

*Burkholderia cepacia*를 이용한 축산폐수의 처리

정팔진 · 조선영 · 현미희 · 김민정 · 이은주 · 전민식[†]

전북대학교 공과대학 환경화학공학부

Livestock Wastewater Treatment by *Burkholderia cepacia*

Paul-Gene Chung · Seon Yeong Jo · Mi-Hee Hyun · Min Jeong Kim · Eun-Ju Lee · Min Sik Jeon[†]

Department of Environmental Engineering Chonbuk National University

(Received 19 February 2003, Accepted 4 October 2004)

Abstract : We found that the Bacterium *Burkholderia cepacia* in livestock wastewater treatment plant was predominant species. We investigated the growth rate of this and treatment characteristics for organic matter and nitrogen removal in livestock wastewater using this microorganism. First, we cultured *B. cepacia*. And then, to conducted treatment for livestock wastewater by using *B. cepacia*., we changed C/N from 0.2~4.4. When we operated A and B process, changing F/M ratio from 1.2 to 4.4.

In experiment of C/N variations, when C/N was 1.8, we found that the optimal condition for organic matter and nutrient removal effect was higher and the removal efficiency of SCOD_{cr}, SBOD₅, NH₄-N was 78.4%, 95% and 74.8%. So, It is possible to treat the wastewater having the lower C/N contents such as livestock wastewater using this microorganism.

In experiment of A and B process for livestock wastewater, we found that the removal efficiency of organic matter and nitrogen in operating mode of A process was higher than that of B process. Also, the optimal F/M operating A process was 0.013 and the removal efficiency of SBOD₅, SCOD_{cr}, TN and TP were 97%, 60%, 95% and 91%.

keywords : Livestock wastewater, Denitrification, *Burkholderia cepacia*, C/N ratio

1. 서론

우리나라의 축산업을 살펴보면, 사육가구수는 감소하는 반면, 가구당 사육두수가 증가하여 점차로 대형화되고 있으나, 축산폐수의 발생원은 전국에 걸쳐 산재되어 효율적인 처리가 곤란한 실정이다(권 등, 2001; 박, 2001). 전국적으로 사육되는 소, 돼지는 약 62만 축산가구에서 약 890만두로 하루에 발생하는 축산폐수량은 대략 193,000 m³/day이다.

오염원별 발생량을 보면 생활오수, 산업폐수, 축산폐수의 발생량은 각각 15,463(78%), 4,068(21%), 193(1%) 천 m³/day로 생활오수가 가장 많은 부분을 차지하고, 이를 부하량으로 보면 생활오수, 산업폐수, 축산폐수의 부하량은 각각 3,516(53%), 2,629(39%), 551(8%) kg/day로 나타났다. 축산폐수는 전체 오폐수량의 1%에 불과하지만, 축산폐수는 일반폐수에 비하여 고농도이므로 오염부하량은 약 8%로 높은 기여도를 나타내고 있다(최, 2001). 또한, 우리나라의 축산폐수는 하천이나 호소수질에 영향을 주는 주요한 오염원으로서, 축사로부터 배출되는 고농도의 축산폐수는 적절하게 처리하지 않으면 하천의 수질악화 및 호소의 부영양화를 초래하며, 상수원, 지하수, 농업용수 등을 오염시킬

뿐만 아니라 악취와 색도, BOD, 질소 및 인등의 영양성분의 농도가 높고 난분해성 물질을 다량 함유하고 있어 축산폐수를 처리하는 것은 용이하지 않다(김 등, 2001). 이러한 이유들로 축산폐수에 대한 적절한 대책 없이는 수자원의 보호는 어렵다고 본다. 축산분뇨의 자원화 방법으로 액비화가 경제성이 있으나, 화학비료를 포함한 농경지로의 질소 투여량은 약 271 kgN/ha/yr이나 되어 많은 양의 질소가 수원으로 유실될 가능성이 크다. 자원화 후의 처리대상 폐수 성상은 돈분의 함량에 따라 그 농도가 심하게 변화된다(김, 1998).

미생물에 의한 축산폐수의 처리는 현재 광합성 세균과 미세조류 등을 이용하여 처리한 연구가 있었으나 난분해성 물질의 높은 함유량에 의해 제한을 받고 있는 실정이다. 본 연구에서는 이러한 한계점을 극복하고자 난분해성 축산폐수의 기질로의 적용이 탁월한 것으로 보이는 *Burkholderia cepacia*를 이용하였다. TCE 분해균 Folsom(1990)으로 알려진 *Burkholderia cepacia*는 이 밖에도 황산화와 황화수소 제거(박 등, 2001), 중금속 이온 흡착기능(김 등, 2000) 및 toluene 분해기능을 갖고 있는 것으로 문헌에 보고된 바 있으나 아직까지 축산폐수처리에 있어서는 전혀 알려지지 않은 상태이다.

따라서, 축산폐수처리장 포기조내 우점종으로 분리된 미생물을 이용하여 축산폐수를 대상으로 폐수내 영양염류의

[†] To whom correspondence should be addressed.
hyun0821@hanmail.net

효율적인 제거를 위한 운전조건 및 최적화를 위해 연구를 실시하였다. 본 연구에서는 축산폐수처리장에서 우점종으로 분리된 *Burkholderia cepacia*를 동정후 배양하여 질소, 인의 제거효율을 분석하고 유입수로의 적절한 C/N비를 파악하고자 회분식 실험을 실시하여 각 처리특성을 알아보았다. 연속실험은 현장에서와 같은 공법으로 Lab-scale 규모의 점증포기법(A process)과 점감포기법(B process)을 적용하여 (Park, 2001 ; Subbalaxmi, 1998) 축산폐수의 유기물 및 질소, 인 등의 처리특성을 살펴보았다.

