

조류(藻類)를 이용한 폐수처리 방안

- Oxidic Algal Biomass Wastewater Treatment viewed
in Recovery & Reuse of Algae -

공 석 기
(孔錫基)

중부대학교
환경공학과 교수



I. 서 론

II. 조류(藻類)를 이용한 폐수처리 공법

III. 조류이용의 역사적 배경 및 사례

IV. 결 론

I. 서 론

우루과이 라운드 협상 이후 지난 1991년 미국 의회에서 환경과 국제교역을 연계시키기 위한 새로운 다자간 협상으로 「그린 라운드」의 필요성을 제기하면서 지난 1992년 6월 브라질에서 있었던 「리우 선언」결과에 따라 환경문제가 국가간의 무

역에서 실질적인 구속력은 없으나 환경문제를 자유무역 이외의 조항을 통해 규정하려는 우루과이 협상에 상당한 영향력을 끼치게 된 터에 지난 1994년 4월 모로코의 마라케쉬에서 세계무역기구(WTO) 산하 세계 각국의 각료회의에서 맺어진 「환경과 무역의 연계 협정」은 무역을 국가 경제발전 산업으로 중시하는 우리나라와 같은 국가에 있어서는 국제경쟁력이 있는 환경정책이 그야말로 절실하다고 아니할 수 없다.

경쟁력이 있는 환경정책이란 전 산업분야에 있어서 환경친화적인 산업을 개발해야 한다는 당위성을 낳았고 특히, 환경공학의 폐수처리 분야에 있어서도 환경친화적 폐수처리 시스템을 개발해야 한다는 시대적 사명을 낳게 하였다.

그리고 이러한 폐수처리 시스템을 통하여 환경오염으로부터 생존권을 보장받는 주체는 인간이며, 인간은 그 본질이 생물계내의 구성원으로써 생물체들 중에서 이성을 지니고 있는 가장 뛰어난 생명체라는 점에서 이른바, 환경친화적이라 함은 인간의 생명활동이 인간 및 인간활동을 둘러싸고 있는 주위의 상태로써 자연환경(공기, 물, 소리, 빛

등)과 사회환경(경제, 정치, 종교, 도시 편의 구조 시설, 댐 및 저수지 등)과의 상호의존성(inter-dependence)에 있는 만큼 인간과 환경과의 상호작용에 있어서 그 상호간에 영향이 가장 균형화가 되도록 이루어 지게하는 것을 의미하는데 무엇보다도 인간의 생명활동과 유지를 항구적으로 보장해 줄 수 있는 것을 의미하는 것이다.

그러나 현재 우리나라에서 그동안 건설되어 운영되어 온 폐수처리 시스템은 어떠한가? 유감스럽게도 이 시설들 중 일부는 이미 환경혐오시설화되지 오래이다. 그리고 이렇게 된 이유에는 기존 하·폐수처리 플랜트의 운전이 다음의 몇 가지 중요한 문제점들을 갖고 있기 때문이라고 할 수 있다.

- ① 여러 가지 화공약품을 다루므로 야기되는 건강상의 위험
- ② 악취를 나타내는 여러 가지 휘발성 가스의 발생
- ③ 슬러지 처리의 미비로 인한 주변환경 훼손
- ④ 운전자의 사회경제적 대우의 미흡
- ⑤ 운전자의 운전기술 미숙
- ⑥ 설치된 지역에 경제적 이익을 가져오지 못함
- ⑦ 기타

II. 조류(藻類)¹⁾를 이용한 폐수처리 공법

위와 같은 환경변화에 따라 지난 1992년 중국 베이징에서 개최된 Lagoons and Ponds 국제학술

대회와 발 맞추어 새로운 환경친화적 폐수처리 공법으로써 조류를 이용한 호기성 폐수처리 공법이 활발하게 연구되는 것은 고무적인 일이 아니라고 할 수 없다.

이미 세계 각국에서 조류를 이용한 유산소 폐수처리를 시행해 온지는 오래된 일인데 이는 이 공법이 특히, 생태학적 안정성(ecological stability)과 경제적 이익(economical merit)을 도모하는 데에 유리하다는 것 때문이다.

1. 생태학적 안정성과 경제적 공법

생태계를 구조적인 관점(structural viewpoint)에서 보았을 때 조류는 공기중의 태양에너지를 이용하여 수중의 비생물 환경(nonbiotic environment)에 존재하는 CO₂, H₂O, N, P 등을 탈취하여 생물체들의 호흡(respiration)에 절대적으로 필요한 산소(O₂, oxygen)와 다음 <표 1>과 같은 내용의 고단백질 유기물을 만든다.

