

BAF를 이용한 2차 처리수의 재이용 가능성 및 강우시 하수처리장 월류수의 처리

안지훈 · 박종복* · 김성원 · 박재홍 · 하준수 · 최익소[†]

고려대학교 토목환경공학과

*특허청

Reuse Possibility of By-pass Flow and Secondary Effluent using BAF

J. H. Ahn · J. B. Park* · S. W. Kim · J. H. Park · J. S. Ha · E. Choi[†]

Department of Civil & Environmental Engineering, Korea University

*The Korean Intellectual Property Office

(Received 7 December 2004, Accepted 1 February 2005)

Abstract

The laboratory and pilot scale BAFs (biological aerated filters) were operated with 0.3 hr to 1.1 hr EBCT(empty bed contact time) at a maximum filtration rate of 472 m³/m²/day as a treatment method for reuse of secondary effluent and by-pass flow in this study. The effluent BOD and SS were generally 3.5 to 5 mg/L and 2 to 3 mg/L, respectively with 2ndary effluent, but the SS concentrations increased to 4 to 8 mg/L with the increased flow rates of by-pass flow. Potential nitrification rates were very high, but the nitrogen removal efficiencies were low due to the limited carbon sources. Bypass of a part of primary effluent seemed to be desirable to increase the nitrogen removal. Disinfection must be furnished for the reuse of BAF effluent.

keywords : BAF, First flush, Nitrification, Reuse, Tertiary treatment, Reuse

1. 서 론

우리나라의 하수배제 방식은 대부분이 합류식 하수관거 시스템(총 하수관거 연장대비 63.4%, 환경부, 2001)으로 구성되어 있다. 건기 시 발생 하수는 전량 차집되어 하수처리장에서 처리되지만, 강우 시에는 우수와 하수가 혼합되어서 일정부분(약 3Q)만 차집되고 그 중 2Q는 1차 침전지만 거치고 수계로 방류되고 있는 실정이다. 건기 시 비교적 느린 하수의 흐름으로 인해 관거 내 퇴적되어있던 침전물이 강우시 재부유되는 현상과 함께 초기세척(first flush)효과로 인한 비점오염원의 유입으로 유량 및 농도 부하가 굉장히 큰 것으로 조사되고 있으며, 이를 처리하기 위한 다양한 방법이 제시되고 있다.

BAF(biological aerated filter)는 온도저하에도 잘 적응하며(Choi, 1999), 충격부하에 강하고 짧은 체류시간에도 유기물 및 질소 제거에 효과적인 것으로 보고되고 있다(Belgiorno et al., 2002). 또한 생물학적인 제거 기능뿐만 아니라 물리적인 여과 기능이 있어 이를 이용하여 bypass flow를 처리하며, 아울러 평상시에는 2차 처리수를 재처리하여 물을 재이용할 수 있다면 매우 유용한 방법이 될 수 있다고 판단된다. 따라서 본 처리공정을 기존 하수 처리장의 개선 및 개량의 일환으로서 택하여 연구를 수행하였다. 이러한 장점을 이용하여 강우 시에도 1Q만을 활성슬러지

공정과 같은 2차 처리하고, 나머지 2Q에 대해서는 BAF로 유입하여 처리하는 방안을 검토하였다. 특히 강우 시 발생하는 유량부하의 증가가 평상시 3차 처리로 활용되는 BAF의 처리용량에 적합한지도 검토하였다. 재이용수 사용의 적합성 검토는 BAF 공정에서 탁도와 대장균균을 어느 정도까지 저감시킬 수 있는지를 검토하였다.