2. 실험재료 및 방법

2.1. 재료 및 유입수 성상

Batch Test에서 *Burkholderia cepacia*의 액체배양 배지로는 LB(Lunia Bertani) Broth를 사용하여 30℃에서 250ml 플라스크로 300rpm으로 진탕하였다. LB(Lunia Bertani) Broth의 구성은 tryptone 10g/L, yeast extract 10g/L, sodium chloride 5g/L로 구성되어 있다. Batch Test에서의 질소 원으로 NH₄Cl, KNO₃를 사용하여 C/N ratio를 조절하였다.

또한, 축산폐수처리시스템으로 A, B process를 비교·분석하고자 연속운전으로 실시하였으며, 유입수로는 J군 축산폐수처리장의 유입수를 사용하였다. 유입수의 성상은 Table 1에 나타내었다. 각 성상별 농도변화는 매우 큰 것으로 나타났으며, 특히 T-N 중에서 NH₃-N가 90% 이상의 높은 비중을 차지하고 있었으며, NBDCOD가 COD의 48%로 높은 부분을 차지하고 있는 것으로 나타났다.

2.2. 실험장치 및 운전방법

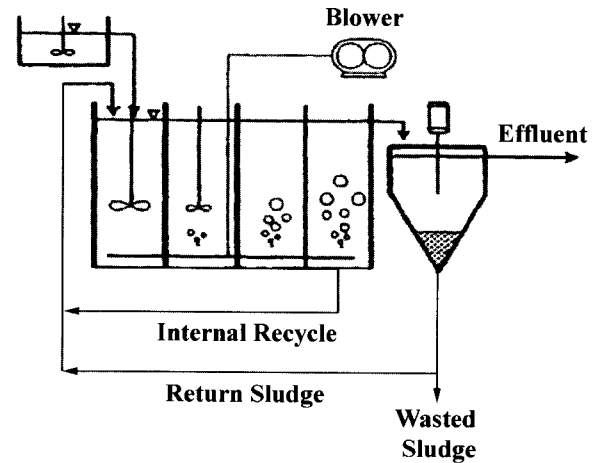
J군 축산폐수처리장에서 *Burkholderia cepacia*를 분리, 배양하여 균주로 사용하였으며 Batch Test에서는 B. cepacia를 다량 배양한 후 축산폐수 500ml에 분리균 전배양액을 접종하여 성장특성 및 기질특성을 파악하고자 회분식 실험을 실시하였다. Batch Test에서 C/N ratio 1.2~4.4로 조절하여, J1~J5의 5개 모드로 비교 실험하여 B. cepacia의 생육에 적절한 C/N ratio를 알아보았다. Batch Test의 운전 조건은 Table 2에 나타내었다.

축산폐수처리공정은 현장에서 운전중인 프로세스를 이용하여 연속식 운전으로 A process는 anoxic/oxic공정을 응용한 점증포기법으로, B process는 oxic/anoxic공정을 응용하여 점감포기법으로 비교·운전하였다. Fig. 1은 실험실 규모의 연속 반응기를 나타낸 것이다. A process는 1실에서는 포기 없이 교반만을 하였으며, 2실에서 4실로 옮겨가면서 포기를 점차 증가시켜 4실에서는 DO를 1.5~2mg/l로 유지시켰다. B process는 반대로 1실에서는 DO를 1.5~2mg/l로 유지시켰으며, 2실에서 4실로 옮겨가면서 포기를 점차 감소시켜, 4실에서는 DO를 0.1~0.05mg/l로 유지시켰다. 반응기 내부반송과 슬러지 반송은 각 2Q로 하였고, SRT를 달리하여 5개의 운전모드로 운전하였다. 각각 F/M ratio를 0.013~0.042에서 변화시켜 R1~R5의 5개의 운전모드로 운전하여 A, B process에서 가장 적절한 F/M ratio를 도출

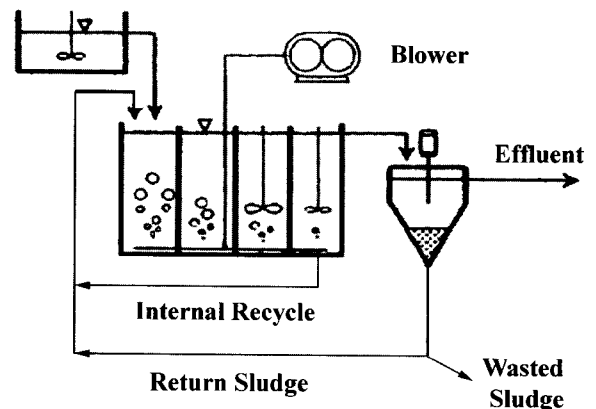
하고자 하였다. R1~R5의 F/M ratio에 따른 유기물과 질소, 인의 농도변화 및 제거율을 살펴보았다. 이때의 각 process의 운전조건은 Table 3과 같다.

Table 1. Characteristics of influent wastewater in experiments (A, B process, unit:mg/l)

Items	Range	Average
pH	9.2~8.5	8.71
SS	6,000~1,175	3,458
TCOD _{Cr}	17,375~5,265	10,014
SCOD _{Cr}	9,525~3,000	5,765
TBOD ₅	5,919~719	2,918
SBOD ₅	4,836~503	2,260
TBOD ₂₀	8,216~1,028	3,906
SBOD ₂₀	5,637~734	2,980
NH ₃ -N	2,120~255	1,149
T-N	2,179~300	1,280
PO ₄ -P	152~78	108
T-P	458~179	304



(a) A process



(b) B process

Fig. 1. Schematic Diagram of A, B process.

