

PAC-한외여과막을 이용한 회전원판 처리수의 고도처리

PAC Pretreatment for Ultrafiltration of RBC Effluent

안규홍* · 송경근* · 박준홍* · 권지향* · 김형수** · 곽종운***

Kyu-Hong Ahn* · Kyung-Guen Song* · Joon-Hong Park* · Ji-Hyang Kweon* ·
Hyung-Soo Kim** · Jong-Woon Kwak***

Abstract

Ultrafiltration (UF) and powdered activated carbon (PAC) adsorption were combined to treat wastewater contaminated with refractory organic compounds. Secondary sewage effluent of RBC process was used for the investigation.

It was determined from batch test results that a contact time of 2 hours and a PAC dose of 450mg/l would be used in the experiments. Backwashing was accomplished by forcing the permeates backward with pressure of 2.5kgf/m² for 90 seconds.

It was shown that refractory organics removal by the PAC-UF process was more efficient than UF process without PAC pretreatments. As backwashing frequency was decreased from four times to one time in an hour, the removal efficiency was significantly increased. The addition of PAC to the UF process mitigated the fluctuation of filtrate quality which was increased in UF process without PAC treatment as transmembrane pressure was increased.

1. 서 론

물 사용량의 증가와 수원수질을 포함하는 주위환경의 악화에 기인하는 수량의 감소는 하수와 우수를 또 다른 수원으로 부각시켰다. 특히 하수는 도시로부터 가까운 거리에서 안정된 수량으로 얻을 수 있다는 점 때문에 가장 개발

가치가 있는 수원으로 평가되고 있다. 그러나 하수를 고도 처리하여 보다 환경적으로 안전하고 경제적 효율이 높은 물로 공급하기 위해서는 처리 방법에 대한 새로운 접근방식이 필요한데, 가장 주목받고 있는 대체기술이 막분리 기술이다. (1), (2), (6)

막분리 기술을 이용한 시스템은 설비의 콤팩트성, 운전의 용이성 때문에 기존의 다 공정에 비하여 시설의 고정비(capital cost)를 상당부분 감소시킬 수 있으며, 특히 역압식 중공사막은 운전과 세정방법이 간단하고, 단위체적당 유효 막면적이 크고, 높은 막산 차압력에도 견딜 수

* 한국과학기술연구원 환경연구센터

** 성균관대학교 토목공학과

***경기화학(주) 수처리연구소

Table 1. Influent and effluent quality of RBC process

	Influent	Effluent
Color (Abs/m)*	5.9~14.3	1.2~3.2
Turbidity (NTU)	14~43	0.65~0.44
CODcr (mg/l)	145~795	11.5~28.6
NH4-N (mg/l)	14.1~20.8	0.7~10.6
PO4-P (mg/l)	0.5~1.49	0.19~0.28
SS (mg/l)	48.6~166	4.7~9.3
pH	6.8~7.2	7.55~7.6

*measured at 410 nm

있다는 장점때문에 가장 주목받는 중수도 시스템으로써 검토되고 있다. (12), (13), (15), (16)

하수 2차 처리수를 재처리하여 잡용수로 사용하기 위한 중수도 시설에 막분리 공정을 실용화할 경우에는 환경적으로 안전한 수질의 재이용수를 불쾌감 없이 사용할 수 있도록, 막 투과수 수질의 확보는 해결해야 할 중요한 과제이다.

본 연구에서는 막분리 중수도 시스템의 실용화를 위한 투과수 수질의 확보를 목적으로, 막분리 공정의 전처리 공정으로서 분말활성탄을 첨가한 시스템을 선정하여 분말활성탄의 첨가, 역세정 운영조건 및 막 투과 압력이 투과수 수질에 미치는 영향을 알아 보았다.

2. 실험방법

본 연구에서는 중소규모의 중수도 시스템 개

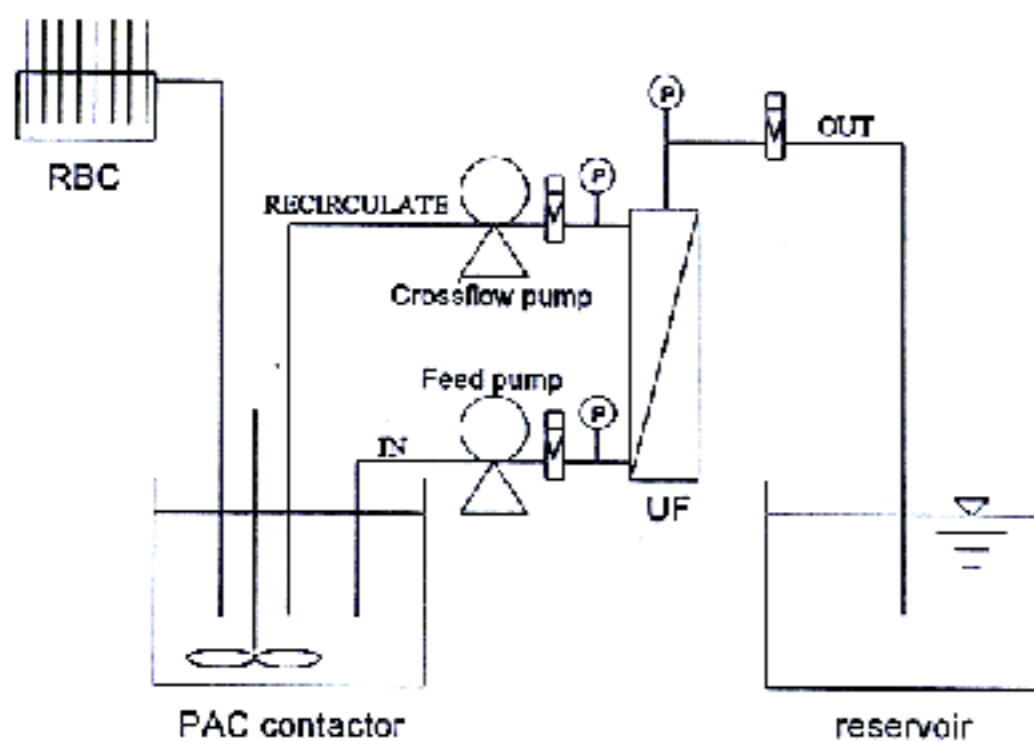


Fig. 1. PAC-UF system

Table 2. Specification for Powdered Activated Carbon*

Characteristics	
Loss on drying(at 105°C)	max 10.0 %
Residue after ignition	max 2.0 %
pH of 5 w/v % slurry at 25°C	5.0 - 8.0
Adsorption power	to pass test

*: Charcoal, Activated, Powder, (株)和光純藥工業, 037-02115, 大阪市, 日本

발을 목적으로 생물학적 처리로 회전원판(RBC)공정을 도입하고 그 처리수를 막분리 공정의 유입 원수로 사용하여 실험하였다. 실험의 흐름도는 다음 Fig. 1과 같이 구성하였다.

2.1 RBC 공정

회전원판 공정의 원수는 한국과학기술연구원 내의 화장실 오수를 사용하였으며, 운전기간은 약 8개월이었다. 회전원판공정의 처리현황은 Table 1에 나타낸다.

