

탄소섬유의 생물친화성과 전도성을 활용한 수질정화

한국과학기술정보연구원
전문연구위원 조태제
(jtj3513@reseat.re.kr)

1. 탄소섬유의 특성

- 오염물질이 미생물에 의해 단시간에 분해가 가능하게 되면 환경수질은 오염되지 않는다. 생물친화성은 탄소재료의 특징이며 특히 탄소섬유에는 단시간에 생물막이 형성되어 화학약품도 에너지도 필요 없이 물의 정화가 가능하다. 인(P)과 질소(N)의 화합물은 생물친화성만으로는 제거가 곤란하므로 전기전도성을 이용한다. 이에 Gunma공업고등전문학교 연구진(이하 동 연구진)은 탄소재료가 가진 자연력인 생물친화성과 전기전도성을 활용하여 효율적인 탄소섬유 정화재료(인공수초)를 개발 중이다.

2. 생물친화성을 활용한 수질정화의 특징 및 작용기전

- 탄소섬유로 제조된 수질정화재의 설치방법은 환경수의 종류, 오염상황 등에 의해 결정되며 일본 호소 중에 오염도가 2위인 Izunuma호소의 수질은 탄소섬유상에 형성된 생물막을 담균지 3시간 만에 투명해졌으며 COD도 저하했다. 이 기술의 특징은 ①생물체의 산지소비를 활용한 기술, ②자연 조화형(slow), ③어류 등의 생육 가능, ④생태계 친화적인 준설, ⑤에너지 절약형, ⑥최저의 유지보수비 및 ⑦개발도상국으로의 전개가 가능한 점 등이다.
- 탄소섬유상에 형성된 생물막이 환경수질 중의 점착성균의 고착과 부유 물질을 부착함으로써 환경수질의 투시도가 급격히 향상된다. 수중의 용해성분은 섬유에 고착된 미생물에 의해 가스로 분해된다. 탄소섬유는 탄성률이 200GPa로 매우 커서 수중에서 요동쳐 용존산소가 미생물 덩어리의 내부까지 유입하여 호기성균으로 분해한다. 호기성균에 의해 탄

수화물은 물과 CO₂로, 질소화합물은 질산염 등으로 산화 분해된 후 혐기성균에 의해 질소가스로 환원, 방출된다. 인화합물은 불용성 인화합물로 되어 퇴적한다. 한편 목탄은 그 미세공이 모래 등으로 막히는 문제 등으로 수질정화 효과의 지속기간이 불과 1개월 정도에 불과하지만 탄소섬유 정화재료는 생물막이 역할하기 때문에 정화효과가 장기간 지속된다.

3. 탄소섬유제의 수질환경 보전재료 - 니시진직물(Nishijin weaving) 기술

- 탄소섬유제의 수질정화 재료나 인공수초는 노출 표면적을 크게 한 분산형 구조이다. 분산형 인공해조를 설치하면 약 1개월 후에는 생물류가 대량 부착되고 4~6개월이 경과되면 탄소섬유는 전단력 등에 대한 저항력이 작아 섬유가닥이 파도 등에 의해 절단된다. 그러나 섬유에 부착된 유기물의 강제적인 박리는 섬유를 손상시킬 수 있다. 이에 동 연구진은 탄소섬유가 절단되지 않고 부착물이 적당히 박락하는 탄소섬유 정화재료(인공수초)를 개발했다.
- 신규의 정화재료는 Fukuoka Weaving사의 제안으로 표면의 미생물 부착량의 증대를 위해 미리 기모처리를 하였다. 이어서 탄소 니시진 직물 기술에 의해 연속적인 위사를 이용하여 섬유 가장자리의 강도를 유지함으로써 풀리지 않으면서 섬유에 대한 스트레스를 줄여줌으로써 수질정화가 지속 가능하도록 했다.

