

이귀향

(주) 새진환경 이사

서울산업대학교 석사 논문

## 2단 SBR 공정을 이용한 돈사폐수 처리에 관한 연구<4>

### 목 차

#### 1. 서론

#### 2. 이론적고찰

##### 1. 축산폐수, 폐기물의 현황 및 특성

- 1) 축산현황
- 2) 축산분뇨 발생량
- 3) 오염물질 발생량과 특성
- 4) 축산시설 및 관계법규
- 5) 축산폐수 처리방법

##### 2. 생물학적 질소 및 인의 제거공정

- 1) 생물학적 질소전환 및 제거
- 2) 생물학적 인제거 공정
- 3) 생물학적 질소 인 동시제거 공정

#### 3. 실험장치 및 방법

#### 4. 실험결과 및 고찰

1. 돈사폐수의 특성 및 주요 성분분석 결과
2. 2단 SBR 공정에서 유입부하량에 따른 유기물 제거 효과
3. 2단 SBR 공정에서 유입부하량에 따른 질소 제거 효과
4. 24hr/1cycle에서의 pH 및 ORP 변화

#### 5. 결론

#### 1) 생물학적 질소전환 및 제거

##### ④ 탈질화에 미치는 영향인자

###### a. 기질

종속영양균에 의한 탈질화 반응은 유기물 기질을 이용할 수 있을 때 일어난다. 이 그룹중에서 전형적인 것으로는 *Pseudomonas denitrificans*와 *Achromobacter*가 있다.

유리탄소 화합물이 없으면 독립영양성인 탈질화균인 *Thiobacillus denitrificans*와 통성 독립영양성인 *Micrococcus denitrificans*가 지배하게 된다.

###### b. 산소

탈질화 반응에서의 산소요구는 매우 복잡하다. 계는 완전히 혐기적인 상태가 아니어야 하고 우선 환원형의 질소 화합물은 질산이온으로 산화되어야 한다. 이 산화과정은 매우 호기적인 조건을 필요로 한다. 그리고 질산이온은 탈질화반응이 일어날 수 있도록 혐기성 영역으로 운반되어야 한다. 자연수중에서는 질산화 반응은 표층수중에서 일어나고 탈질화 반응은 물속의 보통 퇴적물과 물의 경계면에서 즉 산소가 결핍된 영역으로 질산이온이 이동된 다음에 일어나게 된다.

###### c. 수온

탈질화 반응을 위한 최적 수온은 25℃이지만 2~60℃의 넓은 수온 범위내에서 탈질산화 반응이 일어날 수 있

다. 그러므로 겨울철에도 무산소성인(anoxic) 물에서는 비록 속도가 느리기는 하지만 휘발에 의한 질소의 유실이 계속 일어난다.

#### d. pH

탈질화 반응은 산성인 물에서는 억제된다. pH가 5.0 미만이면 탈질화 반응은 일어나지 않는다. pH 6.0 아래에서는 질소기체의 생성반응이 금지되고  $N_2O$ 만이 생성된다.

## 2) 생물학적 인제거 공정

일반 활성슬러지 공정에서 인은 미생물의 증식, 침전, 흡착등의 기작에 의해 주로 제거된다. 살수여상법에서 인의 제거효율은 약 30%이고, 회전원판법은 10~30%, 일반 활성슬러지공법은 30~50% 정도이다. 슬러지의 인 함유율은 1~2%이며, 그 이상일 경우 미생물의 성장에 필요한 인의 대사량 이상이 제거된 것으로 판정할 수 있다.

인은 미생물의 번식에 탄소나 질소에 비하여 소량이 필요하므로 세포합성에 의하여 제거하는 방법으로는 만족할 만한 결과를 얻을 수 없고 가장 경제적인 인제거 방법으로는 혐기성 조건과 호기성 조건으로 바꾸어 주면, 혐기성 조건으로는 인이 오니로부터 방출되고 호기성조건에서는 오니가 인을 섭취하게 된다. 이때 호기성조건에서 섭취하게 되어 인의 양은 운전조건에 따라 생화학 작용에 필요한 양보다도 훨씬 과잉섭취하여 전체적으로 슬러지를 배출해 줌으로써 인을 제거할 수 있다.

