

여과분리형 생물반응조의 고액분리 특성

박영배 · 정용준⁺

부산가톨릭대학교 환경공학과

Solid-Liquid Separation Characteristics with Bio-filter Media Reactor

Young Bae Park · Yong Jun Jung⁺

Department of Environmental Engineering, Catholic University of Pusan

요 약

여과분리형 생물반응조 운전에서 발생하는 flux 감소 원인을 분석하였고, 상등수 수질과 침강성 변화가 flux에 미치는 영향을 평가하였다. 또한 여과막 모듈과 역세정 장치 일체형 시스템의 특성을 평가하였다. 반응조는 17L 유효 용적의 아크릴 반응조에 100 μ m 공경의 여과막 모듈을 통해 배출되는 여과시스템으로, 여과시간이 경과함에 따라 상등수의 수질 특히 탁도와 TOC의 수질이 악화됨에 따라 flux가 점진적으로 감소하였다. MLSS 농도가 18000mg/L 이상에서는 여과저항이 급격히 증가하였다. 상등수의 수질과 flux와의 관계를 규명하기 위해서는 MLSS 농도가 10000mg/L 이상에서는 곤란함에 따라 5000mg/L이 적절한 것으로 판단된다. 활성슬러지 플록을 파괴시켜 SVI를 250으로 조정하여 여과를 시작한 경우, 상등수의 탁도가 증가하여, 침강성이 악화됨에 따라 flux도 점차 감소하였다. 여과막 모듈과 폭기세정 장치를 일체화한 시스템에서 공기 공급은 30-60초 정도로 설정함이 적절한 것으로 나타났다.

핵심용어 : 고액분리, 여과막 모듈, 플럭스, 상등수, SVI

Abstract

This work was performed to find the effect of operation parameters on the permeate flux through the activated sludge dynamic layer, and to indicate the relationship between the water quality of supernatant and flux based on the results. Since the effluent can be obtained through steady and stable formation of cake layer in the bio-filter media system, it is an important subject to keep and control microbes with activated state in the bio-reactor. Filtration resistance was drastically increased at more than 18000mg/L of MLSS. With filtration time continued, the flux was gradually decreased and the water qualities of supernatant monitored by turbidity and TOC were also deteriorated. This phenomenon indicated that the organic materials generated by microbes and accumulated in the reactor might affect the flux in the system. In addition, the decrease of flux was simultaneously observed in the sludge volume index. When SVI was controlled from 150 to 250, the flux was also decreased. The proper aeration time was recommended to 30 to 60 seconds in this system. In order to operate this system steadily, therefore, the control of water quality of supernatant and SVI should be proceeded.

Keywords : Filter media, flux, solid-liquid separation, SVI, supernatant

1. 서 론

생물학적처리와 막분리 공정을 결합한 막결합형 생물반응조(MBR, Membrane Bio-reactor)는 2차 침전지의 기능까지 대신함에 따라 수처리 시스템에서 전 세계적인 공정의 콤팩트화가 가능하고, 처리수 수질이 슬러지의 침강성에 무관할 뿐만 아니라 슬러지 생산량도 감소시켜 수처리는 물론 슬러지 농축 공정에까지 광범위하게 활용되고 있다(Kaya et al., 2013; Lee et al., 2012; Mutamim et al., 2013; Xu et al., 2013).

MBR 공정은 다양한 수처리 시스템 가운데 중-소 규모 하수처리장에서 많이 이용되고 있지만, 대용량 처리가 가능한 설계와 운전 기술이 부족하고, 아직까지 대량 생산 체제가 충분히 확보되어 있지 않아서 막과 모듈의 생산 비용이 고가일 뿐만 아니라, 일정한 여과수를 장기간에 걸쳐 안정되게 생산하는데 막 대한 동력비가 필요한 문제점 등을 내포하고 있는 실정이다(Dijk and Roncken, 1997).

