

고농도 유기폐수의 혁신적인 처리공법

두산개발(주) 환경사업부

I. 광합성 세균

1-1 광합성 세균의 기초

조류에 의한 광합성은 고등식물과 같은 기구에 의하는 것도 있어, 자주 연구되어 왔다. 또한, 세균에 의한 광합성도 광합성기구의 연구 자료로서 연구되어 오고 있지만, 자연계에 있어서 역할을 규명하여 이용하는다는 입장에서의 연구는 거의 보이지 않는 상태에 있었다.

이에 일본 경도대학의 고바야시 교수가 광합성세균의 생태, 생리를 연구하고 있던중에 이 세균이 자연계에 있어서 아주 중요한 역할을 차지하고 있다는 것을 알고, 그 기초 DATA를 토대로 하여 각종의 유용한 이용방법을 개발해 오고 있어 그들의 특징에 대해 논해보고자 한다.

1-2 자연계에서의 광합성세균의 역할

광합성세균중, 홍색비유황세균인 *Rhodospseudomonas Capsulatus*는 제1표에 나타낸 바와 같이 단독배양에서 이용하지 않는 Glycerol 배지에서도 Glycerol을 이용할 수 있는 다른 유기영양세균과 공존하면 잘 증식하여 무질소 또는 질소결핍 배지에서도 질소고정을 행하는 것이 관찰 되었다.

즉, *Azotobacter Agilis*는 Glycerol을 이용하고, 동시에 질소고정 능력도 있어 단독 배양에서도 질소고정을

제1표 광합성 세균 *Rhodospseudomonas capsulatus* 와 그의 유기영양 세균 *Bacillus megaterium*, *Azotobacter agilis*, *Bacillus subtilis*와의 순수 및 혼합 배양에 있어서의 질소고정

(광조제 · 진온배양조건)

	질소고정량 Nmg/100m l
<i>R.capsulatus</i> * (R)	0
<i>B.megaterium</i> (Bm)	0
<i>Azotobacter</i> (Az.)	2.69
<i>B.subtilis</i> (B.sub)	0
R-Bm 혼합	4.41
R-Az 혼합	4.95
R-B. sub 혼합	0.54

* *R.capsulatus*를 이용해서는 안된다.

* 경도대학진학부(경도시좌경구북백천) 조화 49년 6월 11일 수리
일본토양비료과학잡지 제46권 제3호
p.101~109(1975)

하므로 광합성세균과의 혼합배양 조건에서 고정되는 질소는 양자의 어느쪽이 주체가 되어 고정했는가는 단언할 수 없지만, *Bacillus Megaterium*은 비질소고정균이므로 광합성세균과의 혼합배양에 있어서 고정되는 질소는 *R.Capsulatus*에 의한 것이라고 생각된다.

이 실험에서 특히 흥미있는 것은 보통 광합성세균은 순수배양에서는 혐기적 조명 조건하에서 우세하게 생육하지만, 혼합배양에서는 호기적조명 조건하에서의 진탕배양에서도 아주 잘 생육하여 배양액은 하루주야에 광합성세균의 증식으로 인해 진홍색이 배양액 전체에 미쳐, 균체량이 최고로 된다는 점이다.

이와 같이 광합성세균이 공생관계에 있는 균과 혼합배양된 경우에는 호기조건하에서 최고로 우세한 생육을 나타낸다는 사실이 다음에 서술하는 광합성세균의 대량배양과 수처리 기술로서의 이용등의 용

용개발에 기점이 되었다.

광합성세균중 홍색유황세균인 *Chromatium*은 유화수소를 함유하는 호수에서는 제1도에 표시된 것과 같은 승직분포를 하고 있는 것이 보고되어 있다.

벨로보드(BELOVOD)호의 바닥에는 황화수소가 상당히 있고 그 오염은 상당한 것이지만 그와같은 호저유독물의 상층으로의 파급은 *Chromatium*이 억제하고 있는 것 같다. 즉, 깊이 14m의 위치에서 산소 분압이 아주 낮았던 사실로 보아 *Chromatium*이 증상으로 생육하여 유화수소가 상층부로 확산하는 것을 방지하고 있는 것으로 보인다.