인제거 미생물은 혐기성 조건에서 세포벽에 축적되어 있던 poly-P를 분해할 때 발생하는 energy를 이용하여 초산같은 유기산을 섭취한 후 PHB(poly - B - Hydro Butyrate)로 전환하여 저장하고 이때에 유리된 정인산을 용액내에 방출시키는데, 이 현상을 인의 방출(Phosphorus Release)이라고 한다. 혐기성 조건 다음에 호기성으로 바꾸어 주면 인제거 미생물은 저장되었던 PHB를 분해하여 ATP를 합성하고 이를 이용하여 용액내로부터 정인산을 섭취하여 poly - P로 합성하여 세포내에 저장시킨다. 이 현상을 인의 과잉섭취(Phosphorus Luxury Uptake)라고 한다.

Fuhs and chen은 인제거 미생물이 슬러지내에 있어야만 인을 제거할 수 있다고 말했다. 그는 혐기 - 호기 활성슬러지법에 의한 인제거 실험에서 인이 과잉으로 제거되지 않았는데, 그 이유는 슬러지내에 주로 Zooglear과 같은 미생물과 여러종의 Pseudomonas와 Flavobacter spp. 등 인제거에 관여하지 않는 미생물이 분포하고 있었기 때문이라고 했다.

Deinema 등은 1885년에 유기산이나 알코올, 락산등을 탄소원으로 사용하면, 활성슬러지로 부터 Acinetobacter를 분리해 낼 수 있다고 했다. Glorentz와 Hartmann은 1894년 인을 제거하는 폐수처리장에서 Acinetobacter calcoacalicus를 관찰했는데, 이 종이 인 과잉 섭취에 주로 관여하고, Pseudomonascepacia도 인제거에 관여하는 미생물이라고 한다. Lotter와 Murphy는 1985년 pseudomonas와 Aeromonas종은 무기인을 축적할 수 있을 뿐 아니라 탈질에도 관여 한다고 한다.

Acinetobacter 종은 인 제거 미생물로 Gram(-)균이며, 완전 호기성 미생물로 호기조건에서 무기인을 축적시킬 수 있고, 혐기성조건에서 각종 유기산을 섭취하여 PHB를 합성 할 수 있으며, 인제거 폐수 처리장이나 토양에 주로 분포하고 있다.

또한 Acinetobacter는 얇은 층의 세포의 물질로 덮여 있으며, 서로 뭉쳐서 덩어리를 형성시키므로 인제거 효율을 향상시킨다고 한다. Fuhs와 Chen 등에 의하면 혐기성조건은 이 종들이 섭취할 수 있는 유기산을 형성시키는 여건을 조성해 줌으로써 미생물을 선택적으로 배양할 수 있다고 한다.

Irvine 등은 SBR을 이용하여 인을 제거하는 실험결과 초기에는 인제거 효율이 나빴으나, 5~6주에 걸쳐서 서서히 향상되었으며, 6주 후에는 95%이상의 높은 처리효율을 얻을 수 있었는데, 이는 혐기와 호기조건을 번갈아 가며 운전해 줌으로써 미생물을 선택적으로 배양할 수 있기 때문이라고 했다.

인 제거 미생물은 완전 호기성 미생물이고 성장율이 낮기 때문에 호기조건으로만 운전될 경우는 다른 호기성 미

생물과 경쟁적으로 증식하여 성장할 수 없고, 혐기 - 호기로 운전되는 공정의 혐기조건에서 다량의 유기물질을 섭취함으로써 다음 호기조건에서 다른 미생물과 유리하게 경쟁할 수 있다고 한다.

### 3) 생물학적 질소 및 인의 동시 제거공정

생물학적 처리법에 의해 질소와 인을 동시에 제거하고자 하는 시도는 1970년대 후반에 남아프리카에 있어서 일련의 실제장치가 가동됨에 따라 세계의 주목을 받은 이후 많은 방법이 개발되어 왔는데, 인에 관해서는 제거기구가 규명되어 있지 않기 때문에 경험적으로 운전조작 인자를 최적화하고 있는것이 현실적이고, 제거가 불충분한 경우의 대책이나 처리의 한계치등 명확하게 되어 있지않은 부분도 많다.