이같은 MBR 공정의 문제점 등을 해소하기 위한 대체 공정으로서 처리 수질은 유사하지만, 경제적인

* Corresponding author : yjjung@cup.ac.kr

여과재료와 무동력 여과수 배출 시스템을 갖춘 여과분리형 생물반응조가 지속적으로 연구되고 있으며, 일부 시스템은 파일럿 규모의 실적까지 보고되고 있다(Alavi et al., 2001; Kiso et al., 2000). 대체 공정으로서의 여과분리형 생물반응조에는 부식포나 메쉬등과 같은 일정한 크기의 pore size를 가진 여과재를 사용하여 여과 모듈을 제작하였으며, 여과수는 펌프를 사용하지 않는 단순한 수두차로도 0.2~0.5m/d의 투과 유속(flux)를 확보할 수 있었다(Jung et al., 2004).

여과모듈 제작에 사용된 여과재료는 각각의 장단점이 있으나, 여과분리형 생물반응조는 MBR 공정의 여과시스템과는 달리 공통적으로 여과재 표면에 형성되는 cake layer, 즉 활성슬러지 다이내믹막을 활용하여 여과수를 배출함에 따라 장기간에 걸친 안정된 여과막이 되도록 지속적으로 관리해야 한다.

여과분리형 생물반응조를 이용한 현재까지의 연구는 대상 물질에 대한 제거 효율과 수처리 시스템으로서의 가능성 정도로만 평가되었고(Im et al., 2003; Kiso et al., 2005; Wang et al., 2006), 장기 운전에 필요한 기초 운전 인자를 도출하기 위한 세부적인 연구가 부족한 실정이다.

이에 따라 본 연구에서는 여과분리형 생물반응조를 운전함에 있어 발생하는 막 폐색의 원인을 분석하게 되었고, 별도의 반응조를 이용하여 고액분리 특성을 미생물 농도와 미생물 성장 변화 등에 의한 원인으로 세분하여 검토하였으며, 활성슬러지 다이내믹막 재형성에 필요한 효율적인 폭기세정 방법과 영향도 검토하였다.

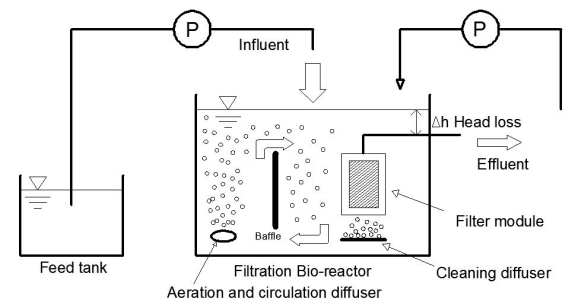
2. 실험 재료 및 방법

2.1 실험장치

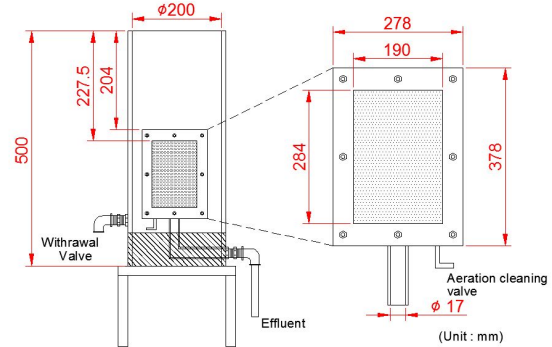
본 연구에서는 여과분리형 생물반응조의 고액분리 특성을 분석하기 위하여 2 종류의 실험 장치를 사용하였다. 여과분리형 생물반응조의 고액분리 특성은 Fig.1(a)와 같은 실험 장치로 평가하였다. 17L의 유효 용량을 가진 생물반응조는 아크릴로 제작되었고, 원수저장조, 펌프, 나일론 재질의 여과모듈(공극: 100 μ m, 유효막면적: 1100cm²)과 활성슬러지에 산소공급과 내부 순환을 원활히 하기 위한 산기 장치 및 여과모듈의 세정을 위한 폭기 세정장치로 구성하였다. 여과분리 반응장치의 여과수는 반응조 상부로 배출되도록 구성하였는데, 여과수량은 수위와 여과모듈 상부 유출구와의 압력차(수두차: Δh) 및 여과모듈 표면에 형

성된 활성슬러지 다이내믹막의 형성 상태에 따라 다르게 나타났다.

