

폐굴껍질 담체를 이용한 마을하수고도처리공정의 성능평가

임봉수[†] · 양연호

대전대학교 환경공학과

Performance of Advanced Sewage Treatment Process with Waste Oyster Shell Media in Rural Area

Bong-Su Lim[†] · Yan-Hao Yang

Department of Environmental Engineering, Daejeon University

(Received 1 August 2005, Accepted 12 September 2005)

Abstract

This study was carried out to evaluate the performance of Modified Ludzsch Etinger (MLE) process with waste oyster shell media in aerobic tank. Influent flow was 36 L/d and the order of reactor was anoxic, aerobic and sedimentation tank and unit hydraulic retention time was 2 hr, 6 hr and 4 hr, respectively. Sludge recycling rate in sedimentation tank and internal recycling rate were 100%. Media fill rate in aerobic tank was 5%, 10% and 17% and fluid MLSS concentration in aerobic tank was 3000~4000 mg/L. Average TCOD removal rate was 91~93%, TBOD 92~96%, SS 95~96% and when media fill rate was 10% or more, in organic compound removal it could satisfy with wastewater discharge standard. Average total nitrogen removal rate was 70~76% and average total phosphorous removal rate was 58~65%. With media fill rate increasing, total phosphorous average removal rate also increased. For it was that released calcium ion from waste oyster shell reacted with soluble phosphorous. From these experiment results, the MLE process using waste oyster shell as media is a practical method for advanced sewage treatment in rural area.

keywords : Organic compound removal, TN removal, TP removal, Waste oyster shell

1. 서론

마을하수도는 자연취락지구 또는 문화마을 조성지구를 대상으로 설치되고 있는데, 지방자치단체의 재정규모가 작고 하수도시설 설치부담능력의 취약성 때문에 이미 설치된 시설에 대한 체계적인 정비도 이루어지지 못하고 있는 실정이다. 또한 막대한 시설비 소요와 새로운 관거매설 시 오점, 파손 등 시공상의 부실로 말미암아 관거내를 흘러야 하는 하수가 지하로 스며들고, 관거 외의 지하수가 관거내로 침입하여 오수와 함께 하수처리시설로 유입하는 등의 원인으로 하수의 유기물농도는 설계요구치보다 낮아서 제거효율이 떨어지고 있는 실정이다. 이러한 여건에서도 '96년부터 하수종말처리장 수계 부영양화 방지를 위한 질소와 인의 규제가 더욱 강화되고 있으며, 2005년까지 하수도 보급률이 80%에 이르도록 하수처리시설 설치사업이 추진되고 있다(국립환경연구원, 2002).

전국의 마을하수도 총 1,657개소 중 적용된 공법을 유사원리를 이용한 공법별로 분류한 결과를 보면, 합병처리정화공법 19%, 집축산화공법 12%, 토양트렌치공법 16%, 혐기·호기집축포기공법 8%, 토양피복집축산화공법 9%로 질

소와 인제거를 고려한 고도처리 공법이 매우 적은 편이다(국립환경연구원, 2002).

국내 대부분의 마을하수처리공정의 경우 유기물질 제거효율은 비교적 양호한 편이나, 영양소제거효율은 약 30% 수준에 이르고 있어 농어촌의 소하천 정화를 위해 영양소 제거 공정의 개발이 시급한 실정이다(이 등, 2002).

우리나라 해안 양식업에서 비중이 높은 굴 양식업은 굴 생산시 부산물로 대량 발생하는 폐굴껍질은 해안야적으로 인한 연안어장의 오염과 공유수면 관리상의 지장, 그리고 자연경관의 훼손 등으로 환경문제를 초래하고 있다. 이와 같은 수산폐기물인 폐굴껍질의 처리방안과 자원으로써 재활용하기 위한 연구가 시급하다(문 등, 1995). 폐굴껍질은 표면적이 불규칙하여 비표면적이 높아 미생물과 접촉비율이 크고, 미생물과 폐굴껍질과의 친화성이 높아 생물막 형성이 용이할 것으로 사료된다. 또한 반응조 내에서 SRT가 증가되어 질산화가 잘 진행되어 질소제거에도 효과가 높으리라 생각된다.

폐굴껍질 구성 중 CaCO_3 는 약 94~96%로 폐굴껍질은 거의 탄산칼슘으로 구성되어(Yoon et al., 2003; 이 등, 1997) 용출되는 칼슘이온과 용해성 인이 반응하여 난용성 물질을 형성하기에 인의 제거에 좋은 제거효과를 가져오며 SRT 증가로 질산화가 잘 이루어져 질소제거에도 효과가

[†] To whom correspondence should be addressed.
bslim@dju.ac.kr

높으리라 생각된다.

