

혐기성 소화의 시작, 운영및 사고예방

김재문 / 중랑하수처리장 수질계장

1. 서론

서울시 하수처리는 합류식과 분류식을 배제방식으로 하여 강북과 강남에 각각 2개씩 4개의 하수처리장이 있다.

한강 분류와 지류에 274km 차집관거를 설치하여 발생하수량 전량을 하수처리장으로 유입되도록 계획하였다. 서울의 동북부를 담당하는 중랑하수처리장에서 106만톤, 동남부지역인 탄천하수처리장에서 50만톤, 서북부지역인 난지하수처리장에서 50만톤, 서남부 지역인 안양하수처리장에서 100만톤을 처리하고 있다. 그중, 중랑하수처리장은 서울 성동구 군자동에 위치한 26만평 부지위에 3개의 처리장이 있다. 제 1처리장은 1976년9월30일 준공한 청계천 하수처리장으로 하루 15만톤의 하수를 처리함으로써, 우리나라에서는 처음으로 과학적인 방법으로 하수를 처리하기 시작하였으며, 제 2처리장은 1979년12월31일 하루 21만톤의 하수를 처리할 수 있는 중랑천 하수처리장을 준공하였으며, 제 3처리장은 1988년6월20일 70만톤의 시설을 확장하여 현재 106만톤의 시설용량으로 서울시 하수량의 35%를 처리한다.

계획수질 처리효율은 BOD 즉, 생물학적 산소요구량을 유입 200mg/ℓ에서 방류 20mg/ℓ로 90%의 처리효율과 SS즉, 부유물질은 유입 250mg/ℓ에서 30mg/ℓ 이하로 88%의 처리율을 목표로 한강수질 보전을 위해 일익을 담당하고 있다.

2. 혐기성 소화처리의 기본 원리

슬러지중의 유기물은 미생물의 영양원이 되어 대사작용에 의하여 분해되어 지는데, 그중 이화작용의 주된 것은 호흡이며, 그때 분자상의 산소를 필요로 하는 호기성 대사와 필요로 하지 않는 혐기성 대사가 있다.

호기성 미생물은 필요한 산소를 공기중 혹은 수중에서 섭취이용하여 유기물을 분해하며, 그 분해를 호기성 분해 혹은 생물산화 분해라 한다. 혐기성 미생물은 유리산소가 존재하지 않는 조건하에서 유기물을 환원하여 그안에 결합되어 있는 산소를 이용하며, 그 분해를 혐기성 분해 혹은 생물환원 분해라 한다. 그중 혐기성 미생물을 이용한 소화처리의 기본원리를 알아본다.

슬러지의 혐기성 소화는 두단계의 반응을 거쳐 일어나는데,

1) 1단계의 제 1기는 산성발효기로서 임의로 혐기성 이 될수있는 유기산균에 의해 유기물(탄수화물, 단백질, 지방등)이 분해되어 유기산, H₂S, CO₂, 탄산염이 생성되며, pH 6-7을 유지한다. 유기산균은 번식속도가 빨라 그 속도를 조절하지 않으면 부패 현상이 일어나 악취가 심하게 나고 가스발생도 줄어들며, pH 4까지 내려 갈수 있다. 제 2기는 산성 감퇴기로서 유기산, 질소화합물이 천천히 액화분해되며, 오니의 색상이 회색으로 변하며 악취가 발생한다.

2) 2단계는 알칼리성 발효단계로서 완전 혐기성 상태에서 메탄균에 의해 유기산, 아미노산등이 분해되어 CH₄, CO₂, NH₃, H₂S 등을 생성한다.

암모니아 가스는 물에 용해되어 알칼리성을 띠게 되고 H₂S는 슬러지 속의 Fe 염과 결합되어 FeS 가 되어 소화 슬러지가 흑색이 되며, tar 냄새를 발하고 pH 7-7.4가 된다.

이 단계가 우세시에 소화조의 운영이 최상이라고 말할 수 있다.

