

조합형 분리막 공정을 이용한 염색폐수의 재이용 연구

박 헌 휘[†] · 최 호 상*

호서대학교 환경공학과 · 경일대학교 화학공학과*
(2002년 3월 13일 접수, 2002년 5월 28일 채택)

Reusing of Dye Wastewater through Combined Membrane Process

Hun Hwee Park[†] and HoSang Choi*

Dept. of Environ. Eng., Hoseo University, Chungnam 336-795, Korea

*Dept. of Chem. Eng., Kyungil University, Kyungbuk 712-701, Korea

(Received March 13, Accepted May 28, 2002)

요 약 : 침지형생물막 반응조와 역삼투막을 이용하여 염색폐수를 공업용수로 재이용하기 위한 실험을 수행하였다. 실험실과 현장의 pilot plant 실험 결과 20-25 cmHg의 흡인압력으로 10 LMH($l/m^2 \cdot hr$)의 투과유속을 얻었다. 침지형생물막 반응조에서 COD_{Cr}, COD_{Mn} 및 T-N의 제거율은 각각 93%, 90%, 60%로 나타났다. 난분해성 물질과 총질소의 제거효율을 높여서 염색폐수를 공업용수로 재이용 하기 위한 침지형생물막 반응조와 역삼투막(SMBR+R/O)을 조합한 공정을 수행한 결과, 질소제거율이 80% 이상으로 총질소 농도를 15 mg/L를 얻었다. 조합공정은 염색폐수를 공업용수로 재이용하기에 적합하였다.

Abstract : Submerged membrane bioreactor(SMBR) and reverse osmosis(R/O) systems treated dye wastewater for reusing of industrial water. The permeate fluxes of SMBR at 20-25 cmHg of lab. test and field test were 10 LMH($l/m^2 \cdot hr$) all test. Removal efficiencies of COD_{Cr}, COD_{Mn} and T-N were 93%, 90% and 60% in the SMBR, respectively. The advanced treatment of combined process(SMBR+R/O) was accomplished for increasing the removal efficiency of non-biodegradable materials and T-N. Therefore, the removal efficiency of T-N obtained in 80% above, then nitrogen concentration was under 15 mg/L. The combined process(SMBR+R/O) was suitable to reuse of the dye wastewater.

Keywords : submerged membrane bioreactor, dye wastewater, combined process

1. 서 론

염색공장의 폐수에는 염료, 염제 등 많은 종류의 환경오염물질이 함유되어 있으며, 이러한 성분은 탈수, 탈색 및 세정과정에서 엄청난 양의 물과 함께 배출된다. 특히, 염색폐수의 최대 문제인 색도에 대해서는 정량적인 규제가 제대로 이루어지지 않아 폐수에 색이 남아 있는 채로 방류되고 있으며, 일부에서는 규

정을 지키지 않고 무단 방류하는 일도 발생하고 있다. 염색폐수의 특징으로는 다양한 제조공정에 따른 유기·무기폐수가 발생하며, 폐수의 양과 성상이 시간에 따라 변화가 크고 COD/BOD가 1.5~56까지인 난분해성 폐수이다. 이러한 폐수의 처리법으로는 크게 화학적 처리와 생물학적 처리로 구분할 수 있는데, 화학적 처리는 응집·침전처리, 산화제처리법 등이 있으며, 생물학적 처리로는 활성슬러지법이 대표적이거나 단일 방법만으로는 적절한 처리를 할 수 없으므로 여러 방법을 조합 또는 연계하는 것이 보다 더 효율을 증가시

[†]주저자(e-mail : parkhh@office.hoseo.ac.kr)

킬 수 있다. 최근 생물학적 처리방식은 기존의 활성슬러지 공법에서 막분리를 이용한 처리공법으로 진행되고 있다. 현재 진행되고 있는 막분리 활성슬러지 공정(이하 "침지형생물막 반응법")은 종래의 활성슬러지 보다 처리효율이 높고, 공정의 안정성과 신뢰도가 높으며, 공정 운전 및 유지관리가 비교적 간단하며 협소한 공간에도 설치가 가능하다는 장점이 있어 연구개발이 활발히 진행되고 있다[1-3]. 침지형생물막 반응조는 고액분리를 주로 중력침전에만 의존하던 기존의 활성슬러지법에 막분리를 이용한 막의 차단효과로 인하여 슬러지체류시간(SRT)의 극대화가 가능하여 질산화를 유도할 수 있으며, 반응기 내의 낮은 F/M비를 유지하여 잉여 슬러지 발생을 줄이고, 폐수의 특성에 맞는 특정 미생물을 성장 및 유지시킬 수 있다[1,4,5]. 침지형생물막 반응공정은 낮은 흡인압력으로 운전이 가능하여 동력비가 적게 소모됨과 동시에 펌프를 이용하여 분리하므로 간단하고 부지 소요면적이 적은 이점이 있다. 또한, 순환 펌프와 막 모듈 사이의 높은 전단응력에 의하여 미생물 세포나 효소와 같은 생물촉매(biocatalyst)의 활성을 줄일 수 있기 때문에 이러한 분리막을 이용한 처리공정은 폐수처리 방식에 새로운 대안으로 제시되고 있다[7].

