

SBR을 이용한下水와牛舍廢水로 구성된혼합폐수의營養素除去

김홍태
경북대학교 토목공학과
(1999년 7월 7일 접수)

The Nutrient Removal of Mixed Wastewater composed of Sewage and Stable Wastewater using SBR

Hong-Tae Kim
Dept. of Civil Eng. kyungpook National University
(Manuscript received 7 July, 1999)

This study was carried out to obtain the optimal operating parameter on organic matters and nutrient removal of mixed wastewater which was composed of sewage and stable wastewater using SBR. A laboratory scale SBR was operated with An/Ae(Anaerobic/ Aerobic) ratio of 3/3, 2/4 and 4/2(3.5/2.5) at organic loading rate of 0.14 to 0.27 kgBOD/m³/d. TCOD/SCOD ratio of mixed wastewater was 3, so the important operating factor depended upon the resolving the particulate parts of wastewater.

Conclusions of this study were as follows:

1) For mixed wastewater, BOD and COD removal efficiencies were 93-96% and 85-89%, respectively. It was not related to each organic loading rate, whereas depended on An/Ae ratio. During Anaerobic period, the amount of SCOD consumption was very little, because ICOD in influent was converted to SCOD by hydrolysis of insoluble matter.

2) T-N removal efficiencies of mixed wastewater were 55-62% for Exp. 1, 66-76% for Exp. 2, and 67-81% for Exp. 3, respectively. It was found that nitrification rate was increased according to organic concentration in influent increased. Therefore, the nitrification rate seemed to be achieved by heterotrophs. During anoxic period, denitrification rate depended on SCOD concentration in aerobic period and thus, was not resulted by endogenous denitrification. However, the amount of denitrification during anaerobic period were 3.5-14.1 mg/cycle, and that of BOD consumed were 10-40 mg/cycle.

3) For P removal of mixed wastewater, EBPR appeared only Mode 3(3^{*}). It was found that the time in which ICOD was converted to VFA should be sufficient. For mode 3 in each Exp., P removal efficiencies were 74, 87, and 81%, respectively. But for 45-48 of COD/TP ratio in influent, P concentration in effluent was over 1 mg/L. It was caused to a large amount of ICOD in influent. However, as P concentration in influent was increased, the amounts of P release and uptake were increased linearly.

Key words : stable wastewater, mixed wastewater, anaerobic(An)/aerobic(Ae) ratio, nitrification, denitrification, EBPR

1. 서론

읍·면단위 등의 소규모지역에서 발생하는 생활하수와 축산(豚舍, 牛舍)폐수는 하·폐수처리시설의 미비, 혹은 부재로 인해 수계에 곧바로 배출되고 있으며, 엄격한 규제를 받고 있는 상수원 보호구역의 하·폐수처리시설 또한 미흡한 실정이다. 축산폐수는 대부분 돈사폐수를 의미하고 있으며 공동처리시설에서 처리되고 있지만, 소규모지역에 산재되어 발생하는 우사폐수의 처리는 상당히 미흡하다. 즉, 우사폐수는 대부분 비료성분으로 사용할 수 있

는 분(糞)이기 때문에 돈사폐수에 비해 심각한 오염원으로 취급되지 않았다. 그러나 우사(牛舍)의 대규모화로 인해 뇨(尿)와 분(糞)을 함유한 세척수의 양이 증가하였고, 이를 처리하기 위해 정화조 등의 처리시설을 도입하여 운영하고 있지만 유기물질과 영양소의 처리효율은 매우 저조한 실정이다. 또한 우사폐수는 생활하수에 비해 발생량은 적으나 고농도의 유기물질과 영양소를 함유하고 있기 때문에 소규모지역 및 상수원 보호구역에서 발생하는 우사폐수를 효과적으로 처리하기 위해, 생활하수와

병합처리하는 것이 경제적인 측면에서 유리한 것으로 판단된다.

본 연구는 생활하수와 우사폐수의 병합처리시, 유기물질과 영양소의 동시제거에 대한 검토 및 유기물질부하의 변동(kgBOD/m³/d)과 anaerobic(An)/aerobic(Ae) ratio의 변화를 운전인자로 하여, 최적의 운전조건을 도출하고자 실시하였다. 본 연구에 사용한 SBR(sequencing batch reactor) 공정은 소규모지역에 용이하게 적용할 수 있고, 운전이 단순하여 자동화가 용이하고, 소요부지가 적으며, 특히 단일 슬러지를 이용하여 적절한 환경조건을 주기적으로 반복함으로써 유기물질과 영양소를 동시에 처리할 수 있는 장점을 가지고 있다.

2. 실험

본 연구에 사용된 실험실규모의 SBR 장치는 Fig. 1에 도식한 것처럼 지름 11.5cm, 높이 33.0cm인 총용적 3ℓ, 유입 및 배출용적 2.0ℓ로 제작한 아크릴 원통을 사용하였으며, 모든 실험장치는 프로그램화된 Timer를 통해 제어되었다. SBR공정의 1주기(cycle)는 12시간으로 설정하였고, 각 단계별시간은 유입(fill) 1시간, 반응(react) 9시간, 침전(settle) 1시간, 유출(draw) 0.5시간 및 휴지(idle) 0.5시간으로 분배하였다.