2.2 PAC공정

RBC공정을 거친 처리수는 분말활성탄이 첨가된 PAC접촉조에서 완전교반을 이룬 후 정량 펌프를 이용하여 막분리공정으로 유입하였다. 분말활성탄 접촉조는 약 400ℓ의 플라스틱 용기를 사용하였으며, 첨가된 분말활성탄은 일본에서 제조된 것으로 특성은 Table 2에 나타낸다. PAC공정에서의 체류시간 및 PAC의 주입량을 결정하기 위하여 회분실험을 행하였으며 Fig. 2a와 2b에 나타난 결과를 바탕으로 PAC 주입

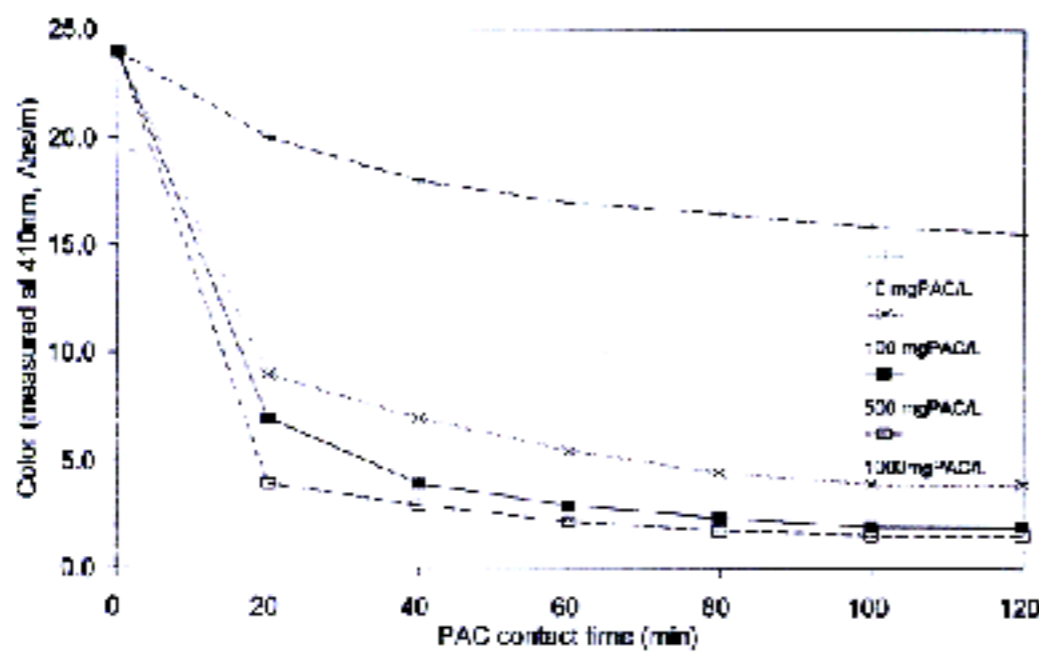


Fig. 2a. Color absorbance (410nm) vs. PAC contact time

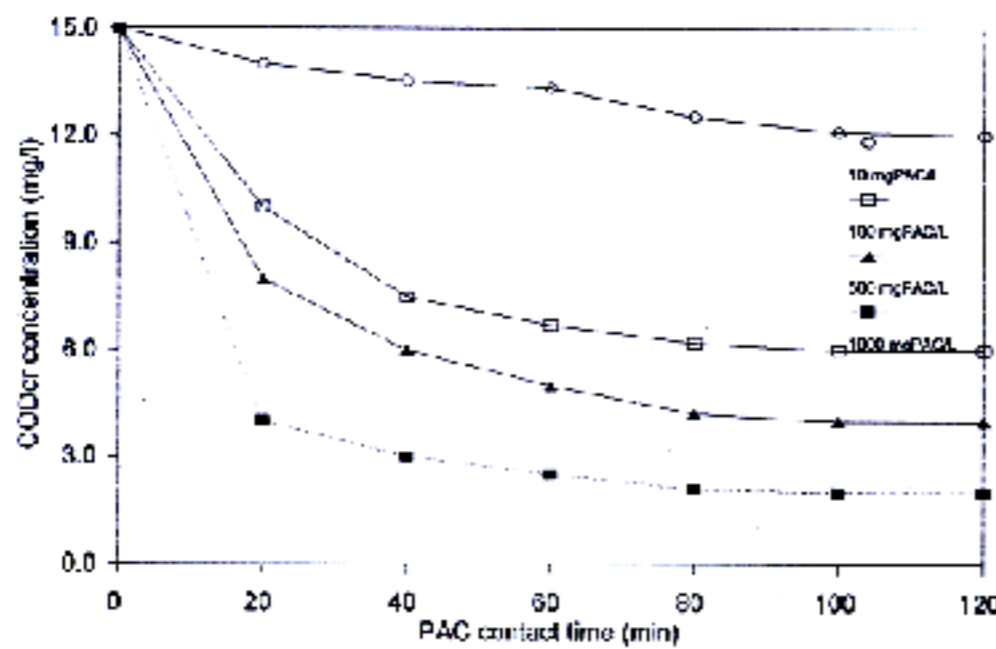


Fig. 2b. CODcr concentration vs. PAC contact time

량을 450mg/l로 하고 접촉시간 2시간으로 정하여 실험하였다.

2.3 UF공정

PAC접촉공정을 거친 원수는 정량펌프를 이용하여 일정한 유량으로 UF공정으로 유입되었으며 해당투과압력을 유지하기 위하여 cross-flow되는 순환유량을 조절하였다. 역세정은 처리수를 2.5kgf/cm²의 고정된 압력으로 유지하면서 90초간 행하였다.

유량계를 이용하여 막 투과수와 crossflow의 순환유량을 측정하였으며, 막 모듈의 유입구와 crossflow 순환구에 압력계를 부착하여 투과 압력을 조절하였다. 막 모듈 유출구에는 역세정 압력을 측정하기 위하여 압력계를 부착하였다.

실험에 사용된 막 모듈은 국내에서 제조된 것으로 그 특성은 Table 3과 같다. 각 실험은 새 막을 이용하였으며 실험시작 전에 증류수 약 80l로 막 표면을 세척한 후 실험하였다.

2.4 실험방법

역세정 간격과 분말활성탄의 유무가 유출수의 수질에 미치는 영향을 관찰하기 위하여 다음 Table 5와 같이 A, B, C 세가지 형태로 운

Table 3. Specification for hollow fiber UF Membrane

Module	
Length	: 255 mm
Dia (In/Out)	: 34.5/39.5 mm
No. of Hollow Fiber	: 3,800
Effective Surface Area	: 0.77 m ²
Case Material	: Polyacryl, Polystyrene
Potting Material	: Polyurethane
Hollow Fiber	
Material	: Polyethersulfone
Dia (In/Out)	: 210/340μm
Water Permeation	: 1.5 - 2.0 ml/cm ² .min at 1.0 kgf/cm ² , 25°C
MWCO	: 150,000 dalton(93%)
Max. Pressure	: 3.0 kgf/cm ² ,
Heat Proof	: 95°C
pH Range	: 1 - 14

Table 5. Scheme of experiment operation conditions

Mode	PAC Operation	Trans-membrance pressure (kgf/cm ²)	Back-washing interval (min)	Back-washing time (second)	Back-washing pressure (kgf/cm ²)	PAC conc.* (mg/l)	PAC contact time(hr)			
A	-	0.5	15	90	2.5	-	-			
	PAC addition					458.4	2			
B	-		30			-	-	-	-	-
	PAC addition								479.2	2
C	-		60			-	-	-	-	-
	PAC addition								408.6	2

* 실험기간 중 부유물질 농도를 제외한 실제 반응조 내 PAC의 평균농도

Mode	PAC operation	Trans-membrance pressure (kgf/cm ²)	PAC conc. (mg/l)	PAC contact Time (hr)
D	PAC addition	1.5	458.4	3
E	-	0.5	-	-
		1.0	-	-
		2.0	-	-

전조건을 구성하였다. A, B, C 모드는 역세정 간격이 각각 15분, 30분, 60분이며, 각 모드 별로 PAC를 첨가한 경우와 그렇지 않은 경우로 나누어 실험하였다. 또한 막분리 공정의 투과압력이 수질에 미치는 영향을 관찰하기 위하여 D, E 두가지 형태로 운전하였으며 E 모드의 경우 투과압력을 0.5, 1.0, 2.0kgf/cm²으로 변화시키면서 처리수 수질의 변화를 관찰하였고, PAC첨가에 의한 영향을 고찰하기 위하여 D모드를 차압 1.5kgf/cm²로 하여 운전하였다. D, E 모드의 경우에는 투과압력이 처리수 수질에 미치는 영향을 고찰하기 위해서 이므로 역세정은 하지 않고 운전하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 분말활성탄 첨가와 역세정 간격이 색도 및 유기물 제거에 미치는 영향

가. 색도 제거에 미치는 영향

분말활성탄 첨가와 역세정 간격이 색도 제거에 미치는 영향을 알아보기 위해서 역세정 간격을 15분, 30분, 60분으로 각각 다르게 하여 유입수와 투과수의 색도 변화를 관찰하였다.