본 연구에서는 앞으로 수처리 분야에 침지형생물막 반응조가 차지하는 역할이 계속 증대될 것으로 예상되는 가운데, 기존의 활성슬러지 공정과 막분리법을 결합한 침지형생물막 반응법과 장래의 물 부족을 해결하고 환경에 위해성을 최소화 할 수 있도록 역삼투막을 도입하여 염색공정의 세정수와 폐수를 공업용수로 재이용하기 위한 공정을 개발하고자 하였다.

2. 실험

2.1. 염색폐수의 성상

본 연구에서는 K시 소재 B염색공장의 폐수를 채취하여 4℃에서 보관하면서 Lab. 실험을 실시하였으며,

공장 내에 나염 후 발생하는 염색 폐수 근원지에서 1.5톤 규모의 pilot plant를 운전하였다. 채취한 시료의 성상은 Table 1과 같다. 본 실험에서 사용된 분석 방법은 COD_{Cr}, COD_{Mn}, BOD₅, T-P, T-N, 색도, 탁도 및 conductivity이며 환경오염공정시험법과 standard methods에 준하여 분석하였다.

2.2. 응집실험

나염 후 세정폐수 중에 들어 있는 부유물질 및 호제 성분을 제거하기 위해 응집공정을 도입하였으며, 최적의 응집제 선정에 위해 실험실에서 jar-test를 실시하였다. 무기응집제로 FeCl₃, Fe₂SO₄, 고분자응집제로 음이온계와 양이온계를 단독 또는 조합하여 응집 실험을 실시하였으며, 실험실에서 결정된 응집제를 pilot plant 운전에도 도입하였다.

2.3. 침지형생물막 반응조 실험

2.3.1. Lab. 실험

응집 처리수를 활성슬러지에 의해 호기성으로 처리하기 위한 기초실험은 Lab.에서 실시하였으며 실험조건은 35 L의 아크릴 재질의 회분식 반응조를 이용하였다. 하부에 미생물성장에 필요한 산소의 공급, 슬러지 및 유입원수의 완전혼합을 위해 air blower와 bubble diffuser를 설치하였다. 반응조 중심부에 정밀여과막 모듈을 설치하여 처리수는 외부에 있는 흡인 펌프에 의해 슬러지와 고액분리 된 처리수를 투과하여 처리수를 얻을 수 있게 하였다. 사용한 정밀여과막 모듈은 이엔이(주)에서 제조된 제품으로 실험을 위해 0.2 m²의 막 면적을 가지며, 특성은 Table 2에 나타내었다. 온도는 20±0.5℃로 유지하였으며, HRT는 3일로 유지하였다.

2.3.2. Pilot Plant 실험

염색공장 내에 발생된 폐수를 응집시킨 후 저장조에 저류시켜 총 1.5톤 규모의 2단 폭기조로 정량펌프

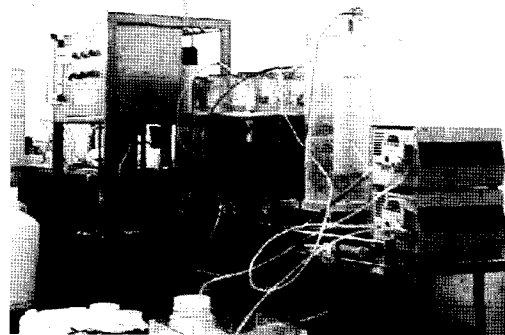
Table 1. Characteristics of Dye Wastewater

Items	Unit	Average	Range
pH	-	4.2	3.9 - 4.3
COD _{Cr}	mg/L	18,500	17,000 - 20,000
COD _{Mn}	mg/L	4,800	4,000 - 5,500
BOD ₅	mg/L	5,500	5,000 - 6,000
T-P	mg/L	25	20 - 30
T-N	mg/L	280	250 - 300
Colority	m ⁻¹	550	500 - 600
Turbidity	NTU	3,800	3,500 - 4,000
Conductivity	μs/cm	5,600	5,000 - 6,000