생물학적 질소, 인 동시제거법으로서의 Bardenpho Process와 A<sub>2</sub>O process, SBR, UCT 등이 있다.

#### (1) Bardenpho Process

Bardenpho Process는 1970년대 초 남아공화국 Bardenpho에 의해 개발되어 생물학적으로 질소와 인을 동시에 제거할 수 있게 설계된 공법으로 그림2-1와 같다.

그림에서 보는 바와 같이 1차 침전지를 거친 유입수가 반송슬러지와 함께 혼합되어 반응조 ①로 유입된다. 이 반송슬러지는 유기물, 질산화 박테리아, 탈질 박테리아 등을 포함하며 특히 인을 많이 포함하고 있다.

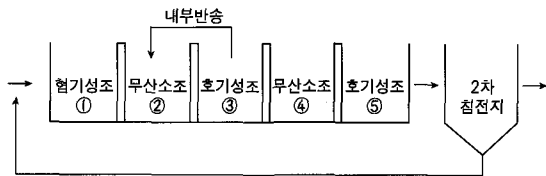


그림. 2-1 Bardenpho process

이 반응조에서의 주요사항은 조내의 미생물이 인을 최대한 방출하여 후속하는 호기성 상태(반응조③, ⑤)에서

하수내의 인(원폐수 인, 방출된 인)을 최대한 흡수하도록 하는 것이다. 결국 인을 흡수한 미생물이 2차 침전지에서 고액분리되어 슬러지로서 제거된다. 반응조 ②에는 많은 양의 유기물이 존재하고 free oxygen(용존산소)이 없으므로 단지 가용한 산소는 반응조③에서 내부 반송된 NO<sub>3</sub>와 같은 bound oxygen이다. 결과적으로 탈질 bacteria는 NO<sub>3</sub>로 부터 산소를 탈기(strippig)시켜 N<sub>2</sub>로 날려보낸다. 동시에 탈질 bacteria는 먹이로서 유기물을 사용하므로 어느 정도의 BOD가 감소되어 후속하는 포기조의 부하를 경감시킨다.

반응조③은 활성슬러지의 포기조 역할로서 질산화 bacteria는 NH<sub>3</sub>-N을 NO<sub>3</sub>-N으로 쉽게 전환시킨다. 또한 bacteria는 인이 straced된 상태이므로 하수내의 용존 P를 쉽게 섭취하여 2차 침전지의 폐슬러지로서 제거된다. 반응조 ④는 탈질산화를 위한 polishing 단계로서 유출수의 수질기준이 높은 경우는 필요치 않다.

반응조 ④에서는 먹이가 거의 소멸되고 산소원이 없기 때문에 일부 bacteria는 사멸되어 남아 있는 bacteria의 먹이로 사용되며 NO<sub>3</sub>-N으로 부터 산소를 탈기(stripping)시켜 N<sub>2</sub>로 날려보낸다. 이때의 반응속도는 먹이부족으로 인해 반응조 ②에서의 NO<sub>3</sub> → NO<sub>2</sub> 반응에 비해 느리다. bacteria에 축적되어 있는 인(P)은 환경이 aerobic또는 anoxic인 경우는 계속 세포내에 머물게 된다. 따라서 NO<sub>3</sub>와 같은 bound oxygen이 반응조 ④에 존재하는 한 anoxic상태에서 인(P)을 방출하지 않는다. 반응조 ⑤에서는 30~60분간 포기된다. 이 단계는 하수의 DO 농도를 높여 하수가 하천으로 유입되었을 때 산소결합을 막기 위해서다. 또한 포기없이 침전지로 유입시켰을 경우 N<sub>2</sub> 기포가 부유물질과 함께 위로 떠오르게 되어 침전에 방해를 주어 유출수의 수질저하를 가져오게 되며 침전지에서 혐기성이 되면 인(P)이 다시 방출될 우려가 있기 때문이다. 이 공법에서 인의 배출농도는 유입수의 BOD, P, N의 상대적인 양에 따라서 1mg/L이하로 될 수 있으나, BOD가 낮고 고농도의 인을 함유한 유입수는 alum이나 철염등의 약품처리에 의해 1mg/L까지 낮추는 경우도 있다.

