

# 폐수처리 미생물

(마지막회)



정재춘 교수  
(연세대 보건과학대학 환경과학과)

## 2. 정확에 관여하는 미생물군

### 나. 휘발산 생성세균

소화조중에 존재하는 세균중 많은 종류가 가수분해와 산생성 양방의 능력이 있다. 이 때문에 소화조중의 많은 세균은 산생성에 관여하고 있다고 보여진다. 소화조중의 산생성세균은 임의 혐기성 세균이라 이해되고 있었는데 최근의 *Toerien* 등(1967), *Mab* 등(1968)의 연구에 의해 절대 혐기성세균이 압도적으로 많음이 알려졌다. 임의 혐기성 세균에 대한 절대 혐기성세균의 비는 10~100정도인 것 같다. *Toerien* 등(1967)은  $31 \sim 1,500 \times 10^7 / \text{mL}$ 의 절대혐기성, 산생성균을 계수하고 있다. *Toerien* 등(1967)은 소화조로부터 92개의 균주를 분리하였다. 이들 균주는 모두 절대혐기성이든가 미호기성이었다. 분류군의 많은 종이 간균이었는데 구균, 나선균, *Corynebacterium*도 존재하였다. <표 8>에 보인 것 같이 이 중에 50균주

는 *Corynebacterium*, *Lactobacillus*, *Ramibacterium*, *Actinomyces*, *Bifidobacterium*에 속하는 것이다.

*Kirsch*(1969)는 소화조중의 우점 세균은 「그람」음성, 포자를 형성하

지 않는 절대 혐기성간균임을 보고 하였다. 분리된 세균 72균주중, 3%는 「그람」양성 포자형성세균이며, 25%는 「그람」음성 포자비형성 세균으로 운동성이 있었다. 운동성

표8. 소화조로부터 분리한 산생성균의 同定

형 태	그람염색	분 류	분리한 균주수
Branched rods	Positive to negative	<i>Corynebacterium</i>	50
		<i>Lactobacillus</i>	
		<i>Ramibacterium</i>	
		<i>Actinomyces</i>	
		<i>Bifidobacterium</i>	
Branched rods	Variable to negative	<i>Ramibacterium</i>	1
Straight rods	Positive	<i>Eubarterium</i>	6
Straight rods	Positive	<i>Lactobacillus</i>	8
Spore forming rods	Positive and negative	<i>Clostridium</i>	7
Straight rods	Negative	<i>Bacteroides</i>	8
Spindle	Negative	<i>Sphaerophours</i>	3
Spindle	Negative	<i>Sphaerophorus</i>	
		<i>Fusobacterium</i>	1
Spirillum	Negative	<i>Vibrio</i>	
		<i>Spirillum</i>	1
Crescent shaped	Negative	?	1
Cocci	Positive	<i>Peptococcus</i>	5
Cocci in chain	Negative	<i>Vellonella</i>	1
합 계			92

(*Toerien*, 1970)

이 있는 간균은 모두 탄수화물을 발효하였고 수소를 함유한 「가스」를 발생시켰다. 이러한 세균은 밀균한 하수오니로 부터 초산, 「프로피온」산, 젖산을 생성하였는데 탄수화물로 부터는 초산밖에 생성하지 않았다.

소화조중의 중요한 임의 혐기성 세균은 *Bacillus*, *Micrococcus*, *Pseudomonas* 등이 있으며, 대장균군은 작은 수로 존재한다. 제1단계인 가수분해 생산물중 단당류, 2당류, 「글리세린」, 「아미노」산 등은 이러한 세균의 탄소원이 된다. 이러한 세균의 종산물은 포화지방산, 탄산「가스」, 「아모니아」 등이다. 알콜, 「알데하이드」, 「케톤」 등도 소량 검출되는데, 이의 생화학적 의의는 잘 알려져있지 않다. 그러나 「알콜」이나 「케톤」은 회전율(turnover rate)이 빠르기 때문에 농도가 낮게 된다고 생각한다. 따라서 이러한 물질도 소화과정에 있어서 중요한 중간생성물이라고 볼 수 있다.

Kirsch(1969)는 전술한 바와같이 소화조로부터 탄수화물을 발효시켜 수소를 발생하는 세균을 분리하였다. 일반적으로 소화「가스」에는 수소「가스」가 포함되어 있지 않으므로 이 수소는 발생하는 즉시 타세균에 의해 이용되는 것 같다.

Bryant 등(1967)은 메탄생성균의 *Methanobacillus Omelianskii*가 수소와 「에칠알콜」을 생성하는 세균과 공생하고 있음을 발견하였다. 이 수소는 메탄생성균에 의해 이용된다.

