

공동주택 단지 내에서 MF-멤브레인과 고도산화처리를 이용한 잡배수(graywater) 재이용 시스템*

김준규** · 송인상*** · 오해석**** · 종지선***** · 정연규*****

Graywater Recycling System Using MF-Membrane and Advanced Oxidation Process in Residential Complex*

Joonkyu Kim** · Insang Song*** · Haeseok Oh**** · Jisun Jong***** · Younkyoo Choung*****

요약 : 아파트와 같은 공동주택에서 배출되는 오수는 부엌, 목욕탕, 세탁기, 변기로부터 배출되는 오수로 구분될 수 있다. 만약 오수가 재이용된다면 상수 수요량과 오수 배출량은 감소될 수 있다. 변기로부터 배출되는 오수를 제외한 오수를 잡배수(graywater)로 정의할 수 있다. 본 연구에서는 잡배수(graywater)를 A₂O-마이크로 필터(Micro Filtration) 멤브레인과 고도산화처리로 처리하였다. 음용수보다 낮은 소방용수, 조경용수, 화장실용수, 세차용수 등으로 재이용하기 위한 목적으로 색도, 탁도, COD, 부유물질, 대장균의 제거에 대해서 연구하였다. 처리 후의 pH는 7~7.7을 나타내었다. A₂O-마이크로 필터(Micro Filtration) 멤브레인 공정에 의한 각 요소의 제거율은 다음과 같다: 색도(98%), 탁도(99%), COD(99%), 부유물질(99%), 대장균(2%). 후속 공정으로서의 고도산화처리(advanced oxidation process)에 의한 각 요소의 제거율은 다음과 같다: 색도(100%), 탁도(99%), COD(99%), 부유물질(99%), 대장균(100%). 잡배수(graywater)의 수량 및 수질 특성은 공동주택 단지 내에서의 지속가능한 수처리 시스템에 적합한 양상을 나타내었다. 또한 A₂O-마이크로 필터(Micro Filtration) 멤브레인-고도산화처리(advanced oxidation process) 시스템은 잡배수(graywater)를 재이용하기 위한 수처리 시스템으로서 적합하였다.

주제어 : 잡배수(graywater), A₂O-마이크로 필터(Micro Filtration) membrane, 고도산화처리, 공동주택 단지

ABSTRACT : Wastewater from residential complexes, such as apartment buildings, can be divided into wastewater from the kitchen, bathroom, laundry and toilet. If wastewater can be reused, the demand for water and the wastewater can be reduced. Wastewater that originates from all sources in the resident except for the toilet is defined as graywater. In this study, graywater was treated by a micro filtration membrane and advanced oxidation process. The efficiency of the removal of color, turbidity, COD, suspended solid and *E.coli* was studied, and the water was reused for purposes other

* 이 논문은 2007년도 교육인적자원부 BK21사업의 일환인 연세대학교 사회환경시스템공학부 미래사회기반시설 산학연공동사업단의 지원과 건설교통부 건설핵심기술연구개발사업의 연구비지원(06건설핵심B02)에 의해 수행되었습니다.

** 연세대학교 토목환경공학과 박사과정(Ph.D Course Student, Department of Civil & Environmental Engineering, College of Engineering, Yonsei University)

*** 연세대학교 토목환경공학과 석사과정(Master Course Student, Department of Civil & Environmental Engineering, College of Engineering, Yonsei University)

**** 연세대학교 토목환경공학과 석사과정(Master Course Student, Department of Civil & Environmental Engineering, College of Engineering, Yonsei University)

***** 연세대학교 토목환경공학과 석사과정(Master Course Student, Department of Civil & Environmental Engineering, College of Engineering, Yonsei University)

***** 연세대학교 토목환경공학과 교수(Professor, Department of Civil & Environmental Engineering, College of Engineering, Yonsei University), 교신저자(choung@yonsei.ac.kr)

than drinking and bathing such as fire fighting, water for plants, water for the toilet and car washing. The pH was 7~7.7. The efficiency of the removal of each factor with the micro filtration membrane was as follows: color(98%), turbidity(99%), COD(99%), suspended solid(99%), *E.coli*(2%). Following the membrane filtration process, removal efficiency of each factor using advanced oxidation process was as follows: color(100%), turbidity(99%), COD(99%), suspended solid(99%), *E.coli*(100%). The characteristic of quantity and quality of graywater was adequate to establish a sustainable water circulation system to reuse residential wastewater.