따라서 Bardenpho Process는 이와 같은 금속염을 첨가시키지 않고도 방출되는 인의 농도를 2mg TP/L 또는 1mg SP/L이하로 달성할 수 있는가 하는 것이 문제시 된다.

### (2) A<sub>2</sub>/O Process

A<sub>2</sub>/O Process는 미국의 Air Product & Chemical사에서 개발되어 실용화한 A/O(anaerobic-oxic process)의 변법으로서, 혐기성조와 호기성조 사이에 anoxic조를 두어서 질소와 인을 동시에 처리하는 방법이다. Oxic조에서 질산화된 하수를 anoxic조로 반송하여 탈질소화를 도모하고 혐기성조에서 인의 방출에 질산성질소가 미치는 영향을 저감시킨다. 이 방법은 실제 처리장에서 탈질소화가 부분적으로 일어나고 있는 것으로 보고되고 있으므로, 탈질은 물론 질산화와 탈진산을 위한 운전조건의 제시 및 개량이 필요하다.

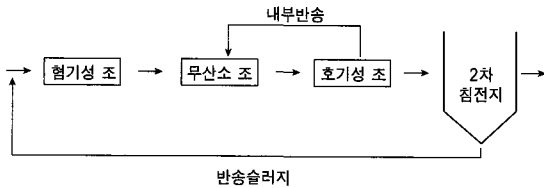


그림 2-2 A<sub>2</sub>/O Process

### (3) UCT Process

UCT(University of Cape-Town) Process는 A<sub>2</sub>/O나 Bardenpho Process와는 달리 반송슬러지를 호기성지역 대신 anoxic지역으로 재순환시키며, 내부순환이 anoxic 단계에서 혐기성단계로 된다.

활성슬러지를 anoxic 단계로 재순환 시킴으로써 혐기성 상태에서 질산염이 유입되어 제거되고, 또한 슬러지내 인의 용출이 이루어진다.

내부순환이 혐기성 지역에서 유기물제거를 증가시킨다. Anoxic 단계의 MLSS는 상당량의 용해성 BOD를 함유하지만 질산염은 거의 없다.

이 방법은 A<sub>2</sub>/O Process에 비해 질소, 인제거율이 우수

하나 슬러지의 침전성이나 농축이 A<sub>2</sub>/O에 비해 떨어지는 것으로 알려져 있다.

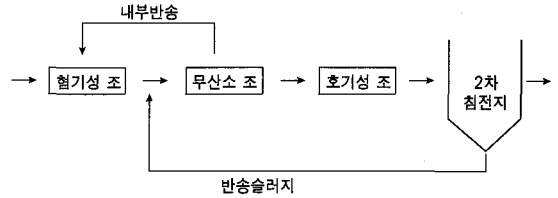


그림 2-3 UCT Process

### (4) 연속회분식 반응조(SBR : Sequencing Batch Reactor)

생물학적 폐수처리방법인 연속회분식 공법은 금세기초 영국에서 Fill - and - Draw 형식으로 출발하였으나 여러 가지 문제점으로 인해 기술발전이 이루어 지지 못하고 1960년대까지 산발적으로 연구되어 오다 1970년대에 이르러 밸브와 배관 장치 등 주변 기기 및 장치의 개발로 공정의 자동화가 가능해지자 SBR 공법이 다시 주목 받게 되었으며, 미국 EPA의 I/A(Innovative/Alternative)프로그램에서도 새로운 방법으로 인정받게 되었다.

SBR은 반회분식(Semi-Batch), Intermittent 반응조, Fill - and - Draw 반응조 등으로 불리우기도 하며, 호주나 일본에서는 약간 변형된 형태인 IC(Intermittent Cycle)나 ICEAS(Intermittent Cycle Extended Aeration System)가 개발되어 사용되고 있다.

생물학적 폐수처리에 이용되는 반응조는 이론적으로 연속흐름식 처리방법(CSTR : Continuous stirred Tank Reactor)과 압출류식 반응조(PFR : Plug Flow Reactor)로 나눌 수 있는데, SBR 반응조는 이두반응조와 비교할 때 어느쪽에도 속하지 아니하며, 상이한 수리학적 특성을 가지고 있다. Irvine은 SBR의 수리학적 특성을 CSTR과 PFR을 직렬로 연결한 것과 같으며, 두반응조의 동역학적 장점만을 취했기 때문에 가장효율적인 반응조라 언급했다.