Fig.1(b)에 나타난 고액분리 반응조는 전체 용량 15L 및 유효용량 13L의 아크릴 반응조로 제작하였다. 유효 용량까지 미생물을 주입한 후, PE 재질의 평막형 여과모듈(공극: 100 μ m, 유효막면적: 269.8cm²)을 통하여 반응조 아래로 유출수를 확보하는 고액분리 장치로 구성하였다. 여과모듈은 별도의 폭기세정용 산기관의 설치 대신 여과모듈 하부로 대용량의 공기를 공급하면서 폭기 세정이 가능하도록 소구경의 밸브를 접속시켰다.



(a) Treatment bio-reactor



(b) Solid-Liquid separation bio-reactor

Fig. 1. Schematic diagram of filtration bio-reactor

2.2 운전방법

여과분리형 생물반응조는 MBR공정의 여과 메커니즘과는 달리, 여과모듈 표면에 형성되는 케이크층, 즉 활성슬러지로 구성된 다이내믹 여과막을 활용하여 여과 유출수를 확보하는 방식이다.

일반적인 하수처리장의 유입수 농도를 기준으로 BOD 200mg/L, TOC 140mg/L, TN 50mg/L 및 TP 8mg/L가 되도록 skim milk, NH₄Cl 및 KH₂PO₄를 섞어 조제한 합성폐수를 Fig. 1(a)의 반응조에 주입하면서 연속폭기 방식으로 운전하는 도중 나타내는 고액분리

특성을 평가하였다. 반응조 운전은 HRT가 12시간이 되도록 하고, 조내의 MLSS는 7000mg/L로 조절하였으나, SRT는 MBR 공정과 마찬가지로 별도로 고려하지 않았다. 측정 항목으로는 운전 경과일수에 따른 상등수 및 여과수의 수질과 여과저항을 중점적으로 분석하였다.

여과분리형 생물반응조를 운전하면서 나타나는 활성슬러지의 고액분리에 관한 기초 특성을 평가하기 위하여 Fig. 1(b)의 별도 반응조로 여과실험을 실시하였다. 인근 하수처리장의 반응슬러지를 채취하여 생물반응조내의 MLSS를 3000~18000mg/L가 되도록 각각 다르게 조정된 후, 미생물 농도에 따른 여과특성과 일정한 MLSS 농도에서 폭기 세정의 효과 및 슬러지 성상에 따른 고액분리 특성을 평가하였다. 모든 실험은 20°C가 유지되는 실내에서 수행하였다.

본 반응조는 100 μ m정도의 공극을 가진 여과 모듈을 통한 여과방식이므로, 여과막 자체의 저항은 무시할 정도로 작고, 단시간내에 고액분리가 진행되어 겔층에 의한 저항 역시 무시할 수 있다. 이에 따라 여과 모듈과 여과저항 및 flux와의 관계를 아래와 같은 식으로 평가하였다.

$$J = \Delta P / \mu R_t$$

$$R_t = R_c + R_g + R_m \div R_c$$

여기서, J: 투과유속(m/d), ΔP : 압력(Pa), μ : 투과액 점도(Pa·sec), R_t : 전체여과저항(1/m), R_c : 케이크저항(1/m), R_g : 겔저항(1/m), R_m : 여재 자체저항(1/m)

3. 결과 및 고찰

3.1 여과분리형 생물반응조의 운전 특성

합성폐수를 유입수로 하여 3주간 운전하면서 구한 flux 및 상등수 수질과의 관계를 Fig. 2에 표시하였다. Flux는 운전 시작 후 초기 5일 동안 안정화 단계로 일정하였으나, 유기물의 지표인 TOC와 탁도는 지속적으로 감소하였는데, 이는 반응조내의 미생물 대사 작용이 활발하여 안정화 시점까지 일정 기간이 필요한 것으로 판단되었다. Flux는 순응 단계가 지난 5일 이후에 점차적으로 감소하여 폐색에 도달한 것으로 판단되었는데, 이런 현상을 상등수의 수질과 연계하여 분석해보면 TOC는 4.7mg/L에서 13.4mg/L로, 탁도는 2.5NTU에서 10.3NTU로 각각 증가하는 것으로 나타나, MBR 공정에서와 같이 폭기 세정이 필요

하게 되었다.

