

중·소규모 생활오수 처리를 위한 합병정화조 개발

임재명* · 한동준**

Development of Combined Septic Tank for Middle-Small Scale Sewage Treatment

Rim, Jay-Myoung* · Han, Dong-Joon**

ABSTRACT

This study aims to develop the combined septic tank for middle-small scale sewage treatment. The developed process were circular and separate type. The circular combined septic tank was controlled sludge discharge and could be modified the advanced treatment system. The separate combined septic tank was could be applied wastewater that discharge flow was varied, and was could be maintained F/M ratio constantly. The optimum hydraulic retention time was about 16 hours.

1. 서론

인구 증가와 국민 생활수준의 향상으로 지속적인 오수의 발생량이 증가하고 있어 수질오염을 가중시키고 있다. '95년 말 기준 생활하수 발생량은 약 13,972천톤/일이고 BOD부하량을 기준으로 볼 때 약 2,559천kg/일이 발생하는 것으로 추정된다. 이는 우리나라 총 발생부하량의 약 48.3%에 해당된다¹⁾.

이와 같은 생활오수의 발생은 대도시에서 가장 많은 비중을 차지하고 있으며, 지금까지 정부의 하수도정책도 대도시에 편중되어 많은 대규모의 도시하수처리장이 건설되었다. 그러나 총 생활하수 처리율은 '95년 말 기준 약 45%로서 아직 많은 생활오수가 처리되지 않고 있음을 알 수 있다. 이들 미처리 하수는 하수관거가 설치되지 않은 지역으로 대부분 수계의 상류 및 농촌지역을 포함하고 있다. 통계에 의한 농어촌지역의 1일 하수발생량은 1,380천톤이며, 이중 4%만이 마을하수도에서 처리하고 있다.

그리고 설치된 소규모 오수처리들도 효율적인 운전이 되지 않고 있는 실정이다²⁾.

일본의 경우 '93년말 현재 약 1,000개의 하수처리장중 65%정도가 인구 5만명이하의 중·소규모 하수처리장이고, 특히 정화조라고 불리우는 소규모 처리시설은 수만개에 이르고 있다. 또한 인구 밀도가 낮은 노르웨이의 경우 하수처리시설중 처리인구 2,000인 미만의 소규모처리시설이 77%를 차지하고 있으며 35인 이하 소규모처리시설은 총 3,750개소로 중소규모의 생활오수가 주류를 이루고 있다.

우리나라에서도 농어촌 생활환경 개선과 상수원 보호를 위하여 중·소규모의 하수처리시설이 필요하다는 판단아래 '95년 부터 면단위 하수도 사업과 마을단위 하수도사업을 환경부, 내무부, 농림수산부등에서 중점적으로 추진하고 있으며, '97년 9월에 개정된 "오수·분뇨 및 축산폐수처리에 관한 법률"에서는 하수처리구역이 아닌 지역에 신축되는 식품접객업, 숙박시설, 목욕탕 등에는 BOD 20mg/L이하로 처리할 수 있는 합병정화조의 설치를 의무화하였으며, 스키장등의 오수처리시설 방류

* 강원대학교 환경생물공학부 교수

** 강원대학교 환경생물공학부 강사, 공학박사

수 수질기준 강화, 처리대상 규모의 확대 등의 개정으로 중·소규모의 생활하수 처리를 위하여 다각적인 노력을 기울이고 있다³⁾. 이러한 중·소규모 오수처리를 위하여 국내에서 이미 적용하고 있는 합병정화조는 대부분 일본에서 개발된 제품으로 수입에 의존하고 있으며, 국산형 합병정화조는 매우 적은 실정이다.

따라서 본 연구에서는 기존의 합병정화조와는 달리 슬러지의 발생량이 적고 유량변화에도 유동적으로 운전이 가능한 정화시설을 개발하고자 하였으며, 앞으로 지속적인 방류수 수질강화와 질소, 인등의 영양염류 항목의 추가가 예상되고 있어, 고도 합병정화조 개발에 앞서 유기물제거에 역점을 두었다.

2. 실험재료 및 방법

2.1 실험재료

본 실험에 이용된 폐수는 춘천시 주공APT에서 배출되는 생활오수이며, 폐수의 신선도를 위하여 1주에 2-3회 채취하였다. 반응조는 실험실 규모로서 2개의 시스템으로 구분되었다. 순환형(circular type)과 분리형(seperate type)으로 구분되는 공정들은 각각 총 유효부피가 105 L이며, 두께 5mm의 아크릴로 제작되었고, 호기성 반응조 내부에는 망상형 Sun Lock™여재를 고정상으로 충전하였으며, 총 비표면적은 각각

3.457 m²이다. 각 반응조별 제원은 다음 Table 1에 제시하였으며, Fig. 1에는 본 연구에 이용된 순환형과 분리형 합병정화조의 공정 모식도를 나타내었다.