<Table 1> Nutrient Components Of Algae Cell Produced Through Photosynthesis

components	%
protein	50
carbohydrate	25
lipid	5
ash	5

1) 은화식물(隱花植物 : 포자식물)에 딸린 수초(水草)를 통틀어 일컫는 말로서 대부분 물속이나 습지에 나며 염록소로 동화작용을 식용, 의약, 비료 등으로 많이 쓰인다.

그리고 생태계를 에너지 순환의 관점에서 보았을 때의 조류는 다른 수중 식물체(aquatic plant)와 마찬가지로 태양에너지를 생화학적 에너지로의 전환을 이루게 하는 미생물체(microorganism)서 본질적으로는 식물체와 같은 기능을 나타내고 있다.

이들은 개체군 성장형(population growth type)을 S자형으로 나타내고 지수 증식기(logarithmic proliferation phase)에 들어섰을 때 영양물질들을 세포체내로 빠르게 흡수(intake)하는 동력학적(kinetic) 특성을 나타내며, 생존에 있어서 다른 미생물들과는 다르게 높은 포용력(carrying capacity)을 나타내는데 주어진 일정한 水환경의 조건에서 특수 개체군만이 높은 우점(dominance)의 특성을 나타낸다. 그리고 조류는 개체군(population)의 성장이 水환경의 여러 물리·화학적 조건 중에서 특히 수온(water temperature), 광도(light intensity), PH, 그리고 N, P 등과 같은 영양염류(nutrients)에 의해 생물군집(biotic community)의 특성을 나타낸다.

이러한 조류의 특성을 폐수처리에 이용함은 산화구(Lagoon)나 재래식 안정화지(Waste Stabilization Pond, WSP) 등에서 이루어져 왔는데, 이 공법의 오염물 제거 기작(mechanism)은 생태계에서 조류가 기초 생산자로서의 역할을 행하는 특성을 폐수처리에 이용한 것으로서, 조류와 세균(bacteria)과의 상리공생(mutualism)작용을 통해서도 BOD의 제거와 질산화 작용을 이루고, 조류세포의 급속한 성장을 통해서도 N, P와 같은 영양염류의 제거와

수중 용존산소(DO) 농도의 증가를 이루도록 한 것이다. 이미 전 세계 각국에서 N과 P를 위주로 한 영양염류 및 유기물 제거를 위한 소단위 처리 시설을 개발하여 운전한 결과 이 공법은 생태학적으로 안정성을 기하게 할 뿐만 아니라 다른 폐수처리 공법과 비교해 볼 경우 운전원가에 있어서도 가장 경제적인 공법으로 자리잡고 있음을 보고하고 있다.

2. 해결되어 온 기존 시스템의 문제점

이 시스템이 환경공학의 하·폐수처리 분야에 처음 소개되었을 때 제일 먼저 제기된 문제점은 시설 부지가 많이 소요된다는 것이었다. 그러나 이러한 문제점을 해결하기 위하여 그동안 세계 여러 나라에서는 이 시스템에 적용되는 여러가지 단위조작(unit operation)의 개발로서 문제를 해결해 오고 있다. 예를 들어 반응기내에 clay 등의 분산매체를 투입하여 조류 성장의 극대화를 위한 효과적인 광배열 및 향온 장치의 설치, 그리고 광합성 명반응의 극대화를 위한 연속조사(continuous irradiation)의 시행, 아울러 교반 등의 단위조작을 통하여 이 문제를 해결해 오고 있다.

더군다나 과거의 폐수처리로의 적용이 단순히 N, P 등과 같은 영양염류 및 유기물 제거 개념에 국한되었던 것이 이제 범위가 점차 페놀(phenol)과 같은 VOC(volatile organic compound)의 제거, 여러 가지 중금속(heavy metal)의 제거에까지 확장되고 있으므로 이러한 단위조작에 대한 연구와 개발을 더욱 많이 행해지도록 하고 있는 것이다.

그 다음의 문제는 반응기 내에서 성장이 완료된 생물학적 괴(biological floc)가 고단백질 조류 세포체를 95% 이상으로 함유하고 있으면서도 이 괴가 갖고 있는 현미경적 미세 세포체 부유훈성 때문에 침전이 잘 안된다는 점이다.