바꾸어 말하면, 이 균이 자연계에서 오염을 정화하는 움직임을 하고 있는 것이다.

표2는 다른 생태계에 있어서 광합성세균의 생존수를 표시하는 것이지만, 그 분포는 아주 넓고 수천, 구, 하천, 호수, 해안도, 하수처리장 등 잠수 상태의 장소에는 대부분

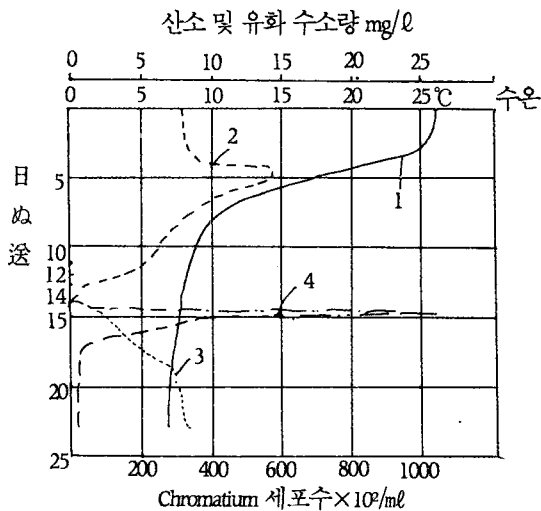
존재하고 있는 것이 확인되었다. 그 극단적인 예를 2, 3에 들어보면, 동결에 강한 성질도 있어서 수온이 영하인 남극의 얼음 아래 해안에도 생존하고 있는 것이 확인되었다.

한편, 그와같은 저온에서와는 반대로 90°C의 온천에서도 잘 생육하는 균주가 있다. 또, 2,000m 깊이의 해수에서도 존재가 확인되었다. 내염성도 꽤 있어 10% 이하의 식염농도에서도 충분히 잘 생육하고, 30% 염농도의 염수호에서도 잘 분리된다.

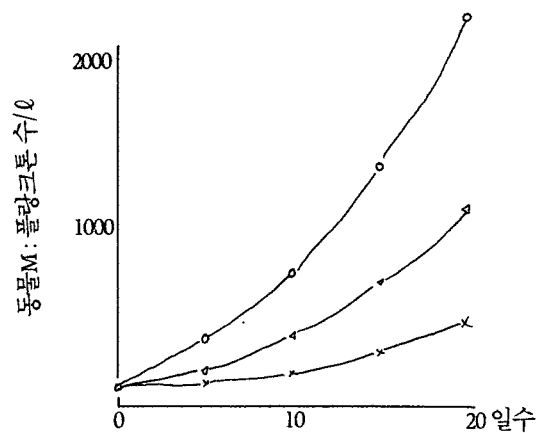
홍색 또는 녹색 유황세균은 유황의 생성에 관여하고 있으므로 그들의 세균의 활동에 의해 유황을 기업적으로 생산하고 있는 호수도 세계에 상당히 존재하고 있다.(20km²의 호수에서 연간 100톤이 생산된다고 전해지고 있다)

그외, 많은 치료용 온천의 늪속에서 많은 광합성세균이 생식하고 있는 것이 확인되었다.

자연계에서 녹조류는 일반적인



제1도 광합성세균(*Chromatium*)의 호수(Belovod 호)에 있어서의 수치분포. 1. 수온, 2. 산소, 3. 유화수소, 4. *Chromatium*의 세포수



제2도 각종미생물 세포투여에 따른 플랑크톤 증식 수의 비수
 -○-○- 광합성세균 -△-△- 산모
 -×-×- 클로렐라

로 빛이 투과되는 장소에 모이고 빛이 비치지, 않는 암흑상층에서는 거의 생존을 확인할 수는 없지만, 홍색의 광합성세균(홍색유황세균 또는 홍색비유황세균)은 토양표층에서 깊이 8cm인 완전 암흑하에서도 상당수 생존하고 있으며 무언가의 역할을 차지하고 있는것 같다.

같은 광합성세균에서도 녹색유황세균만이 토양표층의 빛이 비추는 곳에서만 생존이 확인되어 있지 않다.

제2표를 보면, 광합성세균은 물이 피어 있는 구나 하수 처리장과 같은 (BOD치가 높다)곳에 아주 많이 존재하고 있는 것을 알 수 있을 것이다.