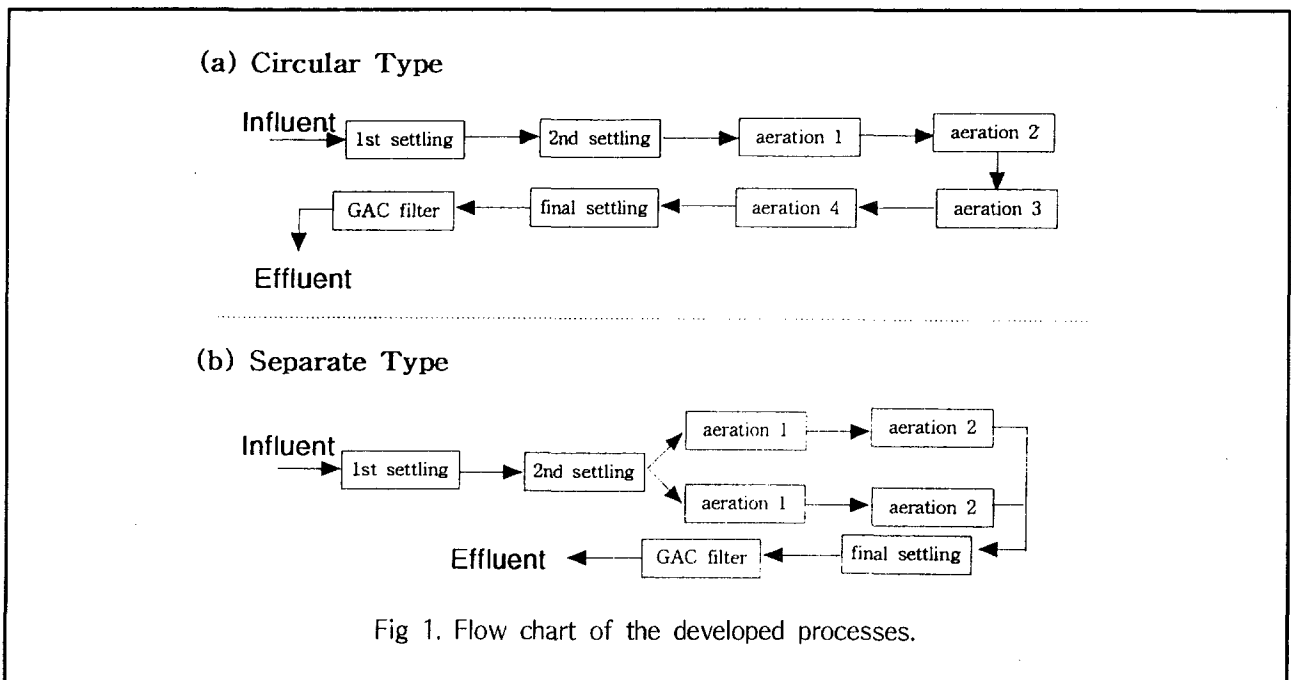
Table 1. The volumes of each reactor.

(unit : L)

Tank \ Type	Circular	Seperate
Settling Tank	30.2	29.6
Aeration Tank	52.5	59.3
Final Settling Tank	9.0	10.9
Filtering Tank	13.3	5.2
Total Volume	105	105

2.2 실험방법

본 공정은 모두 고정 생물막공법을 적용하였으며, 각 반응조를 일체형으로 제작하여 package 형태로 운전되었다. 호기성 접촉폭기조는 각 단계 내에서는 비교적 완전혼합에 가까우나 여러단계로 분리됨에 따라 plug flow흐름을 지니고 있다. 이러한 흐름은 유기물제거 및 질산화 반응에 매우 유리하게 되며, 슬러지 발생을 최소화 할 수 있다. 순환형 합병정화조는 슬러지발생을 최소화함에 목적을 두었으며,



