

## 맥주양조의 공정측정과 분석기술 (3)

### The Process Measurements and Analysis Technology



장 일 선

(주)노바·바이오그린텍 대표이사

#### <지난호에 이어>

사용할 수 있는 농도의 결핍(침전 때문에발생되는)을 방지하기 위해 세균증식(NUTRnecessary)에필요한 최소농도의 2배로 유입수의 영양소농도를 유지하는 일이 흔하다.  $\text{NH}_4^+$ -N농도 600 mg/l 까지 활성이 높아 폐수의 암모니아 농도를 최적농도까지 공급할 필요가 없다. 폐수의 암모니아 농도를 제거하기 위한 많은 노력이 지금부터 반드시 필요하다. 그러나 대부분의 원폐수의 암모니아 농도가 높아 상황을 변화시킨다. 약 1000 mg/l  $\text{NH}_4^+$ -N에서 억제작용이 크게 발생되며 농도가 더 높은 경우는 실제로 강력한 억제작용이 발생된다.

지금까지 혐기슬러지의 최소 암모니아 농도와 암모니아 농도의 결핍에 의한 영향이 분명히 밝혀지지 않아 더 연구가 필요하다.

충분한 N, P, 그밖의 성장인자인 미량원소까지 풍부한 폐수가 많으나 일부 산업폐수에서는 영양이 부족한

경우도 있다. 예를 들면 액당(liquid sugar)을 제조하는 공장에서 N과 P가 부족하다. 영양소를 첨가하지 않으면 처리가 안되고 슬러지의 침전 특성도 나빠진다.

인산염의 필요량은 균체의 인산염 농도와 연관되어 있다. 따라서 최적 인산염 농도는 biomass생장과 슬러지 체류시간에 따른다. 반대로 인산염 결핍은 biomass생장을 감소시킨다. 인산염 농도가 한정되어 있는 폐수에서는 인산염 투입으로 슬러지 성장을 어느 정도 조절할 수 있다. 인산염의 한계가 최대 메탄생성균의 활성을 감소시킨다. 슬러지 부하가 이 활성보다 낮으면 반응조의 효율은 감소하지 않는다. 활성의 감소는 인산염 투입으로 완벽하게 역전시킬 수 있다.

메탄 생산에 필요한 미량원소는 철, 니켈, 고발트 몰리부덴이다. 니켈은 메탄생성균에만 필요하다. 왜냐하면 이것들은 여러 가지 특유한 니켈함유 공동인자(cofactor)를 갖고 있다. 즉 이 공동인자는 다른 미

생물에는 없다. 코발트는 메탄생산 효소계의 공동인자이다. cobalt는 methanol 분해에서 중요한 역할을 한다. 왜냐하면 미량원소가 없으면 methanol의 직접분해(methane 생산)와 간접분해(아세트산경유)가 억제된다. cobalt를 투입하면 이 억제현상이 부분적으로 제거된다. 철(Fe)은 혐기성균에 다량 들어있다. 철은 여러 가지(dehydrogenase)의 공동인자이다.

또한  $Fe^{3+}$ 는 입상 슬러지 응집(flocculation)에서 중요한 역할을 한다. molybdenum은 메탄생성균의 포름산 전환능력에 필요한 요소이다. 실제로 혐기처리에서 폐수에 미량원소 "cocktail"을 투입한다. 미량원소가 풍부한 폐수에서 분해가 잘 안될 때 미량원소 cocktail은 대단히 유익하다.

폐수에 미량원소가 다량 들어 있어도 효과가 없는 것은 bio-availability가 나쁘기 때문이다. 중금속의 생물가용성(bio-availability)은 중분화의 영향을 받는다. 중분화(speciation)는 서로 다 른물리화학적 분율(fraction)에 걸친 금속의 열역학적 분포이다. 중분화(speciation)와 교환반응의 동역학이 미생물과 금속의 상호작용에 대단히 중요하다. 황화물(sulphide salt)의 낮은 해리속도가 제한인자이다. 금속킬레이트(metal chelates)는 일반적으로 생물가용성을 감소시킨다.