4. 전기전도성을 활용한 녹조 및 적조발생 억제기술

- 녹조 및 적조를 유발하는 수중의 인은 미생물에 의한 정화방법으로는 제거되지 않으므로 현재는 응집제를 첨가해 물에 불용성 인화합물로 처리한다. 그런데 응집제의 첨가는 수중에 별도 이온이나 성분을 첨가하는 것이므로 수질정화가 아니라 오염이다. 동 연구진은 철과 탄소섬유를 접촉시켜 수중의 인 농도를 저하시키는 환경 친화적인 제거기술을 실증했다.

- 수중의 철은 용해되지 않지만 철에 탄소재료를 접촉시키면 이들 사이에 일종의 국부전지가 형성되어 철이 용해(이온화)되어 불용성 인산철을 생성한다. 탄소재료로는 접촉면적이 큰 탄소섬유가 최적이며 이 작용기전에 의해 철의 용해가 촉진되고 인은 침전물(재활용 가능)로서 제거된다. 이 기술의 특징은 ①약제 및 에너지가 불필요, ②환경 친화적인 철과 탄소재료의 사용, ③어패류 번식, ④최저의 유지보수비용 등이다. Gunma현 내에 소재한 2개소의 연못에서 실증시험을 실행했다.
 - 1개소는 골프장 내의 연못으로 2매의 탄소 니시진 직물 사이에 철망을 끼워 넣은 녹조발생 억제재료 30매를 2009년 5월 설치한 결과 1개월 후 수질은 크게 향상되고 총 인의 양이 저하했으며 2010년 12월까지 녹조의 발생은 없었다.
 - 다른 한 장소는 순환식 묘지공원의 연못으로 매년 7월경 신규의 물을 유입시켜 수질환경을 유지한다. 2009년 5월 상기의 억제재료를 20매 설치한 결과 총 인의 양은 통상의 분석법의 검출한도 이하였다. 투시도, COD 및 총 질소량이 모두 크게 저하했다. 2010년 6월 연못물의 교환 작업은 불필요한 상태로 되었다.

5. 축산분뇨 배수의 처리 및 유지보수비용 저감 기술

- 축산배수 중의 인은 현재에는 수질 오락방지법에 의한 잠정기준(총 인의 양 24mg/L)이 적용되나 금후는 일반기준 수준(총 인의 양 8mg/L)까지 강화된다. 분뇨 중의 COD는 활성슬러지법 등으로 처리되며 불충분한 상태에서 배수되면 지하수의 아질산이나 질산의 농도가 높아진다. 동 연구진은 가축분뇨 중에 정화재료(탄소분말+철 분말)만을 1~5% 첨가해 10분간의 교반만으로 인은 제로, COD 1/20, 총 질소는 1/3인 것을 확인했다. 정화재료의 양은 반복사용이 가능하므로 실제로는 가축분뇨의 0.1~0.5% 정도이다.
- 탄소섬유의 전기전도성을 활용한 탄소와 철에 의한 분뇨처리 방법은 고액 분리장치 및 강력한 교반장치 등이 필요하다. 이에 신규 개발된 처리장치는 단순한 구조, 저렴한 장치, 유지보수비용의 저감, 에너지 절약 기능 등의 특징이 있다. 그 핵심요소는 탄소섬유 직물과 환봉형

의 철을 효율적으로 접촉시키는 것이며 3개의 반응조로서 구성된다.

- 제1조는 배수를 유입, 염화칼슘 수용액의 첨가에 의해 배수의 전기전도성을 높여 인을 불용성 인산칼슘으로 변환시킨다. 제2조에서는 탄소섬유 직물을 감은 분뇨 정화재료를 수직으로 배치하고 배수를 유입하여 교반한다. 철과 탄소섬유 간에는 국부전지가 형성되어 불용성 인산철이 생성된다. 제3조에서는 인산철이 고액분리 후 회수된다. COD는 철의 응집, 탄소의 흡착, 질소화합물의 환원작용에 의해 감소된다. 질소성분은 철의 산화작용에 의해 질소가스로서 대기 중에 방출된다. 회수된 인산철 중의 인은 재자원화 된다. 철계 회수물은 전기로에서 용융됨으로써 「철의 완전한 리사이클」이 실현된다.
- 이 방법의 특징은 ①단일처리로서 COD, 질소, 인 등의 제거, ②인체나 동물에 안전한 탄소와 철만의 사용, ③폐기물은 철, 탄소, 인산철, 산화철 등, ④회수된 인 및 철은 재이용 가능, ⑤가열처리 불필요 등이다. 한편 이 기술은 일본 과학기술진흥기구의 지역결집형 산학관 연구개발 프로그램으로 개발하여 Gunma현 내의 축산농가에서 실증 시험을 했다.