유기물질부하의 변동은 유입유량을 일정하게 하고 BOD농도를 변화시켜 BOD 용적부하로 하였다. 각 실험(Exp.)에서의 유입수는 생활하수에 우사폐수를 혼합한 혼합폐수를 사용하였으며, 유기물질부하는 Exp. 1, 2, 3에서 각각 0.14, 0.20, 0.27 kgBOD/m³/d로 하였다. An/Ae ratio의 변화는 Table 1에 나타낸 것처럼, Mode 1, 2, 3(3')에서 각각 3/3, 2/4, 4/2(3.5/2.5)로 설정하여 수행하였다.

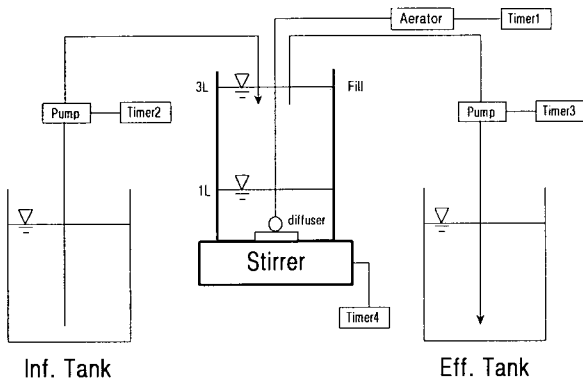


Fig. 1. Schematic diagram for laboratory scale SBR.

MLSS농도는 약 4000mg/ℓ로 유지하였으며, SRT는 10~12일 정도로 유지하였다. 반응조의 운전은 온도를 일정하게 유지하기 위해 20±1℃ 항온실에서 실시하였다.

본 연구에 사용한 유입수 성상은 Table 2에 나타나 있다. 혼합폐수는 도시하수처리장으로 유입되는 차집관

에서 채취한 생활하수와 경상북도 K군에 소재한 E한우목장의 계류식우사(繫留式牛舍)에서 채취한 우사폐수를 사용하였다. 채취한 하·폐수는 No. 40(0.42mm)체로 체가름을 실시한 후 Exp.에 따라 생활하수에 우사폐수를 혼합하여 사용하였다.

Table 1. Operating conditions of each experiment (units = hr)

Condition	Phase	React			Settle	Draw	Idle
		An.	Ae.	Ax.			
Mode 1	1	3	3	3	1	0.5	0.5
Mode 2	1	2	4	3	1	0.5	0.5
Mode 3(3')	1	4(3.5)	2(2.5)	3	1	0.5	0.5

Note) An : Anaerobic, Ae : Aerobic Ax : Anoxic

Table 2. Characteristic of influent wastewater in each Experiment

Items	Concentration (mg/ℓ)		
	Exp. 1	Exp. 2	Exp. 3
pH	7.4~7.7	7.4~7.8	7.5~8.0
COD _{cr}	total (343)	458~510 (479)	576~643 (612)
	soluble (109)	155~176 (165)	179~206 (190)
BOD	total (98)	142~152 (148)	188~205 (199)
	soluble (50)	68~74 (71)	92~110 (99)
SS	TSS (405)	429~502 (468)	496~574 (535)
	VSS (266)	271~332 (313)	348~395 (378)
T-N	TKN (33.2)	31.2~34.8 (40.8)	43.9~47.9 (45.7)
	NH ₃ (24.7)	23.4~25.8 (30.2)	33.5~38.0 (35.3)
T-P	NO ₃ (0.22)	0.18~0.30 (0.45)	0.34~0.56 (0.46)
	(7.12)	6.5~7.9 (10.1)	12.8~15.6 (13.5)

Note) () : average value

3. 실험결과 및 고찰

3.1. 유기물질 제거

혼합폐수는 하수와 우사폐수의 혼합비율을 변경하면서 유입수로 사용하였는데, TCOD/SCOD 비가 3이상으로, soluble 성분이 적고 particle이 많은 것이 특징이다. Table 3에는 각 실험조건에 따른 유기물질 제거효율이 나타나 있다. Exp. 1, 2, 3은 생활하수와 우사폐수의 혼합비를 변화시켜 유기물질 부하를 각각 0.14, 0.20, 0.27 kgBOD/m³/d로

한 경우이고, mode 1, 2, 3(3')은 An/Ae 시간비를 각각 3/3, 2/4, 4/2(3.5/2.5)로 하여 운전한 경우이다. 각 실험 자료는 모두 정상상태일 때의 값들이며, 그 중 COD는 보다 자세한 분석을 위하여 각 cycle당 mass를 기준으로 하였으며, 이는 이전 cycle에서의 Idle 후에 반응조내에 남아있는 COD까지 고려한 것이다.

전체적으로 유기물질 제거효율은 BOD 93~96%, COD 85~89%로 각 유기물질 부하에는 관계없이 일정하게 나타났으나, 각 Exp.에서 Mode 1, 2에 비해 Mode 3에서 제거효율이 낮게 나타나, An/Ae 비에는 영향을 받는 것으로 나타났다.