### 3-1-6-4. 산화환원전위(Oxidation Reduction Potential/ ORP 또는 Redox)

산화환원전위(ORP)는 생물반응조의 혼합액(mixed liquor : 반송오니 혼합액)의 전체적인 산화환원상태를 반영한다. ORP는 system 전자수용 또는 전자공여 능력의 척도이다. system 성분에 대한 열역학적 관계, 전위 E는 "Nernst equation"으로 표시한다. 산화된 화합물에 대한 환원된 화합물의 농도가 높으면 ORP는 낮다.

혐기성 처리장치와 같은 동력학적 장치에서 다양한 redox반응이 다소간 진행되며 짝을 이룬다. 즉 평형상태가 아니다.

메탄생성(methanogenesis)은 ORP값이 -260 mV보다 작아도 잘 진행된다. ORP값이 0 mV 부근에서도 메탄생성은 시작될 수 있으며 이것은 sludge속의 ORP가 아

주 낮은 미생물의 생태적 지위(micro-niche)의 결과인 것 같다. 이와 같은 결과는 VFA-기질용액에 일정량의 혐기 sludge를 넣어 수행한 회분실험에서 얻은 것이다. 이와 같은 장치에서 혼합액의 ORP를 일정하게(constant)하는 문제는 다음과 관련이 있다.

- 투입한 sludge의 양, 즉 소화하수 sludge로 13.4 g sludge-VSS/l에서는 15시간, 2.2 g sludge-VSS/l에서는 40시간이 소요되었다.
- sludge의 종류, sludge의 비활성도(specific activity)가 높으면 ORP정립이 신속히 진행 된다.
- 기질용액(substrate sol.)의 성분 즉  $SO_4^{2-}$ ,  $O_2$  폐수에 용존산소가 있으면 혼합액의 ORP가 높다. ORP가 낮아지기 전에 용존산소를 먼저 제거해야된다. 일반적으로 황환원균과 통성호기성 미생물(facultative/micro-aerophilic organism)이 있으면 산소제거는 신속히 진행된다. sulphide( $S^{2-}$ )와 같은 높게 환원된 화합물이 존재하면 장치에서 P정립이 적절히 된다.

### 3-1-6-5. 독성(Toxicity)

대사공정에 교란을 일으키거나 bacteria를 죽이는 억제물질을 독성이라고 한다. 실제 혐기공정에서 독성물질이 포함되어 있으면 메탄생성이 감소한다.

독성은 다음과 같이 3가지로 분류할 수 있다.

- ① Metabolic Toxicity(대사독성) : 대사공정의 경쟁적 억제, 독성물질을 제거하면 독성은 완벽히 역전된다.
- ② Physiological Toxicity(생리적) : 세포내 성분에 손상을 주어 발생하는 독성(세포막, 효소). 독성물질을 제거하면 원상복귀는 되지만 지연이 된다.
- ③ Bactericidal Toxicity(살균) : 세균을 죽이는 독성. 독성물질을 제거하면 근개체균이 다시 증식될 때까지 메탄생성은 지연된다.

혐기소화(분해)공정은 동역학적 공정이다. 많은 경우에 이들이 혐기반응조에 유입되면 변성, 분해또는 제거된다. 변성은 독성을 줄인다. 이것을 detoxification(해독)이라고 한다.

3가지 해독기전(detoxification mechanism)은 다음과 같다.

① 생분해/생물학적 변환

(Biodegradation/Biotransformation)

phenol, formaldehyde, chloroform과 같은 독성물질은 혐기조건에서 완벽히 무기질이 되어 CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> 또는 Cl<sup>-</sup>(chloroform의 경우)이 된다.

② 휘발(Volatilization)

biogas가 생산되어 휘발성 독성화합물이 biogas에 의해 탈거된다(stripped). 휘발에 의해 반응조용액에서 독성물질의 농도가 감소되고 독성의 충격(영향)도 감소된다. 쉽게 휘발되는 독성물질은 H<sub>2</sub>S, chloroform, toluene이다.

③ 침전(Precipitation)

여러 가지 유기 및 무기화합물이 혐기반응조 내의 Ca, Fe, S, CO<sub>3</sub>에 의해 침전된다 혐기조 내에유입되어 즉시 침전되는 독성물질은 중금속, cyanide, 긴사슬지방산이다.

독성물질의 종류는 한이 없으나 중요한 것 4가지는 다음과 같다.

