

자화-생물처리 시스템에 의한 염색폐수의 처리

이 선 하*

경운대학교 보건복지대학

(2010년 2월 3일 접수; 2010년 2월 22일 수정; 2010년 3월 25일 채택)

Treatment of Dyeing Wastewater by Magnetic-Biological Treatment System

Seon-Ha Lee*

College of Health and Welfare, Kyungwoon University, Gyeongbuk 730-739, Korea

(Manuscript received 3 February, 2010; revised 22 February, 2010; accepted 25 March, 2010)

Abstract

The purpose of this study is to investigate treatment efficiency in dyeing wastewater treatment by the high rate aeration system(HRA) and a combination of the HRA with magnetized wastewater treatment system(MWS). At the hydraulic retention time of 16hr, 24hr, 30hr, BOD removal efficiencies of HRA system were 93%, 96% and 98%, combination of the HRA with MWS system were 94%, 96.8% and 98.2%, respectively. In case of COD, at the hydraulic retention time of 16hr, 24hr, 30hr, COD removal efficiencies of HRA system were 66%, 77.1% and 83.1%, combination of the HRA with MWS system were 70.2%, 80.1% and 86.6%, respectively.

The comparison of the HRA and combination of the HRA with MWS, effluent BOD of the former was 22.7mg/ℓ and the latter was 19.4mg/ℓ, therefore biological treatment efficiency identified to increase by the MWS.

Key Words : High rate aeration system, Magnetized wastewater treatment system, BOD volumetric loading, Dyeing wastewater

1. 서론

염색공정에서 배출되는 폐수는 섬유의 종류, 공정별 사용염료, 조제, 가공제에 따라 차이가 나고 또한 색소화합물, 호료, 합성세제를 배출하는 것을 비롯하여, 특히 감량가공시 발생하는 폐수에는 고농도의 disodium terephthalate(DST) 및 에틸렌글리콜이 용존되어 있고, 더욱이 단위 염색물당 용수의 양을 줄이는 저욕비의 염색가공공정의 개발로 고알칼리, 고농

도 폐수가 발생하며 난분해성 물질의 농도가 높게 배출되고 있다. 그리고 하절기에는 폐수의 온도가 40℃를 넘어가는 고온으로 배출되기 때문에 배출허용기준을 만족시키기 위한 폐수의 적정처리에 많은 어려움이 있다(박, 1991; 박 등, 1996; 한국섬유기술진흥원, 1994; 日本中小企業振興協會, 1992; 豊田環吉, 1976; Japan International Cooperation Agency, 1993).

이와 같이 대부분의 염색폐수는 성분조성이 복잡하고 수질변동이 커서 생물학적처리 단독공정만으로는 양호한 처리수질을 얻기 어렵기 때문에 일반적으로 물리·화학적처리 공정과 생물학적 처리공정을 연

*Corresponding Author : Seon-Ha Lee, College of Health and Welfare, Kyungwoon University, Gyeongbuk 730-739, Korea
Phone: +82-54-479-1232
E-mail: shlee@ikw.ac.kr

계한 표준활성슬러지법으로 연계하여 처리하고 있으나, 적절한 처리수질을 얻기 위해서는 긴 수리학적체류시간이 필요하고 또한 벌킹과 스크 등으로 인한 운전관리의 어려움, 화학처리시 소요되는 약품비 및 슬러지 처분비용의 증가 등으로 인하여 적절한 처리를 위해서는 많은 어려움을 안고 있다(Metcalf와 Eddy, 1991).

이러한 문제점을 해결하기 위하여 포기조에 담체를 충전시켜 기존의 활성슬러지 공정을 최대한 이용하면서 보다 우수한 처리효율을 얻기 위한 연구가 활발히 진행 중이다. 포기조에 담체를 충전시켜 처리하게 되면 첨가된 담체에 부착된 미생물에 의해 조내 미생물의 농도를 높게 유지하는 것이 가능하기 때문에 유기물뿐만 아니라 질소의 제거에도 좋은 효과를 나타낸다고 알려져 있다.

