

폐수처리 미생물

(일곱번째)



정재춘 교수
(연세대 보건과학대학 환경과학과)

IV. 혐기성 처리 공정

1. 혐기성 처리 공정

활성오니법 및 살수여상법 등의 혐기성 처리에서는 다량의 「슬러지」가 생성하기 때문에 「슬러지」의 처리·처분을 완전하게 실시하지 않는 한, 폐수처리의 목적을 달성할 수 없다. 혐기성처리로부터 발생하는 「슬러지」는 유기물 농도가 높으므로 혐기성 소화법에 의해 처리되어왔다. 혐기성 소화법은 비교적 넓은 부지를 확보해야 하고, 조작에 숙련을 요하며 소요경비가 높으므로 회피되는 경향이 있다. 그러나 혐기성 소화는 「슬러지」용량이 현저히 감소하고, 발생하는 「메탄가스」는 에너지원으로 이용할 수 있으며, 소화된 「슬러지」를 매립이나 투엽 등에 의해 처분시켜도 2차 공해가 적게 발생한다는 장점이 있다.

혐기성 소화는 「알콜」 증류수나 세모폐수등, 고농도 유기물을 함유

한 산업폐수의 처리 및 분뇨의 처리에도 이용되고 있다. 혐기성처리를 행한 후의 「슬러지」는 매우 안정되어 위생학적으로도 안전하므로 혐기성처리의 특성을 충분히 이해하고 조작하면 뛰어난 처리효과를 기대할 수 있다. 혐기성처리는 과부하만 되지 않으면 호기성처리보다 「콘트롤」하기가 쉽기 때문에 「슬러지」처리를 중심으로 그 응용이 확대되어 가고 있다(須藤, 1972)

혐기성 처리는 크게 현탁성장형과 고착성장형(생물막법)으로 구분할 수 있는데 전자에는 혐기성 소화법과 혐기성 「라군」법이 있으며 후자에는 상향류 혐기성 여과법(Upflow anaerobic filter, UAF), 혐기성 확장상법(Anaerobic expanded bed, AEB), 혐기성 부유상법(Anaerobic fluidized bed, AFB), 하향류 혐기성 고정상법(Downflow anaerobic stationary fixed film reactor, DFFB)이 있다.

혐기성 소화법은 「슬러지」, 분뇨, 유기물 농도가 높은 폐수 등을

소화조라 불리우는 밀폐된 「탱크」중에 넣고 유기물을 「가스」까지 분해하는 처리법이다. 고분자의 유기물은 산생성균 등의 활동에 의해 액화된 후, 메탄생성균에 의해 탄산「가스」나 「메탄가스」로 전환된다. 액화의 단계는 유기산이 생성되어 PH가 저하되므로 산성 발효기라고도 불리우며 「가스」화 단계는 PH가 상승하므로 「알카리」발효기라고도 불리운다.

이러한 PH변동은 회분법에서 심한데 일반적으로 연속처리에 있어서는 액화와 「가스」화에 평형이 유지되는 한, 극단적인 PH의 변동은 없다. 혐기성처리의 분해산물은 탄산「가스」, 유화수소, 질소, 암모니아, 메탄 등이다. 유화화합물을 다량으로 함유하는 경우는 발생하는 「가스」의 유화수소 함량이 많게 된다.

혐기성 「라군」법은 표면적이 작은 개방된 작은 연못(수심 2~3m)에 폐수를 방류하여 유기물을 부패시키는 처리법이다. 일반적으로

BOD가 높은 폐수의 1차처리로서 이용되고 있는데 BOD의 제거율이 낮고, 또한 악취가 발생하기 때문에 별로 많이 사용되지 않는다.

상향류 혐기성 여과법(UAF)은 Young과 McCarty(1969)에 의해 개발되었고 그 모식도는 <그림 1>과 같다. 폐수는 하부로 부터 유입되어 여재로 채워진 반응조를 통과하는 동안 여재의 표면에 부착된 미생물에 의해 처리되고 이때 생성된 「가스」는 반응조 상부에서 포집된다. 상부로 배출된 유출수는 원폐수가 고농도이거나 독성이 있어서 회석할 필요가 있거나 PH조절이 필요한 경우에는 다시 반응조에 재순환되기도 한다. 이 처리법은 미생물의 작용뿐 아니라 여재의 여과 및 흡착작용에 의해서도 오염물질의 제거가 가능하여 높은 처리효율을 기대할 수 있다.

