

역세 배출수 처리를 위한 관형막의 전량여과 운전 적용에 대한 연구

A Study about Applicability of Treatment for Backwash Water Using Tubular Membrane System with Dead-End Operation Mode

엄정열¹ · 김관엽^{1*} · 김영훈¹ · 송준섭¹ · 김형수¹ · 한명애² · 양형석²

Eom, Jung Yeol¹ · Kim, Kwan Yeop^{1*} · Kim, Young Hoon¹ · Song, June Sup¹ · Kim, Hyung Soo¹

Han, Myung Ae² · Yang, Hyung Seok²

1 성균관대학교 건설환경시스템공학과, 2 안산시 상하수도사업소

(2007년 12월 31일 접수 ; 2008년 6월 2일 수정 ; 2008년 8월 4일 채택)

Abstract

Many other countries have investigated the new backwash water treatment process to save the existing water resource. There are various methods for reusing backwash water, but the membrane system has received the most interest for its efficiency.

The objective of this study was to certify the application of membrane filtration system for the backwash water treatment. The experiment equipment was composed of Lab scale tubular membrane filtration system. Generally, cross-flow operation mode is used in the tubular membrane system but cross-flow operation mode demands high electric cost mainly for the pump energy. So to cut off electric cost, dead-end operation mode was used in this experiment.

Filtration and bleed operation cycle was used in this membrane system. Backwash water was concentrated during the filtration process and when backwash water reached our target suspended solid concentration, it was discharged from this system. For efficient operation of filtration and bleed, mathematical matrix was drawn up and with this matrix we could simulate various sets of filtration and bleed time.

Key words : backwash water, tubular membrane, membrane filtration system, dead-end, matrix, suspended solid concentration

주 제 어 : 역세 배출수, 관형막, 막여과 공정, 전량여과, 매트릭스, 부유 고형물 농도

1. 서론

현재 대부분의 기존 정수처리 공정에서 발생하는 배출수는 크게 두 가지로 나눌 수 있는데 하나는 응집, 혼화를 거친 후 침전지에서 발생하는 배슬러지이며, 다른 하나는 모래여

과지 역세척 후에 발생하는 역세 배출수이다. 각 슬러지의 양은 원수의 특성, 응집제 사용량, 정수공정의 성능, 침전지의 효율과 슬러지 배출방법, 그리고 역세척 주기 등에 의하여 결정된다 (WEF, ASCE, 1998, Kawamura et al., 2000). 정수공정에서 발생하는 배출수의 양과 특성은 정수

공정과 밀접한 관계가 있음에도 불구하고, 배출수 처리시설은 종종 정수공정과 별개의 문제로 취급되는 경향이 있었다. 그러나 최근에는 방류수 수질기준이 강화됨에 따라 배출수 처리비용이 증가하면서 배출수 처리는 점차 정수공정의 중요한 부분으로 인식되고 있다 (Cornwell et al., 1999).

국내 대부분의 정수장에서 모래여과에서 발생한 역세 배출수의 회수를 위해서 배출수조 (회수조) 시설을 설치하여 착수정으로 반송한 후 원수와 함께 재사용하고 있다. 이와 같은 방법은 정수장의 배출수 처리시설에서 간헐적으로 생산되어 착수정으로 반송되는 역세 배출수의 회수유량이나 수질이 정수공정에 미치는 영향이 전혀 고려되지 않아 수돗물 생산 공정에 커다란 오차를 발생시킨다 (배 등, 2002). 일반적으로 하계의 슬러지는 하천이 우기 태풍 등의 영향으로 고탁도를 나타내기 때문에 슬러지 농도가 높고, 동계의 슬러지는 갈수기에 들어가기 때문에 하천의 탁도는 낮고, 응집제의 주입율이 높아지기 때문에 슬러지 농도가 낮아져 계절에 따른 슬러지의 침강특성에 큰 차이를 나타내 계절별 슬러지 농도 변화에 대한 고려 없이 설치된 기존 배출수 처리시설은 많은 문제점을 지니고 있다.

이러한 기존 배출수 처리 문제점을 해결하기 위하여 국외에서는 다양한 막여과 공정을 이용한 역세 배출수 처리 공정 등 기존 정수장의 회수율을 높이고 일정 농도로 농축 슬러지를 배출하는 공정이 연구되고 있다. 기존 배출수 처리시설의 대체시설로서 막여과 방식은 반송수의 안정성, 에너지의 재이용, 슬러지의 농축성 증가와 농도 안정화, 슬러지 처리량의 삭감, 탈수 공정에서의 부하 경감, 사용 부지 절감 등의 이점을 얻을 수 있다. 영국 (Mark Wilf et al., 2003), 네덜란드 (Willemse et al., 1999) 등 유럽 등지에서 막여과 공정을 이용한 역세 배출수 처리 시스템은 수질적으로 안정한 처리수를 얻을 수 있다는 것과 공정의 적합성에 대한 결과를 도출하였으며, 일본에서도 역세 배출수 및 침전 슬러지를 대상으로 한 막여과 공정의 도입에 관한 연구 결과 (ACT 21, 2001, e-Water, 2005)를 발표한 바 있다. 그러나 국내에서는 아직 막여과 공정을 이용한 기존 정수장 역세 배출수 처리에 관한 연구가 미미한 상태이다.