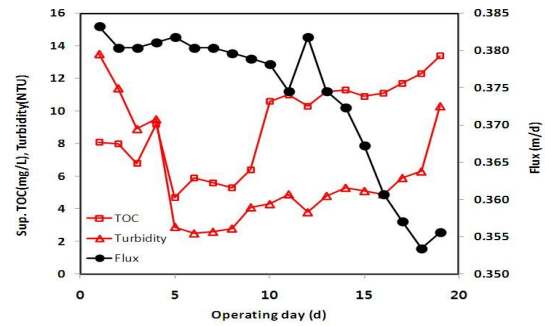


Fig. 2. Relationship between headloss and flux

전체 운전기간중의 유기물 제거율은 flux 감소와는 무관하게, BOD와 TOC가 각각 95% 이상을 나타냈고, NH₃-N 농도가 1mg/L이하로 분석될 만큼 99% 이상의 안정된 질산화율을 나타냈으며, 여과수의 SS도 평균 1.0mg/L 이하를 나타낼 정도로 양호하였다. 이와 같이 여과분리형 생물반응조에서는 적절한 운전과 효율적인 여과시간을 설정하기 위해서는 탁도나 TOC 등과 같은 상등수의 실시간 수질 모니터링 결과와 연계하여 설정함이 바람직할 것으로 판단된다.

MBR공정은 슬러지를 폐기하지 않고 연속적으로 운전하게 되는데, 이 경우 반응조 상등액이 축적할 때 생성되는 유기물 성분이 미생물 대사산물로 되어 flux 저하의 원인이 되며, 반응조내에 축적하는 미생물 대사산물이 막투과 유속감소에 영향을 끼친다고 하였다(Jung et al., 2004).

본 연구에서는 여과수 수질이 flux 변화에 미치는 영향 관계는 없는 것으로 관찰되었지만, Fig. 2에 표현한 바와 같이 여과분리형 생물반응조의 투과 flux는 상등수 수질과 유관한 것으로 분석되며, 이에 대한 구체적인 분석이 필요한 것으로 판단된다.

슬러지 침강성과 투과 flux에 미치는 영향을 검토하기 위해 Fig. 3에 표시한 바와 같이 flux와 SVI와의 관계를 평가하였다.

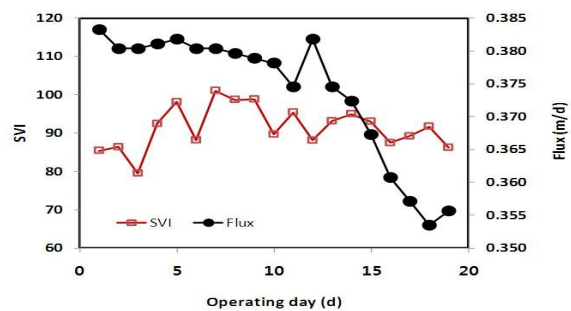


Fig. 3. Relationship between SVI and flux

MBR 공정과 마찬가지로 여과분리형 생물반응조는 슬러지 침강성과 무관한 것으로 보고되고 있지만, 본 연구 결과는 상등수의 SVI가 101에서 79로 점차 변화를 일으키면서 감소함에 따라 flux는 지속적으로 감소하는 것으로 나타났다. 이상과 같이 여과분리형 생물반응조를 운전하면서 나타나는 flux 감소 현상은 상등수, 특히 유기물 농도 변화 및 슬러지 침강성과 상관 관계가 있는 것으로 사료되며, 이에 대한 구체적인 분석이 필요하게 되었다.

3.2 고액분리 특성

Fig. 4는 MLSS 농도를 4800mg/L, 10000mg/L 및 18500mg/L로 설정한 후 여과시간 변화에 따른 투과저항과의 관계를 표시한 것이다.

MLSS의 농도를 4800mg/L로 설정하여 여과를 시작하면 5분 이상이 경과한 시점에서 2×10^4 /m의 여과저항이 측정된 이후 일정하게 지속되었다. 10000mg/L의 MLSS 농도에서 여과시간이 지속됨에 따라 $2 \sim 6 \times 10^4$ /m의 여과저항까지 점진적으로 증가하였다. 하지만, MLSS 농도가 18500mg/L인 경우 여과시간이 진행됨에 따라 여과저항은 지속적으로 증가하였는데, 1시간의 여과시간에서 저항은 1.4×10^5 /m를 나타냈다. 이상과 같이 여과분리형 생물반응조는 MLSS 농도가 10000mg/L 이상일 경우 여과저항은 지속적으로 증가하며, 특히 18000mg/L 이상의 고농도일 경우 여과저항이 급격히 증가할 것으로 판단된다. MLSS 농도가 높을수록 활성슬러지 다이내믹막을 통과하는 투과저항이 증가함에 따라 flux가 감소하는 것으로 나타났다.

