

고온·호기법을 이용한 Poly Aluminum Chloride에 의해 응집된 조류의 분해특성

양재경, 최경민*

청양대학 환경관리과, *고려대학교 생명공학원

Degradation Characteristics of Algae Coagulated with Poly Aluminum Chloride by Thermophilic Oxidic Process

Jae-Kyung Yang, Kyung - Min Choi

Dept. of Environmental Management of Chong Yang College

* Graduate School of Biotechnology, Korea University, Seoul 136-701

ABSTRACT

The biodegradation of algae coagulated with poly aluminum chloride(PAC) was investigated by using the thermophilic oxidic process.

The compositions of coagulated algae were 83.5% of water content, 24.6% of ash, 32% of organic carbon with in total solid, respectively. In present study, food waste oil was used for the increment of calorie of mixtures in order to accelate the microbial activity. As a result, the maximum temperature of mixtures was higher than 50℃ when the mixing ratio of food oil was over 10%. However the temperature indicated the lower than 50℃ when conditions of no mixing with waste food oil, and 5% of mixing ratio. Therefore, the optimum condition was 10% of the mixing ration at $217 \text{ l} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{min}^{-1}$ of air supply rate. The conversion efficiency of carbon was highest as 92% at the optimum condition. And then water was evaluated from imxture without accumulation at 10% of mixing ratio. The thermophilic oxidic process well conducted that is good process for the treatment of waste algae without effluents however it has to consider the re-treatment of accumulated aluminum in the reactor.

Key Words : Coagulated algae, Biodegradation, Thermophilic oxidic Process, Material balance, C/W ratio.

초 록

공기유입속도가 $217 l \cdot m^{-3} \cdot min^{-1}$ 이었을 경우, 고온·호기조를 이용하여 PAC로 응집, 탈수된 조류의 분해 특성을 관찰한 결과 다음과 같이 요약할 수 있다. 10% 폐 식용유의 혼합조건이 본 연구에서 최적 조건으로 온도는 $55^{\circ}C$ 이상을 나타내었고, 수분은 55%를 일정하게 유지하였으며, CO_2 의 농도는 최고 3.7%, 투입 탄소량의 92%가 CO_2-C 로 변환하였다. 적절한 폐식용유의 혼합은 미생물의 활동을 활발하게 하였지만 과도한 혼합은 수분 증발로 건조상태로 되었으며 오히려 분해 활성에 저해 영향을 주었다. 처리가 종료된 담체는 고농도의 알루미늄이 축적되어 있으므로 별도의 처리가 요구된다.

주제어 : 응집조류, 생분해, 고온호기공정, 물질수지, C/W비

1. 서 론

부영양화가 진행된 호소에서 수화(水華)라고 불리는 남조류가 이상 발생하는 현상은 일개의 나라에 국한되지 않고 심각한 환경문제로 대두되고 있다. 남조류의 집단적 이상 발생은 호소의 오타쿠 원인이 될 뿐만 아니라 불쾌한 맛과 냄새의 발생, 응집저해, 산소의 결여로 되어 어류의 대량 폐사 또는 Microcystin과 같은 강한 독성물질을 용출하여 육중한 동물까지도 피해를 일으키고 있는 현실이다^(1~8). 이와 같은 조류의 처리에는 여러 가지 방법이 이용되고 있다. 예를 들면 생물학적 처리는 빈모류인 *Aeolosoma hemprichi*, 윤충류인 *philodina erythrophthalma*를 이용한 생물막법이 있다. 물리화학적 처리는 수중의 현탁 물질과 콜로이드 입자들을 알루미늄염 또는 고분자의 응집제인 PAC (Poly Aluminum Chloride)를 이용하여 응집하고 침전, 모래 여과 및 제거 후 염소제에 의한 소독 방법이 있다. 현재 폐쇄 수역에서의 조류의 발생이 빈번하고, 농도 또한 높아지고 있으며 이를 처리하기 위해 여러 가지 여재와 응집제의 농도변화에 의한 처리로서 고속 처리에 관한 연구가 다각적으로 이루어지고 있다^(9~14). 이와 같은 방법을 이용하여 회수한 조류의 양도 계속적으로 증가하고 있으며

그의 처리 역시 문제되고 있다. 응집하여 회수된 조류를 환경중에 방치할 경우 악취와 침출수에 의한 2차적 수환경 오염도 무시할 수가 없다. 응집 회수된 조류 케익의 처리법으로는 혐기성 소화, 소각 및 매립 등이 있지만 혐기성 소화인 경우에는 가용화 단계가 반응의 율속 단계로 존재하기 때문에 전체적 분해속도가 느리며 소각의 경우에는 대기가스에 의한 악취 등 2차적인 오염의 가능성이 크다⁽¹⁴⁾. 또한 현재까지의 연구 사례에서 생물학적 방법으로 중온의 수중에서 처리하는 방법은 있었지만 고온·호기법과 같은 고온과 함수율이 낮은 환경에서의 처리는 시도된 적이 없다.