2. 재료 및 방법

Fig. 1에 본 연구에서 제안하는 BAF 공정이 추가된 처리계통을 나타냈다. 기존 처리장에서는 강우시 합류식 하수관거로부터 차집된 3Q중 2Q에 대해서는 1차 침전지를 거친 후 바로 수계로 방류하고 있는데, 실제로 방류수의 농도를 크게 증가시키는 요인이 되고 있다. 따라서 강우시에 bypass된 우수를 처리하여 안정적으로 방류하기 위한 목적으로 제안한 계통이다. BAF는 평상시에는 2차 처리수를 재처리하는 목적으로 이용하고, 강우시에는 2차 처리수를 재처리하지 않고 by pass flow를 처리하도록 하였다. BAF는 2단으로 설계되어 운영하였는데, 전단에는 탈질(DN), 후단에는 질산화(N)를 하기 위한 BAF로 운영되었다. Lab scale의 DN조와 N조의 media height는 각각 53 cm와 61 cm로 구성하였으며 지름(Ø)은 6 cm였다. Pilot scale의 경우에는 각각 2.2 m와 3.7 m, 그리고 지름은 0.8 m였다. 사용된 media는 모두 직경 2-6 mm의 expanded clay로, media가 전체 부피의 50%를 차지하였다. Lab scale에서는 DN조와

[†] To whom correspondence should be addressed.
echoi@korea.ac.kr

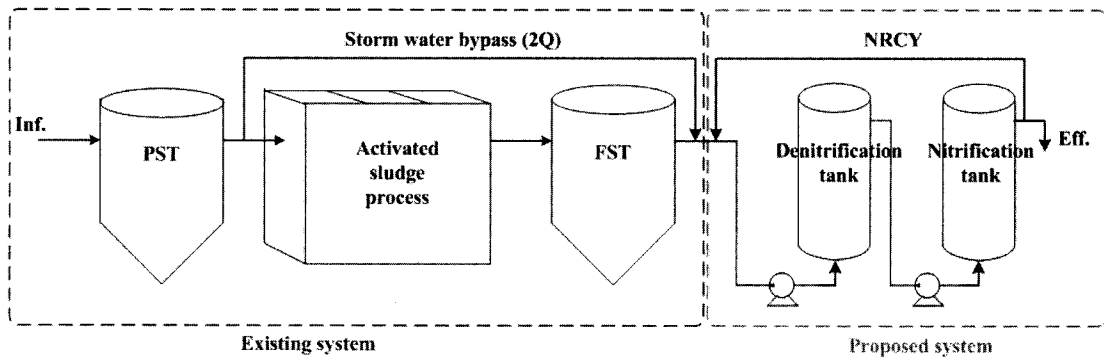


Fig. 1. Proposed schematic diagram of sewage treatment system for reuse and storm-water disposal.

N조 모두 up-flow로 운전하였으나, pilot scale에서는 역세척을 용이하게 하기 위해 DN조를 down flow 방식으로 선택했다. N조는 lab scale에서와 같이 up-flow로 운전하였으며, 처리수 반송율은 100%였다. BAF는 생물학적인 유기물질과 질소제거 이외에 여과 작용이 있기 때문에, 급속 여과지와 비교하고 가능한 짧은 EBCT(empty bed contact time)로의 운전가능성을 검토하기 위해 0.3 hr(LV: linear velocity 472 m/d)까지 운전하였다. 현장 BAF 실험은 주로 Y처리장의 2차 처리수를 주입시켜 0.7 hr EBCT (202 m/d)에서 수행하였고, 초기 강우오염부하를 모사하기 위해서 탈수 슬러지를 적당량 혼합하여 높아진 수질에 대한 처리능력을 0.3 hr EBCT (472 m/d)까지 단축시켜 수행하여 보았다. 반면에 실험실 BAF는 C처리장으로부터 2차 처리수를 운반하여 이용하였는데 0.3-1.1 hr EBCT로 운전하였으며, 질소 농도를 인위적으로 높여서도 운전을 하여, 현장 실험의 부족한 점을 보완하도록 하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. BAF를 이용한 3차 처리