따라서 유가 조류 괴(valuable algal-floc)의 회수 뿐만 아니라 처리 system에서의 슬러지 제거를 위해서 현재 미세여과((microstraining), 원심분리(centrifugal separation), 응집제 투여(coagulant dosage) 등의 방법이 전 세계적으로 널리 사용되고 있는데, 이 방법들은 비용이 많이 소요되는 비경제적인 방법들로서 새로운 경제적인 방법들을 강구하기에 이르렀는 바, 이 연구들은 주로 이른바, 고율 안정화지(high rate pond) 내에서의 조류 세포체의 생성을 극대화하여 반응기 내에서 생물학적 괴가 차지하는 상대적 공간 점유 비율을 늘

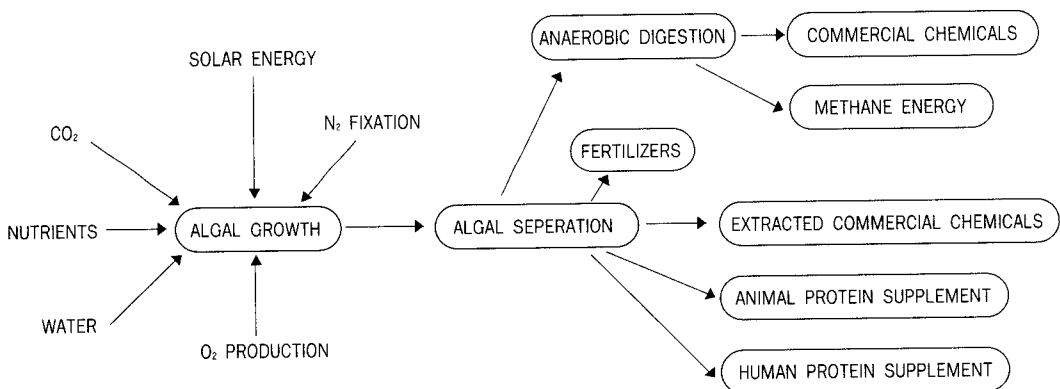
리고 PH 조절 및 clay와 같은 분산매체를 이용하여 생물학적 괴 입자들간의 응집력을 강화시켜서 조류 괴의 침강성을 개선시켜 왔다.

III. 조류 이용의 역사적 배경 및 사례

현재 전 세계적으로 행해지고 있는 회수된 조류의 처분은 조류 세포체가 갖고 있는 유가 폐기물(valuable solidwastes) 성분의 이용개념으로써 다음 세가지로 요약되어 진다.

- ① 단세포-단백질의 생산(single-celled protein production)
- ② 화학원료 생산(production of chemicals)
- ③ 에너지 생산(production of energy)

이러한 이용과정은 다음의 <그림 1>로 설명되어 진다.



<Fig. 1> Possible Application of Algal Bio-Floc as Valuable Solid Waste

1. 단세포-단백질의 회수

동양인들에게 양식된 김(lever)의 섭취가 이들에게 중요한 단백질의 공급이 되어 온 것은 오랜 역사를 통하여 조상 대대로 이루어져 왔던 사실이니 만큼 이 분야는 주로 아시아의 한국, 일본, 대만 등의 나라에 의해 발전되어 온 것이다.

그러나 조류의 대량 생산을 통하여 단백질을 회수하려는 공학적 노력은 주로 일본인에 의해 이루어져 왔는 바, 이들은 Chlorella종이 김과 유사한 영양성분을 갖고 있음을 주지하여 이 종의 대량 생산에 전력을 기울였는데 이들이 개발한 이른바 bubbling culture system에서 수확(harvest)된 이 Chlorella종은 일부 벼농사용 질소 퇴비로 사용되기도 한 가운데 주로 건강식품(health food)으로 개발되어 시판되었고 그 시대의 제조 원가가 kg당 5~11\$ 인데도 불구하고 판매금액은 kg당 100\$에 이르러 그때 이 사업에 참여하였던 10개의 회사들에게 약 10배 정도의 이윤을 남기게 하였다.

