

碩士學位論文

*Bacillus sp.*를 이용한 분뇨처리공정에
있어서 질소의 효율적 처리를 위한
최적운전조건에 관한 연구



濟州大學校 産業大學院
建設環境工學科

吳 順 良

碩士學位論文

*Bacillus sp.*를 이용한 분뇨처리공정에
있어서 질소의 효율적 처리를 위한
최적운전조건에 관한 연구



指導教授 李 容 斗

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

濟州大學校 産業大學院
建設環境工學科

吳 順 良

2000年 12月

*Bacillus sp.*를 이용한 분뇨처리공정에 있어서
질소의 효율적 처리를 위한
최적운전조건에 관한 연구

指導教授 李 容 斗

이 論文을 工學 碩士學位 論文으로 提出함.

2000年 12月 日



吳順良의 工學 碩士學位論文을 認准함.

2000年 12月 日

委員長 許 木 ○

委員 趙恩一 ○

委員 李容斗 ○

목 차

목 차	i
초록(summary)	ii
I. 서론	1
II. 이론적 고찰	3
1. <i>Bacillus sp.</i> 를 이용한 분뇨처리 공법 개요 및 특징	3
2. <i>Bacillus sp.</i> 의 특징	5
3. <i>Bacillus sp.</i> 를 이용한 유기성폐수처리의 메카니즘	9
4. 생물학적 질소·인 제거 원리	9
5. 분뇨처리에 있어 질소·인처리공법 비교	15
III. 시설현황 및 실험방법	20
1. 분뇨처리시설 현황	20
2. 분뇨처리시설의 단위공정 현황	21
3. 분뇨의 특성	27
4. 공정별 운영 및 분석 방법	31
IV. 결과 및 고찰	33
1. 분뇨처리시설의 운영결과	33
2. 공정별 분석 결과	37
3. 오염물질 제거효율	41
4. 반응조내 <i>Bacillus sp.</i> 의 균체농도	42
5. <i>Bacillus sp.</i> 의 화상관찰	43
V. 결론	47
VI. 참고문헌	48

Summary

The most traditional approach used for removing pollutant in wastewater is activated sludge processes. Since existing processes, however, have limited abilities in removing nutrient salt so are not able to satisfy the criteria of water quality which is being strengthened. Therefore, current approaches propose the treatment systems which are able to be used for removing the nutrient salt.

The target plant of this paper is equipped with night soil treatment system using *Bacillus sp.* This system is fully able to utilize the previous facilities which are used in activated sludge process, and also has high efficiency in removing not only organic materials but also pollutant such as T-N, T-P nutrient salt. In this paper, I studied for finding the optimized operation conditions in night soil treatment using *Bacillus sp.* suitable for this plant.

As a result, DO represented 1-2mg/ℓ when MLSS in aerobic digestion tanks of this system is 8000mg/ℓ ~10000mg/ℓ and the removal efficiency of T-N, BOD, COD, SS shows very high, greater than 95%, 98%, 92%, 98% respectively. Therefore, it can be known that the maintenance of MLSS and DO in aerobic digestion tanks is very important. Also, a number of *Bacillus sp.* grown up to FILAMENT are detected in FLOC, and more *Bacillus sp.* of endospore near to aerobic digestion tanks 4. The number of *Bacillus sp.* in aerobic digestion tanks is $10^5 \sim 10^6 \text{ ml}^{-1}$.

I. 서론

분뇨라 함은 수거식 화장실에서 수거되는 액체성 또는 고체성의 오염물질(오수처리시설 및 단독정화조의 청소과정에서 발생하는 오니중 탈수되지 아니한 것을 포함한다)을 말한다(오수·분뇨및축산폐수처리에관한법률, 1999).

분뇨는 지역에 따라 다르나 전국 평균 발생량을 보면 1.0ℓ/일/인으로 추정되며 대상인구에 대한 수거 가능한량은 도시의 경우 인구의 60~70% 정도로 대도시일수록 수거율이 높고, 지방도시, 소도시, 농어촌 순으로 수거율이 낮아진다(환경관리공단, 1998). '98년 분뇨처리통계(환경부, 1999)를 보면 전국적으로 처리대상인 분뇨량은 27,135㎥/일으로 이중에서 97%인 26,454㎥/일이 처리되었으며, 처리 형태를 보면 분뇨처리시설에서 25,383㎥/일(95.9%), 해양투기로 357㎥/일(1.4%), 재활용으로 716㎥/일(2.7%)이 처리되었다.

수거된 분뇨를 처리장에서 처리한 것은 1973년도에 서울과 부산에서 600㎥/일 규모의 습식산화(Zimmerman Process)방법을 도입 설치하였고 충무에 63㎥/일 규모의 소화조를 설치하여 우리나라 분뇨를 처리시설에서 처리하기 시작하였으며(환경관리공단, 1998), 1998년 말 현재 전국적으로 185개소의 분뇨처리시설이 설치 운영중에 있다(환경부 분뇨처리통계, 1999).

분뇨관련 법으로는 오수·분뇨및축산폐수의처리에관한법률이 종전의 수질환경보전법 및 폐기물관리법에서 규정하던 분뇨처리에 관한 사항을 1991년 3월 8일 동법으로 일원화 되면서 새로이 제정 공포되었다. 그 후 분뇨처리에 대한 중요성이 부각되면서 동법률이 몇차례의 개정을 거듭하면서 분뇨처리시설의 방류수 수질기준도 강화 되었다. 방류수 수질기준은 1996년 1월1일부터 분뇨처리시설의 방류수수질기준 항목중 생물화학적산소요구량(BOD) 기준이 40mg/ℓ 이하에서 30mg/ℓ이하로, 부유물질량(SS)은 70mg/ℓ 이하에서 30mg/ℓ이하로 대폭 강화하였으며, 또한 총질소(T-N) 120mg/ℓ이하, 총인(T-P) 16mg/ℓ이하로 새로이 추가항목 규정을 적용받게 되었고, 1999년 1월 1일 부터는 화학적산소요구량(COD) 항목이 추가되면서 기준치 50mg/ℓ이하로 규정하였으며, 총질소(T-N) 60mg/ℓ이하, 총인(T-P) 8mg/ℓ이하로 강화되었다. 따라서 기존 분뇨처리 방식이 방류수

수질기준을 만족시키기 어렵기 때문에 분뇨처리시설의 개선이나 운영방법 개선이 절실히 요구되고 있는 실정이다.

현재, 사용중인 분뇨처리방법은 주로 BOD, SS 제거에 주 목적을 두고 대부분이 호기성 또는 혐기성 소화공정과 활성슬러지공정등을 1, 2차 처리공정으로 조합한 방법을 채택하고 있다. 이 활성슬러지공정은 우리나라 뿐만 아니라 거의 대부분의 나라에서 가장 광범위하게 보급되어 있고 또한 오랫동안 사용되어 온 가장 전통적인 생물학적인 처리방법이긴 하나 '99년부터 적용되는 방류수 수질기준 이내로 안정된 처리를 위해 최근 T-N, T-P의 제거를 위한 고도처리의 필요성이 제기되면서 활성슬러지공정의 단점을 개선하거나 완전히 새로운 공법의 개발이 시도되고 있다.

지금까지 개발된 분뇨처리시설에 있어서의 질소·인 제거공법으로는 B3 system, 액상부식법, Bio Ceramic공법, 고효율산화법, 자연정화법 등이 있으나, 본 연구대상 분뇨처리시설에서는 종전 활성오니법으로 운영되던 시설을 최대한 이용할 수 있고, 탈질·탈인의 효과가 큰 *Bacillus sp.*를 이용하여 분뇨를 처리하는 공법을 도입하여 강화된 수질기준에 적합하도록 하였다.

따라서 본 연구에서는 새로이 설치 운영중인 *Bacillus sp.*를 이용한 분뇨처리 공법을 운영하면서 최근 4개월(2000. 6월~9월)동안 질소등 오염물질의 효율적 처리를 위하여 운전인자에 따른 처리공정별 효율을 분석하여 질소의 효율적 처리를 위한 최적 운전조건을 찾는 데 목적을 두었다.

II. 이론적 고찰

1. *Bacillus sp.*을 이용한 처리 공법의 개요 및 특징

1) 개요

본 공법은 하수, 분뇨, 축산 등 유기성 폐수의 유기물은 물론 질소, 인제거를 목적으로 토양미생물인 *Bacillus sp.*을 선택 배양하고 우점화시킨 후 이를 포자 화시킴으로서 포자의 침강성은 물론 슬러지의 침강성도 향상시킬 뿐 아니라 포기조 및 소화조 내에서 비교적 변화의 폭이 큰 유기물의 부하변동이나 외부조건 변화에도 적응하는 특징이 있으며, 동시에 악취제거에도 유용하며 슬러지 발생량이 기존 처리방법에 비해 훨씬 적고 탈수효율도 양호하여 유기물질의 제거는 물론 질소, 인 제거까지 되는 고도처리방법이다(대경기계기술(주) 1999).

2) *Bacillus sp.*를 이용한 분뇨처리공법의 특징

(1) *Bacillus sp.*의 우점화 배양

본 공법의 배양대상 미생물인 *Bacillus sp.*은 모양이 단간균 형태이고 불리한 환경이 되면 포자를 만드는 그람양성 통성균이다. 지금까지 처리장에서 침전이 전혀 안 되는 팽화현상의 주요원인의 하나로 사상체(Filament)를 만드는 사상균의 번식을 들고 있는데 *Bacillus sp.* 역시 사상균들 중 하나로 알려져 있어 *Bacillus sp.*의 과다한 번식을 일반 하수처리장에서 기피하고 있었으나, 본 공법에서는 *Bacillus sp.*들의 증식과 포자화를 반복하면서 *Bacillus sp.*을 우점화시켜 가는 방법으로 *Bacillus sp.*의 증식이 일정농도 이상을 유지하면 유기물 및 질소, 인이 함께 제거되며 슬러지의 침강도 향상된다는 점이다.

즉 영양분이 충분한 상태에서 *Bacillus sp.*이 급속하게 성장하면서 사상체를 형성하면 결과적으로 영양분의 부족상태가 초래되고 이때 균체량은 더욱 심한

영양분 부족상태가 되어 이것이 한계점에 도달하면 자기 생존을 위하여 포자를 형성하면서 사상체가 해체되고 포자를 포함한 균체수는 증가하게 된다. 형성된 포자가 영양분의 공급하에서 발아하여 새로운 균체로 성장하면 필라멘트의 성장을 위하여 미량의 규소포함물질과 균체의 포자화를 유도하는 미량의 마그네슘포함물질(*Bacillus* 활성제)를 반응조에 투입한다.

본 공법에서의 순환은 내부순환과 슬러지반송으로 이루어지는데 내부순환의 이유는 포자의 발아속도를 촉진시키기 위함이다. 즉 포자막이 굳기전에 순환시킴으로서 발아를 용이하게 하며, 발아가 진행되면서 포자막이 두꺼운 침전지 반송슬러지 속의 포자의 발아도 촉진시켜 반응시간을 단축시킨다.

(2) 점감포기

반응조의 운전방법은 실별 점감포기로 표현할 수 있다. *Bacillus sp.*을 배양하기 위해서는 반응조를 4개의 실로 분할하여 포기를 하는데 처리공정도에 나타난 바와 같이 제1실에 포기조 전체 포기량의 60~80%를 집중 포기하고, 제2실, 제3실, 제4실은 20~40%를 차례로 줄여가면서 포기를 실시한다. 즉, 용존산소량을 제1실에서만 0.5~1.0mg/l 정도로 유지하게 하고, 나머지 실은 혐기성상태가 되지 않을 정도만 유지시키면 절대 호기성균의 정상적인 성장이 어려운 대신 용존산소농도가 낮은 상태에서도 잘 자랄 수 있는 통성균인 *Bacillus sp.*만 번식하게 되면서 유기물, 질소 및 인이 제거된다. 또한 제1실을 지나면 반응조에서 유기물, 질소 및 인이 제거되어 빈영양상태가 되고 거의 혐기성 상태가 됨으로서 *Bacillus sp.*의 생존에 열악한 환경이 조성되어 *Bacillus sp.*은 포자를 형성하게 되고 침전지로 유입되어 고액분리가 쉽게 일어난다.

(3) 화상시스템을 이용한 미생물제어

반응조와 각종 반송슬러지 중에 존재하는 미생물의 종 및 상태를 파악하고 여기에 맞춰 포기량, *Bacillus* 활성제, 반응비 등의 조절 등을 현미경, 카메라, 모니터, 비디오세트, 프린터 등으로 조합된 화상시스템을 이용하여 탄력적으로 운전 할 수 있다.

(4) 악취물질 제거

*Bacillus sp.*의 생화학적 성질을 이용하여 분뇨나 축산폐수, 하·폐수 처리시에 발생하는 악취성분인 암모니아, 황화수소 및 아민류 등을 직접 섭취 또는 분해하여 악취성분을 제거하며, 황화수소는 호기성 상태를 유지하기 때문에 냄새가 나지 않는 황산화물로 변하게 된다.