Key Words : graywater, A₂O-MF membrane, advanced oxidation process, residential complex

I. 서론

산업화와 함께 도시화 및 생활의 다양성으로 인하여 물수요량이 증가하고 있는 추세이다. 특히, 최근에는 수많은 복합단지의 건설로 인하여 물 수요량뿐만 아니라 하수 발생량도 증가하고 있는 추세이다. Dixon et al.(1999)은 선진국에서 도시지역의 30~70%의 물 수요량을 차지하는 실내에서의 물 수요량은 평균적으로 100~180L/d per capita 또는 36~66m³/y per capita 이라고 하였다 (정원용수와 그 밖의 외부에서 사용되는 물을 제외한 경우). 최소한의 양을 제외하고 대부분의 소비되어진 물은 하수로 배출되어지고, 배출되어진 하수는 다음과 같이 정의할 수 있다.

- 잡배수(graywater): 화장실용수를 제외한 가정에서 발생하는 오수, 가정에서 물 수요량의 60~70%를 차지
- 수세변소수: 화장실 용수로부터 발생하는 오수, 가정에서 물 수요량의 30~40%를 차지

Friedler et al.(2005)은 도시의 각 가정에서 잡배수(graywater)가 화장실용수로 재이용된다면, 물 수요량의 40~60%를 절감할 수 있으며, 만약 이러한 시스템이 도시 전체에 적용된다면, 도시 전체 물 수요량의 10~25%를 절감할 수 있다고

한다. 잡배수(graywater)는 심하게 오염되어 있을 수 있으며, 따라서 인간에게 해를 끼칠 수도 있다. 또한 환경적으로도 해로울 수 있다. 따라서 그동안 잡배수(graywater)에 대한 처리, 저장, 이동에 대한 많은 연구가 수행되어져 왔다. Ramon et al.(2004)은 UF 멤브레인과 NF 멤브레인을 이용한 잡배수(graywater) 처리에 대한 연구를 발표한 바 있으며, Garland et al.(2004)은 친수성 식물을 이용한 잡배수(graywater) 처리에 대한 연구를 발표한 바 있다. Gross et al.(2006)은 인공습지를 이용한 잡배수(graywater) 처리에 관한 연구를 발표하기도 하였다. 그러나 모든 연구에서의 공통된 점은 잡배수(graywater)의 재이용을 위해서는 살균 및 소독 공정이 필요하다는 것이었다. 또한 화장실 용수, 소방용수, 세차용수, 조경용수, 인공습지에 사용하기 위한 수질 기준인 COD 20mg/L 이하, 탁도 2 NTU 이하, 색도 20 이하, 부유물질 5mg/L 이하, 대장균 불검출 조건을 만족시키기 위해서도 살균 및 소독 공정은 필수라고 할 수 있다.

본 연구의 목적은 첫째, 공동주거 단지 내에서의 지속가능한 수처리 시스템을 위한 잡배수(graywater)의 수질 및 수량 특성 분석, 둘째, 잡배수(graywater) 처리를 위한 A₂O-마이크로 필터(Micro Filtration) 멤브레인-고도산화처리(Advanced

Oxidation Process) 시스템의 COD, 탁도, 색도, 부유물질, 대장균 제거 평가다.

II. 실험 방법

1. 시료 채수

1) Graywater 원수

본 연구의 채수 장소로 사용된 공동주택은 한 세대당 공유면적을 포함한 면적이 17평(55.45m²)인 임대 아파트이다. 20층인 임대아파트 1개동 170세대를 대상으로 잡배수(graywater)를 채수하였다. 잡배수(graywater)의 수량 및 수질 특성을 파악하기 위하여 평일과 주말로 분리하여 채수를 하였다. 평일 하루 동안 1시간 간격으로 24시간 채수하였으며, 주말의 경우에는 토요일과 일요일로 세분화하여 1시간 간격으로 24시간 채수 하였다. 또한 계절별 특성을 파악하고자 겨울과 봄 각각 한 set씩 채수를 하였다.

2) 처리 시스템을 위한 잡배수(graywater)

잡배수(graywater) 원수의 수량 및 수질 특성 분석 결과에 따라서, 오염농도가 높은 잡배수(graywater)를 채수하였다(평균 COD 600mg/L 이상, 평균 탁도 100 NTU 이상, 평균 색도 30 이상, 부유물질 평균

2000mg/L 이상). 오염농도가 높은 잡배수(graywater)를 선택한 이유는 처리시스템의 오염부하 처리능력의 한계치를 보고자 함이었다.