고온·호기법은 양조폐액, 축산분뇨, 수산가공 폐기물과 같이 고농도의 유기성분 및 높은 함수율을 가진 유기성 폐기물을 완전히 처리하여 무방류와 탄소성 유기물은 이산화탄소로 변환되고 생성된 수분과 기존에 존재하였던 수분은 생물학적으로 유기물이 분해될 때 발생하는 산화열에 의해 증발시키는 공법이다. 또한 반응 혼합물을 퇴비로 농토에 전환, 이용될수 있다는 장점을 가진 공법으로서 널리 알려져 있다⁽¹⁵⁾. 따라서 본 연구에서는 고온·호기법에 의해 응집 회수된 조류의 처리를 시도함으로써 응집제에 의해 회수된 조류의 처리방법으로서 적당한지 판단하고, 호열·호기성 미생물의 활용에

의한 분해 특성에 대하여 검토하였다. 본 연구에서는 응집제로 인하여 응집 회수된 조류의 자체열량이 낮으므로 분해 미생물의 활성을 향상시키기 위해 유기원으로서 폐 식용유를 첨가하여 행하여졌으며 수분의 증발량, 이산화탄소의 발생량 그리고 응집된 조류의 분해에 관여하는 고온 · 호기장치중의 미생물상을 고찰하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 PAC에 의해 응집된 탈수조류케익의 특성

Table 1. Physio-chemical Characteristics of Algae Coagulated with Poly Aluminum Chloride (PAC)

W.C(%)	Ash(%)	Carbon(%)	C/N	C/S	C/W
83.5	24.6	10	6.4	15.0	1.16

Note: Microsystis spp. was composed to protein; 82%, lipid;5.2%, cellulose;0.11%, ash;14%, respectively. C/N; Carbon/Nitrogen, C/S; Carbon/Sulfur, C/W;Calorie/water

회수된 응집조류는 고분자 응집제인 PAC를 이용하여 응집시켜 탈수한 것이다. 미쓰비시 중공업(주)으로부터 제공된 응집제로 응집, 회수하여 탈수된 조류를 분석하여 얻어진 결과이다. 실험 기간 중에 조류의 부패를 방지하기 위하여 4℃의 항온 저온실에 보관하면서 실험에 이용하였다. Table1에 조류 탈수 케익에 대한 특성을 나타내었다. 여기에는 함유율이 83.5%, 회분이 24.6%, 유기탄소는 고형물의 10% 였다. 탄소와 질소의 비(C/N비)는 6.4로 매우 낮았으며 미생물의 특징을 그대로 반영하고 있었으나 열량은 $4,370\text{kcal} \cdot \text{kg} \cdot \text{ds}^{-1}$ 로 일반적인 미생물의 약 $6,400\text{kcal} \cdot \text{kg} \cdot \text{ds}^{-1}$ 에 비해 매우 낮았다. 탄소와 황의 비(C/S비)는 15였다. 단위 중량당 열량과 함유하고 있는 수분의 증발잠열의 비(Calorie/Water)는 1.16으로 고온 · 호기법으로 처리하기에는 낮은 값을 나타내고 있었다. 응집제로

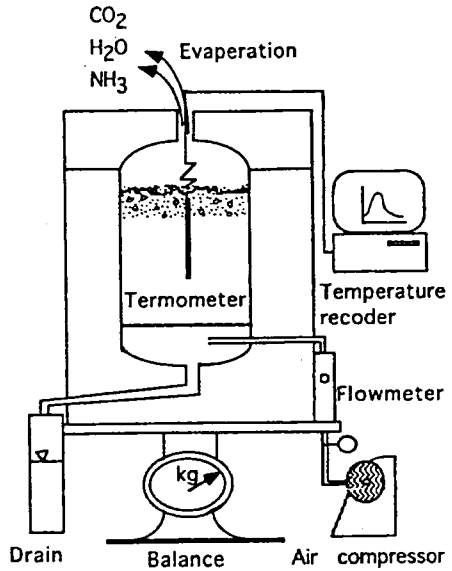


Fig. 1 Schematic diagram of the thermophilic oxic process.

응집되지 않은 순수한 조류(*microsystis spp.*)중에는 단백질이 82%, 지방질은 5.2%, 섬유분은 0.11%, 회분이 14% 이었으며 단백질 성분이 대단히 높은 것으로 판명되었다. 따라서 조류 케익중 회분성분이 많이 포함된 이유로서는 고분자 응집제인 PAC의 첨가 때문인 것으로 사료된다.

2.2 고온 · 호기실험장치

Fig. 1에 본 연구에 사용한 고온 · 호기 반응기의 모식도를 나타내었다. 5l의 원형 폴리비닐 클로라이드 재질로 만들어졌다. 온도 유지를 위해 약 200mm 두께의 발포스티로폼 단열제로 반응기를 보온하였다. 열전대 온도계를 반응기 중앙에 삽입하여 온도를 상시적으로 자동 측정할 수 있게 하였다. 반응조의 하부에는 지름 5mm의 다공성의 아크릴판을 설치하여 공기의 분산을 유도하고 그 위에 총 반응조의 부피의 80%를 유효 부피로 하여 목질재를 흡수 담체로서 충전하였다. 반응기 전체를 저울위에 설치하여 상시적으로 무게의 변동을 관찰할 수 있도록 하였다. 또한 하부에서는 공기 펌프를 설치,

공기 주입을 가능하게 하는 동시에 유량계로서 그 양을 조절하였다.