본 연구에서는 막여과 공정을 이용한 역세 배출수 처리 시설 적용 가능성 확인을 위해 batch 실험을 실시하였다. 역세 배출수 막여과 공정에 사용할 막을 선정함에 있어 고농도의 원수 처리가 가능한 회전 원형막, 평막과 관형막 중 현재 C시에서 축산폐수 처리용으로 사용되고 있는 관형막을 선택하였으며, 일반적인 관형막 운전 방식인 십자류 여과가 아닌 전량 여과 운전 방식을 이용하여 펌프에 의한 에너지 소비를 절감하는 동시에 일정한 농도의 농축 슬러지를 배출할 수 있는 막여과 공정을 구성하는 것을 목적으로 하였으며 본 막여과 공정 구성에 적합한 매트릭스를 작성하여 운전

적용한 후 그 사용 가능성에 대해 확인하고자 하였다.

2. 실험 방법 및 재료

본 연구에서는 관형막의 일반적인 운전방식인 십자류 여과가 아닌 전량 여과 방식을 택하였으므로 원수로 사용한 배출수의 농축은 모듈 유로 내에서 이루어진다. 따라서 여과시간을 오래 지속시킬수록 유로 내에서의 배출수 SS 농도는 점차적으로 증가하며, 지나치게 긴 여과시간을 택하는 경우 유로의 막힘이 발생할 우려가 있다. 이러한 이유로 여과 지속시간과 모듈 유로내의 농축 SS 농도의 관계를 정립하기 위하여 수학적 방법을 이용하였다.

막 모듈 유로 내의 농축 슬러지 SS 농도가 목표농도에 도달할 시점까지의 여과 지속시간을 설정하기 위하여 아래 식 (1) 같은 물질 수지를 이용하였다.

$$\sum_{i=1}^N Q_{in,i} \times C_{in,i} - \sum_{j=1}^N Q_{out,j} \times C_{out,j} = \frac{d}{dt} (V \times C_{sys}) \quad \text{식(1)}$$

여기서 Q_{in} 은 유입유량, C_{in} 은 유입농도, Q_{out} 은 유출유량, C_{out} 은 유출농도, V 는 장치부피, C_{sys} 는 장치 내 농도이다.

본 실험에서 유출유량은 투과 플럭스 측정으로 얻을 수 있으며 전량 여과로 운전방식을 설정하였기 때문에 유입유량(Q_{in})과 유출유량(Q_{out})은 같고, 관형막에서 배출수가 농축되는 공간은 모듈 유로이므로 장치 부피는 이미 정해진 값의 상수로 볼 수 있다. 여기서 왼쪽 항과 오른쪽 항의 농도(C)를 SS 농도라 설정했을 때 본 막의 공경은 30 kDa이므로 유출농도(C_{out})는 0 mg/L로 설정할 수 있다. 따라서 위 식 (1)을 본 실험에 사용할 수 있도록 정리하여 식(2)에 나타내었다.

$$Q_{out} \times C_{in} = \frac{d}{dt} (V \times C_{sys}) \quad \text{식 (2)}$$

여기서 t 는 여과 지속시간, V 는 막 모듈 유로의 부피, Q_{out} 은 투과 유량, C_{in} 은 유입 SS 농도, C_{sys} 는 모듈 유로 내 농축 슬러지 SS 농도이다.

C_{sys} 값이 목표 농도까지 도달하는데 필요한 여과 지속시간을 산출하기 위한 변수는 위 식(2)에서 나타낸 것과 같이 V 를 제외한 총 3개이다. 이 변수들을 적용하여 막 모듈 유로 내의 농축 슬러지 SS 농도를 6,000 mg/L로 설정했을 때 운전 매트릭스 작성 예를 Fig. 1에 나타내었다.