① 일반적/ 공통적억제물질(common inhibitors)

여러 폐수에서 공통적으로 독성문제를 일으키는 물질로 휘발성 지방산, 수소, 황화물(sul-phide), NH<sub>3</sub>이다. 양조폐수에서는 지방산, H<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub> 농도가 독성을 일으킬 수준으로 방류되지 않는다. COD/SO<sub>4</sub> = 10이면 독성문제를 일으킨다.

② 염류(Salts)

고농도 폐수(해산물가공)에서는 염분농도가 대단히 높다. 가장 보편적인 독성염류는 Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> 이고 10 g/l 농도 이상에서 문제를 일으킨다. 맥주양조에서는 이온교환수지 재생폐수도 10 g/l 이하이다.

③ 천연물질(Natural compounds)

폐수처리 공정과 동물유래의 유기물(농업)에서 공통적인/일반적인 천연 억제물질은 천연 biomass, fat, phoendics, 이들의 추출물이다. 그러나 맥주양조 폐수에서는 별문제가 없다.

④ 산업미량오염물질(Industrial micropollutants)

비생체화합물(Xenobiotic)은 자연에서 발생하지 않는 화합물이거나 산업화합물로 천연농도(자연계의농도)보다 높은 것을 의미한다. 이 화합물은 독성이 대단히 강하여 저농도에서도 강력한 억제효과가 있다. 유기물로는 용매, 계면활성제, 농약(살충제/pesticide), 염료, 유기 할로젠 화합물, 일부 합성 윤활유도 독성이 강하다.

3-2. 폐수 성분의 호기적 분해(Aerobic degradation of wastewater components)

3-2-1. 활성오니/ 활성슬러지 공정(The activated sludge process)

다른 생물산화 공정과 마찬가지로 활성오니 공정도 궁극적으로 미생물의 대사활성도(metabolic activities)에 의존하며 미생물이 유기 폐기물을 호흡기질(respiratory substrate)과 세포합성물질로 이용하게 되어 폐수에서 유기물을 제거한다. 이 설비의 유일한 특징은 활성오니 flocc(응집체)의 특성에 기인한다. 폭기조의 교반된 부유 활성슬러지가 매질(matrix)의 역할을 하여 여기에 폐수의 오염물(폐기물)이 이동된다. 분리조의 휴지상태(quiescence state)에서 정화된 방류수와 활성슬러지가 증력에 의해 분리되고 분리된 sludge의 일부는 반송되어 폭기조 유입구에서 유입수와 혼합된다. 폭기조에 체류하는 동안에 신속한 폐기물 제거에 필요한 미생물 개체군(population)이 증식되고 유지된다.

그림1-3.은 활성오니공정의 폭기조에서 발생하는 분해 및 생성반응이다.

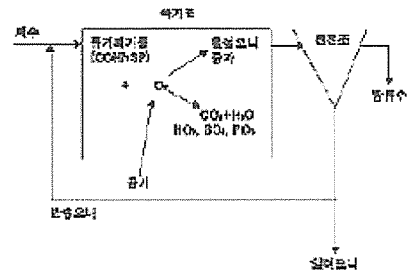


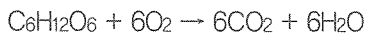
그림1-3. 활성오니폐수처리장치에서유기물제거공정의생합성과생분해

### 3-2-2. 유기물 산화(Organic matter oxidation)

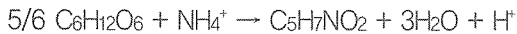
폭기조의 정화공정에서 분명히 알기는 어려워도 여러 단계가 계속된다. 폐수 속의 폐기물은 용액, 콜로이드상(colloidal phase), 또는 미세입자상 물질이다. 이들 서로 다른 상(phase)의 오염물은 서로 다르게 제거되고 산화된다. 활성오니와 폐수(사용한물)가 혼합되어 sludge floc(오니응집체)이 신속하게 폐기물의 일부 성분을 섭취한다. 폐기물의 신속한 제거는 흡착(adsorption), 용해성 및 콜로이드상 물질은 floc표면에 응집, 입자상 물질은 floc매질에 포집되는 것으로 생각된다. 제거된 유기물의 일부는 여러 종류의 종속영양세균(heterotrophic bacteria)에 의해 즉시 산화되고 분해성이 낮은 성분은 서서히 산화된다. 이 과정에서 미생물 개체군의 증식과 비생분해성 고형물의 축적으로 활성오니의 양이 증가된다.