Table 2. Characteristics of MF Module

Type	Hollow Fiber	
Filtration Method	Suction	
Backwashing	Water	
Pore Size	0.2 μm	
Operation Condition	Suction Pressure pH(normal)	<40 cmHg 2-10
Module	Material	Polysulfone
	ID/OD	0.7/0.11
	Area	0.2 m^2
Running & Pause	10 min/2 min	

에 의해 유입시켰다. 운전조건은 Lab. 실험과 동일한 조건에서 운전하였다. 사용된 막은 면적이 5 m^2 인 모듈을 사용하였고, 공정의 온도는 항상 상온으로 유지하였다. 활성슬러지조에 침지된 정밀여과막에서 투과된 처리수를 재이용수로 처리하기 위한 R/O막은 폴리아미드(Polyamide)재질의 나권형 모듈로 Dia. 4"인 Filmtec社(미국) 제품을 사용하였으며, 설비는 자체 제작하였다. 염색폐수의 재이용을 위한 처리공정은 Fig. 2에 도시하였고, Fig. 3은 실험실 장치와 현장의 pilot plant 실험 장치이다.



Lab. test unit

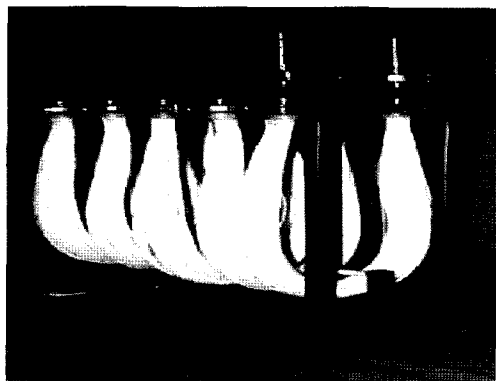


Fig. 1. Photograph of hollow fiber membrane module used.



Pilot test unit

Fig. 3. Photographs of lab. and pilot test units.

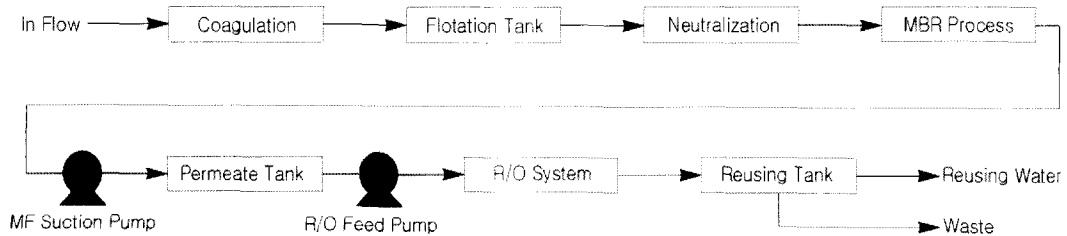


Fig. 2. A schematic diagram of dye wastewater reusing system.

Table 3. Coagulation Test by Inorganic Coagulants

Type	Dose (mg/L)	NaOH (mg/L)	COD _{Mn} (mg/L)
FeCl ₃	0	-	4,100
	40	340	2,620
	100	340	2,580
	200	390	2,660
	400	480	2,540
	800	630	2,560
Fe ₂ SO ₄	40	324	2,900
	100	330	2,967
	200	350	2,900
	400	380	2,767
	800	430	2,830

3. 결과 및 고찰

3.1. 응집실험결과

염색폐수의 부유물질 및 호제를 제거하기 위해 무기 및 고분자 응집제를 300 mL 시료에 농도를 달리 하여 주입한 후 처리 결과를 분석하였다. 무기 응집제와 고분자 응집제의 효율은 주입량에 따라 차이는 있지만, Table 3에 나타난 COD_{Mn}의 결과에서 알 수 있듯이 모두 비슷한 처리 효율을 보이고 있으나, 무기 응집제로 사용된 철염은 응집 후 색도를 유발하는 문제점과 응집 후 중화를 위해 과량의 NaOH 주입을 유발하여 차후 처리수의 재이용을 위한 R/O 시설의 운전효율을 저하시킬 것으로 예상된다. 또한 고분자응집제에 비해 주입량이 매우 큰 것을 알 수 있다. 고분자 응집제의 주입량은 양이온계와 음이온계의 조합이 25/10 mg/L 이하의 농도로 주입되었을 때 응집된 플록의 결합력이 약하여 쉽게 분산되는 현상이 일어났다. 반면에 그 이상의 고분자 응집제의 주입은 처리수의 투명도가 저하되는 백탁현상이 발생되었는데, 이것은 응집제의 용해도가 저하되어 나타나는 현상으로 처리수의 수질이 저하되는 원인이 된다. 따라서 COD_{Mn} 제거율과 응집제의 효율적인 적용을 위한 적정 응집제로는 고분자 응집제를 선정하였고, 주입량은 양이온계 25 mg/L과 음이온계 20 mg/L로 응집 조건을 설정하였으며 결과를 Table 4에 나타내었다.