본 연구에서의 실험 원수는 A시에 위치하고, 한강수계 원수를 사용하는 A정수장의 탈수기동으로 유입되는 농축 슬러지를 이용하였고, SS 농도는 110,000~130,000 mg/L로 나타났다. 일반적인 역세 배출수의 SS 농도의 범위는 100~500 mg/L (한국수자원공사, 2002)지만 본 실험에서

여과시간	플럭스	막면적	형식	유로개수	
t[min]	50LMH	0.5m ²	tubular	7 channel	
0	1,000	2,000	3,000	4,000	5,000
1	1,113	2,225	3,338	4,450	5,563
2	1,225	2,450	3,676	4,901	6,126
3	1,338	2,676	4,014	5,351	6,689
4	1,450	2,901	4,351	5,802	
5	1,563	3,126	4,689	6,252	
6	1,676	3,351	5,027	6,703	
7	1,788	3,577	5,365		
8	1,901	3,802	5,703		
9	2,014	4,027	6,041		
10	2,126	4,252	6,378		
20	3,252	6,505			
30	4,378				
40	5,505				
50	6,631				

여과시간	플럭스	막면적	형식	유로개수	
t[min]	75LMH	0.5m ²	tubular	7 channel	
0	1,000	2,000	3,000	4,000	5,000
1	1,169	2,338	3,507	4,676	5,845
2	1,338	2,676	4,014	5,351	6,689
3	1,507	3,014	4,520	6,027	
4	1,676	3,351	5,027	6,703	
5	1,845	3,689	5,534		
6	2,014	4,027	6,041		
7	2,182	4,365	6,547		
8	2,351	4,703			
9	2,520	5,041			
10	2,689	5,378			
20	4,378	8,757			
30	6,068				

Fig. 1. 여과 지속시간을 위한 운전 매트릭스 작성 예.

는 매트릭스의 적용 가능성을 확인하기 위한 시간 감소를 위해 그보다 더 높은 농도인 2,200 mg/L로 설정하여 실험 원수로 사용하였다.

본 연구에서 사용된 실험 장치는 Fig. 2와 같이 Table 1의 제원을 갖는 2개의 관형막으로 구성하였다. 펌프와 가까이 있는 전단 막을 UF1, 후단 막을 UF2로 정하였다. 운전 방법은 십자류여과 운전방식에 비해 펌프 동력에 의한 에너지 손실을 절감할 수 있고 막모듈을 통한 손실수두가 더욱 안정된 (Willemse et al., 1999) 전량여과 방식으로 운전하였으며 SS 농도 2,200 mg/L의 원수를 막 모듈 유로 내에서 농축시킨 후 식 (2)를 통하여 작성한 매트릭스를 사용하여 산출되는 목표 농축 농도 달성 시간에 배출 (bleed) 밸브를 열어 농축 슬러지를 배출하도록 하였다. 여과시간과 배출시간을 모두 포함하여 one cycle로 설정하였다. 본 실험장치 운전에서 정압여과 방식을 택하여 여과 시간동안 TMP는 0.4 kgf/cm²로 일정하게 유지되도록 조정하였다. 또한 전량여과 운전방식이므로 원심펌프로 공급된 원수 중 처리수로 생산되어진 유량 이외에는 by-pass를 통하여 순환되도록 하였다.

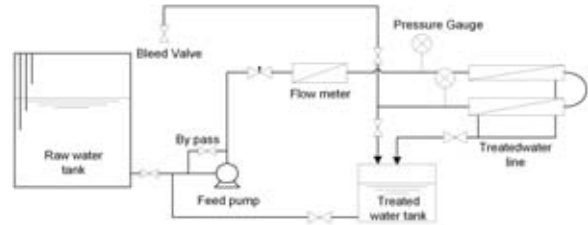


Fig. 2. 실험 장치.

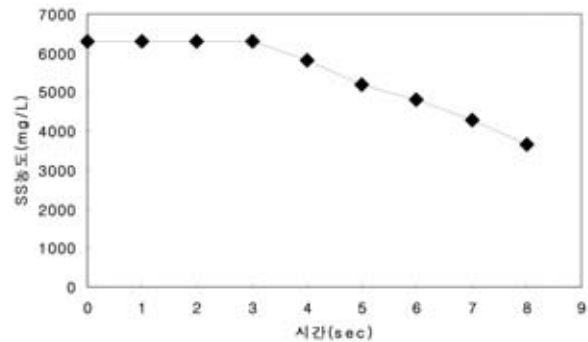


Fig. 3. 설정 배출시간에 따른 농축 슬러지 SS 농도.

실험은 본 실험장치가 설치된 A정수장에서 발생하는 배슬러지의 SS 농도 수준인 6,000 mg/L를 막 모듈 유로 내 SS 농축 농도로 설정한 운전으로 Fig. 1에 예시된 매트릭스를 통한 막 모듈 유로 내 SS 농축 농도 예측이 적합성 검증 운전과 일반 정수장의 배슬러지의 SS 평균 농도인 10,000 mg/L를 막 모듈 유로 내 SS 농축 농도로 설정한 운전으로 구성되었다.