따라서 본 연구는 폐굴껍질을 담체로 활용하기 위하여 기존 질소제거 공정인 MLE(Modified Ludzck Etinger) 공정에 폐굴껍질을 주입시켜 마을하수처리시설 공정으로 개발하기 위한 것으로 유기물질, 영양소 등의 제거성능을 평가하였다.

2. 실험장치 및 방법

본 연구에서 사용된 공정은 담체를 MLE공정의 포기조에 주입시킨 것으로 반응조는 아크릴로 제작되었으며, 유입과 반송은 미세유량조절 카세트 펌프를 사용하였고, 전체공정은 자연 유하하도록 설치하였다. 반응조의 모식도는 Fig. 1 과 같다. 반응조는 무산소조, 포기조, 침전지의 단위공정으로 구성되어 있으며 각 단위공정의 용적은 각각 3 L, 9 L, 6 L이고, 유입유량은 36 L/d로 하여 수리학적 체류시간을 각각 2시간, 6시간, 4시간으로 설계하였다. 탈질과 미생물 유지를 위해 포기조에서 무산소조로 내부반송과 침전지에서 무산소조로 슬러지반송을 하였다. 침전지는 부유물질의 유출방지를 위해 정류판이 설치되었으며, 침전슬러지를 원활하게 모으기 위해 원뿔 모양으로 제작하였고, 하부에는 Scraper를 설치하였다.

담체주입방법은 Fig. 2와 같은 생물막 공법에서 흔히 발생하는 폐쇄현상을 방지하기 위하여 두께가 얇고 입방체 모양(W : L : H = 4 cm : 12 cm : 18 cm) 철망으로 고정

틀을 제작하고, 고정틀내에 원형그대로의 굴껍질 중 주입하기에 알맞은 약 2~4 cm 크기의 폐굴껍질을 선택하여 주입하였다. 철망 고정틀은 반응조 전체의 포기가 잘 되도록 수직으로 세워 설치하였다. 또한 운전과정 중 담체 표면에 미생물이 과도로 부착되어 한순간에 탈락되는 현상을 방지하기 위하여 담체사이에 포기관을 설치하고 상승하는 공기방울로 하여금 담체표면에 부착된 미생물과 부딪쳐 미생물이 과도로 부착되지 않도록 하였다.

Table 1은 Mode별 운전조건을 나타낸 것으로, 내부반송율과 슬러지반송율을 100%로 하고 포기조의 미생물농도를 약 3000 mg/L정도로 유지하는 조건하에서 담체를 주입하지 않았을 경우는 Mode I, 담체를 5% 주입했을 경우는 Mode II, 10%, 17%는 각각 Mode III와 Mode IV로 구분하였다. 포기조 DO 농도는 2.1~3.0 mg/L로 운전하였고 온도는 18~22℃로 유지하였다. 각 Mode별 미생물 농도를 유지하기 위해 침전지에서 적당량의 슬러지를 폐기시켰다. 이때 슬러지는 침전지 하단부분에 눈금을 표시하여 운전중 증가된 부분을 잉여슬러지로 보고 폐기시켰다.

수질분석은 각 운전 Mode 변경 후 정상 운전상태에서 주 2회로 총 4회 시료채취하여 분석하는 것을 원칙으로 하였다. 시료에 대한 분석항목은 Ca²⁺, pH, DO, BOD, COD, SS, VSS, T-N, TKN, NH₄⁺-N, NO₃⁻-N, T-P, PO₄³⁻-P, 알칼리도였으며, 분석항목은 Standard Methods(APHA, 1998)에 기준하여 분석하였다.

실험에 사용된 유입원수는 아파트 단지의 오수처리시설

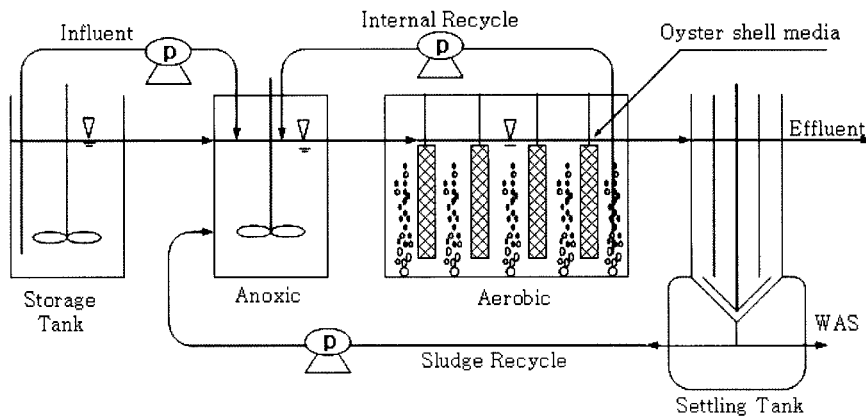


Fig. 1. Schematic diagram of experimental system.