서양에서는 세계 제2차 세계대전이 발발하기 전의 지난 1938년도에 들어서서야 비로소 조류가 인류에게 중요한 단백질을 공급해 줄 수 있음을 인지하고 여러 나라들이 이 분야의 연구에 참여하였는데 이 나라들 중에서 가장 대표적으로 참여한 나라들이 독일과 미국으로서 독일은 이 나라의 Dortmund 그룹의 주도하에 개발된 Paddle Wheel-Circular System에서 Scenedesmus, Coelastrum종 등을 수확(harvesting)하였고, 사계절이 뚜렷한 독일에서는 조류를 대량으로 생산하

기에 계절적으로 한계가 있음을 인지하여 태국, 페루, 인도 등에 조류 연구소를 설치하여 조류 수확에 전력을 기울이기도 하였다.

미국에서는 지난 1953년 Burlew가 카네기 재단의 보고서에서 “인공으로 대량 배양·수확된 조류의 잠재적 에너지(potential energy)는 자연계에서 이 식물체들이 성장·수확되기까지 소모한 태양에너지의 값보다 훨씬 클 수 있다”는 내용의 글이 조류로 부터의 단백질 회수의 필요성에 대한 공식적인 보고서가 발표된 이후 캘리포니아 버클리 대학교의 위생공학(sanitary engineering) 연구팀의 Oswald, Golueke 등을 중심으로 연구가 활발히 진행되어 왔다. 이들은 지난 1970년대에 이르러 가정 하수(domestic sewage)내의 여러 가지 염류를 조류의 영양원으로 삼고 경마장식 평행선형수로형(parallel meandering channel with racetrack type)으로 설계된 이른바 Richmond System에서 조류 수확량을 최대화하고 폐수처리 효율을 최대화하기 위한 조건에서 유기물 및 영양염류의 제거와 단백질 회수를 위한 실험을 행하였는 바, 계획된 조류의 수확을 거둬는 물론이요 유기물 및 영양염류도 만족스럽게 제거시킨 system이었다고 보고하였다. 이들의 연구는 그 후 메사추세츠의 Wood Hole 해양연구소에서 Goldmann, Ryther 등에 의해 계속 연구되어 온 바, 이들의 주요 연구 사항은 조류 수확을 최대화 하기 위한 반응기의 개발이었다.

특히, 이스라엘에서는 예루살렘에 위치한 헤브루 대학교의 Shelef 등에 의해 주도적으로 연구되

어 왔는데 이들은 이스라엘 남부에 위치한 사막 연구소(Institute for desert research)의 연구팀과 공동으로 연구과제를 이스라엘 남부 사막지대 지표 밑부분의 소금성분의 물(brackish water)속에 남조류(blue green algae)인 Spirulina종을 대량으로 배양하는 것으로, 연구 초점은 반응기 system에서의 단세포-단백질 생산을 통하여 폐수내의 유기물과 영양염류를 제거한 결과로서 농업 관개용수(agricultural irrigation water)의 확보에 역점을 두었다. 이 연구 사업에는 독일의 Dortmund그룹이 참여하였고 나중에는 이스라엘 민간자본으로 설립된 이스라엘 해양-호소 주식회사(Israel Oceanographic & Limnological Research Ltd.)가 참여하여 이들의 연구에 큰 도움을 주었는데 이들의 연구로 인해 현재, 이스라엘에서는 자국에서 필요한 수자원의 70% 이상을 이 공법으로 부터 획득하고 있는 것으로 알려지고 있다.

2. 화학 원료의 생산

이 분야는 주로 상업 목적으로 옥외에서 대량으로 배양되어 생산된 조류 생세포체(outdoor algal mass culture)를 이용하여 온 것으로써, 공식적으로 기록되어 있는 대표적인 것이 지난 1975년 프랑스의 석유 연구소(French Petroleum Institute)에서 행해졌던 Spirulina종으로 부터의 식품 채색용 물감(coloring agent) 추출이었다. 이 Spirulina종은 지반이 암석으로 형성된 아프리카의 여러 단층 호수에서 서식하고 있는 종으로써 이 종이 서식하고 있는 수(水)환경의 특징이 중탄산염과 다

른 염류의 농도가 높다는 점 그리고 이 지역 원주민들에게 단백질원이 될 정도로 세포내 단백질의 함유도가 70%에 이르고 색소체의 배열이 광범위하게 이루어져 있으며 동물이나 인간이 이 종을 섭취했을 경우 쉽게 소화(digestion)되는 특성을 나타내고 독성을 나타내지 않는다는 점에서 식품의 채색제로 사용될 수 있었다.