Table 2. Operation Conditions of Batch Test (unit : mg/ℓ)

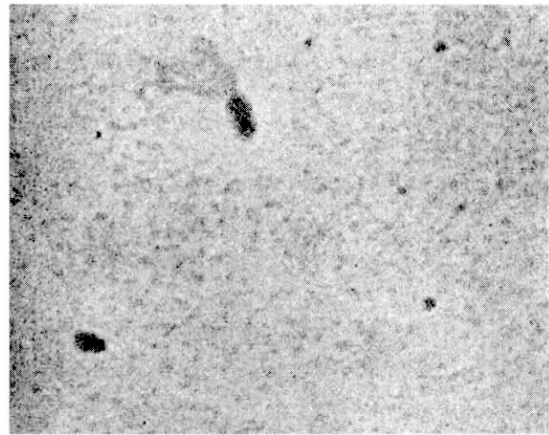
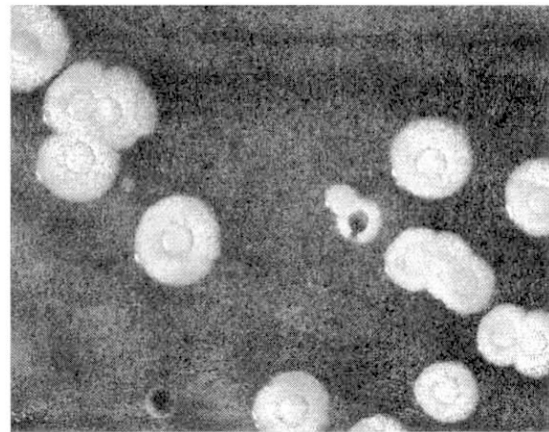
Items	Mode				
	J 1	J 2	J 3	J 4	J 5
Reactor Vol.(ℓ)	0.5				
Influent SBOD	4,000~4,200				
Influent SCOD	8,500~8,800				
Influent NH ₃ -N	2,456	1,638	1,152	675	1,675
Influent NO ₃ -N	2~4				
Influent T-N	3,438	2,293	1,613	945	2,701
C/N ratio	1.2	1.8	2.6	4.4	1.6
pH	6.8~7.0				
Temperature, °C	30 ± 1				

3. 결과 및 고찰

3.1. Batch Test의 처리특성

3.1.1. Burkholderia cepacia와 Colony

J군 축산폐수처리장의 미생물 반응조에서 분리된 *Burkholderia cepacia*는 그람음성 호기성 미생물로 하나의 편모를 갖고 있으며 길이는 1.5~5.0 μ m의 굵은 막대모양으로 사진은 Fig. 2에 나타내었다. *Burkholderia Sp.*의 Colony는 혈액 한천배지에서 서서히 자라며 주름이 잡힌 집락이 차츰 시간이 경과되면서 Fig. 3에서 볼 수 있듯이 배꼽모양(unbonate)으로 집락된다(Richard et al., 1999). 탄소원으로는 phenol 및 p-cresol 등이 잘 사용되며 질소원으로는 암모니아성 질소를 가장 잘 이용하는 것으로 알려져 있다(윤 등, 1998). 또한 글루코스나 프로피온산을 탄소원으로 이용한 경우에는 PHB(poly hydroxybutyrate)를 생성하기도 한다(Ramsay et al., 1989). 본 실험에서는 질소원으로 NH₄-N 단독으로 이용하는 경우와 NO₃-N을 첨가하여 공존하는 경우를 비교·분석하여 질소제거 특성을 살펴보았다.

**Fig. 2.** Burkholderia cepacia($\times 10,000$).**Fig. 3.** Colony of Burkholderia cepacia($\times 100$).

*Burkholderia cepacia*의 미생물 증식에 적절한 C/N ratio 조건을 알아보기 위하여 Fig. 4는 C/N ratio가 1.2~4.4에서 배양기간에 따른 MLVSS 변화와 NH₄-N로만 C/N ratio를 조절한 J1~J4 모드의 MLVSS 변화를 나타낸 것이다. C/N ratio가 1.2일 때는 MLVSS가 2,858mg/ℓ 이었고, C/N ratio

Table 3. Operation Conditions of A, B process

(unit : mg/ℓ)

Items	Mode	A process					B process				
		R1	R2	R3	R4	R5	R1	R2	R3	R4	R5
Reactor Vol.(ℓ)		20					10				
Clarifier Vol.(ℓ)		4.5					2.5				
MLVSS		8,710	8,697	7,620	7,332	6,409	8,860	8,421	6,955	5,824	4,423
Influent SBOD ₅		1,691	1,691	503	503	503	1,691	1,691	503	503	503
Influent SCOD _{Cr}		6,200	6,200	3,000	3,000	3,000	6,200	6,200	3,000	3,000	3,000
Influent T-N		1,237	1,237	300	300	300	1,237	1,237	300	300	300
Influent T-P		285	285	244	244	244	285	285	244	244	244
F/M ratio (kg SBOD ₅ /kg MLVSS day)		0.026	0.021	0.019	0.015	0.013	0.026	0.022	0.019	0.016	0.014
pH		6.9~7.5					6.9~7.5				
Temperature, °C		20 ± 2					20 ± 2				

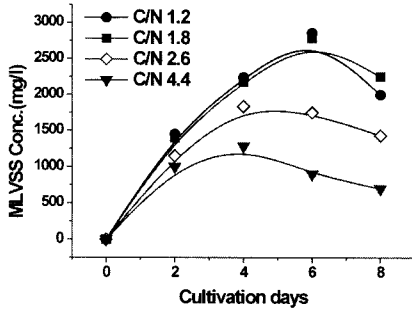


Fig. 4. Concentration Variation of MLVSS at each C/N ratio in Batch Test.