3.2. 침지형생물막 반응조 실험

3.2.1. 유입폐수 성상

응집처리 전후의 폐수의 특성을 비교하여 Table 5에 나타내었으며, pilot test에서도 비슷한 값을 얻을

Table 4. Coagulation Test by Polymer

Cation mg/L	Anion mg/L	Turbidity (NTU)	Color (r(m ⁻¹))	COD _{Mn} (mg/L)
0	0	3,700	540	4,200
5	3	390	95	2,930
3	5	398	73	2,900
5	5	350	87	2,820
10	5	312	55	2,780
25	10	308	56	2,560
25	20	508	85	3,460

Table 5. Comparison before and after Coagulation Treatment

Items	Unit	Before	After
pH	-	4.2	7.1
COD _{Cr}	mg/L	18,500	12,000
COD _{Mn}	mg/L	4,800	2,800
BOD ₅	mg/L	5,500	3,300
T-P	mg/L	25	<10
T-N	mg/L	280	<200
Colority	m ⁻¹	550	<100
Turbidity	NTU	3,800	<500
Conductivity	μs/cm	5,600	>5,500

수 있었다.

염색폐수를 중화 후 응집처리 후에도 COD_{Cr}의 값이 매우 높은 값을 유지하고 있었는데, BOD₅ 값과 비교하면 BOD₅/COD_{Cr} 값이 0.275 정도로 난분해성 물질이 상당량 존재하는 것을 알 수 있다. 사용된 고분자 응집제에 의해 유기물 및 인의 제거율은 40% 이상의 제거율을 보였으며, 색도와 탁도는 80%로 높은 제거효율을 나타내었다. 그러나 conductivity는 중화를 위해 주입된 NaOH의 영향으로 원수와 비슷한 값을 유지하였다.

3.2.2. 흡인압력에 따른 투과플럭스의 변화

Lab. 실험기간 중에 활성슬러지조의 MLSS 농도는 초기 2,000-2,500 mg/L의 농도에서 2주 정도의 안정화 단계를 거치면서 점진적으로 증가하였으며, 이때 인위적으로 반응조의 폭기를 멈추고 MLSS를 정지시킨 후 상등수를 폐기하는 것을 주기적으로 실시하였다. Fig. 4에 도시한 것과 같이 실험시작 약 2주 후에는 5,000-6,000 mg/L의 범위 내에서 유지시키면서 활성슬러지조에 침지된 정밀여과막을 통하여 10분 운전, 2분 정지의 간헐 흡인여과를 실시하였다. 이때 적

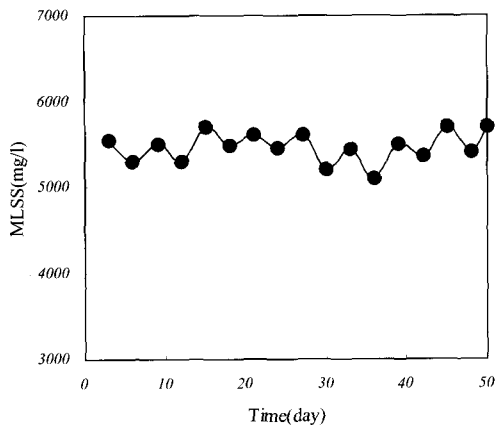


Fig. 4. Variation of MLSS concentration in long-term test of lab.

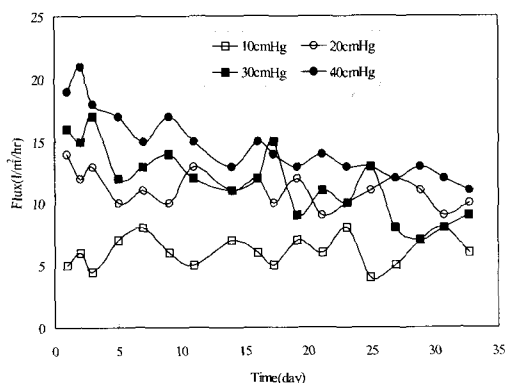


Fig. 5. Permeate flux versus suction pressure in long-term test of lab.