본 연구와 같이 SS가 많이 함유된 폐수, 즉 SBCOD (slowly biodegradable COD)가 매우 높은 부분을 차지하는 폐수의 경우, SBCOD의 분해속도가 매우 중요한 요소가 된다. Wentzel et al.¹⁾은 가수분해속도, 즉 입자성 물질이 분해되는 속도가 SBCOD의 분해속도에 가장 큰 제한요소라고 하였다. 특히, 인 방출에 요구되는 SCVFAs (short chain volatile fatty acids)의 생성을 위해서는 더욱 중요한 요소가 된다. 따라서, 혐기기간을 되도록 충분히 유지하여서 SCVFA의 생성을 많이 하도록 유도하는 것이 인 제거에 있어서 유리한 요인으로 판단된다.

Table 3에 나타난 바와 같이, 본 연구에서 각 Exp.에 대한 평균 유입 SCOD 양이 각각 253, 374 및 429 mg/cycle 이었다. 한편, 혐기기간 유출수의 SCOD 양은 각각 210, 266 및 264 mg/cycle로 나타나, 혐기기간 동안의 SCOD 소모량은 각각 43, 108 및 155 mg/cycle로 나타났다. 혐기기간에서의 SCOD의 소모는 크게 3가지로 구분할 수 있는데, 우선, 인축적 미생물에 의해 PHAs로 전환되어 소모되는 양, 이전 cycle에서 남아있는 NO₃⁻의 탈질소화를 수행하기 위해 요구되는 양, 그리고, 혐기(또는 임의성) 미생물의 물질대사를 위해 소모되는 양으로 구분할 수 있다. 예를 들어 Exp. 1의 Mode 3의 경우, 혐기기간 동안의 유기물질 제거량은 약 70mg/cycle로써 단위 PO₄-P 제거당 SCOD 소모량의 비는 70/12.7 = 5.5로 나타나 Randall et al.²⁾이 제안한 actual BOD/Removal의 값을 21:1로 두고 산정하였는데, 인방출에 의한 SCOD 소모가 약 330 mg/cycle로 나타났다. 또한, 이전 단계에서 남아있던 NO₃⁻-N 제거에도 SCOD가 12 mg/cycle이 소모되어, 미생물의 물질대사를 고려하지 않더라도 약 342 mg/cycle이 소모된다. 그러나, 본 연구에서는 혐기기간 동안의 SCOD 제거량이 약 70mg/cycle로 매우 적게 나타났는데, 이는 유입수 중에 많은 부분을 차지하고 있는 입자성 유기물질(ICOD)이 분해되면서 VFA를 포함한 SCOD로 전환됨으로써 상당한 양이 보충되었던 것으로 판단된다.

또한, 각 Exp.에서의 유기물질의 제거효율은 혐기/호기 시간비가 가장 큰 Mode 3(Mode 3')에서 가장 저조하였다. 또한, Mode 3의 경우, 혐기기간 중의 SCOD 제거가 다른 Mode에 비해 활발하였으나, 호기기간 중에서는 SCOD 제거가 저조한 것으로 나타났다. 혐기기간에서의 높은 SCOD 제거율은 Mode 3에서 나타난 EBPR (enhanced biological phosphorous removal)현상 때문이며, 또한 다

른 Mode에 비해 혐기기간이 길게 운전되었으므로, ICOD가 SCOD로 전환되는 부분이 커져 인방출에 사용되었기 때문에 혐기기간에서의 유기물질 SCOD 제거량이 많았으며, 호기기간에서 Mode 1, 2에 비해 Mode 3에서 유기물질 제거율이 저조한 것은 인 제거 미생물(PAO)에 의한 것으로 사료된다. 인 제거 미생물은 대개 혐기기간에서 방출한 인을 호기기간에서 분해하여 에너지를 공급하기 때문에 외부탄소원 이용율이 상대적으로 떨어지며, 또한, 혐기기간 중에 진행된 발효과정에 있던 많은 유기물질들이 호기기간 중에도 분해과정이 그대로 지속되어 SCOD로 보충되었던 것도 SCOD 소요량이 적게 나타난 원인으로 판단된다. 또한 호기기간이 2시간(또는 2.5시간)으로 가장 짧았던 것도 원인 중의 하나로 판단된다.