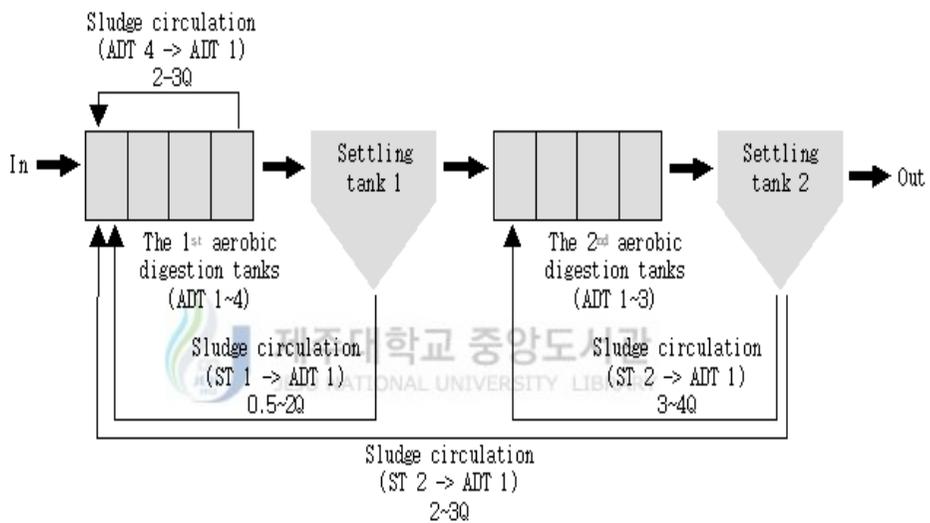


Fig. 1. Schematic diagram of night soil treatment process using *Bacillus sp.*

2. *Bacillus sp.*의 특징

1) *Bacillus sp.*의 특성

*Bacillus sp.*는 분해하기 쉬운 물질은 물론 난분해성의 단백질, 전분, 지방등도 급속하게 가수분해시켜 증식하고 분뇨나 축산폐수, 하·폐수처리 시에 발생하는 악취성분인 암모니아, 황화수소 및 아민류등을 직접 섭취 또는 분해하여 악취성분을 제거하므로 분뇨 및 축산폐수처리 시설에 적용되고 있다. 또한 주변 환경에 아주 강한 내생포자를 형성하므로 기존의 하·폐수처리에 적용하고 있는 미생물군에 비하여 악조건의 환경에서도 견딜수가 있으며 활성슬러지 중에서 포자→균체→포자와 같은 과정을 반복하여 생존하므로 고농도의 균체를 유지할 수 있는 장점이 있다.

그리고 *Bacillus sp.*의 표면에는 점착성이 있는 물질로 덮여있기 때문에 흡착이나 응집이 잘 일어나고 형성된 Floc은 침전성이 양호하며, *Bacillus sp.*의 포자화 과정에서 Bacitracin, Polymyxin, Tryocidin, Gramicidin, Ciraulin등과 같은 항생물질을 방출하여 방류수에 존재하는 일반세균 및 대장균을 사멸시킬 수 있으므로 별도의 소독시설이 필요없다.

*Bacillus sp.*는 Filament상으로 성장하므로 균체 농도가 떨어지면 이로 인한 Bulking 현상을 일으키기도 한다(村上弘毅등, 1995).

2) *Bacillus sp.*의 성장조건

(1) DO 농도는 1.0mg/ℓ 정도를 유지해야 최대의 효과를 올릴 수 있다.

DO 농도가 1.3-2.0mg/ℓ 이상일때는 생물학적 질산화가 일어나기 시작하여 DO 소모량이 4.57kg-O₂/kg-N으로 되어 엄청난 산소를 요구하게 된다(고광택등, 1995)

그러나 DO 농도가 1.0mg/ℓ 이하인 경우 산소 섭취를 둘러싼 질산화 미생물과 종속영양 미생물간의 경쟁에서 질산화 미생물이 타격을 받게 된다. 즉 질산화가 이루어지지 않기 때문에 *Bacillus sp.*가 섭취하는 아민기나 암모니아성질소 및 암모늄염 상태가 그대로 유지되면서 질소제거가 이루어진다.

또한 무산소 상태에서 인 방출 저해의 직접적인 원인을 유기물 경쟁력 차이로 보는 것이 아니라 NO₃⁻-N가 산소와 마찬가지로 전자수용체 역할을 하기 때문에 인 방출이 저해된다고 본다.

생물학적 인 섭취는 DO 농도가 0.1mg/ℓ에서 Poly-p 합성이 시작되면서 0.5mg/ℓ에서 인 섭취가 최대로 된다고 알려져 있으며, 인 제거 방해가 되는 NO₃⁻-N에 대한 방해 및 최적의 DO 농도가 유지되기 때문에 인 제거 효율도 더욱 크다고 볼 수 있다. 또한 균체 농도가 높기 때문에 이들 영양염류에 대한 요구량은 더욱 크다.

(2) *Bacillus sp.*의 대부분은 중온성균으로서 최적생육온도는 20℃ ~45℃ 범위이다. 한계온도는 최저 10℃, 최고 45~55℃이나 종에 따라서 저온성 균주와 고온성 균주까지 다양하게 존재한다.

(3) 적정 pH 범위는 6.0 ~6.9로 유지된다.

분뇨나 축산폐수등 고농도 유기성 폐수의 경우 pH가 10.0~11.0정도인데 그 원인은 주로 암모니아에 의한 경우가 많다. 앞에서 언급한 바와 같이 암모니아를 직접 섭취함으로써 제1반응조 제1실에서 곧바로 pH가 6.5~6.8로 떨어짐을 알 수 있다.

또 바실러스 활성제로서 주입된 미량의 규소 및 마그네슘 포함물질은 약산성 하에서 이온상태로 되어 *Bacillus sp.*가 섭취하기 쉽게 된다.

(4) ORP는 200~250mV 정도를 유지한다.

(5) 제1반응조에서 MLSS농도는 7,000~9,000mg/ℓ, 제2반응조에서 MLSS 농도는 3,000~5,000mg/ℓ로 유지하도록 내부순환 및 반송슬러지로서 조절해야 한다.

(6) 반응조에서의 *Bacillus sp.*의 균체농도는 10⁸~10¹¹개/ml 정도를 유지한다. 그 이하가 되면 유기물 제거가 충분히 이루어지지 않아 포자형성이 미흡하여 bulking 현상을 초래할 수도 있다.

(7) 영양세포의 성장을 위하여 미량의 규소포함 물질을 투여하고, 포자화등의

촉진 및 성장증식을 위하여 마그네슘포함 물질을 미량 투여한다. 특히 마그네슘은 리보솜, 세포막, 핵산 등을 안정화시키고 많은 효소 중 인산 전이효소의 조효소로서 작용하는데 일반적으로 그람양성균은 그람음성균보다 10배 정도를 더 요구한다.

(8) 내부반송은 포자의 발아 속도를 촉진하기 위함인데 즉 포자막이 굳어지기 전에 반송시킴으로서 발아를 용이하게 하며 발아가 진행되면서 포자막이 두꺼운 침전지 반송 슬러지속의 포자의 발아도 촉진시켜 반응시간을 단축시키는 효과가 있다.

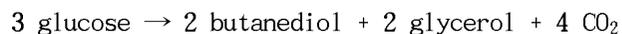
3) *Bacillus sp.*의 포자 형성 조건

- (1) 유기물이 거의 존재하지 않는 빈영양상태를 유지한다.
- (2) DO 농도는 0.1mg/ℓ 이하로 유지한다.
- (3) 마그네슘포함물질이 미량 존재해야 한다.

4) *Bacillus sp.*를 이용한 분뇨처리공법에 관여하는 *Bacillus sp.*의 종류

(1) *B. subtilis*

주로 당을 소비하여 성장할 수 있으며, 독특한 발효를 하며, 발효에 의하여 부타디올, 글리세롤, 소량의 락산, 에탄올등을 생성한다.



(2) *B. licheniformis*

강력한 탈질소 세균으로서 질산의 존재하에서는 비 발효성 유기기질을 이용하여 성장할 수 있다.

(3) *B. polymyxa* 및 *B. macerans*

단당류, 전분, 펙틴을 분해, 탄소원으로 이용하여 성장한다. *B. polymyxa*는 부타디올, 에탄올, CO₂, H₂를 생성하고, *B. macerans*는 에탄올, 아세톤, 아세트산, 포름산, CO₂, H₂를 생성한다.

(4) *B. pasteurii* 및 *B. sphaericus*

다른 균종과는 달리 세포벽 펩티도그리칸은 다른 호기성 포자형성균들과 화학적으로 차이가 있다. 이 균은 발효능이 부족하고 호흡 에너지원으로서 탄수화물을 효율적으로 이용하지 못한다. 호흡대사의 주요한 기질은 아미노산과 유기산이다.

(5) *B. fastidiosus*

이균은 절대 호기성으로서 purine, 요산을 산화적으로 분해하며 이물질을 유일한 탄소원, 에너지원 그리고 질소원으로 이용하여 성장한다. 실험된 다른 유기화합물중에서 요산분해 경로에서의 중간체 만을 유일한 탄소원과 에너지원으로 사용할 수 있다.



3. *Bacillus sp.*를 이용한 유기성 폐수처리의 Mechanism

일본 伊那 中央衛生센타 青木 滿의 보고에 의하면 *Bacillus sp.*를 이용한 유기성 폐수처리 원리는 <Fig. 2>와 같다.

4. 생물학적 질소·인 제거

1) 생물학적 질소제거

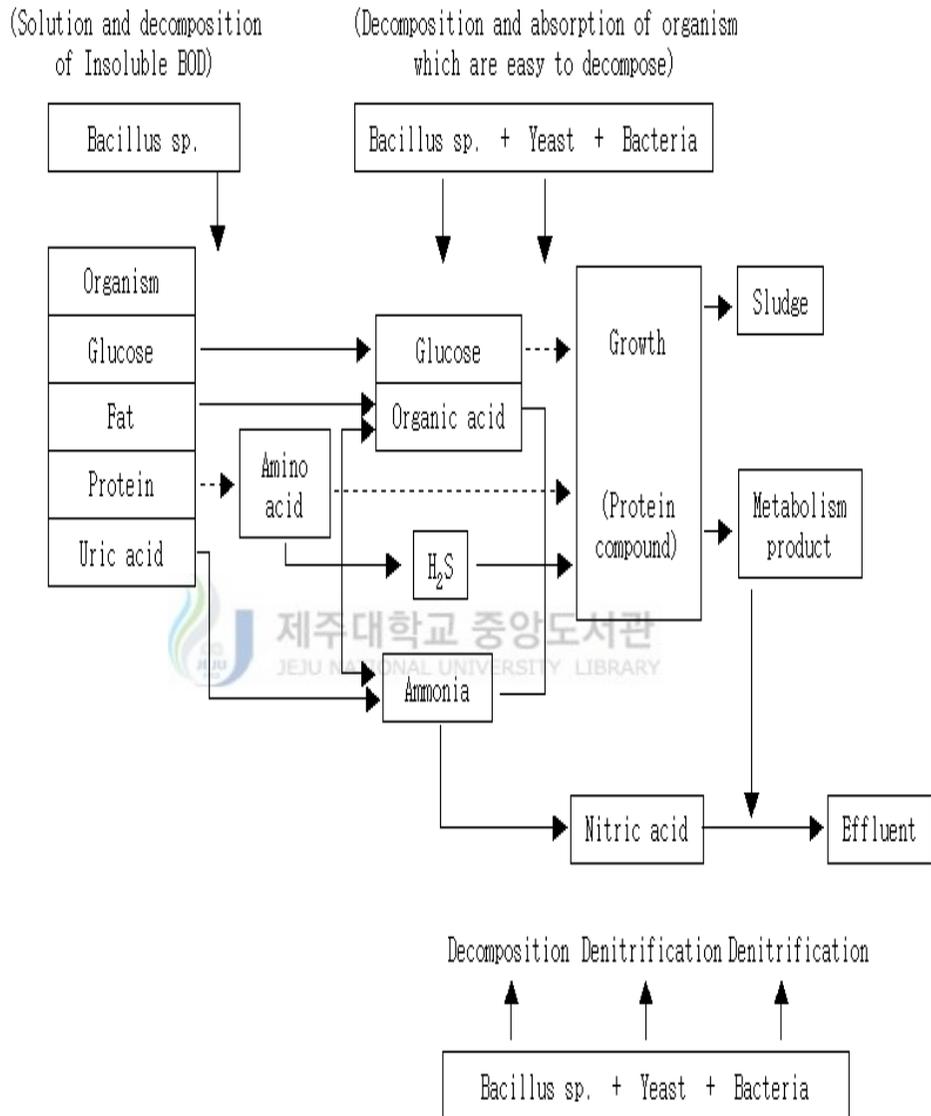
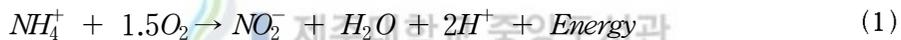


Fig. 2. A mechanism for organic wastewater treatment using *Bacillus sp.*

생물학적 질소제거는 폐수중의 NH_4^+ -N와 호기성 상태에서 *Nitrosomonas*속에 의해 NO_2^- -N로의 산화작용과 *Nitrobacter*속에 의한 NO_2^- -N의 질산화 반응이 이루어져 NO_3^- -N로 산화된다. 질산화반응에서 생성된 NO_3^- -N는 무산소(Anoxic) 상태에서 탈질화 반응이 일어나 질소화합물이 질소가스로 환원되므로써 질소제거가 이루어진다. 생물학적 질소제거 방법은 물리·화학적 처리보다 처리효율이 높고, 경제성과 유지관리 측면에서 유리하므로 널리 사용되고 있다(신상의 등, 1992).

(1) 질산화(Nitrification)

생물학적 질산화 과정에서 중요한 역할을 담당하는 미생물은 *Nitrosomonas*와 *Nitrobacter* 두속이 있다. 이들은 자가영양미생물(Autotrophic organism)에 속하며 종속영양미생물(Heterotrophic organism)과는 달리 무기질소 화합물을 산화하여 성장에 필요한 에너지를 얻는 특징을 가지고 있다. *Nitrosomonas*는 NH_4^+ -N를 NO_2^- -N로 산화시키며 그 산화 과정은 다음과 같다.



그리고 (1)에서 얻어진 NO_2^- -N는 *Nitrobacter*에 의해 NO_3^- -N로 산화된다.



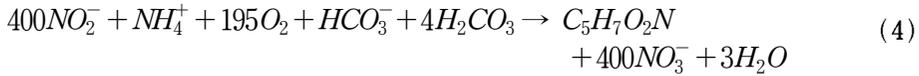
위의 식들에서 볼수 있듯이 *Nitrosomonas*나 *Nitrobacter*는 질산화 과정에서 에너지를 얻는다. 이렇게 얻어진 에너지는 질산화 미생물에 의해 세포의 합성과 유지를 하는데 이용된다.