용된 흡인압력은 10, 20, 30 그리고 40 cmHg이었다. Fig. 5는 흡인 압력의 증가에 따른 일 총 투과수량을 분리막 면적에 대한 투과 플럭스로 도시한 것으로 압력이 증가함에 따라 투과수량이 증가하는 것을 알 수 있다. 흡인압력이 10 cmHg 부근에서는 투과수량이 현저히 낮아서 공정에 적용할 모듈의 실소요량이 상당히 클 것으로 예상된다. 30 cmHg 이상의 압력에서는 15 LMH(l/m²/hr) 이상의 투과수율을 얻을 수 있었으나, 투과시간이 지속됨에 따라 투과수량의 감소 폭이 현저히 저하됨이 관찰되었다. Fig. 5는 10분 운전, 2분 휴기를 반복하는 간헐운전에도 초기의 투과수량으로 회복시키는데는 난점이 있음을 보여주고 있다. 이것은 초기 운전압력이 정밀여과막에 분리를 담당하는 공경에 지대한 역할을 하는 것으로 판단되며, 차후 연구가 뒷받침되어야 할 것이다. 침지형생물막 반응조에서 여과특성으로 인해 용해성 유기물의 축적이 막

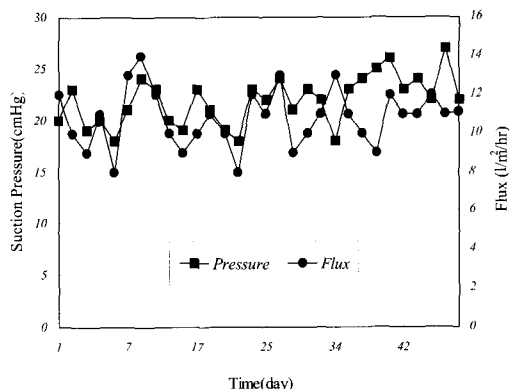


Fig. 6. Variation of flux and suction pressure in long term test of lab.

의 투과성능과 반응조내 미생물활성에 많은 영향을 주어서 막면 부착층으로 인해 막 투과유속이 시간적으로 감소하는 큰 문제점이 있다. 이러한 용해성분은 주로 고분자물질로 구성된 막면 내부에 막힘현상을 가져온다고 보고되고 있으며, 이러한 막투과 유속에 저하를 주는 용해성 성분은 주로 생물대사과정에서 생산된 생물대사성분(Soluble Microbial Products, SMP)이라고 보고되고 있으며[8], 이러한 대사물질이 막 표면에 gel 층을 형성하여 여과저항이 증대됨은 물론 투과수량의 감소의 원인이 되는 것으로 보고되고 있다[9]. 또한 흡인압력과 침지형 분리막에서 투과수량의 감소를 연구한 Chang의 연구[10]에서 여과저항이 압력의 증가로 이어지며, 결국은 투과수량의 감소를 초래한다고 보고하였다. 따라서 적절한 투과수량을 위해 초기에 과도한 흡인압력으로 운전하는 것은 가능한 억제하는 것이 필요하며, 장기간의 안정된 운전을 위해서도 반드시 요구된다. 하수[11] 및 침출수[2]에서 침지형분리막의 투과 플럭스가 약 10 LMH(l/m²/hr)로 보고되고 있어, 본 실험에서 10분 운전 2분 정지의 간헐운전을 통하여 10 LMH(l/m²/hr)의 플럭스를 운전목표로 하여 운전을 실시하였으며, 이때 20±5 cmHg의 흡인압력을 나타내었으며, Fig. 6에서 보는 것과 같이 실험기간 중 10분 운전과 2분 정지를 반복하는 간헐운전에서 목표 플럭스인 10 LMH(l/m²/hr)에서 약 20% 정도의 변동을 보이고 있으나, 이는 공정의 안전을 범위 내로 전체 공정의 문제를 주지는 않았다.

3.2.3. 유기물 제거

침지형생물막 반응조를 이용한 활성슬러지법의 처리효율은 COD_{Cr}과 COD_{Mn}으로 분석하였는데, 경과시

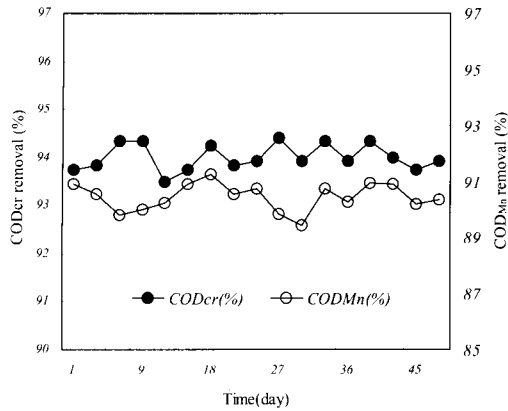


Fig. 7. Variation of COD_{cr} and COD_{Mn} treatability of lab. test.