Table 3. Operating results on organic matters

	Exp. 1 (0.14kgBOD/m ³ /d)			Exp. 2 (0.20kgBOD/m ³ /d)			Exp. 3 (0.27kgBOD/m ³ /d)			
	Mode 1	Mode 2	Mode 3	Mode 1	Mode 2	Mode 3	Mode 1	Mode 2	Mode 3'	
	An/Ae ratio	3/3	2/4	4/2	3/3	2/4	4/2	3/3	2/4	3.5/2.5
COD (mg/ cycle)	Inf.	686.0 (217.4)			958.2 (330.4)			1230.0 (398.2)		
	Inf.-idle	728.0 (246.9)	733.9 (250.5)	743.2 (261.8)	1015.7 (373.1)	1012.9 (371.5)	1021.3 (376.2)	1293.9 (426.2)	1297.4 (426.5)	1299.7 (434.9)
	An.eff	(214.5)	(220.8)	(194.3)	(262.0)	(276.7)	(259.3)	(250.8)	(284.4)	(257.2)
	Ae.eff	(153.0)	(148.4)	(181.8)	(186.0)	(192.4)	(211.8)	(198.8)	(203.9)	(224.3)
	Eff.	84.1 (59.1)	95.9 (66.4)	107.3 (75.2)	115.0 (85.4)	109.5 (82.1)	126.3 (91.5)	141.7 (96.2)	148.8 (96.6)	154.7 (103.9)
	Rem.(%)	87.8	86.1	84.7	88.0	88.6	86.8	88.4	87.8	86.7
BOD (mg/L)	Inf.	98.2			147.5			199.1		
	Eff.	5.23	5.52	6.83	5.79	7.20	8.62	9.75	10.8	12.4
	Rem.(%)	94.6	94.4	93.0	96.1	95.0	94.2	95.1	94.6	93.8
SS (mg/L)	Inf.	405.4			467.8			534.8		
	Enf.	37.2	38.8	39.6	45.3	43.0	53.2	60.4	56.2	61.8
	Rem.(%)	90.8	90.4	90.2	88.4	90.8	88.6	88.7	89.5	88.4

Note) () : soluble

3.2. 질소 제거

각 유기물질부하에서 An/Ae 시간비에 따른 질소제거에 대한 결과는 Table 4에 나타나 있으며, TKN제거효율과 TN 제거효율은 각각 Fig. 2, 3에 각각 나타나 있다. Ekama와 Marais³⁾은 1 mg/ℓ의 NO₃⁻를 탈질소화시키는데 약 8.6 mg/ℓ의 COD가 필요하다고 하였으며, 충분한 탈질소화를 위해서는 유입수의 COD/TN비를 충분히 두는 것이 유리하다고 하였다. 본 연구에서의 유입수의 COD/TN비는 각 Exp.에서 각각 10, 12, 13으로 나타나 탈질소화를 수행하는데 있어서 충분한 COD를 가지는 것으로 나타났다. 그런데, 이들 유입 COD의 상당한 양이 ICOD이기 때문에, 이들이 분해하기 쉬운 RBCOD로 바뀌는 양과 속도가 중요한 것으로 사료되었다. 따라서, 유기성 질소의 암모니아로의 전환속도 및 암모니아

Table 4. Operating Results on Nitrogen Removal

Exp	Mode	Concentration (mg/ℓ)							Mass (mg/cycle)			Removal Efficiencies (%)			Denitrification in Anaerobic	
		Inf.		Ae.	Final Effluent				TKN inf	NIT	DEN	Final Effluent			Amount (mg/cycle)	SCOD consumpt. (mg/cycle)
		TKN	NH ₃	NO ₃	TKN	NH ₃	NO ₃	TN				NIT	DEN	TN		
1	1	33.2	24.7	19.3	2.8	1.2	11.3	14.1	69.3	57.8	23.9	83	41	58	11.7	33.5
	2	33.2	24.7	20.4	2.2	1.0	13.3	15.5	68.7	61.2	21.1	89	34	54	13.8	39.5
	3	33.5	24.9	15.7	8.8	6.0	3.6	12.4	75.8	47.0	36.1	63	77	62	4.1	11.7
2	1	40.8	30.2	24.4	2.0	0.9	10.7	12.7	83.9	73.2	40.5	87	55	69	11.7	33.5
	2	40.8	30.2	25.2	1.7	0.9	12.0	13.7	83.6	75.6	39.6	90	52	67	12.8	36.6
	3	40.8	30.2	20.9	7.5	4.4	2.6	10.1	89.5	62.6	54.3	70	87	75	3.5	10.0
3	1	45.7	35.3	30.3	2.7	1.0	11.0	13.7	94.0	90.8	58.0	92	64	70	11.9	34.0
	2	45.7	35.3	30.7	2.5	1.0	13.2	15.7	93.8	92.0	52.6	98	57	66	14.1	40.3
	3*	45.9	34.7	28.0	3.9	2.6	6.4	9.0	95.7	83.9	64.7	87	77	81	7.3	20.9

NIT : Nitrification Rate
DEN : Denitrification Rate

의 질산화 속도가 혐기기간과 호기기간의 시간비를 결정하는 중요한 인자로 사료된다.

Fig. 3에 나타나 있는 바와 같이, 각 유기물질부하에서 An/Ae 시간비에 따른 총질소의 제거 효율은 Exp. 2, 3, 4에서 각각 55~62%, 66~76%, 67~81%의 범위로 나타나, 유기물질부하가 증가함에 따라 총질소 제거효율도 증가하는 것으로 나타났다. 각 유기물질 부하에서 최적 운전조건인 mode 3에서의 TN 제거효율은 Exp. 1, 2, 3에서 각각 62, 75, 81%로 부하가 증가할수록 증가하는 것으로 나타났다.

