굴패각을 이용한 하천 및 지하수 수질정화 소재개발에 관한 연구

(○)박재현, 박창근

1. 서론

1.1 하수처리를 위한 생물학적 고도처리 시스템의 필요성

1970년대 후반부터 건설되기 시작한 대부분의 하수처리장들은 활성슬럿지법을 기초로 한 2차 처리 시설로 이 시스템에서는 주로 C-유기물만 제거되고 있으며 질소, 인 등의 영양염류는 미처리된 채 방류되고 있는 관계로 각종 조류 및 연안 해역의 적조류 발생원인과도 무관하지 않아 3차 고도처리의 필요성이 날로 증대되고 있다. 우리나라 하수의 경우 하수관 시스템의 보급률이 낮고 하수배출 방식이 주로 합류식으로 되어 있어 유입하수의 유기물 농도가 매우 낮아 기존 외국에서 개발된 생물학적 질소, 인 제거를 위한 공법이 이러한 영양염류를 제거하는데 안정적으로 적용되기가 어렵다. 현재, 사용중인 하수처리공법은 대부분 활성슬럿지법으로 운용되고 있다. 국내는 물론이고 국외에서도 가장 광법위하게 사용되고 있는, 그리고 가장 전통적으로 오랜 기간 사용되어온 생물학적 처리방법이 활성슬럿지 방법이긴 하지만 최근 질소와, 인을 제거하기 위한 고도처리의 필요성이 제고되면서 기존 활성슬럿지법의 각종 단점을 개선하거나, 아니면 유기물과 영양염류를 동시에 제거할 수 있는 새로운 공법의 개발에 대한 관심이 증폭되고 있다. 즉, 고도의 하수처리를 기존 활성슬럿지법의 성능만으로는 구현하기가 불가능하다는 판단에 근거하여, 처음에는 기존의 활성슬럿지법을 개선하는 차원에서 주로 연구가 이뤄졌으나 기존 포기조내의 활성슬럿지를 대상으로 한 각종 인자의 변경만으로는 고도의 처리수를 얻을 수가 없었다. 따라서 최근에 연구 개발된 공법들은 활성슬럿지법을 응용하면서 주로 유기물과 동시에 질소와 인을 제거할 수 있는 BOD 제거, 탈질, 그리고 탈인을 동시에 고효율로 제거할 수 있는 공법에 대한 연구가 많이 이뤄지고 있다.

인제대학교 토목공학과

1.2 본 연구의 배경

기존의 활성슬럿지법에 기초한 하천수의 고도처리는 설치비용 및 유지관리비가 과다하게 소요되므로 앞으로는 간이 하천의 경우 간단한 공법에 의한 경제적인 질소, 인 처리 시설에 대한 요구가 증대되고 있다. 날로 증대되는 도심 또는 도심 외곽의 간이 하천의 수질개선을 위해 모든 시가 대규모의 고도 폐수처리장을 설치하기는 경제적으로나 현실적으로 어려움이 많다. 따라서 앞으로의 하천수 수질개선은 간이 처리장을 통한 BOD 제거, 탈질, 탈인에 초점이 맞춰지고 있다. 대표적인 방법으로는 흘러가는 하천의 자정작용(self-purification)을 간이로 설치된 역간장치에서 생물학적으로 처리하는 접촉산화법 등이 예가 될 수 있다. 이는 흘러가는 하천수를 생물학적인 방법에 의해 보다 효율적으로 분해시키기 위하여 하천중간에 폐타이어, 야구르트병, 실타래, 그리고 폴리프로필렌 발포제 등과 같은 미생물 담체를 설치하여 부착된 미생물이 성장하는 대사작용에 의해 오염된 하천을 정화시키는 방법이다. 이러한 접촉산화법은 설치비용을 많이 소모하지 않으면서 미생물의 대사작용에 의한 유기물 분해가 잘 이뤄져 간이하천에 널리 사용되고 있다. 하지만 위에 열거한 미생물 담체들은 단순한 부착성 무기물이므로 특별한 기능을 가지지는 않을 뿐 아니라 이로 인한 가장 큰 애로사항은 앞에서 소개한 영양염류의 제거 효율이 낮다는 점이다. 이유는 탈질과정이 호기성에서 이뤄지는 탈질산화 과정과 혐기성에서 잘 이뤄지는 탈질소 과정 두 부분으로 나눠져 있으며 탈질산화 과정의 반응속도가 BOD 분해속도보다 매우 느리게 진행되기 때문이다. 따라서 단순한 무기물의 미생물 담체에 의해서는 유기물 제거, 탈질, 탈인 세 가지의 결과를 만족스럽게 얻기가 불가능하다. 이에 본 연구에서는 저절로 이뤄지는 BOD 제거 과정 외에 탈질, 탈인을 효과적으로, 즉 기능적으로 수행할 수 있는 미생물 담체를 만드는 연구를 수행해 보았다.