색도측정은 공정시험법의 비색법과 파장 410nm에서의 흡광도가 비례 관계에 있음을 확인하고 흡광도로 나타내었다. 비색법과의 관계를 살펴보면 비색법의 색도 10은 파장 410nm에서의 흡광도(Abs/m) 1과 같았으며, 이 값은 중수도 수질기준을 의미한다. 흡광도 0.5이하의 색도에 대한 음용수 수질기준값인 5이하를 의미한다. 색도물질 측정시에는 pH에 의한 영

Table 6. Effluent color absorbency at A, B, C mode

Mode	RBC effluent	UF process		only PAC
		only UF	UF+PAC	
A	3.2	1.98(61.8%)*	0.43(13.4%) †	0.48(14.8%) ‡
B	1.2	0.74(61.7%)*	0.04(3.3%) †	0.23(18.9%) ‡
C	2.3	1.66(72.2%)*	0.02(0.08%) †	0.32(14.1%) ‡

* () value = $C_e/C_i \times 100$, C_e ; UF process effluent, C_i ; RBC effluent

† () value = $C_e/C_i \times 100$, C_e ; UF+PAC process effluent, C_i ; RBC effluent

‡ () value = $C_e/C_i \times 100$, C_e ; PAC process effluent, C_i ; RBC effluent

향을 보정하기 위해 약 pH 7.6 로 조정 한 후 흡광도를 측정하였다.

분말활성탄 첨가와 역세정 간격이 색도 제거에 미치는 영향을 고찰한 결과는 역세정 간격 15분, 30분, 60분에 따라 다음 Table 6과 Fig. 3, Fig. 4, Fig. 5에 나타내었다.

RBC공정을 거친 2차처리수의 색도는 Table 6과 같이 15분, 30분, 60분에서 각각 흡광도로 3.2, 1.2, 2.3으로서 중수도 수질 기준치 이상의 결과를 보이고 있다. 또한 분말활성탄을 첨가하지 않고 직접 2차처리수를 막분리하면 역세정 간격에 따라 평균 1.98, 0.74, 1.66의 값을 나타내므로서 유입수의 색도가 낮았던 30분의 경우를 제외하고는 기준치 1을 상회하고 있으며, 0.5보다는 모두 높은 결과를 보이고 있다. 반면 막분리공정에 활성탄을 첨가한 경우에는 투과수의 평균 색도가 0.43, 0.04, 0.02로 모두 0.5이하의 값을 보이고 있었다. 그러므로 2차 처리수를 직접 막분리하였

을 때는 만족할 수 없었던 기준치를 활성탄을 이용하여 전처리함으로써 만족시킬수 있음을 알 수 있다.

Fig. 3, Fig. 4와 Fig. 5의 결과들을 살펴보면 분말활성탄을 첨가한 경우에는 역세정 간격이 늘어남에 따라 색도의 제거율이 증가하는 특징을 나타내는 것을 알 수 있다. 이는 Table 6의