본 연구의 혐기기간 동안의 질소제거는 유기성 질소가 암모니아성 질소로 바뀌는 가수분해와 NO₃⁻의 탈질소화의 2가지 메커니즘이 일어난다고 가정하였다. 따라서, 혐기기간 전, 후의 TKN 변화량은 큰 차이를 보이지 않으나, 유기성 질소는 암모니아성 질소로의 전환이 일어나서 혐기기간이 길어질수록 암모니아 생성량은 증가할 것이다. 따라서, 이렇게 생성된 암모니아의 질산화를 위해서는 호기기간의 확보가 중요하며, 본 연구에서도 각 Exp.에서 혐기기간이 짧고 호기기간이 긴 Mode 2(An/Ae비가 2/4)에서 가장 높은 TKN 제거효율을 나타내었다.

또한, 각 Exp.에서 혐기/호기 시간비가 3/3인 Mode 1에서도 Mode 2와 큰 차이가 없었다. 따라서, 호기기간이 3시간이면 질산화는 충분히 일어나는 것으로 나타났다. 다만, 혐기/호기 시간비가 4/2(or 3.5/2.5)인 Mode 3에서는 약간 낮은 질산화율을 나타내었다. 혐기기간의 SCOD 양은 각 Mode에서 큰 차이가 없어 질산화에는 크게 영향을 미치지 않았던 것으로 나타났다. 일반적으로 유기물질 부하가 높아지면, 질산화율은 감소하는데, 본 연구에서는 유기물질 농도가 높을수록 질산화율이 증가하는 것으로 나타났다. 그 원인은 종속영양 미생물에 의한 질산화가 수행되었기 때문으로 보이는데, 종속영양 미생물

에 의한 질산화는 독립영양 미생물에 의한 것보다 속도가 느린 점이 있으나, 본 연구의 경우, 유기물질이 운전기간에 걸쳐 고농도로 존재하여 독립영양 미생물이 생존하기에는 어려우며, 유기물질 농도가 높을수록 질산화율이 증가하는 것으로 보아 종속영양 미생물에 의한 것으로 사료된다.

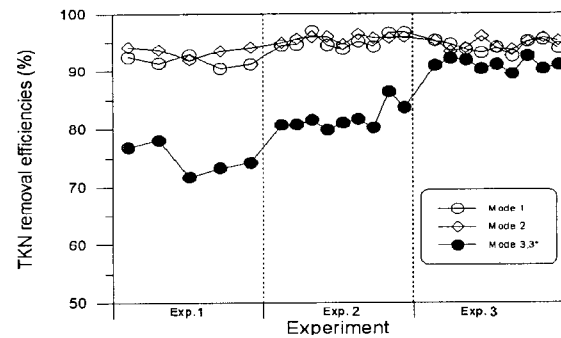


Fig. 2. % TKN removal of Exp. 1, 2, 3.

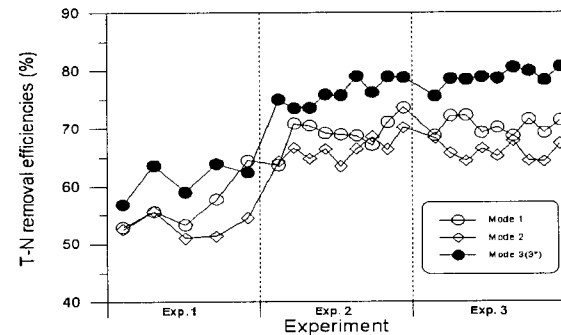


Fig. 3. % T-N removal of Exp. 1, 2, 3.

본 연구에서 탈질소화가 수행되는 무산소기간이 3시간으로 고정되어 있다. 탈질소화는 크게 무산소기간에서 일어나는 탈질소화와 idle시에 잔류하는 NO₃-N의 혐기기간에서의 탈질소화로 구분되는데, 후자의 경우, NO₃-N 농도가 높을수록 혐기기간에서 유기물질 소비량이 많아지므로, 탄소원 확보를 위하여 충분한 혐기기간을 가지도록 해야 한다. 따라서, 각 Exp.에 대한 탈질소화는 혐기기간이 길어 발효과정이 충분히 일어난 Mode 3에서 가장 잘 수행되었다.

Exp. 1의 경우, 탈질소화율은 Mode 1, 2, 3에서 각각 41, 34, 77%를 나타내었는데, 이는 Mode 3의 호기기간의 SCOD 양은 182 mg/cycle로써 Mode 1, 2의 153, 148 mg/cycle에 비해 높아 탈질소화시 유입수의 발효성분을 탄소원으로 이용한 것으로 사료되며, 이때 제거된 NO₃-N의 양은 Mode 1, 2, 3에서 각각 24, 21, 36 mg/cycle로 나타났다. Exp. 2의 경우, 호기기간의 SCOD 양은 Mode 1, 2 및 3에서 각각 186, 192, 212 mg/cycle로 나타났는데, 전체적으로 Exp. 2에 비해 높았으며, An/Ae 비가 4/2인 Mode 3에서 가장 높은 87%의 탈질소화율을 나타내었다. 이때 제거된 NO₃-N의 양은 Mode 1, 2, 3에서 각각 41, 40, 55 mg/cycle로 나타났다. Exp. 3에서는 호기기간 후반기의 SCOD 양은 Mode 1, 2 및 3에서 각각 199, 204, 224 mg/cycle로 나타나 Mode 3에서 가장 높은 77%의 탈질소화율을 나타내었다. 이때 제거된 NO₃-N의 양은 Mode 1, 2, 3에서 각각 58, 53, 65 mg/cycle로 나타났다.