SBR은 설계와 운영을 어떻게 하느냐에 따라 2차처리와 고도처리를 동시에 수행할 수 있는 경제적인 공법이며, 운전상의 유연성이 크기 때문에 응용범위가 광범위한 특성

을 가지고 있다.

질소나 인은 기존의 고도처리 시설에서 주로 물리화학적 방법으로 처리해왔으나 최근에는 2차처리시설을 이용한 생물학적 탈질, 탈인 공정이 연구되고 있는데, 주 메카니즘은 자연적으로 존재해하는 많은 미생물들의 생리작용을 합리적으로 조화시켜, 질소는 질산화와 탈질화를 거쳐 질소가스로 대기중에 방출하고 인은 혐기, 호기 방법에 의한 과잉 인제거 공정에 의해 제거한다.

SBR은 다음 다섯가지 공정이 한 Cycle을 이루고 총 소요시간은 각공정에 소요되는 시간의 합이며 각공정의 목적과 기능은 다음과 같다.

① 유입공정(Fill) : 이 공정은 반응조내로 폐수가 유입하는 공정으로 유입이 시작되기 전에 침전 슬러지가 남아 있는데, 이것은 연속식반응조(CSTR, PFR)에서 반송 슬러지의 역할을 한다. 이로 인하여 SBR은 유입기간 중 유입수량과 수질의 변동에 있어서도 처리수의 수질에는 큰 영향을 미치지 않는다.

② 반응공정(React) : 최대수량을 폭기조내에 유지한 상태에서 운전목적에 따라 폭기와 교반을 행한다. 목적으로 하는 반응(BOD제거, 탈질, 탈인 등)을 달성하여 공정이며 CSTR의 폭기조에 대응한다. 탈질과 탈인을 동시에 행할때는 먼저 혐기 조건을 두어 인을 방출시키고 유기질소는 암모니아 형태로 분해시키며, 그 다음 호기 조건에서 인의 과잉 섭취와 질산화를 완료하며, 마지막으로 무산소 조건을 두어 질산성 아질산성 질소로 탈질시킨다.

③ 침전공정(Settle) : CSTR의 최종 침전지에 해당한다. 폭기와 교반을 중시하고 활성슬러지의 Floc을 중력으로 침전시켜 활성슬러지와 상등수를 분리한다.

④ 방류공정(Draw) : 활성슬러지의 침전후 상등수를 방류하므로 한 Cycle중의 최저 수위로 돌아가게 된다. 반응조의 바닥에 남아 있는 농축슬러지의 일부는 반출되며 대부분은 반응조에 남아있어 다음 Cycle에 반송슬러지의 역할로 이용된다.

⑤ 휴지기(Idle) : 다음 Cycle이 시작되기 전까지 대기하

는 기간이며 필요에 따라 교반도 하고 폭기도 하여준다.

SBR법의 유입기는 유량조절조 역할을 하여 유입수의 BOD부하의 변동이 심하거나 충격부하에 잘 견디며, 실제로 부하의 변동이 큰 경우나 큰하수를 처리하는 활성슬러지를 변환시켜 큰효과를 본사례가 많으며, 일반적으로 SBR법의 장점은 다음과 같다.

- 처리수의 배출이 간헐적이어서 처리수의 수질이 목표수질에 도달하지 못한 경우 오랫동안 가두어서 처리수의 수질향상을 도모할 수 있다.
- 슬러지 반송을 위한 펌프가 필요없어 배관과 동력एम 따르는 비용이 절감된다.
- 유입수가 채워지는 동안 산소농도가 zero에 가까워져 산소의 전달율이 높아질 수 있다.
- SBR 운전방식이 회분식이므로 사상성 미생물의 성장을 억제하여 슬러지 팽화현상을 초래하지 않는다.
- 혐기호기 상태가 교차됨에 따라 질산화, 탈질반응이 진행되며 생물학적 인방출과 섭취가 가능하여 질소, 인의 효율적인 제거로 인해 고도처리의 효과를 얻을 수 있다.