2. 패각 분말에 의한 미생물 담체의 개발

2.1 패각 분말에 의한 미생물 담체의 개발 배경

우리나라 해양 양식업에서 높은 비중을 차지하는 굴 양식장으로부터 발생되는 다량의 굴 껍질을 하천 정화용 미생물 담체로 활용하고자 한다. 해안 양식업에서 발생되는 많은 양의 굴 껍질은 대부분이 해안에 야적되어 바다의 공유수면을 매립하면서 연안어장의 오염을 가져올 뿐 아니라 악취와 주변의 자연경관을 훼손하는 등의 중요한 환경문제를 유발하고 있다. 따

라서 이러한 문제를 해소하기 위해 그동안 지자체와 학계 등 많은 고급인력이 굴 껍질 폐기물의 재활용에 관한 연구를 수행하여왔다.

현재 우리나라 전체의 폐기 굴 껍질 발생량은 연간 30만톤에 달하고 있으며 이 중 대부분이 남해안에서 발생되고 있다. 하지만 이 중 10%인 3만톤 정도만이 재활용되고 있는데 그것마저 대부분인 2만 5천톤은 종패 부착용으로 사용되고 나머지 5천톤 미만이 비료나 사료로 단순 가공되어 재활용되고 있다. 따라서 재활용되는 순수한 양은 전체 발생양의 아주 일부분이라고 할 수 있다. 이와 같은 굴껍질의 환경문제와 재활용 현실을 고려해볼 때 해양 수산 폐기물인 굴 껍질의 처리방안과 재활용화 방안에 대해 그동안 무수한 연구가 이뤄질 수밖에 없었던 것은 당연한 결과이다.

굴 껍질의 화학적 조성은 95% 이상이 $CaCO_3$로 이뤄져 있으며, 나머지 미량이 Na_2O, SiO_2, SO_3, Al_2O_3, Fe_2O_3와 같은 무기물로 이뤄져 있다. 물리적 특성으로는 표면적이 불규칙하여 비표면적이 높은 다공성 물질이므로 화학물질에 대한 흡착능이 좋다. 아울러 미생물에 대해서는 굴껍질이 생물체에서 얻어진 관계로 미생물가의 친화성이 좋아 굴 껍질에서의 미생물막 형성이 용이다. 따라서 이러한 굴 껍질의 물리-화학적 성질을 잘 이용할 경우 굴 껍질을 단순히 비료나 사료로 재활용하지 않더라도 환경문제와 관련된 환경소재로의 활용 가능성을 충분히 고려해볼 수도 있을 것이다. 이에 관련 연구가 그동안 많이 이뤄졌으며 아울러 많은 연구 결과가 보고되고 있다. 하지만, 대부분의 연구 결과는 실험실에서 이뤄진 내용이며 실질적인 현장 적용에 대한 보고는 거의 없는 실정이다.

2.2 굴 껍질 분말을 이용한 성형 담체

굴 껍질에 의한 오염원 제거에 대한 실험보고는 굴 껍질이 가지는 두 가지 특성에 주로 기인하고 있다. 하나는 다공성의 높은 비표면적에 의한 물리, 화학적 흡착성을 이용하는 것이며 다른 하나는 기존의 활성슬럿지법에 첨가하여 활성슬럿지법의 기능을 개선하는 생물학적 특성을 이용하는 것이다. 이 두 경우의 공통점은 다공성을 증가시키기 위하여 굴 껍질의 분쇄상태를 이용한다는 점이다. 실험실에서 이뤄진 대부분의 연구결과 역시 분쇄상태의 분말 굴 껍질을 이용하고 있다. 이 경우 두 가지의 큰 문제점이 있다. 하나는 분말상태의 굴껍질에 의해 2차 폐기물이 발생한다는 점이며 즉 불완전한 폐기물 처리가 된다는 점이며 또 하나는 실험실에 얻어진 결과에 근거하여 실제 흐르는 하천수에 어떻게 적용할 수 있느냐 하는 현실적인 문제가 발생한다. 따라서 그동안 연구결과는 많이 발표되고 있음에도 실제 적용이 되지 못하고 있을 수 있다. 또 하나 덧붙일 경우 단순히 무기

물의 혼합분말에 지나지 않는 굴 껍질 분쇄물이 과연 영양염류 제거에 얼마나 큰 역할을 담당할 수 있겠느냐 하는 문제점도 지적될 수 있다.
따라서 본 연구에서는 굴 껍질 분말이 가지는 다공 특성은 최대한 유지하여 물리, 화학적 흡착 기능을 보유한 채 T-N과 T-P와 같은 영양염류 제거 기능도 함께 가질 수 있는 기능성 생물막 담체에 대해 연구하였다. 이를 위해 먼저 굴 껍질을 분쇄한 후 관리 및 유지가 쉬운 성형체로 형틀을 만들어 이를 생물막 담체로 활용하는 것이다. 이 경우 성형체는 최대한의 다공성을 유지하여야 하며 미생물이 빠른 시일내에 흡착될 수 있는 조건이 갖춰져야 할 것이다. 성형체를 만드는 방법은 간단하게 이뤄지며 이 과정은 본 연구 팀의 다른 문헌에 자세히 소개되어 있다. 이를 통해 얻어진 성형체의 한 예가 그림 2.1에 소개되어 있다.