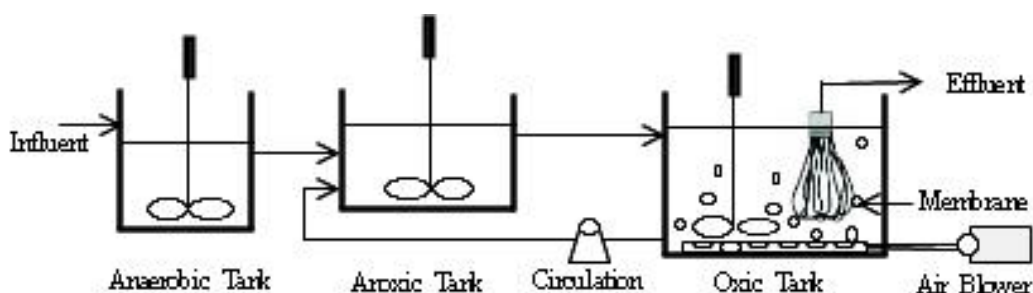
2. 분석 방법

pH는 Orion 사(Thermo Scientific, USA)의 model 525A pH 미터기를 사용하였다. CODcr, 탁도, 색도는 HACH사의 DR/2012(Thermo Scientific, USA)를 사용하여 측정하였다. Mixed Liquid Suspended Solid는 standard method에 의해 측정하였다. 대장균은 Difco Co.(Carlsbad, U.K.)의 desoxycholate agar를 사용하였다.

3. A₂O-마이크로 필터(Micro Filtration) 멤브레인-고도산화처리(Advanced Oxidation Process) 시스템

1) A₂O-마이크로 필터(Micro Filtration) 멤브레인 시스템

〈그림 1〉은 본 연구에 사용된 실험장치의 개략도이다. 실험 장치는 혐기조, 무산소조, 마이크로 필터(Micro Filtration) 멤브레인이 침지되어 있는 호기조로 구성되어진다. 혐기조의 부피는 2.5L이다. 혐기조와 무산소조는 정량펌프로 순환되도록 구



〈그림 1〉 A₂O-마이크로 필터(Micro Filtration) 멤브레인 시스템 개략도

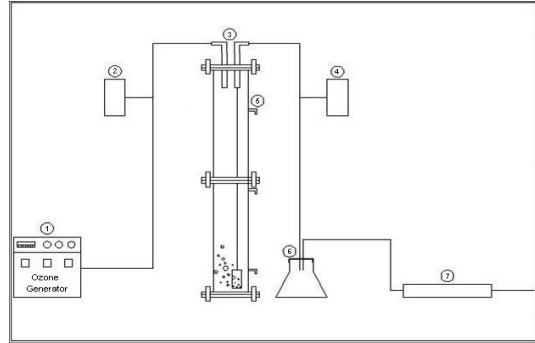
성되어져 있다. 무산소조의 부피는 2L, 호기조의 부피는 8L이다. 호기조에서 무산소조로 반송이 되도록 구성되어져 있다. 내부반송율은 1.5Q로 유지되어졌다. 60일 동안의 실험기간동안 HRT는 6시간이었으며, F/M 비는 0.11~0.17 kg BOD/MLVSS/d를 유지하였다. MLSS는 4500mg/L를 유지하였다. <표 1>은 마이크로 필터(Micro Filtration) 멤브레인에 관한 특성을 정리한 것이다.

<표 1> 멤브레인 성상

제조원		SuperMAK®
모듈 타입		중공사막(Hollow Fiber)
운영 타입		침지식(Submerged)
공극 사이즈		0.4 μ m
특성	모델	SuperMAK
	피팅 사이즈(Fitting Size)	1/2" PT
재질	멤브레인	PVDF(Poly vinyl difluoride)
	헤드(Head)	ABS
	코어튜브(Core Tube)	PVC
	접착(Bonding)	Urethane & Epoxy Resin

2) 고도산화처리 공정(Advanced Oxidation Process)
 <그림 2>는 고도산화처리 공정에 대한 개략도이다. 본 공정은 A₂O-마이크로 필터(Micro Filtration) 멤브레인 공정의 후속공정으로서 실험되어졌다. 반응조는 오존 발생기, 오존 검측기, 아크릴 반응조, 거품 제거기, KI 용액, 배오존 파괴기로 구성되어져 있다. 오존과 잡배수(graywater)의 접촉은 원통형의 아크릴 반응조에서 오존을 포함한 공기방울 형태로 이루어진다. 반응조는 오존에 의한 산화를 피하고 시료의 색깔 변화를 알기 쉽도록 특수 아크릴로 만들어졌다. 세라믹 공기 분사기는 아크릴 반응조의 바닥 중앙에 위치하며, 오존을 포함한 공기 방울은 세라믹 공기 분사기를 통하여

나오게 되는 방식이다. 반응조의 높이는 총 2m이며, 외경 0.8m, 내경 0.7m 의 원통형 구조이다.



①오존 발생기 ②오존 검측기 ③오존 주입 호스 및 거품 제거호스
 ④거품 제거기 ⑤샘플링 ⑥KI 용액 ⑦배오존 파괴기

<그림 2> 고도산화처리(Advanced Oxidation Process) 시스템 개략도

오존은 오존 발생기에 주입되는 산소에 의해서 발생된다. 주입되는 산소의 양과 전압의 다양성에 따라서 다르게 발생하는 오존의 농도를 <표 2>에 나타내었다. 실험은 오존 주입 후 10분, 20분, 30분 경과에 따른 결과를 관찰하였다. 산소 주입량과 전압에 따른 색도, 탁도, 유기물 제거효율을 관찰하였으며, 총 9번의 실험이 실시되었다. 그 결과에 따라서 최적의 산소 주입량과 전압은 2.5 LPM과 7kv로 결정되었다.