본 실험 진행에 앞서 농축 슬러지 배출 시간을 결정하기 위한 선행 실험을 실시하였다. 선행 실험에서 설정한 목표 막 모듈 내 농축 슬러지의 목표 SS 농도는 A 정수장의 배슬러지 SS 농도로 설정하였다. 우선 전량여과로 운전을 지속시킨 후 배출 밸브를 열었을 때 유출되는 유량을 측정하여 막 모듈의 길이를 통과하는데 소요되는 시간을 산출하였으며 산출된 시간을 근거로 배출되는 농축 슬러지의 SS 농도를 측정하여 최적 시간을 선정하도록 하였다.

분석 방법으로써 본 실험에서는 수온, 플럭스, 배출된 농

Table 1. 실험에 사용된 막의 사양

구 분	한외여과막
형 태	Tubular
MWCO	30kDa
재 질	Polysulfone
모듈당 막면적	0.5m ² /module
총 막면적	1m ²
순수투과 플럭스	300 L/m ² · hr (LMH, 25°C, 2kgf/cm ²)
규 격	13mm(Ø)×2m(L)×7(tube)

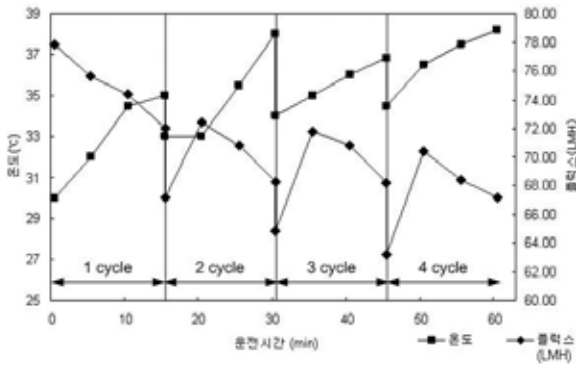


Fig. 4. RUN1 운전 결과 UF1.

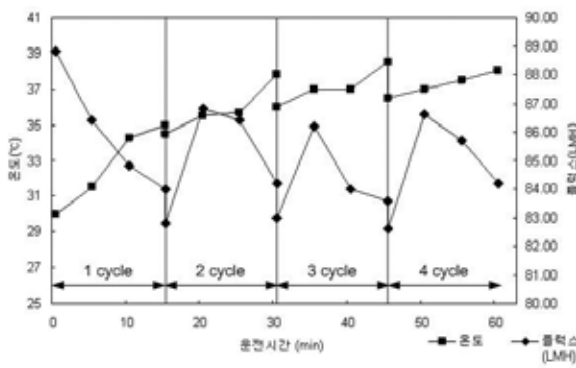


Fig. 5. RUN1 운전 결과 UF2.

축 슬러지의 SS 농도를 실험 항목으로 선정하여 각 운전에서 UF1과 UF2에 대한 각 항목들을 측정하였다. 또한 운전 종료 후 하우징에서 막을 분리하여 유로폐색 여부를 확인하였다.

플럭스와 온도는 현장에서 즉시 측정하였고, 배출된 농축 슬러지의 SS 농도는 시료 채취 후 Standard Methods에 의거하여 수행하였다. 수온은 pH/ORP/DO meter (Horiba D-25)를 사용하여 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 농축 슬러지 배출 지속시간 선정 실험 결과

선행 실험에서 배출 밸브 개방에 의해 유출되는 유량을 통해 산정한 시간을 이용하여 배출 지속 시간은 8초로 설정하였으며, Fig. 1의 예시 운전 매트릭스를 고려하여 2,200 mg/L SS 농도 원수를 여과 지속 시간 15min으로 운전한 후 배출된 농축 슬러지의 SS 농도를 측정해 그 결과를 Fig. 3에 나타내었다.

선행 운전에서 나타난 플럭스는 70 L/m² · hr (LMH)였으며, Fig. 3의 SS 농도 변화를 살펴본 결과 배출지속 시간을 3초간 유지했을 때가 가장 효율적이라는 것을 확인할 수

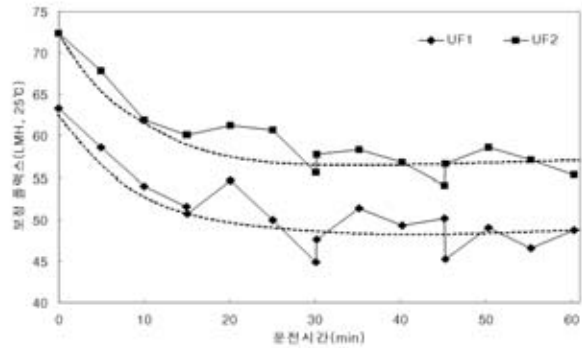


Fig. 6. RUN1 운전시간에 따른 온도 보정 플럭스(LMH, 25°C).