호기반응의 예로 유기기질은 포도당, 미생물의 성분은 경험적으로  $C_5H_7NO_2$ 라고 가정한다. 세포합성과 현상 유지에 필요한 에너지는 호흡반응(respiration reaction)으로 공급한다.

기질호흡(substrate respiration)



합성(synthesis)



그러나 외부에서 기질공급 없이 폭기가 계속되면 유기체는 자기 자신의 세포내용물을 이용하여 결국 활성오니의 양이 감소된다. 이와 같은 내인성호흡(endogenous respiration) 기간에는 호흡율(respiration rate)은 최소로 하여 세포의 유지(생존)만 한다.

내인성호흡



위의 식을 적용함에 있어서 생분해가 되지 않는 유기기질과 세포질량 및 추가적인 기질원(source)의 역할을 하는 새로 생성된 폐기산물은 고려하지 않고 단순화하였음을 명심하시오.

### 3-2-3. 질소제거(Nitrogen removal)

#### 3-2-3-1. 질산화(Nitrification)

질산화는 미생물 작용에 의해 암모니움이 질산으로 변환되는 것을 말한다. 질산화가 일어나기 전에 유기질소는 암모니아화작용(ammonification)에 의해 암모니움( $NH_4$ )으로 변환된다. 이 공정에는 여러 가지 유기체(미생물)가 관여한다. 단백질은 다음 순서로 암모니움으로 무기물이 된다.

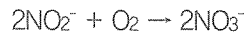
: 단백질 >아미노산 >탈아미노반응(deamination) → 암모니움

암모니움의 생물학적산화(biological oxidation)는 특정한 독립영양균(autotrophic bacteria)에 의해 2단계로 수행된다.

1.  $NH_4^+ \rightarrow NO_2^-$  변환, Nitrosomonas가 암모니움을 아질산(nitrite)로 산화시킨다.



2.  $NO_2^- \rightarrow NO_3^-$  변환, Nitrobacter가 아질산을 질산으로 변환시킨다.



1 및 2의 반응에 의해  $NH_4^+$ 가  $NO_3^-$ 로 변환되는 반응은 에너지생산(에너지수득)반응이다. 독립영양 질산화균이 발생된 에너지를 이용하여 동화작용을 하여  $CO_2$ 를 만든다. 폐수처리plant에서 몇 가지 인자가 질산화를 제어한다. 이 인자들은  $NH_4^+/NO_2^-$  농도비, 산소농도, pH, 독성물질 등이다.

$NH_4^+/NO_2^-$  농도

Nitrosomonas와 Nitrobacter의 생장은 Monod's kinetics(모노드 동력학)을 따르며 암모니움 농도와 아질산 농도에 의존한다. Nitrobacter의 성장속도가 Nitrosomonas보다 크다. 따라서 질산화의 성장속도 제한 단계에서 Nitrosomonas가 암모니움을 아질산으로 변환시킨다. 활성오니에서 질산화균은 종속영양균(heterotrophic bacteria)보다 아주 작은 특정한 성장속도(증식속도)를 갖는다. 임계오니일령(critical sludge age) 하에서 독립영양 질산화균은 성장속도가 느려 개체군을 만들거나 유지하지 못한다.

산소농도(Oxygen level)

용존산소 농도가 질산화 공정을 제어하는 데 가장 중요 한 인자이다. 질산화가 진행되려면 활성오니 폭기조의 산 소 농도가 2 mg/l 이상이어야 된다.

수온(Temperature)

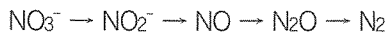
Nitrosomonas와 Nitrobacter의 최적 pH범위는 7.5~8.5이다. pH 6 이하에서는 질산화가 중단된다. 질산 화반응에서 필연적으로 산(acid)이 생성되어 활성오니의 완충능력이 작을 경우는 혼합액의 pH가 낮아져 질산화가 심하게 제한되거나 중단된다.