<표 2> 산소 주입량과 전압에 따른 오존 농도 발생량

O ₂ 주입량(LPM)	전 압(kv)	O ₃ 발생량(g/hr)
1.5	6	2.60
	7	4.00
2	6	2.60
	7	4.80
2.5	6	2.40
	7	3.75
	8	5.40
3	7	3.24
	8	5.22

III. 결 과)

1. 잡배수(graywater)의 수량 및 수질 특성

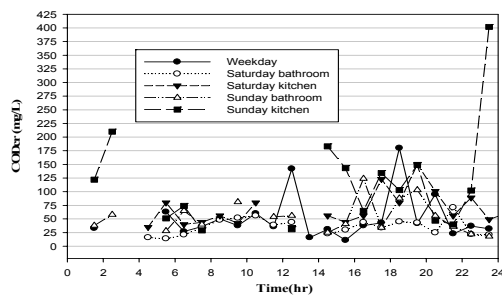
1) COD

〈그림 3〉은 처리되지 않은 잡배수(graywater)의 계절별, 요일별, 발생원별, 시간별 COD 분석결과이다. 욕실 배수 라인과 주방 배수 라인이 따로 설치되어 있어서 샘플을 채수하기가 용이하였다. 겨울철에는 최고 400ppm, 평균 50ppm의 분포를 나타내고 있으며, 욕실보다는 주방에서 배출되는 오수가 비교적 높은 농도를 나타낸다는 것을 알 수 있다. 일요일 자정에 최고 400ppm의 농도를 나

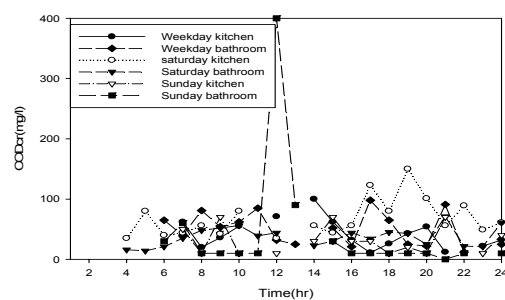
타낸 원인은 정확히 밝혀내지 못하였다. 봄철에도 최고 400ppm, 평균 50ppm의 결과를 보이고 있으며, 욕실보다는 주방에서 배출되는 오수가 높은 농도를 나타낸다는 것을 알 수 있다. 계절별, 요일별 차이는 근소한 것으로 분석되어진다. 시간별로는 공동주택이라는 특성인 것을 감안해볼 경우, 오전 시간보다는 오후 시간에 배출되는 농도가 높은 것으로 분석되어졌다.

2) 탁도

〈그림 4〉는 처리되지 않은 잡배수(graywater)의 계절별, 요일별, 발생원별, 시간별 탁도 분석결과이다. 겨울에는 최고 농도 150 NTU의 결과를

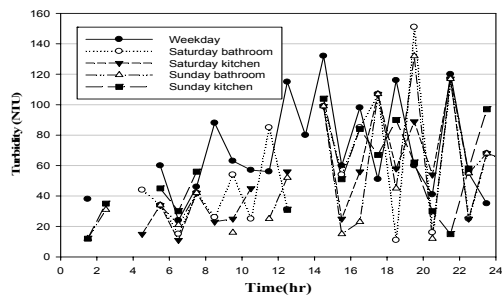


(a) 겨울

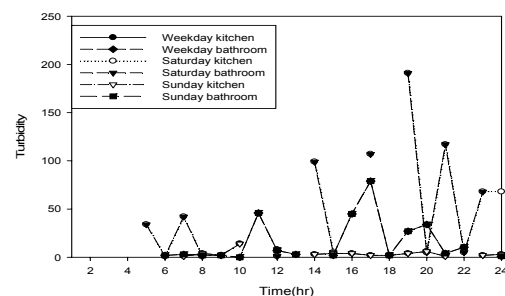


(b) 봄

〈그림 3〉 COD 분석 결과



(a) 겨울



(b) 봄

〈그림 4〉 탁도 분석 결과

1) 모든 그래프 상의 dot-line이 없는 경우는 연이어 샘플링이 되지 않은 경우이다.

보여주고 있으며, 평균 60 NTU의 농도를 나타내고 있다. 봄에는 최고 200 NTU의 농도를 나타내었으나, 평균 10 NTU의 낮은 농도를 나타내었다. 요일별, 발생원별로 분석했을 경우, 겨울에는 평일에 배출량이 많았으며 봄에는 토요일 욕실에서 배출이 많은 것으로 분석되었다. 시간별로 분석해 볼 경우에는, 오후 18-20시 사이에 배출량이 많은 것으로 확인되었다.