3.1.1. 유기물 및 고형물 제거

Pilot plant가 설치된 Y하수처리장의 경우, 2차 처리수에

는 분해 가능한 유기물질이 매우 낮고, TSS농도 또한 2-12 mg/L로 낮아 제거효과를 파악하기는 어려웠다. Fig. 2에 TCOD와 SS의 누적확률 통계그래프를 나타냈다. 3차 처리시 처리수의 SS는 평균 3.5 mg/L 이하의 유출수질을 보이며, 5.5 mg/L를 초과하지 않으므로 고형물 제거측면에서 BAF가 3차 처리로써 안정성이 있음을 나타냈다. Fig. 3에는 EBCT 2 hr부터 0.8 hr까지 변화를 주어 단위 여재부피당 TCOD과 SS 유입부하량(kg/m³/d)에 대한 제거량(kg/m³/d)을 나타냈다. EBCT가 2 hr에서 1.3 hr까지 감소하였을 때에는 TCOD 제거량이 점차 증가하였으나, 1.3 hr이후로는 제거량이 감소하는 경향을 나타내었다. SS의 경우도 TCOD와 같은 경향이 나타나, 3차 처리로 유입되는 원수의 COD중 난분해성 물질들이 많은 것으로 판단된다. EBCT 0.8 hr까지는 BAF의 유입 농도에 상관없이 안정적인 유출수의 수질을 갖는 것으로 나타났다.

3.1.2. 질소제거

Fig. 4에는 NH₄-N 부하에 따른 제거율과 유출농도를 나타냈다. 부하량과 질산화율은 단위 여재부피(m³)당 하루에 부과된 질량과 질산화 된 양(kg/d)으로 산정하였다. 다양한 범위의 유입 NH₄-N 농도를 주입시켜 주기 위하여 lab 실험을 병행하였으며, 모든 조건은 pilot plant와 동일한 조건

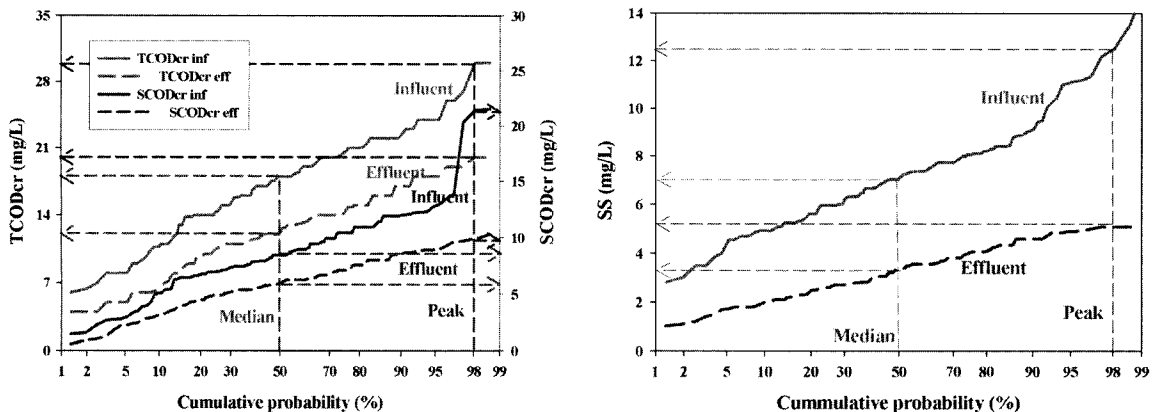


Fig. 2. Cumulative frequency distributions, normalized COD and SS (tertiary treatment).

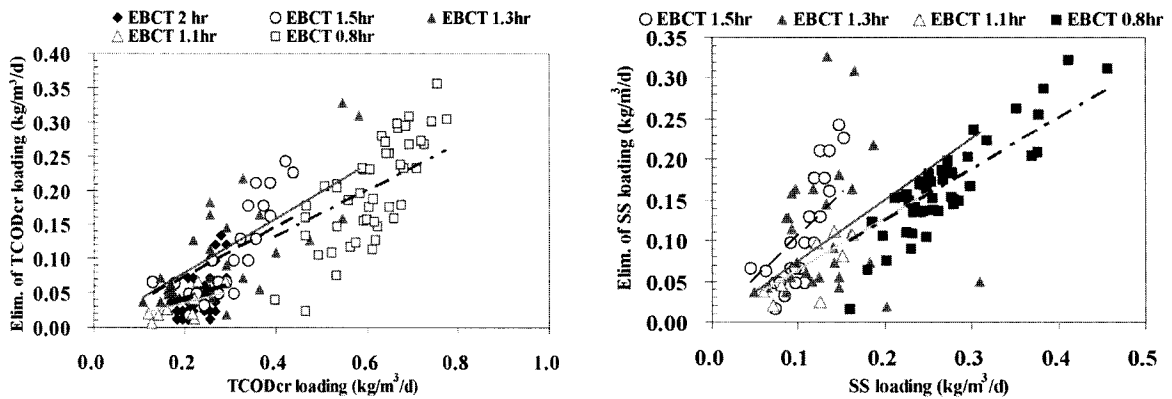


Fig. 3. Eliminated COD and SS at the different influent loadings (tertiary treatment).