기존의 대부분의 SBR과는 달리 본 연구에서는 유입수 내의 입자성 물질의 가수분해로 인하여, 무산소기간에서 내생탈질이 아닌 유입수내의 유기물질에 의한 탈질소화가 일어났을 것으로 사료되며, 따라서, 무산소기간에서의 탈질소화율은 호기기간의 SCOD 농도에 의존하는 것으로 나타났다. 즉, 혐기기간 동안의 발생한 VFA들이 짧은 호기시간 속에 많은 부분이 분해가 되지 않은 상태에서 무산소 기간에서 탄소원으로 이용되었기 때문이다. 유출시 잔류하는 NO₃ 농도는 2.6~13.3 mg/l로써 이것이 다음 cycle의 혐기기간에서 탈질소화되는데, 혐기기간에서는 NO₃가 검출되지 않았다. 이는 혐기기간 동안에 임의성 미생물 또는 Acinetobactor, 아니면 둘 다에 의해서 탈질소화되었기 때문이다. Schon 등은 반응수 속에 질산염이 포함되어 있을 경우에는 Acinetobactor spp. 등의 인축적미생물이 질산염을 산소대신 사용하여 섭취할 수 있다고 하였는데, 자세한 과정은 아직 연구중에 있다. 한편, 혐기기간에서 탈질소화된 양은 3.5~14.1 mg/cycle이고 이때 소비된 BOD양은 10~40 mg/cycle이었다.

3.3. 인 제거

Table 5에는 인의 제거효율과 유출 농도 등을 나타내었는데, 각 Exp.에서 EBPR 현상은 혐기시간이 길고, 호기시간이 짧은 Mode 3(3*)에서만 나타났다. 이는 ICOD를 가수분해하여 VFA로 전환하기 위한 시간이 확보되어야 하고, 잔류 NO₃의 탈질소화를 위한 시간까지 고려하여 혐기기간은 길게 유지되어야 함을 나타내고 있다. EBPR 현상은 혐기기간에서 인방출량이 증가할수록 포

기기간에서의 인 섭취량이 증가하는 추세로 나타났다.

본 연구는 생활하수에 유사폐수량을 늘려가면서 실험하였는데, 이 때 COD 농도가 증가되면서 TP 농도도 일정한 비율로 증가되었다. 따라서, 각 Exp.에서 COD/TP 비는 45-48로 거의 일정하였다. Mode 1, 2는 혐기/호기 시간비가 각각 3/3, 2/4로 운전되었으며, 인 제거효율은 그림 4에 나타난 것처럼, Exp. 1, 2, 3에서 30-52%의 범위로 나타났다. 그리고 EBPR현상이 나타나지 않은 이유는 유입수 자체에 들어있는 많은 양의 ICOD가 혐기기간에서 빠른 속도로 용해되지 않아서 VFA의 생성량이 별로 많지 않았기 때문이고, 또 혐기기간 초기에 잔류하는 NO₃⁻ 때문으로 사료된다. 혐기기간에 초기 잔류하는 NO₃⁻는 주로 이전단계에 배출되지 않고 반응조에 남아 있던 NO₃⁻ 때문이며, 그 양이 많을수록 인제거 효율이 낮아지는 것으로 나타났다. 따라서, 이런 ICOD를 이용한 충분한 P-release를 위한 VFA 생성 및 탈질소화를 수행하기 위해서는 충분한 혐기기간이 필요하며, Mode 1, 2의 경우와 같이 4시간이하의 기간으로는 부족한 것으로 나타났다. 이는 Exp. 1, 2, 3에서 공통적인 결과이며, 유기물질 부하율보다는 ICOD의 분해속도가 전체적인 결과를 좌우하는 주요요소를 알 수 있었다.

Table 5. Operating results of Phosphorus Removal by SBR

Exp.	Mode	Phosphorus Concentration(mg/l)		Phosphorus Mass(mg/cycle)					Removal Efficiency (%)	
		Inf.	An	Final	Inf.	An	Final	Release		Uptake
1	1	7.1	5.8	4.8	19.1	17.5	9.6	-	3.1	32
	2	7.1	6.1	5.0	19.3	18.4	10.0	-	3.4	30
	3	7.3	15.4	1.9	16.5	46.1	3.8	29.7	40.4	74
2	1	10.1	8.3	5.6	25.8	24.8	11.3	-	7.9	45
	2	10.1	8.6	6.3	26.5	25.7	12.7	-	6.7	38
	3	10.1	17.7	1.3	21.5	53.0	2.7	31.5	49.0	87
3	1	13.5	12.7	6.5	33.5	38.1	13	4.7	18.6	52
	2	13.5	10.6	7.2	34.2	31.9	14.5	-	10.2	47
	3*	13.4	22.8	2.4	29.3	68.3	4.8	39.0	61.1	82

Exp. 1에서의 인 제거효율은 혐기/호기시간비에 따라 좌우되었으며, 혐기/호기시간비가 4/2인 Mode 3에서 가장 높은 74%의 제거효율을 나타내었다. Mode 3에서의 운전 초기의 인제거 특성은 Mode 1, 2에서와 유사하였으나, EBPR현상이 나타난 후 유출수의 인농도는 1.9 mg/l로 나타났다.

