

Tourmaline의 수질개선 효과 분석

소대화¹⁾, 박정철²⁾, 장동훈³⁾, 정조영⁴⁾

¹⁾명지대학교, ²⁾경원대학, ³⁾(주)대 승, ⁴⁾과학기술단체총연합회

Analysis on the water quality improvement effects by Tourmaline

Soh Deawha¹⁾, Park Jungcheul²⁾, Jang Donghoon³⁾, Jung Joyoung⁴⁾

¹⁾Myongji University, ²⁾Kyongwon College, ³⁾Dae Seung Co. Ltd., ⁴⁾KOFST

요 약

투어멀린(Tourmaline)은 비대칭 쌍극자를 가진 천연 유극성 결정체로 광물 중에서 영구전기분극을 띠고 있는 유일한 물질로써 일명 “전기석”이라고 알려져 있다. 분극에 의한 자체 미약전류(약 60 μ A)와 함께 음이온 및 원적외선의 발생으로 최근 우리주변에서 건강과 환경을 위한 관심고조의 대상인 육방정계의 압전성 및 초전성을 띠는 붕규산염(주요성분: Mg, Fe, B, Si, Ca)으로, 투어멀린 원석이나 그 복합세라믹체의 면역지수가 ~1000에서 ~400,000 이상인 점을 비롯하여 그 유용성을 이용하려는 새로운 아이디어 신상품들이 계속 개발되고 있다. 뿐만 아니라, 물분자를 만나면 수소(H⁺)와 수산기(OH⁻)로 전기분해 하여 친수기와 소수기 부분으로 구분하며, H⁺와 OH⁻는 각각 H₂O와 결합하여 활성이 강한 hydronium ion(H₃O⁺)을 생성하고, 물 속에서 계속 불안정한 상태로 존재하는 수산기는 계면활성 작용이 있는 hydroxyl ion(H₃O₂⁻)을 형성하여 물을 약 알칼리성(pH~7.4)으로 바꿔주며, 물분자 클러스터 세분화와 미네랄을 용출, 공급하여 이 물이 체내에 흡수되면 살균, 항균성의 면역기능을 갖게 되며, 혈액정화 기능과 자율신경 자극으로 교감신경의 흥분을 억제해 준다.

이와 함께 전기분극을 띤 투어멀린 입자는 다른 물질에 비하여 경이적 수치의 원적외선을 발생하여 강력한 열 효과와 높은 침투력으로 인체의 혈액순환 촉진과 혈전용해 작용을 주어 건강과 활력에 도움을 주는 것으로 확인되어 많은 관심을 끌고 있다.

따라서 유익한 이용가치를 인정받고 있는 천연 투어멀린을 단독 형태나 또는 서로 상승효과를 줄 수 있는 유용한 타 물질과 혼합물을 구성하여 성형 또는 EPD 방법으로 전착한 후 소결 처리하여, 소결체의 특성 분석과 함께 물에 대한 전기·화학적 작용 및 항균 효과를 조사, 확인하여 수질개선 효과를 분석하고 그 응용성을 개발, 확보하였다.

키워드 : 투어멀린, 전기석, hydroxyl ion, EPD 전착막, 초전기, 원적외선, 수질개선, 세균번식억제

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 대칭성이 일그러진 상태에서 영구쌍극자가 형성되어, 마치 인체내에 흐르고 있는

전류와 비슷한 정도의 미약전류(~60 μ A)를 자체적으로 흘린다는 사실이 일본의 광석연구가 쿠보데 쓰지로 교수에 의해서 발견되면서 환경소재나 공업용소재로써 주목을 받고 있다.