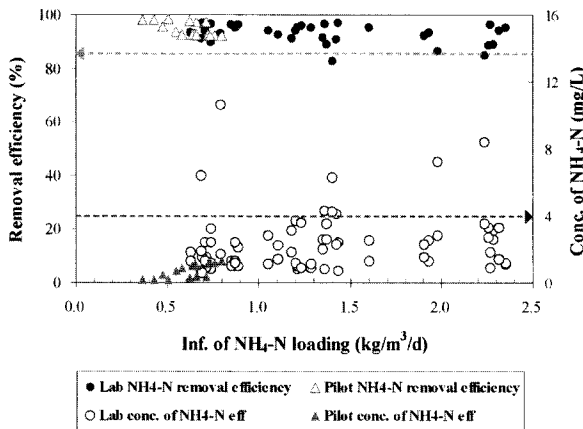


Fig. 4. NH₄-N removal efficiency and effluent NH₄-N concentration at different NH₄-N loadings.

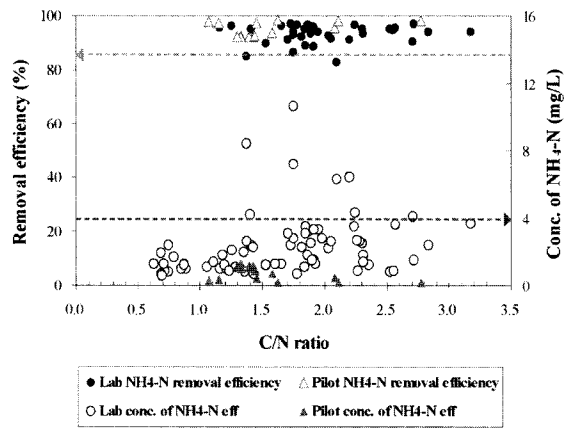


Fig. 5. NH₄-N removal efficiency and effluent NH₄-N concentration at different C/N ratios.

에서 실시하였다. 주입된 2차 처리수의 NH₄-N 최대 부하량이었던 2.4 kg/m³/d 범위 안에서는 유출수 NH₄-N 농도는 4 mg/L 이내로, 질산화 효율 85% 이상으로 나타났다.

BAF와 같은 상향류식 biofilter의 경우, 유입수가 처음 유입되는 하부에는 종속영양 미생물이 생물막을 형성하고, 상부로 갈수록 유기물질의 농도가 저하됨에 따라 독립영양미생물이 생물막을 형성하게 된다. 종속영양 미생물은 독립영양미생물에 비하여 더 빠른 증식속도(yield coefficient)를 갖게 되며 두꺼운 생물막을 형성하게 되고, 어느 일정 두께 이상이 되면 탈리(detachment)되어, 상부로 이동하게 되어 얇은 생물막을 형성하는 질산화 미생물을 덮어 그들의 암모니아성 질소와의 접촉을 방해하게 된다. 따라서 C/N비가 낮을수록 질산화 미생물의 활동에 유리하다. Fig. 5에 C/N비에 따른 NH₄-N 제거량을 나타내고 있는데, C/N비가 증가할수록 NH₄-N 제거량이 약간 증가하고 있다. 그 이유는 유입수의 TCOD 부하가 질산화 미생물의 활동을 저하시킬 정도로 높지 않기 때문에 질산화 미생물이 C/N비에 의한 영향을 받지 않고, 유입수의 NH₄-N가 높을수록 질산화시킬 수 있는 대상이 커졌기 때문이다. 본 연구에서 3차 처리로 사용된 원수는 TCOD가 클수록 NH₄-N도 높게 나타났기 때문에, 최대 C/N비 3.3에 TCOD 최대 부하량이 4.8 kg/m³/d로 낮았으므로 질산화 저해 현상이 발생하지 않