간에 따른 COD 변화를 Fig. 7에 도시하였다. 유입수의 농도는 10% 내의 변화를 나타내었지만 평균 처리효율은 90% 정도를 모두 유지하였다. 이처럼 처리효율이 일정하게 유지되는 것은 폭기조 내의 MLSS 농도가 비교적 고농도인 5,000-6,000 mg/L를 유지하고 있어서 안정된 처리효율을 나타내는 것으로 판단된다. 그러나 90% 이상의 고효율의 처리를 거친 후에도 잔존하는 유기물의 농도는 COD_{cr}과 COD_{Mn} 각각 600-750 mg/L, 200-300 mg/L이며 색도도 여전히 존재하기 때문에 목적하는 공업용수로의 재이용을 위해서는 고도처리방식인 역삼투막을 도입하여 침지형 분리막 처리수를 정제할 필요성이 있다.

3.3. 침지형생물막 반응조와 역삼투막을 조합한 pilot test 실험결과

Lab. 실험의 결과에서 공업용수로 재이용하는데 난분해성 물질과 색도 등을 제거하기 위한 공정으로 역삼투막 공정을 적용하는 것이 타당하다고 판단되며, 조합공정으로 침지형 분리막+역삼투막 법을 염색폐수 재이용 공정에 적용하고자 하였다.

Lab. 규모의 예비 실험을 토대로 하여 현장 pilot plant 실험은 적용폐수가 발생하는 염색공장의 내부에서 실시하였다. 배출된 염색폐수는 1차로 중화 및 응집·침전을 거쳐 생물반응조의 유입원수로 사용하였다. 1.5톤 규모의 활성슬러지 폭기조를 2단으로 설치하였으며, 2단 반응조에 5 m²의 침지형분리막 모듈을 설치하였다. 침지형생물막 반응조의 분리막은 10분 운전과 2분 휴기를 반복하며 흡인 펌프에 의해 처리수를 저장조로 배출하며, 저장된 처리수를 공업용수로 재이용하기 위해 R/O 시스템으로 공급 펌프에 의해 주입하였다.

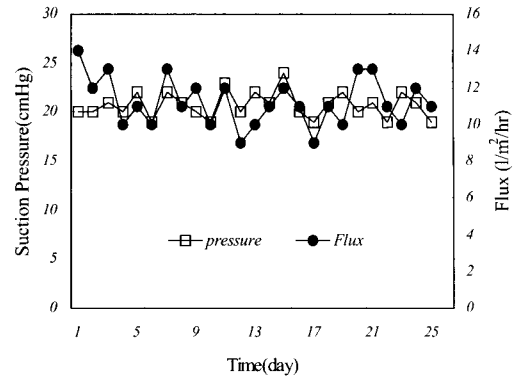


Fig. 8. Variation of flux and suction pressure at pilot test.

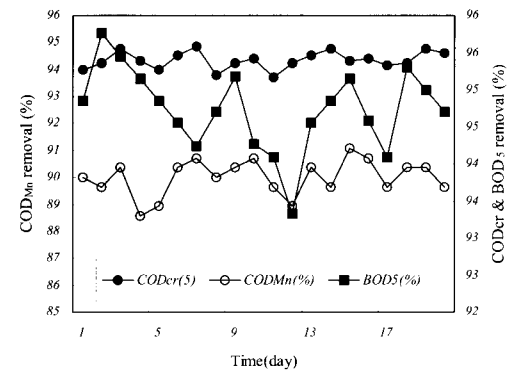


Fig. 9. Removal efficiency of COD_{cr}, COD_{Mn} and BOD₅ at pilot test.

3.3.1. 침지형 분리막의 투과유량

Lab. 실험을 기초로 선정된 흡인압력인 20 cmHg의 흡인압력을 현장시험에 적용하여 30일 동안의 현장 실험기간 동안의 흡인압력과 투과유량 변화를 Fig. 8에 도시하였다. 이때 흡인 압력은 18-28 cmHg의 범위로 유지시켰으며, 투과유량은 평균 10 LMH (l/m²/hr)를 유지하는 것으로 나타났다. Pilot plant를 공장 내부에 설치하였기 때문에 항상 실온을 유지할 수 있어서 온도변화에 의한 영향은 고려하지 않았다.

