

# 전력절감장치를 위한 토르마린 분말의 구조적 특성

## The Structural Characterization of Tourmaline Powders in an Electricity Power Saving System

최성권\*\* 이훈범\*\* 장기석\*  
Choi, Sung-Kwun Lee, Hoon-Beom Chang, Ki-Seog

### ABSTRACT

Characterized by Fourier transform infrared spectroscopy (pyro-electricity), it was found that the milled tourmaline had a better infrared emitting performance for electricity power saving due to the increase of surface area. The power saving system of force is basically the technology applied from the nano-sized tourmaline powder crystals. The tourmaline powders mainly provide the subtle current to the power line in the electricity power saving device. The surplus negative electron increase the density of electron inside of the power line, which will improve the current flow. The result regarding tourmaline structures was verified through the Scanning Electron Microscopy (SEM), Energy Dispersive X-ray spectroscopy (EDX) analysis and the X-ray Diffraction (XRD) analysis and the result regarding pyro-electricity through the Infrared (IR) spectroscopy, respectively.

주요기술용어(주제어) : tourmaline, X-ray diffraction, Infrared, scanning electron microscopy, saving efficiency by force, reducing power consumption

### 1. 서론

최근 환경문제 및 에너지 자원의 고갈문제 등으로 석탄 및 석유를 대체하는 에너지자원에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 석탄, 석유 및 원자력은 열에너지를 직접적으로 활용하기도 하지만 대부분 열에너지를 전기에너지로 전환하여 사용하는 것이 일반적이다.

대부분의 에너지는 인간의 사용편의를 위해 전기에너지로 전환되어 사용되고 있다. 전기에너지는 매년 그 사용량이 증가하고 있고, 화석에너지 자원의 가격 상승으로 전기에너지 공급가격도 동반 상승추세에 있다. 따라서 사회경제적으로 전기에너지를 절감하는 여러 노력들이 진행되고 있다. 특히, 절전제품의 개발, 송전과정의 개선 및 사용전력을 절감할 수 있는 절전장치의 개발(그림 1)이 주목을 받고 있다.<sup>1</sup>

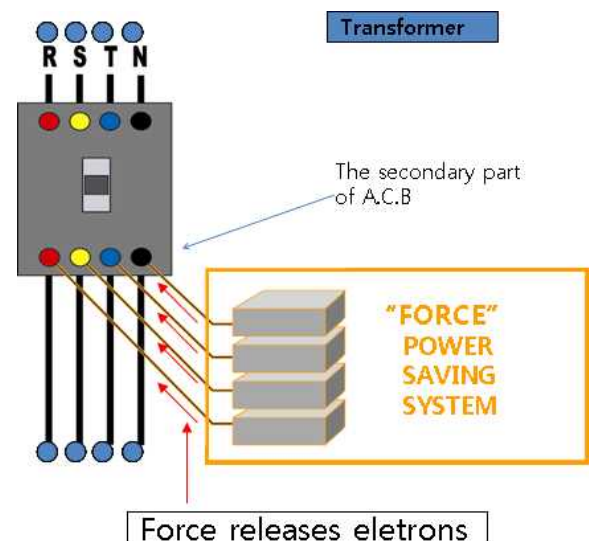


그림 1. Force power saving system<sup>1</sup>

\* 공군사관학교(Korea Air Force Academy)

\*\* (주)이엔포스(ENPOSS)

† 주저자 메일: eunja59@naver.com

전기절전장치 및 방법과 관련하여 일반적으로 모터의 발열에 의한 저항부하의 발생을 억제함으로써 절전하는 기술이 알려져 있다. 이들 종래기술은 모두 원적외선을 이용한 방식으로서 일정한 범위의 파장 (8,000 nm ~ 11,000 nm)에 해당하는 원적외선을 발생시켜야 하고 원적외선 발생량이 일정수준을 만족시키지 못하면 절전효과가 떨어지는 문제점이 있었다. 전력은 전류, 전압 및 역률의 곱으로 정의되며, 전류의 흐름을 개선하여 전류의 값을 감소시킬 경우 전력을 절감할 수 있다. 전류의 흐름을 개선할 수 있는 새로운 재료로 토르마린 광물의 영구적인 전기적 성질을 이용할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 영구적인 전기적 성질을 가지고 있는 토르마린 광물의 입자크기에 따른 적외선 (IR) 흡수를 통한 물리적 특성을 연구하였다. 또한, 분말의 입자크기에 따른 광학적 흡수 및 발광 스펙트럼은 다른 전해질 및 영구자석분말 등의 혼합물과 함께 전자의 이동과 흐름을 개선하여 전력을 절감할 수 있는 장치로서 응용과 이해에 도움이 될 것이다.