2.3 흡수재의 물리화학적 특성

Table 2. Characteristics of Cedar Chip used in the Study

Size (mm)	Diameter of pores (μm)	WHC (g · g ⁻¹)	specific surface area(m ² · g ⁻¹)
2~7	40~50	2.53	2.5

note : WHC; water holding capacity

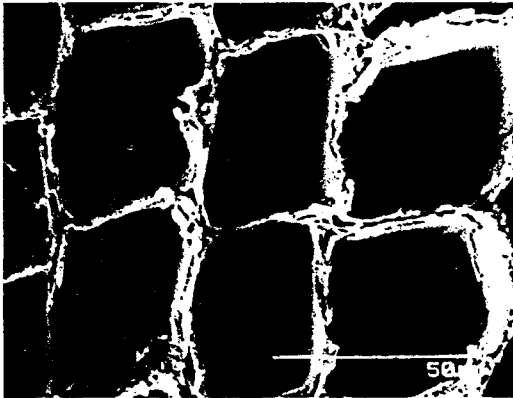


Photo. 1. Scanning electronic microscoph of cedarchips.

본 연구에서는 흡수재로 사용한 삼나무 목재질(톱밥)의 물리적 특성을 Table 2에 나타내었다. 톱밥의 크기와 비표면적은 2~7 mm와 2.5m² · g⁻¹이었다. 삼나무 톱밥에는 직경이 40~50 μm 의 가도관이 나란히 정렬되어 있어 모세관에 의해 물을 흡수한다(photo.1). 삼나무의 목재질은 1g당 약 2.53g의 물을 흡수할 수 있는 능력을 지니고 있으며 다른 담체와 비교하여 흡수성이 우수한 것으로 판단되었다. 이러한 결과로 미루어 볼 때 삼나무의 톱밥은 미생물의 적절한 서식처로서 큰 역할을 할 수 있음을 짐작할 수 있다⁽¹⁵⁾.

2.4 실험 조건 및 방법

폐기물자원화, 제 7 권 제 1 호, 1999

Table 3에 실험조건을 나타내었다. 응집제에 의해 응집회수하여 탈수된 조류케익은 자체열량이 비교적 낮기 때문에 고온·호기법으로 효과적으로 직접 분해 처리하기에는 곤란하다. 본 연구에서는 자체열량이 분해과정에서 발생하는 수분과 이미 존재하고 있었던 수분을 완전히 증발시켜 무방류상태로 유도하기 위해서 자체 열량을 높이는 방법을 채택하기로 하였다. 따라서 유기물을 혼합하지 않은 폐식용유의 무첨가 조건과 5%, 10%, 20로 각각 2배의 증가조건을 택하였다.

Table 3. Experimental Conditions used in the Present Study

Waste food oil mixing ratio(%)	BOD loading rate (kg · m ⁻² · d ⁻¹)	C/W ratio
0	2.54	1.10
5	7.12	1.99
10	8.39	2.87
15	9.07	3.74

이때 BOD 질량부하는 각각 2.54, 7.12, 8.51, 9.1kg-BOD/m² · d로 나타났다. 여기에서 식용폐유의 역할은 응집된 조류의 탈수케익 자체의 열량이 3,470kcal · kg⁻¹으로서 낮기 때문에 미생물에 의해 조류가 분해, 수분 증발시 필요한 열량의 부족분을 보충하기 위함이다. 열량 보충용 유기물로서 식용폐유를 선택한 이유는 단순한 올레익산을 주성분으로 한 불포화지방산으로 비교적 미생물에 의해 분해되기 쉬운점을 이용, 탄소수지를 용이하게 취하기 위함이다. 혼합하는 식용폐유의 양은 고온·호기법에서 적당한 C/W비로서 2정도이며⁽¹⁶⁾ 조류가 응집제에 의해 응집된 후에 탈수된 후에 밀도가 높게되고 통기성 및 분해에 영향을 받는 것을 방지하기 위하여 위에서 언급한 삼나무 목재재를 혼합하였다. 2일에 한번 투입하였으며 공기의 공급속도는 217 l · m⁻³ · min⁻¹이었으며 1일 1회 교반하였다. 측정

항목으로서는 온도, 중량, 함수율의 변화 및 배출가스중의 이산화탄소농도와 담체중의 미생물상을 관찰하였다.

2.5 분석방법

BOD, COD_{Cr}, NH³-N, SO₄²⁻이온, 총 황화물 그리고 총 고형물의 농도 분석은 일본 하수 슬러지 분석방법에 따랐으며 TOC 분석은 TOC-5000 TOC분석기(Shimatsu), CO₂ 가스의 분석은 TCD(열전도도 검출기)를 부착한 가스크로마토그래피(Hitachi model 263-30)와 가스텍 제품의 모델 2H(1~10%), 2L(0.25~3%)의 검지관을 병행하여 사용하였다. 또한 폐기물의 열량 분석은 개량형 연료 연식 단열 열량계(요시다제작소)를 이용하였다. 함수율은 반응조에서 시료를 채취하여 105℃에서 3시간 이상 건조하여 수분을 완전히 증발시킨 후 중량의 차이로 평가하였다. 탄소와 수분수지는 Bach등⁽⁶⁾ 의해 제안된 산출방식을 이용하였다.