그럼, 광합성세균이 자연계에서 증식한 경우, 그들 군체는 어떤 생물체와 관련되어 있는 것일까? 제2도는 그 일례를 나타내지만, 광합성세균체는 동물성 PLANKTON의 먹

이로서 아주 유용하고, 광합성세균체를 그들이 포식 이용한 경우에는 맹렬하게 증식하는 것이 확인되었다.

따라서, 일반적으로는 광합성세균은 제3도에도 표시된 것처럼 빛 ENERGY이용을 중심으로 탄산고정이나 질소고정을 수반하면서(일부, 탄소, 수소, 질소의 존재비에 따라서는 탈탄산 탈질을 행한다) 증식균체는 수중 또는 토양 소동물의 “먹이”로 이용되고 또한 후술하는 그 분비물은 조류등의 증식에 좋은 영향을 미치고 있는 것으로 생각되고 있다.

예를들면, 일본의 수전토양과 같은 유향을 함유한 곳에서는, 제4도에 표시된 것처럼 수도(물벼)의 생식생장기(어린벼이삭 형성기)의 수도근권(물벼 뿌리지역)의 산화환원전위가 저하될 즈음(8월중순) 유산환원균이 왕성하게 생육하여 황화

수소를 발생하고 물벼 뿌리에 많은 해로운 작용을 끼치지만 그런 유독 황화수소의 축적을 제거하도록 광합성세균이 증식하는 것이 확인되었다.(제5도 참조)

그래서 증식된 광합성세균체에서 분비된 유효물질이 수도(물벼)의 입수증가에 좋은 영향을 미치는 것이 보이게 된다.(제3표 참조)

II. PSB SYSTEM이란?

2-1 PSB SYSTEM의 정의

PSB SYSTEM은 “공생미생물에 의한 식품공장폐수의 처리방법”으로 명칭된 특허 번호 1272238(일본국)로서 고농도 유기폐수를 처리하여 왔다.

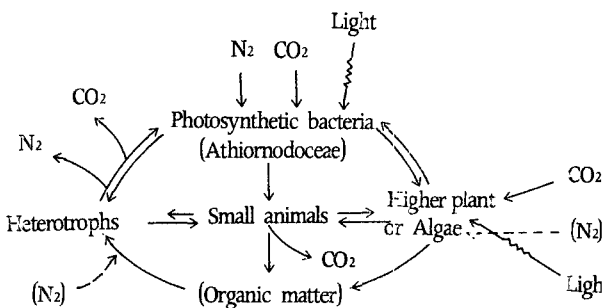
“공생미생물에 의한 식품공장폐수의 처리방법”의 특허내용은 광합성 세균(주로 Rhodospseudomonas)을

제2표 각종 시료중에 있어서의 광합성 세균수(1g당 수)

만	(BOD 250 ppm)	$10^5 \sim 10^7$
호	(BOD 10 ppm)	$10^2 \sim 10^3$
하 천	(BOD < 1.0 ppm)	+ ~ 10
하수처리균	(활성오니식)	$10^5 \sim 10^7$
수전토양		$10^5 \sim 10^6$
해안토		$10^3 \sim 10^4$

제3표 광합성 세균체시용이 수도의 생육 취지에 미치는 효과 (생식 성장기에 추비용비료에 있어서 시용한 경우)

처리구	8월 6일		9월 19일		총수	일총입자수	일총중량(g)
	초분 (cm) ㄱ數	분け	초분 (cm) ㄱ數	분け			
대 회 구 (염화 암모니아)	64	25.6	103.0	28.0	28	66.8	1.54
클로렐라	65	28.0	101.0	27.0	23	71.6	1.75
광합성세균	63.6	26.3	102.0	23.3	23	87.9	2.04



제3도 수전에 있어서 광합성 세균(홍색비 유황세균)의 역할을 나타내는 모식도

과 유산균, 여러 종류의 효모 등이 공생관계를 나타내는 군체를 혼합 배양 함으로써 처리하는 것으로 특징 지어진다.

특히, PSB-SYSTEM은 폐수가 다 음과 같은 성상인 경우에 처리효과 가 월등하게 나타나게 된다.