다공성 폴리우레탄 담체를 활성슬러지 반응조에 약 17% 부유시켜 낙농폐수를 대상으로 하여 실험한 결과 BOD 및 COD의 제거율이 향상되고 침전조에서 미생물의 침강성이 양호하였다고 보고하였다(Hegemann, 1984). 또한 일본에서도 생물막에 의한 많은 연구가 진행되고 있는데 邪新會 등은 소수성의 폴리에스테르계 다공질 우레탄 담체를 이용하여 유기물과 질소의 제거가 일어나는 것을 확인한 바 있고, 염색폐수를 대상으로 다공성 폴리우레탄 담체를 매질로 사용하여 상당한 효과를 얻었다고 보고한 바 있다(邪新會 등, 1991).

최근에는 포기조에 섬유상 담체를 충전시켜 여기에 미생물을 부착시키는 HBC법도 많은 관심을 가지고 있으나, 이는 기존의 포기조를 그대로 이용하는 일부 변형된 방법에 불과하며, 따라서 공기의 이용효율을 높이기 위한 새로운 생물반응기의 개발이 요구되고 있는 실정이다.

한편 물은 자기장하에서 물의 분자와 전자의 분포가 변화되며, 분자와 원자의 이동과 극성에 의하여 분자의 쌍극자모멘트와 진동상태가 바뀌게되며 전자의 전이확률에 변화를 가져준다. 그 결과로 자화된 물에서는 침윤성, 소수성, 굴절률, 유전상수 및 전기전도도가 증가되고 표면장력과 점도는 감소한다고 알려져 있다(Pang과 Deng, 2008).

또한 물과 수용액의 물리화학적 성질에 대한 자기

장의 영향에 대한 많은 연구가 이루어져 왔다. 자기장의 영향은 여러 가지 요인에 의해 지배받는데 자기장의 세기(Kobe 등, 2003), 자기장의 방향(Baker와 Judd, 1996), 자기장에 노출된 시간(Higashitani 등, 1992), 용액의 유속(Gabrielli 등, 2001) 및 pH(Fathi 등, 2006)등이다.

이러한 자기장을 수처리에 이용한 예는 그리 많지 않으나 고정상 활성슬러지법에 자기장을 적용하여 폐놀의 생분해도를 향상시킨 경우도 있으며(Jung 과 Sofer, 1997), 생물학적폐수처리 단계에 자화시스템을 적용하면 미생물의 활성도가 증가하여 생물학적처리에 매우 유효한 처리를 실시할 수 있으며, pH 7.5에서 자화처리 하지 않은 경우와 비교하면 약 44% 정도의 기질제거속도가 증가한다고 발표된 바 있다(Yavuz와 Celebi, 2000). 또한, 최근에는 반송 파이프에 자화시스템을 설치하여 COD와 질소의 제거효과를 증대시켰다(Tomska와 Wolny, 2008).

본 연구에서는 염색폐수를 고효율포기시스템 단적으로 처리한 경우와 생물처리효율의 향상을 위해 자화처리 시스템을 적용한 후 고효율포기시스템(HRA)을 적용한 결과의 비교실험을 통하여 각 수리학적체류시간별로 연속실험을 통하여 각종 처리효율을 분석하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 실험장치

본 실험에 사용된 원수는 K업체의 폐수처리장 유입수를 대상으로 하였으며, 실험에 사용한 원수의 평균수질은 BOD가 605 mg/L였고 평균 COD_{Mn}은 315 mg/L, pH는 10.6, 그리고 온도는 32.8℃를 나타내었다.