Exp. 2의 경우, 인 제거효율은 Exp. 1과 마찬가지로 EBPR 현상이 나타난 혐기/호기시간비가 4/2인 Mode 3에서 가장 높은 87%의 제거효율을 나타내었다. 반면, Exp. 2의 Mode 1의 경우에는 이전단계에서 배출후 반응조에 잔류해있던 10mg/l의 높은 농도의 NO₃가 혐기기간에서 탈질소화될 동안에 인제거 미생물의 인 방출을 억제시켰거나, 아니면 혐기기간이 3시간으로 짧아 VFA

생산이 충분하지 않았던 것으로 판단된다.

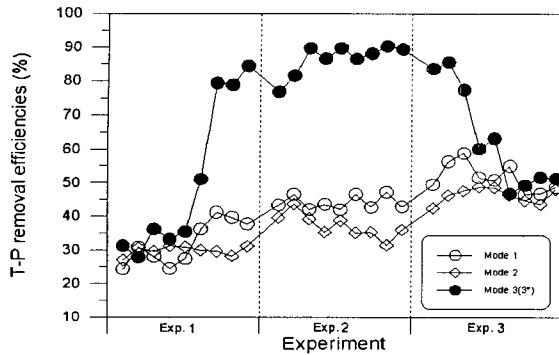


Fig. 4. % T-P removal of Exp. 1, 2, 3.

Exp. 3은 본 연구에서 적용한 유기물질부하 중에서 가장 높은 0.27 kgBOD/m³/d로 운전되었으며, 특히, Mode 3*는 다른 Exp와는 달리 질산화를 고려해서 혐기/호기 시간비를 3.5/2.5로 조정하였는데, 이는 유기물질 부하가 증가할수록 질산화를 위한 시간이 증가한다는 연구에 의한 것이었다. Mode 3*로 운전된 초기에는 EBPR 현상이 유지되어, 인방출량은 평균 39 mg/cycle이었고, 인 섭취량이 61.1 mg/cycle로 나타나, 유출수의 인농도가 2.4 mg/L로 낮게 유지되었으며, 초기 인 제거효율은 78~85%의 범위이고 평균 82%이었다. 그러나, 그림 5에서 보는 나타낸 것과 같이 Mode 3*로 전환되어 운전이 계속되면서 EBPR현상이 사라져 Mode 1, 2의 경우와 비슷하게 인 제거효율이 저조하게 되었다. 이는 이전단계에서 미제거된 NO₃⁻가 혐기기간에 높은 농도로 존재하였으며, ICOD의 가수분해 시간이 길어서 3.5시간의 혐기기간으로는 부족하였기 때문인 것으로 판단되는데, 후자의 가능성이 더 높은 것으로 판단된다.

각 Exp.의 Mode 3에 나타난 결과와 같이 혐기기간에서의 인방출량은 Exp. 3에서 가장 높게 나타났는데, Randall et al.²⁾은 일반하수의 경우, 유입 COD/TP 비가 40~45 이상에서는 유출수의 TP 농도가 1 mg/L이하로 나타난다고 하였다. 본 연구에서 각 Exp.의 COD/TP비는 45~48이었으나, 유출수 중의 인 농도는 1 mg/L이상으로 나타났는데, 이는 본 연구의 유입 COD 중에는 하수에 비해 입자성 물질이 많이 들어있었기 때문으로 사료된다. 각 Exp.에서의 유입 인 농도에 따른 인 방출량과 인 섭취량은 Fig. 5에 나타나 있다. 유입 인 농도가 증가할수록 인 방출량과 인 섭취량이 증가하는 것으로 나타났으며, 이들은 서로 선형관계임을 보였다. 이는 Punrattanasin et al.⁴⁾의 유입수의 COD가 일정한 조건에서 인농도가 증가할수록 인 방출량과 섭취량이 증가한다고 하였으며, 이는 선형관계라고 하였는데, 본 연구에서도 이와 같은 결과가 나타났다. 따라서 혐기/호기 시간비는 질소제거 측면에서와 같이 인제거 미생물의 활성에 중요한 영향인자로 작용하였다. 즉, ICOD 성분이 많은 혼합폐수의 인제거시, 이들을 가수분해하고 VFA를 생성할 수 있는 충분한 혐기기간

의 확보가 중요하며, 본 연구에서는 4시간으로 나타났다. 그리고, 유기물질 부하에 따른 최적 운전조건은 Exp. 2의 Mode 3으로 나타났다.

