical과 $Fe(OH)_3$의 양이 적게 생성되어 나타나는 결과이다. 순산소포기조의 유출수의 적정 Fenton 시약 주입량은 수질기준을 만족할 수 있는 $Fe^{2+}$와 $H_2O_2$의 투입량 비는 각각 60%와 50%가 가장 적절한 결과로 도출되었다.

### 3.2. 후처리 공정 B에 대한 적정 Fenton 시약 주입량 산정

생물학적 담체를 충진시킨 Pilot plant에서 1시간 반응시간을 거친 처리수에 주입될 가장 적절한 Fenton 시약 주입량을 산정하기 위해 다음과 같이 실험을 수행하였다. Fenton 시약 주입량은 대상시료의 $COD_{Mn}$를 기준으로 Fenton 시약 주입량과 주입비를 고려하여 주입량을 산정하였다. Fenton 공정으로 처리할 때 가장 경제적이면서도 배출허용기준을 만족할 수 있는 주입량을 결정하기 위해 여러 차례 주입량을 조절하여 다른 실험을 수행하였으며 실험의 결과를 Fig. 4에 나타내었다.

유입수에 대한 Fenton 시약 투입은 Table 1에 근거하여 투입비 100%를 주입했을 때 가장 높은 제거율을 보이지만 약품을 절감하여도 배출허용기준의 만족이 가능하기 때문에 최소한의 적정 Fenton 시약 주입량을 도출하기 위해 주입량을 감소하였다. 유입수 $COD_{Mn}$에 대한 Fenton 시약 투입비 80%, 60%, 40%의 주입량은 100%의 주입량보다 $COD_{Mn}$, 색도의 측정값이 높게 측정되었지만 배출허용기준을 기준으로 할 때 주입량 절감이 가능하여 보다 적은 주입량을 투입하였다. $FeCl_2$와 $H_2O_2$의 투입량을 30%로 주입하여 실험한 결과 $COD_{Mn}$ 값은 78mg/L로 배출허용기준을 만족하고 있지만 색도는 270 ADMI로서 배출허용기준에 비하여 낮은 값으로 나타났다. 따라서 $COD_{Mn}$ 값을 만족하는 30%의 주입량을 기준으로 두 가지 방법으로 주입량을 산정하였다. 첫째, 색도의 수치만을 기준값 400 ADMI로 근접시키기 위해서 색도제거에 결정적인 영향을 미치는 $H_2O_2$의 주입량만 감소시켜 투입하는 방법과

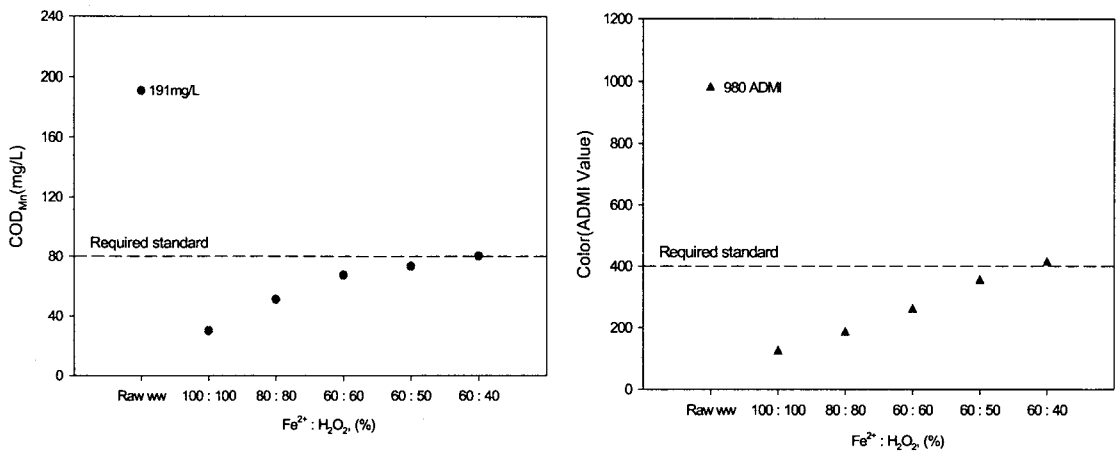


Fig. 3. Results of $COD_{Mn}$ and Color with different dosages of Fenton's reagent in Post-Treatment A for the effluent from the biological treatment with pure oxygen.