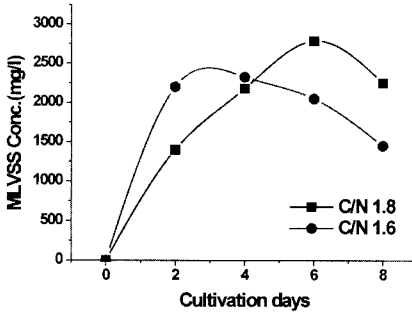


Fig. 5. Concentration Variation of MLVSS at J2 and J5 mode in Batch Test.

가 1.8일 때 최대 MLVSS는 2,786mg/l 이었고, C/N ratio가 2.6일 때 최대 MLVSS가 1,838mg/l 이었고, C/N ratio가 4.4일 때 최대 MLVSS는 1,284mg/l 이었으며, C/N ratio가 1.6일 때 최대 MLVSS가 2,327mg/l 이었다. C/N ratio 1.2일 때 최대 MLVSS가 2,858mg/l 로 가장 높았지만, C/N ratio 1.8일 때도 최대 MLVSS가 2,786mg/l 로 높은 결과를 나타냈다. Fig. 5는 C/N ratio 1.8 (NH₄-N 1,638mg/l 와 NO₃-N 3mg/l)과 C/N ratio 1.6 (NH₄-N 1,675mg/l 와 NO₃-N 367mg/l)에서의 배양기간에 따른 MLVSS 변화를 나타낸 것이다. NO₃-N를 첨가해서 C/N ratio를 조절한 J5 모드에서 *B. cepacia*가 3일에서 가장 높은 MLVSS를 보였으며, NH₄-N만으로 C/N ratio를 조절한 J2 모드에서는 6일째 가장 높은 MLVSS를 보였다. 이는 *B. cepacia*가 NH₄-N만을 질소원으로 공급한 경우보다 NO₃-N를 첨가한 경우 세포증식속도가 더 빨라짐을 알 수 있다. *B. cepacia*는 낮은 C/N ratio에서의 세포증식 속도가 빠르게 나타났고 질소원으로 단일질소원 보다는 NH₄-N과 NO₃-N을 동시에 이용할 때 더 빠른 세포증식을 나타내었다. 이것은 일반적으로 *B. cepacia*가 질소원으로 NH₄-N를 가장 잘 이용한다는 연구 결과와는 다른 특성을 보이는 것으로 단일 종류의 형태보다 다종류의 질소원이 공존시에 세포증식이 더 빨라지는 것으로 나타났다.

3.1.2. *Burkholderia cepacia*의 유기물 제거특성

*Burkholderia cepacia*의 C/N ratio에 따른 유기물 제거특성을 알아보기 위하여 질소원으로 NH₄-N으로만 C/N ratio를 조절한 J1~J4 mode(1.2~4.4)의 SCOD_{Cr} 제거율을 나

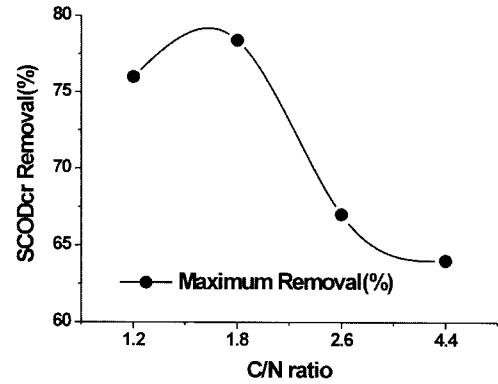


Fig. 6. Maximum Removal efficiency of SCOD_{Cr} at each C/N ratio in Batch Test.

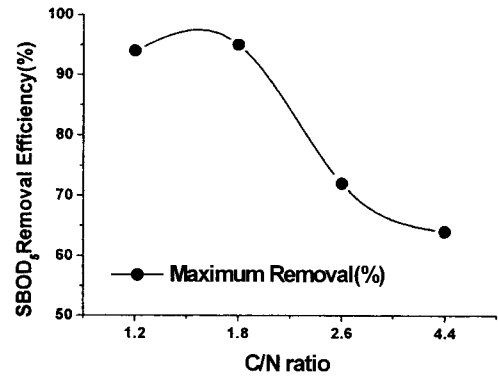


Fig. 7. Maximum Removal efficiency of SBOD₅ at each C/N ratio in Batch Test.

타냈다. 이때 배양기간은 8일로, C/N ratio가 1.2일 때는 초기 SCOD_{Cr} 농도가 8,800mg/l 에서 2,100mg/l 로 76% 제거되었고, C/N ratio가 1.8에서는 초기 SCOD_{Cr} 농도가 8,700mg/l 에서 1,900mg/l 로 78.4% 제거되었고, C/N ratio가 2.6일 때는 초기 SCOD_{Cr} 농도가 8,600mg/l 에서 2,900mg/l 로 67% 제거되었으며, C/N ratio가 4.4에서는 초기 SCOD_{Cr} 농도가 8,500mg/l 에서 3,200mg/l 로 64% 제거되었다. NH₄-N와 함께 NO₃-N을 첨가하여 C/N ratio가 1.6인 J5에서는 초기 SCOD_{Cr} 농도가 8,700mg/l 에서 2,400mg/l 로 73%가량 제거되었다.