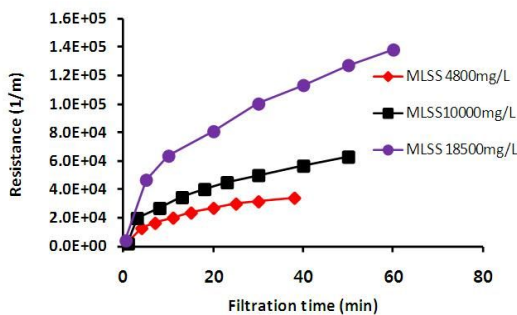


Fig. 4. Profiles of resistance with filtration time at different MLSS concentration

또한, 탁도로 분석한 생물반응조내의 상등수와 여과수 수질 및 flux와의 관계를 Fig. 5에 나타냈다. 생물반응조내의 MLSS 농도를 4800mg/L로 설정할 경우, 여과 개시 직후에는 활성슬러지 다이내믹막이 안정되

게 형성되지 않기 때문에 상등수와 여과수의 수질이 300NTU 정도가 될 정도로 양호하지 못했고, flux도 25m/d를 나타냈지만, 여과 개시 이후 10분 정도에서 여과수의 탁도가 5NTU 이하를 나타낼 만큼 안정화에 도달한 것으로 관찰되었다.

여과분리형 생물반응조를 운전하면서 관찰한 결과, 즉 상등수의 수질이 flux에 미치는 영향이 본 실험에서도 관찰됨에 따라 본 시스템을 장기간에 걸쳐 안정되게 운전하기 위해서는 상등수 수질, 특히 유기물 관리가 선행되어야 할 것으로 판단된다. MLSS 농도를 10000mg/L와 18500mg/L로 설정한 여과 실험에서도 이와 유사한 경향을 나타냈지만, MLSS 농도가 10000mg/L이상의 고농도가 될수록 상등수의 수질을 측정할 수 없을 만큼 활성슬러지 침강이 진행되지 않아서 측정이 불가능하였다. 여과분리형 생물반응조 설계 및 운영에 있어 슬러지 침강성과 flux와의 관계를 검토하기 위해서는 MLSS 농도를 10000mg/L이하로 설정하여 평가해야 할 것으로 판단된다.

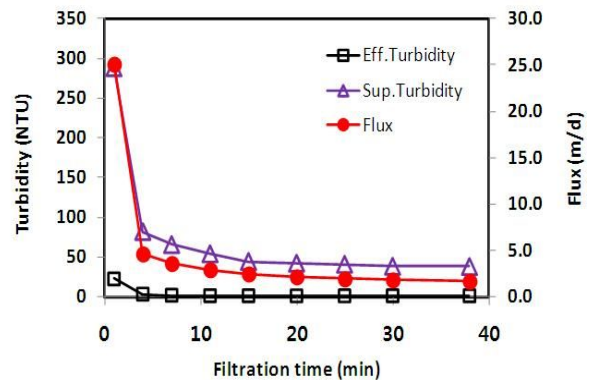


Fig. 5. Relationship between Turbidity and Flux with filtration time at MLSS concentration 4800mg/L

Fig. 6은 슬러지 성장 차이에 따른 flux 및 여과수 수질 변화를 관찰한 것이다. DO가 4.0mg/L 이상이 되도록 폭기 강도를 강하게 설정하여 활성슬러지 플록을 파괴시키면서 장기간 배양한 활성슬러지(a)와 1.5mg/L 정도가 되도록 정상적인 폭기 강도로 배양한 활성슬러지(b)를 이용하였다. 활성슬러지 플록이 파괴되었다고 예상되는 미생물의 SVI는 250 정도로 나타났고, 일상적인 방법으로 배양된 미생물의 SVI는 150 정도로 나타나 슬러지 침강성에 차이가 발생하는 대조군을 형성하였다. Fig. 6에 표시한 바와 같이 플록이 파괴된 미생물로 실험한 반응조에서는 정상적인 방법으로 배양된 미생물로 실험한 반응조와 비교하여 상등수의 탁도가 전반적으로 높음에 따라 flux도 전체적으로 낮게 형성되었다. 이는 앞서 고찰한 바와