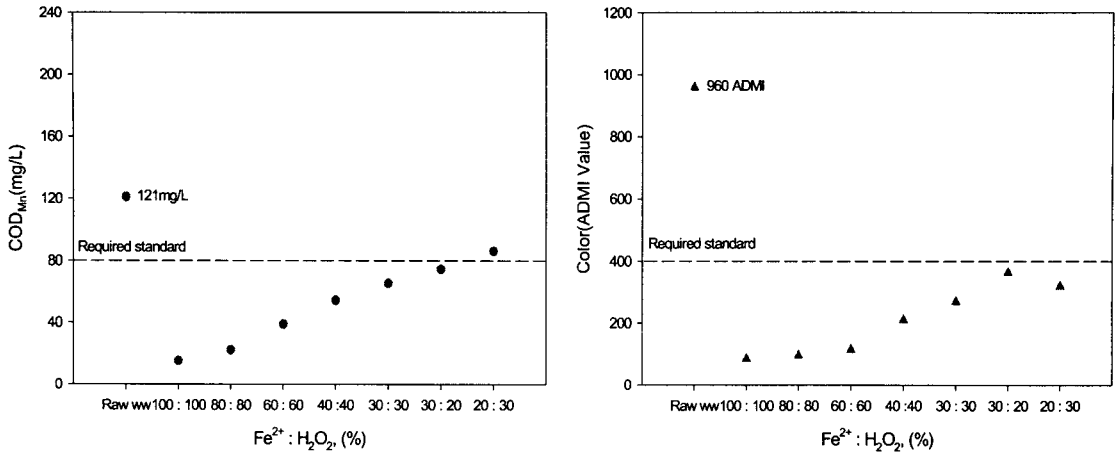


Fig. 4. Results of $COD_{Mn}$ and Color with the several different dosage of Fenton's reagent in Post-Treatment B in percental ratio of ferrous ion versus hydrogen peroxide for the effluent from the step 1 of pilot plant with carrier imbedded microorganisms.

둘째, Fenton 처리의 효율은 $FeCl_2$의 주입량과 관계가 있다는 논문[16]을 근거로 $FeCl_2$의 주입량을 감소시켜 실험을 수행하였다. $COD_{Mn}$ 값은 $H_2O_2$의 주입량을 30%(23.5mg/L)에서 20%(15.6mg/L)로 변화시켜 실험한 결과 76mg/L에서 79mg/L로 큰 변화 없이 비슷한 결과를 보이고 있지만 색도 결과값은 30%를 투입하여 실험한 결과 색도 400 ADMI의 수질 기준에 근접한 389 ADMI를 나타내었다. 그러나 $FeCl_2$의 주입량에 변화를 준 결과 색도의 수치는 30%의 주입량의 결과와 비슷하게 320 ADMI로 측정되었지만 $COD_{Mn}$ 값은 72.6mg/L에서 86.2mg/L로 증가하였다.

$Fe^{2+}$와 $H_2O_2$의 반응에 의해 생성되는 OH radical의 생성량을 줄이는 방법으로 $Fe^{2+}$ 투입량을 줄이는 것은 색도의 제거에 많은 영향을 미치지 않았고, 오히려 $COD_{Mn}$의 제거에 영향을 미치는 것으로 나타났다. 색도가 제거되고 남은 염료분자 또는 그 이외의 콜로이드성 물질이 제거되는데 사용되어지는 착화합물 양이 적어져 $COD_{Mn}$의 제거가 낮게 도출되었다[12]. 본 대상시료 $COD_{Mn}$를 기준으로 $Fe^{2+}$와 $H_2O_2$ 주입비는 각각 30%와 20%로 나타났다.

### 3.3. 후처리 공정 C에 대한 적정 Fenton 시약 주입량 산정

4시간의 체류시간으로 운전되는 Pilot plant 4단 유출수에 적용될 가장 최적의 Fenton 시약 주입량을 산정하기 위해 다음과 같은 실험을 수행하였다. 사용된 Fenton 시약 주입량은 B 염색폐수 처리장의 주입량 및 주입비율을 분석하여 주입량을 산정하였다. 주입량 감소에 따른 처리수의 측정값을 근거로 주입량을 변화시켰으며, 실험 결과를 Fig. 5에 나타내었다.