실험에 사용된 실험장치는 Fig. 1에 나타낸바와 같이 고효율포기장치(HRA)는 ϕ 500×1,500H로 실험실 규모의 장치를 제작하였고, 자화시스템(MWS)은 ϕ 100×500H의 원통모양으로 자속밀도가 1T에 달하는 Nd-Fe-B합금자석을 관내부에 배열하여 제작한 중국 대련 자성재료창의 제품을 사용하였으며 실험은 연속식으로 실시하였다. 고효율포기장치의 반응조 내부에는 섬유상 담체를 충전시켜 미생물량을 증대시키고, 동시에 주입되는 공기의 이용효율을 극대화하기 위하여 반응조

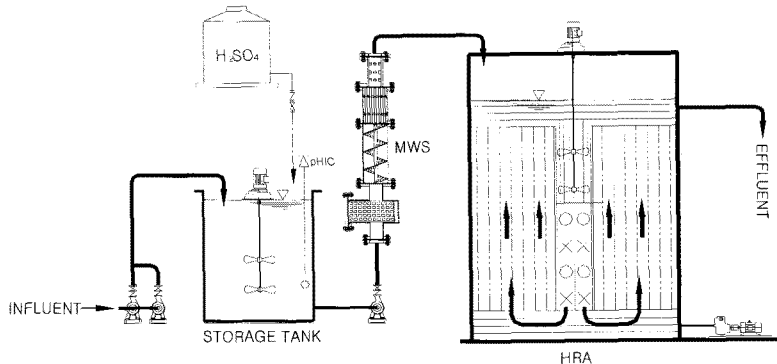


Fig. 1. Schematic Diagram of Pilot-Plant.

형태를 원통형으로 제작하였다. 미생물 활성을 위한 산소의 공급은 송풍기를 이용하여 공급하였으며, 유량계를 이용하여 공기공급량을 조절하였다.

HRA내의 온도는 자동온도조절장치를 사용하여 $25 \pm 1^\circ\text{C}$ 를 유지하였으며, 미생물의 식종은 염색폐수 처리장의 포기조 반송슬러지를 이용하였으며, 포기조내 부족한 영양분을 공급하기 위하여 무기영양분을 공급한 후 한달 동안 순양 후 실험을 실시하였다. 포기조내의 유입원수는 강알칼리성 염색폐수로서 pH 7-8을 유지하기 위하여 황산을 이용한 중화공정을 설치하였다.

2.2. 실험방법

실험은 고효율포기시스템 단독공정으로 수리학적 체류시간을 16시간, 24시간, 30시간으로 변경하면서 실시하였고, 어느 정도 안정한 실험결과가 산출된 후에는 자화처리시설과 고효율포기시스템 공정을 연계한 실험을 통해 자화처리시설의 효율을 비교 분석하였다.

시료분석항목은 pH, DO, BOD₅, COD_{Mn} 등에 대하여 실시하였으며 pH와 DO는 각각 계측기를 이용하여 측정하였고, 그 외의 분석은 수질오염공정시험방법(환경부, 2008)과 Standard methods(Greenberg 등, 1992)에 준하여 실시하였다.

2.3. 고효율포기시스템(HRA)

고효율포기시스템은 기존의 활성슬러지 포기조를 개량한 새로운 형태의 포기조를 채용한 시스템으로서

상부의 Top-mixer와 DIA-pipe mixer를 이용한 신개념의 포기시스템이다. Top-mixer를 이용하여 주입된 공기를 반응조의 하부로 폐수와 함께 혼합시켜 주면서 공급하는 역할을 하고 있으며, 또한 DIA-pipe mixer에 의해 공급된 공기를 보다 작게 만드는 역할을 한다. 즉, 폐수와 접촉한 공기는 Top-mixer에 의해 하부로 공급되면서 와선형을 이루면서 상승하기 때문에 반응기안의 산소의 체류시간을 길게 유지시켜 줌으로서 산소이용율의 극대화와 함께 고농도의 미생물의 유지가 가능하게 된다. 또한 생물학적 지지대를 형성하는 특수한 생물 담체를 설치하여 유입폐수의 분해에 가장 적합한 미생물이 반응기안에서 우점종을 차지할 수 있는 조건을 부여함으로써 일반 산업폐수는 물론 난분해성 폐수(감량폐수, 호발폐수 등)의 처리에 우수한 제거효율을 나타내는 폐수처리 시스템이다.

