

## SMBR을 이용한 음식폐수의 고도처리

윤용수 · 강광남 · 정순형\*

단국대학교 화학공학과 · 대구보건대학 환경관리과\*

### Application of SBR process in food wastewater advanced treatment

Yong Soo Yoon · Gwang Nam Kang · Soon Hyung Chung\*

Dept. of Chem. Eng., Dankook University, Dept. of Env. Eng., Tae Gu Health College\*

#### Abstract

Submerged Membrane Bio-Reactor(SMBR) process was used to food wastewater treatment. From laboratory pilot-scale experiment data, it was confirmed that this process was very effective process for organics, suspended solid, and N, P treatment.

It was found that BOD and COD removal rate were obtained 90% and 92%, respectively, for 150 days operation. Organics loading rate did not affect to the removal efficiency because MLSS concentration in aerobic tank was highly maintained.

In the case of first reactor operated with anoxic and second reactor operated as aerobic, T-N, T-P removal rate were obtained 93% and 95%, respectively.

It was shown that removal efficiency could be maintained stable due to the complete removal of SS and sludge production decreased with increasing of sludge retention time.

#### I. 서 론

국민생활수준의 향상과 인구증가에 의한 오수발생량은 현재 전국적으로 15,310천m<sup>3</sup>/일에 이르고 있다<sup>1)</sup>. 그 발생량은 상수급수량과 밀접한 관계가 있는데 일반가정, 숙박업소, 식품접객업소, 공중목욕탕, 목욕탕, 주방 등에서 주로 발생하며, 주요 오염물질로는 유기물질, 부유물질 및 영양염류 등이 있다.

업종별로 살펴볼 때 음·식료품의 경우 2,816업소수로 폐수 발생량은 420천m<sup>3</sup>/일로 적은 편이지만, 방류부하량의 경우 전체의 16.1%로써 섬유, 제

지 다음으로 15,876천m<sup>3</sup>/일의 많은 부분을 차지하고 있다. 또한 '90년 팔당상수원 보호 특별대책지역내에 2,585개였던 숙박 음식업소수가 '97년에는 8,956개로 '90년 대비 240% 증가하였으며 상수원 오염을 가중시키고 있다. 이에 환경부는 한강수계 상수원 수질을 개선하기 위해 남한강, 북한강, 경안천의 양쪽 1km이내 지역과 의암댐 및 충주 조정지댐까지의 남·북한강 양쪽 5백m 이내 지역을 수변지역으로 지정해 특별관리하고 있다.

음식폐수는 주로 주문에 의해 즉시 그 장소에서 요리하는 사업장에서 발생하는 폐수로서 시간과 요일에 따라 그 발생량은 크게 변동한다. 발생원별

폐수수질을 보면 원재료가공시에 다량의 유기물을 함유한 폐수뿐만 아니라 인이 포함되기도 하며, 조리시 발생하는 폐수발생 및 식용유나 조미료에 의한 폐수발생으로 COD, 유분의 농도가 높아지고 식기 세척 등으로 다량의 인을 함유한 폐수가 발생된다. 이러한 음식폐수의 경우 매우 높은 유기물뿐만 아니라 고농도의 질소·인을 함유함으로써 각종 환경오염을 유발하고 있다. 또한 음식종류에 따라 현저한 차이의 폐수가 발생함으로써 처리에 많은 문제가 발생되고 있다<sup>2)</sup>.

본 연구에서는 유기물 부하량이 크고 고농도의 질소·인을 함유한 음식폐수를 대상으로 기존의 활성오니법과 막분리시스템을 결합한 SMBR (Submerged Membrane BioReactor)처리공정을 통하여 그 처리효율을 조사하고 적용 가능성을 알아 보고자 하였다.

## II. 실험장치 및 방법

### 1. 음식폐수 조성

본 연구에 사용된 음식폐수는 I시의 산업단지내 의 식당폐수로, 500 여명의 식사를 제공하고 있으

Table 1. Composition of food wastewater.

Compound	Range
pH	4.20~12.2
COD <sub>Mn</sub> (mg/L)	143~1,300
BOD(mg/L)	230~1,935
T-N(mg/L)	17~74.6
T-P(mg/L)	5.4~20.88
SS	205~1,800

며 그 평균적 조성을 Table 1에 나타내었다.