현장의 주입비와 주입량을 근거로 후처리 공정 C을 위한 $COD_{Mn}$기준으로 Fenton 시약 100% 적용한 결과 $COD_{Mn}$ 제거와 색도제거에 높은 처리 효율을 보이고 있지만 배출허용기준과 많은 차이를 보이므로 투입량이 과다하게 산정된 것을 알 수 있었다. 유입수 $COD_{Mn}$에 대한 Fenton 시약 투입비 80%, 60% 주입량은 100%의 주입량과 처리수의 측정값은 비슷한 것으로 나타났고, 40%의 주입량부터 처리수의 측정값이 40mg/L 이상으로 측정되었다. 20%, 15%를 투입한 결과 수질 기준에 매우 근접하는 것으로 나타났다. 15%의 주입량은 투입하였을 때 처리수의 $COD_{Mn}$은 78mg/L 색도는 335 ADMI로서 처리수 수질기준인 $COD_{Mn}$; 80mg/L, 색도; 400 ADMI 와 약 10% 이내의 차이를 보여 본 대상시료에 적용할 수 있는 적정 Fenton 시약 주입량이라고 할 수 있다.

### 3.4. Fenton 시약의 절감 가능성

염색폐수의 배출허용기준인 80mg/L의 $COD_{Mn}$과 ADMI 값으로 400인 색도를 만족시키기 위하여 전처리 공정으로 적용되는 생물학적 처리방법에 따른 Fenton 시약 절감 가능성을 알아보기 위해 Fenton 시약 소요량을 Table 2에 요약하여 나타내었다. 순산소포기조 유출수와 담체를 충진한 Pilot plant 1단, 4단 유출수의 색도는 980 ADMI, 960 ADMI로서 큰 차이가 없어서 $COD_{Mn}$을 기준으로 후처리 공정인 Fenton 공정의 투입시약 절감 가능성을 검토하였다.

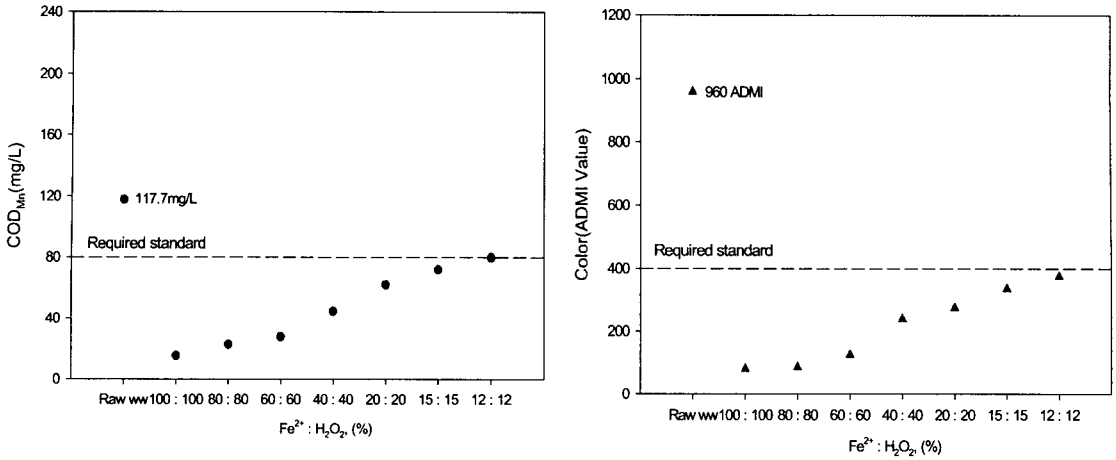


Fig. 5. Results of $COD_{Mn}$ and Color with the different ratios of Feneton's reagent in Post-Treatment C for the effluent from the step 4 of pilot plant with carrier imbedded microorganisms.