Fig. 6에서 보여주는 바와 같이, *B. cepacia*는 C/N ratio가 1.8일 때, 78.4%의 가장 높은 COD제거율을 나타냈으며, 이는 낮은 C/N ratio에서 제거율이 높음을 알 수 있다. Fig. 7은 C/N ratio가 1.2~4.4에서 *B. cepacia*의 배양기간에 따른 SBOD₅제거율 변화를 나타낸 것이다. NH₄-N으로만 C/N ratio를 조절한 경우에 있어서는 C/N ratio 1.2일 때 초기 SBOD₅ 농도가 4,000mg/l 에서 241mg/l 로 94%, C/N ratio 1.8일 때는 초기 SBOD₅ 농도가 4,000mg/l 에서 220mg/l 로 95%, C/N ratio 2.6일 때는 초기 SBOD₅ 농도가 4,000mg/l 에서 1,165mg/l 로 72%가 제거되었고, C/N ratio 4.4일 때는 초기 SBOD₅ 농도가 4,000mg/l 에서 1,528mg/l 로 64% 제거되었다. 또한 질소원으로 NO₃-N을 첨가한 C/N ratio 1.6일 때는 초기 SBOD₅ 농도가 4,100mg/l 에서 813mg/l 로 81% 제거되었다. C/N ratio가 1.8인 J2일

때, 95%의 가장 높은 제거율을 나타내어 낮은 C/N ratio를 기질로 한 생육이 가능함을 알 수 있었다. *B. cepacia*의 유기물 제거특성은 C/N ratio가 낮은 범위에서 제거율이 높게 나타나 최적의 C/N ratio는 1.6~1.8로 나타났다.

3.1.3. *Burkholderia cepacia*의 질소제거 특성

*Burkholderia cepacia*는 질소원으로 세포합성에 암모니아를 가장 잘 이용하는데 Fig. 8은 C/N ratio에 따른 *B. cepacia*의 수율(g VSS / g NH₄-N)의 변화를 나타낸 것이다. 질소원으로 NH₄-N으로만 C/N ratio를 조절한 J1~J4 mode와 NO₃-N를 첨가한 J5 mode를 비교하여 세포합성에 이용된 질소제거 특성을 알아보려고 하였다. C/N ratio 1.2일 때는 초기 NH₄-N 농도가 2,456mg/l에서 1,209mg/l로 질소 제거량이 1,247mg/l, C/N ratio 1.8일 때는 초기 NH₄-N 농도가 1,638mg/l에서 412mg/l로 질소 제거량이 1,226mg/l, C/N ratio 2.6에서 초기 NH₄-N 농도가 1,152mg/l에서 8일 배양후 287mg/l로 질소 제거량이 865mg/l, C/N ratio 4.4일 때는 초기 NH₄-N 농도가 675mg/l에서 125mg/l로 질소 제거량이 550mg/l이다. C/N ratio 1.6에서는 초기 NH₄-N 농도가 1,675mg/l에서 635mg/l로 질소 제거량이 1,040mg/l로 나타났다. Table 4와 Fig. 8에 나타난 것과 같이 Y(g VSS / g N제거량)는 Barnes와 Bliss(1983)에 의하면 흔히 0.05~0.21(평균 0.17)를 나타내는데 비하여 본 균주의 선정결과 2.12~2.33으로 나타나 질소의 생체 전환율이 매우 큼을 알 수 있었다. 따라서 C/N비가 낮아 질소의 제거에 필요한 탄소원이 부족한 폐수에서 제거가 탁월한 것으로 나타났다.

또한, *B. cepacia*의 경우 폐수내에 존재하는 독성물질의 영향을 살펴본 결과 본 연구에서는 NH₄-N 농도가 2000 ppm 이상에서도 크게 저해되지 않는 것으로 나타났다.

Fig. 9는 C/N ratio (NH₄-N 1,675mg/l와 NO₃-N 367mg/l)가 1.6인 J5 mode의 배양기간에 따른 NH₄-N와 NO₃-N의 농도변화를 나타낸 것이다. Fig. 9에서 볼 수 있듯이 NH₄-N와 NO₃-N가 동시에 제거되는 것을 알 수 있다. 이는 *B. cepacia*가 NH₄-N와 NO₃-N를 모두 제거하는 것을 확인할 수 있다. Fig. 10은 배양기간에 따른 NO₃-N 생성변화를 나타낸 것이다. 배양기간이 8일 이상 증가해도 NO₃-N 농도는 15mg/l~20mg/l로 거의 일정한 것을 알 수 있다. 따라서 *B. cepacia*의 질소제거 특성은 NH₄-N와 NO₃-N이 동시에 제거되어 세포합성에 이용되는 것으로 판단할 수 있

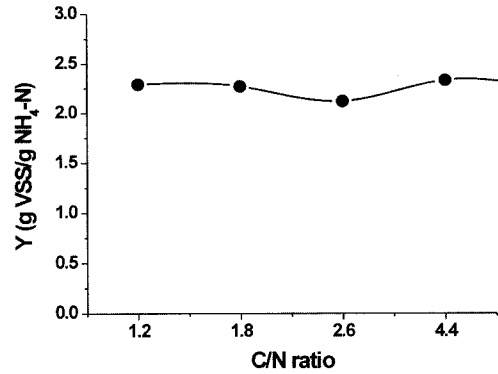


Fig. 8. Behaviour of Y(gVSS/gNH₄-N) at each C/N ratio in Batch Test (J1~J4).

으며, 일부 탈질효과는 좀 더 세밀한 비교실험이 필요한 것으로 나타났다.

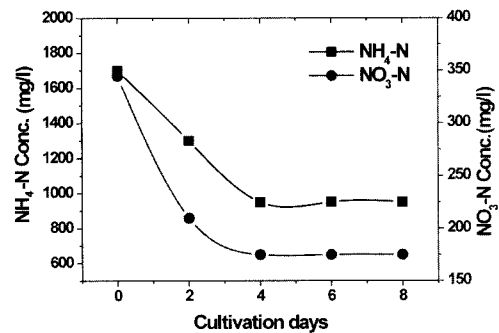


Fig. 9. Concentration Variation of NH₄-N and NO₃-N at J5 mode in Batch Test.