이 Spirulina종의 대량 배양을 통한 물감 생산사업은 상당히 큰 규모의 것으로써 프랑스 석유 연구소의 주관하에 알제리, 프랑스 남부지방, 이집트, 대만, 멕시코에서 인공 배양되어 생산된 이 물감 제품은 건조 중량으로써 하루 2ton이상 생산되었으며 일본 시장에서 kg당 5\$로 거래되었던 것으로 알려져 있다.

3. 에너지 생산

지구상으로 쏟아져 들어오는 막대한 양의 태양 에너지 회수 차원에서 일찍이 Gloyna 등은 안정화지(WSP, Waste Stabilization Pond)에서의 반응기 설계 인자로 조류 세포체의 chlorophyll을 통하여 태양 에너지가 생화학 에너지로 전환되는율을 0.49로 발표하고 있던 중에, 미국 캘리포니아 버클리 대학교의 Oswald, Golueke 등은 혐기성 소화(anaerobic digestion)공정을 통하여 조류 기질을 발효(fermentation)시킬 경우 메탄(methane, CH₄)가스로 전환시킬 수 있다는 점에 착안하여 이 분야의 연구를 수행하기 시작하였다.

이들에 의해 세계 최초로 개발된 Richmond Methane Gasification 공정의 운전 결과는 위의

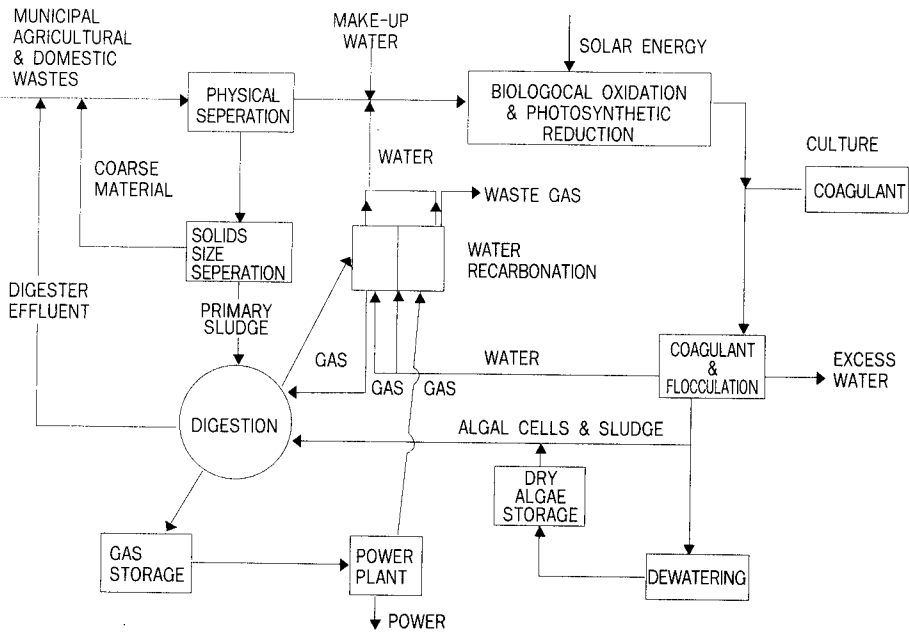
글을 충분히 뒷받침 할 수 있었던 바, 아직까지 전 세계의 에너지 자원이 지구에 매장되어 있는 화석 연료(fossil fuel)에 의존하고 있는 상황이었으므로 조류의 Gasification 공정은 미국인을 비롯한 전 세계인들에게 상당히 고무적이며 신선한 의미로 받아들여질 수 밖에 없었다. 이러던 가운데 조류로 부터의 단세포-단백질 회수가 갖고 있는 문제점, 즉 조류 세포벽이 두꺼우므로 인간과 동물이 이 조류를 섭취할 경우 소화(digestion)가 잘 안된다는 점이 알려지기 시작하면서 더욱 이 분야에 대한 연구를 비중있게 수행하게 되었다.

특히 1970년대에 전 세계에 들이닥친 에너지 위

기(energy crisis)는 이와같은 연구가 미국 국민들에게 더욱 환영을 받게하는 요인이 되었고 급기야는 미국정부로 하여금 1990년까지 전 미국에서 소요되어지는 에너지량 중 이 조류 생체의 Gasification으로 생산되는 에너지량의 비중을 약 5% 정도 차지하도록 계획하기까지 하였다.