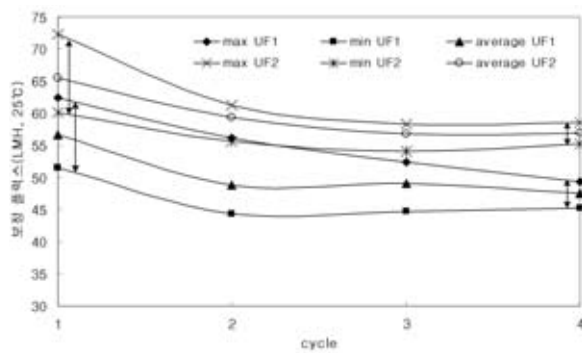


Fig. 7. RUN1 cycle에 따른 최대, 최소, 평균 보정 플럭스.

있었다. 따라서 배출 밸브를 열었을 때 UF1과 UF2의 유로에 농축된 슬러지가 원수의 유입에 의하여 배출되는 시간이 총 3초라고 예상 할 수 있으며 3초 이상 농축 슬러지를 배출하는 경우 새로 유입된 원수가 농축 슬러지와 함께 배출되어 희석되므로 SS 농도가 감소하는 것을 확인할 수 있었다. 3초 동안 배출된 농축 슬러지는 약 6,100 mg/L의 SS농도를 나타내었다.

선행 실험의 결과에 따라 차후 실험 운전조건에서는 배출 시간을 3초로 선정하여 운전을 진행하였다.

3.2. A 정수장 배슬러지 SS 농도를 목표로 한 운전 (RUN1) 결과

초기 운전 (이하 RUN1)에서 배출되는 농축 슬러지의 SS 농도는 A 정수장의 배슬러지 SS 농도 수준인 6,000 mg/L를 목표 농축 농도로 정하였으므로 Fig. 1과 같은 방식으로 작성한 세부 매트릭스에 따라 15 min의 여과 지속시간으로 운전하였다.

RUN1의 운전 결과를 Fig. 4, 5에 나타내었다.

RUN1 실험 결과 처리수의 온도는 by-pass로 순환되는 유량이 펌프의 영향으로 다소 높게 나타났으며 농축 슬러지를 배출 한 후에는 상대적으로 온도가 낮은 원수가 유입됨으

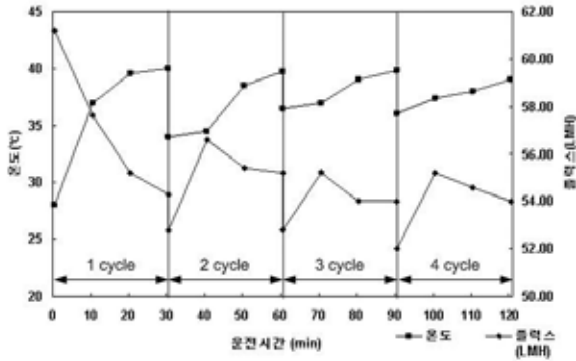


Fig. 8. RUN2 운전 결과 UF1.

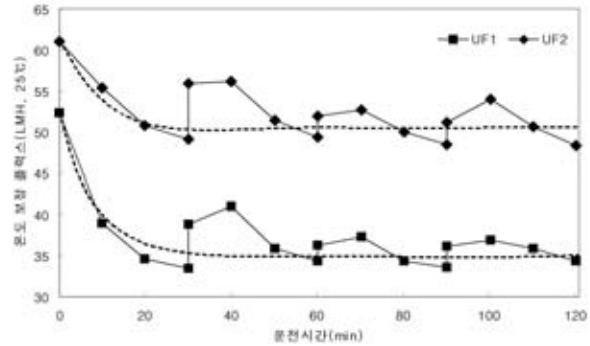


Fig. 10. RUN2 운전시간에 따른 온도 보정 플럭스(LMH, 25°C).

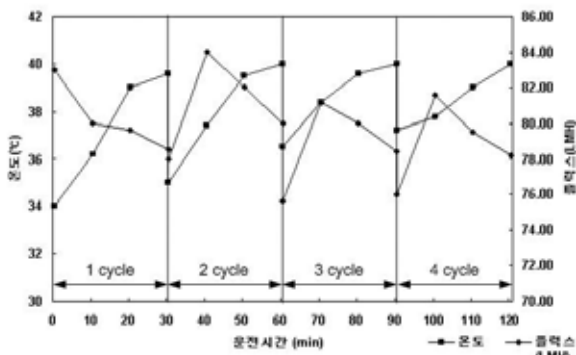


Fig. 9. RUN2 운전 결과 UF2.