실험기간 동안 반응조로부터 담체 (톱밥)중의 미생물상의 형태학적 관찰을 위해 주사전자현미경(SEM)을 이용하였다. 먼저 시료의 전처리 과정으

로 pH 7.2, 0.1M calcium carolyate 완충액으로 두 번 정도 세척하고 0.1M calcium carolyate 완충액에 2.5% 농도로 녹인 glutaraldehyde 용액으로 4℃에서 72시간 동안 고정하였다. 그 후 시료를 물과 에탄올의 혼합액(50~100%)에서 각각 45분 동안 단계적으로 탈수를 행하고 100% 에탄올을 16시간 처리하였다. 그 다음 액체 CO₂를 이용하여 임계점 건조를 시킨 후 Jeol JSM-T 300주사현미경(20KV)을 이용하여 관찰하였다⁽¹⁷⁾.

3. 결과 및 고찰

3.1 온도변화

Fig. 2에 본 실험에서 얻어진 응집된 조류 탈수 케익과 식용 폐유 혼합비에 따른 온도의 경일 변화를 나타내었다. 조류 탈수 케익과 증류수를 1:1로 희석 후 실험조건에 따라 폐식용유의 혼합율을 변화시켰다. 결과적으로 유기원을 넣지 않은 조건일 경우, 온도가 1.5일 지난후 최고 40℃전후까지 온도가 상승하였다. 그러나 2일후 부터는 30℃이하를 나타내어 분해반응이 활발하게 일어나고 있지 않은

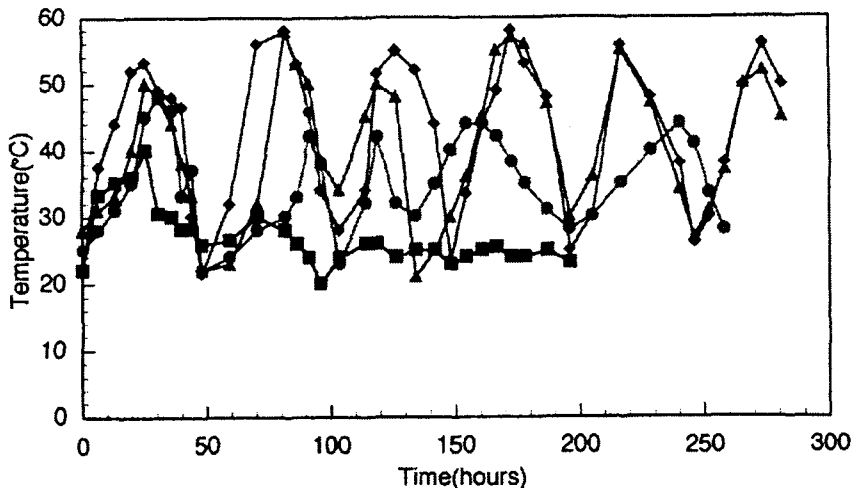


Fig. 2. Effects of mixing ratio on the change of temperature of mixtures.

-■-; 0%, -●-; 5%, -▲-; 10%, -◆-; 15%

것을 보여주었다. 또한 5%의 혼합비를 갖는 조건일 경우에는 혼합물의 투입후 1.12일후에는 최고온도가 50℃정도를 보였으나 2번째 투입후에는 온도가 떨어져서 45℃전후의 일정한 온도양상을 보여주었다. 10%이상의 혼합비 조건에서는 혼합물 투입후 0.8일부터 50℃이상으로 상승하였고, 1.2일 후에는 55℃전후를 나타내어 최고 온도를 나타내었다. 이러한 상태는 전 실험기간동안 6회의 투입에 대한 동일한 패턴을 보여 주었다.

이와 같은 결과는 폐식용유의 혼합율에 따라 미생물의 활동이 활발함을 알 수 있다. 또한 반응조 안에서는 응집 탈수된 조류가 활발하게 분해되고 있음을 나타내어 준다. 그러나 5%미만의 실험조건에서는 실험초기 온도 상승 후, 후반기에는 상승하지 않았는데 이는 수분의 축적 및 분해되지 않는 조류가 축적하여 미생물서식처로 이용되는 삼나무 단체의 공극을 매워 통기성이 결여됨으로서 발생하는 현상으로 사료된다.

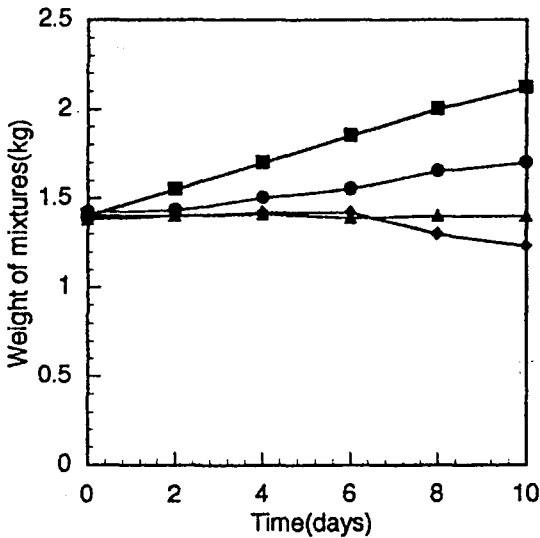


Fig. 3. Effects of mixing ratio on the weight of mixtures. -■-; 0%, -●-; 5%, -▲-; 10%, -◆-; 15%

3.2. 중량 및 수분의 변화.