질산화 과정에서 얻어진 에너지가 세포합성에 이용되는 반응을 화학양론식으로 나타내면 다음과 같다.

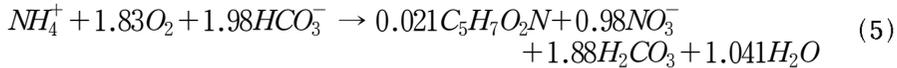
Nitrosomonas :



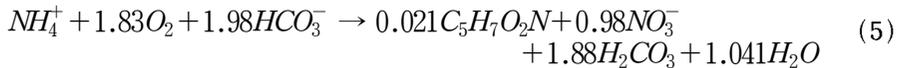
Nitrobacter:



Total reaction



Total reaction



완전한 질산화 과정은 상기와 같은 일련의 반응이 연속적으로 일어나야 하는데 일반적으로 식(5)로부터 질산화 반응에서 중요한 세가지 사실을 알수 있다. 첫째 산화된 NH_4^+-N 1g당 8.64g의 중탄산이 요구되며, 많은 양의 알카리도가 필요하기에 적당한 pH조정과 pH유지가 필요하다. 둘째 1g의 NH_4^+-N 가 $NO_3^- -N$ 로 산화되는데 4.33g의 산소가 사용되므로 전자수용체로서 많은 산소가 필요하며, 셋째는 NH_4^+-N 1g당 0.17의 세포가 생산되므로 질산화 미생물은 세포증식 속도가 매우 느리다(EPA, 1975)

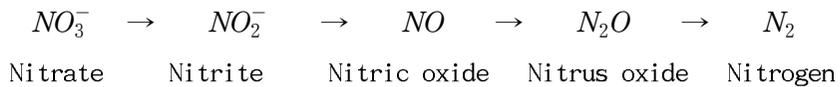
질산화 미생물의 성장에 영향을 미치는 인자로는 DO, pH 와 Alkalinity, 온도, 질소원의 성분 및 농도, 유입 유기물의 성분 및 농도 등이 있다.

(2) 탈질화(Denitrification)

질산화 과정에서 생성된 $NO_3^- -N$ 나 $NO_2^- -N$ 를 생물학적으로 무산소 상태에서 환원시키는 과정을 탈질화(Denitrification)라 한다. 과거에는 이러한 변환과정이 혐기성 탈질화(Anaerobic denitrification)로 알려졌다. 하지만 주요 생화학적 경로는 혐기성이 아닌 호기성 반응경로를 변경한 것이며, 혐기성 대신 무산소(Anoxic)라는 개념으로 대체되었다.

탈질은 질소의 환원상태에 따라 다음과 같이 여러 중간 단계를 거치는 것으로

알려져 있다



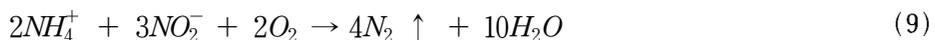
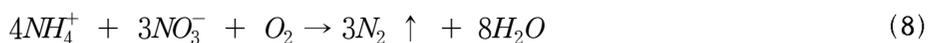
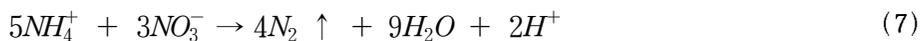
탈질에 관여하는 미생물은 *Aerobacter*, *Alcaligenes*, *Bacillus*, *Achromobacter*, *Micrococcus*, *Proteus*, *Pseudomonas* 등 다양하다. 질산화와는 달리 몇몇 특정한 미생물에 의해 단계적으로 진행되는 것이 아니라. 일반적으로 호기성 미생물 중에서 산소 대신 질산이나 아질산을 최종 전자수용체로 사용할 수 있는 전달체계를 가진 미생물이라면 탈질화를 수행할 수 있다(Painter, 1970)

(3) *Bacillus sp.*에 의한 질산화와 탈질

*Bacillus sp.*는 NH_3 와 Glutamate를 이용하여 글루타민을 합성하며, 또한 질소를 고정화 하는데, 암모니아, 질산염 또는 질소를 이용하여 글루탐산의 아미노 그룹으로 합성한다.



이 과정에서 글루타메이트 탈수소효소, 글루타민 합성효소, 알라닌 탈수소효소, 글루탐-알라닌 아미노기 전이효소가 관련한다. 특히 *Bacillus sp.*를 이용한 폐수처리 공법에서는 다음과 같이 암모니아가 혐기성 상태에서 기질로서 사용되며 N_2 로 산화되어 제거된다(Ammonia anaerobic oxidation).



유기성 탄소(organic carbon)는 탈질을 일으키는데 필요한 에너지를 공급하며 DO, pH 와 Alkalinity, 온도, NO_3^- -N, SRT 등이 탈질과정에 영향을 준다.

2) 생물학적 인 제거

(1) 인제거 특성

폐수내 T-P는 Organic phosphate와 Ortho phosphate(PO_4^{3-}), Poly phosphate(P_2O_7)등의 Inorganic phosphate의 형태로 존재한다.

인 제거에 관여하는 미생물은 *Acinetobacter*, *Pseudomonas*, *Micrococcus* 등이 알려져 있으며 *Acinetobacter*가 그 대표적이다.

인 제거에 관여하는 미생물은 혐기성 조건에서 세포 체내의 Poly-P을 Ortho-P으로 분해할 때 얻어진 에너지를 이용하여 수중의 유기물을 PHB(Poly-Hydroxybutylate)의 형태로 세포 체내에 저장한다. 이때 세포내 PHB는 증가하는 반면에 Poly-P은 감소하게 된다. 즉, 동화과정에 필요한 에너지는 세포내에 저장된 Poly-P이 가수 분해되면서 발생한다.

반면에 호기성 조건하에서는 세포내 축적된 탄소저장산물인 PHB가 분해되면서 ATP가 합성되고, 이때 얻어지는 에너지를 이용하여 반응조 속에 용존되어 있는 Ortho-P을 혐기시 방출된 양보다 과량을 섭취하여 세포내에 Poly-P 형태로 저장한다. 인 제거에 관여하는 미생물은 활성도에 따라 다르지만, 혐기성 조건에서 방출한 인의 최대 5배까지를 호기성 조건에서 섭취할 수 있는 것으로 알려져 있다.

이렇게 혐기/호기 조건을 반복하면서 인 제거 미생물을 순응시켜 호기성 조건하에서 인을 최대한으로 섭취하게 한 후, 과립형태로 저장된 인을 함유하고 있는 미생물을 적당량 배출시킴으로서 결국 폐수중의 인을 제거하게 된다(Barth, 1982)

인 방출 및 섭취에 관여하는 영향인자로는 유기물의 농도, DO, NO_3^- -N의 농도, pH, ORP(Oxidation Reduction Potential), 온도, SRT 등으로 알려져 있다. 여기서 SRT는 너무 길어지면 발생하는 슬러지량이 적어지고, 이로 인해 생물학적 인 제거량이 감소되는 결과를 초래하며, 너무 짧아지면 세포합성에 방해가 된다.

(2) *Bacillus sp.*에 의한 인의 섭취 및 방출

*Bacillus sp.*에 있어서 인은 생물학적인 성장을 위한 주된 제한 영양분이고 다른 요구 이온들보다 2~3배 낮은 비율로 존재한다. 인의 제한된 이용성의 주된 이유는 과량으로 존재하는 인산염이 알루미늄, 철, 칼슘에 결합된 비용해성 형태로 존재하기 때문이다. 인산염이 부족하거나, 포자화 과정으로 진행될 때 *Bacillus sp.*는 알칼리성 phosphatase 유전자를 발현시켜서 인산염을 보충한다.

인의 제거에 이용되는 미생물들은 호기적인 조건하에서는 인(Posphate)을 Polyphosphate의 형태로 전환하여 세포내에 저장하고 있다가 혐기적인 조건이 되면 다시 가수분해 반응을 일으켜 Posphate를 세포 밖으로 배출시키게 된다.

5. 분뇨처리에 있어서의 질소·인 처리공법 비교

1) 액상부식법



본 공법은 기존 액상부식법을 근간으로하여 액상부식조에 질산화와 탈질조건을 추가로 만들어 주므로써, 저류조에서 이송된 분뇨중의 유기물을 최대한 이용하여 질산화조에서 내부순환된 질산성질소를 탈질조에서 탈질산화 반응에 의하여 탈질시키고 동시에 탈질조의 암모니아성질소를 질산화조에서 질산화시키는 내부순환성시스템이며, 생물학적으로 질소(T-N)를 제거하고, 인(T-P)은 화학적 응집침전법으로 염화제2철($FeCl_3$)에 의해 제거되는 회분식처리 공법이다.

이 공법의 F/M비는 0.05 ~ 0.10 kg BOD₅/kg MLSS · D이고 BOD 용적 부하는 0.5 ~ 1.0kg BOD₅/m³ · D이며 MLSS 농도는 6000~11000mg/ℓ이며, 체류시간은 27~30일 정도로 운전된다. 액상부식법은 시설규모가 작고 공정이 단순하지만 약품 투입량이 많아 유지 관리비가 많이 들며 슬러지 발생량이 많은 등의 단점이 있다.

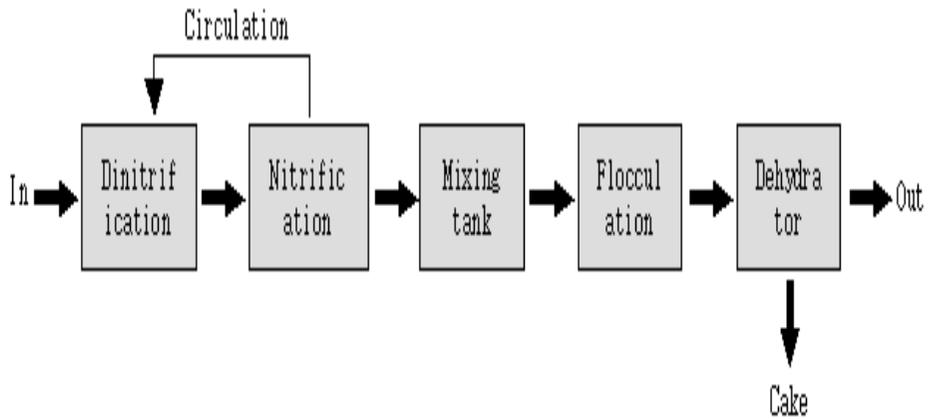


Fig. 3. Schematic diagram of liquid digestion process

2) Bio Ceramic 공법



제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

자연계에 널리 서식하는 미생물중에 유용 토양균을 선택, 고농도로 배양 시킴으로써 유기물을 제거하는 공법으로 유입분뇨를 응집침전조에서 1차 처리한 후 포기조(Bio Ceramic Tower)에서 유기물을 제거한 후 여과조에서 최종 처리한 후 처리수를 방류한다.

Bio Ceramic법의 주요 특징은 포기조에서 Media(접촉여재)를 설치, 이용한 방법으로 Ceramic을 Media로서 사용하는 공법이다.

타공법에 비해 1차 처리를 응집침전을 실시하여 유입수에 SS성분이 상당히 포함되어 있어 슬러지 발생량이 많아지고 약품 사용량이 과다하게 소요되는 단점이 있다.

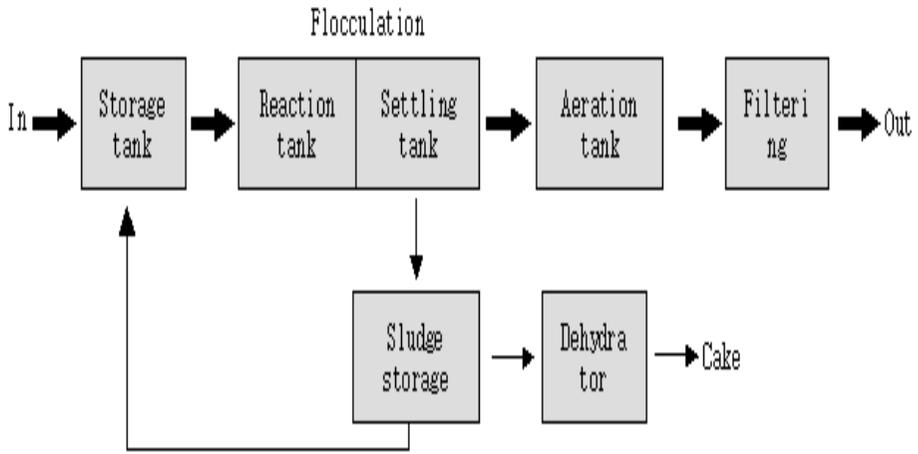


Fig. 4. Schematic diagram of Bio Ceramic process



3) 고효율산화공법

호기성 소화방식을 응용하여 분뇨의 단백질, 지방, 탄수화물등의 유기물질을 처리한 후 물리학적 처리에 의하여 SS성분을 제거하여 광합성 세균을 이용하여 유기물을 최종처리하는 공법으로 혐잡물을 제거하는 전처리공정, 분뇨를 1차적으로 광합성 세균과 공생균에 의해 유기물을 분해하며 일부 질소를 질산화 시킨 후 약품응집에 의해 부유물질을 제거하는 고부하 산화공정, 고부하 산화처리된 분뇨를 생물학적으로 유기물, 질소 및 인을 제거하는 고효율탈질공정, 약품응집 처리 및 모래 여과에 의해 잔류 유기물, 인 및 색도를 제거하는 고도처리공정으로 구성된다.

본 공법은 부대 단위 공정이 많이 설치되어 유지관리가 어렵고 유지관리비가 많이 소요되고 질소 및 인에 대한 제거율이 떨어지는 단점을 갖고 있다.