사료 채취는 유량조정조에 유입되기 전의 지점에서 하였으며, 공정의 운전기간 중의 폐수의 유기물 함량은 거의 10배이상의 큰 폭으로 변화하였으며, 영양원인 질소·인의 경우에도 마찬가지였다. 이는 식단의 종류와 식사인원에 좌우되는 것으로 사료된다.

### 2. 실험 장치

본 실험의 SMBR 공정의 실험장치는 Fig. 1에 나타난 바와 같으며, 크게 간헐폭기조작에 의한 일정 간격으로 호기조와 무산소조로 운전되는 제 1

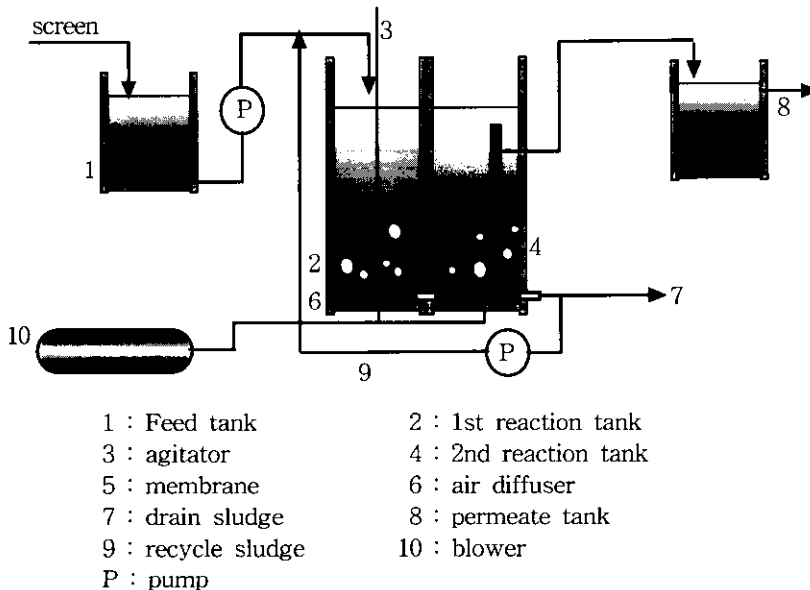


Fig. 1. Flow diagram of the process.

Table 2. Specifications of the membrane

Configuration	plate type
Effective membrane area	0.1 m <sup>2</sup>
Outline dimensions	W240×H490×T7.5mm
Water collecting hole	ID 4.5, OD 8
Nominal pore size	0.4 μm
Standard filtration flow velocity	0.3~0.5 m/day
Material	Synthetic resin
Operation temperature range	2~38 °C
Operation pressure range	-4.9×10 <sup>4</sup> ~ 0 Pa
Applicable pH range	3 ~ 10

반응조와 침지형 membrane 모듈이 장착된 제 2반응조로 나눌 수 있다.

실험에 사용한 반응기의 용량은 제 1,2 반응조 각각 10L로서 아크릴로 제조하였다. 또한 각 반응기의 air 공급은 blower를 통하여 정량적으로 공급하였으며, 원수공급과 내부반송은 LMI(USA)사의 정량펌프를 사용하였다.

폭기조로 운전되는 제 2반응조에 침지된 membrane은 평판형 membrane으로서 그 사양은 Table 2와 같다.

### 3. 실험 방법

활성오니는 1시 하수종말처리장의 활성슬러지 농축액을 반응조에 채워 실험을 수행하였다. 원폐수인 음식폐수를 1차 스크린을 통하여 일부 흡착물을 제거한 다음 유량조정조로 유입시켜 정량펌프로써 간헐폭기공정으로 운전되는 무산소조와 호기조의제 1반응조에 공급하였으며, 이 혼합액은 다시 제 2반응조에 유입되어 침지형 membrane에 의해 처리수로 배출된다. 폭기조내의 air공급량은 20mL/min을 유지하였으며 산기관을 침지형 membrane 아래에 설치함으로써 membrane 표면 오염도를 줄일 수 있게 하였다. 폐수의 수리학적 체류시간은 12시간 이었으며 내부 반송비는 3-5Q로 유지하였으며, 모든 실험의 운전온도는 실내온도하에서 진행하였다. MLSS 농도는 12,000~

15,000 mg/L로 유지하였다.