물리학자 파엘큐리(라듐 발견, 노벨물리학상 수상자)는 투어멀린의 결정에 외부압력을 가하면 결정표면에 전하가 발생하는 압전현상과 가열하여 전하가 발생하는 초전기(pyroelectricity) 현상이 나

제5회 일렉트릿트 및 응용기술 연구회

타남을 발견(1880년)하여 전기석이라고 부르게 되었다. 그 후 X선을 발견한 물리학자 쾨트겐도 투어멀린에 관한 실험에서 동일한 결과를 보고하였고, 일본 도시바 중앙연구소의 쿠보테츠지로 교수는 물에 대한 연구에서 투어멀린 원석을 수돗물에 넣어 물의 성분과 수질이 변화하는 것을 발견하였고, 이 연구결과로부터 전기석으로서의 투어멀린은 공업분야, 의료분야 및 생활용품 등에서 그 응용가능성이 급격히 확대되고 있다. 투어멀린을 활용한 각 분야에서의 연구와 상품화는 최근 몇 년간 현저한 기술발전을 이루어 왔고, 그 인지도가 점점 높아지면서 투어멀린 성분을 함유한 섬유개발을 비롯하여 건강주택, 각종 응용전자제품, 화장품, 칩구류 등의 생활용품들이 다양하게 여러 기업들에 의해서 경쟁적으로 개발되거나, 상품화되어 시판하고 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 항균 효과를 조사, 확인하여 수질개선 효과를 분석하고, 그 응용성을 개발, 확보하였다.

2. 투어멀린의 성분과 기본적인 특성

투어멀린의 화학조성식은 $WX_3B_3Al_3(AlSi_2O_9)_3$ (O, OH, F)로 나타내어지는 6방정제의 이극상 광물(W=Na, Ca; X=Al, Fe^{III}, Li, Mg)로써, 보통은 기둥 모양이나, 바늘모양, 편평한 모양 또는 빨면인 것도 있으며, 기둥면에는 세로 선이 있고, 양쪽 끝의 형상이나 색이 서로 다른 점과 초전기성을 띄는 이극상의 극성 물질이다. 매우 강한 2색상을 띄는 결정편암, 편마암, 접촉변성암 속 등에 널리 분포되어 있고, 화강암의 페그마타이트 속에서는 가끔 큰 결정이 얻어지기도 하며, 편광판으로도 사용되지만 아름다운 것은 보석으로도 쓰인다. 투어멀린 광석은 투어멀린 자체에 함유된 여러 원소를 녹여내어 우리 인체나 동식물에 여러 가지 좋은 영향을 주는 것으로 알려져 있으며, 사람의 피부에 직접 접할 경우는 Mg, Fe, B, Si 등의 원소들이 피부에 바로 접하기 때문에 마이너스 이온과 원적외선 상승효과를 주는 것 외에도 다음과 같은 특성적 기능이 있다.

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

위와 같은 투어멀린의 특성적 기능과 작용은 우리생활과 인체에 여러 가지 유익한 영향을 미칠 뿐만 아니라, 특히 결정구조에 의한 미약전류와 마이너스이온 발생 및 각종 함유원소들에 의한 여러 가지 상승작용들은 우리생활에서 인체에 크게 작용하며, 다음과 같은 활성효과를 준다.

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

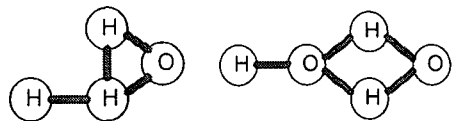
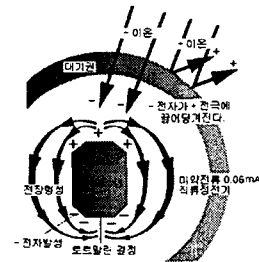


그림 1. 투어멀린의 분극전류와 물분자의 이온 발생 모형도
(a) hydronium ion (+활성이온),
(b) hydroxyl ion (-계면활성이온)

3. 투어멀린 세라믹스와 EPD 전착막

3.1 투어멀린 세라믹스의 소결 특성

투어멀린에 적정량의 금속산화물과 미량의 금속염화물을 PVC 또는 PEG 등과 혼합하여 성형한 뒤, 열처리과정(750℃ 1차 소성, 900℃ 소결)을 거

쳐 소결체로 제작하였다. 전기쌍극자와 자기모멘트 형성이 동시에 가능한 전자기적 기능을 갖는 소결체 형성을 시도하여 쌍극자 능률 증배효과를 위한 전기-자기 분극형 초전성 복합소결체 구(불)를 혼합 성분별로 구분하여 각각 시편으로 제작하였다.