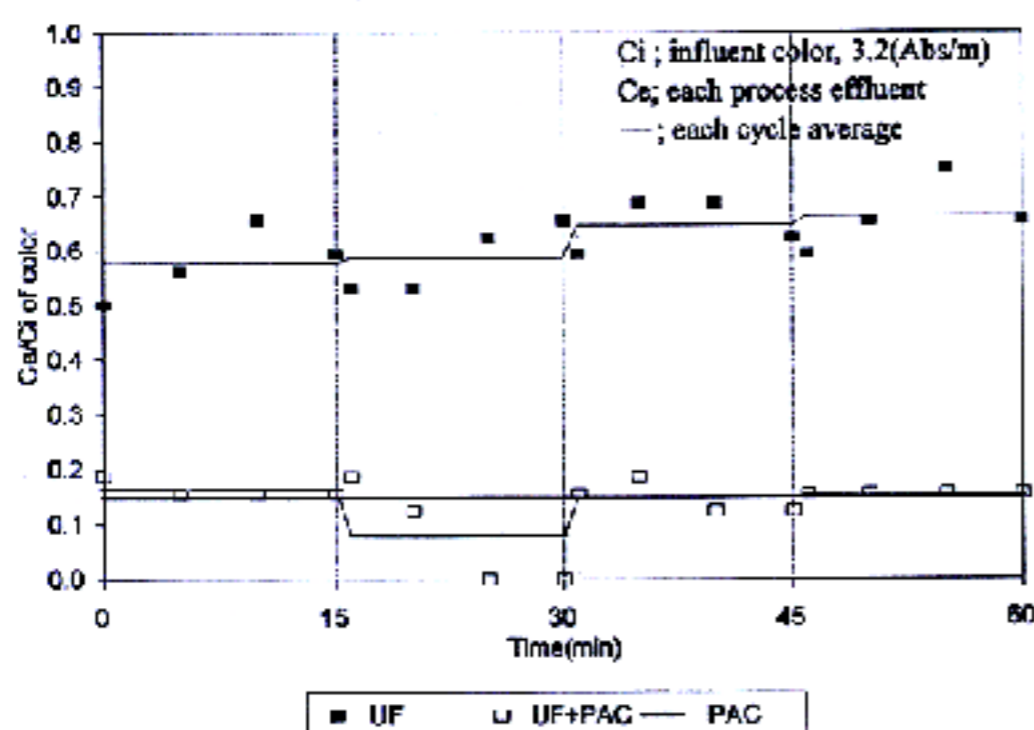


Fig. 3. C_e/C_i of color at backwashing interval 15 min

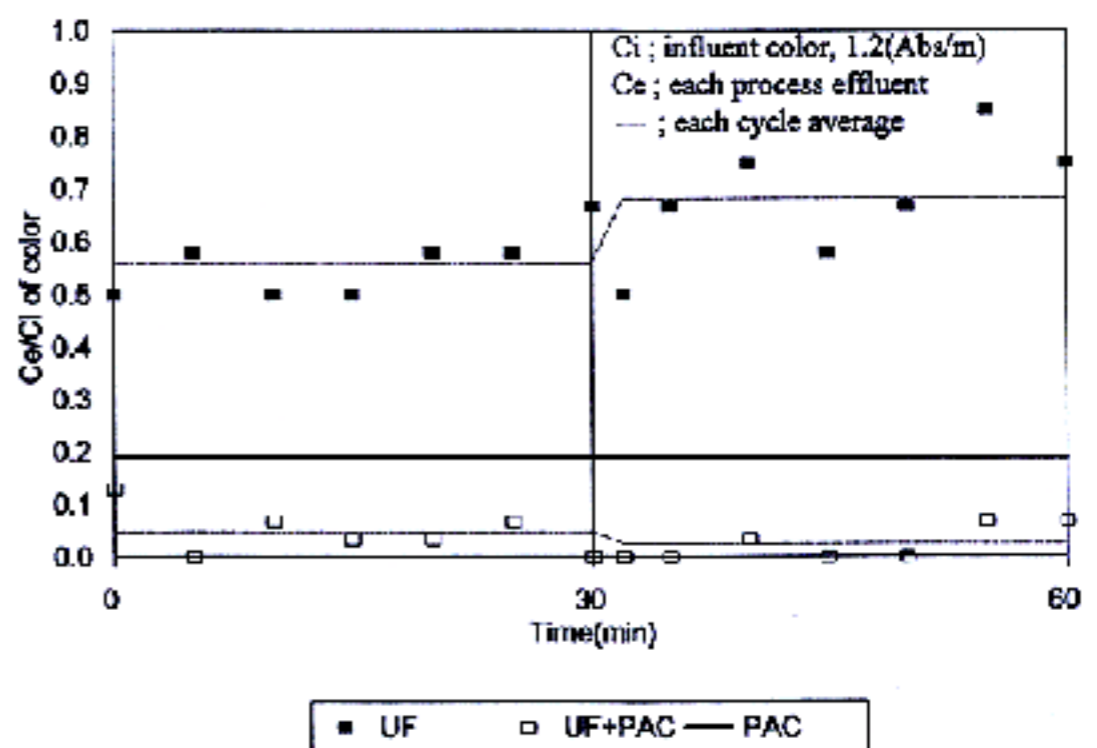


Fig. 4. C_e/C_i of color at backwashing interval 30 min

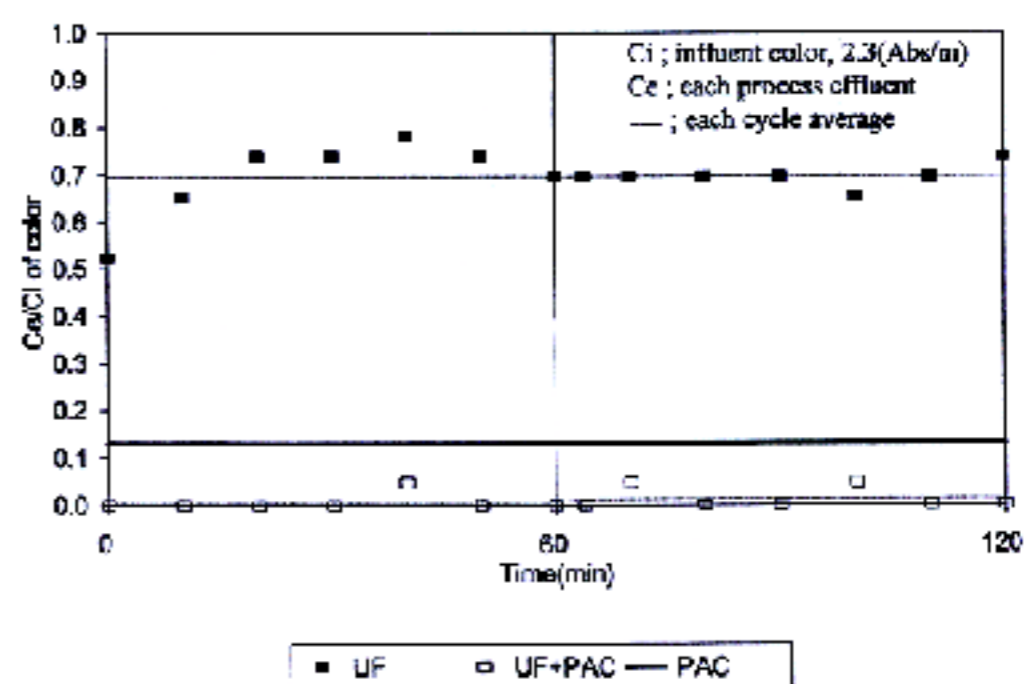


Fig. 5. C_e/C_i of color at backwashing interval 60 min

막분리와 PAC를 결합시킨 처리에서의 유출수의 색도가 유입수의 13.4%, 3.6%, 0.08%로 감소되는 것을 보아서도 알 수 있다. 이러한 현상은 분말활성탄이 역세정 간격이 커질수록 막표면에 축적된 양이 증가하게 되고 축적된 활성탄층에 의한 색도물질의 제거가 이루어지므로 색도물질의 제거량이 커진다고 볼 수 있다.

막표면에 누적된 분말활성탄층으로 인한 제거율은 정확하게 산정할 수는 없으나 분말활성탄만으로 처리한 경우의 C_0/C_1 , 분말활성탄과 막분리 조합에 의한 C_0/C_1 와 막분리만으로 처리한 C_0/C_1 를 비교하였을 때 간접적으로 나타난다. 막분리만으로 처리한 경우는 세가지 모드가 모두 비슷하게 6~70%수준이고 PAC만으로 처리하였을 때에도 15~20% 정도이나 막분리와 분말활성탄을 조합시킨 경우에는 0.08%에서 13%까지 차이를 나타낸다.

PAC만으로 처리한 경우와 PAC와 막분리를 조합한 경우의 C_0/C_1 차이 역시 1.4, 15.6, 14.0으로 역세정 간격 15분에 비 30분과 60분에서 상대적으로 큰 값을 나타내므로 막표면의 활성탄층에 의한 색도물질의 제거효과를 확인할 수 있다.

또한 Fig. 3, Fig. 4와 Fig. 5의 결과를 살펴보면 분말활성탄을 첨가하지 않은 경우에는 역세정후 초기의 투과수내의 색도물질이 역세정전의 색도물질보다 낮은 값을 보이나, 분말활성탄 사용한 경우에는 반대로 역세정후 초기의 투과수내 색도물질이 역세정전의 경우보다 높게 나타나는 경향이 있음을 알 수 있다.