같이 본 연구에서는 인위적으로 상등수의 수질 변화를 유도하였지만, 상등수의 침강성과 수질이 flux에 미치는 영향을 끼치는 것으로 나타났다. 즉, 양호한

활성슬러지 플록 형성이 침강성도 향상시키고, flux도 높게 유지하는 것과 관련있는 것으로 판단된다.

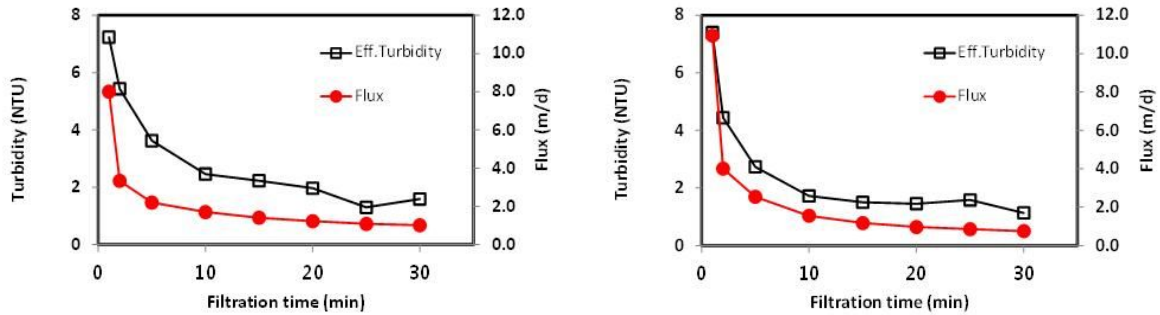


Fig. 6. Effect of sludge property(a: DO(>4.0mg/L), b: DO(<2.0mg/L) on flux

3.3 활성슬러지 다이내믹막 재형성

여과시간이 경과할수록 활성슬러지 다이내믹막은 폐색되어 여과수를 배출할 수 없게 된다. 일반적인 수처리공정에서 모래여과 뿐만 아니라, 모든 막여과 공정에서도 안정된 투과유속을 확보하기 위하여 역세정을 하고 있다. 본 반응조에서도 여과막 모듈의 폐색이 진행될 경우 역세정을 하게 됨에 따라 이에 대한 검토가 필요하다. 본 연구와 유사한 반응조 시스템을 이용한 대부분의 연구에서는 폭기세정용 산기관의 위치 및 각도 조절 등과 같은 방법만 검토하였으며(Fu et al., 2012; Jung et al., 2000), 일체형 세정시스템에 대한 연구 사례는 찾아보기 어려운 실정이다.

Fig. 7은 일정한 압력하에 공기 역세정 시간을 15초, 30초, 60초 및 120초로 변화시킨 이후의 상등수와

여과수의 수질 및 flux 변화를 관찰한 것이다.

공기 역세정 시간을 15초로 설정하여 실시한 결과, 초기 flux가 6m/d 이하로 낮을 뿐만 아니라, 10분 이후 어느 정도 안정화된 시점에서도 flux가 1m/d 이하였으며, 상등수의 탁도도 전반적으로 높게 나타났다. 공기 역세정 시간을 30초와 60초로 설정한 결과, 초기 flux와 상등수 탁도는 거의 유사하게 나타났다. 8m/d 정도의 flux로 시작하여 안정화가 진행된 10분 이후의 flux는 1.5m/d 정도를 유지하였으며, 상등수의 탁도도 100 NTU 정도를 유지하였다. 역세정 시간을 120초로 진행할 경우, 30초 세정시간과 유사하게 초기 flux와 안정화 시간대에서의 flux도 낮았으며, 상등수 탁도도 100~150 NTU 정도로 안정화되지 않은 것으로 나타났다.