6. 금후의 전개

- 탄소섬유는 미생물을 대량으로 고착하여 오염물을 분해한다. 이것은 자연과 공생하는 물질의 특성을 활용한 수질정화 기술이다. 물을 오염시키는 주요인이 탄소, 산소 및 수소인 경우는 미생물 활용법으로 정화된다. 인을 함유한 물의 정화는 미생물 활용법만으로는 곤란하나 탄소재료의 전기전도성과 철의 반응성을 활용하면 가능하다. 질소는 미생물에 의한 정화속도가 느리나 탄소재료의 전기전도성을 활용하면 가스화가 촉진되어 질소가스로서 방출될 수 있다. 한 울의 탄소섬유가 세계의 물 문제를 해결할 수 있는 비장의 카드가 될 수 있다.

출처 : 小島 昭, “炭素纖維の生物親和性と伝導性を活用した水質浄化”, 「纖維機械學會誌(日本)」, 64(2), 2011, pp.105~110.

◁ 전문가 제언 ▷

- 수처리 재료용 탄소섬유는 일반적으로 폴리아크릴로니트릴계 수지를 탄소화한 섬유로 일반 공업용과는 달리 수중에서의 면적 확대를 위해 특수한 사이징처리를 한다. 탄소섬유의 수질정화 메커니즘은 섬유의 다공성에 의해 표면적이 증가하여 오염물질이나 세균을 흡착한다. 또한 탄소에 햇볕이 닿으면 초음파가 발생하여 미생물이 모여서 그때 형성된 생물막이 오염물질을 분해한다. 최근에는 영양염류의 처리를 위해 탄소섬유의 전기전도성을 활용한다.
- 이 보고서는 최근 세계적인 물 부족과 생물 다양성의 저하 등으로 수자원의 중요성이 강조되는 가운데 탄소섬유의 뛰어난 생물친화성과 전기전도성을 활용한 환경 친화적인 수질정화방법을 제시함으로써 관련 분야 연구의 중요성을 인식할 수 있는 자료가 될 것으로 기대된다.
- 현재 일본 내의 200곳 이상의 강, 호수, 바다의 수질정화, 댐의 조장 형성, 하수 및 공장배수의 수질정화 등에 탄소섬유의 특성을 활용한 수처리가 이뤄지고 있으며 중국, 대만 등 해외에서도 주목하고 있다.
- 우리나라도 최근 처리수, 슬러지의 재이용 확대와 2012년부터의 총인의 처리기준 강화 등 하수관리의 정책적 수요충족을 위해서는 화섬업계의 뛰어난 직물기술과 수처리 관련업계의 오랜 실무경력을 바탕으로 한 긴밀한 협조가 필요하다. 이를 통해 최근 급성장 중인 수처리용의 생물막 반응기 등과의 조합을 통해 이들 탄소섬유의 자연력인 생물친화성과 전기전도성을 활용하는 환경 친화적인 수처리방법의 응용 전개를 고려할 필요가 있다.
- 한편 탄소섬유에 의한 수질정화는 섬유자체의 흡착효과뿐 아니라 섬유에 고착하는 미생물막의 역할에 의한 것으로 미생물막이 형성되지 않는 환경에서는 수질정화 효과는 미미하다. 원래 미생물이 없던 환경이나 용존산소가 부족한 빈산소상태, 유동이 없는 상태에서는 효과가 나타나기까지 시간이 걸린다. 따라서 보다 고도의 수질정화 효과를 얻기 위해서는 양호한 미생물환경을 만드는 것이 매우 중요하다.

이 분석물은 **교육과학기술부 과학기술진흥금**을 지원받아 작성하였습니다.