이것은 분말활성탄이 첨가되므로써 분획경보다 작은 물질을 제거되는 mechanism이 변화되는 것을 나타낸다. 막분리에서 분획경보다 작은 물질들은 막표면의 흡착 mechanism에 의해 일부가 제거되는데 막분리가 진행되면서 막표면의 오염으로 흡착기능을 상실하였다가 역세정 후에 흡착기능이 다시 복구되기 때문에 역세정후에는 제거율이 크게 나타나는 현상을 보인다. 그러므로 막분리만을 이용하는 경우에는 역세정 간격을 짧게하여 막 표면의 오염을 최소화하는 것이 타당하다.

반면 분말활성탄을 이용하는 경우에는 막표면에 누적된 분말활성탄 층에 의한 흡착이 주요한 mechanism으로 작용하므로 공정이 진행되면서 색도제거 효과가 증가하다가 역세정후에는 막표면에 누적된 활성탄층이 제거되므로 상대적으로 역세정 전보다 높은 색도가 나타난다. 그러므로 분말활성탄을 첨가하는 경우에는 역세정 간격을 늘이는 것이 색도와 같은 불질의 제거에 효과적이나 역세정간격이 길어지면 막표면에 누적되는 용존성 유기물의 총량 역시 증가되어 gel layer가 형성되고 플럭스 저하를 일으키므로 역세정 간격을 적절하게 결정하는 것이 분말활성탄과 한외여과막을 조합한 중수도처리 시스템의 운영인자 최적화에 중요한 사항이 된다.

나. 유기물제거에 미치는 영향

분말활성탄 첨가와 역세정 간격이 유기물의 제거에 미치는 영향을 알아보기 위해서 역세정 간격 15분, 30분, 60분으로 각각 나르게 하여 유입수와 투과수의 COD 변화를 분석하였다. 그 결과는 역세정 간격 15분, 30분, 60분에 따라 다음 Table 7과 Fig. 6, Fig. 7, Fig. 8에 유입수와 유출수의 비인 C_0/C_1 로 나타내었다.

RBC 공정을 거친 2차처리수의 COD_{Cr} 는 Table 7과 같이 역세정 간격 15분, 30분, 60분에서 각각 28.6, 16.5, 11.5mg/l이며 이를 전처리 없이 막분리한 경우에는 18.1, 9.5, 7.6mg/l으로서 38% 정도의 제거율을 보이고 있다. COD_{Cr} 은 약 10mg/l 이하가 되어야 중수에 적합한 데, 2차처리수를 전처리 없이 막분리한 경우 역세정 간격 15분인 경우에만 기준치를 초과하고 역세정 간격 30분, 60분에서는 기준치를 만족하는 것으로 나타났다. 그러나 막 자체만에 의한 COD_{Cr} 제거율이 약 37% 정도이므로 2차처리수의 농도가 높아 2차처리수의 COD_{Cr} 농도가 약 20mg/l이상이 되는 경우에는 기준치를 부득이 초과하게 된다. 그러므로 한외여과막 공정만으로는 중수도의 유기물 기준을 만족시키기는 안정적이지 못하다.