가. Gasification 공정

Oswald, Golueke 등에 의하여 개발된 조류생체 (algal biomass)의 메탄가스화 공정(methane gasification process)은 혐기성 소화(anaerobic digestion) 공정으로써 다음 <그림 2>와 같은 내용으로 이루어져 있다.



〈Fig. 2〉 Single-Line diagram of Principal Elements of Algae-Methane Plant

이 Gasification 공정은 이화작용(catabolism)에 있어서 화학 영양계 미생물(chemotrophic microorganism) 범주에 속하며 동화작용(anabolism)에 있어서 종속 영양계 미생물(heterotrophic microorganism) 범주에 속하는 세균(bacteria)들에 의해 수행되는 대사작용(metabolism)을 이용한 혐기성 소화(anaerobic digestion) 공정으로써 운전 조작상 보통 무산소 소화(anoxic digestion) 공정이라고도 하는데 이 공정을 통하여 기질을 발효시킬 경우 90% 이상을 메탄가스로 전환시킬 수 있었다는 점이 이 system 을 개발하는데 고무적인 요소가 되었다.

1) 메탄 생성을 위한 조류생체 준비공정

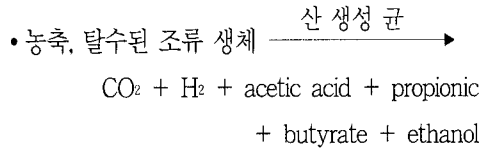
이 공정은 크게 두 단계로 나뉘어지는데, 첫 번째 단계가 조류생체의 농축(initial concentration) 공정이고, 두번째 단계가 탈수(dewatering)공정이다. 조류생체 농축공정은 원심분리(centrifugation)와 화학침전(chemical precipitation) 단위조작(unit operation)이 이용되며, 탈수공정에는 바구니형 원심분리(basket centrifugation)와 모래여과상(sand bed) 단위조작이 이용된다.

2) 메탄 생성공정

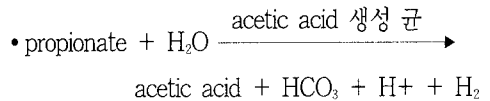
이 공정의 핵심은 무산소 소화(anoxic digestion) 조작으로써 메탄가스가 생성되는 과정과 운전 조건은 일반적으로 다음에 따른다.

가) 메탄가스 생성 과정

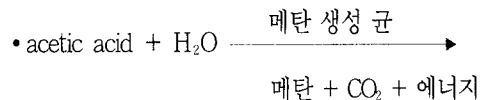
① 첫번째 과정 : 산 생성의 이화작용



② 두번째 과정 : acetic acid 생성 작용



③ 세번째 과정 : 메탄 생성 작용



나) 운전 조건

① 온도 : 43°C

② 체류시간 : 15~30일

③ PH : 7~7.5

④ 반응 추적인자 : 수소가스, 암모니아, 유화수소

나. 생성된 메탄가스의 에너지 효율

Oswald와 Golueke 등에 의하여 그동안 꾸준히 개발되어 온 폐수처리 시스템이 이른바 AIPS (Advanced Integrated Ponding System)로써 이 System을 통하여 생산된 조류생체를 Gasification

하여 생성된 메탄가스의 열량은 9,680~12,540 Btu/kg, algal volatile matter이었던 바 이 열량으로 물을 데워 수증기를 만들어 발전기의 터빈 임펠러를 회전시켜 전기를 생산해 본 결과, 지난 1991년에는 1kg의 조류생체로 1Kwh의 전력을 생산할 수 있었고 1kg의 조류생체를 생성하기 위하여 가해지는 Paddle 교반에 소요되는 전력은 불과 0.1Kwh에 불과하였다고 보고하였다.

IV. 결 론

현재 전 세계적으로, 생태학적 안정성과 경제적 이익을 도모케하는 공법으로써 새로운 환경친화적 공법으로 각광받고 있는 조류를 이용한 유산소 폐수처리 공법에서 생성되는 조류(藻類) 슬러지의 이용 상황을 문헌조사를 통하여 살펴본 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

첫번째, 조류를 이용한 유산소 폐수처리 공법이 조류 개화(algal blooming)로 나타나는 생물학적 피의 탁월한 형성을 통하여 여러 수질오염물질들의 생흡착(biosorption)이 다른 미생물의 생물학적 피보다 우수하다는 점과 다른 미생물의 생물학적 피와는 달리 조류 피(algal floc)로부터 산소 생산의 우수함은 주변 고등 생물체들에 더욱 안정성있는 성장과 증식을 할 수 있게 한다는 점 등에서 이 공법이 생태학적 안정성(ecological stability)을 회복시키고 유지하는데 유리한 공법이 된다.