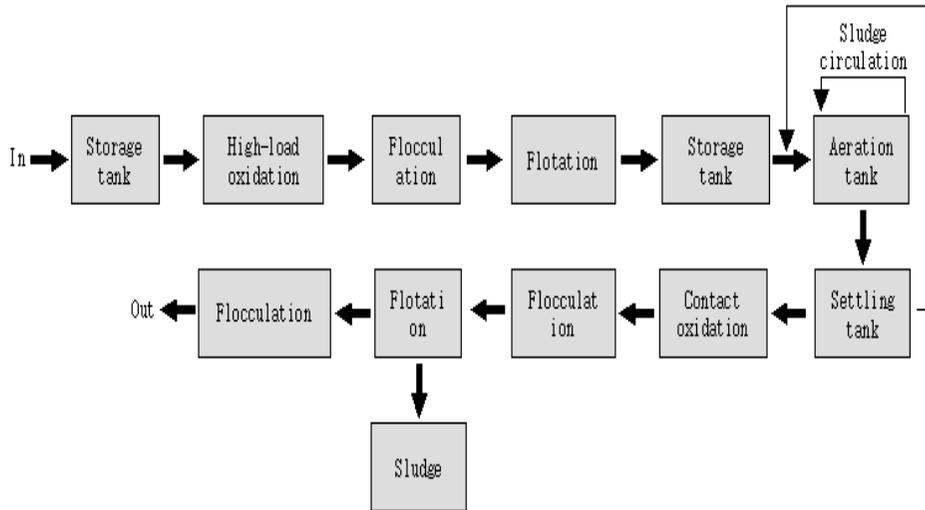


Fig. 5. Schematic diagram of high-efficiency oxidation process



4) 자연정화법

정화능력이 뛰어난 토양중에 서식하는 토양균과 토양균의 대사산물이 유기물과의 증·축합 반응 및 미생물 분해 반응에 의한 정화작용을 기술화한 것으로 처리계내에 토양균의 서식환경을 인위적으로 적절하게 조성하여 해당균의 활성도를 높여 그 정화 능력을 최대한으로 활용하는 공법이다.

본 공법은 토양균이 기배양된 슬러지를 침전지로부터 유량 조정조와 포기조로 반송시켜 주며, 또한 침전조의 슬러지중 일부를 배양조(Reactor내에 내장)에 투입하여 새로이 배양된 토양균을 혼합한 후 유량 조정조 및 포기조로 유입시킴으로써 선택 배양된 토양균으로 유기물질을 제거하는 공법이다.

자연정화법은 유기물질의 제거율이 높고 부하변동에 강하고 별도의 탈취설비가 필요없으며, 별도의 소독설비가 필요없다. 그러나 배양조의 충진물 교체 때문에 유지관리비가 증대되고 다량의 거품발생으로 소포설비가 필요하며 외국특

허기술이므로 유지관리에 대한 신속한 기술지원이 되지 않는다는 단점이 있다.

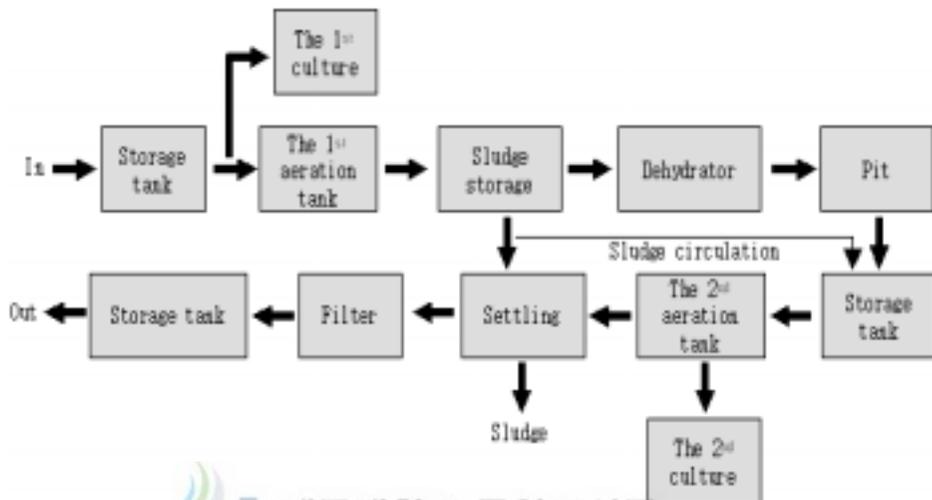


Fig. 6. Schematic diagram of natural purification process

III. 재료 및 방법

1. 분뇨처리시설 현황

1) 일반현황

본 현장실험의 대상이 된 A분뇨처리장은 인천시 관내에서 발생하는 분뇨와 정화조 오수를 처리하기 위하여 '86. 12에 설치하여 운영중에 있으며, 처리방식은 혐기성 가온 소화식으로 1차처리한 다음 활성슬러지법(20배희석)으로 2차 처리를 하는 시설로서 처리능력은 300m³/day(분뇨:정화조=6:4) 이다. 그러나 이 시설은 부영양화의 주원인인 질소의 제거에 어려움이 있고, 또한 1999. 1. 1.부터 방류수 수질기준 중 총질소, 총인 규제가 강화되고 COD가 규제항목에 추가됨으로서 방류수 수질기준 이내로 안정된 처리를 위하여 유기물질 뿐만아니라 영양염류의 처리효율이 높은 *Bacillus sp.*를 이용한 분뇨처리공법으로 변경 설치하여 운영하고 있다.

2) 처리공정

본 처리장은 *Bacillus sp.*를 이용하여 분뇨를 처리하고 있으며 처리공정은 <Fig. 7>과 같으며, <Fig. 8>은 처리 계통도를 나타내었다.

2. 분뇨처리시설의 단위시설 현황

1) 전 처리시설

전처리설비는 생분뇨 및 정화조 오니중에 포함되어 있는 토사류와 각종 협잡물을 제거하여 후처리설비의 부품마모 및 막힘방지, 원활한 설비운전등 처리효율을 극대화하기 위한 설비이다.

협잡물 종합처리기의 투입구로 투입된 생분뇨 및 정화조 오니는 종합처리기의 Rotary Screen에서 협잡물과 액체사이클론에서 일부 침사물(씨앗, 토사류등)이 제거된 후 제사기를 거쳐 처리가능한 소량의 분뇨만 원심분리기로 유입되어 처리되며, 처리하지 못한 분뇨는 우회배관을 통해 침사조로 유출된 후 이송펌프에 의해 다시 제사기로 압송하여 원심분리기에서 처리하고 있다.

Rotary Screen과 액체사이클론에 의해 제거된 협잡물과 침사물은 콘베어를 거쳐 소각기에 투입되어 소각처리되고 원심분리기에서 제거된 이물질은 콘베어를 통해 암롤박스에 저장되었다가 옥외 반출되어 비료등으로 재활용되고 있다. 본 처리장의 전처리시설은 <Table 1>와 같다.

Table 1. Primary treatment facilities on this night soil treatment system using *Bacillus sp.*

Division	unit processes	Scale	Quantity
primary treatment system	Racks and coarse screen	Size 50m ³ /hr - Rotary Screen : 50m ³ /hr - screen interval : 5mm	2
	Screw Decanter	15-20m ³ /hr	3
	Grit chambers	472 m ³	
storage tank	size	7.6mB×11.5mL×3.7mH (V=646m ³) Retention time : more than 2d	2
	spare storage tank	5.6mB×18.0mL×3.4mH(V=1,370m ³) Retention time : more than 2d	4

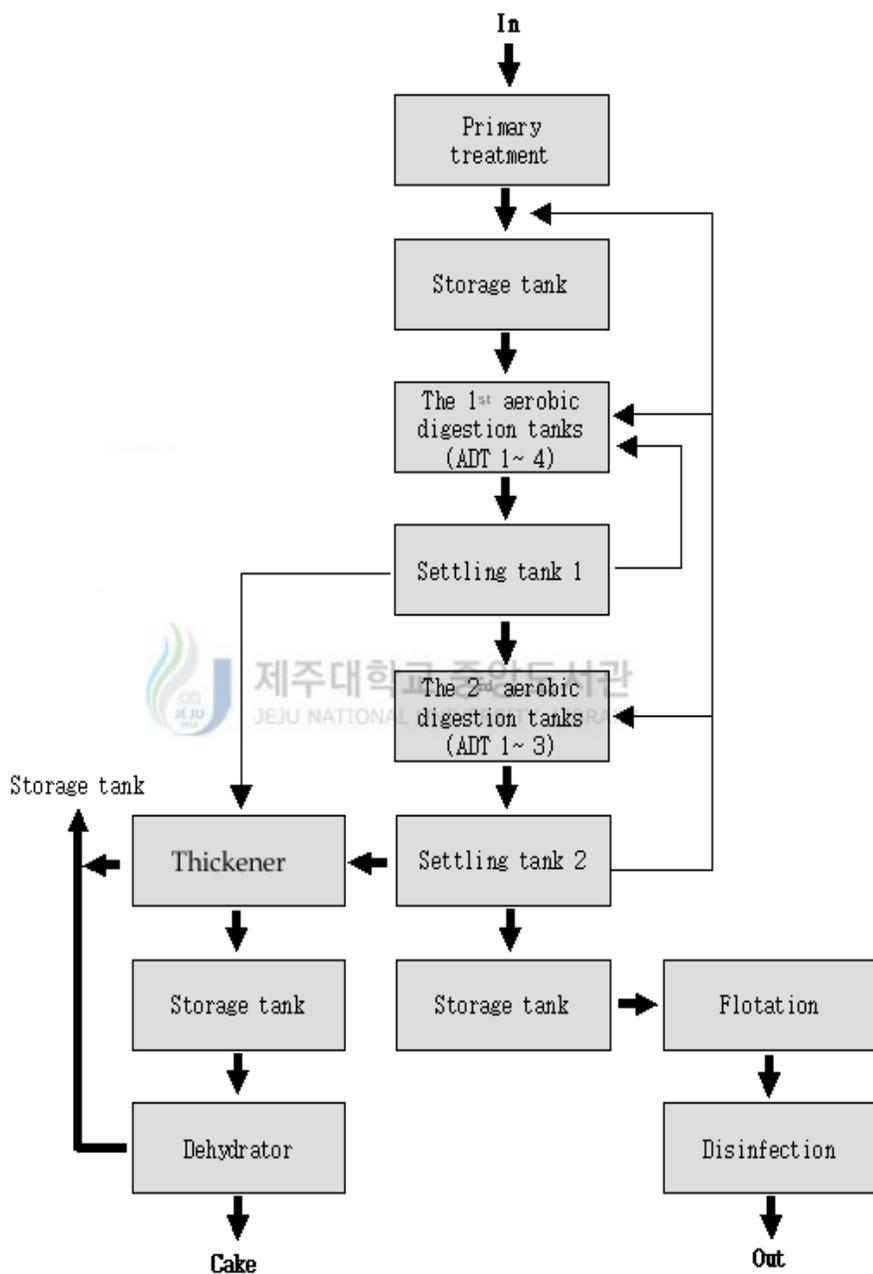


Fig. 7. Schematic diagram of night soil treatment System using *Bacillus sp.*

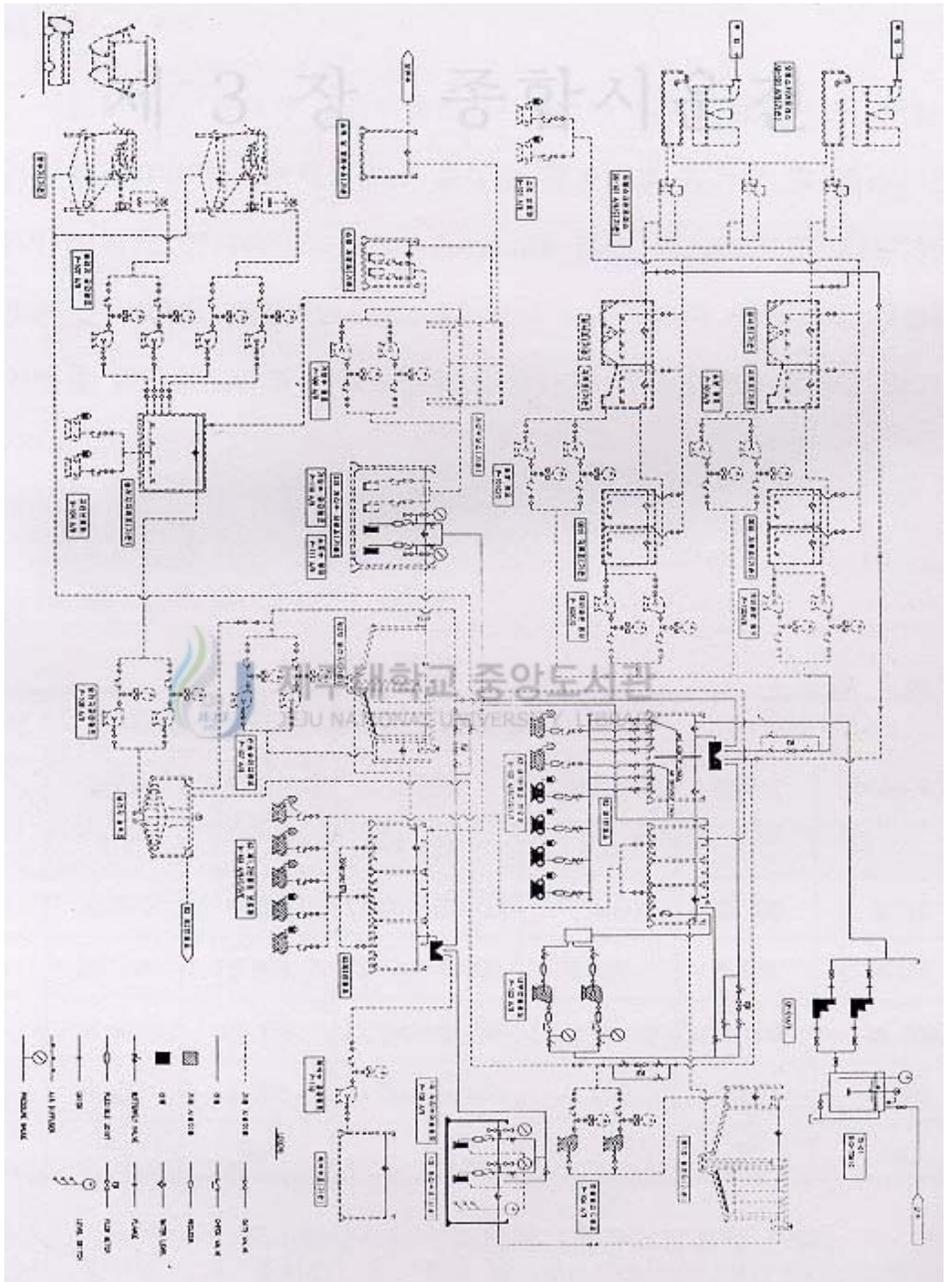


Fig. 8. Schematic flow of night soil treatment System using *Bacillus sp.*

2) 제1반응조

유입된 분뇨는 호기성 소화조내의 *Bacillus sp.* 균의 우점화 배양과 점감포기에 의한 미생물의 포자화등으로 주요오염물질 BOD, SS, T-N, SS를 약 90-95%이상 제거 하는 주공정으로 전체 4실로 구성되어 제1실은 DO 농도 0.5~1mg/ℓ 을 유지, 제 2~4실은 혐기성 상태가 되지 않도록 유지한다.