재료의 소결조건 설정을 위하여 DTA를 측정하였다. 그림 2에서 투어멀린의 DTA 특성은 복합산화물 성분들로 인하여 매우 복잡한 특성을 보인다. 특성곡선의 첫 번째 계곡(1)에서 저융점 성분의 용화가 시작되고 난 다음, 첫째 봉우리(2)에서부터 복합성분의 액상이 증가하거나 성분이 부분적으로 녹아서 두 번째 계곡(3) 근처 이후부터 유리질 상이 나타날 것으로 분석되지만, 더 자세한 것은 1250℃ 이후에서 명확한 용융현상의 유무를 확인하는 것과 함께 XRD 분석이 병행되면 더욱 확실한 분석이 이루어질 수 있을 것으로 판단된다.

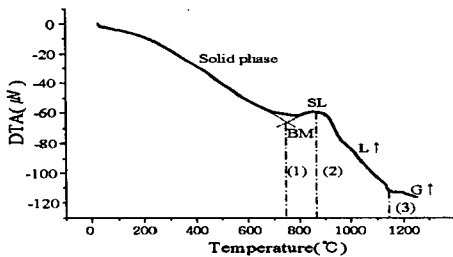


그림 2. 투어멀린의 DTA 분석

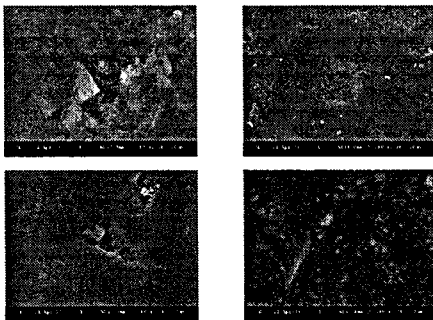


그림 3. 투어멀린 혼합 시편의 SEM 사진

하지만, 분석특성으로부터 투어멀린 혼합분말의 하소와 소결 온도를 각각 750/900℃에서 열처리하여 소결성이 양호한 샘플을 얻었으며, 그림 3의 SEM 사진과 같은 치밀성이 양호한 소결체를 구성하여 쌍극자 능률 증배효과 개선을 위한 분극형 초전성 복합소결체를 제작하였다.

3.2 투어멀린 EPD 전착막의 소결 특성

투어멀린 세라믹스의 조성과 같은 방법으로 EPD 전착막[4,5]을 구성하여 비교하고자 하였으나, 우선 투어멀린 단독분말을 EPD 전착하여 기본 특성을 검토하였다. EPD 전착과정은 그림 4에 나타난 전착시스템과 전착전류 특성으로부터 일반적인 산화물 분말의 전착형태와 유사하게 나타났으나, 아세톤 용매 중에서 분말입자의 표면전하 형성이 낮아서 표면 전하밀도가 낮게 나타났으며, 또한 입자의 비중이 3 이상으로 매우 커서 초음파 분산에 의한 현탁성이 미흡하여 비교적 짧은 시간에 대부분의 현탁입자들이 아래로 가라앉는 현상을 보였다.

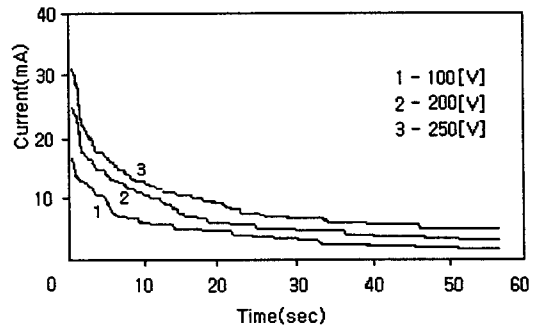
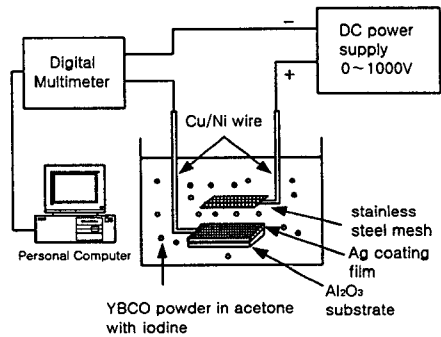


그림 4. EPD 전착시스템과 전착전류 특성[2,3]

그림 5는 Ag선 위에 EPD전착한 투어멀린 전착 샘플을 850℃에서 2시간 동안 열처리한 표면과 외형을 광학현미경으로 관찰한 사진이며, 그림 6은 5000배로 확대하여 샘플의 상부, 하부의 전착상태와 입자크기분포를 SEM 사진으로 찍은 것으로 EPD 전착상태와 표면의 입자 형태, 거칠기, 균열 상태를 분석, 확인하였다. 상부에 비하여 하부의 입자 크기가 큰 것으로부터 분산 상태가 고르지

제5회 일렉트렛 및 응용기술 연구회

얇으며 현탁성 저하로 가라앉으면서 사부와 하부의 입자 크기 분포가 현저히 차이가 있음을 알 수 있다.