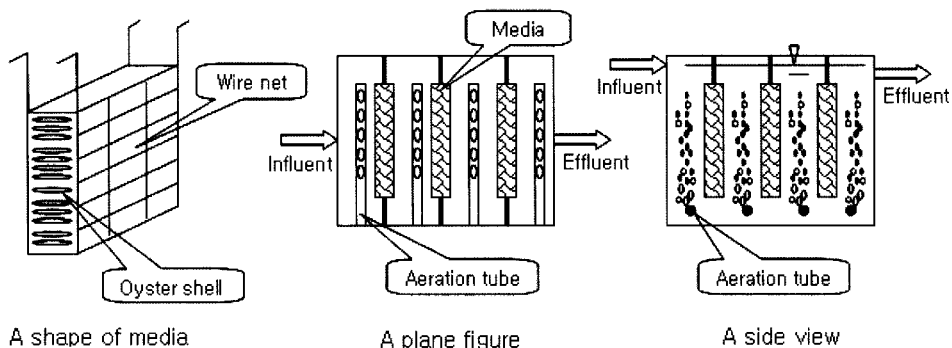


Fig. 2. View of media shape and setting.

Table 1. Operating conditions of all modes

Mode	Media fill rate	Internal recycle(%)	MLSS (mg/L)
Mode I	none	100	3,300
Mode II	5%	100	3,200
Mode III	10%	100	3,500
Mode IV	17%	100	3,400
Remark	DO: 2.1~3.0 mg/L, Return sludge ratio: 100%		

Table 2. Characteristics of influent

Item	Min.	Max.	Avg.
Ca ²⁺	11.2	14.1	12.8
pH	6.2	6.8	6.5
TBOD	85	176	140
SBOD	29	94	62
TCODcr	225	373	280
SCODcr	62	170	118
TSS	73	148	97
VSS	52	137	86
T-N	20.0	38.4	26.0
TKN	19.5	36.0	25.5
NH ₄ ⁺ -N	16.6	26.2	19.6
T-P	2.9	4.7	3.6
PO ₄ ³⁻ -P	1.6	2.2	1.9
Alkalinity	105	143	124

유입수를 사용하였으며 유입수는 분뇨와 생활하수가 함께 유입되어 일반적인 하수의 성상보다 유기물질과 영양소의 농도가 높은 편이다. Table 2는 유입하수의 성상으로 BOD는 평균 140 mg/L, COD는 평균 280 mg/L로 일반 도시하수의 COD/BOD 비인 1.72(최, 2003)보다 다소 높은 2.0으로 나타났다.

질산화에 필요한 알칼리도는 약 7.14 mg/mgNH₄⁺-N (Randall et al., 1992)인데 유입수의 알칼리도는 6.5~7.9 mg/mgNH₄⁺-N로 질산화에 부족한 양이 아니므로 인위적인 알칼리 주입은 하지 않았다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 유기물질 제거

Table 3은 Mode별 유기물질 분석 결과를 나타낸 것으로 담체를 주입하였을 경우 Mode별 대부분이 COD 제거효율은 약 90% 이상으로 대체로 안정적인 효율을 보이고 있

Table 3. Organic removal efficiency of each mode

Mode	Influent (mg/L)		Effluent (mg/L)		Removal Efficiency(%)	
	TCOD	TBOD	TCOD	TBOD	TCOD	TBOD
I	286	137	30	13	89.5	90.5
II	301	141	26	12	91.4	91.5
III	277	143	21	8	92.4	94.4
IV	287	155	19	6	93.4	96.1

며 담체를 주입하지 않은 경우인 Mode I은 89%로 나타났다. BOD 제거효과도 담체를 주입한 경우가 주입하지 않은 경우보다 양호한 경향이었으며, 담체 충전율을 10% 이상으로 하였을 때 유출수의 BOD 농도는 10 mg/L 이하로 방류수 수질기준을 만족할 수 있었다.

본 연구에서 담체 10% 주입 시 BOD제거효율이 약 94% 정도의 효과로 나타나 타공정과 비교할 때 유동성 플라스틱 담체를 이용한 단독 MLE공정인 경우(박 등, 2003)와 비슷한 처리효율을 보이고 있으며, 활성슬러지공정에 폐굴껍질을 약 18%정도 주입하여 유기물질 부하를 1.0 kg BOD/m³·d 이하로 운전한 경우(문 등, 1997) 90%보다 높게 나타났다.

SS제거효율은 대체로 폐굴껍질을 주입한 경우와 주입하지 않은 경우에 모두 95% 정도로 나타났으며 유출수의 SS 농도는 4~5 mg/L로 방류수 수질기준 10 mg/L 이하를 충분히 만족시켰다.

3.2. 질소제거

3.2.1. 질산화

Table 4는 폐굴껍질 담체를 주입한 MLE공정에서의 Mode별 질소제거효율을 보여주고 있는데 담체를 주입하였을 경우, Mode II의 총질소 제거효율은 70% 이상, Mode III는 안정상태에서 73% 이상의 제거효율을 보였다. Mode IV는 76% 이상으로 충전율이 증가함에 따라 제거효율이 높아지는 경향을 나타내었다.