반응기내에 유입된 폐수는 공기와 생물접촉재의 우수한 조합에 의해 미생물의 탈락 없이 순간적인 유량 또는 농도의 변동에도 안정한 처리가 가능하며, 또한 일반 활성슬러지처리시설의 포기조에서와 같은 미생물의 반송이 필요 없어 기타 부대시설의 축소에 따른 전체 공사비 및 유지관리비의 획기적인 절감을 가져올 수 있으며, 따라서 반응기가 정상적으로 도달하면 미생물 플록은 거의 반응기 외부로 유출되지 않고, 단지 담체에 부착된 일부 미생물의 탈리작용에 의한 부유물질상태로 극소수 유출될 뿐이다(Domey, 1973).

3. 결과 및 고찰

3.1. 고효율포기시스템(HRA)를 이용한 염색폐수처리

3.1.1. 수리학적 체류시간에 따른 처리수 BOD농도변화
 고효율포기(HRA)시스템으로 수리학적 체류시간을 16시간, 24시간, 30시간으로 각각 변경하여 처리한 염색폐수를 BOD농도 결과는 Fig. 2에 나타내었다.

원수의 평균 BOD 농도는 약 605 mg/L로 나타났으며, 수리학적 체류시간을 16시간으로 하여 처리하였을 경우 처리수의 평균농도는 약 40 mg/L, 평균 제거율이 약 93%로 나타났고, 수리학적체류시간을 24시간으로 하였을 경우 처리수의 평균 수질은 22.7 mg/L로 평균제거율은 약 96%를 나타내었다. 그리고 수리학적 체류시간을 30시간으로 했을 경우에는 처리수의 평균농도가 약 14.6 mg/L로서 평균 제거율은 약 98%로 수리학적체류시간이 길수록 처리수가 양호하게 나타났다. 그리고 실험 초기에 농도가 다소 높은 것은 미생물이 환경에 적응하는 적응기(leg time)로서 아직 미생물이 환경에 완전히 적응하지 못하여 처리수질 다소 높게 나타났다.

또한 Fig. 3은 BOD용적부하에 따른 처리수의 농도 변화를 나타내었는데 용적부하가 낮을수록 처리수질이 낮고 제거효율이 높았으며, BOD용적부하가 0.45 kg BOD/m³ · day에서 처리수의 농도가 약 14.9 mg/L로 낮게 나타났으며, 이 때 제거효율은 약 98%로 높게 나타났다. 하지만 BOD 용적부하가 약 0.99 kg BOD/m³ · day에서는 처리수의 농도가 약 72.8 mg/L로 다소 높게 나타났다.

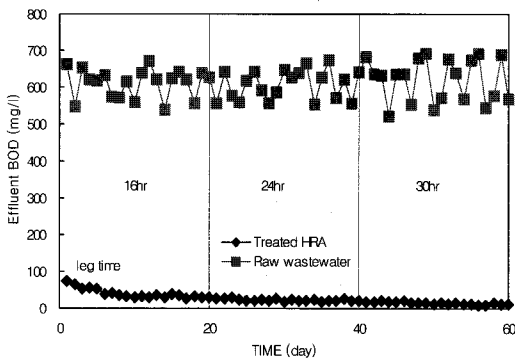


Fig. 2. Variation of BOD by HRT in HRA system.

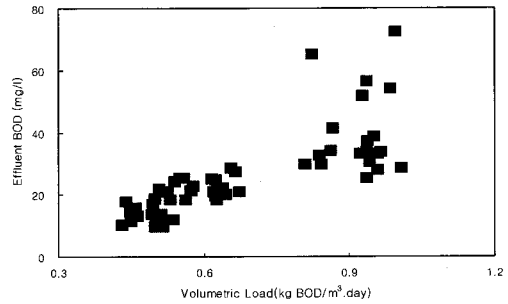


Fig. 3. Variation of Effluent BOD by Volumetric Load in HRA system.