Toerien(1970)은 분리한 92균주중, 80이 초산, 62가 「프로피온」산, 64가 젖산, 9가 젖산을 생산함을 보고하였다.

다. 「메탄」생성세균

「메탄」생성세균은 제2단계의 중

표9. 소화조로 부터 분리된 메탄생성 세균

	채 취 원	형 태	그람 염색	기 질
<i>Methanobacterium ruminatum</i>	오 니 반추제1위	단선균	양성	H <sub>2</sub> +CO <sub>2</sub> 개미산염
<i>Methanobacterium strain Moll</i>	Methanobacillus omerianskii	부정하게 만곡한 선균	부정	H <sub>2</sub> +CO <sub>2</sub>
<i>Methanobacterium formicicum</i>	오 니 니	부정하게 만곡한 선균	부정	H <sub>2</sub> +CO <sub>2</sub> 개미산염 메타놀
<i>Methanosarcina barkerii</i>	오 니 니	Sarcina	양성	H <sub>2</sub> +CO <sub>2</sub> 황산염
<i>Methanospirillum sp.</i>	오니	나선균	양성	H <sub>2</sub> +CO <sub>2</sub> 개미산염
<i>Methanococcus sp.</i>	오니	구 균	양성	H <sub>2</sub> +CO <sub>2</sub> 개미산염

(Wolfe, 1971; Crowther 등, 1975)

산물을 「메탄」으로 변화시킨다. 메탄은 底泥나 반추 제1위(rumen)에서도 생성되는데 이러한 것도 소화조의 메탄생성균과 유사한 세균인 것 같다. 소화조로 부터 순수분리된 메탄생성세균은 <표 9>와 같다. 순수배양을 할 수 없었던 메탄생성세균은 *Methanobacterium Suboxydans*, *Methanobacterium Söhngenii*, *Methanosarcina methanica*, *Methanococcus mazei*가 있다.

*Methanobacterium ruminantium*은 운동성이 없고 포자를 형성하지 않는 간균으로서 소의 반추제1위로부터 처음으로 분리되었다. 이 세균은 개미산염, 또는 탄산가스와 수소를 기질로 하여 증식한다.

*Methanobacterium* 균주 MOH는 *Methanobacillus omelianskii*의 배양액으로 부터 분리되었다. 이 배양액은 *Methanobacillus omelianskii*의 순수배양액으로 사용되었었는데, 수소를 생성하는 균과의 공생배양인 것이 알려져 각각을 순수배양하는데 성공하였다.

*Methanobacterium formicicum*은 개미산염 또는 탄산「가스」와 수소를 기질로 하여 증식한다. 이 세균은 소화조중에 가장 많이 존재하는 「메탄」생성세균이다.

*Methanosarcina barkerii*는 「메칠알

콜」, 초산염, 탄산「가스」와 수소를 기질로 하여 증식할 수 있다.

*Methanospirillum sp*는 Wolfe(1971)에 의해 기재된 메탄생성세균이며 「그람」양성 나선균으로서 개미산염 또는 탄산가스와 수소로 부터 「메탄」을 생성하는데 동등은 불충분하다.

<표 9>에 보인 것 이외에 Barker(1956)에 의해 다음의 「메탄」생성균이 기재되어 있다. *Methanobacterium söhngenii*는 운동성이 없는 「그람」음성 간균으로 초산 및 젖산을 발효하여 메탄을 생성한다. *Methanobacterium propionicum*은 「프로피온」산으로 부터 메탄을 생성하는 세균이다. *Methanococcus mazei*는 초산과 젖산을 발효시킬 수 있다. *Methanosarcina methanica*는 탄산가스, 초산, 젖산을 이용할 수가 있다.

소화조중 「메탄」생성세균의 생균수를 계수하려는 시도는 1940년경부터 이루어졌으며, 10<sup>5</sup>~10<sup>10</sup>/mL의 광범한 범위에 걸쳐고 있다. 그러나 「가스」발생과 「메탄」생성세균의 생균수와의 사이에는 밀접한 관계가 존재한다.

Siebert(1968)는 많은 배양법을 이용하여 소화조중, 각종 장소의 「메탄」생성균을 계수하여 1~4.86 × 10<sup>10</sup> 범위라고 보고하였다.