타공정에서 MLE공정에 유동성 플라스틱 담체를 주입한 경우(박 등, 2003)는 총질소 제거효율이 약 75%, 최근 도시하수처리장에 많이 적용되고 있는 유동성 담체인 NPR공정(김 등, 2001a)은 약 68%, BIO-SAC공정(김 등, 2001b)은 약 78%로 본 실험에 의한 총질소 제거효율과 유사한 결과를 나타내었다.

질산화의 경우, Table 4에서 Mode별 NH₄⁺-N의 제거효율을 비교해 보면 담체를 주입하였을 때는 모두 98% 이상으로 나타났고, 주입하지 않았을 때인 96%보다 담체를 주입하였을 때가 더 좋은 결과를 보여주었는데 이는 담체에 의해 포기조에 질산화 미생물의 다량 확보와 SRT가 길게 운전되어진 결과인 것으로 보여진다. 반응조의 전반 운전과정에서 온도가 18~24°C로 비교적 높은 변화가 있었지만 온도의 하강으로 인한 질산화 저하현상은 나타나지 않았다. 유출수중의 NH₄⁺-N는 Mode별 상관없이 0.3~0.8 mg/L로 대부분 질산화가 이루어지는 것을 알 수 있다.

Fig. 3은 단위공정에 따른 유출 NH₄⁺-N의 변화를 나타내

Table 4. Nitrogen removal efficiencies of each mode

Mode	Influent (mg/L)		Effluent (mg/L)			Removal Efficiency(%)	
	T-N	NH ₄ ⁺ -N	T-N	NH ₄ ⁺ -N	NO ₃ -N	T-N	NH ₄ ⁺ -N
I	34.8	23.6	12.0	0.8	9.33	65.5	96.6
II	33.9	20.4	10.2	0.4	7.92	69.9	98.0
III	30.5	15.9	8.3	0.3	4.47	72.8	98.1
IV	28.6	23.5	6.8	0.4	4.45	76.2	98.3

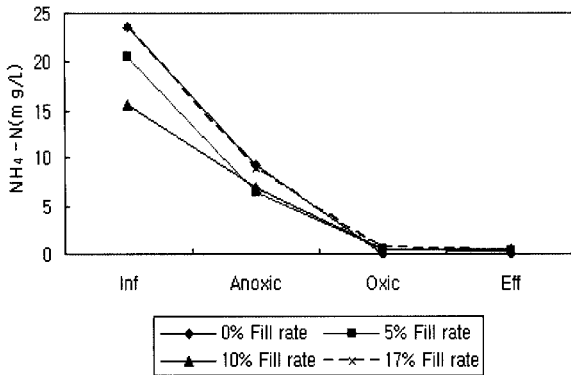


Fig. 3. Variation of NH₄⁺-N concentration of unit process.

고 있는데 유입수가 무산소조에 유입되면서 NH₄⁺-N 농도는 내부반송과 슬러지반송 유량에 의해 희석되어 농도가 약 60% 정도로 낮아지고, 포기조에서 제거효율이 96~98%로 대부분의 NH₄⁺-N가 제거되었다.

비질산화율을 보면, Mode III가 3.29 mgNH₄⁺-N/gMv/hr로 미생물의 질산화 능력이 가장 좋았고, 다음은 담체를 주입하지 않은 Mode I이 2.44 mgNH₄⁺-N/gMv/hr로 나타났다. Mode II와 Mode IV는 각각 1.21 mgNH₄⁺-N/gMv/hr와 1.82 mgNH₄⁺-N/gMv/hr로 다소 낮게 나타났으나 Mode 별 운전조건에 관계없이 NH₄⁺-N의 제거효율을 보면 97~98% 정도로 나타나 비록 미생물 활성이 좋지 않더라도 담체에 부착된 질산화 미생물의 다량 확보로 질산화효율은 미생물의 활성에 큰 영향이 없이 97% 이상을 확보할 수 있다. 또한 Mode IV의 17% 충전율인 경우에 HRT는 5 hr로 활성슬러지공정의 HRT 6 hr에 비해 반응시간이 짧았지만 질산화는 충분히 이루어졌다.

3.2. 탈질

탈질과정에서 미생물은 용해성 유기물질을 필요로 하는데 Fig. 4는 단위공정별 SCOD의 변화를 보여주고 있다. 각 Mode별 유기물질 제거를 보면 무산소에서 약 65~72% 제거되고, 포기조에서 약 7~13%가 제거된다. 이는 무산소조에서 65% 이상의 용해성 유기물질이 탈질에 이용되었다는 것을 알 수 있다. 또한, Mode I과 Mode III를 비교해 볼 때 담체를 주입한 Mode III가 담체를 주입하지 않은 Mode I보다 유기물질 제거효율이 더 많음을 알 수 있다.