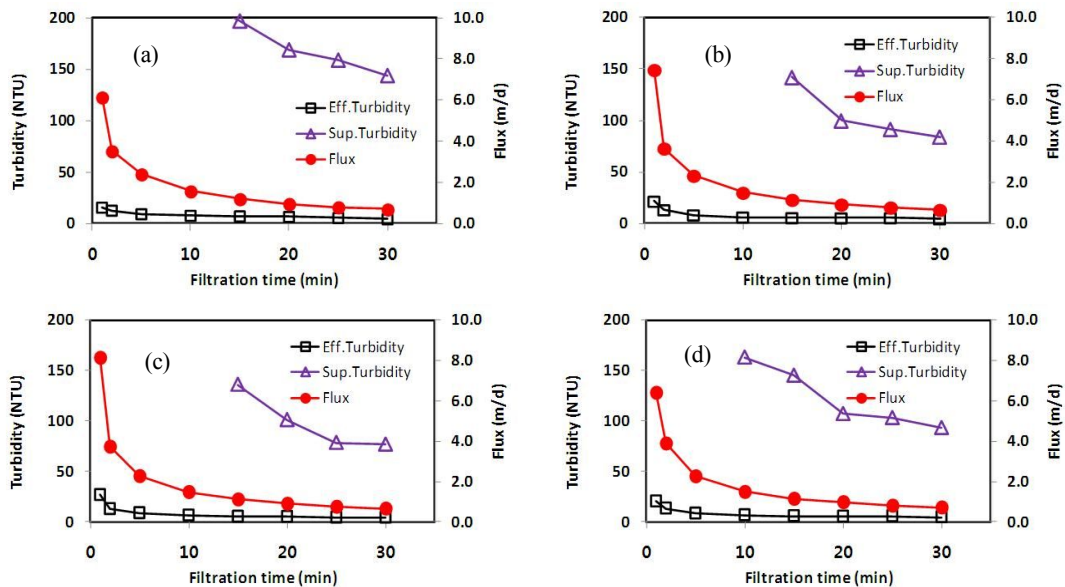


Fig. 7. Effect of air cleaning (a: 15sec, b: 30sec, c: 60sec, d: 120sec) on the recovery of flux

공기 역세정 일체형 시스템의 경우 장기운전을 위한 안정적인 활성슬러지 다이내믹막을 형성하기 위해 역세정 시간을 일일 1회씩 30초에서 60초 정도의 범위로 실시함이 적당할 것으로 판단된다. 일반적인 MBR 공정은 12분 흡입과 3분 정지 형태로 운전하면서 수개월에 1회 정도 주기적인 약품세정을 통해 막 폐색을 억제하고 있는 점을 고려할 경우 본 시스템은 약품비와 동력비와 같은 운영비 절감에도 경쟁력이 있는 공정으로 판단할 수 있다.

본 연구에서와 같이 공기 역세정 방식을 여과막 모듈과 일체형으로 구성할 경우, 1분 이내의 역세정 시간으로도 충분하였지만, 별도의 산기관을 설치한 연구에서는 1분 이상의 역세정 시간을 필요로 했다는 연구 결과(Jung and Min, 2001)와 비교할 경우, 일체형 시스템이 효율적인 시스템이라고 판단할 수 있다.

4. 결론

합성폐수로 여과분리형 생물반응조를 운전함에 있어 발생한 막 폐색의 원인을 상등수 수질과 연계하여 분석하였고, 동일한 여과시스템의 별도 반응조로 고액분리 특성을 평가하였으며, 도출된 결과는 다음과 같다.

1) 여과분리형 생물반응조에서 상등수 수질, 특히 탁도와 TOC 및 SVI는 flux 변화에 영향을 끼쳤으나, 여과수 수질은 관계가 미미한 것으로 나타났다.

2) MLSS 농도가 10000mg/L 이상일 경우 활성슬러지 다이내믹막을 통한 여과저항은 지속적으로 증가하였으며, 18000mg/L 이상에서는 여과개시후 1시간이 지난 시점에서 $1.4 \times 10^5/m$ 의 여과저항을 나타냈다.

3) 상등수 수질과 flux와의 관계를 평가하기 위해서는 MLSS 농도를 10000mg/L 이하로 설정해야 한다.