혐기성 고정상법(AEB)과 혐기성 유동상법(AFB)은 상향류 혐기성 여상법(UAF)의 반응조 폐쇄를 방지하고 폐수와 미생물간의 접촉을 높이기 위해 개발되었다. AEB / AFB 반응조는 상향류의 유입 폐수에 의해 팽창 혹은 부유(fluidization)상태로 유지되는 불활성의 모래크기만한 입자로 구성되며 불활성입자는 미생물막 형성을 위한 표면을 제공한다. 이 공정은 다른 고착식 생물막법에 비해 더 많은 표면적을 갖기 때문에 반응조내의 미생물이 다량 존재하여 짧은 수리학적 체류시간과 낮은 온도에서 운전이 가능하다. 일반적으로 혐기성 유동상법(AFB)은 반응조 「베드」층이 원래 체적의 두배이상 증가하는 부유상태를 말하고, 혐기성 확장상법(AEB)은 「베드」층의 체적이 정적인 경우에 비해 약간 팽창하는 경우를 말한다.

이 이하에서는 가장 역사가 깊고 연구가 많이 진행된 혐기성 소화의 공정에 대하여 논하기로 한다.

2. 혐기성 소화

가. 소화처리

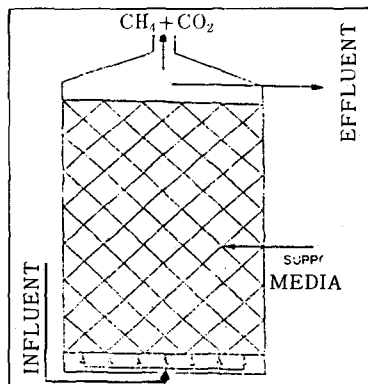
고형분(증발잔류물)이 3~7% 정도로 농축된 「슬러지」(또는 분뇨)를 소화조에 넣고 일정한 온도에서 일정한 기간동안 발효시킨다. 無加溫에서 교반시키지 않고 50~100일간 방치시키는 소화법도 있는데 보통은 효율을 올리기 위해 교반(攪拌)과 가운을 행한다. 교반에는 기계교반, 「가스」교환, 「펌프」에 의한 순환법이 있다. 교반은 혐기성 세균과 기질의 접촉을 좋게하고 Scum의 발생을 방지하며 조내 온도를 균일화하기 위해 행한다. 가운법에는 수증기의 직접 주입법, 온수관에 의한 내부가운, 열교환기에 의한 외부가운 등이 있다. 가운 온도에 따라 중온소화법과 고온소화법이 있는데 일반적으로는 전자가 채용되고 있다. 체류일수는 20~30일간인 경우가 많다.

분해가 충분히 진행된후 고액분리를 행한다. 상등액은 탈이액이라고 불리며 이것은 혐기성처리 「프로세스」로 반응된다. 침전한 「슬러지」는 탈수한 후 처분된다. 따라서 투입된 「슬러지」는 「가스」, 탈이액, 소화오니, 「scum」으로 나뉜다. 발생한 「가스」중 「메탄」은

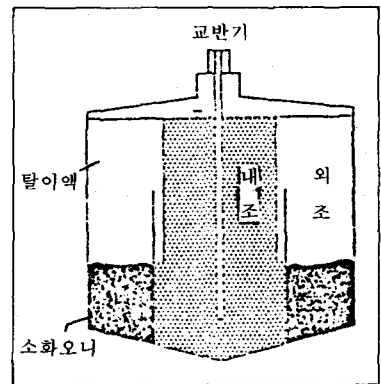
「가스탱크」에 저유되어 가운을 위한 열원으로 이용된다. 일반적으로 고액분리도 소화조내에서 행해진다. 단독 소화조에서 소화와 고액분리를 행하는 경우는 <그림 2>에 보인 것 같이 2중조가 사용된다. 이 경우에는 내조에서만 교반과 가운을 행하며 외조는 고액분리조가 된다. 소화와 고액분리를 별개의 조에서 행하는 것을 2단소화법이라 한다. 이 경우에는 제1조만을 교반·가운한다. 소화조는 원형으로 내경이 20~25m, 축심이 5~10m 정도의 것이 많다.