분배형 합병정화조의 경우는 폐수의 주입을 유동적으로 할 수 있어 유량변화가 심한 오수처리에 적용되도록 하였다. 전체적으로 3개의 운전조건을 변화시켜 실험을 하였는데, 폭기조의 수리학적체류시간(HRT)를 각각 12, 16, 24시간으로 하였으며, 정량펌프에 의한 유량변화로 이를 조절하였다. 각 조건변화에 따른 유입 BOD용적부하는 $0.06 - 0.25 \text{ kgBOD/m}^3/\text{d}$ 범위였으며, 표면적부하는 $0.9 - 3.8 \text{ gBOD/m}^2/\text{d}$ 이었다. 초기 반응조의 운전은 약 30여일의 예비 실험기간과 생물막형성 기간을 두었으며, 각 부하별 운전일수는 약 60일로 하였다. 그리고 모든 수질분석은 Standard Method⁴⁾에 준하였다.

3. 결과 및 고찰

다음 Fig. 2는 HRT에 따른 BOD의 유출농도 및 총제거 효율로서 수리학적 체류시간에 따라 다소차이는 있으나 모두 합병정화조의 방류수 기준인 BOD 20mg/L를 만족하는 것으로 나타났다. 그리고 제거효율에 있어서도 90%이상의 높은 제거율을 보이고 있으며, 특히 수리학적 체류시간 16시간에서 크게 증가된 것으로 나타났다. 본 연구가 실험실규모의 반응조에서 수행되어 실제 현장에 적용할 수 있는 정확한 설계자료의 도출이 어렵지만, 실험결과로 볼 때 수리학적체류시간 16시간 정도가 가장 경제적인 것으로 판단된다. 이는 현재 시판되고 있는 일본산 합병정화조의 폭기시간과 비교해 볼 때 약 2배 정도 적은 시간이다. 약 8개월 정도 운전된 기간동안 슬러지 발생은 측정할 수 있을 정도의 양은 생산되지 않았으며, 마지막 활성탄 여과조에서도 부유물에 의한 영향은 없었다. 이러한 슬러지의 발생이 없는 것은 다음 Fig 3와 4의 그래프에서 설명될 수 있다.

Fig 3은 침전지를 가운데로 하여 폭기조가 수로형으로 순환되는 순환형 합병정화조의 각 단계별 처리수 수질을 나타낸 것이다. 유기물의 분석은 폭기조내의 수질을 분석하여야함에 따라 미생물을 분리한 용존성(soluble) BOD를 적용하였고 대표적으로 HRT 16시간의 자료를 제시하였다. 유입 SBOD는 약 45 mg/L로서 비교적 낮은 것을 알 수 있다. 이는 여름철의 자료로서 용수사용량이 많아 상대적으로 농도가 낮아진 것으로 생각할 수 있으며, 한편으로는 생활오수의 처리에 있어 고형물의 분리작업이 매우 중요함을 알 수 있다. 유기물의 제거는 대부분 첫 번째 폭기조인 Aer 1.에서

이루어졌고 Aer 3.부터는 거의 제거되지 않는 것으로 나타났다. 이는 초기 반응조에서는 높은 F/M (food/microorganism)로 인하여 미생물의 대수성장이 이루어졌으며, 이에 따라 유기물제거가 많이 이루어진 것으로 판단할 수 있다. 그러나 반응조의 단계가 진행됨에 따라 유기물은 제한되어 미생물은 내생단계를 유지하게 되었다. 따라서 이러한 내생단계의 유지는 모든 수리학적 체류시간에서 진행되었음을 추측할 수 있으며, 이로 인하여 슬러지의 발생이 없었던 것으로 판단된다.

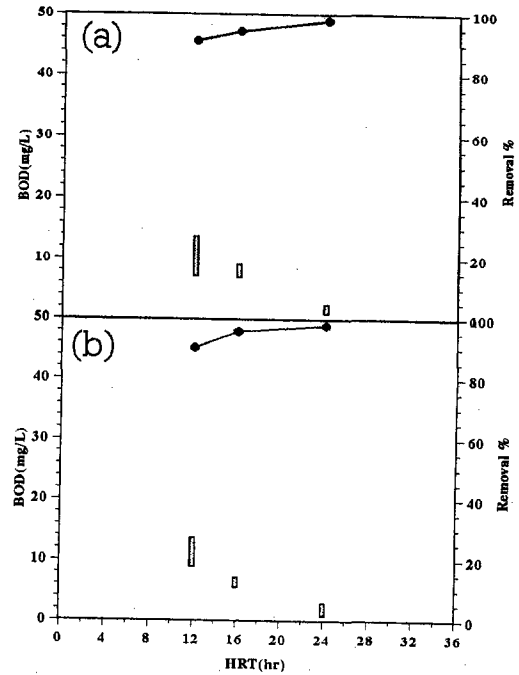


Fig. 2 Variations of effluent BOD conc. and removal % with HRT.