3.1.2. 수리학적 체류시간에 따른 처리수 COD농도 변화

수리학적 체류시간을 16시간, 24시간, 30시간으로 각각 변경하여 고효율포기(HRA)시스템으로 염색폐수를 처리한 COD농도는 Fig. 4에 나타내었다.

고효율포기시스템(HRA)으로 처리전의 염색폐수 평균 COD 농도는 약 315 mg/L로 나타났으며, 수리학적 체류시간을 16시간으로 하여 처리하였을 경우 처리수의 평균농도는 약 106 mg/L로, 평균 제거율이 66%로 나타났고, 수리학적체류시간을 24시간으로 하였을 때의 COD의 농도는 약 72.1 mg/L로 평균 제거율은 약 77.1%를 나타내었다. 또한 수리학적 체류시간을 30시간의 경우 처리수 COD 농도는 약 53.1mg/L로 평균 제거율은 약 83.1%로 수리학적 체류시간이 길수록 처리수 COD농도가 더 낮게 나타났다.

고효율포기시스템 운전 초기에 COD농도가 다소 높게 나타났는데, 이것은 앞에 언급한 바와 같이 수리학적 체류시간에 따른 처리수의 BOD농도변화에서 처럼 미생물이 환경에 적응하는 적응기(leg time)로서 아직 미생물이 환경에 완전히 적응하지 못하여 나타난 것이다.

COD용적부하(kg COD/m³ · day)에 따른 처리수의 농도 변화를 Fig. 5에 나타내었는데, COD용적부하와 처리수질이 비례하여 나타났으며, COD용적부하가 낮으면 처리수질이 낮게 나타났고, COD용적부하가 높으면 처리수질과 제거율이 높게 나타났다. COD용적부하가 0.47 kg COD/m³ · day일 때는 처리수 COD농도가 약 184 mg/L로 나타났으며, 제거율도 약 41.5%로

낮게 나타났고, 용적부하가 $0.23 \text{ kg COD/m}^3 \cdot \text{day}$ 일 때는 처리수의 농도가 약 45.3 mg/L 로 나타났다.

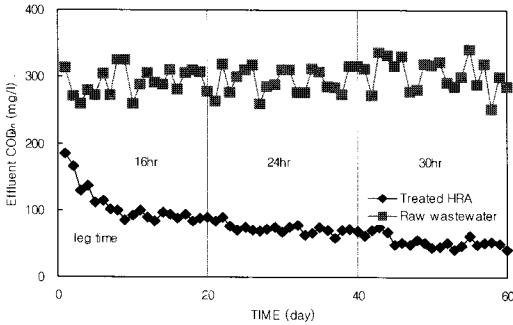


Fig. 4. Variation of COD by HRT in HRA system.

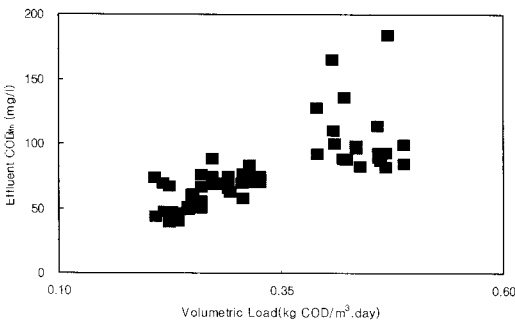


Fig. 5. Variation of Effluent COD by Volumetric Load in HRA system.

3.2. 자화시스템(MWS)+고효율포기시스템(HRA)을 이용한 염색폐수처리

3.2.1. 수리학적 체류시간에 따른 처리수 BOD농도 변화

자화시스템(MWS)와 고효율포기시스템(HRA)을 연계시키고, 고효율포기시스템에서의 수리학적 체류시간 16, 24, 30시간으로 변동시켜서 처리한 처리수의 BOD농도는 Fig. 6에 나타내었다.