두번째, 더구나 유가 슬러지 폐기물의 재이용으로써 조류 생 슬러지 재이용의 역사적 사실은 조류를 이용한 유산소 폐수처리 공법이 전 세계적으

로 경제적 공법이 될 수 있음을 더욱 뒷받침하고 있다.

세번째, 현재 조류를 이용한 폐수처리의 적용 범위가 점차로 확대되고 있는 상황에서 단세포-단백질 식품 제조로의 이용은 인간 및 동물의 신체에 독성으로 작용하게 할 수 있다는 점에서 화학원료의 생산과 에너지 생산으로의 재이용만으로도 고려될 수 밖에 없다. 그리고 이 두 가지 재이용 방안 중에서 화학원료의 생산에 대한 연구는 그 성과가 아직 미천한 것이기 때문에 오히려 미국의 Oswald를 중심으로 꾸준히 연구·개발되어 온 조류 슬러지의 Gasification을 통한 전기 에너지 생산방안이 가장 합리적인 것이 된다.

더구나 우리나라와 같이 대외 에너지 의존도가 높은 나라에서는 공공시설로서 폐수처리 플랜트가 운전되기 위하여 소모되는 전기 에너지는 그만큼 해당 지역주민들에게 경제적 부담이 될 수 밖에 없는 상황이므로 플랜트에서 자체적으로 생산되는 원료로써 운전에도 소요되고도 남는 전기에너지를 생산해 낼 수 있다는 이들의 연구결과는 이 폐수처리 플랜트가 우리나라에서도 설치되어 운용될 경우에 해당 지역주민들에게 분배될 수 있는 경제적 이익을 놓고 보면 이 시설이 매우 매력적인 경제적 시설로 될 수 밖에 없음을 암시해 주고 있다.

네번째, 현재 조류성장에 영향을 미치는 여러 가지 요소들에 대한 연구가 이미 충분히 이루어져 왔고 조류를 이용한 폐수처리의 적용 범위가 점차로 확대되고 있는 상황에서 이미 세계 여러나라가 점차적으로 부레옥잠과 물고기 등을 함께 사

육하는 등의 단위 공정 개발을 통하여 소단위 처리시설을 개발해 오고 있는 실정이므로 이 시설을 설치할 경우 획득되는 경제적인 이익과 주변 환경과의 조화됨은 이 시설이 환경친화적 시설로서 자리잡게 할 수 있음을 응변으로 설명해 주고 있다.

열린중남

참 고 문 헌

- 김동민, 폐수처리, 서울 : 청문각, 1995.
- 정 용 외, 인간과 환경, 지구문화사, 1995.
- 중앙일보, 간추린 국감자료, 중앙일보사 사회부, 1997. 10. 6.
- Baozhen Wang, "Ecological Waste Treatment and Utilization Systems on Low-Cost, Energy-Saving/Generating and Resources Recoverable Technology for Water Pollution Control in China", *J. Wat. Sci. Tech.*, 24-5, 1991.
- Batchelor A., Boccardo A. and P. Pybus, "Low-Cost and Low-Energy Wastewater Treatment Systems(The South African Perspective)", *J. Wat. Sci. Tech.*, 24-5, 1991.
- Bohumil Volesky, *Biosorption of Heavy Metals*, CRC press, Quebec, 1989.
- Burlew J.S., "Algal Culture From Laboratory to Pilot Plant", *The Report of Carnegie Institution of Washington*, 600, Carnegie Institution, Washington, 1953.
- Clement G., "Production Et Constituants Caracteristiques Des Algues Spirulina Platensis Etmaxima", *Annls. Nutr. Aliment*, 29, 1975.
- Eckenfelder W.W., "Thermodynamics of Biological Synthesis and Growth",