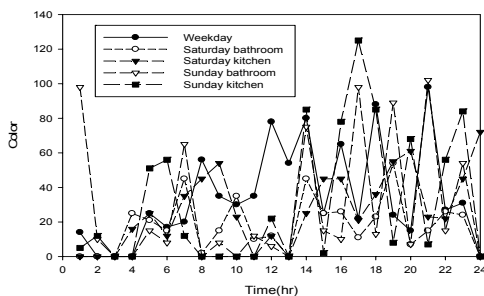
3) 색도

〈그림 5〉는 색도의 계절별, 요일별, 발생원별, 시간별 분석결과이다. 겨울에는 최고 농도 130의 결과를 보여주고 있으며, 평균 40을 나타내고 있다. 봄에는 최고 115의 농도를 나타내었으나, 평균 10의 낮은 농도를 나타내었다. 요일별, 발생원별로

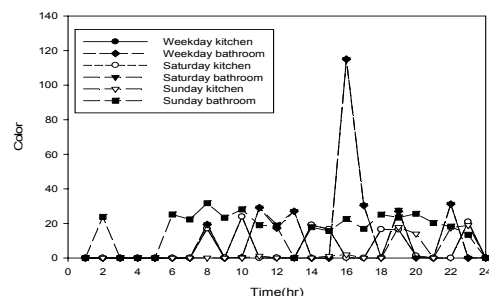
분석했을 경우, 겨울의 토요일 부엌에서 배출이 많은 것으로 분석되었다. 시간별로 분석해 볼 경우에는, 오후 18-20시 사이가 높은 것으로 확인되었다.

4) 부유물질

〈그림 6〉은 부유물질의 계절별, 요일별, 발생원별, 시간별 분석결과이다. 겨울에는 최고 120ppm의 농도를 나타내었으며, 평균 40ppm의 농도를 나타내었다. 봄에는 최고 130ppm의 농도를 나타내었으며, 평균 30ppm의 농도를 나타내었다. 요일별, 발생원별로 분석했을 경우, 겨울의 평일과 토요일 목욕탕에서 배출량이 많았다. 시간별로 분석했을 시에는 오후 18-22시 사이가 높은 것으로 확인되었다.

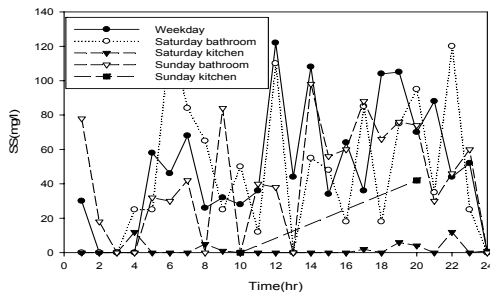


(a) 겨울

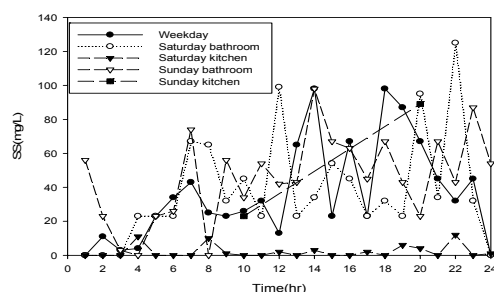


(b) 봄

〈그림 5〉 색도 분석 결과



(a) 겨울



(b) 봄

〈그림 6〉 부유물질 분석 결과

5) 대장균

계절별, 요일별, 발생원별, 시간에 관계없이 모든 잡배수(graywater)에서 300 CFU 이상의 대장균이 검출되었다

6) 발생량

〈그림 7〉은 계절별, 요일별, 발생원별, 시간에 따른 분석결과이다. 겨울에는 최고 배출량이 약 0.3ton/h 이었으며, 봄에는 최고 배출량이 약 1.3ton/h로 분석되었다. 겨울보다는 봄에 배출량이 많았다. 겨울에는 주말보다는 평일에 배출량이 많았으며, 봄에는 평일과 주말에 따른 큰 차이를 보이지 않았다. 발생원별로 분석했을 경우에는 봄 평일의 배출량이 제일 많았으며, 겨울 주말의 경우가 제일 적은 것으로 분석되었다. 시간별로 분석했을 경우에는 계절에 상관없이 오전 6-8시, 오후 18-22시의 배출

량이 비교적 많은 것으로 분석되었다.