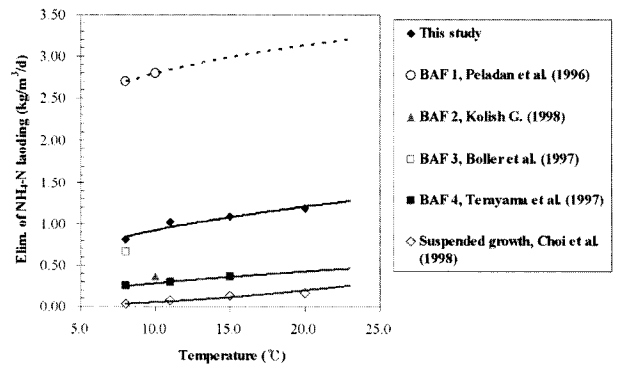


Fig. 6. Eliminated NH₄-N at different temperature.

았다. 기존의 연구에 의하면 BAF에서 C/N비 7이하, TCOD 부하량 8 kg/m³/d 이하에서는 질산화율의 저해 현상이 발생하지 않는 것으로 보고되고 있다(나, 1998).

BAF와 같은 상향류식 biofilter는 온도변화에 크게 질산화율이 저하되지 않는 장점을 가지고 있다. Fig. 6에는 온도에 따른 NH₄-N 제거량의 변화를 나타냈으며, 본 연구의 결과와 다른 문헌에서의 결과를 비교하였다. 본 연구의 호기성 BAF의 EBCT는 45분으로, 같은 온도에서 EBCT가 증가할수록 질산화율은 증가하는 것으로 나타났다. 공기의 흐름과 유체의 흐름이 같은 상향류식이 질산화 미생물이 고른 분

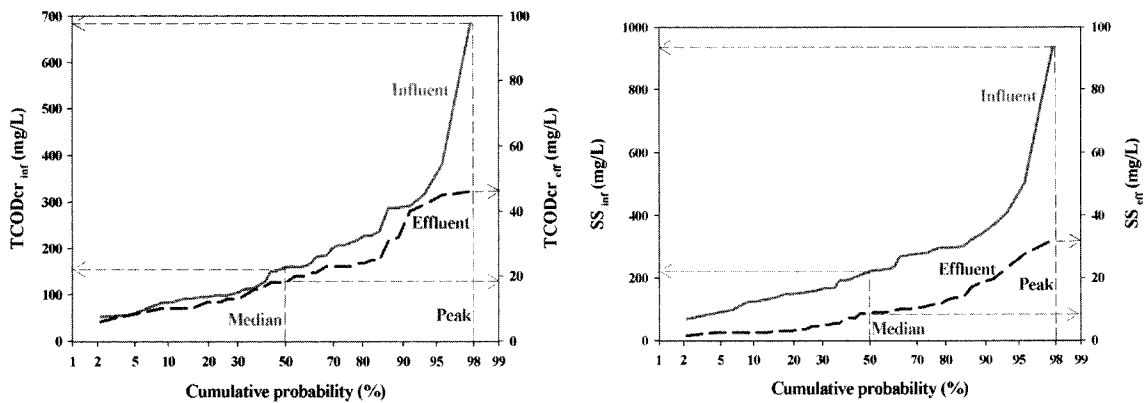


Fig. 7. Cumulative frequency distributions, normalized COD and SS (by-pass flow).