- Discussion in Advancescs in Water Pollution Research*, Pergamon Press, New York, 1965.
- Fallowfield H.J. et al, "Validation of Computer Models for High Rate Algal Pond Operation for Waste water Treatment Using Data from Mediterranean and Scottish Pilot Scale Systems(Implication for Management in Coastal Regions)", *J. Wat. Sci. Tech.*, 25-12, 1992.
- Gloyna E.F., "Waste Stabilization Pond, III, Formulation Equation", *J. Wat. Poll. Cont. Fed.*, 30, 1958.
- Golueke C.G., Oswald W.J. and H.B. Gottas "Anaerobic Digestion of Algae", *J. Appl. Microbiol.*, 5, 1957.
- Golueke C.G. and W.J. Oswald, "Power from Solar Energy-Via Algae-Produced Methane", *J. Solar Energy*, 7-3, 1963.
- Goldman Joel C., Outdoor Algal Mass Culture, *J. Wat. Res.*, 13-10, 1979.
- Goldman Joel C. and J.H. Ryther, *Mass Production of Algae(Bioengineering Aspects) in Biological Solar Energy Conversion*, CRC press, Quebec, 1977.
- _____, "Nutrient Transformations In Mass Cultures Of Marine Algae", *J. Environ. Engng. Div. Am. Soc. civ. Engrs.*, 101-EE3, 1975.
- Judith B. Carberry, "Options for the Rational Design and Operation of Oxidation Ponds", *J. Wat. Sci. Tech.*, 24-5, 1991.
- Ketchum B.H. and Redfield A.C., "A Method for Maintaining a Continuous Supply of Marine Diatoms by Culture", *J. Biol. Bull.*, 75, 1938.
- Mara D.D., Maria Helena F. and F. Marces do Monte, "The Design and Operatoon of Waste Stabilization Ponds in Tourist Areas of Mediterranean Europe", *J. Wat. Sci. Tech.*, 22-3 · 4, 1990.
- Marcello Juanico and Gedaliah Shelef, "The Performance of Stabilization Reservoirs as a Function of Design and Operation Parameters", *J. Wat. Sci. Tech.*, 23, 1991.
- Martin J.P., "Constitutive Behavior of Clay and Pozzlan-Stabilized Hydrocarbon Refining Waste", *J. Am. Soc. Testing Mater. Spec. Tech.*, 195, 1990.
- Meisheng Nie and Shumin Xu, "Technical and Economic Analysis of Stabilization Ponds", *J. Wat. Sci. Tech.*, 24-5, 1991.
- Oswald W.J., "Current Status of Microalgae from Wastes", *Chem. Engng. Prog. Symp. Ser.*, 65, 1969.
- _____, "Introduction to Advanced Integrated Wastewater Ponding Systems", *J. Wat. Sci. Tech.*, 24-5, 1991.

- Oswald W.J., Waslien C., Myers J. and B. Kok, *Photosynthetic Single-Cell Protein in Protein Resources and Technology*, U.S. government printing office, Washington D. C., 1979.
- Picot B., Bahlaoui A., Baleux S. and J. Bontex, "Comparison of the Purifying Efficiency of High Rate Algal Pond with Stabilization Pond", *J. wat. sci. tech.*, 25 ~12, 1992.
- Qingliang Zhao and Zizie Zhao, "Temperature Influence on Performance Of Oxidation Pond", *J. Wat. Sci. Tech.*, 24-5, 1991.
- Shelef G., Moraine R., Berner T., Levi A. and G. Oron, "Solar Energy Conversion via Algal Wastewater Treatment and Protein Production", *Proceeding of Fourth Int'l. Cong. Photosynthesis in The Biochemical Society Meeting*, London, 1978.
- Soeder C., "The Use of Microalgae in Nutrition", *J. Naturwissenschaften*, 63, 1976.
- Stephen J. Stanley and W. Smith Daniel, "Lagoons and Ponds", *J. Water Environment Research*, 64~4, 1992.
- Tamiya H., Role of Algae as Food, *J. Am. Rev. Microbiol.*, 8, 1959.
- Triet L.M. et al, "Application of Three Step Biological Pond with The Use of Aquatic Plant for Post Treatment of Petroleum Wastewater in Vietnam", *J. Wat. Sci. Tech.*, 23, 1991.
- Toshiuki Nakazima et al, "A Photobioreactor Using Algal Phototaxis for Solids-Liquids Separation", *J. Wat. Res.*, 25~10, 1991.
- Vladimir Zhoorov and Dmitri Zhookov, "Tertiary Treatment of Wastewater in Biological Ponds", *J. Wat. Sci. Tech.*, 24~5, 1991.
- Waslien C.I., *Unusual Sources of Proteins for Man*, 6, CRC Press, Quebec, 1975.