- 1) 유기폐수가 녹말(전분공장에서 배출되는 폐수같은)을 다량 함유 시
- 2) 유기폐수가 단백질(두부, 유가공 품, 어육, 도살장에서 배출되는 폐수같은)을 다량 함유시
- 3) 펙틴이나 섬유질(과자나 과일통 조림 공장과 같은)을 다량 함유 시
- 4) 유기폐수가 지방(어육, 도살장과 기름추출공장등과 같은)을 다량 함유시
- 5) 알콜, 포도당, 간장제조등과 같은 발효과정에서 배출되는 유기폐 수

2-2 PSB-SYSTEM의 EXAMPLE TABLE

BOD 1500 PPM, COD 400PPM, SS 500PPM, n-Hex 240PPM의 고농도 유기폐수를 하루 260톤씩 배출하는 연육공장을 예로 들면 다음과 같다.

2-2-2 PSB-SYSTEM처리 공정도

- (1) 집 수 조
먼저, 폐수는 집수조로 유입한다.
- (2) 스크린과 유수분리조
미생물에 의해 분해하기 어려운

소량의 조대고형물을 제거하기 위 하여 스크린으로 이송된다. 조대 고형물이 제거된 후, 과잉 지방분은 유수분리조에서 제거된다.

(3) 유기 영양조

공장에서 배출된 유기폐수는 용존산소가 부족함에 따라 본조에서 폐수를 20시간 이상 폭기시킨다.

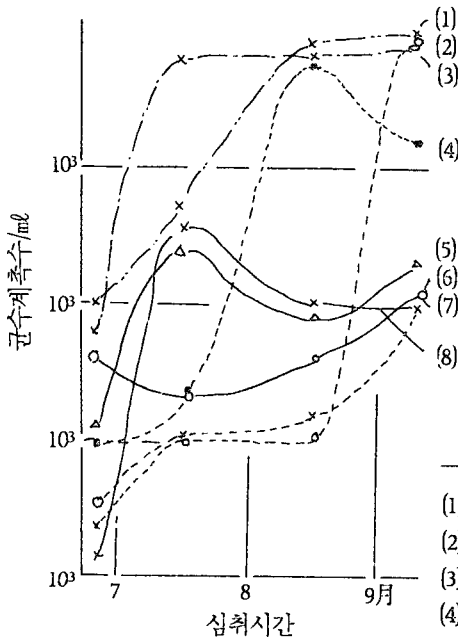
이러한 폭기에 따라, 단백질, 녹말, 지방같은 고분자물질은 타 호기성 세균에 의해 아미노산, 글루코스, 아미노산, 프로피온산과 같은 저분자물질로 변화된다.

이러한 유기산은 다음의 광합성 세균과 공생 미생물조에서 미생물

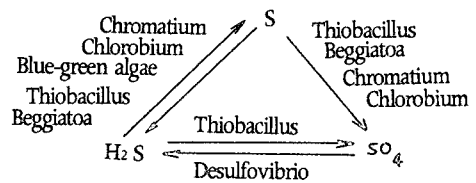
2-2-1 폐수의 처리 비교 (연육공장)

(단위 : mg/ℓ)

구 분	유 량	BOD	COD	SS	n-Hex
원 수	260 m ³	1,500	400	500	240
처리수	260 m ³	20이하	20이하	20이하	20이하