4) 활성슬러지 플록을 과폭기하여 인위적으로 변형시켜 SVI를 250과 150으로 조정할 경우, 상등수의 탁도가 증가하고, 침강성이 저하됨에 따라 flux도 감소하였다.

5) 여과분리형 생물반응조의 적절한 여과시간을 설정하기 위해서는 상등수의 수질 모니터링 결과와 연계함이 바람직하다.

6) 막모듈과 폭기세정 장치를 하나로 둔 일체형 여과방식에서 공기공급 시간을 30초~60초 이내로 설정함이 바람직하다.

감사의 글

본 연구는 2013년도 부산가톨릭대학교 교내학술연구비지원에 의하여 수행되었습니다.

References

- Alavi, MMR, Satoh, H and Mino, T (2001). Performance of coarse pore filtration activated sludge system, *Asian waterqual 2001 First IWA Asia-Pacific regional conference*, Japan, pp. 189-194.
- Dijk, LV and Roncken, GCG (1997). Membrane bioreactors for wastewater treatment: The state of the art and new developments, *Wat. Sci & Tech.*, 35, pp. 35-41.
- Fu, HY, Xu, PC, Huang, GH, Chai, T, Hou, M and Gao, PF (2012). Effects of aeration parameters on effluent quality and membrane fouling in a submerged membrane bioreactor using Box-behnken response surface methodology, *Desalination*, 302, pp. 33-42.
- Im, SH, Bae, MS and Cho, KM (2003). Treatment of sewage with a nonwoven fabric filter bioreactor, *J. of KSWQ*, 19(1), pp. 99-107. [Korean literature]
- Jung, YJ, Kiso, Y and Min, KS (2004). Solid-liquid separation of activated sludge with submerged mesh filter, *J. of KSEE*, 26, pp. 299-304. [Korean literature]
- Jung, YJ and Min, KS (2001). Wastewater treatment using intermittently aerated mesh submerged filtration bio-reactor and operational stability, *J. of KSEE*, 23, pp. 13-20. [Korean literature]
- Jung, YJ, Min, KS and Nam, KH (2000). Wastewater treatment by submerged filtration bio-reactor using a mesh as filter media, *J. of KSWQ*, 16, pp. 121-131. [Korean literature]
- Kaya, Y, Ersan, G, Vergili, I, Gonder, ZB, Yilmaz, G, Dizge, N and Aydinler, C (2013). The treatment of pharmaceutical wastewater using in a submerged membrane bioreactor under different sludge retention times, *J. of Memb. Sci.*, 442, pp. 72-82.
- Kiso, Y, Jung, YJ, Ichinari, T, Park, M, Kitao, T, Nishimura, K and Min, KS (2000). Wastewater treatment performance of a filtration bio-reactor equipped with a mesh as a filter

- media, *Water Res.*, 34, pp. 4143-4150.
- Kiso, Y, Jung, YJ, Park, MS, Wang, W, Shimase, M, Yamada, T and Min, KS (2005). Coupling of sequencing batch reactor and mesh filtration: Operational parameters and wastewater, *Water Res.*, 39, pp. 4887-4898.
- Lee, JW, Jutidamrongphan, W, Park, KY, Moon, SH and Park, C (2012). Advanced treatment of wastewater from food waste disposer in modified ludzack-ettinger type membrane bioreactor, *Envi. Eng. Res.*, 17, pp. 59-63.
- Mutamim, NSA, Noor, ZZ, Hassan, MAA, Yuniarto, A and Olsson, G (2013). Membrane bioreactor: Applications and limitations in treating high strength industrial wastewater, *Chem. Eng. Jour.*, 225, pp. 109-119.
- Wang, W, Jung, YJ, Kiso, Y, Yamada, T and Min, KS (2006). Excess sludge reduction performance of an aerobic SBR process equipped with a submerged mesh filter unit, *Pro. Biochem.*, 41, pp. 745-751.
- Xu, M, Wen, X, Huang, X, Yu, Z and Zhu, M (2013). Mechanisms of membrane fouling controlled by online ultrasound in an anaerobic membrane bioreactor for digestion of waste activated sludge, *J. of Memb. Sci.*, 445, pp. 119-126.
- 논문접수일 : 2014년 05월 13일
 - 심사의뢰일 : 2014년 05월 16일
 - 심사완료일 : 2014년 06월 13일