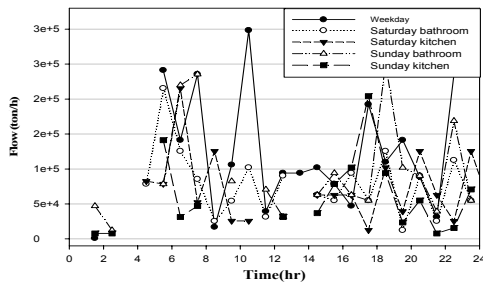
2. A₂O-마이크로 필터(Micro Filtration) 멤브레인 시스템

1) COD

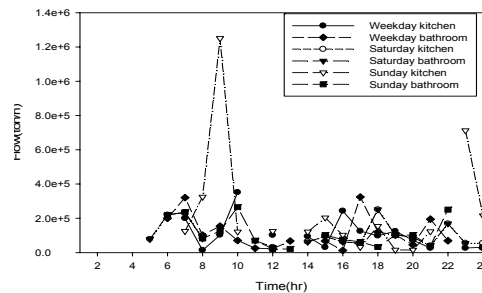
〈그림 8〉은 A₂O-마이크로 필터(Micro Filtration) 멤브레인 시스템에 의한 COD 제거 효율을 분석한 결과이다. 유입수의 최대 농도는 1600mg/L였으며, 최소 농도는 42mg/L였다. 시스템이 안정화됨에 따라 100%의 제거효율을 나타내었다.

2) 탁도

〈그림 9〉는 A₂O-마이크로 필터(Micro Filtration) 멤브레인 시스템에 의한 탁도 제거 효율을 분석한 결과이다. 유입수의 최대 농도는 403 NTU였으며,

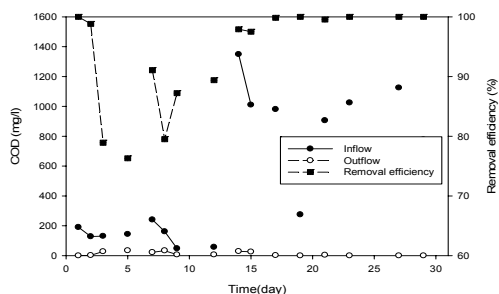


(a) 겨울

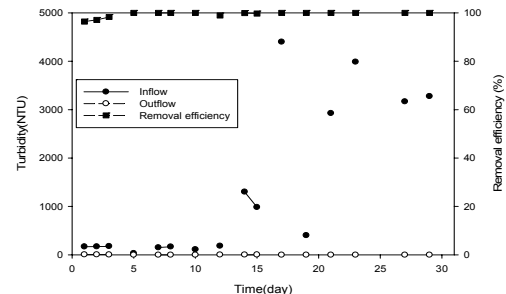


(b) 봄

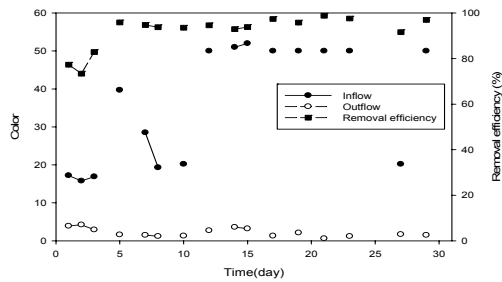
〈그림 7〉 발생량 분석 결과



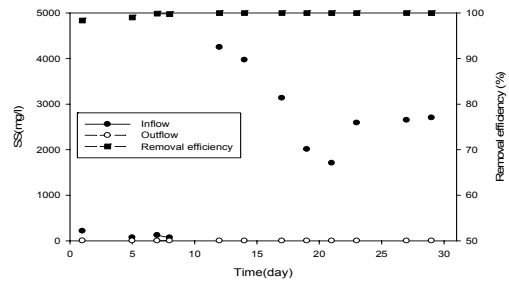
〈그림 8〉 COD 분석결과



〈그림 9〉 탁도 분석결과



〈그림 10〉 색도 분석결과



〈그림 11〉 부유물질 분석결과

최소 농도는 31 NTU였다. 시스템이 안정화 됨에 따라 100%의 제거효율을 나타내었다.

3) 색도

〈그림 10〉은 A_2O -마이크로 필터(Micro Filtration) 멤브레인 시스템에 의한 색도 제거 효율을 분석한 결과이다. 유입수의 최대 농도는 51.0이었으며, 최소 농도는 15.8이었다. 시스템이 안정화됨에 따라 98%의 제거효율을 나타내었다.

4) 부유 물질

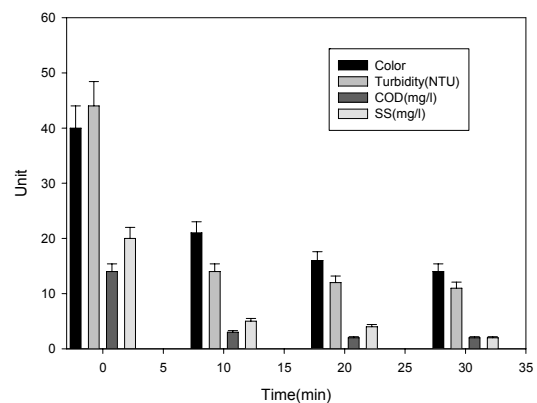
〈그림 11〉은 A_2O -마이크로 필터(Micro Filtration) 멤브레인 시스템에 의한 부유물질 제거 효율을 분석한 결과이다. 유입수의 최대 농도는 4200mg/L 이었으며, 최소 농도는 72mg/L였다. 시스템이 안정화됨에 따라 100%의 제거효율을 나타내었다.