Table 2. Reducing possibility of Fenton's reagent in different methods of biological treatment

| Methods of biological treatment | Chemical treatment | Dosage of $FeCl_2$ (mg/L) | Dosage of $H_2O_2$ (mg/L) |
|---|---|---|---|
| Activated sludge process with pure oxygen | Post-Treatment A | 156 | 65.2 |
| Biological treatment with carrier imbedded microorganisms | Post-Treatment B | 31.6 | 12.9 |
| | Post-Treatment C | 19.9 | 11.7 |

기존 처리시설인 순산소를 이용한 생물학적 처리 공정 유출수에 적용해야 할 Fenton 시약 주입량은 $Fe^{2+}$; 156mg/L, $H_2O_2$; 65.2mg/L이고 선택된 미생물을 식재한 생물학적 처리수에 적용해야 할 Fenton 시약 주입량은 1시간 체류시간일 때는 $Fe^{2+}$; 31.6 mg/L, $H_2O_2$; 12.9mg/L, 체류시간이 4시간 일 때는 $Fe^{2+}$; 19.9mg/L, $H_2O_2$; 11.7mg/L로 도출되었다.

후처리 공정 B에 소요되는 Fenton 시약 주입량은 기존의 처리공정인 순산소 포기조 유출수에 소요되는 Fenton 시약 주입량에 비해 약 $Fe^{2+}$; 124.4 mg/L, $H_2O_2$; 52.3mg/L 정도 약품사용량 절감이 가능하고, 후처리 공정 C에 소요되는 Fenton 시약 주입량은 $Fe^{2+}$; 137mg/L, $H_2O_2$; 11.7mg/L 정도 약품 사용량 절감이 가능한 것으로 나타났다.

Fenton 처리공정에서 소요되는 처리비용을 고[12]의 논문을 이용하여 산정하면 순산소 포기조 유출수 처리비용은 약 118원/$m^3$ 이고, 후처리 공정 B의 처리비용은 약 35원/$m^3$, 후처리 공정 C의 처리비용은 약 26원/$m^3$으로 미생물을 식재한 담체를 이용한 생물학적 처리방법이 기존의 생물학적 처리공정인 순산소 포기조 유출수에 소요되는 처리비용에 비해 80원/$m^3$정도 절감효과를 기대할 수 있어 현장에 적용할 경우 하루 처리용량이 50,000$m^3$이므로 하루당 4백만원 정도 절감할 수 있을 것으로 판단된다. 이는 선택된 미생물을 식재한 생물학적 처리수의 처리효율 증가로 인해 Fenton 공정에서 제거해야 하는 $COD_{Mn}$ 농도값이 줄어들어 적은양의 Fenton 시약을 주입하여도 $COD_{Mn}$, 색도의 배출허용기준을 만족시킬 수 있었다. 색도의 제거는 순산소 포기조 유출수와 생물학적 담체를 충진시킨 유출수의 색도가 비슷하지만 제거되어야 하는 $COD_{Mn}$의 농도가 줄어들어 유기물제거에 사용되었던 OH radical이 상대적으로 색도유발 물질에 집중적으로 관여하여 제거함으로 인하여[9] 전체적으로 소요되는 Fenton시약 주입량이 줄어들었다.

## 4. 결 론

염색폐수의 생물학적 처리방법이 다른 생물학적 처리 공정의 유출수를 대상으로 처리 수질기준을 만족할 수 있는 Fenton시약 적정 주입량을 산정하고 Fenton시약 절감 여부를 판단하기 위한 실험결과로 도출된 결론은 다음과 같다.