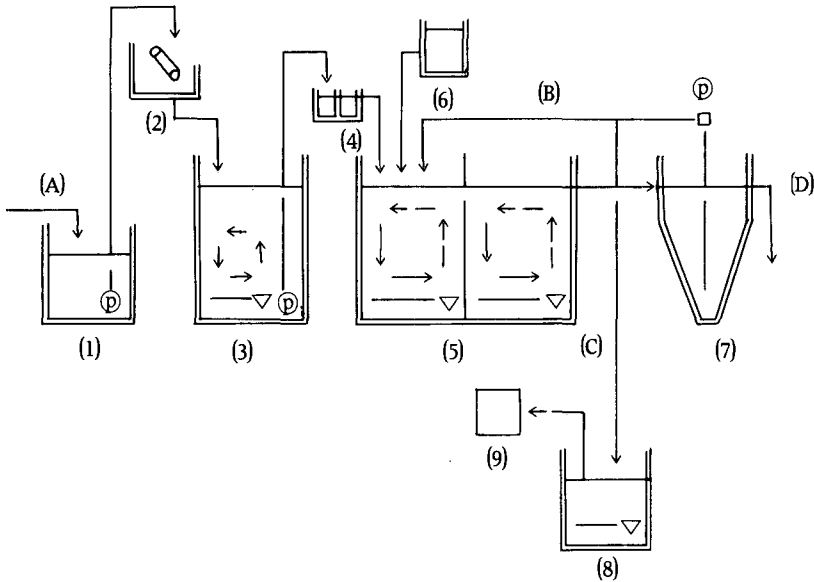
제4도 수도권권 미생물군의 계절적 변동



제5도 미생물에 따른 유황의 순환

- | | |
|---------------------------|----------------------------|
| (1) 호기성 비산소 고정균 | (5) 호기성 비산소 고정균 |
| (2) Thiorhodaceae(광합성 세균) | (6) 호기성 비산소 고정균 |
| (3) 호기성 비산소 고정균 | (7) Athiorhodaceae(광합성 세균) |
| (4) 유황 환원균 | (8) 녹색 광합성 미생물 |

• PSB-SYSTEM 처리 공정도



- (1) 집수조
- (2) 스크린과 유수분리조
- (3) 유기영양조
- (4) 계량조
- (5) 광합성세균과 공생 미생물조

- (6) 광합성 세균 배양조
- (7) 침전조
- (8) 슬러지 저장조
- (9) 탈수기

- (A) BOD 1500PPM, 하구 260m²의 폐수
- (B) 슬러지 반송
- (C) 슬러지 제거
- (D) BOD 20PPM이하의 유출수

에 의해서 쉽게 분해된다. 또한 본조에서 폐수는 폭기에 의해서 수질이 균등화 된다.

이것은 예비폭기 처리공정이다.

(4) 반응조

폐수는 유량계에 의해서 균등하게 제어되어 다음의 광합성세균과 공생미생물조에 유입된다.

(5) 광합성세균과 공생 미생물조

폐수가 유기영양조로부터 본조로 유입되기 전에 광합성 세균의 증식에 적합한 배양제에 의하여 광합성세균과 공생미생물을 증식시키는 데 필요한 조건이다.

*Rhodospseudomonas capsulatus*는

광합성세균의 일종으로서 유산균, 여러종류의 효모등과 같은 공생미생물의 도움으로 특이하게 고속으로 증식된다.

그리고 특히, 폐수가 고농도 유기폐수일 때 광합성 세균은 저분자 물질의 분해능력이 현저하게 증가한다. BOD 제거율은 99%이다.

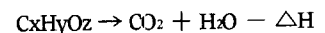
광합성 세균의 순수배양이 완료된 후, 폐수는 본 조로 조금씩 유입된다. 이때 광합성 세균은 점차적으로 폐수에 적응된다.

세포물질의 산화, 간상물질의 형성, 유기물의 흡착 및 부착과 같은 여러종류의 생물학적 반응들이 본조에서 일어난다.

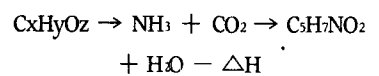
일반적으로 반응들은 다음과 같

다.

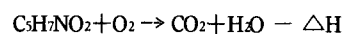
a) 호기성 산화



b) 미생물 증식



c) 자기산화



위에 표시된 대로 폐수에 포함된 유기물은 최종적으로 무기물이 된다. 본조에서 미생물은 유기물을 흡착하여 동화하며, 이에 따른 산화와 소화는 계속 되풀이 된다. 이러한 처리는 호기성 상태에서 진행된다.

(6) 광합성 세균 배양조

광합성세균의 종균은 본조에서

증식된다. 순수 종균은 그 처리상태에 따라 일정한 부피로서 광합성세균과 공생미생물조로 유입된다.

(7) 침전조

광합성미생물과 공생미생물조 이전의 조에서 새로 생성된 세포들이 처리수와 같이 유입된다. 유출수(상징수)와 세포들은 침전조에서 자동으로 분리된 후, 바닥에 침전된 세포들은 광합성세균 및 공생균조에 반송하고 유출수(상징수)는 침전조로부터 유출된다.