독성의 억제(Toxic inhibition)

기질 또는 산물 중의 독성 때문에 질산화균이 영향을 받는다. Nitrosomonas가 Nitrobacter보다 독성에 약하 며 가장 독성이 강한 물질은 시안화물(cyanide), thiourea(티오우레아/티오요소), phenol, ani-line, 중금 속(Ag, Hg, Ni, Cr, Cu, Zn)이다.

3-2-3-2. 탈질/탈질화(Denitrification)

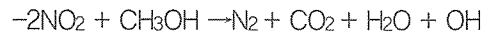
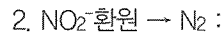
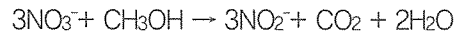
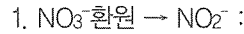
이 공정은 혐기성호흡으로 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>가 전자수용체 (electron acceptor)로 작용한다. NO<sub>3</sub><sup>-</sup>가 환원되어 N<sub>2</sub>O/ 아산화질소(nitrous oxide)가 되고 이것이 N<sub>2</sub>(질소가스) 가 된다. 탈질공정에서 N<sub>2</sub> 방출이 가장 뚜렷하다. 그러나 N<sub>2</sub>는 물에 잘 용해되지 않아 기포로 발산된다. 탈질은 다 음순서로 진행된다.



탈질에 관여하는 가장 흔한 미생물은 중속영양균으로 Pseudomonas와 Alcaligenes속이며 질산이 전자수용체 로 사용될 때 이들이 혐기성 성장(증식)으로 전환한다. 유 기물 또는 활성오니의 내인성 호흡활성도가 전자공여체 로 작용할 수 있다. 일부 독립영양균도 무기 에너지를 산화시키는 데 최종 전자수용체로서 질산을 사용하여 탈 질을 하는 능력이 있다. 일부 박테리아는 질산을 아질산 으로 환원시키고 다른 것은 질산을 질소가스로 또 어떤 것은 2가지 다 할 수 있다.

세포합성에 필요한 것을 제외하고 전자공여체로 메탄

올에 대한 호흡요구량은 다음과 같이 2단계의 탈질로 표 시할 수 있다.



폐수처리에서 탈질의 주인자는 질산농도, 무산소조건, 유기물함량, pH, temp. 독성물이다.

질산농도(Nitrate concentration)

질산이 탈질균의 전자수용체 역할을 하므로 탈질균의 증식율은 질산농도와 Monod형 동력학을 따른다.

무산소조건(Anoxic condition)

호흡작용에서 최종 전자수용체로서 산소와 질산이 경 쟁을 한다. 유기물 산화반응에서 산소가 질산보다 자유에 너지를 더 방출한다. 이것이 탈질은 산소 없이 수행해야 되는 이유이다. 체적이 큰 용액에 비교적 고농도의 산소 가 들어 있어도 활성오니 floc 내에서 탈질이 가능하다. 활 성오니에 산소가 있어도 미세환경 수준(microen- vironment level)에서는 탈질을 방해하지 못한다.

유기물(Presence of organic matter)

탈질균은 탈질공정에서 전자공여체가 있어야 된다. 바 람직한 전자원(전자공여체)은 methanol이며 이것이 탈 질에서 탄소원(carbon source)으로 사용된다.

pH

활성오니의 탈질공정의 최적 pH는 7.0이며 가장 효과 가 좋은 범위는 pH 7.0~8.5이다. 알칼리도와 pH는 탈질 에서 증가된다. 질산화에서 소비된 알칼리도의 절반은 탈 질이 대체시킨다(제공한다).

수온(Temp.)

탈질의 최적온도는 35~50℃이다, 5~10℃의 저온에서 도 탈질은 가능하나 속도가 늦다.

**독성의억제(Toxic inhibition)**

탈질 유기체는 독성물질에 대해 질산화균보다 덜 민감하다.

**3-2-4. 증대된 생물학적 인제거(Enhanced biological removal of phosphorus)**

폐수에서 인은 주로 화학적 방법으로 제거하지만 생물학적으로도 제거할 수 있다. 활성오니 공정에서 미생물 작용으로 인제거를 증대시킬 수 있다. 여러 가지 종속영양균에 의해 유기인(organophosphorus)이 무기질화하여 정인(orthophosphate/  $PO_4$ )이 된다. Poly- $\beta$ -bacteria라고 하는 몇 종의 유기체는 세포의 정상적 요구량 이상의 정인을 축적하는 능력을 갖고 있다. 정인은 세포 내에 폴리인산과립(polyphosphate granule)으로 축적된다(volutin granule/볼틴과립). polyphosphate(다중인산염)은 미생물 내에서 에너지와 인원(source)으로 작용한다.