### 3. 관리지표

#### 가. 미생물의 관리

소화가 진행되고 있는 오니중의 미생물은 주로 세균이므로 호기성 처리의 지표가 되는 각종의 미소동물같이 검경에 의해 오니의 활성을 판정할 수가 없다. 이 때문에 미생물의 대사에 영향을 가장 예민하게 나타내는 지표를 사용하여 미생물

의 활성을 간접적으로 파악하는 것이 현재의 상황이다. 그러나 소화조내의 「바이오·매스」를 신속히 파악할 수 있는 측정법을 개발하여 혐기성세균의 농도 및 량을 제어해야만 할 것으로 보인다. 한 가지 방법은 DNA 및 ATP인데 이것도 매일매일의 조작에 사용할 수 있는 단계는 아니다. 소화상태를 알려면 소화「가스」의 발생량, 소화오니중의 유기물함량, 휘발산 농도, PH,

「알카리도」등이 소화조의 관리지표에 사용되고 있다.

소화의 저해에 대해서 가장 예민하게 나타나는 것은 「가스」발생량이다. 「가스」발생량의 감소는 소화가 억제되기 시작할때 나타나는 징후이므로 「가스」발생량은 매일 측정되어야 한다. PH의 저하는 유기산의 축적이 일어나고 「가스」화가 억제되고 있다는 증거가 된다. 오니의 소화에서는 소화가 정상이라면 PH가 7.0이하가 되는 경우가 적다. 소화가 순조롭게 진행되고 있는 경우는 휘발산이 300~500mg/L, 알카리도는 2,000~2,500mg/L의 범위가 많다.

표10. 소화저해가 일어났을 때의 투입오니중 중금속 농도

(Lexington市の 소화조)

오니시료	금 속(mg/ℓ 고형분)						
	Fe	Zn	Cr	Cu	Ni	Pb	Cd
생오니	9,800 —	4,300 4,300	2,100 2,200	1,200 1,200	790 980	650 690	290 290
소화조 No.1	10,900 —	4,700 5,200	2,200 2,500	1,500 1,700	960 1,100	810 900	360 370
소화조 No.2	11,000 —	7,600 5,300	3,200 2,700	2,100 1,800	1,200 1,100	1,100 870	440 400
건조상	—	4,900	2,300	1,700	950	860	520

(Regan 등, 1970)

#### 나. 중금속에 의한 소화저해

Regan 등(1970)은 실제의 소화조가 중금속에 의해 그 기능이 파괴된 경우의 대책에 대해서 보고하고 있다. Lexington시의 소화조(1차조 3,785m<sup>2</sup>×2기(체류시간 20~30일), 2차조 1,140m<sup>2</sup>×4기(체류시간 10~15일))는, 1967년 8월에 「가스」발생이 아주 정지하였다. 오니중에는 고농도의 유기산(휘발산)의 축적이 확인되었고, 또한 <표 10>에 보인 것같이 고형분중 25,000mg/L의 중금속이 함유되어 있었다. 중금속의 독성을 저하시키고 PH를 올리기 위해서 소석회, 액체「암모니아」, 유화「소다」를 소화조에 첨가하였다. 이 농도는 <표 11>에 보인 것같이 약 200일만에 정상으로 회복하였다. 여기에 소요된 비용은 전부 35,000「달러」였으며 연간경비는 약 23%증가하였다.

다. 휘발성산의 축적에 의한 소화저해

소화조의 관리에 가장 중요한 것은 과부하투입을 피할 것과 소화은

표11. 화학물질의 투입과 관리상황

1차조	년	소화조투입화학물질			소화조의 관리지표			
		소석회 (kg/월)	액 체 암모니아 (ℓ/월)	유화소다 (kg/월)	pH	휘발산 (mg/ℓ)	오니가스 발생량 (m <sup>3</sup> /일)	
NO.1	1967	9월	9,000	210	30	6.1	4,100	0
		10월	32,300	210	255	6.7	4,200	0
		11월	39,750	0	400	7.0	3,500	1,590
		12월	35,200	0	1,120	7.0	2,300	1,720
No.2	1968	1월	3,600	0	1,580	6.9	1,500	2,830
		2월	0	0	1,660	7.1	200	2,830
		3월	0	0	160	7.0	90	2,830
		9월	14,500	210	40	6.5	1,700	0
No.1	1967	10월	20,900	1,050	165	6.6	3,100	0
		11월	48,450	2,410	560	6.8	3,900	1,430
		12월	30,800	0	940	7.0	2,500	2,330
		1월	0	0	1,360	6.9	1,000	2,830
No.2	1968	2월	0	0	1,180	7.1	150	2,830
		3월	0	0	160	7.0	50	2,830

(Regan 등 1970)

도를 저하시키지 않는 것이다. 과 부하와 온도는 호기성처리에 있어서 보다도 영향이 현저하다. 활성 오니 등에 비하여 체류시간이 현저히 길기 때문에 회복에 시간이 걸린다. 그러므로 소화저해의 징후가

나타나면 조속히 그 대책을 세워야 한다.