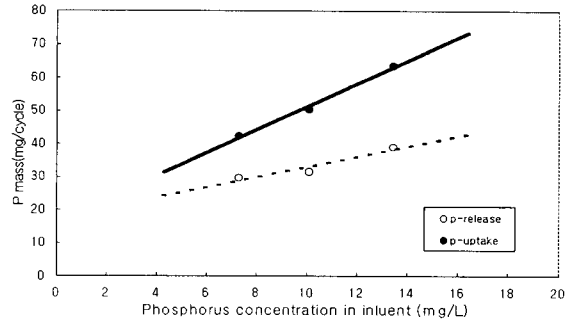


Fig. 5. P-release and uptake vs. P concentration in influent.

4. 결 론

본 연구는 SBR을 이용하여 생활하수에 우사(牛舍)폐수를 혼합한 혼합폐수 처리시 유기물질과 영양소제거에 대한 최적의 운전인자를 도출하고자 실시하였으며, 0.14, 0.20, 0.27 kgBOD/m³/d의 유기물질부하에서 3/3, 2/4, 4/2(3.5/2.5)의 An/Ae 비에 따른 운전한 결과는 아래와 같다.

1) 유기물질 제거효율은 BOD 93~96%, COD 85~89%로 각 유기물질 부하에는 관계없이 일정하게 나타났으나, An/Ae 비에는 영향을 받는 것으로 나타났다. 혐기기간 동안의 SCOD 제거는 매우 적게 나타났는데, 이는 유입수 중에 많은 부분을 차지하고 있는 입자성 유기물질(ICOD)이 분해되면서 SCOD로 전환되어 보충되었던 것으로 판단된다.

2) An/Ae 시간비에 따른 T-N 제거효율은 Exp. 1, 2, 3에서 각각 55~62%, 66~76%, 67~81%의 범위로 나타나, 유기물질부하가 증가함에 따라 총질소 제거효율도 증가하는 것으로 나타났다. 질산화율은 유기물질 부하가 높을수록 증가하는 것으로 나타나, 종속영양 미생물에 의한 질산화가 수행된 것으로 사료된다. 무산소기간에서의 탈질소화율은 호기기간의 SCOD 농도에 의존하는 것으로 나타났다. 이는 내생호흡에 의한 탈질소화가 아님을 나타내고 있다. 한편, 혐기기간에서 탈질소화된 양은 3.5~14.1 mg/cycle이고 이때 소비된 BOD양은 10~40 mg/cycle이었다.

3) 인제거의 경우, EBPR 현상은 혐기시간이 길고, 호기시간이 짧은 Mode 3(또는 3*)에서만 나타났다. 이는 ICOD를 가수분해하여 VFA로 전환하기 위한 시간이 확보되어야 함을 나타내고 있다. 각 Exp.의 Mode 3에서의 인 제거효율은 각각 74, 87, 81%로 나타났다. 본 연구에서 유입수의 COD/TP비는 45~48이었으나, 유출수 중의 인 농도는 1 mg/l 이상으로 나타났는데, 이는 유입 COD 중의 많은 입자성 물질 때문으로 사료된다. 한편, 유입 인 농도가 증가할수록 인 방출량과 인 섭취량이 증가하는 것으로 나타났으며, 이들은 서로 선형관계임을 보였다.

본 연구의 결과에 의하면 SBR공정을 이용하여, 소규모 지역에서 발생하는 생활하수와 우사폐수의 병합처리시, 유기물질과 영양소의 높은 제거효율을 얻기 위해서는 유기물 질부하 보다 혐기/호기 시간비가 더 중요하며, 최적의 운전 인자는 유기물질부하가 0.2 kgBOD/m³/d(Exp. 2)에서 혐기/호기 시간비가 4/2(Mode 3)인 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

- 1) Wentzel, M. C., G. A. Ekama, and G. v. R. Marais, 1992, Process Modelling of Nitrification-Denitrification Excess Phosphorus Removal Systems.-a review, Wat. Sci. Tech. Vol. 25, No. 6, 59~82pp.
- 2) Randall, C. W., J. L. Barnard, and H. D. Stensel, 1992, Design and Retrofit of Wastewater Treatment Plants for Biological Nutrient Removal, Water Quality Management Library-Vol. 5, Technomic Pub.
- 3) Ekama, G. A. and G. v. R. Marais, 1984, Biological Nitrogen Removal, in Theory Design and Operation of Nutrient Removal Activated Sludge Processes, Water Research Commission. Published by the Water Research Commission, Pretoria.
- 4) Punrattanasin, W. and C. W. Randall, 1998, The Effect of the Influent COD/TP ratio upon the performance of Biological Nutrient Removal Processes, Proceeding of the Water Quality International 1998 - IAWQ, 19th Biennial International Conference - V1, 292~28.
- 5) Eaton, A. D., L. S. Clesceri, and A. E. Greenberg, 1995, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 19th Ed., WEF.
- 6) Schon, G., S. Gfywitz, and F. Mertens, 1993, Influence of DO and ORP on Phosphate Release and Uptake by Activated Sludge from Sewage Plants with EBPR, Water Research, Vol. 27, No. 3, 343~354.