반면, 분말활성탄과 막분리 공정을 조합한

Table 7. Effluents COD_{Cr} at A, B, C mode

Mode	RBC effluent	UF process		only PAC
		only UF	UF+PAC	
A	28.6	18.1(63.3%)*	6.5(22.7%)†	8.48(29.7%)‡
B	16.5	9.5(57.6%)*	4.1(24.8%)†	5.45(33.0%)‡
C	11.5	7.6(66.1%)*	2.6(22.6%)†	3.37(29.3%)‡

* () value = $C_e/C_i \times 100$, C_e ; UF process effluent, C_i ; RBC effluent

† () value = $C_e/C_i \times 100$, C_e ; UF+PAC process effluent, C_i ; RBC effluent

‡ () value = $C_e/C_i \times 100$, C_e ; PAC process effluent, C_i ; RBC effluent

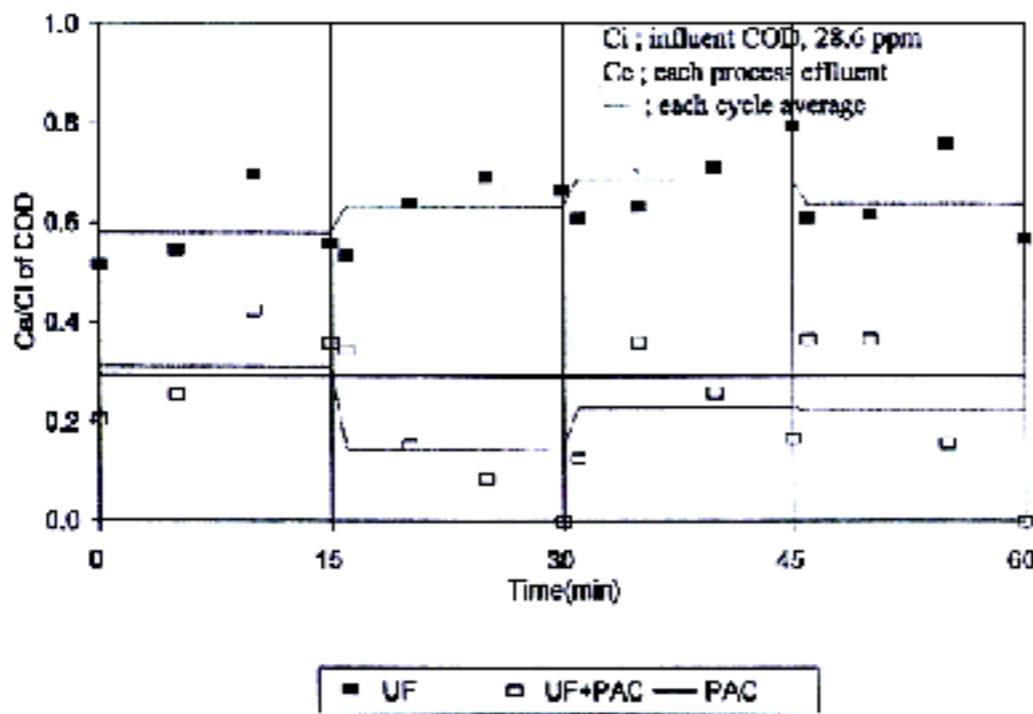


Fig. 6. C_e/C_i of COD at backwashing interval 15 min

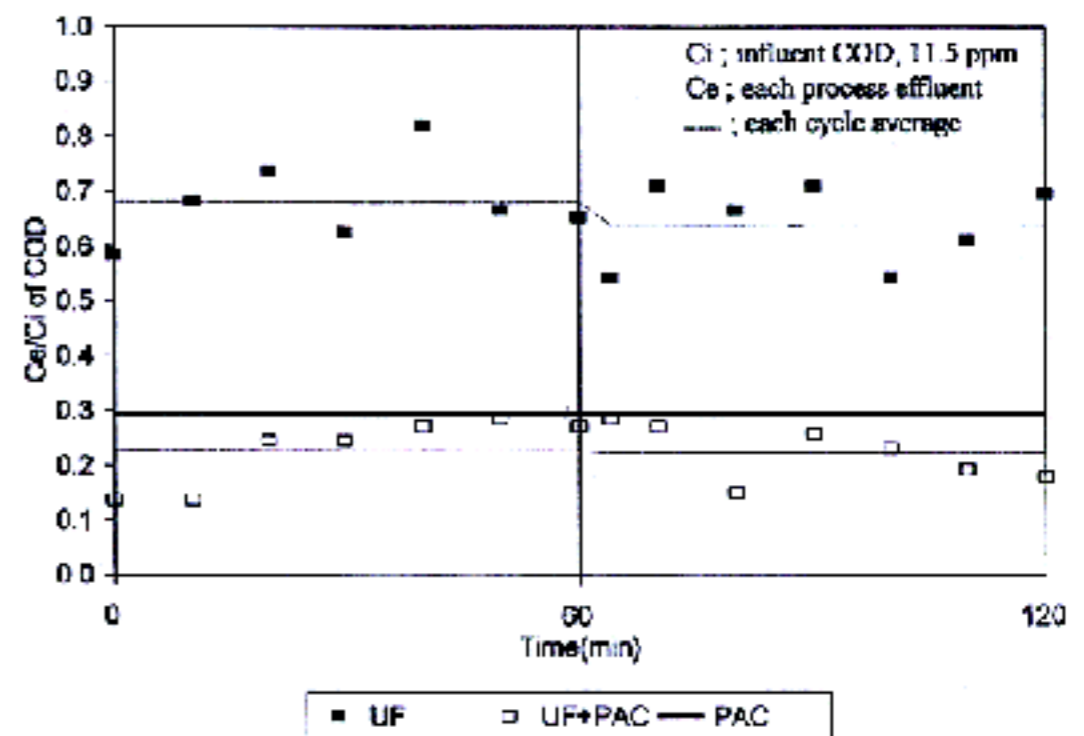


Fig. 8. C_e/C_i of COD at backwashing interval 60 min

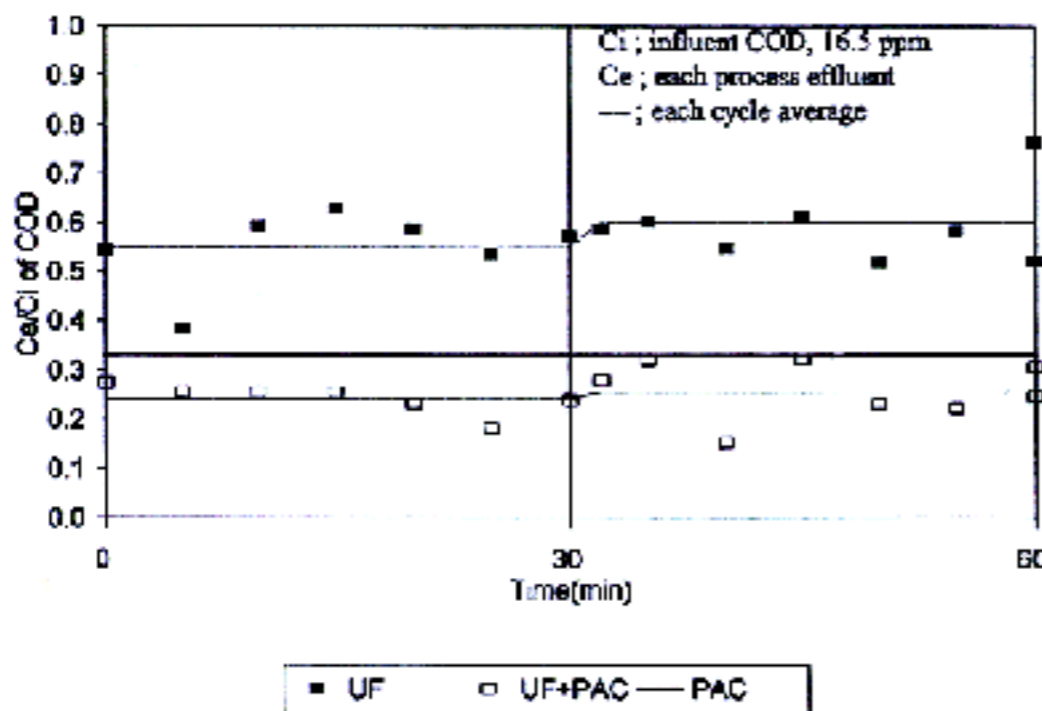


Fig. 7. C_e/C_i of COD at backwashing interval 30 min

경우 유출수는 각 역세정 간격에 대해서 COD_{Cr} 농도가 6.5, 4.1, 2.6mg/l로 현저하게 감소됨을 알 수 있다. 활성탄을 사용하지 않고 직접 막분리한 공정에 비해서 분말활성탄을 전 처리로 사용한 막처리는 약 50%이상의 제거율 상승을 보이고 있다. 따라서 분말활성탄을 조합한 막분리는 색도물질의 제거와 더불어 유기

물 제거에 효과적임을 알 수 있다.

Fig. 6, Fig. 7, Fig. 8의 결과들을 살펴보면 유기물 제거의 경우에는 색도물질 제거와는 달리 역세정 간격이 증가함에 따라 막표면에 축적된 활성탄에 의한 제거효과가 두드러지게 나타나고 있지는 않다.

그러나 유기물 제거 mechanism의 경우에는 색도물질 제거와 비슷한 현상을 나타내고 있음을 알 수 있다. 즉, 역세정 간격 15분인 Fig. 6에서 보듯이 분말활성탄을 첨가한 경우 역세정 후 초기에는 C_e/C_i 값이 증가하다가 시간이 지남에 따라 감소하고 있으며, 분말활성탄을 첨가하지 않은 경우에는 역세정 초기에는 C_e/C_i 가 감소하였다가 시간이 경과하면서 증가하는 현상이 나타남을 알 수 있다. 이는 색도의 경우와 마찬가지로 활성탄을 첨가한 경우에는 활성탄층이 막표면에 형성되기 전에는 막 자체만에 의한 처리를 하다가 활성탄층이 막표면에 축적되면서 활성탄에 의한 제거가 이루어지면서 일

어나는 현상으로 보여진다.

그러므로 유기물 제거 현상에서도 활성탄을 사용하는 경우에는 역세정간격을 길게 잡는 것이 활성탄층의 제거작용에 의해 처리효과 상승을 기대할 수 있으나, 너무 길게 역세정 간격을 두는 경우에는 막표면에 gel layer의 형성을 진행시키므로 적당한 역세정 간격의 결정이 중요함을 알 수 있다.

3.2 투과압력과 분말활성탄이 투과수 수질 변동에 미치는 영향

투과압력과 분말활성탄이 막 투과수 수질의 변동에 미치는 영향을 살펴보기 위해서 Table 5의 모드 D, E와 같이 투과압력을 변화시키면서 실험을 하였다. 분말활성탄을 첨가하지 않은 경우인 E 모드에서는 투과압력을 0.5, 1.0, 2.0kgf/cm²으로 변화시키면서 투과수 수질 변동을 관찰하였고, 분말활성탄을 첨가한 경우인 D 모드에서는 투과압력 1.5kgf/cm²에서의 투과수 수질 변동을 관찰하였다. 사용된 2차처리수의 수질은 Table 8과 같으며 투과수 수질은 색도, COD, NH₄-N에 대해서 검토하였고 그 결과는 다음 Fig. 9, Fig. 10, Fig. 11에 나타낸다.

Fig. 9, Fig. 10, Fig. 11에 나타난 투과압력의 변화에 따른 투과수 수질변화를 살펴보면 분말활성탄을 사용하지 않은 직접 막분리 공정에서는 투과압력을 증대시킬수록 유출수질이 큰 폭으로 변동하고 있으며 변동폭은 증가폭이 클수록 농도의 감소폭도 크게 나타나는 경향이 있음을 알 수 있다. 반면에 분말활성탄을 조합한 막분리 공정에서는 직접 2차처리수를 막분