Table 2. The first Aerobic Digestion Tanks on this night soil treatment system using *Bacillus sp.*

Division	Size(m)	Aeration range	DO range	Volume
Aerobic digestion tank 1	13W×30L×4.4H×1EA	60~80%	0.5~1mg/ℓ	V = 1,705m ³
Aerobic digestion tank 2-4	5W×30L×4H×3EA	20~40%	0.1~0.5mg/ℓ	V = 1,800m ³

3) 1, 2차 침전지



반응조에서 생성된 혼합액을 고·액분리하기 위한 시설로 침전지 상부웨어를 통해 월류되는 처리수는 1, 2차 처리수조로 월류되고, 침전된 슬러지는 반응조로 반송되며 일부는 잉여슬러지로 농축조등 슬러지 처리공정으로 인발되어 농축탈수과정을 거친다.

Table 3. Settling Tank on this night soil treatment system using *Bacillus sp.*

Style	Size	Volume	Area
Circular gravity settling system	φ16.0m×2.3mH×2EA	924.9m ³ (462m ³ /1EA)	402m ² (201m ² /1EA)

4) 제2반응조

제1반응조에서 잔류한 오염물질을 제거하기 위하여 *Bacillus sp.*의 우점화 배양, 점감포기를 통하여 제1반응조와 동일한 방법으로 운영한다. 2반응조에는 1차 처리수와 2차 침전지 슬러지 반송, 농축조 상등액등이 유입된다. 그러나 본 처리장은 표준활성오니조방식으로 점감포기는 실시하지 아니하고 각실마다 DO 농도를 일정하게 유지시키고 있다.

차츰 점감포기를 실시할 예정이다.

Table 4. The second Aerobic digestion Tanks on this night soil treatment system using *Bacillus sp.*

Size(m)	Volume(m ³)	Style
5W×30L×4H×3EA	1800 (available capacity)	Blower mixing

5) 가압부상조

생물학적처리 후 처리수 중에 남아 있는 미세한 콜로이드성 SS성분, 유기물 및 영양염류를 제거하기 위한 처리 공정으로 2차 침전지 상등수를 가압부상조의 응집장치로 압송하여 Alum, NaOH, Polymer에 의해 용해성 또는 부유성 입자를 Floc화 시킨후 가압부상시켜 FLOC은 오토크리퍼를 통해 원심탈수하고 처리수는 소포수로 이용하거나 소독조를 거친후 방류한다. 용량은 90 m³/hr 이며 2기가 설치되어 있다.

6) 슬러지 농축조

잉여슬러지를 증력농축시켜 슬러지 발생량을 감소시켜 후속처리공정인 탈수시설의 용량 감소 및 고형물 회수 증대를 위한 시설이다

Table 5. Thickener on this night soil treatment system using *Bacillus sp.*

Size(m)	Volume(m ³)	Capacity (m ³ /d)	Thickener time(d)
Φ 6.5 × 3.5H	116	88	1.3

7) 탈수기

Belt Press와 Screw Decanter가 설치 운영되고 있으며, Belt Press 탈수기로 유입되는 농축슬러지는 고분자 응집제와 응집후 탈수처리 되며, 탈리액은 소포수 또는 제2반응조 1실로 유입되어 처리되고 있다. 가압부상조에서 발생하는 슬러지는 원심탈수기에 의하여 처리되고 있다.

Table 6. Dehydrator on this night soil treatment system using *Bacillus sp.*

Division	Belt Press	Screw Decanter
Size	1.5mW × 3 ~ 10m ³ /hr	7 ~ 11 m ³ /hr
Quantity	2	3 (1:reserved)

3. 분뇨의 특성

1) 수질특성

분뇨의 성상은 섭취하는 음식, 배출지역의 기후, 저장탱크의 크기 등에 따라 변화한다.

분뇨의 구성은 대략 양적으로 보아서 분:뇨의 비가 1:10이며 고형물의 비는 7:1이다. 분뇨는 즉시 배출되는 것이 아니고 수거식 변소나 정화조에 일정시간 저류하였다가 운반처리 되고 있다. 이러한 분뇨에는 다양한 협잡물 등이 혼합되

어 있으며 저장기간, 저장조의 구조 등에 따라서 수분의 잔류량도 다르다. 분뇨의 발생 지역별 성상을 비교하면 <Table 7>과 같다.

분뇨는 점성의 반고체로 비중은 1.02정도이고, 점도는 비점도로 1.2~2.2정도이다. 분뇨에 포함된 협잡물은 발생지역에 따라서 그 차가 크다. 협잡물의 함유량은 일본에서는 평균 1~2%로 보고 있으며, 우리나라에서는 평균 4~7%정도이다. 토사류는 일본의 경우 0.03 ~0.05%이나 우리나라는 0.3~0.5%로 약 10배정도 높으며 증발잔류물도 1.4배정도 높다. 또한 BOD 도 일본이 8~13.5g/ℓ 정도인데 반해 우리나라는 17~23g/ℓ로 높다. 이러한 차이는 기후의 차이와 식생활의 차이 등에 기인한 것으로 볼 수 있다(환경관리공단, 1998).

Table 7. Comparison of night soil characteristics

a) Characteristics of night soil

Item	Unit	I	II	III	IV	V	VI
pH	mg/ℓ	7.7	7.1	7.7	7.8	7.8	7.8
TCOD	mg/ℓ	21,383	48,175	51,000	19,000	9,000	19,000
SCOD	mg/ℓ		24,807	26,000	9,500		9,500
TBOD	mg/ℓ	31,375	18,900	20,000	22,500	13,500	22,500
SBOD	mg/ℓ		10,430	14,000	10,500		10,600
TS	mg/ℓ		44,130	41,000	46,400	30,000	46,400
VS	mg/ℓ		27,796	28,400	34,600	24,000	34,600
TSS	mg/ℓ	31,925	28,910	28,000	29,600	21,000	29,600
VSS	mg/ℓ		18,723	18,000			
Cr	mg/ℓ		3,497	4,480	5,200	5,500	5,200
T-P	mg/ℓ	556	325	381	640	1,000	640
T-N	mg/ℓ	6,180					
TKN	mg/ℓ		5,024	8,870	6,230	5,000	6,230
NH ₃ -N	mg/ℓ		2,730	8,380	3,160		3,700
E. coli	MPN/100mg/ℓ				1.4*10 ¹⁰	1.4*10 ¹⁰	1.4*10 ¹⁰

I : 연구대상처리시설의 투입분뇨 실측자료 1998. 6

II : 안양시 위생처리장 투입분뇨 실측자료 1994.5, 1994.7.

III : 용인군 분뇨처리장 기본 및 실시설계 보고서, 1993.9

IV : 분뇨유기비료화에 대한 기본 조사 보고서, 1987. 환경부

V : 일본자료

VI : 철원군 분뇨처리장 시운전 결과 보고서, 1993. 철원군

b) Characteristics of septage

Item	Unit	I	II	III	IV	V	VI
pH	mg/ℓ	7.4	6.6	6.2	6.8-8.5	8.1	7.8
TCOD	mg/ℓ	8,884	24,650	28,000	15,000	15,260	19,000
SCOD	mg/ℓ		8,627	2,880	11,900		9,500
TBOD	mg/ℓ	9,689	7,863	7,900	7,600	8,640	22,500
SBOD	mg/ℓ		3,538	1,830	4,600		10,600
TS	mg/ℓ		30,100	25,100	19,800	30,600	46,400
VS	mg/ℓ		23,651	18,290	11,800	22,160	34,600
TSS	mg/ℓ	26,658	19,100	18,900	7,700	24,200	29,600
VSS	mg/ℓ		13,900	12,100			
Cr	mg/ℓ		314	313		1,505	5,200
T-P	mg/ℓ	556	133	159		640	640
T-N	mg/ℓ	1,251					
TKN	mg/ℓ	254	1,560	2,020		1,556	6,230
NH ₃ -N	mg/ℓ		730	2,000		420	3,700
E. coli	MPN/100mg/ℓ					1.4*10 ¹⁰	1.4*10 ¹⁰

I : 연구대상처리시설의 투입분뇨 실측자료 1998. 6

II : 안양시 위생처리장 투입분뇨 실측자료 1994. 5, 1994. 7.

III : 용인군 분뇨처리장 기본 및 실시설계 보고서, 1993. 9

IV : 분뇨유기비료화에 대한 기본 조사 보고서, 1987. 환경부

V : 철원군 분뇨처리장 시운전 결과 보고서, 1993. 철원군

2) 반입량 현황

<Table 8>는 본처리장의 연구기간인 최근 4개월(6~9월)동안의 분뇨 및 정화조오니를 처리한 실적을 나타낸 것이다.

Table 8. Receiving rate of night soil and septage

(unit : ton)

Division	June			July			August			September		
	Sub-sum	Night soil	Septage	Sub-sum	Night soil	Septage	Sub-sum	Night soil	Septage	Sub-sum	Night soil	Septage
Sum	7002.24	3403.89	3598.35	6134.46	3084.26	3050.20	6344.73	3097.71	3247.02	6241.85	2995.11	3246.74
1	255.93	136.84	119.09	220.83	120.69	100.14	234.53	109.39	125.14	251.87	121.29	130.58
2	228.24	107.51	120.73	48.56		48.56	236.58	111.30	125.28	277.80	144.81	132.99
3	263.06	137.24	125.82	181.66	122.89	58.77	239.90	111.35	128.55	132.64	9.05	123.59
4	86.16	8.20	77.96	274.50	159.92	114.58	219.12	82.40	136.72	282.31	150.71	131.60
5	243.74	122.90	120.84	240.76	141.23	99.53	196.08	75.11	120.97	264.00	152.57	111.43
6	245.59	122.85	122.74	253.89	144.49	109.40	34.15	19.12	15.03	287.78	161.38	126.40
7	265.92	143.60	122.32	247.65	130.24	117.41	238.22	148.79	89.43	258.50	145.95	112.55
8	266.35	138.70	127.65	235.45	119.68	115.77	201.67	118.26	83.41	264.03	149.22	114.81
9	262.05	142.60	119.45	100.19		100.19	241.60	128.47	113.13	262.81	144.20	118.61
10	236.85	117.13	119.72	218.91	123.12	95.79	229.22	136.98	92.24	161.57	43.88	117.69
11	122.58	3.57	119.01	256.45	127.03	129.42	235.80	111.59	124.21	48.41	27.02	21.39
12	265.99	144.43	121.56	243.01	120.94	122.07	202.83	92.26	110.57			
13	272.06	143.65	128.41	235.09	117.68	117.41	48.47	14.31	34.16			
14	252.20	129.55	122.65	228.95	122.02	106.93	236.08	113.75	122.33	165.68	68.56	97.12
15	246.48	123.66	122.82	141.61	98.80	42.81	216.53	95.17	121.36	204.63	82.47	122.16
16	254.54	121.49	133.05	55.25	26.08	29.17	135.87	64.29	71.58	75.82	59.65	16.17
17	255.64	131.70	123.94	164.32	53.83	110.49	245.83	115.70	130.13	102.26		102.26
18	44.79		44.79	216.86	109.25	107.61	230.92	108.31	122.61	247.19	123.73	123.46
19	242.01	121.14	120.87	246.22	121.04	125.18	234.18	109.00	125.18	272.46	139.56	132.90
20	257.33	137.02	120.31	251.96	125.17	126.79	39.00	20.27	18.73	249.40	123.09	126.31
21	281.82	151.88	129.94	200.93	115.49	85.44	201.70	111.49	90.21	264.07	135.00	129.07
22	252.32	124.66	127.66	139.75	107.61	32.14	258.51	130.92	127.59	257.99	122.99	135.00
23	236.07	115.33	120.74	108.68		108.68	257.34	124.57	132.77	233.85	110.74	123.11
24	234.11	110.46	123.65	235.90	110.39	125.51	227.74	103.40	124.34	128.73	7.27	121.46
25	196.86	74.26	122.60	249.57	130.49	119.08	196.76	65.70	131.06	263.47	124.79	138.68
26	244.97	126.80	118.17	217.62	91.30	126.32	235.69	105.34	130.35	268.98	133.13	135.85
27	263.39	127.76	135.63	235.26	114.54	120.72	53.63		53.63	255.63	118.84	136.79
28	267.13	144.79	122.34	254.32	136.41	117.91	247.64	125.38	122.26	257.72	136.42	121.30
29	233.00	89.70	143.30	185.17	87.80	97.37	248.09	155.91	92.18	245.97	130.68	115.29
30	225.06	104.00	47.00	14.60		14.60	259.06	150.77	108.29	256.28	128.11	128.17
31				230.54	106.13	124.41	261.99	138.41	123.58			
Average	233.41	117.36	117.49	197.89	114.23	98.39	204.67	103.26	104.74	222.92	110.93	115.96
Max	281.82	151.88	143.30	274.50	159.92	129.42	261.99	155.91	136.72	287.78	161.38	138.68
Min	44.79	3.57	44.79	14.60	26.08	14.60	34.15	14.31	15.03	48.41	7.27	16.17

4. 공정별 운영 및 분석 방법

1) 분뇨처리시설의 운영실태 조사

(1) 연구기간 및 조사대상

최근 방류수 수질기준 강화에 따라 고 탈질·탈인공정으로 *Bacillus sp.*를 이용한 분뇨처리공법을 운영하면서 본 처리장에 맞는 운영 조건을 찾기 위하여 제1반응조를 중심으로 운영실태를 조사하였으며 연구기간을 2000. 6월에서 9월까지로 하여 자체 실험실에서 측정된 자료를 분석하였다.