메탄균은 환경조건 즉, pH 유기물상태, 온도, 공기의 존재등에 민감하고, 유기산균에 비해 번식속도가 훨씬 느려 번식을 촉진키위해 부패현상이 발생하는 것을 저지시켜야 제 1단계의 NH₃ 용해성 황화물과 같은 부산물은 CH₄균 성장을 억제하는 경향이 있으며, 메탄균은 pH가 비교적 높은 상태(6.5-7.5)에서만 생존하는데 제 1단계의 단백질의 분해작용과 Ca(HCO₃)₂나 Mg(HCO₃)₂의 pH 완충작용에 의해 유기산균과 메탄균은 자연적인 균형을 유지한다.

○뇨의 혐기성 소화처리는 하수오니와 달리 산성 소화과정이 없이 메탄 소화과정만 존재하여 pH치의 큰 변화가 없으며, 대략 7.8-8.2를 유지한다.

3. 혐기성 소화조의 구조

소화조 하부는 수밀 구조로 되어 있고 상부는 기밀 구조로한 콘크리트 구조로서 방열을 방지하기 위해 각종 단열재로 덮고 주위를 성토한 반지하 구조로 되어 있다.

1) 조의 형상과 형식

소화조의 형상을 설치면적, 처리기능등을 고려하여 원통형, 원추형, 구형, 난형, 주산형등 여러가지가 있으며, 형식은 하나의 소화조로서 처리하는 1단소화(#2공장)와 2개의 소화조를 직렬로 배치하여 제 1소화조는 발효조로서 제 2소화조는 고액 분리조로서 이용하는 2단소화(#3공장)가 있다.

2) 가온장치

소화조는 가온의 유무에 따라 가온식과 무가온식으로 분류할수 있으며, 가온식은 중온처리방식과 고온처리 방식이 있다. 무가온식은 소화일수가 많이 소요되므로 소규모의 하수오니처리나 가정용 정화조(부패조)에 이용된다. 중온처리 방식은 30-37℃ 에서 25-30일간 소화하며, 처리시 발생하는 메탄가스를 가온용 열원으로 사용하여 경제적이며 처리효율도 양호하다. 고온처리 방식은 50-60℃ 에서 15-20일간 소화하므로 소화일수가 단축되어 소화조용량을 축소시킬수 있고, 효율을 향상시킬수 있으나 처리에 필요한 가온용 열원이 문제가 된다.

가온법으로는 간접가온 방법과 직접가온방법이 있는데 간접가온방법은 열교환기를 소화조 밖에 설치하여 소화조내 슬러지를 인출가온후 다시 소화조로 주입하기 때문에 조내 교반 혼화 작용도 조장하고 고장시 열교환기가 외부에 있기 때문에 보수작업이 용이하나, 기구가 복잡하다. 직접가온방법은 고압 또는 저압증기를 직접 소화조에 흡입시키는 방법으로 가온 효과가 좋으며, 설비비도 저렴하나 증기의 양이 추가되므로 소화조의 용적을 5-7% 정도 크게할 필요가 있다.

우리처리장의 경우 간접가온 방법을 채택하고 있으며, 3공장의 경우 열교환기는 교류 2중 판식으로 전열면적 110m²/대 교환열량 1,200×10³kcal/hr로 온수는 80℃로 들어가 58℃로 나오고, 오니는 35℃로 들어가 45℃로 나오게 된다.

3) 교반및 스크 파쇄 장치

혼합교반, 스크 발생방지 및 파쇄를 목적으로 설치되는 장치로 액체순환법, 기계순환법, 가스 교반법이 있으나 주로 가스교반법이 많이 사용된다.

혼합교반은 소화조 운영상 매우 중요한 일인데, 첫째, 먹이인 공급 슬러지와 미생물과의 접촉을 증진시킨다. 둘째, 미생물 활동을 억제하는 부산물 및 공급 슬러지

내에 포함된 방해금속을 계속하여서 회석 산재시킨다. 셋째, 소화조내 완충작용을 도와pH 조정을 좋게 한다. 넷째, 스크임이 쌓여 소화조 부피가 줄어드는 것을 극소화 하거나 방지한다. 다섯째, 공급 슬러지에 포함된 밀도가 큰 무기고형물질의 침전을 최소화 한다. 여섯째, 열전달을 고르게 하여 온도차를 최소화한다.