## 2. 실험

### 분광학적특성

**X-선측정:** 전력절감장치에 사용하였던 토르마린 분말시료의 X-선 회절패턴(X-ray powder diffraction pattern; X-ray source: CuK $\alpha$  monochromatic radiation)은 부르커사의 회절기(Bruker AXS diffractometer)를 이용하여 측정하였으며, 토르마린 분말시료를 합성할 경우, 단결정의 결정구조로부터 얻어진 자료와 함께 컴퓨터 프로그램의 하나인 LAZY-PULVERIX (the computer program LAZY-PULVERIX)<sup>2</sup>에 의해서 계산된 피크의 모양과 위치를 비교하여 합성된 물질을 확인할 것이다.

**분말형상측정:** 주사현미경 (Scanning electron microscope ; SEM)을 이용한 토르마린 분말시료의 형상을 다음과 같은 절차로 측정하였다. 시료는 양면 구리 테이프를 사용하여 SEM stubs에 고정시키고, Anatech sputter coater를 이용하여 20 nm-Au를 코팅

한다. 튜브형상은 주사현미경, Phillips 505 microscope를 이용하여 얻었다. SEM 단면사진을 이용하여 토르마린 분말시료의 표면형상을 관찰하였다. 또한, 에너지 분산 X-선 분광학 분석(Energy dispersive X-ray spectroscopy (EDX) analysis - Kevex Super 8000 Microanalyzer)을 통해서 원자 Na, Ca, Mg, Al, Fe, Mn, Si와 원자 O의 존재를 확인과 함께 토르마린 분말시료의 표면성분 분포 및 입경을 조사하였다.

**적외선측정:** 토르마린 분말시료의 분광학적 측정은 Bruker Optik GMBH, Cary excitation, Oriel emission monochromator와 Oriel 350-w Xe lamp가 장착된 Spectrofluorimeter를 사용하였다. 광학적 성질의 측정을 위한 시료는 전력절감장치에 직접적으로 사용된 토르마린 분말시료이며, 푸리에변환 적외선분광계에 의해서 변환한 적외선 영역의 빛의 파장을 고체 시료에 조사하여 시료의 고유 흡수 및 투과, 그리고 반사율을 측정하였다.

## 3. 결과 및 토론

**구조:** 토르마린 결정구조는 1950년 Donny와 Buer에 의해서 처음으로 제안되었다.<sup>3, 4</sup> Tourmaline, (Na, Ca)(Li, Mg, Al)<sub>3</sub>(Al, Fe, Mn)<sub>6</sub>(BO<sub>3</sub>)<sub>3</sub>Si<sub>6</sub>O<sub>27</sub>(OH, F)<sub>4</sub>의 단위격자는 Rhombohedral이며, 공간군 (space group)은 R<sub>3m</sub>이다. 본 연구는 초전성 (pyro-electricity)에 중점을 두고 있기 때문에 단위격자 및 공간군 등으로 표현되는 토르마린 결정의 전체적 구조 (global structure) 보다는 분자적 구조 (local structure)에 기초한 진동과 회전에 의한 쌍극자 변화 (4,000 ~ 400cm<sup>-1</sup>; 2.5 ~ 25 $\mu$ m), 적외선 영역의 에너지에 관한 것이다. 따라서 분자적 구조, Si<sub>6</sub>O<sub>18</sub> 고리는 환상으로 3-fold축 위에 배열되며 BO<sub>3</sub>의 3 group도 순서적으로 축에 배열된다. (Li, Mg, Al)은 4개의 O와 2개의 (F, OH)와의 8면체 중심에 위치하고 (Al, Fe, Mn)은 5개의 O와 1개의 (F, OH)와의 8면체 중심에 위치한다. 위 두가지의 6배위 결합은 Si<sub>6</sub>O<sub>18</sub>와 BO<sub>3</sub>로 된 고리의 칼럼을 서로 연결하고 있으며, (Na, Ca)는 3-fold축 사이의 공간에 위치하고 있다.

분말시료의 참고문헌의 자료<sup>5</sup>와 비교한 XRD

(X-ray diffraction), SEM (Scanning electron microscopy) 및 EDX (Energy dispersive X-ray spectriscopic analyses) 분석결과는 그림 2와 같다.