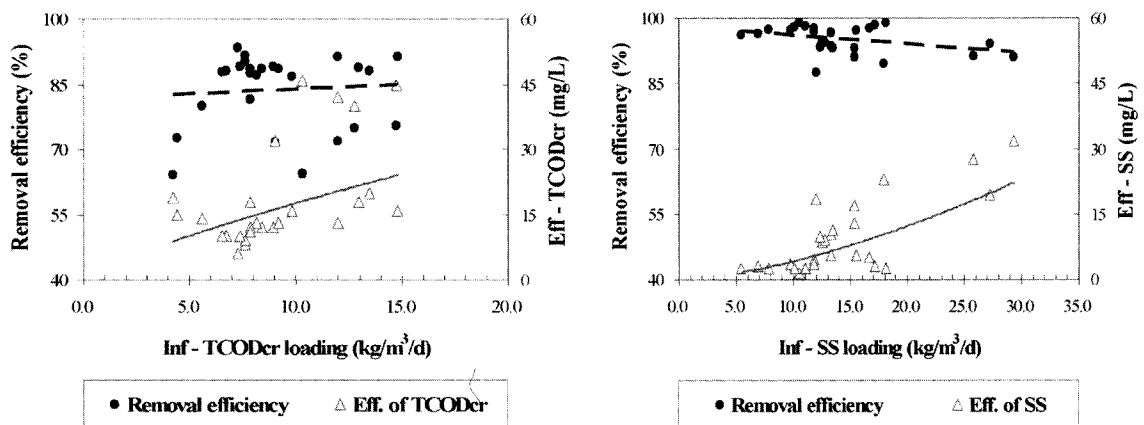


Fig. 8. Eliminated COD and SS at the different influent loadings (by-pass flow).

포와 암모니아성 질소와의 원활한 접촉을 발생시켜 더 높은 질산화 효율을 나타내고 있으며, 부유 성장식의 경우에는 15°C 이후 급격히 질산화율이 저하되었고, 전체적인 질산화율이 BAF에 비해 상당히 낮음을 알 수 있다. BAF 공정에서도 온도가 7°C 이하에서는 질산화가 이루어지지 않았다.

3.2. BAF를 이용한 처리장 월류수처리

3.2.1. 유기물 및 고형물 제거

초기강우에 의한 오탁부하의 농도는 일반적으로 SS가 약 100-220 mg/L(환경부, 2002)로 보고되고 있다. 펌프 용량의 한계로 인해 EBCT를 최대 0.3 hr에서 유기물 및 고형물 농도를 크게 증가시켜 BAF가 강우시 유입되는 오염물을 어느 정도까지 처리할 수 있는지를 연구하였다. Fig. 7은 강우실험을 통해 얻은 TCOD과 SS제거에 대한 결과를 누적확률 분포 그래프로 나타낸 결과로써, 강우시에도 유입수질의 변동에 비교적 적은 영향을 받으면서 안정적인 처리수질을 나타냄을 알 수 있었다. Fig. 8에서는 유입되는 TCOD과 SS 부하량에 대한 제거율과 유출수 농도를 나타내었다. 유입 부하량이 증가할수록 제거량도 증가하였으며, EBCT 0.3 hr에서 TCOD의 경우 제거효율은 85% 이상, 유출수질은 30 mg/L 이하로, SS의 경우 제거효율은 90% 이상, 유출수질은 8 mg/L 이하로 높은 효율을 나타내었다.

3.2.2. 질소 제거

Fig. 9에는 강우시 1차 침전지 월류수에 대한 유입되는 NH₄-N과 TCOD 부하량에 대한 제거량의 관계를 나타냈다. 초기 강우시 유입되는 높은 유기물과 고형물의 제거는 가능하지만, 질산화 미생물의 활동도가 방해받아 NH₄-N이 질산화 되지 않고 유출되었다. 따라서 강우시 질소제거 효율을 높여주기 위해서는 탈질조에서 오탁부하를 저감할 수 있는 여재층의 확보가 필요하며, 비 강우시에도 주기적으로 1차 침전 유출수를 BAF로 bypass시켜 질산화 미생물들을 활성화시켜주는 방안을 생각해 볼 수 있다.

