

투어멀린 침적수중의 대장균 억제 반응

Suppression Influence of Bacteria Multiplication in Tourmaline Treated-water

소대화* · 장동훈**

*명지대학교 · **(주)대승

E-mail : dwhs0h@mju.ac.kr

요 약

천연광물질인 투어멀린은 물분자를 만나면 수소(H⁺)와 수산기(OH⁻)로 분해하여 친수기와 소수기를 구분하여 발생하며, H⁺와 OH⁻는 각각 H₂O와 결합하여 활성이 강한 hydronium ion(H₃O⁺)과 계면활성 작용이 있는 hydroxyl ion(H₂O₂⁻)을 생성한다. 물속에서 불안정한 상태로 존재하는 수산기는 hydroxyl (-)ion을 형성하여 약 알칼리성(pH~7.4)을 띄고, 물의 클러스터(cluster)를 세분화하는 수질 개선 기능과 함께 살균, 항균 및 세균번식억제 효과를 갖는다. 그러므로 투어멀린 전기석의 물 분해 효과를 이용하여 이것을 일정 시간 동안 증류수에 침적시킨 뒤, 그 침적수를 대장균이 배양된 액에 드롭시켜 대장균의 변화를 조사하였다.

그 결과, 시간이 경과됨에 따라 대장균 수의 변화가 나타남을 확인하였고, 따라서 투어멀린 침적수의 대장균 증식억제 효과를 확인하였다.

키워드

투어멀린, 전기석, hydroxyl ion, EPD, 수질개선, 세균번식억제, 살균

1. 서 론

전기를 대전하는 돌이라는 뜻으로 전기석(電氣石)이라고도 불리는 투어멀린은 경도 7~7.5, 비중 3~3.3의 육방정계 결정구조를 갖는 천연광물의 일종으로, 최근 여러 면에서 관심을 끌게 되면서 소위 환경개선소재라는 별칭으로 불리기도 한다. 투어멀린은 전기적 대전성이 일그러진 상태에서 영구쌍극자가 형성되어, 마치 인체 내에 흐르고 있는 전류와 비슷한 정도의 미약 전류(~60 μ A)를 자체적으로 흘린다는 사실이 일본의 광석연구가 쿠보데 쓰지로 교수에 의해서 발견되면서 환경소재나 공업용소재로써 주목을 받고 있다.

따라서 본 연구에서는 투어멀린 분말 및 그 혼합물 소결체[1,2]와 EPD에 의한 투어멀린 전착막[3,4,5]을 소결하여 투어멀린과 그 복합체의 물에 대한 응용성 제고를 위한 기초연구 수행에서 투어멀린의 물에 대한 전기·화학적 작용 및 살균 효과를 조사, 확인하여, 이에 대한 수질개선의 가능성과 그 응용성을 확보하였다.

2. 투어멀린의 특성

투어멀린의 화학조성식은 WX₃B₃Al₃(AlSi₂O₉)₃(O, OH, F)₄로 나타내어지는 6방정계의 이극상 광물(W=Na, Ca; X=Al, Fe^{III}, Li, Mg)로써, 다음과 같은 특성을 갖는다.

- 1) 영구쌍극자에 의한 미약전기 발생 기능
- 2) 물분자의 마이너스이온화·약 알칼리화 기능
- 3) 물분자 cluster의 세분화와 활성화 기능
- 4) 원격외선의 방사 기능
- 5) 마이너스이온 발생과 물의 계면활성화 기능
- 6) 미네랄 용출에 의한 광석수 효과 기능

이와 함께 투어멀린의 미약전류와 마이너스이온 발생 및 각종 함유원소들에 의한 상승작용들은 우리생활에서 인체에 크게 작용하며, 다음과 같은 활성효과를 주는 것으로 알려져 있다.

- 1) 인체내의 활성산소 무독화
- 2) 약 알칼리성 체액형성의 정상컨디션 유지
- 3) 생활주변의 공기정화 및 냄새제거 효과
- 4) 금속부식방지, 중금속흡착 및 안면효과

3. 투어멀린 소결체

1) 투어멀린 EPD전착막 소결체

투어멀린에 적정량의 금속산화물과 미량의 염화물을 PVC 또는 PEG 등과 혼합하여 성형 및 EPD 전착한 뒤, 열처리과정(750℃ 1차 소성, 900℃ 소결)을 거쳐 소결하여 투어멀린 세라믹스의 소결체와 EPD 전착막[2,3]을 구성하였다. EPD 전착과정은 전착시스템과 전착전류 특성에서 일반적인 산화물 분말의 전착형태와 유사하게 나타났다.