4. 혐기성 소화처리 방식의 장·단점

1) 장점

- (1) 병원균이나 기생충란을 사멸시킨다.
- (2) 슬러지의 고형물질을 감소시킨다.
- (3) CH₄ 가스를 생성시킨다.
- (4) 슬러지의 탈수를 용이하게 한다.

2) 단점

- (1) 처리과정에서 악취가 발생한다.
- (2) 호기성 처리방식에 비하여 소화 속도가 늦다. (박테리아 성장이 느리다)
- (3) 소화조 용적이 대용량이므로 처리시설의 건설에 넓은 부지가 필요하다.
- (4) 운전 및 유지관리가 복잡하며, 공정조절에 세심한 주의가 필요하다. (하수 부하변동, 온도변화, 기타 환경적변화 조절에 대한 신축성이 없다.)

○ 호기성 소화 방식의 단점

1. 운영비 과다
2. 동력소모가 크다.
3. 회수에너지(가스)가 없음.

5. 혐기성 소화조의 유지관리

1) 투입부하를 균등하게 유지한다.

일정량을 균등히 주입하고, 투입슬러지 농도를 정상적(TS 3%이상)으로 유지하므로써 미생물의 영양분 이용이 용이하게 회석을 방지하고, 온도를 높이기 위한 필요열량을 감소하며, 소화일수가 증대되도록 한다.

2) 최적의 소화 온도를 유지한다.

30-37C를 유지되되 슬러지 투입에 의한 온도의 차가 심하지 않도록 하고 1일 0.5C이상의 차가 나지 않

도록 한다.

3) 조내의 교반혼합이 잘되도록 하여 공급 슬러지와 미생물이 충분히 접촉되도록 한다.

4) 미생물의 대사에 의한 생성물인 소화슬러지, 탈리액, 가스는 빨리 인출하되 투입 슬러지량과 조화를 맞춘다.

(1) 투입슬러지에 대하여 소화 슬러지인 출량이 과대하면

- 분해 미생물군 부족 초래
- 2단 소화조의 탈리액 체류량 증대
- 소화슬러지 퇴적량 감소
- 인출 소화 슬러지의 농도가 묽어지는 경향
- 인출 소화 슬러지에 미소화 슬러지가 포함되어 발생가스량 감소

(2) 탈리액 추출량 증대, 소화 슬러지인 출량 감소시

· 2차 탱크의 슬러지 퇴적량 증가로 일시적으로 가스 발생량이 증가

· 탈리액 농도가 증가

(3) 탈리액은 2차 소화조의 정지상태를 유지하여 소화슬러지를 침강시키고, 되도록 액면의 상부로부터 추출하도록 한다.

(탈리액의 고형물 농도는 0.2-0.5%가 바람직하며, 1%를 넘지않도록 한다.)

(4) 운전방법은

· 소화 슬러지의 농도가 높고 발생가스량이 증대되도록 2차 소화조 슬러지 퇴적량이 일정하게 유지되도록 하며,

· 소화 슬러지 인출량과 탈리액 추출량과의 비를 투입 슬러지 함수율과 관련하여 경험적으로 산정하여 운전한다.

· 소화 슬러지는 소화조 용적의 25-30% 정도를 유지한다.

(공급슬러지(VS)의 약 20배에 상당하는 증오니가 소화조내에 체류하도록 한다.)

(1일 투입 고형분은 소화조내 고형분의 5%를 초과하지 않도록 한다.)

5) 스크임 발생을 방지하고 스크임을 파쇄한다.

스크림이란 소화되기 어려운 유지류, 섬유류등이 소화 가스의 부상작용에 의해 표면에 쌓이고 고화하여 층상

이 된것으로 소화에 필요한 공간이 감소되고, 교반이 불충분하게 되며, 온도의 불균일성이 생기고, 가스의 통기가 저해된다.

탈리액중에는 고형물이 혼입되어 부하를 증대시키는 등의 장애가 발생한다.

6) 소화조 용적이 감소되지 않도록 모래등의 무기물질을 제거한다.

7) 소화조 관리상 유의사항

(1) 소화조의 기밀, 수밀성에 대한 점검을 철저히 한다.

(2) 소화조내의 온도가 측정개소에 따라 다르면 교반이 불충분한것이고, 시간적으로 변동이 심하면 슬러지 투입량, 투입회수, 투입간격등에 문제가 있는 것이므로 상응 조치한다.