### 4. 측정 항목 및 방법

실험 수행과정에서 침지형 membrane을 통과한 처리수에 대해 처리효율을 관찰하기 위하여 수질 오염 공정시험법과 Standard Methods에 의해 BOD, COD 및 SS를 분석하였으며, JASCO사의 UV-vis spectrophotometer를 이용한 흡광도법에 의해 T-N과 T-P를 분석하였다. 또한 pH는 유리전극의 HANNA사의 pH meter를 사용하여 측정하였다.

## III. 결과 및 고찰

### 1. 유기물 제거

음식폐수를 대상으로 활성오니법과 침지형 membrane을 결합한 SMBR공정의 실험은 약 8개월 동안 수행하였다. 초기 유입수의 유기물의 함량은 매우 큰 변화폭을 보였으며, 이는 음식점의 식단 변화가 주요인이었다. 또한 큰 폭의 유분 함유는 많은 유기물 부하를 나타내는 직접적인 요인이었다.

Fig. 2, 3은 SMBR공정에 의한 운전기간 동안의 유입수와 유출수의 BOD와 COD를 나타낸 것이다.

Fig. 2에서 나타난 바와 같이, 처리수의 BOD 경우 유입수의 100mg/L에서 2000mg/L까지 큰 BOD 부하량에 관계없이 처리수질 결과는 3mg/L이하로 거의 변동이 없었다. Fig. 3의 COD 경우도 마찬가지로 처리수질은 10mg/L이하로 BOD의 경우와 동

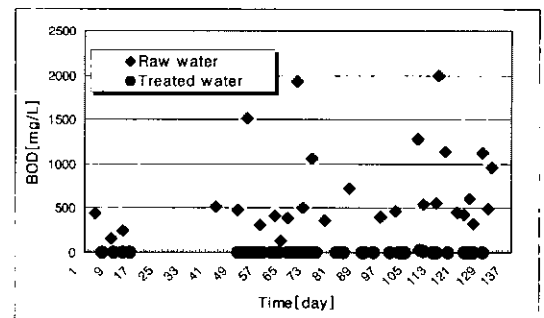


Fig. 2. Removal of BOD during the experiments in submerged membrane activated sludge.

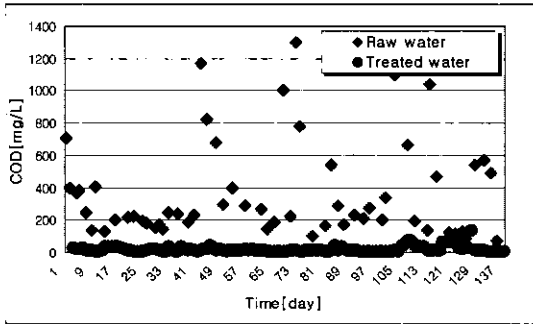


Fig. 3. Removal of COD during the experiments in submerged membrane activated sludge.

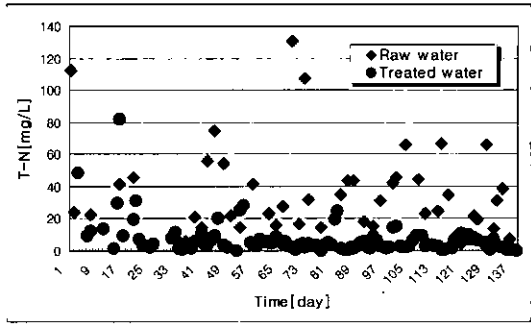


Fig. 4. Removal of T-N during the experiments in submerged membrane activated sludge.

일한 경향을 보였다. 이는 12,000mg/L 이상의 높은 MLSS 유지가 가능한 SMBR공정으로 인해 미생물에 의한 유기물제거가 가능하고, 폭기조 내의 침지형 membrane에 의해 부유물질 등의 활성오니가 완전 제거되기 때문인 것으로 확인되었다<sup>3, 4)</sup>.

## 2. 질소 제거

일반적인 생물학적 처리방법에 의한 질소제거는 미생물의 동화작용(bacterial assimilation)에 의한 질소제거방법과 유입 폐수내의 암모니아와 유기성 질소 등이 일정 조건하에서 질산성 질소와 아질산성 질소로 변화되어 유출수에 얼마만큼 존재하느냐에 따른 질산화(nitrification)과정과 질산화를 걸친 질산성 질소 등이 처리 시스템에서 환원되어 대기 중에 질소가스로 배출됨으로써 질소화합물을 제거하는 과정인 탈질화(denitrification)과정으로 구분된다.