염색폐수의 BOD농도가 약 605 mg/L 인 원수를 수리학적체류시간을 16시간으로 하여 처리한 결과 처리수의 BOD 평균농도가 약 34 mg/L 이고, 제거율은 평균 약 94%로 나타났고, 수리학적체류시간을 24시간으로 하였을 때의 처리수 BOD농도는 19.4 mg/L 로 제거율은 약 96.8%로 나타났다. 또한 수리학적 체류시

간을 30시간으로 했을 경우에는 처리수의 BOD농도가 평균 약 11.2 mg/L , 제거율은 평균 약 98.2%로 수리학적체류시간을 길게 할수록 처리수의 BOD농도가 더 좋게 나타났다.

Fig. 7은 BOD용적부하($\text{kg BOD/m}^3 \cdot \text{day}$)변동에 따른 BOD농도변화를 나타내었는데 BOD용적부하가 $0.44 \text{ kg BOD/m}^3 \cdot \text{day}$ 일 때는 처리수의 농도가 약 11.2 mg/L 로 낮게 나타났으나 BOD용적부하가 $0.96 \text{ kg BOD/m}^3 \cdot \text{day}$ 일 때는 BOD농도가 농도가 약 35 mg/L 로 나타났다.

고효율포기시스템 단독으로 염색폐수를 처리하는 경우와 자화시스템과 고효율포기시스템을 연계하여 염색폐수처리 할 경우를 비교해보면 수리학적체류시간을 24시간으로 했을 시 BOD농도가 각각 22.7 mg/L 와 19.4 mg/L 를 나타냄으로서 자화처리실시에 의해 후단의 생물처리효율이 상승되는 것으로 판단된다.

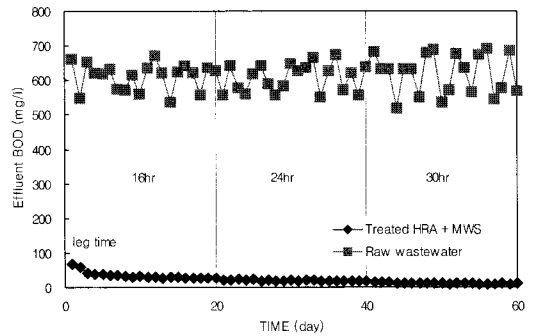


Fig. 6. Variation of BOD by HRT in MWS+HRA system.

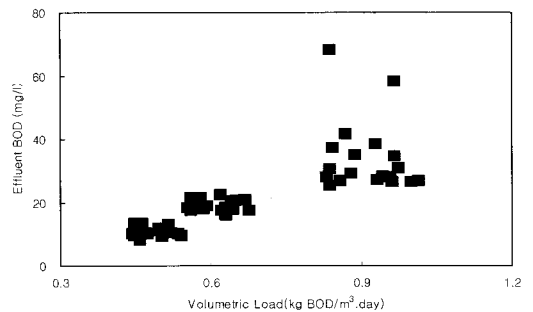


Fig. 7. Variation of Effluent BOD by Volumetric Load in MWS+HRA system.

3.2.2. 수리학적 체류시간에 따른 처리수 COD농도 변화

자화시스템(MWS)을 통과한 폐수를 고효율포기시스템(HRA)로 수리학적 체류시간 16, 24, 30시간으로 변화시켜 처리한 처리수의 COD농도는 Fig. 8에 나타내었다.

원수의 COD농도가 약 315 mg/L인 염색폐수를 수리학적체류시간 16시간으로 하여 처리한 결과 COD 농도는 94 mg/L이고, 제거율은 평균 약 70.2%로 나타났고, 수리학적체류시간을 24시간으로 하였을 때의 처리수 COD농도는 평균 약 62.6 mg/L로 제거율은 평균 80.1%를 나타내었다. 그리고 수리학적 체류시간을 30시간으로 했을 때는 COD농도가 평균 약 42.3 mg/L로 제거율은 평균 약 86.6%로 수리학적체류시간이 길어질수록 처리수의 COD농도가 양호하였다.