3.3. 처리수의 재이용 가능성

3.3.1. 탁도

BAF를 이용하여 2차 처리수의 재이용 가능성을 알아보기 위해 3차 처리를 한 결과 Fig. 10과 같다. 유입수의 SS 농도에 상관없이 유출수 탁도의 누적확률 50%의 값은 SS 3.4 mg/L, 탁도 0.85 NTU를 나타내어, 탁도 측면에서는 3차 처리에 적용된 BAF의 유출수가 재이용수로 사용될 수 있다고 판단된다. 대체로 유입수의 농도 변화가 크더라도 처리수의 탁도는 매우 안정적으로 낮아 재이용수로서의 가능성을 제시해 주고 있다. 초과우수처리에는 그림 10으로부터 탁도 2 NTU에 해당되는 SS농도는 대략 5-6 mg/L에 해당되어, 강우시에 지속적으로 많은 유량을 유입시키지 않

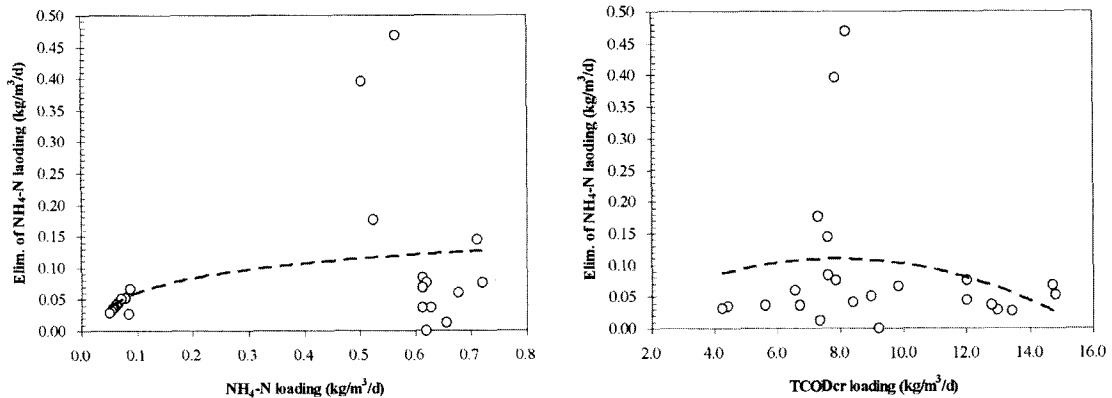


Fig. 9. Eliminated NH₄-N with influent NH₄-N and COD loadings.

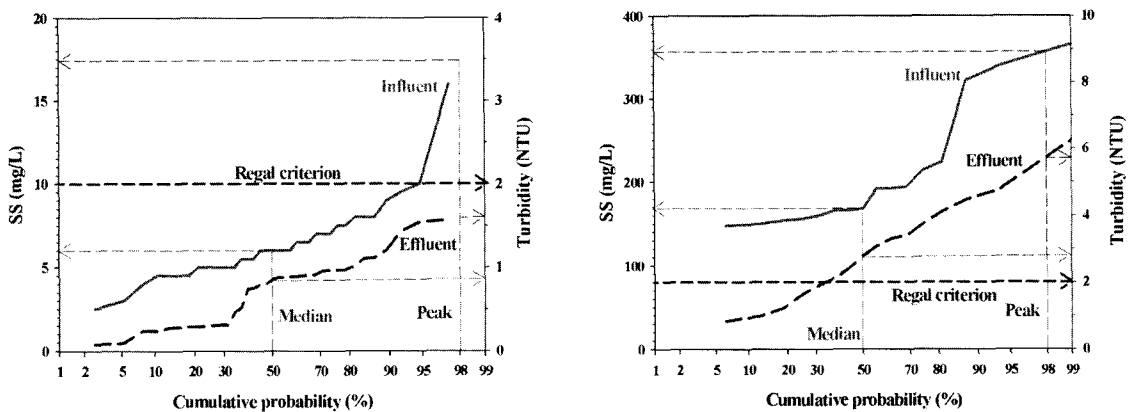


Fig. 10. Cumulative frequency distributions, normalized SS influent and turbidity effluent at the (a) tertiary (b) by-pass flow treatment.

는 한 재이용이 가능하리라고 평가된다.

3.3.2. 대장균 기준

BAF를 이용한 대장균군 제거 실험결과 대략 56% 정도의 제거율을 나타냈다. 실제 강우시 by-pass flow 내의 대장균은 실험에 적용된 것 보다 높아 제거효율은 증가될 수 있으나, 잔류 농도도 증대될 수 있으므로 재이용수로 사용하기 위해서는 소독공정이 필요한 것으로 판단된다.