Fig. 5는 공정별 유출 NO₃⁻-N의 변화를 나타낸 것으로 Mode와 상관없이 무산소조에서 NO₃⁻-N 농도가 0.02~0.07 mg/L로 유출되기에 탈질이 잘 되는 것을 알 수 있다. 유출수의 NO₃⁻-N을 비교해 보면, 담체를 주입한 Mode III와

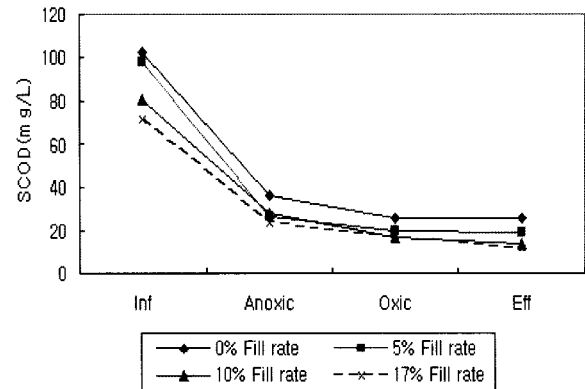


Fig. 4. Variation of SCOD Concentration by unit process.

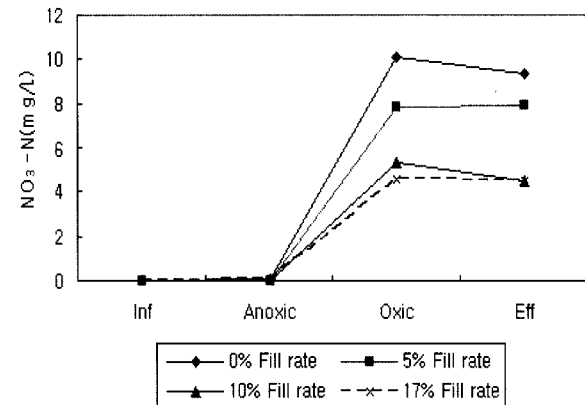


Fig. 5. Variation of NO₃⁻-N Concentration by unit process.

Mode IV는 각각 4.47 mg/L, 4.45 mg/L로 담체를 주입하였을 경우 주입하지 않은 경우인 Mode I의 9.33 mg/L보다 양호한 결과를 나타냈는데 이는 미생물이 담체에 부착되어 포기조에서 미비하게 탈질효과(후탈질)를 나타낸 것으로 사료된다. NPR Process의 경우에는 평균 5 mg/L로 본 실험이 다소 높은 탈질효율을 나타내었다.

비탈질을 보면, 담체를 주입한 경우, Mode III는 3.24 mgNO₃⁻-N/gMv/hr로 제일 높게 나타났고 Mode II와 Mode IV는 각각 1.86 mgNO₃⁻-N/gMv/hr, 1.32 mgNO₃⁻-N/gMv/hr로 담체를 주입하지 않은 경우인 Mode I의 3.18 mgNO₃⁻-N/gMv/hr 비해 낮게 나타났지만 반응조 유출수 중의 NO₃⁻-N의 농도를 보면 충전율이 증가함에 따라 낮아지는 경향을 보이고 있었다.

3.3. 인제거

생물학적 인 제거에 있어서 유입수의 TCOD : TP의 비

율은 매우 중요한 인자인데 이 비율은 먹이의 분배를 결정하여, 서로 다른 미생물종의 균집을 결정하게 된다. Randall 등(1992)은 TCOD:TP 비가 40 이상이면 유출수의 총인농도를 1 mg/L 이하로 얻을 수 있다고 밝혔는데, 본 연구에서 유입수의 평균 TCOD:TP 비는 77 로 나타났다.

Table 5는 Mode별 인 제거효율을 보여주고 있는데 담체를 주입하지 않았을 경우, Mode I의 인 제거효율은 39% 정도로 마을하수도 방류수 수질기준 2 mg/L이하에 만족하지 못했다. 담체를 주입하였을 경우, Mode II, Mode III와 Mode IV의 인 제거효율은 각각 약 58%, 62%와 65%로 총진율이 증가할수록 인 제거효율이 증가되는 것으로 나타났으며, 유출수 총인 농도는 모두 1 mg/L 이하로 방류수 수질기준에 만족하였다. 이는 폐굴껍질에서 용출되어 나오는 Ca^{2+} 이온이 인과의 반응에서 기인한 것으로 사료된다.

인이 제거된 양은 폐슬러지의 세포로 전환된 광과 정석 탈인에 의한 폐굴껍질 담체에 침전된 양으로 보였다. PO_4^{3-} -P의 제거효율 44% 중 세포로 전환되어 제거된 양을 Mode I의 경우에 32% 볼 때, 오직 12%만 반응한 것으로 본다.