소화가 진행되면 기질이나 조작 조건에 따라 달라지지만 유기질(열취감량)의 30~60%정도가 분해한다. 소화「슬러지」량은 투입「슬러지」의 $\frac{1}{5} \sim \frac{1}{3}$ 정도로 감소하며 탈수가 쉽게된다. <표 1>에는 일본의 하수처리장에서 발생한 「슬러지」(침전 「슬러지」와 여잉「슬러지」)를 중온소화한 때의 탈이액과 소화오니의 성상을 투입오니와 비교한 것이다. 또한 <표 2>에는 분뇨를 중온소화했을 때의 탈이액과 소화오니의 성상을 보였다.

소화조로 부터 발생한 「가스」는 「메탄」과 탄산가스가 대부분이다. <표 3>에 분뇨와 「슬러지」를 중온소화한 경우의 「가스」성분의 일례



<그림 1> 상향류 혐기성 여과법의 모식도



<그림 2> 혐기성 소화에 사용되는 2중조

를 보였다. 분뇨의 소화에 있어서는 「슬러지」의 소화에 비해 유기화수소의 함량이 높다. 분뇨의 소화에 있어서는 분뇨 1m³당 8~10m³의 소화「가스」가 발생한다. 오니의 소화에 있어서는 투입오니「슬러지」1m³당 5~8m³의 「가스」가 발생한다. 소화「가스」는 5,000~6,000kcal/m³의 발열량을 가지고 있다.

나. 2단소화
가정하수에서 발생한 오니에는

탄수화물, 지질, 단백질 등등의 유기화합물이 함유되어 있다. Wood 등(1965)은 2단소화에 있어서 이러한 유기화합물의 분해율 및 물질수지에 대해서 검토하고 있다.

연구를 행한 Village Creek(「텍사스」주)의 2단소화조의 운전조건은 다음과 같다. 소화일수는 1차, 2차, 모두 39일(합계 78일)로 상당히 길다. 1차조는 가온하여 34°C, 2차조는 무가온으로 33°C, 1차조는 「가스」에 의한 교반, 2차조는 교반

을 하지 않는다. 1차조는 유기질부하가 0.68kg휘발성물질(열작감량)/m³/day이고 매일 수시간 생오니를 투입하며 1주일에 수시간 1차조로부터 슬러지를 2차조에 주입한다. 탈이액은 매일 2차조로부터 유출시키며 소화오니는 1주일에 2회 2차조로부터 추출한다.

투입「슬러지」, 1차조 추출「슬러지」, 탈이액, 소화「슬러지」에 대해서 2개월간 1주일에 2회 혼합시료를 만들어 분석에 이용하였다.

2단계의 소화조내에 존재하는 각종 물질의 총중량은 각각의 평균농도와 「슬러지」용량으로 부터 계산할 수 있다. 그 결과를 <표 4>에 보였다.

휘발성물질의 감소는 소화효율을 나타내고 있으며 2단계에서 휘발성물질 전량의 59.8%가 분해하고 1차조에서 투입휘발성물질의 57%, 2차조에서 1차조 배출휘발성물질의 6.5%가 감소하게 된다. 휘발성물질이 707kg/day가 탈이액으로서 하수처리에 반송되는데, 투입오니의 휘발성물질 2,420kg/day가 소화오니에서는 256kg/day가 되며 89.5%의 감소를 보인다. 또한 오니의 용량으로 볼때는 86.3%의 감소를 보였다.

열작잔류물도 1차조에서 투입의 27.9%, 2차조에서 1차조 배출오니의 28.4%의 감소가 인정되었는데 이것은 沈砂에 의한 침사에 의한 때문이었다.