Fig. 9는 COD용적부하(kg COD/m³ · day)에 대한 COD농도 변화를 나타내었는데 COD용적부하가 0.44 kg COD/m³ · day일때 처리수의 농도는 약 76 mg/L로 나타났고, COD용적부하가 0.22 kg COD/m³ · day일때 COD농도는 약 34mg/L로 나타났다.

자화시스템과 고효율포기시스템을 연계하여 염색 폐수처리 한 경우가 고효율포기시스템 단독으로 염색 폐수를 처리하는 경우보다 다소 수질이 양호했고, 수리학적체류시간을 똑같이 30시간으로 했을시 COD농도가 각각 평균 약 42 mg/L, 53 mg/L로 자화시스템과 고효율포기시스템을 연계하여 염색폐수처리 할 때 처리가 잘되고 있음을 보여 주었다.

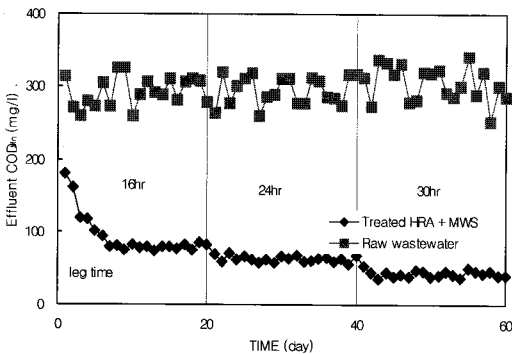


Fig. 8. Variation of COD by HRT in MWS+HRA system.

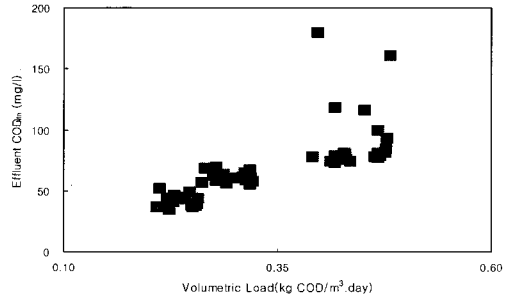


Fig. 9. Variation of Effluent COD by Volumetric Load in MWS+HRA system.

이러한 현상은 생물학적 처리공정의 전단계에서 강한 자기장으로 자화된 폐수는 자기에너지로 인해 물분자에 포함된 원자가전자나 결합전자의 전이확률과 분자의 분포가 바뀌어지며 H₃O⁺와 OH⁻ 같은 하전입자의 증가로 인한 전기전도도의 증가가 처리 효율에 영향을 미치는 것으로 추측된다(Pang과 Deng, 2008).

4. 결론

염색폐수를 대상으로 자화처리의 효율을 검토하기 위하여 고효율포기시스템과 자화시스템+고효율포기시스템의 연계한 시스템의 처리효율을 검토 분석한 결과는 다음과 같다.

1. 고효율포기(HRA)시스템으로 평균 BOD 농도는 약 605 mg/L인 염색폐수를 수리학적 체류시간을 16시간, 24시간, 30시간으로 각각 변경하여 처리한 결과, 처리수의 평균 BOD농도는 16시간으로 하였을 때 약 40 mg/L, 평균 제거율이 약 93%로 나타났으며, 24시간으로 하였을 때 약 22.7 mg/L, 평균제거율이 약 96%를 나타내었다. 그리고 30시간으로 했을 때의 BOD농도는 약 14.6 mg/L로 평균 제거율 약 98%를 나타내었다.

또한 COD는 약 315 mg/L 폐수를 수리학적 체류시간 16시간, 24시간, 30시간으로 하였을 경우의 처리수 COD농도는 각각 106 mg/L, 72.1 mg/L, 53.1 mg/L를 나타내었다.

2. 자화시스템과 고효율포기시스템을 연계시켜서 수리학적 체류시간 16, 24, 30시간으로 변동하면서 처리한 처리수의 평균 BOD농도는 각각 약 34 mg/L, 19.4 mg/L, 11.2 mg/L로 나타났으며, 평균 제거율도 각각 약 94%, 96.8%, 98.2%를 나타내었다.