3.3.2. 유기물 제거

현장실험에서 유기물 제거효율을 Fig. 9에 도시하였는데, 유기물 제거성능은 Lab. 실험과 유사한 값을 나타내었다. COD_{cr}과 COD_{Mn} 값은 90% 이상의 높은 제거율을 보였으나, 처리효율은 실험기간의 일정성에 따라 변동이 있음을 알 수 있다. 이것은 염색공정에서 배출되는 폐수의 부하가 일정하지 못한 점과 저류조에서 채취된 폐수의 부하가 일정하지 못하기 때문으로

로 판단된다. 90% 이상의 제거율에도 잔존된 난분해성 물질의 양이 상당부분 남아있어 침지형생물막 반응조의 처리에는 한계가 있다.

Fig. 9에서 보여지듯이 BOD₅의 경우 90% 이상의 처리효율을 나타내었으며, 부하변동에도 불구하고 비교적 안정된 제거 특성을 나타내었다. 이것은 침지형 분리막조의 미생물이 고농도로 유지되어 나타난 결과로 판단된다. 침지형생물막 반응조에서 투과된 처리수는 유입수의 성상에 관계없이 SS들이 모두 제거되어 후단의 R/O 공정에 안정된 유입수를 공급할 수 있을 것으로 판단되었다.

3.3.3. 질소 및 인 제거

Fig. 10에 도시한 것과 같이 총질소 및 총인인 경우 각각 60%와 50% 이상의 처리 효율을 보였다. 이것은 질산화를 유도하는 미생물의 생장기간이 길고, 유입원수가 높은 부하로 유입됨에 따라 질산화 균의 생장에 저해를 주었기 때문으로 판단된다. 보다 더 높은 제거율을 얻기 위해서는 전단에 혐기성 분해를 통한 유기물 부하의 감소 및 무산소 혐기조 등을 침지형생물막 반응법과 조합시키면 보다 더 높은 처리효율과 안정된 처리수를 기대할 수 있을 것으로 사료된다.

3.4.4. R/O 처리 결과

R/O 공정의 운전압력은 conductivity의 제거율을 기준으로 설정하였으며, conductivity는 현재 공장에서 이용되고 있는 공업용수를 기준으로 하였다. 현재 공장의 공업용수는 지하수를 이용하고 있으며, 지하수의 conductivity는 200-300 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 정도의 값을 가진다. Fig. 11에서 나타나듯이 공급압력이 증가함에 따라 회수율의 증가폭은 크지 않으며, 15 kg/cm^2 의 공급압력

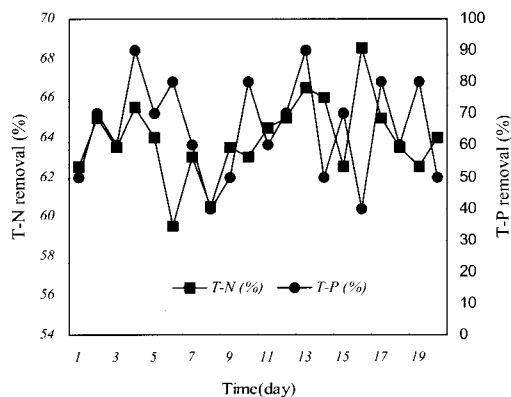


Fig. 10. Removal efficiency of T-N and T-P at pilot test.

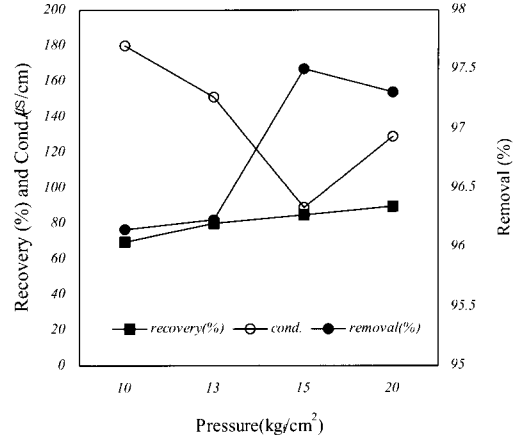


Fig. 11. Recovery versus removal efficiency of conductivity with R/O system.