Fig.3에 각 실험조건으로 고온·호기조에 투입하여 실험 기간 동안의 중량의 변화를 관찰하였다. 본 그림에서 알 수 있듯이 단순히 물로 희석하고, 유기원을 혼합하지 않은 조건인 경우에는 초기 1.4Kg에서 혼합물의 투입에 따라 직선적으로 증가하는 경향으로 실험기간이 끝나갈 때는 2.12kg까지 증가하였다. 이러한 결과는 혼합물의 중량이 점차로 증가하는 경향으로 분해시 발생하는 수분과 투입시 존재하였던 수분의 증발이 순조롭게 진행하지 않았던지, 투입된 응집 탈수된 조류가 분해되지 않고 축적하고 있음을 나타내고 있다고 볼 수가 있다. 5%의 혼합비를 갖는 조건인 경우에도 실험초기에는 급격한 증가 경향을 보였지만 3회째의 투입후 부터는 완만한 증가경향을 나타내었다. 그러나 실험이 계속될수록 증가하는 상태는 계속 유지되었다. 이는 실험초기에는 미생물에 의한 분해반응의 조건이 맞지 않아 초기의 적응기간으로 사료되며, 3회째의 투입 후부터는 조건은 좋아졌으나 수부능 증발시키기 위한 에너지원의 부족으로 발생된 수분이 반응조 안에 축적하였기 때문으로 사료된다. 이와 같은 결과와는 대조적으로 10%의 혼합비를 갖는 조건인 경우에는 실험 초기부터 1.38kg의 중량을 유지하여 수분의 증발과 유기물의 분해 활동이 활발히 일어나고 있음을 알 수가 있다. 또한 15%의 혼합비를 갖는 조건인 경우에는 초기에는 1.4Kg 전후로 변화가 없었지만 4번째 투입후 부터는 중량은 감소하기 시작하여 1.28Kg까지 감소하였다. 이러한 결과는 유기물의 활발하게 분해되었을 경우 자체 생물학적 연소에 따른 열량이 혼합물에 포함되어 있는 수분과 분해시 발생하는 수분을 증발하기 위한 열량보다 높았을 경우와 공기의 유속에 의해 건조될 경우로 판단될 수가 있다. 그러나 본 연구에서는 단체로 이용되는 삼나무 목질체의 조도 및 밀도가 동일한 조건이고, 토기속도가 동일하며, 수분의 혼합율도 동일한 조건일 경우를 고려한다면 15%이상의 조건

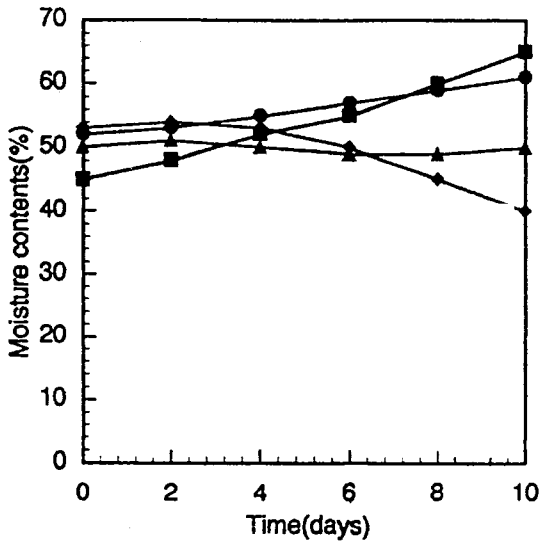


Fig. 4. Effects of mixing ratio on the moisture contents of mixtures. -■-; 0%, -●-; 5%, -▲-; 10%, -◆-; 15%

에서의 건조현상을 유기물 혼합비에 의한 자체 열량으로 분해시 발생되는 수분과 투입된 수분의 과잉 증발로 인한 것으로 사료된다.

Fig.4. 에 혼합물중 함수율의 변화를 나타낸 것이

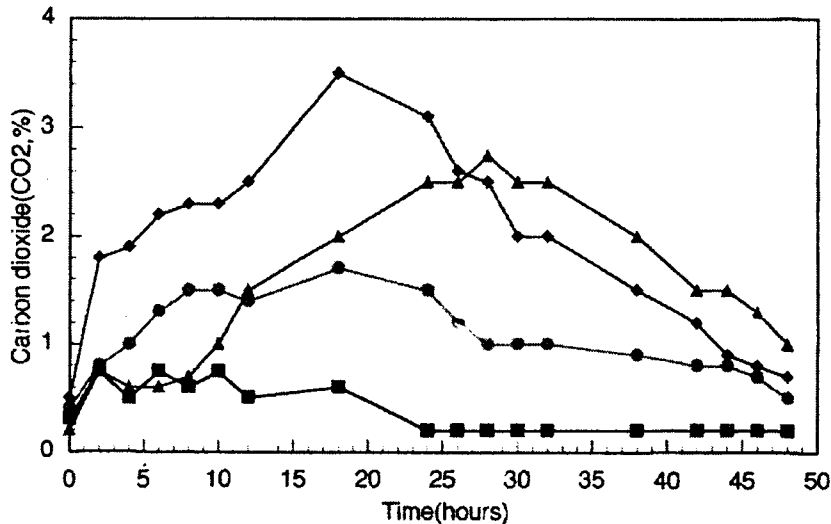


Fig. 5. Effects of mixing ratio on the CO₂ concentration of mixtures. -■-; 0%, -●-; 5%, -▲-; 10%, -◆-; 15%