혐기-호기 활성오니법에서 정인은 혐기조건에서 방출되고 호기조건에서 미생물이 섭취한다. 그림1-4.는 실험실 혐기-호기 활성오니 공정에서 인의 방출과 섭취를 보여준다.

Acinetobacter와 같은 다중인산염-축적 호기성균이 호기조건에서 인을 섭취하여 과립형태의 다중인산염을 축적하여 혐기조건에서 방출한다.

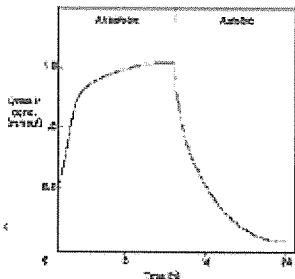


그림1-4. 실험실 혐기-호기 활성오니에 의한 정인의 방출과 섭취

혐기조건에서(그림1-5a.), Acinetobacter는 탄소기질을 섭취하기 위해 다중인산염 가수분해에서 방출된 에너지를 사용하며 섭취한 탄소기질은 Poly- $\beta$ -hydroxy-

butyrate(PHB)로 저장을 하며 세포막(cytoplasmic membrane) 단면의 pH 구배를 조절한다. 이 현상으로 정인이 방출된다. 아세트산과 같은 간단한 유기기질을 Acinetobacter가 섭취하여 PHB로 세포 내에 저장하여 호기기간(phase)에서 탄소원으로 사용한다. 아세트산은 acetyl-CoA로 전환되고 이 반응은 세포 내에 축적된 polyphosphate(다중인산염)의 가수분해로 생성된 에너지로 구동된다. PHB합성의 환원력(reducing power)을 제공하는 NADH는 세포 내의 탄수화물 소비로 유도된다.

호기조건에서(그림1-5b.) 저축된 PHB 대사 또는  $O_2/NO_3$ 에 의한 외부탄소원의 대사로 발생한 에너지는 세포 내에 polyphosphate 축적에 사용된다. 이 조건에서 세포가 정인을 섭취하여 polyphosphate로 저장한다.

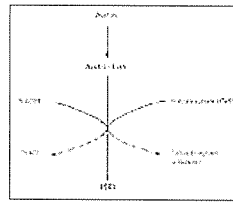


그림1-5a. 활성오니 공정의 혐기조건에서 P(인) 제거 Model

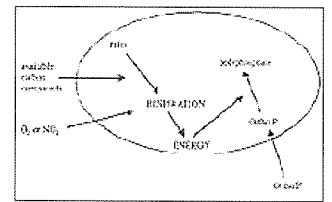


그림1-5b. 활성오니 공정의 호기조건에서 증대된 P(인) 제거 Model

※ 활성오니 공정의 혐기조건에서 인을 방출하는 양보다 호기조건에서 섭취하는 양이 많다. 이것을 Enhanced biological P-removal(증대된 생물학적 P-제거)이라고 한다.

무산소 조건에서  $PO_4$ 축적 bacteria는 질산을 탈질화하고 동시에  $PO_4$ 를 축적한다.

※ 생물학적 영양염류(N과 P)제거 공법의 기초와 절차는 NOVA BIO-GREENTEK의 “최적 생물학적 폐수처리기법”기술자료 2002, 04 Activated sludge P.11 고도 폐수 처리를 참고하시오.

생물학적 영양염류 제거를 위한 활성오니법의 하나로

AAO(A<sub>2</sub>O)공법이 있다. 이 장치는 재래의 압출류 반응기(plug-flow reactor)로서반응구역을 혐기구역, 무산소구역, 호기구역으로 나눈 것이다.

※ plug-flow(압출류) : 반응기 내에서 부분적인 혼합이나 확산 없이 유동상태가 압출되어 통과하는 흐름.