용출된 Ca^{2+} 과 용해성 PO_4^{3-} -P의 반응률을 정확히 알아보기 위하여 연속운전조건과 똑같은 조건에서 HRT 6 hr, 총진율 10%로 하고, 유입수는 원수의 인 농도와 비슷하게 KH_2PO_4 를 사용하여 PO_4^{3-} -P로 4.0 mg/L정도로 수돗물을 희석수로 조제 사용하였다. 이 실험에서 반응시간 66시간 정도 실험한 결과 반응시간에 따른 용출된 Ca^{2+} 과 용해성 PO_4^{3-} -P의 제거효율은 9.4~11.7%로 실제 반응실험과 비슷한 결과를 나타내었다.

폐굴껍질을 주입한 MLE 공정에서 제거된 PO_4^{3-} -P농도와 Ca^{2+} 농도와의 물질수지를 세워 전체 인 제거효율에 Ca^{2+} 용출에 의한 인 제거효율을 알아보았다.

Table 6은 연속 반응공정에서 PO_4^{3-} -P의 물질수지 계산을 나타내었다. 물질수지는 유입수의 PO_4^{3-} -P가 2.01 mg/L, 유출수는 2.12 mg/L, 총진율은 10%, PO_4^{3-} -P의 제거효율은 44.2%인 Mode III의 경우에 해당된다. 세포로 전환되어 제거된 인의 양은 본 실험(Mode I)을 통하여 얻은 약 32%

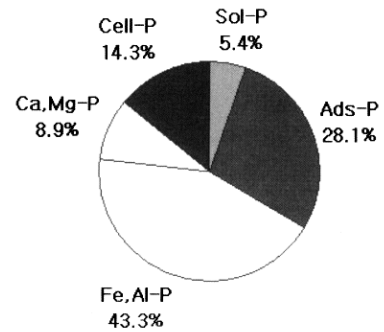


Fig. 6. Various kinds of phosphorous content in waste sludge.

의 PO_4^{3-} -P 제거효율을 이용하여 물질수지를 세웠다. PO_4^{3-} -P의 제거효율 44% 중 약 32%는 슬러지로 폐기되고, 나머지 12%는 정석탈인에 의해 담체표면에 응집침전된 양으로 볼 수 있다.

Fig. 6은 폐슬러지 내 인의 형태별 분석한 것으로 비율을 보여주고 있다(Hieltjes et al., 1980). 칼슘이온과 반응하여 제거된 인의 비율은 약 9% 정도밖에 안된다. 이것은 폐슬러지내 총인량의 3% 정도이므로 화학침전량이 12%일 때 대부분 용해성 인은 폐굴껍질 표면에서 반응이 진행됨을 알 수 있다.

3.4. 담체의 미생물 부착량

폐굴껍질 담체 표면에 미생물이 충분히 부착되기까지는 비교적 긴 시간이 필요하였다. 담체에 부착된 미생물량의 측정은 유기물질 제거효율이 안정상태에 도달하였을 때 실시하였다. 미생물 부착량 실험방법은 우선 반응조의 운전을 멈추고 포기조 내부의 물을 자연상태에서 배수시킨 후, 반응조로부터 담체를 조심스럽게 꺼내어 부착된 미생물을 세척하고 그 부착량을 측정하였다. 측정된 단위면적당 미생물 부착량은 Mode II와 Mode III는 각각 2.38 mg/cm²과 4.03 mg/cm²으로 나타났고, Mode IV는 1.10 mg/cm²로 비교적 적게 나타났는데 이는 운전기간이 짧은 탓으로 미생물이 담체표면에 충분히 부착되지 않은 것으로 사료된다.

Table 5. Phosphorous removal efficiencies of each mode

Mode	Influent (mg/L)		Effluent (mg/L)		Removal Efficiency(%)	
	T-P	PO_4^{3-} -P	T-P	PO_4^{3-} -P	T-P	PO_4^{3-} -P
I	3.84	1.84	2.33	1.26	39.3	31.5
II	3.35	1.53	1.40	0.86	58.2	43.8
III	3.76	2.01	1.43	1.12	62.0	44.2
IV	3.62	1.83	1.26	0.97	65.2	46.9

Table 6. PO_4^{3-} -P mass balance in sequence reactor process

Influent	Effluent	Removed mass(g/d)		Remarks
		Waste sludge	React remove	
2.01(mg/L)	1.12(mg/L)	-	-	Removal efficiency 44% flow 36 L/d
0.072(g/d)	0.040(g/d)	0.022(g/d)	0.010(g/d)	Cell conversion rate without media 31%
100(%)	56(%)	32(%)	12(%)	

3.5. 폐슬러지 생산량의 비교

Table 7은 Mode별 폐슬러지 생산량의 비교를 나타낸 것이다. Mode II와 III의 경우 폐슬러지 생산량이 1 kg BOD제거당 평균 0.20~0.29 kg VSS가 생산되어 단독 MLE공정에 비해 약 36% 정도 감량되었으며, 일반 활성슬러지공정의 폐슬러지 생산량인 0.4~0.5 kg VSS/kg BOD_{rm}(WEF, 1998)에 비해 약 45% 정도 감량되었다. 또한 부유성 Plastic 담체를 사용한 경우 폐슬러지 생산량은 0.28 kg VSS/kg BOD_{rm}(박 등, 2003)으로 본 실험과 유사한 결과를 나타내었으며, NPR공정에서 SRT는 약 15일로 운전시 약 0.45 kg VSS/kg BOD_{rm}에 비해 매우 감량되었다.