(2) 시료 분석방법

공정별 분석시료는 현장에서 각 항목별로 채취하였으며, pH, DO, 온도등은 현장에서 직접 측정하였고, 나머지 항목은 분석항목에 따라 수질오염공정시험방법에 따라 측정하였다.

(3) 공정별 운영 및 시험분석 DATA

시험분석은 오수·분뇨및축산폐수관리에관한법률시행규칙 제9조의 규정에 의한 방류수 수질기준에 해당되는 항목을 중심으로 매일 1회 이상의 분석을 수행하였다. <Table 9>은 공정별 측정항목 및 시험분석항목을 나타내었다.

Table 9. Analytical items on this night soil treatment system using *Bacillus sp.*

Point	Analytical
Storage tank	SS, BOD, COD, T-N, T-P
Aerobic digestion tank	Temp, DO, pH, SV30, MLSS, BOD, COD, T-N, T-P
Settling tank	SS, BOD, COD, T-N, T-P
Treated water	SS, BOD, COD, T-N, T-P, E. coli

2) 공정별 운영 및 분석 방법

(1) 반송비 조절에 따른 MLSS 농도와 DO 농도의 변화 측정

*Bacillus sp.*에 의한 분뇨처리를 최적화 시키기 위하여 제1반응조의 적정 MLSS 농도를 유지시키기 위한 내부반송 및 슬러지 반송을 조절하였으며, 그에 따른 MLSS 농도와 DO 농도를 측정하였다.

(2) MLSS 농도 변화에 따른 오염물질 제거효율 분석

제1반응조 제1실에서 제4실까지의 MLSS 농도의 변화를 측정하였으며 그에 따른 오염물질 제거효율을 분석하였다.

(2) DO 농도 변화에 따른 오염물질 제거효율 분석

제1반응조 제1실에서 제4실까지의 DO 농도의 변화를 측정하였으며 그에 따른 오염물질 제거효율을 분석하였다.

(3) 오염물질 제거효율 분석

제1반응조의 오염물질 제거효율을 측정하였으며 *Bacillus sp.*를 이용한 분뇨처리가 최적상태 일 때의 1차침전지 상등수 및 최종방류수의 오염물질을 측정하여 오염물질 제거효율을 분석하였다.

(4) *Bacillus sp.*의 균체농도 변화

연구기간 동안의 제1반응조의 *Bacillus sp.*의 균체농도를 측정하였다.

(5) 화상시스템에 의한 미생물 관찰

연구기간 동안의 제1반응조 제1실에서 제4실까지 화상시스템을 이용하여 미생물을 관찰하였다.

IV. 결과 및 고찰

*Bacillus sp.*를 이용한 분뇨처리공법의 적정운동을 위한 기준 DATA들은 많으나 일반적으로 분뇨의 성장등에 따라 처리효율의 차이를 나타내어 본 연구에서는 제1반응조를 중심으로 MLSS 농도 및 DO 농도의 변화에 따른 오염물질 BOD, COD, T-N, SS의 제거효율의 변화를 중심으로 *Bacillus sp.*를 이용한 분뇨처리공법의 운영조건을 분석하였다.

1. 분뇨처리시설의 운영 결과

1) 반송비와 MLSS 농도의 변화

<Table 10>은 본 연구기간 동안 제1반응조의 운전결과이다.

Table 10. Operation results in the 1st Aerobic Digestion Tanks

DIVISION	Influent (m^3/d) Q	Sludge circulation			HRT (d)	SRT (d)	F/M Ratio	BOD Load ($kgBOD/m^2$)	Average of MLSS (mg/ℓ)
		ADT*.4 →ADT.1	ST*.1 →ADT.1	ST.2 →ADT.1					
Jun.	320	0.9-1.8 (1.4Q)*	0.7-1.2 (0.8Q)	0.4-0.9 (0.7Q)	11	12.2 -49.0 (36.8)	0.01 -0.02 (0.01)	0.15	12,400
Jul.	320	1.1-2.3 (1.4Q)	0.9-1.6 (1.3Q)	0	11	5.2 -48.3 (18.9)	0.05 -0.09 (0.07)	0.66	10,400
Aug.	320	0.8-2.8 (1.5Q)	0.6-0.9 (0.7Q)	0	11	3.85 -26.6 (11.2)	0.02 -0.10 (0.05)	0.19 -0.52 (0.36)	8,000
Sep.	320	0.8-1.1 (0.9Q)	0	0	11	12.8 -17.2 (14.7)	0.05 -0.06 (0.06)	0.19 -0.52 (0.36)	9,500

* ADT : Aerobic Digestion Tank

* ST : Settling Tank

* () : Average

반송은 제1반응조의 MLSS 농도와 화상시스템에 의해 관찰한 미생물의 상태에 따라 조절하였다. 그러나 연구기간 동안 내부반송 1.4Q, 1차침전지 반송 0.7Q 정도로 반송하고 2차침전지 반송은 거의 하지 않으며, 슬러지평균체류시간을 12 일정도로 유지 하였을 때 반응조내 적정 MLSS 농도인 약 8,000~10,000mg/ℓ 를 유지 할 수 있었다.

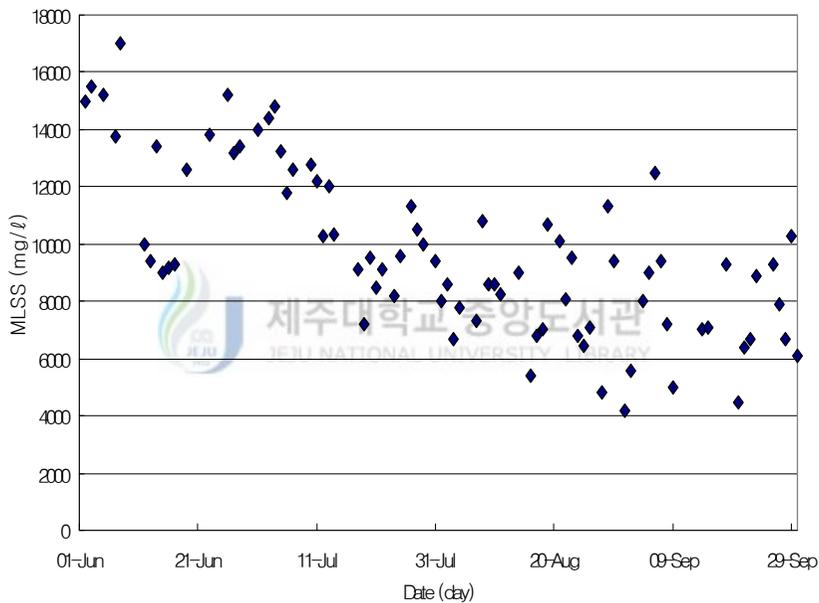


Fig. 9. Variation of MLSS in the 1st Aerobic Digestion Tanks

그리고 *Bacillus sp.*를 이용한 본 분뇨처리공법의 운영이 정상적으로 안정되지 않은 6월~7월초의 제1반응조 제1실의 평균 MLSS 농도는 약12,000mg/ℓ 이고, 정상 운영된 8월~9월의 제1반응조 제1실의 평균 MLSS 농도는 약8,000mg/ℓ 정도로 나타났다. 초기의 높은 MLSS 농도는 미생물에 유용한 FLOC이 아니라 원수중

의 부유물질이 누적된 것으로 판단되며, 반응조에 높은 MLSS 농도 상태가 유지되면 DO 농도 등의 조절이 어려워 *Bacillus sp.*의 우점화가 어렵고 포자상태로 존재하기 때문에 유기물질 및 영양염류의 제거효율이 낮게 나타났다.

2) 포기정도에 따른 DO 및 MLSS 농도의 변화

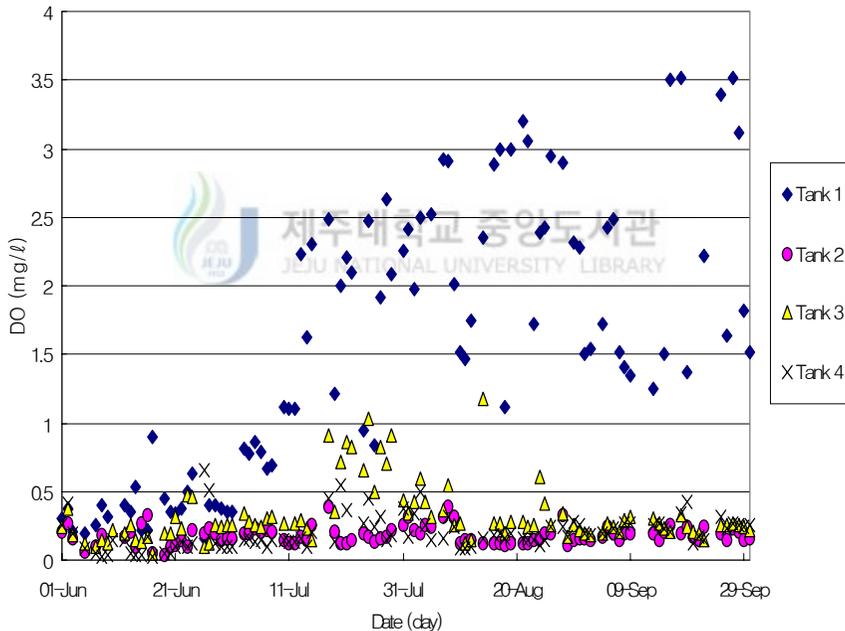


Fig. 10. Variation of DO in the 1st Aerobic Digestion Tanks

*Bacillus sp.*를 이용한 본 분뇨처리공법이 충분히 정상 운영되지 않은 6월에서 7월초까지는 제1반응조 제1실의 DO 농도를 높이는데 많은 어려움이 있었다.

DO 농도를 약 $1\text{mg}/\ell$ 정도로 높여야 하나 높은 MLSS 농도 때문인지 최대한 포기를 시켜도 거품만 발생하고 DO 농도는 $0.3\text{mg}/\ell$ 정도였으나 차츰 1반응조 1실의 MLSS 농도를 $10,000\text{mg}/\ell$ 정도로 낮추었을 때 $1\text{-}2\text{mg}/\ell$ 의 DO 농도를 유지 할 수 있었다.

<Fig. 11>는 제1반응조제1실의 MLSS 농도변화와 DO 농도의 변화를 비교하였다.

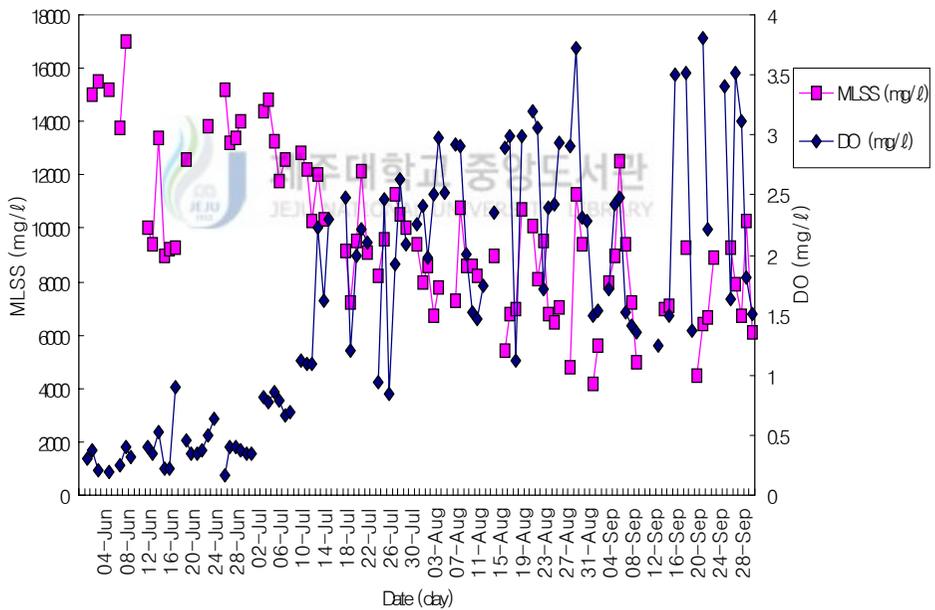


Fig. 11. Variation of MLSS:DO in the 1st Aerobic Digestion Tanks

2. 공정별 분석 결과

1) 오염물질 제거효율 특성

<Fig. 12>는 연구기간동안의 제1반응조의 오염물질 중 T-N의 제거효율을 <Fig. 13>은 BOD, COD, SS의 제거효율 변화를 나타내었다.

T-N, COD, SS는 분석기간 동안 처리효율의 변동이 크게 나타났지만, BOD인 경우는 처리효율의 변동이 크게 차이를 보이지 않았다.