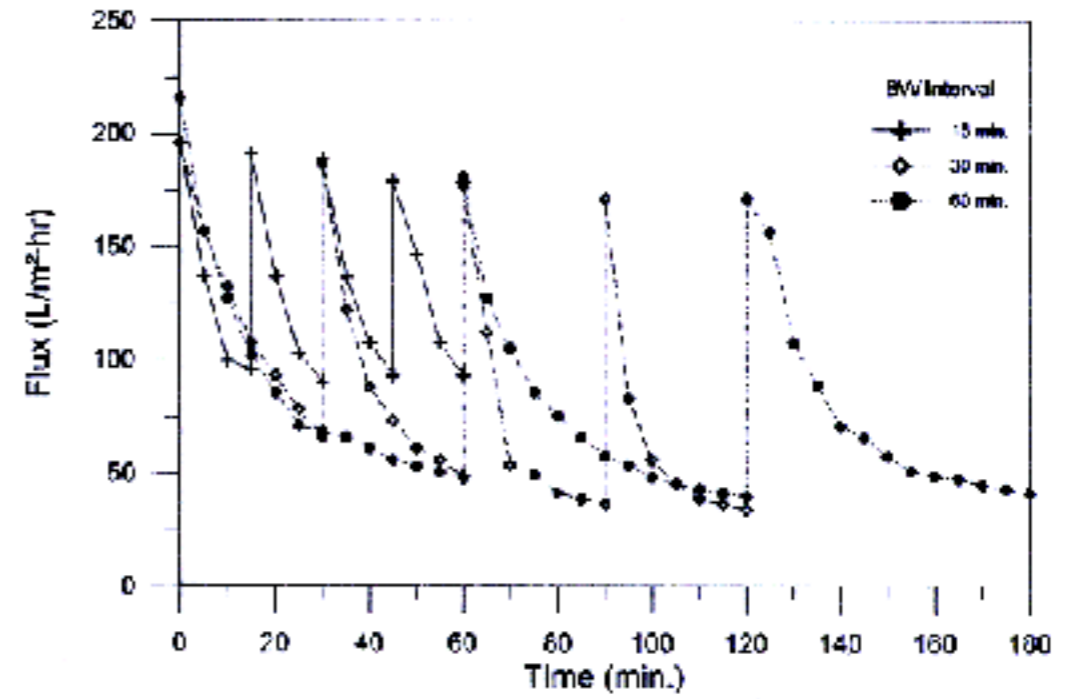


Fig. 9. Flux change at various backwashing intervals

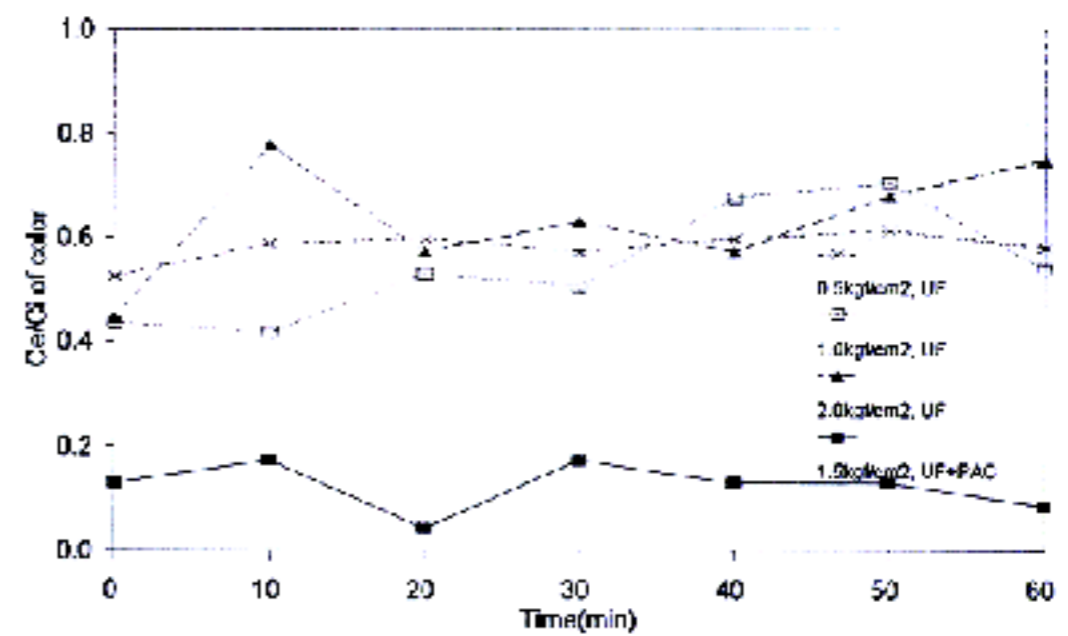


Fig. 10. The effect of PAC addition on color removal

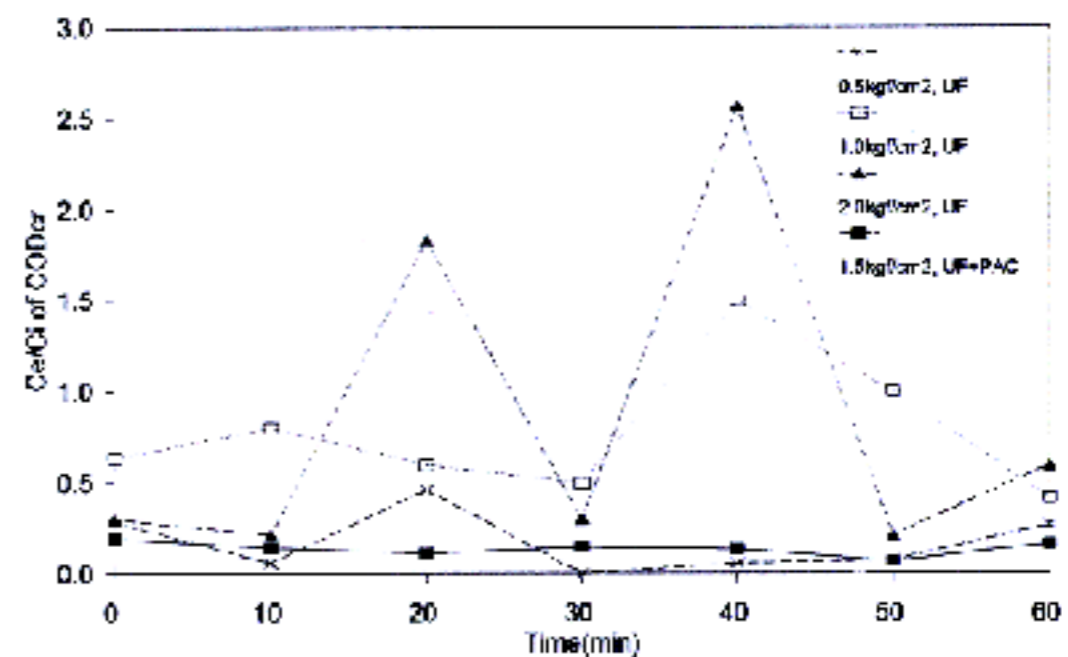


Fig. 11. The effect of PAC addition on COD_{Cr} removal

Table 8. Influent quality of D, E mode experiments

Model	COD _{Cr} (mg/l)	color (Abs/m)	SS (mg/l)	NH ₄ -N (mg/l)	PO ₄ -P (mg/l)	pH	Temp.(°C)	
D	1.5 kgf/cm ²	11.5	2.3	6.3	0.7	0.25	7.6	20.6
E	0.5 kgf/cm ²	21.0	3.9	5.5	8.0	0.10	7.5	34.0
	1.0 kgf/cm ²	12.0	2.7	4.5	4.0	0.20	7.6	35.5
	2.0 kgf/cm ²	19.5	2.8	4.8	0.9	0.17	7.6	33.2