Dague 등(1970)은 운전개시이래 소화가 부진하여 「가스」가 전혀 발생하지 않았던 2개의 오니소화조에서 실시했던 대책과 그 효과를 보

고하고 있다. 미국 아이오아주의 Keokuk과 Clinton의 소화조는 특히 2단소화로 처리하고 있다. 양자 모두 PH가 6.5이하로 저하하였으므로 석회를 투입하였다. Keokuk에서는 석회의 취급이 불편하였기 때문에 도중에 「암모니아」를 투입하였다. 그러나 「암모니아」의 과잉으로 다시 소화의 악화가 일어났으므로 오니를 세정하여 「암모니아」를 제거하였다(표 12). 그러므로 휘발성산이 고농도인 경우 「암모니아」에 의한 조정은 신중히 행하여야 한다. 「암모니아」가 1,500~3,000mg/ℓ 가 되면 소화가 저해된다.

1차소화조의 오니 체류일수는 10일 이상 필요하다고 한다. 10일 보다 짧게 되면 조내 미생물의 증식 속도보다 회색율이 커지므로 미생물이 씻겨내려가 소화가 악화된다. 휘발성 물질의 부하가 3.0kg/m<sup>3</sup>/day까지는 소화가 진행되나 이 이상이 되면 순조로운 소화는 진행되지 않는다. <끝>

표12. Keokuk처리장에 있어서 소화기능의 회복대책

(Dague 등, 1970)

년월일	회 복 대 책	지표치의 변화
	대책을 강구하기전 오니의 상태	pH 6.0~6.3 휘발산 8,000mg/ℓ 알카리도 3,000mg/ℓ 가스발생 0m <sup>3</sup> /일
1968년 4월 2일	알카리(석회)를 첨가 4월중의 총량 11,350kg 1일평균 390kg	5월 1일 조정 pH 6.9 휘발산 10,000mg/ℓ 알카리도 4,800mg/ℓ 가스발생 0m <sup>3</sup> /일
6월	6월중의 석회첨가총량 27,240kg	6월전반 pH 6.5 가스발생 2,100m <sup>3</sup> /일 6월후반 pH 6.2로 하락 가스발생 840m <sup>3</sup> /일로 하락
7월 2일	석회대신에 암모니아수(30%NH <sub>3</sub> )를 첨가 20일간의 총량 2,143kg 1일평균 107kg	7월 22일 조정 pH 6.9 휘발산 72,000mg/ℓ 로 상승 알카리도 5,000mg/ℓ 가스발생 3,080m <sup>3</sup> /일 그러나 이후 급속히 감소
7월 22일 9월 4일	암모니아 첨가총량 5,148kg 암모니아농도(소화조중) 8월 1일 2,500mg/ℓ 9월 3일 3,160mg/ℓ	8월 3일 280m <sup>3</sup> /일 8월말 0m <sup>3</sup> /일 9월 3일 측정 pH 6.8 휘발산 18,000mg/ℓ 로 상승 알카리도 11,500mg/ℓ 로 증가 가스발생 0m <sup>3</sup> /일
9월 5일 9월 21일	과잉의 암모니아를 씻어내는 작업을 행함	9월 21일 측정 pH 6.2로 하락 휘발산 5,000mg/ℓ 로 저하 알카리도 3,500mg/ℓ 로 하락 가스발생 5.6m <sup>3</sup> /일
9월 25일 9월 30일	암모니아첨가총량 127kg	가스발생량은 급속히 증가한다. 10월 1일 1,400m <sup>3</sup> /일
10~12월	석회와 암모니아를 소량첨가	pH 6.8~7.1 12월 16일 이후 알카리도 농도쪽이 휘발산 농도보다 높게 되었다.
1969년 1월 1일 이후	알카리의 첨가를 중지하다.	소화상태를 완전히 회복하였다. pH 6.9 휘발산 500mg/ℓ 알카리도 2,900mg/ℓ 가스발생 9,156m <sup>3</sup> /일

### <기본 참고문헌>

- (1) 김감수, 김오식역, 환경미생물  
녹원출판사, 1988
- (2) 수도·류이찌著, 폐수처리의  
생물학, 산업용수 조사회, 1977  
(일본어)
- (3) 수도·류이찌 편저, 미생물 고  
정화법에 의한 배수처리, 산업용  
수 조사회, 1987 (일본어)
- (4) First National Symposium  
Workshop on Rotating Biologi-  
cal Contactor Technology, 1980
- (5) First International Conference on  
Fixed-film Biological Processes,  
1982
- (6) Second International Conference  
on Fixed-film Biological Proce-  
sses 1984
- (7) Atlas and Bartha, Microbia Ecology,  
1987.