탄수화물은 전부 미생물에 의해 주요한 「에너지」원으로 되며 1차조, 2차조에서 각각 투입의 84.2%, 2.0%의 탄수화물이 분해하였다. 지질은 분해하여 「글리세린」과 지방산으로 되고 산생성균이나 메탄균의 「에너지」원으로 이용되어 1차조에서 75.4%, 2차조에서 4.7%의 감소가 인정되었다.

오니중의 단백질을 정확히 측정하는 것은 곤란한데 「휘린」반응에

<표 1> 투입오니, 탈이액, 소화오니의 성분비교 (단위 : ppm, 혐기성 중온소화, 20일간 채류)

항 목	투입오니	탈 이 액	소화오니
pH	7.2	7.2	7.2
증 발 잔 유 물	40,600	3,330	60,400
열 작 잔 유 물	18,700	2,400	35,700
열 작 감 량	21,900	930	24,700
잔 유 물 질	39,200	1,930	58,900
전 질 소	1,610	-	2,100
암모니아성질소	500	-	830
알 카 리 도	604	-	1,930

(사정처리장)

<표 2> 투입분뇨, 탈리액, 소화오니의 성분비교 (단위 : ppm, 중온소화, 20일간 채류)

항 목	투입분뇨	탈 이 액	소화오니
pH	8.4	8.3	8.3
증 발 잔 유 물	35,960	20,530	43,770
열 작 잔 유 물	14,290	12,900	20,790
열 작 감 량	21,670	7,630	22,980
용 해 성 물 질	5,870	13,600	14,480
잔 유 물 질	30,090	6,930	29,290
B O D	12,370	3,190	7,520
C O D	3,650	2,570	4,720
전 질 소	4,320	4,720	5,010
암모니아성질소	3,350	3,900	3,720
염 소 이 온	5,800	5,780	5,970
대 장 균 균	6.3×10 ³	6.8×10 ³	1.7×10 ⁴

(사정처리장)

<표 3> 혐기성 소화조로부터 발생한 「가스」의 성분 (단위 : ppm, 중온소화 20일간채류)

	분뇨소화조	오니소화조
메 탄	61.03	56.65
수 소	0	0
탄 산 가 스	35.25	37.96
산 소	0.13	0.13
염 화 수 소	1.43	0.01
질 소	2.16	5.25

(사정처리장)

의해 「펠라틴」을 표준물질로서 산정하였다. 단백질은 1차조에서 37.8%, 2차조에서 25.2%의 분해율을 보였다.

탄소량은 2개조 합계 64.6%의 감소를 보였다. 유기성 질소는 1차조, 2차조에서 각각 35.9%, 18.4%의 감소를 보였다. 또한 「암모니아」성 질소는 1차조에서 153%, 2차조에서 19.9%의 증가를 보였다. 「가스」발생량은 1차조, 2차조에서 각각 0.515m³, 0.015m³/day/투입 휘발성물질 kg이었다.

이러한 결과는 유기물의 분해는 대부분 1차조에서 일어나는 것을 나타내며, 탄수화물, 지질 및 휘발성 물질 전분해량의 94%이상, 또한 질소화합물 전분해량의 약 75%가 1차조에서 분해함을 보여주고 있다. 2차조의 기능은 탈이액과 소화오니를 분리하는 것이다. 탈이액 중에는 미생물분해에 저항하는 유기물(탄소 26%, 전질소 70%, 유기성 질소 37%, 휘발성 물질 30%, 탄수화물 9%, 지질 14%가 잔존한다)을 함유하므로 소화「슬러지」만 으로부터 보면 휘발성물질의 약 90%가 제거되지만 실제 분해율은 약 60%가 된다. 이렇게 탈이액중의 유기물을 무시하면 소화조의 관리를 정확히 할 수 없고 물질 수지도 정확히 취할 수가 없게 된다. 오니

소화「탱크」의 관리에는 각종 물질의 농도 그 자체보다도 물질의 총중량으로부터 수지를 취하는 방법이 적절하다고 보여진다. 특히 탄수화물, 지질, 단백질의 분해율은 소화상태의 판정시 참고 자료가 된다.