또한 처리수 평균 COD농도도 각각 약 94 mg/L, 62.6 mg/L, 42.3 mg/L로 나타났다.

3. 고효율포기시스템 단독공정에서 BOD용적부하 0.45 kg BOD/m³ · day에서 처리수 농도는 14.9 mg/L, 자화처리+고효율포기시스템을 연계한 처리공정에서의 BOD용적부하 0.44 kg BOD/m³ · day의 처리수는 11.2 mg/L를 나타냈으며, COD용적부하의 경우 전자의 경우 COD용적부하가 0.47 kg COD/m³ · day일 때는 처리수 COD농도가 약 184 mg/L로 나타났으며, 후자의 경우 COD용적부하가 0.44 kg COD/m³ · day일 때 처리수의 농도는 약 76 mg/L로 나타났다.

참 고 문 헌

박영규, 1991, 염색가공공장의 폐수처리기술”, 한국염색가공학회지, 1-40.
 박영규, 이철희, 양용운, 1996, 염색공업단지 폐수처리장의 유입폐수 특성, 환경연구, 15(2), 1-8.
 한국섬유기술진흥원, 1994, 섬유산업의 용·폐수관리.
 환경부, 2008, 수질오염공정시험방법.
 邪新會, 本多裕之, 白神直弘, 海野舉, 1991, 流動多孔質擔體に擔體される有機質廢水磁化微生物群の特性, 化學工學論文集, 17(3), 314-325.
 日本中小企業振興協會, 1992, 染色工業と排水公害.
 豊田環吉, 1976, 染色工業ニオケル排水處理, 10, 78-94.
 Baker, J. S., Judd, S. J., 1996, Magnetic amelioration of scale formation Magnetic amelioration of scale formation, Water research, 30(2), 247-260.
 Domey, W. R., 1973, Design parameters and performance of biological systems for textile plant effluent, Proc., 28th Purdue Ind., Waste Conf., 438.

Fathi, A., Mohamed, T., Claude, G., 2006, Effect of a magnetic water treatment on homogeneous and heterogeneous precipitation of calcium carbonate, Water research, 40(10), 1941-1950.
 Gabrielli, C., Jaouhari, R., Maurin, G., 2001, Magnetic water treatment for scale prevention, Water research, 35(13), 3249-3259.
 Greenberg, A. E., Clesceri, L. S., Eaton, A. D., 1992, Standard Methods, 18th ed., American Public Health Association, Washington, 5/1-5/10.
 Hegemann, W., 1984, A combination of the activated sludge process with fixed film biomass to increase the capacity of wastewater treatment plant, Water Science Tech., 16, 119-130.
 Higashitani, K., Okuhara, K., Hatade, S., 1992, Effects of magnetic fields on stability of nonmagnetic ultrafine colloidal particles Effects of magnetic fields on stability of nonmagnetic ultrafine colloidal particles, J. of colloid and interface sci., 152(1), 125-131.
 Japan International Cooperation Agency, 1993, Final report for the study on industrial wastewater treatment and recycling project in the republic of Korea.
 Jung, J., Sofer, S., 1997, Enhancement of phenol biodegradation by south magnetic field exposure, J. Chem. Technol. Biotechnol., 70, 229-303.
 Kobe, S., Drazic, G., McGuinness, P. J., 2003, Control over nanocrystalization in turbulent flow in the presence of magnetic fields, Mater. Sci. & Eng. C, 23, 811-815.
 Metcalf, Eddy, 1991, Wastewater Engineering treatment disposal and reuse, 3th ed, McGraw-Hill.
 Pang, X. F., Deng, B., 2008, The changes of macroscopic features and microscopic structures of water under influence of magnetic field, Physica B 403, 3571-3577.
 Tomska, A., Wolny, L., 2008, Enhancement of biological wastewater treatment by magnetic field exposure, Desalination, 222, 368-373.
 Yavuz, H., Celebi, S. S., 2000, Effects of magnetic field on activity of activated sludge in wastewater treatment, Enzyme & Microbial Technology, 26(1), 22-27.