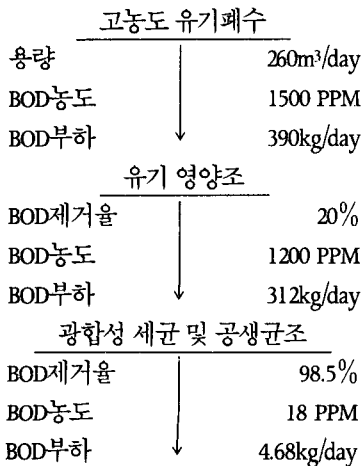
(8) 슬러지 저류조

침전조의 잉여슬러지가 슬러지 저류조에 유입되고 슬러지는 호기성 상태를 유지하기 위하여 폭기를 한다.

(9) 탈수기

슬러지는 반응조(슬러지 개량조)에서 응집된 후 탈수기에 의해 탈수된다.

2-2-3 PSB-SYSTEM의 BOD 제거 계획



방류수(상징수)

BOD	20 PPM 이하
COD	20 PPM 이하
SS	20 PPM 이하
N-Hex	20 PPM 이하

1/2인 BOD농도 20 PPM의 수질로 방류시킬 수 있다. 이러한 점에서, PSB-System은 활성슬러지법보다 월등하다.

또한, PSB-System은 다음과 같은 현저한 특징을 가지고 있다.

- A) 고농도 유기폐수를 무희석으로 처리가능 함
- B) 운전제어에 특별한 기술이 필요 없다.
- C) 안정적이고 자동화 공정제어
- D) 투자비 및 운전비용 적게 소요
- E) 잉여슬러지(단백질과 영양물질 풍부)의 비료화 및 토지주입 가능

III. PSB-SYSTEM과 일반활성슬러지법 비교

BOD 3000 PPM과 BOD부하 300kg/day의 폐수 100m³/d를 상징수 20 PPM 이하로 처리하여 방류하며 처리공정의 크기비교는 다음과 같다. (3-2, 처리능력 비교)

PSB-System은 활성슬러지법의

3-1 처리 효율 비교표

구 분	PSB-SYSTEM	활성슬러지법
대상 처리 폐수 농도 (PPM)	중, 고농도 유기 폐수 BOD 1,500~20,000	BOD 150~1,500
BOD 용적 부하(BOD kg / m ³ / day)	2.0	0.6
발생슬러지량(Dry kg/제거 BOD kg)	0.17	0.35
필요공기량(Nm ³ / 유입 BOD kg)	70	100
BOD 제거율(%)	90~98	90~95

3-2 처리 능력 비교

활 성 슬 러 지 법	PSB-SYSTEM
집수조 : 30분 저류 : 2 m ³	집수조 : 10분 저류 : 0.7 m ³
조정조 : 16시간 저류 : 67 m ³	유기영양조 : 20시간 저류 : 83 m ³
폭기조 300 kg BOD/day ÷ 0.5 kg BOD=600 m ³	광합성균 및 공생균조 300 kg/day ÷ 1.2 kg BOD [*] =250 m ³
침전조(100 m ³ 의 반송량) 15 m ³ / m ³ · day (월류부하량)=13 m ³ 반송율 100%	침전조 활성오니법과 동일 =13 m ³
총 계 682 m ³	총 계 346.7 m ³

3-3 PSB-SYSTEM 유기폐수처리 효율표

폐 수	원폐수농도 (ppm)			처리수농도 (ppm)			처리수량 m ³ / d	BOD부하 kg / m ³ D
	BOD	COD	SS	BOD	COD	SS		
주 정	28,600	8,900	60	46	68	20	30	2.0
제 빵	24,200	8,600	3,600	12	25	12	200	3.0
된 장	21,200	16,200	8,300	18	20	26	150	3.5
제 먼	10,800	5,960	4,240	16	21	25	100	1.7
두 부	8,620	6,300	3,820	18	12	10	200	2.2
물 엿	5,650	3,120	1,840	12	18	14	150	2.6
수 산 가 공	4,360	2,880	1,860	16	20	18	450	1.5
급 식	3,120	2,240	1,920	6	14	10	100	1.0