Table 7. Comparison of sludge production and SRT in each mode

Mode	I	II	III	IV
kg VSS/kgBOD _{rm}	0.39	0.20	0.29	0.38
SRT(d)	11.5	24.0	23.1	12.9

3.6. 산소소요량의 비교

Table 8은 Mode별 비산소섭취율(SOUR)과 산소소요량을 보여주는데 비산소섭취율은 6.0~12.4 mgO₂/gMv/hr로 나타났다. 담체를 주입하지 않았을 경우 Mode I 과 담체를 주입하였을 경우의 Mode II-IV를 비교해 볼 때, 담체를 주입하였을 경우 비산소섭취율이 높게 나타났다. 이것은 담체에 부착된 미생물량에 기인한 것으로 생각된다.

산소소요량을 보면, 담체를 사용 시 평균 kg BOD 제거당 약 1.7 kg 산소가 소요되는 것으로 나타나 담체를 주입하지 않은 Mode I의 0.65 kg 산소소요량에 비해 많은 산소가 소요됨을 알 수 있었다. 한편 고도처리 시 A2/O공정은 약 2.27 kgO₂/kgBOD_m(조, 2001), 부유성 플라스틱 담체를 이용한 MLE공정은 평균 1.3 kgO₂/kgBOD_m(박 등, 2003)로 타공법의 고도처리공정에 비해 본 공정의 산소소

Table 8. Variation of oxygen demand in each mode

Mode	I	II	III	IV
Special oxygen uptake rate (mgO ₂ /gMLVSS/hr)	6.0	8.8	7.1	12.4
Oxygen demand (kgO ₂ /kgBOD _{rm})	0.65	1.70	1.65	1.88
Total MLVSS (mg/L)	2260	4144	5207	3761

Table 9. Comparison of removal efficiency rate with the others methods

Item	BATU ¹⁾	HANT ²⁾	KNR ³⁾	SMMIAR ⁴⁾	This process	
Removal efficiency (%)	BOD	92.6	98.9	95.0	96.0	94.4
	COD	69.9	89.1	88.5	90.5	92.4
	SS	87.1	98.8	96.8	95.2	95.6
	TN	67.5	71.7	61.9	77.1	72.8
	TP	73.6	72.9	83.8	86.9	62.0

Note : 1) Batu Biofilter Nutrient Reactor.

2) Hyundai Advanced Nutrient Treatment Process.

3) Kwon's Nutrent Removal System using Upflow Multilayer Bioreactor.

4) Submerged Moving Media Intermittent Aeration Reactor.

요량이 A2/O공정보다 적게 나타났고, 부유성 플라스틱 담체를 이용한 MLE공정보다 다소 높게 나타났다.

Table 9는 환경부 환경신기술 획득공법 중 마을하수도에 적용실적이 많은 공법의 주요처리효율을 소개한 것으로 본 공정과 비교한 것이다. MLE공정에 폐굴껍질 담체를 약 10% 주입하였을 때 BOD 제거효율은 94.4%, SS 95.6% TN 72.8%이고 타공정인 경우 BOD 92~96%, SS 87~98%, TN 61~77%로 본 공정의 제거효율도 타공정과 같이 양호한 제거효율을 나타내고 있다. 총인 제거효율은 62% 정도로 타 공정에 비해 저조한 편이다. 타공정의 경우 인을 제거하기 위한 혐기조를 설치하거나 약품을 주입하지만 본 공정의 경우 단순 MLE공정에 폐굴껍질을 주입하여 별도의 반응조 설치나 약품주입이 없이 폐굴껍질에서 용출되는 Ca²⁺의 활용을 기대하기 위한 것이므로 다소 타공정에 비해 인 제거효율이 떨어지나 단독 MLE공정의 인 제거효율 약 40%보다는 매우 양호한 제거효율을 가지고 있다. 따라서 본 연구에서 적용한 MLE공정에 폐굴껍질을 주입한 공정은 타공정에 비해 처리효율 측면에서 유사한 처리성능을 가지므로 마을하수처리공정으로 적용가능하다고 판단된다.