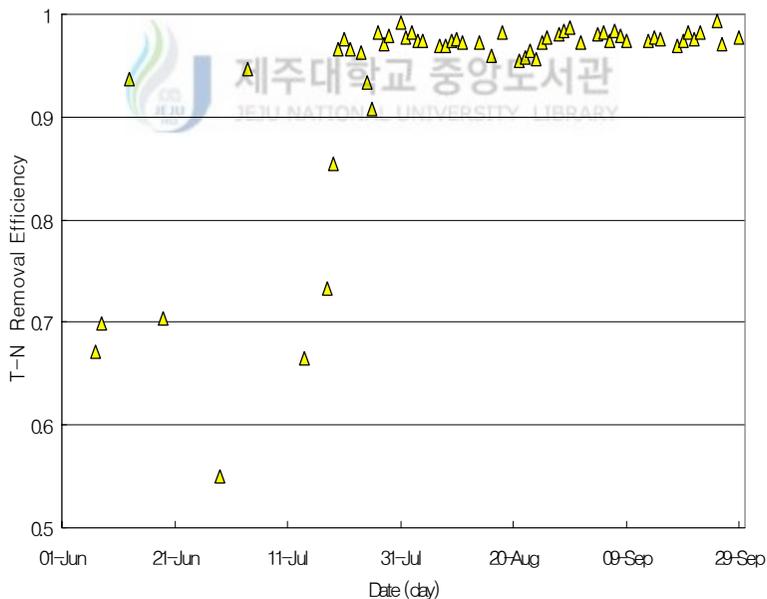


Fig. 12. Variation of T-N removal efficiency in the 1st Aerobic Digestion Tanks

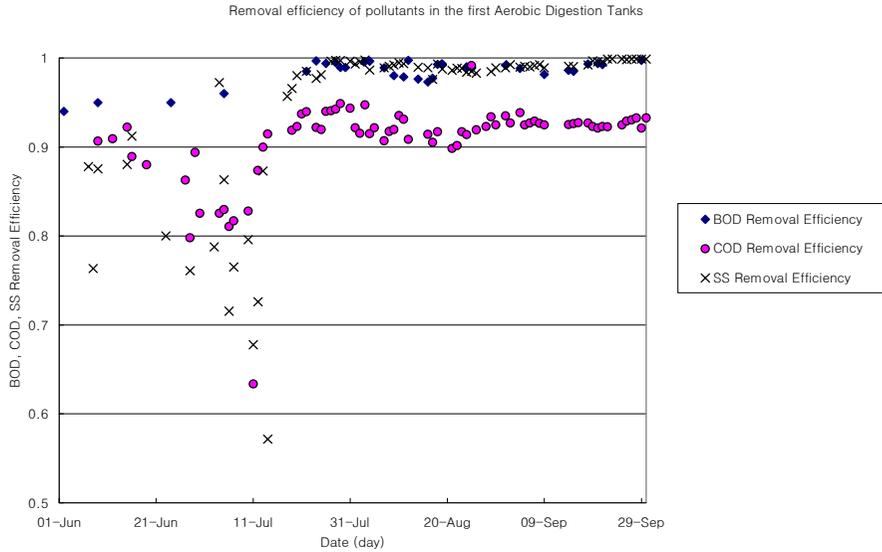


Fig. 13. Variation of BOD, COD, SS removal efficiency in the 1st Aerobic Digestion Tanks



2) MLSS 농도와 오염물질 제거효율

<Fig. 14>를 보면 T-N의 처리효율이 95%를 넘는 7월 20일경의 제1반응조 제1실의 MLSS 농도는 9,500mg/ℓ을 나타내고 있다. 그리고 <Fig. 15>에서 보듯이 그때의 BOD, COD, SS의 제거효율은 평균 98%, 92%, 98%정도를 나타냈다.

그리고 연구기간 동안 제1반응조 제1실의 MLSS 농도의 운전조건을 8,000~10,000mg/ℓ으로 유지시켰을 때 화상시스템으로 관찰한 결과 반응조내 *Bacillus sp.*의 활성이 좋은 상태를 나타내었고, 이때 오염물질 제거효율이 양호하였다.

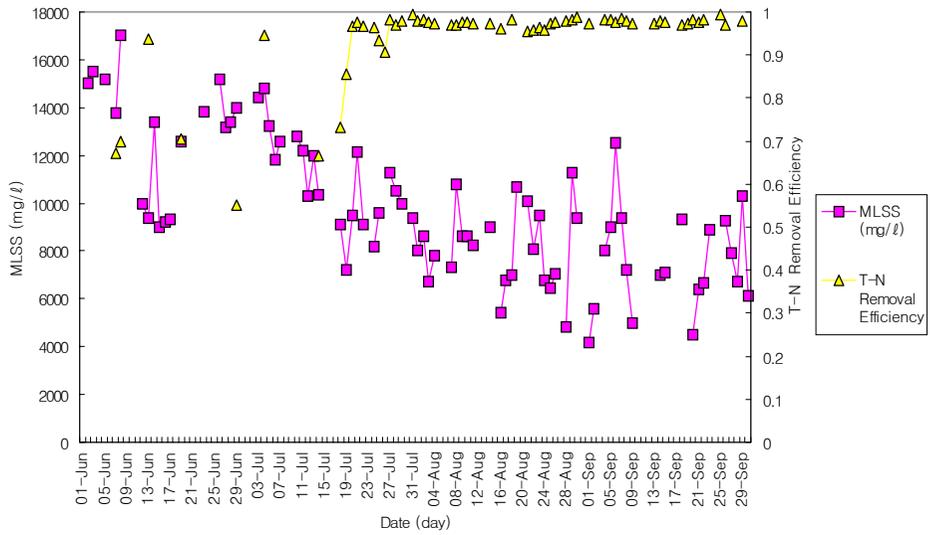


Fig. 14. Removal efficiency of T-N on MLSS variation in the 1st Aerobic Digestion Tanks

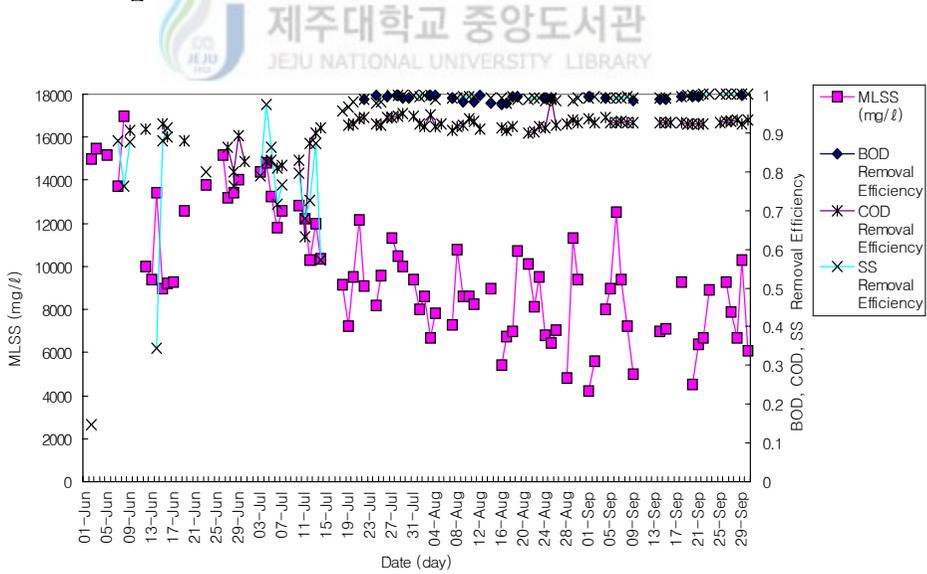


Fig. 15. Removal efficiency of BOD, COD, SS on MLSS variation in the 1st Aerobic Digestion Tanks

3) DO 농도와 오염물질 제거효율

<Fig. 16>과 <Fig. 17>에서 보면 제1반응조 제1실의 DO 농도가 2mg/ℓ 인 7월 20일 경부터 T-N, BOD, COD, SS의 제거효율이 평균 95%, 98%, 92%, 98% 정도를 나타내었다.

그리고 연구기간동안 DO 농도가 1~ 2mg/ℓ 를 유지하였을 때 반응조내 *Bacillus sp.*의 활성 및 오염물질 제거효율이 보다 양호하였다.

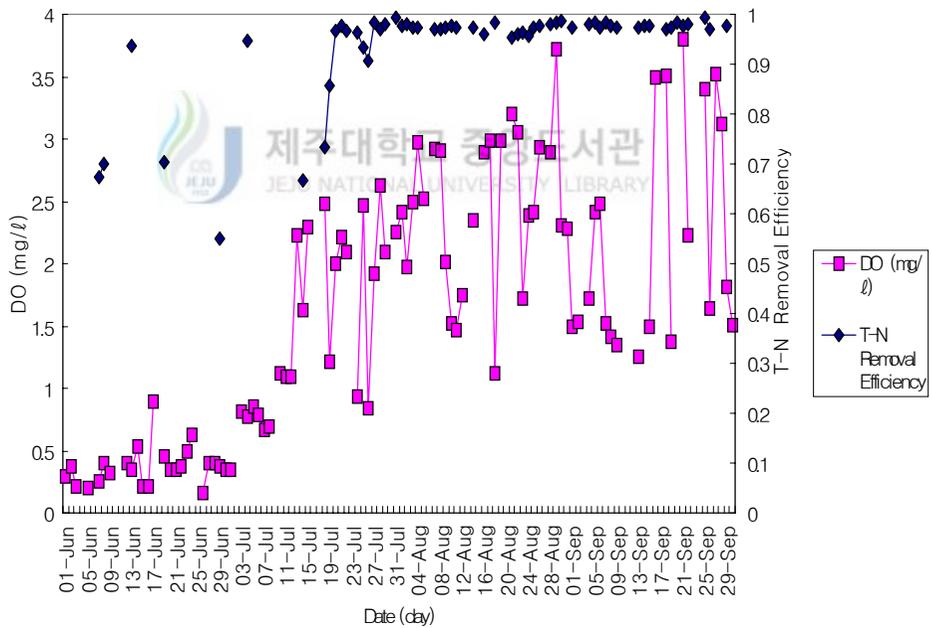


Fig. 16. Removal efficiency of T-N on DO variation in the 1st Aerobic Digestion Tanks

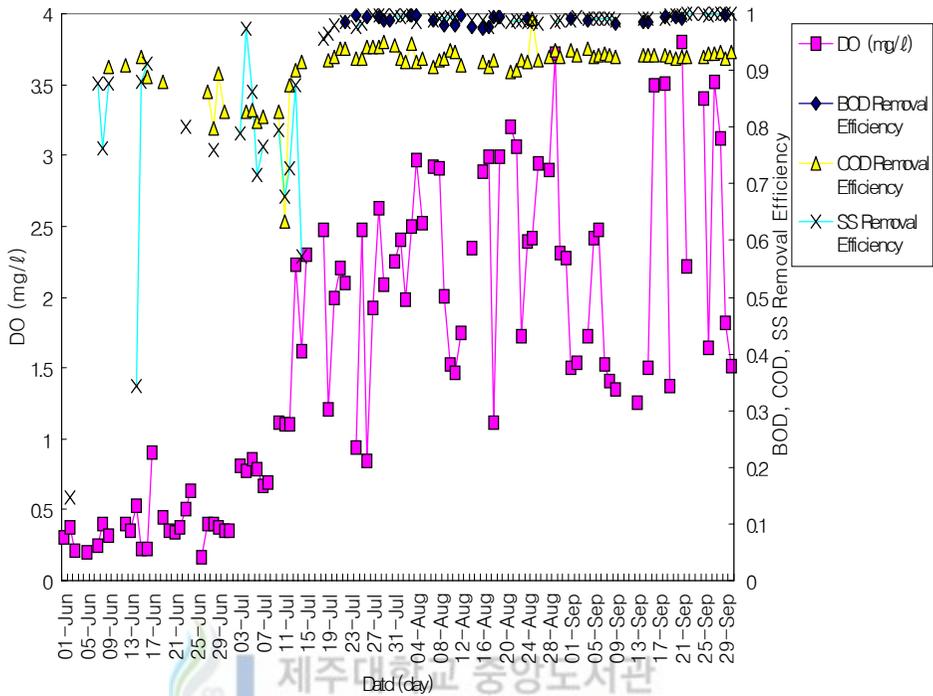


Fig. 17. Removal efficiency of BOD, COD, SS on DO variation in the 1st Aerobic Digestion Tanks

3. 오염물질 제거효율

<Table 11>은 *Bacillus sp.*를 이용한 분뇨처리공법이 정상운영될 때의 오염물질 제거효율을 나타내었다.

*Bacillus sp.*를 이용한 분뇨처리공법이 정상가동될 때 오염물질 제거효율은 BOD, COD, T-N, SS 각각 1차침전지에서 평균 98.8%, 94.1%, 97.9%, 99.9%, 최종

방류수에서 평균 99.9%, 98.6%, 98.5%, 99.9% 정도의 매우 양호한 처리결과를 얻을 수 있었다. COD의 경우 다른 오염물질보다는 처리효율이 낮았다.

Table 11. Removal efficiency of pollutants (unit:mg/ℓ)

Item	Influent	Settling tank 1	Removal Efficiency (%)	Treated water	Removal Efficiency (%)
BOD	4,810.67	56.31	98.8	5.32	99.9
COD	2,847.59	169.32	94.1	39.97	98.6
T-N	1,719.1	35.55	97.9	25.72	98.5
SS	19,500	23.75	99.9	20	99.9



4. 반응조내 *Bacillus sp.*의 균체농도

본 연구기간 동안 제1반응조 제1실의 *Bacillus sp.*의 균체농도를 조사한 결과는 <Table 12>와 같다.