AAO-System은 N과 P제거가 저속으로 진행되는 공정이다. 혐기구역에서 저분자 지방산이 생성되고 이것이 polyphosphate 박테리아의 먹이가 된다. 혐기구역에서 물과 슬러지 혼합액의 수력학적 체류시간(HRT)은 약 1시간이다. 인산염 섭취는 무산소 및 호기구역에서 일어난다. 무산소구역에서 탈질세균이 질산을 탈질화하고 동시에 인산염의 일부를 축적한다. 호기구역에서 나머지 인산염이 섭취되고 암모니움은 질산화된다. 질산-슬러지 혼합액의 내부 순환속도는 유입수 속도의 3~4배가 된다.

### 3-2-5. 생물학적 황순환(Biological sulphur cycle)

폐수의 황원(sulphur-source)은 유기황과 자연수에서 가장 많은 음이온인 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>(sulphate)이다.

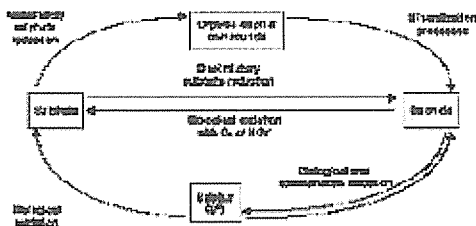


그림1-6. 생물학적 황순환

-SH기를 갖고 있는 유기 황화합물은 가수분해 되어 황화물(sulphide)이 되고 이것이 호기조건에서 신속히 산화되어 sulphate(SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>)가 된다. 유기 설폰산(organic sulphonate/탄화수소에서 설폰기 -SO<sub>3</sub>H가 치환된 화합물)과 황산염은 아황산염(sulphite)과 황산염(sulphate)으로 산화된다. 유기 황화합물은 활성오니조

에서 황산(염)으로 산화된다.

### 3-2-6. 활성오니 공정에 미치는 중금속 충격(영향)/Impact of heavy metals on the activated sludge process

생물학적 폐수처리에서 발생하는 중요한 문제는 유기물(염소화유기물, phenol 화합물, 계면활성제)과 무기물(중금속)에 의한 독성억제(Toxic inhibition)이다. 독성화합물은 생물학적 처리에 역효과를 초래한다. 활성오니 flocc의 구조가 내부에 있는 bacteria로 하여금 독물세균에 일부 방지작용을 하지만 독물의 농도가 일정한계를 넘으면 미생물 활성에 심각한 영향을 준다. 독성물질은 COD제거를 감소시키고 고형물분리 효율을 낮추며 sludge(오니) 압축특성을 나쁘게 한다. 저농도 독성물질이 서서히 유입되면 미생물상(microflora)이 점차 내성을 갖게 된다.

중금속 독성은 주로 용해성 금속 때문이다. 중금속 독성은 pH, 폐수의 착화물(complex agent) 종류와 농도, 혼합 독성물질에 의한 길항효과(antagonistic effect), 금속의 산화상태, 산화환원전위(ORP/Redox)와 같은 다양한 인자에 의해 제어된다. 금속은 자연물질 또는 인위적 물질(anthropogenic)에 의해 착화물이 된다. 미생물-유기체는 금속의 착화에 영향을 주고 용해도를 변화시킬 수도 있다. 중금속은 폐수의 호기성 처리에서 2가지 공정 즉 COD제거와 질산화를 억제한다. 중금속의 충격부하(Hg, Cd, Zn, Cr, Cu)는 활성오니의floc를 해체시킨다(defloculation/응집해체).

활성오니의 압축특성(compact)이 변하는 것은 사상균(filamentous)과 floc-형성 미생물에 주는 중금속의 영향이 다르기 때문이다.

활성오니는 Cd, Cr, Cu, Zn, Ni, Pb와 같은 독성 금속을 부분적으로 제거한다. 활성오니의 중금속 제거는 중금속을 floc에 흡착하여 이루어진다. 활성오니에 의한 중금속 제거는 pH, 용해도, 중금속농도, 유기물농도, 생체량(biomass), 생물학적 체류시간에 따른다(SRT). 중금속에 대한 생물학적 고형물(활성오니)의 친화력은 다

음 순서와 같다.