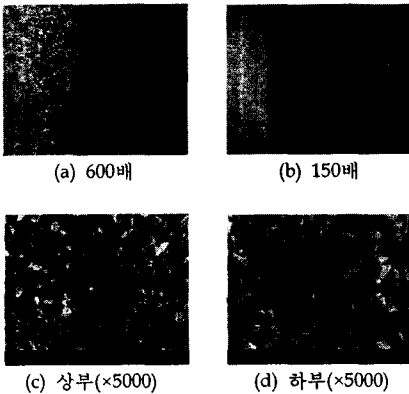


그림 1. EPD전착시편의 외관(a,b)과 SEM사진(c,d)

그림 1은 전착시편의 표면 관찰 사진으로, (a), (b)는 Ag선위에 EPD전착한 투어멀린 전착샘플을 850℃에서 2시간 동안 열처리한 표면과 외형을 광학현미경으로 관찰한 사진이며, (c)와 (d)는 EPD 전착표면을 5000배로 확대한 SEM 사진으로 샘플의 상부와 하부의 전착상태 및 입자크기분포와 함께 표면의 거칠기와 균열상태를 분석, 확인하였다. 상부에 비하여 하부의 입자 크기가 큰 것으로부터 분산상태가 고르지 않으며 현탁성 저하로 상부와 하부의 입자크기분포가 현저한 차이가 있음을 알 수 있다.

4. 결과 및 분석

1) 샘플침적수의 전기전도도와 산성도

투어멀린 복합체가 물 속에서 물분자와의 반응으로 나타나는 현상을 확인하기 위하여 1ℓ의 증류수에 투어멀린 소결복합체 분말 50gr을 넣어 침적시킨 뒤, 시간이 경과함에 따라서 나타나는 전기전도도(σ)와 산성도(pH)를 측정하여, 다음 결과와 같은 상태의 변화를 확인하였다.

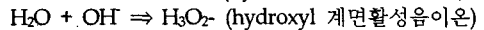
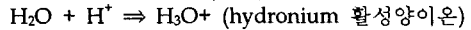
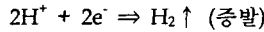
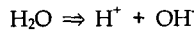
- a) 침적수 준비 직후 σ = 60.5 μS/cm, pH = 6.5,
- b) 48시간 경과 후 σ = 18.2 μS/cm, pH = 7.0
(초순수의 전도도 기준치 σ = 18.5 μS/cm)

이 결과로부터 투어멀린 복합소결체의 물에 대

한 반응에서 pH는 약 산성(6.5)에서 중성(7.0)으로, σ는 초순수의 기준 값(σ=18.5μS/cm)에 접근하는 중요한 변화를 확인하였고, 이에 대한 장기적 조사의 필요성으로 변화추이를 계속 관찰하고 있다.

2) 살균 작용과 세균번식억제 효과

투어멀린 전기석은 극성을 띄는 독특한 성질 때문에 물분자와 접촉되면 물을 H₂⁺와 OH⁻ 이온으로 분해하고, 이들은 다시 아래 반응식과 같이 H₂ 가스와 hydronium (+)ion 및 hydroxyl (-)ion이 되어 외부로 증발하거나, 물속에 잔류되어 물과의 지속적인 반응으로 항균, 살균 및 세균증식억제 작용을 하며, 물분자 cluster의 세분화에 따른 활성화 기능의 작용이 기대된다.



이중에서 OH⁻는 강산화성 음이온으로 살균력을 가지며, 유기기반응으로 생물세포를 공격하는 강한 활성이온이다^[6]. 따라서 투어멀린복합체 침적수 중에서 미소전류의 전기분해로 발생한 OH⁻가 대장균에 어떤 반응과 영향을 미치는가를 확인하기 위하여, 다음과 같은 실험을 수행하였다.

실험에서, 준비된 증류수에 대장균개체 수를 1300 (MPN/100ml)으로 유지한 다음, 투어멀린 소결체를 wt./vol. %로 50gr/100ml를 증류수에 침적시켜 24시간이 경과된 용액을 시험용액으로 만들어 각각 1ml, 3ml, 5ml 씩 앞에서 준비한 대장균시료액에 넣은 후, 다시 각각 24시간이 경과한 후에 대장균개체수를 계수하였다^[7].

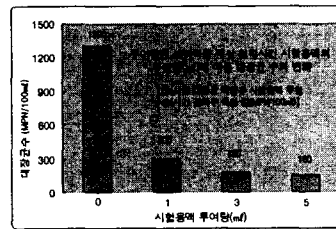


그림 6. 투어멀린 침적수의 대장균 살균 반응

그 결과, 각각의 경우에 대한 대장균개체수는 그림 6과 같이 300, 180, 150으로 확인되었다.