다. 초기 함수율은 수돗물을 이용하여 미생물의 활동이 양호한 50±5%로 조절하였다. 그림에서 알수 있듯이 유기원을 혼합하지 않은 조건인 경우에는 혼합물의 투입에 따라 직선적으로 증가하는 경향을 나타내었다. 처음 함수율이 약 45%에서 실험이 종료될 시점에 이르러는 약 65%로 증가하였다. 이는 응집조류중의 유기성분이 분해하면서 생성하는 열량이 투입 및 분해시 발생하는 수분을 극히 일부만을 증발시키고 반응조 안에 축적하였음을 나타낸 결과라고 볼 수 있다. 또한 5%의 혼합율을 갖는 조건인 경우에도 처음 함수율이 52%에서 초기에는 변화가 없었지만 혼합물의 투입횟수가 증가하면서 점차 증가하는 경향을 나타내어 실험이 종료할 시점에서는 약 60%까지 증가하였다. 그러나 10%의 혼합비율을 갖는 조건인 경우에는 초기 함수율이 50%에서 혼합물을 연속 투입하여도 혼합물중의 함수율은 일정하게 유지되었다. 이는 함유된 수분이 증발하지 않고 반응조안에 축적한다면 함수율의 증가와 함께 혼합물의 증량도 상승해야 하기 때문이다. 다시 말하여 혼합물의 증량은 유기물과 담체와 수분으로 구성하기 때문이다. 이와 상대적으로 유기원의 혼합율이 15%인 조건에서는 초기 함수율이

53%에서 혼합물의 투입횟수증가에 따라 실험초기에는 큰 변화가 없었지만 4번째 투입 후부터는 혼합물중의 함수율은 큰폭으로 감소하여 40%로, 건조되는 상태를 나타내었고, 조류의 특성중에 하나인 녹색의 덩어리가 분해되지 않고 그대로 관찰되었다. 이와 같은 결과에서 고온·호기법을 이용하여 고분자응집제인 PAC를 이용하여 응집, 탈수된 조류를 처리하고자할때에는 유기원의 혼비의 조절이 중요한 요소로 작용하고 있음을 알수가 있다. 따라서 Fig. 3에서의 증량 증가와 감소가 혼합물중의 수분의 증발 정도에 따라 의존되고 있음이 판명되었다. 또한 응집된 조류자체를 회석하지 않고 처리할 경우에는 고분자 응집제와 조류와 반응하여 밀도를 더욱 크게 함으로 공기의 유통을 방해하는 것으로 나타났으며 실험도중 온도의 상승 또한 일정한 지체기간을 두고 상승하는 경향으로 보아 고온·호기조의 분해 미생물이 고분자 응집제인 PAC의 영향을 받고 있는 것으로 사료된다.

3.3 배기가스중의 이산화탄소 농도의 변화

Fig. 5.에 배기 가스중의 이산화탄소의 농도 변화를 나타내었다. 본 연구에서는 유기원을 혼합하지 않은 조건인 경우, 투입 초기에 이산화탄소의 농도가 최고 0.8%까지 상승하다가 투입 24시간후에는 0.3%정도로 감소한 상태로 변화가 없었다. 5%의 유기원 혼합율을 갖는 조건에서는 혼합물의 투입후 완만한 상승을 나타내다가 18시간후에 최고 농도인 약 1.7%까지 상승하였다. 또한 10%의 유기원 혼합비를 갖는 조건에서는 투입초기에 완만한 상승하는 경향이었지만 투입 25시간 후에는 최고 2.3%까지 상승하였고, 32시간후에는 1.5%까지 감소하는 결과를 보여 주었다. 15%의 혼합비율을 갖는 조건일 경우는 투입 초기에 1.9%로 급격히 상승하여 12시간후에는 2.2%의 농도로 상승하였으며 23시간후에는 최고 농도인 3.6%까지 급격히 상승하였다가 32시간후에는 1.8%로 감소하였으며 43시간후에는

0.8%까지 감소하는 경향을 나타내었다.

본 연구에서는 발생하는 이산화탄소의 농도가 온도상승과 밀접한 관계가 있음을 알았으며, 유기물의 혼합비가 증가함에 따라 이산화탄소의 농도도 함께 상승하는 결과를 나타내었다. 또한 본 연구에 있어서는 활성오니 슬러지나, 제빵폐수, 양돈폐수 등을 고온·호기법에 의해 처리할 때의 혼합물의 투입후 10시간 전후에서 활발하게 진행되었던 것과는 달리 본 연구에서는 투입후 25시간 전후에서 활발히 분해반응이 일어나고 있는 것이 공통적으로 관찰되었다.

이러한 결과는 PAC에 의해 응집될 때 알루미늄 성분이 포함되어 있었고, 분해 미생물이 응집제에서 포함된 알루미늄에 의해 활성저해를 받은 것으로 사료된다. 분해활성이 활발함은 이산화탄소의 발생농도로 알 수 있는데 미생물의 활성이 양호하게 될 때까지의 시간이 지체되고 있었다. 이는 알루미늄이 생물학적 활성에 영향을 줄 수 있는 농도는 mg/l 로 알려져 있어,⁽¹⁸⁾ 미생물이 알루미늄 염에 의해 응집되고 탈수된 조류를 분해조건을 이루는데 필요한 적응기간이라고 사료된다.