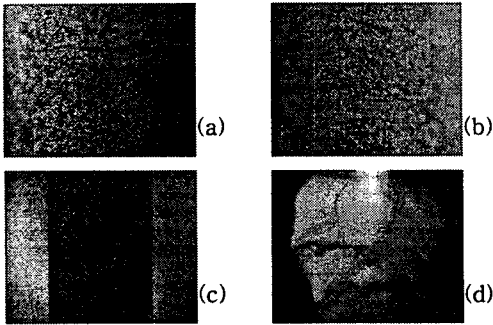


그림 5. 투어멀린 EPD 전착 시편의 외관
(a), (b), 의 관찰배율 : 600배
(c), (d), 의 관찰배율 : 150배

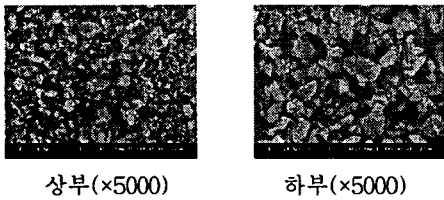


그림 6. 투어멀린 전착 막의 SEM 분석

4. 실험 결과 및 분석

4.1 샘플침적수의 전기전도도와 산성도

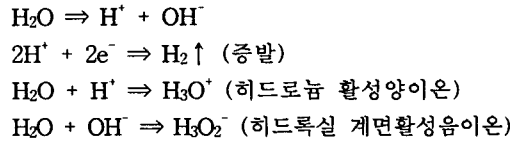
투어멀린 복합체가 물 속에서 물분자와의 반응으로 나타나는 현상을 분석하기 위하여 1ℓ의 증류수에 투어멀린 소결복합체 분말 50gr을 넣어 침적시킨 뒤, 시간이 경과함에 따라서 나타나는 전기전도도(σ)와 산성도(pH)의 변화를 측정하여, 다음의 결과를 얻었다.

- 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 전기전도도 기준치 σ = 18.5 μS/cm)

이 결과로부터 투어멀린 복합소결체의 물에 대한 반응에서 pH는 약 산성(6.5)에서 중성(7.0)으로, σ는 초순수의 기준 값(σ=18.5μS/cm)에 접근하는 중요한 변화가 지속적으로 일어남을 확인하였고, 이에 대한 장기적 변화의 조사를 지속하고 있다.

4.2 항균 작용과 세균증식억제 효과

투어멀린 전기석은 극성을 띠는 독특한 성질 때문에 물분자와 접촉되면 물을 H₂⁺와 OH⁻ 이온으로 분해하고, 이들은 다시 H₂ 가스와 hydronium (+)ion 및 hydroxyl (-)ion으로 되어 아래 반응식에서와 같이 외부로 증발하거나, 물 속에 잔류된 상태에서 물과 작용하여 수질개선과 항균, 살균 및 세균증식억제 작용을 하는 것으로 나타난다[6].