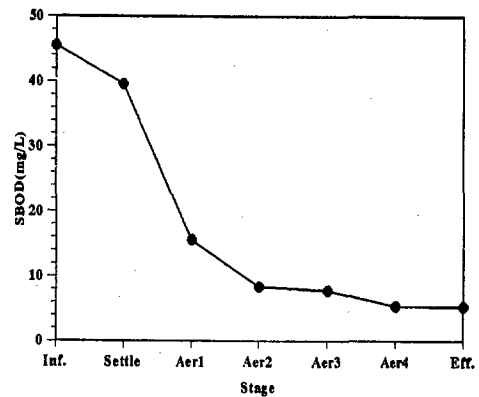


Fig. 3 Variations of SBOD conc. in circular system.

다음 Fig 4는 침전과정을 거친 유입하수를 2개의 폭기 수로로 분배하여 운전한 분배형 합병정화조의 각 단계별 수질변화를 나타낸 것으로 순환형과 유사하게 초기 반응조에서 많은 유기물제거가 일어났다. 특히 육안으로 볼 때 순환형의 초기 폭기조에서는 과도한 생물막이 형성되어 다소 탈리(sloughing)현상도 나타났으나, 본 분배형에서는 유입하수에 의한 부하가 2개의 반응조로 분배되므로 비교적 안정된 생물막의 형성을 보였다. 이러한 분배형의 정화조는 유입부하의 변화에 의한 충격부하에도 강한 장점을 지닐 것으로 판단되며, 휴게소, 학교, 관광 숙박업소, 음식점등 일정주기 하수의 발생폭이 큰 배출업소에도 적합할 것으로 판단된다. 하수의 유입량이 많을 경우는 두 개의 수로를 모두 이용하여 처리하고, 유입량이 적을 경우는 일정한 F/M비를 위하여 한 개의 수로만 이용하여 처리할 수도 있다. 이러한 한 개 수로는 운전하고 다른 한 개 수로는 폭기에 의한 자산화로 슬러지발생을 최소화시키는 방법은 최근 권⁵⁾에 의하여 보고된 바도 있다.

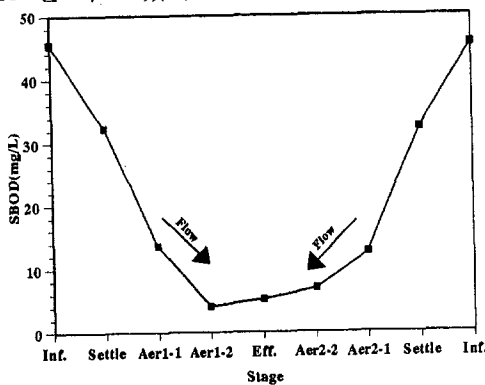


Fig. 4 Variations of SBOD conc. in separate system.

다음 Fig 5와 6은 질소와 인의 제거를 나타낸 것으로 유기물과는 달리 수리학적 체류시간에 따라 제거효율이 매우 큰 차이를 보였다. 특히 질소의 경우는 매우 뚜렷이 나타났는데, 이는 질산화에 있어 유기물의 제한조건이 중요한 인자임을 뒤받침하고 있으며, 따라서 유입 유기물부하가 질산화에 큰 영향을 주고 있다는 것을 알 수 있다. 실험실규모의 결과로 볼 때 수리학적 체류시간 16시간 이후로만 유지할 경우 질산화는 70% 이상 일어나는 것으로 나타났다. 인의 제거는 질소만큼 큰 차이를 보이지 않았다. 전체적으로 20 - 40% 정도의 낮은 제거효율을 보였다. 본 공정과 같은 재래적인 생물막공정에서 인의 제거는 미생물의 Cell합성에 의한 제거를 기대할 수 있는데, 마지막 반응조에서의 미생물 내생단계로 인하여 오히려

용존인의 용출(release)로 농도가 높아지는 것으로 나타나, 이는 한⁶⁾의 보고와 일치하였다. 그러나 총 제거율은 기존 활성슬러지공정의 제거효율 정도는 나타내었다. 다만으로 분리된 순환형 합병정화조는 질산화반응등에 매우 유리하여 앞으로 고도처리 시스템으로의 수정이 가능할 것으로 판단된다. 4단으로 구성된 순환형에서 제3폭기조를 무산소조건으로 수정하고, 유기탄소원으로는 침전된 유출수를 일부 주입하는 시스템으로 변형할 경우 질소제거도 가능할 것으로 판단된다. 다음 Table 2에는 본 연구기간 동안 얻어진 실험결과를 요약 제시하였다.