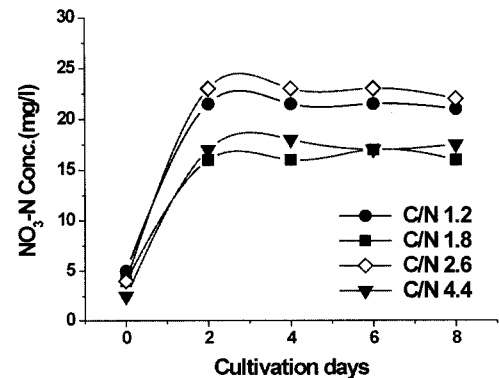


Fig. 10. Concentration Variation of NO₃-N at each C/N ratio in Batch Test.

Table 4. Value of Y at each C/N ratio in Batch Test (J1~J5)

Mode	C/N ratio	MLVSS	Δ COD	Δ NH ₄ -N	Y(g VSS / g COD)	Y(g VSS / g NH ₄ -N)
J1	1.2	2,858	6,700	1,247	0.43	2.29
J2	1.8	2,786	6,800	1,226	0.41	2.27
J3	2.6	1,838	5,700	865	0.32	2.12
J4	4.4	1,284	5,300	550	0.24	2.33
J5	1.6	2,327	6,300	1,040*	0.37	2.23

*는 NH₄-N값으로만 계산한 값임(NO₃-N 농도 제외)

3.2. 연속운전시 처리특성(A, B process의 처리특성)

3.2.1. 유기물 제거특성

연속실험은 J군 축산폐수처리장에서 운전되고 있는 처리 공법을 실험실 규모의 pilot plant로 제작하여 실험하였다. 현장에서 운전중인 A process(점중포기법)와 B process(점감포기법)을 비교운전하였다. 미생물 반응조에 현장에서 채취한 MLSS에 배양한 *Burkholderia cepacia*를 식중한 후 2 주 순양후 실험을 실시하였다.

Fig. 11은 F/M ratio에 따른 평균 SBOD₅ 농도변화를 나타낸 것으로 A process가 B process에 비해 다소 높은 제거효율을 나타내었다. 유입수의 SBOD₅ 농도가 503~1,097 mg/l 일 때, F/M ratio가 낮을수록 높은 제거율을 보였고, F/M ratio가 가장 낮은 R5에서, A, B process 모두 가장 좋은 처리율을 나타냈다. 가장 낮은 F/M ratio를 나타내는 R5 운전모드에서 유출수의 SBOD₅ 농도는 A, B process 각각 17mg/l, 24mg/l 이며, 이 때의 제거효율은 최대 97%, 95%이었다.

Fig. 12는 A, B process에서 F/M ratio가 0.013~0.026일 때의 유출수의 SCOD_{Cr} 농도변화를 나타낸 것이다. A process가 B process에 비해 다소 높은 제거효율을 나타냈다. F/M ratio가 낮을수록 A, B process 모두에서 높은 제거율을 나타내었다. 유출수의 SCOD_{Cr} 농도는 A, B process 에서 각각 1,208mg/l, 1,275mg/l 이며, 이때의 제거율은

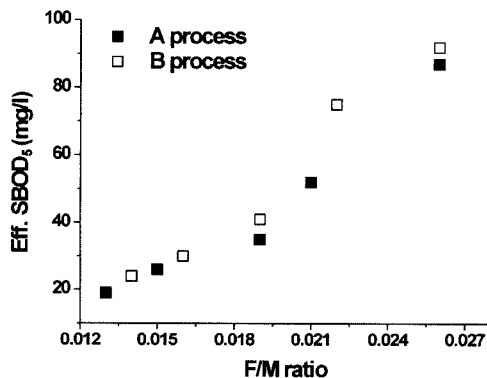


Fig. 11. Change of effluent SBOD₅ at each F/M ratio in A, B process.

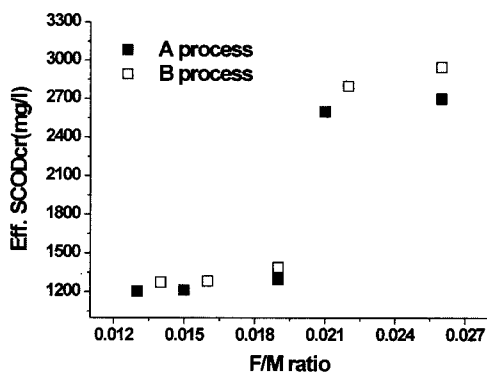


Fig. 12. Change of effluent SCOD_{Cr} at each F/M ratio in A, B process.

60%, 58%였다. COD의 제거율이 BOD에 비해 상대적으로 낮은 이유는 유입수내의 50%이상의 높은 NBDCOD 함량으로 인한 것으로 판단된다.

3.2.2. 질소, 인 제거특성

Fig. 13은 A, B process에서 F/M ratio에 따른 T-N 농도변화를 나타낸 것이다. 유기물의 제거특성과 마찬가지로 A process가 B process에 비해 다소 높은 제거효율을 나타냈다. 유입수의 T-N 농도가 768mg/l 일 때, F/M ratio가 낮을수록 높은 제거효율을 보였고, F/M ratio가 0.013, 0.014에서 A, B process 모두 가장 좋은 처리효율을 나타냈다. T-N의 제거율은 F/M ratio에 따라 90% 이상으로 높게 나타났으며, R2에서 유출수의 T-N농도는 A, B process 각각 25mg/l, 27mg/l 이며 이 때의 제거율은 최대 93%, 92%이었다. Fig. 14는 F/M ratio에 따른 유출수의 T-P 농도변화를 나타낸 것으로 A process가 B process에 비해 다소 제거효율이 높은 것으로 나타났다. 유입수의 T-P 평균농도가 265mg/l 일 때, F/M ratio가 낮을수록 높은 제거율을 보였고, R5에서 A, B process 모두 가장 좋은 처리율을 나타냈다. T-P 제거율은 F/M ratio에 따라 80~90%로 나타났으며 R5에서 유출수의 T-P농도는 A, B process 각각 27mg/l, 30mg/l 이며, 이 때의 제거율은 최대 91%, 90%이었다. 호기성 미생물인 *Burkholderia cepacia*는 질소, 인을 세포함