(3) 소화조내 pH는 7.2-7.4가 최적이며, pH6.8 이하시 산생성균이 우세하여 CO₂가스가 발생하고 거품이 나고, 악취가 발생하며, pH, 이상이 되면 메탄생성균이 불활성화되고 소화가 정지되므로 주의를 요한다.

8) 소화가스 발생량의 저하 원인

- (1) 저농도 슬러지의 투입-미생물의 영양 부족
- (2) 소화 슬러지의 과도한 인발-미생물의 감소
- (3) 소화조내 온도의 저하-소화 진행 속도 감소
- (4) 소화조 용량의 감소-스컴 및 토사 체적
- (5) 소화 가스의 누출
- (6) 산의 과잉생성-슬러지 및 유기물의 과부하 또는 산성배수의 유입.

6. 혐기성 소화 운영 지표

1) 최적 요건

- (1) 혐기성 조건
- (2) 30-37°C (중온 소화)
- (3) pH 7.2-7.4 (6.8-7.2)
- (4) 유독물질이 없어야 함.

2) 온도

(1) 메탄 형성 박테리아는 0.5°C의 변화에도 영향을 받으며, 산형성 박테리아는 그리 큰 영향을 받지 않는다. 그러므로 온도차가 크면 산형성 박테리아의 독세에 의해 pH 조절의 완충능력이 상실되어 메탄 형성 박테리아가 장애를 받게 된다.

(2) 높은 온도 보다는 일정 온도를 유지하도록 한다.

3) PH

(1) pH 6.2 이하시 메탄 형성 박테리아가 장애를 받게 된다.

(2) pH 조절제로 석회, 소다회, 암모니아등을 사용한다.

(3) pH 저하 원인

- 갑작스런 부하변동
- 온도의 변동이 심함
- pH 조절의 결함
- 유독물질의 출현

4) VA (휘발성 유기산)

(1) 50-300ppm 유지

(2) 정상적인 슬러지 투입과 인출이 이루어지면 산, 메탄계 박테리아가 평형을 유지하게 되나, 슬러지가 과량 투입되면 과도한 산을 생성하여 pH가 저하하게 되어 메탄 박테리아 성장에 지장을 초래한다.

5) VA/ALK 비

(1) 0.25 이하 유지

(mg/ℓ)

공 장	제 2처리장	제 3처리장
VA	300-700	140-20
ALK	8,000-12,000	2,500-5,000

(2) 비가 낮으면 건전 양호한 상태이나 비가 상승하면 CO₂함량증가, 가스발생량 감소, pH 저하등의 변화가 예측된다.

(3) 0.5정도부터 CO₂증가 CH₄감소 현상 발생

(4) 0.35 초과시 조치사항

- 소화조 내용물 교반시간을 연장한다.
- 균일하게 열전달이 되도록 한다.
- 슬러지 배출량을 감소한다.
- 2단 소화조로 부터 종오니를 이식 한다.

6) CO₂는 정상 운영시 25-35%범위에서 발생함.

라, 슬러지의 성상에 따른 원인이 있다. 그러므로 매시간 점검시 기록을 철저히 하여, 이상시에 활용할 수 있는 자료가 되어야 하며, 오니의 유입 유출농도, VA, 알카리도, CO₂를 실험하여 운영에 반영해야 한다.

소화조 오니는 다음 항목을 조사및 실험한다.

(1) 소화조 점검

7. 고장의 요인과 대책

1) 고장의 요인

운영되고 있는 설계 지표들이 정상치에서 벗어나게 되면 어딘가에 탈이나고 있는 것이다. 탈이나고 있는 원인을 조속히 발견해서 조치해야 하는데 문제점이 어느 하나만이 아니고 동시에 겹쳐서 일어날수 있기 때문에 운전자들은 자기분야 뿐만 아니라 전과정을 잘 알아야 문제점 파악이 쉬워 해결을 조속히 할수 있다. 그러나 대단위 하수처리장에서는 조직이나 업무의 세분화로 한사람이 전공정을 파악하기에는 어려움이 따른다. 운영자는 고장의 원인이 소화조의 부하, 가열, 혼합, 가스 계통 또는 유독성의 어느곳에 기인하고 있는가를 발견해 내는 일이다.