다. 조작조건

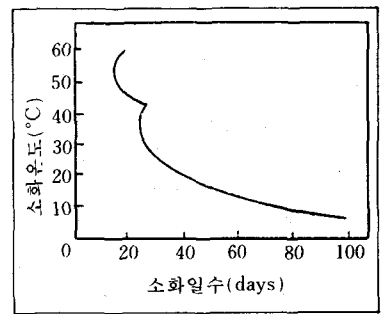
(1) 소화온도 및 소화일수

오니의 소화에 있어서 소화온도와 소화일수와의 관계는 〈그림 3〉에 보인 것같이 2개의 호적한 온도범위가 있다. 중온소화에서는 25일, 고온소화에서는 15일의 소화일수가 필요함을 알 수 있다.

하나의 중온세균이 활동하는 30~37°C부근, 또 하나는 고온세균이 활동하는 53~55°C부근인데, 각각 중온소화, 고온소화라고 불리우며 이 온도범위에서 가장 효과적인 소화를 행할 수가 있다. 온도가 10°C 이하로 되면 소화는 정지한다. Rowe(1971)는 오니의 중온소화(35°C)와 고온소화(55°C)와의 비교를 회분식 소화 실험장치로 행하였다. 〈그림 4〉는 가스발생량인데 고온소화에 있어서는 14일부근이 가장 발생량이 많으며 중온소화에서는 24~26일이 최고로 됨을 보이고 있다. 〈표 5〉에는 실험기간에 있어서 오니의 분석치를 보였다. PH는

35°C에서는 소화증기에 저하하는데, 55°C에서는 PH의 저하가 나타나지 않았다. 「암모니아」성 질소는 중온 및 고온에서 각각 810, 960 ppm로 증가하였다. 또한 휘발성 산의 축적은 중온소화가 높았다. 이러한 결과로 볼때, 중온소화에 비해 고온소화가 확실히 짧은 체류시간으로 좋은 효과를 얻을 수 있다고 보여진다. 그러므로 소화조를 확장시키지 않고도 고온소화를 행하여 처리능력을 증대시킬 수 있다.

Malina(1964)는 혐기성 소화에 대한 온도의 영향을 「가스」발생량, 유기물질의 분해, 휘발성 산의 생성으로 부터 검토하고 있다. 소화온도를 30, 35, 40, 45, 50, 55°C로 하고 조사했는데, 어떠한 경우에도 「가스」는 유도기의 후에 정상적으로 발생하였다. 30일후의 전 발생량은 55°C와 30~35°C에서 많았고,

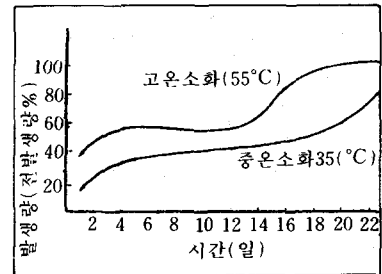


〈그림 3〉 소화온도와 소화일수와의 관계(WPCF manual, 1961)

〈표 4〉 소화과정에 있어서 각 성분의 물질수지

성분	투입오니 (10 ³ kg)	1차배출 오니 (10 ³ kg)	탈이액 (10 ³ kg)	소화오니 (10 ³ kg)	가스	
					1차조 (10 ³ kg)	2차조 (10 ³ kg)
휘발성물질	72.5	30.9	21.2	7.67	-	-
열작진유물질	24.4	17.6	7.96	4.6	-	-
탄수화물	26.2	4.13	2.46	1.16	-	-
지질	22.5	5.52	2.18	1.31	-	-
탄소	41.9	18.5	10.7	4.08	20.0	2.41
암모니아성질소	0.577	1.46	1.49	0.258	-	-
유기성질소	3.65	2.34	1.36	0.545	-	-
단백질	39.5	29.8	15.5	6.44	-	-
전질소	4.23	3.8	2.95	0.805	0.43	0.04

(Woods 등, 1965)



〈그림 4〉 중온 및 고온소화에 있어서의 「가스」 발생량