4. 결론

1. BAF를 이용하여 3차 처리를 하는 경우, 0.3 hr EBCT를 제외하고는 처리수의 수질은 COD 6-9 mg/L이었으며, SS는 약 70% 제거되어 2-3 mg/L로 안정적인 유출수질을 나타냈다.
2. 최대 질산화 능력은 1 kgNH₄-N/m³/d (40 mg/L/hr)로 나타나, suspended growth system에서 보다 매우 높았다. 그러나 초기 강우시 1차 침전지 월류수를 질산화시키기 위해서는 본 실험에서 사용된 유입되는 질소농도가 낮았기 때문에, 평상시 1차 처리수를 bypass시켜 강우시에도 질산화를 시킬 수 있도록 순응시킬 필요가 있었다.
3. 강우 시 1차 침전지 월류수의 TCOD과 SS제거 능력을

알아본 결과, 강우시에도 유입수질의 변동에 비교적 적은 영향을 받으면서 안정적인 처리수질을 나타냄을 알 수 있었다. 유입 부하량이 증가할수록 제거량도 증가하였으며, EBCT 0.3 hr에서 TCOD의 경우 제거효율은 85% 이상, 유출수질은 30 mg/L 이하로, SS의 경우 제거효율은 90% 이상, 유출수질은 8 mg/L 이하로 높은 효율을 나타내었다.

4. BAF 처리수는 재이용이 가능한 것으로 나타났으나, BAF 시설에서의 대장균군의 제거효율이 작기 때문에 재이용수의 수질을 만족하기 위해서는 적절한 소독이 필요한 것으로 판단된다.

사 사

본 연구는 환경부 ECO21로 수행된 “하수처리장개량 및 개선방안의 연구”와 아울러 2003년 9월-2004년 2월까지의 고려대학교 연구년을 통해 수행된 과제인 “우수유입과 하수처리장”에 대한 연구결과를 함께 정리하였습니다.

참고문헌

강용태, 정동찬, BAF와 BAC에 의한 고도정수처리 시스템

- 의 연구, *한국수처리기술연구회*, 2(3), pp. 43-58 (1994).
- 안지훈, BAF 공법을 이용한 CSO와 2차 처리수의 재이용화 가능성 연구, 고려대학교 석사학위 논문 (2004).
- 최의소 외., BAF 공법을 사용한 저온에서 하수에 대한 질소 제거, *한국물환경학회 춘계 학술대회 논문초록집*, C-8, pp. 189-192 (1999).
- 환경부, 수질환경보전법 (2002).
- Asano., Water from the Dependable Water Resource, *Wat. Sci. Tech.*, 45(8), pp. 23-33 (2002).
- Belgiorno, V., Feo, G. D., Napoli, R. M. A., Design Parameters of Biological Aerated Filters for Low Strength Domestic Wastewater, *IWA Enviro 2002 proceeding*, Melbourne, Australia (2002).
- Carucci, A., Farabelgoli, G., Gandolfo, G., Rolle, E. and Viotti, P., Experimental Study on Carbon Removal in Biological Aerated Filters, *IWA 5th Specialised Conference*, Istanbul, Turkey (2002).
- Choi, E., Na, Y. H. and Lee, C. G., Low Temperature Nitrogen Removal by BAF from Weak Sewage, *Proc of IWA conference on biofilm systems*, session 5a, paper D24, New York (1999).
- Payraudeau, M., Pearce, A. R., Goldsmith, R., Bigot, B., Wicquart, F., Experience with an Up-flow BAF for Tertiary Treatment: from Pilot Trials to Full Scale Implementation, *Wat. Sci. Tech.*, 44(2-3), pp. 63-68 (2001).
- Rother, E., Cornel, P., Ante, A., Kleiner, P. and Brambach, R., Comparison of Combined BAF Performance for Pre-denitrification Nitrification of Municipal Wastewater, *Wat. Sci. Tech.*, 46(4-5), pp. 149-158 (2002).