3.5. 수분의 증발과 유기물의 분해

Table 4. Water Balance(n=8)

Waste food oil mixing ratio(%)	Input g(%)	Output	
		accumulation	evaporation
0	5.12	0.22(5.0)	4.9(95.0)
5	18.6	7. 4(40.0)	11.2(60.0)
10	16.1	1. 3(8.0)	14.8(92.0)
15	23.5	5. 8(25.0)	17.7(75.0)

표-4에 수분의 본 연구의 실험기간중 6번째의 투입전의 시료를 채취하고, 반응후의 시료를 채취, 분석하여 얻어진 수분수지를 나타내었다. 모든 시험조건이 동일한 함수율로 84±2g의 수분이 투입되었

다. 열원을 투입하지 않은 조건에서는 투입량의 48%인 40.3g의 수분이 증발되었고 52%인 43.7g의 수분이 혼합물속에 축적하였다. 5%의 혼합비율을 갖는 조건에서는 89.3%인 약 75g 정도가 증발되었으며 10.7%인 9g 정도는 반응조 안에 축적되는 결과를 나타내었다. 10%의 혼합비율을 갖는 조건인 경우에는 102%인 85.7g의 수분이 증발하여 수치 상으로는 약간 건조된 상태를 보였지만 미생물의 활동에 필요한 함수율은 약 55%로 양호한 상태를 나타내었다. 또한 15%의 혼합비율을 갖는 조건에서는 약 117%로 98g의 수분이 증발되어 40%의 함수율을 나타내었다. 이와 같이 고온·호기법을 이용하여 자체열량이 낮은 응집된 조류의 처리에는 외부로부터의 열량첨가가 수분의 증발에 대단히 큰 역할을 하는 것으로 양 등에 의해 연구된 혐기성 소화 슬러지와 양돈폐수의 처리연구의 결과⁽¹⁹⁾와 유사하였다.

Table 5에는 탄소수지를 나타내었다. 열원을 혼합하지 않은 조건은 응집될수된 조류만으로 탄소량은 5.12g으로 CO₂로 변환된 양은 투입된탄소량의 95%로 4.9g이었다. 이 경우 투입된 탄소가 모두 산화하였지만 반응조안의 수분을 증발시키는데는 부족했듯으므로 사료된다. 5%의 혼합비를 갖는 조건인 경우는 18.6g의 탄소가 투입되어 약 60%인 11.2g이 CO₂로 변환되었으며 40%인 7.4g은 혼합물중에 잔류한 것으로 나타났다. 또한 10%의 혼합비를

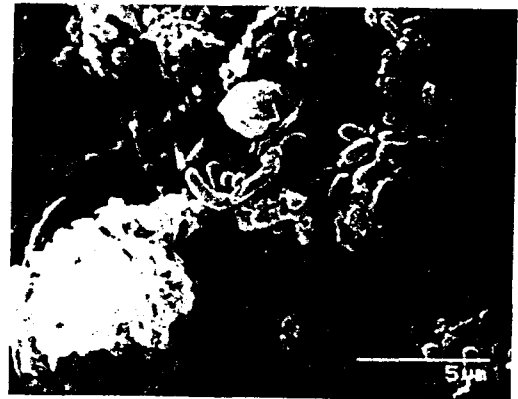
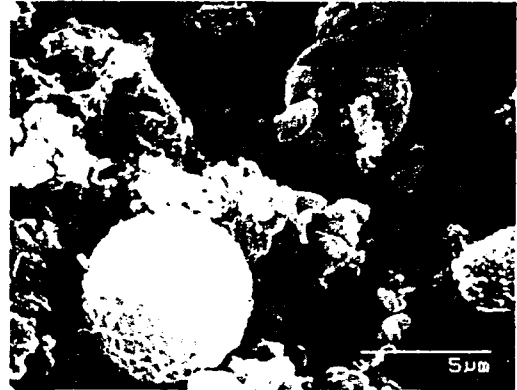


Photo. 2. Scanning electronic microscoph of mixtures containing coagulated algae(a) and of microflora in treated mixtures(b).

Table 5. Carbon Balance(n=8)

Waste food oil mixing ratio(%)	Input g(%)	Output	
		accumulation	evaporation
0	84	43.7(52.0)	40.3(48.0)
5	84	9.0(10.7)	75.0(89.3)
10	84	-1.7(2.0)	85.7(102)
15	84	-14(17.0)	98.0(117)

갖는 조건인 경우에는 16.1g의 탄소가 투입되어

92%인 14.8g이 CO₂로 산화되었으며 약 8%가 축적된 것으로 판명되었다. 이와는 달리 15%의 혼합비를 갖는 조건인 경우에는 23.5g이 투입되어 CO₂로 변환된 것은 75%인 17.65g에 불과하였다. 이는 혼합물의 온도가 과다 상승하여 건조된 상태를 일으킴으로서 미생물의 분해활성을 저해하였기 때문으로 사료된다. 따라서 이러한 경우 임의적인 수분의 보충을 고려하는 것이 타당한 것으로 판단된다.