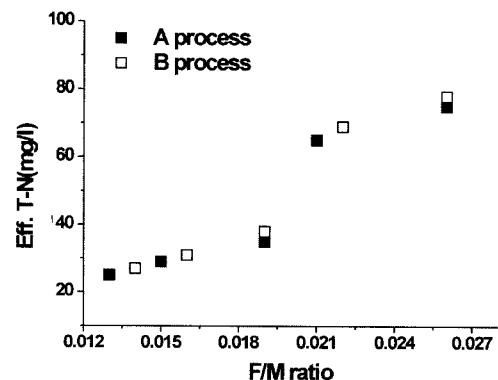


Fig. 13. Change of effluent T-N at each F/M ratio in A, B process.

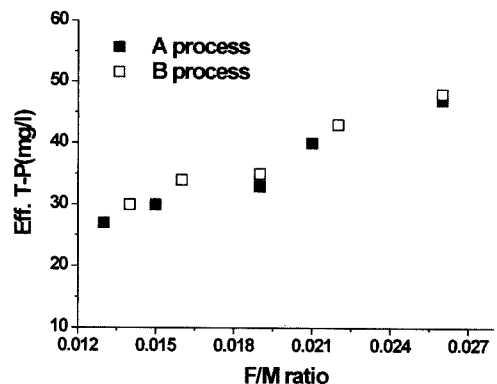


Fig. 14. Change of effluent T-P at each F/M ratio in A, B process.

성에 이용하여 제거하는 것으로 보이며 탈질에 대한 영향은 미미한 것으로 나타났으나 좀 더 자세한 연구가 진행되어야 할 것으로 사료된다.

3.2.3. A, B Process Kinetic coefficient.

생물학적 처리공정에서 가장 중요한 인자는 반응조 내에 존재하는 미생물의 상태라고 할 수 있다. 실험장치내의 미생물 반응계수를 분석하기 위하여 실시된 실험결과 값의 근거로 하여 K_s 와 Y 값을 Fig. 15와 Fig. 16에 도시하여 값을 구해 보았다. 이 실험은 anoxic/oxic 단위공정을 거친 A Process와 oxic/anoxic 단위공정을 거친 B Process후, 침전 단계에서 측정되었다. 이 자료를 이용하여 Monod의 제한 기질과 비중속도와와의 관계식으로 K_s 와 Y 값을 산출하였다.

그러나 반응계수들은 본 연구가 실험실규모의 소형실험장치에서 실시되었으며 실험분석기간도 단기간에 한정되고, 우점 미생물의 상태 등이 차이가 있으므로, 이 값을 직접 설계에 활용한다는 것은 분명히 무리가 있다. 이 자료의 제시는 단지 추후 보다 정확한 설계인자와 반응상수 등의 이용될 수 있도록 하는 것이 좋을 것으로 판단된다.

산출한 반응속도계수를 살펴보면 K_s 값은 통상의 CFSTR의 활성슬러지 범위인 25~100mg/l에 해당하는 수치를 나타내고 있으며 Y 값은 0.4~0.8을 나타내는 기존의 활성슬러지공정과 유사한 것으로 나타났다.

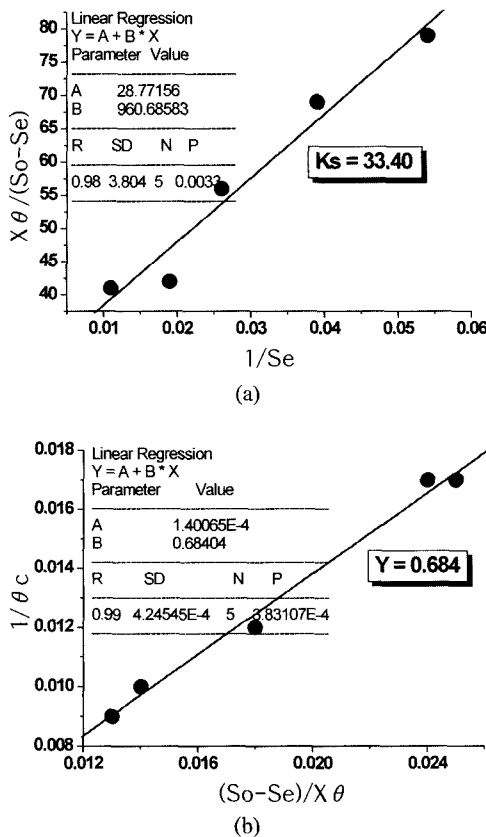


Fig. 15. Plot of K_s (a) and Y (b) at A Process.