본 SMBR공정에서의 질소제거는 제 2반응조를 호기성 상태의 반응기로 유지하여 질산화를 유도하고 질산화된 호기성 유출수가 간헐폭기에 의해 호기 및 무산조로 반복 운영되는 제 1반응조로 반송되어 탈질을 유도하여 제거시킬 수 있도록 하였다. 또한 질소가 세포합성에 필수적인 요소이기 때문에 생물학적 처리과정의 세포합성에 따라 세포 구성에 필요한 만큼 질소가 제거되기도 한다.

Fig. 4는 운전기간동안의 유입수와 유출수의 총 질소를 나타낸 것으로 그 제거율은 90%이상이었다. 이로써 SMBR 공정은 유기물 제거 및 질소 제거에 있어서 탁월함을 확인 할 수 있었다. 질소의

경우에 있어서 처리수질이 다소 차이가 보였는데 이는 원수의 변동에 의한 것이다. 즉 일반적으로 C/N비가 6이상에서 질소제거가 잘 이루어짐을 볼 때 처리수질의 변동은 유입수의 탄소원과 밀접한 관계가 있음을 알 수 있었다.<sup>5),6)</sup>

지금까지의 일반적인 활성오니법을 이용한 공정들은 장시간 폭기조를 가동함으로써 암모니아성 질소가 질산성 질소나 아질산성 질소로 전환되는 질산화로 유도하지만 탈질을 위한 공정미비로 총 질소(T-N)제거가 어렵다. 또한 일부 적용되고있는 침지형 분리막의 경우 폭기조에 적용, 분리함으로써 낮은 질소·인 제거를 얻고 있을 뿐이다. 그러나 본 시스템에서는 폭기조의 혼합액을 무산소조로 내부반송을 시킴으로써 탈질을 유도 완전 질소 제거를 이루게 하였다. 또한 일반적으로 탈질반응을 유도하고자하는 공정들이 대부분 메탄올과 아세트산 등의 외부 탄소원을 이용하여 경제적 부담을 가중시키는 문제를 야기하는 것과는 달리 본 시스템에서는 유입수를 무산소조로 유입시킴으로써 유입수의 탄소원을 이용하여 탈질을 유도하였다.

## 3. 인 제거

우리나라의 경우 질소보다 인의 과다유입에 의한 부영양화가 진행된다고 알려져 있으며, 이를 방지하기 위해 폐수로부터 인제거 방법으로 화학적 방법과 생물학적 방법을 사용하고 있다. 종래에는 주로 화학적 방법이 사용되었으나 경제적이고 효율이 높은 생물학적 인제거방법이 개발되면서 미생물을 이용하여 인을 제거하는 생물학적 처리시

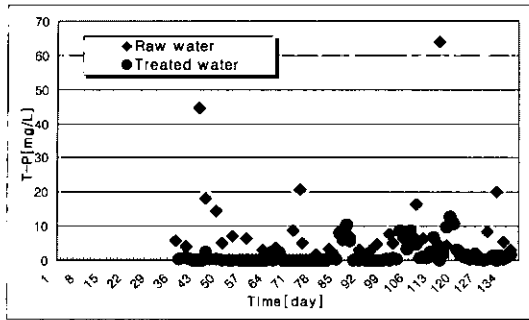


Fig. 5. Removal of T-P during the experiments in submerged membrane activated sludge.

설이 증가하고 있다.

세제의 함유와 밀접한 관련이 되는 인의 농도는 음식폐수의 경우에 있어서 시료채취 날짜와 시간에 따라 큰 폭의 변화가 있었다. Fig. 5은 SMBR 공정을 적용한 유입수와 유출수의 총 인을 나타낸 것으로 그 처리효율은 95%이상임을 확인 할 수 있었다.

생물학적 인제거의 기본원리는 혐기성 상태에서 균체중의 유기물 저장과 동시에 인의 방출이 시작되고 호기성 상태에서 균체중식과 폴리인산을 축적하면서 일부의 인이 제거된다. 그 결과 처리수질을 볼 때 안정적인 수질확보가 가능함을 알 수 있었으며, 이와 같은 경향은 슬러지의 농도변화와 밀접한 관계가 있었다. 즉, 유기물함량이 낮은 유입수로 인한 자산화 현상으로 인해 MLSS가 낮아질 때 그 처리효율이 다소 저하됨을 알 수 있었다.