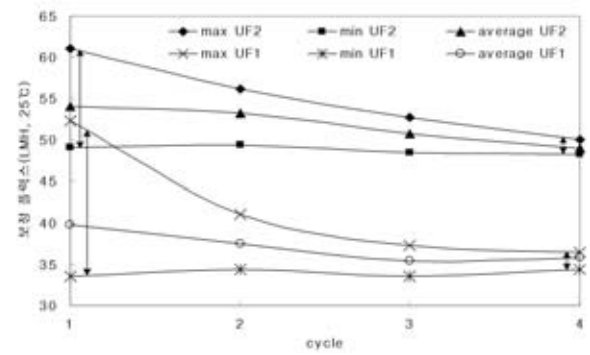


Fig. 11. RUN2 cycle에 따른 최대, 최소, 평균 보정 플럭스.

로써 cycle 초기에 감소하는 것을 확인 할 수 있었다. 매 cycle마다 실제적인 플럭스의 변화를 살펴보면 cycle이 시작되는 점에서 이전 cycle의 최종 플럭스보다 낮게 시작되는 것을 알 수 있다. 이것은 배출 밸브의 열림으로 약간의 압력강하에 의한 것으로 압력이 0.4 kgf/cm²을 유지하면 다시 플럭스가 증가한 후 시간에 따라 감소하는 것을 확인할 수 있다. 각 cycle마다 배출된 슬러지의 평균 SS농도는 6,300 mg/L로 나타났으며 최대 농도와 최소 농도의 차이는 400 mg/L로 변동 폭이 작았다. 운전 진행 시간 동안 플럭스의 급격한 저하 및 압력의 변화가 관찰되지 않아 막의 유로가 폐색되지 않은 것으로 예상하였지만 보다 정확한 확인을 위하여 운전 종료 후 막을 하우징에서 분리하여 유로를 확인해 본 결과 예상과 같이 유로의 폐색은 발생하지 않은 것으로 확인되었다.

RUN1은 압력을 0.4 kgf/cm²로 유지한 정압여과로써 압력의 변화는 농축 슬러지 배출시간을 제외하고는 발생하지 않았으므로 동일한 온도 설정에 따른 플럭스의 변화를 확인하기 위하여 온도를 25°C로 보정한 후 Fig. 6에 나타내었고 각 cycle별 최대, 최소, 평균 보정 플럭스를 Fig. 7에 나타내었다. UF1의 경우 초기 보정 플럭스는 63 L/m² · hr에서 점차 감소하여 51 L/m² · hr수준으로 유지되었으며 UF2의 경우에는 초기 보정 플럭스 72 L/m² · hr에서 점차 감소하여 56

L/m² · hr 수준으로 유지되는 것을 확인할 수 있었다. 본 실험에서 적용한 전량여과 방식에서는 운전시간이 지속될수록 플럭스가 연속적으로 감소하는 것이 일반적이지만 Fig. 6과 같이 플럭스의 변화 양상이 십자류여과에서의 플럭스 변화 양상과 유사하다는 것을 확인할 수 있었으며 운전 초기에 플럭스가 감소하다가 운전이 진행될수록 플럭스의 변화 폭이 작아지면서 점차적으로 일정하게 유지되는 경향이 관찰되었다. 또한 Fig. 7에서 나타낸 각 cycle별 최대, 최소, 평균 플럭스의 각 차이도 초기에는 UF1과 UF2 모두 12 L/m² · hr의 차이를 보였지만 cycle 횟수가 증가하면서 점차 폭이 감소하여 최종적으로 UF1은 5 L/m² · hr, UF2는 3 L/m² · hr의 차이를 나타내는 것이 관찰되었다. 이러한 이유는 일정한 여과 운전 시간 후 주기적인 농축 슬러지 배출을 위해 유입되는 원수의 유속이 막면에 전단력을 형성하여 축적된 cake 층을 제거하므로 운전 초기에는 일정부분의 여과 성능을 회복시키기 때문인 것으로 판단된다.