5) 대장균

유입수와 유출수 모두 300 CFU 이상의 대장균이 검출되었다. A_2O -마이크로 필터(Micro Filtration) 멤브레인 시스템은 농도에 상관없이 대장균을 제거할 수 없음을 확인하였다.

3. 고도산화처리(Advanced Oxidation Process)

1) COD, 탁도, 색도, 부유물질



〈그림 12〉 COD, 탁도, 색도, 부유물질 제거 경향

〈그림 12〉는 고도산화처리에 의한 COD, 탁도, 색도, 부유물질의 제거 경향을 나타낸 그래프이다. 그래프의 값들은 실험값들의 평균값들이다. 좌변은 처리된 후의 COD, 탁도, 색도, 부유물질의 농도를 나타낸 것으로 단위는 그래프 안에 표시되어 있다. 각 그래프마다 오차 범위를 나타내었다. A_2O -마이크로 필터(Micro Filtration) 멤브레인 시스템이 안정화되지 못하였을 때, 제거효율이 상당히 좋지 않았다. 따라서, 후속 공정인 고도산화처리(Advanced Oxidation Process) 공정의 효율

도 좋을 수가 없었다. 그러나 A_2O -마이크로 필터(Micro Filtration) 시스템이 안정화됨에 따라서 제거효율도 향상되었고, 고도산화처리(Advanced Oxidation Process) 공정의 효율도 향상되었다. 마지막 실험에서는 COD의 제거효율이 99%까지 향상되었으나, 총 평균 효율은 95%로 분석되었다. 또한 탁도의 제거효율도 마지막 실험에서는 99%의 효율을 나타내었으나, 총 평균 효율은 70%로 분석되었다. 색도와 부유물질의 경우에는 마지막 실험에서 99%의 제거 효율을 나타내었으나, 각각 총 평균 효율은 색도는 75%, 부유물질은 90%를 나타내었다.

2) 대장균(*E.coli*)

대장균의 제거효율은 100%였다. 비록 A_2O -마이크로 필터(Micro Filtration) 멤브레인 시스템은 대장균을 제거하지 못하였으나, 고도산화처리공정에서 0 CFU로 분석되었다.

IV. 결론

환경적인 면이나 위생보건학적인 측면에서, 대부분의 나라에서는 잡배수(graywater)에 대한 법규나 특별한 가이드라인이 없는 것이 현실이다. 그런 까닭에 적절한 처리가 없이 잡배수(graywater)가 종종 사용되어진다. 잡배수(graywater)의 적절한 처리 시스템이 필요하며, 본 연구에서는 A_2O -마이크로 필터(Micro Filtration) 멤브레인-고도산화처리(Advanced Oxidation Process) 시스템을 제안하였다. 본 연구결과에 의하면 공동주택 단지 내에서 발생하는 잡배수(graywater)의 수량 및 수질은 지속가능한 수처리 시스템을 위한 충분한 조건을 갖추었다고 할 수 있다. A_2O -마이크로 필터(Micro Filtration) 멤브레인-고도산화

처리(Advanced Oxidation Process) 시스템은 잡배수(graywater)에 대한 좋은 처리 능력을 보여주었다. A_2O -마이크로 필터(Micro Filtration) 멤브레인 시스템은 COD, 탁도, 색도, 부유물질 제거에 효과적이었으며, 고도산화처리(Advanced Oxidation Process) 시스템은 대장균의 제거에 효과적이었다. 즉, 화장실 용수, 소방용수, 세차용수, 조경용수, 인공습지에 사용하기 위한 수질 기준인 COD 20mg/L 이하, 탁도 2 NTU 이하, 색도 20 이하, 부유물질 5mg/L 이하, 대장균 불검출 조건을 만족하였다. 따라서 처리되어진 잡배수(graywater)는 화장실 용수, 소방용수, 세차용수, 조경용수, 인공습지에 사용되어질 수 있다. 만약 이 시스템이 아파트와 같은 공동주택 단지 안에 설치되어진다면 물수요량과 하수 발생량의 절감에 기여할 수 있다. 궁극적으로는 도시 내에서 자연수순환계의 지속성을 확보할 수 있을 것으로 사료된다.