여기서, 중요한 관점은 초기 시료의 일정한 대장균개체수가 투어멀린복합체를 침적시킨 시험용액을 1ml, 3ml, 5ml로 각각 증가하여 첨가하였을 때 대장균 개체수가 급격히 감소된 현상이다. 초기 대장균시료액에 1ml의 시험용액이 가해진 후 24시간이 경과되었을 때의 개체수가 1300으로부터 300으로 급감하였고, 다시 초기 시료액에 시험용액을 3ml로 증가한 경우에는 개체수가 1300에서 180으로

로, 그 다음 시액을 5ml 넣은 경우는 1300에서 150으로 감소되었다. 이것은 대장균시료에 침적수 시액을 증가시키기에 따라 시료중의 대장균개체수는 침적수의 양에 반하여 뚜렷하게 감소되어 나타난 사실로써, 이 현상은 앞에서 언급한 바와 같이, 발생된 강산화성 OH⁻의 살균작용이거나, 또는 수산기의 유리기반응에 의한 공격으로 생물세포의 지방질과산화, 단백질 아미노산의 산화분해 혹은 디옥시리보핵산(deoxyribonucleic acid: DNA)의 체인파괴^[8] 등의 작용에 의한 대장균 사멸현상으로 판단되지만, 좀 더 확고한 신뢰성 확보를 위해서는 계속적 조사관찰이 요구된다.

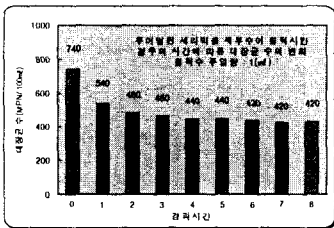


그림 7. 투어멀린 침적수의 대장균 살균 반응 (초기 pH: 6.7, σ: 87.8)

한편, 대장균개체수의 측정간격을 매 시간 계수하여 그림 7과 8에 나타내었다. 그림 7의 결과는 앞의 시험과 동일한 과정으로 준비한 경우이고, 그림 8의 결과는 투어멀린 복합소결체를 깨지 않고 작은 덩어리로 침적시켜 조사한 경우의 결과로써, 이때 투입한 침적수의 양은 각각 1ml 이다.

그러나 시험용액의 반응결과를 이들 두 가지 방법의 조사에서 전혀 상반된 경향을 보였는데, 같은 양의 동일 물질에 대한 반응의 상반된 결과 분석은 쉽지 않은 일이지만, 투어멀린 복합체의 세균번식억제효과와 관련하여 매우 중요한 의미를 내포한다. 즉, 투어멀린 복합체의 물과의 반응은 두 물질의 접촉에 기인하며, 그 결과는 접촉면적에 비례하므로 결국 본 연구에서 조사된 두 경우의 결과는 투어멀린 복합체 시편을 깨서 접촉면적을 크게 한 경우의 결과와 깨지 않고 같은 무게의 동일 물질로 시험한 경우와의 활성접촉면적의 차에 기인된 현상으로 분석되며, 따라서 전착막과 같은 표면적 증대효과 응용 방식의 필요성을 시사해 준다.

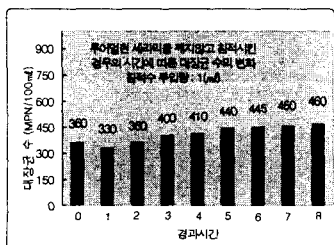


그림 8. 투어멀린 침적수의 대장균 살균 반응 (초기 pH: 7.0, σ: 56.3)

따라서 개체수의 감소는 오히려 투어멀린 복합체의 큰 접촉면적을 요구하는 것으로 그 양을 늘려주거나 아니면 잘게 부수어서 물과의 접촉면적을 늘려줘야 된다는 것을 의미한다. 그러므로 투어멀린의 활성접촉면적이 이에 미치지 못할 경우에는 대장균 시료액 등의 피 조사물에 대한 투어멀린의 효과부족으로 오히려 대장균 개체수가 증가하여 대장균의 번식억제효과보다 배양효과를 나타내는 중요한 결과를 제공해 줌으로 활성면적의 적정 수준이 충족되어야 한다.

한편, 이와 유사하게 해양생물체에 대한 수산기의 공격 능력은 일반적인 수준을 넘어 해수적조생물을 사멸시키는 정도에 이른다^[9]. 자연계에 존재하는 수산기는 하나의 원자단물질이며, 자연계를 정화하는 유효한 녹색청정약제이다. 수산기는 불소의 산화력과 비슷한 매우 강한 산화성을 띄고 있어서, 수산기가 참여하는 生化反應은 유리기반응으로 미생물의 사멸 반응속도도 매우 빠르고, 그 최종생성물은 O₂와 H₂O이다.