RUN1의 실험 결과와 Fig. 1에서 나타낸 운전 매트릭스를 비교하여 살펴보면 매트릭스에 적용된 플럭스는 보정플럭스가 아닌 실제 측정된 플럭스를 고려하여 작성된 것이므로 Fig. 4.5에서 관찰된 UF1과 UF2의 운전시간 동안 총 평균 플럭스를 산출하였다. UF1과 UF2의 실제 측정된 총 평균 플럭스는 약 76 L/m² · hr였으며 Fig. 1에서 플럭스가 75

L/m²·hr이고 유입 원수의 SS농도가 2,000 mg/L인 경우 운전 지속시간 10분에서 20분 사이에 약 6,000 mg/L에 도달한다는 것을 확인할 수 있다. 따라서 식 (2)를 이용하여 작성한 운전 매트릭스를 실험 결과에 적용하는 것에 문제가 없을 것으로 판단되어 RUN2 운전을 실시하였다.

3.3. 일반 정수장 배슬러지 평균 SS 농도를 목표로 한 운전 (RUN2) 결과

A 정수장 배슬러지의 SS 농도 수준의 슬러지 농축 가능성과 매트릭스 적용 가능성을 확인한 RUN1 실험 결과를 도출한 후 일반 정수장 배슬러지의 평균 SS 농도인 10,000 mg/L를 목표 농축 농도로 설정한 운전 (이하 RUN2)을 실시하였다. RUN2는 RUN1과 같은 배출시간인 3초를 적용하였으며 RUN1 운전에서 적용된 매트릭스 작성방법과 동일한 방법을 이용하여 매트릭스를 작성하였고 운전 지속시간을 30 min으로 설정하였다.

RUN2의 운전 결과를 Fig. 8, 9에 나타내었다.

RUN1과 마찬가지로 by-pass되는 유량의 영향에 의해 처리수의 온도가 다소 높게 측정되었으며 농축 슬러지 배출 후에는 다시 온도가 감소하였다. 또한 RUN1과 같은 이유로 매 cycle마다 실제적인 플럭스의 변화를 살펴보면 cycle이 시작되는 점에서 이전 cycle의 최종 플럭스보다 낮게 시작되는 것을 알 수 있다. 각 cycle마다 배출된 슬러지의 평균 SS농도는 10,800 mg/L로 나타났으며 최대 농도와 최소농도의 차이는 약 300 mg/L였다. 운전 진행 중 특이 사항이 관찰되지 않아 유로 폐색은 발생하지 않은 것으로 예상하였으나 정확한 확인을 위하여 운전 종료 후 막을 하우징에서 분리하여 유로를 확인해본 결과 RUN1과 같이 유로의 폐색은 발생하지 않았다.

RUN2 역시 압력을 0.4 kgf/cm²로 유지한 정압여과를 실시하였으므로 동일한 온도에서의 플럭스 변화 양상을 확인하기 위하여 온도를 25°C로 보정한 플럭스를 Fig. 10에 나타내었고 cycle별 최대, 최소, 평균 플럭스를 Fig. 11에 나타내었다. UF1의 경우 초기 보정 플럭스는 52 L/m²·hr에서 점차 감소하여 35 L/m²·hr 수준으로 유지되었으며 UF2의 경우에는 초기 보정 플럭스 61 L/m²·hr에서 점차 감소하여 49 L/m²·hr 수준으로 유지되는 것을 확인할 수 있었다. 또한 Fig. 11에 나타낸 각 cycle별 최대, 최소, 평균 플럭스의 각 차이도 초기에는 UF1에서는 17 L/m²·hr, UF2에서는 12 L/m²·hr의 차이를 보였지만 cycle 횟수가 증가하면서 점차 폭이 감소하여 최종적으로 UF1과 UF2 모두 2 L/m²·hr의 차이를 나타내는 것이 관찰되어 RUN1과 마찬가지로 막면 전단력 형성에 의한 여과 성능 회복 때문이라 판단되었다.

매트릭스 적용 가능성에 대하여 RUN2의 실험결과

RUN1에서 확인한 것과 같이 수학적 방식으로 작성된 매트릭스에 의한 농축 농도 예상이 가능하였으며 플럭스 및 유입 원수의 SS 농도에 따른 운전 지속 시간 결정 등 운전에서 필요한 인자 판단에 적합한 것으로 확인되었다.

4. 결론

본 실험에서는 정수장에서 발생하는 역세 배출수 처리를 위하여 막여과 장치를 적용하는 것에 대한 가능성과 수학적 방식에 의한 운전 매트릭스 작성의 적합성을 확인하고자 하였으며 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