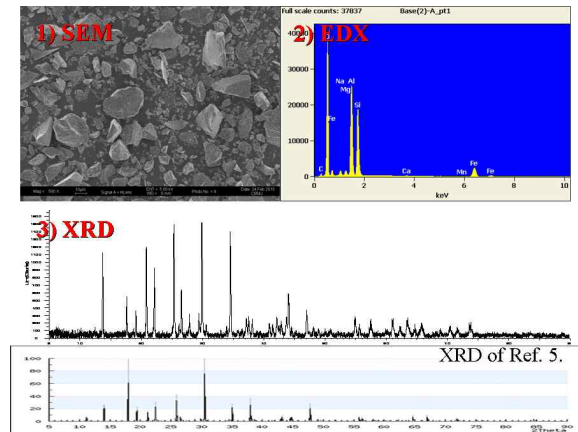


그림 2. 1) SEM, 2) EDX, 3) XRD of tourmaline, respectively.

토르마린 결정구조는 극성체로서 압전 특성 (piezo-electricity)과 초전특성 (pyro-electricity)을 지니고 있다. 토르마린 결정구조의 점군 (point group)은 '3m'이다. 그림 3에 초전특성 (pyro-electricity)을 점군에 따라 계통적으로 도표화하였다.

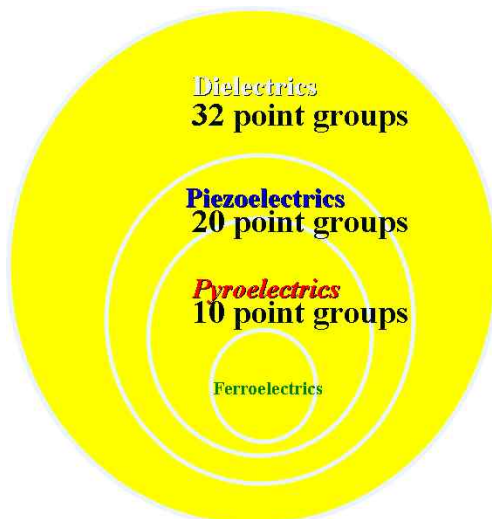


그림 3. Systematic diagram of the pyroelectric crystal classes.

**적외선분석:** 토르마린은 전기석이라고도 불리며, 가열하거나 마찰하면 정전기를 발생하는 성질이 있으므로 명명된 것이다. 이러한 성질을 초전성 (pyro-electricity)이라고 한다. 적외선 분석결과는 그림 4과 같다.

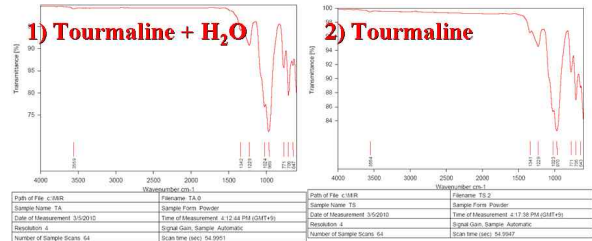


그림 4. FTIR pattern of Tourmaline.

그림 4는 토르마린 분말시료 결정에 대하여 FT-IR spectra를 보여주고 있다. EDX와 XRD에서 확인한 구조를 바탕으로, 900 ~ 1,200  $\text{cm}^{-1}$ 의 피크는 O-Si-O 결합 ( $[\text{SiO}_4]^{4-}$ )의 진동에서 비롯된 것이었으며, 400 ~ 800  $\text{cm}^{-1}$ 의 피크는 M-O 결합 ( $[\text{Fe}_2\text{O}_4]^{2-}$ )의 진동, 1,200 ~ 1,450  $\text{cm}^{-1}$ 의 피크는 B-O 결합 ( $[\text{BO}_3]^{3-}$ )의 진동과 3,000 ~ 3,600  $\text{cm}^{-1}$ 의 피크는 O-H 결합 (-OH)의 진동에서 비롯된 결과이다. 토르마린 분말시료는 결정 내의 Trigonal (3m), 분자구조에 의하여 FT-IR spectra가 형성되고 있다.

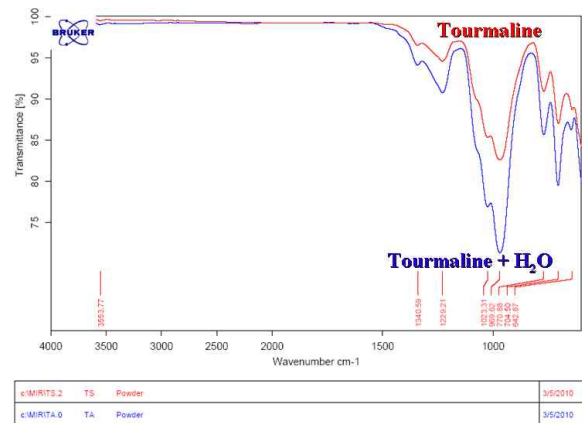


그림 5. FTIR pattern of Tourmaline and Tourmaline +  $\text{H}_2\text{O}$ , respectively.