4. 결론

MLE공정에 폐굴껍질을 미생물 담체로 주입한 공정에서 실제 가정하수를 이용하여 담체의 충진율을 변화시키면서 그 제거효율을 평가한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 폐굴껍질을 주입한 공정에서 COD 91~93%, BOD 92~96%, SS 95~96%의 유기물질 제거효율로 나타났고, 충진율이 증가할수록 다소 증가하는 경향을 보였으며 충진율 10% 이상일 때 방류수 수질기준을 만족할 수 있었다.
- 2) 총질소 제거효율은 단순 MLE공정에서 약 66%이지만 담체를 주입한 경우 약 70~76% 정도로 나타났으며 충진율이 증가할수록 다소 증가하는 경향이 나타났다.
- 3) 총인의 제거효율은 단순 MLE공정에서 약 39%이었지만 담체를 주입한 경우 약 58~65% 정도로 증가되었으며, 충진율이 증가됨에 따라 인 제거율도 다소 증가하는 경향을 나타냈는데 이는 폐굴껍질에서 용출된 Ca²⁺이 용해성 인과의 반응에 기인된다.
- 4) 칼슘과 인의 반응에서 PO₄³⁻-P의 제거효율은 9.4~11.7%

이고, 폐슬러지 내 인의 형태별 차지하는 비율 중 칼슘 이온과 반응하여 제거된 인의 비율은 8.9% 정도로 대부분이 폐굴껍질 표면에서 화학반응이 이루어진다.

- 5) 폐굴껍질 표면에 미생물 부착량은 10% 충전율인 경우 담체 단위면적당 4.03 mg/cm² 으로 나타났다. 폐슬러지 생산량은 5%와 10% 충전율인 경우 각각 0.20, 0.29 kg VS/kg BOD제거로 단독 MLE공정에 비해 약 36% 정도로 감소되었다.
- 6) 폐굴껍질 담체를 주입한 MLE공정은 담체율 10% 이상 주입시 유기물질 및 영양소 제거효율 면에서 마을 하수 고도처리공정으로 적용가능하다.

사 사

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(R01-2004-000-10494-0)의 지원으로 수행되었으며, 일부 대전환경기술개발센터의 2004년도 연구개발사업지원에 의해 이루어진 것이며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

- 국립환경연구원, *마을 하수처리시스템 구축에 관한 연구 (II)*, p. 18 (2002).
- 김선형, 임성균, 최광호, 미생물담체(BioCube)를 이용한 하수고도처리기술, *대한상하수도학회 · 한국물환경학회 공동추계학술발표회 논문집*, pp. 15-18 (2001a).
- 김연수, 임남재, 김정주, 손승우, 페타이어담체(Bio-SAC)를 이용한 유동상 생물막법 영양염류 제거기술, *대한상하수도학회 · 한국물환경학회 공동추계학술발표회 논문집*, pp. 23-26 (2001b).
- 문병현, 이택순, 서희정, 폐굴껍질을 이용한 침적형 생물막법과 활성슬러지법의 유기물 제거의 비교 연구, *창원대학교 환경문제연구소 논문집*, 4, pp. 129-137 (1995).
- 문병현, 이택순, 서정윤, 서희정, 폐굴껍질을 이용한 침적식 생물막법에 의한 폐수처리, *한국수질보전학회지*, 13(3), pp. 227-234 (1997).
- 박희동, 임봉수, 김현용, 부유성 플라스틱 담체를 이용한 MLE공정의 하수고도처리 성능평가, *대한토목학회 논문집*, 23(5B), pp. 463-470 (2003).
- 이방희, 김남욱, 문병현, 굴폐각을 이용한 인제거 연구, *창원대학교 환경연구논문집*, 6, pp. 145-152 (1997).
- 이창균, 임봉수, 마을하수처리시설의 처리특성과 효율, *상하수도학회지*, 16(4), pp. 430-446 (2002).
- 조남윤, 간헐포기를 결합한 MLE와 A2/O 공정의 비교, *대전대학교 석사학위논문* (2001).
- 최의소, *폐기물처리와 자원화*, 청문각 p. 92 (2003).
- APHA, AWWA & WEF, *Standard Method for the Examination of Water and Wastewater*, 20th Ed., Washington D.C. USA (1998).
- Hieltjes, A. H. M. and Lijklema, L., Fractionation of Inorganic Phosphate on Calcareous Sediments, *J. Environ. Qual.*, 9, pp. 405-417 (1980).
- Randall, C. W. et al., *Design and Retrofit of Wastewater Treatment Plant for Biological Nutrient Removal*, Technomic Publishing Co. Inc., Lancaster, p. 28 (1992).
- WEF and ASCE, *Design of Municipal Wastewater Treatment Plant*, 4th Ed. II, pp. 15-65~87 (1998).
- Yoon, G. L., Kim, B. T., Kim, B. O. and Han, S. H., Chemical-mechanical Characteristics of Crushed Oyster-shell, *Waste Management*, 23, pp. 825-834 (2003).