이중에서 수산기는 강산화성 음이온으로 살균력을 가지며, 유리기 반응으로 생물세포를 공격하는 강한 활성이온이다[6]. 따라서 투어멀린 복합체 침적수중에 미소전류에 의하여 전기분해로 발생한 수산기가 대장균에 어떤 반응과 영향을 미치는가를 확인하기 위하여, 다음과 같은 실험을 하였다. 실험한 내용은, 준비한 증류수에 대장균개체 수를 1300(MPN/100ml)으로 유지한 다음, 투어멀린 혼합소결체를 중량 대 체적 비로 50gr/100ml(weight/volume:%)를 증류수에 침적시킨 뒤, 24시간 경과된 용액을 시험용액으로 만들어 각각 1ml, 3ml, 5ml 씩 앞에서 준비한 대장균 시료 액에 넣어 각각 24시간이 경과한 후에 대장균개체 수를 계수하여 조사하였다[7]. 그 결과, 각각의 경우에 대한 대장균개체 수는 300, 180, 150으로 확인되었다. 여기서, 중요한 관점은 처음 시료의 일정한 대장균개체 수가 투어멀린 복합체를 침적시킨 시험용액을 1ml, 3ml, 5ml로 증가하여 첨가하였을 때, 시험용액을 넣지 않은 초기의 대장균 시료에 1ml의 시험용액이 가해져 24시간 경과한 때의 개체 수가 1300로부터 300으로 급격히 감소하였으며, 시험용액을 3ml로 증가하여 넣은 경우에는 개체 수가 1300에서 180으로 변화하였고, 다시 시험용액을 5ml로 늘려서 넣은 경우는 1300에서 150으로 각각 감소되어, 대장균 시료에 침적수용액을 증가시켜 넣음에 따라 시료중의 대장균개체 수는 오히려 차례대로 뚜렷하게 감소되어 나타난 사실이다. 이것은 앞에서 언급한 강산화성 OH수산기의 잘 알려진 살균작용에 의한 결과이거나, 또는 수산기의 유리기

반응에 의한 공격으로 생물세포의 지방질과산화, 단백질 아미노산의 산화분해 또는 디옥시리보핵산(deoxyribonucleic acid : DNA)의 체인파괴[8] 등의 작용에 의한 대장균 사멸현상으로 판단되지만, 확고한 신뢰성 확보를 위해서는 계속하여 반복적 조사 관찰이 요구되는 사항이다.

5. 종합 검토

그러나 이미 알려진 해양생물체에 대한 수산기의 공격 능력은 일반적인 수준을 넘어 해수적조생물을 사멸시키는 정도에 이르고 있다. 자연계에 존재하는 수산기는 하나의 원자단물질이며, 자연계를 정화하는 유효한 녹색정정약제이다[9]. 수산기는 불소의 산화력과 비슷한 매우 강한 산화성을 띠고 있어서, 수산기가 참여하는 生化反應은 유리기 반응에 속하며 미생물의 사멸 반응속도도 매우 빠르고 그 최종생성물은 O₂와 H₂O로 된다. 수산기가 생물체 세포를 죽이거나, 단세포 생물인 대장균과 같은 미생물을 사멸시키는 원리는,

- ① 생물체의 아미노산 산화분해 : 생물체중에 단백질의 아미노산은 활성기(-OH, -NH₂)를 갖으며, 단백질의 구성과 효소의 촉매활동을 유지하는데 중요한 작용을 한다. 아미노산과 수산기가 반응을 일으키면 단백질의 화학적 손상을 일으켜 생물체의 사망을 초래한다.
- ② 수산기가 DNA와 작용하면 DNA가합물(DNA addcuts)을 형성하여 회복할 수 없는 화학적 손상을 초래한다.
- ③ 수산기는 단세포막의 인지질(磷脂質) 폴리에틸렌지방산의 측방 체인을 공격하여 폴리에틸렌지방산의 신속한 분해를 일으킴으로써 세포구조 파괴로 죽게 된다[10,11].

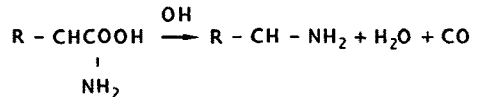
그러므로 수산기는 미생물을 소멸시키는 강력한 특성과 매우 빠른 반응속도를 갖으며, 그밖에 암취 제거, 탈색 등의 특성도 갖고 있다.

한편, 대장균은 세포핵이 체계적이고 복잡한 다른 고등생물과 달리 세포내에 핵 분자들이 흐트러진 모습으로 단순하게 배열되어 세포분열에 따른 증식이 비교적 쉽게 이루어질 수 있으나, 상대적으로 외부로부터의 공격에는 취약하다.

과산화수소(H₂O₂)는 분해과정에서 수산기(OH⁻)를 생성하게 되며, 이것은 미생물을 공격하거나 죽일 수 있다. 과산화수소로 미생물을 공격하는 유효농도는 10~50 mg/l에서 부유동물이나 조류식물을 죽일 수 있고, 1% 농도의 H₂O₂는 포낭과 휴면 미생물을 죽일 수 있다고 보고 되어있다.