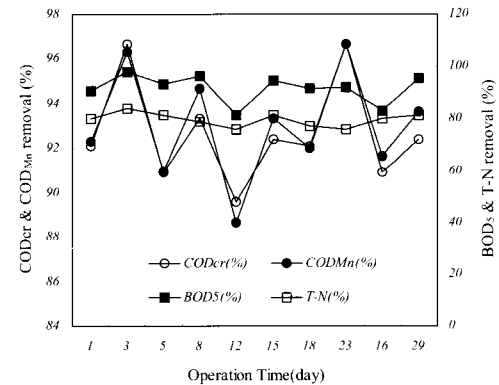


Fig. 12. Removal efficiency of pollutants with R/O system.

에서 높은 conductivity 제거율과 80%의 안정된 회수율을 얻을 수 있었다. Fig. 12에 도시한 것과 같이 R/O 처리 결과 대부분의 유기물이 제거되었는데, 질소의 제거율은 80% 이상으로 15 mg/L 이하의 농도를 얻을 수 있었다. 이것은 현재의 공업용수의 수질기준에 만족할 수 있는 결과를 나타내었다. 4차에 걸쳐 침지형 분리막과 R/O 공정의 조합은 처리수를 염색공정의 세척수로 재사용이 가능함을 확인하였으며, 정밀여과 침지막은 처리수량의 급격한 감소 없이 안정된 투과수량과 완전한 SS의 배제로 R/O 설비의 안정적인 처리능력을 유지시킬 수 있었다.

4. 결 론

침지형분리막과 역삼투막을 적용하여 염색공장의

폐수를 공업용수로 재이용하기 위한 조합형 공정을 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 염색폐수는 고분자응집제로 응집한 결과 45% 이상의 COD_{Mn} 제거율을 얻었다.
- (2) Lab. 실험과 현장의 침지형생물막 반응조는 운전압력 20-25 cmHg에서 평균 10 LMH(l/m²/hr)의 유량으로 운전이 가능하였으며, 유기물의 제거는 COD_{Cr} 제거율 93% 이상, COD_{Mn} 제거율 90% 이상으로 안정된 처리가 가능하였다. 현장 실험에서 질소의 제거율이 60% 정도로 탈질을 위한 고도처리가 요구되었다.
- (3) 침지형생물막 반응조와 R/O의 조합 공정을 도입하여 운전한 결과 유기물 제거면에서 BOD₅, COD_{Cr}, COD_{Mn}, Conductivity 모두 공업용수에 적합한 결과를 나타내었으며, 생산된 용수는 공업용수로 재이용이 가능하였다.

참 고 문 헌

1. Weston, Roy F., Inc., "Emerging technology assessment of phostrip, A/O, and Badenpho process for biological phosphorus", USEPA contract No. 68- 03-3055, February (1985).
2. M. S. Kang, K. H. Choi and S. S. Son, "A study on the treatment of leachate using combined membrane process," *membrane Journal*, **10**, 213 (2000).
3. D. S. Kim, J. S. Kang, K. Y. Kim and Y. M. Lee, "Characteristics of fouling in a submerged membrane bioreactor activated sludge process," *membrane Journal*, **11**, 170 (2001).
4. Pribyl, M., Truek, F., Wilderer, P. A., and Wanner, J., "Amount and nature of soluble refractory organic produced by activated sludge microorganisms in SBR and continuous flow reactors-S comparative study", First IAQW Specialized Conference on Sequencing Batch Reactor Tech., 33 (1996).
5. Brindle, K. and Stephenson, T., "The application of membrane biological reactors for the treatment of wastewaters", *Biotech. and Bioeng.*, **49**, 601 (1996).
6. Chiemchaisri, C., Yamamoto, K., and Vigneswaran, S., "Household membrane bioreactor in domestic wastewater treatment", *Water Sci., and Tech.*, **27**, 171 (1993).
7. Shimizu, Y., Okuno, Y., Uryu, K., Ohtsubo, S., and Wastewater, A., "Filtration characteristics of hollow fiber microfiltration membrane used in membrane bioreactor for domestic wastewater treatment", *Wat. Res.*, **30**, 2385 (1996).
8. Boreo, V. J., "Soluble microbial product formation in biological systems", *Water Sci., and Tech.*, **23**, 1067 (1991).
9. Nagaoka, H., "Nitrogen removal by submerged sludge membrane separation activated sludge process", *Water Sci., and Tech.*, **39**, 107 (1999).
10. S. Chang, "Optimisation of submerged hollow fibre membrane modules", Ph D Thesis (submitted), UNSW(2001).
11. 김정훈, 김동욱, 박성균, 강원중, 류제천, 최송휴, "HANT Process에서 최적 운전조건 도출 및 호기조내 직접 세정에 관한 연구", 대한환경공학회 '2001 추계학술연구발표회, 453-456 (2001).