Pb > Cd > Hg > Cr > Zn > Ni

미생물에 의한 중금속 제거의 또 다른 형태는 미생물 다당류(polysaccharides)와 기타 polymer의 carboxy기(-COOH)에 의한 착물화(complexation)와 침전, 휘발, 세포 내의 축적 등이다.

### 3-2-7. 팽화슬러지제어 관리(Management of bulking sludge control)

활성오니 공정은 다음 2가지 별도의 조건을 충족시켜야 된다.

1. 폭기조에서 미생물에 의한 유기물제거
2. 정화된 폐수에서 미생물 floc분리 - 2차침전조에서 수행

제1조건 즉 유기물제거에는 몇 가지 문제가 있다. 특정 폐수는 미생물의 적응만을 요구한다. 그러나 처리 방류수에서 활성오니를 분리시키는 데 문제가 자주 발생한다. 활성오니(Activated sludge)는 분산된 floc 형성 bacteria와 사상균(filamentous bacteria)의 혼합으로 구성된다.

이 혼합물에 사상균이 많으면(우점) 사상성(섬유상) 미생물-구조가 형성되어 슬러지의 침강성(settleability)를 감소시켜 극단적인 경우는 활성오니가 방류수와 같이 배출된다(overflow). 이런 현상을 팽화(bulking)라고 한다. 팽화는 폐수처리 plant에서 여러 가지 복잡한 문제를 일으킨다. 팽화 슬러지의 여러 가지 발생원인은 영양염류 부족, 저산소농도, 유입수 공급양태 등이다.

2가지 극단적인 공급양태(feed pattern)를 분별할 수 있다. 즉 완벽히 혼합된 system과 압축류 system(plug flow)이다. 완전 혼합system에서 팽화가 더 많이 발생한다(plug flow 보다). 공급 pattern의 차이와 공정운전은 슬러지 floc의 초기 유기물 부하로 취급하지 않으면 안된

다. 완전혼합 system에서 폐수의 유기물은 폭기조의 전체 biomass와 즉시 모두 혼합된다. 정상적인 폭기의 연장(지속)에 의해 sludge floc의 유기물 부하가 작아진다. sludge floc에 유기물 침투 구동력이 낮아 기질의 흡착이 sludge floc 표면에만 국한된다. 여과된 sludge 혼합물의 COD는 어느 정도 방류수의 COD와 일치한다. sludge floc의 낮은 유기물 부하로 사상균 생장이 촉진된다.

압축류 system(plug flow)에서는 반송오니(return sludge)가 폐수 유입구에서 만난다(유입구로 반송오니가 유입된다). 따라서 sludge의 유기물 부하가 높다. sludge floc에 유기물 침투 구동력이 커서 floc내부에 유기물 농도가 높게 된다. plug flow system에서 폐수 유입점의 sludge floc 유기물 부하가 크게 되려면 sludge 혼합물의 종적(수직)혼합이 낮아야 되고 폭기조의 종적(수직) 기질 구배가 있어야 된다(깊이에 따라 기질농도가 다를 것). 기질 구배곡선의 경사(기울기)가 처음에 가장 급해야 된다 - 즉 유입점에서 모든 COD가 제거되어야 된다는 것을 의미한다. sludge에 처음 유기물을 싣는 방법이 팽화 sludge억제에 결정적이다.

그림1-7.에서 기질농도가 증가함에 따라 비사상균 즉 floc형성 미생물(B)이 사상균(A) 보다 성장한다(증식).

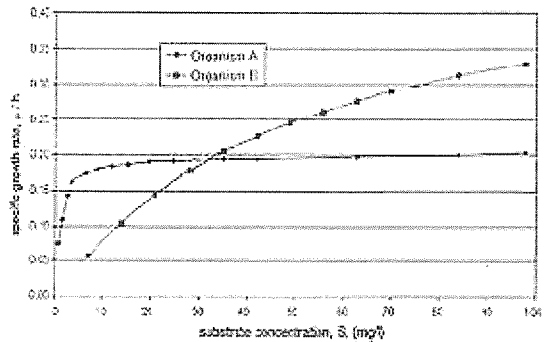


그림1-7. 사상균과 floc 형성균의 기질농도에 따른 생장률

<다음호에 계속>

월간 '환경기술인' 광고 문의 ☎ 02)852-2291