1. 본 실험 장치 운전 방식을 결정함에 있어서 일반적인 관형막의 운전방식인 십자류 여과 대신 전량 여과 운전 방식을 적용하였고 운전 종료 후 하우징에서 막을 분리하여 확인해본 결과 유로의 폐색 없이 안정한 운전이 가능하다는 것을 확인할 수 있었다.
2. 배출 밸브를 통한 농축 슬러지 배출 후에는 상대적으로 수온이 낮은 원수의 유입으로 온도가 감소하고 일정한 압력 저하로 인해 cycle 초기에는 플럭스가 이전 cycle의 플럭스보다 낮게 측정되었으나 압력이 회복된 후에는 다시 플럭스가 향상된 후 점차 감소하였다.
3. 본 실험에서는 전량여과 방식을 이용하였기 때문에 연속적인 플럭스의 감소가 발생할 것이라 예상하였지만 실질적인 플럭스의 변화는 십자류 여과와 비슷한 양상을 보였다. 농축 슬러지 배출 지속시간 선정 실험에서 전단 막 (UF1)과 후단 막 (UF2)는 각각 초기 보정플럭스 63 L/m²·hr와 72 L/m²·hr에서 점차 감소하여 51 L/m²·hr, 56 L/m²·hr 수준으로 유지되는 것이 확인되었으며, 일반 정수장 배슬러지 SS 농도 (10,000 mg/L)를 목표로 한 운전 (RUN2)에서는 각각 52 L/m²·hr와 61 L/m²·hr에서 점차 감소하여 51 L/m²·hr, 46 L/m²·hr 수준으로 유지되는 것을 확인할 수 있었다.
4. cycle 횟수 증가에 따라 각 최대, 최소, 평균 플럭스의 차이가 감소하는 것을 확인할 수 있었다. 목표농축농도를 각각 6,000, 10,000 mg/L로 설정한 운전에서 초기 플럭스의 차이가 17~12 L/m²·hr로 높게 나타났지만 cycle이 진행될수록 점차 감소해 최종에는 2~5 L/m²·hr의 차이를 나타내었다. 이러한 이유는 농축 슬러지 배출과 원수 유입에 의한 유속이 막면에 전단력을 형성하여 일정부분의 투과 성능을 회복시키기 때문인 것으로 판단된다.
5. 막 모듈 유로 내에서 배출수를 농축 시킨 후 주기적으로 배출하는 메커니즘의 안정성을 위한 방안으로 간단한 물질수지 식을 결정하고 이 식에 따른 각 운전 변수

들을 고려하여 운전 매트릭스를 작성하였다. 수학적 방식으로 산출된 운전 매트릭스를 적용하여 운전한 결과, 각 운전에서 목표로 정한 SS 농도의 농축 슬러지를 생산하는 것이 가능하였다. 따라서 일정한 SS 농도의 농축 슬러지 생산으로 보다 효율적인 역세 배출수 처리가 가능 할 것이라 판단되었다.



감사의 글

본 연구에 협조해주신 안산정수장 관계자 분들께 깊이 감사드립니다.

참고문헌

1. Cornwell, D. A., (1999) *Water treatment plant residuals management, In water quality and treatment*. 5th edition, AWWA, McGraw-Hill, Inc
2. 원수 특성을 고려한 상수도 배출수 처리시설 최적설계 연구 (2002), 한국수자원공사.
3. R. J. N. Willemse and Y. Brekvoort (1999) Full-scale recycling of backwash water from sand filters using dead-end membrane filtration, *Water Research*, 33(15), pp. 3379-3385.
4. Mark Wilf, Graeme Pearce, Julie Allam and Javier Suarez (2003) Reclamation of sand filter backwash effluent using capillary ultrafiltration, *March Feature, Membrane Technology*, pp. 85-92.
5. Chris Dotremont, Bart Molenberghs, Wim Doyen, Paul Bielen and Koen Huysman (1999) The recovery of backwash water from sand filters by ultrafiltration, *Desalination*, 126, pp. 87-97.
6. Ger Vos, Yvette Brekvoort and Paul Buys (1997) Full-scale treatment of filter backwash water in one step to drinking water, *Desalination*, 113, pp. 283-284.
7. *ACT 21 Project : 5th Group Final Report* (2001) Japan Water Technology Institute Center.
8. *E-WATER Project : Final Report* (2005) Japan Water Technology Institute Center.
9. 문용택, 최일환 (2003) 역세척수의 원수로의 재이용 연구, *대한환경공학회 춘계학술연구발표회 논문집*, pp. 1131-1135.
10. 김지훈, 최혁, 김관엽, 김형수 (2001) 막분리 시스템에서의 농축률과 투과 플럭스의 관계에 관한 연구, *대한상하수도학회 (공동춘계학술발표회 논문집)*, pp.139-142.
11. 최혁, 김훈, 이종환, 김형수, 임종성 (1999) Feed-and-Bleed 방식으로 운전되는 정수처리용 UF Tubular Membrane System 에서 농축에 따른 투과 flux 의 변화와 저지물질의 농도에측, *대한상하수도학회 (정기총회 및 학술발표회 논문집)*, pp.82-88.