1) 후처리 공정 A의 대상시료인 순산소 포기공정 유출수에 Fenton Process를 적용한 결과 처리수질기준인 $COD_{Mn}$ 80mg/L, 색도(ADMI) 400을 만족하는 적정한 Fenton 시약 주입량은 $Fe^{2+}/H_2O_2$ 가 2.39일 때 가장 효율적인 것으로 나타났다. $Fe^{2+}$와 $H_2O_2$의 비율로 표현하면 기존 $COD_{Mn}$ 대비 100% 주입량의 60%와 50%이다.
2) 후처리 공정 B의 대상시료인 선택된 미생물을 충진한 담체 처리 공정 중 체류시간이 1시간인 Pilot Plant 유출수에 적당한 Fenton 시약 주입량은 $Fe^{2+}/H_2O_2$ 가 2.45일 때로 나타났다. 이 결과를 투입비로 나타내면 기존 $COD_{Mn}$ 대비 100% 주입량의 $Fe^{2+}$ 30%, $H_2O_2$ 20%이다.
3) 후처리 공정 C에 해당하는 선택된 미생물을 식재한 체류시간이 4시간인 담체를 충진한 Pilot Plant 유출수에 소요되는 적절한 Fenton 시약 주입량은 $Fe^{2+}/H_2O_2$ 가 1.70일 때로 나타났다. Fenton 시약인 $Fe^{2+}$와 $H_2O_2$의 투입비로 나타내면 두 시약 모두 기존 $COD_{Mn}$ 대비 100% 주입량의 15%이다. 생물학적 담체를 충진한 처리방법에 의한 처리효율은 순산소포기조의 생물학적 처리효율보다 $COD_{Mn}$ 38%, 색도 9.4% 정도 개선되어 Fenton 시약 투입량을 절감할 수 있다

## 감사의 글

본 연구는 상명대학교 교내연구비의 지원 아래 수행되었으며 이에 감사드립니다.

## 참 고 문 헌

1) 김 승, 공성호, 심호재, 황병호, 2003, 염화철과 염화마그네슘을 이용한 염색폐수의 2단 응집처리, 한국공업화학회지, 14(6), 733-738.
2) 이범훈, 정재윤, 2002, 분산염료 염색 폐수의 처리와 재사용, 한국섬유학회지, 39(6), 731-736.
3) 김삼혁, 최칠남, 정오진, 1999, 염료폐수 용액의 광촉매-광화학 반응, 한국환경과학회지, 8(2), 241-248.
4) Kim, T. H., C. H. Park, J. M. Yang and S. Y. Kim, 2004, Comparison of disperse and reactive dye removals by chemical coagulation and Fenton oxidation, Journal of Hazardous Materials, 112, 95-103.
5) 김홍태, 김규창, 1999, 염색폐수 처리성능에 대한 호기성 고정 및 유동층 생물막공법과 회전매체를 가진 완전혼합 활성슬러지 공법의 비교연구, 한국환경과학회지, 8(4), 525-532.
6) Fongsatitkul, P., A. Elefsiniotis and N. Yamasmit, 2004, Use of sequencing batch reactors and Fenton's reagent to treat a wastewater from a textile industry, Biochemical Engineering, 21, 213-220.
7) 조일형, 박재홍, 김영규, 이홍근, 2003, 반응표면분석법을 이용한 염색폐수의 광촉매 산화처리 조건의 최적화, 한국물환경학회지, 19(3), 257-270.
8) 배우근, 이상호, 원호식, 2002, 반월공단 난분해성 염색폐수의 화학적/생물학적 처리공정 기술개발 3차년도 보고서, 안산환경기술개발센터.
9) 배우근, 이상호, 원호식, 이용우, 2003, 반월공단 난분해성 염색폐수의 화학적/생물학적 처리공정 기술개발 2차년도 보고서, 안산환경기술개발센터.
10) Neyens, E. and J. Baeyens, 2003. A review of classic Fenton's peroxidation as an advanced oxidation technique, Journal of Hazardous Materials, 98, 33-50.
11) 이상호, 문혜진, 김유미, 2003, Fenton 산화 방법에 따른 염색폐수 처리 효율 향상에 관한 연구, 대한환경공학회지, 25(1), 87-93.
12) 고광범, 2004, 펜톤산화를 이용한 난분해성 염색폐수의 처리에서 산화반응과 응집반응의 기여도 평가, 한양대학교 박사학위 논문.
13) Jirka, A. M. and M. J. Carter, 1975, Analytical chemical, 47(8), 1937.
14) Allen et al., 1973, Determination of Color of water and wastewater by means of ADMI Color Value, Ind. Waste Conf., 28th.
15) Kang, S. F, C. H. Liao and M. C. Chen, 2002, Pre-Oxidation and coagulation of textile wastewater by the Fenton process, Chemosphere, 46, 923-928.
16) Malik, P. K. and S. K. Saha, 2002, Oxidation of direct dyes with hydrogen peroxide using ferrous ion as catalyst, Separation and Purification Technology, 31, 241-250.