3.6. PAC에 의해 응집된 조류를 처리하는 고온·호기조의 미생물 특성

고온·호기조에서 식용 폐유와 응집제에 의해 응집, 탈수된 조류의 처리는 60℃전후의 높은 온도에서 이루어지기 때문에 유기물의 분해에는 호열성 미생물이 적극적으로 관여한다. 본 연구에서 PAC에 의해 응집된 조류를 폐유와 혼합하여 8일째에서 혼합물의 투입시점과 처리된후의 상황에 대한 전자현미경 사진을 사진 2에 나타내었다. 사용전의 담체에서는 비교적 미끈한 표면에 크고 작은 도판들이 관찰되었고, 응집된 조류를 투입한 시점에서는 등글게 응집된 조류가 관찰되었다. 그러나 처리를 행한 담체에서는 이들의 표면구조에 무수의 호열성 간균과 사상균들이 집적 부착된 것이 관찰되었으며 비교적 세포가 큰 조류는 미세한 간균과 사상균에 의해 분해되고 있음을 알수가 있었다.

4. 결 론

공기유입속도가 $217 \text{ l} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{min}^{-1}$ 이었을 경우, 고온 호기조를 이용하여 PAC로 응집, 탈수된 조류의 분해 특성을 관찰한 결과 다음과 같이 요약할 수 있다.

1. 10%의 폐식용유를 조건이 본 연구에서는 최적 조건으로 온도는 55℃이상을 나타내었고, 수분은 55%를 일정하게 유지하였으며, CO₂의 농도는 최고 3.7%, 투입 탄소량의 92%가 CO₂-C로 변환하였다.
2. 적정한 폐식용유의 혼합은 미생물의 활동을 활발하게 하였지만 과도한 혼합은 수분 증발로 건조상태로 되었으며 오히려 분해 활성에 저해 영향을 주었다.
3. 처리가 종료된 담체는 고농도의 알루미늄이 축적되어 있으므로 별도의 처리가 요구된다.

참고문헌

- 1) 杉浦則夫, 1994. "アオコその發生と淨化對策" 水環境學會誌, 17(9) 540~544
- 2) 原田建一, 清美, 近文雄, 1994. "アオコが發生する有毒のペプチドの化學と分析" 水環境學會誌, 17(9) 545~550
- 3) 彼谷邦光, 1994. "アオコの有毒物質の毒性について" 水環境學會誌, 17(9) 551~556
- 4) 大島泰克, 1989. "貝毒に關する研究の理想と課題" 水質汚濁研究 12(12) 763~768
- 5) 渡部 信, 1989. "藻類の毒性" 水質汚濁研究 12(12) 750~756
- 6) 保坂三繼, 1991. "村山上貯水池から分離された *Anabena macrospora* MYK87X의培養の増殖特性について" 日本水處理生物學會誌 27(1) 21~31
- 7) Yasunobu Nakano, Makoto Shirai, Naoyoshi Mori, Masayasu Nakano, 1991. Neutralization of microcystin shock in mice by tumor necrosis factor alpha antiserum. J. Appl. Environ. Microbiol., 57(1) 327~330
- 8) Brenton C. Nicholson, Joanna Rositano, Michael D. Burch, 1994. Destruction of cyanobacterial peptide hepatotoxins by chlorine and chloramine. Wat. Res. 28(6) 1297~1303
- 9) K. Himberg, A.M. Keijola, L. Hiisvirta, H. Pyysalo, K. Sivonen, 1989. The effect of water treatment process on the removal of hepatotoxins from microcystis and oscillatoria cyanobacteria: a laboratory study" Wat. Res. 23(8) 985~992

- 10) Gray J. Jones, Philip T. Orr, 1994. Release and degradation of microcystin following algicide treatment of a microcystis aeruginosa bloom in a recreational lake, as determined by HPLC and protein phosphatase inhibition assay" *Wat. Res* 28(4) 871~876
- 11) 稻森愁平, 1994. "生物膜の有用微生物によりアオコの分解と高度浄化" *水環境學會誌*, 17(9) 557~561
- 12) 齊 昭二, 1994. "浄水處理工程におけるMy-crosystisおよびその他藻類のたい動" *水環境學會誌*, 17(9) 562~566
- 13) 稻森愁平, 彼谷邦光, 渡部 信, 須 隆一, 1990. "My-crosystis viridis 産成有毒物質の 浄水の生物膜法による分解除去" *水質汚濁研究* 13(8) 525~530
- 14) 稻森愁平, 大内山 高廣, 杉浦則夫, 須 隆一, 1990. "カビ臭生成 Phormidium tenue의 細菌および微小動物による分解 除去" *水質汚濁研究* 13(8) 592~598
- 15) Phan Dinh Bach, Kiyohiko Nakasaki, Makoto Shoda, 1978" Thermal Balance in composting operatings" *J. Ferment. Technol.*, Vol.65, No.2, 199~209.
- 16) Liu Bao Gang, Shuji NOda, Tadahiro Mori, 1992" Complete decomposition of organic matter in high BOD wastewater by thermophilic oxic process, *Proc. of Environmental Engineering Research*, Vol. 29, 77~84
- 17) Jae-Kyung Yang, Yukiko shimizu, Kyung-Suk Cho, Tadahiro Mori, " Significance of Calorie/Water(C/W) ratio in the treatment of highly concentrated organic matter by thermophilic oxic process, *J. of Japan Society on Water Environment*, Vol.18, No.7, 583~588.
- 18) 양 재경, 박응로, 최 경민, 이 성택, 모리 타다히로, 1997, "고온·호기법에 의한 혐기성 소화슬러지의 처리특성" *한국폐기물학회지*, 제14권, 제1호, 54~65.