#### 4. 부유물질(SS) 제거

분리막에 의한 활성슬러지의 고액분리라는 기능에 의해 고려해 본다면, 활성슬러지는 대부분 세균, 원생동물, 젤라틴 상태의 유기물에서 비롯된 무생물의 세가지 성분으로 구성되어 있다. 즉 세균균과 젤라틴 상태의 유기물이 일체가 되어 플러클을 형성하고 이 플러클에 원생동물과 혼탁질의 일부가 부착 또는 흡착되어 활성슬러지를 형성한다. 따라서 세균류가 0.2-1 $\mu$ m, 원생동물이 적어도 30 $\mu$ m 이상이 되면 활성슬러지는 수십  $\mu$ m 이상이 된다. 따라서 활성슬러지의 고액분리에 사용되는 분리막의 경우 흔히 말하는 정밀여과막으로 충분하다고 할 수 있다.

기존의 활성슬러지법의 가장 큰 문제거리는 슬러지의 별킹이나 이상변화로 인해 슬러지의 유출로 인한 수질오염의 악화였다. 그로인해 침전조, 모래여과 등 추가시설 및 전문운전요원을 요구하는 등 많은 애로가 있어 왔다.

그러나 본 연구의 SMBR공정은 microfiltration의 침지형 막을 사용함으로써 완벽한 SS제거로 인한 처리수질의 안정화를 이룰 수 있을 뿐만 아니라 침전조 등의 기타 부대시설 부지를 획기적으로 줄일 수 있었다.

### IV. 결 론

기존의 활성오니법과 침지형 평판 막을 결합한 SMBR공정에 의하여 음식폐수를 대상으로 하여 연구한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 5개월간의 실험공정 동안의 유기물제거효율은 BOD와 COD의 분석결과 각각 99%와 93%의 높은 제거율을 얻을 수 있었으며 SMBR공정에 의한 고농도 MLSS의 유지로 인해 유기물부하에 관계없이 동일한 효율을 기대할 수 있었다.
2. 제 1반응조와 제 2반응조의 무산소 상태와 폭기조의 적절한 운전으로 T-N은 93%이상, T-P는 95%이상의 제거효율을 얻을 수 있었다.
3. 완벽한 SS의 제거로 인해 처리수질의 안정화를 얻을 수 있었으며 부대시설 저감효과를 기대할 수 있었다.

본 연구는 막분리 공정을 이용하여 유기물제거 뿐만 아니라 질소·인 등의 고도처리를 위한 기초자료로써 시작되었다. 이로써 본 SMBR공정은 고도처리에 있어서 적합한 것으로 판단되며, 향후에 막 오염인자, 투과속도 등에 대한 계속되는 연구 진행이 요구된다.

#### 감사의 글

본 연구는 (주)SOL NANO-CHEM의 연구비에 의하여 수행되었으며, 연구비지원에 감사의 뜻을 표합니다.

## 참 고 문 헌

1. 환경부 : 환경백서(1998).
2. Cecil Lue-Hing, David R. Zenz, and Richard Kuchenrither : Water Quality Management Library-Volume4/Municipal sewage sludge management ; processing, utilization and disposal, Technomic publishing company, Inc., 1992.
3. Yasutoshi Shimizu, Katsushi Uryu, Yu-ichi Okuno and Atsuo Watanabe : Cross-flow microfiltration of activated sludge using submerged membrane with air bubbling, J. of Fermentation and Bioengineering, Vol. 81, No. 1, 55-60 (1996)
4. Tatsuki Ueda, Kenji Hata, Yasuto Kikuoka and Osamu Seino : Effect of aeration on suction pressure in a submerged membrane bioreactor, Wat. Res., Vol. 31, No. 3, 489-494(1997)
6. 한기봉, 신용배, 민경진, 류재근 : Nitrogen removal characteristics of domestic wastewater in A<sup>2</sup>/O, International symposium on development of water Quality renovation system. 195-205(1999)
7. A. Shanableh, et. al. : Effect of cycle duration on phosphorus and nitrogen transformations in biofilters, J. of Water and Waste, Vol. 40, No. 2, 176-179(1999)