따라서 수생생물을 예로 들어 정리해 보면, 생물체의 세포막 두께는 4~7μm로써 세포의 내용물질을 외부로부터 분리시켜 갈라놓으며, 이 세포막은 주로 단백질, 지방질, 다당류와 함께 물, 금속이온 등으로 이루어져있고, 인-글리세린지방산 분자에는 포화지방산과 불포화지방산이 각각 한 분자씩 포함되어있다.

또한, 단백질의 아미노산 펩타이드(peptide) 체인은 생명기능 유지에 가장 중요한 물질이다. 아래의 식에서와 같이 수산기는 아미노산을 산화분해하고 펩타이드 체인을 끊어 단백질의 성질을 변화시킨다.



그리고 일부 아미노산은 메르캅도(mercapto) 초산 활성기단(즉, -SH基)을 가지고 있어서, 이것이 형성한 이황화결합은 단백질 조직유지의 필수 주요 결합이지만, 자유수산기는 이황화결합을 산화 단절시켜 단백질 공간구조와 성질변경 및 효소 활성을 상실시켜 생명력을 잃게 한다.

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

이와 함께, 투어머린 복합체 분말을 침적시킨 시험수의 분해반응에 따른 산성도(pH)와 전기전도도(σ) 변화의 조사를 계속하여 진행하고 있다. 초기의 pH 및 σ 값은 각각 6.5와 60.5 μS/cm로 측정되어 pH는 약산성에서 중성 또는 약 알칼리성으로,

또 σ 는 초순수의 기준 값에 접근하는 변화를 보이며 수질개선의 변화 특징을 나타내고 있으나, 장시간의 경과에 따른 변화를 조사하는 일은 현재 계속 진행 중에 있다.

4. 결 론

투어멀린 전기석의 복합소결체 및 EPD 전착 특성을 확인하고, 이를 시료로 가공한 후 물에 대하여 산도, 전기전도도 및 세균 반응을 조사하여 수질개선 효과에 대한 기초 연구결과로부터 다음의 결론을 얻었다.

- 1) 투어멀린 복합소결체와 투어멀린 EPD전착막의 소결성 실험에서 복합소결체 구성을 위한 양호한 소결성을 확인하였다.
- 2) 투어멀린 복합소결체의 물 반응 조사에서 산성도는 약산성에서 중성으로 또는 약 알칼리성으로, 전기전도도의 변화는 초순수의 기준 값 $\sigma=18.5\mu\text{S}/\text{cm}$ 에 접근하여 지속 변화하였다.
- 3) 시험수의 대장균번식억제효과 조사에서 준비된 시험수의 대장균개체 수가 1300(MPN/100 ml)에서 24시간 경과 후 최소한 25% 이하 수준으로 격감된 300(MPN/100ml) 이하로 계수되어 번식억제수준을 넘어 살균효과 또는 항균작용을 하는 것으로 확인하였다.

이상의 결과로부터 천연산 투어멀린 및 그 복합소결체의 영구분극 현상에 따른 미소전류 흐름은 자연계에 유익한 음이온을 제공해 주고, 미네랄 용출과 클러스터 세분화 및 음이온발생과 관련 반응으로 수질을 부드럽고 맛있는 약 알칼리성 수로 만들어주며, 특히 대장균 등의 세균번식억제 또는 살균효과의 확인으로 뚜렷한 다각적 수질개선 효과가 있음이 확인되어 광범한 응용 가능성을 확보하였다.

감사의 글

본 연구는 KISTEP 지원사업과 (주)대승의 협력 지원으로 수행되었음을 밝히며, 이에 감사를 드립니다. (과제번호: M6-0011-00-0043)

참고문헌

- [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 Electrophoresis, Physica C, Elsevier, 2000
- [5] Soh DeaWha, et al., High Temperature Superconducting Thick Films by use of EPD Method(II), Eurasian Cem-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, 2003
- [8] 소대화 외, 해수적조현상과 선박안정수의 처리 방안, KIMICS 춘계학술대회 논문집, 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, p. 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