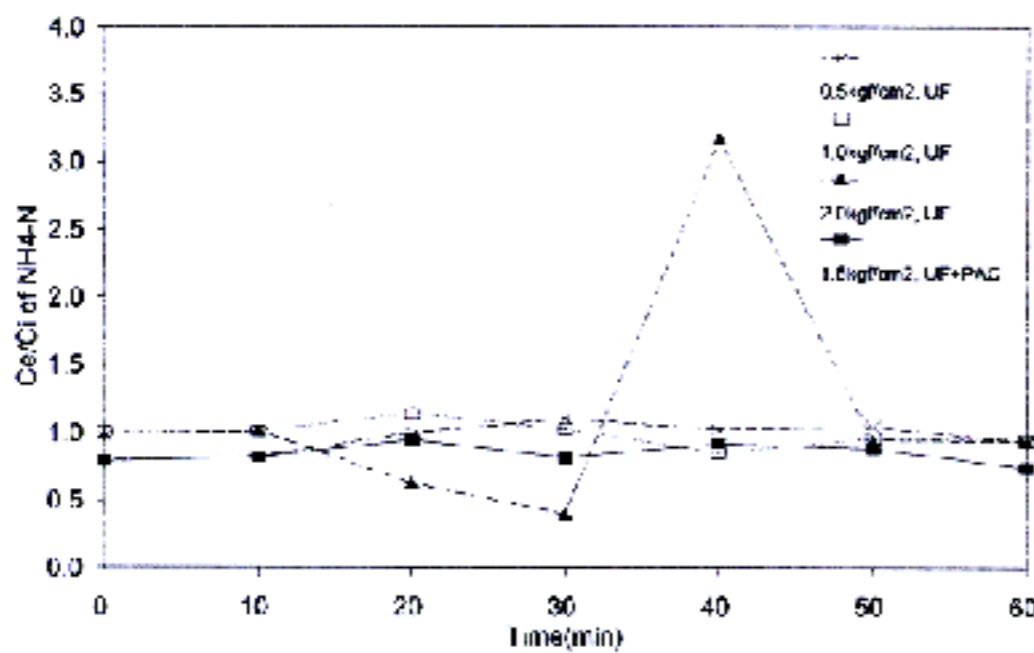


Fig. 12. The effect of PAC addition on NH₄-N removal

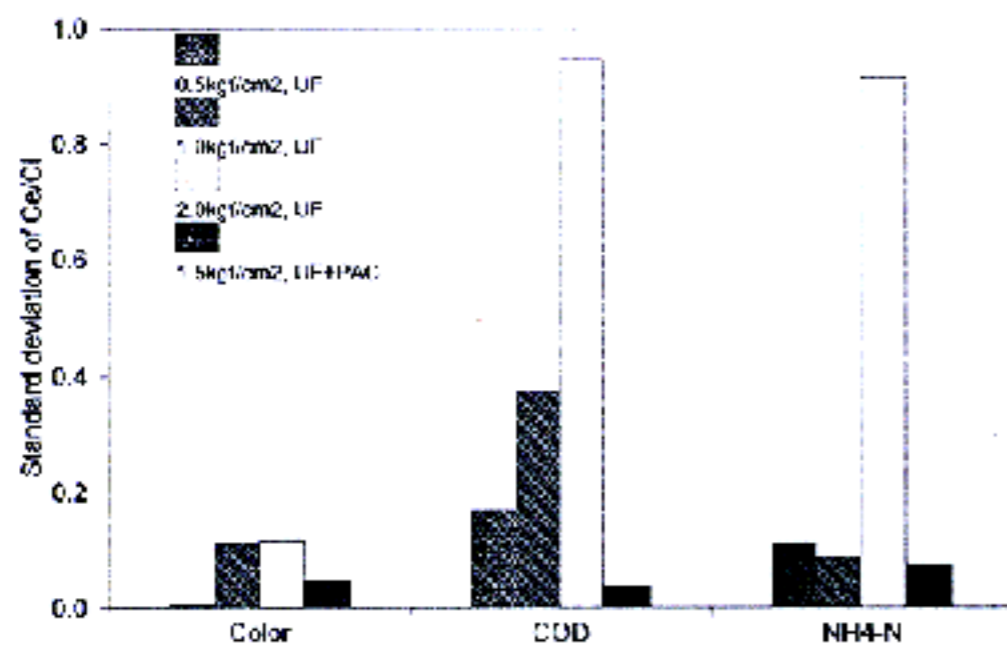


Fig. 13. The comparison of Color, COD, and NH₄-N removal

리한 경우보다 유기물과 색도에서 양호한 수질을 보이고 있으며 유출수의 변동폭도 작음을 알 수 있다. 투과압력 및 활성탄 사용유부와 투과수수질 변동 관계를 명확히 하기 표준편차를 구해 본 결과 다음 Fig. 12와 같다. 수질별로는 색도가 분말활성탄 첨가나 투과압력에 관계없이 표준편차가 0.1 이하로 가장 변동폭이 작아 상대적으로 막분리 공정에서 안정된 처리를 보이는 항목임을 알 수 있고, 유기물은 분말활성탄을 첨가하지 않고 투과압력이 2.0kgf/cm²인 경우 표준편차가 0.9 이상을 나타냄으로써 변동폭이 가장 큼을 알 수 있다.

유기물의 투과수 변동폭이 상대적으로 큰 것은 막분리공정에서 유기물이 제거되는 mechanism과 연관이 있다.

막분리 공정에서 유기물은 막표면에 누적되어 여과저항으로 작용해서 막의 투과능을 감소시키고 막의 수명을 단축시키는 농도 분극 현

상(concentration polarization)을 일으킨다. 이러한 유기성 고분자 물질들이 막표면 가까이에서 농축되는 농도 분극 현상으로 막자체의 공경보다 작은 크기의 용존성 유기물들이 투과수에서 제거하는 현상을 보이고 이때 유출수의 농도는 낮게 나타난다. 반면 농축된 유기물들이 압력이나 기타의 영향으로 순간적으로 막을 투과하게 되면 투과수 농도가 순간 높아지는 현상을 나타낸다. 농축된 물질이 투과된 부분에서는 다시 막표면 및 공경에 유기물이 누적되면서 실 투과공극의 크기를 줄여서 다시 농축의 과정이 시작되어 반복된다. 이러한 반복은 투과압력이 클수록 주기가 짧아지고 폭도 커진다고 여겨진다. 유출수질의 변동완화를 위해서는 저압으로 투과압력을 유지하여야 한다.

반면 분말활성탄을 전처리로 사용하면 흡착 현상으로 막에 유입되는 유기물의 농도를 감소시킬뿐 만 아니라 막표면의 활성탄에 의해 농도분극현상을 일으키는 막표면 및 막공경에서의 용존 유기물의 농도를 감소시킬 수 있으므로 유출수질의 변동을 완화시킬 수 있다. 따라서 활성탄을 사용하면 비교적 고압을 통해서 목표 투과flux를 획득할 수 있다.

4. 결 론

전처리 공정으로 분말활성탄을 사용한 한외여과막 분리공정에서 역세정 간격, 분말활성탄, 투과압력에 따른 막 투과수 수질의 처리특성에 대한 실험을 통해서 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 분말활성탄을 조합한 공정에서 색도 및 COD 물질농도의 용존 유기물들은 2차 처리수를 직접 막분리한 방식보다 탁월한 제거효율을 보였다.

2) 분말활성탄과 조합한 한외여과막 분리공정에서 색도 및 용존 유기물은 주로 활성탄에 흡착되었다가 cross flow나 역세정으로 배제된다. 또한 여과하는 동안 막표면에 누적된 분말활성탄층에 의해서도 색도와 같은 물질들의 상당부분이 흡착 제거됨으로써 역세정 간격이 긴

경우에 더 효율이 좋음을 확인할 수 있었다. 그러나 역세정 간격이 길어지면 막표면에 누적된 분말활성탄층에 의해서 제서 효율은 높아지지만 투과 flux는 감소하므로 투과시 영향을 동시에 고려하는 최적화가 요구된다.

3) 직접 막분리 방식에서 투과압력의 증가는 막 투과수 수질의 변동폭을 증가시키는 경향이 있으나, 분말활성탄을 조합한 막분리 방식을 통해서 투과압력의 증가에도 수질의 변동폭을 감소시킬 수 있었다.

감사의 글

본 논문은 환경부에서 시행한 선도기술개발사업(G-7 프로젝트) 결과의 일부이며 연구비 지원에 감사를 표합니다.

참고문헌

1. 안규홍 외, 처리수재이용 시스템 기반기술개발 선도기술개발사업 제1차년도 연차보고서, 한국과학기술연구원, 1993.
2. Adham S. S., et al., "Predicting and Verifying Organics Removal by PAC in an Ultrafiltration System", J. AWWA, Vol. 83, No. 12, p. 68, 1991.
3. Adham S. S., et al., "Predicting and Verifying TOC Removal by PAC in Pilot-Scale UF Systems", J. AWWA, Vol. 85, No. 12, pp. 58 - 68, 1993.
4. APHA-AWWA-WEF, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 18th Ed., American Public Health Association, Washington, D.C., U.S.A., 1992
5. Bailey A. D., et al., "The Use of Crossflow Microfiltration to Enhance the Performance of an Activated Sludge Reactor", Water Research, Vol. 28, No. 2, pp. 297-301, 1994.
6. Bellamy W. D., et al., "Assessing Treatment Plant Performance", J.AWWA, Vol. 85, No. 12, pp. 34 - 38, 1993.
7. Clark M. M., et al., "Effects of Ultrafiltration Membrane Composition", J.AWWA, Vol. 81, No. 11, p.61, 1989.
8. Clark M. M., et al., "Ultrafiltration of Lake Water : Effect of Pretreatment on Organic Partitioning, THMFP, and Flux", J. AWWA, Vol.82, No. 12, p. 82, 1990.
9. Krauth K., and Staab, K. F., "Pressurized Bioreactor with Membrane Filtration for Wastewater Treatment", Water Research, Vol. 27, No. 3, pp.405-411, 1993.
10. Lahoussine-Turcard V., "Fouling in Tangential-Flow Ultrafiltration: The Effect of Colloid Size and Coagulation Pretreatment", J. Membrane Science, Vol. 52, pp.173-190, 1990.
11. Lahoussine-Turcard V., et al., "Coagulation Pretreatment for Ultrafiltration of a Surface Water", J. AWWA, Vol. 82, No. 12, pp. 76 - 81, 1990.
12. Seo, Gyu-Tae, "Combined Biological Powdered Activated Carbon-Membrane Microfiltration (BPAC-MF) for Wastewater Reclamation and Reuse", Ph.D. Thesis, The University of Tokyo, Japan, 1993.
13. Vigneswaran S., et al., "Application of Microfiltration for Water and Wastewater Treatment-Environmental Sanitation Reviews", No. 31, Environmental Sanitation Information Center, Asian Institute of Technology, Bangkok, Thailand, 1991.
14. Wiesner M. R., and Chellam S., "Mass Transport Considerations for Pressure-Driven Membrane Processes", J. AWWA, Vol. 84, No. 1, pp.88-95, 1992.
15. 金炯秀, "膜分離淨水處理における膜閉塞抑制方法に関する研究", 東京大學博士學位論文, 1994.
16. 안규홍 외, "분말활성탄 첨가가 한외여과막 투과 성능에 미치는 영향", 한국수질보전학회지, 제 11권, 제2호, pp.129-134, 1995.