이러한 고장 요인의 지표는

- (1) 부하변동
- (2) 가스생산 감소(CO₂증가)
- (3) 휘발성 산대 알카리비의 상승
- (4) PH의 저하
- (5) 휘발성 고형물 감소
- (6) 상등수에 고형물 유출
- (7) 빈약한 소화오니의 질등이다.

상기의 지표에 변화가 있을시 운전자는 그 동안의 운전경험이나 운전지침에 의거

· 각부분의 계통내에 있어서 조치해야 할일은 무엇인가?

- 정상시에는 어떠한 수치에서 작동했는가?
- 어떻게 사전에 비정상적인 조건을 예방할수 있을까?

즉, 무엇인가 탈이 났을때 그것이 정상시에 있어서 어떻게 작동하고 있는가를 숙지해야만 하는 것이다.

2) 고장의 대책

고장에는 기계적, 전기적인 외형적인 요인뿐만 아니라,

공장	제2공장			제3공장		
	최대	최소	평균	최대	최소	평균
온도	36.1	28.0	34.0	36.4	31.2	34.8
VA (ppm)	1,250	299	637	686	130	237
Al K (ppm)	18,215	8,667	13,997	3,540	1,720	2,331
CO ₂ (%)	32	20	29	30	21	27
유입 VS	73.4	46.1	65.2	69.5	45.6	55.4
유출 VS	65.7	41.3	54.2	55.2	31.6	42.0
소화유	36.8			41.7		

소화조에서 일단 소화된 오니는 탈수시켜 반출해야 한다. 오니를 빨리 제거하지 않으면 유출 TS가 높아져 또다시 유입하수와 혼합되어 수질에 악영향을 미친다.

고장 배제를 위한 유형별 대책은 다음과 같다.

(2) 고장 유형별 대책

고장내역	원 인	대 책
· 부하변동	· 폭우로 인한 투수 · 과도한 오니 공급 · 과도한 오니 배출	· 휘발성산, Vs, 알카리도 등을 점검
· 상등수 색이 회색 또는 갈색 SS 높음	· 소화 시간 짧음 · 오니 농도 낮음 · 소화조 모래 쌓임. · 오니배출 미흡	· 공급 농도 재조정 · 소화조 청소 · 탈수기 가동 증가
· 오니온도 떨어 지고 정상유지 곤란.	· 오니 재순환 관의 일부 또는 전부 막힘. · 부적당한 혼합	· 열교환기 및 펌프압력조사 · 소화조내 온도 조사

8. 결 론

하수처리장은 설계, 시공, 유지관리의 3박자를 고루 갖춰야 적정한 운영이 된다. 특히나 2000년도 까지는 전국의 중소도시까지 하수처리장을 건설할 계획으로 있어, 기존 하수처리장의 문제점을 충분히 보완하여 완벽한 관리가 될수 있도록 건설해야 할것이다. 기존 하수처리장은 외국기술 및 기준에 의해 대부분 설계되어 유입하수량은 설계시설 용량보다 많고, 수질은 기준치에 못미치는 경향이다. 시공시에도 토목, 기계, 전기등 구조물과 시설물 설치시 유기적인 협조가 이루어져 정밀한 시공이 되어야 한다.

유지관리시에는 자료를 수집하고 분석하여, 운영에 반영할수 있도록 환경관련분야 전문인력을 충원하여 조직의 주무부서에 배치하여야 한다. 예비가 없는 기기 고장시에 고장내역을 설계하고, 입찰하여 수리하는데 많은 시일이 소요되는데, 이의 제도적 보완도 서둘러서

하수처리장 시설이 효율적으로 유지관리 되도록 노력해야 한다.

-참고문헌-

- 혐기성 오니 소화운영 편람 : 서울시
- 하수도 기본계획 지침및 설계기준 : 건설부
- 하수도 필수 : 환경기술연구회
- 하수도 유지관리 지침 : 일본 하수도 협회
- 최신 하수도 핸드북 : 건설산업 조사회
- Hand book of solid waste management : Wilson
- Solid waste : George Tchobano Glous의 2인