그림 5는 적외선 분광학 실험으로, 순수한 토르마린 분말시료의 적외선 spectra, 그림 4. 2)와 토르마린 분

말시료에 물 ( $H_2O$ )이 첨가된 혼합물의 적외선 spectra, 그림 4. 1)를 비교 분석하였다. 첨가된 수분의 원적외선 및 전기장은 토르마린 분말시료의 감소된 입자크기에 의한 보다 높은 표면 전기장에 영향을 미치며, 보다 높은 초전 특성을 결과를 보였다.<sup>6</sup> 수분에 의한 토르마린 분말시료의 높은 활성화를 확인할 수 있었다.

#### 4. 결 론

토르마린 분말시료의 구조는 SEM (scanning electron microscopy), EDX (energy dispersive X-ray) 및 XRD (X-ray diffraction)에 의해서 분석하였고 구조와 관련된 초전 특성은 적외선 분광학에 이용하여 각각 비교분석하였다. 토르마린 분말시료 분석결과는 주사 전자현미경 분석법 및 박막 X-선 회절분석법과 형광 분석법에 의해서 확인하였다: X-선 회절분석결과, 토르마린 원료시료의 X-선 모형과 피크위치는 토르마린 분말시료와 일치하였으며, 주사 전자현미경 분석에 의해서 1,000 mesh 분말시료의 입경크기는 10nm에서 10  $\mu m$ 까지 너무도 다양하였다. 결정립의 크기에 따른 계산결과는 형광측정 실험의 결과, 주사전자현미경의 사진과 참고문헌의 자료와 비교할 수 있었으며, 결과적으로, 푸리에 변환 적외선분광 실험에 의한 토르마린의 초전성 (pyro-electricity) 실험을 통해서 토르마린 입경크기의 감소에 따른 표면적 증가와 함께 보다 높은 초전 특성을 확인하였다. 또한, 토르마린 분말시료에 첨가된 수분 ( $H_2O$ )은 자발적으로 토르마린 분말시료의 초전 특성을 활성화하였다. 이러한 성질은 전력절감장치로서 나노-재료적 성질로 적용되며, 초전특성 (pyro-electricity)을 지닌 토르마린 분말시료는 전력절감에 직접적인 원인인 전류 공급의 기초적인 정보가 될 수 있다.

**향후 과제:** 토르마린 결정구조는 1950년 Donny와 Buer에

의해서 처음으로 제안되었다.<sup>3</sup> 분쇄시간 (milling time)에 따른 입경크기 (mesh)는 주사 전자현미경 분석결과와 비교하여 엑스-선 회절 분광실험에 의한 sherrer 방정식으로 계산할 것이며, 토르마린 분말시료의 입경크기와  $Ce^{3+}$ 이온 및  $Ce^{4+}$ 이온 등을 포함한 란타넘계열 (rare earth metal) 원자<sup>7</sup>와 자성재료, 그리고 수분<sup>6</sup>의 첨가에 의한 초전특성 (pyro-electricity)의 변화, 즉, 적외선 분광학 실험을 통해서<sup>6, 7</sup> 토르마린 분말시료의 전력절감장치 역할을 연구할 계획이다.

#### 감 사

본 연구는 ENPOSS와 공군사관학교 항공우주연구소 (the Aerspace Research Institute of the Korea Air Force Academy)의 지원으로 이루어졌으며, KSC는 연구기금을 제공한 ENPOSS에 감사한다.

또한, 분광학적 자료의 측정은 충북대학교 공동기기실의 허미선님, 김동현님, 그리고 이정희님의 도움으로 수행되었다. 이에 감사를 드립니다.

#### 참고문헌

- [1] 최성권, 대한민국특허, KR100939757 B1, **2009**, 9, 10
- [2] Yvon, K.; Jeitscho, W.; Parthe E. *J. Appl. Cryst.*, **1997**, 10, 73.
- [3] Donny, G.; Buerger, M. j. *Acta Cryst.*, **1950**, 3, 379.
- [4] Choo, C. O. *Geoscience J.*, **2003**, 7(2), 151.
- [5] <http://www.mindat.org/min-4003.html>.
- [6] Sun, S.; Wei, C. D.; Liu, Y. X. *J. Nanoscience & Technology.*, **2010**, 10, 2119.
- [7] Zhu, D.; Liang, J.; Ding, Y.; Xue, G.; Liu, L. *J. Am. Chem. Soc.*, **2008**, 91(8), 2558.