한편, 대장균은 세포핵이 체계적이고 복잡한 다른 고등생물과 달리 세포 내에 핵 분자들이 분산된 모습으로 단순 배열되어 세포분열에 따른 증식이 비교적 쉽게 이루어질 수 있으나, 상대적으로 외부의 공격에는 매우 취약하다.

따라서 수중생물을 예로 정리해 보면, 생물체의 세포막 두께는 4~7μm로써 주로 단백질, 지방질, 다당류와 함께 물, 금속이온 등으로 이루어져있고, 인-글리세린지방산 분자에는 포화 및 불포화지방산이 각각 한 분자씩 포함되어있다.

또한, 단백질의 아미노산 펩타이드(peptide) 체인은 생명기능 유지에 가장 중요한 물질로써, 아래 식에서와 같이 수산기는 아미노산을 산화분해하고 펩타이드 체인을 끊어 단백질의 성질을 변화시키는 강력한 성분으로 작용한다.

뿐만 아니라, DNA는 생물체 내의 중요하고 큰 분자이며, 유전물질이다. 수산기가 DNA와 결합하면 DNA 가합물을 형성하여 DNA를 초기에 손상시키고, DNA 구조의 수산화나트륨 교환이나 상실, 또는 체인단절의 변화를 초래하며, DNA 분자 중 합수탄소와 인산은 수산기의 공격으로 화학성이 손상된 후, DNA 구조와 기능에 영향을 주어 결국 세포사망을 초래하는 것으로 분석된다.

5. 결론

투어멀린 전기석의 복합소결체 및 EPD 전착필름의 특성을 확인하고, 이를 시료로 가공한 후 물에 대하여 대장균 반응을 조사하여 다음의 결론을 얻었다.

- 1) 투어멀린 복합소결체와 그의 EPD전착막의 소결성 실험에서 유용한 타 물질과의 복합소결체구성을 위한 양호한 소결 조건을 확보하였다.
- 2) 투어멀린 복합소결체의 물 반응조사에서 산

성도는 약산성에서 중성 또는 약 알칼리성으로, 전기전도도는 초순수의 기준 값 $\sigma=18.5\mu\text{S/cm}$ 에 접근하여 지속적인 변화를 보이면서 수질개선 효과와 그의 응용 가능성을 확인하였다.

- 3) 투어덜린 침적 시험수의 대장균번식억제효과 조사에서 준비된 시험수의 대장균개체 수가 1300 (MPN/100ml)에서 24시간 경과 후 최소한 25% 이하 수준으로 격감된 300(MPN/100 ml) 이하로 계수 되어 대장균에 대한 번식억제효과 수준을 넘어 강한 살균효과 또는 항균작용이 있음을 확인하였다.

감사의 글

본 연구는 중소기업청과 (주)대승의 지원과 협력으로 수행되었음을 밝히며, 이에 감사를 드립니다.

참고 문헌

- [1] 中重治 外, 電子材料 세라믹스-윤기현 外2共譯, 半島出版社, 1993
- [2] F. R. Sale, NOVEL SYNTHESIS AND PROCESSING OF CERAMICS, The university press of Cambridge, UK, 1994
- [3] Narendra B. Dahotre, T. S. Sudarshan, INTERMETALLIC AND CERAMIC COATINGS, Marcel Dekker, Inc., 1999
- [4] Soh Deawha, et al., Preparation of Superconducting YBCO Thick Film by Electrolysis, Physica C, Elsevier, 2000
- [5] Soh Deawha, et al., High Temperature Superconducting Thick Films by use of EPD Method(II), Eurasian Chem-Tech. J., 2003
- [6] 白希堯 外3, 外來有害生物侵入性傳播災害和治理方法的研究, 自然雜誌, 24卷4號, 2002
- [7] 소대화 외, Tourmaline 전기석의 소결특성과 응용, KIMICS 춘계학술대회 논문집, p. 778, 2003
- [8] 소대화 외, 해수적조현상과 선박안정수의 처리 방안, KIMICS 춘계학술대회 논문집, p. 772, 2003
- [9] 白希堯, 白敏冬, 周曉見, 自然雜誌, vol. 24, No. 1, p. 26, 2002
- [10] Di Giulio R.T., Washburn C.P., Wenning J.R., et al., Environmental Toxicology and Chemistry, vol. 8, p. 1103, 1989
- [11] 孔緊翔, 環境生物學, 北京高等教育出版社, p. 68, 2000