Table 2. Results of experiment in this study.

(unit : mg/L)

Item	Circular Type			Separate Type			
	HRT	12 hr	16 hr	24 hr	12 hr	16 hr	24 hr
BOD	inf.	110	147	105	110	147	105
	eff.	9.7	8.2	2.1	10.7	6.3	2.3
	rem%	91.2	94.4	98.0	90.3	95.7	97.8
TKN	inf.	39	43	40	39	43	40
	eff.	32.4	12.9	6.8	32.8	15.1	14.0
	rem%	17.0	70.1	83.1	15.9	64.9	82.1
T-P	inf.	3.8	3.6	3.6	3.8	3.6	3.6
	eff.	3.1	2.4	2.3	3.2	2.5	2.3
	rem%	17.2	32.0	35.1	16.8	30.0	36.0

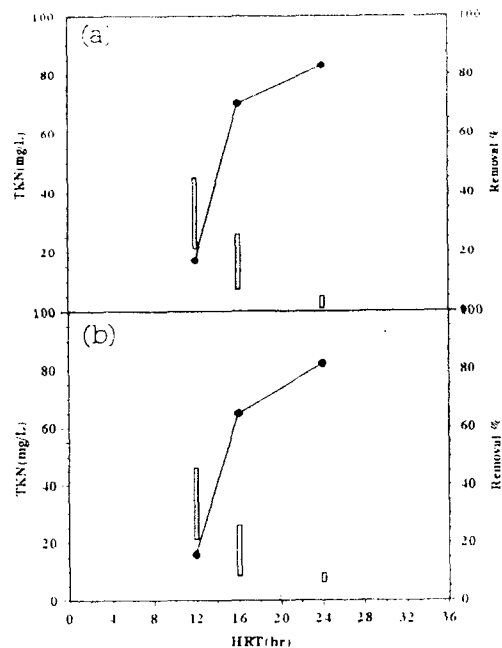


Fig. 5 Variations of effluent TKN conc. and removal % with HRT.

참 고 문 헌

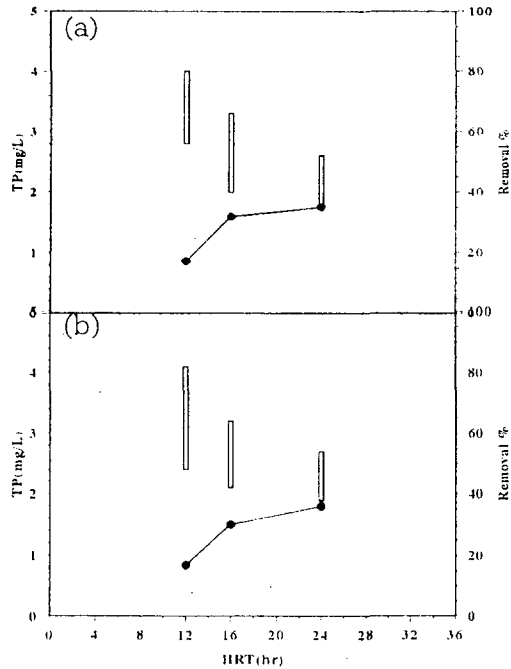


Fig. 6 Variations of effluent TP conc. and removal % with HRT.

4. 결 론

실험실규모의 순환형 및 분배형 합병정화조 개발 연구를 수행한 결과, 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- 1) 모든 부하에서 방류수기준을 만족하였지만, 유기물 및 질소 제거율로 볼 때 수리학적 체류시간 16시간이 가장 효과적이었다.
- 2) Plug-flow형태의 다단폭기조는 미생물의 내생 단계를 유도할 수 있어 슬러지의 발생을 억제할 수 있었다.
- 3) 유입수의 분배주입은 초기 폭기조의 생물막 과부착을 억제하여 역세척등의 운전 경비를 감소할 수 있으며, 유동적인 운전이 가능함을 제시하고 있다.
- 4) 순환형 합병정화조는 앞으로 탈질반응을 동반한 고도 합병정화조로의 수정이 가능할 것으로 판단되었다.