참고문헌

- Al-Jayyousi, Odeh, 2003, "Graywater reuse: towards sustainable water management", *Desalination*, 156: 181~192.
- Al-Jayyousi, Odeh, 2004, "Graywater reuse: knowledge management for sustainability", *Desalination*, 167: 27~37.
- Almeida, M. C., Butler, D., and Friedler, E., 1999, "At-source domestic wastewater quality", *Urban Water*, 149~155.
- Birks, R., Hills, S., Diaper, C., and Jeffrey, P., 2003, "Assessment of water savings from single house domestic graywater recycling systems", *Efficient 2003, 2nd Int. Conf. on Efficient Use and Management of Urban Water Supply*, Tenerife, Canary Islands, Spain, IWA, AWWA and AEAS
- Butler, D., Friedler, E., and Gatt, K., 1995,

- "Characterising the quantity and quality of domestic wastewater inflows", *Water Sci. Technol.*, 31(7): 13~24.
- Diaper, C., Dixon, A., Butler, D., Fewkes, A., Parsons, S. A., Stephenson, T., Strathern, M., and Strutt, J., 2001, "Small scale water recycling systems-risk assessment and modelling", *Water Sci. Technol.*, 43(10): 83~90.
- Dixon, A., Butler, D., and Fewkes, A., 1999, "Water saving potential of domestic water reuse systems using graywater and rainwater in combination", *Water Sci. Technol.*, 39(5): 25~32.
- Friedler, E. and Galil, N. I., 2003, "On-site greywater reuse in multi-story buildings: Sustainable solution for water saving", *Efficient 2003, 2nd Int. Conf. on Efficient Use and Management of Urban Water Supply*, Tenerife, Canary Islands, Spain. IWA, AWWA and AEAS.
- Friedler, E., 2004, "Quality of individual domestic graywater streams and its implication for on-site treatment and reuse possibilities", *Environ. Technol.*, 25(9): 997~1008.
- Friedler, E., Galil, N. I. and Kovalio, R., 2005, "On-site graywater treatment and reuse in multi-storey buildings", *Water Sci. Technol.*, 51(10): 187~194.
- Garland, J. L., Levine, L. H., Yorio, N. C. and Hummerick, M. E., 2004, "Response of graywater recycling systems based on hydroponic plant growth to three classes of surfactants", *Water Research*, 38: 1952~1962.
- Goddard, M., 2006, "Urban graywater reuse at the D'LUX Development", *Desalination*, 188: 135~140.
- Gross, A., Shmueli, O., Ronen, Z. and Raveh, E., 2006, "Recycled vertical flow constructed wetland (RVFCW)-a novel method of recycling greywater for irrigation in small communities and households", *Chemosphere*.
- Hills, S., Smith, A., Hardy, P., and Birks, R., 2001, "Water recycling at the Millennium Dome", *Water Sci. Technol.*, 43(10): 287~294.
- Jefferson, B., Laine, A. L., Stephenson, T., and Judd, S. J., 2001, "Advanced biological unit processes for domestic water recycling", *Water Sci. Technol.*, 43(10): 211~218.
- March, J. G., Gual, M., and Orozco, F., 2004, "Experiences on graywater re-use for toilet flushing in a hotel (Mallorca Island, Spain)", *Desalination*, 164: 241~247.
- Nghiem, L. D., Oschmann, N., and Schafer, A. I., 2006, "Fouling in graywater recycling by direct ultrafiltration", *Desalination*, 187: 283~290.
- Ogoshi, M., Suzuki, Y., and Asano, T., 2001, "Water reuse in Japan", *Water Sci. Technol.*, 43(10): 17~23.
- Oschmann, N., L. D. Nghiem, and A. I. Schafer, 2005, "Fouling mechanisms of submerged ultrafiltration membranes in graywater recycling", *Desalination*, 179: 215~223.
- Prathapar, S. A., Jamrah, A., Ahmed, M., Al Adawi, S., and Al Sidairi, S., 2005 "Overcoming constraints in treated graywater reuse in Oman", *Desalination*, 186: 177~186.
- Ramon, G., Green, M., Semiat, R., and Dosoretz, C., 2004, "Low strength graywater characterization and treatment by direct membrane filtration", *Desalination*, 170: 241~250.
- Rose, J. B., Sun, G. S., Gerba, C. P., and Sinclair, N. A., 1991, "Microbial quality and persistence of enteric pathogens in graywater from various household sources", *Water Res.*, 25: 37~42.
- Shin, H. S., Lee, S. M., Seo, I. S., Kim, G. O., Lim, K. H., and Song, J. S., 1998, "Pilot-scale sbr and mf operation for the removal of organic and nitrogen compounds from graywater", *Water Sci. Technol.*, 38(6): 79~88.

원 고 접 수 일 : 2007년 11월 15일
1차심사완료일 : 2007년 12월 27일
최종원고채택일 : 2008년 1월 18일