보통 반응조에서의 바실러스 균체농도를 $10^8 \sim 10^{11}$ 개/ml 정도를 유지하여야 한다(村上弘毅 등, 1995)고 하나, 본처리장은 $10^5 \sim 10^6$ 개/ml 정도를 유지하였다.

6-7월에는 포자상태, 8-9월에는 filament 상으로 성장한 상태의 *Bacillus sp.*이 주로 관찰 되었다.

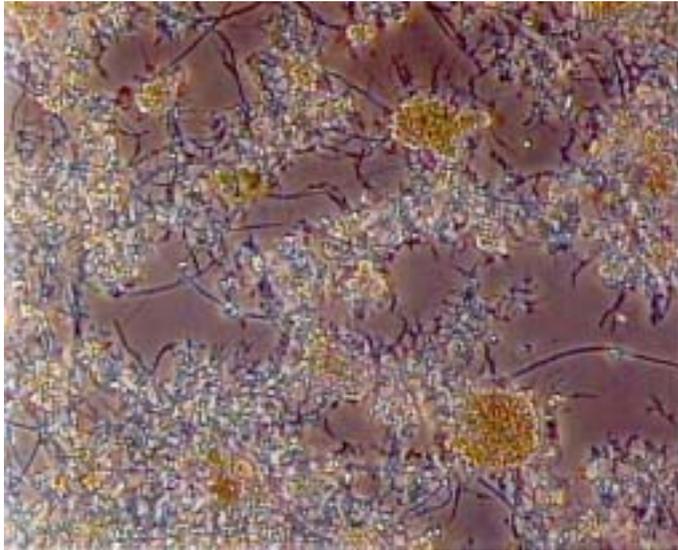
Table 12. Concentration of *Bacillus sp.* on the 1st Aerobic Digestion Tank 1

(unit: Num/ml)

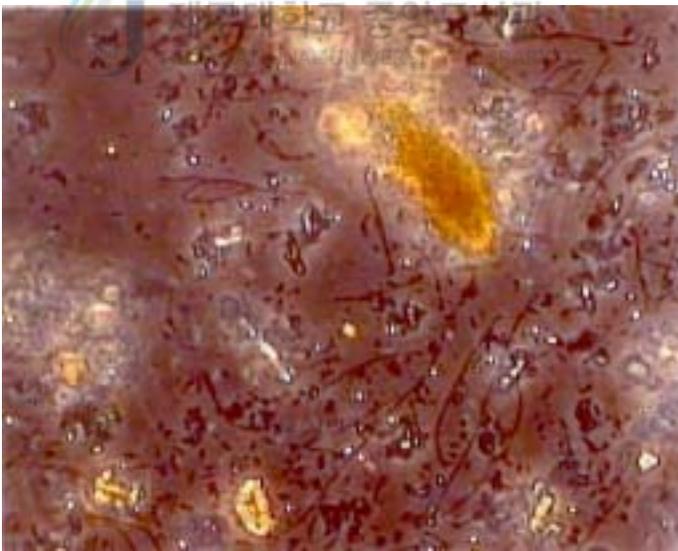
Date	6/8	6/14	6/21	7/12	8/19	8/22	8/30	9/5	9/18
Colony number	5.95 ×10 ⁵	2.75 ×10 ⁵	4.10 ×10 ⁵	5.10 ×10 ⁵	2.40 ×10 ⁵	2.50 ×10 ⁵	1.80 ×10 ⁶	3.10 ×10 ⁵	1.95 ×10 ⁵

5. *Bacillus sp.*의 화상관찰

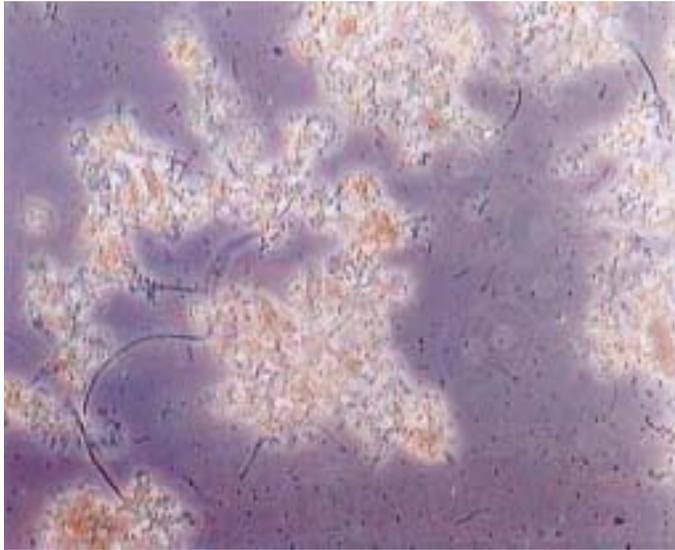
<Fig. 18>은 화상시스템에 의해 관찰한 미생물의 형태이다. <Fig. 18>의 a)와 b)는오염물질 처리상태가 나쁘고 반응조 상태가 좋지 않을 때의 미생물 모양으로 *Bacillus sp.*은 보이지 않고 방선균류와 사상균 등이 대부분 관찰되었다. 이때 반응조 내에는 거품이 발생하고 침전지에서 스킴이 부상하는등 이상현상이 발생하였다. 방선균류는 SRT가 길고 DO 농도가 높을 때 나타나며, 반응조에 많은 거품과 함께 갈색의 스킴을 발생시킨다. <Fig. 19>에서 보는 바와 같이 방선균류의 증식은 유기물질이 높은 영역에서 유리한 반면, 사상성 세균의 경우에는 유기물질이 낮은 영역일수록 상대적으로 유리함을 알수 있다(조병락등, 1997). <Fig.18>의 c) d)는 오염물질 처리상태가 좋을 때의 반응조 내의 미생물 모양으로 filament상으로 성장한 *Bacillus sp.*이 floc사이에 많이 관찰되었고 제1반응조 제4실로 갈수록 포자상태의 *bacillus sp.*가 많이 관찰되었다.



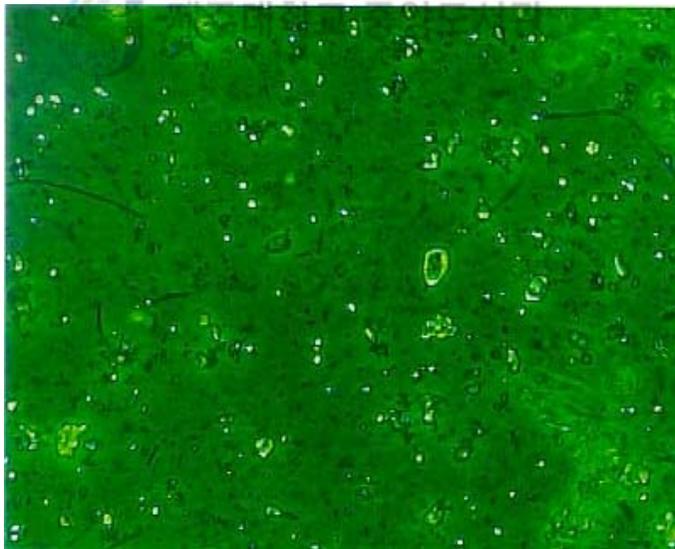
a) Nocardioform bacteria



b) Filamentous organism



c) *Bacillus sp.*



d) Endospore of *Bacillus sp.*

Fig. 18. *Bacillus sp.* in Aerobic digestion tank

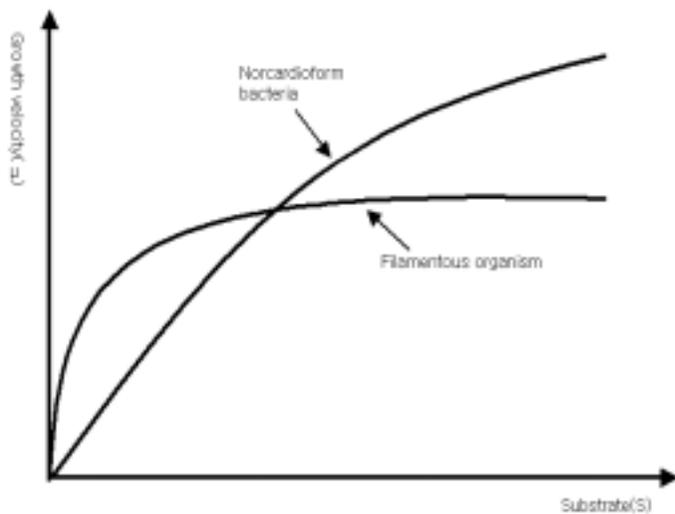


Fig. 19. Growth characteristics of *Nocardioform bacteria* and *Filamentous organism*

V. 결론

표준활성오니법으로 처리하던 분뇨처리시설에 질소등 영양염류의 제거를 위해 *Bacillus sp.*를 이용한 분뇨처리공법을 설치 운영한 바, 질소 등 오염물질의 효율적 처리를 위하여 본 분뇨처리장에 맞는 최적 운전조건을 찾기 위한 목적으로 제1반응조를 중심으로, 2000년 6월에서 9월 동안 측정된 data를 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. *Bacillus sp.*를 이용한 분뇨처리공법의 반응조를 운영함에 있어 MLSS 농도와 DO 농도의 유지는 매우 중요하였으며 제1반응조의 MLSS 농도는 8,000mg/ℓ ~ 10,000mg/ℓ, DO 농도는 1~2mg/ℓ를 유지하는 것이 오염물질 제거효율이 높았으며, 오염물질 제거효율은 BOD, COD, T-N, SS 각각 1차침전지에서 평균 98.8%, 94.1%, 97.9%, 99.9% 정도이며, 최종방류수에서는 평균 99.9%, 98.6%, 98.5%, 99.9% 정도의 매우 양호한 처리결과를 얻을 수 있었다. 그리고 *Bacillus sp.*도 영양세포로 성장(Filament상)된 것이 많이 발견되었다.

2. 슬러지반송은 제1반응조의 MLSS 농도와 미생물의 상태에 따라 조절하나, 내부반송은 0.8-2.8Q(1.4Q), 1침반송은 0.6-0.9Q(0.7Q)로, 그리고 슬러지평균체류시간은 12일 정도로 유지할 때 처리효율이 양호하였다.

3. 제1반응조 제1실내의 *Bacillus sp.*의 균체농도는 $10^5 \sim 10^6$ 개/ml 정도였다.

4. BOD인 경우 *Bacillus sp.*의 활성과는 큰 관계없이 연구기간 내내 양호한 처리결과를 나타내었고, COD의 경우 다른 오염물질보다는 처리효율이 낮았으나, 대체로 좋은 처리효율을 나타냈다.

VI. 참고문헌

- 고광택등, 1995, 폐수처리공학, 동화기술, pp.680~681
- 대경기계기술(주), 1999.6, 하·폐수처리에서 *Bacillus sp.*을 이용한 질소·인 제거기술
- Barth,E.F., 1982, Workshop on biological phosphorus removal in municipal wastewater treatment, U.S.EPA, Summary report
- 村上弘毅등, 1995, 好氣性し尿處理槽における*Bacillus spp.* の優點化とそれらの生化學的性質, 일본수환경학회지 제18권 제2호
- 村上弘毅등, 1996, 好氣性無臭し尿處理槽における優點化する*Bacillus sp.* の種の同定, 일본수처리생물학회지 제33권 제2호, pp.105-110
- 青木 滿, H9. 11, 好氣性菌ベチルス屬を利用した新しい活性汚泥處理法, 伊那中央衛生センター
- 신상의, 박주석,1992, 수처리공학, 동화기술, pp.346
- U.S EPA, 1975, Process Design Manual for Nitrogen Control, EPA Technology Transfer
- 인천광역시, 1998.6, 울도 분뇨처리시설 기술진단보고서
- 인천광역시,1999.12, 고도탈질시설 설치공사 종합시운전 보고서

정지현, 1999.12, *Bacillus sp.*를 이용한 전분폐수의 처리방안에 관한 연구, 연세대학교 산업대학원, pp.7-14

조병락외, 1997.8, 활성슬러지 포기탱크의 미생물, 동화기술, pp.301-308

조영일외, 1992, 폐수처리공학, 동화기술, pp.492-505

(주)영동, 1998.9, 철원군 분뇨처리시설 보완공사 시운전 및 유지관리 지침서

Painter, H.A., 1970, A review of literature on inorganic nitrogen metabolism, *Wat. Res.*, 4, pp.393~405.

허순무, 1996.12, 경기도 A시 분뇨처리시설 운영의 개선 방안에 관한 연구, 연세대학교 산업대학원

환경관리공단, 1998, 환경기초시설표준화지침(분뇨및축산폐수 처리시설 운영 관리분야)

환경부, 오수·분뇨및축산폐수의처리에관한법률

환경부, 1999.8, 오수·분뇨및축산폐수의처리에관한법률 업무편람

환경부, 환경관리공단, 2000.4, 오수·분뇨및축산폐수 관련업무 종사자 연찬회 교재

환경부, 1999, 오수·분뇨및축산폐수처리통계 1999

환경보전협회, 1999, 하·폐수처리에 관한 국제환경기술세미나, pp.105-113

감사의 글

본 논문의 완성을 위하여 아낌없이 지도해주신 이용두 교수님, 세심한 검토로 부족한 논문을 완성시켜 주신 허목 교수님, 조은일 교수님, 그리고 학부때부터 자상한 가르침을 주신 오윤근 교수님, 허철구 교수님, 이기호 교수님께 감사드립니다.

그리고 이 논문을 작성하는데 도움을 주신 조훈구 소장님의 실험실 직원들에게도 감사드립니다.



그리고 항상 못한 자식을 위해 기도하시고 사랑을 주신 부모님과 가족들에게도 감사드리며, 이 논문의 시작부터 마무리까지 밤잠도 못자고 같이 애써주고 같이 고민해준 사랑하는 명철씨에게, 그리고 힘든 환경속에서도 건강하게 잘 견뎌준 태어날 우리아기에게 고마움을 전합니다.