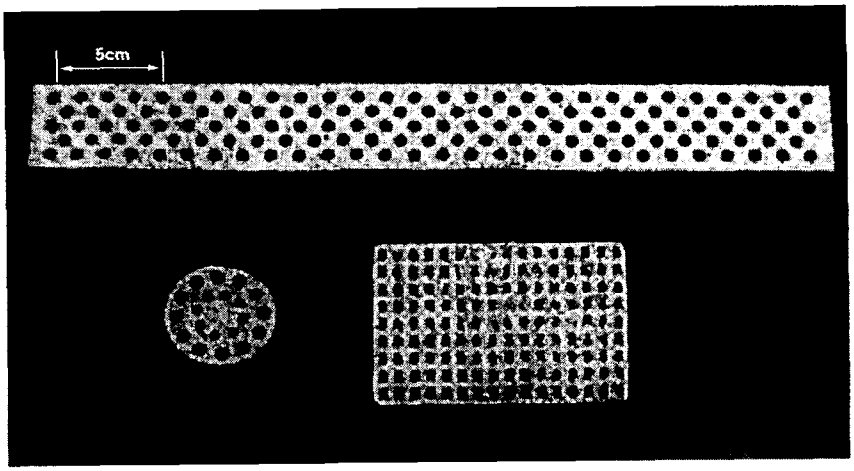

그림 2.1 굴 껍질 분말상태에서 성형된 소재

이 경우 그림에서 보는 것처럼 다공성이므로 미생물 부착이 용이하며 아울러 두 가지의 중요한 기능을 덧붙일 수 있다. 첫째는 굴 껍질 분말에 미량의 첨가제를 첨가하여 기능성을 조절할 수 있다는 점이다. 예를 들면 탈질 기능이 우수한 미생물에 대한 선호도가 높은 물질을 미량 첨가할 경우 탈질 미생물의 우점화가 빠르게 이뤄져 영양염류의 제거효율을 높일 수 있을 것이며, 두 번째는 만들어진 성형체에 미생물을 인위적으로 부착시켜 기능성을 부여하는 방법도 고려할 수 있다. 이에 대한 연구는 현재 진행중이며 좋은 결과가 기대되고 있다.

3. 앞으로의 연구계획

앞으로는 본 연구에서 만들어지는 생물학적 담체에 의한 간이 하천정화 장치를 통해 BOD는 물론이고, T-N, T-P 등과 같은 영양염류의 제거공정을 효율적으로 할 수 있는 방법에 대해 연구할 것이다. 이는 두 가지 점에 중점을 두고 연구가 이뤄질 것이다. 하나는 우선 성형체 자체가 영양염류의 제거에 효율적인 담체가 되도록 방법을 강구하는 것이며, 다른 하나는 만들어진 성형체를 어떠한 방식으로 하천에 설치함으로서 계절 변화나 온도변화에 상관없이 효율적으로 오염원을 제거할 수 있을 것인가 하는 process에 대한 연구를 중점적으로 수행하는 것이다. 이 두 과정을 위해 우선은 실험실에서 batch 상태 및 유사한 하천 flow 상태를 모델로 제작하여 수 차례에 걸쳐 시험실험을 할 예정이다.

4. 참 고 문 헌

한종대, 김문평, *Theories and Applications of Chem Eng.*, **1**, 697(1995)

김문평, 한종대, *대한환경공학회지*, **19**, 97(1997)

강미영, 조명찬, 정숙현, *환경보고서*(1999)

한종대, 김문평, *대한환경공학회지*, **19**, 1579(1997)

왕창근, *대한민국특허*, 1997-0074667.(1997)

이창호, 신춘환, *대한민국특허*, 1999-0032875(1999)

문병현, 이택순, 서희정, *한국환경과학회지*, **6**, 671(1997)

문병현, 이택순, 서정윤, 서희정, *한국수질보전학회지*, **13**, 227(1997)

전병철, 윤윤식, *환경관련연구과제 합동발표회*(2000)

김인택, *대한민국특허*, 1999-0000200(2000)

양재천, *대한민국특허*, 1998-0065065(1998)

5. 감사의 글

본 연구는 21세기 프론티어연구개발사업인 수자원의 지속적 확보기술개발사업단의 연구비지원(과제번호3-4-1)에 의해 수행되었습니다.

Acknowledgement
This research was supported by a grant (code 3-4-1) from Sustainable Water Resources Research Center of 21st Century Frontier Research Program