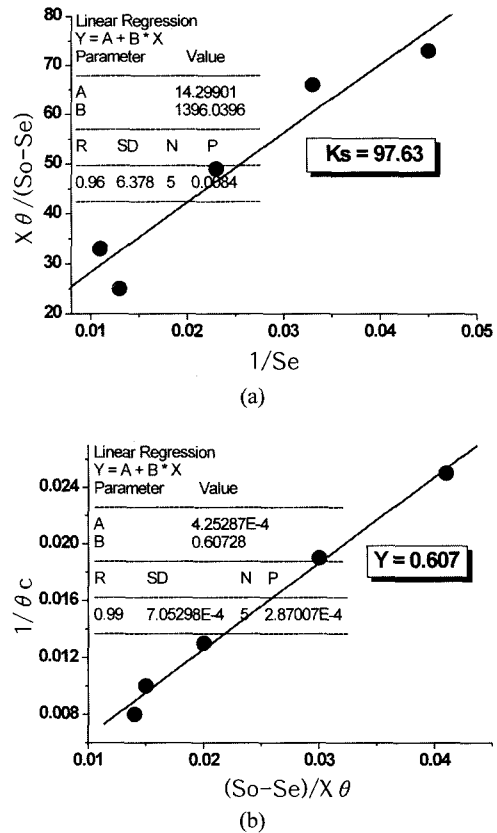


Fig. 16. Plot of K_s (a) and Y (b) at B Process.

4. 결론

J 축산폐수 처리장의 미생물 반응조에서 우점종으로 분리된 Burkholderia cepacia의 성장특성과 축산폐수의 기질 특성을 연구한 결과를 다음과 같이 나타내었다. 현장 적용성의 여부를 파악하기 위해 실제 처리플랜트에서 운전중인 A process와 이를 응용한 B process를 적용하여 유기물과 질소와 인의 제거특성 등의 축산폐수 처리특성을 연구한 결과를 다음과 같이 나타내었다.

1. Batch Test 실험에서, Burkholderia cepacia를 C/N ratio 1.2~4.4로 배양하여 운전한 결과, C/N ratio가 1.8일 때, SCOD_C, SBOD₅, NH₄-N의 제거율이 각각 78.4%, 95%, 74.8%로 가장 양호한 처리결과를 나타냈다. Burkholderia cepacia의 질소제거 특성은 NH₄-N과 NO₃-N을 동시에 이용하는 것으로 나타났다.
2. A, B process를 연속운전한 결과, 유기물과 영양염류의 제거특성은 A process가 다소 높은 것으로 나타났다. A process가 F/M ratio에 따른 실험결과, F/M ratio가 가장 낮은 0.013일 때 SBOD₅, SCOD_C, T-N, T-P의 제거율은 각각 97%, 60%, 95%, 91%로 높게 나타났다.
3. Burkholderia cepacia는 C/N ratio가 1.4~2.2에서 성장하기 적합한 상태로 나타나 축산폐수와 같이 낮은 C/N ratio를 갖는 폐수에서도 성장속도 및 질소 제거가 탁월한 것으로 나타났다.

향후 연구에서는 Burkholderia cepacia의 질소제거에 있

어서 탈질기작에 대한 면밀한 연구가 더 진행되어야 할 것으로 보이며 축산폐수 처리시 적절한 처리공법에 대한 최적화 조건 및 설계인자 도출이 필요할 것으로 보인다.

사 사

전북대학교 부설 공학연구원 도시 및 환경연구센터 지원에 의해 이루어졌습니다.

참고문헌

- 김영희, 박지원, *Pseudomonas cepacia* KH410의 균체를 이용한 중금속이온 흡착의 특성과 흡착조건 최적화, *대한환경공학회 가을 학술발표회 초록집*, pp. 147-151 (2000).
- 김현국, 김성구, 이병현, 서근학, 공인수, 탈질능을 가진 *Pseudomonas* sp.의 분리 및 특징, *한국생명과학회지*, **8**(1), pp. 85-90 (1998).
- 권택희, 이민재, 정용준, 민경석, Stabilization of piggery wastewater with lime and its composting with organic solid waste, *Livestock Wastewater Symposium*, pp. 25-38 (2001).
- 김형엽, 김종신, 원찬희, Fenton 산화공정에 의한 침출수의 처리, *대한환경공학회지*, **23**(6), pp. 979-987 (2001).
- 박승국, 전억한, 박창호, 정성제, 윤인길, 이은관, *Burkholderia(Pseudomonas) cepacia*의 황 산화 특성 및 황화수소 제거, *한국생물공학회지*, **16**(5), pp. 466-474 (2001).
- 박완철, 축산폐수의 합리적인 처리 방안 및 처리기술현황, *Livestock Wastewater Symposium*, pp. 125-137 (2001).
- 윤석민, 이태진, 전희동, *Burkholderia cepacia*를 이용한 Naphtalene의 분해특성, *대한환경 공학회 추계학술대회 논문초록집*, pp. 113-114 (1998).
- 최의소, 음영진, 지속발전을 위한 축산분뇨의 문제점과 개선방향, *Livestock Wastewater Symposium*, pp. 153-166 (2001).
- Barnes, D. and Bliss P.J., *Biological Control of Nitrogen in Wastewater Treatment*, E & F, N, Spon (1983).
- Folsom, B. R., P. J. Champan, and P. H. Prichard, Phenol and Trichloroethylene Degradation by *Burkholderia cepacia*, *Appl. Environ. Microbiol.*, **56**, pp. 1279-1285 (1990).
- Park, Doo Hyun and Yong Keum Park, Bioelectrochemical Denitrification by *Pseudomonas* Sp. or Anaerobic Bacterial Consortium, pp. 406-411 (2001).
- Ramsay BA, Ramsay JA, Cooper DG., *Appl Environ Microbiol.*, pp. 55-584 (1989).
- Richard K. Robinson, Carl A. Batt, Pradip D. Patel, *Encyclopedia of Food Microbiology*, pp. 1861-1875 (1999).
- Subbalaxmi Inguva, Gina S. Shreve, Biodegradation kinetics of tuichloroethylene and 1,2-dichloroethane by *Burkholderia cepacia* PRI₅₁ and *Xanthobacter autotrophicus* CJ10, pp. 57-61 (1998).